

Memo morfologische veranderingen Rottumeroog en Rottumerplaat

Voor de periode 1983-2014

ir. A.A. van Rooijen
dr. A.P. Oost

1209381-008

Trefwoorden

Waddeneilanden, morfodynamiek, Waddenzee, Rottumeroog, Rottumerplaat, Lauwers, Schild.




Samenvatting

Op de eilanden Rottumerplaat, Rottumeroog en Zuiderduin wordt geen actief kustbeheer gevoerd en mag de natuur haar gang gaan. In deze quick-scan zijn de veranderingen van deze Waddeneilanden ten oosten van Schiermonnikoog in kaart gebracht, met name voor de periode 1989-2014.

Uit de ontwikkelingen blijkt dat Rottumerplaat oostwaarts verschuift door het uitbochten van het Zeegat van de Lauwers, maar qua oppervlak en volume vrij stabiel is. De hogere delen zijn qua volume en areaal toegenomen, de lagere delen (onder GLW) zijn wat afgenomen. Ook Rottumeroog verschuift oostwaarts, met name door aanzanding aan haar oostzijde. Erosie treedt op aan de Noordzeezijde door de zuidwaartse verschuiving van het Horsborngat. Het eiland neemt boven NAP toe in volume en areaal, maar neemt licht af onder GLW. Beide eilanden krijgen door de toename van de hogere delen en de afname van de lagere delen langzaam een wat steiler profiel. Dit wordt verklaard door de aansnijding van de eilanden door de omringende geulen (Lauwers, Schild en Horsborngat). Het Zeegat van de Lauwers is in de periode 1989-2014 toegenomen in volume ten koste van de westelijk gelegen Eilanderbalg. Het Schild is groter geworden in natte doorsnede na 2005 maar ook smaller en dieper. Het kombergingsgebied heeft zich naar het oosten, maar vooral ook naar het westen uitgebreid.

Voor de toekomst mag verwacht worden dat de trends over de afgelopen eeuw in grote lijnen doorzetten. Het Zeegat van de Lauwers zal vermoedelijk naar het oosten blijven bewegen evenals de eilanden Rottumerplaat en Rottumeroog. Onduidelijk is of Rottumerplaat zal groeien in areaal en volume (lange termijn trend) of gelijk zal blijven (trend 1989-2014). Op basis van de waargenomen trends wordt voorts verwacht dat Rottumeroog nog langzaam kleiner zal worden onder de GLW lijn, en dat de hogere delen (licht) zullen blijven groeien. Het proces van geulerosie kan mogelijk worden vertraagd indien de buitendelta van het Schild verder gaat uitbouwen en bescherming gaat bieden. Ook het langzaam zuid- en oostwaarts groeien van het eiland en het aaneengroeien van Rottumeroog met Zuiderduin betekent dat het eiland qua vorm en uiterlijk aan verandering onderhevig zal blijven, maar niet snel zal verdwijnen.

Gezien de sterke dynamiek van het gebied wordt aanbevolen om regelmatig gebiedsdekkende lodingen uit te voeren, en zo mogelijk jaarlijks de eilanden in kaart te brengen met behulp van LIDAR-opnamen en op regelmatige basis deze gegevens te laten evalueren. Zo wordt te allen tijden inzicht in de ontwikkeling behouden. Daarmee kunnen besluiten worden genomen over bijvoorbeeld de nog aanwezige gebouwen en objecten, en kan de toestand van de natuurwaarden beter worden begrepen.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	okt. 2014	ir. A.A. van Rooijen		dr. A.W. Bruens		drs. F.M.J. Hoozemans	
		dr. A.P. Oost		ir. D.J.R. Walstra			

Status

Definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Vraagstelling	1
1.2 Beschikbare data	2
2 Morfologische veranderingen	5
2.1 Historische lange-termijn ontwikkeling van het gebied	5
2.2 Morfologische ontwikkeling 1983-2014	5
2.3 Volume- en areaalberekeningen	6
2.3.1 Absolute veranderingen	7
2.3.2 Relatieve veranderingen	7
2.4 Dwarsprofielen	13
2.5 Geulontwikkeling	17
2.6 Komberging	20
3 Discussie en conclusies	23
4 Referenties	A-1
Bijlage(n)	
A Bodemsnaphots per jaar	A-2
B Absolute veranderingen	B-1
C Cumulatieve sedimentatie / erosie kaarten	C-1

1 Inleiding

1.1 Vraagstelling

Op de oostelijke Waddeneilanden Rottumerplaat en Rottumeroog vinden geen zandsuppleties plaats. Op Rottumerplaat en Rottumeroog (Figuur 1.1) is geen basiskustlijn vastgesteld. Er vindt dan ook geen jaarlijkse toetsing plaats en worden er ook geen zandsuppleties uitgevoerd.

In 1991 is besloten alle onderhoudswerkzaamheden op Rottumerplaat te stoppen en die op Rottumeroog op een extensieve en natuurvriendelijke wijze voort te zetten (zie ook Brillhuis et al., 1990). Ook werd besloten de harde kustverdediging aan de noordwestzijde van Rottumeroog middels gobimatten en stenen niet langer te continueren (dit werd in 1992 geeffectueerd). Wel werden in de duinen van Rottumeroog nog stuifschermen geplaatst en helm geplant. In 2006 werd besloten om ook dit onderhoud te staken.

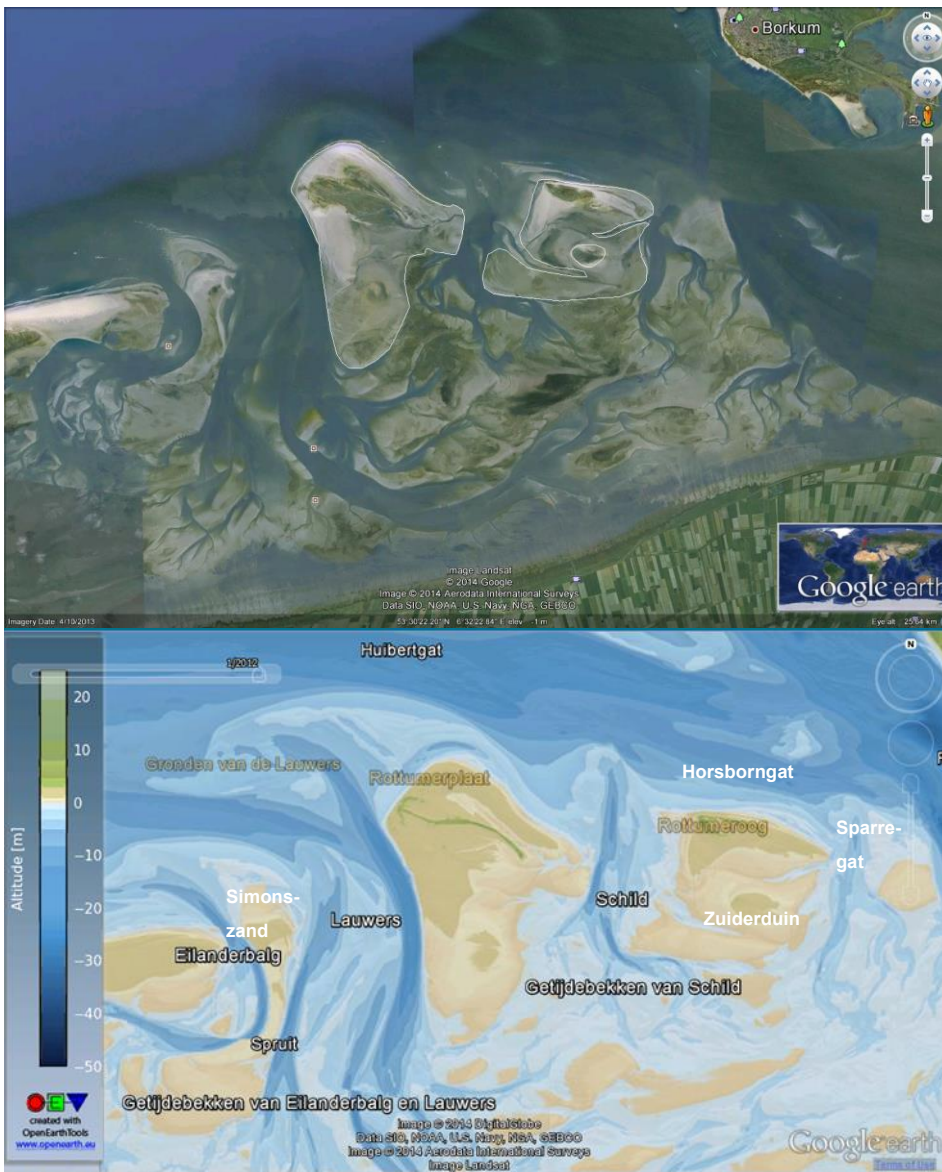
Ondanks dat er geen basiskustlijn is vastgesteld wordt het gebied wel met enige regelmaat ingemeten. Rijkswaterstaat Noord-Nederland en Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving hebben Deltares gevraagd om, op basis van de voorhanden zijnde metingen, via een quick-scan, een overzicht te geven van de meest recente ontwikkelingen van het gebied. Het betreft een beknopte analyse, en hierbij is niet gedetailleerd naar de nauwkeurigheid van de data gekeken of naar de effecten van verschillende interpolatiemethoden. Indien de ontwikkelingen daartoe aanleiding geven, kan de analyse later uitgebreid worden.

De vragen van RWS waren:

1. Geef een korte beschouwing van de grootschalige ontwikkeling;
2. Geef een beschrijving op de middelgrote schaal / eilandschaal aan de hand van: vakklodingen, isolijnen, volumeberekeningen, grafieken, waarmee het volgende inzichtelijk moet worden:
 - het verloop van areaal, volume, geulen/doorstroomprofielen tussen de eilanden.
 - Welke trends zijn er waar te nemen? Is prognose mogelijk voor toekomstige ontwikkeling eilanden?

Het resultaat, een beknopte beschrijving van de morfologische ontwikkeling van het meest oostelijke deel van het Nederlandse Waddenzee, namelijk Rottumerplaat, Rottumeroog, Zuiderduin en de tussenliggende geulen, staat in deze memo.





Figuur 1.1 Boven: Satellietfoto uit 2013 van het gebied tussen Schiermonnikoog en de monding van de Eems (bron: Google Earth). Rottumerplaat (links), Rottumeroog en Zuiderduin (rechts) zijn wit omlijnd. Onder: Morfologische benamingen geprojecteerd op de meest recente lodingen (bron: <http://kustviewer.lizard.net>)

1.2 Beschikbare data

Voor de analyse is gebruik gemaakt van de beschikbare vaklodingen en de kusthoogte-LIDAR-dataset voor het gebied, welke beschikbaar zijn voor de periode 1983-2013. Daarnaast is een door RWS beschikbaar gestelde ascii-file gebruikt die is samengesteld op basis van de meest recente LIDAR-meting (2014) en vaklodingen uit eerdere jaren (2012/2013).

¹ <https://publicwiki.deltares.nl/display/OET/Dataset+documentation+Vaklodingen>

² <https://publicwiki.deltares.nl/display/OET/Dataset+documentation+Kusthoogte>

Het gebied wordt onregelmatig opgemeten. Zowel in de tijd als in de ruimte varieert de beschikbaarheid van data, waardoor een gebiedsdekkend beeld op één moment weinig voorkomt. Om toch een zo volledig mogelijk beeld te geven van de ontwikkeling van het gebied, zijn bodemopnamen uit verschillende jaren samengevoegd. Dit leidt tot een ruimtelijk vollediger beeld van de morfologie, waarbij in het achterhoofd moet worden gehouden dat verschillende stukken binnen een bodemkaart in verschillende jaren zijn opgemeten. Er zijn daardoor ook discontinuïteiten in de kaarten zichtbaar.

De bodemkaarten zijn als volgt geconstrueerd: er is een rooster met een resolutie van 5 meter gedefinieerd, vervolgens is op elk roosterpunt de meest recente data geïnterpoleerd. Bij de interpretatie van de kaarten en volumeberekeningen (vooral m.b.t. de absolute getallen) moet rekening gehouden worden met de beperkingen van de gevolgde methode. In een vervolgtraject kunnen de resultaten eventueel nog vergeleken worden met andere methoden.

2 Morfologische veranderingen

2.1 Historische lange-termijn ontwikkeling van het gebied

(Bronnen: Oost, 1995; RWS NN et al., 2001; Oost & Bruens, 2013; Van der Spek, 2014)

Over de ontwikkeling van het gebied ten oosten van Schiermonnikoog (van west naar oost achtereenvolgens de Eilanderbalg, Simonszand, het Zeegat van de Lauwers, Rottumerplaat, Schild, Rottumeroog en Sparregat) is relatief weinig bekend, doordat er weinig observaties en onderzoek zijn gedaan. Met uitzondering van de buitendelta van het Zeegat van de Lauwers, zijn de buitendelta's klein als gevolg van de geringe grootte van de komberging van de zeegaten. Daarnaast verhindert de aanwezigheid van een grote geul in de monding van de Eems direct ten noorden van de eilanden, het Huibertgat welke naar het oosten overgaat in het Horsborngat, uitbreiding in deze richting.

Eigenlijk is er –gezien de relatief beperkte lengte tussen Schiermonnikoog en de Eems-plaats voor één enkel eiland en daarmee voor één zeegat. Inderdaad ontwikkelt het geheel in de afgelopen eeuwen langzaam in die richting. In de 16^e eeuw nam de Zoutkamperlaag, westelijk van Schiermonnikoog de drainage van de Lauwerszee over van het Zeegat van de Lauwers. Als reactie op deze overname kromp het Zeegat van de Lauwers tussen 1500 en 1640 en verschoof sterk oostwaarts. Daarna groeide dit kombergingsgebied ten koste van meer oostelijke zeegatsystemen en werd geleidelijk aan het dominante zeegat, terwijl het naar het oosten bleef opschuiven. Dit proces ging tot op heden ten koste van het getijvolume van het Schild. De overige zeegaten zijn te beschouwen als 'ondergeschikt' en hun ontwikkeling is vooral afhankelijk van de ontwikkeling van de komberging en geulen van het Zeegat van de Lauwers en de grote geulsystemen van de Eems en de Zoutkamperlaag.

Het bewoonde eiland Bosch, ooit oostelijk van de Lauwers, ging in dit verschuivingsproces verloren en het eiland Rottumeroog nam fors in oppervlakte af als gevolg van alle oostwaartse geulverschuivingen. Oostelijk van de Lauwers werd in de 19^e eeuw een nieuw eiland gevormd: Rottumerplaat. Tot voor kort groeide Rottumerplaat net zo sterk aan als Rottumeroog afsloeg. De laatste tijd lijkt deze ontwikkeling anders te verlopen.

2.2 Morfologische ontwikkeling 1983-2014

In Bijlage A zijn voor de periode 1983-2014 gecompileerde jaarlijkse bodemkaarten weergegeven. Op basis van deze figuren is ook een animatie (.avi-bestand) gegenereerd waarmee de ontwikkeling door de tijd goed kan worden beschouwd (zie bestand in aparte bijlage). Daarnaast zijn in Bijlage C bodemverschilkaarten gegeven (cumulatieve sedimentatie / erosie), waarbij het verschil in bodemligging ten opzichte van 1989 (het eerste jaar met een volledige dekking in het interessegebied) is weergegeven. Als ruimtelijk referentiepunt is in beide type kaarten de NAP-contour van 2014 in zwart weergegeven. Ook is de bebouwing op beide eilanden met een driehoekje aangegeven.

Op basis van de bodemkaarten en de bodemverschilkaarten kan ruwweg het volgende worden gesteld:

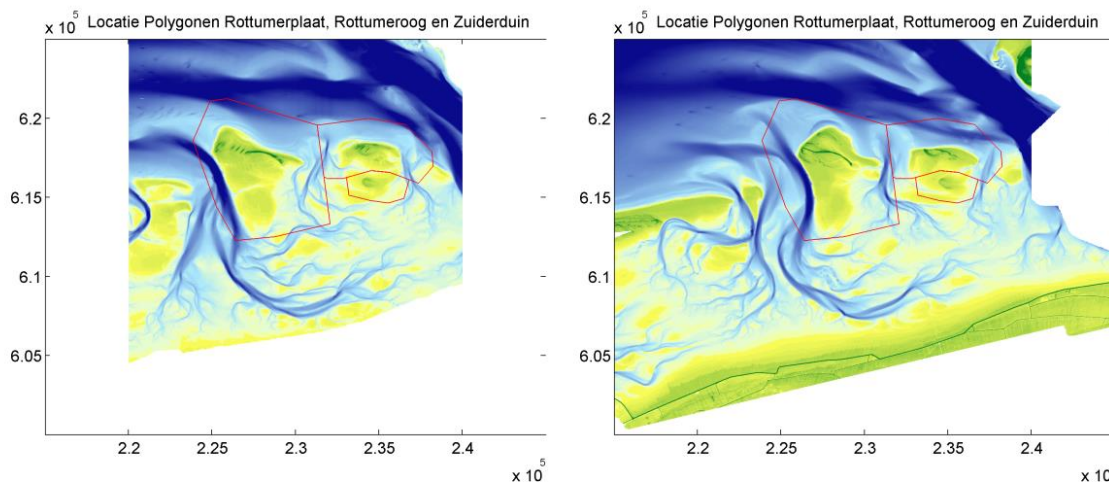
- Zowel Rottumerplaat als Rottumeroog (en dan met name het deel aan de Noordzeekant) bewegen in oostelijke richting.
- De geulen tussen Simonszand en Rottumerplaat (Het Zeegat van de Lauwers) bewegen eveneens in oostelijke richting. De Lauwers zorgt ervoor dat het westelijk

deel van Rottumerplaat wegschuurt (dit is met name goed te zien in de bodemverschilkaarten).

- De bodemverschilkaarten laten een sterke sedimentatie aan de NO-kop van Rottumerplaat zien.
- Het noordelijk deel van Rottumerplaat wordt gevoed door de buitendelta voor het Zeegat van de Lauwers. Golfgedreven transport zorgt ervoor dat het sediment van de buitendelta naar Rottumerplaat wordt getransporteerd.
- De geul tussen Rottumerplaat en –oog (Schild) vertoont geen duidelijke trend in positie. De geul beweegt soms oostwaarts, soms westwaarts en bestaat op sommige momenten uit twee kleinere geulen. Wel is een sterke verdieping waar te nemen vanaf 2010, waarbij dit systeem komberging overnam (sinds 2000) van het oostelijke gelegen gebied (Sparregat), en vooral het westelijke komgebied van de Lauwers. Ook lijkt ten noordwesten van het Schild vanaf 2000 een nieuwe vloedschaar met verbinding met het Huibertgat te ontstaan. Dit proces gaat samen met een in 2014 zichtbaar gegroeide buitendelta van het Schild.
- De noordzijde van Rottumeroog en het gebied direct zeewaarts van Rottumeroog laten juist erosie zien. Dit wordt verklaard door de zuidelijke migratie en verdieping van het Horsborngat, de geul ten noorden van het gebied (lopende vanuit het westen naar de Eems). Ook is als onderdeel van de buitendelta van het Schild, enige uitbouw gaande van de noordwestzijde van het eiland.
- De geul Sparregat ten oosten van Rottumeroog verplaatst in oostelijke richting, waarbij Rottumeroog aan de oostkant aangroeit. Tussen Sparregat en Wester-Eems breiden zich banken (van het Horsbornzand) oostwaarts uit.

2.3 Volume- en areaalberekningen

Op basis van de bodemkaarten zijn eenvoudige volume- en areaalberekningen uitgevoerd. Hierbij is gekeken welke gridpunten van het 5x5 m grid binnen de polygoon per deelgebied vallen (polygoon weergegeven in onderstaande figuur) en boven een bepaald referentie niveau liggen. Er is gekeken naar het volume sediment en areaal boven NAP (0 m), gemiddeld laag water (NAP -1 m) en gemiddeld hoog water (NAP +0,9 m). Daarnaast is nog gekeken naar het volume en areaal boven NAP -3 m, -5 m en -7 m. Merk op dat deze berekeningen op basis van de eerdere bodemkaarten zijn gemaakt en dat jaarlijkse kaarten data uit verschillende jaren kan bevatten.



Figuur 2.1 Ligging van polygoon gebruikt voor volume- en areaalberekningen voor 1989 (links) en 2014 (rechts).

2.3.1 Absolute veranderingen

In de figuren in Bijlage B is het volume en areaal weergegeven voor de drie deelgebieden (Rottumerplaat, Rottumeroog en Zuiderduin). Dit volume of areaal is voor elk jaar berekend, maar er is gekozen om het volume of areaal in een gegeven jaar alleen te plotten als dat verschilt van het voorgaande jaar. Met andere woorden: de waarden zijn alleen geplot als er nieuwe meetdata beschikbaar was. De nieuwe meetdata kan een groot deel van het gebied beslaan, maar ook slechts een relatief klein deel. Er is gekozen voor de periode 1989-2014 omdat 1989 het eerste jaar is waarin de gebieden volledig zijn ingemeten.

- Voor Rottumerplaat geldt dat het areaal boven NAP redelijk constant is, maar dat het volume in de loop der jaren licht is toegenomen. Voor de berekening boven GLW geldt dat het volume iets is toegenomen, maar het areaal is afgenomen. Voor zowel het volume als areaal boven GHW is een lichte toename waar te nemen. Dit suggereert dat de plaat in de loop der jaren iets in hoogte is toegenomen, maar in omvang iets kleiner is geworden.
- Rottumeroog lijkt relatief constant in zowel areaal als volume. Het areaal op GLW en dieper laat een lichte daling zien, op NAP en hoger neemt het areaal licht toe.
- Het Zuiderduin lijkt zowel in areaal als in volume erg constant te zijn.

2.3.2 Relatieve veranderingen

In het volgende zijn de resultaten van de voorgaande paragraaf op een relatieve schaal weergegeven. Hierbij is uitgegaan van de bodemkaart van 1989 (=100%), aangezien hierin voor het eerst het gehele gebied is ingemeten. Het volume en areaal zijn berekend ten opzichte van achtereenvolgens gemiddeld hoogwater (NAP +0.9m), NAP (0 m), gemiddeld laagwater (NAP - 1 m), NAP -3m, NAP -5m en NAP -7 m. Merk op dat de polygoongrenzen, zoals aangegeven in de figuur, een grotere onzekerheid veroorzaken naarmate een lager referentieniveau is gekozen (e.g. NAP -7 m). Dit geldt vooral voor de grenzen van Zuiderduin en de grens tussen Zuiderduin en Rottumeroog.

