

2017

Geomorfologische veranderingen in de Voordelta

en de effecten op de NCV-monitoring

Wiebe Spaa
31-07-2017

Bacheloreindopdracht
Universiteit Twente, civiele techniek
Uitgevoerd bij Rijkswaterstaat

Begeleidster Universiteit Twente:
-Harriëtte Holzauer

Begeleiders Rijkswaterstaat:
-Kees Borst(WVL)
-Mennobart van Eerden(WVL)
-Niels Kinneging (WVL)
- Ad Stolk (ZD)

Voorwoord

Het volgende rapport beschrijft een onderzoek dat als bachelor eindopdracht dient. Dit onderzoek is gedaan voor de organisatie onderdelen 'Zee en Delta' en 'Water , Verkeer en Leefomgeving' van Rijkswaterstaat. De heer A. Stolk, Rijkswaterstaat Zee en Delta, vroeg mij een onderzoek te doen naar de geomorfologische veranderingen op de circa 400 Natuurcompensatie Voordelta (NCV)-monitoringlocaties gelegen in de Voordelta. Met behulp van dit onderzoek moet aangetoond kunnen worden of er geomorfologische en bathymetrische veranderingen zijn op deze circa 400 NCV-monitoringlocaties. Met deze resultaten zal men een stap dichterbij het einduiteindelijke doel van Rijkswaterstaat komen. Het uiteindelijke doel van Rijkswaterstaat is het op de juiste wijze kunnen interpreteren van de veranderingen van de benthische organismen in het bodembeschermgebied in de Voordelta. Kennis van de geomorfologische veranderingen is nodig voor een juiste interpretatie. Tijdens het onderzoek ben ik door de volgende werknemers van Rijkswaterstaat begeleid: Kees Borst (WVL), Mennobart van Eerden (WVL), Niels Kinneging (WVL) en Ad Stolk (ZD). Mijn begeleidster vanuit de Universiteit Twente is Harriëtte Holzhauer. Deze begeleiders wil ik bedanken voor hun bijdrage aan mijn onderzoek.

Inhoud

Voorwoord	1
1. Samenvatting.....	5
2. Introductie.....	7
2.1 Probleemstelling.....	7
2.1.1 Geomorfologie.....	7
2.1.2. De Voordelta	7
2.1.3. Het Project Mainportontwikkeling Rotterdam	8
2.1.4. Monitoring en evaluatie programma's	8
2.1.5. MEP Natuur Compensatie Voordelta	9
2.1.6. Rapporten over de Voordelta.....	10
2.1.7. Opdrachtgever voor dit onderzoek	11
2.1.8. Het doel van dit onderzoek	11
2.1.9. De onderzoeksvragen in dit onderzoek.....	11
2.1.10. Leeswijzer	12
3. Data	13
3.1. Vaklodingen.....	13
3.2. Jarkus.....	13
3.3. Foutenbronnen Vaklodingen en Jarkus.....	15
3.4. NCV-Monitoringlocaties	15
4. Methodiek	17
4.1. Proces sedimentatie en erosie	17
4.2. Bathymetrische- en verschilkaarten.....	17
4.3. Diepte classificatiekaarten	20
4.4. De bathymetrische en geomorfologische verschillen in de Voordelta tussen de twee periodes.....	20
4.5. De bathymetrische verschillen op de circa 400 NCV-monitoringlocaties	20
5. Oorzaak geomorfologische veranderingen	22
5.1. Sedimentatie en erosie.....	22
5.2. Invloed getij.....	23
5.3. Invloed golven	23
5.4. Veranderingen door de mens.....	24
6. Diepte classificaties voor de geomorfologie in de Voordelta	25
6.1. Geomorfologische informatie	25

6.2.	Geomorfologie en benthos	27
6.3.	Habitattypes	27
6.4.	Morfologische veranderingen	28
6.5.	Diepteclassificaties	30
7.	De geomorfologische veranderingen in de Voordelta	34
7.1.	Veranderingen in de bathymetrie van de Voordelta tussen periode 1 en periode 2	34
7.1.1.	De monding van het Haringvliet.....	34
7.1.2.	De monding van de Grevelingen	36
7.1.3.	De monding van de Oosterschelde	38
7.2.	De oorzaak van de geomorfologische veranderingen in de Voordelta.....	40
7.2.1.	Effecten deltawerken en ander menselijk ingrijpen	40
7.2.2.	Effecten van de golven	41
7.2.3.	Effecten bodemstroompatronen	42
7.3.	Evaluatie voorspellingen Alkyon (2006).....	44
7.3.1.	Wat Alkyon(2006) voorspelde.....	44
7.3.2.	In hoeverre komen de voorspellingen van Alkyon (2006) overeen met de gevonden resultaten	45
7.4.	Geomorfologische veranderingen onder de NCV-monitoringlocaties.....	46
7.4.1.	Algemeen overzicht geomorfologische veranderingen onder de NCV-monitoringlocaties	46
7.4.2.	Haringvliet	48
7.4.3.	Grevelingen	50
7.4.4.	Oosterscheldemonding	52
7.4.5.	Monitoringlocatie 322	54
8.	Discussie	55
9.	Conclusie	56
10.	Aanbevelingen.....	58
11.	Bibliografie	59
12.	Appendix.....	61
	Appendix 1: de Voordelta.....	61
	Appendix 2: verhouding stroomsnelheid en transport deeltjes	62
	Appendix 3: baggergebied Slijkgat	63
	Appendix 4: laagste astronomische getij	64
	Appendix 5: jaren vaklodingen en Jarkus in de gemaakte kaarten.....	65
	Appendix 6: diepteclassificatie kaarten	66

Appendix 7: bathymetrische kaarten	70
Appendix 8: verschilkaarten	73
Appendix 9: Stroompatronen.....	76
Appendix 10: PMR meetpunten op verschilkaarten	77
Appendix 11: NCV-monitoringlocaties die meer dan 1 meter in hoogte zijn veranderd.....	80
Appendix 12: Histogrammen van de verschillen in hoogte	82
Appendix 13: Tabel met verschil meetpunten box-core.....	83

1. Samenvatting

In dit verslag worden de geomorfologische veranderingen in de Voordelta beschreven met in het bijzonder de circa 400 Natuur Compensatie Voordelta (NCV)-monitoringlocaties tussen 2004 en 2013.

De Voordelta is een kustgebied van de Nederlandse provincies Zuid-Holland en Zeeland. De Voordelta is een gebied met hoge natuur waarden en is een van de beschermde gebieden van de Natura 2000¹. Dit betekent dat het gebied beschermd is door de 'Habitat richtlijn'(1992) en de 'Vogelrichtlijn'(1979). Tussen 2008 en 2013 is de Maasvlakte 2 gebouwd (Havenbedrijf Rotterdam N.V.). De aanleg en het bestaan van de Maasvlakte 2 kan mogelijk negatieve effecten hebben op de beschermde natuurwaarden in de Voordelta (Prins et al. b, 2014).

Er wordt verwacht dat een gebied van maximaal 2455 ha aan waardevolle zeebodem verloren kan gaan. Dit verloren gebied moet gecompenseerd worden volgens de Natuurbeschermingswet (1998) (RIKZ, 2007). Deze compensatie is gerealiseerd in de vorm van een bodembeschermgebied in de Voordelta met daarin verscheidende rustgebieden en een nieuw duingebied in Delfland. In het bodembeschermgebied zijn er beperkingen opgelegd voor de visserij, zo moeten ze voortaan de zeebodem ontzien (Havenbedrijf Rotterdam N.V.). Om te bepalen of de reeds gedane compensaties voldoende zijn om de mogelijk negatieve effecten van de Maasvlakte 2 op de Flora en Fauna in de Voordelta te compenseren is de MEP 'Natuur Compensatie Voordelta' gemaakt. De MEP 'Natuur Compensatie Voordelta' wordt gedaan door het ministerie van infrastructuur en milieu (IenM) en het uitvoerende agentschap Rijkswaterstaat (RWS). Voor het onderzoek naar onder andere de effecten op de benthische organismen zijn er van circa 400 locaties in de Voordelta monsters van de bodemgenomen. Volgens het organisatieonderdeel Water, Verkeer en Leefomgeving van Rijkswaterstaat is de mogelijke correlatie tussen benthische fauna en de geomorfologische veranderingen nog niet voldoende onderzocht. Daarom heeft Rijkswaterstaat gevraagd een onderzoek te doen naar de geomorfologische veranderingen in de Voordelta en in het bijzonder de circa 400 monitoringlocaties. Dit onderzoek wordt in dit verslag beschreven.

Het onderzoeksdoel is als volgt geformuleerd: "Het bepalen en verklaren van de bathymetrische en geomorfologische ontwikkeling in de Voordelta met een focus op de circa 400 NCV-monitoringlocaties in de periode 2004-2013"

Om het doel van dit onderzoek te behalen is er een hoofdvraag van onderzoek geformuleerd met daaraan gekoppeld een aantal deelvragen van onderzoek.

De hoofdvraag van dit onderzoek is als volgt geformuleerd:

Wat zijn de bathymetrische en geomorfologische veranderingen in de Voordelta en op de circa 400 NCV-monitoringlocaties in het bijzonder tussen 2004 en 2013 en hoe kunnen deze veranderingen verklaard worden?

De deelvragen van het onderzoek zijn als volgt geformuleerd:

1. *Wat zijn de meest passende classificaties voor de bathymetrie in de Voordelta?*
2. *Wat zijn de bathymetrische en geomorfologische veranderingen in de Voordelta tussen 2004 en 2013?*
3. *Wat zijn de bathymetrische en de geomorfologische veranderingen op de circa 400 NCV-monitoringlocaties tussen 2004 en 2013?*
4. *Wat is de oorzaak van de geomorfologische en bathymetrische veranderingen in de Voordelta tussen 2004 en 2013?*

¹ Natura 2000: De Natura 2000 is een Europees netwerk van beschermde gebieden. De in deze beschermde gebieden diersoorten en hun leefomgeving zijn beschermd doormiddel van wetten. De reden achter deze beschermde gebieden is om de biodiversiteit te behouden (Regiegroep Natura 2000).

Het antwoord op de hoofdvraag komt voort uit de beantwoording van de verschillende deelvragen.

De eerste deelonderzoeksvraag, *Wat zijn de meest passende classificaties voor de bathymetrie in de Voordelta*, is niet eenduidig te beantwoorden. Dit komt omdat de verschillende morfologische eenheden zich in de verschillende mondingen niet op dezelfde diepte bevinden.

Het meest verstandige antwoord op deze vraag is om de classificaties in diepte voor de gehele Voordelta hetzelfde te houden. Er zijn wel namen aan deze classificaties verbonden, echter verschillen deze namen per monding.

Op de tweede deelonderzoeksvraag, *Wat zijn de bathymetrische en geomorfologische veranderingen in de Voordelta tussen 2004 en 2013*, is wel een duidelijk antwoord te geven. In de meeste gebieden is de sedimentatie of erosie lokaal niet meer dan 0.4 m. De grotere geomorfologische veranderingen zijn over het algemeen te vinden bij de geulen en platen. Deze veranderingen zijn van 0.5 tot 10 m. Over het algemeen is er bij de platen en geulen erosie aan de noordwestkant en sedimentatie aan de zuidoostkant. Uit dit verschijnsel kan de voorzichtige conclusie getrokken worden dat de platen landinwaarts bewegen. De meeste van de in dit onderzoek gevonden geomorfologische veranderingen komen overeen met de voorspellingen van Alkyon (2006), waardoor er met zekerheid kan worden geconcludeerd dat deze bevindingen kloppen.

Wanneer er gekeken wordt naar de 255 monitoringlocaties is het antwoord op de derde deelonderzoeksvraag, *Wat zijn de bathymetrische en de geomorfologische veranderingen op de circa 400 NCV-monitoringlocaties tussen 2004 en 2013*, minder duidelijk. Doordat veel monitoringlocaties tussen 2004 en 2013 van plaats zijn gewisseld is het moeilijk om voor deze locaties de veranderingen in bathymetrie en geomorfologie te beschrijven. Er kan wel geconcludeerd worden dat sommige monitoringlocaties geomorfologisch en of bathymetrisch veranderd zijn. In 70% van de gevallen is deze verandering kleiner dan 50 centimeter.

Op de vierde deelonderzoeksvraag, *Wat is de oorzaak van de geomorfologische en bathymetrische veranderingen in de Voordelta tussen 2004 en 2013*, is een antwoord gevonden. Tijdens het onderzoek zijn meerdere oorzaken gevonden. Gebleken is dat de mate van effect van elk van de verschillende oorzaken moeilijk is in te schatten. De oorzaken van de geomorfologische en bathymetrische veranderingen zijn toe te schrijven aan menselijk handelen en natuurlijke processen. De oorzaken van de veranderingen door menselijk handelen zijn de Deltawerken, de aanleg van de Maasvlaktes, de aanleg van het gebied de Slufter en het baggeren van de geul Slijkgat en het spuidebiet. De aan de natuur gerelateerde oorzaken van de veranderingen zijn de golven, het astronomische getij, de rivierafvoer en het spuidebiet.

2. Introductie

2.1 Probleemstelling

2.1.1 Geomorfologie

Geomorfologie is de wetenschap die het reliëf van het aardoppervlak bestudeert en dus ook de ontwikkeling ervan tot zijn huidige gedaante reconstrueert (Wiggers et al., 1976). In dit onderzoek wordt geomorfologie gezien als het reliëf van het aardoppervlak (zeebodem) in het kust gebied Voordelta. De geomorfologie in dit onderzoek bestaat uit de geomorfologische eenheden: platen, ondieptes, randen, geulen, en dieper zeegebied. Deze eenheden zijn niet in elk deel van de Voordelta op dezelfde diepten te vinden. Geulen moet men zien als rivieren in de zee. In deze geulen stroomt het water vaak sneller en ligt de bodem dieper dan om de geul heen. De diepte van de geul ten opzichte van het NAP kan net als bij de ondieptes verschillen. Platen, ook wel bekend als zandbanken, zijn de op de zeebodem hoger gelegen delen. De hoogte van de plaat is vaak tot net onder het wateroppervlak, maar valt soms ook droog (droogvallend gebied). Gebieden die dieper liggen dan de ondieptes en niet in dit onderzoek als geul gedefinieerd worden, worden als dieper zeegebied gedefinieerd. Dit zijn de gebieden die zeewaarts (ten westen) liggen ten opzichte van de ondieptes, geulen en de platen en waar de bodem dieper is dan bij de ondieptes.

Veranderingen in de geomorfologie zijn veranderingen in het reliëf van het aardoppervlak. Veranderingen in de geomorfologie zijn in dit onderzoek de verplaatsingen, het ontstaan en het verdwijnen van de bovengenoemde geomorfologische eenheden. Deze veranderingen zijn vaak aantoonbaar door veranderingen in de bodemhoogte (bathymetrie).

2.1.2. De Voordelta

De Voordelta is een kustgebied van de Nederlandse provincies Zuid-Holland en Zeeland. De Voordelta is een gebied met hoge natuurwaarden en is een van de beschermde gebieden van de Natura 2000² (Figuur 1). Dit betekent dat het gebied beschermd is door de 'Habitatrichtlijn' (1992) en de 'Vogelrichtlijn' (1979). In Nederland zijn deze richtlijnen wettelijk vastgelegd in de 'Natuurbeschermingswet' en de 'Flora- en Faunawet' (RIKZ, 2007). In 2017 zijn deze beide wetten opgegaan in de wet Natuurbescherming.

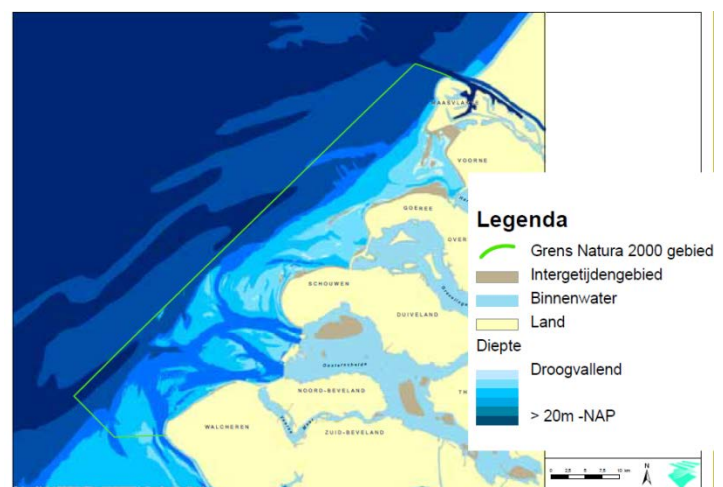
De waternoodramp in 1953 veroorzaakte veel natuurlijke en menselijke schade in de provincies

Zuid-Holland en Zeeland. Na de watersnoodramp werd het Deltaplan opgesteld. Dit resulteerde in de

aanleg van verscheidene dammen. Deze dammen resulteerden in grote veranderingen op geomorfologisch gebied en hebben nog steeds invloed op de geomorfologie van vandaag.

Deze veranderingen in geomorfologie zijn bestudeerd door

Elias et al. (2016). Ze hebben de geomorfologische veranderingen beschreven en hebben een sedimentbudget opgesteld voor de periode 1965-2013. Voor hun studie hebben ze gebruik gemaakt van de Vaklodingen³ en Jarkus⁴. Ze concludeerden tijdens hun studie dat door het indammen en



Figuur 1: Voordelta (RIKZ, 2007).

² Natura 2000: De Natura 2000 is een Europees netwerk van beschermde gebieden. De in deze beschermde gebieden diersoorten en hun leefomgeving zijn beschermd doormiddel van wetten. De reden achter deze beschermde gebieden is om de biodiversiteit te behouden (Regiegroep Natura 2000).

³ Vaklodingen zijn bathymetrische metingen van de Nederlandse kust.

⁴ Jarkus is een afkorting van jaarlijkse kust metingen.

gedeeltelijk indammen van de riviermondingen er grootschalige geomorfologische veranderingen hebben plaatsgevonden. Echter waren de veranderingen in sedimentvolume, het totale sediment in de mondingen van het, Grevelingen en het Haringvliet over de periode 1965-2010 klein. Oftewel het netto sedimentbudget over deze periode was klein.

2.1.3. Het Project Mainportontwikkeling Rotterdam

De haven van Rotterdam levert een belangrijke bijdrage aan de Nederlandse economie. Om de Haven een leidende rol in Europa te laten behouden heeft de Nederlandse overheid besloten om de Maasvlakte 2, een uitbreiding van de Rotterdamse haven, aan te leggen. De aanleg van de Maasvlakte 2 is onderdeel van het Project Mainportontwikkeling Rotterdam (PMR). Dit project zorgt ervoor dat de Nederlandse haven genoeg ruimte heeft om te groeien. Daarnaast heeft dit project als doelstelling om de leefbaarheid van het gebied Rijnmond te verhogen. Deze verhoging van leefbaarheid wordt gerealiseerd door onder andere meer ruimte voor de natuur te realiseren (Rijksoverheid).

De Maasvlakte 2 is gebouwd tussen 2008 en 2013 (Havenbedrijf Rotterdam N.V.). De aanleg en het bestaan van de Maasvlakte 2 kan mogelijk negatieve effecten hebben op de beschermde natuurwaarden in de Voordelta (Prins et al. b, 2014). Er werd verwacht dat een gebied van maximaal 2455 ha aan waardevolle zeebodem verloren zou gaan. Dit verloren gebied moet gecompenseerd worden volgens de Natuurbeschermingswet (1998) (RIKZ, 2007). Deze compensatie is gerealiseerd in de vorm van een bodembeschermgebied in de Voordelta met daarin verscheidende rustgebieden en een nieuw duingebied in Delfland. In het bodembeschermgebied zijn er beperkingen opgelegd voor de visserij, zo moeten ze voortaan de zeebodem ontzien (Havenbedrijf Rotterdam N.V.). Een kaart van de Voordelta met het bodembeschermgebied en de rustgebieden kan gevonden worden in appendix 1.

2.1.4. Monitoring en evaluatie programma's

In de milieueffectrapporten⁵ Sarink en Elings (2007) en van der Zee et al. (2007) zijn de effecten van de Maasvlakte 2 op het milieu beschreven. Één van de beschreven permanente effecten is het verlies van 2120 miljoen bodemdieren.

Voor de aanleg en het gebruik van de Maasvlakte 2 zijn monitoring- en evaluatieprogramma's (MEP's) gemaakt. De MEP's richten zich op twee doelen. Het eerste doel wordt omschreven als: hoe de geschetste voorspelling in de boven genoemde milieueffectrapporten zich ten opzichte van de daadwerkelijk gebeurde scenario's verhouden. Het tweede doel wordt omschreven als: het vergaren van kennis over de effecten van grootschalige zandwinning op de natuur, zeebodem. De monitoringsprogramma's worden elke vijf jaar geëvalueerd, en indien nodig worden de beheerplannen aangepast (Havenbedrijf Rotterdam N.V.).

Er zijn vier verschillende MEP's (Tabel 1). Het MEP 'Natuur Compensatie Voordelta' wordt gedaan door het ministerie van infrastructuur en milieu (IenM) en het uitvoerende agentschap Rijkswaterstaat (RWS).

Het onderzoek beschreven in dit rapport is onderdeel van het MEP 'natuur compensatie Voordelta' en wordt gedaan voor en onder de verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat.

⁵ *Milieueffectrapportage bestemming Maasvlakte 2: hoofdrapport*
Milieueffectrapportage aanleg Maasvlakte 2: hoofdrapport

Tabel 1: Verschillende MEP's Maasvlakte 2.

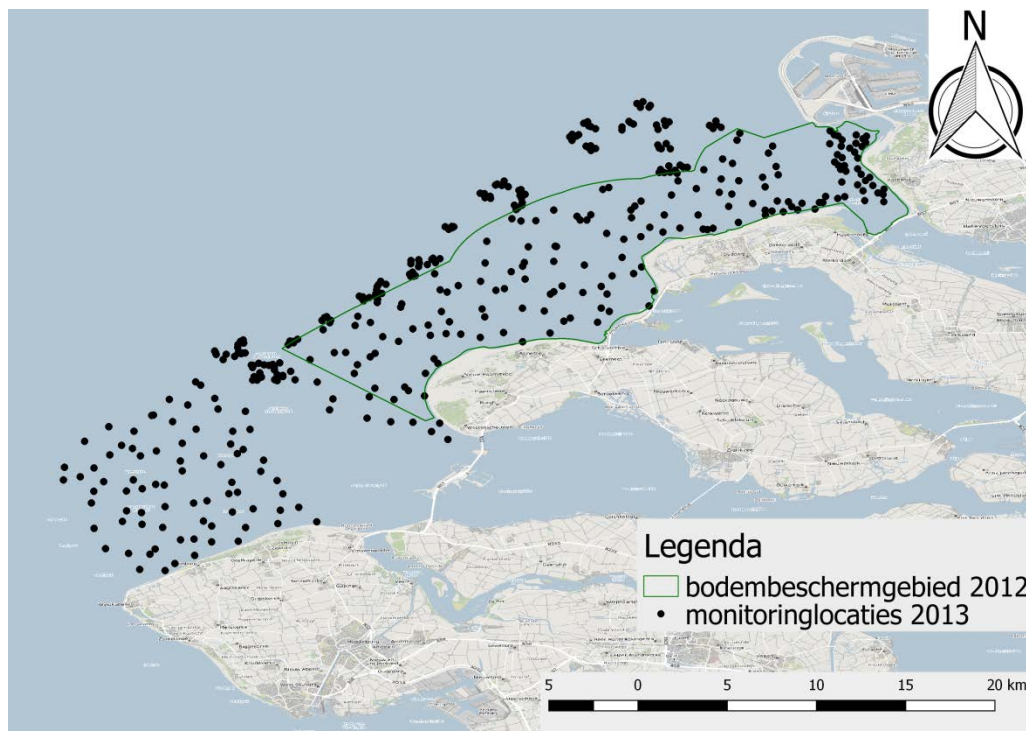
Monitoring- en evaluatieprogramma's maasvlakte 2
MEP Aanleg
MEP Natuur compensatie Voordelta
MEP Duinen
MEP Bestemming

2.1.5. MEP Natuur Compensatie Voordelta

Het doel van de MEP 'Natuur Compensatie Voordelta' (NCV) is om te bepalen of de reeds gedane compensaties, bodembescherming met limitaties op zeebodembodembodem vissen en rustgebieden voor vogels, voldoende zijn om de mogelijk negatieve effecten van de Maasvlakte 2 op de Flora en Fauna in de Voordelta te compenseren. Onder deze negatieve effecten voor vogels valt het verlies van het leefgebied en het moeilijker worden van het vinden van voedsel (Prins et al., 2016).

De voor het MEP 'Natuur Compensatie Voordelta' gedane monitoring is opgedeeld in de volgende onderdelen; bodemdieren, vis, gebruik, vogels en abotiek.

Voor de onderzoeken van de benthische organismen zijn er van circa 400 locaties in de Voordelta monsters van de bodemgenomen (Prins et al. b, 2014). De monsterlocaties van het jaar 2013 kan men vinden in (Figuur 2). De nulmeting (van voor de Maasvlakte 2) is gedaan in de jaren 2004-2005 en in 2007. De T₁, T₂, T₅ zijn jaarlijks gedaan in de periode 2009-2013 (Prins et al. b, 2014).



Figuur 2: NCV-monitoringlocaties 2013.

2.1.6. Rapporten over de Voordelta

Er zijn verscheidene rapporten geschreven over de geomorfologische veranderingen die in het verleden hebben plaatsgevonden in de Voordelta. De meeste rapporten zijn geschreven vóór de aanleg van de Maasvlakte 2 en beschrijven dus niet de effecten van de Maasvlakte 2. Voor het Haringvliet zijn er veel rapporten te vinden van na de aanleg van de Maasvlakte 2. Een voorbeeld is het rapport de Winter (2014) waarin de morfologische veranderingen in de Haringvliet ebdelta sinds 1970 worden beschreven. Dit wordt gedaan op basis van individuele morfologische eenheden. De veranderingen zijn beschreven aan de hand van sedimentvolumecalculaties voortkomend uit de uit vaklodingen verkregen data. Geconcludeerd wordt dat vanaf 1980 de morfologische veranderingen verminderen en een nieuw equilibrium ontstaat. Door de aanleg van de Slufter is het equilibrium weer verschoven en ook de constructie van de Maasvlakte 2 zal misschien een verhoging van sedimentvolume tot gevolg hebben. Volgens het rapport zullen vanaf 2001 de platen Hinderplaat en Noordelijke en Zuidelijke Garnalenplaat samen komen tot één grote plaat in het midden van de monding van het Haringvliet.

Het bij de paragraaf “de Voordelta” beschreven rapport Elias et al.(2016) is het meest recent geschreven rapport over de morfodynamiek en het sediment budget van de gehele Voordelta. Dit rapport beschrijft echter niet geheel de recente veranderingen van na 2000. Het rapport doet geen concrete voorspellingen over de morfodynamiek en het sedimentbudget naar de toekomst toe. Een rapport dat meer recente veranderingen van de gehele Voordelta beschrijft is het rapport Alkyon (2006). In het rapport komen de onderwerpen geomorfologie, diepteligging, stroompatronen en golven, droogvalduur, salliniteit en sedimentsamenstelling aan bod. De onderwerpen zijn beschreven aan de hand van bestaande data, modeluitkomsten en onderzoeksrapporten. De in het rapport van Alkyon(2006) beschreven geomorfologie is te vinden in subparagraaf 7.3.1 ‘wat Alkyon (2006) voorspelde’ van dit rapport. Alkyon (2006) stelt in zijn rapport dat de hydrodynamiek in de Voordelta wordt bepaald door getij en golven. De bodem bestaat volgens dit rapport voornamelijk uit zand. Het water heeft dezelfde saliniteit als de Noordzee. Het Haringvliet is hierop een uitzondering, aangezien hier de saliniteit volgens het rapport lager zou zijn. Dit rapport maakt wel voorspellingen naar de toekomst toe over de morfodynamiek van de Voordelta . Het rapport is echter van 2006 en dus niet actueel.

De ecologische conditie van de Voordelta is beschreven door Craeymeersch et al. a (1990). Dit rapport beschrijft de in 1984-1988 bekende kennis over de ecologische situatie in de riviermondingen Schelde, Rijn en Maas. Craeymeersch et al. b (1990) stelt dat de toekomstige geomorfologische ontwikkeling de meest belangrijke factor voor de toekomstige ecologische ontwikkeling zal zijn.

Een meer recent rapport is dat van Craeymeersch et al. (2017)

Dit rapport beschrijft de gewijzigde opzet van de monitoring en beschrijft ook de eerste monitoring-resultaten door middel van een korte beschrijving van de dataset verkregen met de bodemschaaf (Craeymeersch et al., 2017). Daarnaast wordt met behulp van een multivariantie analyse de aanvullende studie besproken. De soortensamenstelling heeft volgens een in dit rapport beschreven onderzoek een correlatie met de abiotische variabelen. Volgens het onderzoek zou bodemvisserij een significante invloed hebben op de soortensamenstelling van de bodemdiergemeenschappen (Craeymeersch et al., 2017).

Het rapport concludeert dat er een correlatie bestaat tussen de abiotische variabelen en de soortensamenstelling van de bodemdieren in de Voordelta. Echter zijn er geen rapporten van onderzoek gevonden waarin de veranderingen in diepte en geomorfologie van de zeebodem naast de veranderingen in benthos organisme zijn gelegd. Het rapport van Craeymeersch et al. (2017) kijkt alleen naar de data van de monsteringen van de bodemdieren en abiotiek in 2015. Uit de rapporten van de geomorfologie blijkt dat de geomorfologie sterk veranderd binnen relatief kort tijdsbestek. Daarom zal een onderzoek naar de correlatie tussen de veranderingen in de soortensamenstelling van de bodemdieren en de veranderingen in de geomorfologie van belang zijn.

2.1.7. Opdrachtgever voor dit onderzoek

Dit onderzoek is gedaan voor de Rijkswaterstaat afdelingen 'Water, Verkeer en Leefomgeving' (WVL) en 'Zee en Delta' (ZD). WVL doet de organisatie en het onderzoek van de MEP 'Natuur Compensatie Voordelta'. Volgens WVL is de mogelijke correlatie tussen benthische fauna en geomorfologische veranderingen nog niet genoeg onderzocht. Daarom heeft Rijkswaterstaat gevraagd een onderzoek te doen naar geomorfologische veranderingen in de Voordelta en in het bijzonder de circa 400 monitoring locaties.

2.1.8. Het doel van dit onderzoek

Het doel van het in dit rapport beschreven onderzoek is een begin te maken met het bestuderen van de mogelijke verbanden tussen de geomorfologische en ecologische ontwikkelingen in de Voordelta. Dit onderzoek zal een bijdrage leveren aan de MEP 'Natuur Compensatie Voordelta'. Dit betekent dat dit onderzoek een bijdrage zal leveren aan de monitoring van de gedane compensaties van de negatieve effecten van de Maasvlakte 2 op de natuur van de Voordelta.

Het bereik van dit onderzoek zal gelijk lopen aan de grenzen van de Voordelta. Het onderzoek betreft de tijdspanne van de eerste nulmeting (2004) tot aan het einde van de eerste fase van de monitoring en evaluatie van de natuurcompensatie in de Voordelta (2013).

In het onderzoek zullen de geomorfologische veranderingen in deze tijdspanne bestudeerd worden en inzichten over de geomorfologische veranderingen op de circa 400 monitoring locaties vergaard worden.

Dit onderzoek zal geen antwoord geven op de vraag wat de effecten van de geomorfologische veranderingen op de benthische fauna in de Voordelta zullen zijn. Dit onderzoek zal alleen de fundamenteen geven voor een mogelijk antwoord op deze vraag.

Het uiteindelijke onderzoeksdoel wordt omschreven als: "Het bepalen en verklaren van de bathymetrische en geomorfologische ontwikkeling in de Voordelta met een focus op de circa 400 NCV-monitoringlocaties in de periode 2004-2013".

2.1.9. De onderzoeksvragen in dit onderzoek

Om het doel van dit onderzoek te behalen zijn er enkele onderzoeksvragen opgesteld.

De hoofdvraag van dit onderzoek is:

Wat zijn de bathymetrische en geomorfologische veranderingen in de Voordelta en op de circa 400 NCV-monitoringlocaties in het bijzonder tussen 2004 en 2013 en hoe kunnen deze veranderingen verklaard worden?

Om de geomorfologische veranderingen in de Voordelta te kunnen beschrijven moet er een onderscheid worden gemaakt in de verschillende geomorfologische eenheden en/of classificaties in de bathymetry.

Daarom is de volgende deelvraag opgesteld:

Wat zijn de meest passende classificaties voor de bathymetrie in de Voordelta?

Het doel is om de bathymetrische en geomorfologische veranderingen in de Voordelta te beschrijven tussen 2004 en 2013. Daarom is de tweede deelvraag als volgt opgesteld:

Wat zijn de bathymetrische en geomorfologische veranderingen in de Voordelta tussen 2004 en 2013?

Bij de tweede deelvraag zullen de bathymetrische en geomorfologische veranderingen voor de gehele Voordelta beschreven worden. Het doel van dit project is de veranderingen op de circa 400 NCV-monitoring locaties er uit te lichten. Daarom is de derde deelvraag als volgt opgesteld:

Wat zijn de bathymetrische en de geomorfologische veranderingen op de circa 400 NCV-monitoringlocaties tussen 2004 en 2013?

Het laatste doel van dit onderzoek is om de gevonden veranderingen in geomorfologie en bathymetrie en te verklaren. Daarom is de vierde onderzoeksvraag als volgt opgesteld:
Wat is de oorzaak van de geomorfologische en bathymetrische veranderingen in de Voordelta tussen 2004 en 2013?

2.1.10. Leeswijzer

Belangrijk is te weten dat van elk van de bathymetrische-, verschil- en diepte classificatiekaarten een vergrote versie in de appendix te vinden zijn.

Het rapport zelf is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 3 worden de data die gebruikt zijn bij het onderzoek beschreven. In deze databeschrijving wordt ook beschreven wat de onnauwkeurigheden van de data zijn.

