

Aanzanding en onderhoudsbaggerwerkzaamheden in de Sardijngeul

dr. ir. J.J. van der Werf
dr. ir. A. Giardino
ir. G. Santinelli

1204421-004

Titel

Aanzanding en onderhoudsbaggerwerkzaamheden in de Sardijngeul

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat

Project

1204421-004

Pagina's

44

Trefwoorden

Aanzanding, onderhoudsbaggerwerkzaamheden, Sardijngeul, Westerschelde

Samenvatting

De Sardijngeul is onderdeel van de vaarroute over Nederlands grondgebied naar de Westerschelde. In deze studie is onderzocht of de aanzanding en de onderhoudsbaggerwerkzaamheden de laatste jaren zijn toegenomen en, indien dit het geval is, wat mogelijke verklaringen hiervoor zijn op basis van literatuurstudie, data-analyse en deskundigenoordeel.

De Sardijngeul sedimenteert al jarenlang op de drempel tussen het Oostgat en de Sardijngeul (Galgeput) en aan de groene boeien kant nabij de ondiepte Nolleplaat. Daarom zijn in het verleden vaak onderhoudsbaggerwerkzaamheden uitgevoerd. In de periode 2005-2010 is de aanzanding van de vaargeul bij de Nolleplaat toegenomen in vergelijking met de periode 1994-2004; voor de locatie Galgeput geldt het tegenovergestelde. Dit is deels de verklaring voor de grote onderhoudsbaggerwerken in 2006, 2009 en 2010. Deze vallen mede op omdat in de periode ervoor niet gebaggerd is, terwijl dit vanuit nautisch oogpunt wel nodig was, en omdat in 2010 een groter gebied gebaggerd is dan voor de vaargeul strikt noodzakelijk was.

De belangrijkste oorzaak voor de structurele aanzanding van de Sardijngeul is de natuurlijke morfodynamiek. Enerzijds het scharen van de eb- en vloedstroom bij de Galgeput, en anderzijds de zuidoost-oostelijke migratie van de Nolleplaat. Het is dan ook waarschijnlijk dat dit gedeelte van de vaargeul blijft aanzanden de komende jaren met een geschatte snelheid van $10\text{-}100 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Ook is het de verwachting dat er af en toe gebaggerd moet worden bij de Galgeput, met name aan de rode boeien kant van de vaargeul.

Het verdient aanbeveling om een eenduidige ligging en diepte van de vaargeul te definiëren en jaarlijks te baggeren mocht dit nodig zijn. Hierbij dient het baggerpolygoon niet een veel groter gebied te beslaan dan de vaargeul, omdat anders wellicht onnodig veel gebaggerd wordt, ook op de lange termijn.

Referenties

-

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	7 maart 2011	dr. ir. J.J. van der Werf		dr. ir. Z.B. Wang		ir. T. Schilperoort	
		dr. ir. A. Giardino					
		ir. G. Santinelli					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen	1
1.3 Werkwijze en leeswijzer	2
2 Systeemanalyse Sardijngeul	3
2.1 Gebiedbeschrijving	3
2.1.1 Getijgeulen en platen	3
2.1.2 Vaargeul	4
2.1.3 Sedimenttransporten	6
2.2 Morfologische ontwikkeling Westerschelde monding	7
2.3 Overzicht onderhoudsbaggerwerkzaamheden	11
2.4 Lokale morfologische ontwikkeling	13
2.4.1 Vaargeul	13
2.4.2 Sardijngeul en haar omgeving	23
2.5 Suppleties	29
2.6 Stortingen	32
3 Conclusies en aanbevelingen	33
3.1 Conclusies	33
3.2 Aanbevelingen	34
4 Referenties	36
 Bijlage(n)	
A Morfologische ontwikkeling vaargeul	A-1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Sardijngeul is een getijgeul langs de zuidwestkust van Walcheren nabij Vlissingen. Samen met de noordwestelijk gelegen getijgeul Oostgat, vormt het onderdeel van de vaarroute over Nederlands grondgebied naar de Westerschelde. In het verleden is de Sardijngeul regelmatig gebaggerd, met name op de drempel tussen het Oostgat en de Sardijngeul (Galgeput) en langs de noordoostelijke rand van de ondiepte Nolleplaat.

De baggerwerkzaamheden in 2006, 2009 en 2010 duiden op een mogelijke toename van de aanzanding. Volgens Rijkswaterstaat (RWS) Zeeland zijn de locaties hetzelfde gebleven, maar nemen de baggerfrequentie en de grootte van het te baggeren gebied toe.

Eind februari/begin maart 2011 neemt RWS Zeeland een besluit met betrekking tot te hanteren baggerstrategie in de Sardijngeul in combinatie met verkeersmaatregelen ten behoeve van de scheepvaart. Daartoe heeft het Deltares gevraagd de aanzanding van de Sardijngeul te onderzoeken, zodanig dat deze studie bijdraagt aan het opstellen van de baggerstrategie.

Deze studie is uitgevoerd in het kader van Deltares onderzoeksprogramma Kennis voor Primaire Processen – Beheer en Onderhoud Kust, onderdeel Ondersteuning Rijkswaterstaat. Het betreft een relatief kleine studie gebruikmakend van bestaande data en kennis als (mogelijke) opmaat voor een meer uitgebreide studie.

1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

De doelstelling van deze studie is: *het identificeren van de oorzaken voor de (mogelijke) toename van het baggervolume cq. aanzanding in de Sardijngeul, gegeven de beheersvraag van RWS Zeeland.*

Onderzoeksvragen zijn:

- 1 Wat is de historische ontwikkeling van de baggerwerkzaamheden en aanzanding in de Sardijngeul?
- 2 Wat zijn mogelijke oorzaken voor deze ontwikkeling?
- 3 Hoe kunnen we deze inzichten gebruiken om een advies te geven ten aanzien van de baggerstrategie?

In deze studie zullen we de volgende oorzaken voor de (mogelijke toegenomen) onderhoudsbaggerwerkzaamheden en aanzanding van de Sardijngeul onderzoeken:

- 1 Verandering van de gewenste vaargeul. Mogelijkerwijs is de gewenste diepte en/of breedte van de vaargeul veranderd in de tijd, of is de vaargeul verlegd. Dit kan mogelijkerwijs een effect hebben op de aanzanding en het baggervolume. Zo zou een ruimere vaargeul meer zand kunnen vangen, omdat de stroomsnelheden omlaag zouden kunnen gaan door de grotere doorsnede van de geul.
- 2 Nabijgelegen suppleties en stortingen. Met name tussen Westkapelle en Zoutelande zijn er de laatste jaren grote hoeveelheden zand gesuppleerd. Ook hebben er in de Westerschelde stortingen plaatsgevonden op de relatief nabijgelegen Hooge Platen. Verder worden er grote hoeveelheden zand gebaggerd uit de Wielingen en deze

worden ten noorden en zuiden van de vaargeul gestort. Volgens Gert-Jan Liek (persoonlijke communicatie) wordt in de praktijk het zand uit de Wielingen enkel teruggestort in een stortvak ver op de Vlakte van Raan nabij de Belgisch-Nederlandse grens (globaal tussen $X_{rd} = 12$ en 13 km en $Y_{rd} = 383$ en 384 km, zie Figuur 2.1). De aanzanding in de Sardijngeul zou hierdoor direct en indirect kunnen worden beïnvloed. Met direct wordt bedoeld: het zand wordt van de stortlocatie naar de Sardijngeul getransporteerd, met indirect wordt bedoeld dat deze suppleties en stortingen de grootschalige waterbeweging en hierdoor de zandtransporten beïnvloeden zodanig er meer zand ophoopt in de Sardijngeul.

- 3 Verandering in baggerstrategie. Hierbij moet gedacht worden aan de gehanteerde overdiepte en het baggerpolygoon.
- 4 Natuurlijke morfodynamiek. Hiermee wordt bedoeld het (min of meer) autonome morfologische gedrag van geulen, banken en platen waardoor de vaargeul ongunstig wordt beïnvloed.

1.3 Werkwijze en leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt het morfologische systeem de Sardijngeul geanalyseerd. Naast een gebiedsbeschrijving, wordt hierin de grootschalige morfologische ontwikkeling van de Westerschelde monding in kaart gebracht op basis van de vaklodingen data (singlebeam) van 1964 tot en met 2010 en resultaten uit eerdere studies. Vervolgens beschrijft paragraaf 2.3 de historische ontwikkeling van de baggeractiviteiten in de Sardijngeul van 1984 tot en met 2010 op basis van RWS Zeeland documenten en gesprekken met RWS Zeeland medewerkers.

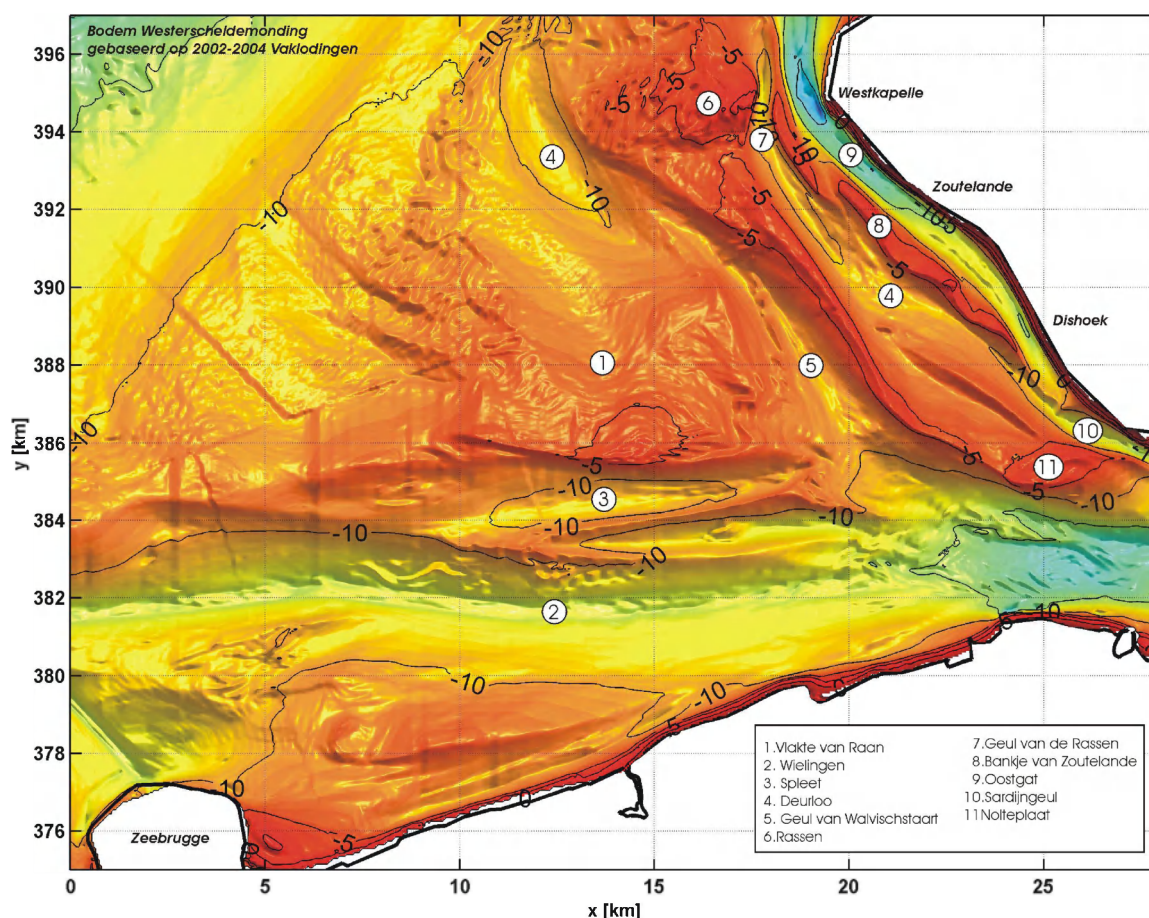
Hierna is met behulp van gedetailleerde multibeam data de morfologische ontwikkeling van de Sardijngeul van 1994 tot en met 2010 onderzocht. Deze data is ook gebruikt om de eerder achterhaalde onderhoudsbaggervolumes te verifiëren (paragraaf 2.4). De vaklodingen zijn ook gebruikt om ter plekke van de Sardijngeul en de nabijgelegen platen en geulen de ontwikkeling van een aantal karakteristieke dwars- en langsraaien te bestuderen. Paragraaf 2.6 bespreekt welke suppleties en stortingen zijn uitgevoerd in de Westerschelde (mondig) en hoe deze de Sardijngeul morfologische beïnvloed hebben. In Hoofdstuk 3 worden de conclusies en aanbevelingen gepresenteerd, mede op basis van een workshop met deskundigen van Deltares, RWS Zeeland en RWS Waterdienst.

2 Systeemanalyse Sardijngeul

2.1 Gebiedbeschrijving

2.1.1 Getijgeulen en platen

Figuur 2.1 geeft een overzicht van de belangrijkste banken, platen en geulen in de Westerschelde monding.



Figuur 2.1 Overzicht van de belangrijkste banken, platen en geulen in de Westerschelde monding gebaseerd op vaklodgingen uit 2002-2004. (figuur afkomstig uit Van Ormondt & De Ronde, 2009)

De Wielingen (no. 2), met een oost-west oriëntatie, is de hoofdgeul van de Westerschelde monding. Andere belangrijke geulen, hoewel qua getijvolume kleiner dan de Wielingen, zijn het Oostgat (9) en de Sardijngeul (10) die in het verlengde van elkaar liggen. Tezamen vervullen ze een kortsluitfunctie tussen de Westerschelde en de Noordzee. Deze twee geulen worden gescheiden door de drempel Galgeput. Ten zuidwesten van de Sardijngeul ligt de ondiepte Nolleplaat (11).

De Sardijngeul dankt haar naam aan de vis die er in het verleden in grote hoeveelheden werd gevangen: de schardijn, in de volksmond sardijn. Deze vis werd meestal gevangen als de garnalenvangst stilstond en ook tijdens mistperiode, als de vissers zich niet buiten het zicht van de wal durfden te begeven (Van der Voort, 2011).

Ten westen van het Oostgat bevinden zich de Geul van de Rassen (7) en de Deurloo-Oost (4), gescheiden van het Oostgat door het Bankje van Zoutelande (8). De Geul van de Rassen sluit in het noorden aan op het Oostgat en Deurloo-Oost in het zuiden op de Galgeput. Tussen het geulencomplex langs de zuidwest Walcherse en Zeeuws-Vlaamse kust ligt een uitgestrekt platengebied (Vlakte van de Raan, no. 1) dat wordt doorsneden door een aantal nevengeulen, zoals de Deurloo-West (4), Geul van de Walvischstaart (5) en Spleet (3).

2.1.2 Vaargeul

Onderstaande beschrijving van de vaargeul is gebaseerd op Van der Voort (2011).

Het Oostgat loopt over de kustbank Kaloo naar de zuidwest kust van Walcheren en vandaar tussen de Walcherse kust en het Bankje van Zoutelande en gaat nabij Vlissingen over in de Galgeput en voor Vlissingen in de Sardijngeul. Het is onder de kust van Walcheren smal en onder Vlissingen zeer smal en er zijn drempels op Kaloo en in de Galgeput en het is zeer ondiep aan de groene boeien zijde¹ van de Sardijngeul (zie Figuur 2.2).