Rottumerplaat

- Wanneer wordt gekeken naar het hoogste deel (>GHW) van Rottumerplaat valt op dat zowel het areaal als volume over de jaren toeneemt.
- Het areaal boven NAP fluctueert minimaal over de jaren, maar lijkt licht af te nemen. Het volume boven NAP neemt echter tussen 1989 en 2014 met 10-15% toe.
- Boven GLW neemt het areaal met 5-10% af, terwijl het volume relatief stabiel blijft.
- Ten opzichte van NAP -3m nemen zowel het areaal en volume met ruim 5% af.
- Het areaal boven NAP -5m neemt licht toe, terwijl het volume licht afneemt.
- Ten opzichte van NAP-7 m blijven zowel areaal als volume relatief stabiel tot 2005. Van 2005 tot 2007 neemt het areaal licht toe, terwijl het volume licht afneemt.

Rottumeroog

- Voor het hoogste deel (>GHW) neemt het areaal van Rottumeroog licht toe, terwijl het volume in de eerste jaren sterk afneemt, maar vanaf 2000 sterk toeneemt tot een totale toename van 20% t.o.v. 1989.
- Voor het areaal en volume boven NAP is tussen 1989 en 2005 eerst een relatief sterke afname te zien (10-15%), waarna het areaal herstelt tot 100% en het volume in 2014 zelfs 20% hoger ligt dan in 1989.
- Het areaal rond GLW laat een dalende trend zien tot totaal zo'n 20% afname. Het volume neemt in eerste instantie ook af, maar stijgt na 2005 tot de oorspronkelijke (1989) waarde in 2014.
- Voor het deel tot NAP -3m nemen zowel areaal en volume Rottumeroog af met zo'n 15-20%.

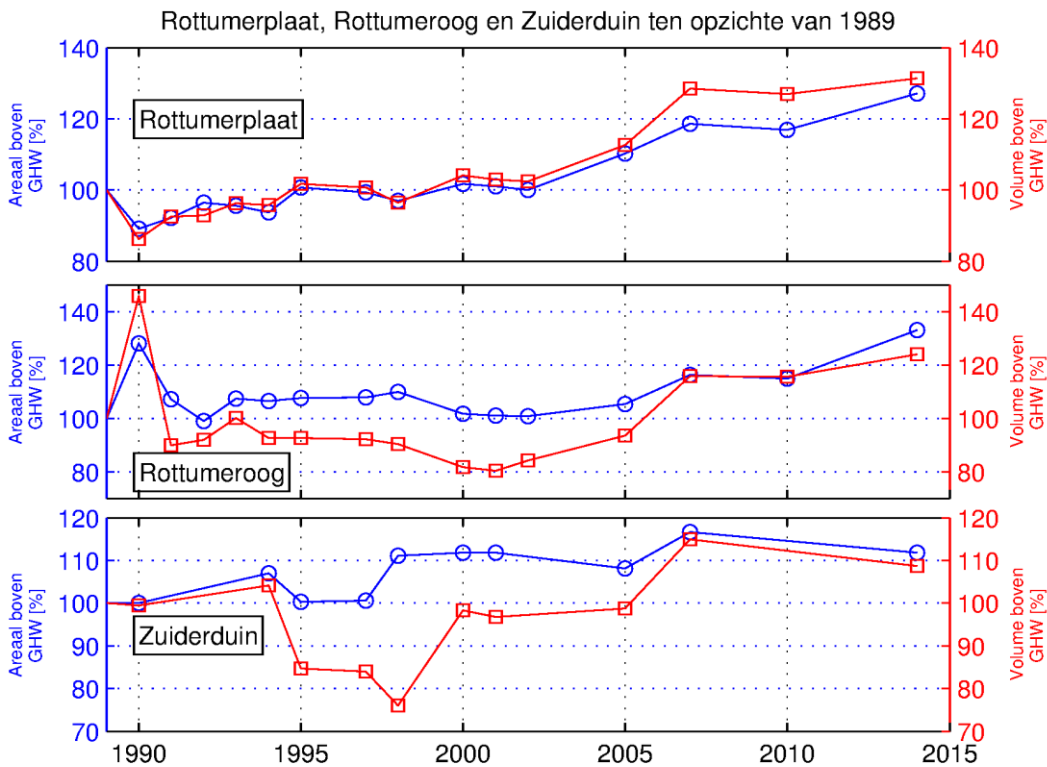
- Ook tot NAP -5m en -7m is een duidelijke daling in zowel areaal en volume te zien tot ongeveer 20% afname.

Zuiderduin

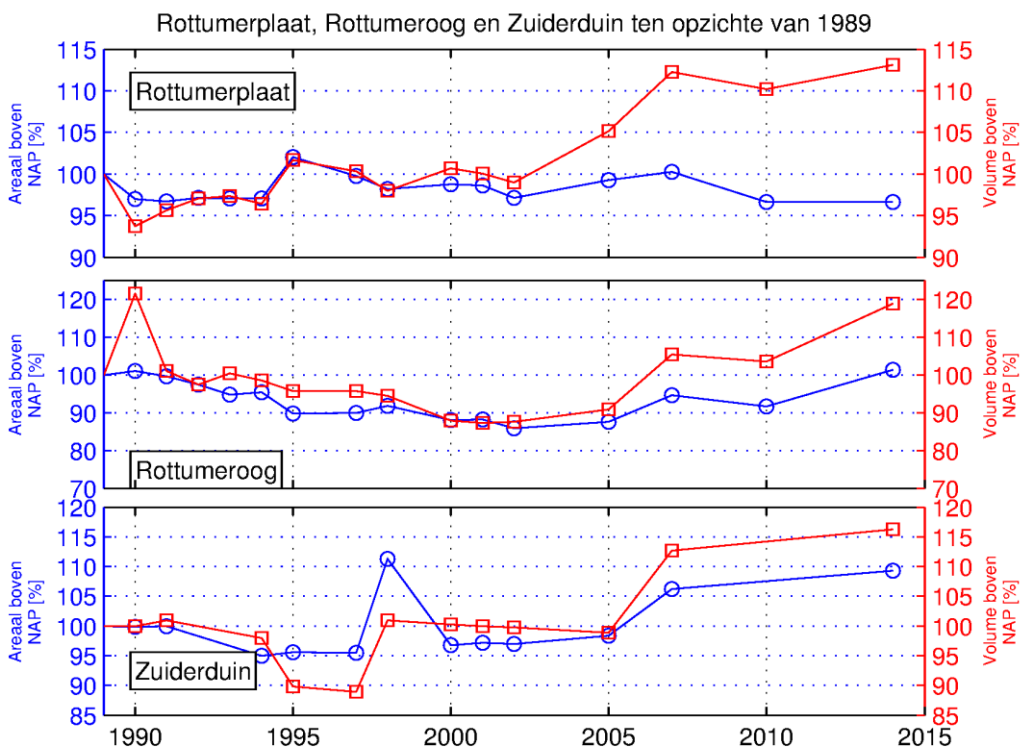
- Het areaal boven GHW van Zuiderduin laat een licht stijgende trend zien, terwijl het volume in de eerste jaren sterk daalt, en daarna sterk stijgt tot een totale toename van 10% t.o.v. 1989.
- Het deel boven NAP laat zowel areaal en volume eerst een dalende (maximaal 5% tot 10% afname) en vervolgens een stijgende trend zien met een totale toename van 10% (areaal) en 20% (volume).
- Het volume en areaal boven GLW, NAP -3m, -5m en -7m lijkt relatief stabiel. Aangezien er nauwelijks diepe delen (geulen) binnen het analysegebied van Zuiderduin zitten geven de referentiediepten onder GLW echter geen aanvullende informatie.

Algemeen

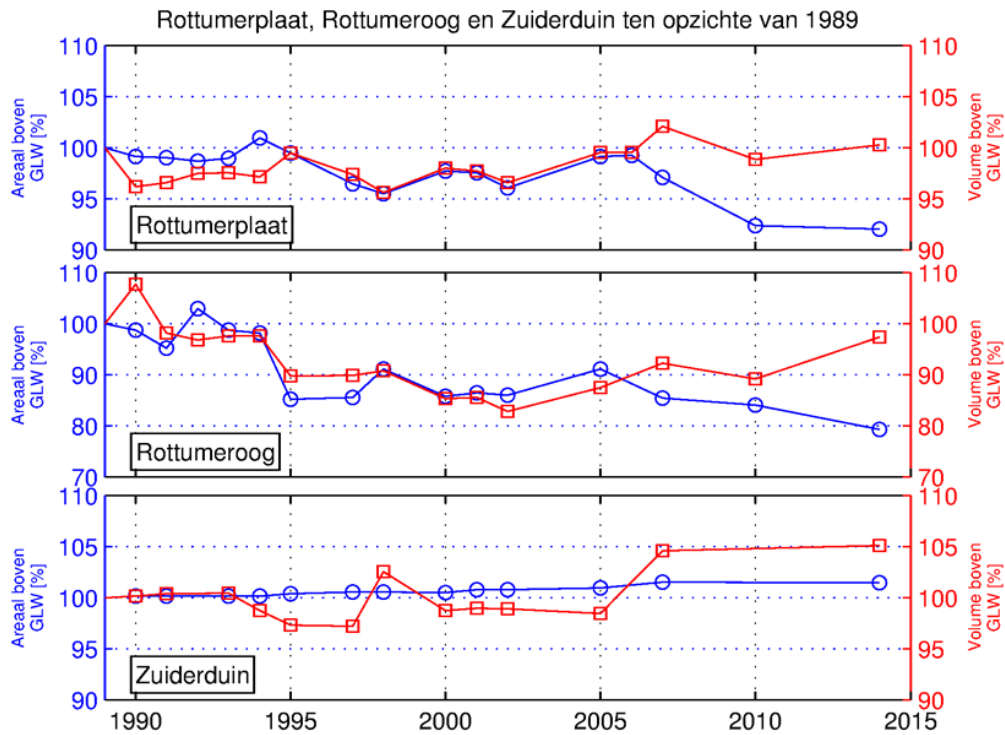
- Wat betreft Rottumerplaat lijken het totaal volume en areaal relatief stabiel. Ten opzichte van de lagere referentieniveaus (NAP -7, -5 en -3m), is weinig verandering in volume en areaal te zien over de beschouwde jaren. Voor de hoger gelegen delen geldt dat het areaal boven GLW licht afneemt bij gelijkblijvend volume, terwijl het volume en areaal boven GHW juist toeneemt. Dit geeft aan dat relatief meer sediment zich boven GHW bevindt, en het eiland in de loop van de tijd steiler is geworden. Dit effect kan ook worden teruggezien in de bodemkaarten, waarbij het areaal van Rottumerplaat iets afneemt terwijl de kleuren donkerder worden (gemiddeld hogere bodemligging).
- Voor Rottumeroog laat deze analyse zien dat het volume en areaal binnen de gedefinieerde polygoon op grotere diepte (boven NAP -3m, -5m en -7m) over de periode 1989-2014 met 15-20% is afgenomen. Vanwege de grillige vorm van Rottumeroog en de ligging tegen Zuiderduin is het niet met zekerheid te zeggen of het volume van Rottumeroog daadwerkelijk is afgenomen. Voor de hogere delen (boven NAP, GHW) is te zien dat het volume en areaal eerst afneemt (in tegenstelling tot Rottumerplaat) maar uiteindelijk toeneemt tot 20% boven 1989. Dit suggereert dat het eiland in eerste instantie uitzakt, terwijl het in de latere jaren steiler en hoger wordt. De versteiling wordt waarschijnlijk verklaard door het zuidwaarts gemigreerde Horsborngat.
- Zuiderduin lijkt relatief stabiel te zijn, al valt op dat het volume en areaal boven de hogere delen (GLW, NAP, GHW) in de eerste jaren afnemen, en later sterk toenemen. Uiteindelijk is Zuiderduin gegroeid en ligt het gemiddeld iets hoger dan voorheen. Ook hier geldt dat de interpretatie van deze resultaten wordt bemoeilijkt door het feit dat Zuiderduin en Rottumeroog zo dicht tegen elkaar liggen en er geen duidelijke scheiding d.m.v. een geul aanwezig is: beiden lijken aaneen te groeien.



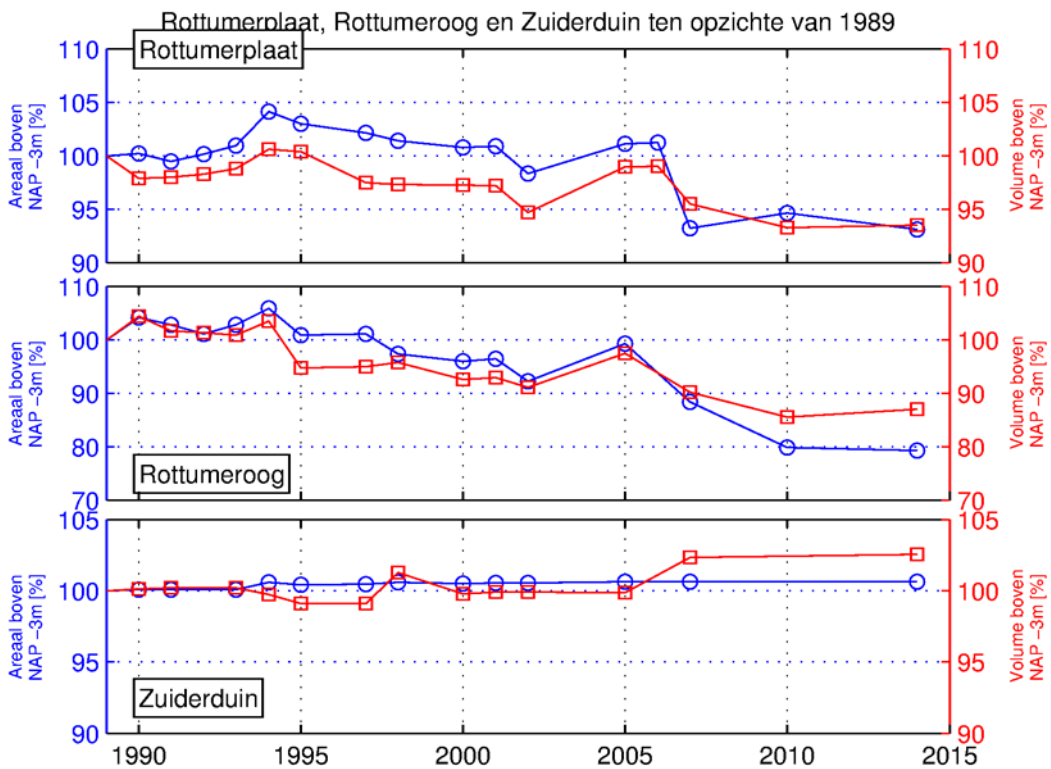
Figuur 2.2 Relatieve verandering over de jaren in areaal (blauw) en volume (rood) van Rottumerplaat (boven), Rottumeroog (middel) en Zuiderduin(onder) ten opzichte van GHW (NAP + 0.9m).



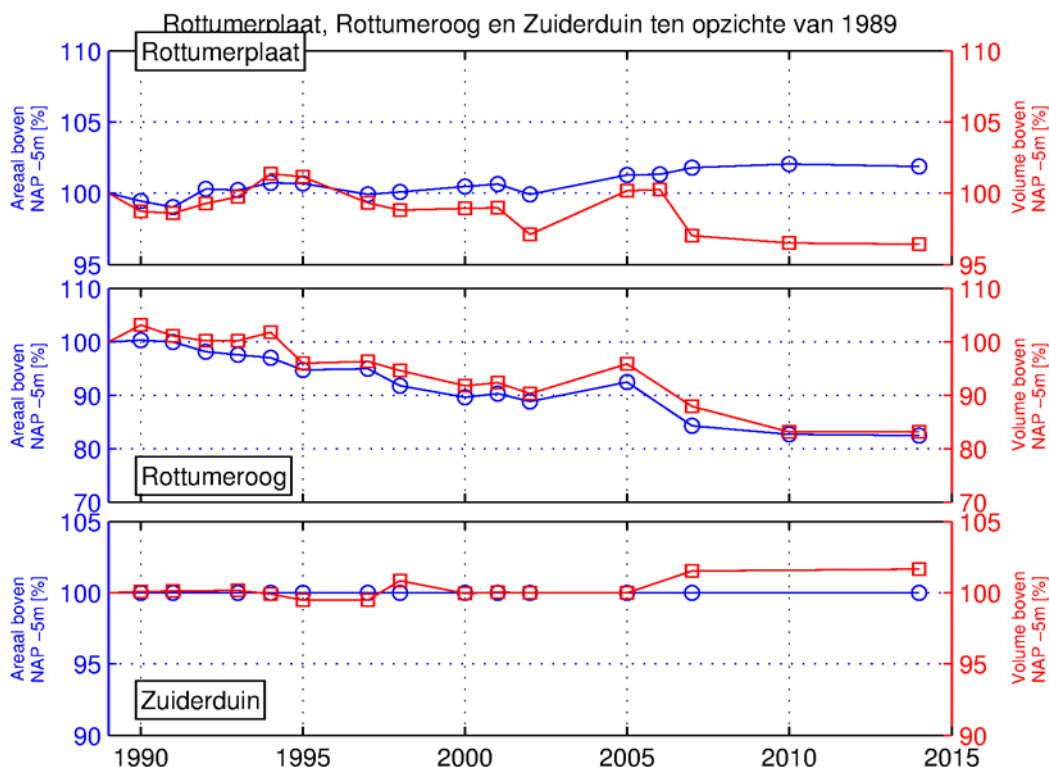
Figuur 2.3 Relatieve verandering over de jaren in areaal (blauw) en volume (rood) van Rottumerplaat (boven), Rottumeroog (middel) en Zuiderduin(onder) ten opzichte van NAP.



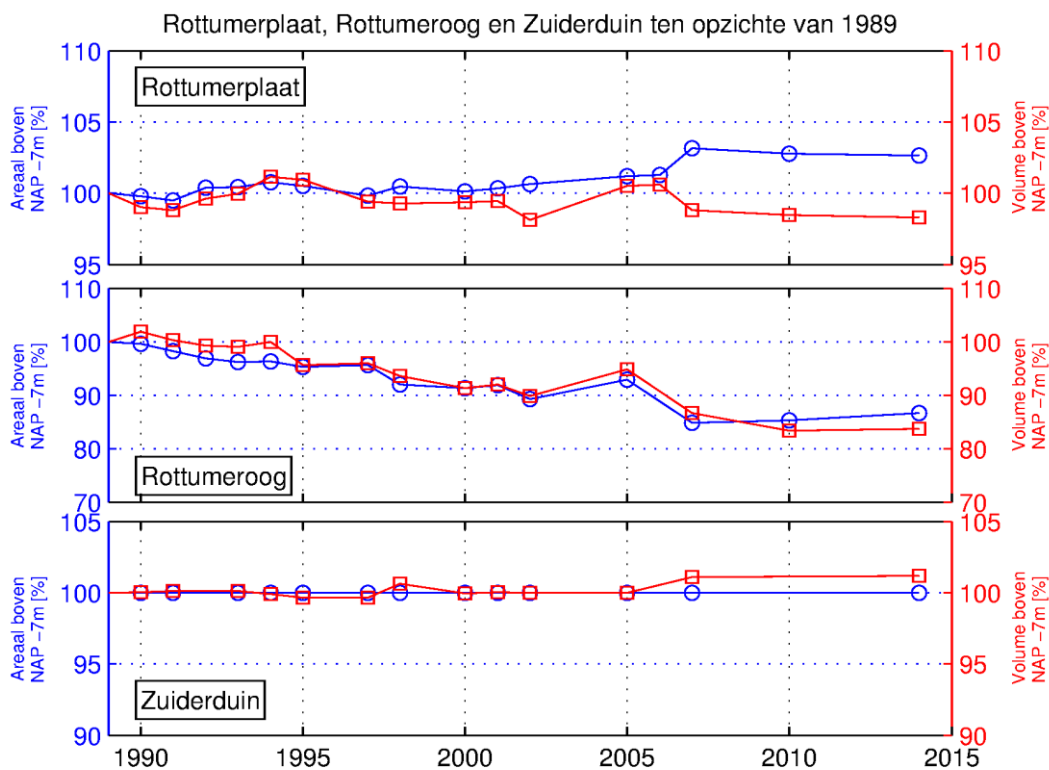
Figuur 2.4 Relatieve verandering over de jaren in areaal (blauw) en volume (rood) van Rottumerplaat (boven), Rottumeroog (middel) en Zuiderduin (onder) ten opzichte van GLW (NAP -1 m).



Figuur 2.5 Relatieve verandering over de jaren in areaal (blauw) en volume (rood) van Rottumerplaat (boven), Rottumeroog (middel) en Zuiderduin (onder) ten opzichte van NAP -3m.



Figuur 2.6 Relatieve verandering over de jaren in areaal (blauw) en volume (rood) van Rottumerplaat (boven), Rottumeroog (middel) en Zuiderduin(onder) ten opzichte van NAP -5m.

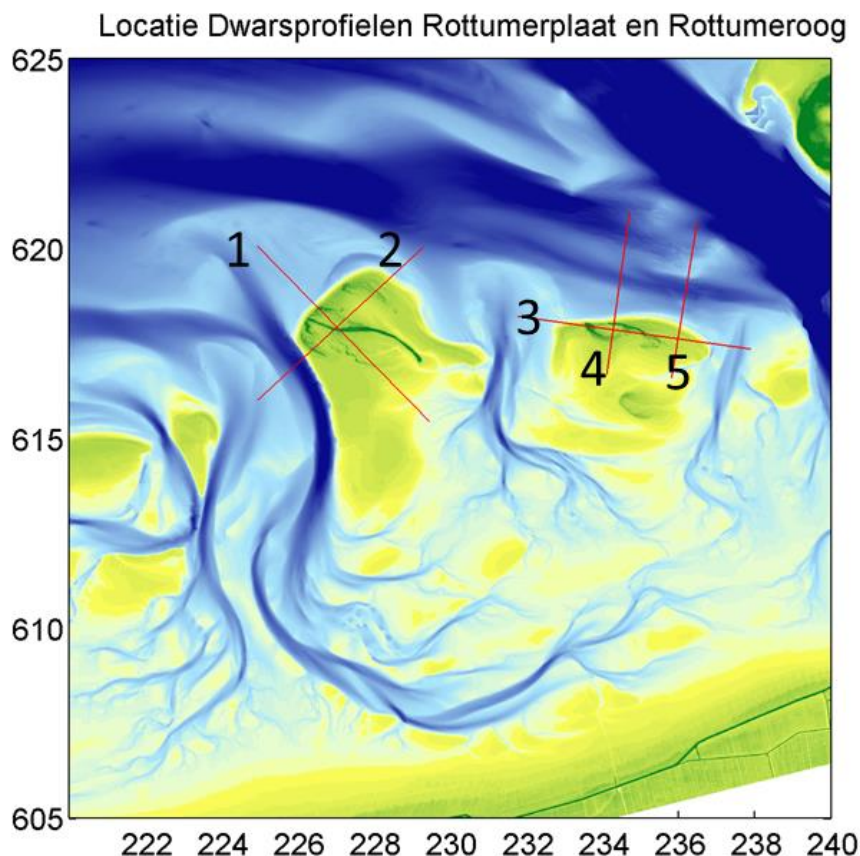


Figuur

Figuur 2.7 Relatieve verandering over de jaren in areaal (blauw) en volume (rood) van Rottumerplaat (boven), Rottumeroog (middel) en Zuiderduin(onder) ten opzichte van NAP -7m.