In hoofdstuk 4 wordt de methodiek besproken. Hierin wordt besproken hoe de onderzoeksvragen zijn aangepakt en hoe de tijdens dit onderzoek gebruikte kaarten gemaakt zijn.

In hoofdstuk 5 wordt een literatuurstudie beschreven over het proces en de oorzaken van de geomorfologische veranderingen.

In Hoofdstuk 6 zal de meest geschikte diepte classificatie voor de morfologie in de Voordelta besproken worden.

In Hoofdstuk 7 worden verschillende onderwerpen besproken. Elk van de onderwerpen wordt per monding apart besproken. Het hoofdstuk begint met het beschrijven van de bathymetrische en geomorfologische veranderingen in de Voordelta aan de hand van de bathymetrische-, verschil- en de diepte classificatiekaarten. Na het beschrijven van de geomorfologische veranderingen worden de mogelijke oorzaken van deze veranderingen besproken met behulp van de in hoofdstuk 5 opgedane kennis. Vervolgens worden de geomorfologische veranderingen vergeleken met de voorspellingen uit het rapport van Alkyon (2006). Als laatste worden de bathymetrische veranderingen op 255 NCV-monitoringlocaties besproken.

In hoofdstuk 8 worden de beperkingen van de gebruikte data en resultaten beschreven.

In hoofdstuk 9 worden de uiteindelijke resultaten en conclusies beschreven.

In hoofdstuk 10 worden de aanbevelingen voor verdere dataverschaffing en onderzoek beschreven.

3. Data

In dit onderzoek zijn drie soorten data gebruikt: vaklodingen, Jarkus en de NCV-monitoring. Dit hoofdstuk geeft uitleg van deze data.

3.1. Vaklodingen

Vaklodingen zijn dieptemetingen in een bepaald in vakken verdeeld gebied. Vanaf 1950 zijn er vaklodingen voor de kust van Zeeland en Zuid-Holland uitgevoerd. Tot 1985 zijn de dieptegegevens analoog opgeslagen in kaartvorm. Na 1985 is het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) als specialistische dienst van RWS begonnen met het digitaal inwinnen en opslaan van de vaklodingen. (Kruif, 2001). Voor het schrijven van dit rapport is er gekeken naar data van vaklodingen van de Voordelta tussen 2000 en 2015. Deze data zijn verzameld door Rijkswaterstaat door middel van het vaklodingen protocol. Rijkswaterstaat verzamelt de verschillende vaklodingen waarbij de data geïnterpoleerd worden naar een voorgemaakte kaart met de afmetingen 10 bij 12,5 kilometer. De interpolatie wordt gedaan in Digipol en hebben een 20x20 m grid (Rijkswaterstaat, 2011). De Vaklodingen halen meestal een waterdiepte tot -20meter. De vaklodingen worden niet elk jaar opgemeten (Rijkswaterstaat, 2011). Wanneer een vakloding wordt opgemeten verschilt per vakloding. In Tabel 2 worden de vaklodingen in de Voordelta en buiten de Voordelta tussen de jaren 2000 en 2015 weergegeven. In deze tabel zijn de daadwerkelijk gebruikte data in dit onderzoek rood gekleurd. De reden waarom deze data gebruikt worden is te lezen in de hoofdstuk 4 'methodiek'.

3.2. Jarkus

De vaklodingen komen niet altijd geheel tot aan de kust, waardoor gebieden dicht bij de kust dieptemetingen kunnen missen. Om toch complete kaarten te kunnen maken is ervoor gekozen om tijdens dit onderzoek ook gebruik te maken van de Jaarlijkse Kustmetingen (Jarkus). Ieder jaar worden er voor de toetsing van de Basiskustlijn, die in 1993 is vastgesteld, kustlodingen gedaan om de bodemhoogte te bepalen. Het bepalen van de bodemhoogte wordt doormiddel van het zogenaamde Jarkus programma gedaan. Voor de Jarkus metingen worden de gegevens ingewonnen voor raaien (peilingen). De raaien hebben een onderlinge basisafstand van 200 tot 250 meter. De raaien staan loodrecht op de kust en lopen vanaf de eerste duinenrij tot de -13m NAP lijn. Dit betekent dat de meeste lijnen tot ongeveer 800 tot 1200m van de kust lopen. De Jarkus metingen zijn net als de Vaklodingen geïnterpoleerd in Digipol en hebben een 20X20 m grid (Rijkswaterstaat, 2013) (Rijkswaterstaat, 2011). In dit onderzoek zijn naast de vaklodingen de Jarkus metingen van Walcheren, Noord-Beveland en Zeeuws-Vlaanderen uit 2014 gebruikt.

Tabel 2: Overzicht vaklodingen.

Zwart Beschikbare vaklodingen

Rood Gebruikte vaklodingen in dit onderzoek

+ was een gepland opname jaar echter weet ik niet of er data van is.

! hier zijn inplaats van de vaklodingen de kadastralbladen gebruikt. Kadastralbladen komen wat betreft dekking niet geheel overeen met de vaklodingen. Vaklodingen bestaan uit verschillende kadastralbladen. Bij de gebruikte data missen er echter soms enkele kadastralbladen om de gehele vak(loding) te maken.

	Vak	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Haringvliet	380	■	■			■		■			■			■		
	390		■			■		■			■			■		
	307	■			■			■			■			■		
	400	■			■			■			■			■		
Grevelingen	33									■						■
	34									■						■
	35				■					■						
	36								■							
	37								■			■		■		
	39 (Sch-RijnKanaal-N)											■		■		
	63 (Sch-RijnKanaal-Z)			■								■			■	
Oosterschelde	11			■												
	45		■			■	■		■		■			■		■
	46		■			■	■		■		■			■		■
	47		■			■	■		■		■			■		■
	20		■			■	■		■		■			■		■
	21		?			■	■		■		■			■		■
	48-1		■			■	■		■		■			■		■
	48-2		■			■	■		■		■			■		■
	49		■			■	■		■		■			■		■
	48-41/42		■			■	■		■		■			■		■
	49-41/42		■			■	■		■		■			■		■
	21	■							■			+				■
22								■							■	
23		+	■					■							■	
24		■			■			■							■	
25		■						■							■	
26	■							■							■	
Westerschelde	11	■		■					+	■			■			■
	12		■							■			■			■
	13		■							■			■			■
	14		■							■			■			■
	44		+	■		■				■			■			■
	15		■							■			■			■
	16		■							■			■			■
	17	■	■		■			■		■		+	■			■
	18	■	■		■			■		■			■			■
	19	+	■		■			■		■			■			■
Westerschelde binnen	1							■								■
	2							■								■
	3							■								■
	4							■								■
	5							■								■
	6							■								■

3.3. Foutenbronnen Vaklodingen en Jarkus

In deze paragraaf worden de meetfouten⁶ van de vaklodingen en Jarkus besproken.

Het hydrografisch proces bestaat uit een keten van meetsystemen en verwerkingsstappen, die ieder een meetfout kunnen introduceren. We onderscheiden puntfouten, systematische fouten en ruimtelijk gecorreleerde fouten.

Puntmeetfouten zijn fouten die voor ieder punt verschillend zijn. Een voorbeeld is de fout in het echolood. De puntmeetfouten zijn vaak het gevolg van data uitschieters. Marijs en Parée (2004) schat deze 'stochastische' meetfout op een grootte van ongeveer 0,36 m. Deze fouten middelen snel uit bij verdere verwerking.

Systematische fouten zijn voor alle meetpunten hetzelfde en middelen niet uit. Deze systematische fouten ontstaan bij bijvoorbeeld de installatie van meetapparatuur en het referentievlak. Zorgvuldige kallibratie moet deze fout reduceren tot hooguit enkele cm's.

Ruimtelijk gecorreleerde fouten zijn gelijk voor punten dicht bij elkaar, maar ongecorrigeerd als de afstand tussen twee punten groter wordt. Deze fouten ontstaan bijvoorbeeld door het interpoleren van de lodingen in Digipol en het corrigeren van de metingen naar het NAP. De ruimtelijk gecorreleerde meetfouten waren voor 2007 groter dan in de metingen na 2007. Voor 2007 zijn er namelijk waterstandgecorrigeerde (naar het NAP) dieptemetingen gedaan en na 2007 heeft men gebruik gemaakt van Long Range Kinematic GPS positioning (GPS-LRK). Waardoor de afwijking is afgenomen. Uit het onderzoek van Lekkerkerk et al. (2007) is gebleken dat de waterstandgecorrigeerde metingen gemiddeld -10cm, met een standaardafwijking van 0,12cm, verschillen van de metingen gedaan met GPS-LRK (de waterstandgecorrigeerde metingen zijn dus dieper).

De totale verticale nauwkeurigheid van de vaklodingen zijn volgens de rapporten Wiegmann et al. (2005) en Perluka et al. (2006) ergens tussen de 0,11 en 0,40m .

Voor dit onderzoek zullen bij het bestuderen van de geomorfologische veranderingen alleen de systematische meetfouten en de ruimtelijke gecorreleerde meetfouten van belang zijn, omdat de puntmeetfouten uitgemiddeld zullen worden .

3.4. NCV-Monitoringlocaties

Voor het MEP natuurcompensatie Voordelta zijn er in de periode 2004-2007 veel verschillende nulmetingen gedaan. Deze nulmetingen zijn gedaan om de uitgangssituatie van vóór de aanleg van de Maasvlakte 2 vast te stellen. De verschillende soorten nulmetingen zijn in de volgende percelen onderverdeeld: Benthos, Vis, Vogels, Abiotiek, Gebruik.

De eerste fase van de monitoring is in de periode 2009-2013 geweest. Hierbij zijn dezelfde soort metingen als die van de nulmetingen voortgezet (Prins et al. a, 2014). In 2016 is de tweede fase van de monitoring begonnen. Tussen 2013 en 2016 is de monitoring gedeeltelijk voortgezet. Zo is onder andere in het jaar 2015 het benthos nogmaals bemonsterd (Craeymeersch et al., 2017). De monitoring locaties zijn door de jaren heen niet altijd hetzelfde gebleken. Soms zijn meetlocaties verplaatst of verloren gegaan door bijvoorbeeld te geringe diepte of door de aanleg van de Maasvlakte 2. In dit onderzoek zullen de verworven data van het benthos worden gebruikt in de periodes 2004-2007 en 2009-2013. De geschetste veranderingen en aanpassingen en de betekenis hiervan voor het verloop van het onderzoek worden in hoofdstuk 4 'methodiek' uitgewerkt. Het

⁶Deze meetfouten zijn geen fouten die iemand te verwijten zijn, maar afwijkingen in de metingen door bijvoorbeeld de onnauwkeurigheid van bepaalde meetapparatuur.

benthos in de Voordelta is op twee manieren opgemeten: door middel van een box-core⁷ en doormiddel van een bodemschaaf⁸. In dit onderzoek zal alleen gekeken worden naar de coördinaten van de bemonsteringen en niet gekeken worden naar de monsters zelf van deze monitoring locaties. In dit onderzoek is er voor gekozen om alleen te kijken naar de coördinaten van de box-core metingen. Dit is gedaan, omdat deze metingen op één punt gedaan worden, in tegenstelling tot de bodemschaaf die over een afstand van 150 meter bemonsterd. De in dit onderzoek gebruikte coördinaten van de box-core metingen zijn verkregen via en terug te vinden op de de site (GeoServer)⁹.

⁷ Een box-core is een bemonsteringmethode voor de zeebodem. Met behulp van de box-core zijn monsters van de zeebodem genomen met een oppervlakte van circa 0,078 m² en een diepte van 20 tot 30 cm (Prins et al. b, 2014).

⁸ Een bodemschaaf is een bemonsteringmethode voor de zeebodem. De bodemschaaf heeft over een afstand van circa 150 m gevist, met een mesbreedte van 0,1 m, waarbij de bovenste 7 cm van het sediment is bemonsterd (Prins et al. b, 2014)

⁹ Zie layer preview pmr_benthos.

4. Methodiek

Om tot het uiteindelijke doel van dit onderzoek, wat zijn de bathymetrische en geomorfologische veranderingen in de Voordelta en op de circa 400 NCV-monitoringlocaties in het bijzonder gedurende de periode 2004-2013 en hoe kunnen deze veranderingen verklaard worden, te komen worden in dit onderzoek vijf stappen beschreven. Bij het uitwerken van de vijf stappen is vaak het software programma Quantum Geographic Information System (QGIS) gebruikt. De reden voor het gebruik van deze software is dat met behulp van dit software programma vele soorten data, waaronder grid data, verwerkt kunnen worden. Deze data kunnen vervolgens door middel van kaarten visueel duidelijk gemaakt worden. Een tweede reden voor het gebruik van deze software is dat het makkelijk is om een file van QGIS te openen in ARCMAP, een ander veel gebruikt geografisch informatie systeem. De derde reden is dat Rijkswaterstaat graag wil dat het onderzoek gedaan wordt in QGIS.

De volgende stappen zijn gemaakt in het onderzoek.

- Proces sedimentatie en erosie.
- Bathymetrische en verschilkaarten maken.
- Classificatiekaarten maken van de bathymetrie in de Voordelta.
- De bathymetrische en geomorfologische verschillen in de Voordelta tussen twee periodes bestuderen.
- De bathymetrische verschillen op de circa 400 monitoring locaties bestuderen.

4.1. Proces sedimentatie en erosie

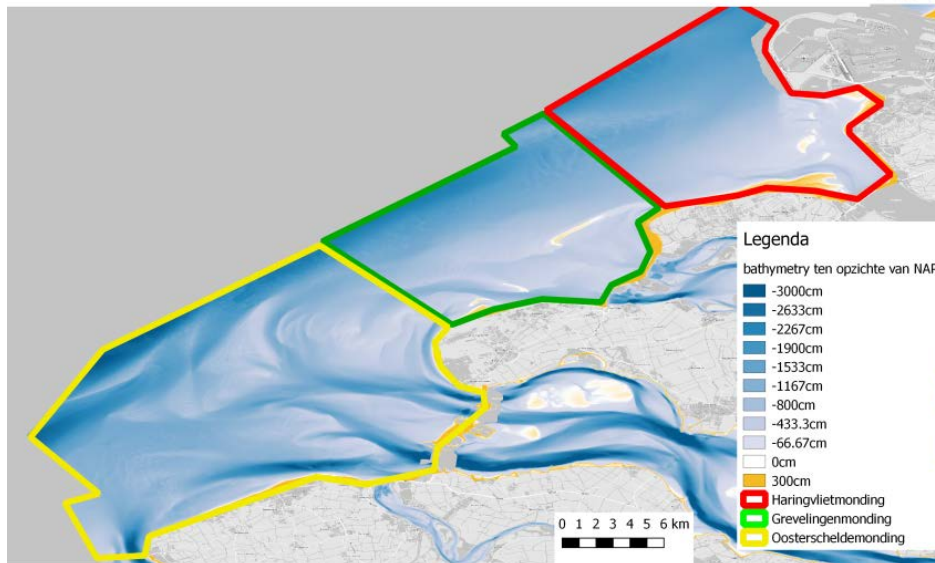
Om een beter begrip te krijgen van de bathymetrische en geomorfologische veranderingen in de Voordelta is het van belang om het proces van sedimentatie en erosie te begrijpen. In de eerste stap is daarom het ontstaan van sedimentatie en erosie en het transport van sediment beschreven. In de eerste paragraaf wordt dit beschreven op deeltjesniveau. Tijdens het onderzoek op deeltjesniveau komt naar voren wat de mogelijke oorzaken van deze verplaatsing van deeltjes kunnen zijn. De mogelijke oorzaken, golven, getij en veranderingen door de mens zullen in betreffende paragrafen worden beschreven.

4.2. Bathymetrische- en verschilkaarten

De bathymetrische kaarten van de Voordelta en de verschil kaarten zijn gemaakt met behulp de vaklodingen en jarkus.

Er is voor gekozen om van de Bathymetrie van elk van de mondingen (Figuur 3) twee kaarten te maken, één van de monding in de periode 2004/2005/2006 en één van de monding in de periode 2012/2013/2014.

Mondingen Voordelta met onderliggende bathymetrykaart 2012/2013/2014



Figuur 3: Mondingen Voordelta.

Periode 1 bevat de kalenderjaren 2004/2005/2006.

Redenen waarom er gekozen is voor dit samengestelde tijdsvak:

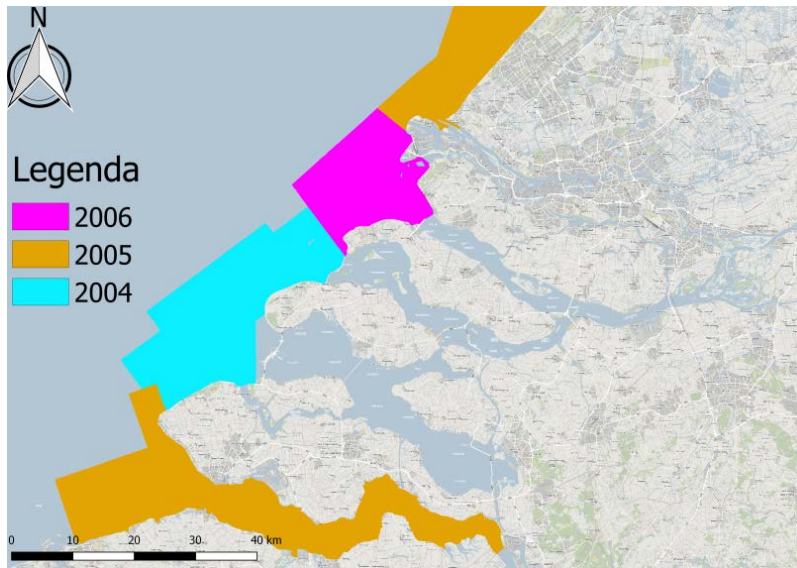
- De eerste nulmetingen van de PMR monitoring zijn in de periode 2004-2005.
- Het rapport van Alkyon (2006) over de geomorfologische veranderingen in de Voordelta gaat tot het jaar 2004.
- Voor de monitoring van de Natuurcompensatie is de situatie voor het begin van de aanleg van de Maasvlakte in 2008 van belang.
- Er is voor gekozen om de kaart van de Voordelta zo compleet mogelijk te maken in een zo klein mogelijke periode

Periode 2 bevat de kalenderjaren 2012/2013/2014.

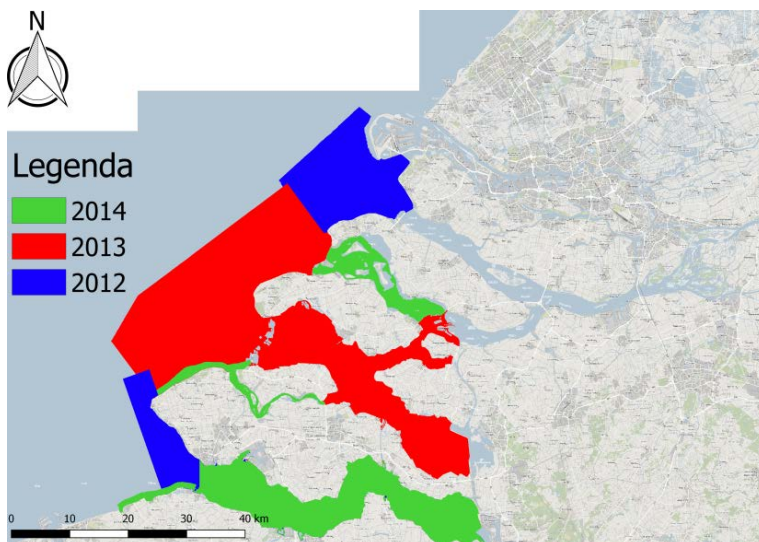
Redenen waarom er gekozen is voor dit samengestelde tijdsvak:

- De eerste fase van de NCV monitoring loopt tot het jaar 2013.
- Er is voor gekozen om de kaart van de Voordelta zo compleet mogelijk te maken in een zo klein mogelijke periode

Wanneer er bij het samenvoegen meerdere vaklodingen of Jarkus beschikbaar zijn van het zelfde gebied, is de meest recente vakloding of Jarkus gebruikt. In de Figuren 4, 5 is te zien uit welk jaar de vakloding of Jarkus komt.



Figuur 4: Weergave jaren vaklodingen en Jarkus periode 1.



Figuur 5: Weergave jaren vaklodingen en Jarkus periode 2.

De uit de vaklodingen en Jarkus voortgekomen bathymetrische kaarten voor periode 1 en periode 2 zijn te vinden in de appendix 7, 8. De hoogtes in de bathymetrische kaarten zijn gemeten ten opzichte van het NAP.

Van elk van de mondingen is ook een verschilkaart gemaakt. De verschil kaarten zijn gemaakt met behulp van de bathymetrische kaarten van periode 1 en periode 2. Bij de verschilkaarten is de hoogte van periode 1 afgetrokken van de hoogte van periode 2. Een voorbeeld: in periode 1 was de hoogte van de bodem op punt A -10 m ten opzichte van het NAP. In periode 2 was de hoogte van de bodem op punt A -4 m ten opzichte van het NAP. De verschilkaart geeft 6 m weer. Deze 6 m is de grootte van de sedimentatie tussen periode 1 en periode 2 op punt A.

4.3. Diepte classificatiekaarten

Voor het maken van de diepte classificatiekaarten zijn er eerst diepte classificaties bepaald. De diepte classificaties zijn als volgt bepaald. Eerst is de geomorfologie tot 2004 aan de hand van het Alkyon (2006) bestudeerd. Daarna zijn de belangrijkste factoren voor het bentische organisme bestudeerd en is bestudeerd waar de bentische organismen zich geomorfologisch gezien bevinden. Vervolgens is bestudeerd wat voor onderscheid de Natura 2000 maakt in de verschillende habitattypes. Als laatste is gekeken op welke dieptes de meeste veranderingen in bodemhoogte zijn.

Na het bepalen van de diepte classificaties zijn er geomorfologische namen aan de verschillende diepte classificaties gehangen. Binnen de Voordelta is er tussen de drie mondingen verschil gemaakt in de geomorfologische benaming in relatie tot de diepte classificaties, daar de gemiddelde diepte van de Haringvlietmonding hoger is dan de gemiddelde diepte van de Oosterscheldemonding (Alkyon, 2006). Na vaststelling van de verschillende diepte classificaties en de gerelateerde geomorfologische namen voor de betreffende mondingen zijn er diepte classificatiekaarten gemaakt.

Deze diepte classificatiekaarten zijn hetzelfde als de bathymetrische kaarten, echter met een andere legenda.

4.4. De bathymetrische en geomorfologische verschillen in de Voordelta tussen de twee periodes

Onderdeel van de doelstelling van dit onderzoeksrapport is om de bathymetrische en geomorfologische verschillen in de Voordelta te beschrijven. Dit is gedaan met behulp van de (diepte) classificatie kaarten van stap 3 en de verschilkaarten.

Met behulp van de classificatie kaarten zijn de grote geomorfologische veranderingen beschreven. En met behulp van de verschilkaarten is de grootte van de veranderingen goed af te lezen. Nadat de bathymetrische veranderingen in de mondingen zijn beschreven is er gekeken wat de eventuele oorzaak van deze veranderingen kan zijn. Hier wordt dus verder gegaan op de onderwerpen die in stap één naar voren zijn gekomen.

Om zowel het rapport van Alkyon (2006) als de in dit onderzoek gevonden resultaten met betrekking tot de geomorfologische veranderingen te valideren is gekeken naar de voorspellingen die in het rapport van Alkyon (2006) zijn gedaan. Deze voorspellingen zijn vergeleken met de verkregen resultaten in dit onderzoek.

4.5. De bathymetrische verschillen op de circa 400 NCV-monitoringlocaties

De laatste stap in dit onderzoek is een antwoord geven op de vraag wat de geomorfologische veranderingen op de circa 400 NCV-monitoringlocaties zijn. Om antwoord te kunnen geven op deze vraag is er gebruik gemaakt van de verscheidene bathymetrische kaarten, verschilkaarten en de coördinaten van de monitoringlocaties. Er is gekozen om alleen naar de coördinaten van de box-core metingen te kijken. Dit is omdat de box-core op één punt wordt gemeten en niet zoals de bodemschaaf over een afstand van 150 m. Daarnaast is, vanwege de tijdslimiet van dit onderzoek, ervoor gekozen alleen naar de monitoringlocaties van het jaar 2004 en 2013 te kijken. Doordat sommige meetlocaties zijn komen te vervallen zijn er locaties die slechts in één van deze twee jaren gemeten zijn. De data van de meetlocaties die maar in één van de twee jaren gemeten zijn, zijn ook niet meegenomen in dit onderzoek. Uiteindelijk zijn er dus 255 van de circa 400 monitoringlocaties uit de jaren 2004 en 2013 onderzocht.

De hoogte van de coördinaten van deze 255 monitoringlocaties in het jaar 2004 zijn af te lezen in de bathymetrische kaart van periode 1. Vervolgens is de hoogte van de coördinaten van de 255 monitoringlocaties uit het jaar 2013 af te lezen in de bathymetrische kaart van periode 2. Hierna zijn de verschillen berekend tussen de hoogtes van de verschillende meetlocaties in 2004 en de hoogtes van de verschillende meetlocaties in 2013. Omdat de meetlocaties soms zijn verplaatst maar nog wel steeds hetzelfde meetpuntidentificatienummer ¹⁰ hebben zijn ook de afstanden tussen de verschillende meetlocaties berekend.

Een voorbeeld van de berekening die uitgevoerd is: meetlocatie A ligt in 2004 op coördinaat (1,1) en de diepte is NAP -5m, meetlocatie A ligt in 2013 op coördinaat (1,2) en de diepte is NAP -6m. Dit betekent dat de hoogte -1m is veranderd en dat de afstand tussen de meetlocaties 1m is. De resultaten hiervan zijn te vinden in een tabel die te vinden is in appendix 13. De monitoringlocaties met een hoogteverschil van meer dan 1 meter tussen 2004 en 2013 zijn vervolgens beschreven in in paragraaf 7.4. 'Geomorfologische veranderingen onder de NCV-monitoringlocaties'.

Voor het meenemen van de geomorfologische eenheden zijn de monitoringlocaties over de classificatiekaarten en verschilkaarten gelegd en bestudeerd. Omdat dit handmatig wordt gedaan is het in het kader van dit rapport niet reëel om alle punten te belichten, en is er voor gekozen één monitoringlocatie (322), waarbij het verschil in geomorfologische verandering tussen periode 1 en periode 2 duidelijk zichtbaar is, te beschrijven (subparagraaf 7.4.5 'monitoringlocatie 322').

¹⁰ Elk van de NCV-monitoringlocaties heeft een meetpuntidentificatienummer waarmee je de verschillende monitoringlocaties kan onderscheiden.

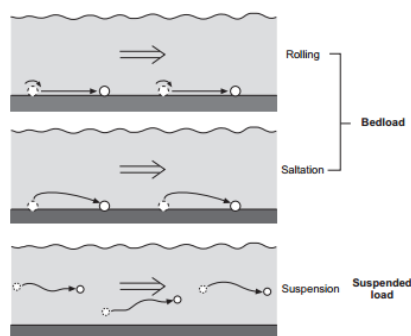
5. Oorzaak geomorfologische veranderingen

Veranderingen in de geomorfologie hebben hun oorzaak in sedimentatie en erosie. De sedimentatie en erosie hebben hun oorzaak in de stroming van het water. Deze stromingen worden veroorzaakt door de golven en het getij. Soms verandert de stroming door het toedoen van menselijk handelen.

5.1. Sedimentatie en erosie

De verplaatsing van marien sediment kan op drie verschillende manieren (Figuur 6). Zo kan een deeltje over de bodem rollen, kan een deeltje over de bodem springen en kan een deeltje gesuspendeerd zijn in het zeewater. Wanneer het deeltje over de zeebodem springt of rolt heet dit bodemtransport en wanneer het deeltje is gesuspendeerd noemt men dit vaak gesuspendeerd transport. Het onderscheid tussen bodemtransport en gesuspendeerd transport wordt meestal gemaakt bij een korrelgrootte van $50\mu\text{m}$ (van Rijn, 2006). Bij lage snelheden zullen alleen kleine deeltjes, fijn slib en klei, en deeltjes met een lage dichtheid verplaatst worden. De grote deeltjes en of deeltjes met een hogere dichtheid zullen zich dan voortbewegen doormiddel van springen en rollen. Bij hogere snelheden zullen zanddeeltjes met een hogere dichtheid en grootte, en slibdeeltjes zich ook voortbewegen via gesuspendeerd transport. Door deze hogere snelheden zullen korrels en fijne kiezelstenen zich verplaatsen via bodemtransport (Nichols, 2009). De verhouding tussen stroomsnelheid en transport van een bepaald deeltje is te vinden in de appendix 2. De minimale snelheid waardoor een deeltje wordt meegenomen in de stroming is de kritische snelheid (Nichols, 2009). Dit betekent dat op dat moment de vloeistofkracht op het deeltje groter is dan de weerstandkracht op het deeltje. Voor de weerstandkracht zijn drie krachten van belang. Je hebt een lift component van het water (Bernoulli effect), de zwaartekracht die het deeltje naar beneden trekt en de bodemfrictie.

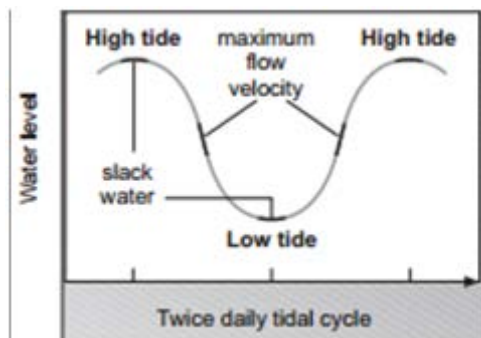
In eenvoudige vorm: wanneer de kritische snelheid niet groot genoeg meer is om het deeltje voort te bewegen zal het deeltje naar de bodem zakken, we spreken dan van sedimentatie. Erosie ontstaat wanneer een deeltje in beweging wordt gezet en zich gaat verplaatsen om ergens anders weer naar de bodem te zakken. Als een korrel gesedimenteerd is is er meer energie voor nodig om het te verplaatsen dan voor een deeltje dat al in beweging is (Nichols, 2009). Een deeltje zal geërodeerd worden wanneer de bodemschuifspanning, veroorzaakt door de stroming of de golven, groter wordt dan de kritische waarde voor erosie. Deze kritische waarde is erg afhankelijk van de mineralensamenstelling, de organische materialen, het zoutgehalte, de dichtheden etc. (van Rijn, 2006). Voor de Voordelta geldt dat het sediment voornamelijk bestaat uit fijn tot gemiddeld zand (Terwindt, 1973).



Figuur 6: Verplaatsing sediment (Nichols, 2009).

5.2. Invloed getij

Zandtransport in een kust gebied kan veroorzaakt worden door verschillende hydrodynamische processen zoals wind, golven en getij (van Rijn, 2006). In het geval van de Voordelta geldt dat de meest invloedrijke mechanismes het getij en de golven zijn (Elias et al., 2016). In de Voordelta is het getij voornamelijk mesotidal, dit betekent dat het verschil in verticale getij tussen eb en vloed 2 tot 4 meter is. Het horizontale getij in de Voordelta beweegt parallel aan de kust met de vloedstroom in noordoostelijke richting. Bij het wisselen van eb en vloed en visa versa komen de hoogste stroomsnelheden voor (Figuur 7). Gesuspendeerde deeltjes zullen op de momenten van lage snelheid, wanneer het eb of vloed is, naar de bodem zakken. Bij hoge snelheden, tijdens het wisselen van eb en vloed, eroderen deze deeltjes (van Rijn, 2006). Echter wanneer de kleine deeltjes zoals klei en slib op de bodem zakken kan het zijn dat, doordat deze deeltjes samenhangend zijn, ze resistent zijn tegen deze eroderende werking (Nichols, 2009). Het beschreven proces van sedimenteren en eroderen doormiddel van het getij is nog erg onnauwkeurig. Zo moet er ook rekening worden gehouden met het feit dat bij de maximale watersnelheid het sedimenttransport niet gelijk ook maximaal is. Daarnaast moet er ook rekening worden gehouden met andere processen zoals bijvoorbeeld golven die kunnen zorgen dat er erosie of sedimentatie plaats vindt (van Rijn, 2006).



Figuur 7: Stroomsnelheden bij het getij (Nichols, 2009).

5.3. Invloed golven

De oorzaak van golven is over het algemeen de wind die over het zeeoppervlak waait (KNMI). In Nederland is de zuidwestelijke wind de overheersende windrichting (KNMI, 2009).

Zoals eerder al genoemd is bij getijstromingen het transport van gesuspendeerde deeltjes van het meeste belang. De invloed van de golven is vooral dat ze het sediment in suspensie brengen waarna de getijstroom het verder kan transporteren. Daarnaast kan de golfbeweging zelf ook sediment transporteren. Voor de ondiepe surfzone¹¹ waar de golfbeweging groot is in verhouding tot de gemiddelde stroming, is het bodemtransport het meest van belang. De ruwheid van het zeebed heeft een grote invloed op dit bodemtransport (van Rijn, 2006).

Over het algemeen geldt dat de korte golven¹² zorgen voor het sturen van de richting van het sediment, en de lange golven¹³ voor het sediment transport zelf (van Rijn, 2006).

¹¹ het gebied waar de golven breken

¹² Golf lengte is kleiner dan 2 keer de bodemdiepte (een voorbeeld hiervan is een golf geproduceerd door de wind)

¹³ Golf lengte is veel groter dan de bodemdiepte (een voorbeeld hiervan is een getijgolf).

5.4. Veranderingen door de mens

Vaak hebben snelle veranderingen in morfologische patronen hun oorsprong in het menselijk handelen (van Rijn, 2006). Vanaf 1950 zijn er veel menselijke bouwwerken geplaatst om de veiligheid in het Deltagebied te vergroten. Dit proces kwam in een versnelling na de waternoodramp in 1953 (Stichting Deltawerken Online). De Deltawerken hebben grote invloed gehad en hebben dit nog steeds op geomorfologische veranderingen in de voordelta (Elias et al., 2016). De data van wanneer de bouw van de afzonderlijke deltawerken voltooid is zijn te vinden in Tabel 3 en de deltawerken zelf zijn afgebeeld in Figuur 8. Naast de deltawerken zijn er ook twee uitbreidingen van de Rotterdamse havens gerealiseerd, de Maasvlakte(1964-1976) en de Maasvlakte2(2008-2013) (Elias et al., 2016).

