



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Deltares

Enabling Delta Life



Toekomstige Suppletievolumes - Eindrapport



Toekomstige Suppletievolumes - Eindrapport

Ad van der Spek
Edwin Elias
Quirijn Lodder (RWS-WVL)
Rena Hoogland (RWS-WVL)

1208140-005

Titel

Toekomstige Suppletievolumes - Eindrapport

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Project

1208140-005

Kenmerk

1208140-005-ZKS-0001

Pagina's

103

Trefwoorden

Zandsuppletie; kustonderhoud; toekomstige ontwikkeling

Samenvatting

Dit onderzoek is een verkenning van het effect van mogelijke toekomstige morfologische ontwikkelingen aan de kust op de jaarlijkse suppletiebehoefte van de Nederlandse kust. De doelstelling van dit onderzoek is het verkrijgen van inzicht in de effecten van aannemelijke scenario's van kustontwikkeling in de komende eeuw op de functies van de kust, waarbij rekening wordt gehouden met de huidige ontwikkelingen van buitendelta's en de diepere onderwateroever, en een uitbouwend ondiep kustprofiel als gevolg van zandsuppleties sinds 1991. Hiertoe zijn de ontwikkelingen aan de kust over de afgelopen decennia geanalyseerd en geëxtrapoleerd tot 2035. Voor de ontwikkelingen tot 2100 zijn extremere morfologische scenario's toegepast. Daarnaast zijn de effecten van het stijgen van de zeespiegel meegenomen. Ongewenste effecten op de functies van de kust kunnen aanleiding zijn het jaarlijks suppletievolume te verhogen.

Aan de hand van de verwachte ontwikkelingen voor 2035 en 2100 zijn modelbodems vervaardigd waarmee vervolgens initiële transportberekeningen gemaakt zijn. Uit vergelijking van de verkregen jaargemiddelde transportpatronen met de referentiesituatie kan worden afgeleid voor welke locaties de aan- en afvoer van sediment verandert. Op basis hiervan zijn de gevolgen voor een beperkt aantal de functies van de kust (veiligheid, zowel binnendijks als buitendijks, recreatie en areaal) geschat, waarna de benodigde volumina zand om negatieve ontwikkelingen te compenseren zijn bepaald.

De conclusies van het onderzoek zijn dat de effecten van de verwachte morfologische veranderingen tussen nu en 2035 relatief gering zijn, dat er geen aanleiding is om een duidelijk ander erosiepatroon of -volume te verwachten en dat de verwachte morfologische veranderingen geen aanleiding geven voor aanpassing van het huidige jaarlijkse suppletievolume. Berekeningen met een hogere zeespiegel laten grote veranderingen op bij de zeegaten in het Waddengebied zien. De veranderingen over de periode 2035 - 2100 zijn te onnauwkeurig om de effecten precies aan te geven.

De effecten van de verwachte morfologische veranderingen tussen nu en 2035 op de functies van de kust zijn beperkt, al worden er lokaal wel negatieve effecten op de daar aanwezige functies verwacht. Naar schatting is er tussen de 0,15 en 1,0 miljoen kubieke meter zand per jaar nodig om deze effecten te compenseren. Het grootste deel van deze verhoging treedt op bij de berekeningen met de verhoogde zeespiegel. Wanneer ook het zandvolume voor het onderhoud van de zeewaarts versterkte Zwakke Schakels en Maasvlakte 2 meegenomen wordt zal er in 2035 naar verwachting tussen 0,85 en 3,0 miljoen kubieke meter zand per jaar extra nodig zijn. Hierin is extra zandbehoefte door bodemdaling niet meegenomen. Dit volume kan waarschijnlijk binnen het huidige suppletievolume worden ingepast. Het resulteert in meer overschrijdingen van de basiskustlijn welke gecompenseerd zullen moeten gaan worden, waardoor er minder zand overblijft dat ingezet kan worden voor het meegroeien van het kustfundament. Een toename van het aantal suppleties om overschrijdingen van de basiskustlijn te compenseren zal mogelijk gepaard gaan met hogere kosten voor het kustonderhoud (meer strandsuppleties en/of frequenter suppleren).

Titel
Toekomstige Suppletievolumes - Eindrapport

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Project 1208140-005
Kenmerk 1208140-005-ZKS-0001
Pagina's 103

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	apr. 2015	Ad van der Spek		Dirk Jan Walstra		Frank Hoozemans	
		Edwin Elias					
		Quirijn Lodder (RWS-WVL)					
		Rena Hoogland (RWS-WVL)					

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding, vraagstelling en doelstelling	1
1.2 Opzet en fasering van het onderzoek	1
1.3 Activiteiten per onderzoeksfase	2
1.4 Bijdragen aan het project	4
1.5 Leeswijzer	4
2 Beschrijving recente ontwikkelingen en huidige toestand van de kust	5
2.1 Zeegaten en buitendelta's	6
2.1.1 Zeegaten	6
2.1.2 Buitendelta's	6
2.1.3 Gezamenlijke ontwikkeling van zeegaten en buitendelta's	7
2.1.4 Ontwikkeling zeegaten en buitendelta's in Waddengebied	9
2.1.5 Ontwikkelingen zeegaten Deltagebied en Voordelta	17
2.2 Eilanden	25
2.2.1 Waddeneilanden	25
2.2.2 Eilanden Deltagebied	26
2.3 Hollandse kust	27
2.4 Zeespiegelstijging en bodemdaling	29
3 De morfologische ontwikkelingen in de komende eeuw en de morfologische situatie in 2035 en 2100	33
3.1 Buitendelta's en zeegaten Waddenzee	34
3.1.1 Buitendelta's en zeegaten Waddengebied in 2035	34
3.2 Buitendelta's en zeegaten Deltagebied; de Voordelta	43
3.2.1 De mondingen van Haringvliet en Grevelingen in 2035 en 2100	43
3.2.2 De monding van Oosterschelde en Westerschelde in 2035 en 2100	44
3.3 Eilandkusten	50
3.3.1 Kust Waddeneilanden	50
3.3.2 Kust eilanden in de Delta	51
3.4 Ontwikkeling van de Hollandse kust	52
3.4.1 Huidige ontwikkelingen langs de Hollandse kust	52
3.4.2 Morfologische toestand van de Hollandse kust in 2035 en 2100	52
4 Modellsimulaties	55
4.1 Zeespiegelstijging en bodemdaling	56
4.1.1 De zeespiegel in 2035	57
4.1.2 De zeespiegel in 2100	57
4.1.3 Effect van zeespiegelstijging op de Waddenzee	57
5 Resultaten simulaties	59
5.1 Sedimenttransporten Waddenzee 2035 en 2100	59
5.2 Sedimenttransporten Deltagebied 2035 en 2100	68
5.3 Hollandse kust	74
5.4 Resultaten zeespiegelstijging Waddenzee	75
5.5 Resultaten morfologie zeegaten en buitendelta's in 2035 en 2100 op duinafslag	76

6	Effecten morfologische ontwikkelingen op het functioneren van de kust	79
6.1	Vertaling modelsimulaties naar functioneren van de kust	79
6.1.1	Vertaling modelberekeningen naar potentiële erosie of sedimentatie	79
6.1.2	Vertaling potentiële erosie of sedimentatie naar effecten op functies	80
6.1.3	Inschatten extra volume suppletiezand ter compensatie van negatieve effecten	81
6.2	Resultaten langetermijneffecten voor de functies van de kust	81
6.2.1	Resultaten toegepaste morfologische kustscenario's op hoofdlijnen	81
6.2.2	Resultaten kwalitatieve inschatting langetermijneffecten op functies van de kust	82
6.2.3	Resultaten inschatting effecten op functie Binnendijkse Veiligheid	82
6.2.4	Nadere beschouwing voor enkele zeegaten	87
6.3	Resultaten schatting extra volume suppletiezand	91
7	Conclusies, discussie en aanbevelingen	93
7.1	Conclusies	93
7.2	Discussie	94
7.3	Aanbevelingen	95
8	Referenties	97

Bijlage(n)

A	Volumeveranderingen kust, buitendelta's en bekkens Waddengebied 1935-2005	A-1
B	Totaaloverzicht van volumeveranderingen en suppletievolumes Voordelta 1965-2010	B-1
C	Berekende volumetoename door bodemdaling in de Waddenzee bij Ameland 2007-2037	C-1
D	Verschilplaatjes transportvectorvelden 2012, 2035 en 2100 zeegaten Waddenzee	D-1
E	Verschil in potentiële erosie of sedimentatie per kustcel, in 2035 en 2100	E-18
F	Berekening extra zandvolume zeewaarts versterkte Zwakke Schakels	F-31

1 Inleiding

1.1 Aanleiding, vraagstelling en doelstelling

Rijkswaterstaat brengt jaarlijks gemiddeld 12 miljoen m³ zand aan voor het dynamisch handhaven van de Nederlandse kust. Op termijn zal dit jaarlijkse suppletievolume wellicht verhoogd moeten worden om de effecten van versnelde zeespiegelstijging en de zandhonger van onder andere de Waddenzee op te vangen. Om een inschatting te kunnen maken van de timing en de omvang van deze eventuele verhoging, moet de langetermijnontwikkeling van de kust, en de effecten hiervan op de functies van de kust in beeld gebracht worden.

De centrale vraagstelling van deze studie is: Welk suppletievolume met welke ruimtelijke verdeelsleutel is op welke termijn nodig om de functies van de kust duurzaam te behouden?

Dit onderzoek verkent deze vraagstelling. De doelstelling van dit onderzoek is het verkrijgen van inzicht in de effecten van relevante, aannemelijke scenario's van kustontwikkeling in de komende eeuw op de functies van de kust. Hierbij wordt gevraagd mogelijke ontwikkelingen aan de kust te beschouwen, uitgaand van de huidige ontwikkeling van buitendelta's, inclusief getijgeulen, de diepere onderwateroever en een uitbouwend ondiep kustprofiel als gevolg van zandsuppleties sinds 1991. Het gaat hierbij om het verkennen van de variatie in de mogelijke veranderingen en het identificeren van de verwachte effecten van deze mogelijke veranderingen op de functies van de kust, niet om het vaststellen van het meest waarschijnlijke scenario.

1.2 Opzet en fasering van het onderzoek

Bij voortzetting van de huidige wijze van kustonderhoud voorziet Rijkswaterstaat de volgende, deels autonome langetermijnontwikkelingen:

- De buitendelta's zeewaarts van de zeegaten nemen af in oppervlak en volume,
- Getijgeulen in de zeegaten dringen op naar de kust,
- Het strand en de duinvoet langs grote delen van de kust bouwen zeewaarts uit als gevolg van zandsuppleties,
- Het profiel van de Hollandse kust wordt steiler door erosie van, of non-depositie op de diepe onderwateroever (dieper dan ca. 8 m onder zeeniveau) en het zeewaarts uitbouwen van de ondiepe onderwateroever ten gevolge van zandsuppleties, en
- De zeespiegel stijgt.

Voor het kustbeleid is het van belang voor elk van deze ontwikkelingen, zowel apart als cumulatief, een inschatting te kunnen maken van de langetermijneffecten op de kust. Naast de fysische effecten op de kust zijn vooral de effecten op de functies van de kust (zoals bijvoorbeeld recreatie en bescherming tegen overstroming vanuit zee) en de bijbehorende risico's van belang. Indien de effecten van dien aard zijn dat ze beleidsmatig onwenselijk worden geacht, is het van belang om te weten welke maatregelen er genomen kunnen worden om deze effecten op te heffen of te compenseren. Het voor deze maatregelen benodigde extra volume suppletiezand en de eventuele aanpassing van dit extra volume door de tijd moeten dan eveneens globaal in beeld gebracht worden. Een berekening van de kosten van deze maatregelen (in euro's) maakt geen onderdeel uit van deze studie.

Aanpak

Om te komen tot het in de doelstelling genoemde inzicht volgen we de volgende aanpak:

Stap 1; Kwalitatief inschatten van de gevolgen van de hierboven geschetste, deels autonome ontwikkeling van de kust in de komende eeuw bij voortzetting van de huidige suppletiepraktijk. Opstellen van hypothesen omtrent morfologische veranderingen in de komende eeuw,

Stap 2; Vaststellen van de effecten van de verwachte morfologische veranderingen in de komende eeuw op de waterbeweging en sedimenttransporten aan de hand van numerieke modelsimulaties,

Stap 3; Vaststellen van de gevolgen van deze langetermijneffecten voor de functies van de kust, en

Stap 4; Inschatten van het benodigde extra volume suppletiezand om eventuele negatieve effecten tegen te gaan.

1.3 Activiteiten per onderzoeksfase

In het project zijn de volgende stappen uitgevoerd:

1. Hypothesevorming langetermijnontwikkeling kust

De gevolgen op korte en langere termijn van de veranderingen in de buitendelta's, de zeegaten, het kustprofiel en het gemiddeld zeeniveau kunnen beredeneerd worden op basis van wat bekend is over het gedrag van het kuststelsel, onder andere aan de hand van de analyse van de ontwikkelingen in de afgelopen decennia. Aldus zijn hypothesen opgesteld worden over de toekomstige ontwikkelingen en hun impact.

2. Effecten van morfologische veranderingen op waterbeweging en sedimenttransport

De eerste stap in het kwantificeren van de effecten van de morfologische ontwikkeling van de kust is het maken van een aantal karakteristieke modelbodems voor toekomstige situaties. Op basis van extrapolatie van de ontwikkelingen vanaf het begin van de huidige suppletiepraktijk in 1991 is een beeld gevormd van de morfologie van de kust over 20 jaar. Op deze manier zijn modelbodems voor de situatie bij de zeegaten samengesteld (bodem 2035).

Voor de morfologische situatie over 100 jaar zijn op basis van een aantal aannemelijke morfologische ontwikkelingsscenario's modelbodems voor de zeegaten in 2100 samengesteld (bodem 2100). De te onderzoeken "100 jaar"-scenario's zijn gebaseerd op combinaties van de eerder vermelde (mogelijke) ontwikkelingen. Daarbij zijn we uitgegaan van:

- 1 Buitendelta's: kleiner in omvang en/of lager;
- 2 Kustprofiel: het diepe deel van de onderwateroever is dieper geworden ten gevolge van erosie en zeespiegelstijging, het ondiepe deel van de onderwateroever is ondieper geworden als gevolg van suppleties in de BKL-zone;
- 3 Getijdegeulen: inschatting van het voor geulwandsuppleties benodigde zandvolume;
- 4 Getijdebekken: de afvoer van zand uit de kustzone naar de getijdebekken en estuaria is maximaal als gevolg van zeespiegelstijging en de effecten van (vroegere) ingrepen.

Vervolgens is op basis van een beperkt aantal numerieke 2D-simulaties met een gekoppeld waterbewegings- en sedimenttransportmodel (Delft3D-SWAN), met modelbodems gebaseerd op (1) de huidige situatie, (2) de verwachte situatie over 20 jaar (bodem 2035) en (3) bodems samengesteld voor de morfologische situatie over 100 jaar (bodem 2100), een analyse

gemaakt van de veranderingen in de patronen van sedimenttransport veroorzaakt door die bodemveranderingen en door zeespiegelstijging. Hierbij werken we met bestaande deelmodellen voor de Wadden, de Hollandse kust, het noordelijk Deltagebied en het zuidelijk Deltagebied, om de relevante morfologische ontwikkeling per deelgebied te adresseren.

Aan de hand van deze bodems zijn initiële berekeningen van de waterbeweging en sedimenttransporten langs de kust gemaakt. Uit vergelijking van de sedimenttransportpatronen voor de huidige situatie, de geëxtrapoleerde situatie in 2035 en de scenario's voor 2100, kunnen de effecten van de voorziene morfologische ontwikkeling van de bodem op de sedimenttransportpatronen afgeleid worden. Vergelijking van de sedimenttransportpatronen geeft een indicatie van de te verwachten veranderingen in zowel locatie als grootte van sedimentatie en erosie langs de kust. In het licht van de doelstelling van dit project zijn geen gedetailleerde berekeningen van de bodemveranderingen gemaakt. Daar de interesse primair ligt bij de verschillen tussen de te simuleren morfologische situaties van de kust is geen modelcalibratie uitgevoerd. Het is voor dit project niet van belang of de huidige situatie maximaal is afgeregeld op de beschikbare informatie. De standaardmodellen zijn goed in staat de huidige hydrodynamica te reproduceren.

Tevens zijn de effecten van de mogelijke morfologische situaties op de belasting van duinen en waterkeringen onder maatgevende condities beschouwd.

3. Effecten langetermijnontwikkeling op functies kust

Aan de hand van de verschillen in sedimenttransportpatronen voor de morfologische toekomstvarianten zijn de veranderingen in zowel locatie als grootte van sedimentatie en erosie langs de kust vastgesteld. Op basis hiervan zijn effecten van de voorspelde ontwikkelingen op een aantal functies van de kust kwalitatief bepaald. De volgende functies zijn beschouwd:

- ✓ Veiligheid binnendijks (bij harde keringen en smalle duinregels),
- ✓ Veiligheid buitendijks (bij bebouwing),
- ✓ Recreatie, met name badstranden, en
- ✓ Behoud van areaal, in het bijzonder voor functies zoals natuur en drinkwaterwinning.

De effecten zijn worden aangegeven in een tabel door middel van een eenvoudige scoring: positief (+), negatief (-) of geen effect (0), ten opzichte van de huidige situatie.

4. Inschatten extra volume suppletiezand

In het geval van negatieve effecten (erosie en verhoogde belasting op de waterkeringen) moet een schatting gemaakt worden van het extra volume zand dat nodig is om ongewenste ontwikkelingen tegen te gaan. De inschatting van het benodigde extra suppletievolume en de eventuele bandbreedte van dit volume, is gemaakt op basis van expert-judgement interpretatie van de resultaten van de uitgevoerde modelsimulaties. Hierbij is gebruik gemaakt van de kennis, expertise en ervaring welke opgebouwd zijn in het onderzoek in het kader van KPP-programma Beheer en Onderhoud Kust dat Deltares in samenwerking met Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving uitvoert.

Naast de grootte van een eventueel extra suppletievolume is het ook zaak vast te stellen wanneer dit extra volume nodig is. De voorgestelde modelberekeningen beslaan een tweetal momenten in toekomst ('2035', '2100'). Hiermee ligt ook de fasering in de tijd van de impact van de voorspelde ontwikkelingen vast: (1) vóór '2035', (2) tussen '2035' en '2100', of (3) na '2100' (dat laatste kan betekenen over minstens een eeuw of misschien nog wel veel langer).

In de praktijk zal het zaak zijn om de morfologische ontwikkeling te monitoren om te kunnen beoordelen of het moment van extra suppleren is aangebroken. Op basis van de in deze studie verzamelde inzichten worden suggesties gedaan voor een monitoringsstrategie (wat, waar en wanneer te meten?) en de te hanteren criteria ter beoordeling van de ontwikkelingen.

1.4 Bijdragen aan het project

De auteurs (in alfabetische volgorde) hebben aan de volgende onderdelen van het project bijgedragen:

Edwin Elias:	opzet van project, analyse morfologische ontwikkelingen, schematisatie modelbodems voor 2035 en 2100, interpretatie modelresultaten, (deel)rapportage;
Rena Hoogland:	vertaling transportpatronen naar effecten op functies, conclusies en aanbevelingen, (deel)rapportage;
Quirijn Lodder:	opzet en aanpak van project, analyse morfologische ontwikkelingen, vertaling transportpatronen naar effecten op functies, conclusies en aanbevelingen,(deel) rapportage;
Ad van der Spek:	opzet van project, projectleiding, analyse morfologische ontwikkelingen, interpretatie modelresultaten, vertaling transportpatronen naar effecten op functies, conclusies en aanbevelingen; eindrapportage.

1.5 Leeswijzer

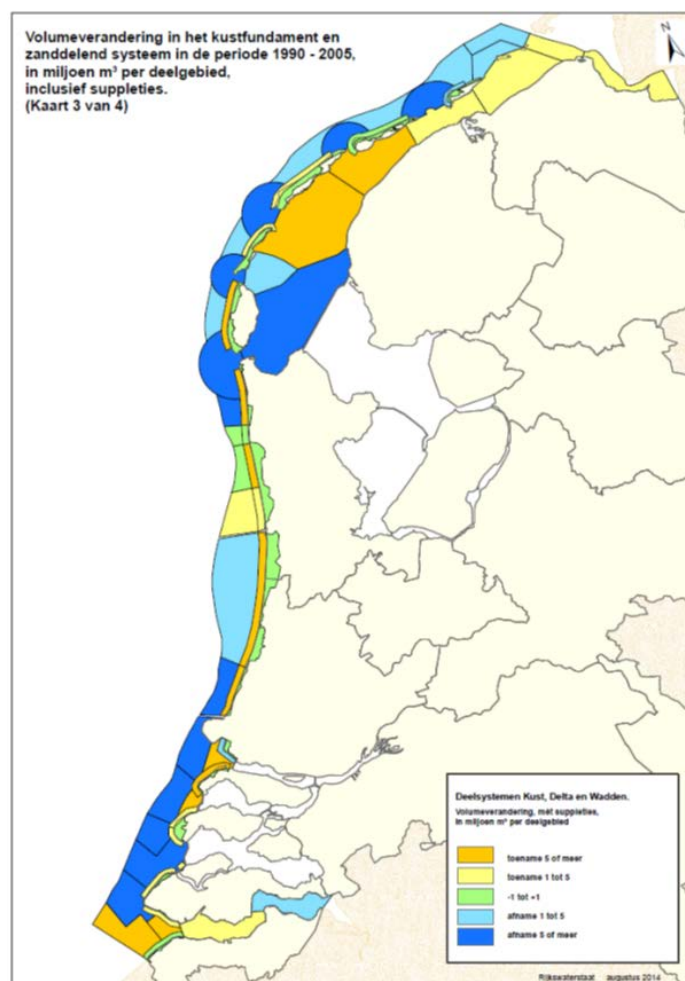
Dit rapport is opgebouwd uit 7 hoofdstukken. Hoofdstuk 1 beschrijft de achtergrond en de doelstelling van dit project. Hoofdstuk 2 beschrijft de huidige toestand en de nu lopende ontwikkelingen langs de Nederlandse kust, waarna Hoofdstuk 3 een prognose voor de morfologische situatie in de komende eeuw geeft op basis van extrapolatie van de ontwikkelingen over de laatste decennia. Daarnaast beschrijft het hoofdstuk hoe de modelbodems voor 2035 en 2100 vervaardigd zijn. Een overzicht van de uitgevoerde simulaties is te vinden in Hoofdstuk 4, de resultaten van de simulaties staan in Hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 analyseert de effecten van deze ontwikkelingen op de functies van de kust. Hoofdstuk 7 sluit dit rapport af met conclusies over het toekomstige suppletievolume, een discussie van de resultaten en aanbevelingen voor vervolgstappen.

2 Beschrijving recente ontwikkelingen en huidige toestand van de kust

Zoals beschreven in de inleiding zijn de volgende ontwikkeling van belang voor de toekomst:

- De buitendelta's zeewaarts van de zeegaten nemen af in oppervlak en volume,
- De getijgeulen in de zeegaten dringen op naar de kust,
- Het strand en de duinvoet langs grote delen van de kust bouwen zeewaarts uit als gevolg van zandsuppleties,
- Het profiel van de Hollandse kust wordt steiler door erosie van, of non-depositie op de diepe onderwateroever (dieper dan ca. 8 m onder zeeniveau) en het zeewaarts uitbouwen van de ondiepe onderwateroever ten gevolge van zandsuppleties, en
- De zeespiegel stijgt.

Dit beeld wordt weergegeven door de recent opgestelde sedimentbalans voor de Nederlandse kust over de periode 1990-2005 (van der Spek & Lodder, 2014), zie Figuur 2.1.



Figuur 2.1; de sedimentbalans van de Nederlandse kust over de periode 1990-2005. De blauwe tinten geven erosie aan, geel en oranje sedimentatie. Groen betekent dat de volumeverandering kleiner is dan 1 miljoen kubieke meter. Opvallend is dat de smalle strook langs de gehele kust, die de volumeverandering van brandingszone, strand en zeereep weergeeft, vrijwel overal in volume toeneemt. Dit is een gevolg van de uitgevoerde suppleties. (Bron: van der Spek & Lodder, 2014.)

In dit hoofdstuk worden hierna de huidige toestand en de lopende ontwikkelingen beschreven voor achtereenvolgens de zeegaten, buitendelta's en eilanden van het Waddengebied en het Deltagebied en het kustprofiel van de Hollandse kust tussen Hoek van Holland en Den Helder. Tevens worden de effecten op het kuststelsel van de huidige relatieve zeespiegelstijging, welke bestaat uit het gecombineerde effect van de werkelijke stijging van het gemiddelde zeeniveau en daling van het land en de zeebodem, en de mogelijke toekomstige veranderingen daarin, beschreven. Voor een meer uitgebreide beschrijving van deze ontwikkelingen wordt verwezen naar het rapport over de eerste fase van dit project (van der Spek & Elias, 2014).

2.1 Zeegaten en buitendelta's

De ontwikkelingen in zeegaten en hun buitendelta's zijn niet los van elkaar te beschouwen en ook de ontwikkeling van de aangrenzende eilandkoppen en -staarten hangt hier nauw mee samen. Daarom worden deze ontwikkelingen in dit hoofdstuk tezamen beschreven. Ontwikkelingen in de getijdebekkens en estuaria worden alleen dan beschouwd als zij een effect hebben op de ontwikkeling van de morfodynamiek en/of sedimenthuishouding van een zeegat.

2.1.1 Zeegaten

Zeegaten zijn openingen in de kustlijn die getijdebekkens en estuaria verbinden met de Noordzee. Zeegaten bestaan uit een of meerdere geulen, welke soms gescheiden worden door ondiepe plaatgebieden. De getijgeulen zijn de meest dynamische elementen: ze veranderen van positie en omvang onder invloed van natuurlijke variaties in getijstrooming (in tijdschaal variërend van tweewekelijks tot decennia) en golfwerking. Een voorbeeld hiervan is de periodieke verlegging van de geulen Boschgat en Pinkegat bij de oostelijke staarten van respectievelijk Terschelling en Ameland, waarbij het golfgedreven langstransport van zand de geul in oostelijke richting dwingt totdat meer westelijk een nieuwe, kortere geul ontstaat die het debiet overneemt. Hierdoor verliest de oostelijke geul zijn betekenis en wordt een stuk van het eiland afgesnoerd. Het eiland wordt hierdoor de facto een stuk korter. (Zie verder de beschrijving van de ontwikkelingen in het Zeegat van Ameland en het Friesche Zeegat in 2.1.4.)

2.1.2 Buitendelta's

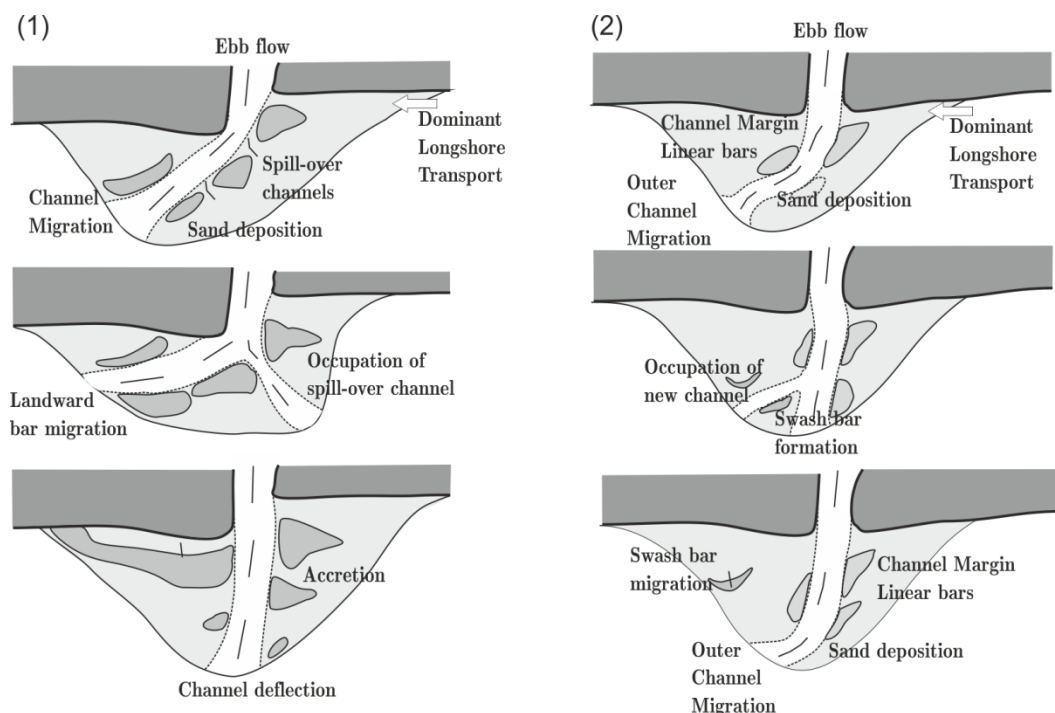
Buitendelta's zijn de ondiepe bankengebieden die zeewaarts van de zeegaten liggen. Buitendelta's (ook wel ebdelta's genoemd) ontstaan doordat de met sediment beladen ebstroom na het verlaten van het zeegat snelheid en daarmee transportcapaciteit verliest, waardoor (een deel van) het zand afgezet wordt. Hierdoor ontstaan zeewaarts van de kustlijn relatief ondiepe gebieden. Invallende golven breken op deze ondieptes, herverdelen het zand en transporteren een deel van het zand weer richting kust. De balans tussen de zandtransporten door ebstroming en golven bepaalt de omvang en vorm van de buitendelta. De buitendelta speelt een belangrijke rol in de uitwisseling van zand tussen de aan het zeegat grenzende kusten van vasteland en eilanden, en via het zeegat met het achterliggende bekken.

2.1.3 Gezamenlijke ontwikkeling van zeegaten en buitendelta's

Veranderingen in een zeegat veroorzaken veranderingen op de buitendelta. De verplaatsing van een geul in het zeegat (zoals bijvoorbeeld beschreven in 2.1.1.) veroorzaakt direct veranderingen op de buitendelta. Echter, op veel buitendelta's is de natuurlijke dynamiek in de afgelopen decennia geheel overvleugeld door de gevolgen van ingrepen in het achterliggende bekken. Het gaat daarbij meestal om afsluiting van het gehele of een deel van het bekken, waardoor structurele veranderingen in de positie, oriëntatie en dimensies van getijdegeulen en daarmee van het zeegat en buitendelta als geheel ontstaan.

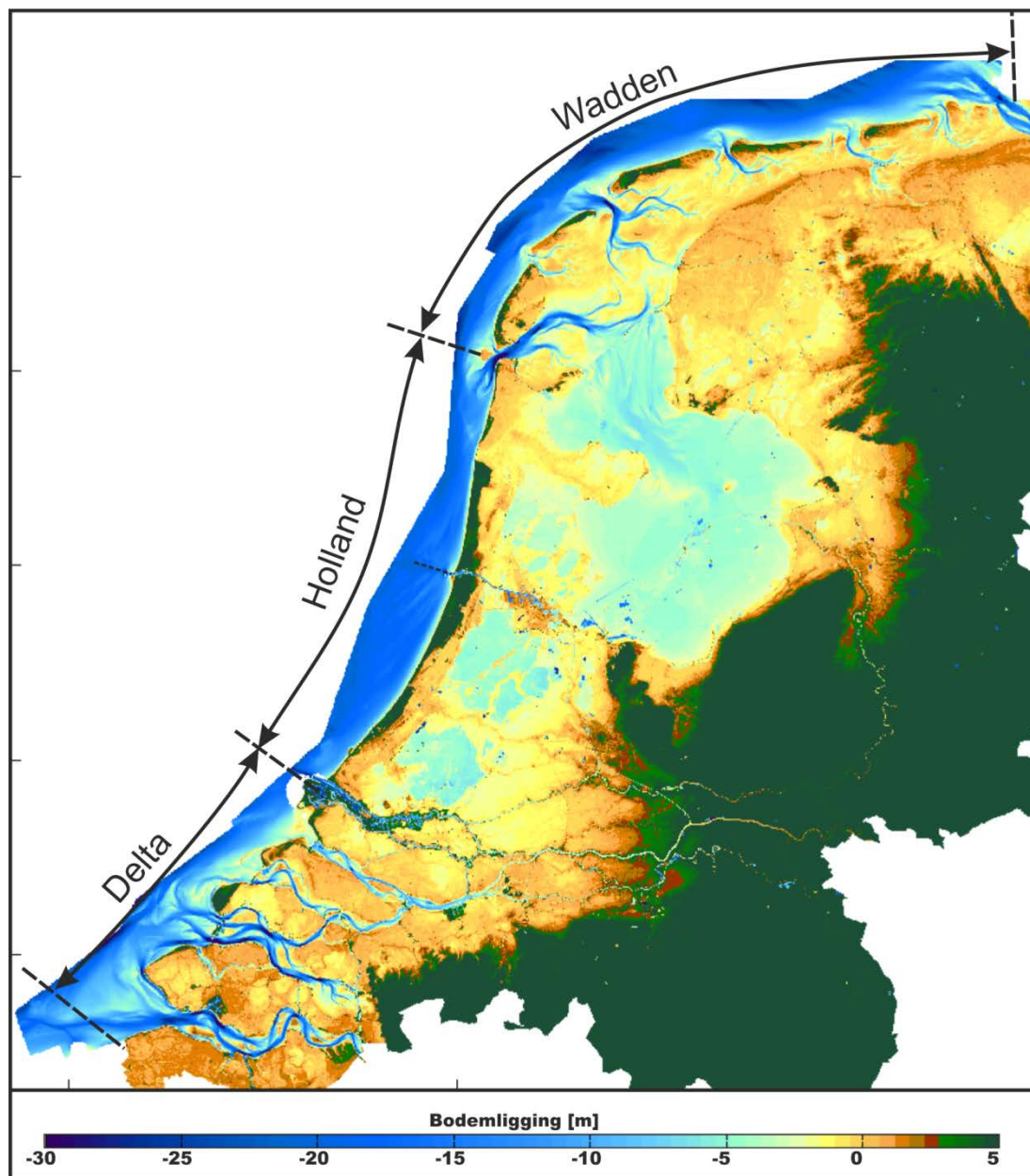
Door ingrepen in getijbekkens of zeegaten verandert het getijdebiet en daarmee de sterkte van de getijstrooming. Bij een verkleining van het ebdebiet neemt het netto zeewaarts transport van zand af en krijgen golven (tijdelijk) de overhand. De golven eroderen het zeewaartse deel van de buitendelta daar waar de netto aanvoer van zand door de ebstrooming weggevallen is, waardoor deze geleidelijk kleiner in omvang wordt. De erosie verloopt relatief snel tot een waterdiepte van circa 10 m, daaronder gaat het veel langzamer. De golven werken het zand landwaarts en omhoog, waardoor er zandbanken ontstaan aan de rand van de buitendelta (zie bijvoorbeeld de ontwikkeling van de buitendelta's van Grevelingen en Haringvliet hieronder), de gemiddelde diepte van de resterende buitendelta afneemt en er netto zand naar de aangrenzende eilanden en het achterliggende bekken verplaatst wordt. Als de omvang van de buitendelta zodanig is veranderd dat er weer evenwicht tussen ebstroom en golfwerking ontstaat, zullen de ontwikkelingen afnemen.

Bij vergroting van het ebdebiet erodeert een geul zijn ondergrond en oevers. Het vrijgekomen sediment wordt aan het zeewaartse uiteinde van de geul, op het zogenaamde ebschild, afgezet. Meestal bouwt dit ebschild hierdoor in zeewaartse richting uit.



Figuur 2.2; modellen voor de 'bypassing' van zand (in de vorm van zandbanken) over een buitendelta, onder invloed van van rechts invallende golven: (1) 'cyclic ebb-tidal delta breaching', waarbij de gehele ebgeul periodiek verplaatst en grote zandbanken aanlanden op en verhelen met het stroomafwaartse eiland, en (2) 'outer channel shifting', waarbij alleen het zeewaartse deel van de ebgeul zich periodiek verlegt en relatief kleine zandbanken (zogeheten 'swash bars') verhelen met het stroomafwaartse eiland. (Naar FitzGerald et al., 2000.)

Door de ingreep wordt het zeegat-buitendelta systeem abrupt in een nieuwe toestand gebracht, waarna de morfologie zich in de daarop volgende decennia aanpast aan de nieuwe randvoorwaarden, totdat er een begin van een nieuw dynamisch evenwicht bereikt wordt waarbij de processen elkaar in balans houden. In dit semi-evenwichtsstadium zullen de veranderingen minder snel gaan, al is het niet bekend wat de eindsituatie zal zijn en wanneer die bereikt wordt.



Figuur 2.3; de bodemligging van Nederland ten opzichte van NAP. Duidelijk te zien zijn de getijdebekkens, zeegaten en buitendelta's van de Wadden en het Deltagebied. De buitendelta's in het Deltagebied zijn met elkaar vergroeid tot één geheel, de Voordelta. De buitendelta's in het Waddengebied overlappen elkaar niet door de grote afstand tussen de zeegaten.

Ter illustratie een voorbeeld: vóór de afsluiting van de Lauwerszee landden er met enige regelmaat zandbanken aan op Schiermonnikoog, daar waar de zeewaartse rand van de buitendelta aan het eiland raakte. De afsluiting van de Lauwerszee resulteerde in het

opruimen van een groot deel van de buitendelta, waarbij het overtollige zand werd omgewerkt tot een grote zandhaak die in de loop van de jaren met de kop van Schiermonnikoog verheelde (zie situatie 1987 in Figuur 2.7). Dit resulteerde in een forse aangroei van het eiland gevolgd door een sterke erosie toen de haak weer opgeruimd werd. Hierna kwam het proces van periodieke verplaatsing van geulen en zandbanken weer op gang. Echter, de resulterende buitendelta is kleiner van omvang waardoor de zandbanken in de nieuwe situatie een stuk westelijker op het eiland zullen aanlanden.

Getijgeulen in de zeegaten en buitendelta's dringen op naar de kust en bedreigen de stabiliteit van de oever en waterkeringen. Dit speelt in principe in alle zeegaten. De oever wordt dan verdedigd, in de regel met bestortingen, maar steeds vaker met geulwandsuppleties. De samenstelling en opbouw van de ondergrond waarin een getijgeul insnijdt is van belang: erosiebestendige lagen kunnen geulmigratie of -verruiming aanzienlijk vertragen of zelfs voorkomen. De laterale verbreiding van erosiebestendige lagen is cruciaal: als een erosiebestendige laag opgeruimd wordt kan de migratie van een getijgeul aanzienlijk versnellen. In het geval van kustwaartse migratie kan dit voor onverwachte problemen zorgen.

De buitendelta's in het Deltagebied zijn met elkaar vergroeid tot één geheel, zie Figuur 2.3, en worden daarom aangeduid met de term Voordelta. De buitendelta's in het Waddengebied overlappen elkaar niet door de grote afstand tussen de zeegaten. De Waddeneilanden liggen evenwijdig aan de strekking van de kustlijn. (N.B. In het Waddengebied zijn de binnendelta's dan weer wel aan elkaar gegroeid tot één geheel. Dit heeft ook invloed op wat er buiten op de ebdelta's gebeurt.)

2.1.4 Ontwikkeling zeegaten en buitendelta's in Waddengebied

De grotere buitendelta's in het Waddengebied nemen af in oppervlakte als gevolg van de aanleg van de Afsluitdijk (Zeegat van Texel, Zeegat van het Vlie) en de afsluiting van de Lauwerszee (Friesche Zeegat/Zoutkamperlaag). De buitendelta van het Amelandse Zeegat vertoont het meest natuurlijke gedrag. Het Eierlandse Gat en zijn buitendelta vormen een relatief klein systeem, waar de ontwikkelingen gedomineerd worden door de verdediging van de noordpunt van Texel. De ontwikkeling van de zeegaten ten oosten van Schiermonnikoog (o.a. Lauwers, Schild) is relatief kleinschalig.

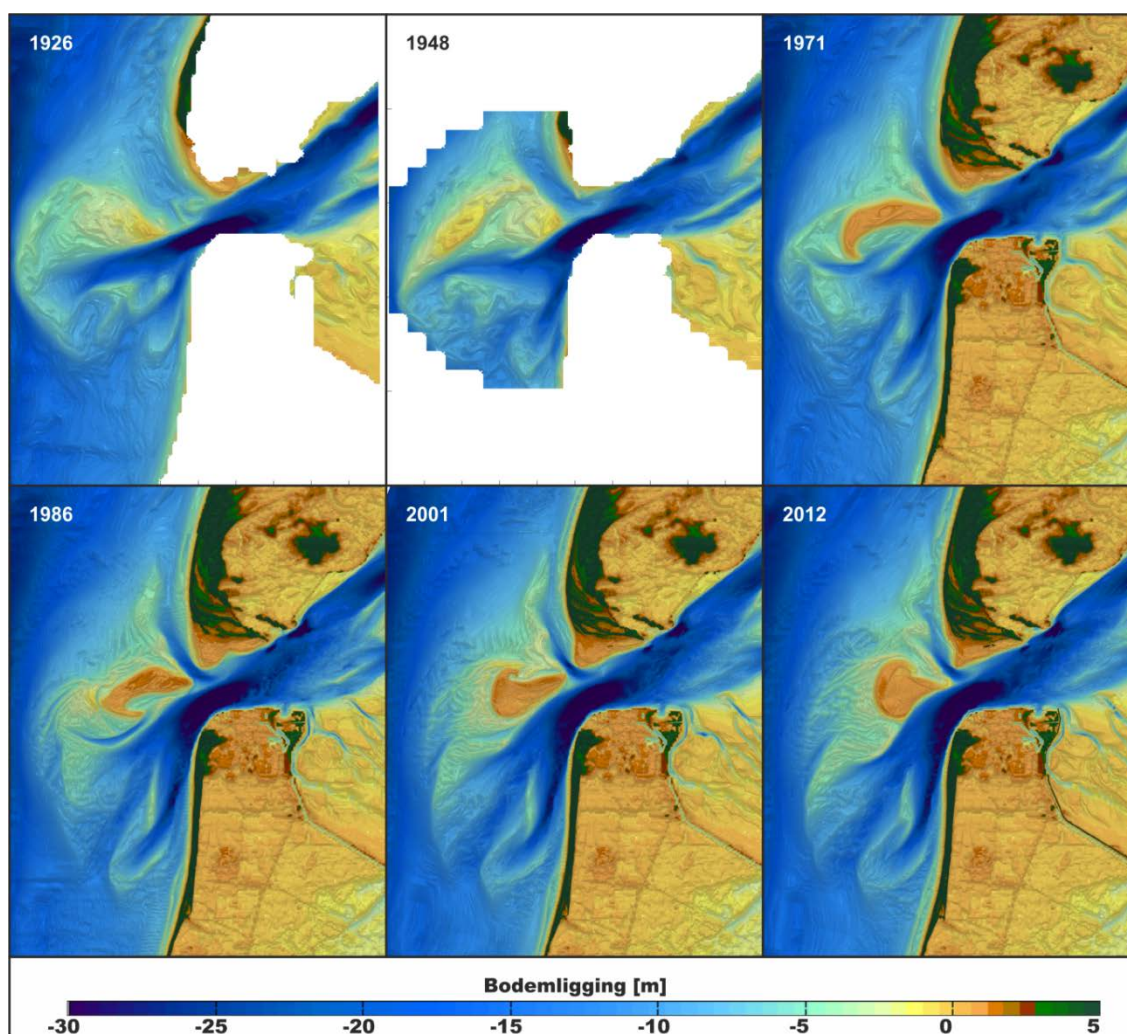
De ontwikkelingen van de zeegaten en buitendelta's worden beschreven op basis van overzichten welke recent zijn samengesteld door Deltares in het kader van het KPP-programma Beheer en Onderhoud Kust. De gebruikte bronnen worden vermeld in Tabel 2.1. Uitgebreide verwijzingen hiernaar zijn weggelaten uit de tekst om de leesbaarheid te bevorderen. Informatie over de volumeveranderingen van de buitendelta's is afkomstig uit Elias et al. (2012), zie Bijlage A voor een overzicht.

Zeegat van Texel	Elias, 2006; Elias & van der Spek, 2006; Elias et al., 2012
Eierlandse Gat	Elias et al., 2012; Elias & Bruens, 2012c
Zeegat van het Vlie	Elias et al., 2012; Elias & Bruens, 2012b
Zeegat van Ameland	Elias & Bruens, 2012a; Vermaas et al., 2013
Friesche Zeegat	Elias et al., 2012; Oost & Bruens, 2013; Doornenbal et al., 2011; Oost, 1995
Oostelijke Waddenzee	Elias et al., 2012; Oost & Bruens, 2013

Tabel 2.1; bronnen voor beschrijving ontwikkeling zeegaten en buitendelta's Waddenzee.

Zeegat van Texel

De aanleg van de Afsluitdijk heeft grote veranderingen teweeg gebracht in het Zeegat van Texel: het getijverschil nam toe van 1,1 tot 1,4 m en het getijprisma is groter geworden (26%). Voorts is het faseverschil tussen het getij in het zeegat en het getij op zee kleiner geworden en de ebstroming in de Waddenzee komt nu uit vooral noordelijke richting. Deze veranderingen in het getij leidden ertoe dat de sinds de 18e eeuw stabiele ebgeul Westgat zijn betekenis heeft verloren en dat de meer zuidzuidoost gerichte geulen Schulpengat en Nieuwe Schulpengat de belangrijkste geulen zijn geworden, zie Figuur 2.4. Het uitschuren van beide Schulpengaten veroorzaakte sedimentatie op en zeewaartse uitbreiding van het zuidelijk deel van de buitendelta. Door de afname van de betekenis van het Westgat kreeg het noordelijk deel buitendelta minder zand aangevoerd, waardoor de golven hier de overhand kregen en dit deel van de buitendelta begonnen af te breken. Dit deel van de buitendelta nam hierdoor af in oppervlak en volume. Het zand werd verplaatst in de richting van Texel, waarbij de geul Molengat in de kust van het eiland gedrukt werd, waardoor er hier regelmatig zandsuppletie nodig is voor handhaving van de kustlijn. Tegelijkertijd bouwde De Hors, de zuidpunt van Texel, uit en werden hier nieuwe duinen gevormd.



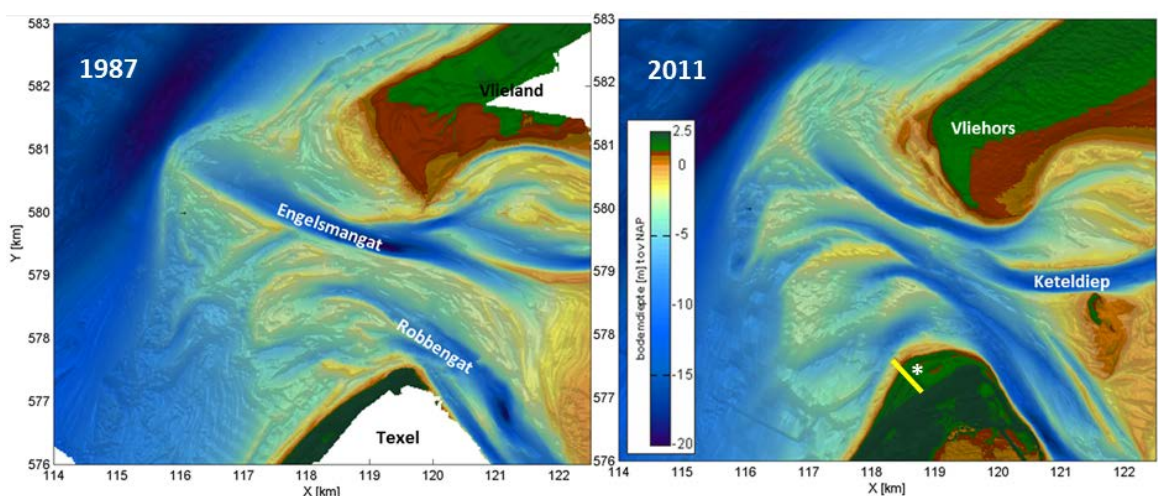
Figuur 2.4: de ontwikkeling van de morfologie van de buitendelta van het Zeegat van Texel tussen 1926 en 2012. De opeenvolgende kaarten laten de landwaartse terugtrekking van de buitendelta zien, de vorming van de zandplaat Noorderhaaks/Razende Bol en de inscharing van de getijgeulen langs de aangrenzende kust.

Het uitschuren van onder andere het Nieuwe Schulpengat direct onder de kust van Noord-Holland leidde tot verstelling van de onderwateroever en daarmee tot structurele achteruitgang van de aangrenzende kust.

Door de erosie van het noordelijk deel en uitbreiding van het zuidelijk deel heeft de ebdelta een meer noord-zuid gerichte strekking gekregen. Bovendien heeft de buitendelta tussen 1935 en 2005 een volume om en nabij 300 miljoen kubieke meter (*mkm*) zand verloren, waarvan bijna de helft door erosie van de zeewaartse rand en uitschuring van de getijgeulen in het zuidelijk deel van de buitendelta. Dat is een gemiddeld verlies van 4,3 *mkm* per jaar over die periode. Het grootste deel van dit zand zal via het zeegat naar het bekken getransporteerd zijn.

De kust van Noord-Holland ligt achter de buitendelta beschut tegen grote golven en deining uit het noordwesten, maar open voor golven uit het zuidwesten. Door de afwisseling van geulen en banken op de buitendelta ontstaat langs deze kust een sterk gedifferentieerd beeld met eroderende en aanzandende vakken. Het meest noordelijke deel van de Noord-Hollandse kust wordt beschermd door de Helderse Zeewering. Hier treden de grootste zandverliezen naar het achterliggende bekken op door de afvoer van zand door de vloedstroom. In 2007 is tussen Huisduinen (ten westen van Den Helder) en Julianadorp een grote systeemsuppletie van meer dan 7 *mkm* zand aangelegd, zowel op de teen van de geulwand, op de onderwateroever als op het strand (respectievelijk 1,8; 3,9 en 1,6 *mkm*). De onderwateroever-suppletie bleek stabiel, beide andere suppleties erodeerden sterk (Elias et al., 2013).

In het middendeel van het Nieuwe Schulpengat staat de oostelijke geulwand zeer steil als gevolg van insnijding in erosiebestendige Pleistocene afzettingen die hier voorkomen. Onderzoek van een decennium terug (van der Spek & van Heteren, 2004) leidde tot de conclusie dat deze geulwand min of meer stabiel was, maar een recente analyse laat zien dat geul de laatste jaren weer opschuift in de richting van de kust (Elias et al., 2013). Hoe ver de erosiebestendige lagen doorlopen in kustwaartse richting is niet bekend. Een versnelling van de kustwaartse verplaatsing van de geul na opruimen van de erosievertragende lagen is niet denkbeeldig.



Figuur 2.5 de bathymetrie van het Eierlandse Gat in 1987 en 2011. Opvallend zijn de zeewaartse uitbreiding van het Robbengat en Keteldiep ten koste van het Engelsmangat, de groei van de buitendelta in noordwestelijke richting en de uitbreiding van de Vliehors. De aangroei van de noordkust van Texel als gevolg van de aanleg van de Eierlandse Dam () is duidelijk zichtbaar.*

Eierlandse Gat

Het Eierlandse Gat en zijn buitendelta (Figuur 2.5) vormen een relatief klein systeem. Echter, de aanhoudende erosie van de noordpunt van Texel maakt dat dit een van de meest gesuppleerde zeegaten is. De sterke kromming van de kustlijn van noord-Texel en de migrerende getijgeulen veroorzaken respectievelijk een grote afvoer van zand uit de kustzone en periodieke erosie van de eilandpunten. De buitendelta heeft tussen 1935 en 2005 23 *mkm* zand verloren. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat het vergroten van de Vliehors (boven 0 m NAP) niet in dit getal is meegenomen. Het achterliggende getijdebekken verliest sinds 1935 eveneens sediment (zie Bijlage A, Tabel A.2), waarschijnlijk als gevolg van de veranderde getijstrooming na aanleg van de Afsluitdijk.

De inscharing van het Vogelzwin/Robbengat veroorzaakte gestage teruggang van de noordpunt en de noordoostelijke waddenkust van Texel. Dit speelt als sinds het midden van de 19e eeuw. Tussen 1979 en 1995 is hier ca. 11 *mkm* zand gesuppleerd. De aanleg van een stenen dam direct ten zuiden van het zeegat in 1995 reduceerde lokaal de suppletiebehoefte. Bovendien groeide de kust direct ten noorden en zuiden van de dam aan (Figuur 2.5, rechter paneel), waardoor de noordelijke punt van Texel op dit moment stabiel is. Echter, ten zuiden van de aangroeizone van de dam gaat de erosie van de Texelse kust onverminderd verder. Sinds 1995 is hier 6,5 *mkm* zand gesuppleerd.

Het Robbengat heeft zich tussen 1993 en 2011 verdiept en zeewaarts uitgebreid. De noordelijke geul Engelsmangat is door de verlenging van het Robbengat naar het noordwesten gedwongen, waardoor de buitendelta ook in die richting is uitgebouwd. Het volume van de buitendelta is in de genoemde periode toegenomen met 5 *mkm*. De Vliehors, de noordelijke oever van het zeegat, bouwt uit, zowel naar het zuiden als in zeewaartse richting.

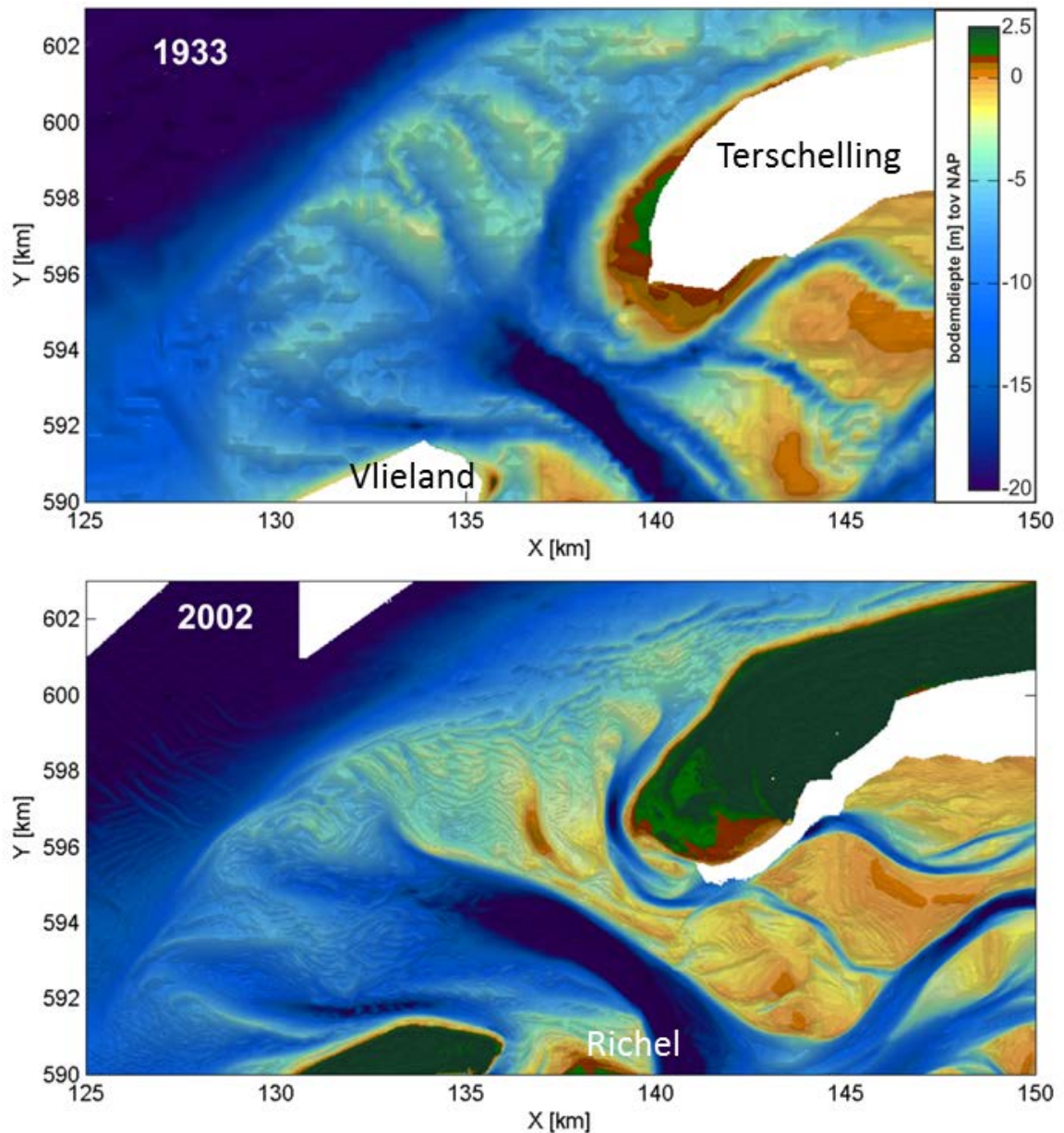
Zeegat van het Vlie

De buitendelta van het Zeegat van het Vlie bestond vóór de afsluiting van de Zuiderzee uit een centrale ebgeul en twee vloedgeulen welke langs de kusten van Vlieland en Terschelling lagen (Figuur 2.6). Zeewaarts hiervan lag een ondiep gebied dat met zand gevoed werd door de centrale ebgeul en waar zandbanken zich in noordoostelijke richting verplaatsten, om uiteindelijk zo'n 15 km ten oosten van de westpunt van Terschelling met de kust te verhelen. De periodieke aanlanding van deze zandbanken voedde de kust van het eiland.

Ook hier leidde de aanleg van de Afsluitdijk tot grote morfologische veranderingen. Het centrale deel van het zeegat bleef stabiel maar de geulen op de buitendelta draaiden meer naar het westen, in de richting van de getijgolf op zee (Figuur 2.6). Tegelijkertijd werden de geulen groter en dieper. De voeding van het ondiepe bankengebied werd hierdoor onderbroken, waarna golferosie ook hier de overhand kreeg en dit deel van de buitendelta in hoogte toe- en in omvang afnam. Het zand werd in de richting van Terschelling verplaatst waardoor de oorspronkelijke vloedgeul tussen buitendelta en eiland sterk in omvang afnam, zie Figuur 2.6. Tussen 1935 en 2005 nam het volume van de buitendelta gemiddeld met 2 *mkm* per jaar af. Een deel van dit zand is het zeegat in verplaatst, waardoor Terschelling netto naar het westen aangroeide.

De veranderingen op de buitendelta leidden aanvankelijk tot het aanlanden van zandbanken op de noordwestkust van Vlieland, zo'n 10 km van het zeegat. De doorgaande inscharing van een vloedgeul tussen de Zuider Stortemelk en de noordkust van Vlieland veroorzaakt zandverliezen die worden opgevangen met suppleties. Verder beschermen strekdammen de noordoostelijke punt en de noordkust van het eiland tegen erosie. In het zeegat zelf, aan de

oostpunt, wordt Vlieland begrensd door twee relatief kleine geulen: de Vliesloot en de Vlielanderbalg, die het eiland scheiden van de hoge zandplaat Richel (Figuur 2.6).



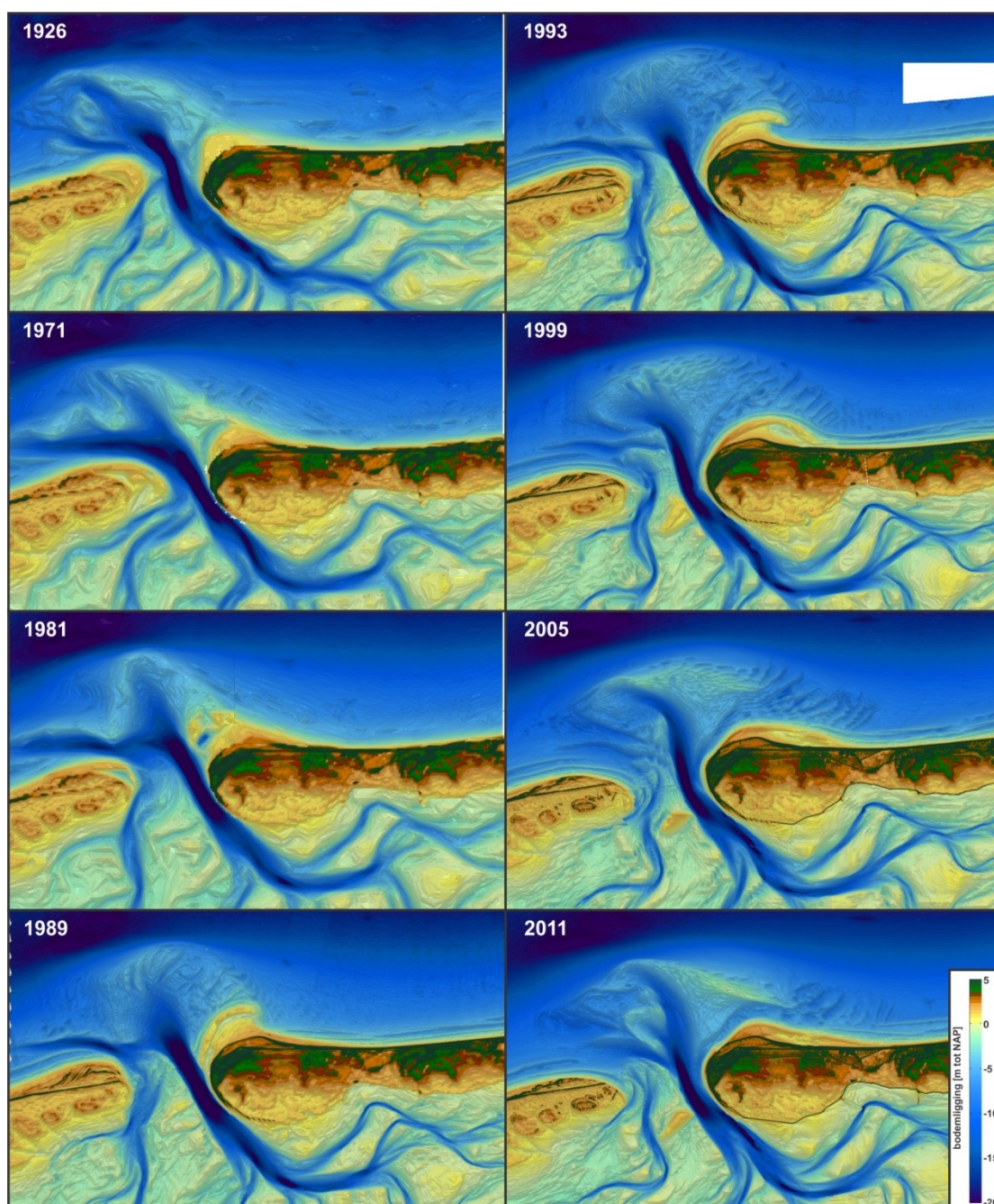
Figuur 2.6; het Zeegat van het Vlie in 1933 en 2002. De kaarten illustreren de insnijding van de getijgeulen aan de westelijke, stroomopwaartse zijde van het zeegat en de verondieping aan de oostelijke, stroomafwaartse zijde.

