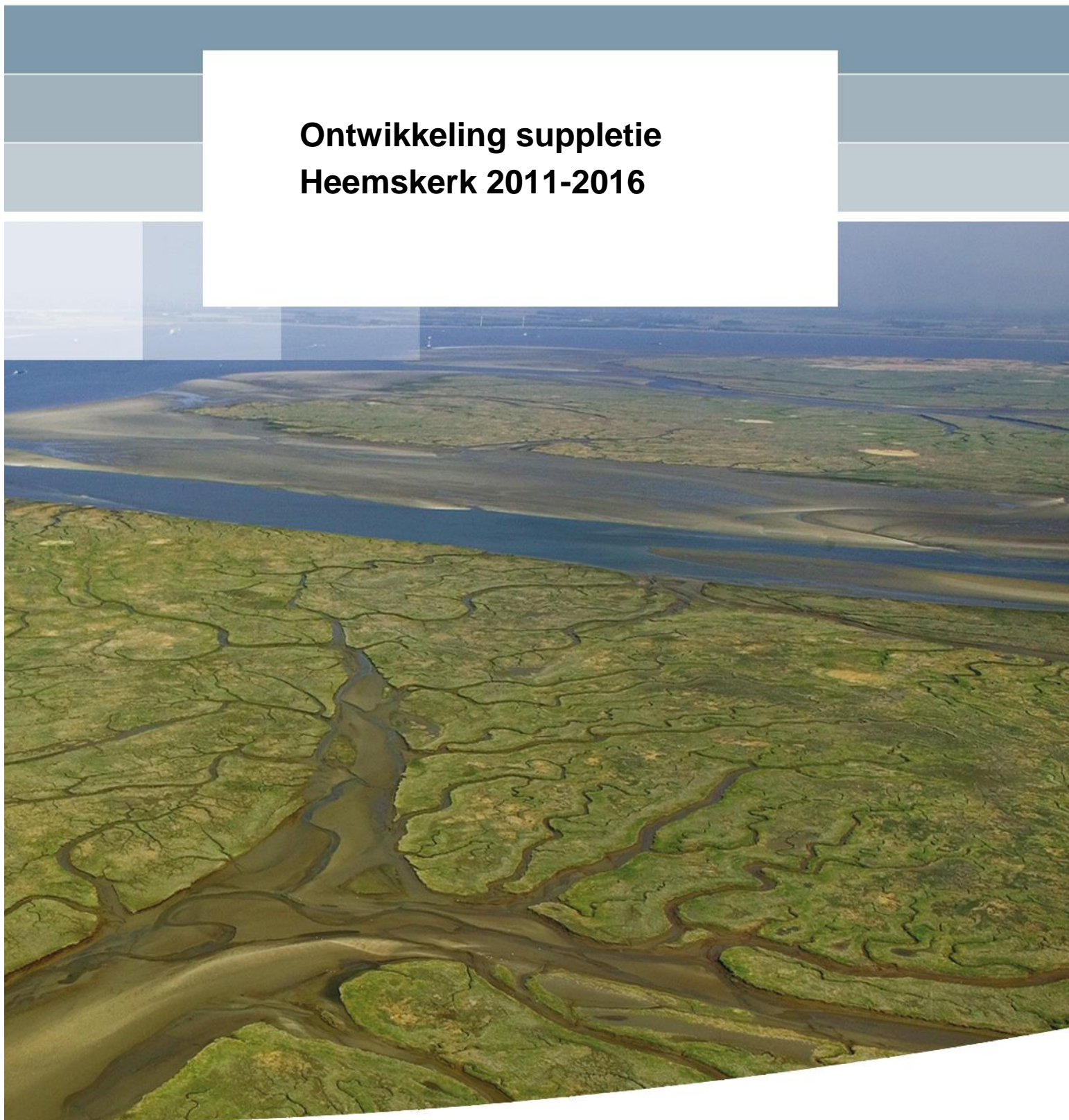


**Ontwikkeling suppletie
Heemskerk 2011-2016**



Ontwikkeling suppletie Heemskerk 2011-2016

Tommer Vermaas
Renée de Bruijn
Laura Vonhögen-Peeters

1230043-001

Titel

Ontwikkeling suppletie Heemskerk 2011-2016

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1230043-001	1230043-001-ZKS-0016	151

Trefwoorden

Suppletie, gefaseerde suppletie, Heemskerk, KPP-B&OKust.

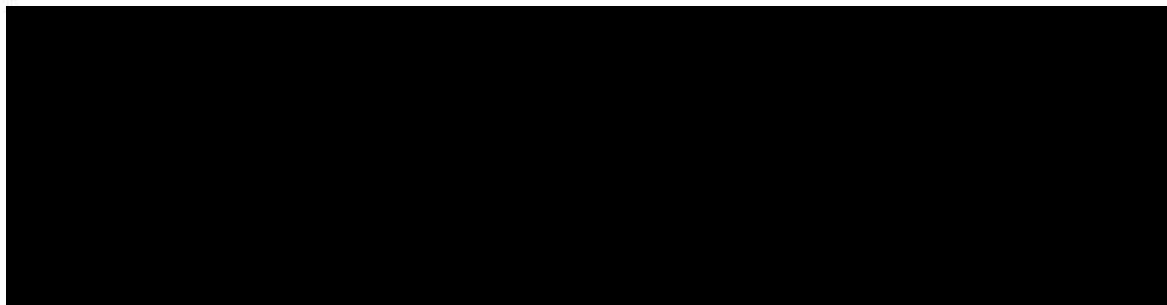
Samenvatting

In 2011 en 2012 is voor de kust van Heemskerk een gedifferentieerde vooroeversuppletie aangelegd. Het ontwerp hiervan is combinatie tussen een diep gelegen suppletie en een suppletie in twee delen. Hierbij zijn gefaseerd twee zandlichamen neergelegd, waarvan één op een diepte van NAP -5 m en één op een diepte van NAP -6 m. Tussen de suppleties ligt een gat van ongeveer 450 meter. Tussen 2011 en 2016 zijn de morfologische ontwikkelingen van de vooroever gemonitord. Doel van dit onderzoek is te analyseren wat het morfologische effect is van het aanleggen van een suppletie op grotere diepte, en te evalueren of het gat tussen de suppleties zorgt voor een grotere zandaanwas aan de kust.

De evaluatie is uitgevoerd door analyse van beschikbare metingen van de bodemhoogte en beschikbare literatuur.

Een duidelijk effect van de suppletie is op het natuurlijke bankgedrag. De delen van de onderwatersuppletie hebben een heel andere ontwikkeling van het bankgedrag veroorzaakt. Dit is veroorzaakt door een verschil in bankenconfiguratie ten tijde van aanleg: in het zuidelijke deel was de buitenste bank al uitgedempt, in het noordelijke nog aanwezig. Ondanks dit verschil is duidelijk een andere ontwikkeling van de volumes te zien: het ondiepe, zuidelijke deel is meer in volume afgenomen dan het noordelijke deel met grotere aanlegdiepte. Het bankengebied heeft voornamelijk dit sediment ontvangen.

Over het algemeen is de MKL zeewaarts verplaatst, vooral ter hoogte van het zuidelijke deel van de suppletie. De trend is in veel raaien niet erg duidelijk. Dit hangt mogelijk samen met kleinschalige morfologische structuren, zoals ripchannels. Deze zijn lokaal en vaak tijdelijk aanwezig. Ook voor de gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater posities is de trend voor veel raaien niet eenduidig.



Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding voor de evaluatie	1
1.2 Leeswijzer	4
2 Beschrijving van de suppletie	5
2.1 Aanleiding voor de suppleties	5
2.2 Ontwerp van de suppletie	7
2.3 Aanleg van de suppletie	8
2.4 Gebruikt zand	10
2.5 Beschikbare meetgegevens	10
2.5.1 JARKUS	10
2.5.2 Verdichte JARKUS	11
2.5.3 SHORE-metingen	12
2.5.4 In- en uitpeilingen baggeraars	14
2.5.5 Overige meetgegevens	15
3 Gebiedsbeschrijving en systeemwerking	17
3.1 Morfologische ontwikkeling	17
3.2 Kustverdedigingswerken en eerdere suppleties	22
3.2.1 Havendammen bij IJmuiden – uit Elias & Bruens (2013)	22
3.2.2 Overzicht suppleties	23
3.2.3 Invloed van onderwatersuppleties op het bankgedrag	25
4 Ontwikkeling van de suppletie	27
4.1 Morfologische ontwikkeling	27
4.1.1 Bankgedrag	27
4.1.2 Morfologie strand	27
4.2 Detailontwikkelingen op basis van de dwarsprofielen	35
4.3 Volumina	40
4.4 Ontwikkeling indicatoren	44
5 Conclusies	55
6 Referenties	59
7 Bijlagen	61

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Binnen het huidige kustbeleid wordt jaarlijks gemiddeld 12 miljoen m³ zand gesuppleerd om de kustlijn en het kustfundament op peil te houden. Hoeveel zand er precies nodig is en op welke plaatsen en tijdstippen het zand het best kan worden neergelegd, wordt gebaseerd op jaarlijkse toetsing van de kust. Bij deze toetsing worden kennis en eerdere onderzoeken uit de regio meegenomen. Het gaat hierbij om inzicht in de werking van het kuststelsel waarop mogelijk ingegrepen gaat worden en de verwachte effecten van de ingreep (suppletie). In de loop der jaren zijn hiervoor vele studies uitgevoerd en is er veel kennis over het kuststelsel ontwikkeld. Toch komen er voortdurend nieuwe vragen naar voren, bijvoorbeeld of zandsuppleties nog efficiënter en duurzaam kunnen worden uitgevoerd. Het project 'KPP Beheer en onderhoud van de Nederlandse kust (B&O Kust)' heeft tot doel om vragen over suppletieontwikkeling en -uitvoering te beantwoorden en de kennis over het kuststelsel uit te breiden en te verspreiden. In dit project werken Deltares en Rijkswaterstaat samen. Nieuwe inzichten die uit het onderzoek voortkomen, kunnen leiden tot aanpassingen aan uit te voeren suppleties.

Zandsuppleties worden aangebracht om zandtekorten aan te vullen en vinden doorgaans plaats in de kustnabije zone: op het strand, op de vooroever of op een geulwand. Aangenomen wordt dat door de natuurlijke dynamiek, het zand over het gehele kuststelsel wordt verdeeld, zodat ook de diepere zone en de duinen meegroeien en alle kustfuncties optimaal profiteren van het suppletiezand. Voor suppleties die afwijken van reguliere suppleties (bijvoorbeeld een afwijkend volume, een locatie waar nog weinig over bekend is of een afwijkend type suppletie), wordt door de Waterdienst een monitoringsprogramma opgesteld en uitgevoerd. Meestal gaat het hierbij om extra opnamen van de bodemligging. Op basis van deze (extra) opnamen worden evaluaties uitgevoerd om beter inzicht in het gedrag en de effectiviteit van een suppletie te verkrijgen. Deze kennis wordt vervolgens gebruikt bij het opstellen van nieuwe suppletieprogramma's en het informeren van de regio. De opgedane morfologische kennis dient ook als input voor de validatie van conceptuele en numerieke modellen.

In het volgende tekstkader staan studies die eveneens in het kader van het project KPP-B&OKust worden uitgevoerd en een bijdrage leveren aan deze evaluatie of waaraan deze evaluatie juist een bijdrage levert.

Herverdeling (suppletie)zand

Het afgevoerde zand van een suppletie komt ten goede aan andere delen van het kuststelsel; we hebben te maken met een zogenaamd zanddelend systeem (nat en droog). Een structurele analyse van de herverdeling van het in de afgelopen decennia gesuppleerde zand wordt, aanvullend op bovengenoemde evaluatie van individuele suppleties. Deze analyse kan ons veel leren over de werking van het kuststelsel en de effecten van suppleren (cumulatief) hierop. Dit inzicht ondersteunt niet alleen het vaststellen van regionale effecten van suppleren, maar is ook nodig voor het optimaliseren van de suppletieuitvoering (keuze van locatie, volume en uitvoeringswijze) en het ontwikkelen van alternatieve suppletiestrategieën.

Morfodynamiek eilandkoppen

De morfologische ontwikkeling van de geulen en ondiepten in zeegaten bepaalt in sterke mate de morfologische ontwikkeling van de aangrenzende (eiland)kusten. Er is een wezenlijke behoefte aan inzicht in de natuurlijke variatie in de morfologie van de eilanden over een periode van decennia. De relatie met ontwikkelingen in de zeegaten en op de buitendelta's moet daarbij meegenomen worden. Het huidige gebrek aan onderscheid tussen (langjarige) cyclische ontwikkelingen en structurele veranderingen leidt mogelijk tot inefficiënt beheer van de eilandkusten.

Beheerbibliotheek

Om een suppletieprogramma en strategie op te stellen voor een specifiek kustvak is een goed overzicht van de beschikbare kennis over het zanddelende systeem in dat specifieke kustvak en het omringende kuststelsel nodig. Voor dat doel wordt per kustvak een Rijkswaterstaat beheerbibliotheek opgesteld. Deze bibliotheek beschrijft de toestand van het kustvak en omvat een samenvatting van morfologische, ecologische en socio-economische kennis die relevant is voor het vaststellen van de suppletiestrategie. Deze kennis komt onder meer voort uit het project KPP-B&O Kust. Verder bevat een beheerbibliotheek een beschrijving van het uitgevoerde kust- en duinbeheer, met nadruk op de uitgevoerde suppleties, alsmede van de waargenomen effecten van dat beheer. Dit resulteert (op termijn) in een handreiking suppleren voor het betreffende kustvak.

1.2 Aanleiding voor de evaluatie

In 2011 en 2012 is langs de Noordzeekust ter hoogte van Heemskerk in meerdere fasen een onderwatersuppletie uitgevoerd. De suppletie bestond uit twee zandlichamen met daartussen een gebied van ca. 500 m lengte waar niet is gesuppleerd. Het noordelijke deel, tussen raai 4575 en 4750, had een aanlegdiepte van NAP -6 m (de top van de suppletie lag op NAP -6 m); het zuidelijke deel, tussen raai 4800 en 5000, van NAP -5 m.

Bij deze suppletie zijn twee aspecten nieuw en vormen de aanleiding voor de voorliggende evaluatie:

- 1 Het 'gat' tussen de suppletiedelen: dit is gebaseerd op een modelstudie (Koster, 2006 en Tonnon, 2010a en 2010b) waarin werd geconcludeerd dat veel, kleine, suppleties naast elkaar (als een soort bollen) zorgde voor een groter landwaarts sedimenttransport. Om uitvoeringstechnische redenen is in plaats van meerdere bollen gekozen voor twee delen. De verwachting is dat door het gat grotere en/of snellere

sedimentatie aan de landwaartse zijde van de suppletie zal plaatsvinden dan bij een reguliere onderwatersuppletie.

- 2 De aanlegdiepte van NAP -6 m van het noordelijke deel: in dit gebied is NAP -5 m de reguliere aanlegdiepte voor onderwatersuppleties. De verwachting van Rijkswaterstaat is dat suppleren in dieper water financieel voordeliger is. Of de grotere aanlegdiepte ook hetzelfde morfologische effect heeft is daarbij van belang om vast te stellen of deze uitvoeringswijze uiteindelijk ook effectiever is.

De vragen die in deze evaluatie worden beantwoord, inclusief specifieke vragen m.b.t. bovengenoemde aspecten, staan in Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Evaluatievragen van Rijkswaterstaat. De conclusies met betrekking tot deze deelvragen zijn uitgewerkt in hoofdstuk 5.

1 Systeembeschrijving	Uitgewerkt in:
Hoe ziet de natuurlijke bankencyclus eruit?	3.1
Hoe heeft de kust zich ontwikkeld voor gesuppleerd werd?	3.1
Wat hebben eerdere ingrepen voor effect op het gebied gehad?	3.2.3
2 Effect van de suppletie; algemeen	Uitgewerkt in:
Hoe heeft de kust zich ontwikkeld na suppleren?	4.1
Profiteert de duinenrij van de onderwatersuppletie?	4.4
Hoe ontwikkelt het strand zich?	4.1.2
Wat is de invloed van de suppletie op de natuurlijke bankencyclus?	4.1.1
Hoe ontwikkelt het zandvolume in het suppletievak zich?	4.3
Hoe ontwikkelen de volumina zich in de vakken zeewaarts – landwaarts – noordwaarts – zuidwaarts van de suppleties?	4.3
3 Effect van de suppletie; innovatieve aspecten	Uitgewerkt in:
Zal het gat tussen beide zandlichamen afgedicht worden door sedimentatie of vindt hier juist sterke erosie plaats?	4.2
Vinden vervormingen rond de koppen van de zandlichamen plaats?	4.2
Vlakken de zandlichamen in de loop van de tijd af?	4.1; 4.2
Zit er verschil in ontwikkeling tussen beide zandlichamen?	4.1; 4.2
Zijn deze verschillen toe te wijzen aan de aanleghoogte?	4.1; 4.2

1.3 Leeswijzer

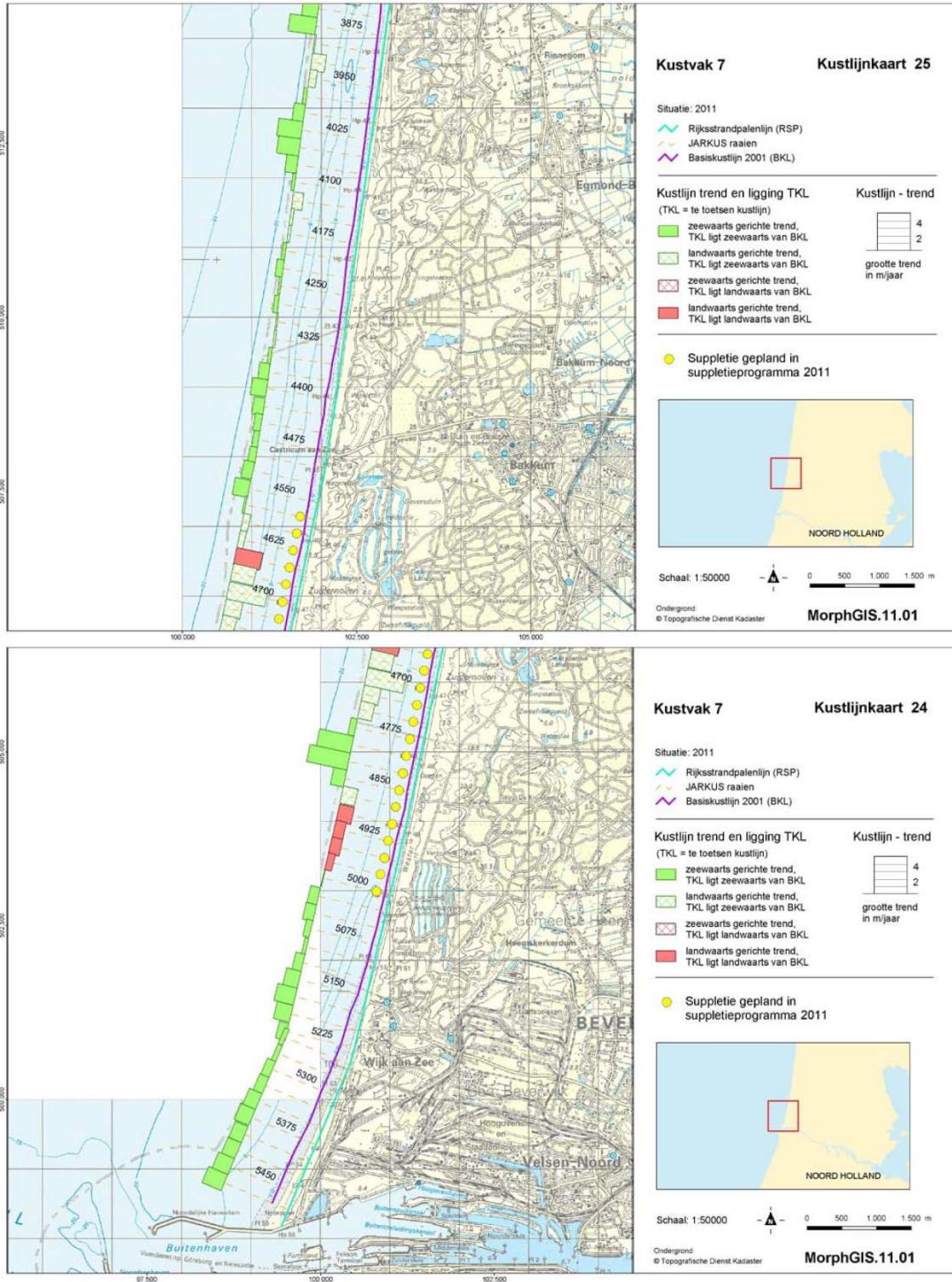
Details over de aanleiding van de suppletie, het ontwerp en de aanleg zijn te vinden in hoofdstuk 2. Hierin worden ook gebruikte databronnen beschreven.

Een morfologische beschrijving van het gebied en de werking daarvan staan in hoofdstuk 3. Resultaten van de analyses, die weergeven hoe de suppletie en de kust zich hebben ontwikkeld, staan in hoofdstuk 4. De conclusies hiervan zijn te vinden in hoofdstuk 5.

2 Beschrijving van de suppletie

2.1 Aanleiding voor de suppletie

De primaire reden om te suppleren voor de kust van Heemskerk waren BKL-overschrijdingen tussen raai 4575 en 5000 (Figuur 2.1). Andere functies van de kust hier zijn het drinkwatergebied Kieftenvlak en recreatie. De suppletie heeft daarom ook tevens tot doel de erosie van de eerste duinregel tegen te gaan, vanwege de drinkwaterwinning in het duingebied. Daarnaast het behouden van de breedte van het droge strand, daar deze een recreatieve functie heeft.

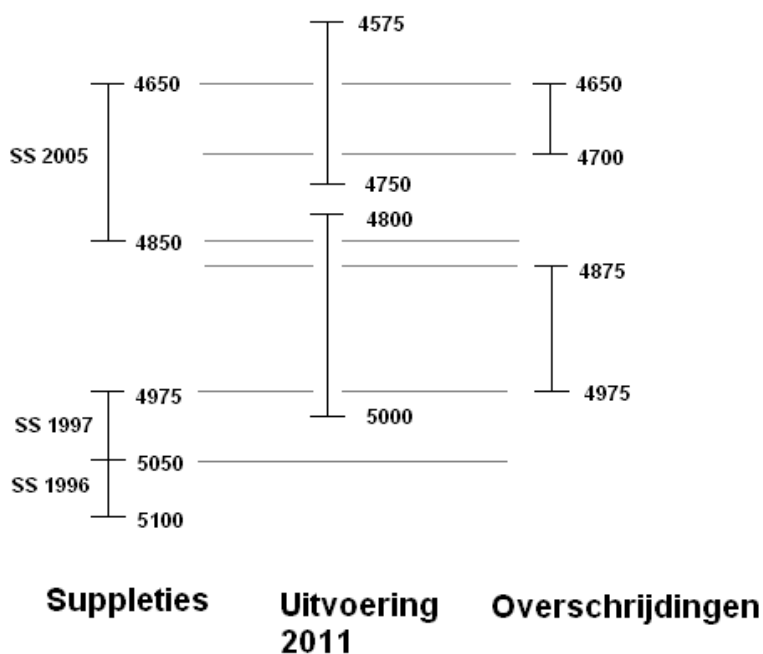


Figur 2.1 BKL overschrijdingen door TKL van 1 januari 2011 (Rijkswaterstaat, 2010)

2.2 Ontwerp van de suppletie

In de bij Heemskerk aangebrachte onderwatersuppletie zijn twee verschillende, experimentele uitvoeringsvarianten getest; een bollensuppletie en een dieper gelegen suppletie. Het door de Waterdienst voorgestelde ontwerp bestaat uit twee zandlichamen met elk een verschillende aanleghoogte; een gedifferentieerde onderwatersuppletie. Volgens het principe van de bollensuppletie is tussen de bovenkant beide suppleties een gat van 500 m breed vrijgehouden. Tussen de basis van de suppleties is het gat ca. 250 m breed.

Het ontwerp van de suppletie is weergegeven in Figuur 2.2. Hierbij is de noordelijke suppletie dieper gelegen dan de zuidelijke suppletie. De positie van de opening is zo gekozen dat deze niet ter hoogte van de overschrijdingen is aangelegd. De kenmerken van het ontwerp en de gerealiseerde zandlichamen staan weergegeven in Tabel 2.1.



Figuur 2.2 Suppletie-ontwerp ten opzichte van eerdere suppleties en overschrijdingen

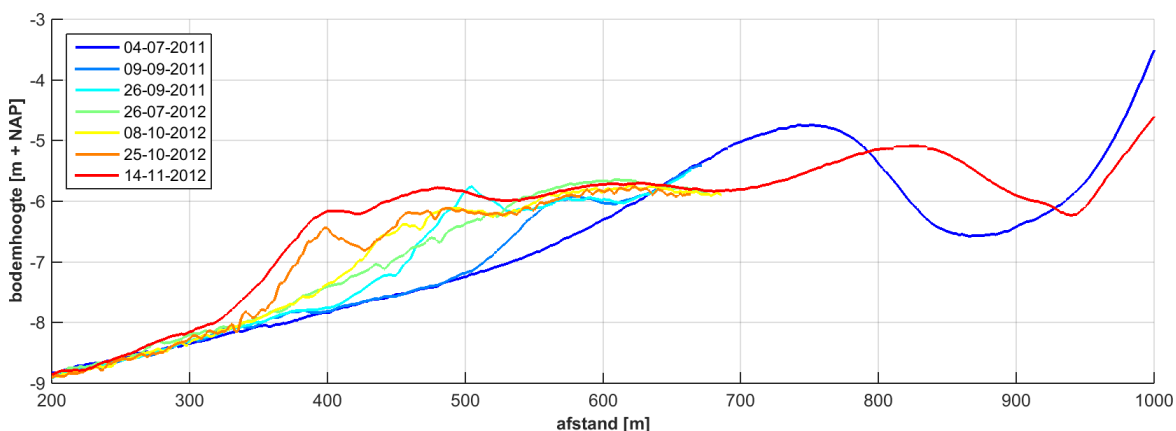
Tabel 2.1 Kenmerken ontwerp van de suppletie. NB: de basis van de suppletie loopt verder door dan de aangegeven raaien

suppletie	beginraai	eindraai	lengte	aanleghoogte	volume
Noord	4575	4750	1750 m	- 6 m NAP	425 m ³ /m
Zuid	4800	5000	2000 m	- 5 m NAP	425 m ³ /m

2.3 Aanleg van de suppletie

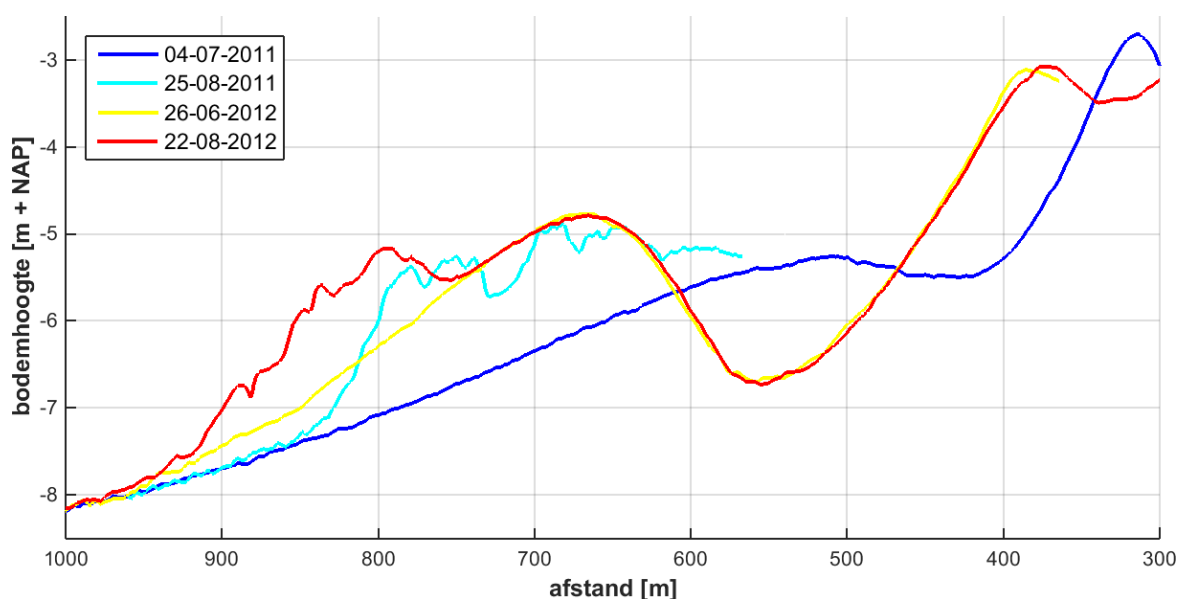
De aanleg van de suppleties heeft in fasen plaatsgevonden vanaf juli 2011. De aanleg in fasen is onderdeel van de uitbesteding en wordt door de aannemer zelf bepaald. Het zuidelijke suppletiegebied is gereed gekomen op 22 augustus 2012. Op dat moment was ongeveer de helft van het noordelijk suppletievolume aangebracht. De aanleg van de noordelijke suppletie is afgerond op 6 november 2012.

De aanleg van de noordelijke suppletie heeft in totaal ruim een jaar gekost en heeft in een aantal fasen plaatsgevonden. De suppletie is aangebracht tegen de buitenste zandbank met zijn kruinhoogte op ca. NAP -6 m (Figuur 2.3). Tussen september 2011 en juli 2012 heeft de aanleg stil gelegen. In deze periode is het al aangebrachte deel van de suppletie weinig veranderd, de zeewaartse helling is een beetje afgevlakt. Gedurende de aanleg is de top van de oorspronkelijke zandbank kustwaarts verplaatst en lager geworden.



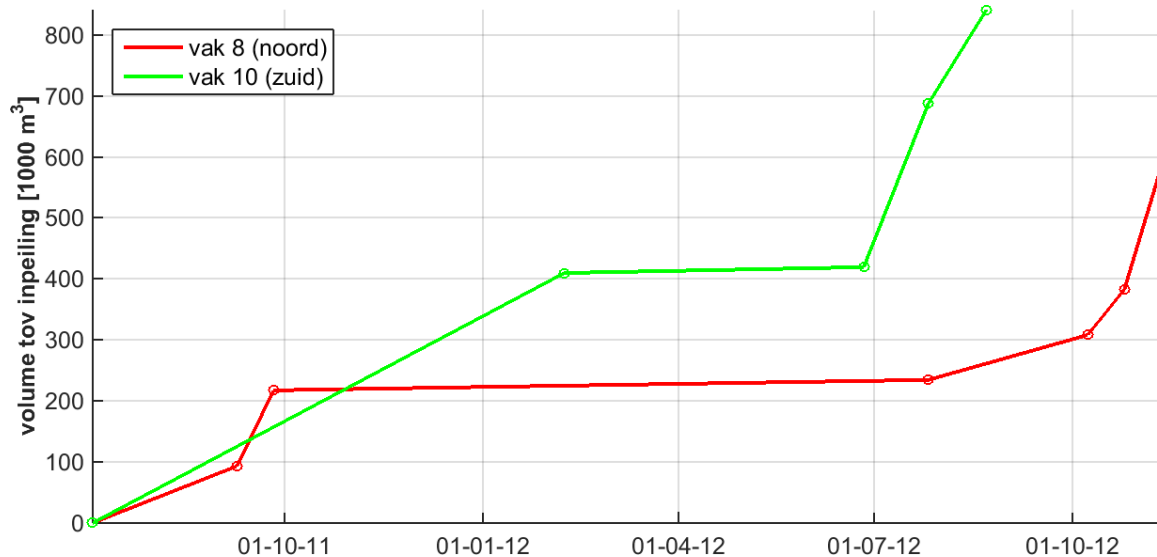
Figuur 2.3 Dwarsprofiel over de noordelijke suppletie (ter hoogte van JARKUS-raai 4725) tijdens verschillende fasen van aanleg (ligging zie Figuur 2.1)

Ook de zuidelijke suppletie is in fasen aangelegd gedurende iets meer dan één jaar tijd. De suppletie is aangebracht tegen de aanwezige buitenste zandbank en heeft een kruinhoogte van ca. NAP -5 m (Figuur 2.4). Op het moment van aanleg was de buitenste bank vrij laag met een hoogte iets dieper dan NAP -5 m. Tussen najaar 2011 en begin zomer 2012 heeft ook de aanleg van dit deel van de suppletie stil gelegen. In deze periode is het gesuppleerde sediment omgewerkt tot een nieuwe buitenste bank, met een hoogte iets boven NAP -5 m. Het laatste deel van de suppletie is aangelegd tegen de nieuwe buitenste bank, ook hiervan ligt de kruinhoogte rond NAP -5 m.



Figuur 2.4 Dwarsprofiel over de zuidelijke suppletie (ter hoogte van JARKUS-raai 4925) tijdens verschillende fasen van aanleg

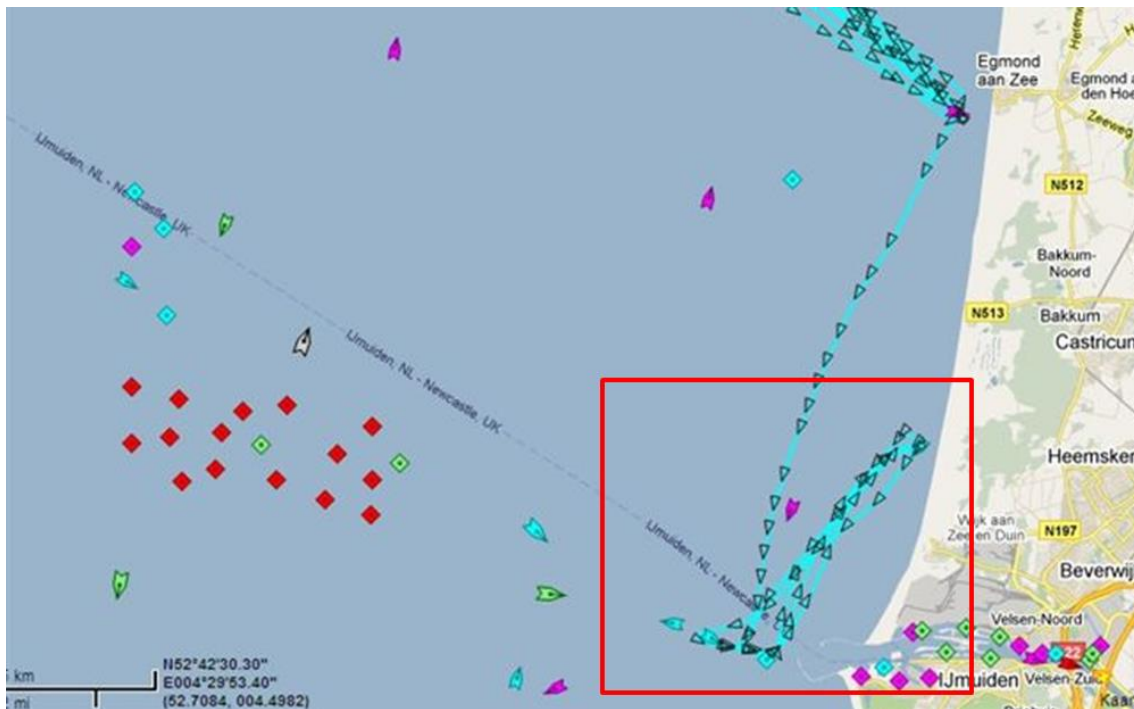
De aanlegfasen zijn ook goed terug te zien in ontwikkeling van de volumes (Figuur 2.5). Tijdens de periode waarin de aanleg stil lag is er in het volume weinig veranderd.



Figuur 2.5 Ontwikkeling van volumes van de noordelijke en zuidelijke suppleties, op basis van de peilingen van de aannemer. NB: Niet alle tijdstappen van de profielen in Figuur 2.3 en Figuur 2.4 zijn terug te vinden in de volumeontwikkeling, omdat het suppletievak niet altijd volledig is ingemeten, wat noodzakelijk is om het volume te bepalen maar niet om profielen te kunnen tekenen.

2.4 Gebruikt zand

Het voor de suppletie gebruikte zand is afkomstig uit de IJ-geul dat door vaarwegonderhoud beschikbaar is gekomen (Figuur 2.6). Er zijn korrelgroottemonster genomen van zand uit boringen in de IJ-geul West (29 monsters) en IJ-geul Oost (14 monsters). De monsters zijn geanalyseerd, het zand heeft een gemiddelde korrelgrootte van 180 μm (Fugro, 2012). Dit is aanzienlijk kleiner dan de natuurlijke korrelgrootte, die ca. 300 μm is (332 μm bij raai 4700, Janssen en Mulder, 2004))



Figuur 2.6 Vaarroute winlocatie naar aanleglocatie

2.5 Beschikbare meetgegevens

Ten behoeve van de evaluatie van de suppletie zijn bathymetrische opnames en hoogtemetingen gebruikt. De beschikbare bathymetrische gegevens zijn de (reguliere) jaarlijkse kustmetingen (JARKUS), verdichte JARKUS-metingen, gedetailleerde bathymetrische opnames van SHORE en de in-, vervolg- en uitpeilingen van de aannemer. De hoogteligging van het droge strand wordt ieder jaar opgenomen als onderdeel van de reguliere JARKUS-metingen. Daarnaast zijn gegevens gebruikt van de meetboei 'Ijmuiden munitiestortplaats'. De details van de verschillende meetseries worden hieronder beschreven.

2.5.1 JARKUS

De JARKUS metingen zijn hoogte- en dieptemetingen die sinds 1965 jaarlijks langs de kust worden uitgevoerd op vaste dwarsprofielen. De onderlinge afstand tussen de raaien bedraagt ca. 200 m. Deze data wordt o.a. bewerkt tot 20x20 meter grids.

De bathymetrische grids voor het kustvak Heemskerk op basis van JARKUS metingen over de periode 1975 t/m 2014 zijn opgenomen als bijlage B.

2.5.2 Verdichte JARKUS

Naast de reguliere JARKUS-opnamen in het voorjaar zijn voor dit onderzoek vijf jaar lang extra hoogte- en dieptemetingen gedaan in het najaar (Tabel 2.2). De reguliere voorjaarsmetingen zijn in deze periode verdicht ingemeten.

De verdichte JARKUS bestaat uit de reguliere JARKUS raaien, aangevuld met steeds een extra raai tussen de vaste raaien. De onderwateroever wordt daarmee om de 100 meter gemeten. Het droge strand wordt in het najaar niet gemeten. De uitgevoerde metingen worden door Rijkswaterstaat (RWS) geïnterpoleerd naar 5x5, 10x10 en 20x20 meter grids.

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de 5x5 meter grids, met uitzondering van tijdstap 5, waar dit grid niet beschikbaar was – hier is een 10x10 meter grid gebruikt. De meting van het najaar 2013 (T5) is daarnaast niet volledig, omdat de ondiepe metingen hier mislukt zijn. De meest recente meting die in dit onderzoek is gebruikt is de voorjaarsmeting van 2016.

Tabel 2.2 Overzicht van alle bathymetrische opnamen en hoogtemetingen van het strand door Rijkswaterstaat, ten behoeve van de proefsuppletie bij Heemskerk. Opnames betreffen verdichte JARKUS metingen.

Tijdstap	Opnameperiode	LIDAR
T0	22-02-2011	+
T1	11-09-2011 – 11-10-2011	-
T2	07-02-2012 – 13-02-2012	+
T3	22-10-2012 – 25-10-2012	-
T4	23-01-2013 – 25-01-2013	+
T5 (incomplete meting)	02-12-2013 – 10-12-2013	-
T6	22-04-2014 – 25-04-2014	+
T7	20-11-2014 – 20-11-2014	-
T8	22-05-2015 – 24-05-2015	+
T9	10-03-2016	+

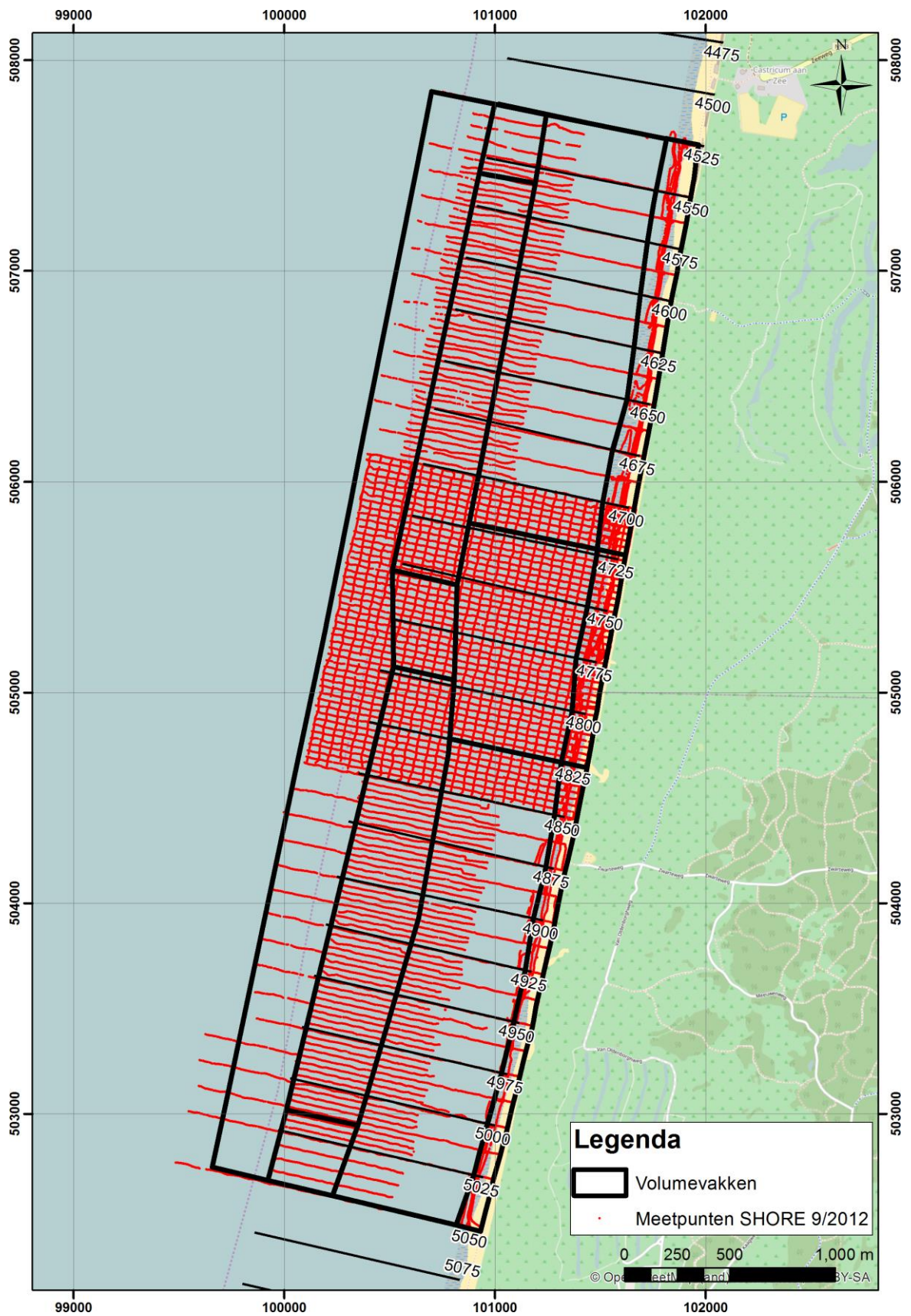
2.5.3 SHORE-metingen

In aanvulling op de Jarkus zijn voor dit onderzoek extra dieptemetingen uitgevoerd door SHORE Monitoring & Research (zie Tabel 2.3 en De Zeeuw, 2012 t/m 2014). De SHORE-metingen zijn extra gedetailleerde bathymetrische opnamen van de suppleties en het gat ertussen, om deze met hogere resolutie in zowel ruimte als tijd te kunnen monitoren. Door het gebruik van een jetski is de voorbereidingstijd voor een opname kort, waardoor extra opnamen gemaakt kunnen worden als de omstandigheden daar om vragen (zoals bijvoorbeeld het vastleggen van het effect van een storm).

Voor het gehele studiegebied zijn metingen gedaan langs lijnen die loodrecht op de kust liggen, met een onderlinge afstand van ongeveer 125 meter. Ter hoogte van de suppleties en het gat hebben deze lijnen een kleinere onderlinge afstand van 30 meter. In het gat tussen de suppleties zijn in aanvulling hierop metingen gedaan langs lijnen parallel aan de kust, met een onderlinge afstand van 50 meter (Figuur 2.7) Hierbij is ongeveer iedere 3 meter een puntmeting uitgevoerd. De puntmetingen zijn door Deltares geïnterpoleerd naar een grid van 5x5 meter met de Inverse Distance Weight methode waarin anisotropie is meegenomen (grotere zoekrichting kustparallel).

Tabel 2.3 Overzicht van alle extra gedetailleerde hoogte- en dieptemetingen door SHORE

Datum	Opmerking
3-4 september 2012	i.v.m. afronding zuidelijk deel en pauze in aanleg
13-16 november 2012	i.v.m. afronding noordelijk deel
16-17 januari 2013	i.v.m. stormcondities
15-16 juli 2013	Tussenmeting bij lange periode tussen JARKUS opnamen van voorjaar 2013 (januari) en najaar 2013 (december); meting vóór stormseizoen
4-6 augustus 2014	



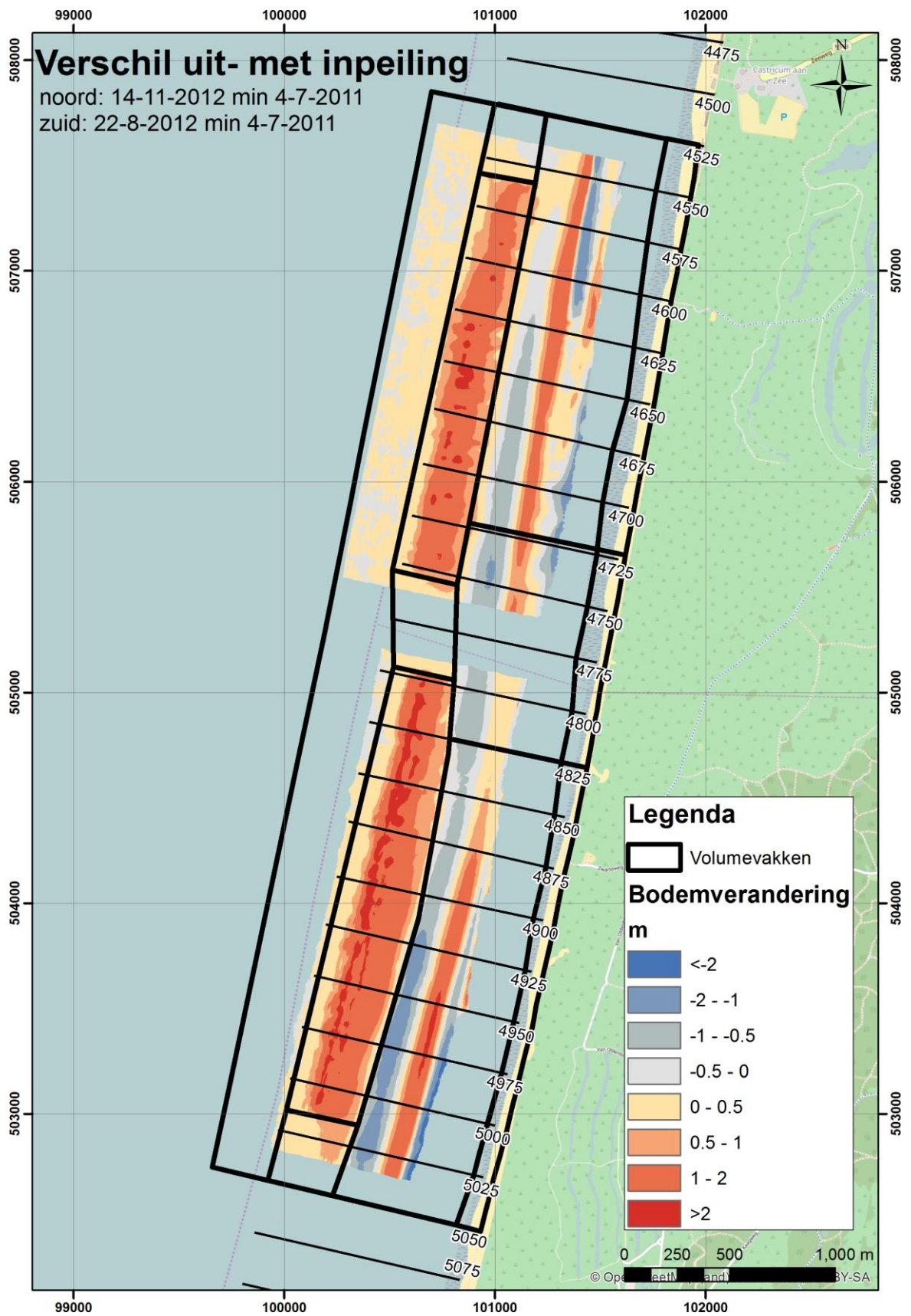
Figuur 2.7 Voorbeeld van een extra dieptemeting door SHORE, september 2012

2.5.4 In- en uitpeilingen aannemer

De in- en uitpeilingen van de vooroeversuppletie (Tabel 2.4), aangeleverd door Directie Noordzee en uitgevoerd door de aannemer, zijn bathymetrische opnamen van voor en na aanleg van de suppleties. Omdat de aanleg van de suppleties bij Heemskerk in verschillende fasen is uitgevoerd en in totaal ruim 16 maanden heeft geduurd, zijn een elftal tussentijdse vervolgpelingen gedaan bij aanbrengen van nieuw suppletiezand, o.a. om de toestand van het eerdere werk vast te stellen en het nog benodigde volume te bepalen. Een verschilkaart van de in- en uitpeilingen is te zien in Figuur 2.8.

Tabel 2.4 Overzicht van de in- en uitpeilingen in het suppletiegebied. Met een 'X' is aangegeven voor welk deel van de suppletie de peiling is verricht (soms niet het volledige perceel).

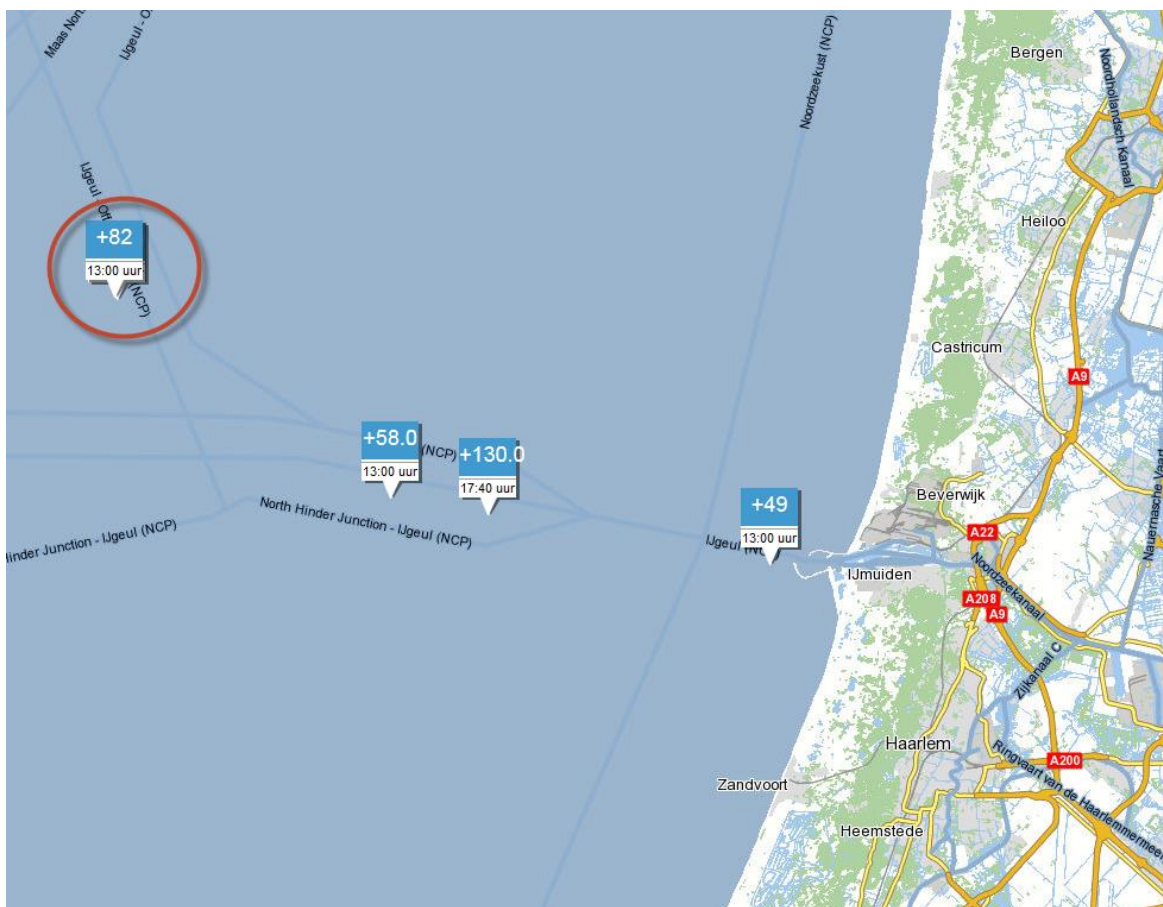
Peiling		Datum	Opmerking
Noord	Zuid		
X	X	04-07-2011	Inpeiling
X	X	20-07-2011	Vervolgpeiling
	X	17-08-2011	Vervolgpeiling
X	X	25-08-2011	Vervolgpeiling
X		09-09-2011	Vervolgpeiling
X		16-09-2011	Vervolgpeiling
X		27-09-2011	Vervolgpeiling
	X	08-02-2012	Vervolgpeiling
	X	26-06-2012	Vervolgpeiling
X	X	26-07-2012	Vervolgpeiling
	X	22-08-2012	Uitpeiling
X		08-10-2012	Vervolgpeiling
X		25-10-2012	Vervolgpeiling
X		14-11-2012	Uitpeiling



Figuur 2.8 Verschilkaart in- en uitpeilingen

2.5.5 Overige meetgegevens

Voor het interpreteren van de morfologische ontwikkeling van suppleties en het bankgedrag in het projectgebied zijn meetgegevens van golfhoogte, -richting en -periode gebruikt (bron: <http://live.waterbase.nl> gebruik makend van openearthtools). De gebruikte metingen zijn afkomstig van de meetboei 'IJmuiden munitiestortplaats', ongeveer 35 kilometer uit de kust bij IJmuiden. Hoewel de golfhoogtes dichterbij de kust lager zullen zijn dan op het meetstation en de richting mogelijk lichtelijk is afgebogen door refractie, geven de gegevens een goed beeld van de golfcondities tijdens de storm van winter 2012/2013.

