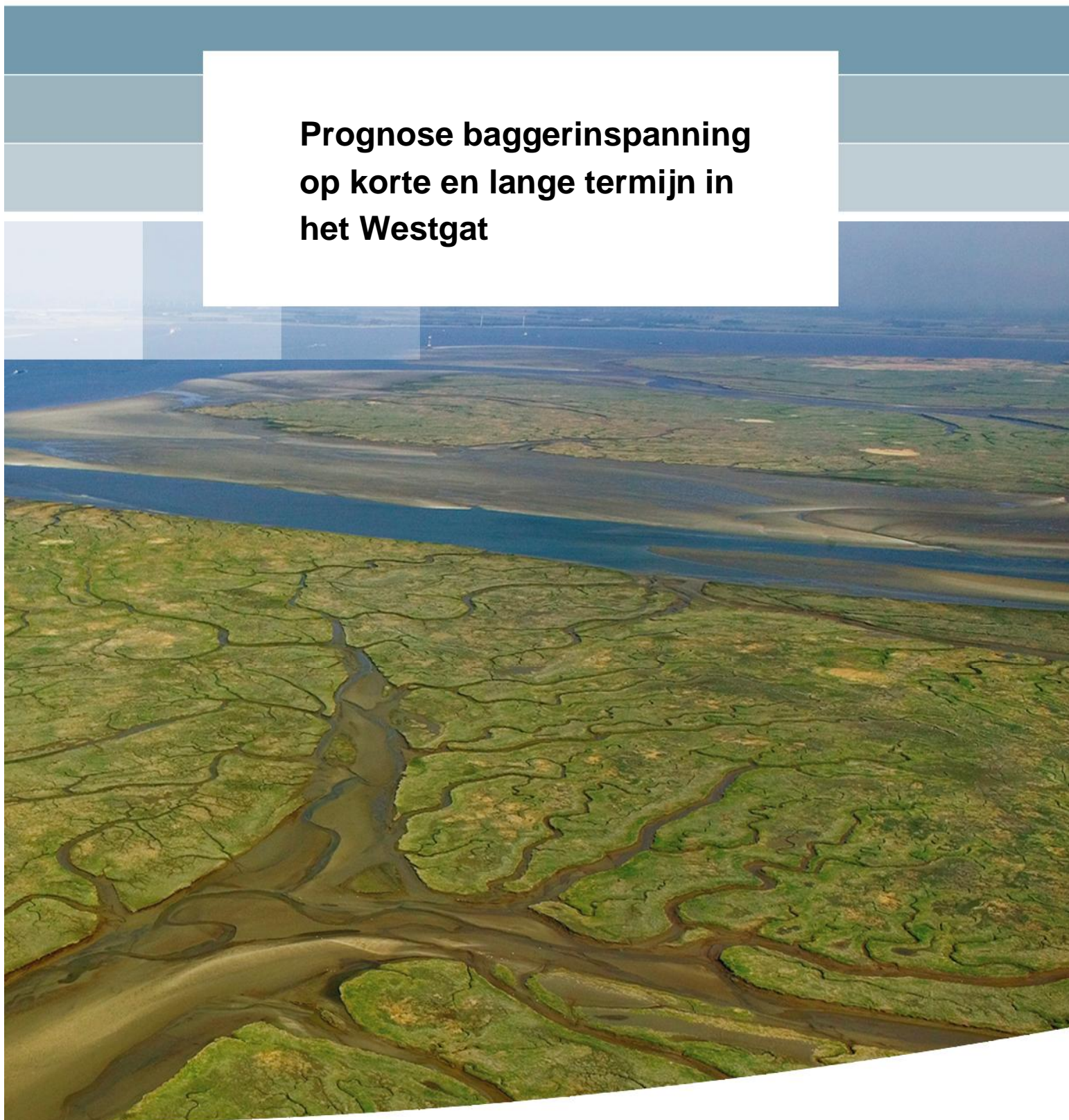


**Prognose baggerinspanning
op korte en lange termijn in
het Westgat**



Prognose baggerinspanning op korte en lange termijn in het Westgat

1230043-001

Titel

Prognose baggerinspanning op korte en lange termijn in het Westgat

Project

1230043-001

Kenmerk

1230043-001-ZKS-0005

Pagina's

75

Trefwoorden

Sedimentatie, vaarweg, buitendeltageulen, Zoutkamperlaag, Westgat

Samenvatting

De huidige geulen tussen het kombergingsgebied van de Zoutkamperlaag en de Noordzee zijn ondieper dan de streefdiepte voor vaargeulen van -5 m NAP. Rijkswaterstaat is geïnteresseerd in de mogelijkheid om het Westgat op voldoende diepte te brengen en te houden. De eerste fase en de voorliggende studie moeten hieraan bijdragen. Uit de eerste fase van deze studie (Oost et al. 2015) is gebleken dat van de drie aanwezige geulen de noordelijke de meest kansrijke is voor een eventuele verdieping. In deze studie is onderzocht hoe groot het baggerbezwaar op korte en lange termijn naar verwacht kan worden. Hierbij is gebruik gemaakt van de beheerslodingen zoals die ook in fase 1 zijn gebruikt en zijn varianten van een mogelijke vaargeul onderzocht met dieptes van -5; -5,5 en -6 m NAP en breedtes van 100; 120; 150 en 170 m, voor alle drie de mogelijke geulen (noord, midden en zuid).

De resultaten van deze studie bevestigen dat de noordelijke geul zowel qua ontwikkeling van de drempel als de grootschalige dynamiek het meest geschikt is voor een eventuele vaargeul.

Het initiële baggerbezwaar voor de aanleg van de noordelijke tot -6 m NAP met een breedte van 150 m is ca. 250.000 m³. Op grond van aanzandsnelheden gebaseerd op de ontwikkelingen van de snel aanzandende middelste geul, wordt het jaarlijkse diepteonderhoud tussen 0 en 500.000 m³/jaar verwacht. Hierbij komt het baggerbezwaar door verwachte grootschalige veranderingen. Hierdoor zal periodiek een nieuwe ligging voor de vaargeul moeten worden gekozen. Dit locatieonderhoud hangt af van de snelheid waarmee de noordelijke geul kloksgewijs draait en wordt geschat tussen de 0 en 250.000 m³/jaar.

Voor het baggerbezwaar op langere termijn worden twee scenario's mogelijk geacht. In beide zal op termijn een natuurlijke diepere geul ontstaan, dit kan binnen de komende jaren of over ca. 15-25 jaar.

Het voorspellen van het baggerbezwaar in een dynamisch gebied als een buitendelta is zeer moeilijk en de berekende waarden moeten daarom als indicatief worden beschouwd. In de aanbevelingen worden mogelijke vervolgonderzoeken genoemd.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf Review	Paraaf Goedkeuring	Paraaf
1	okt. 2015	T. Vermaas A. Oost L.M. Vonhögen	A. van der Spek	D.J. Walstra	
2	feb. 2016	T. Vermaas A. Oost	L.M. Vonhögen	D.J. Walstra	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Vraagstelling baggerbezwaar Westgat	10
1.3 Doel	11
1.4 Leeswijzer	11
2 Gevolgde werkwijze	13
2.1 Introductie	13
2.2 Korte termijn baggerinspanning	14
2.2.1 Initiële inspanning	14
2.2.2 Onderhoudsinspanning	14
2.3 Lange termijn baggerinspanning	16
3 Grootschalige morfologische ontwikkeling	17
3.1 Introductie	17
3.2 Natuurlijke ontwikkeling	17
3.3 Invloed menselijke ingrepen op drempelvorming niet aantoonbaar	17
3.4 Prognose ontwikkeling	17
3.5 Lange termijn baggerinspanning	20
4 Korte termijn baggerinspanning	21
4.1 Initiële baggerinspanning	21
4.2 Onderhoudsbaggerinspanning	22
4.2.1 Diepteonderhoud	22
4.2.2 Locatieonderhoud	29
4.3 Invloed verdieping	31
4.4 Processen van belang voor vaargeuldiepte en -breedte	33
5 Conclusies	37
6 Aanbevelingen	39
8 Literatuur	41

Bijlage(n)

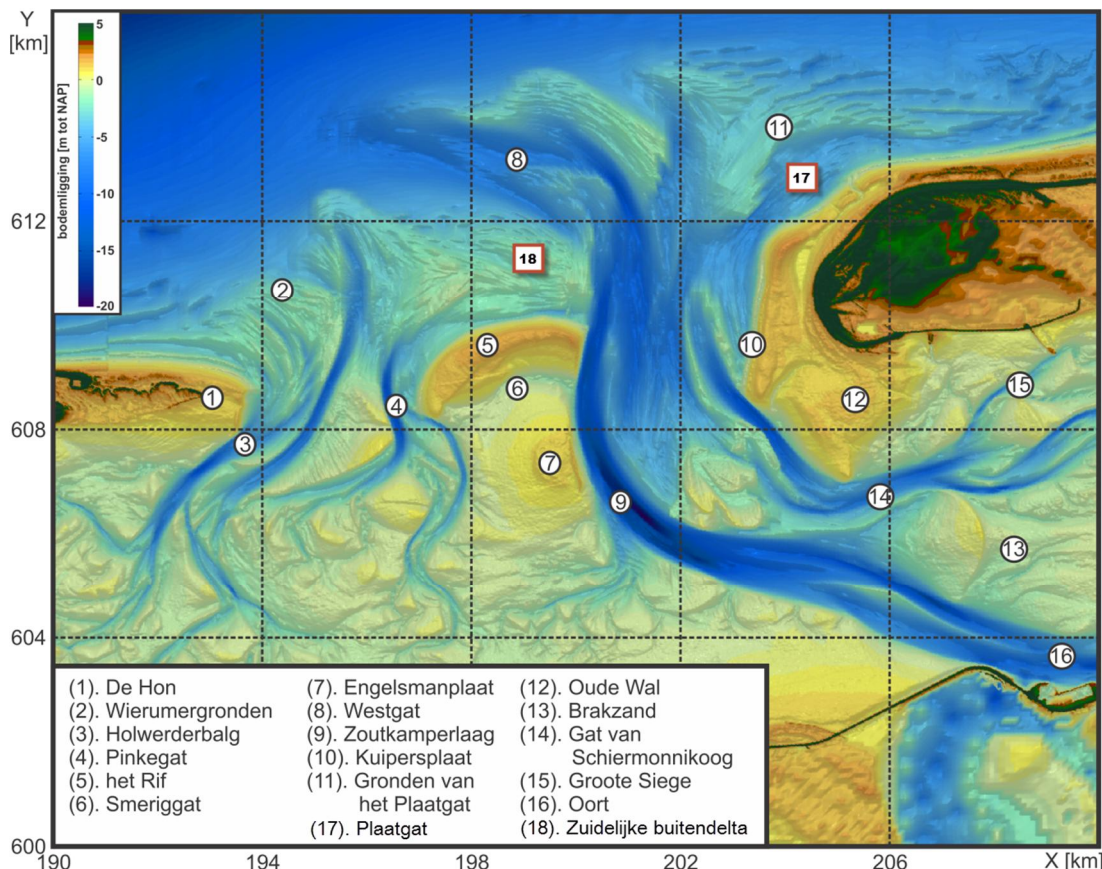
A Baggervakken per meting voor 150 m brede geul	A-1
B Ontwikkeling volumes per geul, voor dieptes -5 -5,5 en -6 m NAP en breedtes 100 120 150 en 170 m	B-1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het Westgat is de noordelijkste eb-gedomineerde buitendeltageul in de Zoutkamperlaag (Figuur 1.1). Deze geul wordt gebruikt als vaarroute tussen Lauwersoog en de Noordzee en is daarmee belangrijk voor met name de visserij en de recreatievaart. Het Westgat wordt niet onderhouden door RWS, omdat volgens de Planologische Kern Beslissing-Waddenzee en daaronder vallende beheerplannen in principe niet wordt gebaggerd in de buitendelta's van de Waddenzee. Dit, omdat het een beschermd natuurgebied betreft en de gevolgen voor het onderhoud in een dergelijk hoogdynamisch systeem zeer moeilijk te voorspellen zijn (Mulder & Lofvers, 2015).

Momenteel heeft zich in het Westgat een hoge rug (drempel) ontwikkeld, op de overgang naar de Noordzee. Daardoor voldoet een gedeelte van de vaargeul niet meer aan de streefdiepte van minimaal -5 m NAP, welke is afgesproken in het Beheersplan Waddenzee (Ministerie van Verkeer & Waterstaat et al., 1996). De vaargeul kan daardoor niet meer bij gemiddelde tijcondities betrouwbaar worden gebruikt door de aanwezige scheepvaart. Rijkswaterstaat is in gesprek met belanghebbenden (visserijsector, haven Lauwersoog, gemeente de Marne, provincie Groningen) over de mogelijkheid om het Westgat op voldoende diepte te brengen en te houden.



Figuur 1.1 Overzicht van de het Friesche Zeegat in 2012. Duidelijk zichtbaar zijn het Holwerderbalg/Pinkegat zee-gatstelsel tussen Ameland en het Rif/Engelsmanplaat en het zeegat Zoutkamperlaag oostelijk daarvan. Naar: Elias & Bruens, 2013.

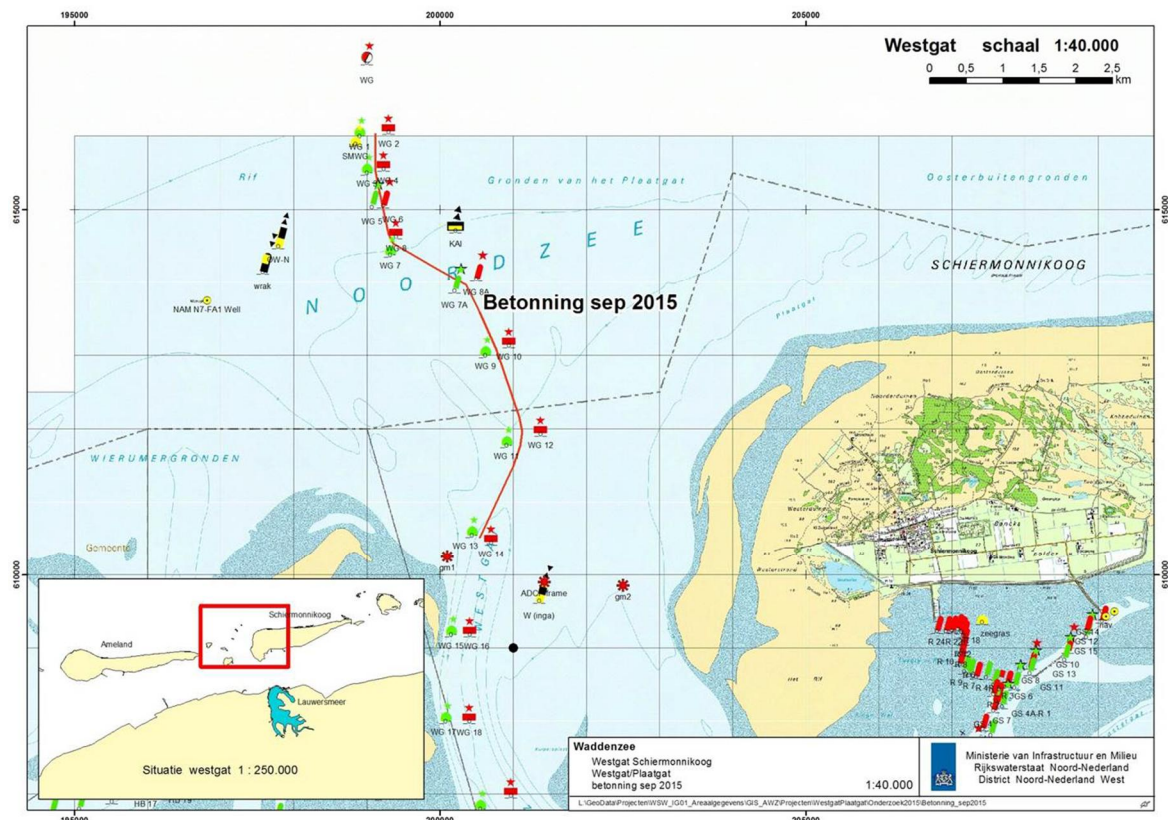
1.2 Vraagstelling baggerbezwaar Westgat

Aangezien beslissingen over mogelijke ingrepen afhankelijk zijn van de verdere ontwikkeling van de buitendeltageulen heeft Rijkswaterstaat Deltares verzocht om een nadere analyse uit te voeren naar de morfologische ontwikkelingen van het gehele gebied en de buitendeltageulen. Daarbij is in Fase 1 gekeken naar de grootschalige morfologische ontwikkeling en de ontwikkeling van de drempels van de noordelijke, middelste en zuidelijke buitendeltageulen (Oost et al., 2015). Met het voorliggende vervolgrapport wordt getracht een antwoord te geven op de volgende hoofdvragen van Rijkswaterstaat Noord-Nederland:

- 1 Wat is het baggerbezwaar op langere termijn (over circa 10 jaar, maar ook de verwachting op een termijn van 20 a 50 jaar)?
- 2 Wat is de initiële- en onderhoudsbaggerinspanning bij ingrijpen en wat zijn de onzekerheden en kennisleemtes die hiermee gepaard gaan?

Ook zijn de volgende deelvragen beantwoord:

- Is na deze studie het inzicht gewijzigd welke geul het meest geschikt is om als vaargeul te gebruiken?
- In hoeverre grijpt een eventuele maatregel significant in op het morfodynamische systeem?



Figuur 1.2 Betonning vaarroute Zoutkamperlaag in september 2015 (Bron: Rijkswaterstaat).

1.3 Doel

Het doel van dit rapport is het leveren van de morfologische basis voor de besluitvorming over het mogelijk overgaan tot baggeren van het Westgat. Hiervoor is een indicatie nodig van de meest optimale vaarwegroute en een indicatie van het baggerbezwaar op korte (komende 10 jaar) en lange termijn (20 a 50 jaar). De studie wordt uitgevoerd op basis van de beschikbare detailleringen en expert kennis van de werking van het morfologische systeem.

1.4 Leeswijzer

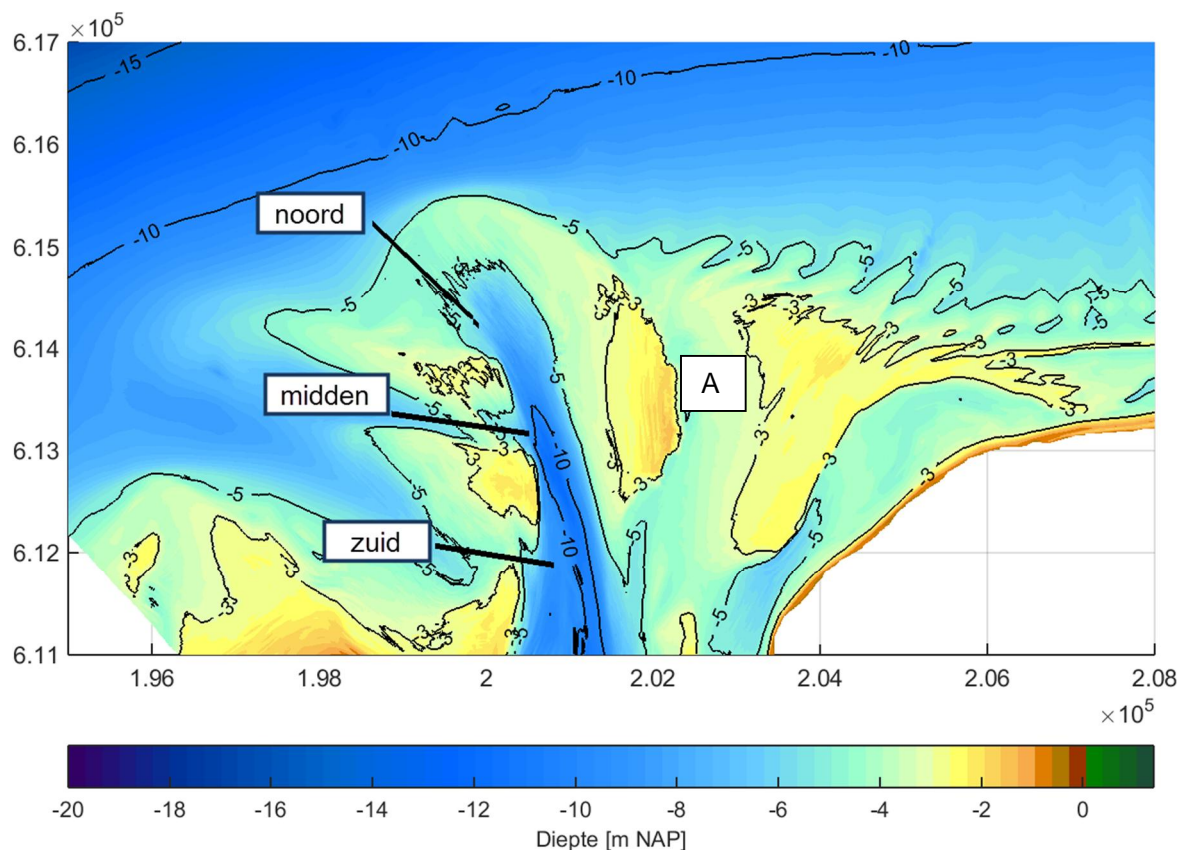
In hoofdstuk 2 wordt de gevolgde werkwijze besproken. In hoofdstuk 3 worden grootschalige morfologische ontwikkeling en de bevindingen van Fase 1 weergegeven. De berekende korte termijn baggerinspanning wordt besproken in hoofdstuk 4, de baggerinspanning op lange termijn staat in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 volgen de conclusies en in hoofdstuk 7 de aanbevelingen.

2 Gevolgde werkwijze

2.1 Introductie

Om te komen tot een optimale vaarweg route keuze en de bijbehorende baggerinspanning is het essentieel om naar zowel de ontwikkeling op de lange termijn, als op de korte termijn te kijken. Daarbij kan de lange termijn ontwikkeling duidelijk maken welke buitendeltageul(en) (Figuur 2.1) de beste vaarroute kunnen bieden en wat de lange termijn diepte ontwikkeling waarschijnlijk zal zijn. De lange termijn ontwikkeling is uitvoerig bestudeerd tijdens Fase 1, de relevante onderdelen worden kort weergegeven in hoofdstuk 3.

Op de korte termijn kan gekeken worden naar deze preferente vaarroute en de baggerinspanningen benodigd om de gekozen vaarwegdiepte en breedte te handhaven. Voor de baggerinspanning op korte termijn zijn de methodes in de volgende paragraaf uitgewerkt.



Figuur 2.1 Overzicht ligging drempels in de verschillende buitendeltageulen, situatie 2015. A is een naamloze geul die vermoedelijk zal worden dichtgeknepen. Op dit moment is de noordelijke geul de betonde vaarroute (zie ook Figuur 1.2). Bron: Oost et al., 2015.

2.2 Korte termijn baggerinspanning

Om de verwachte baggerinspanning op korte termijn te kwantificeren is gebruik gemaakt van de beheerslodingen die door Rijkswaterstaat voor deze studie beschikbaar zijn gesteld (zie Oost et al. 2015 voor een beschrijving en overzicht). Voor alle drie de mogelijke vaarroutes (noordelijke, middelste en zuidelijke geul, zie Figuur 2.1) zijn berekeningen gemaakt voor de volgende door Rijkswaterstaat aangegeven dimensies: een diepte van -5; -5,5 en -6 m NAP en een breedte van 100; 120; 150 en 170 m (voor alle voorkomende combinaties). In het voorliggende rapport worden hoofdzakelijk de resultaten gegeven van de meest kansrijke geul (de noordelijke), met de dimensies van de voorkeursbreedte (150 m) en streefdiepte (-5 m NAP) zoals door Rijkswaterstaat aangegeven, de resultaten van de andere opties van de berekeningen zijn te vinden in de appendices.

