

Beheerbibliotheek Walcheren en Noord-Beveland/Veerse Dam

Beschrijvingen van het kustvak ter ondersteuning



Beheerbibliotheek Walcheren en Noord-Beveland/Veerse Dam

**Beschrijvingen van het kustvak ter ondersteuning van het
beheer en onderhoud van de kust**

11202190-000

Titel

Beheerbibliotheek Walcheren en Noord-Beveland/Veerse Dam

Project

11202190-000

Kenmerk

11202190-000-0004

Pagina's

187

Trefwoorden

Beheerbibliotheek, kustvak (16) Walcheren, kustvak (15) Noord-Beveland/Veerse Dam, morfologische ontwikkeling, beheer en onderhoud kust

Samenvatting

Het hoofddoel van de beheerbibliotheek is samenbrengen en inzichtelijk maken meest recente kennis vanuit onderzoek en beheer per kustvak. Gebruikers van dit document zijn Rijkswaterstaat, Deltares en andere (kennis)partijen. De beheerbibliotheek biedt onder andere een basis voor het opstellen van het suppletieprogramma, kustadvies en onderzoek.

De beheerbibliotheek beschrijft de toestand van het kustvak en omvat een beschrijving van de geomorfologische systeemwerking. Verder bevat de beheerbibliotheek een overzicht van het uitgevoerde kustbeheer, met nadruk op de eerder uitgevoerde suppleties, evenals van de waargenomen effecten van dat beheer. Ten slotte wordt in de beheerbibliotheek de informatie over de gebruiksfuncties van de kust samengevat, het gaat daarbij om informatie die relevant is voor het vaststellen van het suppletieprogramma. De beheerbibliotheek is een levend document en resulteert (op termijn) in een handreiking voor suppleren in het betreffende kustvak.

De kennis in de beheerbibliotheek komt voort uit het project KPP-B&O Kust, maar ook uit eerder uitgevoerde, andere kustprojecten en uit wetenschappelijk onderzoek.

Versie	Datum	Auteurs	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
v1.0	dec-18	Dick Mastbergen		Edwin Elias		Frank Hoozemans	
		Kees Nederhoff		Bert van der Valk			

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Kustonderhoud en -onderzoek	1
1.2	Waarom een beheerbibliotheek?	1
1.3	Wat staat er in een beheerbibliotheek?	1
1.4	Kustviewer	2
1.5	Kustlijnkaartenboek	2
1.6	Algemene informatie betreffende de kustvakken Walcheren en Noord-Beveland	2
1.7	Leeswijzer voor de beheerbibliotheek Walcheren en Noord-Beveland	4
2	Beleid: dynamische kustlijnhandhaving	5
2.1	Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven	5
2.2	Vaststelling Basiskustlijn	6
2.2.1	Definitie Momentane Kustlijn, Te Toetsen Kustlijn en Basiskustlijn	6
2.2.2	Afspraken voor het kustvak Walcheren	7
2.2.3	Afspraken voor het kustvak Noord-Beveland	7
2.3	Herzieningen Basiskustlijn	8
2.3.1	Landelijke herzieningen	8
2.3.2	Regionale herzieningen voor het kustvak Walcheren	8
2.3.3	Regionale herzieningen voor het kustvak Noord-Beveland	10
3	Beschrijving van het morfologische systeem	11
3.1	Paleogeografische ontwikkeling van het gebied Walcheren, Noord-Beveland en Schouwen	11
3.1.1	Regionale ontwikkelingen	11
3.1.2	Ontwikkeling Voordelta	12
3.2	Algemene morfologische gebiedsbeschrijving	13
3.2.1	Historische ontwikkelingen in het studiegebied	13
3.2.2	De Deltawerken	15
3.2.3	Huidige configuratie van geulen en platen	19
3.3	Grootschalige morfologie	20
3.3.1	Overzicht van de ontwikkelingen in het kustvak	20
3.3.2	De Voordelta, een aaneengesloten systeem van buitendelta's van de (voormalige) zeearmen in Zuidwest Nederland (Lazar et al, 2017)	21
3.3.3	De Oosterschelde buitendelta (Elias et al, 2016; Elias en van der Spek, 2014, 2015)	23
3.3.4	De Westerschelde buitendelta (Elias et al, 2016, Elias en van der Spek, 2014, 2015)	26
3.3.5	'Horizontale' zandgolven langs de kust	28
3.3.6	Zandgolven loodrecht op de kust	30
3.3.7	Ontwikkeling zandvolumes buitendelta (Elias et al, 2016)	32
4	Kustlijnhandhaving en ontwikkeling voorover	34
4.1	Inleiding	34
4.2	Uitgevoerde zandsuppleties	34
4.2.1	Overzicht	34
4.2.2	Evaluatie geulwandsuppletie Schaar van de Onrust	43
4.2.3	Evaluatie geulwandsuppleties Oostgat	46

4.2.4	Evaluatie vooroeversuppletie Westkapelle	51
4.3	Detailontwikkeling vooroever	55
4.3.1	Noord-Beveland (Deelgebied I, raaien 120-360)	56
4.3.2	Veerse Dam en Oranjezon (Deelgebied II, raaien 380-880)	65
4.3.3	Oranjezon tot Oostkapelle (Deelgebied III, raaien 900 - 1065)	70
4.3.4	Oostkapelle tot Westkapelle (Deelgebied IV, raaien 1085-2165)	72
4.3.5	Westkapelle tot Zoutelande (Deelgebied V, raaien 2180 - 2694)	78
4.3.6	Zoutelande tot Vlissingen (Deelgebied VI, raaien 2713 - 3458)	86
4.4	Dynamiek van de zeereep	91
4.4.1	Inleiding	91
4.4.2	Algemene beschrijving situatie 1988 en 2011, kustvak Walcheren	91
4.4.3	Algemene beschrijving situatie 1996 en 2014, kustvak Noord-Beveland	91
5	Kustverdediging en primaire waterkering	97
5.1	Harde verdedigingswerken	97
5.1.1	Historie Noord-Beveland	97
5.1.2	Harde kustverdedigingswerken Noord-Beveland	99
5.1.3	Overzicht harde kustverdedigingswerken Walcheren	100
5.1.4	Strandhoofden (uit Lazar et al, 2017)	102
5.1.5	Paalschermen (Verhagen en Van Rossum, 1989)	103
5.2	Primaire waterkering	104
5.2.1	Primaire waterkering Noord-Beveland	104
5.2.2	Primaire waterkering Walcheren	105
5.3	Beoordeling primaire waterkering	106
5.3.1	Noord-Beveland	106
5.3.2	Walcheren	107
6	Gebruiksfuncties	109
6.1	Recreatie	109
6.1.1	Strandrecreatie Noord-Beveland	109
6.1.2	Strandrecreatie Walcheren	112
6.2	Natuur	114
6.2.1	Natuurwetgeving	114
6.2.2	Habitatkaracteristieken	116
7	Literatuur	118
Bijlage(n)		
A	Achtergrondinformatie over het beleid van dynamische kustlijnhandhaving	A-1
A.1	Definitie Momentane Kustlijn, Te Toetsen Kustlijn en Basiskustlijn	A-1
A.2	Landelijke vaststelling Basiskustlijn 1990	A-2
A.3	Landelijke herzieningen	A-4
A.3.1	Landelijke herziening van 2001	A-4
A.3.2	Landelijke herziening van 2012	A-5
B	Begrippenlijsten morfologie en dynamiek zeereep	B-6
C	Ontwikkeling kustlijnindicatoren TKL-BKL	C-8

D	Suppletieoverzicht Walcheren en Noord-Beveland	D-1
E	Beschrijving duinsituatie per deelgebied	7-11
E.1	Beschrijving situatie 1988 en 2011 per deelgebied, Kustvak Walcheren	E-13
E.1.1	RSP 5.40 tot 5.80 (Jarkusraaien 540-580)	E-13
E.1.2	RSP 5.80 – 8.80 (Jarkusraaien 580-880)	E-15
E.1.3	RSP 8.80 – 10.25 (Jarkusraaien 880-1025)	E-16
E.1.4	RSP 10.25 – 12.45 (Jarkusraaien 1025-1245)	E-17
E.1.5	RSP 12.45 - 17.75 (Jarkus-raaien1245-1775)	E-18
E.1.6	RSP 17.75 – 22.15 (Jarkusraaien 1775-2215)	E-20
E.1.7	RSP 22.15 – 22.55 (Jarkusraaien 2215-2255)	E-22
E.1.8	RSP 22.55 – 23.12 (Jarkusraaien 2250-2312)	E-23
E.1.9	RSP 23.12 – 28.10 (Jarkusraaien 2312-2810)	E-24
E.1.10	RSP 28.10 – 29.30 (Jarkusraaien 2810-2930)	E-26
E.1.11	RSP 29.30 – 32.02 (Jarkusraaien 2930-3202)	E-27
E.1.12	RSP 32.02 – 33.60 (Jarkusraaien 3202-3360)	E-28
E.1.13	RSP 33.60 – 33.80 (Jarkusraaien 3360-3380)	E-29
E.2	Beschrijving situatie 1988 en 2014 per deelgebied, kustvak Noord-Beveland	E-30
E.2.1	De Banjaard (RSP 1.20-2.20)	E-30
E.2.2	Schotsman (RSP 2.20-3.80)	E-32
E.2.3	Veerse Dam (RSP 3.80-5.20)	E-33

1 Inleiding

1.1 Kustonderhoud en -onderzoek

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het onderhoud van onze kust. Daarvoor wordt de zandvoorraad op het strand en op de zeebodem vlak voor de kust regelmatig waar nodig aangevuld door middel van zandsuppleties en daardoor wordt erosie van de kustlijn gecompenseerd. Het zand draagt bij aan de bescherming van Nederland tegen de zee en het behoud van de kustlijn. Tussen 2001 en 2018 is er gemiddeld 12 miljoen kubieke meter zand per jaar gesuppleerd. Hoeveel zand er precies nodig is en op welke plaatsen en tijdstippen het zand het best kan worden neergelegd (de suppletiepraktijk) baseert Rijkswaterstaat op de jaarlijkse evaluatie van de kustmetingen en op kennis over het kuststelsel.

In de loop der jaren zijn er vele studies afgerond en is er veel kennis over het kuststelsel ontwikkeld. Toch komen er voortdurend nieuwe onderzoeksvragen naar voren, bijvoorbeeld of zandsuppleties nog efficiënter en duurzamer kunnen worden uitgevoerd. Tevens is er nog geen eenduidig beeld van de effecten van suppleties op de ecologie van de kust en wordt hiertoe meerjarig onderzoek uitgevoerd. Om de kennis over het kuststelsel uit te breiden en te verspreiden voert Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat kustonderzoek uit (project KPP-B&O Kust), in nauwe samenwerking met andere onderzoeksinstituten en met Rijkswaterstaat. Nieuwe inzichten die uit het onderzoek voortkomen, kunnen ertoe leiden dat de suppletiepraktijk wordt aangepast. Deze interactie tussen kustbeleid, kustbeheer en kustonderzoek draagt bij aan de optimalisatie van het suppletieprogramma Kustlijninzorg waarmee veiligheidsproblemen langs de kust zoveel mogelijk kunnen worden beperkt.

1.2 Waarom een beheerbibliotheek?

Het hoofddoel van de beheerbibliotheek is samenbrengen en inzichtelijk maken van de meest recente kennis vanuit onderzoek en beheer per kustvak. Gebruikers van dit document zijn Rijkswaterstaat, Deltares en andere (kennis)partijen. De beheerbibliotheek biedt onder andere een basis voor het opstellen van het suppletieprogramma, kustadvies en onderzoek.

1.3 Wat staat er in een beheerbibliotheek?

De beheerbibliotheek beschrijft de toestand van het kustvak en omvat een beschrijving van de geomorfologische systeemwerking. Verder bevat de beheerbibliotheek een overzicht van het uitgevoerde kustbeheer, met nadruk op de eerder uitgevoerde suppleties, evenals van de waargenomen effecten van dat beheer. Tenslotte wordt in de beheerbibliotheek de informatie over de gebruiksfuncties van de kust samengevat, het gaat daarbij om informatie die relevant is voor het vaststellen van het suppletieprogramma.

Doelstelling van deze tweede versie van de beheerbibliotheek is 1) een overzicht geven van de huidige kennis over het gebied en het delen van deze kennis, 2) op basis van deze huidige kennis mogelijk aanbevelingen geven met betrekking tot het kustonderhoud, en 3) aangeven tegen welke kennisleemten we nog aanlopen bij het opstellen van adviezen met betrekking tot kustonderhoud.

De kennis in de beheerbibliotheek komt voort uit het project KPP-B&O Kust, maar ook uit eerder uitgevoerde andere kustprojecten en uit wetenschappelijk onderzoek. Tevens wordt opgedane ervaring en kennis uit de uitvoering meegenomen in de beheerbibliotheek.

De voorliggende beheerbibliotheek Walcheren en Noord-Beveland/Veerse Dam betreft een update van de eerste versie van de beheerbibliotheek van het kustvak 15, Noord-Beveland, zie (Dijkstra en Vergouwen, 2015). De tekst is samengevoegd met de beheerbibliotheek van kustvak 16, Walcheren (Mastbergen en Nederhoff, 2017). De nieuwe opzet is met Rijkswaterstaat in 2018 overeengekomen. Belangrijke delen van de tekst zijn uit deze documenten overgenomen, daarnaast zijn tekst, figuren en tabellen geactualiseerd en nieuwe onderdelen ingevoegd.

1.4 Kustviewer

Aanvullend op de beheerbibliotheek heeft Deltares samen met Rijkswaterstaat een Kustviewer ontwikkeld met een achterliggende database van kustdata. Deze biedt op eenvoudige manier inzicht in de ontwikkeling van de kust. In aanvulling op de figuren in de beheerbibliotheek kan de lezer de ontwikkeling van de kust bekijken via:

<http://kml.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/kustviewer/>

Een KML-bestand kan worden weergegeven via Google Earth of Google Maps. Daarnaast zijn kustindicatoren zichtbaar via de volgende [URL](#).

1.5 Kustlijnkaartenboek

Rijkswaterstaat meet elk jaar waar de kustlijn op dat moment ligt. Aan de hand van de metingen van de laatste 10 jaar berekent Rijkswaterstaat de lineaire trend van de kustlijnligging. Op basis van die trend leidt Rijkswaterstaat af waar de kustlijn op 1 januari van het daaropvolgende jaar zal liggen. Deze positie wordt vervolgens vergeleken met de norm, de Basiskustlijn. Deze informatie wordt ieder jaar opgeleverd in het kustlijnkaartenboek en is beschikbaar via: <http://publicaties.minienm.nl/documenten/kustlijnkaarten-seriebeschrijving>.

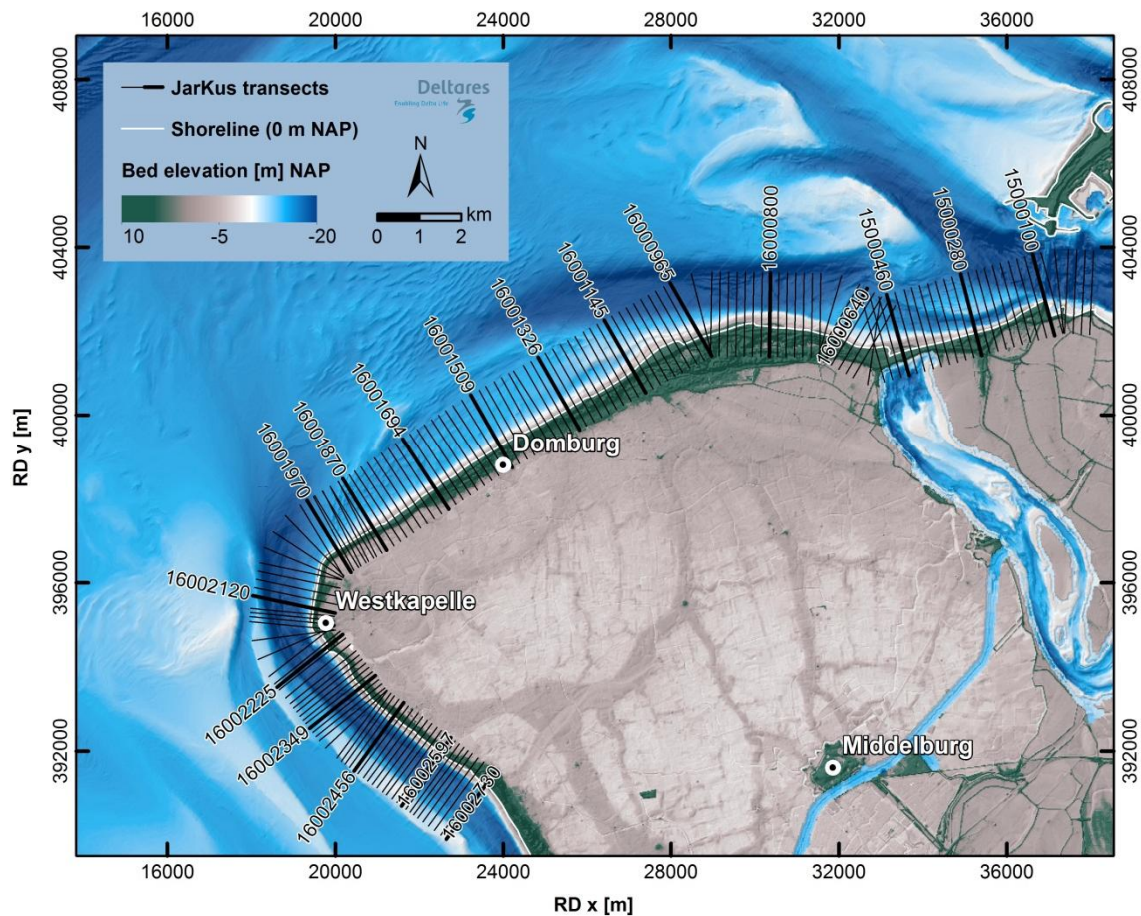
1.6 Algemene informatie betreffende de kustvakken Walcheren en Noord-Beveland

Noord-Beveland en Walcheren zijn voormalige eilanden die sinds de afsluiting van het Veerse Gat in 1961 met elkaar verbonden zijn met een in zand gezette caissondam, zie Figuur 1.1 en Figuur 1.2. De kust van Walcheren en Noord-Beveland ligt tussen de Westerscheldemonding aan de zuidzijde en de Oosterscheldemonding aan de noordzijde. De buitendelta's van deze zeearmen vormen een uitgestrekt buitengebied, de Voordelta. Dit gebied wordt gekenmerkt door getijdegeulen en platen, waarvan de ligging en de dynamiek van grote invloed is op het beheer en onderhoud van de kust.

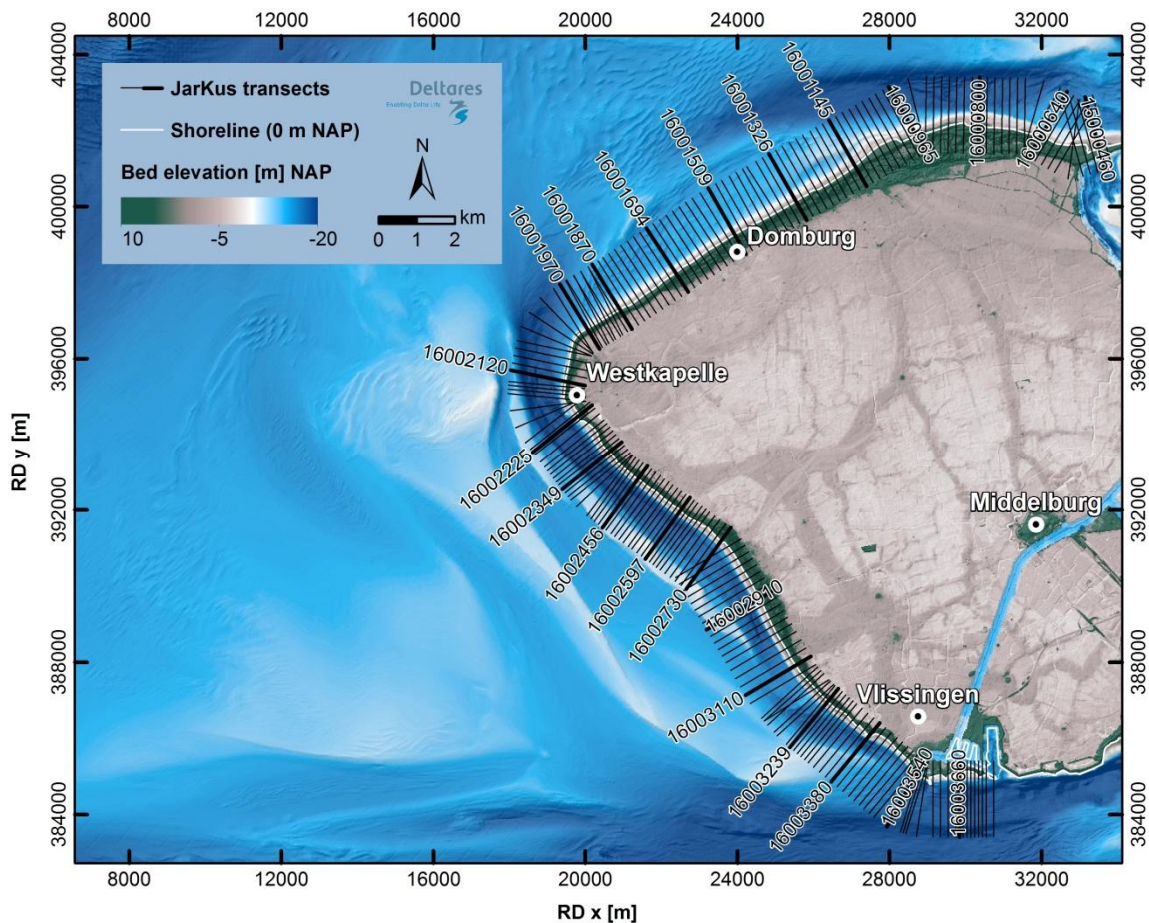
Het kustvak 16, Walcheren beslaat de kust vanaf de Veerse Gatdam (of Veerse Dam) tot aan Vlissingen. Het kustvak 15, Noord-Beveland/Veerse Dam, feitelijk de Noordzeekustlijn van de Onrustpolder, ligt tussen de Oosterschelde Stormvloedkering en de Veerse Dam en is slechts enkele kilometers lang. Voor de zeedijk van de Onrustpolder is net als voor de Veerse Dam een breed zandstrand aangelegd, waarachter een duinenkust is ontstaan die aansluit op het duingebied Oranjezon op Walcheren.

Het eiland Walcheren heeft sinds de postglaciale zeespiegelstijging een zandige kust, beschermd door duinen aan de westelijke zijde. Aan de zuidwestelijke zijde wordt de kust begrensd door de getijdegeul het Oostgat, die dicht langs de Walcherse kust ligt. Doordat de Westerschelde en het Oostgat diep zijn uitgesleten, zijn oude afzettingen in de geulwand bloot komen te liggen. Langs de zuidwestkust van Walcheren zijn verschillende zeedijken aangelegd op plaatsen waar de duinenkust verdwenen is: de Westkappelse Zeedijk, de dijk bij Zoutelande, de Nolledijk en de versterkte boulevard van Vlissingen. Langs vrijwel de gehele kust zijn strandhoofden en palenschermen aanwezig.

Tot halverwege de middeleeuwen was Noord-Beveland een door natuurlijke aanslibbing gevormd, vrijwel onbeschermd eiland dat vaak werd geteisterd door overstromingen. In de 12^e eeuw is tot gedeeltelijke bedijking overgegaan, maar in de 16^e eeuw vonden twee grote overstromingen plaats en is het eiland geheel verlaten om in de 17^e eeuw weer geleidelijk ingepolderd te worden. In de 18^e en 19^e eeuw gingen aan de noordzijde opnieuw polders verloren door het opdringen van de Oosterschelde, gepaard gaande met dijkvallen. Sinds de aanleg van de Deltawerken en de dijkversterkingen in de tweede helft van de 20^e eeuw ligt de vorm van het gebied vrijwel vast.



Figuur 1.1 De Jarkusraaien in de kustvakken (16) Walcheren (Noord) en (15) Noord-Beveland/Veerse Dam



Figuur 1.2 De Jarkusraaien in het kustvak (16) Walcheren

1.7 Leeswijzer voor de beheerbibliotheek Walcheren en Noord-Beveland

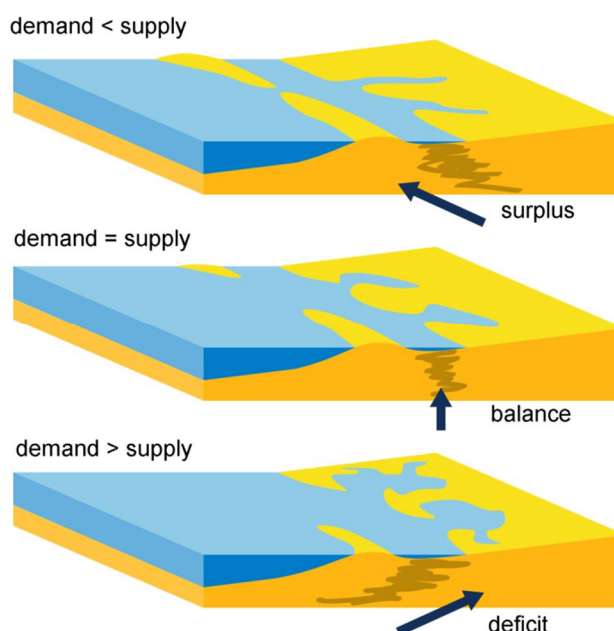
In het eerstvolgende hoofdstuk (Hoofdstuk 2) wordt de achtergrond van het kustbeleid uitgelegd. Hierin staat een beschrijving van de totstandkoming van de Basiskustlijn, landelijke herzieningen die hebben plaatsgevonden en welke regionale afspraken er vervolgens zijn gemaakt. In Hoofdstuk 3 wordt een beschrijving gegeven van het grootschalige morfologische systeem inclusief Voordelta en Deltawerken. Hoofdstuk 4 beschrijft de kustlijnhandhaving en ontwikkeling van de vooroever, door een overzicht te geven van het uitgevoerde beheer en de detailontwikkeling van de vooroever. Een overzicht van de huidige en de historische kustverdediging en de primaire waterkering is gegeven in Hoofdstuk 4. In Hoofdstuk 6 wordt een bescheiden start gemaakt met een overzicht van gebruiksfuncties van de kust. Voorsnog betreft dit een uitwerking van de gebruiksfuncties strandrecreatie en natuur en bijbehorende wetgeving en natuurbeleving. In de toekomst zou dit verder kunnen worden uitgebreid, bijvoorbeeld met informatie over grondstoffenwinning (drinkwater).

2 Beleid: dynamische kustlijnhandhaving

Sinds 1990 is er sprake van het *dynamisch handhaven van de Nederlandse kust* en geldt het principe 'zacht waar het kan en hard waar het moet'. Bij de implementatie van dit beleid is er een zogenaamde *Basiskustlijn* (BKL) vastgesteld die als referentielijn voor de positie van de kustlijn fungeert. In de volgende subparagrafen wordt een toelichting gegeven over de achtergrond van dit kustbeleid (paragraaf 2.1) en welke keuzes gemaakt zijn bij het vaststellen van de Basiskustlijn in de kustvakken Walcheren en Noord-Beveland/Veerse Dam (paragraaf 2.2). Informatie over de herziening van de kustlijn in 2001 en 2012 is te vinden in paragraaf 2.3 en over welke aanvullende afspraken over het handhaven van deze Basiskustlijn zijn gemaakt voor het kustvak Walcheren in paragraaf 2.3.2 en voor Noord-Beveland/Veerse Dam in 2.3.3. Meer informatie over de achtergronden is te vinden in Appendix A.

2.1 Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven

Kusterosie - Hoewel er op kleine tijd- en ruimteschaal sprake is van afwisseling tussen kustopbouw en kustafbraak, vertoont de Nederlandse kust gemiddeld genomen al duizenden jaren een eroderende trend. Dit wordt veroorzaakt doordat er sprake is van een grote zandvraag, terwijl er slechts een gering zandaanbod is (Figuur 2.1). De grote zandvraag is het gevolg van een stijgende zeespiegel en van grootschalige ingrepen in de getijbekkens. Het geringe aanbod wordt veroorzaakt doordat de aanvoer van zand vanaf de diepere Noordzee bodem vrijwel tot nul is gereduceerd en de rivieren eveneens al lange tijd nauwelijks meer zand naar de kustzone transporteren.



Figuur 2.1 Samenspel van vraag (demand) en aanbod (supply) van sediment. Een tekort (deficit) van sediment zal uiteindelijk leiden tot erosie en landwaartse terugtrekking van de kust. (Naar: Nichols, 1989, aangepast door RWS).

Dynamische kusthandhaving - In 1990 besloot de regering dat het afgelopen moest zijn met de structurele erosie van de kust; de duinen langs de kust moesten behouden blijven om

duurzaam de veiligheid en het behoud van functies te garanderen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990). Sindsdien wordt het structurele zandverlies aangevuld met suppleties. Het gesuppleerde zand wordt door stroming, wind en golven over het kuststelsysteem verspreid.

Basiskustlijn - Om te bepalen waar het zand gesuppleerd moet worden, is in 1990 de 'Basiskustlijn' (BKL) als referentie gedefinieerd, met als doel het signaleren van structurele erosie. Elk jaar wordt getoetst waar de kustlijn zich ten opzichte van deze Basiskustlijn bevindt. Als de Basiskustlijn structureel overschreden dreigt te worden, wordt het zandverlies met suppleties aangevuld. Het benodigde jaarlijkse suppletievolume om de Basiskustlijn te handhaven werd in 1990 vastgesteld op 6 miljoen kubieke meter zand.

Kustfundament - In de jaren na 1990 groeide het inzicht dat er niet alleen structurele erosie optrad in de ondiepe kustzone rondom de Basiskustlijn, maar ook in dieper water (Mulder, 2000). Het structurele zandverlies in deze zone zou op termijn kunnen leiden tot een toename van de zandverliezen in de ondiepe kustzone. De benodigde inspanning voor het handhaven van de Basiskustlijn zou daardoor in de toekomst aanzienlijk groter worden. Daarom besloot de regering in 2001 dat het voor een duurzame handhaving van veiligheid en functies in het duingebied nodig was om het zandverlies in het gehele kustfundament te compenseren. Het kustfundament loopt van de binnenduinrand tot aan de doorgaande -20m NAP dieptelijn; het actieve zandvolume in dit hele kustfundament moet meegroeien met de zeespiegel. Het landelijke suppletievolume is daartoe verhoogd van 6 tot 12 miljoen kubieke meter zand per jaar. Het handhaven van de Basiskustlijn staat nog steeds voorop bij de verdeling van dit jaarlijkse volume suppletiezand.

Herziening Basiskustlijn - Om ervoor te zorgen dat de Basiskustlijn overeën blijft komen met de gewenste kustlijn, is de Basiskustlijn sinds 1990 herzien in 2001 en 2012 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012). In de nieuwe Waterwet en het Nationaal Waterplan is, net als in de voorgaande Wet op de Waterkering, de noodzaak voor een terugkerende herziening van de Basiskustlijn vastgelegd.

2.2 Vaststelling Basiskustlijn

In deze paragraaf worden de gemaakte keuzes en argumenten achter de huidige Basiskustlijn beschreven. Eerst wordt de (landelijke) hoofdlijn met betrekking tot het vaststellen van de Basiskustlijn en lokale afspraken toegelicht. Vervolgens worden de herzieningen in de Basiskustlijn toegelicht.

De teksten in de volgende subparagrafen zijn gebaseerd op de volgende documenten:

- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1990),
- Hillen et al (1991),
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1993),
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2002a, b),
- Bruens et al (2012),
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2012).

2.2.1 Definitie Momentane Kustlijn, Te Toetsen Kustlijn en Basiskustlijn

Sinds 1965 wordt de kustlijn jaarlijks gemeten (i.e. JARKUS: JAarlijkse KUSmeting). Op basis van deze JARKUS-profielen kan de positie van de Momentane KustLijn (MKL) bepaald worden. De MKL wordt berekend uit de ligging van het strand en het bovenste gedeelte van de vooroever.

Ieder jaar wordt beoordeeld of de BKL wordt overschreden, door de MKL-positie met de BKL-positie te vergelijken. Daartoe wordt gekeken naar de ligging van de jaarlijkse ‘te Toetsen Kustlijn’ (TKL) ten opzichte van de BKL. De jaarlijkse TKL wordt afgeleid uit de trend in de MKL uit voorgaande jaren (meestal 10 jaar). In Appendix A.1 staat meer informatie over de Momentane Kustlijn, Te Toetsen Kustlijn en Basiskustlijn. In Appendix A.2 staat meer informatie over de landelijke vaststelling van de BKL in 1990. Bij het vaststellen van de Basiskustlijn in 1990 zijn regionale afspraken gemaakt over de kustvakken Walcheren en Noord-Beveland.

2.2.2 Afspraken voor het kustvak Walcheren

Voor Walcheren werd alleen tussen raai 620 en 880 (Breezand) overwogen om de Basiskustlijn te verleggen, op grond van argumenten II en III (paragraaf A.2).

Het advies van het POK, en de reactie van Rijkswaterstaat luidde voor Walcheren (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993):

- Veiligheid
Voor het behalen van de deltaveiligheid stelt het POK-Zeeland voor om op een aantal locaties de Basiskustlijn meer zeewaarts te verplaatsen. Voor Walcheren betreffen dit 6 raaien bij Domburg (Noordwest-Walcheren) en 7 raaien op Zuidwest-Walcheren. *Rijkswaterstaat stemt hiermee in.* Verder ziet Provincie Zeeland graag het criterium Duinvoet toegevoegd aan de toetsingsprocedure. Dit wordt niet gehonoreerd.
- Natuur en Natuurlijke dynamiek:
Voor één raai bij Breezand stelt het POK-Zeeland een minder vergaande verlegging dan in Basiskustlijn-1 voor. Voor drie raaien tussen Breezand en de aansluiting op de Veerse Dam stelt het POK een landwaartse verlegging van de Basiskustlijn voor. *Rijkswaterstaat neemt dit advies over.*
- Trendbreuk:
Vanwege de aanleg van de stormvloedkering, stelt POK-Zeeland voor om bij Noord-Beveland de rekenperiode aan te passen, waardoor de Basiskustlijn meer zeewaarts komt te liggen. *Rijkswaterstaat stemt hiermee in.*
- Afsluitdammen:
Op grond van recreatieve belangen, adviseert het POK-Zeeland om voor de Veerse Dam een Basiskustlijn, zoals berekend voor Basiskustlijn-1, te hanteren. *Rijkswaterstaat neemt dit advies niet over, maar besluit de stabiliteit van de dam als criterium te kiezen.*

2.2.3 Afspraken voor het kustvak Noord-Beveland

Voorstel Rijkswaterstaat:

Door Rijkswaterstaat is voorgesteld om geen BKL-berekening te doen bij Neeltje Jans. De standzekerheid van het damlichaam kan bepalend zijn voor eventuele erosie beperkende maatregelen. Deze handelwijze betekent concreet dat de natuur op de voor de dam liggende kustzone de vrije hand krijgt.

De strand- en duinvorming hebben er na de aanleg van de relatief korte Veerse Dam (1961) voor gezorgd dat dit kustdeel een haast natuurlijk onderdeel vormt in de kustboog tussen Walcheren en de Oosterscheldekering. Daarom wordt voorgesteld hier een BKL vast te stellen. De stabiliteit van de Veerse Dam bepaalt de uitvoering van erosie beperkende maatregelen (Hillen et al., 1991).

Advies POK:

Noord-Beveland (raai 240-360): de aanleg van de stormvloedkering in de Oosterschelde heeft in 1986 een trendbreuk geïnitieerd waardoor geadviseerd wordt uit te gaan van een vijfjarige rekenperiode. Dit leidt tot een zeewaartse verlegging van de basiskustlijn van maximaal 25 meter (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993).

In BKL-1 is voorgesteld de stabiliteit van de damlichamen maatgevend te stellen en geen basiskustlijn te berekenen. Het POK-Zeeland adviseert op grond van de recreatieve belangen ter plaatse, een basiskustlijn te hanteren voor het zuidelijke deel van de Brouwersdam (met uitzondering van vier raaien bij de uitwateringssluizen), uitgaande van een minimum strandbreedte van 50 meter. De door het POK berekende basiskustlijn levert in vrijwel alle gevallen de gewenste strandbreedte. Voor het noordelijk gedeelte van Neeltje Jans wordt een vergelijkbaar advies gegeven. Voor het zuidelijke deel wordt geen basiskustlijn nodig geacht. Voor de Veerse Dam is de basiskustlijn (conform het gestelde in BKL-1) op de gebruikelijke wijze berekend. (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993).

Besluit Rijkswaterstaat:

Voorgesteld wordt de door het POK voorgestelde zeewaartse verlegging van de basiskustlijn voor Noord-Beveland over te nemen tussen raai 300 en 360.

Voorgesteld wordt het dynamische karakter van de stranden voor de dammen als een gegeven te beschouwen en bij de dammen die als "harde constructies" zijn opgebouwd, geen basiskustlijn vast te stellen maar de stabiliteit van de dam als criterium te kiezen. In het verlengde hiervan wordt voorgesteld om voor de Veerse Dam -waarvoor in BKL-1 wel een basiskustlijn was berekend- ook de stabiliteit van de dam als criterium te kiezen en geen basiskustlijn vast te stellen.

2.3 Herzieningen Basiskustlijn

2.3.1 Landelijke herzieningen

Na de vaststelling van de BKL in 1990 is deze twee keer herzien.

- Herziening in 2001: Naar aanleiding van de tweede Kustnota (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 1995), waarin werd geconstateerd dat de ligging van de basiskustlijn niet overall optimaal is, heeft een technische en bestuurlijke evaluatie van de BKL plaatsgevonden. Dit heeft geresulteerd in een eerste BKL-herziening.
- Herziening in 2012: Na de versterking van de meeste Zwakke Schakels is de BKL wederom op een aantal locaties aangepast om de versterkingen goed te onderhouden.

Meer informatie over de landelijke herzieningen staat in Appendix A.3.

2.3.2 Regionale herzieningen voor het kustvak Walcheren

Herziening en afspraken 2001

In Zeeland is een technische en bestuurlijke evaluatie van de Landelijk Herziening van 2001 van de Basiskustlijn uitgevoerd. Hierbij zijn technische aanvullingen gegeven en afwijkingen op de standaard Basiskustlijn-bepaling tegen het licht gehouden. Bij de nieuwe berekeningen is rekening gehouden met verschillende morfologische aspecten. Bovendien is gerekend met herziene (lagere) basispeilen. Ten slotte is er een bestuurlijke afweging gemaakt, waarbij rekening is gehouden met het belang van andere functies.

De meeste voorgestelde wijzigingen betreffen een landwaartse verplaatsing. Op locaties waar de Basiskustlijn eerder vanwege de veiligheid meer zeewaarts is gelegd, zou deze op basis van de nieuwe peilen weer kunnen worden teruggebracht. Daar waar van nature al een

grote mate van veiligheid aanwezig is, zou de Basiskustlijn eveneens landwaarts kunnen worden verplaatst, ten behoeve van de natuurlijke dynamiek van strand en zeeoep. Verder wordt voor Zeeland een *interventiefunctie* van de Basiskustlijn voorgesteld.

Bij het opstellen van het suppletieschema en/of het uitvoeren van de suppleties houdt Rijkswaterstaat voor specifieke gebieden rekening met gemaakte regionale bestuurlijke afspraken. Dergelijke afspraken zijn veelal vastgelegd in de kustlijnkaartenboeken of in het POK besproken. Voor Walcheren zijn ten aanzien van de herziening 2001 de volgende afspraken gemaakt:

- Walcheren, Domburg (raai 1530 – 1630), uitvoeringsafspraken en omgevingswens: niet hoger suppleren dan +3,5 meter NAP. De strandtrappen en paviljoens liggen op die hoogte, als er hoger wordt gesuppleerd is dit uitvoeringstechnisch erg lastig en geeft het hinder voor de omgeving.
- Westkapelle, Walcheren (raai 2215 – 2250), bestuurlijke afspraken: in de Tweede Wereldoorlog is er een deel van de dijk afgeschoven, waarvan resten nog voor de kust liggen. Deze resten die op de vooroever liggen, geven wervelingen waar de bodem zich op aanpast, waardoor er erosie ontstaat in de geulwandsuppletie.
- Vlissingen, Walcheren (raai 3420), regionale wens: voor dit deel van Walcheren is voor het grootste gedeelte een Basiskustlijn vastgesteld, alleen voor de oostelijke 100 à 200 meter ter hoogte van Vlissingen is geen Basiskustlijn vastgesteld. Dit is een strand waar toerisme plaatsvindt. De regionale wens is dan ook om, als er gesuppleerd wordt, ook door te suppleren op het gedeelte van 100 à 200 meter waarvoor geen Basiskustlijn is vastgesteld.

Herzieningen en afspraken 2012

Op basis van het advies voor de herziening, is besloten om in Walcheren op één locatie de Basiskustlijn aan te passen, vanwege het onderhoud van de zeewaartse versterking. Dit betreft (Bruens *et al*, 2012):

- Westkappelse Zeedijk
Voor de Westkappelse Zeedijk is gekozen voor een combinatie van een zeewaartse versterking met zand en het overslagbestendig maken van de dijk. Er is voor deze versterkingsvariant gekozen omdat dit, naast veiligheid, ook een vergroting van de recreatiemogelijkheden en een beperking van de aantasting van het achtergelegen natuurgebied tot gevolg heeft.
Uit de Jarkusraaimetingen lijkt er na een initiële teruggang in de Momentane Kustlijn sprake te zijn van een stabilisatie. Na aanleg van de versterking is er in het noorden sprake van een zeer ruime marge tussen de Momentane Kustlijn en de voorgestelde Basiskustlijn. In het zuidelijk deel is deze marge minder groot en wordt overschrijding op korte termijn (jaren) niet uitgesloten. Voor deze versterking lijkt het vaststellen van een interim Basiskustlijn een mogelijke optie: de definitieve vaststelling kan in dat geval plaatsvinden nadat de mate van terugtrekking in momentane kustlijn beter vastgesteld kan worden.

Voor een andere locatie, in het kustvak Walcheren werd op morfologische gronden een verlegging overwogen, maar dit leidde uiteindelijk niet tot aanpassingen. Dit betreft (Bruens *et al*, 2012):

- Domburg (raai 1500 tot 1575):
Vanwege de morfologie is de Basiskustlijn hier lastig te handhaven. De locatie kampt mogelijk met structurele erosie door de bolvormige kust voor Domburg. Verlegging van de Basiskustlijn leidt daardoor niet tot een structurele oplossing, tenzij terugtrekking van een groter stuk kust wordt toegestaan. Een dergelijke terugtrekking heeft effect op het veiligheidsniveau.
Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft besloten om de Basiskustlijn nog niet aan te passen, omdat de huidige Basiskustlijn een directe relatie heeft met de kustfuncties recreatie en veiligheid tegen overstromen. Bij aanpassing komen deze kustfuncties in het geding.

2.3.3 Regionale herzieningen voor het kustvak Noord-Beveland

Herzieningen en afspraken 2001

Het POK adviseert om de BKL in een aantal kustvakken van Zeeland landwaarts dan wel zeewaarts te verplaatsen. Het POK adviseert om voor de gehele Zeeuwse kust een BKL vast te stellen, waarbij vastgehouden dient te worden aan het beginsel dat landwaartse overschrijding van de vastgestelde BKL noodzaakt tot een suppletie-inspanning (BKL met interventiefunctie). Het POK stelt voor om bij de Brouwersdam en Veerse Dam de kustlijnontwikkeling te volgen, waarbij de nadruk ligt op de signaleringsfunctie van de BKL, en niet zozeer op het interventie criterium. Wanneer bij de signalering gedurende enkele jaren en over meerdere raaien van de damkustvakken een wezenlijke en structurele kustlijn-achteruitgang wordt geconstateerd, dan kan dit aanleiding zijn dat het ZOW de minister van Verkeer en Waterstaat een oplossing voorlegt (Basiskustlijn 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002 a, b).

Met betrekking tot de Deltadammen problematiek kan worden opgemerkt dat ingevolge de beleidskeuze 'Dynamisch Handhaven' de structurele erosie bij dammen en dijken wordt aangepakt wanneer de stabiliteit ervan in gevaar komt. De BKL-methodiek zou dan ook niet aan de orde hoeven te zijn op plaatsen waar een harde kustverdediging aanwezig is. Niettemin is in een aantal gevallen in Zeeland bij harde kustverdedigingen in 1994 een BKL vastgesteld. Het betreft dijken of dijkgedeelten en overgangsconstructies tussen harde en zachte kust waar voorliggend droogvallend strand aanwezig is. Alvorens deze benadering ook te volgen bij de Brouwersdam en Veerse Dam is het ZOW verzocht in overleg met het Rijksinstituut voor Kust en Zee te onderzoeken of het BKL-concept bij deze Deltadammen zonder meer toepasbaar is en daarvan de consequenties nader te bepalen (Basiskustlijn 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003).

Herzieningen en afspraken 2012

Er zijn geen BKL-herzieningen voor Noord-Beveland in 2012. Wel wordt opgemerkt dat het handhaven van de BKL wordt bemoeilijkt door het opdringen van een geul richting de kust aangezien dit zorgt voor structurele erosie op het diepere profiel. Een landwaartse herziening van de BKL zou de opdringende geul de ruimte geven zich te verplaatsen naar een nieuw evenwicht. Er zou bij deze aanpassing van de BKL een groot stuk strand en duinareaal verloren gaan, daarom wordt de BKL niet herzien (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2012).

3 Beschrijving van het morfologische systeem

3.1 Paleogeografische ontwikkeling van het gebied Walcheren, Noord-Beveland en Schouwen

3.1.1 Regionale ontwikkelingen

Aan het einde van de laatste ijstijd, het Weichselien, lag Zeeland “droog” en was het nog niet overstroomd met zeewater. Twee kleinere rivieren, één ter hoogte van het huidige Zwin, de Eede en één langs de Brabantse Wal, de Schelde, ontwaterden de zuidelijke helft van de huidige provincie Zeeland. De Brabantse Wal bestaat uit relatief hooggelegen vroeg-Pleistocene, gecompacteerd en kleiige rivierafzettingen en vormde voor de Schelde een niet te eroderen obstakel. Met de stijgende zeespiegel mee schoof een relatief smalle gordel van veengroei en zeewaarts daarvan een bredere gordel van zand- en kleiafzettingen, het land op. Tussen 8000 BP (Present is 1950 A.D.) en ca. 4000 BP vulde het Zeeuwse bekken zich met veel fijn zand en relatief weinig klei, waarbij de grens tussen zee en land gevormd werd door smalle strandwallen met waarschijnlijk lage duintjes. Getijdengeulen staken tot diep in het bekken. Rond 5500 BP was er een maximum aan open water in het landschap, en snel daarna verlandde het gebied.

Na 4500 BP verzoette het landschap achter de smalle strandwallen zeer snel, waarschijnlijk omdat het in een kom vlak tegen hoger gelegen terrein aanlag: de tertiaire Vlaamse cuesta naar het zuiden en de vroeg-Pleistocene opgeheven Maasafzettingen naar het oosten met de nodige zoetwaterafvoer via kleine riviertjes. Tevens zal de afnemende snelheid van zeespiegelrijzing een rol hebben gespeeld. Binnen 1000 jaar was door deze verzoeting het gehele gebied bedekt geraakt met veengroei. Deze situatie veranderde nauwelijks in de opvolgende 2400 jaar, gerekend vanaf 4500 BP en groeide het veen meters hoog op.

Pas ca. 2100 jaar BP, kort voor de Romeinse tijd, vonden aan de kust kleinere inbraken plaats, die eerst na 200 AD aanleiding gaven tot het openbreken van het veensysteem en de afzetting van overstromingskleidekken rond die inbraken. Binnen 150 jaar na 200 AD was de kust sterk verbrokkeld geraakt en had de zee vrij toegang verkregen tot het achterliggende veengebied. Enorme erosie van het veen was het gevolg, waarbij zeer grote oppervlakten veen veranderden in intergetijdengebied, en dat binnen anderhalve eeuw! Er wordt wel gezegd dat de snelle erosie is ingezet door graafoctiviteiten voor sloten en kanalen door de boerenbevolking in die tijd (Vos, 2015).

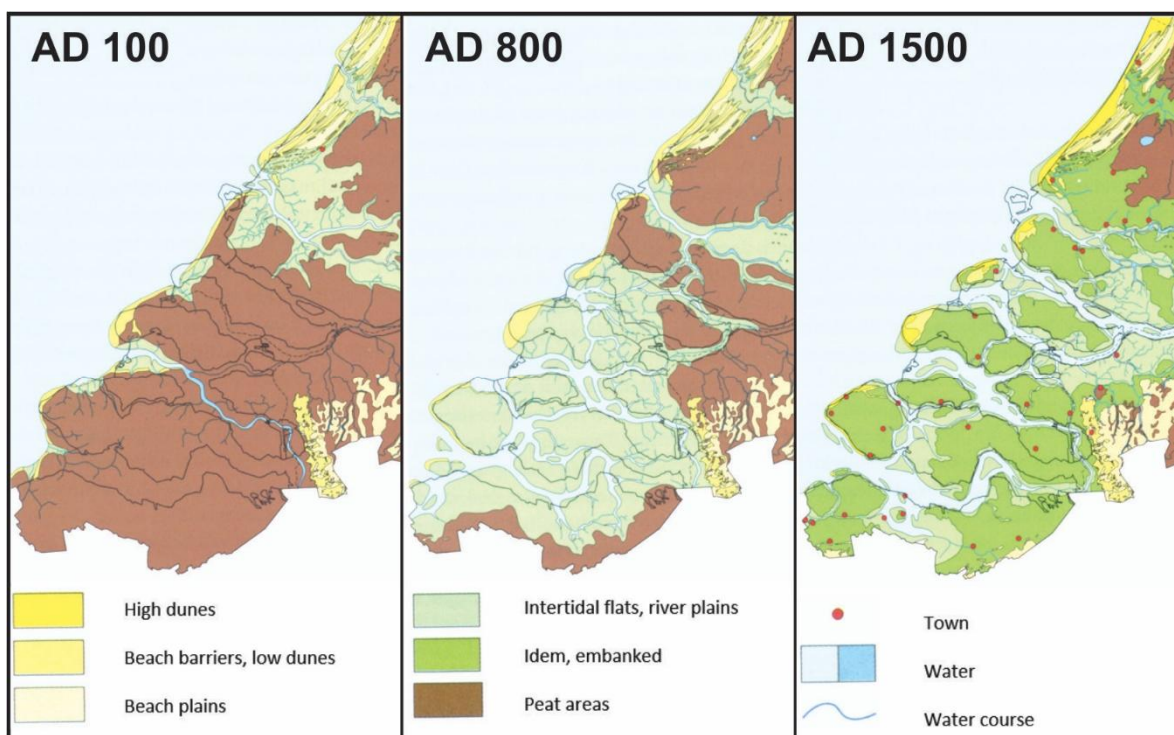
Rond 1000 AD (Figuur 3.1, middelste kaartje) is het oppervlak van de jonge getijdenafzettingen maximaal en is nog maar een smalle rand veen niet geërodeerd of onbedekt door getijdenafzettingen. Bijna geheel Zeeland bestaat dan uit schorren en slikken. Niet alleen op de zandige koppen van de eilanden Walcheren en Schouwen, maar ook op Noord-Beveland en Tholen ontstaan tussen 750 en 1000 AD al bewoningskernen. De bewoners van deze gebieden gaan zich na 1000 AD organiseren en starten met het bedijken van enkele zeer grote hoog opgeslibde gebieden. Rond 1250 AD is het oppervlak ingedijkt land al bijna zo groot als in de huidige tijd.

Na 1500 AD wordt nog wel flink landverlies geleden in Zeeuws-Vlaanderen, op Saeftinghe, bij Tholen en bij Reimerswaal (veel uitgeveende gebieden, dus extra kwetsbaar voor overstroming), met andere woorden; relatief diep in de estuaria, in de marges van de getijdensystemen. Ergens voor of rond 1000 AD wordt de Schelde aangetapt door terugschrijdende erosie van een getijdengeul komend uit het gebied tussen Walcheren en het

Zwin. Dat luidt het einde in van de verbinding tussen de rivier de Schelde en de Oosterschelde, die finaal beëindigd wordt door de aanleg van de Kreekrakdam medio 19^e eeuw (Vos en van Heeringen, 1997).

Vanaf 1750 werd minder landverlies geleden, behalve door lateraal opschuiven van geulen, maar wel werd (bijna) elke hectare beschikbaar intergetijdengebied ingepolderd. De zijdelings eroderende werking van de geulen leidde tot ondermijning van dijken, vooral waar de ondergrond zandig opgebouwd was in een eerder stadium van kustontwikkeling (de Bruin en Wilderom, 1961). Vanaf de 19^e eeuw werd vooral de invloed van onderwateroeverbescherming steeds sterker merkbaar, waardoor geulen grotendeels werden vastgelegd, en alleen de platen nog geërodeerd konden worden. Dijkvallen traden daardoor niet meer op, maar wel werden de geulen nog dieper in de buitenbochten. Plaatvallen traden nu juist op aan de andere zijden van de ondieptes (De Bruin en Wilderom, 1961).

De laatste grote gebeurtenis is de stormramp van 1953 waarbij meer dan 1800 mensen omkwamen en ca. 200.000 ha land overstroomde. De overstroomde gebieden zijn in de jaren na de ramp weer bijna volledig terug ingepolderd. Voor natuurontwikkelingen worden tegenwoordig kleine gebiedjes weer ontpolderd, maar ontpoldering stuit in Zeeland op stevige weerstand.



Figuur 3.1 Tijdreeks van de paleografische ontwikkeling van het deltagebied van ZW Nederland 100 – 1500 AD. Elias et al., 2016 naar Vos en van Heeringen, 1997.

3.1.2 Ontwikkeling Voordelta

Tot in de Romeinse tijd stroomt de Schelde als relatief kleine rivier uit in de toenmalige voordelta, waarvan overigens niet bekend is hoe deze eruit zag. Deze is mogelijk veel kleiner en veel minder aaneengesloten geweest dan de huidige voordelta. Zeker is wel dat de waarschijnlijk stabiele riviermond een strategische betekenis had, omdat ten zuiden van die mond overblijfselen van een tweetal Romeinstijdige heiligdommen zijn gevonden (ter hoogte van Colijnsplaat en voor Domburg), in verband met de koopvaart op Engeland in die periode.

Ook wordt aangenomen dat op de noordelijke landpunt van de rivieroever een Romeinse militaire wachtpost heeft gelegen, het castellum Roompot, een locatie die later door het opschuiven van geulen vlak voor de zuidoostpunt van Schouwen verdwenen is (Beekman, 2007).

Om de ontwikkeling van de voordelta te begrijpen, moet er eerst gekeken worden naar de ontwikkeling van de Oosterschelde als estuarium en later als getijdensysteem. De ontwikkeling van de Oosterschelde moet teruggaan tot de 4^e eeuw na Chr. (Vos en Van Heeringen, 1997). Door de enorme overstromingen na de 4^e eeuw en de daarmee gepaard gaande verbreding en verdieping van de getijdensystemen moet de Voordelta al in de vroege middeleeuwen een min of meer gelijke uitbreiding hebben gehad als tegenwoordig, waarbij een golfgedomineerd kustvorm overgaat in een veel meer getij-gedomineerde kustvorm onder invloed van de krachtige dwarscomponent in het stromingsbeeld (Elias et al, 2016). Zeker in de 13^e eeuw is er export van sediment uit het Oosterschelde bekken, het gebied van de huidige Voordelta op (Beekman, 2007). Alle veranderingen daarna zijn variaties op het thema invloed van golven vs. invloed van getijstroming, al naargelang effecten van de golven plaatselijk de overhand kregen op die van het getij, zoals in de noordelijke Voordelta na de sluiting van de Grevelingen, het Haringvliet en de Brielse Maas (Van der Spek, 1997). De ligging en de dimensies (breedtes, dieptes) van de getijdengeulen lijken tot op zekere hoogte bepaald te zijn door de aanwezigheid van voor erosie-resistente pakketten klei en van geconsolideerd zand in de ondergrond van de Voordelta (Hijma, 2017).

Tot in de 16^e eeuw is de ontwikkeling van het getijdenvolume min of meer rechtlijnig vergrotend geweest, maar in de tweede helft van de 16^e eeuw nam het getijdenvolume snel toe door verlies aan overstromd buitendijks- en polderland waar eerder naar veen gegraven werd (bijvoorbeeld het Verdrongen Land van Reimerswaal: 14.000 ha). Het verband tussen landverlies en toename van de stroomsnelheden in de Oosterschelde werd in de 16^e eeuw al begrepen. Vanaf de 18^e eeuw verandert het estuarium van de Oosterschelde in een zeegat door de snelle ontwikkeling van de Westerschelde als estuarium. In het Oosterscheldebekken gaat dat gepaard met erosie van intergetijdengebieden en met oevervallen (duizenden hectaren vooral in de 16^e eeuw; De Bruin en Wilderom, 1961; Wilderom, 1968; Beekman, 2007). De steeds toenemende getijdenvolumes van de Oosterschelde estuarium (wel meer dan 50 (!) % toename na 1530 cf. Van den Berg, 1986) transporteerden steeds grotere volumes sediment vanuit het bekken naar de buitendelta. Tegen het eind van de 16^e eeuw moet de zandplaat "De Banjaard" wel 15x15 km (ruim 22.000 ha) groot zijn geweest, terwijl die niet doorsneden werd door geulen (Beekman, 2007).

3.2 Algemene morfologische gebiedsbeschrijving

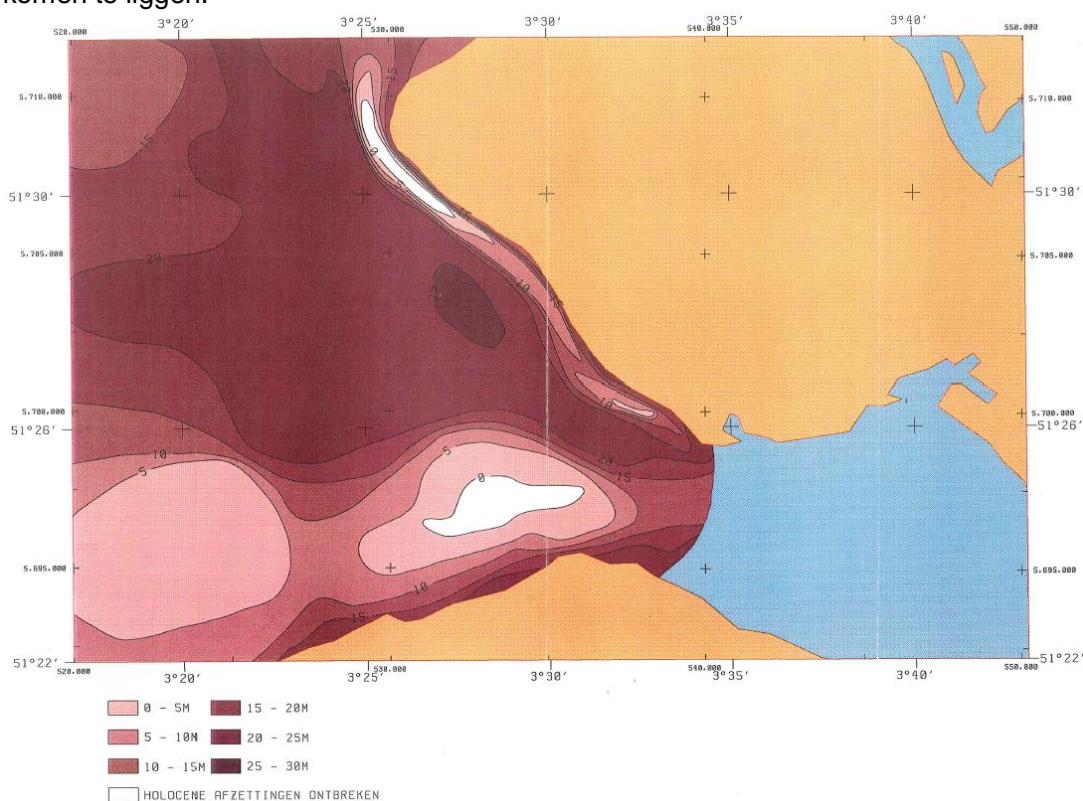
3.2.1 Historische ontwikkelingen in het studiegebied

De Noordzeekustlijn van Noord-Beveland wordt in het noordoosten begrensd door de in de jaren tachtig aangelegde Oosterschelde stormvloedkering. De voormalige plaat Neeltje Jans ligt midden in de Oosterscheldemonding en is nu onderdeel van de stormvloedkering. Hoewel een deel van Neeltje Jans zandige kust lijkt, is dit in werkelijkheid een harde kering. Hier is dus geen Basiskustlijn voor vastgesteld. In het zuidwesten van Noord-Beveland heeft zich een stuk kust tegen de Veerse Dam gevormd (Figuur 3.10). In het tussenliggende gebied liggen hoge duinen die zijn opgestoven sinds de aanleg van de Deltawerken.

De kust van Walcheren en Noord-Beveland ligt tussen de Westerscheldemonding aan de zuidzijde en de Oosterscheldemonding aan de noordzijde. De aaneengesloten buitendelta's van de (voormalige) zeearmen voor de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden vormen

tezamen een uitgestrekt buitengebied: de Voordelta (Elias et al, 2016, Lazar et al, 2017). Het gebied wordt gekenmerkt door getijdegeulen en –platen, waarvan de ligging van grote invloed is op het beheer en onderhoud van de kust van Walcheren. Het gedrag van deze geulen en platen wordt bepaald door een ingewikkeld samenspel tussen golven, getij en effecten van menselijk handelen. Deze platen zijn tevens belangrijk voor veel bodemdieren, zeehonden en vogels. Verder kent het gebied van de Voordelta voor Noord-Beveland een hoge voedselrijkheid en veel vissen (website Natura 2000, Ministerie van Economische Zaken). In paragraaf 6.2 wordt dieper ingegaan op de aanwezige natuur in dit kustvak, waaronder de Natura 2000 gebieden.

Daarnaast komen in het gebied Pleistocene en Tertiaire lagen op geringe diepte onder de zeebodem voor, die de morfologische ontwikkeling kunnen beïnvloeden, zie paragraaf 3.1.2, Figuur 3.2 en Hijma (2017). De geologische ontwikkeling en de implicaties van het voorkomen van resistente (klei-)lagen op de morfologische ontwikkeling wordt beschreven door Van der Spek (1997). Hij concludeert 1) weerstandskrachtige lagen kunnen erosie (aanzienlijk) vertragen, maar nooit voorkomen en 2) de samenstelling van de ondergrond kan een morfologische ontwikkelingen niet aansturen, maar wel beïnvloeden. Het eiland Walcheren heeft sinds de postglaciale zeespiegelstijging (10.000 B.C – heden) een zandige kust, beschermd door duinen aan de westelijke zijde. Aan de zuidwestelijke zijde wordt de kust begrensd door de getijdegeul het Oostgat, die dicht langs de Walcherse kust ligt. Doordat de Westerschelde en het Oostgat diep zijn uitgesleten, zijn oude afzettingen bloot komen te liggen.



Figuur 3.2 Dikte holocene lagen in de Westerschelde monding (Van der Spek, 1997). In de dieper gelegen delen van de geulen Oostgat en Wielingen zijn de holocene afzettingen geheel afwezig (witte vlekken).

De geulwand van het Oostgat bestaat meest uit oudere, vastgepakte zandlagen, afgewisseld met klei. Deze lagen zijn voornamelijk aanwezig tussen -6 m NAP en -13 m NAP. De geulwand is door de aanwezigheid van deze lagen tamelijk erosiebestendig en niet erg

gevoelig voor oever- of strandvallen (zie ook Mastbergen en Schrijvershof, 2016). Dit is de reden dat het eiland relatief weinig landverlies heeft gekend. Omdat de getijstrooming van de Westerschelde aanzienlijk is toegenomen en de zandaanvoer onvoldoende is, treedt op de langere termijn nog steeds gestage erosie op van de geulwand langs de zuidwestelijke kust van Walcheren. Ter plaatse van Zoutelande, tussen raaien 2597 en 2560, zijn de duinen geheel verdwenen en ligt er nu een zeedijk. Bij de Westkappelse Zeedijk (raaien 1870 tot 2195), rond 1450 nog ruim 250 m meer zeewaarts gelegen, is na de duinen ook het strand verdwenen in de 19^e eeuw, als gevolg van het oprukken van het Oostgat. Sindsdien zijn hier steenbestortingen noodzakelijk om de zeedijk te behouden (Wilderom, 1968). Strandhoofden hebben lokaal een reducerend effect op erosie, palenrijen bleken niet afdoende (Lazar et al, 2017). In Figuur 3.3 is het landverlies van Walcheren van de afgelopen eeuwen schematisch weergegeven. Om de gestage erosie te keren zijn er bij de Walcherse kust zandsuppleties uitgevoerd. De eerste vooroever-suppleties zijn al vanaf 1952 toegepast bij Vlissingen en vanaf 1990 wordt er met regelmaat langs de gehele zuidwestelijke kust gesuppleerd. Tenslotte heeft de uitvoering van de Deltawerken grote invloed gehad op het gebied.



Figuur 3.3 Landverlies in Walcheren en Zuid-Beveland van ca. 1500 tot heden (Wilderom, 1968).

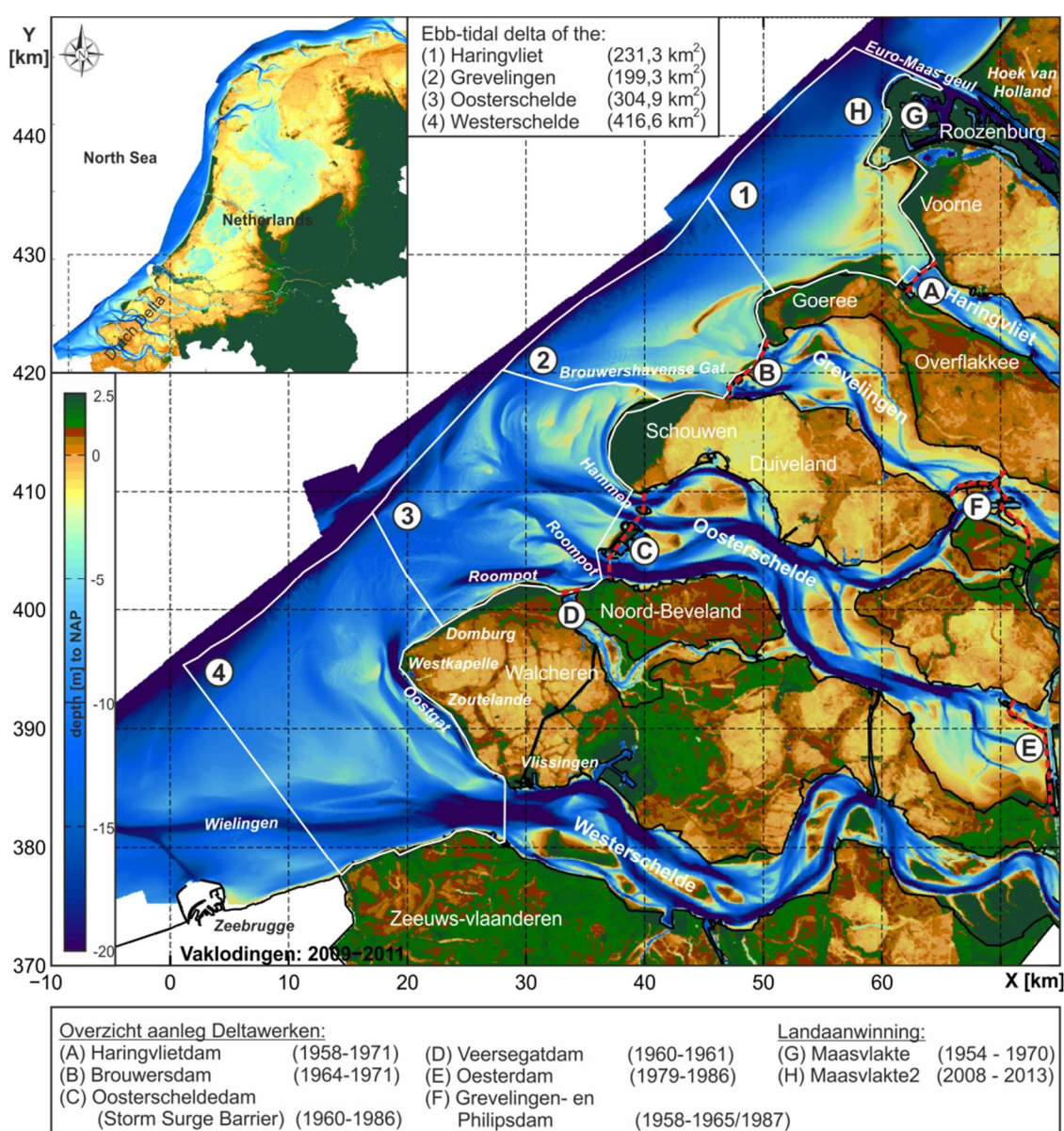
3.2.2 De Deltawerken

Het Deltaplan in het zuidwesten van Nederland werd ontwikkeld en uitgevoerd na de stormramp van 1 februari 1953. Het project bestond uit de afsluiting van de verschillende zeegetaten met dammen om de veiligheid tegen overstroming te verhogen, zie Figuur 3.4 (Elias et al, 2016). Tegelijkertijd konden zo zoetwaterbekkens worden gecreëerd ten behoeve van de landbouw en de drinkwatervoorziening. De Haringvlietdam werd voorzien van spuisluizen om de afvoer van de Rijn en de Maas te reguleren, zodat zoutindringing door de diep uitgebaggerde Nieuwe Waterweg kon worden voorkomen. Alleen de Westerschelde zou openblijven in het oorspronkelijke Deltaplan, om een onbelemmerde vaarweg naar Antwerpen te behouden.

In de jaren '70, na voltooiing van de eerste projecten, de afsluiting van het Haringvliet met de Haringvlietdam en de Grevelingen met de Brouwersdam, werden waterkwaliteit en milieu een toenemende zorg. Zo werd in 1978 een zoutwater-doorlaatmiddel gemaakt in de Brouwersdam en ontstond er weerstand tegen de plannen om de Oosterschelde, een getijbekken met zeer helder water, vanwege de afwezigheid van rivierwaterinstroming en waarin de schelpdier-kwekerij floreerde, af te sluiten, wat het verlies van een waardevol

binnenlands ecosysteem zou betekenen. De tegenstand groeide zodanig, dat werd afgezien van complete afsluiting en een halfopen dam werd gebouwd, de Oosterschelde Stormvloedkering (OSK), voltooid in 1986. Het getijvolume is hiermee met 30% gereduceerd.

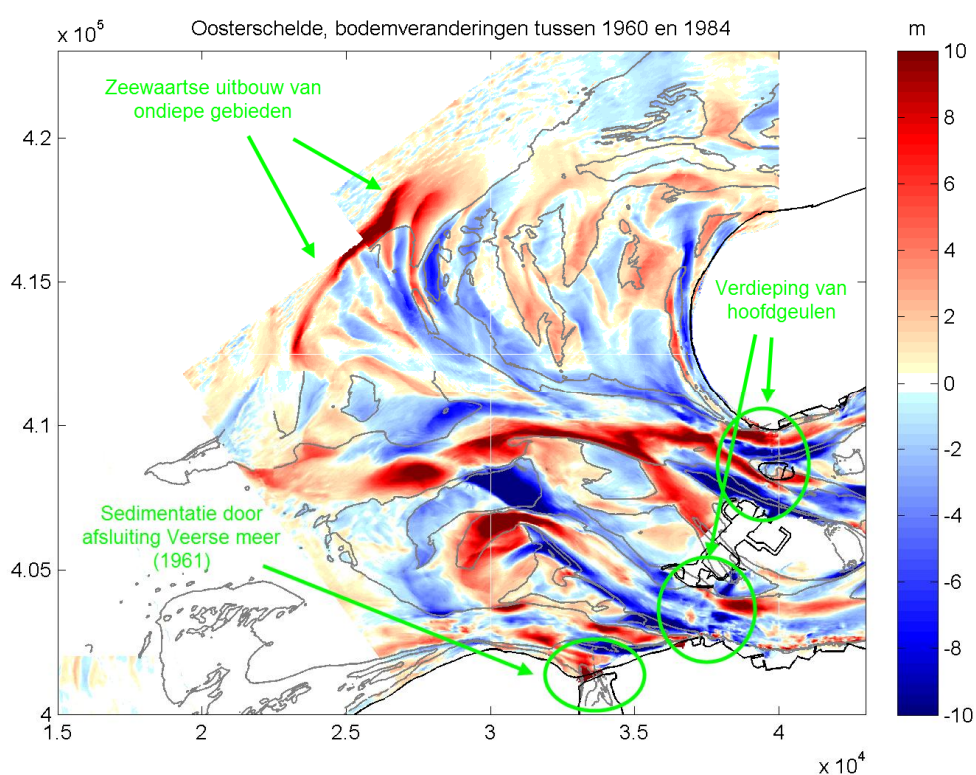
Het geheel of gedeeltelijk afdammen van de zeegaten had een enorm effect op de buitendelta's: de sterke vermindering van de dwars op de kust gerichte getijstroming veroorzaakte een reeks van morfologische veranderingen, die tot op de dag van vandaag voortduren. Daarenboven veranderden de hydrodynamica en de morfologie ook door het grootschalige baggeren in de Westerschelde en in de Wielingen vaargeul, de meest zuidwestelijke geul van de buitendelta.



Figuur 3.4 Overzicht van het Zeeuwse en Zuid-Hollandse deltagebied dat tezamen de Voordelta vormt. Met de voornaamste afsluitdampen van het Deltaplan (rood-gestreepte lijnen) en de grenzen van de buitendelta's (ebb-tidal delta's) van de verschillende zeegaten (dunne witte lijnen). (Elias et al, 2016).

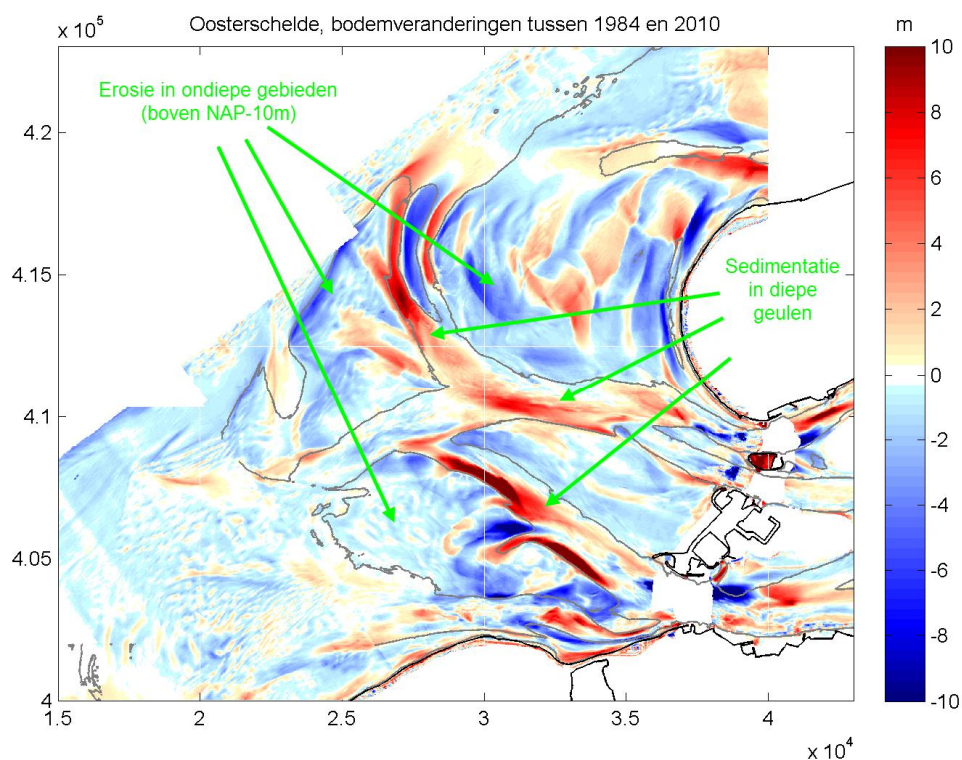
De aanleg van de Grevelingendam en het Volkerakkanaal in de jaren '60 van de 20^e eeuw zorgden voor een toename van het getijprisma van de Oosterschelde en een export van sediment. Als gevolg daarvan groeide de buitendelta snel: de ondiepten breidden uit in zeewaartse richting en de geulen werden groter en circa 30% dieper, zie Figuur 3.5.

Door de afsluiting van het Veerse meer in 1961 is net voor de Veerse Dam aanzanding opgetreden (Figuur 3.10) en heeft een kleine plaat zich aan de oever gehecht (Figuur 3.7). Na aanlanding erodeert de plaat aan zeewaartse zijde. De nieuwe vloedgeul, de Schaar van de Onrust, ligt ter hoogte van de dam een stuk uit de kust maar komt richting het oosten dichter naar de kust. Bij Noord-Beveland vindt door landwaartse migratie van deze geul structurele erosie plaats langs ongeveer 100 meter van de kust (Van der Werf et al. 2010).



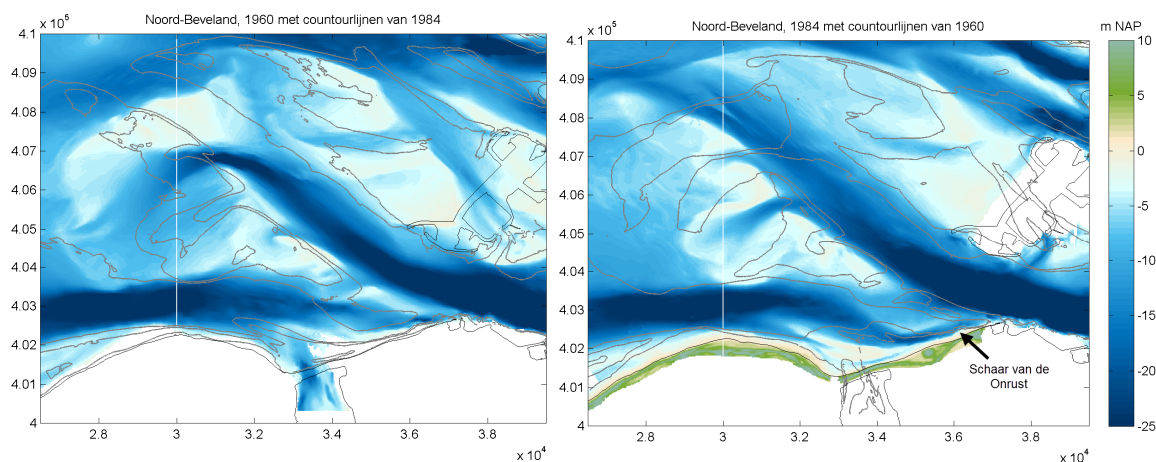
Figuur 3.5 Bodemveranderingen in de buitendelta van de Oosterschelde na de afsluitingen binnen in de Oosterschelde tussen 1960 - 1984. De grijze contourlijnen behoren bij de bodemligging van 1960, en geven de ligging van NAP -10m, -5m en 0m aan. (Dijkstra en Vergouwen, 2013)

De aanleg van de OSK, voltooid in 1986 zorgde voor een flinke vermindering van stroomsnelheden van de getijstroom, waardoor het relatieve belang van de invloed van het getij ten opzichte van de golven afnam. Dit leidde tot drie typen veranderingen in de buitendelta: een sterke afname van morfologische activiteit, een kleine kloksgewijze rotatie van de geulen en een afname van het sedimentvolume. De delen boven de NAP-10 m dieptelijk laten de grootste erosie zien (Figuur 3.6), een gevolg van de relatief grotere invloed van golven. Verwacht wordt dat onder invloed van golfwerking de platen eerst verder zullen eroderen aan de zeewaartse zijde, waarna de achterliggende gebieden zullen volgen omdat deze geleidelijk aan steeds hogere golven blootgesteld worden.