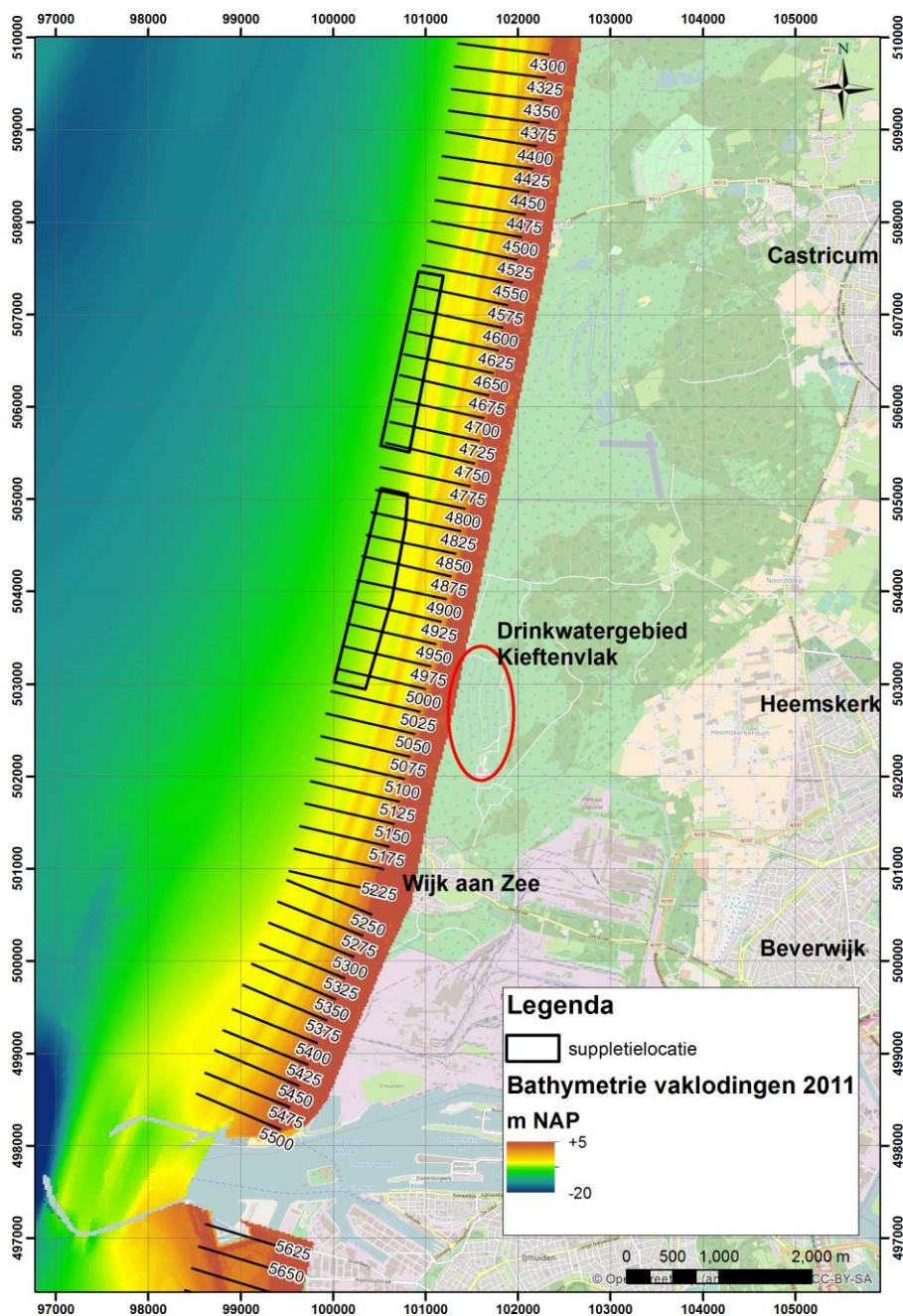


Figuur 2.9 Locatie meetboei 'IJmuiden munitiestortplaats' (in rode cirkel), bron: www.rijkswaterstaat.nl

3 Gebiedsbeschrijving en systeemwerking

3.1 Morfologische ontwikkeling

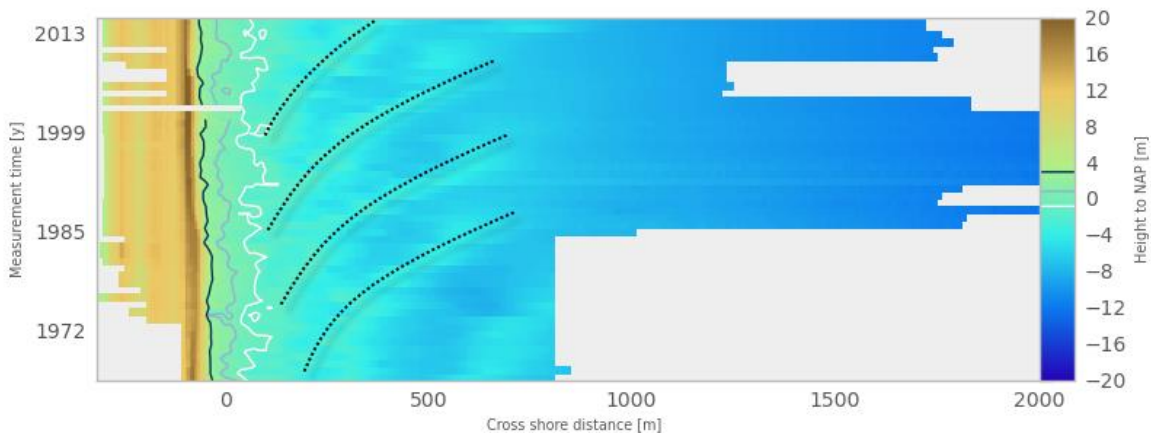
De kustlijn is tussen IJmuiden en de (voormalige) Hondsbossche en Pettemer Zeewering (HPZW) relatief ongestoord, er zijn hier geen harde kustbeschermingsmaatregelen aanwezig (Figuur 3.1). Dit deel van de Hollandse kust wordt getypeerd door de aanwezigheid van enkele lange, min of meer rechte en kust-parallelle brekerbanken. Deze banken tonen een repeterend gedrag waarin ze zeewaarts migreren, daar langzaam uitdempen waarna een nieuwe bank zich vormt dicht bij de kust (Ruessink en Kroon, 1994).



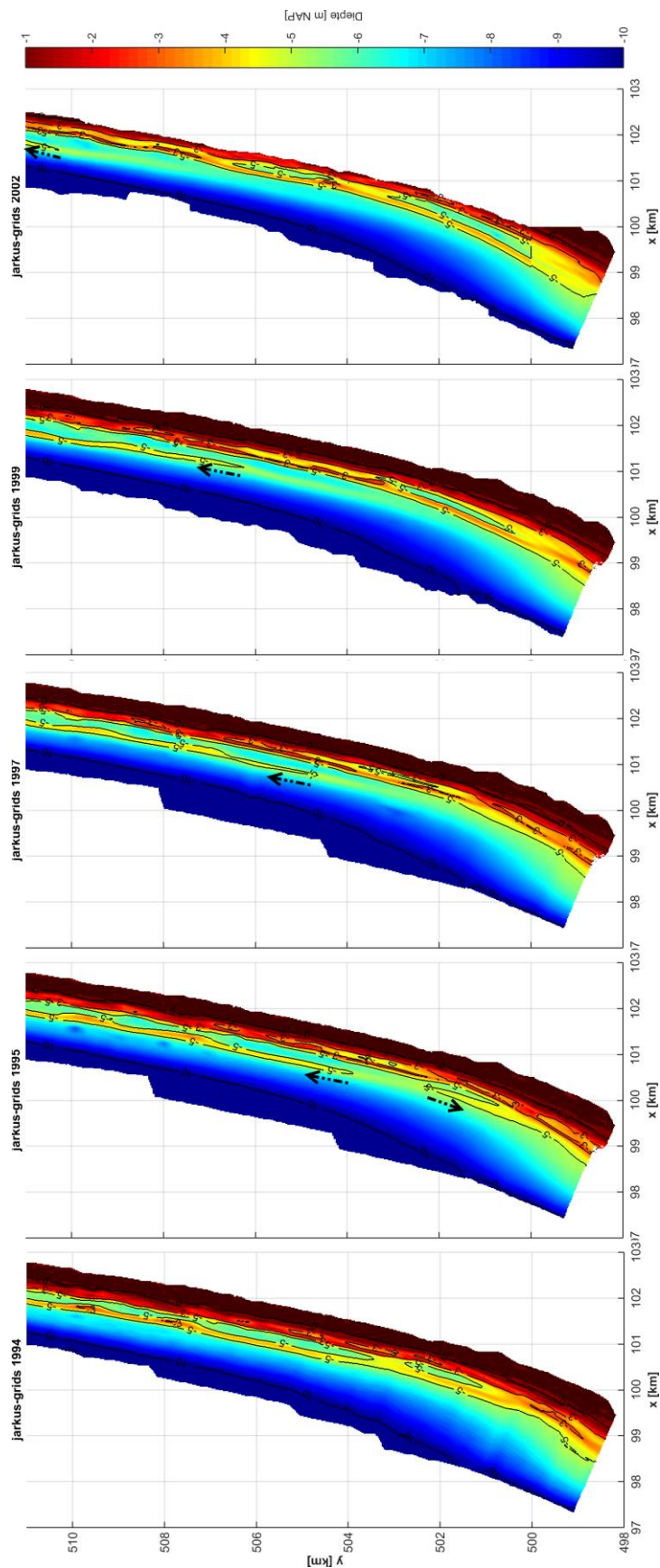
Figuur 3.1 Overzichtsfiguur suppletielocatie

Het aantal banken en hun levensduur of herhalingsijd is gebiedsafhankelijk, maar langs de kust tussen IJmuiden en de Hondsbossche en Pettemer Zeewering is de typische tijdschaal van het bankgedrag ongeveer 15 jaar. Dit is bijvoorbeeld goed te zien in een timestack figuur (Figuur 3.2).

Het uitdempen van de banken gebeurt niet simultaan langs dit kustvak. Vanaf een bepaalde locatie begint het uitdempen. Daarna propageert het zowel naar het noorden als het zuiden toe, zoals bijvoorbeeld te zien is tussen 1994 en 2002 (Figuur 3.3). Hierdoor is in 2002 in het noorden de buitenste bank nog maar net uitgedempt, terwijl in het zuiden al een nieuwe buitenste bank is gevormd. De volledige tijdsreeks met bathymetrische kaarten zoals in Figuur 3.3 is te vinden in bijlage B, hierin is de ontwikkeling van de banken in detail terug te zien.



Figuur 3.2 Timestack van raai 4825 waarin de zeevaartse migratie en het uitdempen van de banken goed is te zien. Bron: <http://kustviewer.lizard.net/>.

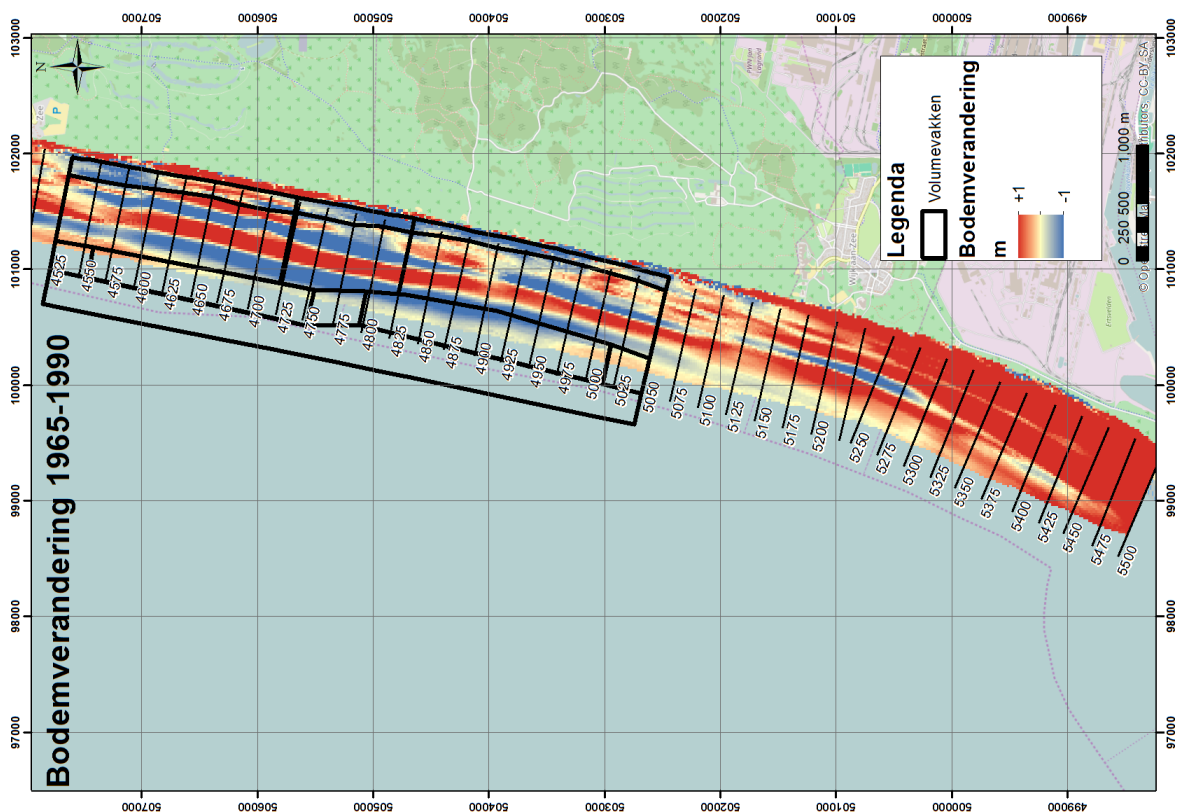


Figuur 3.3 Uitdempen van de buitenste bank tussen 1994 en 2002

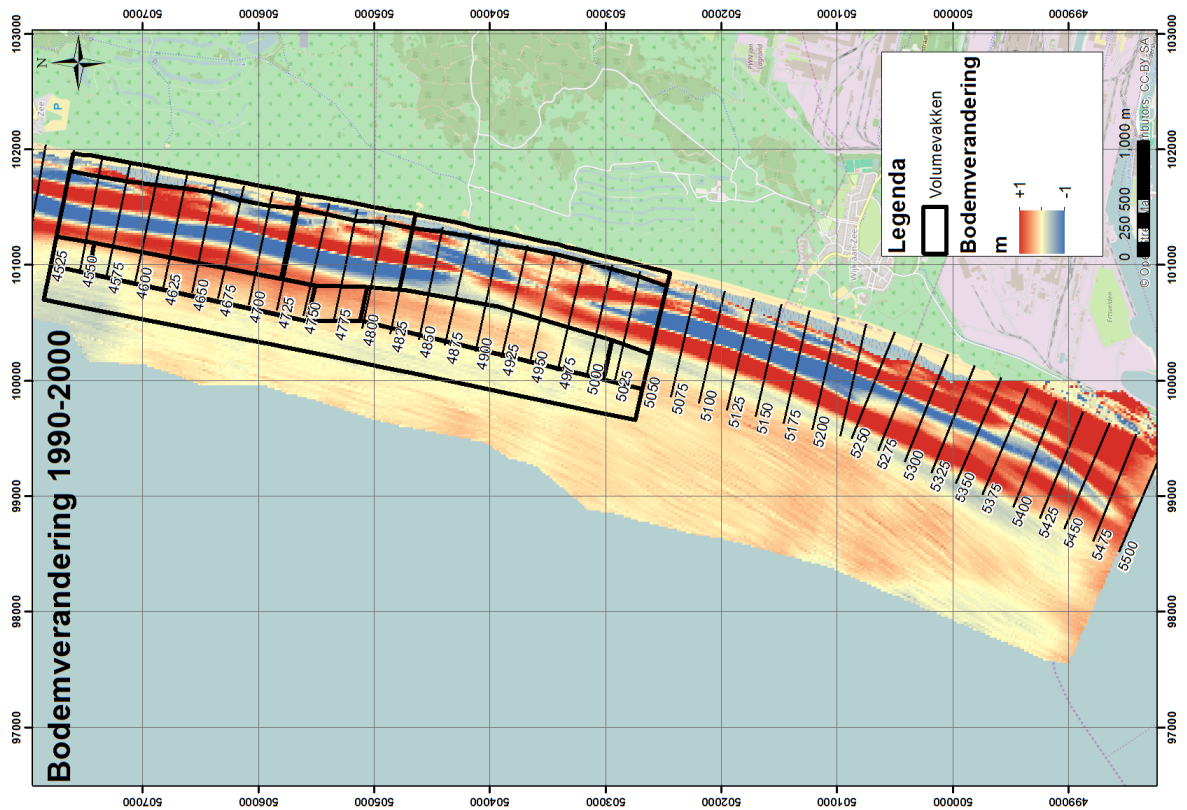
Heemskerk ligt ca. 5 km ten noorden van IJmuiden (Figuur 3.1) en nog in de invloedssfeer van de havendammen (meer informatie over de dammen is in de volgende paragraaf te vinden). De dammen zorgen voor netto aanzanding in het gebied tot 2 à 3 km ten noorden daarvan (Elias & Bruens, 2013). Ten noorden van dit gebied met sedimentatie vindt er erosie plaats, maar die is relatief veel kleiner (Figuur 3.4). De suppletielocatie ligt ten noorden van het aanzandingsgebied. Het effect van de havendammen is wel al afgenomen, te zien aan de kleinere aanzanding tussen 2000 en 2010 (Figuur 3.6) ten opzichte van de periode 1990-2000 (Figuur 3.5).

Dit wordt ook weerspiegeld in de ontwikkeling van de MKL (Figuur 3.7). Deze is van raai 5000 naar het zuiden in toenemende mate zeewaarts verplaatst. De grootste verplaatsing ligt bij raai 5500, waar deze tussen 1965 en 2012 275 m zeewaarts opgeschoven is. De raaien ten noorden van raai 5000 laten een fluctuerende MKL-positie zien. Het rechterpaneel van Figuur 3.7 laat zien dat de positie tussen 2005 en 2012 sterk fluctueert met een bandbreedte van 25 tot 50 m.

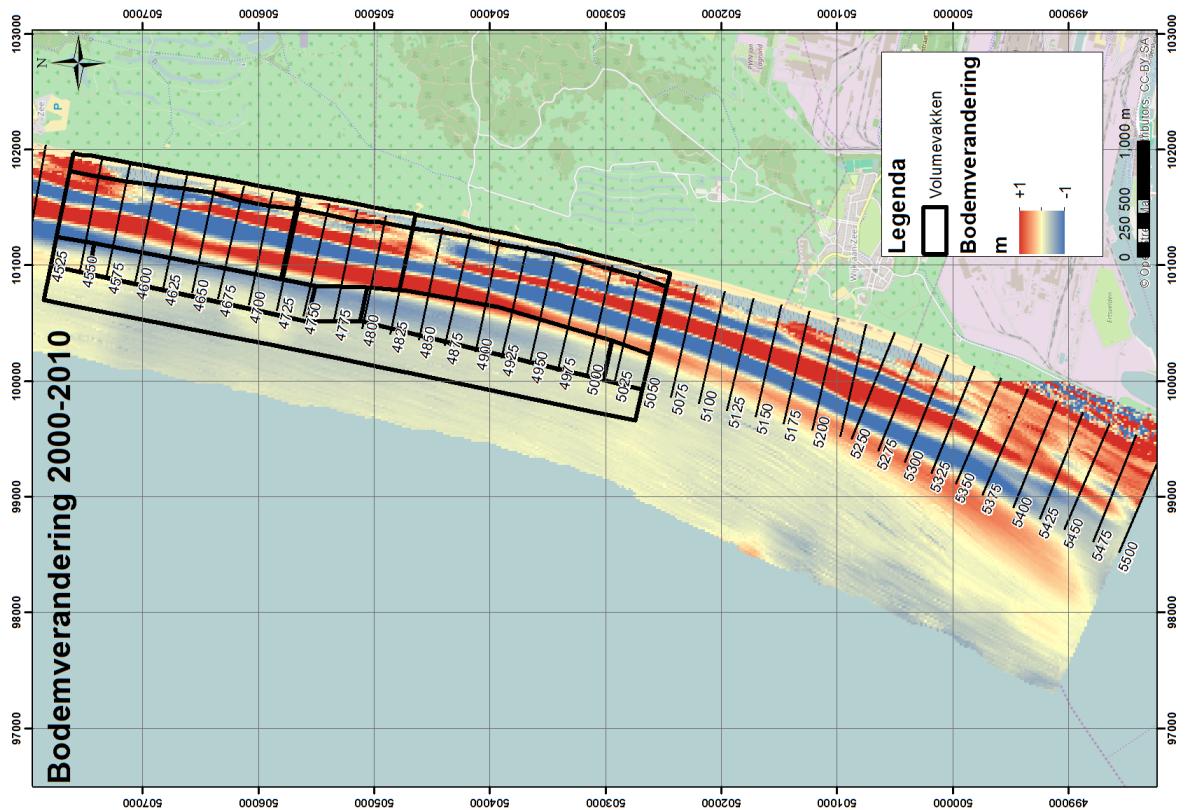
Het gebied ten noorden van raai 4700 laat ook een sterk fluctuerende MKL positie zien (Elias & Bruens, 2013, paragraaf 4.4.5), zonder een duidelijke trend. De fluctuaties liggen binnen een bandbreedte van 50 m. Elias & Bruens (2013) relateren de fluctuaties in MKL aan het periodieke bankgedrag.



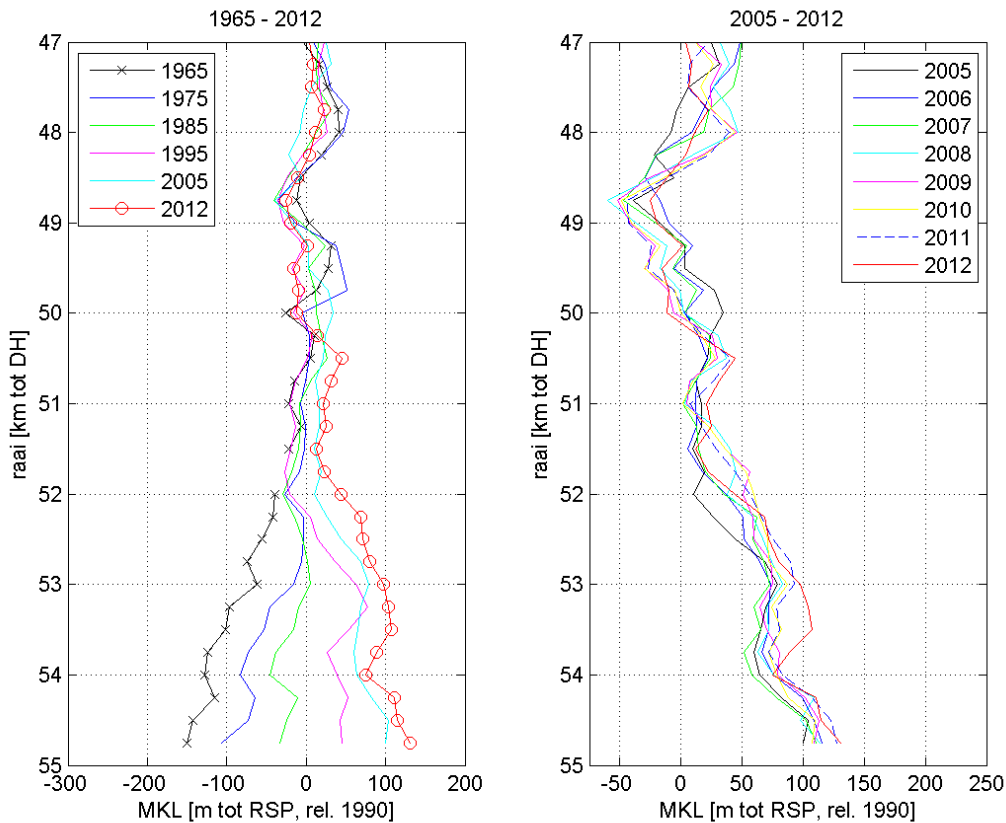
Figuur 3.4 Bodemverandering tussen 1965 en 1990 ten noorden van IJmuiden.



Figuur 3.5 Bodemverandering ten noorden van IJmuiden, tussen 1990 en 2000



Figuur 3.6 Bodemverandering tussen 2000 en 2010, ten noorden van IJmuiden



Figuur 3.7 Ontwikkelingen van de MKL tussen raai 4700 en 5500 over de periode 1965-2012, uit: Elias & Bruens (2013)

3.2 Kustverdedigingswerken en eerdere suppleties

3.2.1 Havenhoofden bij IJmuiden

Heemskerk en omgeving liggen in de invloedssfeer van de havenhoofden bij IJmuiden. De beknopte omschrijving hieronder is gebaseerd op Elias & Bruens (2013), voor meer details wordt naar het originele document verwezen.

De havenhoofden zijn aangelegd in de periode 1867-1876, toen reikten het zuidelijke en noordelijke havenhoofd respectievelijk 1300 m en 1050 m zeewaarts t.o.v. de kustlangse lijn waarop de Rijksstrandpalen zijn geplaatst. De havenhoofden zijn tussen 1962 en 1967 verlengd tot 2800 m (zuid) en 1850 m (noord).

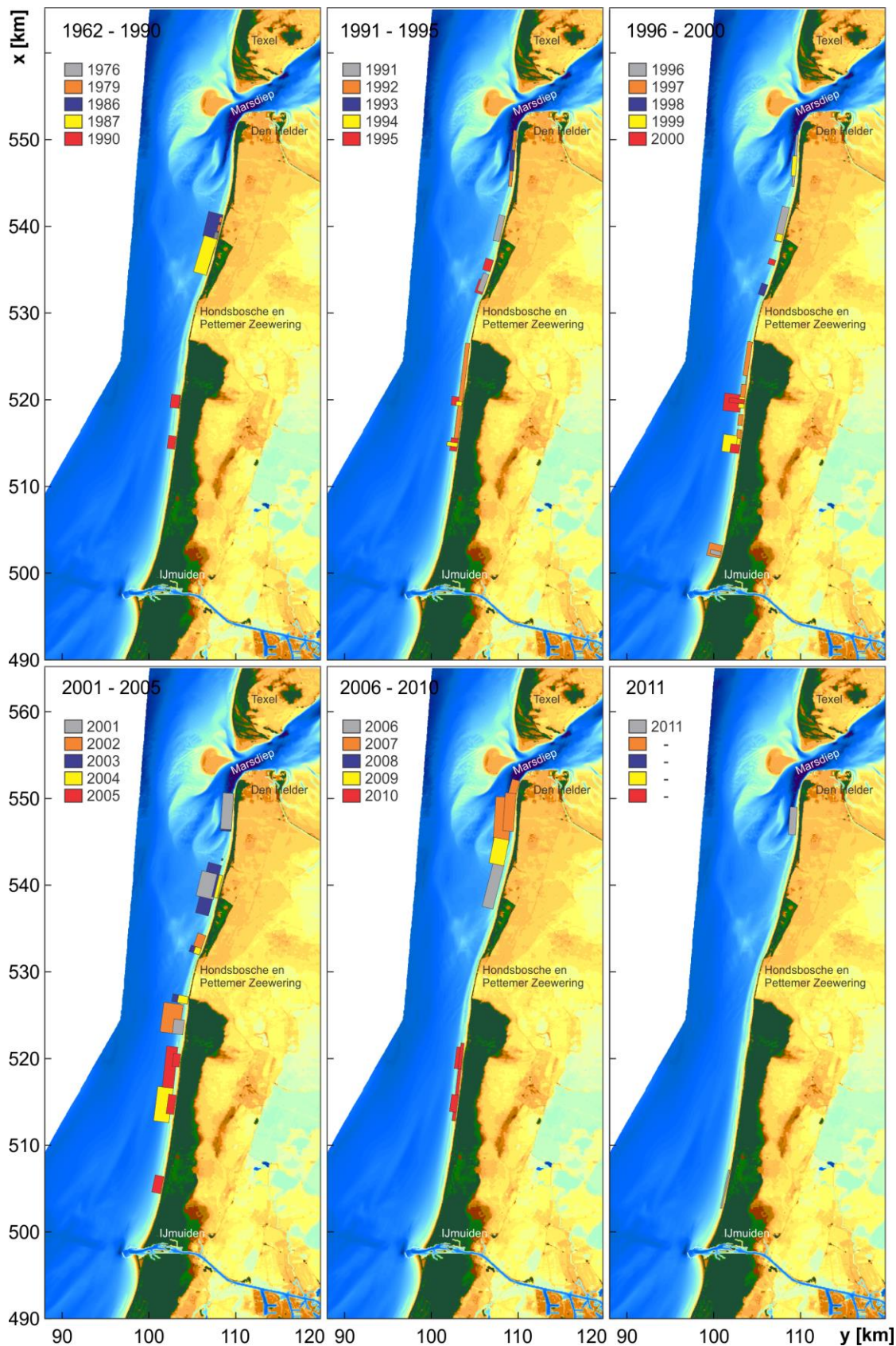
Het belangrijkste effect van de aanleg van de havenhoofden is het ontstaan van een gebied met sedimentatie en erosie ten zuiden en noorden ervan. Aan de noordkant strekt het sedimentatiegebied zich ca. 3 km uit, het aanliggende gebied met netto erosie is 5-6 km lang. Het effect van de verlenging van de havenhoofden was het grootste aan de zuidkant ervan.

3.2.2 Overzicht suppleties

Onderstaande tabel (Tabel 3.1) geeft een overzicht van de suppleties die uitgevoerd zijn tussen Egmond en IJmuiden.

Tabel 3.1 Overzicht uitgevoerde suppleties langs de Noord-Hollandse kust (kustvak 7) uit Elias & Bruens (2013)

locatie	jaar	Beginraai [km]	Eindraai [km]	Volume [1000 m ³]	Volume per m	Type
Egmond	1990	37	38.5	323	216	Strand
Egmond-Camperduin	1992	26.2	38.5	1473	120	Strand
Egmond	1992	37.65	38.6	69	73	Strand
Egmond	1994	37.85	38.2	106	304	Strand
Egmond	1995	37.25	38.75	306	204	Strand
Heemskerk	1996	50.43	51	180	313	Strand
Bergen-Egmond	1997	34.5	35.75	158	126	Strand
Egmond	1997	36.25	38.8	314	123	Strand
Heemskerk	1997	49.65	51.2	304	393	Strand
Egmond	1998	37.5	38.75	244	196	Strand
Egmond	1999	37.25	38.75	215	143	Strand
Egmond	1999	36.9	39.1	880	400	Onderwater
Egmond	2000	38	39	207	259	Strand
Egmond aan Zee	2004	36.2	40.2	1801	450	Onderwater
Egmond	2005	37	39.25	486	216	Strand
Castricum-Heemskerk	2005	46.5	48.5	520	260	Strand
Bergen - Egmond	2010	34	39	1714	343	Onderwater
Egmond	2011	37	39	400	200	Strand
Egmond	2011	39	40	361	361	Onderwater
Egmond	2011	31	34	1124	374	Onderwater
Egmond	2011	31.5	34	500	200	Strand
Bergen-Egmond zuid	2015	37	39	433	216	Strand
Bergen-Egmond noord	2015	32	34	605	302	Strand
Bergen-Egmond	2015	31	40	1930	214	Onderwater



Figuur 3.8 Overzicht locaties van de uitgevoerde suppleties over de periode 1962 – 2011 (2011 is in deze figuur niet volledig weergegeven). Bron: Elias & Bruens (2013)

3.2.3 Invloed van onderwatersuppleties op het bankgedrag

In de literatuur is veel geschreven over de invloed van onderwatersuppleties op het natuurlijke bankgedrag (e.g. Grunnet en Ruessink, 2004; Ojeda et al., 2008; De Sonnevile en Van der Spek, 2012; Van der Spek en Elias, 2013). Alle studies geven aan dat de suppleties het cyclische bankgedrag beïnvloeden.

Vaak beschreven effecten zijn het onderbreken of blokkeren van de zeewaartse migratie van natuurlijke zandbanken, het veroorzaken van 'bar-switching' – het verbinden van een buitenste bank met een binnenste bank – en het stabiliseren van de buitenste bank. Als belangrijke bepalende factor wordt vaak het volume van de suppletie genoemd: bij erg grote volumes blijft de suppletie langer aanwezig en blokkeert de zeewaartse migratie van de banken volledig. Daarnaast zijn de mogelijkheid om met bestaande banken een verbinding aan te gaan en de kustlangse lengte van de suppletie van belang.

Bij Heemskerk zijn niet eerder onderwatersuppleties uitgevoerd, maar langs de rest van de Hollandse kust wel. Een deel van deze suppleties is in de hierboven genoemde literatuur beschreven (De Sonnevile and Van der Spek, 2012; Van der Spek and Elias, 2013). Ook deze suppleties hebben een zekere, hoewel steeds weer andere, invloed gehad op het natuurlijke bankgedrag. Een uitgebreidere omschrijving van de ontwikkeling van de onderwatersuppleties langs de Hollandse kust is te vinden in Elias & Bruens (2013; paragraaf 3.3.2).

4 Ontwikkeling van de suppletie

4.1 Morfologische ontwikkeling

4.1.1 Bankgedrag

In de bathymetrische kaarten is de ontwikkeling van de morfologie in het gebied vanaf de aanleg van de suppletie goed te zien (Figuur 4.1).

Net voordat de aanleg begon, in februari 2011, is in het zuiden de buitenste bank al aan het uitdempen, terwijl die in het noorden nog aanwezig is. Het uitdempen is ten zuiden van het suppletiegebied begonnen en propageert langs de kust in noordelijke richting. Ten tijde van aanleg is de bank ter hoogte van het zuidelijke deel van de suppletie al volledig uitgedempt, terwijl hij nog (grotendeels) aanwezig is ter hoogte van het noordelijk deel.

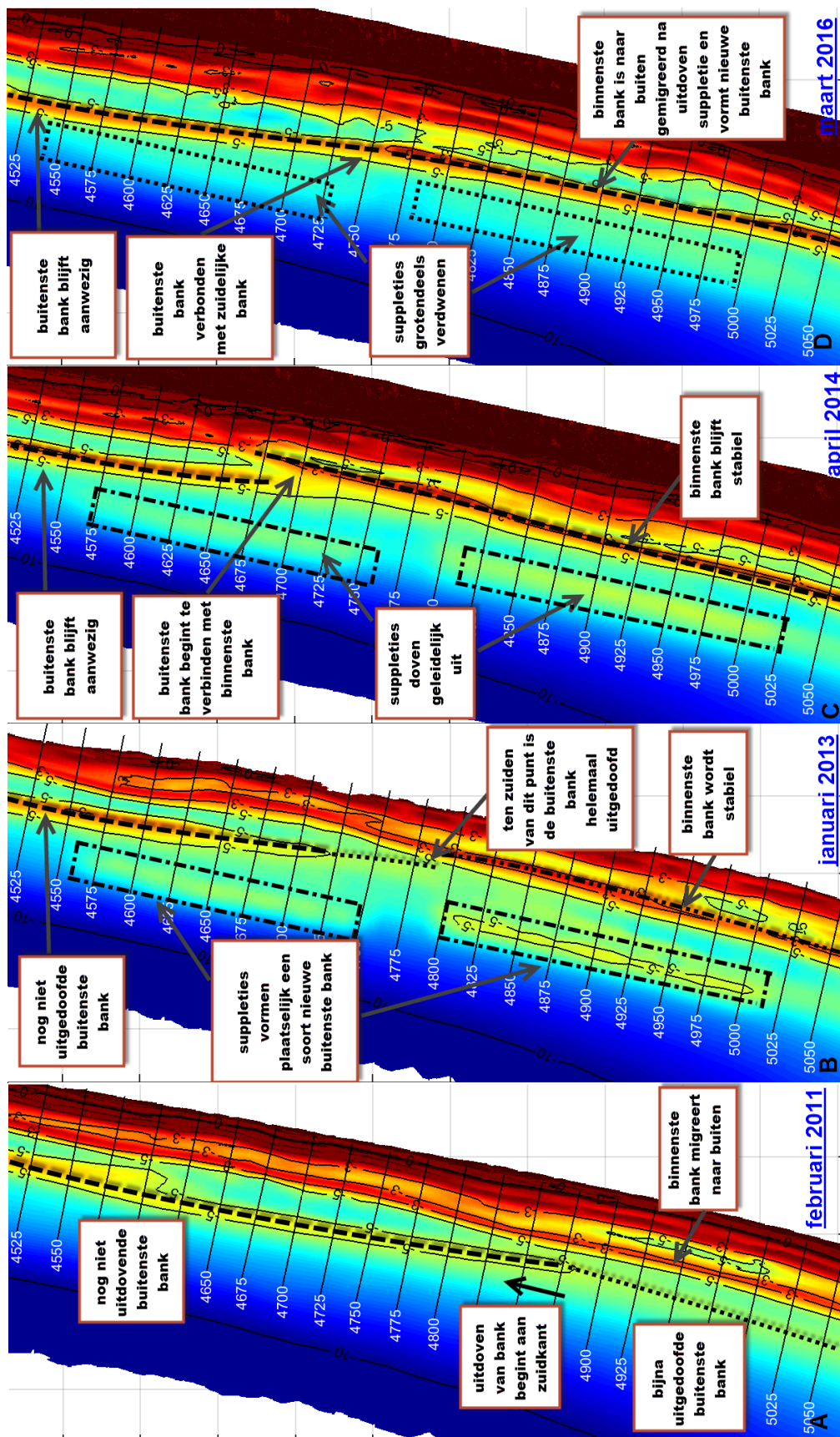
In het zuidelijk deel schoof de binnenste bank al zeewaarts nadat de buitenste bank was uitgedempt. Deze migratie is gestopt na aanleg van de suppletie (Figuur 4.1 B), dit deel van de suppletie had ongeveer de dimensies van de buitenste bank vlak voor hij uitdempte. De suppletie nam vervolgens in volume af, als een van nature uitdempende bank (Figuur 4.1 C), waarna de binnenste bank weer zeewaarts kon migreren. Nadat het suppletielichaam grotendeels was uitgedempt, kon de binnenste bank in de richting van de positie van de uitgedempte buitenste bank migreren.

De ontwikkeling van het noordelijk deel van de suppletie is geheel anders verlopen. Na aanleg is de nog aanwezige buitenste bank niet verder gaan uitdempen, maar juist iets groter geworden (Figuur 4.1 B). Ook de zeewaartse migratie is gestopt en omgeslagen in een (tijdelijke) landwaartse verplaatsing. Ook na het verder afnemen van het volume van de suppletie dempt de buitenste bank niet uit (Figuur 4.1 C), maar begint zich te hechten aan de zuidelijke bank. Nadat de suppletie uiteindelijk grotendeels is uitgedempt, migreert de bank weer (iets) verder zeewaarts, nu verbonden met de nieuwe zuidelijke buitenste bank (Figuur 4.1 D).

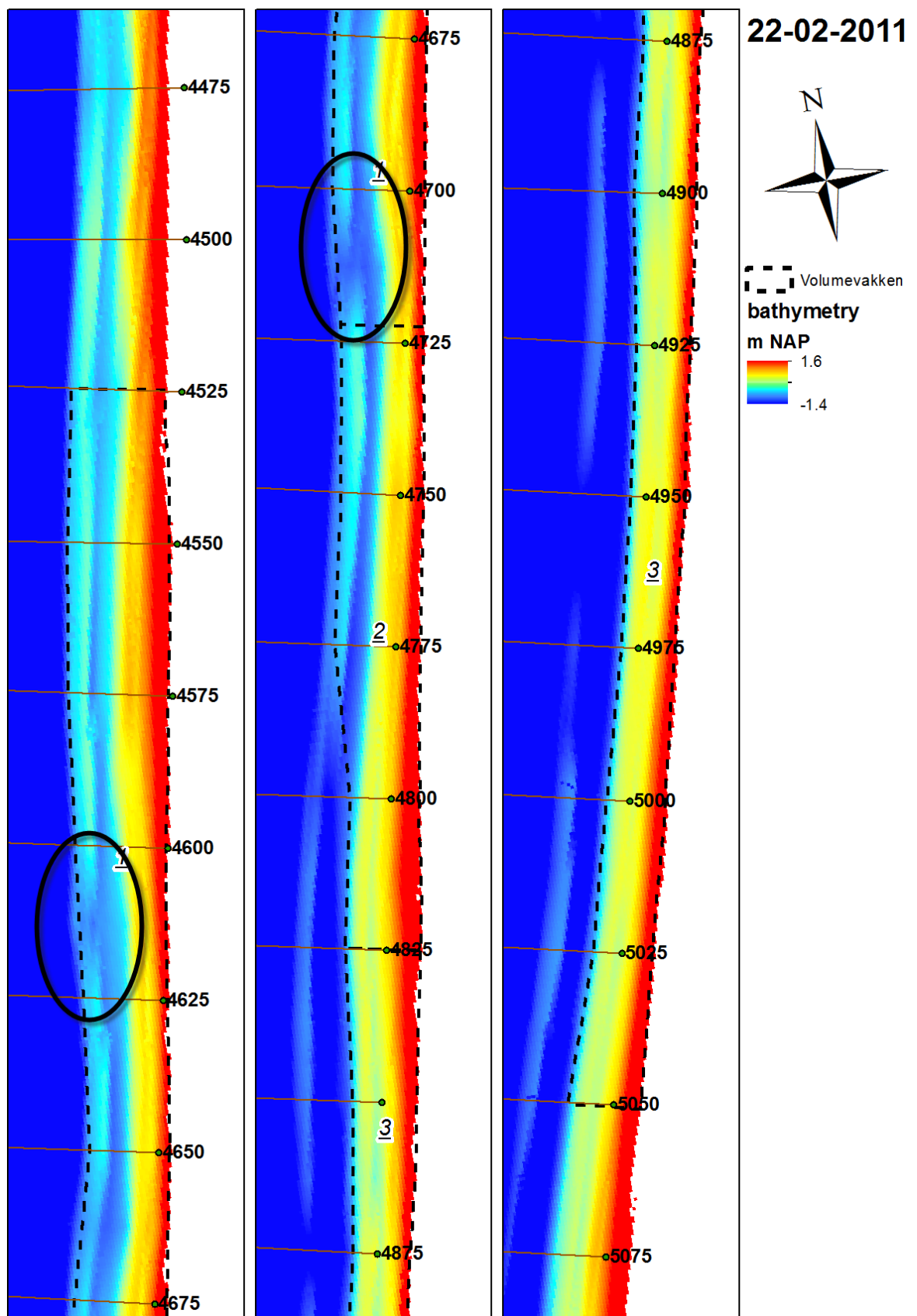
4.1.2 Morfologie strand

Op de bathymetrische detailkaarten van het strand zijn morfologische kenmerken goed te zien (Figuur 4.2 en Figuur 4.3 voor februari 2011 en maart 2016, de overige tijdstippen zijn te vinden in Bijlage C.). Hoewel er verandering te zien is, kan geen duidelijke samenhang met de aanleg en ontwikkeling van de suppletie worden gevonden. In het noorden van vak 1 zijn bijvoorbeeld net zoveel ripchannels bij elkaar als in vak 2. In het noordelijke deel (noorden van vak 1 en ten noorden daarvan) lijkt het strand wat meer te zijn uitgebreid dan het zuidelijke.

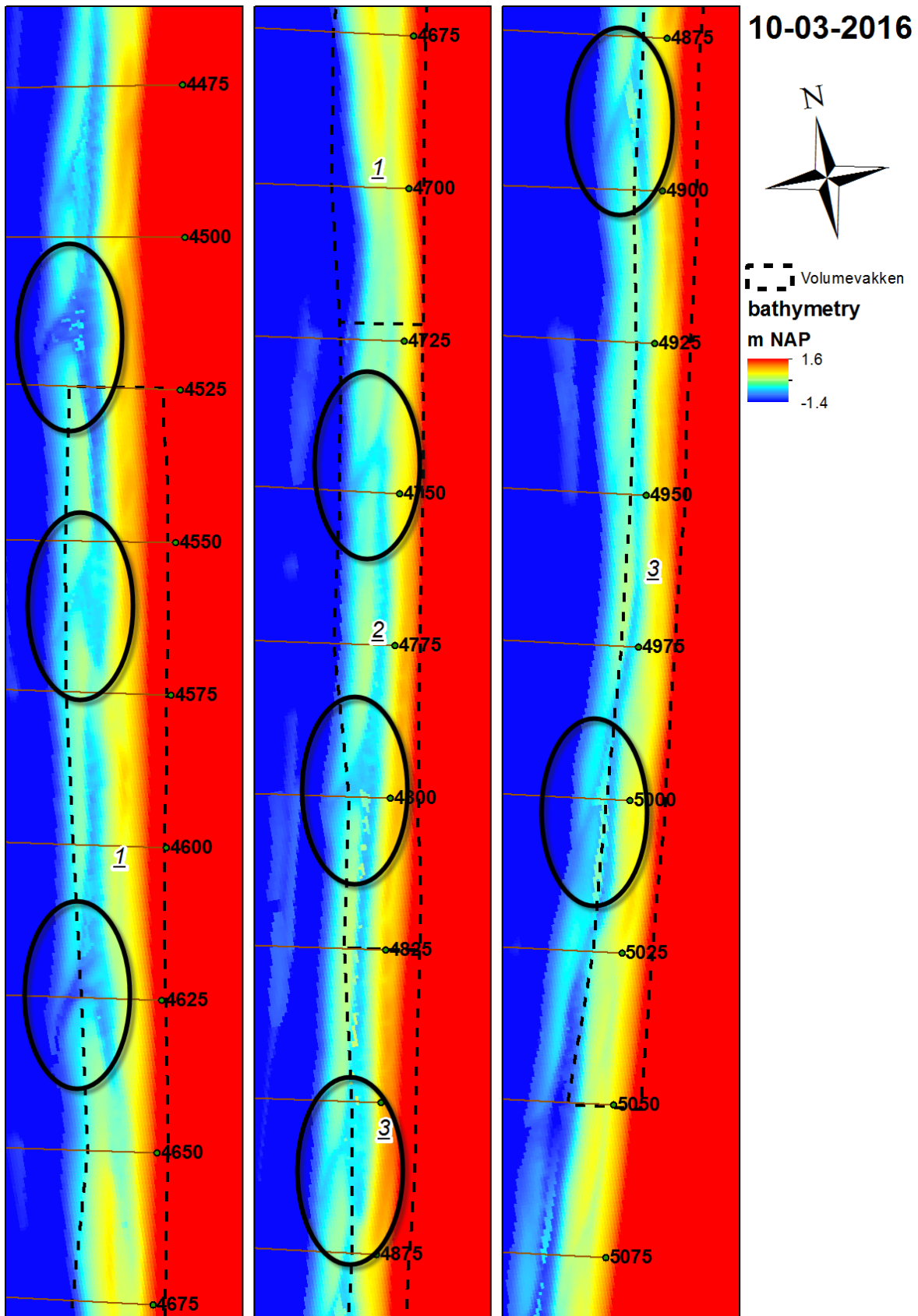
Ripchannels (in de figuren aangeven met ellipsen), lijken niet vaker voor te komen dan langs andere delen van dit stuk kust ter hoogte van de suppletie. De structuren zijn in sommige bathymetrische metingen (verdichte JARKUS en SHORE) duidelijker te zien dan in andere en variëren sterk in aantal.



Figuur 4.1 Ontwikkeling banken tussen februari 2011 en maart 2016



Figuur 4.2 Detailkaart van het strand op 22 februari 2011, ellipsen geven aanwezigheid van ripchannels weer (stippellijnen geven volumevakken weer, suppleties liggen buiten dit deel van de kaart)



Figuur 4.3 Detailkaart van het strand op 10 maart 2016, ellipsen geven aanwezigheid van ripchannels weer (stippellijnen geven volumevakken weer, suppleties liggen buiten dit deel van de kaart)

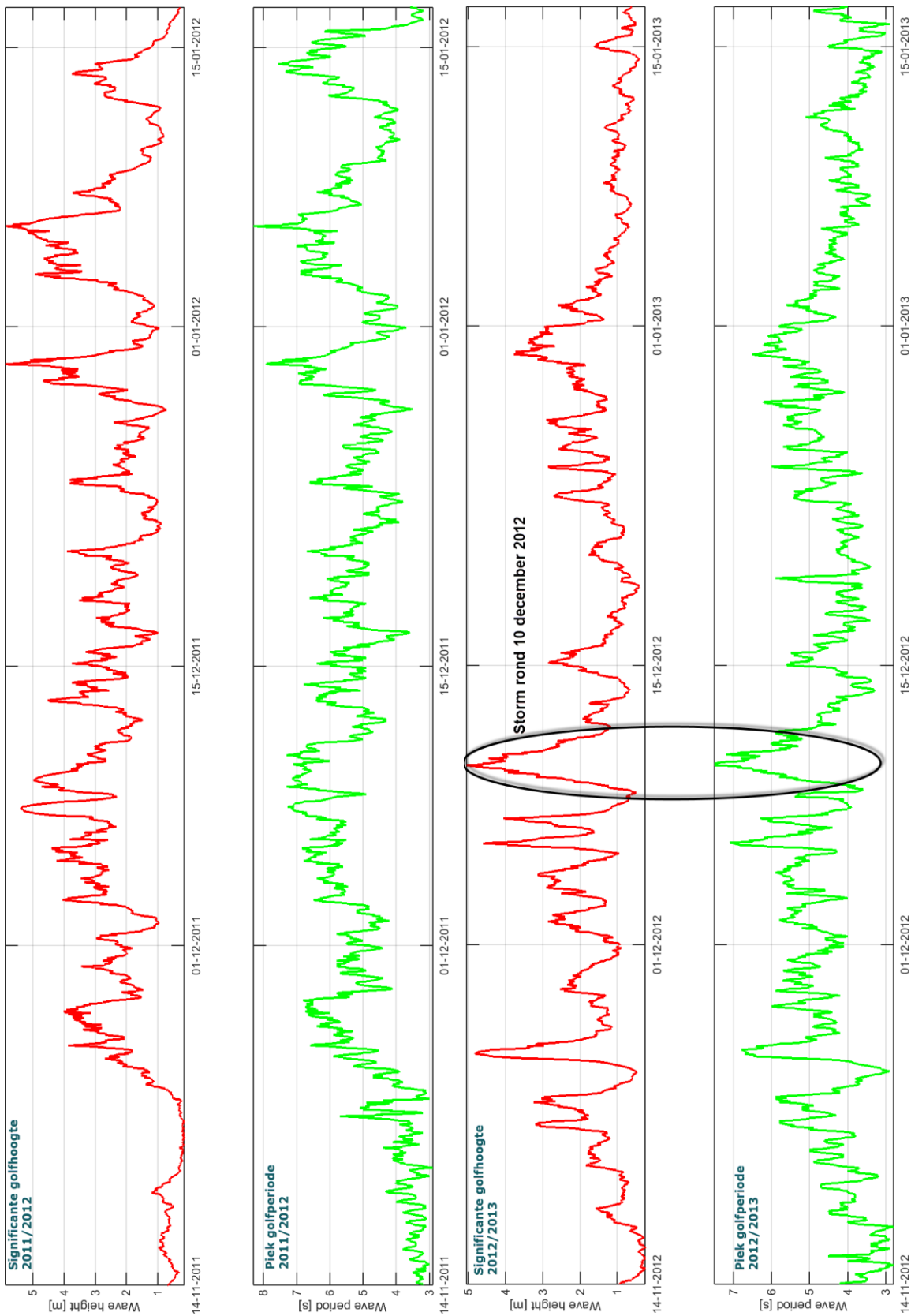
4.1.3 Effecten storm december 2012

De meting in januari 2013 is door SHORE uitgevoerd om de effecten van de kort daarvoor opgetreden storm te kunnen analyseren. De storm vond plaats rond 10 december, maar door te onstuimige weer in de periode direct na de storm kon pas in januari worden gemeten. De laatste meting die vóór de storm was uitgevoerd is de meting van SHORE van november 2012.

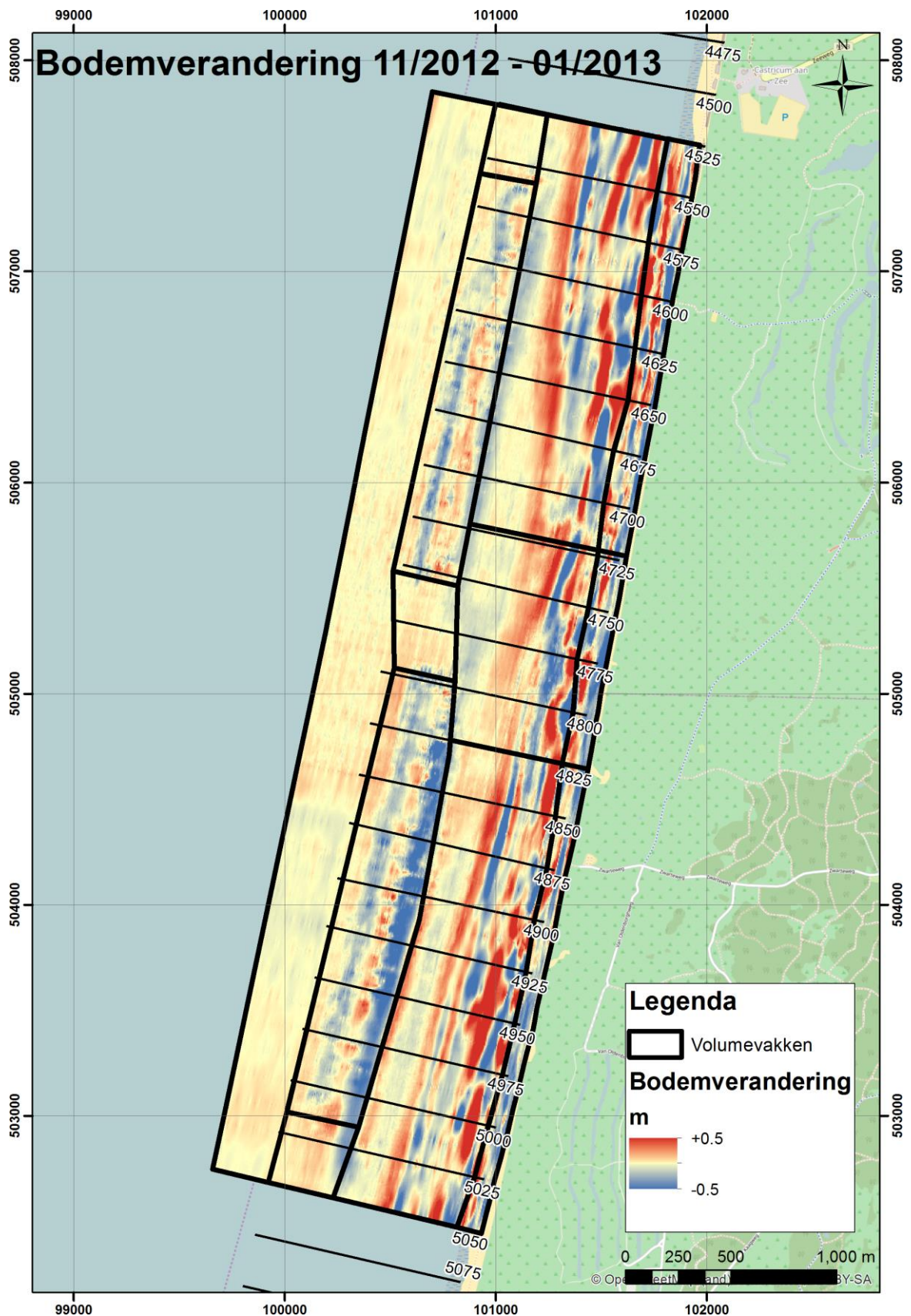
De golfcondities voor de periode tussen deze metingen zijn te zien in Figuur 4.4, waarin ook de condities voor dezelfde periode 1 jaar eerder zijn getoond. De significante golfhoogte en piekperiode tijdens de storm van 10 december 2012 waren vrij hoog, met een maximum van 5,05 meter en 7,5 seconden. Gemiddeld genomen over de hele periode tussen de metingen waren de golfcondities echter niet erg hoog, 1,5 m significante golfhoogte en 4,5 s piekperiode. Ter vergelijking: in dezelfde periode 1 jaar eerder was de maximale significante golfhoogte 5,9 m en maximale piek periode 8,3 s, gemiddelde waarden waren 2,1 m en 5,1 s.

Het verschil tussen de laatste meting vóór en de eerste meting ná de storm is te zien in Figuur 4.5. De veranderingen die rondom de suppletiedelen zichtbaar zijn, zijn relatief klein ten opzichte van de veranderingen dicht bij de kust. De suppletiedelen tonen erosie aan de land- en zeewaartse zijdes en sedimentatie daartussen. De patronen dicht bij de kust laten een afwisseling zien van erosie en sedimentatie, zonder duidelijk patroon.