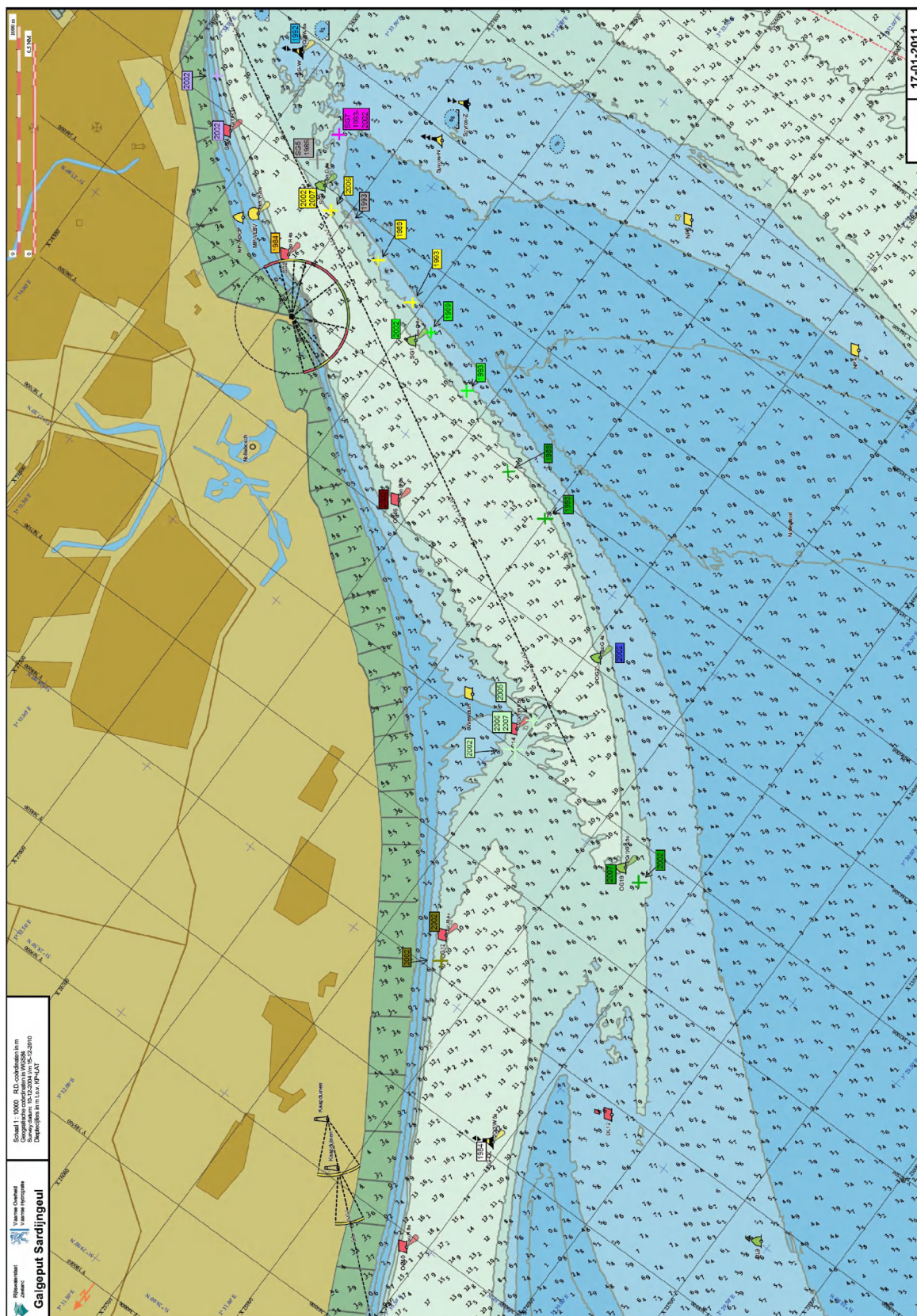
Het vaarwater Oostgat vormt voor de zeescheepvaart de noordelijke toegang tot de Westerschelde. Op rede Vlissingen bedroeg in 2005 het aantal zeescheepvaart bewegingen 40,840 waarvan 15,894 via het Oostgat. Het is een druk vaarwater voor de zeescheepvaart, visserij en recreatievaart. De minimale breedte is ca. 350 m.

De Sardijngeul is een smal vaarwater (ter plaatse van de boeien SG3-SG2 250 m breed, zie Figuur 2.2) en direct achter de SG1-SG3 bevindt zich een steiloplopende ondiepe bank (Nolleplaat). In de inloop van de Sardijngeul ligt op de lijn SG-W/lage licht aan de groene zijde een uitloper van deze bank. Afhankelijk van de diepgang en de beschikbare vaardiepte leidt dit tot een versmalling van de beschikbare geul, waarbij inkomende scheepvaart bij het opvaren naar de Rede van Vlissingen gedwongen is de bakboordzijde van het vaarwater aan te houden.

De vaargeul diepte die in principe gegarandeerd wordt is LAT (*Lowest Astronomical Tide*) -8 m, mede gegeven de diepte ter plekke van zandbank Kaloo en het scheepswrak Spyros dat bij een grotere diepte bloot komt te liggen. Dit komt overeen met NAP -10.6 m (op basis van het getij bij Vlissingen). De vaargeuldiepte is niet veranderd in de loop der tijd. Wel zijn de boeien die de buitenrand van de vaargeul aanduiden enigszins verplaatst (zie Figuur 2.2), maar dit leidde niet tot een significante verandering van de ligging van de vaargeul.

Tot instandhouding cq. verbetering van de vaarweg op Antwerpen worden voor rekening van Vlaanderen jaarlijks omvangrijke baggerwerken uitgevoerd in de Wielingen en de Westerschelde. Aangezien de Sardijngeul de enige toegang over Nederlands grondgebied tot de Westerschelde is, is voor de Nederlandse Overheid instandhouding van de vaargeul wenselijk. Vervoer van politiek gevoelige transporten (kernafval) over Vlaams grondgebied kan op weerstand stuiten. Bovendien dienen schepen komende uit de Noord, welke normaal gesproken door het Oostgat kunnen en mogen, "Westrond" ca. 3 uur langer te varen indien de Sardijngeul niet op diepte wordt gehouden. Deze situatie is nadelig voor de concurrentiepositie van de Nederlands havens aan de Westerschelde (met name Vlissingen en Terneuzen). (Mol, 2005)

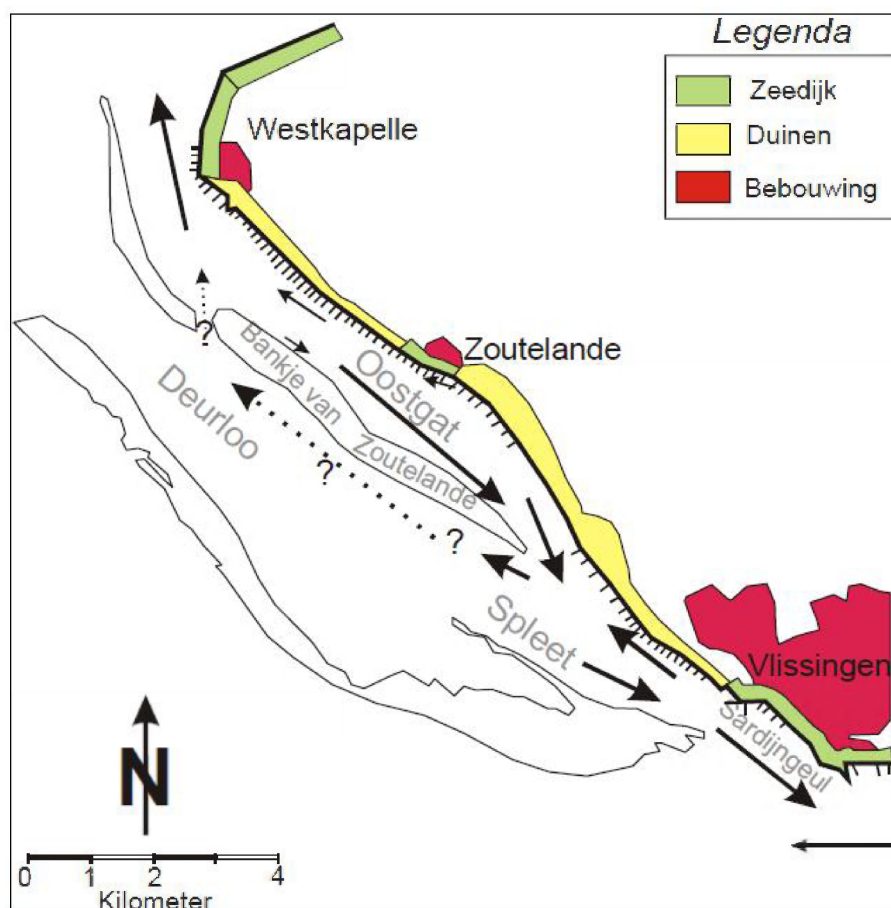
1. Langs de Nederlandse kust is de betonningsrichting vanuit zee naar de havens toe (met de vloedstroom mee). Een schip dat vanuit de Noordzee de Westerschelde opkomt, vaart dus in de betonningsrichting. Dat houdt in dat de boeien aan bakboordzijde (links) rood en de boeien aan stuurboordzijde (rechts) groen van kleur zijn.



Figuur 2.2 Kaart van de ligging van de vaargeul en boeien. (door Diana de Nooijer, RWS Zeeland)

2.1.3 Sedimenttransporten

Erkens (2003) heeft op basis van multibeam data uit het gehele Oostgat de netto sedimenttransporten afgeleid, waarbij aangenomen werd dat de asymmetrie van de beddingvorm een maat is voor de transportrichting en de grootte van de beddingvorm voor de transportgrootte². Figuur 2.3 toont het resultaat van deze analyse.



Figuur 2.3 Residuele sedimenttransporten op basis van beddingstructuren. (figuur afkomstig uit Erkens, 2003)

In het noorden (ten noorden van de Dijk van Zoutelande) is vanuit de bathyale structuren (erosiekuilen) af te leiden dat de ebstroom dominant is. Verder naar het zuiden liggen de ebgedomineerde erosiekuilen aan de Walcherse kant en een vloedgedomineerde erosiekuil aan de kant van het Bankje van Zoutelande.

In het middelgedeelte van het Oostgat levert een resultante van het getij vloedgedomineerde ribbels op, maar aan de kant van Walcheren is er op ebflank van de geul een zwak ebdominante water- en zandstroom te vinden.

Bij de drempel in de Galgeput scharen de vloed- en ebstromen, waarbij het vanuit het zuiden komende ebdominante ribbelpatroon (aan de Walcheren kant van de geul) naar de kant van het Bankje van Zoutelande opschuift om uiteindelijk aan de Deurloo kant (westkant) van het Bankje te gaan stromen.

2. Het is echter zeer wel mogelijk dat er grote netto sedimenttransporten optreden terwijl de bodem vlak is.

Het vanuit het noorden komende vloedgedomineerde ribbelpatroon schuift van de Walcheren kant op naar de andere kant van de Sardijngeul. Ten zuiden van de drempel liggen vloedgedomineerde beddingstructuren aan de 'bankjes-kant' en ebgedomineerde aan de Walcheren kant.

Het zuidelijke gedeelte van de Sardijngeul is vloedgedomineerd blijkt uit de structuren, de zeer flauwe helling van de vlakte ten zuiden van Vlissingen (in de richting van Breskens) bevat licht ebgedomineerde ribbels.

De vloedgedomineerde Sardijngeul komt bij Vlissingen samen met de ebgedomineerde geul Wielingen. De oostelijk gelegen hoofdgeul vanaf hier, de Honte, is eveneens ebgedomineerd.

2.2 Morfologische ontwikkeling Westerschelde monding

Volgens Erkens (2003) is de grootste verandering die in de afgelopen twee eeuwen in de Westerschelde monding heeft plaatsgevonden de migratie en splitsing van de Deurloo en de daarmee verbandhoudende ontwikkeling van de Geul van de Rassen en de Geul van de Walvischstaart.

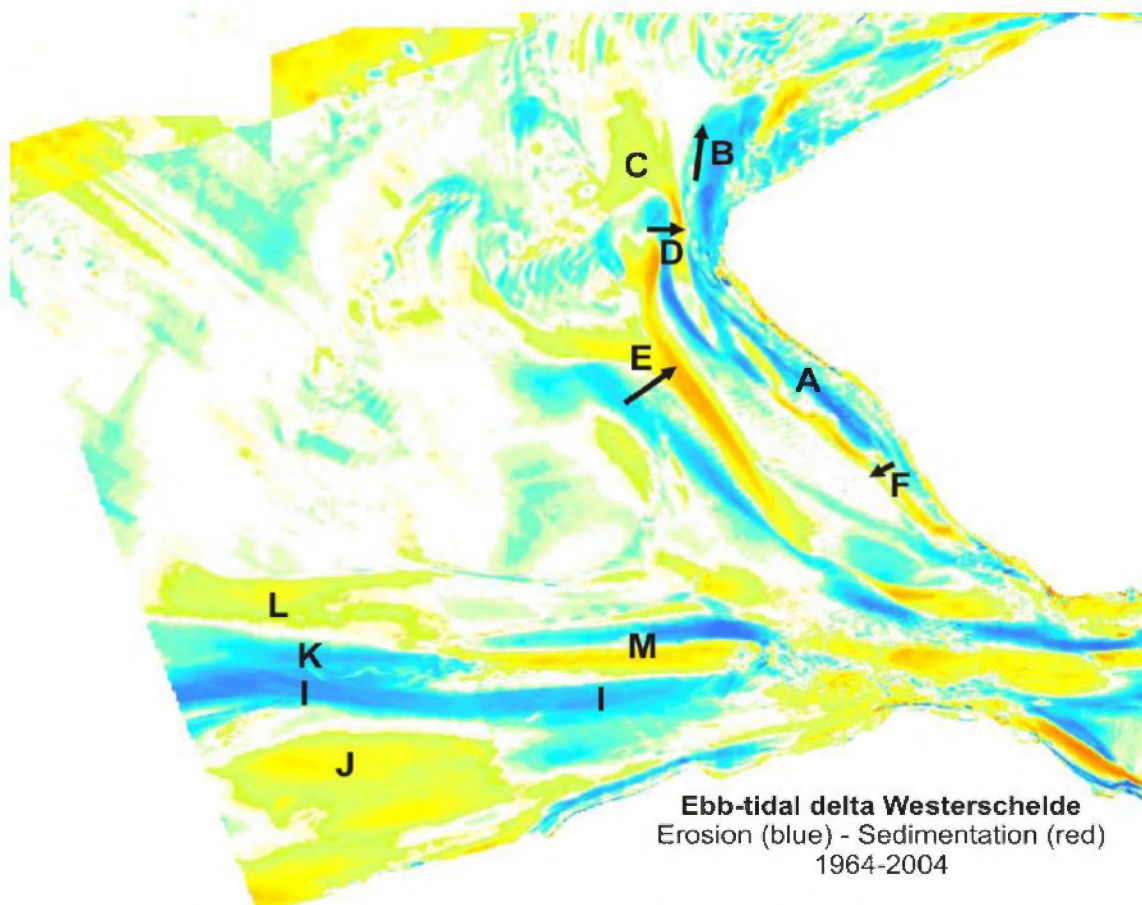
In het begin van de 20^e eeuw lagen in de Westerschelde monding drie grote geulsystemen: Oostgat, Deurloo en Wielingen. Het Oostgat en de Wielingen hadden in grote lijnen dezelfde ligging als nu. Vanaf ca. 1900 werd de oriëntatie van het noordelijke gedeelte van de Deurloo meer oost-west. Als gevolg hiervan ontstond halverwege de Deurloo een knik in de geul-as. Daarnaast ontstond in het zuiden, ten noorden van de Wielingen, de Geul van de Walvischstaart. In de knik van de Deurloo ontstond de Geul van de Rassen. Deze twee nieuwe geulen hebben bijgedragen aan een verdere splitsing van de Deurloo. De splitsing in een westelijk en oostelijk gedeelte zette door in de jaren '60 van de vorige eeuw en de Deurloo verdween als echte geul. De Geul van de Rassen sneed verder in de Rassen en kwam in verbinding te staan met het Oostgat.

Cleveringa (2008) heeft de morfologische ontwikkeling van de gehele Zuidwestelijke Delta gedurende de periode 1964-2004 onderzocht op basis van de vaklodings data. Voor de gehele ebdelta van de Westerschelde (zonder de Wielingen vaargeul) vindt hij voor deze periode een erosie die ligt tussen de 0.2 and 0.5 Mm³/jaar. De grootste morfologische veranderingen vinden plaats aan de noordoostelijke grens van de ebdelta (zuidwestelijke kust van Walcheren) en langs de zuidelijke grens (kust van (Zeeuws-)Vlaanderen). Hiertussen ligt de relatief stabiele Vlakte van de Raan (bodempligging tussen de NAP -5 and -10 m) zonder opvallende morfologische elementen.