De verwachte baggerinspanning wordt opgesplitst in een *initiële inspanning* en *onderhouds-inspanning*. Onder initiële inspanning wordt de éénmalige aanleg van een vaarroute tot de gewenste dimensies gerekend. De baggerinspanning die ná aanleg periodiek nodig zal zijn om de geul op diepte te houden, wordt tot de onderhoudsinspanning gerekend.

2.2.1 Initiële inspanning

De initiële inspanning is berekend voor alle dimensies van noordelijke geul. De optimale profiellijn door de thalweg van de geul (zoals ook gebruikt in Oost et al. 2015 voor het bepalen van het oppervlak onder de drempels) is aangehouden als midden van de potentiële vaargeul. De thalweg is het diepste deel van een waterloop. De profiellijnen zijn voor elke beheersloding en alle drie de geulen afzonderlijk telkens opnieuw bepaald (zie Oost et al. 2015). De profiellijnen zijn handmatig gekozen zodat ze over het diepste deel van de drempel liggen. Voor elke profiellijn zijn vakken (polygonen) gemaakt met de profiellijn als midden voor alle vier de breedtes.

De initiële inspanning is bepaald als het totale volume sediment tussen de bathymetrie en elke referentie diepte op basis van de meest recente loding van de noordelijke geul (8-7-2015).

2.2.2 Onderhoudsinspanning

De onderhoudsbaggerinspanning wordt bepaald door twee factoren: 1) *diepteonderhoud* - de dagelijkse aanzanding en 2) *locatieonderhoud* - aanzanding door grootschalige morfologische veranderingen. Voor het diepteonderhoud zijn aanzandsnelheden berekend op basis van de beheerslodingen en de profiellijnen zoals in Oost et al. (2015) gedefinieerd. Deze methodes zijn hieronder verder uitgewerkt. Het locatieonderhoud hangt af van de snelheid waarmee de grootschalige morfologische veranderingen optreden. In dit gebied gaat het om het kloksgevijs draaien van de noordelijke geul (zie ook hoofdstuk 3). Hierdoor verplaatst de grote hoeveelheid sediment van het ebschild dat ten westen van de geul ligt zich richting de vaarroute. De draaisnelheid van de geul is bepaald op basis van de beheerslodingen en vaklodingen.

Om aanzandsnelheden te berekenen (t.b.v. diepteonderhoud) zijn de polygonen voor alle beheerslodingen van de drie geulen gebruikt. Binnen deze vakken is het totale volume sediment boven elke referentiediepte bepaald op basis van de beheerslodingen.

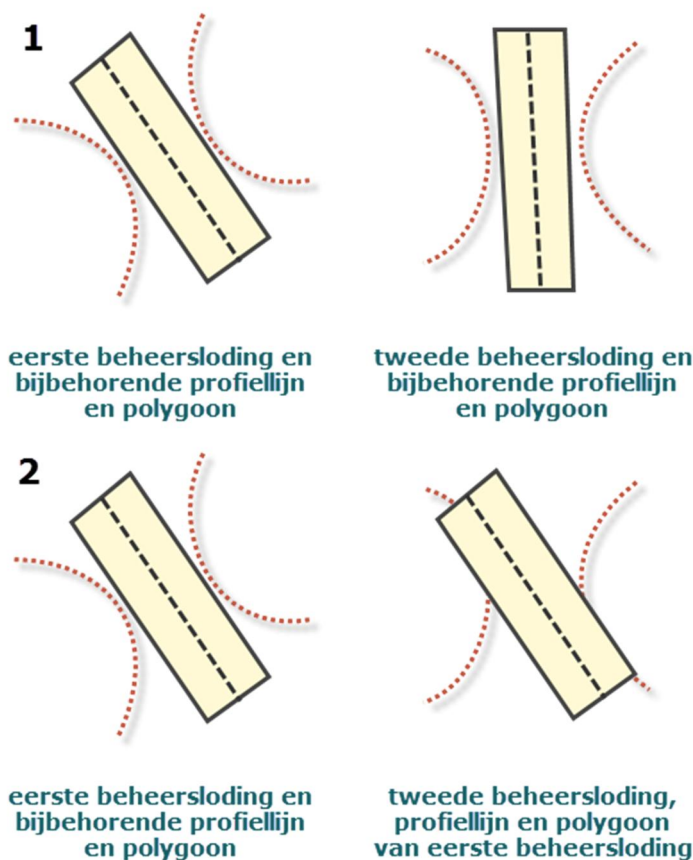
Het volume sediment is op twee manieren bepaald:

- 1 Door voor elke beheersloding het polygoon te gebruiken gebaseerd op de optimale profiellijn (Figuur 2.2, boven). Zo wordt voor alle tijdstippen waarop beheerslodingen zijn uitgevoerd een volume bepaald. Het verschil in volume tussen twee lodingen, gedeeld door de tijd die tussen die metingen ligt, resulteert in een aanzandsnelheid (m^3 per maand).

- 2 De tweede manier neemt aan dat bij de eerste beheersloding de ligging van de vaargeul wordt bepaald op basis van de bijbehorende (optimale) profiellijn en deze ligging nog steeds de vaargeul is ten tijde van de volgende beheersloding (Figuur 2.2, onder). Het volume wordt voor het eerste tijdstip bepaald met de polygoon en de loding behorende bij dat tijdstip. Voor het tweede tijdstip wordt het volume bepaald met de polygoon van het eerste tijdstip en de loding van het tweede tijdstip. Het verschil in volume gedeeld door de tussenliggende tijd geeft een aanzandsnelheid tussen de eerste en tweede meting (m^3 per maand). Hierna wordt dit herhaald voor het tweede en derde tijdstip: het volume wordt voor het tweede tijdstip bepaald met de polygoon en de loding behorende bij dat tijdstip; voor het derde tijdstip wordt het volume bepaald met de polygoon van het tweede tijdstip en de loding van het derde tijdstip. Dit leidt weer tot een aanzandsnelheid, maar dan tussen de tweede en derde loding. Dit wordt herhaald tot aan de laatste meting (per geul, voor alle breedtes en referentiedieptes).

Als er een zeer korte tijd tussen twee lodingen zit wordt die snelheid niet meegenomen omdat de afwijking te groot is ten opzichte van de verandering die in korte tijd heeft plaatsgevonden.

De eerste methode houdt geen rekening met verplaatsen van een geul (terwijl een vaarroute niet continue kan worden verplaatst), maar laat wel goed de ontwikkeling van een geul zien (is er aanzanding of verdieping). De tweede methode weerspiegelt beter het verplaatsen van een geul en daarmee het effect van de grootschalige dynamiek op de potentiële veranderingen.



Figuur 2.2 Schematische weergave van methodes om aanzandsnelheden te bepalen, de gestreepte lijn geeft de optimale profiellijn weer, de rechthoek het polygoon dat daarop is bepaald, de rode stippellijnen representeren de morfologie (eb- of vloedchild).

2.3 Lange termijn baggerinspanning

Op basis van de grootschalige morfologische ontwikkeling is een aantal mogelijkheden (scenario's) van de ontwikkeling van de geulen opgesteld. Voor elk scenario is kwalitatief aangegeven welke consequenties de ontwikkeling heeft voor de verwachte baggerinspanning.

3 Grootschalige morfologische ontwikkeling

3.1 Introductie

In Fase 1 van het onderzoek, waarbij de morfologische ontwikkeling werd beschouwd, is veel duidelijk geworden over de ontwikkeling van de buitendeltageulen. Dit is de basis voor het voorliggende rapport. In paragraaf 3.2 wordt de morfologische ontwikkeling tot nu toe weer gegeven. In paragraaf 3.3 wordt ingegaan op de invloed van de mens op deze morfologische ontwikkeling. In paragraaf 3.4 wordt een prognose gegeven voor de lange termijn ontwikkeling en wordt ingegaan op de vraag of het mogelijk is om de ontwikkeling van de baggervolumina over langere termijn te bepalen.

3.2 Natuurlijke ontwikkeling

In Fase 1 is verkennend onderzoek gedaan naar de drempelvorming in het Westgat. De ontwikkeling van de drempels maakt deel uit van de 'gewone' dynamiek van de geulen in een buitendelta en wordt niet zozeer veroorzaakt door menselijke ingrepen. De hoogteontwikkeling van de drempel in het Westgat is vergelijkbaar met die van zijn voorganger Plaatgat en wordt vooral toegeschreven aan de kloksgewijze draaiing van het Westgat. Door de draaiing kwam het Westgat in het verlengde te liggen van de hoofdgeul van de Zoutkamperlaag. Hierdoor nam het getijdebiet van het Westgat toe, wat leidde tot de ontwikkeling van een relatief groot ebschild¹ met een verlaagde drempel. Door de noordwaartse oriëntatie en het ontbreken van zeewaarts ervan liggende platen oefent golfwerking veel invloed uit op het ebschild. In de komende jaren is het mogelijk dat de drempel dieper komt te liggen dan -5 m NAP, afhankelijk van de balans tussen getijdebiet en golfwerking.

3.3 Invloed menselijke ingrepen op drempelvorming niet aantoonbaar

De morfologische reacties op de afsluiting van de Lauwerszee in 1969, waardoor het getijdebiet van de Zoutkamperlaag aanzienlijk afnam, zijn niet aantoonbaar van invloed op de drempelvorming. De veranderingen in sedimentvolumes in de ebdelta als gevolg van de afsluiting lijken grotendeels voorbij te zijn. Verder kan niet worden aangetoond dat zandsuppleties op Ameland of de bodemdaling in het Pinkegat de ontwikkeling van drempels hebben beïnvloed. De dynamiek in het kuststelsel is zo groot dat effecten van suppleties en bodemdaling niet zijn terug te vinden.

3.4 Prognose ontwikkeling

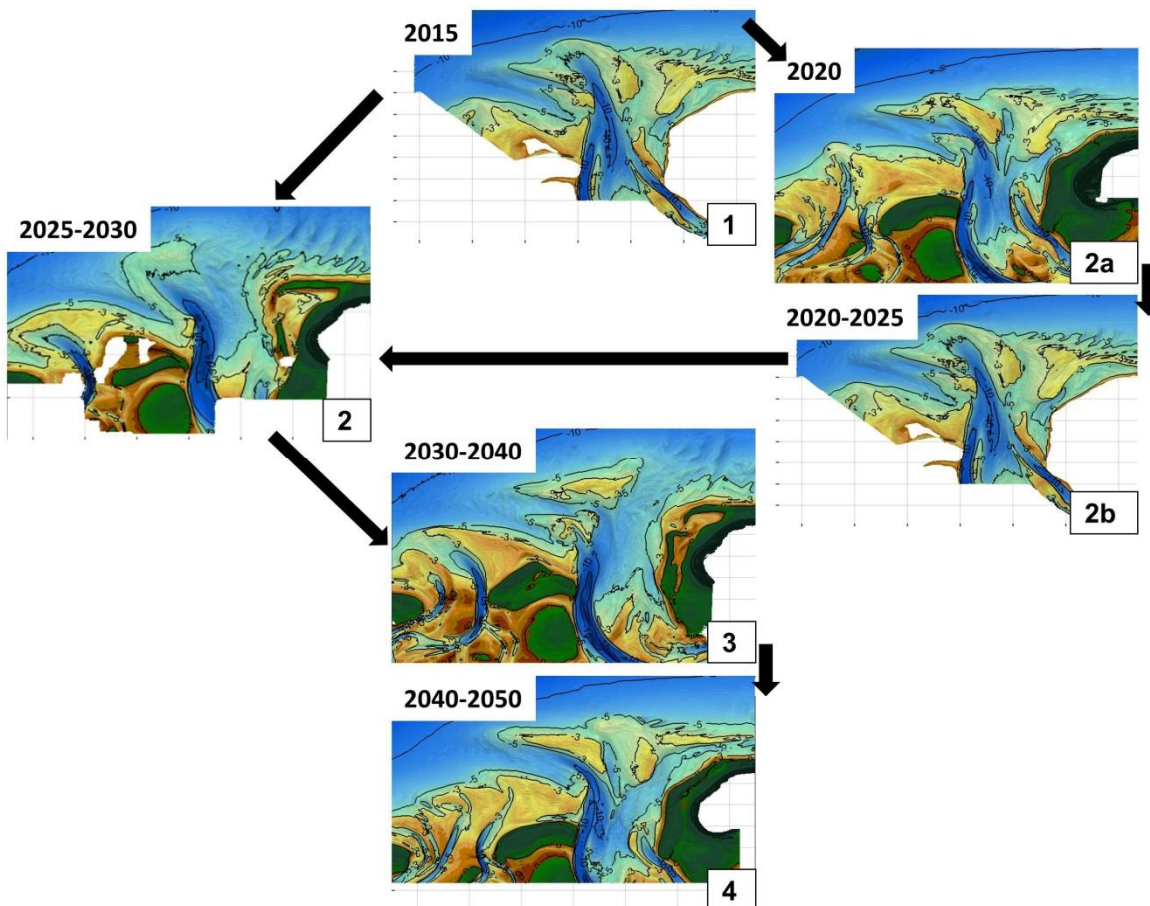
De verwachting van de ontwikkeling van de grootschalige morfologie is gebaseerd op de historische configuraties van deze buitendelta en de opeenvolging daarvan. Hierin zijn grofweg twee mogelijke ontwikkelingen van het Westgat te zien, vanuit vergelijkbare situaties als de huidige (Figuur 3.1 situatie 1):

- 1 Het Westgat wordt dichtgedrukt tussen de zandplaten aan de west- en oostzijde, er ontstaat dan een nieuw Westgat naar het westen toe, dat daar verbinding maakt met een vloedgeul (Figuur 3.1 situatie 2a). Na verder kloksgewijs roteren van dit nieuwe Westgat kan dan weer een situatie ontstaan vergelijkbaar met de huidige (Figuur 3.1 situatie 2b).
- 2 Als de zandplaten aan de oostzijde van het Westgat gaan aanlanden op Schiermonnikoog wordt het Westgat niet dichtgedrukt en verdiept zich (Figuur 3.1 situatie 2).

De eerste ontwikkeling zal uiteindelijk ook gevolgd worden door de tweede ontwikkeling. Als de zandplaten verder aanlanden op Schiermonnikoog draait het Westgat verder kloksgewijs

¹ een zandlob afgezet in de richting van de ebstroom

en krijgt een oostwaartse uitstroom. De nieuwe zandplaten aan de oostzijde van het Westgat bouwen zich dan weer op (Figuur 3.1 situatie 3). Deze zandplaten roteren ook kloksgewijs en drukken het oostwaarts stromende Westgat dicht. Er ontstaat weer een nieuw Westgat dat westwaarts stroomt en verbinding maakt met een vloedgeul (Figuur 3.1 situatie 4).

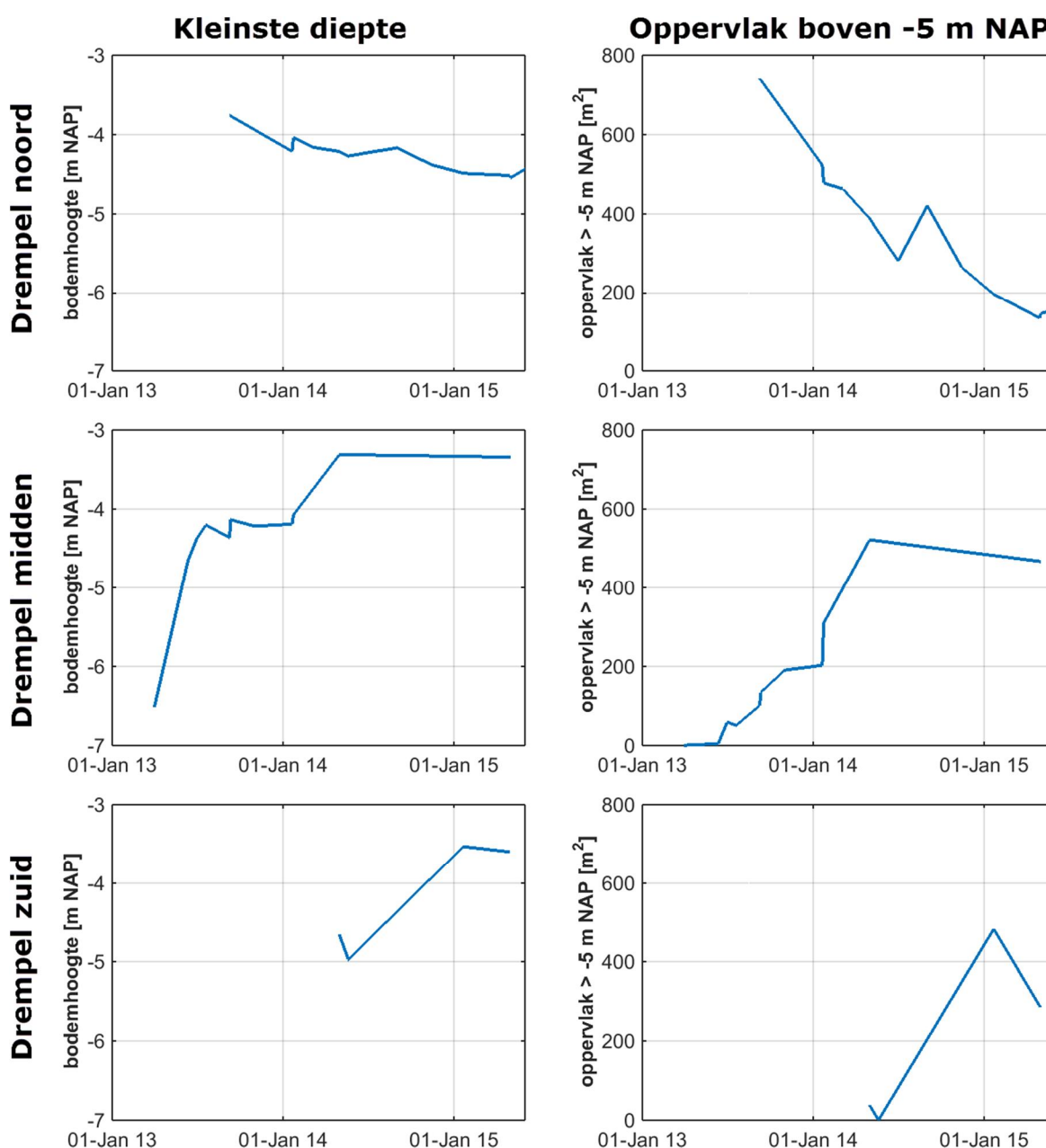


Figuur 3.1 Overzicht van de mogelijke toekomstige ontwikkelingen op basis van vroegere buitendelta-configuraties. Het betreft slechts een impressie, niet een nauwkeurig beeld van de toekomst. In het eerste scenario landen de zandplaten die nu ten oosten van het Westgat liggen aan op Schiermonnikoog, blijft het Westgat open en krijgt mogelijk een diepere doorgang (2). Na verdere kloksgewijze rotatie ontstaat een situatie waarin het Westgat een brede open verbinding vormt naar de Noordzee (3). Een alternatief is dat het huidige Westgat wordt dichtgedrukt door de zandplaten die aan de westzijde daarvan liggen, en dat de middelste buitendeltageul in situatie 1 zich rond 2020 tot een nieuw Westgat heeft ontwikkeld (2a). Bij doorgaande kloksgewijze migratie van dit nieuwe Westgat zou een vergelijkbare situatie ontstaan als de huidige (2b), waarna deze zich alsnog tot een open verbinding (situatie 3) zou kunnen ontwikkelen. Door opbouw van nieuwe platen zal het Westgat uiteindelijk tegen Schiermonnikoog opgevuld raken, en zal een nieuw Westgat aan de westzijde ontstaan (situatie 4).

Uit het bovenstaande komt naar voren dat op de middellange termijn (minder dan 10 jaar) het huidige Westgat nog steeds de hoofdgeul kan vormen. Er bestaat echter ook een kans dat de middelste geul de functie van het Westgat kan overnemen, en weer een nieuw Westgat vormt. Deze ontwikkelingen kunnen relatief snel (binnen 5 jaar) leiden tot een nieuwe buitendeltageul-configuratie, waardoor opnieuw zal moeten worden beoordeeld wat de beste vaar-route is. Op langere termijn (10-35 jaar) zal moeten blijken of het huidige Westgat bij haar kloksgewijze draaiing een geul gaat vormen met diepten van meer dan -5 m NAP als gevolg

van het geleidelijk eroderen van de zandplaten oostelijk ervan, zoals dat ook met het Plaatgat gebeurde.

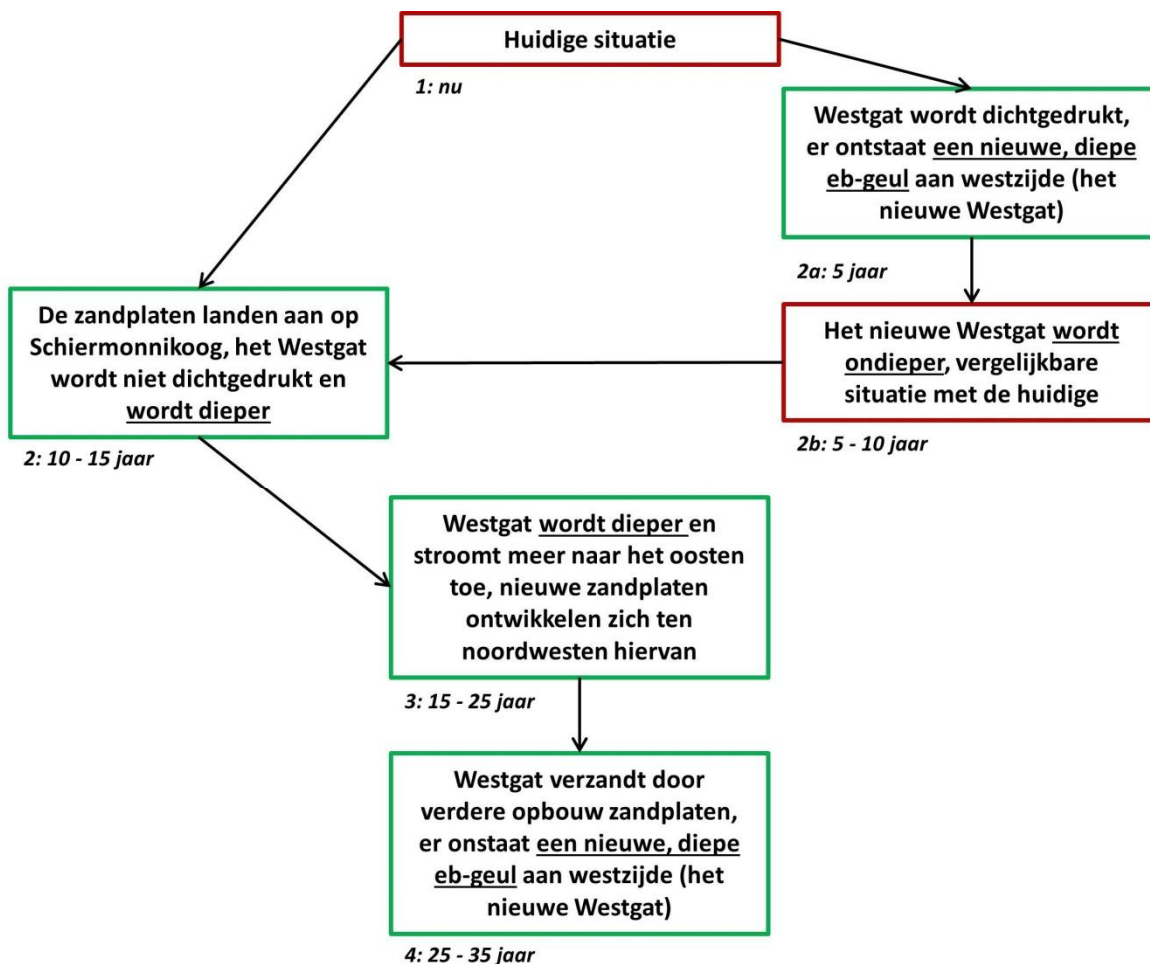
Op basis van de grootschalige morfologie komt de noordelijke buitendeltageul (het huidige Westgat en momenteel de betonde vaarroute) naar voren als de meest veelbelovende buitendeltageul voor de scheepvaart. De drempel van deze geul toont een verdiepende trend (Figuur 3.2) en is qua ligging relatief stabiel. De geul draaide en verdiepte zich in de periode 2013 tot half 2015, waarna deze ontwikkeling zich niet door lijkt te zetten. De middelste en zuidelijke geulen hebben in dezelfde periode een minder goede verbinding (ondiepere drempel) gekregen met de hoofdgeul in de Waddenzee, de Zoutkamperlaag, door de opbouw van eb- en vloed Schilden.