Ten zuiden van de Maasvlakte is tussen 1986-1987 het slibdepot Slufter aangelegd en de geul Hindergat gebaggerd (de Winter, 2014).

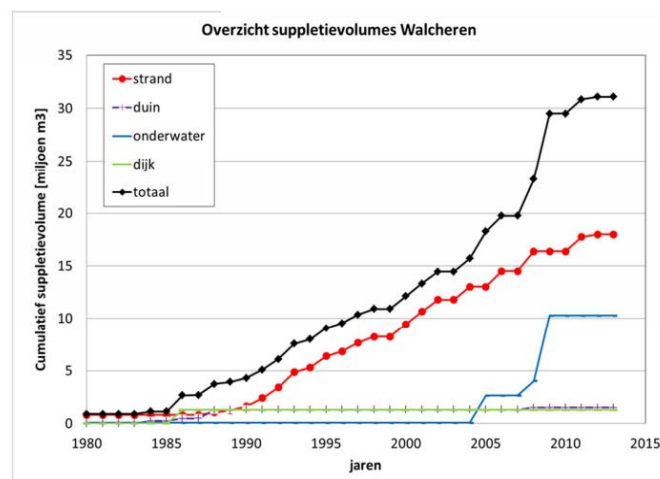


Figuur 8: Deltawerken.

Naast de bouwwerken die gebouwd zijn, is en wordt er tot op de dag van vandaag in het gebied sediment verplaatst. Zo wordt er in de geul Slijkgat sediment gebaggerd tot een diepte van circa 5 meter en wordt het sediment op een andere locatie gestort. Waar er in het Slijkgat gebaggerd wordt en waar het sediment gestort wordt kan men zien in appendix 3.

Om de basiskustlijn te handhaven worden er regelmatig zandsuppleties uitgevoerd. Voor en op de kusten van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden.

Een voorbeeld is de suppleties bij Walcheren. Tussen 1984-2008 is dit ongeveer 31 miljoen m³. 11 miljoen hiervan is gesuppleerd tussen Westkapelle en Oranjezon. In Figuur 9 is te zien waar het zand gesuppleerd is (Elias et al., 2014).



Figuur 9: Overzicht suppletievolumes Walcheren (Elias et al., 2014).

Tabel 3: Deltawerken (Stichting Deltawerken Online) (Rijkswaterstaat).

jaar	Deltawerken
1958	Stormvloedkering Hollandse IJssel
1960	Zandkreekdam
1961	Veerse gatdam
1965	Grevelingendam
1969	Volkerakdam
1971	Haringvlietdam
1971	Brouwersdam
1983	Markiezaatskade
1986	Oosterscheldekering
1987	Oesterdam
1987	Philipsdam
1997	Maeslantkering
1997	Hartelkering

6. Diepte classificaties voor de geomorfologie in de Voordelta

In dit hoofdstuk zal de meest geschikte diepte classificatie voor de morfologie in de Voordelta besproken worden. Dit zal aan de hand van de volgende zaken gedaan worden:

- De in het verleden aanwezige geomorfologie, zoals die in Alkyon (2006) besproken is.
- De belangrijke factoren voor het bentische organisme en waar de bentische organismen geomorfologisch gezien zitten.
- Indeling van habitattypes naar bodemdiepte.
- Bij welke bodemdieptes zullen de meeste veranderingen plaatsvinden.

6.1. Geomorfologische informatie

(Alkyon, 2006)

Het merendeel van de volgende tekst is verworven uit het rapport Alkyon (2006). Bij het opstellen van het rapport van Alkyon is veel kennis gebruikt uit eerder gemaakte rapporten van het gebied. In het rapport van Alkyon komen de morfologische veranderingen tussen 1964-2004 aan bod. Hierin worden ook de geomorfologische elementen beschreven die tot 2004 aanwezig zijn.

De monding van het Haringvliet

(Alkyon, 2006) (Stam et al., 2002)

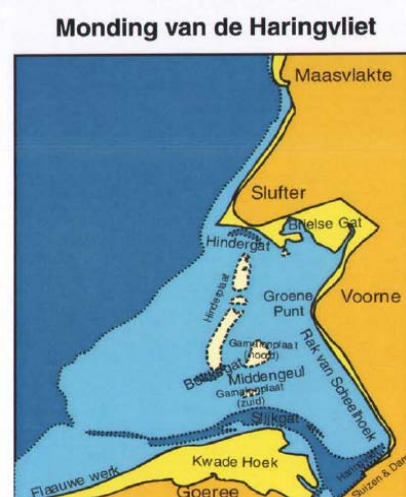
De monding van het Haringvliet is een ondiep gebied waarvan ongeveer 50% tussen de NAP -5 en -2,5m ligt.

In het noorden van de Haringvlietmonding ligt het voormalige Brielse Gat, dat nu een intergetijdegebied¹⁴ is.

Ten zuidwesten van dit intergetijdegebied liggen de Hinderplaat en de Garnalenplaat. Deze platen zijn te zien als de wit/grijze gebieden in Figuur 10. De Hinderplaat is een intergetijde plaat waarvan een klein gedeelte boven het

gemiddelde hoogwater ligt, waardoor dit deel van de plaat tijdens hoogwater droog blijft, met uitzondering van hoogwater tijdens springtij en stormen. De Garnalenplaat is verdeeld in een noordelijk en zuidelijk stuk. Deze twee delen zijn gesplitst door de relatief ondiepe Middengeul. Op het Bokkegat na lopen alle getijgeulen aan de randen van de Haringvliet monding. In het zuiden is de getijgeul Slijkgat te vinden, in het noorden het Hindergat en in het oosten het Rak van Scheelhoek. Het Bokkegat ligt ten zuiden van de Hinderplaat.

In het zuiden van de Haringvlietmonding ligt de Kwade Hoek, dit gebied bestaat uit zandplaten en duinregels die boven gemiddeld hoogwater uitsteken.



Figuur 10: Monding van het Haringvliet (Stam et al., 2002).

Monding van de Grevelingen



Figuur 11: Monding van de Grevelingen (Alkyon, 2006)

¹⁴Intergetij betekent dat een gebied tijdens hoogtij onderloopt en tijdens laagtij droog komt te liggen.

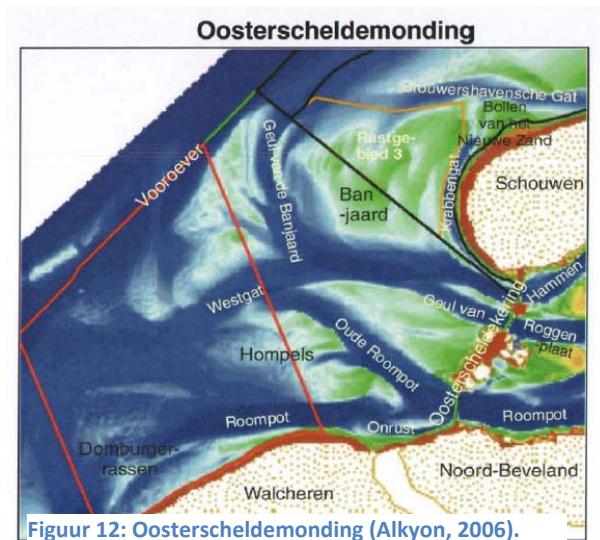
De monding van de Grevelingen
(Alkyon, 2006)

De monding van de Grevelingen is net als de monding van het Haringvliet een ondiep gebied tussen de NAP -5 en -2,5m (Figuur 11). Dit ondiepe gedeelte heeft een relatief steile helling richting de Noordzee, Vooroever. In het ondiepe gebied liggen vier platen; Bollen van de Ooster, Aardappelenbult, Middelplaten en de Bollen van het Nieuwe Zand.

In het zuiden van de monding ligt een getijgeul met een diepte tot ruim NAP -10m genaamd Brouwershavensche Gat. Daarnaast zijn de getijgeulen Schaar(noorden) en Kous(midden) te vinden in de monding.

De monding van de Oosterschelde
(Alkyon, 2006)

De Oosterscheldemonding wordt gekarakteriseerd door Getijgeulen (Figuur 12). Hiervan zijn de Roompot, de Oude Roompot, het Westgat, de Geul van de Banjaard, de Hammen, het Krabbengat en de Schaar de belangrijkste 7 getijgeulen. De maximale dieptes van deze getijgeulen is 15 tot 23m. Tussen de geulen liggen de verschillende ondieptes met daarop de platen Banjaard, Noordland, de Hompels en de Domburger Rassen. Bij de Oosterscheldekering liggen ontgrondingskuilen met een maximale diepte van ongeveer NAP -53m in 2001.



Figuur 12: Oosterscheldemonding (Alkyon, 2006).

De monding van de Westerschelde
(Alkyon, 2006)

De Westerscheldemonding heeft een duidelijk V-vorm (Figuur 13). De V wordt gevormd door drie getijgeulen. In het zuiden ligt de getijgeul Wielingen en in het noordoosten liggen de getijgeulen Geul van de Rassen en de geul Deurloo-oost. Tussen deze geulen ligt de ondiepte de Raan. De ondiepte de Raan ligt met een diepte van tussen de NAP -10 en -2m dieper dan de ondieptes van de Oosterscheldemonding. Op de ondiepte Vlake van de Raan liggen de hoger gelegen delen Rassen en Nolleplaat. Tussen Rassen en Nolleplaat ligt een lang smal platencomplex met een hoogte tussen de NAP -3 en -2m. Ten noorden van dit platencomplex ligt het Bankje van Zoutelande met een hoogte tussen de NAP -5 en -1m. Verder zijn er in het gebied nog de geulen Oostgat (noord-oost), Walvisstaart (midden), Deurloo-west (noorden), Spleet (zuiden).

Westerscheldemonding



Figuur 13: Westerscheldemonding (Alkyon, 2006).

6.2. Geomorfologie en benthos

In het onderzoek van Craeymeersch et al. b (1990) wordt vastgesteld dat de toekomstige geomorfologische ontwikkeling de belangrijkste sturende factor voor de ecologie zal zijn. Dit betekent dat de belangrijkste sturende factoren de sedimentsamenstelling, de diepte en de hydrodynamiek zijn (Prins et al. b, 2014). Voor de verschillende soorten benthos zijn verschillende factoren meer of minder van belang. Zo is bijvoorbeeld voor het hyperbenthos de hydrodynamiek belangrijker dan de sedimentsamenstelling, terwijl bij meiofauna gemeenschappen korrelgrootte de belangrijkste factor is (Craeymeersch et al. b, 1990). Voor de definitie van de gebruikte ecologische termen zie Tabel 4. In dit onderzoek zal niet de correlatie tussen de sedimentsamenstelling en het benthos worden onderzocht. Wel zal aan de hand van de morfologie enigszins de sedimentsamenstelling voorspeld kunnen worden. De hydrodynamiek is meestal gecorreleerd aan de morfologie en daarom zal het in dit rapport beschreven onderzoek helpen bij het bestuderen van de correlatie tussen hydrodynamiek en het benthos. Volgens Craeymeersch et al. a (1990) zijn van het macrobenthos de grootste soortenrijkdom, de hoogste dichtheden en de hoogste biomassawaarden te vinden op de overgangen van plaat naar geul en de overgangen naar dieper zeegebied. De geulen zijn rijker in hogere dichtheden en biomassa van het benthos dan de platen. Hier moet wel onderscheid worden gemaakt in het hyperbenthos, het macrobenthos en de meiofauna. Deze verschillen in biomassa en dichtheden voor de geulen en platen zijn namelijk bij het hyperbenthos een stuk minder goed te onderscheiden. De verschillen in dichtheden bij het hyperbenthos moeten meer gezocht worden in het geografisch karakter. Dit geografisch karakter splitst zich in drie deelgebieden: Grevelingen buitendelta, Banjaardgebied en rest Oosterschelde buitendelta (Craeymeersch et al. a, 1990).

Tabel 4: Definitie ecologische termen.

Termen	Definitie
benthos	verzamelnaam voor alle organismen die leven op en in de bodem van zoete en zoute wateren.
hyperbenthos	benthische organismen die net boven het sediment leven.
macrobenthos	benthische organismen groter dan 1 mm.
meiofauna	benthische organismen die wel door een net kunnen van 1mm maar niet door een net van 30µm.

6.3. Habitattypes

Natura 2000 is onderverdeeld in Vogel- en Habitatrichtlijnen. De Habitatrichtlijnen zijn weer onderverdeeld in verschillende habitattypes. In de Voordelta liggen voornamelijk gebieden van habitatype 1110. Dichter bij de kust van de Voordelta liggen enkele gebieden met habitatype 1140.

Habitatype 1110 bestaat uit permanent met zeewater van geringe diepte overstroomde zandbanken (Ministerie van economische zaken a). Het water in deze gebieden is zelden dieper dan 20meter, enkel in de geulen kan het af en toe dieper zijn dan deze 20m. Habitatype 1110 heeft de subcategorieën H1110a, H1110b en H1110c. Habitatype 1110a en b zitten voornamelijk in

dieptelagen NAP -20m tot Lowest Astronomical Tide(LAT)¹⁵. In de Voordelta ligt dit Lowest Astronomical Tide ongeveer gemiddeld 1.5m onder NAP. In Habitatype 1110a kan het in de geulen plaatselijk dieper zijn dan NAP -20m. Habitatype 1110c kan men niet terugvinden in de Voordelta en is daarom niet van belang voor dit onderzoek.

Habitatype 1140 gebieden bestaan uit slik- en zandplaten. Deze gebieden bevinden zich tussen hoog- en laagwater. De benedengrens wordt gevormd door de eerder genoemde Lowest Astronomical Tide en de bovengrens wordt gevormd door de gemiddelde hoogwaterlijn. Habitatype 1140 heeft de subcategorieën H1140a en H1140b. Deze subcategorieën verschillen niet in diepteligging (Ministerie van economische zaken b).

Debegrenzing tussen H1140 en H1110 is het Lowest Astronomical Tide. Boven deze laagwaterlijn liggen de habitat H1140 types en beneden de laagwaterlijn liggen de H1110 types. De verschillende habitatypes met hun diepteliggingen zijn onder elkaar gezet in Tabel 5.

Tabel 5: Habitatypes (Ministerie van economische zaken a) (Ministerie van economische zaken b).

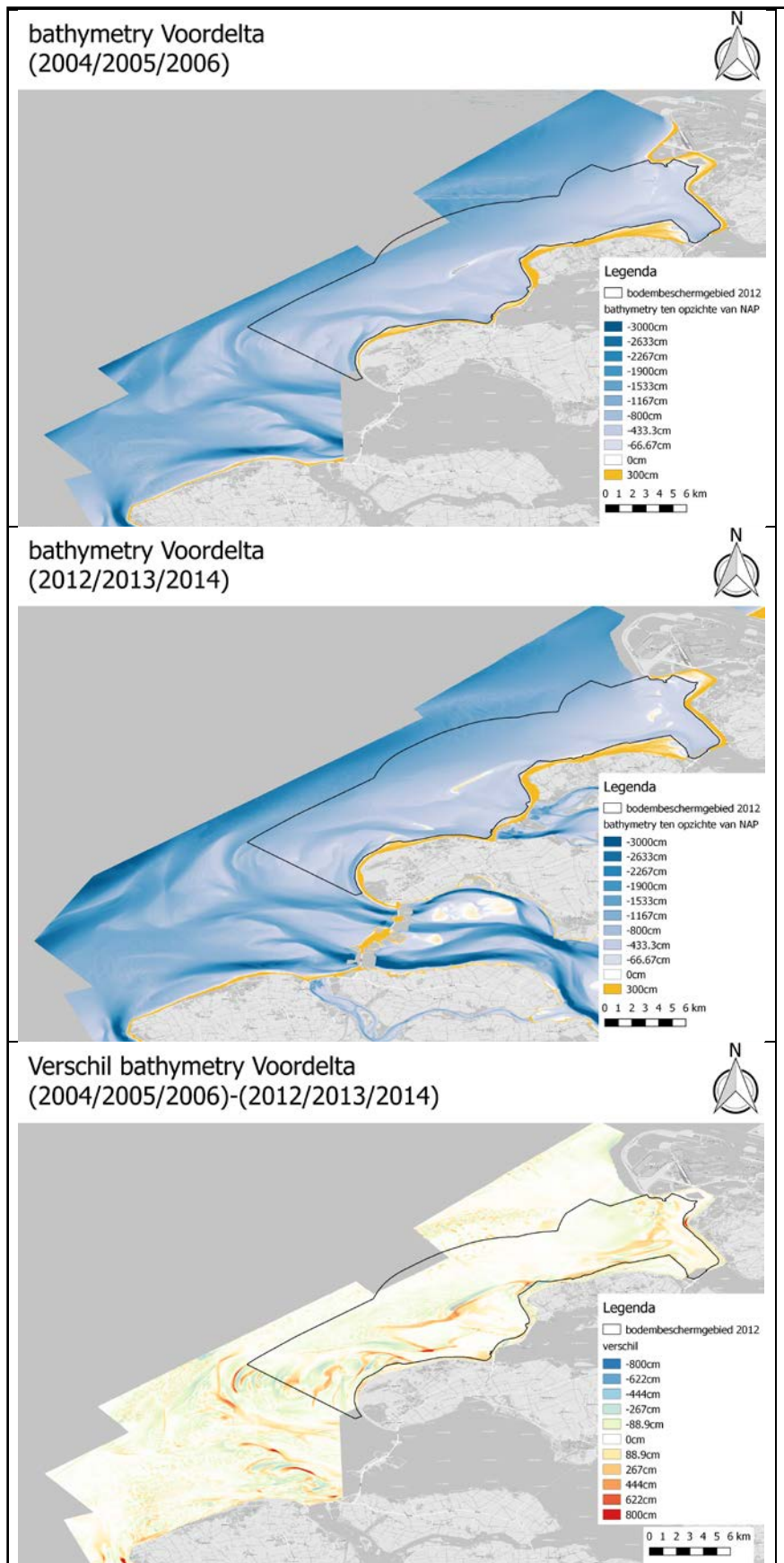
Habitatype	Definitie	Diepteligging
1110a	Permanent overstroomde zandbanken (getijdengebied)	Tussen NAP -20m en LAT
1110b	Permanent overstroomde zandbanken (Noordzee-kustzone)	Tussen NAP -20m en LAT
1140a	Slik- en zandplaten (getijdengebied)	Boven LAT
1140b	Slik- en zandplaten (Noordzee-kustzone)	Boven LAT

6.4. Morfologische veranderingen

Bij het vergelijken van de bathymetrie tussen periode 1 en periode 2 is gebleken dat er in het bodembeschermingsgebied voornamelijk sedimentatie en erosie is geweest op de hoger gelegen delen (Figuur 14). Deze hoger gelegen delen liggen vaak tussen de NAP -8 en 0m. Er zijn echter ook gebieden waar erosie en sedimentatie in dieper gelegen delen heeft plaatsgevonden. Zo is bijvoorbeeld ten zuiden van het bodembeschermingsgebied bij de monding van de Oosterschelde voornamelijk sedimentafzetting in de diepere geulen tussen de NAP -20 en -12m geweest. Er is ook in dit gebied veel sedimentafzetting op de hoger gelegen randen van de geulen.

De hoger gelegen delen van het bodembeschermingsgebied, waar het grootste gedeelte van de sedimentatie is, zijn voornamelijk de aangewezen rustgebieden, het gebied ten oosten van het rustgebied Bollen van het Nieuwe Zand en ten zuiden van het rustgebied Hinderplaat. De plekken met erosie liggen net als de plekken met sedimentatie op de hoger gelegen gebieden die veelal rustgebieden zijn. De plekken met erosie liggen veelal hoger dan de plekken met sedimentatie.

¹⁵ De laagst mogelijke waterstand gebaseerd op de stand van zon en maan. De LAT in de Voordelta is te zien in de appendix 4. De gemiddelde waarde in de Voordelta is ongeveer -1,5m NAP.



Figuur 14: Bathymetrische- en verschil kaart(en) Voordelta. Let op! Bij de verschilkaarten moet het streepje tussen de periodes gelezen worden als het woord 'tussen' en niet als teken min. Het blauw in de verschilkaarten is erosie tussen de periodes. Het rode is sedimentatie tussen de periodes.

6.5. Diepte classificaties

Wanneer de verschillende onderdelen van het categoriseren vergeleken worden dient er rekening gehouden te worden met het gegeven dat alleen het noorden van de Westerscheldemonding nog enigszins in de Voordelta ligt. De geomorfologische elementen van de Westerscheldemonding zullen daarom niet erg van belang zijn, omdat deze buiten de Voordelta liggen, maar zijn voor de volledigheid wel toegevoegd.

Diepte classificaties

De begrenzing tussen habitattype H1140 en habitattype H1110 is het Lowest Astronomical Tide.

Daarom is voor de onderwaarde van het eerste diepte classificatie de gemiddelde LAT (NAP -1.5m) waarde gebruikt (Figuur 15).

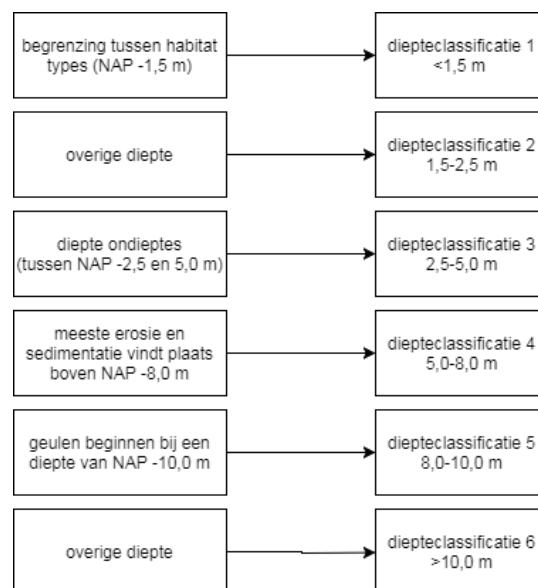
In de beschrijving door Alkyon (2006) van de in het verleden aanwezige geomorfologie worden ondieptes vaak genoemd.

Daarom is bij de derde diepte classificatie rekening gehouden met de diepteligging van de meeste ondieptes. De meeste ondieptes en ook de derde diepte classificatie liggen tussen NAP -5.0 en -2.5m. Uit het bestuderen van de gemaakte bathymetrische kaarten is gebleken dat de meeste verschillen boven NAP -8m liggen, de vierde diepte classificatie houdt hier rekening mee.

Bij de vijfde diepte classificatie is rekening gehouden met het feit dat de meeste geulen bij een diepte van NAP -10m beginnen.

Vervolgens zijn diepte classificatie twee (tussen NAP -1.5 en 2.5m) en diepte classificatie zes (dieper dan NAP -10m) toegevoegd om de overige waarden te dekken.

Benaming diepte classificaties.



Figuur 15: Samenstelling diepte classificaties.

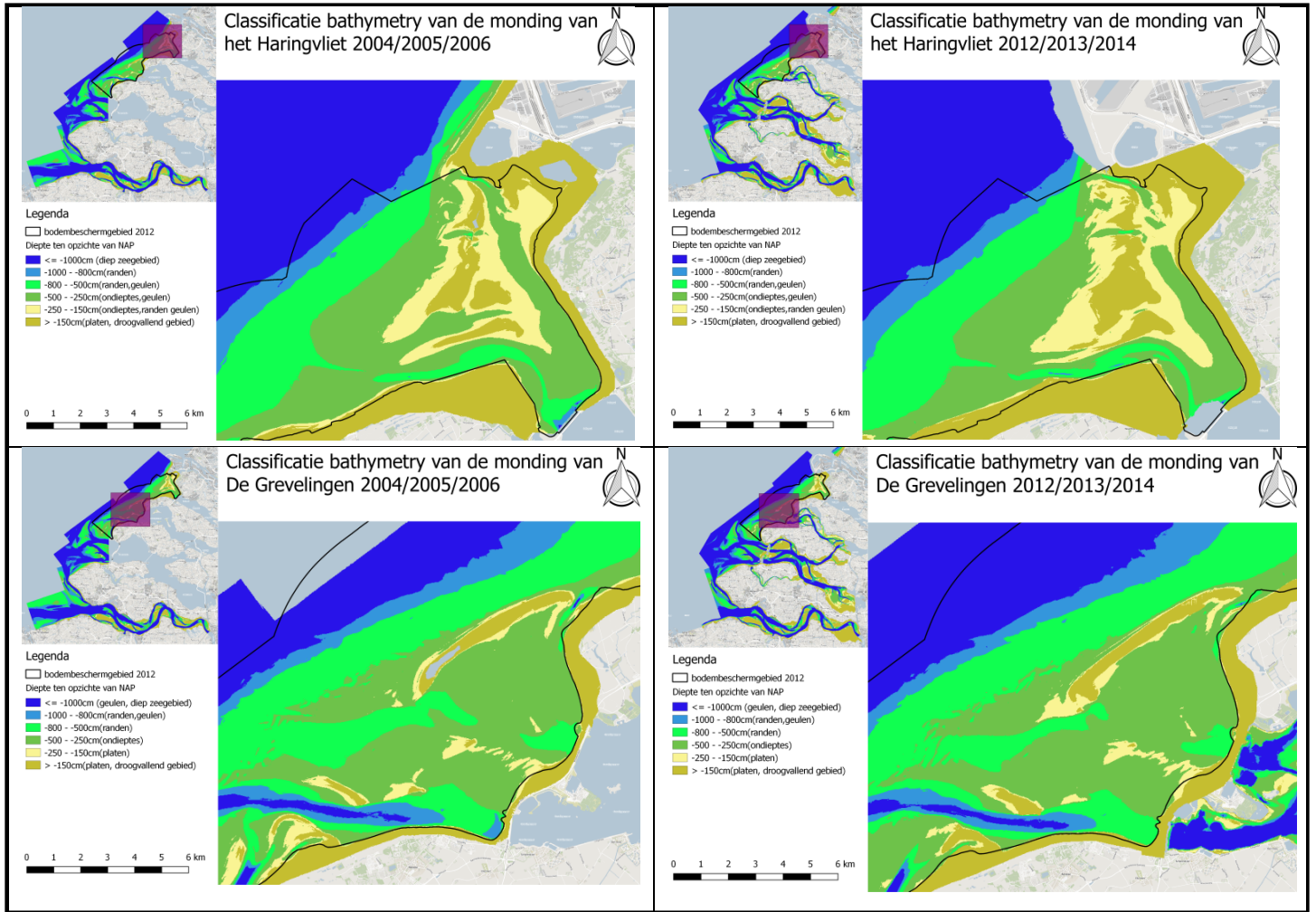
De in dit onderzoek gebruikte benamingen voor diepte classificaties van de verschillende mondingen zijn: droogvallend gebied, platen, ondieptes, overgang van randen naar ondieptes, randen, geulen, dieper zeegebied.

De benamingen van de geomorfologische eenheden ondieptes, platen, geulen zijn gebaseerd op de eerder gebruikte namen voor de eenheden van het eindrapport van Alkyon (2006). "Droogvallend gebied" is gebaseerd op het LAT. De benaming van de geomorfologische eenheid "randen" komt voort uit het rapport van Craeymeersch et al. a (1990). De benaming dieper zeegebied is gebruikt om de gebieden dieper dan NAP -10 m die niet als geul gelden een naam te geven. De gebruikte geomorfologische benaming zal per monding ten opzichte van de diepte classificatie verschillen. De geomorfologische benaming "geul" zal in de monding Haringvliet in diepte classificatie 4 vallen en de geomorfologische benaming "geul" in de monding Oosterschelde zal in diepte classificatie 6 vallen.

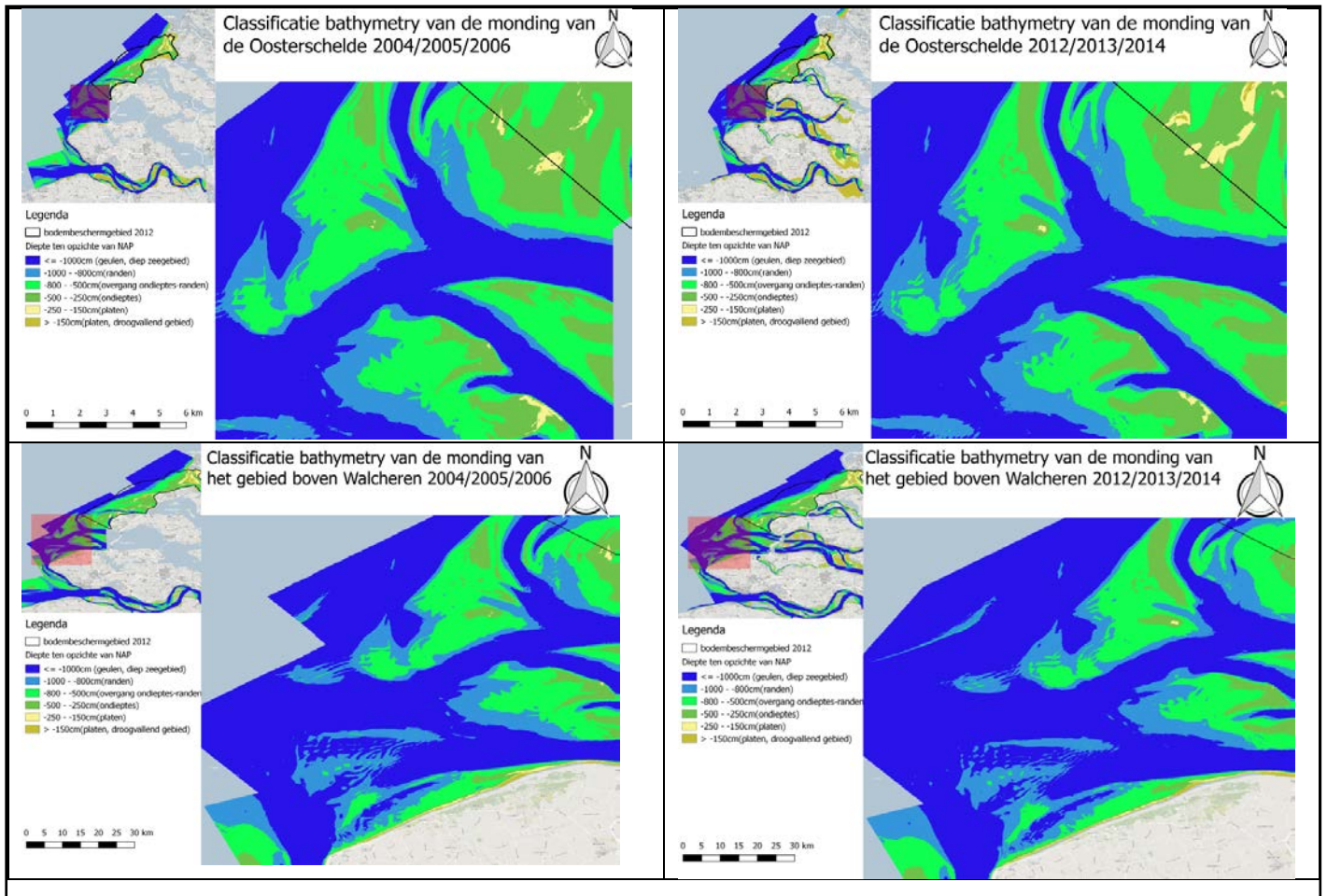
In Tabel 6 zijn als voorbeeld de diepte classificaties met de bijbehorende benamingen van de Oosterscheldemonding te vinden. De uiteindelijk gemaakte diepte classificatie kaarten van alle mondingen zijn te vinden in de Figuren 16, 17.

Tabel 6: Diepteclassificaties.

	Diepte in meters ten opzichte van NAP	Voorbeeld van benaming Oosterscheldemonding
1	<1,5	Platen, droogvallend gebied
2	1,5-2,5	Platen
3	2,5-5,0	Ondieptes
4	5,0-8,0	Overgang van randen naar ondieptes
5	8,0-10,0	Randen
6	>10	Geulen/dieper zeegebied



Figuur 16: Classificatiekaarten Haringvlietmonding en Grevelingenmonding.



Figuur 17: Classificatiekaarten Oosterscheldemonding.

7. De geomorfologische veranderingen in de Voordelta

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de veranderingen in de bathymetrie in de Voordelta zijn. De mogelijke oorzaken van deze veranderingen worden beschreven en de gevonden veranderingen in geomorfologie worden vergeleken met de voorspellingen van Alkyon (2006). Als laatste worden de geomorfologische en bathymetrische veranderingen onder de 255 monitoring locaties beschreven.

7.1. Veranderingen in de bathymetrie van de Voordelta tussen periode 1 en periode 2

7.1.1. De monding van het Haringvliet

Het grootste verschil dat bij de classificaties van de bathymetrie van de monding van het Haringvliet gezien kan worden is dat de Hinderplaat en de noordelijke Garnalenplaat in de tweede periode als één grote plaat beschouwd kunnen worden (Figuur 16). Daarmee is ook het droogval gebied in omvang gegroeid. De overige veranderingen in de monding van het Haringvliet tussen de periodes periode 1 en periode 2 worden hieronder beschreven.

Hinderplaat

De Hinderplaat is over het algemeen 20cm dieper komen te liggen. Er zijn ook kleine gebieden op de Hinderplaat die 3 meter dieper zijn komen te liggen (Figuur 18). Landinwaarts gekeken is het gebied achter de Hinderplaat 1-2m in hoogte toegenomen. Hieruit kan afgeleid worden dat de Hinderplaat hoogstwaarschijnlijk zich in oostelijke richting aan het verschuiven is.