Zeegat van Ameland

Het Zeegat van Ameland is niet direct beïnvloed door de afsluitingen van Zuiderzee en Lauwerszee, waardoor hier het natuurlijke gedrag van dit zeegat en zijn buitendelta goed te volgen is. In het Zeegat van Ameland komt een periodieke afwisseling voor tussen een situatie met één hoofdgeul in het zeegat en een situatie met twee geulen (vergelijk de situaties voor 1971 en 1989 in Figuur 2.7). Het Boschgat, de geul die het wad ten oosten van het wad van Terschelling verbindt met het zeegat, is afwisselend een zijtak van de hoofdgeul Borndiep (1971) en een zelfstandige geul in het zeegat (1989-2011). Hierdoor is er een periodieke aangroei en erosie van de oostelijke start van Terschelling. In 2015 is de

ontwikkeling van een twee- naar een één-geulsysteem gaande, waarbij er op dit moment geen duidelijk Boschgat is maar een complex van kleine, ondiepe geulen.

De hoofdgeul Borndiep erodeert de westkop van Ameland, die wordt verdedigd met bestortingen, langsdammen en zinkstukken.



Figuur 2.7; de periodieke ontwikkeling van de buitendelta van het Zeegat van Ameland. De geul Boschgat, liggend bij de oostpunt van Terschelling, wisselt van oriëntatie tussen noord-zuid, waarbij het Boschgat een zelfstandige geul in het zeegat is (situatie 1989-2011), en noordoost-zuidwest, waarbij het Boschgat een zijtak van de hoofdgeul Borndiep is (situatie 1926, 1971). Deze wisseling leidt tot opeenvolgende aangroei en erosie van de oostpunt van Terschelling. Tussen 1981 en 1989 ontstaat er een grote zandbank op de buitendelta, het Bornrif, die naar de kust van Ameland verplaatst en uiteindelijk met het eiland verheelt (1993-2005).

Er zijn de laatste eeuw geen directe ingrepen in het bekken geweest en er is geen indicatie dat er een structurele afname van de omvang van de buitendelta is. Vergelijking van de bathymetrie van de buitendelta in 1935, 1990 en 2005 suggereert dat de buitendelta in de eerste periode met 0,7 *mkm* per jaar toenam, om daarna met 0,4 *mkm* per jaar af te nemen. Tussen 1968 en 1998 is een grote zandbank, Bornrif geheten, vanaf de buitendelta naar de noordwest punt van Ameland verplaatst (Figuur 2.7). Vanaf ca. 1990 is het Bornrif versmolten met de kust van Ameland waardoor zich een strandhaak ontwikkelde die uiteindelijk verheelde met het eiland. De aangelande hoeveelheid zand verdeelt zich langzaam verder naar het oosten, waardoor het westelijke deel van het eiland zeewaarts aangroeit. Een deel van het aangelande volume is richting het zeegat afgevoerd. De kop van het eiland erodeert inmiddels weer door deze herverdeling.

Friesche Zeegat

Het Friesche Zeegat bestaat eigenlijk uit twee zeegaten, in het westen het Pinkegat en in het oosten het Westgat dat landwaarts overgaat in de Zoutkamperlaag. Beide geulen worden gescheiden door de zandplaat Engelsmanplaat en de zeewaarts daarvan gelegen zandbank Het Rif (zie Figuur 2.8). De twee systemen hebben een gemeenschappelijke buitendelta. Het Pinkegat bedient het wad achter oostelijk Ameland. De geul wordt naar oosten gedrukt door golfgedreven transport van zand langs de kust van Ameland, hierdoor wordt Ameland dus langer. Na verloop van tijd ontstaat er meer westelijk een nieuwe, kortere geul, waarna de oostelijke geul langzaam verzandt. Hierdoor wordt een stuk van de oostpunt van Ameland afgesnoerd en vertoont de oostpunt periodieke aangroei gevolgd door erosie (zie Oost, 1995, p. 267). Ook kunnen er dus tegelijkertijd meerdere geulen in het Pinkegat voorkomen. Dit heeft allemaal geen groot effect op de buitendelta.

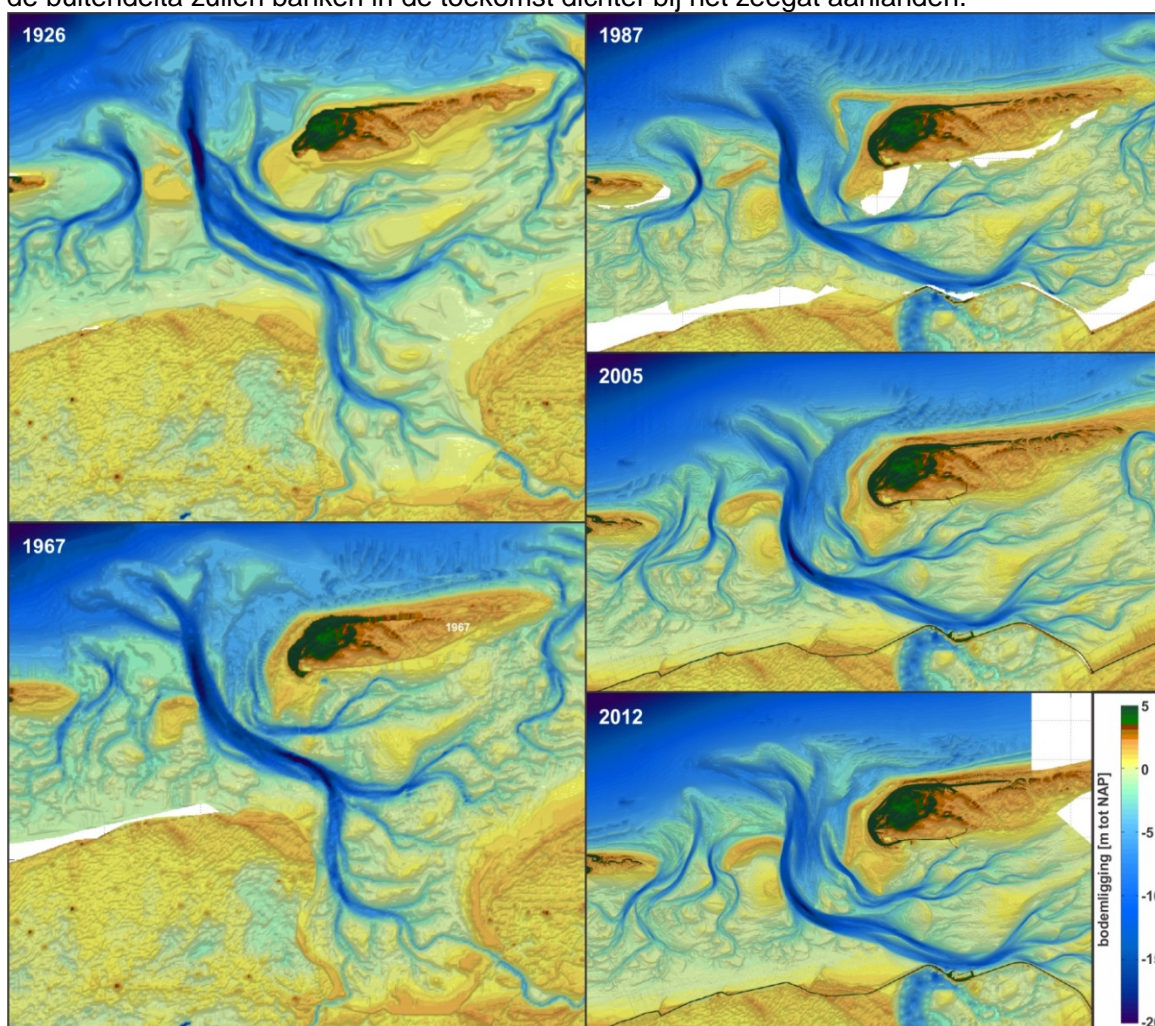
Het oostelijke geulsysteem Westgat-Zoutkamperlaag was de oorspronkelijke hoofdgeul naar de Lauwerszee. Door de afsluiting van de Lauwerszee in 1969 verloor het bekken ca. eenderde van haar oppervlak (vergelijk de situatie voor 1967 en 1987 in Figuur 2.8), waardoor het getijdebiet flink afnam (eveneens met 1/3). De buitendelta en het zeewaartse deel van de geul waren te groot om te worden onderhouden door de gereduceerde getijstrooming. Tussen 1935 en 1990 nam de buitendelta af met 0,1 *mkm* per jaar, tussen 1990 tot 2005 bedroeg de afname 1,1 *mkm* per jaar.

Vóór de sluiting van de Lauwerszee waren het Westgat en de Zoutkamperlaag min of meer stabiel in positie en diepte. Op de buitendelta migreerden zandbanken oostwaarts en landwaarts als gevolg van de golfwerking, waardoor het meest zeewaartse deel van de geul eveneens naar het oosten gedrukt werd. De hydraulische efficiëntie van de geul nam hierdoor af, waardoor dit stuk van de geul geleidelijk verlaten werd en de Zoutkamperlaag meer naar het westen een nieuwe verbinding met zee kreeg. Uiteindelijk verondiepte het verlaten stuk geul dermate dat de bank met de kust van Schiermonnikoog kon verhelen. Hierdoor wisselden perioden van erosie en sedimentatie elkaar af. Deze ontwikkeling wordt samengevat in het 'cyclic ebb-tidal delta breaching'-model uit Figuur 2.2.

Na de afsluiting verplaatsten de golven het sedimentoverschot op de buitendelta in de richting van het eiland, waarbij eerst een grote zandhaak ontstond welke in een later stadium met het eiland verheelde (zie situatie 1987 in Figuur 2.8). Als gevolg hiervan nam het zandvolume van west-Schiermonnikoog toe, waardoor de kop van het eiland zowel zee- als landwaarts uitbouwde. In de huidige situatie overheerst erosie omdat het aangelande zandvolume omgewerkt wordt. De positie van de Zoutkamperlaag is niet veranderd na de afsluiting. Echter, de geul is flink afgenomen in doorsnede door afzetting van zand en slib en strekt zich minder ver zeewaarts uit. In Figuur 2.8 is goed te zien hoe tussen 1967 en 2012 een

aanzienlijke hoeveelheid zand het zeegat in getransporteerd is en een plaat vormt tussen de Zoutkamperlaag en het eiland (slechts gescheiden door een kleine geul), wat bijdraagt aan de afname van de geuldoorsnede.

Het ligt voor de hand dat de banken welke stroomopwaarts van de geulen liggen een nieuwe fase van cyclische bankverplaatsing zullen inluiden, vergelijkbaar met die vóór de afsluiting. De erosie van de westpunt van Schiermonnikoog zal doorgaan totdat een nieuwe bank aanlandt en verheelt met de kust van het eiland. Als gevolg van de afgenomen omvang van de buitendelta zullen banken in de toekomst dichter bij het zeegat aanlanden.



Figuur 2.8: de ontwikkeling van het Friesche Zeegat. De volgende kenmerken vallen op: het zeegat bestaat uit 2 deelsystemen, het Pinkegat met een periodiek wisselend aantal getijgeulen en de Zoutkamperlaag welke een veel stabiel beeld toont. De systemen worden gescheiden door de stabiele Engelsmanplaat. Na de afsluiting van de Lauwerszee in 1969 nam het oostelijk deel van de buitendelta in omvang af, waarbij veel zand afgezet werd op de kop van Schiermonnikoog.

Zeegaten en buitendelta's van de oostelijke Waddenzee

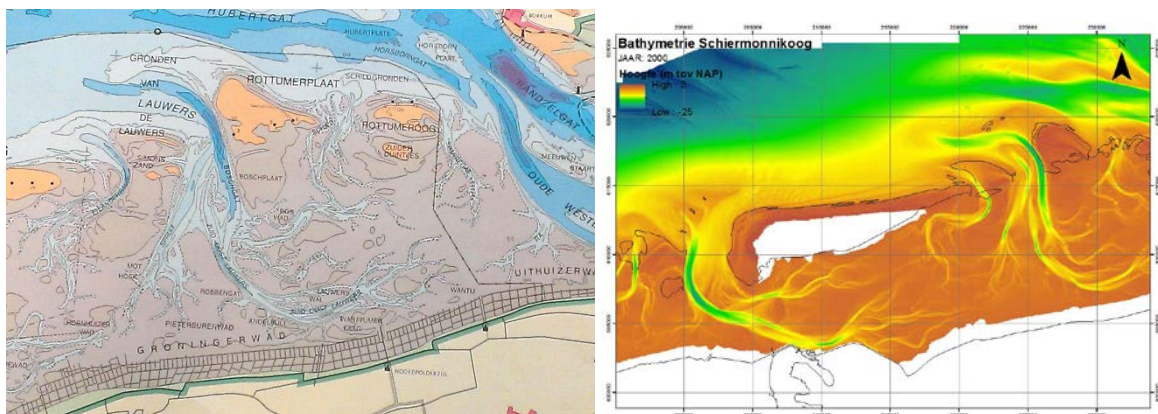
De ontwikkeling van de buitendelta's van de kleine zeegaten ten oosten van Schiermonnikoog (van west naar oost achtereenvolgens de geulen/zeegaten Eilanderbalg, Lauwers, Schild en Sparregat, zie Figuur 2.9) is weinig bekend. De buitendelta's zijn klein van omvang (met uitzondering van die van de Lauwers) als gevolg van de geringe grootte van de

geulen en de aanwezigheid van het Hubertgat, een geul in de monding van de Eems direct ten noorden ervan, die uitbreiding in deze richting tegenwerkt (zie Figuur 2.9).

De Eilanderbalg, de getijgeul direct ten oosten van Schiermonnikoog, vertoont een ontwikkeling vergelijkbaar met die van het Pinkegat ten oosten van Ameland: periodieke oostwaartse migratie door het golfgedreven langtransport gevolgd door de ontwikkeling van een nieuwe geul meer naar het westen. Na de afsluiting van de Lauwerszee in 1969 verloor de Eilanderbalg komberging en dus getijdebiet aan de oostwaarts op het wad uitbreidende Zoutkamperlaag, waardoor de geul afnam in grootte. Na de reductie in doorsnede van de Zoutkamperlaag ten gevolge van sedimentatie, nam de invloed van de laatste op het wad achter Schiermonnikoog weer af, waardoor de Eilanderbalg zijn kombergend oppervlak weer kon uitbreiden. Dientengevolge nam de doorsnede van de geul weer toe.

De uitbouw van Schiermonnikoog (3 km sinds 1982; Oost & Bruens, 2013) heeft de Eilanderbalg en de ten oosten daarvan gelegen Lauwers verder naar het oosten gedrukt. De Lauwers erodeert hierbij de westzijde van Rottumerplaat. Tegelijkertijd groeien de oostzijde van Rottumerplaat en zijn buitendelta aan (van Rooijen & Oost, 2014). Ook groeit de buitendelta langzaam naar het noorden, waardoor het aangrenzende Hubertgat smaller en enigszins dieper wordt. In de bathymetrie van 2009-2010 blijkt de Lauwers op zijn buitendelta naast de gebruikelijke westelijke monding een tak naar het noordwesten ontwikkeld te hebben. Het debiet van de Lauwers is in het verleden gegroeid ten koste van die van het Schild. Ook Rottumeroog erodeert sterk aan de westzijde.

Omdat de ontwikkelingen in de Eems en de Dollard geen directe gevolgen voor de kustlijnzorg hebben laten we ze hier verder buiten beschouwing.

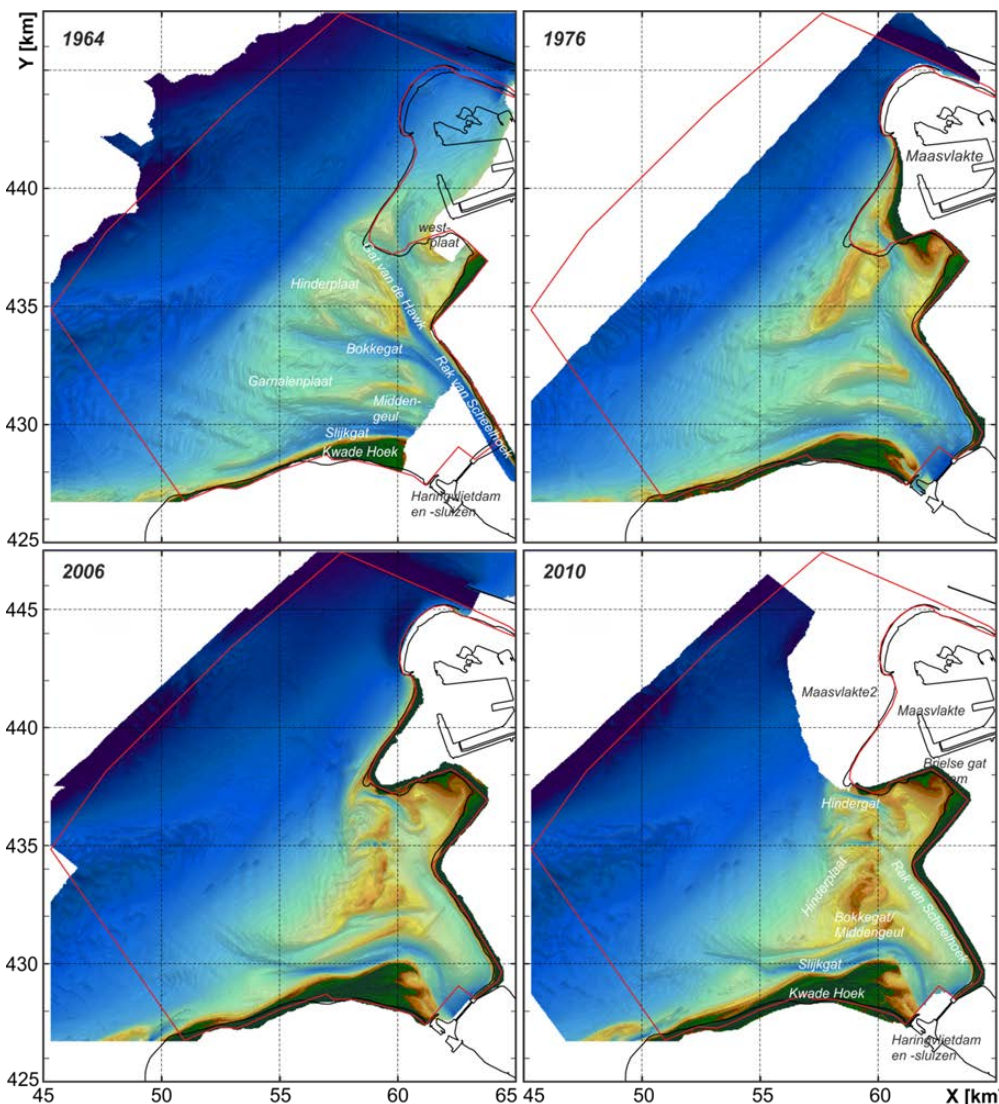


Figuur 2.9; de geulen/zeegaten van de oostelijke Waddenzee en hun buitendelta's, links een overzicht uit 1989 1991, rechts de bathymetrie van de Zoutkamperlaag, Eilanderbalg, Lauwers en Schild (van west naar oost) in 2000.

2.1.5 Ontwikkelingen zeegaten Deltagebied en Voordelta

Het Deltagebied omvat de kust ten zuiden van Hoek van Holland (Figuur 2.3). De Nieuwe Waterweg en de zandige kust van Maasvlakte 2 (MV2) vertonen geen natuurlijk gedrag en worden hier verder buiten beschouwing gelaten. De vooruitgeschoven positie van MV2 leidt naar verwachting tot relatief grote jaarlijkse zandverliezen die door middel van suppleties aangevuld zullen worden. Het is te verwachten dat een deel van dit zand in de Haringvlietmonding terecht zal komen. Het onderhoud van de eerste Maasvlakte en de Slufter bedroeg ruim 11 *mkm* aan zandsuppleties in de jaren 1991 tot 2005. Het grootste deel hiervan was afkomstig van baggerwerk.

De buitendelta's van Haringvliet en Grevelingen nemen sterk in oppervlakte af sinds de afdamming van deze estuaria in resp. 1970 en 1971. Op de buitendelta van de Oosterschelde zien we sinds de voltooiing van de stormvloedkering in 1986 vooral heroriëntatie en verdieping van de geulen op het zeewaartse deel en voor de Kop van Schouwen. De buitendelta van de Westerschelde is sterk beïnvloed door ingrepen in de geulen maar het grootschalige beeld verandert niet.



Figuur 2.10; de ontwikkeling van de morfologie van de Haringvlietmonding tussen 1964 en 2010-2011. De omslag van een buitendelta met een radiaal geulenpatroon naar een ondiep, grotendeels bij laagwater droogvallend gebied (gele en bruine kleuren) is goed te volgen. Het vaklodingengebied is aangegeven met een rode lijn.

Uit vergelijking van de vaklodingen blijkt dat alle buitendelta's in de Voordelta aangroeien in de periode 1965-1980, zie Bijlage B1. Daarna zet erosie in bij het Haringvliet en de Oosterschelde. De volumegroei van de Grevelingen buitendelta halveert. Het netto resultaat voor de Westerschelde buitendelta is in 1990 nog net positief: ca. 4 mkm. Het is niet geheel duidelijk waar deze initiële groei en de trendbreuk rond 1980 door veroorzaakt worden. Het is niet uit te sluiten dat dit het gevolg is van meetonauwkeurigheden. Over de periode 1990-2010 verliezen de buitendelta's van Ooster- en Westerschelde aanzienlijke volumina

sediment, welke verliezen na aftrek van het volume gesuppleerd zand nog groter worden: respectievelijk 76 *mkm* en 52 *mkm*.

De buitendelta van de Grevelingen heeft over de periode 1965-2010 een positieve balans (11 *mkm* toename), de Oosterschelde buitendelta eindigt negatief met -48 *mkm*. De balans voor de buitendelta's van Haringvliet en Westerschelde is vrijwel neutraal, respectievelijk -1 en +2 *mkm*.

De beschrijving van de ontwikkelingen in de Voordelta zijn gebaseerd op een recent overzicht dat is samengesteld in het kader van het KPP-programma Beheer en Onderhoud Kust, zie Elias & van der Spek, 2014a. N.B. Alle in de tekst genoemde volumina zijn terug te vinden in Bijlage B, Tabel B.1.

Haringvlietmonding

De buitendelta van het Haringvliet wordt in het noorden begrensd door die van de voormalige Brielse Maas. Echter, na de afdamming van de Brielse Maas in 1950 is dit gebied ingrijpend veranderd door de uitbreiding van het Rotterdamse havengebied. Door de aanleg van achtereenvolgens Europoort (1964-1966), de Maasvlakte (1964-1976), de Brielse Gatdam (1966), de Slufterdam (1986-1987) en Maasvlakte 2 (2008-2013) maakt het noordelijk deel van deze voormalige buitendelta geen deel meer uit van het natuurlijk systeem. Dit heeft een significante invloed op de ontwikkeling van het resterende deel van de Haringvlietmonding.

De ontwikkelingen in het zeegat van het Haringvliet (Figuur 2.10) startten in 1956 met de aanleg van de kofferdam voor de bouw van de Haringvlietsluizen. De kofferdam en de daarop volgende reconstructie van het zuidelijke stroomgat reduceerden de breedte van het estuarium, waardoor de oriëntatie van het meest zeewaarts gelegen plaatgebied op de buitendelta al veranderde van vooral kustdwars naar meer kustparallel. Tegelijkertijd vonden de grote ingrepen in het gebied ten noorden van de Haringvliet buitendelta plaats (zie boven). In 1970 werd de geul ten noorden van de Haringvlietsluizen afgesloten waardoor het estuarium de facto afgedamd was. In november van dat jaar werden de sluisen in gebruik genomen. In de jaren na 1970 erodeerde het deltafront sterk, waardoor het oppervlak van de buitendelta afnam en de Hinderplaat snel in omvang en hoogte toenam. De geulen vulden op met vooral slib, het reliëf en de gemiddelde diepte van de buitendelta namen af. Vanaf 1973 vonden er regelmatig duinverzwaringen en strandsuppleties plaats op De Punt en de zuidwestkust van Voorne. In de periode 1973-1987 werd hier 9,5 *mkm* zand aangebracht. Het grootste deel hiervan is afkomstig van het uitgraven van havenbekkens (o.a. Europoort, Maasvlakte).

De aanleg van de Slufter (1986-1988), waarbij een nieuwe kortsluitgeul door de Hinderplaat werd gegraven, en Maasvlakte 2 (2008-2013) beïnvloedden de ontwikkeling van het gebied. Het gebied lijkt op langere termijn naar een vrijwel gesloten kust te ontwikkelen. De kust van Voorne erodeert nog steeds, het lijkt er op dat in de beschutte situatie de golfwerking niet meer krachtig genoeg is om zand naar het strand omhoog te brengen, terwijl de erosie doorgaat. Hierdoor zakt het strand als het ware uit. In 2009 en 2010 is hier een versterking uitgevoerd in het kader van het Zwakke Schakel- versterkingsprogramma.

Een grote zandaanvoer uit het zuiden als gevolg van de afbraak van de Grevelingen buitendelta en de suppleties op het Flaauwe Werk (NB Zwakke Schakel-versterking in 2008-2009) voedden de uitbouw van de kust en onderwateroever van Goeree en een verdere uitbouw van de Kwade Hoek. De enige resterende geul is het Slijkgat, de vaargeul naar

Stellendam. Deze moet op diepte worden gehouden door middel van baggeren. Het Slijkgat vormt geen bedreiging voor de noordoever van Goeree.

Over de periode 1965-1980 neemt het sedimentvolume van het mondingsgebied flink toe: 57 *mkm*. In de daarop volgende jaren verdwijnt bijna de helft van dit volume weer (34 *mkm*), waardoor de netto toename over de periode 1965-2010 uitkomt op 23 *mkm*. Indien de volumes gesuppleerd zand hiervan worden afgetrokken komt de balans vrijwel neutraal uit: -1 *mkm*!

N.B. Voor de sedimentbalans van de hele buitendelta zijn interne verplaatsingen van zand, bijvoorbeeld gebaggerd in een geul en opgespoten op het strand, niet meegeteld. Een totaaloverzicht van de gesuppleerde volumina staat in Bijlage B2.

Grevelingenmonding

Het Westhoofd van Goeree was vóór de afsluiting van het Brouwershavense Gat een sterk eroderende eilandkop. Tussen 1966 en 1985 zijn hier duinverzwaringen en strandsuppleties uitgevoerd met zand dat vrijkwam bij de Deltawerken, met een totaal volume van 7,7 *mkm*. Na de voltooiing van de Brouwersdam in 1971 begon het deltafront van de Grevelingen buitendelta te eroderen, waardoor het oppervlak van de buitendelta kleiner werd en het ondiepe bankengebied Bollen van de Ooster uitbreidde en in hoogte toenam. Deze banken beschermen het Westhoofd, dat pas in 2005 opnieuw versterkt is met een strandsuppletie. De geulen op de buitendelta werden opgevuld met sediment, waarbij er veel slib is afgezet in het diepe Brouwershavense Gat. Het reliëf van de buitendelta vervlakte en de gemiddelde diepte nam af. Het Brouwershavense Gat, de voormalige hoofdgeul van het zeegat, speelt slechts een rol van lokale betekenis omdat hij nauwelijks debiet voert (zie Figuur 2.11).

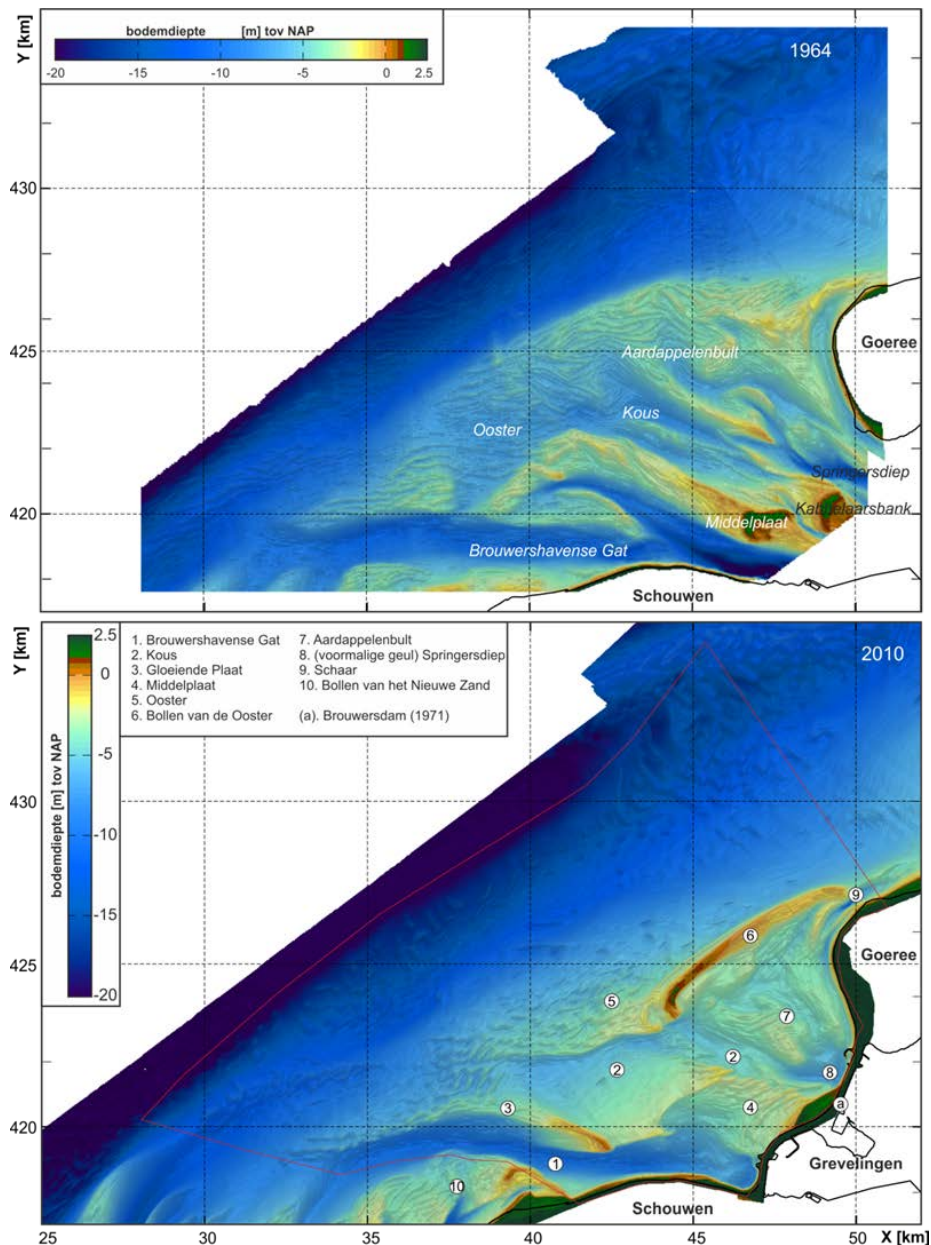
Op het moment van afsluiting strekte zich zeewaarts van de Brouwersdam het platencomplex Middelplaat/Kabellaarsbank uit, dat na het wegvallen van de in- en uitstroom van het getij door de golven opgeruimd werd. Het zand werd richting de dam verplaatst waardoor er vóór de dam een breed strand ontstond, dat weer de zandbron was voor de vorming van duinen op de dam zelf. De Middelplaat/Kabellaarsbank fungeerde in feite als een zandmotor avant la lettre. Inmiddels is het strand sterk in breedte afgenomen.

De banken van de Bollen van de Ooster (Figuur 2.11) breidden ook in noordoostelijke richting uit, parallel aan de kust van Goeree, waardoor de kortsluitgeul inschaarde en langer werd. Dit leidde lokaal tot erosie van de kust van Goeree. Ook de zuidwestkust van Goeree erodeert lokaal. De noordkust van Schouwen moet regelmatig gesuppleerd worden, wellicht omdat er zand in het Brouwershavense Gat verdwijnt. De geul Krabbengat welke voor de Kop van Schouwen ligt bouwt een vloedchild, de Bollen van het Nieuwe Zand, uit in het Brouwershavense Gat, waardoor de noordkust van Schouwen lokaal aanzandt (zie Figuur 2.11 en 2.12). Het gebied van de voormalige buitendelta verliest nog steeds zand, terwijl het sedimentvolume van het landwaartse deel van de buitendelta toeneemt.

Over de periode 1965-1990 nam het sedimentvolume van het mondingsgebied toe met 35 *mkm*. In de daarop volgende jaren verdween eenderde van dit volume weer waardoor het netto resultaat over de periode 1965-2010 op 22 *mkm* komt. Na correctie voor zandsuppleties komt de volumeverandering uit op een aanwas van 11 *mkm*.

Het totale sedimentvolume van de Grevelingen buitendelta landwaarts van de 10m-contour neemt toe, ondanks de erosie in het zeewaartse deel. Tussen 1964 en 2010 neemt het volume toe met 76 *mkm*, wat voor het grootste deel voor rekening komt van de opvulling van

de geul Brouwershavense Gat (53 mkm). De erosie van het deltafront over deze periode bedraagt 89 mkm (Elias & van der Spek, 2014a; Figuur 5.2).



Figuur 2.11; de ontwikkeling van de geulen en platen in de Grevelingenmondning tussen 1964 en 2010-2011. De omslag van een buitendelta met een radiaal geulenpatroon naar een door een kustparallelle bank afgeschermd gebied is duidelijk te zien. Het vakklingengebied is aangegeven met een rode lijn.

Oosterscheldemonding

Vóór de voltooiing van de stormvloedkering in 1986 nam het sedimentvolume van de Oosterschelde buitendelta (Figuur 2.12) toe, doordat het getijdebiet als gevolg van de ingrepen in het bekken groter werd. Hierdoor zandde de buitenrand van de buitendelta aan met zand dat afkomstig was uit het estuarium. Door de afsluiting van de kleinere geulen in het zeeget (omdat hier damvakken aangelegd werden) concentreerde de stroming zich in de hoofdgeulen, waardoor deze uitdiepten.

Na de voltooiing van de Oosterscheldekering traden er geen grootschalige veranderingen in het patroon van de hoofdgeulen op omdat de getijstrooming grotendeels intact is gebleven. Het getijdebiet in het zeegat is echter afgenomen met ca. 30%. Wel verandert de oriëntatie van de geulen op de Banjaard en tussen de Banjaard en de Kop van Schouwen in een meer noord-zuidelijke strekking. Daarbij verlengt het Krabbengat voor de Kop van Schouwen zich in noordelijke richting en bouwt daarbij de Bollen van het Nieuwe Zand uit in het Brouwershavense Gat, en ontwikkelt zich in het zeewaartse deel van het Brouwershavense Gat een geul naar het zuiden (zie Figuur 2.12). Langs de hele Kop van Schouwen moet regelmatig gesuppleerd worden.

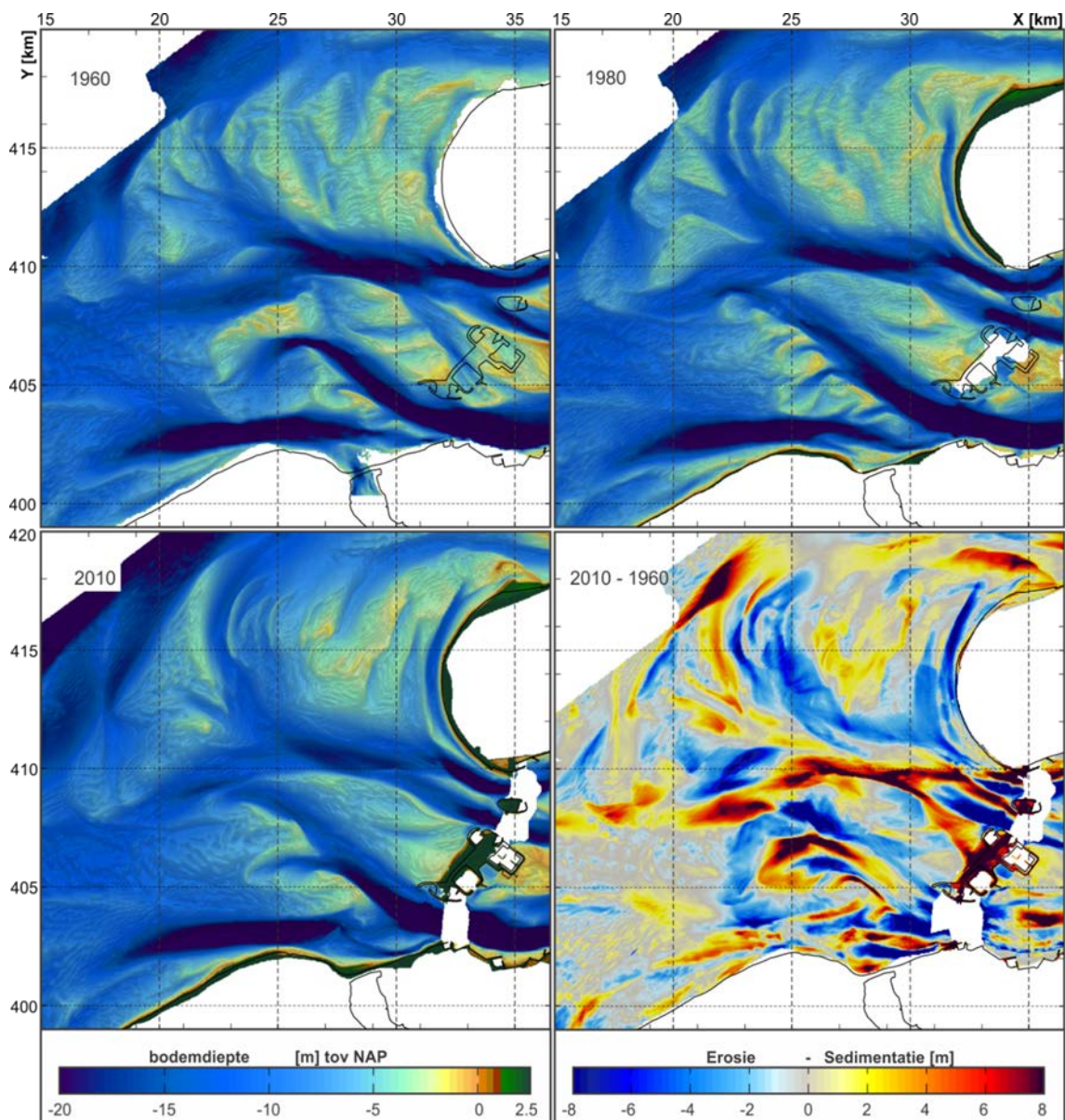
Na 1980 blijkt de gehele monding te eroderen. Van de netto aanzanding van 74 *mkm* over de periode 1965-1980 is 10 jaar later 60% alweer verdwenen (Tabel B.1). De netto balans in 2010 komt na correctie voor suppleties op een verlies van 48 *mkm*. Het grootste deel van dit verlies komt voor rekening van de Banjaard: ca. 38 *mkm*. De omslag van significante aanzanding vóór afsluiting naar erosie van met name het noordelijke geulensysteem is waarschijnlijk het gevolg van de weggevallen aanvoer van zand vanuit de Oosterschelde. Op de buitendelta vindt nu een herverdeling van sediment plaats. Het lijkt er op dat er een klein netto verlies richting de Grevelingenmonding optreedt.

Het zuidelijke deel van de buitendelta wordt gedomineerd door de geul Roompot. Deze heeft een uitstroom langs de kust van Noord-Beveland en Walcheren (Roompot Zuid) en een meer noordwestelijke component (Oude Roompot). De kust van noordwest Walcheren en die van Noord-Beveland moeten regelmatig gesuppleerd worden. Bij de Onrustpolder op Noord-Beveland is het inscharen van getijgeulen regelmatig bestreden door zand van de drempel tussen Roompot Zuid en Oude Roompot te baggeren en dit te verplaatsen naar de kust van Noord-Beveland. De westpunt van Walcheren ten noorden van Westkapelle is in het kader van de aanpak van Zwakke Schakels versterkt (2008-2009).

Direct vóór de stormvloedkering zijn in de geulen Hammen, Geul van Roggenplaat en Roompot omvangrijke en diepe ontgrondingskuilen ontstaan. Met name de ontgrondingskuil in de Hammen kan van invloed zijn op de suppletiebehoefte van Westen-Schouwen.

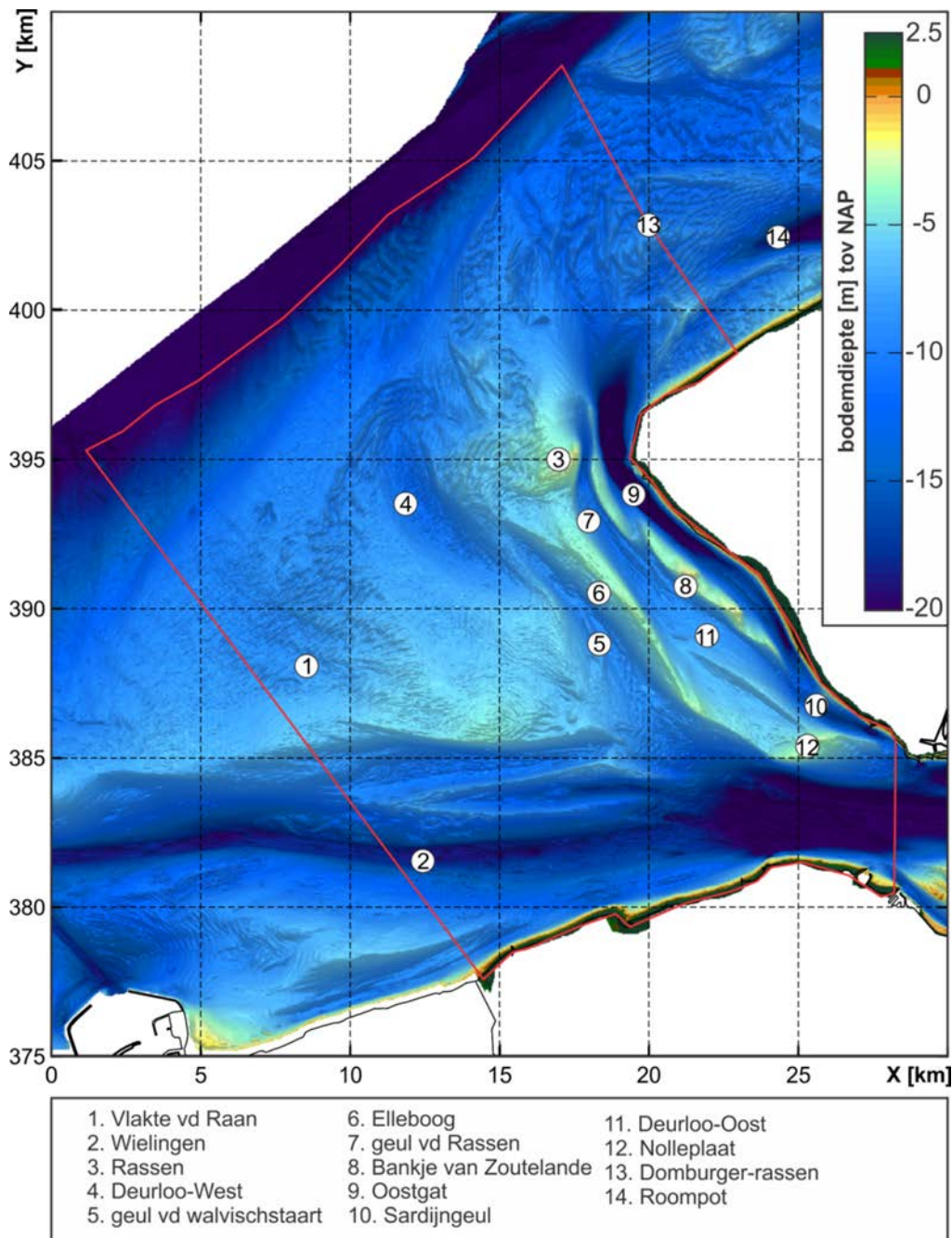
Westerscheldemonding

De huidige ligging van de geulen en platen in de Westerscheldemond, met de grootste geul Wielingen in het zuiden en een uitgebreid stelsel van geulen en platen langs de kust van Walcheren (zie Figuur 2.13) bestaat op hoofdlijnen al sinds de omslag van een systeem met drie hoofdgeulen naar een systeem met twee hoofdgeulen, ongeveer een eeuw geleden. Ondanks de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde en de veranderingen in het Westerschelde-estuarium bleven de morfologische kenmerken van dit systeem over de laatste 45 jaar behouden. Ook de volumebalans over deze periode is stabiel: na correctie voor suppleties zijn de veranderingen vrijwel nihil: 2 *mkm*. De grootste veranderingen tussen 1964 en 2011 traden vooral op in en rond de geulen. In het zuiden zien we een verdieping van de Wielingen, voornamelijk door baggeren. Een gedeelte van dit gebaggerde sediment wordt zowel ten noorden als ten zuiden van de Wielingen gestort. Het netto effect van het baggeren over de totale periode is een afname van ca. 30 *mkm*.



Figuur 2.12; de buitendelta van de Oosterschelde in 1960, 1980 en 2010-2011. De buitendelta groeide zeewaarts vóór 1980 en nam daarna weer af. Het vaklodingengebied is aangegeven met een rode lijn.

Langs de zuidwestkust van Walcheren komen in de huidige situatie drie parallelle geulen voor, van oost naar west achtereenvolgens Oostgat, Geul van de Rassen-Deurloo Oost en Deurloo West- Walvisstaart, gescheiden door twee banken (Figuur 2.13). Het Bankje van Zoutelande, de Rassen-Elleboog en Nolleplaat waren in 1964 nog losse platen, maar zijn in de huidige situatie met elkaar verbonden. Hierdoor is een langgerekt platengebied gevormd dat zich vrijwel langs de gehele zuidwestkust van Walcheren uitstrekt. Tussen deze plaat en de kust van Walcheren ligt het Oostgat vrij stabiel in positie. Het Oostgat lijkt wel over vrijwel de gehele lengte wat dieper te worden. De volumebalans van dit geul-plaat complex is positief: 8 *mkm*. De stabiliteit van het Oostgat is mede gerelateerd aan de aanwezige erosieresistente lagen in de oever van Walcheren. Door het aanbrengen van grote geulwandsuppleties (2,8 *mkm* in 2005, 6,3 *mkm* in 2009) is de geul uit de oever van zuidwest Walcheren geschoven. Het zeewaartse deel van het Oostgat breidt zich uit naar het noorden (voor de westpunt van Walcheren).



Figuur 2.13; de Westerscheldedemonding in 2010-2011. Het vaklodingengebied is aangegeven met een rode lijn.

De Vlakte van de Raan vertoont netto erosie (57 mkm), het front van de buitendelta schuift langzaam landwaarts op. Het landwaartse deel van het mondingsgebied heeft een positieve balans: ca. 31 mkm. In de keel van het zeegat snijdt de Wielingen in tot op de Boomse Klei. Deze klei is zeer moeilijk erodeerbaar waardoor de geul hier niet snel dieper zal worden. De kust van Zeeuws-Vlaanderen is in de periode 2009-2012 op een groot aantal locaties versterkt met zand (Zwakke Schakels). De versterking van Cadzand staat voor 2014-2015 in de planning.

2.2 Eilanden

2.2.1 Waddeneilanden

De ontwikkeling van eilandkoppen en -staarten hangt nauw samen met de ontwikkelingen in de aangrenzende zeegaten en buitendelta's en zijn daar beschreven (zie 2.1.4 en 2.1.5). Hier worden vooral de ontwikkelingen van de centrale delen van de Waddeneilanden beschreven.

Texel

Het centrale deel van de Noordzeekust van Texel heeft een convexe vorm (Figuur 2.3) waardoor golfgedreven langstransporten zand naar het noorden en zuiden verplaatsen. Dit veroorzaakt een sterke erosie, waardoor hier zeer veel gesuppleerd is in de afgelopen jaren: sinds 1984 ruim 18 *mkm* (rond De Koog, dat wil zeggen tussen De Slufter in het noorden en strandpaal 15 in het zuiden)¹. Ten noorden van De Slufter is sinds 1979 17 *mkm* zand gesuppleerd. Tussen 1979 en 1985 werd dit zand gewonnen in het Robbengat (8,9 *mkm*), in 1995 is er wederom zand gewonnen in de buitendelta (1,1 *mkm*). Noordwest Texel erodeert door de relatief grote afvoer van zand via het Eierlandse Gat naar de Waddenzee. De teruggang van de noordkop van het eiland is gestabiliseerd door de aanleg van een bolwerk met strekdammen en de Eierlandse Dam. Echter, de erosie ten zuiden van de dam gaat onverminderd verder. In de directe omgeving van de Sluftermonding wordt niet gesuppleerd om verzanding te voorkomen. Zuidwest Texel (ten zuiden van strandpaal 15) erodeert door inscharing van het Molengat, hier is sinds 1993 7,5 *mkm* gesuppleerd, waarvan het grootste deel op het strand.

Vlieland

De kust van Vlieland kan in drie segmenten opgedeeld worden. De Vliehors in het zuiden groeit aan, zowel naar het zuiden als in zeewaartse richting. De ontwikkeling van noord en oost Vlieland wordt sterk beïnvloed door de geulen op de buitendelta van het Zeegat van het Vlie. Tussen 1995 en 2012 is hier bijna 5 *mkm* zand gesuppleerd. Het centrale deel van Vlieland is nog niet gesuppleerd.

Terschelling

Op de westelijke kop van Terschelling wisselen sterke erosie en aanzanding elkaar af. Het centrale deel van het eiland is stabiel. De oostelijke staart van het eiland erodeert op dit moment, dit hangt samen met de ontwikkeling van het Boschgat. Op het centrale deel van Terschelling is in 1993 de experimentele Nourtec-suppletie (2 *mkm*) uitgevoerd. Hierna is het eiland niet meer gesuppleerd.

Ameland

De ontwikkeling van noordwest Ameland hangt sterk samen met de aanlanding en herverdeling van het Bornrif. In 1979 is hier een kleine strandsuppletie uitgevoerd met zand uit de buitendelta, vanaf 1994 wordt hier regelmatig gesuppleerd (totaal ruim 5 *mkm*). Het centrale en oostelijke deel van de Noordzeekust van Ameland eroderen sterk, waardoor hier veel suppleties uitgevoerd zijn (de eerste strandsuppletie met 2,2 *mkm* zand uit de buitendelta in 1980, sinds 1990 bijna 17 *mkm*, zowel op het strand als onderwater). Een relatie met de gaswinning ten noorden van en onder oostelijk Ameland lijkt hier voor de hand te liggen: door de geïnduceerde bodemdaling is de relatieve zeespiegelstijging hier groter waardoor de kust sterker achteruit gaat. Bodemdaling in het achterliggende getijbekken veroorzaakt ook daar extra relatieve zeespiegelstijging, waardoor er waarschijnlijk ook een grotere netto afvoer van zand uit de kustzone naar het bekken optreedt. De bodemdaling op

¹ N.B. Suppletiecijfers lopen tot en met 2012!

de oostpunt van Ameland (vastgesteld door middel van waterpassingen) bedraagt inmiddels ca. 0,3 m (Ketelaar et al., 2011). De kwelders slibben op, afhankelijk van de afstand tot de aanvoerweg van sediment, met maximaal 0,25 m (periode 1990-2010; Dijkema et al., 2011).

Schiermonnikoog

Op het westelijk deel van Schiermonnikoog is een grote hoeveelheid zand afgezet die afkomstig is van de omwerking van de strandhaak die gevormd werd na erosie van de buitendelta. Dit zand wordt langs de kust naar het oosten en zuiden verplaatst waardoor de kustlijn van het noordwestelijke deel van het eiland erodeert. De BKL is hier nog niet overschreden maar dat zal in de nabije toekomst waarschijnlijk wel gaan gebeuren. Het centrale deel van het eiland is sterk uitgebouwd. Dit is een gevolg van de sedimentgolf (gevoed door de afbraak van de buitendelta) die sinds 1977 van west naar oost langs de Noordzeekust van het eiland trok. Na het voorbijtrekken van de sedimentgolf gaat de kust weer terug. Deze erosiegolf heeft het centrale deel van het eiland nog niet bereikt. De staart van het eiland is naar het oosten langer geworden, maar kan door inscharing van de Eilanderbalg in de komende decennia weer ingekort worden. Op Schiermonnikoog is nog nooit gesuppleerd.

2.2.2 Eilanden Deltagebied

Door de oriëntatie van de eilanden in het Deltagebied, min of meer dwars op de strekking van de kust, is de afstand tussen de zeegaten relatief klein en gaan de buitendelta's in elkaar over (Figuur 2.3). De laatste vormen een aaneengesloten, ondiep bankengebied zeewaarts van de eilanden en zeegaten: de Voordelta. Door deze oriëntatie liggen de grote getijgeulen relatief dicht onder de kust van de eilanden. De ontwikkeling van de eilandkusten wordt grotendeels door de ontwikkeling van deze geulen bepaald. De ontwikkeling van de eilanden in het Deltagebied is daarom reeds bij de buitendelta's behandeld (zie aldaar). Hier wordt alleen in het kort de huidige stand van zaken gegeven. De kusten van de eilanden worden regelmatig gesuppleerd. Tot 1993/1994 gebeurde dat overwegend met lokaal gewonnen zand, daarna met zand uit zandwingebieden buiten de 20m-dieptelijn (zie verder Bijlage B).

Voorne

De kust van Voorne erodeert, zand verdwijnt in de voorliggende geulen en blijkbaar is er geen natuurlijke aanvoer van zand meer om de tekorten aan te vullen. In 2009-2010 is op de Punt van Voorne een extra duinenrij aangelegd en is het strand aan de zuidwestzijde opgehoogd in het kader van de zwakkeschakelversterkingen. Dit kustvak bevat voor komende jaren voldoende zand.

Goeree

De kust van Goeree ten noorden van het Flauwe Werk groeit sterk aan door aanvoer van zand uit het zuidwesten. Het Flauwe Werk (een zeedijk) is als Zwakke Schakel versterkt in 2008-2009. De kust ten westen van het Flauwe Werk, de westpunt van het eiland, erodeert als gevolg van inscharing van kleine getijgeulen die de Bollen van de Ooster scheiden van het eiland. Het zuidwestelijke deel van het eiland, grenzend aan de buitendelta van de Grevelingen, is stabiel tot licht teruggaand.

Schouwen

De noordkust van Schouwen vraagt om regelmatig onderhoud in de vorm van strandsuppleties (3 mkm sinds 1990). De kust tussen Nieuw Haamstede en Renesse, bij de Bollen van het Nieuwe Zand (monding van het Krabbengat) groeit aan. De Kop van Schouwen moet eveneens regelmatig onderhouden worden met strandsuppleties (bijna 5 mkm sinds 1987). In 1987, 1992 en 1996 is zand gewonnen op de zeewaartse geulwand van

het Krabbengat. Een deel van dit zand is op de vooroever van Schouwen aangebracht om de erosie van de Kop door de opdringende geul tegen te gaan, de rest is gebruikt voor strandsuppleties en duinverzwaringen. De erosie van de Kop door golfgedreven zandtransporten gaat echter verder (zie Vermaas & Elias, 2014, voor meer details). Aan de zuidkant van het eiland, bij Westenschouwen, wordt regelmatig gesuppleerd (4,4 *mkm* sinds 1991).

Noord-Beveland – Veerse Dam

Het kustvak Onrustpolder op Noord-Beveland wordt regelmatig gesuppleerd. De voorliggende getijgeul Schaar van Onrust (Figuur 2.12) verplaatst zich naar de kust. Een aantal malen is de drempel tussen de geulen Roompot Zuid en de Oude Roompot verlaagd, om het geulprofiel te verruimen en daarmee de druk op dit kustvak te verminderen. Het gebaggerde zand is op het strand aangebracht en eenmaal op de onderwateroever. Het zand verplaatst zich door de golfwerking van west naar oost, waardoor het strand bij de stormvloedkering uitbouwt. Voor de Veerse Dam doen zich geen problemen voor, hier vindt eerder aanzanding plaats.

Walcheren

De noordwestkust van Walcheren wordt begrensd door de geul Roompot op de Oosterschelde buitendelta. Langs dit kustvak wisselen locaties met aangroei en teruggang elkaar af, maar de trend is overwegend erosief. Vóór de instelling van de kustlijn zorg vonden hier duinverzwaringen en (kleine) strandsuppleties plaats met zand uit de buitendelta (Kaloo): bijna 1 *mkm* tussen 1984 en 1990. Vanaf 1992 is hier 6,4 *mkm* zand op de stranden gebracht. Een deel daarvan (1,3 *mkm*) kwam uit de Oude Roompot. In 2008 is de westpunt van het eiland, bij de Westkapelse Zeedijk versterkt met 2,4 *mkm* zand, waarvan 1,4 *mkm* onder water, in het kader van een Zwakke Schakel-versterking.

De geulen Oostgat en Sardijngeul liggen direct voor de zuidwestkust van Walcheren. Dit kustvak is structureel eroderend, al zijn enkele deeltrajecten licht aanzandend. Tot en met 1990 werd hier al 3,5 *mkm* zand aangebracht in de vorm van duinverzwaringen en strandsuppleties (en in 1952 en 1966 de eerste, zeer kleine onderwatersuppleties bij Vlissingen) met zand uit de Sardijngeul en van het Bankje van Zoutelande. In het kader van de kustlijn zorg is hier vanaf 1991 9 *mkm* zand op het strand aangebracht. Tot en met 1993 werd dit zand lokaal gewonnen op de Nolleplaat en het Bankje van Zoutelande. Daarnaast zijn grote geulwandsuppleties uitgevoerd in het Oostgat tussen Zoutelande en Westkapelle (zie boven), om de geul uit de kust te verplaatsen.

Zeeuws-Vlaanderen

Dit is een over het algemeen eroderend kustvak dat begrensd wordt door de geul Wielingen. Sinds 1971 is hier ruim 15 *mkm* zand op met name de stranden aangebracht in het kader van herstel van stormschade, kusterosie, kustlijn zorg en Zwakke Schakel-versterkingen. Tot en met 1994 werd hiervoor lokaal zand gewonnen (Sluissche Hompels, Nolleplaat, Sardijngeul, Zwin).

2.3 Hollandse kust

De Hollandse kust wordt hier onderverdeeld in kustvakken met een vergelijkbaar gedrag. De vakken worden afzonderlijk besproken. De Hondsbossche en Pettemer Zeewering is niet bij een van deze kustvakken ingedeeld. Deze 5 km-lange zeedijk speelde tot nu toe geen belangrijke rol in de ontwikkeling van de zandige kust. Na de versterking van deze zeewering

met zand (gereed in voorjaar 2015) maakt dit traject wèl onderdeel uit van de zandige kust en zal met suppleties worden onderhouden.

Noord-Holland Noord

Dit kustvak loopt van de Helderse Zeewering bij Huisduinen in het noorden tot aan de Hondsbossche en Pettemer Zeewering in het zuiden. Dit kustvak heeft een lengte van 21 km en verliest netto zand. Er is hier sinds 1976 circa 30 *mkm* zand toegevoegd, wat neerkomt op een gemiddelde van ongeveer 1500 kuub per strekkende meter (*ksm*).

Vóór de invoering van het Dynamisch Kustbeheer is hier het strand gesuppleerd met 4 *mkm* zand uit de Waddenzee en het Schulpengat (1976-1987). Tussen 1991 en 2011 is hier 26,4 *mkm* gesuppleerd, waarvan 10 *mkm* op het strand en de rest onder water bij Callantsoog (2001, 2003, 2006; totaal 5,5 *mkm*), Huisduinen-Julianadorp (2007, 2009; totaal 6,3 *mkm*), en tussen Julianadorp en de Hondsbossche (2008-2009; 4,5 *mkm*). Het zand voor de strandsuppleties in de jaren 1991-1993 is gewonnen in de buitendelta (1,8 *mkm*). Zie ook de beschrijving bij het Zeegat van Texel.

Niet alle locaties in dit kustvak eroderen: de zeereep bij Groote Keeten groeit al vanaf de jaren vijftig aan (Arens et al., 2009). De oorzaak hiervan is niet duidelijk: deze locatie ligt landwaarts van het Fransche Bankje op de buitendelta van het Zeegat van Texel, wat wellicht beschutting tegen golfwerking oplevert, maar Groote Keeten ligt ook enkele kilometers te noorden van Callantsoog waar veel gesuppleerd is.

Noord-Holland Midden

Dit kustvak loopt van de zuidkant van Hondsbossche en Pettemer Zeewering tot en met Egmond. In dit kustvak trad vóór de invoering van de kustlijnzorg sterke erosie op. Het vak is 14 km lang en er is tussen 1990 en 2011 19,8 *mkm* zand gesuppleerd. Dat is gemiddeld 1400 *ksm*. Het zand voor de strandsuppleties in 1990, 1994 en 1995 is gewonnen op de diepere onderwateroever (totaal 1,3 *mkm*).