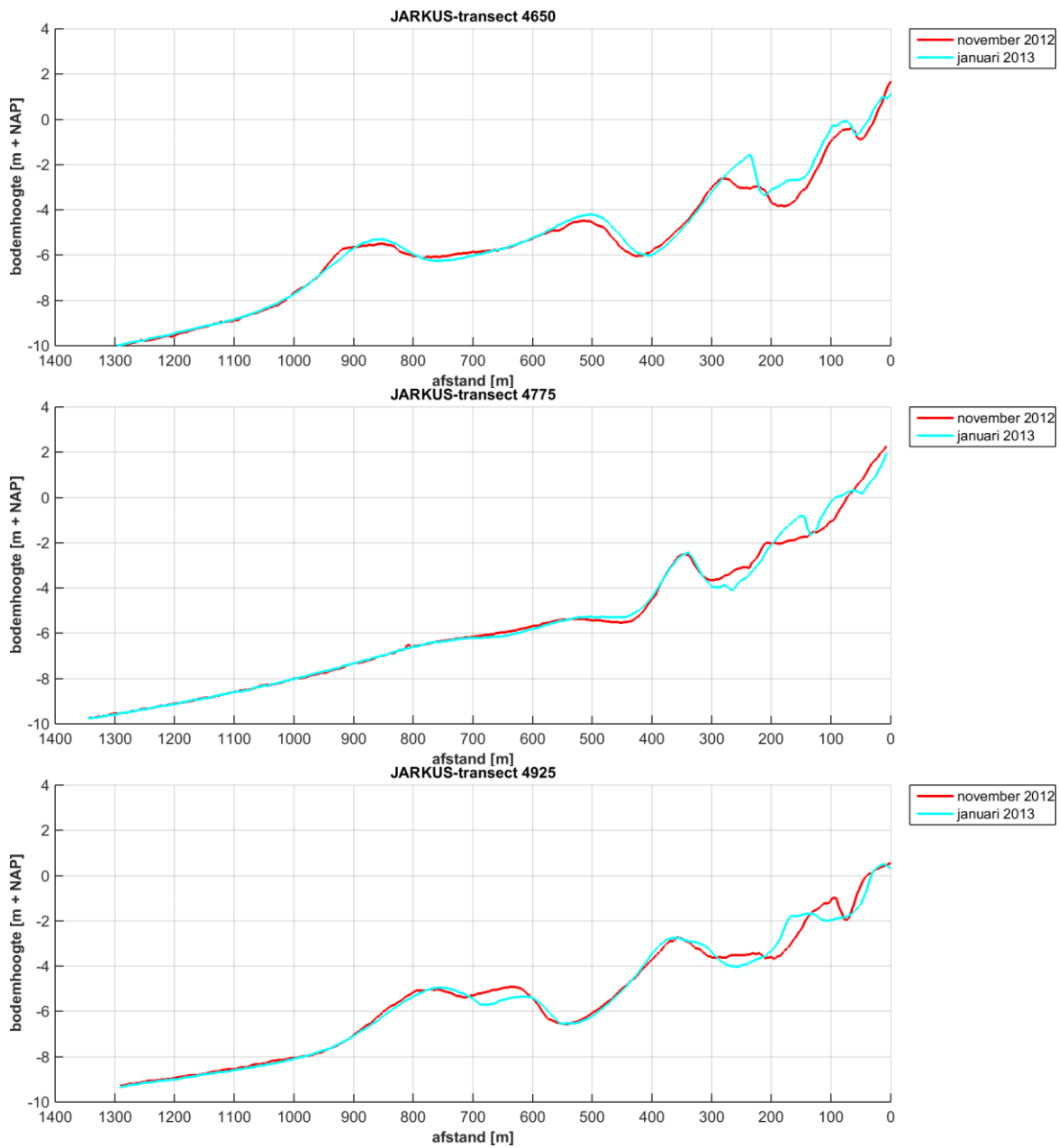
In dwarsprofielen is de ontwikkeling in detail te zien (Figuur 4.6). De veranderingen rondom de suppletiedelen en in het gat (raai 4775) zijn slechts zeer klein. De veranderingen dicht bij de kust hebben voornamelijk bij de binnenste bank en rondom de brandingszone plaatsgevonden. De binnenste bank is hoger en duidelijker geworden, vooral in de noordelijke profielen. Rondom NAP 0 m is soms uitbouw van het profiel te zien en soms terugschrijding.



Figuur 4.4 Golfcondities gemeten door de meetboei 'IJmuiden munitiestortplaats' voor de periode 14-11-2012 t/m 17-01-2013 (rechter panel) en dezelfde periode 1 jaar eerder (linker panel)



Figuur 4.5 Vershil in bodemhoogte tussen de laatste meting vóór de storm en de eerste meting daarna (beide metingen uitgevoerd door SHORE)



Figuur 4.6 Verandering van het kustprofiel in de periode dat de storm heeft plaatsgevonden, ter hoogte van JARKUS raaien 4650, 4775 en 4925 op basis van SHORE metingen van november 2012 en januari 2013

4.2 Detailontwikkelingen op basis van de dwarsprofielen

In dwarsprofielen is het bankgedrag in detail te zien (Figuur 4.7 en Figuur 4.9), in een langsprofiel het gedrag van de suppletiekoppen en het 'gat' dat ertussen ligt (Figuur 4.10). Voor de ligging van de profielen zie Figuur 4.11. De getoonde raaien geven een duidelijk en representatief beeld van de ontwikkelingen weer.

Profiel 4650 doorsnijdt het noordelijke deel van de suppletie. In timestacks van de halfjaarlijkse verdichte JARKUS-metingen (Figuur 4.7) is goed te zien dat de oorspronkelijke buitenste bank aanwezig blijft, maar ca. 100 m landwaarts verplaatst tussen februari 2011 en januari 2013. Deze raai ligt net ten noorden van het bifurcatiepunt waar de buitenste bank verbinding maakt met de binnenste bank. Iets noordelijker, ter hoogte van raai 4575 (Figuur 4.8) blijft de buitenste bank wel op ongeveer dezelfde positie.

De suppletie is in deze periode aangelegd en vormt een soort nieuwe buitenste bank. Na voltooiing in november 2012 begint de suppletie uit te dempen, vanaf dit moment blijft de oorspronkelijke buitenste bank stabiel qua positie. Vanaf november 2014 migreert deze bank weer zeewaarts om in maart 2016 weer vrijwel op zijn oude positie te liggen. De suppletie is in deze periode vrijwel helemaal uitgedempt en nog maar nauwelijks in het profiel te zien.

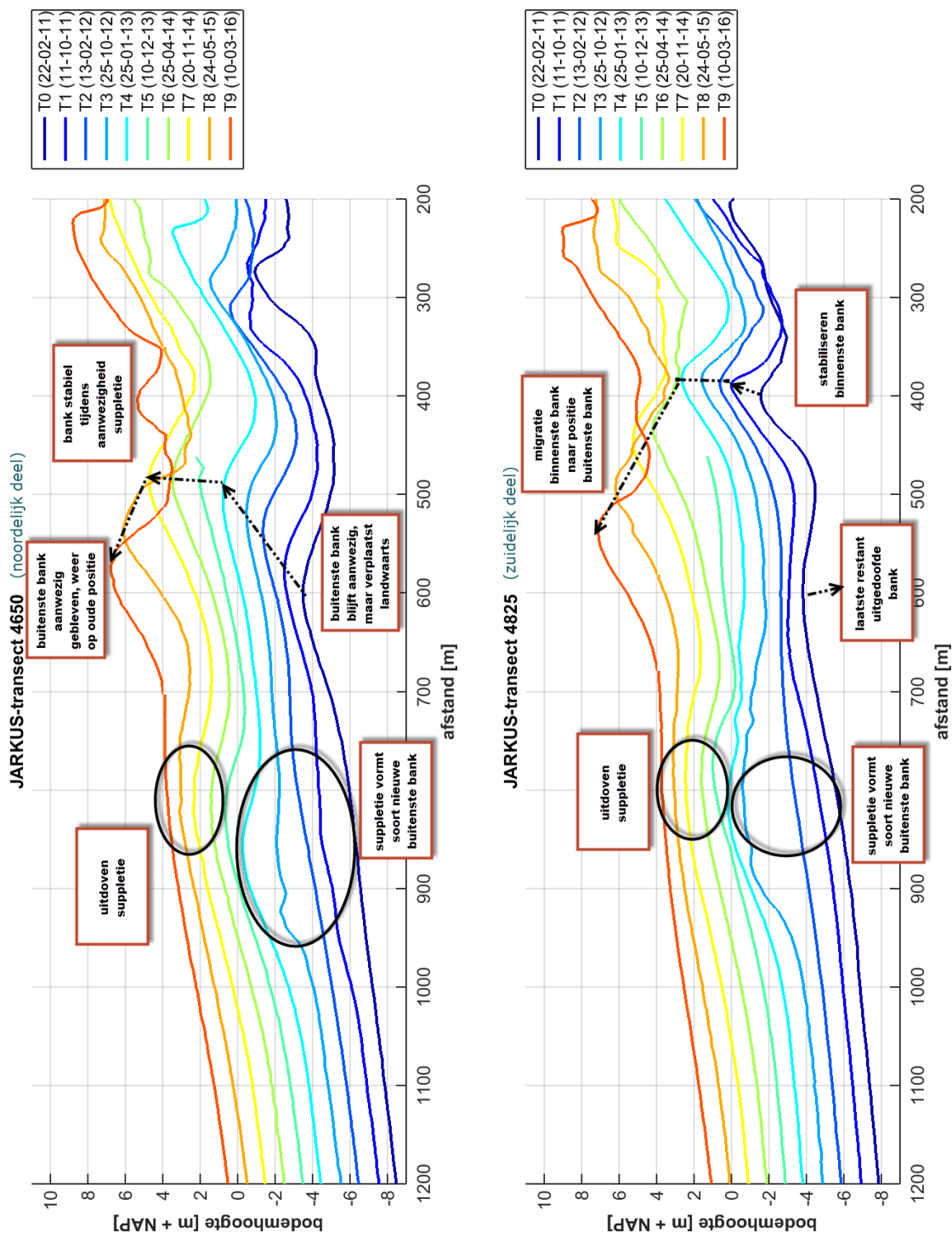
Aan de hand van de jaarlijkse JARKUS transecten is de ontwikkeling op iets langere termijn goed te zien (Figuur 4.9). De buitenste bank was, ook in het noorden, al duidelijk begonnen om uit te dempen voordat de suppletie is aangelegd. In dit figuur is te zien dat de landwaartse verplaatsing is samengegaan met een groei van de bank, van ca. NAP -4,5 m naar ca. NAP -3,5 m. Dit gebeurde al tijdens aanleg van de suppletie. Als de buitenste bank in 2016 weer op zijn oude plaats ligt, is hij hoger dan in 2008, met de top op ca. NAP -3,2 m.

Het zuidelijke deel van de suppletie is te zien in profiel 4825. In de T0 meting (februari 2011) is nog het laatste restant van de uitgedempte buitenste bank te zien (Figuur 4.7). De suppletie wordt net zeewaarts hiervan aangelegd. De binnenste bank beweegt slechts een tiental meters landwaarts tijdens aanleg van de suppletie en blijft daar dan stabiel liggen. Tussen januari 2013 en april 2014 begint de binnenste bank zeer snel zeewaarts te migreren, ca. 150 m tot maart 2016. De bank ligt dan nog ca. 50 m landwaarts van de laatste positie van de buitenste bank in 2011. De binnenste bank kon zeewaarts bewegen omdat de suppletie uitdempte.

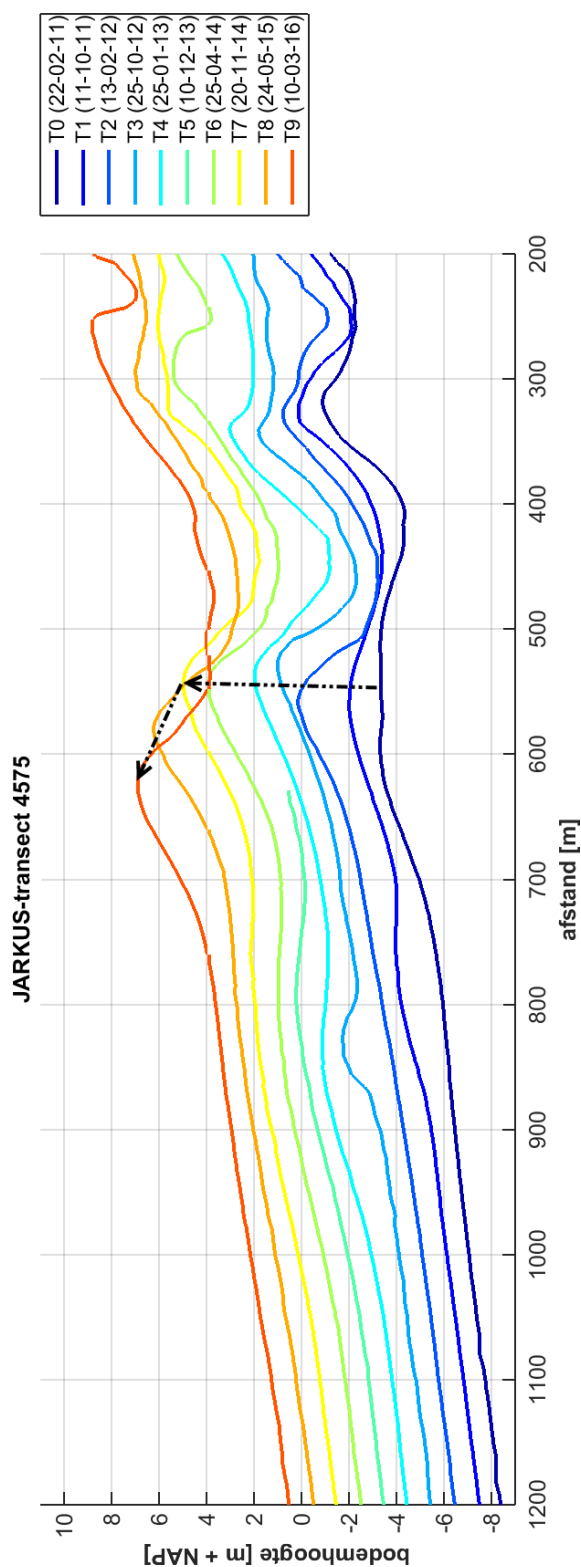
Voor het zuidelijk deel is in jaarlijkse JARKUS-profielen vanaf 2008 (Figuur 4.9) te zien hoe de buitenste bank is uitgedempt. Tijdens het uitdempen is de bank nauwelijks verplaatst. De binnenste bank migreerde zeewaarts vanaf 2008, wat stagneerde door de aanwezigheid van de suppletie. De bank die door de suppletie is ontstaan had uiteindelijk (2013 lijn) afmetingen vergelijkbaar met de buitenste bank net voor aanleg (2011 lijn), maar lag verder zeewaarts. De nieuwe buitenste bank heeft ca. dezelfde hoogte gekregen als die in het noorden, met de top rond NAP -3 m.

De koppen van de suppleties gedragen zich onderling vergelijkbaar (Figuur 4.10). Direct na aanleg hebben de suppletiekoppen hun steilste helling, waarbij de zuidelijke suppletie een steilere helling heeft door de hogere aanlegdiepte van NAP -5 m. Na aanleg worden de hellingen geleidelijk flauwer als de suppletielichamen uitdempen. In het gat tussen de suppletielichamen heeft al tijdens aanleg enige sedimentatie plaatsgevonden. In november 2014 is het gat op zijn ondiepst, daarna neemt de diepte weer iets toe. Het gat ligt in maar

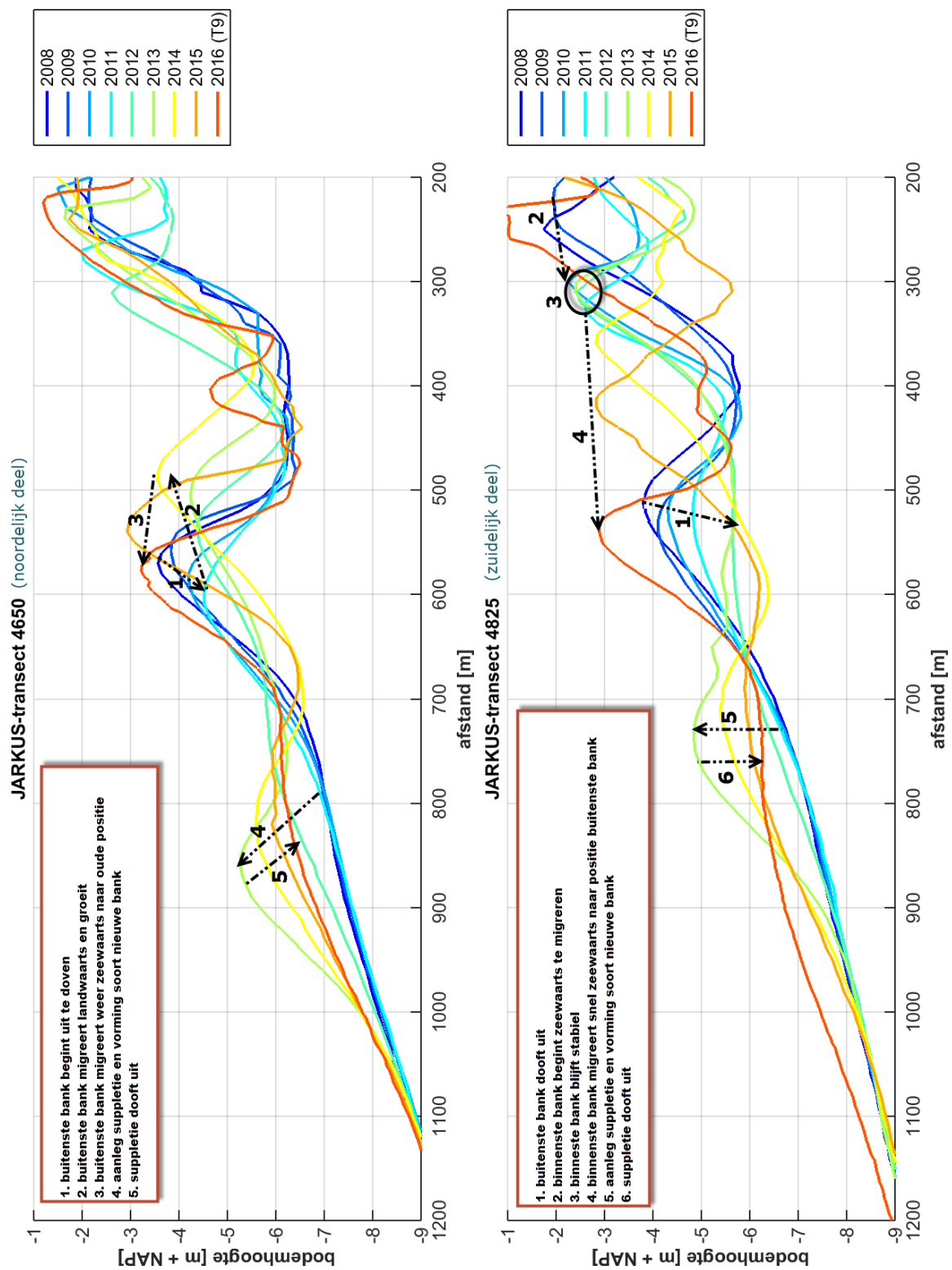
2016 iets dieper dan de gesuppleerde delen, hoewel het verschil met de noordelijke suppletie zeer gering is.



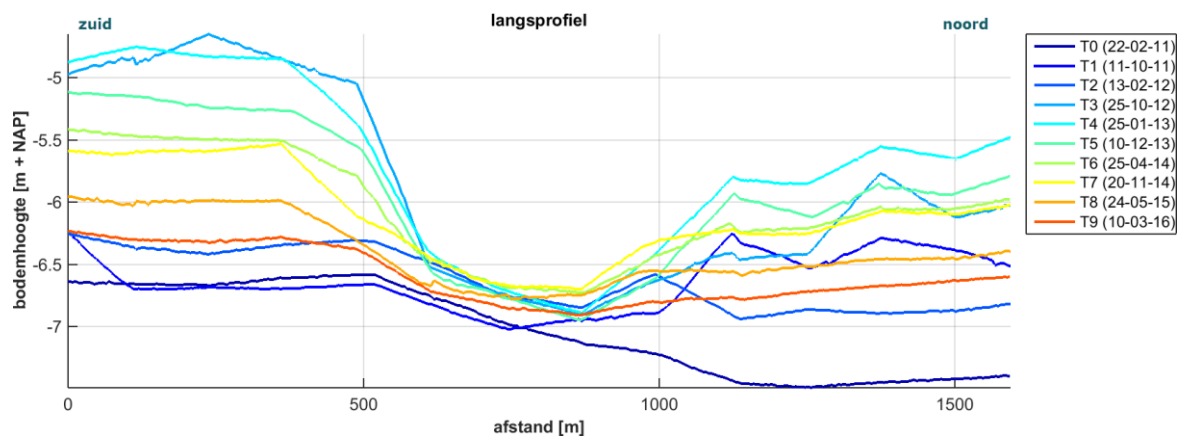
Figuur 4.7 Time stacks van de ontwikkeling van kustprofiel in noordelijke deel (raai 4650) en zuidelijk deel (raai 4825) vanaf februari 2011, op basis van verdichte JARKUS grids. De verticale schaal is van toepassing op de T0 meting, de andere metingen hebben incrementeel een offset van 1 m gekregen om laterale patronen inzichtelijker te maken



Figuur 4.8 Time stacks van de ontwikkeling van kustprofiel in het noordelijke deel (raai 4575) vanaf februari 2011, op basis van verdichte JARKUS grids. De verticale schaal is van toepassing op de T0 meting, de andere metingen hebben incrementeel een offset van 1 m gekregen om laterale patronen inzichtelijker te maken



Figuur 4.9 Ontwikkeling van kustprofiel in noordelijke deel (raai 4650) en zuidelijk deel (raai 4825) vanaf 2008, op basis van JARKUS transecten en verdichte JARKUS grids (alleen 2016).



Figuur 4.10 Langsprofiel over suppletiedelen heen, op basis van verdichte JARKUS grids.

4.3 Volumina

De volumeontwikkeling van de gesuppleerde vakken is berekend op basis van de verdichte JARKUS grids voor 12 deelgebieden (Figuur 4.11). De grenzen van de strandvakken zijn gebaseerd op de laagwaterlijn en de duinvoet (gekozen op NAP +3 m) van 2011 (T0 meting). Voor het onderwaterdeel zijn de grenzen gekozen o.b.v. de hoogteverschilkaarten om het gesuppleerde gedeelte te omvatten.

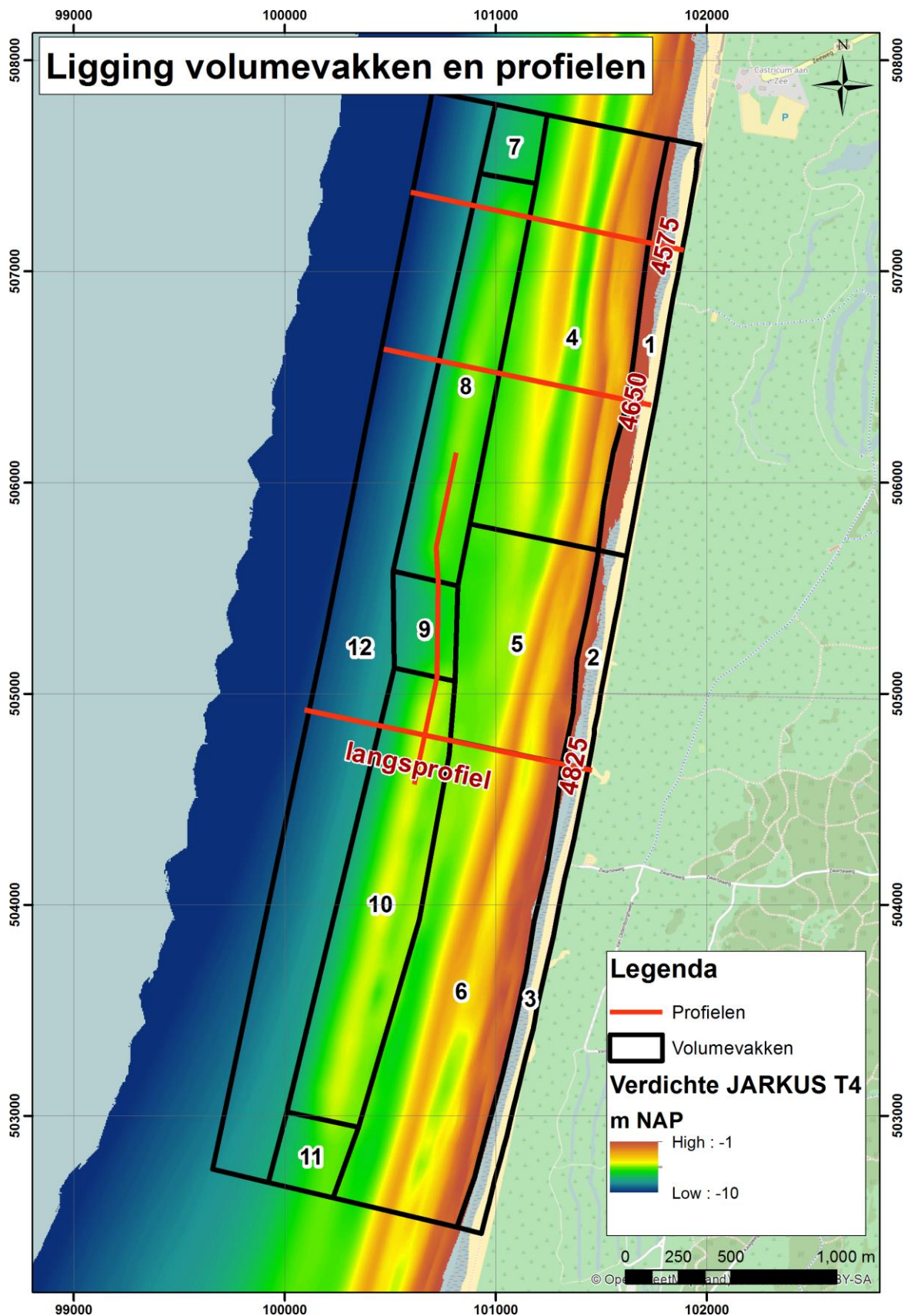
De ontwikkeling in de tijd van de volumes van de afzonderlijke vakken is te zien in drie grafieken (Figuur 4.12 t/m Figuur 4.14), een overzicht van de netto veranderingen tussen 2011 en 2016 is te zien in Figuur 4.15.

In de volumeverandering van de suppletievakken is de gefaseerde aanleg terug te zien (Figuur 4.12). Het maximale volume t.o.v. T0 in het noordelijk gebied is 572 duizend m³, dat van het zuidelijke 766 duizend m³. Dit neemt daarna vrij lineair af tot 306 duizend m³ (noord) en 285 duizend m³ (zuid) in 2016 (de totale afname is dus 746 duizend m³). De relatieve afname in het noorden is 47%, in het zuiden 63%. Gemiddeld nam het noordelijk deel met 6.600 m³/maand af, het zuidelijke deel met 11.285 m³/maand.

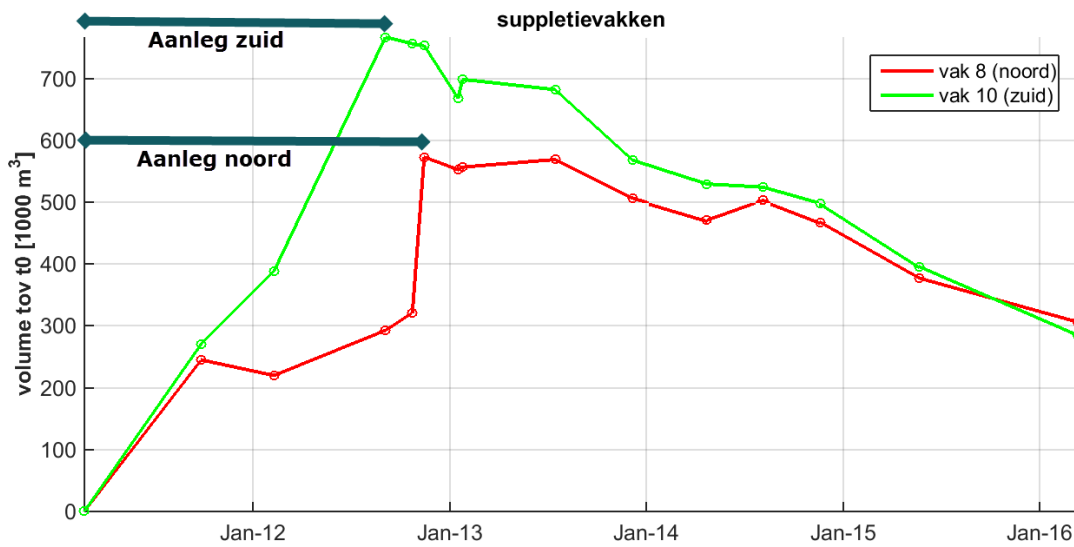
De strandvakken (1 t/m 3) laten alle drie een ander patroon zien (Figuur 4.13). Het noordelijke vak (vak 1) neemt tot januari 2013 nog af in volume, maar neemt daarna flink toe. In 2016 is het volume in dit vak ca. 60 duizend m³ groter dan in 2011. Het middelste vak (vak 2) neemt in het begin af in volume, wat pas in 2014 omslaat in een licht positieve trend. Netto is dit vak 40 duizend m³ in volume afgenomen. Dit is wel een relatief klein vak, waardoor de volumes gevoeliger zijn voor lokale veranderingen (zoals ripchannels). Het is daarom moeilijk om deze erosie geheel te relateren aan het gat in de suppletie. Het zuidelijke deel, vak 3, neemt al vanaf 2011 toe in volume om in 2013 weer af te nemen. Netto is het volume in 2016 t.o.v. 2011 weinig toegenomen (ca. 7000 m³).

Van de overige vakken (Figuur 4.14) zijn de vakken tussen de suppleties en het strand (vakken 4 t/m 6) het meest in volume toegenomen. Samen is in deze vakken in 2016 het volume met 598 duizend m³ toegenomen t.o.v. 2011. Dit is 45% van het maximale volume in de suppletievakken (572 duizend + 766 duizend = 1338 duizend m³), en vormt 80% van het volume dat uit de suppletievakken is verdwenen. Gemiddeld per kustlangse meter is de verandering van de drie vakken vergelijkbaar: 100 m³/m in vak 4, 145 m³/m in vak 5 en 113 m³/m in vak 6. Het vak rondom het gat tussen de suppleties is dus per kustlangse meter het meeste in volume toegenomen.

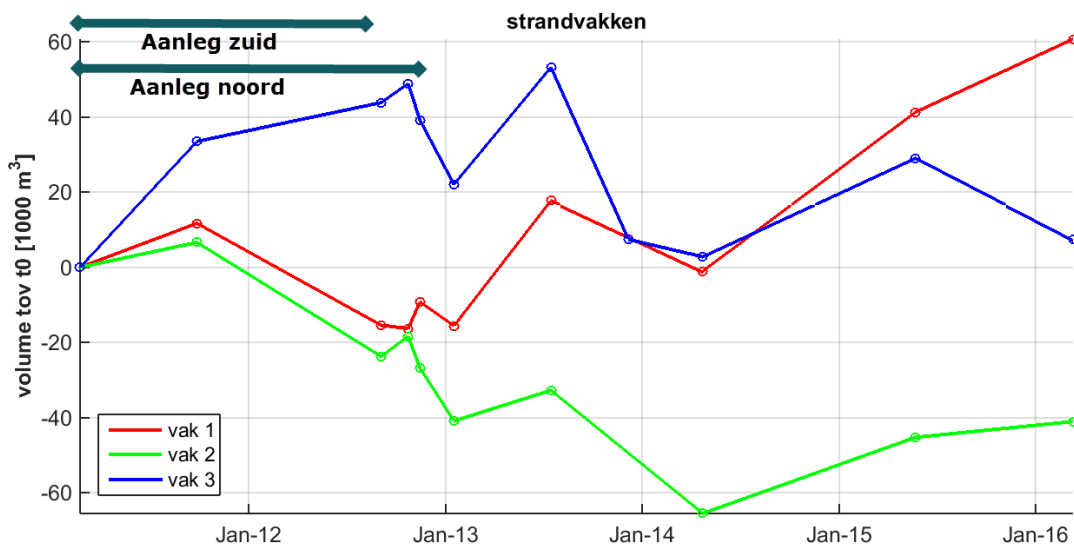
Het vak net ten noorden van het noordelijke deel (vak 7), het gat tussen de suppleties (vak 9) en het vak net ten zuiden van het zuidelijke deel (vak 11) zijn allemaal een klein beetje in volume toegenomen. Het offshore gedeelte (vak 12) is voor het grootste gedeelte stabiel in volume, maar is netto wat toegenomen door een klein beetje 'uitzakken' van de suppletie.



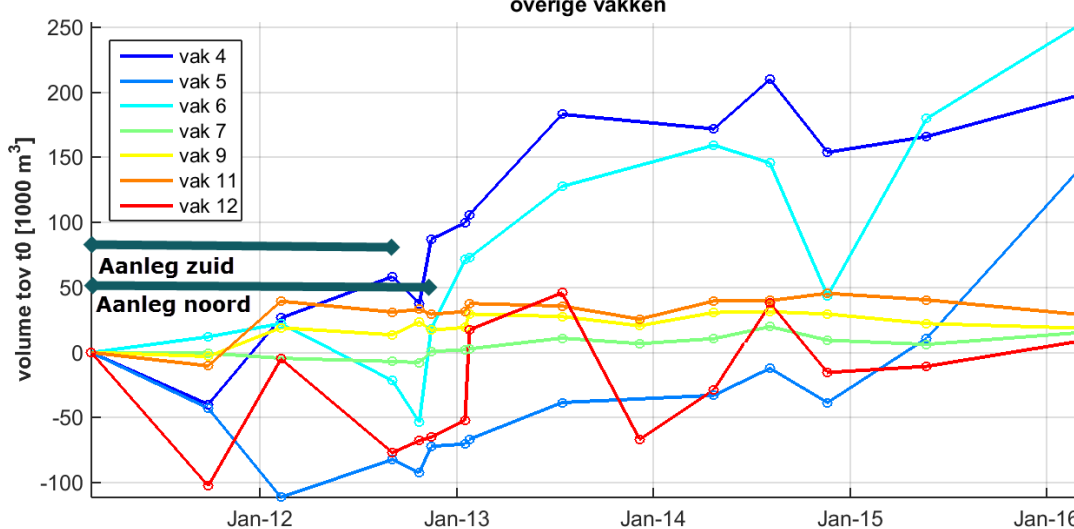
Figuur 4.11 Ligging deelgebieden volumeanalyse en profielen



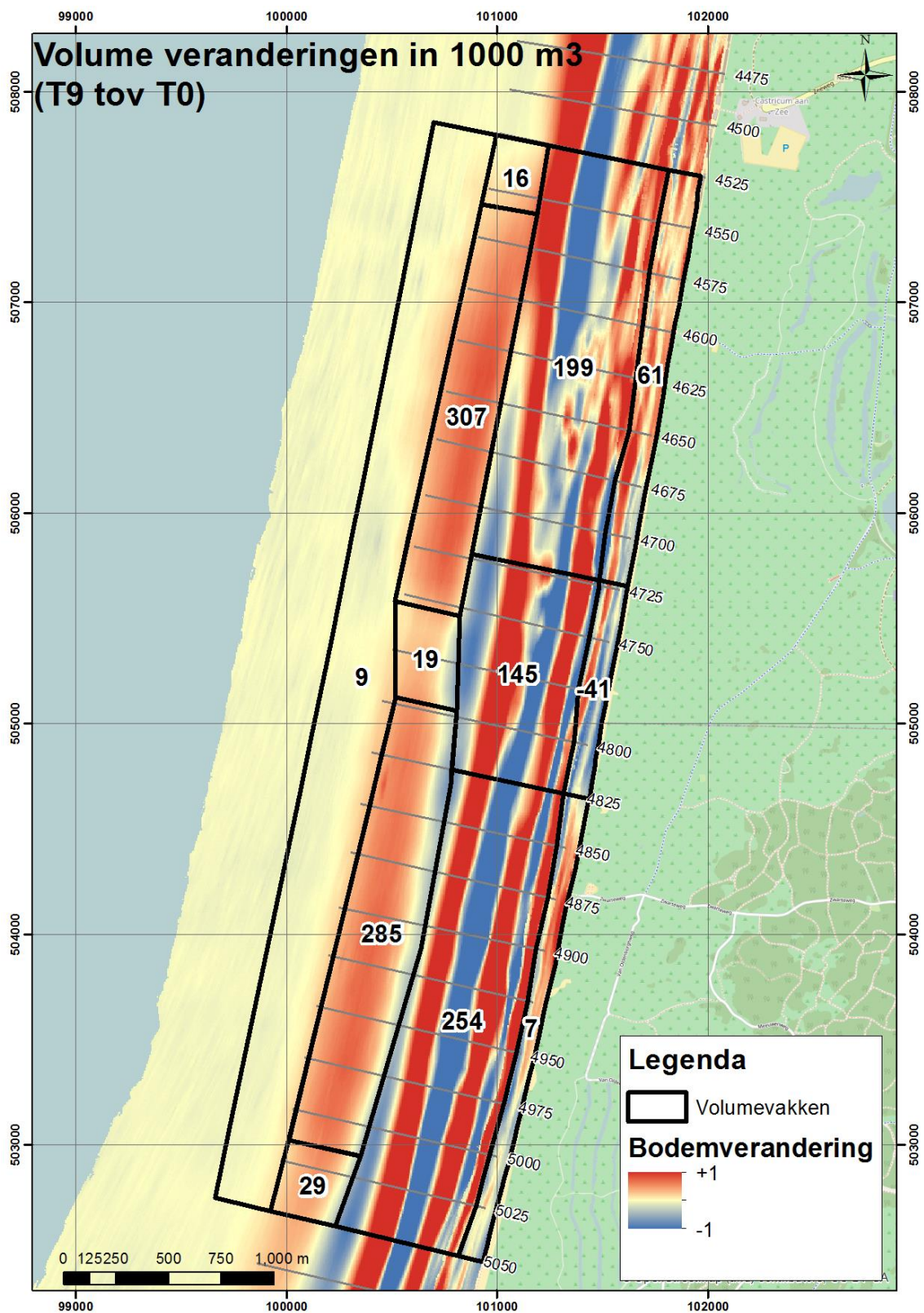
Figuur 4.12 Ontwikkeling volumes in suppletievakken, op basis van verdichte JARKUS grids en SHORE metingen.



Figuur 4.13 Ontwikkeling volumes in de strandvakken, op basis van verdichte JARKUS grids en SHORE metingen.



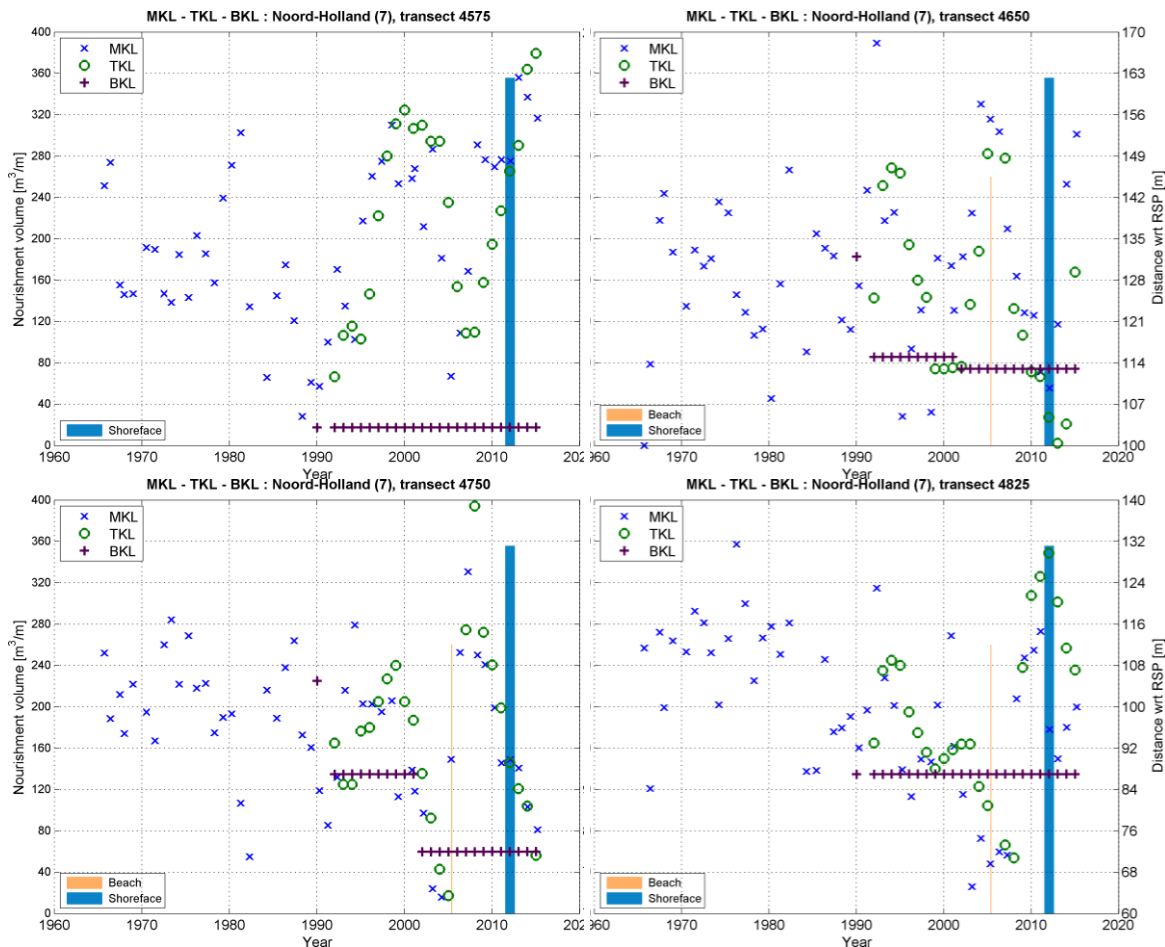
Figuur 4.14 Ontwikkeling volumes in de overige vakken in het onderwaterdeel, m.u.v. suppletievakken, op basis van verdichte JARKUS grids en SHORE metingen.



Figuur 4.15 Overzicht van volumeveranderingen van de meest recente meting (maart 2016) t.o.v. T0 (februari 2011)

4.4 Ontwikkeling indicatoren

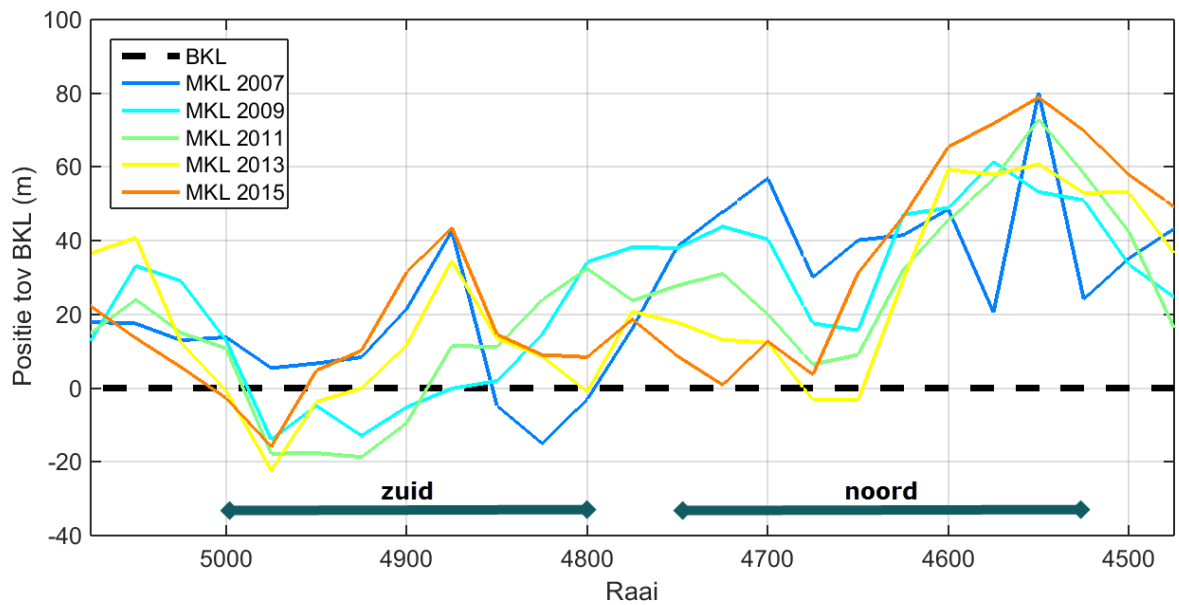
De MKL langs dit stuk kust laat geen uniform beeld zien in de tijd (Figuur 4.16). In 2005 is een strandsuppletie uitgevoerd van raai 4650 t/m 4850, maar niet in alle raaien is daarna een (significante) zeewaartse verplaatsing van de MKL te zien (bijvoorbeeld raai 4825). Raai 4575 laat juist een zeer positieve trend zien, raai 4650 neemt sterk af na de strandsuppletie maar neemt weer toe na de onderwatersuppletie, raai 4750 laat weer een continue landwaartse verplaatsing zien en raai 4825 fluctueert sterk.



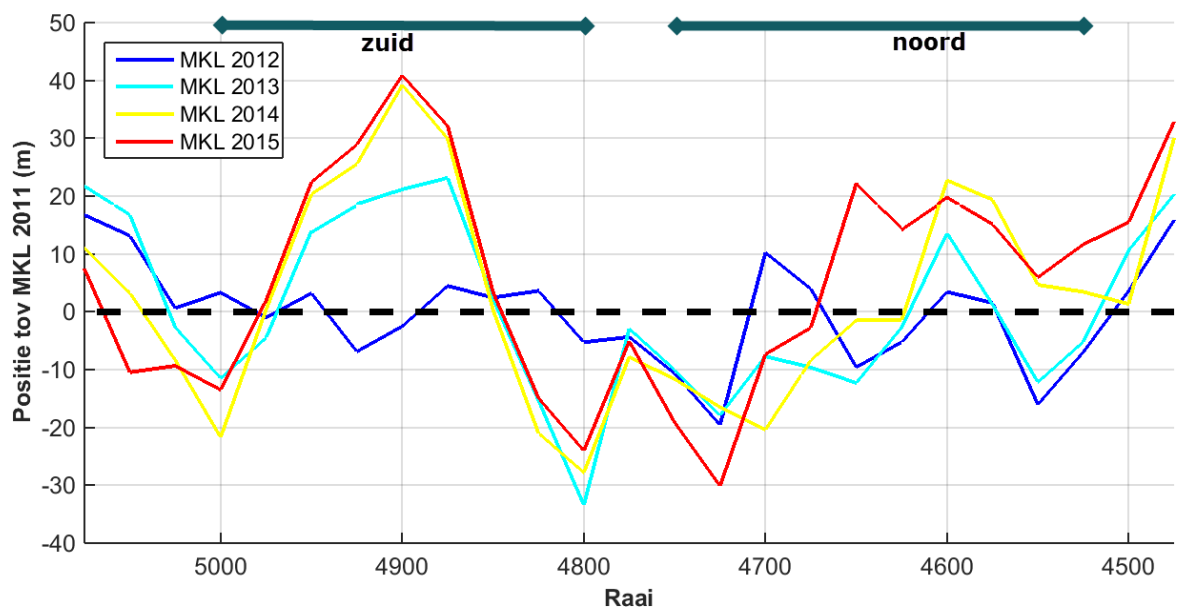
Figuur 4.16 MKL, TKL en BKL posities voor raai 4575, 4650, 4750 en 4825

Na aanleg van de onderwatersuppletie is de MKL duidelijk zeewaarts verplaatst, om in 2015 alleen in raai 4975 de BKL te overschrijden (Figuur 4.17). In de positie ten opzichte van de MKL 2011 (Figuur 4.18) is goed te zien dat ter hoogte van het midden van zuidelijke deel van de suppletie (tussen 4850 en 4975) de MKL tot 40 m zeewaarts is verplaatst vanaf 2012. Tussen 2014 en 2015 is hier weinig in de MKL veranderd.

Het noordelijke stuk van het zuidelijke suppletie-deel (vanaf raai 4850) tot aan het zuidelijk stuk van het noordelijke suppletie-deel (tot ca. raai 4675) is er in deze periode juist op achteruit gegaan. Dit geldt ook voor de zuidelijke kant van het zuidelijke suppletie-deel. Ten noorden van raai 4675 is tot 2015 wel weer een netto zeewaartse verplaatsing te zien, maar minder groot dan ter hoogte van het zuidelijke deel van de suppletie.



Figuur 4.17 Ontwikkeling MKL tussen 2007 en 2015 ten opzichte van de BKL.

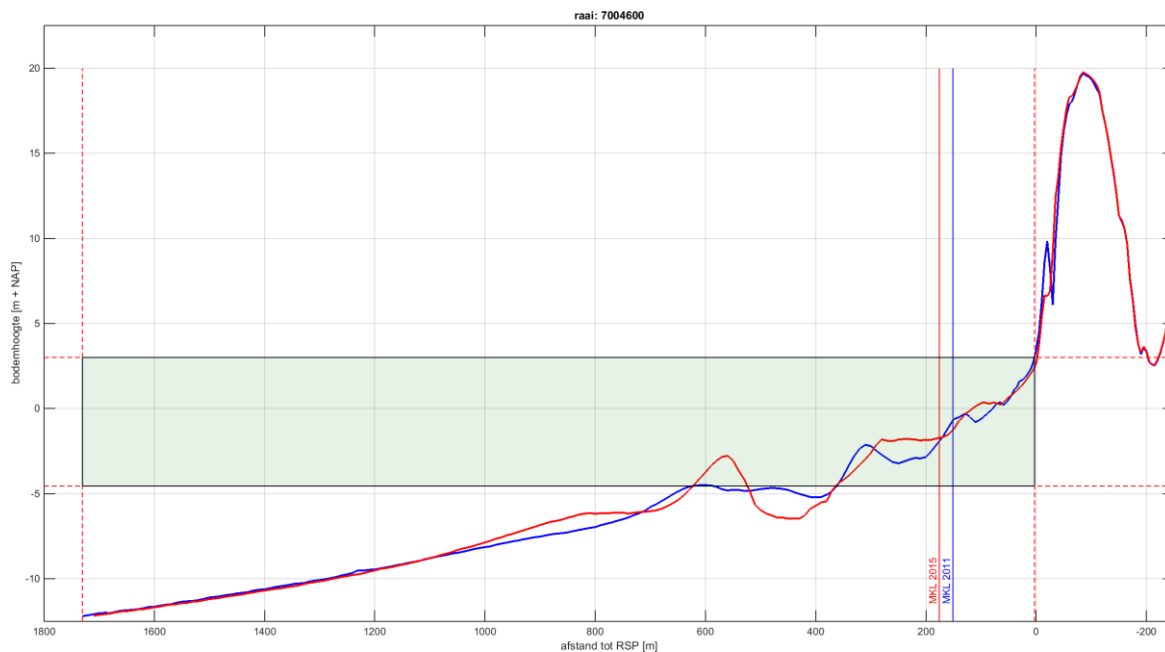


Figuur 4.18 Ontwikkeling MKL tussen 2011 en 2015, weergegeven als verplaatsing ten opzichte van de MKL in 2011

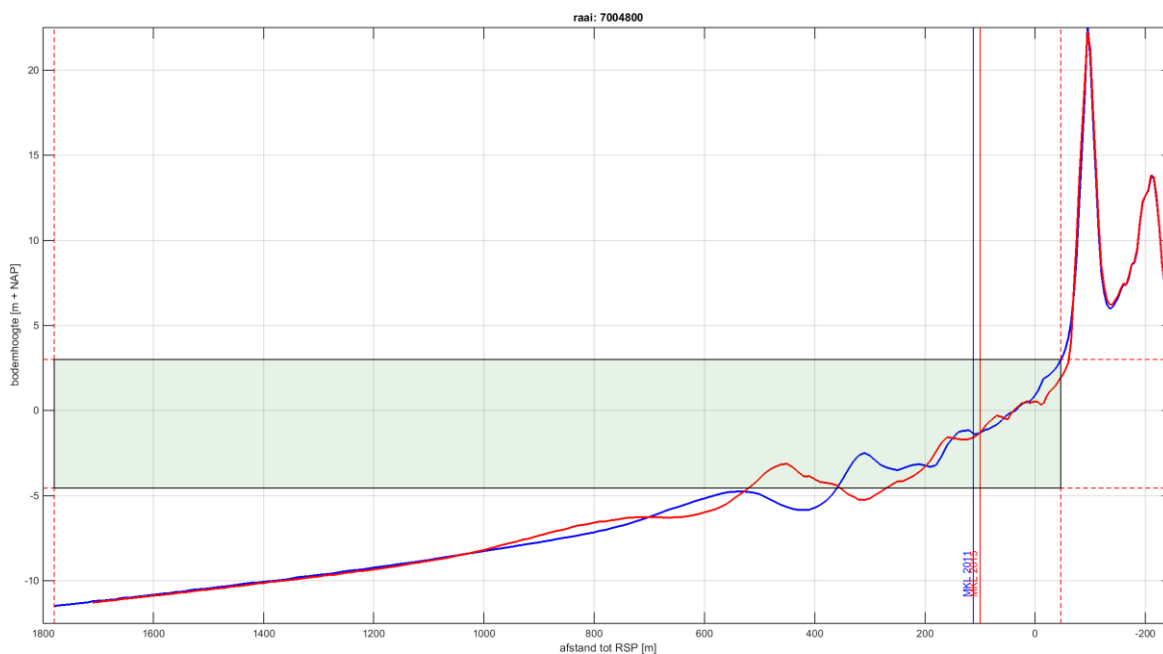
De veranderingen in de MKL positie hebben morfologisch gezien verschillende oorzaken. In de noordelijke raaien was de buitenste bank in 2011 nog wel aanwezig in het profiel, maar lag de top ervan dieper dan de MKL-zone (zie bijvoorbeeld raai 4600 in Figuur 4.19). De groei van de buitenste bank na aanleg van de suppletie zorgde ervoor dat de top ervan in de MKL-zone ligt in 2015 en daardoor aan de MKL-positie bijdraagt.

Ter hoogte van het gat is de buitenste bank wel verder uitgedempt en is de binnenste bank zeewaarts gemigreerd – hierbij weinig aan het volume veranderend. De kleine netto landwaartse verplaatsing van de MKL lijkt vooral te komen door erosie van de voet van de zeereep (Figuur 4.20).

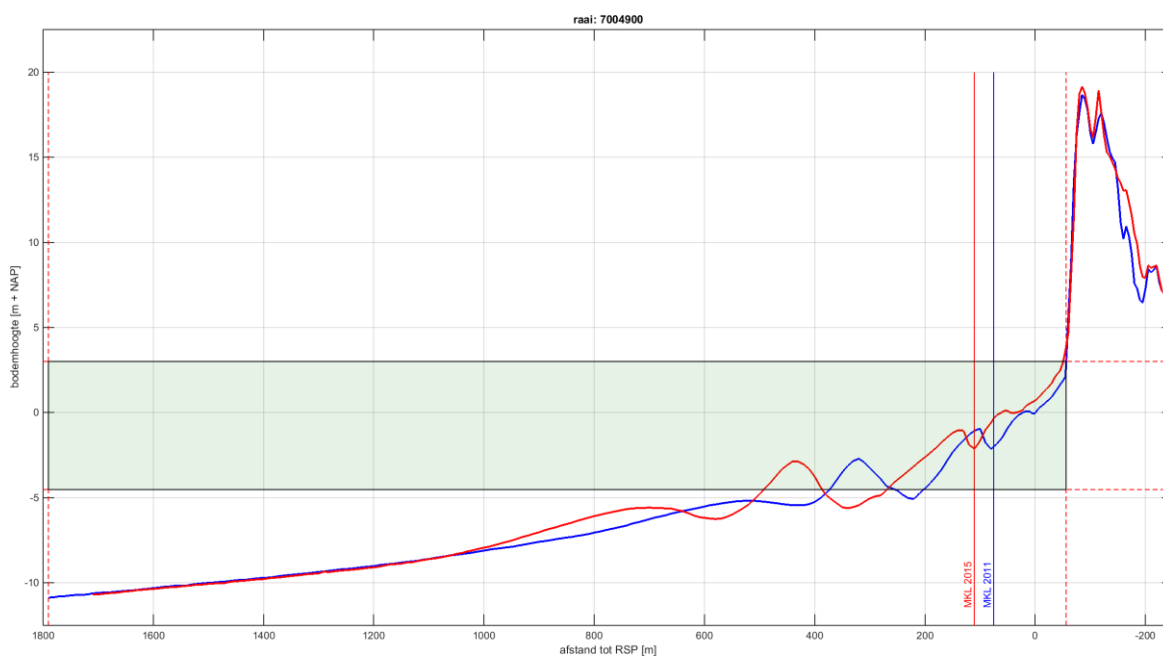
Ten zuiden van het gat is ook de buitenste bank verder uitgedempt en de binnenste bank zeewaarts gemigreerd. De zeewaartse verplaatsing van de MKL komt door sedimentatie van het strand en de ondiepe vooroever, waar de binnenste bank zeewaarts is verschoven en groter geworden (Figuur 4.21).



Figuur 4.19 MKL posities in 2011 (blauw) en 2015 (rood) met corresponderende profielen voor JARKUS raai 4600. Groene vlak geeft MKL-zone weer voor 2011.



Figuur 4.20 MKL posities in 2011 (blauw) en 2015 (rood) met corresponderende profielen voor JARKUS raai 4800. Groene vlak geeft MKL-zone weer voor 2011.



Figuur 4.21 MKL posities in 2011 (blauw) en 2015 (rood) met corresponderende profielen voor JARKUS raai 4900. Groene vlak geeft MKL-zone weer voor 2011.

