

**Abiotische gegevens voor  
monitoring effect  
bodemdaling**





# **Abiotische gegevens voor monitoring effect bodemdaling**

Edwin Elias  
Zheng Bing Wang





## Titel

Abiotische gegevens voor monitoring effect bodemdaling

## Opdrachtgever

NAM

## Pagina's

67

## Trefwoorden

Bodemdaling, monitoring, abiotische gegevens, bodemhoogte data, Friesche Zeegat

## Samenvatting

De verzamelde gegevens voor de bodemhoogtes voor de monitoring van de bodemdaling door gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen zijn gedocumenteerd. Door de gegevens van de bodemhoogtes te koppelen aan de gegevens van bodemdaling en van de waterstanden worden de morfologische ontwikkelingen van met name de wadplaten beschouwd. Uit de beschouwing is geconcludeerd dat effect van bodemdaling door gaswinning onder de Waddenzee niet is geconstateerd. Door de relatief kleine omvang van de verwachte bodemdaling t.o.v. de meetfout en t.o.v. natuurlijke fluctuatie in de morfologische veranderingen wordt ook niet verwacht dat het effect ervan kan worden geconstateerd in de metingen van de bodemhoogtes. Met betrekking tot de verzameling en de analyse van de gegevens wordt geconcludeerd dat de gespecificeerde meetnauwkeurigheid van de lidar metingen, die erg hoog is, mogelijk kan gelden voor de gemiddelde plaathoogte in een vloedkom, maar niet is gehaald voor de lokale bodemhoogtes. Er is verder vraag ontstaan of de extra lidar metingen consistent zijn met de lidar metingen van Rijkswaterstaat binnen het kader van Vaklodingen.

## Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	April 2013	Edwin Elias					
	Mei 2013	Edwin Elias					
		Zheng Bing Wang					

## Status

definitief



## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Leeswijzer	1
<b>2 Hoogtekaarten van de gehele Waddenzee</b>	<b>2</b>
2.1 Rijkswaterstaat Vaklodingen	2
2.2 OpenEarth	3
2.3 Aanmaken van de verschillende bodems hoogtekaarten.	4
<b>3 Overzicht hoogtekaarten Friesche Zeegat (1980 – 2012)</b>	<b>12</b>
3.1 Overzicht hoogtekaarten Friesche Zeegat (1980 – 2012)	12
3.2 Uitgevoerde handmatige correcties	16
3.3 Definitieve kaarten (bovenaanzicht)	22
<b>4 Integratie van gegevens</b>	<b>25</b>
4.1 Inleiding	25
4.2 Vergelijking bodemdaling met morfologische veranderingen	25
4.3 Areaal en hoogte intergetijdegebieden	29
4.3.1 Ontwikkelingen afgeleid uit gegevens	29
4.3.2 Meetfout en fluctuaties	32
4.4 Droogvalduur	34
<b>5 Evaluatie gegevensverzameling en -analyse</b>	<b>37</b>
5.1 Inleiding	37
5.2 Overzicht van abiotische gegevens	37
5.2.1 Basis gegevens	37
5.2.2 Overzicht van afgeleide gegevens	39
5.3 Evaluatie gegevensverzameling	39
5.4 Evaluatie meetopzet en analyse	44
<b>6 Samenvattingen en conclusies</b>	<b>47</b>

## Bijlage(n)



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Bij de Gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen wordt het zogenaamde “hand aan de kraan” principe gehanteerd. Daarbij worden twee randvoorwaarden gehanteerd: (1) De bodemdaling door de gaswinning samen met de zeespiegelstijging mag niet meer dan 5 of 6 mm/jaar zijn voor resp. kombergingen Zoutkamperlaag en Pinkegat. (2) De (dynamische) natuur in de bodemdalingsgebieden mag niet worden aangetast door de gaswinning. Daarom worden de bodemdaling en de abiotische en biotische systemen in de Waddenzee gemonitord.

Dit rapport beschrijft de evaluatie van de abiotische gegevens verzameld en geanalyseerd binnen het monitoring programma. De belangrijkste abiotische gegevens zijn de bodemhoogte gegevens. De bodemhoogte wordt direct beïnvloed door de bodemdaling en het vormt de basis voor de effectketen rond bodemdaling omdat morfologische veranderingen invloed hebben op de andere systeemp parameters (in de monitoring signaleringparameters genoemd). Daarom wordt in dit rapport de nadruk gelegd op de verzameling en analyse van de gegevens van de bodemhoogte. Bij het analyseren worden koppelingen gemaakt met gegevens van bodemdaling en de waterstand.

## 1.2 Doelstelling

Dit rapport heeft de volgende doelen:

- Duidelijke documentatie van de verzamelde gegevens van de bodemhoogte die voor de verschillende analyses en evaluaties binnen het monitoringprogramma worden gebruikt.
- Analyse van de morfologische veranderingen, vooral van de wadplaten, om te achterhalen of effect van bodemdaling daadwerkelijk is opgetreden of mag worden verwacht.
- Evaluatie van de verzamelde abiotische gegevens en analyse van de abiotische gegevens tot nu toe.

## 1.3 Leeswijzer

Een beschrijving van de verzamelde gegevens van de bodemhoogte en de kaarten die ermee zijn vervaardigd is gegeven in de Hoofdstukken 2 (Vaklodingen voor de hele Waddenzee eventueel aangevuld met lidardata vanaf 2002), en 3 (Lodingen en Lidaropname voor het Friesche Zeegat). In hoofdstuk 4 worden de morfologische ontwikkelingen geanalyseerd door de gegevens van de bodemhoogte te koppelen aan de gegevens van bodemdaling en zeewaterstanden. Daarbij worden de lidardata verzameld vanaf 2010, die beschreven zijn in drie andere rapporten (Wang e.a., 2011, Cronin en Wang, 2012, Elias e.a., 2013), ook meegenomen. In hoofdstuk 5 worden de verzamelde abiotische gegevens en de analyses van de gegevens in de monitoring tot nu toe geëvalueerd. De bevindingen worden samengevat in Hoofdstuk 6.

## 2 Hoogtekaarten van de gehele Waddenzee

### 2.1 Rijkswaterstaat Vaklodingen

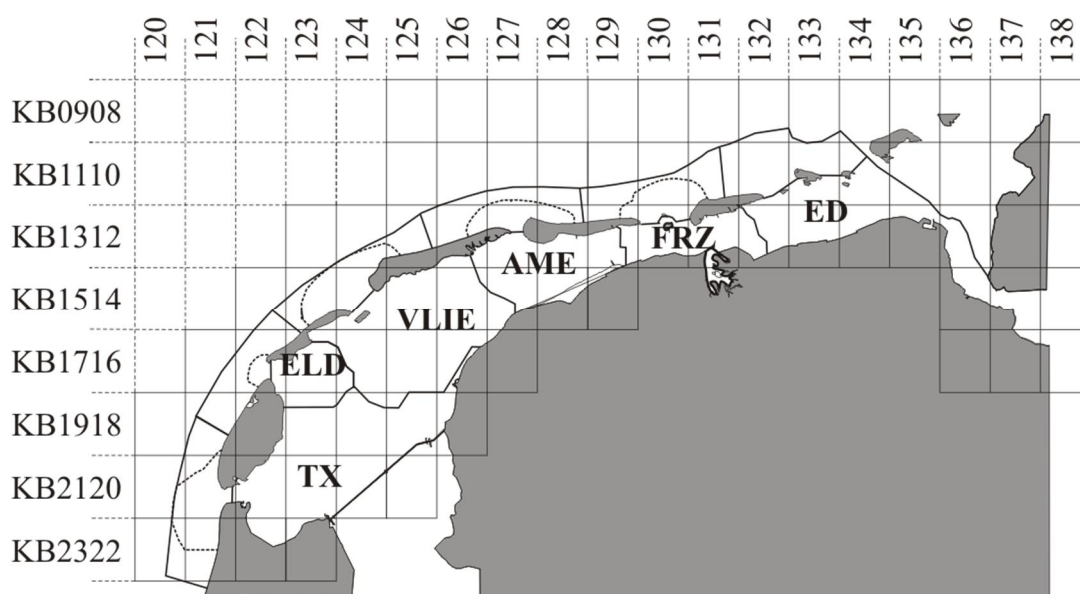
De bodemdata gebruikt voor het construeren van de hoogtekaarten van de wadbodem is afkomstig van Rijkswaterstaat. De kusten worden jaarlijks opgenomen en opgeslagen in de JARKUS database (JARKUS = Jaarlijkse Kustmetingen). De Jarkusmetingen zijn sinds 1965 beschikbaar in de vorm van raaien. Gebiedsdekkende bodemdata van de Waddenzee zijn beschikbaar in de vorm van Vaklodingen. De Vaklodingen zijn blokken van 20x20 km (zie Figuur 2.1 voor een overzicht). De duinen (kustgebieden: strand, embryonale duinen en zeereep) worden opgenomen door middel van Lidar. Kusthoogtekaarten met wisselende dekking zijn voornamelijk beschikbaar sinds 1997. Binnen deze kusthoogtebestanden zitten ook opnamen van kwelders en droge platen binnen de Waddenzee.

De Rijkswaterstaat vaklodingen vormen de basis van de kaarten zoals gepresenteerd in Figuur 2.4 tot Figuur 2.8 en zijn opgebouwd uit Rijkswaterstaat data . Vaklodingen van de Waddenzee zijn, afhankelijk van het beschouwde zeegat, beschikbaar sinds 1925-1935. Sinds 1987 worden de Vaklodingen elke 6 jaar voor de bekkens opgenomen door middel van 'single beam echo sounders'. De eilandkusten inclusief buitendelta's worden elke 3 jaar opgenomen. De ruwe hoogtedata wordt door Rijkswaterstaat verwerkt en gecorrigeerd voor fouten. De definitieve hoogtedata wordt geïnterpoleerd op een 20x20 m grid en digitaal opgeslagen in de vorm van 10x12.5 km grote vaklodingen. Hoogtedata van vóór 1987 zijn oorspronkelijk vrijgegeven als papieren kaarten. In de jaren 90 zijn deze papieren kaarten terug vertaald naar digitale bestanden. Voor de westelijke Waddenzee is deze coverversie is uitgebreid gedocumenteerd in Rakhorst (1986), Glim et. al. (1988, 1990) en de Boer et al. (1991). Data voor het Friesche zeegat is gedocumenteerd door Oost (1995).

De vaklodingen zijn vrij opvraagbaar via de Rijkswaterstaat informatie dienst (Rijkswaterstaat Data-ICT-Dienst). Recente gedetailleerde beschrijvingen van de metingen zijn echter niet aanwezig. Alleen het rapport van de Kruif (2001) geeft een gedetailleerd overzicht van alle vaklodingen tot het jaar 2001. Elias et al. (2012) presenteren aan de hand van de hoogtedata uit vaklodingen een analyse van de morfologische ontwikkelingen van de gehele Waddenzee over de periode 1935-2005.

Eenduidige schattingen van de foutenmarge in de opnames is moeilijk te maken. Door de jaren heen zijn er vele verschillende opname technieken en verwerkingsmethoden toegepast. In de rapporten van Perluka et al. (2006) en Wiegmann et al. (2005) wordt de verticale nauwkeurigheid geschat tussen de 0.11 en 0.40 m. Ook de overgang van hoogtebepaling door GPS in plaats van waterstand correcties sinds 2000 heeft een verschil in plaathoogte veroorzaakt (Periplus, 2007).





Figuur 2.1: Overzicht van de Kaartbladen voor de Vaklodingen

## 2.2 OpenEarth

Openearth is een initiatief gericht op het vrij toegankelijk maken van data, modellen, toepassingen en kennis (van Koningsveld et al., 2010; de Boer 2010). Dit gezamenlijk initiatief van Deltares en de TU-Delft is door de jaren heen uitgegroeid tot een gemeenschap van gebruikers en toeleveranciers. Data opgeslagen onder dit initiatief voldoen aan 4 criteria: (1) er is een open standaard en vrije uitwisseling, (2) volledige transparantie over herkomst, (3) centrale toegang via een web applicatie en (4) verantwoordelijkheid bij toeleveraar voor de kwaliteit van de data.

Deltares maakt binnen het Openearth initiatief de Rijkswaterstaat Data vrij toegankelijk. De data (Jarkus, Vaklodingen en Lidar) zoals deze is opgeslagen op in de DONAR database van Rijkswaterstaat is daartoe omgezet naar een open standaard (NETCDF data formaat). Binnen een NETCDF bestand kunnen zowel data als de beschrijving van de data worden opgeslagen. Dit is een groot voordeel ten opzichte van de originele Rijkswaterstaat bestanden. Vooral voor oude data is hiervan de oorsprong niet altijd te herleiden. Voor de vaklodingen betekent dit dat eenmalig alle beschikbare vaklodingen per vaklodingsgebied zijn omgezet naar NETCDF. Binnen deze NETCDF zijn de coördinaten in een lokaal (Rijksdriehoek) en geografisch (lat-lon) assenstelsel beschikbaar. De hoogtedata is gerefereerd in m tot NAP. De data is gerangschikt per jaar. Zodra aanvullende data beschikbaar komt vanuit Rijkswaterstaat worden de NETCDF bestanden van de desbetreffende polygonen aangevuld. De NETCDF data zijn direct beschikbaar en opvraagbaar via de vrij toegankelijke OPENDAP server van Deltares:

<http://opendap.deltares.nl/thredds/catalog/opendap/rijkswaterstaat/vaklodingen/>

Figuur 2.2 geeft een voorbeeld van de aanwezige data in Kaartblad 131-1312. Voor ieder kaartblad bestand zijn de coördinaten en beschikbare jaren gegeven. De meta-info laat alle wijzigingen uitgevoerd op deze data zien. In deze studie gebruiken we de conversie uitgevoerd op 2012-9-11. Deze conversie vormt de basis van de dataset.

Naast de meta-informatie is het ook mogelijk eenvoudig (via een Google kmlbestand) de aanwezige data snel te bekijken. Figuur 2.3 toont een voorbeeld van alle data aanwezig voor het jaar 2012.

### 2.3 Aanmaken van de verschillende bodems hoogtekarten.

Het is helaas niet mogelijk een volledig consistente hoogtekarte van de gehele Waddenzee te maken voor een bepaald jaar. De gehele Waddenzee wordt in 6 jaar opgenomen. Een gebiedsdekkende kaart is dus een compilatie van de bodemdata over deze 6 jaar. Het is natuurlijk wel mogelijk deze compilaties onderling te vergelijken en zo veranderingen in het gebied in kaart te brengen.

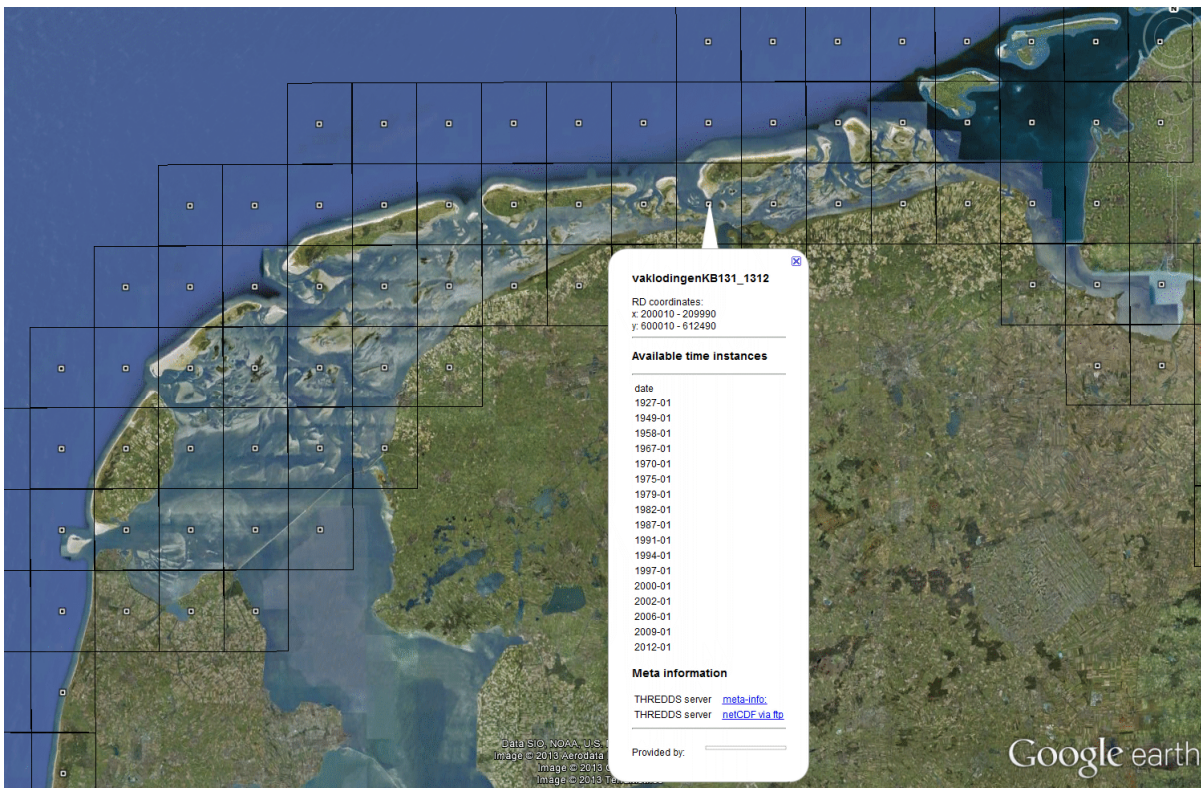
Er zijn verschillende methoden mogelijk om een bodemcompilatie te maken. Het is mogelijk een interpolatie uit te voeren tussen de jaren en zo de hoogtekarten/bodems naar 1 ijkjaar om te rekenen. Hierbij wordt een representatief jaar (midden in een cyclus) gekozen en alle gebieden die in een ander jaar zijn ingemeten worden gewogen omgerekend naar dat jaar aan de hand van 2 opnames rond het ijkjaar. Het is echter de vraag of zo'n interpolatie niet een schijnnaauwkeurigheid creëert. Zo is bijvoorbeeld geulmigratie een belangrijk element in de sedimentatie-erosie patronen binnen de Waddenzee. Door lineaire interpolatie krijgt men hier juist verschillen en dus fouten.

Kijken we naar de individuele zeegaten (zie ook de verwerking van het Friesche Zeegat) dan is het vaak wel mogelijk een goede, representatieve bodem te maken. De individuele zeegaten worden in een relatief korte periode is opgenomen (meestal binnen 2 tot 3 jaar). Door een basis (referentie) jaar te kiezen en de dichtbijzijnde bodem(s) in de tijd te gebruiken om deze aan te vullen, kunnen goede bodemschematisaties worden verkregen. In Hoofdstuk 3 is een serie gedetailleerde kaarten gemaakt met een focus op Zoutkamperlaag en Pinkegat. Voor de hoogtekarten van de gehele Waddenzee, zoals gepresenteerd in dit hoofdstuk, gebruiken we een referentiejaar en vullen dan de data aan door terug te kijken in de tijd tot een geheel gevulde kaart bereikt is. Dit komt overeen met de RWS methode die wordt gebruikt om een hoogtekarte van een gehele lodingscyclus te maken. Hierbij moet worden opgemerkt, dat in de kaarten gemaakt voor deze studie is getracht een zo goed mogelijke dekking met kleinste spreiding in de tijd voor het oostelijke deel van het wad te verkrijgen (zie Figuren 2.4 – 2.8). Het voordeel van deze terugkijkmethode is de reproduceerbaarheid en de overeenkomst met de eerdere methode van het aan elkaar plakken van lodingscycli. In de Figuren 2.4 – 2.8 geeft de bovenste plot het gebruikte jaartal van de meting. Per datapunt is dit geregistreerd. Indien aanwezig geeft de middelste plot een ongecorrigeerde bodem op basis van het terugkijken naar de data. Dit is een representatie van de data zoals aanwezig in de Vaklodingen (en netcdf). De onderste figuur geeft de definitieve bodem hoogtekarte geprojecteerd naar het Rijksdriehoek grid met hoogte t.o.v. NAP. In deze kaart zijn extra bewerkingen zoals het opvullen van gaten en toevoegen van Lidar kusthoogte bestanden (data RWS) uitgevoerd. De resolutie van de data is 20x20m.

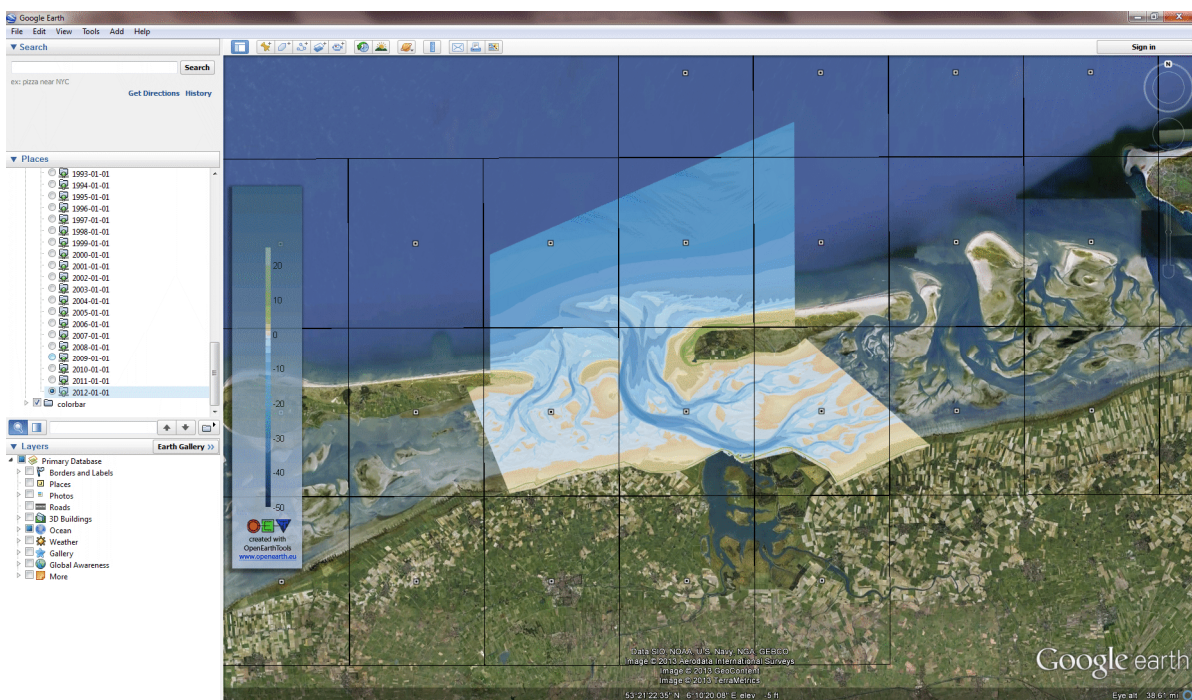
De cyclus4 bodem wijkt hier iets af van de oorspronkelijke cyclus zoals gemaakt door Rijkswaterstaat. De nieuwe cyclus4 bodem is nauwkeuriger, omdat gebruikt gemaakt kan worden van vrijwel uitsluitend data tussen 2003-2006 voor het bekken. De cyclus 5 bodem vertoont een overlap met Cyclus 4 in en nabij de Eems-dollard. Nieuwe data voor dit gebied is nog niet aanwezig.

Als we de figuren in detail bekijken zien we een aantal kenmerken:

- (1) Oudere opnamen hebben een mindere dekking per jaar. Ook zijn er meer gaten in de data welke opgevuld dienen te worden (zie bijvoorbeeld Figuur 2.4).
- (2) Binnen de datasets zijn individuele missende data punten aanwezig. Waar nodig zijn deze handmatig gecorrigeerd d.m.v. interne diffusie of interpolatie.
- (3) De 2005 bodem vertoont in ruwe vorm significante gaten in dekking van droogvallende platen. Deze kunnen nauwkeurig gecorrigeerd worden door gebruik te maken van omliggende RWS lidar data.
- (4) De recente bodems (na 2005) hebben een betere dekking langs de kuststroken. In de meest recente bodem zijn binnen de vaklodingen over het algemeen de RWS lidar kusthoogtebestanden al verwerkt. Hierdoor verbetert de dekking langs kust, duin en kwelder gebieden.
- (5) Eems-dollard is voor de laatste lodingscyclus nog niet beschikbaar.

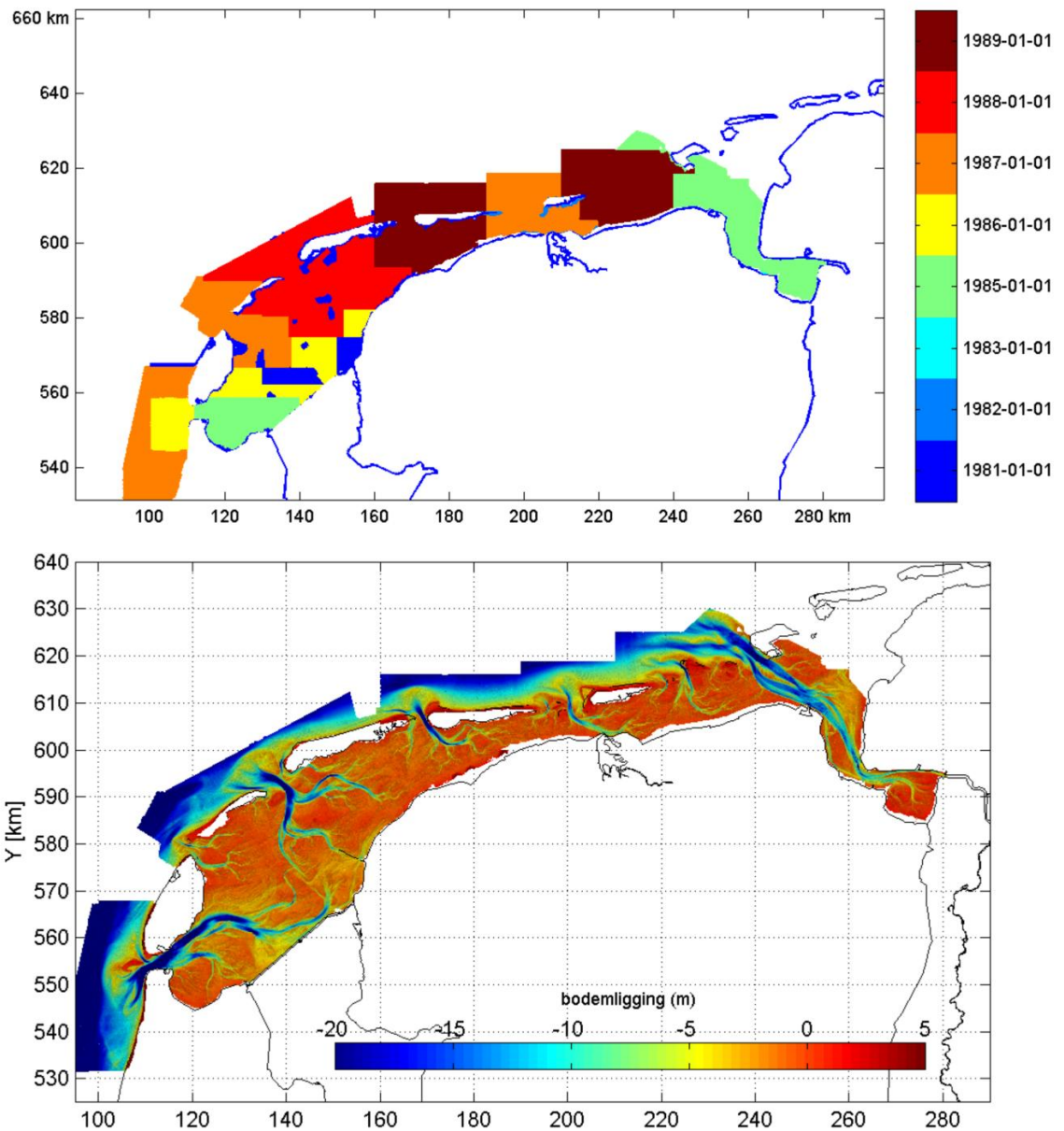


Figuur 2.2: Voorbeeld van een overzicht van de Rijkswaterstaat data binnen OpenEarth ([http://dtvirt5.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/vaklodgingen\\_overview.kml](http://dtvirt5.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/vaklodgingen_overview.kml)).