2.4 Dwarsprofielen

Verder zijn een vijftal dwarsprofielen/raaien getrokken over Rottumerplaat en Rottumeroog (voor de ligging van de raaien wordt verwezen naar Figuur 2.8). Voor de dwarsprofielen (figuur 2.9) zijn zoveel mogelijk jaartallen gebruikt met relatief veel 'nieuwe' data ten opzichte van het voorgaande jaar (zoveel mogelijk data uit het betreffende jaar) en met een min of meer gelijk tijdsinterval. Dit zijn de volgende jaren: 1989, 1994, 2000, 2005, 2010 en 2014.



Figuur 2.8 Locatie van dwarsprofielen Rottumerplaat en Rottumeroog.

De ontwikkeling van **dwarsprofiel 1** laat zien dat de westelijke kop van Rottumerplaat als het ware wordt ingedrukt, en de kustlijn in zuidoostelijke richting verplaatst. In 25 jaar tijd bedraagt deze verplaatsing ongeveer 1 km. De mate van verplaatsing varieert in de tijd. Het grootste effect is zichtbaar tussen 2005 en 2010 en tussen 1989 en 1994.

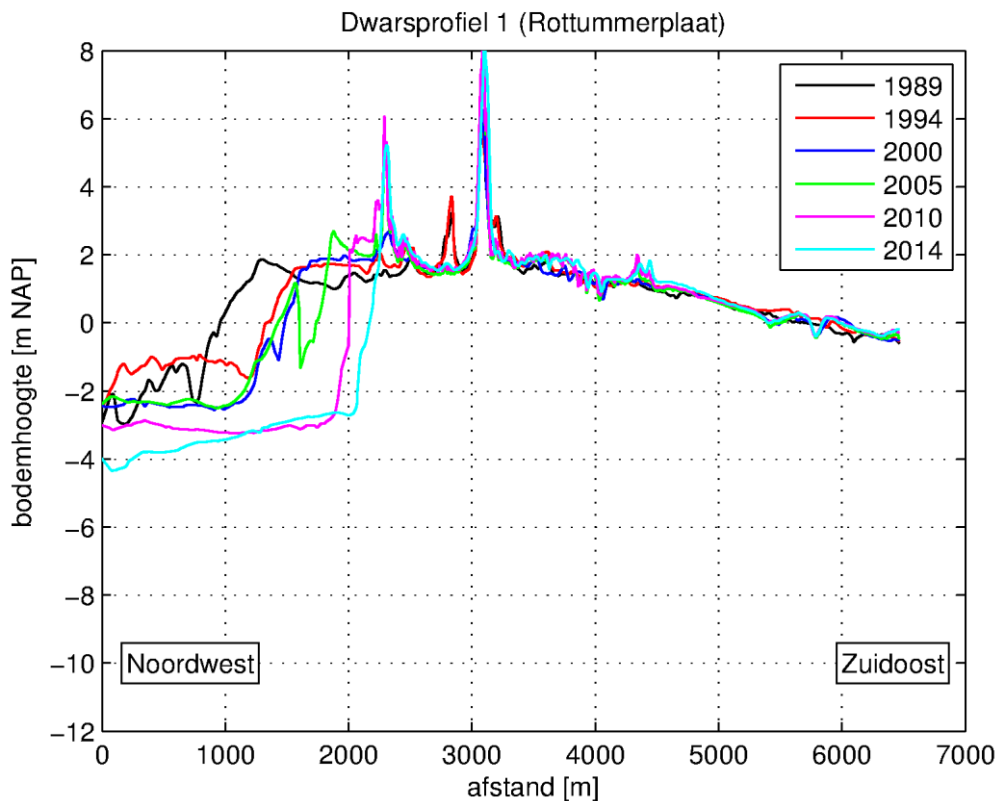
Dwarsprofiel 2 laat zien hoe de zuidwestelijke kust van Rottumerplaat zich terugtrekt. Dit komt doordat de geul (Het Zeegat van de Lauwers) in oostelijke richting beweegt en dit deel van Rottumerplaat wegschuurt. Ook hier valt op dat tussen 2005 en 2010 en tussen 1989 en 1994 relatief veel erosie plaatsvindt. Tegelijkertijd ontstaat tussen 2000 en 2005 een relatief hoge duinpiek ter hoogte van afstand = 2300m. Aan de Noordzee kant (noordoost) valt op dat Rottumerplaat uitbouwt richting zee en tevens steiler wordt. Dit dwarsprofiel suggereert dat het hele eiland in noordoostelijke/oostelijke richting beweegt.

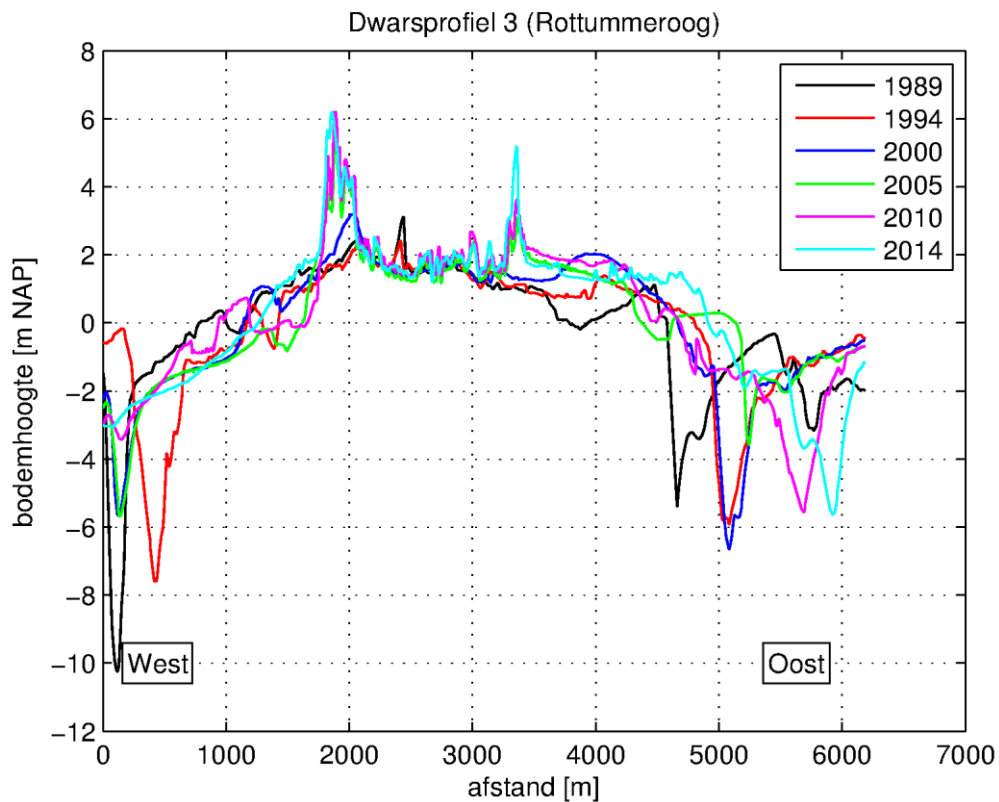
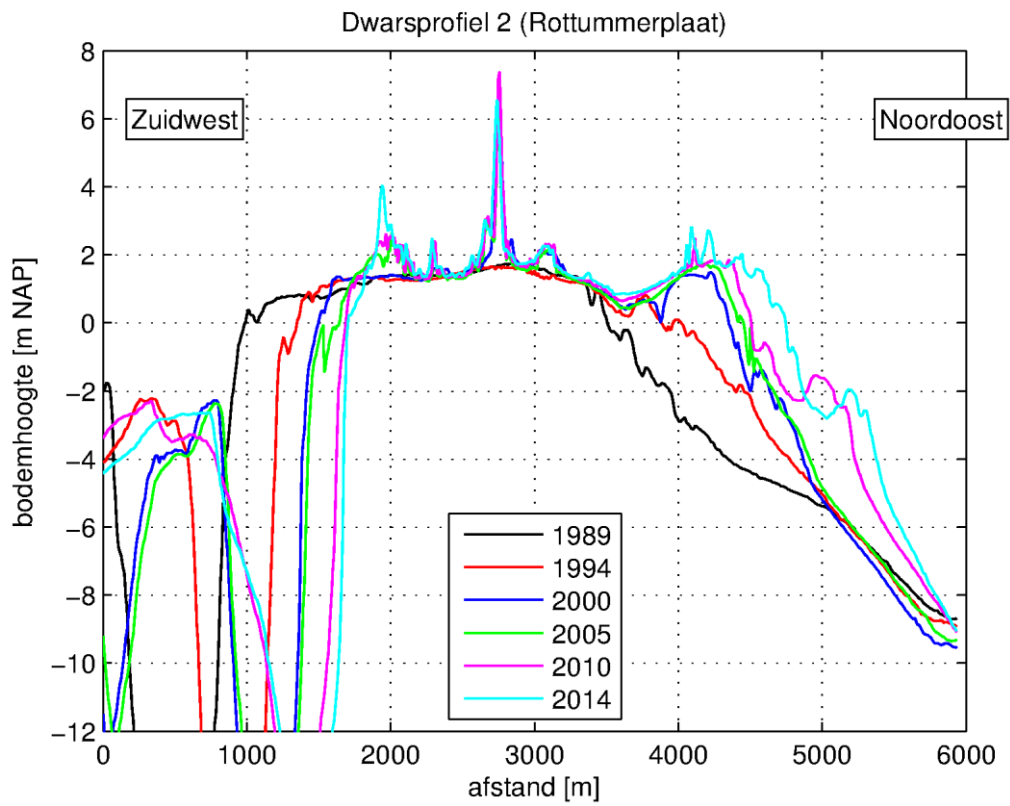
In **dwarsprofiel 3** valt vooral op hoe de oostelijke geul (Sparregat) ontwikkelt in oostelijke richting. Aan de westkant valt op dat de geul (Schild) sterk varieert. De geulontwikkeling

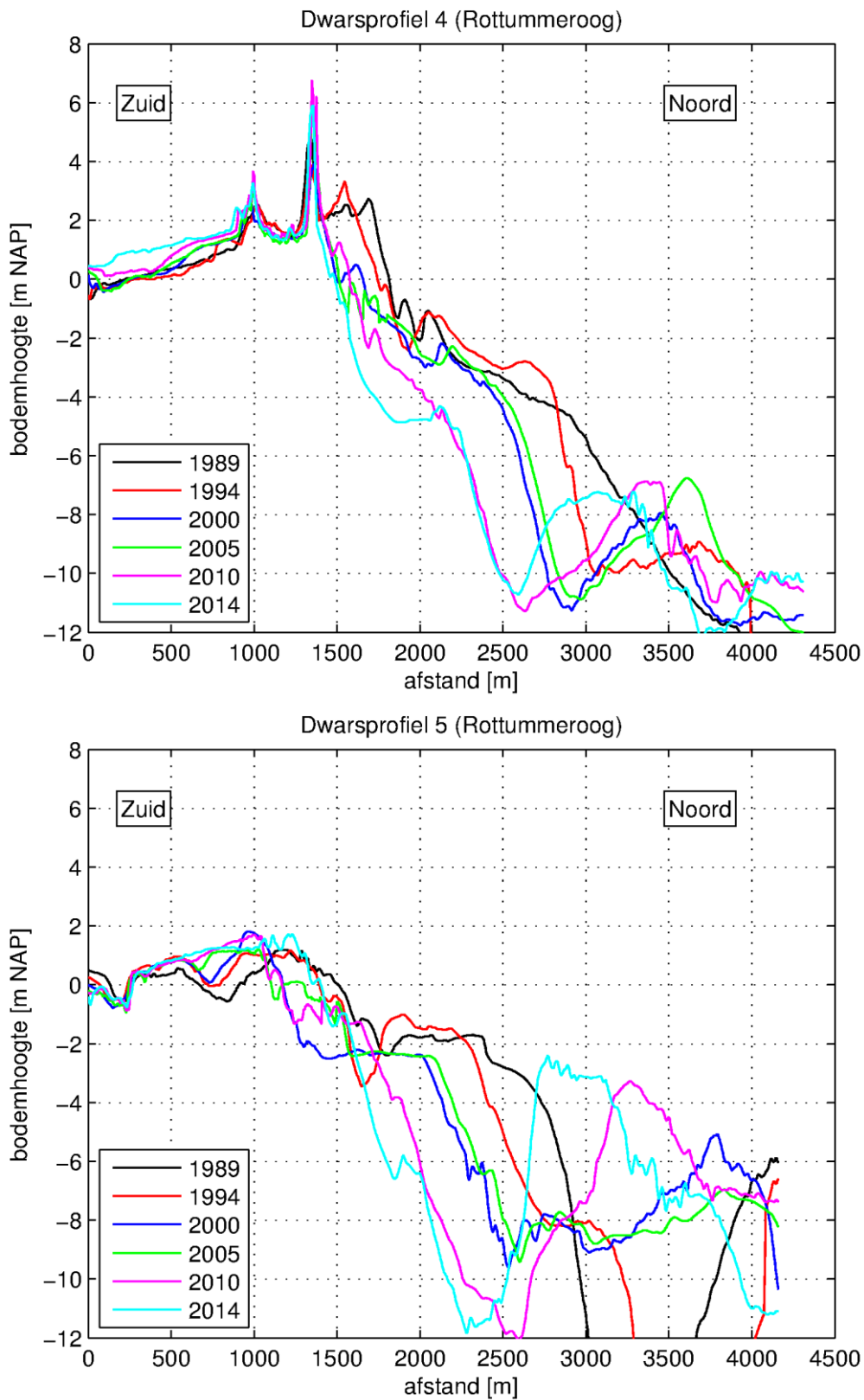
wordt nader bekeken in de volgende paragraaf. Het oostelijke deel van Rottumeroog is in de afgelopen 25 jaar in hoogte toegenomen, de overige delen zijn min of meer stabiel gebleven. Opvallend is verder de sterke toename in duinhoogte van 2000 tot 2005 en later ter hoogte van afstand = 2000 en 3300 m. Dit is ook duidelijk waarneembaar in de bodemkaarten en bodemverschilkaarten (Bijlage A en C).

Dwarsprofiel 4 laat duidelijk het effect van de geul ten noorden van Rottumeroog zien: aan de Noordzeekant vindt erosie plaats en de kustlijn verplaatst in zuidelijke richting. Ook hier valt op dat tussen 2005 en 2010 relatief veel erosie plaatsvindt. Daarbij rukt de geul Horsborngat naar het zuiden op.

Net als voor dwarsprofiel 4 geldt voor **dwarsprofiel 5** dat een zuidwaartse beweging te zien is. De geul ten noorden van het eiland komt steeds dichtert tegen het eiland te liggen en varieert in diepte.







Figuur 2.9 Dwarsprofielen Rottumerplaat en Rottummeroog.

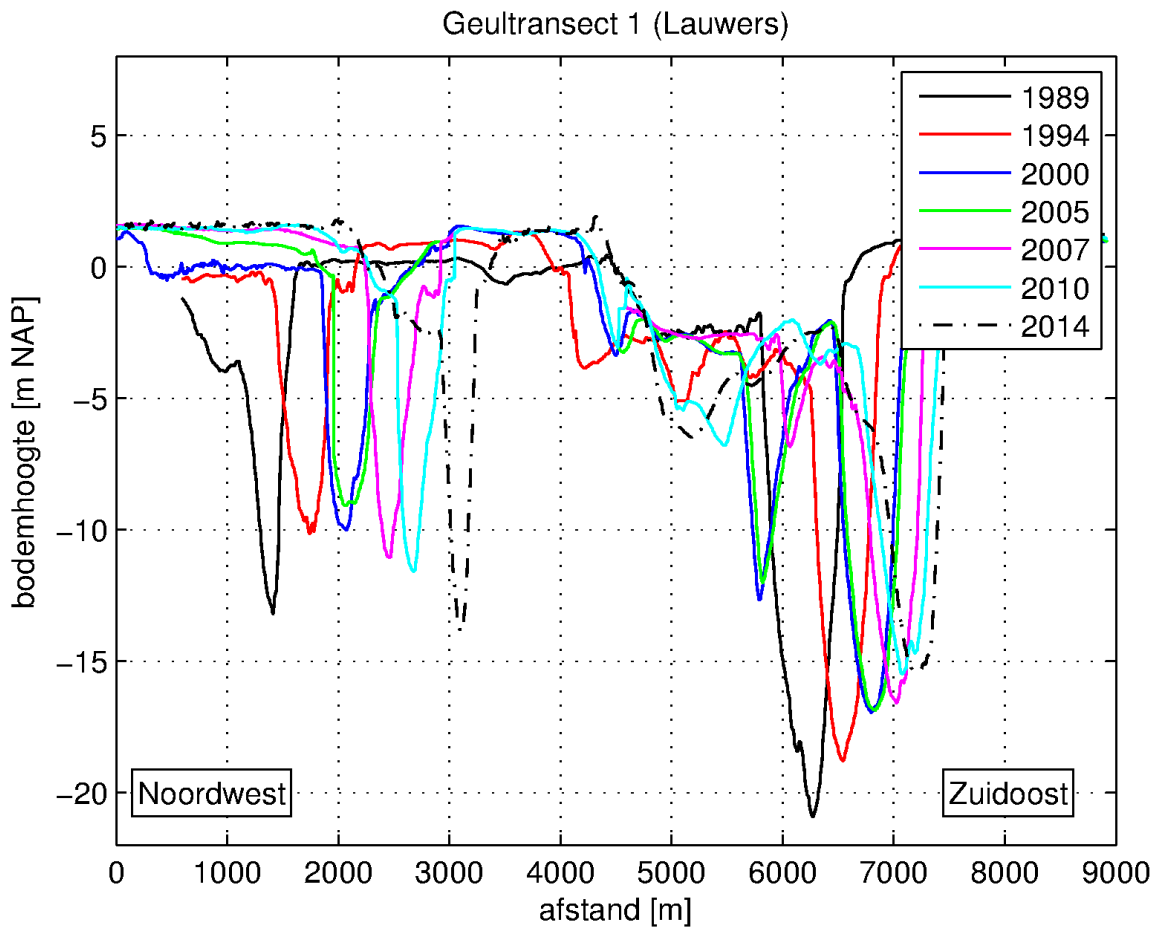
2.5 Geulontwikkeling

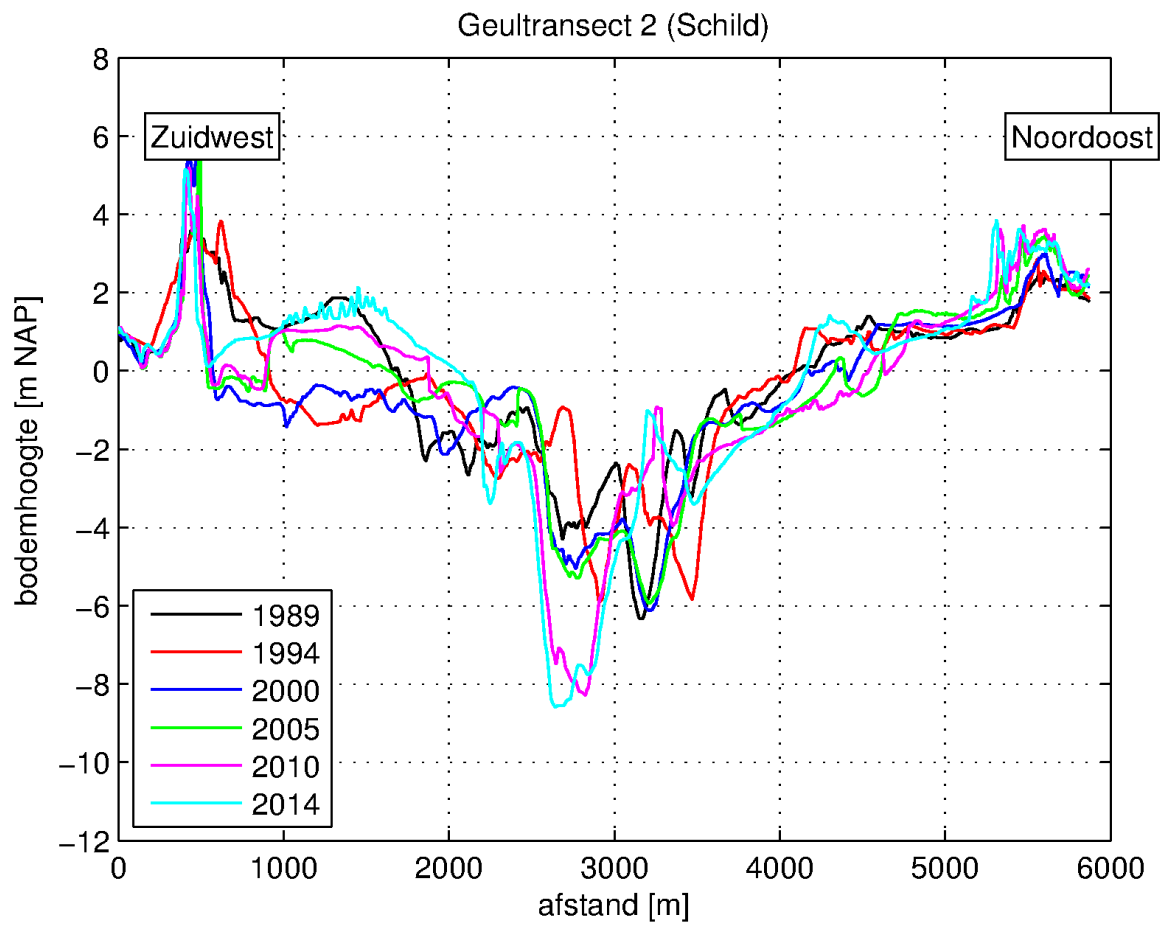
Er zijn drie transecten getrokken door de belangrijkste geulen (Eilanderbalg/Het Zeegat van de Lauwers, Schild en Sparregat, zie figuur 2.10 hieronder). Ook hier zijn zoveel mogelijk jaartallen gebruikt met relatief veel 'nieuwe' data ten opzichte van het voorgaande jaar (zoveel mogelijk data uit het betreffende jaar) en met een min of meer gelijk tijdsinterval. Dit zijn de volgende jaren: 1989, 1994, 2000, 2005, (2007), 2010 en 2014.