Figuur 3.6 Bodemveranderingen in de buitendelta van de Oosterschelde tussen 1984-2010. De grijze contourlijnen behoren bij de bodemligging van 1984, en geven de ligging van NAP -10m en 0m aan. (Dijkstra en Vergouwen, 2013)

De meeste geulen vertonen aanzanding, met uitzondering van de geulen dichterbij de kust, die erosie vertonen. Dit is duidelijk te zien voor de kust van Schouwen (Figuur 3.6) en bij Noord-Beveland aan het dieper worden van de ebschaar ten noorden van de Onrust en de vloodschaar 'de Schaar van de Onrust' (Figuur 3.7). Deze laatste is daarbij in het oosten nog verder richting kust verplaatst.



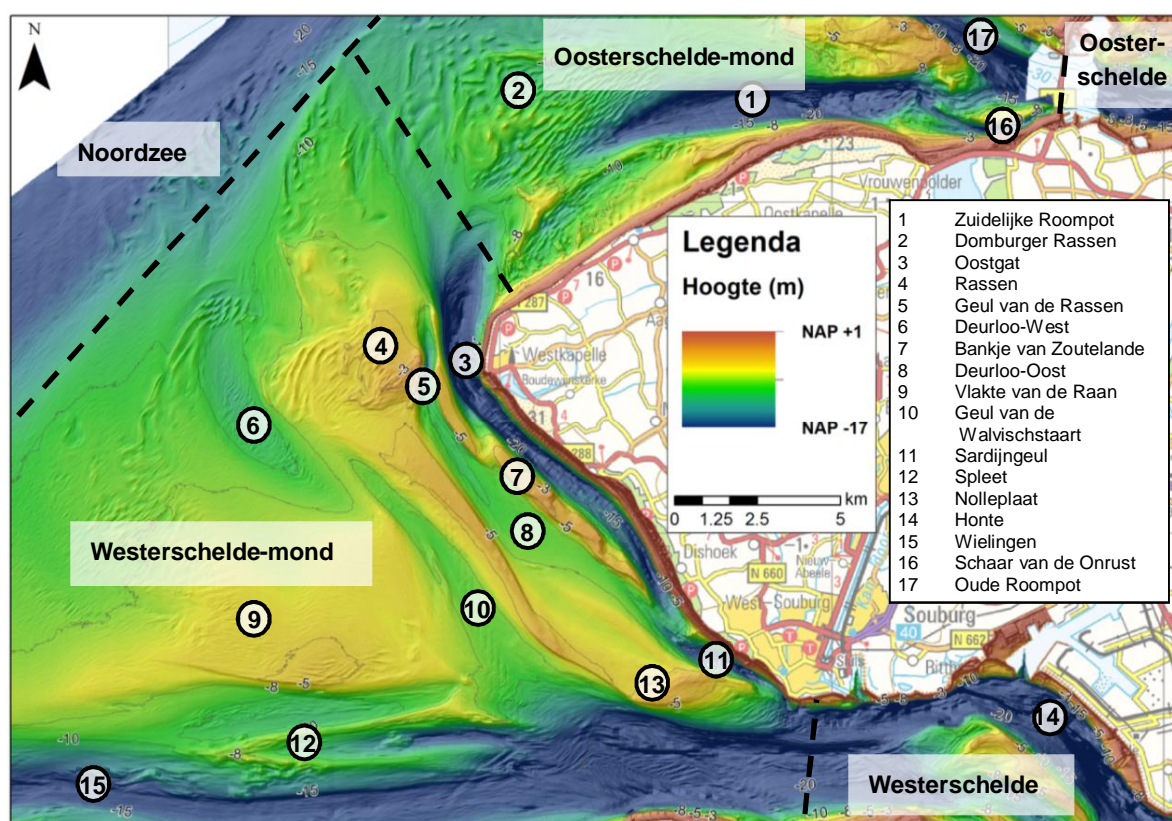
Figuur 3.7 Bodemligging van de Oosterscheldemonding bij de kust van Noord-Beveland in 1960 (links) en in 1984 (rechts). De grijze contourlijnen geven de bodemligging in 1984, respectievelijk 1960 weer. Voor de dam heeft zich een zandplaat gevormd. Aan de oostkant van de kust van Noord-Beveland (nabij de kering) is de Schaar van de Onrust tot een geul uitgegroeid. (Dijkstra en Vergouwen, 2013)

3.2.3 Huidige configuratie van geulen en platen

De belangrijkste geulen en platen rondom Walcheren en Noord-Beveland zijn aangegeven in Figuur 3.8. Ter indicatie zijn hierin ook de grenzen tussen de Noordzee, de mondingen en de estuaria aangegeven, dit zijn echter geen harde grenzen. In de Oosterscheldemonding liggen de geulen Roompot en Schaar van de Onrust en de ondiepte Domburger Rassen. Langs de zuidwestkust liggen de geulen Oostgat en Sardijngeul met ter plaatse van de overgang een drempel (ten zuiden van Dishoek). Deze drempel wordt regelmatig gebaggerd om deze op diepte te houden ten behoeve van de scheepvaart. Bovengenoemde geulen vormen samen de kortsluitgeul tussen de Westerschelde en de Oosterschelde.

Aan zeewaartse zijde van het Oostgat ligt een ondiepe bank, het Bankje van Zoutelande, dat het Oostgat scheidt van de geul Deurloo-Oost/Geul van de Rassen. Oorspronkelijk liep de geul Deurloo ten zuiden van de ondiepte Rassen door naar het westen, maar door de vorming van een noordwest-zuidoost lopende ondiepte is het oostelijke deel nu verbonden met de Geul van de Rassen. Het westelijke deel maakt nu verbinding met de Geul van de Walvischstaart. De grote ondiepe vlakte ten zuiden hiervan is bekend als de Vlakte van de Raan. De grote oost-west lopende geul in het zuiden, Wielingen, is een belangrijke scheepvaartgeul voor Zeebrugge en de havens aan de Westerschelde. Deze geul wordt regelmatig gebaggerd om deze op diepte houden.

Voor de kust van Noord-Beveland liggen diverse banken, ondieptes en geulen die relevant zijn voor de ontwikkeling van de kust: De Schaar van de Onrust ligt vlak voor de kust, aan de andere kant hiervan bevindt zich de ondiepte van de Onrust. De bankensystemen Hompels, Noordland en Banjaard hebben een afschermende werking tegen golven uit het noorden en noordwesten. Mogelijk hebben de Domburger Rassen enige afschermende werking tegen golven uit het westen. De Roompot sluit aan op de zuidelijke opening van de stormvloedkering, en kent verder naar het westen twee takken: de Zuidelijke Roompot en de Oude Roompot. De laatste komt onder de Banjaard samen met het Westgat dat in verbinding staat met de noordelijke openingen in de OSK.



Figuur 3.8 Configuratie van geulen en platen. Bathymetrie gebaseerd op vaklodingen uit 2010 en 2011. (Vermaas en Bruens, 2013)

3.3 Grootschalige morfologie

3.3.1 Overzicht van de ontwikkelingen in het kustvak

In deze paragraaf wordt de ontwikkeling van de Voordelta beschreven en de invloed van de Deltawerken op de morfodynamische ontwikkelingen. De Voordelta omvat de samengestelde buitendelta's van de verschillende Zeeuwse zeegaten, namelijk Haringvliet, Grevelingen, Ooster- en Westerschelde. De ontwikkelingen in de Voordelta hebben een belangrijke invloed op de kust van de Zeeuwse eilanden (paragraaf 3.3.2). Voor het kustvak Walcheren zijn met name de Ooster- en Westerschelde buitendelta's van belang (paragrafen 3.3.3 en 3.3.4). De morfologische veranderingen in het gebied worden veroorzaakt door natuurlijke processen en menselijke ingrepen. Volgens Cleveringa (2008) hebben natuurlijke processen en menselijke ingrepen gevolgen van dezelfde orde van grootte. De volumeontwikkelingen zijn beschreven in paragraaf 3.3.7.

3.3.2 De Voordelta, een aaneengesloten systeem van buitendelta's van de (voormalige) zeearmen in Zuidwest Nederland (Lazar et al, 2017)

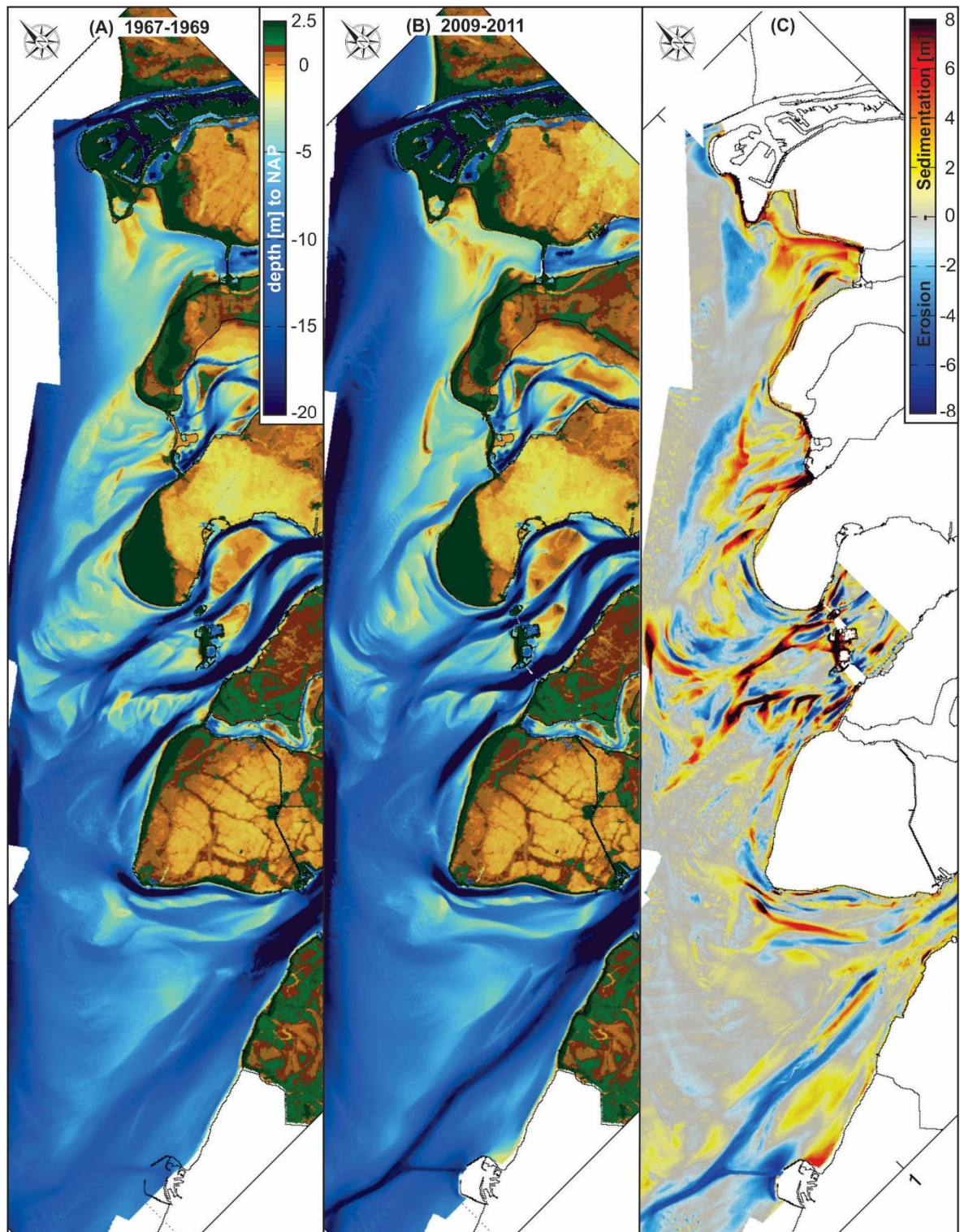
De kust van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden in het zuidwesten van Nederland bestaat uit vier (voormalige) getijdebekkens, van noord naar zuid Haringvliet, Grevelingen, Ooster- en Westerschelde, zie Figuur 3.4. Haringvliet, Grevelingen en de Oosterschelde zijn thans zijtakken van de samengevloede rivieren Maas en Rijn, terwijl de Westerschelde de benedenloop vormt van de rivier de Schelde. Alleen de Ooster- en Westerschelde staan nog in directe verbinding met de zee, de eerste door de halfopen Oosterschelde Stormvloedkering (OSK). De OSK laat de getijbeweging door in het estuarium, maar de bijbehorende werkeilanden en pijlers verminderden het getijvolume met ruwweg 35% (Vroon, 1994). De aaneengesloten buitendelta's vormen een betrekkelijk ondiep buitengebied: de Voordelta, die zich uitstrekt over 90 km tussen Hoek van Holland in het noorden en Zeebrugge (België) in het zuiden. De zeewaartse reikwijdte van de Voordelta gaat tot ongeveer 10 km buiten de kust. Van noord naar zuid neemt de gemiddelde diepte toe, terwijl het percentuele oppervlak van de ondiepe banken afneemt. Het sediment van de geulen en banken bestaat voornamelijk uit fijn tot matig fijn zand (Terwindt, 1973). Plaatselijk zijn harde, erosieresistente lagen aanwezig bestaande uit vaste kleipakketten (Van der Spek, 1997, Hijma, 2017).

In de Voordelta zijn getij en golven de voornaamste drijvende krachten. Krachtige getijstromingen en zware zeegang, vooral bij harde wind, vormen een hoog-dynamische omgeving, die vorm heeft gekregen in snel verplaatsende banken en platen, doorsneden door vele ondiepe en diepe getijdegeulen. Alleen de afvoersluizen in de Haringvlietdam (met een maximale capaciteit van 25.000 m³/s) kunnen tijdelijk gedurende zoetwater piekafvoeren zodanig merkbare dichtheidsverschillen in het zeewater bewerkstelligen, dat deze invloed kunnen hebben op de lokale bodemmorfolgie.

Het golfklimaat wordt beheerst door windgolven opgewekt in het ondiepe Noordzee-bekken. De gemiddelde significante golfhoogte is 1,3 m vanuit het west-zuidwesten, met een bijbehorende gemiddelde golfperiode van 5 s (Roskam, 1988; Wijnberg, 1995). Tijdens storm kunnen windgolven soms een hoogte van meer dan 6 m bereiken en zijn bijkomende waterpeilstijgingen van meer dan 2 m gemeten.

Het twee-keer daagse getij beweegt evenwijdig aan de kust naar het noorden bij vloed en naar het zuiden bij eb. De getijslag neemt af van 3,86 m bij Vlissingen aan de Westerschelde tot 1,74 m bij Hoek van Holland ten noorden van het Haringvliet. In het algemeen zouden volgens de indeling van Davis en Hayes (1984), de zeegaten vóór de afsluiting gekenmerkt worden door 'gemengd-energetisch golfgedomineerd' in het noordelijk deel, tot 'gemengd-energetisch getij-gedomineerd' en uiteindelijk 'getij-gedomineerd' in de zuidelijke Westerscheldemond. Niettemin vertoont de morfolgie van de grootste zeegaten getijde-gedomineerde kenmerken zoals een grote buitendelta en diepe geulen. Deze zijn het gevolg van een groot getijde-volume en betrekkelijk gematigde golfenergie.

Figuur 3.9 laat de grootschalige morfologische veranderingen in de Voordelta zien over de periode 1968-2010, waarin de ontwikkelingen vallen die zijn opgetreden na de afsluitingen in het kader van het Deltaplan.



Figuur 3.9 De bodemligging van de Voordelta voor de jaren (A) 1968 (gebaseerd op de Vaklodgingen 1967-1969) en (B) 2010 (gebaseerd op de Vaklodgingen 2009-2011). De morfologische veranderingen in deze periode worden getoond door de sedimentatie- en erosie patronen in (C). (Elias et al, 2016).

3.3.3 De Oosterschelde buitendelta (Elias et al, 2016; Elias en van der Spek, 2014, 2015)

De Oosterschelde buitendelta bestaat uit een complex patroon van meerdere geulen dat in het noorden is begrensd door een ondiep gebied, de Banjaard. De Banjaard plaat is doorsneden door kleinere geulen (Figuur 3.11 A-C). De hoofdgeulen Hammen en Geul van de Roggenplaat liggen ten noorden van de Middelpaats-Neeltje Jans, waar de controlegebouwen van de Oosterschelde Stormvloedkering (OSK) zich bevinden. Richting zee vloeien deze geulen samen in het Westgat, dat weer een noordelijke en een zuidelijke uitstroming heeft. De noordelijke tak wordt de Geul van de Banjaard genoemd en snijdt, zoals de naam al aangeeft, door de Banjaard plaat en verdeelt deze in een landwaarts en een zeewaarts gelegen deel. Het zuidelijk deel van de Oosterschelde buitendelta wordt beheerst door de grote Roompot geul. De in westelijke richting gelegen tak, die pal zeewaarts van de noordwestelijke kust van Walcheren ligt, wordt Zuidelijke Roompot genoemd; de hoofdtak loopt naar het WNW en heet Oude Roompot. Deze eb-gedomineerde geul heeft een uitstroming naar het Westgat. Kleine zijtakken (ebschaartjes) hebben 'spill-over' type afzettingen gevormd naar het ZW, dit platengebied (het ebschild) heet de Hompels (14). Figuur 3.11A-C laat het patroon van geulen en banken zien.

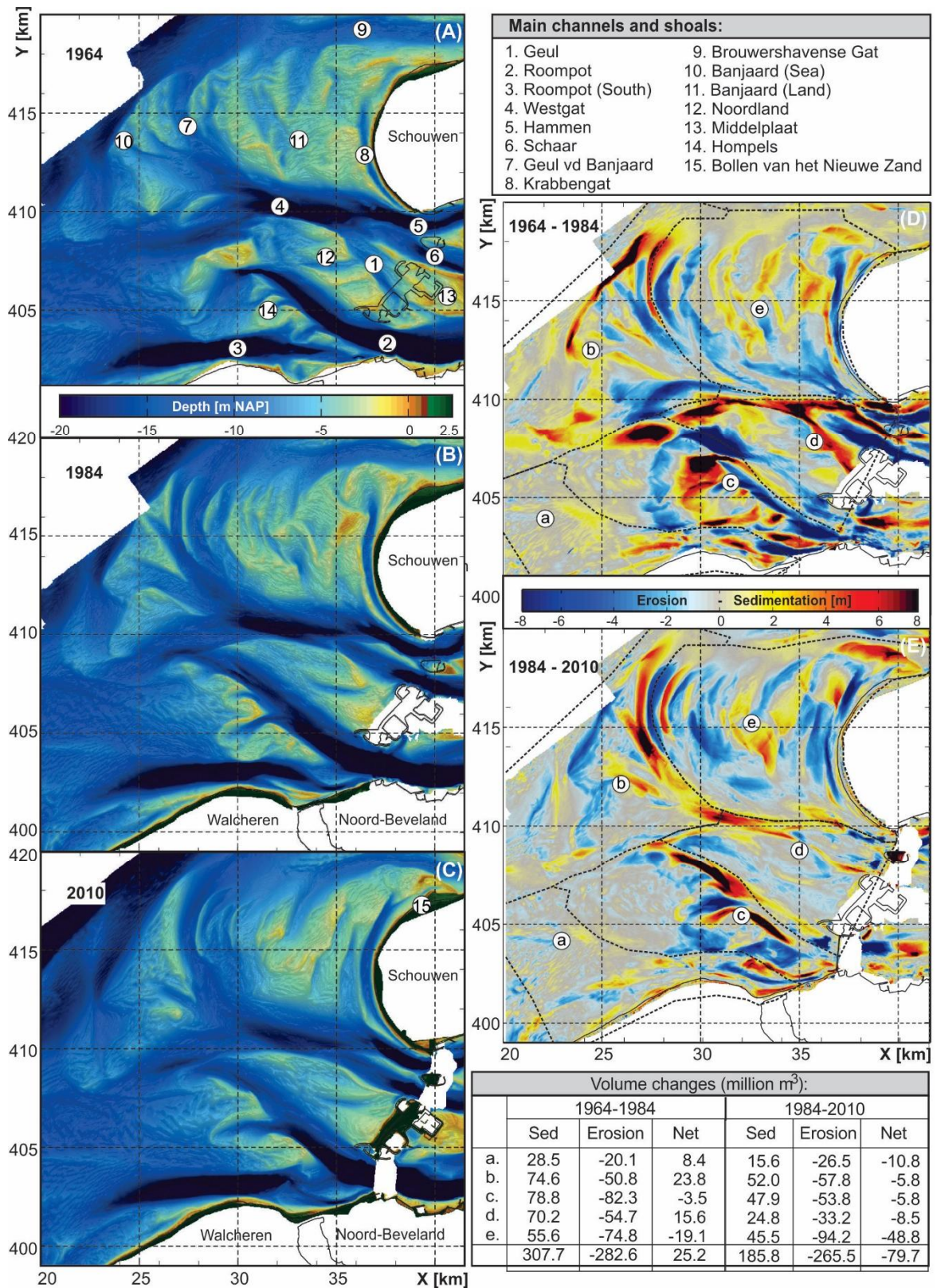
Voor de voltooiing van de OSK nam het sedimentvolume van de Oosterschelde buitendelta toe door de toename van het getijvolume, dat werd veroorzaakt door ingrepen in het estuarium. Dit is een voortzetting van de ontwikkeling, die al begon in vorige eeuwen en werd veroorzaakt door het ontstaan van een verbinding van de Oosterschelde met het Hollands Diep. Van den Berg (1984) en Eelkema et al (2012) geven aan dat de volumetoename tussen 1965 en 1984 het resultaat is van verhoogde sedimentexport, veroorzaakt door de verandering in de hydrodynamica door de aanleg van de Volkerak- en de Grevelingendam. Door sedimentatie van zand, geëxporteerd door het estuarium naar de uiteinden van de geulen, breidde de buitendelta zich in zeewaartse richting uit. Het is niet duidelijk of in dit stadium de Oosterschelde buitendelta ook zand herverdeelde naar de naburige delta's. De getijstroming in het zeevat concentreerde zich in de hoofdgeulen, aangezien de kleinere takken waren afgedamd, waardoor weer meer erosie optrad. Aanzienlijke erosie in het Westgat en de Geul van de Banjaard veroorzaakte een vermindering van het sedimentvolume van de Banjaard (landzijde) tussen 1964 en 1984.

De voltooiing van de OSK leidde niet tot grote veranderingen in het geulenpatroon in de buitendelta, omdat de getijstroming door het halfopen karakter van de kering in stand bleef. Alleen de Geul, geblokkeerd door het werkeiland Neeltje Jans, verzandde geheel (Figuur 3.11A, 1 en D). Niettemin heeft de constructie van de OSK het actieve getijde-doorstroomoppervlak gereduceerd (van 80 000 tot 17 900 m²) en is het getijdebekkenoppervlak door de aanleg van de secundaire compartimenteringsdammen verminderd (van 452 tot 351 km²), wat heeft geleid tot ca. 30% reductie van het getijvolume ten opzichte van dat van 1983, net voor de in gebruik name van de kering en de voltooiing van de Deltawerken. Louters en Van den Berg (1998) geven aan dat het getijvolume voor de Deltawerken toenam van 1130 miljoen m³ in 1959 tot 1189 miljoen m³ in 1980 en afnam tot 837 miljoen m³ in 1987, na de ingebruikname van de kering. Bovendien werd de sedimentuitvoer uit het estuarium volledig geblokkeerd (behalve het suspensietransport) door de verhoogde funderings-drempel van de kering, die bestaat uit lange dorpelbalken die de pijlers verbinden, en de diepe ontgrondingskuilen, die zich in de jaren na de aanleg aan weerszijden van de kering op de randen van de met blokkenmatten beschermde bodem ontwikkelden. Met verminderde getijstroming en zonder sedimenttoevoer uit het getijdebekken begonnen golven de buitendelta geleidelijk te eroderen, net als de platen in het Oosterschelde estuarium.

Omdat de getijstrooming in de Noordzee niet veranderde, werd het geërodeerde sediment hoofdzakelijk in noordelijke richting getransporteerd, de richting van de dominante vloedstroom. De Banjaard, gelegen ten westen van het eiland Schouwen erodeerde, waardoor de gemiddelde diepteligging van het gebied toenam en de hierdoor snijdende geulen zich heroriënteerden in meer noord-zuid richting. Het Krabbengat, direct zeewaarts gelegen langs de westkust van Schouwen, verlengde in noordelijke richting en bouwde de Bollen van het Nieuwe Zand uit in NNO richting (Figuur 3.11C (15)). Door de uitbouw van dit vloedschild vernauwde het aan de noordelijke kant gelegen Brouwershavensche Gat. Bovendien verplaatste de uitstroming van het Brouwershavensche Gat zich naar het zuiden, insnijdend in de Banjaard en een vloedschild vormend. De erosie van de Banjaard verminderde hier de golfdissipatie, waardoor de golfaanval op de kust van Schouwen blijvend is toegenomen.



Figuur 3.10 Veerse Dam gezien in zuidelijke richting (2007, Beeldbank Rijkswaterstaat)



Figuur 3.11 Overzicht van de bodemligging van de Oosterschelde buitendelta in (A) 1964 (B) 1984 en (C) 2010. De morfologische ontwikkelingen over periode 1964 - 1984 verschilt aanzienlijk met die over de opvolgende periode 1984 - 2010. De veranderingen zijn weergegeven in sedimentatie- en erosiepatronen (D) 1964-1984 en (E) 1984-2010 en in de tabel met volumeveranderingen (Elias et al, 2016).

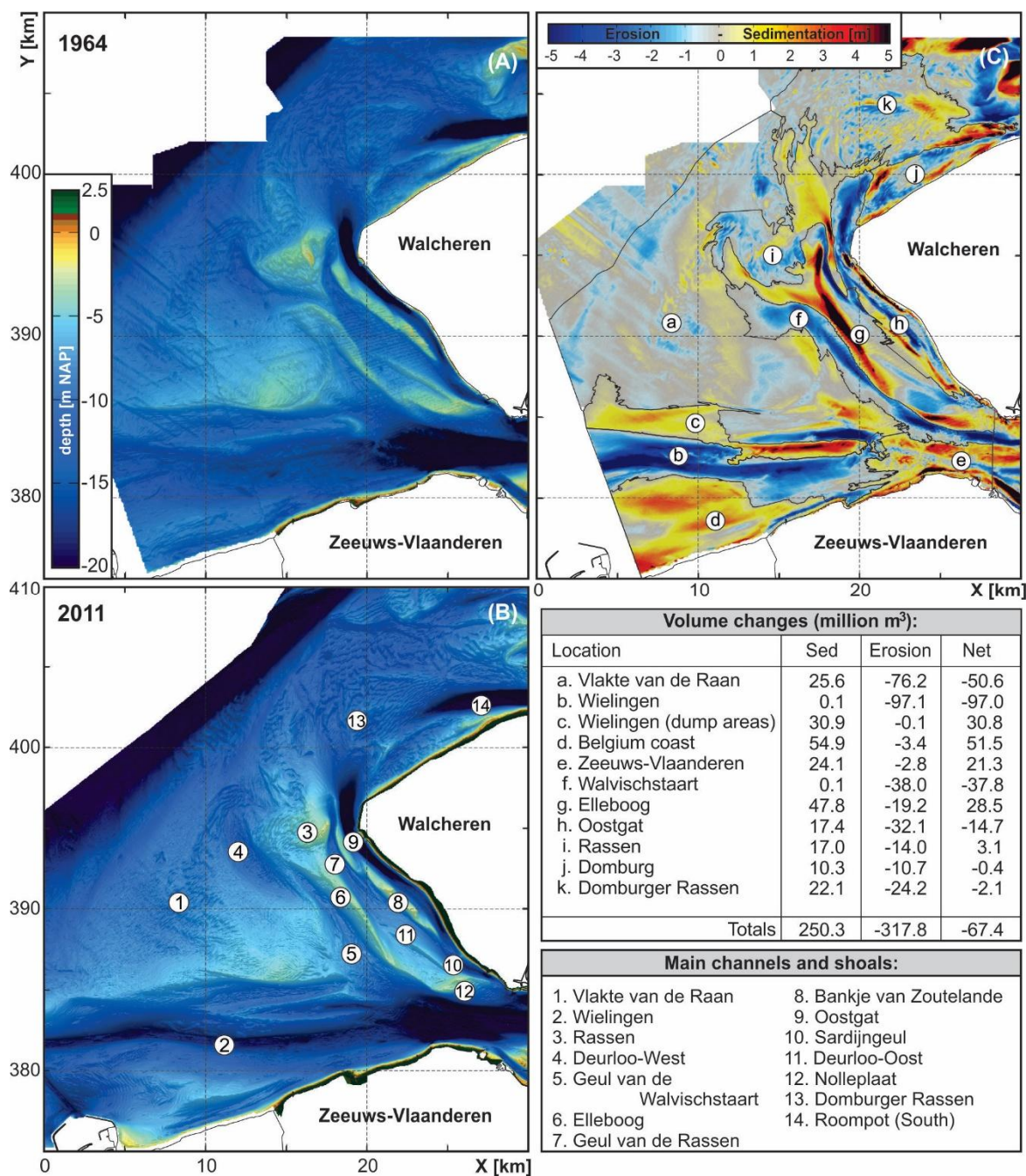
3.3.4 De Westerschelde buitendelta (Elias et al, 2016, Elias en van der Spek, 2014, 2015)

De Westerschelde buitendelta strekt zich uit van het eiland Walcheren in het noorden tot de Belgische kustwateren in het zuiden. De zuidelijke morfologische begrenzing is niet duidelijk vastgesteld, omdat ten zuiden van de monding van de Wielingen, zie Figuur 3.12, de kustzone samenvalt met de Vlaamse Banken, een gebied met ondiepe kustparallelle zandruggen, gescheiden door diepe troggen. De hedendaagse ligging van de Westerscheldemonding, met de grootste geul Wielingen in het zuiden en een stelsel van getijdegeulen en banken langs de zuidwestelijke kust van Walcheren, ontstond ongeveer een eeuw geleden toen de Deurloo, een derde geul die de grote sublitorale plaat Vlake van de Raan doorsneed, verzandde. Dit proces moet al ver voor 1800 begonnen zijn en houdt verband met verandering van het betrekkelijke belang van de geulen in de afvoer van het getijdebiet, aangezien het getijvolume niet belangrijk was toegenomen (Van den Berg, 1987). Met toenemende afvoer verdiepte de Wielingen en droeg daarmee bij aan de erosie van de kustlijn van Zeeuws-Vlaanderen. De vorming van het twee-geulen stelsel had een belangrijke invloed op de morfodynamische processen in het noordelijk deel van de buitendelta, waar de belangrijkste banken en het Oostgat allemaal noordwaarts draaiden of landwaarts verplaatsten (voor details zie o.a. Van Enkevoort, 1996, Van der Slikke, 1998).

Het twee-geulen stelsel is de laatste 45 jaar in stand gebleven, ondanks de gedeeltelijk afsluiting van de Oosterschelde en de belangrijke veranderingen in de Westerschelde, waar 400 miljoen in-situ m³ sediment is verplaatst door baggeren en storten en 114 miljoen m³ zand is gewonnen sinds 1955 (Haecon, 2006). In en langs de geulen vonden grote veranderingen in de buitendeltamorfologie plaats tussen 1964 en 2011. De Wielingen nam nog steeds in diepte toe, maar nu vooral ten gevolge van dan wel versterkt door baggeren direct in de geul en in de rest van het estuarium. Het baggeren in de Westerschelde en met name het verwijderen van de ondiepe drempels in de vaargeul, verminderde de hydraulische weerstand, waardoor het getijvolume toenam met 5-7% (Gerritsen en de Jong, 1983). Een deel van het gebaggerde sediment droeg bij aan de aanwas direct ten noorden en ten zuiden van de geul. Een gedetailleerd overzicht van de morfodynamische veranderingen in de Westerschelde buitendelta wordt gegeven in Elias en Van der Spek (2015). De toegenomen diepte van de Wielingen moet hebben bijgedragen aan de eerdergenoemde processen in het noordelijke deel van de buitendelta (Van den Berg, 1987). In de hedendaagse situatie treden drie parallelle geulen op langs de zuidwestelijke kust van Walcheren: Oostgat, Geul van de Rassen-Deurloo Oost en Deurloo-West-Walvischstaart, welke worden gescheiden door twee bankcomplexen (Figuur 3.12B). Het Bankje van Zoutelande, Rassen-Elleboog en Nolleplaat, die in 1964 nog afzonderlijke platen vormden, zijn vergroeid en vormen nu een langgerekt samengesteld platenstelsel.

Naar het zuidwesten van deze platen verdiepte en verlengde de Geul van de Walvischstaart zich, terwijl tussen de platen en het eiland het Oostgat ligt, tamelijk stabiel in ligging. Zijn stabiliteit is deels het gevolg van het bestaan van Tertiaire en Pleistocene erosiebestendige lagen in de geulwand, de zuidwestelijke bodem van Walcheren (Van der Spek, 1997). Het Oostgat wordt geleidelijk dieper over de gehele lengte en zijn zeewaartse deel buitengaats van de westelijke punt van Walcheren, breidt zich uit in noordelijke richting. Deze geul in de nabijheid van de kust heeft geresulteerd in kust- en geulwandering en veelvuldige zandsuppleties van de aanliggende stranden en vooroevers. Als de geulwandering niet wordt gestopt zal dat op termijn leiden tot vooroeverinstabiliteit en verlies van strand en duin. De suppletie van een groot volume zand (2,8 miljoen m³ in 2005, 6,3 miljoen m³ in 2009) op de vooroever van zuidwest kust van Walcheren, tevens de noordoostelijke geulwand van het Oostgat, heeft de vooroever gestabiliseerd en de as van de geul zeewaarts verplaatst (Nederbragt en Koomans, 2006, Dekker, 2012). De Vlake van de Raan, het middengedeelte

van de buitendelta gelegen tussen Wielingen en het geul-plaat systeem zeewaarts van Walcheren, erodeert waardoor het buitendelta front langzaam landwaarts migreert. Een opmerkelijke ontwikkeling is de vorming van een bijna doorgaande geul, waar het Oostgat zich in noordelijke richting uitbreidt en de Zuidelijke Roompot in zuidelijke richting. Betrekkelijk kleine netto-veranderingen worden waargenomen bij de Domburger Rassen, het noordelijke deel van de delta (Figuur 3.12C, polygoon k).



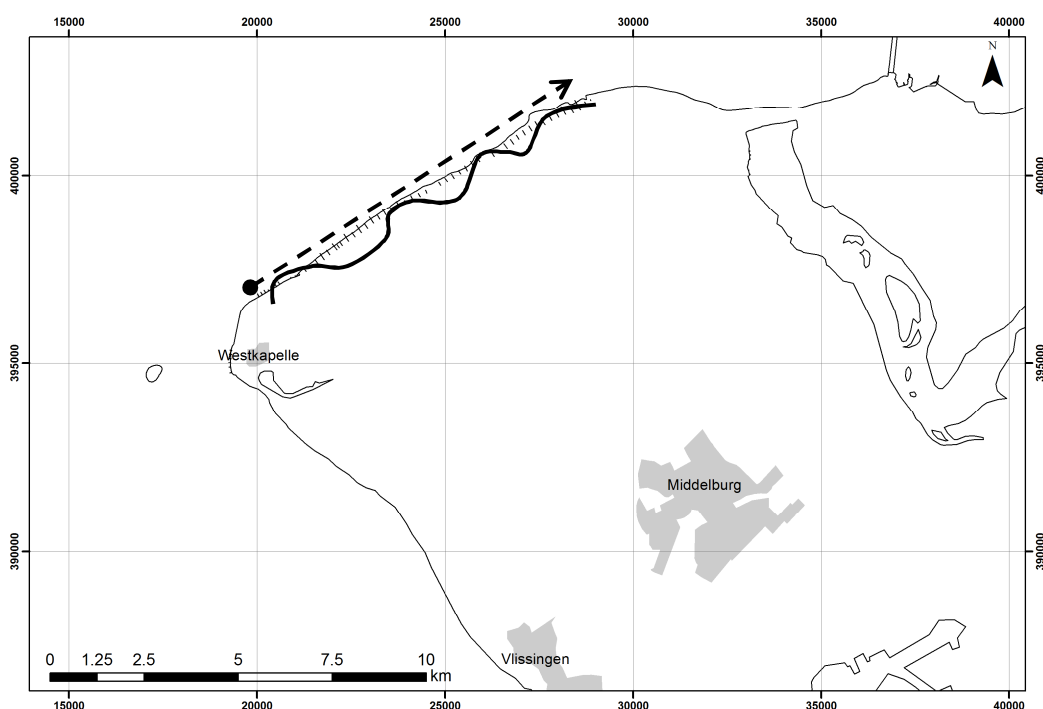
Figuur 3.12 Overzicht van de bodemligging van de Westerschelde buitendelta in (A) 1964 en (B) 2011. De sedimentatie- en erosiepatronen (C) en de tabel Volumeveranderingen vatten de morfologische ontwikkelingen in deze periode samen (Elias et al, 2016).

3.3.5 'Horizontale' zandgolven langs de kust

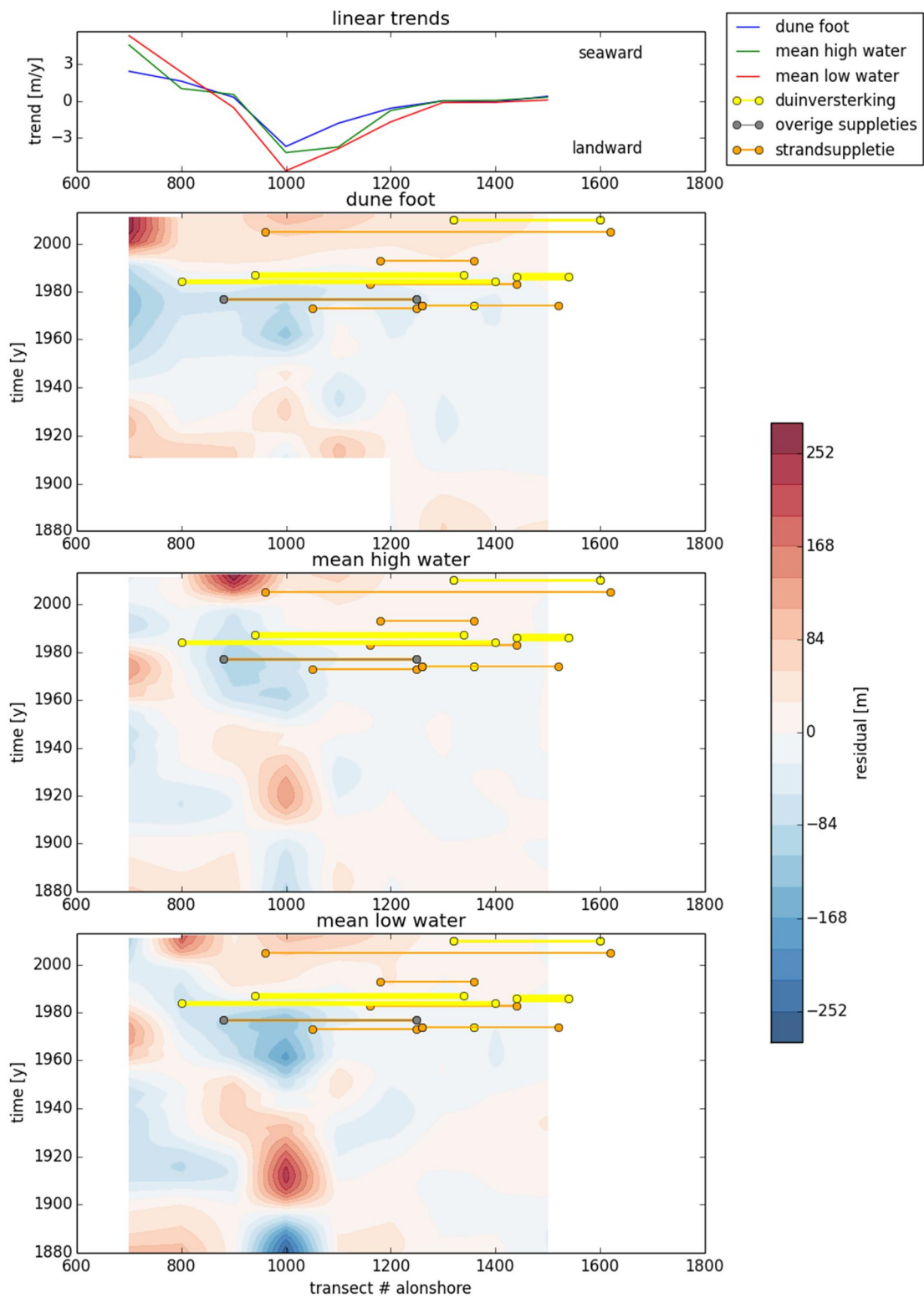
Langs de noordkust van Walcheren, vanaf Westkapelle, is bovenop de lange termijn (negatieve) trend van sedimentverlies ook een cyclische toe- en afname van sediment te zien. Deze toe- en afname verplaatst zich van het zuidwesten (Westkapelle) richting het noordoosten (Domburg en verder naar Oostkapelle, Figuur 3.13). Dit verschijnsel wordt horizontale zandgolf of kustzandgolf genoemd en is ook bekend van andere eilanden in de Delta en van de Waddeneilanden. Deze cyclische beweging is te zien in de verplaatsing van de laagwaterlijn. Hoozemans (1991) heeft een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd naar deze zandgolven. Voor het Deltagebied noemt hij een periode van 50 tot 135 jaar en een migratiesnelheid langs de kust van 30 tot 300 m per jaar. In Giardino et al (2014) wordt ook een analyse van 'sand waves' gegeven voor o.m. Walcheren, zie Figuur 3.14, dit is in feite een update van Figuur 3.15 van Maranus (1987).

Horizontale zandgolven hebben in het verleden het kustbeheer beïnvloed, doordat geplaatste strandhoofden geheel onder het zand bedekt raakten met het verplaatsen van een zandgolf. Hoewel strandhoofden en andere verdedigingswerken de zandgolf lokaal kunnen verstoren, hebben ze geen invloed op het grootschalig bewegingspatroon (Maranus en Verhagen, 1987). Het lijkt daarom ook onwaarschijnlijk dat ze op de totaalvolumes van de Ooster- of Westerscheldemonding (zie paragraaf 3.3.7) effect hebben.

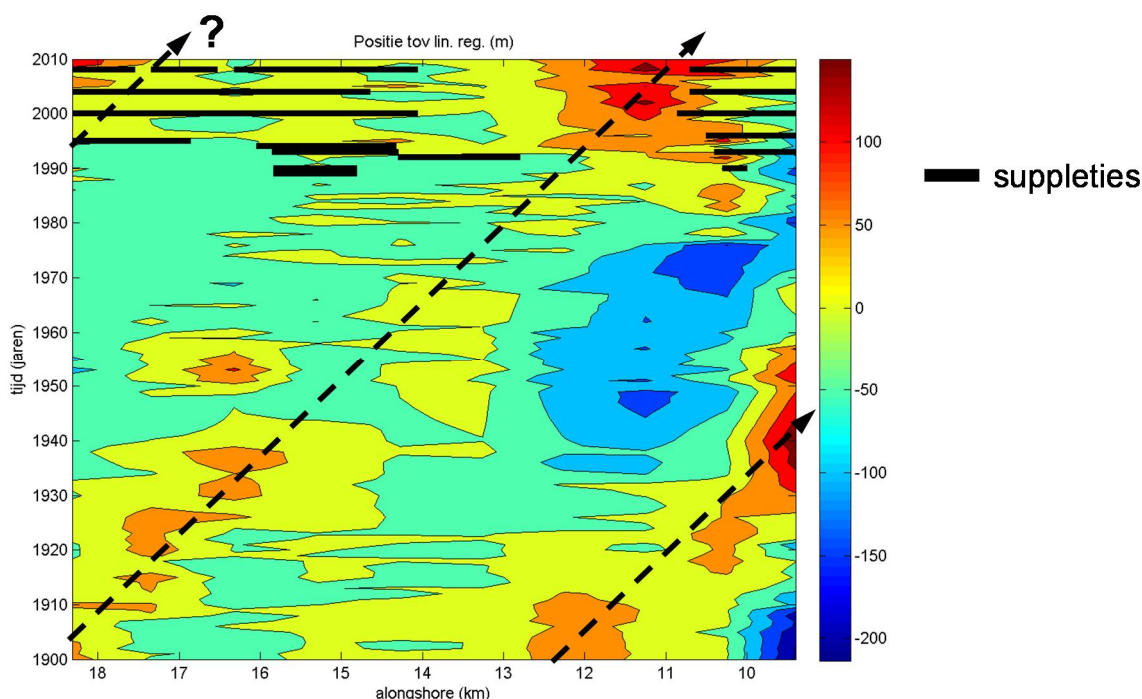
Tot 1990 zijn de zandgolven nog duidelijk zichtbaar in de positie van de laagwaterlijn ten opzichte van de lange-termijnregressie (Figuur 3.14). Sinds 1990 wordt de kust regelmatig gesuppleerd, wat langs noordwest Walcheren hoofdzakelijk ter plaatse van de 'troggen' van de zandgolven is gedaan. Hierdoor wordt het zandgolfpatroon minder of helemaal niet meer zichtbaar. Mogelijk is een nieuwe 'kam' van een zandgolf op dat moment ter plaatse van Westkapelle, maar de gemeten toename kan ook zijn veroorzaakt door de suppleties (zie pijl met vraagteken in Figuur 3.15).



Figuur 3.13 Schematische weergave van het voorkomen en de migratierichting van horizontale zandgolven langs de kust van Walcheren. (Vermaas en Bruens, 2013)



Figuur 3.14 Contour plots van residuele verplaatsing van duinvoet, gemiddelde hoog- en laagwaterlijn voor de kust van Walcheren ten opzichte van de lineaire trends (bovenste figuur). (Giardino et al, 2014).

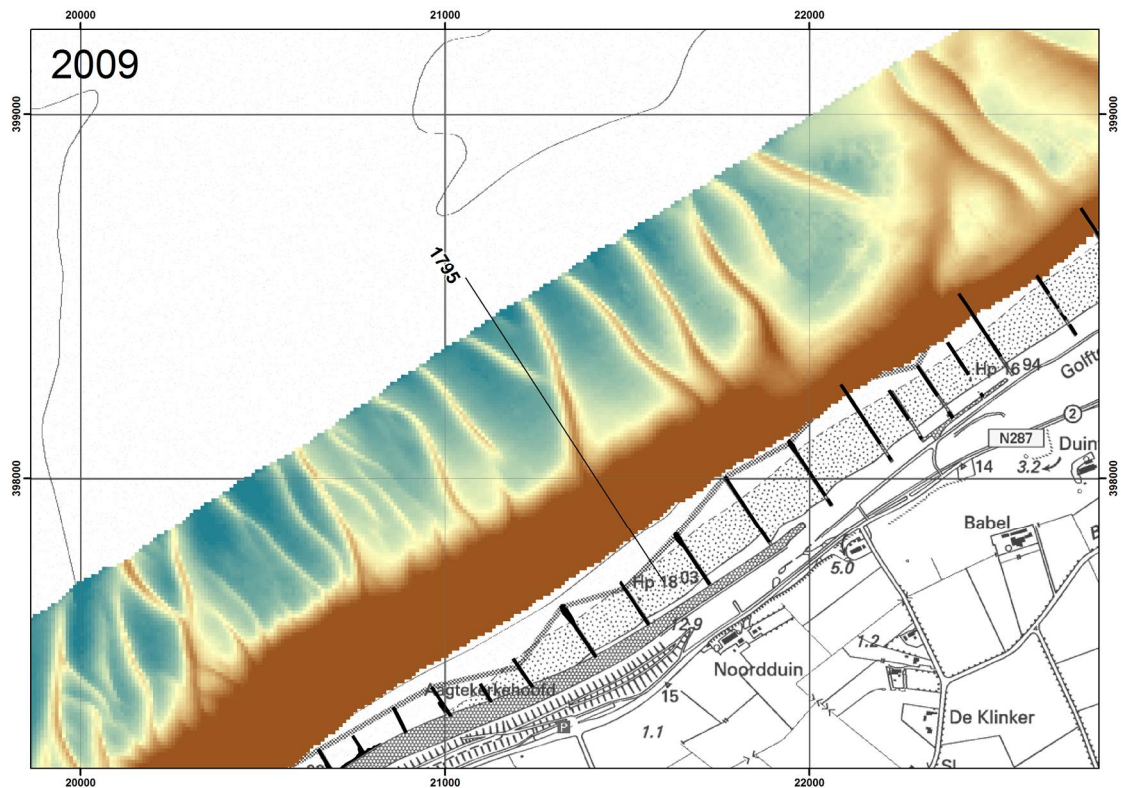


Figuur 3.15 Positie van de laagwaterlijn ten opzichte van de lange termijn lineaire trend, blauwe kleuren zijn harder achteruitgegaan en rode kleuren minder hard. In zwart zijn uitgevoerde strandsuppleties aangegeven, de pijlen geven de verplaatsing van de 'kammen' van de zandgolven langs de kust en in de tijd weer. (Maranus, 1987)

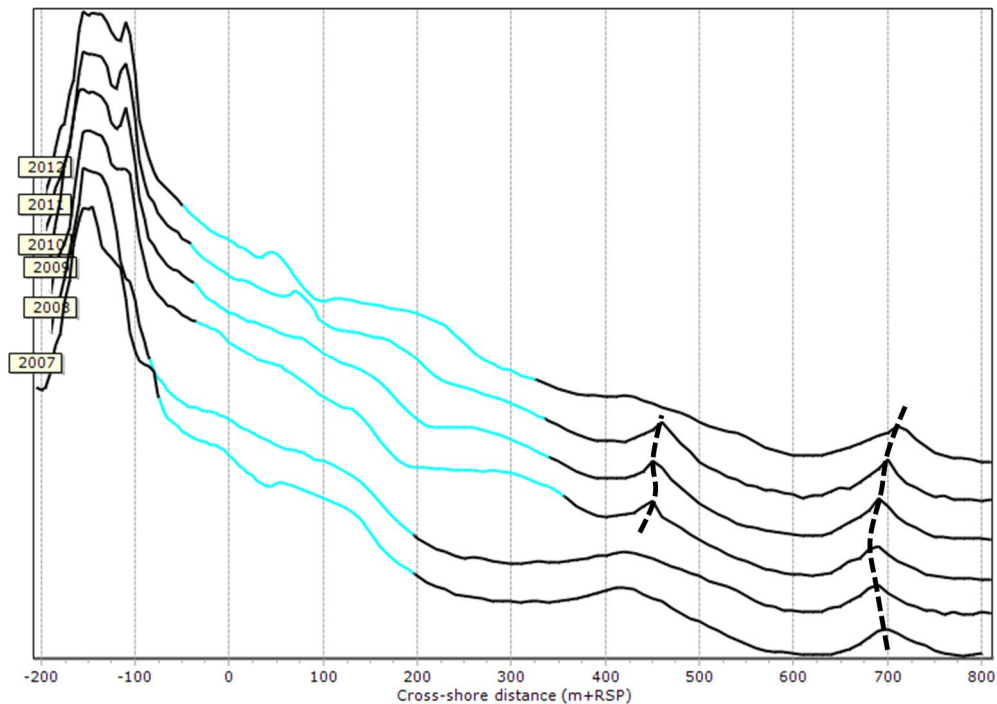
3.3.6 Zandgolven loodrecht op de kust

Naast de horizontale zandgolven wordt de term zandgolf ook gebruikt voor harmonische bodemvormen die in ondiepe zandige kusten voorkomen en ook in de hele Noordzee aanwezig zijn (Van Dijk en Kleinhans, 2005). Ze vormen kammen en troggen loodrecht op de getijdestroming en hebben migratiesnelheden in de orde grootte van meters tot tientallen meters per jaar.

Deze zandgolven zijn ook aanwezig in de geulen en de diepere delen voor de kust van Walcheren. Door de resolutie van 20x20 meter van de Jarkusgrids en vaklodgingen zijn zandgolven hier niet op te zien, maar hogere resolutie multibeam opnames tonen ze duidelijk (Figuur 3.16). Hoewel er geen onderzoek naar is gedaan, lijkt een directe invloed van deze zandgolven op het kustbeheer niet aanwezig te zijn. In Jarkus-profielen zijn kammen van migrerende zandgolven te zien als een knik in het profiel die zich zeewaarts of landwaarts kan verplaatsen. Dit is afhankelijk van de oriëntatie van de zandgolf ten opzichte van de raai en de richting waarin die migreert (Figuur 3.17). Of er een correlatie bestaat tussen deze zandgolven en de horizontale zandgolven langs het strand is nog niet bekend, maar is wel onwaarschijnlijk, want het zijn geheel verschillende morfologische verschijnselen met verschillende tijd- en ruimteschaal.



Figuur 3.16 Zandgolven langs de noordkust van Walcheren tussen Westkapelle en Domburg, zichtbaar in de multibeam opname van 2 december 2009. (Vermaas en Bruens, 2013)



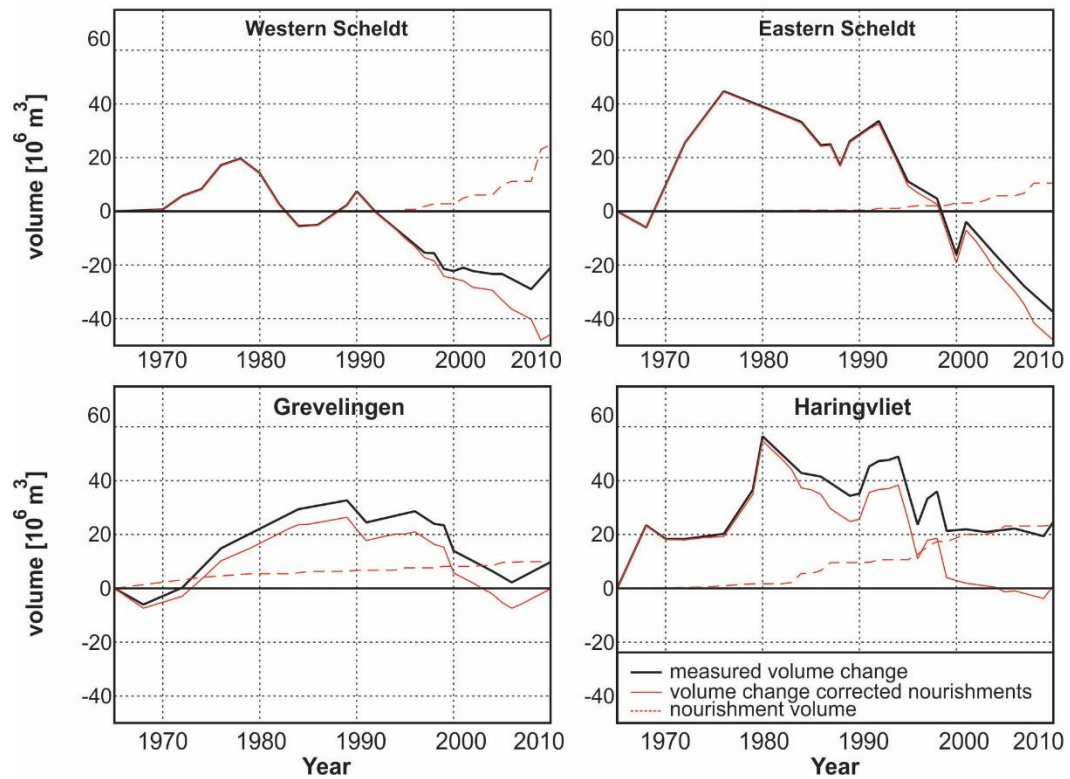
Figuur 3.17 Timestack van profiel 1795 van 2007 t/m 2012. Blauwe gedeelte is Basiskustlijn-zone, stippellijnen geven de beweging van zandgolf weer. Door de schuine oriëntatie van deze zandgolf op de kust (zie Figuur 3.13) lijkt die in de dwarsprofielen kustdwars te migreren. Hierdoor kan op basis van de profielen de zandgolf worden aangezien voor een kustparallelle zandbank. (Vermaas en Bruens, 2013)

3.3.7 Ontwikkeling zandvolumes buitendelta (Elias et al, 2016)

Een grote volumetoename van 45 miljoen m³ trad op in de Oosterschelde buitendelta tussen 1965 en 1976. Grote sedimentafzettingen zijn waargenomen in de afgesloten Geul, die in 1984 volledig was opgevuld en opgegaan in de verste delen van de Banjaard (Figuur 3.11 E d). Sinds 1980 is het volume van de buitendelta behoorlijk afgenomen met 77 miljoen m³ (Figuur 3.18), een erosiesnelheid van gemiddeld -2,67 miljoen m³/jaar. Het grootste deel van deze verliezen trad op in de Banjaard (-49 miljoen m³; Figuur 3.11E e). Erosie langs de aanliggende kustlijn van Schouwen maakte herhaaldelijke zandsuppleties nodig en sinds 1975 is al 8 miljoen m³ zand gesuppleerd. De ronde vorm van de kustlijn van de Kop van Schouwen en de aanwezigheid van de zich ontwikkelende geul Krabbengat direct zeewaarts hebben bijgedragen aan de erosie (Vermaas et al, 2015). Aanzienlijke zandafzettingen zijn waargenomen op de vloedbank Bollen van het Nieuwe Zand (zie paragraaf 3.3.3).

De volumeveranderingen van de Westerschelde en de Grevelingen buitendelta's zijn geringer dan die van de Oosterschelde. Net als bij de Oosterschelde toont de Westerschelde buitendelta erosie tussen 1980 en 2010 van -1,2 miljoen m³/jaar; na correctie voor de toegepaste suppleties neemt deze waarde toe tot -2 miljoen m³/jaar. Alleen op de Vlakte van de Raan overheerst de erosie (-76 miljoen m³) duidelijk over de afzetting van zand (+26 miljoen m³, zie Figuur 3.12 C a).

Grote morfodynamische veranderingen, 185 miljoen m³ bruto (Figuur 3.12C f-i) hebben plaatsgevonden langs de kust van zuidwest Walcheren, maar de resulterende netto toename van 21 miljoen m³ is beperkt. Een deel van deze toename moet worden toegeschreven aan herhaalde suppleties, die zijn uitgevoerd langs de kust van Walcheren. Zandsuppleties zijn hier al uitgevoerd sinds 1952, maar het grootste deel van de 17 miljoen m³ suppletiezand (80%) is aangebracht sinds 1991. Oorspronkelijk werd het zand uitsluitend als strand- en duinsuppleties aangebracht, maar sinds 2005 is de erosie van Oostgat ook succesvol tegengegaan met geulwandsuppleties (9,1 miljoen m³ in totaal). Aanvullende suppleties langs de noordwestelijke kust van Walcheren voegden daar nog eens 10 miljoen m³ zand aan toe.



Figuur 3.18 Cumulatieve volumeveranderingen van de verschillende buitendelta's (zwarte lijn), het volume gecorrigeerd voor suppleties (rode getrokken lijn) en het totale suppletievolume (gestreepte lijn) (Elias et al, 2016).

4 Kustlijnhandhaving en ontwikkeling voorover

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de ontwikkelingen van de voorover, in relatie tot het uitgevoerde beheer voor de kustvakken Walcheren en Noord-Beveland/Veerse Dam. Jaarlijks wordt aan de hand van posities van de Momentane Kustlijn en de Te Toetsen Kustlijn getoetst hoe de kustlijn erbij ligt ten opzichte van de Basiskustlijn. De resultaten van deze toetsing worden vastgelegd in de kustlijnkaartenboeken. Paragraaf 4.2 geeft een gedetailleerd overzicht van de ingrepen (vooral zandsuppleties) die langs de kust van Walcheren en Noord-Beveland hebben plaatsgevonden. De detailontwikkeling van de voorover onder invloed van de ingrepen staat beschreven in paragraaf 4.2.2 en de dynamiek van de zeereep in paragraaf 4.4. Zie ook de kustviewer via:

<http://kml.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/kustviewer/>

4.2 Uitgevoerde zandsuppleties

4.2.1 Overzicht

Op Walcheren zijn al sinds 1952 incidenteel zandsuppleties uitgevoerd en sinds 1990 regelmatig. Er zijn in de kustvakken Walcheren en Noord-Beveland voornamelijk strand-suppleties uitgevoerd, omdat door de aanwezigheid van geulen, zoals het Oostgat langs de gehele zuidwestkust van Walcheren en het relatief steile profiel langs de noordelijke kust, het minder goed mogelijk is om vooroever-suppleties uit te voeren. Dit is typisch voor de gehele Zeeuwse Delta, zie Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Verhouding strand/vooroeversuppleties voor de periode 1990-2012

Kustgebied	Strand miljoen m ³	Voorover miljoen m ³	Strand %	Voorover %
Wadden	26,6	37,6	41%	59%
Holland	33,8	49,2	40%	60%
Zeeuwse Delta	46,2	13,7	77%	23%

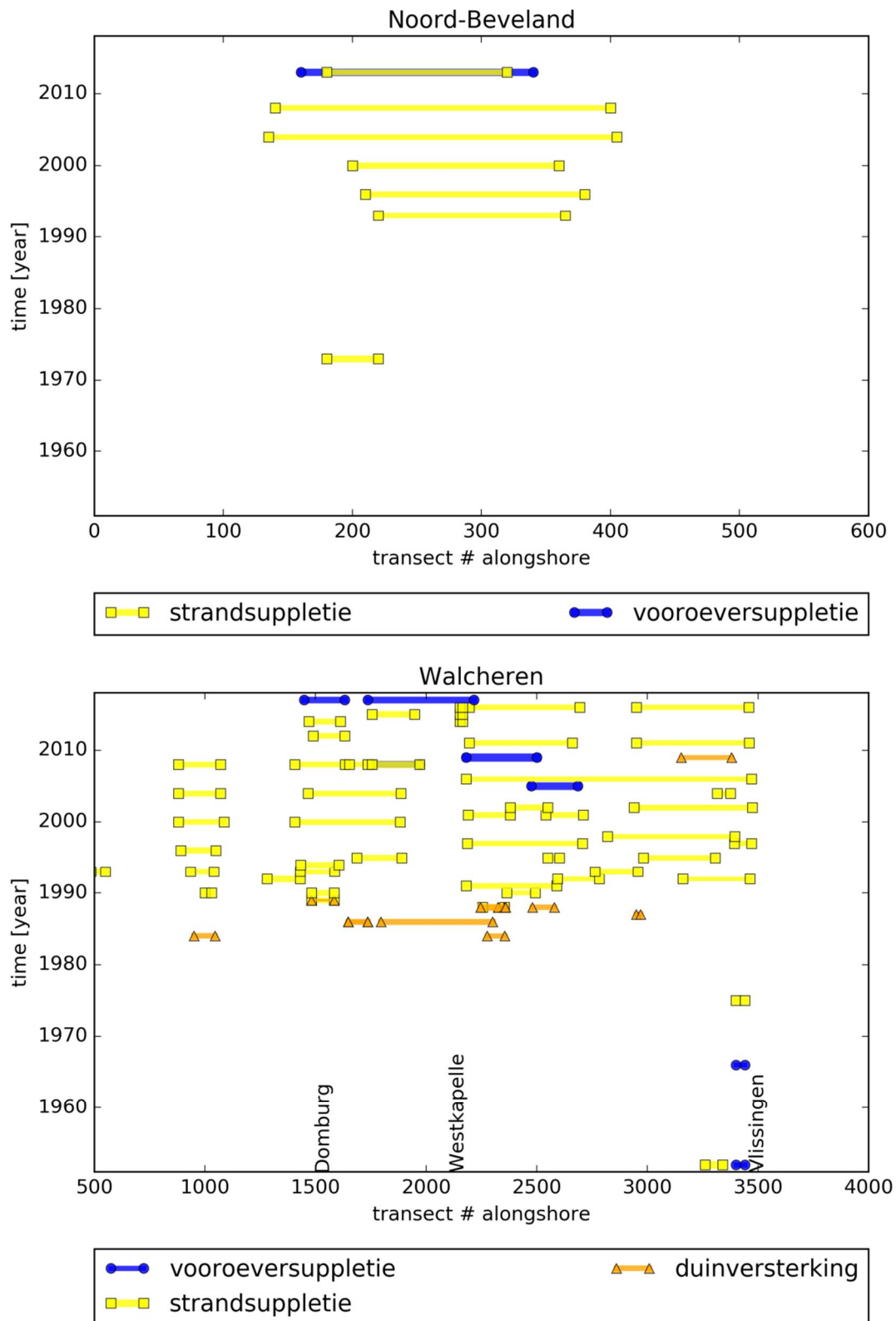
Tabel 4.3 en Tabel 4.2 geven een volledig overzicht van de suppleties in de kustvakken Walcheren en Noord-Beveland t/m 2017. In Figuur 4.1 zijn een aantal belangrijke suppleties in de periode tot 2012 weergegeven op de kaart. Figuur 4.2 geeft een overzicht van de locatie en periode van uitvoering van de suppleties, Figuur 4.3 geeft de cumulatief per kustvak gesuppleerde volumes en Figuur 4.4 het volume per strekkende meter kust. In Bijlage D zijn de kaartjes met het suppletieoverzicht opgenomen van alle jaren t/m 2017.

In 1952 en 1966 zijn bij Walcheren de eerste “vooroeversuppleties” uitgevoerd, zie Tabel 4.3 en Tabel 4.2. Deze zouden onder de huidige maatstaven echter als strandsuppletie worden omschreven. De eerste “echte” onderwatersuppletie was de geulwandsuppletie van het Oostgat in 2005 ter hoogte van Zoutelande. In 2008 is de eerste vooroever-suppletie uitgevoerd ten noordoosten van Westkapelle in het kader van de zwakke schakel Westkapelle. In 2009 is de geulwand van het Oostgat ter hoogte van Westkapelle gesuppleerd. In 2013 is een geulwandsuppletie uitgevoerd in de Schaar van de Onrust bij Noord-Beveland. De geulwand- en vooroever-suppleties worden verder beschreven in de paragrafen 4.2.2 t/m 4.2.4. In 2017 zijn nog vooroever-suppleties uitgevoerd bij de Westkappelse Zeedijk en bij Domburg.

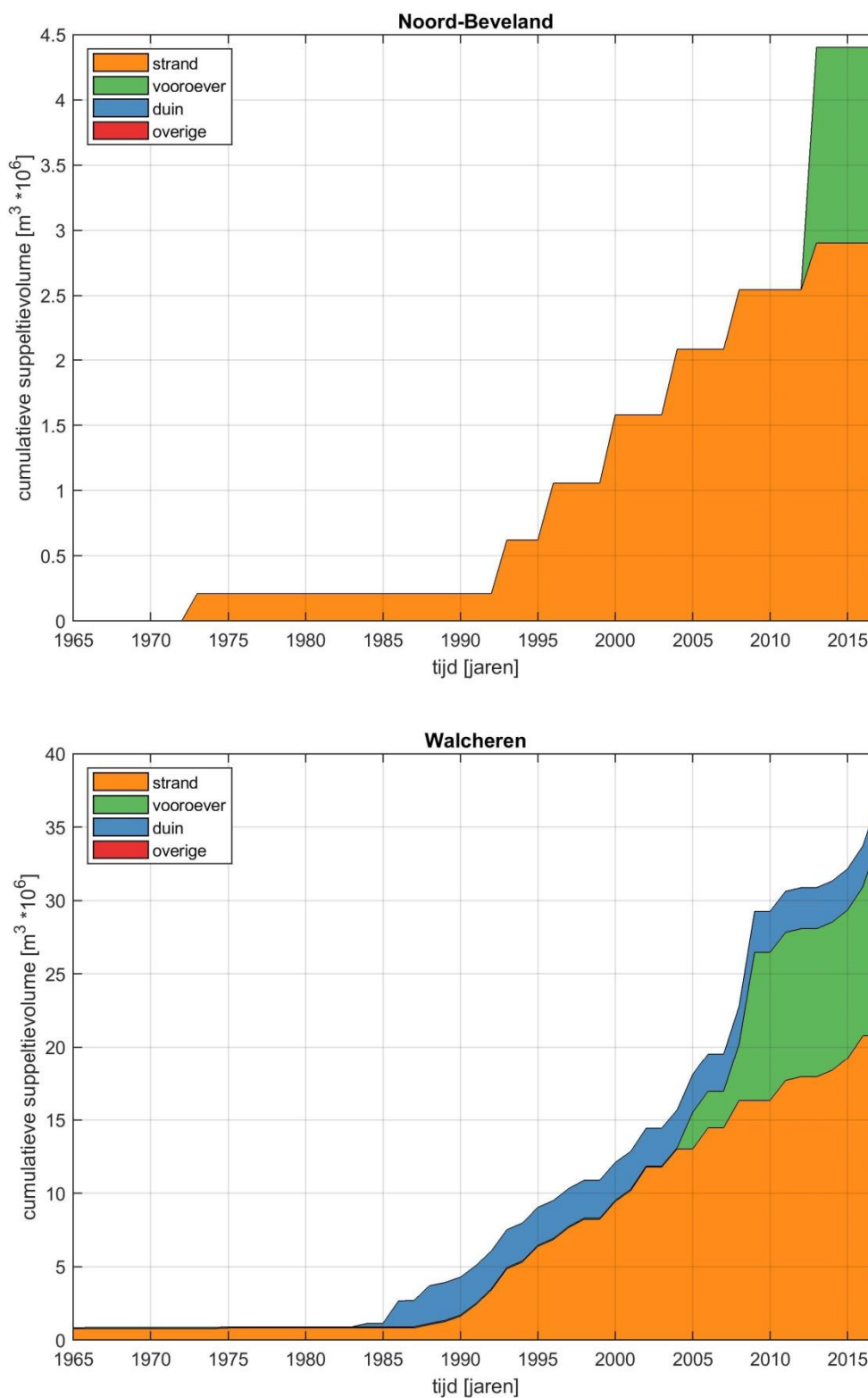
Er zijn meerdere duinversterkingen in de periode 1984-1989 uitgevoerd, zowel aan zeevaartse als landwaartse zijde. Deze zijn voornamelijk tussen Westkapelle en Zoutelande gedaan en een paar ter hoogte van Domburg. In 2009/2010 is in het kader van de zwakke schakel Nolle-Westduin ook een duinversterking uitgevoerd, achter de versterkte dijk.



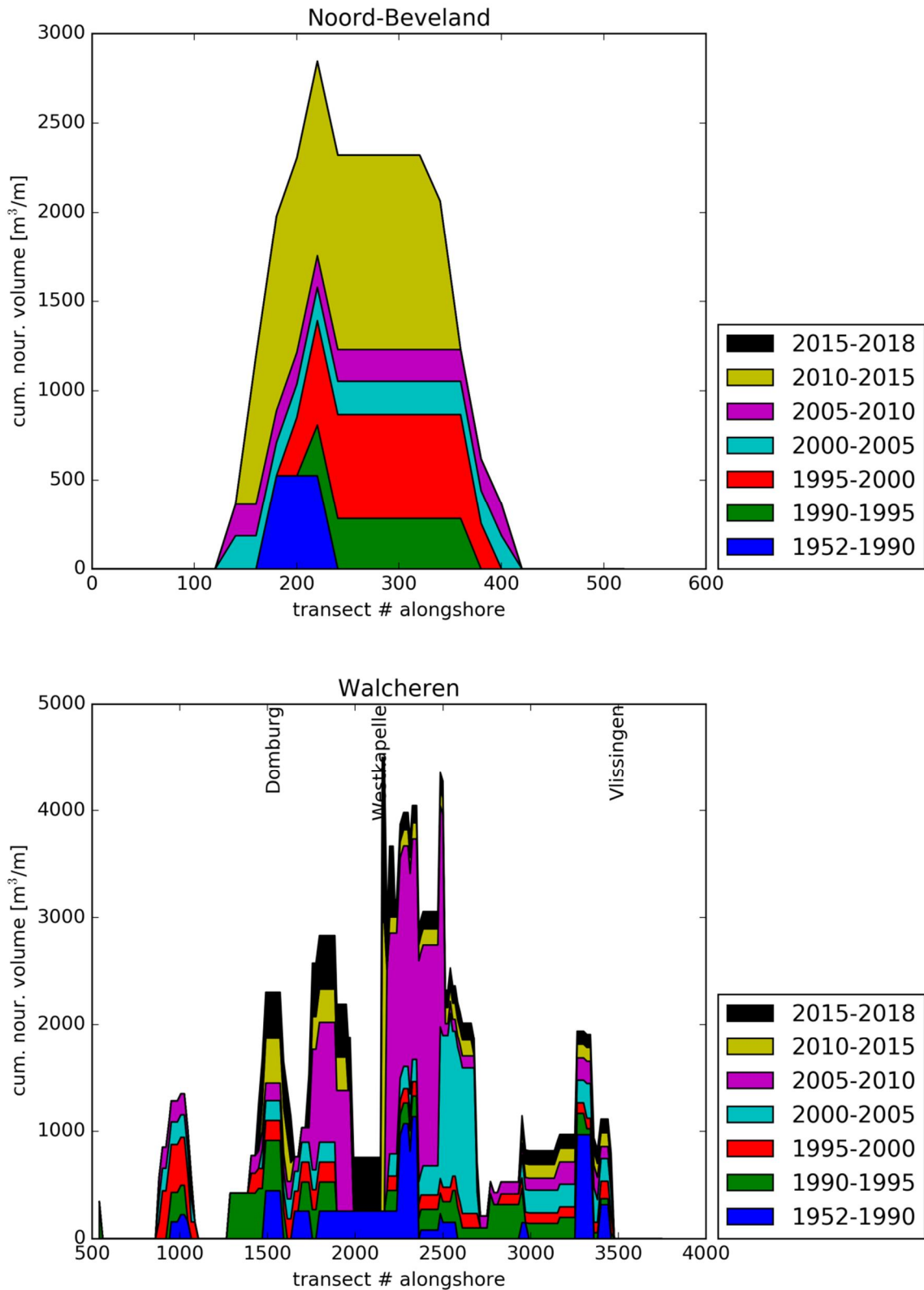
Figuur 4.1 Overzichtskaart met uitgevoerde suppleties tot 2012, rode vlakken zijn strandsuppleties, duin- en dijkverzwaringen, groene vlakken zijn onderwatersuppleties. De belangrijkste ingrepen zijn extra aangeduid. (Vermaas en Bruens, 2013).



Figuur 4.2 Overzicht uitgevoerde suppleties per raai per jaar t/m 2017. Boven kustvak Walcheren onder Noord-Beveland. Blauw = vooroeversuppletie, Geel = strandsuppletie en Oranje = Duinversterking (zie ook Lazar et al, 2017)



Figuur 4.3 Cumulatief per kustvak aangebrachte suppletievolumen t/m 2017. Boven kustvak Noord-Beveland, onder Walcheren. Groen = vooroeversuppletie, Oranje = strandsuppletie en Blauw = Duinversterking) (Let op verschil in schaal verticale as!)



Figuur 4.4 Cumulatieve suppletievolume per m per raai t/m 2017. Boven kustvak Noord-Beveland, onder Walcheren. Kleur geeft de periode aan.