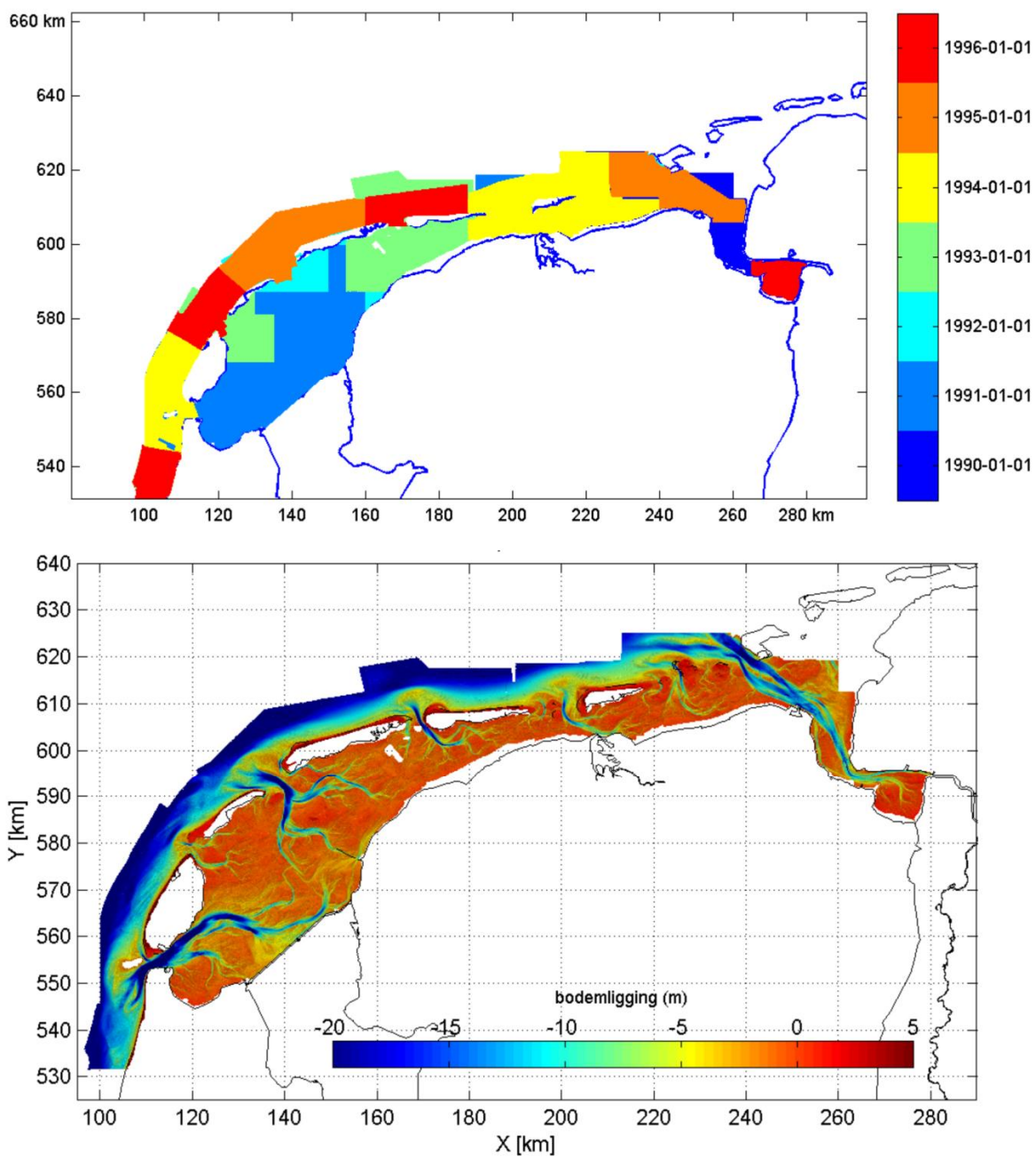


Figuur 2.3: Voorbeeld van alle vaklodgingen data opgenomen in het jaar 2012. (<http://dtvirt5.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/vaklodgingen.kml>).



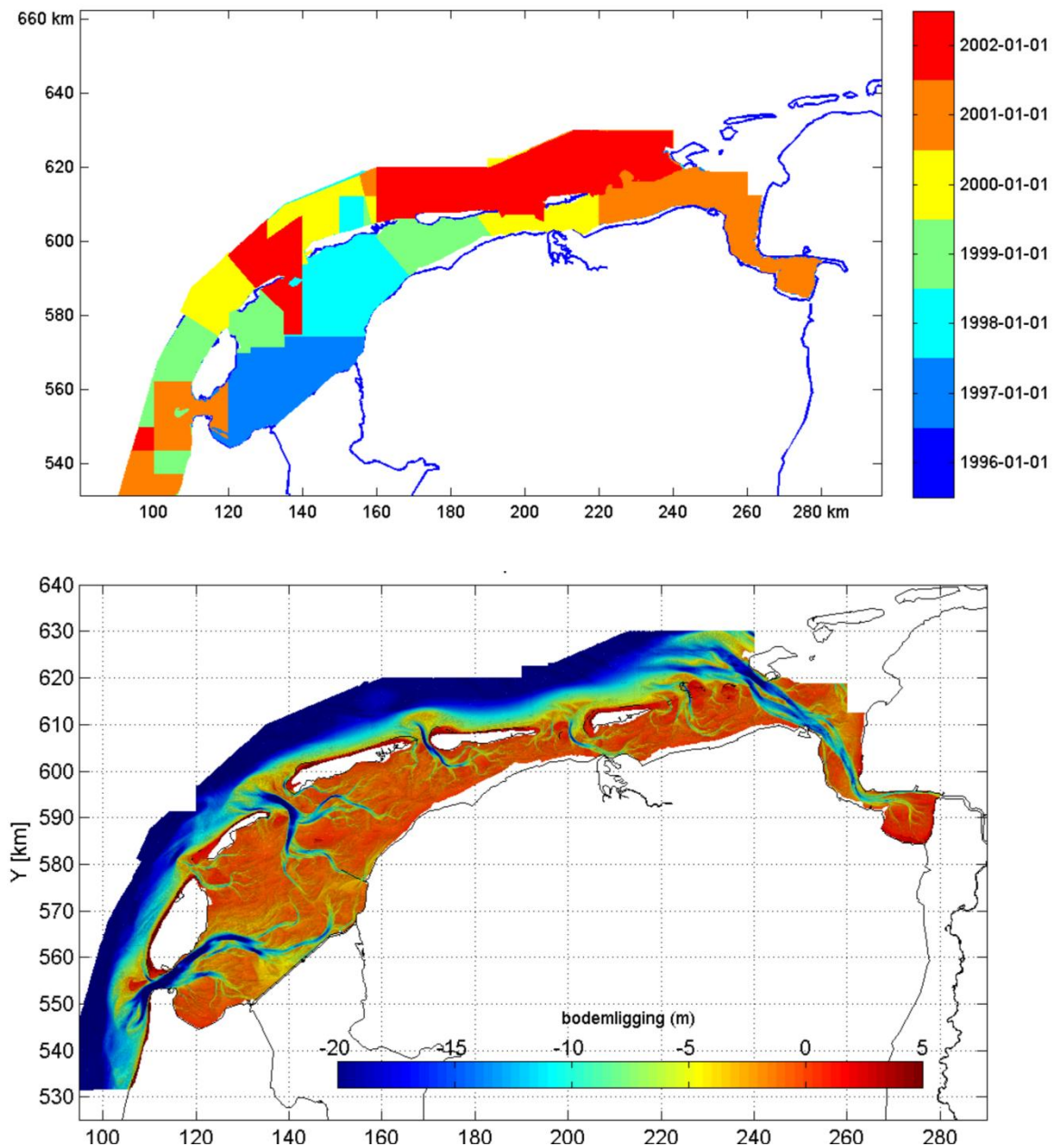


Figuur 2.4: Bodempligging representatief voor de periode 1981-1989. Boven: gebruikte jaren voor construeren van de bodem (onder).

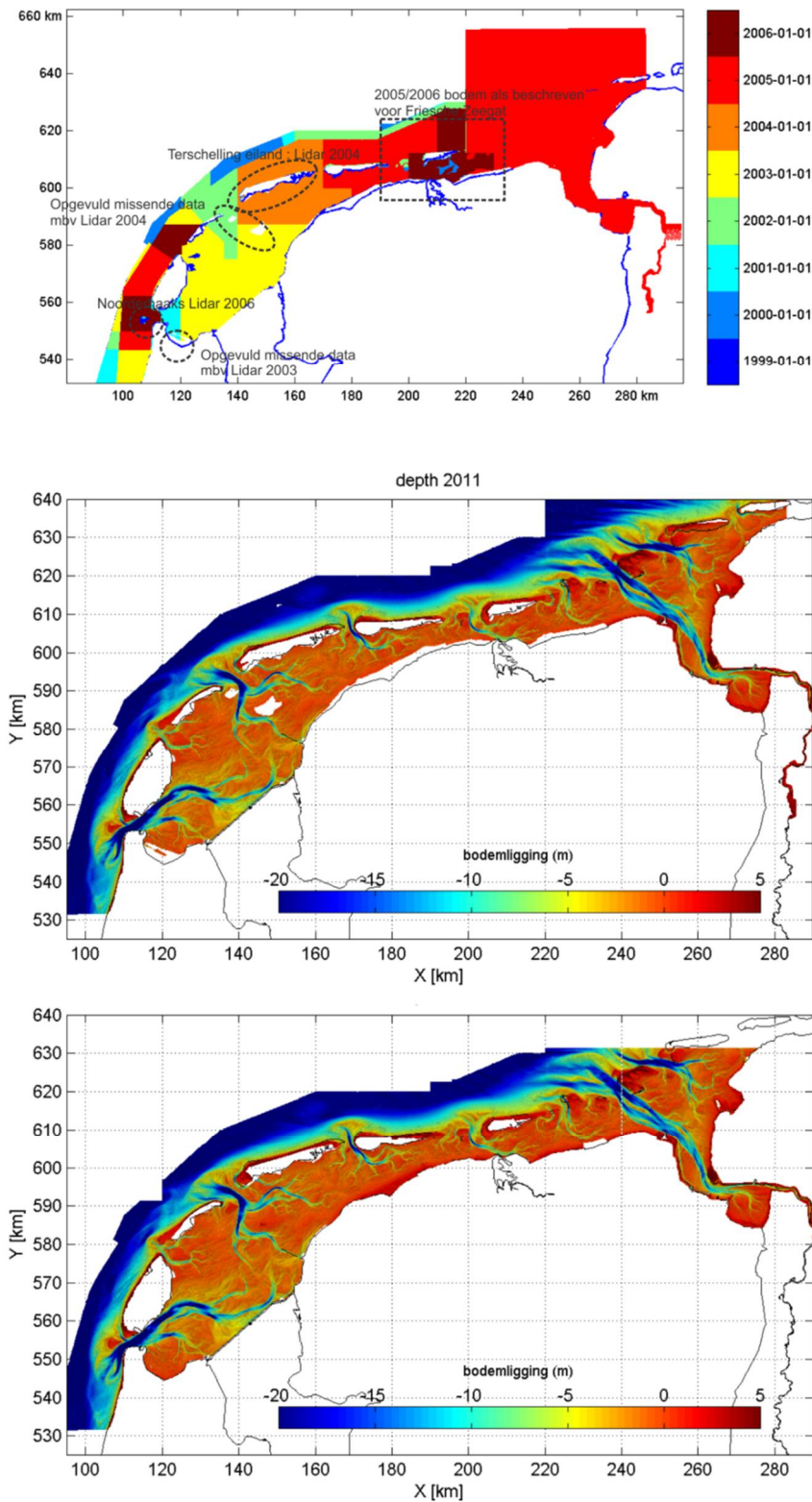


Figuur 2.5: Bodemligging representatief voor de periode 1990-1996. Boven: gebruikte jaren voor construeren van de bodem (onder).



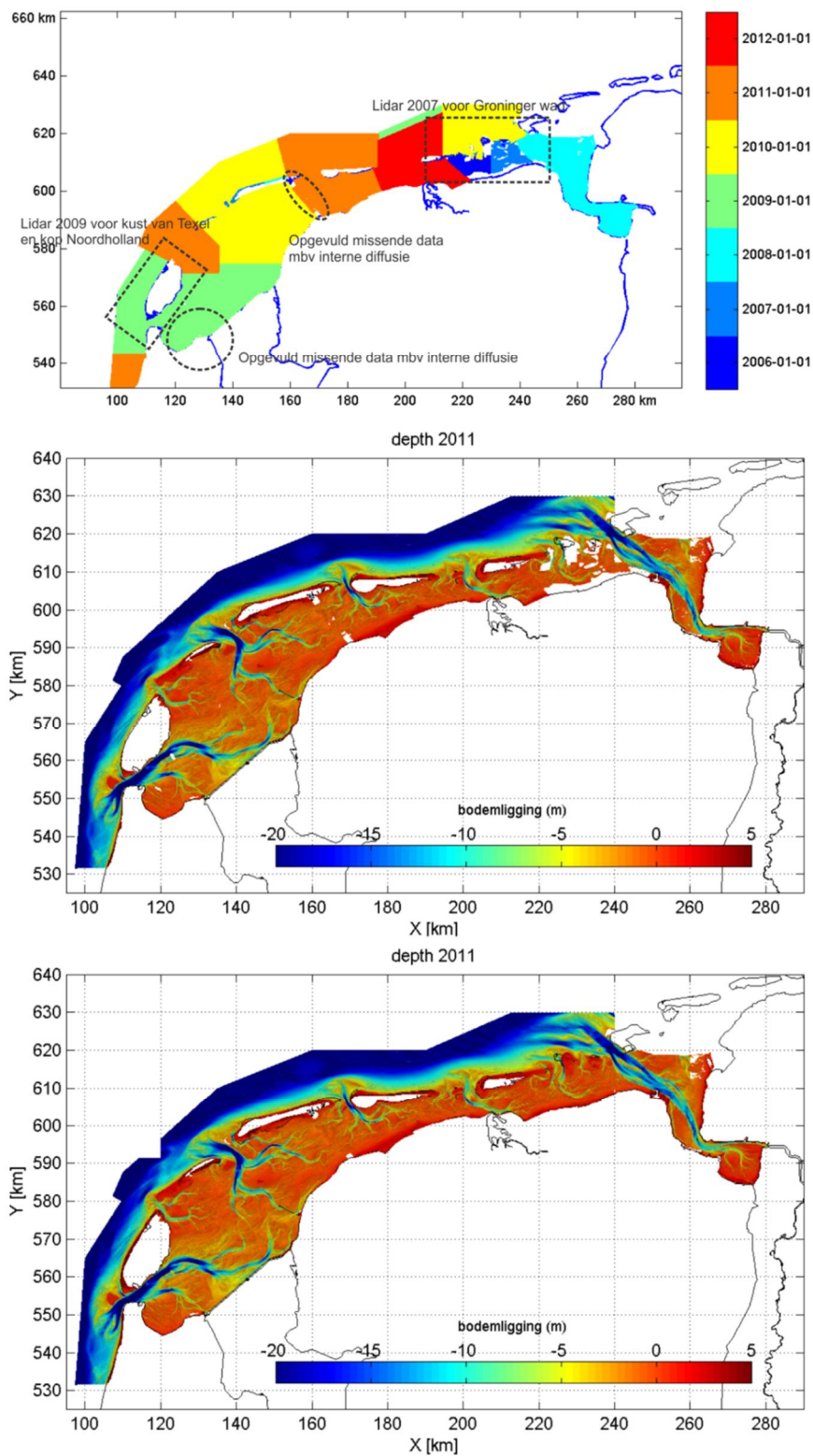


Figuur 2.6 : Bodemligging representatief voor de periode 1996-2002. Boven: gebruikte jaren voor construeren van de bodem (onder).



Figuur 2.7: Bodempligging representatief voor de periode 1999-2006. boven: gebruikte jaren voor construeren van de ongecorrigeerde bodem (midden). Onder: definitieve bodem na kleine correcties voor verkrijgen van een complete dataset (aangegeven in bovenste figuur).

15 mei 2013, definitief



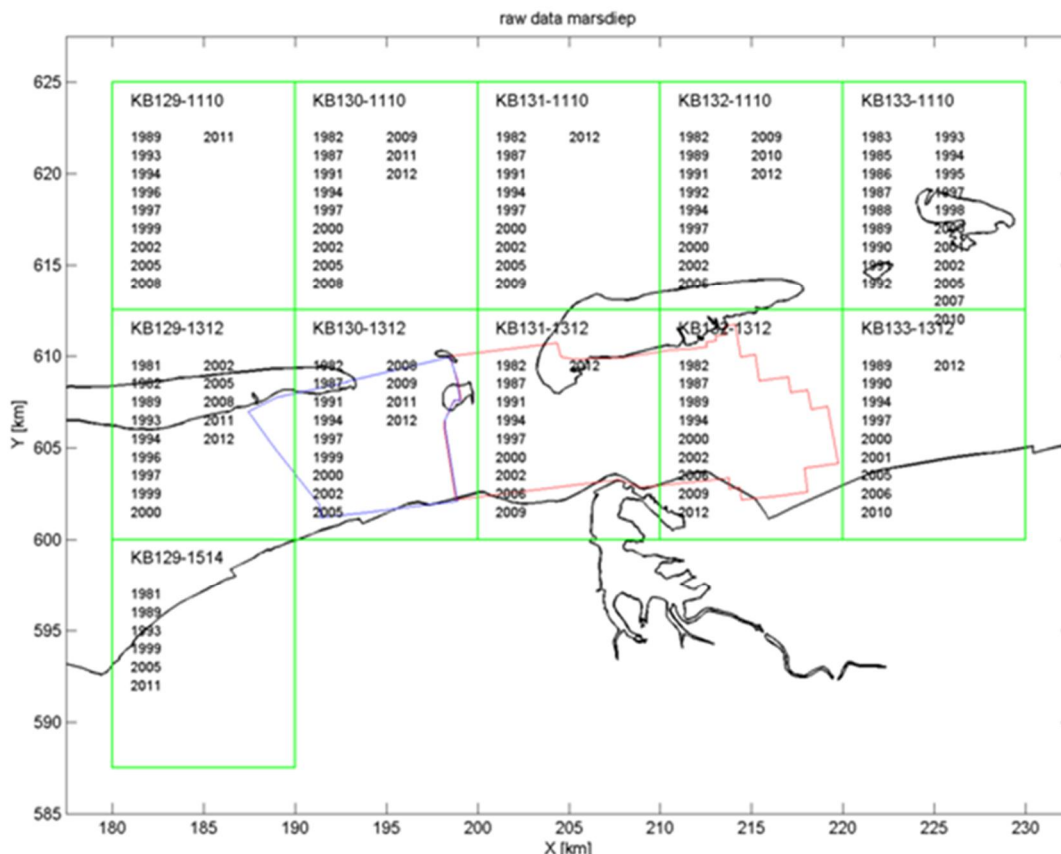
Figuur 2.8: Bodemligging representatief voor de periode 2006-2012. Boven: gebruikte jaren voor construeren van de ongecorrigeerde bodem (midden). Onder: definitieve bodem na kleine correcties voor verkrijgen van een complete dataset (aangegeven in bovenste figuur).

### 3 Overzicht hoogtekarten Friesche Zeegat (1980 – 2012)

#### 3.1 Overzicht hoogtekarten Friesche Zeegat (1980 – 2012)

Zoals eerder vermeld, is het mogelijk voor de individuele zeegaten een nauwkeurigere bodem hoogtekartaat te genereren dan voor de gehele Waddenzee. In principe worden identieke vaklodingen gebruikt als in voorgaand hoofdstuk. Door de kleinere dimensie is de spreiding door de jaren echter veel kleiner. In dit hoofdstuk worden voor de 5 lodingcycli extra bodem hoogte kaarten gegenereerd. Figuur 3.1 geeft een overzicht van de beschikbare data voor het studie gebied dat omsloten wordt door de polygonen van Pinkegat (blauw) en Zoutkamperlaag (rood). Voor ieder kaartblad zijn er metingen beschikbaar voor de vermelde jaren. Deze metingen variëren sterk in dekking. De data zijn beschikbaar bij Rijkswaterstaat in de DONAR database. Deltares heeft een kopie van de dataset beschikbaar op een vrij toegankelijke OPENDAP server in NETCDF format:

<http://opendap.deltares.nl/thredds/catalog/opendap/rijkswaterstaat/vaklodingen/>



Figuur 3.1: Overzicht van de data beschikbaar per kaartblad zoals deze uit DONAR beschikbaar is.

Visualisaties van de individuele vaklodingen worden gepresenteerd in Appendix A1 per kaartblad en Appendix A2 per jaar. De data gepresenteerd in deze figuren is de ruwe data. Wel zijn een aantal jaren bij elkaar gevoegd om (a) de hoeveelheid bestanden te reduceren en (b) volledige kaartbladen te genereren, ook lege kaartbladen zijn hierbij verwijderd. Zie Tabel 3.1 voor een samenvatting van deze bewerkingen.

**Tabel 3.1 : Correctie 1: samenvoegen ruwe data Vaklodingen**

Vakloding	Year 1	Year 2
KB129_1110	1993,1996	1994, 1997
KB129_1312	1981,1993,1996,1999,2011	1982, 1994, 1997, 2000, 2012
KB130_1110	2009,2012	2008,2011
KB130_1312	2000, 2009, 2011	1999,2008,2012
KB132_1110	1992, 2010	1991, 2009
KB132_1312	2000, 2006	2002, 2009

**Tabel 3.2 : Correctie 2 : samenvoegen jaren voor volledige dekking**

kaart	Jaar 1	Jaar 2
1982	1982	
1987	1987	1989
1994	1994	1993
2000	2000	1999
2005	2005	2006
2012	2012	2011

\*de jaren staan in volgorde van belangrijkheid. Jaar 1 is de basis en missende data wordt aangevuld dmv jaar 2.

**Tabel 3.3 : Correctie 3: toevoegen van Lidar voor het invullen van missende data punten**

kaart	Vakloding	Lidar
1982	1982	
1987	1987	
1994	1994	
2000	2000	2001
2005	2005	2004,2005,2006,2007,2009
2012	2012	

Gebaseerd op de data in de individuele kaartbladen kunnen 6 afzonderlijk (vrijwel) dekkende kaartbladen worden gemaakt (Figuur 3.2). Om deze dekkend te krijgen zijn er over het algemeen 2 opeenvolgende jaren bij elkaar gevoegd (zie overzicht in Tabel 3.2). Deze kaarten vormen de basis en vertonen een min of meer volledige dekking van het 'natte' bekken en zeegat. Uitzondering hierop is het jaar 2005 waar ook in het bekken data mist. Deze kaart kan volledig gemaakt worden door te combineren met de dichtstbijzijnde LIDAR kuststrook metingen. Deze zijn ook door Rijkswaterstaat opgenomen en bewerkt. Tabel 3.3 geeft een overzicht van de gecombineerde datasets. De data zijn beschikbaar via:

<http://opendap.deltares.nl/thredds/catalog/opendap/rijkswaterstaat/kusthoogte/>

Appendix B geeft een overzicht van de beschikbare kusthoogte metingen.

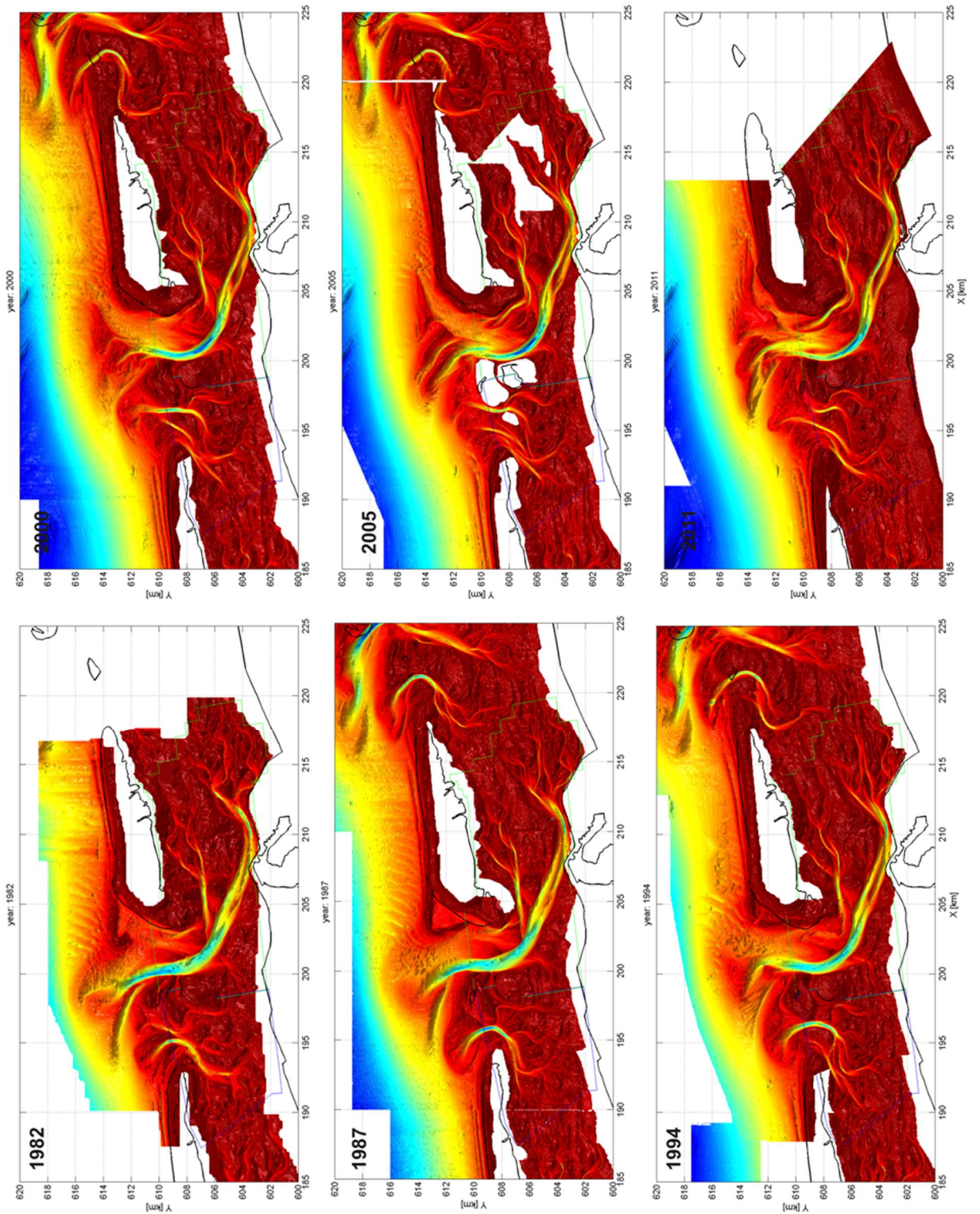
Op de gecombineerde kaarten zijn vervolgens additionele, handmatige correcties uitgevoerd om bijvoorbeeld missende datapunten, fouten en verspringingen in de data te corrigeren of



uit te vlakken. (Figuur 3.3 – 3.8) geeft per bodem een overzicht van alle uitgevoerde correcties.

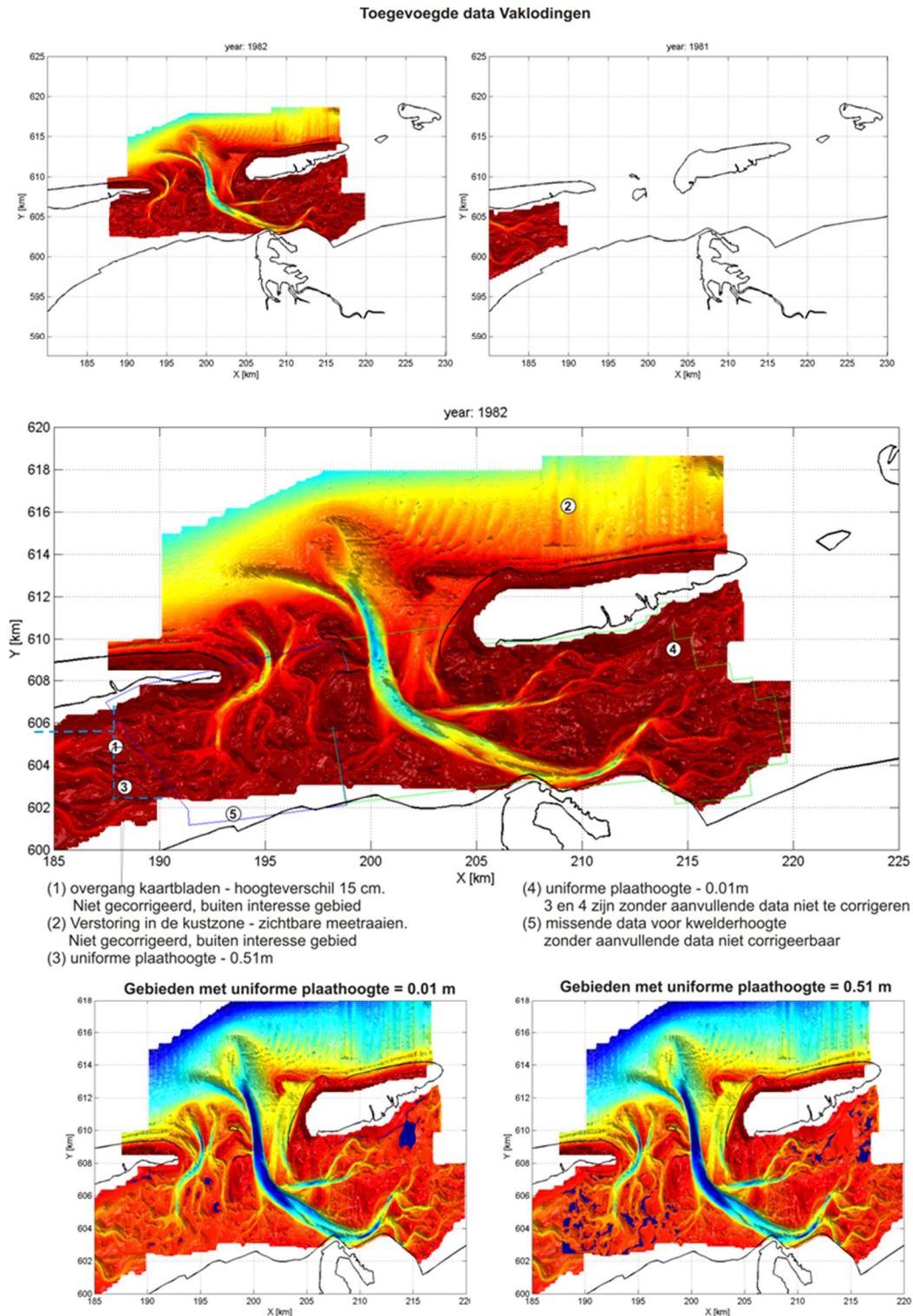
De definitieve bodems worden gepresenteerd in Figuur 3.9 – 3.14. De data is opgeslagen als Matlab en ARC ascii-grid bestand. De matlab bestanden bevatten een structuur met velden `grd.x`, `grd.y` en `grd.z`. Alle bestanden zijn in Rijksdriehoek coördinaten stelsel met hoogte in m t.o.v. NAP. Zie Appendix C voor een 3d weergave van de data.