Vanaf 1992 vonden er vrijwel ieder jaar kustlijnzorgsuppleties plaats. In totaal is er in dat kader 19 *mkm* zand aangebracht, vanaf 1999 ook onder water bij Bergen, Egmond en Camperduin (totaal 11,5 *mkm* onderwater). Door het grote aangebrachte suppletievolume is de kust lokaal uitgebouwd, bij Bergen aan Zee is de duinvoet ca. 35 m zeewaarts verplaatst (Bakker et al., 2010; 2012).

Noord-Holland Zuid

Dit kustvak strekt van Egmond tot aan Wijk aan Zee. Het is van nature stabiel tot aanzandend, waardoor hier weinig onderhoud nodig was (in totaal is er tussen 1996 en 2005 slechts 1 *mkm* op het strand aangebracht, bij Heemskerk en Castricum). De helft van dit volume is afkomstig van onderhoudsbaggerwerk in de IJ-geul. In 2011-2012 is een experimentele onderwatersuppletie van 1,6 *mkm* zand aangebracht bij Heemskerk, waarvan ook weer een deel (40%) afkomstig is uit de IJ-geul. In totaal is er 175 *ksm* zand aangebracht over dit 15 km lange vak. Het netto transport in dit vak is zuidwaarts, waardoor het strand bij het noordelijke havenhoofd van IJmuiden nog steeds uitbouwt.

IJmuiden-Scheveningen

Dit kustvak is over het algemeen stabiel tot aanzandend, en mede dankzij het grote aantal vooroeversuppleties zelfs uitbouwend. Het vak is 46 km lang en in de periode 1962-2012 is er gemiddeld 600 *ksm* kustlijn toegevoegd (van der Spek & Elias, 2014; Tab. 2.7).

Bij de aanleg van de havenhoofden bij IJmuiden in periode 1962-1967, is 1,5 *mkm* zand op het strand ten zuiden van de zuidpier aangebracht. Sinds 1990 is er in dit vak 21 *mkm* zand aangebracht, waarvan 14 *mkm* onder water (Zandvoort, Bloemendaal, Noordwijkerhout, Noordwijk, Katwijk, Wassenaar en Scheveningen). De stranden van Zandvoort en Bloemendaal zijn in de 90-er jaren gesuppleerd met zand uit de IJ-geul. De Zwakke Schakels Noordwijk (2007-2008), Scheveningen (2009-2010) en Katwijk (2013-2015) zijn versterkt met zand. Het onderhoud van deze zandige versterkingen komt (op den duur) ten laste van de kustlijnverzorging.

Scheveningen-Hoek van Holland

Dit is een van oudsher eroderend kustvak, dat al sinds het einde van de 18e eeuw verdedigd wordt met hoofden. In 1971 is direct ten noorden van het noordelijke havenhoofd van Hoek van Holland de Van Dixhoorndriehoek aangelegd met 18,9 *mkm* zand dat vrijkwam bij het ontgraven van de havenbekkens in de Maasvlakte. In de daarop volgende jaren (1976-1977; 1988-2004) is deze driehoek onderhouden met zand uit de Maasgeul en Eurogeul. In totaal is hier 24,5 *mkm* zand aangebracht. Van 1986 tot en met 2007 is er tussen Scheveningen en Hoek van Holland bijna 18 *mkm* zand gesuppleerd, waarvan 5,6 *mkm* onder water tussen Ter Heijde en Hoek van Holland. Dit is een aanvulling van gemiddeld 1100 kubieke meter zand per strekkende meter kustlijn.

Na 2007 is er veel veranderd in dit kustvak. Allereerst is in 2009 tussen Ter Heijde en Hoek van Holland ter compensatie van de aanleg van MV2 het strand verbreed en is er een kunstmatig duin aangelegd (de duincompensatie bij Slag Vlugtenburg; 5,1 *mkm* zand). Vervolgens zijn in 2009 en 2010 de Zwakke Schakels Ter Heijde en Kijkduin versterkt met een breed strand en kunstmatige duinregels en zijn de tussengelegen trajecten verbreed (totaal 10,1 *mkm* zand). Tenslotte is hier in 2011 de Zandmotor aangelegd (18,7 *mkm* zand). Alles bij elkaar opgeteld is dit 33,9 *mkm* extra zand welke in 4 jaar tijd is aangebracht. In totaal is sinds 1971 in dit 16,5 km lange kustvak 76,4 *mkm* zand toegevoegd (dat is inclusief Van Dixhoorndriehoek, duincompensatie, Zwakke Schakel-versterking en Zandmotor). Dat is ruim 4600 *ksm*. Er zijn hier dan ook voorlopig geen structurele tekorten te verwachten, al zullen lokaal wel suppleties nodig zijn om overschrijdingen van de BKL als gevolg van lokale herverdeling van het zand over het kustprofiel (en dan specifiek naar dieper water), te compenseren.

2.4 Zeespiegelstijging en bodemdaling

Voor de ontwikkeling van de kust is de relatieve zeespiegelstijging van belang, dit is de optelsom van een werkelijke stijging van het zeeniveau en daling van de bodem. De huidige stijging van het gemiddeld zeeniveau langs de Nederlandse kust ten opzichte van NAP bedraagt 19 cm (17-20) per eeuw. Deze berekening is gebaseerd op waarnemingen van de getijstations Vlissingen, Hoek van Holland, IJmuiden, Den Helder, Harlingen en Delfzijl. De peilschalen van deze stations zijn gefundeerd op de top van het Pleistocene zand, waardoor de daling van het land in deze waarnemingen versleuteld zit. N.B. Compactie van de Holocene sedimenten (welke op het Pleistoceen liggen) zit dus niet in deze waarnemingen. Voor de Nederlandse kust is op dit moment nog geen versnelling van de zeespiegelstijging aantoonbaar (zie De Ronde, 2013, voor een overzicht).

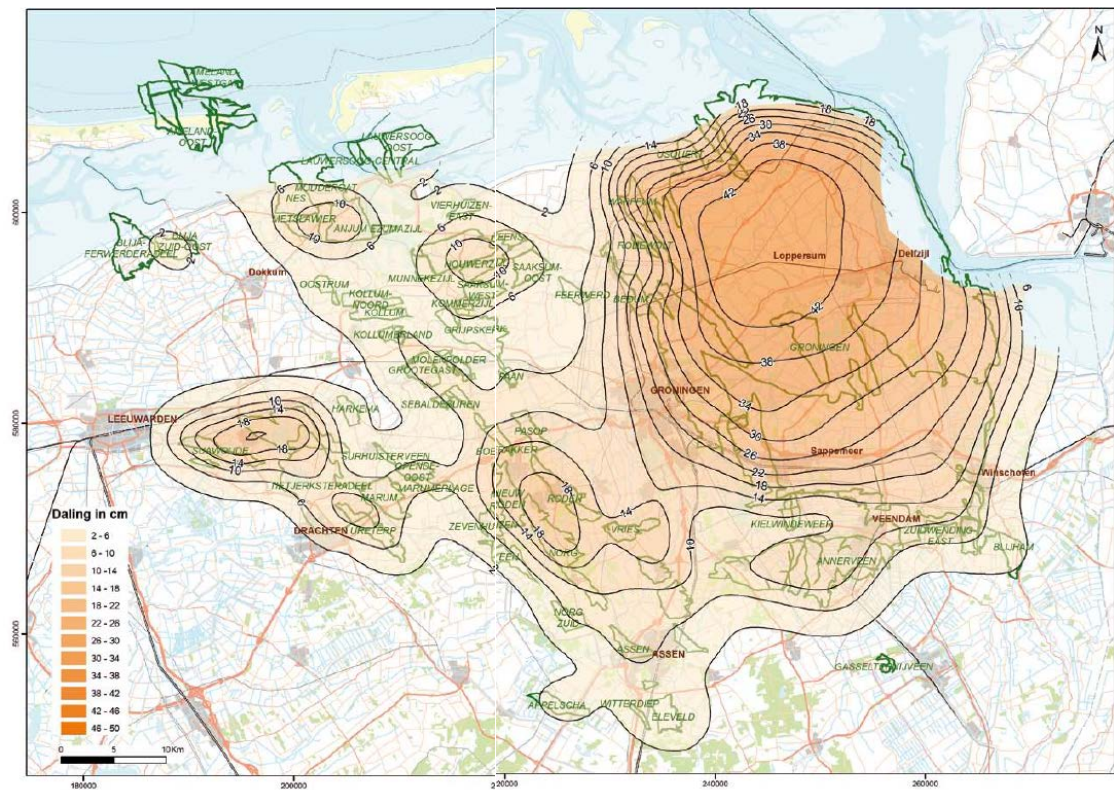
Op locaties langs de kust waar olie en/of gas gewonnen werd of wordt (Waddenzee, kust Noord-Holland bij Bergen en Castricum) daalt de bodem meer dan op de locaties van de getijstations, waardoor hier de relatieve zeespiegelstijging groter zal zijn dan het gemiddelde. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen kustlocaties die direct in een

bodemdalingsgebied liggen waardoor een extra sedimentbehoefte ontstaat en locaties waar erosie veroorzaakt wordt door afvoer van zand naar de Waddenzee. Bodemdaling door velden die geheel of ten dele onder de Waddenzee liggen, leidt tot extra sedimentvraag en veroorzaakt daarmee een grotere onttrekking van zand aan de Noordzeekustzone. De extra sedimentvraag ten gevolge van de winning in het Slochteren gasveld in Groningen (zie Figuur 2.14) is nooit precies vastgesteld en wordt ook niet gecompenseerd. De inhoud van de bodemdalingsschotels van de gasvelden Zuidwal (ten westen van Harlingen) en Ameland Oost wordt geschat op respectievelijk 5 *mkm* in 2010/2015 (Rommel, 2004) en 20 *mkm* (Ketelaar et al., 2011; Tabel 1.2, Prognose 2011). Dit laatste volume wordt opgesplitst in bijdragen aan de 'zandhonger' van respectievelijk de Waddenzee (5 *mkm*), Ameland (3 *mkm*) en de Noordzeekustzone (12 *mkm*). De bodemdaling door de velden Zuidwal en Ameland Oost wordt niet gecompenseerd.

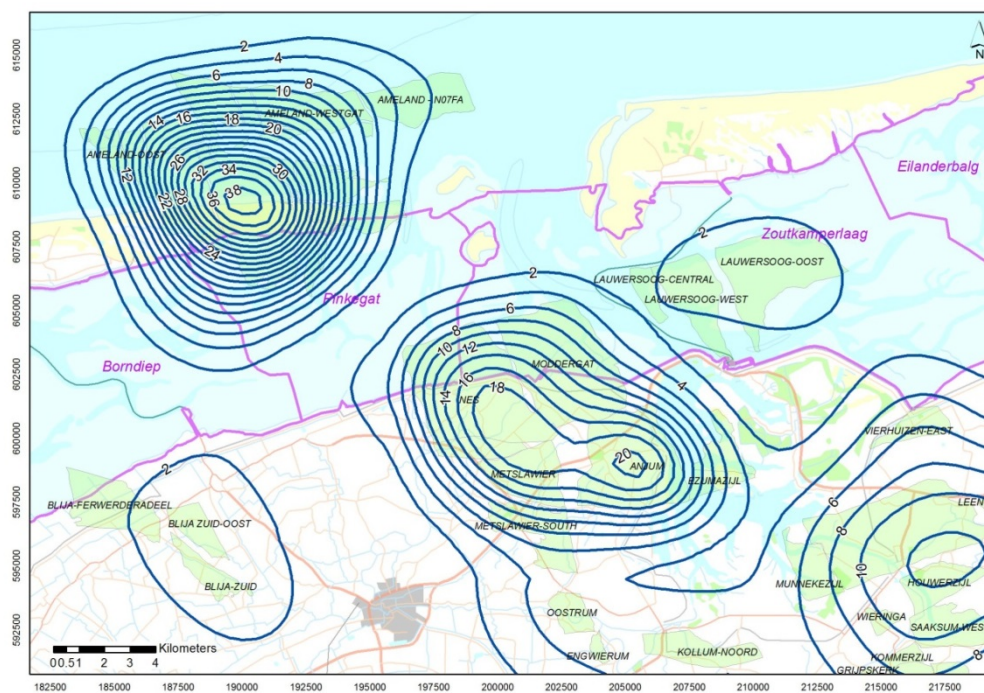
De extra vraag veroorzaakt door de vanaf 2007 in productie genomen gasvelden die geheel (Lauwersoog) of ten dele (Moddergat, Vierhuizen Oost) onder de Waddenzee liggen, zie Figuur 2.15, wordt geschat op basis van metingen en modelsimulaties (Wang, 2013) en gecompenseerd door middel van een extra suppletievolumen². De cumulatieve volumina van de bodemdalingsschotels in de kombergingsgebieden van Pinkegat en Zoutkamperlaag zullen rond 2035 opgelopen zijn tot respectievelijk 4,0 en 2,6 *mkm* (zie Bijlage C). De aanvoer van sediment uit de kustzone wordt verwacht te volgen op de bodemdaling in de Waddenzee (Wang, 2013). Vooralnog zijn er echter nog geen verschijnselen waargenomen die wijzen op bodemdaling in de Waddenzee ten zuiden en zuidoosten van Ameland.

Figuur 2.16 geeft een overzicht van de over de periode 1972-2003 gemeten gemiddelde snelheid van bodemdaling langs de kust van Noord-Holland. De hoogste gemeten dalingssnelheden worden veroorzaakt door gaswinning uit de gasvelden ten noordwesten van Alkmaar. De grootste relatieve zeespiegelstijging is opgetreden ten noorden van Bergen aan Zee, ter hoogte van De Kerf: 4,1 mm per jaar. Buiten de invloed van antropogene factoren bedraagt de relatieve zeespiegelstijging maximaal 2,0 mm per jaar. Voor de periode 2004-2035 wordt de grootste bodemdaling verwacht door gaswinning in de buurt van Castricum aan Zee. De relatieve zeespiegelstijging wordt maximaal 11 mm per jaar voor een locatie op 2 km ten zuiden hiervan (dat is ter hoogte van strandpaal 47). Dat zou stijging van maximaal 34 cm sinds 2004 geven. Meer recente gegevens zijn op dit moment niet beschikbaar. (Informatie uit Houtenbos, 2008.)

² Dit geldt voor de zandvraag door bodemdaling in de kombergingsgebieden van Pinkegat en Zoutkamperlaag. Effecten op het kombergingsgebied van het Borndiep worden niet berekend of gecompenseerd.

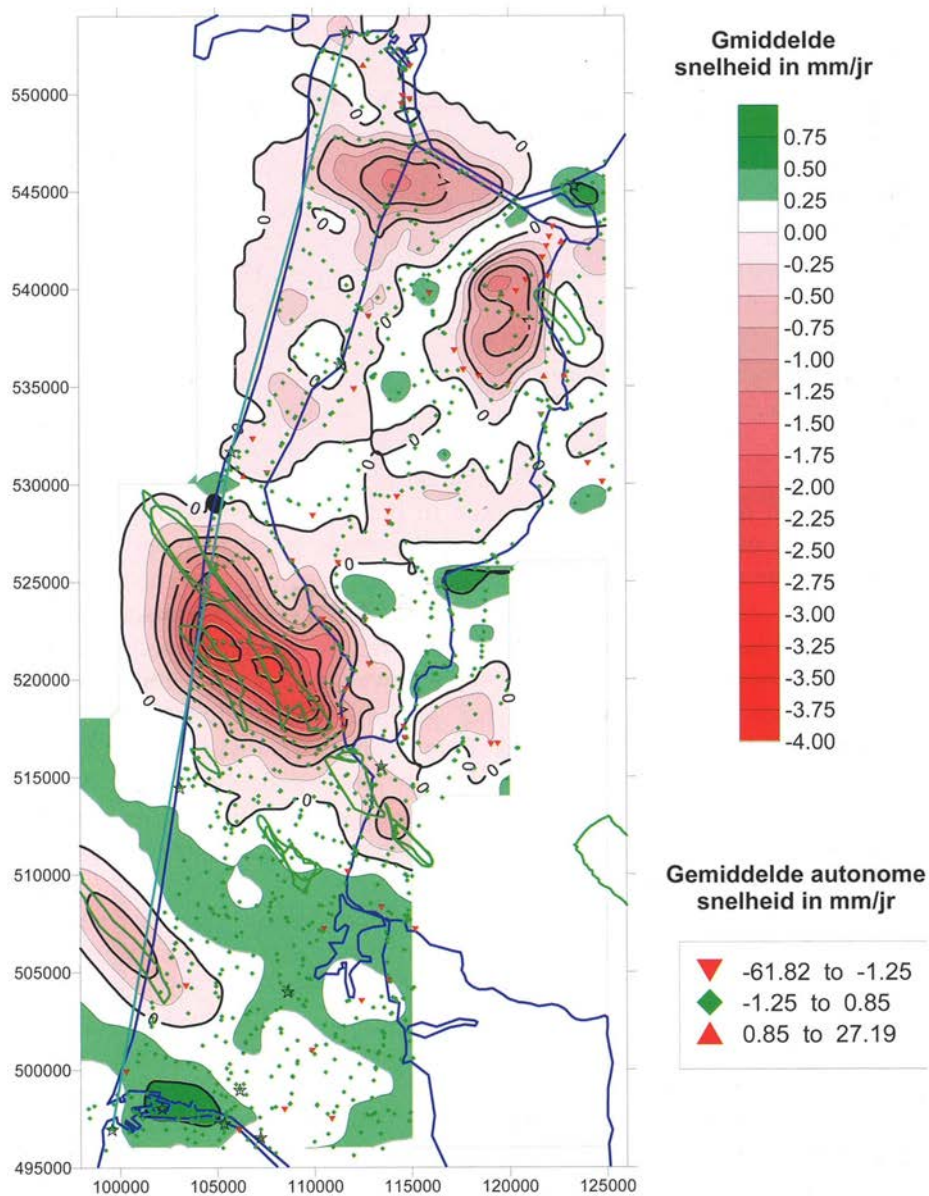


Figuur 2.14 ; voorspelde bodemdaling door aardgaswinning in de provincies Groningen en Friesland in 2050 (uit NAM, 2010). De bodemdalingscontouren zijn niet doorgetrokken op het Groninger Wad en in de Eems-Dollard maar dat betekent niet dat daar geen bodemdaling optreedt. Voor het Groninger Wad en de Dollard is de prognose maximaal 18 cm, voor de Eems ligt de voorspelling tussen 20 en 40 cm.



Figuur 2.15; voorspelde ruimtelijke verdeling van de bodemdaling rond de gasvelden Ameland Oost, Lauwersoog, Moddergat en Vierhuizen Oost in 2050, volgens de meest recente prognose (uit Wang, 2013).

Gemiddelde relatieve bodembewegingsnelheid 1972-2003



Figuur 2.16; de gemiddelde relatieve bodemdalingssnelheid langs de kust van Noord-Holland, gemeten over de periode 1972-2003 (Bron: Houtenbos, 2008).

3 De morfologische ontwikkelingen in de komende eeuw en de morfologische situatie in 2035 en 2100

Dit hoofdstuk beschrijft het vervaardigen van de modelbodems voor de verwachte morfologische situatie in 2035 en 2100. De ontwikkelingen langs de Nederlandse kust in de komende decennia zullen vooral een voortzetting zijn van de huidige ontwikkelingen. Daarom nemen we in deze studie de trends in de huidige relevante ontwikkelingen als uitgangspunt voor de kustontwikkeling tot 2035. De ontwikkelingen ná 2035 zullen veel minder een rechtstreekse voortzetting zijn van de huidige ontwikkelingen. De morfologische situatie voor 2100 bouwt dus voort op de huidige inzichten, zonder daar een directe extrapolatie van te zijn.

Op basis van de ontwikkelingen over de afgelopen decennia, zoals beschreven in Hoofdstuk 2, zijn de kenmerkende ontwikkelingen per buitendelta vastgesteld, waarna deze doorgetrokken zijn naar de toekomst (gebaseerd op Elias & van der Spek, 2014b). Zoals gezegd is de morfologische situatie voor 2035 een directe extrapolatie van deze ontwikkelingen. Echter, in gebieden met een min of meer cyclische ontwikkeling zou het in theorie voor kunnen komen dat de ligging van geulen en platen in 2035 vrijwel identiek is aan de huidige situatie. Het heeft echter geen zin simulaties uit te voeren met vrijwel onveranderde bodems. Als extra criterium hebben we daarom waar nodig een situatie gecreëerd met een maximale afwijking van de huidige bodem.

Voor 2100 is deze aanpak niet toereikend. Eigenlijk weten we niet hoe het systeem in 2100 er uit gaat zien. Het is niet zo dat de ontwikkeling over de afgelopen eeuw representatief is voor de verwachte ontwikkeling in de komende eeuw. De ontwikkelingen over het interval 1925-2015 zijn vrijwel geheel veroorzaakt door aanpassingen aan (grootschalige) ingrepen. Wel is het zo dat de grootste hierdoor veroorzaakte veranderingen voorbij lijken te zijn. Daarom zijn de bodems voor 2100 gebaseerd op een extreme extrapolatie van de recente grootschalige trends. Zo is bij de constructie van de bodem voor 2100 aangenomen dat de Waddeneilanden en Waddenzee behouden blijven, maar hebben we de buitendelta's significant verkleind door de zeevaartse rand van de buitendelta's aanzienlijk landwaarts te verplaatsen.

De grootste veranderingen zullen optreden rond de zeegaten en buitendelta's van het Wadden- en Deltagebied. Deze worden hierna in detail behandeld. Voor de Hollandse kust worden minder drastische veranderingen in de natuurlijke ontwikkeling verwacht. Daarom is voor dit deel van de kust voor een andere aanpak gekozen: het effect van verdere zeespiegelstijging en versteiling van het kustprofiel wordt gesimuleerd door in het model voor de Hollandse kust de bodem tussen -8 en -20 m met stappen van één m te verlagen tot maximaal 5 m. Zeespiegelstijging zal het grootste effect hebben op de getijdebekkens. Veranderingen in de morfologie van de bekkens zullen zich vertalen in wijzigingen in de debieten door de zeegaten welke op hun beurt zullen leiden tot morfologische aanpassingen aldaar. Het effect van zeespiegelstijging en de daarop volgende aanpassing van de bekkenmorfologie op de debieten door de zeegaten van de Waddenzee is onderzocht door de morfologie van de bekkens niet, gedeeltelijk en geheel mee te laten groeien.

3.1 Buitendelta's en zeegaten Waddenzee

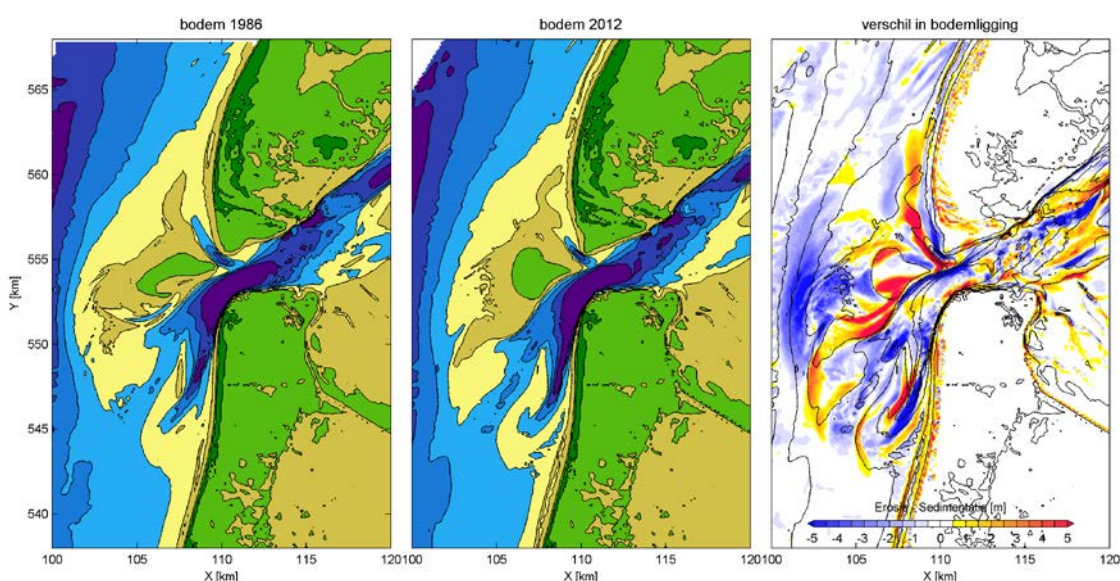
3.1.1 Buitendelta's en zeegaten Waddengebied in 2035

Zeegat van Texel

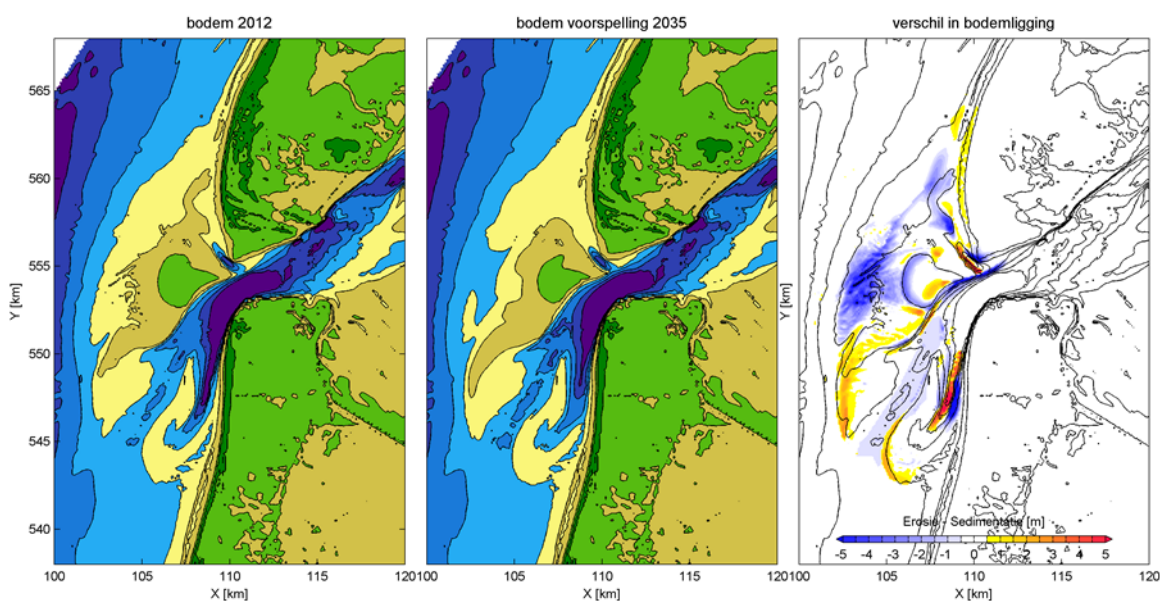
Figuur 3.1 geeft een overzicht van de maatgevende ontwikkelingen rond het Zeegat van Texel sinds 1986 (zie 2.1.4 voor details). Het noordelijk deel van de buitendelta wordt afgebroken door golfwerking, waardoor de zeewaartse rand van de Noorderhaaks zich in landwaartse richting terugtrekt (1), het geërodeerde zand wordt afgezet aan weerszijden van de plaat (2) en draagt bij aan de uitbouw in noordelijke richting van de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks. Vanaf 2003 overheerst landwaartse verplaatsing van de Uitlopers welke leidt tot verhelming met de kust van Texel (3), waardoor de geul Molengat verondiept. Verder zien we uitbouw van de Zuiderhaaks naar het zuidzuidwesten (4) en doorgaande landwaartse verplaatsing en rotatie van de geul Nieuwe Schulpengat (5) waardoor de onderwateroever van de kust van Noord-Holland versteilt en de kust structureel achteruit gaat.

Bovenstaande ontwikkelingen zijn doorgetrokken naar de toekomst om een bodem voor 2035 te construeren (Figuur 3.2). Het rechter paneel geeft de ontwikkelingen ten opzichte van 2012 aan.

Het noordelijk deel van de buitendelta is verder opgeruimd (1). Het zand is toegevoegd aan de Noorderhaaks en omgeving (2) en de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks, die inmiddels aan Texel vastgegroeid zijn (3). De monding van het Molengat is hierdoor verzand en de geul zelf is zeer smal geworden door het landwaartse zandtransport over de plaat. De Zuiderhaaks is nog wat zeewaarts uitgebreid (4), het Schulpengat schuurt nog wat uit en het Nieuwe Schulpengat ligt dicht onder de kust van Noord-Holland (5). Door de afname van het noordelijk deel en uitbreiding van de Zuiderhaaks is de buitendelta de facto naar het zuiden opgeschoven.



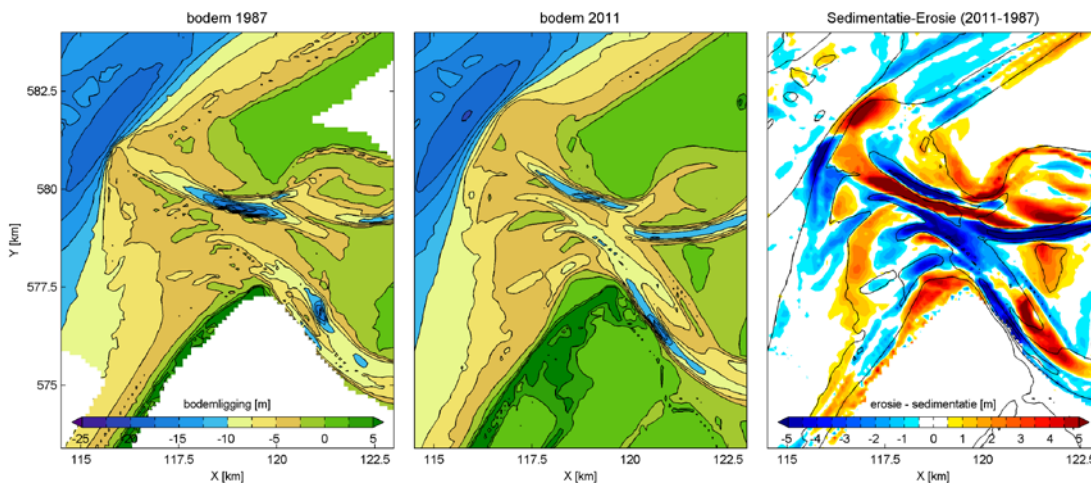
Figuur 3.1; ontwikkeling van het Zeegat van Texel over de periode 1986 – 2012. Kenmerkende veranderingen zijn aangegeven met cijfers in het rechterpaneel. De cijfers worden besproken in de tekst.



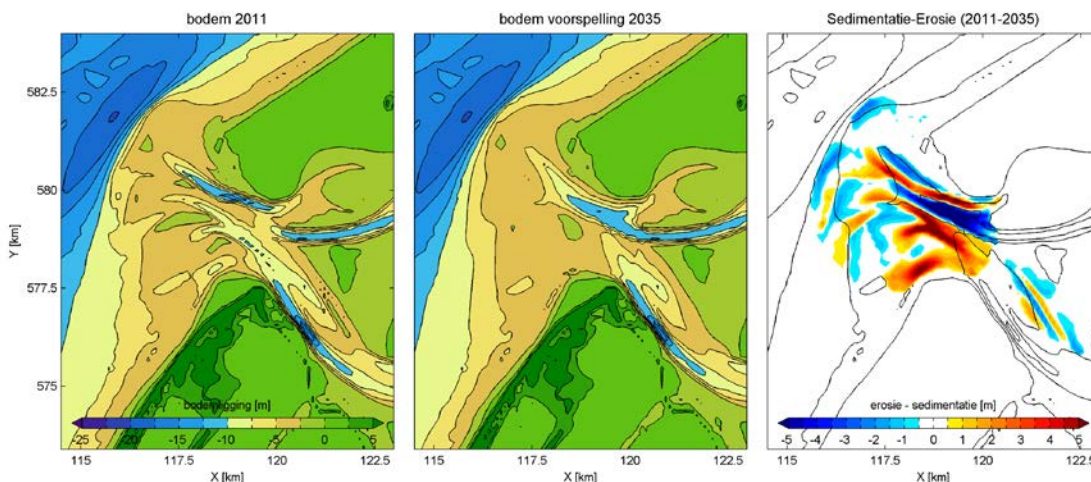
Figuur 3.2; prognose voor de ontwikkeling van het Zeegat van Texel tot 2035. Kenmerkende veranderingen zijn aangegeven met cijfers in het rechterpaneel. De cijfers worden besproken in de tekst.

Eierlandse Gat

Figuur 3.3 geeft een overzicht van de sinds 1987 opgetreden veranderingen in het Eierlandse Gat (zie 1.2.4 voor details). Het sedimentatie-erosiepatroon laat zien dat er grote veranderingen zijn opgetreden, met name in de keel en hoofdgeulen van het zeegat. In 1987 is de noordelijke hoofdgeul Engelsmangat aangesloten op de geulen Keteldiep en Geul onder de Vliehors in het noordelijk deel van het bekken. Het Robbengat, de zuidelijke hoofdgeul en het daarachter liggende Vogelzwin vormen een daarvan gescheiden systeem. In 2011 lijkt het Robbengat verbinding te maken met het Engelsmangat. Hierdoor verschuift het zwaartepunt van de buitendelta naar het noorden. Toch ligt een directe doorvertaling van deze veranderingen niet voor de hand. Veel van de geobserveerde veranderingen vertonen een fluctuerend karakter. Vooral op het zuidelijk deel van de buitendelta is er een opeenvolging van ontstaan en verzanden van geulen. Er zijn in de historische ontwikkeling 2 extreme situaties in de oriëntatie van de hoofdgeulen te onderscheiden. Er is een situatie waarin de noordelijke en zuidelijke hoofdgeul in het bekken aansluiten op één hoofdgeul in het zeegat. Daarnaast is er situatie waarin beide hoofdgeulen in het bekken uitmonden in eigen hoofdgeulen in het zeegat (zie bijvoorbeeld 1987). Uiteraard zijn er vele overgangsstadia tussen deze extremen. Kijken we naar 2011 dan zien we dat de zuidelijke geul aan het opvullen is. Daarnaast lijkt de noordelijke geul in het bekken in volume toe te nemen. Daarom hebben we voor de bodem van 2035 gekozen voor een situatie waarin de 2 hoofdgeulen in het bekken aansluiten op één hoofdgeul in het zeegat. Dit geeft dan de maximale afwijking ten opzichte van de huidige situatie. De geulen aan de zuidzijde (nabij de Eierlandse Dam) zijn opgevuld. Daarnaast is het front van de buitendelta licht teruggetrokken. Op de buitendelta worden verder geen grote veranderingen ten opzichte van de huidige situatie verwacht. De erosie van noordelijk Texel zal verder gaan. In de directe omgeving van de Eierlandse Dam zal geen grote erosie optreden. De Vliehors zal nog enigszins aangroeien, in zuidelijke en in zeevaartse richting.



Figuur 3.3; ontwikkeling van het Eierlandse Gat over de periode 1987-2011.



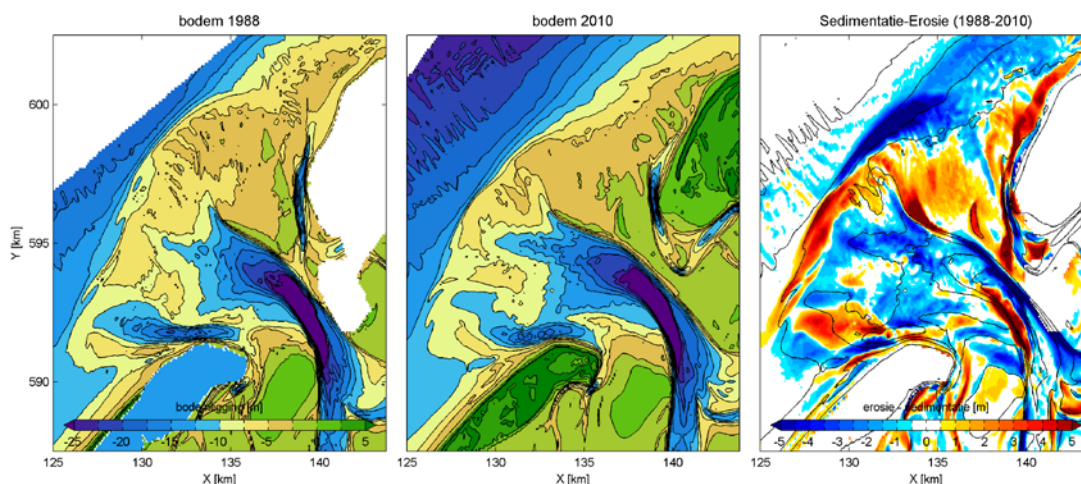
Figuur 3.4; Prognose voor de ontwikkeling van het Eierlandse Gat tot 2035.

Zeegat van het Vlie

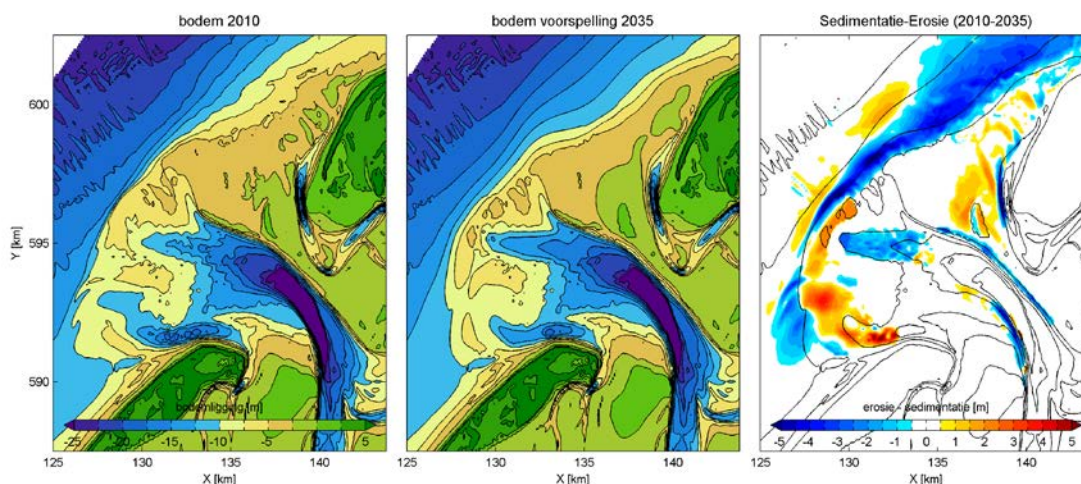
Sinds de afsluiting van de Zuiderzee hebben zich grote veranderingen voorgedaan op de buitendelta van het Zeegat van het Vlie. De recente veranderingen zijn veel kleiner. Figuur 3.5 laat de ontwikkelingen sinds 1988 zien (zie ook 2.1.4). De Vliestroom, de hoofdgeul in het zeegat, blijft vrijwel stabiel in positie, maar neemt iets in diepte toe (1). Het vrijgekomen zand wordt aan het zeewaartse einde van de geul afgezet, hetzelfde zien we bij de Zuider Stortemelk (4). De noordelijke rand van de buitendelta vertoont een doorgaande erosie (2), het vrijgekomen sediment draagt bij aan de sedimentatie op de Noordwestgronden (3), waarbij het Boomkensdiep verder landwaarts opschuift (5).

De prognose voor 2035 (Figuur 3.6) vertoont daarom slechts relatief kleine verschillen met de 2010 bodem. De Vliestroom schuurt iets verder uit (1), het zand wordt afgezet op de buitenrand van de buitendelta, net als bij de Zuider Stortemelk (4). De noordelijke rand van de buitendelta daarentegen, erodeert langzaam verder (2), het zand wordt verder landwaarts afgezet waarbij de kortsluitgeul Boomkensdiep nog wat verder landwaarts verplaatst en wordt samengedrukt (3, 5). De inscharing van het Boomkensdiep veroorzaakt erosie van de kop van Terschelling bij de Noordsvaarder. Het oostelijk deel van de buitendelta neemt hierdoor verder af in omvang. De periodieke aanlanding van zandbanken op Terschelling komt

waarschijnlijk weer op gang, al zullen de banken dichterbij het zeegat aanlanden omdat de buitendelta kleiner is geworden. Een aangelande zandbank zorgt voor een toename van de strandbreedte ten noorden van West-Terschelling. De situatie voor de kust van Vlieland is niet wezenlijk veranderd: de getijgeulen voor noord en oost Vlieland zullen veel sediment blijven afvoeren waardoor onderhoud hier noodzakelijk blijft.



Figuur 3.5; de ontwikkeling van het Zeegat van het Vlie over de periode 1988-2010. Kenmerkende veranderingen zijn aangegeven met cijfers in het rechterpaneel. De cijfers worden besproken in de tekst.



Figuur 3.6; prognose voor de ontwikkeling van het Zeegat van het Vlie tot 2035. Kenmerkende veranderingen zijn aangegeven met cijfers in het rechterpaneel. De cijfers worden besproken in de tekst.

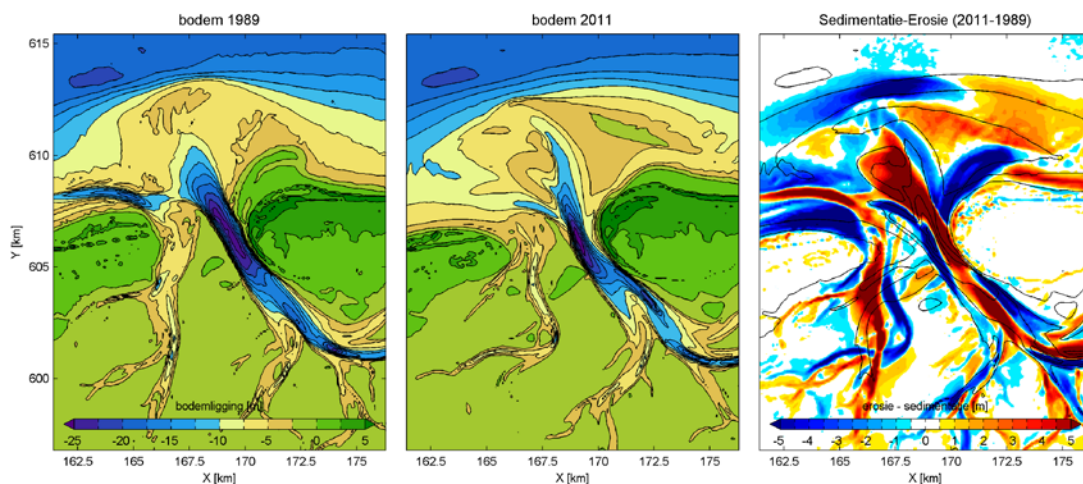
Amelandse Zeegat

Het Zeegat van Ameland is niet direct beïnvloed door de afsluitingen van Zuiderzee en Lauwerszee, waardoor hier het natuurlijke gedrag van dit zeegat en zijn buitendelta goed te volgen is (zie 2.1.4). In het Zeegat van Ameland komt een periodieke (“cyclische”) afwisseling voor tussen een situatie met één hoofdgeul in het zeegat en een situatie met twee geulen. In 1989 zien we de laatste fase van een tweegeulen systeem op de buitendelta (Figuur 3.7), in 2011 is dit niet meer te zien, het Westgat is vrijwel geheel opgevuld.

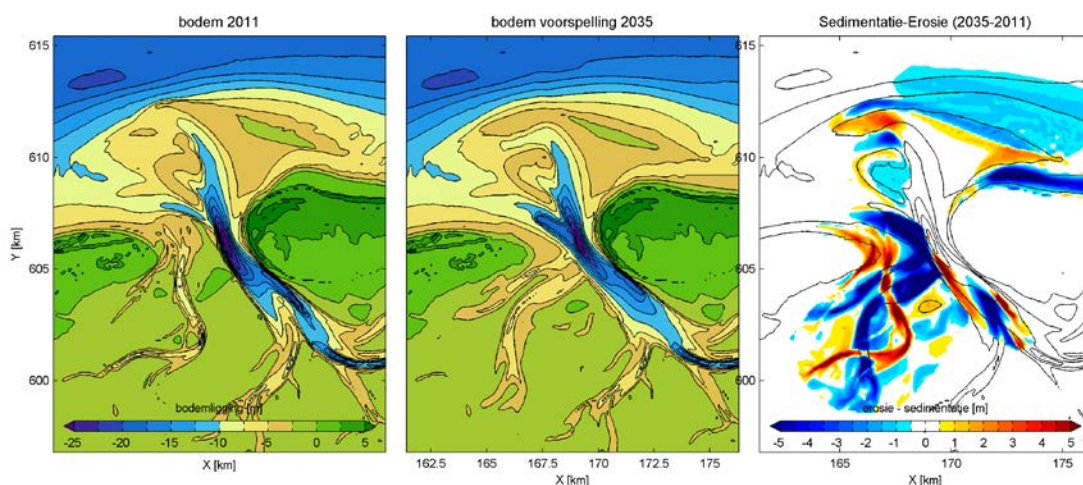
In de komende jaren zullen de huidige kleine en ondiepe geultjes op de locatie van het voormalige Boschgat verzanden. Volgen we de geulcyclus dan betekent dit dat er in 2035 weer een één-geul systeem aanwezig moet zijn. Bij een nieuwe één-geul configuratie hoort

een duidelijke andere ligging van de geulen in het bekken: het wad achter oost Terschelling wordt weer gevuld en geleegd door een zijgeul van het Borndiep (Figuur 3.8), de Boschplaat is in 2035 weer aangegroeid.

De buitendelta is vrij stabiel, aan de noordzijde is de buitenrand wel landwaarts verplaatst. Het zand afkomstig van het aangelande Borndiep zal zich verder naar het oosten langs het eiland verspreiden, waarbij de kust in het westen wat teruggaat. Op de buitendelta is een nieuwe zandbank in ontwikkeling die op den duur op het eiland zal aanlanden waardoor een kortsluitgeultje tegen de kust van Ameland gedrukt wordt.. Het volume zand dat deze bank bevat is niet voldoende om de kust van Ameland op zijn positie te houden. Bovendien verspreidt het zand zich maar langzaam langs de kust (het aanhechtingspunt van het Borndiep verplaatste tussen 2006 en 2012 ca. 2 km oostwaarts, dat is ruim 300 m per jaar). Onderhoud van de kust van Ameland zal nodig blijven. Dit wordt versterkt door de gaswinning en de daarmee gepaard gaande bodemdaling (N.B. Bodemdaling is niet in de bodem voor 2035 verwerkt).



Figuur 3.7; de ontwikkeling van het Ameland Zeegat over de periode 1989-2011.



Figuur 3.8; prognose voor de ontwikkeling van het Ameland Zeegat tot 2035.

Friesche Zeegat

Het Friesche Zeegat bestaat uit twee zeegaten, in het westen het Pinkegat en in het oosten de Zoutkamperlaag, welke gescheiden worden door de zandplaat Engelsmanplaat. In het Pinkegat wisselen één- en meer-geulen configuraties elkaar cyclisch af. Het verschil tussen een één-geul systeem (1987, Figuur 3.9) en een meer-geulen systeem in 2012 geeft grote morfologische veranderingen (1). Engelsmanplaat is landwaarts verplaatst (2).

De Zoutkamperlaag vertoont in de periode 1987-2012 een sterke verkleining. Het zeewaartse gedeelte verondiept sterk (3). Tevens is er een landwaartse verplaatsing van het buitendeltafront. Er is sterke erosie op het diepere gedeelte (4) en sedimentatie landwaarts en richting het oosten (5). De grote zandhaak die in 1987 aanwezig is in 2012 verdwenen (6). Verdere details zijn te vinden in 2.1.4.

In de 2035 bodem (Figuur 3.10) hebben we een nieuwe fase in de cyclus van Pinkegat gecreëerd. Het Pinkegat heeft zich weer westwaarts verlegd waardoor Ameland korter is geworden, het oude Pinkegat is verzand (1). De Engelsmanplaat is verhoogd en landwaarts verplaatst (2). De Zoutkamperlaag is verder oostwaarts verplaatst (3) en de uitstroom van het Westgat is verder verondiept (4). De buitendelta van de Zoutkamperlaag is afgenomen in omvang, de oostelijke zijde van de buitendelta is verder landwaarts verplaatst (5) en er is een zandbank aangeland op de kust van Schiermonnikoog. De veranderingen zijn kleiner dan in de periode 1987-2012 omdat de strandhaak dan al verdwenen is.

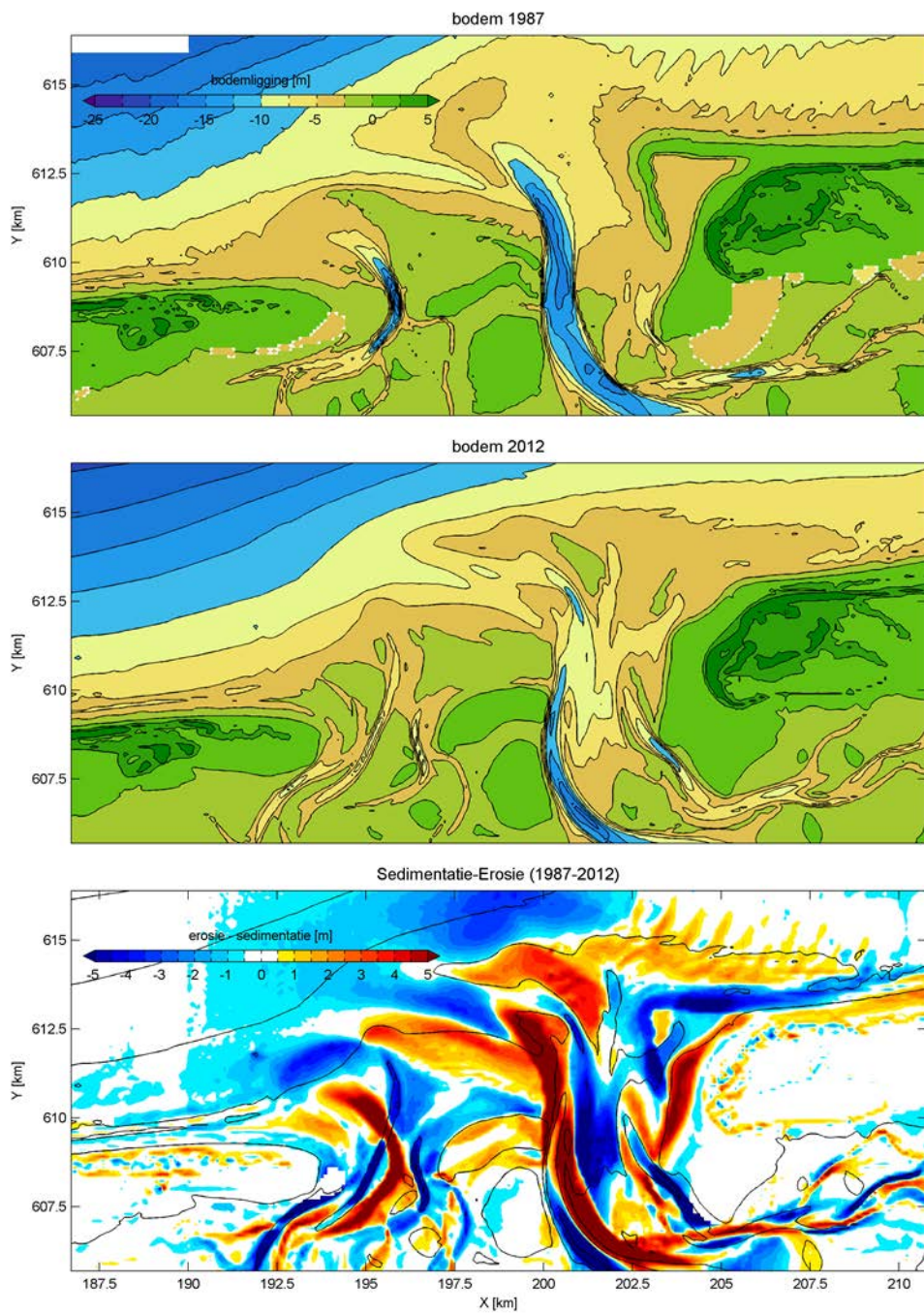
Oostelijke Waddenzee

De oostwaartse verplaatsing van geulen en eilanden in de oostelijke Waddenzee (zie 2.1.4) zal doorgaan.

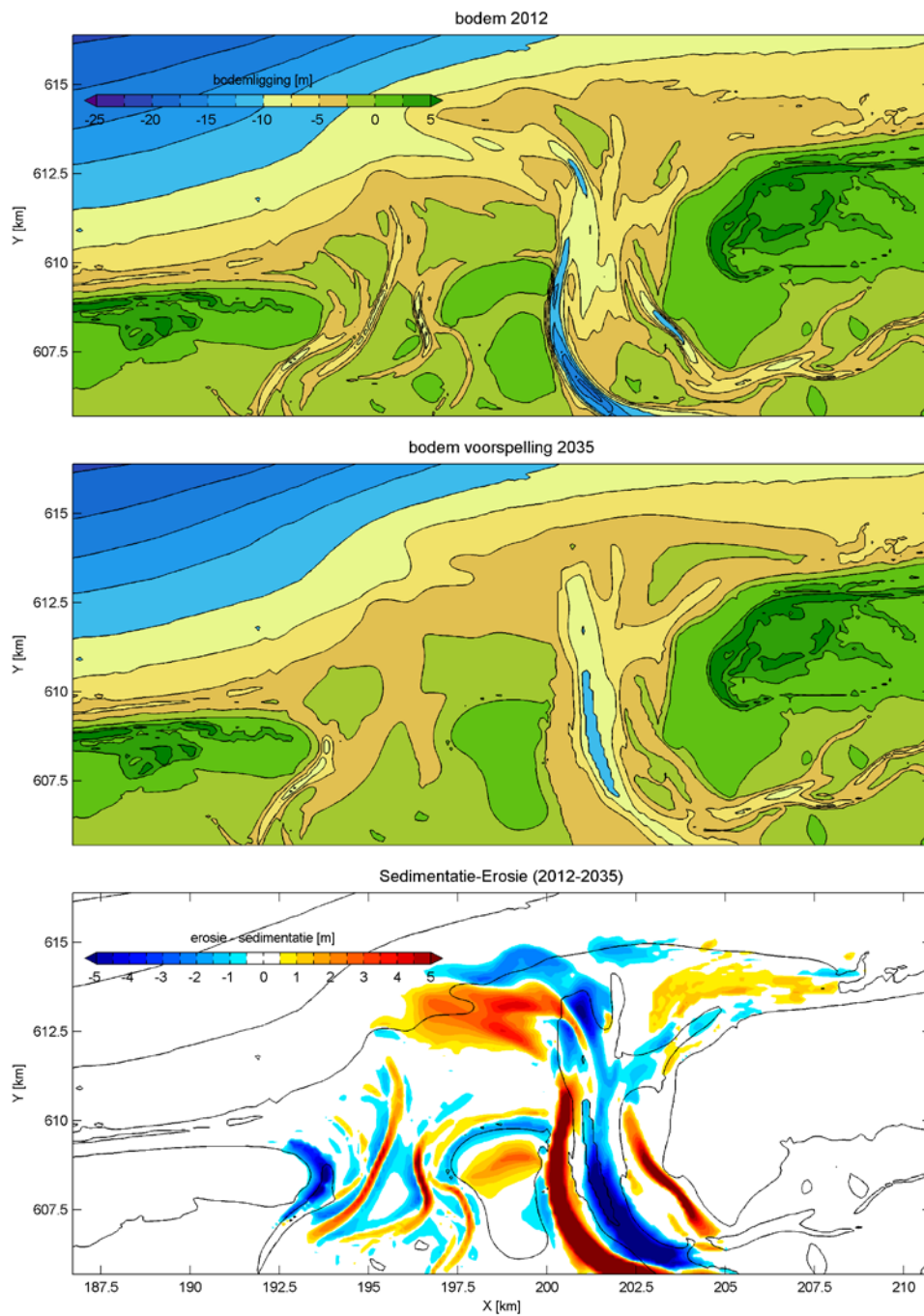
3.1.2. Buitendelta's en zeegaten Waddengebied in 2100

Het potentiële effect van een afname in volume en omvang van de buitendelta's van de Waddenzee op de sedimenttransporten op de buitendelta, en dan met name naar het zeegat, maar ook op de omliggende kust is een punt van zorg. Daarom is de bodem voor 2100 zo geconstrueerd dat we juist dit effect kunnen onderzoeken. Het uitgangspunt is de bodem voor 2035, waarbij de buitendelta's verder richting de kust 'geduwd' zijn. Hierdoor neemt zowel de omvang als het volume sterk af. Lokaal op het centrale deel van de buitendelta nemen de hoogtes hierdoor wel toe.

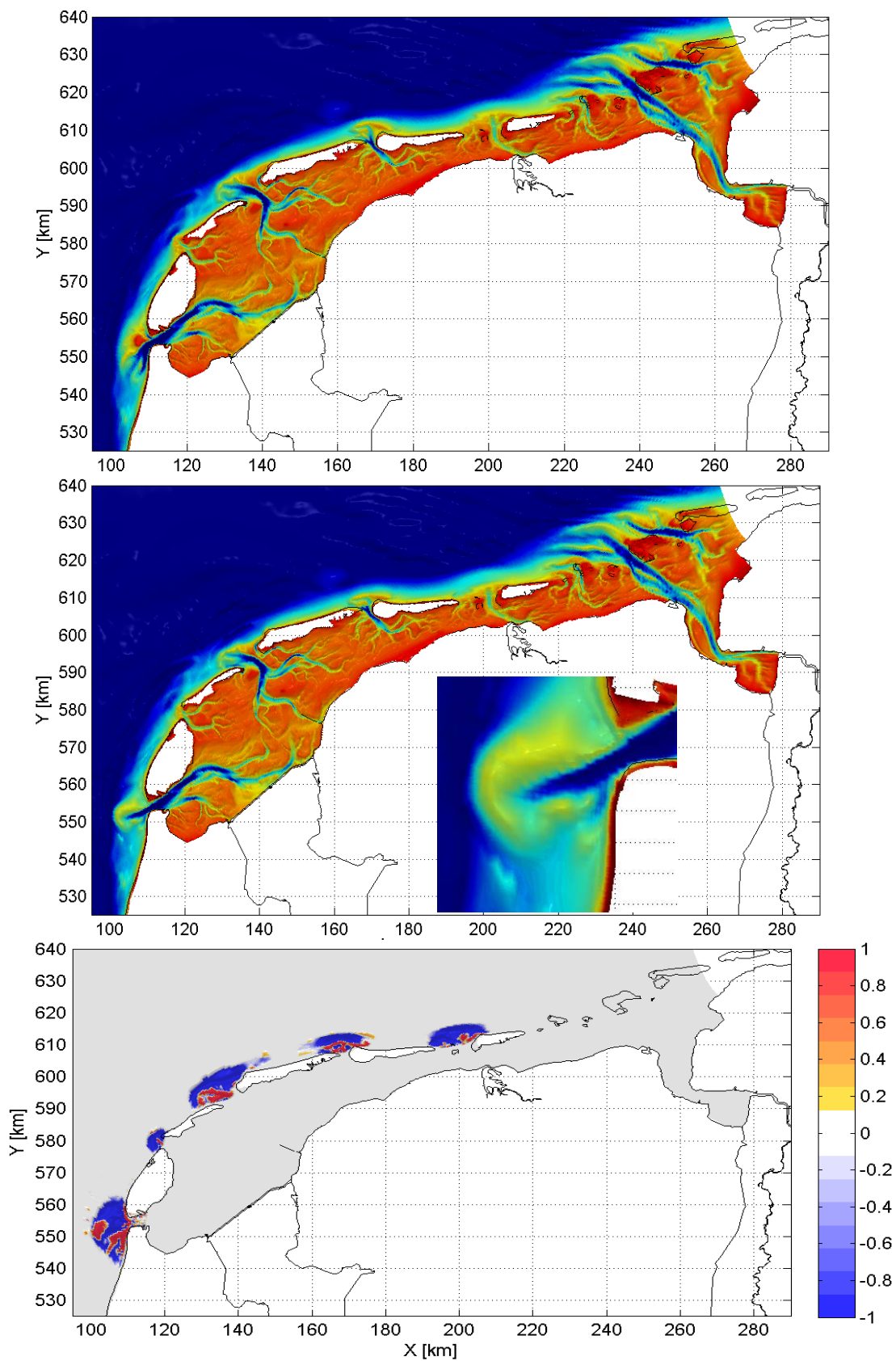
De bodem van het Marsdiep is verder in detail uitgewerkt. Vóór de afsluiting van de Zuiderzee verkeerde de buitendelta van het Zeegat van Texel in een min of meer natuurlijk evenwicht met een west-zuidwestelijk georiënteerde hoofdgeul. Het is mogelijk dat in de toekomst deze oriëntatie weer kan terugkeren, de huidige kromming van de geulen op de buitendelta is erg onnatuurlijk. De bodem voor 2100 is daarom gebaseerd op het patroon van de geulen en platen in 1925, zij het dat het volume van de buitendelta verder verkleind is.



Figuur 3.9; de ontwikkeling van het Friesche Zeegat over de periode 1987-2012.



Figuur 3.10 ; prognose voor de ontwikkeling van het Friesche Zeegat tot 2035.



Figuur 3.11; de bodem van de Waddenzee in 2012 (boven), de prognose voor de bodem in 2100 met een detail van het Zeegat van Texel (midden) en het verschil in diepteligging tussen beide bodems (onder).

3.2 Buitendelta's en zeegaten Deltagebied; de Voordelta

3.2.1 De mondingen van Haringvliet en Grevelingen in 2035 en 2100

Maasvlakte

De zandige kust van Maasvlakte 2 zal het nodige onderhoud vragen. In 2035 komt dit onderhoud voor rekening van de kustlijnverzorging. In de komende decennia wordt wellicht de tweede fase van de aanleg van Maasvlakte 2 uitgevoerd. De kustlijn komt hierdoor nog verder zeewaarts te liggen.