De posities van gemiddeld laagwater, gemiddeld hoogwater en duinvoet laten een niet uniform beeld zien (Figuur 4.22). De laagwaterpositie laat net als de MKL rondom raai 4900 een zeewaartse verplaatsing zien, rondom raai 4750 enige landwaartse verplaatsing en ten noorden daarvan tot 2015 vrijwel geen netto verplaatsing. De veranderingen liggen binnen de natuurlijke bandbreedte (zie ontwikkeling van de positie tussen 1995 en 2005 in Figuur 4.23). Hierbij laten de raaien die in 2011 relatief ver zeewaarts lagen een landwaartse verplaatsing zien (noordelijke raaien), en de raaien die in 2011 relatief ver landwaarts lagen een zeewaartse (zuidelijke raaien).

Raai 4900 en daarnaast liggende raaien laten een opvallend grote zeewaartse verplaatsing zien tussen 2011 en 2012, om daarna weer terug landwaarts te verplaatsen in 2013. Deze verandering komt door een tijdelijke ondiepere ligging van de kleine bank rondom laagwater, die daardoor boven de laagwater-hoogte uitkomt. Dit is duidelijk te zien in Figuur 4.24.

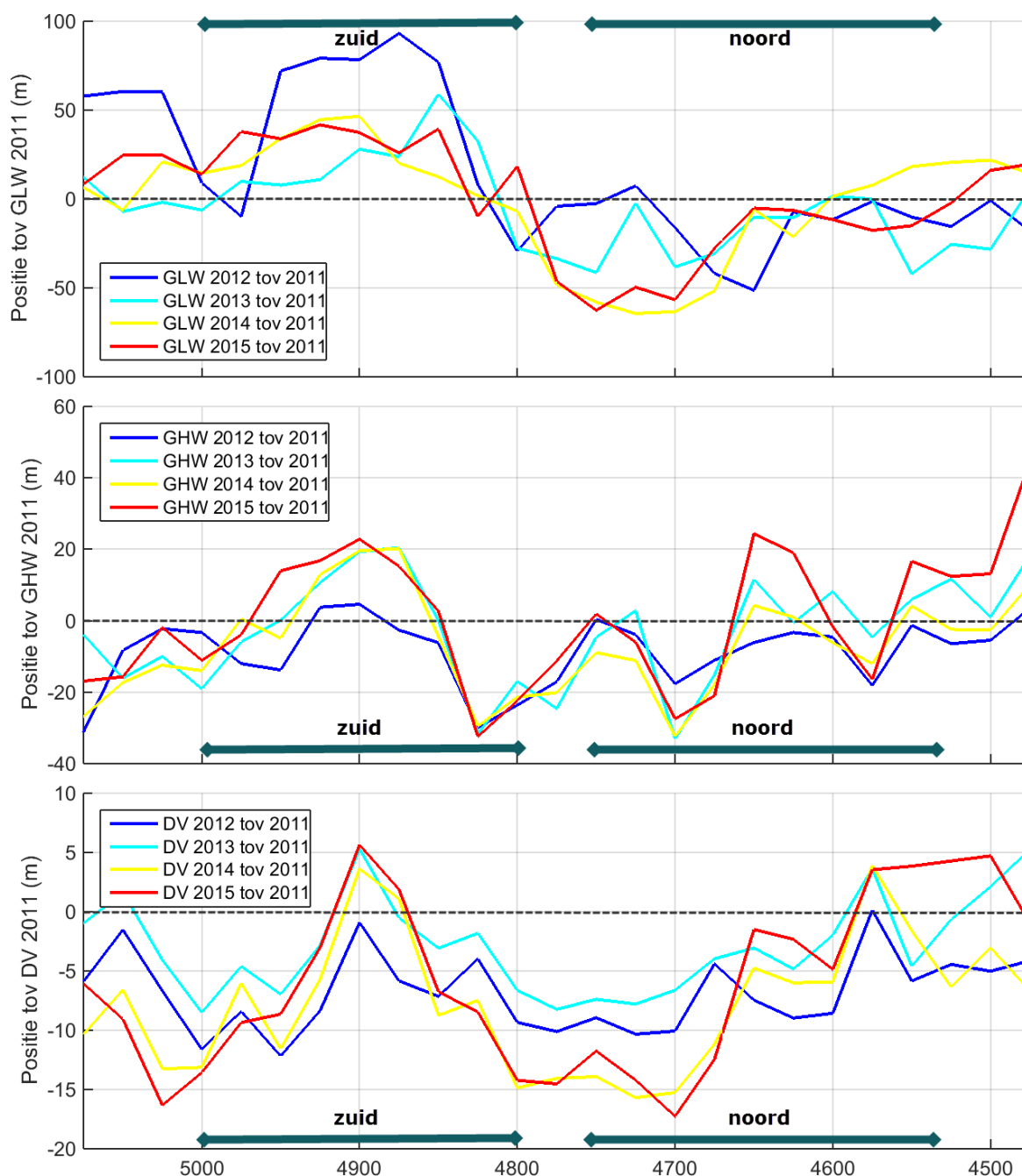
De hoogwaterpositie is ook ter hoogte van raai 4900 zeewaarts verplaatst, maar laat verder bijna om de raai een afwisseling zien van zeewaartse en landwaartse verplaatsing. Deze schommelingen liggen binnen de natuurlijke bandbreedte (Figuur 4.23).

De duinvoet (NAP +3 m) is vrijwel overal landwaarts verplaatst tussen 2011 en 2015, met alleen in raai 4900 en ten noorden van raai 4575 een zeewaartse verplaatsing. De veranderingen zijn echter relatief klein, in de meeste raaien minder dan 10 m. Deze veranderingen liggen ook binnen de natuurlijke bandbreedte (Figuur 4.23).

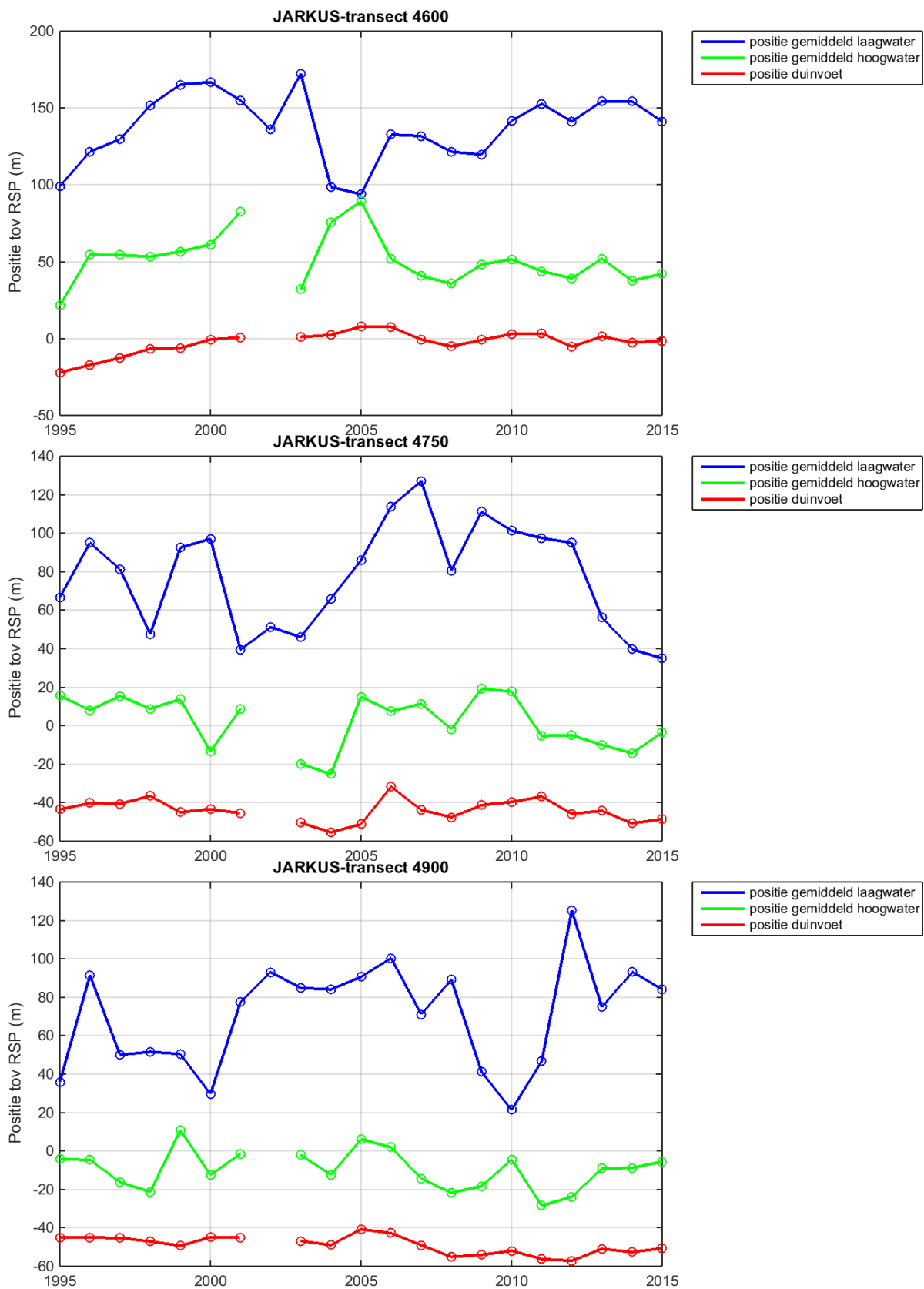
Wanneer gekeken wordt naar de ontwikkeling van het eerste duin op de langere termijn (tussen 1995 en 2015) is het volgende te zien (figuren van de ontwikkelingen van het duin zijn voor alle raaien te vinden in bijlage D):

- De duinvoet toont in alle raaien fluctuaties zonder duidelijke trend. In de meest noordelijke raaien, 4575 en 4600, is enigszins een trend zichtbaar, maar niet helemaal constant;
- Ten noorden van 4700 vindt er netto groei van het duinfront plaats, met een vrij constante trend (Figuur 4.25);
- Raaien 4700 t/m 4875 tonen een vrij stabiel duinfront en groei van de top van het duin in 4700 t/m 4775 (Figuur 4.26). Raai 4825 en 4850 laten een plotselinge verandering zien: het duinfront is vrij stabiel tussen 1995 en 2005 en tussen 2009 en 2015, maar het gehele duinfront erodeert significant tussen 2005 en 2009 (Figuur 4.27). Deze erosie is veroorzaakt door de novemberstorm in 2007, waardoor de duinvoetpositie een (tijdelijk) landwaarts maximum heeft bereikt in 2008 (de eerste opname ná deze storm);
- Raaien 4900 t/m 4975 laten erosie van het duinfront zien.
 - In raai 4900 vindt er een constante groei plaats aan landwaartse zijde van het eerste duin, die veel groter is dan de erosie van het duinfront (Figuur 4.28). De groei is het gevolg van het stuifgat dat net ten zuiden van de raai ligt, en waarvan het achterliggende sedimentatiegebied zich tot voorbij de raai uitstrekt (Figuur 4.30);
 - Raai 4925 toont tussen 2011 en 2013 een opmerkelijk grote terugschrijding van het gehele duinfront (Figuur 4.29). Mogelijk is de oorzaak van de terugschrijding menselijk, maar dit is niet duidelijk ten tijde van schrijven van dit rapport. In deze raai groeit de landwaartse zijde van het eerste duin licht;
 - De erosie in 4950 gebeurt vanaf 2003 alleen beneden NAP +10 m, in deze raai is aangroei aan landwaartse zijde van het eerste duin;
 - De erosie in raai 4975 is minder groot dan in de andere raaien en heeft een minder constante trend;

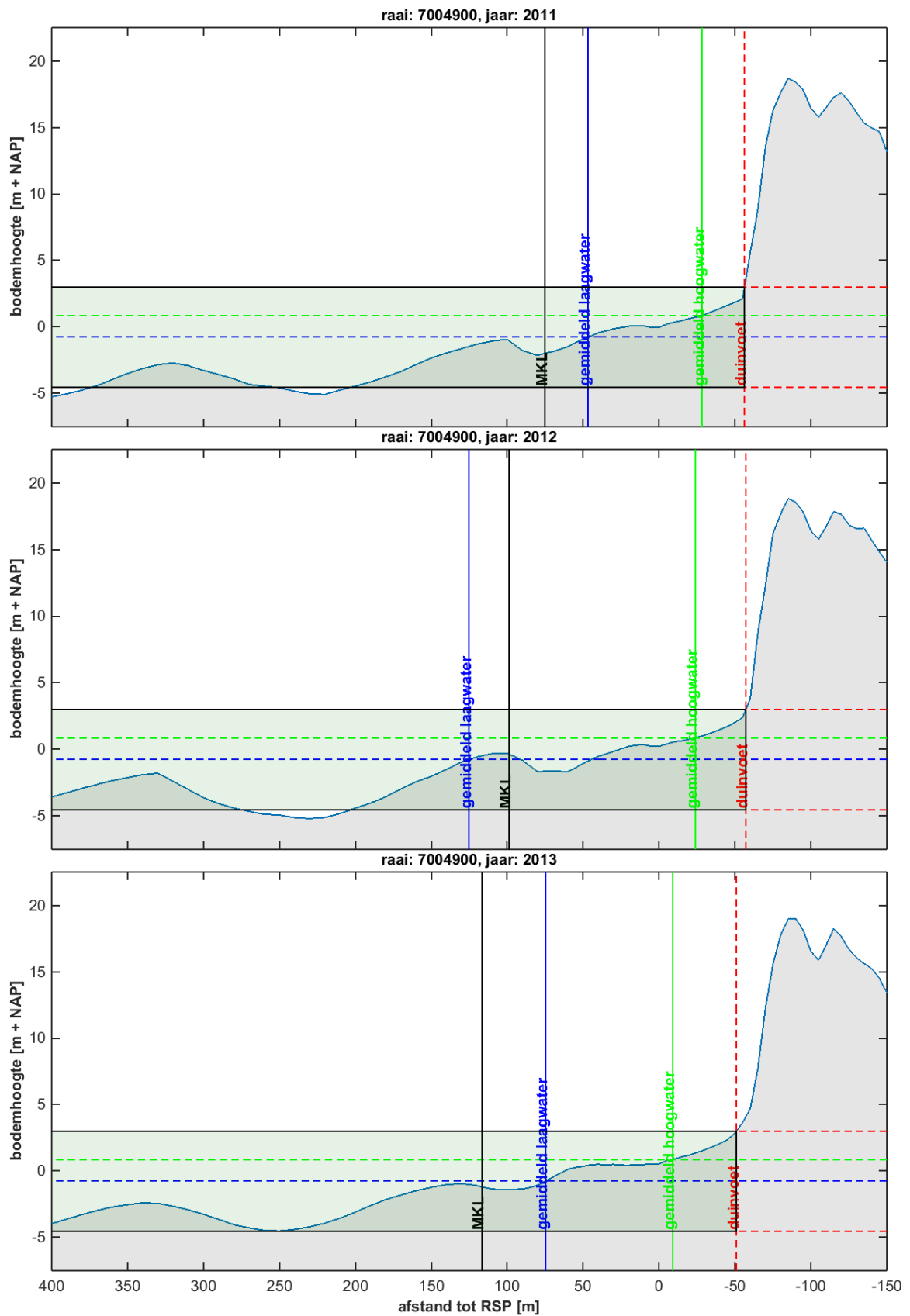
- Raai 5000 heeft een vrij stabiel duinfront, netto is in deze periode enige groei te zien, ook aan landwaartse zijde van het eerste duin.



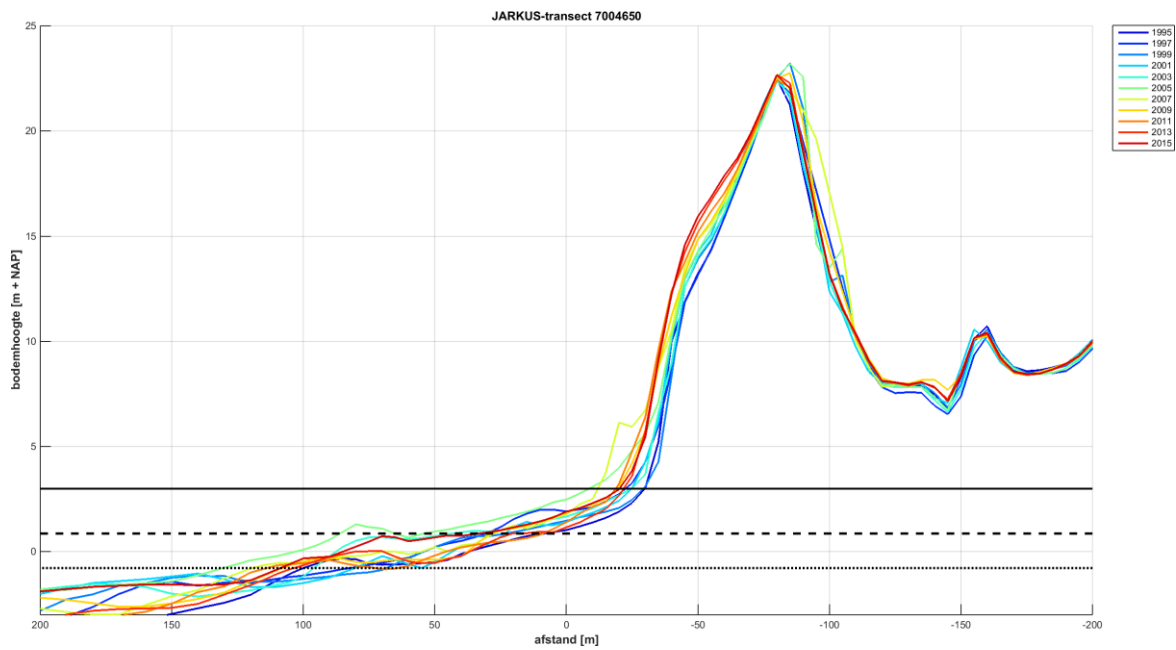
Figuur 4.22 Ontwikkeling van gemiddeld laagwater (GLW), gemiddeld hoogwater (GHW) en duinvoet (DV) ten opzichte van de positie in 2011.



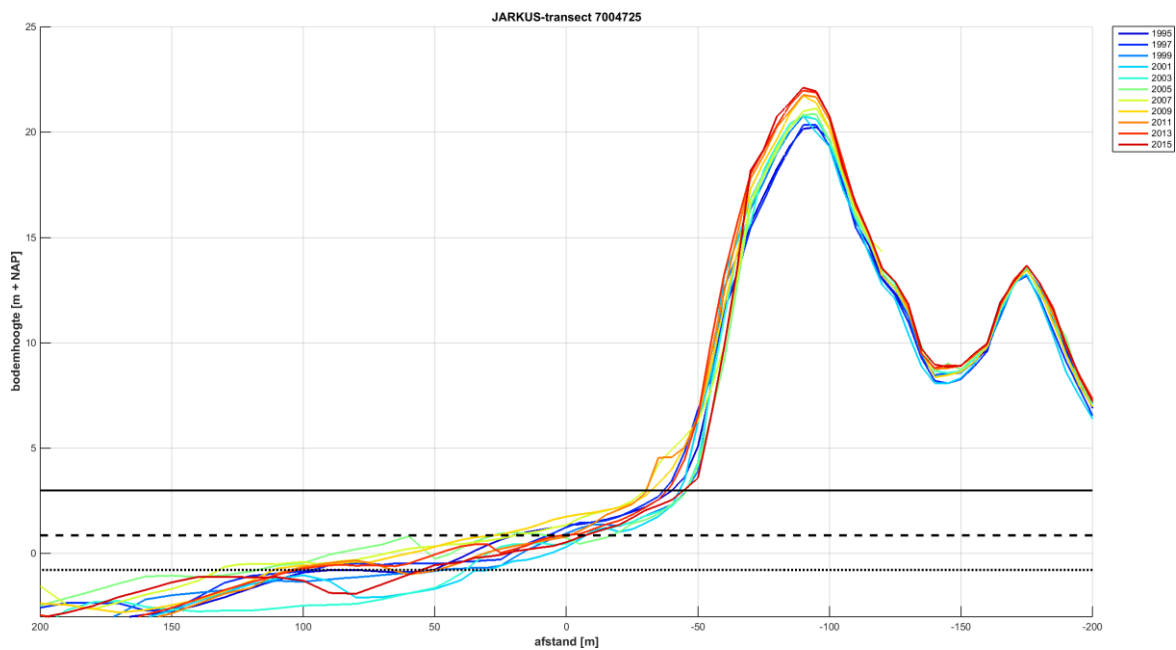
Figuur 4.23 Ontwikkeling van indicatoren tussen 1995 en 2015 voor raai 4600 (boven), 4750 (midden) en 4900 (onder)



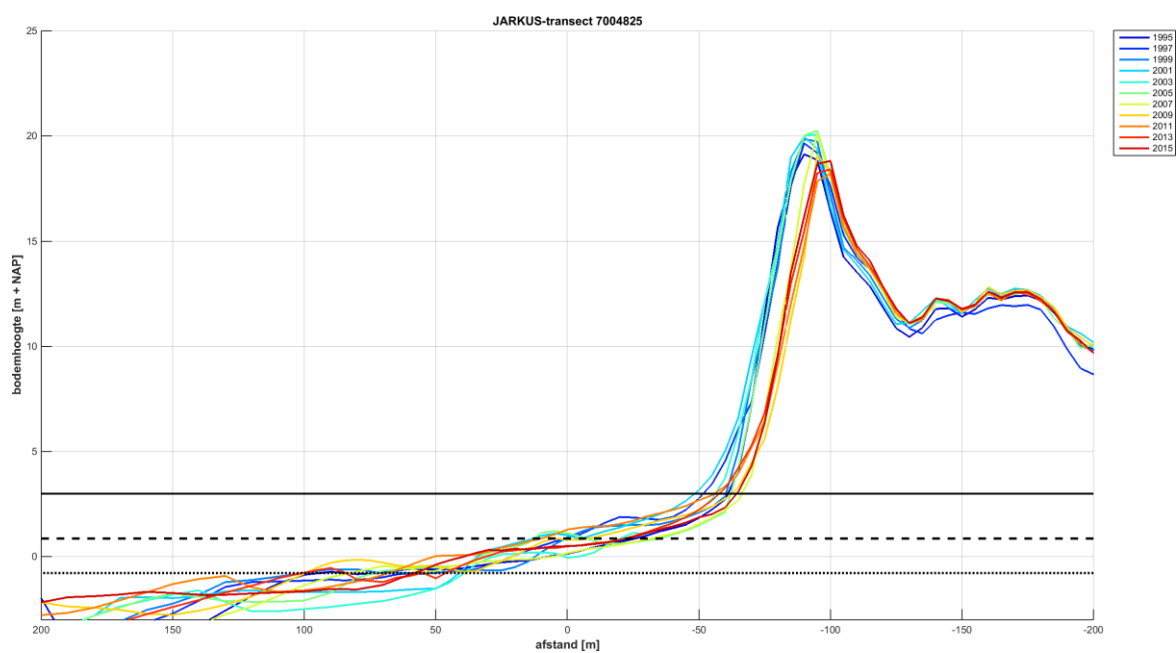
Figuur 4.24 Posities van laagwater, hoogwater, duinvoet en MKL voor raai 4900 in 2011 (boven), 2012 (midden) en 2013 (onder)



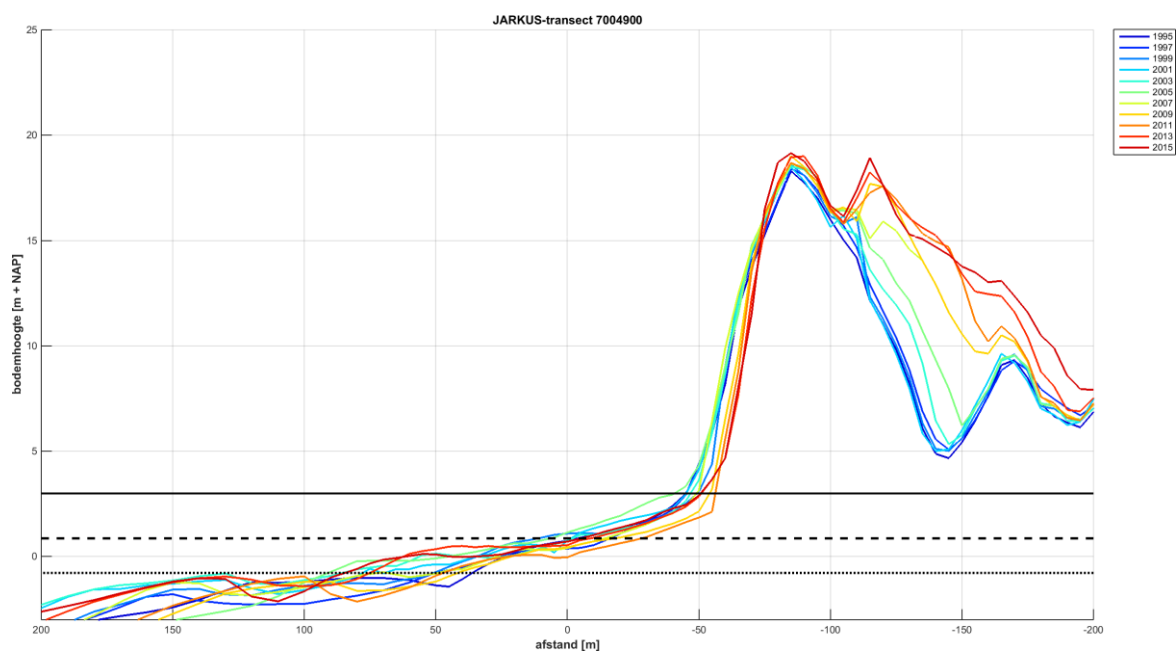
Figuur 4.25 Ontwikkeling van het eerste duin in raai 4650 tussen 1995 (blauw) en 2015 (rood). Een grotere afbeelding van dit figuur is te vinden in bijlage D.



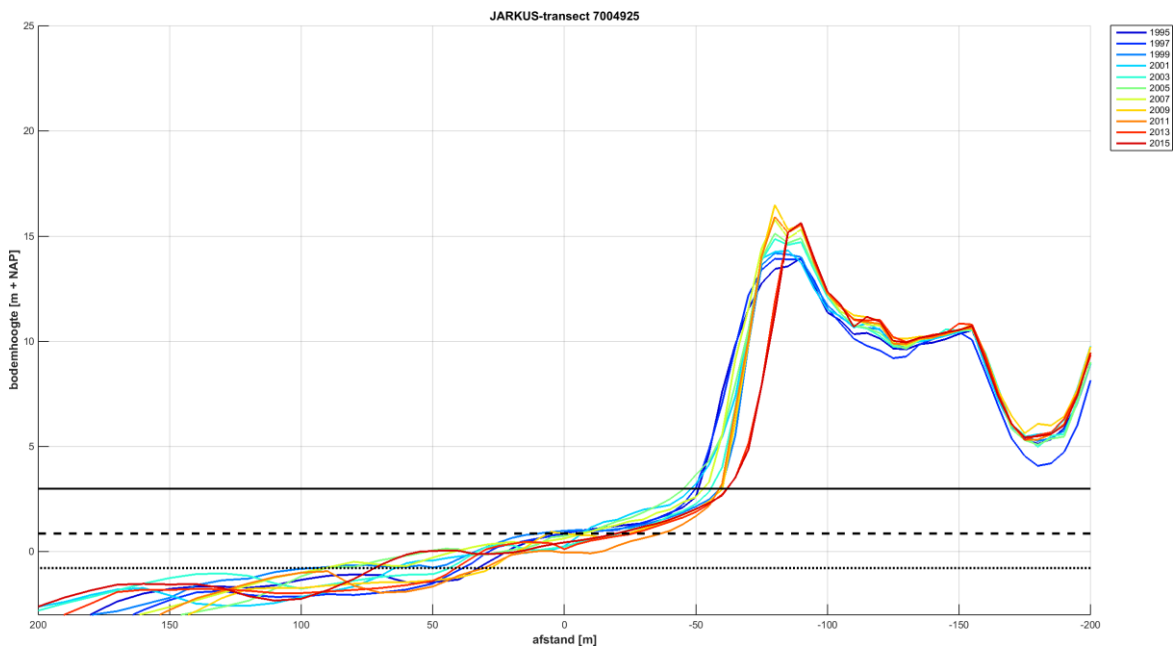
Figuur 4.26 Ontwikkeling van het eerste duin in raai 4725 tussen 1995 (blauw) en 2015 (rood). Een grotere afbeelding van dit figuur is te vinden in bijlage D.



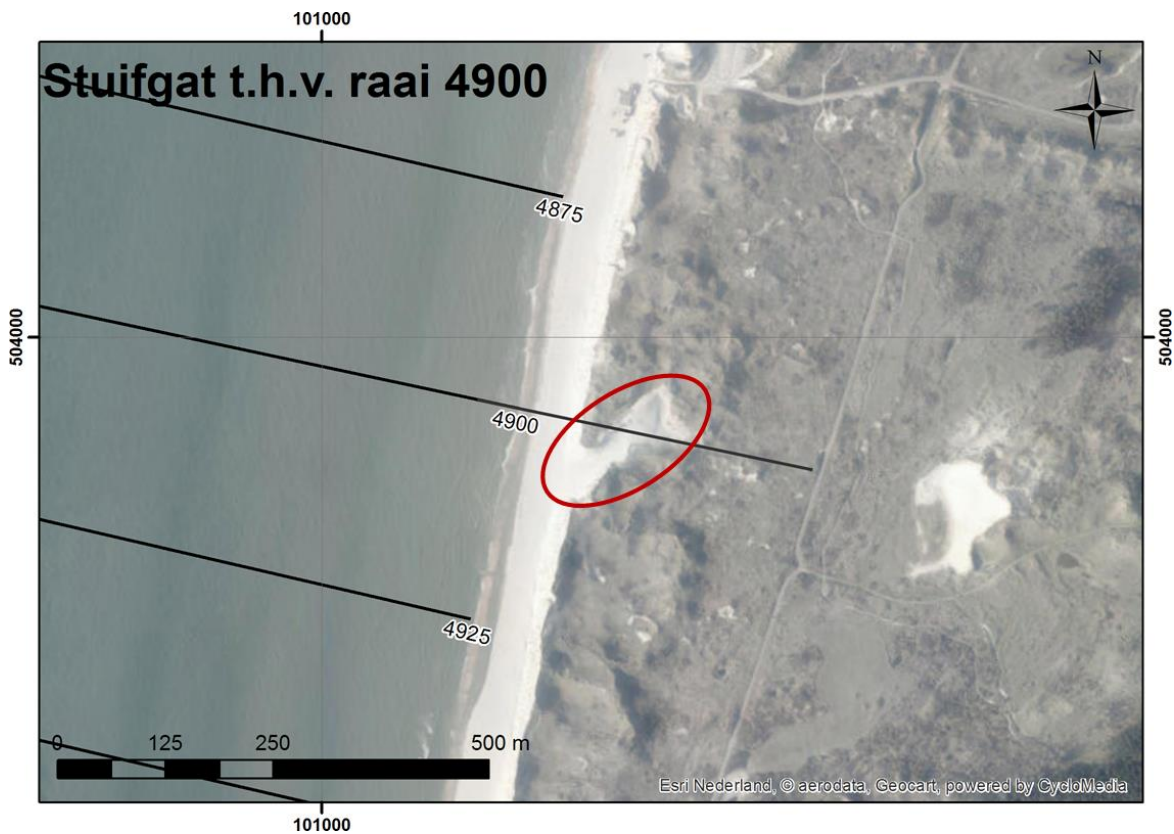
Figuur 4.27 Ontwikkeling van het eerste duin in raai 4825 tussen 1995 (blauw) en 2015 (rood). Een grotere afbeelding van dit figuur is te vinden in bijlage D.



Figuur 4.28 Ontwikkeling van het eerste duin in raai 4900 tussen 1995 (blauw) en 2015 (rood). Een grotere afbeelding van dit figuur is te vinden in bijlage D.



Figuur 4.29 Ontwikkeling van het eerste duin in raai 4925 tussen 1995 (blauw) en 2015 (rood). Een grotere afbeelding van dit figuur is te vinden in bijlage D.



Figuur 4.30 Luchtfoto van strand en duin ter hoogte van raai 4900, waarop het stuifgat (in rode ovaal) duidelijk te zien is

5 Conclusies

5.1 Algemene conclusies

De suppletie bij Heemskerk is aangelegd in twee delen, een noordelijk en een zuidelijk, met daartussen een 'gat' van ca. 500 m. Beide delen zijn in een aantal fasen aangelegd, tussen juli 2011 en november 2012, met een onderbreking tussen najaar 2011 en begin zomer 2012. Tijdens de periode waarin de aanleg stil lag is er in het volume weinig veranderd. De veranderingen die in de profielen te zien waren kwamen dus door lokale herverdeling van het sediment, er is relatief weinig tot geen sediment buiten het suppletievak getransporteerd.

Het noordelijke deel is aangelegd tegen de buitenste bank, die daar een top had ondieper dan NAP -5 m. De top van de suppletie was hier NAP -6 m. Het zuidelijk deel is aangelegd tegen het restant van de vrijwel verdwenen buitenste bank, met een top dieper dan NAP -5 m. De suppletie is aangelegd tot een diepte van NAP -5 m, ondieper liggend dus dan de bank.

Na aanleg is de ontwikkeling van beide delen van de suppletie ook heel anders verlopen. Het noordelijke deel heeft de nog bestaande buitenste bank 'gevoed', waardoor deze niet is uitgedempt maar nog steeds als buitenste bank aanwezig is. Het zuidelijke deel heeft de zeewaartse migratie van de binnenste bank vertraagd, door te fungeren als uitdempende buitenste bank. Nadat de suppletie was uitgedempt is de binnenste bank alsnog zeewaarts gemigreerd en de buitenste bank geworden.

Tussen de suppletiedelen lag een bifurcatiepunt van de banken: hier is de aanwezig gebleven buitenste bank in het noorden verbonden met de zeewaartse gemigreerde binnenste bank in het zuiden.

Het strand laat veranderende morfologie zien, waarin de aanwezigheid en positie van ripchannels varieert. Hoewel er verandering te zien is, kan geen duidelijke samenhang met de aanleg en ontwikkeling van de suppletie worden gevonden.

Uit de berekende volumes is wel te zien dat het stuk strand direct achter het gat tussen de suppletiedelen in volume is afgenomen, terwijl de andere delen van het strand een toename in volume laten zien. Of de afname in volume ook een direct gevolg is van de aanwezigheid van het gat is uit de beschikbare gegevens moeilijk vast te stellen. Het suggereert wel dat golfdoordringing via het gat het strand negatief beïnvloedt. Delft3D modelering (Van Oeveren en Tonnon, 2011 – figuur B6.b en B7.b) laat zien dat achter en schuin achter het gat de golfhoogte beïnvloedt is, maar de manier waarop sterk afhangt van de golfhoogte en -richting. Wat het netto effect op de ontwikkeling van het sedimentvolume is, is daarom moeilijk te zeggen.

De volumes in de bankenzone zijn langs zowel de suppletiedelen als het gat positief. De toename in volume hangt sterk samen met de afname van het volume in de gesuppleerde gebieden. Het noordelijke suppletie-vak is 47% van het volume kwijtgeraakt tot 2016, het zuidelijke 63%. Het verschil in aanlegdiepte tussen noord en zuid is waarschijnlijk deels de oorzaak van dit verschil. Door de kleinere diepte en het grotere zandvolume van het zuidelijke deel is de verwachting dat per tijdseenheid het sedimentverlies ook groter is.

De toename van volume in de bankenzone is 80% van de afname in de suppletievakken. De toename ter hoogte van het gat is relatief zelfs iets groter dan bij het noordelijke of zuidelijke deel. Hoe de barswitch, die hier ook plaatsvond, hier invloed op heeft gehad is niet duidelijk.

De ontwikkeling van de MKL reflecteert de geobserveerde volumeveranderingen van de strandvakken. Op het centrale deel na, ter hoogte van het gat, is de MKL zeewaarts verplaatst tussen 2011 en 2015. In 2015 is in één raai, 4975, de BKL overschreden. De andere indicatoren, gemiddeld laag- en hoogwater en duinvoet, laten een onsamenhangend beeld zien. De veranderingen liggen binnen de natuurlijke variatie en tonen geen samenhang met de (aanleg van de) suppletie.

De uitwerking van de suppletie op de kust landwaarts van de aangebrachte zandlichamen toont zowel morfologisch als volumetrisch geen significant andere ontwikkelingen zien dan gebruikelijk. De beïnvloeding van het bankgedrag door de aangebrachte zandlichamen blijkt dus bepalend voor de ontwikkeling, ongeacht hoe die zandlichamen er precies uitzien.

5.2 Conclusies onderzoeksvragen

Conclusies met betrekking tot de specifieke deelvragen zijn te vinden in de tabel hieronder.

Tabel 5.1 Conclusies per deelvraag

1 Systeembeschrijving	
Hoe ziet de natuurlijke bankencyclus eruit?	Een cyclus van ca. 15 jaar waarin de binnenste bank zeewaarts migreert, daar uitdempt waarna vervolgens een nieuwe binnenste bank ontstaat. Het uitdempen van de banken begint op een bepaalde locatie langs de kust, en propageert vanaf daar twee kanten op.
Hoe heeft de kust zich ontwikkeld voor gesuppleerd werd?	De kust toont fluctuaties in de MKL positie die worden toegeschreven aan het cyclisch bankgedrag. Het effect van de havendammen van IJmuiden is op dit moment waarschijnlijk niet erg groot meer.
Wat hebben eerdere suppleties voor effect op het gebied gehad?	Bij Heemskerk is in het verleden alleen één strandsuppletie uitgevoerd, die een tijdelijke zeewaartse verplaatsing van de MKL heeft veroorzaakt. Onderwatersuppleties langs de rest van de Hollandse kust hebben een duidelijk effect op het cyclisch bankgedrag, dat o.a. onderbroken, geblokkeerd en vertraagd wordt.
2 Effect van de suppletie; algemeen	
Hoe heeft de kust zich ontwikkeld na suppleren?	Over het algemeen is de MKL zeewaarts verplaatst, vooral ter hoogte van het zuidelijke deel van de suppletie. Plaatselijk is landwaartse verplaatsing opgetreden, onder andere ter hoogte van het gat. De trend is in veel raaien niet erg duidelijk. Dit geldt ook

	voor de gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater posities.
Profiteert de duinenrij van de onderwatersuppletie?	Vooralsnog niet, gezien de ontwikkeling van de positie van de duinvoet.
Hoe ontwikkelt het strand zich?	Over het algemeen is de MKL zeewaarts verplaatst. Lokale morfologie, zoals ripchannels, zorgen echter voor tijdelijke en zeer plaatselijke veranderingen.
Wat is de invloed van de suppletie op de natuurlijke bankencyclus?	Deze is verschillend voor het noordelijke en zuidelijke deel van de suppletie: Noord: de suppletie heeft de nog bestaande buitenste bank 'gevoed', waardoor deze niet is uitgedempt maar nog steeds als buitenste bank aanwezig is. Zuid: de suppletie heeft de zeewaartse migratie van de binnenste bank vertraagd, door te fungeren als uitdempende buitenste bank. Nadat de suppletie is uitgedempt is de binnenste bank alsnog zeewaarts gemigreerd en de buitenste bank geworden.
Hoe ontwikkelt het zandvolume in het suppletievak zich?	Het noordelijke vak is 47% van het volume kwijtgeraakt tot 2016 (6.600 m ³ /maand), het zuidelijke 63% (11.285 m ³ /maand).
Hoe ontwikkelen de volumina zich in de vakken zeewaarts – landwaarts – noordwaarts – zuidwaarts van de suppleties?	Voor de vakken landwaarts van de suppletie, die het bankengebied tussen de suppletie en het strand beslaan, zijn veel in volume toegenomen. Hier is 80% van het sediment dat uit de suppletievakken is vrijgekomen ontvangen. Per kustlangse meter is in het midden, rondom het gat, meer sediment bijgekomen (145 m ³ /m) dan in het noordelijke (100 m ³ /m) en zuidelijke deel (113 m ³ /m)
3 Effect van de suppletie; innovatieve aspecten	
Zal het gat tussen beide zandlichamen afgedicht worden door sedimentatie of vindt hier juist sterke erosie plaats?	In het gat vond na aanleg van de suppletie enige sedimentatie plaats en later lichte verdieping. Netto is het gat is ondieper geworden en zijn beide suppletielichamen uitgedempt, waardoor de zeebodem weer een vrijwel gelijke diepte heeft gekregen.
Vinden vervormingen rond de koppen van de zandlichamen plaats?	Geen opmerkelijke vervormingen, slechts afvlakken van de helling doordat de suppletie in volume afneemt en er enige sedimentatie

	in het gat plaatsvindt.
Vlakken de zandlichamen in de loop van de tijd af?	Ja.
Zit er verschil in ontwikkeling tussen beide zandlichamen?	Ja: het zuidelijke zandlichaam is sneller geërodeerd, daarnaast hebben ze een ander effect gehad op het bankgedrag: een 'voedende' functie van de noordelijke, terwijl de zuidelijk de rol van uitdempende buitenste bank had.
Zijn deze verschillen toe te wijzen aan de aanleghoogte?	De verschillen hangen samen met de andere fases waarin de banken zich op het moment van suppleren bevonden. Mogelijk heeft de aanlegdiepte wel een rol gespeeld bij de verschillen in volumeverlies. Het zuidelijke zandlichaam is ondieper aangelegd en heeft procentueel het meeste zand verloren.

5.3 Aanbevelingen

In de uitgevoerde suppletie bij Heemskerk zijn meerdere factoren tegelijk veranderd. Hierdoor is het niet mogelijk om duidelijke conclusies te trekken over de oorzaak van bepaalde veranderingen. De belangrijkste factoren zijn: 1) verschillende aanlegdieptes, 2) het aanwezig zijn van een gat en 3) het verschil in bankencyclus tussen noord en zuid.

Belangrijkste aanbeveling is dan ook om bij experimentele suppleties slechts één factor tegelijk te onderzoeken. Om natuurlijke verschillen, zoals veroorzaakt door de bankenmigratie, beter te kunnen beheersen zou in gevallen dat het relevant is een voorstudie kunnen worden gedaan naar de toestand van het natuurlijke systeem.

Bij Heemskerk is de noordelijke suppletie met grotere aanlegdiepte tegen de buitenste bank aangelegd. Dit is anders dan een eerdere suppletie bij Wassenaar met grotere aanlegdiepte, waar het suppletielichaam los van de buitenste bank was aangelegd. Hierdoor kunnen de twee suppleties moeilijk met elkaar worden vergeleken.

Het is aan te bevelen om een uniforme aanpak te hanteren voor suppleties met een grotere aanlegdiepte, om een goede vergelijking te kunnen maken in de toekomst.

Het verschil in bankencyclus tussen noord en zuid lijkt in belangrijke mate de ontwikkeling van de suppletie te hebben beïnvloed. Het effect van verschillende aanlegdieptes is daardoor moeilijk te duiden, maar kunnen we slechts een theoretische beschouwing geven wat te verwachten was bij andere aanlegdieptes:

Als het zuidelijke deel op NAP -6 m was aangelegd, was naar verwachting het effect hetzelfde geweest maar dan minder groot: de vertraging van de zeewaartse migratie van de binnenste bank had mogelijk minder lang geduurd.

Bij het noordelijke deel was het misschien juist andersom als het op NAP -5 m was aangelegd, dan is juist een sterker effect te verwachten. De buitenste bank was dan nog sterker gevoed, waardoor die sneller de oude hoogte weer had verkregen.

6 Referenties

De Sonnevile, B. en Van der Spek, A., 2012. Sediment- and morphodynamics of shoreface nourishments along the North-Holland Coast, ICCE 2012: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering, Santander, Spain, 1-6 July 2012.

De Zeeuw, R.C., 2012. Veldrapportage #1, september 2012, Peilwerkzaamheden aan de kust bij Heemskerk. Shore Monitoring & Research.

De Zeeuw, R.C., 2012. Veldrapportage #2, november 2012, Peilwerkzaamheden aan de kust bij Heemskerk. Shore Monitoring & Research.

De Zeeuw, R.C., 2013. Veldrapportage #3, januari 2013, Peilwerkzaamheden aan de kust bij Heemskerk. Shore Monitoring & Research.

De Zeeuw, R.C., 2013. Veldrapportage #4, juli 2013, Peilwerkzaamheden aan de kust bij Heemskerk. Shore Monitoring & Research.

De Zeeuw, R.C., 2014. Veldrapportage #5, augustus 2014, Peilwerkzaamheden aan de kust bij Heemskerk. Shore Monitoring & Research.

Elias, E. en Bruens, A., 2013. Beheerbibliotheek Noord-Holland, Deltares rapport 1207724-004

Fugro, 'Granulaire analyses zandmonsters suppletieprogramma 2012', 2012. Onderzoeksrapport 1612-0039-002.

Grunnet, N.M. en Ruessink, B.G., 2005. Morphodynamic response of nearshore bars to a shoreface nourishment. Coastal Engineering, 52(2): 119-137.

Janssen, G.M. en Mulder, S., 2004. De ecologie van de zandige kust van Nederland - Inventarisatie van het macrobenthos van strand en brandingszone. RWS RIKZ rapport 2004.033

Koster, L., 2006, Humplike nourishing of the shoreface: a study on more efficient nourishing of the shoreface. MSc thesis, TU Delft, Faculty of Civil Engineering and Geosciences.

Ojeda, E., Ruessink, B. G., & Guillen, J., 2008. Morphodynamic response of a two-barred beach to a shoreface nourishment. Coastal Engineering, 55(12): 1185-1196.

Ruessink, B.G., en Kroon, A., 1994. The behaviour of a multiple bar system in the nearshore zone of Terschelling, the Netherlands: 1965–1993. Marine Geology, 121(3): 187-197.

Tonnon, P.K., 2010a. Verdiepingslag aanlegtechnieken. Deltares werkdokument, versie 1, april 2010.

Tonnon, P.K., 2010b. Advisering innovatieve suppletie Heemskerk. Deltares werkdokument, versie 1, juni 2010.

Van der Spek, A. en Elias, E., 2013. The effects of nourishments on autonomous coastal behaviour, Coastal Dynamics, Proceedings of the 7th International Conference on Coastal Dynamics: 1753-1763

Van Oeveren, C. & Tonnon, P.K., 2011. Gedifferentieerde vooroeversuppletie bij Heemskerk. Deltares rapport 1202345-000

7 Bijlagen

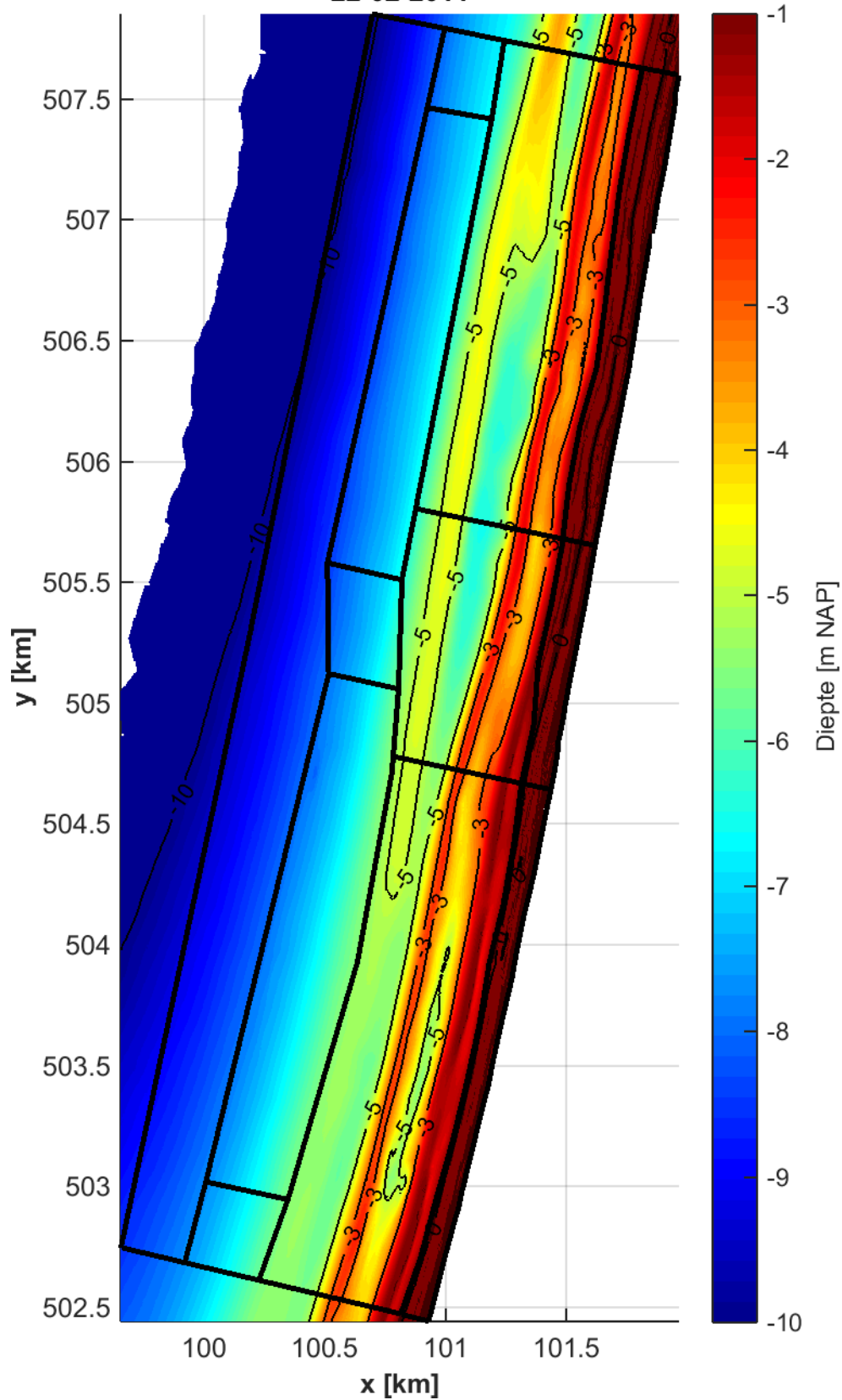
A: grids verdichte JARKUS en SHORE februari 2011 - maart 2016 (zie paragraaf 2.5 voor details van de metingen)

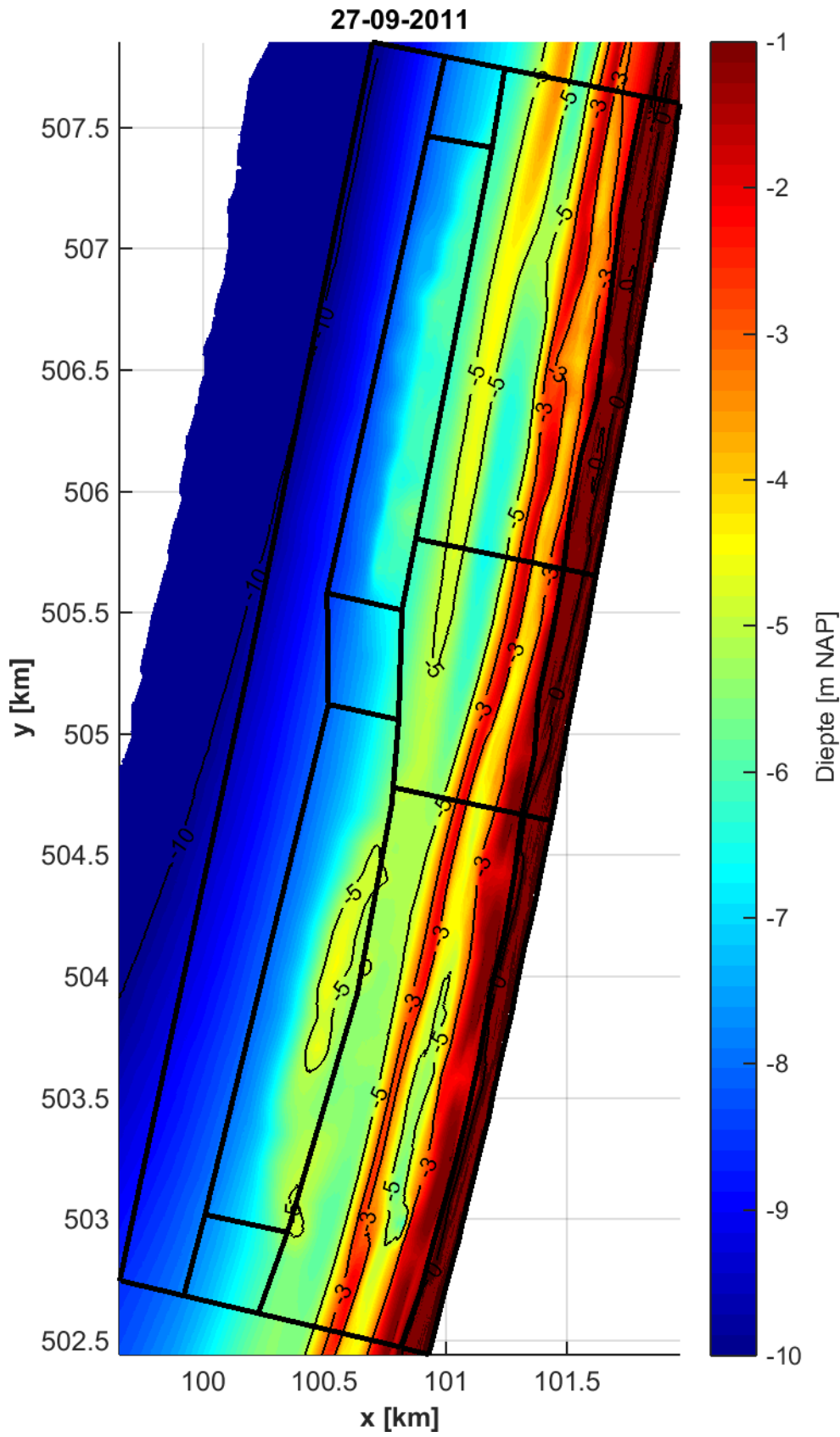
B: JARKUS grids Heemskerk 1975 – 2014 (incomplete opnames zijn niet ingevoegd)

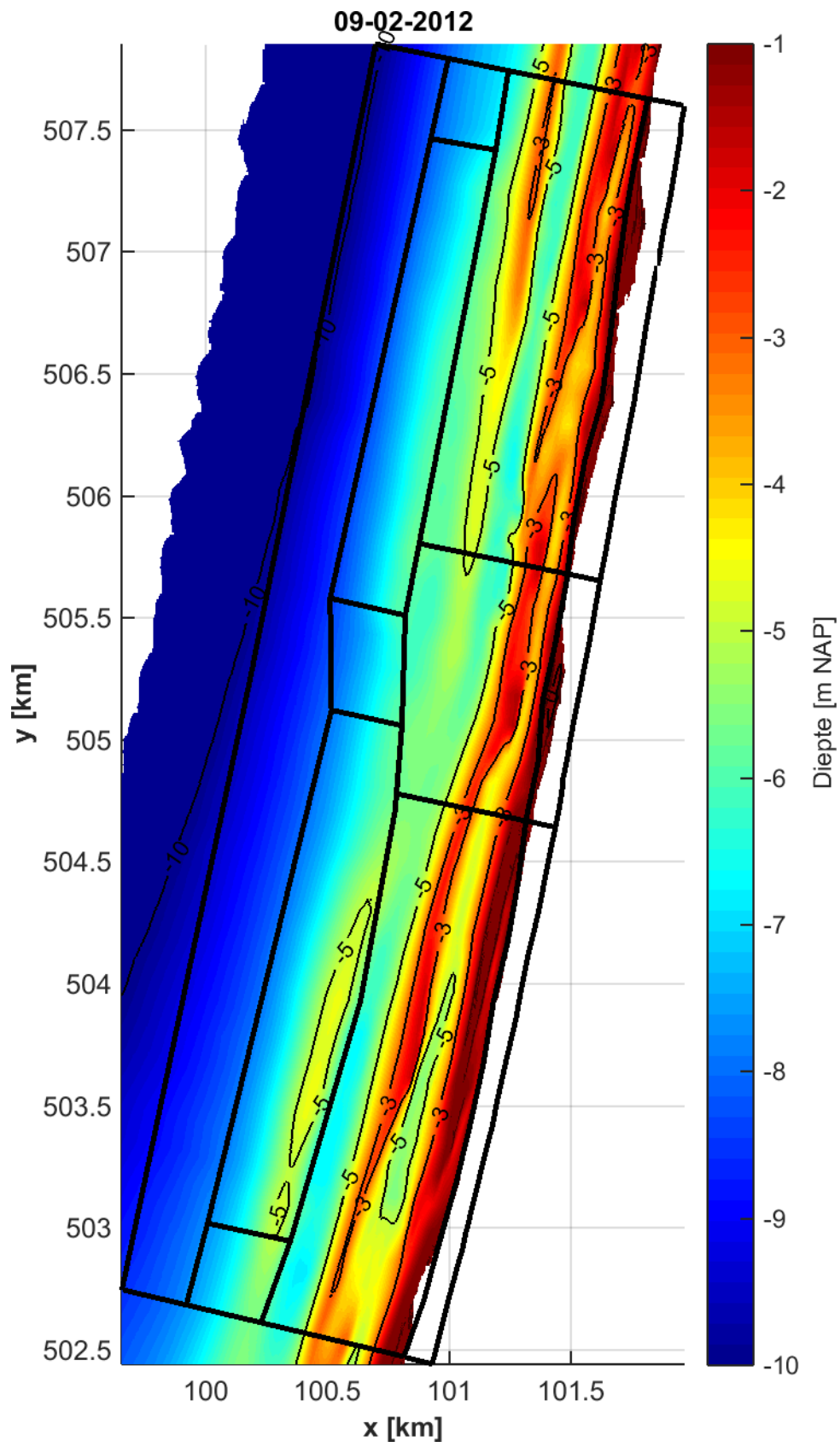
C: detailkaarten strand o.b.v. grids verdichte JARKUS en SHORE februari 2011 - maart 2016 (zie paragraaf 2.5 voor details van de metingen)