Cleveringa (2008) beschrijft de volgende persistente morfologische ontwikkelingen voor de ebdelta van de Westerschelde (zie Figuur 2.4):

- A kleine toename diepte en dwarsdoorsnede van het Oostgat
- B uitbreiding van het Oostgat in noordelijke richting
- C aanzanding van de westelijke rand van het noordelijke gedeelte van het Oostgat
- D (noord-)oostelijke (landwaartse) verplaatsing van de Geul van de Rassen welke lokaal gepaard gaat met de erosie van het Bankje van Zoutelande
- E noordoostelijke (landwaartse) verplaatsing van de Geul van de Walvischstaart en de landwaartse hiervan gelegen zandbank Elleboog
- F zuidwestelijke (zeewaartse) verplaatsing Oostgat en het Bankje van Zoutelande
- I verdieping van de Wielingen als gevolg van onderhoudsbaggerwerk en toegenomen vaargeuldiepte

- J verondieping gebieden ten zuiden van Wielingen door het storten van het gebaggerde sediment uit de vaargeul
- K ontwikkeling van een getijdegeul parallel aan Wielingen
- L sedimentatie ten noorden van Wielingen door (de verspreiding van) gestort sediment uit de vaargeul
- M ontwikkeling lineaire zandbank ten noorden van Wielingen en de erosie een andere bank ten noorden hiervan; beide als gevolg van het ontstaan van een ebschaar vanuit de monding van de Westerschelde tussen deze twee banken



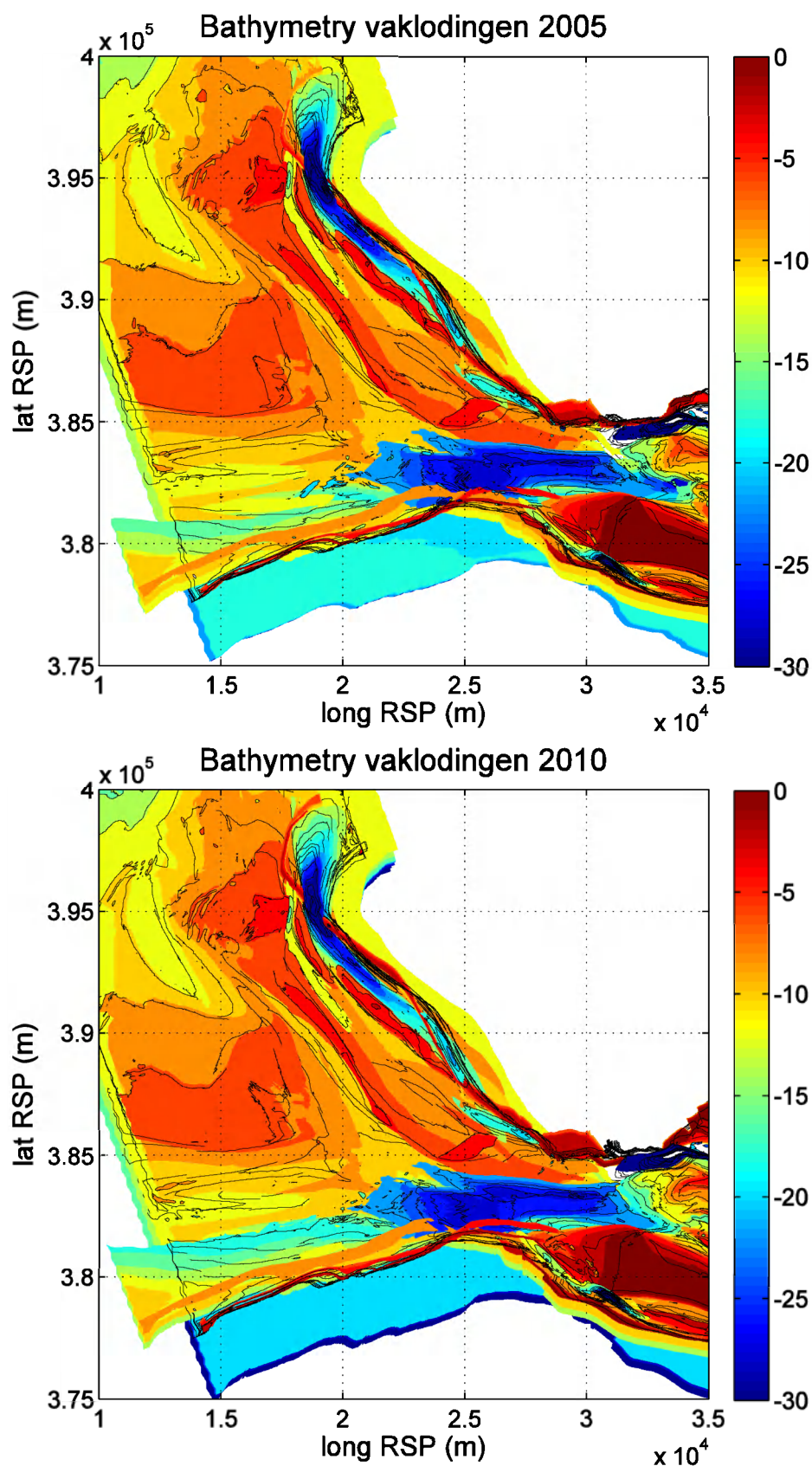
Figuur 2.4 Grootschalige morfologische veranderingen in de ebdelta van de Westerschelde. (figuur afkomstig uit Cleveringa, 2008)

In overeenstemming hiermee, stelt Erkens (2003) dat het gedrag van het Oostgat in de periode 1969-2000 werd gekenmerkt door verbreding van het dwarsprofiel. De oostelijke geulwand migreerde met gemiddeld 0.2 m/jaar kustwaarts. Verder vond er in deze periode een verdieping plaats van ongeveer 2 m. Als gevolg hiervan, erodeerde de kust van zuidwest Walcheren en versteilde het kustprofiel.

Figuur 2.5 en Figuur 2.6 tonen de vaklodingen uit 1972, 2004, 2005 en 2010. Naast de observaties van Cleveringa (2008), tonen deze figuren dat de uitloper van het Bankje van Zoutelande migreert in zuidoostelijke richting en dat de Nolleplaat in zuidoost-oostelijke richting lijkt te migreren (rode cirkels). Hier wordt in paragraaf 2.4 in meer detail op ingegaan.



Figuur 2.5 Vaklodgingen uit 1972 (boven) en 2004 (onder) van de Westerschelde monding; bodem in [m NAP]. De rode cirkels dienen ter referentie voor de beschreven morfologische ontwikkelingen.



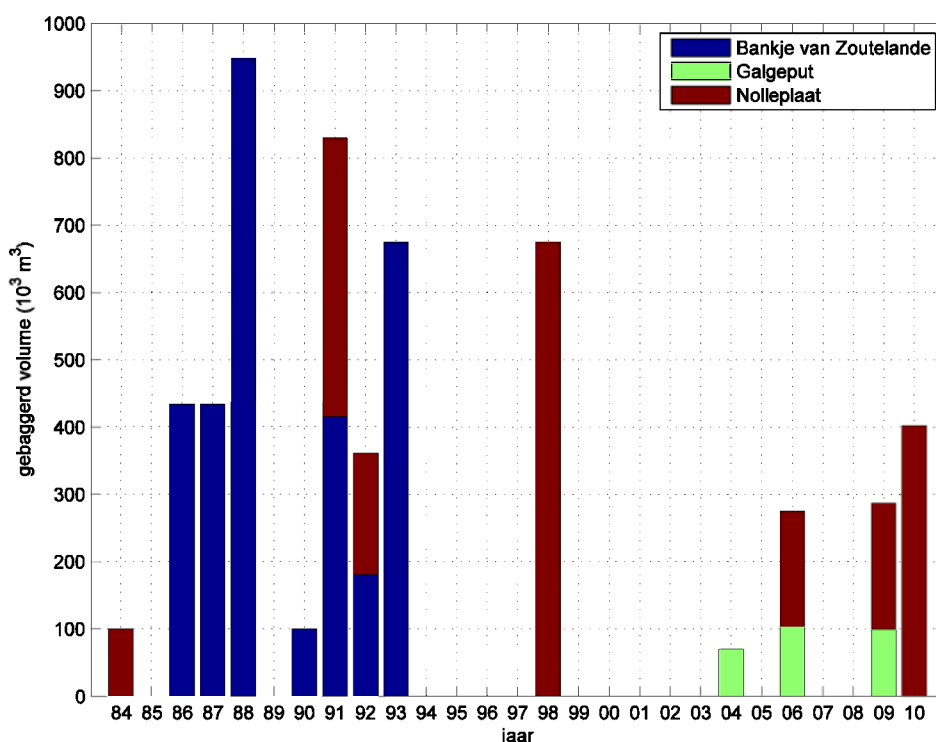
Figuur 2.6 Vaklodingen uit 2005 (boven) en 2010 (onder) van de Westerschelde monding; bodem in [m NAP].

2.3 Overzicht onderhoudsbaggerwerkzaamheden

Op basis van RWS Zeeland documenten en persoonlijke communicatie met Marian Lazar en Frans Mol is het overzicht van de baggerwerkzaamheden in en nabij de Sardijngeul vanaf 1984 opgesteld. Dit overzicht wordt gepresenteerd in Tabel 2.1 en Figuur 2.7. In de figuur is een verdeling van 5:3 (Nolleplaat:Galgeput) aangehouden in geval van het tegelijkertijd baggeren van de Nolleplaat en de Galgeput (Marian Lazar, persoonlijke communicatie) en 1:1 in geval van de Nolleplaat en het Bankje van Zoutelande (bij gebrek aan betere informatie). Indien het baggervolume dan wel de baggerlocatie niet bekend waren, is deze data niet zichtbaar gemaakt in Figuur 2.7. Ook worden de baggerwerkzaamheden bij de Steenbanken niet getoond in deze figuur, aangezien deze niet in het interessegebied liggen.

Tabel 2.1 Overzicht baggerwerkzaamheden in en nabij de Sardijngeul (n.b. de Steenbanken liggen niet in het interessegebied, maar enkele tientallen km's uit de noordwest Walcherse kust). Een vraagteken duidt op het niet (zeker) weten van de betreffende informatie

Datum	Baggergebied	Volume (10 ³ m ³)	Stortlocatie
2010 (sep – nov)	Nolleplaat	402	geulwandsuppletie Westkapelle
2009	Nolleplaat	21	geulwandsuppletie Oostgat
2009 (apr – mei)	Galgeput Nolleplaat	266	suppleties ZW Walcheren?
2006 (sep – dec)	Galgeput Nolleplaat	275	?
2004 (nov)	Galgeput	70	zandwinning
1998 (apr – mei)	Nolleplaat	675	strandsuppletie Zoutelande- Vlissingen
1996	Steenbanken	260	Bankje van Zoutelande (herstel)
1995	Steenbanken	463	Dishoek-Nollestrand
1995 (mei)	Steenbanken	54	Kustlicht
1993 (maa – okt)	Bankje van Zoutelande	675	Zoutelande-Vlissingen
1992	Nolleplaat Bankje van Zoutelande	361	Zoutelande-Vlissingen
1991	Nolleplaat	?	Badstrand Vlissingen
1991	Nolleplaat Bankje van Zoutelande	830	Westkapelle-Zoutelande
1990	Bankje van Zoutelande	100	Aardappeldal
1988	Bankje van Zoutelande	515	Westkapelle-Zoutelande
1987	?	30	Huvers (Dishoek) landwaartse duinverzwaring
1986-1988	Bankje van Zoutelande?	1300	Westkappelse Zeedijk
1984 (mei)	Nolleplaat	100	Joossesweg 22.94-23.68



Figuur 2.7 Overzicht van de baggerwerkzaamheden bij het Bankje van Zoutelande, de Galgeput en de Nolleplaat.

De baggerwerkzaamheden in de Sardijngeul betroffen altijd onderhoud aan de vaargeul (Frans Mol, persoonlijke communicatie). Hierbij werd in principe gebaggerd tot de gewenste diepte van de vaargeul (LAT -8 m) plus een overdiepte van 0.4 m. In de meeste gevallen werd “werk-met-werk” gemaakt: het zand uit de vaargeul werd gebruikt voor nabij gelegen strand- en onderwatersuppleties.

Het Bankje van Zoutelande was een dichtbij en dus goedkope bron van zand. Men is na 1993 gestopt met winnen van zand van het Bankje als gevolg van een incident. In oktober 1993 is er een insteek gemaakt in het Bankje van Zoutelande door de baggeraar als gevolg van een positioneringsfout. Deze inkeping begon stroom te trekken en verdiepte. Uiteindelijk is het Bankje hersteld in 1996 door het storten van 260,000 m³ zand afkomstig van de Steenbanken. (Maranus, 1995; 1997) Men realiseerde zich dat het verstandig was geen onnodige morfologische ingrepen te doen. Begin jaren 2000 deed het kustfundament zijn intrede en sindsdien stelt het landelijke zandwinbeleid dat het zand buiten de vastgestelde NAP -20 m diepte contour moet worden gehaald. Deze diepte wordt pas bereikt op ca. 20 zeemijl uit de kust. Hierdoor is het niet meer mogelijk te suppleren met zand van binnen het kustfundament in het kader van het Rijkswaterstaat Kustlijnzorg programma. Wel wordt het zand dat vrijkomt bij onderhoudsbaggerwerkzaamheden nog steeds regelmatig onderwater gestort als een soort extra, “gratis” suppletie. (Gert-Jan Liek, persoonlijke communicatie)

Tabel 2.1 en Figuur 2.7 tonen dat er in ieder geval al sinds 1984 gebaggerd wordt in de Sardijngeul. Dit gebeurde aan de groene zijde van de vaargeul (Nolleplaat) en sinds 2004 ook op de drempel van de Galgeput. Opvallend is de onregelmatigheid van baggeren van de rand van de Nolleplaat: in 1984, dan 6 jaar niet, vervolgens 2 jaar achter elkaar, niet tussen 1994 en 1997, wel in 1998, vervolgens 7 jaar niet en dan weer wel in 2006, 2009 en 2010. De baggerfrequentie is duidelijk toegenomen de laatste jaren, de hoeveelheden per keer niet. In de periode 1984-2010 is er jaarlijks gemiddeld orde 80 x 10³ m³ gebaggerd in de vaargeul ter plekke van de Nolleplaat.

Er was geen informatie beschikbaar over de baggerwerkzaamheden voor 1984, maar volgens Mol (2005) is het “naar de wal willen uitwerken van de Nolleplaat” een normaal terugkerend verschijnsel in de laatste eeuw. Daarom zijn vanaf 1929 in goed overleg met de Nederlands loodsen onderhoudsbaggerwerken uitgevoerd.

2.4 Lokale morfologische ontwikkeling

2.4.1 Vaargeul

De morfologische ontwikkeling van de vaargeul wordt bestudeerd op basis van multibeam data aangeleverd door RWS Zeeland. Deze metingen worden jaarlijks en recentelijk zelfs 4x per jaar uitgevoerd. De hier gebruikte bodemdata beslaan de vakken SG01 en OG01 en hebben een resolutie van 10 x 10 m en de meetnauwkeurigheid is +/- 0.1 m (Joep Roseboom, persoonlijke communicatie). Tabel 2.2 geeft een overzicht van de in deze studie gebruikte multibeamopnames in de vakken SG01 en OG09. Hierbij is aangegeven welke metingen direct voor en na het baggeren in 2006, 2009 en 2010 zijn uitgevoerd.

Tabel 2.2 Overzicht van de multibeamopnames ter plekke van de Sardijingeul, waarbij is aangegeven welke metingen voor en na het baggeren zijn uitgevoerd.

Data set	Vak SG01		Vak OG09	
	Start opname	Eind opname	Start opname	Eind opname
1994	01-06	02-06	08-11	09-11
1995	11-04	12-04	29-05	31-05
1996	02-04	03-04	05-03	06-03
1997-1	09-04	24-04	04-07	07-07
1997-2	27-11	04-12	-	-
1998	19-05	20-05	25-05	26-05
1999	29-04	03-05	26-05	27-05
2000	03-04	06-04	09-10	09-10
2001	09-07	10-07	20-02	20-02
2002	10-06	26-06	06-08	07-08
2003	31-03	09-04	10-02	11-02
2004	04-11	11-11	04-03	05-03
2005	30-05	30-05	31-05	01-06
2006-1	11-07	12-07	12-07	13-07
2006-2 (voor)	25-09	25-09	25-09	25-09
2006-3 (na)	19-12	21-12	19-12	19-12
2007	20-02	22-02	06-02	16-02
2008	08-04	10-04	10-04	14-04
2009-1 (voor)	02-04	02-04	01-04	02-04
2009-2 (na)	25-05	27-05	27-05	02-06
2009-3	13-08	13-08	09-09	09-09
2009-4	16-12	16-12	02-12	02-12
2010-1	08-03	09-03	04-03	08-03
2010-2	05-07	05-07	06-07	06-07
2010-3	09-09	09-09	23-09	23-09
2010-4 (voor)	17-11	17-11	-	-
2010-5 (na)	07-12	08-12	-	-
2011-1	19-01	19-01	19-01	20-01

Figuur 2.8, Figuur 2.9 en Figuur 2.10 tonen de bodemligging [m LAT] voor en na de onderhoudsbaggerwerkzaamheden in 2006, 2009 en 2010. In geval van ontbrekende data, is deze aangevuld met data van de meest recente, voorafgaande peiling. In deze figuren is ook de huidige ligging van de boeien (vaargeul) aangegeven, alsmede de baggerpolygonen. Het baggerpolygoon ter plekke van de Nolleplaat in 2006 was onbekend en is bepaald op basis van het verschil tussen de bodem voor en na het baggeren. Dezelfde figuren voor de jaren 1994-2005 en 2007-2008 zijn terug te vinden in Bijlage A.

De figuren tonen dat dit gebied een aantal karakteristieke morfologische elementen bevat: 1) de driehoekige ondiepte nabij boei OG14, 2) de drempel tussen de Sardijngeul en het Oostgat (ten Noorden van de boeienlijn OG19-OG14), 3) de uitloper van het Bankje van Zoutelande (ten noorden van boei OG19) en 4) de (rand van de) Nolleplaat die ongeveer parallel loopt aan boeienlijn SG1-SG3-SGW).