Monding Haringvliet

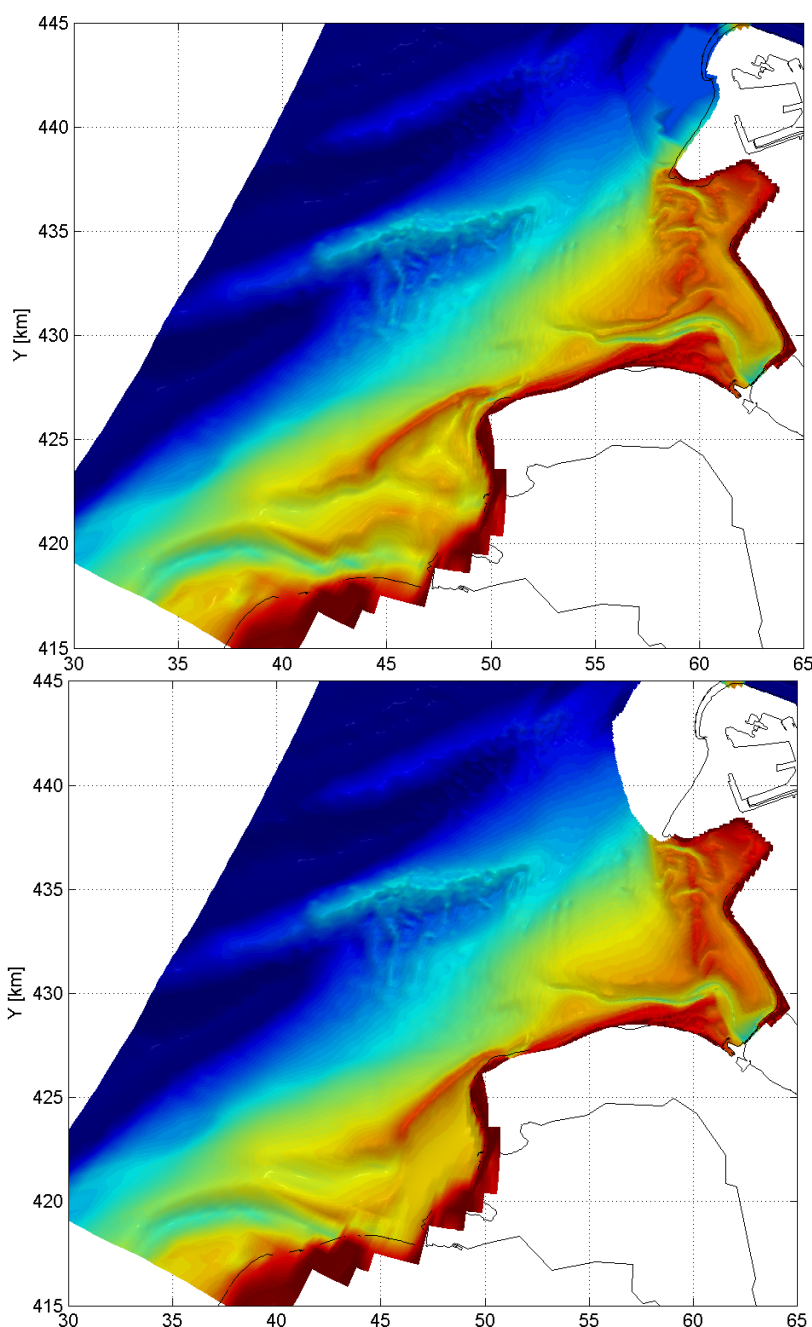
Op basis van extrapolatie van de ontwikkelingen over de periode 1976-2012 (zie 2.1.5) ligt het voor de hand dat de Haringvlietmonding verder zal verlanden. De diepere onderwateroever van de buitendelta erodeert verder, het zand wordt landwaarts verplaatst. De Hinderplaat lijkt zich te ontwikkelen tot een gesloten strandwal en bouwt verder uit naar het zuiden, het achterliggende gebied zal tot een ondiep waddegebied opslibben. Door aanvoer van zand uit het zuidwesten (afkomstig van erosie van de Grevelingen buitendelta) groeit de oever van Goeree verder aan. Het Slijkgat blijft de enige geul van betekenis, al zal er gebaggerd moeten worden om hem op diepte te houden. Indien de Haringvlietsluizen als doorlaatbare kering gebruikt gaan worden zal deze ontwikkeling vertraagd worden omdat de debieten door het Slijkgat toe zullen nemen. De kust van Voorne blijft onderhoud vragen omdat de zandaanvoer naar het strand door golven afneemt, waardoor de stranden 'onderuit zakken'.

Grevelingen buitendelta

Als we de ontwikkelingen in de Grevelingenmonding over de periode 1964-2010 (zie 2.1.5) doortrekken komen we tot het volgende beeld voor 2035 (Figuur 3.12). De diepere onderwateroever van de buitendelta zal verder eroderen, het zand wordt landwaarts en naar het noordoosten verplaatst (langs de kust van Goeree, naar de Haringvlietmonding). Het reliëf en de omvang van de buitendelta zullen verder afnemen, de gemiddelde diepte neemt ook af. De Bollen van de Ooster breiden langzaam verder uit naar het zuidwesten. Het Brouwershavense Gat verondiept verder maar blijft nog wel een grote geul. De Bollen van het Nieuwe Zand groeien verder aan door aanvoer van zand uit het zuiden door het Krabbengat.

Haringvliet- en Grevelingenmonding in 2035 en 2100

Voor de Haringvliet- en Grevelingenmonding is alleen een bodem voor 2035 geconstrueerd (Figuur 3.12). De aanname achter deze bodem is dat de geobserveerde trend van landwaartse verschuiving van de morfologie zich ook in de toekomst doorzet. Door de grote zandvoorraad en de beschutte ligging van de mondingsgebieden tussen de eilandkoppen is het waarschijnlijk dat er zich lokaal een dynamisch evenwicht gaat vormen met een ondiep platengebied waarop kleinere plaat-geulsystemen elkaar afwisselen. De 2035 bodem geeft dit beeld weer. Het verschil van deze bodem ten opzichte van de recente situatie is weergegeven in Figuur 3.13. Naar verwachting ziet het gebied er in 2100 vrijwel gelijk uit, zij het dat de kleinschalige plaat-geulsystemen dan op andere posities liggen. Het verschil met de 2035 bodem is zo gering dat een simulatie met nieuwe bodem voor 2100 geen nieuwe informatie toevoegt.



Figuur 3.12; de bodem van de Haringvliet- en Grevelingenmonding in 2012 (boven) en een prognose voor de bodem in 2035 (onder).

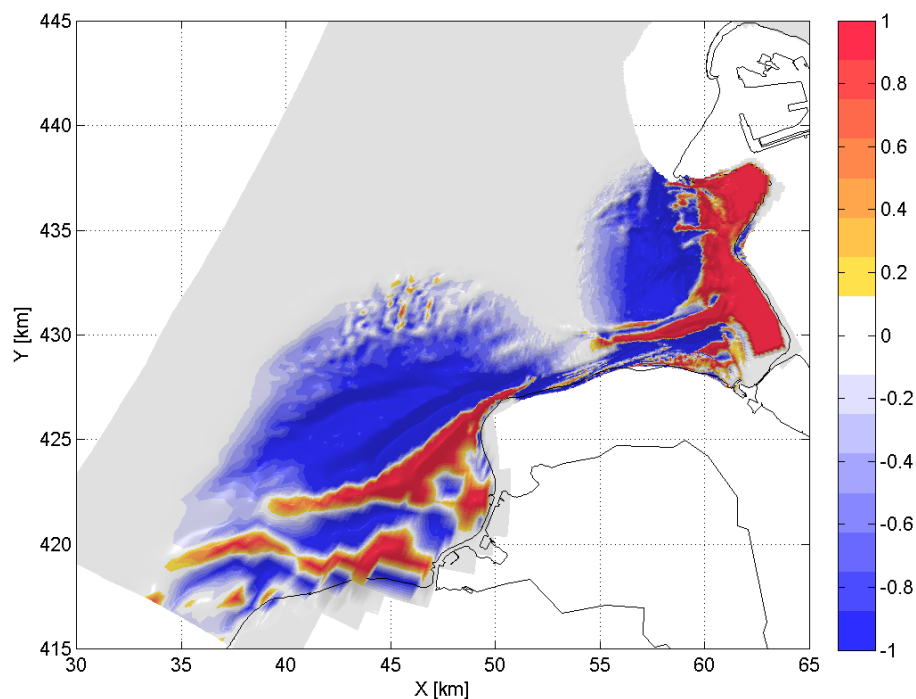
3.2.2 De monding van Oosterschelde en Westerschelde in 2035 en 2100

Oosterschelde

De recente bodemligging in de Oosterscheldemonding is weergegeven in Figuur 3.14. De monding van de Oosterschelde verliest sinds 1980 sediment (zie 2.1.5). Na de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde erodeert de zeewaartse rand van het mondingsgebied. Met name de Banjaard (1) verliest daarbij veel sediment. De geulen zijn hier gemiddeld wat dieper geworden en hebben een duidelijker noord-zuid oriëntatie gekregen. Dit leidt tot aanpassing van de strekking van het deltafront. Het Krabbengat is verplaatst naar het westen, uit de oever van Schouwen, en bouwt zijn vloedschild verder naar het noorden uit, het

Brouwershavense Gat in. De Bollen van het Nieuwe Zand verondiepen hierdoor verder. De geul Roompot Zuid is verder ingeschaard in de oever van noordwest Walcheren. De ontgrondingskuilen voor de Oosterscheldekering veroorzaken een grotere onderhoudsbehoefte op de kusten van Schouwen bij Westenschouwen en Noord-Beveland. Alles bij elkaar moeten de kusten van Schouwen, Noord-Beveland en NW Walcheren met suppleties onderhouden worden.

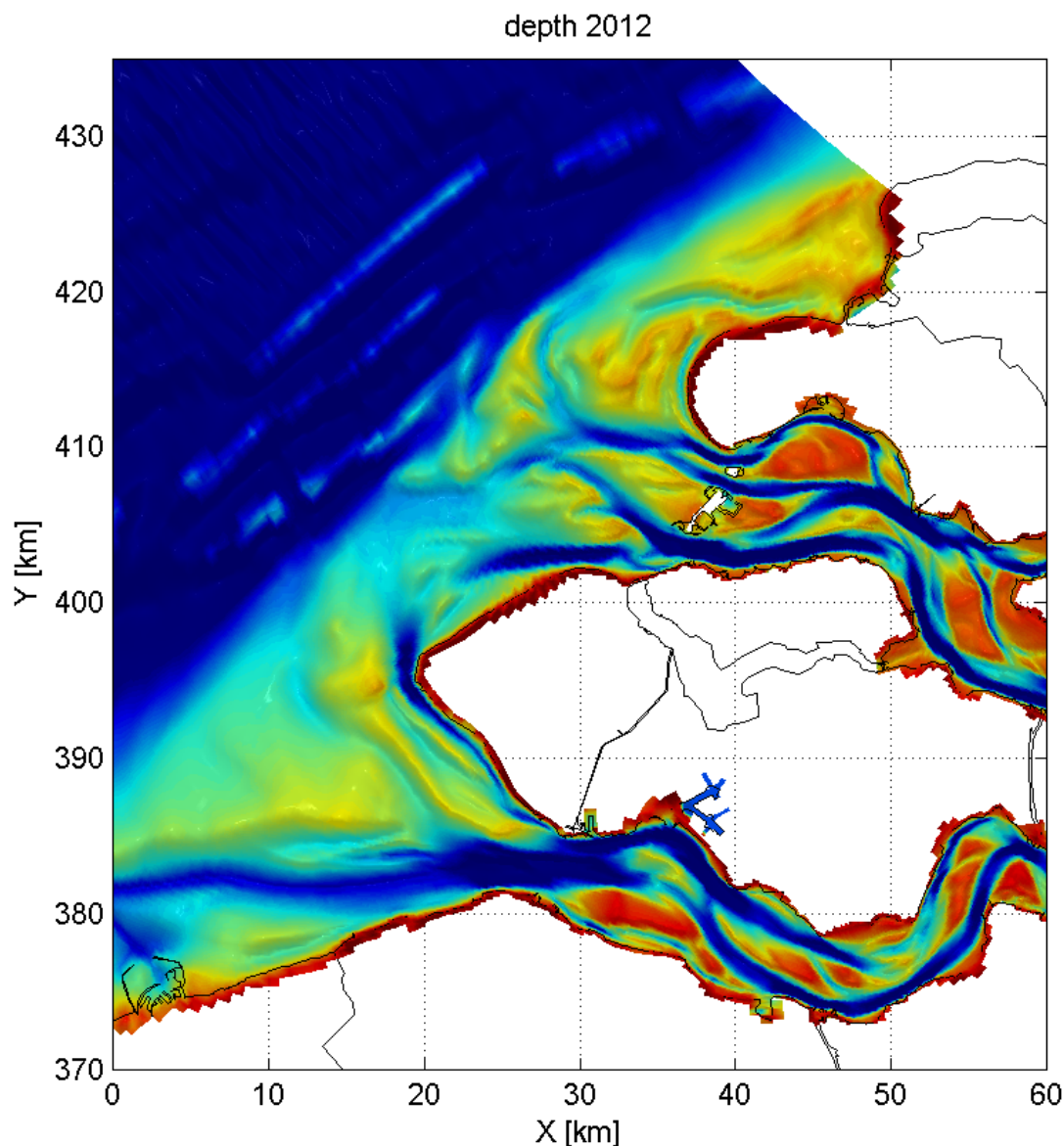
In de komende decennia zal de langzame erosie van de Oosterschelde buitendelta verder gaan. De diepere onderwateroever van de Banjaard zal verder eroderen. De geulen over de Banjaard verdiepen, het zand wordt afgezet aan het stroomafwaartse einde. De Bollen van het Nieuwe Zand groeien verder aan door aanvoer van zand door het Krabbengat. De geul Hammen verschuift naar de oever van Schouwen.



Figuur 3.13; het verschil in diepteligging in de Haringvliet- en Grevelingenmonding in 2012 en 2035.

Westerschelde

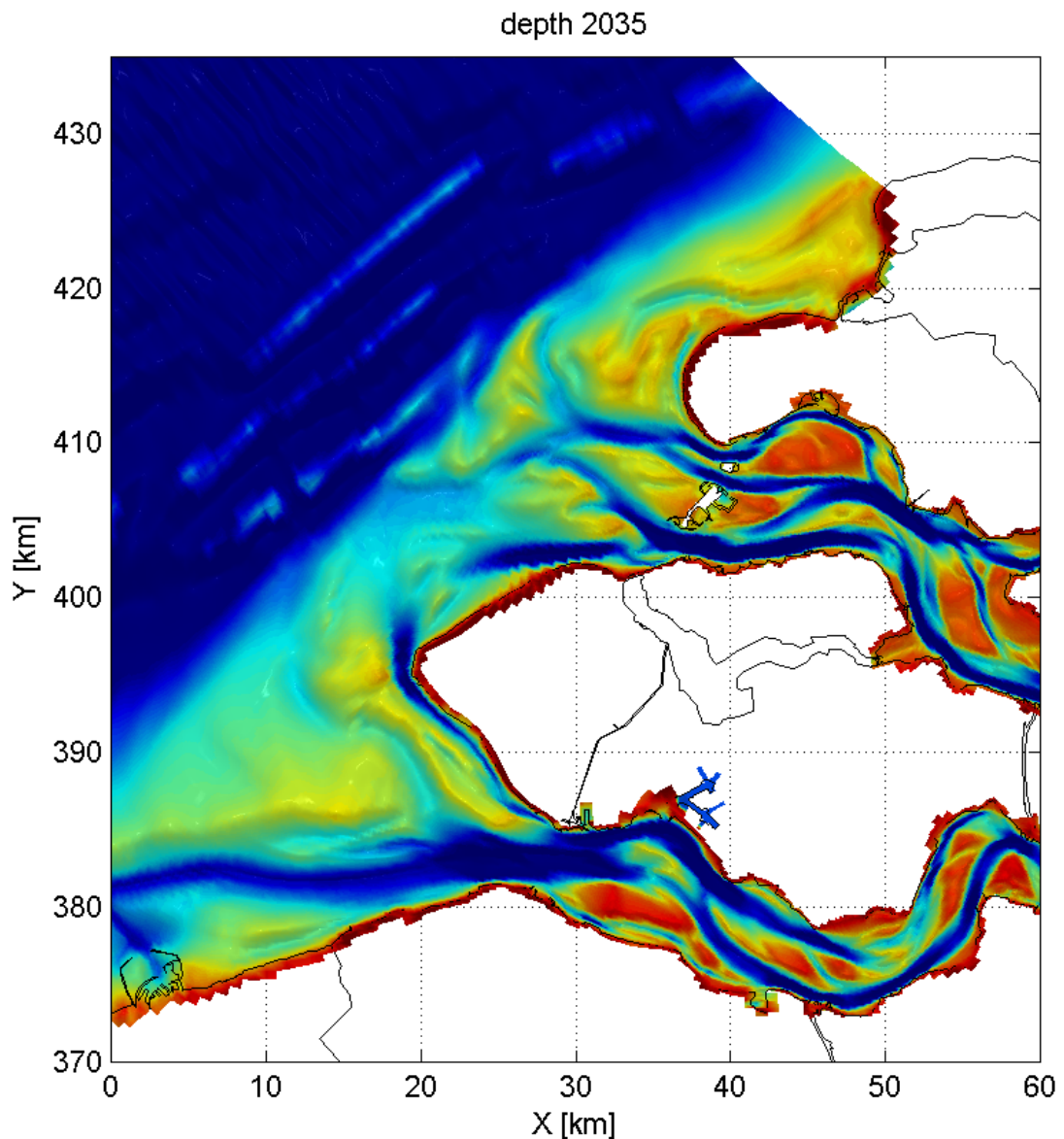
In de Westerscheldemonding zijn de morfologische veranderingen relatief beperkt. Het huidige patroon van geulen en platen in de Westerscheldemonding, met de grootste geul Wielingen in het zuiden en een uitgebreid stelsel van geulen en platen langs de kust van Walcheren, bestaat op hoofdlijnen al een eeuw (zie Figuur 3.14). De Vlake van de Raan (2) vertoont een kleine netto erosie. Grote bruto veranderingen doen zich voor rond het geulplaatsysteem van het Oostgat (3). Het Oostgat blijft vrijwel stabiel in positie, maar de voorliggende platen en geulen ontwikkelen zich verder. De Elleboog zal opschuiven naar het noordoosten, waardoor de Geul van de Rassen en de Deurloo dichtgedrukt worden en de bank samengroeit met het Bankje van Zoutelande. In en naast de Wielingen (4) zijn de veranderingen vooral gedreven door bagger- en stortactiviteiten. De Domburger Rassen (5) vertonen een klein verlies aan sediment. Dominant is hier de ontwikkeling van de geulen Oostgat en Oude Roompot die naar elkaar toe bewegen door erosie van hun zeewaartse delen.



Figuur 3.14; de bodem van de Westerschelde- en Oosterscheldedemoning in 2012.

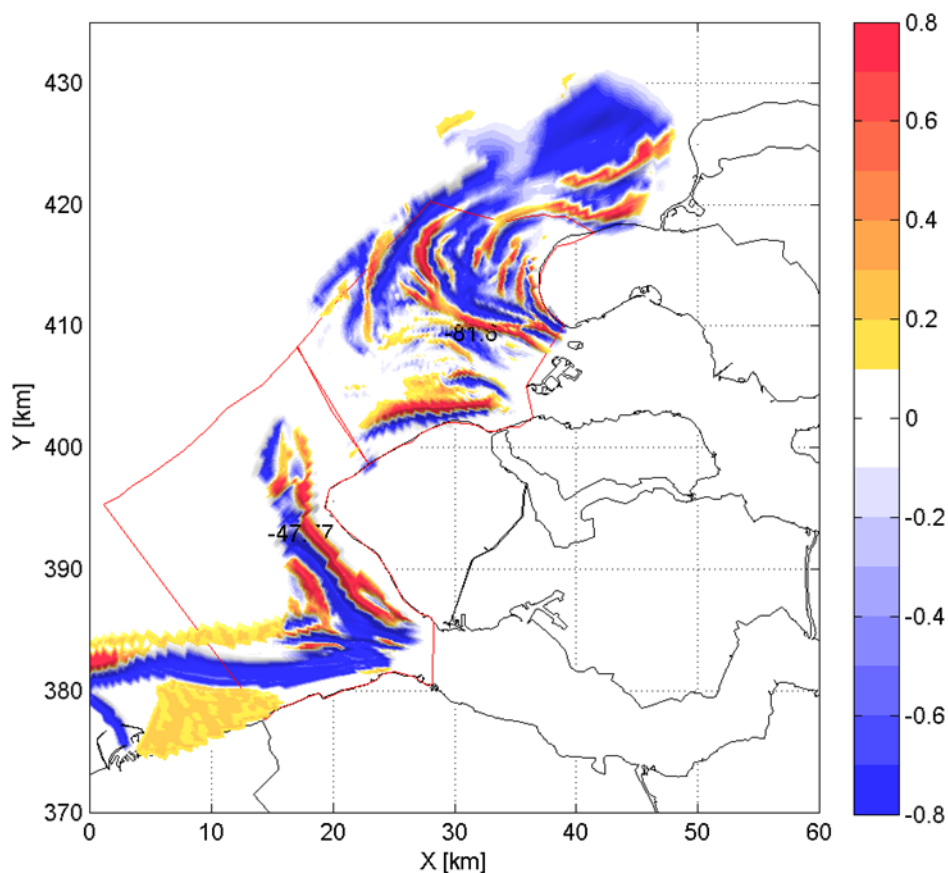
Oosterschelde- en Westerscheldedemoning in 2035

In de bodem voor 2035 (Figuur 3.15) zijn de dominante veranderingen doorgezet. Het geulplaatsysteem naast het Oostgat (1) heeft zich verder samengevoegd. Het Bankje van Zoutelande en de Elleboog zijn vrijwel in elkaar opgegaan. De Walvisstaart is daarbij iets groter en breder geworden. De Vlakke van de Raan (2) is vrijwel onveranderd (verandering is $<0,1\text{m}$). De Wielingen (3) is met $0,75\text{m}$ verdiept en het vrijgekomen sediment is aan weerszijden verspreid. In totaal is het volume van de monding met een kleine 50 miljoen m^3 sediment afgenomen (zie Figuur 3.16).



Figuur 3.15 ; de verwachte bodem in de Westerschelde- en Oosterscheldemonding in 2035.

In de Oosterscheldemonding doen de veranderingen zich vooral voor bij de Oude Roompot (4). Deze heeft zich verder landwaarts verplaatst en de geul is iets opgevuld. De veranderingen in het zuidelijke mondingsgebied zijn beperkt gebleven ($<0,1\text{m}$). Op de Banjaard zijn de veranderingen groter. De geulen en platen zijn landwaarts verplaatst en er is een netto volumeafname. Erosie treedt vooral op op de rand van de Banjaard. Het totale volume van de Oosterscheldemonding is met ruim 80 miljoen m^3 afgenomen (Figuur 3.16).

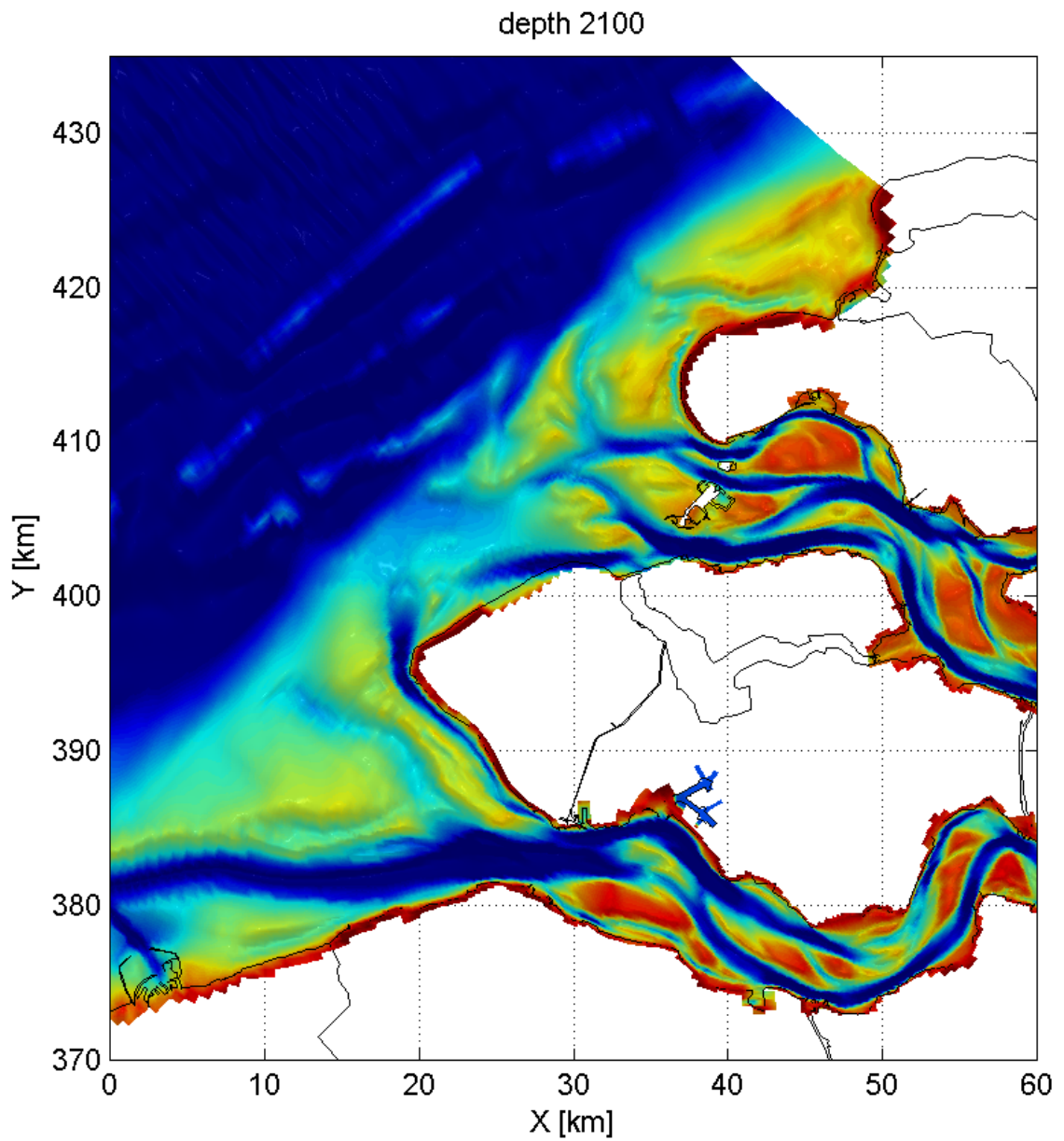


Figuur 3.16; verschil in diepteligging tussen de 2012 en 2035 bodem in meters (N.B. De kleurenschaal is hier anders dan bij de 2100 bodem). Rood en geel duiden verondieping aan, blauw verdieping. Het volume van de Westerscheldemonding is met ruim 47 miljoen m³ afgenomen, de Oosterschelde met bijna 82 miljoen m³.

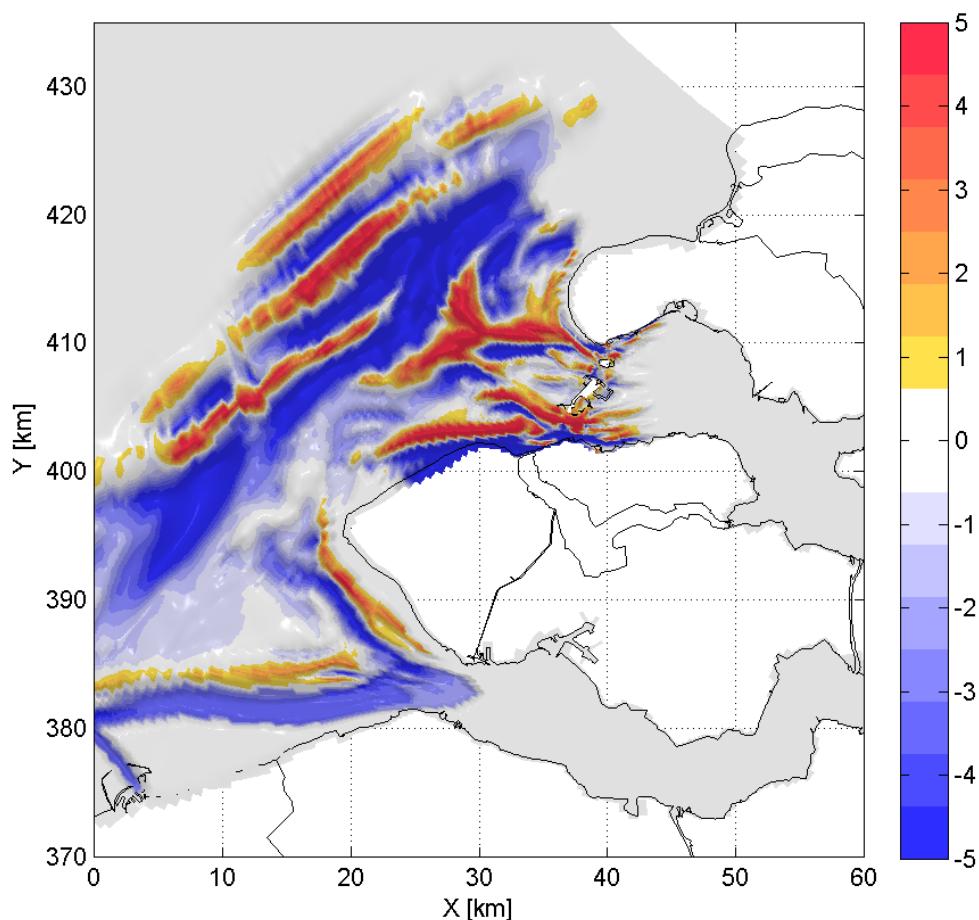
Westerschelde en Oosterscheldemonding in 2100

De 2100 bodem is gebaseerd op een voortzetting van bovengenoemde trends (Figuur 3.17). De volumeverliezen zijn significant groter gemaakt: de veranderingen zijn extra vergroot om de morfologische effecten van een (sterk) geërodeerd systeem weer te geven. Het gehele mondingsgebied vertoont daarom significante veranderingen. De verschillen tussen de 2012 en 2100 bodem worden duidelijk weergegeven in Figuur 3.18. Het geul-plaatstelsel naast het Oostgat (1) is verder samengedrukt. Het Bankje van Zoutelande en de Elleboog zijn vrijwel in elkaar opgegaan. De Walvisstaart is daarbij iets groter en breder geworden. De Vlakte van de Raan (2) is dieper geworden en het front van de monding is landwaarts verplaatst. De Wielingen (3) is verder verdiept (-3.5m) en het vrijgekomen sediment is aan de noordzijde op de Vlakte van de Raan neergelegd. In totaal is het volume van de monding met een kleine 50 miljoen m³ sediment verder afgenomen.

De Oosterscheldemonding vertoont een sterke landwaartse verplaatsing van de buitenrand (4). De geulen en platen van de Banjaard zijn samengedrukt tot één grotere bank (5). De Roompot en Oude Roompot zijn verder richting de kust gemigreerd en verzand (6).



Figuur 3.17; prognose voor de bodem van de Westerschelde- en Oosterscheldedemoning in 2100.



Figuur 3.18; verschil in diepteligging tussen de 2012 en 2100 bodem in meters (N.B. De kleurschaal is hier anders dan bij de 2035 bodem). Rood en geel duiden verondieping aan, blauw verdieping. N.B. De diepteveranderingen op de banken zeewaarts van de Voordelta zijn niet van belang voor onze vraagstelling.

3.3 Eilandkusten

Bij de prognoses voor de morfologische toestand in 2035 en 2100 wordt ervan uitgegaan dat het huidige suppletiebeleid ongewijzigd wordt voortgezet. Dat betekent dat de kustlijn van de eilanden in de Wadden en Delta niet wezenlijk veranderd zolang er geen grootschalige veranderingen in de BKL-positie doorgevoerd worden. In de modelbodems is de kustlijn derhalve niet aangepast.

Hieronder worden in het kort de verwachte ontwikkelingen geschetst.

3.3.1 Kust Waddeneilanden

Texel

De grootschalige zandverliezen langs de kust van Texel zullen doorgaan. Regelmatig suppleren blijft hier noodzakelijk.

Vlieland

De noord- en oostzijde van Vlieland blijven erosief door de aanwezigheid van getijgeulen.

Terschelling

De kust van Terschelling zal langzaam eroderen, waardoor suppleties op den duur noodzakelijk worden om de kustlijn te handhaven.

Ameland

Als gevolg van de bodemdaling door gaswinning, zowel aan de Noordzeekust als aan de wadzijde, zal er veel zand gesuppleerd moeten worden om deze tekorten te compenseren en de kustlijn van Ameland te handhaven. De herverdeling van het zand van het Bornrif langs de kust van Ameland gaat te langzaam om hier een significante rol te spelen.

Schiermonnikoog

De sedimentpuls die het gevolg was van de afbraak van een deel van de buitendelta van het Friesche Zeegat is voorbij. Het aangelande zand wordt herverdeeld, waardoor de westkust van Schiermonnikoog erodeert. Dit zal nog een tijd doorgaan. Op de buitendelta worden weer (kleinere) zandbanken gevormd die zich op termijn weer met het eiland zullen gaan verhelen. De zandinhoud van deze banken en de frequentie waarmee ze aanlanden is niet voldoende om erosie van de kust van Schiermonnikoog te voorkomen.

3.3.2 Kust eilanden in de Delta

Voorne

De kust van Voorne bevat na de versterking voldoende zand. De Punt van Voorne laat een onbegrepen teruggang zien. Herverdeling van zand over het kustprofiel kan lokaal voor erosie zorgen.

Goeree

De noordkust van Goeree zal blijven aangroeien door aanvoer van zand uit het zuidwesten.

Schouwen

De convexe vorm van de kustlijn van de Kop van Schouwen resulteert in doorgaande golfrosie. Bovendien wordt het eiland aan drie zijden omgeven door getijgeulen die zand invangen en/of afvoeren. Hierdoor blijft onderhoud met suppleties noodzakelijk.

Noord-Beveland

Invallende golven zullen zand van west naar oost verplaatsen langs de kust van Noord-Beveland, waardoor het westelijk deel erodeert en het strand bij de stormvloedkering aangroeit.

Walcheren

Door de aanwezigheid van grote getijgeulen, zowel voor noordwest- als voor zuidwest Walcheren, zal de kust doorgaan met eroderen en blijven zandsuppleties noodzakelijk.

Zeeuws-Vlaanderen

De kust van Zeeuws-Vlaanderen zit de komende jaren voldoende in het zand. Op termijn zal echter onderhoud in de vorm van zandsuppleties weer nodig zijn.

3.4 Ontwikkeling van de Hollandse kust

3.4.1 Huidige ontwikkelingen langs de Hollandse kust

De brandingszone en het strand langs het grootste deel van de Hollandse kust zullen verder zeewaarts uitbouwen of stabiliseren als gevolg van zandsuppleties omdat onderhoud van de kust noodzakelijk blijft. Het diepere deel van de onderwateroever blijft stabiel of zal licht eroderen.

Noord-Holland Noord

Dit kustvak blijft overwegend erosief. Het meest noordelijke deel bij de Helderse Zeewering zal het meeste zand verliezen. Callantsoog blijft een onderhoudsgevoelige locatie, waar regelmatige (onderwater-)suppleties nodig zijn. Het zuidelijk deel van dit kustvak gaat wellicht profiteren van verliezen van de zandige versterking van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering welke hier terecht zullen komen.

De Hondsbossche en Pettemer Zeewering is versterkt met zand waardoor de kustlijn hier verder zeewaarts is komen te liggen. Dit zal op den duur leiden tot zandverliezen die door suppleties weer aangevuld moeten worden.

Noord-Holland Midden

In dit kustvak ligt de BKL op een aantal locaties relatief ver zeewaarts, waardoor er regelmatig gesuppleerd zal moeten worden.

Noord-Holland Zuid

Dit kustvak zandt van nature aan en zal dat blijven doen. Veel onderhoud valt hier niet te verwachten. De gaswinning die offshore van Castricum plaats vindt kan tot extra bodemdaling en daarmee voor het ontstaan van een onderhoudsbehoefte zorgen.

IJmuiden - Scheveningen

In dit kustvak is de versterking van de Zwakke Schakel Katwijk begin 2015 afgerond. In de komende jaren zullen de reeds versterkte schakels Noordwijk en Scheveningen weer onderhouden moeten gaan worden. De toekomstige ontwikkeling van dit kustvak zullen mede bepaald worden door de ontwikkelingen in de badplaatsen (versterkingen, uitbreidingen, aanleg jachthavens, etc.).

Scheveningen - Hoek van Holland

In dit kustvak is de laatste jaren zoveel zand aangebracht dat hier in de komende decennia geen grote veranderingen anders dan lokale herverdeling van zand, te verwachten zijn. Herverdeling van zand over het kustprofiel, waarbij met name zand van boven in het profiel naar lager gelegen delen verplaatst, kan leiden tot overschrijding van de herziene BKL.

3.4.2 Morfologische toestand van de Hollandse kust in 2035 en 2100

De kust van Noord- en Zuid-Holland zal in 2035 niet significant afwijken van de huidige situatie omdat het kustonderhoud op gelijke voet voortgezet wordt. De brandingszone en het strand langs het grootste deel van de Hollandse kust zullen op positie blijven of verder zeewaarts uitbouwen als gevolg van de reguliere zandsuppleties. Op de diepere onderwateroever komt er geen zand bij of het verdwijnt zelfs. Wel zullen de te suppleren locaties meer vast liggen. Naast de locaties met een relatief ver zeewaartse BKL-positie zoals bijvoorbeeld Bergen aan Zee, worden de Zwakke Schakels die zeewaarts versterkt zijn met zand (Noordwijk, Scheveningen, Hondsbossche, Katwijk) in 2035 allemaal onderhouden door

het kustlijnprogramma. Door hun zeewaartse positie zullen zij relatief vaak gesuppleerd worden. Het geërodeerde zand komt ten goede aan de aangrenzende kustvakken.

In het noordelijk deel van Noord-Holland is de invloed van het Zeegat van Texel en zijn buitendelta sterk aanwezig. De kustwaartse verplaatsing van het Nieuwe Schulpengat speelt een duidelijke rol in de ontwikkeling van de kust. De gaswinning bij Castricum aan Zee heeft een grotere suppletiebehoefte voor dit vak tot gevolg. In 2035 is de Delflandse Zandmotor waarschijnlijk uitgewerkt, het betreffende kustvak zit dan als geheel dik in het zand.

Het effect van verstelling van de Hollandse kust door erosie of non-depositie op de onderwateroever beneden de brandingszone, bij een gelijkblijvend profiel van de brandingszone als gevolg van voortgaand suppleren, is te vergelijken met het effect van een stijgende zeespiegel. Dit laatste zal eveneens geen effect hebben op het profiel in de brandingszone, terwijl de waterdiepte op het diepe deel van de onderwateroever toeneemt. Het effect van een verdiepende onderwateroever met een constant profiel in de brandingszone is onderzocht door een serie simulaties te draaien waarbij de onderwateroever tussen -8m en -20m stapsgewijs met 1m is verlaagd tot een maximum van 5m. Voor verdere details over de bodemschematisatie zie Tonnon (2014a).

4 Modelsimulaties

Het idee achter de uit te voeren simulaties is in kaart te brengen of de verwachte veranderingen in de morfologie van het kuststelsysteem een significante verandering in de sedimenttransportpatronen teweeg brengen. Significante veranderingen in de transportpatronen geven een indicatie dat de morfologische dynamiek zoals we die nu kennen in de toekomst kan gaan veranderen. Dit is dan tevens een indicatie of de jaarlijkse suppletiebehoefte kan gaan veranderen.

Om in kaart te brengen of de suppletiebehoefte in de komende eeuw gaat veranderen zijn er 2 bodems geconstrueerd, een voor 2035 en een voor 2100. De achterliggende gedachte bij de 2035 bodem is dat deze een voortzetting van de huidige morfologische trends weergeeft. De bodems voor 2100 zijn gebaseerd op een extreme extrapolatie van de grootschalige trends.

Als eerste zijn simulaties voor de huidige morfologische situatie (2012) gemaakt met bestaande Delft3D - SWAN modellen van de Nederlandse kust. Deze simulaties dienen als referentie waarmee de resultaten van de modelruns met de bodems voor 2035 en 2100 vergeleken kunnen worden. De bestaande modellen beslaan achtereenvolgens het Nederlandse deel van de Waddenzee, de Hollandse kust, het noordelijk deel van de Voordelta en het zuidelijk Deltagebied. Details van de gebruikte modellen en randvoorwaarden zijn beschreven in een serie werkdocumenten, zie Tabel 4.1 voor een overzicht.

Daarna zijn met dezelfde modelinstellingen simulaties gemaakt voor de morfologische situaties voor 2035 en 2100. De verschillen in sedimenttransportpatronen ten opzichte van de 2012 simulatie laten zien wat het effect van de morfologische veranderingen is. Vervolgens zijn met dezelfde modelinstellingen en een hoger gemiddeld zeeniveau simulaties gemaakt voor de bodemschematisaties voor 2035 en 2100. Deze simulaties geven het meest complete beeld van de te verwachten toekomstige situatie. De gekozen zeespiegelstanden voor 2035 en 2100 worden hierna besproken.

Om het effect van de morfologische veranderingen in 2035 en 2100 op de veiligheid vast te stellen zijn duinafslagsommen met XBeach gemaakt. Daarvoor zijn voor 11 locaties langs de kust, 5 op de kop van een Waddeneiland en 6 op de eilanden in het Deltagebied, raaimodellen gemaakt door het recente Jarkus-duinprofiel steeds te combineren met de bathymetrie uit de bodemschematisaties voor 2035 en 2100. Hierbij zijn de huidige geldende randvoorwaarden toegepast, dus zeespiegelstijging is niet meegenomen in de berekeningen. Zie verder Den Heijer (2014).

De details van de uitgevoerde simulaties en hun resultaten zijn vastgelegd in een serie werkdocumenten, zie Tabel 4.1 voor de referenties.

deelgebied	bodem aanpassing	simulatie	recent	2035	2035+	2100	2100+	ref.
Waddenkust	zeegaten en buitendelta's		2012	x	x	x	x	5
Holland	verdieping diepe vooroever	tot 5m	1996					3
Voordelta Noord	zeegaten en buitendelta's		2009	x				4
Deltagebied Zuid	zeegaten en buitendelta's		2006	x	x	x	x	1
Waddenzee	bekken groeit mee	m _{sl} +1m, m _{sl} +2m	2008					5
	platen groeien mee	m _{sl} +1m, m _{sl} +2m	"					"
	bekken groeit NIET mee	m _{sl} +1m, m _{sl} +2m	"					"
duinafslag Wadden en Delta	buitendelta's		2012	x		x		2

Tabel 4.1; overzicht van de gebruikte deelmodellen, de uitgevoerde simulaties en referenties naar de werkdocumenten die de details van de simulaties beschrijven. De nummering van de referenties is als volgt: (1) Dijkstra, 2014, (2) Den Heijer, 2014, (3) Tonnon, 2014a, (4) Tonnon, 2014b, (5) Tonnon, 2014c.

4.1 Zeespiegelstijging en bodemdaling

In de komende eeuw zal het gemiddeld zeeniveau stijgen, zowel relatief als absoluut. Het directe effect hiervan op de kust zal gering zijn. Door het onderhoud van de kustlijn met zandsuppleties zal er voldoende zand aanwezig zijn om de effecten van een stijgend gemiddeld zeeniveau teniet te doen. De vermeende automatische erosie (op basis van de werking van de 'Bruun regel' - het kustprofiel schuift met de zeespiegel mee omhoog en daarmee automatisch landwaarts, hetgeen erosie van de kust inhoudt -) zal niet optreden. Op locaties waar de bodem extra daalt als gevolg van gaswinning zal wellicht een extra suppletiebehoefte ontstaan. Echter, bodemdaling is niet meegenomen in de simulaties.

Het belangrijkste effect van stijging van het gemiddeld zeeniveau is de toename van accommodatieruimte en daarmee de "sedimentvraag" in de getijdebekken van de Waddenzee en in de Ooster- en Westerschelde. Het netto transport van sediment van de Noordzeekust naar de bekkens kan hierdoor toenemen. Bij een geleidelijke stijging zal de netto import voldoende zijn om aan de extra vraag te voldoen en zullen er geen veranderingen in de bekkens optreden. Bij een snelle stijging kan de import van sediment gaan achterlopen, waardoor de gemiddelde diepte in de bekkens toeneemt.

Toch wordt de netto import door de zeegaten waarschijnlijk niet bepaald door de vraag naar sediment in de bekkens maar door de maximale transportcapaciteit van de stroming door de zeegaten: er is domweg niet meer capaciteit beschikbaar waardoor er niet meer sediment verplaatst kan worden. Aanleiding voor deze stelling is de ontwikkeling van de westelijke Waddenzee sinds de aanleg van de Afsluitdijk: ondanks dat er een zeer grote vraag naar sediment in m.n. het bekken van het Zeegat van Texel is, zien we geen versnelde import van sediment in dit gebied. Blijkbaar zit er een bovengrens aan de transporten. De maximale capaciteit per zeegat is op dit moment niet bekend.

De modelsimulaties geven een indicatie van de gevolgen van de verwachte morfologische ontwikkelingen. De te verwachten morfologische ontwikkelingen zijn gebaseerd op de grootschalige veranderingen zoals die over de voorgaande decennia zijn opgetreden. Dat betekent dat de geschetste ontwikkelingen niet erg nauwkeurig zijn in plaats en tijd, al geven ze wel het ontwikkelingsbeeld zo goed mogelijk weer. Gezien de onzekerheid in de morfologische veranderingen heeft het geen zin om de randvoorwaarden van de berekeningen, zoals bijvoorbeeld de stijging van het zeeniveau in de komende eeuw, wel nauwkeurig te hanteren. Daarom is er voor gekozen om niet de officiële zeespiegelscenario's zoals gepubliceerd door het KNMI te volgen, maar om met grotere stappen te hanteren.

4.1.1 De zeespiegel in 2035

Als de huidige snelheid van relatieve zeespiegelstijging van 18 a 20 cm per eeuw niet toeneemt zal het gemiddeld zeeniveau over 20 jaar ca. 4 cm hoger staan. Ondanks dat er op dit moment nog geen aanwijzingen zijn voor een versnelling van de gemiddelde stijgingssnelheid langs de Nederlandse kust (De Ronde, 2013), is het aannemelijk dat er in 2035 wel een toename te constateren valt. Om het effect hiervan mee te nemen, wordt er voor de situatie in 2035 ook een simulatie met een 10 cm verhoogd zeeniveau uitgevoerd.

4.1.2 De zeespiegel in 2100

In 2100 zal er zeker een gemiddelde zeestand zijn die hoger ligt dan op basis van extrapolatie van de huidige gemeten relatieve zeespiegelstijging kan worden berekend. Hiervoor zijn diverse schattingen gemaakt op basis van klimaatscenario's. Echter, welke schatting het dichtst bij de waarheid zal liggen is niet te voorzien. Omdat we in deze studie in eerste instantie geïnteresseerd zijn in de gevolgen van een gestegen zeespiegel op de ontwikkeling van de kustmorfologie hebben we gekozen voor een eenvoudige aanname: in '2100' zal de gemiddelde zeespiegel langs de Nederlandse kust 1 m hoger staan dan nu.

4.1.3 Effect van zeespiegelstijging op de Waddenzee

De uitwerking van zeespiegelstijging in de getijbekkens van de Waddenzee is apart beschouwd. Hiertoe zijn de debieten door de zeegaten berekend voor de referentiesituatie, voor een zeespiegelstijging van 1m en voor een zeespiegelstijging van 2m. Voor beide zeespiegelscenario's is de ontwikkeling van de Waddenzee als volgt gevarieerd:

- a) de sedimentatie in de bekkens is voldoende om de zeespiegelstijging te volgen, het hele bekken groeit dus mee,
- b) de sedimentatie in de bekkens is niet voldoende om de zeespiegelstijging te volgen, maar de platen groeien wel mee, en
- c) de sedimentatie in de bekkens is niet voldoende om de zeespiegelstijging te volgen, het bekken wordt dieper.

5 Resultaten simulaties

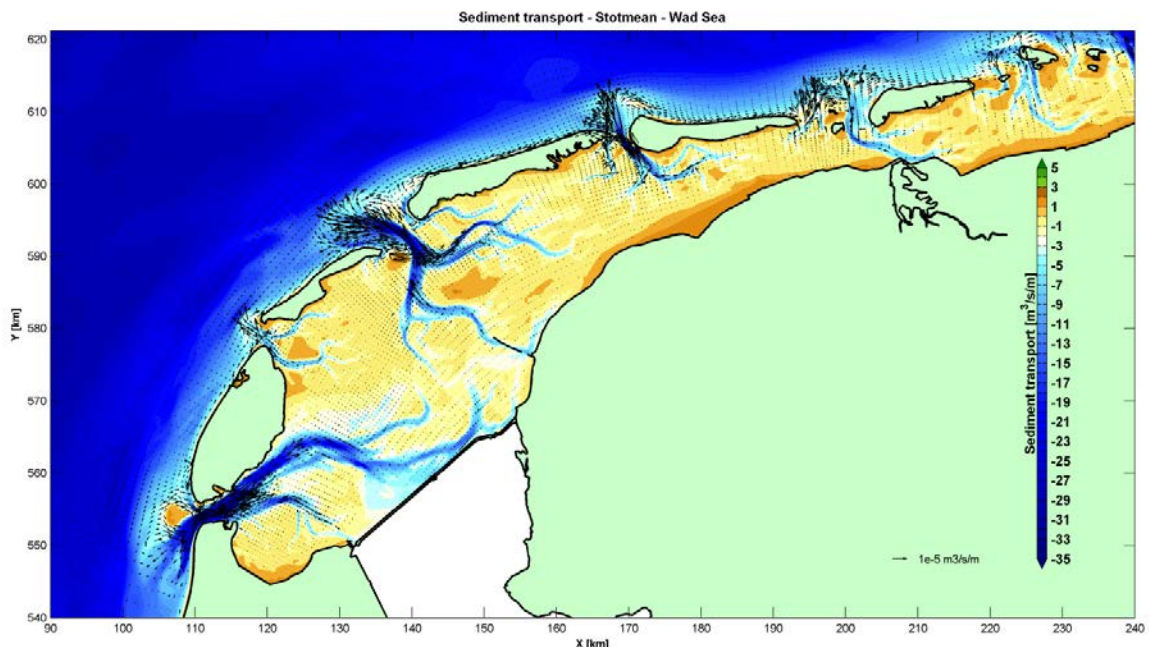
Algemeen beeld

Het algemene beeld dat op basis van de simulaties ontstaat is dat de morfologische situatie voor 2035 geen grote veranderingen in de sedimenttransportpatronen veroorzaakt. Lokaal bij de zeegaten ontstaat een iets andere situatie: de naar binnen gerichte transporten langs de kust nemen iets toe, de naar buiten gerichte transporten in de (hoofd-) ebgeul eveneens. Er is weinig verschil tussen de resultaten van de simulaties voor 2035 met en zonder 0,1m zeespiegelstijging. De simulaties voor 2100 laten een sterke toename van de transporten in de zeegaten zien, met name de simulatie met 1,0m zeespiegelstijging.

5.1 Sedimenttransporten Waddenzee 2035 en 2100

Figuur 5.1 geeft het overzicht van de transportvectoren in de Waddenzee, de zeegaten en buitendelta's en langs de Noordzeekust van de Waddeneilanden zoals berekend voor de referentiesituatie 2012. Het algemene beeld is dat:

- 1 De transporten over de ondiepe delen van de buitendelta's en langs de eilandkusten gaan in stroomafwaartse richting (dat is grofweg van zuidwest naar noordoost). Het getransporteerde sediment gaat vervolgens bij het volgende zeegat het bekken in.
- 2 Het netto transport in het Zeegat van Texel staat naar binnen, en
- 3 De netto transporten in alle andere zeegaten staan naar buiten.



Figuur 5.1; het patroon van transportvectoren in de Waddenzee, de buitendelta's en zeegaten en langs de Noordzeekust van het Waddengebied in 2012.

Zeegat van Texel

Het transportpatroon rond het Zeegat van Texel in de simulatie voor 2012 laat zien dat sediment over de buitendelta naar het zeegat en naar het noorden gebracht wordt, en dat het zeegat sediment importeert. De grote geulen op de buitendelta, het Schulpengat en Nieuwe Schulpengat, brengen sediment in zeewaartse richting. De transporten langs de zuidwestkust van Texel en de kust van Noord-Holland zijn naar binnen, richting het zeegat en bekken gericht. Ten noorden van de buitendelta (ongeveer vanaf Paal 16) wordt sediment langs de kust van Texel naar het noorden gevoerd.

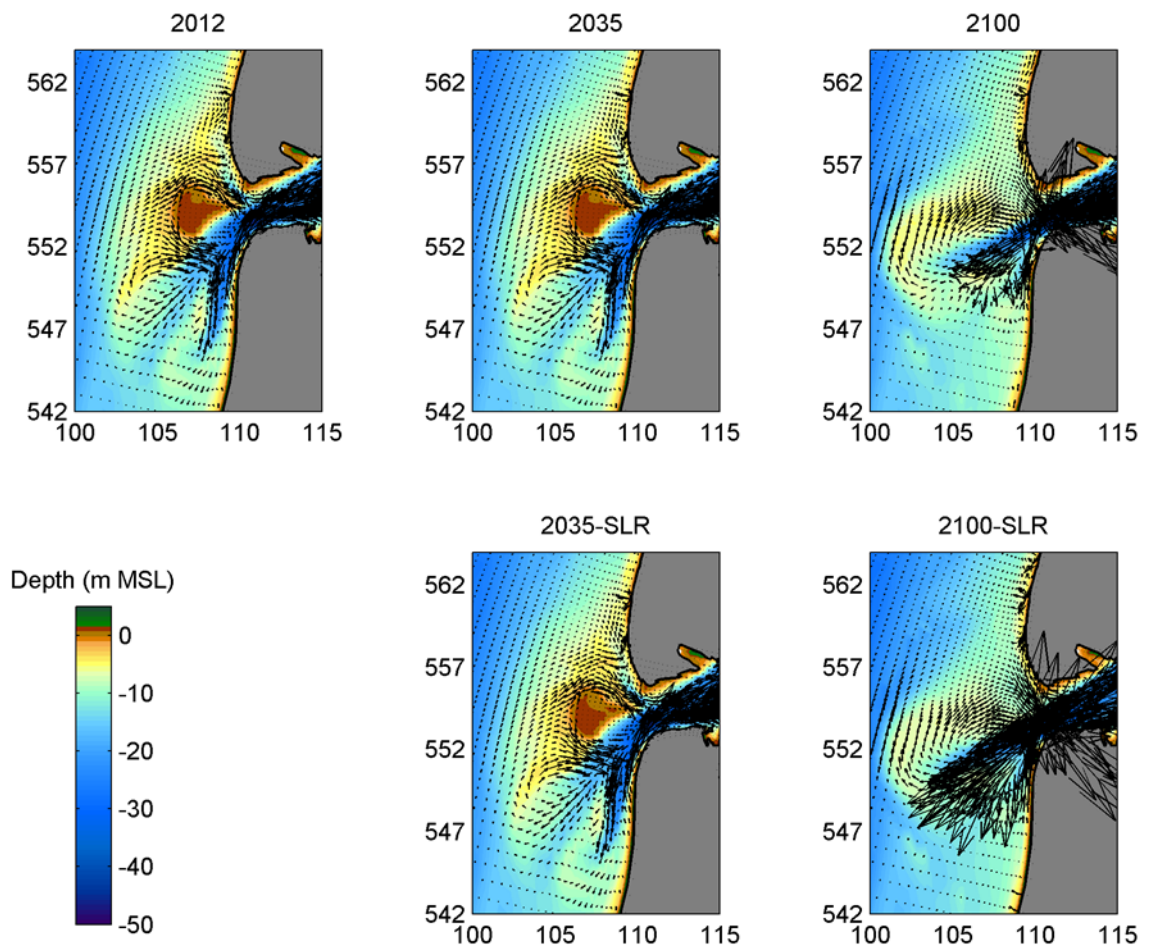
De simulatie voor 2035 laat in het transportpatroon weinig verschil ten opzichte van 2012 zien. De naar het bekken gerichte transporten worden iets sterker, de transporten langs de zuidwestkust van Texel nemen iets af. In het scenario 2035 met 0,1m zeespiegelstijging worden de naar binnen gerichte transporten groter: langs zuidwest Texel worden de transporten 7x groter, het noordwaartse transport bij Huisduinen (de noordpunt van Noord-Holland) verdubbeld.

De simulatie voor 2100 laat een geringe toename van de naar het bekken gerichte transporten zien. Bij het toevoegen van 1,0m zeespiegelstijging nemen de bekkenwaartse transporten flink toe: bij Huisduinen 4x, bij zuidwest Texel 23x! Het netto transport door de meest westelijke raai in het zeegat gaat van export naar import, de bekkenwaartse transporten in het oostelijk deel van het zeegat nemen meer dan 6x toe. N.B. Deze extreme toename van de transporten is niet realistisch, het is (mede) een gevolg van het feit dat de bodem en waterbeweging niet aan elkaar zijn aangepast. Het scenario met zeespiegelstijging laat een halvering van de noordwaartse transporten langs de Texelse kust zien.

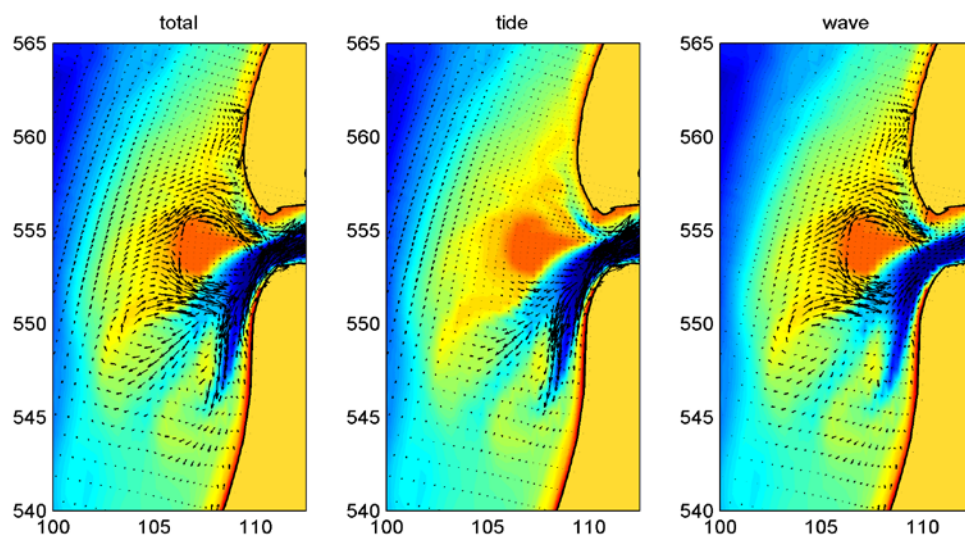
Uit het bovenstaande kunnen we concluderen dat de morfologische aanpassingen van de buitendelta (oppervlakte en gemiddelde diepte) voor 2035 en 2100 geen grote veranderingen in de transporten langs de kust veroorzaken. De verschillen bij De Hors zijn kleiner dan 10%, bij Huisduinen maximaal 15%. Toevoeging van een stijging van het zeeniveau in de simulaties voor 2035 en 2100 daarentegen geeft grote veranderingen in de transporten langs de aanliggende kusten: bij De Hors respectievelijk 7x en 23x; bij Huisduinen respectievelijk een verdubbeling en een verviervoudiging.

Figuur 5.2 laat de transportvectoren zien voor de verschillende simulaties voor het Zeegat van Texel. Verschilplaatjes tussen uitkomsten van de verschillende simulaties zijn te vinden in Bijlage D.

Figuur 5.3 geeft aan wat de bijdragen van de getijgedreven en golfgedreven transporten zijn aan het totale transport rond het Zeegat van Texel. De transporten langs de kust en over het ondiepe platform van de buitendelta zijn hoofdzakelijk golfgedreven. Bij verkleining en verlaging van het oppervlak van de buitendelta nemen zowel de afscherming als de golfdissipatie af. In de simulaties met extra zeespiegelstijging is dit effect nog veel sterker omdat (1) de buitendelta nog dieper ligt en (2) de fluxen door het zeegat omhoog gaan (een sterkere flux naar binnen geeft méér verlies op de kust, een sterkere flux naar buiten geeft meer verlies naar dieper water).



Figuur 5.2; de getijgemiddelde transportpatronen in het Zeegat van Texel en de buitendelta voor de simulaties voor 2012, 2035 en 2100.