Tabel 4.2 Uitgevoerde zandsuppleties Kustvak 15, Noord-Beveland t/m 2017

Locatie	Datum	Begin raai	Eind raai	Type	Volume (situ) [10 ³ m ³]	Volume [m ³ /m]
Onrustpolder	01-Jan-73	180	220	strandsuppletie	210	525
Onrustpolder	01-May-93	220	365	strandsuppletie	411	283
Onrustpolder	01-Jan-96	210	380	strandsuppletie	435	256
Onrustpolder	01-Jan-00	200	360	Strandsuppletie*	524	328
N-Beveland	01-Apr-04	135	405	Strandsuppletie*	502	186
Onrustpolder	01-Oct-08	140	400	Strandsuppletie*	461	177
Onrustpolder	01-Apr-13	160	340	onderwatersuppletie	1500	833
Onrustpolder	01-Apr-13	180	320	strandsuppletie	360	257
Totaal					4403	

*I.c.m. morfologisch baggeren Roompot-drempel

Tabel 4.3 Uitgevoerde zandsuppleties Kustvak 16, Walcheren t/m 2017

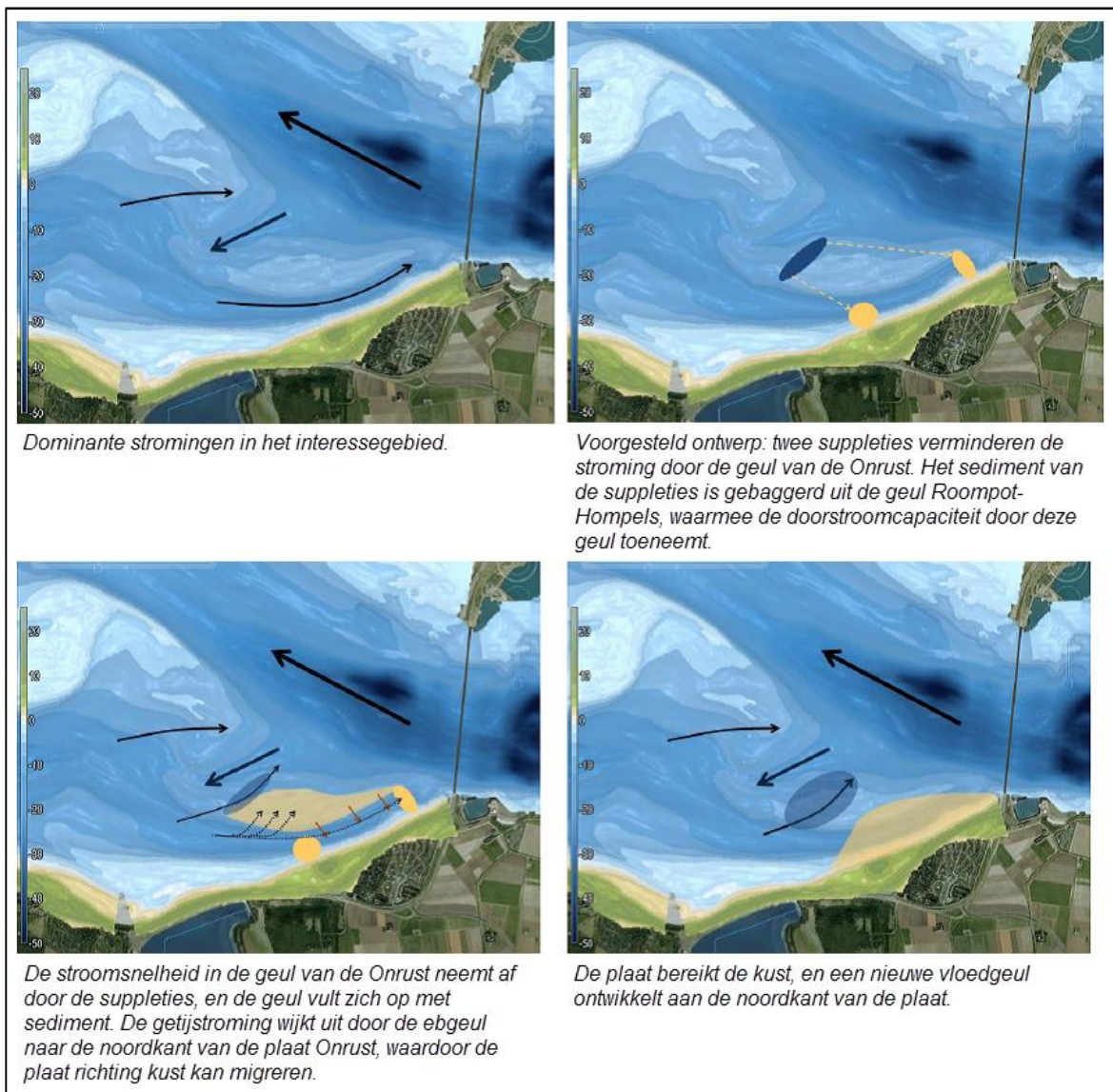
Locatie	Datum	Begin raai	Eind raai	Type	Volume (situ) [10 ³ m ³]	Volume [m ³ /m]
Vlissingen	01-Apr-52	3400	3440	onderwatersuppletie	50	125
Zwanenburg	01-Jan-52	3260	3340	strandsuppletie	775	969
Vlissingen	01-Jan-66	3400	3440	onderwatersuppletie	32	80
Vlissingen	01-Jan-75	3400	3440	strandsuppletie	45	113
Oranjezon	01-Apr-84	950	1045	duinverzwaring	150	158
Westkapelle-Joossesweg	01-May-84	2275	2356	duinverzwaring	90	111
Domburg golf-links	01-Sep-86	1647.5	1735	duinverzwaring	200	229
Domburg golf-links	01-Sep-86	1647.5	1735	duinverzwaring	25	29
Westkappelse Zeedijk	01-Jan-86	1795	2300	duinverzwaring	1300	257
Dishoek 'Huvers'	01-Mar-87	2950	2970	duinverzwaring	30	150
Boerenhof	01-Jan-88	2255	2354	strandsuppletie	230	232
Joossesweg	01-Jan-88	2325	2354	duinverzwaring	75	259
Joossesweg	01-Jan-88	2325	2354	duinverzwaring	19	64
Westkapelle-Zoutelande	01-May-88	2245	2358	duinverzwaring	532	471
Zoutelande	01-Jan-88	2480	2580	duinverzwaring	153	153
Kom Domburg	01-Apr-89	1481.4	1583.4	strandsuppletie	201	197
Kom Domburg	01-Apr-89	1481.4	1583.4	duinverzwaring	9	9
Kom Domburg	01-Jan-90	1481.4	1583.4	strandsuppletie	246	241
Oostkapelle	01-Jan-90	1000	1030	strandsuppletie	20	67
Westkapelle-Zoutelande	01-Jan-90	2364.5	2493.7	strandsuppletie	105	81
Westkapelle-Zoutelande	01-Jan-91	2180	2590	strandsuppletie	788	192
Domburg	01-Jan-92	1280	1430	strandsuppletie	637	425
Vijgeter-Vlissingen	01-Jan-92	3160	3463	strandsuppletie	169	56
Zoutelande-Vijgeter	01-Jan-92	2593	2783	strandsuppletie	192	101
Kom Domburg	01-Jan-93	1430	1585	strandsuppletie	318	205
Oranjezon	01-Jun-93	935	1040	strandsuppletie	287	273

Veerse Dam aansluiting	01-May-93	485	550	strandsuppletie	225	346
Zoutelande-Vijgeter	01-Mar-93	2763	2957	strandsuppletie	619	319
Kom Domburg	01-Jan-94	1433	1605	strandsuppletie	453	263
Dishoek	01-Jan-95	2550	2602	strandsuppletie	54	104
Domburg-Valkenisse	01-Jan-95	1686	1889	strandsuppletie	550	271
Zoutelande	01-Jan-95	2982.5	3306	strandsuppletie	463	143
Oranjezon	01-Jan-96	890	1050	strandsuppletie	464	290
Vlissingen badstrand	01-Mar-97	3393	3470	strandsuppletie	125	162
Westkapelle-Zoutelande	01-Apr-97	2185	2706.5	strandsuppletie	700	134
Zuidwestkust Walcheren	01-Apr-98	2820	3395	strandsuppletie	564	98
Domburg	01-Jan-00	1406	1883	strandsuppletie	886	186
Oranjezon	01-Feb-00	880	1086	strandsuppletie	323	157
Zoutelande	01-Mar-01	2540	2710	strandsuppletie	354	208
Westkapelle	01-Sep-01	2190	2380	strandsuppletie	393	207
Zoutelande-Vlissingen	01-Feb-02	2940	3475	strandsuppletie	1130	211
Westkapelle-Zoutelande	01-Jan-02	2380	2550	strandsuppletie	462	272
Dijk en Duin Zwanenburg	01-Apr-04	3315	3375	strandsuppletie	67	112
Oranjezon	01-Apr-04	880	1070	strandsuppletie	399	210
Westkapelle-Domburg	01-Apr-04	1465	1885	strandsuppletie	778	185
zuidwest (prog 2006)	01-Sep-05	2475	2685	onderwatersuppletie	2411	1148
Zuid-west	01-Mar-06	2180	3470	strandsuppletie	1439	112
Domburg	01-May-08	1406	1632.5	strandsuppletie	370	163
Westkappelse Zeedijk Zw.Sch.	01-Jun-08	1755	1970	onderwatersuppletie	1393	648
Oranjezon	01-Sep-08	880	1070	strandsuppletie	371	195
Westkappelse Zeedijk	01-Nov-08	1653	1735	strandsuppletie	110	135
Westkappelse Zeedijk Zw.Sch.	01-Nov-08	1755	1970	strandsuppletie	1023	476
Oostgat	01-Apr-09	2180	2500	onderwatersuppletie	6254	1954
Nolle Westduin (Zw.Sch.)	01-Oct-09	3153	3380	duinverzwaring	217	96

Dishoek	01-Mar-11	2950	3460	strandsuppletie	654	128
Zoutelande	01-Oct-11	2195	2660	strandsuppletie	702	151
Domburg	01-Feb-12	1489	1632	strandsuppletie	250	175
Domburg	01-Nov-14	1469	1612	strandsuppletie	350	245
Verspreidingsvak Westkapelle	01-Dec-14	2153	2165	strandsuppletie	94	782
Westkappelse Zeedijk	01-Jan-15	1755	1948	strandsuppletie	600	311
Verspreidingsvak Westkapelle	01-May-15	2153	2165	strandsuppletie	230	1918
Westkapelle-Zoutelande	01-May-16	2195	2694	strandsuppletie	805	161
Dishoek-Vlissingen	01-Apr-16	2950	3458	strandsuppletie	650	128
Verspreidingsvak Westkapelle	01-Apr-16	2153	2165	strandsuppletie	126	1047
Westkappelse Zeedijk	01-Jan-17	1735	2215	onderwatersuppletie	2400	500
Domburg	01-Jan-17	1448	1632	onderwatersuppletie	800	435
Totaal					<u>36.936</u>	

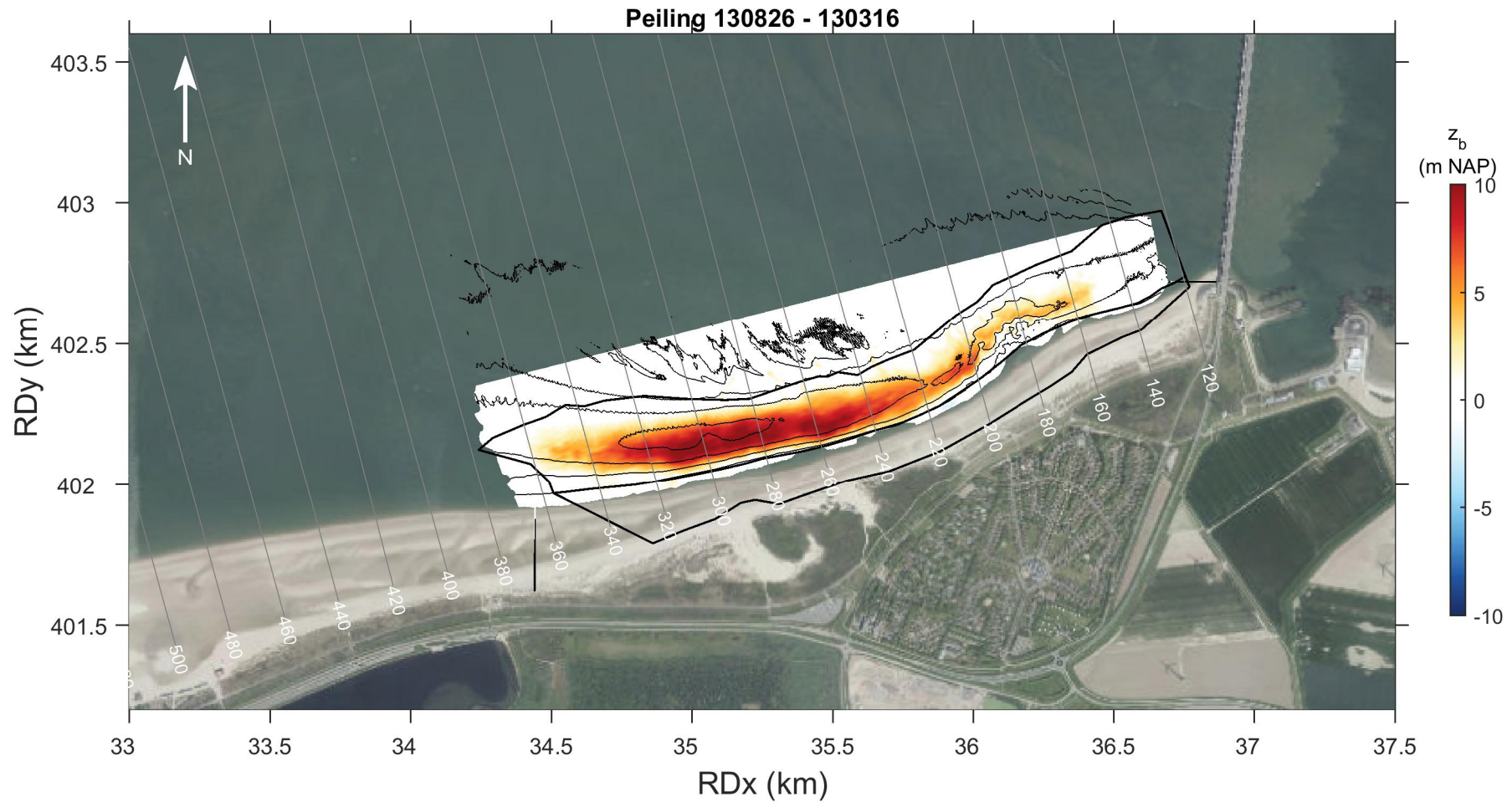
4.2.2 Evaluatie geulwandsuppletie Schaar van de Onrust

In het kader van Building with Nature heeft Ecoshape (Fiselier et al., 2011) een verkenning uitgevoerd naar mogelijkheden voor natuurlijke keringen. Eén van de onderzochte mogelijkheden betrof een 'zandloper' voor de kust van Noord-Beveland: een gedeeltelijke afsluiting van de Schaar van de Onrust die de stroming, en daarmee de uitbochting, zou moeten verminderen. De mogelijke werking hiervan is onderzocht en beschreven door Van der Werf, Doornenbal en McCall (2010), zie Figuur 4.5.



Figuur 4.5 Principe van de morfologische werking van een zandmotor voor de Onrustpolder (uit: Werf et al, 2010).

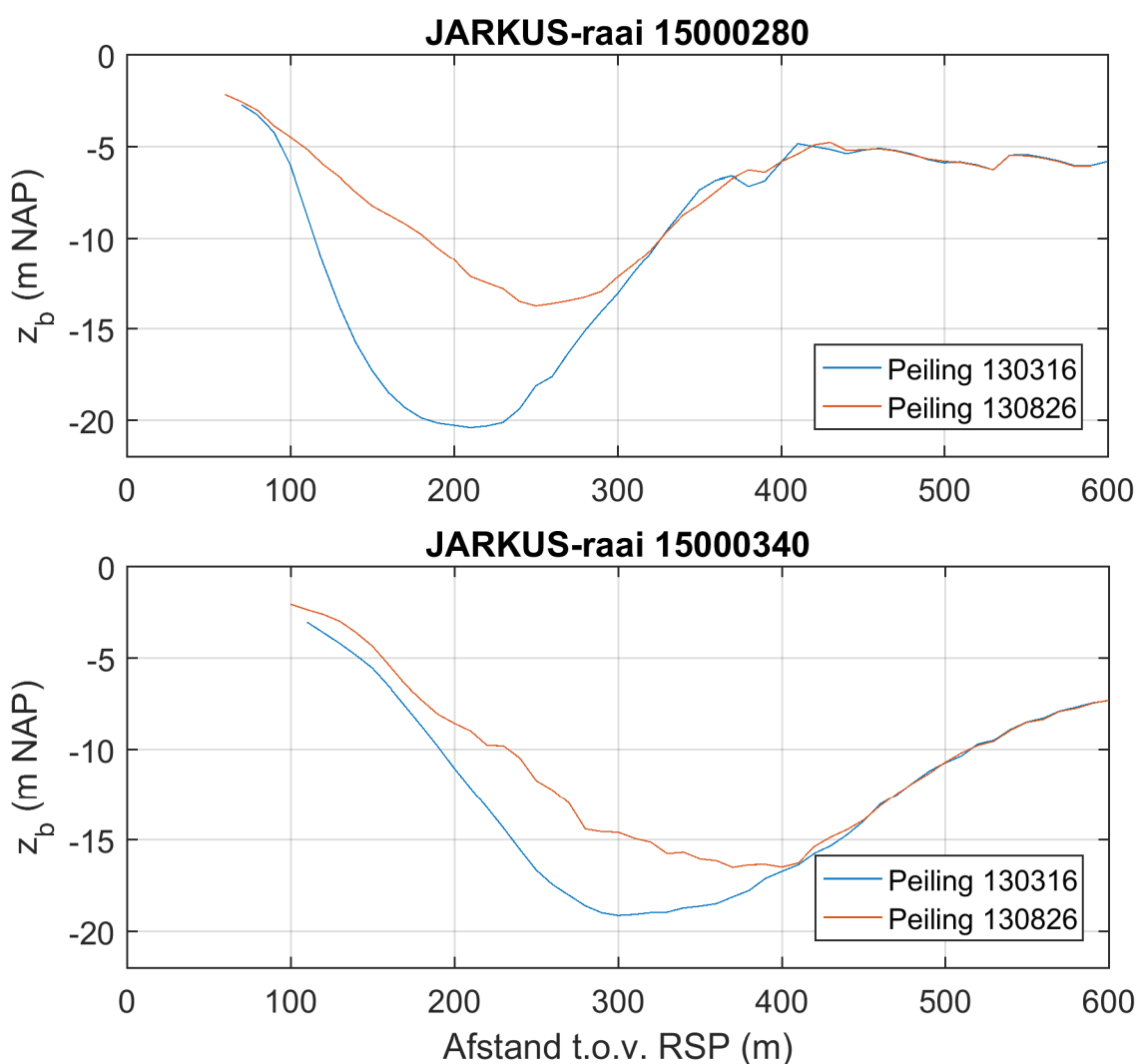
In 2013 is een geulwand- en strandsuppletie uitgevoerd langs de Schaar van de Onrust na advies in (Van der Werf, 2012; Rijkswaterstaat, 2013) en in 2017 is een evaluatie van deze gecombineerde suppletie uitgevoerd (Schrijvershof, 2017).



Figuur 4.6 Vershilkaart van de in- en uitpeiling van de geulwandsuppletie Schaar van de Onrust in 2013. Zwarte contourlijnen geven de bathymetrische situatie van de inpeiling weer, grijze lijnen geven de ligging van de JARKUS raaien (uit Schrijvershof, 2017).

De geulwandsuppletie van 1,5 miljoen m³ is in april en mei 2013 aangelegd tussen de raaien 160 – 340. De strandsuppletie (0,41 miljoen m³) is in dezelfde periode tussen dezelfde raaien aangelegd. Het verschil van de in- en uitpeiling (Figuur 4.6) geeft duidelijk de ligging van de suppletie weer. Het totale volumeverschil tussen de twee peilingen is 1,85 miljoen m³.

Figuur 4.7 geeft twee profielen weer welke gemaakt zijn door de data van de in- en uitpeiling te interpoleren naar de ligging van de JARKUS raaien 280 en 340 (zie raaien in Figuur 4.6). Aan de hand van de profielen is de vorm van de aangelegde geulwandsuppletie duidelijk te zien. Het centrale gedeelte van de suppletie (raai 280) is zo aangelegd dat de helling van het kustprofiel is afgenomen van ongeveer 1:7 tot ongeveer 1:15. De geulwandsuppletie is daarbij niet alleen tegen de landwaartse (zuidelijke) geulwand neergelegd maar ook voor een gedeelte tegen de zeewaartse (noordelijke) geulwand. De geul is door de manier waarop de suppletie is aangebracht voor een groot gedeelte opgevuld (geulopvulling). Door de opvulling is het doorstroomoppervlak van de geul dan ook aanzienlijk verminderd. Ter plaatse van raai 280 is het doorstroomoppervlak afgenomen van ~3000 m² naar ~1600 m² onder NAP -5 m (indicatie op basis van de diepte en breedte van de geul), een afname van bijna 50%.



Figuur 4.7 Geïnterpoleerde profielen op de locaties van de JARKUS raaien Schaar van de Onrust aan de hand van de in- en uitpeilingen (uit Schrijvershof, 2017).

Geconstateerd wordt dat er zeer weinig erosie van de geulwandsuppletie optreedt, dus deze is tot nog toe stabiel. De suppletie heeft het doorstroomoppervlak aanzienlijk verkleind (tot bijna 50%). Na aanleg van de suppletie is de geul nog verder aangezand. De lokale kustlijnerosie wordt door de strandsuppletie gecompenseerd. De geulwand- en strand-suppletie hebben er echter niet voor gezorgd dat de structurele kustlijnerosie van het strand en de landwaartse verplaatsing van de MKL veranderd zijn. De MKL is door de strand-suppletie zeewaarts verschoven, maar de MKL-trend is nog steeds landwaarts gericht. Dit komt doordat er nog steeds erosie in het bovenste gedeelte van het kustprofiel (het strand) plaatsvindt.

De volumeontwikkeling van het strand in de periode 2009-2013 is gelijk aan de volumeontwikkeling in de periode 2014-2016, de erosie van het strand zet dus met eenzelfde trend door. De levensduur van de strandsuppleties bij Noord-Beveland zal op de korte termijn waarschijnlijk gelijk zijn aan de levensduur van voorgaande suppleties. Bij Noord-Beveland is er in de afgelopen twee decennia ongeveer elke 4-5 jaar een strandsuppletie uitgevoerd.

In Van der Werf (2012) zijn twee hypothesen opgesteld over het mogelijke effect van de geulwandsuppletie, op basis van de geulwandsuppleties bij Walcheren en Oost-Vlieland:

1. De suppletie fungeert als erosiebuffer; de eroderende processen worden vertraagd en dit heeft een positief effect op de MKL.
2. De suppletie blokkeert de stroming door de geul; er kan een nieuwe geul ontstaan en dit heeft een negatief effect op de MKL. Dit is niet het geval als er een andere, bestaande geul, de debietafname opvangt.

De uitgevoerde geulwandsuppletie blokkeert de getijstroming, waardoor de stroomsnelheid in de geul naar verwachting afneemt. Dit is in lijn met de modelvoorspellingen van Van der Werf (2010) waar 12% (vloed) en 18% (eb) afname in getijdebiet werd voorspeld. Er is echter geen nieuwe geul ontstaan, de debietafname is waarschijnlijk opgevangen door de Roompot-Hompels geul ten noorden van de plaat Onrust. De ontwikkeling en het effect van de geulwandsuppletie komt goed overeen met bovengenoemde hypothese 2.

4.2.3 Evaluatie geulwandsuppleties Oostgat

Van het totaal van de suppleties op Walcheren is er voornamelijk onderzoek gedaan naar de geulwandsuppleties in het Oostgat. Naast de daadwerkelijke evaluatie worden hier ook andere onderzoeken naar ingrepen in het Oostgat beschreven, om een compleet overzicht van de huidige kennis hierover te geven.

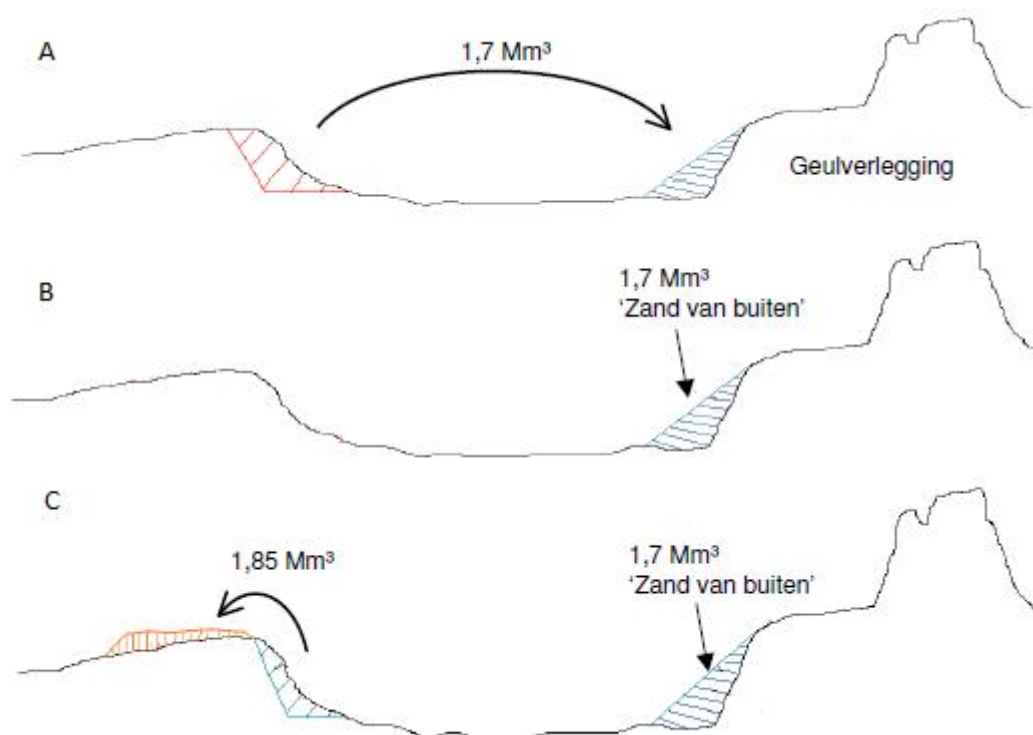
Naar de geulwandsuppletie zijn, naast een evaluatie door Dekker (2012), vooraf verschillende studies gedaan. Witteveen en Bos (2007) heeft gekeken of er op economische gronden gekozen kan worden voor een vorm van suppleren. Hierbij zijn drie alternatieven van Rijkswaterstaat Zeeland bestudeerd (Figuur 4.8):

- A. geulverlegging, waarbij het sediment voor de suppletie op de andere geulwand wordt gewonnen,
- B. een suppletie met sediment van 'buiten' en
- C. een suppletie met sediment van 'buiten' met een bankverplaatsing.

Hierbij zijn vier aspecten meegenomen:

- 1) regulier kustonderhoud,
- 2) kosten geulwandsuppletie,
- 3) kosten morfologisch baggeren en
- 4) onderhoud aan de drempel Oostgat/Sardijngeul.

De alternatieven A en B blijken in kosten weinig van elkaar te verschillen, waarbij optie B 0,1-0,2% duurder uitvalt. Om de opties goed te kunnen vergelijken zijn de jaarlijkse suppleties van ongeveer 12 miljoen m³ per jaar meegenomen. Optie A is dan 1,7 miljoen m³ zand verplaatsen van de ene geulwand naar de andere kant plus 1,7 miljoen m³ zand binnen het kustfundament brengen. Optie C is aanzienlijk duurder dan de andere opties.



Figuur 4.8 Drie alternatieven voor een geulwandsuppletie in het Oostgat, gebruikt voor een economische studie. (Rijkswaterstaat Zeeland).

Elias en Walstra (2006) hebben met een proces-georiënteerd morfologisch model de morfologische effecten van verschillende ingrepen op een termijn van 10 jaar gesimuleerd. De gemodelleerde ingrepen zijn: 1) geulwandversterking (hard), 2) een geulwandsuppletie en 3) een verlaging van het Bankje van Zoutelande. De ingrepen zijn ten opzichte van de gehele voordelta relatief klein en de effecten blijven op de gemodelleerde termijn beperkt tot het Oostgat en Bankje van Zoutelande. M.b.t. de geulwandsuppletie wordt geconcludeerd dat de effecten relatief tot de andere ingrepen groot zijn en ook het Bankje van Zoutelande en Geul van de Rassen/Deurloo-Oost beïnvloeden. Het model voorspelt sedimentatie aan de zeewaartse zijde van het Bankje van Zoutelande in het noorden (Zoutelande-Westkapelle) en aan landwaartse zijde ten zuiden van Zoutelande.

De mogelijke invloed van een geulwandsuppletie op de drempel Oostgat/Sardijngeul is nader onderzocht door Van Ormondt en De Ronde (2009). Eventuele extra aanzanding zou tot extra baggerkosten leiden vanwege het op diepte houden van de vaargeul. De aanzanding van de drempel is een natuurlijk proces dat al decennia gaande is. De drempel verplaatst zich langzaam in zuidoostelijke richting. De resultaten van de studie van Van Ormondt en De Ronde (2009) laten zien dat ook bij overdimensionering van de suppletie er geen significant effect op de aanzanding van de drempel is. Ook Van der Werf et al. (2011) concluderen op basis van analyse van de baggerinspanning en metingen dat de suppletie geen invloed had

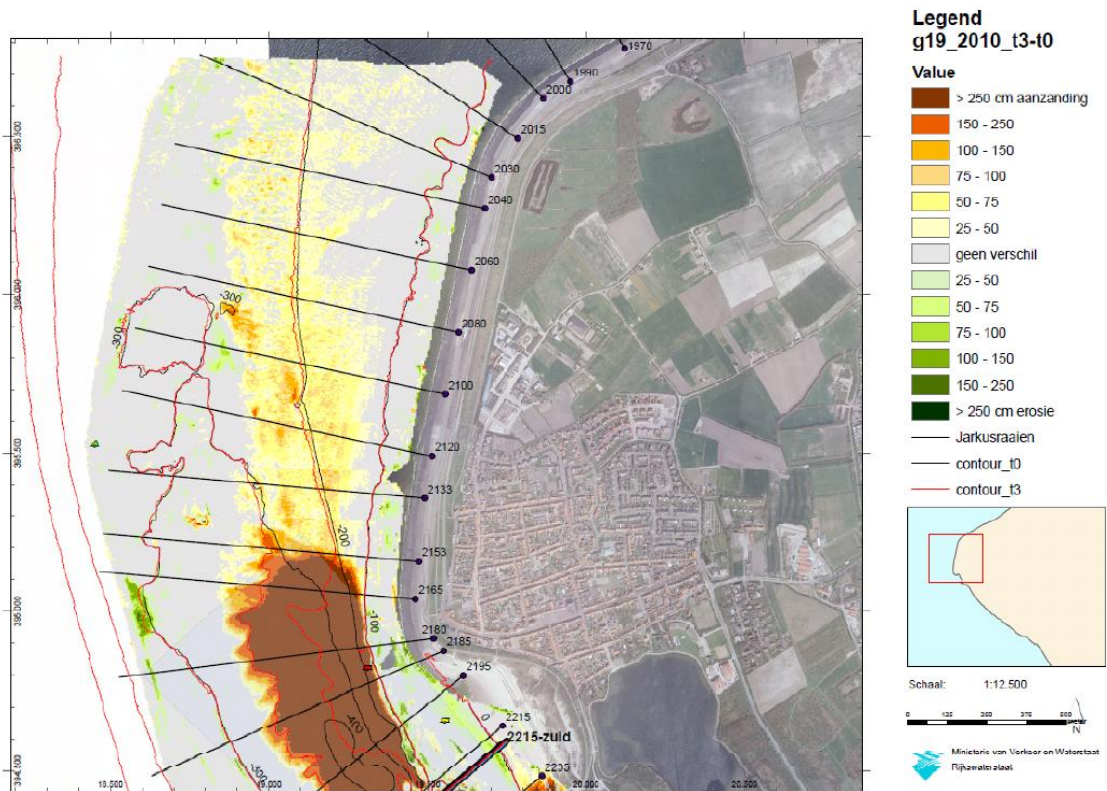
op de aanzanding en deze dus waarschijnlijk voornamelijk wordt veroorzaakt door natuurlijke processen.

In oktober 2001 is door Rijkswaterstaat Zeeland een praktijkproef uitgevoerd naar de effecten van een geulwandsuppletie. Er is een tracerexperiment gedaan waarbij 10.000 m³ glauconiethoudend zand ter hoogte van Dishoek op de geulwand is aangebracht. Hordijk (2002) heeft deze proef in Delft3D gesimuleerd en vergeleken met de praktijkresultaten. De metingen en het model tonen vergelijkbare resultaten, waarbij het model de sedimenttransporten iets overschat. Het grootste gedeelte van het gesuppleerde sediment blijft op dezelfde plek. De suppletiehoogte was iets afgenomen en het zwaartepunt is in vloedrichting (zuiden) verplaatst.

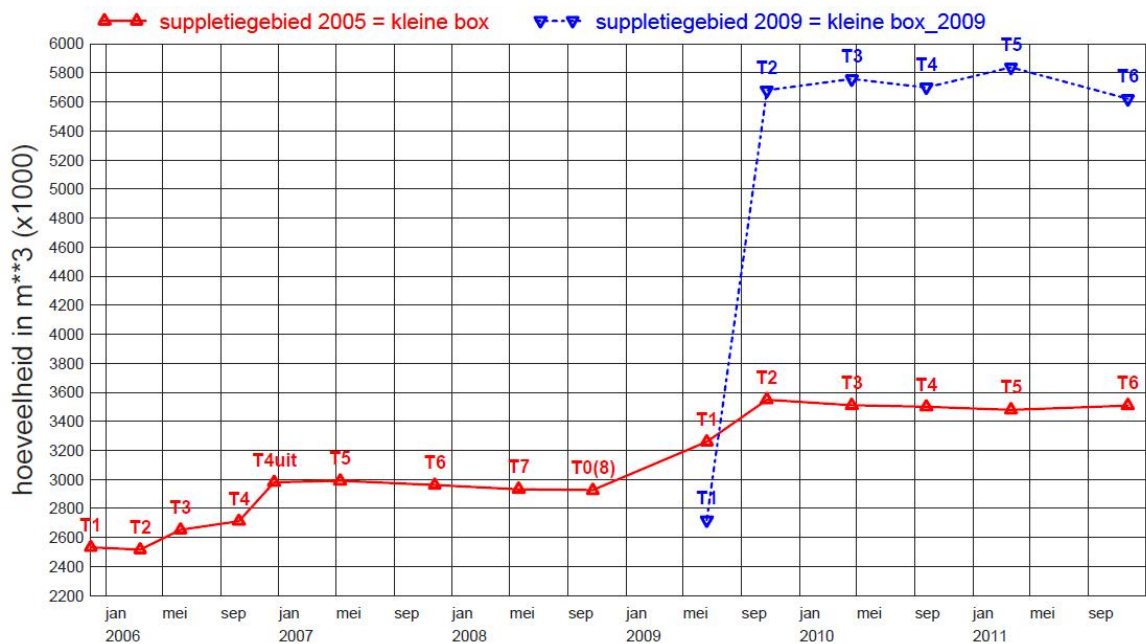
De twee uitgevoerde geulwandsuppleties uit 2005 en 2009 zijn door Dekker (2012) geanalyseerd op basis van multibeam opnames. Beide suppleties blijven relatief stabiel, wat in lijn is met de ervaringen van het tracerexperiment en de analyse van Van Ormondt en De Ronde (2009). De volumes nemen enigszins af (Figuur 4.10) en er is noordwaarts transport zichtbaar (Figuur 4.9). Het centrale deel van de suppletie zakt enigszins uit (Figuur 4.11). Naar verwachting zal op termijn de geulwand vooral bovenin (NAP -8 tot -12m) weer bloot komen te liggen. De diepe zandsuppletie beschermt de geulwand die voordien gestaag erodeerde, maar waar geen oevervallen optraden. In een te steil opgezette geulwandsuppletie kan echter wel een oever- of strandval optreden (Walstra, 2005; Mastbergen en Schrijvershof, 2016).

De stroming en het zandtransport door het Oostgat zijn in detail opgemeten (Erkens, 2003) en gemodelleerd (Damen, 2014). Op basis van multibeammetingen is de residuele duin- (of megaribbel-) migratierichting vastgesteld, hieruit bleek dat in de hoofdgeul Oostgat bij Zoutelande de (bodem-) transportrichting vloedwaarts- en langs de ondiepe vooroever ebwaarts gericht was.

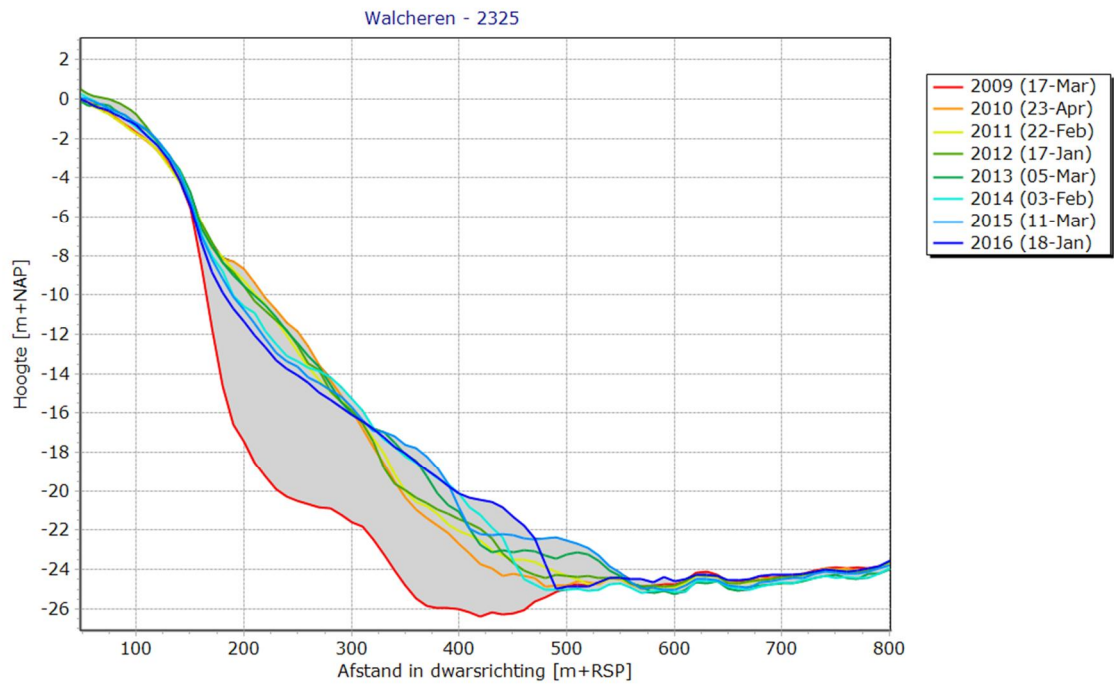
Ter hoogte van Westkapelle is een oud stuk van de zeedijk door het bombardement in de Tweede Wereldoorlog in de geul terecht gekomen. Direct ten noorden hiervan ontstaat hierdoor een erosiekuil. In november/december 2010 is er nog 0,4 miljoen m³ extra in de erosiekuil gesuppleerd. Dit was echter al nagenoeg volledig verdwenen in maart 2011 (Figuur 4.12 en Figuur 4.13). Vanaf 2016 zet de verdieping van de kuil zich weer voort.



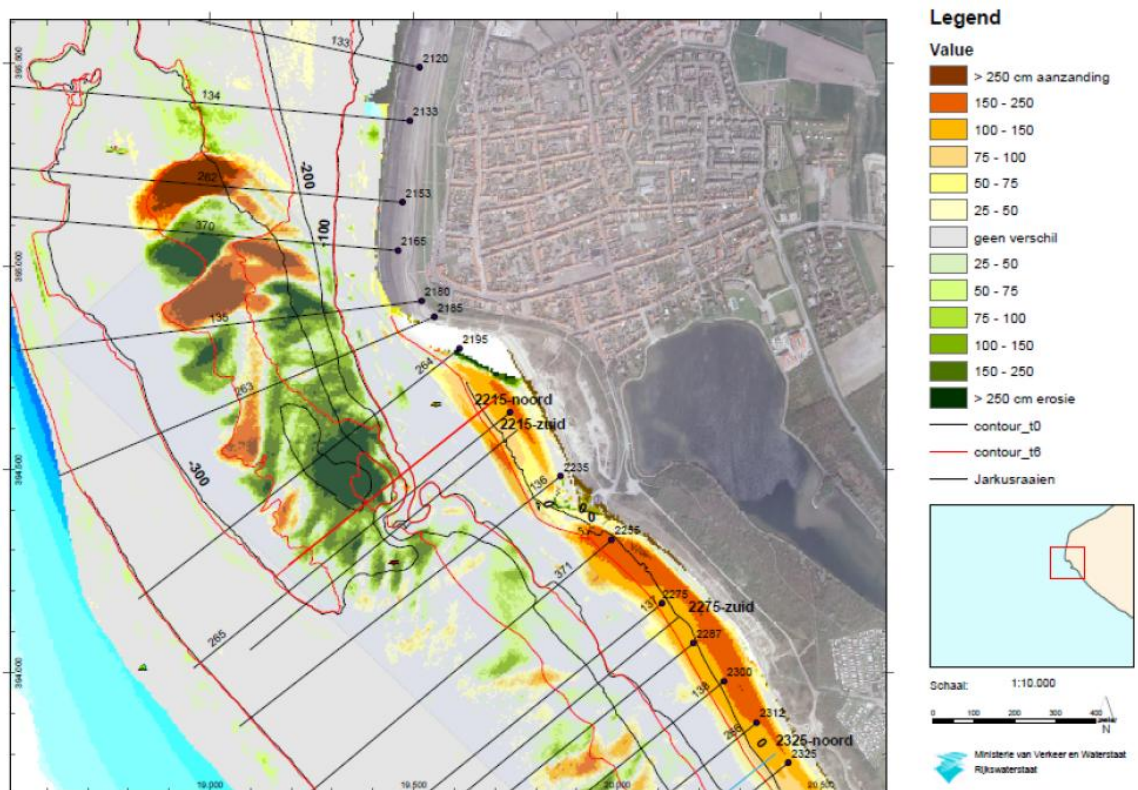
Figuur 4.9 Verschilkaart tussen oktober 2008 en april 2010 Oostgat, waarop de noordwaartse verplaatsing van het sediment in het Oostgat te zien is (Dekker, 2012).



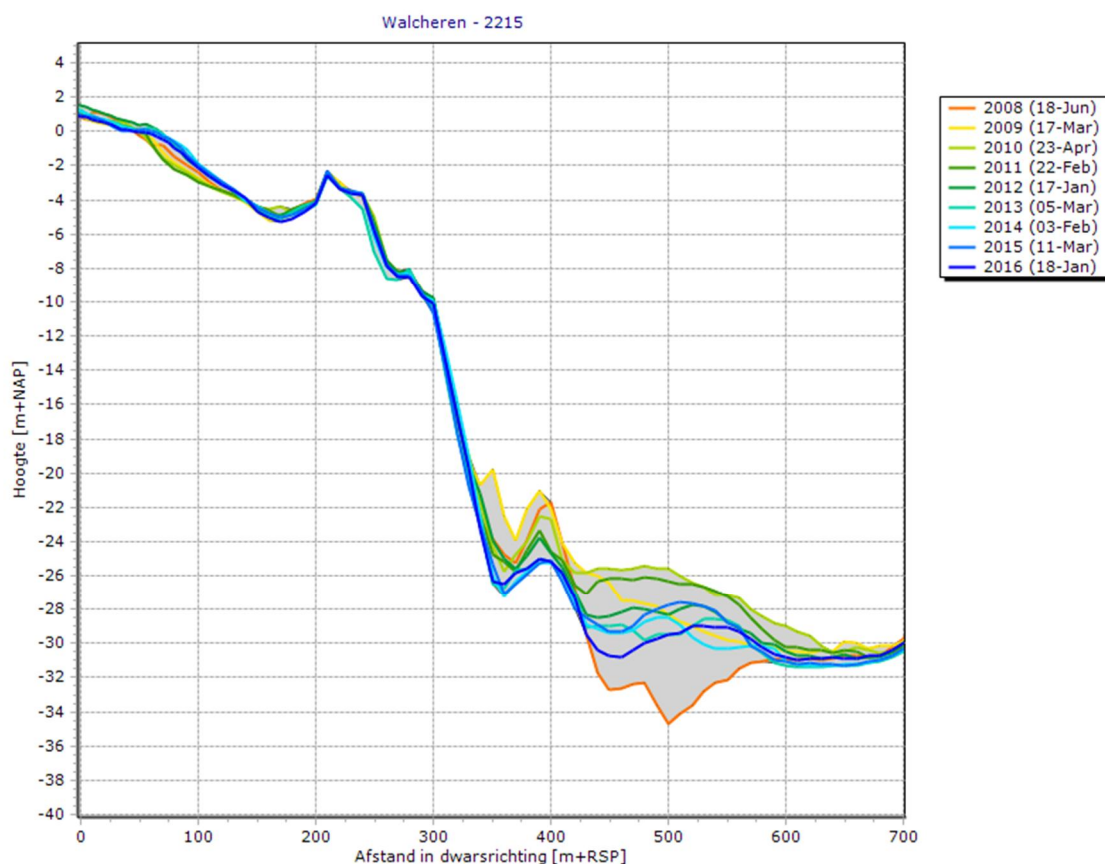
Figuur 4.10 Ontwikkeling van de volumes van de geulwandsuppleties Oostgat uit 2005 en 2009 ten opzichte van het volume voor aanleg (T0) (Dekker, 2012). "kleine box" refereert naar groene vlakken in Figuur 4.1: suppletie 2005 grote vlak, 2009 kleine vlak



Figuur 4.11 Ontwikkeling raai 2325 na geulwandsuppletie Oostgat 2010



Figuur 4.12 Verschilkaart maart 2011 / november 2011 Oostgat. De erosiekuil achter de afgezonken zeedijk is duidelijk zichtbaar ter hoogte van profiel 2215-noord (zie ook Figuur 4.13). Op het strand is een nieuwe strandsuppletie zichtbaar (Dekker, 2012).



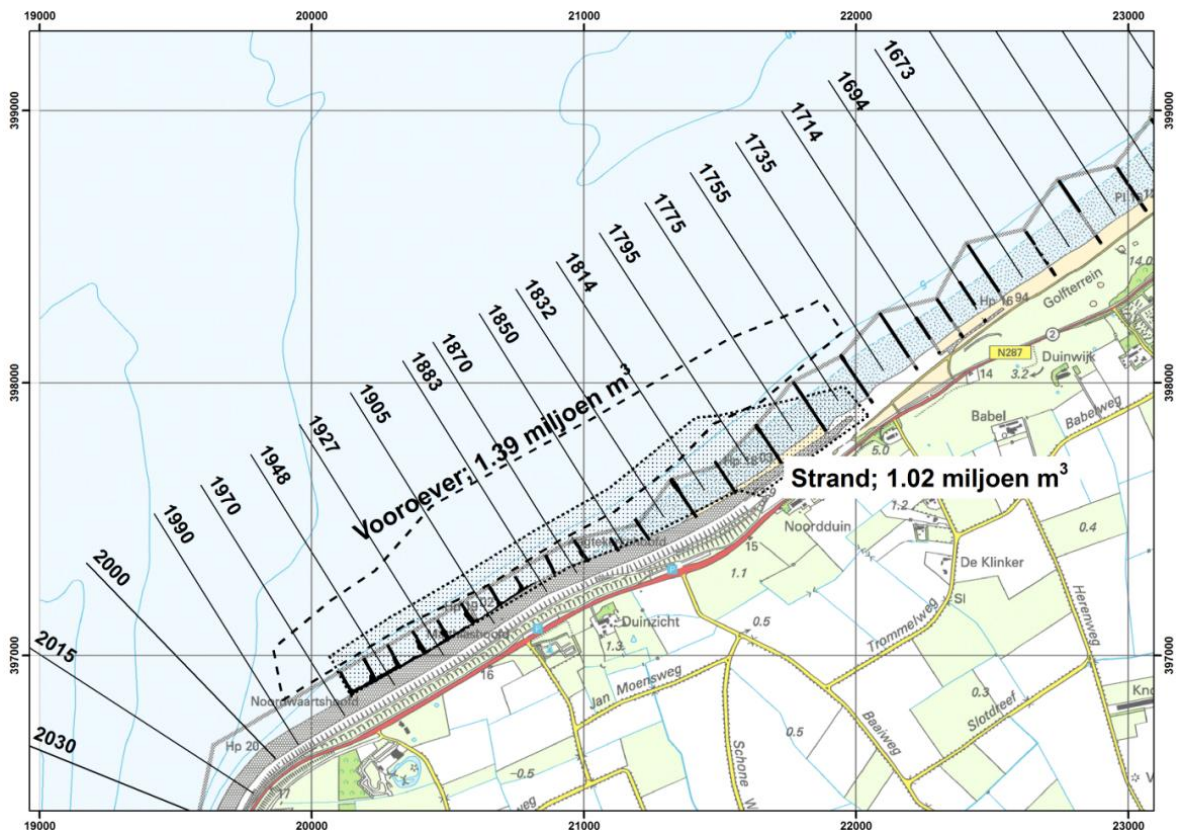
Figuur 4.13 Ontwikkeling raai 2215 Oostgat na suppleties ter hoogte van de erosiekuil, die zich sinds de suppleties van 2009 en 2010 weer geleidelijk verdiept.

4.2.4 Evaluatie vooroever-suppletie Westkapelle

De vooroever-suppletie bij Westkapelle is geëvalueerd door Elias et al (2014). De vooroever-suppletie van 2008 is uitgevoerd in het kader van de Zwakke Schakel Westkapelle en is in combinatie met een strand-suppletie uitgevoerd in het kader van het programma Kustlijn-zorg. De suppleties zijn aangelegd van raai 1755 t/m 1970 en liggen dus deels langs de Westkappelse zeedijk en hadden een volume van 1,39 miljoen m³ (vooroever) en 1,02 miljoen m³ (strand, Figuur 4.14).

Het ontwerp-profiel is gebaseerd op het voor voldoende golfreductie benodigde volume. Dit volume is overgedimensioneerd, zodat een buffer tegen voorspelde extra erosie aanwezig is. De vooroever-suppletie is als een plateau aangelegd, zeewaarts van de -4m NAP-contour. Het zand van de strand-suppletie is bovenop de vooroever-suppletie gelegd, waardoor er een aaneengesloten deken van zand op het profiel is aangebracht (Figuur 4.15).

De ontwikkeling van de suppletie is te zien in de verschilkaart tussen 2009 en 2012 (Figuur 4.16). Hierin zijn 'banden' te zien van sedimentatie en erosie: langs de kust vindt erosie plaats, zeewaarts daarvan is een band met sedimentatie die daarna weer gevolgd wordt door erosie. Dit patroon is het gevolg van het knikpunt dat in het profiel aanwezig was na aanleg van de suppleties (Figuur 4.15). Het profiel wordt in de jaren na aanleg vlakker, door erosie van het bovenste en onderste deel en opvulling van de knik.

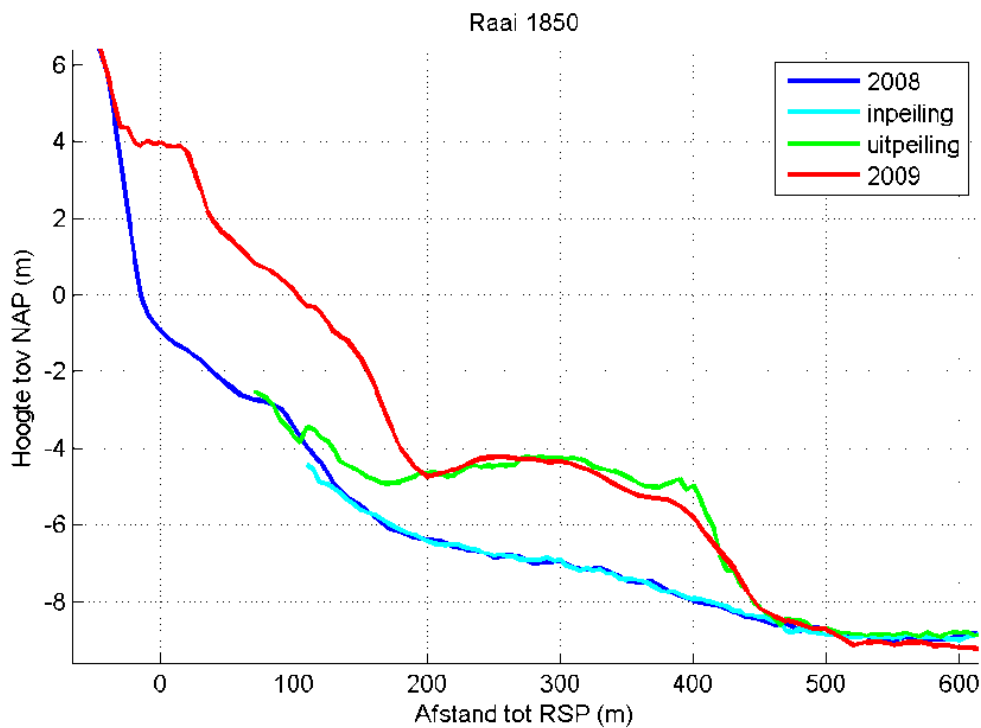


Figuur 4.14 Aanleg van de vooroever- en strandsuppletie 2008 bij Westkapelle

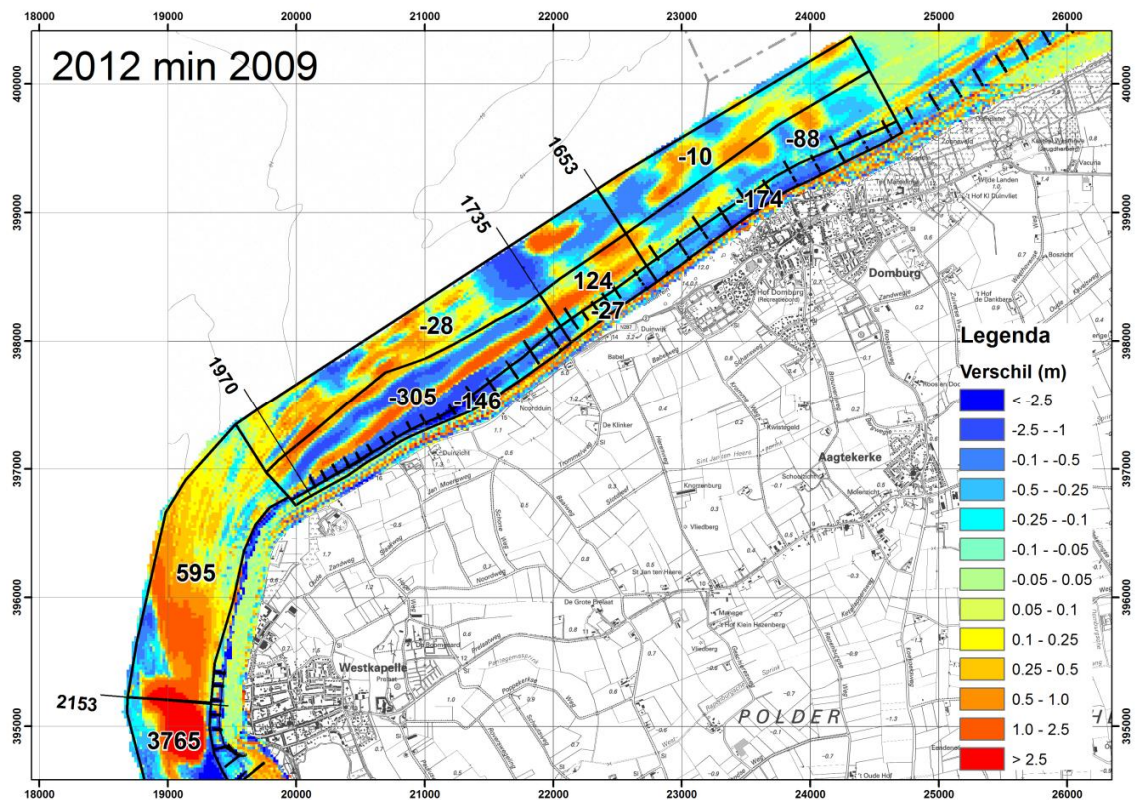
In de ontwikkeling is een tweedeling in gedrag te zien. Het gedeelte van de suppletie dat langs de zeedijk ligt, ten westen van raai 1870, erodeert weg van de harde zeewering. De erosie is groot in de eerste jaren en neemt af in te tijd, afhankelijk van wanneer de harde zeewering wordt bereikt. Het oostelijke deel van de suppletie ontwikkelt zich natuurlijker. De suppletie vervormt hier in een bankensysteem, met een klein bankje tussen de 0 en 100m tot RSP en een tweede bank zeewaarts hiervan. De diepere vooroever toont delen met afwisselend sedimentatie en erosie. Hier komen zandgolven voor (zie paragraaf 3.3.5), die echter niet duidelijk worden weergegeven in de Jarkusgrids.

Na aanleg van de suppletie is te zien dat de vooroever tot 2012 300.000 m³ sediment verliest (100.000 m³/jaar). Het is niet helemaal duidelijk waar dit sediment naar toe verplaatst. Tussen raaien 1970 en 1428 erodeert over de periode 2009-2012 646.000 m³. Dit verlies treedt voornamelijk op langs de ondiepe vooroever: 270.000 m³ en op het strand: 334.000 m³. Het volumeverlies van de diepe vooroever is over deze periode nog klein (45.000 m³).

Over de periode 2009-2013 zijn alleen de volumeveranderingen van het natte deel berekend, doordat data van het droge deel nog ontbraken. De verliezen zijn in dit laatste jaar aanzienlijk toegenomen. Tussen raaien 1970 en 1428 erodeerde totaal 884.000 m³, waarvan een relatief groot deel van de diepere vooroever: 312.000 m³. Deze grote afname van de diepere vooroever is opmerkelijk, gezien de stabiele ontwikkeling tussen 2003 en 2012.

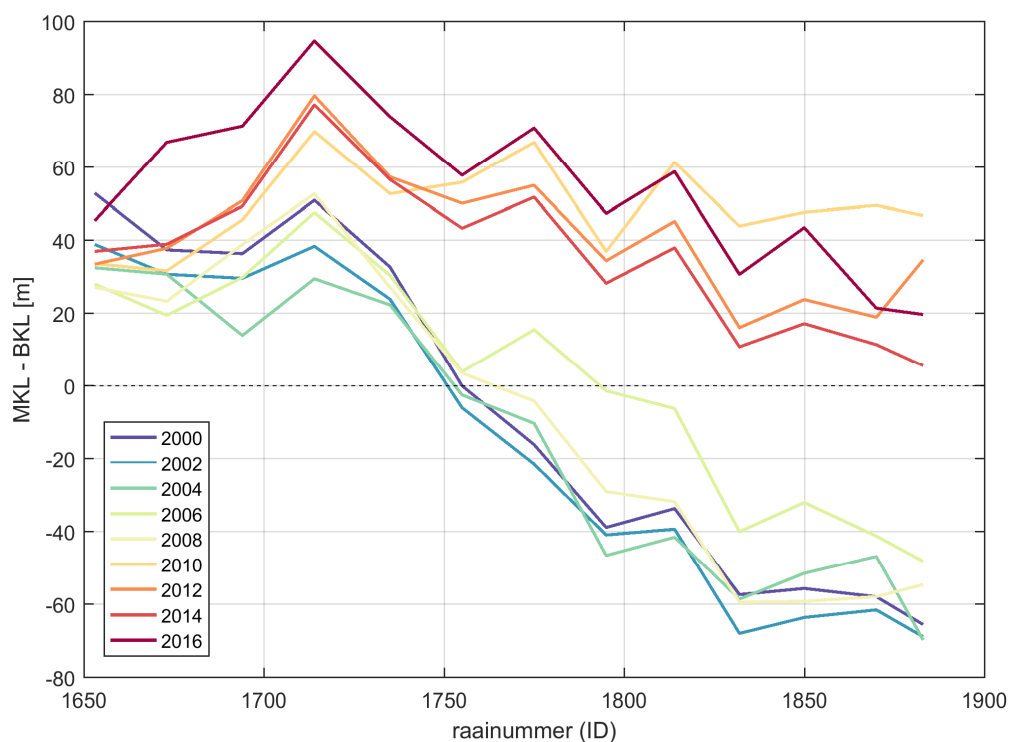


Figuur 4.15 Dwarsprofiel over de suppletie Westkapelle, tussen in- en uitpeiling is de aanleg van de vooroeversuppletie te zien, tussen 2008 en 2009 is de strandsuppletie daar deels bovenop aangelegd



Figuur 4.16 Verschilkaart en volumeveranderingen in het suppletiegebied Westkapelle in 1000 m³ over de periode 2012-2009 (Vermaas en Bruens, 2013)

De volumeontwikkeling van de ondiepe kust wordt goed weergegeven door de Momentane Kustlijn. Figuur 4.17 geeft een gedetailleerd beeld van de effecten van de suppletie op de MKL-ontwikkelingen ten opzichte van de BKL positie, die in 2013 is aangepast. In 2016 ligt de MKL nog zeewaarts van de nieuwe Basiskustlijn, maar het is wel de verwachting dat deze op termijn overschreden gaat worden.

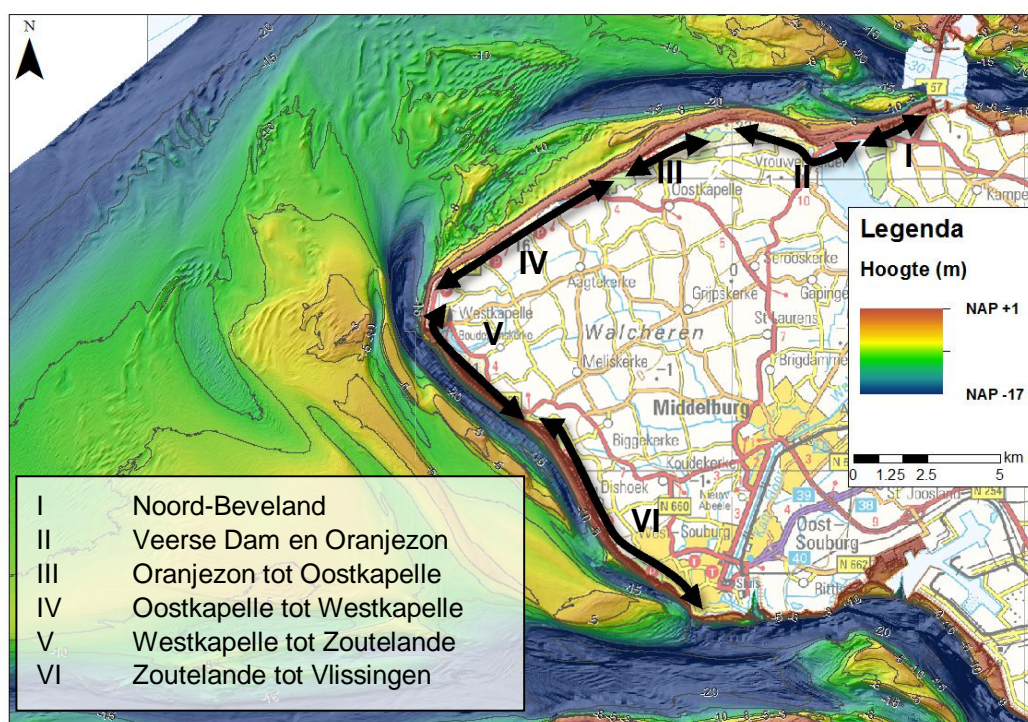


Figuur 4.17 Ontwikkeling van de Momentane Kustlijn tussen raaien 1650 en 1900 bij Westkapelle over de periode 2000-2016 ten opzichte van de Basiskustlijn 2012

4.3 Detailontwikkeling vooroever

In deze paragraaf wordt de detailontwikkeling van verschillende delen van de Walcherse en Noord-Bevelandse Noordzeekust besproken. Hierbij wordt de ontwikkeling van verschillende kustlijnindicatoren besproken (onder andere Momentane Kustlijn, Basiskustlijn en strandbreedte, zie Bijlage A). De kaartjes met de recente kustlijnontwikkeling met de kustindicator TKL ten opzichte van de BKL is opgenomen in Bijlage C. De deelgebieden die we hierbij hanteren zijn aangegeven in Figuur 4.18 en Tabel 4.4. Voor het overzicht van de raaien zie Figuur 1.2. Zie ook de kustviewer via:

<http://kml.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/kustviewer/>



Figuur 4.18 Indeling van de Walcherse en Noord-Bevelandse kust in deelgebieden I t/m VI (bodem uit 2010/2011).

Over het geheel genomen hebben Walcheren en Noord-Beveland een kust met een smal, erosief strand. Uitzondering hierop zijn deelgebied II en het noordelijk deel van deelgebied VI. Daarnaast zijn in deelgebied I en V de getijdegeulen belangrijk voor de ontwikkeling van de kust.

Tabel 4.4 Indeling deelgebieden kustvakken Walcheren en Noord-Beveland/Veerse Dam

Deelgebied	Naam	Jarkusraai van	t/m
I	Noord-Beveland	120	360
II	Veerse Dam en Oranjezon	380	880
III	Oranjezon tot Oostkapelle	900	1065
IV	Oostkapelle tot Westkapelle	1085	2165
V	Westkapelle tot Zoutelande	2180	2694
VI	Zoutelande tot Vlissingen	2713	3458

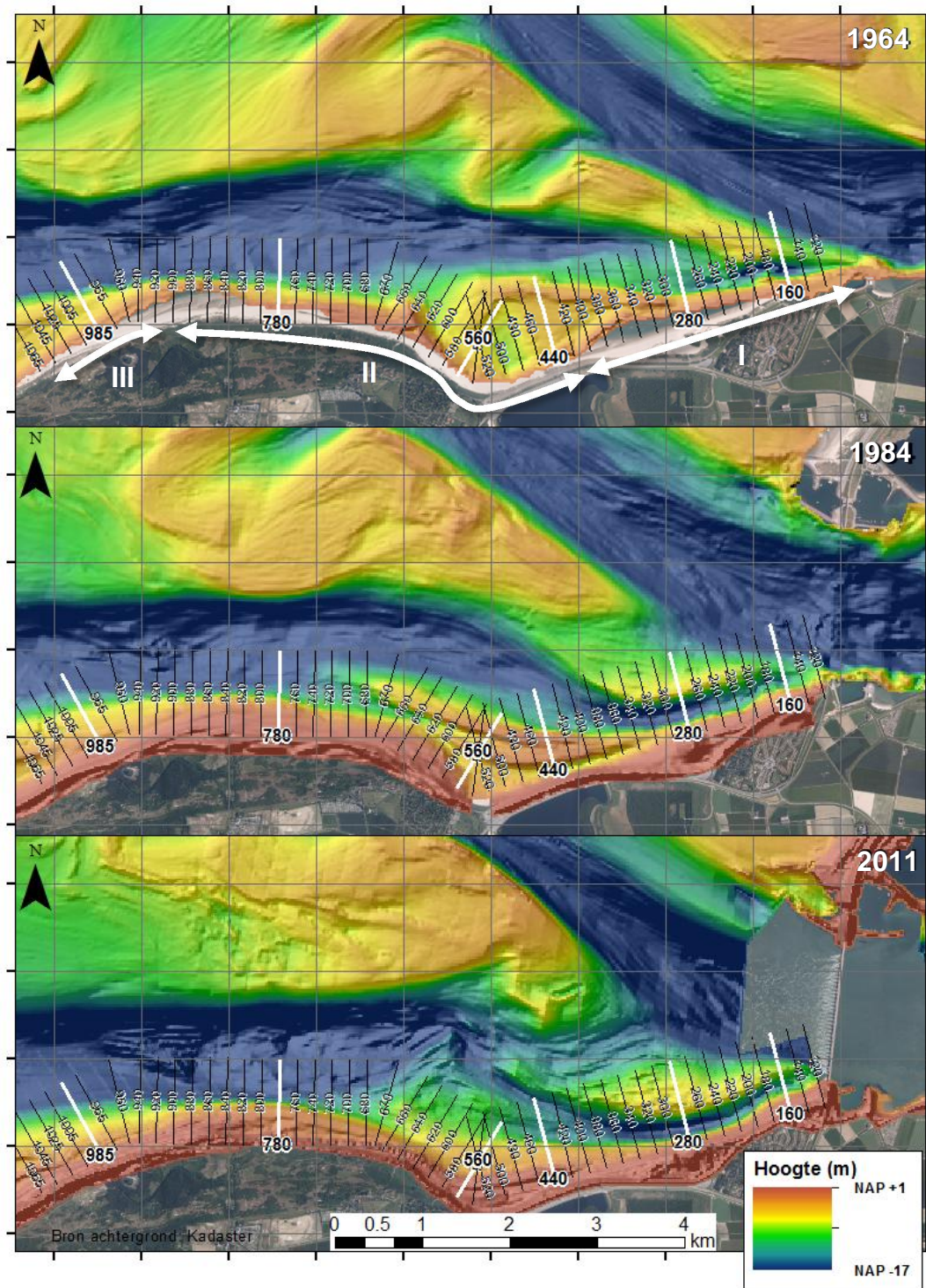
4.3.1 Noord-Beveland (Deelgebied I, raaien 120-360)

In deelgebied I, zie Figuur 4.19, wordt de Noordzeekust van het voormalig eiland Noord-Beveland beschreven (kustvak 15, Onrustpolder). Dit zijn de raaien 120 t/m 360, die tussen de Oosterscheldekering en de Veerse Dam liggen. Het 'beheersmatige' kustvak Noord-Beveland (kustvak 15) loopt tot en met de Veerse Dam (t/m raai 520), waar het kustvak Walcheren (kustvak 16) begint.

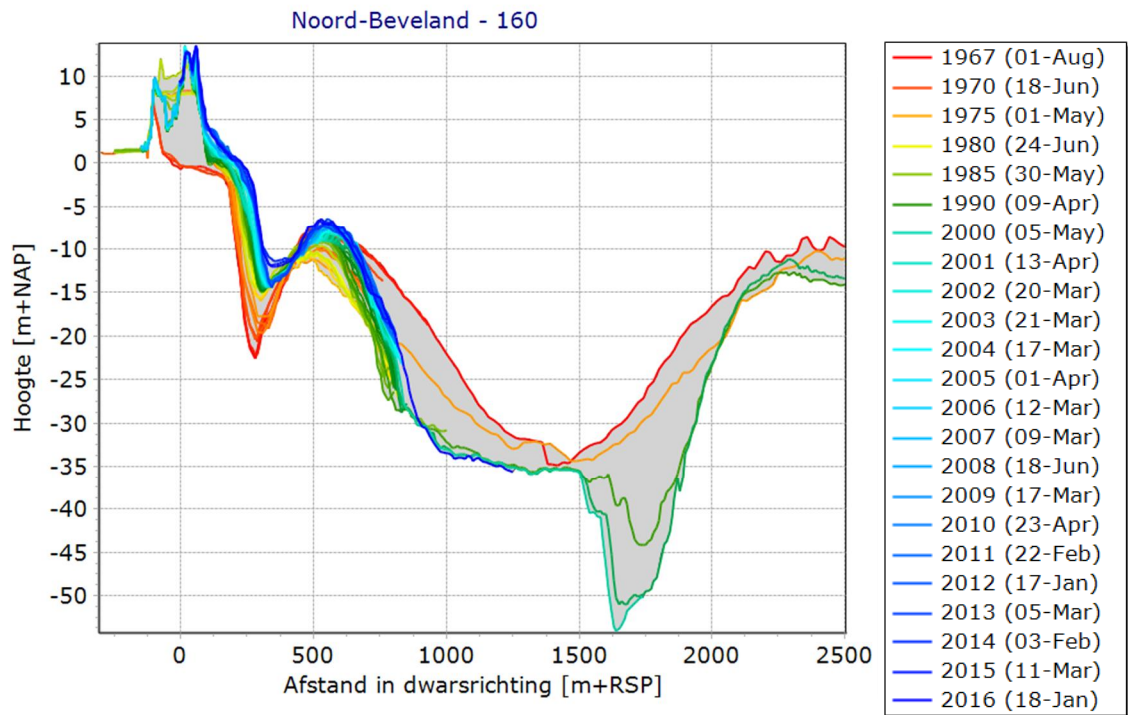
Langs de kust van Noord-Beveland is een vloed gedomineerde getijdegeul aanwezig, de Schaar van Onrust, die ontstaan is tussen 1976 en 1984 (Van der Werf et al, 2010). Halverwege Noord-Beveland, ter hoogte van raai 200 t/m 280, ligt de geul het dichtst langs de kust. Ten noordoosten en zuidwesten hiervan krijgt de kust meer ruimte. De raaien 120-160 tonen uitbouw van het gehele profiel, zowel het strand als de geulwand. In raai 160 is tevens de erosiekuil voor de bodembescherming van de Oosterscheldekering te zien, die lokaal tot dieper dan NAP -50 m reikt (Figuur 4.20 en Figuur 4.19 onderste deelfiguur). In deze raai bouwt het strand uit (Figuur 4.21) en is de geulwand stabiel, door de aanwezigheid van harde bescherming onder water. Vanaf raai 200 is landwaartse verplaatsing van de geulwand zichtbaar (Figuur 4.22 en Figuur 4.23). Deze verplaatsing neemt toe verder naar het westen en is het sterkste in de raaien 240 en 260, waarna die weer afneemt om in raai 320 weer stabiel te zijn.

Om de geulverplaatsing tegen te gaan is sinds 2002 gedurende 10 jaar structureel gebaggerd in de noordelijker gelegen Roompot-Hompels geul, de voormalige ebschaar van de Roompot geul. Het doel van Rijkswaterstaat Zeeland was om het getijdebiet in de Schaar van de Onrust af te laten nemen door een groter debiet door de Roompot-Hompels te faciliteren door geulverruiming. Het morfologisch baggeren had volgens Van der Werf et al (2010) echter geen significante bijdrage aan het verminderen van de erosie in de Schaar van de Onrust. Ze geven aan dat een geulwandsuppletie een mogelijke ingreep is om de structurele erosie aan te pakken, zie paragraaf 4.2.2. De geulwandsuppletie die in 2013 is uitgevoerd heeft de migratie van de Schaar van Onrust 'teruggezet', net als in het Oostgat, naar verwachting voor tientallen jaren, zie paragraaf 4.2.3. De erosie op de stranden zal echter waarschijnlijk op dezelfde wijze doorgaan, waardoor regelmatige strandsuppleties nodig zullen blijven.

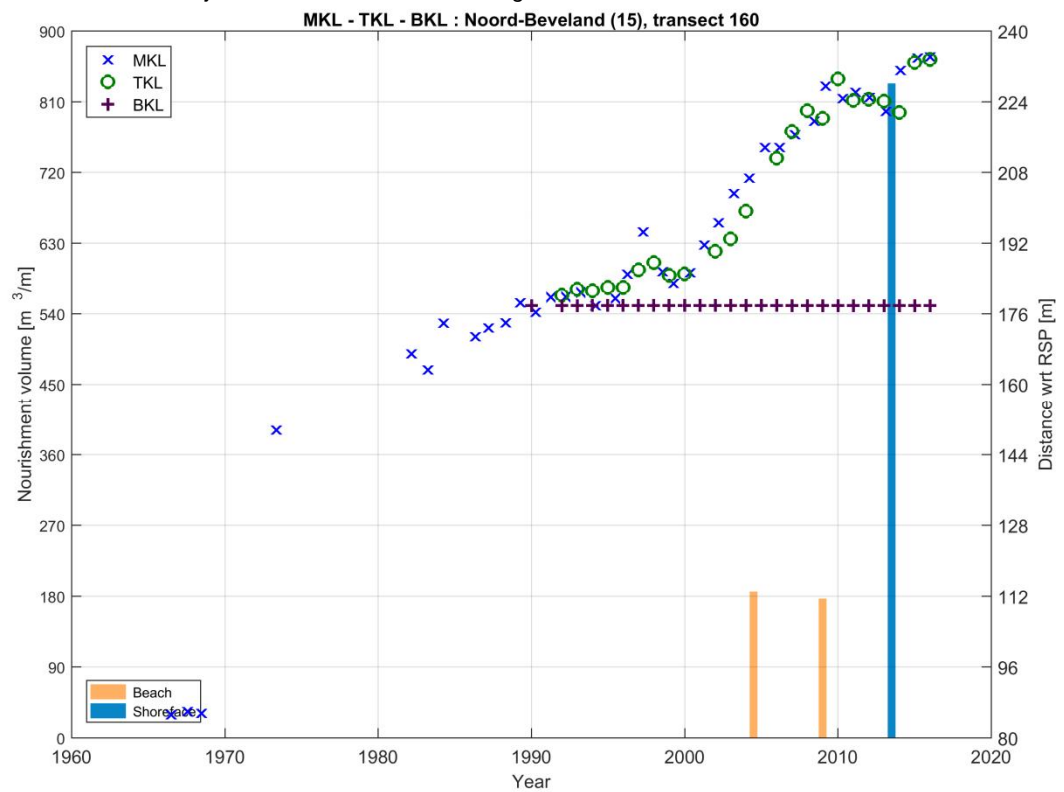
Behalve in de raaien 120-180 erodeert het strand op Noord-Beveland. Het strand wordt in de raaien 200 t/m 360 door regelmatige suppleties op hoogte gehouden, wat ook terug te zien is in het zaagtand-patroon van de Basiskustlijn-positie (Figuur 4.23). Tussen raai 260 en 340 ligt een klein duingebied (de Banjaardduinen), wat in volume toeneemt sinds 1990. Waarschijnlijk is dit indirect gevoed door de uitgevoerde strandsuppleties. Het probleem van de BKL-overschrijdingen in de raaien 240 en 260 bestaat ondanks de suppleties nog steeds.



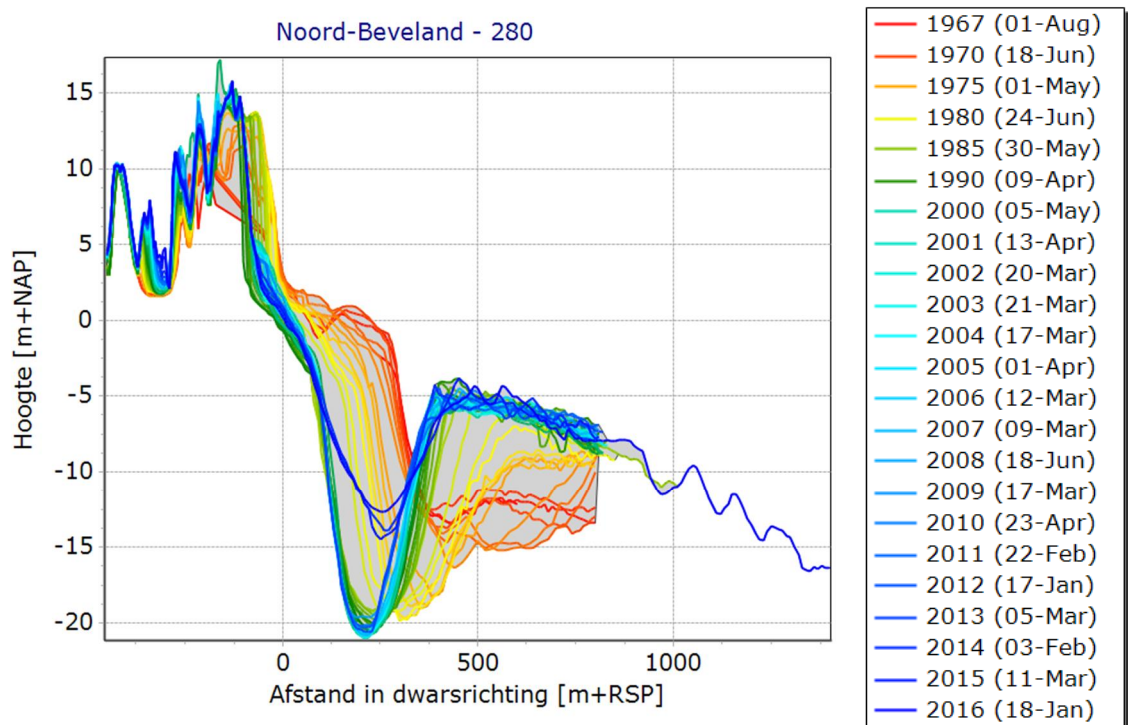
Figuur 4.19 Bathymetrie van de kust voor Noord-Beveland, Veerse Dam en Oranjeson, deelgebieden I, II en III (bodem 1964, 1984 en 2011) met overzicht van de uitgelichte raaien (Vermaas en Bruens, 2013)



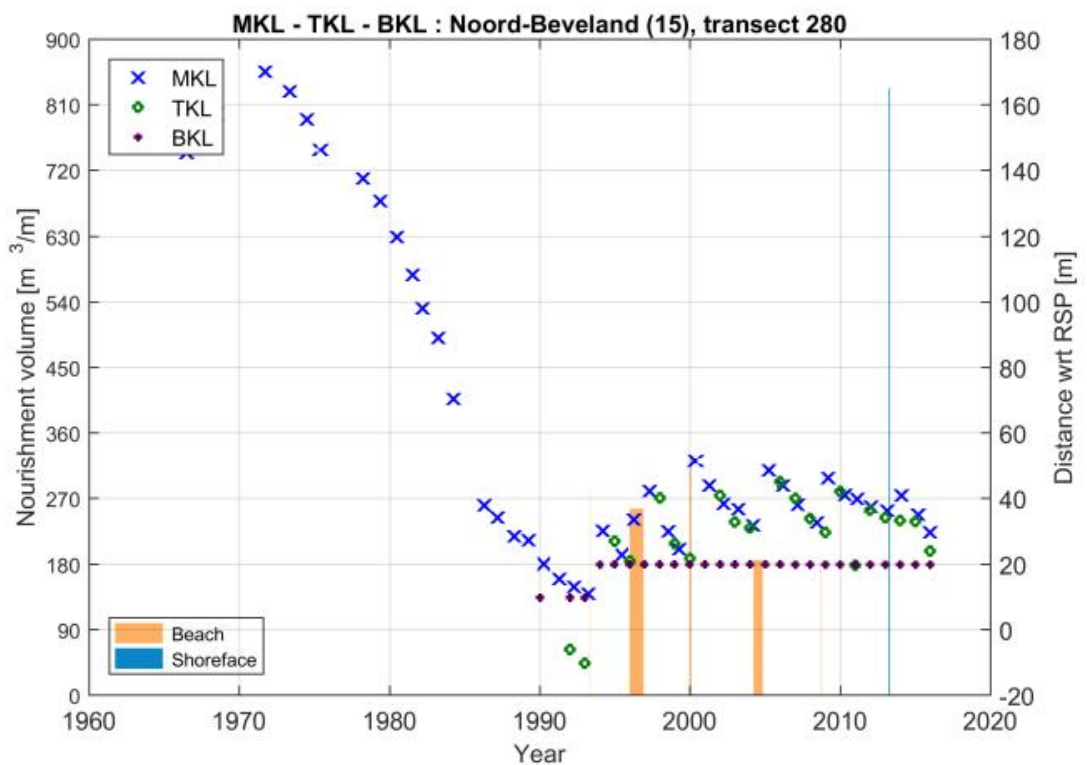
Figuur 4.20 Uitbouwende kust in raai 160, Noord-Beveland, rond 1700 m van de RSP is de ontgrondingskuil aan de zeewaartse zijde van de Oosterscheldekering zichtbaar.