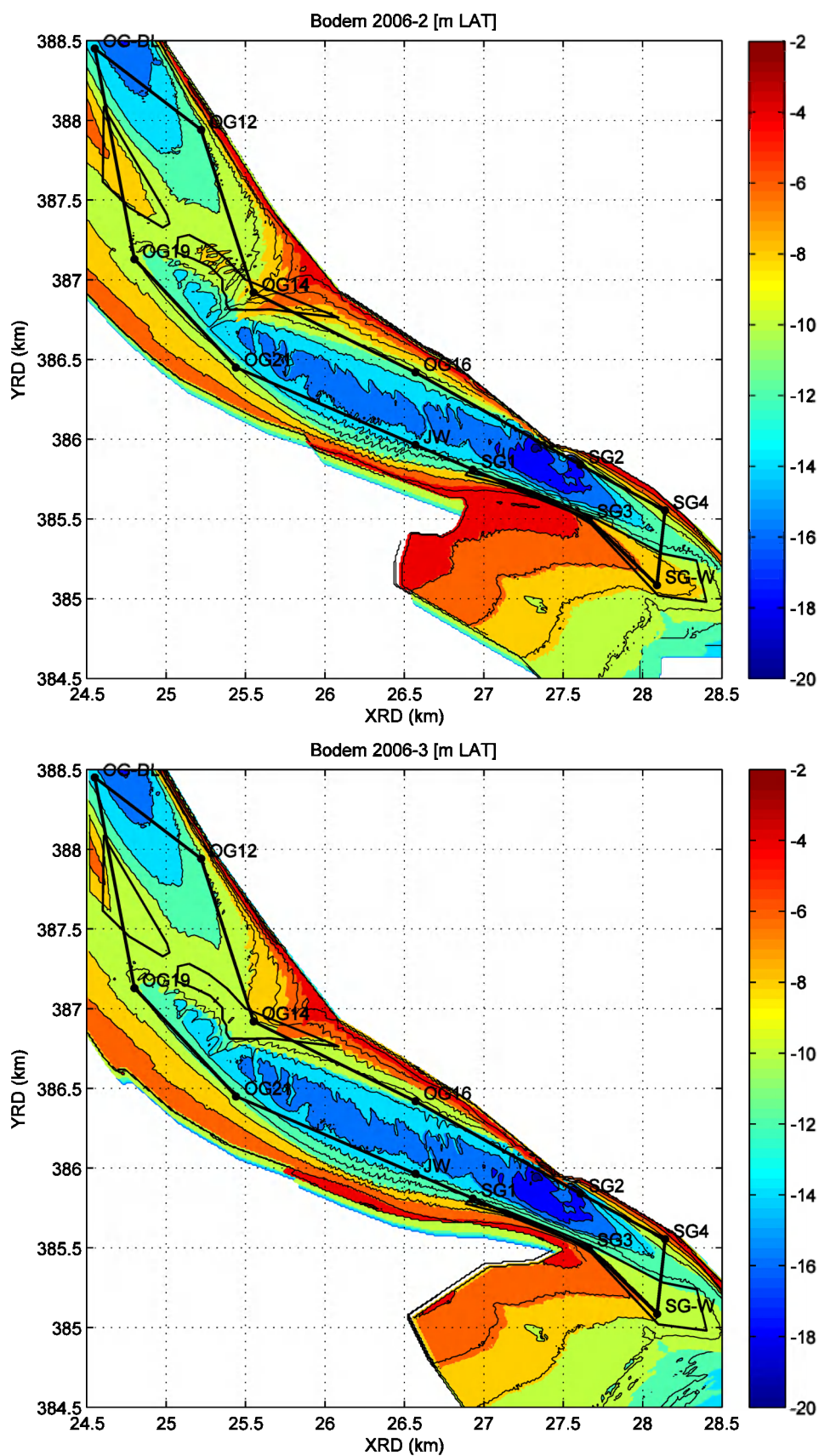
De driehoekige ondiepte bij boei OG14 ligt vrij stabiel in de tijd, ondanks dat deze gedeeltelijk is weggebaggerd in 2004, 2006 en 2009. Na het baggeren herstelt het zich dan ook tamelijk vlot (vergelijk de 2006-3 en 2008 bodem). De uitloper van het Bankje van Zoutelande migreerde in zuidoostelijke richting tussen 1994 en 2006-2, waarna het gedeelte dat in de vaargeul lag, is weggebaggerd. Hierna lijkt de uitloper vrij stabiel buiten de vaargeul te liggen. (Ondanks dat dit niet blijkt uit het baggerpolygoon, lijkt hier in 2009 toch gebaggerd te zijn, vergelijk de 2009-1 en 2009-2 bodem).

De Nolleplaat verplaatst zich in zuidoost-oostelijke richting. Dit proces lijkt in ieder geval al vanaf 1994 plaats te vinden. Vanaf 1999 ligt de LAT -8 m contour (licht oranje) dan ook in de vaargeul. Volgens Frans Mol (persoonlijke communicatie) was baggeren toentertijd dan ook noodzakelijk, maar niet uitgevoerd vanwege budgettaire beperkingen (zie ook Mol, 2005). Dit leidde er zelfs toe dat grote zeeschepen moesten omvaren via de Wielingen. Pas in 2006 werd het zand hier weggebaggerd. Hierna keerde het zand vrij snel weer terug, waardoor baggerwerkzaamheden in 2009 en 2010 noodzakelijk waren. Het baggerpolygoon van 2010 is opvallend ruim, i.e. het beslaat een stuk groter gebied dan de vaargeul.

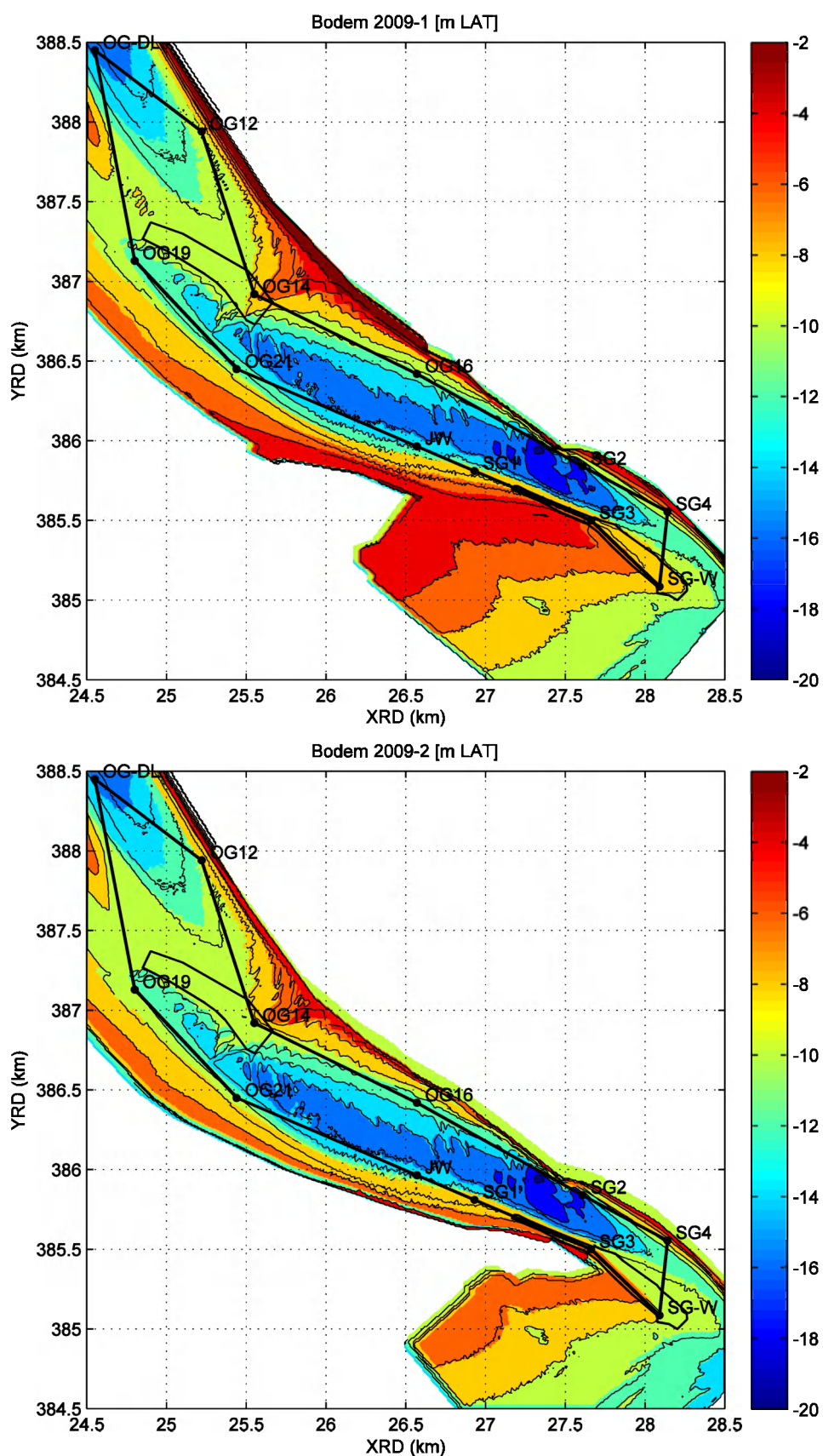
Figuur 2.11 tot en met Figuur 2.14 tonen de sedimentatie/erosie in de baggerpolygonen op basis van de multibeamopnames voor en na de baggerwerkzaamheden in 2006, 2009 en 2010. Rood duidt op erosie (gebaggerd), blauw op sedimentatie. Elke 0.5 m zijn er contourlijnen geplot. Hieruit blijkt dat in 2006 en 2009 er maximaal 2-3 m diep gebaggerd is. In 2010 is dieper gebaggerd; er is maximaal 4-5 m zand weggehaald.

Tabel 2.3 toont de ontwikkeling van de volumes in de gebaggerde gebieden ten opzichte van de meting juist voor het baggeren. Aanzanding levert een positief getal op. Deze tabel toont dat de respons van het gebied op het baggeren niet-lineair is: de sedimentatiesnelheid is initieel hoog en neemt daarna af in de tijd.

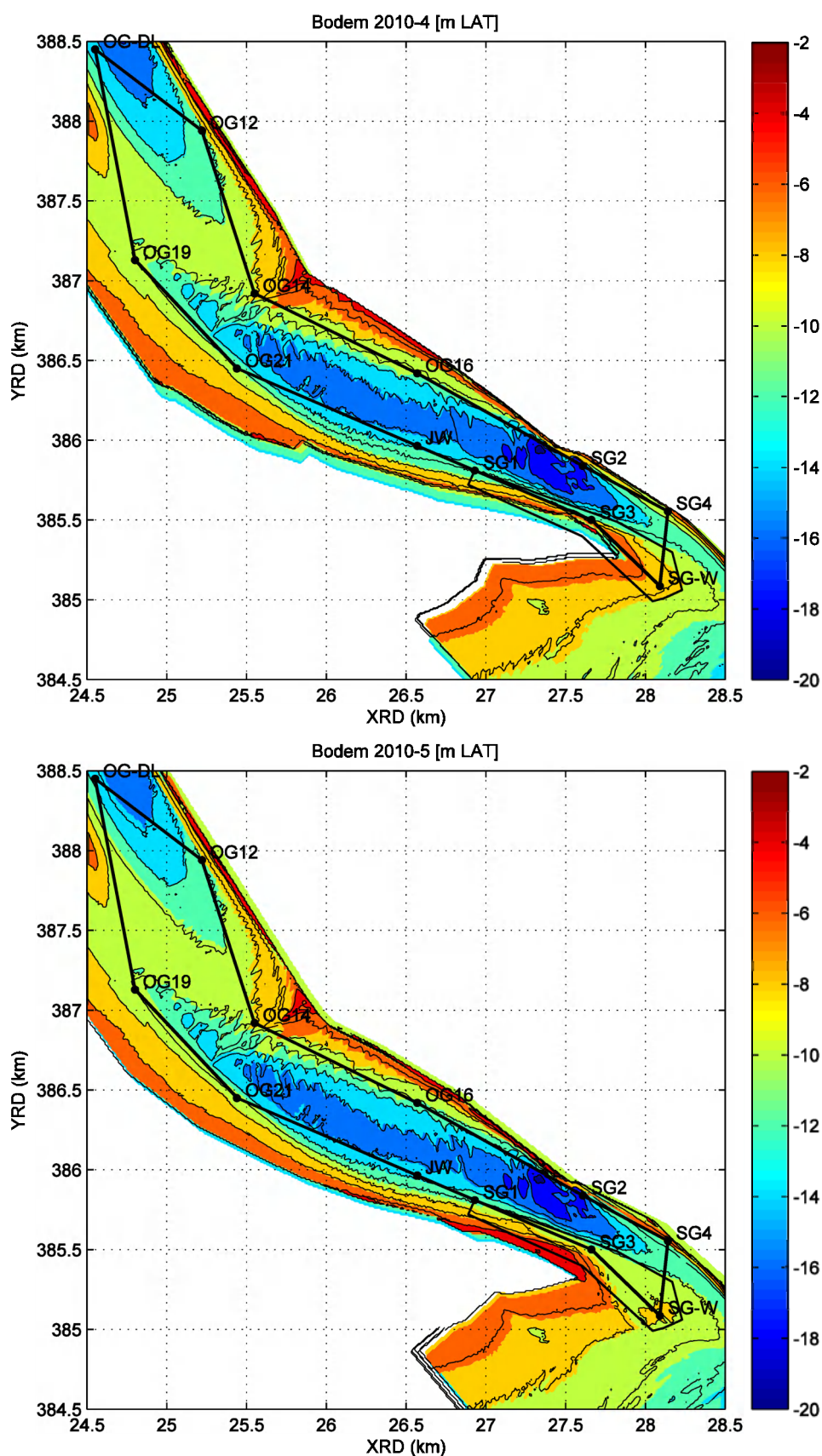
De laatste keer dat er gebaggerd werd in de Sardijngeul, in 2010, besloeg het baggerpolygoon een groter gebied dan de vaargeul volgens de boeienlijn. Als er toen enkel binnen de vaargeul gebaggerd zou zijn, zou het baggervolume ongeveer $70 \times 10^3 \text{ m}^3$ in plaats van $330 \times 10^3 \text{ m}^3$ hebben bedraagd.



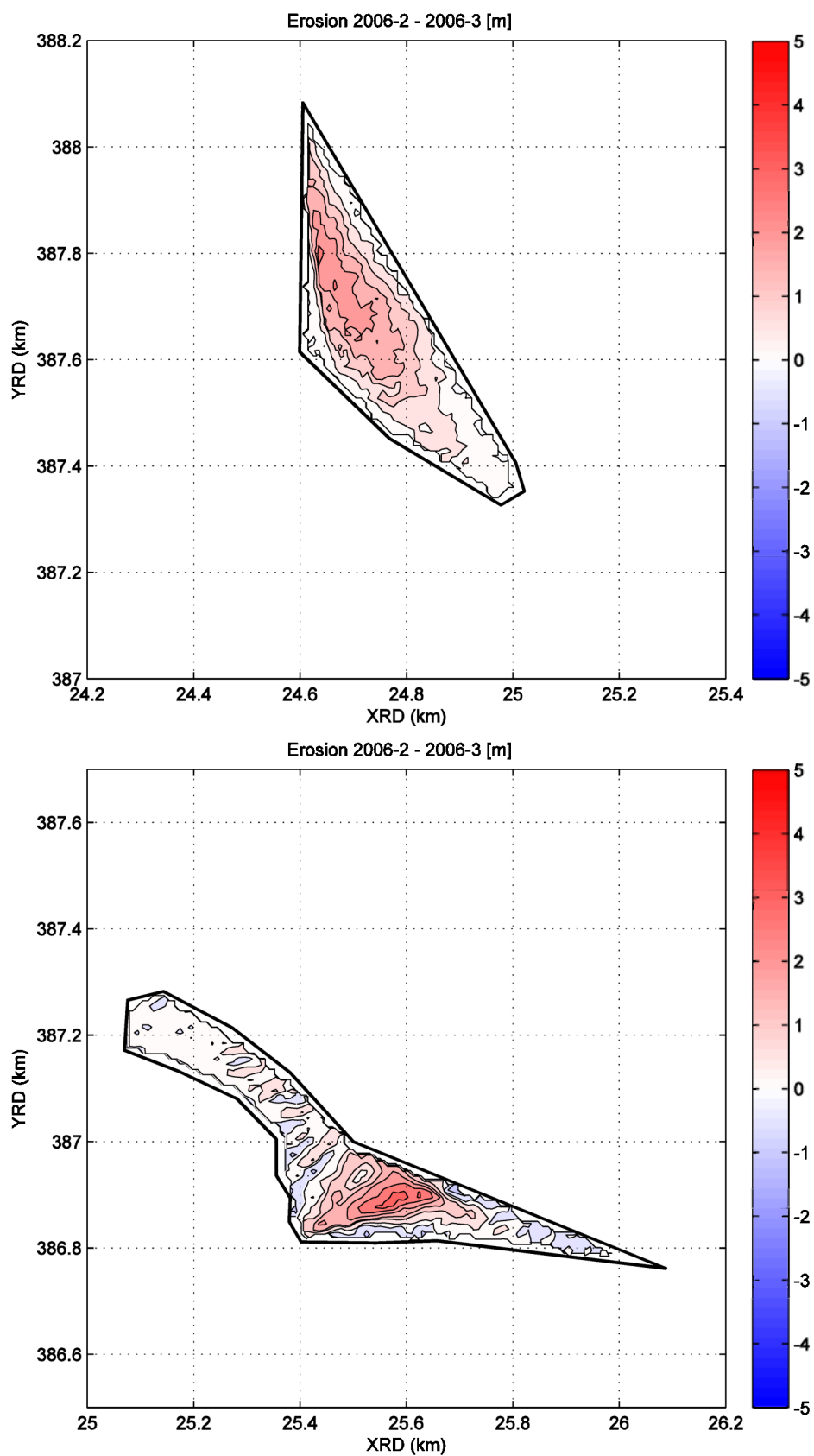
Figuur 2.8 Bodem voor (boven) en na (onder) de onderhoudsbaggerwerkzaamheden in 2006.