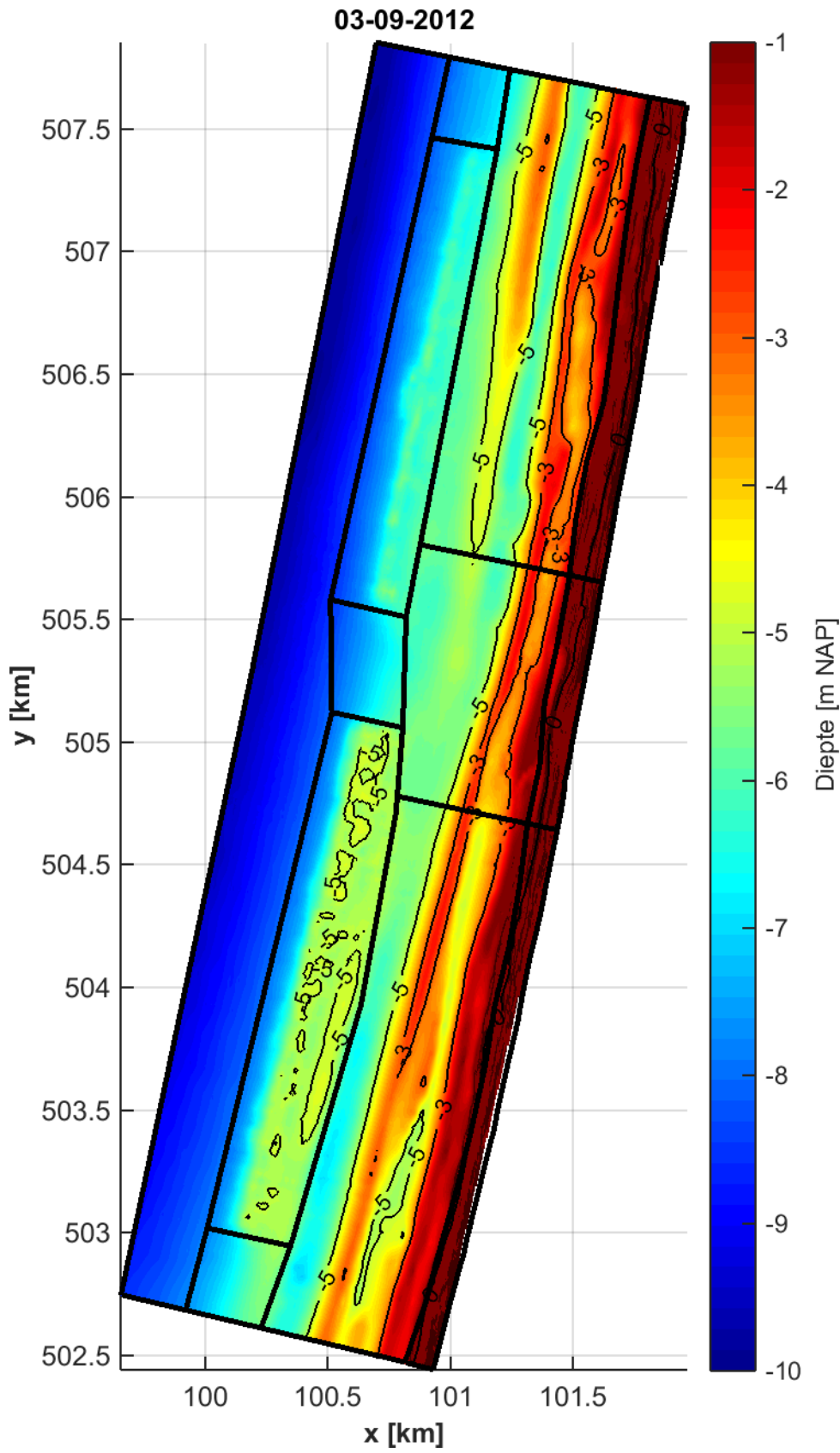
D: profielen van de ontwikkeling van het eerste duin tussen 1995 en 2015 voor raaien 4575 t/m 5000 (o.b.v. JARKUS transecten)

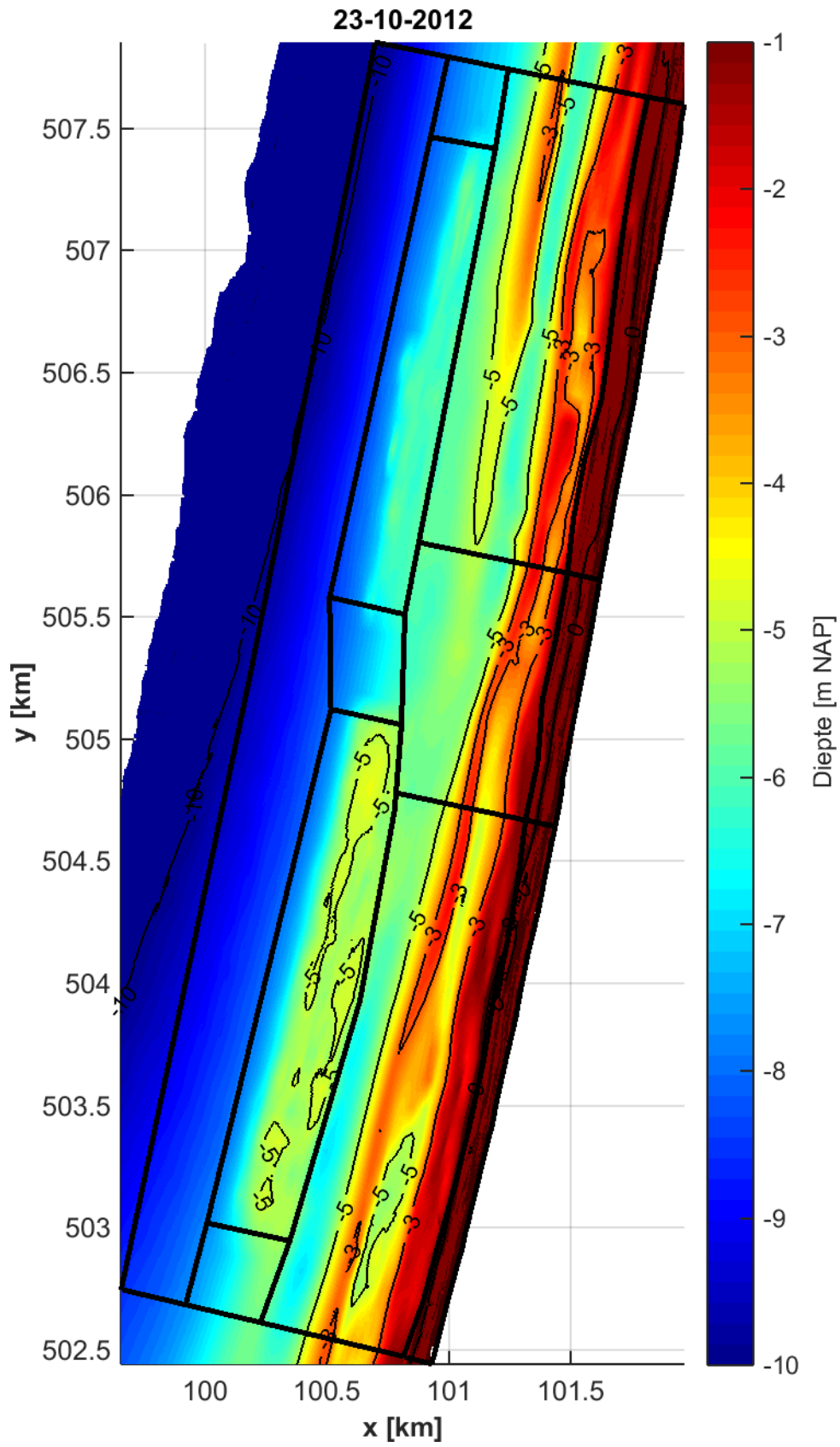
A Verdichte JARKUS metingen Heemskerk 22-02-2011