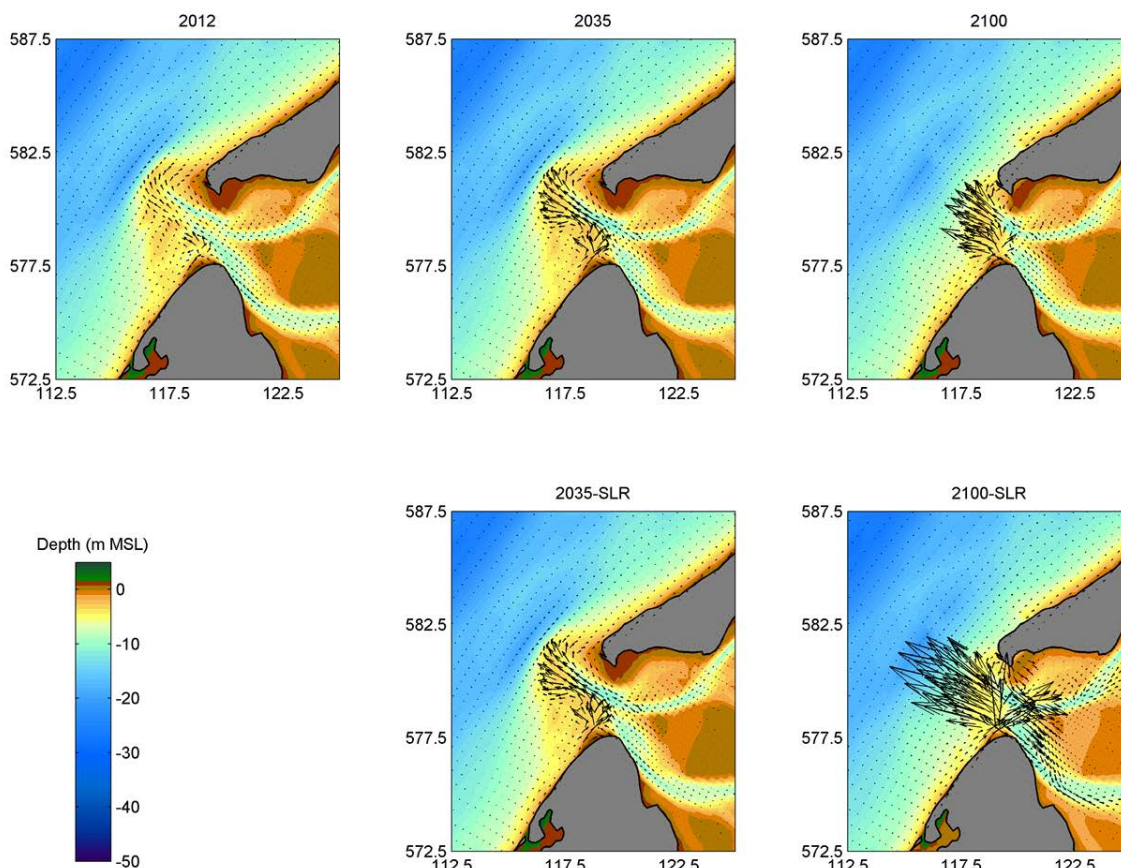


Figuur 5.3; uitsplitsing van het totale transportveld in de getij- en golfgedreven componenten.

Eierlandse Gat

Het transportpatroon bij het Eierlandse Gat in de simulatie voor 2012 laat zien dat sedimenttransporten bij de noordpunt van Texel naar het noordoosten gaan, terwijl ze in de geulen in het bekken, in het zeegat en op de buitendelta in de ebrichting, dat is naar het westen gaan. Het transport langs de kust van Vlieland staat naar het noordoosten.

In de bodem voor 2035 komt de geul ten oosten van de punt van Texel (het Robbengat) uit in de vroegere noordelijke hoofdgeul Engelsmangat, wat duidelijk terug te zien is in het transportpatroon. Ook de vloedschaar bij de Eierlandse Dam is weg, waardoor de transporten in de vloedrichting door de afgenomen waterdiepte toenemen. Hierdoor verliest noord Texel meer sediment. De zeewaartse transporten in het Engelsmangat zijn toegenomen en treden verder naar buiten, aan het einde van de geul op. Als gevolg van het feit dat er nog maar één geul is zijn de zeewaartse flux en daarmee het transport naar buiten groter. Het is niet duidelijk of dit een positief effect op de Vliehors heeft. In de 2035 situatie is er dus dubbel verlies: de kust van Texel verliest meer zand en er gaat meer zand naar buiten. In de simulatie met zeespiegelstijging is het beeld identiek.



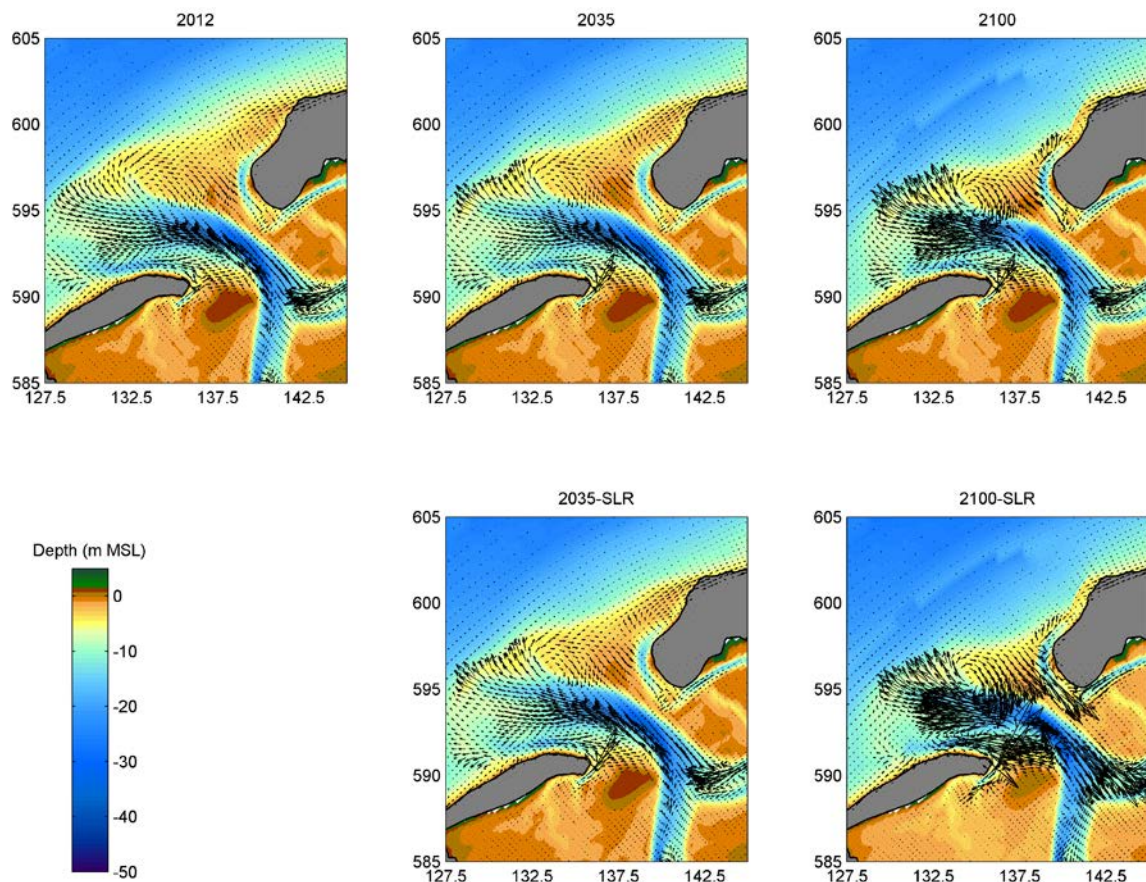
Figuur 5.4: de getijgemiddelde transportpatronen in het Eierlandse Gat en zijn buitendelta voor de simulaties voor 2012, 2035 en 2100.

In de simulatie voor 2100 is het transportbeeld vergelijkbaar met 2035 maar treden er over de hele buitenrand van de buitendelta naar buiten gericht transporten op welke groter zijn dan in 2035. Het resultaat van het scenario met zeespiegelstijging in 2100 is een sterke toename van de transporten, niet alleen op de buitendelta maar ook langs de noordkust van Texel.

Zeegat van het Vlie

De transporten rond het Zeegat van het Vlie laten in de simulatie voor 2012 het volgende beeld zien. Direct ten noorden van Oost-Vlieland en de zandplaat Richel gaan de transporten naar het oosten, dat is dus bekkenwaarts. In de geulen in het bekken en in de hoofdgeul van het zeegat en de buitendelta gaan de transporten naar buiten, zeewaarts. Langs de rand van het buitendeltaplatform wordt sediment naar het oosten gebracht, hetzelfde zien we langs de noordkust van Terschelling. Transporten over het ondiepe deltaplatform gaan richting het zeegat.

Met de 2035 bodem zien we een vergelijkbaar beeld. Het transport langs de noordwest- en oostkust van Vlieland neemt een beetje af, het transport naar buiten toe op rand buitendelta (Vliestroom, Zuider Stortemelk) neemt iets toe. Er is meer transport naar binnen toe over het ondiepe deel van de buitendelta, behalve bij het Boomkensdiep waar het transport naar buiten gaat. Het transport van de buitendelta naar de Noordzeekust van Terschelling neemt toe (zie Figuur 5.5 en Bijlage D). Het beeld uit de 2035 met zeespiegelstijging simulatie is vrijwel identiek, echter de export in de keel van het zeegat halveert grofweg en het netto zuidgaand transport langs de noordwestkust van Vlieland neemt af met 70%. Het bekkenwaarts transport bij oost Vlieland gaat met bijna 50% omhoog en de resulterende transporten in het Boomkensdiep veranderen: in het zuidwestelijk deel is het transport naar het bekken, in het noordelijk deel naar buiten. Er ontstaat hier dus een splitsingspunt!



Figuur 5.5; de getijgemiddelde transportpatronen rond het Zeegat van het Vlie en zijn buitendelta voor de simulaties voor 2012, 2035 en 2100.

Als uitgangspunt voor de bodem voor 2100 is de 2035 bodem gebruikt. Echter, de buitendelta zelf is verder richting de kust geduwd, waardoor zowel de omvang als het volume sterk afnemen. Lokaal op het centrale gedeelte van de buitendelta neemt de waterdiepte hierdoor iets af. Deze nieuwe morfologie veroorzaakt meer transport naar buiten in de geulen, maar naar binnen op ondiepe delen en in het Boomkensdiep. Het langtransport langs de rand van de buitendelta neemt toe. In het scenario met zeespiegelstijging zijn de transportfluxen groter, met name in de geulen maar ook op de ondiepe delta. De export van het zeegat slaat om naar import en is 1,5x groter dan voorheen. De netto import langs de koppen van de eilanden (vloedgeulen!) neemt sterk toe: 5-7x meer. Het transport langs de noordwestkust van Vlieland draait om en neemt iets af, het transport van de buitendelta naar de kust van Terschelling wordt eenderde kleiner.

Ameland Zeegat

Het transportpatroon rond het Zeegat van Ameland in 2012 is eenduidig: oostwaarts transport langs de kust van Terschelling tot aan het Boschgat, zeewaarts transport in het Boschgat en Borndiep, in de keel van het zeegat en op de buitendelta en vervolgens transport naar het oosten over het deltaplatform en langs de kust van Ameland.

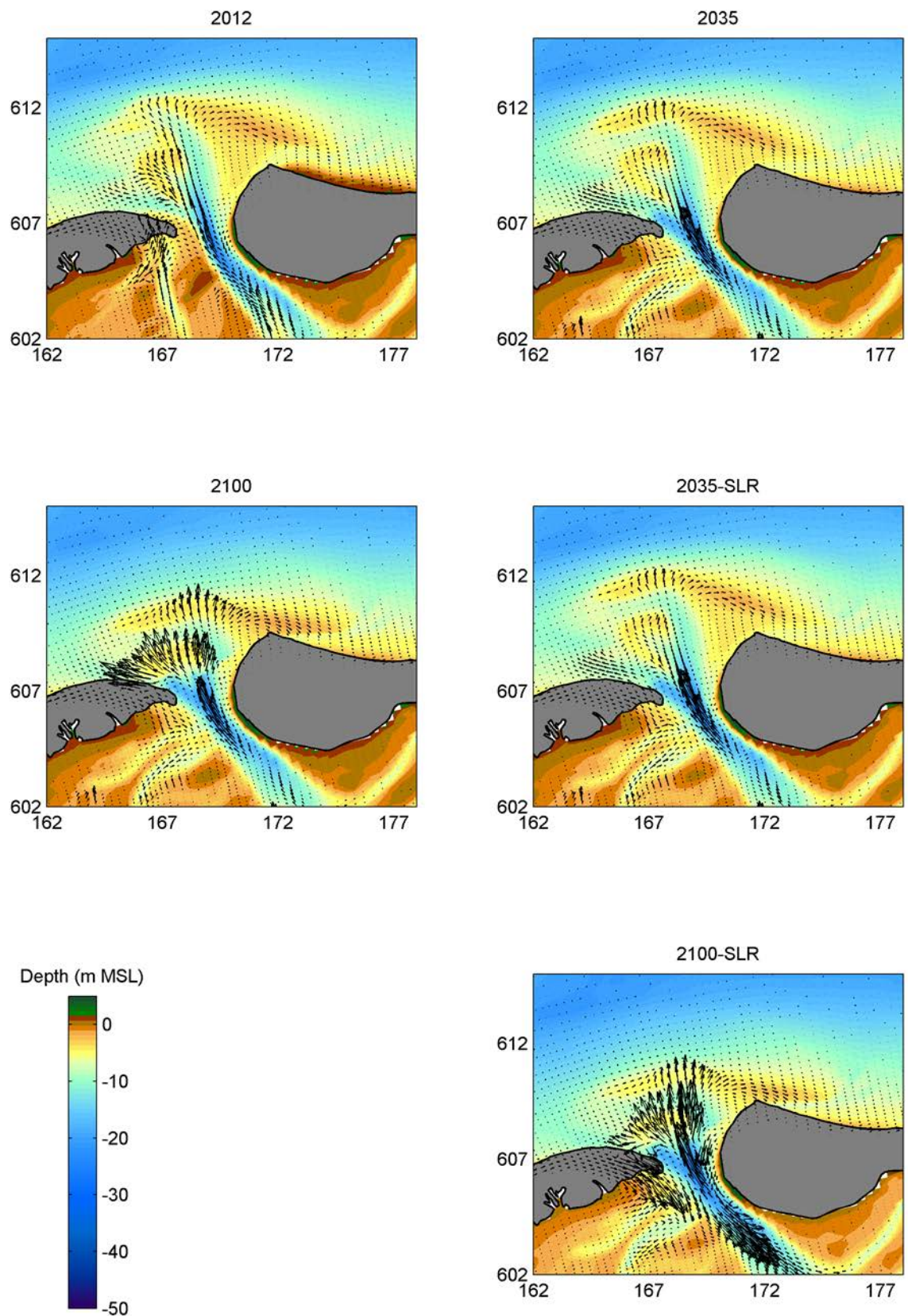
In de bodem voor 2035 is een andere geulconfiguratie geïmplementeerd: er is geen zelfstandig Boschgat meer, de geul komt uit in het Borndiep. Dit geeft uiteraard grote veranderingen in het transportpatroon, maar heeft weinig effect op de transporten langs kust iets verder van het zeegat. De zeewaartse transporten in de keel van het zeegat, het Westgat en op het ebschild van het Borndiep nemen toe, de brandingsstroomtransporten langs Oost-Terschelling en West-Ameland blijven vrijwel gelijk. Het scenario met zeespiegelstijging geeft geen ander beeld.

De simulatie voor 2100 laat een veel sterkere uitstroom, grotere transporten in de keel van het zeegat en op de ondiepe delen van de buitendelta (monding Borndiep, monding Westgat) zien. Het transport van de buitendelta naar de kop van Ameland zijn groter (de transportvectoren staan naar de kust gericht, niet parallel er aan). Toevoeging van zeespiegelstijging versterkt de bekkenwaartse transporten langs de staart van Terschelling en de westkop van Ameland. Verder nemen de zeewaartse transporten in de keel van het zeegat en op de buitendelta toe. Het transport van de buitendelta naar de kust van Ameland neemt niet toe.

Friesche Zeegat

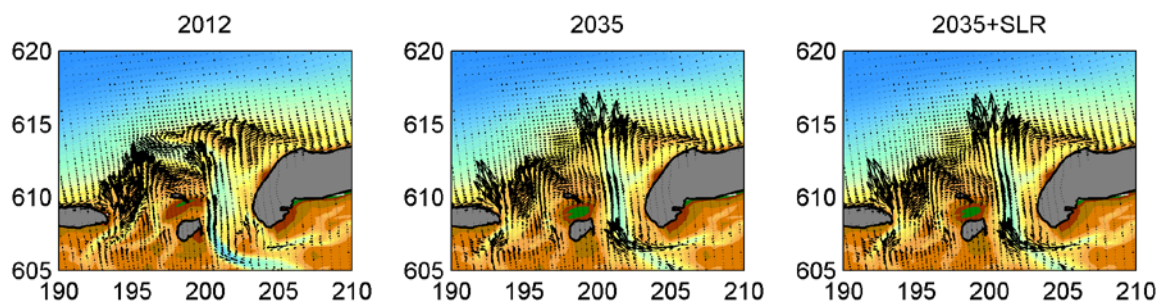
De gesimuleerde transporten voor de 2012 bodem laten het volgende beeld zien: oostwaarts en bekkenwaarts transport bij de oostpunt van Ameland, zeewaartse transporten in het Pinkegat, Zoutkamperlaag en Westgat en oostwaartse transporten over de ondiepe delen van de buitendelta en langs de kust van Schiermonnikoog.

In de bodem voor 2035 is het Pinkegat naar het westen verplaatst, dit geeft lokaal grote transporten. Verder zien we grotere zeewaartse transporten in de monding van het Westgat (N.B. de naar het westen gerichte zijtak is verdwenen). De transporten in het nieuwe Pinkegat zijn meer naar noordnoordwest gericht dan in 2012. Tenslotte zijn er grotere zeewaartse transporten in het bekken. De transporten langs de kusten van Ameland en Terschelling veranderen niet veel. Extra zeespiegelstijging verandert dit beeld nauwelijks (zie Figuur 5.7 en Bijlage D).

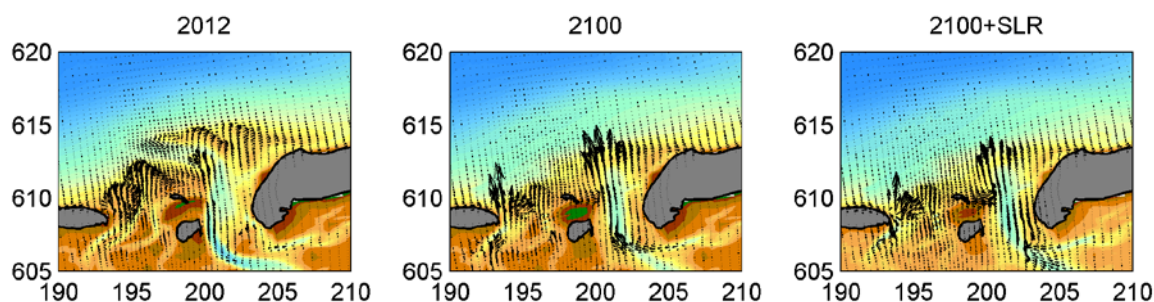


Figuur 5.6; de getijgemiddelde transportpatronen rond het Ameland Zeevat en zijn buitendelta voor de simulaties voor 2012, 2035 en 2100.

Het transportbeeld voor 2100 is niet anders dan voor 2035. De zeespiegelstijging van 1,0m geeft een groter bekkenwaarts transport bij de oostpunt van Ameland, kleinere zeewaartse transporten op de buitendelta en een verdubbeling van het bekkenwaarts transport in het Plaatgat bij de westpunt van Schiermonnikoog.



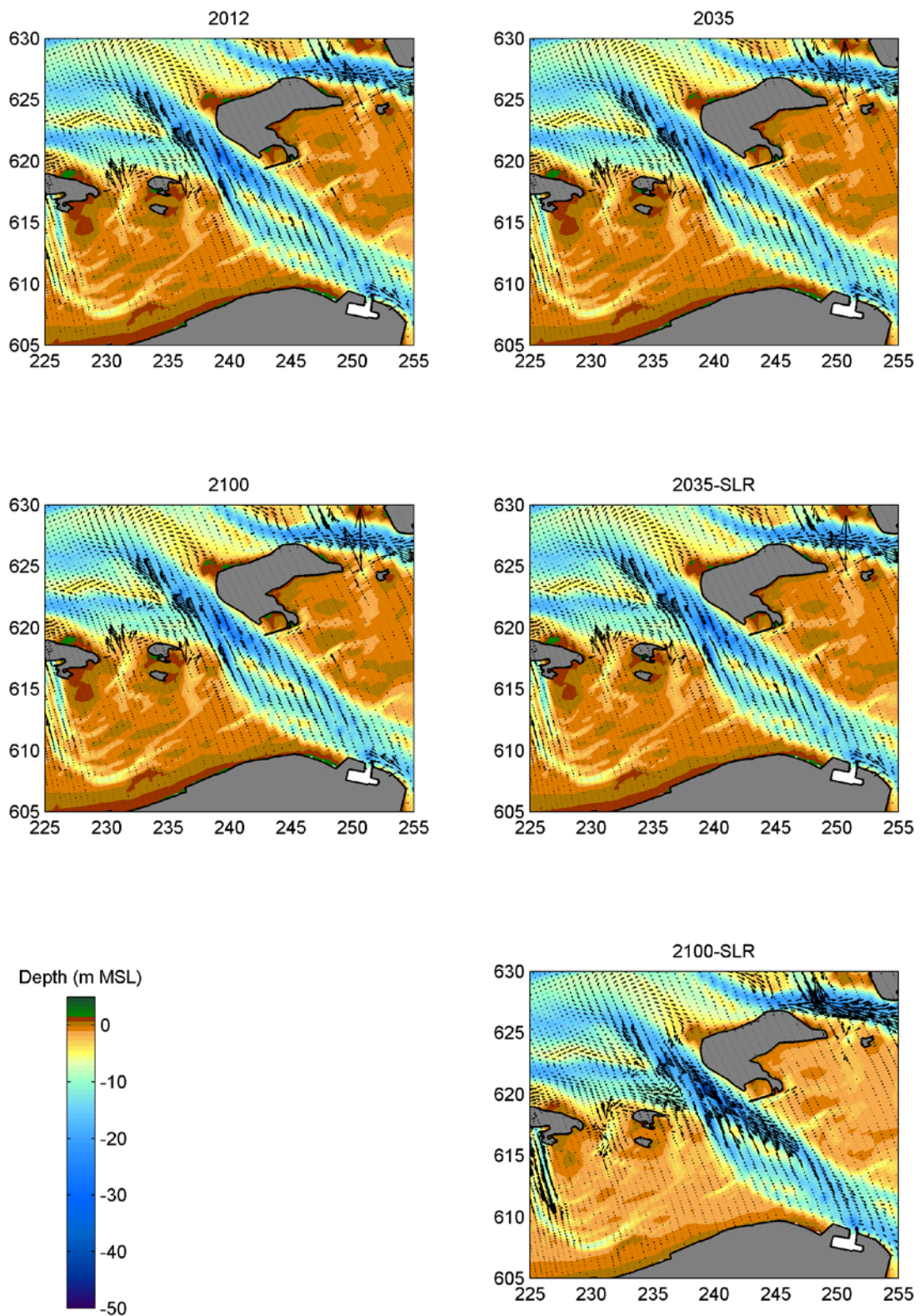
Figuur 5.7; de getijgemiddelde transportpatronen in het Friesche Zeegat en zijn buitendelta voor de simulaties voor 2012 en 2035. Let op: de transporten zijn in deze figuur anders geschaald dan de transporten in 2100 in Figuur 5.8 (vergelijk de vectorplots voor 2012)!



Figuur 5.8; de getijgemiddelde transportpatronen in het Friesche Zeegat en zijn buitendelta voor de simulaties voor 2012 en 2100. Let op: de transporten zijn in deze figuur anders geschaald dan de transporten in 2035 in Figuur 5.7 (vergelijk de vectorplots voor 2012)!

Groninger Wad

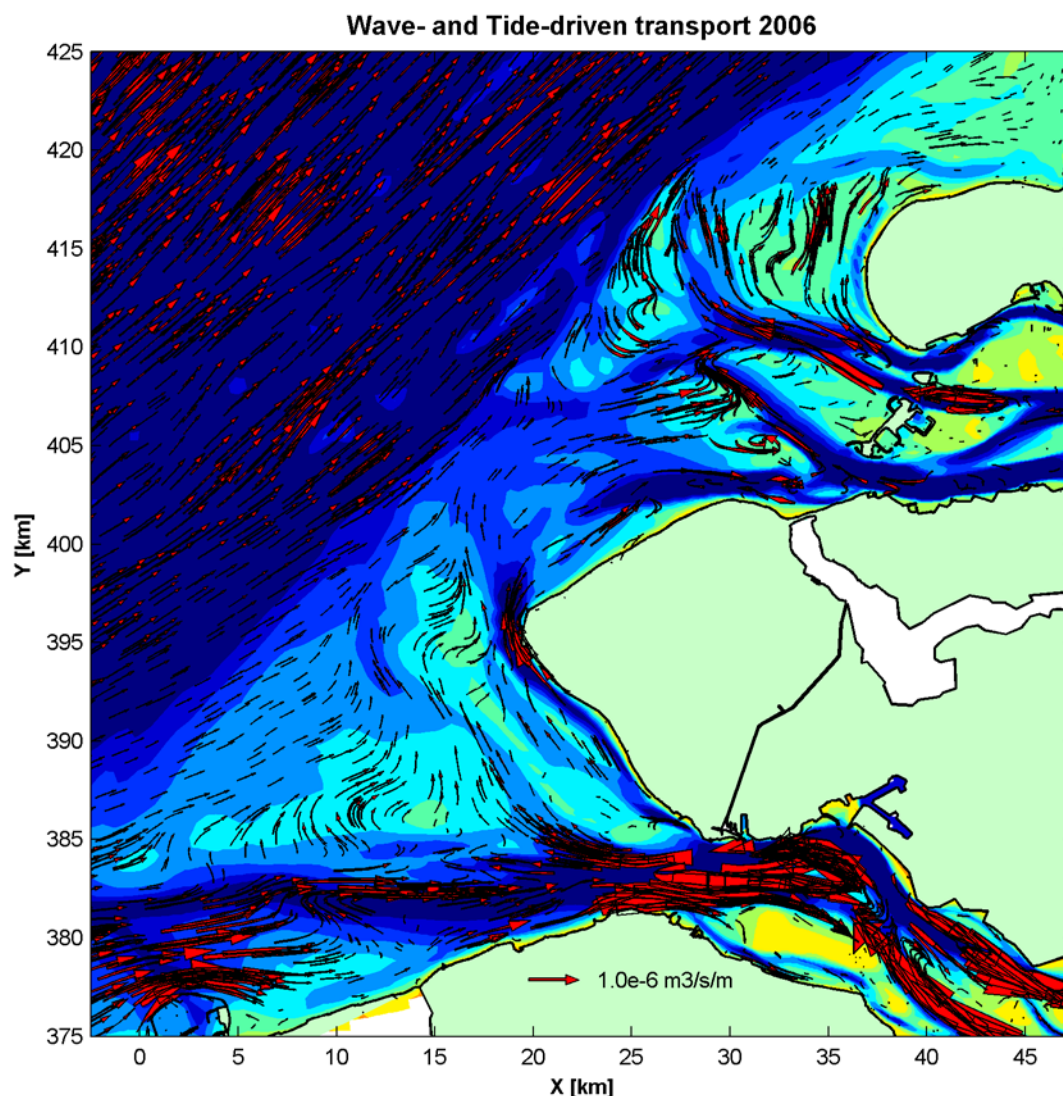
Het transportbeeld bij de zeegaten van het Groninger Wad in 2012 is simpel: oostgaande transporten langs de ondiepe delen zoals het oostpunt van Schiermonnikoog en Rottumerplaat en Rottumeroog en zeewaartse transporten bij de zeegaten Eilander Balg, Lauwers en Schild. De bodem van dit deel van de Waddenzee is niet aangepast voor de schematisaties voor 2035 en 2100 (zie 3.1.1 en Figuur 3.11). Derhalve geven alleen de simulaties met hogere zeespiegelstanden verschillen met de 2012 run. De run voor 2035 met zeespiegelstijging laat 10% grotere exporten zien voor de Eilander Balg en de Lauwers. De simulatie voor 2100 met zeespiegelstijging geeft een duidelijk ander beeld: het langstransport bij de oostpunt van Schiermonnikoog verdubbelt bijna, de exporten door de Lauwers en Schild slaan om naar import en wordt 2x zo groot; de export uit Schild (tussen Rottumerplaat en Rottumeroog) valt terug naar minder dan de helft terwijl het oostwaarts transport in de Eems bij Rottumeroog groter wordt.



Figuur 5.9; de getijgemiddelde transportpatronen bij Rottumerplaat en Rottumeroog voor de simulaties voor 2012, 2035 en 2100. N.B. de bodemschematisaties zijn niet aangepast ten opzichte van 2012.

5.2 Sedimenttransporten Deltagebied 2035 en 2100

De resultaten van de referentieberekening voor 2006 geven het volgende beeld (zie Figuur 5.10). Op de Noordzee gaat het netto transport naar het noordoosten, evenwijdig aan het front van de Voordelta. Op de Voordelta zelf vinden de grootste netto transporten plaats in de geul Wielingen op de buitendelta van de Westerschelde. De Wielingen laat een netto bekkenwaarts transport zien, langs Breskens de Westerschelde in. Nabij Vlissingen, in het noordelijk deel van het zeegat, is het transport in de ebrichting, naar het westen toe, en naar de Geul van de Walvischstaart gericht. De netto transporten over de Vlakte van de Raan zijn klein en naar het noorden gericht. De netto transporten in het Oostgat zijn opmerkelijk klein, alleen rond de kop van Walcheren, bij Westkapelle, is er een groter netto noordwaarts transport.



Figuur 5.10; getijgemiddelde transportvectoren in de zeegaten en buitendelta's van de Ooster- en Westerschelde in 2006.

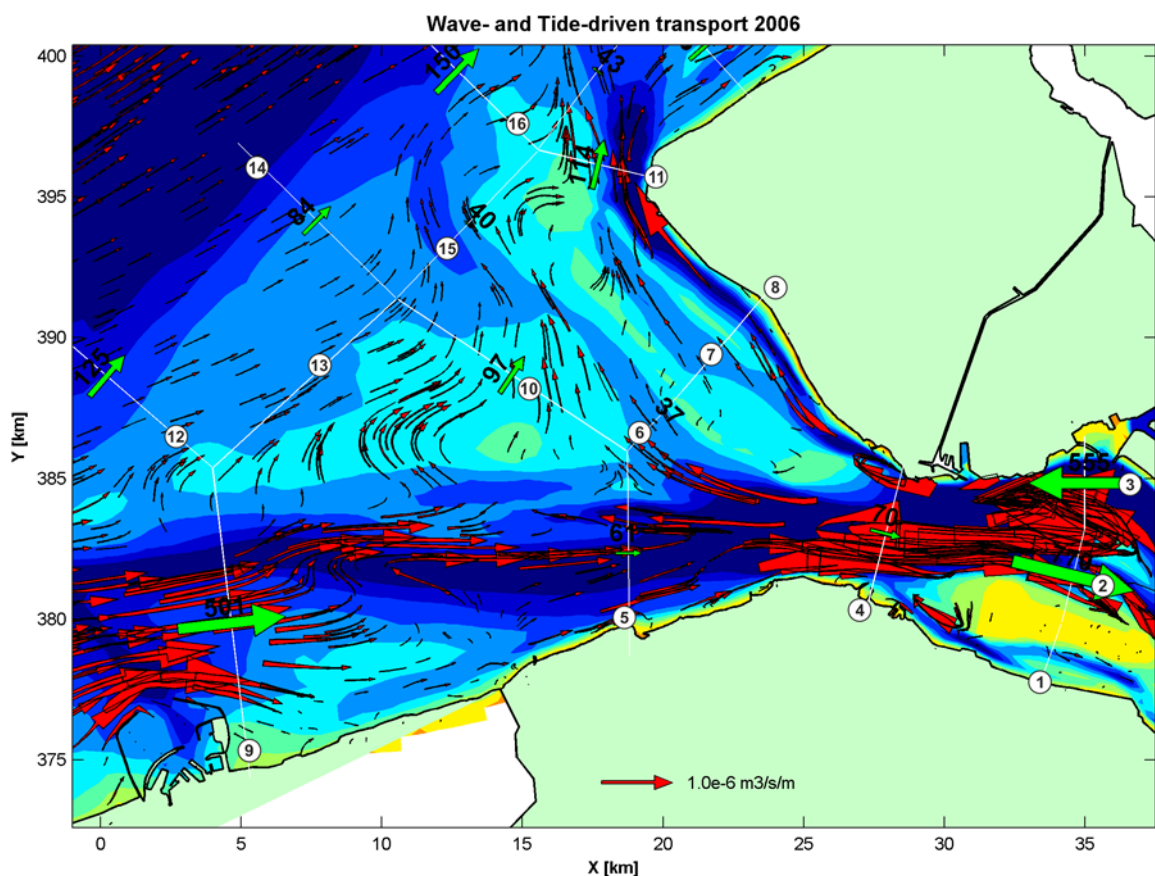
De transporten in de monding van de Oosterschelde zijn relatief groot ten opzichte van die in de Westerscheldemonding, de transporten in de Wielingen uitgezonderd. Over de Banjaard is het netto transport noordwaarts. De transporten in de geulen, zowel op de buitendelta als in

de Oosterschelde zijn klein vergeleken met die in de Wielingen. Alleen in de Geul van de Roggenplaat vindt een wat groter transport plaats.

Als we de transporten opsplitsen in getijgedreven en golfgedreven component, dan zien we dat het getijgedreven transport hier dominant is. De bijdrage van golfgedreven transport is klein, met uitzondering van de Banjaard. De overall transportrichting is naar het noordnoordoosten.

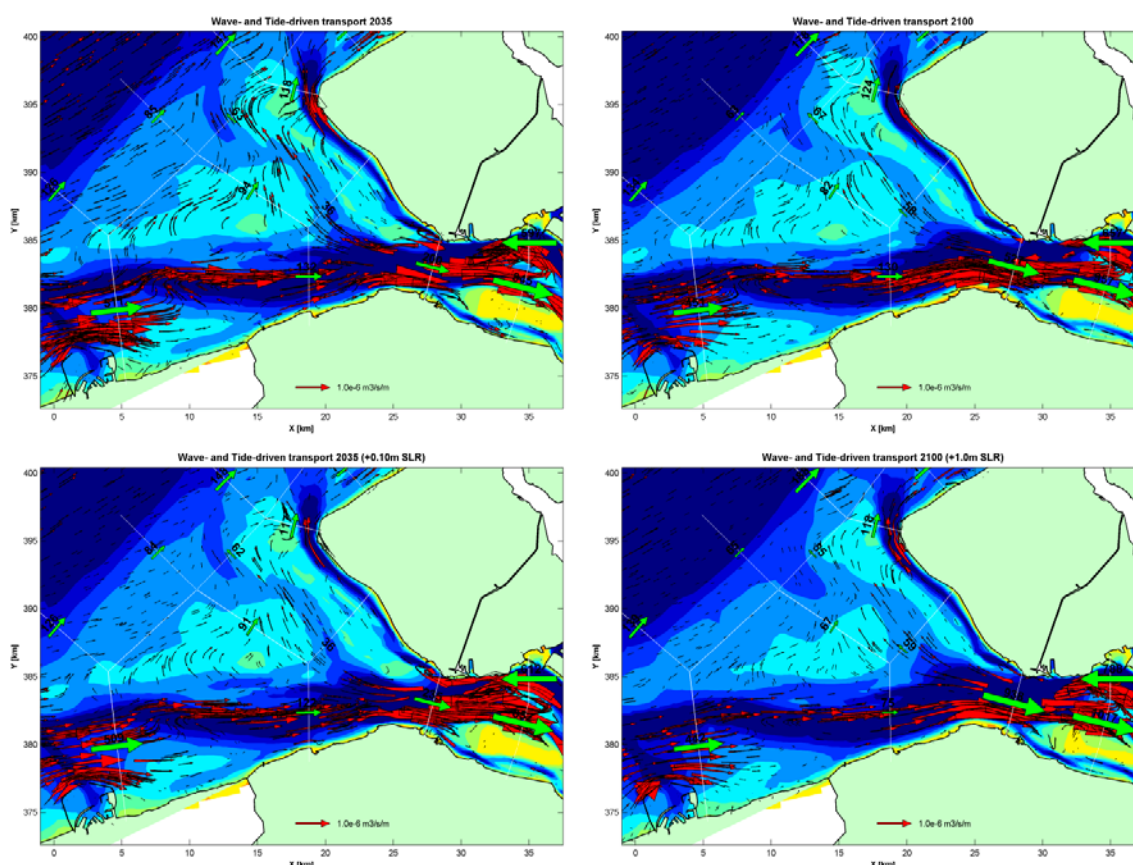
Westerschelde buitendelta

De transportpatronen voor de simulaties voor 2035 en 2100 laten vergelijkbare karakteristieken zien (vergelijk Figuur 5.11 en Figuur 5.12), op de schaal van de buitendelta treden er geen grote veranderingen op. In 2035 zien we een toename van de transporten naar de Westerschelde, met name in de buurt van de lijn Vlissingen - Breskens. Dit komt deels door de in de bodemschematisatie aangebrachte lokale verdieping van de Wielingen. De veranderingen langs de kust van Walcheren zijn zeer beperkt. De veranderingen in het bankengebied van het Bankje van Zoutelande en de Elleboog geven geen verandering van de transporten in het Oostgat. (Het Oostgat is met opzet niet veranderd ten opzichte van 2006, om de relatie met het voorliggende bankgebied te onderzoeken. De transporten in het Oostgat lijken dus niet gevoelig voor het morfologie van het omliggende gebied.) Ook op het buitendeltafront treden nauwelijks veranderingen op. Extra zeespiegelstijging in 2035 leidt niet tot een ander transportbeeld.



Figuur 5.11; getijgemiddelde transportvectoren in de monding en op de buitendelta van de Westerschelde in 2006.

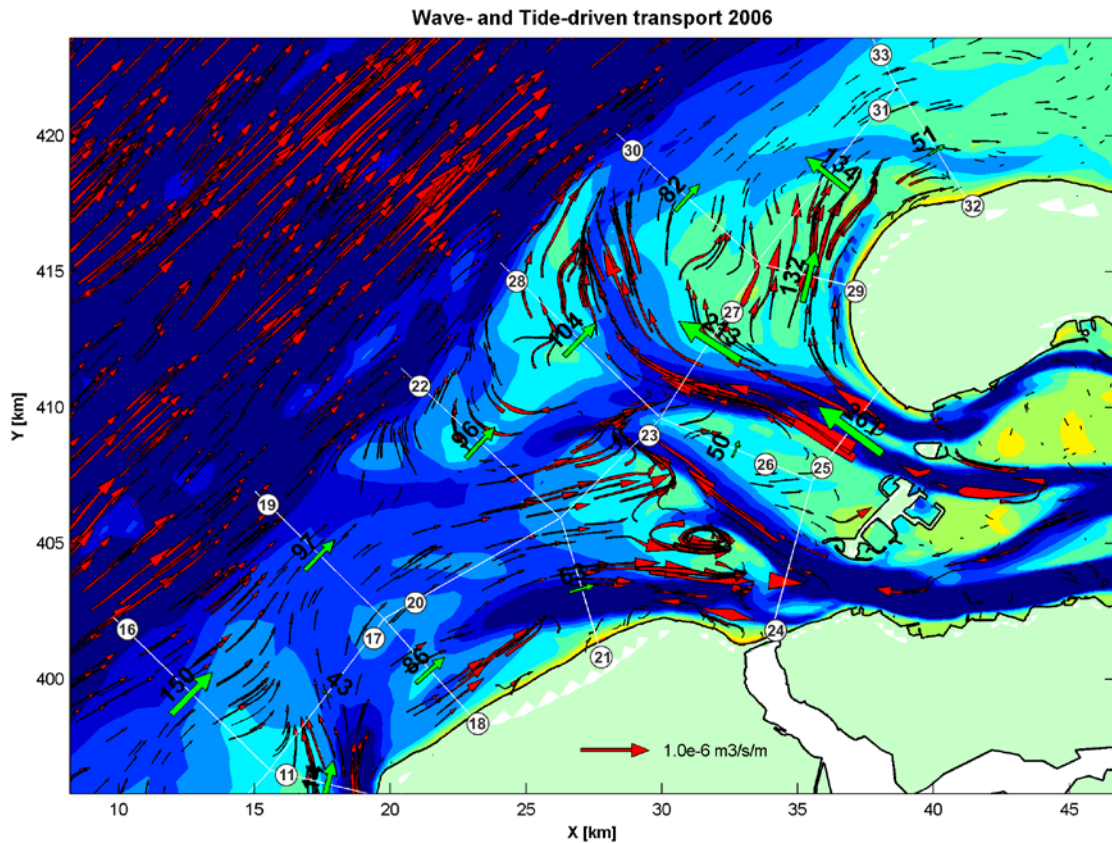
De simulatie met de bodem voor 2100 produceert een vrijwel gelijk overall beeld (Figuur 5.12). We zien een toename van de transporten naar het estuarium. De grote veranderingen in de Walvisstaart zorgen ervoor dat de transporten hier toenemen. In het Oostgat treedt er geen significant verschil op. Ook voor deze schematisatie kan de conclusie getrokken worden dat de transporten in het Oostgat ongevoelig zijn voor de veranderingen daarbuiten. Op de Vlakte van de Raan zijn de transporten iets afgenomen. Dit kan mede door de diepere ligging komen. Met een zeespiegelstijging van 1m nemen de transporten op de Vlakte van de Raan verder af, de transporten naar het estuarium nemen verder toe. N.B. De sterke toename van de transporten door de lijn Vlissingen-Breskens wordt vooral gedreven door de lokale verandering van de bodem in de 2035 en 2100 schematisaties. De verdieping van de Wielingen is hier vrij abrupt geëindigd waardoor er lokaal grotere transporten worden gegenereerd.



Figuur 5.12; getijgemiddelde transportvectoren in de monding en op de buitendelta van de Westerschelde in 2035 en 2100.

Oosterschelde buitendelta

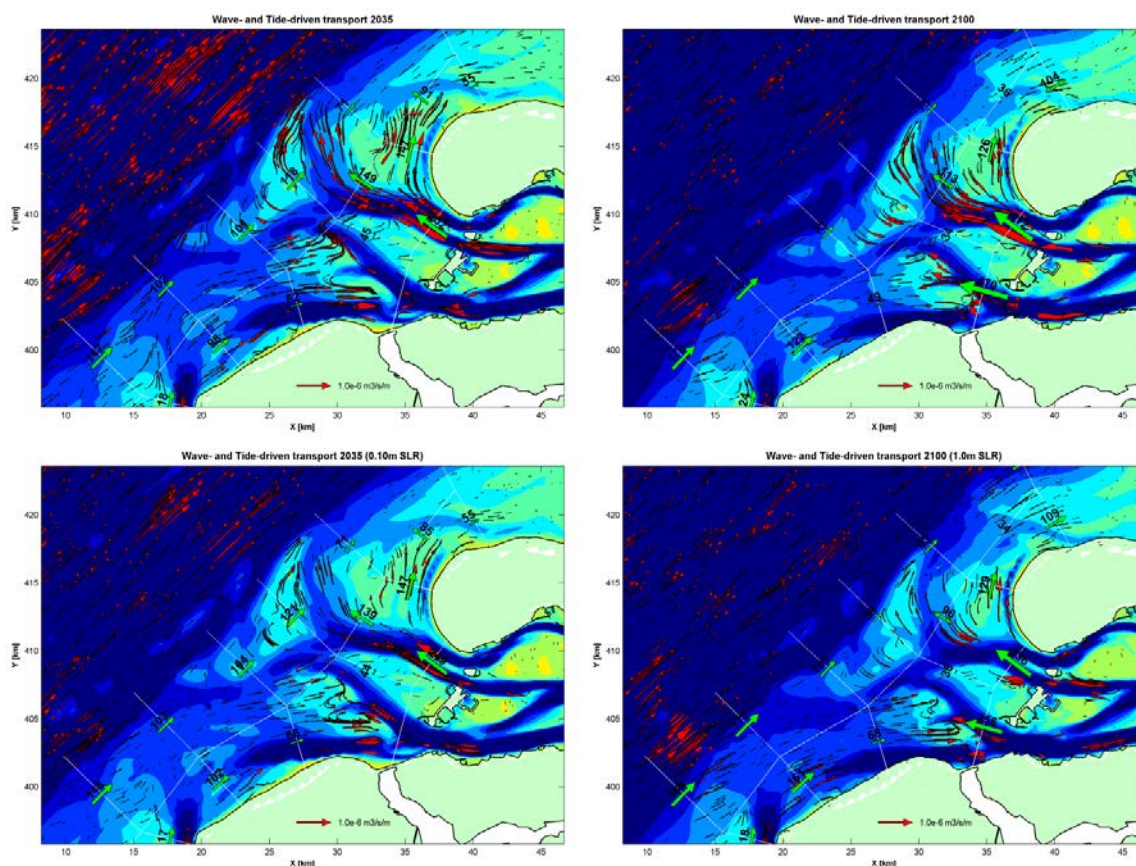
Het transportpatroon op de Oosterschelde buitendelta wordt gekenmerkt door een noordwaarts transport over de Domburger Rassen, van de Westerschelde- naar de Oosterschelde buitendelta (Figuur 5.13). In de geul Roompot Zuid is een groot netto transport naar het oosten. Echter, de transporten via de Roompot de Oosterschelde in, zijn klein, het grootste deel van het aangevoerde sediment wordt weer zeewaarts verplaatst door de Oude Roompot. Dit verklaart de aanzanding op de Hompels. De transporten door het Westgat zijn zeewaarts gericht, de Banjaard op. Over de Banjaard vinden grote noordwaartse transporten plaats (zie Figuur 5.13).



Figuur 5.13: getijgemiddelde transportvectoren in de monding en op de buitendelta van de Oosterschelde in 2006.

Met de bodem voor 2035 veranderen de gesimuleerde transporten ten zuiden van het Westgat nauwelijks (Figuur 5.14). Op de Banjaard zijn de zeewaartse transporten afgenomen en noordwaartse toegenomen. Dit komt vooral door grotere transporten op de platen (ondiepere platen generen meer golfopwoeling welke door het getij verplaatst word. Raai 29 in Figuur 5.14 laat een toename van de getijcomponent zien). Toevoegen van een zeespiegelstijging van 0,10m geeft slechts kleine verschillen in de berekende transporten. Alleen in het Westgat, ten zuiden van het hoge deel van de Banjaard nemen de transporten toe.

De simulatie met de 2100 bodem laat significante veranderingen in de transporten zien. De patronen blijven gelijk, maar de grootte verandert drastisch. Over de Domburger Rassen nemen de noordwaartse transporten toe. De geulen in de Oosterscheldemonding laten een sterker zeewaarts transport zien. In de buurt van het Krabbengat, voor de Kop van Schouwen, blijven de noordwaartse transporten in stand. De veranderingen op de Banjaard hebben hier nauwelijks effect op de raai-gemiddelde transporten. Wel lijkt het zwaartepunt van de transporten landwaarts te zijn verplaatst: waren in 2006 de grootste transporten te zien op de Banjaard zelf, in 2100 is dit het geval in het Krabbengat. Dit lijkt op een relatieve toename van de golfgedreven transporten waardoor netto de zeewaartse transporten afnemen. Door een toename van het langtransport zal sediment afgevoerd blijven worden. Dit zal ten goede komen van de Bollen van het Nieuwe Zand, en bijdragen aan het opvullen van het Brouwershavense Gat. De golfgedreven erosie van Schouwen zal dan waarschijnlijk toenemen. De simulatie met 1,0m zeespiegelstijging geeft vrijwel hetzelfde beeld.



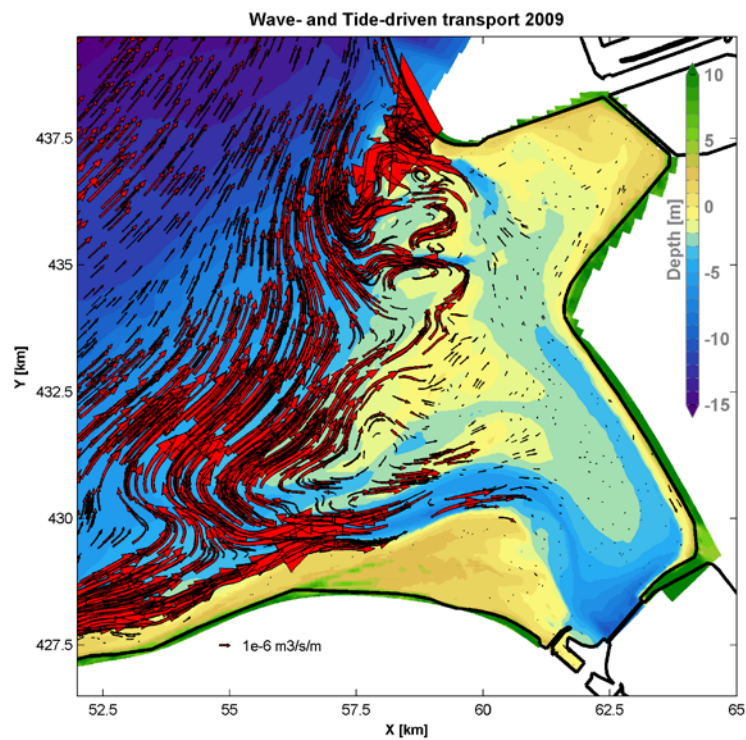
Figuur 5.14; getijgemiddelde transportvectoren in de monding en op de buitendelta van de Oosterschelde in 2035 en 2100.

Grevelingen buitendelta

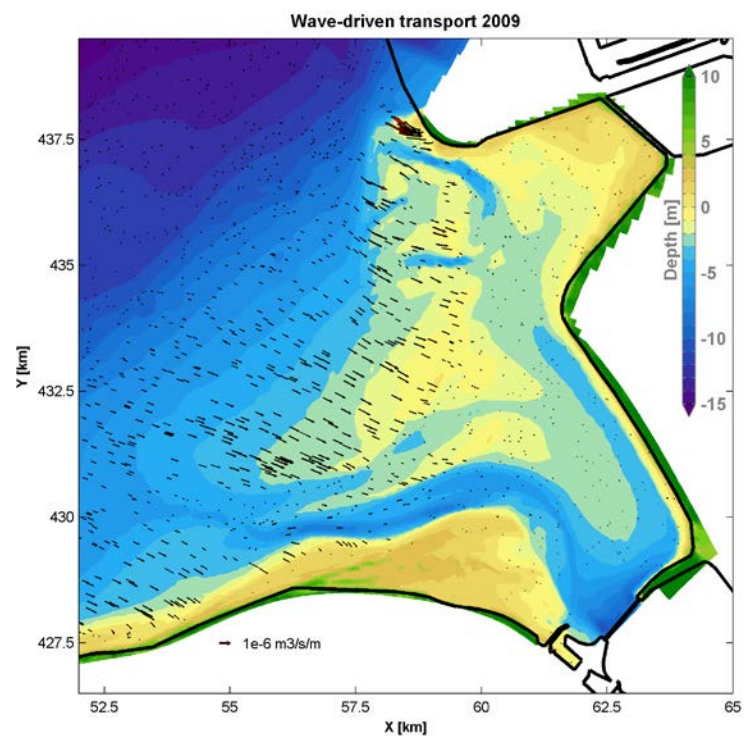
Voor de Grevelingen buitendelta zijn geen specifieke modelresultaten beschikbaar.

Haringvliet monding

De simulaties met de bodems voor 2006 en 2035 laten identieke kenmerken in de transportpatronen zien. Beide bodems worden gedomineerd door een sterk zuid-noord transport op zee. Dit transport wordt lokaal beïnvloed door de aanwezige banken. De belangrijkste transporten over de banken zijn golfgedreven en gaan landwaarts, via de (kleine) geulen en het Slijkgat gaat het transport zeewaarts. In het gebied landwaarts van de banken zijn de transporten zeer klein. Door de geringe waterdiepte in de monding speelt getijgedreven transport vrijwel geen rol. In de simulatie voor 2035 zijn de transporten in het zuidelijk deel van de monding sterk toegenomen.

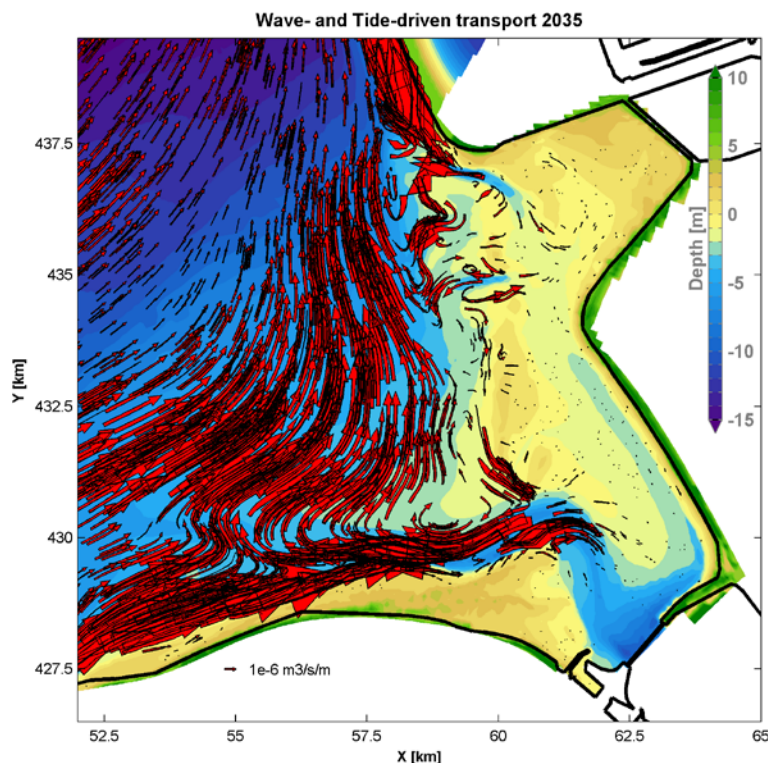


Figuur 5.15; getijgemiddeld sedimenttransport patroon voor de Haringvlietmond in 2009. De transporten buiten de monding zijn vooral getijgedreven, de transporten in de monding vooral golfgedreven. Door de geringe waterdiepte speelt getijgedreven transport vrijwel geen rol. De transporten voor de kust van Voorne zijn zeer klein.



Figuur 5.16; getijgemiddeld golfgedreven sedimenttransport patroon voor de Haringvlietmond in 2009. De transporten voor de kust

van Voorne zijn zeer klein.



Figuur 5.17; getijgemiddeld sedimenttransport patroon voor de Haringvlietmond in 2035. De transporten buiten de monding zijn vooral getijgedreven, de transporten in de monding vooral golfgedreven. De transporten voor de kust van Voorne zijn zeer klein.

5.3 Hollandse kust

Het effect van versteiling van het profiel van de Hollandse kust is onderzocht door stapsgewijze verdieping van de diepere onderwateroever tussen -8m en -20m NAP, met stappen van 1m tot een maximum van 5m. De resultaten laten zien dat met toenemende verdieping van de diepe onderwateroever het netto jaarlijks langstransport in de brandingszone langs de Hollandse kust vrijwel onveranderd blijft. Uitzonderingen hierop zijn het centrale deel van de Delflandse kust waar met toenemende verdieping de transporten afnemen met maximaal ca. 20% bij een verdieping van 5m, de omgeving van Bergen-Egmond waar de transporten afnemen met maximaal ca. 10% en de Kop van Noord-Holland waar het netto jaarlijks transport bij toenemende verdieping juist toeneemt met maximaal ca. 15% bij een verdieping met 5m. Hierbij moet aangetekend worden dat de verdieping van de modelbodem juist bij de Kop van Noord-Holland niet rechttoe-rechtaan toegepast kon worden vanwege de buitendelta van het Zeegat van Texel.

De netto jaarlijkse transporten voor dieper water (tussen -8 en -20m NAP) nemen in alle gevallen af met toenemende verdieping, tot maximaal ca. 25% bij 5m verdieping. Voor het traject ten noorden van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering blijven de transporten gelijk (N.B. De bodem is hier maar ten dele verdiept).

Het effect van de verdieping op de dwarstransporten kan niet met de huidige kennis vastgesteld worden. Dit onderwerp wordt in het project Kustgenese 2 opgepakt.

5.4 Resultaten zeespiegelstijging Waddenzee

Om het effect van zeespiegelstijging en morfologische veranderingen in de bekkens op de netto debieten door de zeegaten te bepalen zijn naast een referentieberekening voor de huidige situatie een zestal scenario's doorgerekend met alleen het hydrodynamische model (geen golven), waarin het gemiddeld zeeniveau respectievelijk 1m en 2m is verhoogd en de bekkenmorfologie niet, alleen de platen en het hele bekken meegroeide. Meegroeien betekent hier dat als bijvoorbeeld de platen meegroeien met 1m zeespiegelstijging, dat de platen in de modelschematisatie 1m opgehoogd zijn.

Uit de debieten zoals bepaald voor de referentieberekening is duidelijk te zien dat het Zeegat van het Vlie en het Amelander Zeegat netto importeren en het Zeegat van Texel en het Eierlandse Gat exporteren. Het verschil in debiet tussen de Zeegaten van Texel en Vlie en de andere zeegaten is groot, de laatste zijn factor 8 of meer kleiner (Tabel 5.1). Een positieve waarde betekent dat het netto debiet het bekken in staat. Tabel 5.2 geeft de procentuele toename van de debieten bij de verschillende scenario's t.o.v. de referentieberekening.

Zeespiegelstijging

Het algemene beeld is dat bij een zeespiegelstijging van 1m het effect op de westelijke Waddenzee waar de grootste zeegaten (Texel, Vlie) voorkomen, klein is. Bij 2m stijging exporteren alle zeegaten met uitzondering van het Zeegat van het Vlie, waar het debiet met slechts eenderde is toegenomen (Tabellen 5.x en 5.xx). Het Zeegat van Texel gaat minder exporteren als de zeespiegel stijgt, dit effect is met name duidelijk bij een zeespiegelstijging van 2m. De export van het Eierlandse Gat neemt af bij 1m stijging maar juist weer fors toe bij 2m stijging. Het Zeegat van het Vlie gaat progressief meer importeren bij een stijging van de zeespiegel en het Amelander Zeegat slaat onder invloed van zeespiegelstijging om van een importerend naar een exporterend bekken, waarbij de export verzesvoudigd als de zeespiegel stijgt van +1m naar +2m. Blijkbaar is er sprake van een trendbreuk ergens tussen 1m en 2m zeespiegelstijging.

Als we het netto effect van alle debieten door de zeegaten van de Waddenzee bekijken (Tabel 5.1, rechter kolom) dan valt op dat de totalen voor de situatie met een meegroeiend bekken het minst afwijken van de referentieberekening. De situaties met meegroeiende platen geven de grootste afwijkingen.

Meegroeien bekken en platen

Het volledig meegroeien van het bekken compenseert zeespiegelstijging grotendeels en resulteert in de kleinste afwijkingen van de huidige situatie. Met name in de grote zeegaten zijn de verschillen klein. Het meegroeien van alleen de platen kan het effect van met name 2m zeespiegelstijging niet compenseren waardoor het netto debiet door het Zeegat van Texel halveert. De importen door het Zeegat van het Vlie nemen juist toe. Het meegroeien van de platen in het bekken van het Amelander Zeegat beperkt de effecten van de zeespiegelstijging. Het debiet door het Eierlandse Gat neemt sterk toe bij een zeespiegelstijging van 2m en meegroeien van alleen de platen, zowel ten opzichte van de huidige situatie als ten opzichte van de situatie met alleen zeespiegelstijging.

Op basis van de procentuele veranderingen (Tabel 5.2) is te zien dat de debieten door het Amelander Zeegat in alle modelscenario's afnemen (afname < 100%) of omdraaien richting export (afname > 100%) en dat de variabiliteit in het Friesche Zeegat groot is.

Wat de debietsveranderingen betekenen voor de sedimenttransporten door de zeegaten is niet op voorhand duidelijk.

Run	Texel	Eierland	Vlie	Ameland	Friesche	Totaal
referentie	-59,5	-3,1	51,2	8,8	-0,4	-3
1m ZSS	-51,9	-2,4	57,5	-3,5	0,5	0,2
1m ZSS, platen groeien mee	-54,3	-7,7	61	3,5	0,1	2,6
1m ZSS, bekken groeit mee	-59,9	-3,6	53,8	6,6	-1,9	-5
2m ZSS	-19,7	-11,3	67,4	-26,3	-4,8	5,3
2m ZSS, platen groeien mee	-32,7	-15,6	70,1	-9,9	-1	10,9
2m ZSS, bekken groeit mee	-58,9	-4,7	55,7	5,1	-0,9	-3,7

Tabel 5.1; netto debieten door de zeegaten van de Waddenzee (in miljoen kubieke meter per getij) voor de doorgerekende modelscenario's; debiet het bekken in is positief. De grootste veranderingen zijn met geel gemerkt, de op een na grootste met lichtgeel.

Run	Texel	Eierland	Vlie	Ameland	Friesche
referentie	0%	0%	0%	0%	0%
1m ZSS	-13%	-22%	12%	-140%	-236%
1m ZSS, platen groeien mee	-9%	148%	19%	-60%	-133%
1m ZSS, bekken groeit mee	1%	16%	5%	-25%	381%
2m ZSS	-67%	262%	32%	-398%	1148%
2m ZSS, platen groeien mee	-45%	402%	37%	-213%	167%
2m ZSS, bekken groeit mee	-1%	52%	9%	-42%	130%

Tabel 5.2; netto debieten door de zeegaten van de Waddenzee voor de referentierun, in miljoen kubieke meter per getij en de procentuele toe- of afname t.o.v. de referentieberekening voor de verschillende meegroeiscenario's voor de bekkens.

5.5 Resultaten morfologie zeegaten en buitendelta's in 2035 en 2100 op duinafslag

Het effect van de morfologische situatie in 2035 en 2100 op duinafslag voor raaien op de koppen van de eilanden in het Waddengebied is klein: de verschillen tussen de profielen voor de verschillende jaren liggen in meeste gevallen ver van duinfront, waardoor er nauwelijks verschil in afslag is voor de verschillende bodems. De variatie is in de orde van 10 m³/m (Tabel 5.3). Uitzondering is Oost Vlieland, waar de grootste verschillen in afslagvolume, zowel absoluut als relatief, van alle onderzochte raaien gevonden worden: een toename van 190 m³/m naar 250 á 260 m³/m. Voor deze raai is ook het effect van 1m zeespiegelstijging op het recente profiel berekend. De afslag blijkt gelijk te zijn aan de afslag van het 2100 profiel zonder zeespiegelstijging.