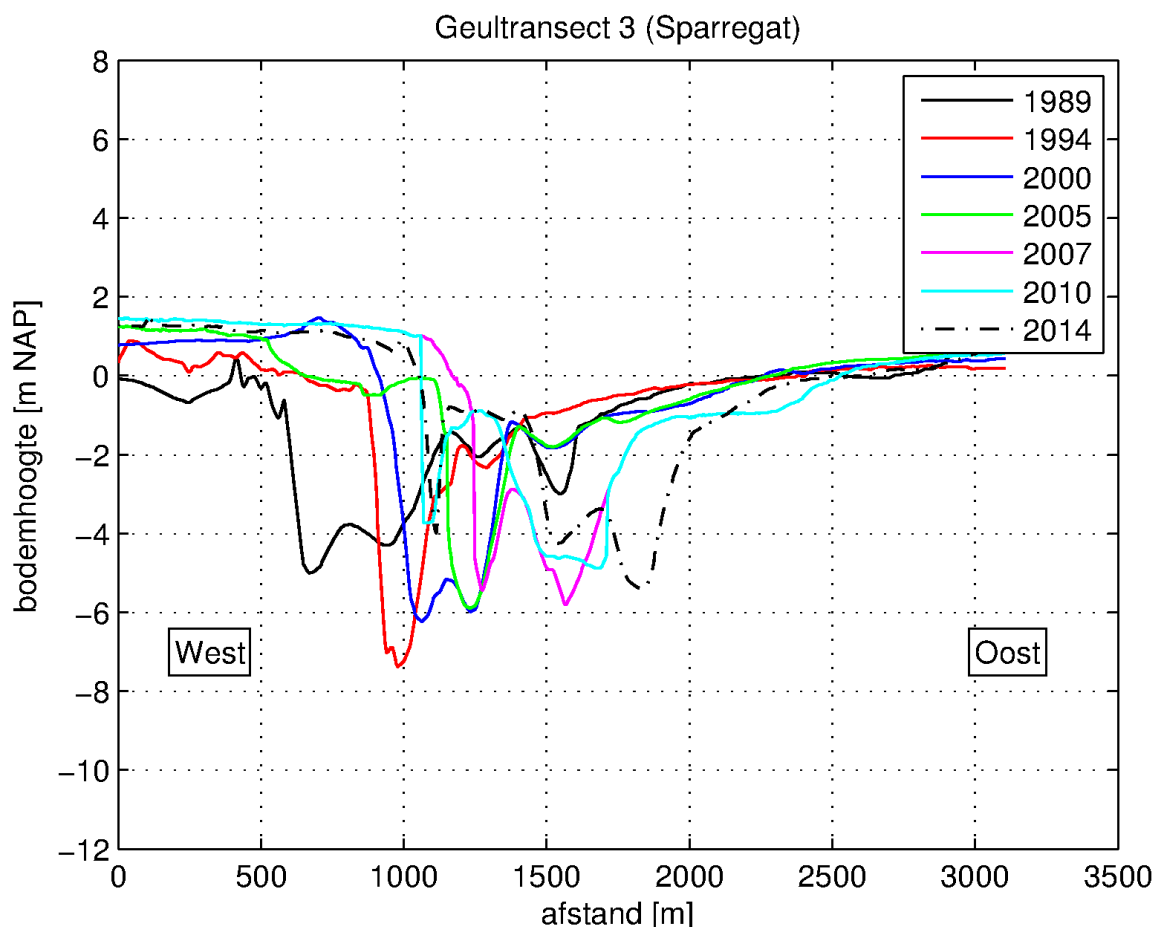
Geultransect 1 laat de ontwikkeling van de Eilanderbalg en het Zeegat van de Lauwers goed zien. Beiden bewegen in oostelijke richting. Opvallend is dat de Eilanderbalg in eerste instantie (1989—1994) ondieper wordt, maar later in diepte toeneemt, terwijl het Zeegat van de Lauwers hier in diepte afneemt (van -20m in 1989 tot -15m in 2014). Verder valt op dat de data voor 2000 en 2005 vrijwel identiek zijn. Mogelijk is hier gebruik gemaakt van (grotendeels) identieke bodemdata. Opvallend is verder dat het Zeegat van de Lauwers voor diezelfde jaren een duidelijke subgeul van zo'n 12 meter diepte had. In de latere jaren is deze verdwenen. In de bodemkaarten (Bijlage A) is deze ook goed te zien, en wordt duidelijk hoe dynamisch dit deel is. In sommige metingen bestaat het Zeegat van de Lauwers uit twee geulen, terwijl de subgeul op een ander moment in tijd sterk naar het oosten is gemigreerd. In de latere jaren is de geul relatief ondiep en breed geworden.

Het Schild (**geultransect 2**) lijkt in de eerste jaren redelijk te variëren qua geometrie, maar stabiel qua locatie en diepte. Vanaf vooral 2010 is deze geul meer naar het westen komen te liggen en een stuk dieper geworden. Wanneer gekeken wordt naar de bodemkaarten kan worden gezien dat ook dit systeem zeer dynamisch is: de oriëntatie en grootte is elke meting anders en soms bestaat het Schild uit twee aparte geulen. In de bodemkaarten is zichtbaar dat de uitlopers van het Zeegat van de Lauwers terugtrekken, waardoor de komberging van het Schild vermoedelijk toeneemt. Ook in oostelijke richting lijkt het komgebied van het Schild in kombergingsvolume toe te nemen. Daarnaast is ten noordwesten van het Schild vanaf 2000 een vloedschaar te ontstaan die verbinding maakt met het Huibertgat en zorgt voor een directere aanstroming.

Het Sparregat (**geultransect 3**) beweegt duidelijk in zuidoostelijke richting. De diepte van de geul is relatief constant gebleven over de jaren. Dit blijkt ook uit de bodemkaarten.







Figuur 2.10 Dwarsprofielen door de geulen.

2.6 Komberging

Op basis van de bodemligging van het wad onder Rottumerplaat, Rottumeroog en Zuiderduin kan een berekening worden gemaakt van de ontwikkeling van de komberging per getijgeul. Echter, de metingen zijn onregelmatig uitgevoerd en in de meeste gevallen bestaat een bodemkaart uit bodemopnamen van een verschillend aantal jaren. Daarnaast is het voor dit systeem lastig om de grenzen van een kombergingsgebied aan te wijzen, omdat de gebieden relatief klein zijn (m.n. kombergingsgebied voor het Schild en Sparregat), terwijl het wel een sterk dynamisch gebied is. Een berekening van de komberging op basis van de bodemkaarten zoals weergegeven in Bijlage A zou daardoor een relatief grote onzekerheid kennen.

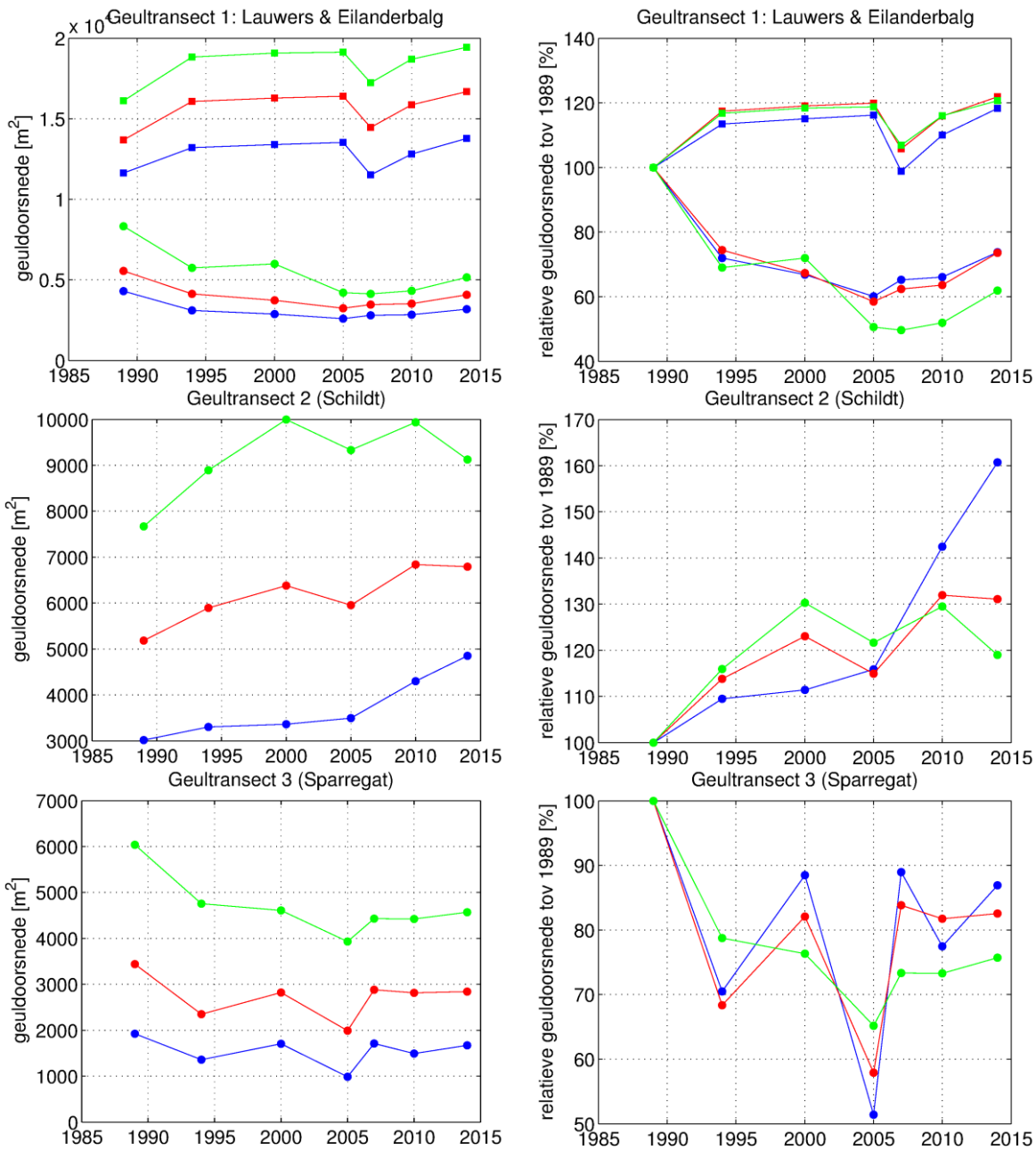
Een andere manier om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de komberging van een getijsysteem is om te kijken naar de oppervlakte van de geuldoorsnede. Over het algemeen is er namelijk een relatie tussen het doorstromend natte oppervlakte van de geul en de getijprisma: een groeiend kombergingsvolume leidt tot meer watertransport per getij en daarmee tot een groeiende geuldoorsnede. Omdat het voor de geuldoorsnede makkelijker is om een jaartal te nemen waarin zoveel mogelijk nieuwe data beschikbaar is (zie ook voorgaande paragraaf), is de oppervlakte voor een aantal jaar berekend per geul.

In Figuur 2.11 staat het resultaat, waarbij de oppervlakte steeds is berekend ten opzichte van GLW (NAP -1 m, blauw), NAP (rood) en GHW (NAP + 0.9 m, groen) voor de drie geulen,

waarbij voor het Zeegat van de Lauwers onderscheid is gemaakt tussen het Zeegat van de Lauwers (hoofdgeul) en de kleinere geul ten westen (Eilanderbalg). In de figuur is duidelijk te zien hoe het Zeegat van de Lauwers een toenemende trend laat zien tot een maximale toename van 20% (met uitzondering van 2007). Eilanderbalg laat juist een dalende trend zien en neemt af tot zo'n 20-30%. Mogelijk heeft het Zeegat van de Lauwers in de afgelopen 25 jaar een deel van het kombergingsgebied van Eilanderbalg overgenomen. Ook de buitendelta lijkt wat forser te worden, maar de sterke dynamiek maakt het moeilijk om dit met zekerheid te zeggen.

Het Schild laat een duidelijke toename in natte doorsnede oppervlakte zien, zowel voor GLW, NAP als GHW, totaal 30-60% ten opzichte van 1989. Opvallend is de toename in oppervlakte voor GLW tussen 2005 en 2014. Uit de geulprofielen blijkt dat de geul in die periode vooral relatief diep en smal is geworden, waarbij eb en vloed dezelfde weg moeten volgen. Dit zou kunnen samenhangen met het ontstaan van een vloedschaar ten noordwesten van het Schild. Hierdoor is een korte, directe route ontstaan waarlangs meer getijdewater aangevoerd wordt richting Schild, waardoor mogelijk het getijdvolume is vergroot. Op de verschilkaarten is duidelijk zichtbaar dat het geulensysteem van het Schild tussen Rottumerplaat en Rottumeroog is vergroot, terwijl de uitlopers van de Lauwers onder Rottumerplaat sedimentatie laten zien. Dit duidt op een toename van het kombergingsgebied van het Schild, wat een belangrijke oorzaak zou kunnen zijn voor het vergroten van de natte doorsnede. Met de toename van de dwarsdoorsnede van het Schild, lijkt de laatste jaren ook de buitendelta te groeien, die misschien op zijn beurt weer van invloed is op de vorming van een meer geprononceerde vloedschaar tussen de Schildgronden en Rottumerplaat. Meer (model)onderzoek is nodig om oorzaak en gevolg beter te onderscheiden.

Het Sparregat varieert sterk per meetmoment, al neemt de oppervlakte over het algemeen met ongeveer 20% af. De variatie is echter relatief sterk: tussen 2000 en 2005 neemt de oppervlakte t.o.v. GLW af van 90 tot 60% en van 2005 tot 2010 neemt het met diezelfde waarde toe.



Figuur 2.11 Absolute (links) en relatieve (rechts) geuldoorsnede-oppervlakte ten opzichte van GLW (-1 m NAP, blauw), NAP (rood) en GHW (NAP +0,9 m, groen) voor de geulen Het Zeegat van het Zeegat van de Lauwers/Eilanderbalg (boven), Schildt (midden) en Sparregat (onder).

3 Discussie en conclusies

Deze memo beschrijft een beknopte quick-scan naar de morfologische ontwikkeling van het meest oostelijk deel van het Nederlands deel van de Waddenzee: Rottumerplaat en Rottumeroog.

Het gebied is zeer dynamisch. De ontwikkeling van de platen wordt gestuurd door het gedrag van de grote geulen. Dit is al het geval geweest sinds de 16^e eeuw tot eind 20^e eeuw waarin de ontwikkeling van het gebied vooral bepaald werd door het sterk oostwaarts schuiven van het Zeegat van de Lauwers en de kleinere zeegaten. Het Zeegat van de Lauwers werd, na een aanvankelijk kleiner worden tot de 17^e eeuw, het belangrijkste zeegat in het gebied, terwijl het Schild in betekenis afnam. Daarbij ging het bewoonde eiland Bosch ten onder en werd het ook ooit bewoonde Rottumeroog sterk kleiner waarbij het tevens oostwaarts verplaatste. Met het uitbouwen van de Lauwers groeide het eiland Rottumerplaat juist vanaf de 19^e eeuw. De laatste decennia zijn er een aantal ietwat afwijkende ontwikkelingen waar te nemen. Op basis van de analyse van de data 1989-heden is het volgende geconcludeerd:

- Zowel Rottumerplaat als Rottumeroog bewegen in oostelijke richting. De geul Lauwers beweegt in oostelijke richting en zorgt ervoor dat het westelijk deel van Rottumerplaat wegschuurt. De westelijke kop van Rottumerplaat wordt ingedrukt en de kustlijn verplaatst in zuidoostelijke richting. Ten oosten hiervan treedt sterke sedimentatie op. Het noordelijk deel van Rottumerplaat wordt gevoed door de buitendelta van de Lauwers. Golfgedreven transport brengt sediment van de buitendelta naar Rottumerplaat. Wat betreft Rottumerplaat blijken het totaal volume en areaal relatief stabiel. Voor de hoger gelegen delen geldt dat het areaal boven GLW licht afneemt terwijl het volume gelijk blijft, terwijl het volume en het areaal boven GHW toenemen.
- De noordzijde van Rottumeroog en het gebied direct zeewaarts van Rottumeroog zijn aan erosie onderhevig. Van Rottumeroog is het volume en areaal over de periode 1989-2014 boven GLW toegenomen, en is het volume en areaal onder GLW afgenomen. Uit dwarsprofielen blijkt dat dit wordt verklaard door versteiling van de kust door verdieping van het Schild en het zuidwaarts schuiven van het Horsborngat. Omdat het eiland dicht tegen Zuiderduin aan ligt, is een grens lastig te trekken. Voor de hogere delen (boven NAP, GHW) is te zien dat het volume en areaal eerst afneemt (in tegenstelling tot Rottumerplaat) en uiteindelijk sterk toeneemt (met 20-30%). Aan de oostzijde vindt aangroei plaats waarbij het Sparregat, oostelijk van het eiland, ook oostwaarts verschuift. De ogenschijnlijk uitbouwende buitendelta (Schildgronden) kan luwte geven en beschermend gaan werken voor Rottumeroog. Een uitbouwende buitendelta kan het Horsborngat mogelijk uit de kust helpen houden.
- Zuiderduin blijkt relatief stabiel te zijn. Ook hier geldt dat de interpretatie van deze resultaten wordt bemoeilijkt door het feit dat Zuiderduin en Rottumeroog zo dicht tegen elkaar liggen en er geen duidelijke scheiding d.m.v. een geul aanwezig is. De beide eilanden lijken aaneen aan te groeien.
- De geulen Eilanderbalg en het Zeegat van de Lauwers bewegen beiden in oostelijke richting. De Eilanderbalg wordt in eerste instantie (1989—1994) ondieper, maar

neemt later in diepte toe, de Lauwers neemt in diepte af. De oppervlakte van de natte dwarsdoorsnede en dus waarschijnlijk ook het getijdevolume van de Lauwers neemt wel toe (maximaal 20%). Eilanderbalg laat juist een daling zien (20-30%).

- Het Schild blijkt in de eerste jaren te variëren qua geometrie, maar is redelijk stabiel qua locatie en diepte. Vanaf 2010 is deze geul meer naar het westen komen te liggen en dieper geworden. Het Schild (eb gedomineerde geul) laat sindsdien ook een duidelijke toename in oppervlakte van de natte dwarsdoorsnede zien. Opvallend is de sterke toename beneden GLW tussen 2005 en 2014, in die periode is de geul vooral diep en smal geworden: eb en vloed moeten nu meer dezelfde weg volgen. Een mogelijk verklaring voor de toename is de ontwikkeling van de vloedschaar ten noordwesten van het Schild die een verbinding vormt met het Huibertgat/Horsborngat. Daardoor wordt het Schild directer aangestroomd. Een andere verklaring is dat het kombergingsgebied van het Schild (Wadzijde) is verruimd, waardoor het getijvolume vergroot is. De ebgeul van het Schild laat op de verschilkaart 2014-1989 een duidelijke verruiming zien, waarbij een uitbouw lijkt plaats te vinden van de buitendelta (Schildgronden). Nader onderzoek is nodig om te achterhalen wat oorzaak en gevolg zijn van deze ontwikkelingen.
- Het Sparregat beweegt duidelijk in zuidoostelijke richting. De diepte van de geul is relatief constant gebleven over de jaren. De oppervlakte neemt over het algemeen met ongeveer 20% af, de variatie is echter sterk. Hier zijn verder geen duidelijke conclusies aan te verbinden. De platen ten oosten van het Sparregat (Horsbornzand) bouwen zich oostwaarts uit (en wordt ook de Oude Eems oostwaarts gedrukt).

Met deze waarnemingen valt nog niet precies te zeggen hoe de toekomst van het gebied er uit ziet. Rekening moet worden gehouden met een verdere oostwaartse verschuiving van Rottumerplaat en Rottumeroog en een geleidelijke erosie aan de noordkust van Rottumeroog. Mochten areaal en volume zich blijven ontwikkelen volgens de trends van de afgelopen decennia dan mag verwacht worden dat areaal en volume van Rottumerplaat relatief stabiel zullen blijven. Rottumerplaat is afhankelijk van de ontwikkelingen van het Zeegat van de Lauwers. Op basis van de geuldoorsneden zien we een groei van dit zeegatsysteem en een oostwaartse verschuiving. Dit kan enerzijds nog een tijd erosie van de westkust opleveren, anderzijds leiden tot verdere uitbouw van de delta, waarbij meer luwte voor Rottumerplaat ontstaat, waardoor het eiland kan aangroeien. Al met al lijkt een toekomstige ontwikkeling naar een groter eiland Rottumerplaat mogelijk. Het zou een continuering zijn van de trend die in de 19^e en 20^e eeuw is waargenomen.

Rottumeroog nam in de afgelopen decennia boven NAP in volume en areaal toe terwijl het areaal rond GLW afnam. Rekening moet worden gehouden met een doorgaande versteiling van het eiland. Uitgaande van de huidige –voor Rottumeroog, door het grillig verloop van de kust niet erg betrouwbare- trends moet rekening worden met een lichte krimp in areaal en volume onder GLW en een verdere lichte groei boven NAP. Bij doorgaande uitbouw van de buitendelta van het Schild kan mogelijk meer luwte ontstaan voor het eiland, wat positief kan uitpakken voor de sedimentbalans van het eiland. Verwacht wordt dat Zuiderduin en Rottumeroog verder aaneen zullen groeien, waardoor een groter eiland tot de mogelijkheden behoort.

De geul het Schild is, na vele decennia van krimp weer groter aan het worden. Duidelijk is dat de toename in getijdevolume in het gebied een bovengrens kent, doordat het nog aan te tappen gebied beperkt is. De verdere ontwikkeling van het Schild zal met name sterk

afhankelijk zijn van de ontwikkeling van het kombergingsgebied en de interactie met de komgebieden van de Lauwers en het Sparregat.

Aanbevelingen

Al met al is het gebied uiterst dynamisch. Beseft moet worden dat, gezien de geringe dimensies van de eilanden, een stormvloed-rijke winter een relatief sterke invloed kan hebben op de morfologische ontwikkelingen. In het kader van het loslaten van het beheer, en de natuur haar gang laten gaan, verdient het de aanbeveling om de monitoring te continueren, mogelijk wat uit te breiden en regelmatig te laten evalueren. Aanbevolen wordt de lodingen (3-6 jaarlijks) te continueren, maar meer aandacht te besteden aan het goed gebiedsdekkend opnemen van het gebied. Aangevuld met jaarlijkse LIDAR-vluchten van Rottumeroog, Rottumerplaat en Zuiderduin kan een goed beeld worden verkregen van de ontwikkelingen boven de gemiddeld-laagwaterlijn.