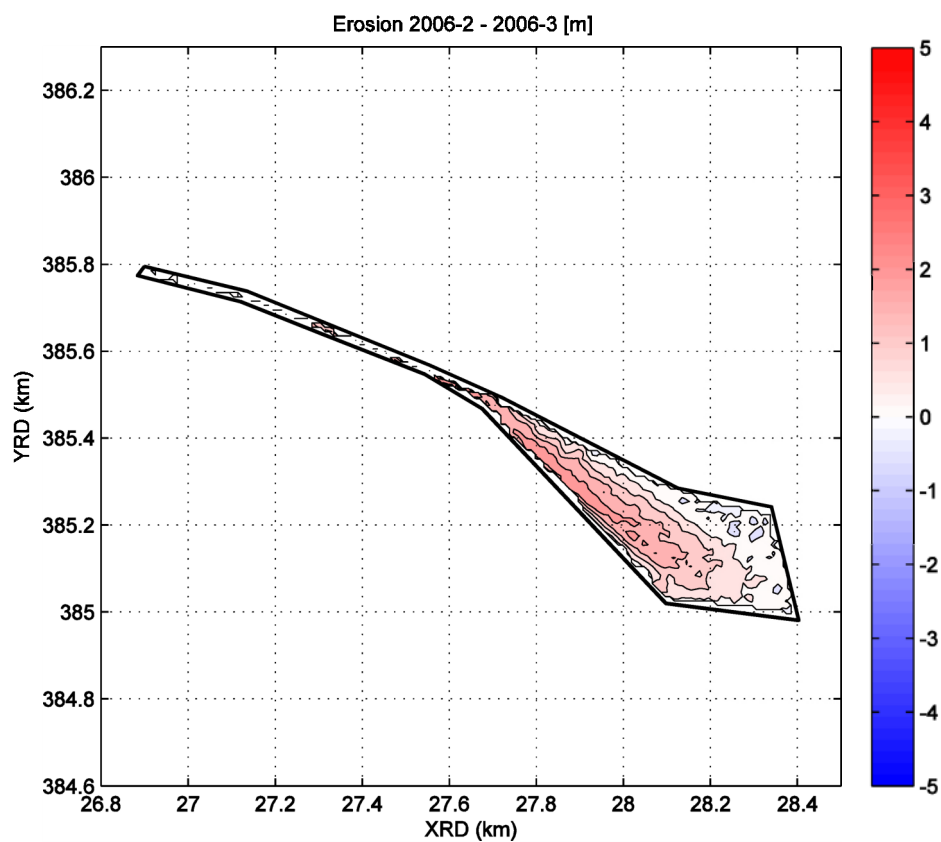
Figuur 2.9 Bodem voor (boven) en na (onder) de onderhoudsbaggerwerkzaamheden in 2009.



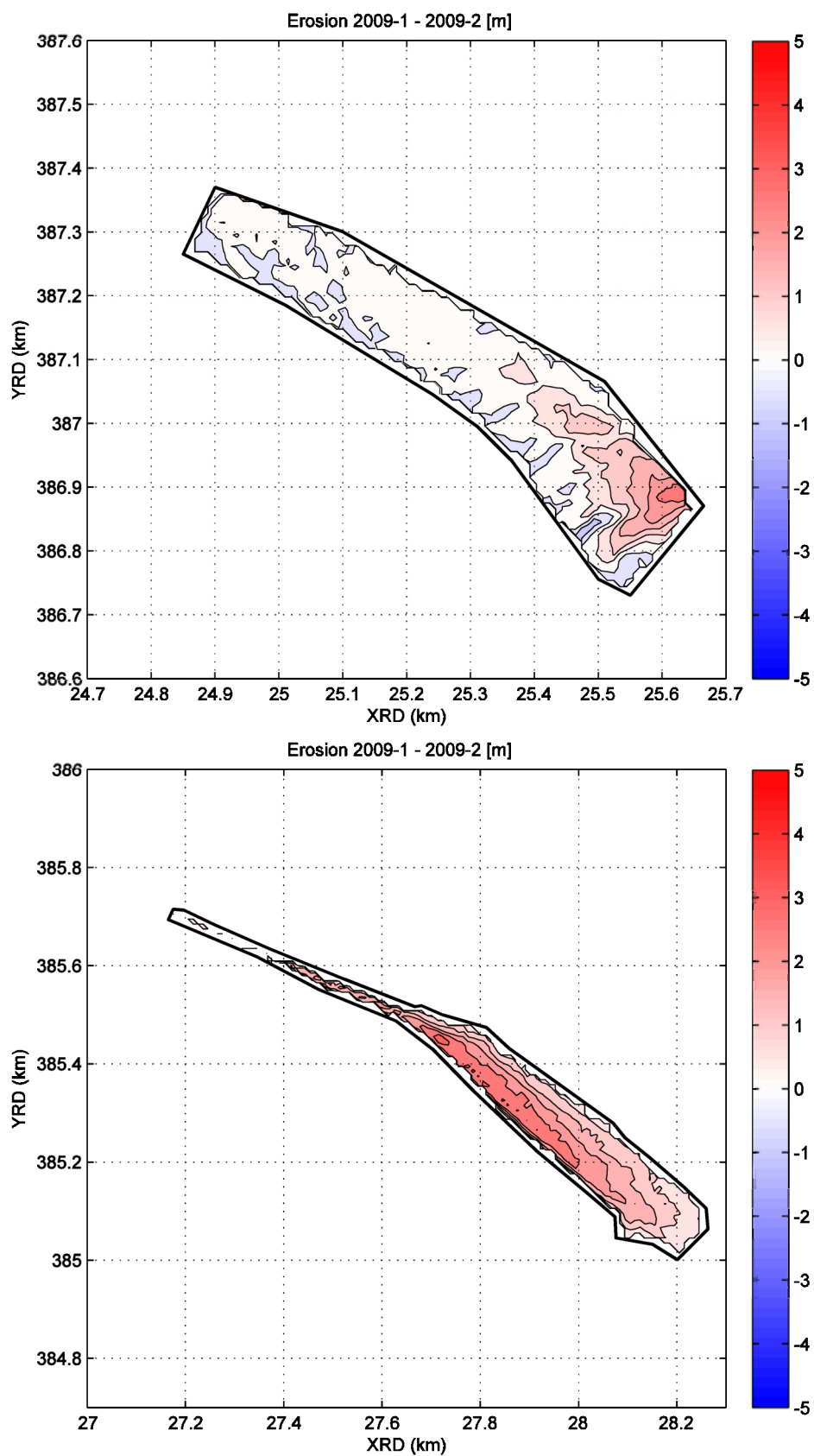
Figuur 2.10 Bodem voor (boven) en na (onder) de onderhoudsbaggerwerkzaamheden in 2010.



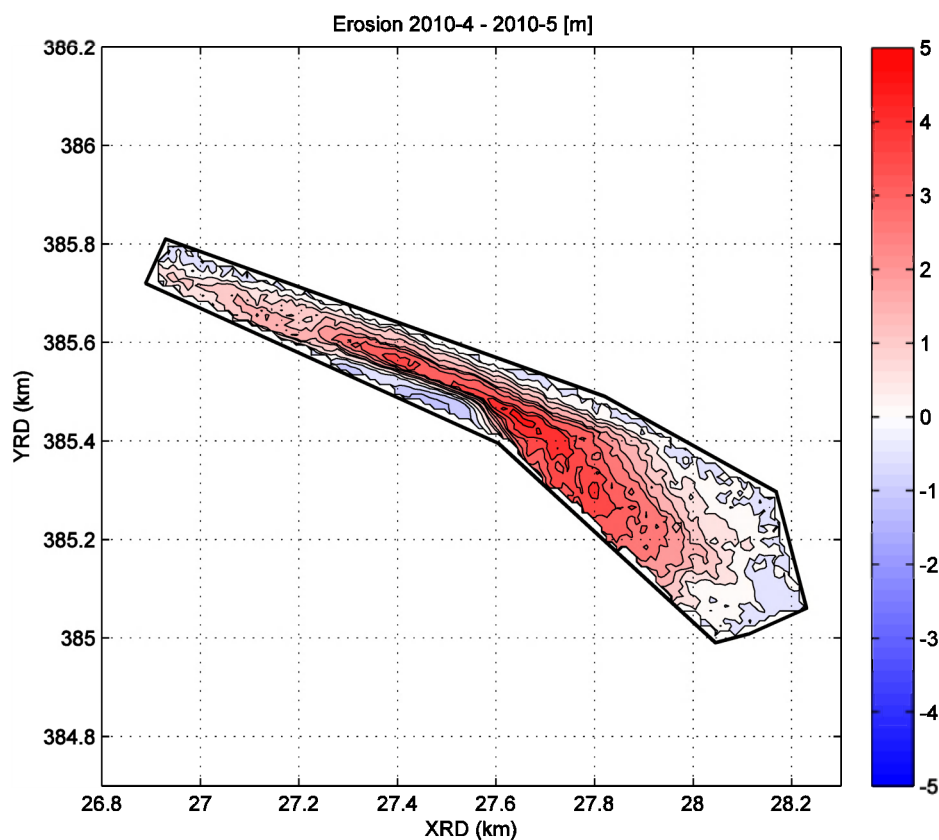
Figuur 2.11 Verskil tussen de bodem in de baggerpolygonen bij de Galgeput voor en na afloop van de baggerwerkzaamheden in 2006. Rood: erosie (gebaggerd), blauw sedimentatie.



Figuur 2.12 Verskil tussen de bodem in het baggerpolygoon bij de Nolleplaat voor en na afloop van de baggerwerkzaamheden in 2006. Rood: erosie (gebaggerd), blauw sedimentatie



Figuur 2.13 Verskil tussen de bodem in de baggerpolygonen bij de Galgeput (boven) en Nolleplaat (onder) voor en na afloop van de baggerwerkzaamheden in 2009. Rood: erosie (gebaggerd), blauw sedimentatie

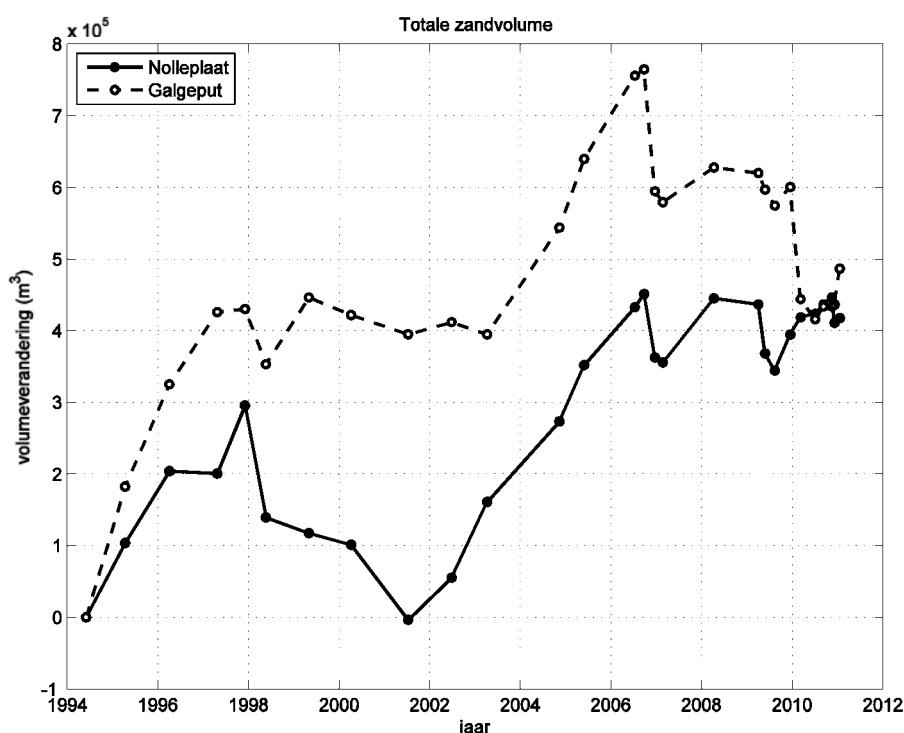


Figuur 2.14 Verschil tussen de bodem in het baggerpolygoon bij de Nolleplaat voor en na afloop van de baggerwerkzaamheden in 2010. Rood: erosie (gebaggerd), blauw sedimentatie.

Tabel 2.3 Volume ontwikkeling gebaggerde gebieden. Er is gebaggerd tussen 2006-2 en 2006-3, 2009-1 en 2009-2 en 2010-4 en 2010-5. De dataset van voor het baggeren dient als referentie. Aanzanding is positief. "Ntb" betekent te bepalen, "Nvt" niet van toepassing.

Data set	Galgeput (10^3 m^3)	Nolleplaat (10^3 m^3)	Totaal (10^3 m^3)
2006-3	-167	-149	-316
2007	-161	-139	-300
2008	-128	-63	-191
2009-1	-119	-30	-149
2009-2	-51	-161	-212
2009-3	-48	-153	-201
2009-4	-86	-112	-198
2010-1	-142	-79	-221
2010-2	-138	-54	-192
2010-3	-133	-48	-181
2010-4	Ntb	-38	Ntb
2010-5	Nvt	-331	-331
2011-1	Nvt	-297	-297

Vervolgens is de temporele ontwikkeling van het zandvolume in de vaargeul bepaald. Hierbij is de Sardijngeul opgedeeld in twee polygonen: "Galgeput" (omsloten door boeien OG-DL, OG12, OG14, OG16, JW, OG21 en OG19) en "Nolleplaat" (omsloten door OG16, SG2, SG4, SG-W, SG3, SG1, JW). De virtuele boei JW heeft dezelfde XRD-coördinaat als OG16 en is gelegen op de boeienlijn OG21-SG1. Hierbij is zowel het totale zandvolume bepaald (Figuur 2.15) als het zandvolume dat boven de gewenste vaargeuldiepte van LAT -8 m ligt (Figuur 2.16).

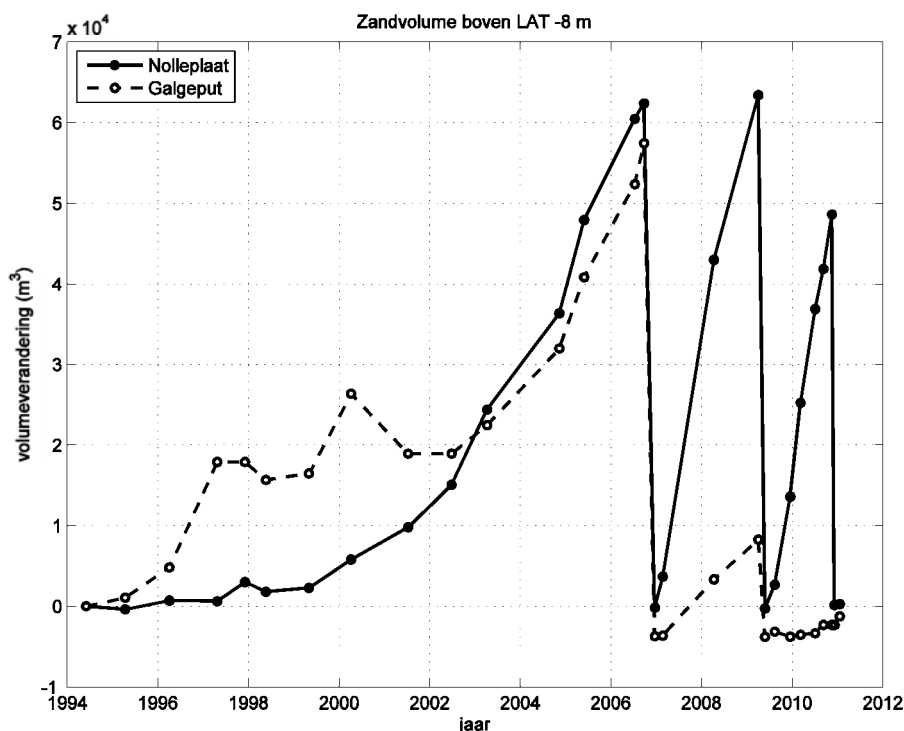


Figuur 2.15 Relatieve verandering van het totale zandvolume in de Sardijngeul ter plekke van de Nolleplaat (getrokken lijn) en Galgeput (onderbroken lijn). Het referentiejaar is 1994.