Garnalenplaat

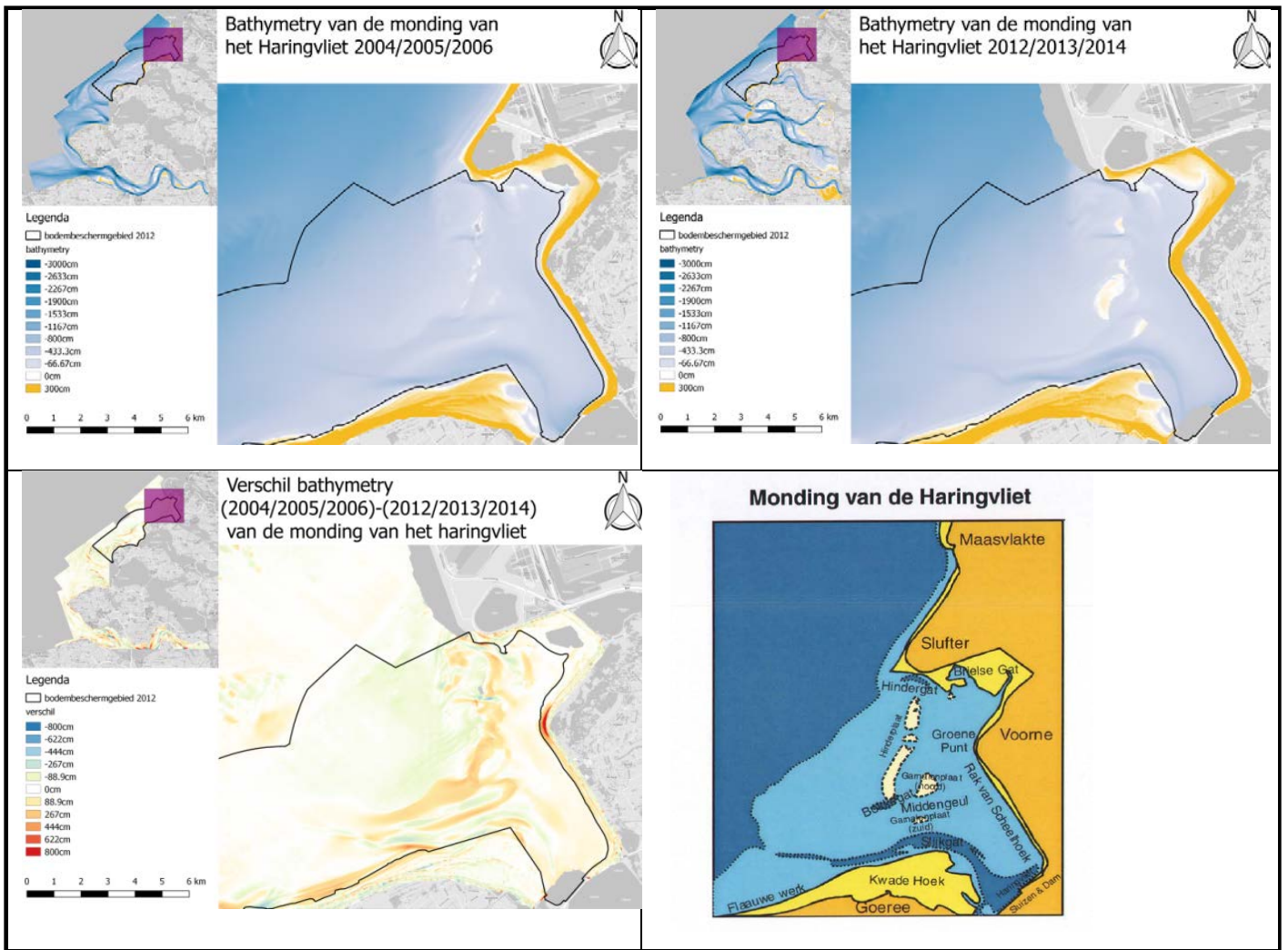
Net als de Hinderplaat is de Garnalenplaat dieper komen te liggen. Hoeveel de Garnalenplaat dieper is komen te liggen verschilt tussen het noordelijk deel en het zuidelijk deel. Het noordelijke deel is ongeveer 15cm dieper komen te liggen. Het zuidelijke deel is tussen de 0.6-1m dieper komen te liggen. In de gebieden ten oosten en ten zuiden van de noordelijke plaat heeft 0.5-1m sedimentatie plaatsgevonden. In de gebieden ten zuiden en ten oosten van de zuidelijke plaat heeft ook sedimentatie plaatsgevonden in de orde grootte van 1-2m. Met deze gegevens kan met grote waarschijnlijkheid gezegd worden dat de Garnalenplaat zich in zuidoostelijke richting beweegt.

Slijkgat

De geul Slijkgat is smaller en dieper geworden. Er heeft voor ongeveer 0.5-1m erosie in de geul plaatsgevonden en aan de noordkant(dicht bij de zuidelijke Garnalenplaat) heeft er 1-2m sedimentatie plaatsgevonden.

Rak van Scheelhoek

In het oosten van de monding van het Haringvliet bij de geul Rak van Scheelhoek heeft sedimentatie plaatsgevonden. Dit gebied is ongeveer 20 tot 40cm in hoogte gestegen.



Figuur 18: Bathymetrische- en verschilkaart(en) Haringvlietmonding. Let op! Bij de verschilkaarten moet het streepje tussen de periodes gelezen worden als het woord ‘tussen’ en niet als teken min. Het blauw in de verschilkaarten is erosie tussen de periodes. Het rode is sedimentatie tussen de periodes.

7.1.2. De monding van de Grevelingen

Bij de classificaties van de bathymetrie in de monding van de Grevelingen zijn minder opvallende verschillen waar te nemen dan in het Haringvliet. Het meest opvallende verschil is dat de Aardappelenbult en de Bollen van de Ooster enigszins aan elkaar zijn gegroeid. De verdere veranderingen tussen periode 1 en periode 2 zijn hieronder beschreven.

Bollen van de Ooster

Aan de noordzijde van de Bollen van de Ooster heeft erosie plaatsgevonden, hiermee is de bodem daar 2-3 m dieper komen te liggen (Figuur 19). Aan de zuidkant van de Bollen van de Ooster heeft sedimentatie plaatsgevonden waarmee het gebied juist 2 -3m hoger is komen te liggen. Vanuit de samenhang tussen deze erosie en de plaatsing van sedimentatie bij de Bollen van de Ooster kan er van uit worden gegaan dat de Bollen van de Ooster zich in zuidoostelijke richting verplaatst.

Middelplaten

Ten noorden van de Middelplaten heeft sedimentatie plaatsgevonden wat resulteerde in een stijging van de bodem met 1-2 m in dit gebied. Ook in het midden heeft er, in een langwerpige vak ,sedimentatie plaatsgevonden. Dit gebied is hierdoor ook ongeveer 1-2m in hoogte gestegen.

Brouwershavensche Gat

Bij het Brouwerhavensche gat heeft in het gebied zeer sterke sedimentatie plaatsgevonden, waardoor hier de bodem van de geul 8-9m hoger is komen te liggen. Ten noordwesten van dit gebied is juist een gebied geërodeerd en daarmee is het in dat gebied 1-3m dieper. Ten zuidwesten van het Brouwershavensche Gat, ten zuiden van het geërodeerde gebied, is er een gebied waar sediment is afgezet. Hierdoor is de bodem daar 3-5m hoger komen te liggen.

Krabbengat

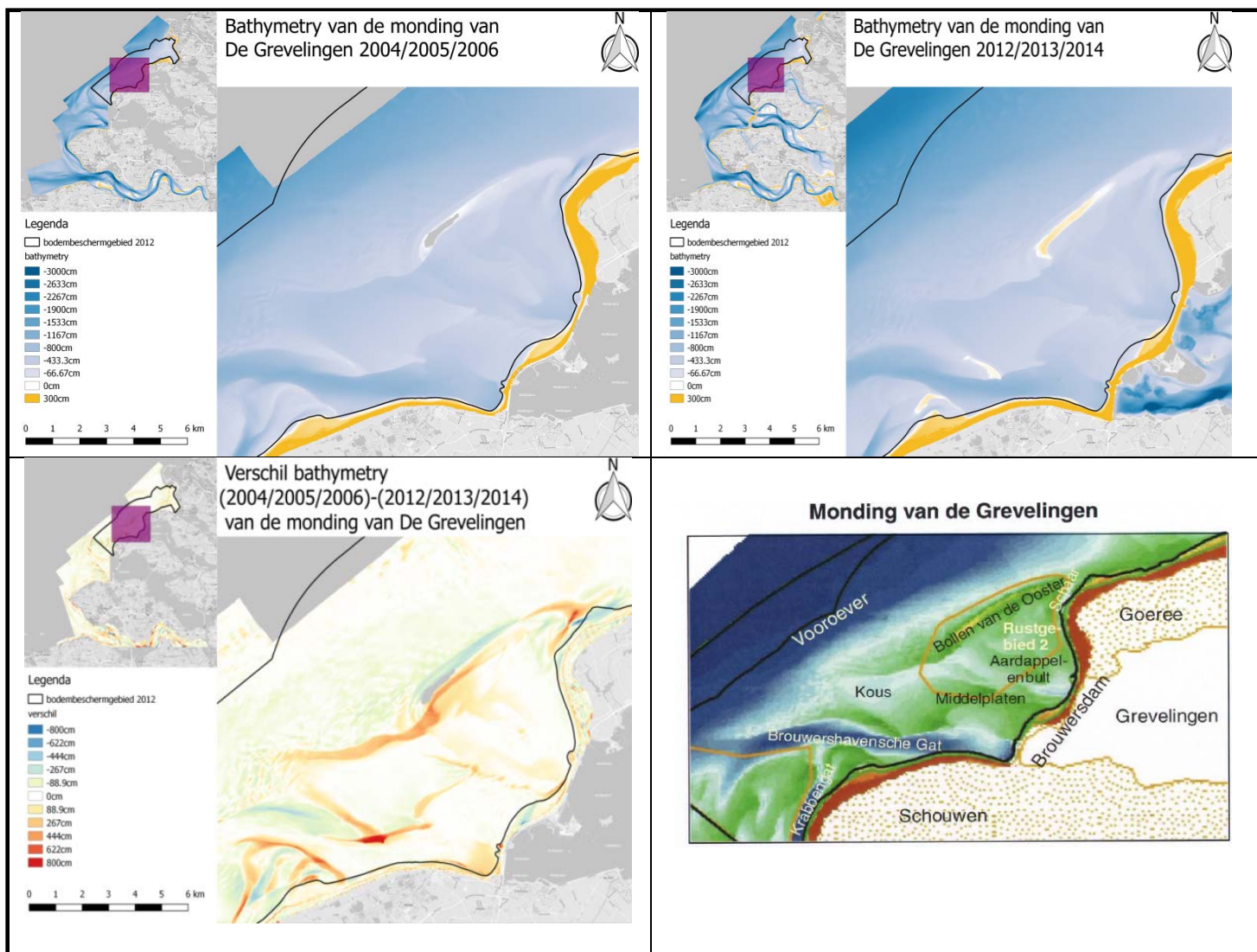
Het noordelijke stuk van de geul Krabbengat, waar de geul samen komt met de geul Brouwershavensche Gat, is een minder duidelijke geul geworden. In het noordelijke deel van de geul Krabbengat heeft namelijk sedimentatie plaatsgevonden, waardoor de geul 2-6m minder diep is geworden. Het westelijke gebied van de geul is ongeveer 1-2m dieper te komen liggen en het oostelijke gebied 3-4 m.

Kous

In het gebied ten zuiden van de Kous, tegen de Middenplaten aan, is 1-3m minder diep geworden door sedimentatie.

Schaar

De getijgeul Schaar is in de tijd tussen de periodes zo goed als verdwenen, doordat de bodem van de getijgeul door sedimentatie 10m in hoogte is gestegen. Ten noordwesten van de getijgeul is de bodem met 3-4 m gestegen door sedimentatie. Kortom, de bodem van de Schaar is met tenminste 3 m gestegen. Ten westen van de geul is het gebied juist 2-4m geërodeerd.



Figuur 19: Bathymetrische- en verschilkaart(en) Grevelingenmondning. Let op! Bij de verschilkaarten moet het streepje tussen de periodes gelezen worden als het woord 'tussen' en niet als teken min. Het blauw in de verschilkaarten is erosie tussen de periodes. Het rode is sedimentatie tussen de periodes.

7.1.3. De monding van de Oosterschelde

Bij de classificaties van de monding van de Oosterschelde is er met name één ding veranderd. In het noordwestelijke deel van de monding is namelijk een langwerpige plaat ontstaan die in de periode 1 nog niet aanwezig was. De overige veranderingen in de Oosterscheldemonding tussen de periode 1 en periode 2 worden hieronder beschreven.

Oude Roompot

Bij de getijgeul Oude Roompot vindt voornamelijk sedimentatie aan de zuidelijke randen plaats. Dit is in een orde grootte van ongeveer 5-10m (Figuur 20).

Hompels

Bij de plaat Hompels is er een kleine onbenoemde aftakking van de Oude Roompot. Bij deze aftakking is er een E vorm van sedimentatie met de orde grootte van ongeveer 1 -2m. Binnen in de E vorm zitten plekken waar erosie plaats vindt van 1,5-3m.

Geul van de Banjaard

In het zuiden en westen van de Geul van Banjaard vindt sediment afzetting plaats, waardoor de bodem hier 2-5m hoger is komen te liggen.

Geul van de Roggen

Er vindt sedimentatie plaats aan de zuidelijke kant van de geul. De sedimentatie is bij de Geul van Roggen echter in minder. In de geul van Roggen is de diepte met 1-2m afgenomen.

Banjaard

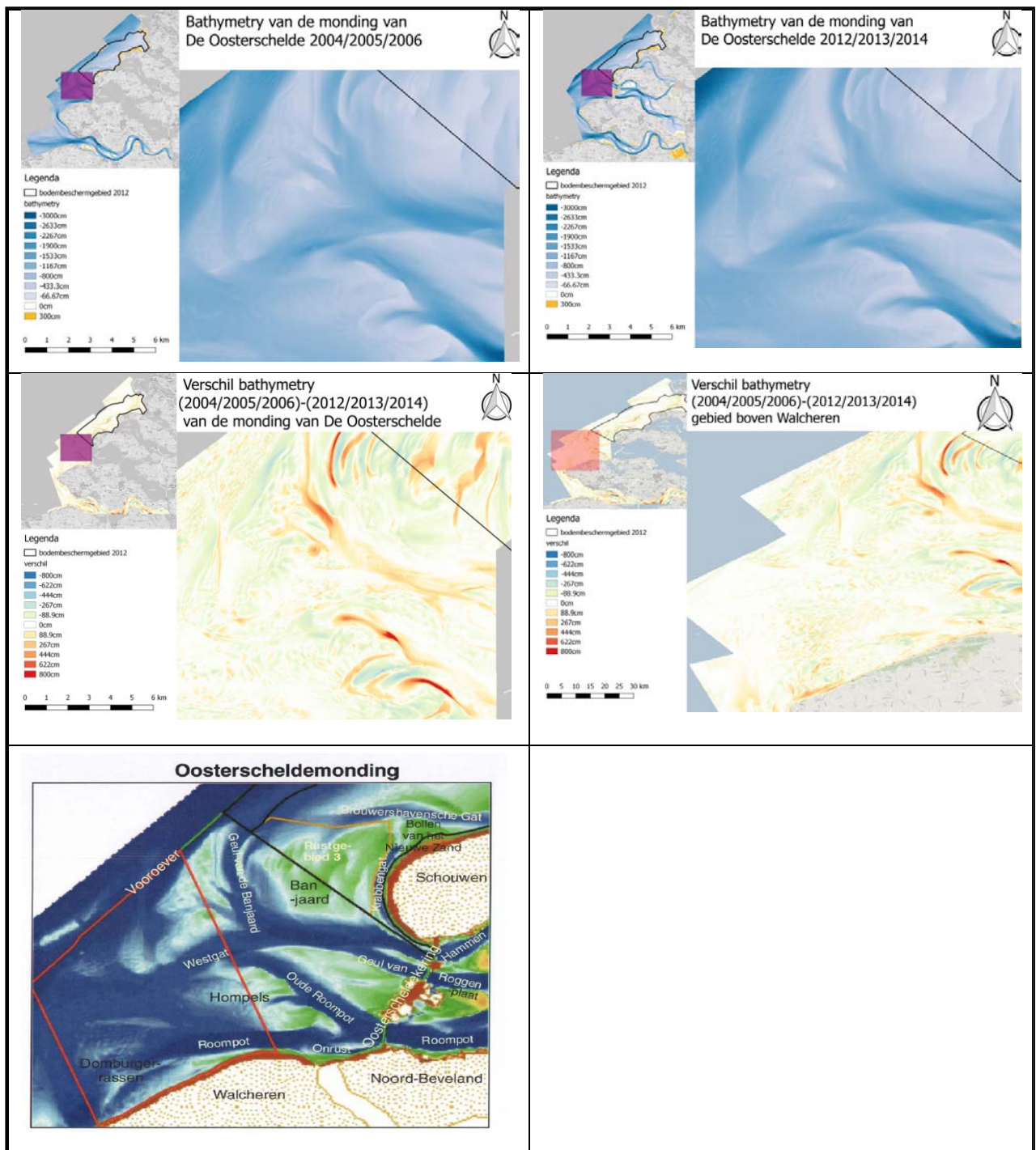
De Banjaard vertoont een afwisseling van 6 stroken waar sedimentatie heeft plaatsgevonden en 6 stroken waar erosie heeft plaatsgevonden. Deze afwisseling van noord-zuid gerichte stroken lijkt op de strepen van een zebapatroon.

De grootte van de sedimentatie en de erosie varieert van 0,5m tot 6m en verschilt van strook tot strook. In het algemeen neemt de mate van erosie en sedimentatie van west naar oost af.

De breedte van de stroken is zeer wisselend van strook tot strook en ook de breedte van een enkele strook vertoont lokale variaties. De smalste strook is circa 100m en de breedste 1900-2100m.

Gebied boven Walcheren

In het gebied boven Walcheren is er relatief weinig erosie of sedimentatie geweest in vergelijking met de rest van de monding van de Oosterschelde. Bij de plaat Domburgerrassen en ten (zuid) westen van de Vooroever is wel veel erosie en sedimentatie geweest. Aan de kustkant van de plaat Domburgerrassen is er sedimentatie in een orde grootte van 2-4m. Ten zuidoosten (landinwaarts) van de plaat Domburgerrassen is er sedimentatie in een orde grootte van 1-3m. Ten noorden van de plaat is er een gebied met erosie en sedimentatie met orde grootte van 0-2m. Ten zuidwesten van de Vooroever is een gebied met erosie en sedimentatie met een orde grootte van 0-2m te vinden. De overige gebieden hebben over het algemeen een erosie en sedimentatie patroon met een orde grootte van 0-0.5m.



Figuur 20: Bathymetrische- en verschilkaart(en) Grevelingenmondning. Let op! Bij de verschilkaarten moet het streepje tussen de periodes gelezen worden als het woord 'tussen' en niet als teken min. Het blauw in de verschilkaarten is erosie tussen de periodes. Het rode is sedimentatie tussen de periodes.

7.2. De oorzaak van de geomorfologische veranderingen in de Voordelta

In deze paragraaf worden de mogelijke oorzaken van de geomorfologische veranderingen besproken. De paragraaf is onderverdeeld in de effecten van deltawerken en ander menselijk ingrijpen, effecten van de golven en effect bodemstroom patronen.

7.2.1. Effecten deltawerken en ander menselijk ingrijpen monding Haringvliet en Grevelingen.

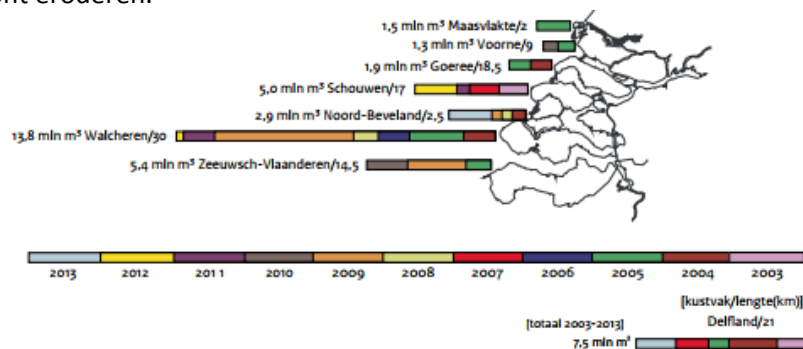
Door de afsluiting van Haringvliet en Grevelingen in 1970-1971 nam de in- en uitgaande stroming dicht bij de dammen met 50 tot 90% af. Hierdoor reduceerde het zandtransport dat met deze in en uitgaande stroom samenhangt tot vrijwel nul. De golferosie op de onderzeese vooroever kreeg hierdoor vrij spel, aangezien de golferosie niet meer gecompenseerd werd door de sedimentatie afkomstig uit de zeegaten. Het getij van de Noordzee en de golven van de Voordelta gingen veranderen (Kohsiek en Mulder, 1989). Naast de golferosie op de onderzeese vooroever is er ook een landinwaarts sediment transport ontstaan (Elias et al., 2016). De effecten van de Maasvlakte op de geomorfologie van de Haringvliet monding zijn beperkt (Alkyon, 2006). Alkyon (2006) zegt dat de invloed van de Slufter op de geomorfologie van de Haringvliet monding ook beperkt is. De Winter (2014) zegt echter dat de noordelijke zeewaartse rand van de Hinderplaat veel veranderd is door de aanleg van de Slufter. De Winter (2014) zegt dat mogelijk een vergroot sedimentvolume in het Haringvliet door de Maasvlakte 2 is veroorzaakt.

Naast de bovengenoemde ingrepen in het deltagebied wordt er in het Slijkgat steeds gebaggerd. Doormiddel van dit baggeren wordt het Slijkgat op een diepte van circa 5 meter gehouden.

Om de basiskustlijn te handhaven worden er regelmatig zandsuppleties uitgevoerd. Voor en op de kusten van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden. Een overzicht van de suppleties tussen 2003 en 2013 is te zien in (Figuur 21).

De monding van de Oosterschelde (Elias et al., 2016)

De afsluiting van de Grevelingen en de aanleg van de Volkerakdam zorgden voor een vergroot sedimentvolume, waardoor de ebdelta zeewaarts beweegt. Door de Oosterscheldekering is het getij actieve doorsnede (verticaal) gebied van 80000m² verkleind naar 17900m². De kom is verkleind van 452km² naar 351km². Het getijde volume is hierdoor met circa 28% verkleind ten opzichte van 1983. Door de verminderde getijstromingen en geen sediment aanvoer vanuit de riviermonding gingen de golven het eb-delta front eroderen.



Figuur 4.1: Totale hoeveelheid uitgevoerde zandsuppleties voor onderhoud van de kustlijn van de periode 2003 t/m 2013, per kustvak. Voor 2013 is uitgegaan van de uitgevoerde kuubs tot 1 november 2013, aangevuld met de verwachte realisatie t/m december 2013.

Figuur 21: Totale hoeveelheid uitgevoerde zandsuppleties. Voor 2013 is uitgegaan van de uitgevoerde kuubs tot 1 november 2013, aangevuld met de verwachte realisatie t/m 2013 (Rijkswaterstaat, 2013).

7.2.2. Effecten van de golven

Zoals verteld is in subparagraaf 7.2.1 'effecten deltawerken en ander menselijk ingrijpen' hebben de golven veel invloed op de vooroever van de Voordelta. In de Oosterschelde eroderen de golven de eb-delta. In de mondingen van de Grevelingen en Haringvliet eroderen de golven de vooroever (Elias et al., 2016). Hierdoor beweegt de eb-delta rand landinwaarts. Deze golven bouwen vervolgens zandbanken en vullen de afgesloten geulen op met sediment.

7.2.3. Effecten bodemstroompatronen

Door de verschilkaarten naast de kaarten van de bodemstroompatronen te leggen zijn de bodemstroompatronen die gemaakt zijn met behulp van het stroommodel van Arcadis, vergeleken met de in dit onderzoek gevonden resultaten van de veranderingen in de Voordelta. Met de vergelijking van kaarten is gekeken of de in dit onderzoek gevonden geomorfologische veranderingen te verklaren zijn doormiddel van deze bodem stroompatronen. In het stroommodel van Arcadis is het astronomische getij, de rivierafvoer en het spuidebiet van juli 2015 meegenomen. De door Arcadis gebruikte modelbodem is de zeebodem uit de meest recent beschikbare vaklodingen van omstreeks 2015. Uiteindelijk zijn van het stroommodel kaarten gemaakt (Figuur 22). Deze stroommodel kaarten geven de netto reststroom, netto verplaatsing van het water, van één of twee getijperioden weer.

Haringvliet.

De erosie en sedimentatie in het zuidoostelijke gedeelte van het Slijkgat kan waarschijnlijk verklaard worden met dit stroompatroon. Je ziet namelijk in Figuur 22 dat een gebied met een hoge netto stroomsnelheid dezelfde vorm heeft als dat van het gebied met de erosie (hoog). Binnen deze boog van erosie is er een gebied met lage netto snelheid dat de sedimentatie kan verklaren. De erosie aan de westkant van de platen zou zijn oorzaak kunnen hebben in de nettostroom. Deze nettostroom is landinwaarts gericht en buigt in de ondieptes ten westen van de Hinderplaat af naar het noorden en het zuiden. De erosie kan haar oorzaak in de eerder uitgelegde golferosie hebben.

Grevelingen.

Het gebied met erosie en sedimentatie in het zuiden van de monding van Grevelingen kan door het stroompatroon ontstaan zijn, aangezien hier de nettostroomsnelheid hoog is en van zuid naar noord loopt. In de nettostroom is duidelijk een patroon te zien van een landinwaartse netto stroming die afgeremd wordt bij de bollen van de Ooster. Hierdoor erodeert de noord/west kant en landinwaarts, waar de nettostroomsnelheid lager is, wordt sediment afgezet. Het verplaatsen van de plaat Bollen van de Ooster kan mogelijk een gevolg zijn van dit stroompatroon. Het gebied ten noorden van het Brouwerhavensche Gat waar erosie is heeft de nettostroom een hoge snelheid richting het oosten, deze remt even verder af. In de resultaten van dit onderzoek is gebleken dat in dit gebied sedimentatie plaats vindt.

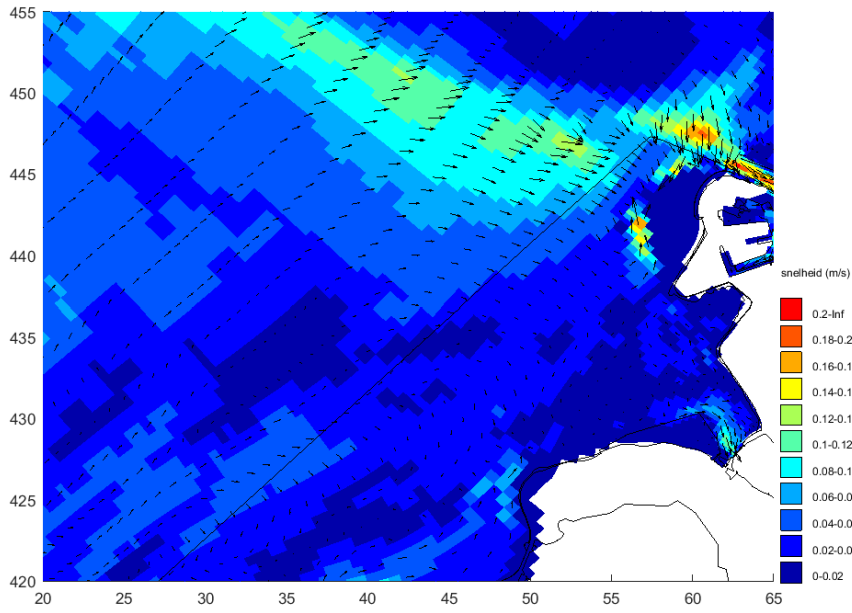
Oosterschelde

Er is een hoge nettostroomsnelheid in de geulen Oude Roompot en Geul van Roggen. Hoogstwaarschijnlijk wordt hier aan het begin bij de dam sediment getransporteerd en wordt dit sediment later in de geul afgezet, waardoor de gevonden sedimentatie aan de zuidkant van de geulen kan ontstaan. Gekeken naar de nettostroom kan het getransporteerde sediment deels afkomstig zijn uit het gebied ten zuiden van de geul in de monding van de Oosterschelde. Dit sediment wordt verplaatst door de geul Roompot naar de dammen waarna het in de geulen Oude Roompot en Geul van Roggen komt.

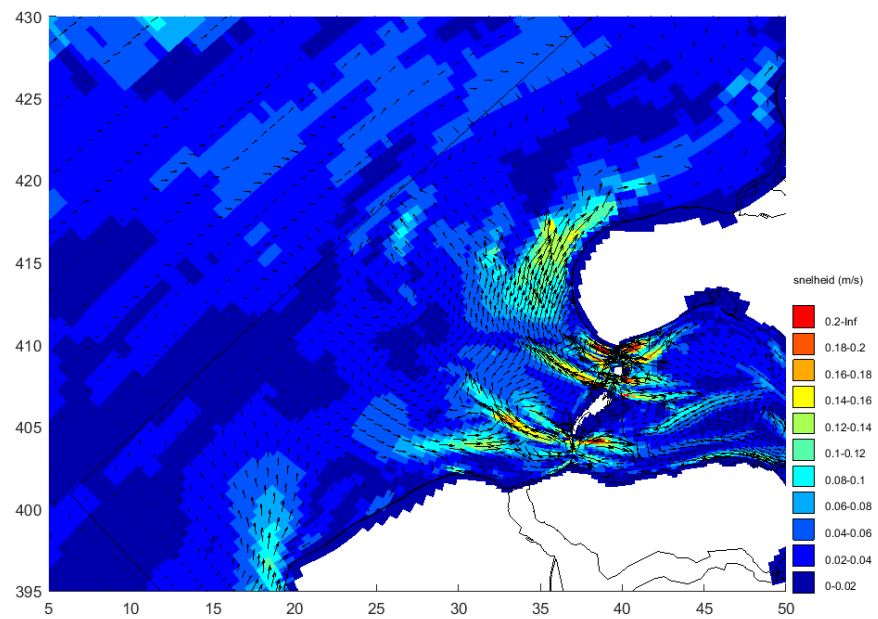
In de nettostroom van dit gebied is de E vorm bij de onbenoemde aftakking Oude Roompot bij de plaat Hompels terug te zien. De plekken waar erosie is zijn de plekken met een hoge netto snelheid. De plekken met sedimentatie zijn de plekken met een lage netto stroming. Dit kan deze E vorm verklaren.

Ten zuidwesten van het gebied boven Walcheren is een hoge netto stroomrichting richting het noorden te vinden. De nettostroming remt af langs het gebied boven Walcheren. Dit kan misschien de sedimentatie hier verklaren. Al zal de oorzaak waarschijnlijk meer in de zandsuppletie van dit gebied gezocht moeten worden.

Bodemstroompatroon Noord



Bodemstroompatroon zuid



Figuur 22: Bodemstroompatronen.

7.3. Evaluatie voorspellingen Alkyon (2006)

In deze paragraaf worden de voorspellingen van het rapport Alkyon (2006) vergeleken met de resultaten van dit onderzoek. Eerst wordt beschreven wat Alkyon (2006) voorspelde en daarna wordt beschreven of dit overeen komt met de gevonden resultaten van dit onderzoek.

7.3.1. Wat Alkyon(2006) voorspelde

Alkyon (2006) heeft onderzoek gedaan naar de geomorfologie van de Voordelta en heeft voorspellingen gedaan over de geomorfologie van de voorgestelde rustgebieden voor vogels. De voorspellingen zijn gebaseerd op 'expert judgement'. Bij de 'expert judgement' is rekening gehouden met invloed van golven en getij, aanpassingen aan nieuwe ingrepen, doorgaande aanpassingen aan ingrepen uit het verleden en veranderende natuurlijke omstandigheden(zeespiegel, klimaat). Verder voorspellingen op basis van specifieke modelsimulaties of analyses zijn er niet gedaan. In deze paragraaf worden de voorspellingen voor elk van de mondingen in opsomming beschreven.

Haringvlietmonding

Door Alkyon(2006)

- Het landinwaarts trekken van de Hinderplaat zet zich door. Deze zal stoppen wanneer in de monding een evenwicht ontstaat tussen de landwaarts en zeewaarts gerichte sedimenttransportprocessen.
- De Middengeul zal zich waarschijnlijk naar het noorden verplaatsen.
- Het Slijkgat zal zich ontwikkelen als een eb- en vloed-schaar. De bocht in het noorden zal verder uitschuren naar het noorden. De bocht naar het zuiden zal verder uitschuren naar het zuiden. Tussen de twee bochten zal door sedimentatie een nieuwe drempel ontstaan.
- Er kunnen door onvoorspelbare factoren (bijvoorbeeld hoge spuiafvoeren of stromen) trendbreuken ontstaan.
- Enige erosie en verdieping zal mogelijk in het Rak van Scheelhoek ontstaan.
- Er zal mogelijk een toename zijn van het doorstroomoppervlak van het Hindergat en het geultje zonder naam door de Hinderplaat.

Grevelingenmonding

Door Alkyon(2006)

- De geomorfologische veranderingen van de getijgeul Schaar is onmogelijk te voorspellen. Wel is te voorspellen dat deze getijgeul een dynamisch gebied zal blijven (veel sedimentatie en erosie).
- Het areaal intergetijde gebied Bollen van de Ooster zal stabiel blijven.
- De plaat Bollen van de Ooster zal zich landinwaarts bewegen.
- Verondersteld wordt dat er een nieuw evenwicht zal ontstaan tussen getijgedreven en golfgedreven sedimenttransporten rond de banken.
- De sedimentatie in het Brouwershavensche Gat zal zich voortzetten totdat het doorstroomprofiel in evenwicht is met het nieuwe debiet.

Oosterscheldemonding

Door Alkyon(2006)

- De autonome verplaatsing en de uitbochtiging van de ebscharen zullen zich voorzetten (dat in dit rapport beschreven wordt als het zebrapatroon).

7.3.2. In hoeverre komen de voorspellingen van Alkyon (2006) overeen met de gevonden resultaten

Haringvlietmonding

Over het algemeen komen de voorspellingen van Alkyon (2006) overeen met de door het onderzoek gevonden resultaten. De Hinderplaat heeft zich inderdaad landinwaarts verplaatst. De middengeul heeft zich gedeeltelijke naar het noorden verplaatst (hij ligt meer van noord naar zuid dan van oost naar west). Hij is echter ook zo goed als verdwenen. Bij het Slijkgat zie je inderdaad dat de bocht in het zuiden naar het zuiden is bewogen en de bocht in het noorden naar het noorden is bewogen. Het ontstaan van een drempel is uitgebleven. Dit zou door het baggeren van het Slijkgat kunnen komen. De enige erosie en verdieping die voorspeld is, in het Rak van Scheelhoek, komt niet overeen met de gevonden resultaten. Deze resultaten geven juist enige sedimentatie aan in het Rak van Scheelhoek. De toename van het doorstroomoppervlak van het Hindergat en het geultje zonder naam is relatief klein in de gevonden resultaten van dit onderzoek, maar is er wel.