In dit memo is slechts een beknopte analyse beschreven. Indien vanuit de regio de ontwikkelingen aanleiding geven om meer inzicht te verkrijgen in de grootschalige en kleinschalige ontwikkelingen, kunnen meer gedetailleerde volumeberekeningen uitgevoerd worden. Daarmee kan dan gekeken worden naar de ontwikkeling van de kombergingsgebieden en ligging van de wantijen, mits de lodingsdata voldoende gebiedsdekkend is. Meer inzicht in de debieten en stromingspatronen kan eventueel worden verkregen met behulp van hydrodynamische modellen. Om nauwkeurigere uitspraken te kunnen doen over de verwachting voor de toekomst wordt aanbevolen om:

- de nauwkeurigheid van data & de nauwkeurigheid van interpolatiemethode(n) in beeld te brengen.
- het gedrag van de geulen verder in beeld te brengen (migratiesnelheid van verschillende karakteristieke punten, gaat dit lineair of niet, gaat proces nog door, daarvoor is ook inzicht in betrouwbaarheid van data nodig)
- hypsometrische curven voor zowel de verschillende eilanden als de bekkens voor verschillende tijdstippen te maken. Op basis daarvan kan worden gekeken wat de trends zijn in verhoudingen tussen verschillende hoogtezones, waarmee inzicht kan worden verkregen in de verwachte toekomstige ontwikkeling.
- golfsommen en afslagberekeningen te maken. Daarmee kan een uitspraak worden gedaan over de effecten van golfaanval bij stormvloed op de eilanden
- een integrale morfologische analyse op een grotere tijd-/ruimteschaal. Door het gebied van Schiermonnikoog tot en met de Eems te beschouwen kan inzicht geven in te verwachten sedimentbudgetten en grootschalige effecten op geulen en eilanden. Bijvoorbeeld:
 - Link met ontwikkeling Schiermonnikoog:
 - door afsluiting van de Lauwerszee zijn grote voorraden zand uit de buitendelta van het Friesche Zeegat naar het eiland verplaatst. Onduidelijk is of deze voorraden op lange termijn ook voedend zijn aan de Rottums.
 - een doorbraak van de Eilanderbalg door de sterk gegroeide 'staart' van Schiermonnikoog kan er voor zorgen dat nieuwe eilanden/platen ontstaan en geheel nieuwe configuratie en dimensionering van het stelsel aan geulen en zeegaten.
 - Link met ontwikkeling Eems. Grootschalige ontwikkelingen (in het komgebied) van de Eems (incl. estuarium) kunnen van invloed zijn op bijvoorbeeld debieten en daarmee configuratie van de buitendelta

(waar Huibertgat/Horsborngat onderdeel van uitmaken), welke mede bepalend is voor de toekomst van de eilanden.

4 Referenties

Brilhuis, R., J.H. Bossinade, J. van den Bergs & J. de Vlas, 1990. Een meer natuurlijke ontwikkeling van Rottumerplaat en Rottumeroog: aanvaardbaar of niet? RWS Directie Groningen en NOO. F: Nota GRAN 1990 - 2003.

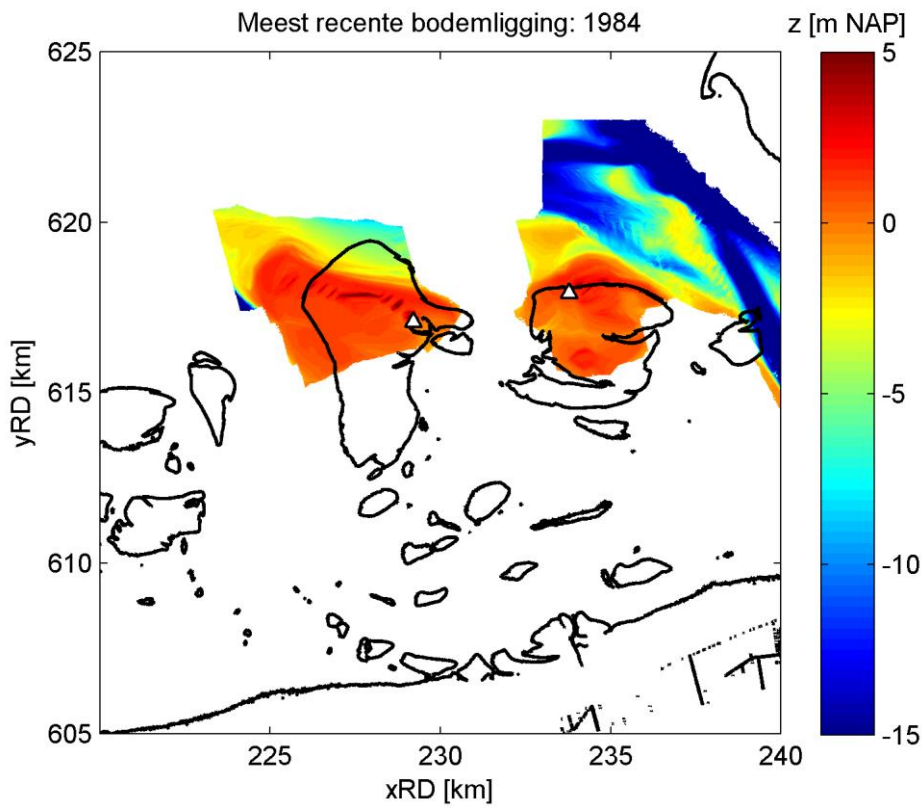
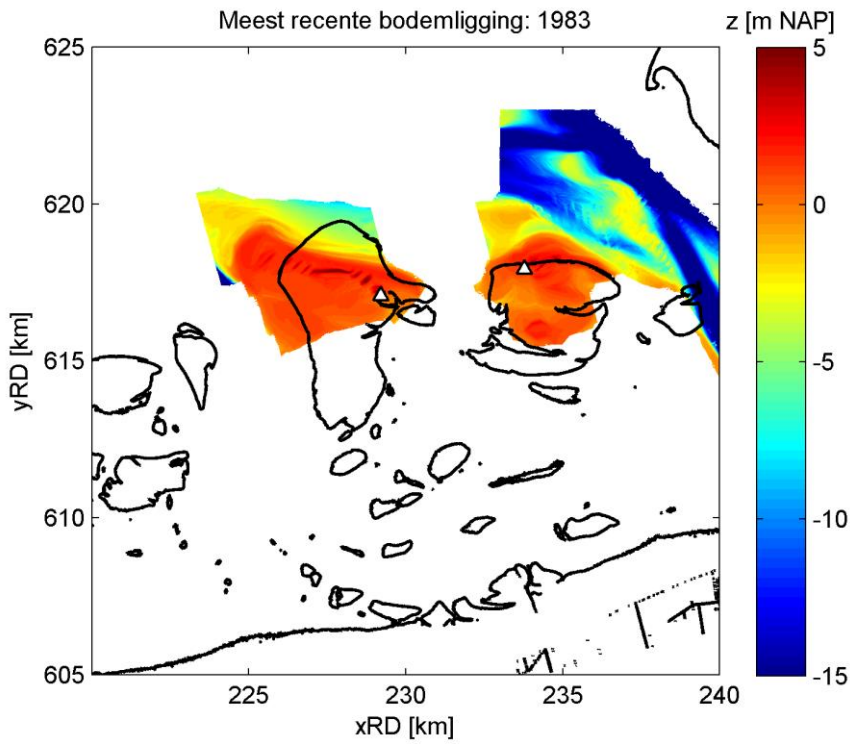
Oost, A.P., 1995. Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian Inlet; a study of the barrier islands, ebb-tidal deltas and drainage basins. PhD-Thesis, Utrecht, Geologica Ultraiectina, 126, 518 pp.

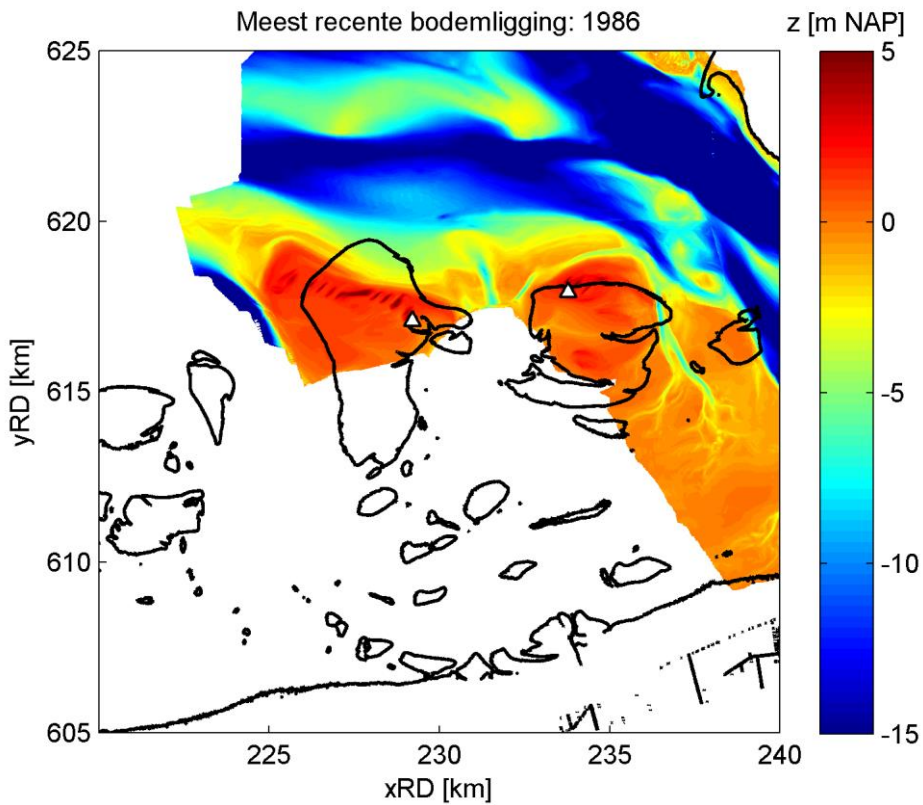
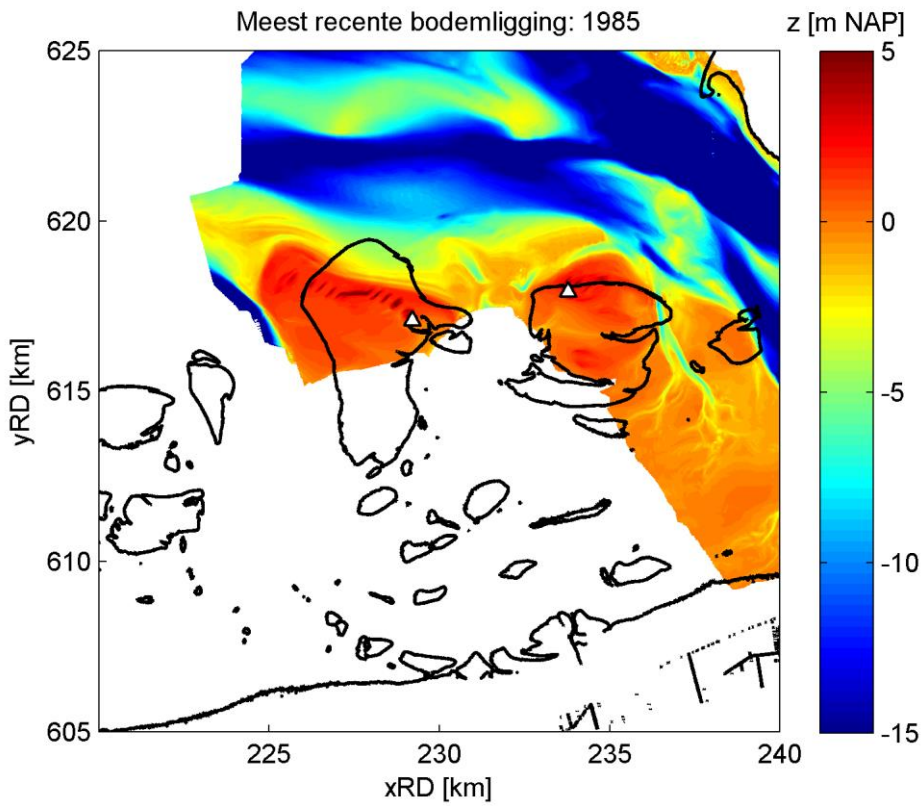
Oost, A.P. & A. Bruens, 2013. Beheerbibliotheek Schiermonnikoog Feiten & cijfers ter ondersteuning van de jaarlijkse toetsing van de kustlijn 1207724-004.

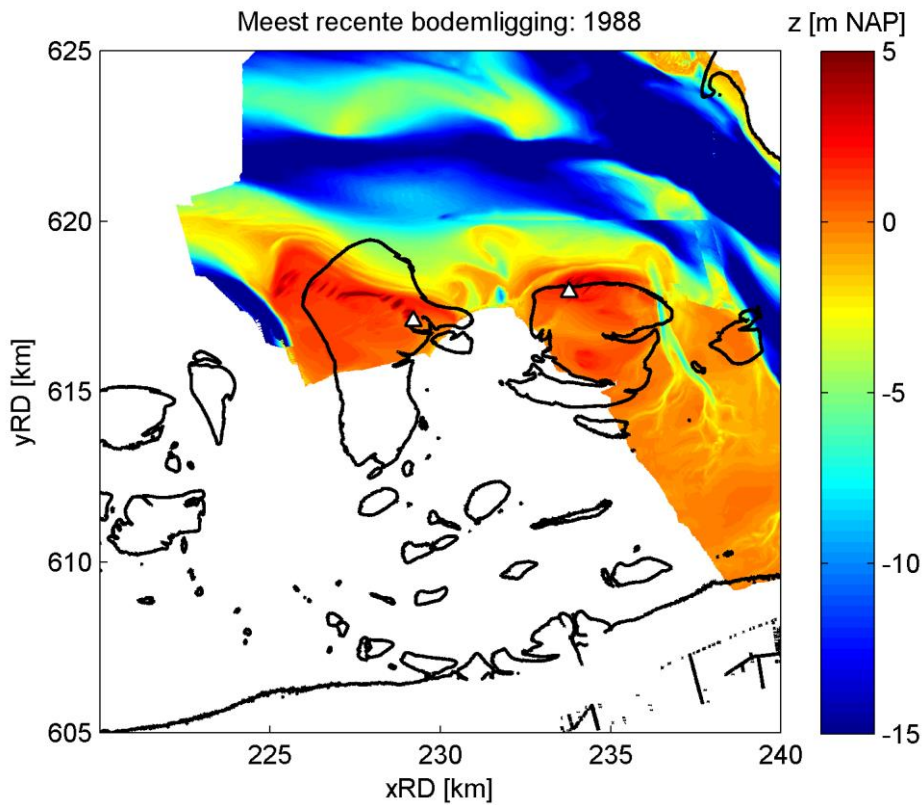
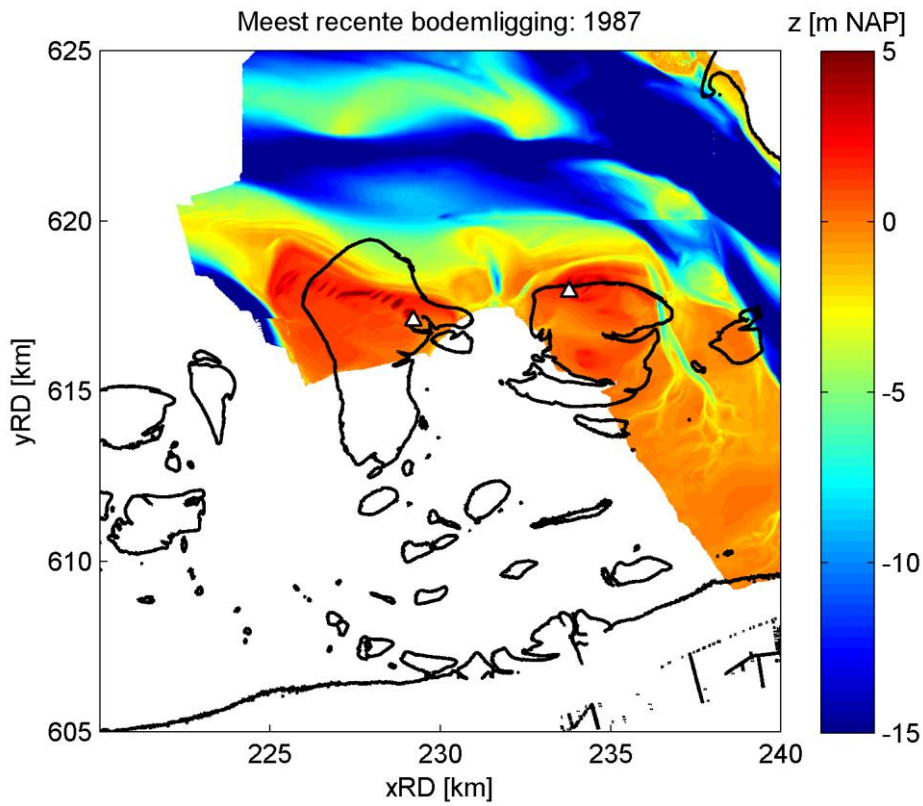
RWS Dir. Noord-Nederland, SBB Regio Groningen_Drenthe, Min. LNV, 2001. Rottumeroog en –plaat veranderen.... Een evaluatie van monitoringsgegevens en beheer over de periode 1996 – 2001, Notanummer: NN-ANW 01-01

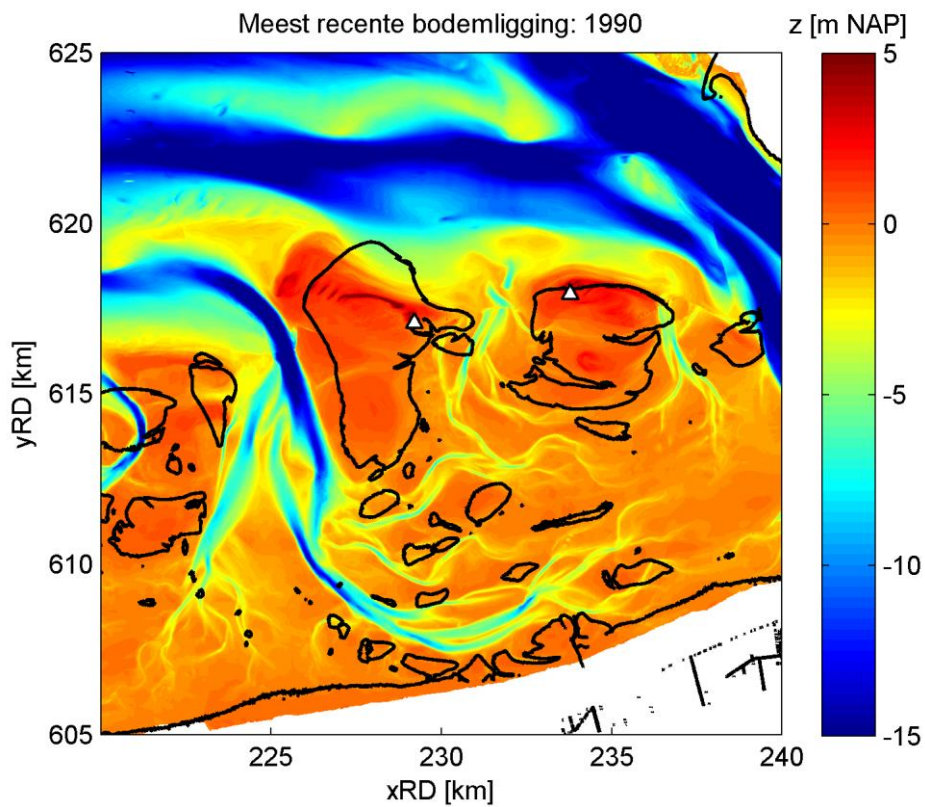
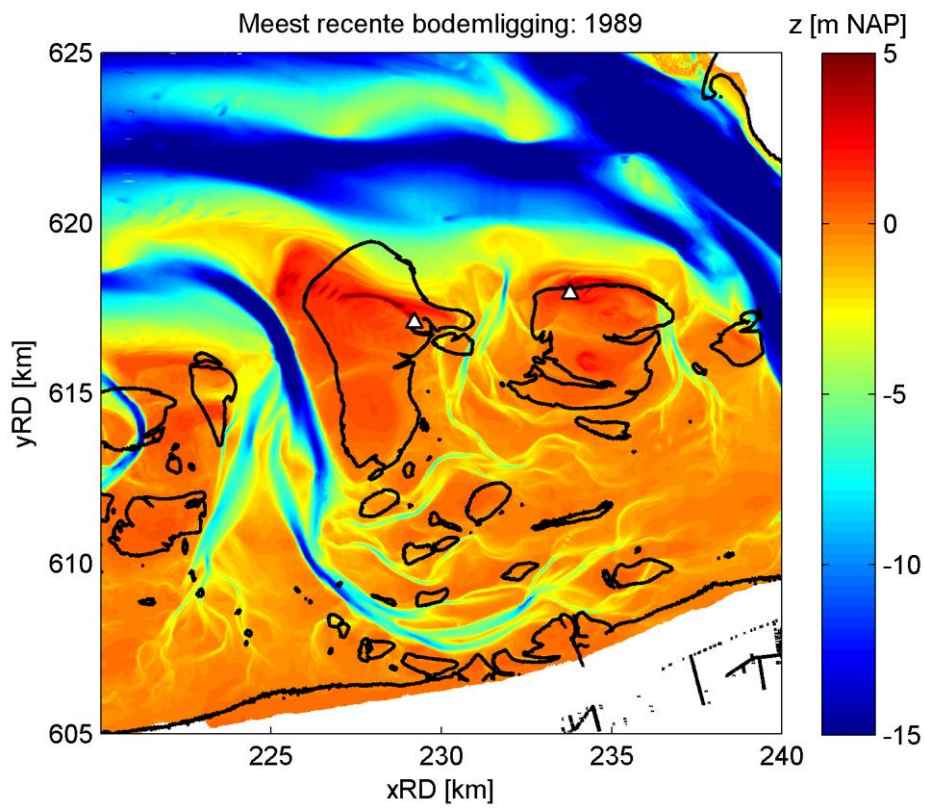
Spek, van der, A.J.F., 2014. Zeegaten en buitendelta's van de oostelijke Waddenzee. Interne memo Deltares.