Figuur 3.2: Overzicht geselecteerde kaarten met gebiedsdekkende data

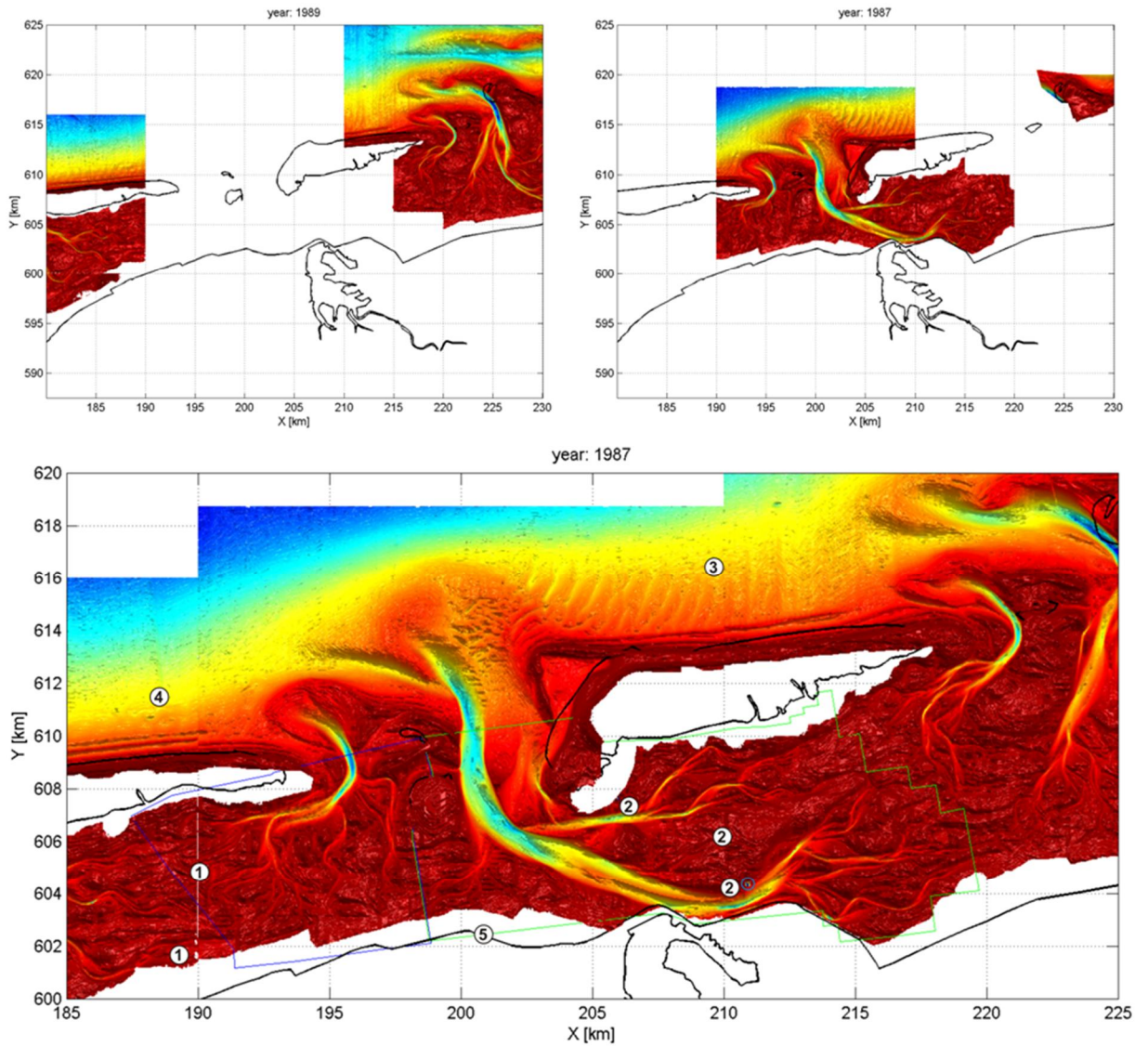
## 3.2 Uitgevoerde handmatige correcties



Figuur 3.3. uitgevoerde correcties voor de 1982 bodem.



Toegevoegde data Vaklodingen

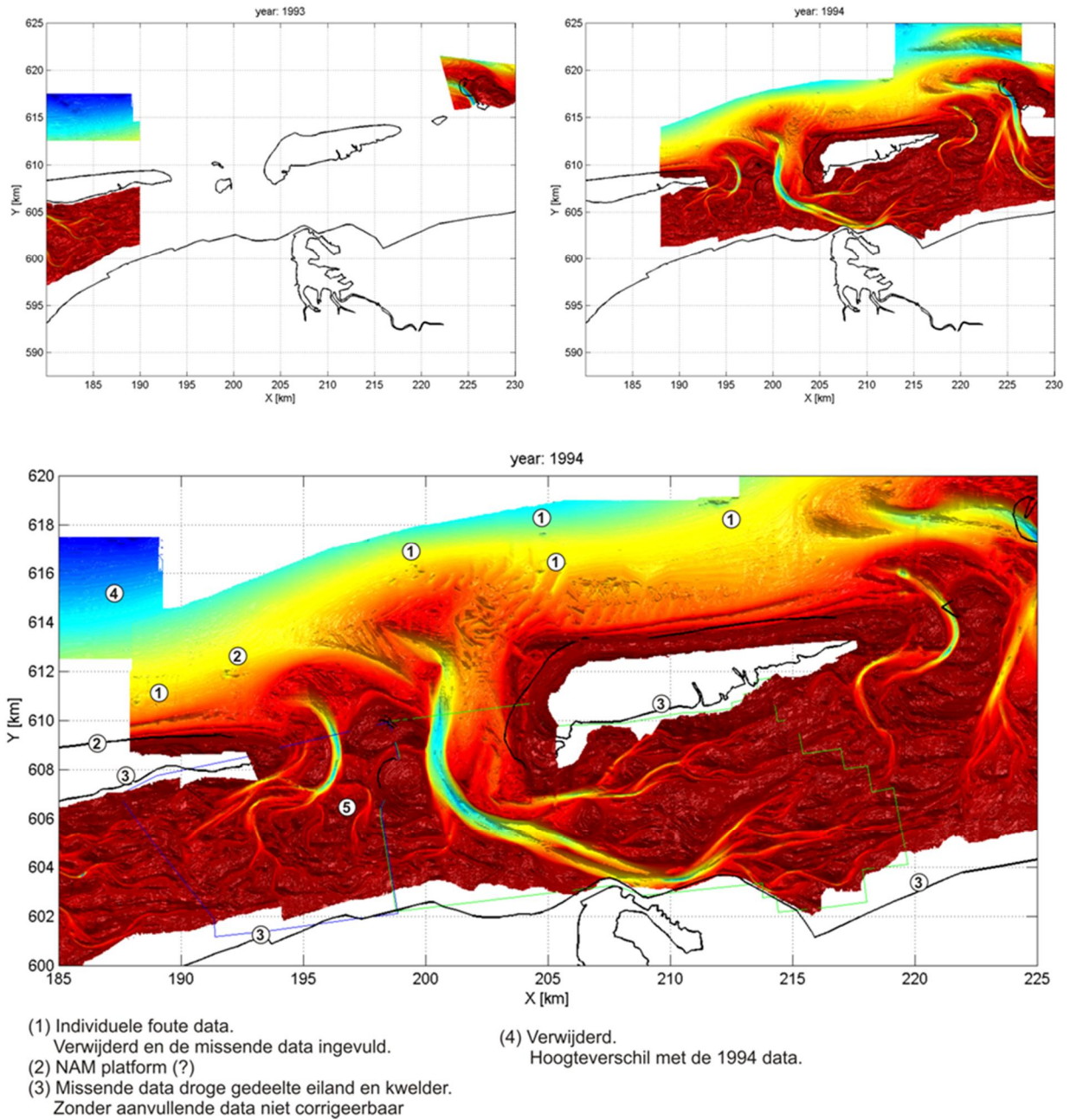


- (1) missende data - gecorrigeerd door interne diffusie
- (2) Individuele foute data.  
Verwijderd en de missende data ingevuld.
- (3) Hoogte verschillen dwars op de kust (niet natuurlijk)  
Niet gecorrigeerd, buiten interesse gebied.

- (4) hier ligt waarschijnlijk het NAM winstation  
Consistente depressie in alle jaren (niet gecorrigeerd)
- (5) missende data voor kwelderhoogte  
zonder aanvullende data niet corrigeerbaar

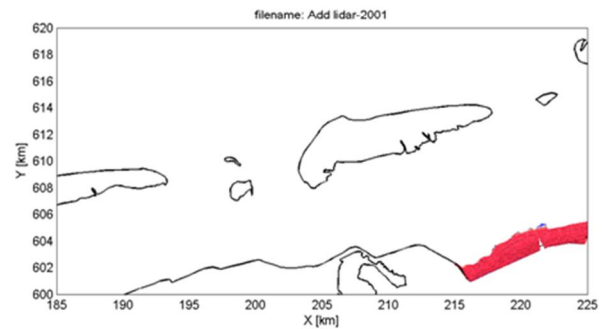
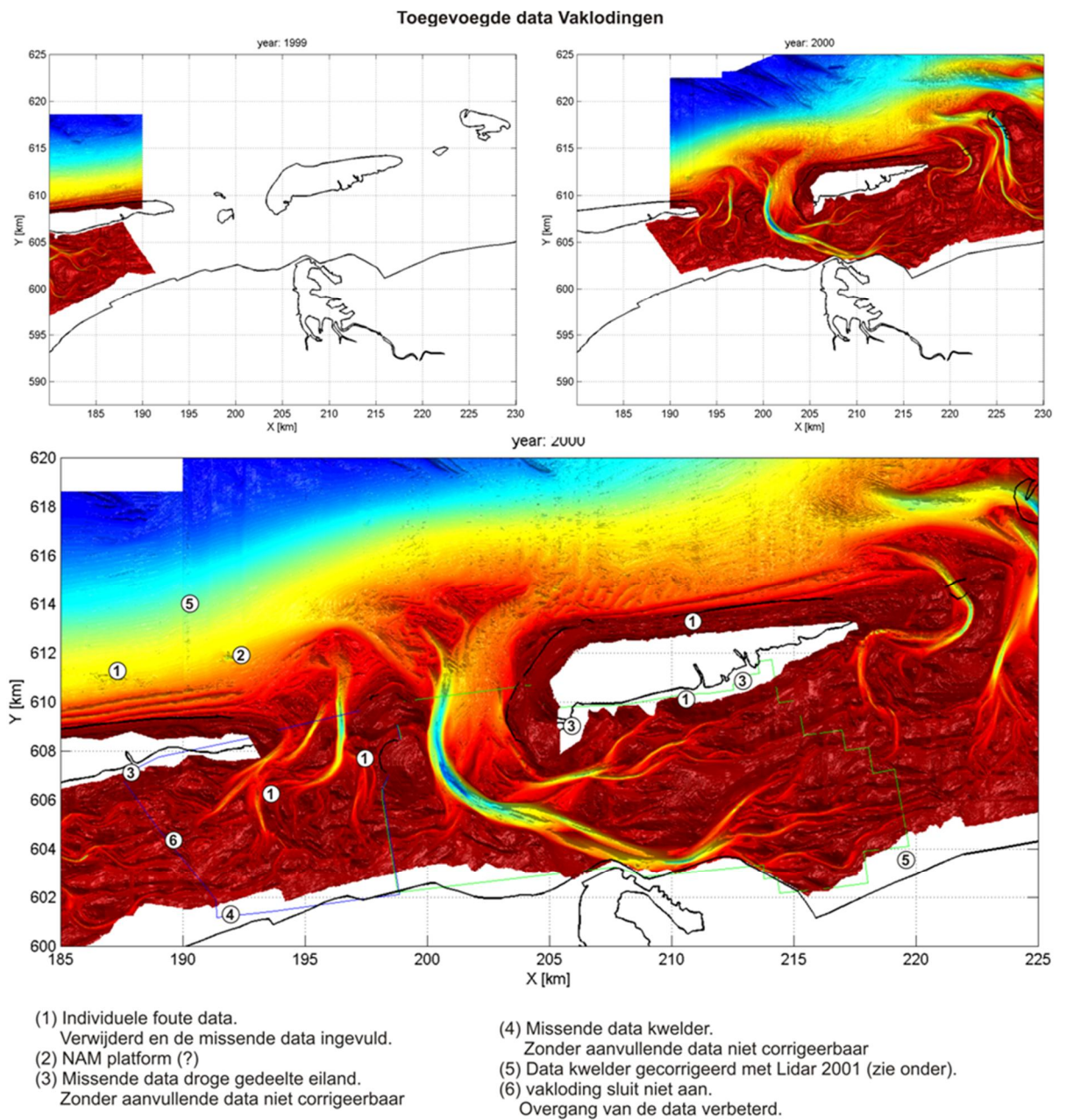
Figuur 3.4. uitgevoerde correcties voor de 1987 bodem.

## Toegevoegde data Vaklodingen

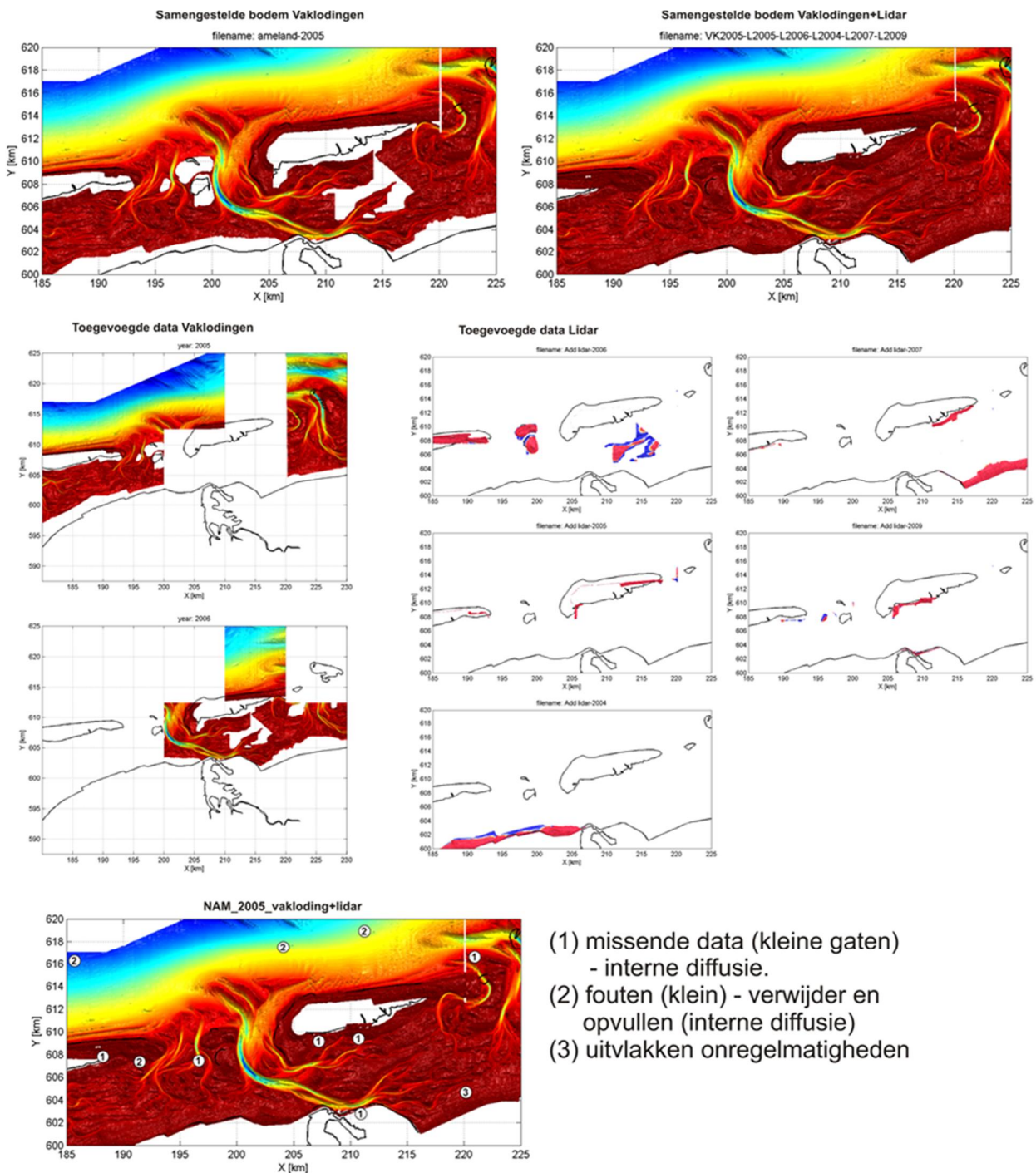


Figuur 3.5. uitgevoerde correcties voor de 1994 bodem.

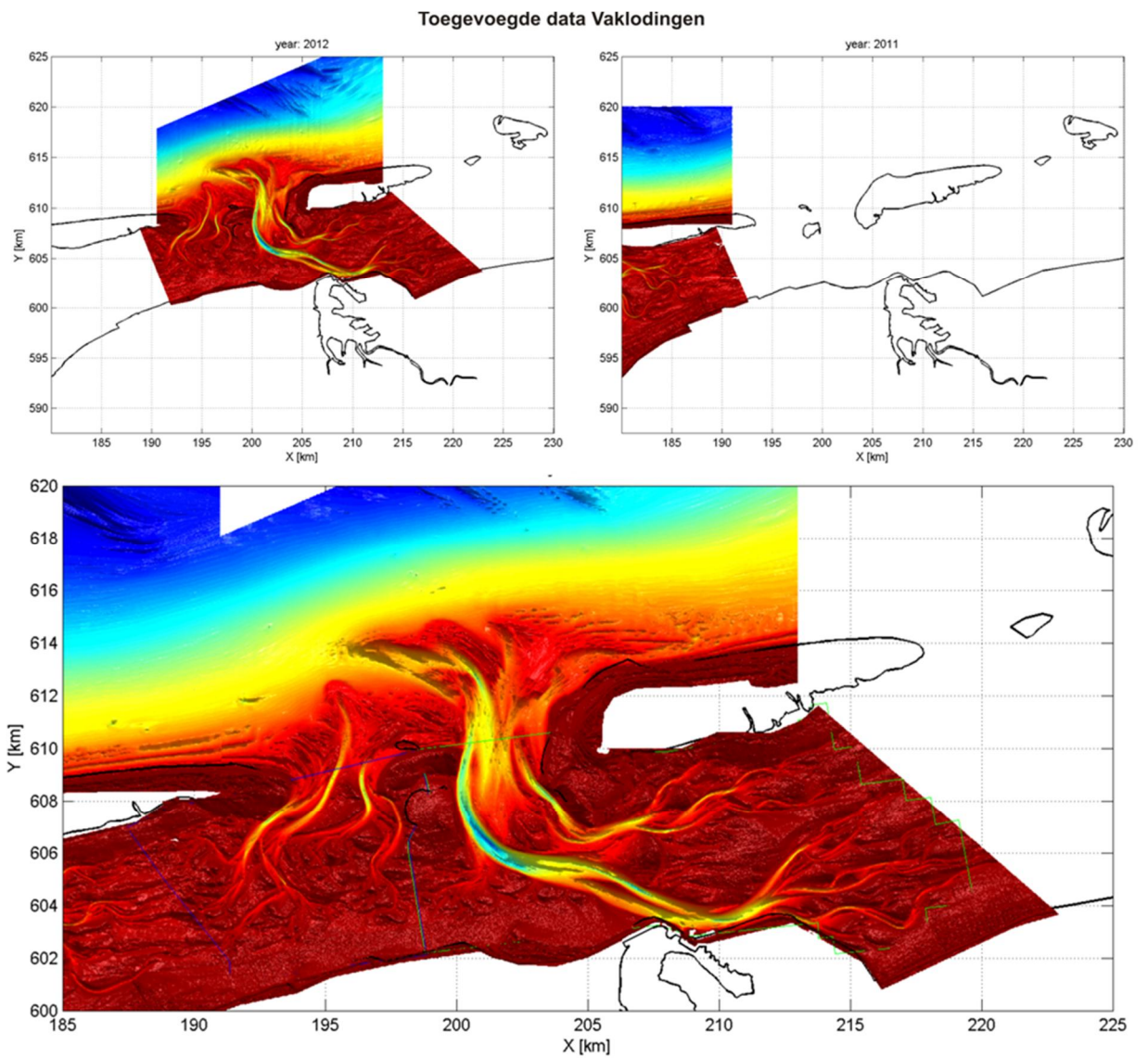




Figuur 3.6. uitgevoerde correcties voor de 2000 bodem.



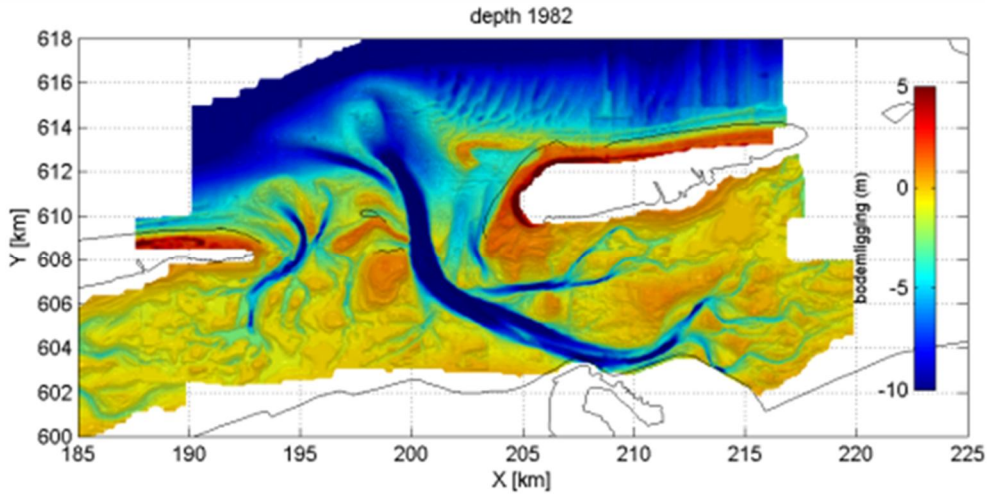
Figuur 3.7. uitgevoerde correcties voor de 2005 bodem.



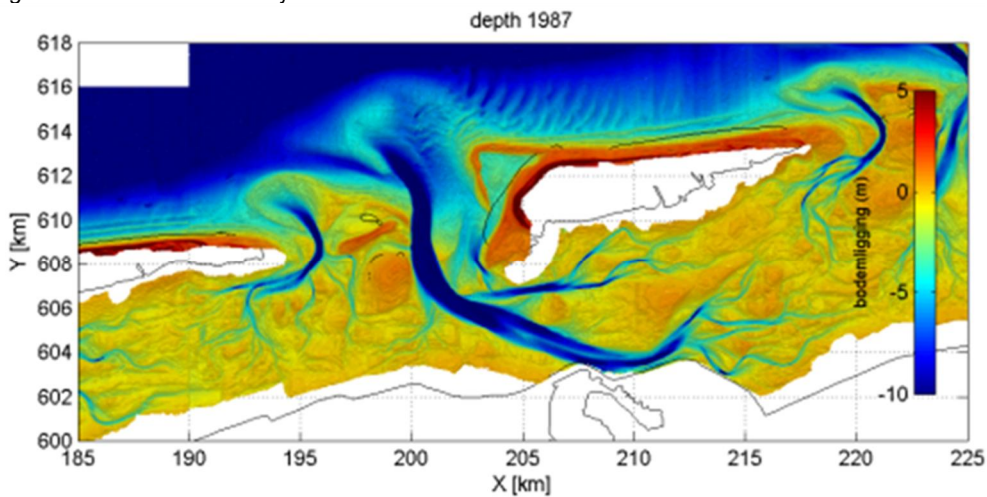
Figuur 8. uitgevoerde correcties voor de 2012 bodem.



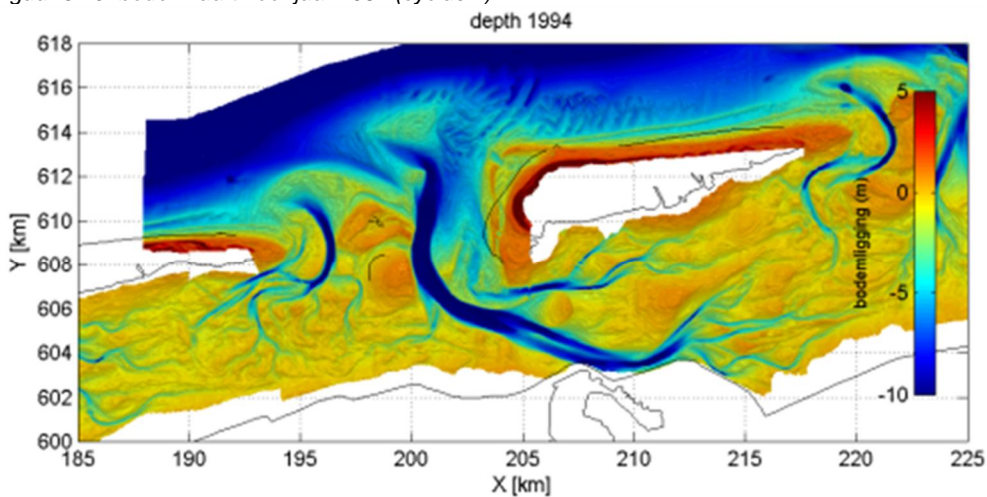
### 3.3 Definitieve kaarten (bovenaanzicht)



Figuur 3.9: bodemkaart voor jaar 1982

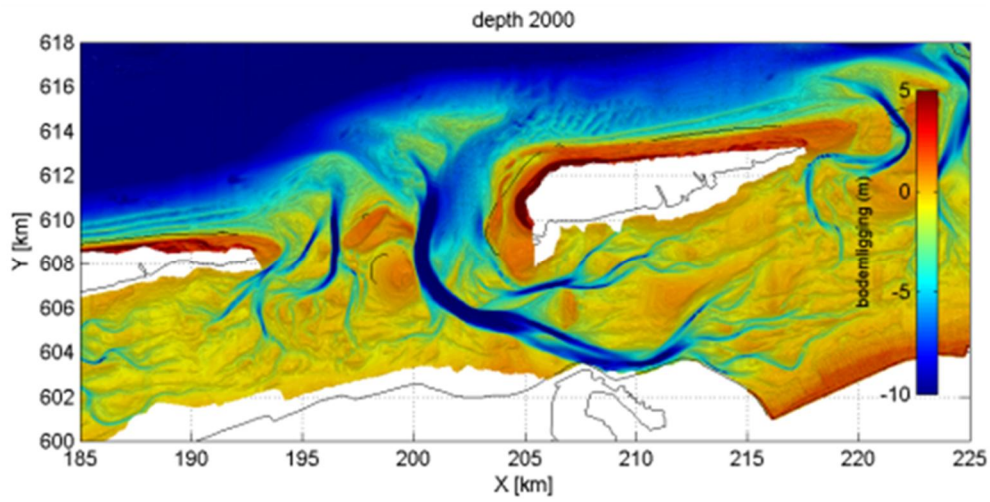


Figuur 3.10: bodemkaart voor jaar 1987 (cyclus 1)

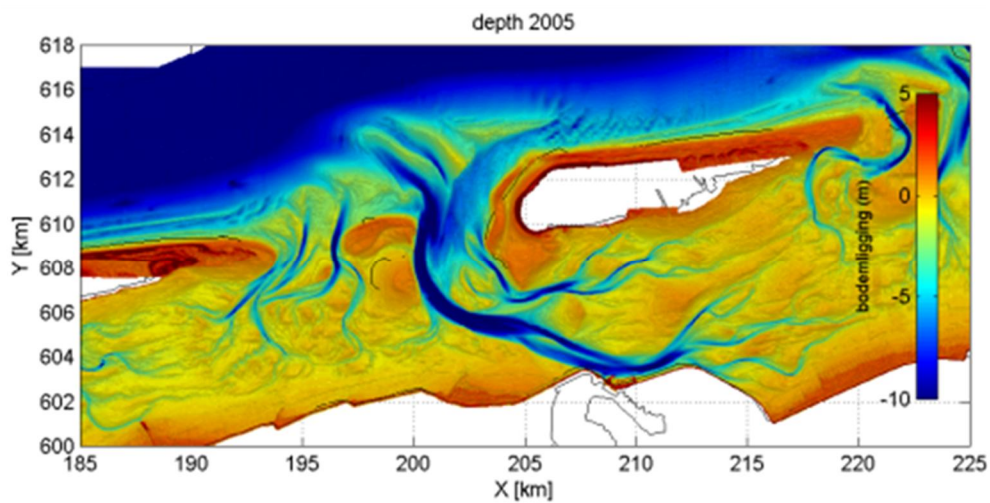


Figuur 3.11: bodemkaart voor jaar 1994 (cyclus 2)

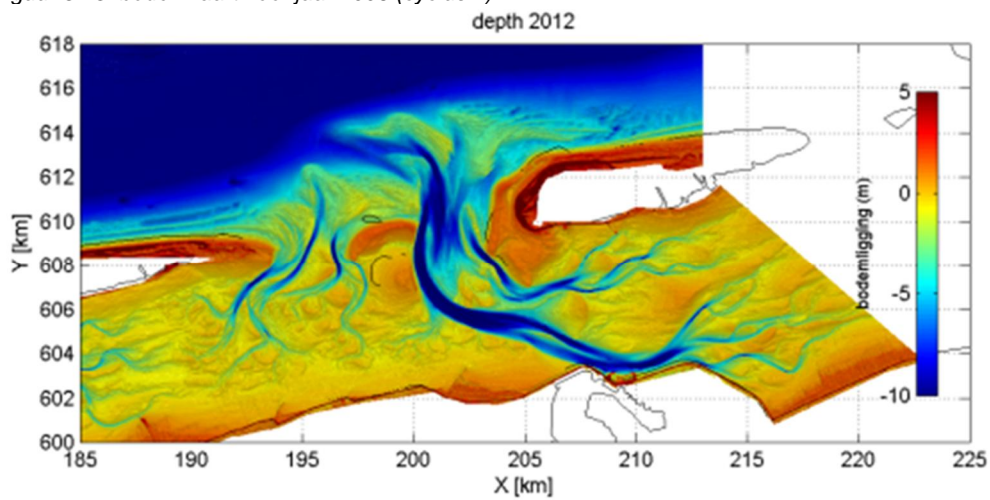




Figuur 3.12: bodemkaart voor jaar 2000 (cyclus 3)



Figuur 3.13: bodemkaart voor jaar 2005 (cyclus 4)



Figuur 3.14: bodemkaart voor jaar 2012 (cyclus 5)



## 4 Integratie van gegevens

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de gegevens van de bodemhoogtes gekoppeld aan de gegevens van bodemdalingen en de gegevens van de waterstanden.