Grevelingenmonding

Ook komen veel voorspellingen van Alkyon (2006) met betrekking tot de Grevelingen monding overeen met de gevonden resultaten in dit onderzoek. Het intergetijdje areaal van de Bollen van de Ooster is echter niet stabiel gebleven. Er heeft in dit gebied sedimentatie plaatsgevonden waardoor het gebied hoger is komen te liggen. Uit het onderzoek is gebleken dat de getijgeul Schaar erg dynamisch is geweest, dit komt overeen met de voorspellingen van Alkyon. De Bollen van de Ooster heeft zich inderdaad landinwaarts bewogen. Er is volgens de resultaten van dit onderzoek in het zuiden van het Brouwerhavensche Gat sediment afgezet en in het noorden is erosie geweest. Dit komt niet overeen met de voorspellingen van Alkyon, zij hebben het alleen over sedimentatie in het Brouwerhavensche Gat.

Oosterscheldemonding

De autonome verplaatsing en de uitbochting van de ebscharen hebben zich voortgezet zoals door Alkyon voorspeld. In subparagraaf 7.1.3 'De monding van de Oosterschelde' is hier naar verwezen als het zebrapatroon.

7.4. Geomorfologische veranderingen onder de NCV-monitoringlocaties

In deze paragraaf worden de morfologische veranderingen onder de NCV-monitoringlocaties beschreven. Eerst wordt het algemeen overzicht beschreven waarna de veranderingen per monding worden beschreven. Monitoringlocatie 322 wordt hier nader toegelicht als voorbeeld van mogelijke geomorfologische veranderingen om de monitoringlocatie.

7.4.1. Algemeen overzicht geomorfologische veranderingen onder de NCV-monitoringlocaties

Over het algemeen liggen de NCV-monitoringlocaties op (relatief) stabiele plekken, dit betekent weinig erosie of sedimentatie. Alle veranderingen in hoogte tussen de twee periodes zijn te vinden in de tabel van appendix 13. In deze tabel is ook de afstand tussen monitoringlocatie 2004 en monitoringlocatie 2013 weergegeven. Een overzicht van de hoogteverschillen tussen periode 1 en periode 2 zijn terug te vinden in Tabel 7.

De monitoringlocaties tussen 2004 en 2013 met een hoogteverschil van meer dan 1 meter zijn te vinden in Tabel 8 en in Figuur 23.

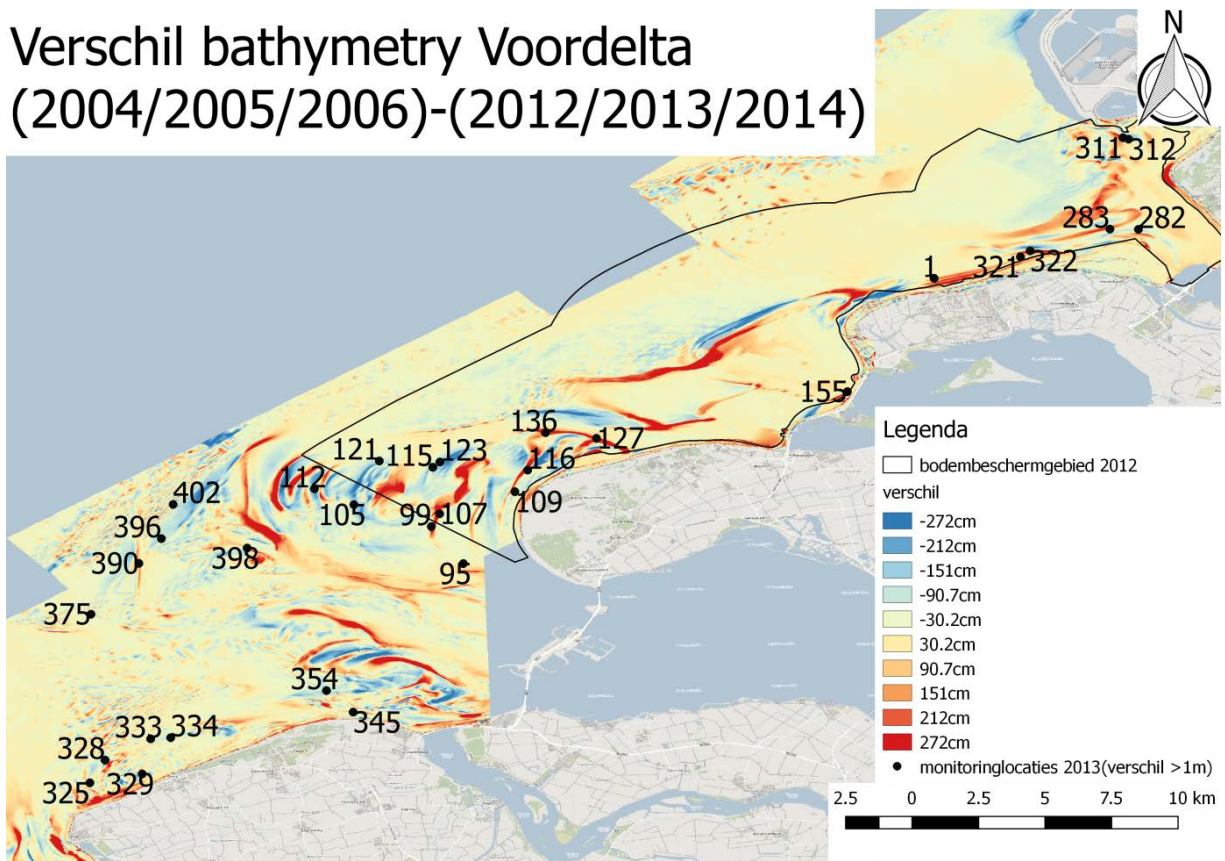
Tabel 7: Hoogteverschillen NCV-monitoringlocaties.

Vershil in hoogte tussen periode 1 en periode 2 in centimeter	aantal	percentage
0-50	174	70%
50-100	41	17%
100-150	18	7%
150-200	6	2%
200-250	4	2%
250-300	2	1%
>300	2	1%

Tabel 8: NCV-monitoringlocaties die meer dan 1 meter in hoogte zijn veranderd. De cel is rood als de monitoringlocatie meer dan 1 meter hoger is komen te liggen en blauw als de monitoring locatie 1 meter lager is komen te liggen. De dik gedrukte monitoringlocaties zijn meer dan 300 meter verschoven.

1	116	311	334
95	121	312	345
99	123	321	354
105	127	322	375
107	136	325	390
109	155	328	396
112	282	329	398
115	283	333	402

Verschil bathymetry Voordelta (2004/2005/2006)-(2012/2013/2014)



Figuur 23: NCV-monitoringlocaties die meer dan 1 meter in hoogte zijn veranderd. Let op! Bij de verschilkaarten moet het streepje tussen de periodes gelezen worden als het woord 'tussen' en niet als teken min. Het blauw in de verschilkaarten is erosie tussen de periodes. Het rode is sedimentatie tussen de periodes.

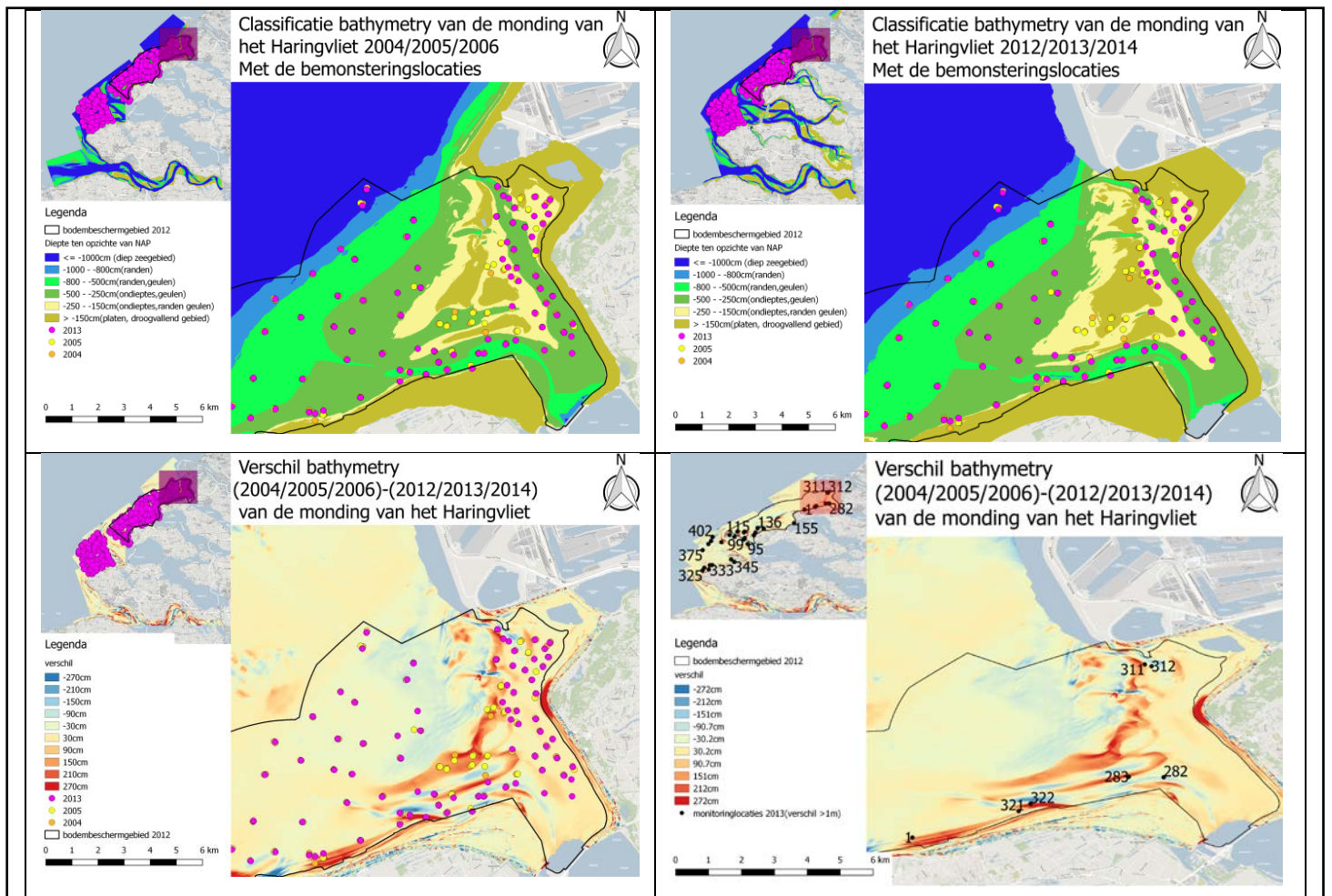
7.4.2. Haringvliet

In de Figuur 24 kan worden gezien dat er veel NCV-monitoringlocaties zuiden en ten oosten van de Middelplaat verplaatst zijn. Dit komt door verschillende redenen. Hierdoor liggen deze meetpunten over het algemeen niet meer op plekken die aan veel verandering onderhevig zijn. De locaties die door sedimentatie of erosie erg veel, meer dan 1 meter, in hoogte zijn veranderd zijn de volgende:

- Meetpunt 1; ligt in het zuiden van de Haringvlietmonding en is 139cm lager komen te liggen.
- Meetpunten 321 en 322; liggen ten zuid-westen van de geul Slijkgaten zijn 112cm en 235cm hoger komen te liggen.
- Meetpunten 282 en 283; liggen in het noorden van de bocht van het Slijkgat. Deze meetpunten zijn 206cm en 148cm lager komen te liggen.
- Meetpunten 311 en 312; liggen in de geul Hindergat. Deze meetpunten zijn 137cm hoger en 261cm lager komen te liggen.

Naast dat sommige meetpunten veel hoger of lager zijn komen te liggen kan soms ook het bodemlandschap om een bepaald meetpunt erg veranderd zijn. Relatief valt dit erg mee in het Haringvliet en liggen de monsteringslocaties veelal niet op plaatsen die in geomorfologische eenheid zijn veranderd. Een voorbeeld is dat een meetpunt eerst op een plaat in periode 1 ligt en vervolgens in periode 2 in een geul.

Wel is het zo dat de Hinderplaat een stuk dichterbij bepaalde monitoringslocaties is komen te liggen. Door het verplaatsen van de Hinderplaat zou een andere stroming ontstaan kunnen zijn. Er zijn ook punten die wel van geomorfologische eenheid zijn veranderd, een voorbeeld hiervan is meetpunt 322, dat verderop in het verslag zal worden toegelicht.



Figuur 24: NCV-monitoringlocaties Haringvlietmonding (box-core). Let op! Bij de verschilkaarten moet het streepje tussen de periodes gelezen worden als het woord 'tussen' en niet als teken min. Het blauw in de verschilkaarten is erosie tussen de periodes. Het rode is sedimentatie tussen de periodes.

7.4.3. Grevelingen

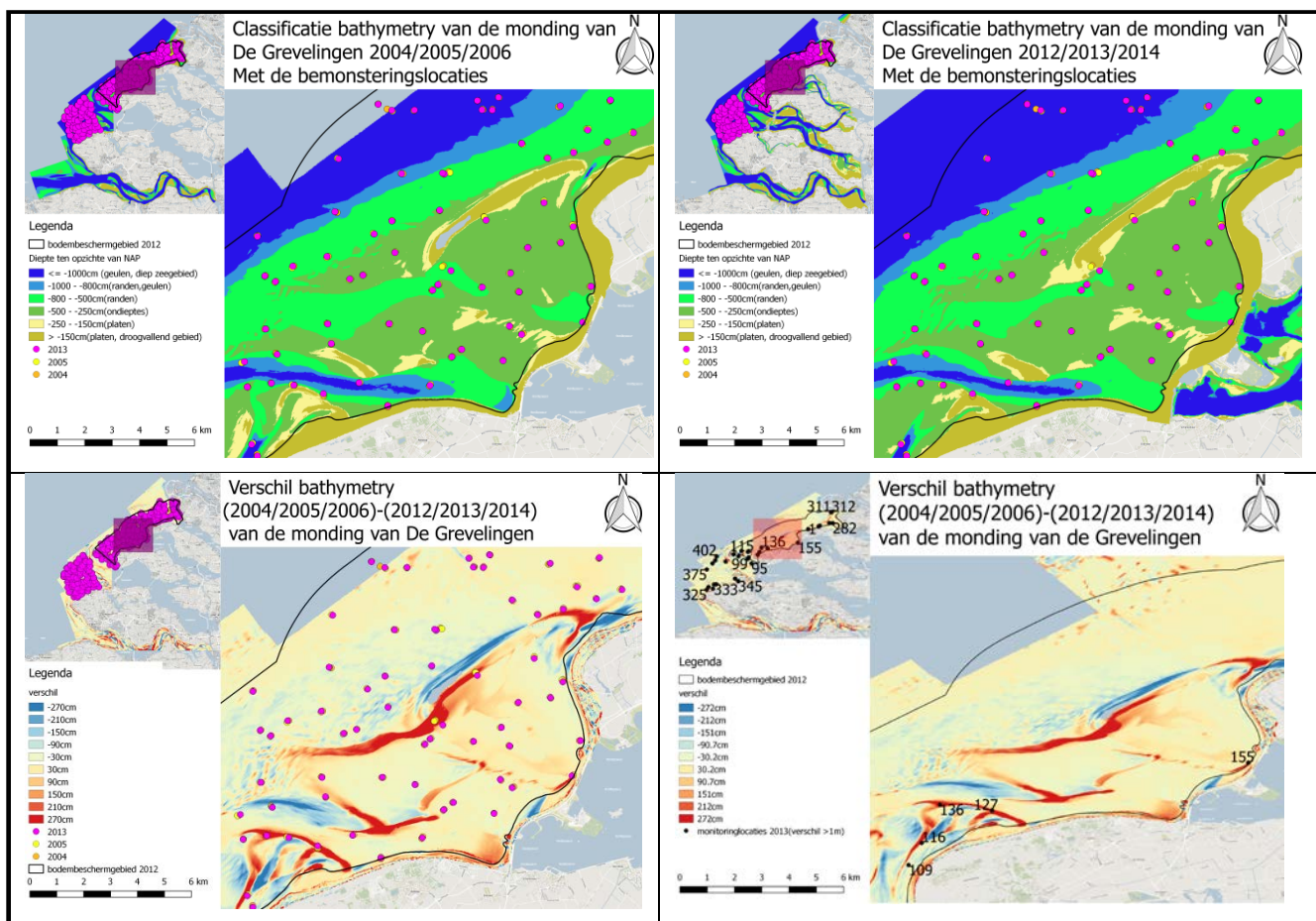
De volgende meetpunten zijn de meetpunten in de monding Grevelingen die meer dan één meter dieper of hoger zijn komen te liggen (Figuur 25).

-Meetpunt 155; ligt tegen de Brouwersdam en is 122cm hoger komen te liggen.

-Meetpunten 127 en 136; liggen ten zuiden van de geul Brouwerhavensche Gat en zijn 217cm en 371 cm hoger komen te liggen.

-Meetpunten 109 en 116; liggen in het Krabbengat en zijn 144cm lager en 111cm hoger komen te liggen.

Naast dat meetpunt 136 317cm hoger is komen te liggen is de geomorfologische eenheid om het punt heen ook veranderd. Ten zuiden van dit punt waar eerst een plaat of een droogvallend gebied lag is dit nu een ondiepte geworden.



Figuur 25: NCV-monitoringlocaties Grevelingenmonding (box-core). Let op! Bij de verschilkaarten moet het streepje tussen de periodes gelezen worden als het woord 'tussen' en niet als teken min. Het blauw in de verschilkaarten is erosie tussen de periodes. Het rode is sedimentatie tussen de periodes.

7.4.4. Oosterscheldemonding

In de Oosterschelde zijn veel punten die op een plek liggen waar de hoogte van de bodem meer dan 1 meter is veranderd (Figuur 26).

-Meetpunten 99, 105, 107, 112, 115, 121, 123 zijn bijna alle punten die in het zebrapatroon liggen.

Deze zijn allemaal veel in hoogte gestegen of gedaald. De punten zijn in de periode 2 134cm hoger, 133cm lager, 185cm hoger, 158cm, 102cm en 206cm lager komen te liggen dan in periode 1.

- Meetpunt 95; ligt aan de noordelijke rand van geul van Roggen en is 128cm lager komen te liggen.

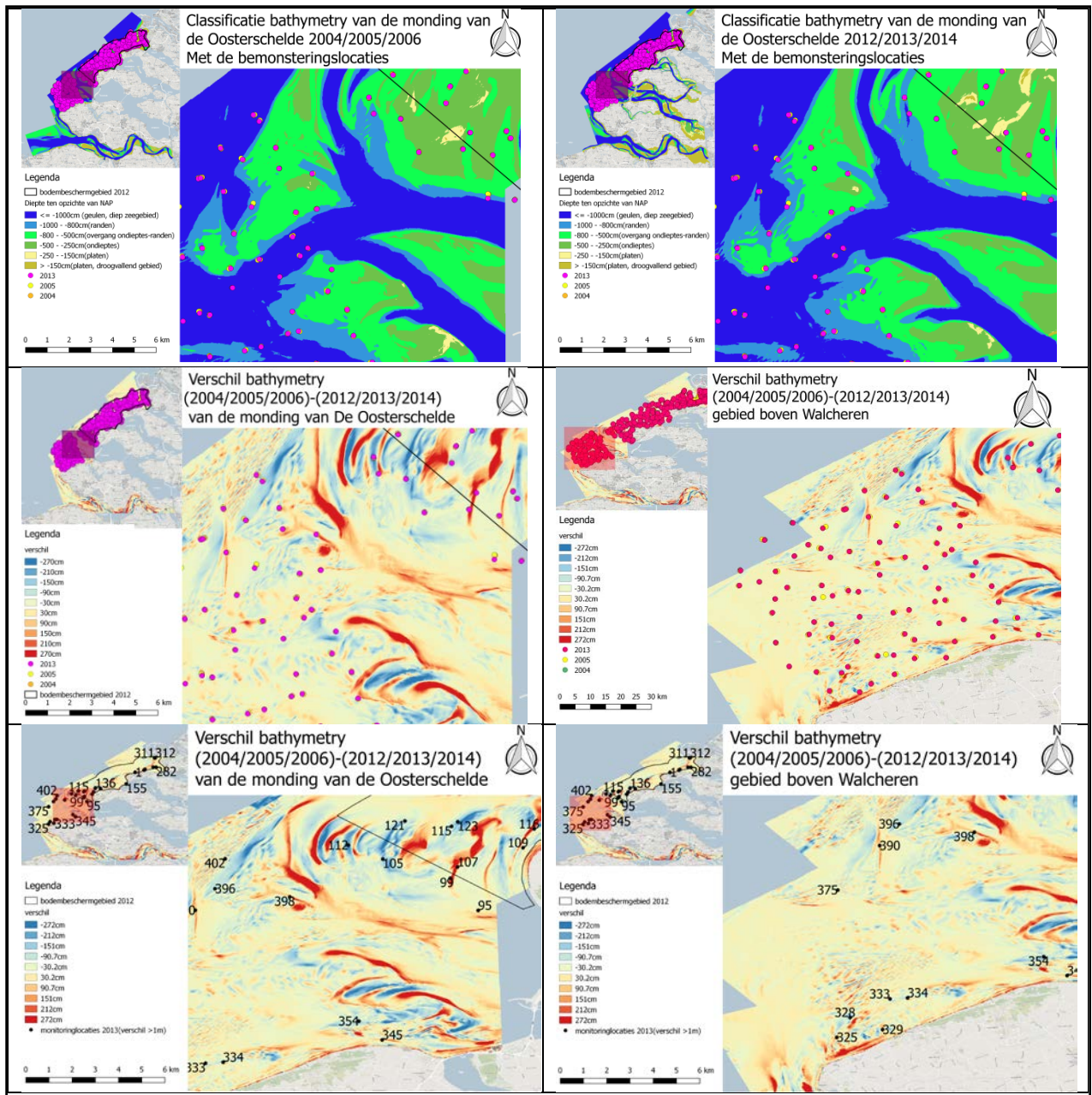
-Meetpunt 398; ligt ten westen van een kleine aftakken van geul van de Banjaard en is 168cm hoger komen te liggen.

-Meetpunten 375,390,396,402; liggen in de vooroever eb zijn 101cm lager, 137cm hoger, 158cm en 125 cm lager komen te liggen.

-Meetpunten 345,354; liggen aan de Roompot, dat in het gebied boven Walcheren ligt, en zijn 380cm hoger en 102cm lager komen te liggen.

-Meetpunten 325,328,329,333,334; liggen dicht bij kust van Walcheren en zijn 119cm hoger, 140cm lager, 109cm hoger, 151cm en 152cm lager komen te liggen.

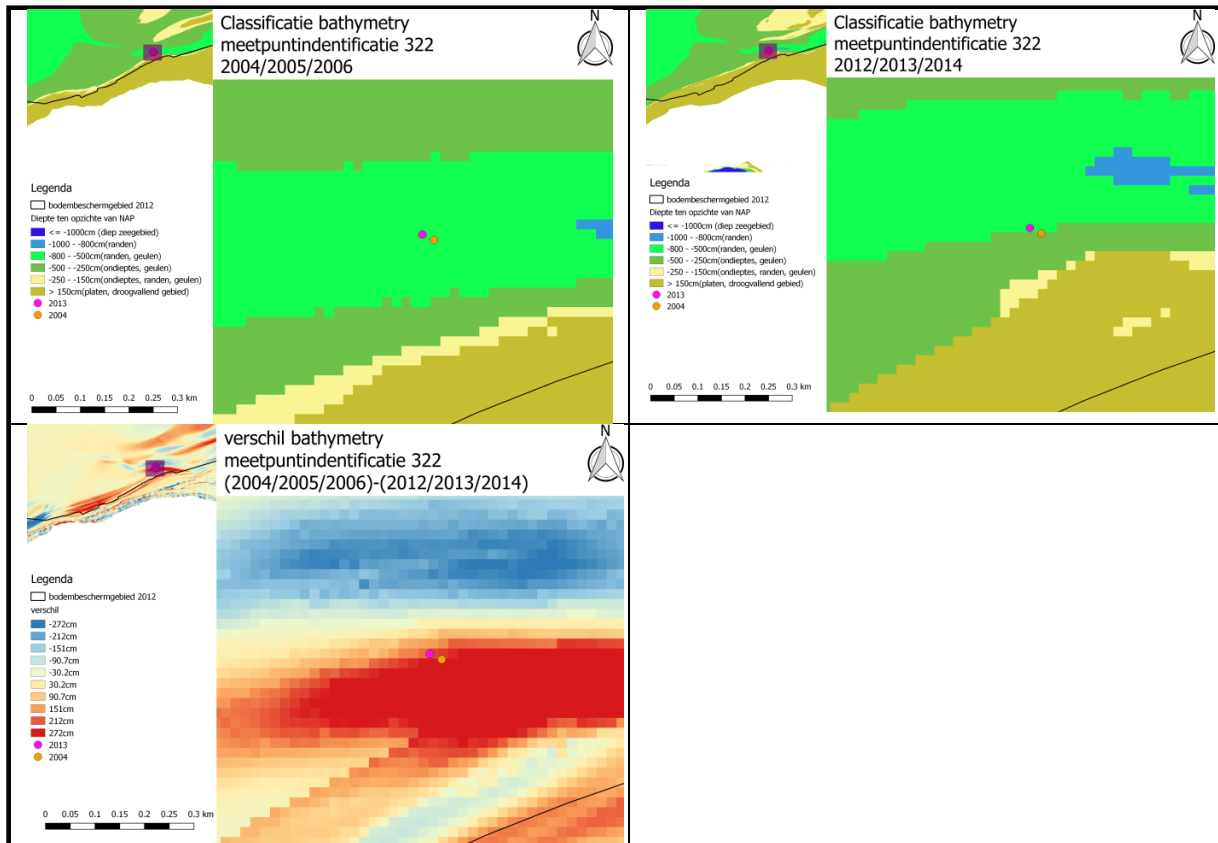
Daarnaast lag punt 354 eerst op de rand van Roompot en ligt nu in de geul Roompot. De bodem bij meetpunt 112 is van een ondiepte naar een kleine geul veranderd.



Figuur 26: NCV-monitoringlocaties Oosterscheldemonding (box-core). Let op! Bij de verschilkaarten moet het streepje tussen de periodes gelezen worden als het woord 'tussen' en niet als teken min. Het blauw in de verschilkaarten is erosie tussen de periodes. Het rode is sedimentatie tussen de periodes.

7.4.5. Monitoringlocatie 322

Bij meerdere meetpunten zijn veranderingen in het bodemlandschap waargenomen (Figuur 27). Gekozen is monitoringlocatie 322 toe te lichten, daar bij dit meetpunt het bodemlandschap duidelijk veranderd is. Monitoringlocatie 322 is 235cm hoger komen te liggen en het bodemlandschap onder dit meetpunt is zo veranderd dat het meetpunt eerst in de geul Slijkgat lag en nu op de rand van deze geul ligt.



Figuur 27: NCV-monitoringlocatie 322 (box-core). Let op! Bij de verschilkaarten moet het streepje tussen de periodes gelezen worden als het woord 'tussen' en niet als teken min. Het blauw in de verschilkaarten is erosie tussen de periodes. Het rode is sedimentatie tussen de periodes.

8. Discussie

Kritisch kijkend naar het verloop van het onderzoek zijn er een aantal beperkingen die het resultaat hebben beïnvloed. Een beperking was dat de vaklodingen niet dekkend waren voor de gehele Voordelta, waardoor niet alle monitoringlocaties konden worden meegenomen in dit onderzoek. Voor dit onderzoek waren de dieptemetingen die tijdens het nemen van de monsters van de zeebodem zijn gedaan, niet beschikbaar. Het hydrografisch proces bestaat uit een keten van meetsystemen en verwerkingsstappen, die ieder een meetfout kunnen introduceren. Door gebrek aan tijd en kunde van de onderzoeker is het moeilijk te zeggen of de oorzaken van de geomorfologische veranderingen voldoende nauwkeurig geïdentificeerd zijn.

Deze beperkingen kunnen invloed hebben gehad op de uiteindelijke resultaten van het totale onderzoek. De impact op het onderzoek zal per beperking verschillen.

Dat de vaklodingen niet dekkend waren voor de gehele Voordelta zal niet de uiteindelijk verkregen resultaten negatief beïnvloeden. Maar betekent wel een beperking op de volledigheid van het onderzoek naar de circa 400 monitoringlocaties.

Dat de dieptemetingen, die genomen zijn tijdens het nemen van de monsters van de zeebodem, niet beschikbaar waren heeft ervoor gezorgd dat de nauwkeurigheid van de bathymetrische veranderingen onder de 255 monitoringlocaties minder groot was. De nauwkeurigheid neemt toe indien er gebruik gemaakt kan worden van deze dieptemetingen. Het zal dan niet meer nodig zijn om de diepte vast te stellen met behulp van de gemaakte bathymetrische kaarten, die opgebouwd zijn uit vaklodingen en Jarkus afkomstig uit drie verschillende jaren, maar doormiddel van de dieptemetingen die uit dezelfde tijd afkomstig zijn als dat van de monsteringen van de zeebodem. De meetfout zullen een negatieve invloed hebben op de resultaten van dit onderzoek. Echter doordat deze meetfouten kleiner dan ongeveer 12 cm zullen zijn is deze meetfout niet dermate groot dat dit de resultaten van het onderzoek sterk zullen beïnvloeden.

Door de korte tijdspanne van dit onderzoek zijn er keuzes gemaakt in de mate van onderzoek naar de oorzaken van de geomorfologische veranderingen. Indien er een preciezer resultaat is gewenst zal er een groter tijdsbestek aan dit onderzoek gegeven moeten worden.

Een beperking voor een vervolg onderzoek is dat monitoringlocaties in de jaren sterk kunnen veranderen, maar dan nog steeds dezelfde meetpuntidentificatienummer hebben.

In deze discussie dient ook vermeld te worden dat de geomorfologische benaming van de diepte classificaties een lastig punt is gebleken, door de afnemende gemiddelde diepte van de Haringvlietmonding naar de Oosterscheldemonding.

9. Conclusie

De hoofdvraag van dit onderzoek is:

Wat zijn de bathymetrische en geomorfologische veranderingen in de Voordelta en op de circa 400 NCV-monitoringlocaties in het bijzonder tussen 2004 en 2013 en hoe kunnen deze veranderingen verklaard worden?

Het antwoord op deze hoofdvraag komt voort uit de beantwoording van de verschillende deelvragen.

De eerste deelonderzoeksvraag, *Wat zijn de meest passende classificaties voor de bathymetrie in de Voordelta*, is niet eenduidig te beantwoorden. Dit komt omdat de verschillende morfologische eenheden zich in de verschillende mondingen niet op dezelfde diepte bevinden.

Het meest verstandige antwoord op deze vraag is om de classificaties in diepte voor de gehele Voordelta hetzelfde te houden. Er zijn wel namen aan deze classificaties verbonden, echter verschillen deze namen per monding. De classificatiekaarten moeten daarom niet als geomorfologische kaarten worden gelezen, maar als bathymetrische kaarten. De uiteindelijk gemaakte diepte-classificaties zijn te vinden in Tabel 9.

Tabel 9: Diepte-classificaties.

	Diepte in meters ten opzichte van NAP
1	<1,5
2	1,5-2,5
3	2,5-5,0
4	5,0-8,0
5	8,0-10,0
6	>10

Op de tweede deelonderzoeksvraag, *Wat zijn de bathymetrische en geomorfologische veranderingen in de Voordelta tussen 2004 en 2013*, is wel een duidelijk antwoord te geven. In de meeste gebieden is de sedimentatie of erosie lokaal niet meer dan 0.4 m. De grotere geomorfologische veranderingen zijn over het algemeen te vinden bij de geulen en platen. Deze veranderingen zijn van 0.5 tot 10 m. Over het algemeen is er bij de platen en geulen erosie aan de noordwestkant en sedimentatie aan de zuidoostkant. Uit dit verschijnsel kan de voorzichtige conclusie getrokken worden dat de platen landinwaarts bewegen. De meeste van de in dit onderzoek gevonden geomorfologische veranderingen komen overeen met de voorspellingen van Alkyon (2006), waardoor er met zekerheid kan worden geconcludeerd dat deze bevindingen kloppen.

Wanneer er gekeken wordt naar de 255 monitoringlocaties is het antwoord op de derde deelonderzoeksvraag, *Wat zijn de bathymetrische en de geomorfologische veranderingen op de circa 400 NCV-monitoringlocaties tussen 2004 en 2013*, minder duidelijk. Doordat veel monitoringlocaties tussen 2004 en 2013 van plaats zijn gewisseld is het moeilijk om voor deze locaties de veranderingen in bathymetrie en geomorfologie te beschrijven. Er kan wel geconcludeerd worden dat sommige monitoringlocaties geomorfologisch en of bathymetrisch veranderd zijn (Tabel 10). De locaties die meer dan één meter in hoogte zijn veranderd zijn in Tabel 11 te vinden.

Een overzicht van de hoogteverschillen tussen periode 1 en periode 2 zijn terug te vinden in de tabel van appendix 13 .

Tabel 11: Hoogteverschillen NCV-monitoringlocaties

Vershil in hoogte tussen periode 1 en periode 2 in centimeter	aantal	percentage
0-50	174	70%
50-100	41	17%
100-150	18	7%
150-200	6	2%
200-250	4	2%
250-300	2	1%
>300	2	1%

Tabel 10: NCV-monitoringlocaties die meer dan 1 meter in hoogte zijn veranderd. De cel is rood als de monitoringlocatie meer dan 1 meter hoger is komen te liggen en blauw als de monitoring locatie 1 meter lager is komen te liggen. De dik gedrukte monitoringlocaties zijn meer dan 300 meter verschoven.

