

Stormimpact op de zeebodem

over een waterdiepte-interval van 10 tot meer dan 30 meter



Stormimpact op de zeebodem

over een waterdiepte-interval van 10 tot meer dan 30 meter

A. Forzoni

11200538-004

Titel
Stormimpact op de zeebodem

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat	11200538-004	11200538-004-ZKS-0009	20
Water, Verkeer en Leefomgeving			



Trefwoorden
Zeebodemdynamiek, stormimpact, hoge temporele resolutie monitoring

Samenvatting

Het doel van deze studie is het begrijpen en kwantificeren van de invloed van stormen op de morfodynamiek van de zeebodem. Hiervoor zijn 8 bathymetrische opnamen van een NO-ZW transect over het Nederlandse continentale plat beschikbaar. Deze opnamen zijn gemaakt met multibeam sonar in het jaar 2009. Uit de analyse van de opnamen blijkt dat:

- ✓ Verticale veranderingen in zeebodemligging niet onderzocht konden worden omdat de data niet goed gecorrigeerd konden worden voor waterstandsvariaties tijdens de opnamen als gevolg van het getijverloop.
- ✓ Daarnaast is de ruimtelijke resolutie van de data te laag om veranderingen in megaribbels goed te analyseren.
- ✓ Een globale analyse van de beschikbare data laat zien dat de meeste zandgolven heen en weer migreren ten opzichte van hun oorspronkelijke locatie. Ze zijn dus op termijn van een jaar min of meer stabiel.

De laterale migratie van zandgolven op het transect is getracht te relateren aan de golfcondities voorafgaand aan de opnames. Hierbij bleek dat in de periode maart-december 2009 geen zware stormen zijn voorgekomen en dat de opgetreden golfcondities, voor zover vast te stellen, geen invloed hebben gehad op de morfodynamiek van de zeebodem op het opgenomen transect.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Dec. 2017	A. Forzoni	A.F.	A. van der Spek		F. Hoozemans	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Beschikbare datasets	2
2.1 Bathymetrie	2
2.2 Golfklimaat	2
3 Methoden	4
3.1 Correctie van de lodingen voor getij in PREMO	4
3.2 Morfodynamische analyses	4
3.2.1 Bodemveranderingen	4
3.2.2 Koppeling bodemveranderingen - golfcondities	4
4 Resultaten	5
4.1 Analyse bodemveranderingen	5
4.1.1 Controle gegevens	5
4.1.2 Morfodynamische analyse	5
4.2 Analyse golfklimaat en relatie met zandgolven migratie	17
5 Conclusies en aanbevelingen	19
5.1 Conclusies	19
5.2 Aanbeveling	19
6 Appendix A	20

1 Inleiding

De zeebodem is dynamisch en veranderingen in het kustprofiel zijn van belang voor het beheer en onderhoud van de kust. Tot nu toe wordt de dynamiek van de zeebodem geanalyseerd aan de hand van bathymetrische opnamen, waarbij de verschillen tussen opeenvolgende opnamen de dynamiek weergeven. Variaties in zeebodempligging op een termijn die korter is dan de opname intervallen, zoals bijvoorbeeld als gevolg van stormen, worden op deze manier niet geregistreerd. Omdat er nagenoeg geen data beschikbaar zijn die hierover uitsluitsel kunnen geven, heeft de Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine op verzoek van Deltares twee transecten met een hoge frequentie opgenomen, in de hoop dat er een storm zou plaatsvinden in deze periode. De lijnen beslaan een diepte-interval van 10 m tot maximaal 35 m, dus vanaf de diepe onderwateroever tot ver op het continentaal plat. Het wetenschappelijke doel van deze studie is het begrijpen en kwantificeren van de invloed van stormen op de zeebodem. Het methodologische doel is het verkennen hoe dit soort data gebruikt kan worden in de toekomst.

De bodem van de Noordzee wordt gekenmerkt door zandbanken, zandgolven, en megaribbels. Zandbanken zijn ZZW-NNO georiënteerd ruggen die kilometers breed en tientallen kilometers lang zijn. Op de zandbanken migreren zandgolven. Zandgolven bevinden zich op dieper water vanaf circa NAP -20 m en hebben een karakteristieke hoogte van 2 tot meer dan 6 meter. De langgerekte toppen van zandgolven liggen gemiddeld op 200-350 m afstand, met variaties tussen de 100 en 500 m. De gemiddelde lange-termijn verplaatsingssnelheid van zandgolven nabij de Nederlandse kust bedraagt 0 tot >10 m per jaar in noordwaartse richting. Ten slotte, kleinere bodemvormen migreren over de zandgolven: megaribbels. Deze hebben een golflengte van 5-15 m en een amplitude van circa 0,5-1 meter.

Tijdens periodes met een rustig golfklimaat heeft de golfbeweging weinig of geen invloed op de zeebodem. In deze periodes hebben alleen getijstromingen invloed op de zeebodem. Als gevolg hiervan wordt verwacht dat zandgolven in dezelfde richting als de dominante getijstrooming migreren en dat megaribbels zich ontwikkelen en over de zandgolven migreren. Tijdens stormen nemen de golven toe in hoogte en lengte waardoor ze zand in beweging kunnen brengen op de zeebodem. Het is te verwachten dat de hoogte van de zandgolven en van megaribbels dan afneemt als gevolg van zandtransport van de top naar de dalen van de zandgolven. Verder wordt het verwacht dat de regelmatige oriëntatie van de megaribbels verstoord wordt als gevolg van de oscillerende waterbeweging onder de golven.

2 Beschikbare datasets

2.1 Bathymetrie

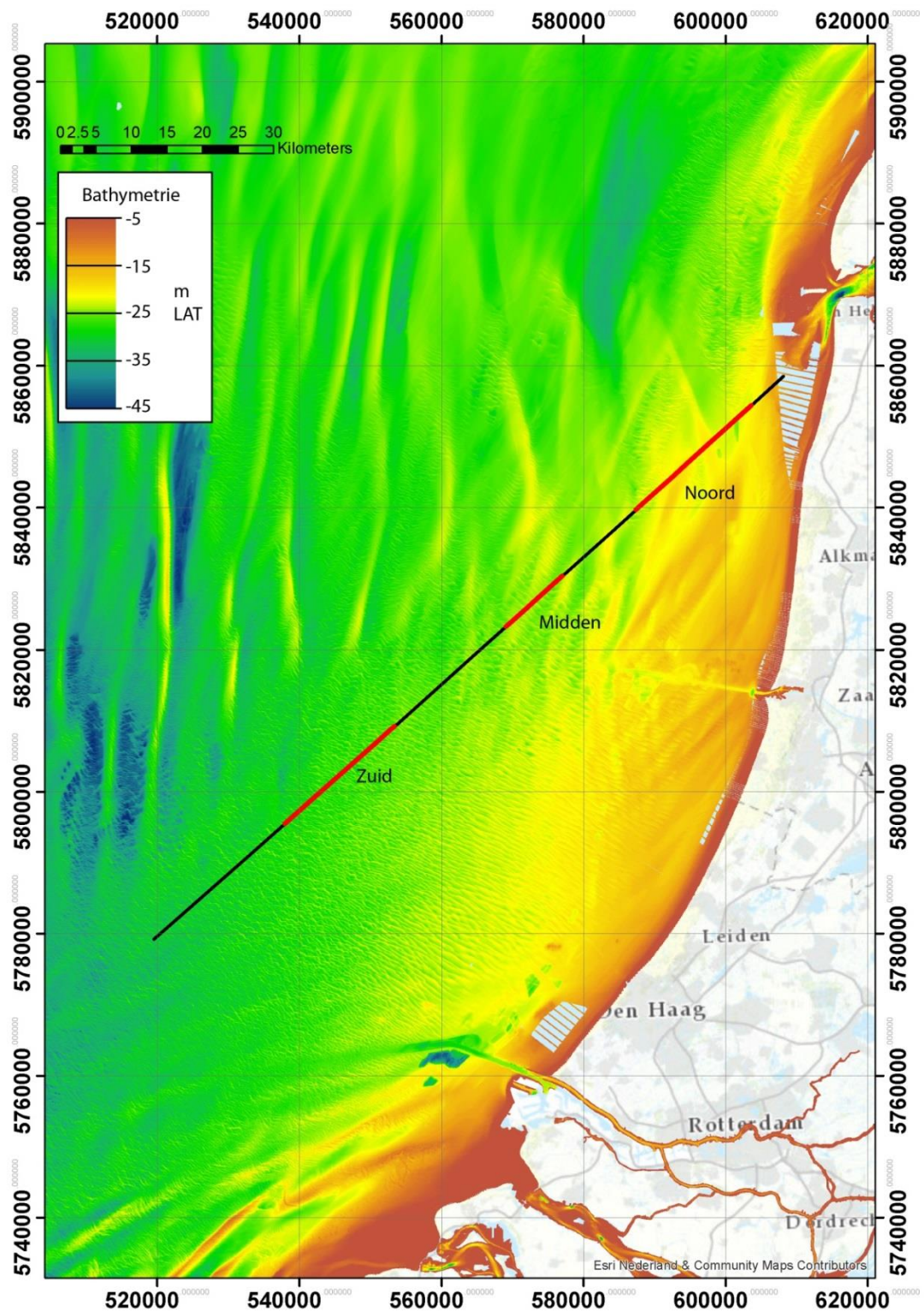
Bij het uitvaren vanuit Den Helder naar de offshore werkgebieden, heeft de Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine op speciaal verzoek multibeam echo soundings (MBES) opgenomen op steeds hetzelfde transect, om een tijdreeks op te bouwen van kort op elkaar volgende lodingen (de idee was 1 of 2 maal per week voor zo lang als het betreffende werkgebied bezocht werd), in de hoop dat er een storm zou plaatsvinden in deze periode. Uiteindelijk zijn er 3 zeer korte tijdreeksen opgenomen op twee verschillende transecten (in deze rapportage zijn de werknamen 'Lijn 1' en 'Lijn 3' aangehouden) met 8 opnamen van Lijn 1 en 3 opnamen van Lijn 3. Deze analyse richt zich op Lijn 1 vanwege het grotere aantal opnamen. De opnamedata voor Lijn 1 staan in Tabel 2.1. De horizontale resolutie van de MBES surveys varieert van 3x5 m tot 6x6 m.