De zandvolumes boven LAT -8 m bij de Galgeput vertonen opvallende negatieve sprongen tussen 1997-2 en 1998, 2001 en 2002, 2006-2 en 2006-3 en 2009-1 en 2009-2. Van de laatste twee keer is dit zeker het gevolg van baggerwerkzaamheden (zie Figuur 2.7). De eerste twee gebeurtenissen zijn het gevolg van natuurlijke veranderingen of meetfouten, of er is toch gebaggerd. Ter plekke van de Nolleplaat zijn de baggerwerkzaamheden uit 1998 (totaal volume), 2006, 2009 en 2010 duidelijk herkenbaar. Opvallend is dat het grote baggervolume uit 1998 niet sterk zichtbaar is in de volume figuren. Wellicht is een deel buiten de vaargeul gebaggerd. Verder heeft het er ook de schijn van dat er in 2000/2001 gebaggerd is nabij de Nolleplaat.

Deze figuren tonen dat beide gebieden sedimenteren vanaf 1994. Dit is met name goed zichtbaar in het zandvolume boven de LAT -8 m. Het totale zandvolume vertoont een meer grillig verloop. Dit is deels het gevolg van verdieping van de diepere gedeeltes in tegenstelling tot de verondieping van de ondiepere delen. Tussen 1994 en 2006-2 is het zandvolume boven de LAT -8 m met $\sim 60 \times 10^3 \text{ m}^3$ toegenomen ($\sim 5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$). Voor de Nolleplaat is er in deze periode een versnelling van de sedimentatie waarneembaar. Tussen 2006-3 en 2009-1 zandde de Nolleplaat gemiddeld aan met $\sim 25 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ en de Galgeput met $\sim 4 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$; tussen 2009-2 en 2010-4 is dit $\sim 30 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ en $\sim 2 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ voor de nabij de

Nolleplaat en Galgeput, respectievelijk. De aanzanding van de vaargeul ter plekke van de Galgeput lijkt dus af te nemen in de tijd, met name na 2009, terwijl deze toeneemt voor de Nolleplaat en dan met name sinds het midden van de jaren 2000.



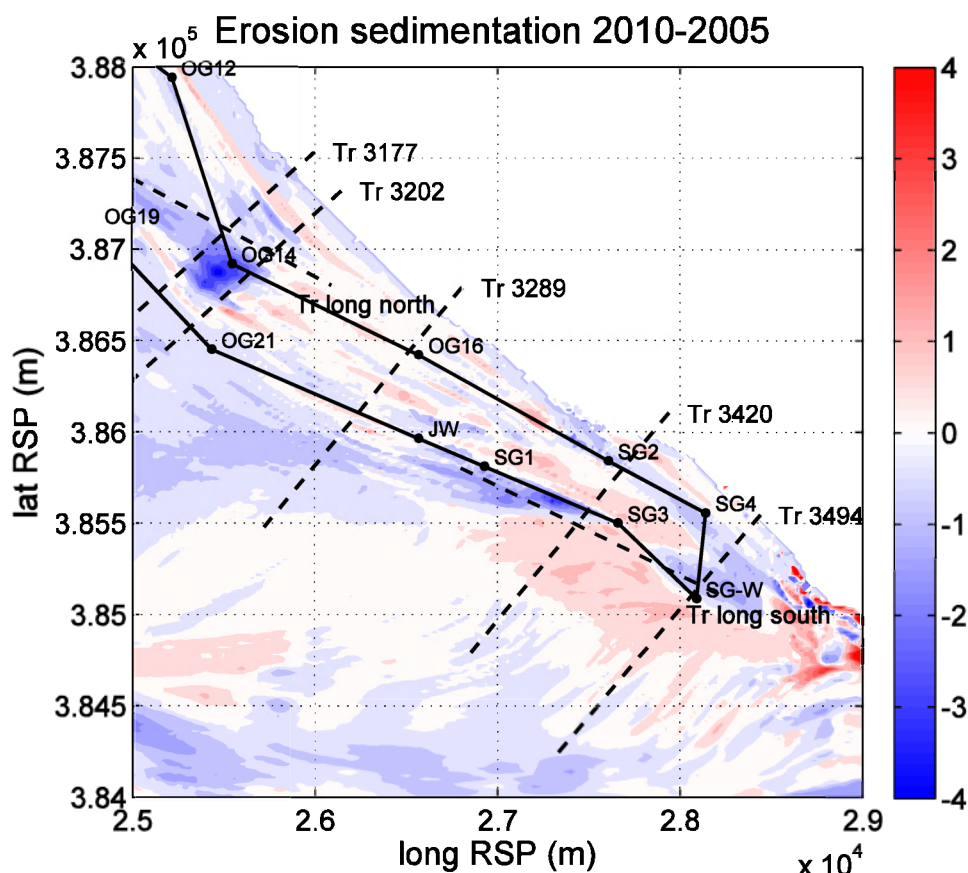
Figuur 2.16 Relatieve verandering van het zandvolume boven LAT -8 m in de Sardijngeul ter plekke van de Nolleplaat (getrokken lijn) en Galgeput (onderbroken lijn). Het referentiejaar is 1994.

2.4.2 Sardijngeul en haar omgeving

Figuur 2.17 toont de sedimentatie-/erosiepatronen tussen 2010 en 2005 op basis van door RWS Zeeland geleverde vaklodingen data. Deze figuur toont duidelijk de sedimentatie ter plekke van de Nolleplaat (ten zuidwesten van de raai *TR_long_south*). Overige sedimentatie- en erosiepatronen zijn het gevolg van natuurlijk morfologische ontwikkelingen en baggerwerkzaamheden.

Om beter inzicht hierin te krijgen bestuderen we in Figuur 2.18 tot en met Figuur 2.21 de morfologische ontwikkeling van de dwarsraaien 3202 (ter plekke van de Galgeput), 3289 (tussenin) en 3494 (nabij de Nolleplaat), alsmede de langsraai *TR_long_south*. De dwarsraaien betreffen de JARKUS raaien met dezelfde nummering, alleen is de zeewaartse extensie veel groter dan de JARKUS data zelf.

De RWS Zeeland vaklodingen data betrof twee sets: (i) een “oude” data set van 1974-2004 en (ii) een “nieuwe” data set van 2005-2010. Tussen de twee data sets zit een horizontale verschuiving van orde 30 m waar momenteel geen verklaring voor is. Daartoe worden beide datasets apart geplotted. De discrepantie maakt het moeilijk om over de gehele periode de morfologische ontwikkeling te kwantificeren, maar de kwalitatieve ontwikkeling kan op deze wijze wel goed in kaart worden gebracht. De figuren tonen ook de ligging van de vaargeul: een diepte van NAP -10.6 m (corresponderend met LAT -8 m voor Vlissingen) en de breedte op basis van de boeienlijn. De kust ligt aan de linkerzijde van de dwarsraaien.

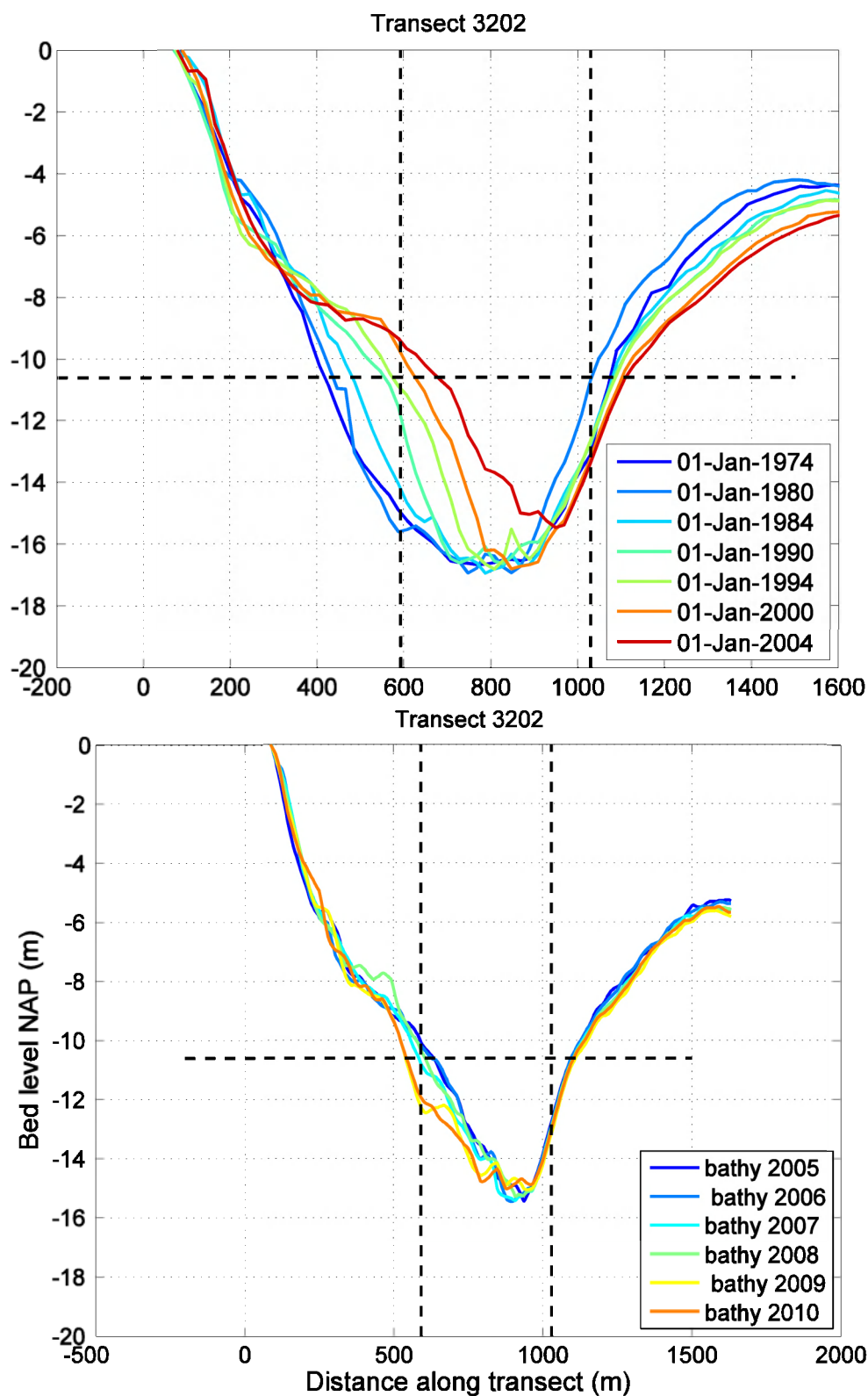


Figuur 2.17 Erosie (blauw) en sedimentatie (rood) tussen 2005 en 2010 in [m]. Het getoonde gebied loopt van ongeveer van Dishoek (JARKUS raai ~30) tot Vlissingen (JARKUS raai ~36). De getrokken lijn duidt de vaargeul aan, de gestreepte lijnen de raaien die in meer detail worden geanalyseerd.

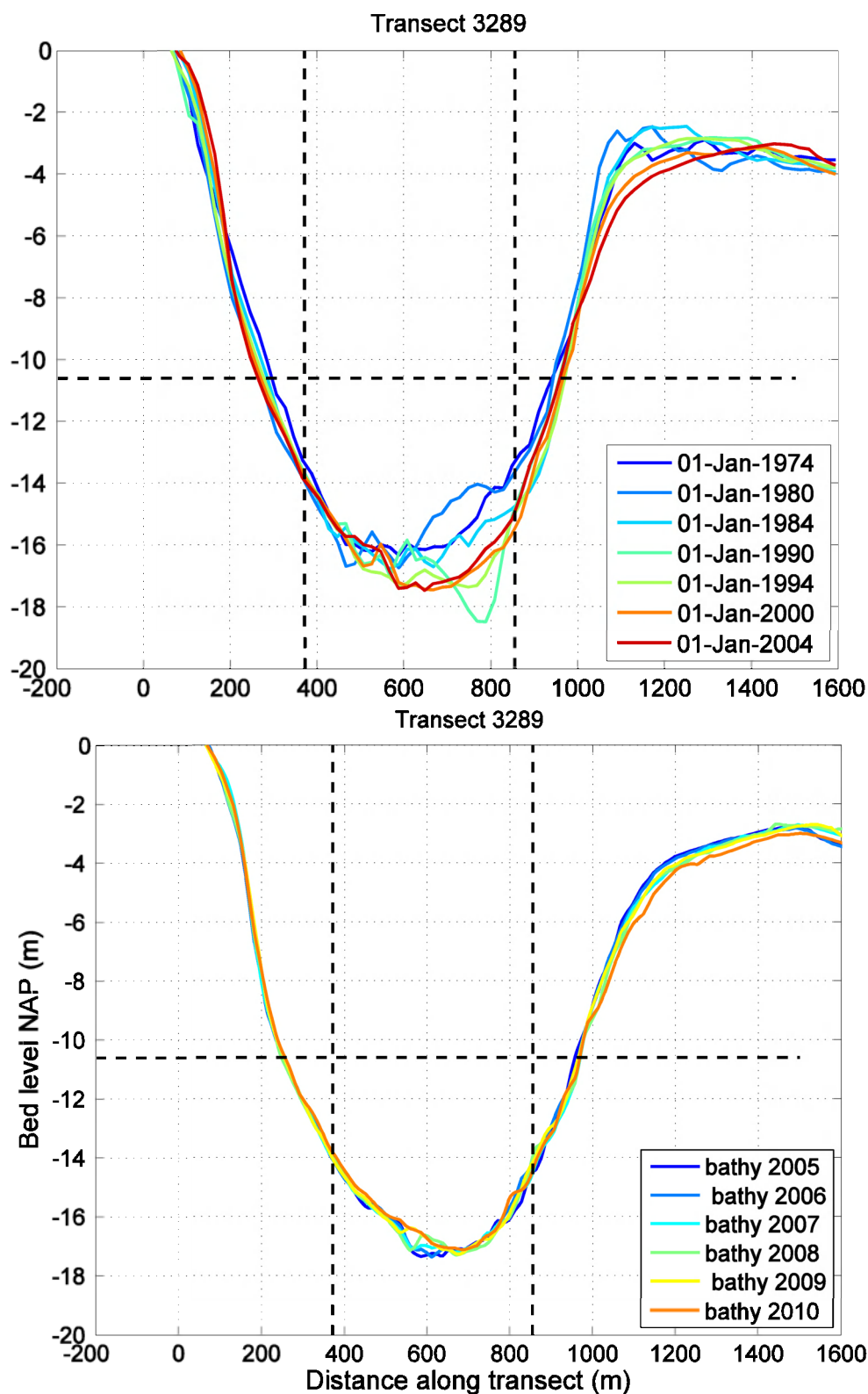
Duidelijk zichtbaar is dat de geul ter plekke van dwarsraai 3202 van de kust af beweegt en tegelijkertijd verondiept. Dit proces is al lange tijd gaande, zeker al vanaf rond 1980. Rond 1994 bereikt de kustwaartse ondiepte de vaargeul (zie ook paragraaf 2.4.1). Het baggeren in 2006 en 2009 is duidelijk zichtbaar, waarbij in het laatste geval ook een flink deel buiten de vaargeul is gebaggerd. Na deze laatste ingreep lijkt de kustwaartse geulwand (links in de figuur) zich te stabiliseren.

Ter hoogte van dwarsraai 3289 is er duidelijk geen probleem voor de scheepvaart: de vaargeul heeft ruimte genoeg. De geul is tamelijk stabiel in de tijd, met name de laatste jaren. De plaat aan de zuidwestelijke kant van de geul (rechts in de figuur) erodeert structureel.