1	116	311	334
95	121	312	345
99	123	321	354
105	127	322	375
107	136	325	390
109	155	328	396
112	282	329	398
115	283	333	402

Op de vierde deelonderzoeksvraag, *Wat is de oorzaak van de geomorfologische en bathymetrische veranderingen in de Voordelta tussen 2004 en 2013*, is een antwoord gevonden. Tijdens het onderzoek zijn meerdere oorzaken gevonden. Gebleken is dat de mate van effect van elk van de verschillende oorzaken moeilijk is in te schatten. De oorzaken van de geomorfologische en bathymetrische veranderingen zijn toe te schrijven aan menselijk handelen en natuurlijke processen. De oorzaken van de veranderingen door menselijk handelen zijn de Deltawerken, de aanleg van de Maasvlaktes, de aanleg van het gebied de Slufter en het baggeren van de geul Slijkgat en het spuidebiet. De aan de natuur gerelateerde oorzaken van de veranderingen zijn de golven, het astronomische getij, de rivierafvoer en het spuidebiet.

10. Aanbevelingen

De uit het rapport voortvloeiende aanbevelingen voor Rijkswaterstaat zijn:

Op het gebied van metingen:

Voor vervolgonderzoek is het beter om eens in de drie jaar de gehele Voordelta met behulp van Vaklodingen in kaart te brengen. Deze kaart is dan representatief voor één jaar. Daardoor krijg je een nauwkeurigere weergave van de bathymetrie. De verplaatsing van de circa 400 monitoring locaties dienen beperkt te worden, of de punten die verplaatst worden moeten een andere meetpunt indentificatie krijgen. Voor het analyseren van de monsters is het makkelijker en beter wanneer de verplaatsing van de punten wordt beperkt en specifieker geïdentificeerd.

Op het gebied van verder onderzoek:

Aangezien er waarschijnlijk een correlatie tussen geomorfologische veranderingen en het benthos aanwezig is wordt een vervolgonderzoek op het gebied van deze mogelijke correlatie aangeraden. Indien er een vervolg onderzoek wordt gedaan wordt aangeraden gebruik te maken van de dieptemetingen van de circa 400 monitoringlocaties. Omdat met behulp van deze gegevens snel en relatief nauwkeurig een antwoord gevonden kan worden op de vraag wat de verschillen in bathymetrie van de circa 400 monitoringlocaties zijn.

Om een ruimtelijk beeld te geven van de veranderingen wordt aanbevolen een ruimtelijke kaart te maken met daarin alle PMR monitoringlocaties en hoeveel deze locaties in de tijd in hoogte veranderd zijn.

11. Bibliografie

- Alkyon. (2006). *Morfodynamische ontwikkeling Voordelta*. Marknesse: Alkyon.
- Craeymeersch, J., Hamerlynck, O., Hostens, K., Vanreusel, A., & Vincx, M. (1990). *De ecologische ontwikkeling van de Voordelta, deelrapport 1*. De huidige ecologische situatie van de Voordelta. Yerseke: DIHO, Ru Gent.
- Craeymeersch, J., Hamerlynck, O., Hostens, K., Vanreusel, A., & Vincx, M. (1990). *De ecologische ontwikkeling van de Voordelta, deelrapport 2. De autonome ecologische ontwikkeling*. Yerseke: DIHO, Ru Gent.
- Craeymeersch, J., Perdon, J., Jol, J., Brummelhuis, E., & Asch, M. van. (2017). *PMR Monitoring Natuurcompensatie Voordelta - bodemdieren. Datarapport campagne bodemschaaf 2015 – multivariate analyses 2004-2013*. Yerseke: IMARES Wageningen UR.
- Elias, E., Spek, A. van der., & Lazar, M. (2016). The 'Voordelta', *the contiguous ebb-tidal deltas in the SW Netherlands: large-scale morphological changes and sediment budget 1965–2013; impacts of large-scale engineering*. *Netherlands Journal of Geosciences — Geologie en Mijnbouw*, 1-27.
- Elias, E., Vermaas, T., Vonhögen-Peeters, L., & Bruens, A. (2014). *Ontwikkeling Zwakke-Schakel suppletie Westkapelle. Morfologische veranderingen 2008 – 2013*. Deltares.
- Havenbedrijf Rotterdam N.V. (sd). *Project*. Opgeroepen op 06 11, 2017, van Maasvlakte 2 : <https://www.maasvlakte2.com/nl/index/show/id/23/project>
- GeoServer. (sd). *Layer Preview*. Opgeroepen op 06 10, 2017, van PMR-GeoServer: <http://pmr-geoserver.deltares.nl/geoserver/web/>
- KNMI. (2009). *Klimatschetsboek Nederland. Het huidige en toekomstige klimaat*. de Bilt: KNMI.
- KNMI. (z.d.). *Golven*. Opgeroepen op 07 27, 2017, van Koninklijke Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/golven>
- Kohsiek, L., & Mulder, J. (1989). *De Voordelta een watersysteem verandert*. Rijkswaterstaat, dienst getijdewateren.
- Kruif, A. de. (2001). *Bodemdieptegegevens van het Nederlandse Kustsysteem. Beschikbare digitale data en een overzicht van aanvullende analoge data*. RIKZ.
- Lekkerkerk, H., Tooren, C. van, Mierlo, B. van, & Meul, E. van der. (2007). *Gevolgen en omvang van verschillen LRK en waterstandgecorrigeerde dieptemetingen*. Amsterdam: Periplus Consultancy.
- Ministerie van economische zaken a. (z.d.). *Habitatype 'permanent overstroomde zandbanken'*. Opgeroepen op 04 26, 2017, van Ministerie van Economische Zaken. Beschermde natuur in Nederland: soorten en gebieden in wetgeving en beleid: <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=habtypen&groep=1&id=1110>
- Ministerie van economische zaken b. (z.d.). *Habitatype 'Slik- en zandplaten'*. Opgeroepen op 02 05, 2017, van Ministerie van Economische Zaken: <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=habtypen&groep=1&id=1140>
- Marijs, K. & Parée, E. (2004). *Nauwkeurigheid vaklodingen Western Scheldt en monding – “de praktijk”*. Vlissingen: Rijkswaterstaat, Meetinformatiedienst Zeeland.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy* (2e ed.). West Sussex, Engeland: John Wiley & Sons Ltd.
- Openbasiskaart. (z.d.). Opgeroepen op 07 27, 2017, van Openbasiskaart: <http://openbasiskaart.nl/>
- Perluka, R., Wiegmann, E., Jordans, R. & Swart, L. (2006). *Opnametechnieken Waddenzee*. Delft: Rijkswaterstaat, Adviesdienst Geo Informatie en ICT.
- Postma, R., Mulder, J., Louters, T., Hallie, F., & Vos, F. de. (1990). *Een kwalitatieve prognose van de morfologie van de Oosterschelde-buitendelta in 2010*. Middelburg: Rijkswaterstaat.

- Prins, T., Kolff, G. van den., Boon, A., Reinders, J., Kuijper, C., Hendriksen, G., Holzhauer, H., Langenberg, V., Craeymeersch, J., Tulp, I., Poot, M., Seegers, H. & J. Adema (2014). *PMR Monitoring natuurcompensatie Voordelta. Eindrapportage 1e fase 2009-2013*. Delft: Deltares.
- Prins, T., Kolff, G. van den., & (Eds.) (2014). *PMR Monitoring natuurcompensatie Voordelta. Eindrapportage 1e fase 2009-2013 deel B*. Delft: Deltares.
- Prins, T., Tulp, I. & Sluis, M. van der. (2016). *PMR monitoring natuurcompensatie Voordelta. Samenvattende rapportage 2015*. Delft: Deltares.
- Regiegroep Natura 2000. (z.d.). *Kernboodschap Natura 2000*. Opgeroepen op 06 10, 2017, van Natura 2000: <http://www.natura2000.nl/pages/kernboodschap.aspx>
- Rijksoverheid. (sd). *Mainportontwikkeling Rotterdam*. Opgeroepen op 06 11, 17, van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/zeevervaart-en-zeehavens/inhoud/mainportontwikkeling-rotterdam>
- Rijkswaterstaat. (2011). *Informatiebehoefte en programmering bodemhoogte (HWS en HVWN)*. Rijkswaterstaat, Waterdienst.
- Rijkswaterstaat. (2013). *Kustlijkaarten 2014*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Hartelkering*. Opgeroepen op 07 27, 2017, van Rijkswaterstaat ministerie van infrastructuur en milieu: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/deltawerken/hartelkering.aspx>
- Rijn, L. van. (2006). *Manuel sediment transport measurements in Rivers, Estuaries and coastal Seas*. Den Haag: Aqua publications.
- RIKZ. (2007). *Natuurcompensatie Maasvlakte Twee in de Voordelta; De inzet van kennis over de ecologie en morfologie van de Voordelta om het maatregelenpakket ter compensatie van de natuureffecten van de Tweede Maasvlakte te verantwoorden*. Den Haag: RWS Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Sarink, H., Elings, C. (2007). *Milieu-effectrapportage bestemming Maasvlakte 2 : hoofd rapport*. Rotterdam: Havenbedrijf Rotterdam.
- Stam, J., Groen, M., Walburg, L. (2002). *Haringvlietmonding: Reconstructie van een afsluiting*. Den Haag: RWS, RIKZ.
- Stichting Deltawerken Online. (z.d.). *The Delta Works*. Opgeroepen op 07 27, 2017, van Deltawerken Online: <http://www.deltawerken.com/Deltaworks/23.html>
- Terwindt, J. (1973). *Sand movement in the in- and offshore tidal area of the S. W. part of the Netherlands*. *Geologie en Mijnbouw* 52, 69-77
- Wiegmann, E., Perluka, R., Oude Elberink, S. & Vogelzang, J. (2005). *Vaklodingen: De inwintechnieken en hun combinaties*. Delft: Rijkswaterstaat, Adviesdienst GeoInformatie.
- Wiggers, A., Devreker, A., Lissens, R., Kooy, G., Lauwerier, H., & Presser, J. (Red.). (1976). *Grote winkler prins: Encyclopedie in twintig delen* (7e ed.). Amsterdam, Nederland: Elsevier.
- Winter, W. de. (2014). *Morphological development of the Haringvliet ebb tidal delta since 1970. A study based on the morphological development of individual morphological units*. Rijkswaterstaat, Deltares and Universiteit Utrecht.
- Zee, P. van der., Berkenbosch, R., Meulepas, G., Brouwer, L., Ledden, M. van., Heinis, F., Vertegaal, C., Zanten, M. van., Mars, H, de., (2007). *Milieu-effectrapportage aanleg Maasvlakte 2: hoofd rapport*. Rotterdam: Havenbedrijf Rotterdam.

12. Appendix

Appendix 1: de Voordelta



(Prins et al. a, 2014)

Appendix 2: verhouding stroomsnelheid en transport deeltjes

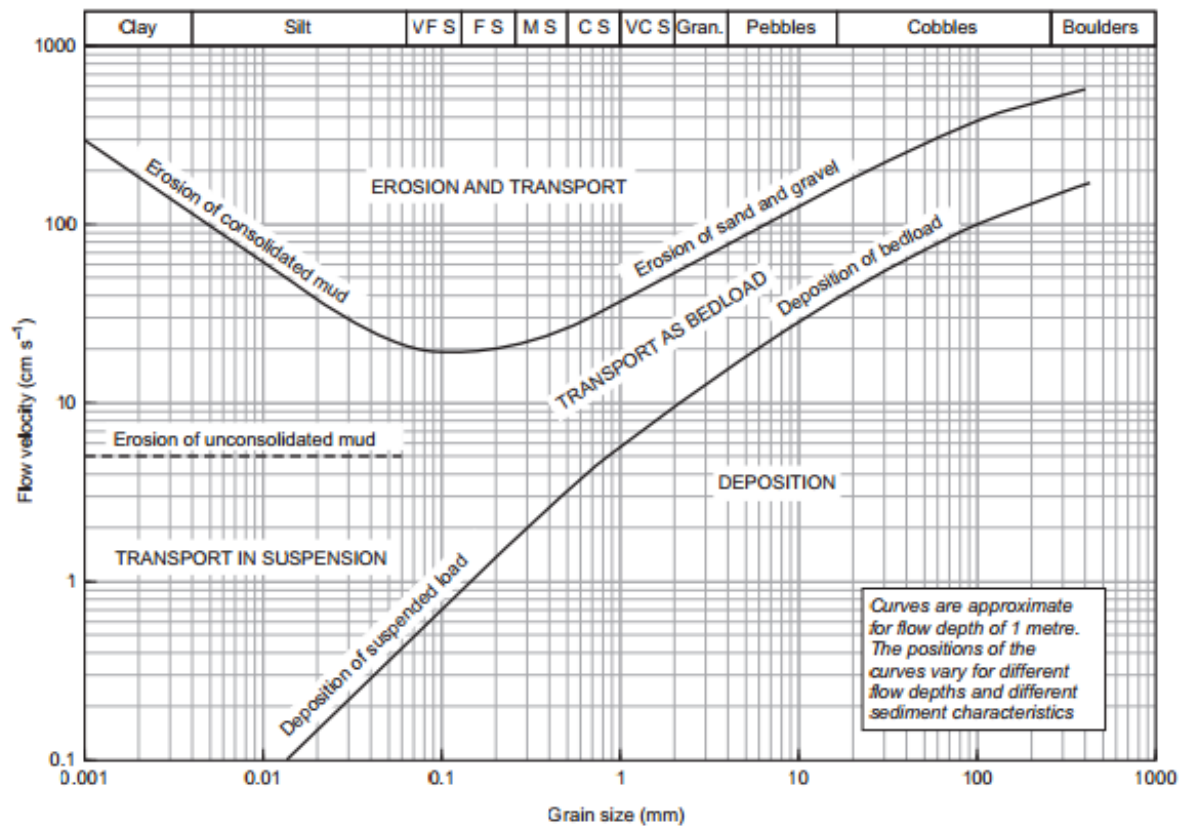


Fig. 4.5 The Hjulstrom diagram shows the relationship between the velocity of a water flow and the transport of loose grains. Once a grain has settled it requires more energy to start it moving than a grain that is already in motion. The cohesive properties of clay particles mean that fine-grained sediments require relatively high velocities to re-erode them once they are deposited, especially once they are compacted. (From Press & Siever 1986.)

Figuur 28: (Nichols, 2009)

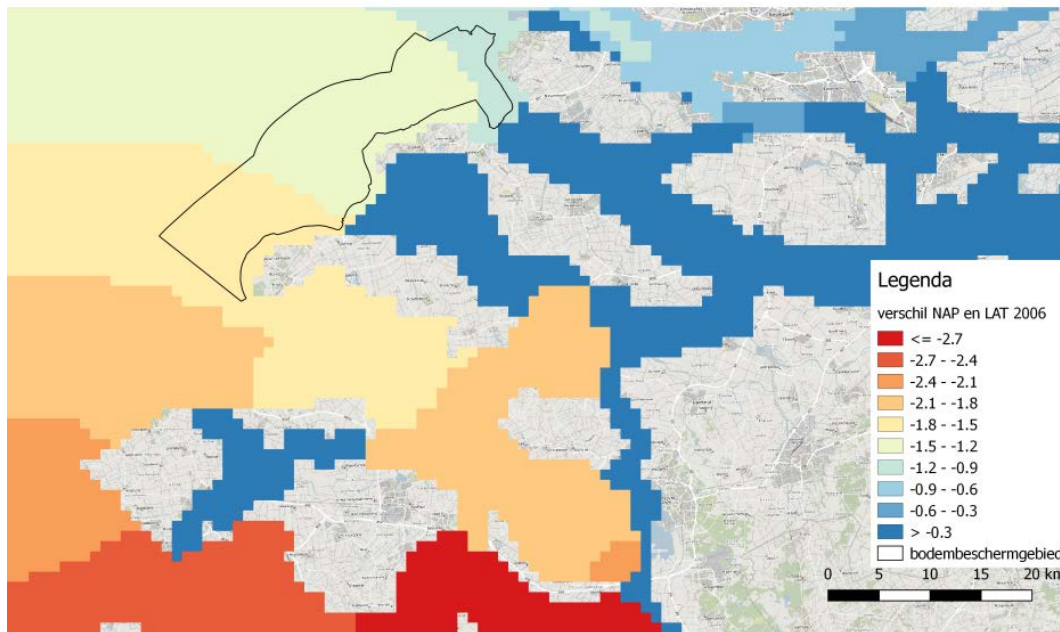
Appendix 3: baggergebied Slijkgat



In deze kaart wordt het gele gebied gebaggerd tot circa 5meter. In het grijze ruit gebied wordt vervolgens het sediment gestort.

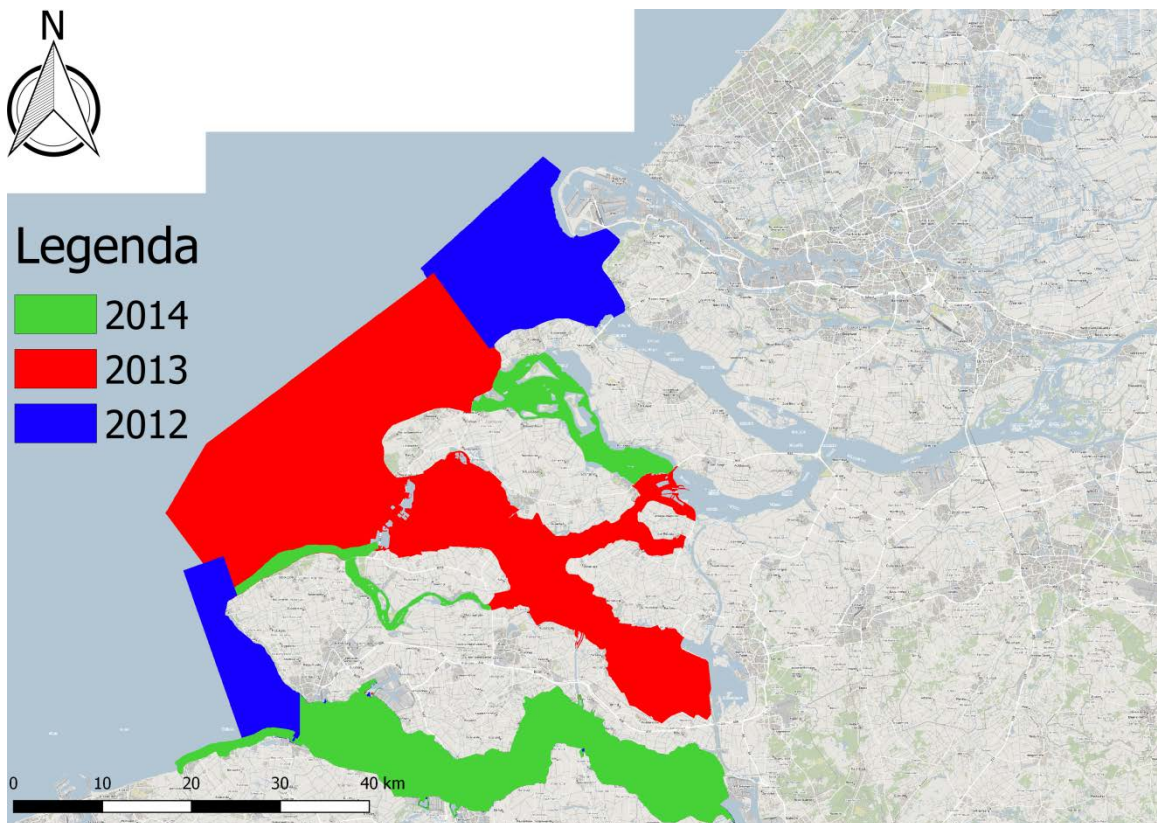
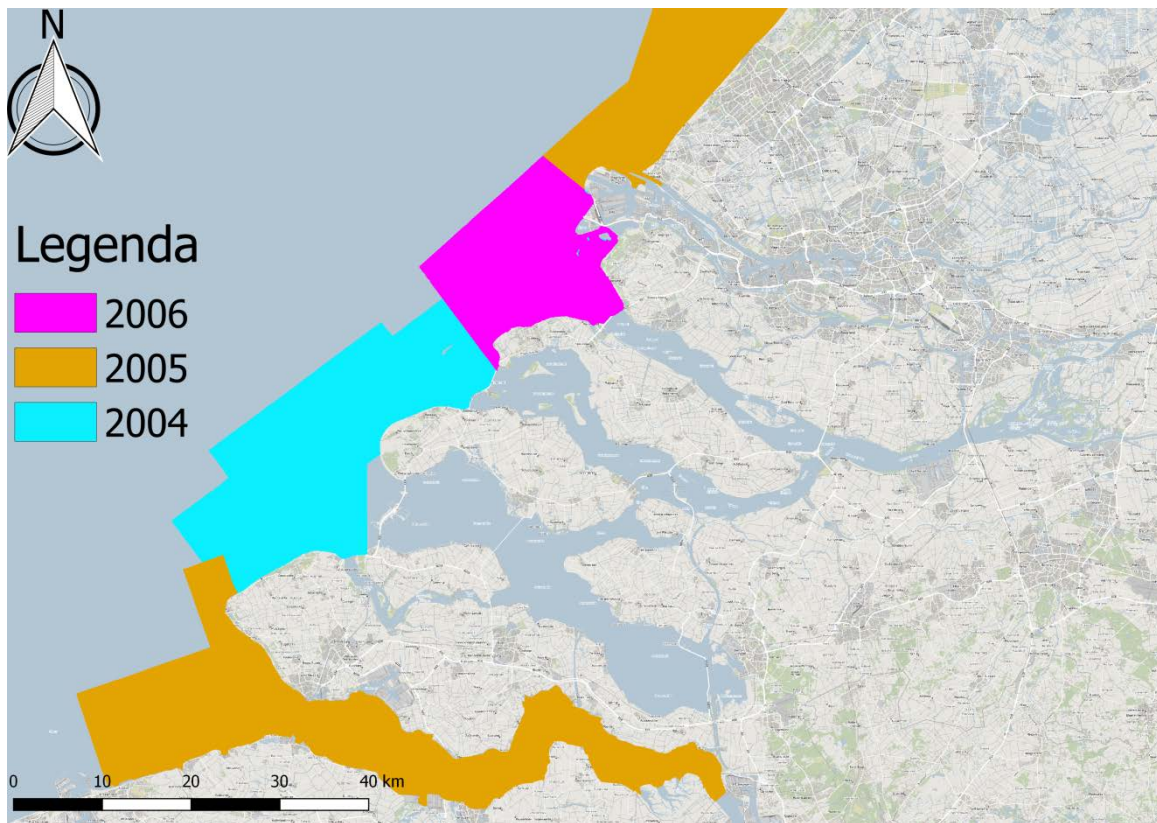
Appendix 4: laagste astronomische getij

lowest astronomical tide Voordelta

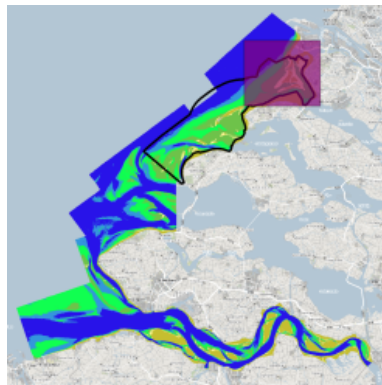


Verschil in diepte is in meter.

Appendix 5: jaren vakklodngen en Jarkus in de gemaakte kaarten



Appendix 6: diepte classificatie kaarten



Classificatie bathymetry van de monding van het Haringvliet 2004/2005/2006

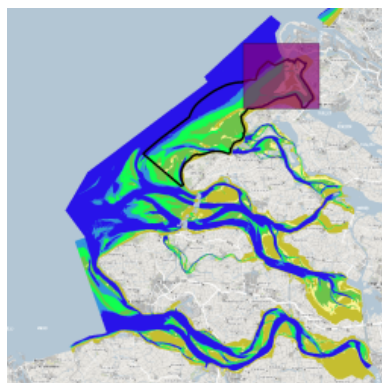
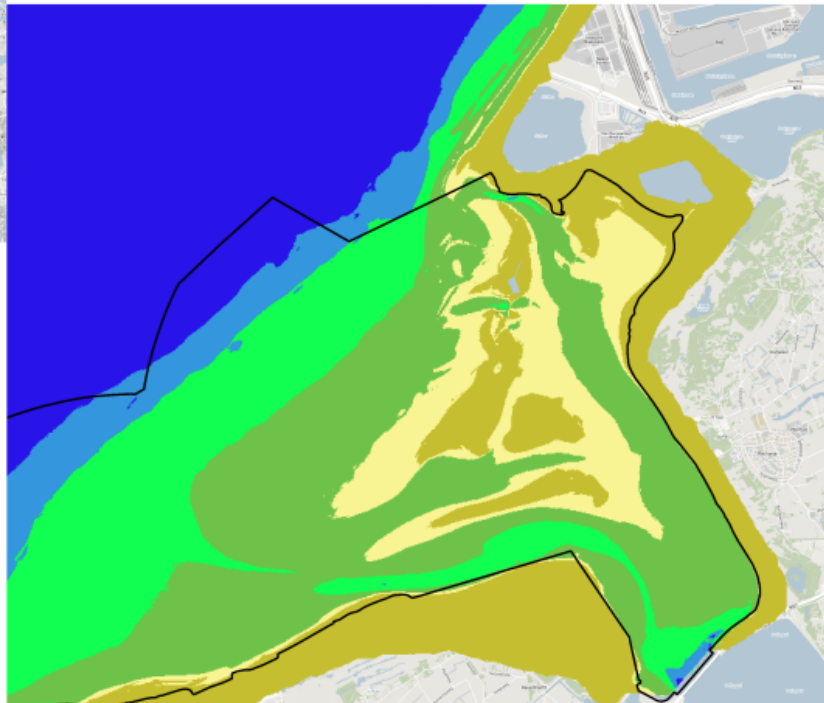


Legenda

□ bodembeschermgebied 2012

Diepte ten opzichte van NAP

- <= -1000cm (diep zeegebied)
- -1000 - -800cm(randen)
- -800 - -500cm(randen,geulen)
- -500 - -250cm(ondieptes,geulen)
- -250 - -150cm(ondieptes,randen geulen)
- > -150cm(platen, droogvallend gebied)



Classificatie bathymetry van de monding van het Haringvliet 2012/2013/2014

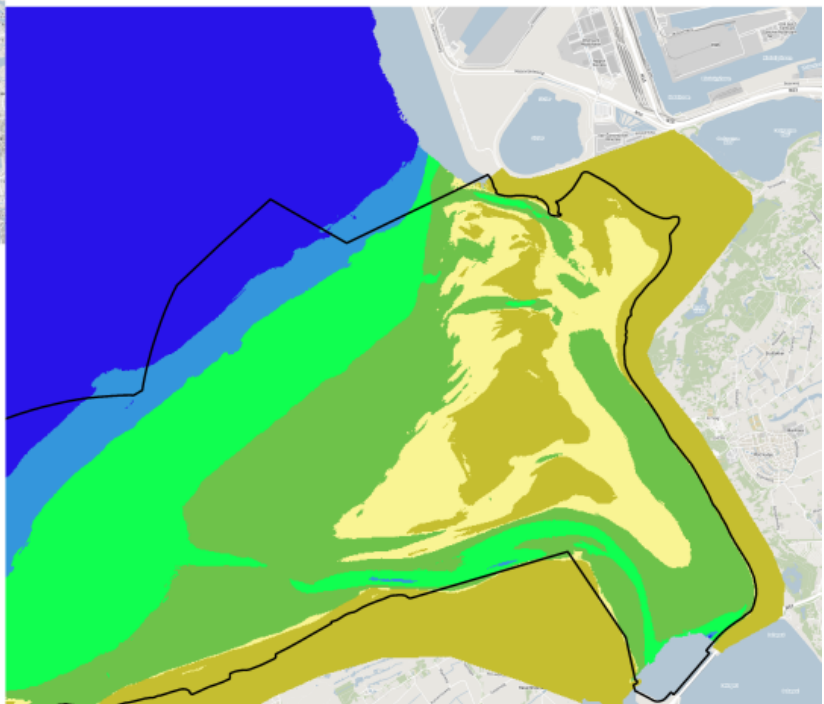


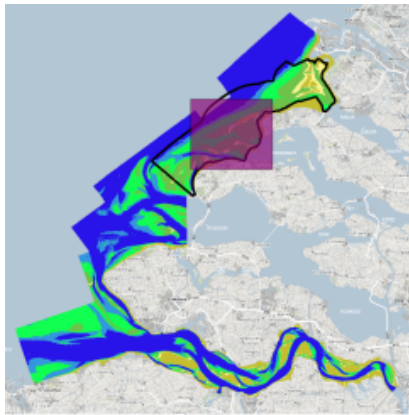
Legenda

□ bodembeschermgebied 2012

Diepte ten opzichte van NAP

- <= -1000cm (diep zeegebied)
- -1000 - -800cm(randen)
- -800 - -500cm(randen,geulen)
- -500 - -250cm(ondieptes,geulen)
- -250 - -150cm(ondieptes,randen geulen)
- > -150cm(platen, droogvallend gebied)





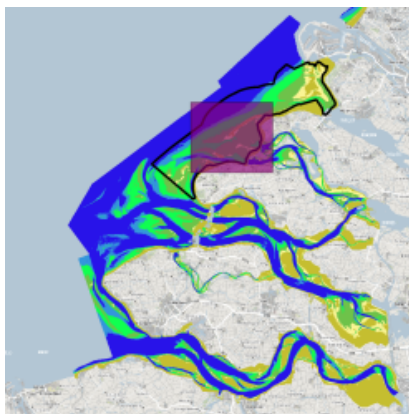
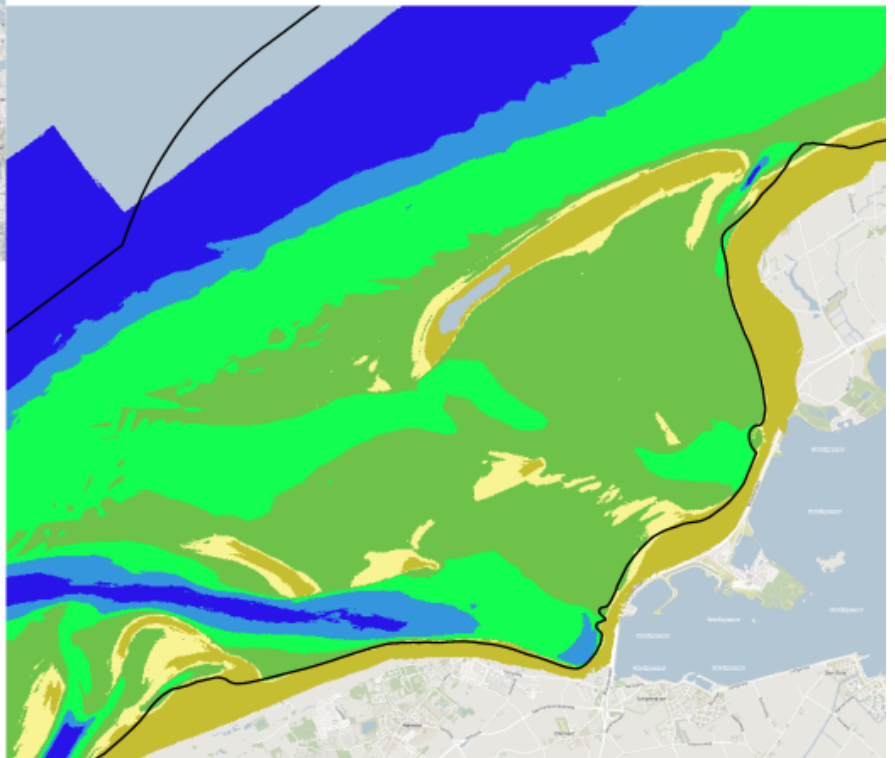
Classificatie bathymetry van de monding van De Grevelingen 2004/2005/2006



Legenda

- bodembeschermgebied 2012
- Diepte ten opzichte van NAP
- $\leq -1000\text{cm}$ (geulen, diep zeegebied)
- $-1000 - -800\text{cm}$ (randen, geulen)
- $-800 - -500\text{cm}$ (randen)
- $-500 - -250\text{cm}$ (ondieptes)
- $-250 - -150\text{cm}$ (platen)
- $> -150\text{cm}$ (platen, droogvallend gebied)

0 1 2 3 4 5 6 km



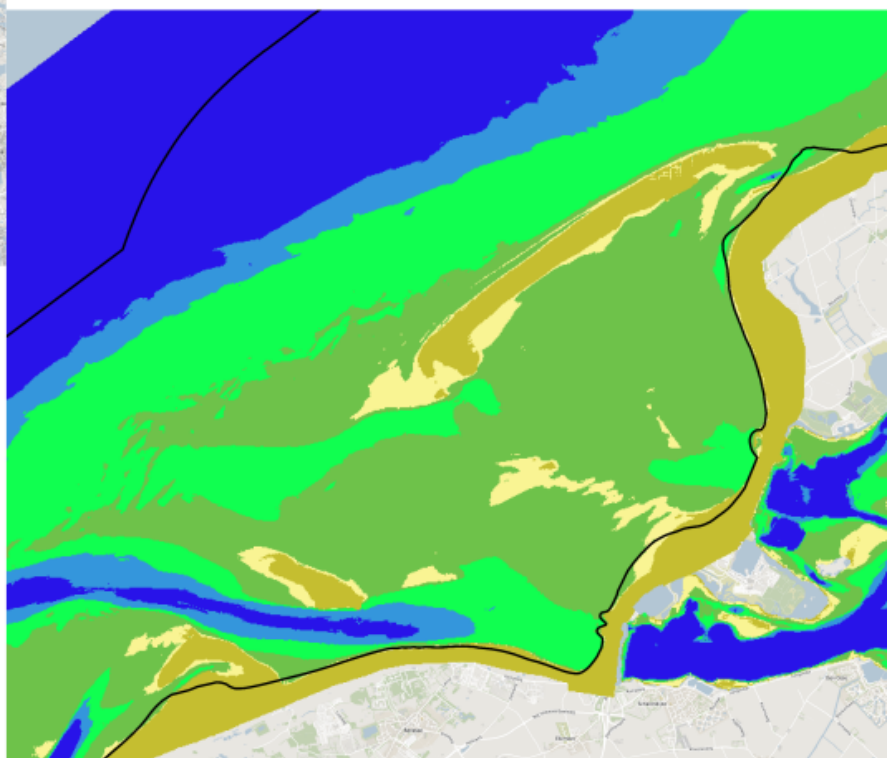
Classificatie bathymetry van de monding van De Grevelingen 2012/2013/2014