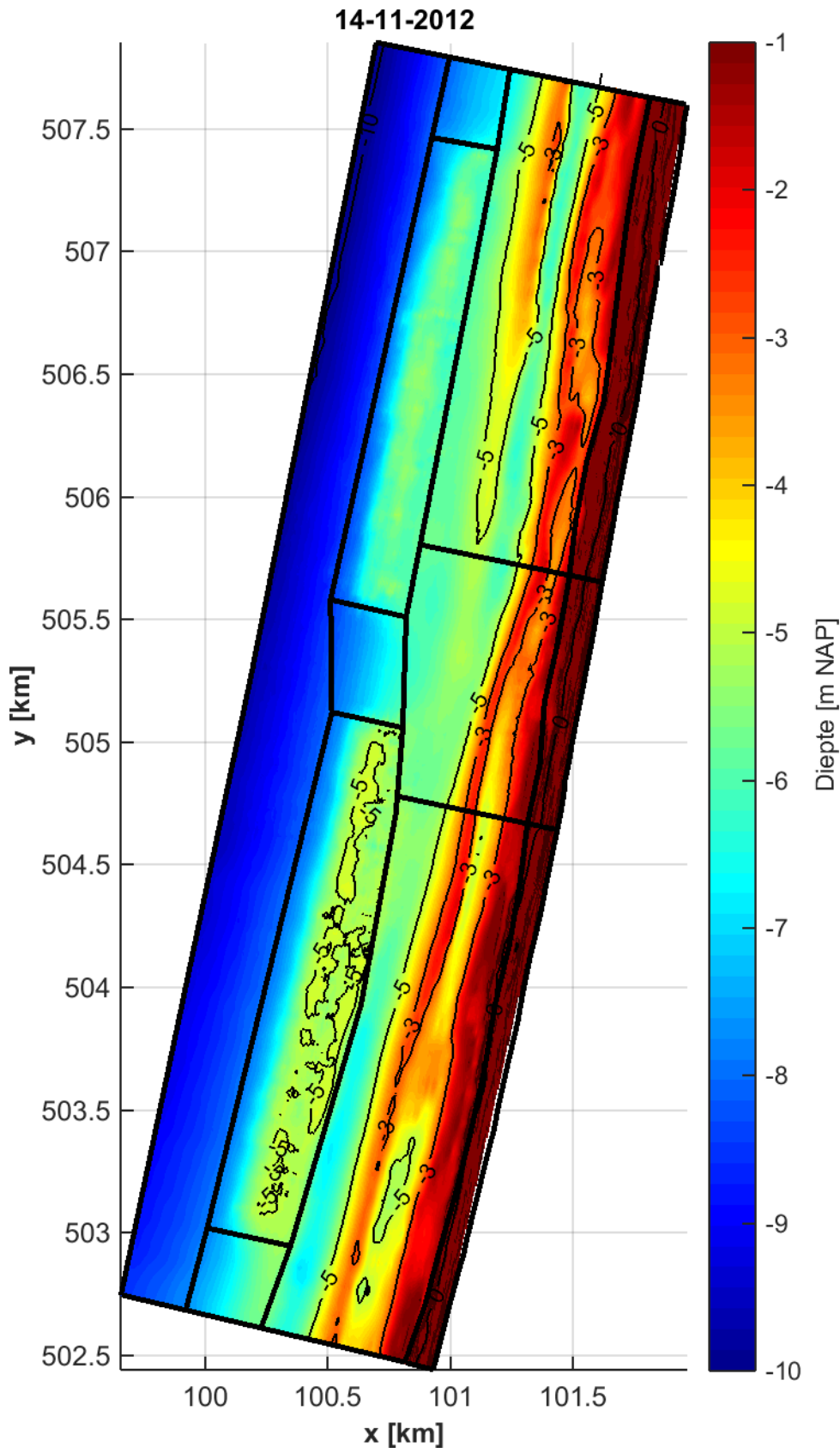


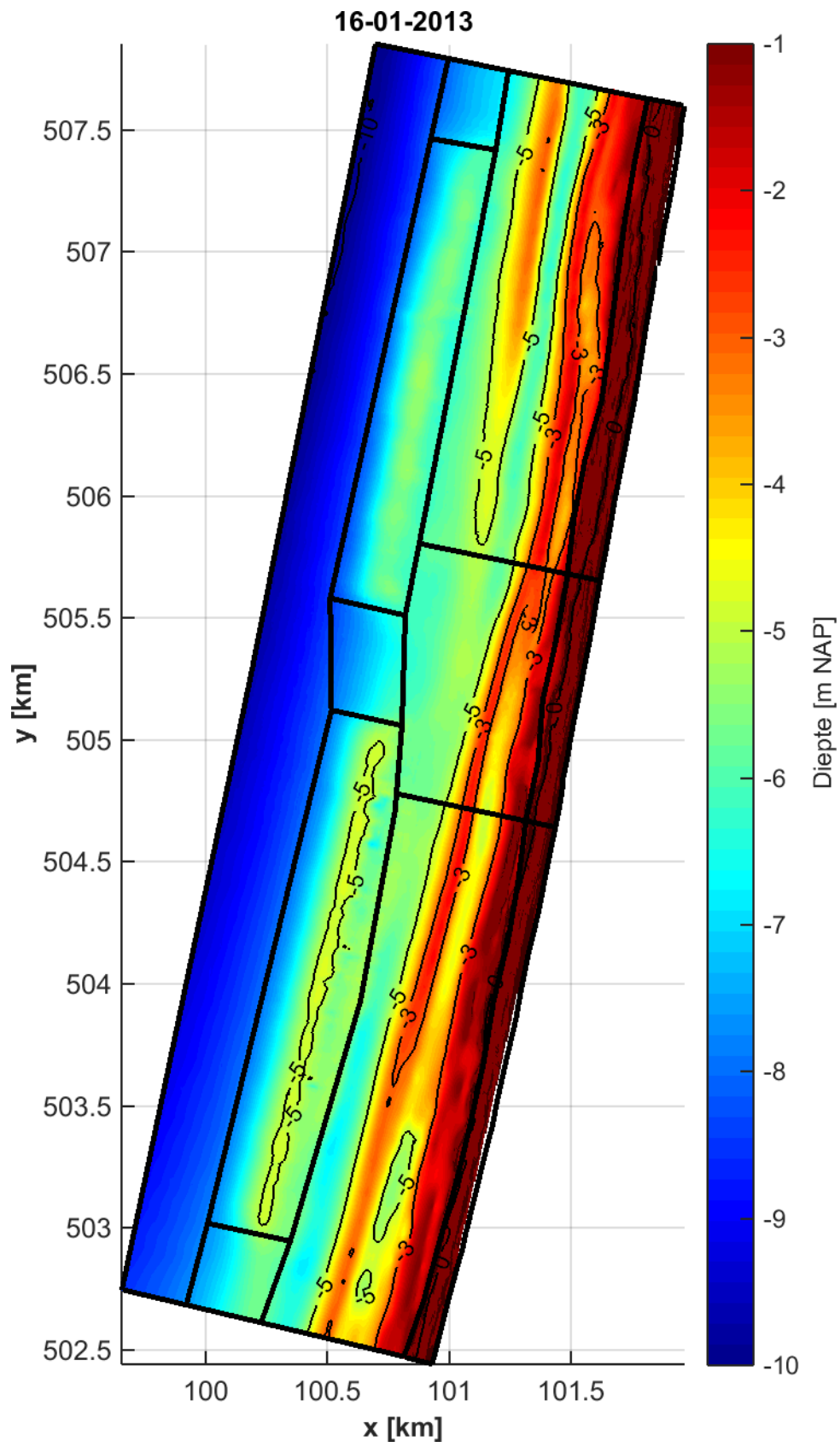


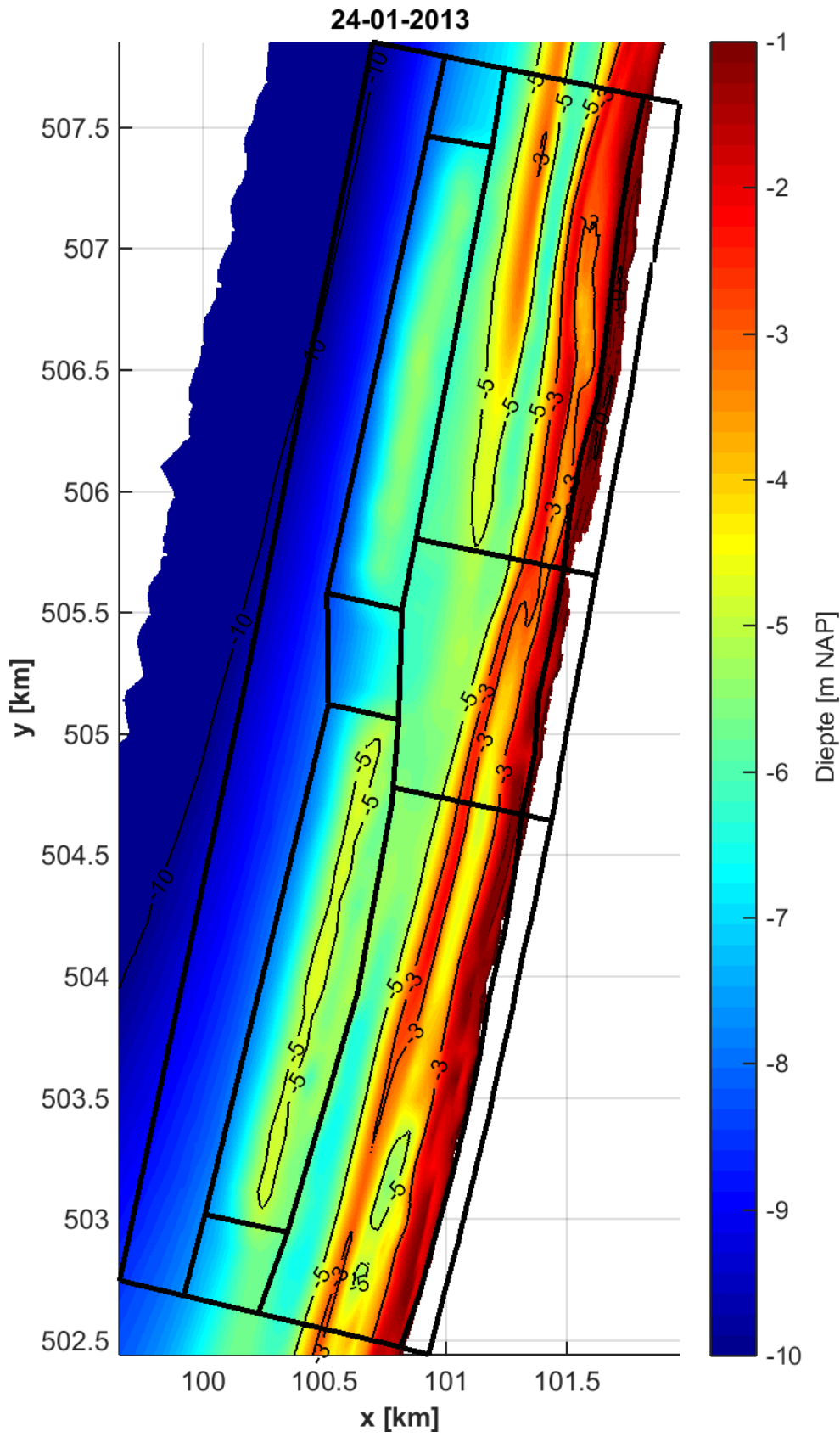


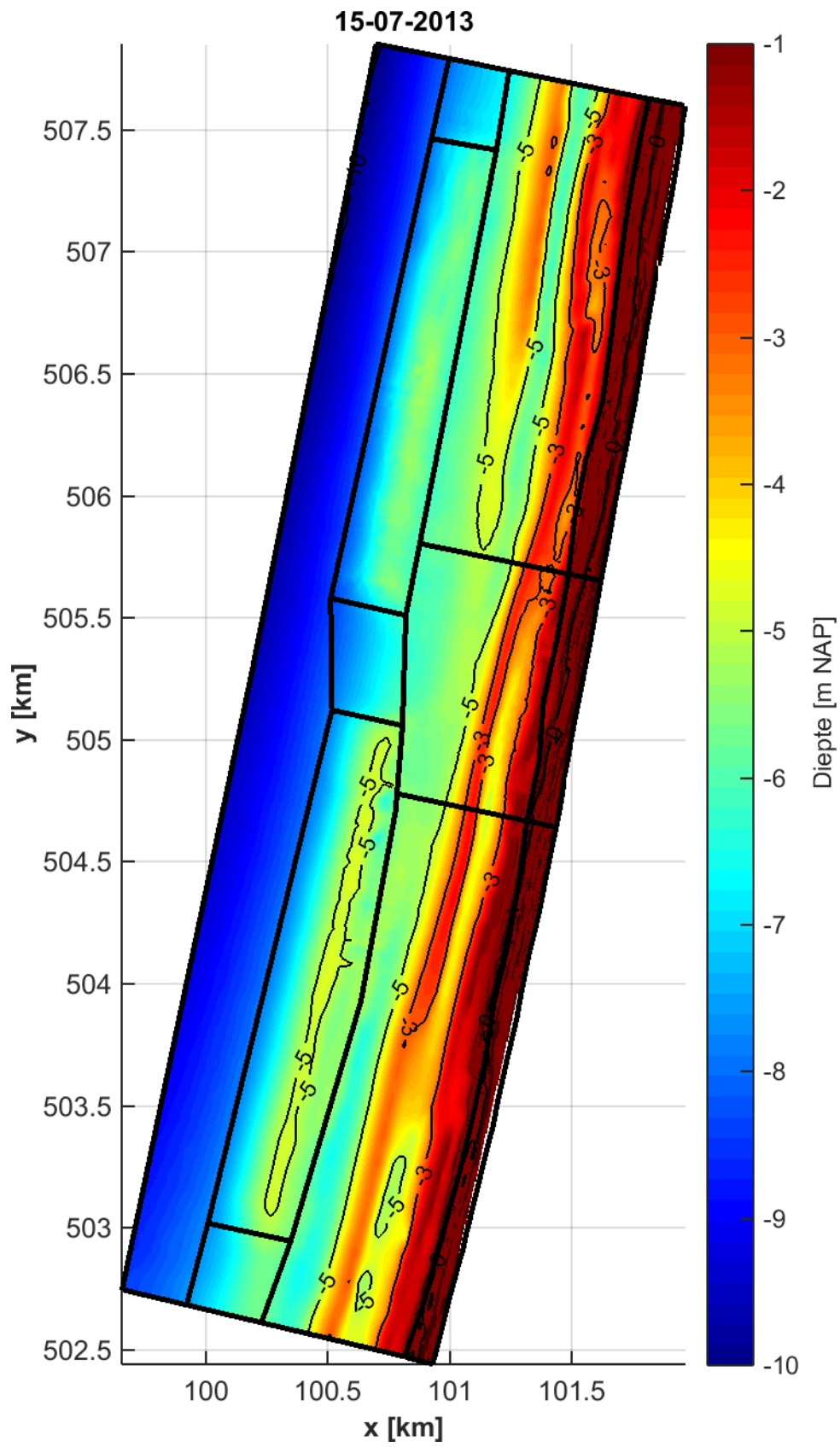


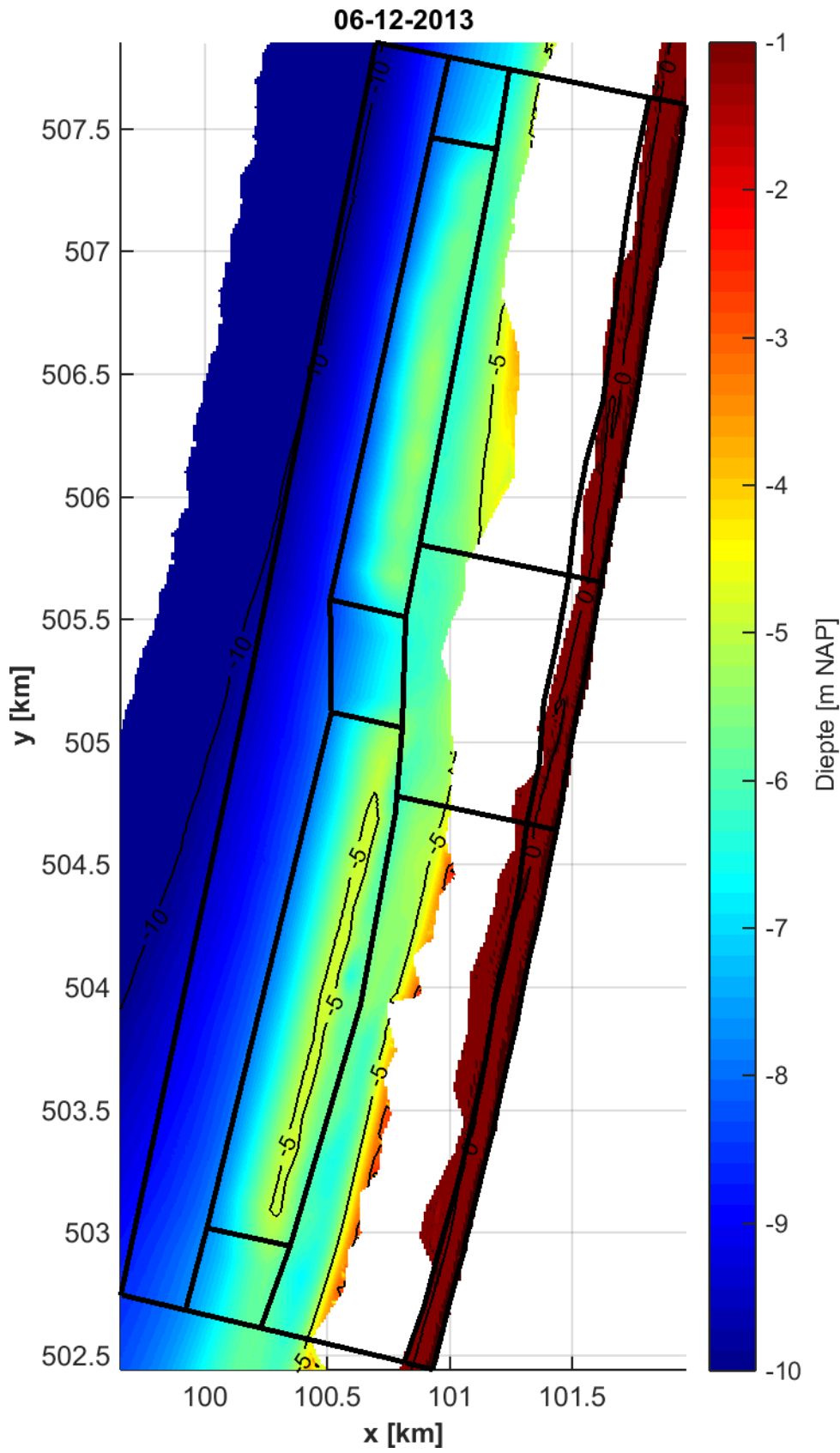


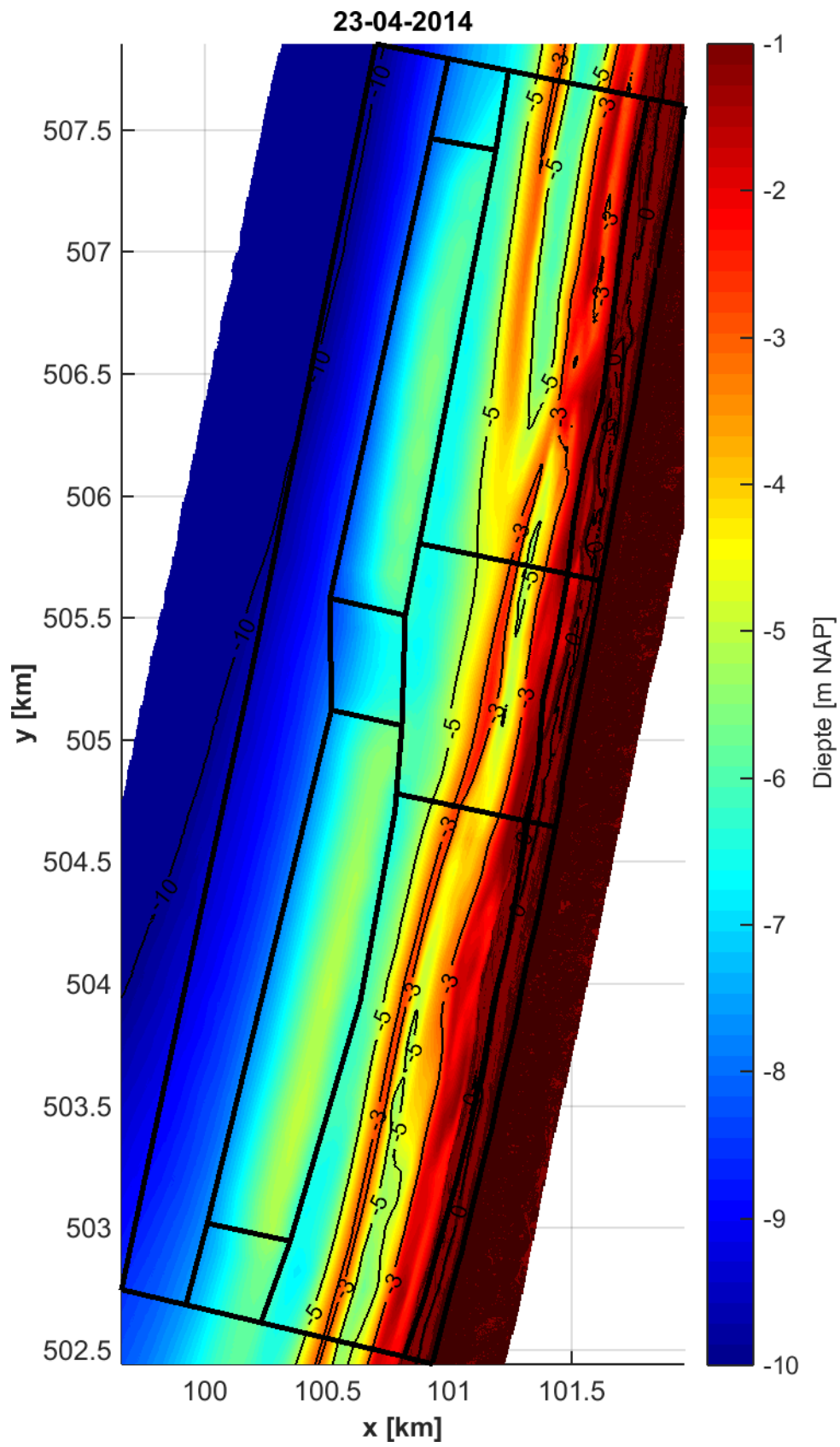


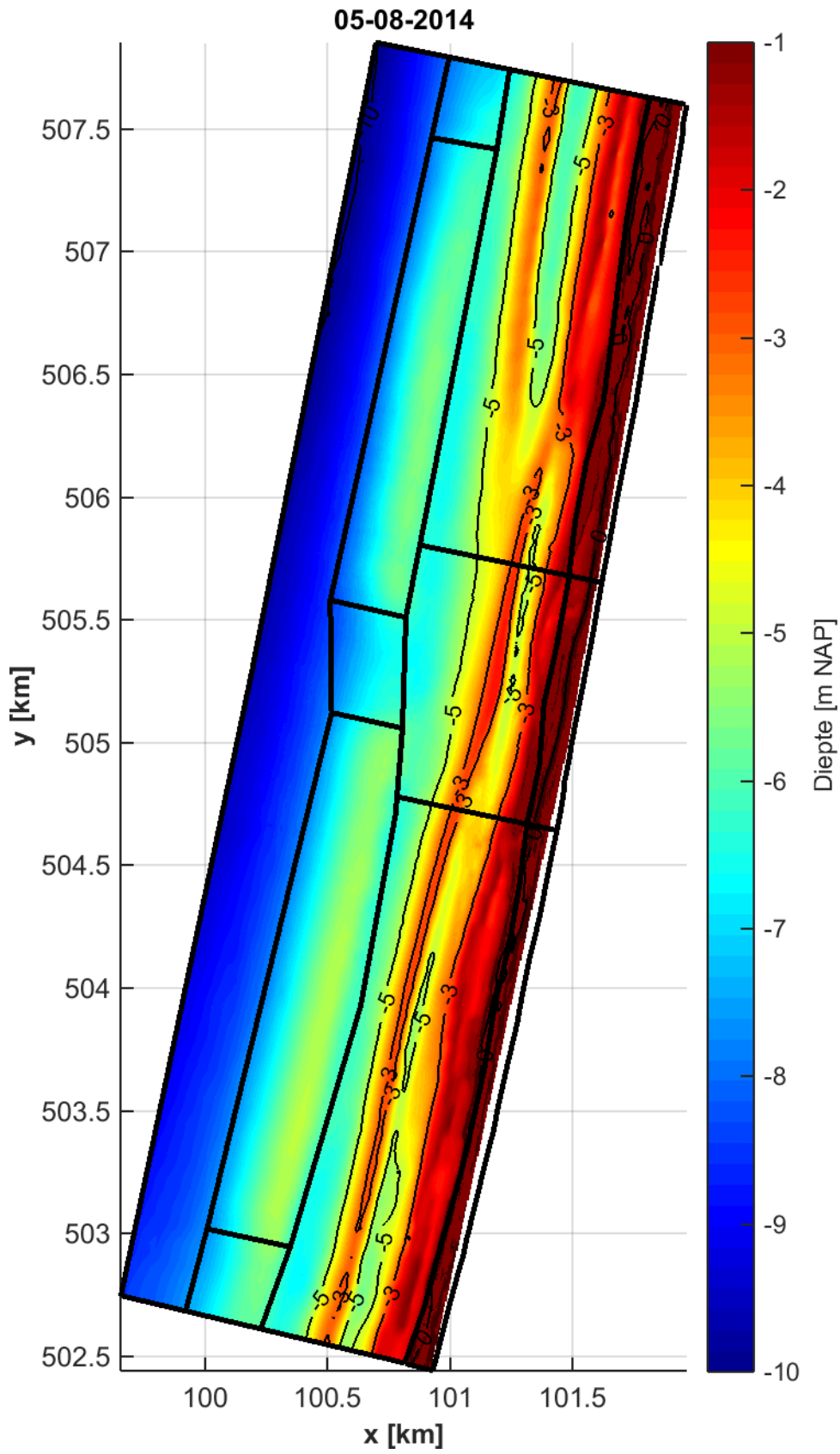


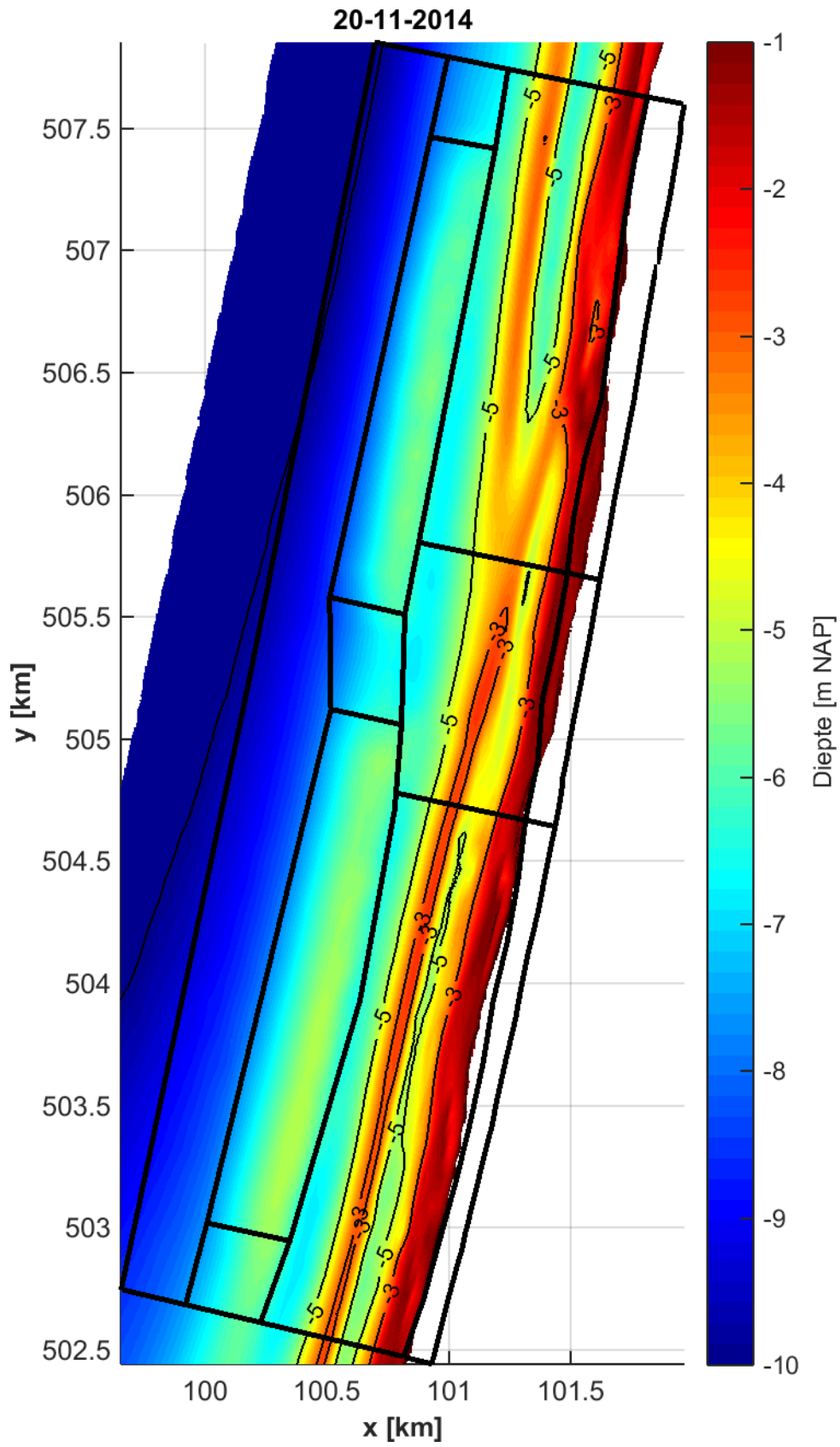


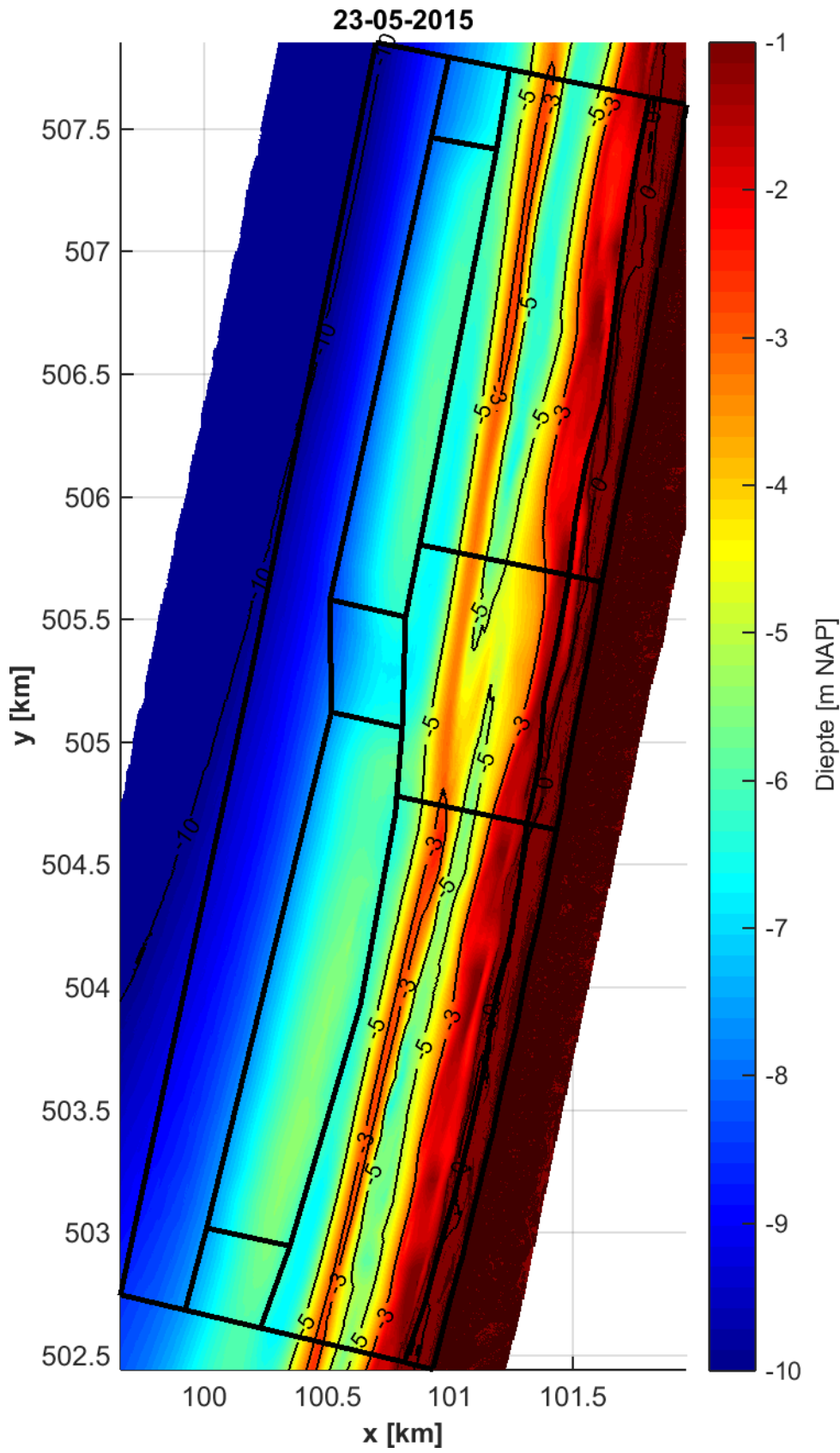


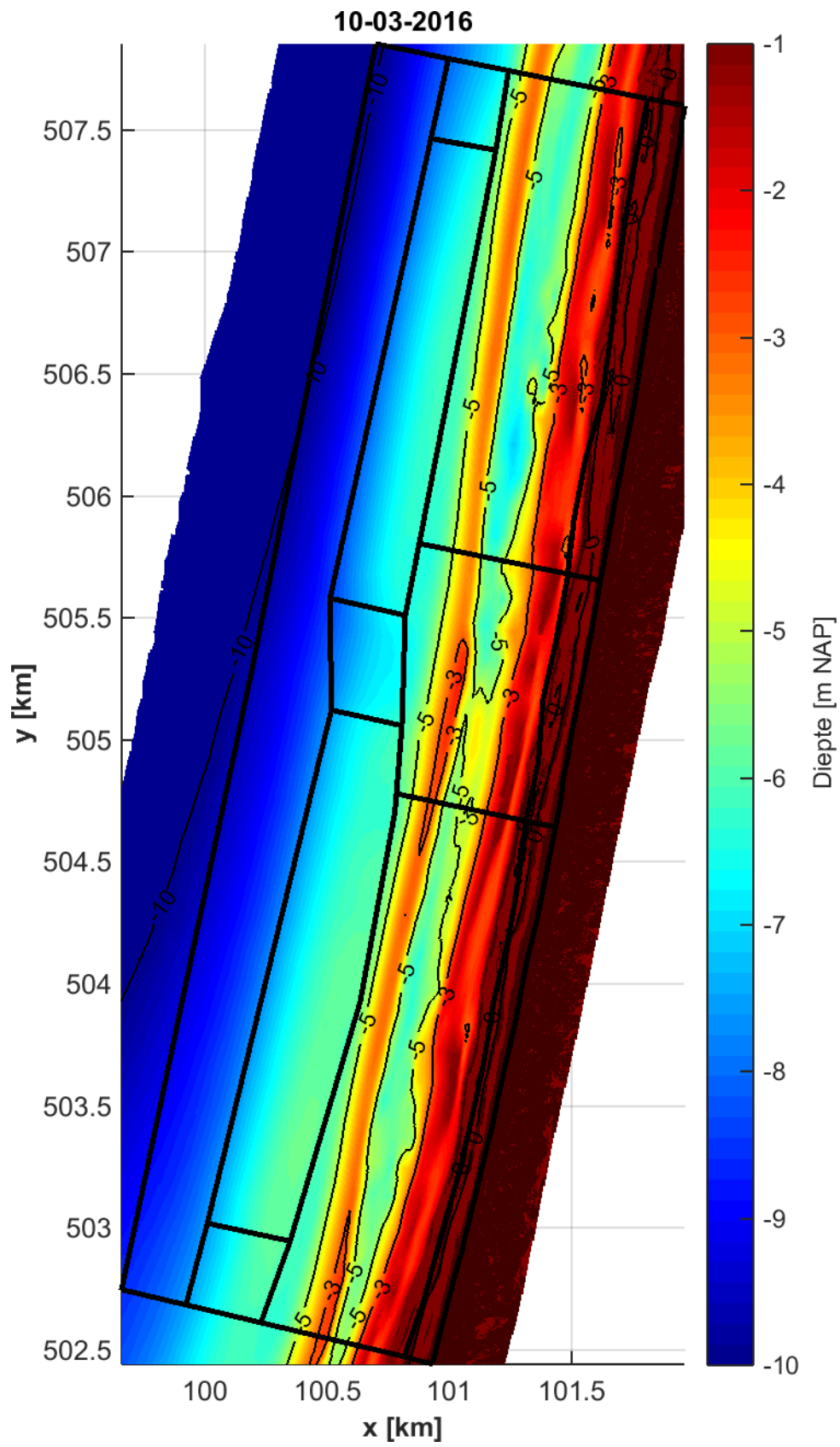




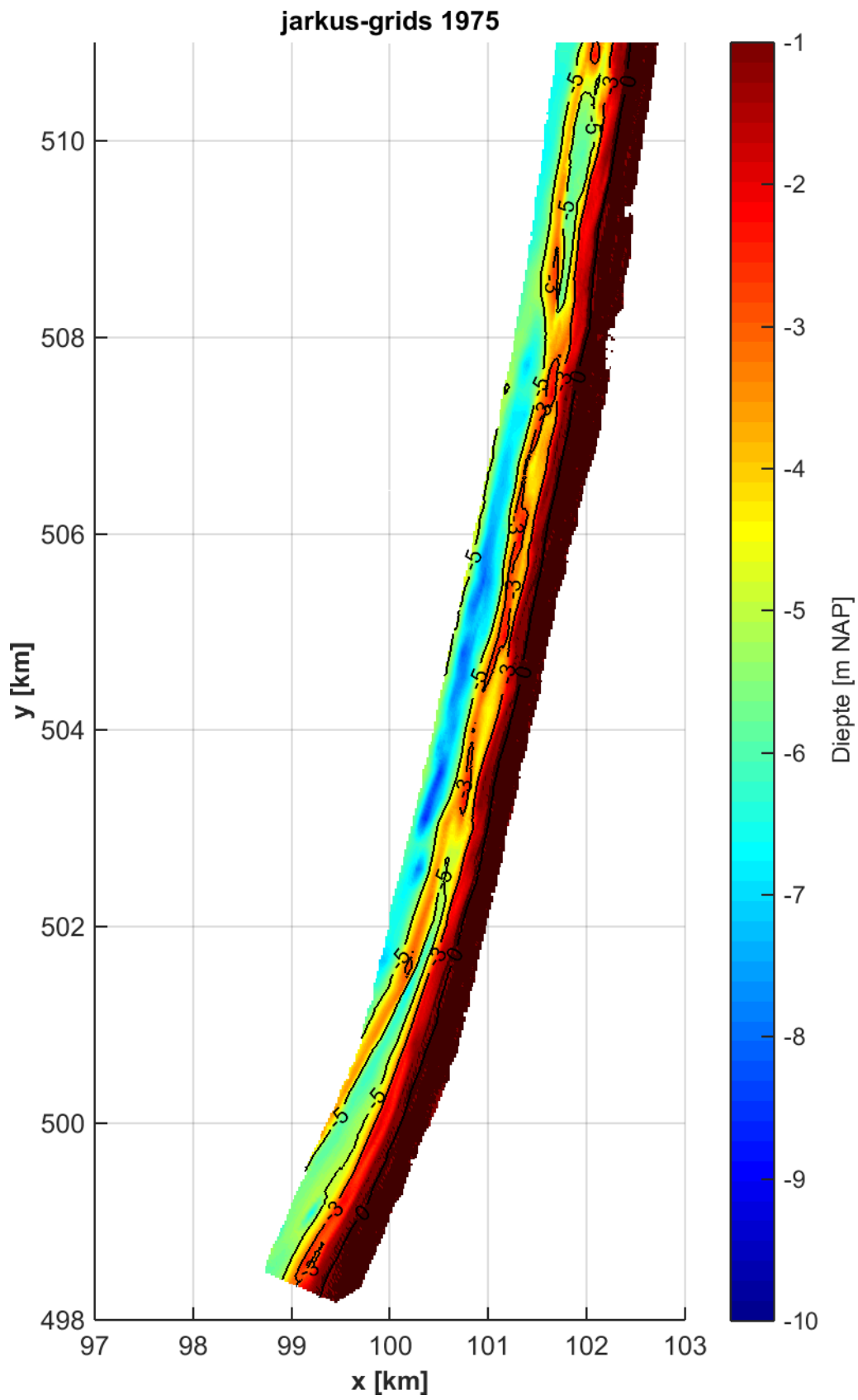


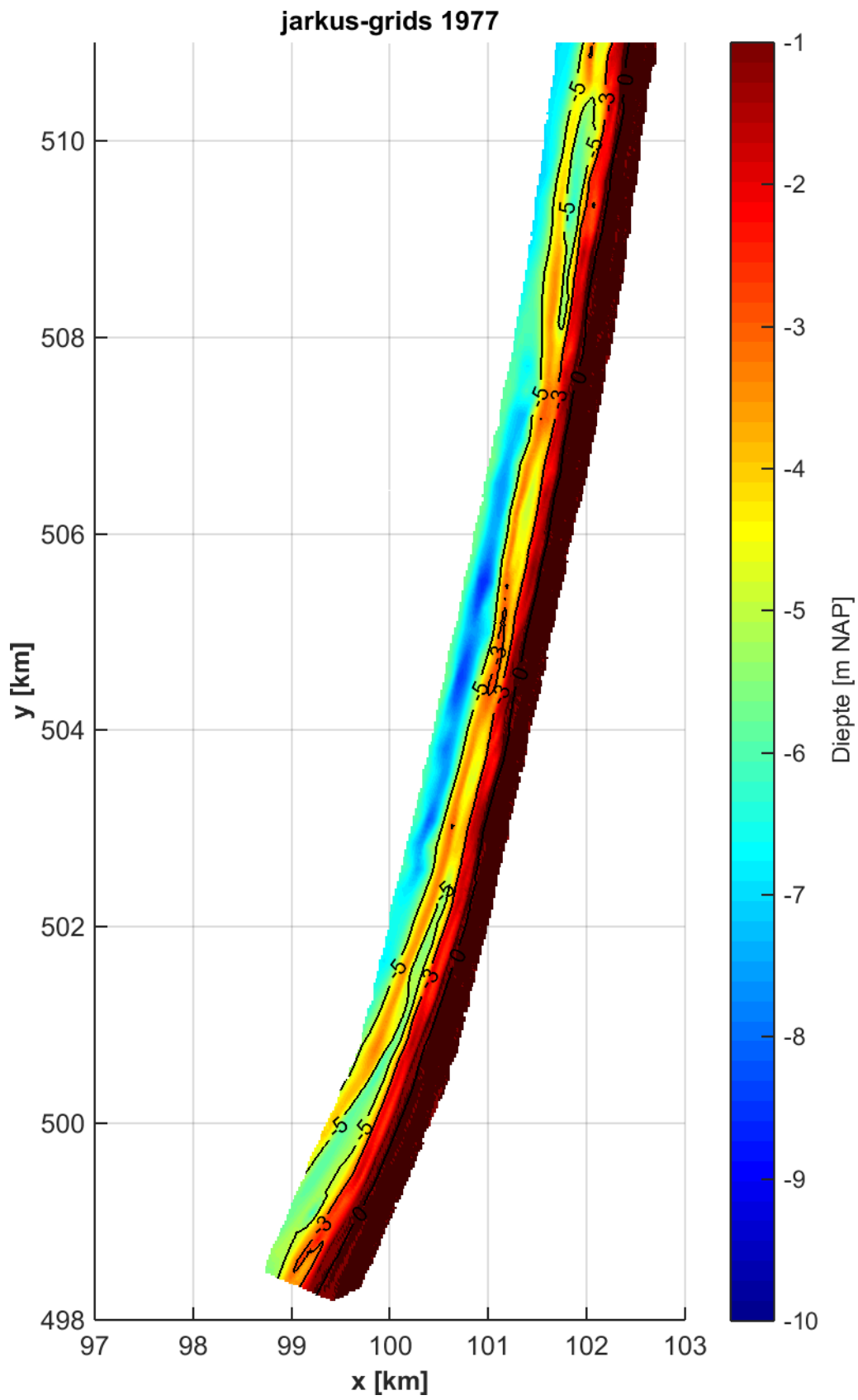


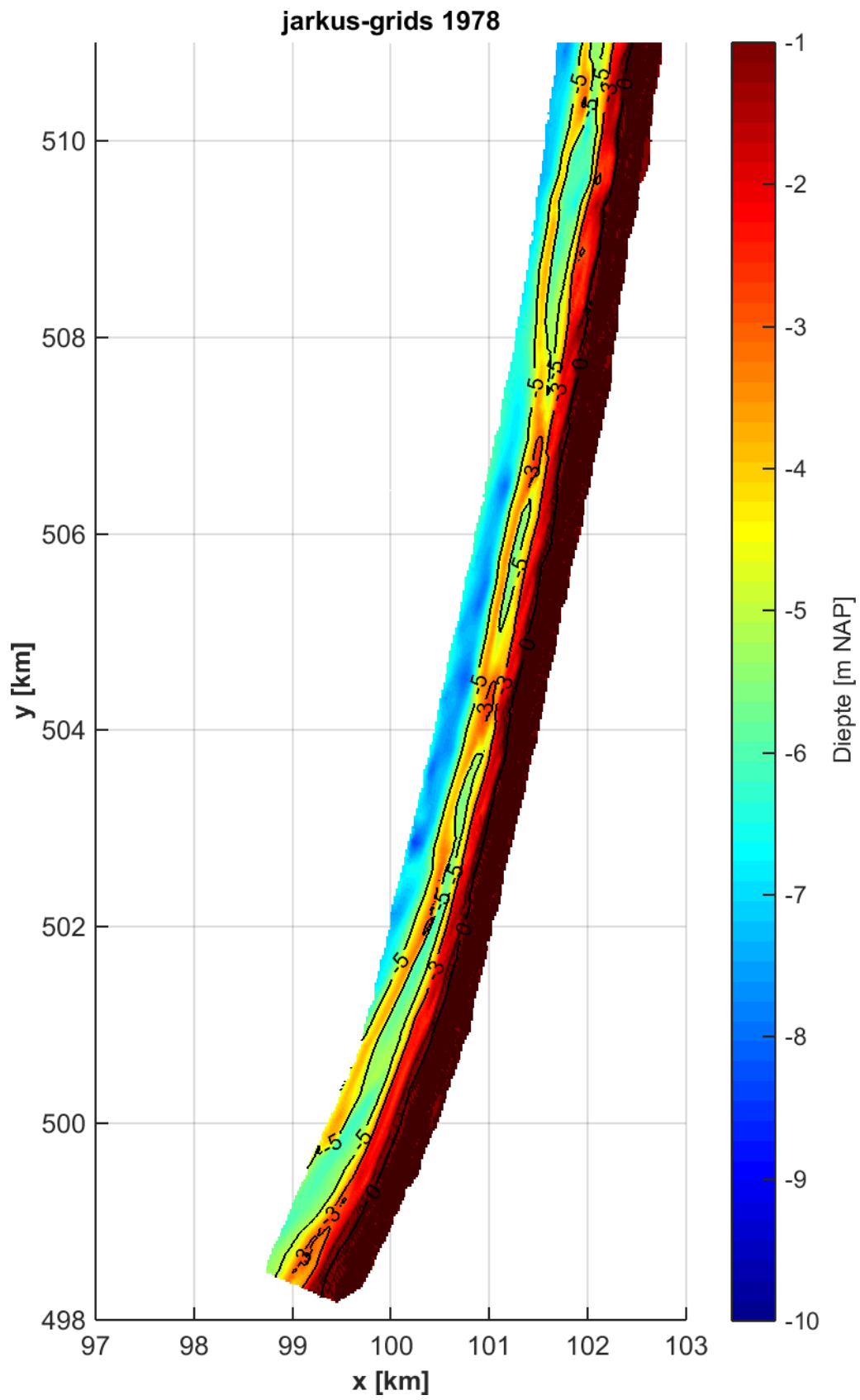


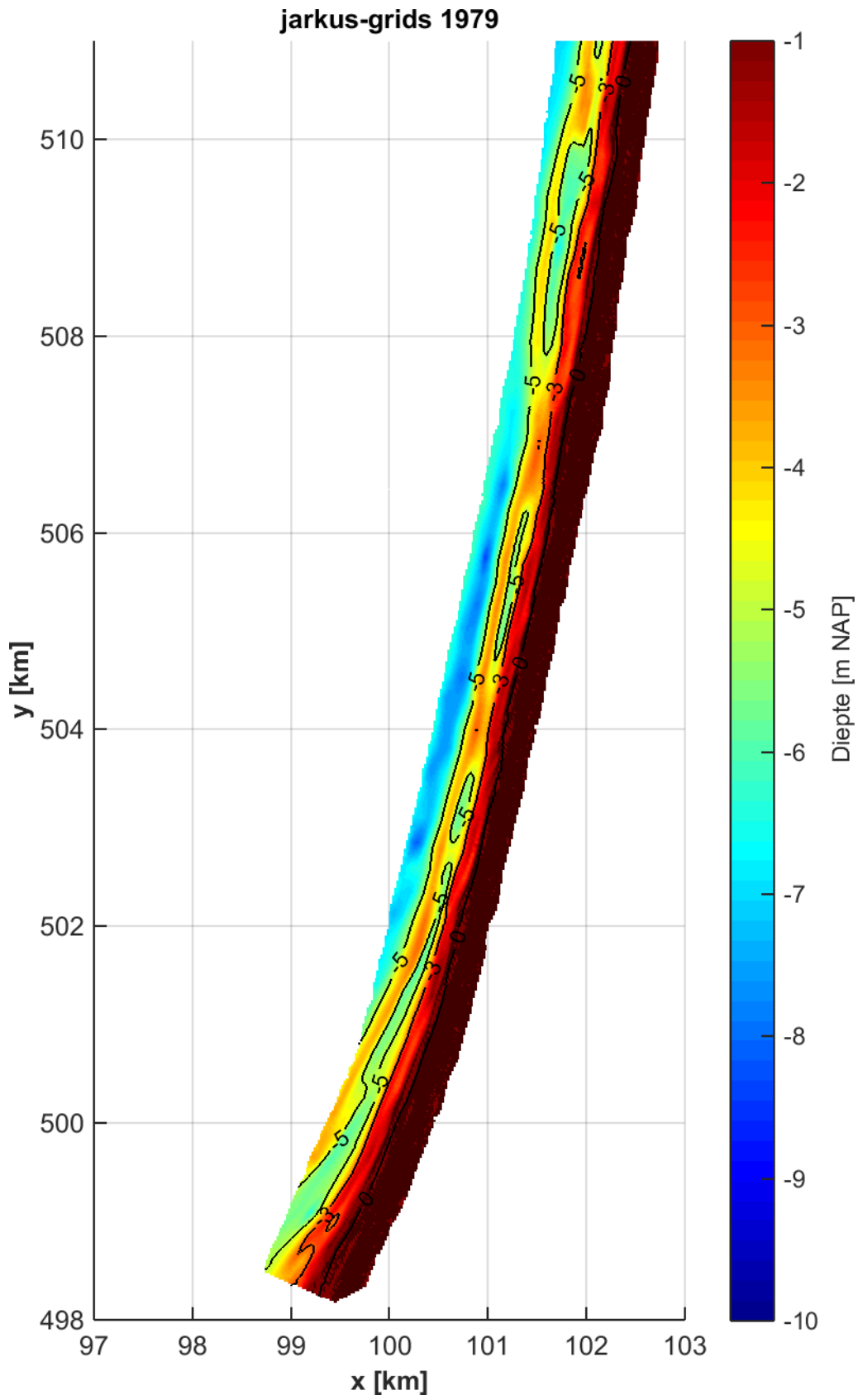


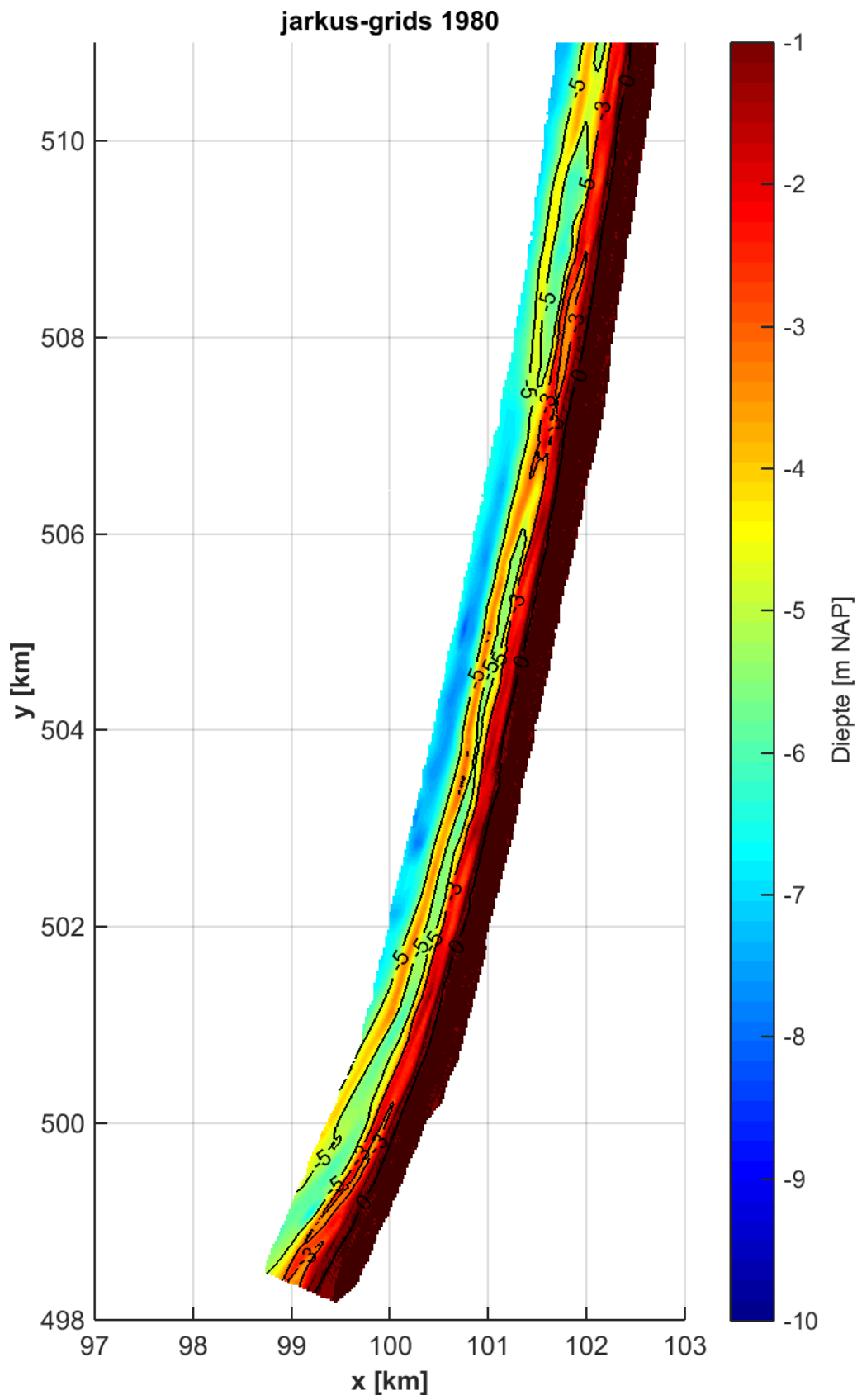
B JARKUS grids omgeving Heemskerk

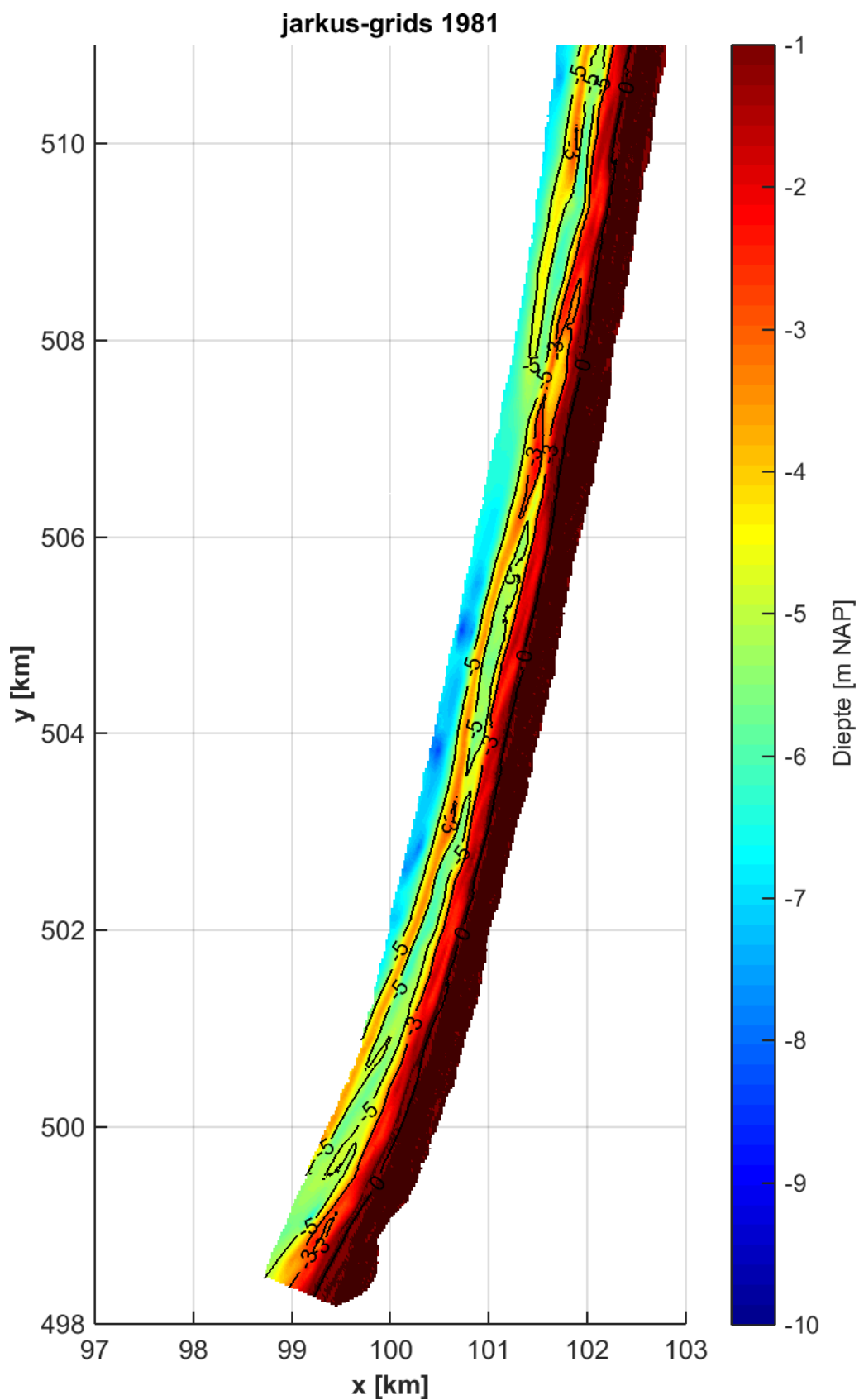


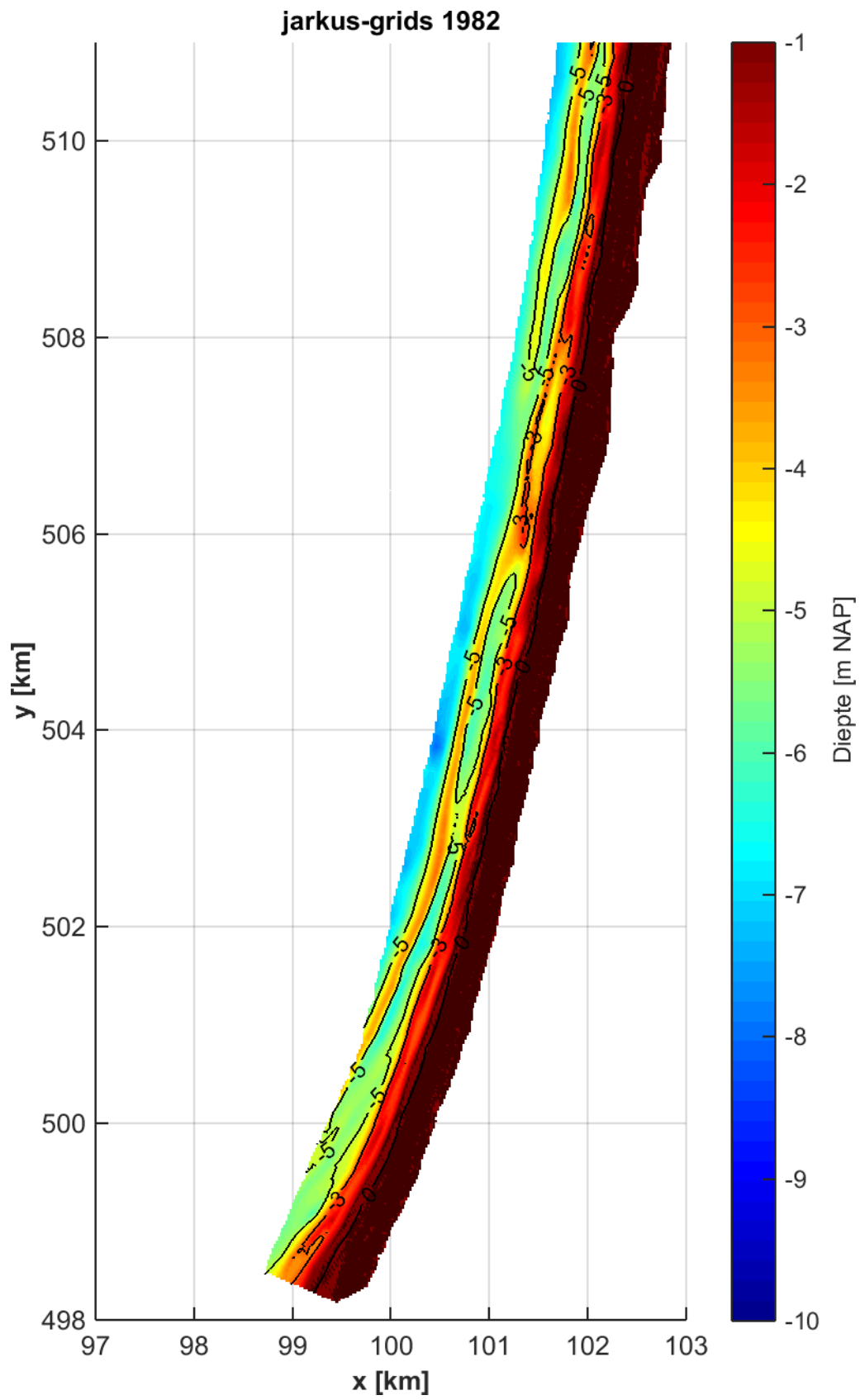


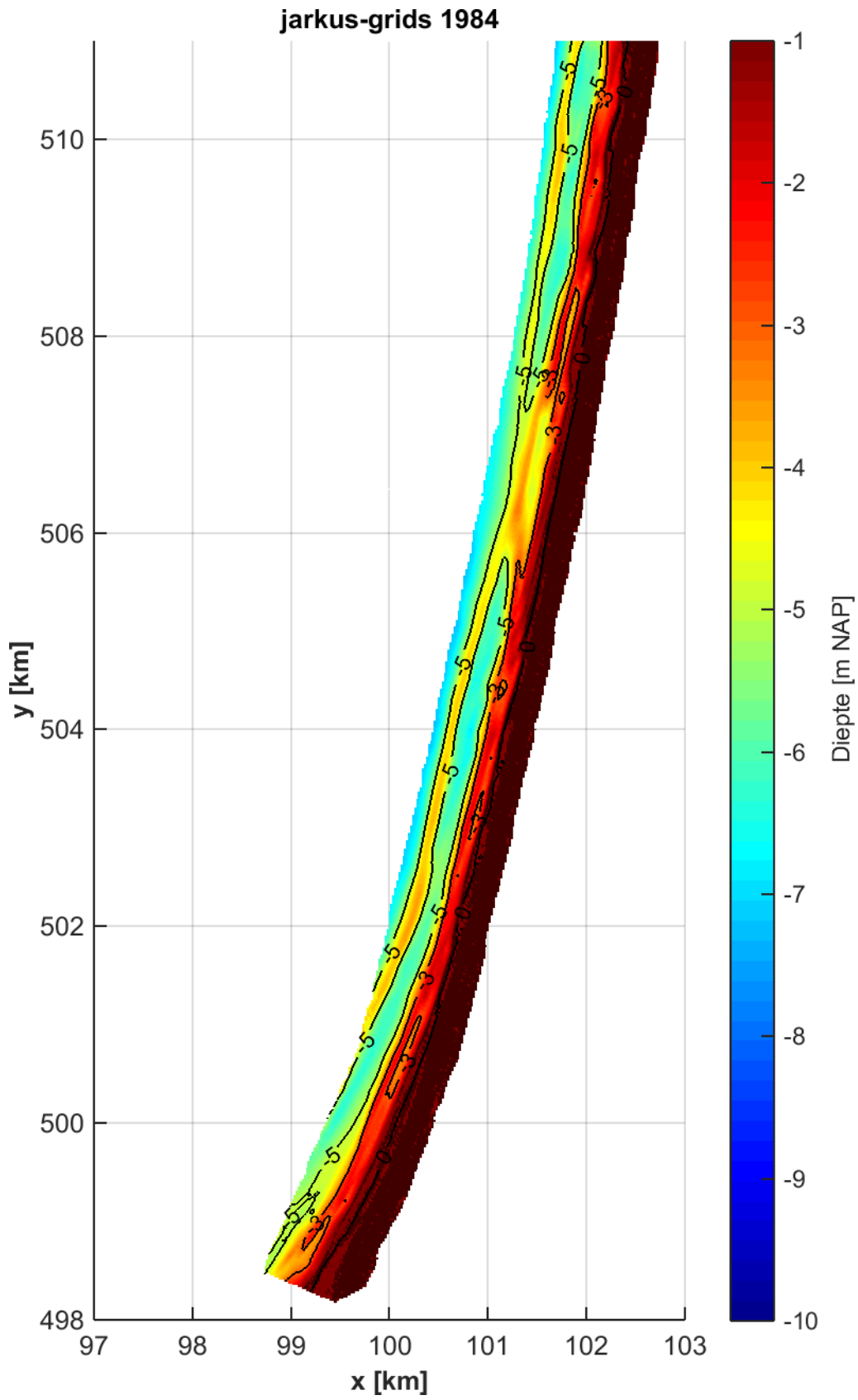


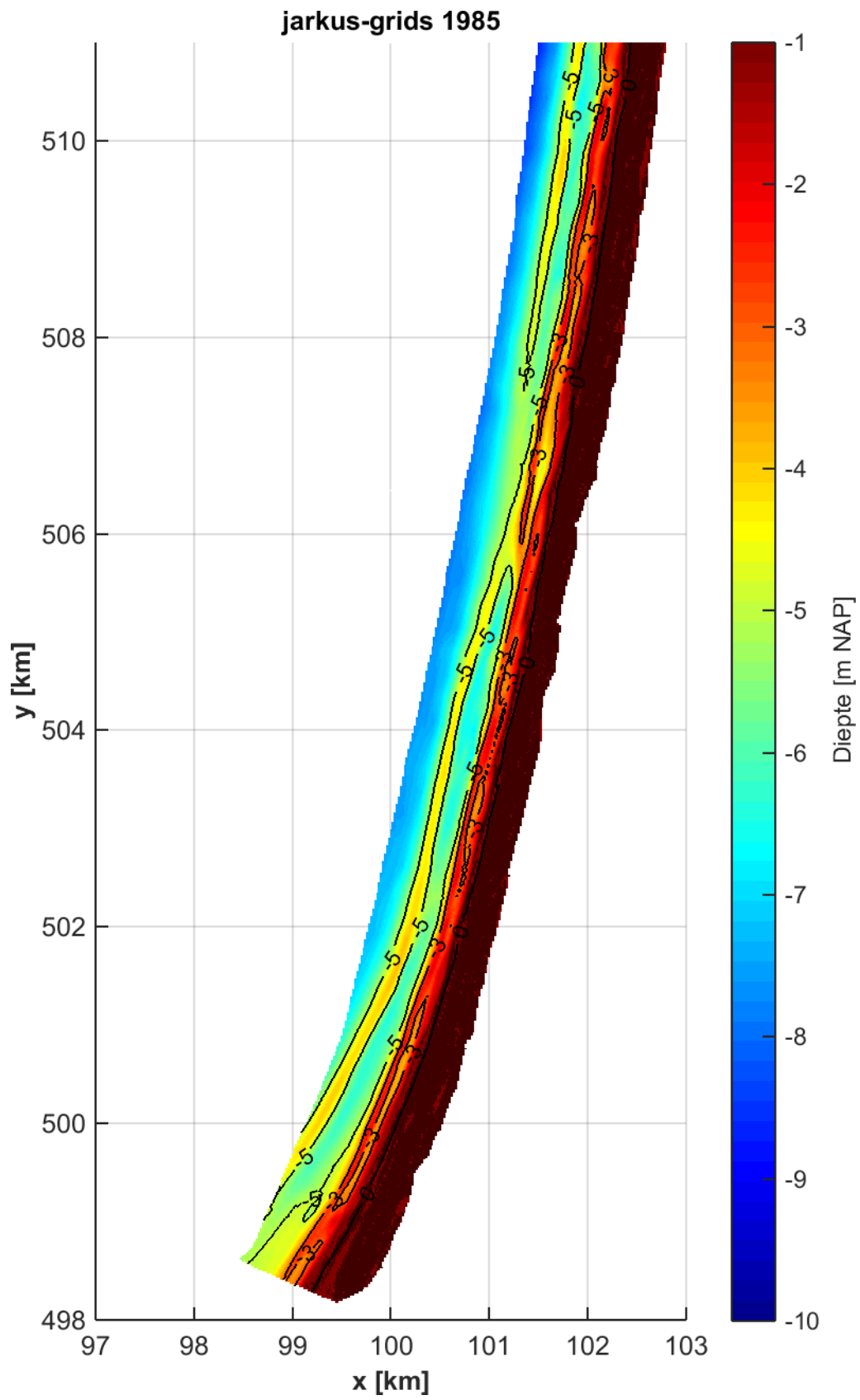