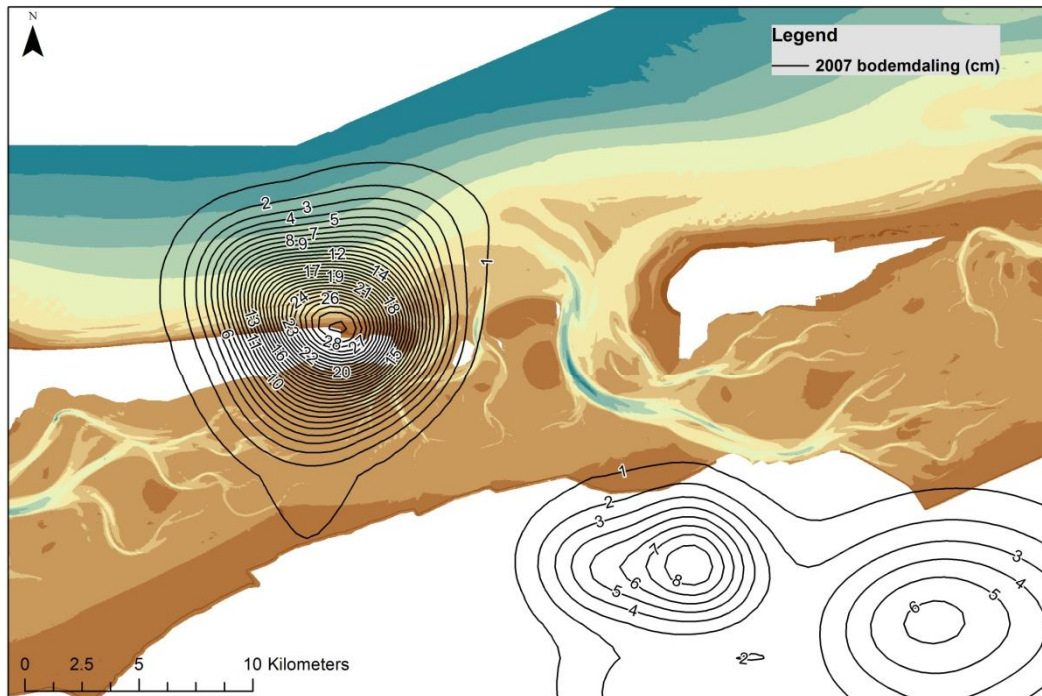
Door de koppeling met de bodemdaling wordt gekeken of de bodemdalingskuil terug te zien is en of het verwacht kan worden dat de bodemdalingskuil in de toekomst wordt gemeten in de Waddenzee (4.2). De bodemdaling in de Waddenzee door de gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen is tot nu toe zeer beperkt. Daarom wordt hierbij ook gekeken naar de veel grotere bodemdaling door de gaswinning vanaf Ameland.

De koppeling met de waterstand wordt gedaan om de ontwikkelingen van de intergetijdeplaten te evalueren. De evaluatie van de arealen en hoogtes van de wadplaten worden gedaan in 4.3 en de daaraan gekoppelde droogvalduur wordt beschouwd in 4.4.

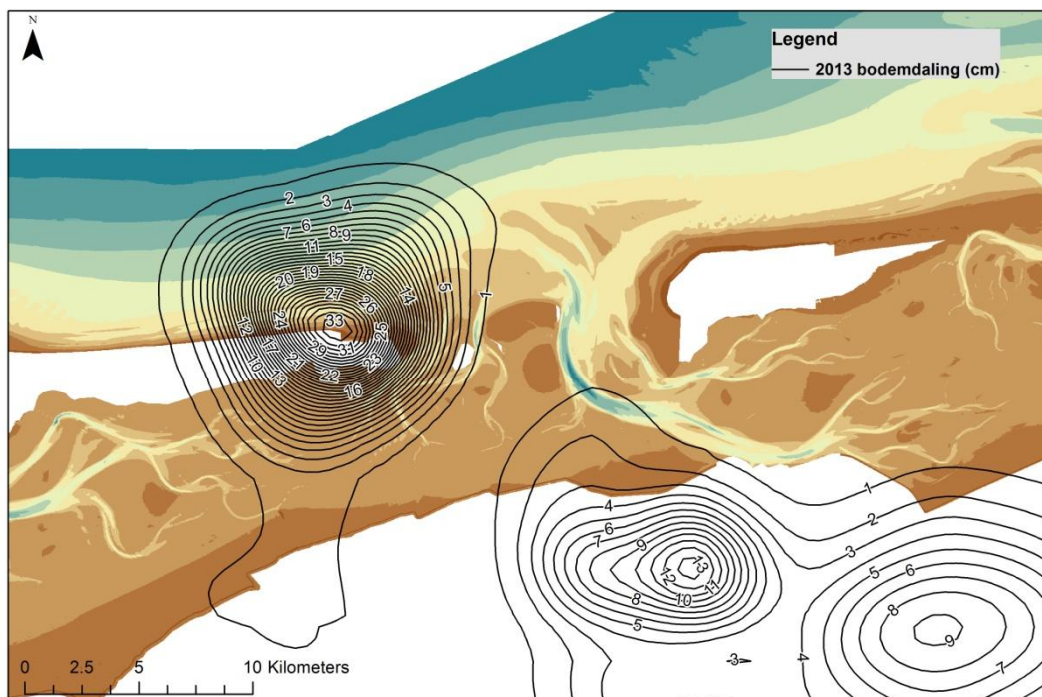
### 4.2 Vergelijking bodemdaling met morfologische veranderingen

Uit de gegevens van bodemhoogtes kunnen de morfologische veranderingen worden afgeleid. De eerste vraag is dan of de bodemdalingen door gaswinning terug te vinden zijn in de bodemniveauperanderingen.

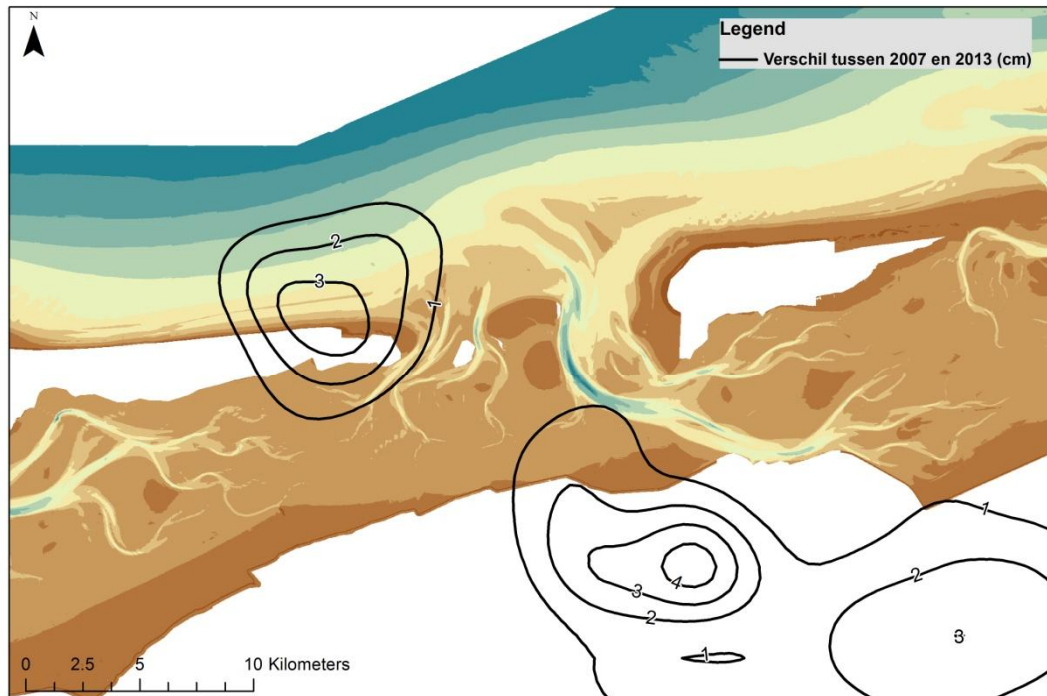
Figuur 4.1 (a-c) laten de bodemdalingen tot nu toe zien. Figuur 4.1a geeft de daling tot 2007. Te zien is dat de daling voornamelijk veroorzaakt is door de gaswinning op Ameland. Dit geldt ook voor de bodemdaling tot 2013 (Fig.4.1b). Figuur 4.1c laat zien dat de bodemdaling in de periode 2007-2013 lokaal tot boven de 2 cm (Ameland) kan zijn. Maar zulke kleine dalingen worden niet verwacht terug te zien zijn in de veranderingen van het bodemniveau, gezien de meetnauwkeurigheid en de natuurlijke morfologische veranderingen. Interessanter is dus om te kijken of de totale daling sinds het begin van de gaswinning op Ameland terug te zien is in de veranderingen van het bodemniveau. Daarom wordt in Figuur 4.2 de bodemniveauperandering gegeven in de periode 1987-2012.



Figuur 4.1a Bodemdaling tot 2007.



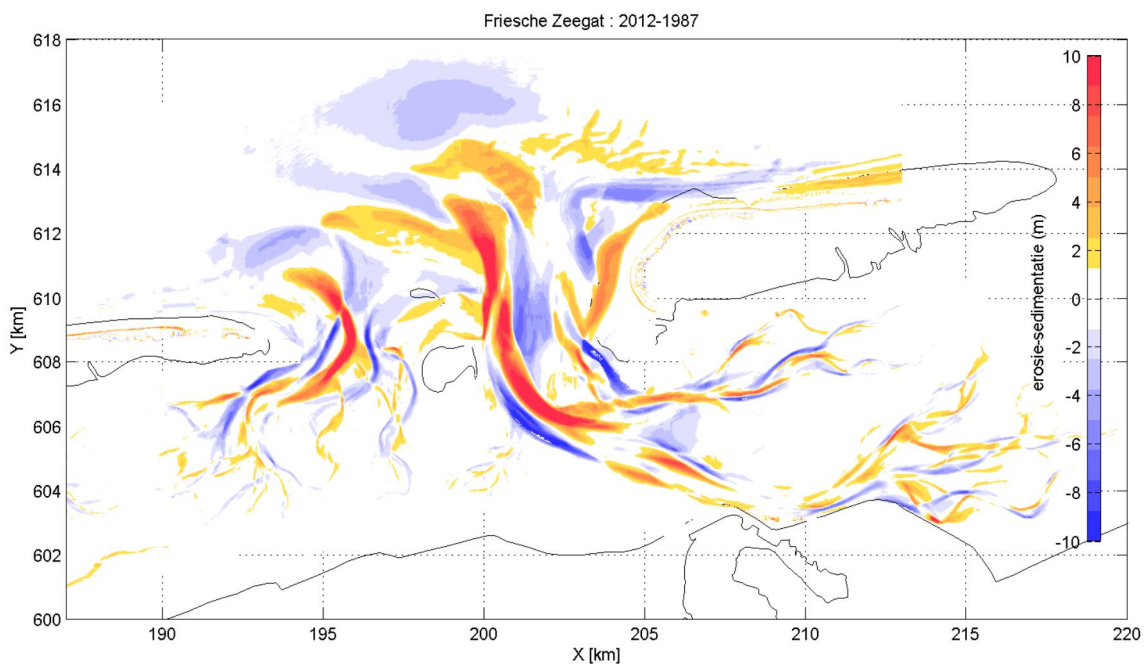
Figuur 4.1b Bodemdaling tot 2013



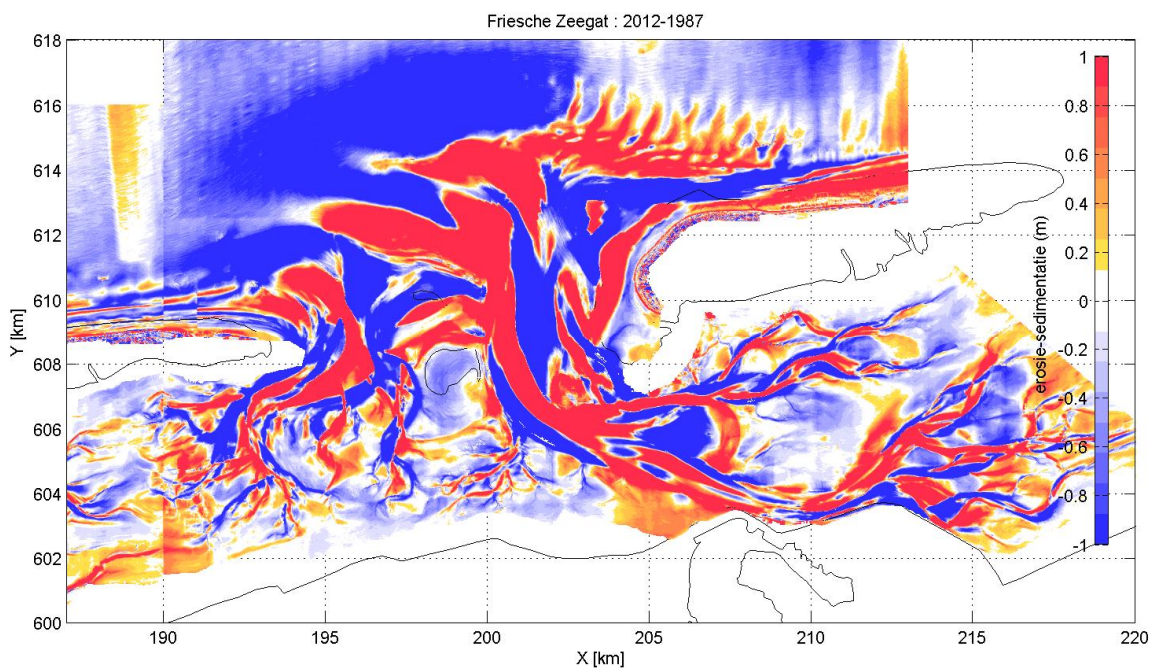
Figuur 4.1c Bodemdaling in de periode 2007-2013.

De totale bodemdaling in het Pinkegat is lokaal al bijna 30 cm. Maar dit is nog steeds relatief klein t.o.v. de waargenomen bodemniveauperanderingen in het gebied (Figuur 4.2). Let op dat de eenheid in figuur 4.2 m/jaar is. De veranderingen in de 25-jarige periode kunnen dus meters zijn. De grootste veranderingen komen vooral door de migratie van de geulen. Door deze grote natuurlijke veranderingen kan de bodemdalingskuil niet worden gezien in figuur 4.2. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de bodemdaling door gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, die veel kleiner in omvang is (lokaal tot ongeveer 10 cm in 2035; zie Winningplan op nlog.nl), ook niet door bodemhoogte metingen bepaald kan worden.





Figuur 4.2a Bodemniveauperandering in de periode 1987-2012.

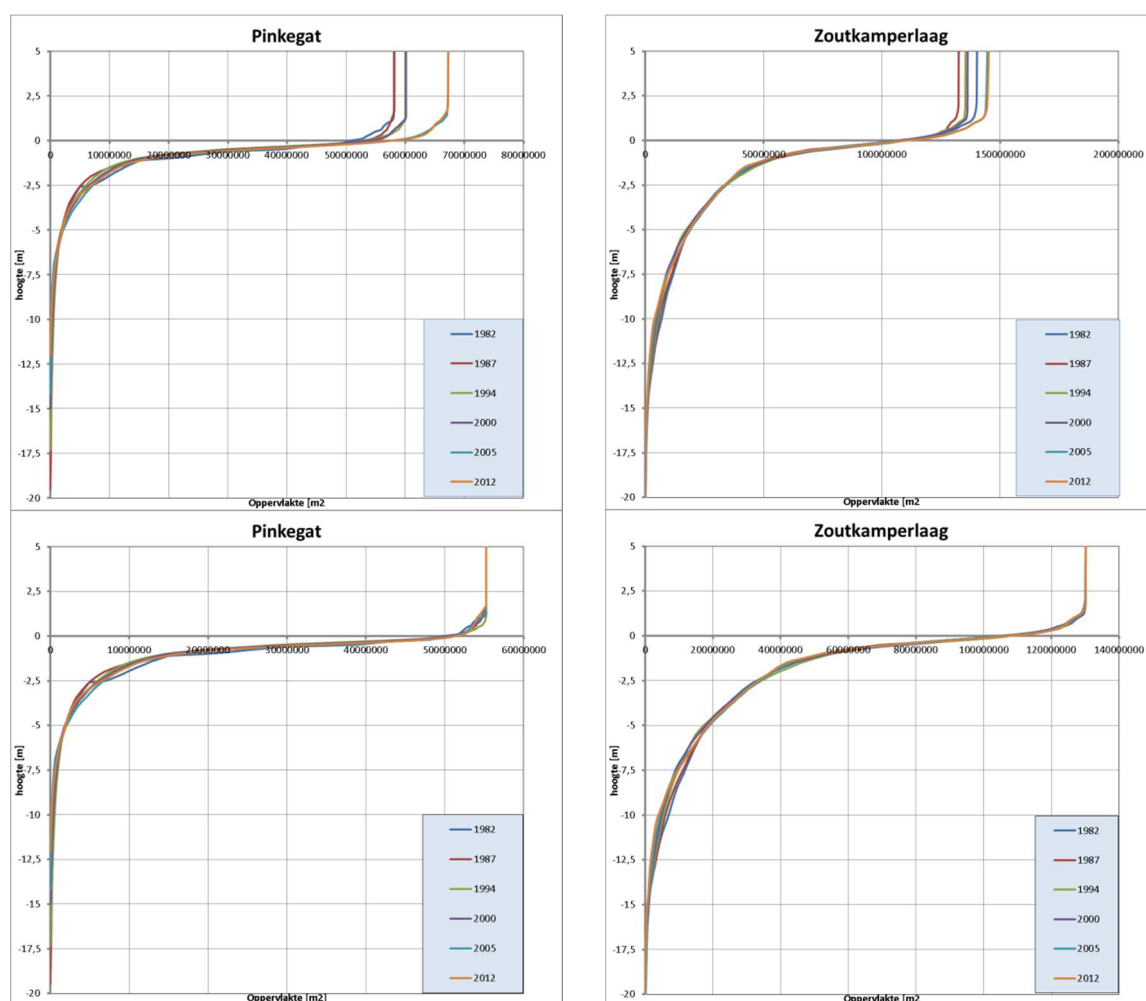


Figuur 4.2b Bodemniveauperandering in de periode 1987-2012, met andere kleurschaal.

### 4.3 Areaal en hoogte intergetijdegebieden

#### 4.3.1 Ontwikkelingen afgeleid uit gegevens

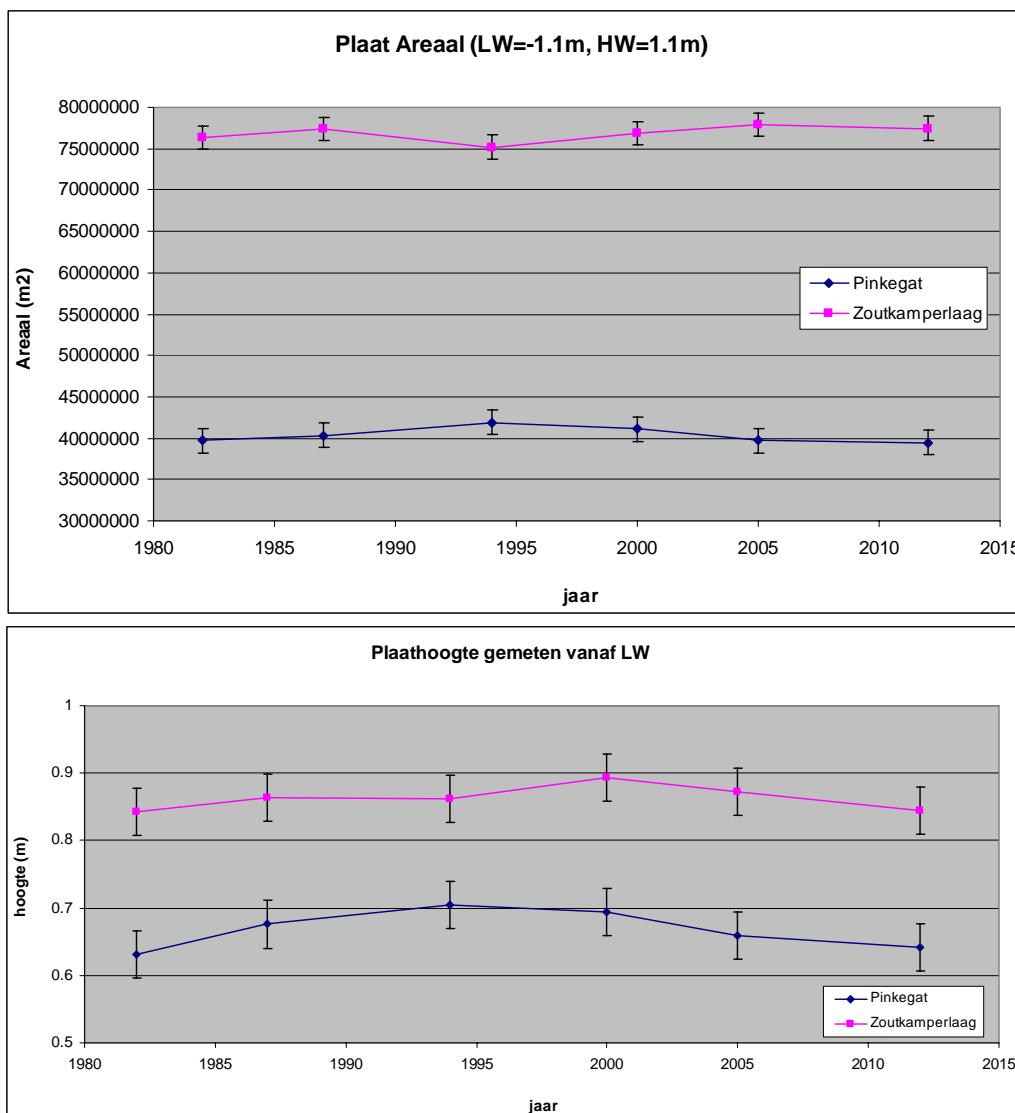
De veranderingen van arealen en hoogtes van het intergetijdegebied in de twee vloedkommen worden geanalyseerd op basis van alle beschikbare gegevens, dus zowel de Vaklodingen als de lidar data. Het areaal en de hoogte van het intergetijdegebied in een vloedkom wordt bepaald aan de hand van de hypsometrische curven.



Figuur 4.3 Hypsometrische curven van de twee vloedkommen. Links: Pinkegat, Rechts: Zoutkamperlaag. Boven: op basis van alle data, Onder: op basis van alleen data van punten die in alle jaren gemeten zijn.

De hypsometrische curven van de twee vloedkommen op basis van de Vaklodingen zijn weergegeven in Figuur 4.3. Het eerste probleem is nu dat niet alle Vaklodingen het hele gebied dekken. Dit is te zien in de bovenste twee panelen in de figuur, waarbij het oppervlak bij het hoogste niveau niet voor alle jaren hetzelfde is. Om een vergelijking tussen de verschillende jaren mogelijk te maken worden de hypsometrische curven van de gebieden die door alle Vaklodingen worden gedekt bepaald en weergegeven in de twee onderste panelen, voor beide vloedkommen. Op basis hiervan worden verder de arealen en hoogtes van de intergetijdeplaten geanalyseerd.

Figuur 4.4 geeft de ontwikkelingen van het totale oppervlak en de gemiddelde hoogte van de intergetijdeplaten in de vloedkommen Zoutkamperlaag en Pinkegat. Hierbij zijn voor het HW en het LW de vaste waarden van respectievelijk NAP+1,1 m en NAP-1,1 m gehanteerd. De getekende foutmarges zijn gebaseerd op de aanname dat de systematische fout van de bodemhoogtes gelijk is als bij de lidar metingen (3,5 cm). Te zien is hier bijvoorbeeld dat er soms plaathoogteveranderingen in de orde van 5 cm optreden tussen twee opeenvolgende metingen. De plaatarealen in de twee vloedkommen lijken een tegengesteld trend te volgen in de ontwikkelingen terwijl de plaathoogtes eenzelfde trend volgen in de ontwikkelingen.

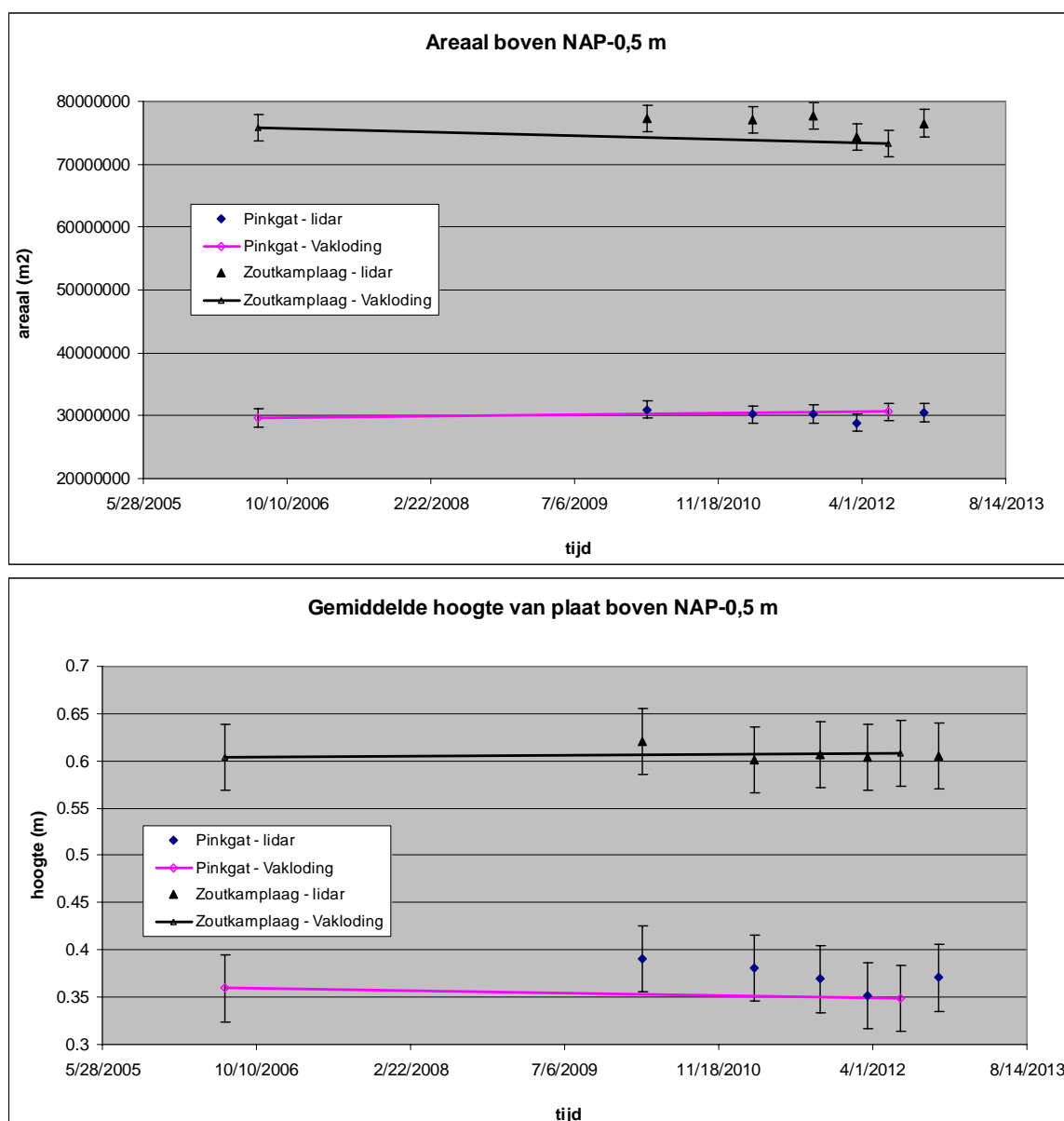


Figuur 4.4. Plaatareaal en -hoogte bepaald uit de gegevens van vaklodingen op basis van een vast getijframe (LW=-1,1 m en HW=+1,1 m).