Figuur 3.2 Ontwikkeling van de kleinste diepte (het ondiepste punt) van een profiel over de thalweg (links) en het oppervlakte boven -5 m NAP van dit profiel (rechts) voor de drie geulen (Bron: Oost et al. 2015)

3.5 Lange termijn baggerinspanning

Gezien de grote dynamiek en de onvoorspelbaarheid van het systeem kan het baggerbe-
zwaar op de langere termijn niet worden gekwantificeerd. Met huidige kennis is alleen kwali-
tatief een indicatie te geven van de baggervolumina op lange termijn. Kwalitatief is het zo dat,
zolang zich nog geen alternatief nieuw Westgat van voldoende diepte heeft ontwikkeld, reke-
ning moet worden gehouden met de mogelijkheid dat de drempel van het huidige Westgat
een tendens heeft om boven -5 m NAP te liggen. De verwachte ontwikkeling van de bagger-
inspanning is voor de scenario's van de grootschalige ontwikkeling (zoals beschreven in pa-
ragraaf 3.4) schematisch weergegeven in Figuur 3.3. Hierin geven de groene kaders een
situatie met een *lagere* baggerinspanning aan, waarin mogelijk helemaal geen baggerinspan-
ning nodig is. De rode kaders geven een situatie aan waarin een baggerinspanning nodig zal
zijn om een vaargeul met voldoende diepte te creëren.



Figuur 3.3 Overzicht lange termijn ontwikkeling van het Westgat (de huidige noordelijke geul)

4 Korte termijn baggerinspanning

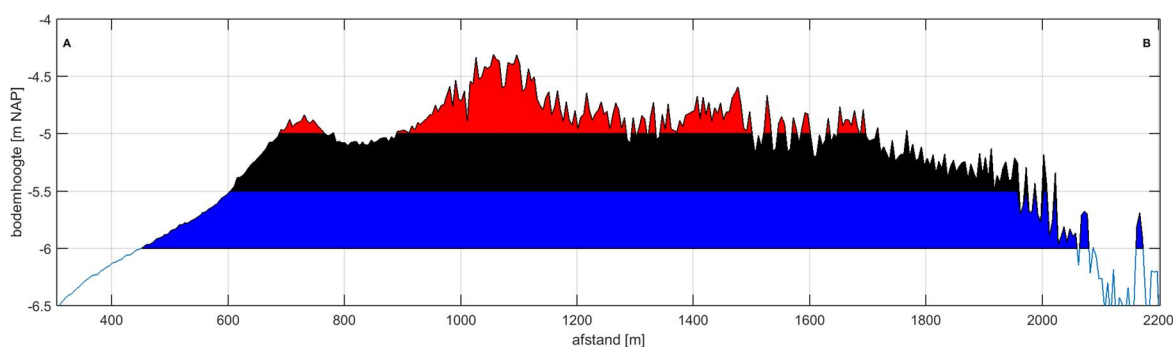
4.1 Initiële baggerinspanning

De initiële baggerinspanning is hier gedefinieerd als de éénmalige aanleg van een vaarroute tot de gewenste dimensies. Er is op grond van de loding van 08-07-2015 gekeken wat bij verschillende vaargeuldiepten en -breedten de initiële baggerinspanning is (Tabel 4.1). Gezien de geleidelijke ontwikkeling van het Westgat wordt verwacht dat de hier gegeven cijfers een redelijke indicatie geven. Mocht zich in de toekomst een nieuw Westgat vormen waarin een nieuwe vaarroute moet worden aangelegd, dan zullen nieuwe berekeningen dienen te worden gedaan.

Tabel 4.1 Overzicht van de initiële baggerinspanning door het Westgat (noordelijke geul) op grond van loding 8-7-2015 in 1000 m³.

	Diepte (m NAP)		
Breedte (m)	-5	-5,5	-6
100	17	75	150
120	20	90	180
150	25	112	225
170	28	127	254

Opvallend is de sterke toename van de initiële baggerinspanning bij verdieping van -5 m NAP naar -5,5 m en van -5,5 naar -6 m. Dit komt omdat de basis van de huidige geul op ongeveer -5 m NAP ligt. Elke diepgang die onder dat niveau gewenst is zal uitgebaggerd moet worden en een aanzienlijk grondverzet met zich meebrengen (Figuur 4.1).



Figuur 4.1 Profiel door de thalweg van de noordelijke geul op 08-07-2015 waarin het oppervlak is aangegeven boven -5 m NAP (rood), -5,5 m NAP (zwart en rood) en -6 m NAP (blauw, zwart en rood) (A is kant van de Noordzee, B is kant van de Waddenzee).

4.2 Onderhoudsbaggerinspanning

4.2.1 Diepteonderhoud

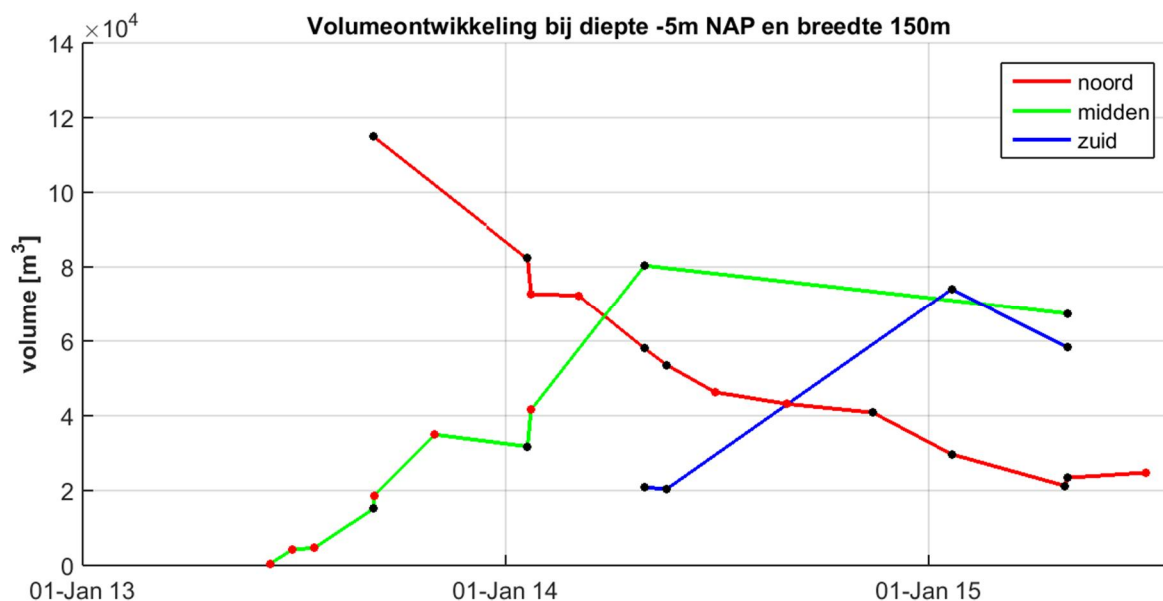
De ontwikkeling van de volumes (boven -5 m NAP, breedte van 150 m) voor de polygonen gebaseerd op de optimale profiellijn (de thalweg) is te zien in Figuur 4.2. De volumes tonen hetzelfde beeld als de oppervlaktes onder de profielen (Figuur 3.2): een verdiepende noordelijke geul en aanzandende middelste en zuidelijke geul.

Aangezien de noordelijke geul in volume afneemt en er voor de zuidelijke weinig metingen beschikbaar waren, zijn de aanzandsnelheden gebaseerd op de volumes van de middelste geul (zie *methode 1* in paragraaf 2.2.2) en getoond in Figuur 4.3. De volumes boven de verschillende referentiedieptes (-5; -5,5 en -6 m NAP) laten dezelfde trend (toe en afname van de aanzandsnelheid) zien, maar wel een verschil in grootte (vooral in 2013). De maximale aanzandsnelheid voor -6 m NAP is ruim 27000 m³/maand, voor -5 m NAP is dat bijna 12000 m³/maand.

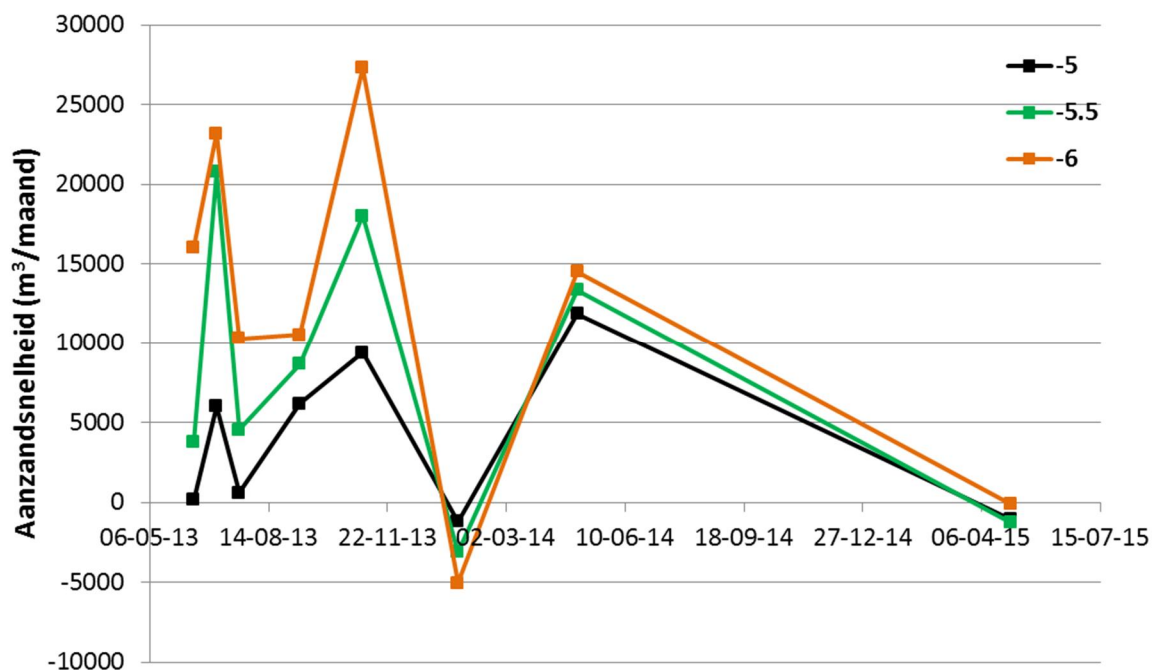
De volumes (boven -5 m NAP, breedte van 150 m) voor de polygonen gebaseerd op de optimale profiellijn van de vorige meting en de bijbehorende aanzandsnelheden (zie *methode 2* in paragraaf 2.2.2) zijn weergegeven voor alle drie de geulen in Tabel 4.2 t/m Tabel 4.4. Ook met deze rekenmethode is er momenteel vrijwel geen aanzanding in de noordelijke geul. De aanzandsnelheden van de middelste en zuidelijke geulen zijn echter zeer veel groter dan die volgens de eerste rekenmethode. De middelste geul laat hierbij de grootste aanzandsnelheden zien, tot ruim 38000 m³/maand. Ook bij deze rekenmethode laten de aanzandsnelheden voor de verschillende referentiedieptes (-5; -5,5 en -6 m NAP) een vergelijkbare trend zien (Figuur 4.4) en zijn er vooral in 2013 afwijkende aanzandsnelheden te zien. De maximale snelheden liggen wel veel dicht bij elkaar, met ruim 38000 m³/maand voor -5 m NAP en ruim 47000 m³/maand voor -6 m NAP.

De veel grotere aanzandsnelheden weerspiegelen de grootschalige morfodynamiek, die in deze rekenmethode wordt meegenomen. De middelste en zuidelijke geulen zijn zeer dynamisch en verplaatsen zich relatief snel. Hierbij verplaatsen ook de daaromheen liggende ebs en vloedschilden, die daardoor voor een grote toename in sedimentvolume zorgen op de locatie waar in de vorige meting een (theoretische) vaargeul zou zijn gekozen. De noordelijke geul laat wel een kloksgewijze rotatie zien, maar deze gaat relatief langzaam. Hierdoor is het ebschild niet zo ver verplaatst dat het voor een grote toename in sediment volume zorgt. Figuur 4.5 t/m Figuur 4.7 illustreren de samenhang tussen deze grootschalige ontwikkelingen en de berekende aanzandsnelheden.

De aanzandsnelheden van de middelste geul lijken goed te kunnen dienen als indicatie voor de te verwachte jaarlijkse baggervolumes. De verdieping van de noordelijke geul (van de huidige ca. -4.7 m NAP naar een diepte van -5; -5,5 of -6 m NAP) brengt de drempel mogelijk uit evenwicht - de drempel van de middelste geul lag ca. 3 meter uit evenwicht (van -6,5 naar -3,5 m NAP, Figuur 3.2). De grootschalige morfodynamiek bij de noordelijke geul is minder groot dan die bij de middelste. Door gebruik te maken van de aanzandsnelheden berekend met de tweede methode wordt een marge genomen om rekening te houden met de grote onzekerheid die bij een voorspelling van baggerinspanning in een buitendeltageul aanwezig is. Voor een breedte van 150 m en volumes boven -5 m NAP komt het jaarlijkse volume uit op 462.000 m³ (met 10% extra marge op 500.000 m³/jaar).



Figuur 4.2 Ontwikkeling van het sediment volume boven -5 m NAP in polygonen gebaseerd op de optimale profiel-lijn per loding met een breedte van 150 m breedte. Rode stippen geven hoge resolutie (1*1 m) multi-beam beheerlodingen weer, zwarte stippen de overige lodingen (met resolutie 10*10 m).



Figuur 4.3 Aanzandsnelheden voor de middelste geul met breedte 150 m, gebaseerd op verschil in volumes zoals getoond in Figuur 4.2 (berekend volgens methode 1 in paragraaf 2.2.2)

Tabel 4.2 Volumeveranderingen noordelijke geul, 150m breed, en diep: -5 m NAP. Verschil volume is tussen de lodingen van meting 1 en meting 2, beide met de polygoon gebaseerd op meting 1 (manier 2 in paragraaf 2.2.2).

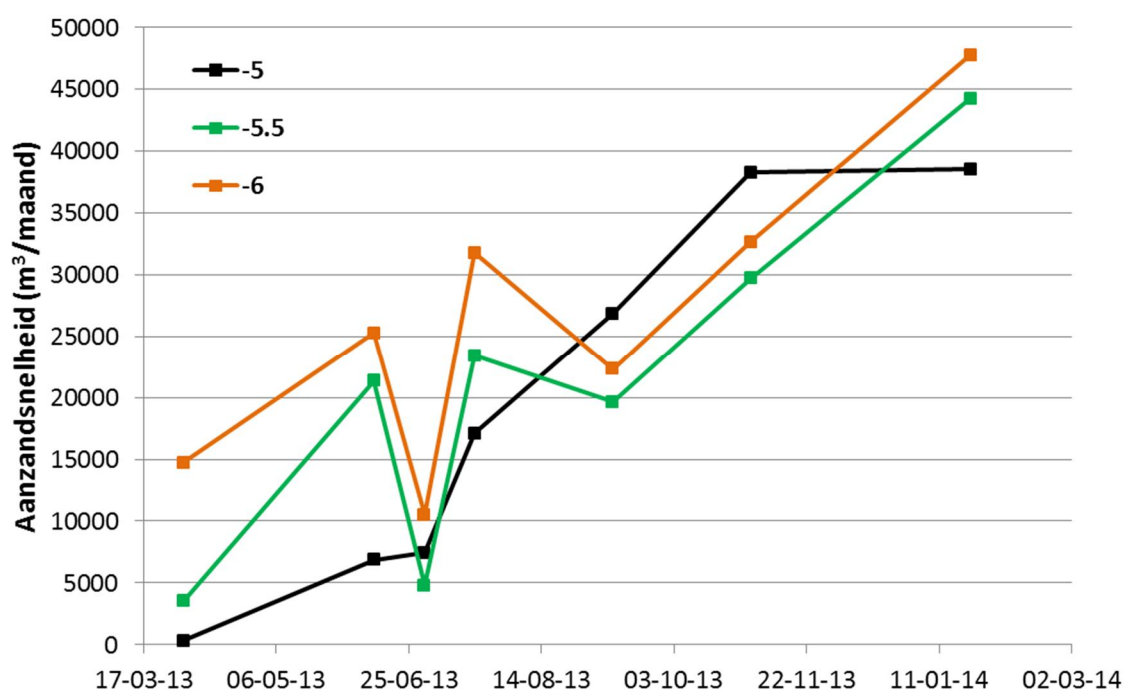
Meting 1	Meting 2	Tijd (d)	Verschil volume (m ³)	Snelheid aanzanding (m ³ /maand)
09-09-13	20-01-14	133	-31580	-7123
20-01-14	05-03-14	44	1757	1198
05-03-14	01-07-14	118	-19860	-5049
01-07-14	14-11-14	136	-6722	-1483
14-11-14	21-01-15	68	-388	-171
21-01-15	29-04-15	98	-8313	-2545

Tabel 4.3 Volumeveranderingen middelste geul, 150m breed en diep -5 m NAP. Verschil volume is tussen de lodingen van meting 1 en meting 2, beide met de polygoon gebaseerd op meting 1 (manier 2 in paragraaf 2.2.2).

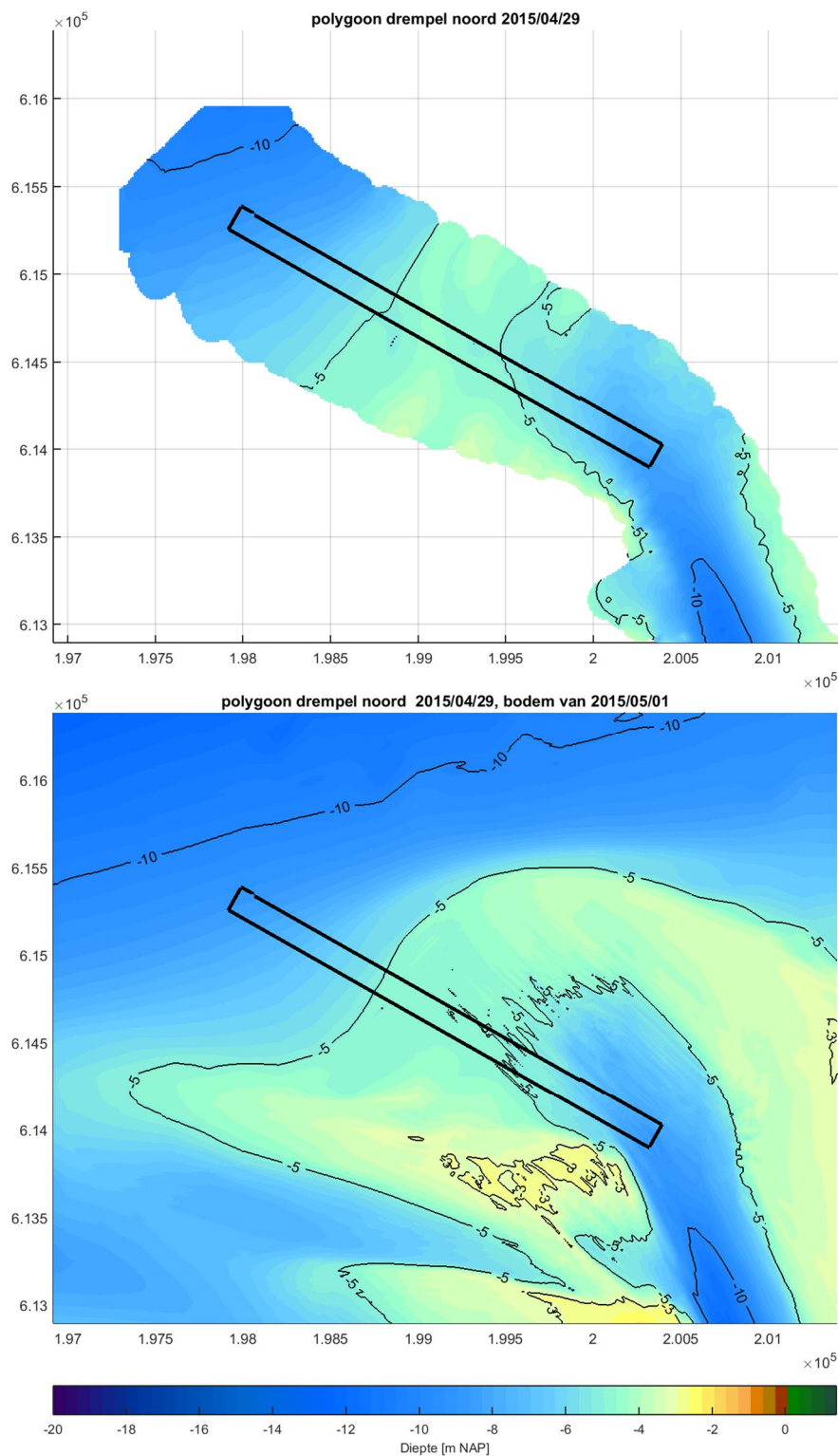
Meting 1	Meting 2	Tijd (d)	Verschil volume (m ³)	Snelheid aanzanding (m ³ /maand)
01-04-13	12-06-13	72	755	315
12-06-13	01-07-13	19	3922	6192
01-07-13	20-07-13	19	4711	7438
20-07-13	09-09-13	51	24427	14369
10-09-13	01-11-13	52	27827	16054
01-11-13	20-01-14	80	67116	25168
23-01-14	01-05-14	98	125889	38538

Tabel 4.4 Volumeveranderingen zuidelijke geul, 150m breed en diep -5 m NAP. Verschil volume is tussen de lodingen van meting 1 en meting 2, beide met de polygoon gebaseerd op meting 1 (manier 2 in paragraaf 2.2.2).