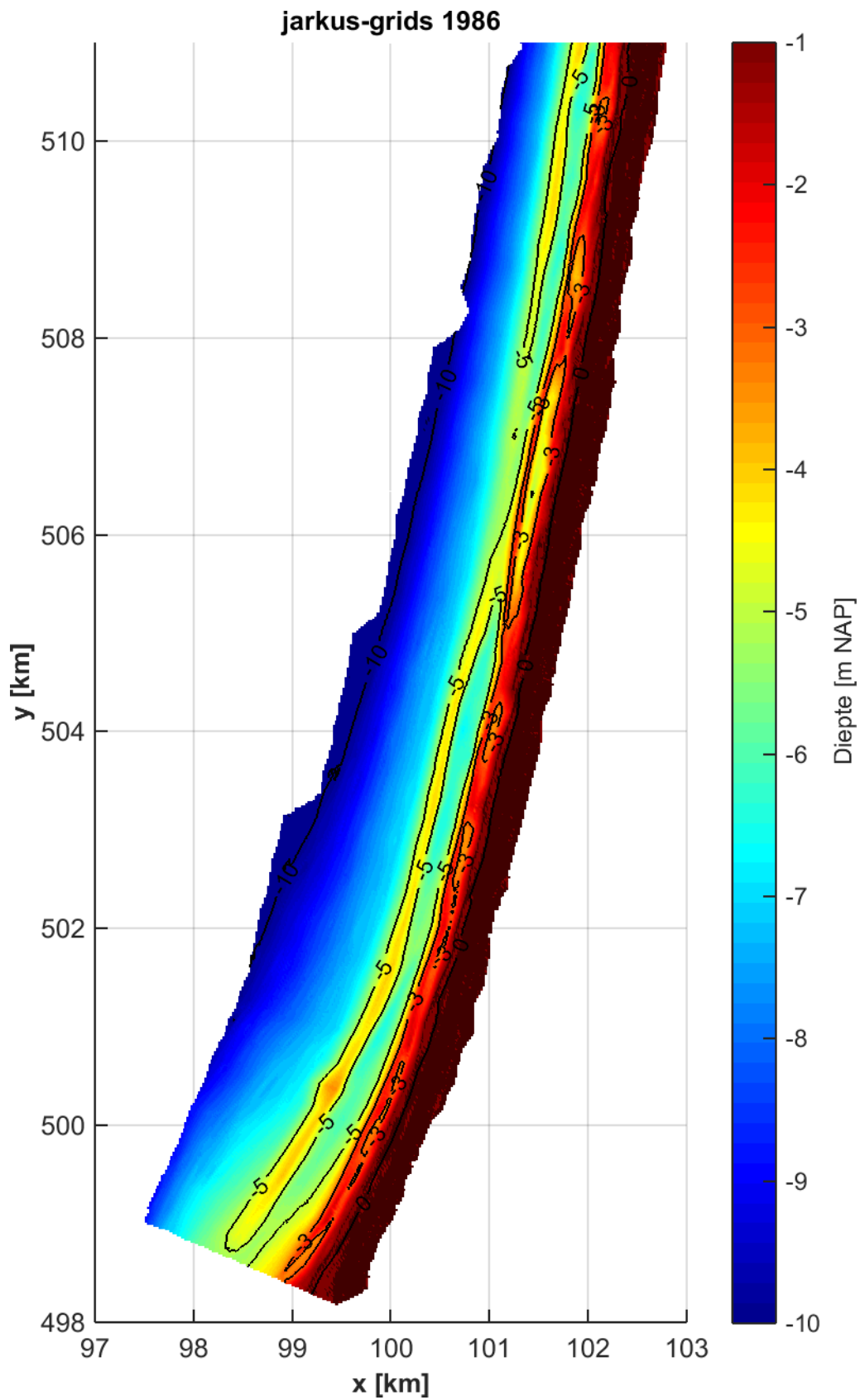


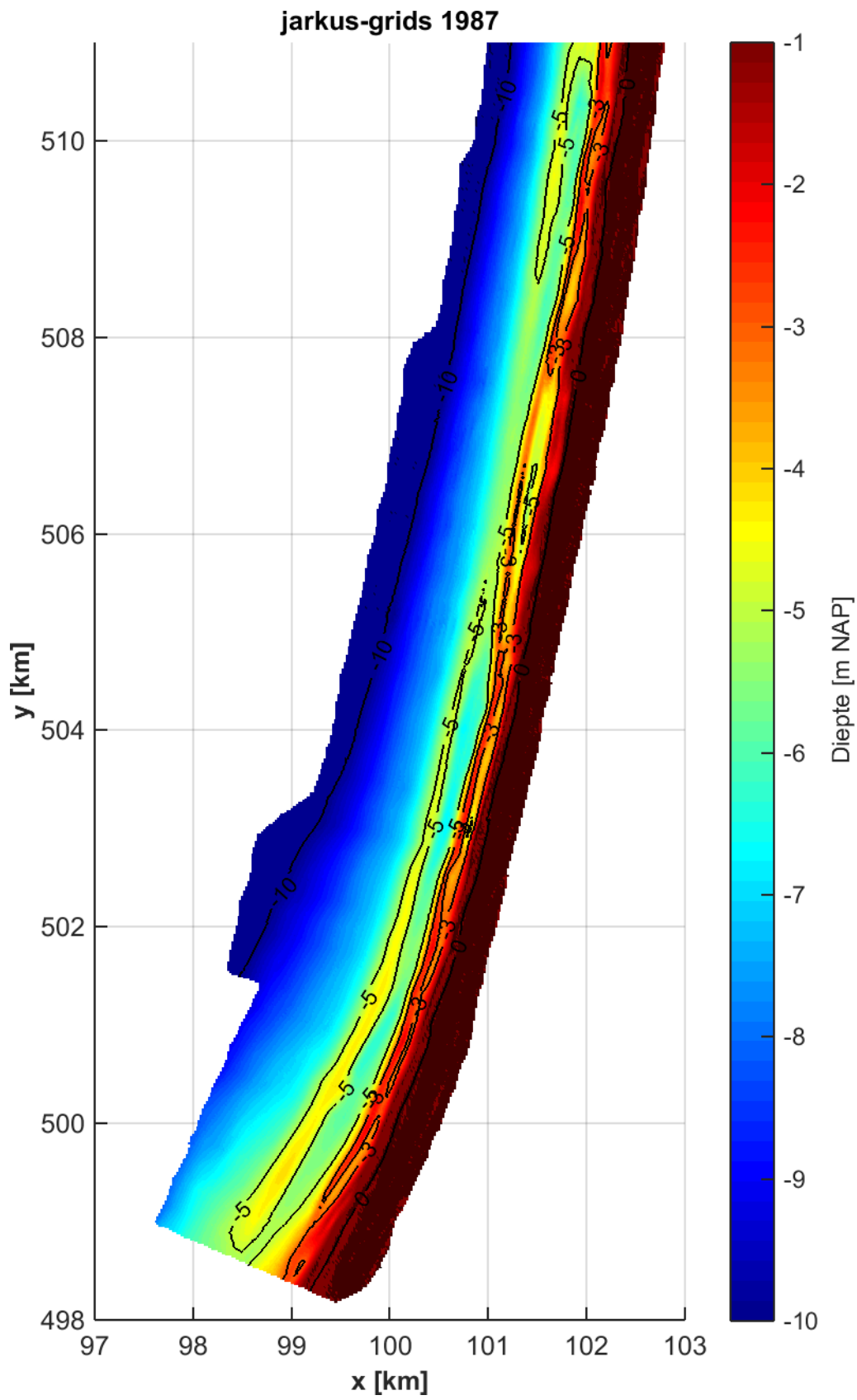


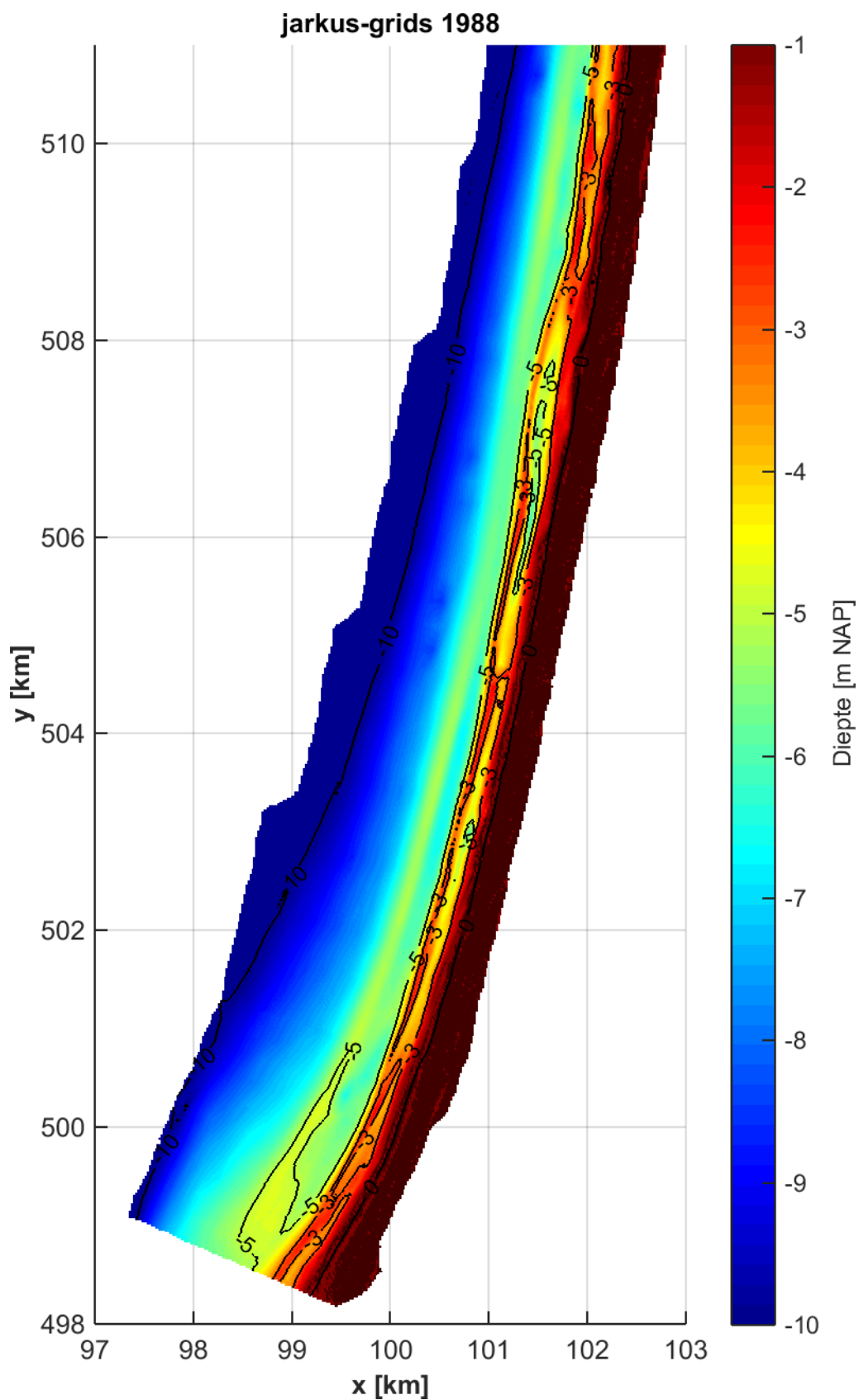


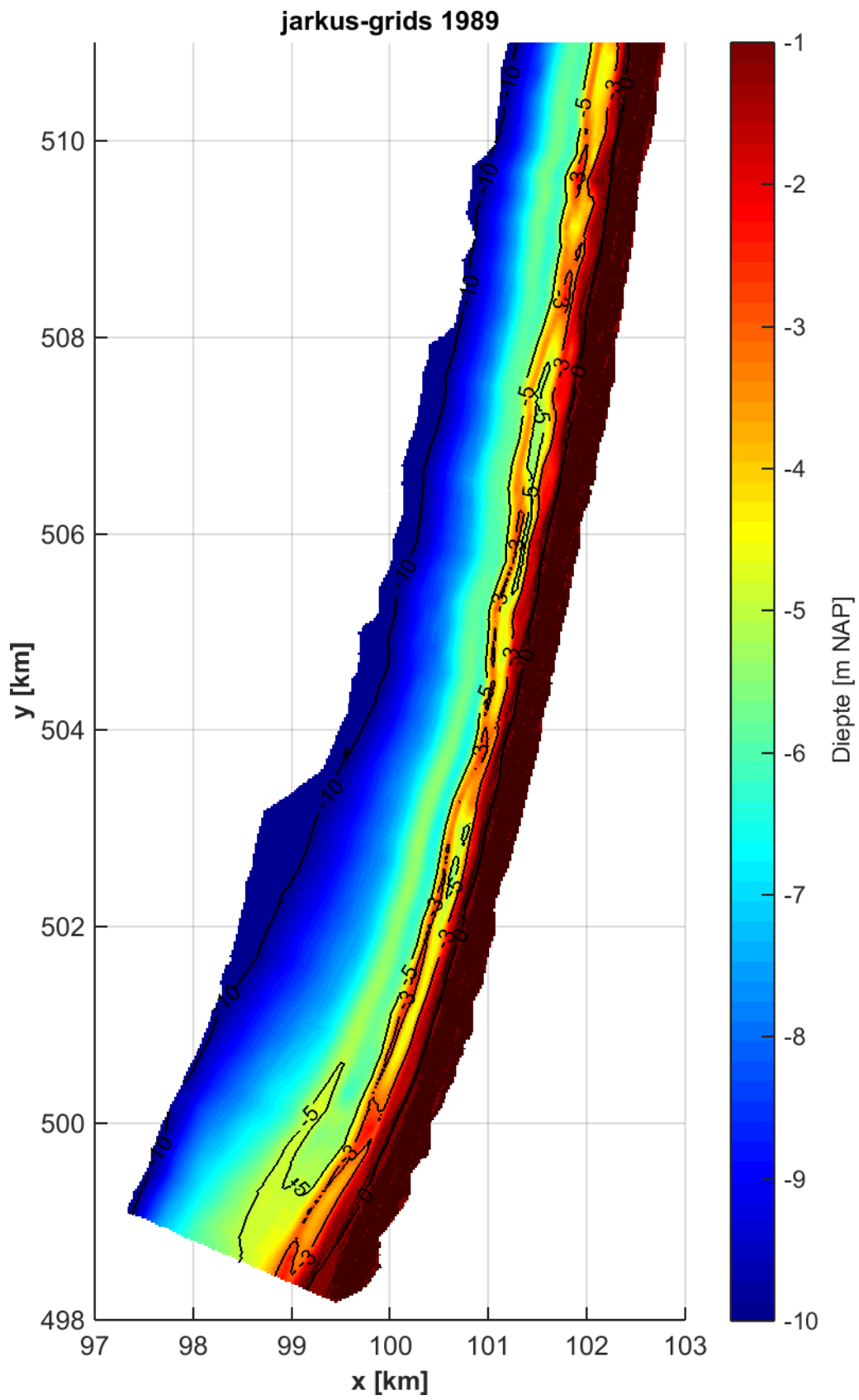


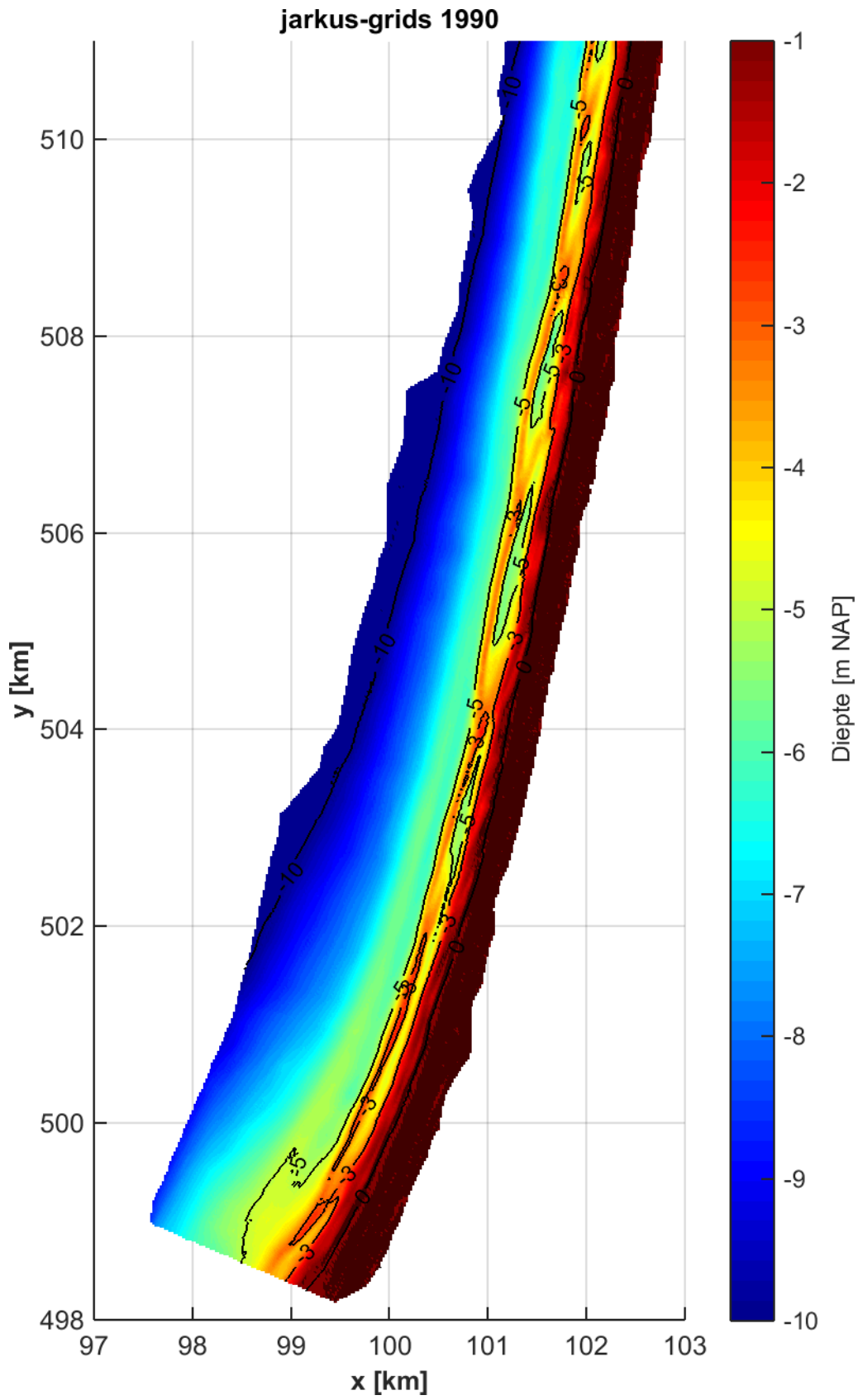


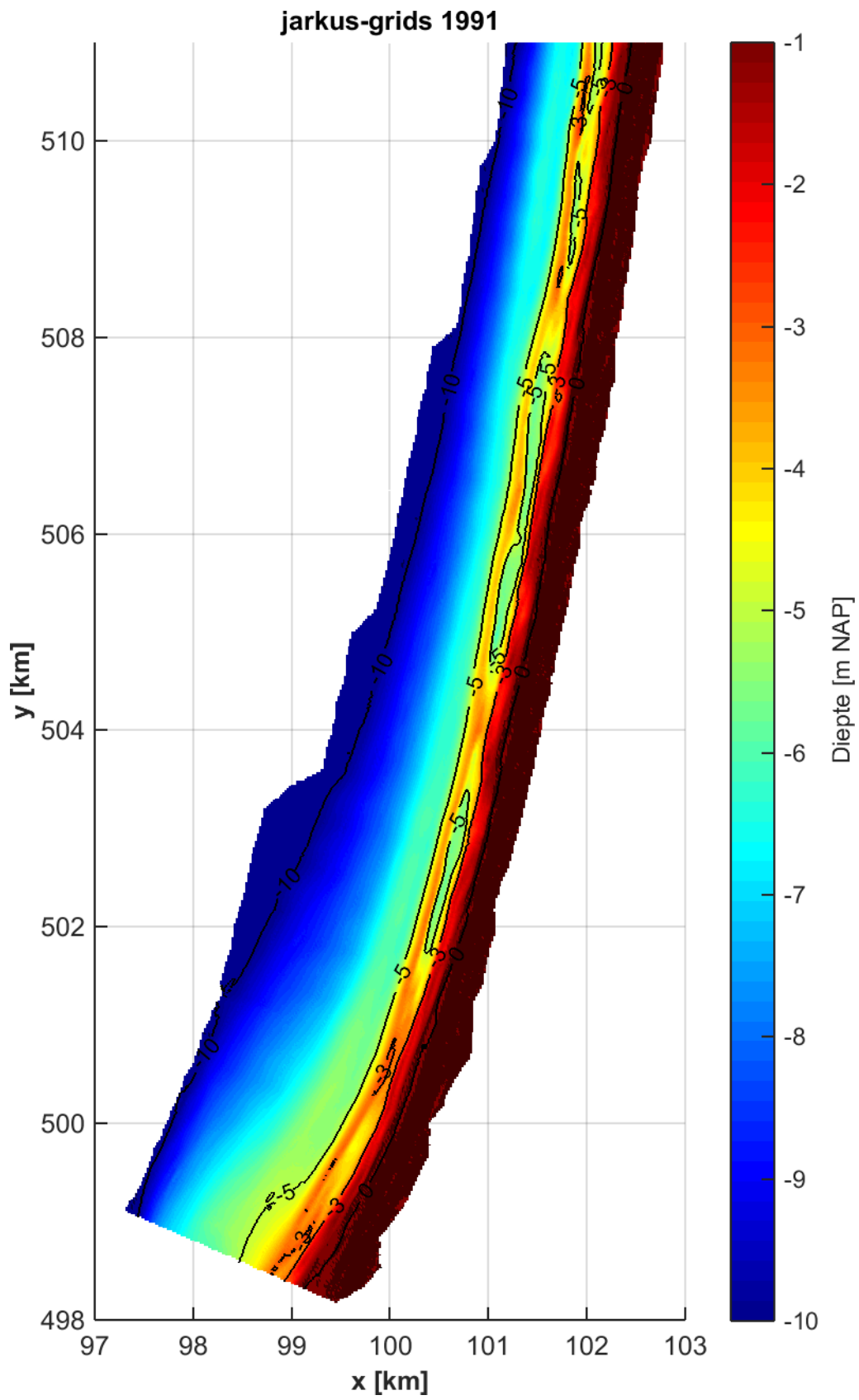


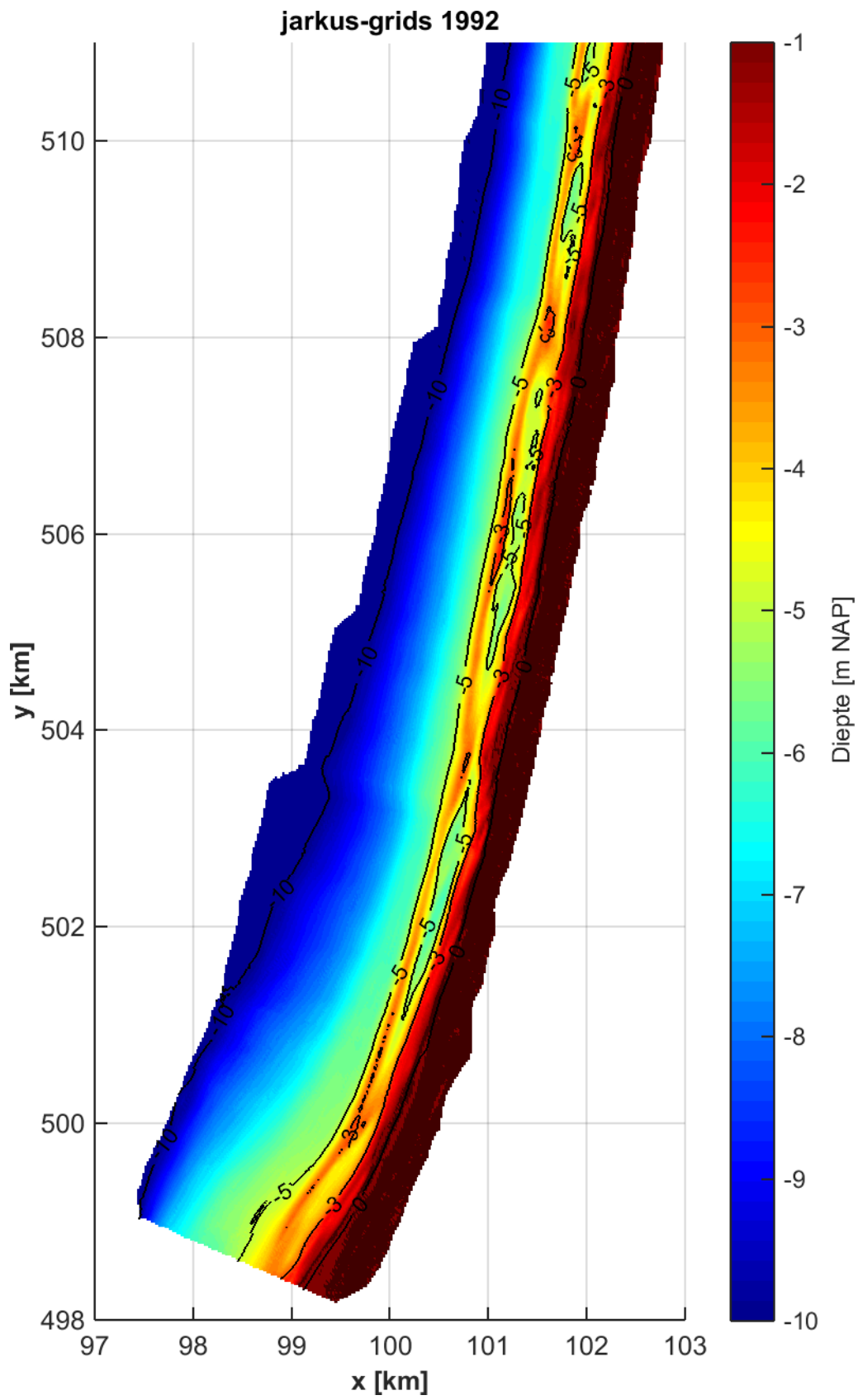


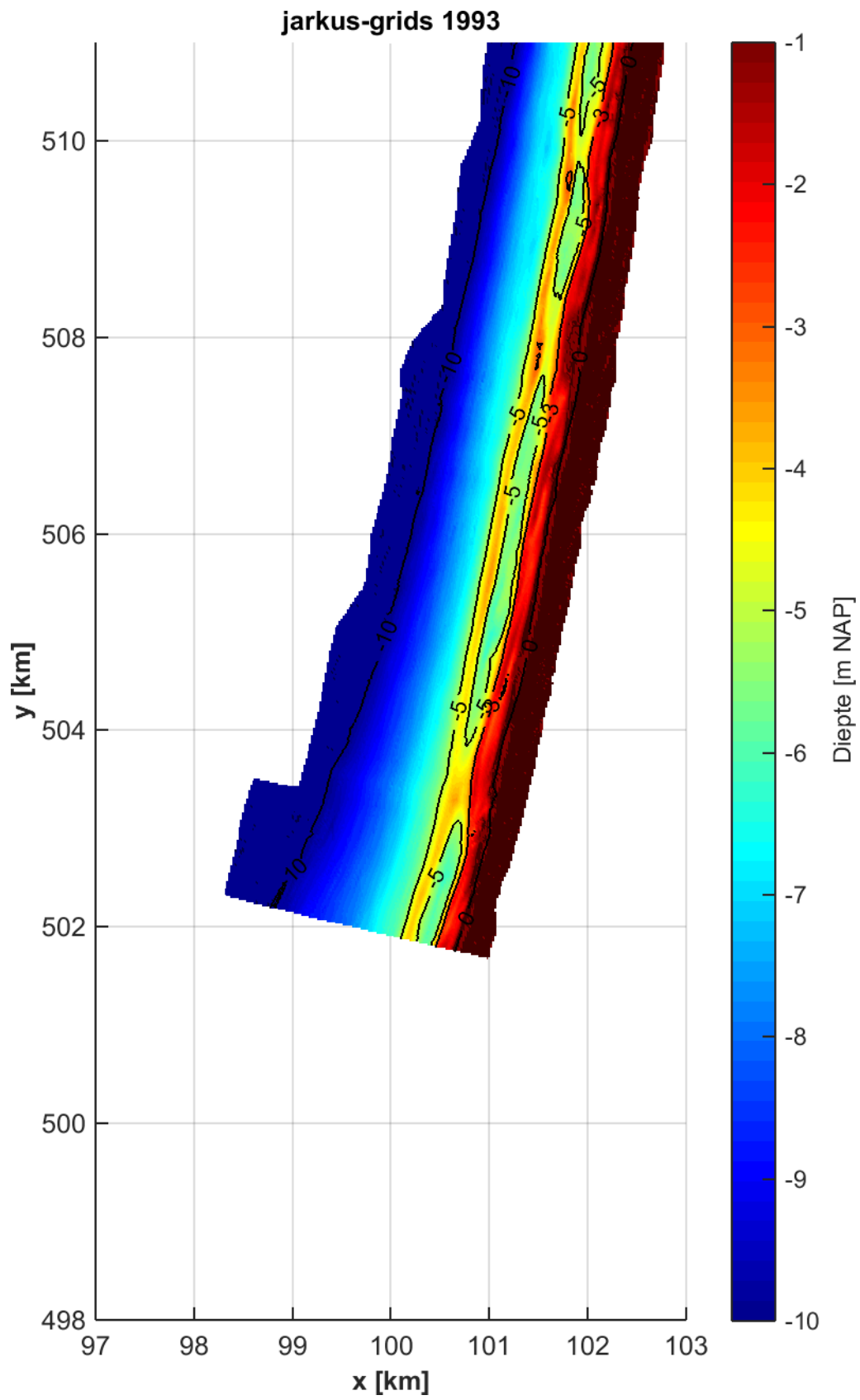


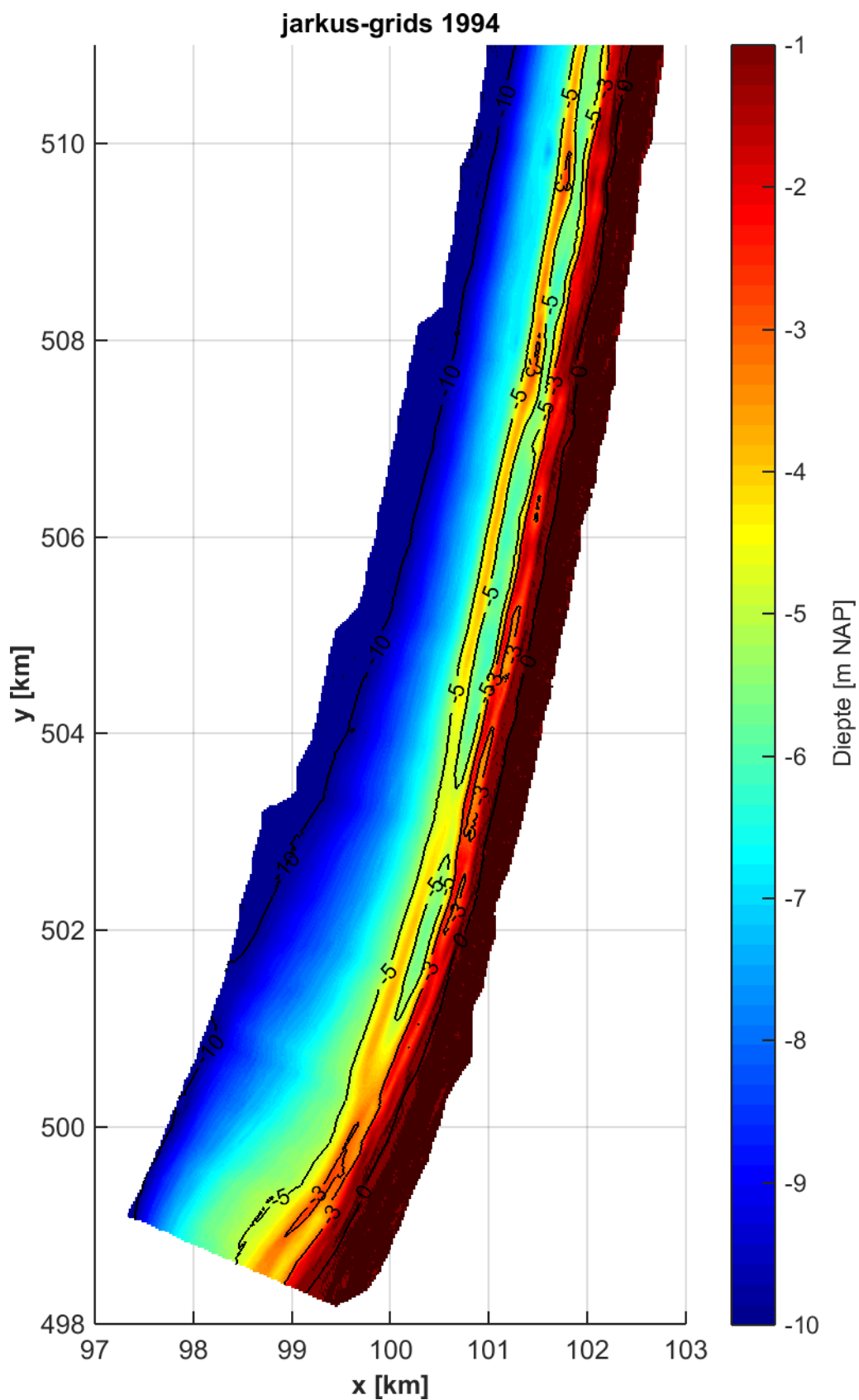


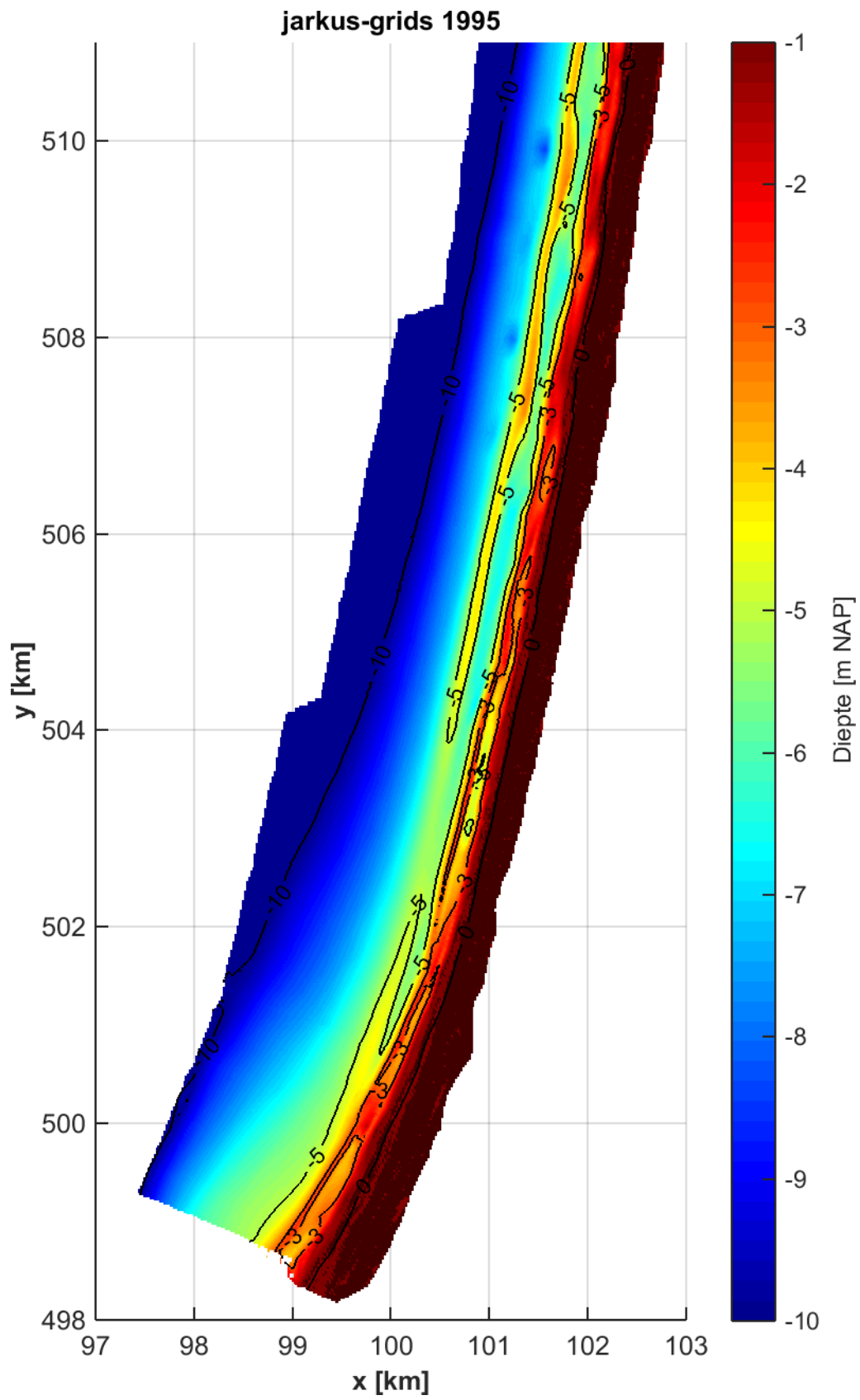


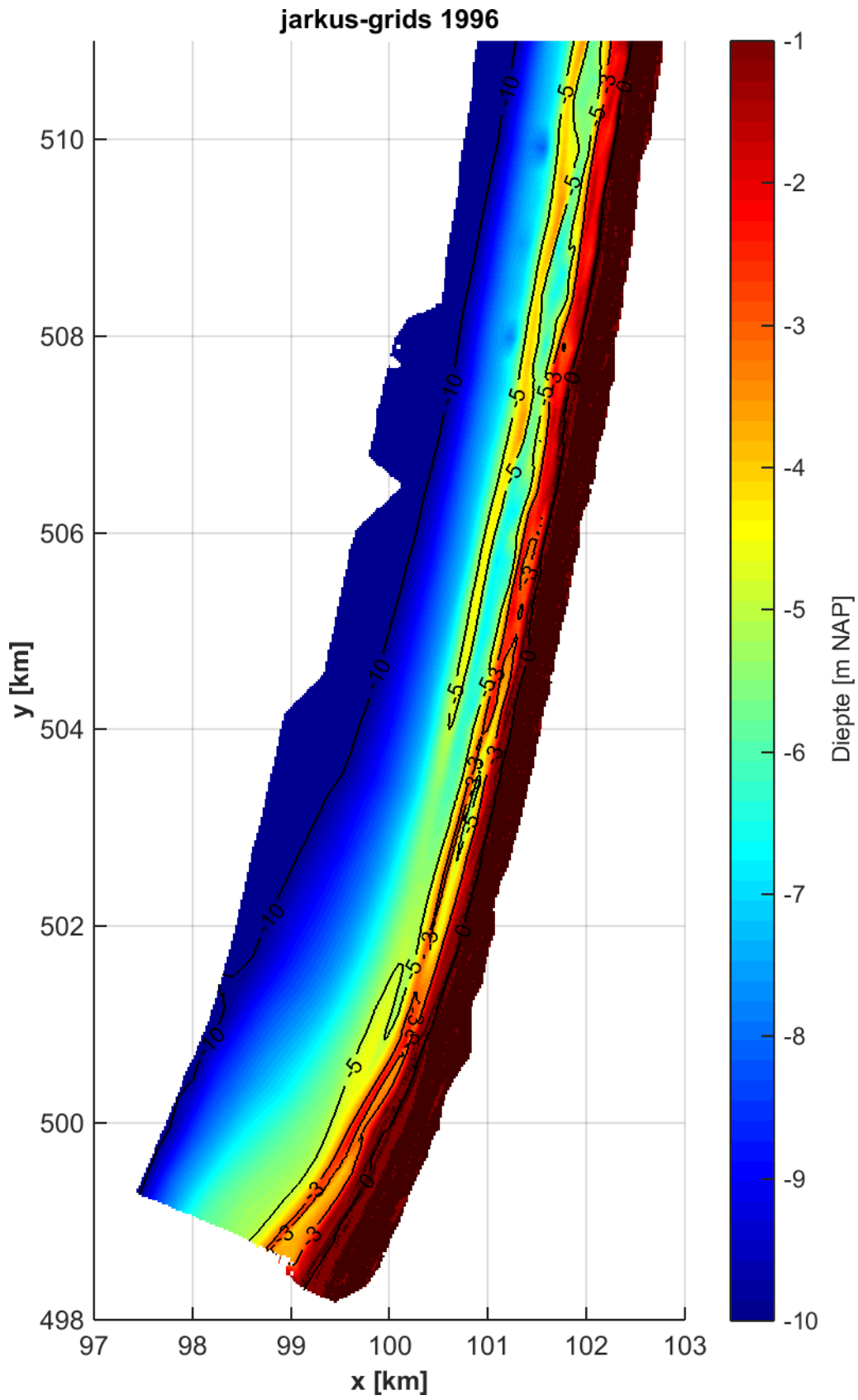


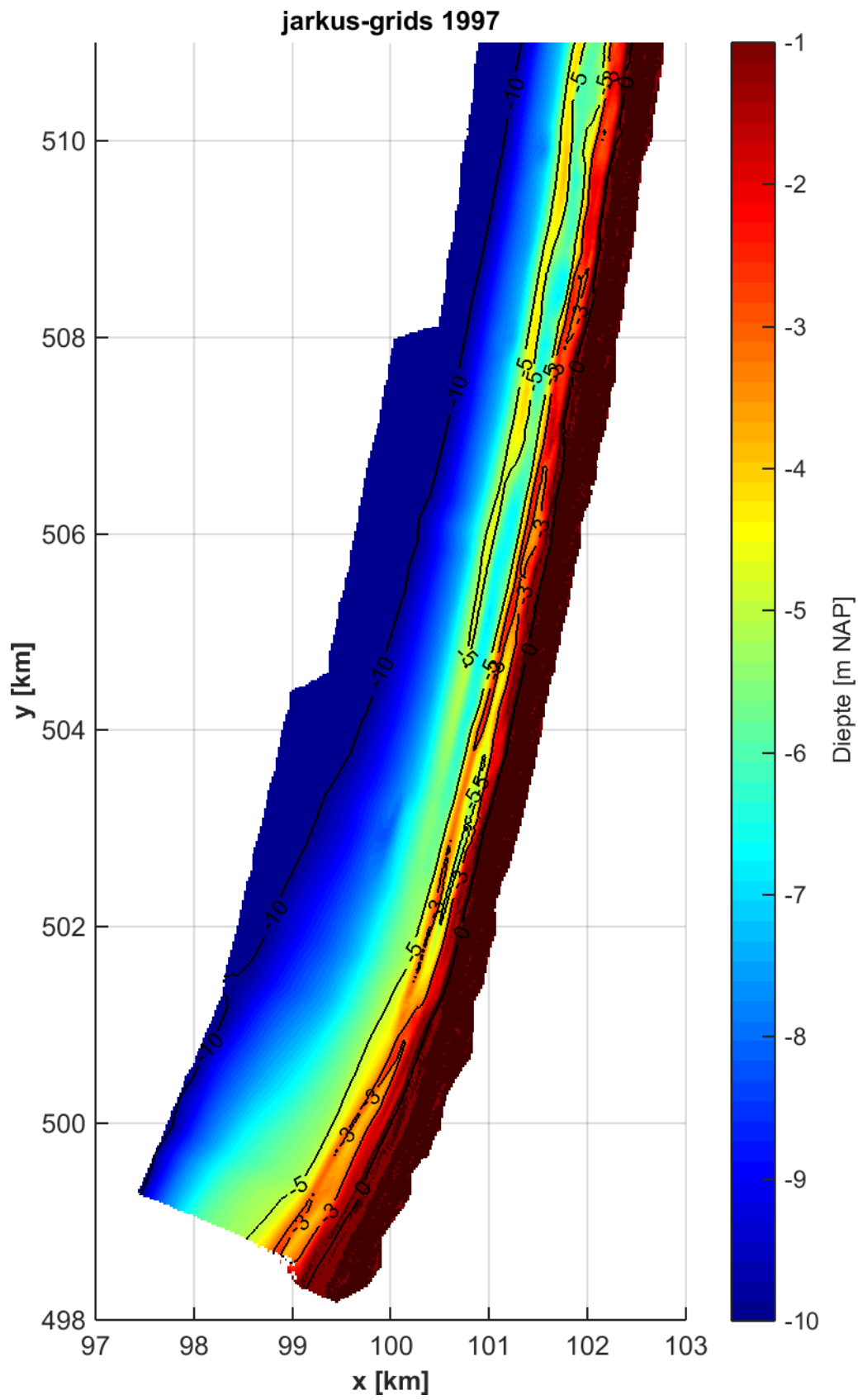


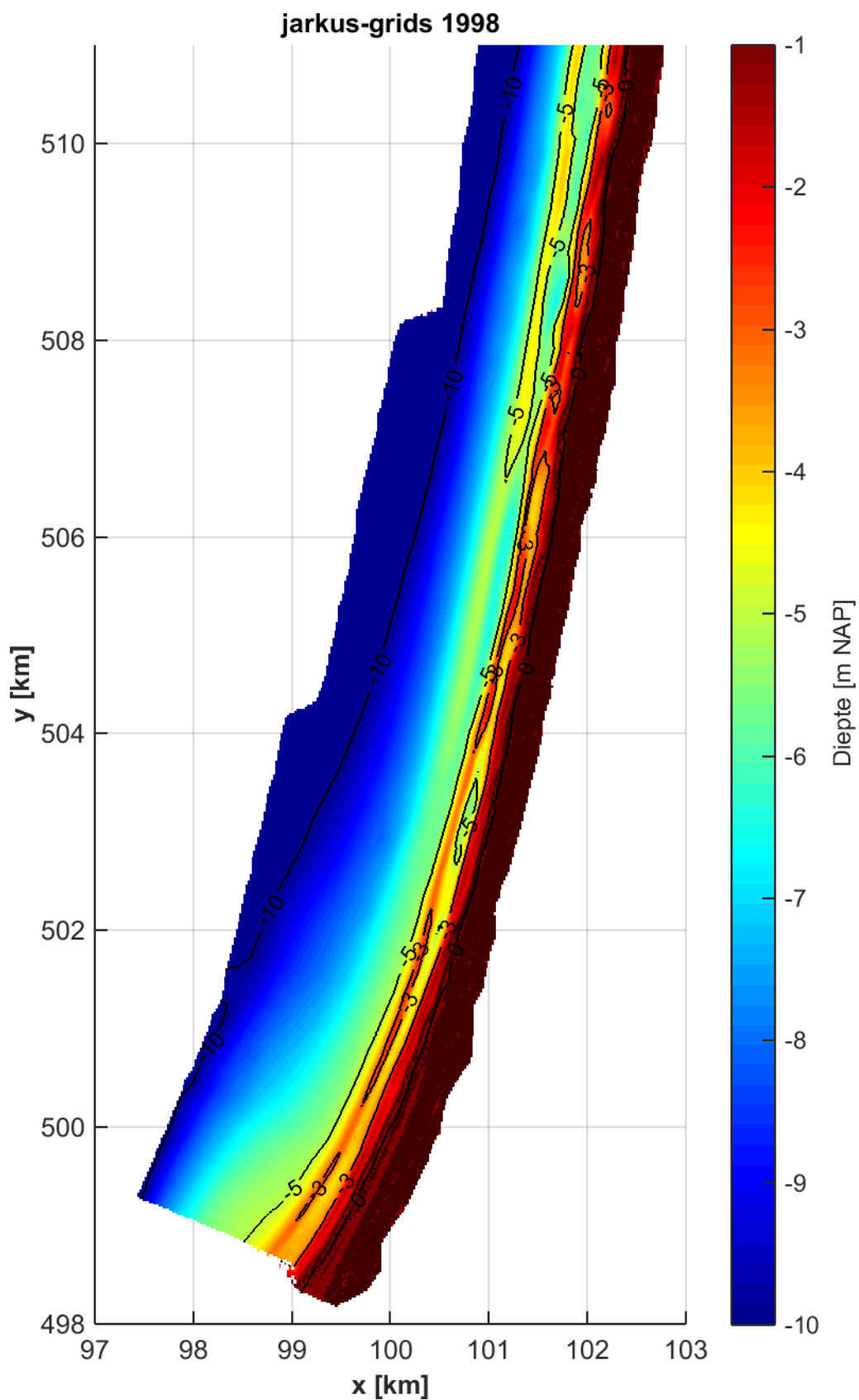


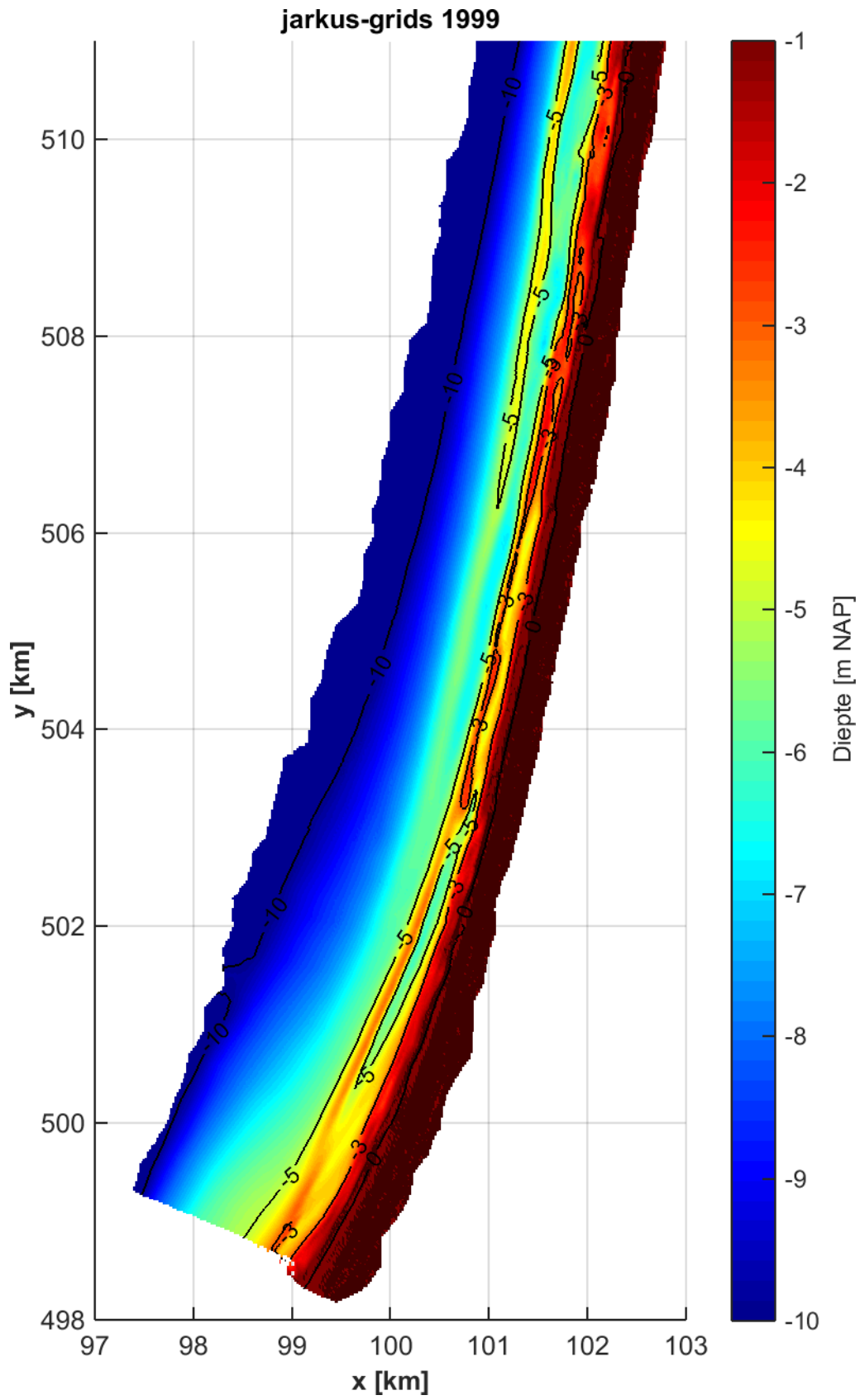


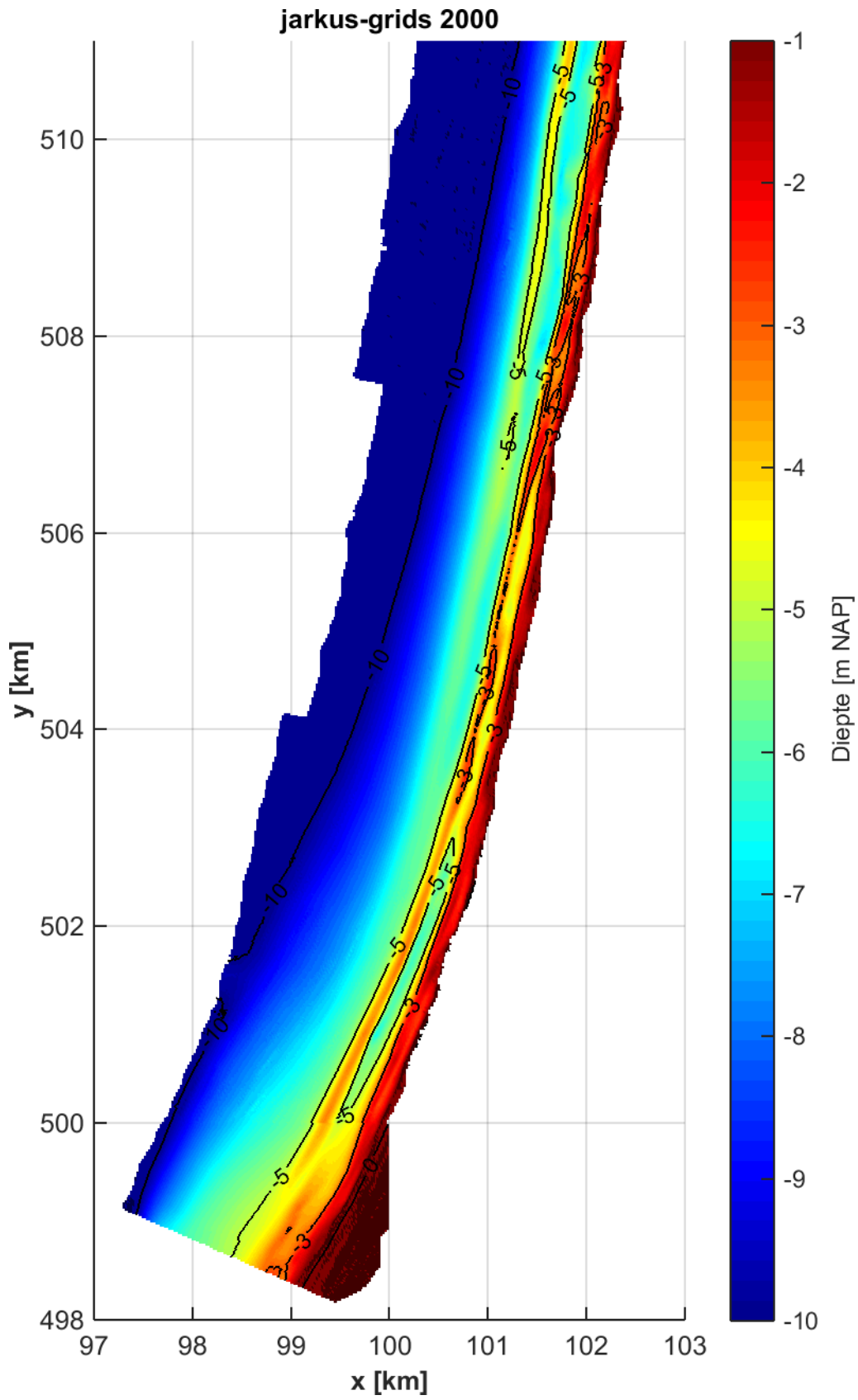


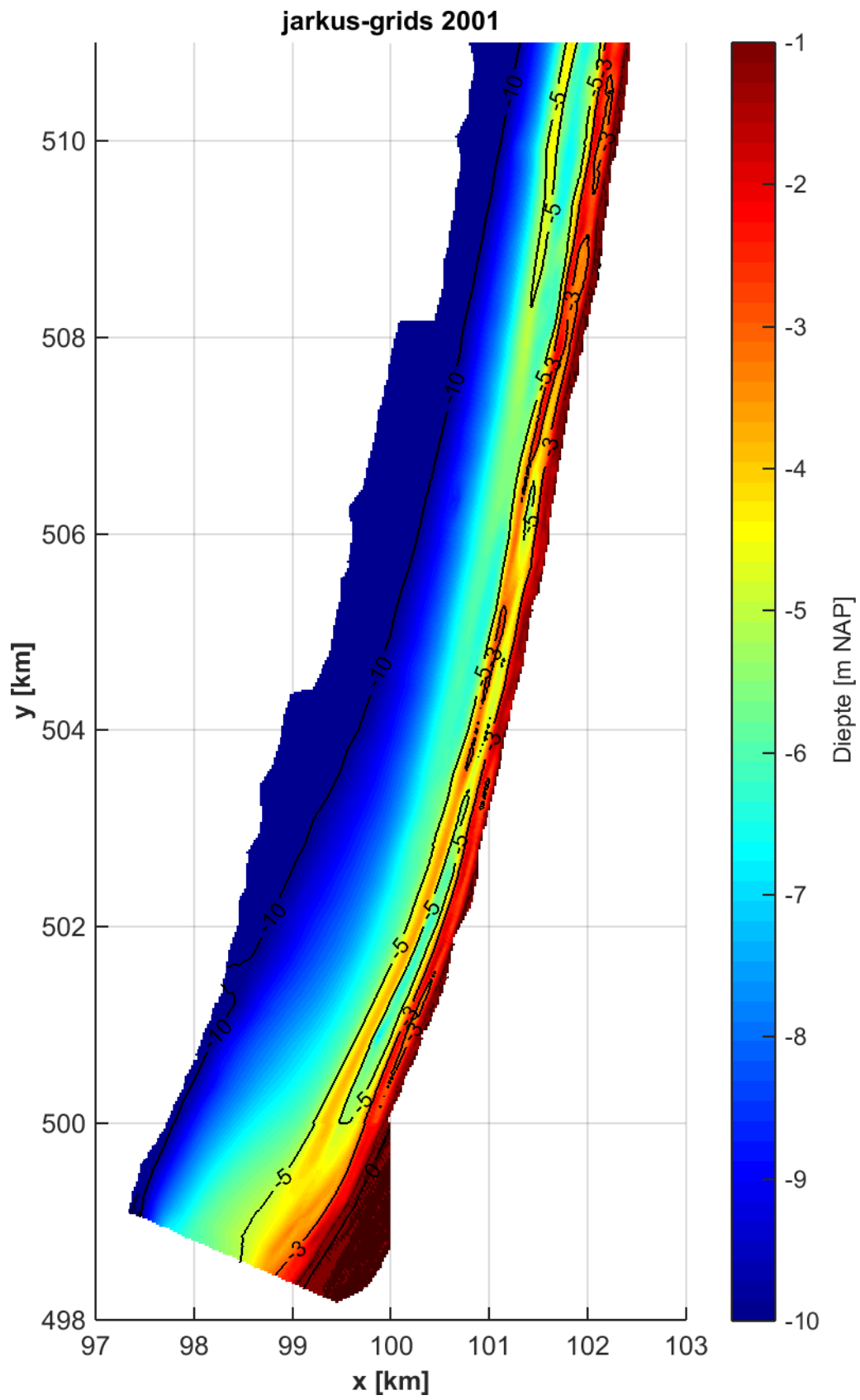


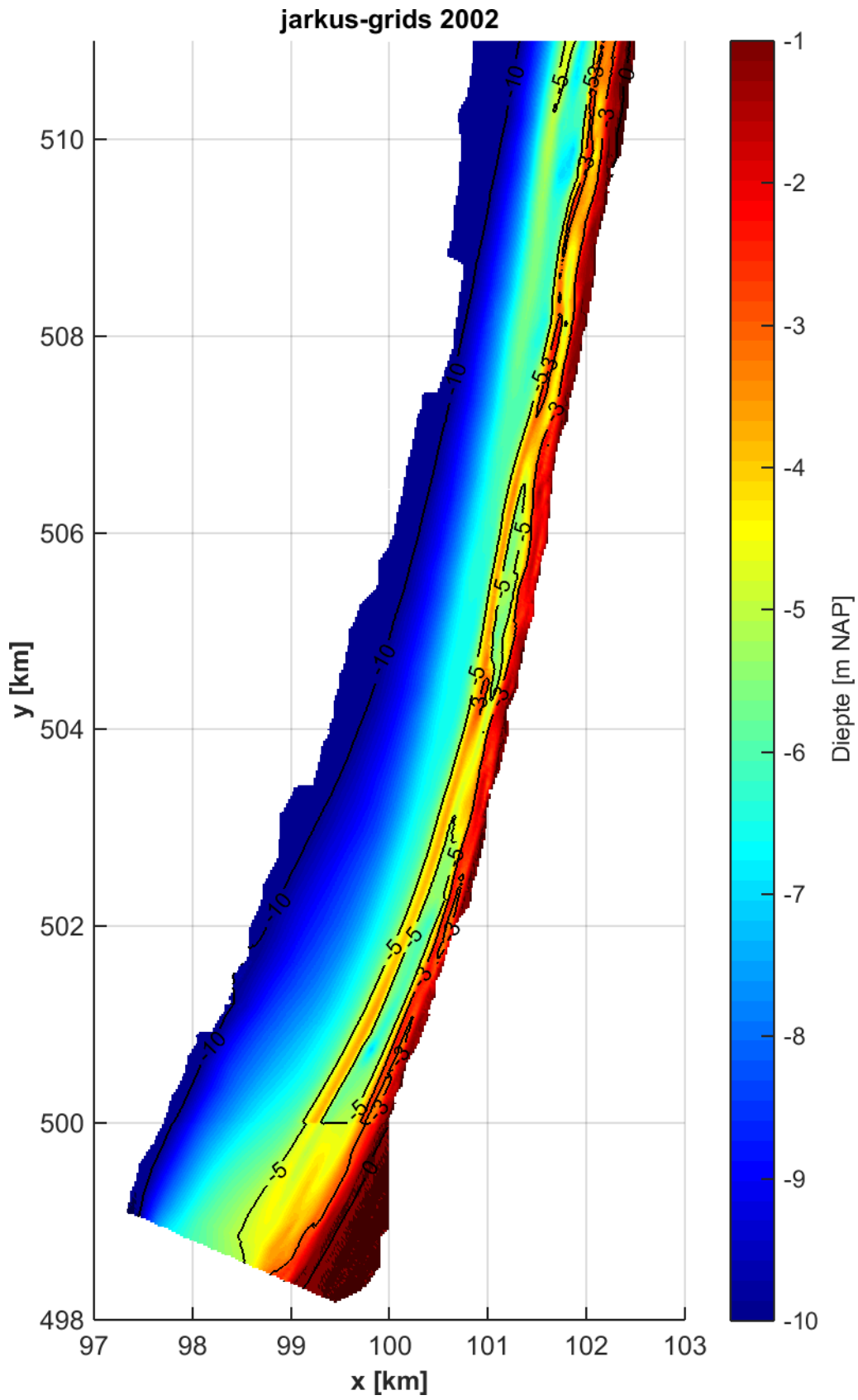


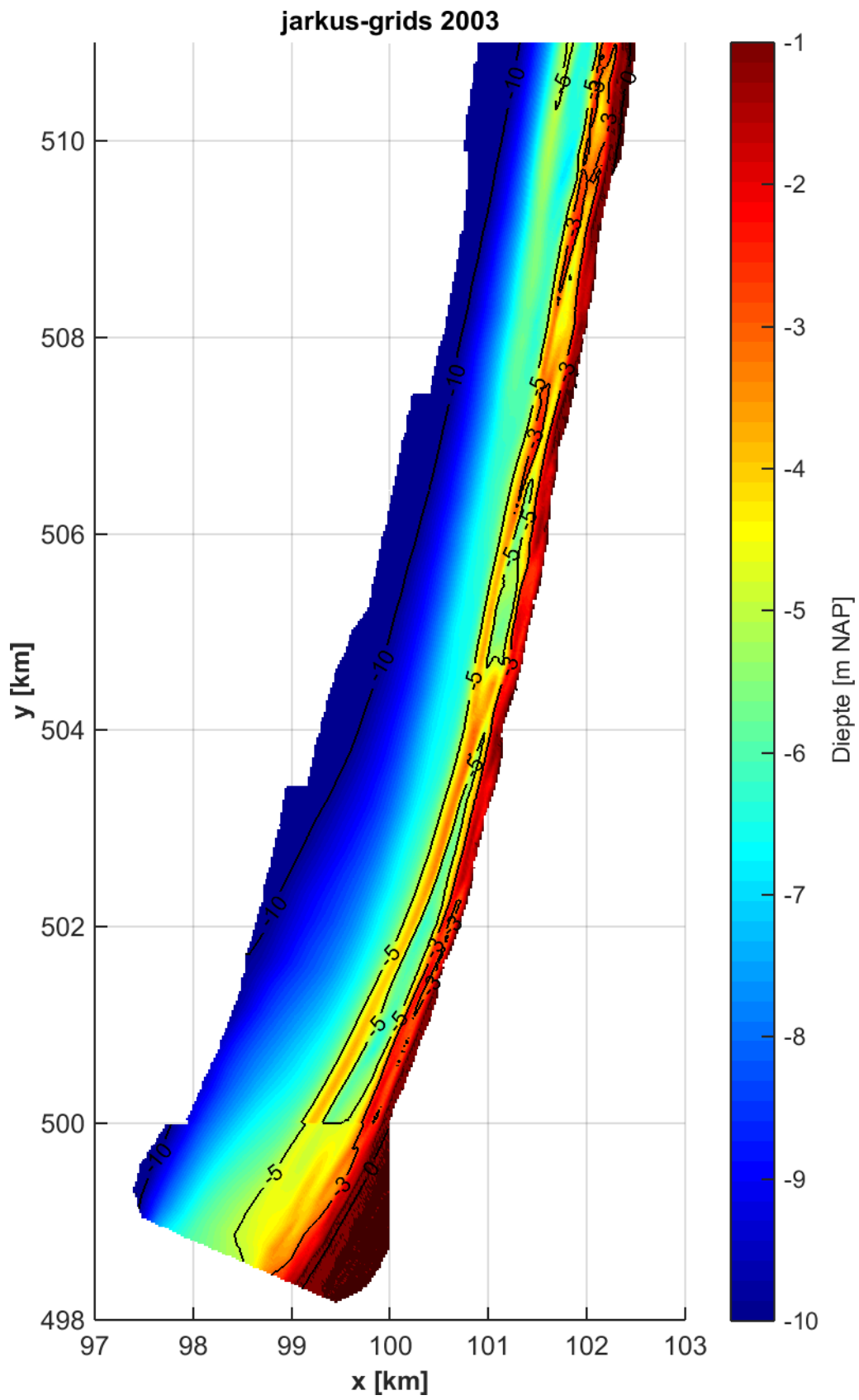


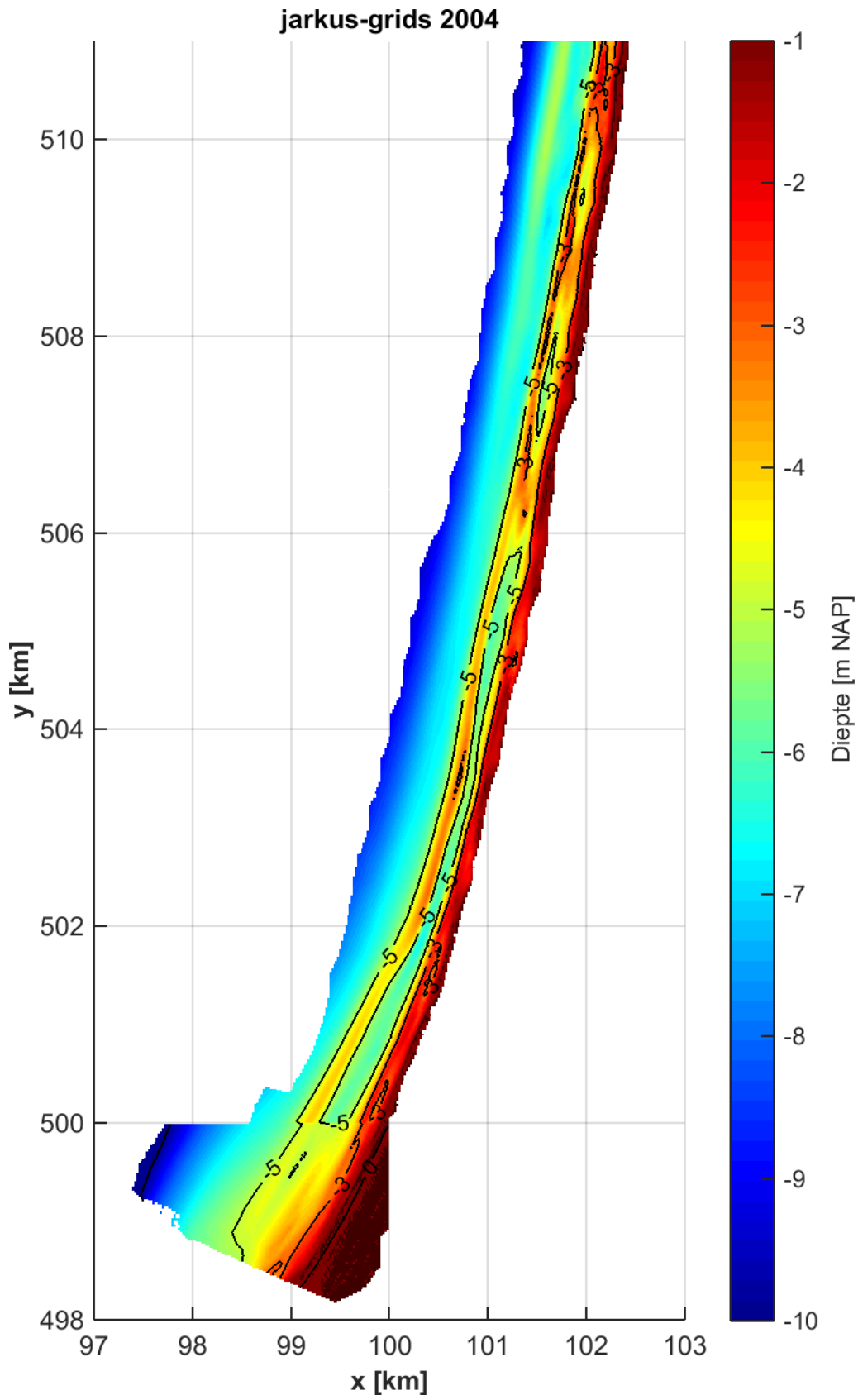


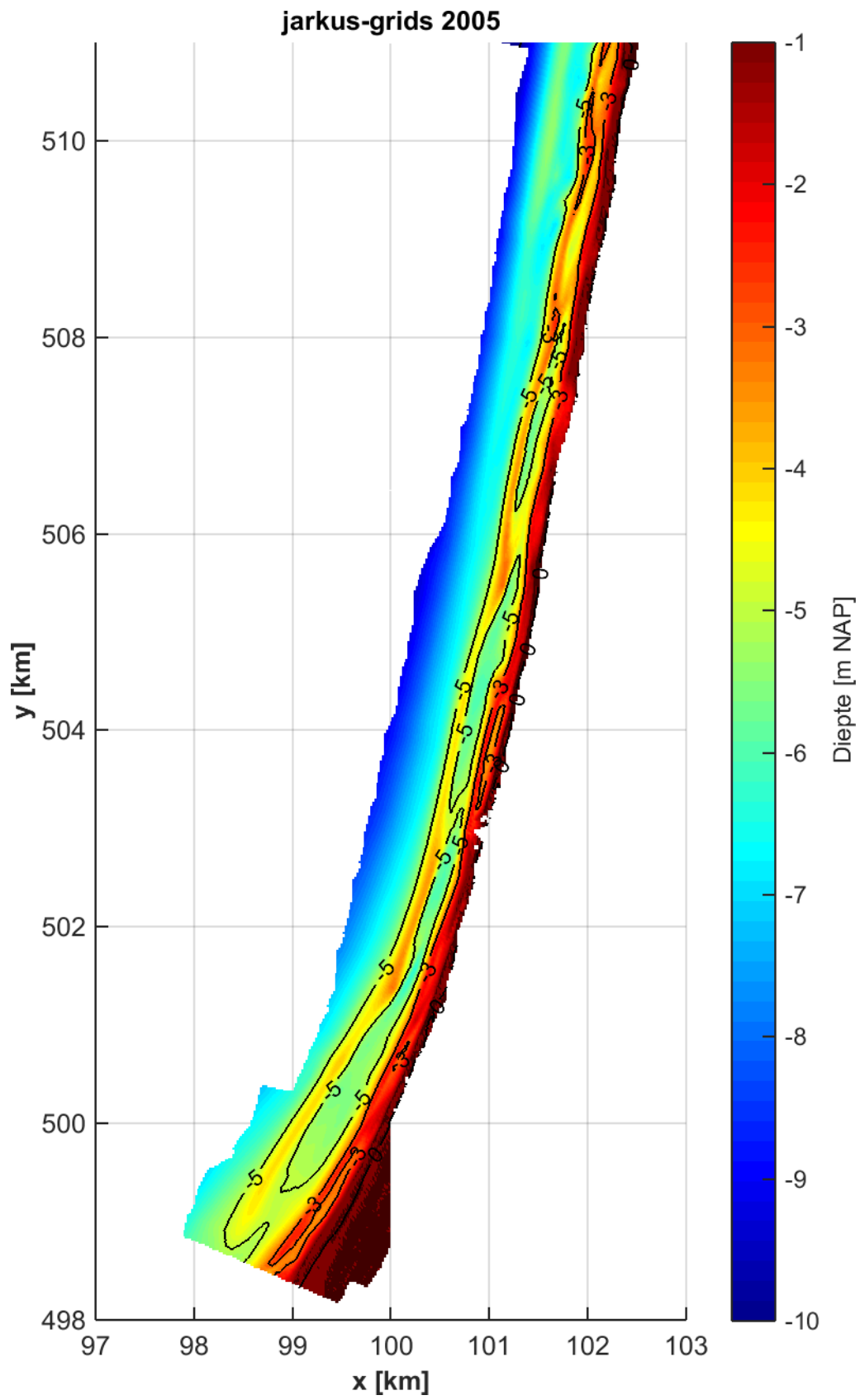