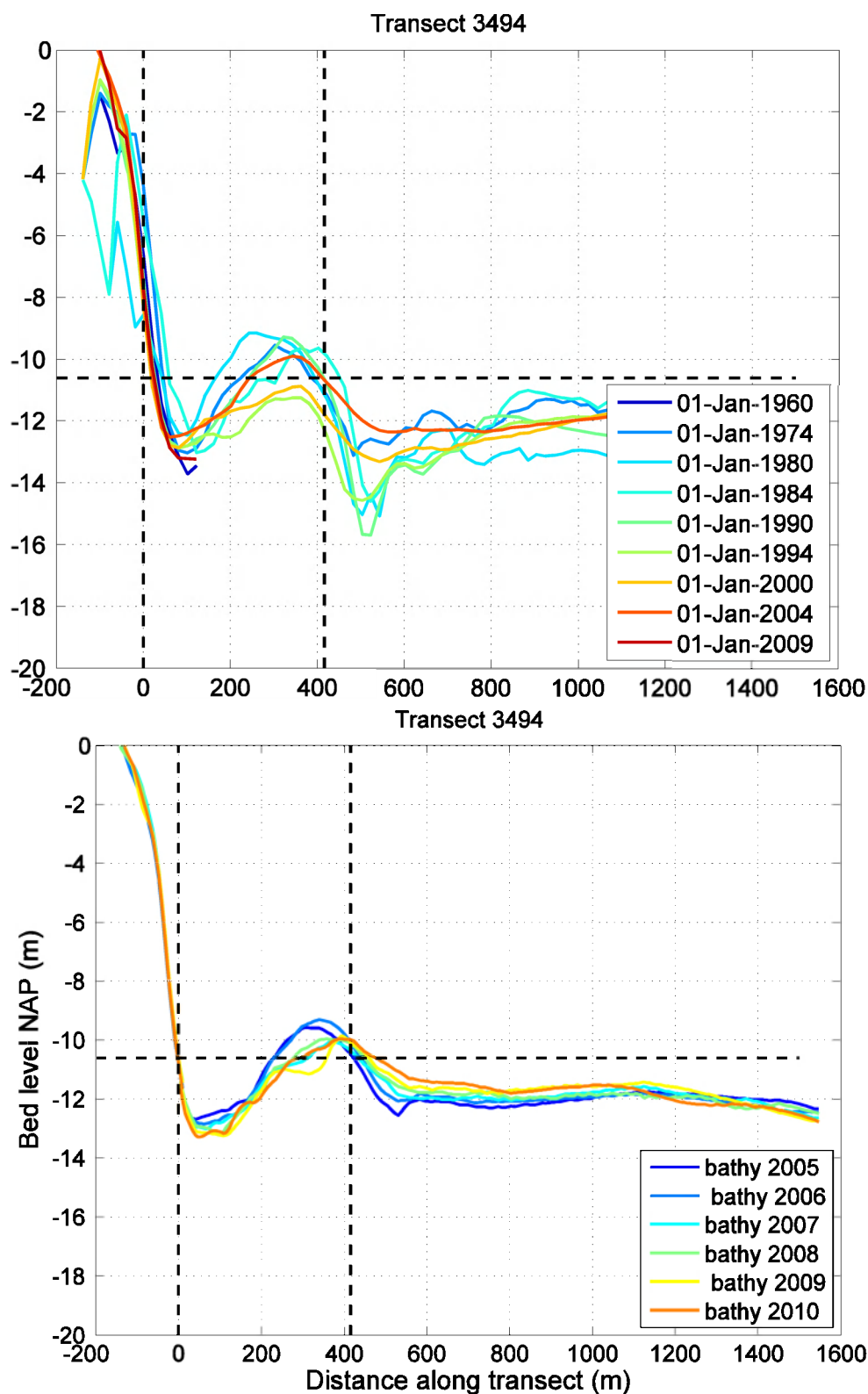
Bij dwarsraai 3494 komt de zuidwestelijke rand van de Sardijngeul omhoog (rechts in de figuur). Dit proces is al gaande sinds 1974. Het is een uitloper van de Nolleplaat die de vaargeul in migreert. Het baggeren in de vaargeul tussen 1980 en 1984, 1990 en 1994, 2006 en 2007 en 2008 en 2009 is duidelijk herkenbaar. Opvallend is dat in de jaren voor 2007 de vaargeul gedurende een aantal periodes duidelijk versmald was doordat deze uitloper zich in de vaargeul bevond. Blijkbaar werd toen de noodzaak tot baggeren niet hoog genoeg bevonden (zie ook paragraaf 2.3). Het rechter gedeelte van deze raai, het diepere gedeelte van de Nolleplaat, sedimenteert structureel, met name sinds 1990.



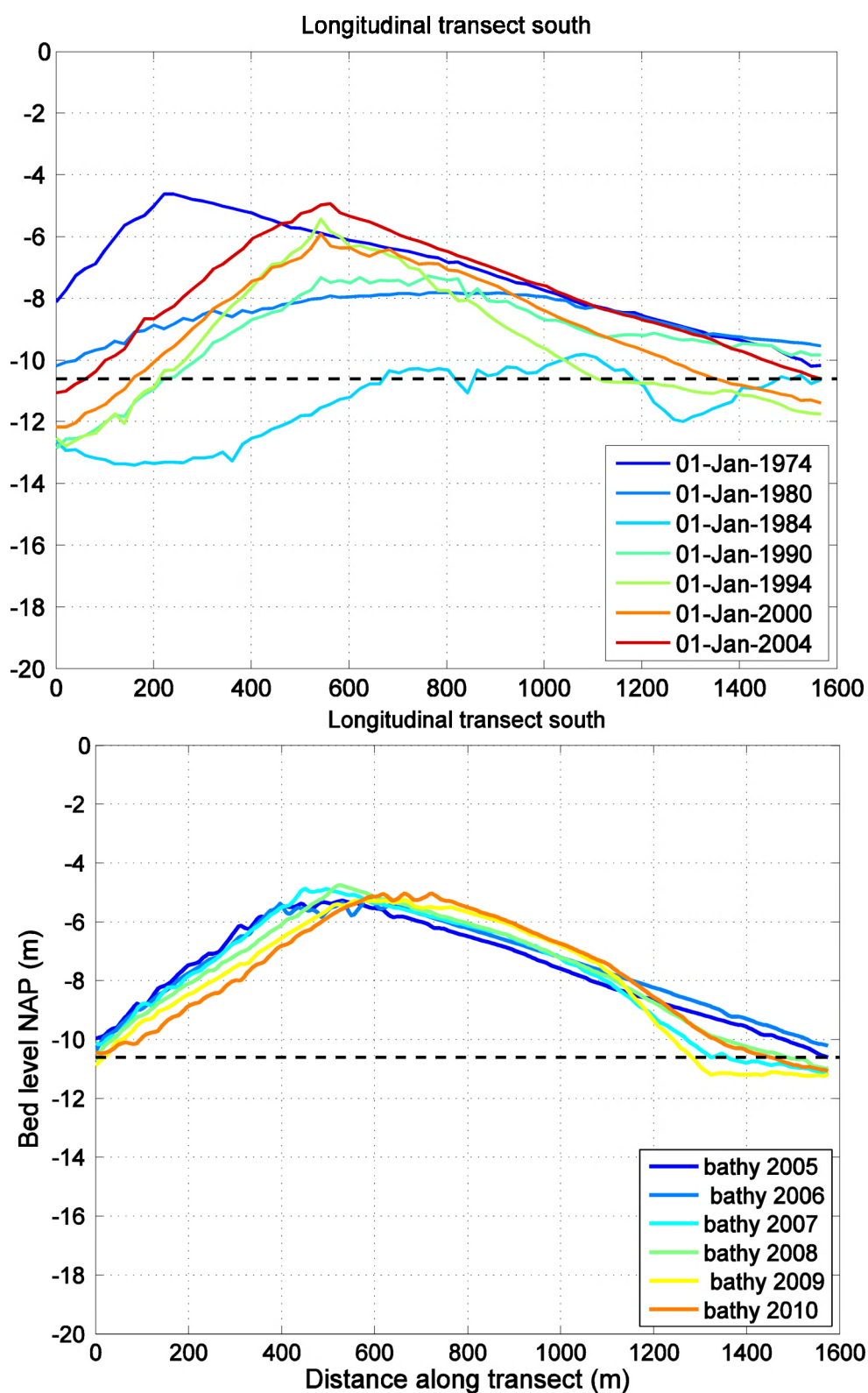
Figuur 2.18 Morfologische ontwikkeling dwarsraai 3202 van 1974 tot en met 2010 op basis van de "oude" (boven) en "nieuwe" data set. De gestippelde lijnen geven de ligging van de vaargeul weer. De kust ligt aan de linkerkzijde.



Figuur 2.19 Morfologische ontwikkeling dwarsraai 3289 van 1974 tot en met 2010 op basis van de "oude" (boven) en "nieuwe" data set. De gestippelde lijnen geven de ligging van de vaargeul weer. De kust ligt aan de linkerkzijde.



Figuur 2.20 Morfologische ontwikkeling dwarsraai 3494 van 1974 tot en met 2010 op basis van de "oude" (boven) en "nieuwe" data set. De gestippelde lijnen geven de ligging van de vaargeul weer. De kust ligt aan de linkerkzijde.



Figuur 2.21 Morfologische ontwikkeling langsraai Tr_long_south van 1974 tot en met 2010 op basis van de "oude" (boven) en "nieuwe" data set. De gestippelde lijnen geven de diepte van de vaargeul weer.

De langsraai toont dat de Nolleplaat sinds 1974 verplaatst in zuidoost-oostelijke richting, met een gemiddelde snelheid van 10-15 m/jaar. De laatste 5-10 jaren lijkt de verplaatsing zich wat sneller te voltrekken. Tussen 1974 en 1980 en 1980 en 1984 is er fors gebaggerd, met name aan de westkant van de langsraai. Ook is het baggeren van 2006 en 2009 goed waarneembaar aan de rechter (oostelijke) kant van de langsraai (tussen ~1150 en 1550 m).

2.5 Suppleties

Tabel 2.4 geeft een overzicht van de zandsuppleties langs de zuidwest Walcherse kust met een volume boven de 1 miljoen m³, gebaseerd op gegevens van RWS Waterdienst (d.d. 2 juni 2010) en Marian Lazar (persoonlijke communicatie).

Tabel 2.4 Overzicht van zandsuppleties langs de zuidwest Walcherse kust met een volume groter dan 1 Mm³.

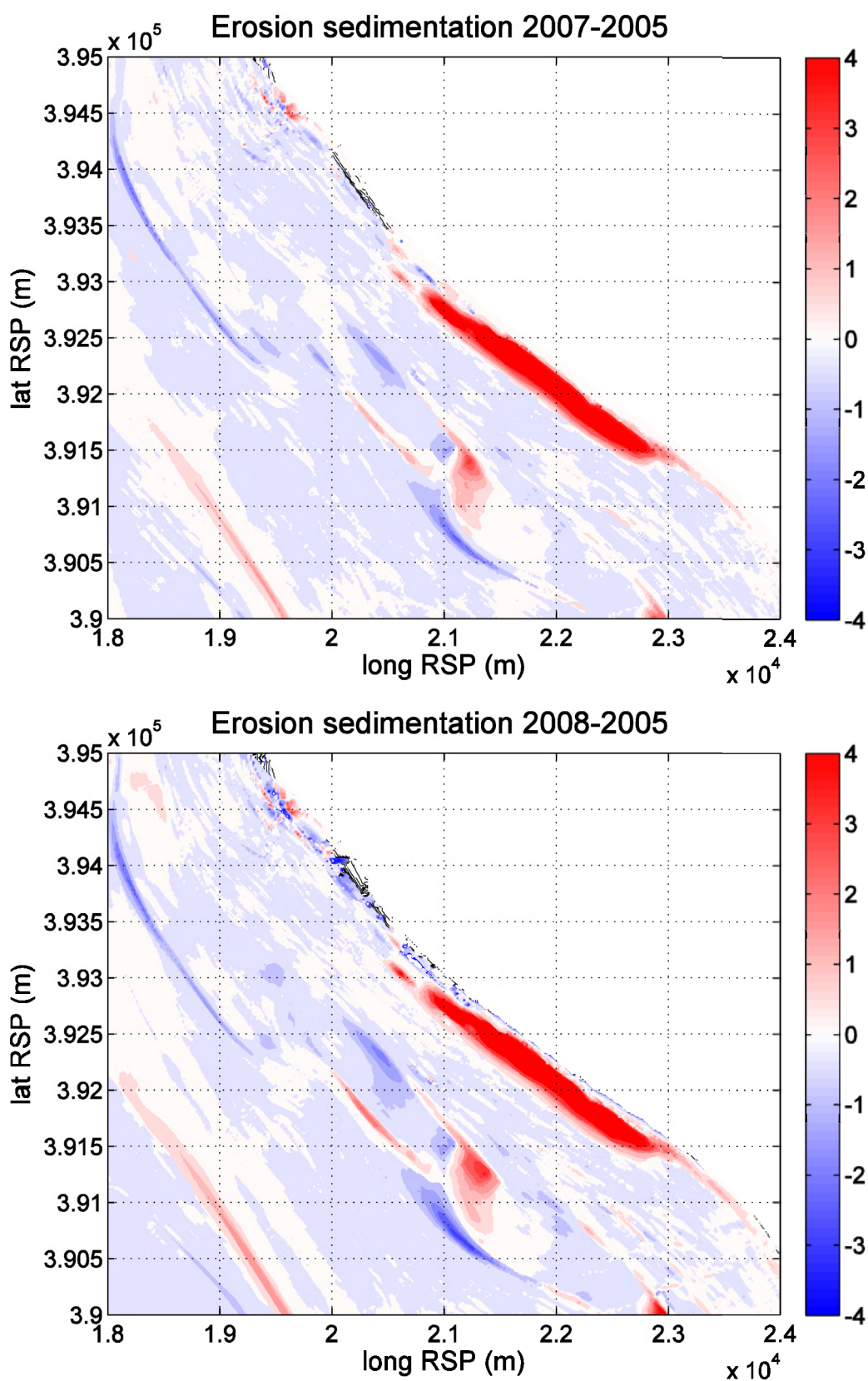
Aanlegdatum	Locatie	Beginraai (km)	Eindraai (km)	Volume (Mm ³)	Type
2002 (feb-apr)	Zoutelande-Vlissingen	29.40	34.75	1.13	strand
2005 (sep-nov)	Walcheren-ZW	24.75	26.85	2.77	geulwand
2006 (maa-mei)	Walcheren-ZW	21.80	34.70	1.44	strand
2009 (apr-dec)	Oostgat	21.80	25.00	6.25	geulwand

Naast deze grote suppleties hebben er veel klein strandsuppleties plaatsgevonden, maar ook dijk- en duinverzwaringen. Eind 2010 is het gebaggerde zand uit de Sardijngeul (~400 x 10³ m³) aangebracht op de geulwand in het Oostgat. Hiervan is ca. 230 x 10³ m³ "terugggevonden", op basis van peilingen in het Oostgat (Leen Dekker, persoonlijke communicatie). Verder staan er strandsuppleties op de rol van Dishoek-Badstrand naar Vlissingen in 2011 en van Westkapelle naar Zoutelande in 2011/2012.

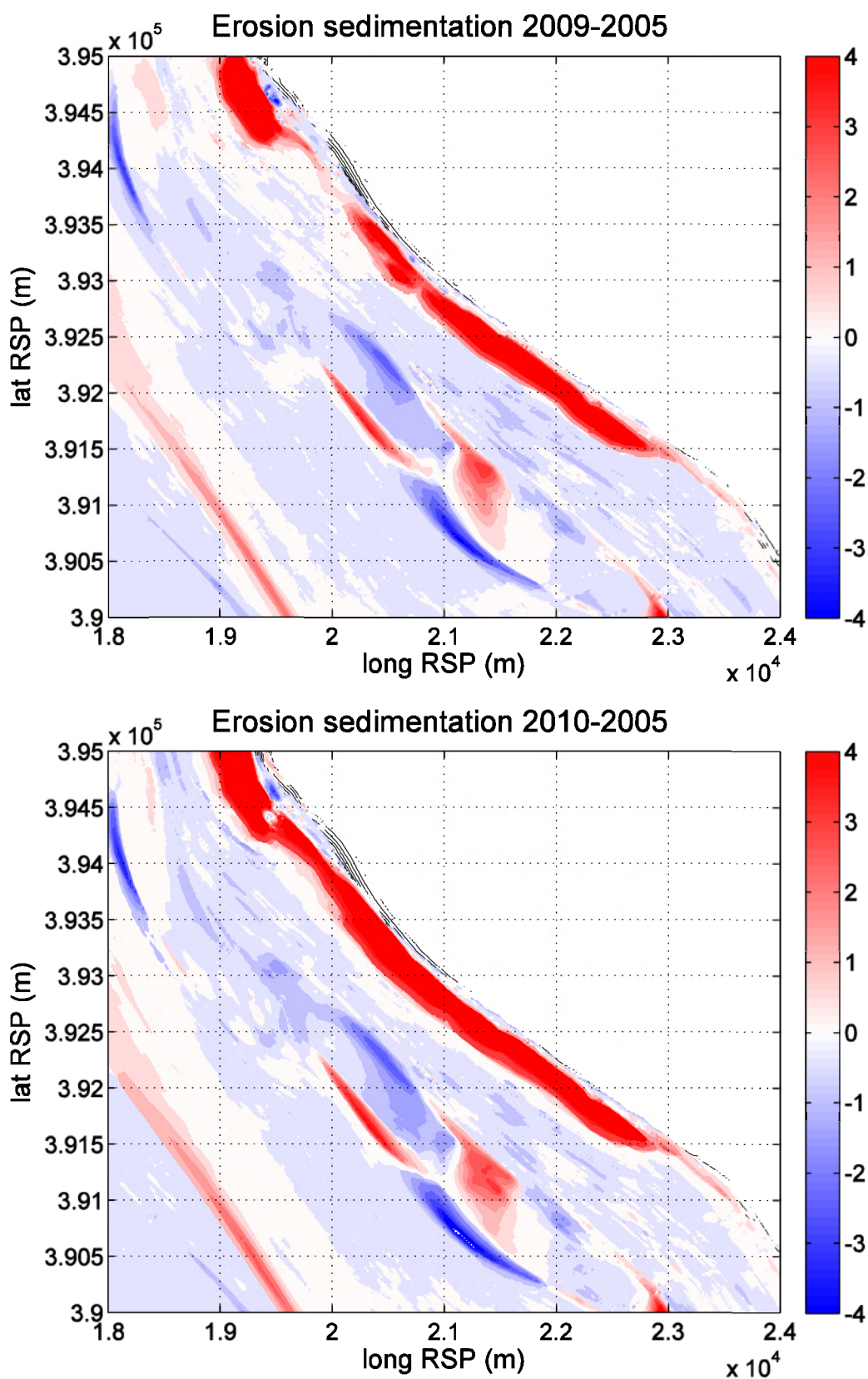
Figuur 2.22 en Figuur 2.23 laten de erosie en sedimentatie in 2007-2010 zien ten opzichte van 2005. Het gebied dat wordt getoond loopt van ongeveer Westkapelle (JARKUS raai ~22 km) tot 1 km ten noorden van Dishoek (JARKUS raai ~29 km).