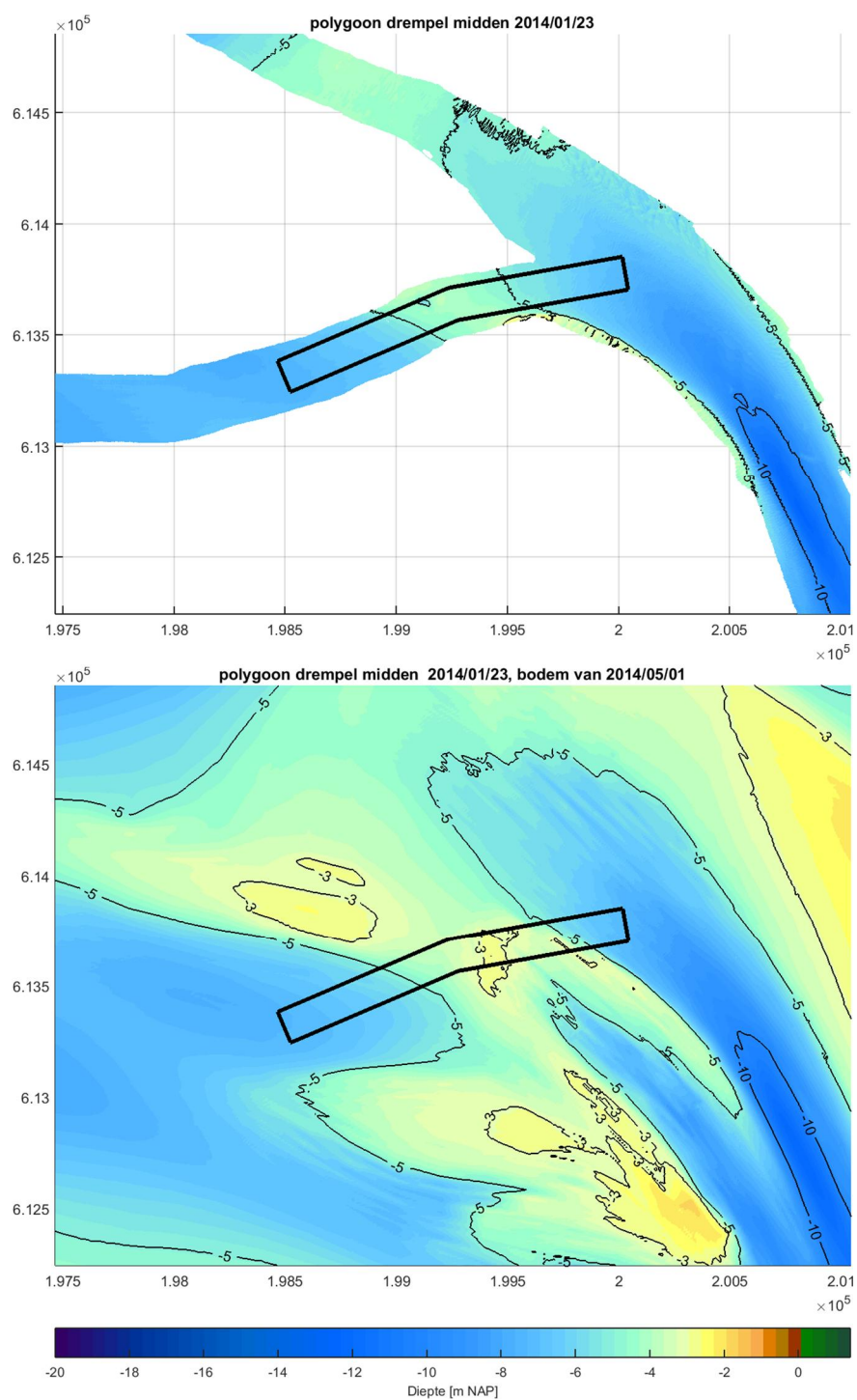
Meting 1	Meting 2	Tijd (d)	Verschil volume (m ³)	Snelheid aanzanding (m ³ /maand)
01-05-14	20-05-14	19	1134	1791
20-05-14	21-01-15	246	203490	24816
21-01-15	01-05-15	100	74535	22361



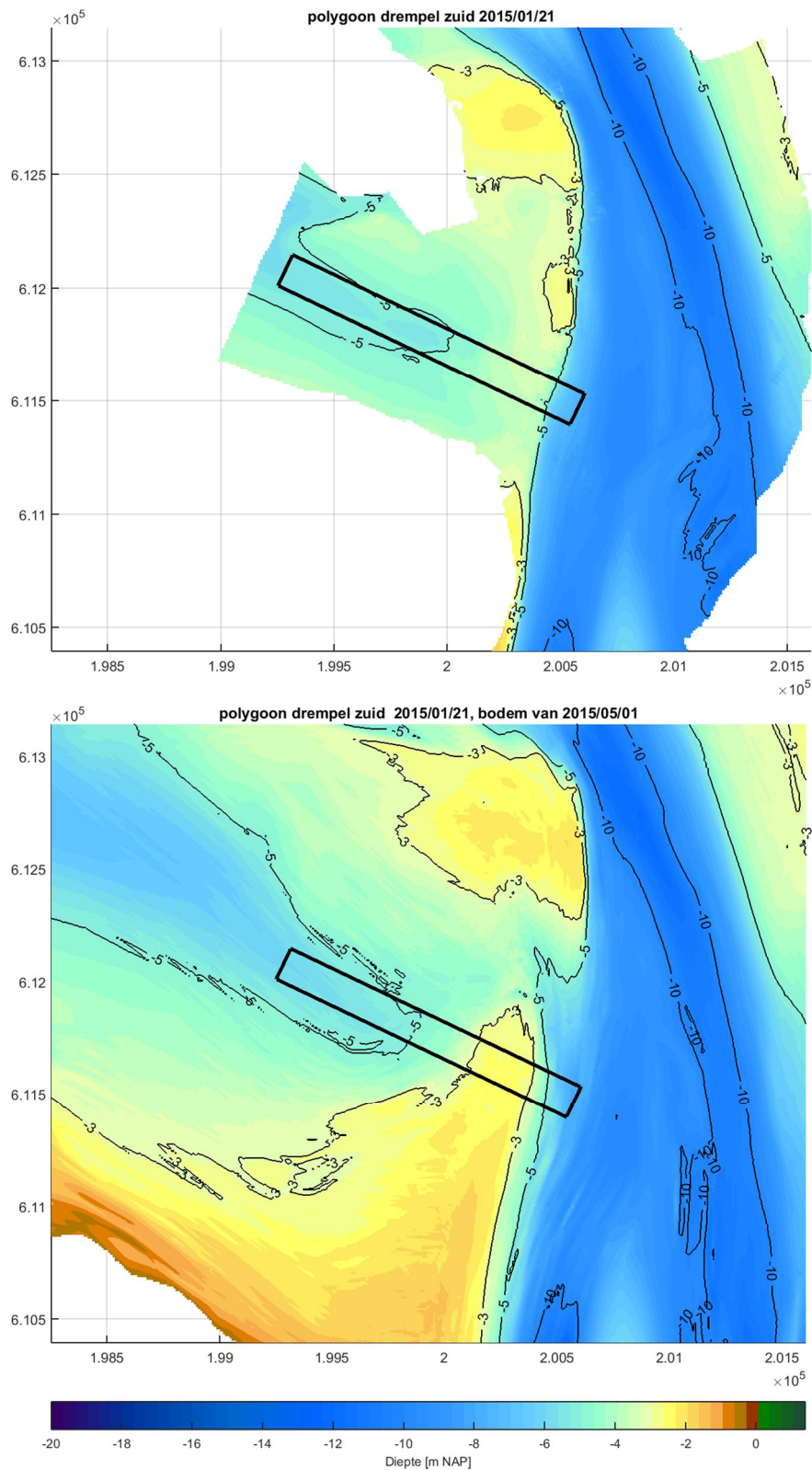
Figuur 4.4 Aanzandsnelheden voor de middelste geul met breedte 150 m, berekend volgens manier 2 in paragraaf 2.2.2



Figuur 4.5 Overzicht van de drempel in de noordelijke buitendeltageul, bathymetrie van 29-4-2014 (boven) en van 1-5-2014 (onder) met in beide de polygoon van 29-4-2014. Het ebschild (de zandplaat links van de gekozen vaargeul) is iets naar het oosten (richting de vaargeul polygoon) verplaatst, maar heeft deze nog niet bereikt.



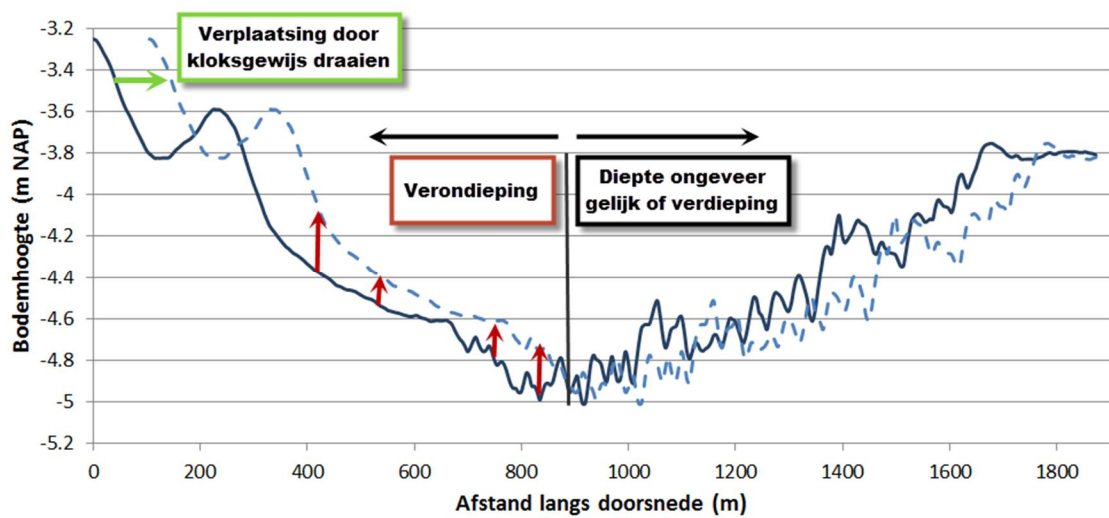
Figuur 4.6 Overzicht van de drempel in de middelste buitendeltageul, bathymetrie van 23-1-2014 (boven) en van 01-5-2014 (onder) met in beide de polygoon van 23-1-2014. De zandplaat ten zuiden van de geul (gevormd door zowel de eb- als vloedscharen) is in deze periode naar het noorden verplaatst, waardoor die midden in de gekozen vaargeul ligt.



Figuur 4.7 Overzicht van de drempel in de zuidelijke buitendeltageul, bathymetrie van 21-1-2015 (boven) en van 1-5-2015 (onder) met in beide de polygoon van 21-1-2015. De zandplaat ten zuiden van de geul (gevormd door met name het vloed-schaartje) is in deze periode naar het noorden uitgebreid, waardoor die in de meting van mei ook in de gekozen vaargeul ligt.

4.2.2 Locatieonderhoud

Zoals in Fase 1 naar voren kwam draait het Westgat kloksgewijs. De vaargeul route zal deze verplaatsingen moeten volgen, waarbij steeds opnieuw een vaargeul zal moeten worden gebaggerd. Op deze verplaatsing zou kunnen worden geanticipeerd. De vaargeul zou zodanig kunnen worden gepland, gebaggerd en betond dat rekening wordt gehouden wordt met de oostwaartse draaiing van de noordelijke geul, door oostelijk van de huidige thalweg een vaargeul te baggeren (Figuur 4.8).



Figuur 4.8 Effect van kloksgewijs draaien van de noordelijke geul – het oostwaarts (rechts in de figuur) verplaatsen van zowel geul als zandplaat (ebschild, links). Donkere doorgetrokken profiel is het profiel van mei 2015, het lichtblauwe, gestreepte profiel is het zelfde profiel maar dan 100 meter oostwaarts (rechts) verplaatst. Ten oosten van de 'scheiding' zal initieel meer baggerwerk zijn, maar zal locatieonderhoud later optreden.

Uit de lodingen blijkt dat de verplaatsingssnelheid van het Westgat over de jaren fluctueert. Dit kan variëren tussen stilliggen van de geul, waarbij geen extra locatieonderhoud wordt verricht, en roteren. Bij rotatie kan ervoor gekozen worden om de positie van de vaargeul van tijd tot tijd te verleggen, om optimaal te profiteren van de geuldiepte. De waargenomen geulrotatie is gemiddeld $2,5^{\circ}$ /jaar, de waargenomen maximale rotatie is 8° /jaar. Tot welke baggerinspanningen deze draaiing zal leiden hangt sterk af van een tweetal factoren:

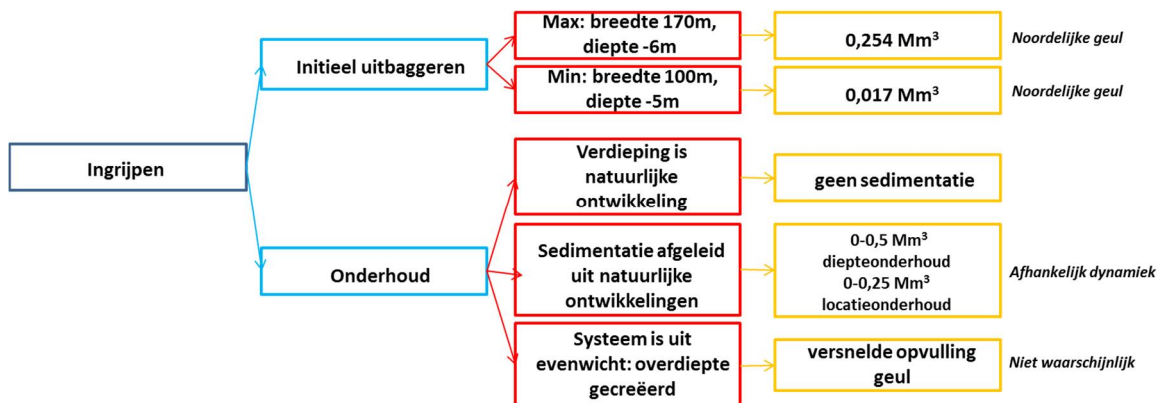
- Als de initiële positie van de geul verder oostwaarts ligt zal de initiële baggerinspanning groter zijn (meer dan de volumes zoals aangegeven in Tabel 4.1), maar duurt het langer voordat de toename in aanzanding zo groot wordt dat de vaargeul verplaatst moet worden.
- Het diepteonderhoud zal door de draaiing toenemen door het verschil in aanzandsnelheid van de vaargeul op de ideale positie (nog in het diepste deel van de geul) en op de locatie zoals ontstaan door de draaiing (links van de verticale lijn in Figuur 4.8, waar het natuurlijke profiel ondieper is).

De verhouding tussen de toename in diepteonderhoud en initiële baggerinspanning die nodig is om de locatie te verleggen (naar verwachting vergelijkbare volumes als in Tabel 4.1) bepaalt hoe groot het locatieonderhoud uiteindelijk zal zijn. Hierbij zullen andere factoren meespelen, zoals de inspanning die een verlegging van de betonning meebrengt en ander praktische zaken. De inschatting is dat bij een gemiddelde draaisnelheid van $2,5^{\circ}$ /jaar het locatieonderhoud ca. 125.000 m^3 /jaar zal zijn (één verplaatsing van de vaargeul elke 2 jaar) en dat

dit maximaal 250.000 m³/jaar zal zijn (één verplaatsing van de vaargeul elk jaar), uitgaande van 8⁰/jaar.

Diepteonderhoud en locatieonderhoud gecombineerd

Nieuwe vaargeul(gedeelte)en, die aangelegd worden om de migratie van de geul bij te houden, krijgen ook te maken met verticale opvulling. Omgekeerd zal een sterke verticale sedimentatie aan de westflank van de vaargeul in combinatie met een sterke verplaatsing van de geul waarschijnlijk aanleiding zijn tot een verplaatsen van de vaargeulroute. Het is dus niet zo dat het maximale diepteonderhoud en het maximale locatieonderhoud eenvoudig bij elkaar op moeten worden geteld om te komen tot de totale onderhoudsbaggerinspanning. De optimale keuze tussen verleggen en vasthouden aan de bestaande vaarroute zal worden bepaald door de verhouding tussen de inspanning benodigd voor deze twee. In het onwaarschijnlijke geval dat de maximale schattingen voor diepte- en locatieonderhoud gecombineerd voorkomen, zal het totale baggeronderhoud kunnen oplopen tot 750.000 m³/jaar. Een overzicht wordt gegeven in Figuur 4.9.



Figuur 4.9 Overzicht van de initiële en onderhoudsbaggerinspanning

Ter vergelijking is ook gekeken naar de aanzandsnelheden van baggergaten in stroomgeulen in de Waddenzee, zoals beschreven in bijlage C van Ministerie van Economische Zaken (2006). Met de hierin beschreven methode is een aanzandsnelheid berekend voor een baggergat met diepte -6 m NAP en een breedte van 170 m (de maximale onderzochte dimensies van de vaargeul) met het bijbehorende oppervlak van 254.000 m². Bij een diepte waarbij opnieuw moet worden ingegrepen van -5,5 m NAP, zou na 0,177 jaar ca. 127.000 m³ moeten worden uitgebaggerd. Daaruit komt een maximale baggerinspanning om de vaargeul op diepte te houden van 720.000 m³/jaar, een vergelijkbare inspanning als uit de berekeningen van de geulen in de buitendelta volgt. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat het gedrag van baggergaten (die meestal tot stroomverlamming leiden) niet noodzakelijkerwijs representatief is voor aanzanding in een buitendeltageul.

Het is aannemelijk dat het meeste onderhoudswerk noodzakelijk zal zijn na momenten van maximale sedimenttransporten. Verwacht wordt dat dit gedurende stormperiodes met sterke golfwerking zal zijn. Hierbij speelt de hoek waaruit de storm komt een grote rol.

4.3 Invloed verdieping

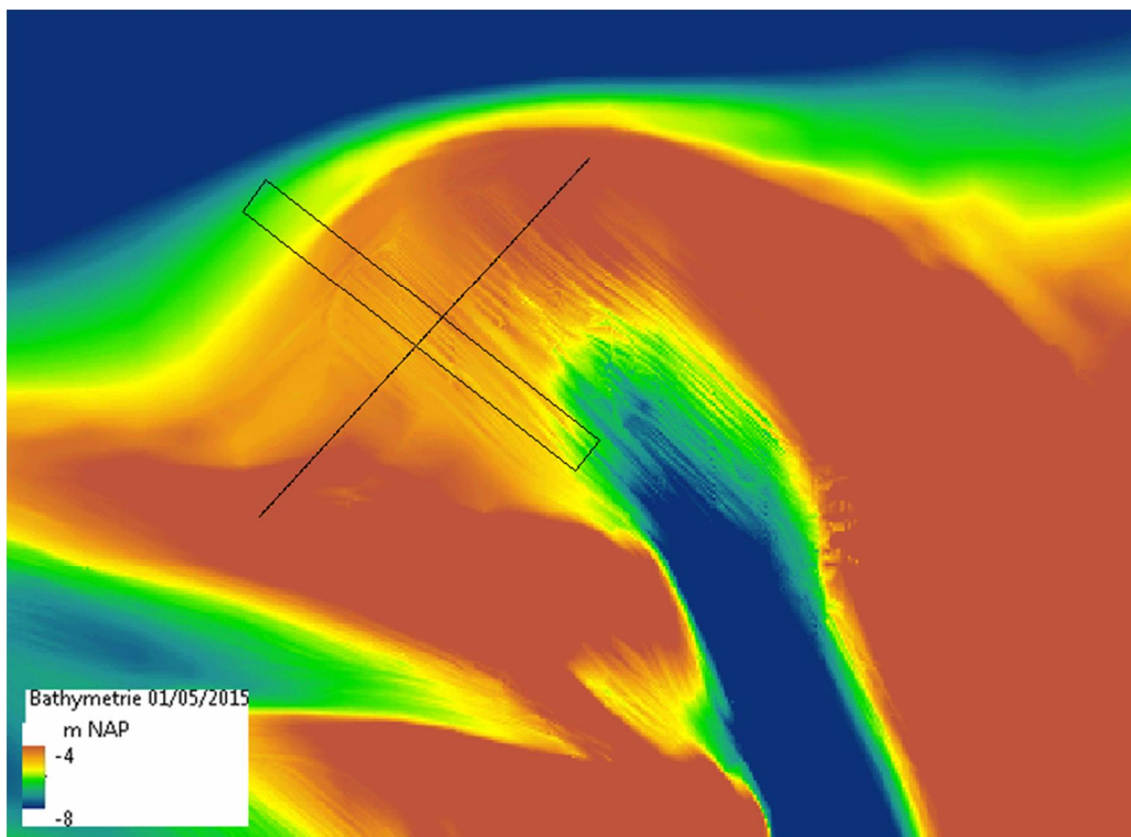
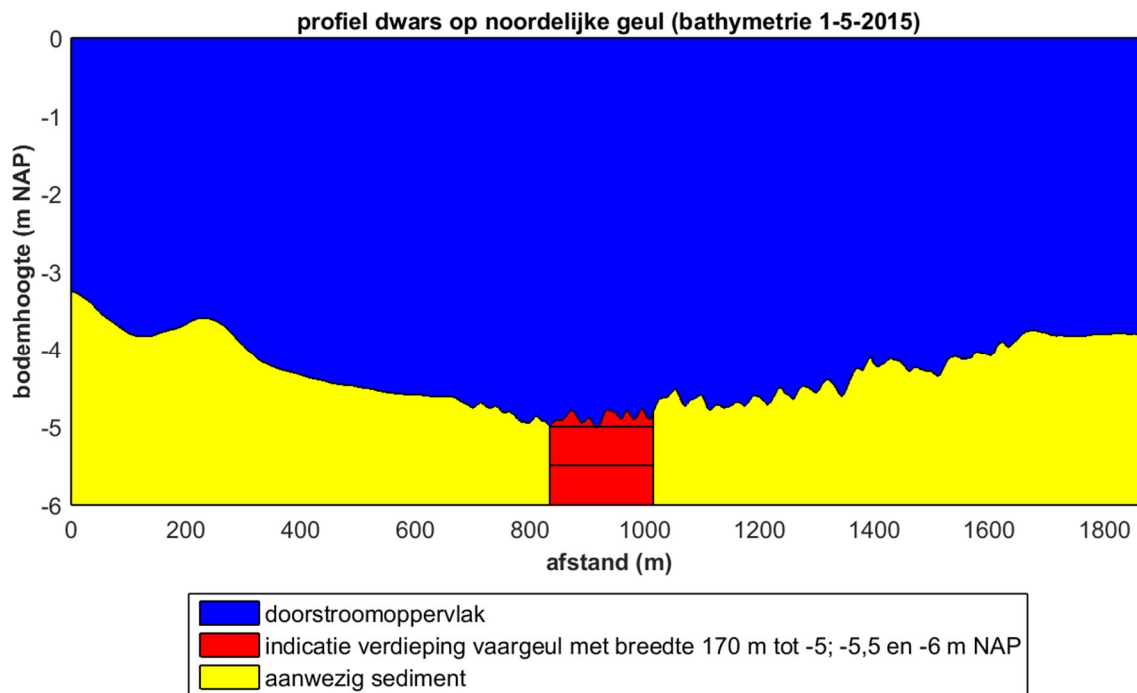
Hoe de noordelijke geul zal reageren op een mogelijke verdieping kan niet met zekerheid worden vastgesteld. De diepte en het sedimentvolume van de drempel lijken halverwege 2015 stabiel te zijn geworden. Een verdieping kan de geul dus mogelijk uit het natuurlijke evenwicht brengen, waardoor (sterkere) sedimentatie zal optreden. Hierbij geldt dat hoe verder de geul uit evenwicht wordt gebracht (hoe meer overdiepte), hoe groter de initiële toename in sedimentatie zal zijn (Van Dijk et al. 2014). Mocht een verdieping juist in lijn zijn met de natuurlijke ontwikkeling, kan dit juist gunstig uitpakken en resulteren in een relatief kleine of zelfs afwezige baggerinspanning.