2.2 Golfklimaat

Golfgegevens van de periode van de meetreeks zijn gedownload uit waterbase.nl, de website van Rijkswaterstaat. Golfhoogte, golfperiode, en golfrichting werden geanalyseerd voor het meetstation IJmuiden Munitiestortplaats, dat het dichtst bij het opgenomen transect ligt.

Survey	Datum	Horizontale resolutie
1	25 maart 2009	3 x 5 m
2	29 april 2009	3 x 5 m
3	4 mei 2009	3 x 5 m
4	13 mei 2009	3 x 5 m
5	25 mei 2009	3 x 5 m
6	12 oktober 2009	6 x 6 m
7	27 oktober 2009	6 x 6 m
8	22 december 2009	6 x 6 m

Tabel 2.1 Multibeamopnamen van Lijn 1.



Figuur 2.1 Locatie van transect Lijn1 van de kust tot offshore, dat met een hoge frequentie is opgenomen. In rood de drie in dit rapport geanalyseerde profielen. De getoonde bathymetrie is samengesteld op basis van verschillende bathymetrische surveys. Een overzicht van de gegevens van de samenstellende surveys is gegeven in Fig. A1.

3 Methoden

3.1 Correctie van de lodingen voor getij in PREMO

De bathymetrische data zijn in 2009 opgenomen en aangeleverd door de Hydrografische Dienst van de Koninklijke Marine. Een deel van de data is ongecorrigeerd voor waterstandsvariaties als gevolg van het getij. Bij het meten van de waterdiepte vanaf een schip is een correctie nodig voor de variatie van de waterstand op het tijdstip en plaats van de meting met de getijcyclus. Omdat de oorspronkelijke opnamefiles in 2014 niet meer beschikbaar waren, is een waterstandscorrectie achteraf toegepast met PREMO. PREMO is een software systeem dat getijcorrectie toepast op basis van waterstandsvoorspellingen van het hydrodynamische model DCSM¹v5. DCSMv5 simuleert waterstanden en getijden voor elke locatie in de Noordzee (8 km laterale resolutie, 1 seconde tijdsresolutie). De simulaties zijn gebaseerd op het meetnet van KNMI en RWS. De gegenereerde data wordt opgeslagen in de RWS database MATROOS.

In PREMO wordt de correctie/reductie berekend als het verschil tussen de waargenomen waterstand en het Lowest Astronomical Tide LAT. Vervolgens wordt de gereduceerde bathymetrie berekend als het verschil tussen de gemeten bathymetrie en de reductie. Bij de berekeningen worden de volgende aannames gedaan:

- Constante snelheid van het schip;
- Het schip vaart een rechte vaarlijn;
- Het meetsignaal is loodrecht met de vaarlijn;
- Begin- en eindpositie van het schip zijn bekend; en
- De tijdreeksen van metingen worden afgerond tot op 1 seconde.

3.2 Morfodynamische analyses

3.2.1 Bodemveranderingen

Van transect Lijn 1 zijn een drietal deeltrajecten geanalyseerd. Ten eerste zijn de profielen van de opeenvolgende opnamen met elkaar vergeleken om de grootte van de variatie in bodemligging vast te stellen. Vervolgens zijn er verschilkaarten van de diverse opnamen gemaakt. Daarna is dynamiek van individuele zandgolven bepaald.

3.2.2 Koppeling bodemveranderingen - golfcondities

Aan de hand van de beschikbare golfgegevens zijn de golfcondities voor de weken voorafgaand aan een bathymetrische opname vastgesteld. Specifiek hebben we twee scenario's berekend, één met de (gemiddelde) golfcondities in de 5 dagen voorafgaand aan een opname en één met de (gemiddelde) golfcondities in de 10 voorafgaande dagen. Aansluitend is het verband tussen de waargenomen golfcondities en zandgolfmigratie onderzocht.

¹ DCSM staat voor Dutch Continental Shelf Model.

4 Resultaten

4.1 Analyse bodemveranderingen

4.1.1 Controle gegevens

De vergelijking van de opeenvolgende bathymetrische opnamen laat aanzienlijke variaties in waterdieptes in een tijdsbestek van weken zien (Fig. 4.1). Verschilkaarten tussen opeenvolgende opnamen tonen verschillen die maximaal meer dan 1 m kunnen bedragen (Fig. 4.2). Deze verschillen kunnen niet logischerwijs verklaard worden.

Een nadere analyse van de opgenomen lijnen toont dat de waterstand gecorrigeerde lijnen verticaal ten opzichte van elkaar verschoven zijn (Figs. 4.3, 4.4). De overall gelijkvormigheid van de profielen suggereert dat de variatie van de waterstand tijdens de verschillende opnames als gevolg van het getij, wèl gecorrigeerd is, maar dat de middenstandsvlakken niet op elkaar liggen. Dit beperkt de waarde van de gegevens aanzienlijk.

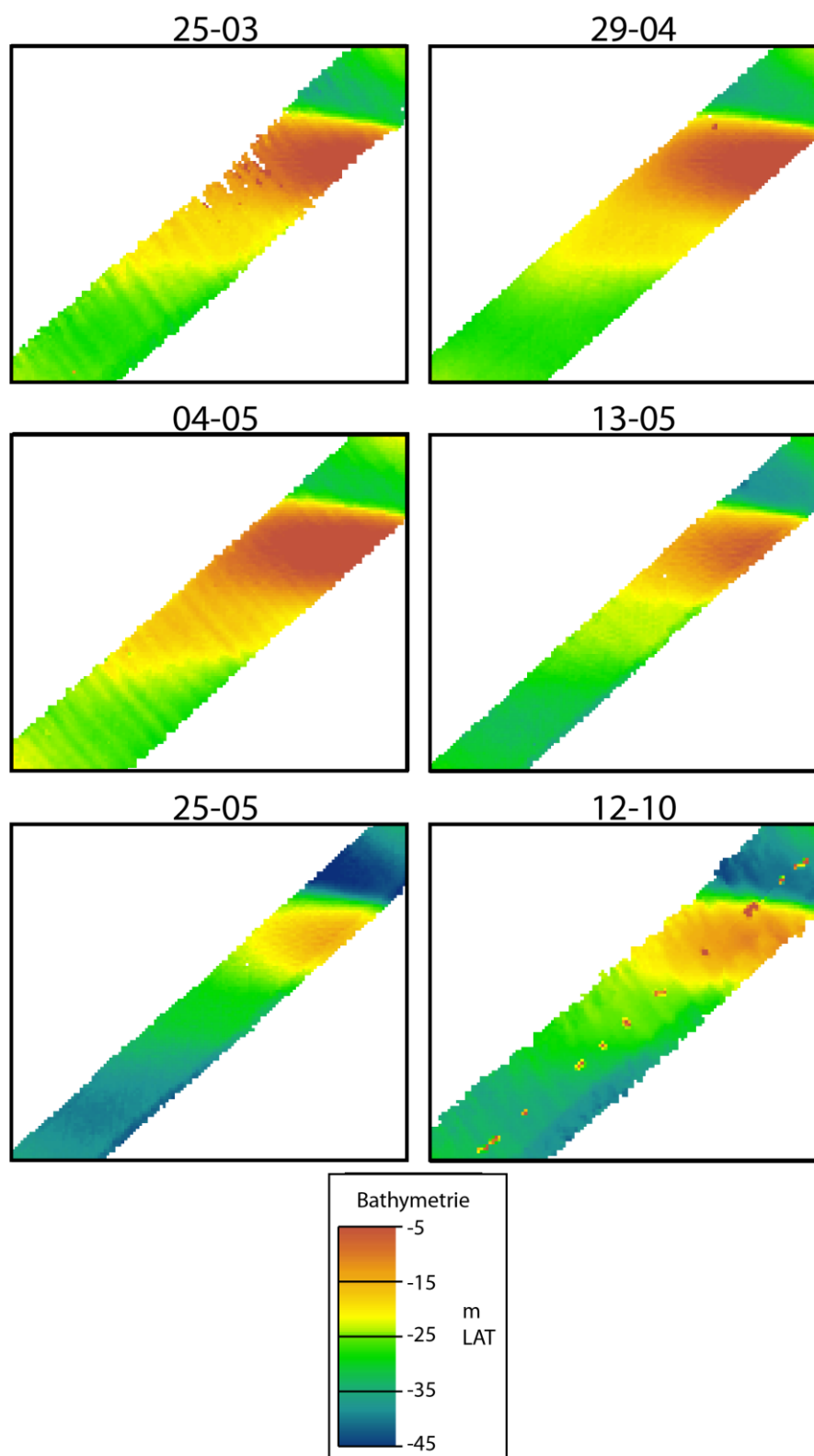
De uitgevoerde waterstandscorrecties moeten nader bekeken worden om te achterhalen wat er precies gebeurd is met de gegevens. Om met de huidige data alsnog een (semi-kwantitatieve) analyse te kunnen doen, werden de dieptes van de surveys gecorrigeerd met een lineaire factor, waardoor de profielen verticaal verschoven en als het ware op elkaar gelegd zijn (zie Figuur 4.5).