Opmerking: Na 2000 is men overgegaan naar een andere methode bij de lodingen (Periplus, 2007). Dit heeft te maken met het introduceren van GPS voor het bepalen van de verticale positie van de boot, waardoor correcties aan de hand van waterstand niet meer nodig is. Dit kan mogelijk een oorzaak zijn van de opvallende veranderingen van plaathoogtes in beide vloedkommen tussen 2000 en 2005.



In Figuur 4.4 zijn de extra lidar opnames vanaf 2010 niet opgenomen omdat de lidar metingen de lagere delen van de intergetijdeplaat niet dekken. Om wel een vergelijking met de lidar metingen te kunnen doen worden de arealen en hoogtes van het hogere deel (boven NAP-0,5 m) van de wadplaten weergegeven in Fig.4.5. Er is een systematisch verschil tussen de lidar resultaten en de resultaten uit de Vaklodingen. Dit komt door dat de Vaklodingen niet het hele gebied dekken (zoals hierboven uitgelegd) en de lidar metingen wel. Een vergelijking tussen de twee datasets is vooral moeilijk omdat de lidar metingen nu nog een veel kortere periode dekken, zelfs veel korter dan het interval tussen de laatste twee Vaklodingen. Opvallend is wel dat volgens de lidar metingen de trends in de twee vloedkommen dezelfde zijn voor zowel de arealen als voor de hoogtes. Volgens de Vaklodingen is het voor de arealen in de twee vloedkommen niet zo. Het valt verder op dat volgens de gegevens van Vaklodingen de hoogteontwikkeling van het hogere delen (boven NAP-0,5 m) van de wadplaten (Fig.4.5) een andere trend dan die van het hele intergetijdegebied (Fig.4.4) vertoont.



Figuur 4.5. Areaal en -hoogte (gemeten vanaf NAP-0,5 m) van het gebied boven NAP-0,5 m.

Merk verder op dat de lidar metingen van voorjaar 2012 (op één na laatst punt in de figuren) zijn gedaan door Rijkswaterstaat binnen het kader van de Vaklodingen-cycli. De dataverzameling en –verwerking zijn dus niet exact hetzelfde als de andere vier lidar metingen. Dit kan een mogelijke verklaring zijn voor de afwijking van deze meting t.o.v. de andere metingen in Fig.4.5. De verschillen zijn echter nog steeds binnen de marges van meetfouten. Daarom kan een definitieve conclusie hierover nog niet worden getrokken.

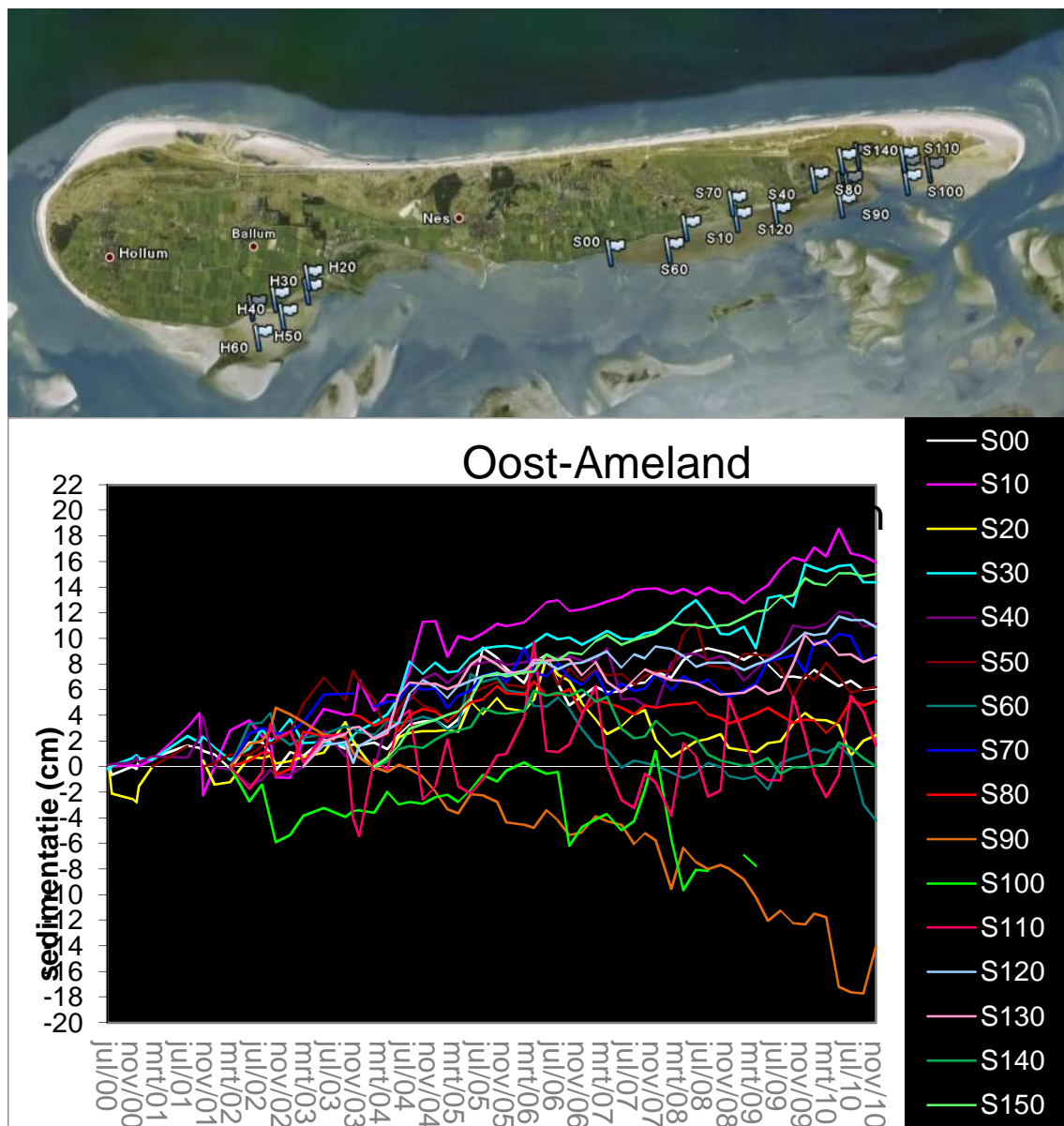
#### 4.3.2 Meetfout en fluctuaties

Om een oordeel te kunnen geven over de relevantie van de geconstateerde ontwikkelingen moeten twee aspecten verder worden beschouwd: (1) de nauwkeurigheid van metingen en (2) de natuurlijke fluctuaties in de morfologische ontwikkelingen.

Voor de nauwkeurigheid van de lidar metingen volgen wij hierbij de specificaties van FUGRO. De fout van de hoogtes van de wadplaten is dan praktisch gelijk aan de systematische fout van de metingen, i.e. 3,5 cm. Omdat de analyse over de gehele vloedkom plaatsvindt wordt de stochastische fout uitgemiddeld. De fout in de verandering van de hoogtes is dan ongeveer  $5 (=3.5\sqrt{2})$  cm. De nauwkeurigheid van de Vaklodingen wordt veel lager gespecificeerd. De fouten in de bodemhoogtes is geschat tussen de 11 en 40 cm (zie hoofdstuk 2). Niet geheel duidelijk is welk deel hiervan systematisch is en welk deel stochastisch. Een optimistisch aanname is dat de systematische fout gelijk is als bij de lidar metingen zoals door FUGRO is gespecificeerd. Zelfs met deze optimistische aanname zijn de veranderingen zoals Fig.4.4 en Fig.4.5 weergegeven bijna geheel binnen de foutmarge. Met andere woorden, met deze gegevens valt er weinig te zeggen over de veranderingen van de hoogtes (en om dezelfde reden de arealen) van de wadplaten in de twee vloedkommen.

Een tweede verstorende factor zijn de natuurlijke fluctuaties van de ontwikkelingen. Hiermee bedoelen wij de veranderingen met frequenties hoger dan de meetfrequentie. Fysisch zijn er twee aandrijvingskrachten voor de veranderingen op de wadplaten, de getijstroming die de plaat vooral opbouwt en de windgolven die de plaat vooral eroderen. De variatie van het getij is min of meer deterministisch en bevat fluctuaties zoals springtij-doodtij variatie, seizoenvariatie, en lang-jarige variaties zoals de 18,6 jarige cyclus. De variatie van de golfwerking hangt samen met de verandering van het weer en is stochastisch. Vooral de stormen kunnen grote invloeden hebben op de ontwikkelingen van de platen. Gemiddeld gezien is er een seizoenvariatie, maar het kan ook sterk variëren van jaar tot jaar. Alles samengenomen is het moeilijk aan te geven hoe de natuurlijke fluctuaties er precies uitzien. Een indicatie kunnen wij krijgen door te kijken naar Fig.4.4 en 4.5. De veranderingen tussen de achtereenvolgende metingen is gedeeltelijk t.g.v. de fluctuaties. Op basis hiervan wordt de orde van grootte van de fluctuaties van de gemiddelde hoogtes van de wadplaten geschat op cm's.

Op kleinere schaal kunnen veel sterkere fluctuaties optreden. Dit laten de resultaten van de Spijkermetingen (uitgevoerd door het Natuurcentrum Ameland in het kader van de Monitoring Effecten Bodemdaling door Gaswinning op Ameland) duidelijk zien (Figuur 4.6).



Figuur 4.6. Gemeten veranderingen van bodemhoogtes aan de hand van Spijkermetingen

Opgemerkt wordt dat plaatareaal en plaathoogte en de daarmee samenhangende parameters die de droogval van platen kwantificeren, ook kunnen worden gedefinieerd aan de hand van een in de tijd variërend getijdenvenster (HW en LW). Dan is de fluctuaties nog veel sterker. De fluctuaties veroorzaakt door veranderend HW en LW zeggen iets over het al dan niet significant zijn van bepaalde veranderingen.

Door de 'natuurlijke' fluctuaties wordt het moeilijk om een eventuele trendbreuk in de ontwikkelingen goed en snel vast te stellen.

De totale verwachte bodemdaling door de gaswinning onder de Waddenzee is in dezelfde orde van grootte als de meetfout van veranderingen van de gemiddelde plaathoogte in een vloedkom (afgeleid uit de specificatie volgens Fugro). Dit is ook in dezelfde orde van grootte als de natuurlijke fluctuaties. Het is daarom onwaarschijnlijk dat het effect van de

bodemdaling op de ontwikkelingen van de wadplaten ooit worden gemeten, gegeven het feit dat de meetfrequentie beperkt is door praktische redenen.

## 4.4 Droogvalduur

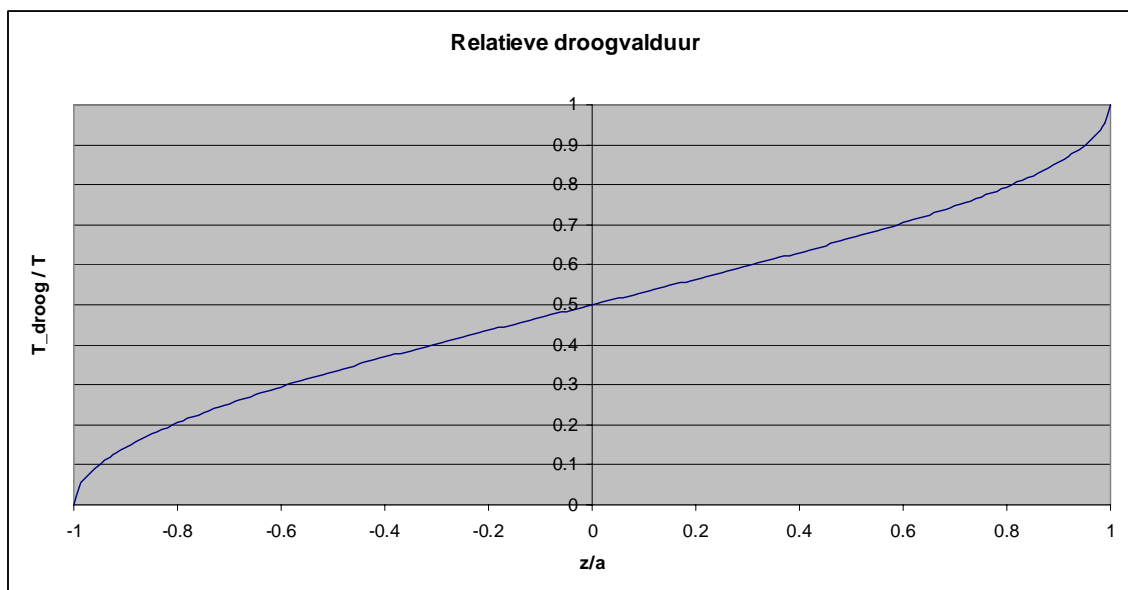
Om een idee te geven van de variabiliteit in de droogvalduur op wadplaten en de invloed van een verandering in bodemhoogte hierop, wordt een simpel geval uitgewerkt. In dit simpele geval wordt verondersteld dat de waterstand een sinus functie is van de tijd. Dan is de droogvalduur als functie van hoogteligging als volgt:

$$\begin{aligned} \frac{T_d}{T} &= 0 && \text{als } z < -a \\ \frac{T_d}{T} &= 1 - \frac{\arccos\left(\frac{z}{a}\right)}{\pi} && \text{als } -a \leq z \leq a \\ \frac{T_d}{T} &= 1 && \text{als } z > a \end{aligned} \tag{4.1}$$

Hierin:

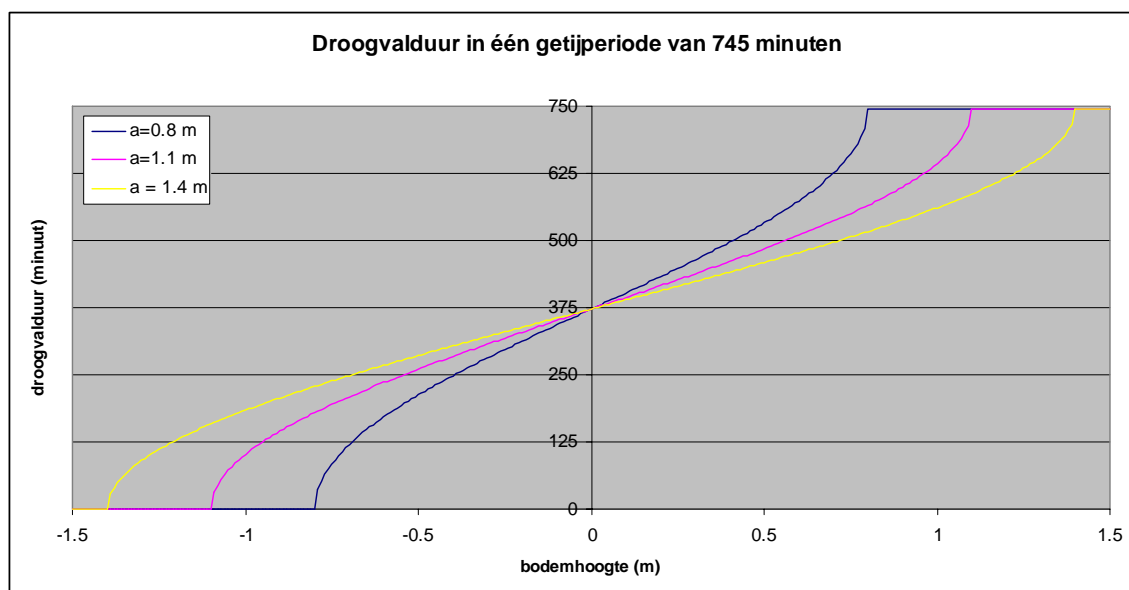
- $T_d$  = droogvalduur in één getijperiode
- $T$  = getijperiode
- $z$  = bodemhoogte t.o.v. gemiddelde waterstand
- $a$  = getijamplitude

In Figuur 4.7 is het grafisch afgebeeld.



Figuur 4.7. Relatieve droogvalduur horend bij een sinusvormig getij

In Figuur 4.8 is de droogvalduur in minuten weergegeven als functie van bodemhoogte in meter t.o.v. gemiddelde waterstand voor drie verschillende amplitudes van het getij, 0,8, 1,1 en 1,4 m, ongeveer de getijamplitude bij doodtij, gemiddeld tij en springtij in het Friesche Zeegat.



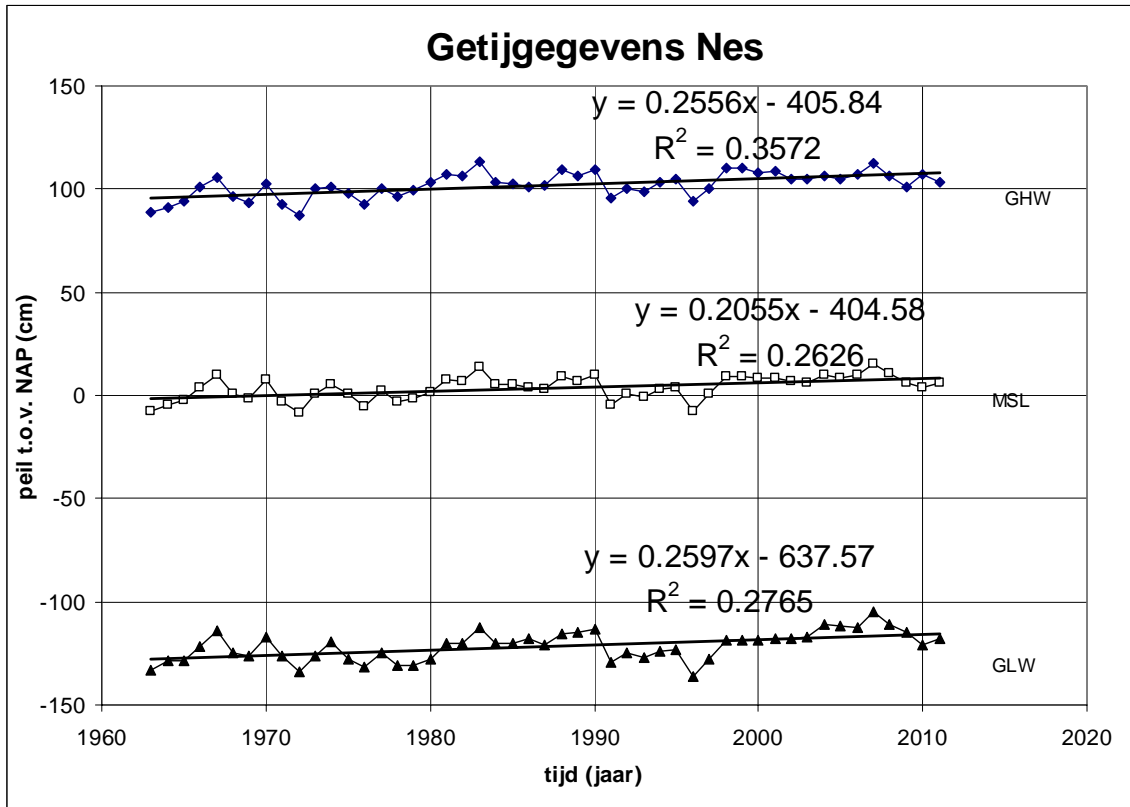
Figuur 4.8 Relatieve droogvalduur horend bij een sinusvormig getij

In de werkelijkheid is het getij niet precies sinusvormig. De precieze vorm van het getij heeft echter weinig invloed op de volgende uitspraken:

- De droogvalduur van de hoogste en laagste delen van het intergetijdegebied is het meest gevoelig voor variaties in zowel de amplitude van het getij als de bodemhoogte. De droogvalduur van het gebied met een bodemhoogte van rondom de gemiddelde waterstand is het minst gevoelig.
- Voor gebieden met een bodemhoogte van 0,5 m boven of onder de gemiddelde waterstand is het verschil in droogvalduur tussen springtij en doottij ongeveer 5 kwartier (73 minuten bij sinusvormig getij). Gebieden boven de gemiddelde waterstand vallen langer droog bij doottij en gebieden onder de gemiddelde waterstand vallen langer droog bij springtij.
- Bij een gemiddeld getij (getijslag = 220 cm) veroorzaakt een verandering in bodemhoogte van 1 cm een afname in droogvalduur van ongeveer half uur voor de hoogste en de laagste delen van het intergetijdegebied. Maar voor gebieden met een bodemhoogte rondom de gemiddelde waterstand is het verschil maar ongeveer 2 minuten. Gemiddeld genomen veroorzaakt 1 cm bodemdaling een afname in droogvalduur van het intergetijdegebied van ongeveer 3,4 minuten ( $=745/220$ ). Indien de bodemhoogte zou dalen, gelijk aan de verwachte (diepe) bodemdaling van 4 cm is dat ca. 14 minuten (ongeveer 20% van de natuurlijke variatie door dood- en springtij).

Op dezelfde manier kan ook iets worden gezegd over andere natuurlijke invloeden op de droogvalduur. Zo kan de invloed op de droogvalduur van de ontwikkeling van de gemiddelde hoogteligging van het intergetijdegebied in een vloedkom (zie Fig.4.4 en 4.5) worden geanalyseerd. De orde van grootte van de verandering is 1 cm/jaar. Dit veroorzaakt een verandering in de droogvalduur van orde 5 minuten.

Niet alleen de hoogteligging van de wadplaat, maar ook de waterstanden veranderen. Figuur 4.9 laat zien hoe de jaargemiddelde waterstand, het jaargemiddelde LW en HW (gemeten bij Nes) veranderen in de tijd. De fluctuatie van jaar tot jaar is in de orde van 5 cm. Dit veroorzaakt dus een fluctuatie in de orde van 20 minuten.



Figuur 4.9. Ontwikkeling van MSL (mean sea-level), GHW (gemiddeld hoogwater), en GLW (gemiddeld laagwater).



## 5 Evaluatie gegevensverzameling en -analyse

### 5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de verzameling en de analyse van de abiotische gegevens geëvalueerd. Eerst wordt een overzicht van de beschikbare abiotische gegevens gegeven in de volgende paragraaf (5.2). Daarna worden de dataverzameling (5.3) en data-analyse (5.4) geëvalueerd.

Bij de evaluatie van de dataverzameling worden de volgende vragen (gesteld door de Audit Cie) beantwoord per soort metingen:

- Is de beoogde/noodzakelijke frequentie van meten behaald?
- Bieden de metingen een representatieve ruimtelijke dekking?
- Konden van alle parameters (tijdig) gegevens ingewonnen worden?
- Konden alle parameters met de beoogde nauwkeurigheid worden gemeten?
- Kon van alle metingen een consistente dataset worden verkregen?
- Welke problemen/complicaties hebben zich voorgedaan bij de gegevensinwinning?

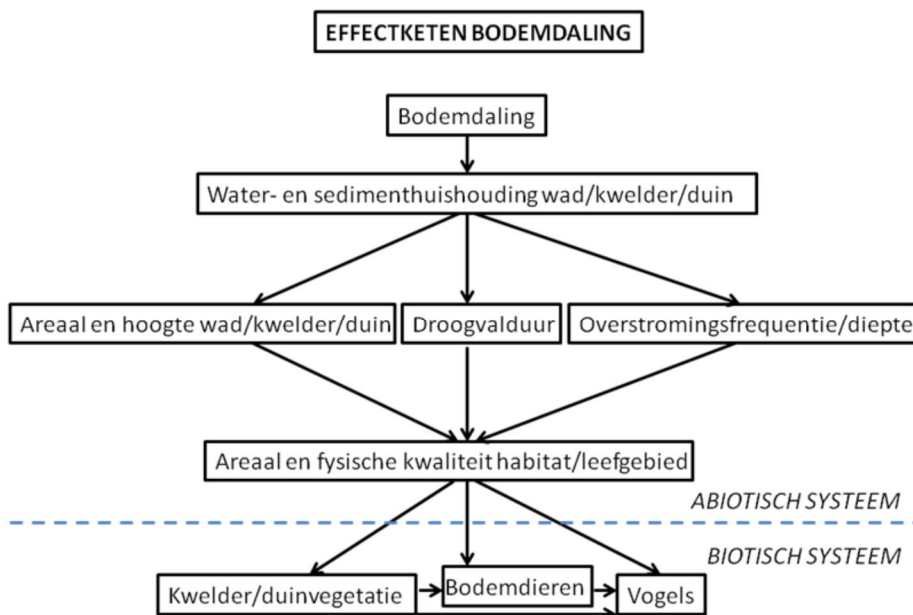
Bij de evaluatie van de data-analyse worden de volgende vragen (gesteld door de Audit Cie) beantwoord:

- Hoe is voorzien in referenties of nul-metingen? En hoe goed zijn deze referenties bruikbaar?
- Is de ruimtelijke dekking van parameters voldoende, ook gezien de gehanteerde schaal en detailniveaus?
- Van welke signaleringsparameters levert de verkregen dataset voldoende statistische power en robuuste resultaten op om een eventuele trendbreuk te kunnen detecteren?
- Was het mogelijk in de meetnetopzet de benodigde koppelingen van de in de effectketens met elkaar samenhangende metingen te leggen?
- Welke verbeteringen c.q. aanpassingen in de meetopzet en/of meetmethodiek zijn in afgelopen periode doorgevoerd en waarom?
- Welke problemen/complicaties hebben zich voorgedaan bij de gegevensanalyse? Welke oplossingen zijn hier gekozen, en waarom?
- Welke andere, externe beïnvloedingsfactoren (ruisfactoren) zijn van belang? Zijn hierover voldoende gegevens beschikbaar?

### 5.2 Overzicht van abiotische gegevens

#### 5.2.1 Basis gegevens

Vier soorten abiotische basisgegevens zijn beschikbaar: bodemdaling door gaswinning, waterstanden, bodemhoogtes en bodemsamenstelling. Aan de hand van enkele basisgegevens kunnen een aantal afgeleide parameters worden bepaald, die relevant zijn voor het biotische systeem: plaatareaal, plaathoogte en droogvalduur. Genoemde gegevens maken onderdeel uit van de effectketen voor bodemdaling (Figuur 5.1) en kunnen dan ook in samenhang worden geanalyseerd/beoordeeld.



Figuur 5.1 Effectketen bodemdaling

### Gegevens van waterstanden

In en rondom de Nederlandse Waddenzee worden in 19 stations de waterstanden gemeten door Rijkswaterstaat. Deze gegevens zijn beschikbaar voor 10 minuten tijdsintervallen, ook voor het verleden (d.w.z. van ver vóór het begin van gaswinning onder de Waddenzee).

### Gegevens van bodemhoogtes

Voor de bodemhoogtes zijn er verschillende gegevensbronnen:

- Vaklodingen van Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat meet de bodemhoogtes van de hele NL Waddenzee eens per 6 jaar. Er wordt continu gemeten, de verschillende delen van de Waddenzee worden in verschillende jaren gemeten. Dit betekent dat de vaklodingen per definitie geen momentopname van de bodemligging zijn. De gegevens worden geleverd op een grid van 20x20 m. In de loop van de tijd zijn de methoden van opnemen en dataverwerking veranderd. Tegenwoordig worden de metingen uitgevoerd door een combinatie van echo-sounding voor de diepere gebieden (met name de geulen) en Lidar opnames voor de ondiepere gebieden (vooral de droogvallende platen).
- Jarkus data van Rijkswaterstaat. Jaarlijks worden de Jarkus raaien langs de Noordzeekust gemeten. De opnames voor de Jarkus metingen dekken de droge delen van de kustprofielen (strand en duinen) en worden jaarlijks gedaan. De opnames van de koppen en staarten van de Waddeneilanden zijn relevant voor de Waddenzee.
- Lidar opnames. Lidar opnames worden door Rijkswaterstaat gebruikt voor de Vaklodingen en voor de Jarkus metingen. Verder worden in het kader van het monitoringsprogramma sinds voorjaar 2010 Lidar opnames gemaakt van de vloedkommen Pinkegat en Zoutkamperlaag van het Friesche Zeegat, met een frequentie van 2 keer jaar vanaf 2010. Vanaf 2010 zijn er dus 5 metingen uitgevoerd (incl. RWS meting voorjaar 2012).
- Lokale waterpassingen. Bij vaste meetpunten voor de diepe ondergrond op een wadplaat worden bodemhoogtes gemeten met de methode waterpassen om een indruk te krijgen van de lokale sedimentatie. De lokale waterpassingen vervangen de spijkermetingen (zie NAM M&R rapporten).

- Spijkermetingen. Deze meetmethode is ontwikkeld en wordt toegepast binnen het kader van de monitoring van bodemdaling door gaswinning op Ameland. Op een beperkt aantal punten op min of meer stabiele wadplaten onder Ameland en op een aantal kwelders worden de veranderingen in bodemhoogtes gemeten (i.e. de lokale sedimentatie; Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, 2011).

#### **Gegevens van bodemsamenstelling.**

Een overzicht van de bestaande gegevens van bodemsamenstelling wordt gegeven door Swarts (2004). In het kader van het huidige monitoringsprogramma wordt de bodemsamenstelling ook bepaald bij de bemonstering van bodemdieren. (NIOZ rapporten).

### 5.2.2 Overzicht van afgeleide gegevens

Uit de basisgegevens kunnen een aantal parameters worden afgeleid, die relevant zijn voor het biotische systeem: plaatareaal, plaathoogte en droogvalduur.