Figuur 4.21 De ontwikkeling van MKL en TKL ten opzichte van de BKL in raai 160, Noord-Beveland, inclusief suppleties.



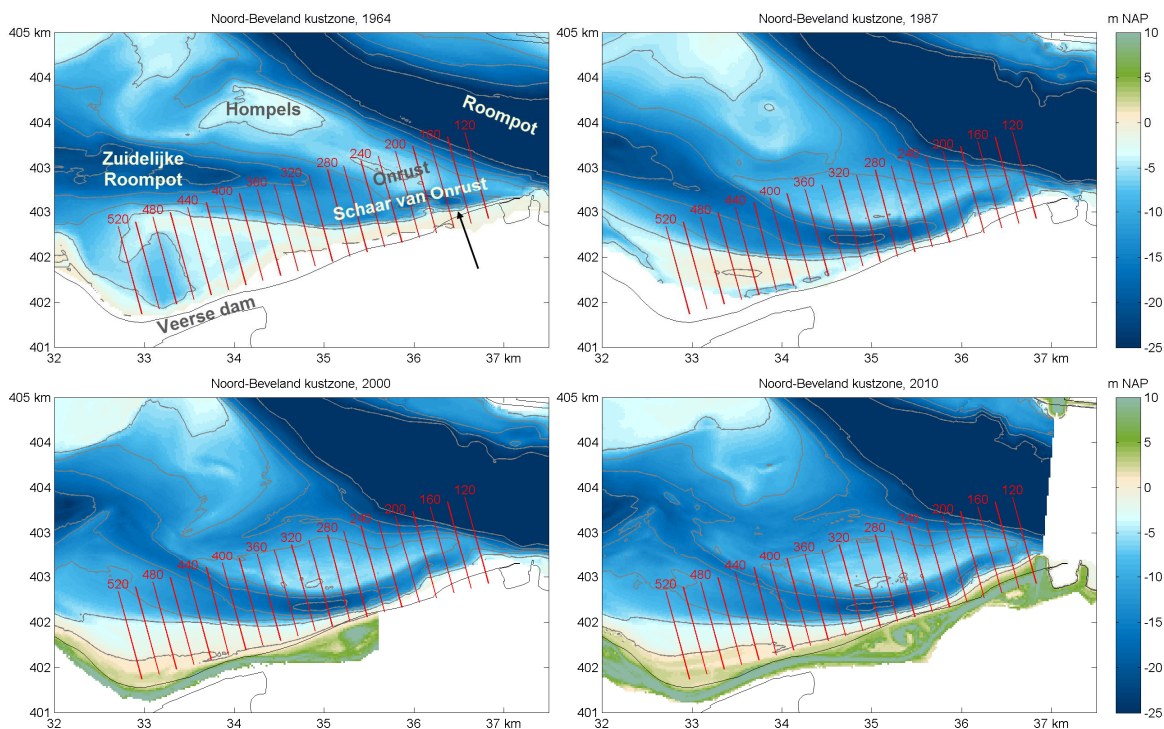
Figuur 4.22 Landwaartse migratie van de Schaar van de Onrust nabij de kust in raai 280 op Noord-Beveland (profielen)



Figuur 4.23 De ontwikkeling van MKL en TKL ten opzichte van de BKL in raai 280, Noord-Beveland, inclusief suppleties.

Detailontwikkeling Raai 120 – 220 Noord-Beveland oost

In het meest oostelijke deel van de kust van Noord-Beveland, van raai 120 tot raai 220 is de Schaar van de Onrust in de afgelopen decennia iets verder uit de kust komen te liggen (zie Figuur 4.24), waardoor de kust hier meer ruimte kreeg.

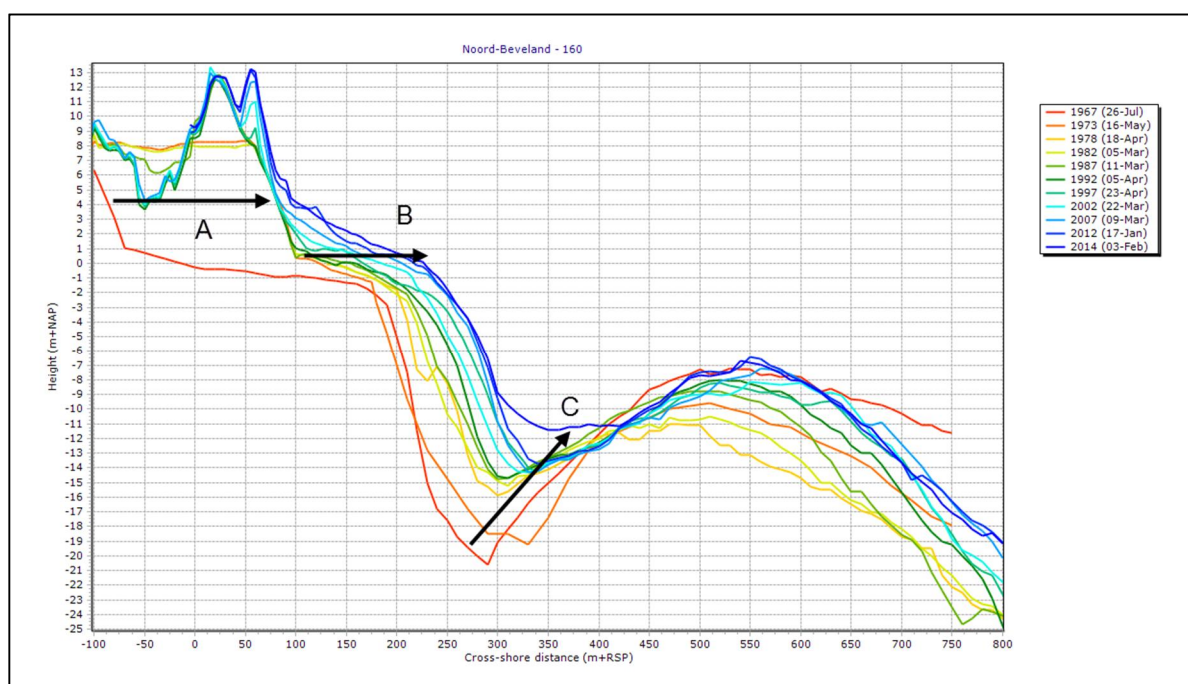


Figuur 4.24 Bodemligging van de vooroever van Noord-Beveland en de locaties van de Jarkusraaien hierin. (Dijkstra et al, 2013)

Dit is goed te zien in de profielontwikkeling van raai 160 (Figuur 4.25, vergelijk Figuur 4.20). Duidelijk te zien is de forse zeewaartse versterking van de “dijk in duin”-waterkering in 1972 (A) (zie ook paragraaf 5.1). Aan de vooroever is de Schaar van Onrust geleidelijk in diepte afgenomen en zeewaarts gemigreerd (C). Dit ging gepaard met een geleidelijke uitbouw van de kust (B), waarbij ook de duinvoet verder zeewaarts is opgeschoven.

Het uitbouwen van de kust ging het snelst vanaf 2000, door de aanvoer van zand van de meer westelijk aangebrachte suppleties (rond raai 240). Sinds 2010 is de ligging gestabiliseerd. Dit is ook duidelijk terug te zien in de ontwikkeling van de MKL ligging (Figuur 4.21).

Ook is in de profielmeting van 2014 zand van de geulwandsuppletie van 2013 terug te zien (aangelegd tussen raaien 180 – 320) in Figuur 4.25.



Figuur 4.25 Profiellicging van raai 160, Noord-Beveland, met ontwikkelingen (Dijkstra et al 2013. Detail zie Figuur 4.20)

Detailontwikkeling Raai 220 – 300 Noord-Beveland, Onrustpolder

Meer naar het westen, tussen raai 220 en 300 is de Schaar van de Onrust (zie Figuur 4.24) juist sterk richting kust gemigreerd en ligt hier het dichtst tegen de vooroever aan. Als we naar de profielontwikkeling van raai 280 kijken, kunnen we 4 perioden onderscheiden (zie Figuur 4.22 en Figuur 4.23):

- 1965 – 1979
Vanaf 1967 begint het profiel beneden NAP-2 steiler te worden en richting kust te migreren. De vloodschaar begint uit te groeien tot een geul (Schaar van de Onrust), en er ontstaat een meer geprononceerde geulwand aan de zeevaartse zijde ervan. Het ontwikkelen van de Schaar van Onrust is waarschijnlijk gerelateerd aan het groter worden van het getijprisma, als gevolg van de afsluitingen achterin de Oosterschelde (zie paragraaf 3.3.3). Het profiel tussen NAP+3m en NAP-2m wordt daarbij aanvankelijk nog iets hoger en breder, maar begint vanaf de jaren zeventig ook steiler te worden.
- 1979 – 1987
Dynamische periode met grote veranderingen: de Schaar van de Onrust ontwikkelt zich verder en wordt steeds breder. De diepte blijft daarbij min of meer gelijk. De zeevaartse rand hoogt op en de geul migreert in zijn geheel 100 meter richting kust. Het profiel tussen NAP+3m en NAP-2m wordt daarbij steiler. Dit proces versnelt iets, totdat het in 1987, na de aanleg van de Oosterscheldekering, abrupt tot een einde komt.
- 1987 – 1999
Met de gereedkoming van de Oosterscheldekering is de dynamiek van de Schaar van de Onrust aanzienlijk afgenomen. De geul wordt vanaf de zeevaartse rand smaller, maar de landwaartse geulwand blijft meer stabiel op zijn plaats (slechts kleine migratie landwaarts). Het profiel van het strand wordt wel nog steeds steiler. In 1993 en in 1996

zijn hier strandsuppleties toegepast, waarmee het profiel boven NAP+0m op hoogte wordt gehouden.

- 1999 – 2014

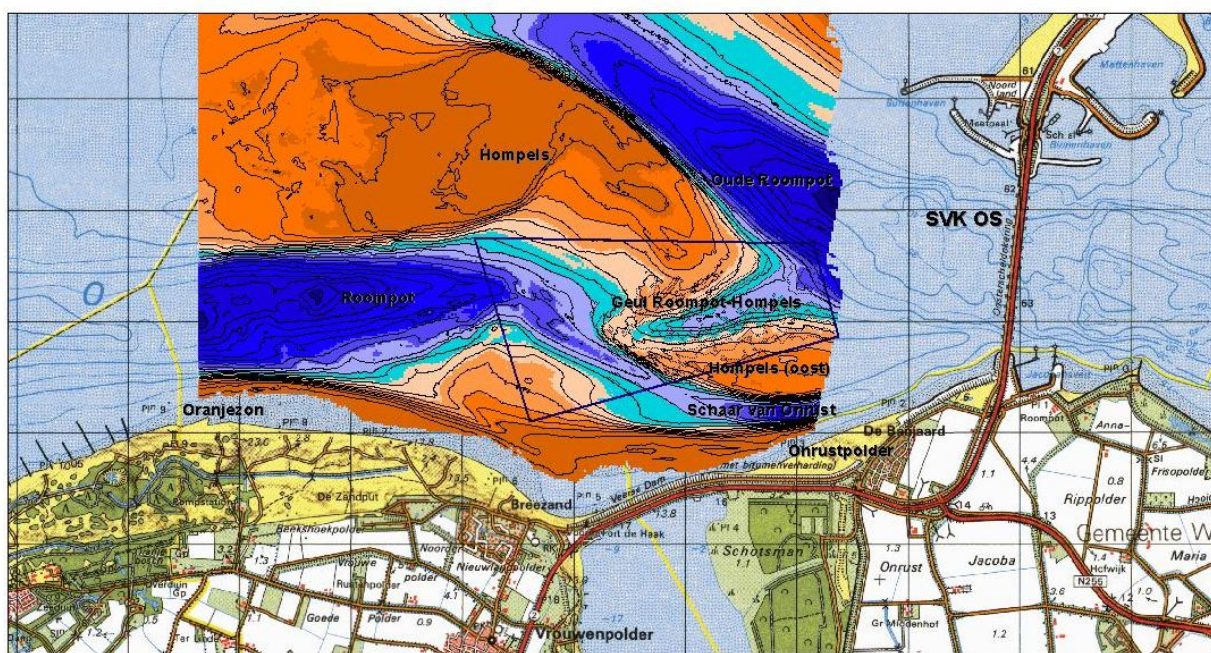
De Schaar van de Onrust (beneden NAP-2m) is vrij stabiel. Het suppletiezand dat in 2004 in de geul terecht is gekomen, is binnen enkele jaren weer opgeruimd, waardoor de geul in 2013 weer nagenoeg hetzelfde profiel heeft als in 1999. Dit is duidelijk zichtbaar in Figuur 4.22. De geulwandsuppletie van 2013 is duidelijk terug te zien in de meting van 2014, waarbij de geul aan landwaartse zijde voor bijna de helft is opgevuld.

De landwaartse rand van de geul op NAP -3m ligt in deze hele periode vrijwel constant op dezelfde positie, maar het profiel daarboven fluctueert sterk. Met suppleties (in 2000, 2004 en 2008) wordt het strand steeds weer op hoogte gebracht, waarna een nieuwe periode van erosie volgt. Dit zaagtandeffect is ook duidelijk te zien in de ontwikkeling van de MKL, zie Figuur 4.23. De duinen kennen wel een vrij constante aangroei, door de aanvoer van suppletiezand.

Ondanks dat de geul niet verder richting kust oprukt, zorgt de geul in dit gebied nog steeds voor problemen. Zand dat (bijvoorbeeld) tijdens een storm van het strand erodeert, wordt door de geul afgevoerd en komt daarom onder kalme omstandigheden niet meer terug op dit stuk kust. Bij de huidige configuratie zal dit zand daarom met strandsuppleties steeds weer aangevuld moeten worden, om de BKL te kunnen handhaven.

In een poging om de erosie te stoppen is hier tussen 2000 en 2008 'morfologisch gebaggerd', zie ook Lazar en Maranus, 2004. Morfologisch baggeren houdt in essentie in dat er niet alleen zand wordt aangebracht ter plaatse van de optredende erosie, maar dat er ook lokaal zand gewonnen wordt met als doel de optredende (getijde)stromingen te beïnvloeden. Er wordt dus geen zand van buiten het kustfundament aangevoerd. In dit geval is zand van een drempel in de Roompot (tussen Hompels en Onrust, zie Figuur 4.26) verplaatst naar de erosieve delen van de kust, vanuit de idee dat de verandering in getijvolumes door de geulen de migratie van de Schaar van de Onrust zou verminderen. In 2002 hebben Rijkswaterstaat Zeeland en het Adviesorgaan Zeeuwse Waterkeringen (AZW) afgesproken 10 jaar lang morfologisch te baggeren en gedurende die periode een overschrijding van 15 m van de BKL toe te staan.

Uit de in 2010 uitgevoerde evaluatie (van der Werf et al., 2010) bleek dat het morfologisch baggeren geen direct aantoonbaar effect heeft op de lokale erosiesnelheid bij de Onrustpolder. Daarom is besloten tot het uitvoeren van een geulwandsuppletie in 2013. De evaluatie van deze suppletie is samengevat in paragraaf 4.2.2.



Figuur 4.26 Omgeving nieuw te creëren geul Roompot-Hompels (uit Lazar en Maranus, 2004)

Detailontwikkeling Raai 300 – 380 Noord-Beveland/Veerse Dam

Het gebied tussen raai 300 en 380 is het laatste stuk kust van Noord-Beveland waar een BKL voor is vastgesteld. Verder naar het westen ligt de Veerse Dam. De afsluiting van het Veerse Meer heeft een grote invloed gehad op de ontwikkelingen van dit gebied. We beschrijven de ontwikkelingen van dit gebied aan de hand van het profiel van raai 340.

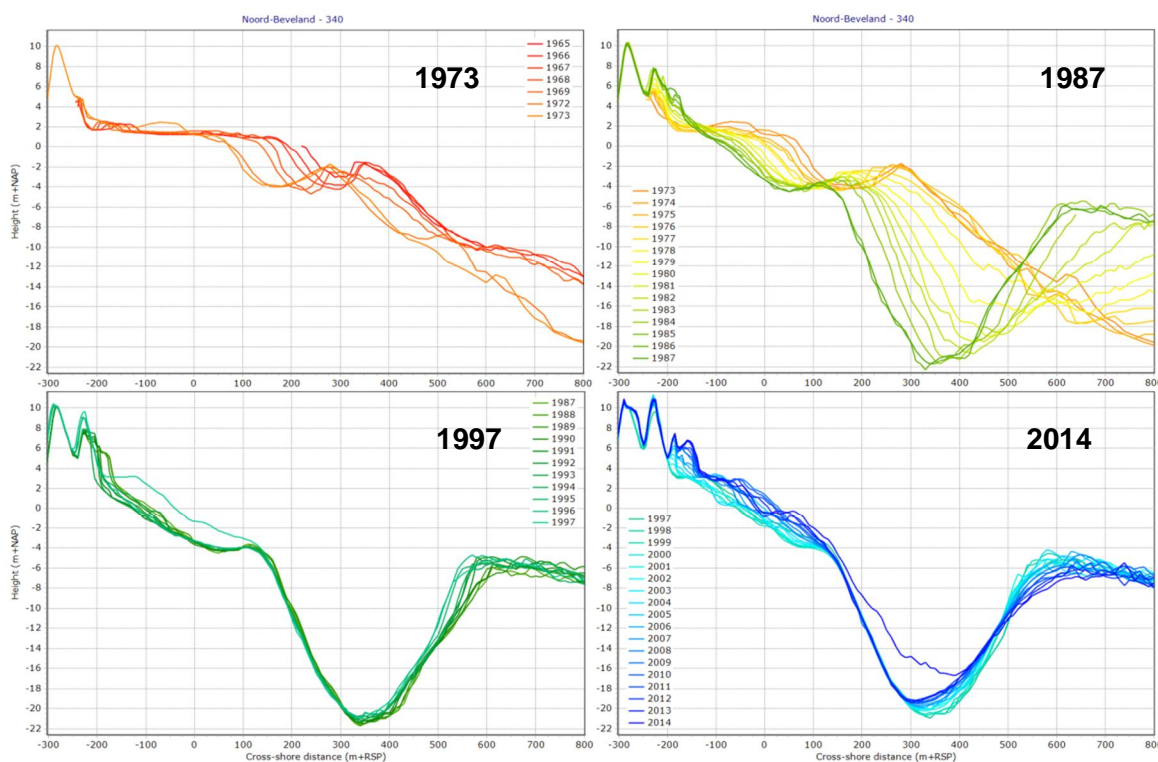
Zie Figuur 4.27, we onderscheiden wederom 4 perioden:

- 1965 – 1973
Het gebied kenmerkt zich in 1965 nog door een grote strandvlakte, van ongeveer 400 meter breed. Hiervoor ligt de uitloper van de Schaar van Onrust, die op dat moment nog slechts een beperkt doorstroombroef heeft. Tussen 1965 en 1973 wordt de geul iets breder en migreert circa 200 meter richting kust.
- 1973 – 1987
De trend uit de vorige periode zet zich voort tussen 1973 en 1987. Tegen het einde van de jaren zeventig takt de kleine vloed-schaar aan op de uitloper van de Zuidelijke Roompot (ook te zien in Figuur 4.24, rechtsboven). In het profiel is te zien dat zich daardoor verder uit de kust een diepere geul vormt (de Schaar van Onrust), waardoor de kleinere geul verder tegen de kust wordt gedrukt en zijn functie verliest. De vooroever wordt steiler, en vanaf de jaren tachtig is de strandvlakte al geheel verdwenen. De duinen zijn daarentegen wel fors aangegroeid: de duinvoet is tientallen meters naar voren gekomen, en er heeft zich een nieuwe duinenrij gevormd.
- 1987 – 1997
Met de gereedkoming van de Oosterscheldekering is de dynamiek van de Schaar van Onrust aanzienlijk afgenomen. De landwaartse geulwand is stabiel. Boven NAP-3m tot aan de duinvoet is meer variatie in de profielhoogte zichtbaar. Door middel van strandsuppleties in 1993 en 1996 is het strand opgehoogd, waarna steeds weer een periode volgde van erosie. Ook de duinvoet is hierbij weer tientallen meters landwaarts verschoven. De suppletie van 1996 is duidelijk zichtbaar in de profielmeting van 1997.

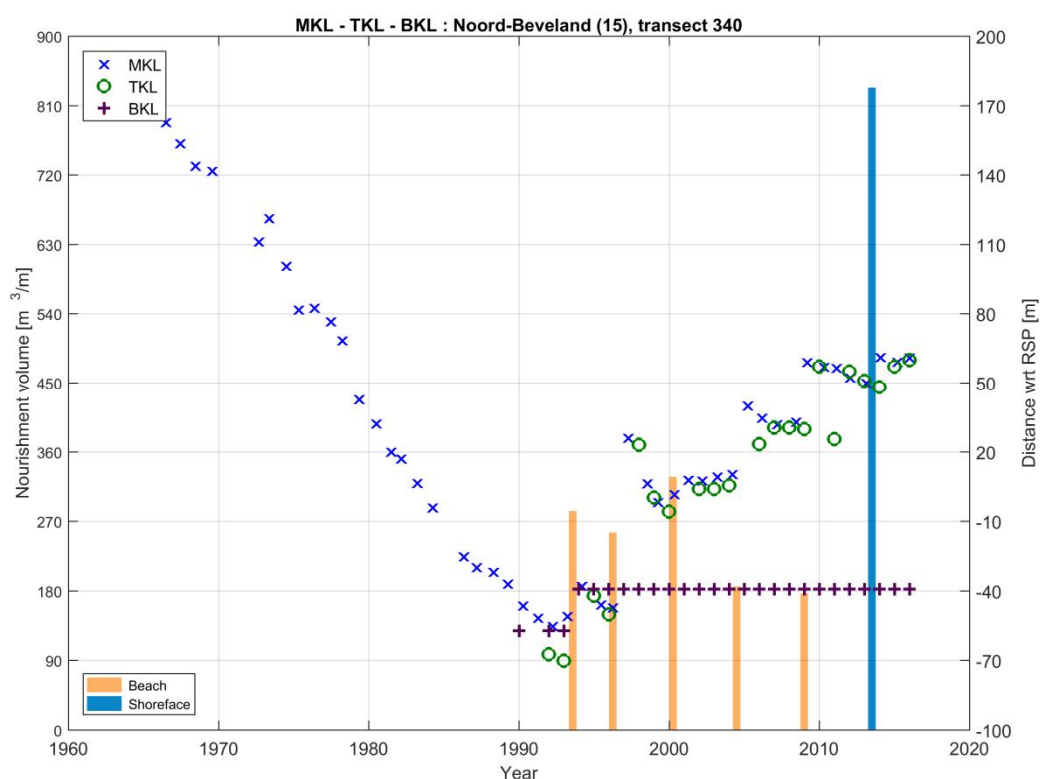
- 1997 – 2014

De landwaartse geulwand van de Schaar van Onrust (beneden NAP-5m) is in deze periode zeer stabiel. Afgezien van de geulwandsuppletie in 2013 (te zien in de meting van 2014), volgt deze geulwand elk jaar nagenoeg hetzelfde profiel. De zeevaartse geulwand vertoont wel een duidelijke trend: de geul wordt iets ondieper en de helling wordt flauwer.

De ondiepe vooroever, boven NAP-5m, vertoont wederom veel meer variatie. Met behulp van frequente (strand)suppleties wordt het strand op hoogte gehouden, en is zelfs sprake van enige uitbouw van de kust. Momenteel ligt de MKL zo'n 90 meter zeewaarts van de BKL (zie Figuur 4.28). Door het aanbod aan zand van de suppleties is de duinvoet 50 – 80 meter zeewaarts verplaatst.



Figuur 4.27 Profielontwikkelingen op raai 340, Noord-Beveland. Tot 1987 zorgt de ontwikkeling van de Schaar van de Onrust voor erosie aan de kust. Na de bouw van de Oosterscheldekering ligt deze geul stabiel op zijn plaats, en dankzij suppleties is er weer sprake van enige uitbouw van de kust (Dijkstra et al, 2013).



Figuur 4.28 De ontwikkeling van MKL en TKL ten opzichte van de BKL in raai 340, Noord-Beveland, inclusief suppleties.

4.3.2 Veerse Dam en Oranjezon (Deelgebied II, raaien 380-880)

De ontwikkeling van het gebied direct ten westen van Noord-Beveland is voor een groot deel bepaald door de afsluiting van het Veerse Gat in 1961. Hierdoor is er geen getijstroom door het Veerse Gat meer en is er een soort 'inham' ontstaan waar sedimentatie plaats kan vinden. Hierdoor is de zandplaat die hier voor de kust lag tegen de dam en de noordoostkust van Walcheren aan komen te liggen. Na aanlanding erodeert de plaat aan zeewaartse zijde. Dit is duidelijk te zien in raai 440 (Figuur 4.29). Het verhelen van deze zandplaat met de kust is zichtbaar t/m raai 600.

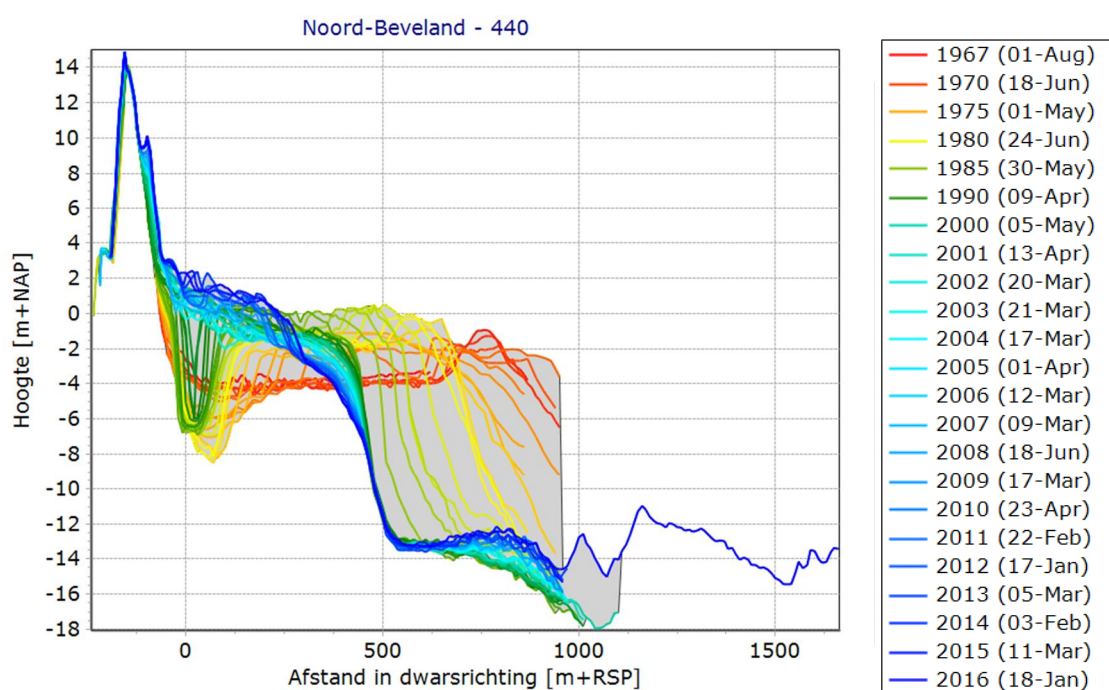
Voor de raaien langs de Veerse Dam (raai 380 t/m 520), is geen Basiskustlijn vastgesteld omdat de dam hier de primaire kering is. Enkele van de strandsuppleties die langs de kust van Noord-Beveland zijn uitgevoerd liepen door tot de buitenste raaien langs de dam (380 en 400).

In de oostelijke raaien op Walcheren is de aansluiting van de zandplaat te zien in een vrij plotselinge toename in de Momentane Kustlijn rond 1990 (o.a. raai 560, Figuur 4.30). Tussen 1980 en 1995 neemt de Momentane Kustlijn toe, waarna die afvlakt. Verder naar het westen toe neemt de erosie van de zandplaat na aanlanding toe. In de raaien 580 t/m 660 neemt de Momentane Kustlijn weer af na de eerdergenoemde toename tussen 1980 en 1995. In deze raaien erodeert de vooroever, terwijl het duin nog wel aan het uitbouwen is.

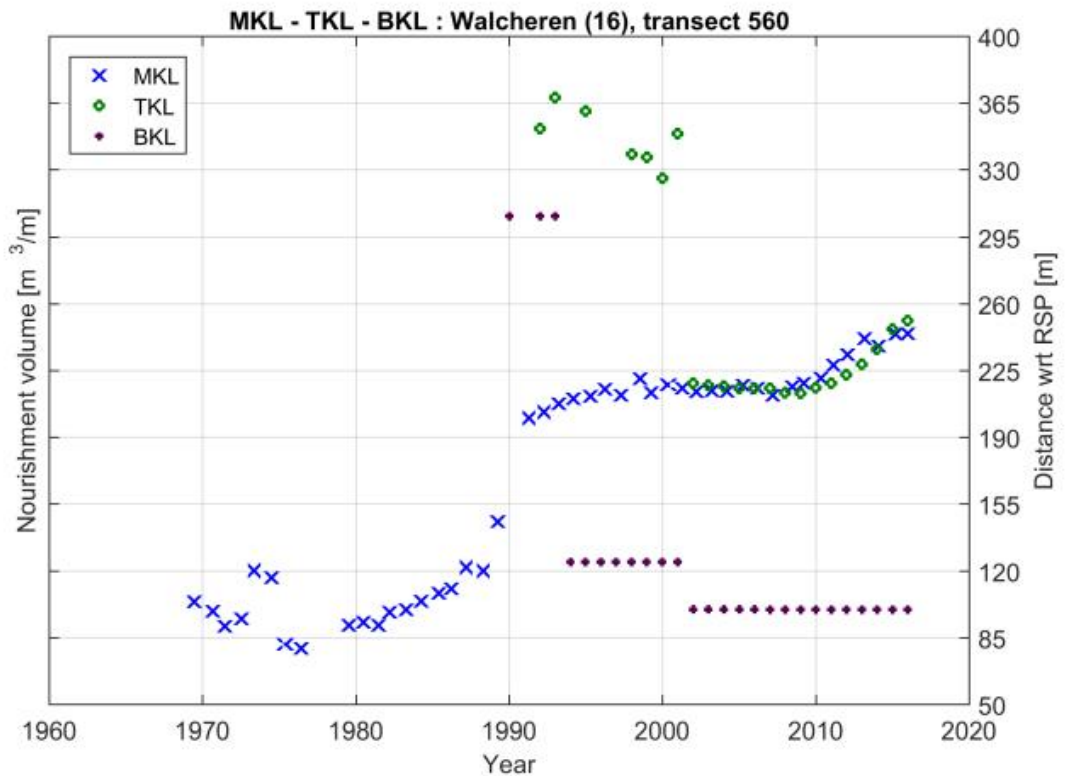
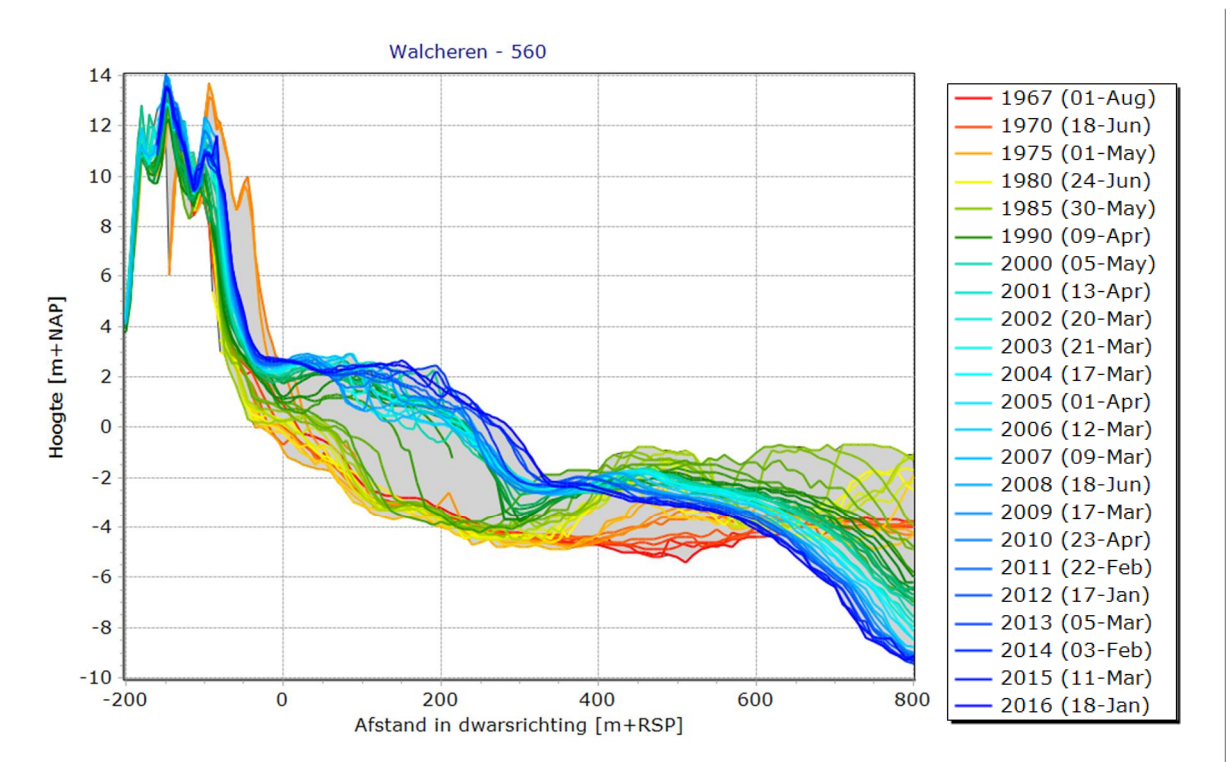
Vanaf raai 680 slaat dit om in een zeewaartse trend van de Momentane Kustlijn, die toeneemt richting het westen. Deze profielen tonen een uitbouw van de duinen, erosie van het strand en uitbouw van de diepere vooroever die steiler aan het worden is. Het steiler worden komt door de aanwezigheid van de Roompot, die ter hoogte van raai 780 het dichtste

langs de kust ligt (Figuur 4.31). De Roompot fungeert hier als 'sedimentval' voor sediment dat van het strand de geul in wordt getransporteerd. De raaien het dichtst bij de Roompot, 760 t/m 800, laten een omslag zien in Momentane Kustlijn rond 2005. Dit hele deelgebied heeft een relatief breed strand en een achterliggend duingebied (Oranjezon).

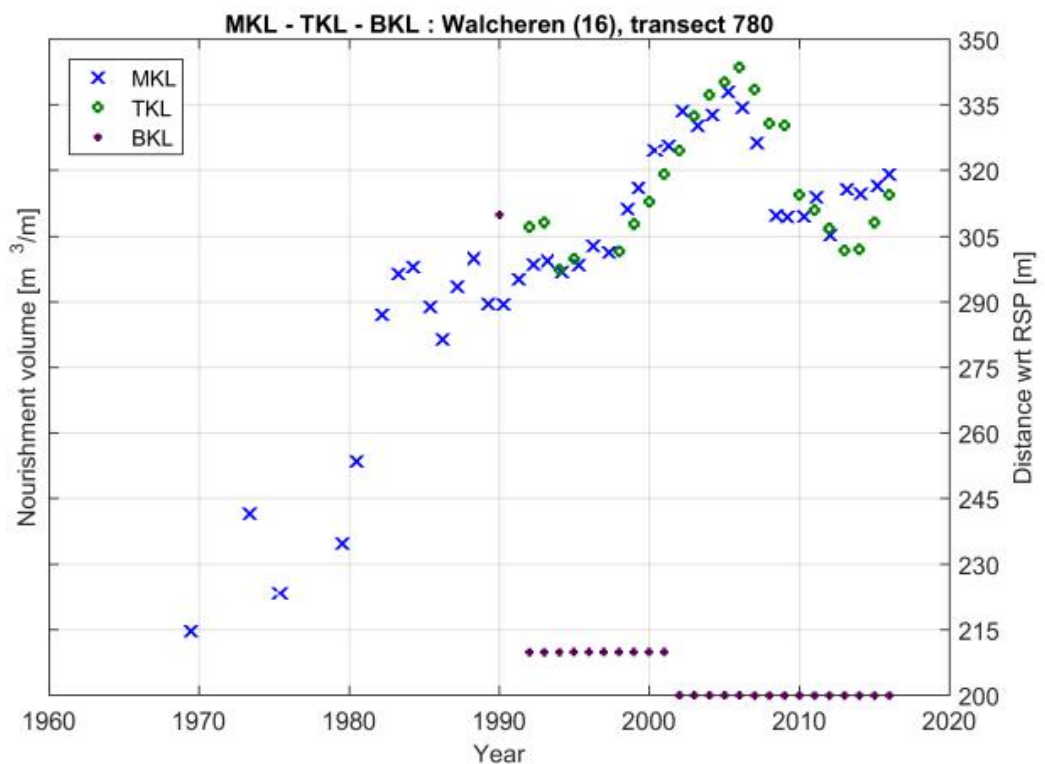
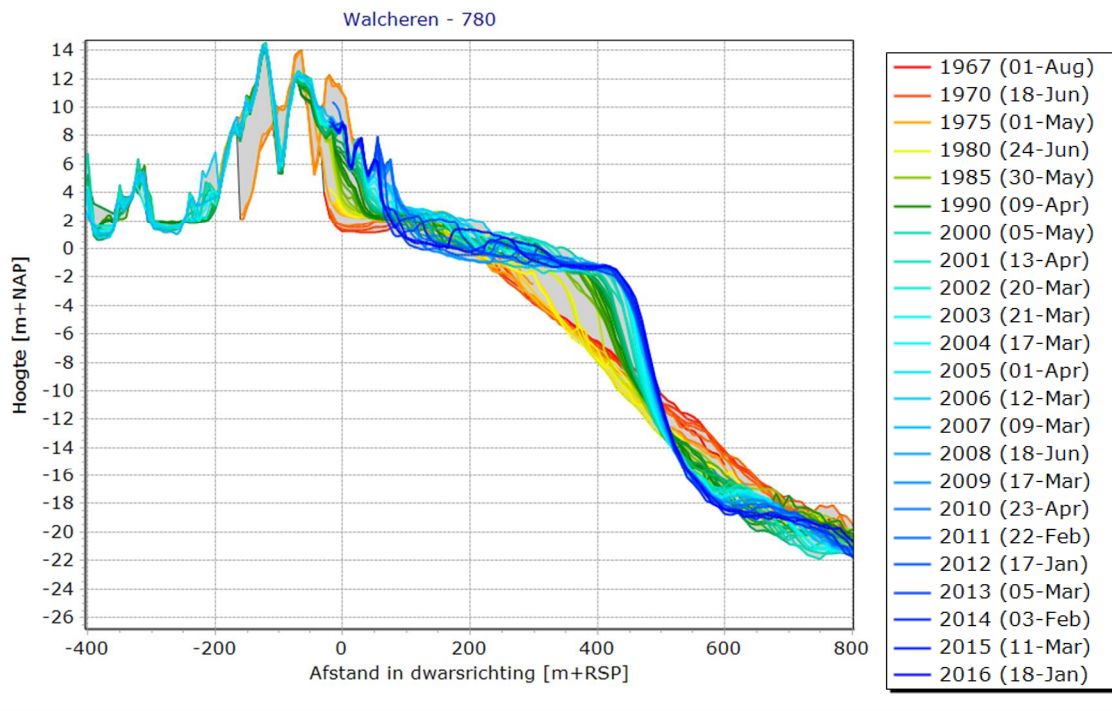
Dit deelgebied heeft ook de komende jaren naar verwachting geen of weinig onderhoud nodig. Ook de enkele raaien waar de Momentane Kustlijn-trend is omgeslagen in een negatieve trend (Figuur 4.31 onder), is de Momentane Kustlijn nog ver zeewaarts van de Basiskustlijn. Bovendien is er hier een relatief breed duingebied aanwezig.



Figuur 4.29 Opvulling van de geul en aanlanding van de zandplaat na aanleg van de Veerse Dam in raai 440 op Noord-Beveland. Voor de raaien ter hoogte van de Veerse Dam is geen Basiskustlijn vastgesteld omdat de dam de primaire kering is.



Figuur 4.30 Ontwikkeling van a) het kustprofiel en b) de MKL in raai 560, Walcheren. (a: Profielen b: MKL).

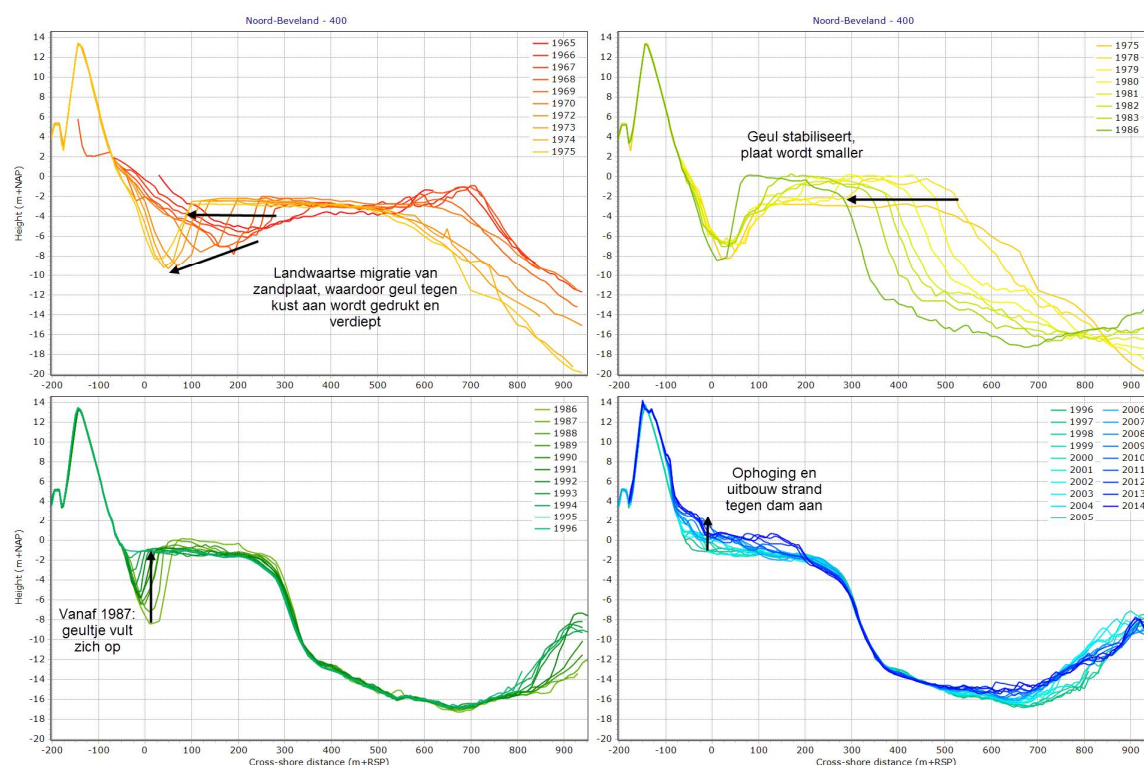


Figuur 4.31 Uitbouw van de kust ter hoogte van Oranjezon, Walcheren, waar een relatief breed strand aanwezig is (raai 780). Sinds 2005 toont het bovenste deel van het strand erosie. (a: Profielen b: MKL).

Detailontwikkeling Raai 380 – 520 Veerse Dam

Het gebied tussen raai 380 en raai 520 ligt voor de Veerse Dam. Aanvankelijk is hier wel een BKL berekend, maar uiteindelijk werd besloten dat de stabiliteit van de dam maatgevend moet zijn voor het onderhoud van dit deel van de kust. Vanaf raai 380 is daarom geen BKL vastgesteld en vindt geen toetsing plaats.

De ontwikkelingen in dit gebied schetsen we aan de hand van profiel 400, zie Figuur 4.32, vergelijk Figuur 4.29. Na de afsluiting van het Veerse Meer begon de aanlanding van een grote zandplaat. Hierbij ontstond tussen 1965 en 1975 een geultje dat richting de kust werd gedrukt. Vanaf 1975 ligt dit geultje tegen de dam en blijft daar liggen. De zandplaat blijft richting kust migreren en wordt daarbij een stuk smaller. Vanaf de aanleg van de Oosterscheldekering begint het geultje zich rap op te vullen en in 1996 is de aanlanding van de zandplaat een feit. Het plateau dat zich tegen de kust aan heeft gevormd ligt nog wel beneden NAP. Van een droog strand is dus nog geen sprake. In de jaren daarna blijft de kust hier ophogen en – met behulp van strandsuppleties in 2004 en 2009 - vormt zich een droog strand tegen de dam.



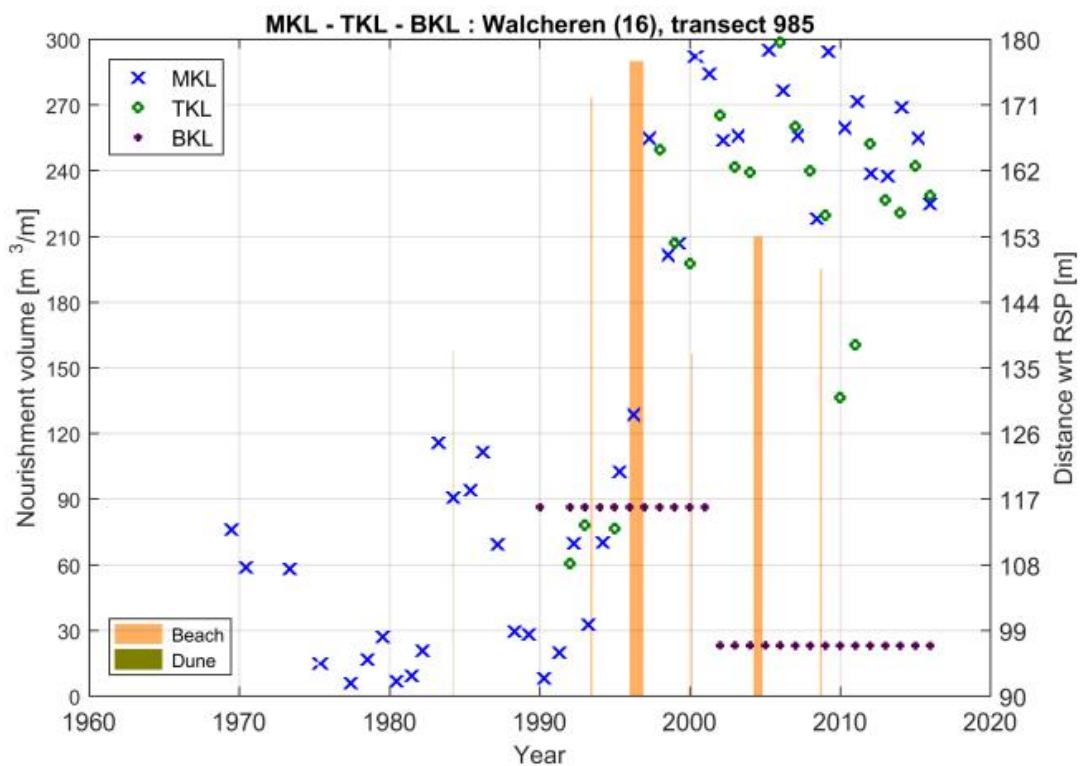
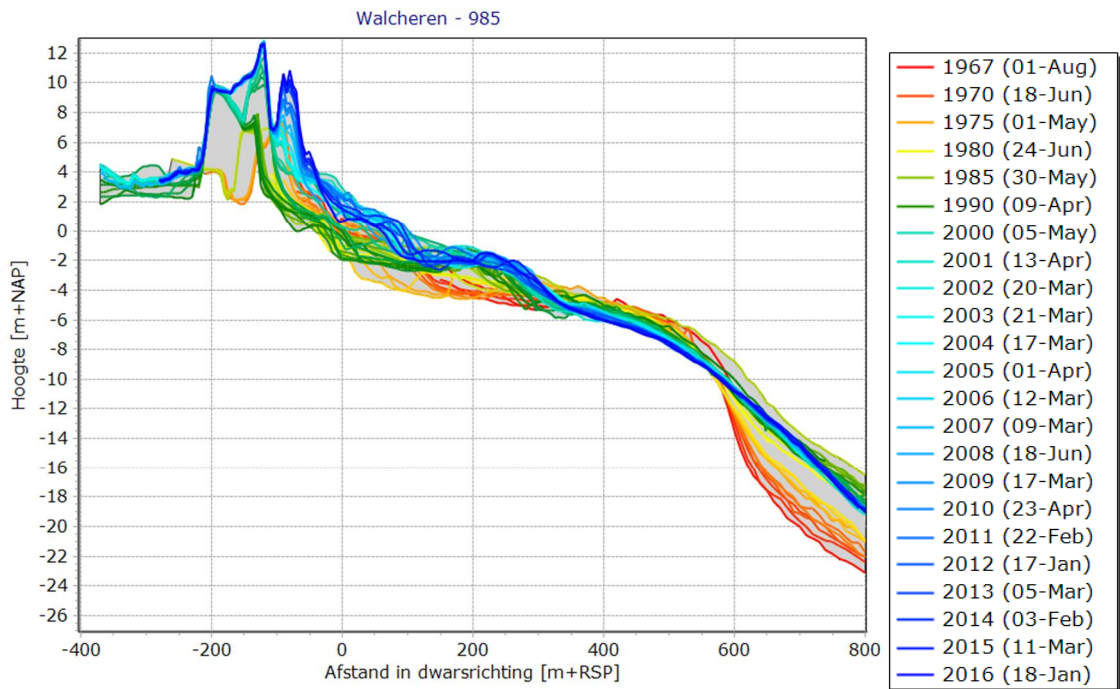
Figuur 4.32 Profielontwikkelingen in raai 400, in het gebied voor de Veerse Dam (Dijkstra et al, 2013).

4.3.3 Oranjezon tot Oostkapelle (Deelgebied III, raaien 900 - 1065)

In het deelgebied tussen Oranjezon en Oostkapelle (Figuur 4.19) laat de kust een achteruitgang in duin en strand zien. Ook de ondiepe vooroever, tot ca. NAP -10 m, erodeert. De diepere vooroever, onder de NAP -10 m, heeft zich uitgebouwd in de raaien ten westen van 940 tot ongeveer 1990 (o.a. raai 985, Figuur 4.33 boven). Ook in deze raaien fungeert de Roompot als sedimentval.

De MKL toont tot raai 985 een duidelijke landwaartse trend en is in raai 985 tot 1985 vrij constant geweest. Van raai 985 tot 1065 is er tot 1985 een licht positieve trend te zien. Vanaf 1985 laten alle raaien een negatieve trend zien tussen de suppleties. Alle raaien tussen 900 en 1065 zijn van 1990 tot 2008 gesuppleerd, wat voor een "zaagtand" patroon zorgt (Figuur 4.33 onder). De reden was een veiligheidsissue. Ter hoogte van km 9500 (Kaalkop) zijn in het verleden stuifgaten gesloten ten behoeve van de deltaveiligheid. Oranjezon ten westen van de Kaalkop is de overgang van Noord naar Noordwest Walcheren en is in het verleden meerdere malen versterkt (zowel land- als zeewaarts). Meestal zijn er slechts enkele raaien waar daadwerkelijk de Basiskustlijn wordt overschreden, maar wordt de hele zone gesuppleerd. In veel raaien ligt MKL aanzienlijk zeewaarts van de BKL.

Verwachting voor toekomstig beheer: voor dit deelgebied zal de ontwikkeling doorgaan zoals de afgelopen jaren te zien was. Vanaf 2008 is er niet meer gesuppleerd in de raaien 950 t/m 1065.



Figuur 4.33 Het profiel van raai 985 is vanaf 1990 regelmatig gesuppleerd en toont sindsdien tussen de suppleties een negatieve trend. De diepere vooroever heeft zich enigszins uitgebouwd tot 1990. (a: Profielen b: MKL). "Zaagtand" patroon duidelijk zichtbaar t.g.v. regelmatige suppleties.

4.3.4 Oostkapelle tot Westkapelle (Deelgebied IV, raaien 1085-2165)

De kust tussen Oostkapelle en Westkapelle (Figuur 4.34) is een rechte kust waar relatief kleine veranderingen hebben plaatsgevonden. Er zijn geen grote getijdegeulen dicht bij de kust en er is een smal duingebied. Het gebied is grofweg in twee deelgebieden in te delen. Het oostelijke deel dat kustuitbouw toont tussen raai 1085 en 1386 – net ten oosten van Domburg – en het deel ten westen van raai 1386, waar de kust sediment verliest.

Ter hoogte van Oostkapelle, ten westen van raai 1065, is de positieve trend duidelijk zichtbaar. De kleine vloedgeul die hier in 1964 nog langs de kust lag, is zich aan het opvullen (raai 1125, Figuur 4.35, raai 1326 Figuur 4.36). De geul wordt naar het westen toe ondieper en is ter hoogte van Domburg (Figuur 4.37) nog net te zien. De ondiepte die verder uit de kust lag is wel dieper geworden, wat duidelijk te zien is in raai 1325. Ook is te zien dat de Roompot sinds de aanleg van de Oosterscheldekering ondieper wordt, voornamelijk in raai 1125, Figuur 4.35.

In raai 1326 (Figuur 4.36 onder) is een opmerkelijke omslag te zien in de MKL-trend, van erosie naar sedimentatie rondom 1990, terwijl hier slechts eenmaal een strandsuppletie is uitgevoerd. Ditzelfde patroon is ook te zien in raaien 1286 en 1306, en in lichte mate in raai 1346 en 1366. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door de veelvuldige suppleties in de raaien ter hoogte van Domburg, waarvan het sediment zich naar het noordoosten verplaatst. Of de eerder genoemde horizontale zandgolven (paragraaf 3.3.5) hier ook invloed op hebben is niet onderzocht.

Van de raaien ter hoogte van Domburg is voor 1489 t/m 1550 de Basiskustlijn ca. 15 m zeewaarts verplaatst in 1994. Dit heeft tot doel de aanwezige stenen duinvoetverdediging onder het zand te houden. Voornamelijk na deze verplaatsing wordt de Basiskustlijn in deze raaien met regelmaat overschreden. De raaien ten oosten en westen hiervan, met een verder landwaarts gelegen Basiskustlijn, worden gesuppleerd bij de overschrijdingen van de raaien 1489 t/m 1550, ongeveer elke 4 à 5 jaar. Ondanks de negatieve trend in MKL is de rest van het profiel hier vrij stabiel (Figuur 4.37).

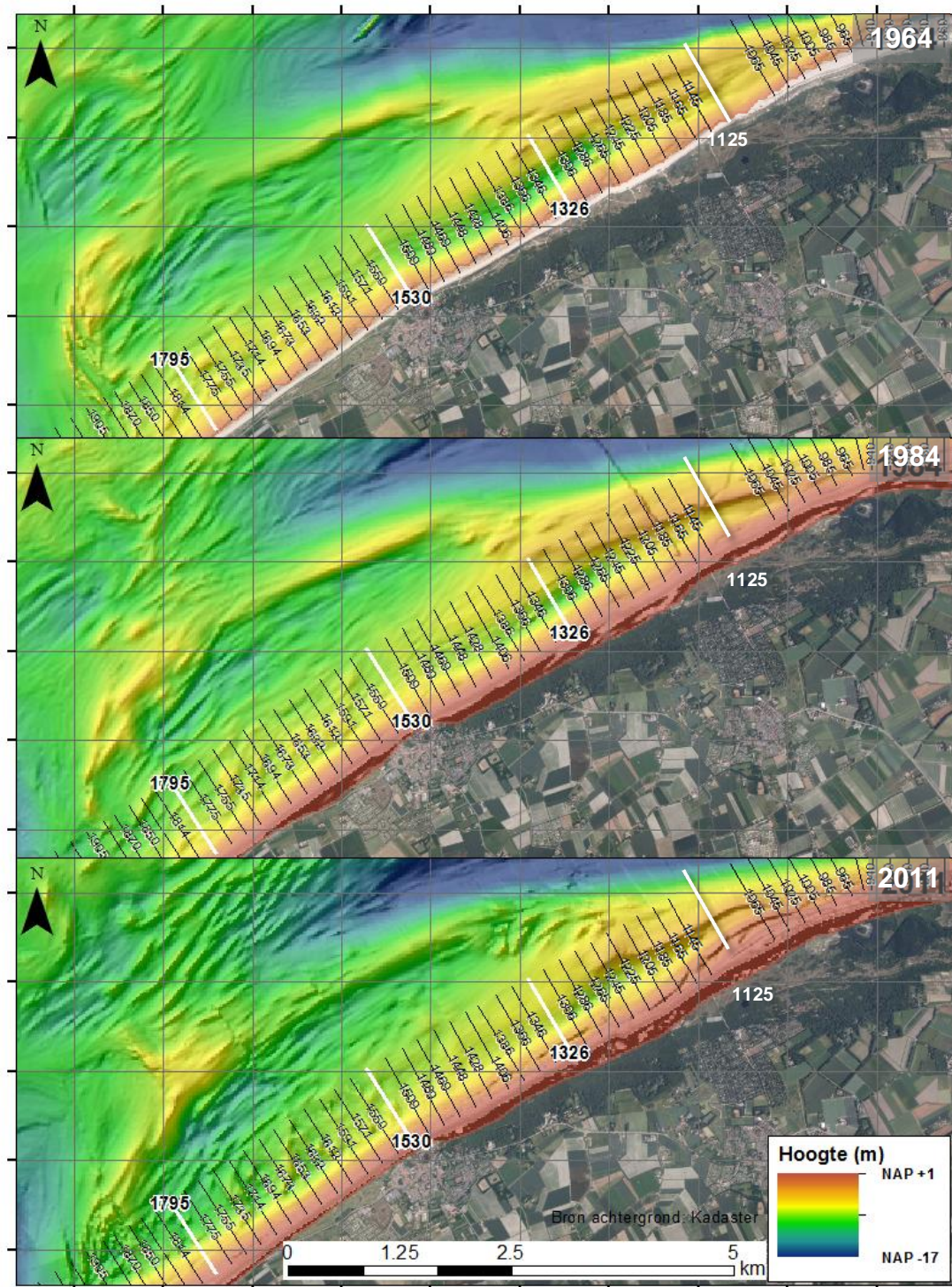
De kust tussen Westkapelle en Domburg toont over de gehele afstand enige erosie en een negatieve trend in MKL. Voor de raaien 1673 t/m 1753 is de trend in MKL na 2005 positief geworden. De reden hiervoor is niet helemaal duidelijk, maar lijkt niet samen te hangen met de vooroever-suppletie van 2008 voor Westkapelle. De kust is hier onderhouden door regelmatige strandsuppleties, die elke 4 à 5 jaar worden uitgevoerd.

In het kader van de zwakke schakel Westkapelle is tussen raai 1755 en 1970 in 2008 een vooroever- en strandsuppletie uitgevoerd. Hiermee is de kust flink zeewaarts verplaatst (Figuur 4.38). Hierbij is ook de Basiskustlijn in de raaien 1755 t/m 1883 zeewaarts verplaatst en is de Basiskustlijn uitgebreid t/m raai 1927. Voor de raaien 1814 t/m 1927 is er zowel de Westkappelse dijk aanwezig als een Basiskustlijn gesteld. Hier vormen dan ook zowel de dijk als het aanwezige sediment samen de waterkering. Na de suppletie verplaatst de MKL zich sneller landwaarts in het westen en neemt de verplaatsing af naar het oosten.

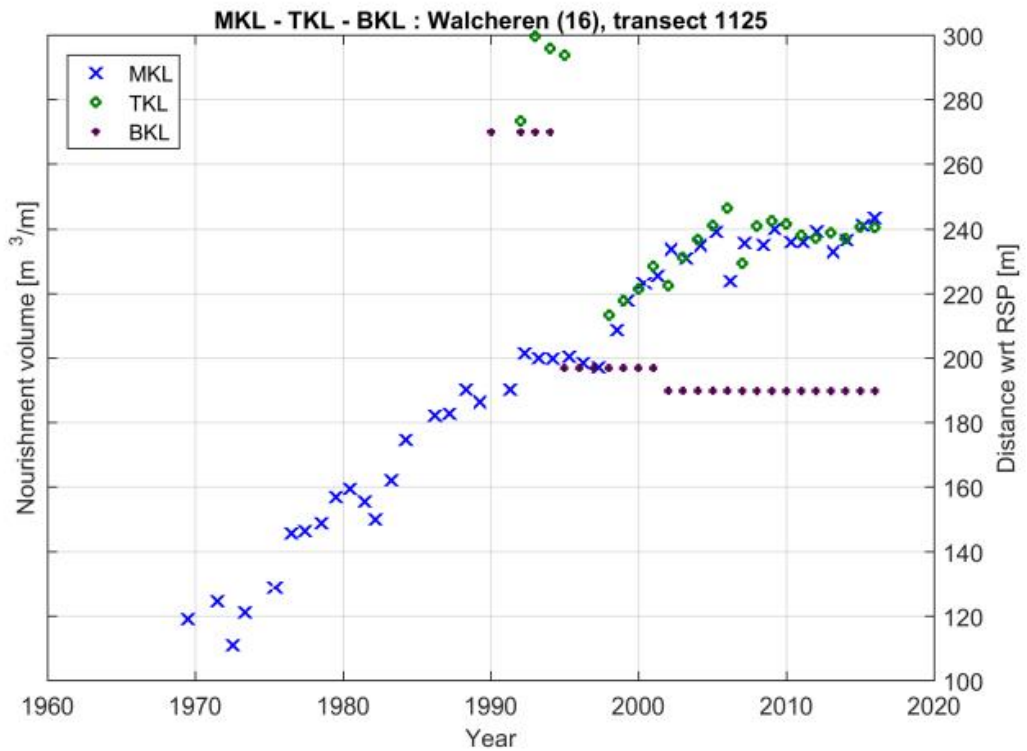
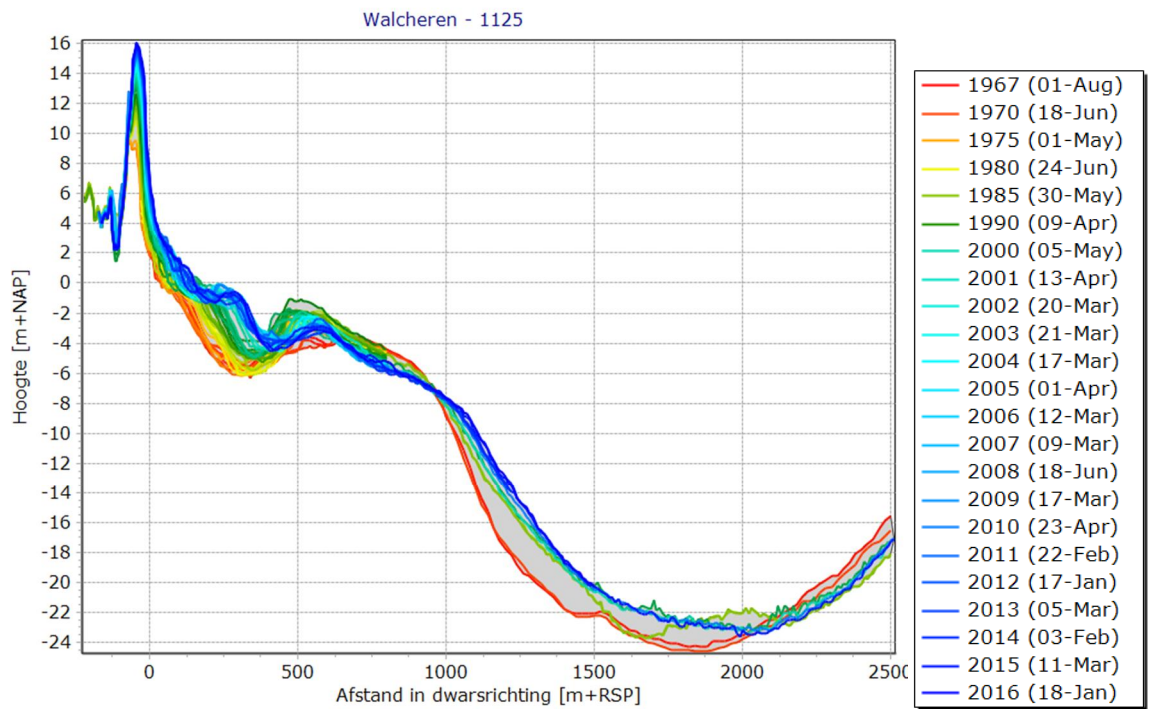
Verwachting toekomstig beheer: Domburg is een 'erosie-hotspot', wat komende tijd waarschijnlijk niet anders zal worden. Door hier regelmatig te blijven suppleren zal naar verwachting de kust ten oosten ervan de komende tijd niet gesuppleerd te hoeven worden.

Voor Westkapelle is met de vooroever-suppletie een behoorlijk andere situatie ontstaan. Of de nieuwe, verder zeewaarts gelegen Basiskustlijn zal leiden tot een grotere onderhouds-inspanning is nog niet te zeggen. Hoewel de Basiskustlijn-overschrijding, zoals verwacht ca.

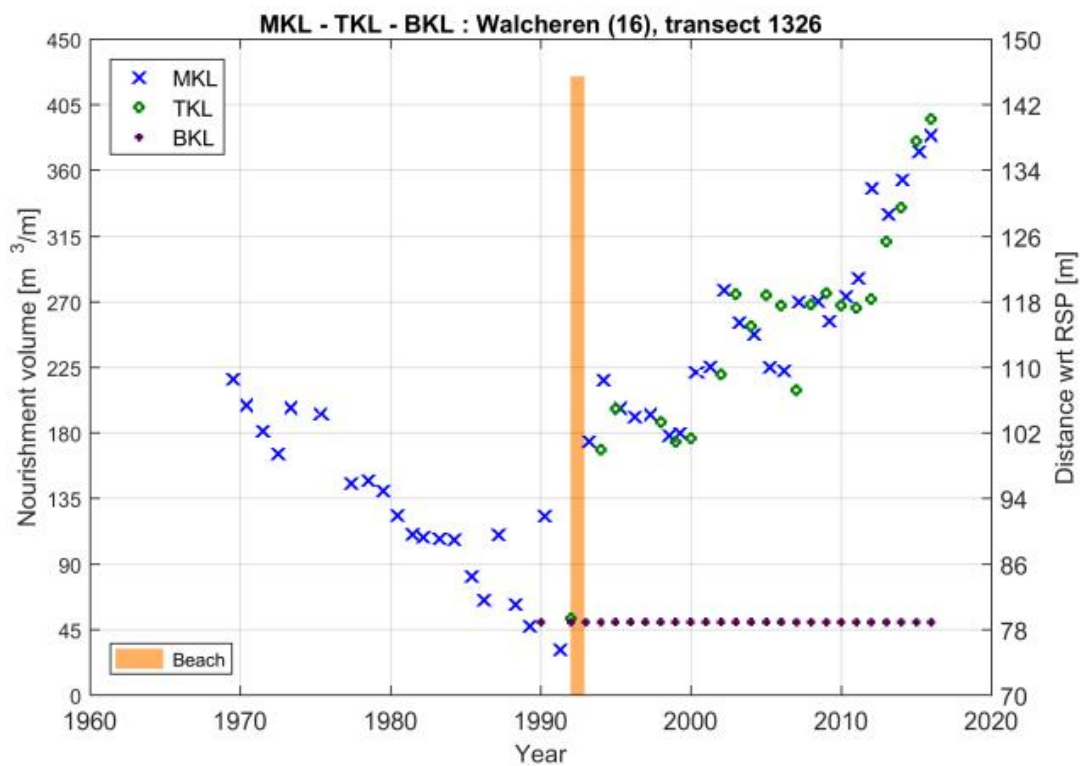
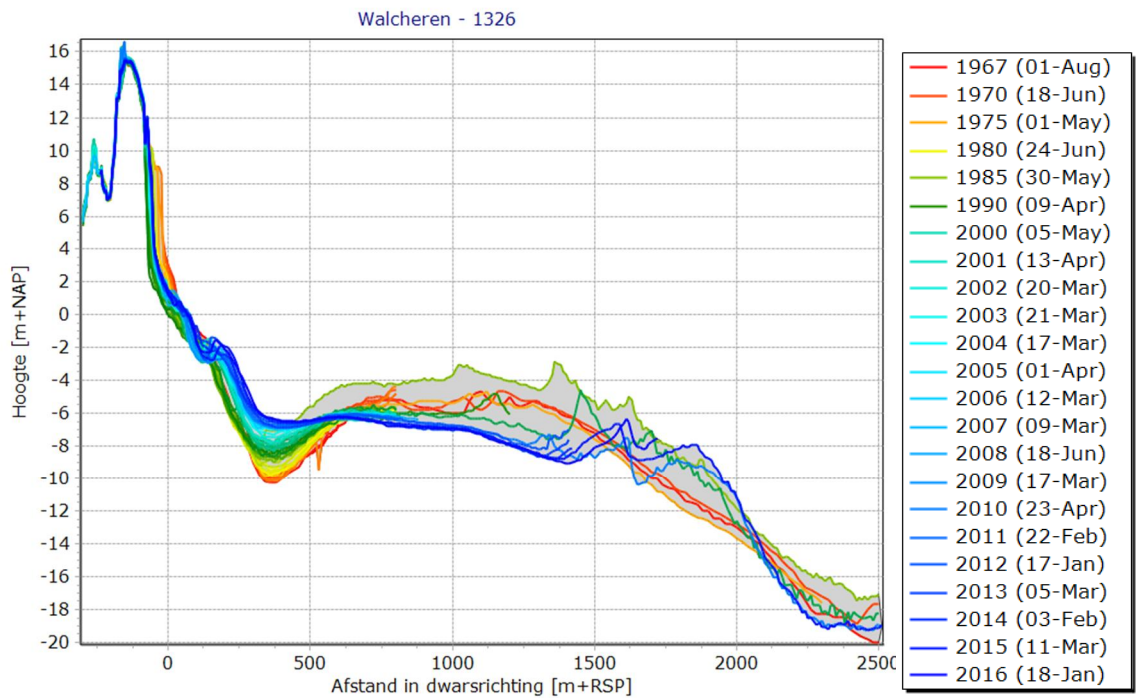
4 jaar na aanleg zal plaatsvinden, lijkt er in totaal meer erosie plaats te vinden dan vooraf verwacht (zie ook paragraaf 4.2.4).



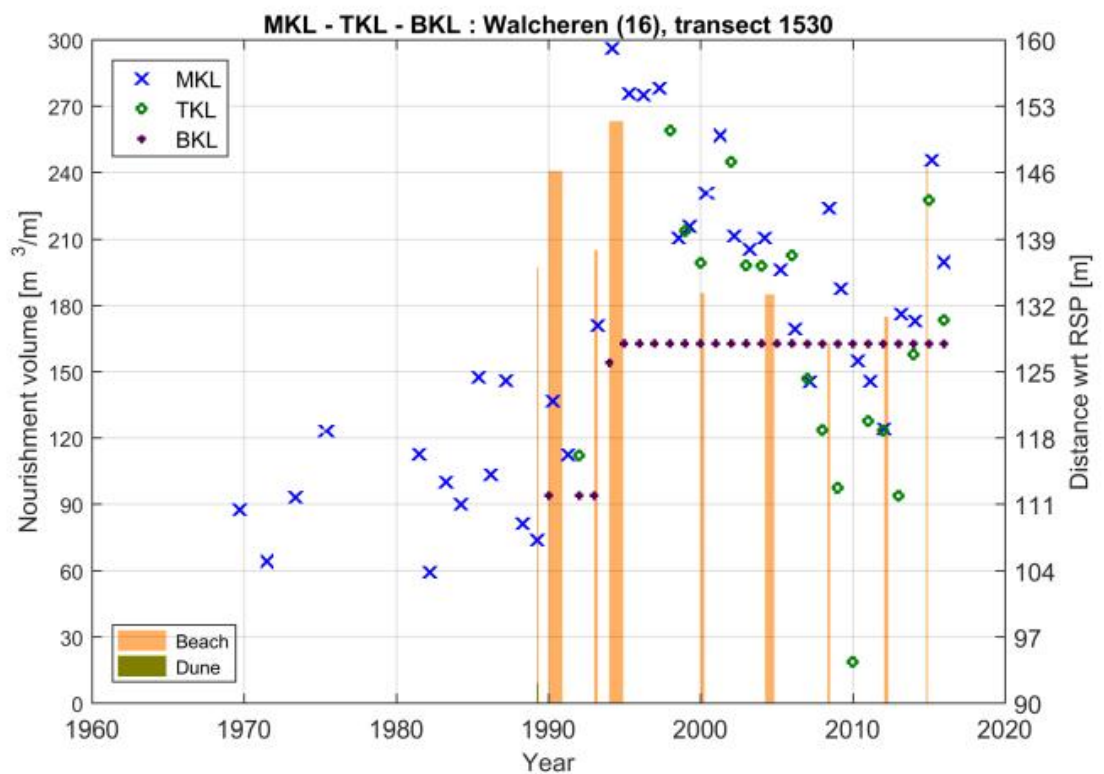
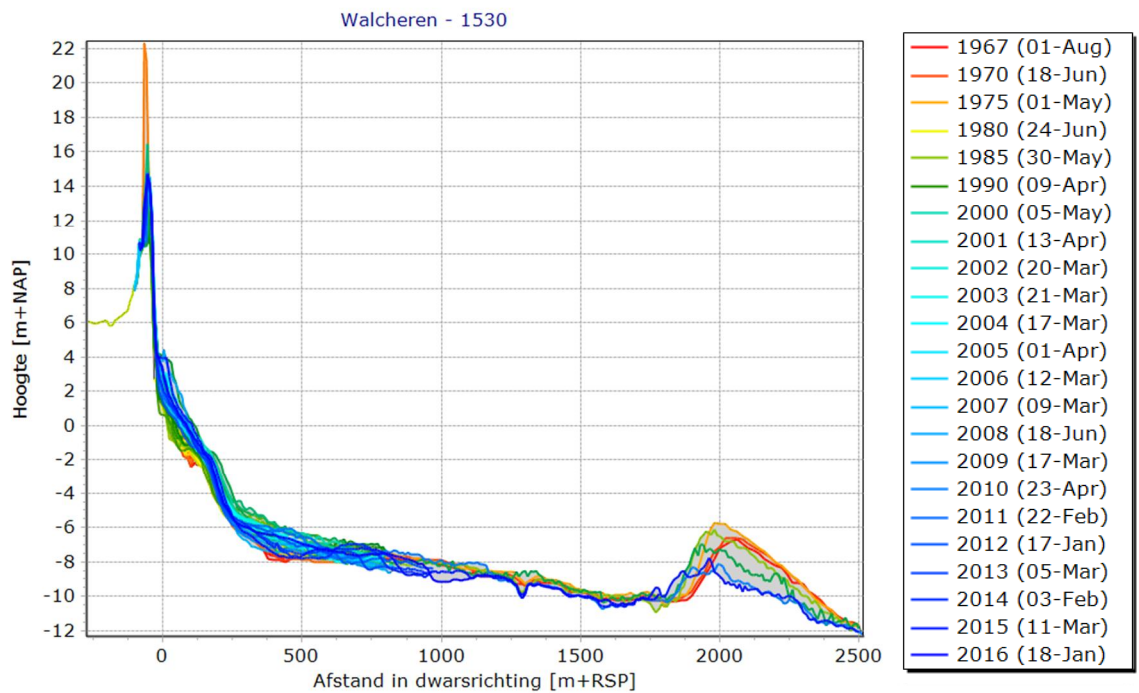
Figuur 4.34 Bathymetrie van de kust tussen Oostkapelle en Westkapelle (deelgebied IV, bodem 1964, 1984 en 2011) met overzicht van de uitgelichte raaien



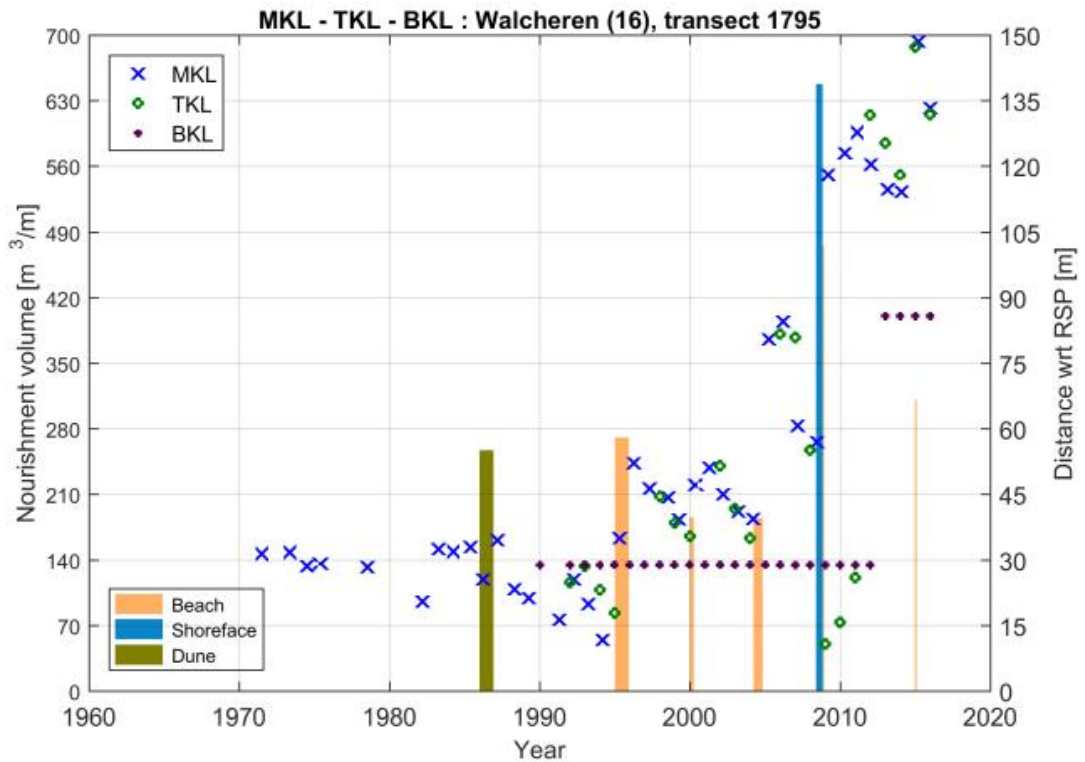
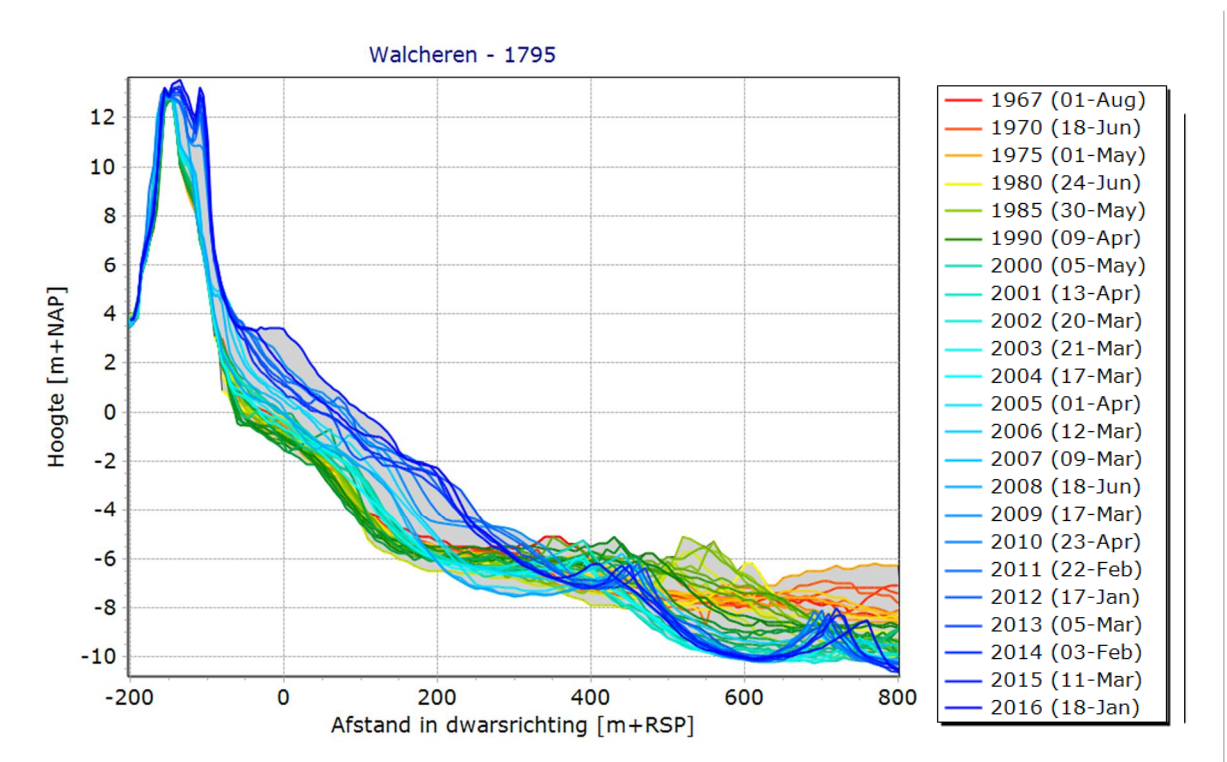
Figuur 4.35 Raai 1125 ter hoogte van Oostkapelle toont hoofdzakelijk langzame aanzanding. De kleine geul dicht bij de kust is kleiner geworden en in de Roompot vindt ook aanzanding plaats. (a: Profielen b: MKL).