Ook kan een verdieping mogelijk invloed hebben op de stroomsnelheden, doordat het doorstroomoppervlak van de noordelijke geul wordt vergroot. Deze vergroting kan leiden tot

1) een stroomvertraging (bij hetzelfde debiet en een groter oppervlak is de stroomsnelheid lager, er geldt namelijk dat debiet = snelheid * oppervlak: $Q \text{ (m}^3/\text{s)} = u \text{ (m/s)} * A \text{ (m}^2\text{)}$) en daarmee tot een extra snelle sedimentatie, of

2) extra getijdebet "trekken" (doordat er minder weerstand is, stroomt er meer water door de geul en nemen debiet en stroomsnelheden toe), waardoor de sedimentatie lager uit zal vallen of afwezig kan zijn (de verdieping is dan in lijn met de natuurlijke ontwikkeling).

Bij de grootste ingreep (170 m*1,3 m verdieping) bedraagt de vergroting van de natte doorsnede van het Westgat nog geen 3% (Figuur 4.10). Op basis van deze eerste inschatting wordt verwacht dat de stroomsnelheden niet in belangrijke mate zullen afwijken van de huidige situatie.



Figuur 4.10 Doorsnede dwars op de drempel van de noordelijke geul waarin de mogelijke verdieping in is aangegeven (boven) en de locatie van de doorsnede (onder).

4.4 Processen van belang voor vaargeuldiepte en -breedte

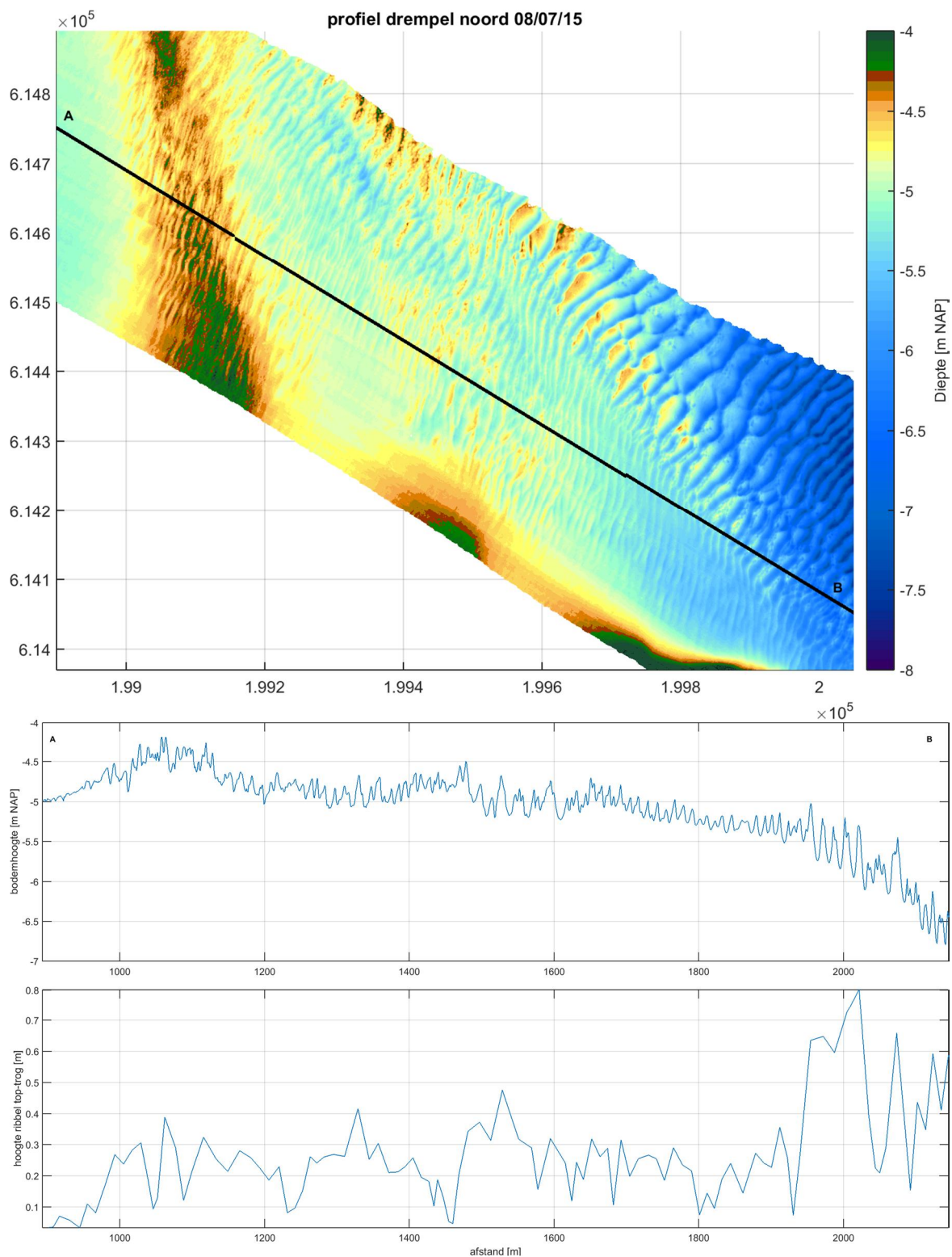
In dit onderzoek is gekeken naar de aanzandsnelheden voor een aantal verschillende dimensies van een vaargeul. Onderzoeken wat voor *deze situatie* de meest gunstige dimensies zijn, viel niet binnen de scope van deze studie. In dit hoofdstuk worden echter wel een aantal processen besproken die van belang zijn voor het bepalen van de geschikte dimensies van de vaargeul in dit gebied.

De verhouding tussen getijdebiet en golfwerking

Op grond van het onderzoek in Fase 1 werd geconcludeerd dat de versterkte drempelvorming van het Westgat samenhangt met de huidige noordwaartse oriëntatie, waarbij de drempel hoger wordt als de golfwerking belangrijker wordt en lager als het getijdedebiet dat door de buitendelta stroomt toeneemt. In de periode 2013 tot 2015 is er een duidelijke verdieping van de noordelijke buitendeltageul opgetreden. Als deze doorzet zal er minder baggerinspanning nodig zijn voor de aanleg van een vaargeul. Wel is er waargenomen dat in de winter onder invloed van (storm)golfwerking drempels worden opgeworpen (bijv. winterhalfjaar 2013/2014), die in rustige perioden door de getijdestroming weer worden weggewerkt (zomer 2014; Mulder en Lofvers, 2015). Aanbevolen wordt om de ontwikkelingen zo vaak als nodig gezien de migratiesnelheid te monitoren.

Bodemvormen

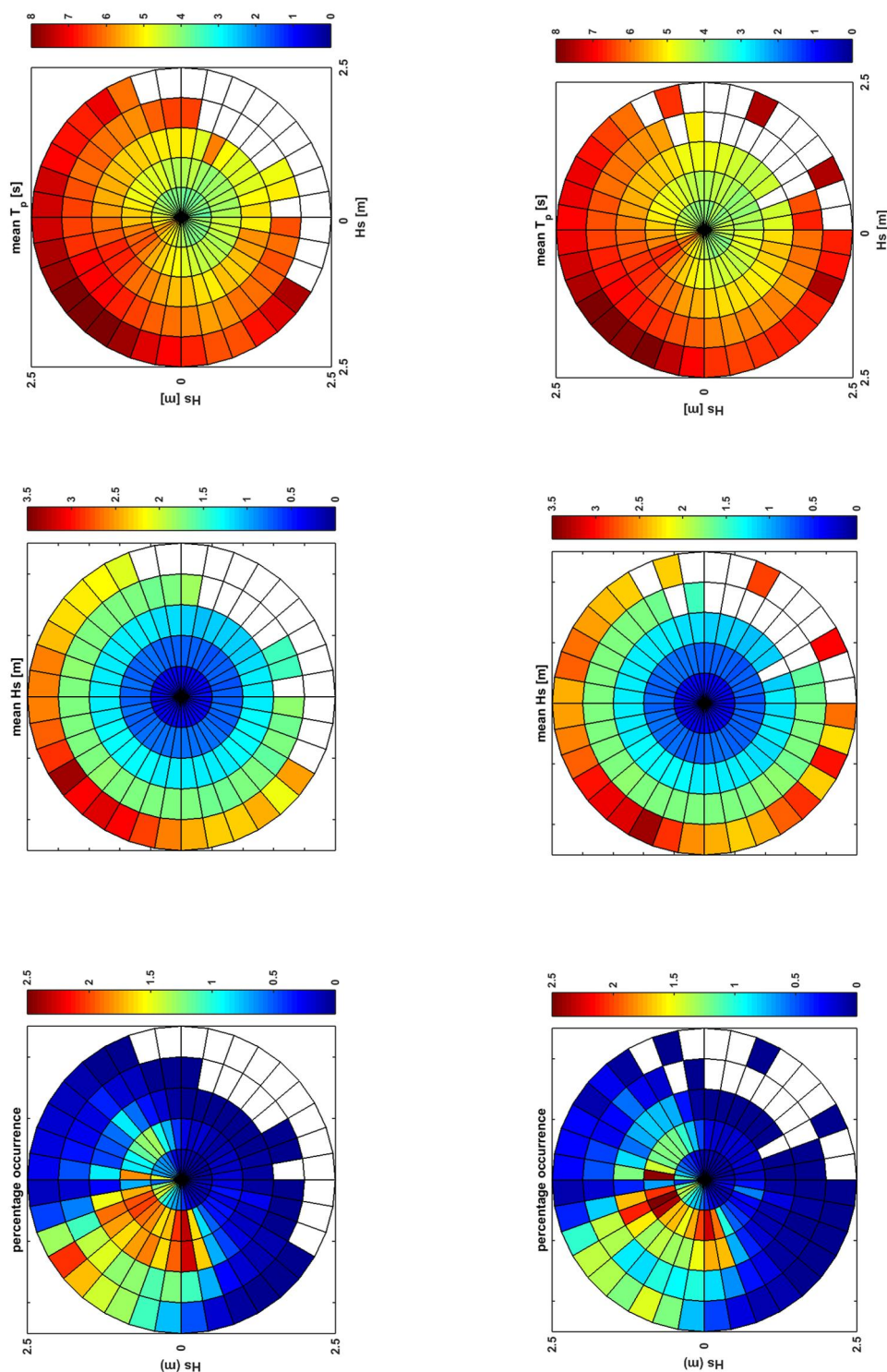
De onderhoudsdiepten worden mede bepaald door de hoogte van de megaribbels op de bodem. Uit de lodingen blijkt dat de bodem bedekt is met megaribbelvelden waarvan de toppen momenteel tot -4,7 m NAP reiken. De grootste megaribbels zijn ongeveer 0,8 m hoog (Figuur 4.11). Dergelijke kleine megaribbels kunnen in minder dan een doottij-springtij periode ontstaan: steeds wegbaggeren is daarom geen optie. Voorwaarde voor een veilige vaart is dat de toppen van de megaribbels onder gewenste vaardiepte blijven. De hoogte van de megaribbels moet daarom worden meegenomen in het bepalen van de marge op de vaardiepte.



Figuur 4.11 Overzicht van de megaribbels aanwezig op 8-7-2015 (boven) met een profiel getrokken via de zwarte lijn (midden) en de afgeleide hoogte van de ribbels (onder).

Grondzeeën

De onderhoudsdiepten worden mede bepaald door de aanwezigheid van grondzeeën die ontstaan onder invloed van golfwerking. Met een grondzee worden omstandigheden aangeduid, waar de golven dusdanig hoog zijn, dat het schip met de kiel de bodem kan raken in het golfdal en vervolgens door de volgende golfpiek weer wordt meegesleurd en het schip beschadigd kan raken. Vissers zijn van mening dat de golfwerking sterker zou zijn geworden en er meer grondzeeën voorkomen (mond. med. I&M). Om een indruk te krijgen van de golfwerking is gekeken naar waarnemingen over de periode 2005-2010 en 2010-2015 van de meetboei voor Schiermonnikoog (Figuur 4.12). In de periode 2005-2010 zijn de maximale en gemiddelde golfhoogten iets hoger dan in de periode 2010-2015. De golfrichting is niet in belangrijke mate gewijzigd. Een meer aannemelijke verklaring voor de toegenomen grondzeeën, is het feit dat de noordelijke buitendeltageul door haar oriëntatie momenteel geen luwte van betekenis meer biedt voor de golven die vanuit de Noordzee komen. Mogelijk gaat dit in de toekomst veranderen, doordat de draaiing van de geul zich voortzet en zich tegelijk aan de westzijde een plaat ontwikkelt die het Westgat luwte kan gaan bieden voor inkomende golven.



Figuur 4.12 Overzicht van de golfkarakteristieken verdeeld over de windroos over de periode 2005-2010 (links) en 2010-2015 (rechts) voor de meetboei Schiermonnikoog. Er zijn geen grote veranderingen in de golfkarakteristieken te zien tussen deze twee periodes. Van onder naar boven: Percentage voorkomen (aangegeven door de kleur) van significante golfhoopte ('schijven' van de roos); gemiddelde significante golfhoopte (kleur en 'schijven'); piek golfperiode (aangegeven door de kleur) van de significante golfhoopte ('schijven' van de roos).

5 Conclusies

Vraag	Conclusie
Wat is het baggerbezwaar op langere termijn (over circa 10 jaar, maar ook de verwachting over een termijn van 20 a 50 jaar)?	Voor het baggerbezwaar op langere termijn worden twee scenario's als mogelijk gezien. In beiden zal op termijn een natuurlijke diepere geul ontstaan, dit kan binnen de komende jaren of over ca. 15-25 jaar.
Wat is de initiële baggerinspanning bij ingrijpen?	Indien in de huidige situatie zou worden ingegrepen bedraagt het initiële baggervolume ca. 250.000m ³ . Dit levert een geul op van 170m breed tot -6 m NAP.
Wat is de onderhoudsbaggerinspanning bij ingrijpen?	<p>Op grond van huidige data zou het diepteonderhoud kunnen variëren tussen 0 en 500.000 m³/jaar. Deze waarden zijn indicatief, gezien de grote onzekerheden.</p> <p>Het locatieonderhoud, doordat de gehele buitendelta-geul Westgat verplaatst, wordt op grond van de waargenomen draaisnelheden geschat op ca. 125.000 m³/jaar, met een marge van 0 tot 250.000 m³/jaar.</p> <p>Het is niet waarschijnlijk dat zowel het locatieonderhoud als het diepteonderhoud tegelijkertijd maximaal zullen zijn. De verhouding tussen die twee is een optimalisatievraagstuk dat afhangt van de verticale sedimentatie en het verleggen van de geul.</p>
Welke kennisleemtes zijn er met het oog op de sedimentatie in een uit te baggeren geul?	<p>De grootste onzekerheid bestaat over de aanzandsnelheden die gemiddeld in een jaar op zullen treden in een verdiepte geul.</p> <p>Daarnaast is over de grootschalige ontwikkeling op korte termijn nog e.e.a. niet duidelijk: Hoe snel zal de noordelijke geul komende jaren blijven draaien? Wordt de komende jaren de noordelijke geul dichtgedrukt en ontstaat er een nieuwe (hoofd-) ebgeul ten zuidwesten hiervan (met de huidige middelste of zuidelijke geul) of wordt de noordelijke geul snel dominant (en dieper)?</p>
Is na deze studie het inzicht gewijzigd in welke geul het meest geschikt is om als vaargeul te gebruiken?	Nee, de resultaten van deze studie bevestigen dat de noordelijke geul zowel qua ontwikkeling van de drempel als de grootschalige dynamiek het meest geschikt is voor een eventuele vaargeul.
In hoeverre grijpt een eventuele maatregel significant in op het morfodynamische systeem?	De maximale bekeken afmetingen van een vaargeul (170 m breed, tot -6 m NAP) zorgen voor een verandering van het doorstroomoppervlak van minder dan 3%. Een significant effect op het gehele morfologische systeem lijkt daarom niet waarschijnlijk.

6 Aanbevelingen

- De verwachting is dat ook bij verdieping grondzeeën kunnen blijven optreden. Om na te gaan in hoeverre en onder welke condities een verdieping kan bijdragen aan het tegengaan van grondzeeën, wordt golf-modellering aanbevolen.
- Om na te gaan of de eerste inschatting van de effecten op de stroming (bij een afname van het doorstroomoppervlak < 3%) correct is voor alle onderdelen van de buitendeltageul, kunnen stroomsnelheidsmodelleringsvoor de voorkeursvarianten worden doorerekend, om zo de initiële stroomsnelheidsveranderingen in kaart te brengen.
- Een goed opgezette pilotstudie kan mogelijk meer helderheid brengen in de mate van aanzanding na een verdieping en de achterliggende sedimenttransportprocessen. Daarbij moet onderstreept worden, dat een dergelijke pilot alleen iets zal zeggen over de omstandigheden en effecten van ingrijpen bij de huidige geulenconfiguratie. Deze configuratie zal naar verwachting zo sterk veranderen op termijn dat de inzichten die men tijdens de pilot heeft opgedaan slechts een beperkte houdbaarheidsdatum hebben. Bij een nieuwe configuratie van de geulen en banken zullen de uitkomsten verschillen.
- Voordat met een eventuele pilot wordt gestart, wordt aanbevolen om een goed programma van eisen op te stellen, evenals een helder doel, opzet en vormgeving van de pilot (inclusief meet- en monitoringprogramma's). Daarmee zal een pilot mogelijk kennis opleveren rond het ingrijpen in geulsystemen van de buitendelta's. Daarbij wordt aanbevolen om te starten met verkennende modelberekeningen om de initiële sedimentatiesnelheden beter in beeld te krijgen en daarmee tot selectie van de meest optimale ingreep/route te komen.
- De kosten en doorlooptijd van een pilot hangen af van de omvang van de (bagger-) ingreep, de gewenste meet- en monitoringprogramma's en het benodigde onderzoek in de voorbereiding (o.a. de verkennende modelberekeningen) en de analyse van de resultaten na uitvoeren van de pilot.

8 Literatuur

Elias E.P.L. & A. Bruens, 2013: Beheerbibliotheek Ameland – Feiten & cijfers ter ondersteuning van de jaarlijkse toetsing van de kustlijn. Deltares rapport 1207724-004-ZKS-0015, Delft

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV), Ministerie van Economische Zaken, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Defensie, Waddenprovincies, Waddengemeenten, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland (RWS, NN), 1996: Beheersplan Waddenzee: 1996-2001.

Ministerie van Economische Zaken, 2006. Gaswinning binnen randvoorwaarden: onderbouwing randvoorwaarden van het rijksprojectbesluit. Bijlage C bij Passende beoordeling van het rijksprojectbesluit over de aardgaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, deel 2, p.71-120.

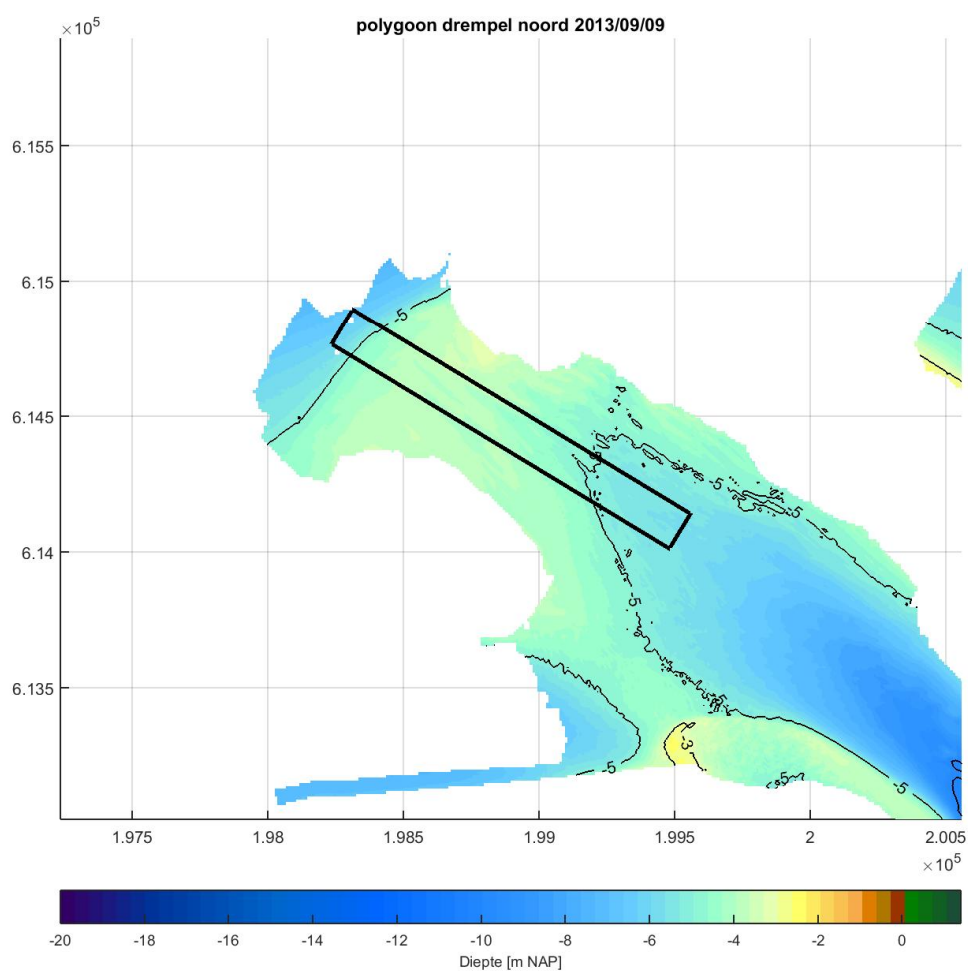
Mulder, H. & Lofvers, E., 2015: Morfologische beschouwing t.b.v. vaargeul Westgat. Notitie RWS Noord & WVL.

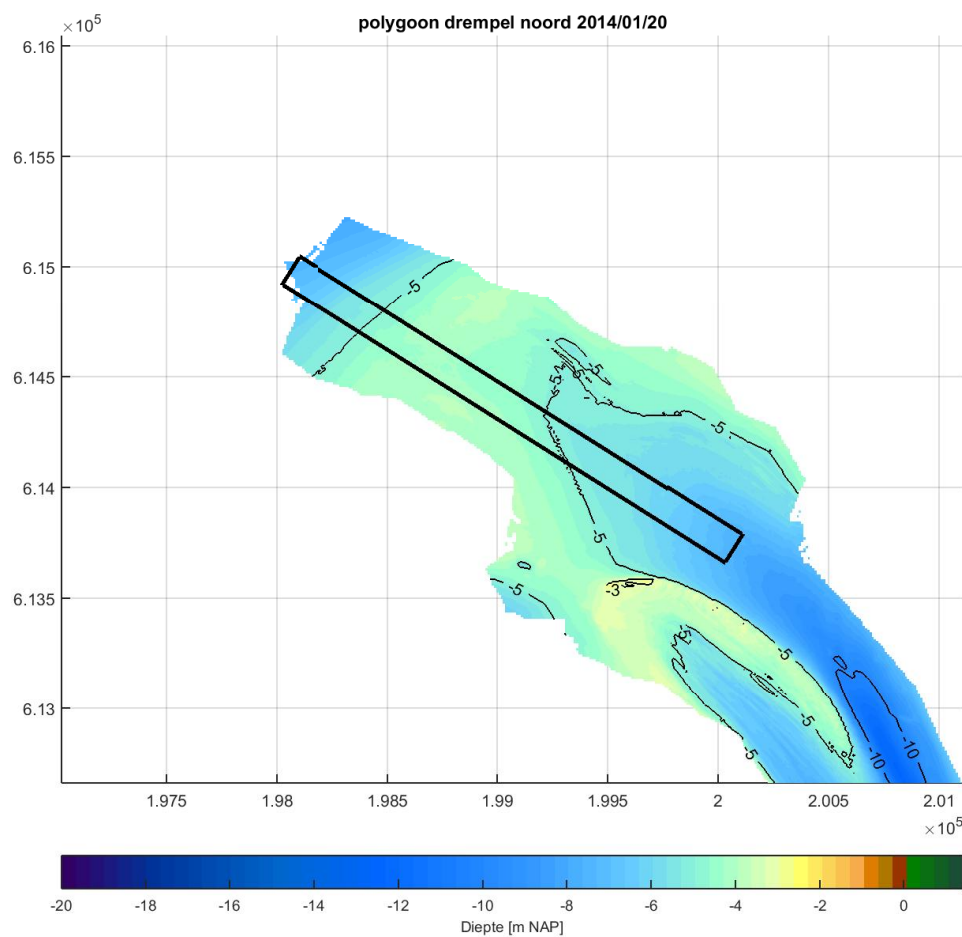
Oost, A.P., Vermaas, T. & Vonhögen-Peeters, L.M., 2015: Morfologische beschouwing ontwikkeling vaarweg buitendelta Zoutkamperlaag, Deltares rapport 1220040-001, Delft.