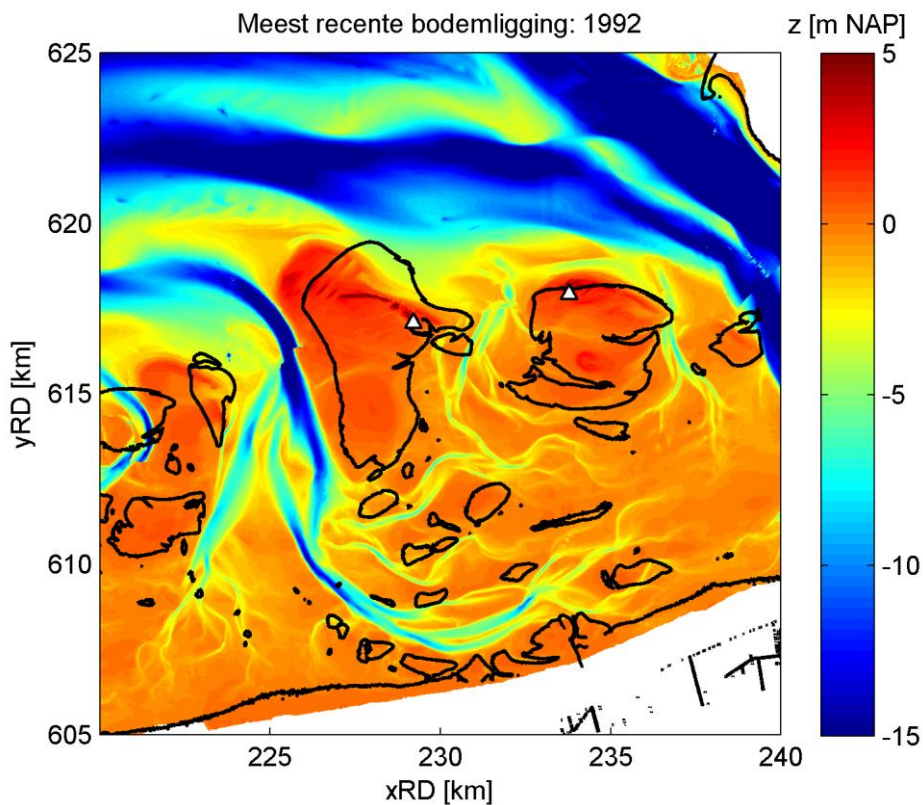
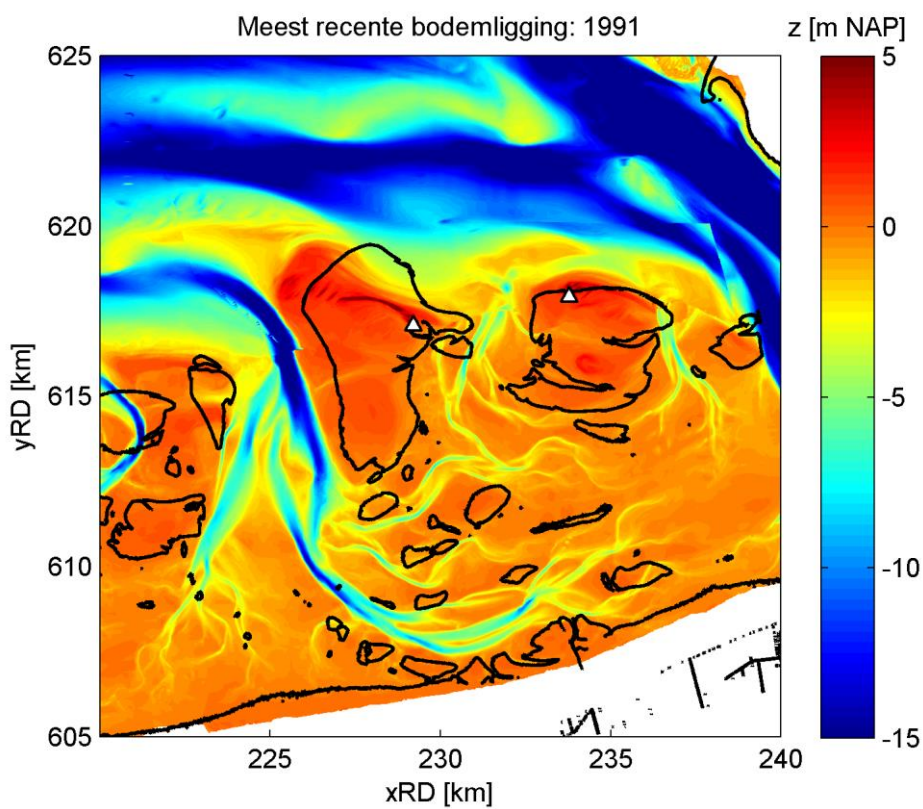
A Bodemsnaphots per jaar

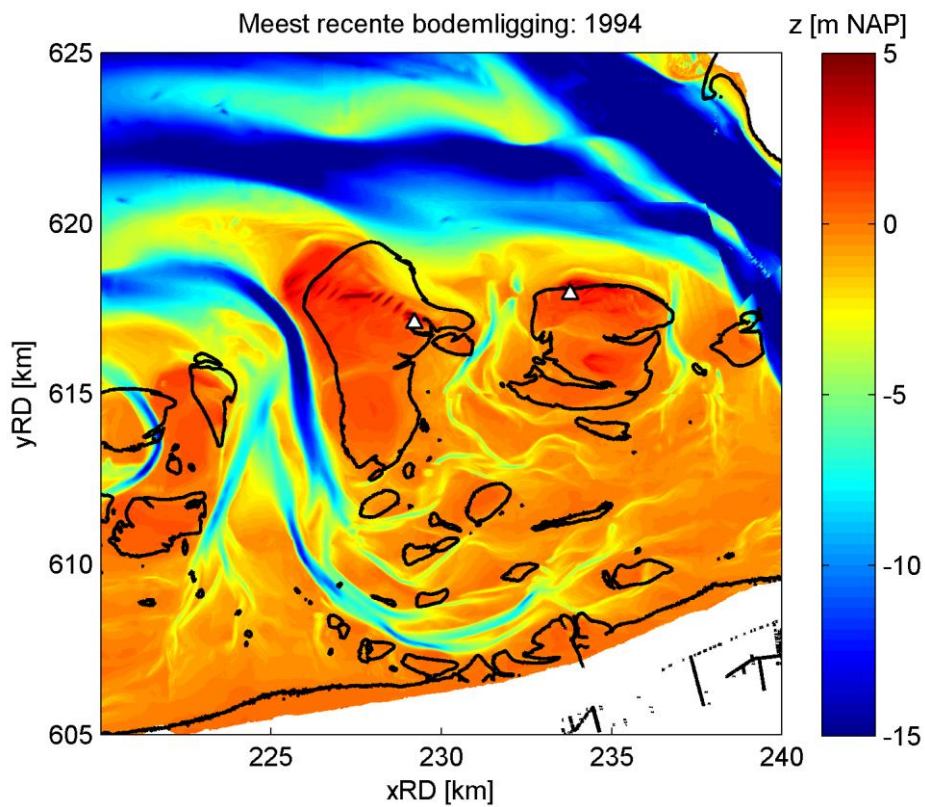
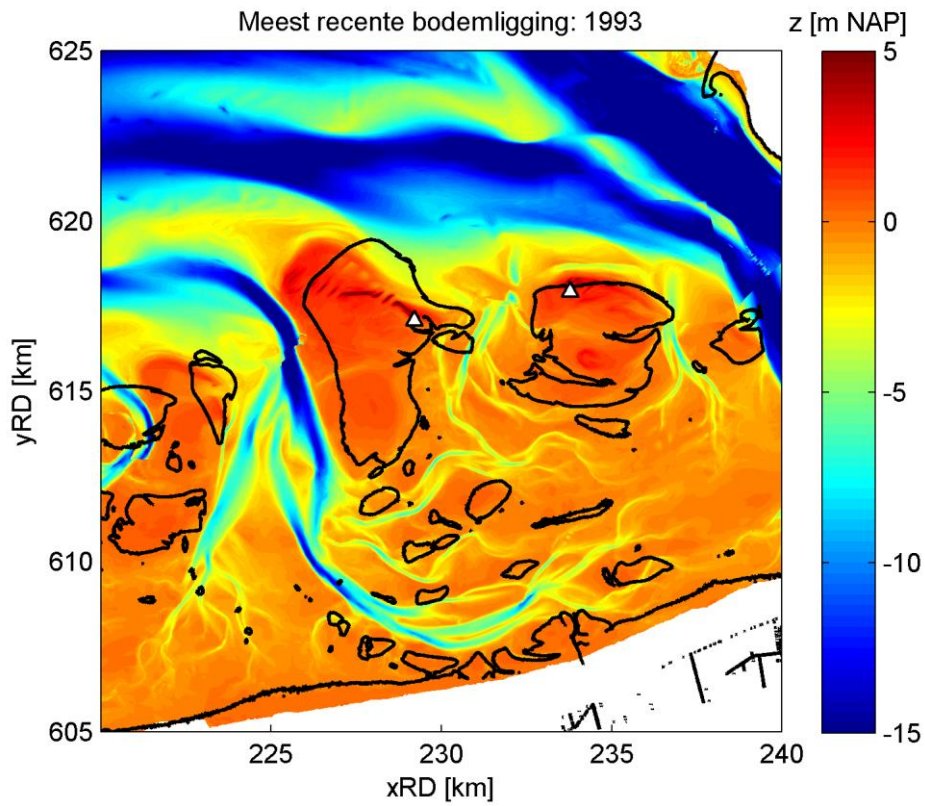


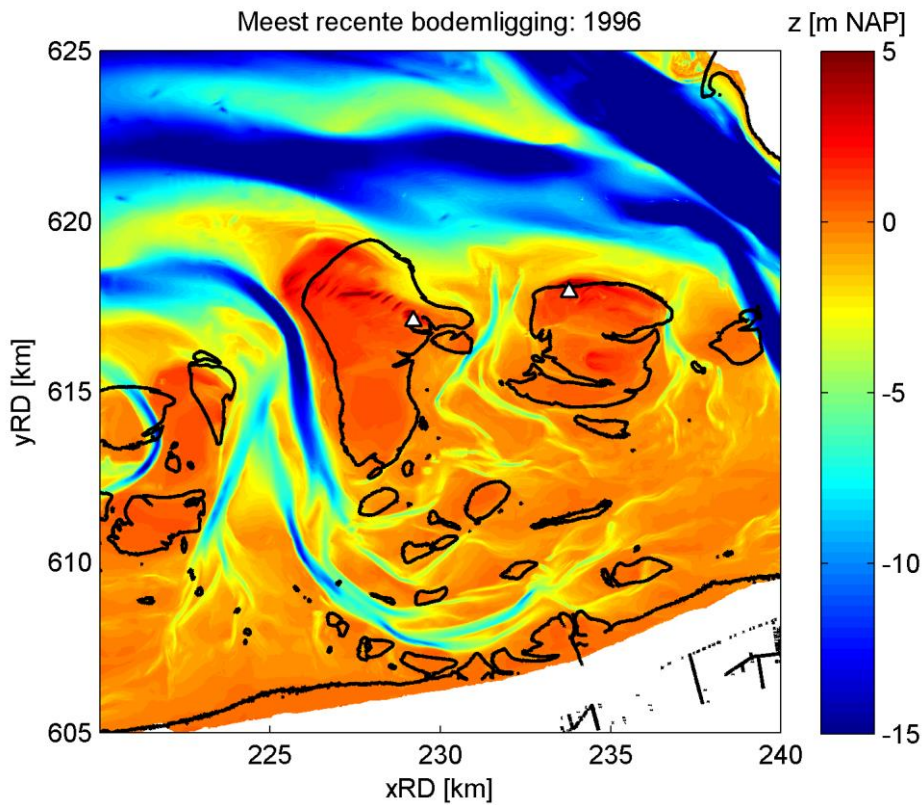
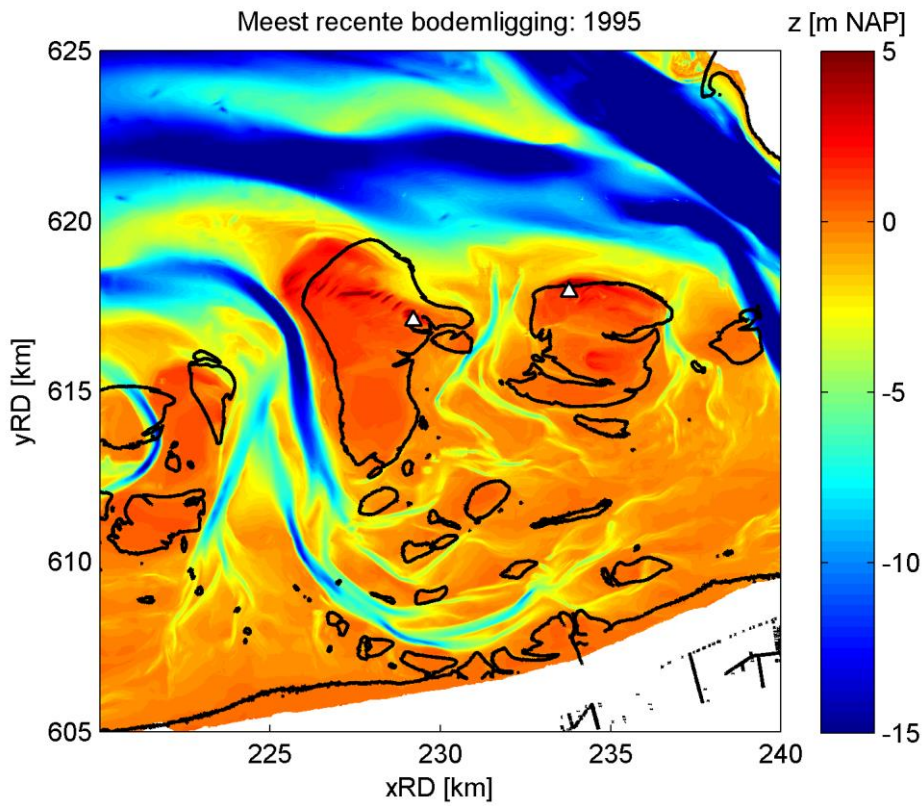


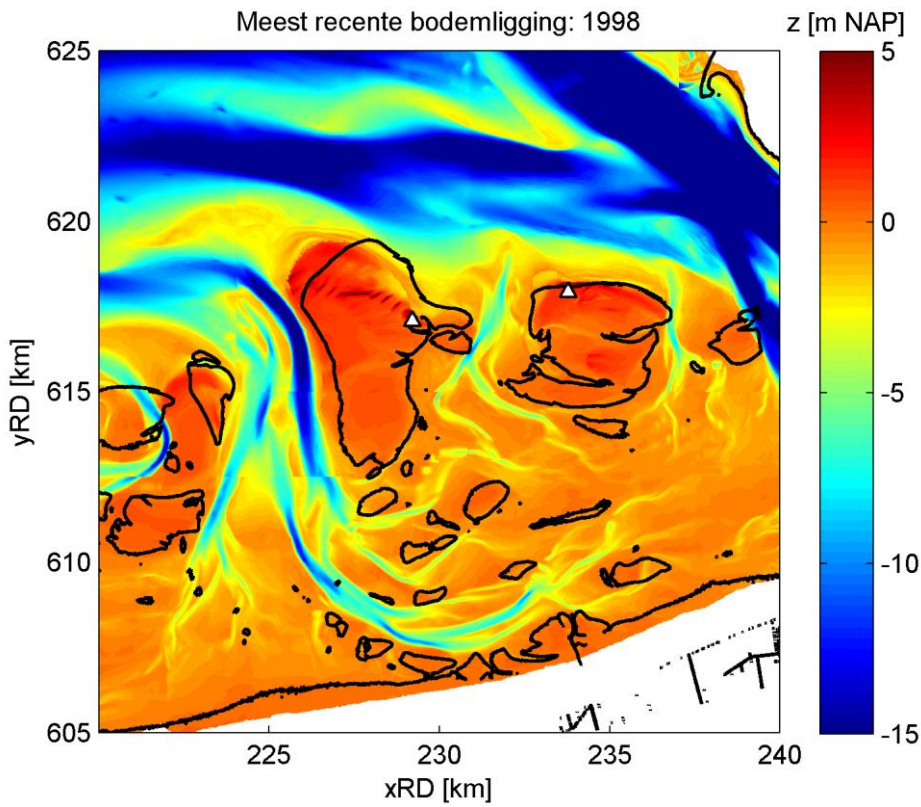
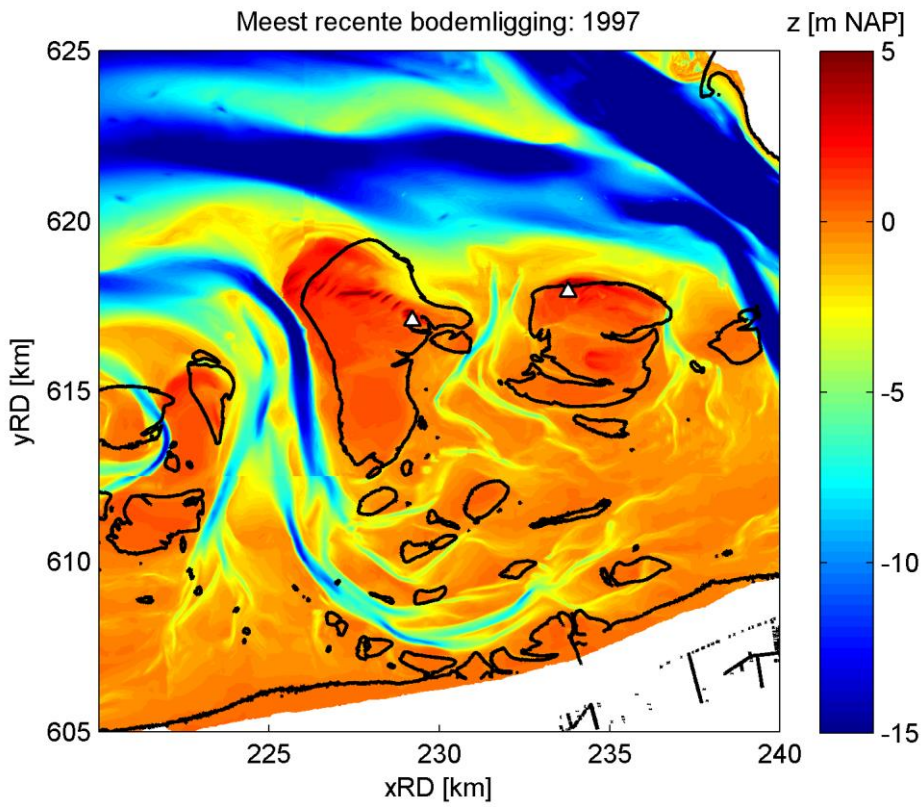


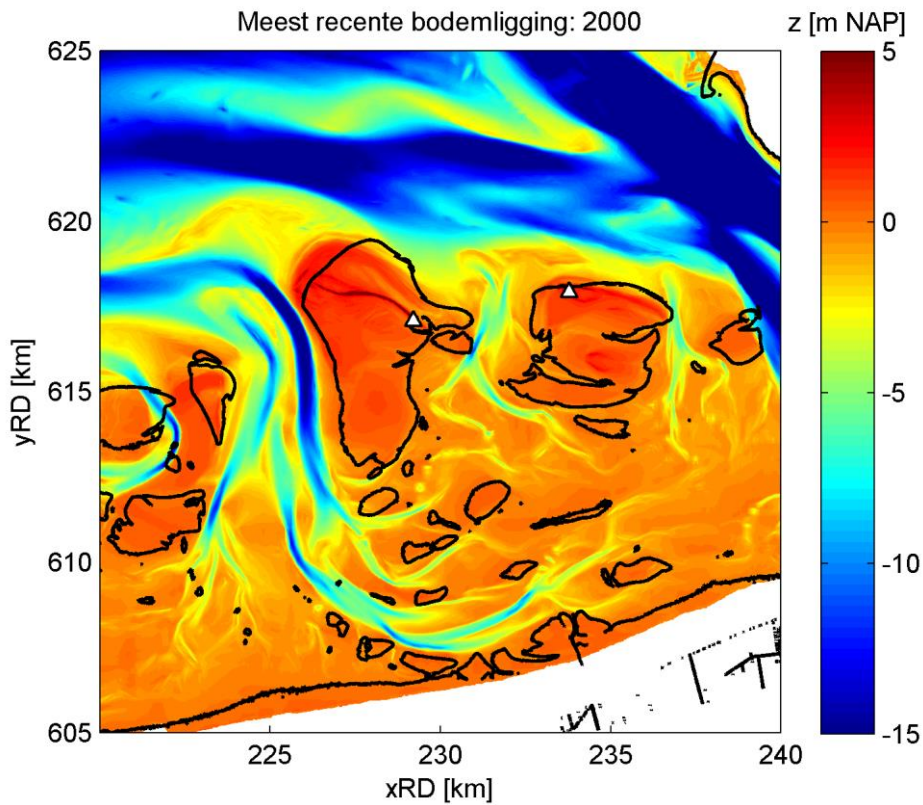
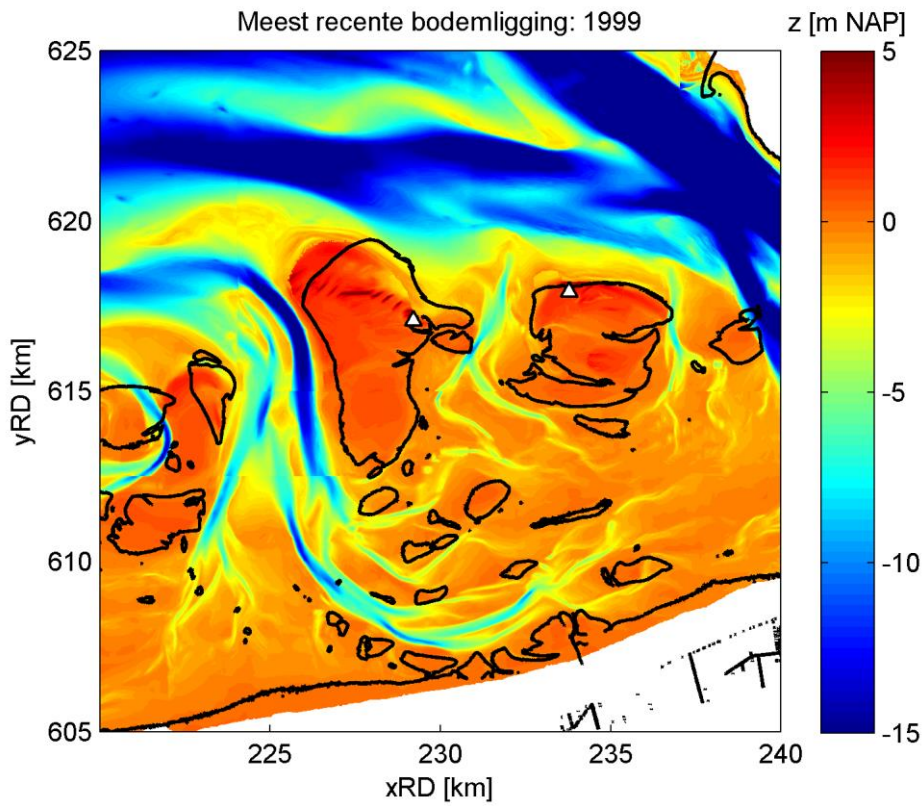