Figuur 4.36 In raai 1326, tussen Domburg en Oostkapelle, wordt de kustnabije geul kleiner. De ondiepte net na de geul wordt tot 1985 ondieper, waarna deze ondiepte weer erodeert. MKL toont een omslag van landwaarts naar zeewaartse trend rond 1990. Waarschijnlijk is dit het gevolg van de vele strandsuppleties ter hoogte van Domburg waarvan het sediment naar het noordoosten wordt getransporteerd. (a: Profielen b: MKL).



Figuur 4.37 In raai 1530, ter hoogte van Domburg, is nog licht de aanwezigheid van de kleine geul zichtbaar, die zich ook hier heeft opgevuld. De MKL positie is tot 1995 stabiel en is door suppleties tussen 1990 en 1995 ongeveer 50 m zeewaarts verplaatst. Na deze uitbouw is er een landwaartse trend en wordt herhaaldelijk gesuppleerd. Dit is om te zorgen dat de aanwezige duinvoetverdediging 'in het zand' blijft. (a: Profielen b: MKL).



Figuur 4.38 Raai 1795 toont een relatief stabiel profiel dat verder uit kust eerst vrij ondiep was en tussen 1980 en 1990 wat is geërodeerd. De MKL was tot ca. 1985 vrij stabiel maar toont sindsdien een landwaartse trend, mogelijk door de ophoging door suppleties. In 2008 is het hele profiel uitgebouwd met een vooroever- en strandsuppletie, in het kader van de zwakke schakel Westkapelle. (a: Profielen b: MKL).

4.3.5 Westkapelle tot Zoutelande (Deelgebied V, raaien 2180 - 2694)

Langs de kust tussen Westkapelle en Zoutelande wordt de ontwikkeling bepaald door de getijdegeul het Oostgat, zie Figuur 4.39. Deze is het diepste ter hoogte van Westkapelle, met een diepte tot meer dan NAP -40 m en neemt naar het zuiden toe in diepte af tot minder dan 15 m. Al vanaf voor 1965 erodeert het Oostgat de kust en wordt dieper. Hier is bij Westkapelle een zeedijk en bij Zoutelande steenbekleding aanwezig voor de kustverdediging. De Westkappelse zeedijk loopt van raai 1814 t/m 2185, en ook is van raai 2235 t/m 2287 steenbekleding aanwezig. Bij Zoutelande loopt de steenbekleding van raai 2597 t/m 2880, zie ook paragraaf 5.1.

Behalve voor de raaien 1814 t/m 1927 is er voor de overige raaien langs de zeedijk, 1938 t/m 2185, geen Basiskustlijn gesteld en vormt de dijk de primaire kering, zie Figuur 4.40 raai 2180. Voor de raaien 2185 t/m 2660 (Figuur 4.41 t/m Figuur 4.43) zijn er sinds 1990 om de twee tot vier jaren strandsuppleties uitgevoerd. De MKL toont dan ook een landwaarts gerichte trend voor al deze raaien. Door de strandsuppleties is het strand hier steeds op positie gehouden en zelfs netto opgehoogd, terwijl de vooroever constant wordt geërodeerd door het Oostgat. De erosie van de geulwand zorgt voor een steile vooroever, terwijl het strand op positie blijft, zoals te zien is in Figuur 4.41 t/m Figuur 4.43. Hierdoor ontstaat een steeds sterker knikpunt tussen het strand en de vooroever. De MKL is door de strandsuppleties hier sinds 1990 zeewaarts verplaatst, terwijl er in de periode tussen de suppleties een landwaartse trend te zien is.

Als verdediging tegen de doorgaande erosie van de geulwand heeft Rijkswaterstaat hier in 2005 en 2009 een geulwandsuppletie uitgevoerd. De aanleiding was het beschermen van de geulwand ter hoogte van Westkapelle in plaats van een oeverbestorting en impliciet het structureel verleggen van het Oostgat tussen Westkapelle en Zoutelande.

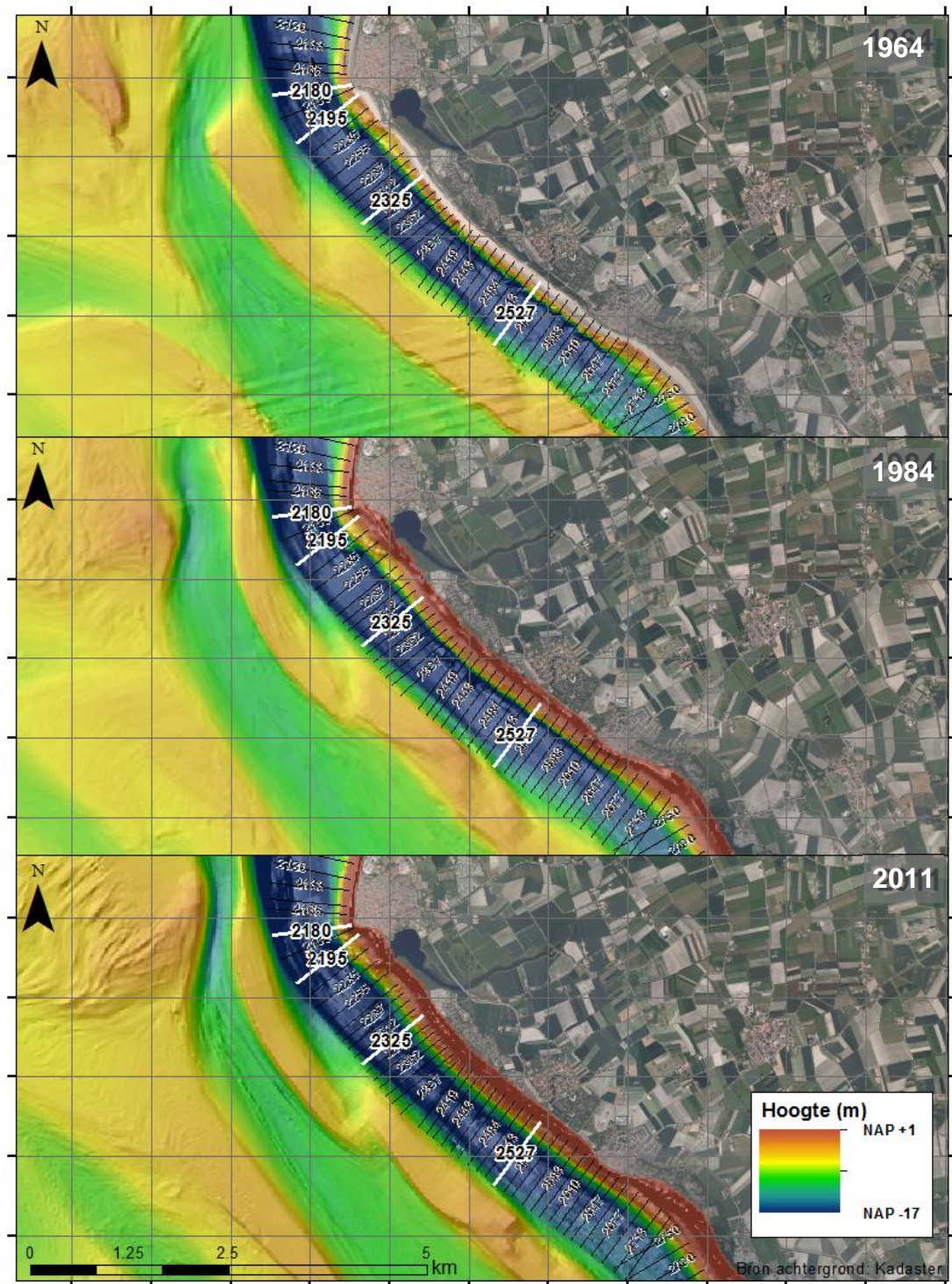
In 2005 is het zuidelijke deel, van raai 2475 t/m 2685, uitgevoerd. De suppletie van 2009 sloot hierop aan en is aangelegd tussen raai 2180 en 2500. Ter hoogte van Westkapelle is de geulwandsuppletie hier in een aantal raaien anders gevormd (zie ook Figuur 4.11 in paragraaf 4.2.3). In raai 2195 (Figuur 4.41), ter plaatse van het diepste deel van de geul, is een lokale ontgrondingskuil zichtbaar. Deze kuil is ontstaan door de aanwezigheid van een afgezonken deel van een dijk ten zuiden van de kuil. De ontgrondingskuil is met de suppletie opgevuld, maar is in korte tijd gedeeltelijk weer opnieuw gevormd. In raai 2180 (Figuur 4.40) ligt de suppletie iets lager in het profiel. Bij de uitvoering bleek dat vanwege de hoge stroomsnelheden het niet mogelijk was de suppletie hoger in het profiel aan te brengen; het zand werd daar al tijdens het storten deels weer wegspoeld.

Het zuidelijke deel van de suppletie is aangelegd zoals in raai 2325 (Figuur 4.42) te zien is. In raai 2527 is te zien dat de suppletie uit 2005 vrij goed blijft liggen en slechts een beetje is uitgezakt (Figuur 4.43). De geulwand is hier nog wel steil.

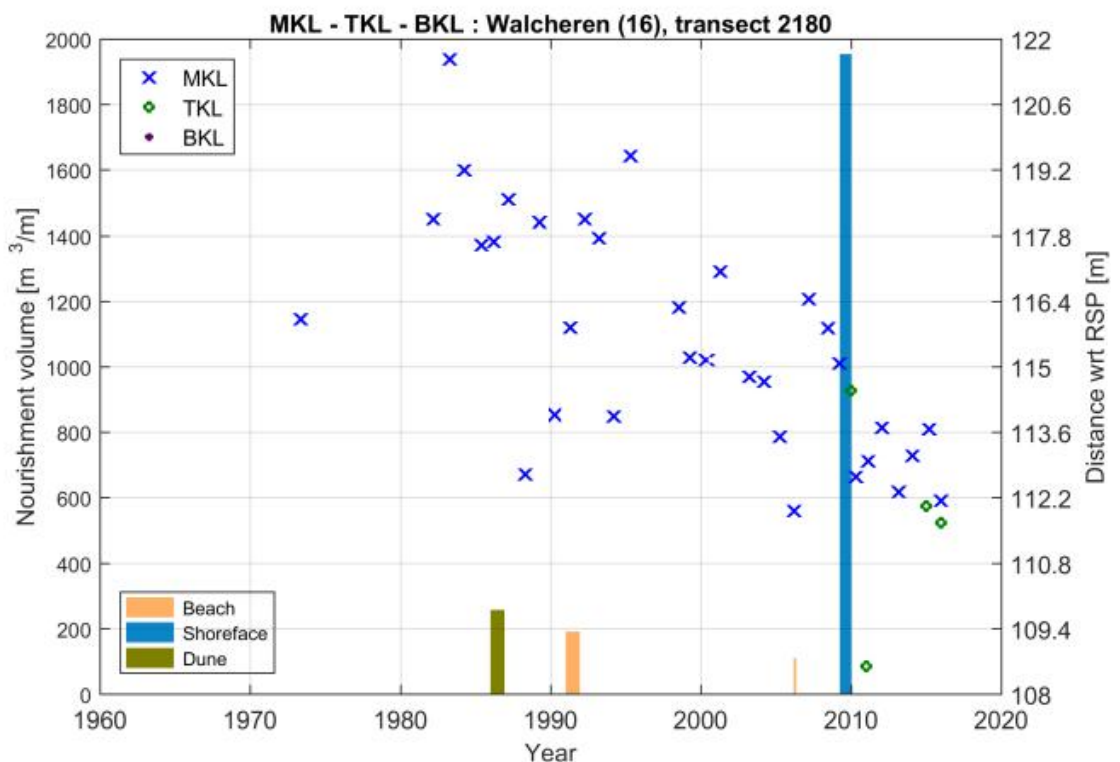
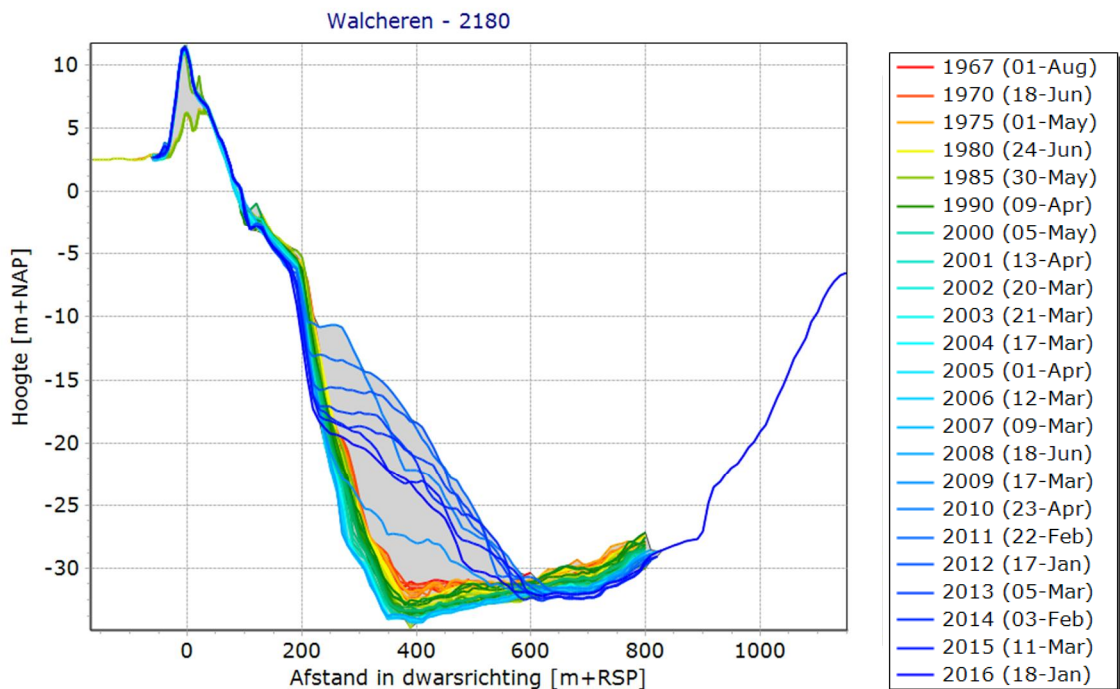
In raai 2677, net voor de knik in de kustlijn, Figuur 4.44 (zie verder paragraaf 4.3.6), is te zien dat de vooroever zich vrij steil uitbouwt, waarbij de stabiliteit van de suppletie in het geding kan komen en een strandval kan optreden (Schrijvershof en Mastbergen, 2016), zie Figuur 4.44. Het risico op instabiliteit van de suppletie op deze locatie is echter gering.

De erosie van de geulwand is zichtbaar in de horizontale positie van de dieptelijnen (Figuur 4.45). Ook hierin is te zien dat de suppletie vrij stabiel is, en de geulwand ver zeewaarts is verplaatst. De verwachting voor het toekomstig beheer is, dat op basis van de nu bekende informatie de geulwandsuppleties het oprukken van het Oostgat voor de komende jaren lijken

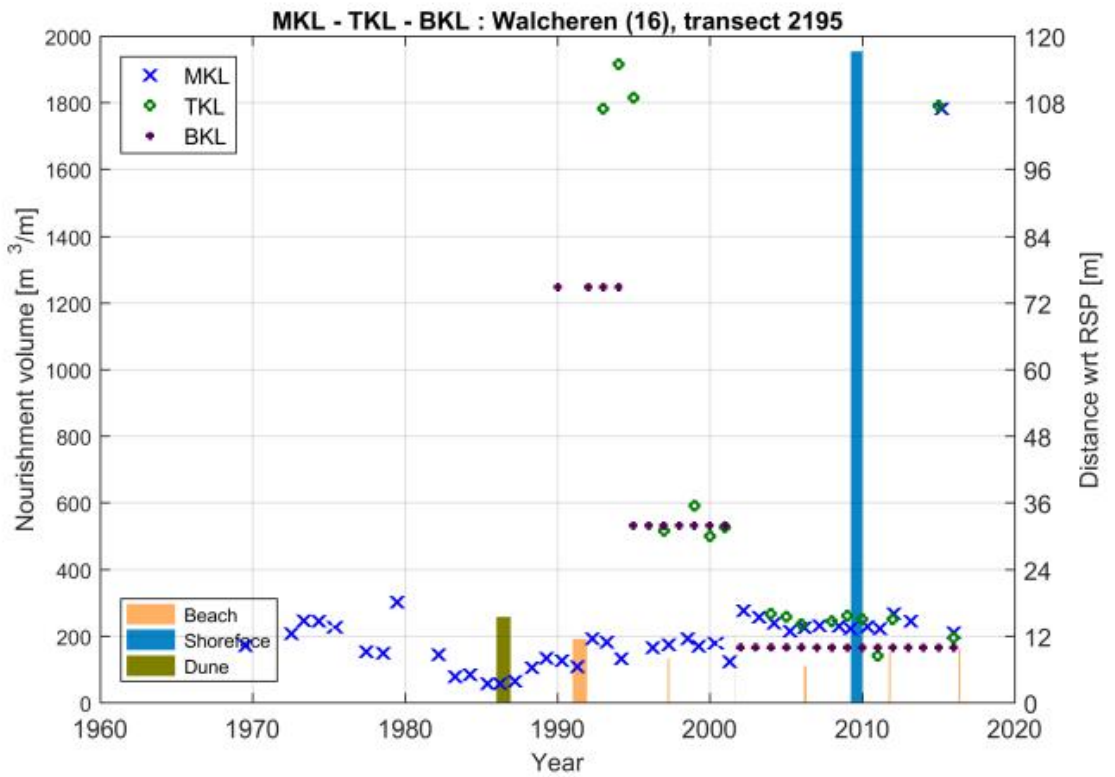
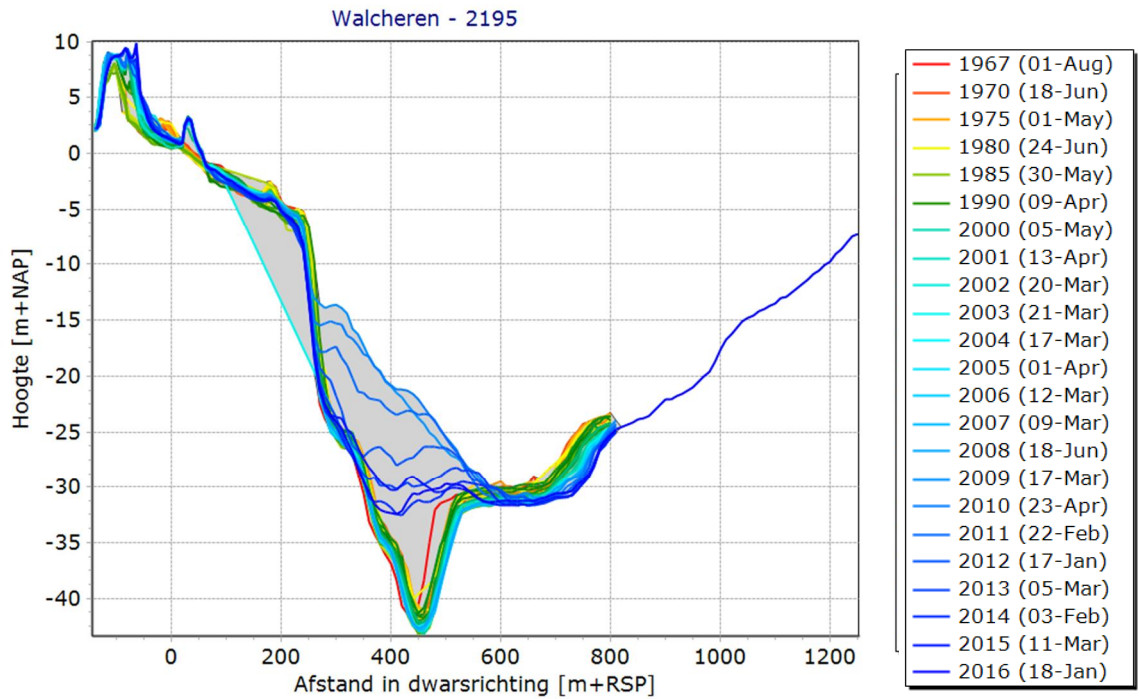
tegen te gaan. De erosie van de stranden zal echter door blijven gaan, waardoor regelmatige strandsuppleties nodig zullen blijven.



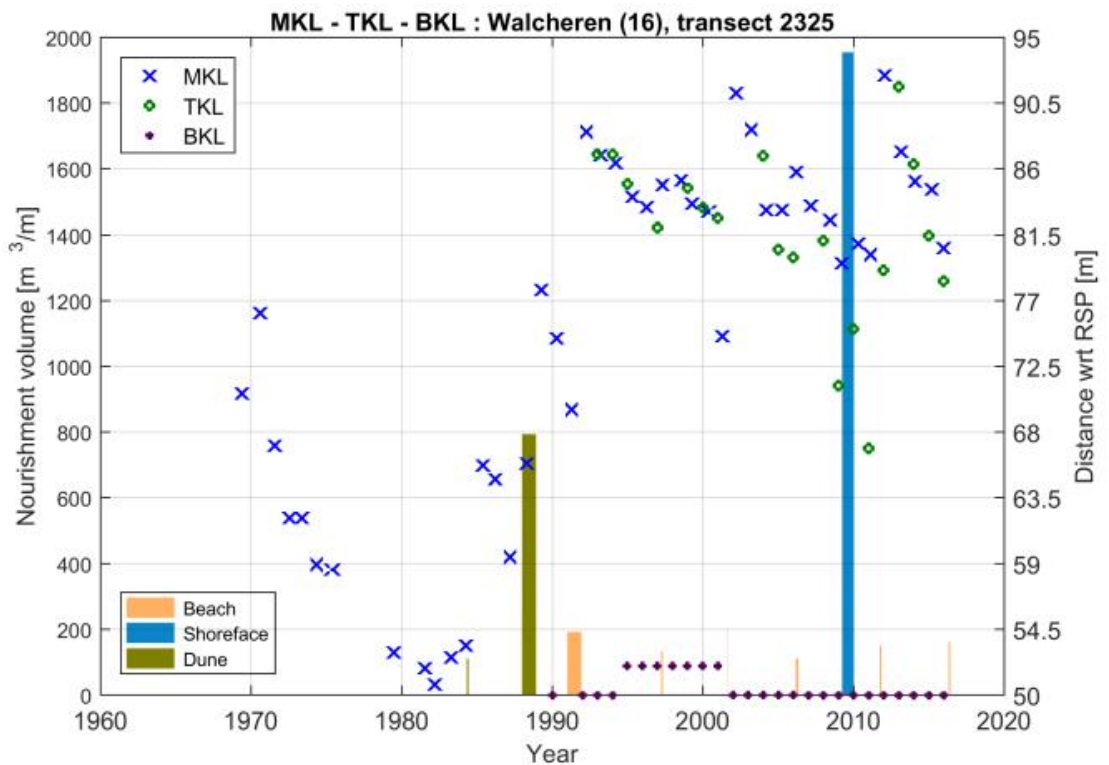
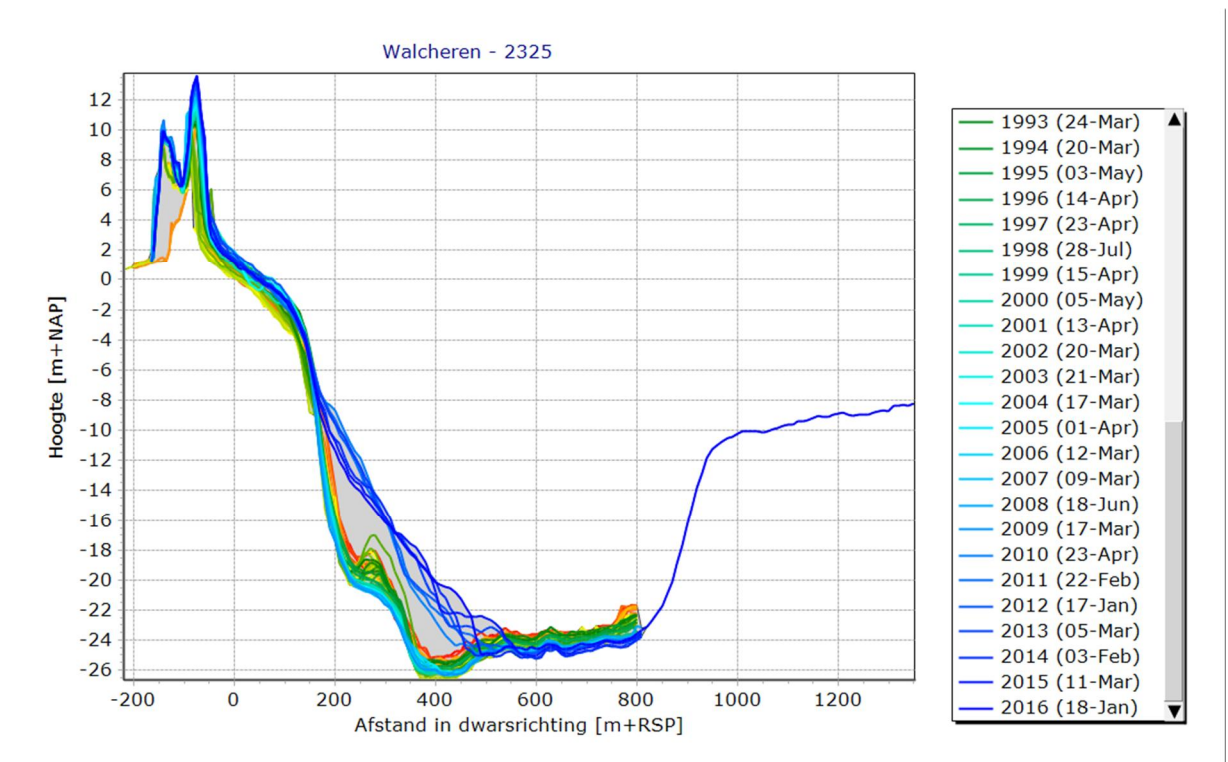
Figuur 4.39 Ligging van de uitgelichte raaiens langs het Oostgat (deelgebied V met bodem van 1964, 1984, 2011)



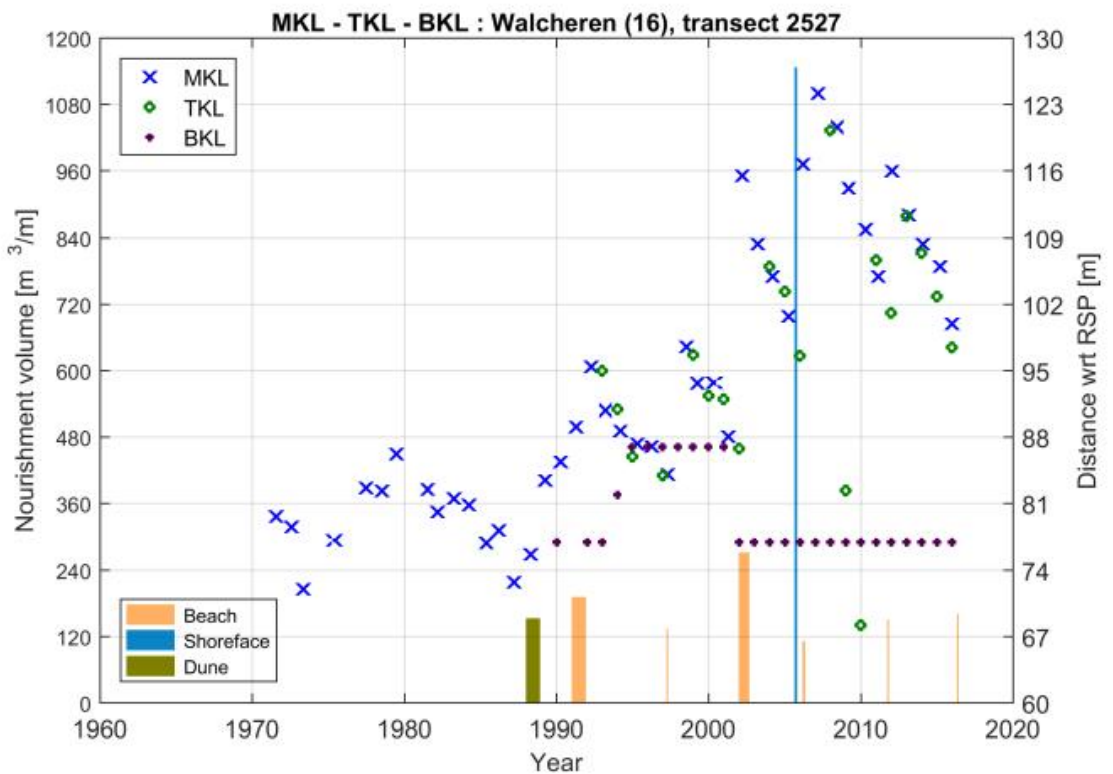
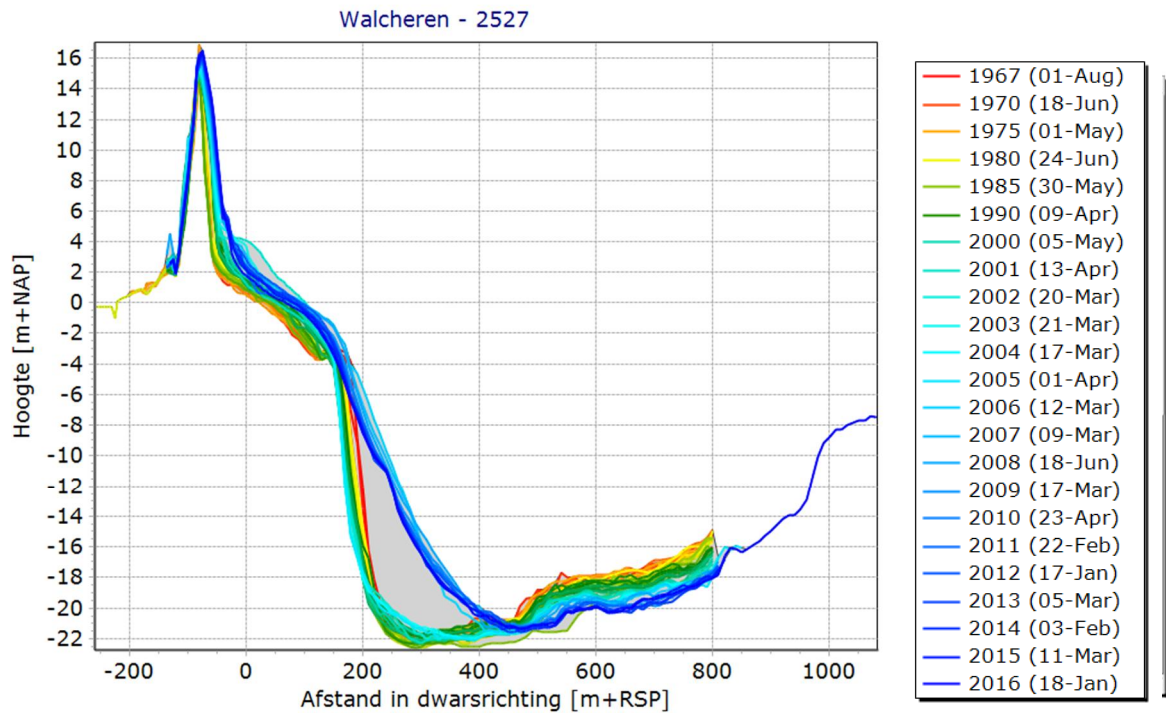
Figuur 4.40 Raai 2180 toont de Westkappelse zeedijk en het daarvoor liggende Oostgat. In de profielen is de dijkverzwaring van 1986 te zien evenals de grote geulwandsuppletie uit 2009. Zowel de geulwand als de bodem van de geul eroderen langzaam, terwijl het bovenste deel van het profiel door de harde kustverdediging op zijn plek wordt gehouden. Er is geen BKL voor deze raai, aangezien de dijk de primaire kering is. (a: Profielen b: MKL).



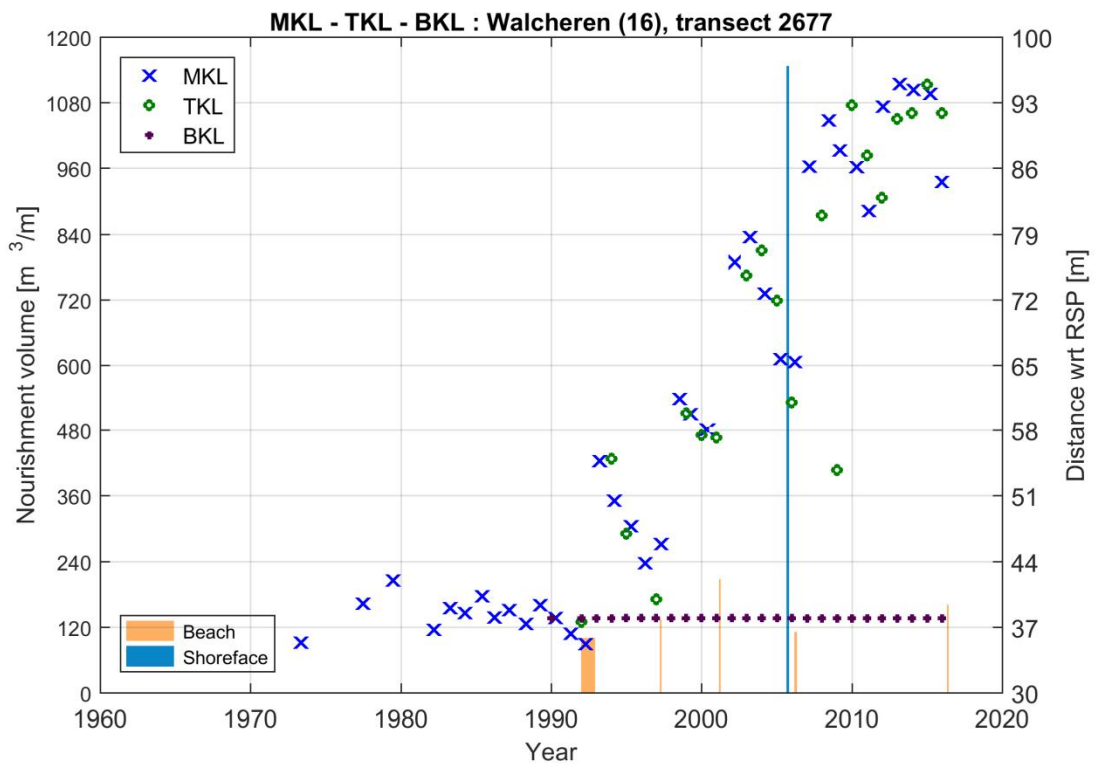
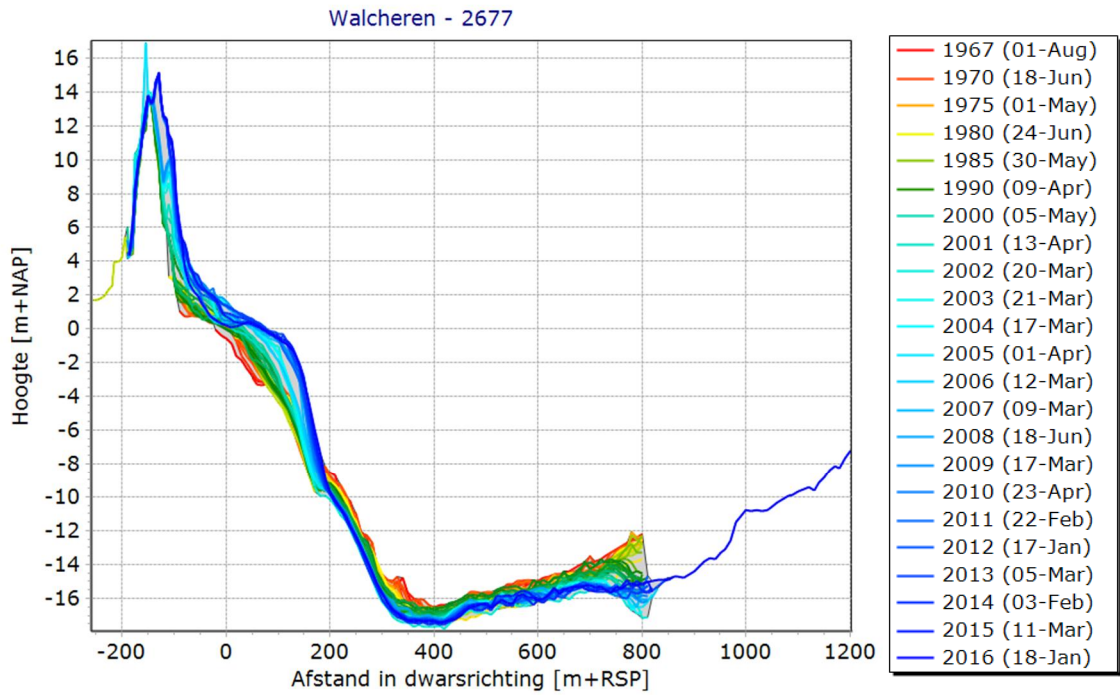
Figuur 4.41 Het diepste deel van het Oostgat is zichtbaar in raai 2195, waar de geul meer dan 40 m onder NAP ligt. Dit is een erosiekuil ontstaan door de aanwezigheid van een afgezonken deel van een dijk. De erosiekuil is met de suppletie opgevuld, maar is in korte tijd gedeeltelijk weer gevormd. Het strand wordt door regelmatige strandsuppleties op niveau gehouden, terwijl door geulwandering een steile vooroever ontstaat. (a: Profielen b: MKL).



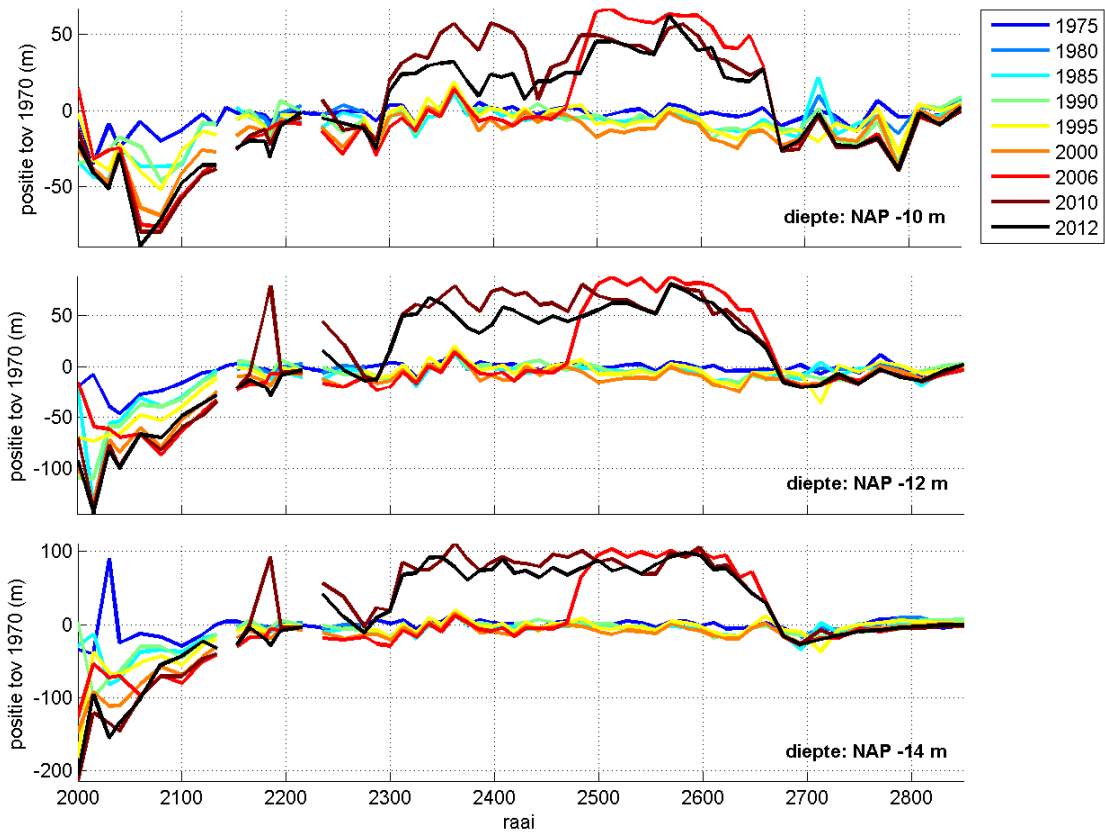
Figuur 4.42 Ook raai 2325 laat een eroderend Oostgat zien en een strand dat met regelmatige strandsuppleties wordt onderhouden. De geulwandsuppletie uit 2009 zorgt voor een flinke zeewaartse verlegging van de geulwand. (a: Profielen b: MKL).



Figuur 4.43 Ter hoogte van Zoutelande wordt het Oostgat langzaam ondieper maar laat hetzelfde beeld zien: een hangend strand door suppleties op de plaats gehouden en een erosieve geul. De geulwandsuppletie uit 2005 ligt er nog grotendeels hetzelfde bij in 2016. (a: Profielen b: MKL).



Figuur 4.44 Ter hoogte van raai 2677 Walcheren is een vrij steile uitbouw van de vooreever te zien. (a: Profielen b: MKL).



Figuur 4.45 Horizontale positie van dieptelijnen NAP -10, -12 en -14 m ten opzichte van de positie in 1970, tussen Westkapelle en Zoutelande. Langs de hele suppletie is de positie van de geulwand verder zeewaarts komen te liggen, verder dan deze voor het jaar 2000 nog lag. De landwaartse verplaatsing van deze dieptelijnen is na de suppletie toegenomen, maar voornamelijk het diepere deel is redelijk stabiel.

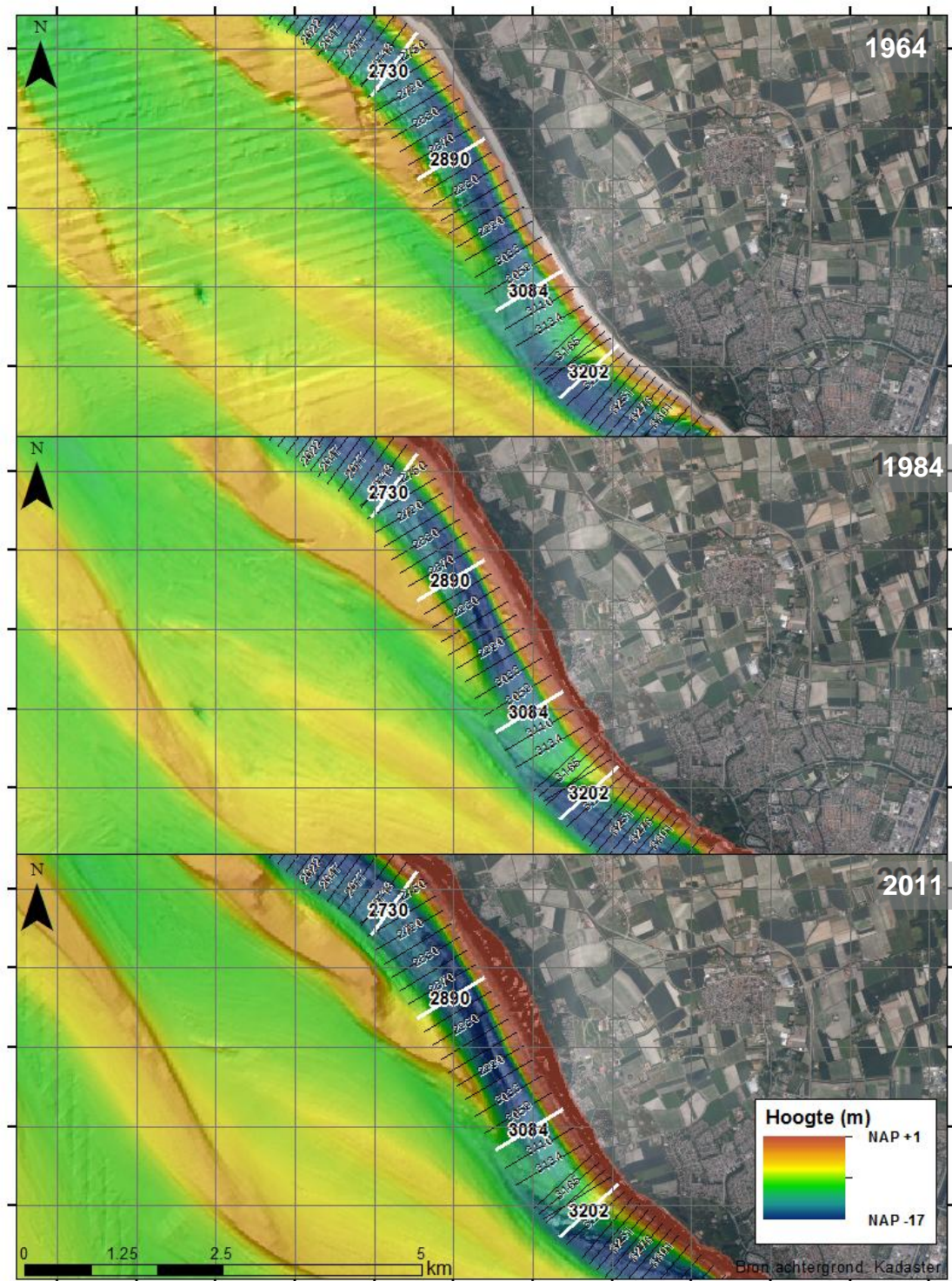
4.3.6 Zoutelande tot Vlissingen (Deelgebied VI, raaien 2713 - 3458)

Ten zuiden van Zoutelande maakt de kust van Walcheren een kleine bocht landinwaarts (Figuur 4.46). Door deze 'knik' heeft de kust hier iets meer ruimte en ligt het Oostgat iets verder uit de kust. De raaien in deze knik, 2713 tot 2950, hebben dan ook een strand dat in hoogte toeneemt en een positieve MKL-trend (raai 2730, Figuur 4.47). Het duin gaat iets achteruit tussen de raaien 2750 en 2910, maar toont ten zuiden van 2910 uitbouw. Het Oostgat is langs deze raaien ook ondieper, tussen NAP -15 en -20 m. Vanwege de negatieve trend in de jaren 1975-1990 in deze raaien is nog tot 2001 gesuppleerd. RWS Zeeland heeft hier een onderzoek gedaan en heeft destijds de conclusie getrokken dat het baggeren van de geul aan de zeezijde, ca. 1,5 miljoen m³ (Bankje van Zoutelande) een positief effect op de landzijde heeft gehad (groter doorstroomprofiel = minder spanning op de vooroever). Sindsdien is de trend daar ook niet meer negatief.

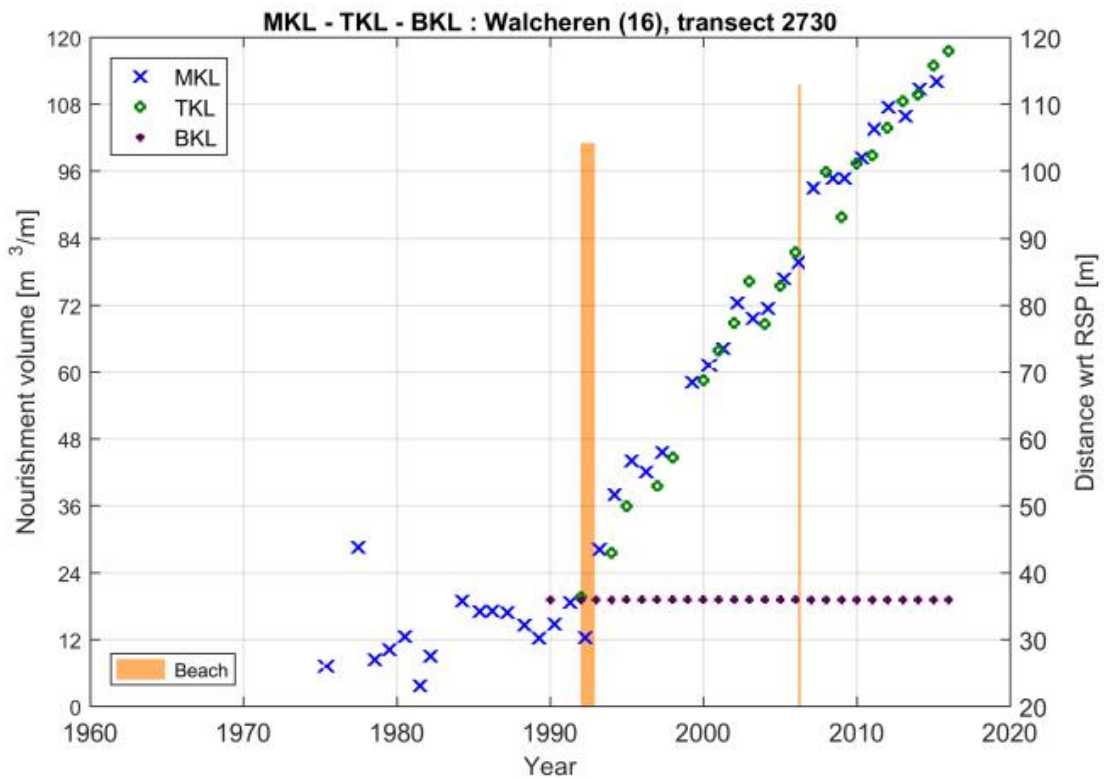
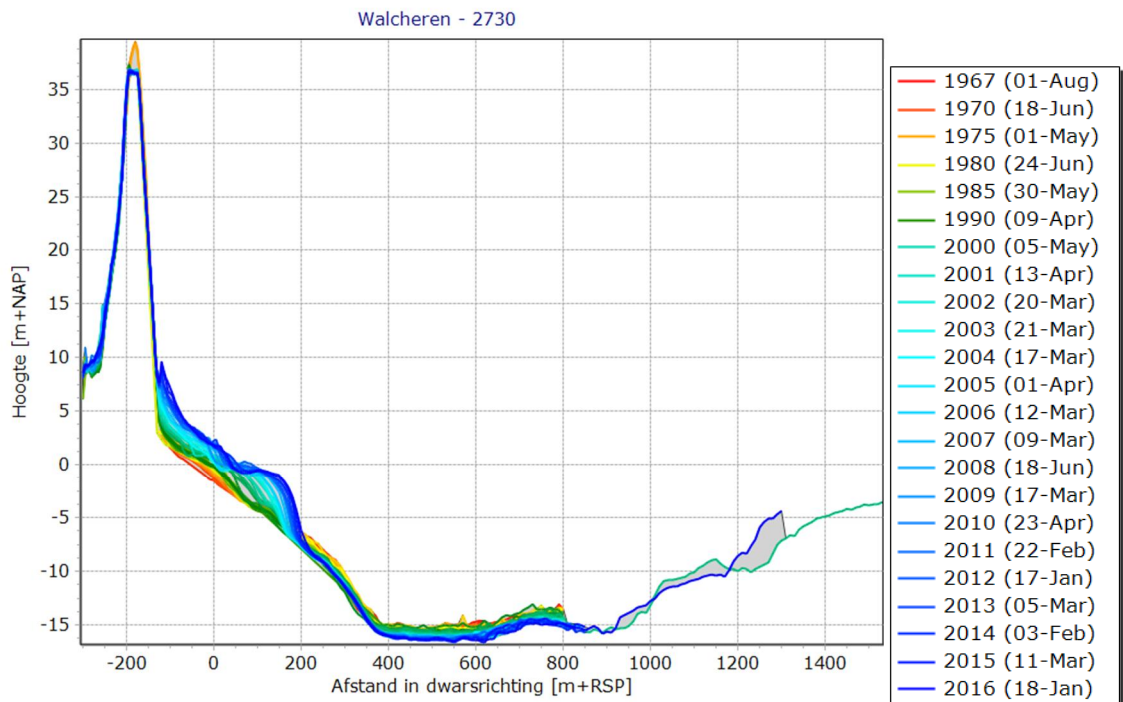
Ten zuiden van raai 2950 wordt het strand structureel gesuppleerd en is de erosie groter (raai 3084, Figuur 4.48). De suppleties worden tot en met de boulevard van Vlissingen elke 4/5 jaar uitgevoerd, hoewel van de raaien vanaf 3264 de MKL minder hard achteruit gaat. Rond deze hoogte vindt er aanzanding plaats in het Oostgat, op de drempel met de Sardijngeul (raai 3202, Figuur 4.49). De drempel en de aanzanding daarvan verplaatst zich in zuidelijke richting en wordt gebaggerd om de geul op diepte voor de scheepvaart te houden. Ten noorden van de drempel, tot en met raai 3165 wordt het Oostgat juist nog langzaam dieper.

Vanaf raai 3476 is er geen Basiskustlijn vastgesteld, maar vormt de harde zeewering voor Vlissingen de primaire kering.

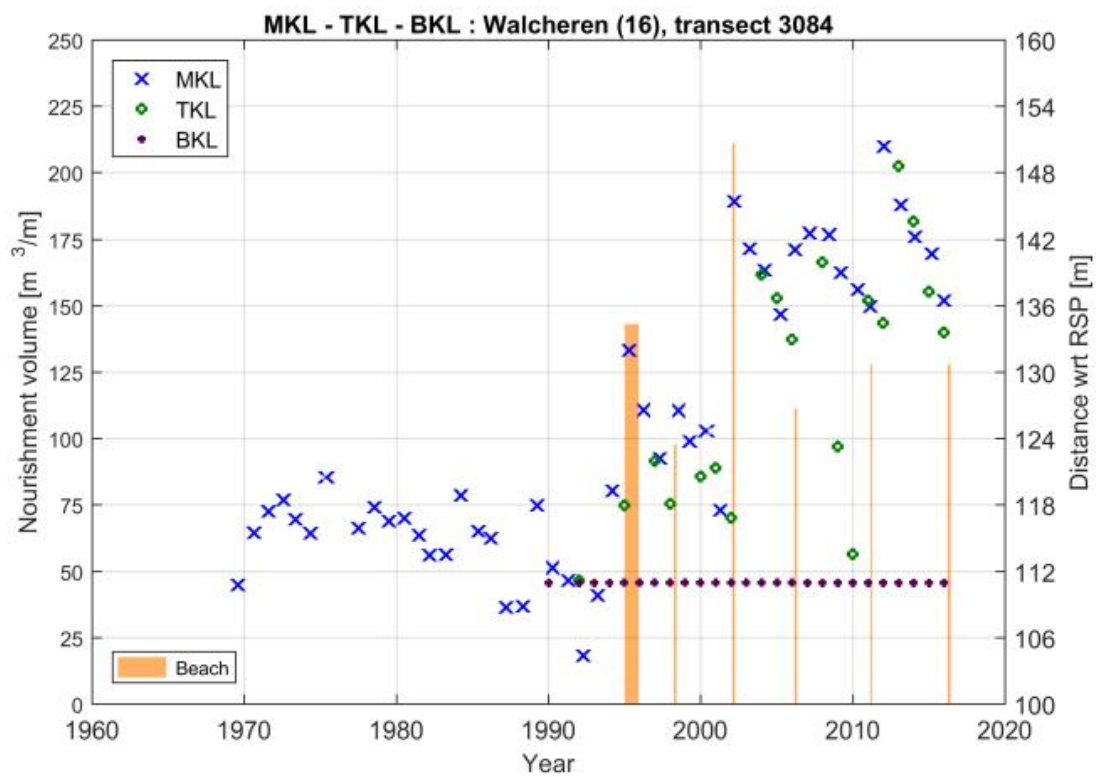
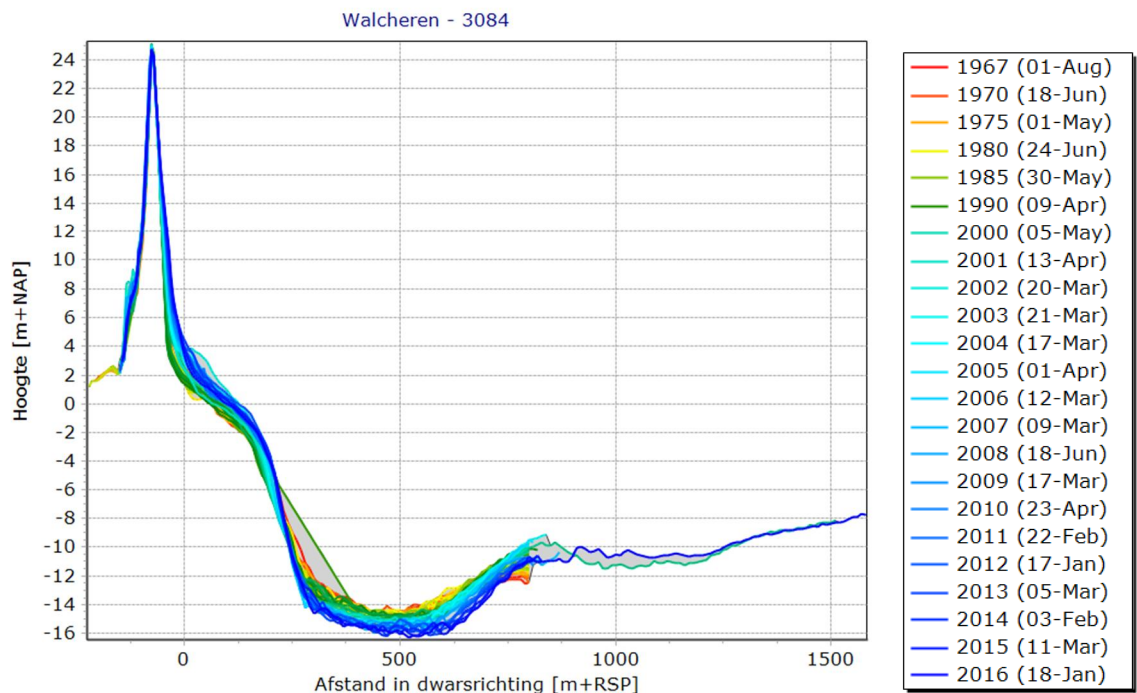
Verwachting toekomstig beheer: voor dit deelgebied worden geen grote veranderingen in beheer verwacht. Door de 'knik' in de kust zal dat gedeelte relatief weinig onderhoud nodig hebben. Ten zuiden hiervan zullen de strandsuppleties nodig blijven.



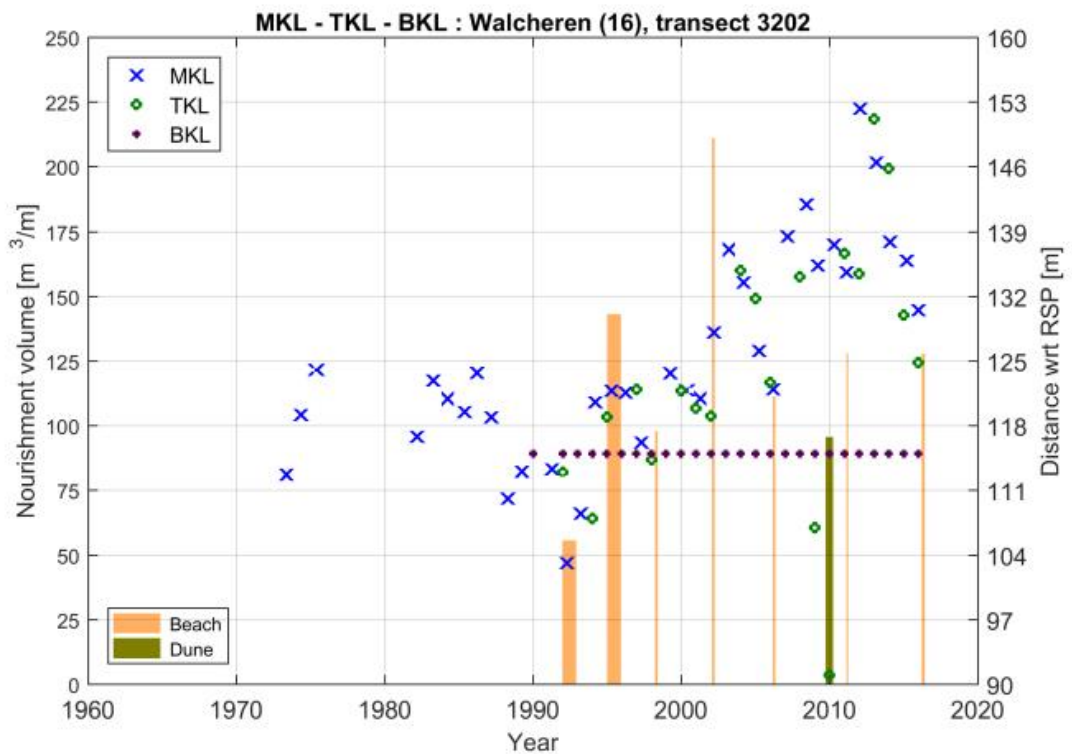
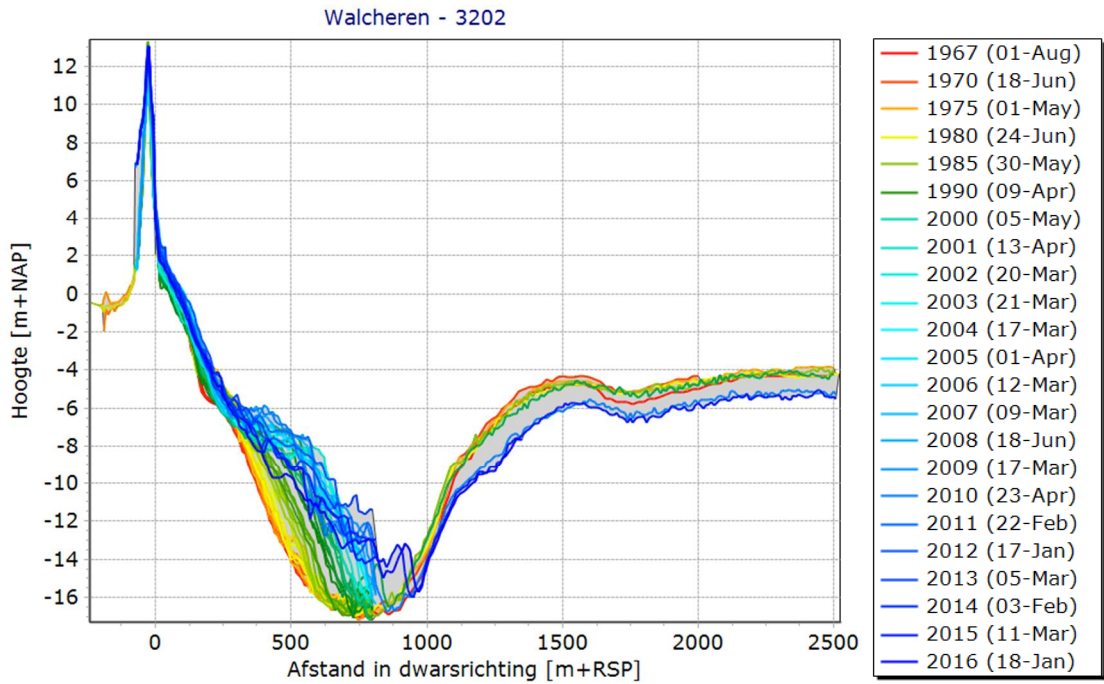
Figuur 4.46 Bathymetrie van de kust tussen Zoutelande en Vlissingen (deelgebied VI, bodem 1964, 1984 en 2011) met overzicht van de uitgelichte raaien



Figuur 4.47 Ten zuiden van Zoutelande waar de kust een 'knik' landinwaarts maakt vindt sedimentatie van het strand plaats en verplaatst de MKL zich zeewaarts. Het Oostgat is hier vrijwel stabiel en minder diep dan bij Westkapelle. (a: Profielen b: MKL).



Figuur 4.48 Ten zuiden van de 'knik' neemt de erosie weer wat toe en worden vaker strandsuppleties uitgevoerd. (a: Profielen b: MKL).



Figuur 4.49 Ter hoogte van raai 3202 is de drempel tussen het Oostgat en de Sardijngeul, die door natuurlijke dynamiek aanzandt. Het strand vertoont echter nog wel erosie en wordt regelmatig gesuppleerd. (a: Profielen b: MKL).

4.4 Dynamiek van de zeereep

4.4.1 Inleiding

Veroudering en verstarring van het duin- en kustlandschap hebben duidelijk effect op kwaliteit en voorkomen van habitattypen en beschermde soorten in de uitgestrekte Natura2000 gebieden langs de Nederlandse kust. Van zanddynamiek wordt verwacht dat dit een positieve invloed kan hebben op karakteristieke habitattypen, - flora en –fauna. In deze paragraaf wordt de dynamiek van de zeereep en de achterliggende duinen beschreven. De informatie in deze paragraaf is gebaseerd op de volgende studies: Arens et al. (2009) Arens et al. (2010), Arens et al. (2012), Stuijzand et al. (2012). Doelstelling voor deze onderzoeken was het in beeld brengen van de dynamiek van de zeereep en duinen en het verkrijgen van meer inzicht in de effecten van zandsuppleties op het kustduin.

In Figuur 4.50 staat weergegeven welke responstypen (Arens, 2009) langs de kust van Walcheren voorkomen en Figuur 4.51 voor Noord-Beveland. In Figuur 4.52 staat de volumeverandering boven de +3 m NAP voor Walcheren per kilometer raailengte voor vier perioden (1966-1978, 1978-1988, 1988-1998, 1998-2008), gebaseerd op de Jarkus meting. Deze volumeberekening is gebaseerd op de laseraltimetrie meting en in Figuur 4.53 voor Noord-Beveland. De berekenmethode en de beperking van de berekening (bijvoorbeeld fouten door de aanwezigheid van vegetatie) staan beschreven in Arens et al (2010). De berekeningen zijn het meest betrouwbaar voor langjarige perioden. De dynamiek die in deze figuren zichtbaar is, wordt in deze paragraaf verder toegelicht: in paragraaf 4.4.2 staat een algemene beschrijving van de situatie in 1988 en de situatie in 2011, in Bijlage E staat een beschrijving voor de situatie in 1988 en 2011 (Walcheren) en 2014 (Noord-Beveland) voor de verschillende deelgebieden als onderbouwing van de waargenomen processen en de effecten van de processen.

4.4.2 Algemene beschrijving situatie 1988 en 2011, kustvak Walcheren

Situatie 1988

Op Walcheren wordt een “zachte” zeereep afgewisseld met zeedijken. Aan de zuidkant bevindt zich een hoge zeereep met afslaghelling, en veel overstuiving over de zeereeptop. Plaatselijk is er sprake van een golvende zeereep met grote, door afslag aangesneden blow-outs, die echter zijn gestabiliseerd. Naar het noorden toe neemt de overstuiving af. Alleen aan de noordkant bevindt zich een aangroei-zeereep, bestaande uit lage, voor elkaar liggende ruggen.

Situatie 2011

Vrijwel overal op Walcheren is sprake van een vergelijkbare ontwikkeling, met soms forse aanstuiving tegen de zeereep aan, soms in combinatie met embryonale duinontwikkeling. Overstuiving van de zeereeptop lijkt zeldzaam, winderosie is zelfs geheel afwezig. Het lijkt er op dat dit een kustvak is waar door suppleren veel zand in de zeereep terecht komt, waar dit uitsluitend bijdraagt aan de dynamiek rondom de duinvoet. De overige dynamiek in de zeereep is beperkt tot afwezig.

4.4.3 Algemene beschrijving situatie 1996 en 2014, kustvak Noord-Beveland

Situatie 1996

De zeereep van Noord-Beveland bestaat uit een zeedijk net ten zuidwesten van de Oosterscheldekering met een buitendijks duingebied, dat het restant lijkt van een eerder doorgebroken zeereep (RSP 2.2-3.6) en aansluitend de Veerse Dam. Het betreft een langzaam aangroeiende zeereep met accumulatie van zand aan de voorzijde van de zeedijk. Het buitendijkse duingebied ligt in de luwte van twee overblijfselen van een oude dijk of

zeereep. Een slufterachtige ontwikkeling zorgt voor zandtransport van en naar de achterzijde van de oude dijk.

Situatie 1999-2008

Aangroeiende zeereep onder invloed van strandsuppleties in 2000 en 2004 (Figuur 4.53). Volumetoename tussen de 8 en 18 m³/m.jaar.

Situatie 2014

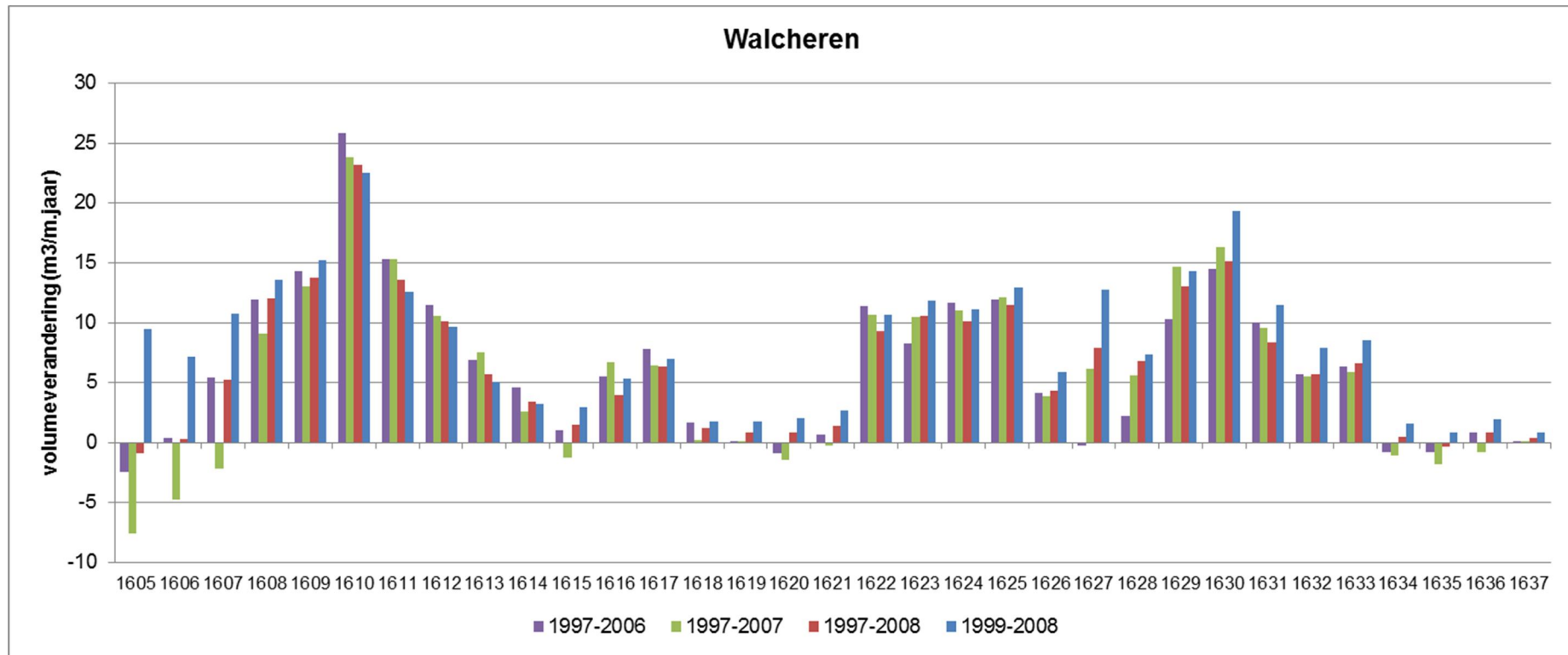
De zeedijk van Noord-Beveland is inmiddels bedekt onder een flinke laag zand en dicht begroeid met vegetatie. De dijk is geleidelijk aan, sinds 1996, ondergestoven, deels geholpen met beheersmaatregelen (stuifschermen op de dijk om doorstuiving te voorkomen. Aan- en overstuiving blijft beperkt tot de voorzijde van de zeereep met uitzondering van de slufterachtige situatie waar verdere doorstuiving beperkt mogelijk is. Er is hier sprake van een aangroeiende zeereep. In één transect (RSP 1.80) is sprake van doorstuiving, deels over de dijk heen. Waarschijnlijk is hier in 2008 een ingreep uitgevoerd, mogelijk verband houdend met de aanwezige strandslag en/of verstuivingsoverlast voor de bebouwing achter de dijk. In 2010 is de duinenrij vóór de (ook dan al begroeide) dijk hier grotendeels kaal, waardoor in 2010 ook zand deels over de dijk stuift. In 2014 lijkt hier nog steeds enige overstuiving over de dijk heen plaats te vinden (RT5).



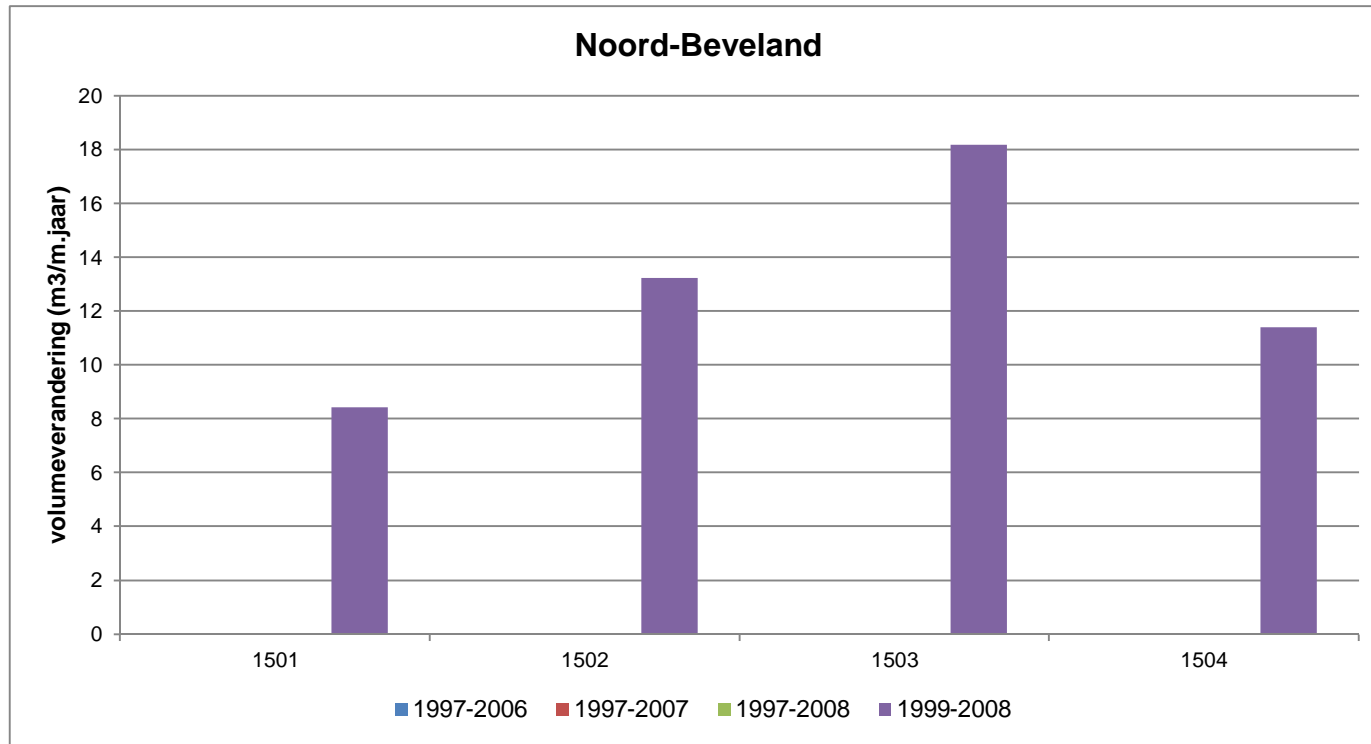
Figuur 4.50 Classificatie van de zeereep voor Walcheren. Het betreft de huidige classificatie van responstypen zoals ze nu (2012) gelden, gebaseerd op laseraltimetrie 1997/1998-2012 en luchtfoto's 2011 en 2012.



Figuur 4.51 Classificatie van de zeereep voor Noord-Beveland. Het betreft de huidige classificatie van responstypen zoals ze in 2014 gelden.



Figuur 4.52 Volumeverandering boven de +3 m NAP per kilometer voor kustvak Walcheren. De volumeberekening is gebaseerd op de laseraltimetrie meting. Notatie: kustvak 16, km of RSP. Km05 (Raai 500) ligt aan de noordoostkant, km37 (Raai 3700) aan de zuidoostkant.