In het Deltagebied zijn de effecten ook klein omdat ook daar de morfologische veranderingen relatief ver van duinfront optreden. In raaien waar de morfologische veranderingen in 2100 juist voor verondieping dicht onder kust zorgen (Schouwen-Zuid, Walcheren noordwest; het effect van landwaarts verschuiven van de buitendelta) neemt de afslag in 2100 juist enigszins af. De algemene conclusie is dat de beschouwde veranderingen in de morfologie geen grote effecten hebben op de mate van duinafslag. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de positie en vorm van het duinfront in een modelraai voor de verschillende jaargangen niet veranderd is.

Zeegat	raai	2012	2035	2100
Friesche Zeegat, Schiermonnikoog	2000180	130	130	130
Amelander zeegat, NW Ameland	3000140	160	170	170
idem	3000580	doorbr.	doorbr.	doorbr.
Zeegat van Vlie, Terschelling	4000400	80	80	80
Zeegat van Vlie, Vlieland	5004844	190	250	260
Grevelingen mond - Goeree	12001650	70	70	70
Grevelingen mond - N Schouwen	13000454	50	40	50
SW Schouwen	13001525	160	160	150
NW Walcheren	16000950	60	60	50
SW Walcheren	16002870	90	100	90
Zeeuws-Vlaanderen	17000684	100	100	100

Tabel 5.3; berekende afslagvolumes in kubieke meter per meter voor een aantal raaien bij de zeegaten van de Waddenzee en het Deltagebied voor de recente situatie en de bodems voor 2035 en 2100.

6 Effecten morfologische ontwikkelingen op het functioneren van de kust

Dit hoofdstuk beschrijft de stappen 3 'Vaststellen van de gevolgen van deze langetermijneffecten voor de functies van de kust', en 4 'Inschatten van het benodigde extra volume suppletiezand om eventuele negatieve effecten tegen te gaan' van het onderzoek (zie 1.3).

Aan de hand van de verschillen tussen de berekende sedimenttransportpatronen voor de morfologische toekomstvarianten (Hoofdstuk 5) zijn de effecten van de voorspelde ontwikkelingen op de functies van de kust kwalitatief bepaald. In dit hoofdstuk wordt een korte samenvatting gegeven van de resultaten van de morfologische trendanalyse (Hoofdstuk 3) en de transportcapaciteitberekeningen (Hoofdstuk 5). Daarna wordt beschreven hoe de vertaling van voorspelde morfologische ontwikkelingen naar effecten op functies van de kust is gemaakt en worden de resultaten gepresenteerd voor de locaties waar de veranderingen in transportpatronen het groots zijn.

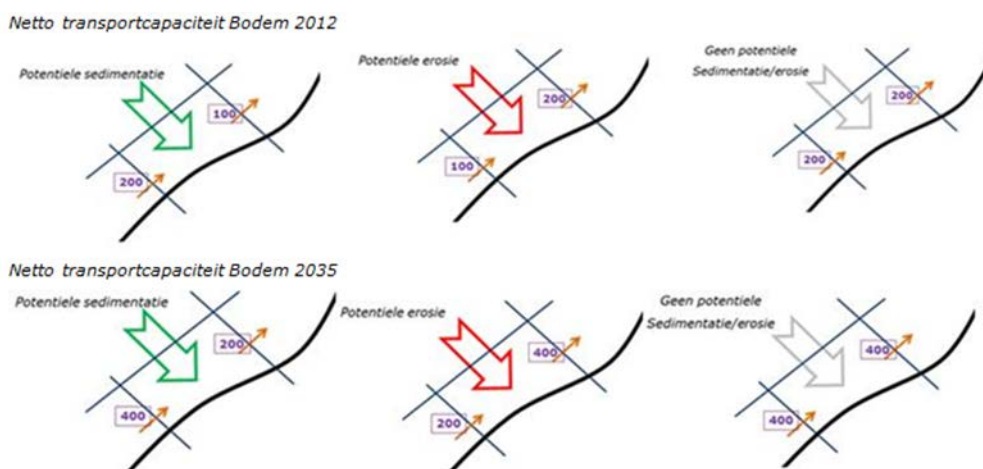
Daarnaast beschrijft dit hoofdstuk hoe de inschatting is gemaakt van het benodigde extra volume suppletiezand om eventuele negatieve effecten tegen te gaan.

6.1 Vertaling modelsimulaties naar functioneren van de kust

In Hoofdstuk 5 zijn de verwachte veranderingen in transportpatronen gepresenteerd. Om te kunnen beoordelen of deze veranderingen ook erosie of sedimentatie zullen veroorzaken op een bepaalde locatie en om te kunnen beoordelen wat de mogelijke effecten op functies zijn, is nog een vertaalslag nodig. Hieronder wordt deze vertaalslag stapsgewijs toegelicht.

6.1.1 Vertaling modelberekeningen naar potentiële erosie of sedimentatie

De modelresultaten geven de potentiële transportcapaciteiten (in 1000 m³/jr) over raaien, waarbij de locatie van de raaien bepaald wordt door de gridcellen van de bodemschematisatie van het numeriek model. De berekende getallen geven niet het daadwerkelijke netto transport dat optreedt, maar wat er potentieel getransporteerd zou kunnen worden op basis van de gemodelleerde golven en getij, waarbij de bodem niet verandert en zich als het ware gedraagt als een 'betonnen bak'. Waar een grote transportcapaciteit wordt berekend is veel 'energie' om sediment te transporteren, bijvoorbeeld in geulen waar water snel stroomt of bij bolwerken aan de kust waarop de golfwerking zich concentreert. Omdat we geïnteresseerd zijn in de effecten van de in het model opgelegde bodemveranderingen op sedimentatie of erosie, kiezen we voor relevante locaties vakken op basis van de gridcellen in de numerieke modellen en bepalen de 'transporten' over de vakgrenzen. De optelsom van de aan- en afvoercapaciteiten bepaalt of er netto sedimentatie of erosie in de betreffende cel zal optreden (Figuur 6.1). Er treedt potentieel sedimentatie op als er meer transportcapaciteit de cel in is gericht dan er uit en erosie als dit andersom het geval is. Bij het vertalen van de sedimentatie of erosie naar het effect op functies moet de kustmorfologie in het betreffende vak (bijvoorbeeld: is er een geul aanwezig of niet?) meegenomen worden.



Figuur 6.1; schematische weergave van de vertaling van transportcapaciteit naar potentiële sedimentatie- en erosie per kustcel.

In de bovenstaande figuur is schematisch weergegeven dat een verdubbeling van de transportcapaciteit in 2035 ten opzichte van 2012, niet per definitie een verschil geeft in netto potentiële sedimentatie of erosie. In het linker plaatje is sprake van een verdubbeling van de potentiële sedimentatie, in het middelste plaatje een verdubbeling van de potentiële erosie maar in het rechter plaatje is er geen netto verandering voor die betreffende locatie, ondanks een verdubbeling van de transportcapaciteiten. De relatieve verandering ten opzichte van de huidige situatie wordt de *verschilfactor* genoemd.

6.1.2 Vertaling potentiële erosie of sedimentatie naar effecten op functies

Op basis van de verschilfactor (het verschil in netto potentiële erosie of sedimentatie) per kustcel (zie Bijlage E) worden potentiële suppletie locaties geselecteerd. Dit zijn locaties die in de toekomst wellicht gesuppleerd moeten gaan worden. Beschouwd zijn locaties waar de verschilfactor per kustcel het grootst is omdat de veranderingen in transportpatronen het groots zijn. Voor deze potentiële suppletie locaties is een inschatting gemaakt van de effecten van de mogelijke toekomstige situatie op de daar aanwezige functies. Dit laatste is voor het grootste gedeelte op kwalitatieve wijze gedaan en alleen voor de 2035 scenario's (de resultaten van de 2100 scenario's zijn te onzeker).

Voor de functie 'Binnendijkse Veiligheid' betekent meer erosie, met name bij harde keringen en smalle duinregels, ondergraving van het fundament van die keringen en aantasting van de duinen en (lokaal) dijken. Om inzicht te krijgen in de effecten van de toekomstige morfologische situaties op duinafslag zijn voor de verschillende scenario's afslagberekeningen gemaakt (zie 5.5). Hierin is de 2100 bodem wel meegenomen om inzicht te krijgen in de effecten van het kleiner worden van de buitendelta's.

De effecten op de overige aanwezige functies op de locaties (zie Haarsman, 2013, voor een overzicht van functies per locatie) zijn alleen kwalitatief bepaald. Op locaties waar de functie 'Veiligheid Buitendijks' (bij bebouwing) aanwezig is, is aangehouden dat meer erosie een landwaartse verschuiving van afslaglijnen en dus afname van de veiligheid betekent. Daar waar de functie 'Recreatie' (met name badstranden) van betekenis is, is aangehouden dat meer erosie een afname van de strandbreedte betekent, met een direct negatief effect op de waarde voor recreatie. In het geval dat er functies zoals 'Natuur' en 'Drinkwaterwinning' aanwezig zijn, is de hoeveelheid (duin)areaal als uitgangspunt genomen. In dit geval betekent meer erosie op termijn een afname van het areaaloppervlak als de erosie niet gecompenseerd wordt. De effecten op de functies worden aangegeven door middel van een

eenvoudige scoring: positief (+), negatief (-) of geen effect (0) ten opzichte van de huidige situatie (zie hieronder). Bij de scoring is rekening gehouden met de tijdschaal waarop een ontwikkeling plaatsvindt: directe gevolgen wegen zwaarder dan gevolgen op langere termijn.

6.1.3 Inschatten extra volume suppletiezand ter compensatie van negatieve effecten

Het doel van deze studie is een schatting te geven van het eventueel benodigde extra volume suppletiezand om de negatieve effecten op functies als gevolg van toegenomen erosie ten opzichte van 2012 te compenseren indien deze beleidsmatig onwenselijk zijn. De schatting van dit extra suppletievolume en de eventuele bandbreedte van de schatting, gebeurt op basis van de kennis en expertise van Rijkswaterstaat welke is opgebouwd door het uitvoeren van het jaarlijkse suppletieprogramma. Hierdoor is er inzicht in de grootte-orde van de huidige suppletieintensiteit van elk deel van de Nederlandse kust. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van de morfologische kennis en expertise van het kuststelsel welke is opgebouwd in het kader van het KPP programma Beheer en Onderhoud Kust dat Rijkswaterstaat in samenwerking met Deltares uitvoert.

Per potentiële suppletielocatie is op basis van het gemiddeld jaarlijks gesuppleerde volume voor die locatie en de berekende verschilfactor een inschatting gemaakt van het benodigde suppletievolume voor behoud van functies. Naast het extra volume suppletiezand dat nodig zal zijn ter compensatie van de negatieve effecten is ook het extra zandvolume nodig voor het (toekomstige) onderhoud van de Zwakke Schakels die zeewaarts versterkt zijn met zand (Callantsoog, Hondsbossche en Pettemer Zeewering, Noordwijk, Katwijk, Scheveningen, Delflandse Kust, Westkapelse Zeedijk en Zeeuws Vlaanderen) en Maasvlakte 2 meegenomen.

6.2 Resultaten langetermijneffecten voor de functies van de kust

Tabel 6.1 geeft per deelsysteem van de kust een korte samenvatting van de ontwikkelde scenario's en de morfologische trends die hierin zijn meegenomen, en de belangrijkste resultaten. Tabel 6.2 benoemt de potentiële suppletielocaties. Dit zijn de locaties waar de veranderingen in transportpatronen (verschilfactor) per kustcel (Bijlage E) het grootst zijn. Voor deze locaties is vervolgens een schatting gemaakt van de effecten van de mogelijke toekomstige scenario's op de daar aanwezige functies.

6.2.1 Resultaten toegepaste morfologische kustscenario's op hoofdlijnen

Uit de analyse (Hoofdstuk 5) blijkt dat de veranderingen voor het systeem als geheel over het algemeen klein zijn.

Op sommige locaties treden echter wel grote veranderingen op. Enkele voorbeelden: in het Ameland Zeegat worden voor zowel de eilandkop (vakken ZW en NW Ameland) als ook voor het Bornrif grote veranderingen berekend in de transportcapaciteit tussen de huidige situatie en zowel het 2035 als het 2100 scenario. Daarnaast springt Vlieland Midden er als locatie uit door de grote veranderingen. Voor de Haringvlietmonding vindt er een omslag plaats in transportrichting bij de kop van Voorne. Ook zijn de verschillen voor de kust van Goeree groot waardoor deze locaties als potentiële suppletielocatie zijn meegenomen in de analyse naar effecten op functies.

Wat verder opvalt is dat wanneer met een hogere zeespiegel wordt gerekend, er grote veranderingen optreden bij de zeegaten in het Waddengebied. Dit geldt voor de locaties Rottum NW, Schiermonnikoog NW kop, Vlieland Stortemelk, Terschelling ZW, Texel ZW en de kop van Noord-Holland. Zie Tabel 6.1 voor details.

De locaties waar de veranderingen in transportcapaciteit per kustcel het grootst zijn, zijn gespecificeerd als potentiële suppletielocaties. Deze potentiële suppletielocaties worden gegeven in Tabel 6.2.

6.2.2 Resultaten kwalitatieve inschatting langetermijneffecten op functies van de kust

In Tabel 6.2 is voor deze potentiële suppletielocaties een inschatting van de effecten op de functies gegeven. Deze inschatting is gemaakt voor scenario 2035 met en zonder verhoogde zeespiegel. De Hollandse kust is hierin niet opgenomen omdat daar de berekende verschillen erg klein zijn (zie 5.3) en er geen significante effecten op functies worden verwacht door de morfologische veranderingen zoals opgenomen in de scenario's.

Uit de analyse blijkt dat er voor sommige potentiële suppletielocaties negatieve effecten op functies worden verwacht. Dit geldt voor de vakken Ameland ZW kop (Figuur 6.2), Vlieland Midden (Figuur 6.3), Texel Julianadorp (Figuur 6.4), Voorne III en Goeree IV (Figuur 6.5), Westkapelle Zuid en Cadzand (Figuur 6.6).

6.2.3 Resultaten inschatting effecten op functie Binnendijkse Veiligheid

Een belangrijke vraag die vanuit het beleid gesteld wordt is of de toekomstige morfologische scenario's een negatief effect hebben op de functie Binnendijkse Veiligheid. Voor potentiële suppletielocaties waar deze functie van belang is, is er sprake van een harde zeewering en/of een smalle duinregel.

Tabel 6.2 geeft een kwalitatieve inschatting van de effecten op de Binnendijkse Veiligheid voor de potentiële suppletielocaties. Daarnaast zijn er in het geval dat er smalle duinen aanwezig zijn voor de verschillende scenario's afslagberekeningen voor maatgevende condities gemaakt. In Paragraaf 5.5 zijn deze resultaten gepresenteerd. Het effect van de morfologische situatie in 2035 en 2100 op duinafslag voor raaien op de koppen van de eilanden in het Waddengebied en in het Deltagebied is klein. In raaien waar de morfologische veranderingen in 2100 juist voor verondieping dicht onder de kust zorgen (Schouwen-Zuid, Walcheren noordwest; dit is het effect van landwaarts verschuiven van de buitendelta), neemt de afslag in 2100 juist enigszins af. De algemene conclusie is dat de beschouwde veranderingen in de morfologie geen grote effecten hebben op de mate van duinafslag.

Zeegat	2035 kustontwikkeling scenario	2100 kustontwikkeling scenario	Sedimenttransportcapaciteit
Groninger Wad	Uitbouw van Schiermonnikoog drukt geulen verder naar het oosten waardoor Rottumerplaat aan de westzijde erodeert. Oostzijde van Rottumerplaat en zijn buitendelta groeien aan. Rottumeroog erodeert sterk aan de westzijde.	De buitendelta's zijn verkleind	Weinig verandering tussen de huidige situatie en voor het 2035 en 2100 scenario. In geval van versnelde zeespiegelstijging (zss) een grote verandering bij Rottum NW.
Friesche Zeegat	In het Pinkegat wisselen één- en meer-geulen configuraties elkaar cyclisch af. Het Westgat-Zoutkamperlaag heeft grote veranderingen ondergaan door de afsluiting van de Lauwerszee (1969). De erosie van de westpunt van Schiermonnikoog gaat door totdat een nieuwe bank aanlandt en verheelt met de kust van het eiland.	De buitendelta's zijn verkleind.	Weinig verandering tussen de huidige situatie en voor het 2035 en 2100 scenario. Weinig verandering voor het 2035 en 2100 scenario. In geval van versnelde zss een grote verandering bij Schier NW kop.
Amelander Zeegat	Het Zeegat is niet direct beïnvloed door de afsluitingen van Zuiderzee en Lauwerszee. Hierdoor is de natuurlijke periodieke afwisseling van één hoofdgeul en twee geulen goed te extrapoleren. Voor 2035 scenario een één-geul systeem aangehouden. De Boschplaat is weer aangegroeid. De buitendelta is aan de noordzijde landwaarts verplaatst.	De buitendelta is verkleind.	Grote veranderingen tussen de huidige situatie en zowel het 2035 als het 2100 scenario, vooral voor de eiland koppen (ZW en NW Ameland). In geval van versnelde zss zijn de verschillen minder groot.
Zeegat van het Vlie	Er zijn grote veranderingen geweest na afsluiting van de Zuiderzee. Het centrale deel van het zeegat bleef stabiel maar de geulen op de buitendelta draaiden meer naar het westen. Tegelijkertijd werden de geulen groter en dieper. Recent zijn de veranderingen veel kleiner. Voor 2035 zijn er daarom slechts relatief kleine verandering aangebracht.	De buitendelta is verkleind.	Grote veranderingen tussen de huidige situatie en het 2035 en 2100 scenario voor Vlieland Midden. Voor Terschelling ZW I zijn de veranderingen klein in 2035 maar groot in 2100. In geval van versnelde zss zijn er grote verandering bij Vlieland Stortemelk, de ZW Terschelling.
Zeegat van Texel	In het Zeegat van Texel hebben zich veel veranderingen voortgedaan met een cyclisch karakter. Voor 2035 is de situatie gecreëerd waarin de 2 geulen in het bekken aansluiten op 1 hoofdgeul op de buitendelta. Het buitendelta front is licht teruggetrokken.	De bodem van het Marsdiep is gebaseerd op de ligging van de geulen en platen in 1925 maar aangepast aan kleinere volumes.	Weinig veranderingen voor het 2035 en het 2100 scenario. Wanneer met versnelde zeespiegelstijging gerekend wordt zijn er grote veranderingen bij Texel ZW en kop van Noord Holland.
Hollandse Kust	Het 2035 scenario wijkt niet significant af van de huidige situatie. De brandingszone en het strand langs zijn verder	Voor noordelijk Noord-Holland zijn het effect van de afname	Het verschil tussen de huidige situatie en de 2035 en 2100 scenario's is zeer klein. Uitzonderingen hierop zijn het centrale

	<p>zeewaarts uitgebouwd. Op de diepere onderwateroever komt er geen zand bij of het verdwijnt zelfs, waardoor het kustprofiel versteild. In het noordelijk deel van Noord-Holland is de invloed van het Zeegat van Texel en zijn buitendelta sterk aanwezig. De kustwaartse verplaatsing van het Nieuwe Schulpengat speelt een duidelijke rol in de ontwikkeling van de kust. In 2035 is de Delflandse Zandmotor waarschijnlijk uitgewerkt, het betreffende kustvak zit dan als geheel dik in het zand</p>	<p>van de buitendelta, het verplaatsen van het Nieuwe Schulpengat en de versteiling van de kust meegenomen. Voor het overige deel van de Hollandse kust is een steiler kustprofiel toegepast.</p>	<p>deel van de Delflandse kust, waar met toenemende verdieping (versteiling) de transporten afnemen en de Kop van Noord-Holland, daar neemt het netto jaarlijks transport juist toe. De netto jaarlijkse transporten voor dieper water (tussen -8 en -20m NAP) nemen in alle gevallen af met toenemende verdieping (versteiling).</p>
<p>Haringvliet- en Grevelingenmond</p>	<p>De Haringvlietmonding zal verder verlanden. De Hinderplaat ontwikkeld zich tot een gesloten strandwal. De opbouwende werking van golven door zandaanvoer op de onderwateroevers naar het strand neemt af, waardoor de stranden 'onderuit zakken'. Het reliëf, de omvang en de gemiddelde diepte van de Grevelingen buitendelta zullen verder afnemen. De Bollen van de Ooster zijn naar het zuidwesten uitgebreid. De Middelplaat voor de Brouwersdam is in omvang afgenomen. Het Brouwershavense Gat verondiept maar blijft nog wel een grote geul. De kusten van zuidwest Goeree en noordelijk Schouwen zullen lokaal eroderen.</p>	<p>Er is alleen een bodem voor 2035 geconstrueerd. De verwachting is dat het gebied 2100 op hoofdlijnen gelijk is, maar met in detail verschillende liggingen in plaat-geul systemen.³¹</p>	<p>Tussen de huidige situatie en het scenario van 2035 vindt een omslag plaats in transport richting bij de kop van Voorne. Ook zijn de verschillen voor de kust van Goeree groot. PM: resultaten Grevelingemond en scenario incl. versnelde zeespiegelstijging</p>
<p>Oosterschelde - en Westerschelde-monding</p>	<p>De Oosterscheldemonding vertoont sinds 1980 een verlies aan sediment. Met de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde zijn de geulen vervormd en wordt de monding landwaarts gedrukt. De Banjaard verliest daarbij veel sediment. In de Westerscheldemonding zijn de veranderingen relatief beperkt.</p>	<p>De volumeverliezen zijn significant groter gemaakt om de effecten van een (sterk) geërodeerd systeem weer te geven.</p>	<p>De transportcapaciteit zeewaarts lijkt af te nemen in het 2035 scenario. Alleen voor Westkapelle zuid en Cadzand lijkt er een toename in transportcapaciteit te ontstaan. Voor het 2100 scenario zijn er weinig verschillen alleen de resultaten bij Oostkapelle laten een zeer groot verschil zien. In geval van versnelde zzs zijn de verschillen klein.</p>

Tabel 6.1; samenvatting van de ontwikkelde scenario's en de resultaten van de transportberekeningen benoemd per deelsysteem.

Zeegat	Potentiele suppletielocatie	Verschilfactor transport- capaciteit Bodem 2035	Verschilfactor transport- capaciteit Bodem 2035 incl. zss + 10 cm	Geschat effect functie veiligheid binnendijks Bodem 2035	Geschat effect overige functies Bodem 2035	Geschat suppletievolume 2012 per jaar (Mm3)	Geschat suppletievolume 2035 bij behoud functies (Mm3)	Geschat suppletievolume 2035 + 10 cm zss bij behoud functies (Mm3)
Groninger Wad	Rottum NW	0,01	-0,88	n.v.t.	0	0	0	0
Groninger Wad	Rottum ZO	0,00	0,01	n.v.t.	0	0	0	0
Friesche zeegat	Schier NW kop	0,00	-0,14	0	0	0	0	0
Amelander zeegat	Bornrif	-1,47	0,10	0	0	0	0	0
Amelander zeegat	Ameland NW kop	0,88	0,86	0	0	0	0	0
Amelander zeegat	Ameland NW paal 3	0,75	-0,73	+	0	0,20	0,05	0,35
Amelander zeegat	Ameland West kop	3,92	4,23	++	0	0,05	0	0
Amelander zeegat	Ameland ZW kop	-3,60	-3,47	-	-	0	0,10	0,10
Amelander zeegat	Terschelling Boschplaat	-1,13	-0,78	n.v.t.	0	0	0	0
Vlie	Stortemelk	0,65	-0,22	+	+	0,15	0,05	0,18
Vlie	Vlieland midden	-2,00	1,81	n.v.t.	--	0,15	0,45	0,45
Vlie	Terschelling ZW I	0,23	-2,00	0	0	0	0	0
Vlie	Terschelling ZW II	0,31	1,00	0	0	0	0	0
Vlie	Terschelling ZW kop	0,59	-1,38	0	0	0	0	0
Texel	Paal 9	0,02	-8,13	0	0	0,20	0,20	0,40
Texel	Den Helder	0,05	0,96	0	0	0,20	0,19	0,20
Texel	Julianadorp	-0,05	-0,81	0	-	0,20	0,21	0,36
Haringvliet	Maasvlakte	0,52	nb	0	0	0,05	0,02	0,02*
Haringvliet	Voorne I	0,76	nb	0	0	0,05	0,01	0,01*
Haringvliet	Voorne II	0,37	nb	0	0	0	0	0*
Haringvliet	Voorne III	-0,44	nb	-	-	0,05	0,07	0,07*
Haringvliet	Voorne IV	0,63	nb	0	0	0,05	0,02	0,02*

Haringvliet	Haringvlietdam	-0,68	nb	0	0	0	0	0*
Haringvliet	Goeree I	-0,76	nb	0	0	0	0	0*
Haringvliet	Goeree II	-2,74	nb	0	0	0	0	0*
Haringvliet	Goeree III	6,96	nb	0	0	0	0	0*
Haringvliet	Goeree IV	-1,50	nb	-	--	0,05	0,13	0,13*
Oosterschelde	Schouwen Noord	1,02	1,02	0	0	0	0	0
Oosterschelde	Schouwen Zuid	1,03	1,03	0	0	0,40	0,40	0,40
Oosterschelde	Oostkapelle	0,31	0,69	0	0	0	0	0
Oosterschelde	Domburg	0,57	0,57	+	+	0,10	0,04	0,05
Oosterschelde	Westkapelle noord	2,33	2,00	0	0	0,15	0,15	0,15
Westerschelde	Westkapelle zuid	-0,53	-0,54	--	--	0,15	0,23	0,23
Westerschelde	Oost ZVL en ZW Walcheren	1,53	1,73	0	0	0,30	0,30	0,30
Westerschelde	Cadzand	-0,17	-0,14	0	-	0,15	0,18	0,17
Totaal						2,65	2,80	3,59

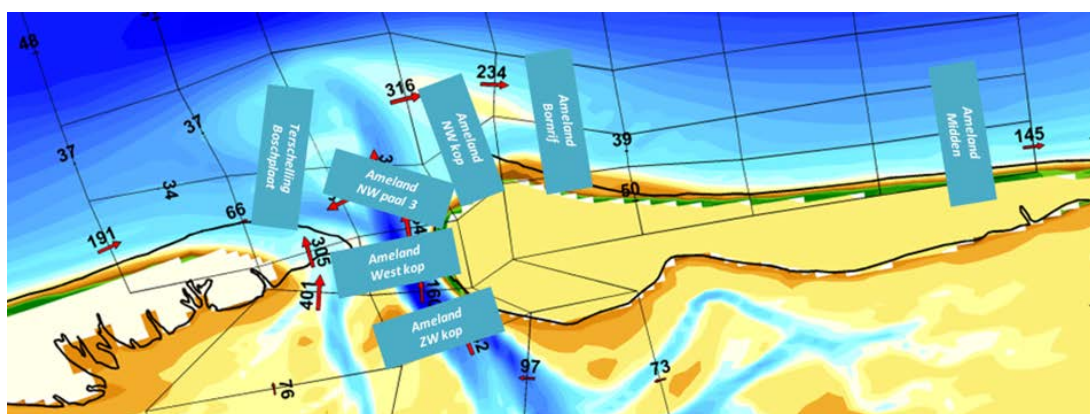
Tabel 6.2; de effecten op functies en suppletievolume voor locaties met grote verschillen in netto transportcapaciteit voor scenario 2035 met en zonder versnelde zeespiegelstijging. * Hier zijn de waarden van scenario 2035 overgenomen omdat er geen resultaten berekend zijn voor scenario 2035 inclusief versnelde zeespiegelstijging

6.2.4 Nadere beschouwing voor enkele zeegaten

Uit de analyse blijkt dat er voor sommige potentiële suppletielocaties grote veranderingen worden verwacht. Deze locaties staan opgesomd in Tabel 6.2. Op een aantal van deze locaties worden wel of geen effecten op functies verwacht. Deze paragraaf gaat nader in op een aantal van deze potentiële locaties in verschillende zeegaten.

Amelander Zeegat

In het Amelander Zeegat worden grote veranderingen berekend voor de eilandkoppen in de vakken 'Ameland ZW-kop' en 'Terschelling-Boschplaat' (Figuur 6.2). Ook voor 'Ameland-Bornrif' worden grote veranderingen in transportcapaciteit berekend tussen de huidige situatie en zowel het 2035 als het 2100 scenario. Wat opvalt is dat er voor de huidige bodem een beperkte netto transportcapaciteit en -gradiënt wordt berekend voor het centrale deel van Ameland en vak 'Ameland Midden' (Figuur 6.2) terwijl deze locaties een structurele erosie kennen en frequent met aanzienlijke volumes zand gesuppleerd moeten worden. Het lijkt aannemelijk dat dit (deels) veroorzaakt wordt door de bodemdaling die optreedt onder de Noordzee kustzone en dit deel van Ameland als gevolg van de gaswinning bij oost Ameland. Zonder compensatie in de vorm van suppleties heeft deze erosie op korte termijn een negatief effect op de functies Recreatie, Natuur en Buitendijkse Veiligheid. Op de langere termijn wordt ook de functie Binnendijkse Veiligheid negatief beïnvloed.



Figuur 6.2; Potentiële suppletielocaties in het Amelander Zeegat.

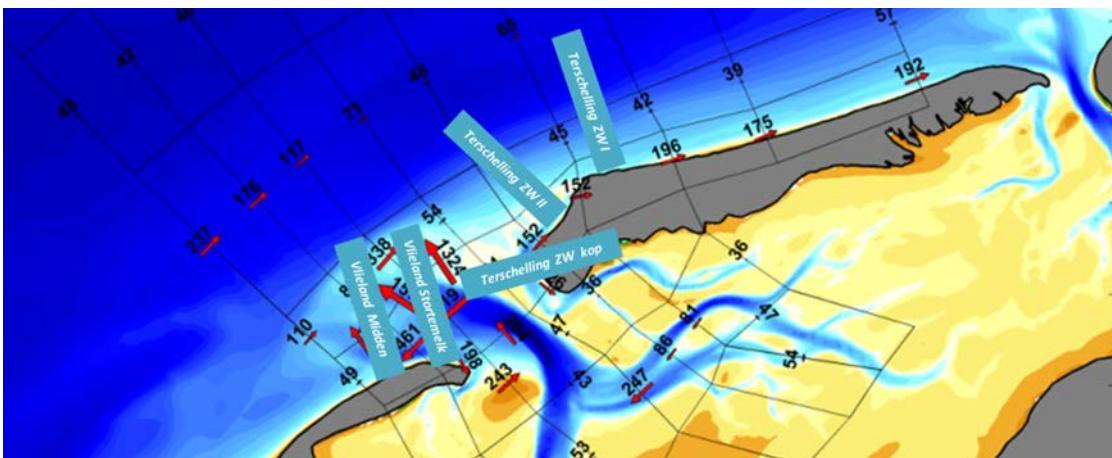
Bij 'Ameland-Bornrif' (Figuur 6.2) neemt de potentiële erosie in 2035 sterk toe volgens de berekening. Er worden geen negatieve effecten op functies verwacht omdat ondanks de verwachte erosie het Bornrif in 2035 nog deels aanwezig is. Er wordt hier in de huidige situatie niet gesuppleerd. We verwachten op basis van het 2035 scenario niet dat hier wel gesuppleerd moet gaan worden. Bij 'Ameland-ZW kop' (Figuur 6.2) neemt ook de potentiële erosie sterk toe. Hier wordt mogelijk de functie Binnendijkse Veiligheid negatief beïnvloed in het 2035 scenario. In het Borndiep ontstaan mogelijk meer problemen bij de aanwezige bestortingen waardoor op termijn ook de sterkte van dijk negatief beïnvloed kan worden. Er wordt nu niet gesuppleerd op het strand. Bij wijze van experiment wordt er wel een geulwandsuppletie uitgevoerd in 2016, maar hier kunnen we nog geen suppletiefrequentie voor bepalen. Het volume dat ter compensatie nodig is wordt geschat op 0,10 miljoen m³ per jaar.

Bij 'Terschelling-Boschplaat' (Figuur 6.2) is in de 2035 bodem de Boschplaat helemaal uitgebouwd, waarbij er dan slechts één geul in het zeegat aanwezig is. De Boschplaat zal rond 2035 weer meer gaan eroderen, maar functies lijken niet in het geding en er is dus geen extra suppletievolume ter compensatie van deze effecten nodig.

Voor het scenario met een hogere zeespiegel wordt er ook een toename in potentiële erosie berekend voor vak 'Ameland NW Paal 3' (Figuur 6.2). Hierdoor zullen naar verwachting geen negatieve effecten op de functie Binnendijkse Veiligheid ontstaan maar mogelijk wel voor andere daar aanwezige functies. Hierdoor zal er bij dit scenario extra suppletievolume nodig zijn om deze effecten te compenseren. Er wordt hier nu 0,2 miljoen m³ zand per jaar gesuppleerd. De verwachting is dat dit volume omhoog zal gaan. Het volume dat ter compensatie nodig is wordt geschat op 0,35 miljoen m³ per jaar.

Zeegat van het Vlie

De modelresultaten laten grote veranderingen zien voor het 2035 scenario bij vak 'Vlieland Midden' (Figuur 6.3). Er wordt hier geen negatief effect op de functie Binnendijkse Veiligheid verwacht maar mogelijk wel op andere hier aanwezig functies. Er wordt hier nu 0,15 miljoen m³ zand per jaar gesuppleerd. De verwachting is dat dit volume omhoog zal gaan. Het volume dat ter compensatie nodig is wordt geschat op 0,45 miljoen m³ per jaar.

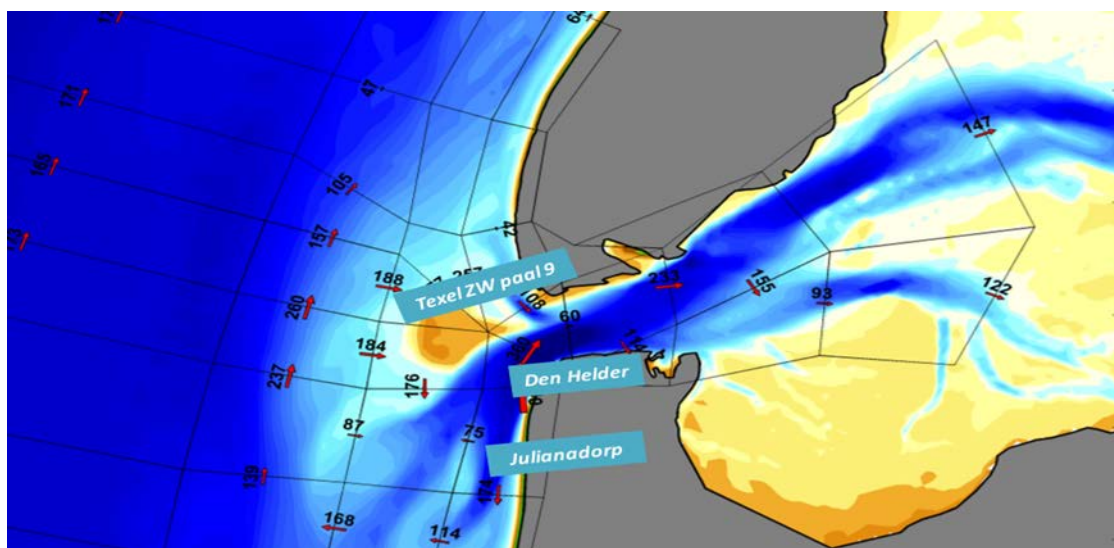


Figuur 6.3; potentiële suppletielocaties in het Zeegat van het Vlie.

Voor het scenario met een hogere zeespiegel worden er ook grote verschillen bij de vakken 'Terschelling ZW kop' en 'Vlieland Stortemelk' berekend (Figuur 6.3). Bij de locatie 'Terschelling ZW Kop' neemt de erosie sterk toe maar er worden geen negatieve effecten verwacht op de hier aanwezige functies. Bij 'Vlieland Stortemelk' neemt de erosie ook toe wanneer er wordt gerekend met een hogere zeespiegel. Echter, voor 2035 wordt juist meer aanzanding verwacht waardoor het suppletievolume hier omlaag gaat. Nu wordt er 0,15 miljoen m³ per jaar gesuppleerd.

Zeegat van Texel

De modelresultaten voor het Zeegat van Texel laten weinig veranderingen zien voor het 2035 scenario. Wanneer met een hogere zeespiegel wordt gerekend lijkt er versterkte erosie op te treden bij zuidwest Texel (Figuur 6.4).



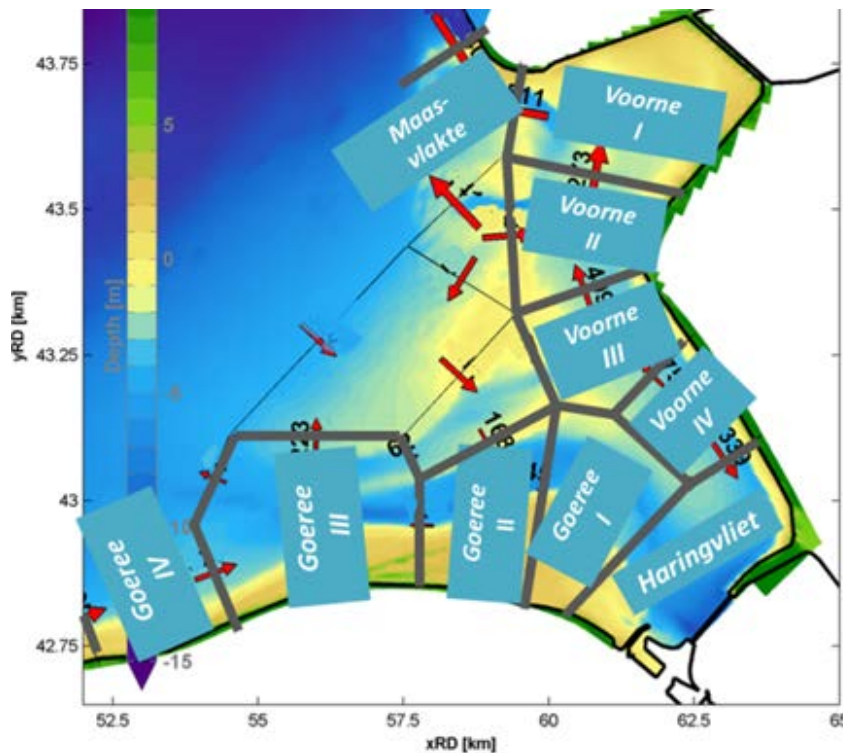
Figuur 6.4; potentiële suppletie locaties in het Zeegat van Texel.

Bij 'Texel-Paal 9' is een extreme toename van erosie te zien wanneer er wordt gerekend met een hogere zeespiegel. De verwachting is dat deze toename voor het grootste deel in de geul zal plaatsvinden waardoor er geen negatieve effecten verwacht worden op de hier aanwezige functies. Voor vak 'Den Helder' lijkt er sedimentatie op te gaan treden, ook in de berekeningen met een hogere zeespiegel. Het is echter niet te verwachten dat deze sedimentatie gaat optreden op de stranden waar hier suppleties worden uitgevoerd. Daarom is het huidige suppletievolume voor dit vak aangehouden.

Voor 'Julianadorp' wordt meer erosie verwacht door het opdringen van de geul Nieuwe Schulpengat. Er worden geen negatieve effecten verwacht op de functie Binnendijkse Veiligheid, andere functies kunnen hier mogelijk wel in het geding komen. Er wordt hier nu 0,2 miljoen m³ zand per jaar gesuppleerd. De verwachting is dat dit volume omhoog zal gaan. Het volume dat ter compensatie nodig is in het geval van een hogere zeespiegel wordt geschat op 0,36 miljoen m³ per jaar.

Haringvlietmonding

De Haringvlietmonding lijkt zich op langere termijn naar een vrijwel gesloten kust te ontwikkelen. De belangrijkste transporten over de banken zijn golfgedreven en gaan landwaarts via de (kleine) geulen, in het Slikgat gaat het transport zeewaarts. In het gebied landwaarts van de banken zijn de transporten zeer klein. Door de geringe waterdiepte in de monding speelt getijgedreven transport vrijwel geen rol. In de simulatie voor 2035 zijn de transporten in het zuidelijk deel van de monding sterk toegenomen. Er vindt een omslag in transportrichting plaats bij 'Voorne III' (Figuur 6.5). Ook zijn de verschillen voor de kust van Goeree (Figuur 6.5) groot waardoor deze locaties als potentiële suppletie locatie zijn meegenomen in de analyse van effecten op functies.



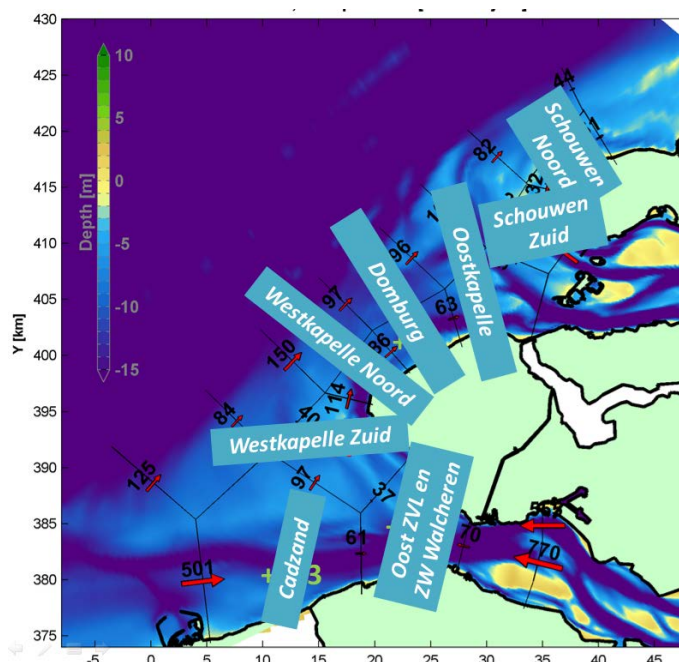
Figuur 6.5; potentiële suppletielocaties in de Haringvlietmonding.

Bij 'Voorne III' wordt er iets meer erosie berekend voor het 2035 scenario. Het lijkt er op dat in de beschutte situatie de golfwerking niet meer krachtig genoeg is om zand naar het strand omhoog te brengen, terwijl de erosie doorgaat. Hierdoor zakt het strand als het ware uit. In 2009 en 2010 is hier een versterking uitgevoerd in het kader van het Zwakke Schakel-versterkingsprogramma. De functie Binnendijkse Veiligheid wordt hier dan ook negatief beïnvloed in geval van erosie. Ook worden er negatieve effecten verwacht op de overige hier aanwezige functies. Het volume dat ter compensatie nodig is wordt geschat op 0,07 miljoen m³ per jaar.

Bij Goeree wordt met name voor 'Goeree IV' meer erosie berekend voor de 2035 bodem. Deze erosie heeft een negatief effect op de veiligheid en de recreatie. Het volume dat ter compensatie nodig is wordt geschat op 0,13 miljoen m³ per jaar.

Ooster- en Westerschelde

De modelresultaten laten beperkte veranderingen in transportcapaciteit zien voor zowel de monding van de Wester- als de Oosterschelde (Figuur 6.5). Bij Westkapelle lijkt de erosie wat toe te nemen voor de 2035 bodem. Daar staat tegenover dat de erosie mogelijk wat afneemt bij Domburg. Gezien deze resultaten mag verwacht worden dat de benodigde volumina voor de compensatie van de negatieve effecten van erosie niet sterk zullen afwijken van de huidige praktijk.



Figuur 6.6; potentiële suppletie locaties in de Ooster- en Westerscheldemonding.

6.3 Resultaten schatting extra volume suppletiezand

In Tabel 6.2 wordt per potentiële suppletie locatie een schatting gegeven van het extra volume suppletiezand dat nodig is om eventuele negatieve effecten op functies tegen te gaan. N.B. De in Tabel 6.2 genoemde totale suppletievolumes (grootte-orde 3 miljoen m^3) wijken af van de ca. 12 miljoen m^3 zand die er nu jaarlijks gesuppleerd wordt. Dit komt doordat de extra zandbehoefte in 2035 vooral op locaties in de zeegaten nodig is. Andere huidige suppletie locaties zijn niet opgenomen in de tabel.

Uit de analyse blijkt dat er ongeveer 0,15 tot 1,0 miljoen m^3 zand per jaar extra nodig zal zijn om de negatieve effecten op de functies te compenseren. Het grootste deel van deze verhoging treedt op bij de berekeningen met een verhoogde zeespiegel.

Naast dit extra volume suppletiezand ter compensatie van de negatieve effecten op functies door verwachte morfologische ontwikkelingen zal er ook een extra volume suppletiezand nodig zijn voor het onderhoud van de zeewaarts versterkte Zwakke Schakels en Maasvlakte 2. Het extra zandvolume voor de zeewaarts versterkte Zwakke Schakels wordt geschat tussen de 0,4 en 1,4 miljoen m^3 per jaar (Bijlage F). Het extra zandvolume voor Maasvlakte 2 zal naar schatting tussen 0,3 en 0,6 miljoen m^3 per jaar bedragen (de eerste onderhoudssuppletie ca. 4 jaar na aanleg was 1,7 miljoen m^3). De totale extra zandbehoefte in 2035 door zowel de compensatie van de negatieve effecten op de functies door morfologische veranderingen als het extra onderhoud van de zeewaarts versterkte Zwakke Schakels en Maasvlakte 2 wordt geschat tussen de 0,85 en 3,0 miljoen m^3 zand per jaar. N.B. In deze getallen is geen extra compensatie opgenomen voor bodemdaling door gaswinning³.

³ Ketelaar et al. (2011) geven een schatting van het maximale volume van de bodemdalingsschotel bij Oost Ameland: 20 miljoen m^3 . Zij schatten dat dit een bijdrage levert aan de zandbehoefte van de kustzone (12 miljoen m^3), het eiland (3 miljoen m^3) en de Waddenzee (5 miljoen m^3). N.B. Een deel van deze zandbehoefte

Dit extra volume kan waarschijnlijk binnen het huidige jaarlijkse suppletievolume worden ingepast. De verwachting is echter wel dat er meer overschrijdingen van de basiskustlijn gecompenseerd zullen moeten gaan worden. Dit zal mogelijk gepaard gaan met hogere kosten voor het kustonderhoud (meer strandsuppleties en/of frequenter suppleren). Daarnaast blijft er hierdoor een kleiner volume over voor het gericht mee laten groeien van het kustfundament.

De voor de situatie in 2100 berekende resultaten zijn te onnauwkeurig om op basis daarvan de effecten op functies en een extra suppletievolume te kunnen inschatten. Wel kan voorzichtig geconcludeerd worden dat het afnemen in oppervlak en volume van de buitendelta's tot 2100 niet direct lijkt te resulteren in een verhoging van de faalkans van de zeeweringen langs de aangrenzende kustvakken. Ook het steiler worden van het profiel van de Hollandse kust lijkt geen significant negatieve effecten te hebben op de hier aanwezige functies van de kust. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat alleen naar de veranderingen in langtransport is gekeken. Veranderingen in dwarstransport zijn niet meebeschoofd. Wel kan het naar de kust toe bewegen van getijgeulen in de zeegaten de stabiliteit van de waterkeringen mogelijk op den duur gaan bedreigen. Uit de simulaties blijkt dat een zeespiegelstijging in de grootte-orde van 1m vooral rond de zeegaten een groot effect heeft. In deze simulaties is de morfologie van de getijdebekken niet aangepast, waardoor een stijging in zeeniveau resulteert in een groter getijdebiet en daarmee in grotere stroomsnelheden in en rond de zeegaten. Deze verhoogde stroomsnelheden hebben een hogere potentiële transportcapaciteit. Echter, in werkelijkheid zullen de bekkens zich wel (gedeeltelijk) aanpassen en zal de toename van de debieten kleiner zijn.

is al voldaan door de suppleties tot nu toe! Voor de andere winningslocaties zijn dit soort getallen niet gevonden.

7 Conclusies, discussie en aanbevelingen

7.1 Conclusies

De conclusies aan de hand van de sedimenttransportpatronen zijn:

- ✓ De effecten van de verwachte morfologische veranderingen tussen nu en 2035 zijn relatief gering.
- ✓ Er is géén aanleiding om een duidelijk ander erosiepatroon of -volume te verwachten.
- ✓ De verwachte morfologische veranderingen geven dus géén aanleiding tot aanpassing van het huidige jaarlijkse suppletievolume.
- ✓ Wanneer met een hogere zeespiegel wordt gerekend treden er grote veranderingen op bij de zeegaten in het Waddengebied.
- ✓ De veranderingen over de periode 2035 – 2100 zijn te onnauwkeurig om de effecten precies aan te kunnen geven.

De conclusies aan de hand van de verwachte effecten op functies en het geschatte suppletievolume voor behoud van functies zijn:

- ✓ De effecten van de verwachte morfologische veranderingen tussen nu en 2035 op de functies van de kust zijn over het algemeen beperkt.
- ✓ Lokaal worden er wel negatieve effecten op de daar aanwezige functies verwacht.
- ✓ Naar schatting is er tussen de 0,15 en 1,0 miljoen m³ zand per jaar nodig om de effecten van de morfologische veranderingen te compenseren. Het grootste deel van deze verhoging treedt op bij de berekeningen met een hogere zeespiegel.
- ✓ In de afgelopen jaren is de kust op verschillende locaties zeewaarts uitgebouwd als onderdeel van de van Zwakke Schakel versterkingen en door aanleg van de tweede Maasvlakte. Wanneer ook het zandvolume voor het onderhoud van deze lokaties meegenomen wordt, zal er in 2035 naar verwachting totaal tussen 0,85 en 3,0 miljoen m³ zand per jaar extra nodig zijn. Hierin is extra zandbehoefte door bodemdaling niet meegenomen.
- ✓ De inschatting is dat dit volume binnen het huidige jaarlijkse suppletievolume van 12 miljoen m³ kan worden ingepast.
- ✓ De verwachting is wel dat er meer overschrijdingen van de basiskustlijn gecompenseerd zullen moeten gaan worden, waardoor er een kleiner volume voor meegroeien van het kustfundament overblijft. Dit zal mogelijk gepaard gaan met hogere kosten voor het kustonderhoud (meer strandsuppleties en/of frequenter suppleren).
- ✓ De veranderingen over de periode 2035 - 2100 zijn te onnauwkeurig om effecten op functies aan te geven.
- ✓ Het afnemen in oppervlak en volume van de buitendelta's lijkt tot 2100 niet te resulteren in een verhoging van de faalkans van de zeeeringen.
- ✓ Het steiler worden van het profiel van Hollandse kust lijkt tot 2100 geen significant negatieve effecten te hebben op de hier aanwezige functies van de kust. Hierbij moet worden opgemerkt dat de dwarstransporten niet meebeschouwd zijn.

7.2 Discussie

Met deze studie is de op dit moment best mogelijke inschatting gemaakt van de effecten van realistische, mogelijke morfologische veranderingen van de kust op de sedimenttransportpatronen en daarmee op de functies van de kust. De resultaten van deze studie moeten niet gezien worden als de voorspelling van de ontwikkelingen aan de kust in de komende 2 decennia.

Op basis van de waargenomen ontwikkelingen over de afgelopen 2 decennia verwachten wij dat de hoofdlijnen van de toegepaste bodemsituaties voor 2035 wel het meest waarschijnlijk zijn. Zeker is dat natuurlijk niet, wel is zeker dat op lokaal niveau er aanzienlijke verschillen zullen zijn tussen de werkelijk optredende bodemliggingen en de verwachte bodems.

Wij denken dat deze studie een goede basis is om de op langere termijn benodigde suppletievolumes in kaart te brengen. Op basis van deze studie is ook nagedacht over een mogelijke nieuwe afleiding van het jaarlijks gemiddelde suppletievolume.

Het huidige gemiddelde jaarlijkse suppletievolume wordt bepaald met de onderstaande formule:

$$V_{suppl} = (A_{kf} + A_{wz} + A_{ws}) * ZSSact$$

waarin:

V_{suppl} = Suppletievolume

A_{kf} = Oppervlakte Kustfundament

A_{wz} = Oppervlakte Waddenzee

A_{ws} = Oppervlakte Westerschelde

$ZSSact$ = Actuele Zeespiegelstijging

Deze berekening geeft invulling aan het beleidsdoel zoals geformuleerd in het Nationaal Waterplan 2009-2015, "het kabinet kiest voor het laten meegroeien van de hoogte van het kustfundament met de zeespiegelstijging door toevoegen van zand."

De Waddenzee en de Westerschelde worden in deze berekening als verliesposten voor het kustfundament beschouwd. Derhalve wordt het oppervlak van beide bekkens ook vermenigvuldigd met de zeespiegelstijging en opgeteld bij het suppletievolume.

Mede op basis van deze studie stellen we een alternatieve berekeningsmethode voor het suppletievolume voor:

$$V_{suppl} = (A_{kf}^* * ZSSact) + V_{imp, bekkens} + V_{bodemdaling, kf}$$

Met:

V_{suppl} = Suppletievolume

A_{kf}^* = Oppervlakte Kustfundament met nieuwe grenzen⁴

⁴ N.B. De discussie over de grenzen van het kustfundament moet nog gevoerd worden. De resultaten van het onderzoek in project Kustgenese 2 spelen daarbij een cruciale rol.

Vimp, bekkens

= *Import Waddenzee en Westerschelde t. g. v. ZSS en menselijke ingrepen in het bekken*

Vbodemdaling, kf

= *bodemdaling door delfstoffenwinning in kustfundament met nieuwe grenzen*

ZSSact = Actuele Zeespiegelstijging

Deze berekening geeft invulling aan het beleidsdoel zoals geformuleerd in de herziening van het Nationaal Waterplan 2016-2020 “*daartoe streeft het kabinet naar een structureel evenwicht in het kustfundament, waarbij het volume voor zandsuppleties periodiek wordt aangepast aan de actuele zeespiegelstijging*”. Het biedt de mogelijkheid om over te gaan naar een nieuwe definitie van de oppervlakte van de kust (zowel kustfundament als kustzone) waarvoor naar een structureel evenwicht in de sedimentbalans gestreefd wordt. Gedacht zou kunnen worden aan de oppervlakte van dat deel van de kust dat op een tijdschaal van 50 jaar morfologisch actief is. Deze formulering houdt rekening met verliesposten **binnen** het kustfundament (zoals bodemdaling) en met verliesposten **buiten** het kustfundament. Bij de bepaling van de verliesposten **buiten** het kustfundament wordt rekening gehouden met alle oorzaken van dit verlies, waarbij de belangrijkste verliesposten worden bepaald door aanpassing van de bekkens aan zeespiegelstijging en menselijke ingrepen.

7.3 Aanbevelingen

Het verdient aanbeveling om de hierboven gepresenteerde alternatieve berekeningsmethode voor het jaarlijks suppletievolume verder te doordenken en uit te werken. Tevens verdient het aanbeveling om de alternatieve berekeningsmethode te gebruiken als “gids” voor het opstellen van het lange termijn onderzoeksprogramma Kustgenese 2.

De huidige analyse is gemaakt uitgaande van een geringe versnelling van de zeespiegelstijging: een toename van 0,1m in 2035 betekent een verdubbeling van de huidige gemiddelde stijging van 20cm per eeuw. De effecten van een snellere stijging zullen groter zijn.

Deze studie benadrukt het belang van de morfologische ontwikkelingen rond de zeegaten, met name van de Waddenzee. Deze ontwikkelingen moeten goed in de gaten gehouden worden. Veranderingen in de locaties waar de BKL overschreden wordt of een versterking van de erosieve trend zoals die bepaald wordt bij de jaarlijkse BKL toetsing kunnen indicaties zijn dat de morfologische situatie verandert. Het is nog te vroeg om aan te geven of de jaarlijkse toetsing van de BKL hier afdoende voor is of dat er een speciaal monitoringsprogramma opgesteld moet worden. Mogelijk is er een andere indicator nodig waarmee deze grootschalige veranderingen rond de zeegaten gevolgd kunnen worden. Tevens is het zinvol om de morfologische ontwikkeling van de gehele kust te volgen. Daarbij moet ook duidelijk zijn welke eventuele maatregelen geschikt zijn om deze ontwikkelingen in goede banen te leiden. Dat moet nader onderzocht worden.

Het zou goed zijn om deze studie te herhalen als de inzichten in de morfodynamica van het Nederlands kuststelsel toegenomen zijn. Het zou daarbij van meerwaarde zijn als er één numeriek model voor de gehele Nederlandse kust gebruikt kan worden.

Bij de beschrijving van de recente ontwikkelingen langs de Nederlandse kust zijn een aantal vragen geïdentificeerd die in de nabije toekomst uitgezocht moeten worden. Hieronder volgt een opsomming. N.B. De volgorde geeft niet de prioriteit aan.

- ✓ Het voor het kustonderhoud benodigde zand zal in toenemende mate op een aantal vaste locaties gesuppleerd gaan worden. Dit is een gevolg van de meerjaarlijkse suppletieplanning en het onderhoud van de zandige Zwakke Schakel-versterkingen. Het van deze locaties weggevoerde zand zal ten goede komen aan de aangrenzende kustvakken. Of dit voldoende is om de zandvoorraad in deze aangrenzende kustvakken op pijl te houden is niet op voorhand duidelijk. Dit moet uitgezocht worden, zowel generiek als per locatie.
- ✓ Erosiebestendige lagen beperken de verplaatsing van een aantal getijgeulen in de zeegaten. Van deze lagen is de laterale verbreiding meestal niet bekend. Indien zo'n laag slechts lokaal voorkomt kan hij volledig opgeruimd worden door de verplaatsing van de geul. Na het opruimen van deze laag kan de snelheid van geulverplaatsing plotseling toenemen. Door de laterale verbreiding van de erosiebestendige lagen in kaart te brengen kunnen eventuele risico-locaties vastgesteld worden.
- ✓ Het netto transport van zand en slib van de Noordzeekust via de zeegaten naar de getijdebekkens bepaalt mede hoe de getijdebekkens zullen reageren op toekomstige veranderingen. Met name de mechanismen die de netto zandimport bepalen en hun jaarlijkse capaciteit zijn onvoldoende bekend om de toekomstige ontwikkeling van de getijdebekkens te kunnen bepalen.
- ✓ Het effect van lokale bodemdaling boven gasvelden op de ligging van de kustlijn en de daaruit voortkomende (extra) suppletiebehoefte is nog niet uitgezocht. Dat is wel noodzakelijk.
- ✓ Het Eierlandse Gat is het meest gesuppleerde zeegat langs de Waddenkust. De ontwikkeling van dit zeegat en het achterliggende getijdebekken in het algemeen, en de gevolgen van de aanleg van de Afsluitdijk hierop in het bijzonder, zijn slecht bekend. Dit moet uitgezocht worden.

8 Referenties

Arens, B, L Geelen, H van der Hagen & R Slings, 2009. Duurzame verstuiving in de Hollandse duinen; Kans, droom of nachtmerrie? Eindrapport Fase 2. Rapport RAP2009.003, Arens Bureau voor Strand en Duinonderzoek, 107 pp.

Bakker, MAJ, S van Heteren, LM Vonhögen & AJF van der Spek, 2010. GPR imaging of recent coastal dune development: Effects of sand nourishments. Rapport 1202344-000-ZKS-0009, Deltares, Delft, 29 pp.

Bakker, MAJ, S van Heteren, LM Vonhögen, AJF van der Spek & B van der Valk, 2012. Recent coastal dune development: Effects of sand nourishments. *Journal of Coastal Research*, 28 (3): 587-601.

Dijkema, KS, HF van Dobben, EC Koppenaar, EM Dijkman & WE van Duin, 2011. Kweldervegetatie Ameland 1986-2010: effecten van bodemdaling en opslibbing op Neerlands Reid en De Hon. In: Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; evaluatie na 23 jaar gaswinning, Deel 2, p. 1-167.
(http://www.waddenzee.nl/fileadmin/content/Bodemdeling/2011/pdf/Rapport_Deel_2_kwelders.pdf)

Dijkstra, J, 2014. SPA Toekomstige Suppletiebehoefte – Suppletiebehoefte Zeeuwse Delta. Memo 1208140-004-ZKS-0002, Deltares, Delft, 41 pp.

Doornenbal, P, A Oost, A Bruens & J van der Werf, 2011. Regionale Kustlijn zorg advisering Schiermonnikoog. Memo 1202349-000-ZKS-0004, Deltares, Delft, 34 pp.

Elias, EPL, 2006. Morphodynamics of Texel Inlet. Proefschrift, Technische Universiteit Delft, 261 pp.

Elias, E & A Bruens, 2012a. Morfologische analyse Boschplaat (Terschelling); Quickscan. Rapport 1206171-001-ZKS-0001, Deltares, Delft, 13 pp.

Elias, E & A Bruens, 2012b. Een quickscan van de morfologische ontwikkelingen op de buitendelta van het Vlie en Noordoost Vlieland. Rapport 1206171-001-ZKS-0002, Deltares, Delft, 28 pp.

Elias, E & A Bruens, 2012c. Een quickscan van de morfologische ontwikkelingen van het Eierlandse Gat. Rapport 1206171-001-ZKS-0003, Deltares, Delft, 33 pp.

Elias, EPL & AJF van der Spek, 2006. Long-term morphodynamic evolution of Texel Inlet and its ebb-tidal delta (The Netherlands). *Marine Geology*, 225: 5-21.

Elias, E & A van der Spek, 2014a. Grootschalige morfologische veranderingen in de Zeeuwse Delta 1964-2013. Werkdocument 1207724-001 (concept), Deltares, Delft, 67 pp.

Elias, E & A van der Spek, 2014b. SPA Toekomstige Suppletievolumes – Bodemschematisaties 2035 en 2100.. Memo 1208140-004-ZKS-0001, Deltares, Delft, 19 pp.

Elias, EPL, AJF van der Spek, ZB Wang & J de Ronde, 2012. Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over the last century. *Netherlands Journal of Geosciences*, 91 (3): 293-310.

Elias, E, L Vonhögen-Peeters & A Bruens, 2013. Ontwikkeling suppletie tussen Den Helder en Julianadorp 2007. Rapport 1206171-000, Deltares, Delft, 60 pp.