Voorts vertonen een aantal datasets anomalieën die als artefacten geïnterpreteerd moeten worden. Sommige datasets tonen NW-ZO georiënteerd structuren die, gezien hun regelmatigheid, niet als megaribbels geïnterpreteerd kunnen worden (zie de opname van 4 mei in Fig. 4.1). Verder, met deze meetresolutie vallen de megaribbels binnen 2 of 3 pixels, die een beperking is voor een correcte analyse. Tenslotte vertonen twee datasets (12 oktober en 27 oktober) een reeks van bulten in het centrale deel van de opnamen, onder de vaarlijn van het schip (zie de opname van 12 oktober in Fig. 4.1). Dit zijn eveneens artefacten.

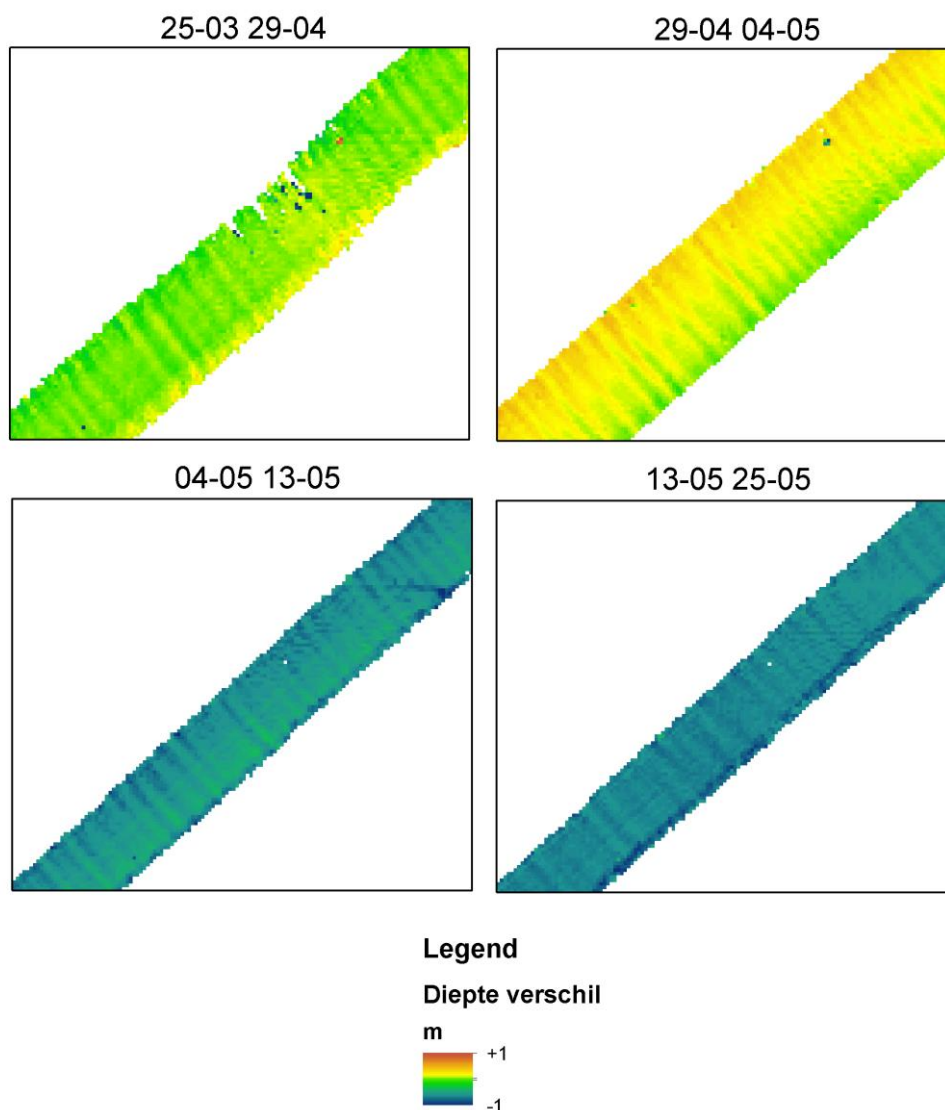
De gecorrigeerde dataset is vanwege de geconstateerde inconsistenties echter niet meer bruikbaar voor een gedetailleerde analyse van veranderingen in morfologie van de zeebodem en een eventuele relatie met de opgetreden golfcondities, het doel van deze analyse. Desondanks is de dataset verder (globaal) geanalyseerd op eventuele andere aspecten, waarvan in dit rapport verslag gedaan wordt.

4.1.2 Morfodynamische analyse

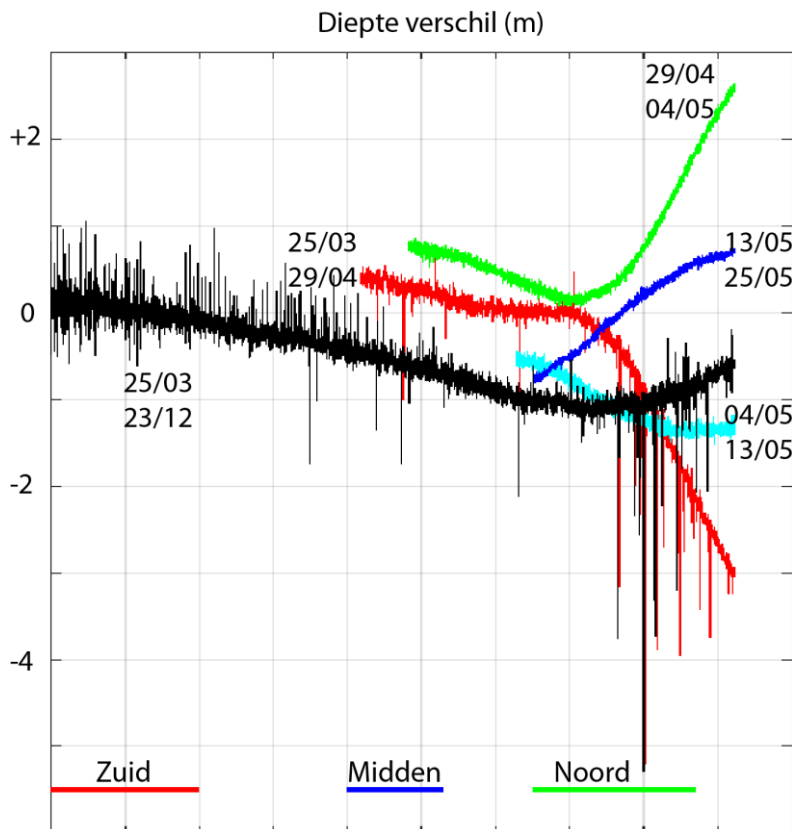
De zeebodem in het studiegebied wordt gekenmerkt door zandgolven (Tabel 4.1). Deze zijn WNW-OZO georiënteerd. In het noordelijke en middenprofiel komen er ook NNO-ZZW georiënteerde zandruggen voor. Vanwege de onvolledige correctie van de data is het op dit moment niet mogelijk om een betrouwbare analyse van de verticale morfodynamiek te doen. Horizontale trends zoals zandgolfmigratie kunnen wel kwalitatief geanalyseerd worden.



Figuur 4.1 Bathymetrie van het noordelijkste profiel in zes verschillende opnamen. De opnamen tonen de top van een zandgolf met een W-O strekking. De variatie in dieptes tussen de opnamen is het gevolg van verschillende waterstanden tijdens de opnamen veroorzaakt door het getij.