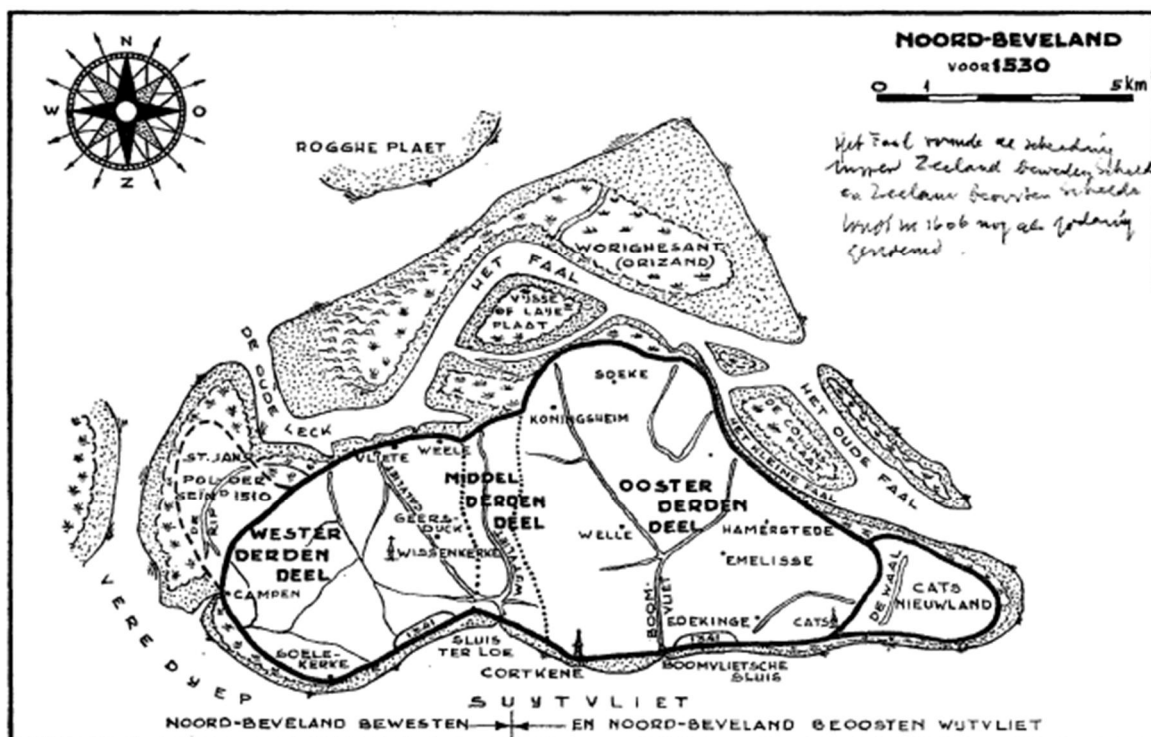
Figuur 4.53 Volumeverandering boven de +3m NAP per kilometer voor kustvak Noord-Beveland. De volumeberekening is gebaseerd op de laseraltimetrie meting. Oost links, west rechts

5 Kustverdediging en primaire waterkering

5.1 Harde verdedigingswerken

5.1.1 Historie Noord-Beveland

De waterstaatkundige ontwikkeling van Noord-Beveland tot halverwege de 20^{ste} eeuw is uitgebreid beschreven door Wilderom en De Bruin (1961). Noord-Beveland was tot halverwege de middeleeuwen een natuurlijk gevormd, vrijwel onbeschermd eiland. Na de stormvloed van 1134 wordt besloten om over te gaan tot volledige bedijking van Noord-Beveland (Figuur 5.1). Al het bewoonde land is in 1200 beschermd door dijken en duinen.



Figuur 5.1 Noord-Beveland voor 1530, reconstructie in De Bruin en Wilderom, (1961).

Dit verandert echter in de 16^e eeuw door twee rampen: op 5 november 1530 wordt Noord-Beveland getroffen door één van de grootste stormvloeden aller tijden, de Sint-Felixvloed, waardoor het gehele eiland onder water kwam te staan. De Allerheiligenvloed in 1532 maakte de ramp nog groter. Van de verdrinken plaatsen bleef niets over; alleen de kerktorens van Wissenkerke en Kortgene bleven op de schorren zichtbaar. Een deel van Noord-Beveland werd in 1598 opnieuw ingepolderd en in 1685 werd het verdrinken stadje Kortgene bedijkt (Figuur 5.2). In 1850 bereikt het eiland ongeveer de huidige omvang.

Aan de noordkant van Noord-Beveland traden in het verleden veel dijkvallen op, door migratie van de geulen in de Oosterschelde (zie Figuur 5.3). Dit is in het huidige landschap nog zichtbaar in de inlagen die daarvoor gemaakt zijn.



Figuur 5.2 Noord-Beveland omstreeks 1748, naar een kaart van George-Louis Le Rouge, een Franse cartograaf. Duidelijk te zien is dat de westelijke grens van het eiland veel oostelijker ligt dan nu. Aan de noordzijde is sindsdien weer veel land verloren.



Figuur 5.3 Voorbeeld van een dijkval bij de Leendert Abraham polder (oostelijk Noord-Beveland) in 1966 (links) en een inlaag aan de noordzijde van het eiland (2008). Foto's: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt.

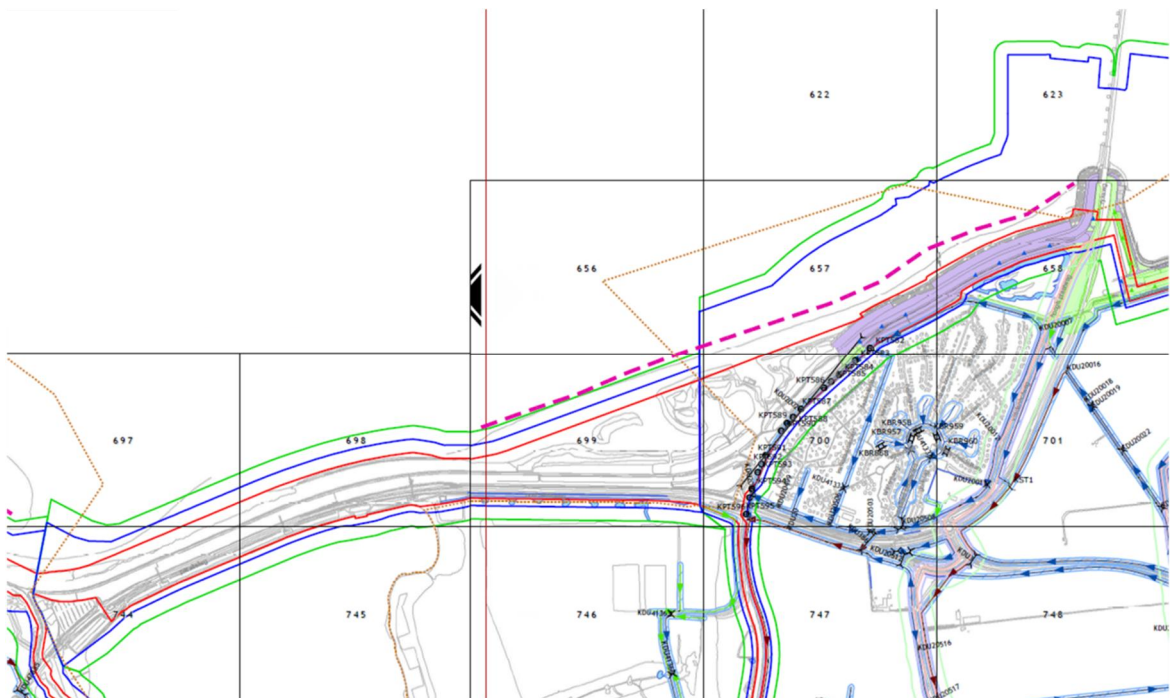
De enige polder op Noord-Beveland die aan de kust ligt is de Onrustpolder. Deze polder, een oud schorren- en slikkengebied dat regelmatig overspoelde, is uiteindelijk in 1846 bedijkt. Ook is duingroei gestimuleerd door het planten van helmgras. Door de kustwaartse migratie van de Schaar van de Onrust is het profiel steeds steiler geworden. Om de geulmigratie tegen te gaan is in 1920 ter hoogte van de huidige raai 180 een oeverwerk, een bestort zinkstuk loodrecht op de kust, aangelegd. Later is dit uitgebreid en versterkt en is ook de dijk versterkt en verhoogd. Tijdens de watersnoodramp van 1953 vond een doorbraak plaats over

80 m die na enkele dagen weer gedicht was. In 1985 is een deel van het duin vervangen door een dijk.

In 2012 ontstond ophef over de ontgrondingskuilen aan beide zijden van de bodembescherming van de Oosterscheldekering. Deze zouden dieper zijn dan voorzien en daarmee de stabiliteit van de kering, maar ook van de Noord-Bevelandse dijken aan de binnenzijde van de kering in gevaar brengen (Stoutjesdijk et al, 2012, De Ronde et al, 2012). Dit heeft geleid tot aanpassingen in het beheer, maar is niet van direct belang voor de veiligheid van de Noordzeekust, omdat daar de kuilen minder diep zijn en verder van de kust liggen.

5.1.2 Harde kustverdedigingswerken Noord-Beveland

Er zijn in de duinwaterkering twee overgangsconstructies aanwezig. De ene overgangsconstructie betreft de aansluiting op de dijk naar de Oosterschelde. Deze dijk heeft een aansluitconstructie met blokken. Daarnaast is er een dijk met asfaltbekleding, dit betreft een open constructie. Er zijn echter plannen om ook dit deel van de bekleding in het duin te laten verzanden. Bij de aansluiting op de Veerse Dam is sprake van een haakse aansluiting van het duin op de dijk. Om deze aansluiting te beschermen is de asfaltbekleding van de Veerse Dam voor een deel doorgetrokken naar het duin. Ter hoogte van raai 180 bevindt zich onder water een oeverwerk dat de geul op zijn plaats houdt. De constructie is weergegeven in Figuur 5.4.



Figuur 5.4 Toetsingslegger van de Onrustpolder. Rechts Camping Vredenhoef. De roze stippellijn geeft de basiskustlijn aan, de paarse arcering asfaltbekleding. Bron: Waterschap Scheldestromen.

5.1.3 Overzicht harde kustverdedigingswerken Walcheren

Langs de kust van Walcheren zijn verschillende verdedigingswerken aanwezig, zie Figuur 5.5 en Figuur 5.6. Langs vrijwel de gehele kust zijn strandhoofden en palenschermen aanwezig, met uitzondering van de uiterste noordoostkant en circa 2 km kust tussen Zoutelande en Dishoek (de zwarte lijnen dwars op de kust in Figuur 5.5 geven de strandhoofden en paalrijen aan). Als onderdeel van de Deltawerken zijn de Veerse Dam (1961) en de Oosterscheldekering (1986) aangelegd (zie paragraaf 3.2.2).

Langs de zuidwestkust zijn verschillende zeedijken aangelegd: de Westkappelse Zeedijk, de dijk bij Zoutelande, de Nolledijk en de versterkte boulevard van Vlissingen. De Westkappelse Zeedijk en de Nolledijk zijn tijdens de Tweede Wereldoorlog gebombardeerd om Walcheren te laten inunderen. Het water ten zuiden van Westkapelle, de Westkappelse Kreek, is een overblijfsel hiervan. In de jaren na de oorlog zijn deze dijken weer hersteld. De Westkappelse zeedijk is daarna nog versterkt in 1986 en in 2008 als één van de zwakke schakels (paragraaf 4.2.4). De Nolledijk is in 2009/2010 ook versterkt als één van de zwakke schakels.



Figuur 5.5 Overzichtskartaal kustverdediging kustvakken Walcheren en Noord-Beveland, de letters geven de locaties aan van de foto's uit Figuur 5.6. (Gridverdeling in km, Noord is boven).



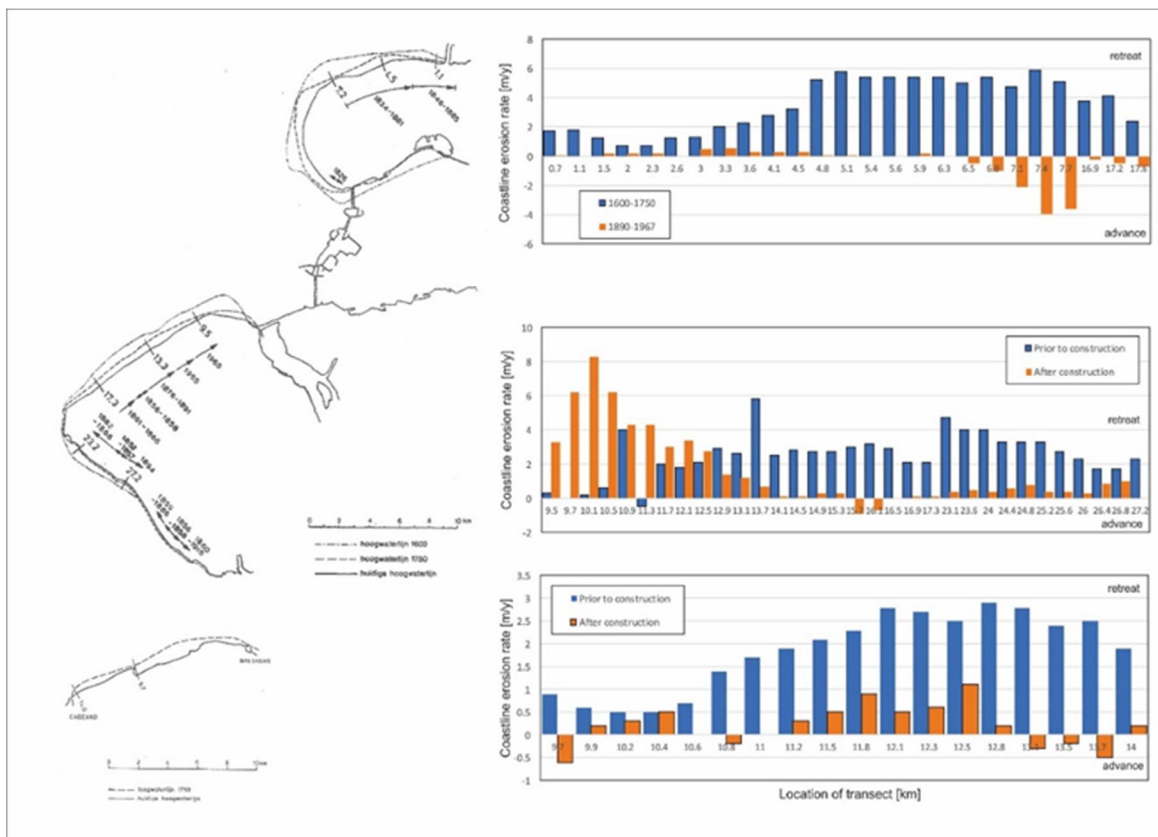
Figuur 5.6 Kustverdediging op Walcheren en Noord-Beveland: a) Veerse Dam met Oosterscheldekering op de achtergrond, b) Westkappelse Zeedijk, c) Dijk bij Zoutelande, d) Nolledijk, e) Dijk en kustbescherming boulevard Vlissingen. Op foto's b), c) en d) zijn ook de strandhoofden en palenschermen zichtbaar. Alle foto's afkomstig van <http://beeldbank.rws.nl/>.

5.1.4 Strandhoofden (uit Lazar et al, 2017)

Een uitgebreide studie naar de effecten van strandhoofden langs de kust van Zeeland sinds de 18^e eeuw is gerapporteerd door Verhagen en Van Rossum (1989). In deze paragraaf (zie ook Figuur 5.7) worden de resultaten van deze studie samengevat, met name voor de kustvakken Walcheren en Schouwen.

Het grootste deel van de kustlijn van het kustvak Walcheren wordt beschermd door ofwel een zeewering (bij Westkapelle en Vlissingen) of strandhoofden. Langs de noordwestelijke kust werden de eerste hoofden al geplaatst in de 17^e eeuw om de erosie te vertragen van de kustlijn, die zich inmiddels al over meer dan 1 km had teruggetrokken. De erosie van de noordelijke en zuidelijke kustdelen houdt grotendeels verband met de aanwezigheid van de grote getijdegeulen Roompot en Oostgat. Vóór 1750 waren de erosiesnelheden in het middendeel gemiddeld 2 m/jaar, maar namen lokaal toe tot 4 à 5 m/jaar. Sinds de constructie van de strandhoofden (1890 – 1967) zijn de erosiesnelheden afgenomen tot minder dan 1 m/jaar in het zuidelijk deel (km 13,7 – 17,3), maar namen in het noordelijk deel toe tot meer dan 8 m/jaar. Deze laatste hoge waarden houden verband met de uitschuring van de Roompot geul in de periode 1955 – 1967. De uiterste zuidwestelijke punt van het eiland, waar het Oostgat het meeste invloed heeft, wordt beschermd door een 5 km lange zeedijk (de Westkappelse Zeedijk). De oorsprong van deze zeewering stamt vermoedelijk al van de vroege 15^e eeuw. Met recente aanpassingen en herstelwerkzaamheden tussen 1986 – 1988 is de kruinhoogte van 11 tot 12 m verhoogd en bij aanvullende werkzaamheden in 2008 is een grote zandsuppletie van 2,5 miljoen m³ geplaatst langs het noordelijke uiteinde van de zeewering (paragraaf 4.2.4).

Het kustdeel tussen de Westkappelse Zeedijk en Vlissingen wordt zuidwest Walcheren genoemd. Behalve een gedeelte van 2 à 3 km halverwege (bij Zoutelande), wordt de gehele kustlijn beschermd door strandhoofden om de erosie door het Oostgat in toom te houden. De constructie van de strandhoofden begon in 1865 pal ten noorden van Vlissingen. Het strandhoofdenveld werd uitgebreid in noordwestelijke richting tussen 1861 en 1866 en in 1916 werden de laatste hoofden in het zuiden toegevoegd. Ten zuiden van Westkapelle is een ongeveer 5 km lang strandhoofdenveld gebouwd tussen 1852 en 1894. Tezamen waren deze strandhoofden in staat om de kustlijn terugtrekking ten gevolge van de landwaartse migratie van het Oostgat aanzienlijk te verminderen. De erosiesnelheden bij Westkapelle namen af van 1,7 à 2,7 tot minder dan 1 m/jaar (Figuur 5.7). Niettemin maakte de doorgaande migratie van het Oostgat uitgebreide beschermings- en onderhoudsmaatregelen van de strandhoofdpunten nodig, terwijl langs de kust regelmatig zandsuppleties nodig waren om de stranden te onderhouden. Aanvankelijk werd dit gedaan door vervanging en toevoeging van steenbestorting, maar sinds 2005 worden zowel de hoofden als de kustlijn met succes onderhouden door geulwandsuppleties (zie paragraaf 4.2.3).



Figuur 5.7 (links) Kustlijnontwikkeling van de eilanden Walcheren en Schouwen van 1600-1900 (rechts).

Samenvatting kustlijnontwikkeling voor en na de aanleg van de strandhoofden (Lazar et al, 2017, gebaseerd op Verhagen en Van Rossum, 1989)

5.1.5 Paalschermen (Verhagen en Van Rossum, 1989)

Paalschermen zijn gebouwd langs de kust van Schouwen en Walcheren, in totaal over een lengte van 21,3 km. In eerste instantie leken de ervaringen met deze hoofden vrij positief. Na plaatsing trad in de meeste gevallen aanzanding op. Na gedetailleerde analyse (zie Roelse [1984]) bleek echter achteraf, dat dit in alle gevallen aanzanding was die andere oorzaak had, zoals migrerende zandgolven en verplaatsen van getijgeulen. Op sommige plaatsen werkten ze zelfs "zo goed", dat de palen vrijwel volledig onder het zand verdwenen (Schouwen).

Bij oprukkende getijgeulen bleek dat de palen geen enkele weerstand konden bieden aan het oprukken van de geul, de palen vielen vrij snel om na verdieping van de onderwateroever (o.a. palen van 12 m lengte vielen om t.g.v. het landwaarts verplaatsen van de Urk, een geul langs de kust bij Domburg).

In het kustvak ten zuidoosten van Zoutelande bleken de paalschermen in staat om de ter plaatse optredende erosie (ten gevolge van de harde verdediging aldaar) te spreiden. De inscharing werd minder diep, het eroderende gebied strekte zich echter over een grotere afstand uit. In een aantal gevallen is tussen twee strandhoofden een paalscherm gebouwd. Het blijkt dat zich tussen de hoofden de gebruikelijke strandboog vormt en dat de aanwezigheid van het paalscherm geen enkele invloed had op de vorm van deze strandboog. Ook in dit geval moeten dus twijfels gezet worden bij de effectiviteit van paalschermen.

5.2 Primaire waterkering

5.2.1 Primaire waterkering Noord-Beveland

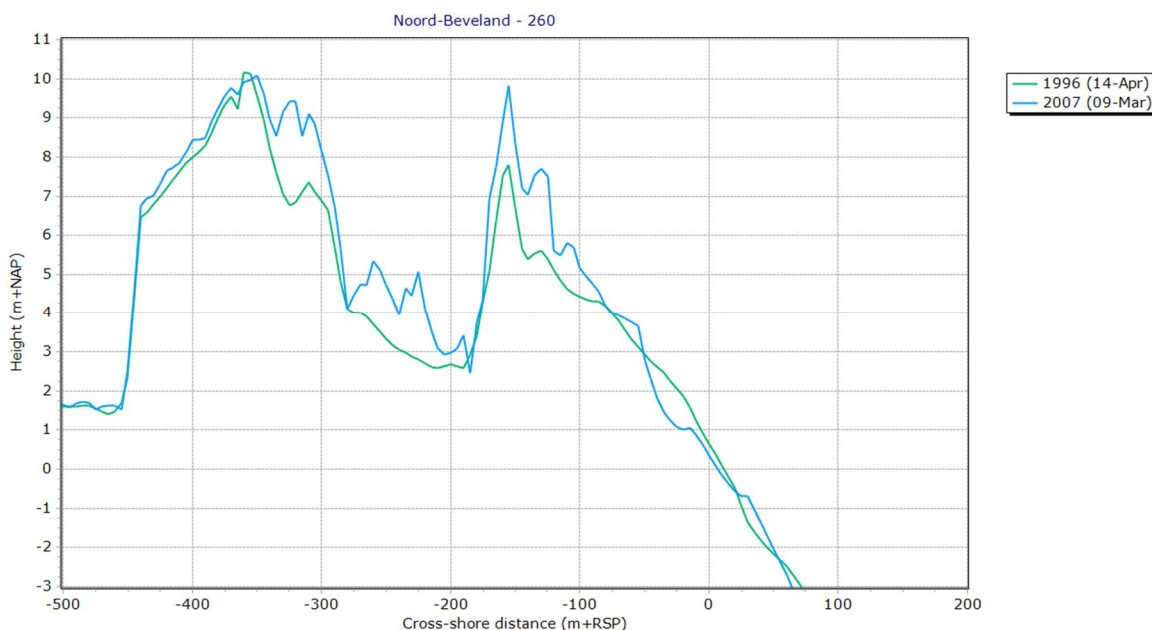
De harde waterkering langs de Noordzeekust (zie Figuur 5.8) bestaat voor circa 1,15 km uit een overslagbestendige waterkering, ter hoogte van de aansluiting op het landhoofd van de Oosterscheldekering (raai 120 - 240). Deze overslagbestendige waterkering kan als "dijk-in-duin" worden beschreven. De duinwaterkering van Noord-Beveland, tussen raai 240 en raai 320, is minder dan 1 kilometer lang en kent twee valleien die bij hoog water in verbinding met de zee staan (zie Figuur 5.8 en Figuur 5.9).

De hydraulische randvoorwaarden zijn op dezelfde wijze bepaald als voor de andere Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden, waar de veiligheidsnorm 1/4000 per jaar is.

Het beheer is in handen van waterschap Scheldestromen met de Provincie Zeeland als toezichthouder. De Veerse Dam en de Oosterscheldekering vallen onder beheer van Rijkswaterstaat.



Figuur 5.8 De waterkering langs de Noordzee (2011), van a) de aansluiting met de Oosterscheldekering tot f) de aansluiting met de Veerse Dam. Foto's c) en d) laten de valleien zien. Bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt



Figuur 5.9 De duinwaterkering in het profiel van raai 260, Noord-Beveland, bestaande uit twee duinenrijen (Dijkstra en Vergouwen, 2013)

5.2.2 Primaire waterkering Walcheren

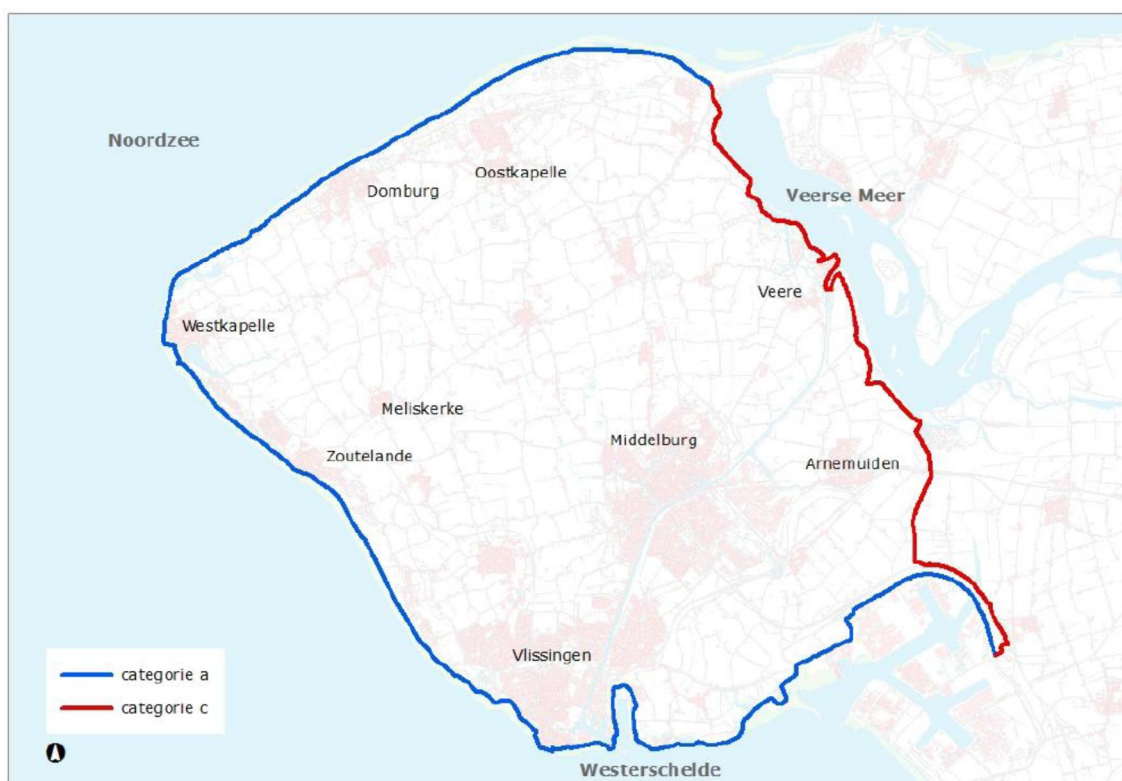
Walcheren vormt in zijn geheel dijkkring 29 (met een lengte van 69 km), zie Figuur 5.10, die wordt beheerd door Waterschap Scheldestromen. De dijkkring grenst aan de Noordzee (Noordwest), de Westerschelde (Zuid) en het Veerse Meer (Noordoost).

Duin - Noordzee

Het Noordzeedeel van dijkkring 29 bestaat bijna geheel uit duinwaterkeringen (23,3 km), bij o.a. Westkapelle en Zoutelande zijn deze duinwaterkeringen onderbroken door zeedijken. Bij Vlissingen gaat het duin over in een dijk en later in een boulevard (Figuur 5.6). Op de overgangen tussen het duin en de harde keringen zijn aansluitingsconstructies te vinden. In totaal bevat de dijkkring 10 aansluitingsconstructies.

Dijk – Westerschelde en Veerse Meer

De delen van de dijkkring grenzend aan de Westerschelde en het Veerse meer bestaan uit dijken (met een lengte van 45,7 km), inclusief 10,4 km dijk in het havengebied bij Vlissingen. De dijkkring bevat daarnaast nog 6 kunstwerken.



Figuur 5.10 Primaire waterkering Walcheren, dijkkring 29 (Anteagroep, 2014). Categorie a keringen beschermen direct tegen het buitenwater, categorie c beschermen indirect of zijn droge binnendijken als grens met het aanliggende dijkringgebied 30.

5.3 Beoordeling primaire waterkering

5.3.1 Noord-Beveland

Bij de eerdere toetsronden is de primaire waterkering aan de Noordzeezijde van de Noord-Bevelandse kust niet volledig goedgekeurd; enkele stukken –met name de aansluitingen op de Veerse Dam en Oosterscheldekering- konden niet beoordeeld worden. In de laatste (3^e) toetsronde is de kering over de volledige lengte goedgekeurd.



Figuur 5.11 Toetsresultaten primaire waterkering in de 1^e (2001), 2^e (2006) en 3^e (2012) toetsronde. Groen betekent goedgekeurd, geel of blauw geen oordeel of afgekeurd. Bij de laatste toetsronde is de gehele kering langs de Noordzeekust goedgekeurd.

Naast de wettelijke toetsing, heeft ook een beoordeling in het kader van VNK2 (Veiligheid Nederland in Kaart) plaatsgevonden met een andere methodiek en andere uitgangspunten (Pwa & Van Tol, 2013). Deze studie concludeerde dat er voor de toetsvakken langs de

Noordzee geen hydraulische randvoorwaarden beschikbaar waren om de kering als dijk en al zeker niet als dijk-in-duin constructie door te rekenen, maar wel als duin. Er is namelijk een verschil in toetsingsmethode van duinen en dijken, dat mede is ingegeven door het feit dat er bij een duin nagenoeg geen reststerkte is, terwijl voor een dijk die juist aan de norm voldoet altijd nog reststerkte aanwezig is. De hydraulische randvoorwaarden voor duinen zijn daarom op een tienmaal lagere normfrequentie gebaseerd en kunnen niet simpelweg worden omgezet in hydraulische randvoorwaarden voor harde constructies. Om deze reden is de waterkering hier uitgerekend als een onverdedigd duin, waarvoor een faalkans $<1/1.000.000$ werd bepaald.

5.3.2 Walcheren

5.3.2.1 Eerste toetsronde: 1996-2001

In deze paragraaf worden de toetsingen van de Waterkering Walcheren (dijkring 29, zie Figuur 5.10) samengevat. De volledige toetsresultaten staan beschreven in de toetsrapporten van Rijkswaterstaat Dienst Zeeland en het waterschap. Dijkring 29 heeft een normfrequentie van 1/4000 per jaar.

Zandige kust

Er komt in een aantal gevallen duinvoetverdediging voor in de dijkring, deze delen krijgen 'geen oordeel', omdat de duinvoetverdedigingen niet worden meegenomen in de beoordeling. De overige lengte van de duinwaterkering scoort 'goed' of 'voldoende'. Voor de tien aansluitingsconstructies is een simpele toets uitgevoerd, maar bleek toch nader onderzoek nodig te zijn. Daarom voor allen de score 'geen oordeel'.

Harde keringen

Over een lengte van 7,2 km wordt er 'geen oordeel' gegeven voor de toets op dijkhoogte, omdat er door een verhoogd overslagdebiet verder onderzoek naar de stabiliteit van het binnentalud nodig is. Ook in het havengebied kan er 'geen oordeel' gegeven worden omdat hier een doorvertaling van de hydraulische randvoorwaarden naar het havenbassin moet plaatsvinden.

Grote delen dijk (o.a. bij Westkapelle en Vlissingen) scoren 'onvoldoende' op hun bekleding (gras en steenzettingen).

Vijf van de waterkerende kunstwerken hebben de score 'geen oordeel', de laatste scoort 'goed'.

5.3.2.2 Tweede toetsronde: 2001-2006

Zandige kust

De noordelijke aansluitingsconstructie van de Westkappelse Zeedijk scoort een 'onvoldoende', evenals de duinvoetverdediging vlakbij Vlissingen. De rest van de duinwaterkering krijgt het oordeel 'voldoende' of 'goed'.

Harde keringen

Voor de dijken zijn er over een lengte van 9 kilometer maatregelen nodig met betrekking tot de harde bekleding. Over eenzelfde lengte is een nadere beoordeling nodig van de grasbekleding. Ten behoeve van de stabiliteit is er over 12 km nader onderzoek nodig, en is de score 'geen oordeel'.

Voor de delen van de Sloehaven en de buitenhaven van Vlissingen ontbreken gegevens, en kan geen beoordeling plaatsvinden. De rest van de dijken scoort 'voldoende' of 'goed'.

5.3.2.3 *Derde toetsronde: 2006-2011*

In het kader van het project Veiligheid Nederland in Kaart (VНК2) is door Rijkswaterstaat het overstromingsrisico in dijkringgebied 29, Walcheren onderzocht, zie Antegroep (2014), Figuur 5.10. Dit betreft echter geen toetsrapport in het kader van de Waterwet.

6 Gebruiksfuncties

In paragraaf 6.1 volgt een samenvatting van het voorkomen van type recreatiestranden op Walcheren en Noord-Beveland, deze paragraaf is een uittreksel van de studie die door Decisio in 2011 is uitgevoerd (Decisio, 2011). In paragraaf 6.2 staat een overzicht van de Natura 2000 gebieden en habitatkaarten van het gebied. Op basis van uitgevoerde Passende Beoordelingen wordt deze informatie aangevuld met een beschrijving van de voorkomende ecologie en hoe hier bij het uitvoeren van suppleties rekening mee wordt gehouden.

6.1 Recreatie

6.1.1 Strandrecreatie Noord-Beveland

Noord-Beveland heeft een relatief klein stuk Noordzeekust, maar dit wordt wel geheel gebruikt voor recreatie en is gelegen aan een camping/bungalowpark. Daarbuiten is er geen economische activiteit die direct aan het strand is gerelateerd. Alleen bij Neeltje Jans staat nog een strandpaviljoen. Neeltje Jans is overigens grotendeels grond van de gemeente Veere.

Tabel 6.1 Recreatie cijfers voor Noord-Beveland (Decisio, 2011)

Onderwerp	Gegevens
Strandrecreanten per jaar (x1000)	564,3
Strand nabij toeristische faciliteiten (raaien)	1,2 – 2,8
Meest drukke strand (strandpalen)	2 - 3
Bezoekers meest drukke strand (x1000)	378
Aantal strandpaviljoens	1
Totaal aantal horecabedrijven	51
Werkzame personen in de Horeca	580
Totaal aantal banen	1.890
Percentage werkzaam in horeca	31%
Percentage buitenlandse strandbezoekers	NB

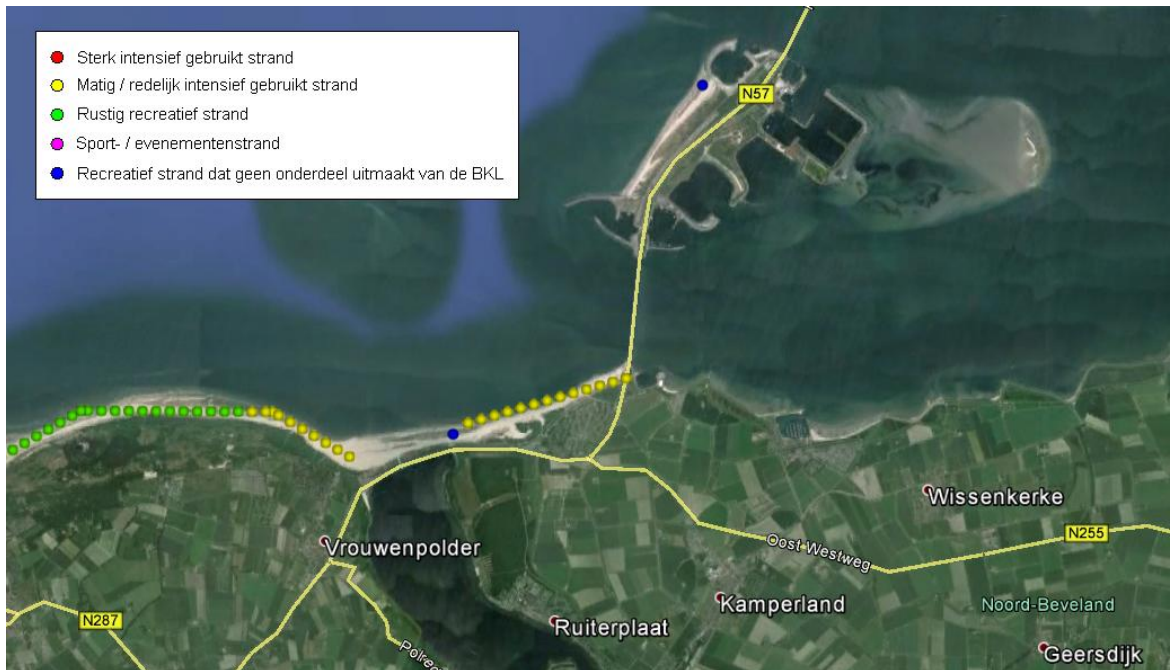
De mogelijke realisatie van een wellness/congreshotel aan de binnenzijde van de Veerse Dam kan leiden tot een toenemende druk en meer economische activiteit op het strand (zoals een extra strandpaviljoen). Het strand van Noord-Beveland is aan de smalle kant volgens de deelnemers aan een workshop (Decisio, 2011). Vooral langs het Veerse Dam waar veel sportactiviteiten plaatsvinden is het strand te smal. De ruimte is te beperkt voor strandhuisjes, die deelnemers van de workshop van Decisio (2011) wel graag zouden willen hebben (Figuur 6.2).

Tabel 6.2 Strandbreedte Noord-Beveland (Decisio, 2011)

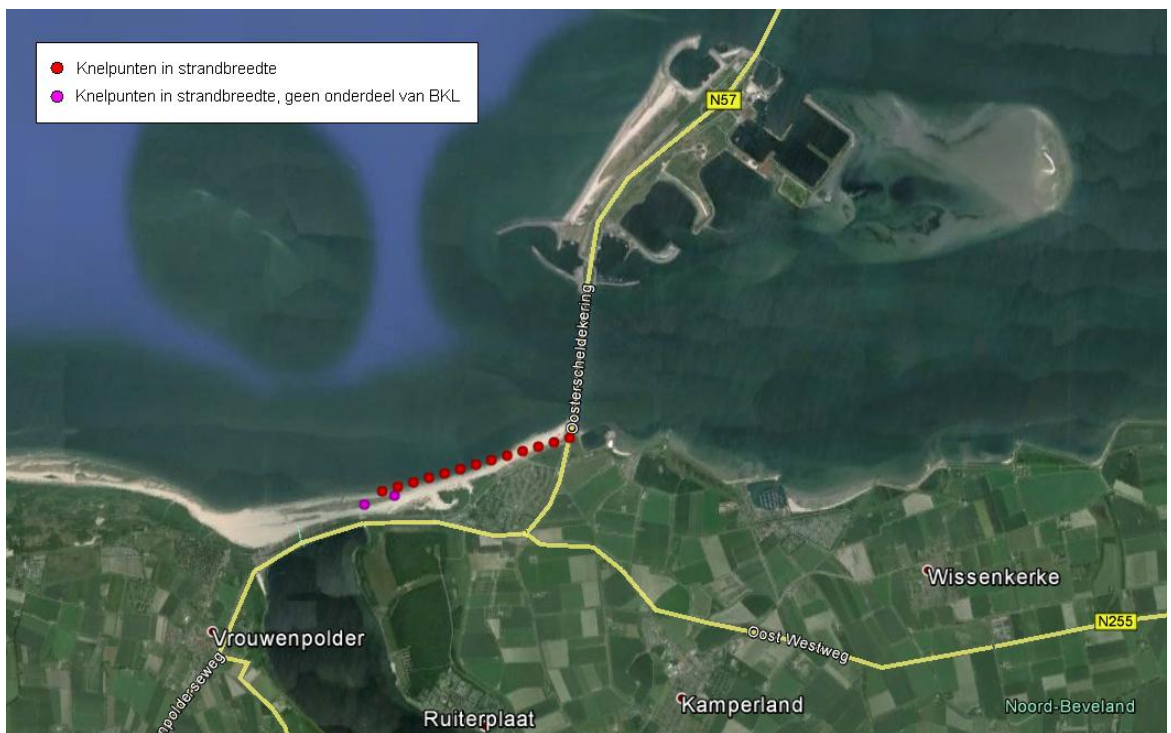
Noord-Beveland	Gegevens
Gemiddelde breedte recreatief strand	26,4
Trend breedte recreatief strand (meter per jaar)	1,0

Naast directe strandrecreatie zijn er verschillende natuurgebieden met onder andere trekvogels en watervogels. Er zijn hiervoor een aantal vogelobservatiehutten en observatieschermen aanwezig aan de Noordkant van Noord-Beveland. Tevens is er een wandelnetwerk van totaal 150 km aan wandelpaden en zijn er ook veel fietspaden aanwezig. Doordat Noord-Beveland nabij Nationaal Park Oosterschelde ligt zijn er veel bijzondere flora en fauna elementen aanwezig die kunnen bijdragen aan de natuurbeleving. Het

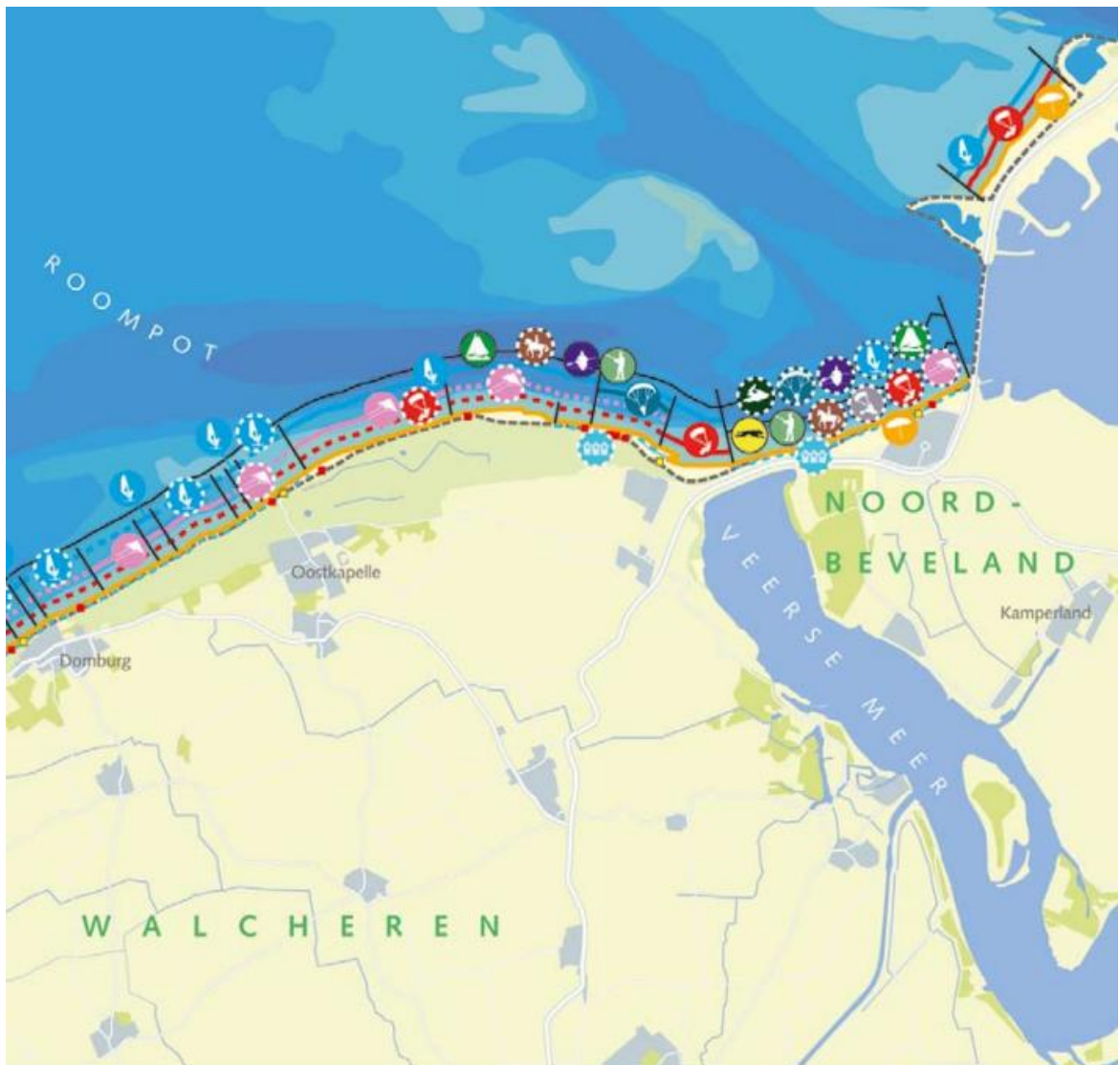
Banjaardstrand is met 3,2 km een mooi familiestrand en is tevens een van de mooiste stranden van Nederland (Gemeente Noord-Beveland).



Figuur 6.1 Intensiteit strandgebruik Noord-Beveland



Figuur 6.2 Knelpunten in strandbreedte Noord-Beveland



Zonering toegestaan strandgebruik Voordelta conform APV's gemeentes Noord-Beveland en Veere en/of lokale bepalingen (peiljaar 2007)

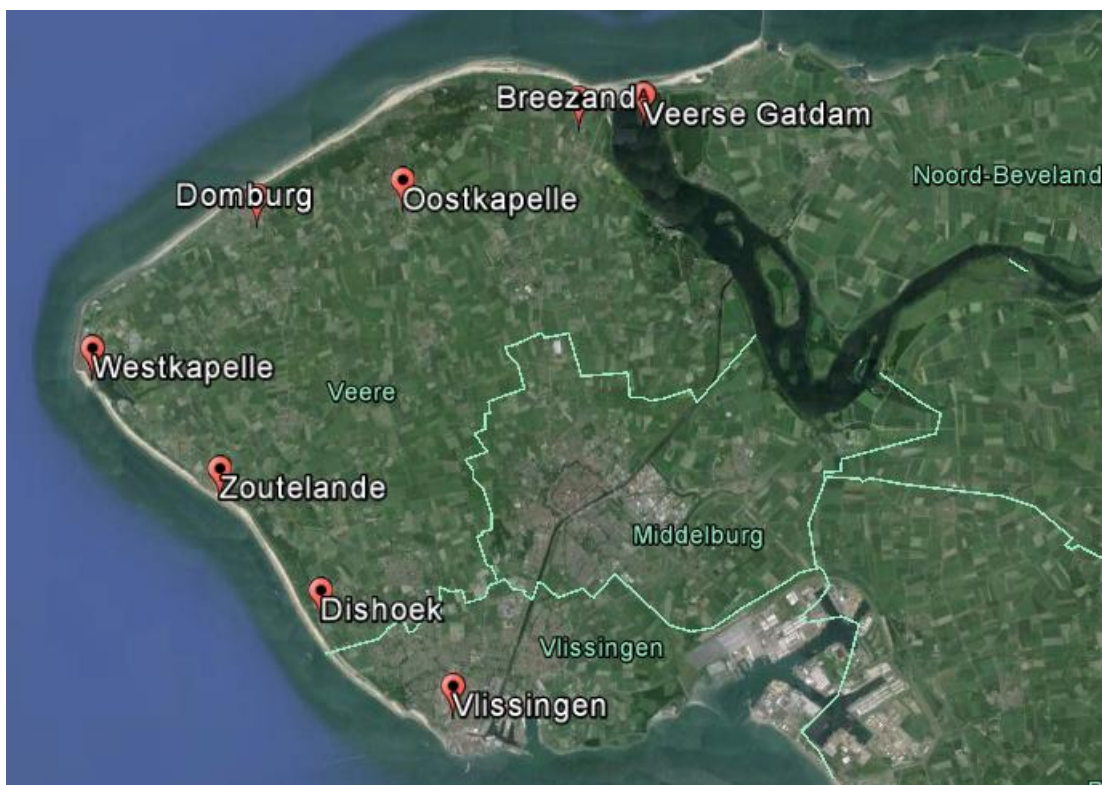
Schaal 1:75.000



Figuur 6.3 Zonering toegestaan strandgebruik Natura 2000 gebied (bron: Rijkswaterstaat, 2008)

6.1.2 Strandrecreatie Walcheren

Walcheren kent twee gemeentes met stranden aan de Noordzeekust: Veere en Vlissingen, zie Figuur 6.4.



Figuur 6.4 Gemeentes in Walcheren met stranden aan de Noordzeekust (Veere en Vlissingen) en de belangrijkste badplaatsen.

Gemeente Vlissingen heeft met name horecavoorzieningen op de boulevards. Het meest westelijke gedeelte van het strand aan Boulevard Bankert tussen paal 34,58 en 35,00 maakt geen onderdeel uit van de Basiskustlijn, omdat het hier een harde kering betreft. Het strandtoerisme speelt in Vlissingen relatief een minder belangrijke rol dan in de andere Zeeuwse kustgemeenten. Vlissingen heeft een groter stadscentrum en een haven die belangrijk is voor de lokale economie.

Gemeente Veere heeft veel kilometers strand, de meeste strandbezoekers en de meeste strandpaviljoens van alle Zeeuwse gemeenten. Toerisme en recreatie is voor de gemeente Veere een belangrijke economische motor. Meer dan 35 procent van de werkgelegenheid is in de horeca.

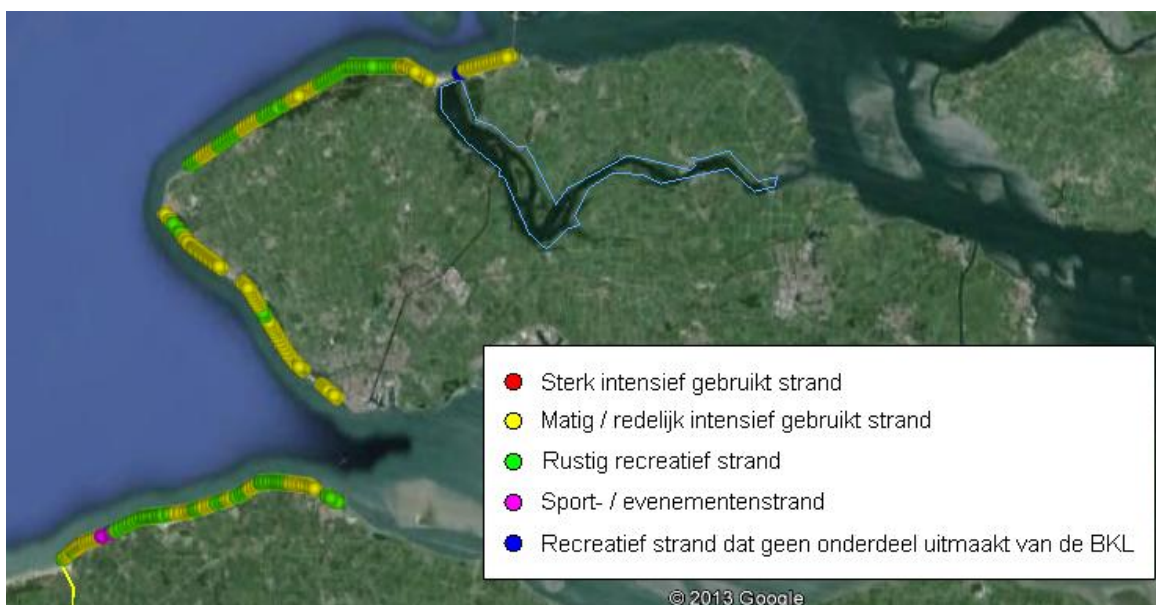
Verdeeld over verschillende kernen zijn er de volgende toeristische activiteiten (Figuur 6.5):

- Vezenbos/Dishoek: km 32,39 – 29,5 (meerdere campings en een paar strandtenten)
- Valkenisse/Zoutelande: km 28,5 – 23,25 (campings, strandtenten e.d. M.u.v. 2597 – 2697 direct aan het dorp Zoutelande, daar lijkt het strand zeer smal en zijn geen strandpaviljoens).
- Westkapelle: km 21,95 – 22,35 (strandpaviljoen)
- Tussen Domburg en Westkapelle: km 18,14 – 17,35 (strandpaviljoen + camping)
- Domburg: km 15,71 – 14,69 (kern Domburg)

- Tussen Domburg en Oostkapelle zijn wel strandopgangen, maar geen strandpaviljoens e.d.
- Oostkapelle: km 12,86 – 11,45 (campings en strandpaviljoens)
- Tussen Oostkapelle en Breezand zijn wel strandopgangen, maar is slechts 1 strandpaviljoen ter hoogte van paal 9
- Breezand: km 7 – 5,4 (strandpaviljoens + camping)

Overzicht van belangrijkste stranden op Walcheren:

- *Sport en evenementenstranden Walcheren:* strand bij Veerse Dam
- *Matig / redelijk intensief bezochte stranden van Walcheren:* Vlissingen (strand bij boulevard, Nollehoofd en richting Vebeenabos), Dishoek, Zoutelande, Westkapelle, Domburg, Oostkapelle, Breezand.



Figuur 6.5 Recreatieve stranden Zeeuws-Vlaanderen, Walcheren en Noord-Beveland (Decisio, 2011)

Knelpunten in strandbreedte op Walcheren zijn (Decisio, 2011), Figuur 6.6:

- Het strand tussen Vlissingen en Westkapelle (veel gebruikt door dagrecreanten) slaat regelmatig weg.
- Het strand tegen de boulevard van Vlissingen aan is ook regelmatig aan de smalle kant, maar kan vanwege stromingen ook niet overal worden gebruikt voor strandrecreatie.
- Op verschillende plekken in de gemeente Veere is sprake van knelpunten in strandbreedte:
 - Bij Domburg, Oranjezon en Westkapelle slaat regelmatig strand weg.
 - Panoramaweg: hier is een nieuw strand, maar ook dat slaat inmiddels weg. Er zouden kansen voor ontwikkeling van nieuwe economische activiteiten liggen, maar momenteel is dat niet mogelijk.
 - Bij Zoutelande en Dishoek (slaaphuisjes, cabines en paviljoens) zijn er ook knelpunten ten aanzien van de strandbreedte. Ook bij het Westduinstrand is het strand te smal.
- Tegen de Veerse Dam aan, waar veel sportactiviteiten zijn te vinden, is het strand te smal.



Figuur 6.6 Locaties waar regelmatig knelpunten in strandbreedte optreden langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen, Walcheren en Noord-Beveland (Decisio, 2011). Knelpunten zijn tijdens workshops door deelnemers aangegeven.

Via de Kustviewer (<http://kml.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/kustviewer/>) kan zowel de ontwikkeling in strandbreedte als het type recreatiestrand en knelpunten bekeken worden.

6.2 Natuur

6.2.1 Natuurwetgeving

De kust van Noord-Beveland is onderdeel van verschillende natuurgebieden. Ten eerste is het onderdeel van Natura 2000 gebied de Voordelta en ligt het nabij Natura 2000 gebieden Veerse Meer en Manteling van Walcheren. Daarnaast behoort een deel van het gebied tot de Ecologische Hoofdstructuur (Natuurnetwerk Nederland). Tevens is het gebied geclassificeerd als Wetland (Voordelta en Veerse Meer) en hoort het bij het Nationaal Landschap Zuid-West Nederland.

De duinen, het strand en de vooroever van Walcheren zijn eveneens belangrijke gebieden voor de natuur, zoals duidelijk wordt uit de ligging van de verschillende Natura 2000-gebieden. De kust van Walcheren grenst aan de zeezijde overal aan het Natura 2000 gebied "Voordelta", dat aan de landzijde is begrensd op de duinvoet van Walcheren. Het duingebied op de Noordwestrand van Walcheren is aangewezen als Natura 2000 gebied "Manteling van Walcheren" (Figuur 6.7). In de nabije omgeving liggen ook de Natura 2000 gebieden Veerse Meer, Vlakte van Raan, Westerschelde en Saeftinge. Deze gebieden worden voor de beschrijving van dit kustvak buiten beschouwing gelaten.



Figuur 6.7 Ligging van de Natura 2000 gebieden Manteling van Walcheren, Voordelta, Vlake van Raan, Veerse Meer en Westerschelde & Saeftinghe. (GIS-kaart Natura 2000 gebieden, 17 feb 2017).

In paragraaf 6.2.2 zijn de gebiedsbeschrijvingen weergegeven zoals deze zijn opgenomen in het beheerplan Natura 2000 Voordelta (februari 2016) en het aanwijzingsbesluit Natura 2000-gebied Manteling van Walcheren. Voor gedetailleerde informatie over de specifieke habitats en soorten wordt geadviseerd de online informatie te raadplegen via de website van Ministerie van Economische zaken, Beschermde natuur in Nederland, Natura 2000-gebieden, zie link hieronder.

Regio	URL
Manteling van Walcheren	https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=10&id=n2k117
Voordelta	https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=10&id=n2k113

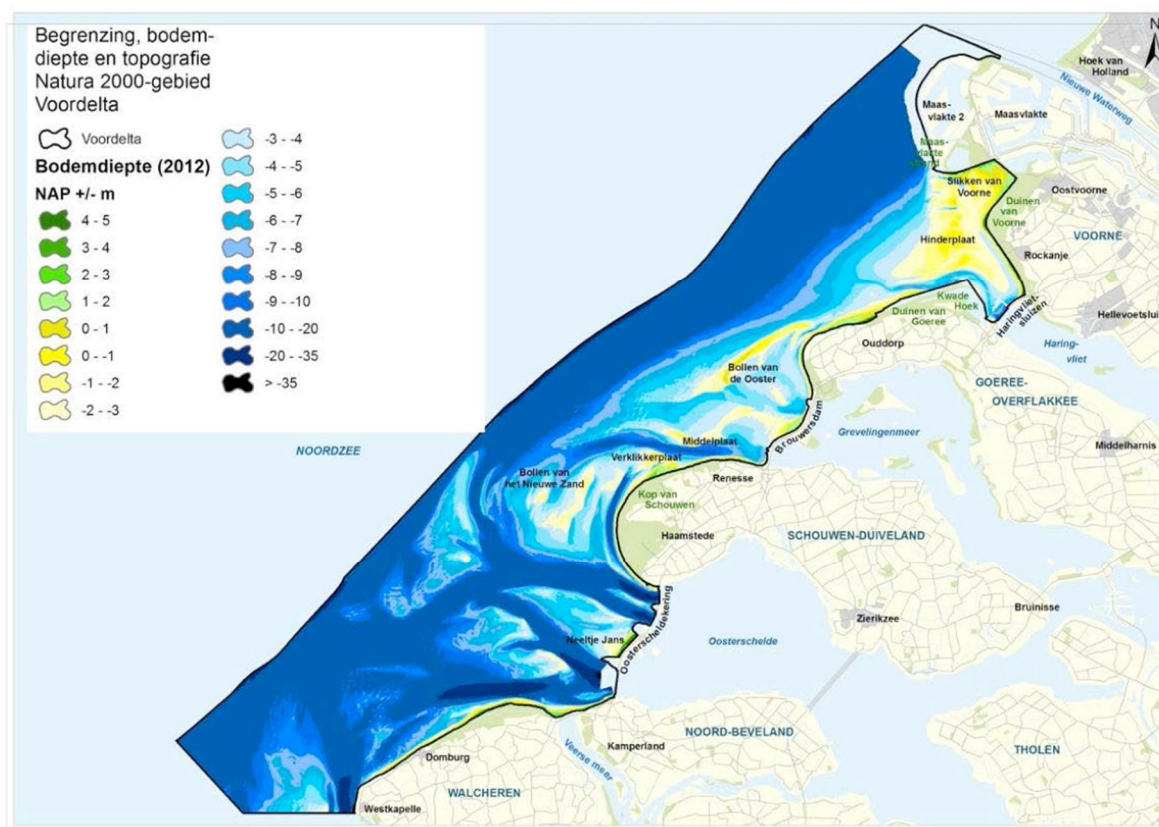
6.2.2 Habitatkarakteristieken

Manteling van Walcheren

De Manteling van Walcheren betreft een kalkarm duingebied aan de noordwestrand van het voormalige eiland Walcheren. De kust is hier al vele honderden jaren een afslagkust en de kustlijn is in de loop der tijd enkele kilometers landinwaarts verplaatst. Hierdoor is de zone met primaire duinen uiterst smal of ontbreekt volledig en komen de oude duinen tot zeer kort aan de kustlijn. Aan de zeezijde is tamelijk veel reliëf aanwezig dat verder landinwaarts overgaat naar minder geaccidenteerd terrein. In het westelijke deel van het duingebied liggen, niet ver achter de zeereep, oude duineikenbossen die hier een natuurlijke bosgrens vormen. Het oostelijk gelegen Oranjezon herbergt een aantal vochtige duinvalleien en soortenrijke duindoornstruwelen. Van oudsher wordt de Manteling van Walcheren gekenmerkt door buitenplaatsen met statige landhuizen en soortenrijke bossen met stinzenplanten in de binnenduintrand.

Voordelta

De Voordelta is de ondiepe zee met aangrenzende stranden voor de kust van Zeeland en het zuidelijkste deel van Zuid-Holland (Figuur 6.8). Sinds de (al of niet gedeeltelijke) afsluiting van de voormalige zeearmen Haringvliet, Grevelingen en Oosterschelde is de Voordelta sterk van karakter veranderd. De getijdenstroming in en uit de zeearmen is geheel verdwenen of sterk afgenomen. Voor de mondingen van de zeearmen zijn evenwijdig aan de kust hoge zandbanken ontstaan die bij laagwater gedeeltelijk droogvallen. Het meest in het oog springend zijn de Hinderplaat, de Bollen van de Ooster en de Bollen van het Nieuwe Zand. De oost-west georiënteerde getijdengeulen in het gebied zijn veel ondieper geworden.



Figuur 6.8 Begrenzing Natura 2000-gebied Voordelta, bodemdiepte, platen en topografie.

De Voordelta herbergt natuurlijke habitats en leefgebieden die voor het Europese netwerk Natura 2000 van belang zijn (Ministerie LNV, 2008). De Voordelta is een leefgebied voor de gewone en de grijze zeehond vanwege het stelsel van droogvallende zandbanken. Het open water van de Voordelta is vooral van belang voor visetende trekvogels, in het bijzonder voor de roodkeelduiker en voor schelpdiereters als zwarte zee-eend en eider. De inter-getijdengebieden zijn van belang voor steltlopers en eenden, zoals scholeksters, drieteenstrandlopers en bergeenden.

7 Literatuur

- Aarninkhof, S.G.J. & Van Kessel, T. (1999). Data-analyse Voordelta: Grootschalige morfologische veranderingen 1960-1996. WL|Delft Hydraulics, Z2694.
- Anteagroep (2014), Veiligheid Nederland in Kaart 2, Overstromingsrisico dijkkringgebied 29, Walcheren
- Arens, B., Geelen, L. van der Hagen, H. & Slings, R. (2009). Duurzame verstuiving in de Hollandse duinen. Kans, droom of nachtmerrie. Eindrapport fase 2. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, Waternet, Dunea, PWN, RAP 2009.03.
- Arens, S.M., van Puijvelde S.P. en Brière, C. (2010). Effecten van suppleties op duinontwikkeling. Rapportage geomorfologie. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, Bosschap Rapport OBN 142.
- Arens, S.M., Everts, F.H. Kooijman, A.M. Leek, S.T. Nijssen, M. de Vries N.P.J. (2012) Ecologische effecten van zandsuppletie op de duinen langs de Nederlandse kust. OBN-rapport DK166.
- Arens, Bas, Nico de Vries en Jan Mulder, 2012. Herstelstrategieën Kop van Schouwen en Manteling Walcheren in ruimte en tijd. RAP2012.03 in opdracht van Provincie Zeeland.
- Arens, S.M., J.P.M. Mulder, Q.L. Slings, L.H.W.T. Geelen en P. Damsma, 2012. Dynamic dune management, integrating objectives of nature development and coastal safety: Examples from the Netherlands. Geomorphology
- Balen, W. van, Vuik, V., Vuren, S. van (2011) Indicatoren voor kustlijn­zorg-Analyse van indicatoren voor veiligheid en recreatie. HKV-rapport PR2063.20.
- Beekman, F., 2007. De Kop van Schouwen onder het zand. Duizend jaar duinvorming en duingebruik op een Zeeuws eiland. Matrijs, Utrecht, 304 pp.
- Berg, J.H. van den, 1984. Morphological changes of the ebb-tidal delta of the Eastern Scheldt during recent decades. *Geologie en Mijnbouw* 63(4): 363–375.
- Berg, J.H. van den, 1986. Aspects of sediment- and morphodynamics of subtidal deposits of the Oosterschelde (The Netherlands). Proefschrift Utrecht, 122 pp.
- Berg, J.H. van den, 1987. Toelichting bij de Isallobatenkaart Voordelta 1975-1984. Nota ZL 87.0020, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg, 49 pp.
- Bruens, A., McCall, R., Steetzel, H., van Santen, R. (2012). Achtergrondrapport Basiskustlijn 2012 – feiten & cijfers ter onderbouwing van de herziening van de Basiskustlijn. Deltares rapport 1206171-000-ZKS-0031.
- Bruens, A., Spek, A.J.F. van der, Elias, E., Giardino, A. (2013). Projectplan KPP-B&OKust 2013. Deltares rapport 1207724-000-ZKS-0005

- Bruin, M.P. de en Wilderom, M.H., 1961. Tussen Afsluitdammen en Deltadijken, deel 1, Noord-Beveland
- Bruins, R.J. 2016 - Morphological behaviour of shoreface nourishments along the Dutch coast, MSc Thesis Delft University of Technology
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2012). Toerisme en recreatie in cijfers 2012
- Cleveringa, J., 2008. Morphodynamics of the Delta coast (south-west Netherlands): Quantitative analysis and phenomenology of the morphological evolution 1964-2004. Alkyon rapport A1881R1r2.
- Daamen, J., 2014. Coastal erosion processes in tidal channel Oostgat. MSc thesis University of Twente, 9 Oktober 2014.
- Davis, R.A., Hayes, M.O., 1984. What is a wave-dominated coast? Marine Geology, 60, 313-329.
- Decisio, 2011, Ruimte voor recreatie op het strand; onderzoek naar een recreatie Basiskustlijn.
- Dekker, L., 2012. Monitoring vooroeversuppleties Oostgat, Zeeuws-Vlaanderen t/m november 2011 en Zwakke Schakels t/m maart 2012 (eindrapport). Rijkswaterstaat, Meetadviesdienst Zeeland.
- Deltares, "Ecologisch gericht suppleren: Bevindingen van het onderzoek naar effecten van suppleren op het kustecosysteem 2009-2016"
- Dijk, T.A.G.P. van, Kleinhans, M.G., 2005. Processes controlling the dynamics of compound sand waves in the North Sea. Journal of Geophysical Research, 110.
- Dijkstra, J. en Vergouwen, S., 2015. Beheerbibliotheek Noord-Beveland. Beheerbibliotheek Zeeuws-Vlaanderen. Beschrijving van het kustvak ter ondersteuning van het beheer en onderhoud van de kust. Deltares rapport1220040-002-ZKS-0009, 22 juli 2015
- Eelkema, M., Wang, Z.B. and Stive, M.J.F. (2012) Impact of Back-Barrier Dams on the Development of the Ebb-Tidal Delta of the Eastern Scheldt, Jo. of Coastal Research
- Eelkema, M. 2013. Eastern Scheldt Inlet Morphodynamics. Proefschrift TU Delft.
- Erkens, G., 2003. Analyse Multibeam data Oostgat. Rapport RIKZ/OS/2003.168x, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee RIKZ, Den Haag.
- Elias, E.P.L. en Walstra, D.J.R., 2006. SMB ZW Walcheren - Modellerings effectiviteit zeewaartse kustbeschermingsalternatieven. Rapport Z4052, WL|Delft Hydraulics, Delft.
- Elias, E.P.L., Vermaas, T., Vonhögen-Peeters, L. en Bruens, A. (2014) Ontwikkeling Zwakke-Schakel suppletie Westkapelle, Morfologische veranderingen 2008 – 2013, Deltares, 1209381-008

- Elias, E.P.L. en Van der Spek, A.J.F., 2014. Grootschalige morfologische veranderingen in de Voordelta 1964-2013. Deltares werkdocument, 30 juni 2014.
- Elias, E.P.L. en Spek, A.J.F. van der, 2015, Uitwerking sedimentbudget van de Westerscheldemonding, Deltares 1210301-012
- Elias, E.P.L., Spek, A.J.F. van der, Lazar, M., 2016, The 'Voordelta', the contiguous ebb-tidal deltas in the SW Netherlands: large-scale morphological changes and sediment budget 1965–2013; impacts of large-scale engineering, Netherlands Journal of Geosciences, Geologie en Mijnbouw <https://doi.org/10.1017/njg.2016.37>
- Enkevoort, I. van, 1996. Morfologische ontwikkeling van de Westerschelde monding sinds 1800. Report R96-21, Instituut voor marien en atmosferisch onderzoek Utrecht (Utrecht): 56 pp.
- Fiselier, J., Jaarsma, N., Wijngaart, T. van der, Vries, M. de, Wal, M. van de, Stapel, J. en Baptist, M., 2011, Perspectief Natuurlijke keringen: Een eerste verkenning ten behoeve van het Deltaprogramma, Ecoshape, Building with Nature
- Gerritsen, F. en de Jong, H., 1983. Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde. Report WWKZ-83.V008, Rijkswaterstaat (Vlissingen): 36 pp.
- Giardino, A., den Heijer, K. en Santinelli, G., 2014, The state of the coast / Toestand van de Kust; case study: The South-Westerly Delta', Deltares, 1209381-006
- Groot, A. V. de, 2002. Kustlijnhandhaving Onrustpolder, Evaluatie van de effecten van morfologisch baggeren en strandsuppleties. Fysische Geografie Universiteit Utrecht
- Haring, J., 1978. De geschiedenis van de ontwikkeling van de waterbeweging en van het profiel van de getijwateren en zeegaten van het zuidelijk deltabekken en van het hierbij aansluitende gebied voor de kust gedurende de perioden 1872–1933–1952–1968–1974. Report K77M031E, Rijkswaterstaat, Deltadienst (The Hague): 41 pp.
- Herman, P., Meijer-Holzhauser, H., Vergouwen, S., Wijsman, J., Baptist, M., 2016, Ecologische effecten van kustsuppleties
- Hoozemans, F.M.J., 1991. Horizontale zandgolven – literatuurstudie. Waterloopkundig laboratorium | WL, Delft.
- Hordijk D., 2002. Voorstudie geulwandsuppletie Oostgat. Thesis MSc. TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek.
- Hillen, R., Ruig, J.H.M. de, Roelse, P., Hallie, F.P., 1991. De Basiskustlijn, een technisch/morfologische uitwerking. Rijkswaterstaat rapport GWWS-91.006.
- Hijma, M., 2017, Geology of the Dutch coast, The effect of lithological variation on coastal morphodynamics. Deltares, 1220040-007
- Hijma, M., 2017, Tidal-channel migration between 1997-2014 in relation to the local build-up of the subsurface, The Netherlands. Deltares, 1220040-007

- Israel, C., 1993. De ontwikkeling van de Westerscheldemond voor de Zuid-Westkust van Walcheren. Afstudeerverslag. HTS Vlissingen, Afdeling Civiele Techniek.
- Jeuken, M.C.J.L., S.G.J. Aarninkhof, R. Bruinsma, G. van Holland & J.A. Roelvink. 2000. Modelling van de grootschalige bodemveranderingen in de voordelta van Oosterschelde en Grevelingen.
- Kohsiek, L.H.M., & J.P.M. Mulder (redactie), 1988, Een verkenning van een veranderend watersysteem: De Voordelta, Rijkswaterstaat DGW nota GWAO-88.002.
- Kohsiek, L.H.M., & J.P.M. Mulder (redactie), 1989, De Voordelta; Een watersysteem verandert, Rijkswaterstaat DGW.
- Kohsiek, L.H.M., 1988. Reworking of former ebb-tidal deltas into large longshore bars following the artificial closure of tidal inlets in the southwest of the Netherlands. In: de Boer, P.L., van Gelder, A. & Nio, S.D. (eds): Tide influenced sedimentary environments and facies. D. Reidel Publishing Cie (Dordrecht): 113–122.
- Lazar, M. en J. Maranus, 2004, Suppleties 2004 Noord-Beveland en Walcheren, Memo AXA-04.04 met Bijlagen, Rijkswaterstaat
- Lazar, M., Elias, E., Van der Spek, A., 2017, Coastal Maintenance and Management of the “Voordelta”, The contiguous ebb-tidal deltas in the SW Netherlands, Coastal Dynamics, Paper No. 206
- Louters, T. & Van den Berg, J.H., 1998. Geomorphological changes of the Oosterschelde tidal system during and after implementation of the Delta Project. Journal of Coastal Research 14: 1134–1151.
- Maranus, J.W. en Verhagen, H.J., 1987. Zandgolven en kustverdediging in Zeeland – Voorspelling van kustgedrag.
- Mastbergen, D.R., Nederhoff, K., Valk, L. van der en Maarse, M., 2017, Beheerbibliotheek Walcheren, Beschrijvingen van het kustvak ter ondersteuning van het beheer en onderhoud van de kust, 11200538, Deltares, 2017
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017. Kustlijnkaartenboeken 2018.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012. Herziening Basiskustlijn 2012.
- Ministerie van Economische zaken, Beschermde natuur in Nederland, Natura 2000-gebieden, Manteling van Walcheren (website)
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990. Kustverdediging na 1990, beleidskeuze voor de kustlijnverzorging. Tweede Kamer 1989-1990, 21 136, nrs 5-6.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993. De Basiskustlijn, Norm voor Dynamisch Handhaven. Rijkswaterstaat rapport DGW-93.035.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995. Nota Kustbalans 1995 – De Tweede Kustnota.

- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002a. Basiskustlijn 2001, Evaluatie ligging Basiskustlijn. Rijkswaterstaat rapport RIKZ-2002.018.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002b. De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Achtergrondrapport. Resultaten van de eerste toetsronde van 1996 – 2001.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007. Voorschrift Toetsen op Veiligheid.
- Mulder, J. P. M., 2000. Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel. Advies voor dynamische handhaven in de 21e eeuw (in Dutch), Report RIKZ/2000.36. Rijkswaterstaat RIKZ, The Hague.
- NBTC (2010). Terug naar de kust in cijfers
- Nederbragt, G. en Koomans, R.L., 2006. Nourishment of the slope of a tidal channel – from experiment to practice. In: Sanchez-Arcilla, A. (ed.): Coastal dynamics 2005: state of the practice. Coastal Dynamics 5th International Conference, 4–8 April 2005, Barcelona, Spain. Reston, VA: American Society of Civil Engineers: 1–10.
- Nichols, M.M., 1989. Sediment accumulation rates and relative sea-level rise in lagoons. *Marine Geology* 88: 201-219.
- NRIT (2004). Waarde (kust)recreatie Intensiteit, bestedingen en werkgelegenheid in relatie tot toerisme en recreatie aan de Nederlandse kust.
- NRIT (2007). Strandlopers.
- Ormondt, M. van, J.G. de Ronde, 2009. Mogelijke effecten geulwandsuppletie Oostgat op de drempel tussen het Oostgat en de Sardijnegeul. Rapport z4582.70. Deltares, Delft.
- Postma, R., J.P.M. Mulder, T. Louters, F.P. Hallie, F.J. de Vos, 1990a, Een kwalitatieve prognose van de morfologie van de Oosterschelde-buitendelta, Rijksuniversiteit Utrecht Rapport Geopro 1991.10, Rijkswaterstaat DGW Notitie GWAO 900.13040.
- Pwa, S. T., & Van Tol, P. T. G. (2013). Veiligheid Nederland in Kaart 2. Overstromingsrisico dijkringgebied 28, Noord-Beveland
- Rijkswaterstaat, 2002. De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Resultaten van de eerste toetsronde 1996 – 2001. (Achtergrondrapport en Hoofdrapport). *Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde*.
- Rijkswaterstaat. (2008). Beheerplan Voordelta - Spelregels voor natuurbescherming
- Rijkswaterstaat, 2013. Toets ter acceptatie van het uitvoeringsontwerp strand- en geulwandsuppletie Noord-Beveland – Onrustpolder. Verslag 18 april 2013.
- RIKZ (2006). Risicobeheersing in kustplaatsen.
- RIKZ (2007). Strandlopers - inventarisatie van strandgebruik aan de Noordzeekust en de relatie met natuurwetgeving.
- Roelse, P. 1984. Ervaringen met paalschermen in Zeeland, Kust en zee, pp 24-35.

- Roelse, P. en Maranus, J.W. (1988), Prognose Kustontwikkeling Zeeland 1990-2090, Rijkswaterstaat
- Ronde, J.G. de, A.P. Oost, J. de Lima Rego en A.C. Bijlsma (2012) Stormvloedkering Oosterschelde: ontwikkeling ontgrondingskuilen en stabiliteit bodembescherming. Deelrapportage Morfologie. Deltares rapport 1206907-004-GEO-0003.
- Roskam, A.P., 1988, Golfklimaten voor de Nederlandse Kust. Report GWAO- 88.046, Rijkswaterstaat, Tidal Waters Division (The Hague): 69 pp.
- Schrijvershof, R.A., Mastbergen, D.R., 2016, Stabiliteit aanzanding bij Zoutelande, Deltares, 1230043-001-ZKS-0010
- Schrijvershof, R. (2017) 11200538-004-ZKS-0004 Evaluatie geulwandsuppletie Onrust
- Sha, L.P., en J.H. van den Berg, 1993. Variation in ebb-delta geometry along the coast of the Netherlands and the German Bight. J. Coastal Research, 9, 3: 730-746.
- Slikke, Van der 1998. Grootschalige en interne zandbalans Westerscheldemonding (1969–1993). Report R98-05, Instituut voor marien en atmosferisch onderzoek (Utrecht): 60 pp.
- Spek, A.J.F. van der, 1997. De geologische opbouw van de ondergrond van het mondingsgebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, rapport NITG 97-284-B.
- Spek, A.J.F. van der, Elias, E.P.L., Lodder, Q. en Hoogland, R. (2015), Toekomstige Suppletievolumes – Eindrapport 1208140-005, Deltares
- Spek, A.J.F. van der en Lodder, Q., 2015. A new sediment budget for the Netherlands; the effects of 15 years of nourishing (1991-2005). Proceedings of Coastal Sediments 2015, San Diego, USA.
- Stoutjesdijk, Th., Mastbergen, D.R. en Groot, M.B. de (2012), Stormvloedkering Oosterschelde: ontwikkeling ontgrondingskuilen en stabiliteit bodembescherming, Deelrapportage Hellinginstabiliteit, Deltares, 1206907-001-GEO-0004
- Stuyfzand, P.J., Arens S.M., Oost A.P. en Baggelaar, P. K. (2012). Geochemische effecten van zandsuppleties in Nederland; langs de kust van Ameland tot Walcheren. OBN rapport DK167.
- Terwindt, J.H.J., 1973. Sand movement in the in- and offshore tidal area of the SW part of the Netherlands. Geologie en Mijnbouw, 52(2): 69–77.
- Veen, J. van, A.J.F. van der Spek, M.J.F. Stive, en T. Zitman, 2005. Eb band flood channel systems in the Netherlands tidal waters. Journal of Coastal Research, 21(6), 1107-1120. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- Verhagen, H.J. en Van Rossum, H. (1989) Technisch Rapport 12, Strandhoofden en Paalrijen, Evaluatie van hun werking, Rijkswaterstaat

- Vermaas, T., en Bruens, A., 2013. Beheerbibliotheek Walcheren. Feiten en cijfers ter ondersteuning van de jaarlijkse toetsing van de kustlijn. Deltares rapport 1207724-004-ZKS-0014, 1 november 2013
- Vos, P.C.; van Heeringen, R.M. (1997). Holocene geology and occupation history of the province of Zeeland, in: Fischer, M.M. (Ed.) Holocene evolution of Zeeland (SW Netherlands). Mededelingen. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen, 59: pp. 5-109.
- Vos, P.C., 2015. Origin of the Dutch coastal landscape. Long-term landscape evolution of the Netherlands during the Holocene, described and visualized in national, regional and local palaeogeographical map series. Barkhuis, Groningen, 359 pp.
- Vries, S. de (2016) Modeling sediment pathways in the mouth of the Scheldt estuary. MSc thesis University of Twente, Civil Engineering and Management. 20 January 2016.
- Vroon, J., 1994. Hydrodynamic characteristics of the Oosterschelde Eastern Scheldt in recent decades. *Hydrobiologia* 282/283, 17-27.
- Vuik, V., Van Balen, W., Paarlberg, P. (2012) Indicatoren voor kustlijn­zorg- Analyse van stormen, suppleties en kustveiligheid. HKV-rapport PR2063.30.
- Walstra, D.J., 2005. Haalbaarheidsstudie Geulwandsuppletie Oostgat, Z4056, WL|Delft Hydraulics, Delft.
- Walton, T.L. & Adams, W.D., 1976. Capacity of inlet outer bars to store sand. 15th Conference on Coastal Engineering, 11–18 July 1976, Honolulu, Hawaii: 1919–1937. Conference proceedings.
- Waterschap Zeeuwse Eilanden, 2006. De waterkering getoetst. De Veiligheid van Noord- en Midden-Zeeland 2006.
- Werf, J.J. van der, Doornenbal, P.J. en McCall, R.T., 2010. Verkenning van strategieën voor het kustonderhoud bij de Onrustpolder, Zeeland. Deltares, Delft.
- Werf, J.J. van der, Giardino, A. en Santinelli, G., 2011. Aanzanding en onderhoudsbaggerwerkzaamheden in de Sardijngeul, Deltares rapport 7 maart 2011, definitief (Project 1204421-004)
- Werf, J.J. van der, 2012. Advies geulwandsuppletie Onrustpolder. Deltares memo 1206171-004-ZKS-0003, 25 juli 2012
- Wijnberg, K.M., 1995. Morphologic behaviour of a barred coast over a period of decades. PhD Thesis. Utrecht University (Utrecht): 245 pp.
- Wilderom, M.H., 1968. Tussen Afsluitdammen en Deltadijken, deel 3, Midden Zeeland (Walcheren en Zuid-Beveland).
- Winter, W. de, 2014. Morphological development of the Haringvliet ebb tidal delta since 1970; A study based on the morphological development of individual morphological units. MSc traineeship report University of Utrecht, 31 Jan 2014.