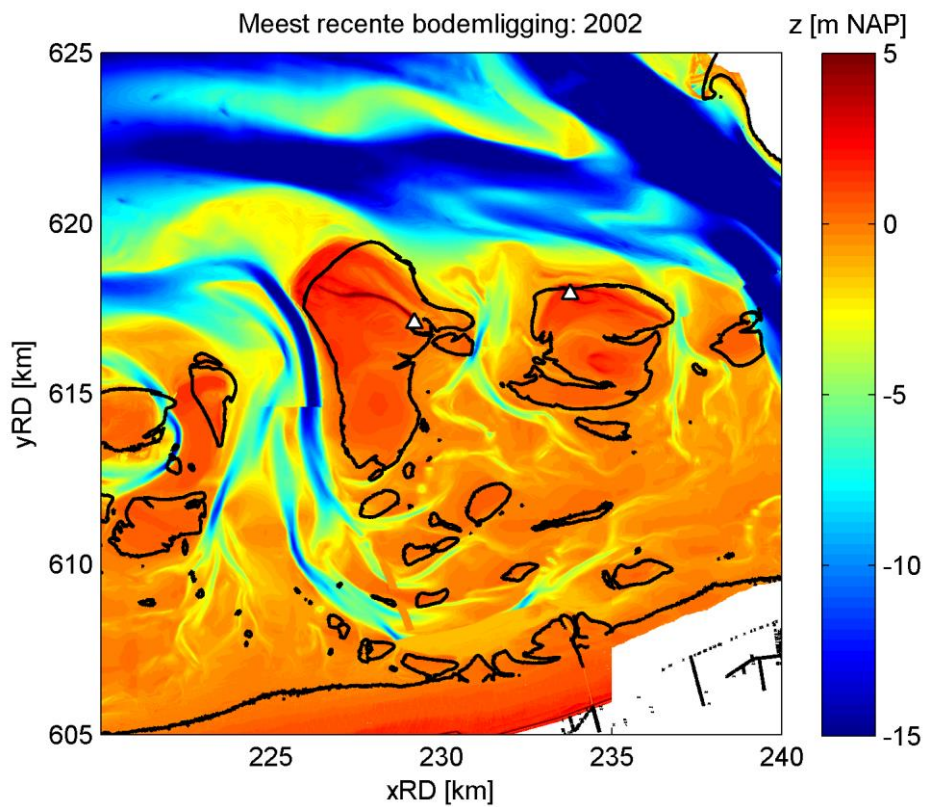
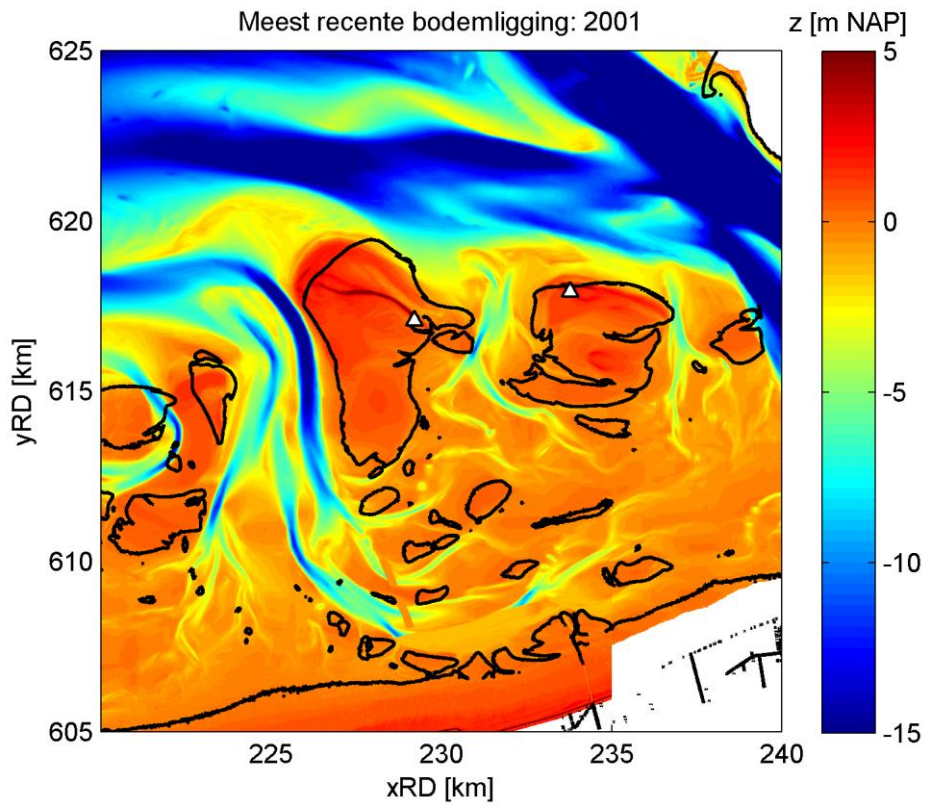


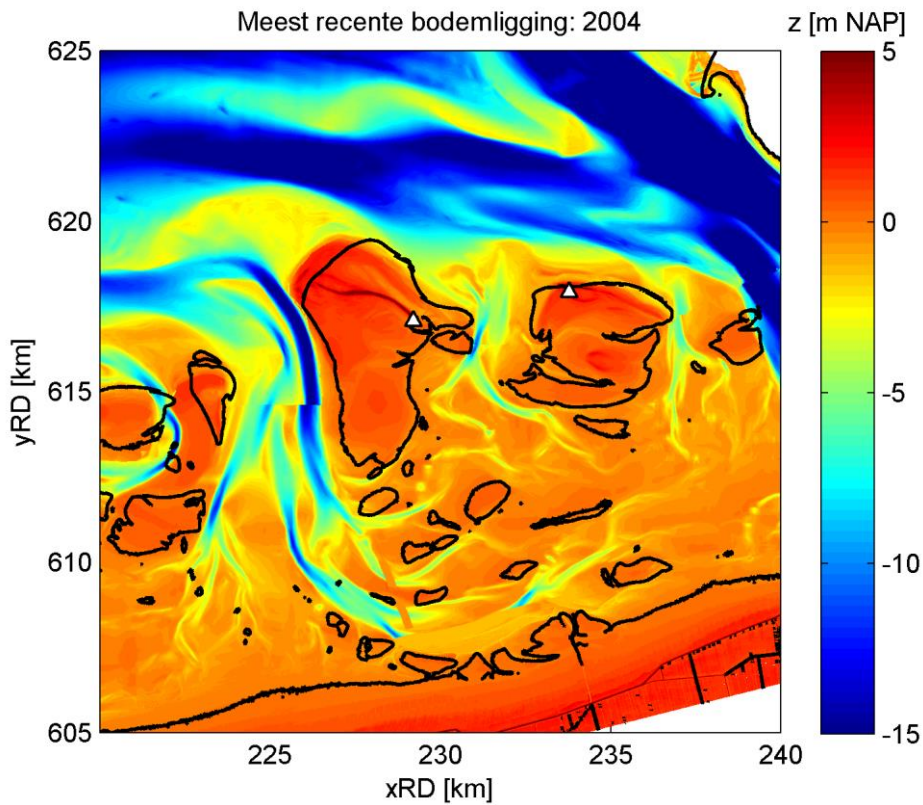
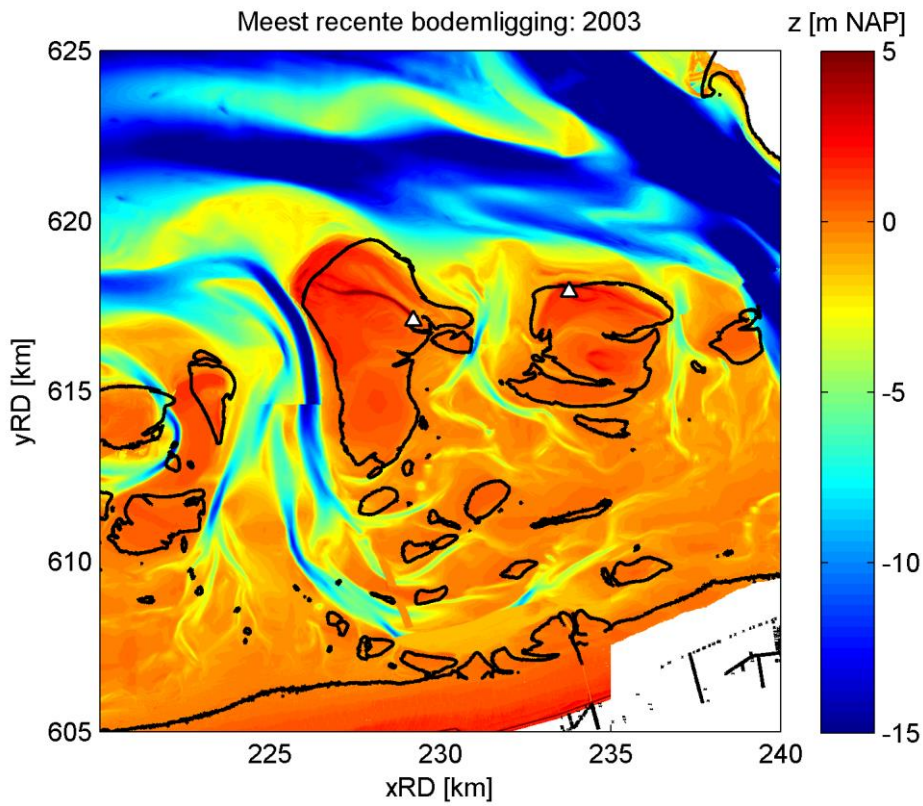


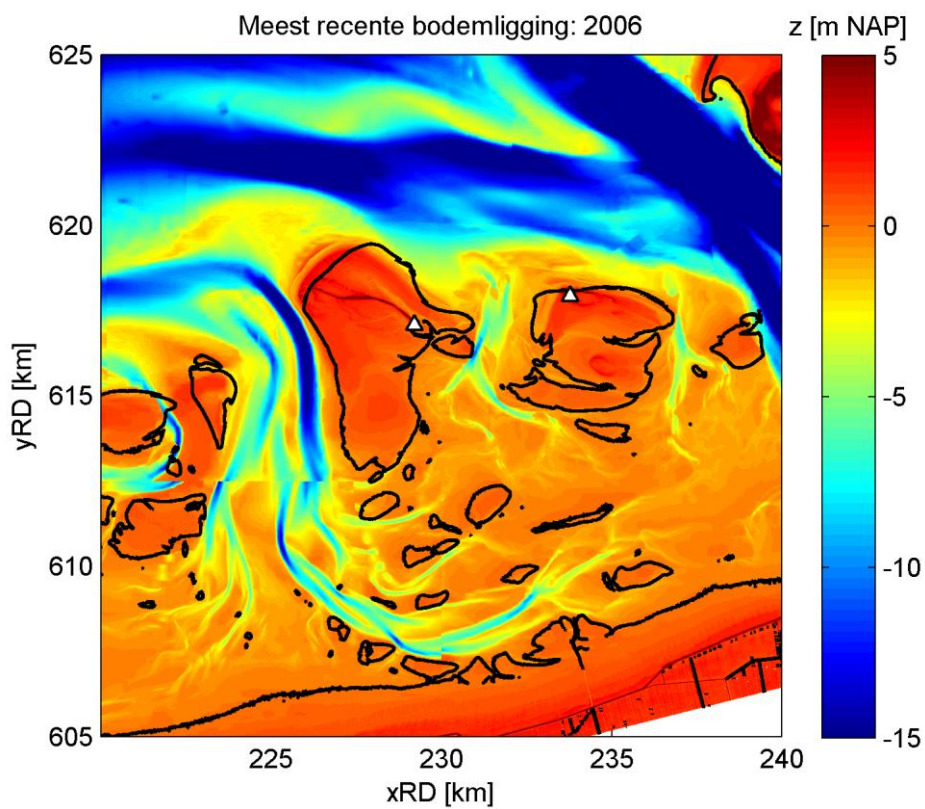
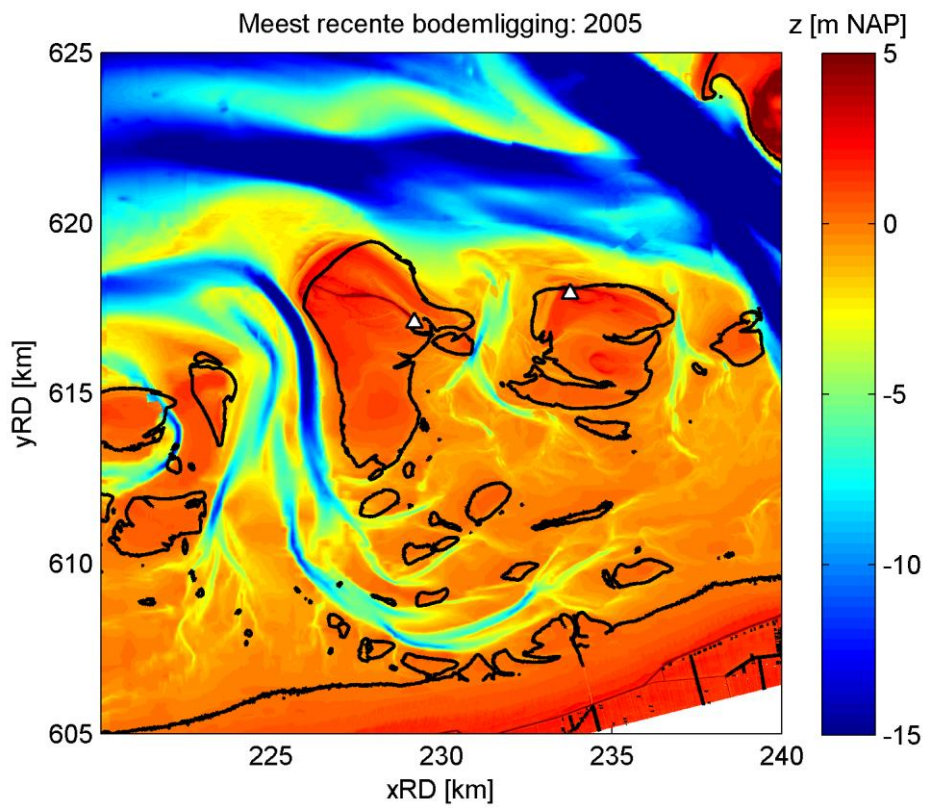


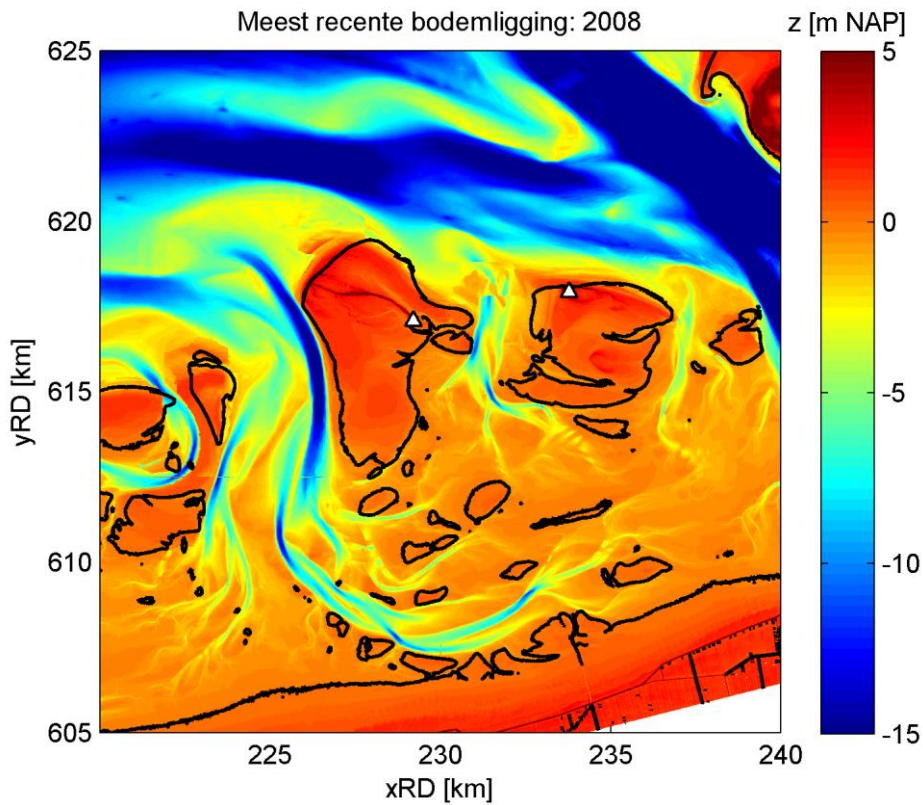
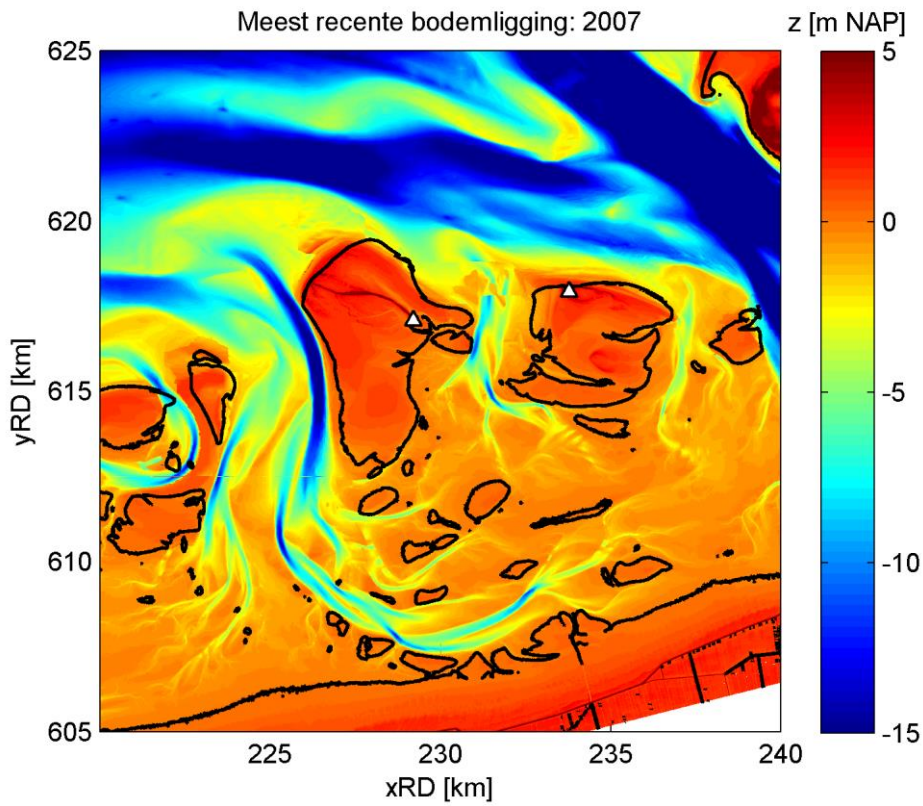


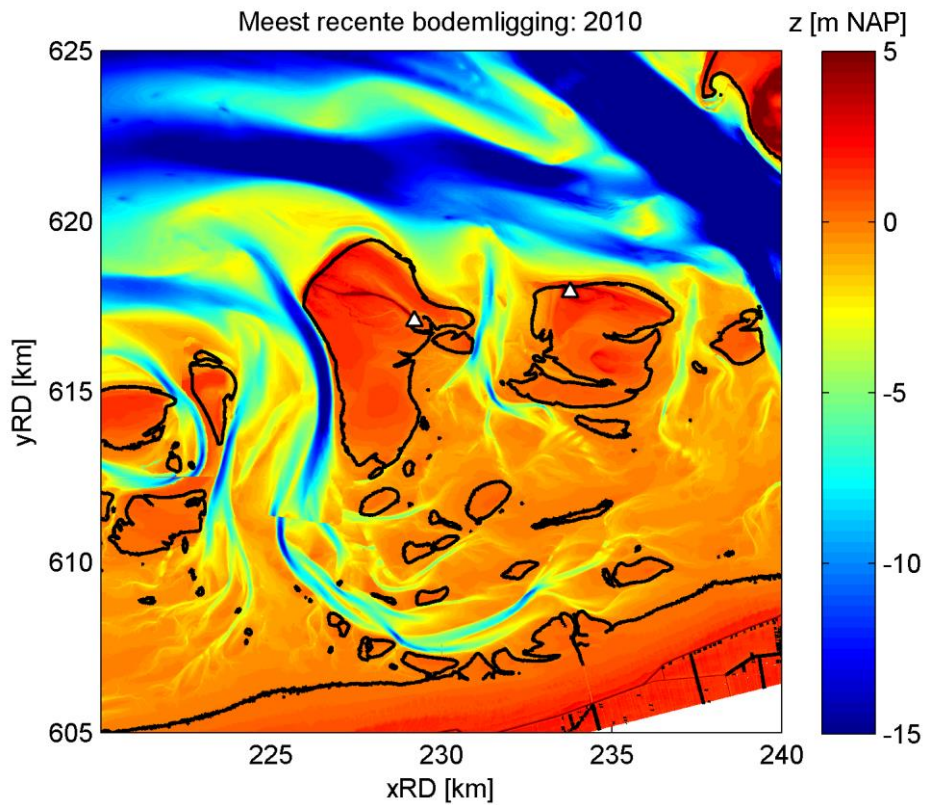
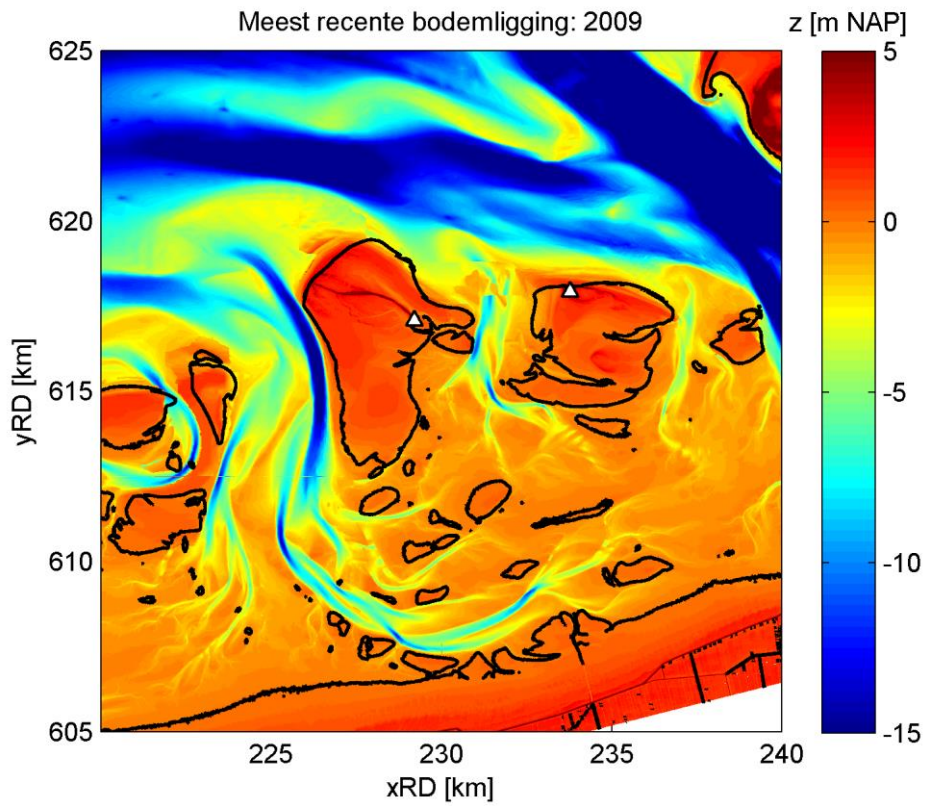