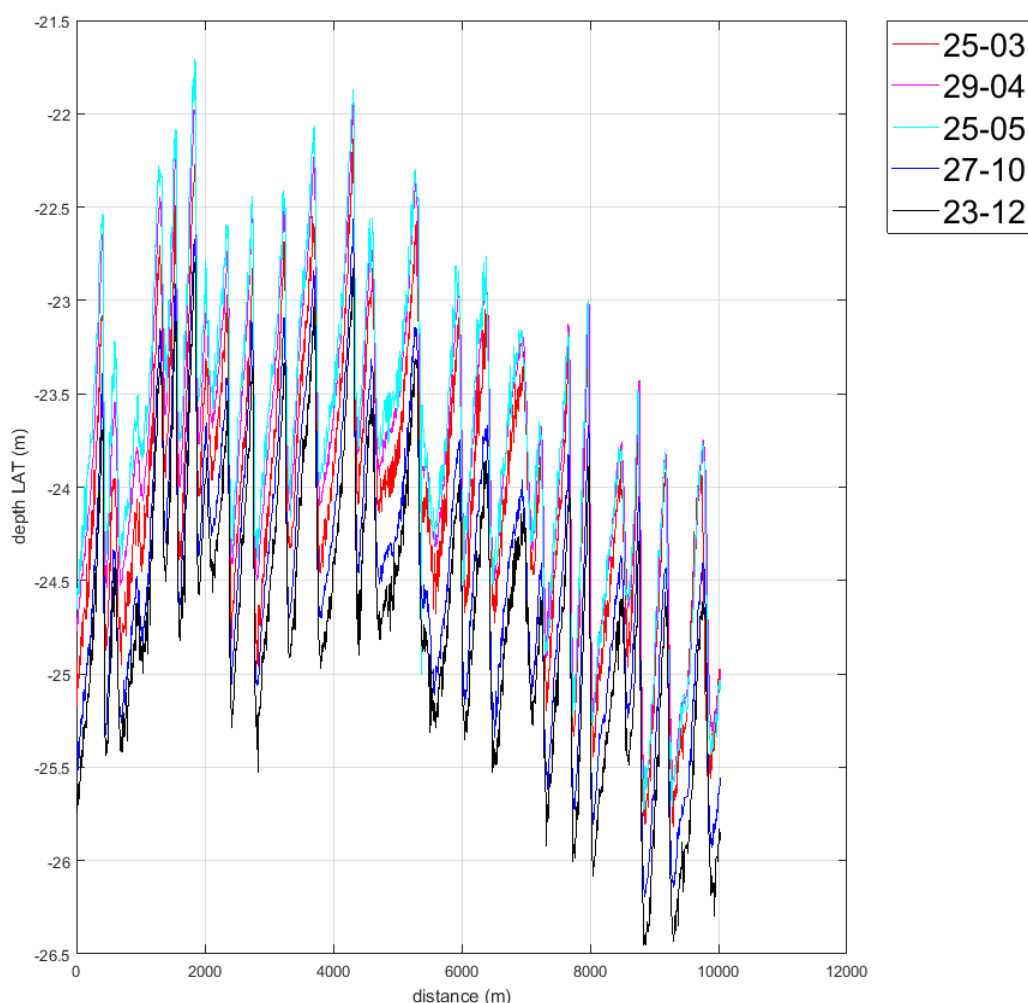
Figuur 4.2 Verschilkaarten van de bathymetrische opnamen in het noordelijkste profiel. De grote verschillen in diepte worden veroorzaakt door verschillende waterstanden tijdens de opnamen.



Figuur 4.3 Berekend diepteverschil tussen de verschillende surveys langs het transect.

Aangezien de migratieafstand van zandgolven vergelijkbaar is met de laterale resolutie van de data kan onze analyse alleen semi-kwantitatief blijven. De dimensies en verplaatsingsrichtingen van de zandgolven verschillen enigszins van gebied tot gebied (Tab. 4.1). De data laten zien dat de zandgolven in alle gebieden migreren met de tijd. De verplaatsing in de periodes tussen de opnamen bedraagt maximaal 20 m, maar de verplaatsingsafstand en richting vertonen geen vaste patronen. De gemeten migratie is de netto migratie over de intervallen. Daarom kunnen we geen conclusies trekken over de werkelijke verplaatsingssnelheid.

Gedurende het meetjaar 2009 bewegen de meeste zandgolven heen en weer ten opzichte van hun oorspronkelijke locatie, waarbij de dwarsdoorsnede van de zandgolven niet veranderde (zie Figs. 4.7, 4.8, 4.10, 4.11, 4.13 en 4.14). De verplaatsingsrichtingen en -afstanden variëren van zandgolf tot zandgolf binnen hetzelfde gebied. Zo is de locatie van de zandgolven in het zuidwestelijk deel van het noordelijke profiel in Fig. 4.7 op 25 mei niet veel anders dan op de andere opnamedata, maar in het noordoostelijk deel van het noordelijke profiel (Fig. 4.8) zijn de zandgolven op 25 mei naar het zuidwesten verplaatst. Vergelijkbare verschillen zijn ook vast te stellen voor het middenprofiel (Figs. 4.10, 4.11), maar de zandgolven in het zuidelijke profiel blijken min of meer stabiel qua positie (Figs. 4.13, 4.14).



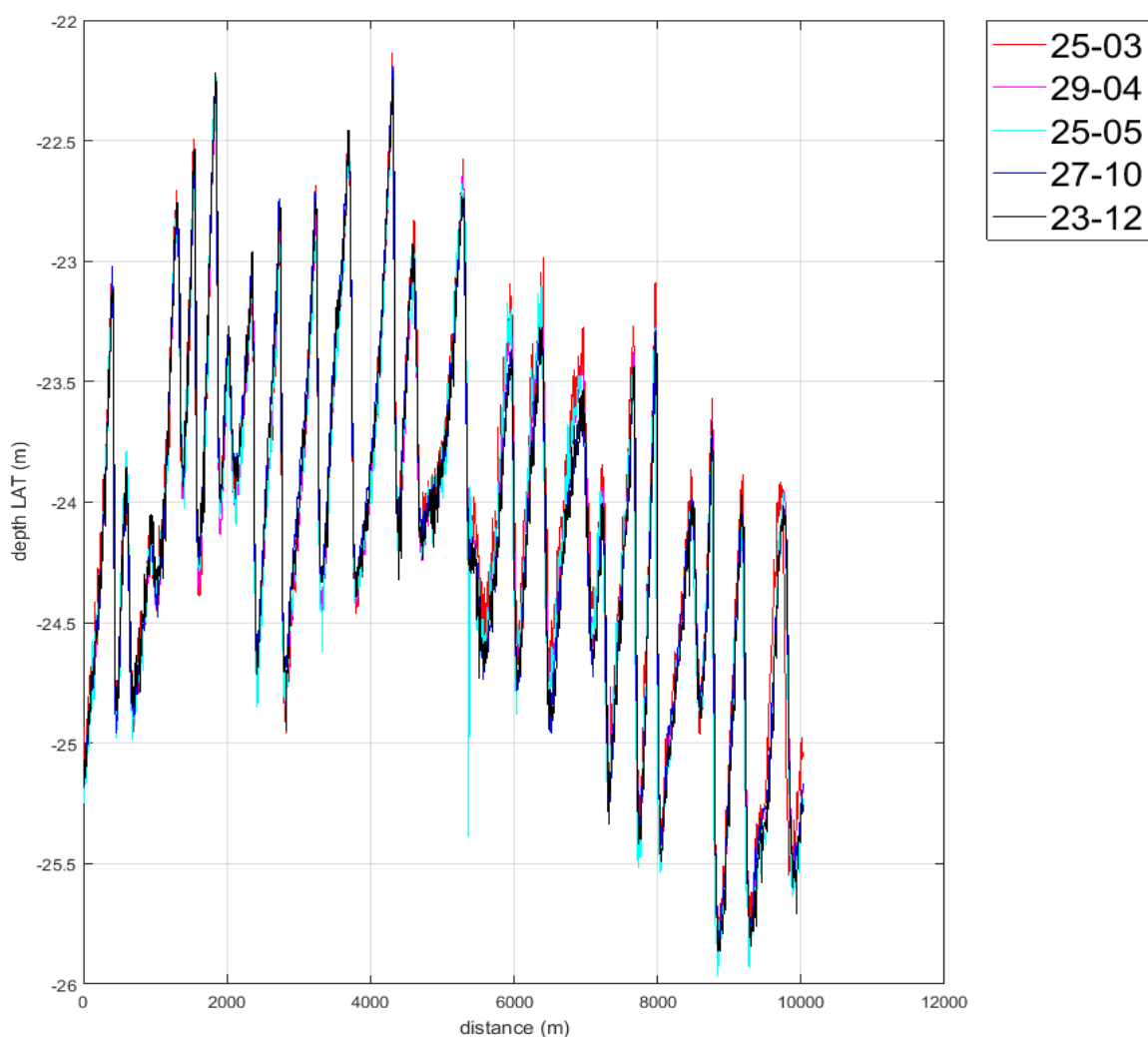
Figuur 4.4 Zeebodemprofielen voor 5 verschillende opnamen van het noordelijkste profiel. Noordoost is links, zuidwest is rechts.

Drie consistente patronen kunnen worden beschreven:

- Op 27 oktober zijn de meeste zandgolven in de profielen naar het ZW geschoven ten opzichte van de meting op 25 mei;
- Op 23 december zijn de meeste zandgolven in alle profielen naar het NO verplaatst ten opzichte van de voorgaande meting op 27 oktober;
- De verplaatsingsafstand van de zandgolven is groter in het midden- en noordelijke profiel.

De verplaatsingsrichting van de zandgolven is relatief ten opzichte van de oriëntatie van het gemeten profiel, dat ZZW-NNE georiënteerd is. De werkelijke migratierichting zou daarvan kunnen afwijken, met als gevolg dat de echte verplaatsingsafstand onderschat zou kunnen worden.