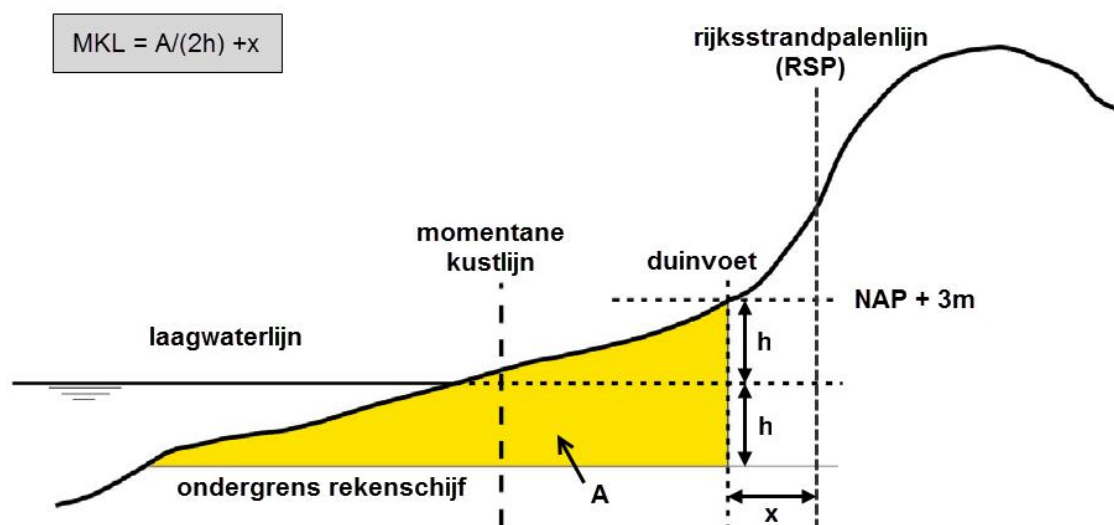
Witteveen en Bos, 2007. Oriënterende economische studie geulwandsuppletie Oostgat.

A Achtergrondinformatie over het beleid van dynamische kustlijnhandhaving

A.1 Definitie Momentane Kustlijn, Te Toetsen Kustlijn en Basiskustlijn

De ligging van de laagwaterlijn kent een grote fluctuatie in ruimte en tijd. De laagwaterlijn is dan ook niet geschikt als referentielijn voor het bestrijden van structurele erosie. Bij het laatste wordt, per definitie, niet gekeken naar een momentopname, maar naar een trend over een langere periode. Uitgaande van een tijdshorizon van zo'n 10 jaren is hieraan, bij de definitie van een referentiekustlijn, op twee manieren een uitwerking gegeven.

Allereerst is een ruimteschaal gekozen, passend bij de tijdschaal. Vandaar dat in 1990 is besloten de kustlijnligging af te leiden uit het zandvolume in een rekenschijf rondom de laagwaterlijn. Op deze wijze worden de fluctuaties in de *tijd* beperkt, terwijl vorm-fluctuaties in het profiel mogelijk blijven; gesproken wordt dan ook van dynamisch handhaven van de kustlijn. De methode om in afzonderlijke jaren, deze 'Momentane Kustlijn' te bepalen staat in Figuur A.1 en wordt uitgebreid toegelicht in de nota *De Basiskustlijn, een technisch morfologische uitwerking* (Hillen et al, 1991).

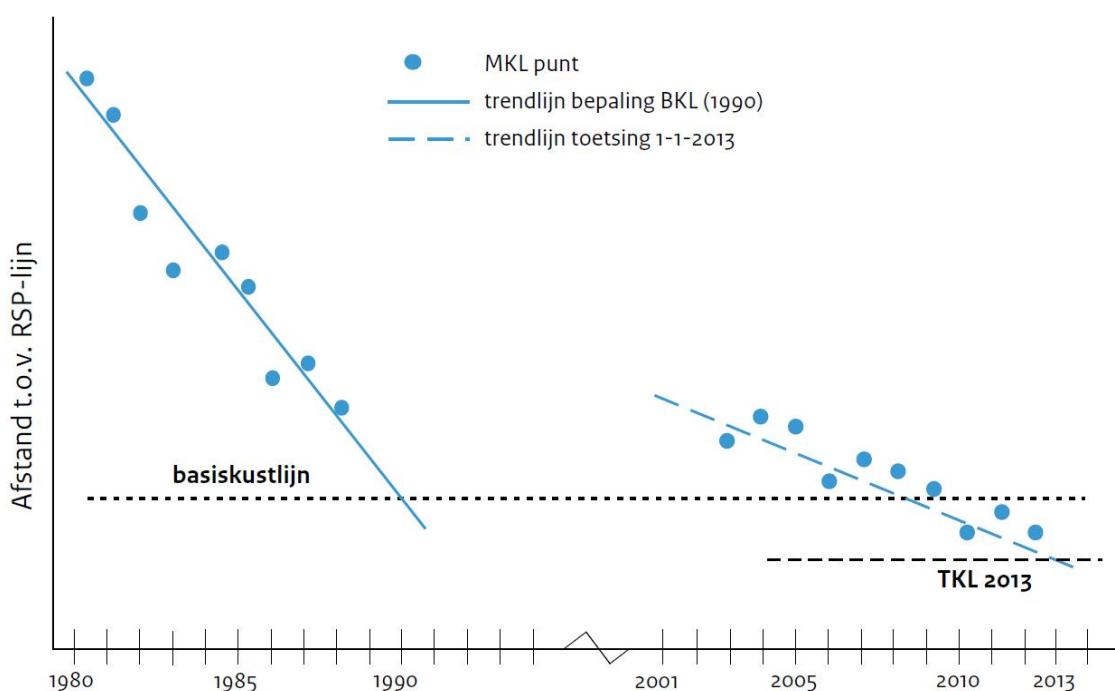


Figuur A.1 Methode om de Momentane Kustlijn (MKL) af te leiden uit het gemeten kustprofiel. Eerst wordt het zandvolume (oppervlak A) bepaald in de zogenaamde rekenschijf tussen duinvoet (doorgaans NAP + 3m NAP) en een ondergrens (even ver beneden gemiddeld laagwater als de duinvoet boven gemiddeld laagwater (h)). Vervolgens wordt de Momentane Kustlijn bepaald door het oppervlak te delen door de hoogte van de rekenschijf (2h). Om de Momentane Kustlijn uit te drukken in meters ten opzichte van Rijkstrandpalenlijn (RSP), moet hier de horizontale afstand van de duinvoet tot RSP (x) nog bij worden opgeteld (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).

Vervolgens is geconstateerd dat ook de Momentane Kustlijnligging (MKL) in een bepaald jaar slechts een momentopname weergeeft; als gevolg van een (lokaal) recent opgetreden

conditie kan deze niet in overeenstemming zijn met de trend in de voorgaande periode¹. Om die reden is als norm niet gekozen voor het handhaven van de Momentane Kustlijn in 1990, maar voor het handhaven van een 'Basiskustlijn' (BKL) die is afgeleid uit de trend van de voorgaande 10 jaren (1980-1989).

Ieder jaar wordt beoordeeld of deze Basiskustlijn, wordt overschreden. Daartoe wordt gekeken naar de ligging van de jaarlijkse 'te Toetsen Kustlijn' (TKL), ten opzichte van de Basiskustlijn. Ook de jaarlijkse Te Toetsen Kustlijn wordt afgeleid uit de trend in de Momentane Kustlijn uit voorgaande jaren (meestal 10 jaar).



Figuur A.2 De Basiskustlijn (BKL) en de jaarlijkse Te Toetsen Kustlijn (TKL) worden afgeleid uit de trend in de Momentane Kustlijn (MKL) uit de voorgaande jaren (Rijkswaterstaat, 2012).

A.2 Landelijke vaststelling Basiskustlijn 1990

Voor de meeste delen van de Nederlandse kust leidt toepassing van de beschreven methodiek tot een goede norm. Voor een aantal locaties langs de Nederlandse kust is in 1990, bij het vaststellen van de Basiskustlijn, geconstateerd dat het wenselijk is om af te wijken van de standaardmethode. De belangrijkste afwijkingen zijn (Hillen et al, 1991):

- Afwijkingen in de rekenschijf (als de ondergrens het profiel niet snijdt, wordt de rekenschijf eerder 'afgekapt'). Schematische voorbeelden staan gegeven in Hillen et al (1991).
- Indien de boven- en ondergrens meerdere snijpunten met het profiel hebben, wordt het meest zeewaartse snijpunt als grens gekozen.
- In geval van een getijgeul wordt echter het landwaartse snijpunt als grens gekozen.

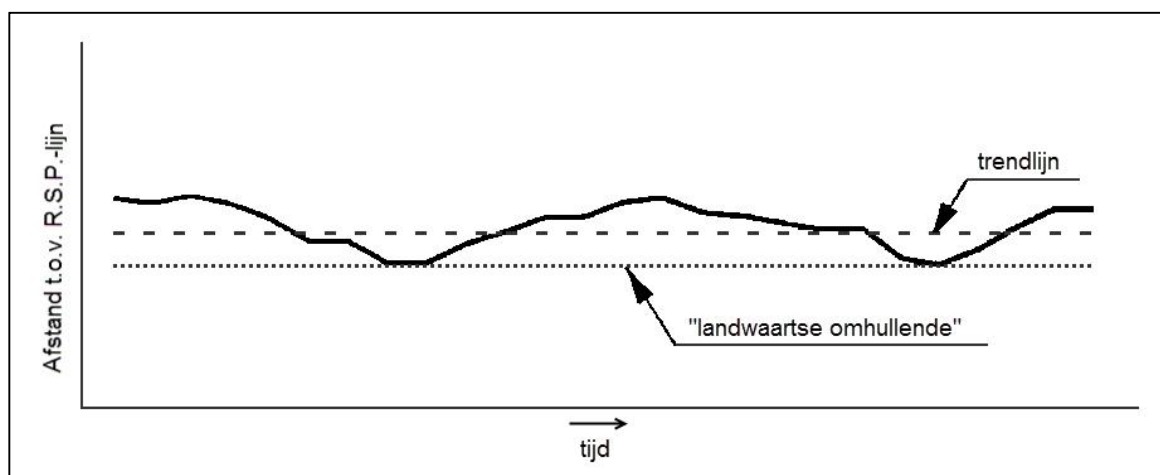
1. Een voorbeeld is de Momentane Kustlijn in 1990. Door het optreden van de zogenaamde 'crocusstormen,' die mede aanleiding waren voor het invoeren van het dynamisch handhaven, lag de kustlijn in dit jaar niet op een 'representatieve' locatie.

- Indien er sprake is van een trendbreuk in de kustontwikkeling wordt de trendperiode daarop aangepast. Dit wordt onder andere toegepast na het uitvoeren van een suppletie.

Daarnaast bleek dat het voor een aantal locaties wenselijk is om de volgens de standaard methode berekende Basiskustlijn niet als norm te hanteren, maar om ofwel geen Basiskustlijn vast te leggen, of de volgens de standaard berekende Basiskustlijn te verleggen op basis van morfologische argumenten. In 1990 is door Rijkswaterstaat een voorstel opgesteld met betrekking tot de vakken waarin de berekende Basiskustlijn moet worden vastgehouden, verlegd, of geen Basiskustlijn moet worden vastgelegd (Hillen et al, 1991). Voorgesteld werd om in geval van fluctuaties als gevolg van zandbanken, de 'omhullende' als Basiskustlijn te kiezen (Figuur A.3). Het niet vastleggen van een Basiskustlijn werd voorgesteld voor de uiteinden van de Waddeneilanden: zo kan meer ruimte aan de natuurlijke processen worden gegeven.

Samengevat luidt het voorstel voor verlegging van de Basiskustlijn (Hillen et al, 1991): De Basiskustlijn, zoals berekend volgens de standaardmethode, is niet overal morfologisch de meest logische kustlijn om te handhaven. Er wordt voorgesteld om op basis van de volgende morfologische argumenten de berekende Basiskustlijn te verleggen:

- I. Zandbanken die zorgen voor een (korte (<10 jaar)) fluctuatie in kustlijnligging.
- II. Zandgolven die zorgen voor een (lange (>10 jaar)) fluctuatie in kustlijnligging.
- III. Aanwezigheid kans dat een positieve trend omslaat naar een negatieve trend en aanwezigheid van extreem breed strand.



Figuur A.3 Eén van de argumenten om de Basiskustlijn zeewaarts vast te stellen ten opzichte van de afgeleide trend 1980-1989 was het voorkomen van 'korte' fluctuaties zoals door verschuivende zandbanken: "Indien de belangen op het strand en in de duinen het toelaten kan worden overwogen de Basiskustlijn in landwaartse richting te verleggen. De landwaartse omhullende lijkt daarvoor een zinvolle maatstaf" (Hillen et al, 1991).

De voorstellen van Rijkswaterstaat betroffen voorstellen op louter morfologische gronden. In 1992 brachten de Provinciale Overleggen Kust (POK) hun advies uit over het voorstel. Bij het beoordelen van het voorstel hebben zij rekening gehouden met het waterkering belang en andere belangen zoals natuur, recreatie, bebouwing en drinkwaterwinning. Voor 90% van de gevallen is het voorstel van Rijkswaterstaat overgenomen. Vervolgens gaf Rijkswaterstaat in 1993 aan hoe zij met het advies van de POK om zullen gaan (Ministerie van Verkeer en

Waterstaat, 1993). Op basis van deze rapportage van Rijkswaterstaat is uiteindelijk de Basiskustlijn door de staatssecretaris vastgesteld².

A.3 Landelijke herzieningen

A.3.1 Landelijke herziening van 2001

In de nota Kustbalans 1995, de tweede Kustnota, werd geconstateerd dat de ligging van de Basiskustlijn niet overal optimaal is. De evaluatie van de Basiskustlijn geeft vaak weliswaar eenduidige en uniforme informatie ten behoeve van de planning van maatregelen (doorgaans suppleties), maar de POK's vragen zich af of de doelstelling van veerkracht en dynamiek daarbij voldoende ruimte krijgt. Dit vormt de aanleiding om de POK's advies uit te laten brengen met betrekking tot verdere optimalisatie van de Basiskustlijn. Rijkswaterstaat heeft deze adviezen vervolgens samengevat, geanalyseerd en beoordeeld tegen de achtergrond van het kusthandhavingsbeleid. De resultaten hiervan zijn hieronder samengevat (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003).

Ervaringen met suppleties hebben aangetoond dat met strand- en duinsuppleties het waterkerend vermogen van de duinen kan worden verbeterd en efficiënt kan worden gehandhaafd. Dit is vooral van belang op locaties waar het duin zich niet in landwaartse richting kan verplaatsen (als gevolg van duinvoetverdediging, achterliggende bebouwing en/of dijken). Ook de natuur heeft baat bij zandsuppleties: duinareaal neemt sneller toe en er ontstaan meer mogelijkheden om de natuur zijn gang te laten gaan. Beheerders staan meer en meer open voor natuurlijker beheer van de duinenkust (minder onderhoud, toestaan van verstuingen en zelfs doorbreken van de zeereep, zolang de veiligheid niet in het geding is).

Er wordt geconstateerd dat er verschillen bestaan in de relatie 'ligging van de Basiskustlijn' en 'veiligheid'. Bij een zeer smalle waterkering en bij bebouwing in de afslagzone³ zal snel sprake zijn van een knelpunt met veiligheid: de Basiskustlijn heeft hier een *interventiefunctie*. In andere situaties zijn fluctuaties juist nodig voor het behoud van waarden en functies en zijn ze ook toelaatbaar: de Basiskustlijn heeft hier een *signaleringsfunctie*.

Afweging Rijkswaterstaat

De adviezen van de POK's van de verschillende provincies leveren een divers beeld. Enerzijds door morfologische verschillen, anderzijds door verschillende visies op de functie van de Basiskustlijn (interventie versus signalering). Daarnaast speelt mee dat het advies het resultaat is van het samenspel van verschillende actoren met uiteenlopende belangen. De POK's hechten grote waarden aan het regionale maatwerk. Om de volgende redenen is er momenteel nog geen aanleiding om te streven naar een landelijke uniformiteit:

- Positief beeld uit de evaluatie van 10 jaar dynamisch handhaven,
- Eenduidigheid van de rekentechnische bepaling van de Basiskustlijn,
- Geen significante verandering van suppletiebehoefte bij doorvoering van alle voorgestelde aanpassingen van de Basiskustlijn.

Rijkswaterstaat stemt in met het voorstel van de POK's om niet te streven naar landelijke uniformiteit en weegt de voorstellen van de POK's af. In het licht van toekomstige ontwikkelingen (zwakke schakels, kustplaatsen) zal tevens worden bezien of ten behoeve van de transparantie van beleid en uitvoering moet worden gestreefd naar een harmonisatie

2. Inmiddels is het dan 1994, in de periode 1990-1994 wordt de initieel door Rijkswaterstaat voorgestelde Basiskustlijn gehanteerd.

³ Afslagzone is de zone van het duin die tijdens stormvloed kan afslaan.

van het kusthandhavingsbeleid of dat de huidige regionale verschillen het logisch gevolg zijn van de geografische en morfologische verschillen.

A.3.2 Landelijke herziening van 2012

In 2012 is de Basiskustlijn opnieuw herzien (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2012). Voor het ministerie van Infrastructuur en Milieu waren er in 2009 twee concrete aanleidingen voor het herzien van de Basiskustlijn:

1. Benodigde aanpassing vanwege het onderhoud van de zandige zeewaartse versterkingen: Op een aantal plaatsen is de kust zeewaarts versterkt. Zonder aanpassing van de Basiskustlijn zouden deze versterkingen niet worden onderhouden en eroderen.
2. Benodigde aanpassing vanwege een te ver zeewaarts vastgestelde Basiskustlijn: Op een aantal plaatsen is de Basiskustlijn vastgelegd op een zeewaartse positie die moeilijk is te handhaven. Het ministerie van Infrastructuur en Milieu hanteert voor deze locaties de volgende beschrijving: *“Op een aantal locaties langs de kust sluit de ligging van de Basiskustlijn niet aan bij de natuurlijke, reële ligging van de kust”*.

B Begrippenlijsten morfologie en dynamiek zeereep

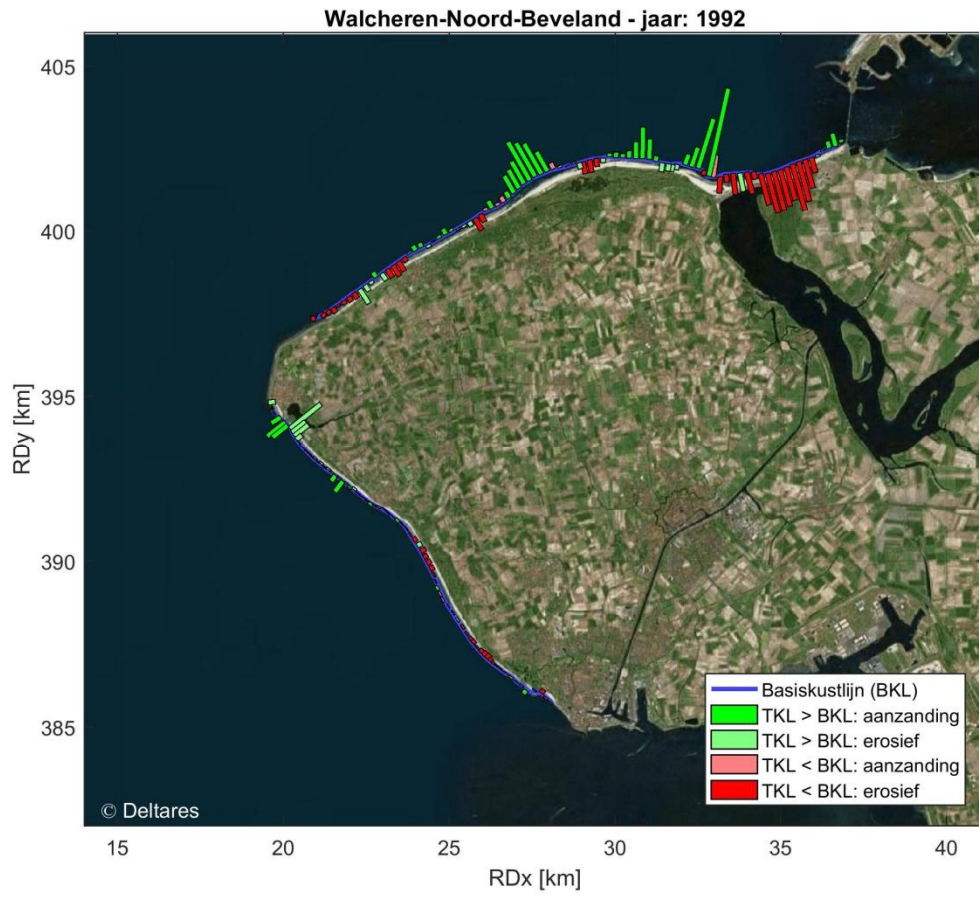
Begrippenlijst morfologie	
Brekerbanken	Zandruggen (of –banken), dichtbij en parallel aan de kust, waarop breking van golven plaatsvindt. Deze banken vertonen een cyclisch gedrag, waarbij ze ontstaan aan landzijde en gedurende enkele jaren zeewaarts migreren, waar ze uiteindelijk uitdempen. Op de meeste plaatsen langs de kust zijn 2 tot 4 rijen van zulke banken waar te nemen: de binnenbank aan de landzijde, de middenbank(en) en tenslotte de buitenbank.
Vooroever	Deel van een dwarsprofiel van een onderwateroever, gelegen beneden de laagwaterlijn en doorlopend tot voorbij de actieve bankenzone.
Kombergingsgebied	Compartiment (getijbekken of kom) aan landzijde van een zeegat, waarin het getijdenwater dat via het zeegat naar binnenstroomt geborgen wordt. Deze gebieden worden veelal gekenmerkt door platen en (vertakkende) getijgeulen, die in het zeegat samenkomen.
Buitendelta / ebdelta	Een systeem van geulen en zandplaten aan de zeezijde van een zeegat. Het zijn zeer complexe en dynamische gebieden, waar veel interactie is tussen de werking van golven en getij. De buitendelta's worden vooral gevormd door het bezinken van zand op de ebstream komende uit het zeegat. De zandplaten die hierdoor ontstaan, worden door de golven vanuit zee vervormd en weer richting kust geduwd. Hierdoor ontstaat het kenmerkende waaierpatroon (delta-patroon).
Zandgolf	De term zandgolven wordt meestal op twee manieren gebruikt: met horizontale zandgolven wordt het cyclische verschijnsel bedoeld van toe- en afname van de sedimentvoorraad langs de kust. Dit verschijnsel is te zien langs de eilanden in de Zuidwestelijke Delta en langs de Waddeneilanden. De migratieperiode hiervan kan variëren van 50 tot 135 jaar, met een migratiesnelheid van 30 tot 300 meter per jaar (Hoozemans, 1991). Naast de horizontale zandgolven wordt de term zandgolf ook gebruikt voor harmonische bedvormen die in ondiepe zandige kusten voorkomen en in de hele Noordzee aanwezig zijn (Van Dijk en Kleinhans, 2005). Ze vormen kammen en troggen loodrecht op de getijdestroming en hebben migratiesnelheden in de ordegrootte van meters tot tientallen meters per jaar.

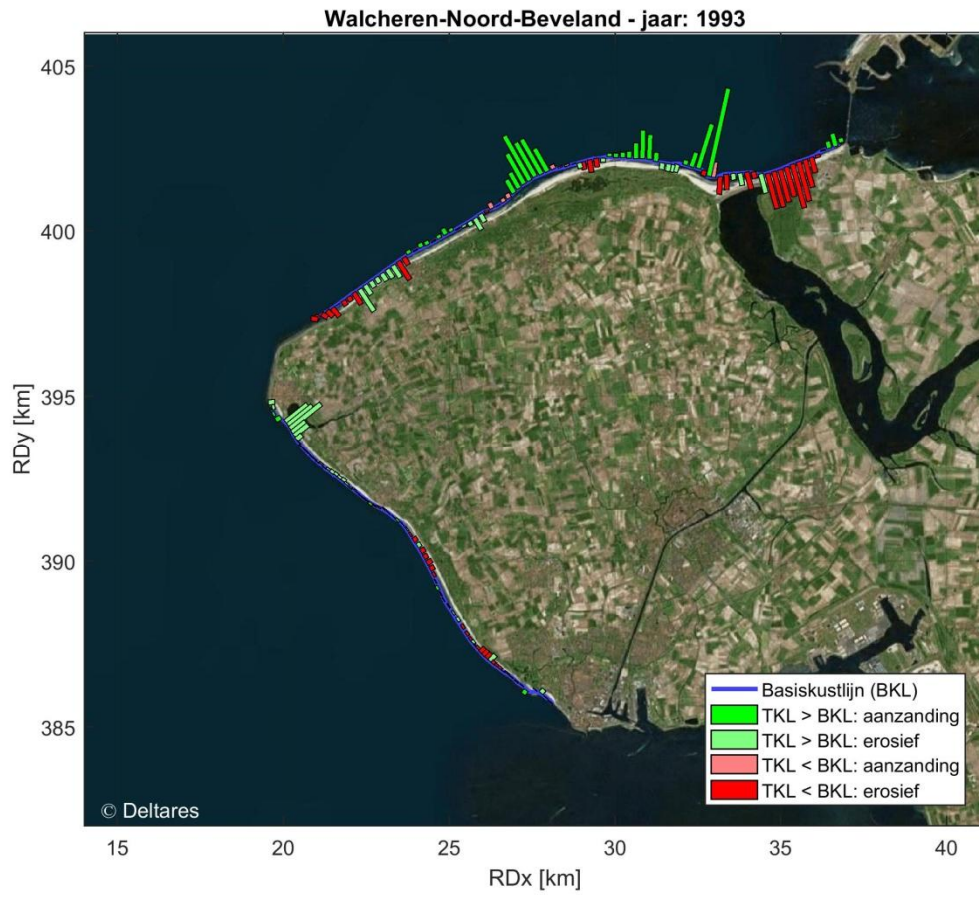
Spit en Strandhaak	<p>Uitstulping van de kust, die aan één zijde vastzit aan het land, en aan de andere zijde uitbouwt, in de richting van het netto sedimenttransport.</p> <p>Een spit ontstaat vaak op plaatsen waar de kustlijn abrupt wordt onderbroken, zoals bijvoorbeeld aan de bovenstroomse zijde van een zeegat. Als een spit te ver is uitgebouwd, kan deze losbreken van de kust en als een zandplaat verder migreren om uiteindelijk aan te landen aan benedenstroomse zijde van het zeegat.</p> <p>Een strandhaak ontstaat vaak aan de benedenstroomse zijde van een zeegat, waar bijvoorbeeld aanlanding van een zandplaat heeft plaatsgevonden. Hierdoor ontstaat een uitstulping die door het kustlangse sedimenttransport 'omkrult' richting de benedenstroomse kustlijn, waardoor een haakvorm ontstaat. Hierbij wordt vaak een klein stuk van het intergetijdegebied ingesloten binnen de haak. Na verloop van tijd (jaren tot decennia) is de zanduitstulping gelijkmatig over de kust verspreid.</p>
Slufter	<p>Een slufter is een getijdengebied waarbij zout water vanuit zee onder invloed van het getij door een geul in de duinen het land binnen kan dringen. Kreken met zout water stromen dwars door het gebied en bij storm kan het gebied geheel onder water lopen.</p>

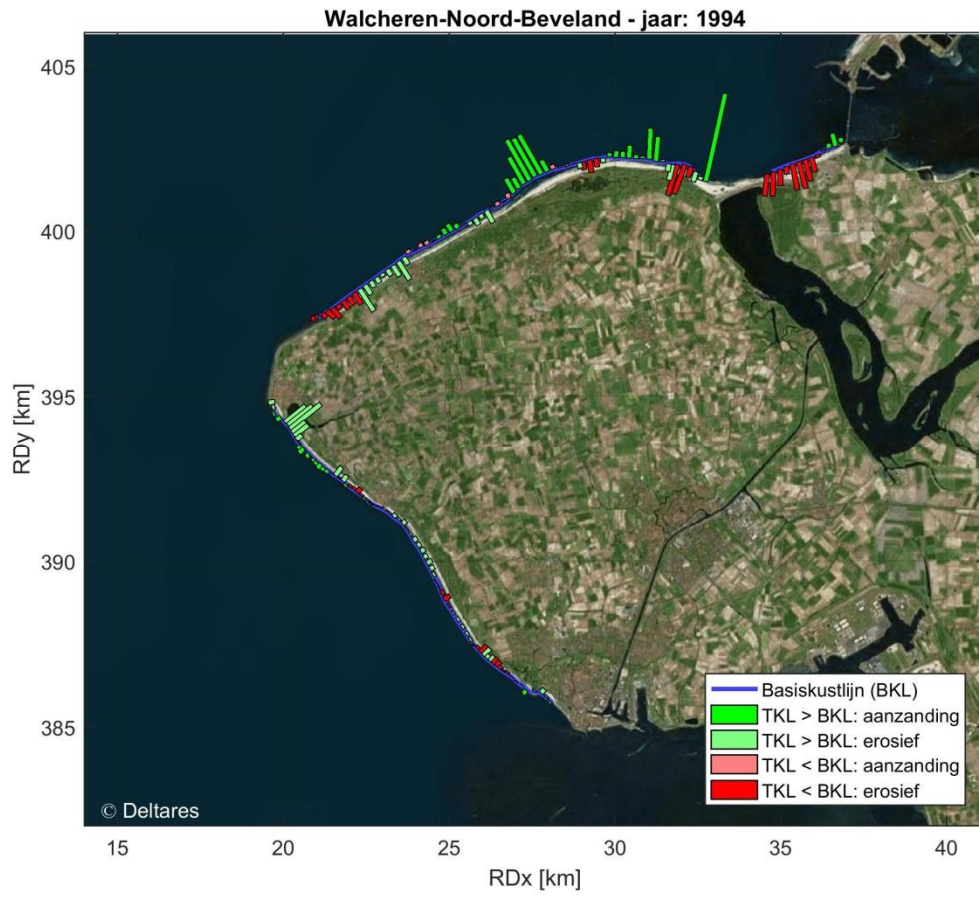
Begrippenlijst Dynamiek van de Zeereep	
Dynamiek	Dynamiek van stuivend zand, overstuiving (depositie) al dan niet gecombineerd met winderosie.
Aanstuiving	Overstuiving nabij de duinvoet, dus aan de voorzijde van de zeereep, waardoor de zeereep zich zeewaarts uitbreidt. In het verleden vaak gestuurd door stuifschermen.
Opstuiving	Overstuiving van de zeereeptop, waardoor deze in hoogte toeneemt.
Doorstuiving	Overstuiving tot achter de zeereep, waarbij hetzij strandzand over de zeereep wordt geblazen, hetzij door winderosie aan de voorzijde zeereepzand naar achteren wordt geblazen.
Gekerfde zeereep	Een grillig gevormde (vaak grotendeels natuurlijke) zeereep waar het reliëf zowel door overstuiving als door winderosie wordt gevormd.
Stuifkuil	Duidelijk geïsoleerde, schotelvormige winderosievorm.
Kerf	Winderosievorm in de zeereep die een opening heeft

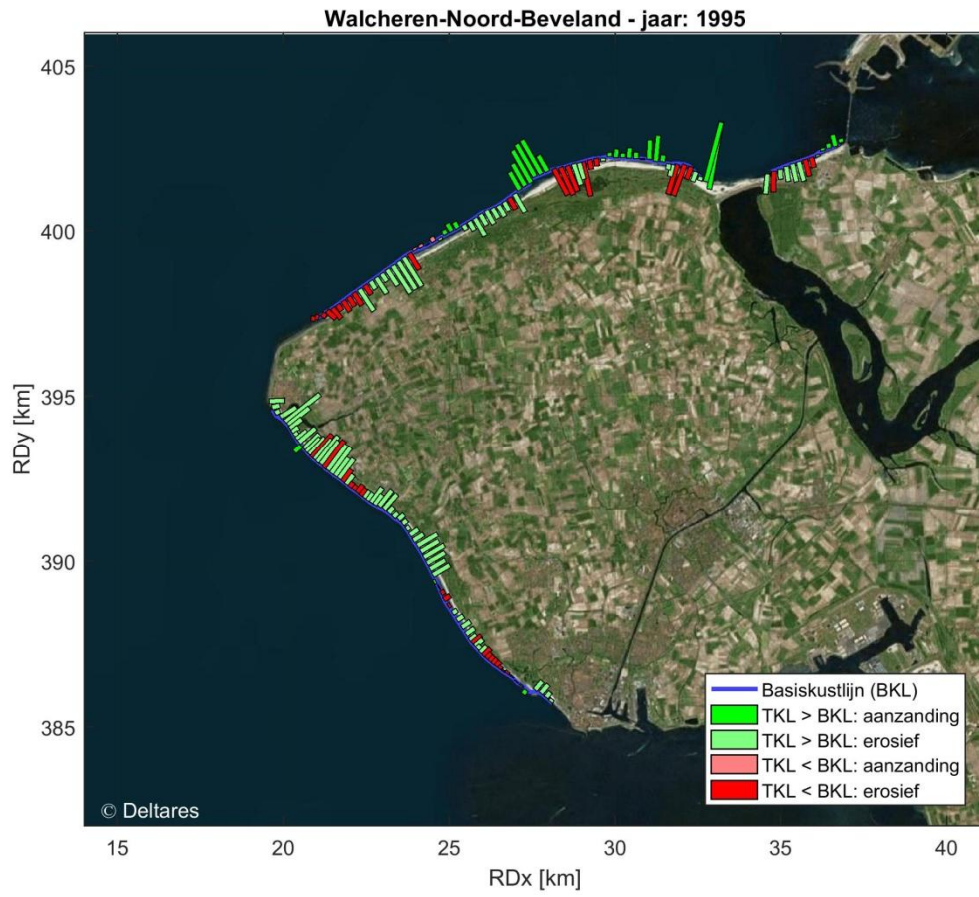
C Ontwikkeling kustlijnindicatoren TKL-BKL