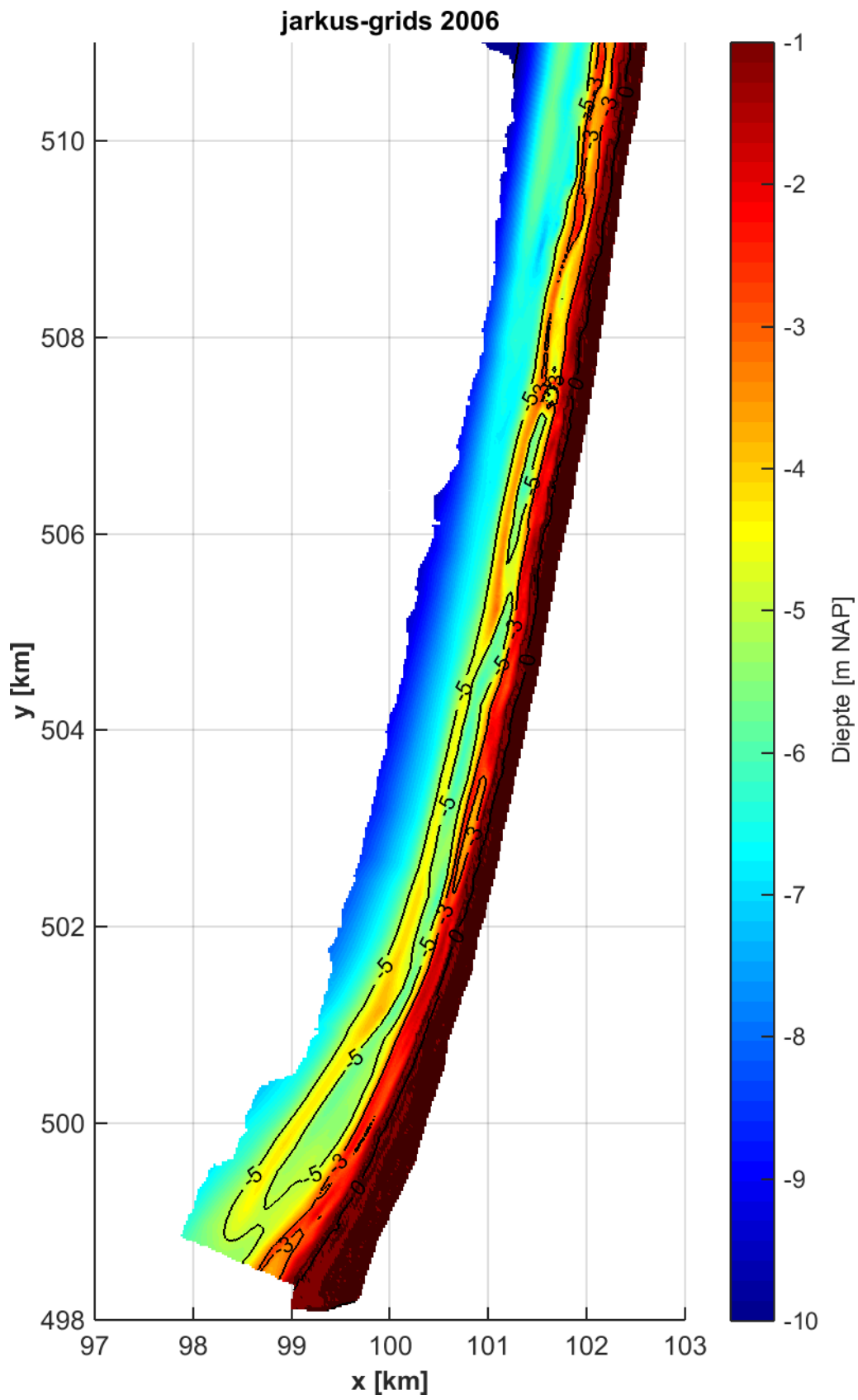


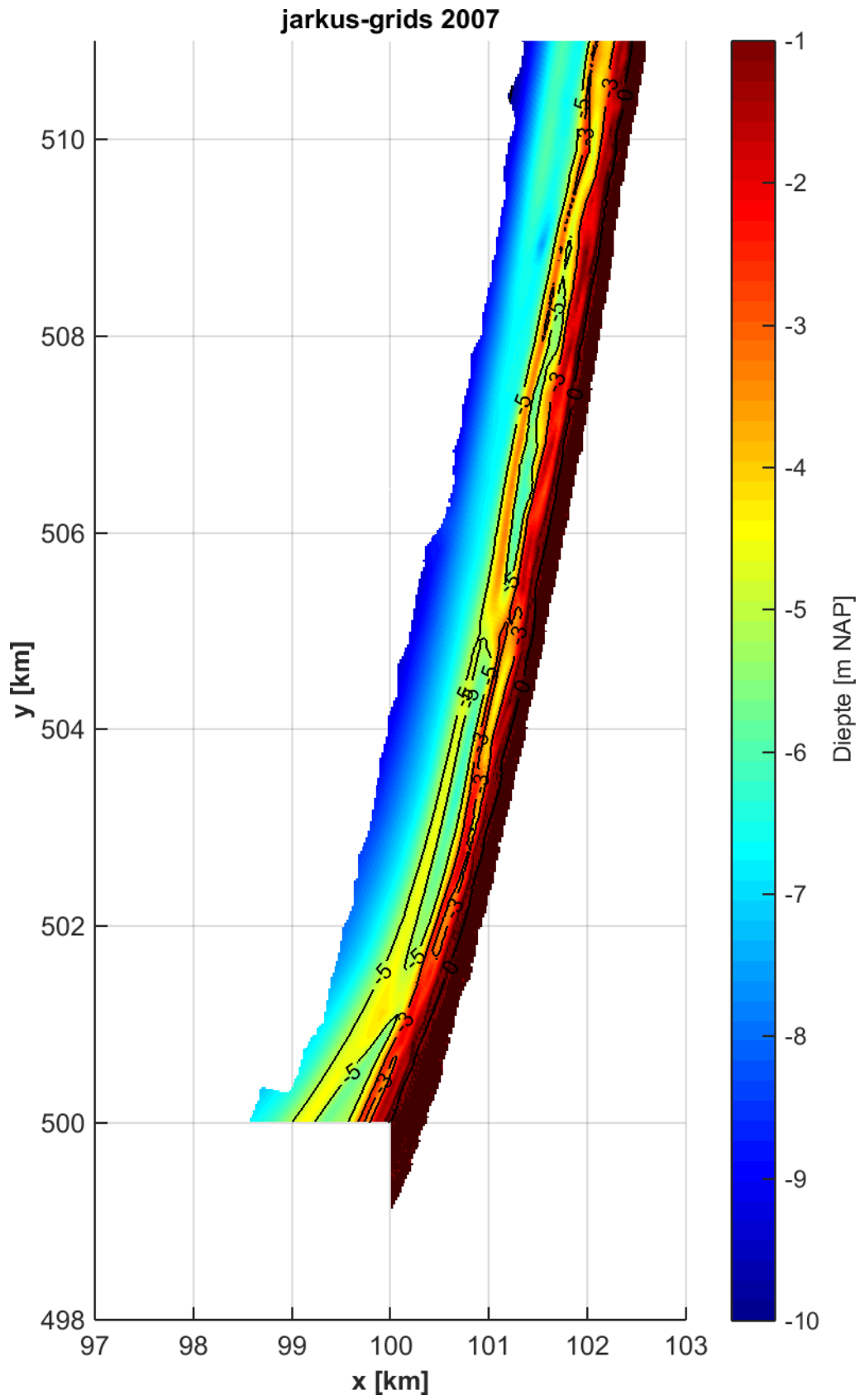


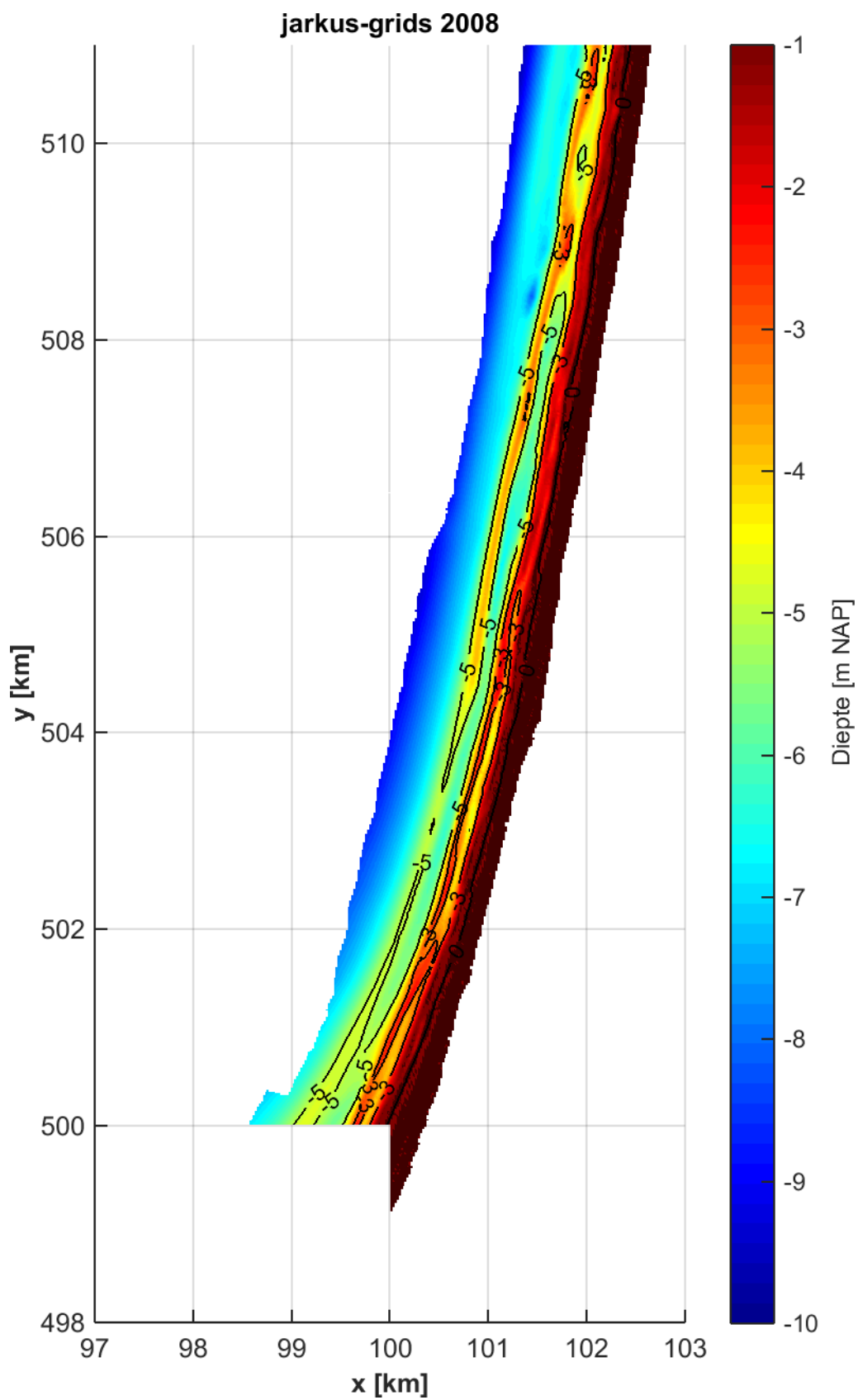


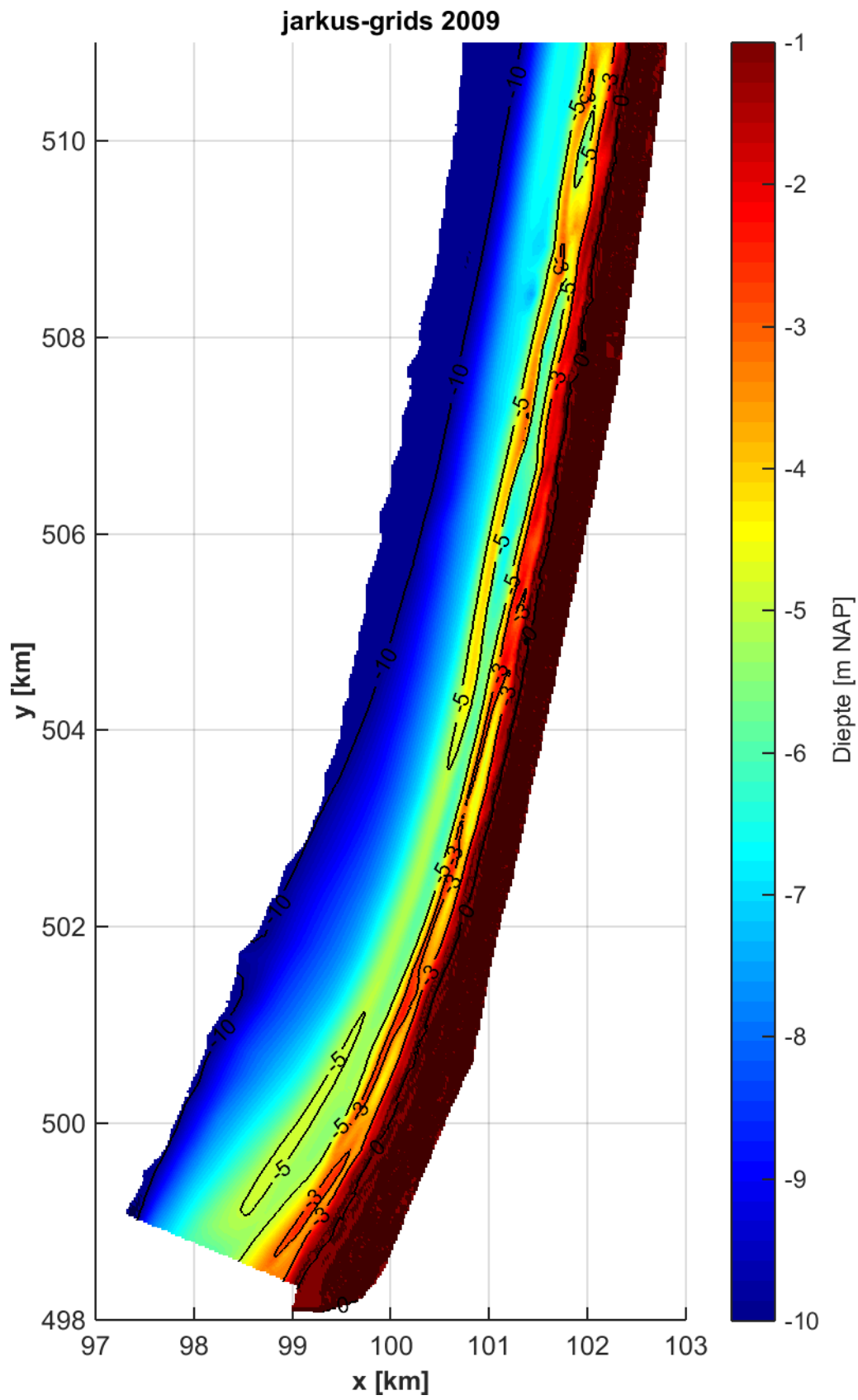


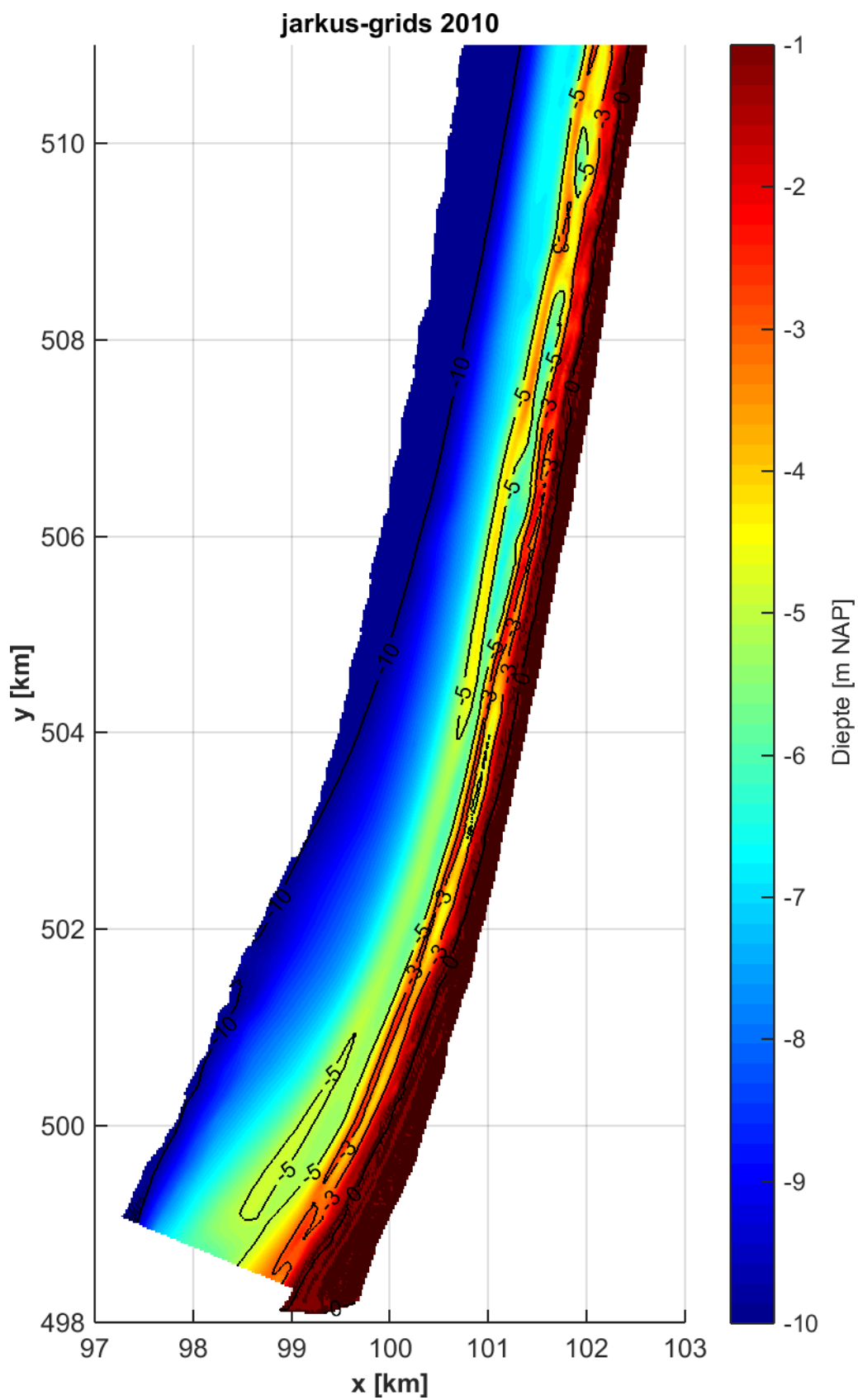


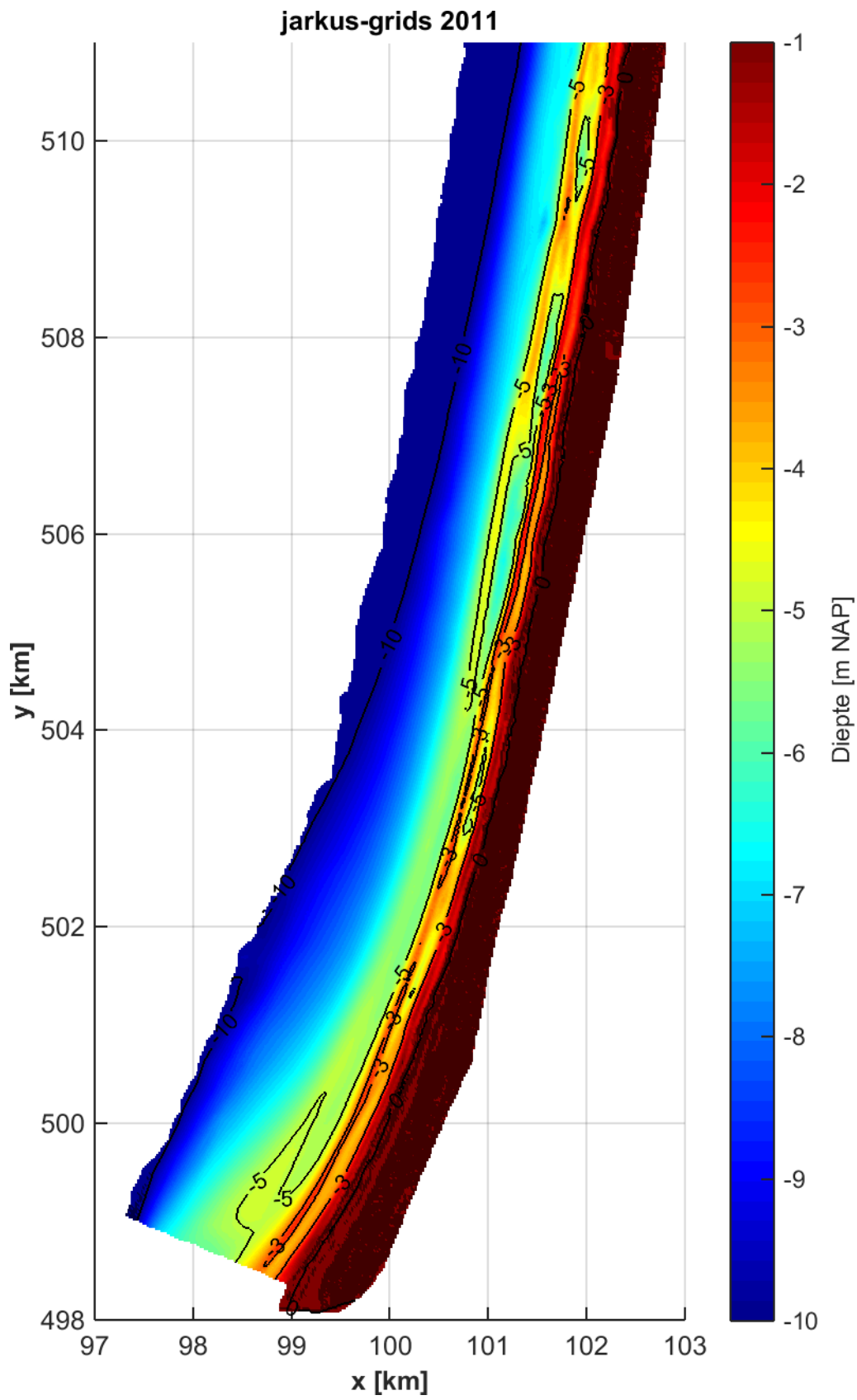


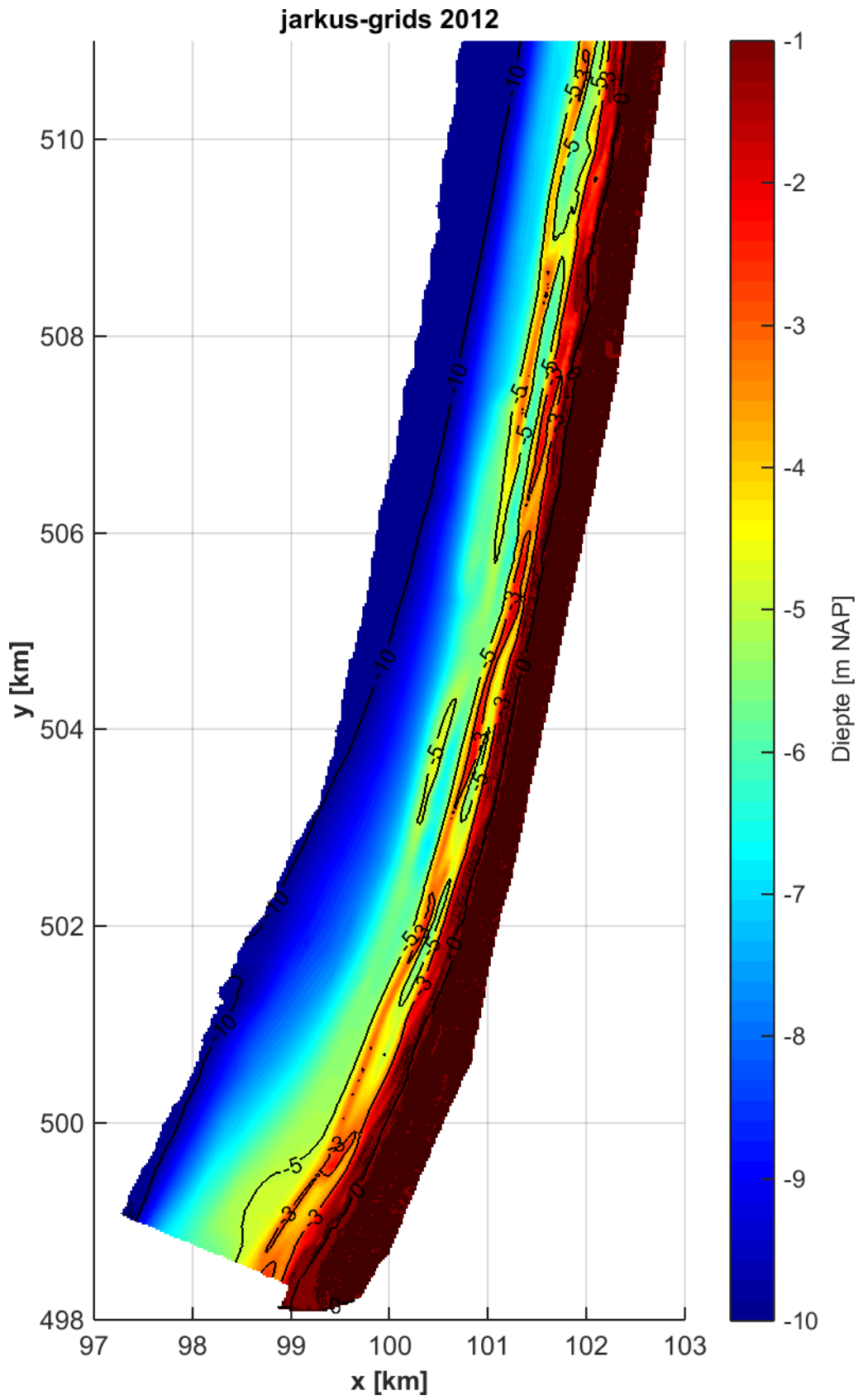


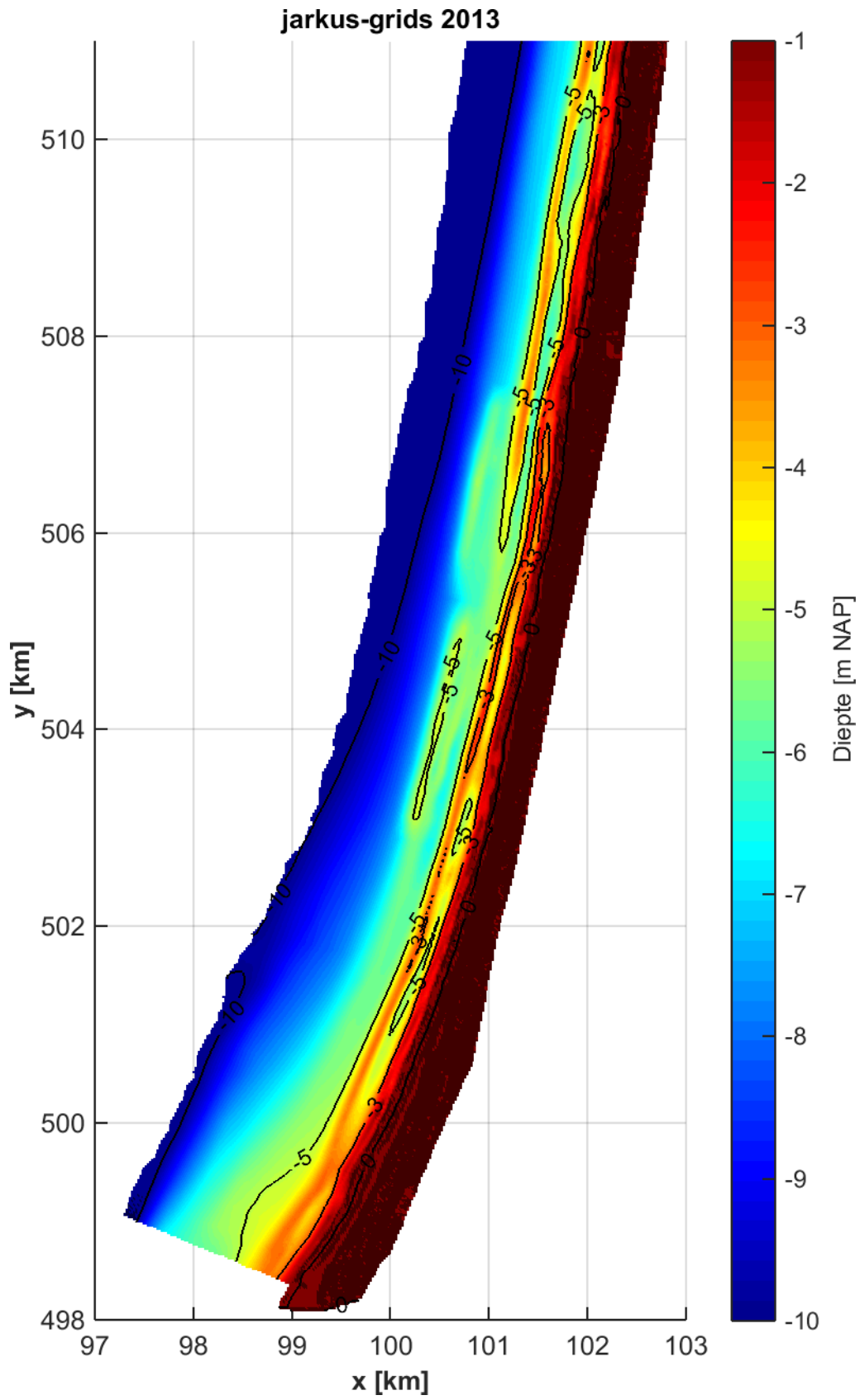


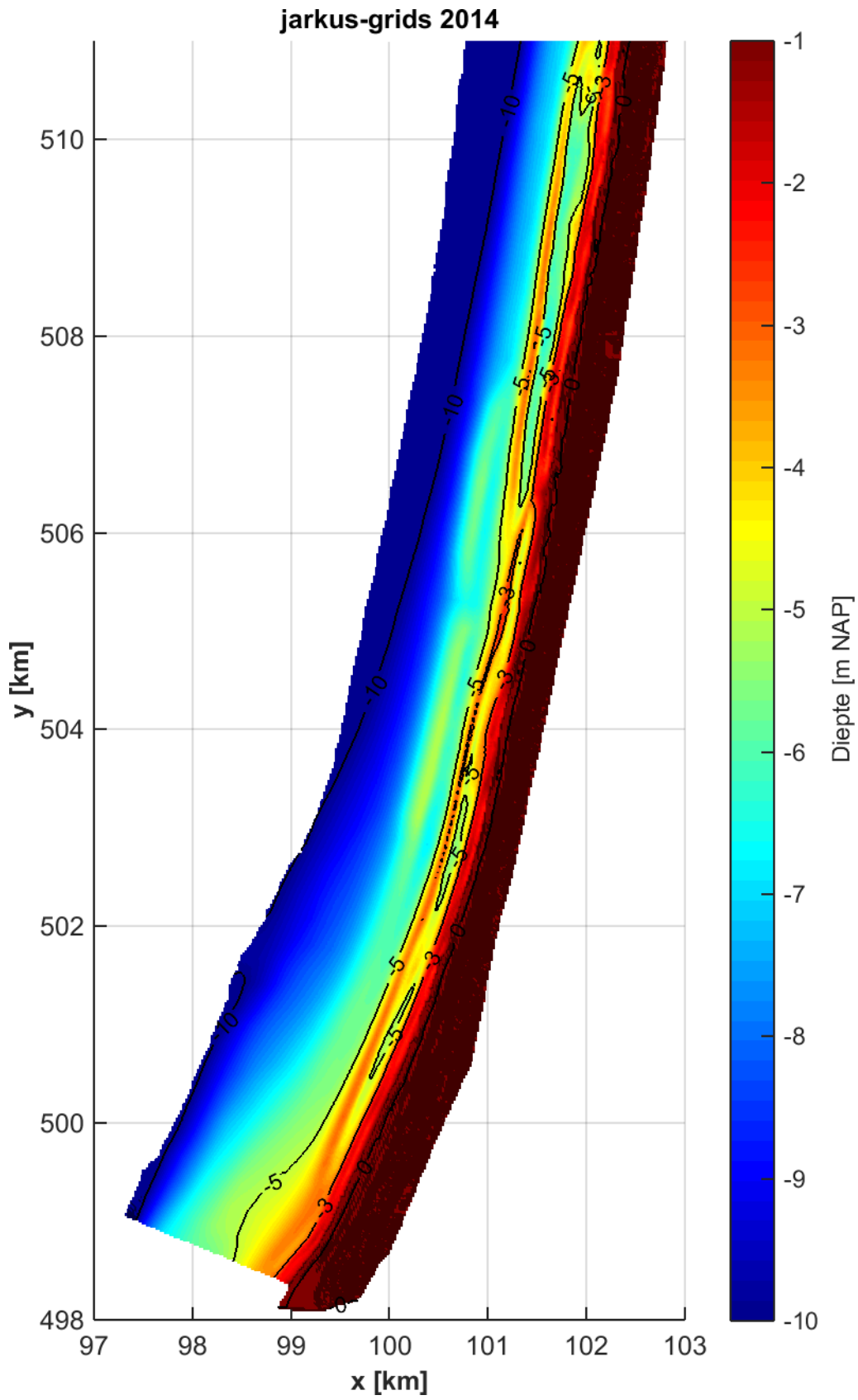




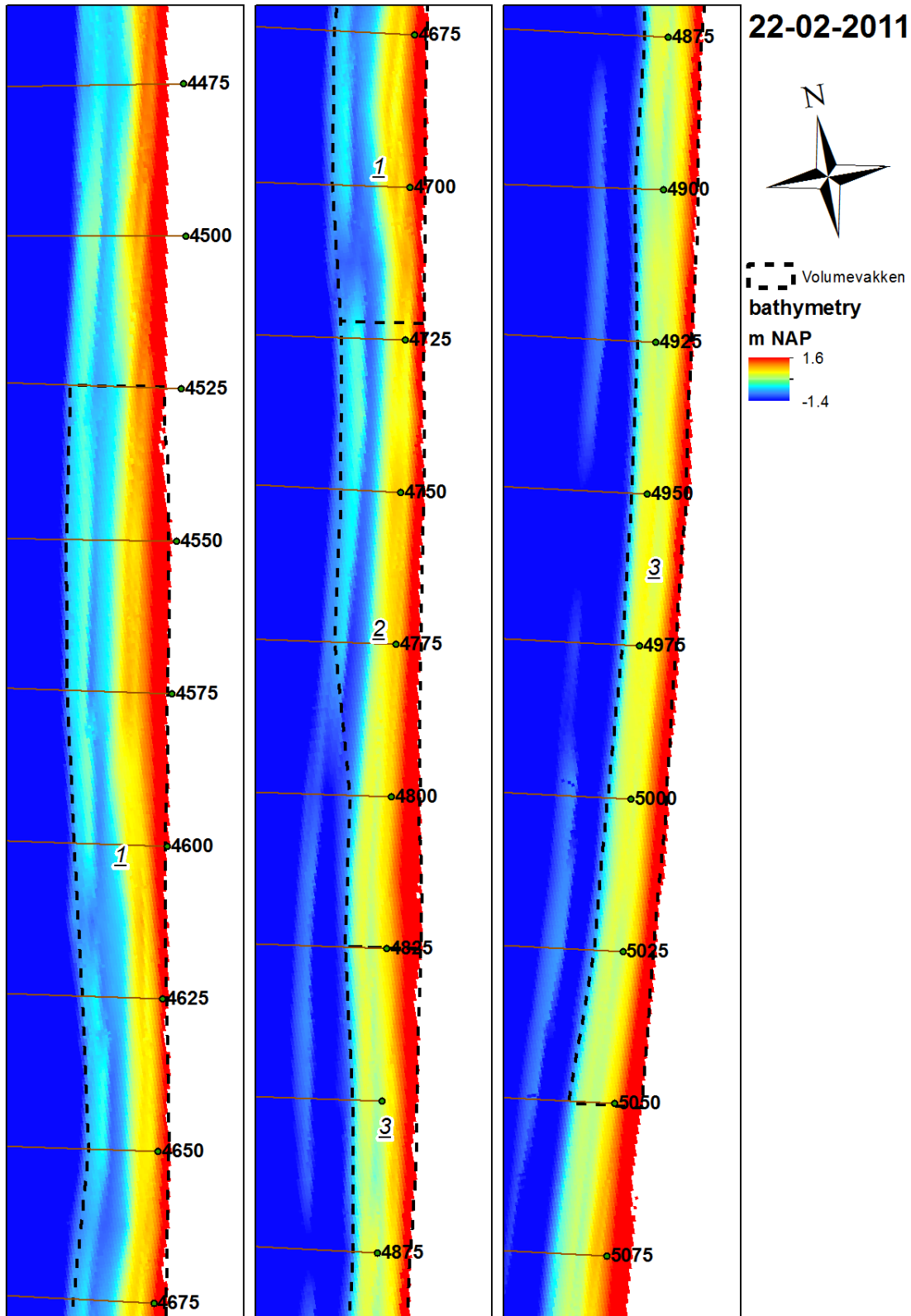


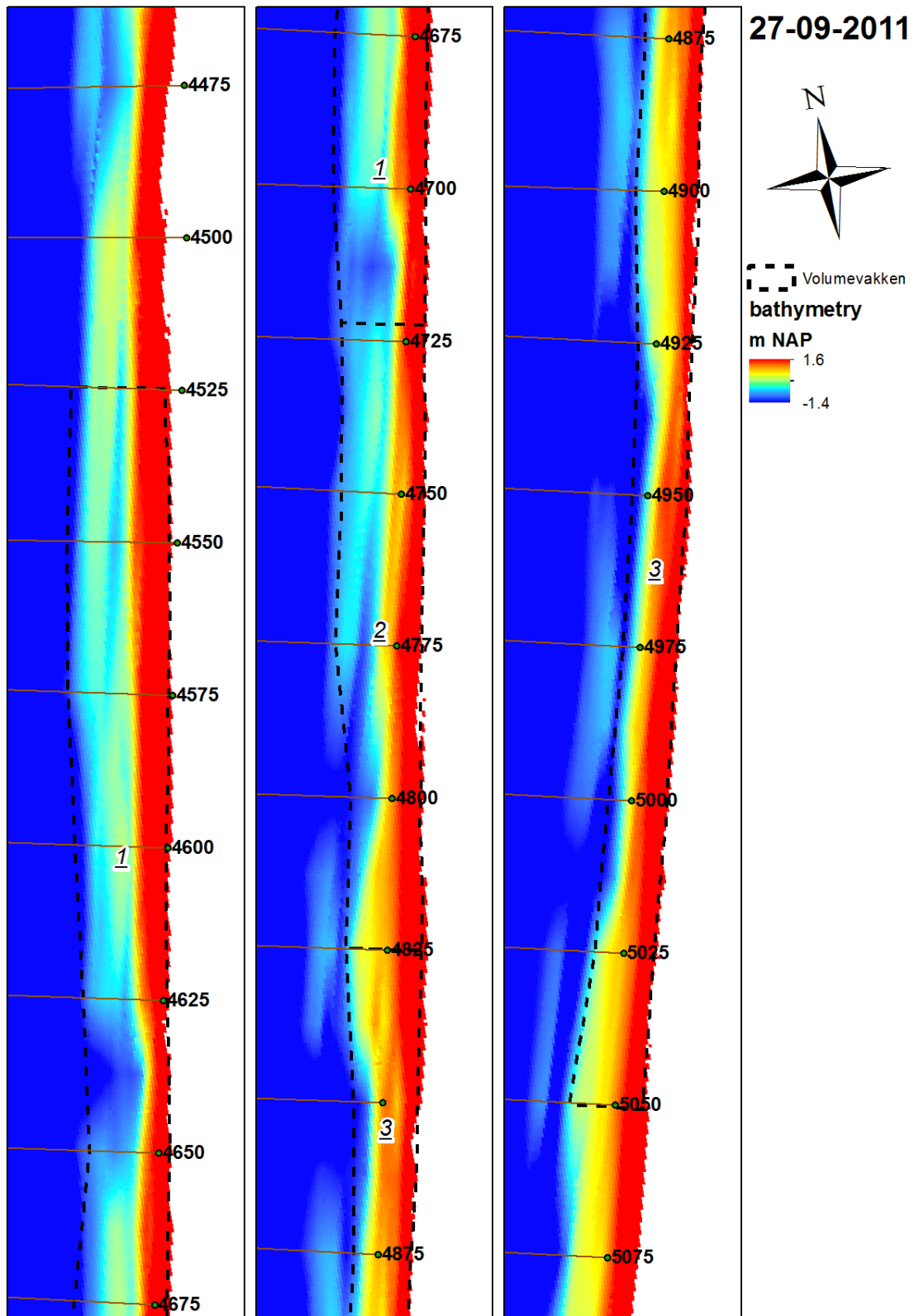


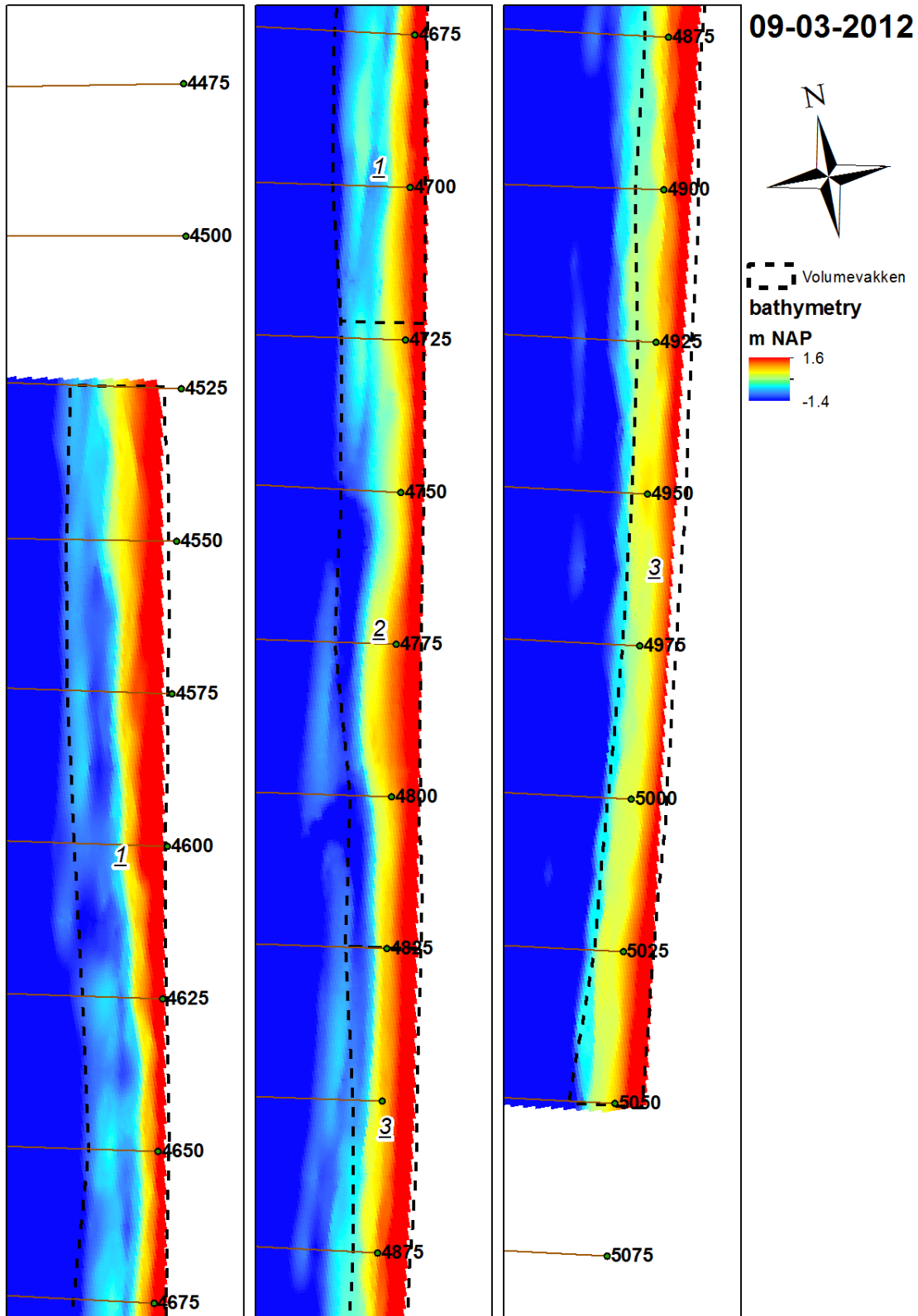


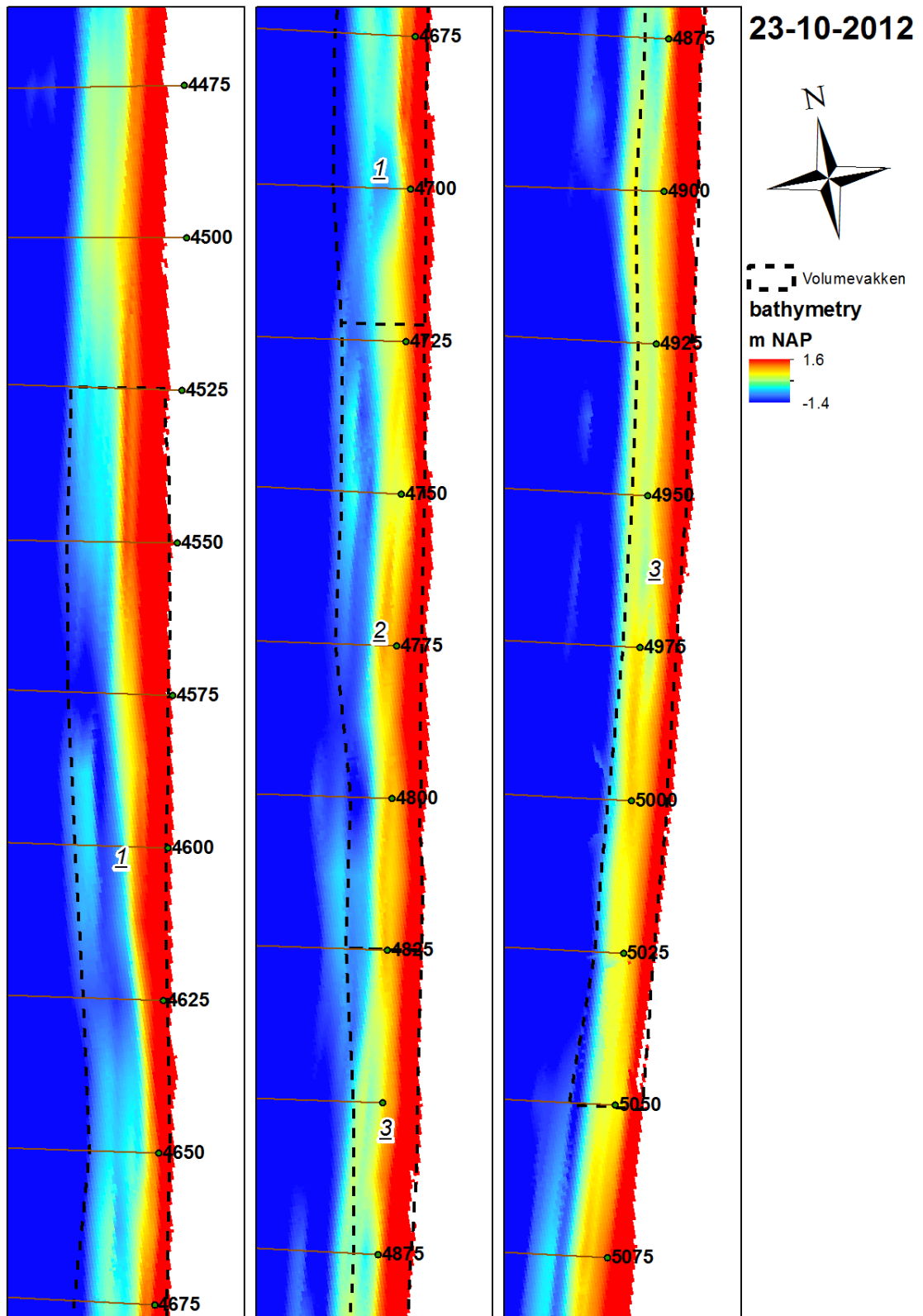


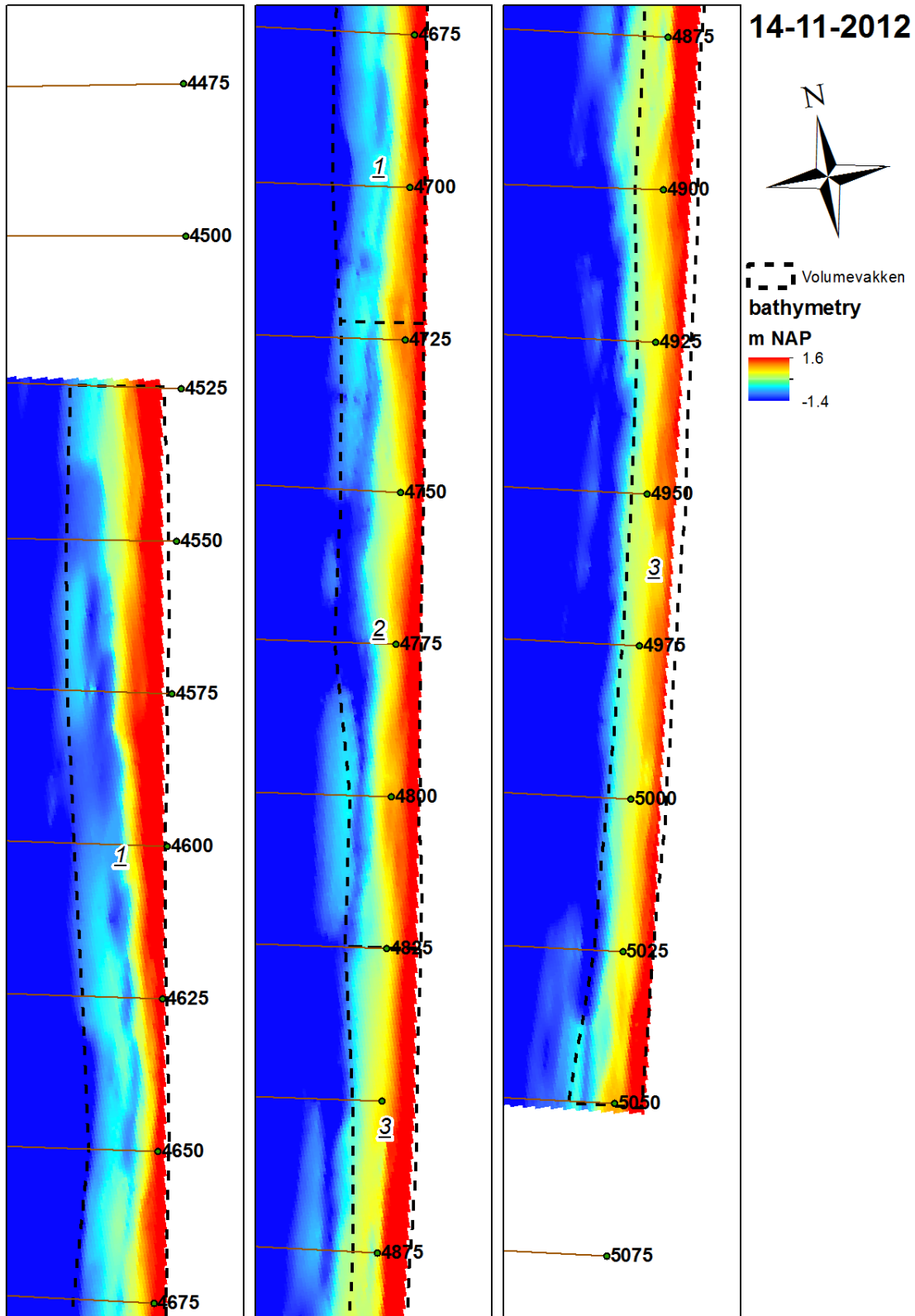
C Detailkaarten strand

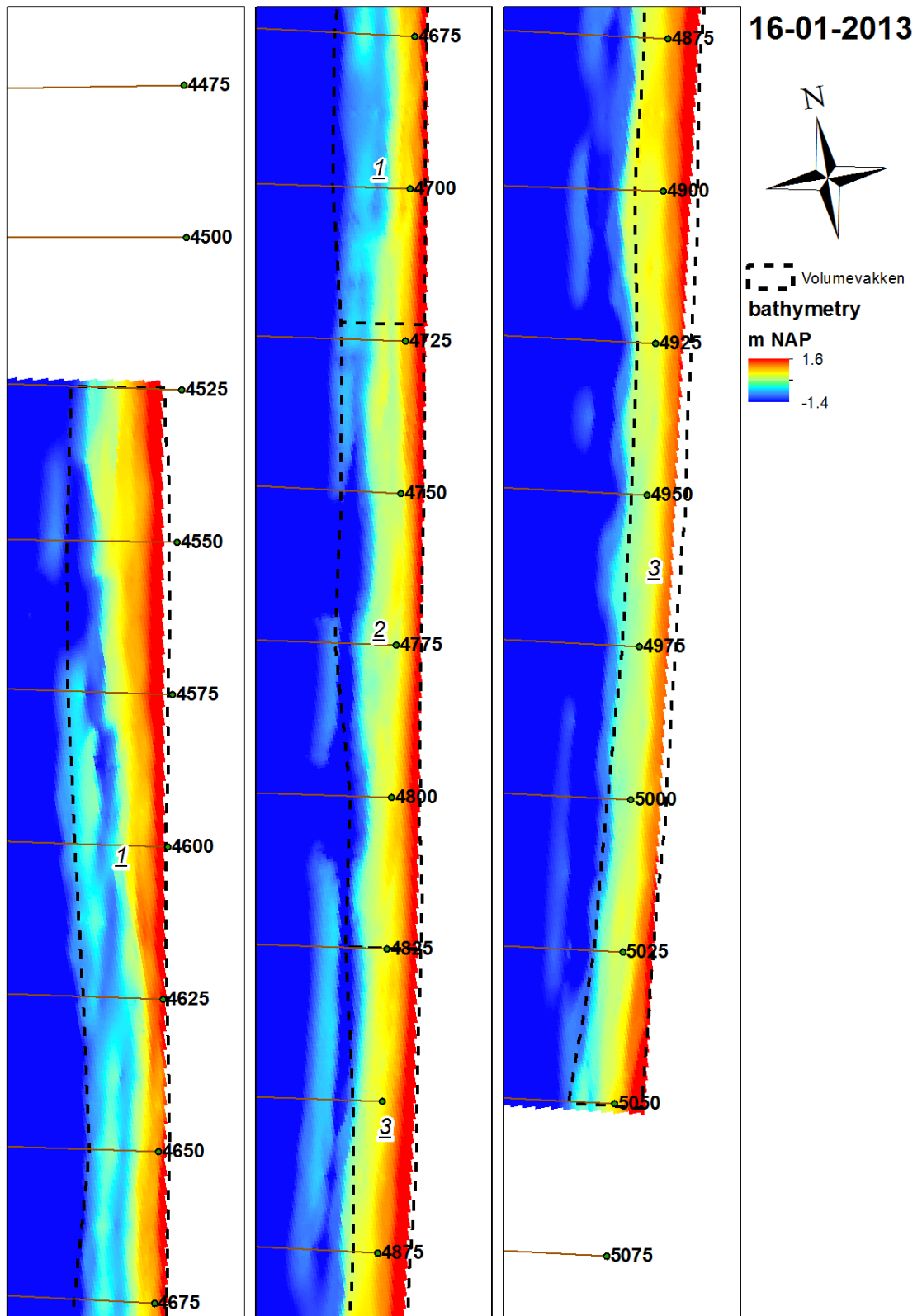


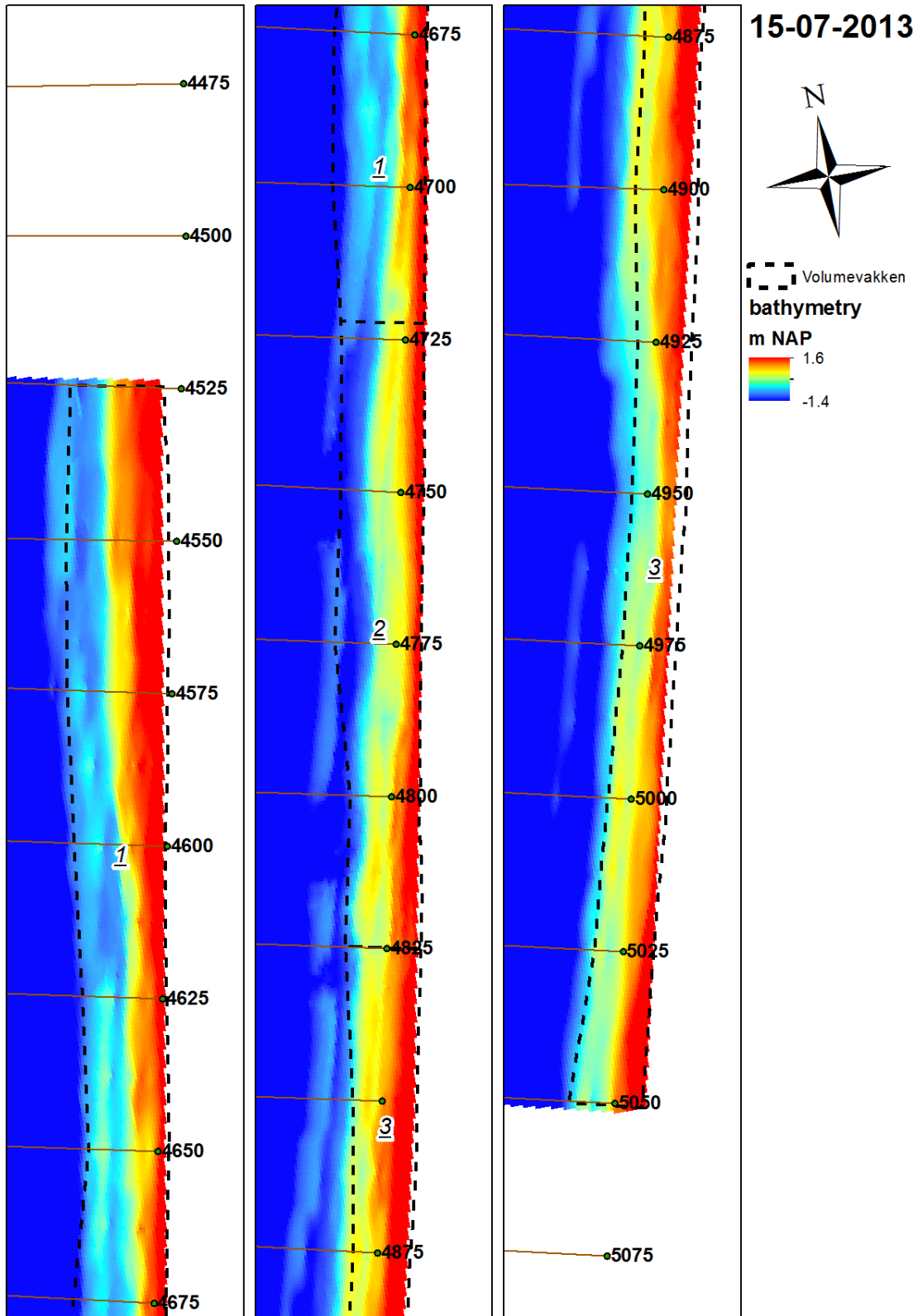


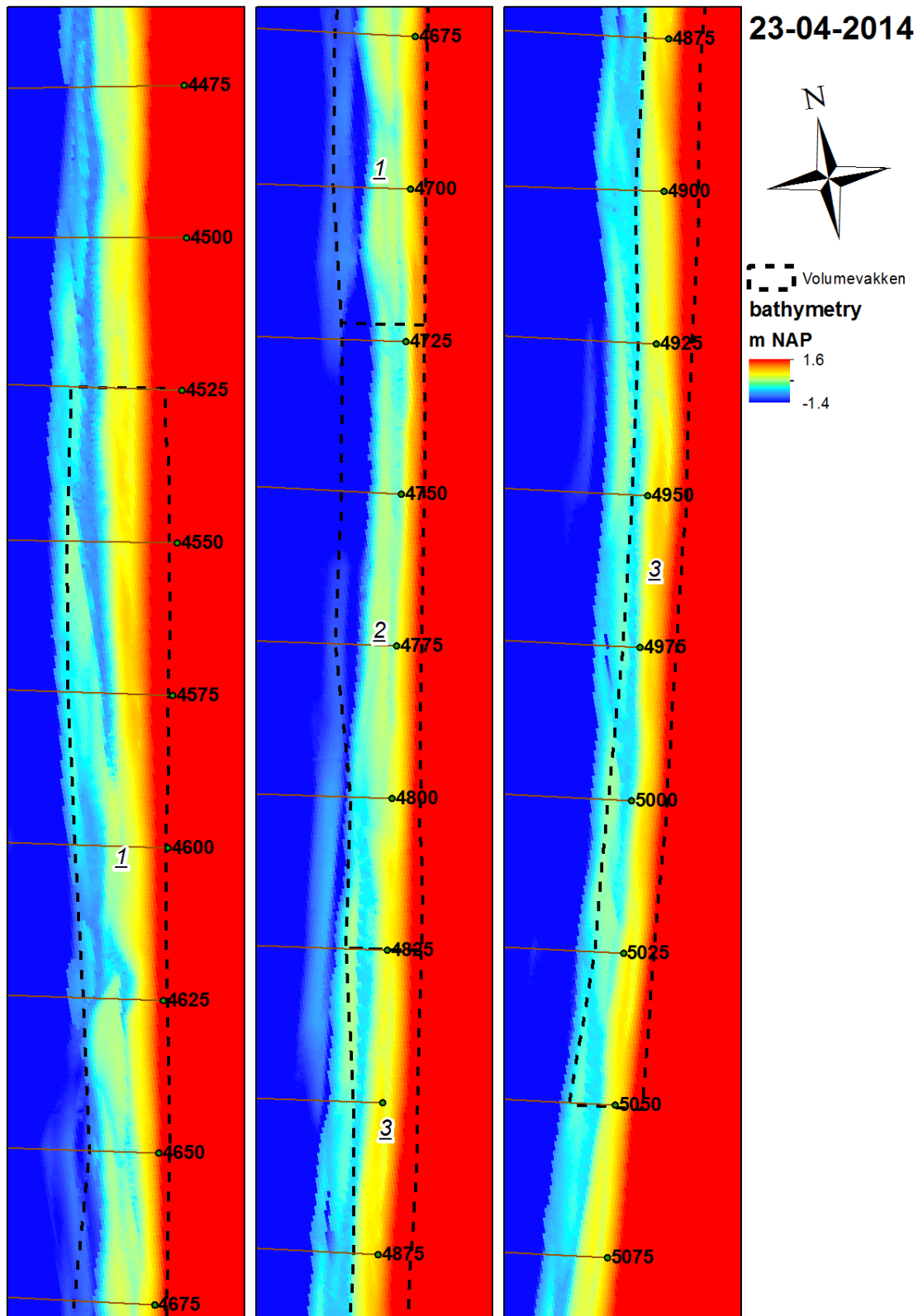


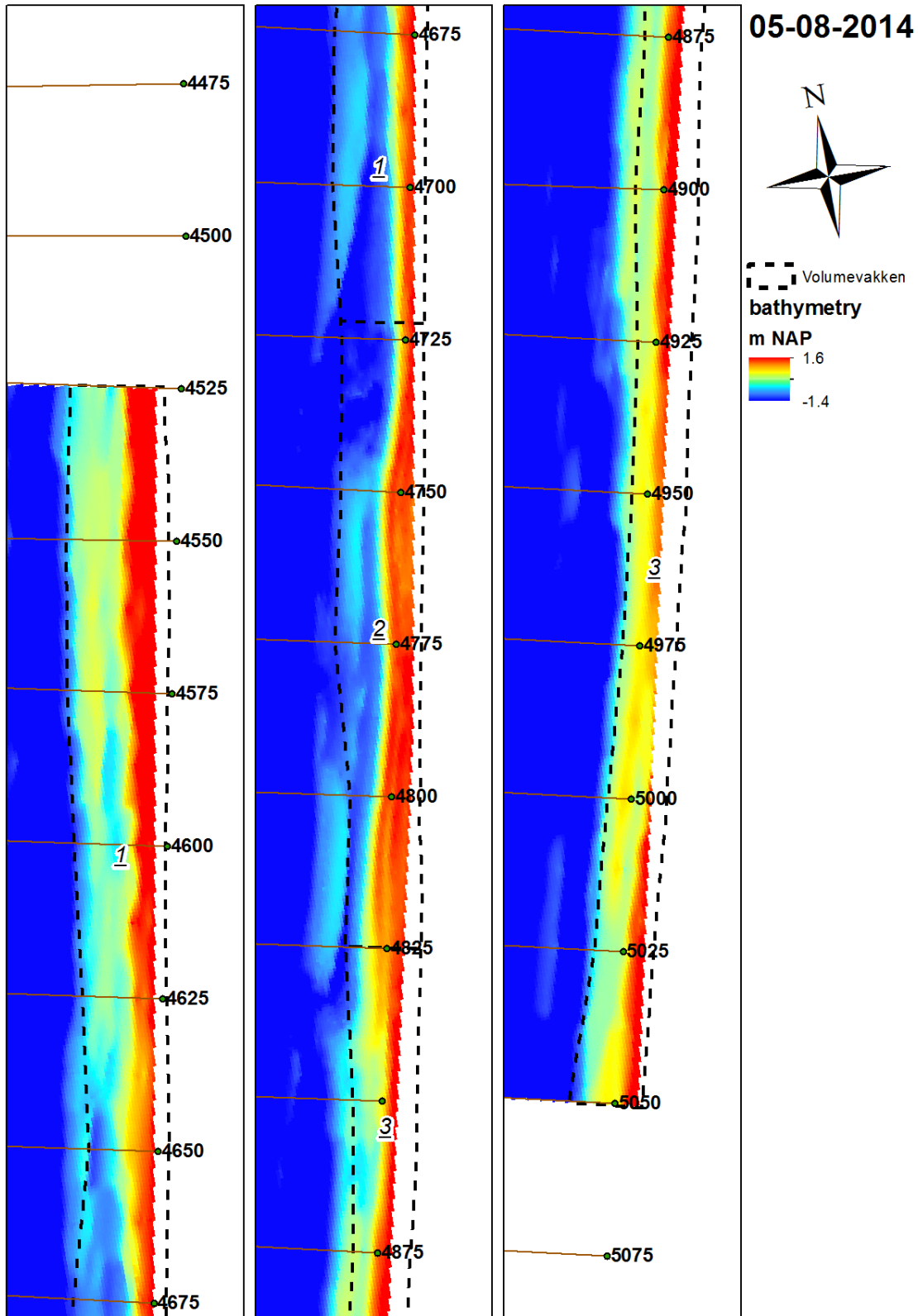


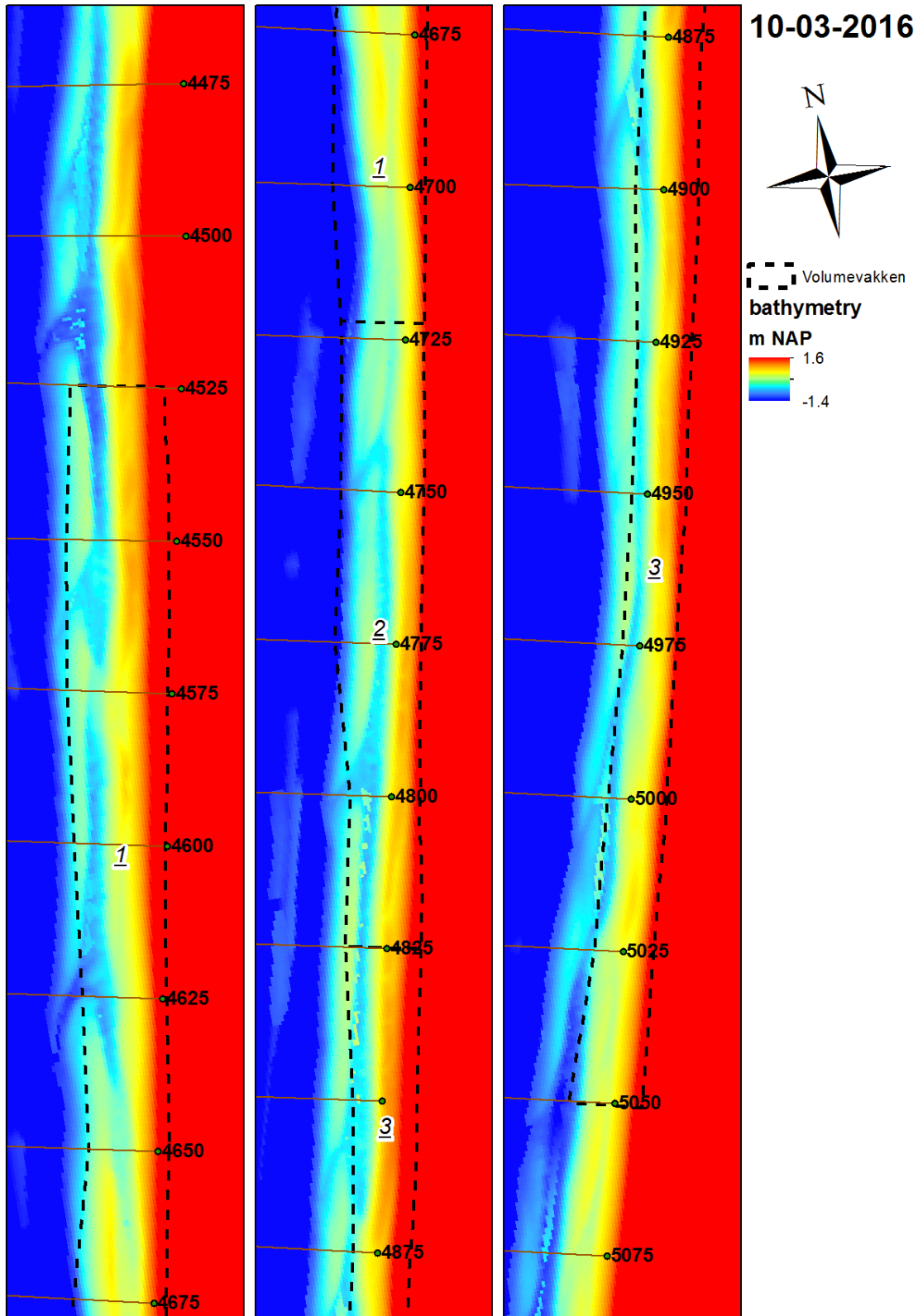












D Profielen ontwikkeling duin