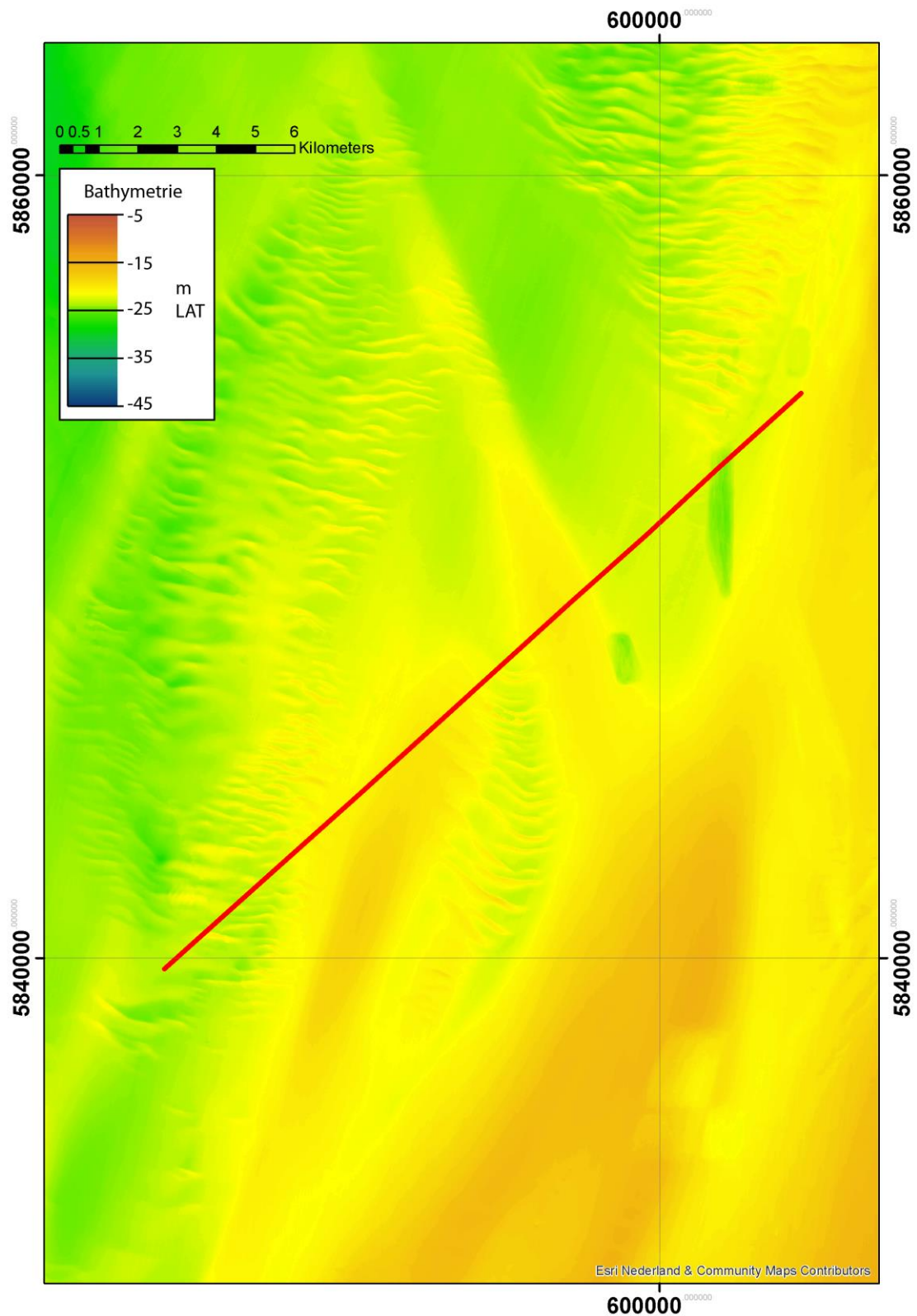
Alle profielen vertonen variaties in profielvorm en -hoogte als gevolg van het verplaatsen van megaribbels. De gegevens zijn niet nauwkeurig genoeg om de megaribbels in details in beeld te brengen, waardoor hoogtevariaties van de zandgolven niet precies zijn vast te stellen.



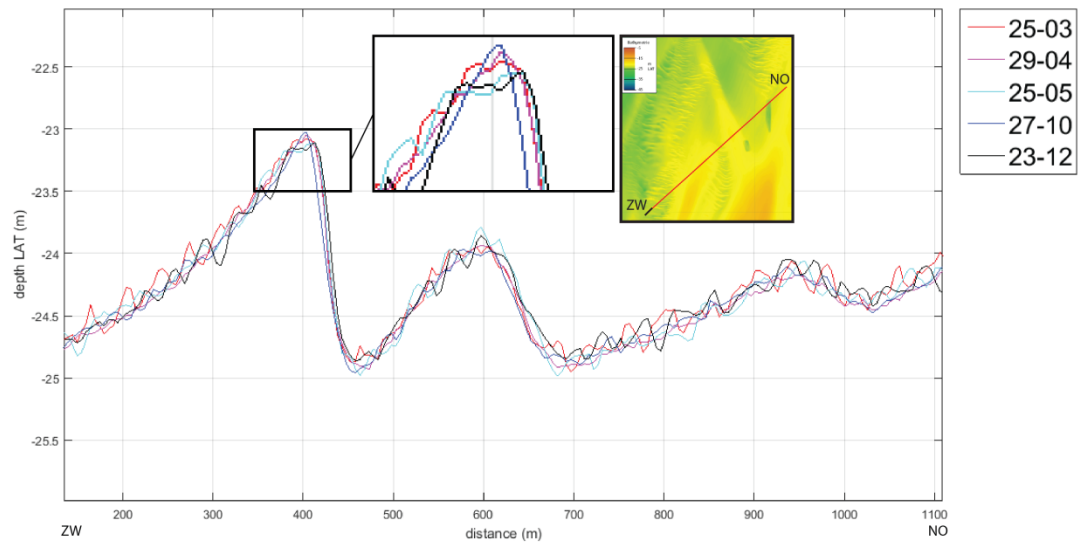
Figuur 4.5 Verticaal verschoven zeebodemprofielen voor 5 verschillende opnamen van het noordelijkste profiel. Noordoost is links, zuidwest is rechts.

	Noordelijk profiel	Midden profiel	Zuidelijk profiel
Golfhoogte (m)	1-2	1-2	2-5
Golflengte (m)	300-500	300-600	100-500
Azimut	310 N	300 N	300 N

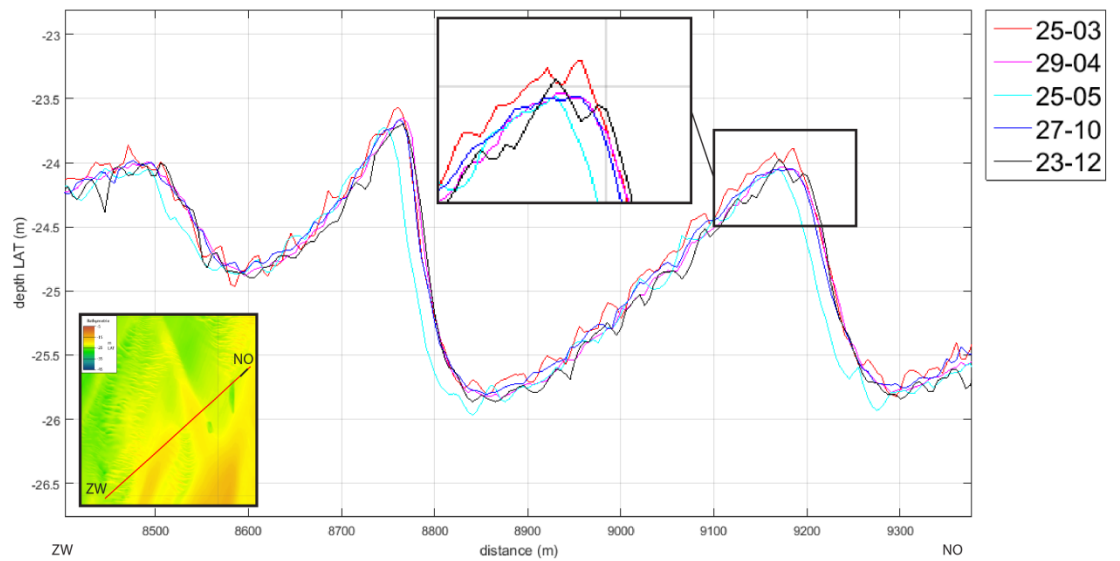
Tabel 4.1 Eigenschappen van de zandgolven in de drie profielen