FitzGerald, DM, NC Kraus & EB Hands, 2000. Natural mechanisms of sediment bypassing at tidal inlets. Rapport ERDC/CHL CHETN-IV-30, US Army Corps of Engineers.

Haarsman, G, 2013. Beschrijving functiekaart kust Nederland. Memo Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad, 16 pp + kaartbijlage.

Heijer, K den, 2014. Toekomstige Suppletievolumes, effecten op duinafslag. Memo 1208140-004-ZKS-0003, Deltares, Delft, 4 pp + figuurbijlage.

Houtenbos, A, 2008. Modelleren van lokale relatieve zeespiegelrijzing. In: F Barends, D Dillingh, R Hanssen & K van Onselen (red.), *Bodemdaling langs de Nederlandse Kust; Case Hondsbossche en Pettemer Zeewering*, pp. 135-150. IOS Press, Amsterdam.

Ketelaar, G, W van der Veen & D Doornhof, 2011. Bodemdaling. In: Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, *Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; evaluatie na 23 jaar gaswinning, Deel 1*, p. 9-27. (http://www.waddenzee.nl/fileadmin/content/Bodemdaling/2011/pdf/Rapport_Deel_1_Bodemdaling.pdf)

NAM Nederlandse Aardolie Maatschappij, 2010. Bodemdaling door Aardgaswinning. NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. Statusrapport 2010 en Prognose tot het jaar 2070. Rapport EP201006302236, 36 pp.

Oost, AP, 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*, vol. 126, Universiteit Utrecht, 454 pp.

Oost, A & A Bruens, 2013. Beheerbibliotheek Schiermonnikoog; Feiten en cijfers ter ondersteuning van de jaarlijkse toetsing van de kustlijn. Rapport 1207724-004-ZKS-0017, Deltares, Delft, 67 pp.

Rommel, MC, 2004. Morfologische veranderingen als gevolg van bodemdaling door gaswinning; Locatie Zuidwal TotalFinaElf. Rapport RIKZ/2004.004, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag, 39 pp.

Ronde, J de, 2013. Nieuwe inzichten ten aanzien van zeespiegelstijging vanuit het nieuwe IPCC rapport en overige literatuur. Memo 1208268-000-ZKS-0005, Deltares, Delft, 23 pp.

Rooijen, AA van & AP Oost, 2014. Memo morfologische veranderingen Rottumeroog en Rottumerplaat, voor de periode 1983-2014. Rapport 1209381-008-ZKS-0007, Deltares, Delft, 27 pp + bijlagen.

Spek, AJF van der & EPL Elias, 2014. Toekomstige Suppletievolumes Fase 1. Beschrijving van de huidige toestand van de Nederlandse kust, de te verwachten ontwikkelingen in de komende eeuw en de mogelijke effecten hiervan op de functies van de kust. Rapport 1208140-000-ZKS-0009, Deltares, Delft, 67 pp.

Spek, A van der & Q Lodder, 2014. Opzet notitie Sedimentbalans Nederlandse kust 1990-2005. Concept-notitie 1209391-004, Deltares, Delft, 26 pp.

Spek, AJF van der & S van Heteren, 2004. Analyse van steekboringen verzameld in het Molengat en Nieuwe Schulpengat. Rapport NITG 04-095-C, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 39 pp.

Tonnon, PK, 2014a. SPA Toekomstige Suppletiebehoefte - modelberekeningen Hollandse kust. Memo 1208140-004-ZKS-0005, Deltares, Delft, 11 pp.

Tonnon, PK, 2014b. SPA Toekomstige Suppletiebehoefte - modelberekeningen Haringvliet. Memo 1208140-004-ZKS-0004, Deltares, Delft, 31 pp.

Tonnon, PK, 2014c. SPA Toekomstige Suppletiebehoefte - modelberekeningen Waddenzee. Memo 1208140-004-ZKS-0006, Deltares, Delft, 45 pp.

Vermaas, T & E Elias, 2014. Evaluatie verlegging Krabbengat 1987/1991/1996. Rapport 1209381-008-ZKS-0005, Deltares, Delft, 55 pp + bijlagen.

Vermaas, T, E Elias & L Vonhögen-Peeters, 2013. Ontwikkeling gefaseerde suppletie Ameland 2010-2011. Rapport 1207724-002-ZKS-0010, Deltares, Delft, 59 pp.

Wang, ZB, 2013. Herberekening behoefte aan zandsuppletie ter compensatie van bodemdaling door gaswinning uit Waddenzee velden op basis van winningsplan Moddergat, Lauwersoog, Vierhuizen 2011 en Meet- en regelcyclus 2012. Rapport 1002235-000-ZKS-0015, Deltares, Delft, 17 pp.

A Volumeveranderingen kust, buitendelta's en bekkens Waddengebied 1935-2005

Volumeveranderingen van kust, buitendelta's en bekkens in het Waddengebied, in miljoen m ³ over de periode 1935-2005									
	1935-1990			1990-2005			1935-2005		
Zeegat	kust	delta	bekke n	kust	delta	bekken	kust	delta	bekke n
Texel	-282	-245	253	-93	-55	-19	-376	-300	234
Eierland	-31	-10	-24	-47	-13	-3	-77	-23	-27
Vlie	-110	-99	167	-36	-26	53	-146	-125	219
Ameland	91	40	34	4	-6	21	94	34	56
Friesche	-48	-6	89	-32	-17	2	-80	-23	91
Totaal	-381	-321	518	-205	-117	55	-585	-438	573
Tex+Vlie	-392	-344	420	-130	-81	34	-522	-425	453

Gemiddelde volumeveranderingen per jaar van kust, buitendelta's en bekkens in het Waddengebied, in miljoen m ³ over de periode 1935-2005									
	1935-1990			1990-2005			1935-2005		
Zeegat	kust	delta	bekke n	kust	delta	bekken	kust	delta	bekke n
Texel	-5,1	-4,5	4,6	-6,2	-3,6	-1,3	-5,4	-4,3	3,3
Eierland	-0,6	-0,2	-0,4	-3,1	-0,8	-0,2	-1,1	-0,3	-0,4
Vlie	-2,0	-1,8	3,0	-2,4	-1,8	3,5	-2,1	-1,8	3,1
Ameland	1,6	0,7	0,6	0,2	-0,4	1,4	1,3	0,5	0,8
Friesche	-0,9	-0,1	1,6	-2,1	-1,1	0,2	-1,1	-0,3	1,3
Totaal	-6,9	-5,8	9,4	-13,6	-7,8	3,6	-8,4	-6,3	8,2
Tex+Vlie	-7,1	-6,3	7,6	-8,6	-5,4	2,2	-7,5	-6,1	6,5

Tabel A.1; volumeveranderingen van de buitendelta's, aangrenzende kust en achterliggende bekkens van de zeegaten van de Waddenzee over de periode 1935 – 2005. Positieve volumeveranderingen zijn met groen aangegeven, negatieve met rood. De grootste (absolute) en de totale volumes/-veranderingen zijn in "vet" aangegeven. Omdat de bekkens van de Zeegaten van Texel en het Vlie gekoppeld zijn, zijn ook hun gezamenlijke volumeveranderingen aangegeven. De vakken 'kust' strekken zich aan weerszijden van de zeegaten uit tot het midden van de aangrenzende eilanden, hun volumeveranderingen zijn inclusief die van de betreffende buitendelta. (Getallen uit Elias et al., 2012, zie aldaar voor verdere uitleg).

Getijdebekkens Waddenzee; gemiddelde verticale verandering = volumeverandering bekken / bekkenoppervlak				
Zeegat	verticale verandering (m)			bekkenoppervlak MHW (km ²)
	1935-1990	1990-2005	1935-2005	
Texel	0,36	-0,03	0,33	712
Eierland	-0,16	-0,02	-0,18	153
Vlie	0,25	0,08	0,33	668
Ameland	0,11	0,07	0,18	309
Friesche	0,45	0,01	0,47	195
Totaal	0,25	0,03	0,28	2037
Tex+Vlie	0,30	0,02	0,33	1380

Tabel A.2; de gemiddelde verandering in bodemligging in m per bekken over de periode 1935 – 2005.

Positieve volumeveranderingen zijn met groen aangegeven, negatieve met rood. De grootste (absolute) en de totale volumes/-veranderingen zijn in "vet" aangegeven. Omdat de bekkens van de Zeegaten van Texel en het Vlie gekoppeld zijn, zijn ook hun gezamenlijke volumeveranderingen aangegeven. Opvallend zijn de erosie in het bekken van het Zeegat van Texel in de periode 1990-2005, die samenhangt met een sterke sedimentatie in het bekken van het Zeegat van het Vlie, en de continue erosie in het bekken van het Eierlandse Gat. (Uit: Elias et al, 2012).

B Totaaloverzicht van volumeveranderingen en suppletievolumes Voordelta 1965-2010

Haringvliet	65-80	80-90	90-10	65-10	65-80	80-90	90-10	65-10
geen correctie	57	-22	-12	23	3,8	-2,2	-0,6	0,5
met correctie	55	-30	-26	-1	3,7	-3,0	-1,3	0,0
suppletievolume	2	8	14	24				
Grevelingen	65-80	80-90	90-10	65-10	65-80	80-90	90-10	65-10
geen correctie	25	10	-13	22	1,7	1,0	-0,7	0,5
met correctie	19	8	-16	11	1,3	0,8	-0,8	0,2
suppletievolume	6	2	3	11				
Oosterschelde	65-80	80-90	90-10	65-10	65-80	80-90	90-10	65-10
geen correctie	74	-45	-66	-37	4,9	-4,5	-3,3	-0,8
met correctie	74	-45	-76	-48	4,9	-4,5	-3,8	-1,1
suppletievolume	0	0	10	11				
Westerschelde	65-80	80-90	90-10	65-10	65-80	80-90	90-10	65-10
geen correctie	50	4	-27	27	3,3	0,4	-1,4	0,6
met correctie	50	4	-52	2	3,3	0,4	-2,6	0,0
suppletievolume	0	0	25	25				

Tabel B.1; volumeveranderingen in miljoen kubieke meter (mkm) voor de vaklodingengebieden in de mondingen van Haringvliet, Grevelingen, Oosterschelde en Westerschelde (zie Figuren 2.10-2.13) over de periode 1965-2010. De absolute volumeveranderingen staan in de rode kolommen, de veranderingen per jaar in de groene. (Bron volumeveranderingen: Elias & van der Spek, 2014; Tabel 2.1 op p. 13 aldaar.) De suppletiegetallen omvatten de suppleties uitgevoerd met zand van buiten het mondingsgebied. Interne zandverplaatsingen binnen het mondingsgebied zijn niet meegeteld (bron: suppletiedatabase). Zie Tabel B.2 voor een detailoverzicht van de suppletievolumes.

suppletievolumes Voordelta	1965		1981		1991		2001-		1965	
	1980	-	1990	-	2000	-	2010	-	2010	-
	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0
buitendelta Haringvliet	1,8	4,6	7,8	0	9,2	0,7	5,0	0	23,8	5,3
buitendelta Grevelingen	5,9	0	1,2	0	1,5	0	1,8	0	10,4	0
buitendelta Oosterschelde	0,3	0	0	2,9	2,9	6,2	7,3	1	10,5	9,2
buitendelta Westerschelde	0,2	0,9	0	6,9	2,6	3,0	22,0	1	24,8	10,9
Totaal	8,2	5,5	9	9,8	16,2	9,9	36,1	2	69,5	25,4

suppletievolumes Voordelta 1990 - 2004		per eiland			per buitendelta		
		+	0	totaal	+	0	totaal
buitendelta Haringvliet	Maasvlakte-Slufterdam	9,7		9,7	11,4	0,7	12,1
	Voorne		0,2	0,2			
	Goeree Noord*	1,7	0,5	2,2			
buitendelta Grevelingen	Goeree Westhoofd Schouwen Noord	2,2		2,2	2,2		2,2
buitendelta Oosterschelde	Schouwen Kop	1,0	3,5	4,5	5,5	6,6	12,1
	Noord-Beveland	0,5	1,4	1,9			
	Walcheren NW	4,0	1,7	5,7			
buitendelta Westerschelde	Walcheren ZW	4,2	2,0	6,2	5,8	4,6	10,4
	Zeeuws-Vlaanderen	1,6	2,6	4,2			
Totaal		24,9	11,9	36,8	24,9	11,9	36,8

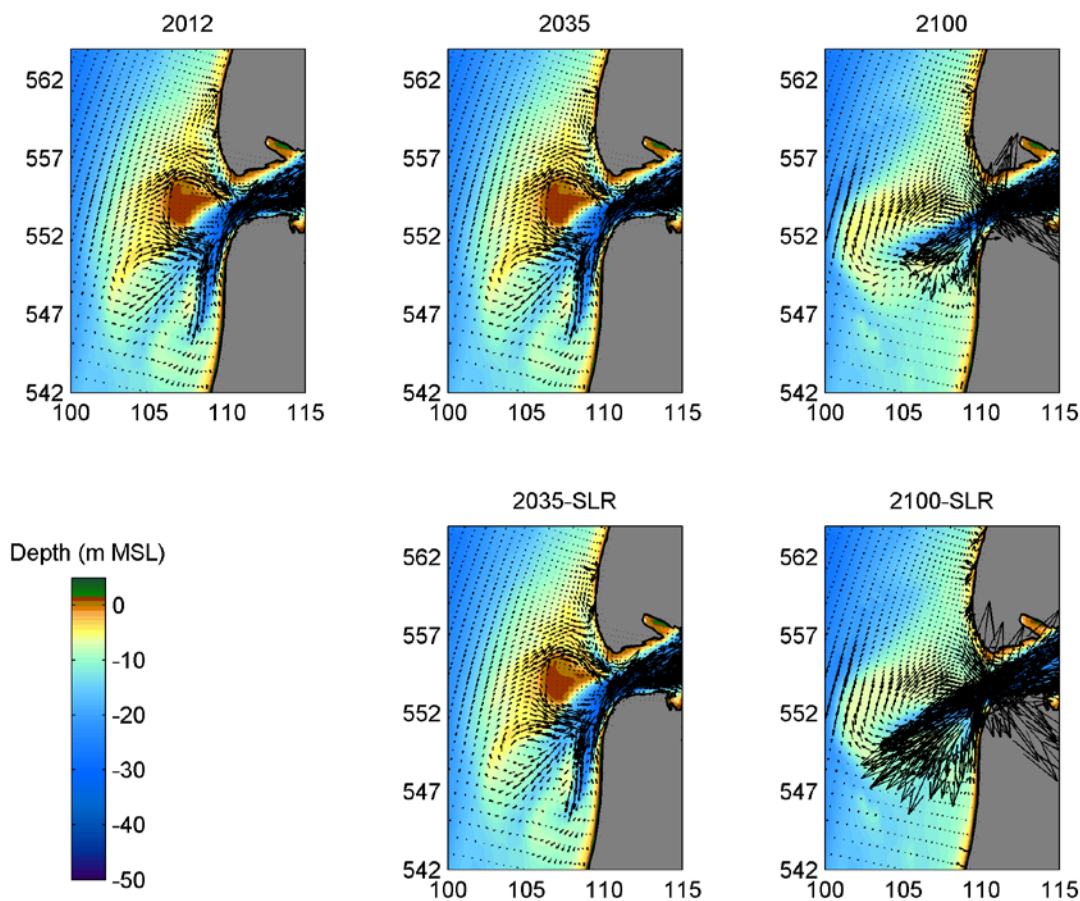
Tabel B.2; totaaloverzicht van suppletievolumes voor de Voordelta in de periode 1965-2010. N.B. Volumina onder het teken "+" zijn netto toegevoegd aan de buitendelta, "0" duidt op interne verplaatsing binnen de buitendelta (meestal van geul naar strand/onderwateroever). *Goeree Noord wil zeggen ten oosten van het Flaauwe Werk.

C Berekende volumetoename door bodemdaling in de Waddenzee bij Ameland 2007-2037

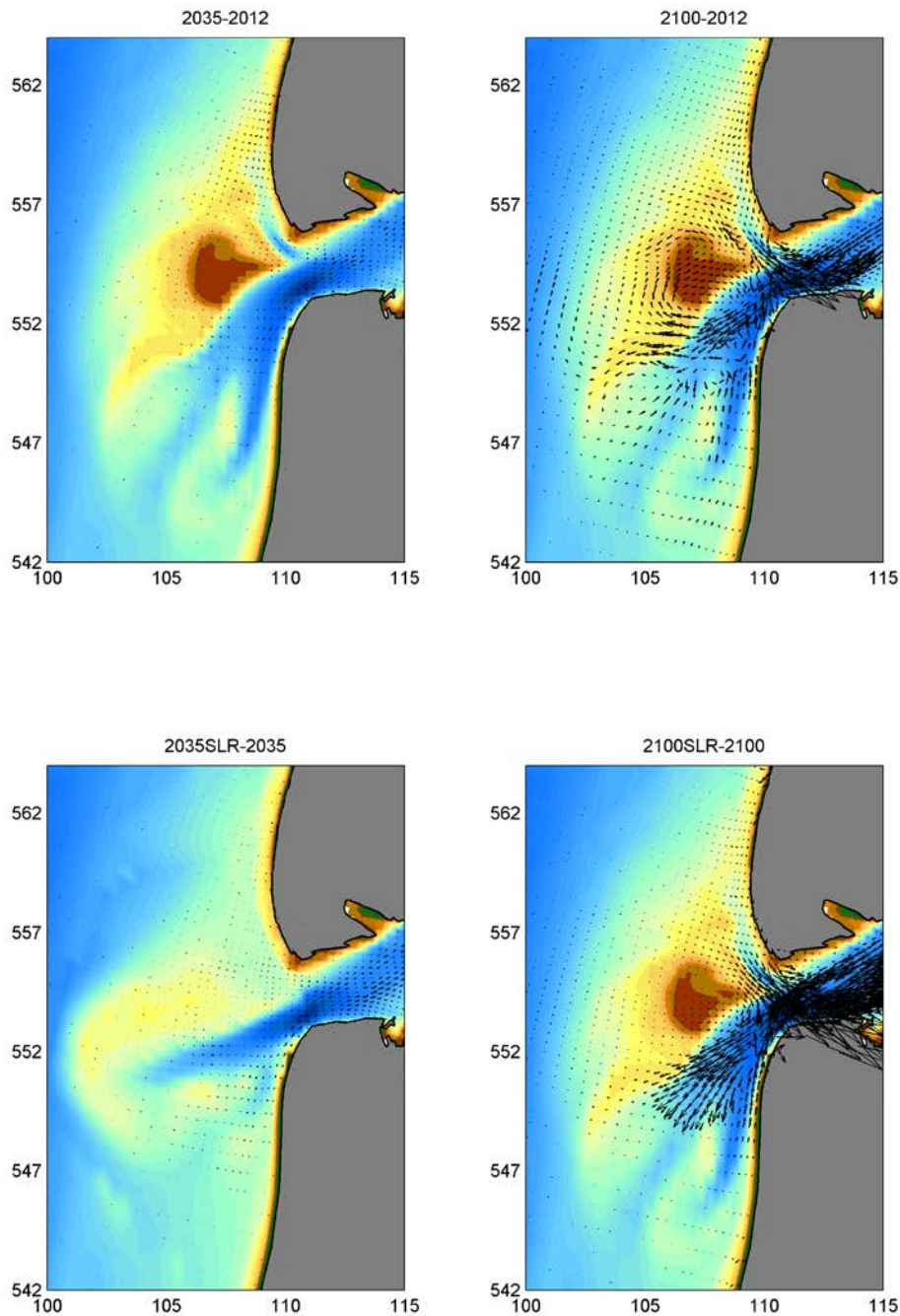
Periode	Pinkegat			Zoutkamperlaag			Totaal
	bestaand	nieuw	totaal	bestaand	nieuw	totaal	
2007-2013	2,80	0,11	2,91	0,03	0,36	0,39	3,30
2013-2019	2,97	0,35	3,32	0,03	1,27	1,30	4,62
2019-2025	3,10	0,54	3,64	0,03	1,92	1,95	5,59
2025-2031	3,19	0,66	3,85	0,03	2,33	2,36	6,21
2031-2037	3,25	0,73	3,98	0,03	2,58	2,61	6,59

Tabel C.1; cumulatieve volumetoename in mkm in de kombergingsgebieden van het Pinkegat en de Zoutkamperlaag door bodemdaling boven het bestaande gasveld Ameland Oost en de 'nieuwe' gasvelden Lauwersoog, Moddergat en Vierhuizen Oost (uit Wang, 2013, Tabel 2.4.). N.B. De 'nieuwe' gasvelden zijn vanaf 2007 in productie genomen

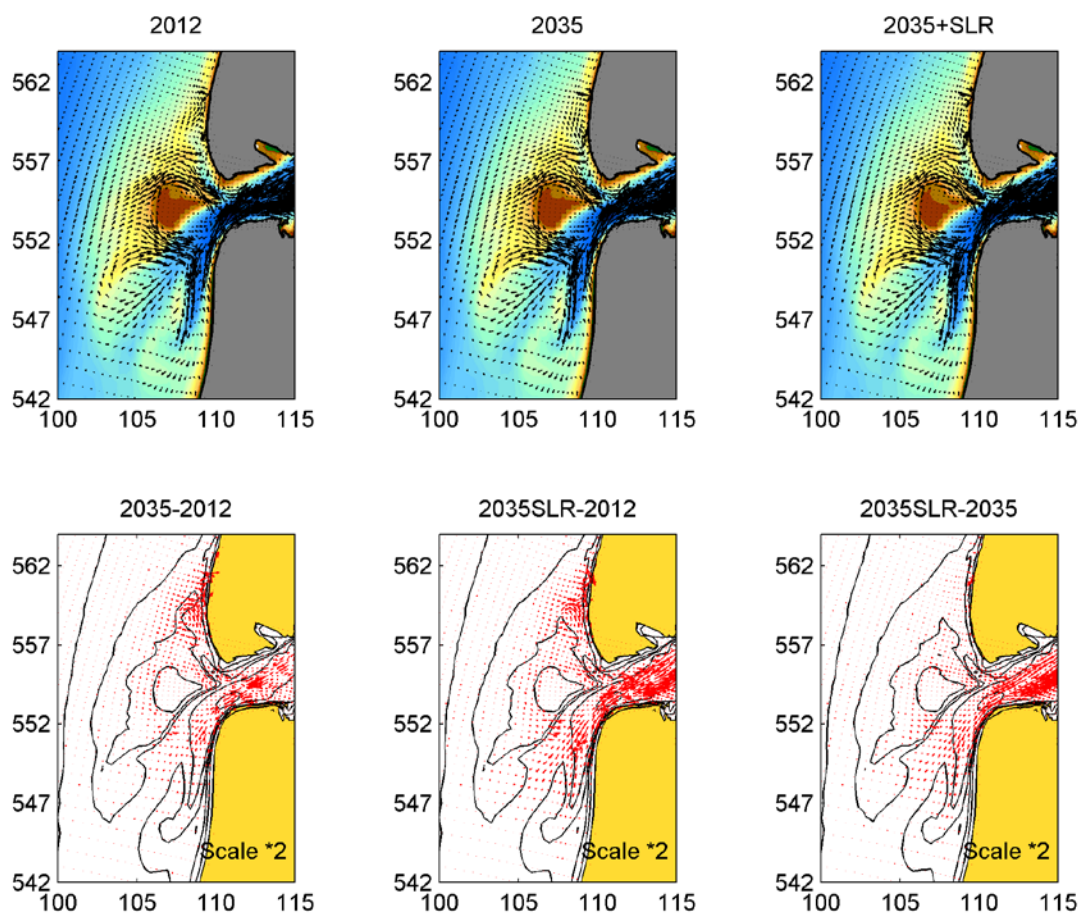
D Verschilplaatjes transportvectorvelden 2012, 2035 en 2100 zeegaten Waddenzee



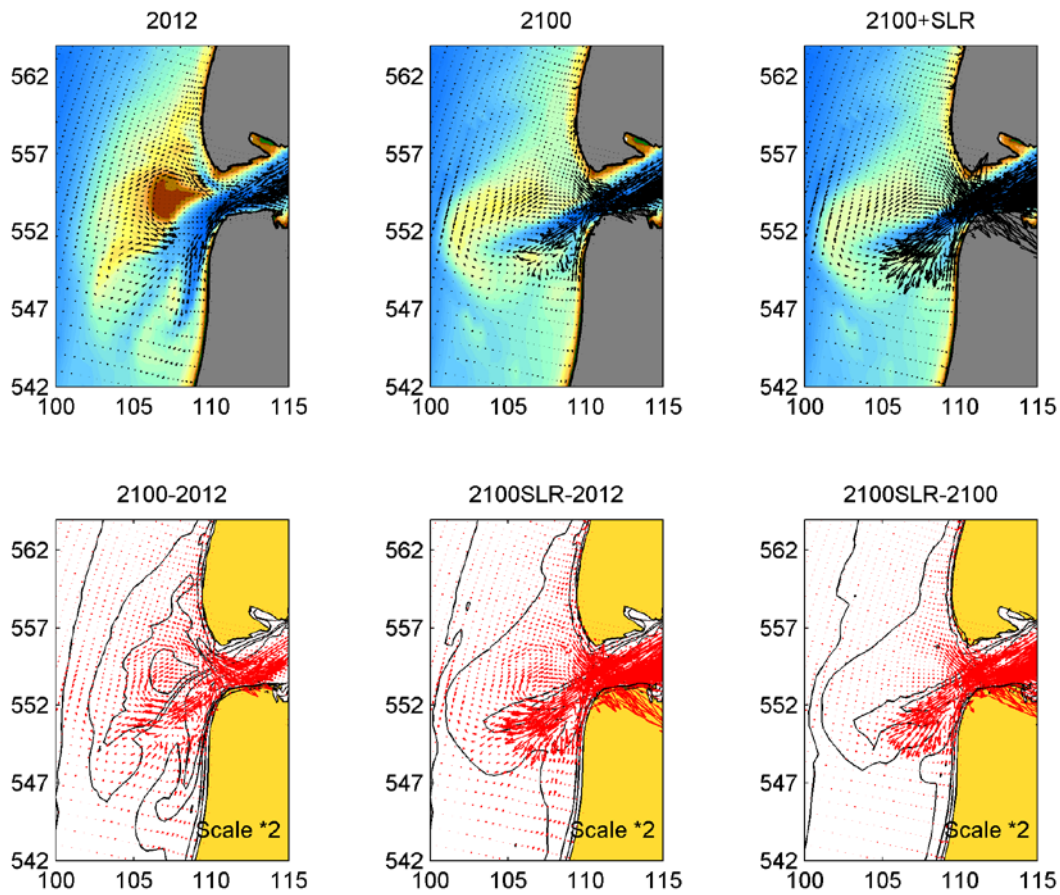
Figuur D.1; transportvectoren Zeegat van Texel in 2012, 2035 en 2100; de laatste twee zowel zonder als met zeespiegelstijging



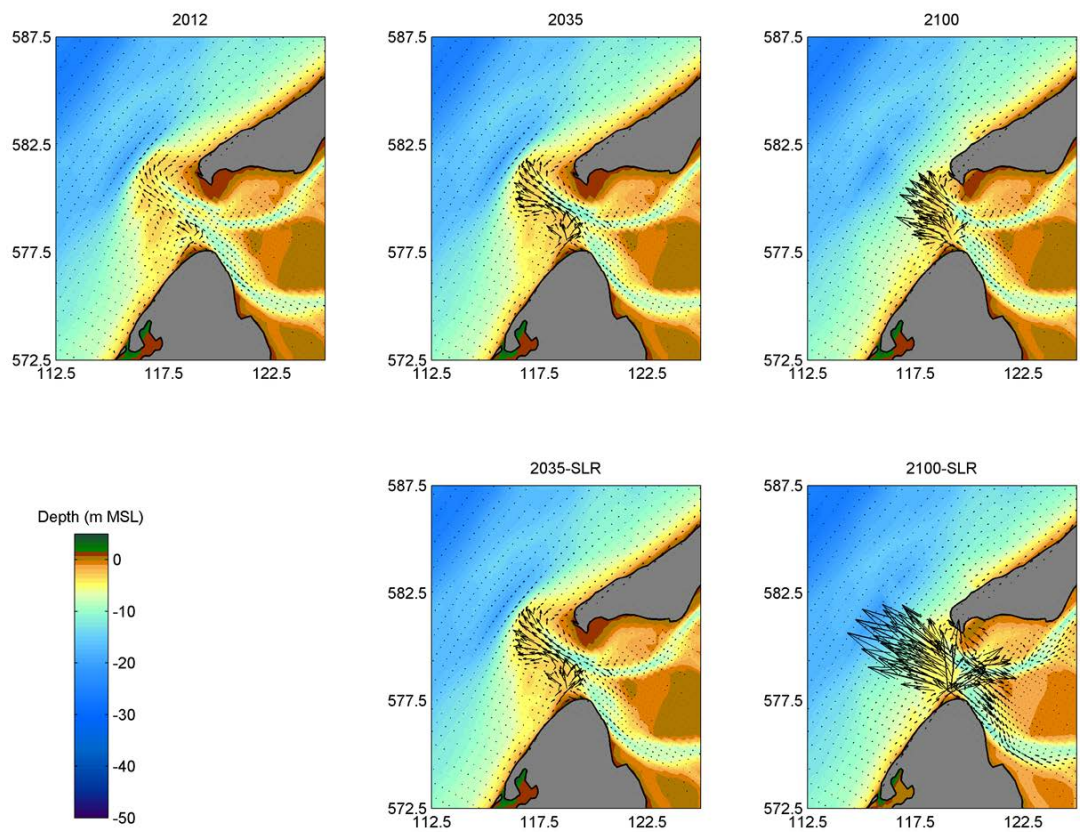
Figuur D.2; verschilplaatjes transportvectorvelden Zeegat van Texel 2035-2012 en 2100-2012 geprojecteerd op de 2012 bodem, en 2035+zss-2035 en 2100+zss-2100 geprojecteerd op respectievelijk de bodems van 2100 en 2035. NB de bodems in de laatste twee plaatjes zijn verwisseld.



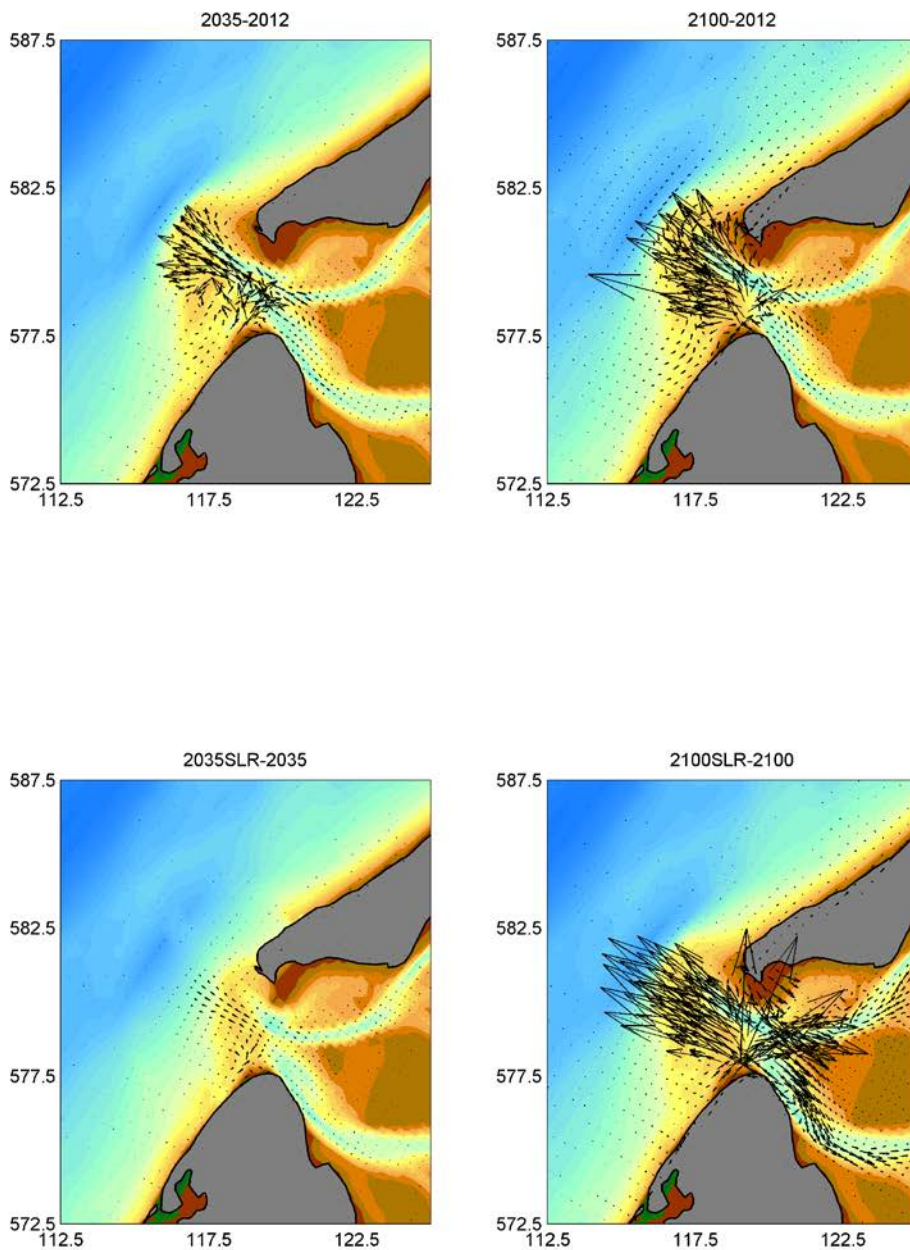
Figuur D.3; verschilplaatjes 2035-2012, 2035+ZSS-2012 en 2035+zss-2035 transportvectorvelden Zeegat van Texel



Figuur D.4; verschilplaatjes 2100-2012, 2100+zss-2012 en 2100+zss-2100 transportvectorvelden Zeegat van Texel

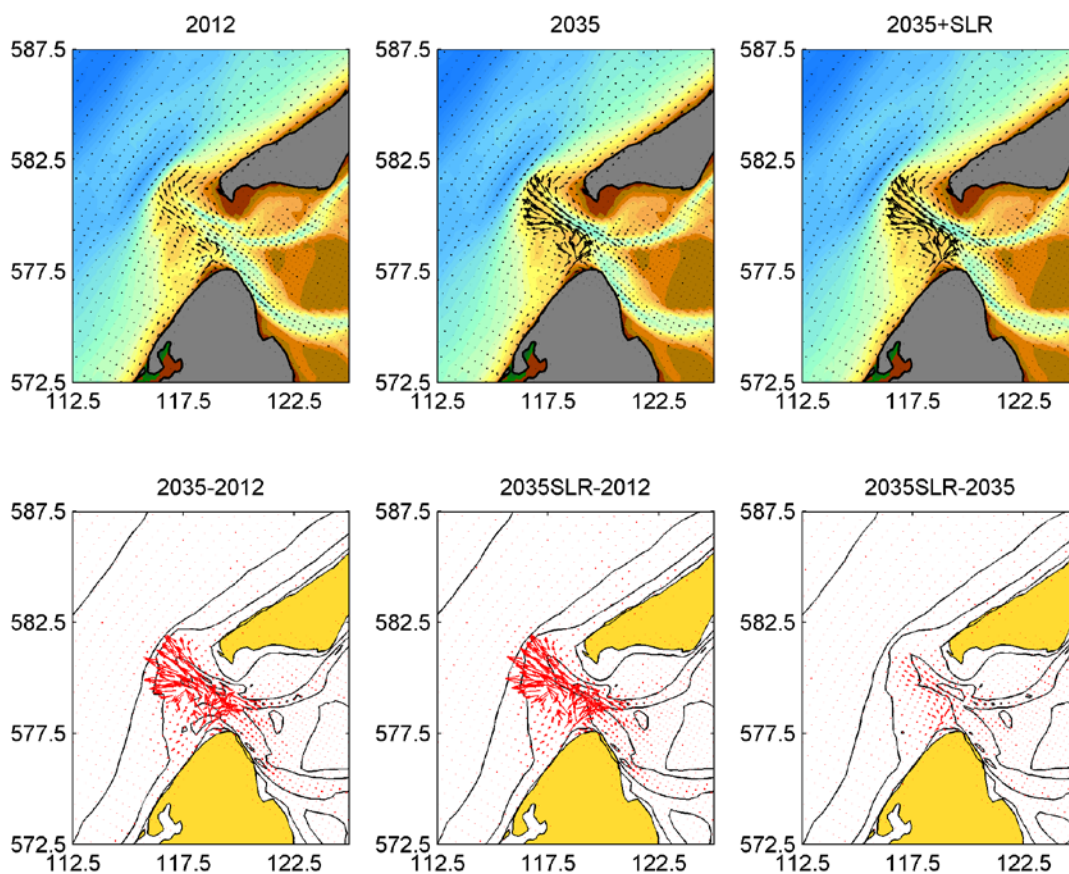


Figuur D.5; transportvectoren Eierlandse Gat in 2012, 2035 en 2100; de laatste twee zowel zonder als met zeespiegelstijging

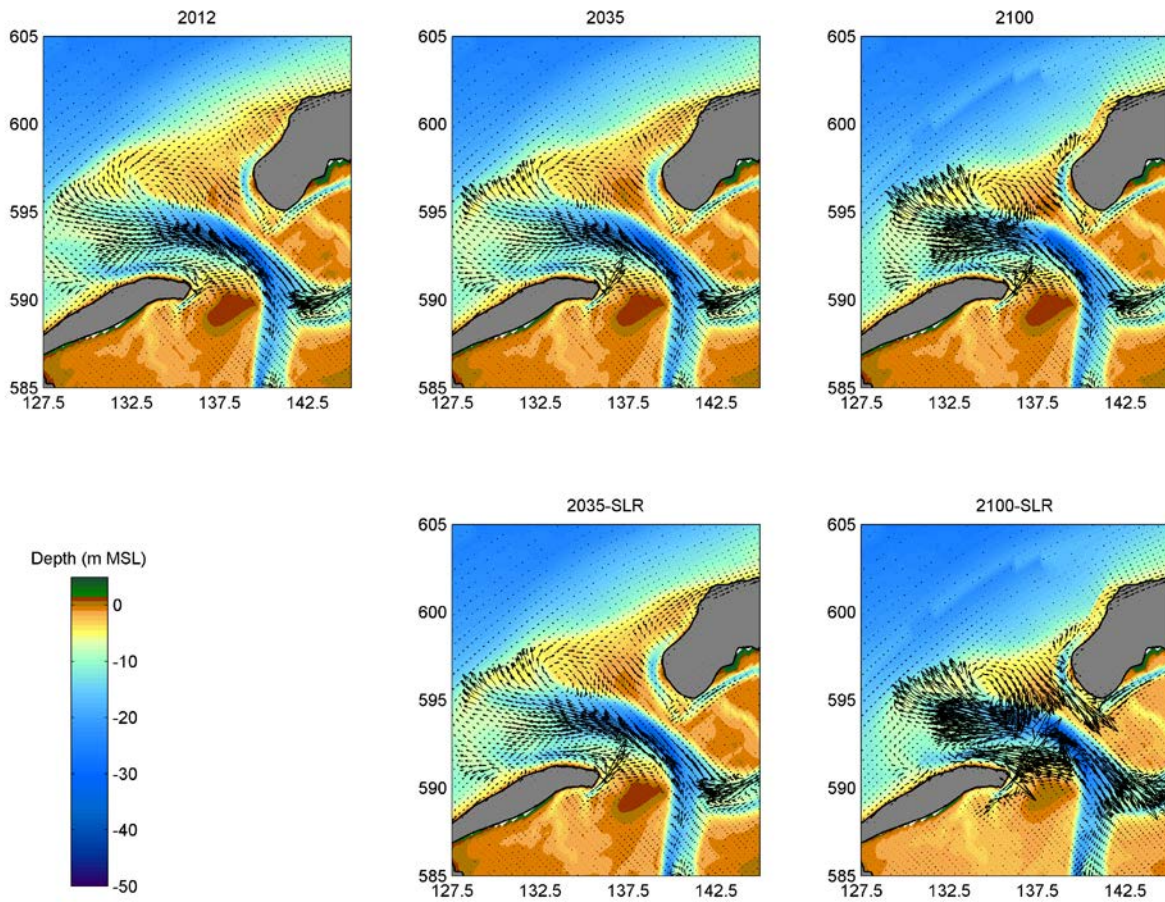


Deltares (20:34:14 on Sat 29th Nov 2014)

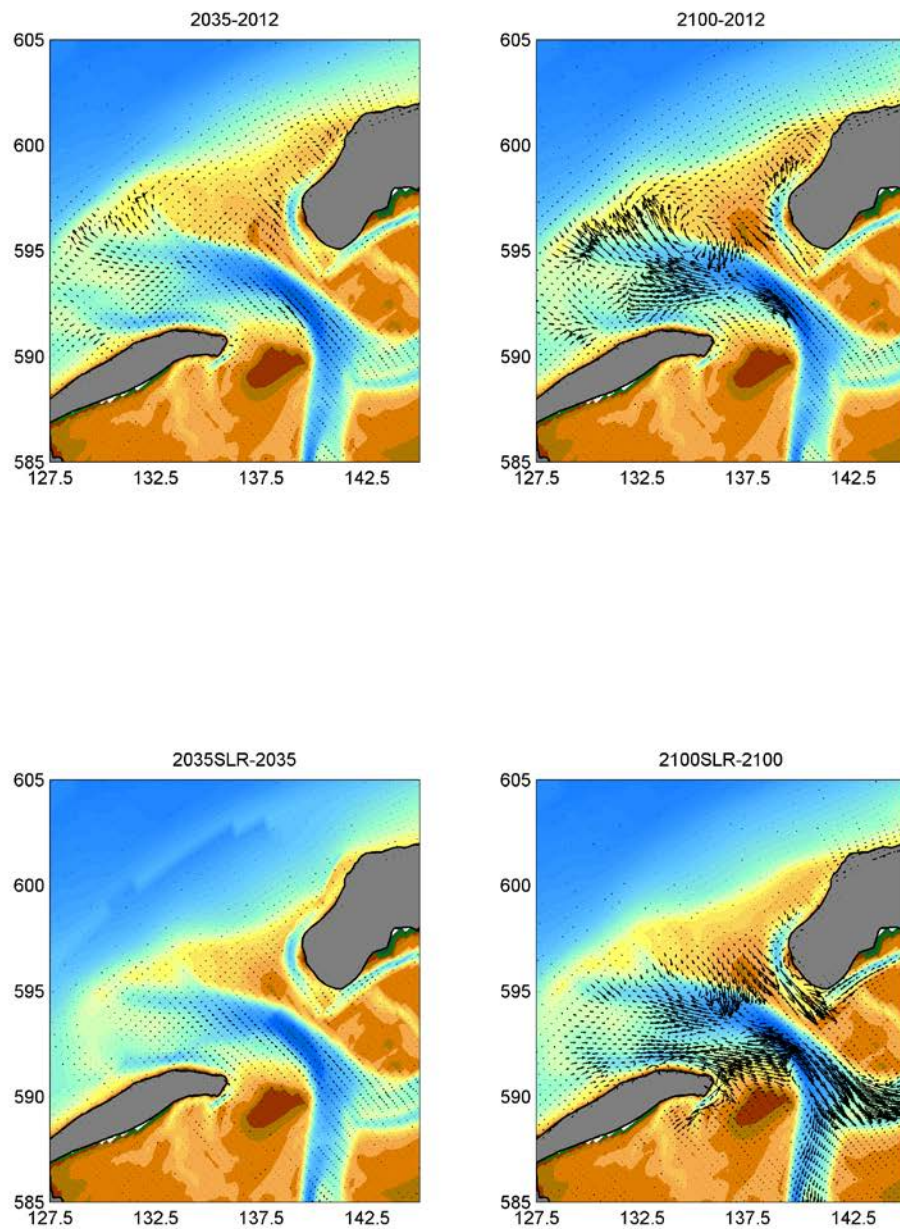
Figuur D.6; verschilplaatjes 2035-2012, 2100-2102, 2035+zss-2035 en 2100+zss-2100 transportvectorvelden Eierlandse Gat



Figuur D.7; verschilplaatjes 2035-2012, 2035+zss-2012 en 2035+zss-2035 transportvectorvelden Eierlandse Gat

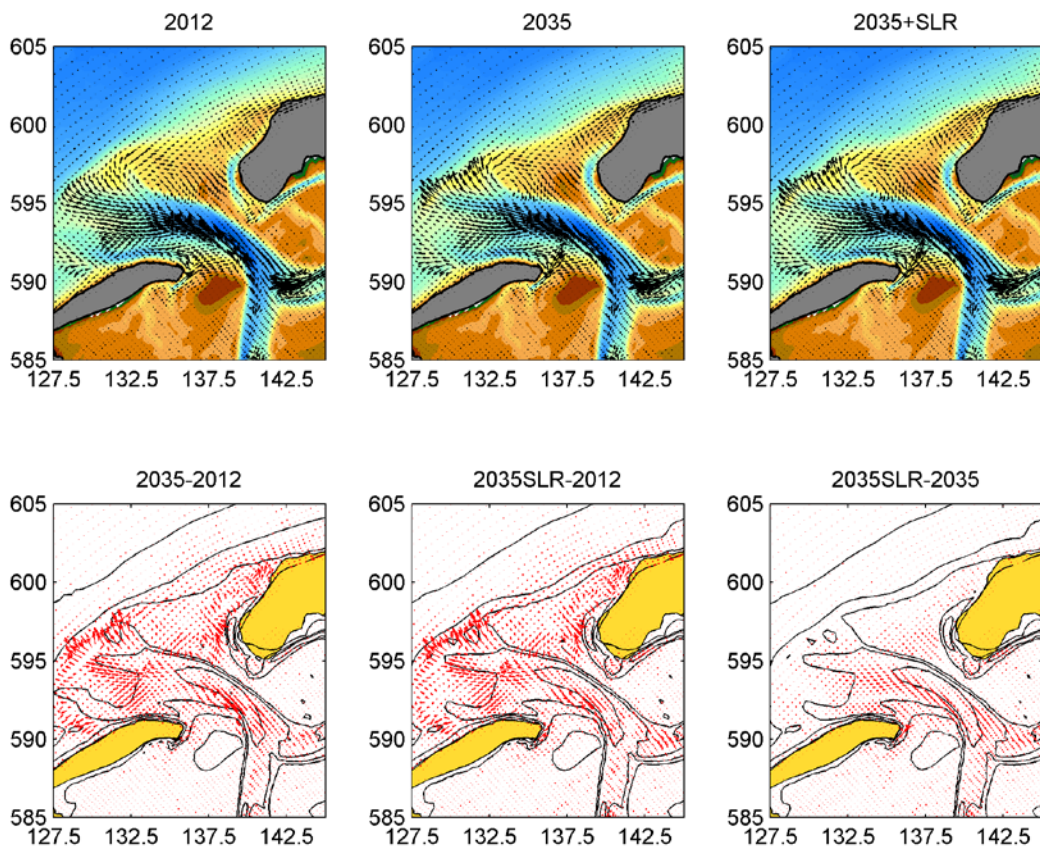


Figuur D.8; transportvectoren Zeegat van het Vlie in 2012, 2035 en 2100; de laatste twee zowel zonder als met zeespiegelstijging

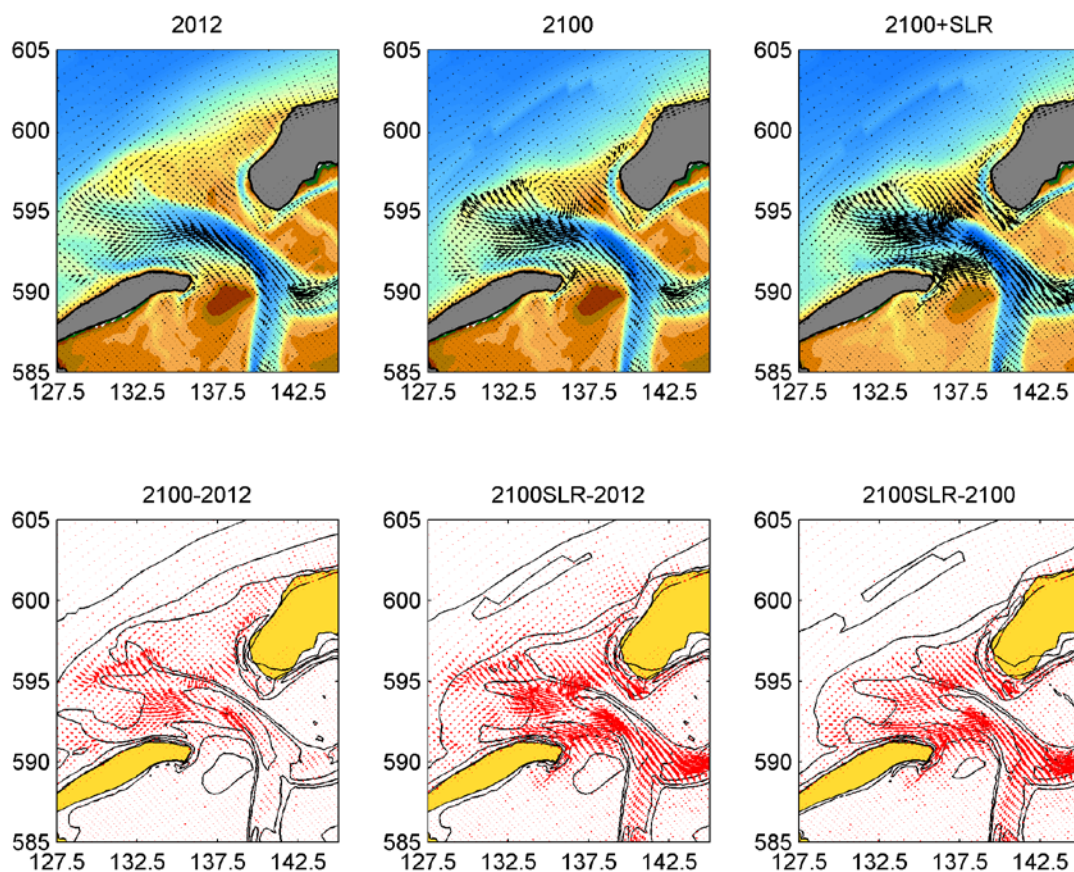


Deltares (14:26:34 on Sun 30th Nov 2014)

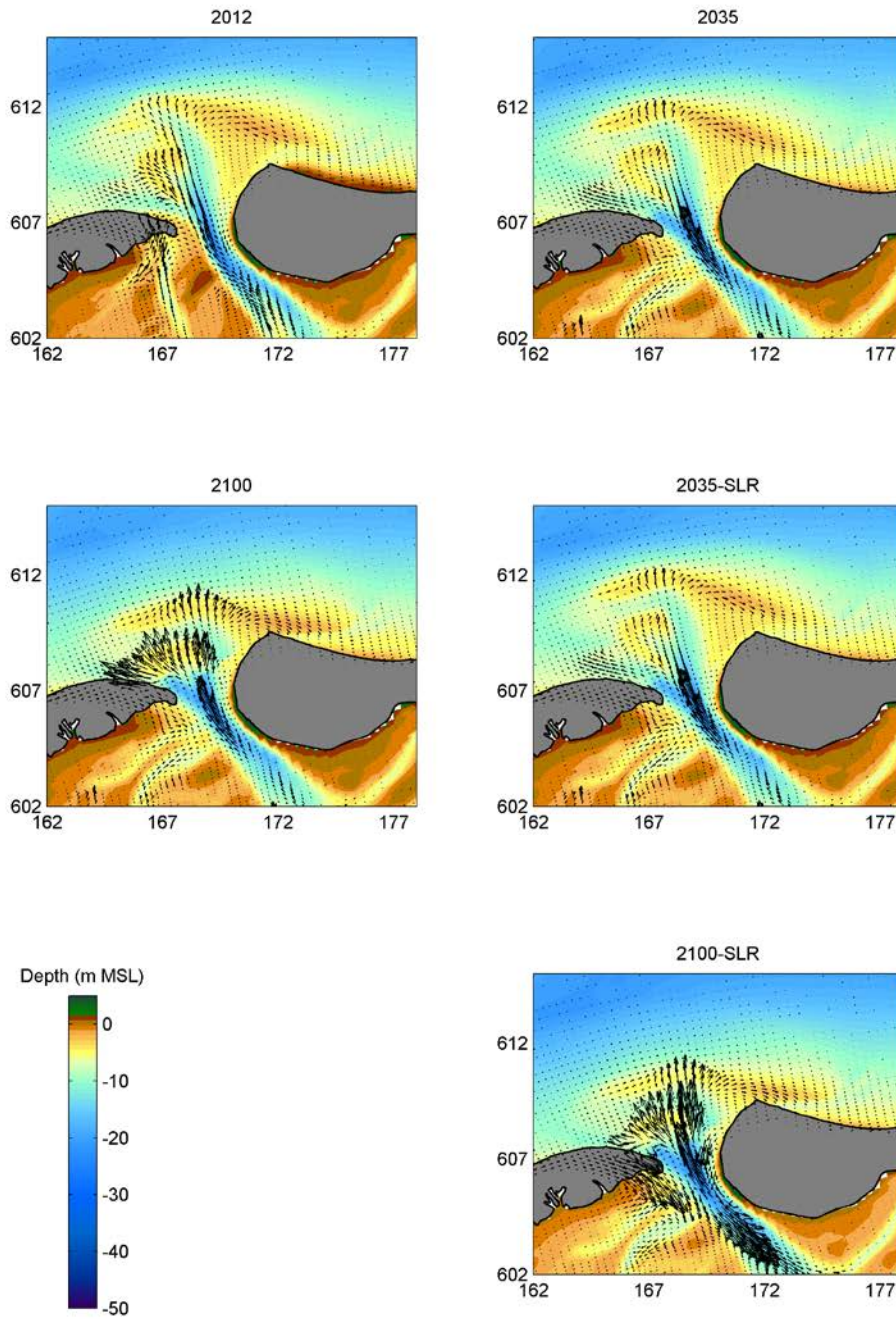
Figuur D.9; verschilplaatjes 2035-2012, 2100-2012, 2035+zss-2035 en 2100+zss-2100 transportvectorvelden Zeegat van het Vlie



Figuur D.10; verschilplaatjes 2035-2012, 2035+zss-2012 en 2035+zss-2035 transportvectorvelden Zeegat van het Vlie

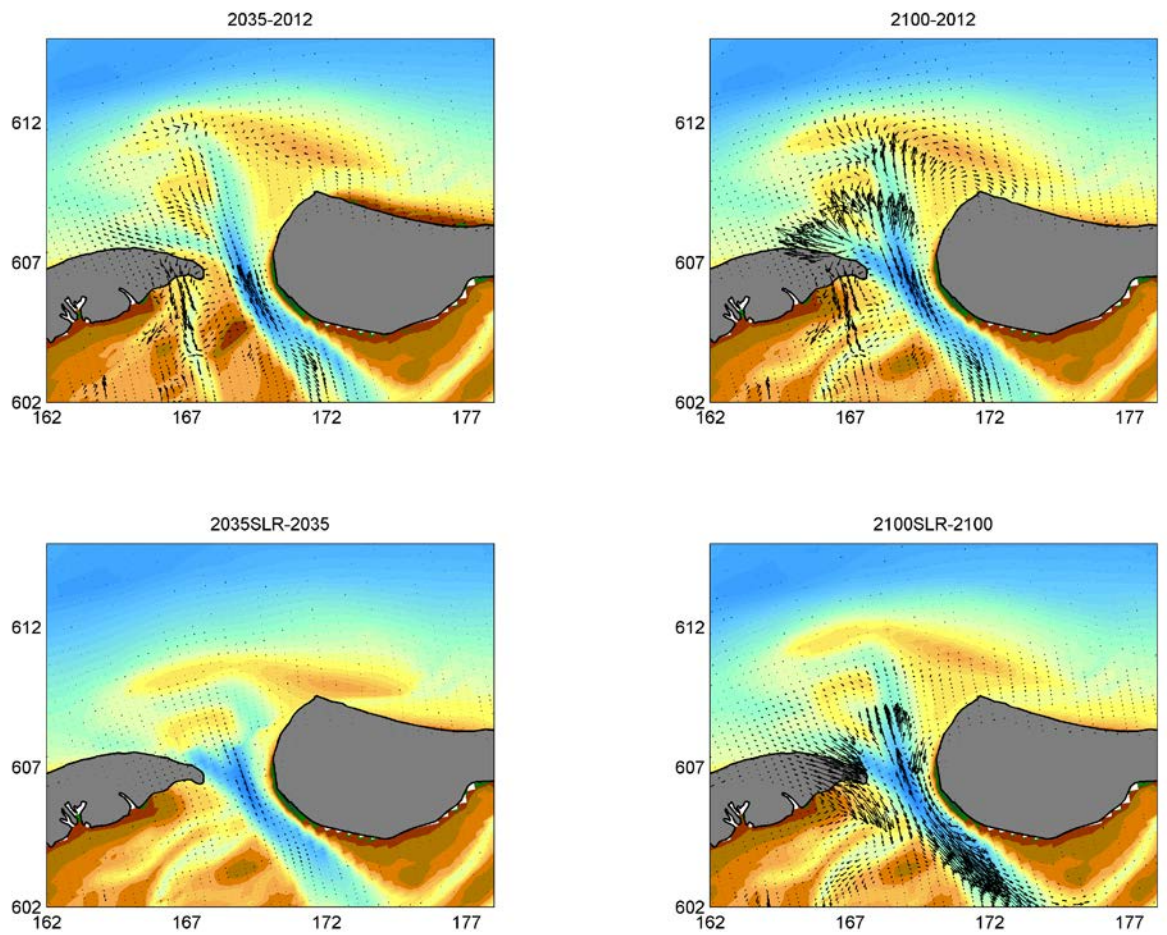


Figuur D.11; verschilplaatjes 2100-2012, 2100+zss-2012 en 2100+zss-2100 transportvectorvelden Zeegat van het Vlie



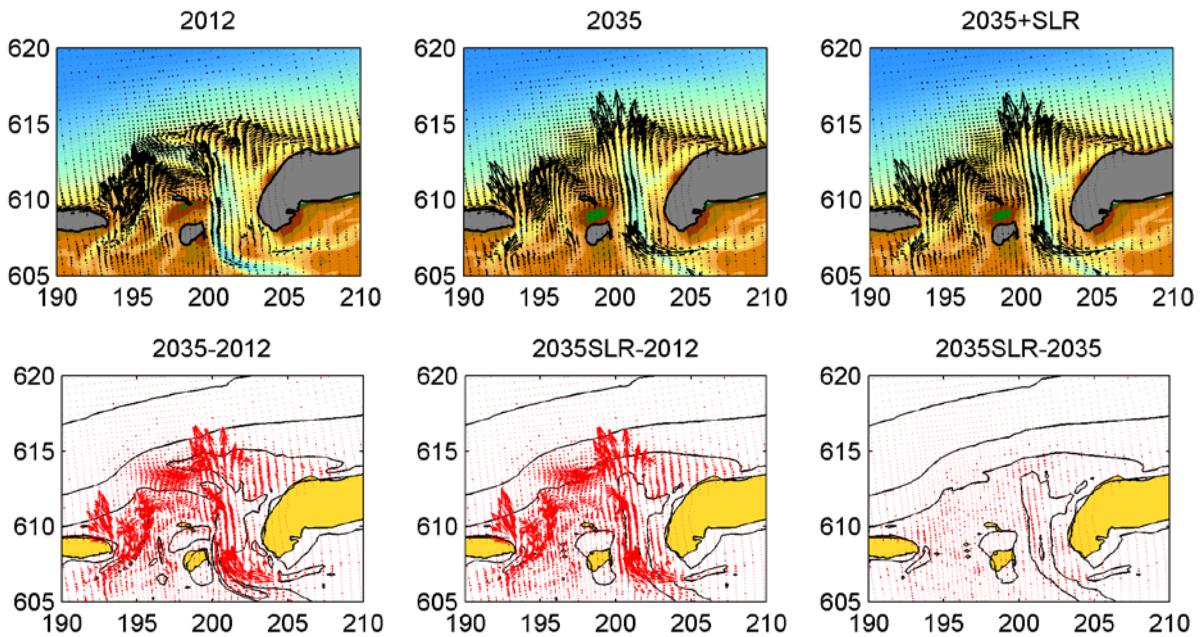
Deltares (18.03.01 on Sun 30th Nov 2014)

Figuur D.12; transportvectoren Amelandier Zeegat in 2012, 2035 en 2100; de laatste twee zowel zonder als met zeespiegelstijging

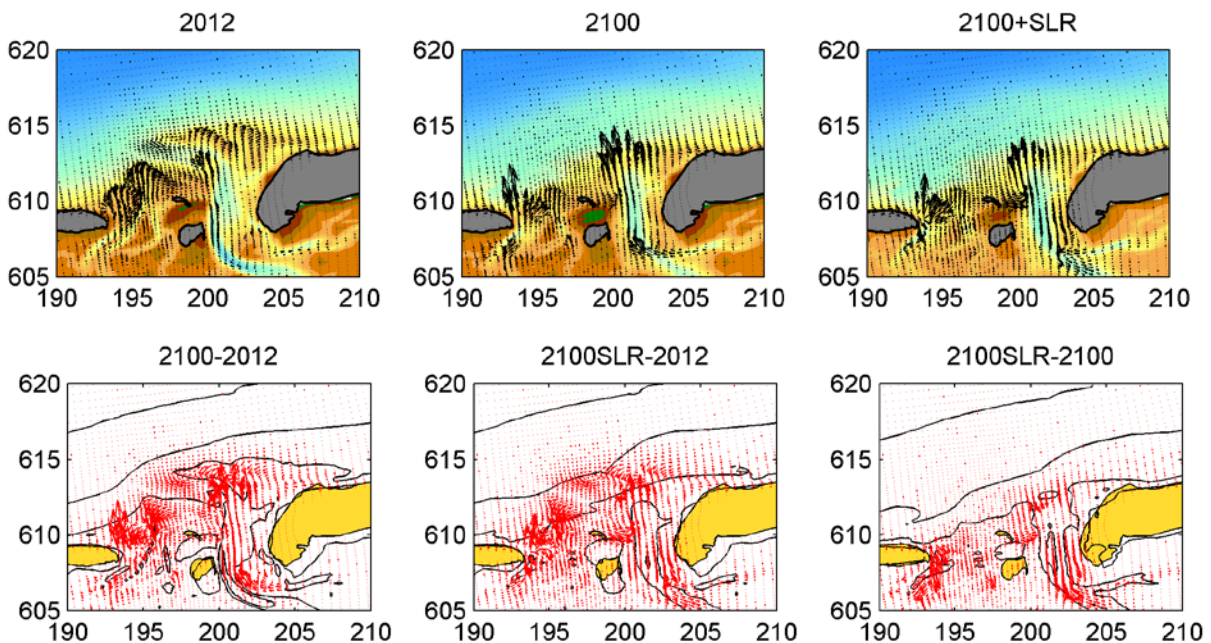


Deltares (18/03)

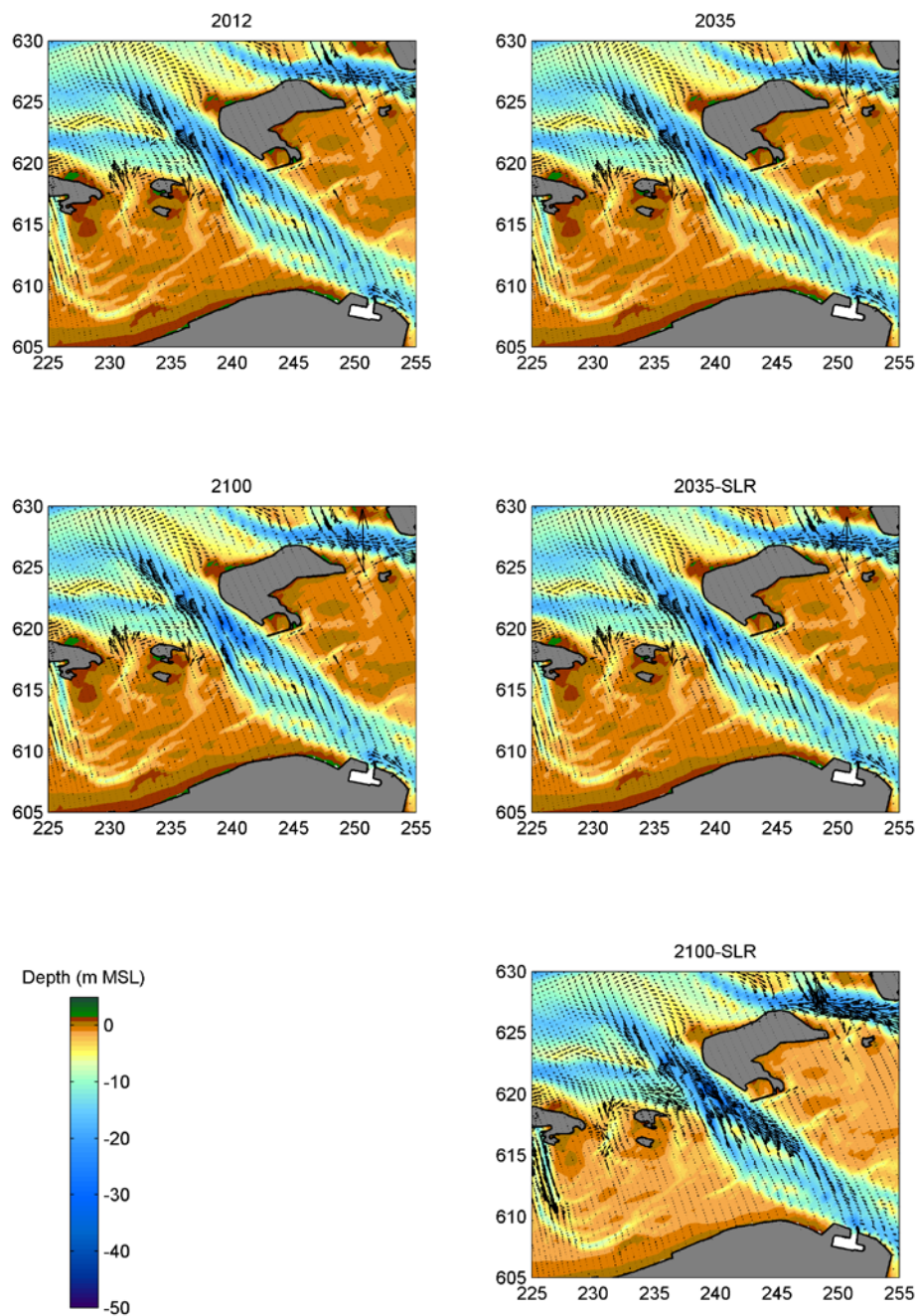
Figuur D.13; verschilplaatjes 2035-2012, 2100-2012, 2035+zss-2035 en 2100+zss-2100 transportvectorvelden Ameland Zeegat



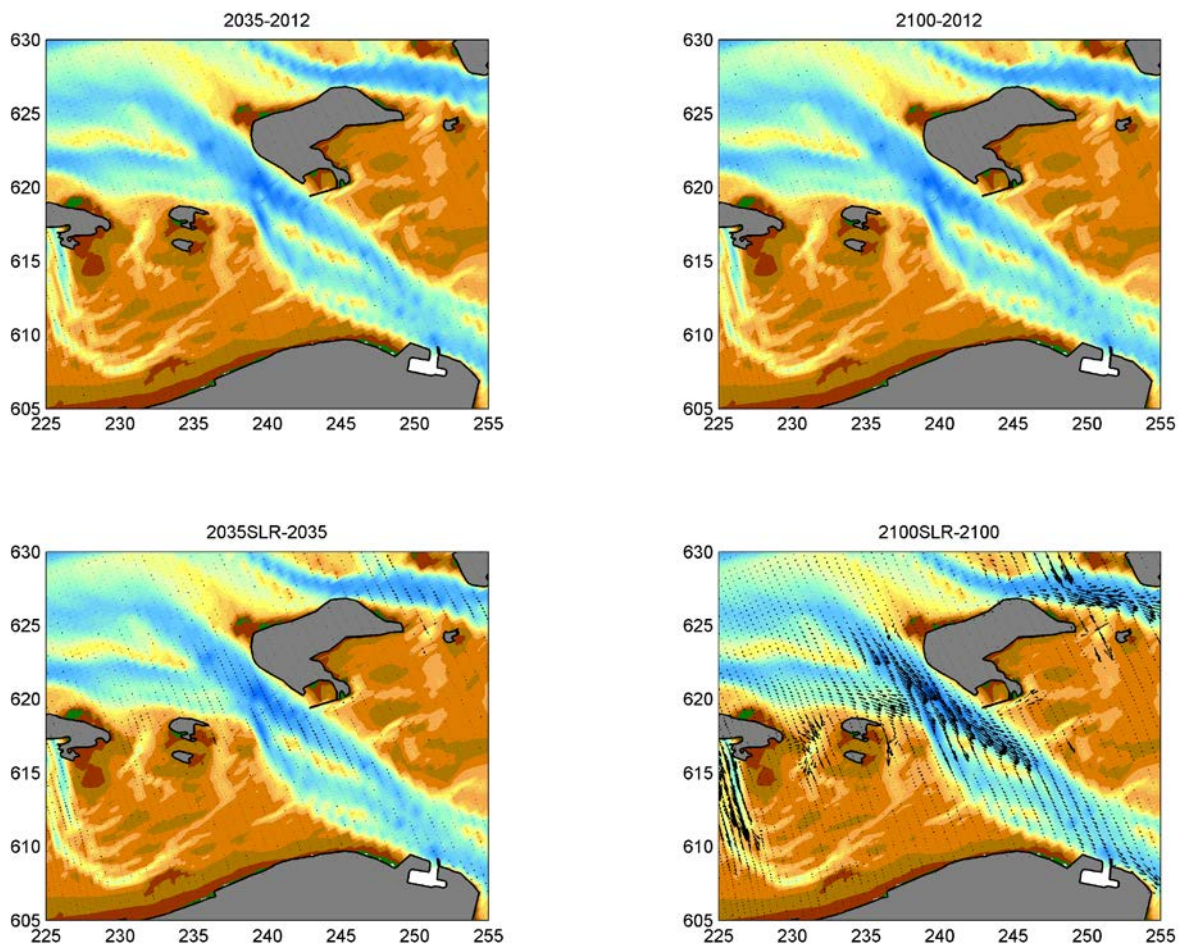
Figuur D.14; verschilplaatjes 2035-2012, 2035+zss-2012 en 2035+zss-2035 transportvectorvelden Friesche Zeegat. Let op: de transporten zijn in deze figuur anders geschaald dan de transporten in 2100 in Figuur 5.8 (vergelijk de vectorplots voor 2012)!