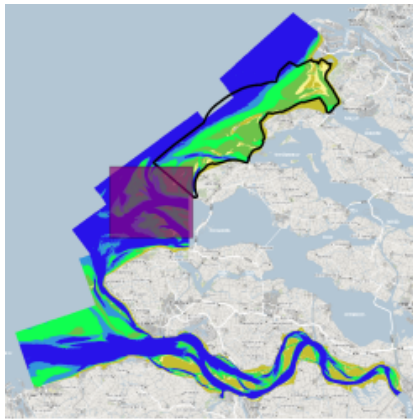


Legenda

- bodembeschermgebied 2012
- Diepte ten opzichte van NAP
- $\leq -1000\text{cm}$ (geulen, diep zeegebied)
- $-1000 - -800\text{cm}$ (randen, geulen)
- $-800 - -500\text{cm}$ (randen)
- $-500 - -250\text{cm}$ (ondieptes)
- $-250 - -150\text{cm}$ (platen)
- $> -150\text{cm}$ (platen, droogvallend gebied)

0 1 2 3 4 5 6 km



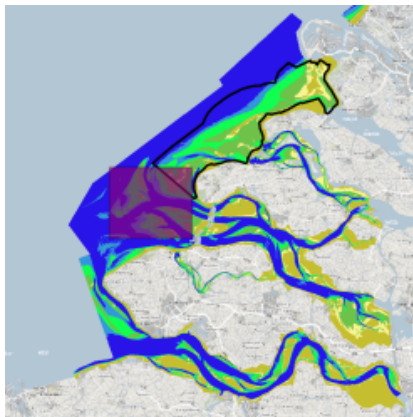
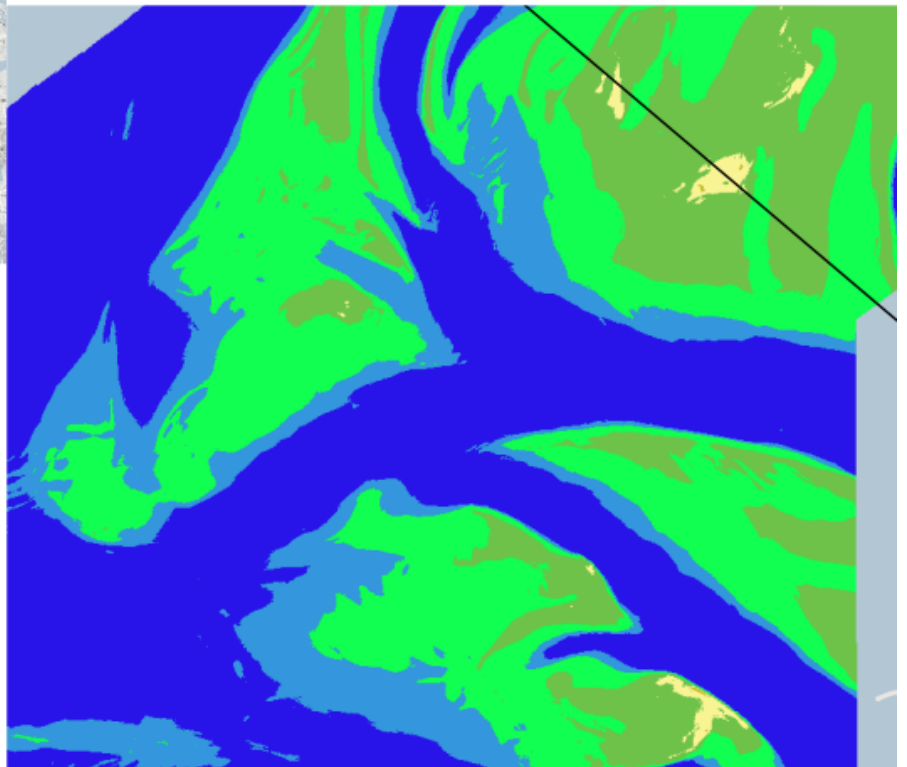


Classificatie bathymetry van de monding van de Oosterschelde 2004/2005/2006



Legenda

- bodembeschermgebied 2012
- Diepte ten opzichte van NAP
- <= -1000cm (geulen, diep zeegebied)
- 1000 - -800cm(randen)
- 800 - -500cm(overgang ondieptes-randen)
- 500 - -250cm(ondieptes)
- 250 - -150cm(platen)
- > -150cm(platen, droogvallend gebied)

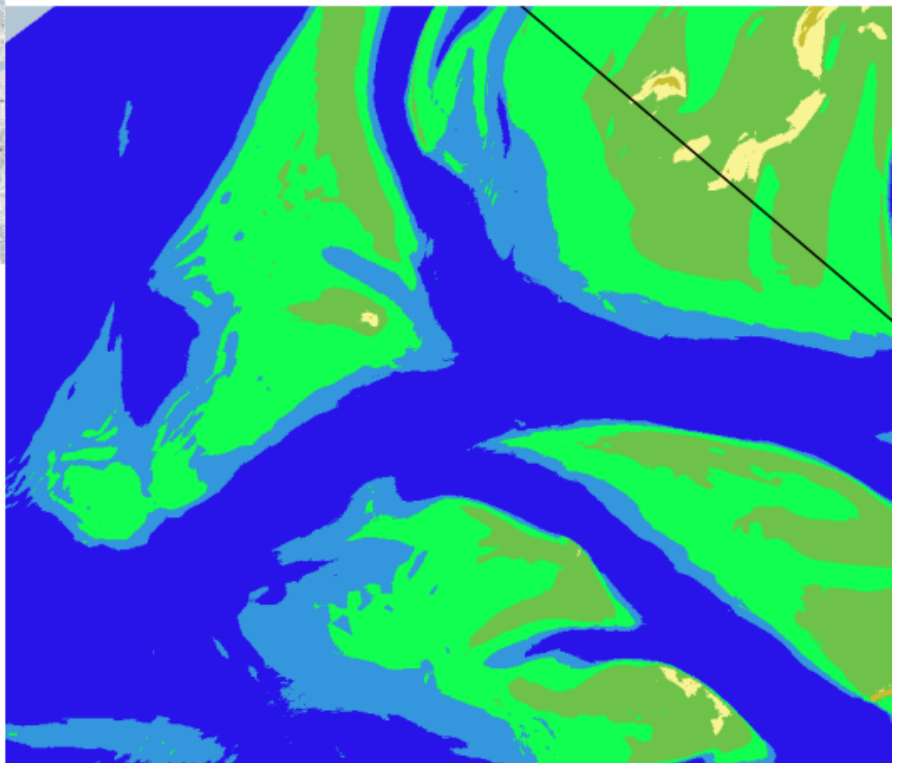


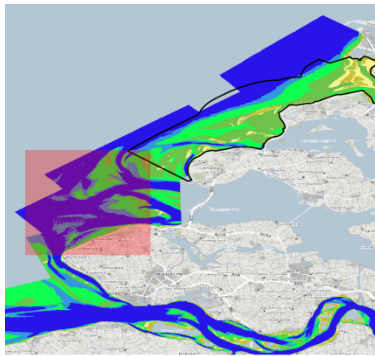
Classificatie bathymetry van de monding van de Oosterschelde 2012/2013/2014



Legenda

- bodembeschermgebied 2012
- Diepte ten opzichte van NAP
- <= -1000cm (geulen, diep zeegebied)
- 1000 - -800cm(randen)
- 800 - -500cm(overgang ondieptes-randen)
- 500 - -250cm(ondieptes)
- 250 - -150cm(platen)
- > -150cm(platen, droogvallend gebied)



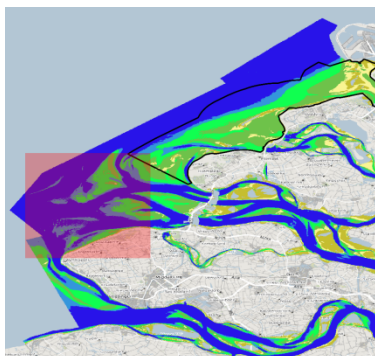
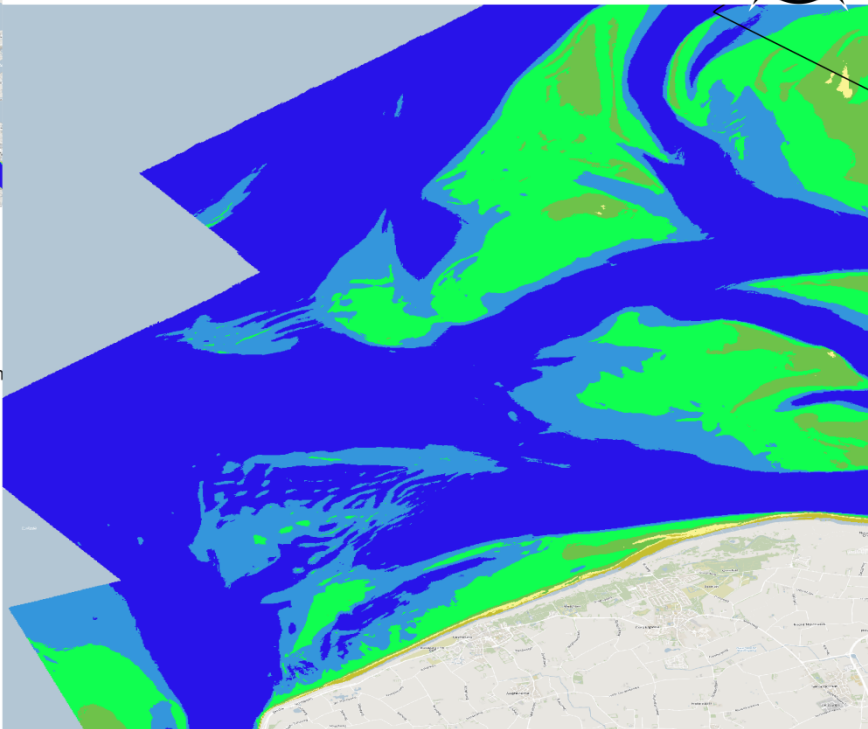
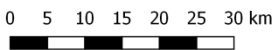


Classificatie bathymetry van de monding van het gebied boven Walcheren 2004/2005/2006



Legenda

- bodembeschermgebied 2012
- Diepte ten opzichte van NAP
- <= -1000cm (geulen, diep zeegebied)
- 1000 - -800cm(randen)
- 800 - -500cm(overgang ondieptes-randen)
- 500 - -250cm(ondieptes)
- 250 - -150cm(platen)
- > -150cm(platen, droogvallend gebied)

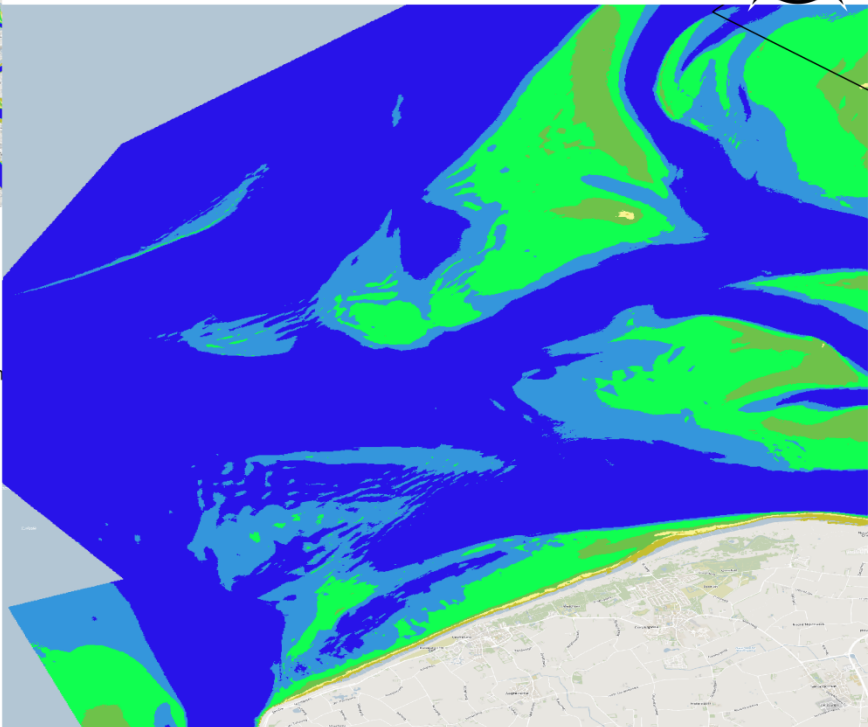
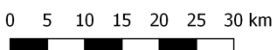


Classificatie bathymetry van de monding van het gebied boven Walcheren 2012/2013/2014

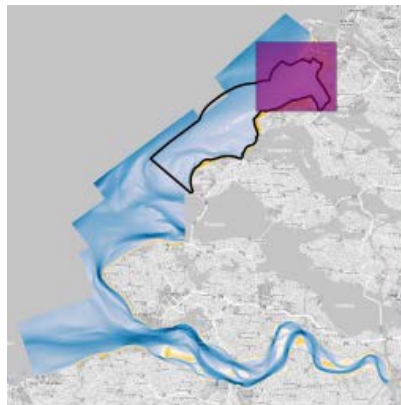


Legenda

- bodembeschermgebied 2012
- Diepte ten opzichte van NAP
- <= -1000cm (geulen, diep zeegebied)
- 1000 - -800cm(randen)
- 800 - -500cm(overgang ondieptes-randen)
- 500 - -250cm(ondieptes)
- 250 - -150cm(platen)
- > -150cm(platen, droogvallend gebied)



Appendix 7: bathymetrische kaarten



Bathymetry van de monding van het Haringvliet 2004/2005/2006



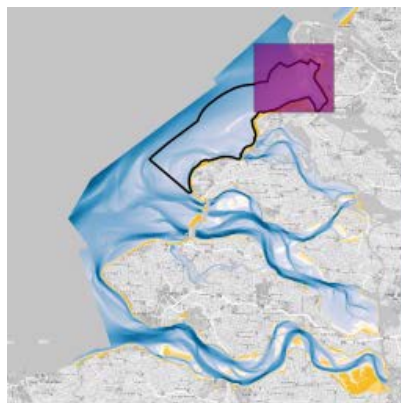
Legenda

□ bodembeschermgebied 2012

bathymetry

- -3000cm
- -2633cm
- -2267cm
- -1900cm
- -1533cm
- -1167cm
- -800cm
- -433.3cm
- -66.67cm
- 0cm
- 300cm

0 1 2 3 4 5 6 km



Bathymetry van de monding van het Haringvliet 2012/2013/2014



Legenda

□ bodembeschermgebied 2012

bathymetry

- -3000cm
- -2633cm
- -2267cm
- -1900cm
- -1533cm
- -1167cm
- -800cm
- -433.3cm
- -66.67cm
- 0cm
- 300cm

0 1 2 3 4 5 6 km





Bathymetry van de monding van De Grevelingen 2004/2005/2006

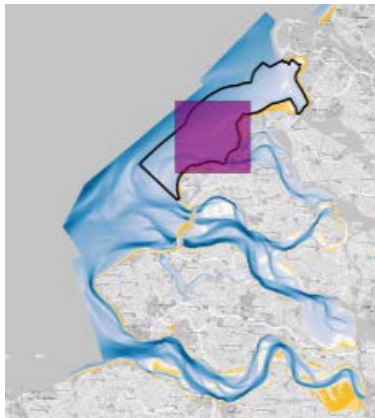


Legenda

□ bodembeschermgebied 2012

bathymetry

- -3000cm
- -2633cm
- -2267cm
- -1900cm
- -1533cm
- -1167cm
- -800cm
- -433.3cm
- -66.67cm
- 0cm
- 300cm



Bathymetry van de monding van De Grevelingen 2012/2013/2014

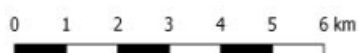


Legenda

□ bodembeschermgebied 2012

bathymetry

- -3000cm
- -2633cm
- -2267cm
- -1900cm
- -1533cm
- -1167cm
- -800cm
- -433.3cm
- -66.67cm
- 0cm
- 300cm





Bathymetry van de monding van De Oosterschelde 2004/2005/2006



Legenda

bodembeschermgebied 2012

bathymetry

- 3000cm
- 2633cm
- 2267cm
- 1900cm
- 1533cm
- 1167cm
- 800cm
- 433.3cm
- 66.67cm
- 0cm
- 300cm



Bathymetry van de monding van De Oosterschelde 2012/2013/2014



Legenda

bodembeschermgebied 2012

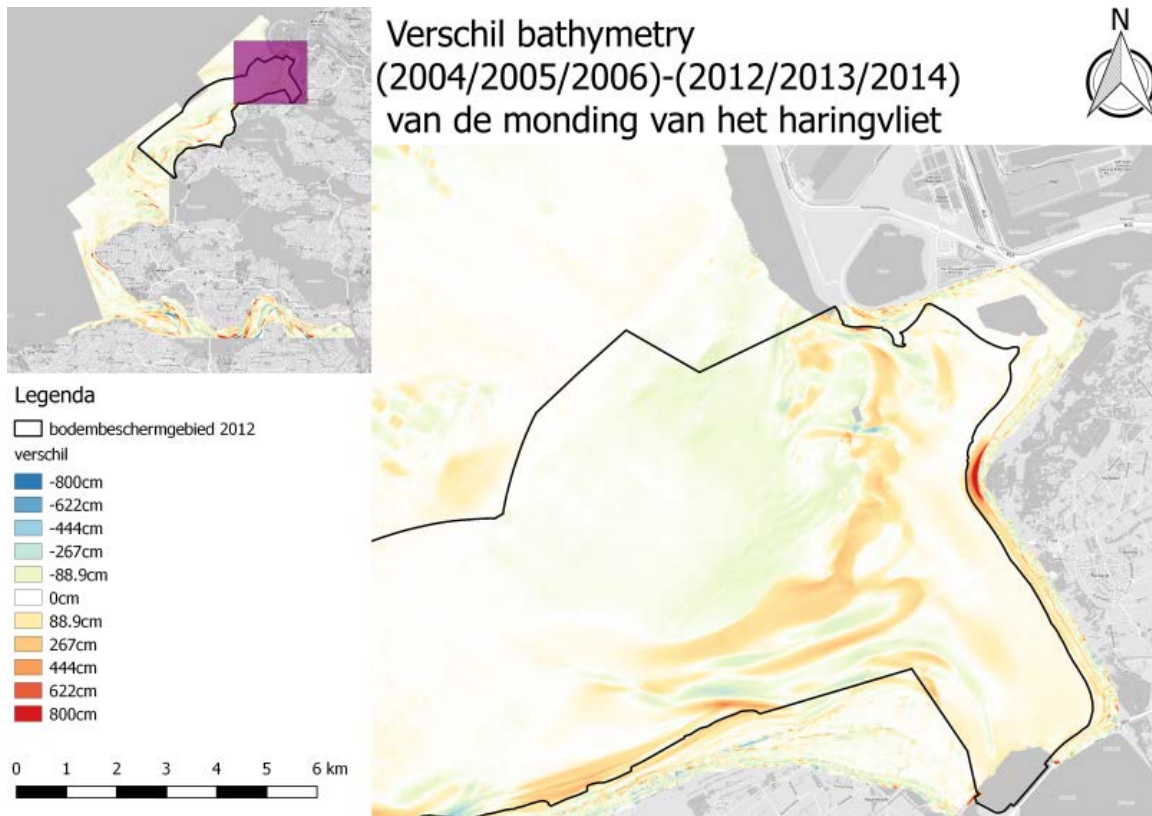
bathymetry

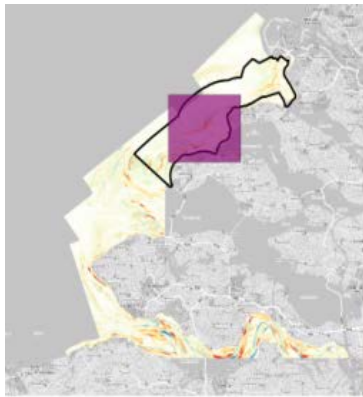
- 3000cm
- 2633cm
- 2267cm
- 1900cm
- 1533cm
- 1167cm
- 800cm
- 433.3cm
- 66.67cm
- 0cm
- 300cm



Appendix 8: verschilkaarten

Let op! Bij de verschilkaarten moet het streepje tussen de periodes gelezen worden als het woord 'tussen' en niet als teken min. Het blauw in de verschilkaarten is erosie tussen de periodes. Het rode is sedimentatie tussen de periodes.





Vershil bathymetry
(2004/2005/2006)-(2012/2013/2014)
van de monding van De Grevelingen



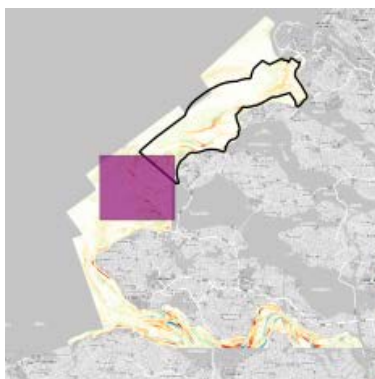
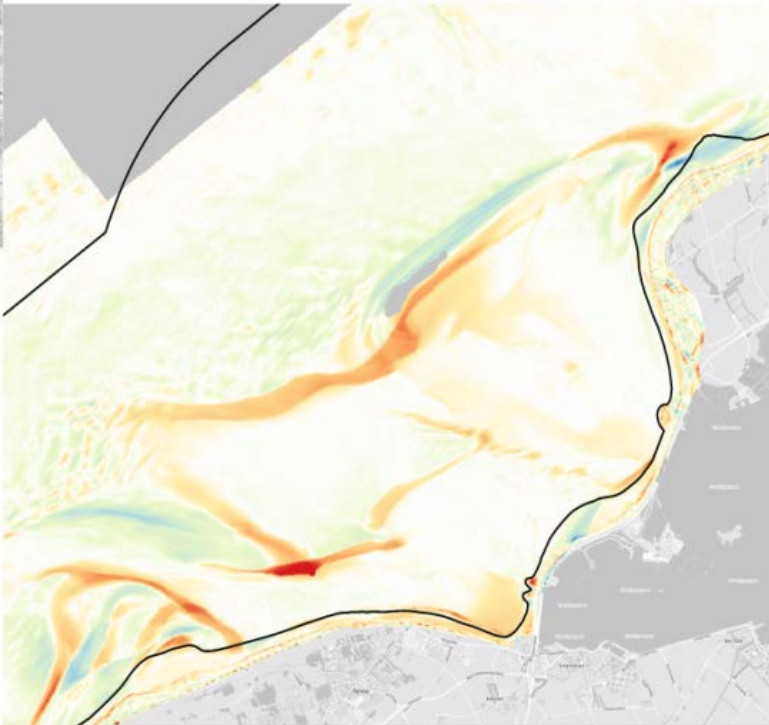
Legenda

□ bodembeschermgebied 2012

verschil

- 800cm
- 622cm
- 444cm
- 267cm
- 88.9cm
- 0cm
- 88.9cm
- 267cm
- 444cm
- 622cm
- 800cm

0 1 2 3 4 5 6 km



Vershil bathymetry
(2004/2005/2006)-(2012/2013/2014)
van de monding van De Oosterschelde



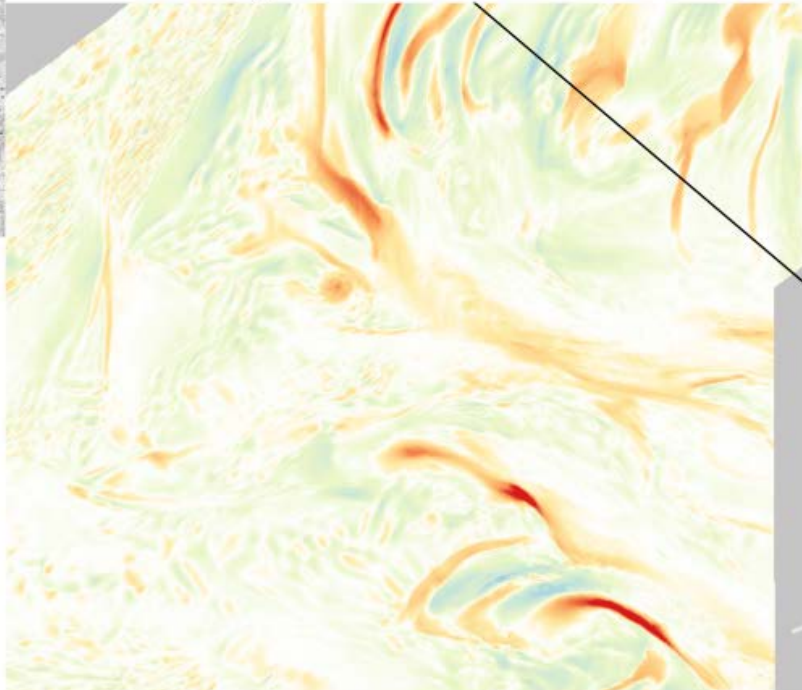
Legenda

□ bodembeschermgebied 2012

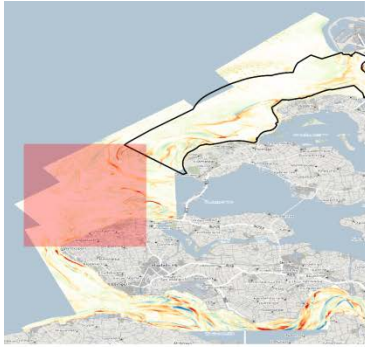
verschil

- 800cm
- 622cm
- 444cm
- 267cm
- 88.9cm
- 0cm
- 88.9cm
- 267cm
- 444cm
- 622cm
- 800cm

0 1 2 3 4 5 6 km






Vershil bathymetry (2004/2005/2006)-(2012/2013/2014) gebied boven Walcheren



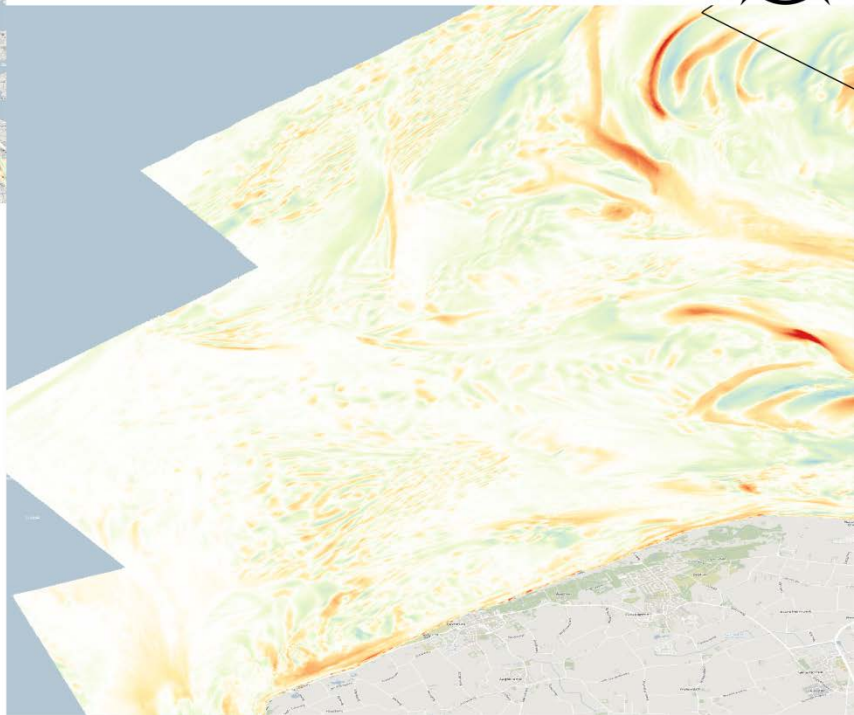
Legenda

 bodembeschermgebied 2012

verschil

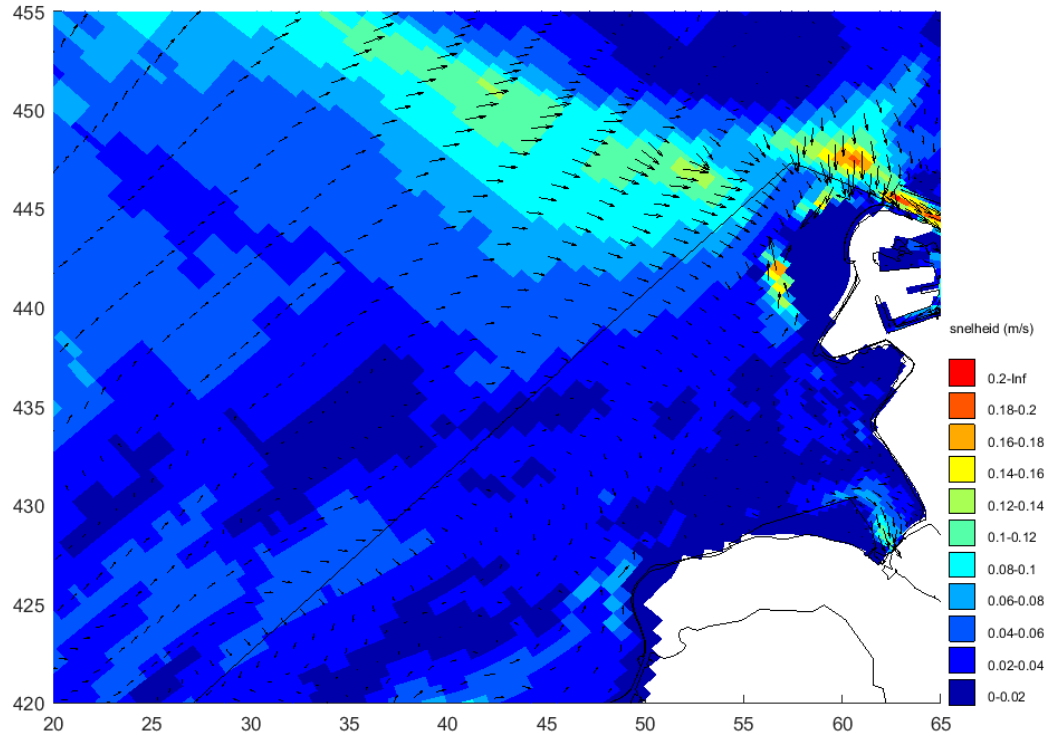
-  -800cm
-  -622cm
-  -444cm
-  -267cm
-  -88.9cm
-  0cm
-  88.9cm
-  267cm
-  444cm
-  800cm

0 5 10 15 20 25 30 km

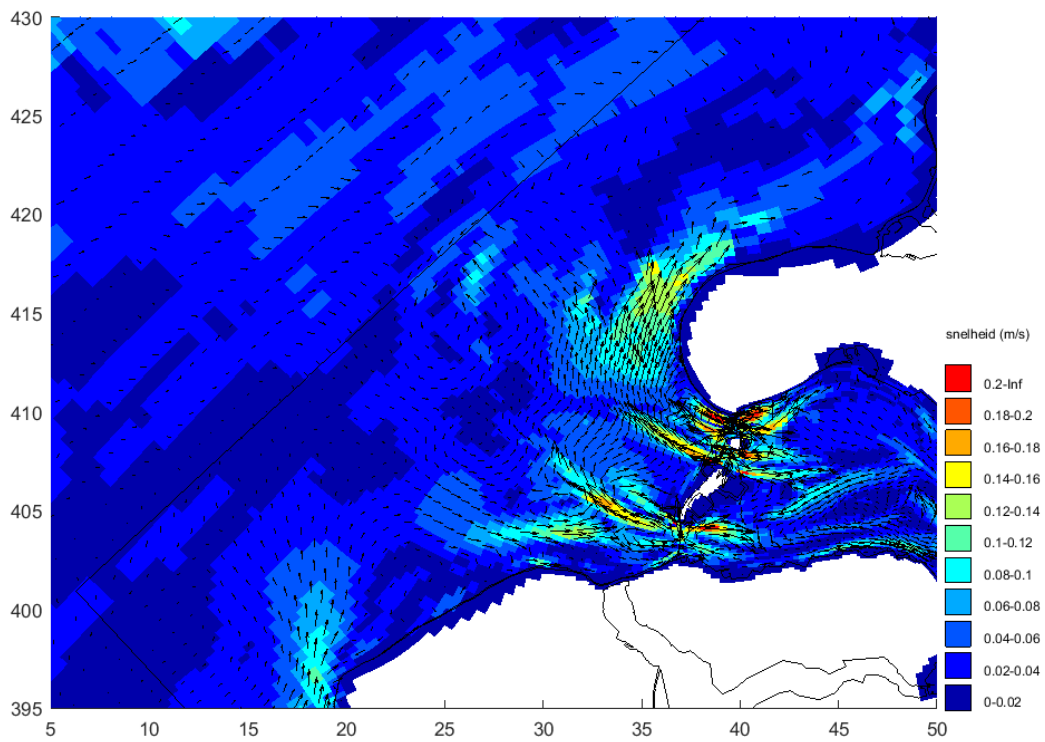


Appendix 9: Stroompatronen

Noord

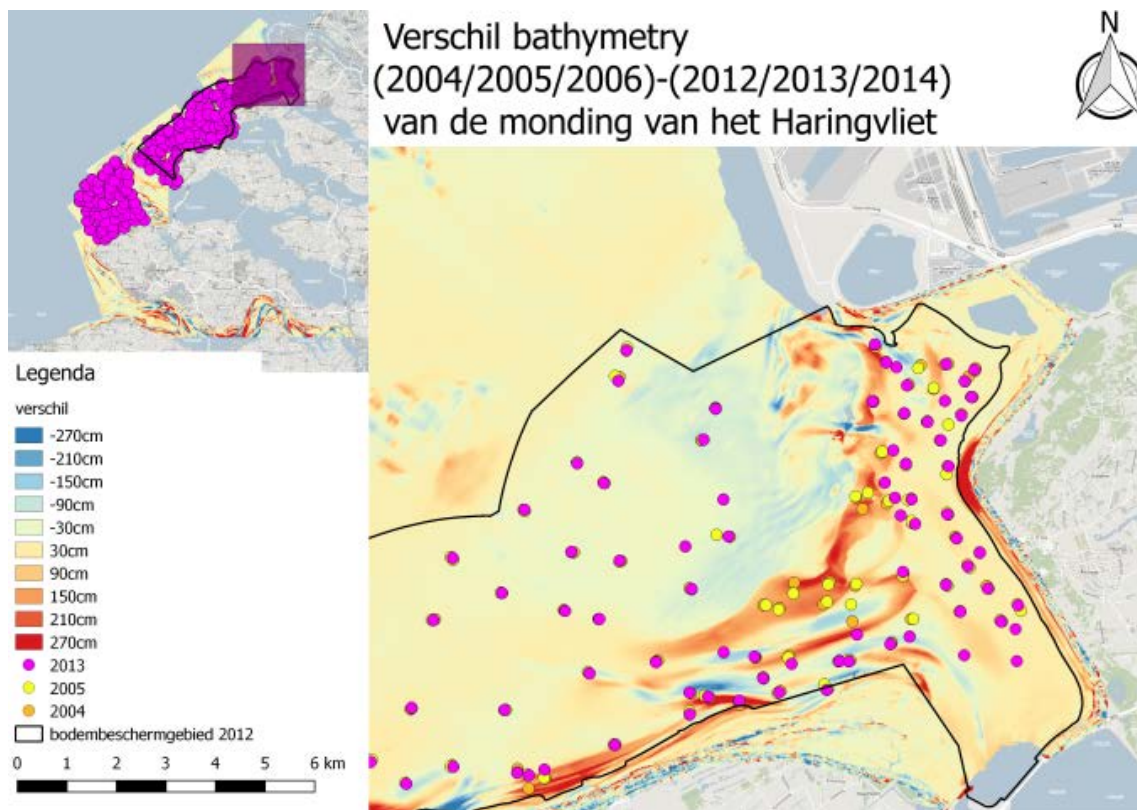


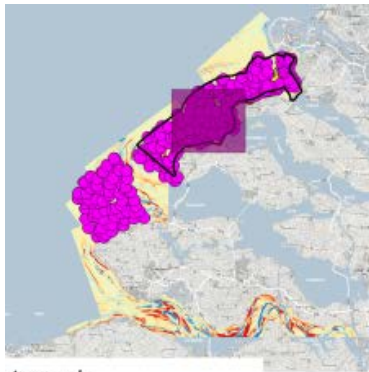
midden



Appendix 10: PMR meetpunten op verschilkaarten

Let op! Bij de verschilkaarten moet het streepje tussen de periodes gelezen worden als het woord 'tussen' en niet als teken min. Het blauw in de verschilkaarten is erosie tussen de periodes. Het rode is sedimentatie tussen de periodes.