#### **Plaatareaal en plaathoogte**

De parameters plaatareaal en plaathoogte zijn kenmerken van de wadplaten. Zij kunnen worden gedefinieerd per deelgebied, bijvoorbeeld een vloedkom. Opgemerkt wordt dat deze gegevens altijd gebonden zijn aan een bijbehorend getijdenvenster, i.e. de gebruikte hoogwater- (HW) en laagwater(LW)stand. Voor de ontwikkeling van deze parameters in de tijd kan men zowel een vast als een tijdsafhankelijk getijdenvenster hanteren. Met een vast getijdenvenster zijn variaties van de parameters alleen het gevolg van morfologische veranderingen, met een in de tijd variërend getijdenvenster wordt het effect van veranderende waterstanden ook meegenomen.

Per deelgebied en voor elke opname van de bodemhoogte kan men ook de hypsometrische curve afleiden. Deze bevat meer informatie, waarmee men bijvoorbeeld ook het areaal van een bepaalde hoogteklaas kan bijhouden. Uit de hypsometrische curve kan men ook het plaatareaal en de plaathoogte voor elke getijdenvenster relatief eenvoudig bepalen.

#### **Droogvalduur**

De droogvalduur is gebonden aan een getijdecurve. Gegeven de waterstand als functie van de tijd wordt de droogvalduur direct bepaald door de bodemhoogte. Strikt genomen kan de droogvalduur van platen in een bepaald deelgebied alleen worden gedefinieerd voor een bepaald punt of voor een bepaalde hoogteklaas, en dus niet voor het hele deelgebied. Per deelgebied (bijvoorbeeld een vloedkom) kan men eventueel wel een geaggregeerde parameter bepalen door de droogvalduur over het hele gebied te integreren. De parameter heeft als dimensie  $[L^2T]$ , dus een eenheid van bijvoorbeeld  $km^2uur$ .

### 5.3 Evaluatie gegevensverzameling

De evaluatie wordt hier alleen voor de bodemhoogtegegevens gedaan. De verzameling van de andere basisgegevens, bodemdaling (NAM), waterstandsgegevens (Ecocurve), bodemsamenstellingsgegevens (NIOZ) en lokale sedimentatie (NCA, Imares, NAM), worden elders gepresenteerd en geëvalueerd.

Van de bodemhoogtegegevens worden alleen de LIDAR opnames en de Vaklodingen geëvalueerd. Voor de lokale metingen aan de hand van waterpassen wordt de evaluatie door het NAM uitgevoerd.

De evaluatie wordt hieronder gedaan door de vragen gesteld door de Audit Cie één voor één te beantwoorden.

***Is de beoogde/noodzakelijke frequentie van meten behaald?***

In voorjaar 2010 is een eerste pilot Lidar opname uitgevoerd. In 2011 zijn er twee opnames gemaakt, één in het voorjaar en één in het najaar. In 2012 is in het najaar een opname gemaakt. Er is geanticipeerd op het feit dat Rijkswaterstaat in het kader van de Vaklodgingen in het voorjaar van 2012 een Lidar opname heeft gedaan.

De beoogde frequentie van meten (2 keer per jaar) is vanaf 2011 gehaald. Of dit ook de voldoende en noodzakelijke frequentie van meten is blijft een vraag. Op basis van de verwachte veranderingen door bodemdaling (Wang en Eysink, 2005) kan men zeggen dat deze frequentie meer dan voldoende is. Maar de beperkte meetnauwkeurigheid (zie antwoord op de vraag over de nauwkeurigheid) en de natuurlijke variaties (zie volgende paragraaf, Externe beïnvloedingsfactoren) maakt het echter onmogelijk dat de voorspelde veranderingen als gevolg van bodemdaling worden gemeten met deze frequentie van meten. Men moet overgaan tot veel frequentere metingen om de veranderingen wel te meten. Theoretisch kan de meetfout naar wens worden verkleind als er frequent genoeg worden gemeten. Voorwaarde is dan wel dat bij herhalende metingen de te meten signaal zelf niet (significant) is veranderd. Dat houdt in dat de herhalende metingen binnen een korte tijdperiode, relatief t.o.v. de relevant morfologische tijdschaal, moeten gebeuren. De relevante morfologische tijdschaal hangt af van de ruimtelijke schaal waarop wordt gekeken, en is niet goed bekend. Om praktische redenen kunnen lidar metingen voor een gebied als het Friesche Zeegat niet frequenter dan ongeveer 1 keer per een springtij-doodtij cyclus. Dat is waarschijnlijk niet frequent genoeg om de vereiste nauwkeurigheid te halen in overweging nemend de tijdschaal van de morfologische verandering.

De Vaklodgingen worden ieder 6 jaar herhaald door Rijkswaterstaat. Deze frequentie staat hier niet ter discussie.

***Bieden de metingen een representatieve ruimtelijke dekking?***

De lidarmetingen worden uitgevoerd om de ontwikkelingen van de intergetijdeplaten in de loop van jaren te kunnen volgen. De metingen worden uitgevoerd tijdens laagwater bij springtij. Omdat de metingen tijd kosten en in een aantal aaneengesloten laagwaterperiodes moeten worden uitgevoerd, is het oppervlak droogvallend wad dat kan worden ingemeten beperkt. In de praktijk houdt dit in dat de laagste delen van de wadplaten niet kunnen worden meegenomen. Metingen worden uitgevoerd bij waterstanden niet hoger dan NAP-0.7 m. Uit de analyse van de data is gebleken dat betrouwbare gegevens worden verkregen voor gebieden hoger dan NAP-0.5 m. Dit sluit goed aan op de hypsometrische curves van de referentie dataset (zijnde de vaklodgingen van 2006, de meest recente ten tijde van de eerste lidar opname). Met deze methode kan dus niet het gehele intergetijdegebied worden ingemeten, maar alleen het hogere deel dat boven water staat tijdens de metingen. Dit is inherent met de meetmethode.

De lidarmetingen worden uitgevoerd in het Friesche Zeegat bestaande uit de vloedkommen Pinkegat en Zoutkamperlaag waarin de bodemdaling door gaswinning uit de MLV- en Amelandvelden wordt verwacht.

De Vaklodgingen dekken wel de hele hoogtedomain. Maar bij de analyse van de gegevens (Hoofdstuk 4) is gebleken dat vooral de oudere metingen niet altijd het hele gebied dekken. Er zijn dus gebieden waarvan in bepaalde vaklodgingen geen data zijn verzameld.

**Konden van alle parameters (tijdig) gegevens ingewonnen worden?**

Alle geplande lidar metingen tot eind 2012 zijn uitgevoerd en de gegevens zijn tijdig ingewonnen.

Alle gegevens van de vaklodingen tot/met 2012 zijn verzameld.

**Konden alle parameters met de beoogde nauwkeurigheid worden gemeten?**

Volgens de specificatie van Fugro (2010) die de metingen heeft uitgevoerd, bestaat de meetfout uit een systematische fout van 3,5 cm en een stochastische fout van 2,7 cm. Verder mag men, volgens Fugro (mondeling overleg), verwachten dat de stochastische fouten praktisch kunnen worden weggemiddeld als men een middeling doet over een relatief groot gebied. Zelfs voor de middeling op een rooster van 10 m per 10 m zal er al weinig over zijn van de stochastische fout. Uitgaande van een datadichtheid van 5 punten per m<sup>2</sup> zijn er dan 2000 punten en de stochastische fout wordt dan  $2,7/\sqrt{500} \approx 0,12$  cm. De totale fout in de bodemhoogte is dan niet meer dan 3,6 cm =  $\sqrt{2,7^2/500 + 3,5^2}$  en de fout in sedimentatie / erosie is ongeveer 5 cm ( $3,5 \cdot \sqrt{2}$ ).

Over de foutspecificatie kunnen de volgende kanttekeningen worden gemaakt (Wang e. a., 2010):

- De gegeven waarde van de stochastische fout is relatief klein t.o.v. de waarden genoemd in literatuur (zie bijvoorbeeld Brand e.a., 2003). De meetmethode van Fugro is blijkbaar echt state of the art.
- Rijkswaterstaat (Brand e.a., 2003, Kinneging, 2010) hanteert meer categorieën van fouten: (1) fout per punt (door meetonzekerheid van de laserafstandmeter), (2) fout per gebied (van ongeveer 100 m x 500 m) gemeten met één GPS-waarneming (door ruis in GPS-waarneming), (3) fout per strook (door fouten in GPS- en INS-sensoren), (4) fout voor heel gebied (door onzekerheid in NAP-referentiegebieden). Duidelijk is dat wat Fugro (2010) een systematische fout noemt, overeenkomt met fout (4), i.e. voor het hele gebied. Niet duidelijk is welke van de andere 3 soorten fouten de door Fugro (2010) genoemde stochastische fout vertegenwoordigt.

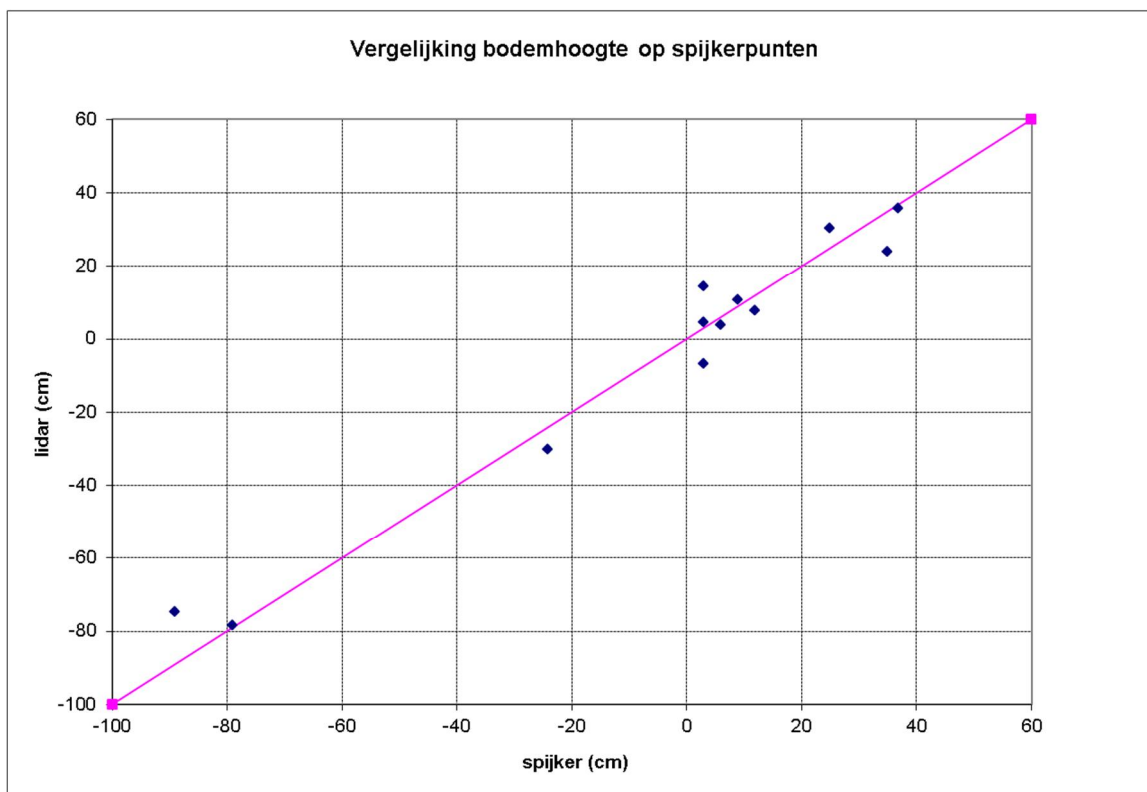
Bij de analyse van de data is geconcludeerd dat de werkelijke fouten in de gemeten lokale bodemhoogtes groter zijn dan de specificatie om de volgende redenen:

- Een aanwijzing hiervoor vormen de streepatronen in de figuren voor sedimentatie / erosie welke zijn afgeleid door twee metingen van elkaar af te trekken. Theoretisch is de fout in het verschil tussen twee metingen kleiner dan 5 cm. Als dat zo zou zijn, dan zouden er geen streepatronen te zien zijn in deze figuren.
- Ook op wadplaten (intergetijdegebied) kan water blijven staan bij laagwater. Of, en zo ja op welk deel van een plaat een laagje water blijft staan, verschilt van meting tot meting. Bovendien is het zo dat een deel hiervan wel wordt gemeten (met de hoogte van het wateroppervlak) afhankelijk van de weeromstandigheden tijdens de metingen. Met meer wind wordt een groter deel van het gebied gemeten omdat golven voor meer meetsignaal zorgen.

Opgemerkt wordt dat de discussie over de stochastische fouten minder relevant wordt wanneer de arealen en hoogtes van de wadplaten van de vloedkommen worden beschouwd. Dan weten wij namelijk wel zeker dat de stochastische fouten worden weggemiddeld en de meetfout ca 3,5 cm bedraagt. Een vraag blijft vanaf welke ruimtelijke schaal mag worden

verondersteld dat de stochastische fout niet meer van belang is. De streeppatronen in de sedimentatie-erosie plaatjes afgeleid van lidar metingen geven de aanwijzing dat het in ieder geval vele malen de breedte van de vluchtstroken moeten zijn.

Opgemerkt wordt ook dat het een enorme verbetering van de nauwkeurigheid van bodemhoogtegegevens zou zijn als de gespecificeerde nauwkeurigheid wordt gehaald. Het is namelijk veel hoger dan die van de vaklodingen en ook hoger dan de meldingen in de literatuur. De theoretische nauwkeurigheid is niet gehaald waarschijnlijk door de specifieke omstandigheden op de natte wadplaten.



Figuur 5.2. Vergelijking absolute bodemhoogte voorjaar 2010. Horizontale as: hoogte spijkerpunten gemeten met DGPS. Verticale as: hoogte op spijkerpunten volgens lidar metingen. De paarse lijn geeft ideale overeenkomst aan. Standardafwijking tussen de twee metingen 7,6 cm.

Een andere indicatie van de nauwkeurigheid van de lidar metingen wordt verkregen door een vergelijking te doen met de spijkermetingen. Figuur 5.2 laat de vergelijking van de gemeten bodemhoogte op de spijker-meetpunten waarop meetwaarden beschikbaar zijn in de lidaropname van voorjaar 2010, toen de bodemhoogtes ook gemeten zijn met DGPS. De correlatie tussen de twee datasets is redelijk goed. De standaardafwijking is bepaald als 7,6 cm. Omdat ook de DGPS metingen meetfouten bevatten spreekt deze vergelijking niet tegen de specificatie dat de meetfout van lidar metingen 6,2 cm is (som van systematische en stochastische fouten). De vergelijking van de bodemniveauperanderingen vanaf voorjaar 2010 bepaald met twee methoden laat echter een ander beeld zien (Fig.5.3). De overeenkomst tussen de twee metingen is slecht. Opgemerkt wordt dat de veranderingen afgeleid uit de spijkermetingen bevatten geen bodemdaling en die uit de lidar metingen wel. Maar de verschillen tussen de twee datasets zijn veel te groot om te worden verklaard met de bodemdaling (zie Fig.4.1). Onduidelijk is wat de oorzaak hiervan is. De vergelijking tussen de



lidar metingen en de lokale waterpassingen, uitgevoerd door NAM, resulteert in dezelfde conclusie: de correlatie voor de gemeten bodemhoogtes redelijk goed maar de correlatie voor de veranderingen van bodemhoogtes slecht.



Figuur 5.3. Vergelijking tussen lidar-metingen en spijkermetingen voor bodemhoogteverandering vanaf voorjaar 2010.

Voor de vaklodingen geldt een meetnauwkeurigheid van ongeveer 11 tot 40 cm (zie hoofdstuk 2).

***Kon van alle metingen een consistente dataset worden verkregen?***

De vier Lidar metingen die tot nu toe zijn uitgevoerd en geanalyseerd zijn op dezelfde manier aangeleverd en zijn op dezelfde manier verwerkt. De lidar data gemeten in voorjaar 2012 en beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat zijn niet op exacte dezelfde manier verwerkt. Het verschil tussen deze meting en de andere vier metingen vallen nog steeds binnen de foutmarge.

De ruimtelijke dekking van de lidar metingen verschilt t.o.v. die van de vaklodingen. In die zin vormen de lidar metingen en de vaklodingen niet een consistente dataset.

***Welke problemen/complicaties hebben zich voorgedaan bij de gegevensinwinning?***

Een belangrijk punt is dat er nog vragen zijn over de werkelijke nauwkeurigheid van de Lidar metingen. De werkelijke meetfout (voor lokale bodemhoogte op een grid van 10x10 m) op de wadplaten lijkt groter te zijn dan de theoretische waarde volgens de specificatie.

#### 5.4 Evaluatie meetopzet en analyse

De evaluatie wordt hieronder gedaan door de volgende vragen gesteld door de Audit Cie (zie 5.1) te beantwoorden. Ook hierbij concentreren wij vooral op de bodemhoogtegegevens. Waar relevant worden de andere gegevens er bij betrokken.

***Hoe is voorzien in referenties of nul-metingen? En hoe goed zijn deze referenties bruikbaar?***

Voor alle abiotische parameters zijn er nulmetingen beschikbaar. Voor waterstanden zijn historische tijdreeksen beschikbaar die ver vóór het begin van de gaswinning beginnen. Voor de bodemhoogtegegevens kan in principe de data uit de Vaklodingen voor het gebied worden gebruikt als nulmeting. Voor de bodemsamenstelling (slibgehalte) zijn de data schaarser, maar er is minstens één gebieddekkende dataset in de Waddenzee uit de periode van vóór de gaswinning beschikbaar. Deze nulmetingen zijn in principe goed bruikbaar als referentie.

***Is de ruimtelijke dekking van parameters voldoende, ook gezien de gehanteerde schaal en detailniveaus?***

De metingen van bodemhoogtes met Lidar opnames hebben een resolutie van meerdere meetpunten per vierkante meter. De gegevens van vaklodingen zijn beschikbaar per gridcel van 20 m per 20 m. Met de lidar gegevens is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de invloed van de resolutie van de gehanteerde grid op de afgeleide gegevens zoals areaal van een hoogteklasse in een vloedkom. Daaruit bleek dat fijnere resolutie dan 20 m per 20 m geen significant verschillende resultaten oplevert. De ruimtelijke dekking van de verzamelde gegevens van bodemhoogtes is dus voldoende.

***Van welke signaleringsparameters levert de verkregen dataset voldoende statistische power en robuuste resultaten op om een eventuele trendbreuk te kunnen detecteren?***

De bodemhoogte is in principe de parameter die direct door de bodemdaling wordt beïnvloed. Dit pleit ervoor om deze parameter en de daaruit afgeleide parameters te gebruiken als signaleringsparameters. Maar de lokale bodemhoogte (op de 20X20 m grid) is zeker niet geschikt. De meetnauwkeurigheid (zie evaluatie gegevensverzameling) en de natuurlijke variaties (zie hoofdstuk 4) veroorzaken de problemen. De verwachte veranderingen door de bodemdaling (Wang en Eysink, 2005) zijn te klein t.o.v. de meetfouten en t.o.v. de natuurlijke

variaties om ze te kunnen detecteren met de haalbare frequentie van meten. De afgeleide parameters zoals areaal en hoogte van de (hoger delen van de) platen zijn beter geschikt, omdat de nauwkeurigheid hoger is en de natuurlijke fluctuatie minder is. Maar de verwachte veranderingen door bodemdaling zijn nog steeds zo klein t.o.v. de meetnauwkeurigheid en de natuurlijke fluctuaties dat het effect van bodemdaling hoogst waarschijnlijk nooit zal worden geconstateerd met de metingen. Bovendien is de tijd die nodig is om een eventuele trendbreuk te detecteren, voor het geval dat de veranderingen veel groter zijn dan verwacht, waarschijnlijk te lang voor het Hand aan de Kraan principe.

De bodemsamenstelling kan alleen indirect door bodemdaling worden beïnvloed. Mogelijke verandering van de bodemsamenstelling door bodemdaling treedt pas op als er een respons van de morfologische ontwikkeling op de bodemdaling is opgetreden. Deze vertraging maakt de parameter al minder geschikt als signaleringsparameter. Bovendien is de fluctuatie van deze parameter zowel in de tijd als in de ruimte te sterk om nauwkeurig gemeten te worden via bemonsteringen. Het belang van deze parameter ligt meer in de koppeling naar het biotische systeem als de veranderingen gekoppeld kunnen worden aan een oorzaak.

***Was het mogelijk in de meetnetopzet de benodigde koppelingen van de in de effectketens met elkaar samenhangende metingen te leggen?***

De verzamelde gegevens van bodemhoogtes zijn gekoppeld aan de gegevens van de bodemdaling en aan de gegevens van (de kenmerken van) de waterstanden. De koppeling met de bodemdaling levert een beeld van de significantie van het effect van de bodemdaling. De koppeling met de waterstanden levert afgeleide gegevens van eigenschappen van de wadplaten die relevant zijn voor de evaluatie van het biotische systeem.

***Welke verbeteringen c.q. aanpassingen in de meetopzet en/of meetmethodiek zijn in afgelopen periode doorgevoerd en waarom?***

In 2010 is overgegaan van luchtfoto's naar Lidar opnames voor het meten van de veranderingen in het oppervlak droogvallend wad omdat de nauwkeurigheid van de luchtfoto's niet optimaal was en de praktische uitvoerbaarheid binnen de specificaties en windows niet gehaald kon worden. Omdat met Lidarmetingen ook veranderingen in de hoogteligging kunnen worden gemonitord zijn ook de hoogtedata in de monitoring meegenomen.

***Welke problemen/complicaties hebben zich voorgedaan bij de gegevensanalyse? Welke oplossingen zijn hier gekozen, en waarom?***

Met de analyse van de data van bodemhoogtes gemeten met Lidar opnames zijn er verschillende problemen / complicaties geweest:

- Er zijn twijfels ontstaan bij de analyse of de theoretische nauwkeurigheid, zoals door Fugro is gespecificeerd, wordt gehaald. De conclusie is dat voor de lokale hoogte het niet is gehaald, maar voor de parameters zoals gemiddelde plaathoogte in een vloedkom is het wel gehaald.
- Een nauwkeurig onderscheid tussen droge plaat en water kan niet worden gedaan. De geulengebieden worden weggefilterd door alleen gebieden hoger dan -0.5 m NAP te beschouwen. Maar waterplassen op de wadplaten kunnen voor problemen zorgen. Mede afhankelijk van de weeromstandigheden worden delen daarvan niet gemeten en andere delen als plaat met een foute (te hoge) hoogte gemeten. Een aanwijzing hiervan geven de streeppatronen van de punten zonder data in vooral de pilotopname.

***Welke andere, externe beïnvloedingsfactoren (ruisfactoren) zijn van belang? Zijn hierover voldoende gegevens beschikbaar?***

Behalve de bodemdaling door gaswinning zijn er veel meer factoren die invloed hebben op de veranderingen van de abiotische parameters in het gebied. Bekend is dat de morfologische ontwikkeling van vooral de Zoutkamperlaag nog steeds door de afsluiting van de Lauwerszee in 1969 worden beïnvloed. De zandhonger in de geulen door de afsluiting veroorzaakt bijvoorbeeld erosie op de Engelsmanplaat (Wang, 2007, Beleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, 2011). Tegenwoordig zijn de zandsuppleties langs de Noordzeekust van vooral Ameland een factor waarmee rekening gehouden moet worden. Ook zonder menselijke ingrepen zou de morfologische ontwikkeling dynamisch zijn. Onder invloed van zeespiegelstijging en continue variatie in getij en meteorologische omstandigheden treden er voortdurende morfologische veranderingen op. Zoals in hoofdstuk 4 is beschreven, is zelfs de veel grotere bodemdaling door de gaswinning op Ameland is niet terug te zien in de gegevens van de bodemhoogtes in de Waddenzee, omdat de veranderingen door vooral de geulmigraties vele malen groter zijn.

## 6 Samenvattingen en conclusies

De verzamelde gegevens voor de bodemhoogtes voor de monitoring van de bodemdaling door gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen zijn gedocumenteerd in Hoofdstukken 2 t/m 4. Voor de hele Waddenzee worden kaarten van bodemhoogtes voor de Vaklodingcycli 1982, 1987, 1994, 2000, 2006 en 2012 geconstrueerd en beschreven in Hoofdstuk 2. Voor het Friesche Zeegat dat beïnvloed wordt door de bodemdaling t.g.v. gaswinning worden de kaarten van bodemhoogtes op basis van de vaklodingen in meer detail beschreven in Hoofdstuk 3.

Door de gegevens van de bodemhoogtes te koppelen aan de gegevens van bodemdaling en van de waterstanden worden de morfologische ontwikkelingen van met name de wadplaten beschouwd (Hoofdstuk 4). Uit de beschouwing zijn de volgende conclusies getrokken:

- De bodemdaling door gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen is tot nu toe nog zeer beperkt in de Waddenzee. Er is geen effect geconstateerd in de monitoring tot nu toe, overeenkomstig met de verwachting.
- In de verandering van de bodemhoogtes is de bodemdaling door gaswinning vanaf Ameland, die veel groter is dan de totale uiteindelijke daling door gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, niet terug te zien. Dit komt vooral door dat de veranderingen van bodemhoogtes t.g.v. geulmigraties veel groter zijn dan de grootte van de bodemdaling. Op basis hiervan wordt er niet verwacht dat de bodemdaling door de nieuwe gaswinning ooit teruggevonden wordt in de metingen van bodemhoogtes.
- Door de meetfouten en de natuurlijke fluctuaties kan er weinig over de ontwikkelingen van de arealen en hoogtes van de wadplaten in de twee vloedkommen Zoutkamperlaag en Pinkegat worden gezegd aan de hand van de verzamelde gegevens van bodemhoogtes. De veranderingen afgeleid vanuit de gegevens zijn in dezelfde orde van grootte als de meetfouten en ook in dezelfde orde van grootte als de veranderingen t.g.v. de (korte-termijn) fluctuaties. Deze uitspraak is gedaan op basis van een optimistische schatting van de meetfouten (op basis van alleen de systematische fout zoals gespecificeerd bij de lidar metingen).
- De verwachte totale bodemdaling door gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (Wang& Eysink 2005) is niet groter dan de grootte van de meetfout van de verandering van de gemiddelde plaathoogte in een vloedkom (optimistisch geschat op 5 cm).
- De fluctuaties van de droogvalduur door de fluctuaties van het HW en het LW is veel groter dan de verandering veroorzaakt door morfologische veranderingen, en ook veel groter dan de verandering t.g.v. de verwachte bodemdaling.

Verder worden de verzameling en de analyse van de abiotische gegevens binnen het monitoring programma tot nu toe geëvalueerd (Hoofdstuk 5) Samengevat worden de volgende conclusies getrokken uit de evaluatie:

- De geaggregeerde parameters afgeleid uit de bodemhoogtes (i.e. areaal en gemiddelde hoogtes van bepaalde hoogteklasses in bijvoorbeeld een vloedkom) zijn relatief het best geschikt als signaleringsparameter. De lokale bodemhoogte is door de relatief grote meetfout en de relatief sterke 'natuurlijke' fluctuaties veel minder geschikt.
- Er is nog onduidelijkheid over de meetnauwkeurigheid van de voor dit project met Lidar gemeten lokale bodemhoogtes. De analyse van de gegevens laat zien dat de werkelijke



meetfouten voor de lokale bodemhoogte (op 20X20m grid) groter zijn dan de theoretische waarden volgens de specificaties van de geleverde data. Dit geldt niet voor de gemiddelde hoogte van (hoger deel van) de wadplaten in een vloedkom. Het blijft de vraag vanaf welke ruimtelijke schaal de gespecificeerde meetnauwkeurigheid wel geldt.

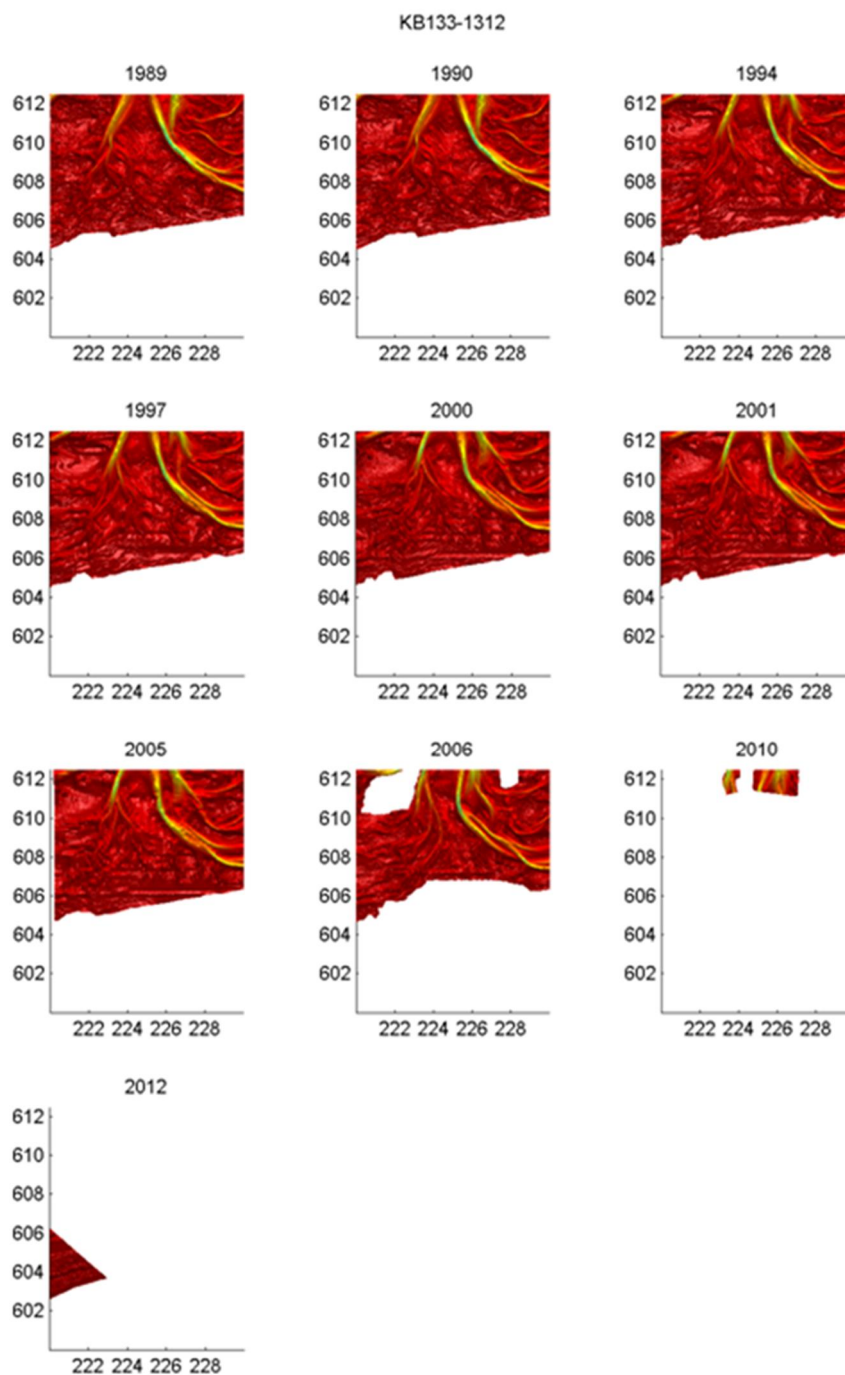
- De gespecificeerde nauwkeurigheid van de lidar metingen zijn relatief erg hoog t.o.v. de nauwkeurigheden van andere gegevens van bodemhoogtes. Het is ook veel hoger dan de nauwkeurigheden van lidar metingen volgens de literatuur.
- De extra lidar metingen zijn niet geheel consistent met de lidar metingen van Rijkswaterstaat binnen het kader van Vaklodingen.
- De lokale bodemhoogteveranderingen gemeten met lidaropnames komen slecht overeen met de resultaten van de spijkermetingen. Onduidelijk is waardoor dit komt.