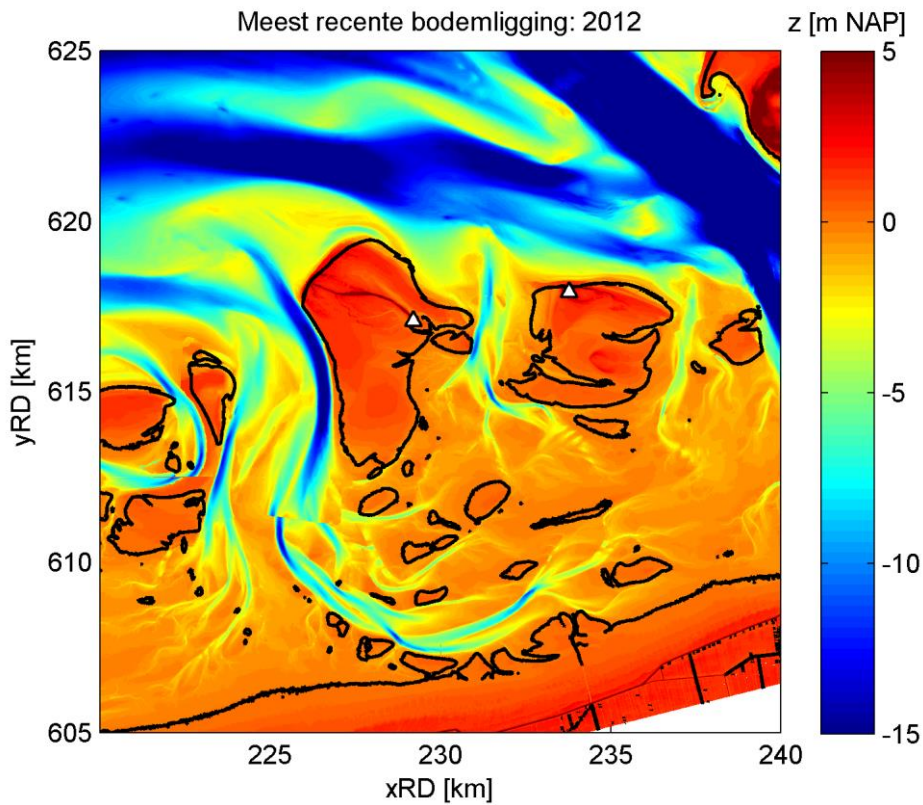
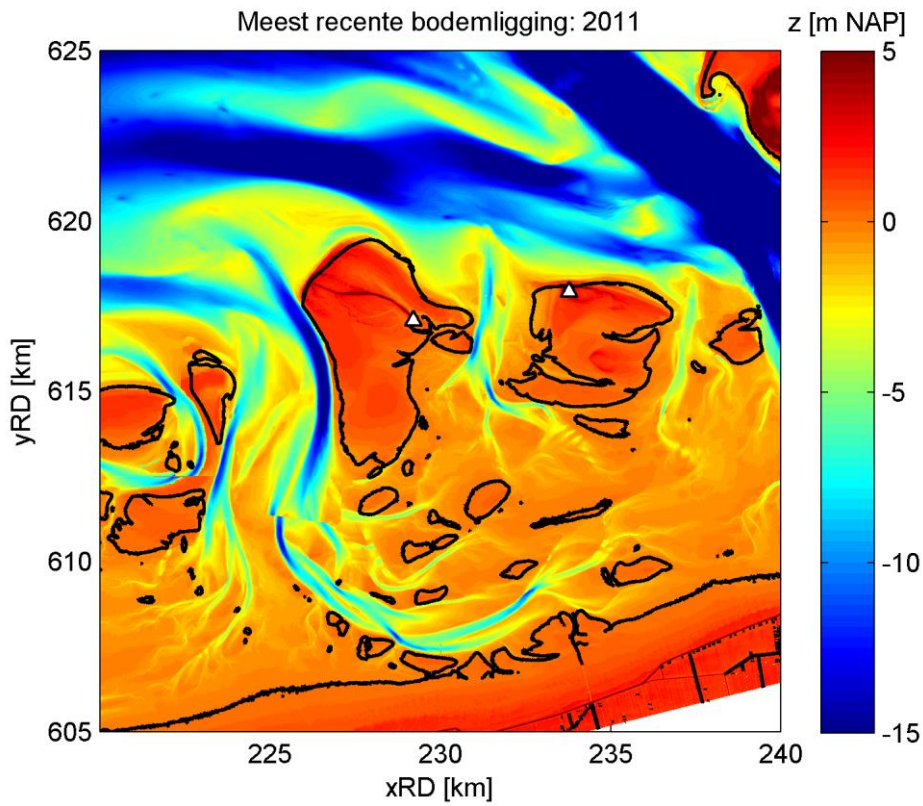


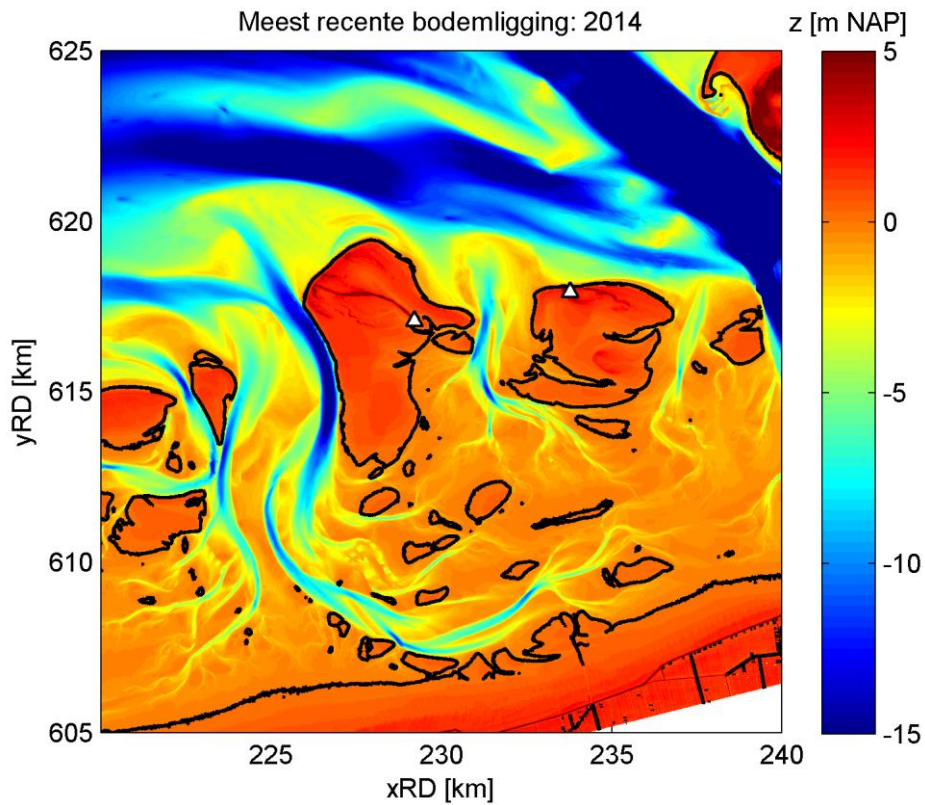
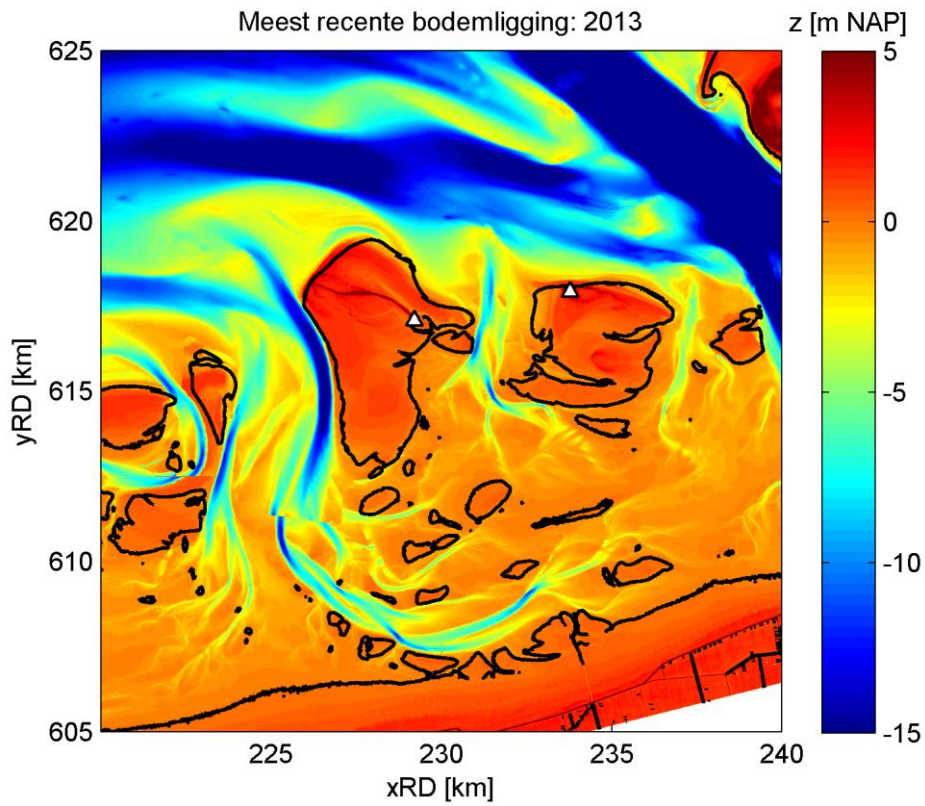






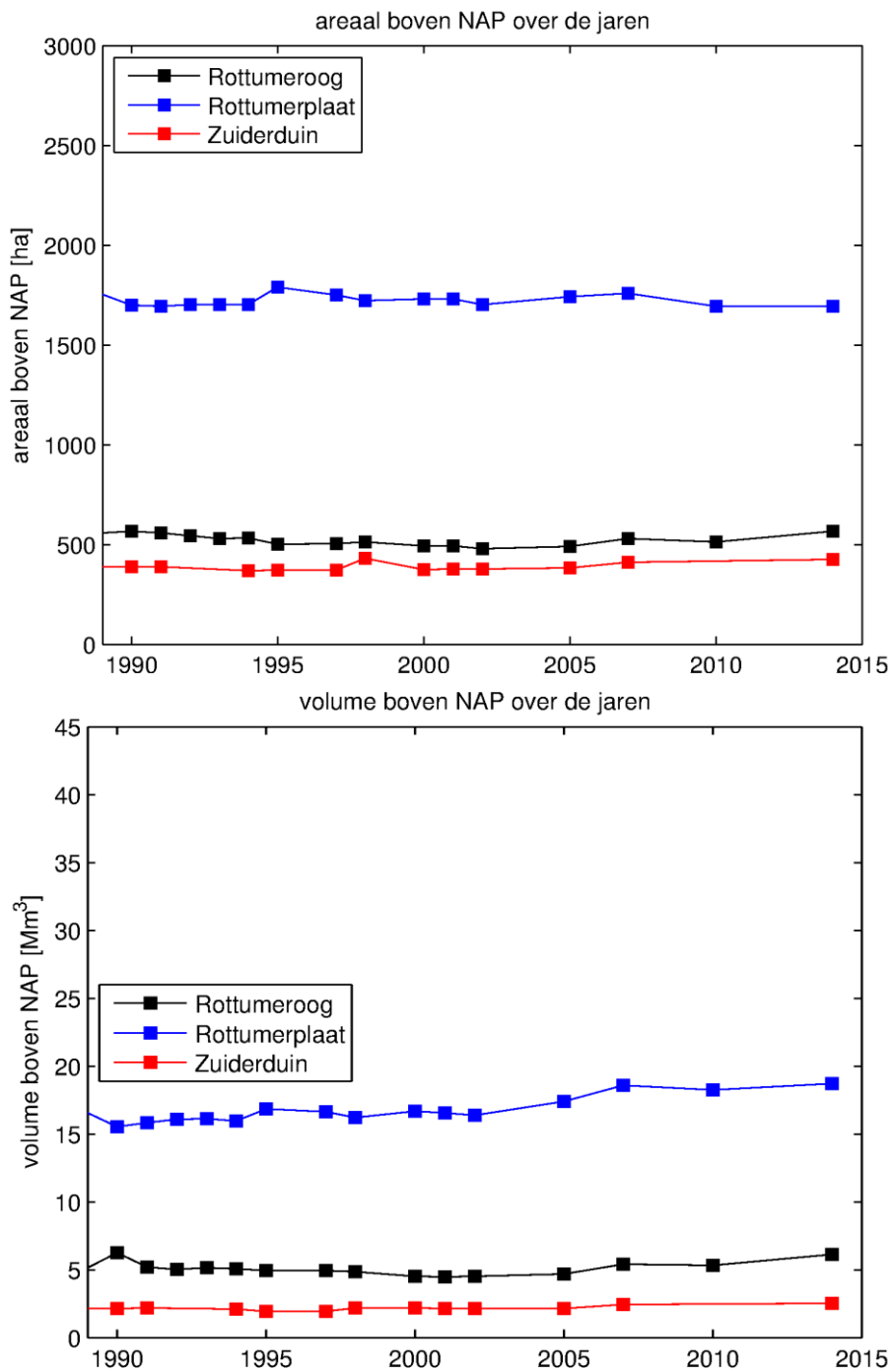




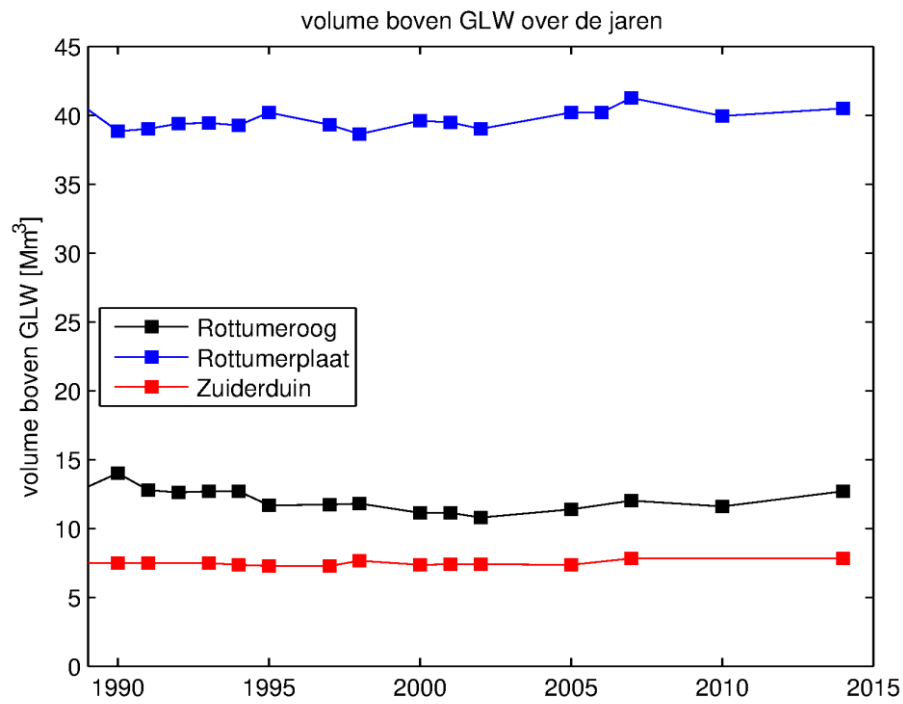
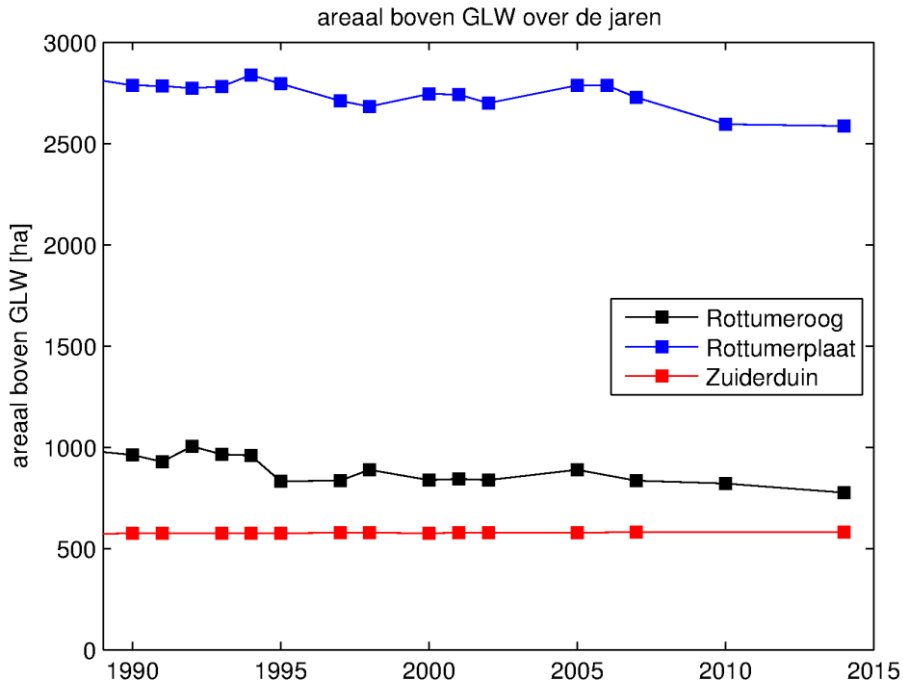


B Absolute veranderingen

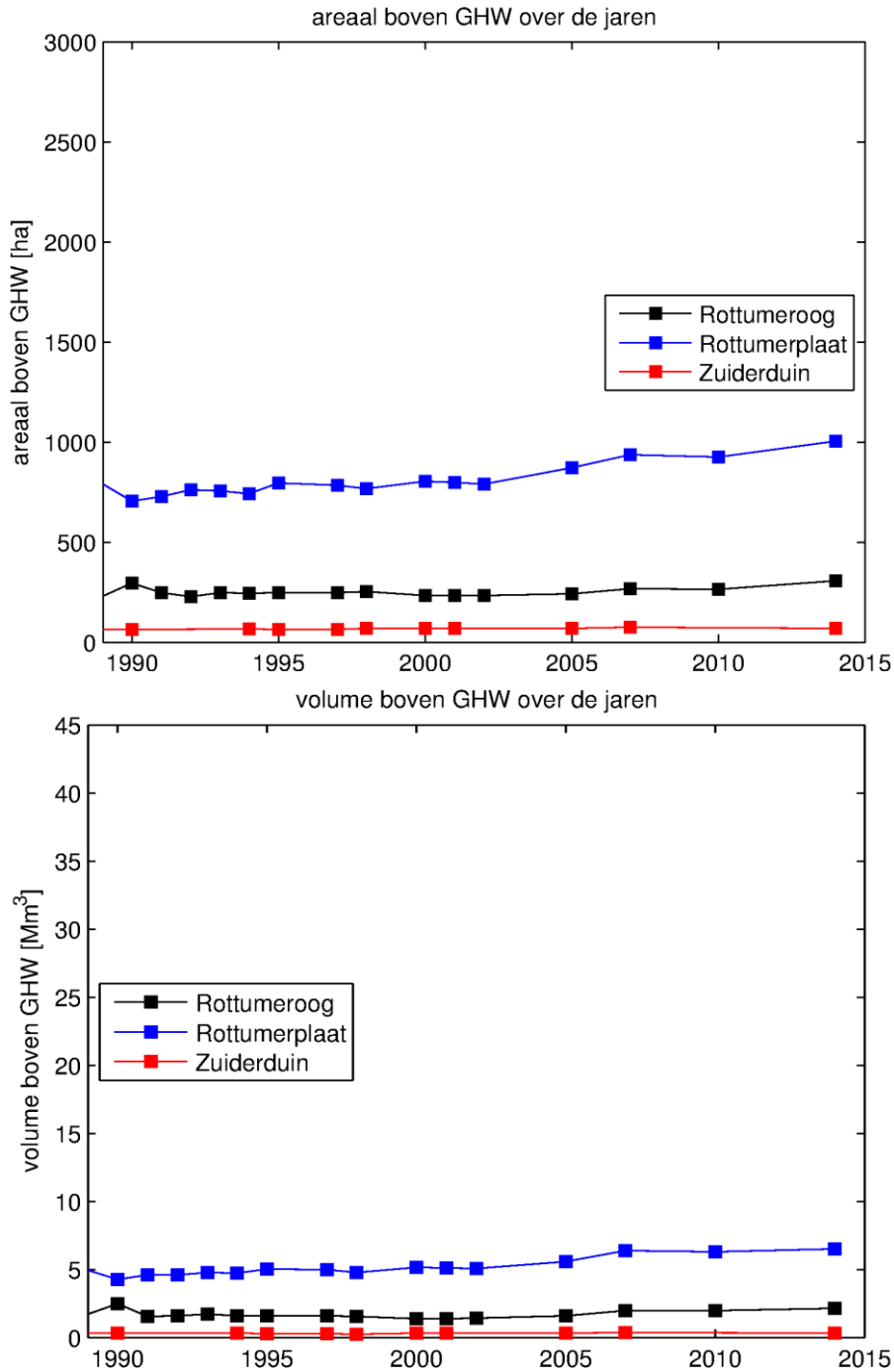
BOVEN NAP



BOVEN GLW



BOVEN GHW



C Cumulatieve sedimentatie / erosie kaarten