De figuren tonen duidelijk de 2005 en 2009 onderwatersuppleties. Opvallend genoeg is de suppletie van najaar 2005 (zie Tabel 2.4) pas zichtbaar in de vaklodingen uit voorjaar 2007. De 2009 suppletie is al deels zichtbaar in de meting uit 2009, en volledig in de meting uit 2010. Uit deze figuren blijkt dat er nauwelijks sprake is van verplaatsing van het gesuppleerde zand. Dit wordt bevestigd in de analyses van Dekker (2010c).

Ook volgens Van Ormondt & De Ronde (2009) is het effect van de uitgevoerde suppletie tussen het Oostgat en de Sardijngeul in het (Delft3D) model verwaarloosbaar. Het betrof een niet-gevalideerd, 2DH (dieptegemiddeld) model, zonder wind en golven. Er is 4 jaar morfologisch doorgerekend. De berekende sedimentatie-/erosiepatronen en de resttransporten kwamen redelijk overeen met de waarnemingen. Zelfs in het geval van een 5 maal grotere suppletie is het effect (geringe extra aanzanding) volgens hen verwaarloosbaar en mag aangenomen worden dat dit eveneens voor het prototype geldt. Voor nu en in de toekomst geplande suppleties ten noorden van Zoutelande verwachten Van Ormondt & De Ronde geen effecten op de drempel tussen Oostgat en Sardijngeul. In het geval van een geulwandsuppletie in de nabijheid van de drempel zijn er wel effecten te verwachten.



Figuur 2.22 Cumulatieve sedimentatie (erosie) en erosie (blauw) in [m] in 2007 (boven) en 2008 (onder) ten opzichte van 2005.



Figuur 2.23 Cumulatieve sedimentatie (erosie) en erosie (blauw) in [m] in 2009 (boven) en 2010 (onder) ten opzichte van 2005.

2.6 Stortingen

De getijgeul Wielingen, voor de kust van (Zeeuwsch-)Vlaanderen, is de hoofdvaargeul in de Westerschelde monding. In de loop van de tijd is deze verdiept om grotere zeeschepen toegang te geven tot de Westerschelde. Verder vinden hier jaarlijks grote onderhoudsbaggerwerkzaamheden plaats. Dit sediment wordt ten noorden en ten zuiden ("Appelzak") van de Wielingen gestort (zie Figuur 2.1). Volgens Cleveringa (2008) verondiepte hierdoor in de periode 1964-2004 een groot gedeelte van de Appelzak en vond er ten noorden eveneens sedimentatie plaats (zie Figuur 2.4). Hij concludeerde dat op de zuidelijke helft van de buitendelta van de Westerschelde de bagger- en stortwerkzaamheden in de Wielingen en in de haven van Zeebrugge de morfologie ingrijpend heeft veranderd. Uit de vaklodingen (zie Figuur 2.5 en Figuur 2.6) blijkt niet direct dat het gestorte sediment richting de Sardijngeul verplaatst. Gegeven deze observaties en het feit dat de afstand tussen de noordelijke stortlocatie en de Sardijngeul 15-25 km bedraagt, lijkt het niet waarschijnlijk dat deze stortingen direct hebben bijgedragen aan de aanzanding van de Sardijngeul.

De noordelijke en westelijke kant van het intergetijdegebied Hooge Platen, ten oosten van Breskens, zijn aangewezen als stortlocatie voor het sediment dat vrijkomt bij de aanleg en het onderhoud van de 3^e verruiming van de vaargeul in de Westerschelde. Hetzelfde geldt voor een gedeelte van de nevengeul ten noorden van deze plaat. In 2010 is hier in totaal circa 5.5 Mm³ sediment gestort (Gert-Jan Liek, persoonlijke communicatie). Deze grote storting is nog maar nauwelijks zichtbaar in de vaklodingen uit 2010 (Figuur 2.6). De storting is natuurlijk niet verantwoordelijk voor de aanzanding die plaatsvond voor 2010 en het is onwaarschijnlijk dat de aanzanding in 2010 sterk beïnvloed is door deze storting, gezien de recente uitvoering. Het is mogelijk dat de aanzanding in de Sardijngeul in de toekomst direct en indirect (door verandering van de grootschalige hydrodynamica) beïnvloed wordt door deze en mogelijk ook andere stortingen en baggerwerkzaamheden in de Westerschelde (mondning). Zo zijn er volgens Dekker (2010a) aanwijzingen dat het getijvolume in de Sardijngeul afneemt de laatste jaren, terwijl het getijvolume in de Wielingen toeneemt. Zijn hypothese is dat dit veroorzaakt wordt door de verdieping van de hoofdgeulen in de Westerschelde (mondning). Het verdient aanbeveling deze hypothese te toetsen.

3 Conclusies en aanbevelingen

3.1 Conclusies

Wat is de historische ontwikkeling van de baggerwerkzaamheden in de Sardijngeul?

Er vinden op twee locaties in de Sardijngeul onderhoudsbaggerwerkzaamheden plaats: 1) aan de groene boeien kant van de vaargeul (ongeveer ter hoogte van de boeienlijn SG1 – SG-W, nabij de ondiepte Nolleplaat), en 2) op de drempel tussen de Sardijngeul en het Oostgat (Galgeput).

Aan de groene boeien kant van de vaargeul is de laatste decennia regelmatig gebaggerd: in 1984, 1991, 1992, 1998, 2006, 2009 en 2010 en waarschijnlijk ook enige malen eind jaren '70 en begin jaren '80. Het baggervolume varieerde tussen de 100 en 700 x 10³ m³ per ingreep. De baggerhistorie ter plekke van de Galgeput is meer recent; hier is gebaggerd in 2004, 2006 en 2009 en mogelijk nog een enkele keer hiervoor. De baggerhoeveelheden waren wat kleiner dan nabij de Nolleplaat met 50-200 x 10³ m³ per ingreep.

Opvallend genoeg is er gedurende drie lange aaneengesloten periodes niet gebaggerd aan de groene boeien kant van de vaargeul: 1985-1990, 1993-1997 en 1999-2005, terwijl uit de bodemligging blijkt dat de rand van de Nolleplaat intussen al wel de vaargeul in was gemigreerd. Er zijn aanwijzingen dat er toen geen prioriteit werd gegeven aan het vaargeulonderhoud, wat er in de periode 1999-2005 zelfs toe leidde dat de grotere schepen richting de Westerschelde moesten omvaren via de Wielingen.

De laatste keer dat er gebaggerd werd in de Sardijngeul, in 2010, besloeg het baggerpolygoon een groter gebied dan de vaargeul volgens de boeienlijn. Als er toen enkel binnen de vaargeul gebaggerd zou zijn, zou het baggervolume ongeveer 70 x 10³ m³ in plaats van 330 x 10³ m³ hebben bedraagd.

Wat is de historische ontwikkeling van de aanzanding in de Sardijngeul?

Het gedeelte van de vaargeul ter plekke van de Galgeput als ook de Nolleplaat zanden vanaf 1994 structureel aan (analyse uitgevoerd voor de periode 1994-2010). Dit geldt met name voor de ondiepe gedeeltes, ondieper dan LAT -8 m, wat van belang is voor de scheepvaart. De sedimentatiesnelheid ter plekke van de Galgeput is duidelijk afgenomen na de baggerwerkzaamheden in 2006 en 2009. De snelheid waarmee de ondiepe gebieden in de vaargeul nabij de Nolleplaat aanzandden, nam toe van 1994 tot 2006. Hierna lijkt het erop dat de gemiddelde jaarlijkse sedimentatiesnelheid min of meer constant is met een waarde van ca. 20-30 x 10³ m³/jaar. De respons van het gebied op het baggeren is over het algemeen niet-lineair: de sedimentatiesnelheid is initieel hoog en neemt daarna af in de tijd.

Wat zijn mogelijke oorzaken voor deze ontwikkeling?

Er zijn vier mogelijke oorzaken onderzocht: 1) verandering gewenste vaargeul, 2) verandering baggerstrategie, 3) nabijgelegen suppleties en stortingen en 4) natuurlijke morfodynamiek.

Voor zover wij konden achterhalen is de ligging van de vaargeul tamelijk constant geweest in de tijd. Hetzelfde geldt voor de breedte en de diepte. Ook is de baggerstrategie nauwelijks veranderd. Telkens is een overdiepte van 0.4 m gehanteerd. Wel is er in 2010 ver buiten de vaargeul gebaggerd, waardoor misschien de schijn is ontstaan dat het onderhoudsbaggerwerk sterk toenam.

Verder lijken de grote, noordelijk van de Sardijngeul geplaatste onderwatersuppleties zeer stabiel in de tijd en de aanzanding in de Sardijngeul niet direct te beïnvloeden. Ook het indirecte effect, door een aanpassing van de waterbeweging, werd niet gevonden in de modelstudie door Van Ormondt & De Ronde (2009). Verder vinden we geen aanwijzingen dat het gebaggerde zand uit de Wielingen dat ten noorden en zuiden van de vaargeul wordt gestort de Sardijngeul bereikt. De stortingen op en nabij de Hooge Platen in de Westerschelde zijn in 2010 uitgevoerd en hebben (nog) geen invloed. Het is echter niet met zekerheid te stellen of de combinatie van baggeren in het Wielingen, het storten van dit sediment, de onderwatersuppleties en andere stortingen en baggerwerkzaamheden in de Westerschelde niet een indirect effect hebben op de aanzanding in de Sardijngeul door een aanpassing van de grootschalige hydrodynamica.

De aanzanding in de Sardijngeul wordt waarschijnlijk voornamelijk veroorzaakt door de natuurlijke morfodynamiek. Ter plekke van de Galgeput scharen de ebgedomineerde Sardijngeul en het vloedgedomineerde Oostgat. De residuele sedimenttransporten uit de Sardijngeul en het Oostgat komen hier bij elkaar, waardoor structurele aanzanding optreedt. Waarom dit de laatste jaren lijkt af te nemen, is onduidelijk. De zuidoost-oostelijke migratie van (uitlopers van) de Nolleplaat is verantwoordelijk voor de aanzanding aan de groene boeien kant van de vaargeul. Dit proces is al enkele decennia gaande en verklaart dat hier al sinds lange tijd wordt gebaggerd. Het feit dat in de periode 2005-2011 de aanzanding sterker was dan in de periode 1994-2004 kan verband houden met het feit dat een groter en hoger gedeelte van de (rand van de) Nolleplaat zich versneld de vaargeul in beweegt.

Hoe kunnen we deze inzichten gebruiken om een advies te geven ten aanzien van de baggerstrategie?

Het is zeer waarschijnlijk dat de groene boeien kant van de vaargeul (tussen boeien SG1 en SG-W) blijft aanzanden de komende jaren. Gegeven de sedimentatiesnelheid van de afgelopen 5-10 jaren, zal het baggervolume gemiddeld orde $10\text{-}100 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ bedragen. Ook is het de verwachting dat er af te toe gebaggerd moet worden aan de rode boeien kant ter plekke van boei OG14.

Het verdient aanbeveling om een eenduidige ligging en diepte van de vaargeul te definiëren en jaarlijks te baggeren mocht dit nodig zijn. Hierbij dient het baggerpolygoon niet een veel groter gebied te beslaan dan de vaargeul, omdat anders wellicht onnodig veel gebaggerd wordt, ook op de lange termijn. De Nolleplaat en de driehoekige uitstulping bij OG14 zijn namelijk natuurlijke, morfologische elementen die er al jaren liggen en wanneer men deze overmatig gaat beïnvloeden, ligt het voor de hand dat ze zich weer snel zullen herstellen. Dus: tijdens de juiste hoeveelheid sediment baggeren op de plek waar het nodig is, gegeven van tevoren gestelde eisen aan de vaargeul.

3.2 Aanbevelingen

Het bleek in deze studie niet heel eenvoudig om de informatie over baggerwerkzaamheden in de Sardijngeul boven water te krijgen. Aangezien dit belangrijke informatie betreft, wordt aanbevolen voor alle baggerwerkzaamheden de locatie, periode, hoeveelheid en diepte (voor beide zowel gewenst als gerealiseerd) eenduidig en centraal vast te leggen en ervoor te zorgen dat deze data goed ontsloten is. Idealiter worden ook de sedimenteigenschappen van het gebaggerde materiaal geregistreerd, omdat dit als aanwijzing kan dienen voor de herkomst van het sediment.

De grote storting van sediment op de Hooge Platen, 5.5 Mm^3 in 2010, heeft op termijn mogelijk invloed op de aanzanding in de Sardijngeul. Daarom verdient het aanbeveling de morfologische ontwikkeling van deze storting in relatie tot de Sardijngeul goed te (blijven) monitoren.

Er zijn in deze studie geen aanwijzingen gevonden dat de grote suppleties en stortingen in de Westerschelde monding en de Westerschelde zelf direct bijdragen aan de aanzanding van de Sardijngeul. Het is echter zeer wel mogelijk dat deze toch een indirecte invloed hebben, door de impact die deze grote zandverplaatsingen hebben op de grootschalige waterbeweging. Het getijvolume door de Sardijngeul kan bijvoorbeeld afgenomen zijn ten faveure van een andere getijdegeul, waardoor er mogelijk meer sedimentatie plaatsvindt. Volgens Dekker (2010a) zijn er aanwijzingen dat het getijvolume in de Sardijngeul inderdaad afneemt de laatste jaren, terwijl het getijvolume in de Wielingen toeneemt. Zijn hypothese is dat dit veroorzaakt wordt door de verdieping van de hoofdgeulen in de Westerschelde (mondning). Relatief eenvoudige modelsimulaties (met een vaste bodem, waarbij de waterbeweging en sedimenttransporten uitgerekend worden) voor verschillende historische bodemliggingen in combinatie met debietmetingen kunnen hierin inzicht verschaffen, voorbouvend op de verkennende modelsimulaties van De Klerk & Dekker (2007) en Dekker (2010b).

Meer algemeen gesteld is inzicht in de werking van het fysische systeem en het effect van ingrepen hierop onontbeerlijk om een effectieve en efficiënte baggerstrategie voor de Sardijngeul op te stellen. Hoewel deze studie daaraan heeft bijgedragen, is de systeemkennis nog onvolledig. Bijvoorbeeld met betrekking tot de volgende vragen: wat is de drijvende kracht achter de zuidoost-oostelijke migratie van de Nolleplaat? Hoe lang gaat dit proces nog door? Hoe ligt de vaargeul erbij als er een aantal jaren niet gebaggerd wordt? Naast de bovengenoemde modelsimulaties, verdient het daarom aanbeveling om met een goed afgereld model de toekomstige morfologische ontwikkelingen te verkennen.

4 Referenties

- Cleveringa, J. (2008). Morphodynamics of the Delta coast (south-west Netherlands), Quantitative analysis and phenomenology of the morphological evolution 1964-2004. Report A1881, Alkyon, The Netherlands.
- Dekker, L. (2010a). Analysebeelden Sardijngemaal m.b.t. verondiepingen/baggerwerk. Memo, RWS Zeeland, Nederland.
- Dekker, L. (2010b). Morfologische verkenning Pas van Baarland en Schaar van de Noord m.b.t. gebruik als nevenvaarwater. Memo, RWS Zeeland, Nederland.
- Dekker, L. (2010c). Monitoring vooroeversuppleties Oostgat, Zeeuws-Vlaanderen en Zwakke schakels t/m september 2010. Concept memo 2010-2, RWS Zeeland, Nederland.
- De Klerk, J., Dekker, L. (2007). Verkennende Scalwest2000-simulaties. Memo, RWS Zeeland, Nederland.
- Erkens, G. (2003). Analyse Multibeam data Oostgat, Geomorfologische analyse op basis van multibeam data uit 2002. Werkdocument RIKZ/OS/2003, RIKZ, Nederland.
- Maranus, J.W. (1995). Herstel Bankje van Zoutelande. Memo, RWS Zeeland, Nederland.
- Maranus, J.W. (1997). Zandwinning t.b.v. suppletie zuidwestkust Walcheren. Memo NWL-97.07, RWS Zeeland, Nederland.
- Mol, F.M. (2005). Baggeren Sardijngemaal, Galgeput. Concept Memo 2005035, RWS Zeeland, Nederland.
- Van Ormondt, M., De Ronde, J. (2009). Mogelijke effecten Geulwandsuppletie Oostgat op de drempel tussen het Oostgat en de Sardijngemaal. Rapport Z4582.70, Deltares, Nederland.
- Van der Voort, R.A. (2011). Vaarwegmarkeringsplan nautisch beheersgebied Rijkswaterstaat Zeeland. Concept versie 2011, Rijkswaterstaat Zeeland, Directoraat-Generaal Goederenvervoer, Rijkswaterstaat Noordzee, Nederland.

A Morfologische ontwikkeling vaargeul