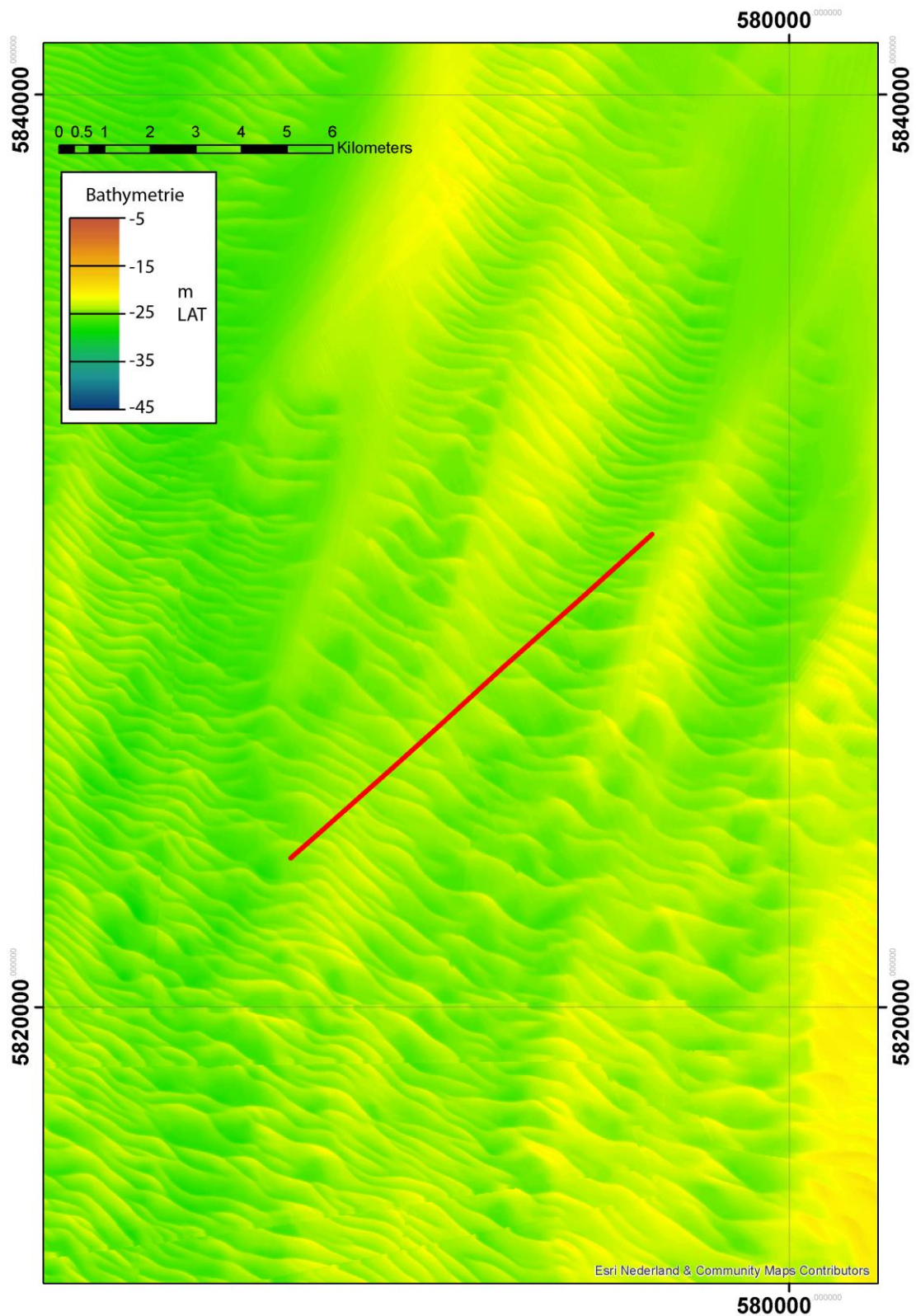
Figuur 4.6 Zeebodem morfologie van het noordelijke profiel. De getoonde bathymetrie is gemaakt op basis van verschillende bathymetrische surveys. Een overzicht van de datum van de surveys is gegeven in Fig. A1.



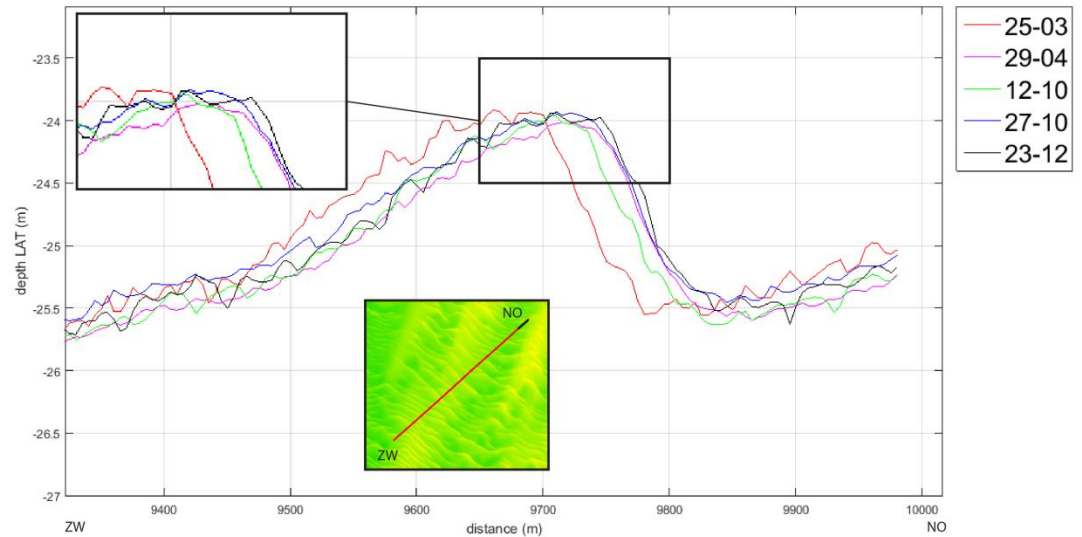
Figuur 4.7 Detail van de zeebodem morfologie in het noordelijk profiel. Dit profiel toont een kleine zandgolfmigratie naar ZW op 27-10 en naar NO op 23-12



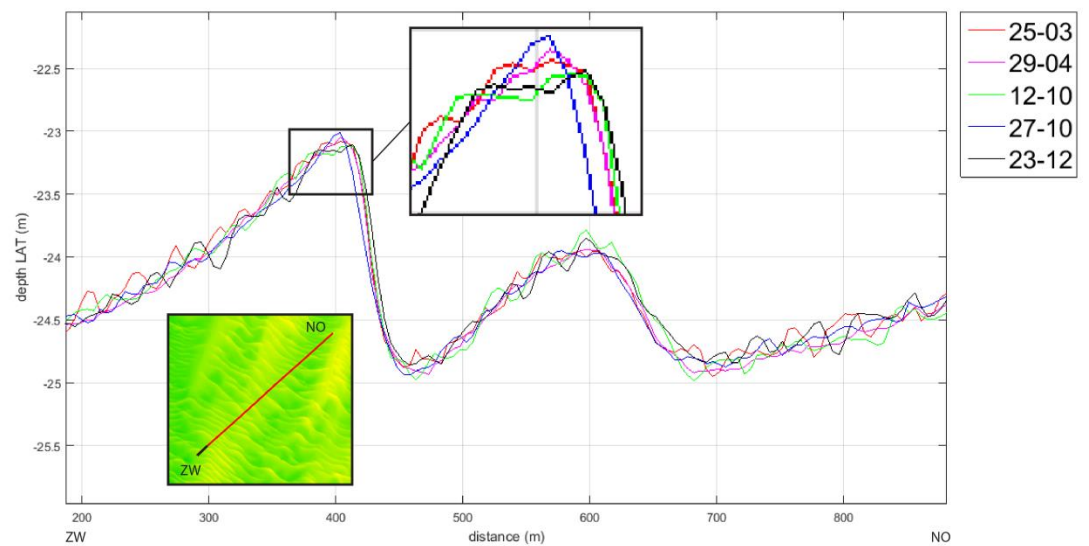
Figuur 4.8 Detail van de zeebodem morfologie in het noordelijk profiel. Dit profiel toont een zandgolfmigratie naar ZW op 25-05 en naar NO op 27-10 en 32-12.



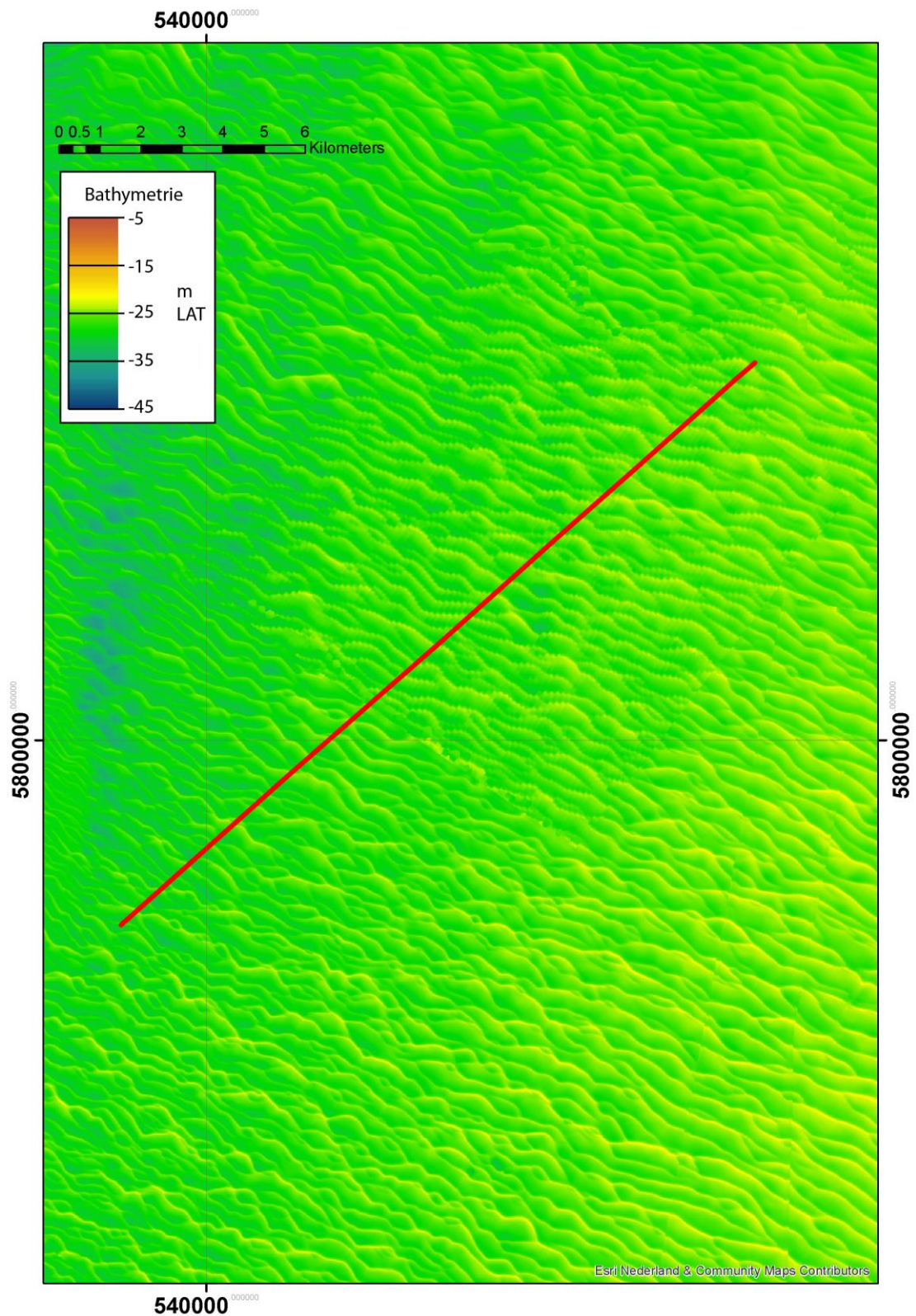
Figuur 4.9 Zeebodem morfologie van het midden profiel. De getoonde bathymetrie is gemaakt op basis van verschillende bathymetrische surveys. Een overzicht van de datum van de surveys is gegeven in Fig. A1.