## 7 Referenties

- Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, 2011, Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost, Evaluatie na 23 jaar gaswinning.
- Boer de, Gerben J. and Baart, Fedor and Bruens, Ankie and Damsma, Thijs and Geer van, Pieter and Grasmeyer, Bart and Heijer den, Kees and Koningsveld van, Mark (2012) OpenEarth: using Google Earth as outreach for NCK's data. In: NCK-days 2012: Crossing borders in coastal research, 13 March 2012 - 16 March 2012, Enschede, the Netherlands
- Brand, G., Crombaghs, M., Oude Elberink, S., Brüelmann, R. en De Min, E., 2003. Precisiebeschrijving AHN 2002, Rijkswaterstaat, Adviesdienst Geo-informatie en ICT, rapport AGI-GAP-2003-5, juli 2003.
- Fugro, 2010. Areal Mapping Survey 2010, Waddengebied Ameland en Schiermonnikoog, Projectrapportage 501.11624.
- Glim, G.W., De Graaff, N., Kool, G., Lieshout, M.F., De Boer, M., 1988. Erosie en Sedimentatie in de Buitendelta van het Zeegat van Texel en Aangrenzende Kuststroken 1925-1981. Report ANWX-88.H201. Rijkswaterstaat (Hoorn).
- Glim, G.W., Kool, G., Lieshout, M.F., De Boer, M., 1990. Erosie en Sedimentatie in de Buitendelta van het Eierlandse Gat en Aangrenzende Kuststroken 1926-1983. Report ANWX-88.H204. Rijkswaterstaat (Hoorn).
- Kinneging, N., 2010. Nauwkeurigheid vaklodingen RWS, Memo aan de Auditcommissie Bodemdaling Waddenzee t.g.v. Gaswinning, Waterdienst, Rijkswaterstaat.
- Oost, A.P., 1995. Dynamics and Sedimentary Development of the Dutch Wadden Sea with Emphasis on the Frisian Inlet. A Study of Barrier Islands, Ebb-Tidal Deltas, Inlets and Drainage Basins. Geologica Ultraiectina, Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen, Utrecht University, 126: 454 pp.
- Periplus, 2007, Gevolgen en omvang van verschillen LRK en waterstandsgecorrigeerde dieptemetingen Huibert-Jan Lekkerkerk, Koen van Tooren, Bart van Mierlo en Eit van der Meulen. Periplus Consultancy b.v. en Adviesbureau Modelleren en Optimalisatie (AMO). Periplus Consultancy b.v. rapport 2006-05, maart 2007.
- Rakhorst, H.D., 1986. Erosie en Sedimentatie in de Buitendelta van het Zeegat van het Vlie en Aangrenzende Kuststroken 1926-1984. Report ANWX-86H210, Rijkswaterstaat (Hoorn).
- Swarts, L., 2004. Bodemgesteldheid en mechanische kokkelvisserij in de Waddenzee, RWS-RIZA Rapport RIZA/2004.028, ISBN 9036956862.
- Van Koningsveld, M., de Boer, G.J., Baart, F., Damsma, T., den Heijer, C., van Geer, P., de Sonnevill, B., 2010. OpenEarth -inter-company management of: data, models, tools & knowledge.WODCON XIX, September 2010. China, BeingWang, Z.B. en W.D. Eysink, 2005, Abiotische effecten van bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning. Rapport Z3995, WL | Delft Hydraulics.
- Wang Z.B., 2007, Morfologische ontwikkeling van het Rif en de Engelsmanplaat, Analyse naar de mogelijke invloed van bodemdaling, Rapport Z3973, WL | Delft Hydraulics.
- Wang, Z.B., Cronin, K. en van Ormondt, 2010. Analyse Lidar data voor Het Friesche Zeegat: Monitoring effect bodemdaling door gaswinning, Deltares rapport 1202285-000.
- Wiegmann, N. R. Perluka, S. Oude Elberink, J. Vogelzang, 2005. Vaklodingen: de inwintechieken en hun combinaties. AGI Rijkswaterstaat, Rapp.Nr. AGI-2005-GSMH-012

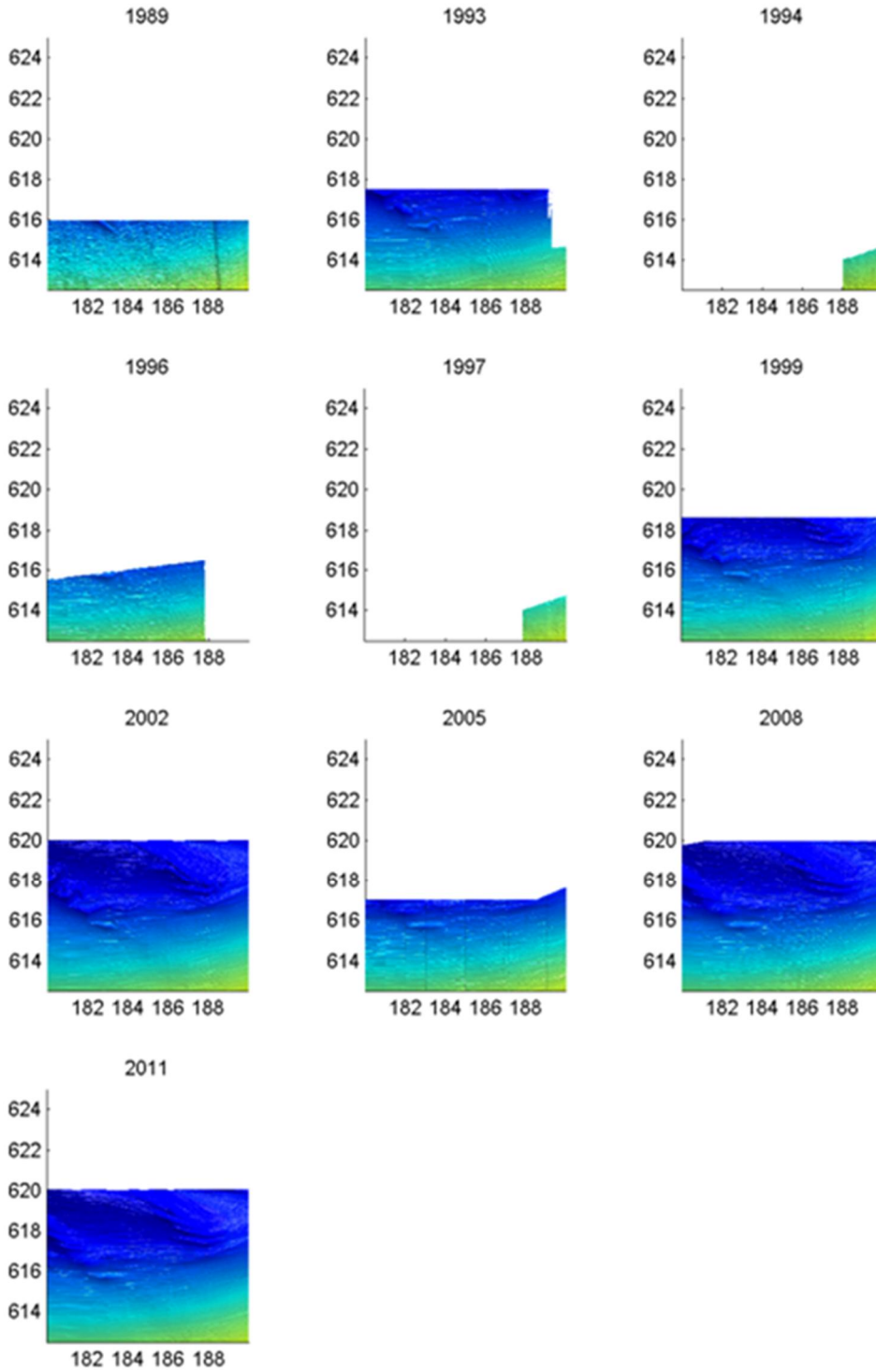


A-1 Ruwe data zoals opgeslagen in Kaartbladen.

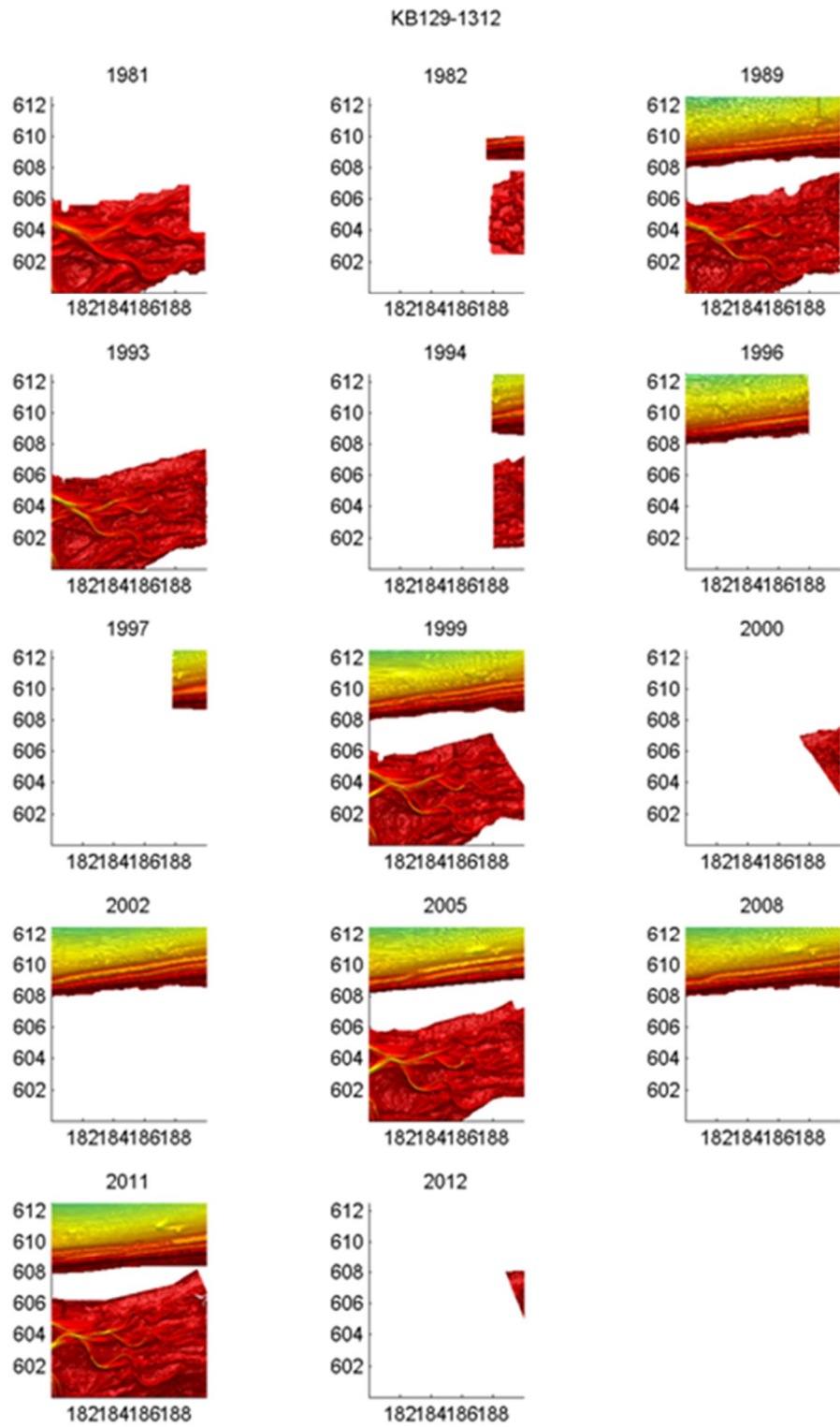


Deltares (12:30:37 on Thu 08 Oct 2012)

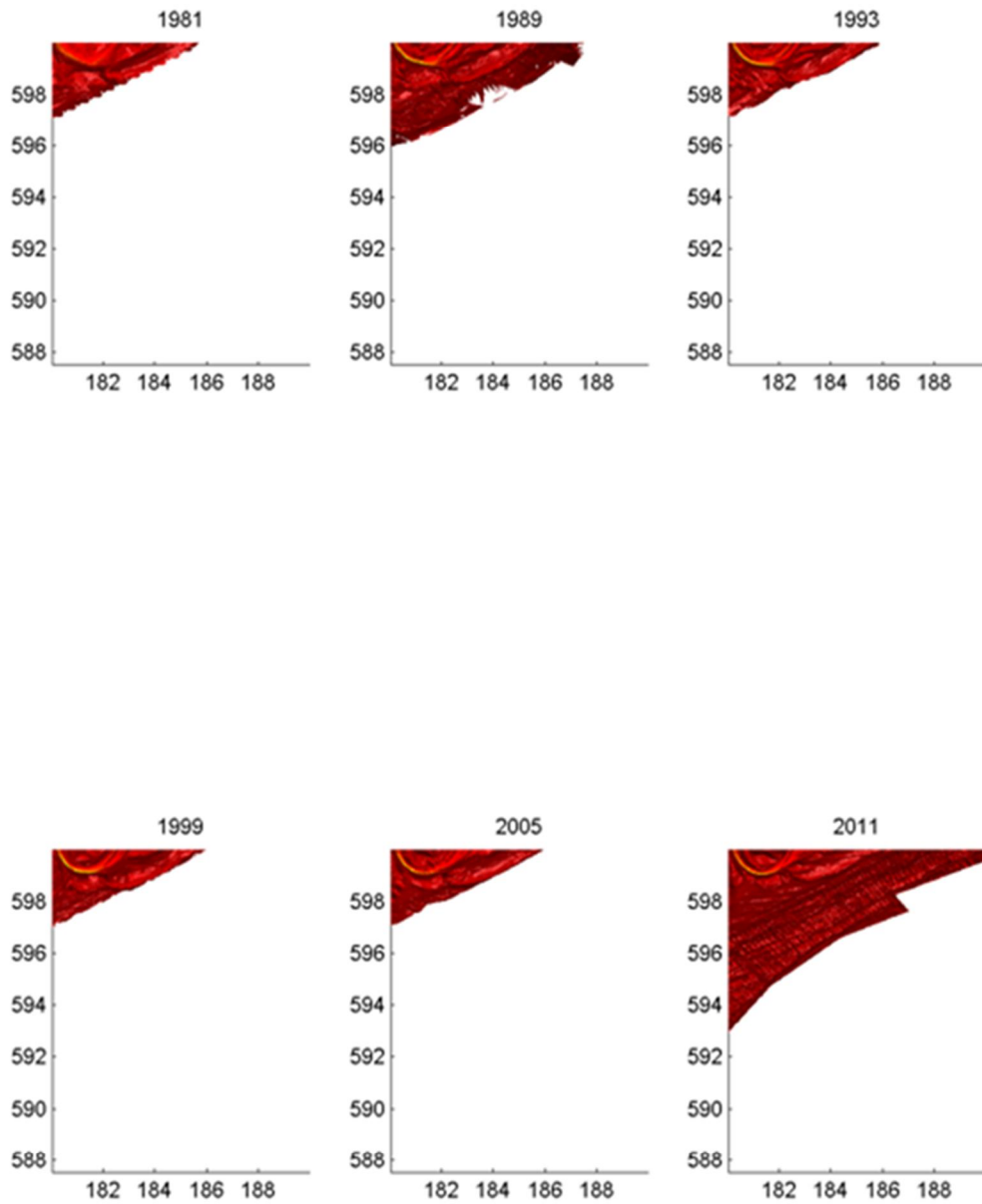
## KB129-1110

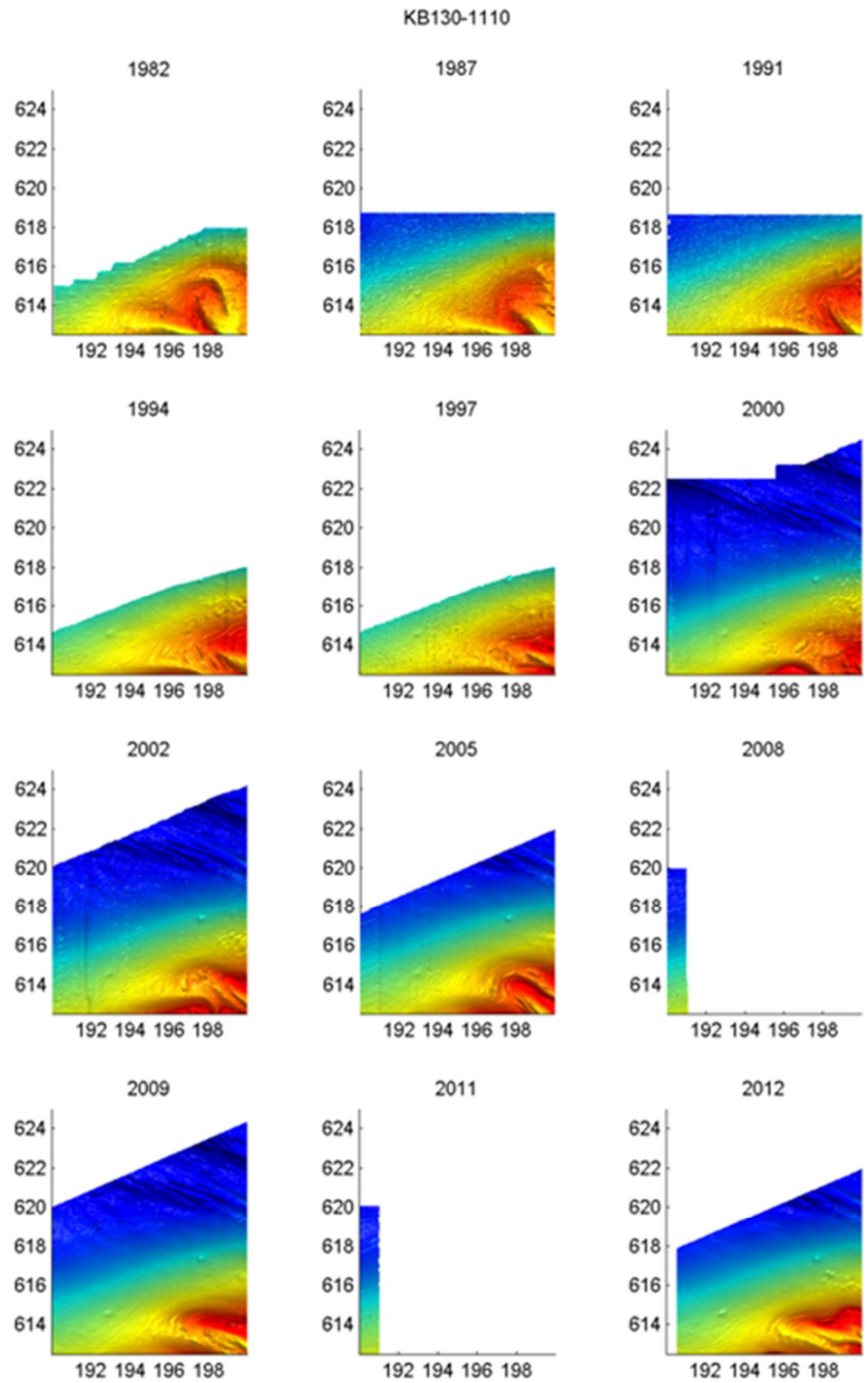






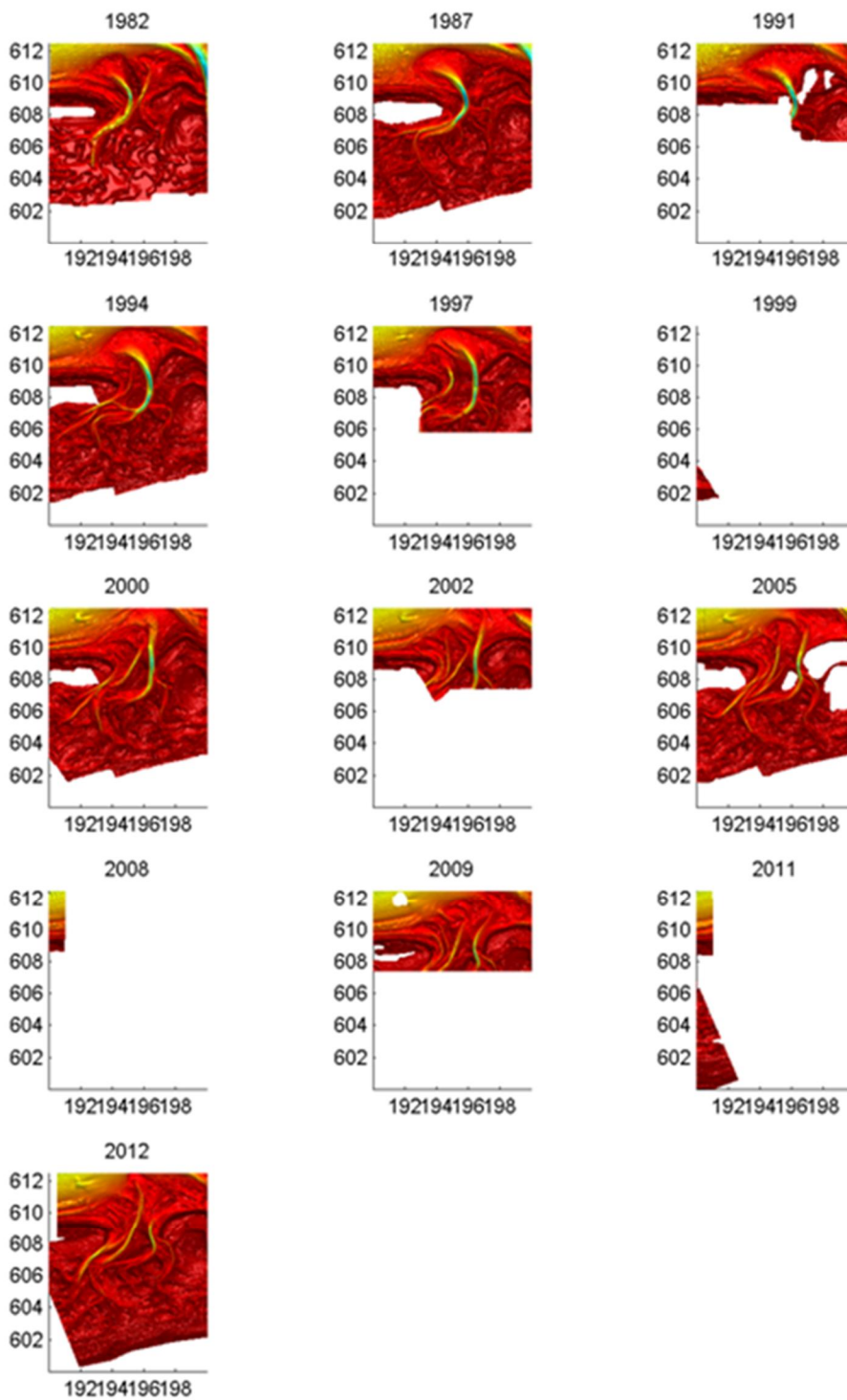
KB129-1514

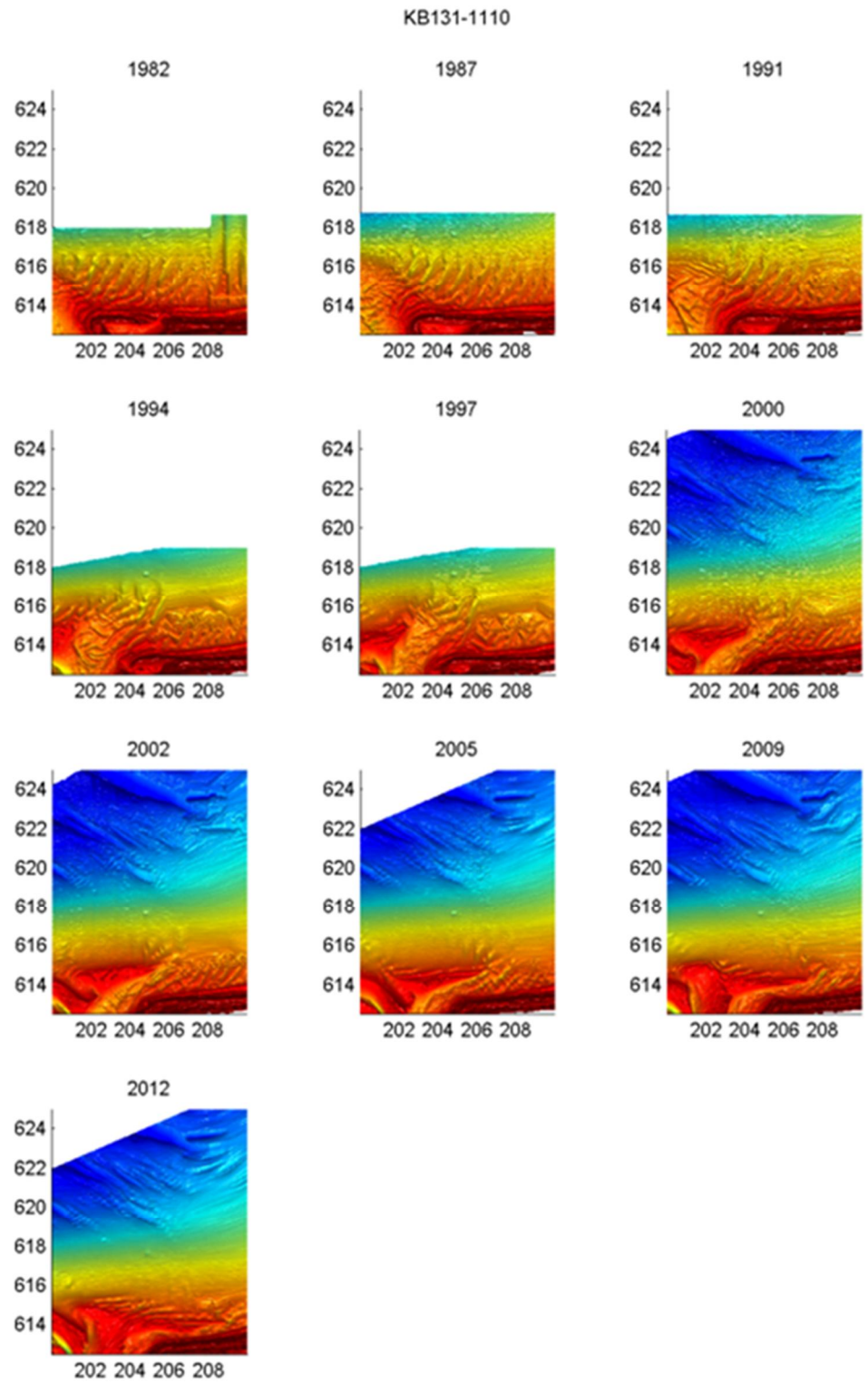




Deltares (12:29:54 on Thu 4th Oct 2012)