Vershil bathymetry (2004/2005/2006)-(2012/2013/2014) van de monding van De Grevelingen



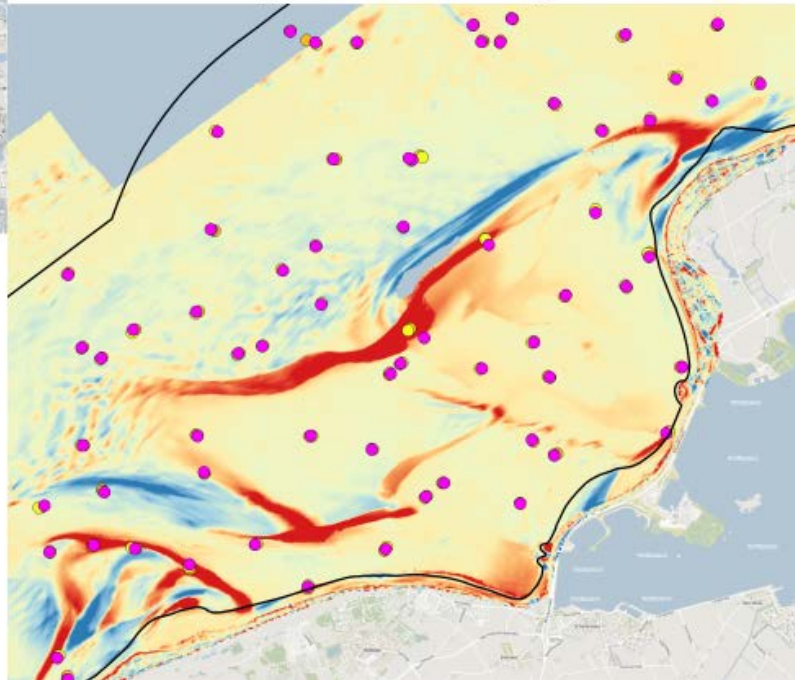
Legenda

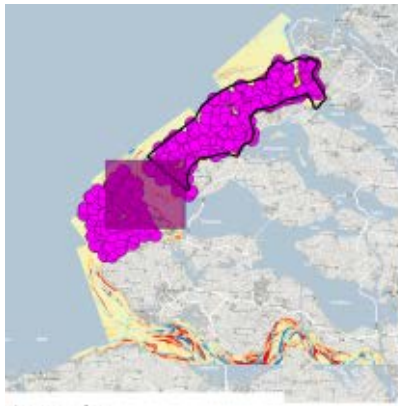
verschil

- 270cm
- 210cm
- 150cm
- 90cm
- 30cm
- 30cm
- 90cm
- 150cm
- 210cm
- 270cm
- 2013
- 2005
- 2004

□ bodembeschermgebied 2012

0 1 2 3 4 5 6 km





Vershil bathymetry
(2004/2005/2006)-(2012/2013/2014)
van de monding van De Oosterschelde

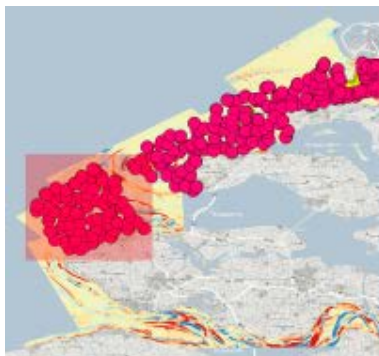
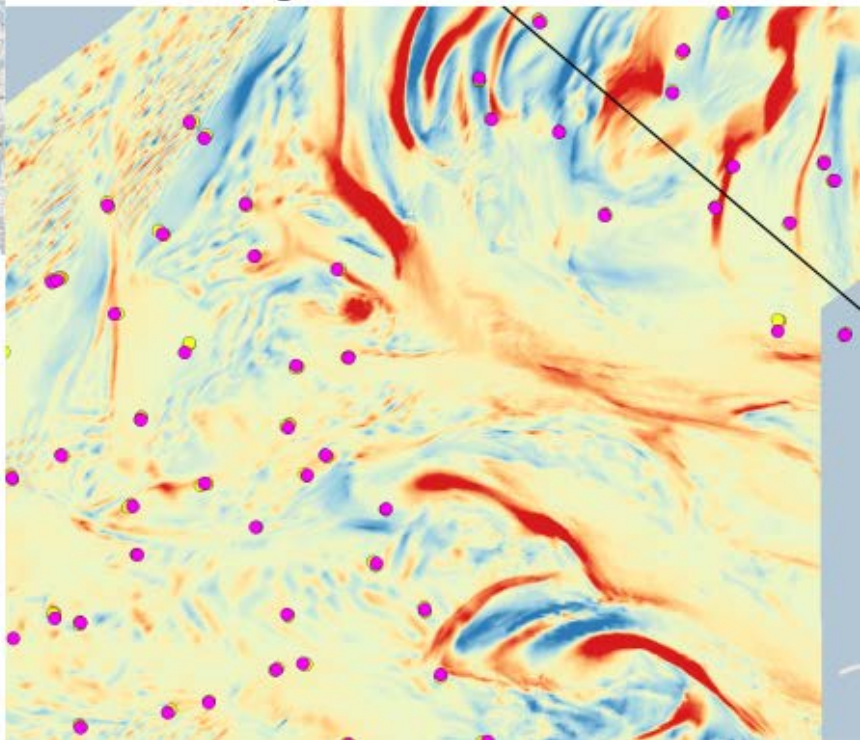
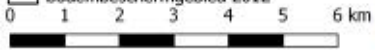


Legenda

verschil

- 270cm
- 210cm
- 150cm
- 90cm
- 30cm
- 30cm
- 90cm
- 150cm
- 210cm
- 270cm
- 2013
- 2005
- 2004

□ bodembeschermgebied 2012



Vershil bathymetry
(2004/2005/2006)-(2012/2013/2014)
gebied boven Walcheren

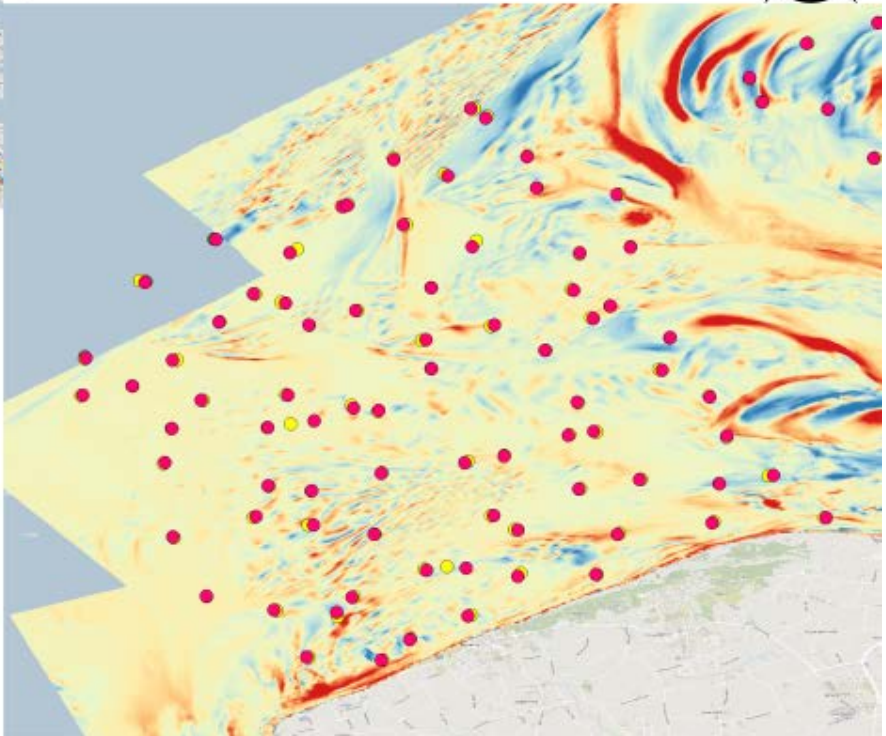


Legenda

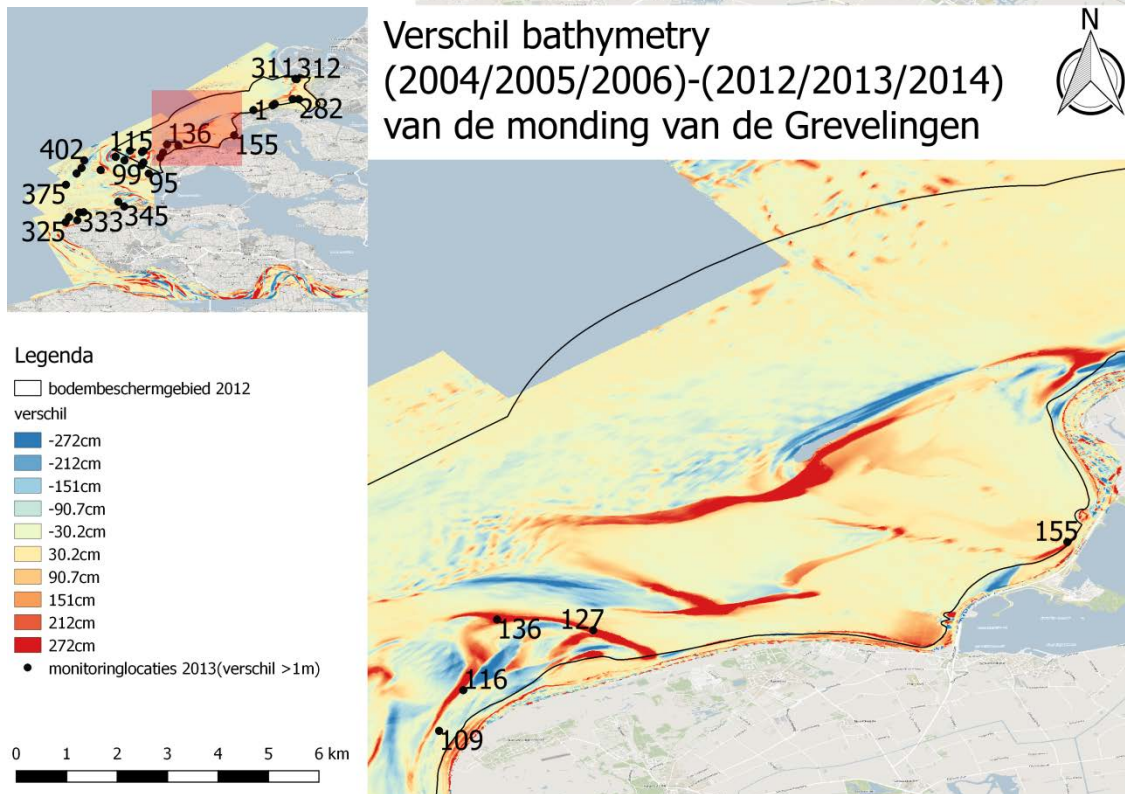
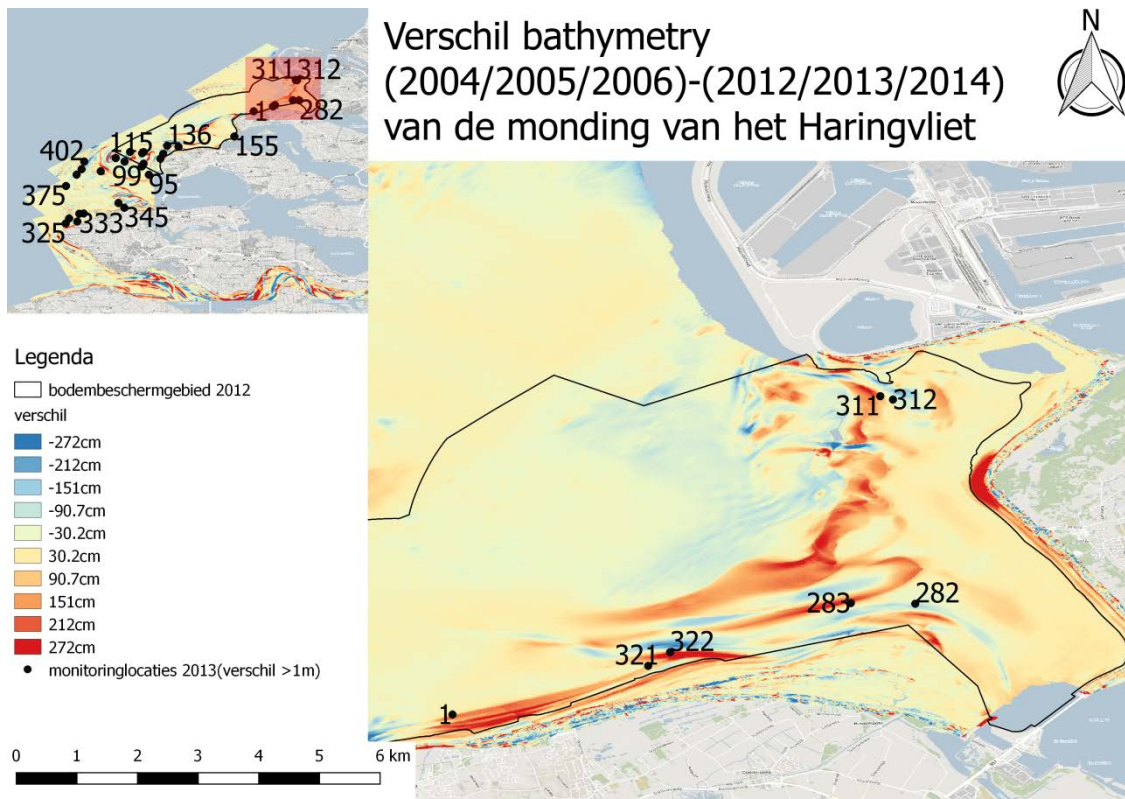
verschil

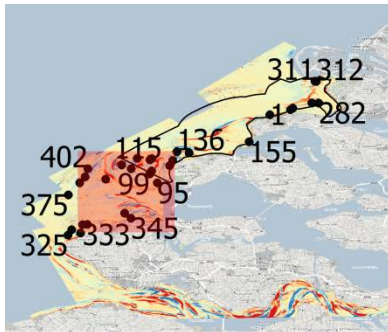
- 272cm
- 212cm
- 151cm
- 90.7cm
- 30.2cm
- 30.2cm
- 90.7cm
- 151cm
- 212cm
- 272cm
- 2013
- 2005
- 2004

0 5 10 15 20 25 30 km



Appendix 11: NCV-monitoringlocaties die meer dan 1 meter in hoogte zijn veranderd





Vershil bathymetry (2004/2005/2006)-(2012/2013/2014) van de monding van de Oosterschelde



Legenda

□ bodembeschermgebied 2012

verschil

-272cm

-212cm

-151cm

-90.7cm

-30.2cm

30.2cm

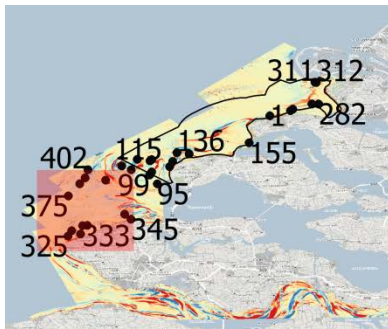
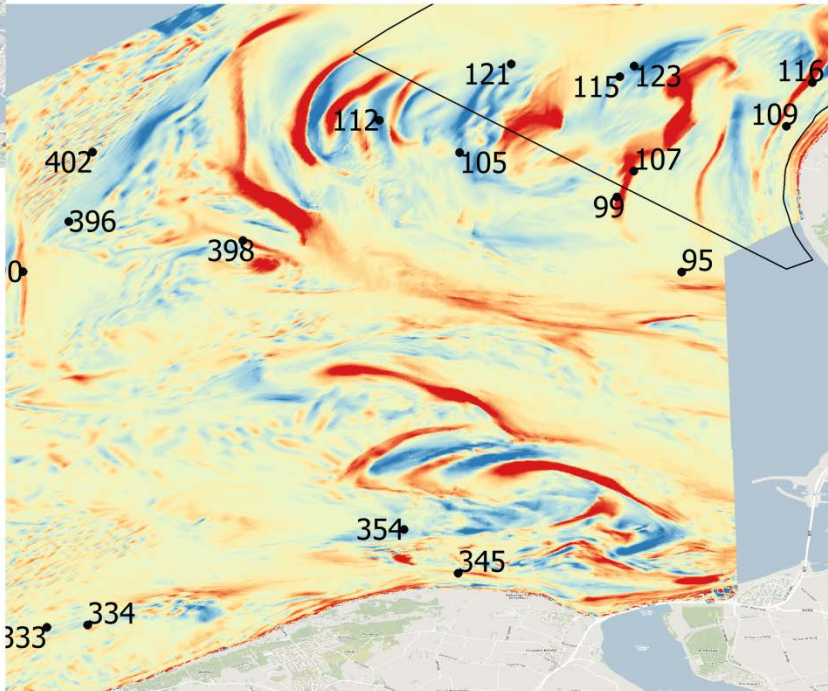
90.7cm

151cm

212cm

272cm

• monitoringlocaties 2013(verschil >1m)



Vershil bathymetry (2004/2005/2006)-(2012/2013/2014) gebied boven Walcheren



Legenda

□ bodembeschermgebied 2012

verschil

-272cm

-212cm

-151cm

-90.7cm

-30.2cm

30.2cm

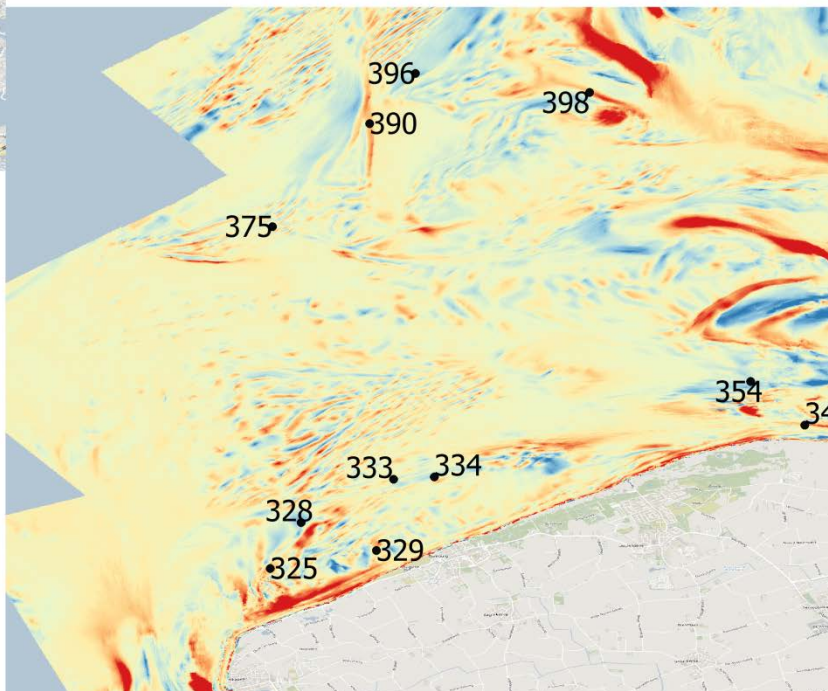
90.7cm

151cm

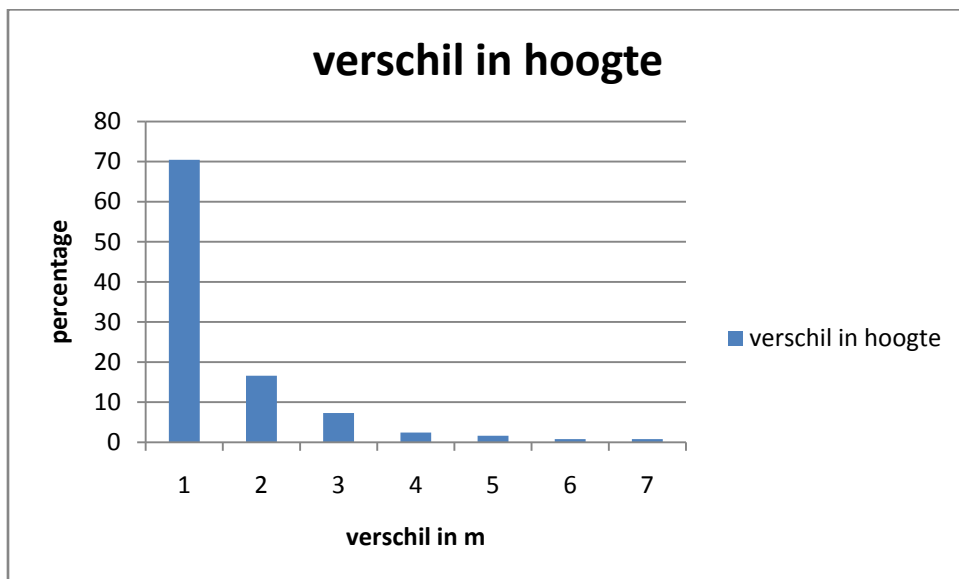
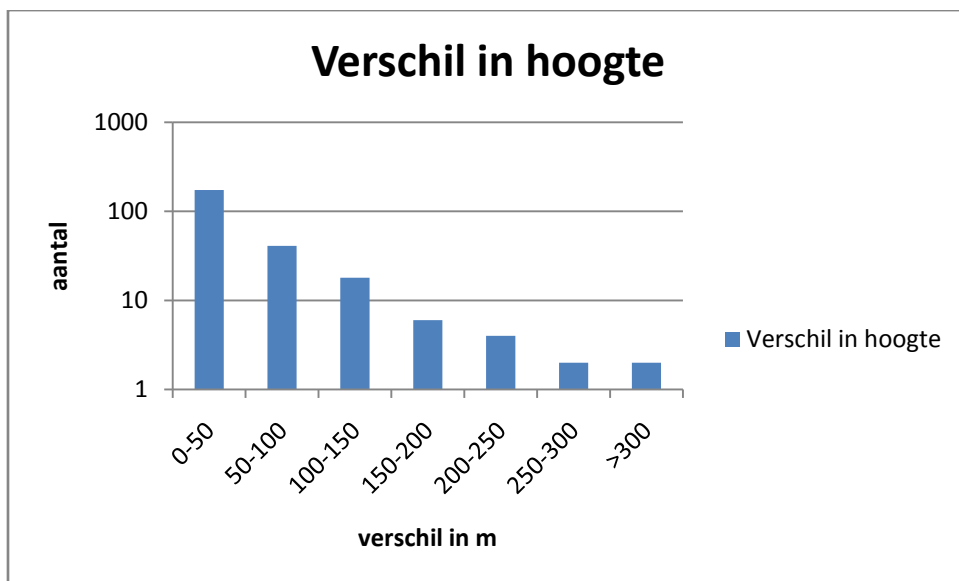
212cm

272cm

• monitoringlocaties 2013(verschil >1m)



Appendix 12: Histogrammen van de verschillen in hoogte



Appendix 13: Tabel met verschil meetpunten box-core

Voor het berekenen van de afstand tussen het meetpunt 2004 en het meetpunt 2013 is gebruikt gemaakt van een formule waarin een boldriehoeksmeting is gebruikt.

Bij bereken van afstanden in het coördinatenreferentiesysteem WGS84 moet een ellipsoïde worden gebruikt. Dit betekent dat de in dit onderzoek berekende afstanden van de daadwerkelijke afstanden zullen afwijken. Het verschil tussen de daadwerkelijke afstand en de berekende afstand zal in dit onderzoek hoogstwaarschijnlijk niet meer dan 1% zijn.

meetpunt	Diepte 2004 (ten opzichte NAP in cm)	Diepte 2013 (ten opzichte NAP in cm)	Vershil in diepte tussen 2004-2013 (in cm)	Afstand tussen meetpunt 2004 en meetpunt 2013 (in m)
1	-117	-256	-139	266
6	-1358	-1349	9	26
7	-1071	-1084	-13	41
8	-1082	-1056	26	31
9	-840	-835	5	79
10	-701	-676	25	57
11	-479	-492	-13	41
12	-336	-317	19	79
13	-285	-256	29	175
14	-276	-253	23	27
18	-1397	-1389	8	13
19	-1125	-1129	-4	9
20	-1070	-1076	-6	21
21	-911	-906	5	4
22	-931	-927	4	13
23	-701	-685	16	37
24	-508	-534	-26	7
25	-487	-538	-51	41
26	-416	-367	49	52
31	-1217	-1206	11	9
32	-1209	-1201	8	57
33	-945	-947	-2	28
34	-723	-732	-9	40
35	-617	-617	0	22
36	-457	-462	-5	31
37	-402	-394	8	16
44	-844	-854	-10	38
45	-830	-839	-9	17
46	-534	-578	-44	52
47	-446	-471	-25	32
48	-279	-336	-57	29
56	-822	-836	-14	11
57	-674	-689	-15	23

58	-571	-626	-55	51
66	-1052	-1077	-25	78
74	-610	-681	-71	34
75	-275	-323	-48	43
79	-1384	-1381	3	21
80	-917	-946	-29	56
81	-741	-777	-36	28
82	-740	-807	-67	225
83	-768	-780	-12	14
84	-611	-592	19	28
85	-538	-476	62	19
86	-488	-536	-48	16
87	-612	-677	-65	21
89	-1132	-1156	-24	7
95	-797	-925	-128	191
98	-480	-512	-32	32
99	-454	-320	134	16
100	-402	-411	-9	17
101	-530	-591	-61	44
102	-641	-664	-23	5
104	-900	-919	-19	8
105	-474	-607	-133	14
106	-518	-613	-95	4
107	-581	-396	185	19
108	-596	-681	-85	34
109	-1358	-1502	-144	56
112	-689	-940	-251	48
113	-643	-736	-93	55
114	-664	-638	26	50
115	-444	-602	-158	11
116	-1095	-984	111	21
117	-689	-652	37	63
121	-611	-713	-102	8
122	-575	-572	3	30
123	-436	-642	-206	23
124	-644	-711	-67	20
125	-453	-516	-63	20
126	-412	-369	43	23
127	-545	-328	217	85
128	-236	-309	-73	39
131	-1110	-1135	-25	18
132	-911	-923	-12	47
133	-978	-971	7	57
134	-1039	-1021	18	40
135	-920	-935	-15	54
136	-869	-498	371	19
137	-395	-332	63	25
138	-996	-928	68	6

139	-948	-939	9	37
140	-496	-486	10	23
141	-324	-333	-9	10
144	-987	-994	-7	52
145	-776	-811	-35	13
146	-828	-849	-21	36
147	-566	-601	-35	35
148	-698	-794	-96	68
149	-574	-568	6	39
150	-433	-438	-5	25
151	-308	-337	-29	12
152	-468	-468	0	34
153	-257	-277	-20	37
154	-269	-248	21	70
155	-588	-466	122	53
158	-988	-1022	-34	58
159	-850	-881	-31	18
160	-651	-699	-48	25
161	-587	-589	-2	24
162	-404	-427	-23	26
163	-378	-424	-46	7
164	-540	-543	-3	32
165	-498	-515	-17	15
166	-510	-456	54	18
167	-411	-404	7	32
168	-408	-439	-31	38
172	-1165	-1155	10	34
173	-582	-614	-32	43
174	-568	-594	-26	50
175	-548	-583	-35	11
176	-354	-435	-81	16
177	-541	-508	33	332
178	-329	-332	-3	16
179	-450	-412	38	27
180	-325	-339	-14	22
185	-914	-970	-56	81
186	-540	-606	-66	13
188	-469	-559	-90	12
189	-281	-285	-4	147
190	-413	-440	-27	21
191	-482	-518	-36	83
273	-125	-136	-11	69
274	-422	-450	-28	15
275	-627	-685	-58	41
276	-295	-322	-27	32
277	-364	-392	-28	169
278	-513	-594	-81	20
279	-535	-518	17	35

280	-603	-665	-62	41
281	-339	-396	-57	2263
282	-297	-503	-206	1851
283	-117	-265	-148	281
284	-182	-280	-98	2111
285	-233	-202	31	10
286	-287	-261	26	34
287	-328	-311	17	31
288	-398	-409	-11	2197
289	-268	-317	-49	3077
290	-334	-245	89	3585
291	-255	-229	26	42
292	-224	-217	7	14
293	-288	-268	20	38
295	-302	-279	23	58
296	-253	-239	14	13
297	-198	-188	10	59
298	-326	-283	43	47
299	-329	-313	16	8
300	-149	-180	-31	652
301	-191	-171	20	779
302	-206	-180	26	201
303	-337	-301	36	13
304	-239	-222	17	252
305	-272	-252	20	6
306	-206	-194	12	24
307	-225	-151	74	13
308	-271	-259	12	4
309	-259	-240	19	13
310	-226	-219	7	4
311	-403	-266	137	9
312	-80	-341	-261	491
313	-204	-180	24	31
314	-188	-191	-3	18
315	-184	-186	-2	31
316	-496	-513	-17	59
317	-218	-239	-21	35
318	-183	-184	-1	336
319	-172	-165	7	41
320	-185	-190	-5	132
321	-246	-134	112	6
322	-754	-519	235	26
323	-244	-257	-13	34
324	-336	-304	32	1244
325	-838	-719	119	30
326	-654	-716	-62	36
327	-985	-1008	-23	19
328	-572	-712	-140	134

329	-834	-725	109	30
330	-702	-731	-29	22
331	-1102	-1092	10	35
332	-665	-656	9	33
333	-877	-1028	-151	62
334	-808	-960	-152	302
335	-742	-752	-10	36
336	-659	-682	-23	13
337	-1106	-1162	-56	50
338	-956	-969	-13	27
339	-904	-874	30	3
340	-981	-972	9	5
341	-1499	-1511	-12	23
343	-1038	-978	60	20
344	-1131	-1050	81	27
345	-883	-503	380	92
346	-1158	-1176	-18	3
347	-1057	-1083	-26	32
348	-1112	-1035	77	27
349	-1028	-1099	-71	56
350	-885	-883	2	27
351	-1442	-1414	28	31
352	-1173	-1193	-20	32
353	-1659	-1694	-35	57
354	-957	-1059	-102	25
355	-1274	-1257	17	30
356	-1226	-1247	-21	18
357	-1226	-1246	-20	464
358	-1178	-1225	-47	24
359	-1064	-1054	10	12
360	-995	-996	-1	25
361	-984	-973	11	10
362	-847	-811	36	8
363	-1596	-1595	1	44
364	-1367	-1372	-5	36
365	-1315	-1329	-14	67
366	-1201	-1223	-22	28
367	-1266	-1209	57	92
368	-1272	-1241	31	16
369	-850	-841	9	19
370	-730	-819	-89	34
371	-658	-701	-43	39
373	-1258	-1273	-15	3
374	-1037	-996	41	44
375	-927	-1028	-101	61
376	-768	-748	20	48
377	-1201	-1158	43	46
378	-1042	-1090	-48	5

379	-1449	-1421	28	10
380	-694	-746	-52	12
382	-1310	-1342	-32	54
383	-1164	-1175	-11	46
384	-758	-805	-47	12
385	-965	-954	11	54
386	-1158	-1181	-23	73
387	-1789	-1705	84	32
389	-1709	-1726	-17	68
390	-1142	-1005	137	12
391	-921	-974	-53	170
392	-677	-691	-14	45
393	-819	-830	-11	28
394	-1652	-1695	-43	38
395	-1628	-1672	-44	90
396	-832	-990	-158	35
397	-648	-640	8	16
398	-854	-686	168	22
399	-1355	-1349	6	37
400	-1341	-1431	-90	6
401	-585	-619	-34	39
402	-1645	-1770	-125	33