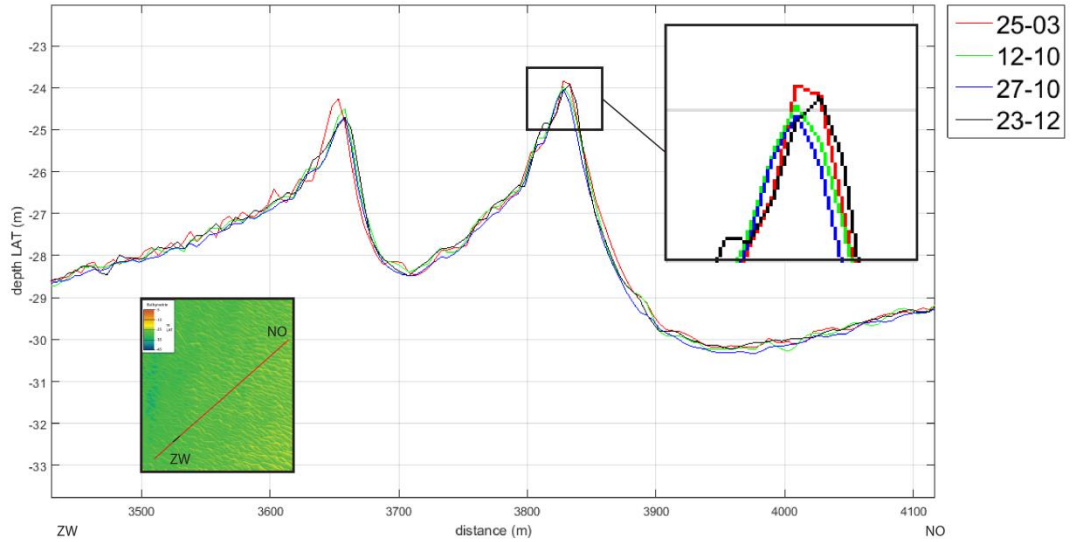
Figuur 4.10 Detail van de zeebodem morfologie in het midden profiel. Dit profiel toont de zandgolfmigratie naar NO op 29-04, naar ZW op 12-10 en naar NO op 27-10.



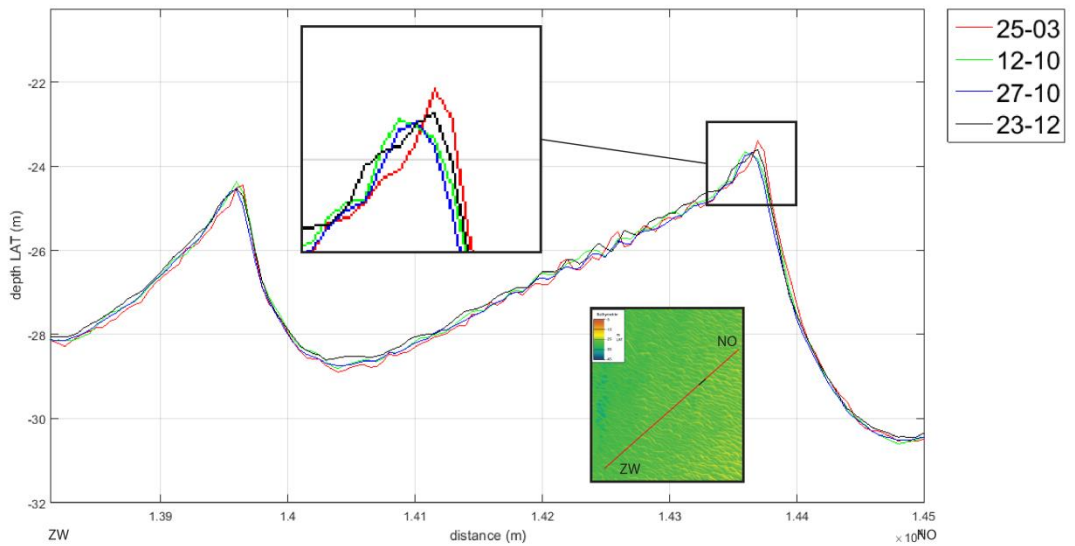
Figuur 4.11 Detail van de zeebodem morfologie in het midden profiel. Dit profiel toont de zandgolfmigratie naar ZW op 27-10 en naar NO op 23-12.



Figuur 4.12 Zeebodem morfologie van het zuidelijk profiel. De getoonde bathymetrie is gemaakt op basis van verschillende bathymetrische surveys. Een overzicht van de datum van de surveys is gegeven in Fig. A1.



Figuur 4.13 Detail van de zeebodem morfologie in het zuidelijk profiel. Dit profiel toont een kleine zandgolf migratie naar NO op 23-12.



Figuur 4.14 Detail van de zeebodem morfologie in het zuidelijk profiel van ZW (links) tot NO (rechts). Dit profiel toont een kleine zandgolf migratie naar ZW op 12-10 en naar NO op 23-12.

4.2 Analyse golfklimaat en relatie met zandgolven migratie

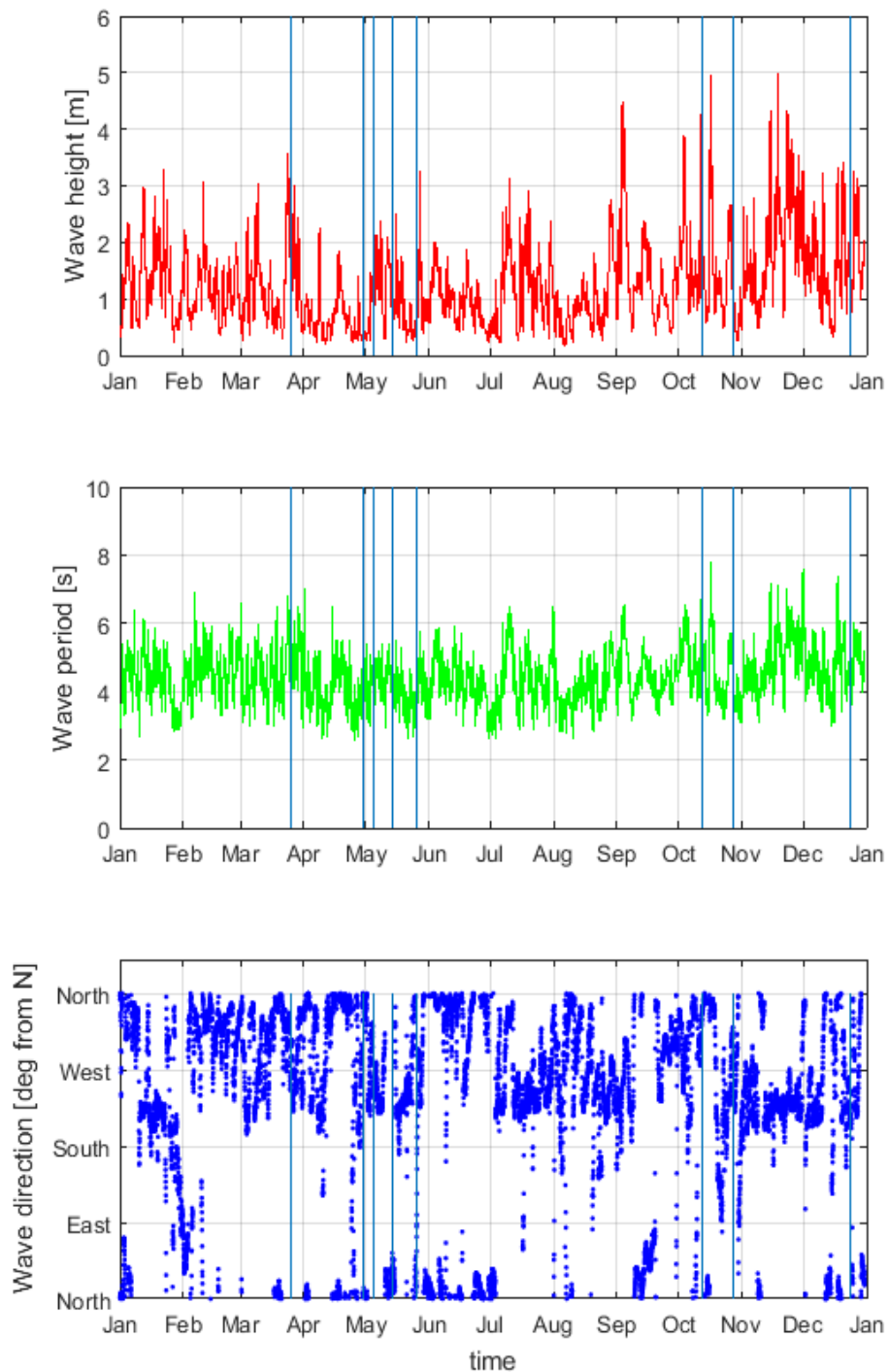
In 2009 was de gemiddelde golfhoogte 1.5 m en de gemiddelde periode 5 seconden (Fig. 4.15). Hogere golven en langere periodes kwamen voor tijdens kleine stormen, die vooral tussen september en december voorkwamen (golfhoogtes maximaal 4 tot 5 m). De dominante golfrichting is vanuit het zuidwesten, met een afwisseling van periodes met een noordelijke of noordwestelijke richting.