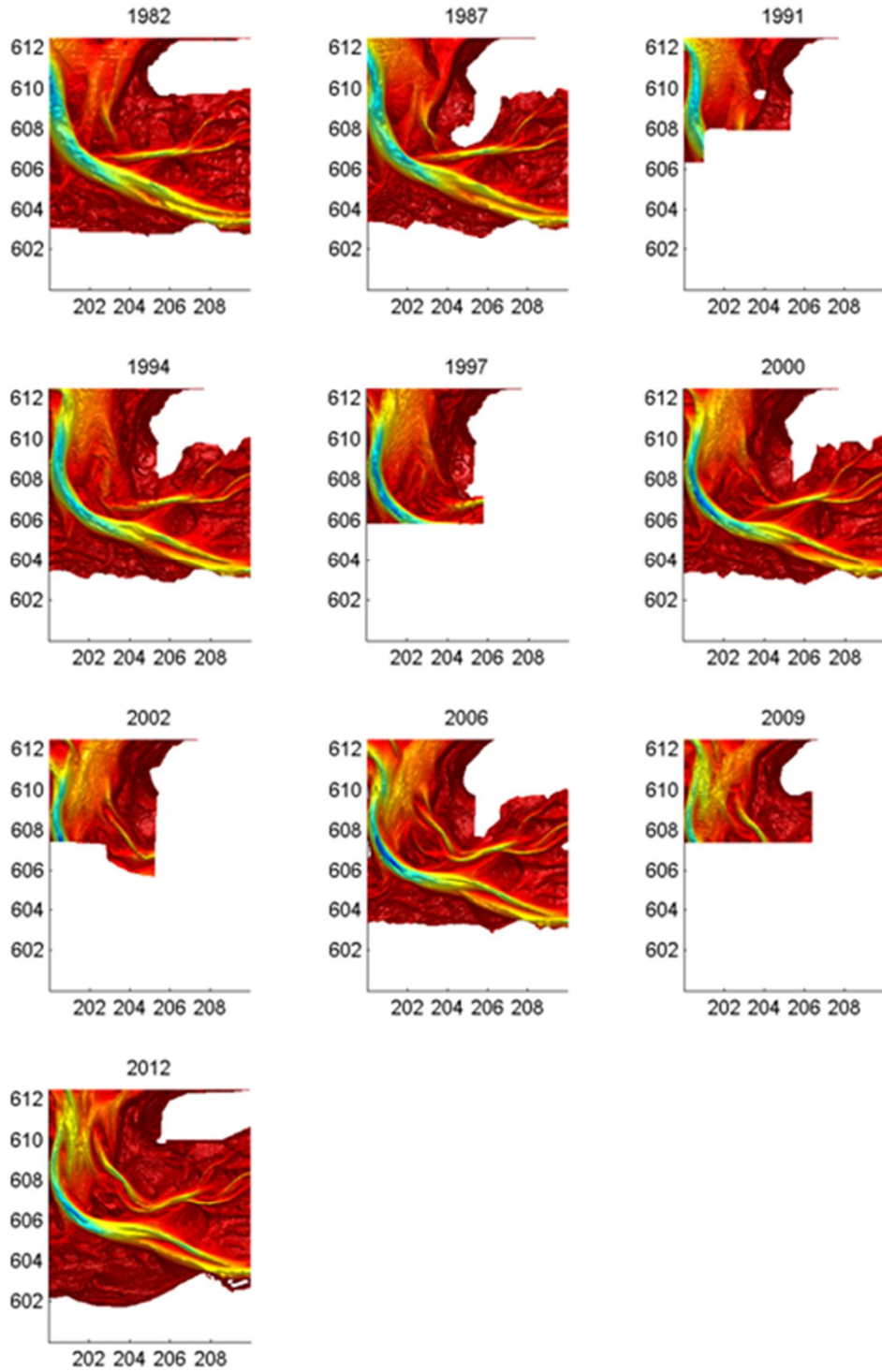
## KB130-1312

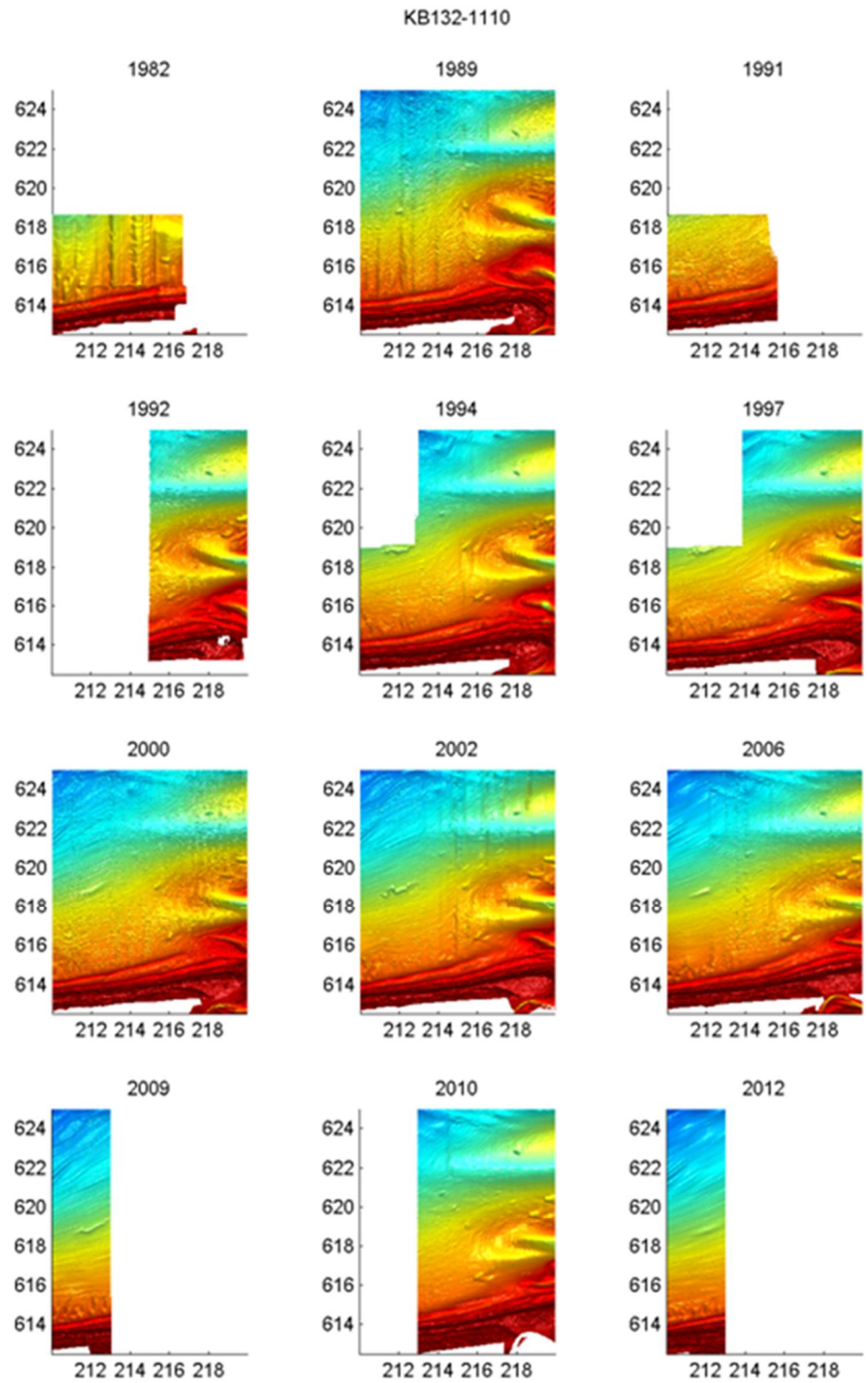




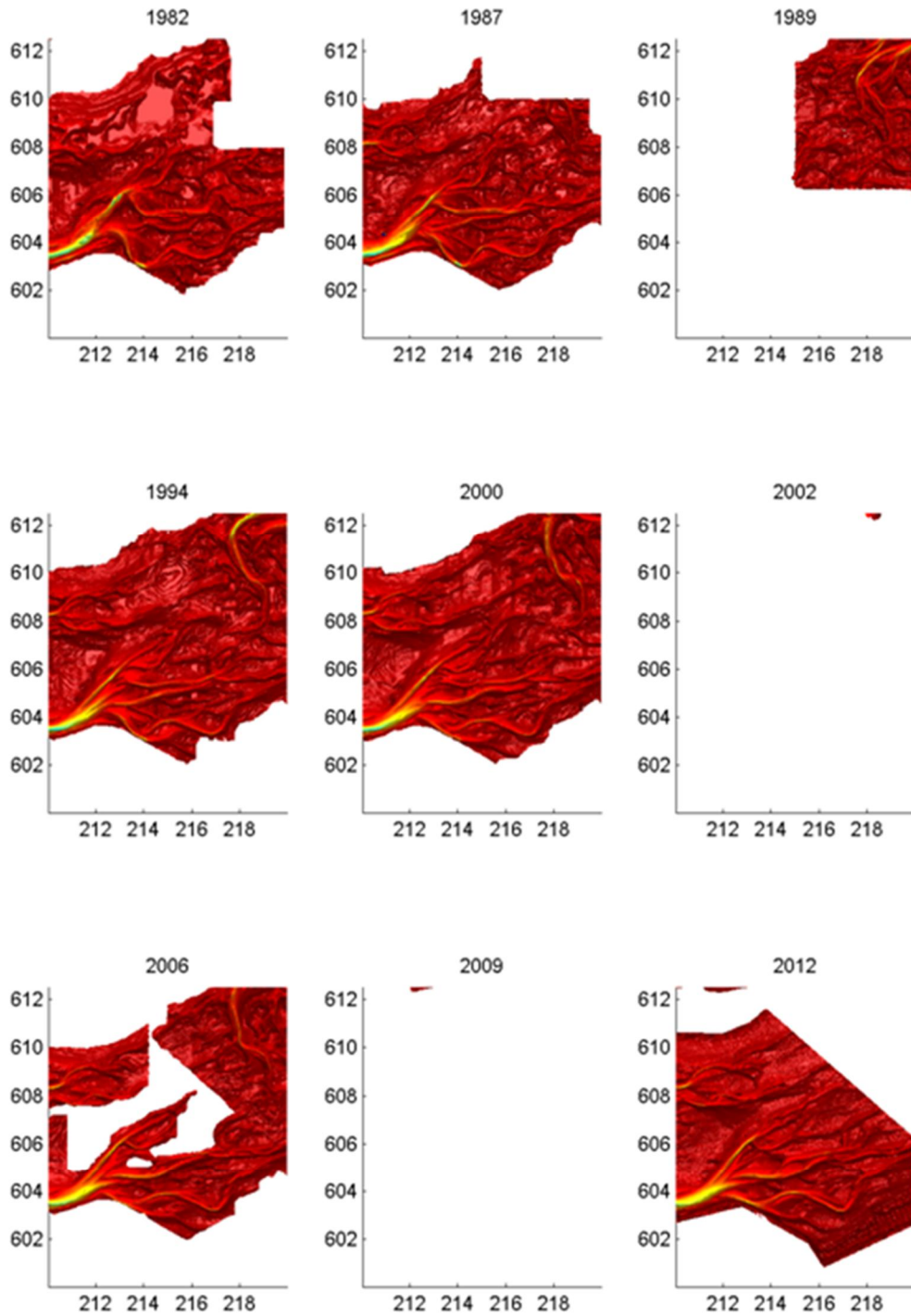


## KB131-1312

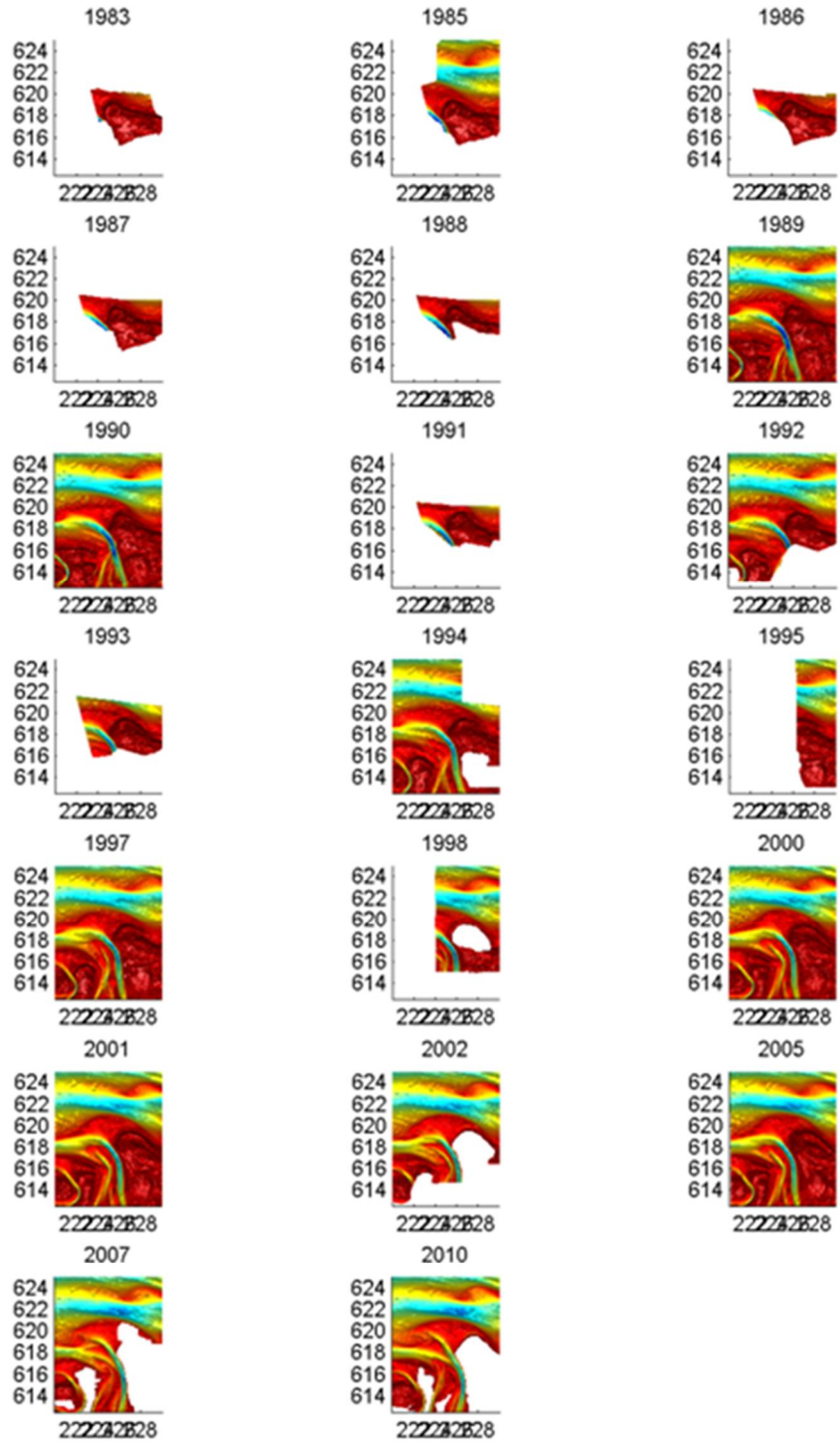




## KB132-1312

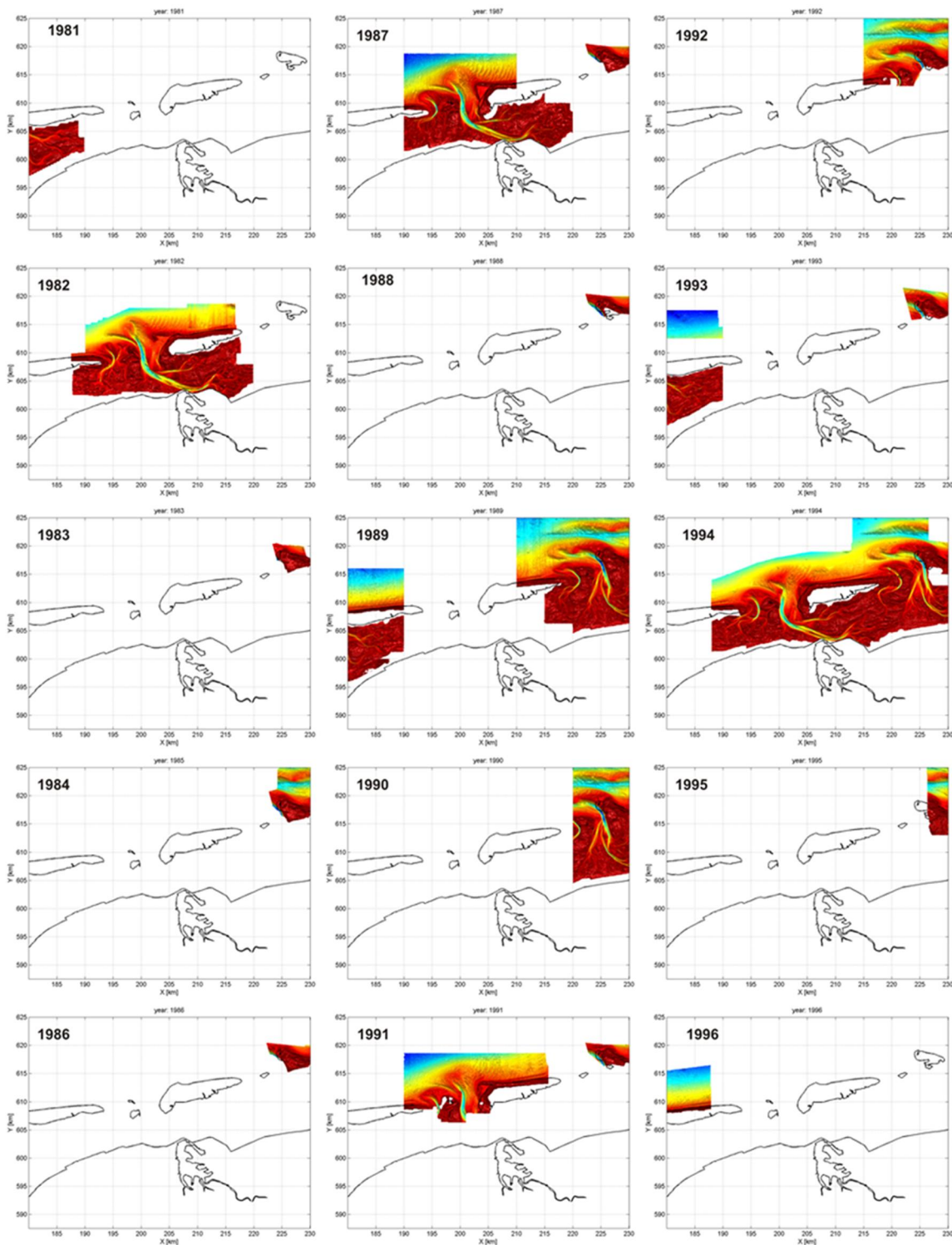


KB133-1110



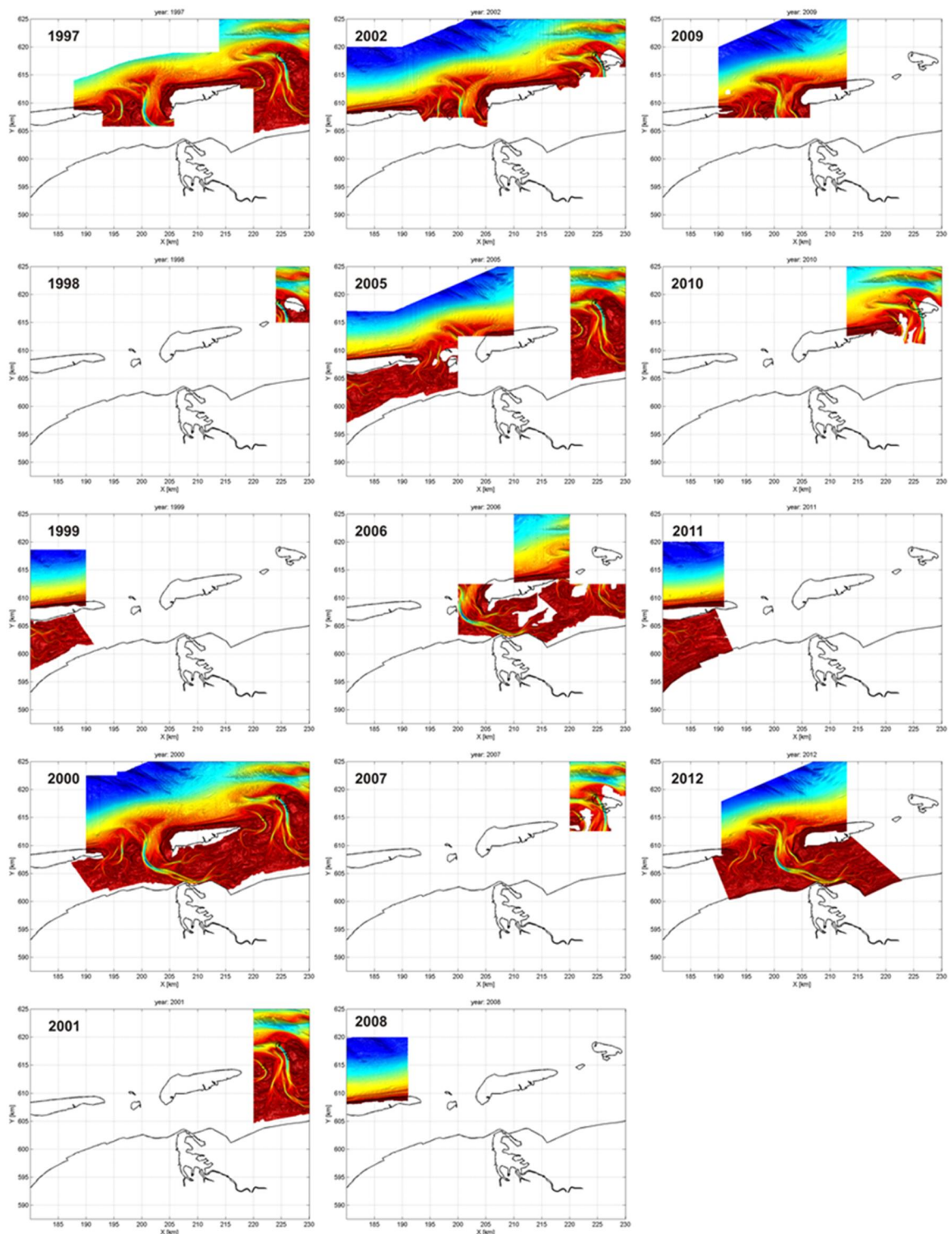


- A-2 Ruwe data gerangschikt per jaar

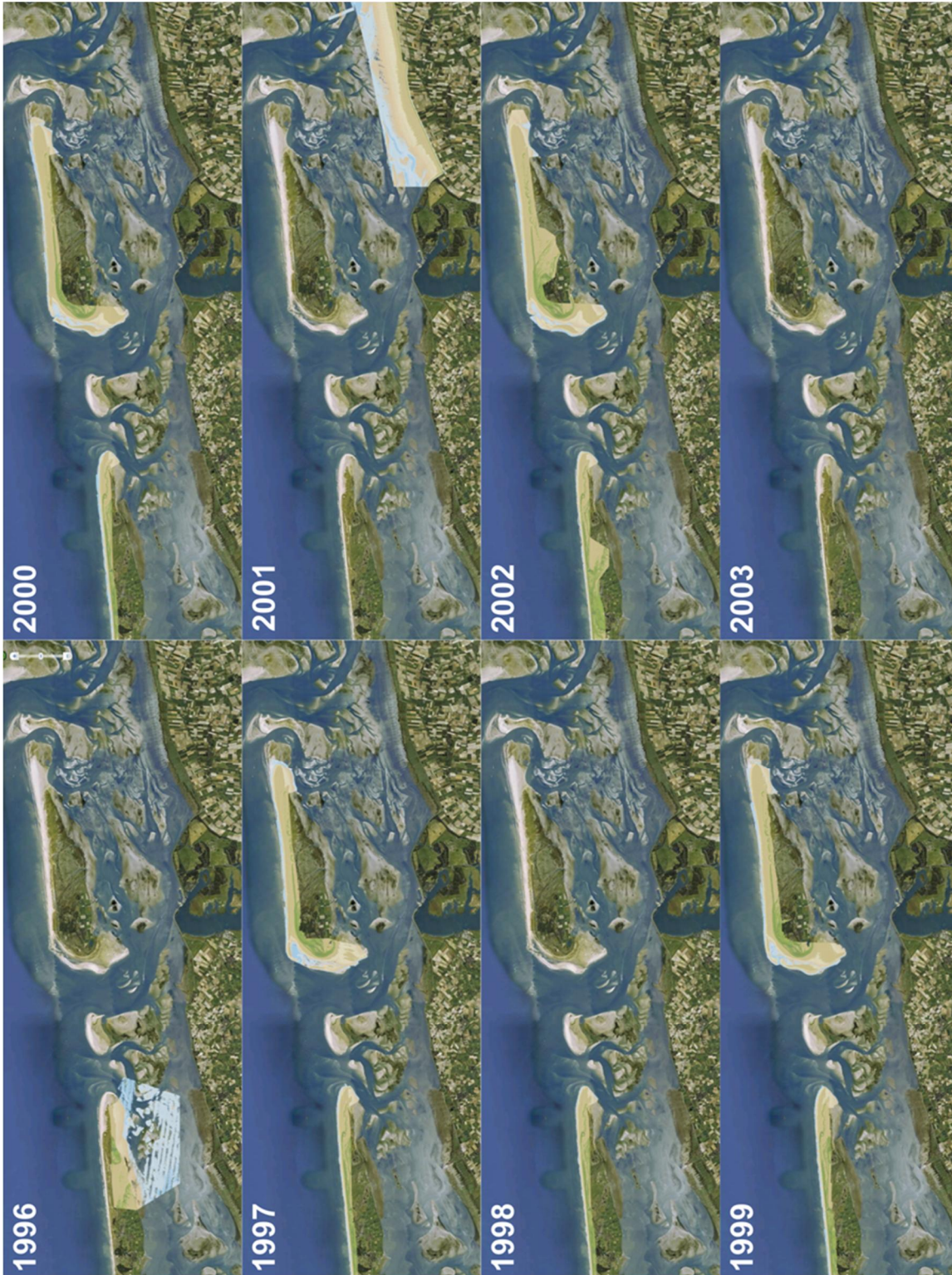




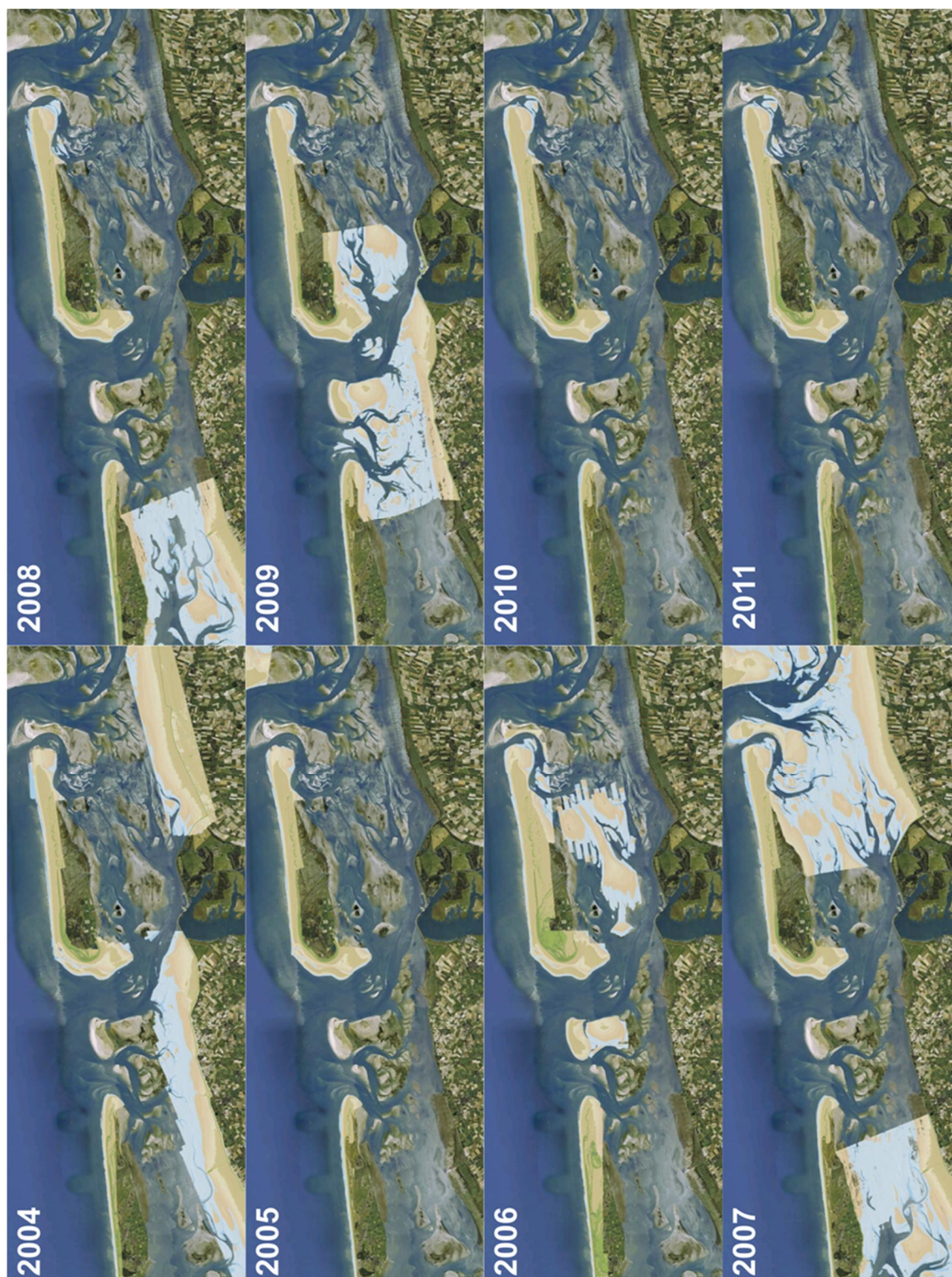
15 mei 2013, definitief



- Appendix B: Data in de kusthoogte bestanden (per jaar).







- **Appendix C: Definitieve kaarten (3D weergave)**