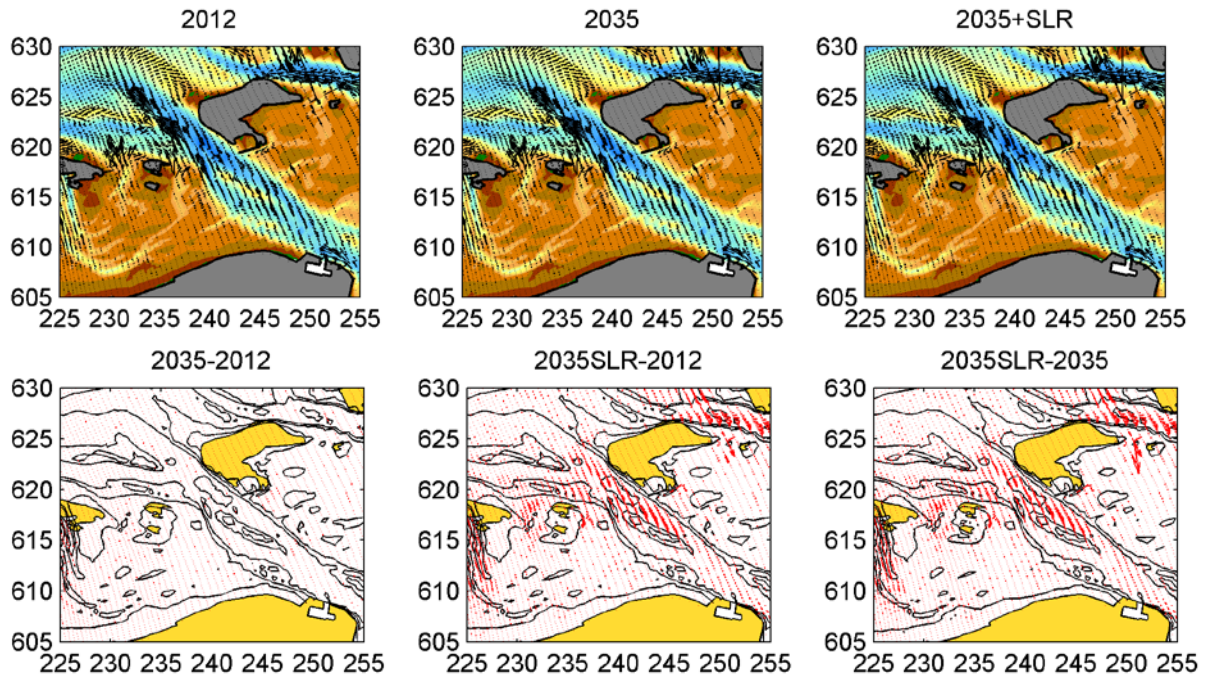
Figuur D.15; verschilplaatjes 2100-2012, 2100+zss-2012 en 2100+zss-2100 transportvectorvelden Friesche Zeegat. Let op: de transporten zijn in deze figuur anders geschaald dan de transporten in 2035 in Figuur 5.7 (vergelijk de vectorplots voor 2012)!



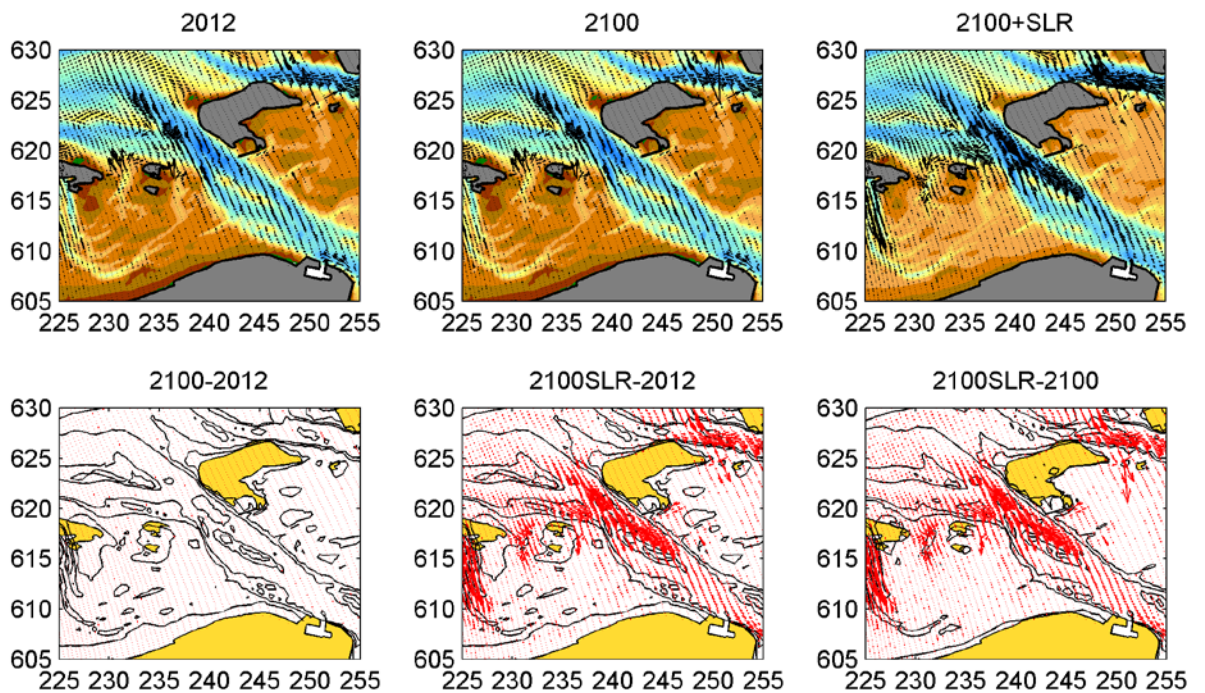
Figuur D.16; transportvectoren Groninger zeegaten in 2012, 2035 en 2100; de laatste twee zowel zonder als met zeespiegelstijging



Figuur D.17; verschilplaatjes 2035-2012, 2100-2012, 2035+zss-2035 en 2100+zss-2100 transportvectorvelden Groninger zeegaten



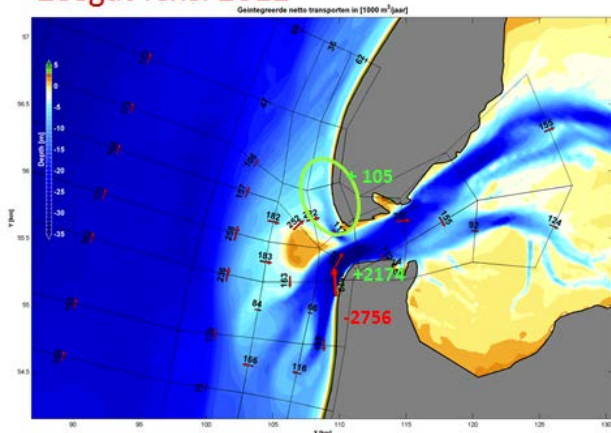
Figuur D.18; verschilplaatjes 2035-2012, 2035+zss-2012 en 2035+zss-2035 transportvectorvelden Groninger zeegaten



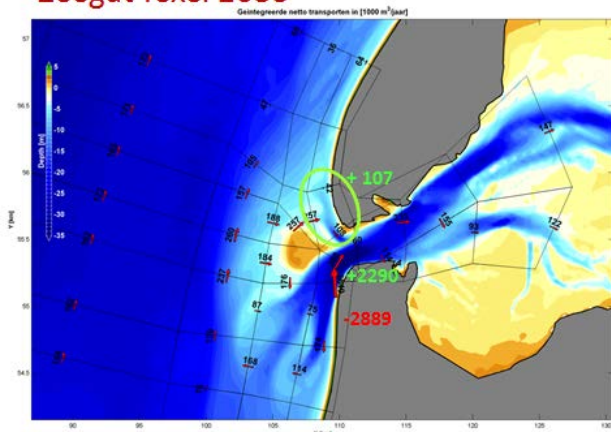
Figuur D.19; verschilplaatjes 2100-2012, 2100+zss-2012 en 2100+zss-2100 transportvectorvelden Groninger zeegaten

E Verschil in potentiële erosie of sedimentatie per kustcel, in 2035 en 2010

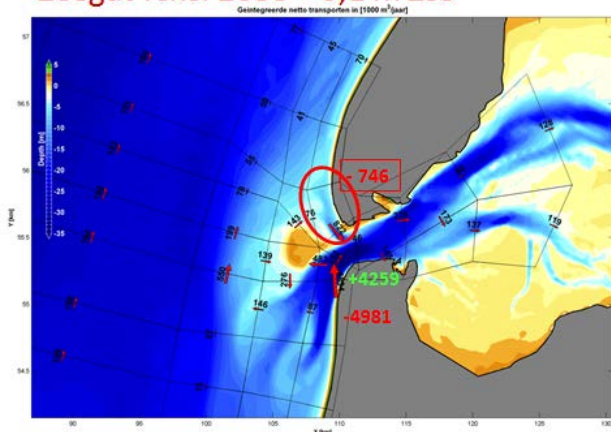
Zeegat Texel 2012



Zeegat Texel 2035

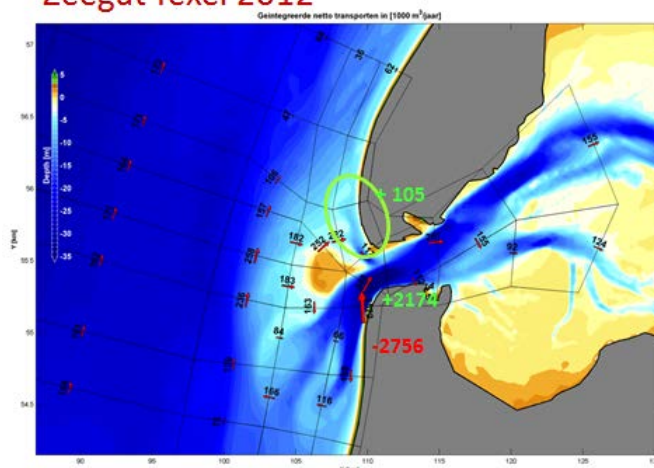


Zeegat Texel 2035 + 0,1 m ZSS

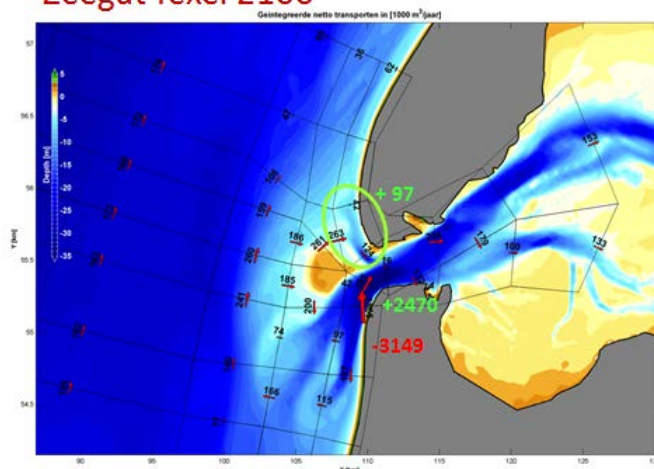


Figuur E.1; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Zeegat van Texel 2012 en 2035.

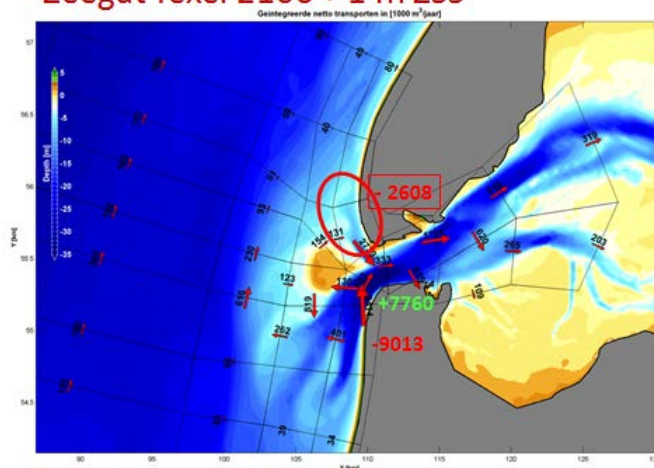
Zeegat Texel 2012



Zeegat Texel 2100

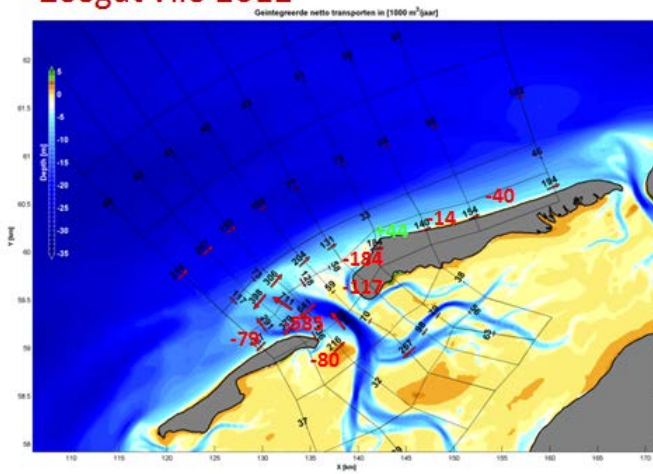


Zeegat Texel 2100 + 1 m ZSS

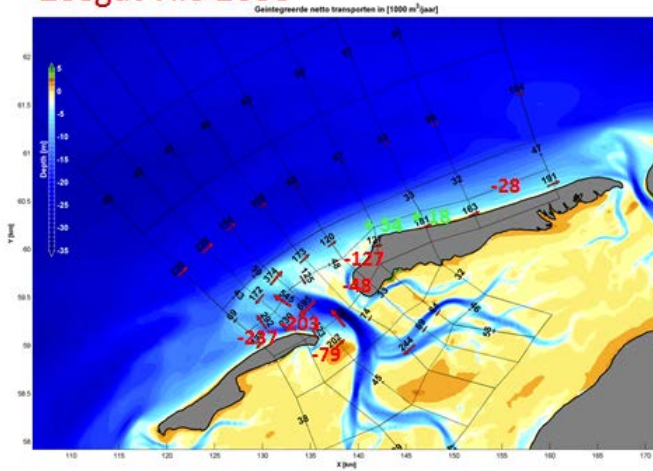


Figuur E.2; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Zeegat van Texel 2012 en 2100.

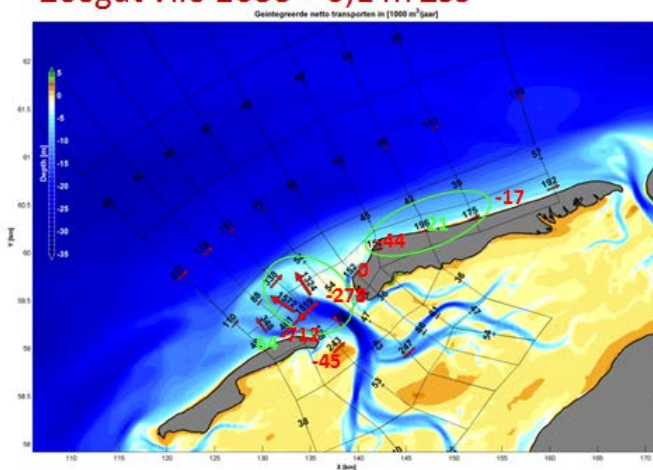
Zeegat Vlie 2012



Zeegat Vlie 2035

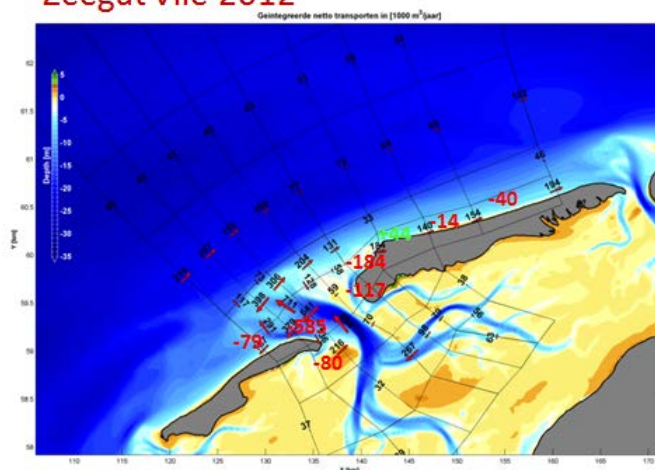


Zeegat Vlie 2035 + 0,1 m ZSS

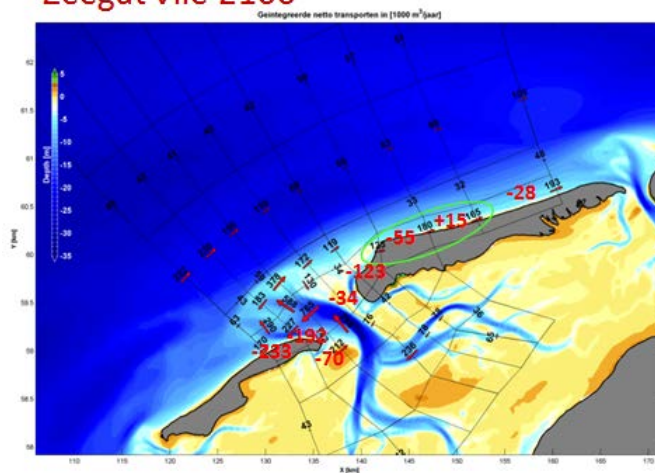


Figuur E.3; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Zeegat van Vlie 2012 en 2035.

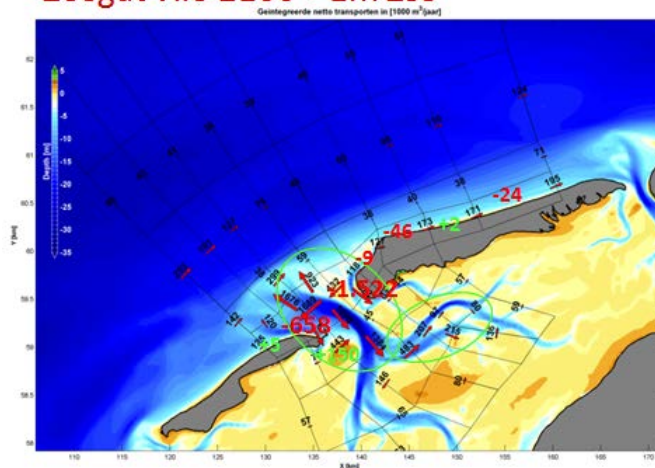
Zeegat Vlie 2012



Zeegat Vlie 2100

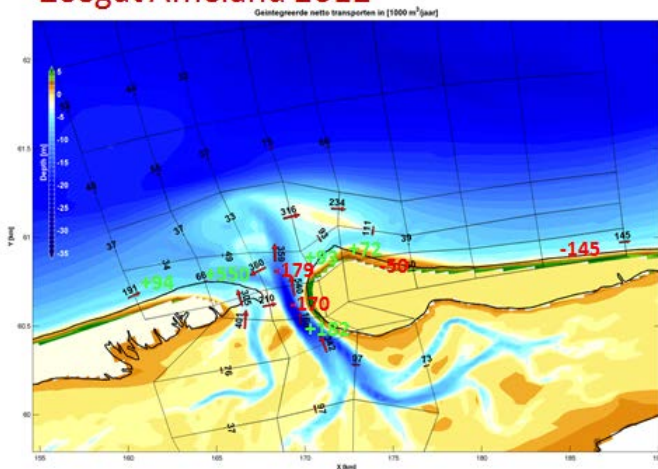


Zeegat Vlie 2100 + 1m ZSS

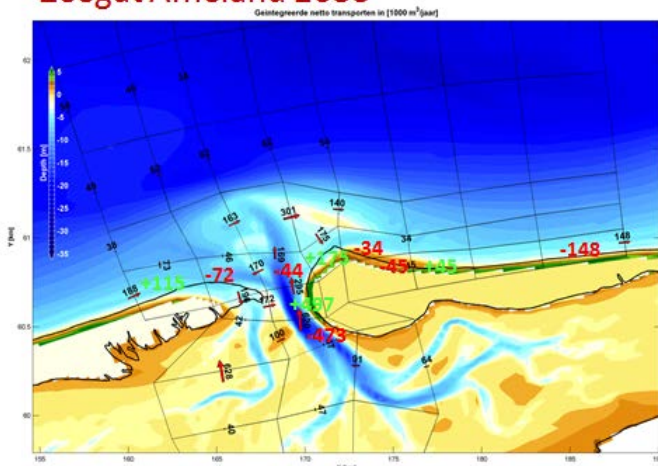


Figuur E.4; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Zeegat van Vlie 2012 en 2100.

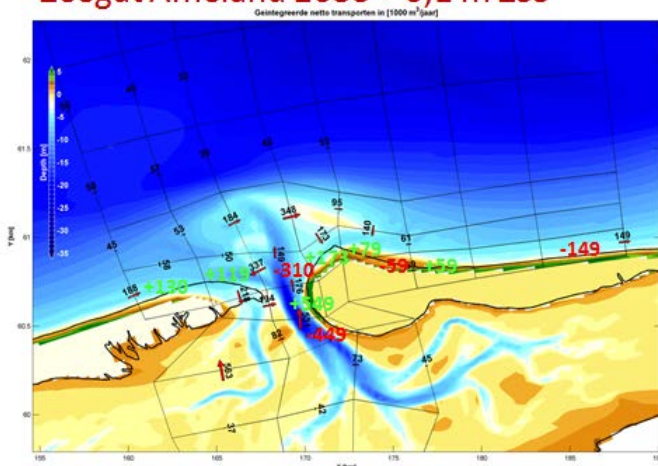
Zeegat Ameland 2012



Zeegat Ameland 2035

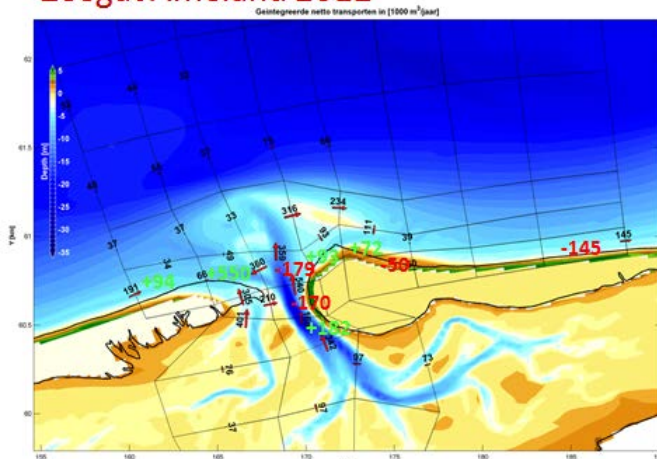


Zeegat Ameland 2035 + 0,1 m ZSS

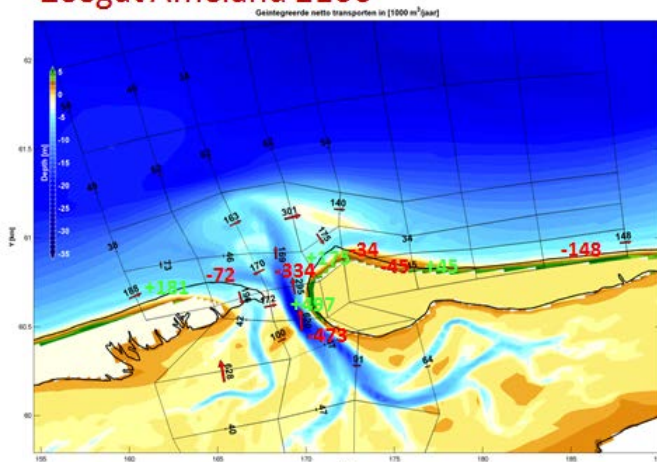


Figuur E.5; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Zeegat van Ameland 2012 en 2035.

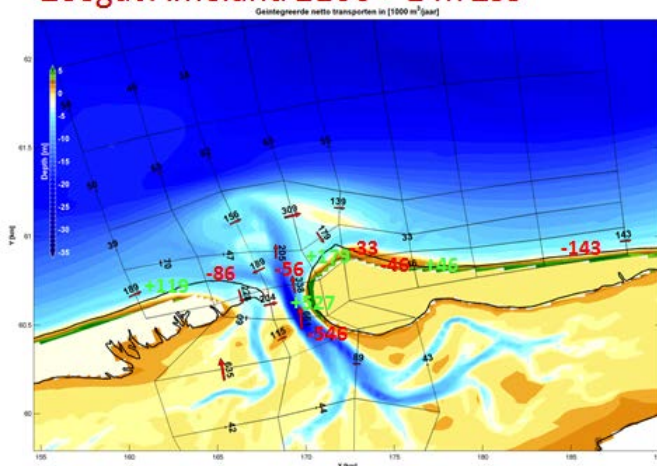
Zeegat Ameland 2012



Zeegat Ameland 2100

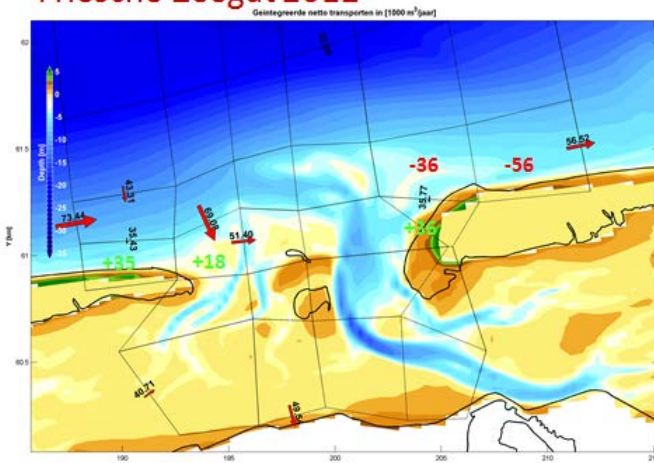


Zeegat Ameland 2100 + 1 m ZSS

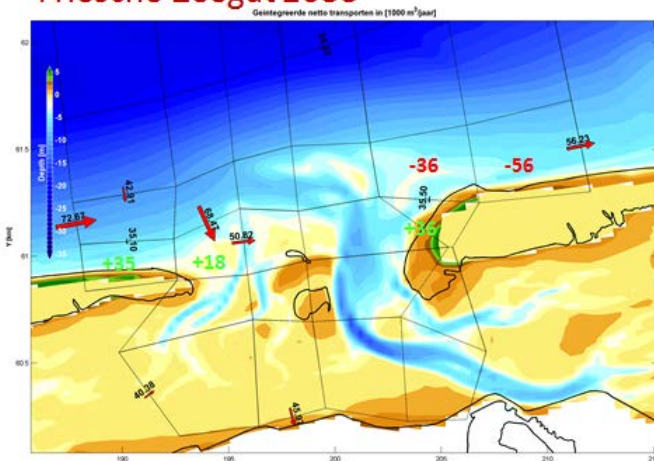


Figuur E.6; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Zeegat van Ameland 2012 en 2100.

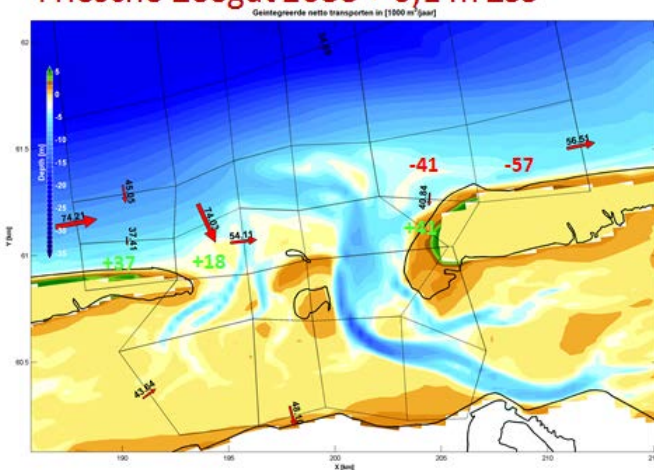
Friesche Zeegat 2012



Friesche Zeegat 2035

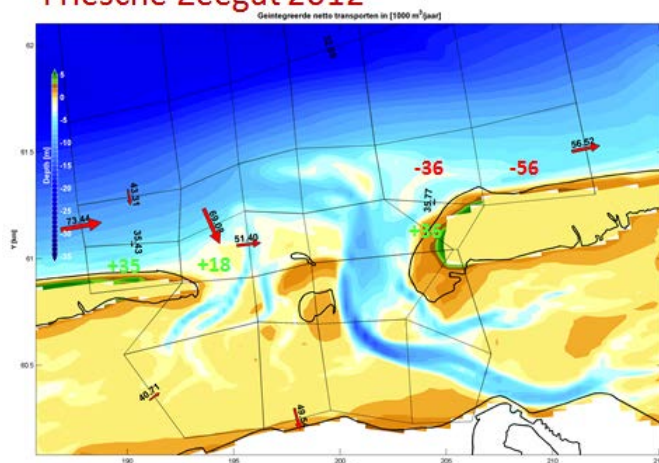


Friesche Zeegat 2035 + 0,1 m ZSS

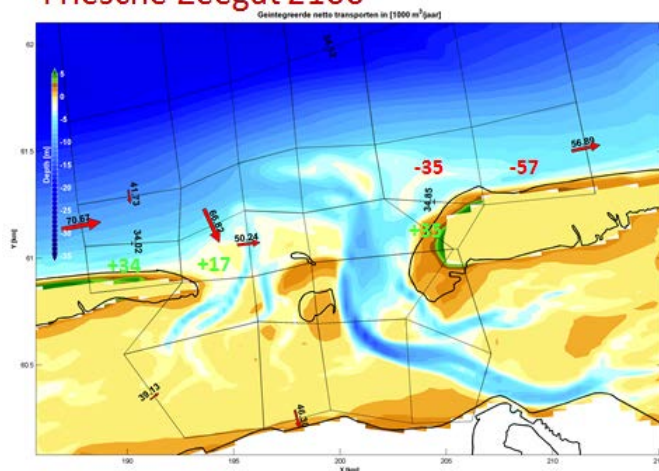


Figuur E.7; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Friesche Zeegat 2012 en 2035.

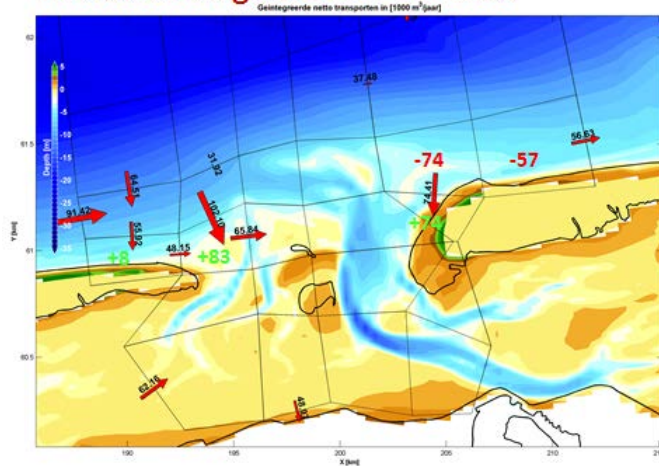
Friesche Zeegat 2012



Friesche Zeegat 2100

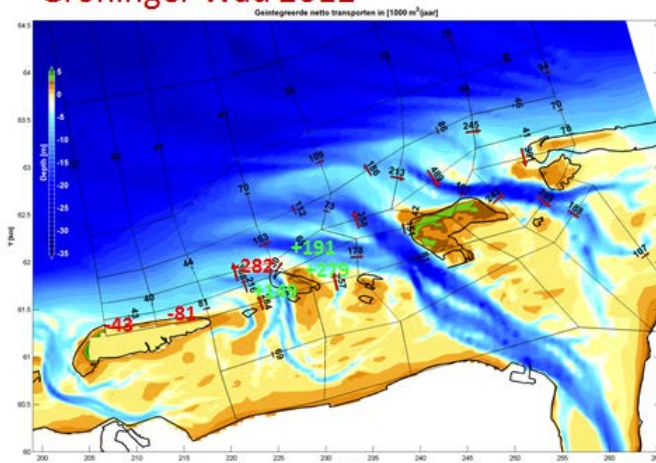


Friesche Zeegat 2100 + 1 m ZSS

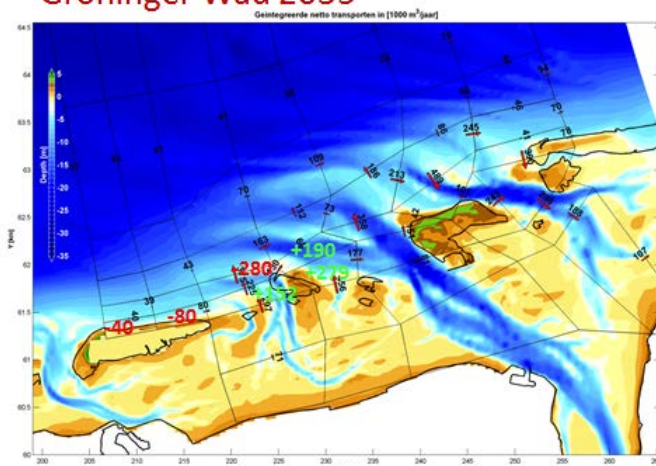


Figuur E.8; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Friesche Zeegat 2012 en 2100.

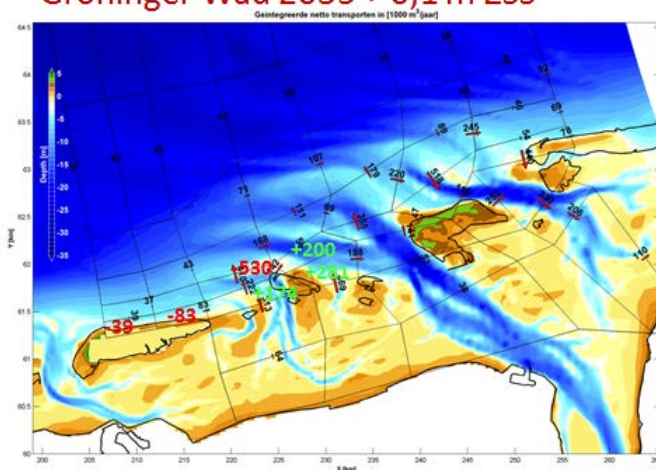
Groninger Wad 2012



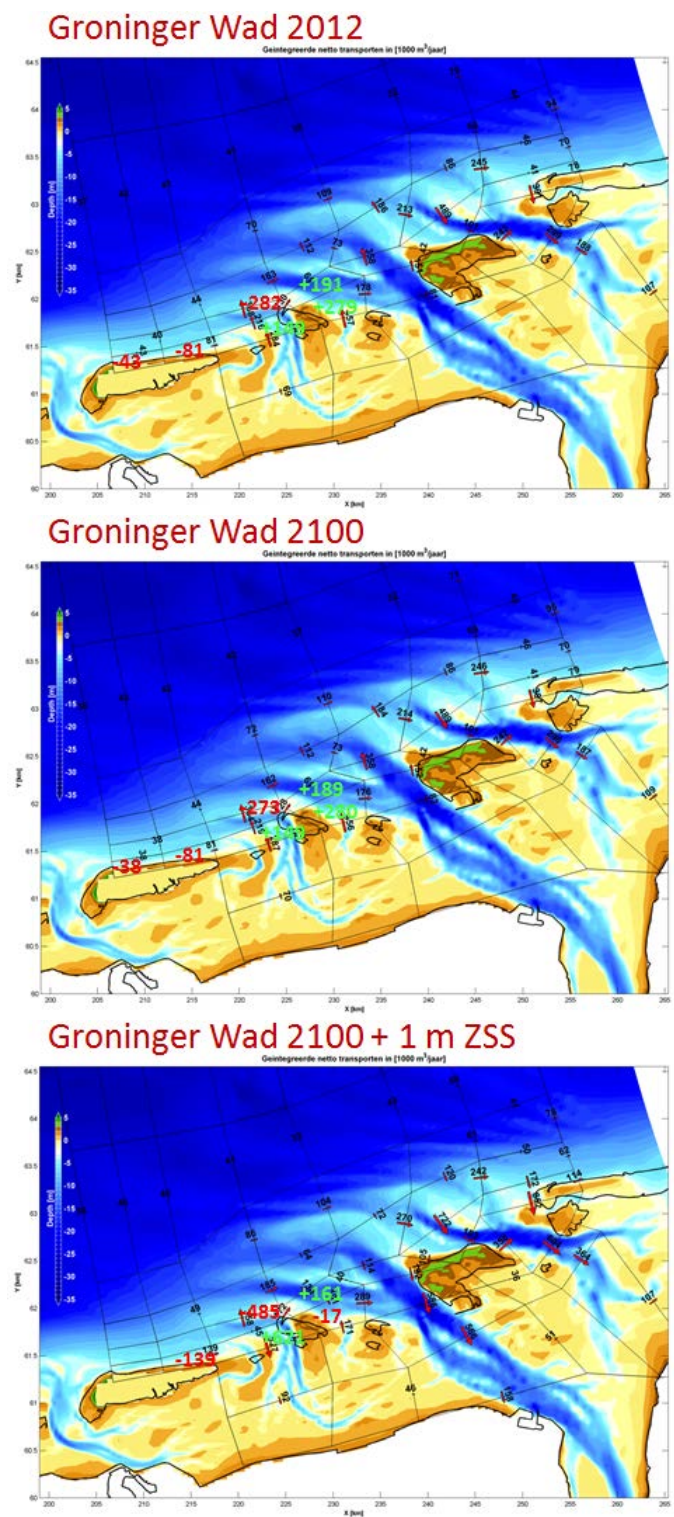
Groninger Wad 2035



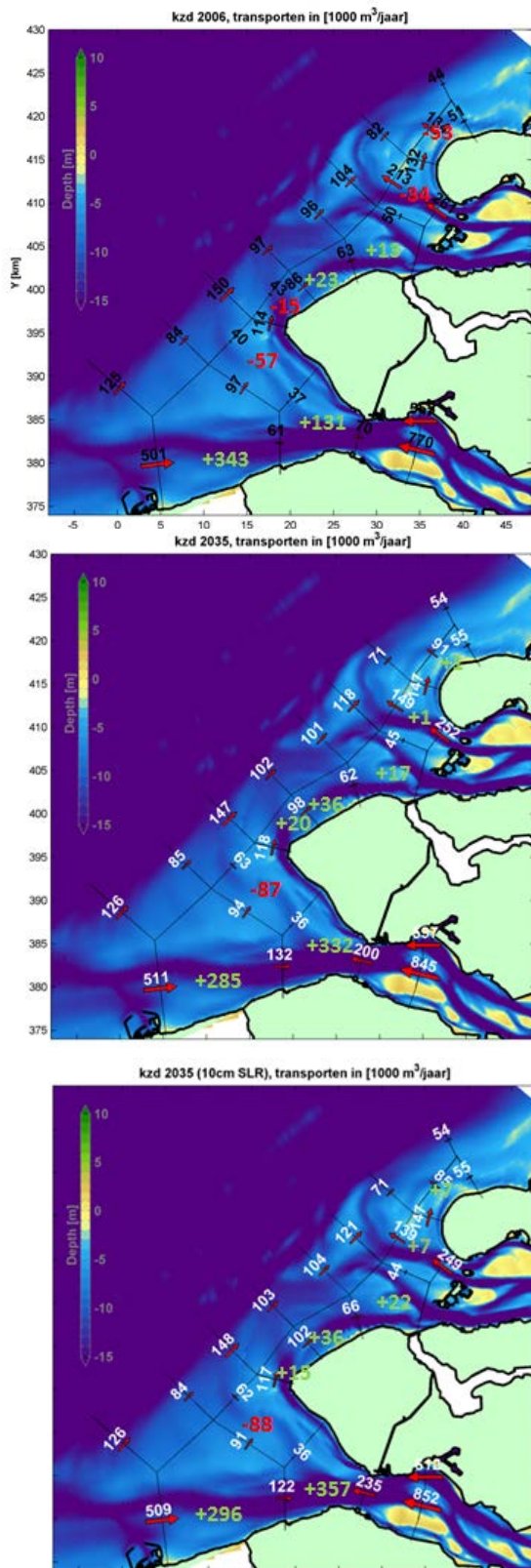
Groninger Wad 2035 + 0,1 m ZSS



Figuur E.9; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Groninger Wad 2012 en 2035.

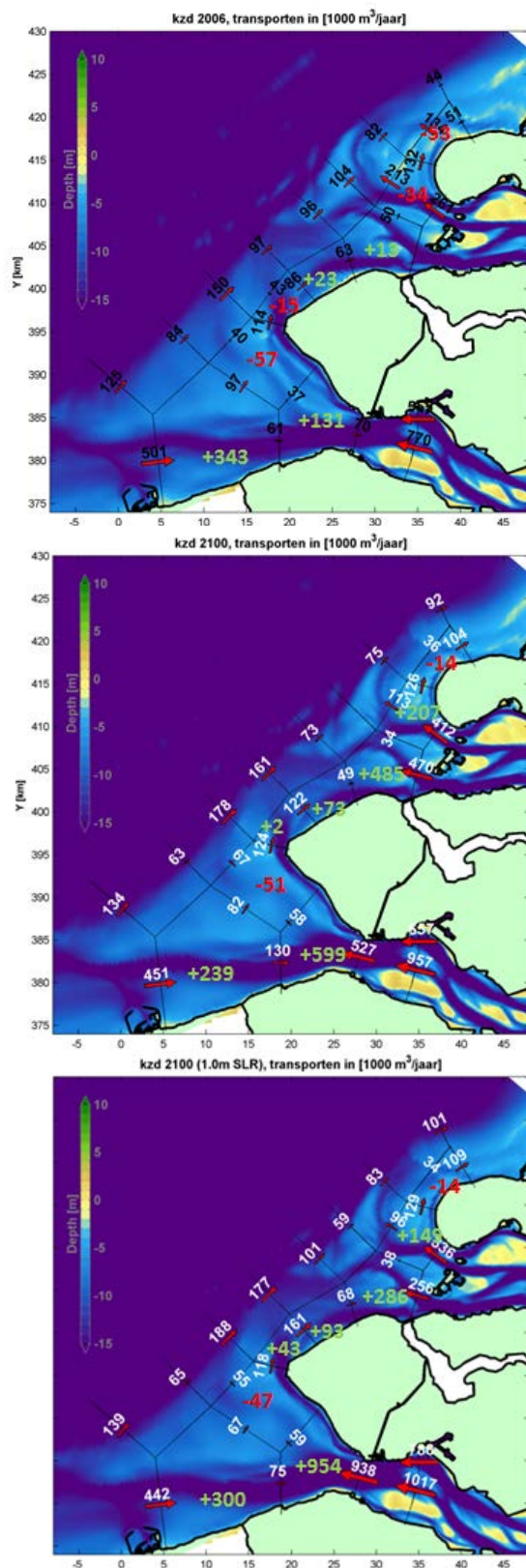


Figuur E.10; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Groninger Wad 2012 en 2100.

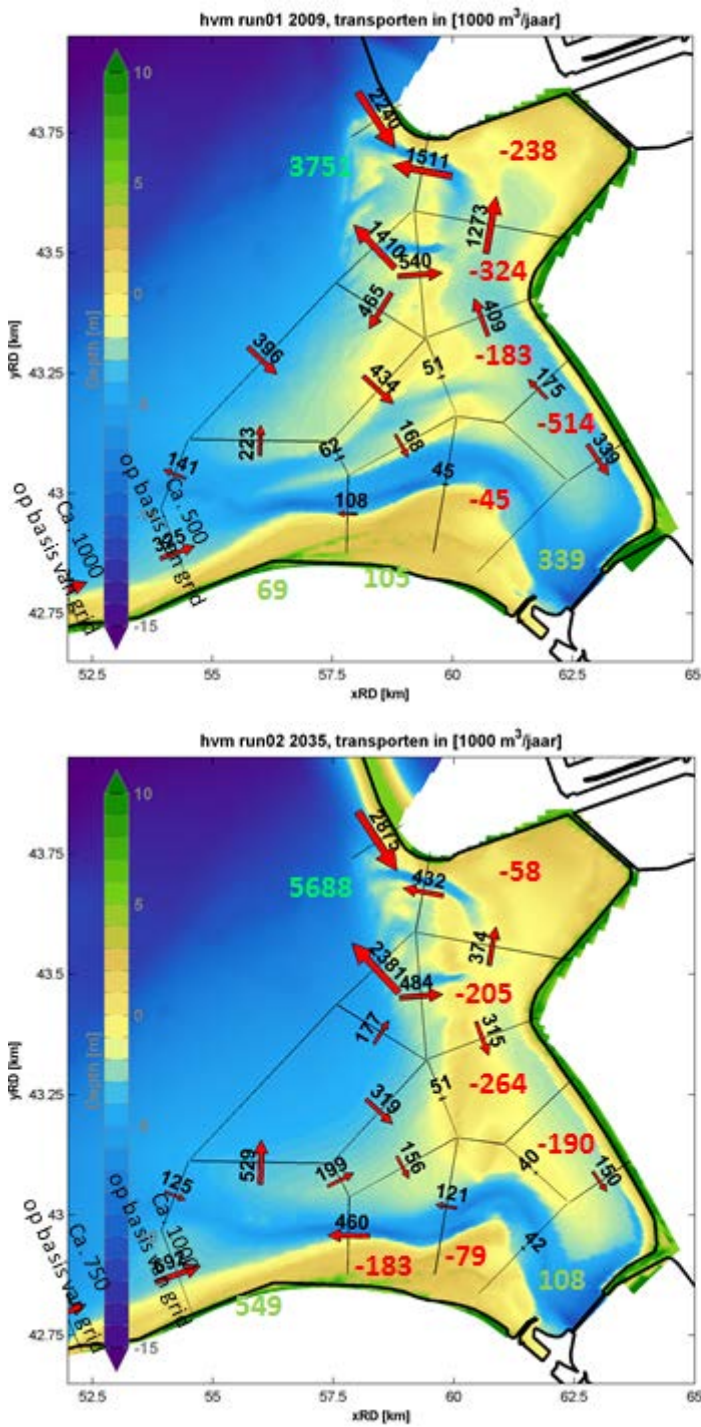


Figuur E.11; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Voordelta Ooster- en Westerschelde 2012 en 2035.

1208140-005-ZKS-0001, 1 mei 2015, definitief



Figuur E.12; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Voordelta Ooster- en Westerschelde 2012 en 2100.



Figuur E.13; berekende verschillen in volumeontwikkeling kustcellen Haringvlietmonding 2009 en 2035.

F Berekening extra zandvolume zeewaarts versterkte Zwakke Schakels

Overzichtstabel BKL herziening stand van zaken okt 2013																	
Ouirijn Lodder																	
Kustlocatie (Noord naar Zuid)	Onderdeel van HWBP?	BKL herziening door HWBP?	Eventueel BKL herziening om morfologische redenen?	BKL herziening 2012, besluit	BKL herziening (m)	Schatting extra nodig lokaal zandvolume (Mm3/j) *1			Schatting extra volume boven op 12 Mm3/j (Mm3/j) *2			Schatting meerkosten SLA KLZ tov SLA 2013 - 2017 met inpassing in 12Mm3 (M€j) *3					
						laag	gem.	hoog	laag	gem.	hoog	laag	gem.	hoog			
Ameland midden	Nee	nvt	Ja, BKL laten aansluiten bij regionale afspraken	Niet aanpassen	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Ameland Noord West	Nee	nvt	Ja, BKL laten aansluiten bij regionale afspraken	Niet aanpassen	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Terschelling Boschplaat	Nee	nvt	Nee	Niet aanpassen	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Terschelling Noord West	Nee	nvt	Ja, BKL laten aansluiten bij regionale afspraken	Niet aanpassen	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Vleiland Havenstrand	Nee	nvt	Ja, BKL laten aansluiten bij regionale afspraken	Niet aanpassen	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Texel Slufter	Nee	nvt	Ja, BKL laten aansluiten bij regionale afspraken	Niet aanpassen	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Kop Noord-Holland	Ja	nvt	Ja, in stand houden huidige (2010 - 2012) kustligging middels BKL verlegging Nee, onderhoud is voor 20 jaar bij de aannemer belegd. Die mag kiezen voor het gebruik van de BKL maar hoeft niet (december 2013 is er duidelijkheid)	Aanpassen in 2de tranche BKL herziening	orde 40 tot 50	0,04	0,06	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hondsbosse en Pettermer Zeewering Noordwijk	Ja	Ja	Nee	Aanpassen bij overdracht aan RWS bij afloop contract in 2033	orde 100 tot 200	0,25	0,5	0,7	0	0	0	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Katwijk	Ja	Ja	Nee	Herzien in BKL 2012	12 tot 42	0,02	0,04	0,08	0,02	0,04	0,08	0,05	0,1	0,2			
Scheveningen	Ja	Ja	Nee	Aanpassen in 2de tranche BKL herziening	orde 80 tot 100	0,02	0,05	0,08	0,02	0,05	0,08	0,05	0,125	0,2			
Delflandse Kust	Ja	Ja	Nee	Aanpassen in 2de tranche BKL herziening Zuidelijk deel herzien in BKL2012, noordelijk deel in 2de tranche	orde 35 tot 70	0,02	0,03	0,05	0,02	0,03	0,05	0,05	0,075	0,125			
Voorne	Ja	Nee	Nee	Nee	orde 100 tot 200	0,05	0,08	0,2	0,05	0,08	0,2	0,125	0,2	0,5			
Flaauwe Werk	Ja	Nee	Nee	Nee	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Schouwen Noorderstrand	Ja	Nee, (VKA is landwaarts maar procedure loopt nog)	Nee	Nee	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Schouwen Westenschouwen	Nee	Nee	Ja, BKL eventueel laten aansluiten bij ligging van de kust na de versterking van 1992, zit niet in de BKL	Niet beschouwd, eventuele aanleiding tot BKL herziening is pas in 2012 inchtelijk geworden	orde 30 tot 40	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Westkapelse Zeedijk	Ja	Ja	Nee	Herzien in BKL 2012	30 tot 140	0,02	0,05	0,1	0	0	0	0,05	0,125	0,25			
Nolle Westduin (Walcheren)	Ja	Nee	Nee	Nee	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Breskens-Oost (West Zeeuws Vlaanderen)	Ja	Nee	ja, BKL laten aansluiten op natuurlijke ligging van de kust	Eventueel in tweede tranche	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Veerplein (West Zeeuws Vlaanderen)	Ja	Nee	Nee	Nee	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Scheldeveste (West Zeeuws Vlaanderen)	Ja	Nee	Nee	Nee	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Waterduinen (West Zeeuws Vlaanderen)	Ja	Ja	nvt	Niet beschouwd, noodzaak tot BKL herziening pas duidelijk geworden in 2013	orde 10 tot 30	0	0,005	0,01	0	0	0	0	0,0125	0,025			
Nieuwvliet - Groede (West Zeeuws Vlaanderen)	Ja	Ja	nvt	Herzien in BKL 2012	10 tot 60	0,02	0,05	0,08	0	0	0	0,05	0,125	0,2			
Herdijkte Zwarte Polder (West Zeeuws Vlaanderen)	Ja	Ja	nvt	Aanpassen in 2de tranche BKL herziening	orde 50 tot 80	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0,025	0,05			
Cadzand-Bad (West Zeeuws Vlaanderen)	Ja	Ja	nvt	Aanpassen in 2de of 3de tranche BKL herziening	orde 50 tot 100	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0,025	0,05			
						Lokaal extra zandvolume (Mm3/j)			extra volume boven de 12 Mm3/j (Mm3/j)			meerkosten SLA KLZ tov SLA 2013 - 2017 (M€j)					
						laag	gem.	hoog	laag	gem.	hoog	laag	gem.	hoog			
						Totaal (afgerond)	0,4	0,9	1,4	0,1	0,2	0,4	0,4	0,8	1,6		

*1) Geschat benodigd zandvolume voor onderhoud uitgaande dat het geheel nieuw areaal betreft. Dit zijn afgeronde getallen uit de planstudies aangevuld met expert judgement voorkomende uit project Herziening BKL.

*2) Geschat benodigd extra zandvolume boven de 12Mm3, uitgaande van zandbehoefte van Kustfundament. Uitgangspunt: extra volume langs de Hollandse kust ten zuiden van de Hondsbosche en Petterzeewering is extra benodigd volume.

Dit kustvak wordt reeds met de huidige BKL ligging meer gesupleerd dan de theoretische suppletiebehoefte gebaseerd op het kustfundament.

*3) Geschat benodigd extra budget op prijspeil 2013. Er wordt er vanuit gegaan dat de suppleties nu als strandsuppletie ipv kustfundament suppletie uitgevoerd moeten worden. Meer kosten zijn gebaseerd op het verschil tussen een strandsuppletie en een voorvoersuppletie.

*4) De extra kosten vallen weg tegen de verminderde kosten voor het onderhoud van de kust bij Petten, dit is conform de afspraken in het kader van de HWBP versterkingen Callantssoog en HBPZ

*5) Het onderhoud van de versterkte HBPZ zit (vooralsnog) niet in de SLA 2018 - 2022. Bij de afspraken rond de subsidie verlening van HWBP voor dit project is afgesproken dat

het onderhoud van de versterkte HBPZ los gezien moet worden van het reguliere KLZ. Dit omdat er geen regulier kustonderhoud werd uitgevoerd voor de HBPZ. Dit aangezien er nu geen structurele erosie optreedt Er is in het verleden wel eenmalig een kustfundament suppletie uitgevoerd.