Op basis van het kleinste voorkomende interval tussen de meetdatums van 1 week, hebben we de golfklimaten samengesteld voor de weken voorafgaand aan elke opnamedatum. Specifiek hebben we twee scenario's berekend met gemiddelde golfklimaten in de 5 en in de 10 dagen voor elke meting (Tabel 4.2). De hoogste golven en langste periodes komen voor in de periodes voorafgaand aan 25 maart, 12 oktober en 23 december. Voorafgaand aan 25 maart, 4 mei, 27 oktober en 23 december kwamen de golven vooral uit het zuid/zuidwesten. Voor de andere opnames is de richting noord/noordoost.

Datum	25- maart	29- april	04- mei	13- mei	25- mei	12- oct	27- oct	23- dec
10 dagen ervoor								
Gemiddelde golfhoogte	2.16	0.40	1.17	1.05	0.39	2.17	0.85	1.70
Gemiddelde golfperiode	5.14	4.63	4.29	4.17	3.27	5.35	4.42	4.73
5 dagen ervoor								
Gemiddelde golfhoogte	2.04	0.40	1.24	0.91	0.39	2.09	0.81	1.72
Gemiddelde golfperiode	5.12	4.53	4.23	4.28	3.34	5.18	4.20	4.73

Tabel 4.2 Gemiddeld golfklimaat 10 en 5 dagen voor de opnamedatum.

Tijdens de gehele periode blijven golfhoogtes en golfperiodes relatief klein en geen grote storm vindt plaats. Op basis hiervan zijn geen grote veranderingen in de hoogte van de zandgolven te verwachten. Deze worden dan ook niet gevonden in de data. Ook de richting van de opgetreden golven draagt niet bij aan de dynamiek van de zandgolven. In de perioden voorafgaand aan zowel 27 oktober als 23 december komen de golven uit het zuiden tot zuidwesten, maar in het eerste geval verplaatsen de meeste zandgolven zich naar het zuidwesten en in het tweede geval naar het noordoosten. Of de opgetreden golfcondities invloed hebben gehad op de megaribbels is niet vast te stellen door de onnauwkeurigheid van de data, al is dit gezien de waterdieptes van 23 tot 30 m niet waarschijnlijk.



Figuur 4.15 Golfgegevens van 2009: a) golfhoogte, b) golfperiode, c) golfrichting. De meetdatums zijn weergegeven als verticale blauwe lijnen.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Het doel van deze studie is het begrijpen en kwantificeren van de invloed van stormen op de morfodynamiek van de zeebodem. Het methodologische doel is het verkennen hoe dit soort data gebruikt kan worden in de toekomst. We hebben 8 bathymetrische opnamen geanalyseerd van een NO-ZW transect over het Nederlandse continentale plat welke zijn opgenomen met multibeam sonar in het jaar 2009.

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- ✓ Verticale veranderingen in zeebodempligging konden niet onderzocht worden omdat de data niet goed gecorrigeerd konden worden voor waterstandsvariaties tijdens de opnamen als gevolg van het getijverloop.
- ✓ Daarnaast is de resolutie van de data te laag om veranderingen in megaribbels goed te analyseren.
- ✓ Een globale analyse van de beschikbare data laat zien dat de meeste zandgolven heen en weer migreren ten opzichte van hun oorspronkelijke locatie. Ze zijn dus op de langere termijn (>1 jaar) min of meer stabiel.

De laterale migratie van zandgolven op het transect is getracht te relateren aan de golfcondities voorafgaand aan de opnames. Hieruit blijkt dat de in de periode maart-december 2009 opgetreden golfcondities, voor zover vast te stellen, geen invloed hebben gehad op de morfodynamiek van de zeebodem op het opgenomen transect.

5.2 Aanbeveling

Het blijft wetenschappelijk zeer waardevol om het effect van stormgolven op de zeebodem in het veld vast te kunnen stellen. Het periodiek opnemen van de zeebodem op vaste transecten blijft hiervoor een nuttige operatie. Om de kans op het optreden van een storm van voldoende zwaarte te vergroten verdient het aanbeveling om deze opnamen met name in het stormseizoen uit te voeren. De kans op goed bruikbare data wordt vergroot indien kort ná het optreden van een storm opnamen gemaakt kunnen worden.

6 Appendix A

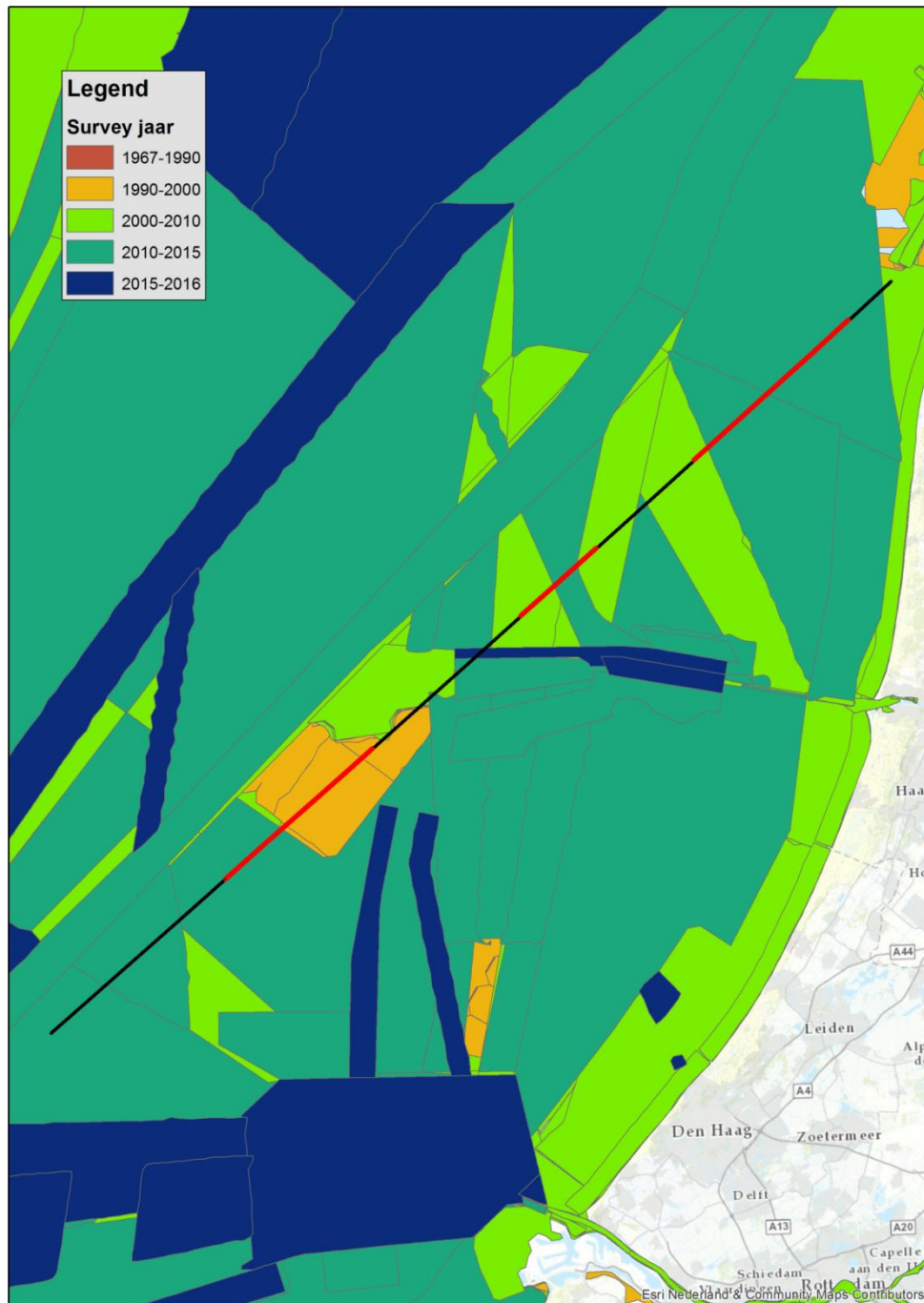


Fig. A1 Overzicht van de datum van de bathymetrische data in het studiegebied