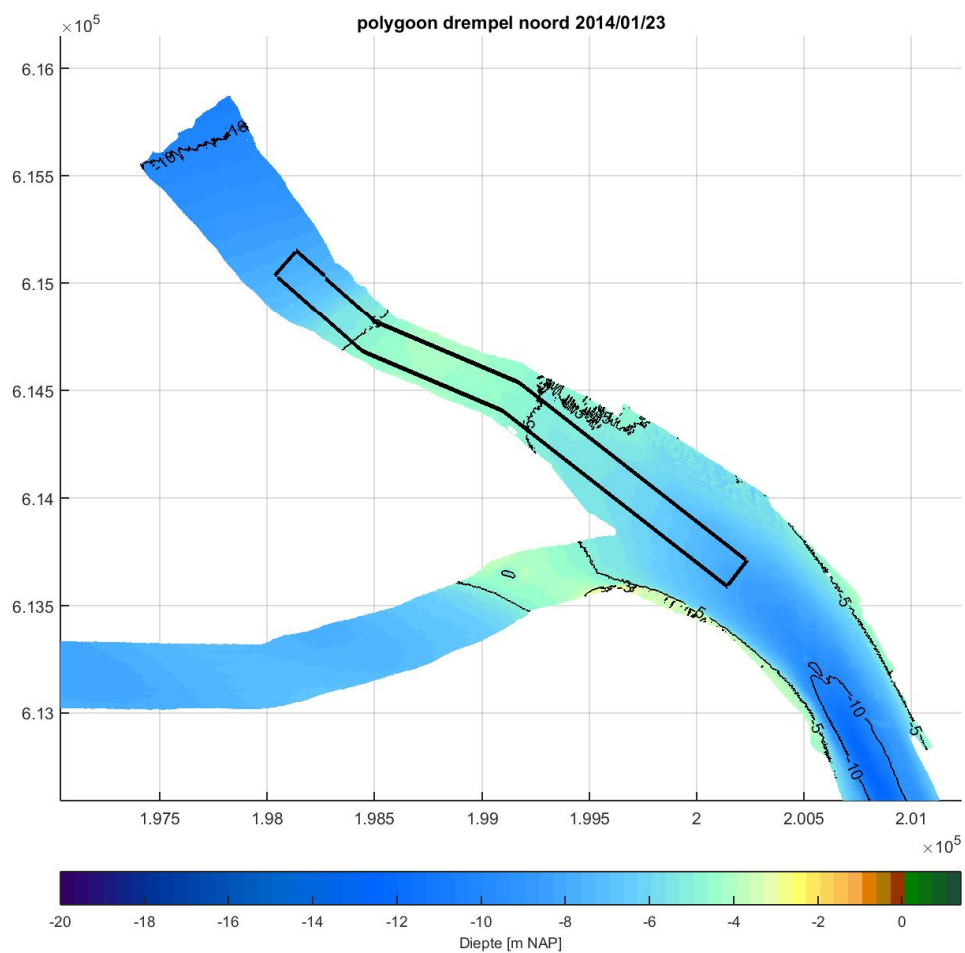
Van Dijk, T.A.G.P., T. Vermaas en M. Hijma, 2014. KPP Onderzoek Bodemdynamiek 2014 - Effect van baggeren op bodemdynamiek locatie Maasgeul & Pilot koppeling Kust en Zee. Deltares rapport 1209377-010, Delft

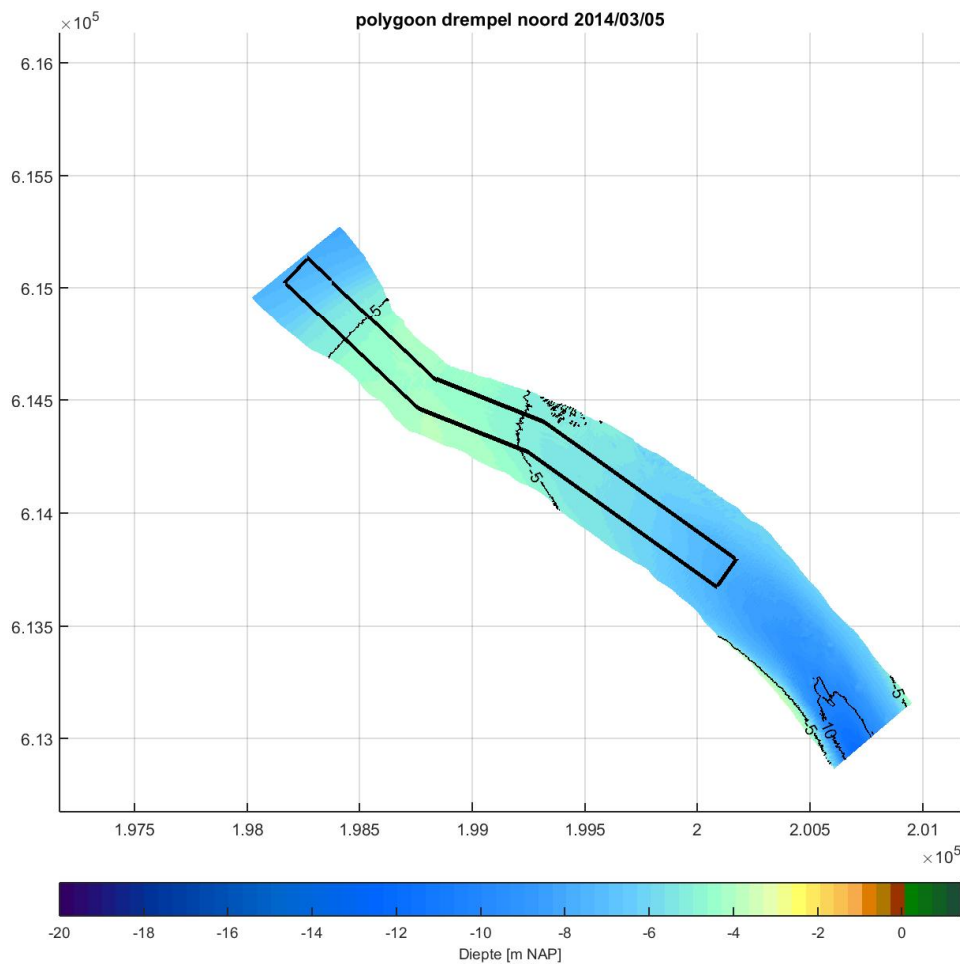
A Baggervakken per meting voor 150 m brede geul

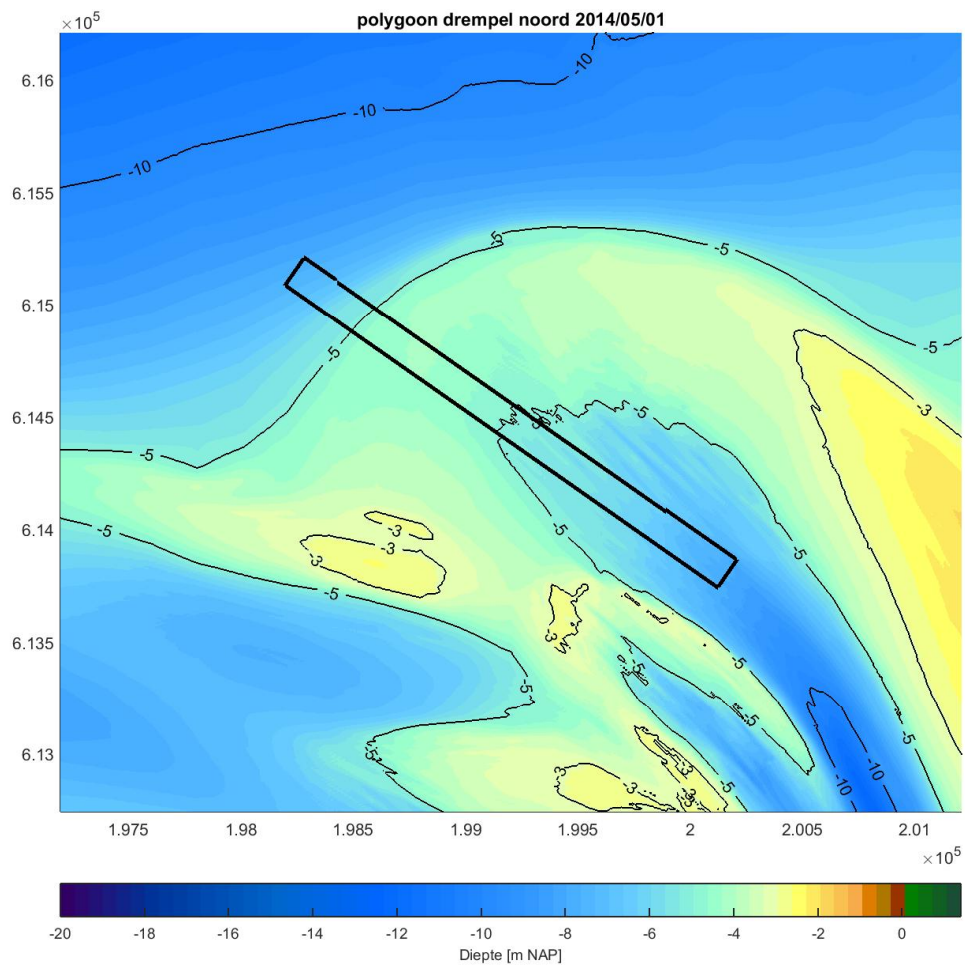
Noordelijke geul:

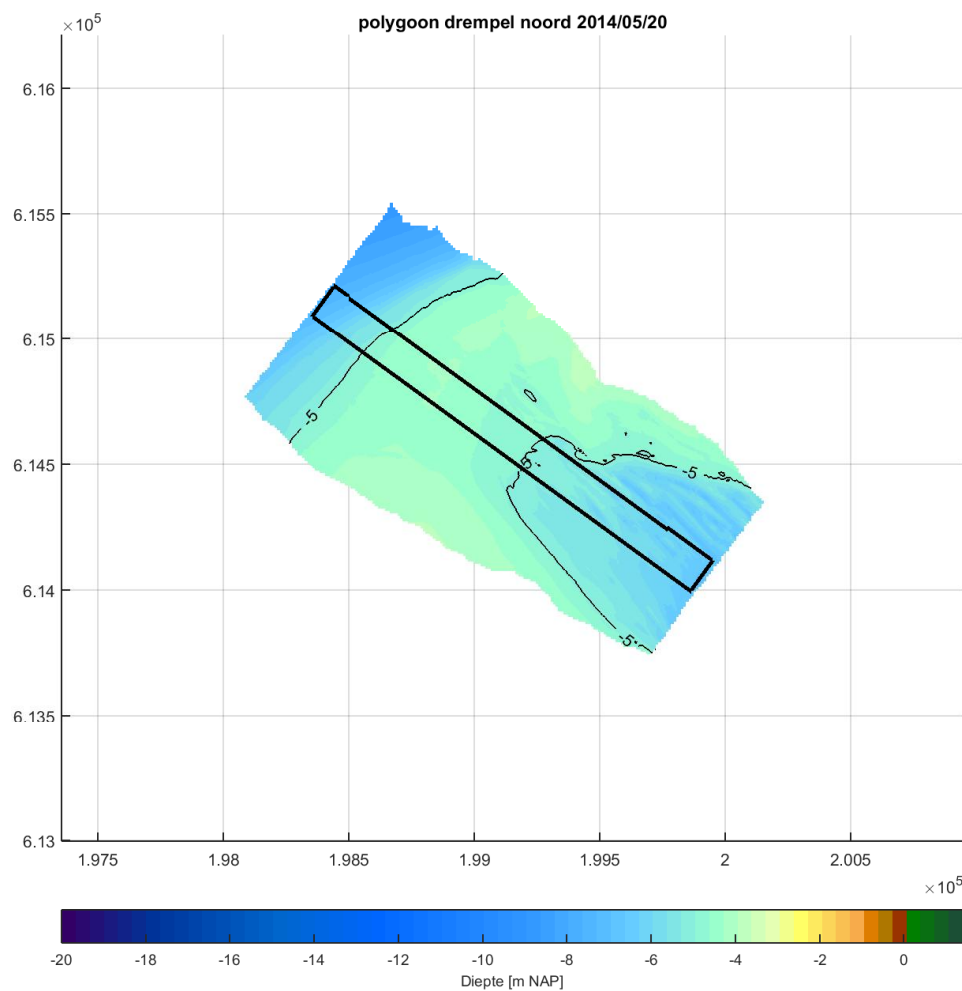


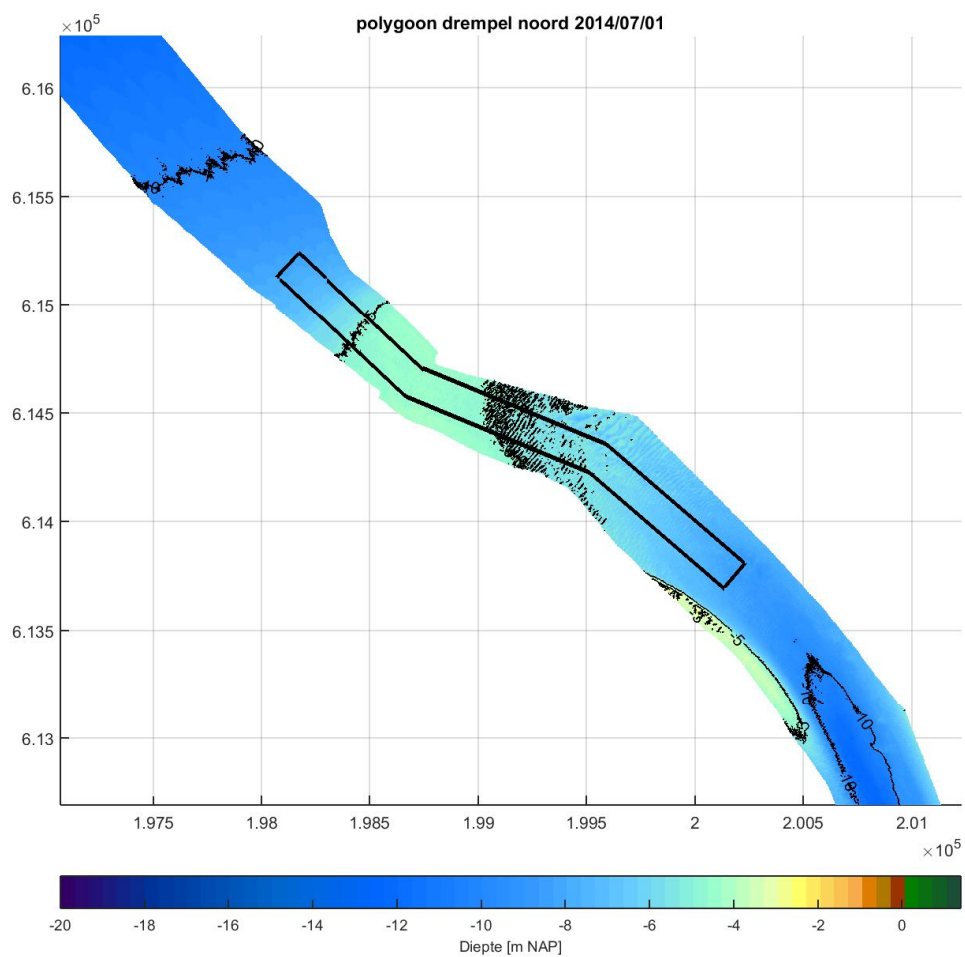


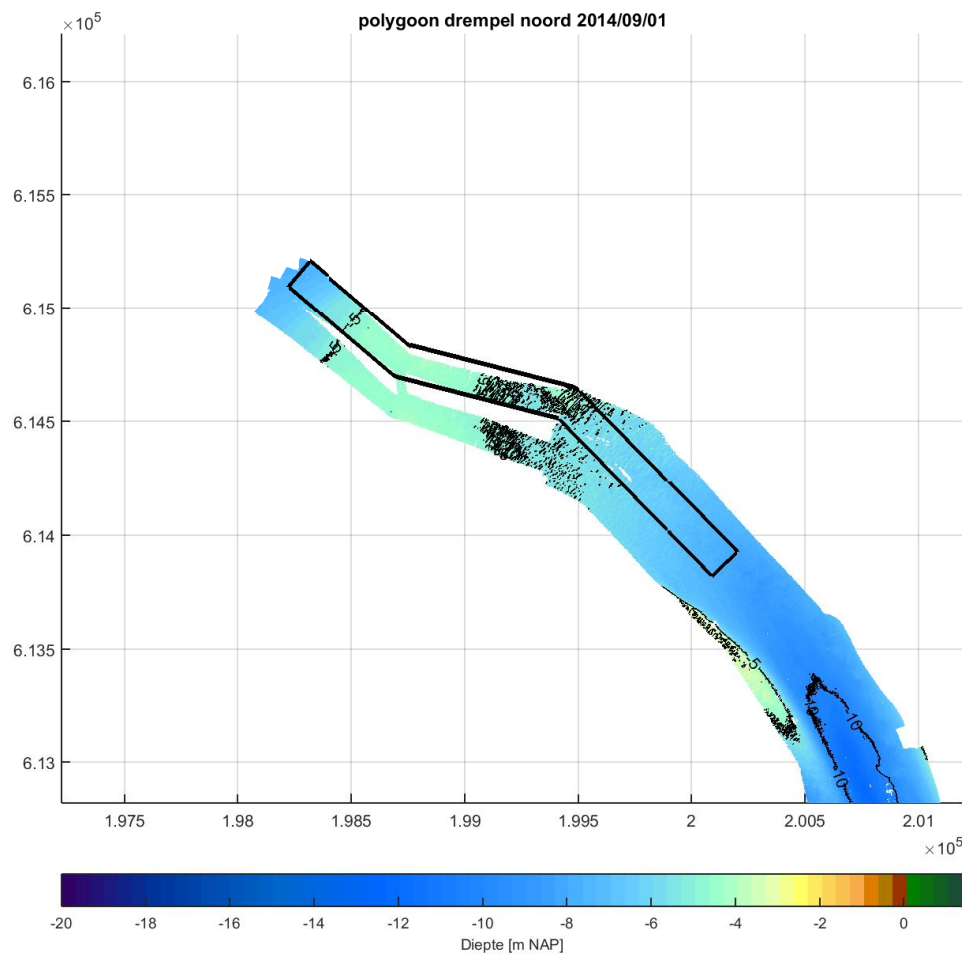


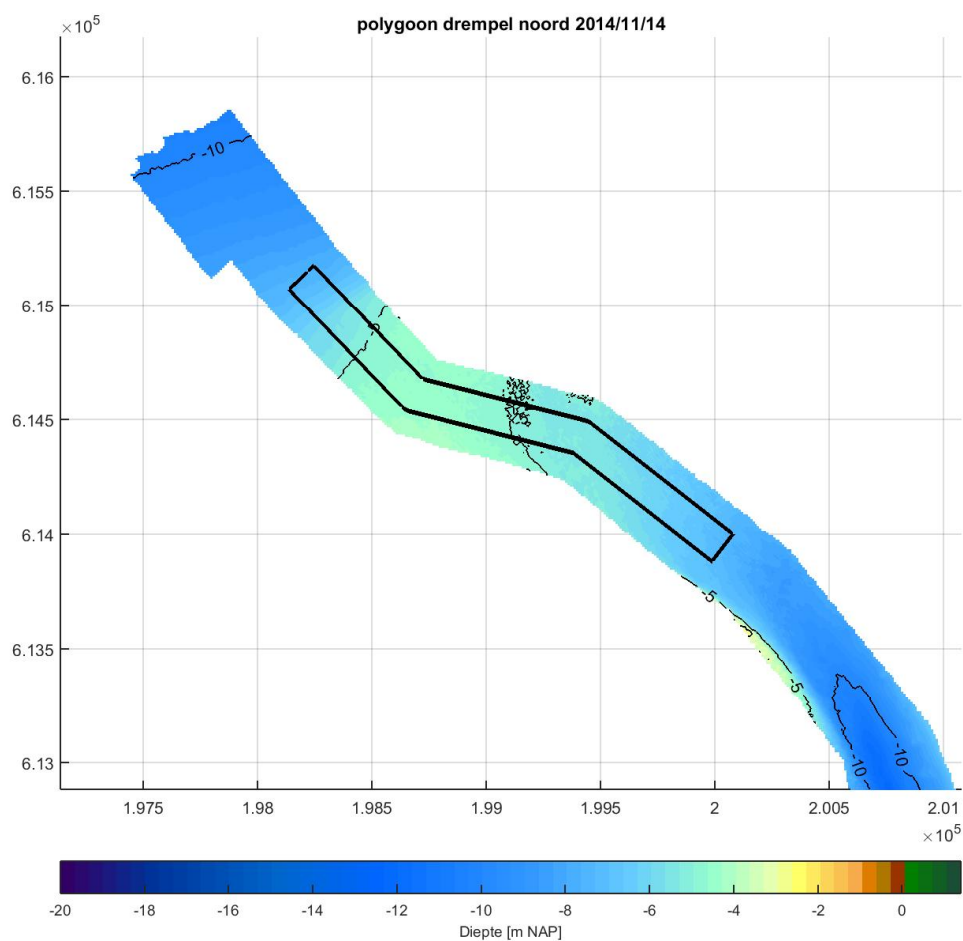


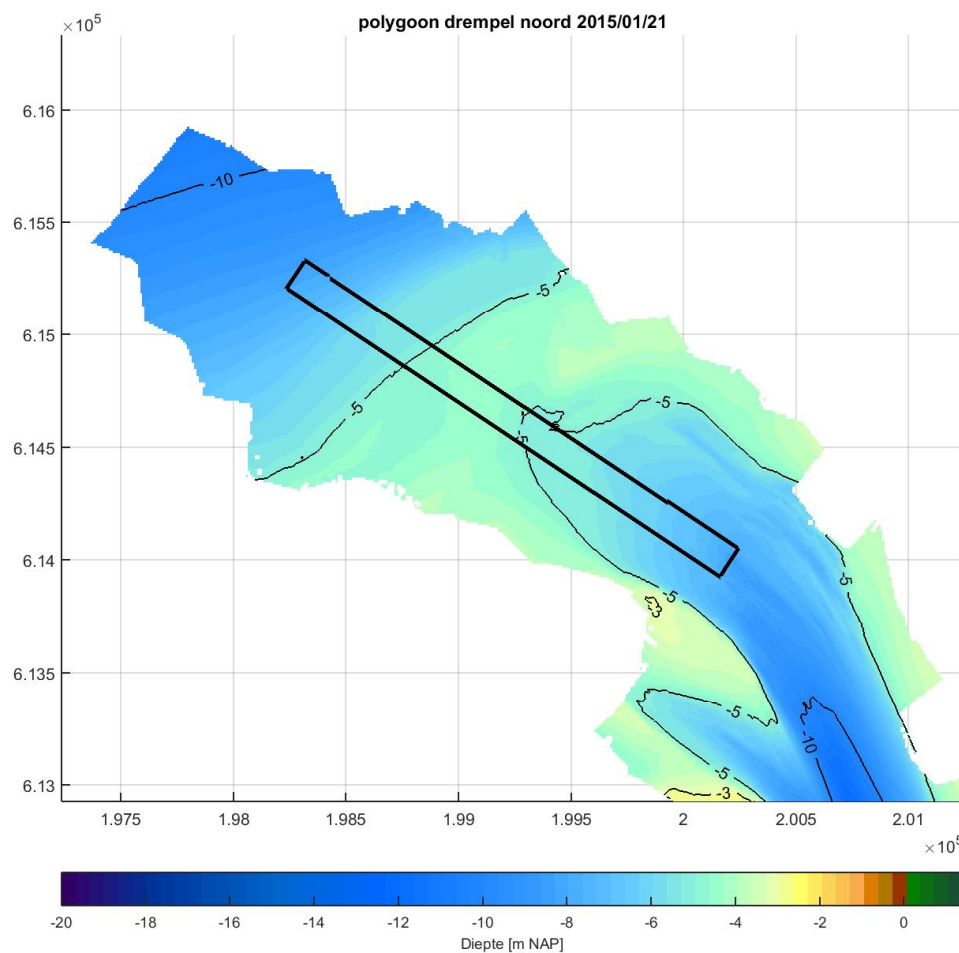


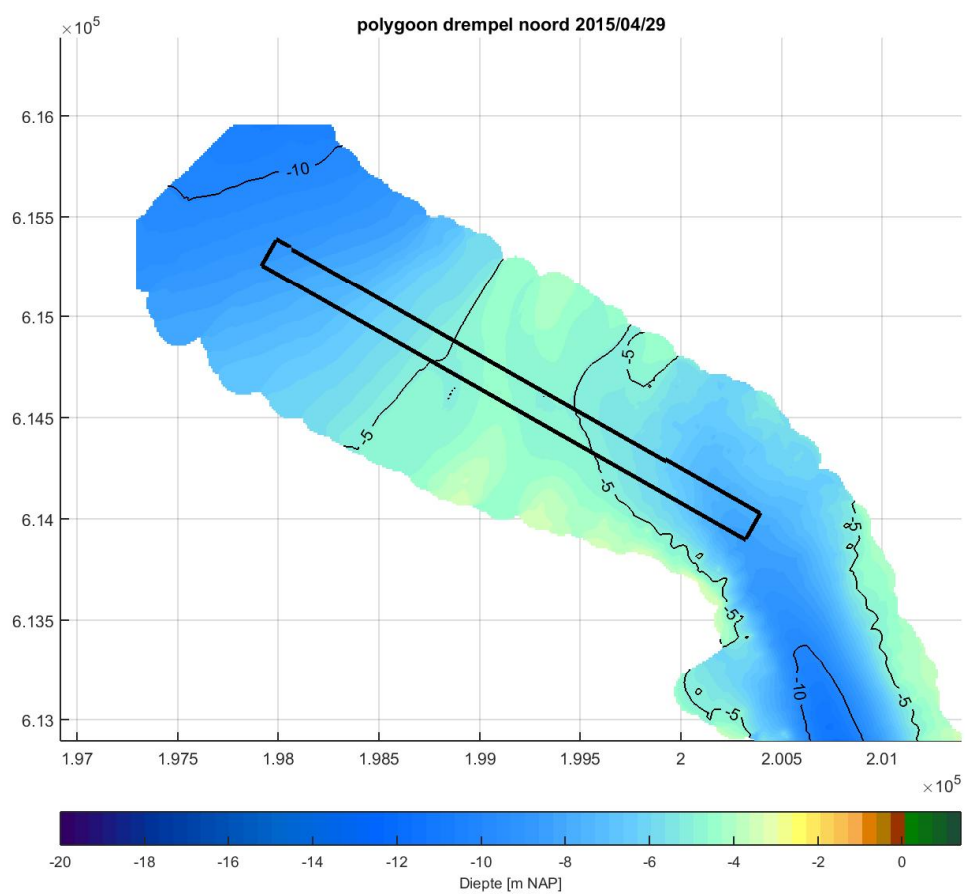


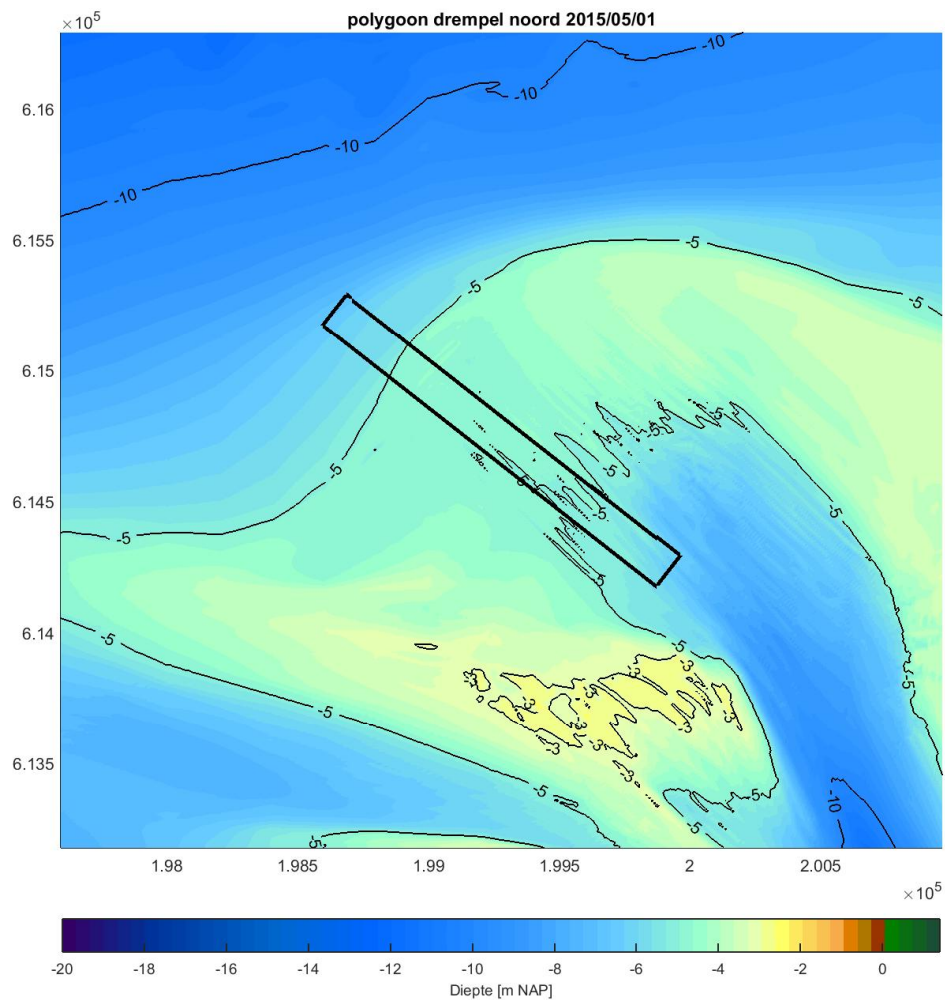


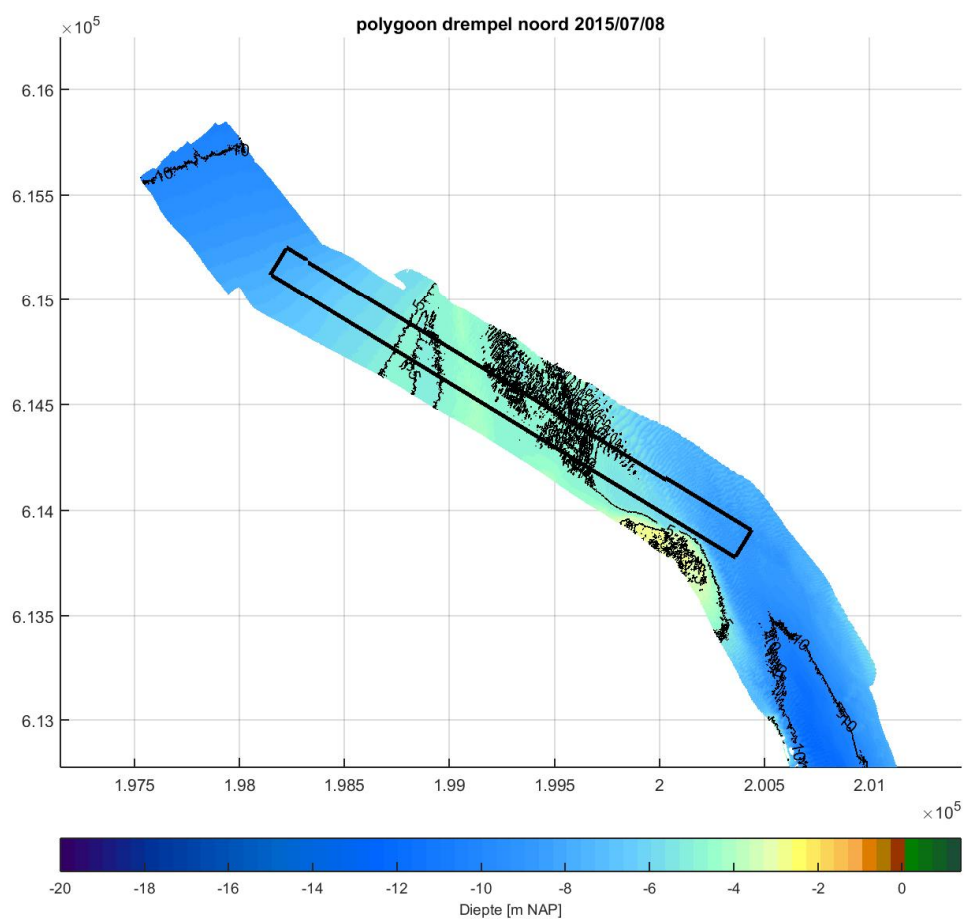




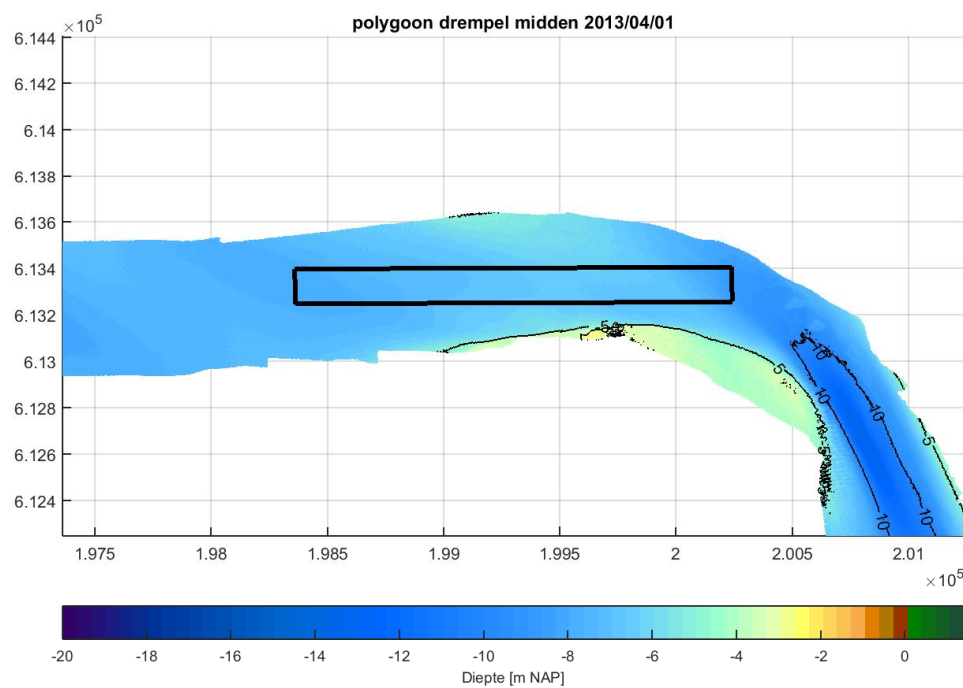


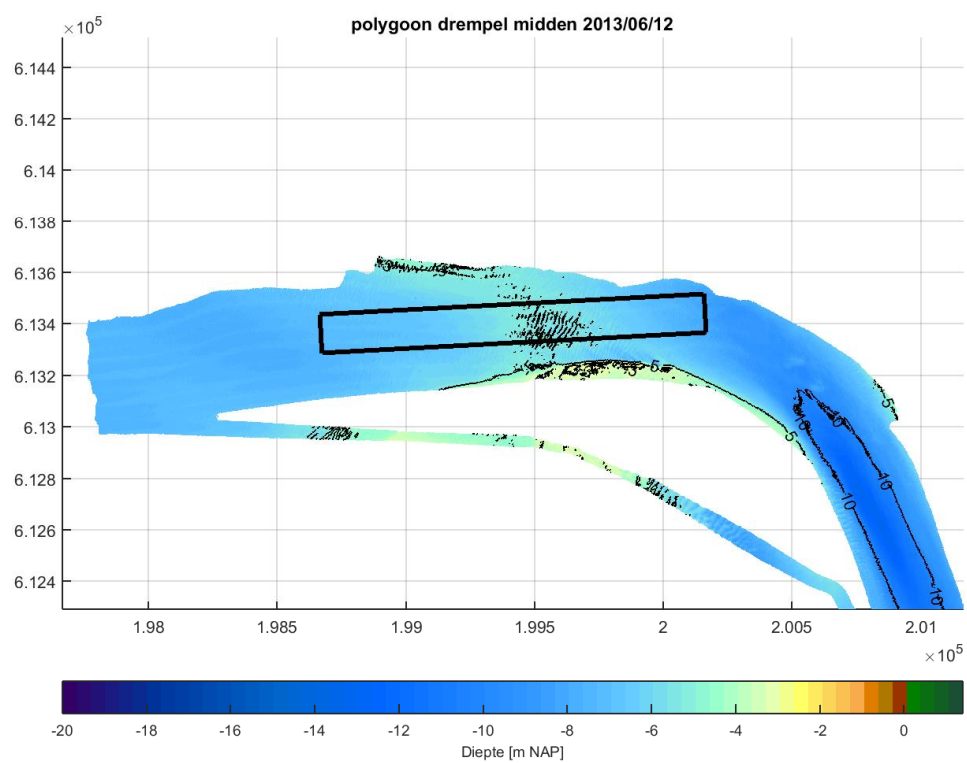


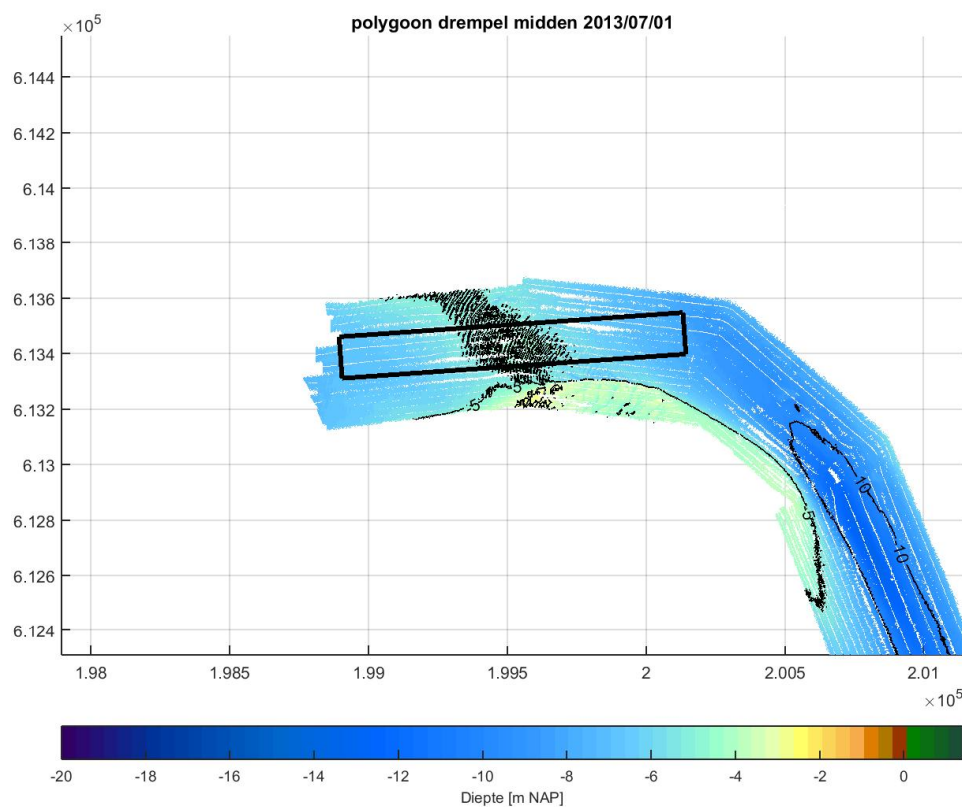


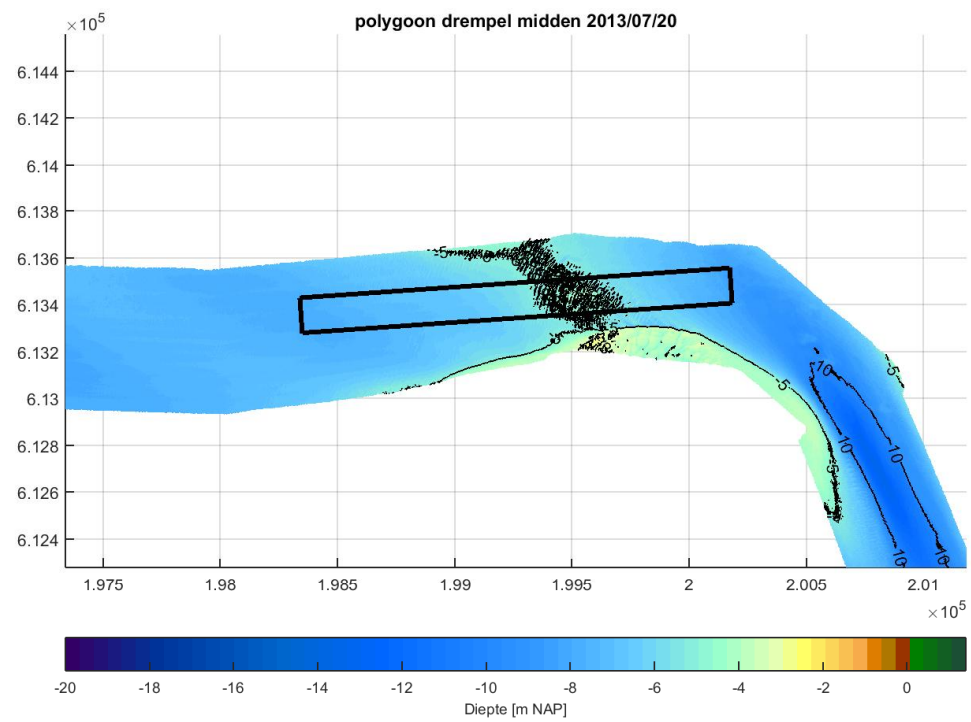


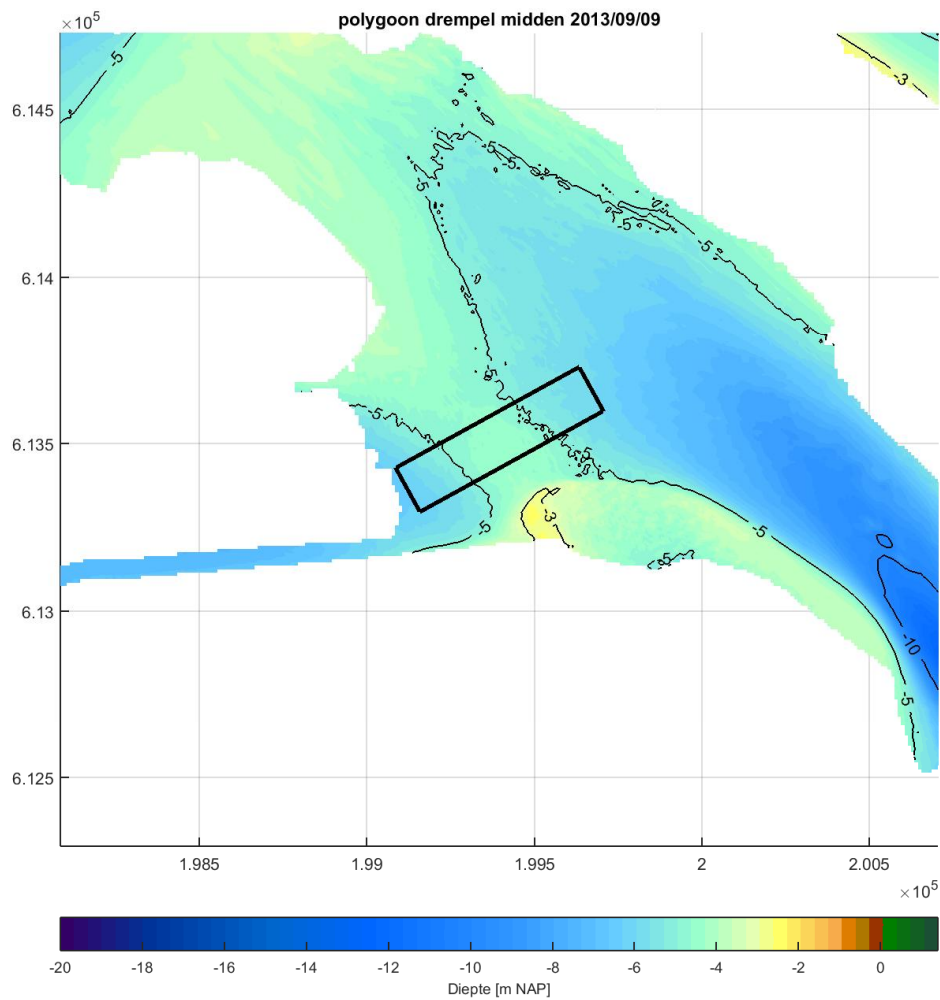
Middelste geul:

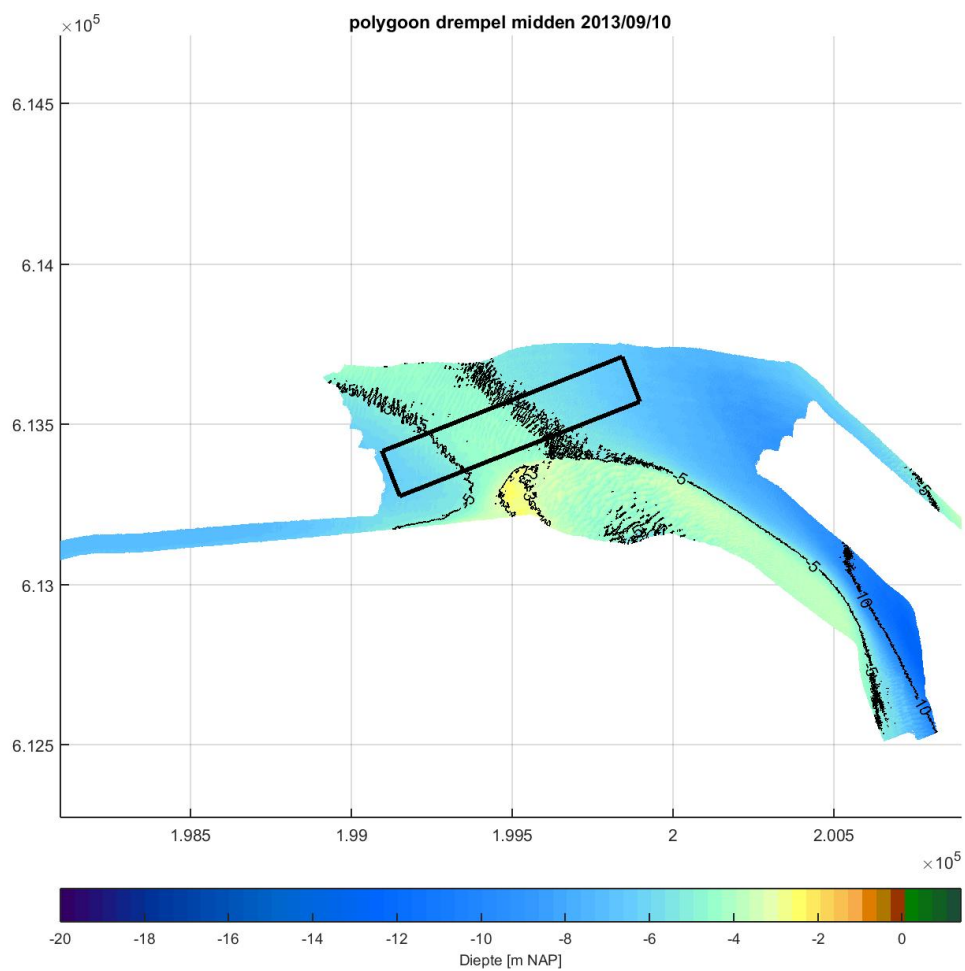


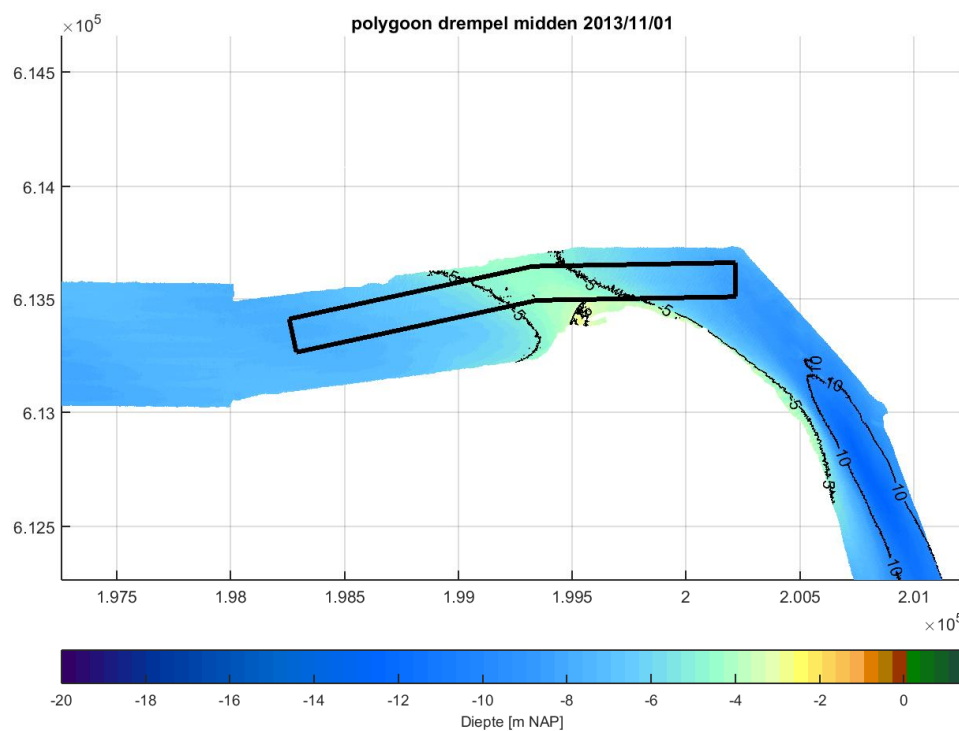


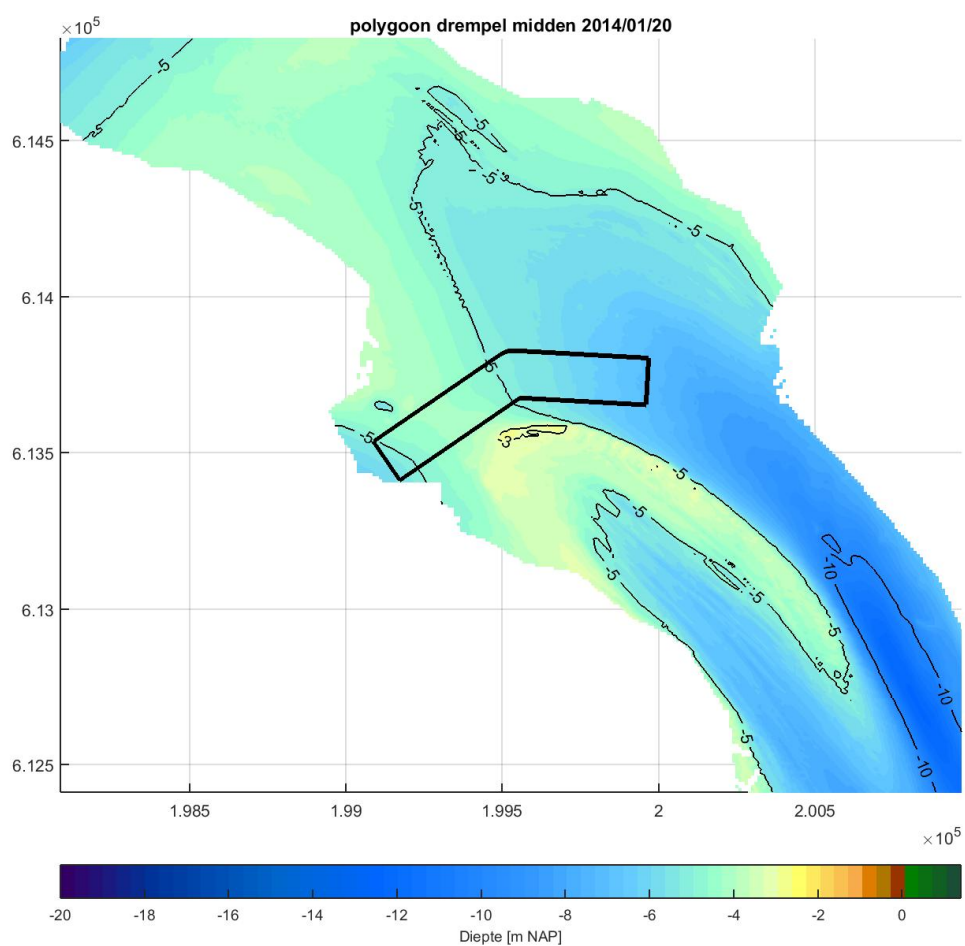


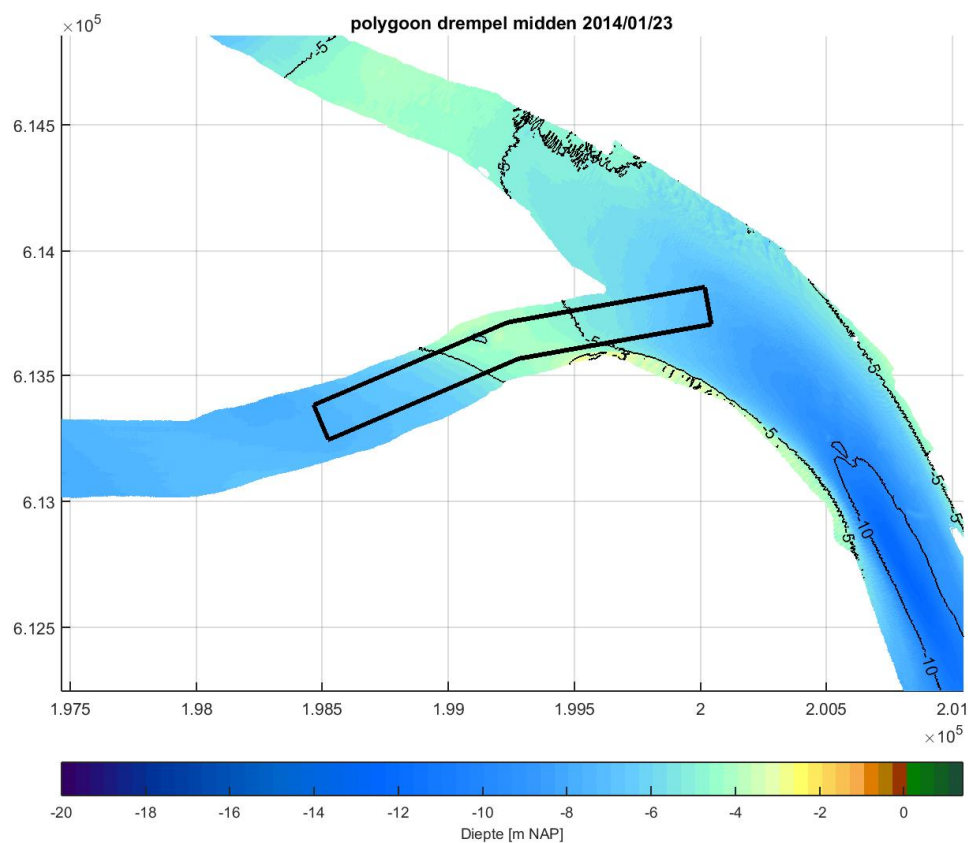


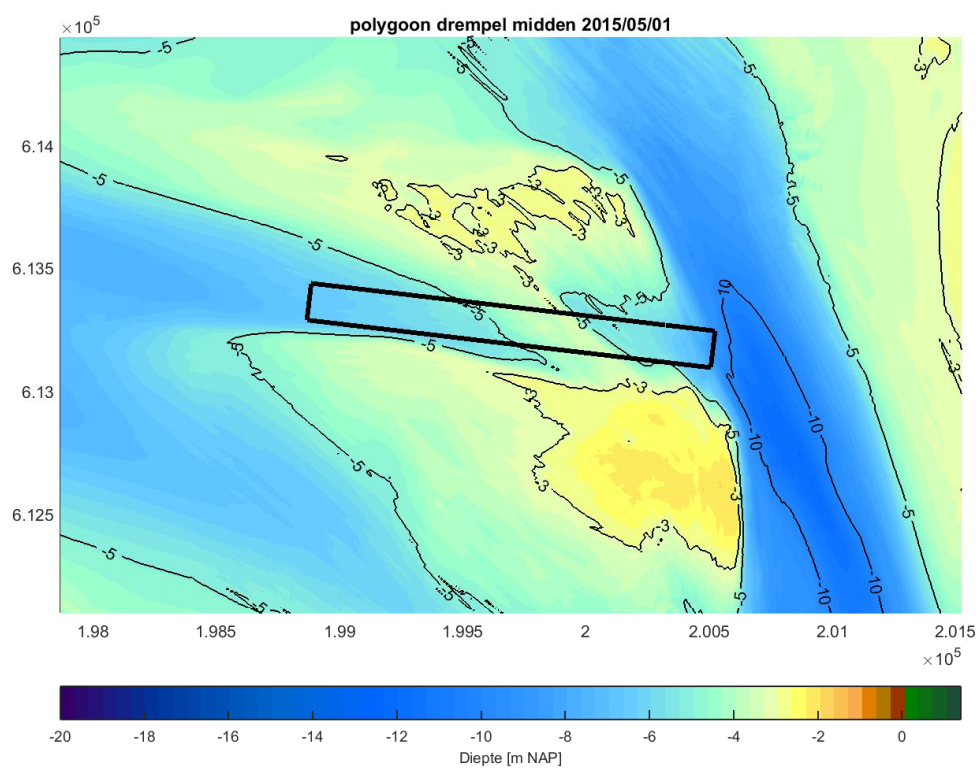




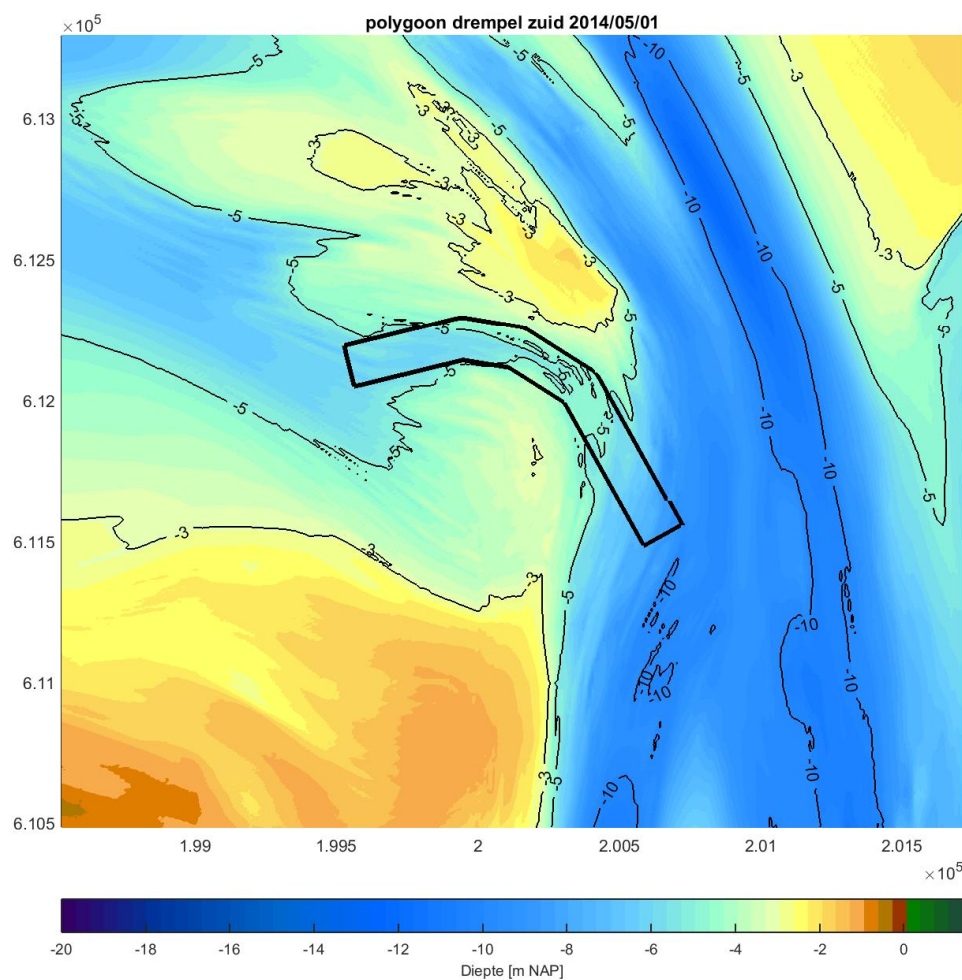


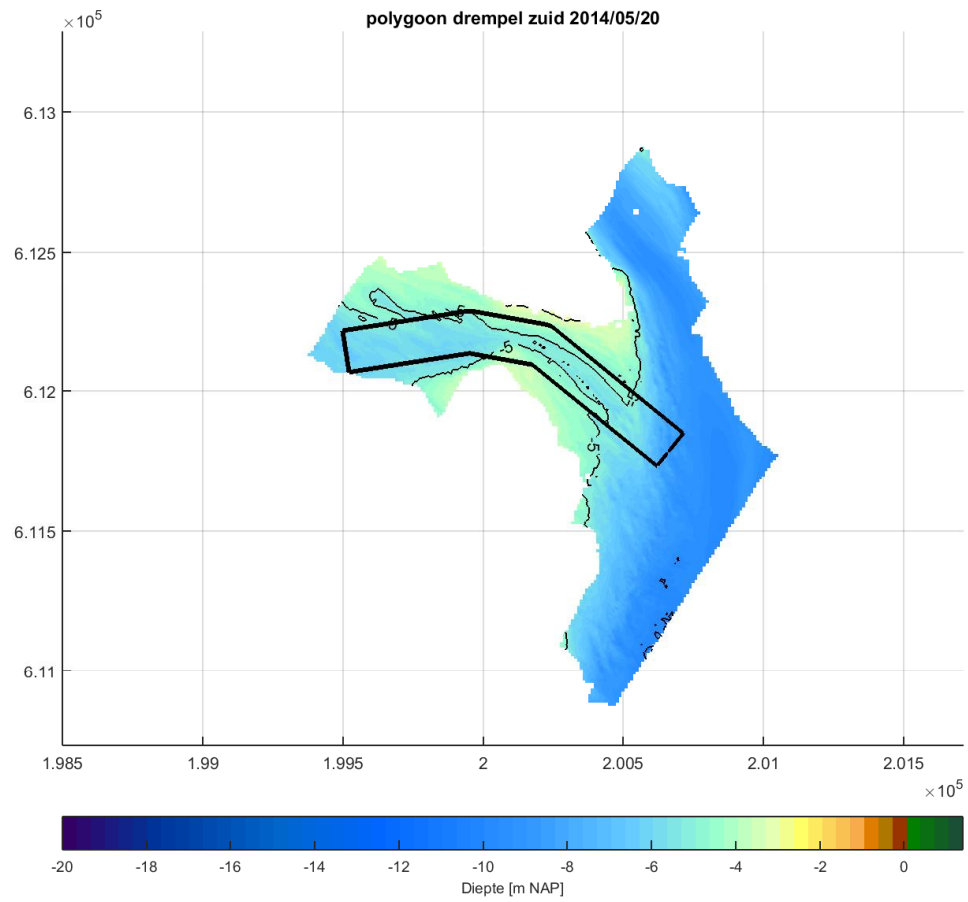


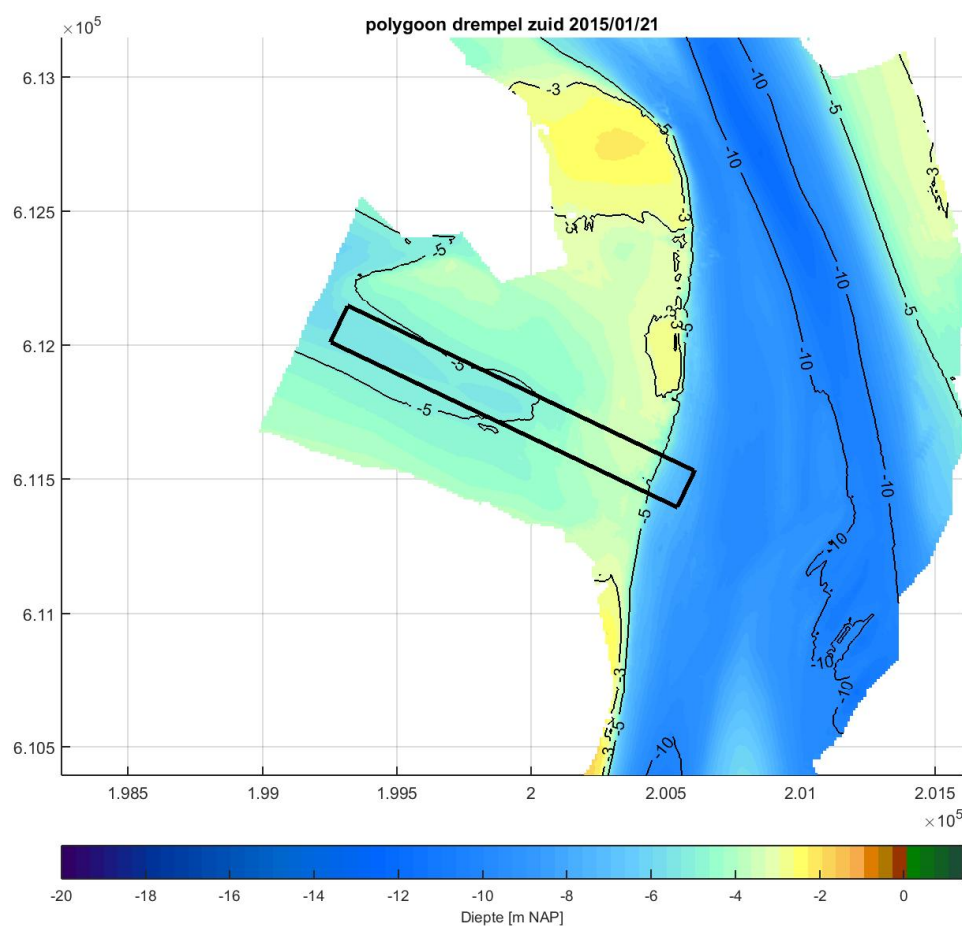


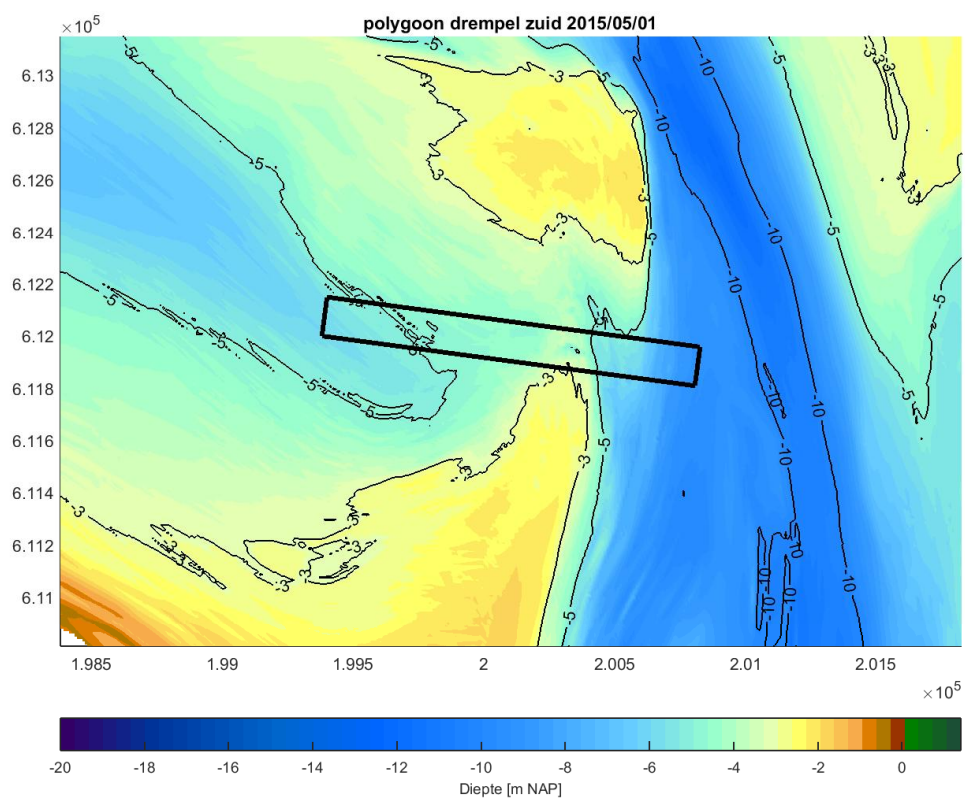


Zuidelijke geul:









***B Ontwikkeling volumes per geul, voor dieptes -5 -5,5 en -6 m
NAP en breedtes 100 120 150 en 170 m***