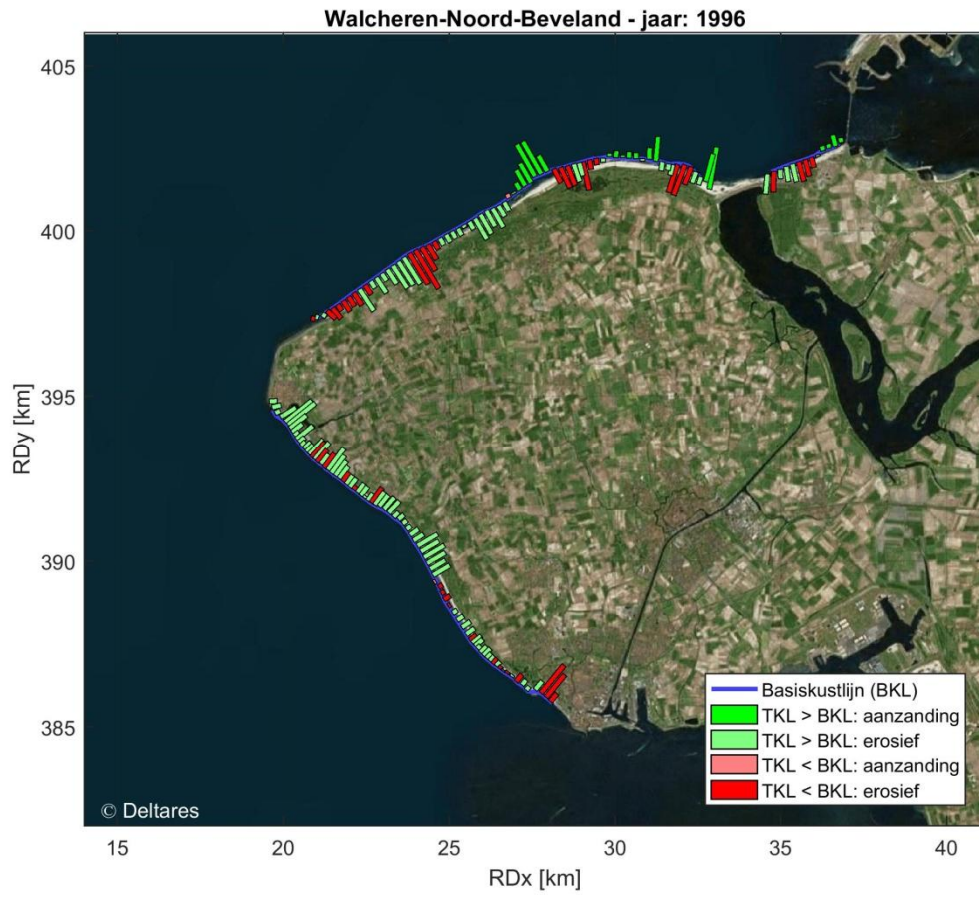
1992-2017

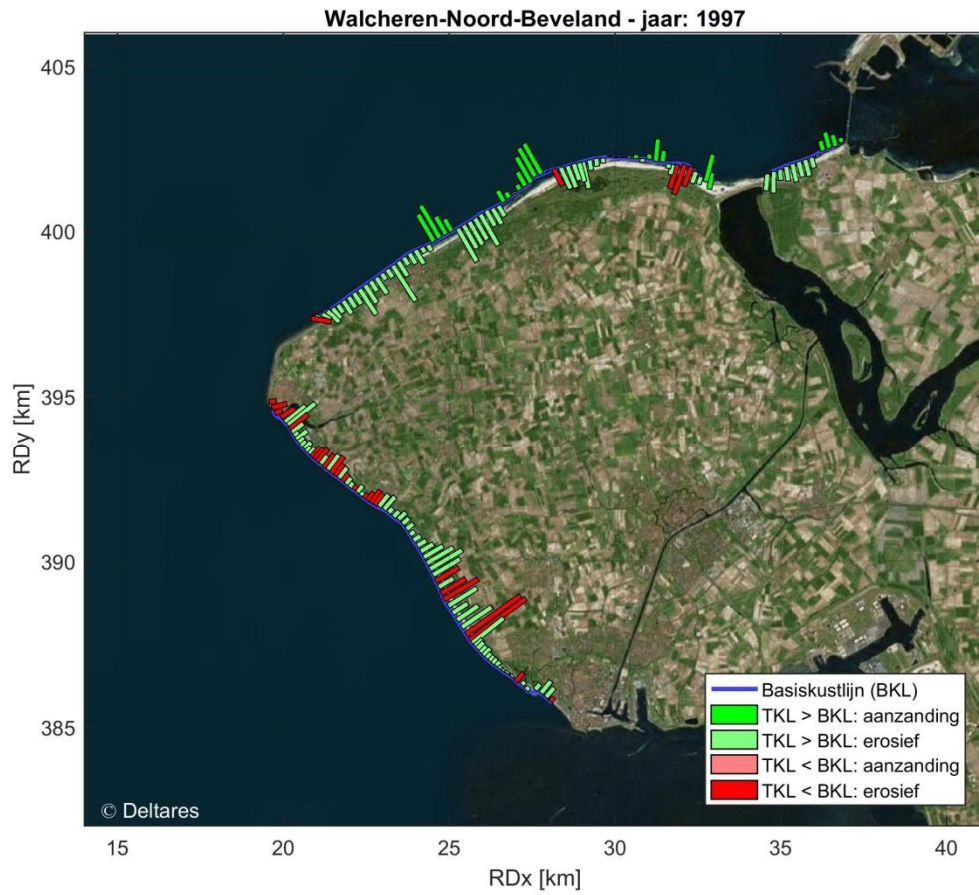


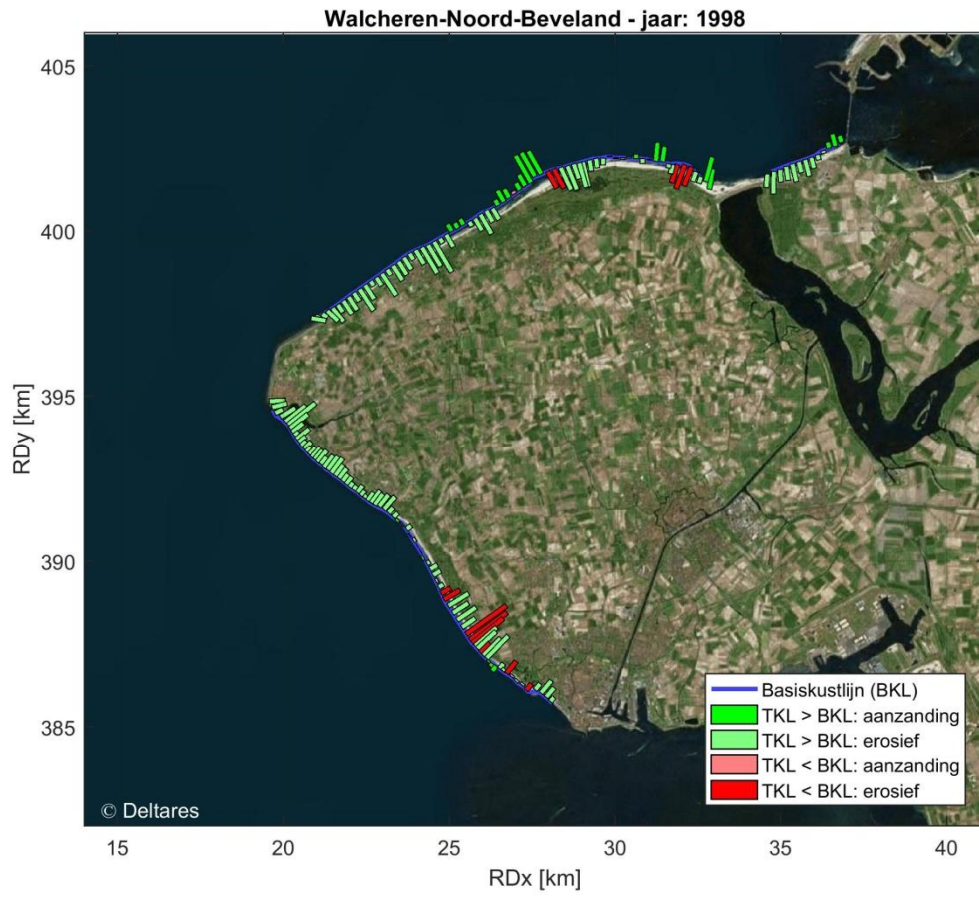


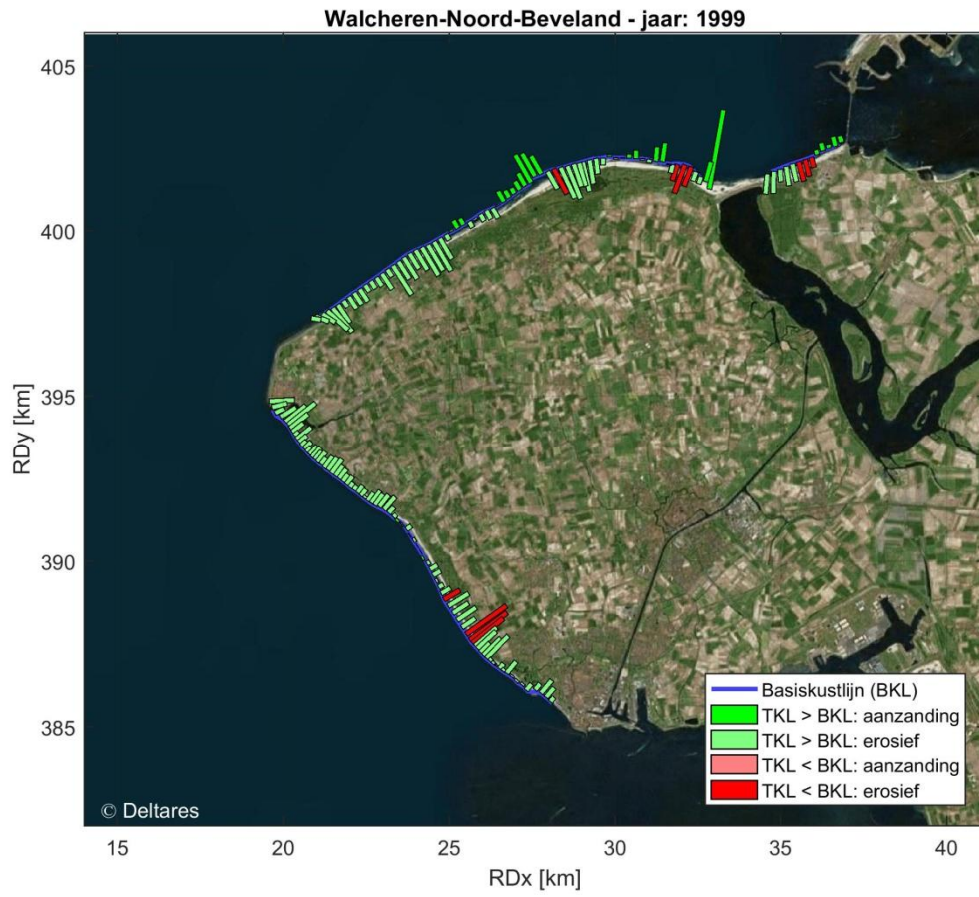


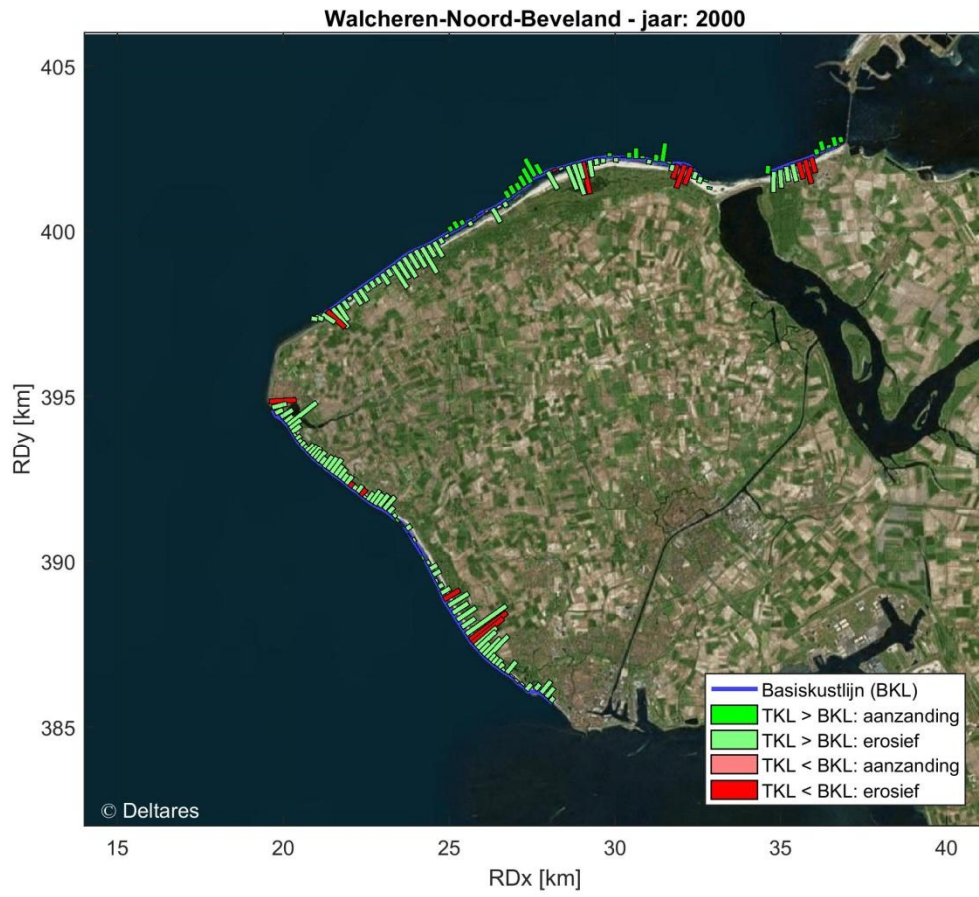


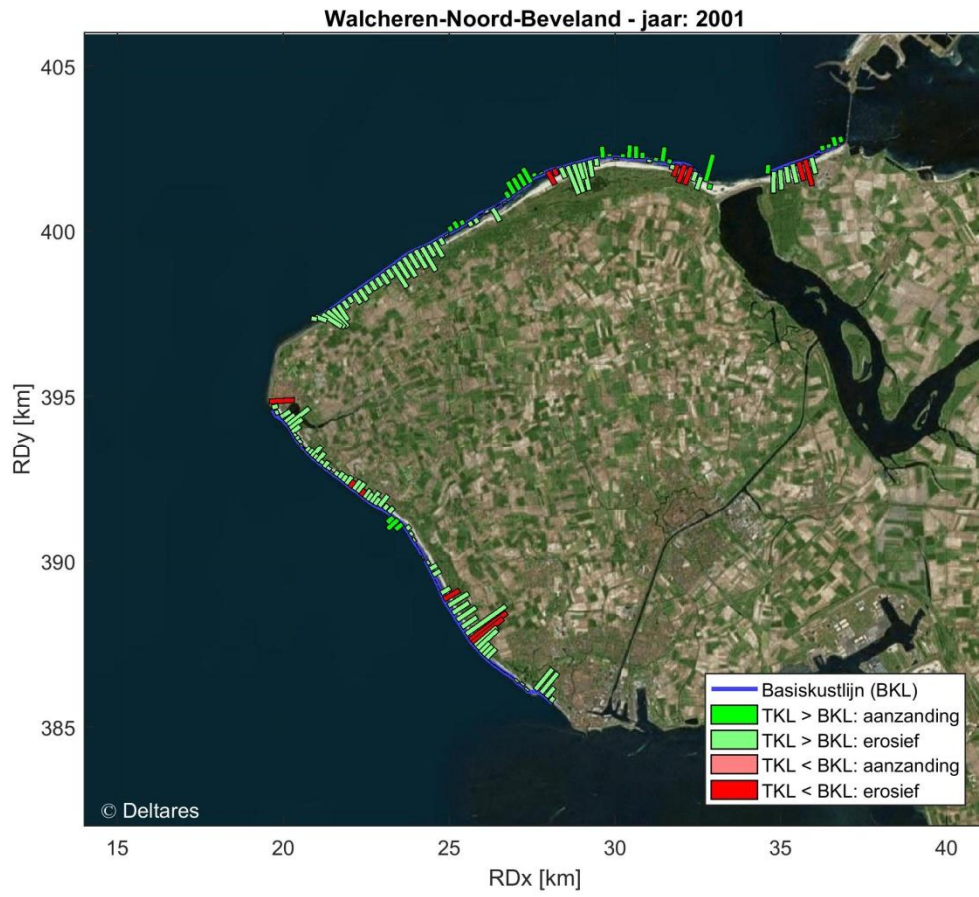


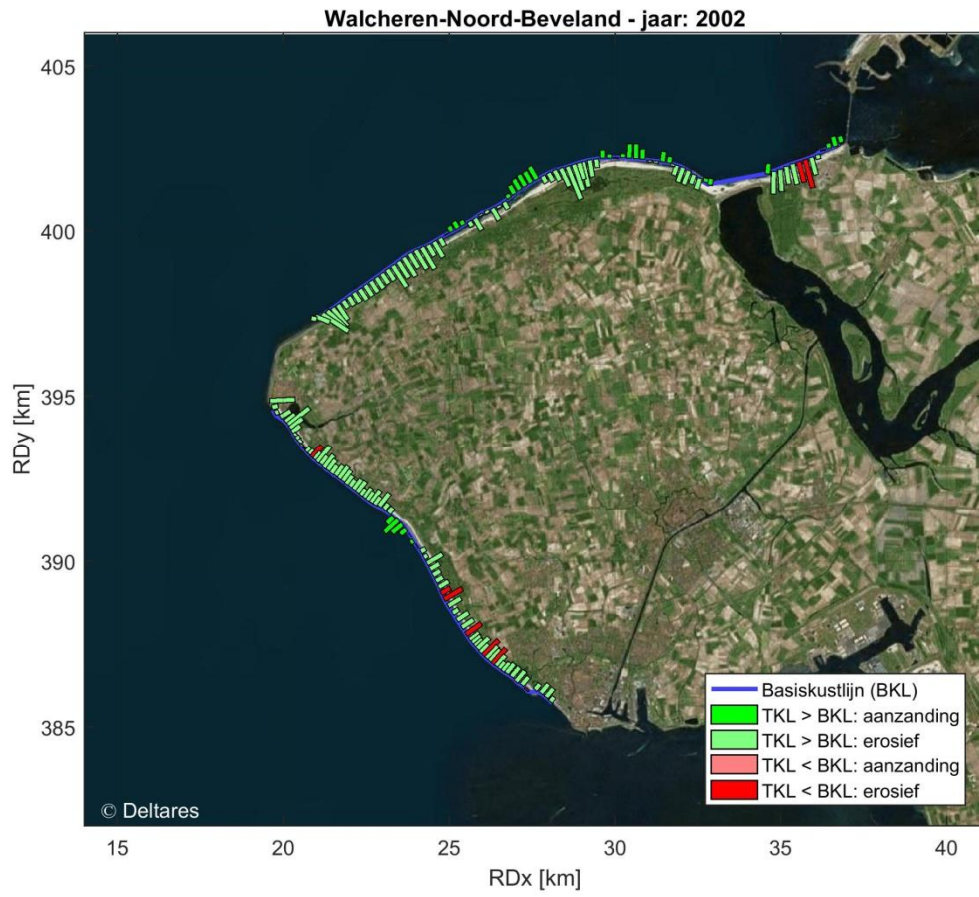


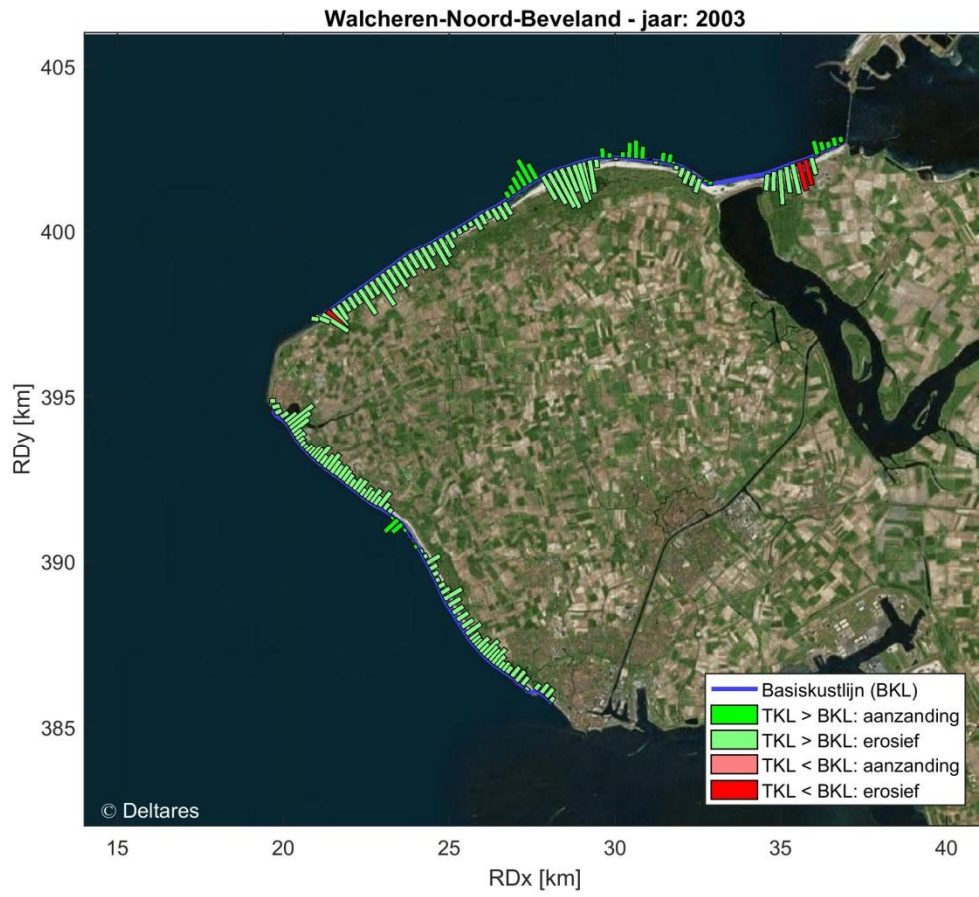


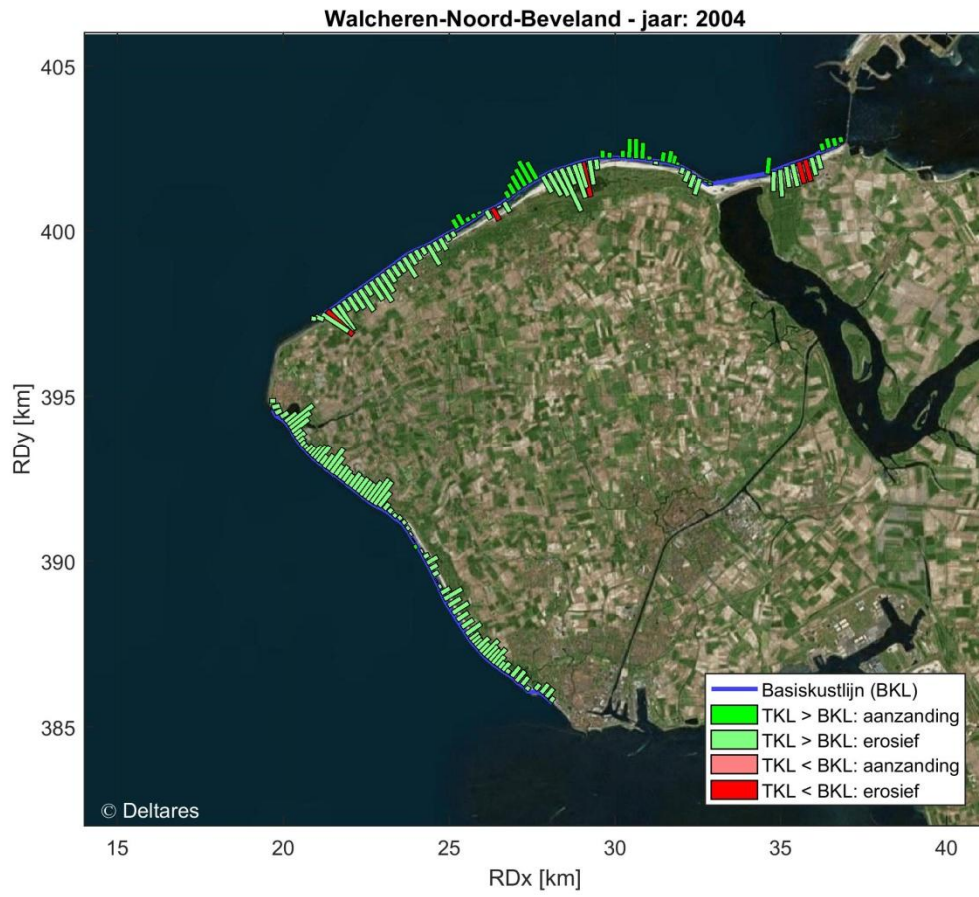


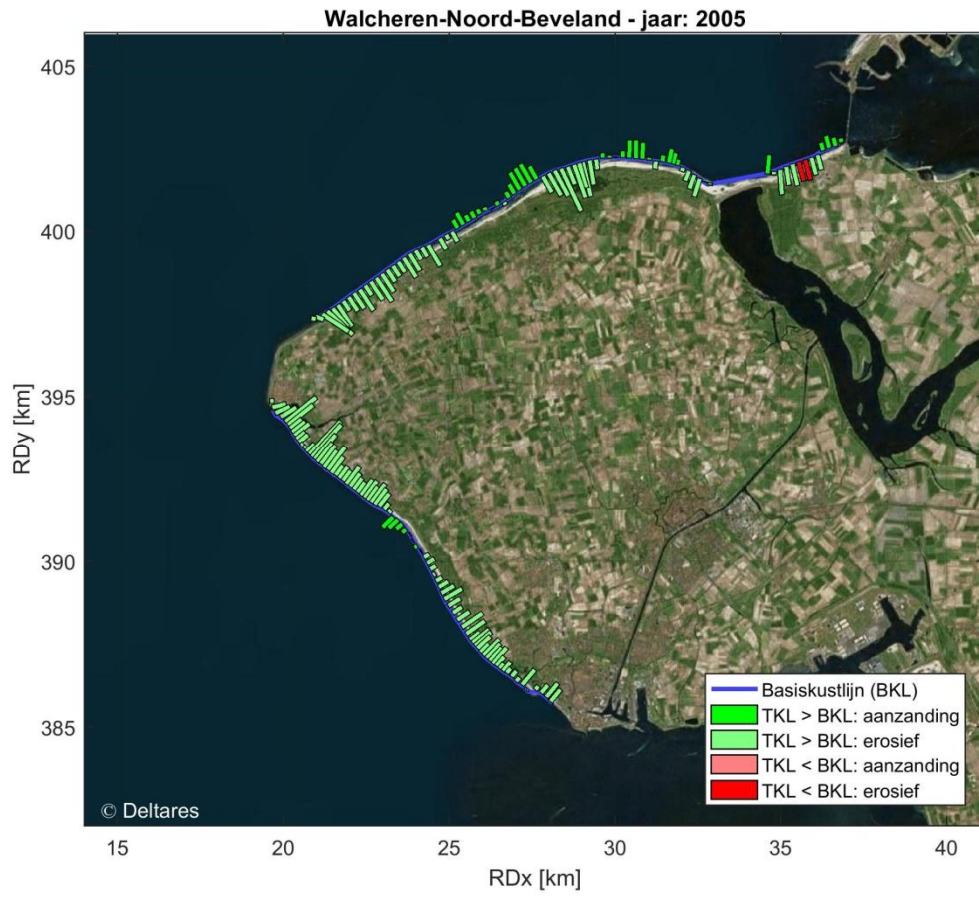


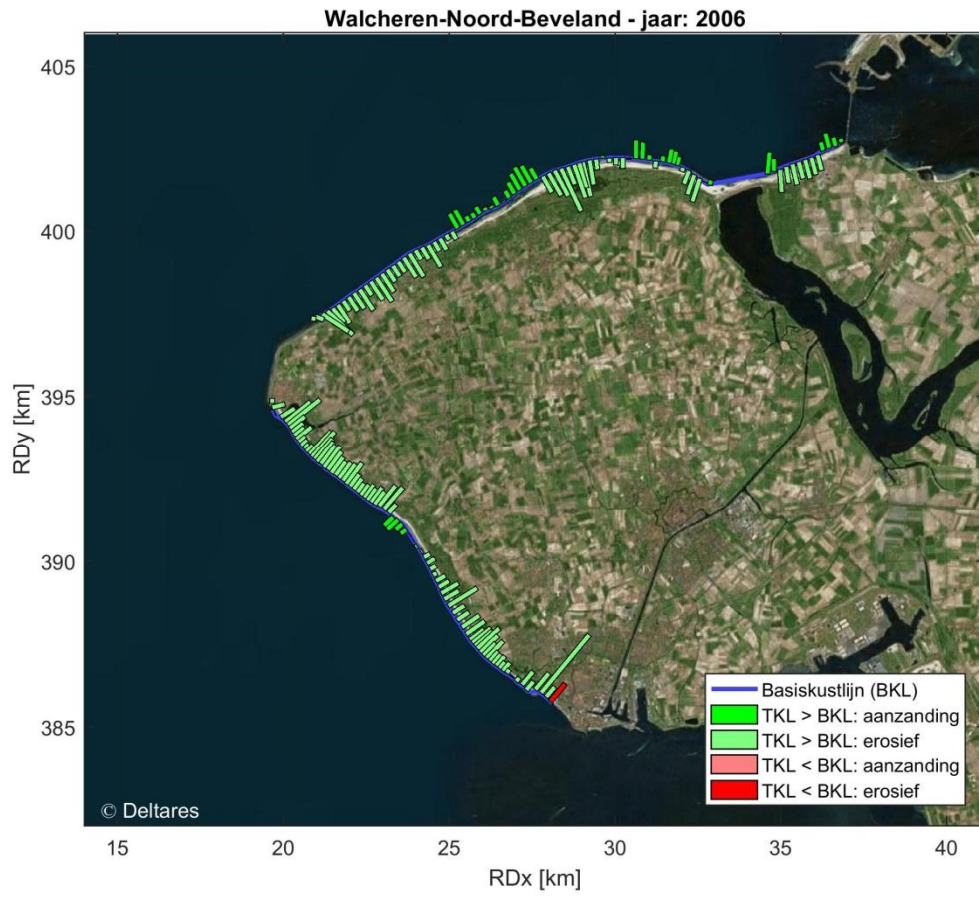


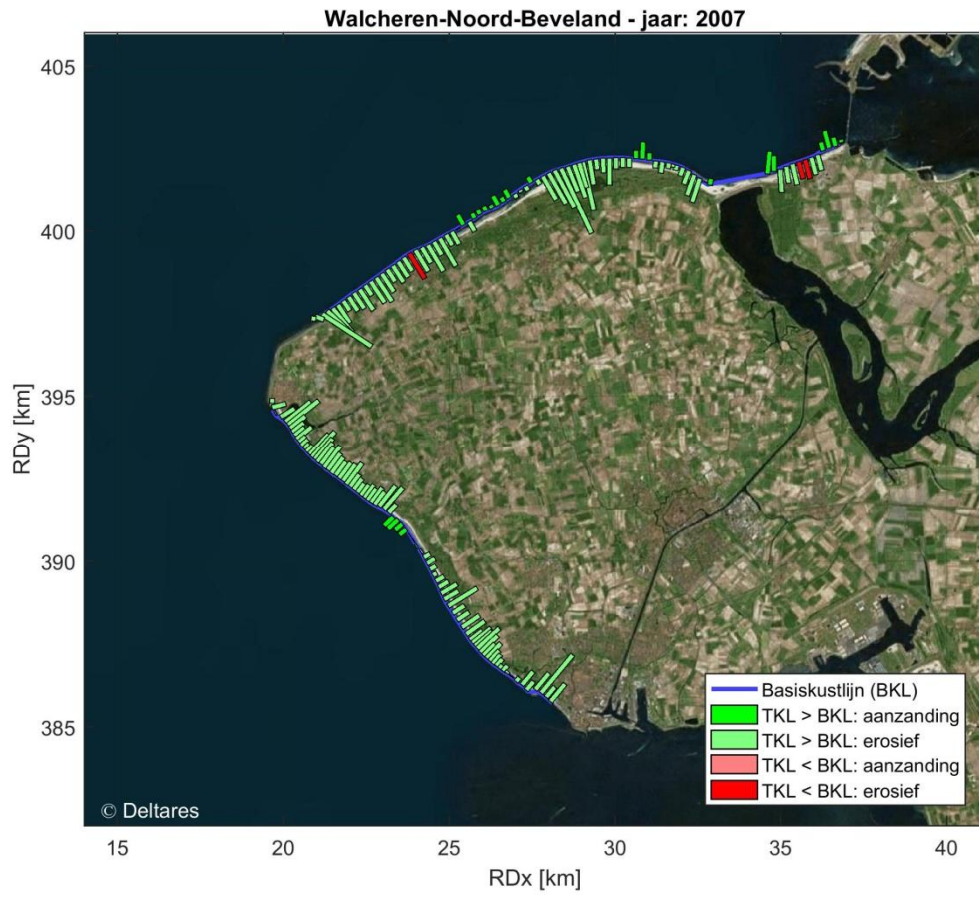


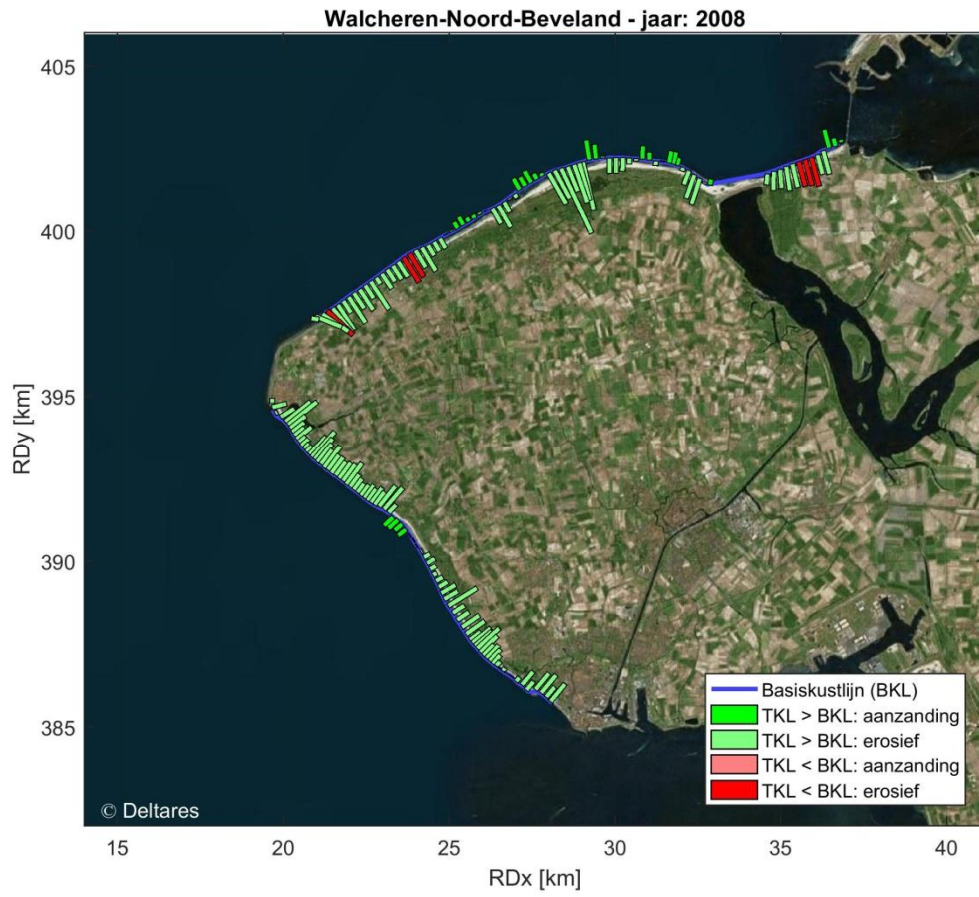


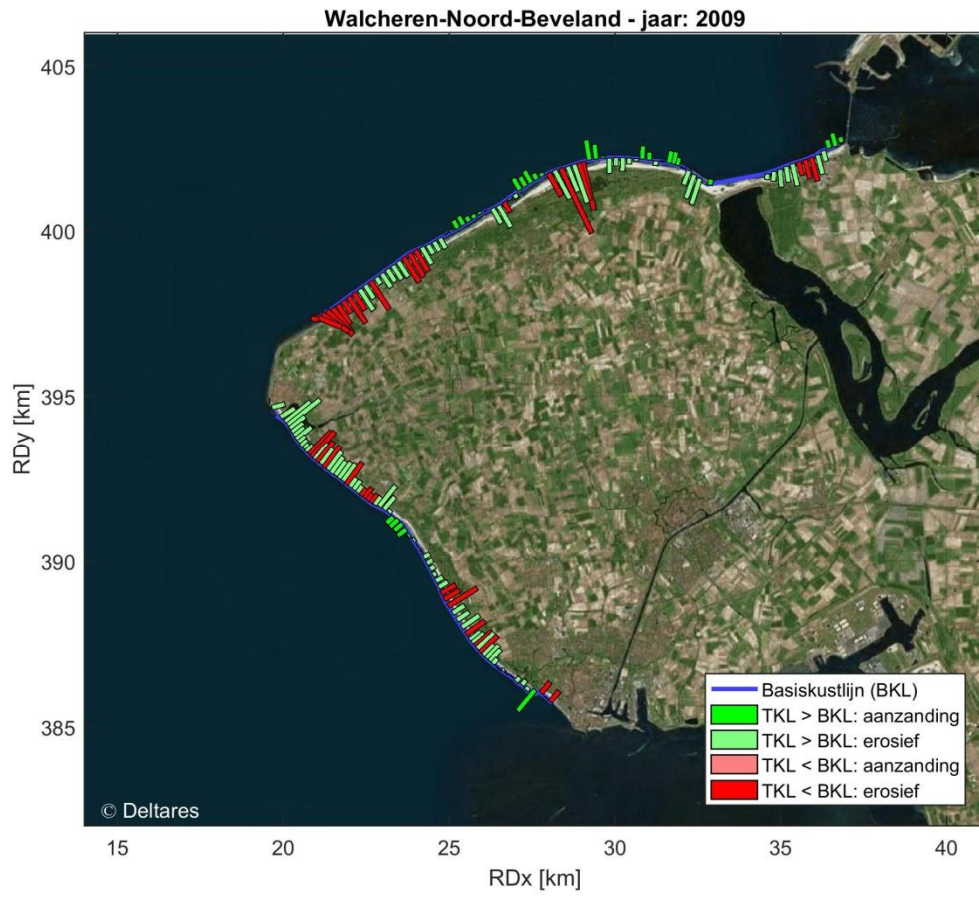


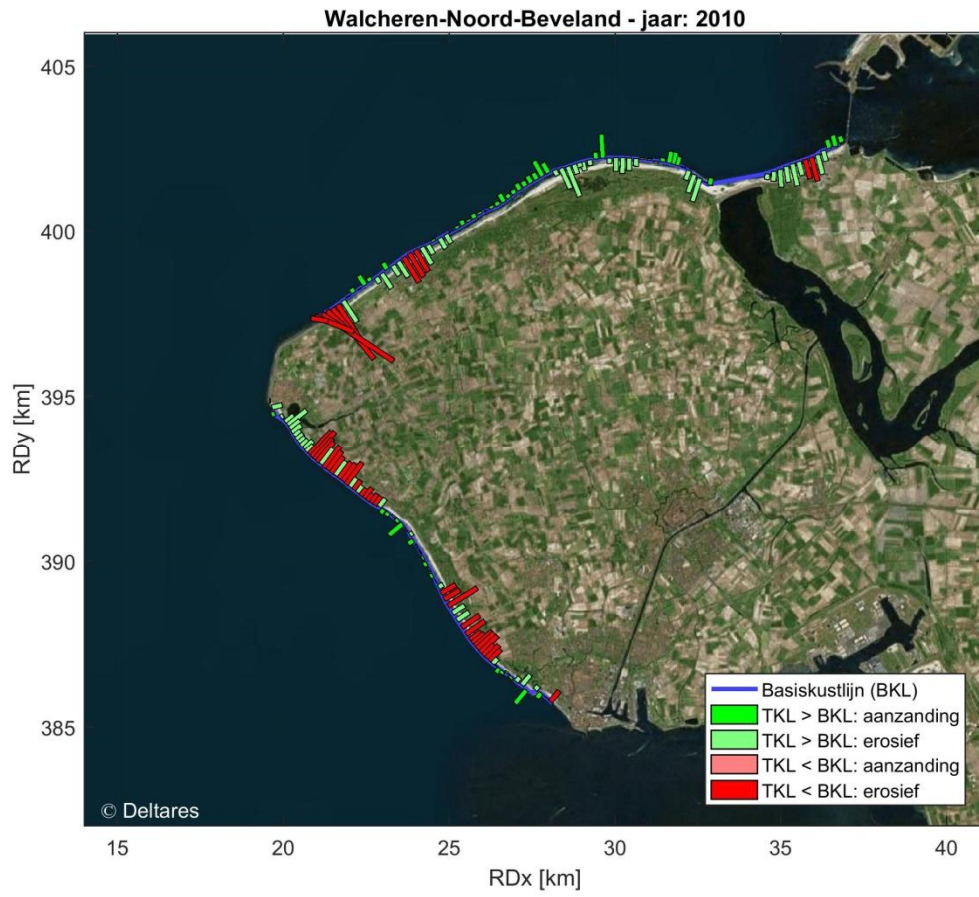


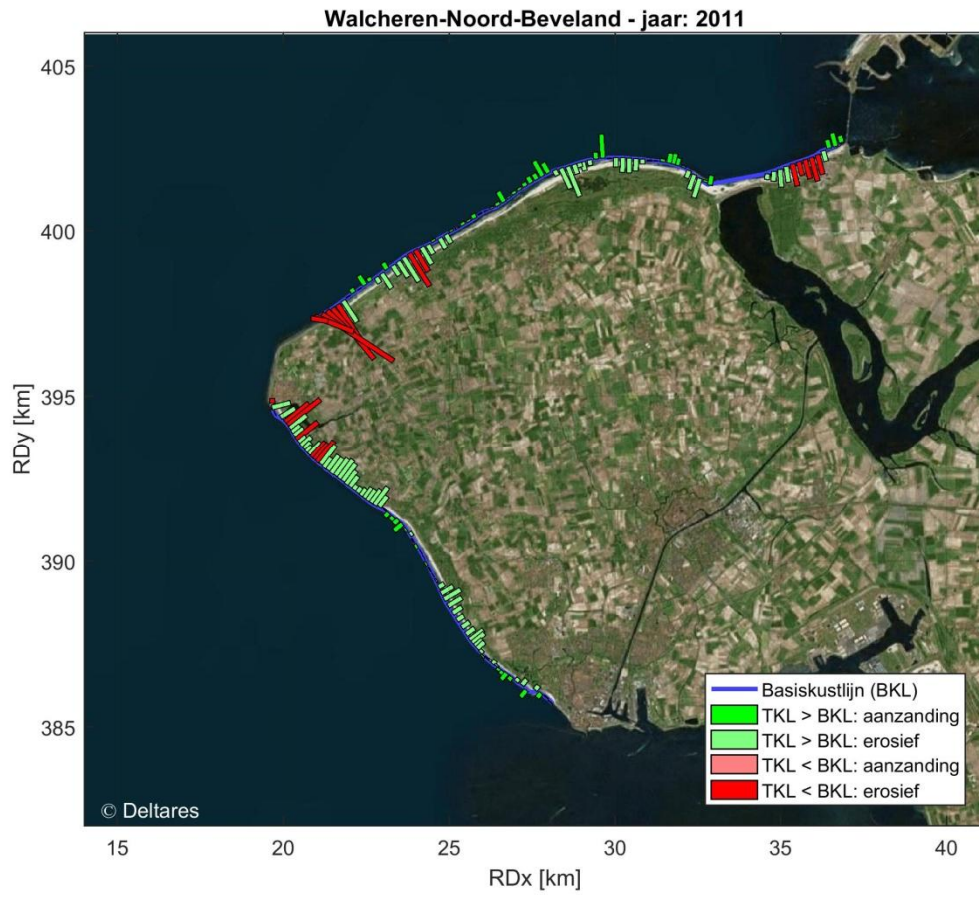


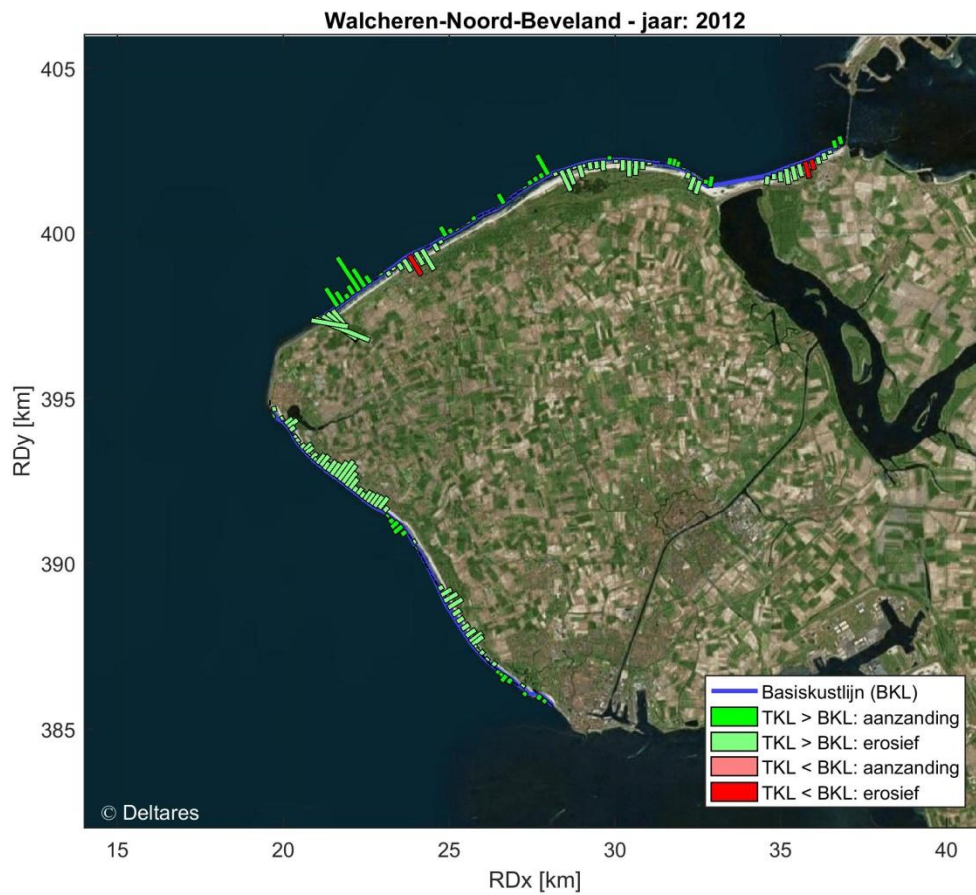


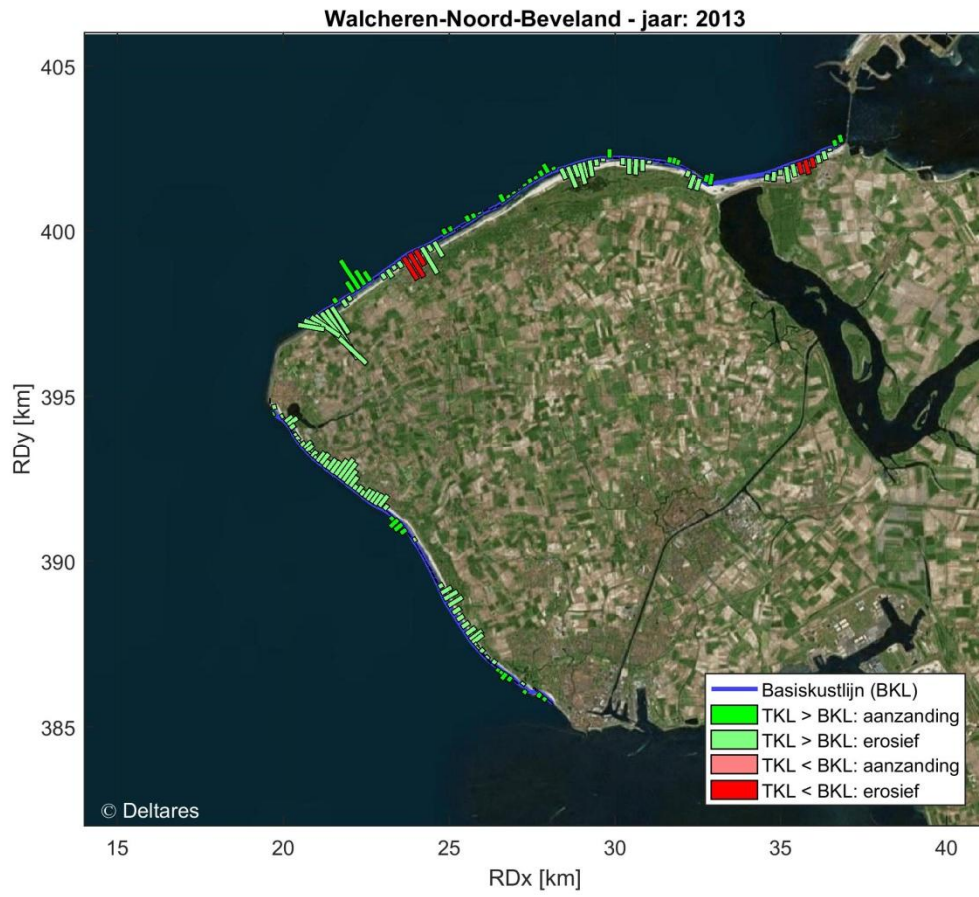


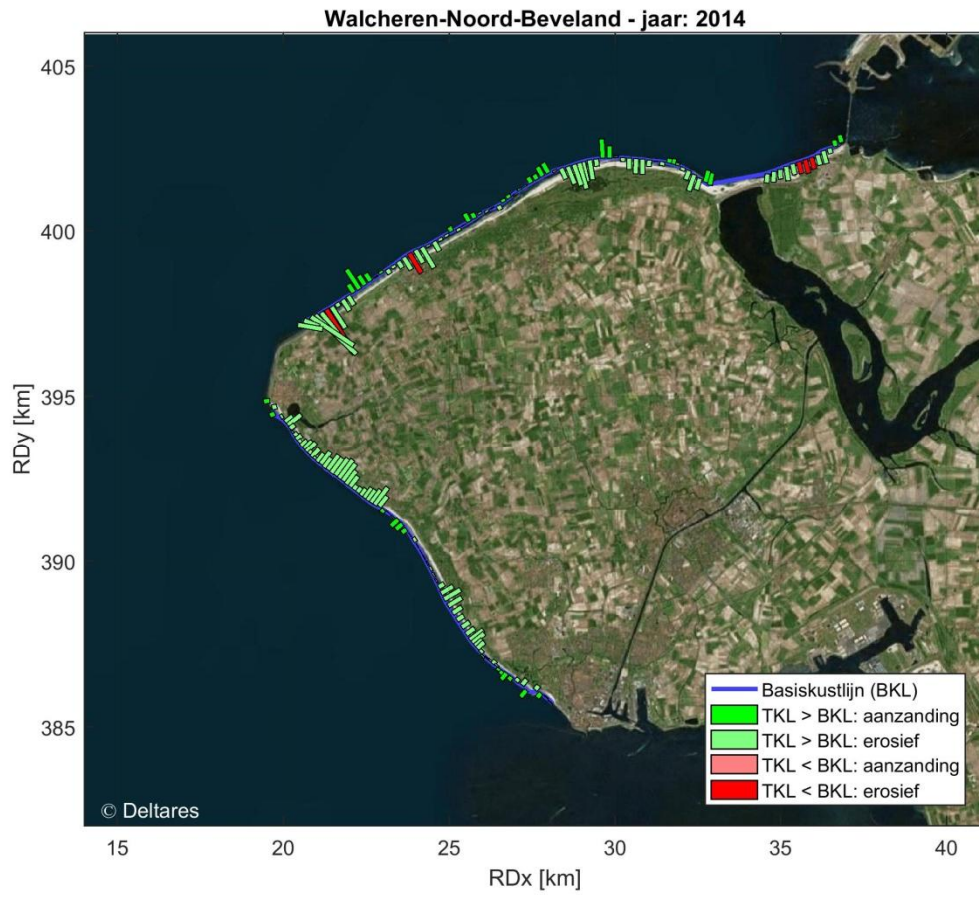


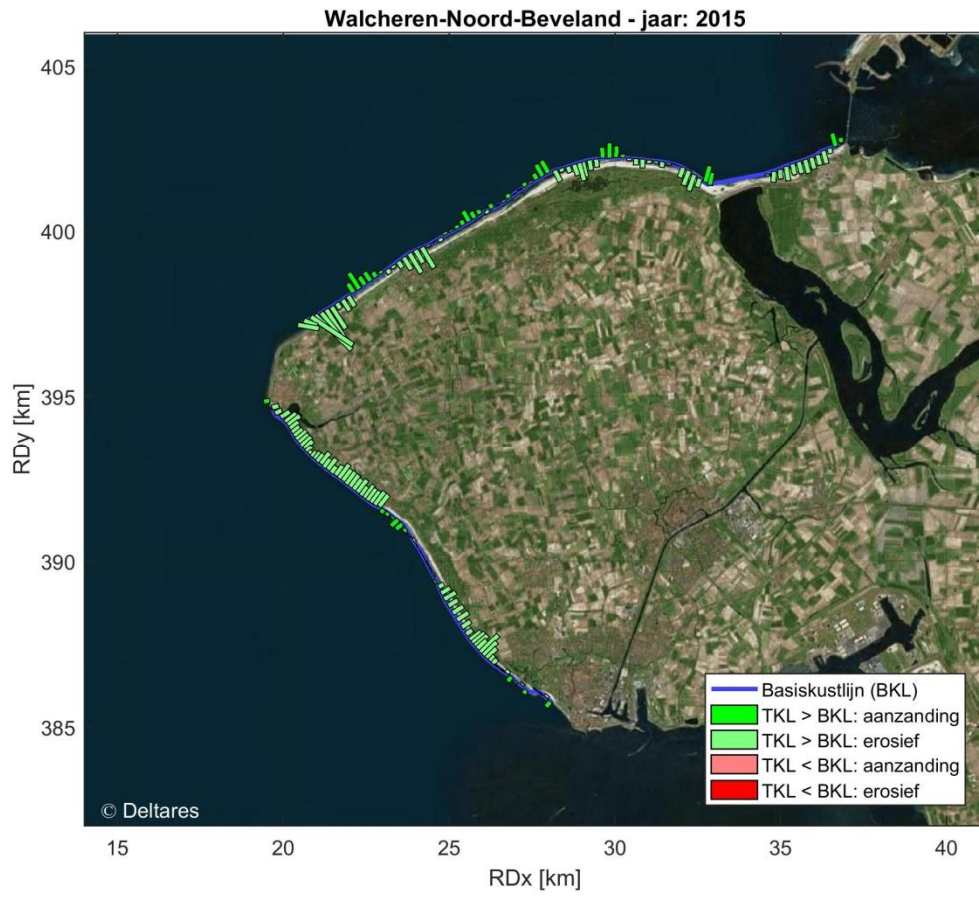


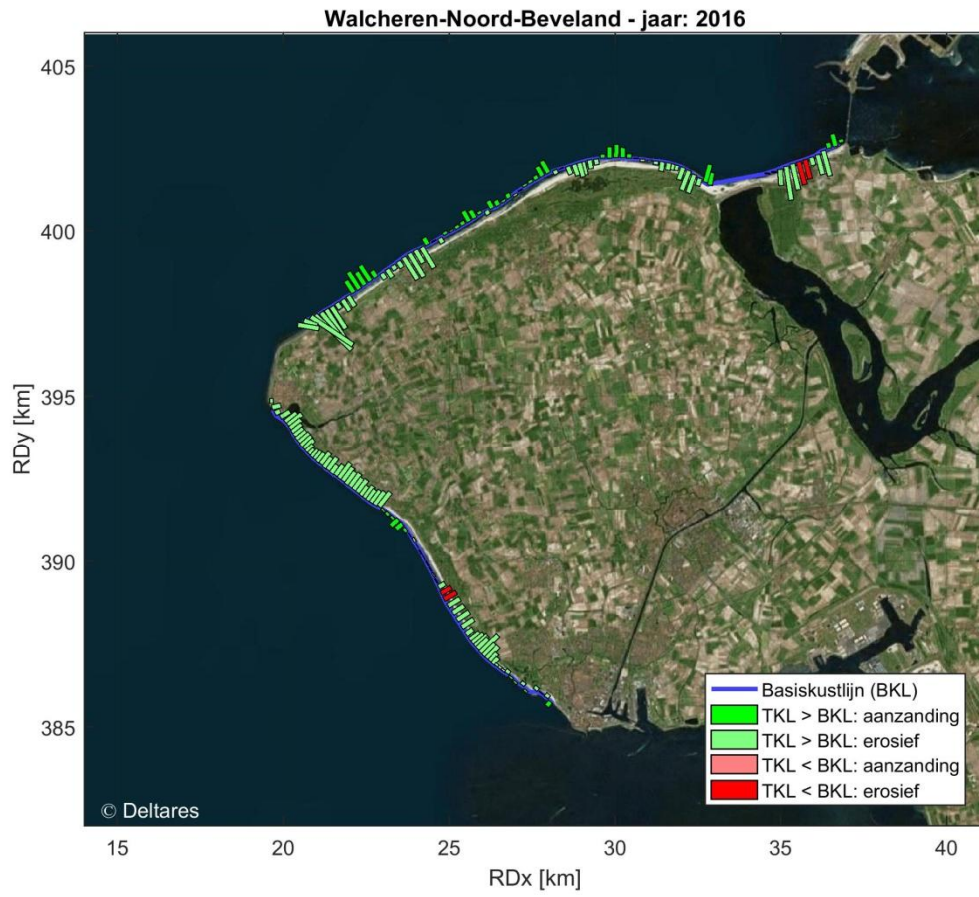


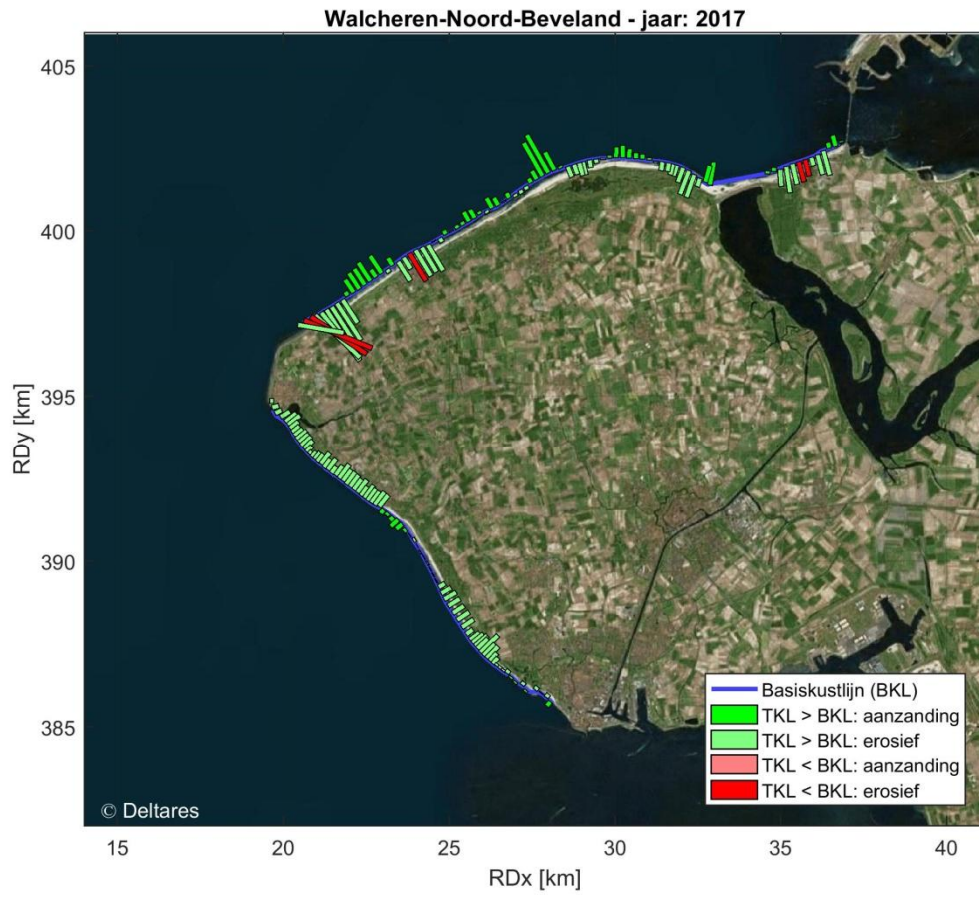








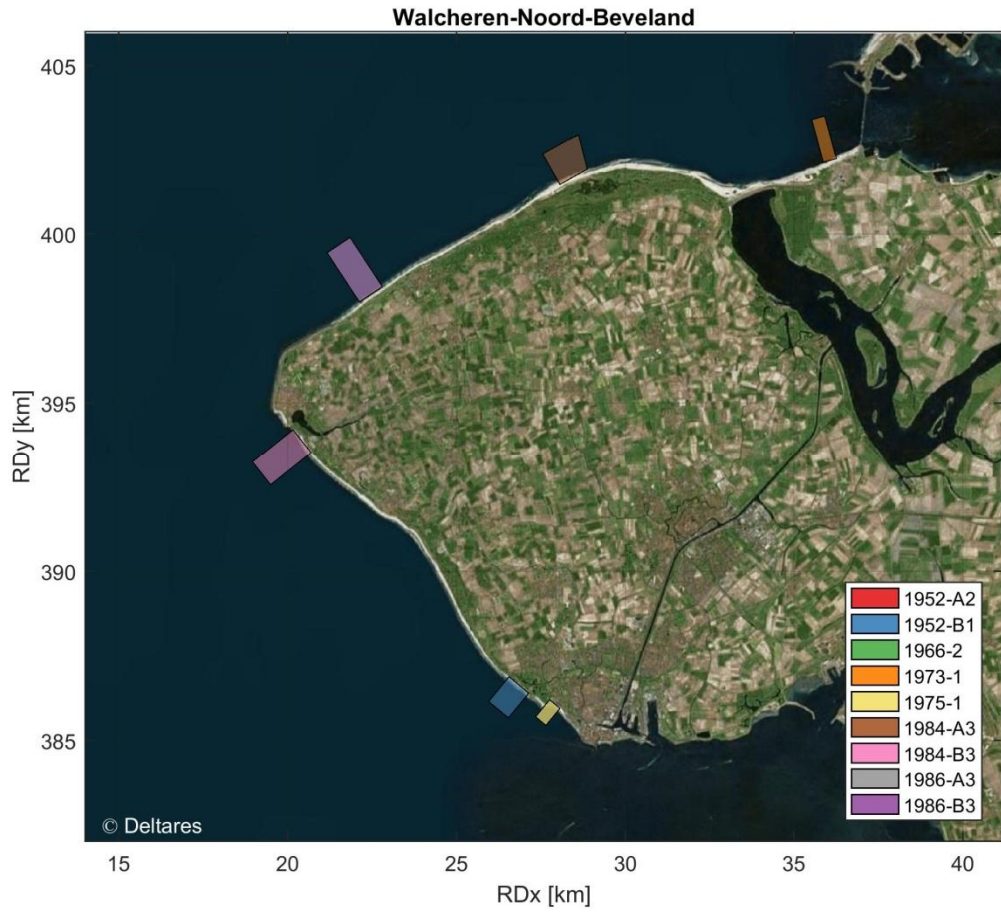


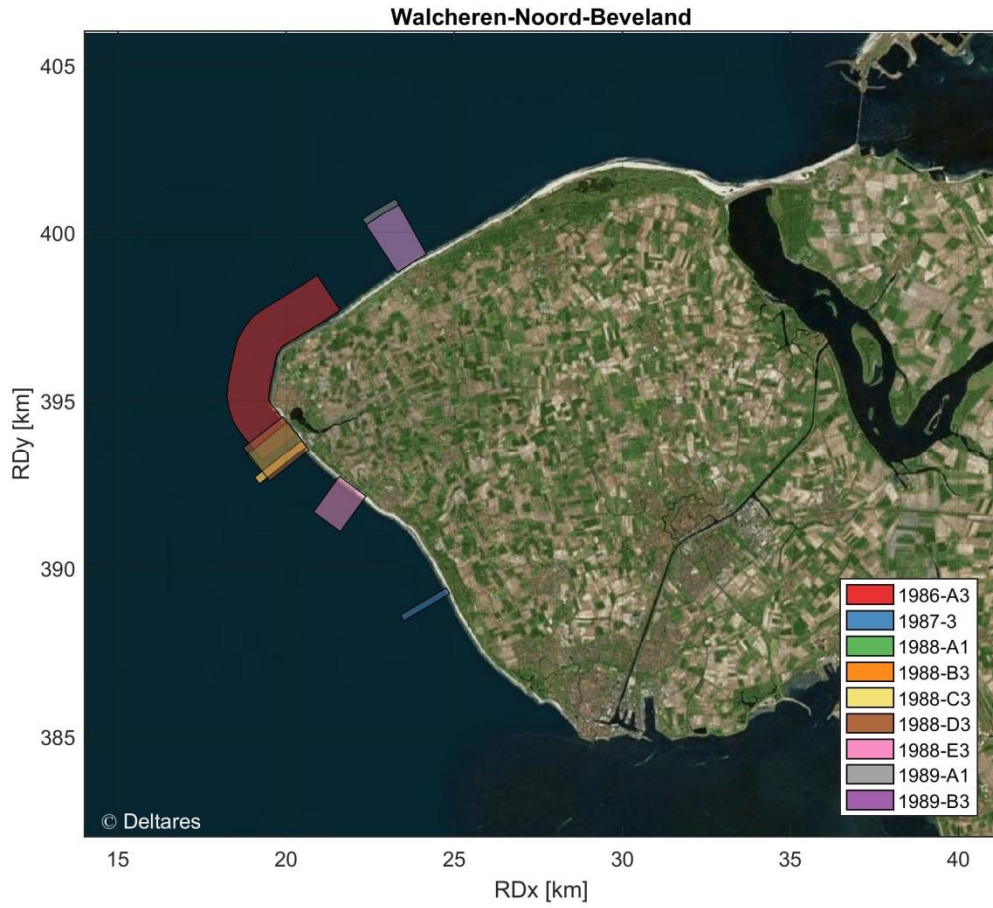


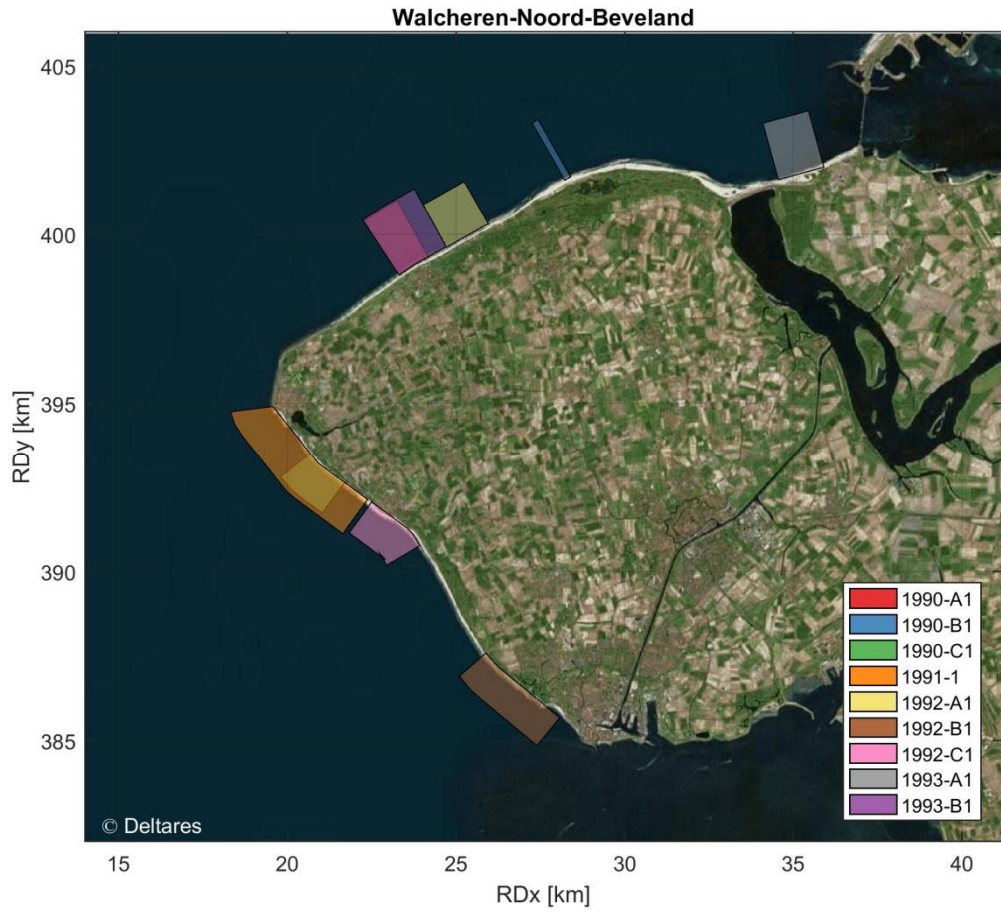
D Suppletieoverzicht Walcheren en Noord-Beveland

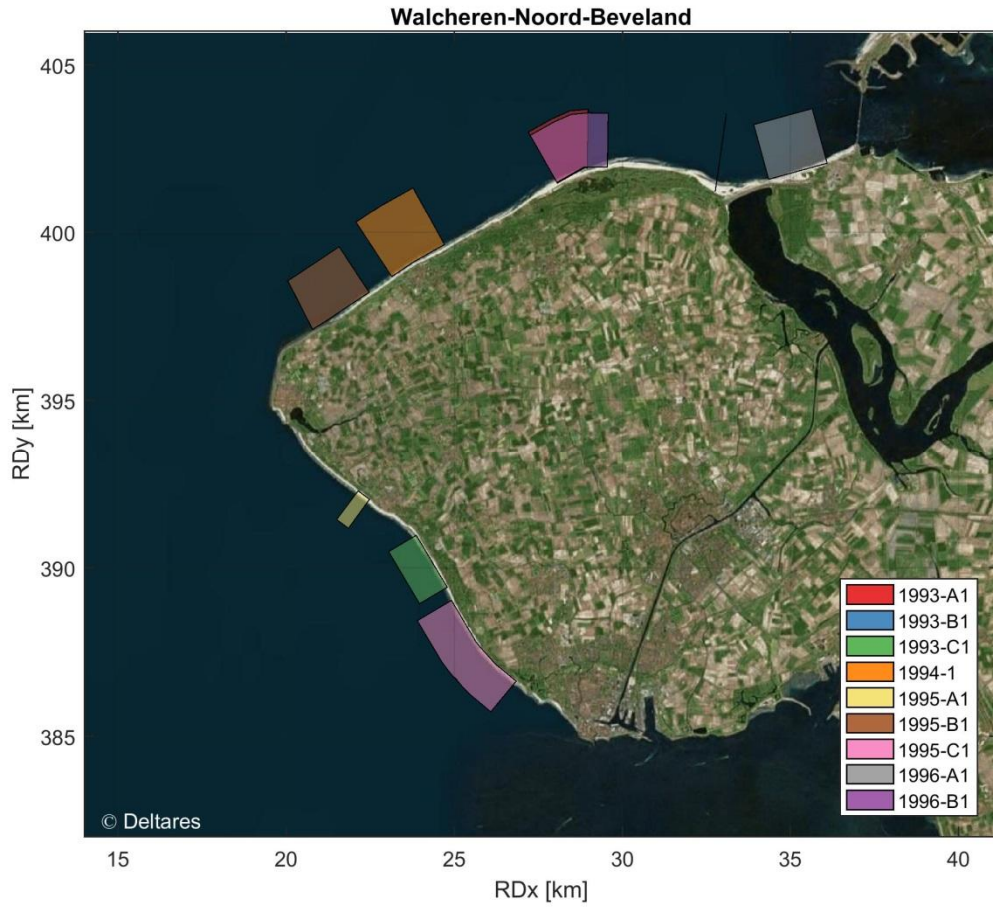
1952-2017

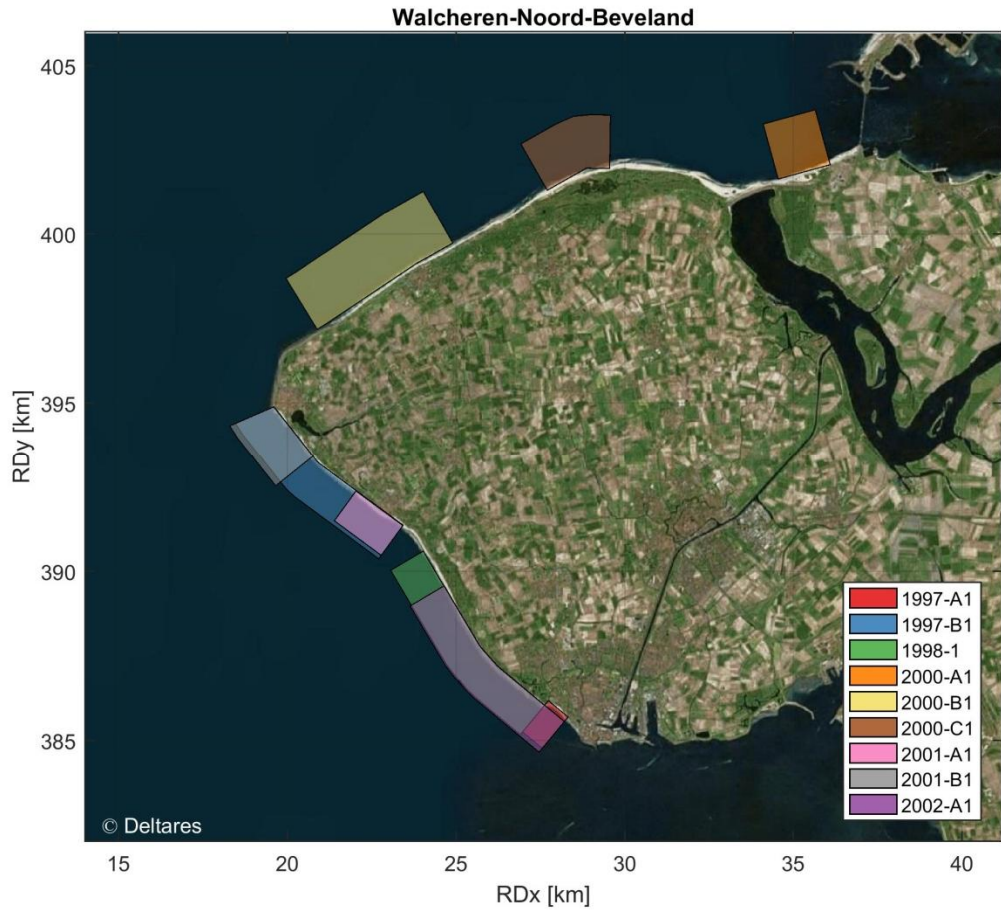
- 1 = strandsuppletie
- 2 = vooroever of geulwandsuppletie
- 3 = duinsuppletie

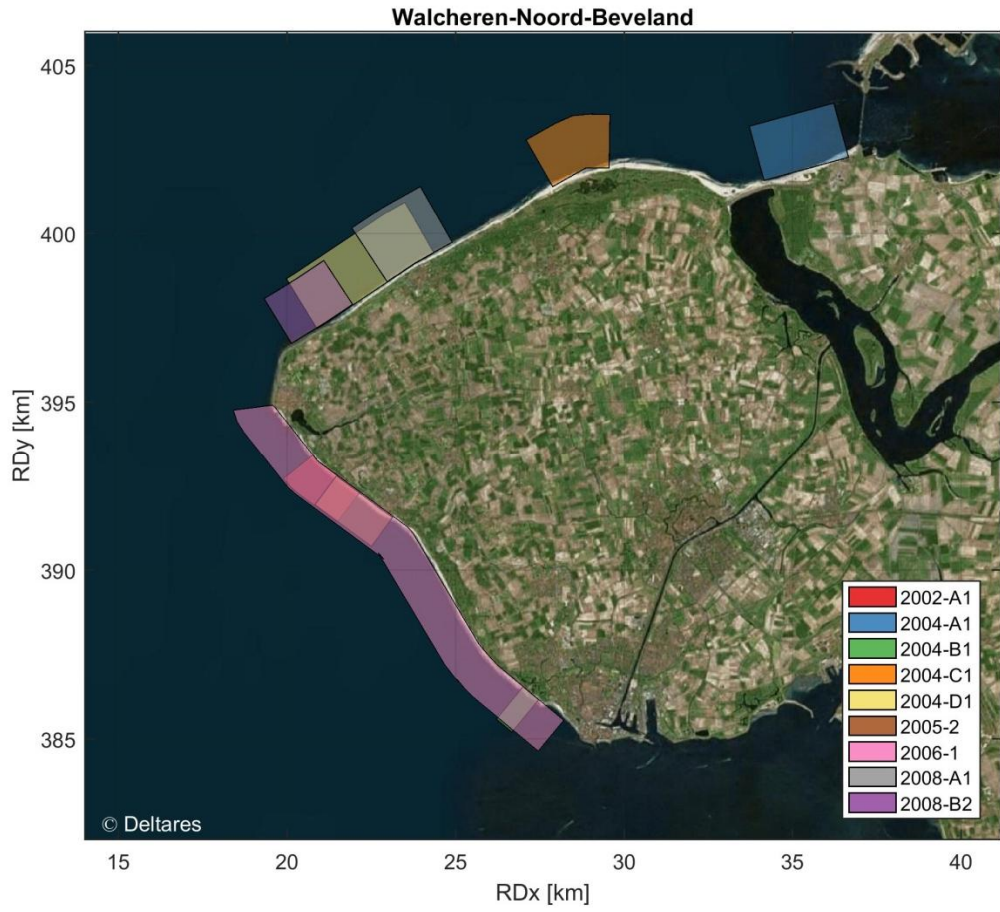


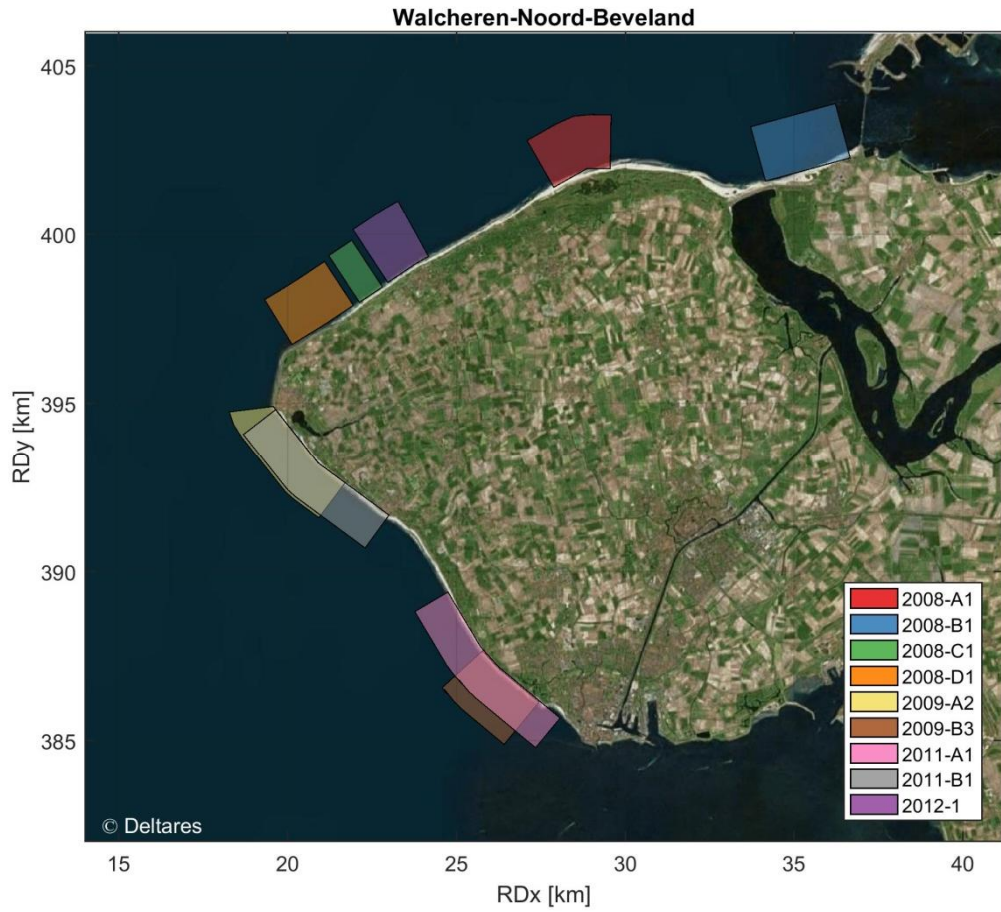


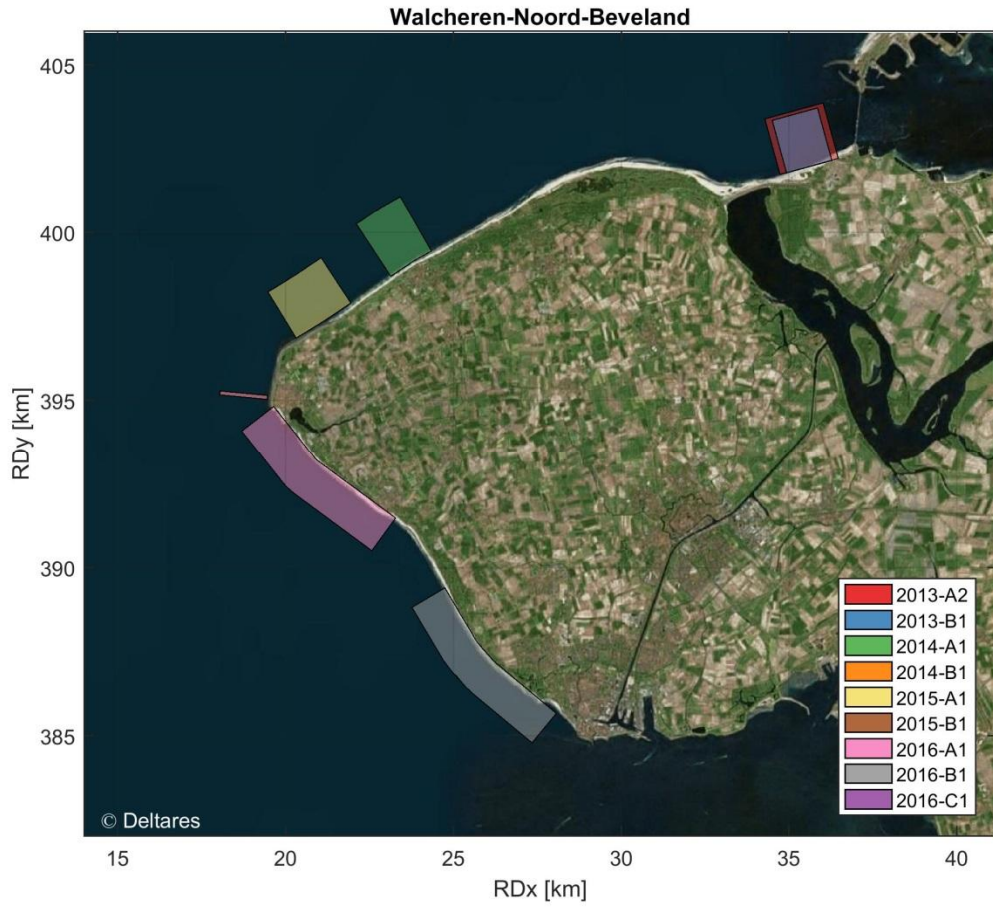


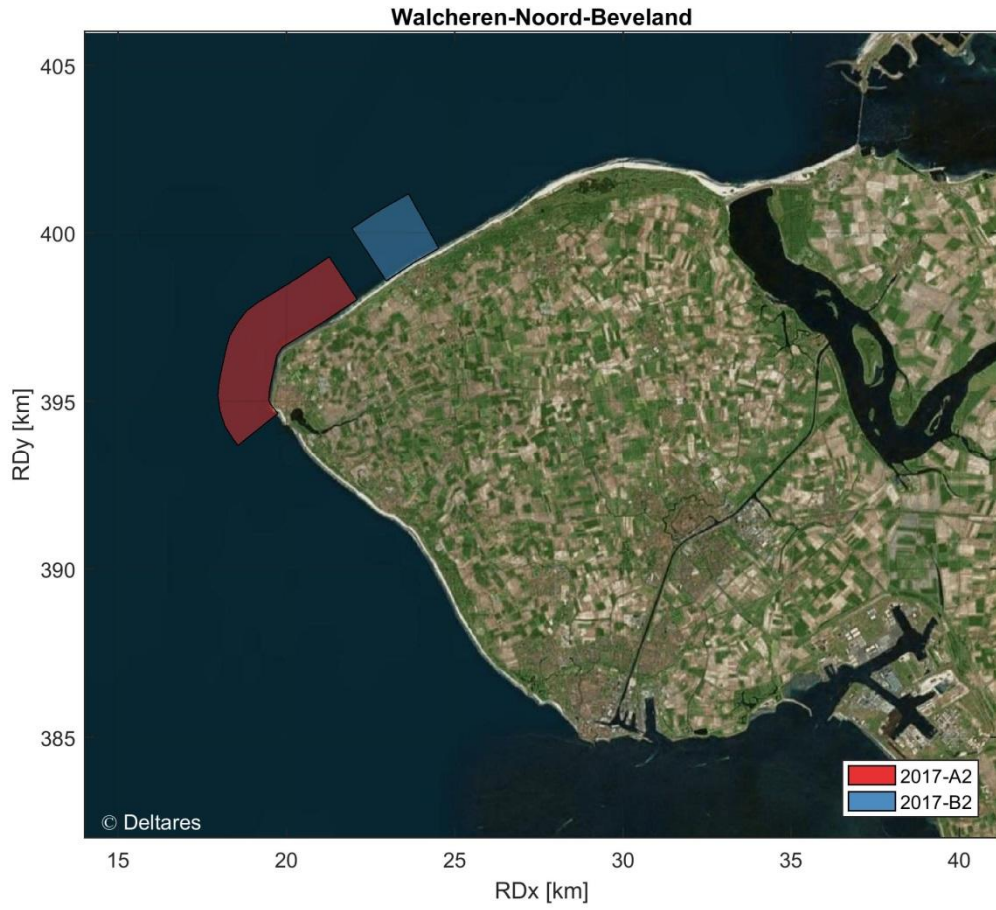












E Beschrijving duinsituatie per deelgebied

In paragraaf 4.4 wordt een inleiding gegeven over de dynamiek van de zeereep en de achtergrond van de volume-analyses per deelgebied die gegeven worden in deze bijlage voor de kustvakken Walcheren (paragraaf E.1) en Noord-Beveland (paragraaf E.2). De locaties van de deelgebieden (A t/m N) van het kustvak Walcheren zijn af te lezen aan de hand van de raainummers in Figuur E.1 en van Noord-Beveland in Figuur E.2.

De deelgebieden zijn ingedeeld op basis van bepaalde kenmerken wat betreft duin-dynamiek, ze wijken daarom dus af van de deelgebieden zoals eerder ingedeeld in paragraaf 4.3, waarbij de focus lag op morfologische kenmerken en (deel)systemen onder water en op het strand.

De vijf responstypen die zijn gedefinieerd zijn:

- RT1. Geen dynamiek
- RT2. Dynamiek in embryonale duinen vóór zeereep
- RT3. Beperkte dynamiek, voorzijde zeereep
- RT4. Dynamische zeereep, beperkte doorstuiving
- RT5. Zeer dynamische of gekerfde zeereep, forse doorstuiving



Figuur E.1 Classificatie van de zeereep voor Walcheren. Het betreft de huidige classificatie van responstypen zoals ze nu (2012) gelden, gebaseerd op laseraltimetrie 1997/1998-2012 en luchtfoto's 2011 en 2012.



Figuur E.2 Classificatie van de zeereep voor Noord-Beveland. Het betreft de huidige classificatie van responstypen zoals ze in 2014 gelden, gebaseerd op laseraltimetrie 1997/1998-2014 en luchtfoto's 2014.

E.1 Beschrijving situatie 1988 en 2011 per deelgebied, Kustvak Walcheren

E.1.1 RSP 5.40 tot 5.80 (Jarkusraaien 540-580)

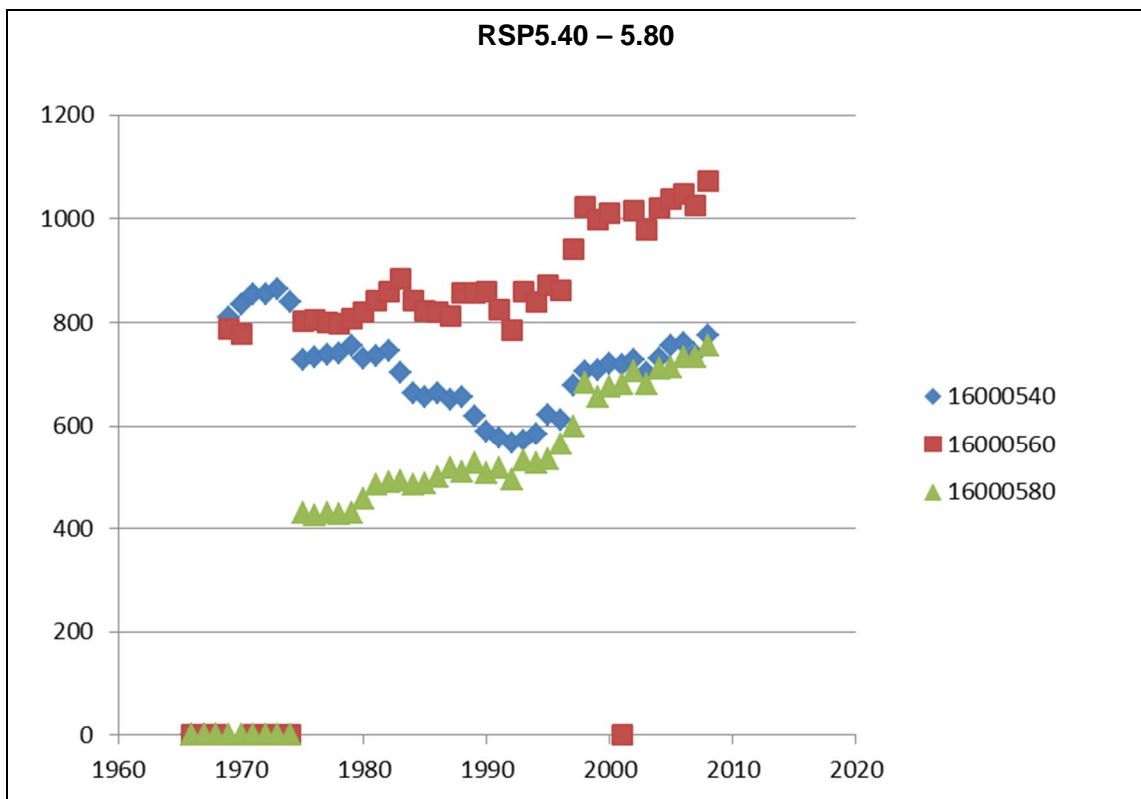
1988

Geheel met struweel begroeide zeereep. De zeewaartse helling is een ex-afslagklif. Geen overstuiving of erosie, de zeereep is statisch.

2011

Er is weinig veranderd. De geringe dynamiek beperkt zich tot enige overstuiving tegen de duinvoet. De volumetoename bedraagt rond de 5 m³/m.jaar. Bij 5.40 is éénmaal gesuppleerd.

Respons type 3.



Figuur E.3 Volume (m³) boven + 3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 5.40 – 5.80, zie legenda (16= kustvaknummer 00540 = raai 540 = RSP of km 5.40).

E.1.2 RSP 5.80 – 8.80 (Jarkusraaien 580-880)

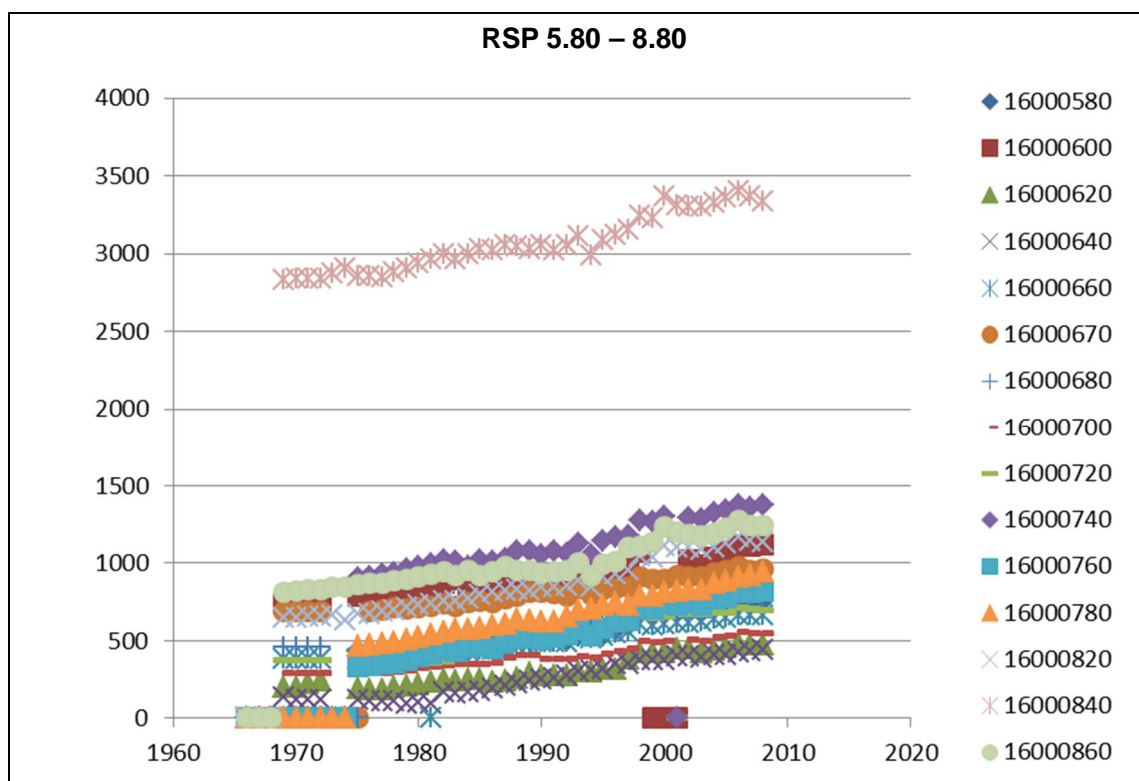
1988

Stabiele zeereep, vanaf 7.00 geringe uitbreiding. Sterke overstuiving, gepaard gaande met ophoging, geen winderosie. Vorming van embryodontjes. Plaatselijk geringe erosie door betreding. Het beheer beperkt zich tot het plaatsen van stuifschermen en aanplant.

2011

Nog steeds overheerst de aanstuiving, waarbij er sprake is van een toename van oost naar west. De dynamiek beperkt zich tot een aanstuivende duinvoet met embryonale duinontwikkeling. Er is geen sprake van winderosie. Het volume neemt gestaag toe, het meest in de periode 1988-1998 (tot ruim 20 m³/m.jaar), recentelijk rond 5-10 m³/m.jaar. Nooit gesuppleerd.

Respons type 2 (westelijk van 7.00) en 3 (oostelijk van 7.00).



Figuur E.4 Volume (m³) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 5.80 – 8.80, zie legenda.

E.1.3 RSP 8.80 – 10.25 (Jarkusraaien 880-1025)

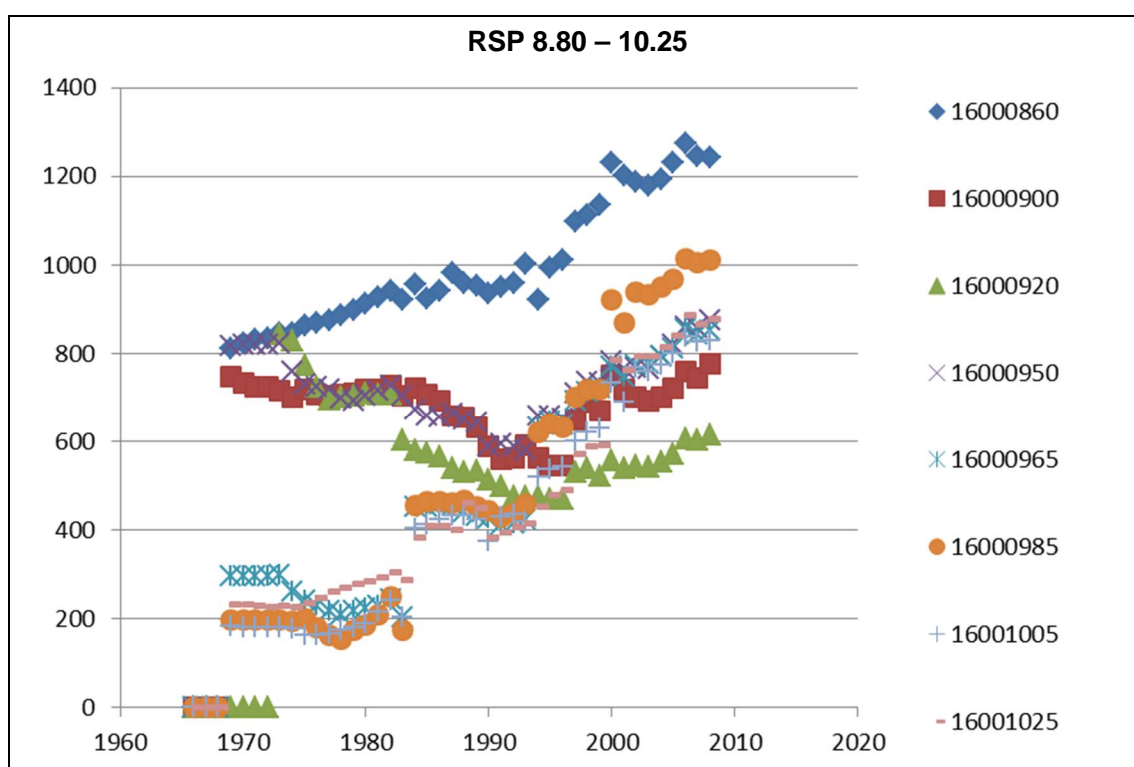
1988

Kunstmatig ogende, zich terugtrekkende zeereep. De zeewaartse helling is een afslagklif. Er vindt geringe overstuiving plaats.

2011

Vergelijkbare ontwikkeling met het vorige deelgebied (ten oosten hiervan), waarbij de aanstuiving naar het westen toe verder toeneemt. Er is sprake van flinke aanstuiving tegen de duinvoet met embryonale duinontwikkeling. Er is geen sprake van winderosie. De volumetoename loopt op tot meer dan $30\text{m}^3/\text{m.jaar}$ aan de westzijde. Diverse malen gesuppleerd.

Respons type 2 (ten oosten van 9.65) en 4 (vanaf 9.65 naar het westen).



Figuur E.5 Volume (m^3) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 8.80 – 10.25, zie legenda.

E.1.4 RSP 10.25 – 12.45 (Jarkusraaien 1025-1245)

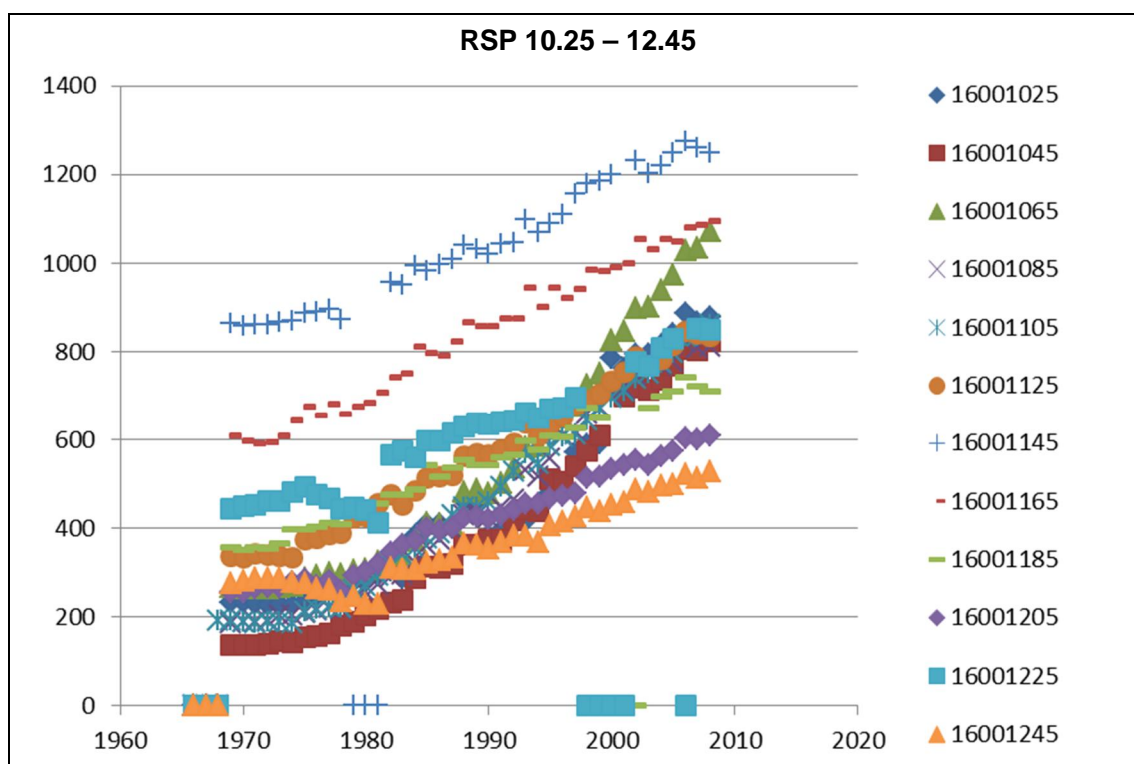
1988

Geringe uitbreiding van de zeereep, zowel in hoogte als in breedte. Overstuiving, met name op de zeewaartse helling en de top. Plaatselijk vorming van embryoduin en tegen de duinvoet. Geringe erosie ten gevolge van betreding van de zeereep.

2011

Afname in dynamiek en aanstuiving van oost naar west. Aan de oostkant ontstaan vóór de zeereep embryonale duinen maar is er ook nog sprake van enige dynamiek over de zeereep zelf. Dit neemt westwaarts af. Er is geen sprake van winderosie. Aan de oostkant bedraagt de volumetoename nog meer dan 30 m³/m.jaar. Diverse malen gesuppleerd, maar nooit tussen 11.05 en 12.65.

Respons type 4 (10.25-10.65, 2(10.7-11.4) en 3 (11.45-12.45).



Figuur E.6 Volume (m³) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 10.25 – 12.45, zie legenda.

E.1.5 RSP 12.45 - 17.75 (Jarkus-raaien1245-1775)

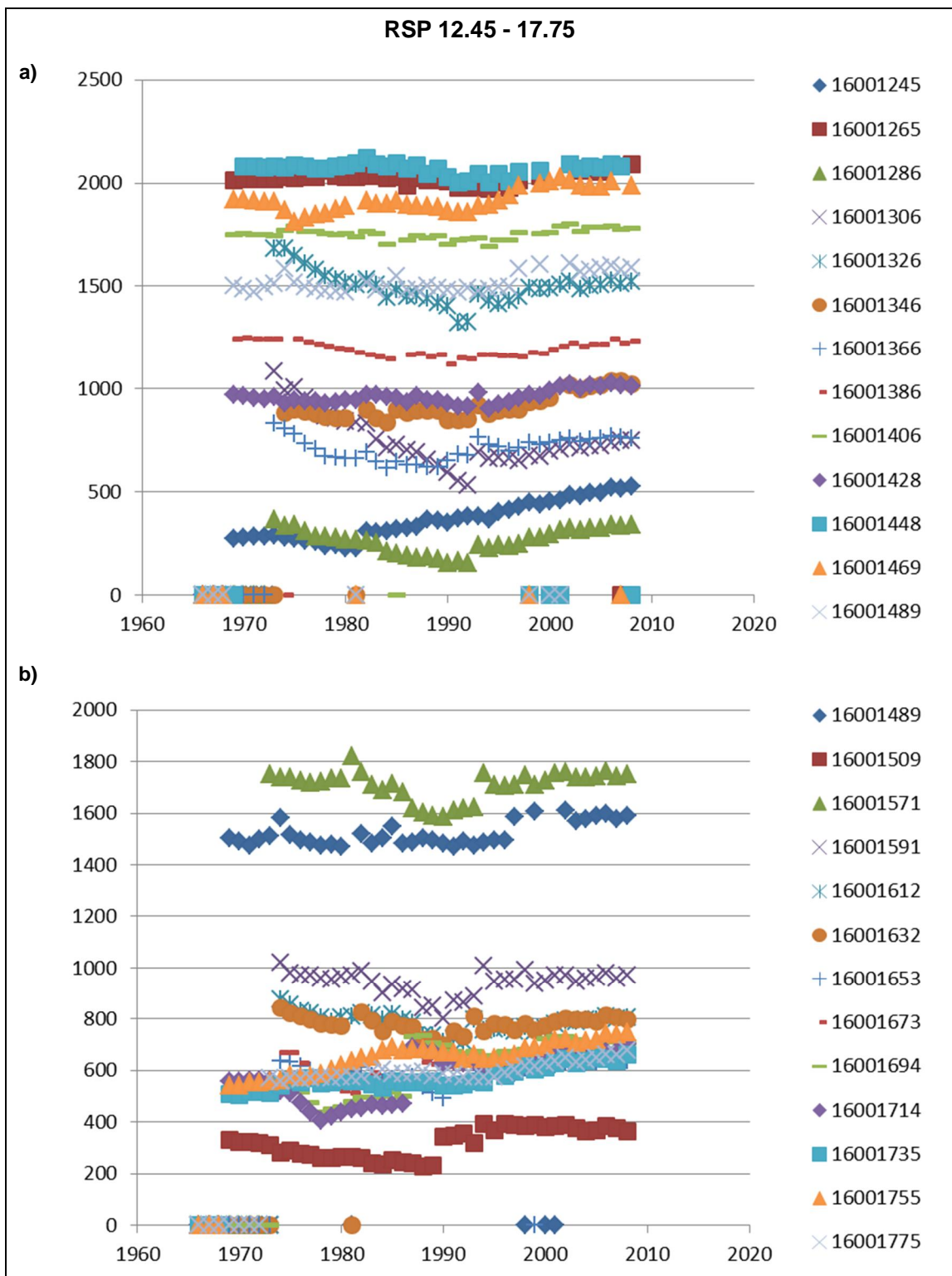
1988

Stabiele en statische zeereep. De zeewaartse helling is steil en recht als een afslagklif, maar er vindt geen afslag plaats. Alleen tussen 12.86 en 13.26 vindt afslag plaats waarbij het volume van de zeereep steeds verder afneemt. Weinig of geen overstuiving. Geen beheersingrepen.

2011

Statische zeereep met nauwelijks of geen dynamiek, met uitzondering van enige aanstuiving tegen de zeewaartse helling. Tussen raai 15.30 en 15.91 is er vrijwel geen aanstuiving. De morfologie van de zeereep wisselt van bescheiden en onregelmatig (tussen 12.45 en 13.66, 15.09- 15.50 en 15.91-16.53) tot fors en loopduinvormig (13.66-14.89 en 15.71) tot monotoon zanddijkvormig (16.53-17.75). Beperkte volumeveranderingen. Vanaf 12.86 naar 17.75 diverse malen gesuppleerd.

Respons type 1 en 3.



Figuur E.7 Volume (m³) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 12.45-14.89 (a) en 14.89-17.75 (b), zie legenda.

E.1.6 RSP 17.75 – 22.15 (Jarkusraaien 1775-2215)

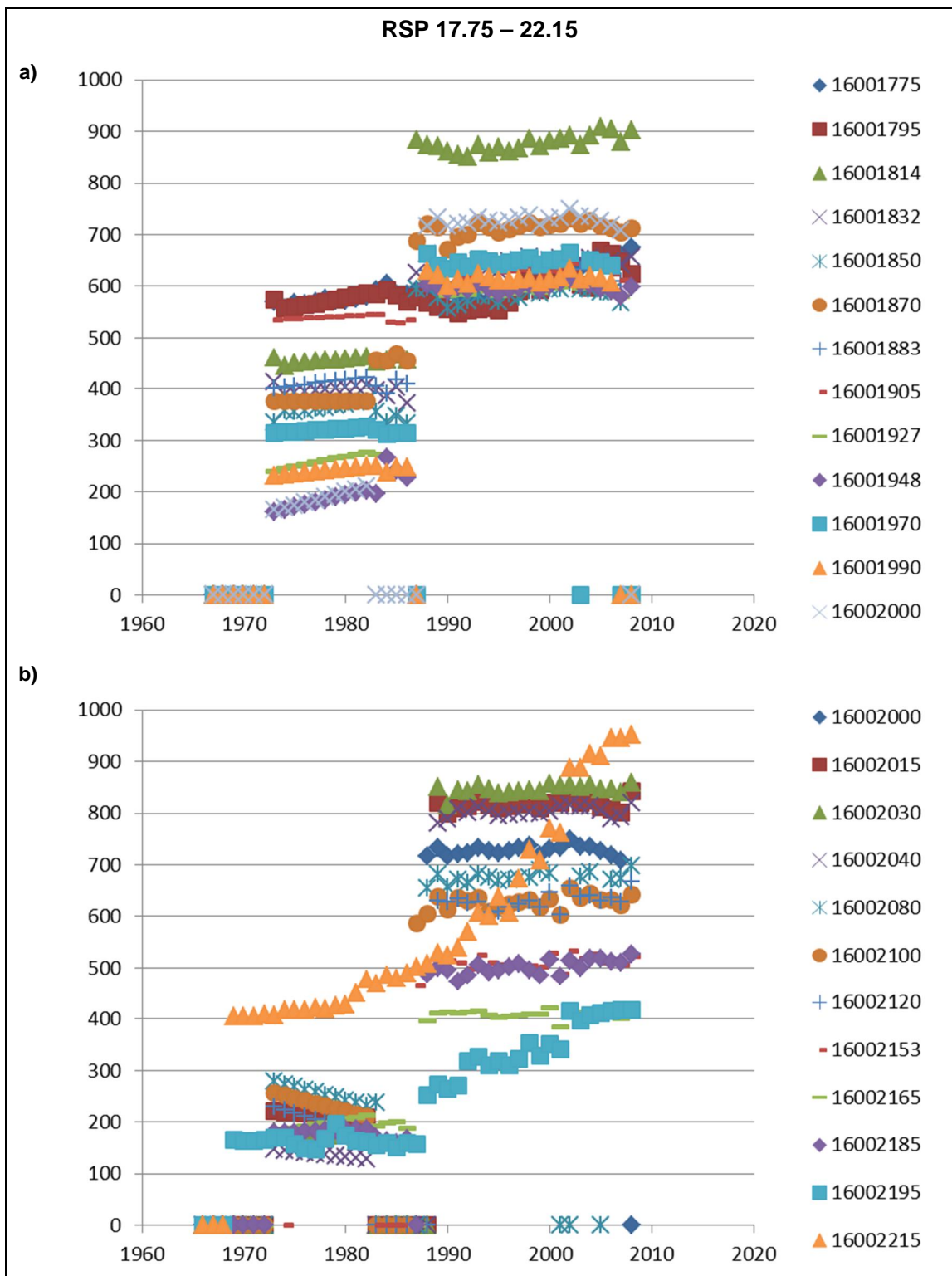
1988

Dijk, geen omschrijving.

2011

Tussen 17.75 en 18.32 is er sprake van een aanstuivende zone tegen de dijk. Zeer beperkte volumeveranderingen. Diverse malen gesuppleerd.

Respons type 3.



Figuur E.8 Volume (m^3) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 17.75 – 20.00 (a), en RSP 20.00 – 22.15 (b), zie legenda.

E.1.7 RSP 22.15 – 22.55 (Jarkusraaien 2215-2255)

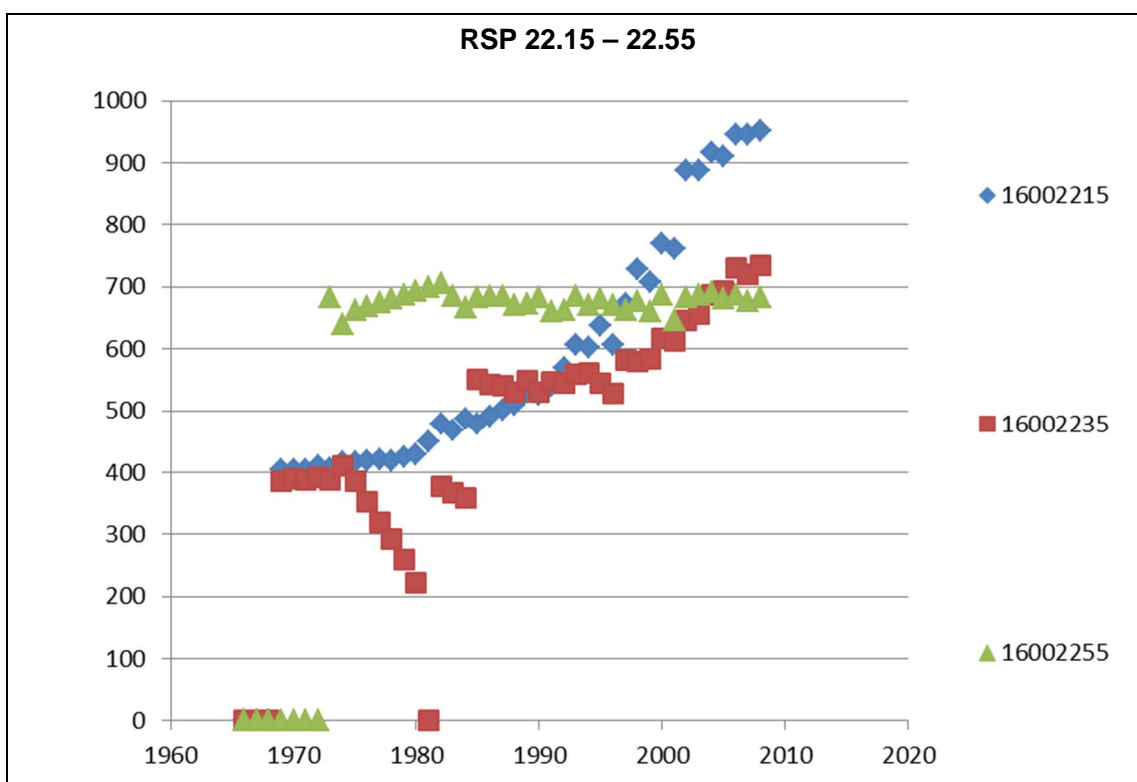
1988

Stabiele zeereep met geringe overstuiving. De vorm is kunstmatig.

2011

Zeer klein deelgebiedje met aanstuivende en enigszins overstuivende zeereep. Op de overgangen naar de dijken aan noordwest- en zuidoostzijde is sprake van omvangrijke mechanische herprofilering. Volumetoename van 5-20 m³/m.jaar. Diverse malen gesuppleerd.

Respons type 4.



Figuur E.9 Volume (m³) boven + 3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 22.15 – 22.55, zie legenda.

E.1.8 RSP 22.55 – 23.12 (Jarkusraaien 2250-2312)

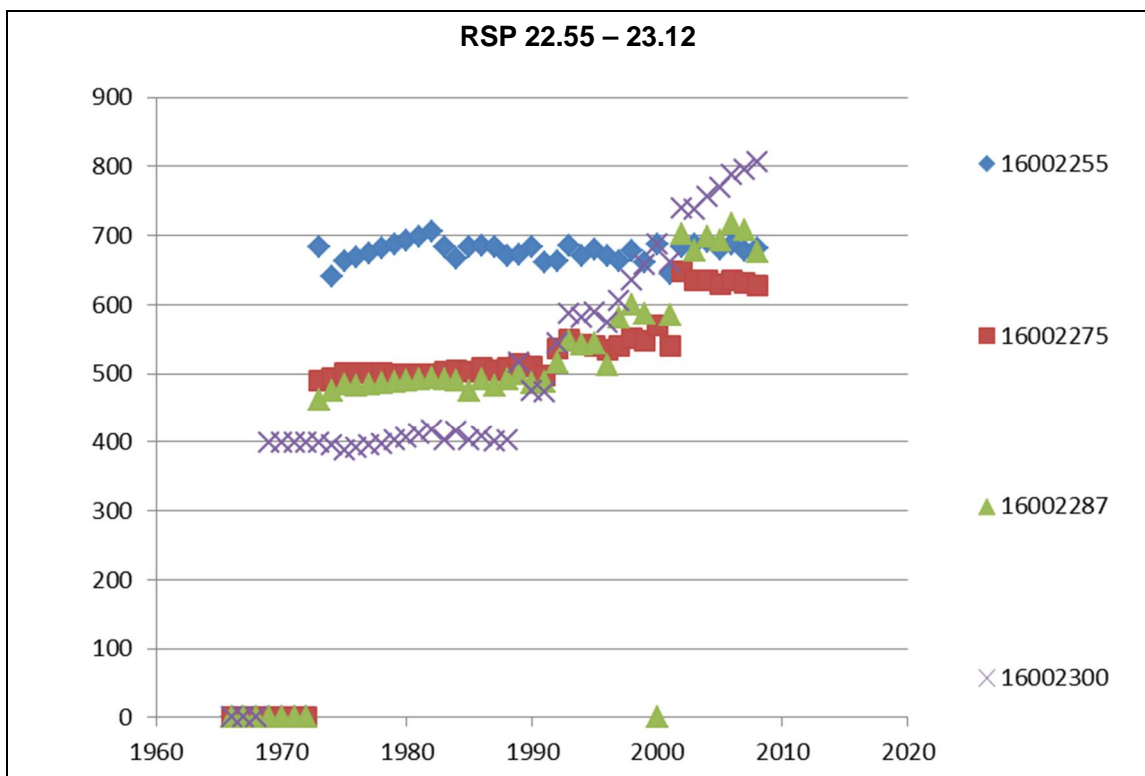
1988

Dijk. Geen omschrijving.

2011

Kunstmatig door beheersactiviteiten. Volumeverandering varieert van net onder de 10 tot boven de 10 m³/m.jaar. Diverse malen gesuppleerd.

Respons type 3.



Figuur E.10 Volume (m³) boven + 3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 22.55 – 23.00, zie legenda.

E.1.9 RSP 23.12 – 28.10 (Jarkusraaien 2312-2810)

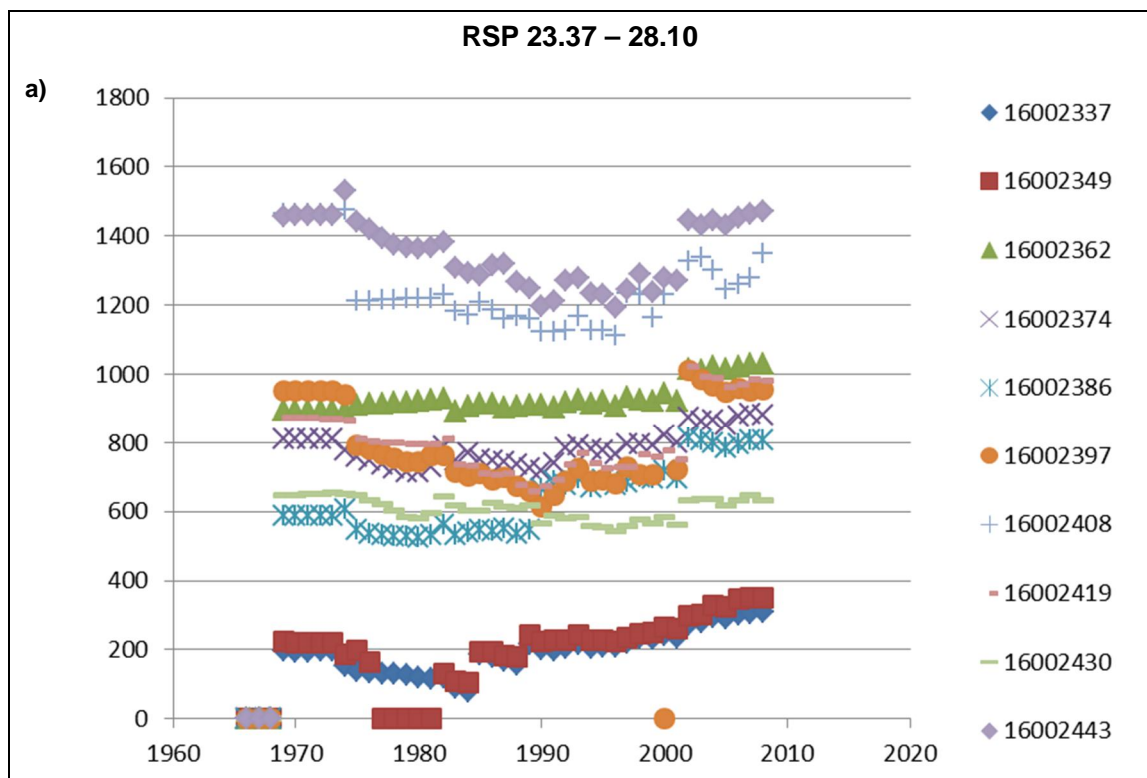
1988

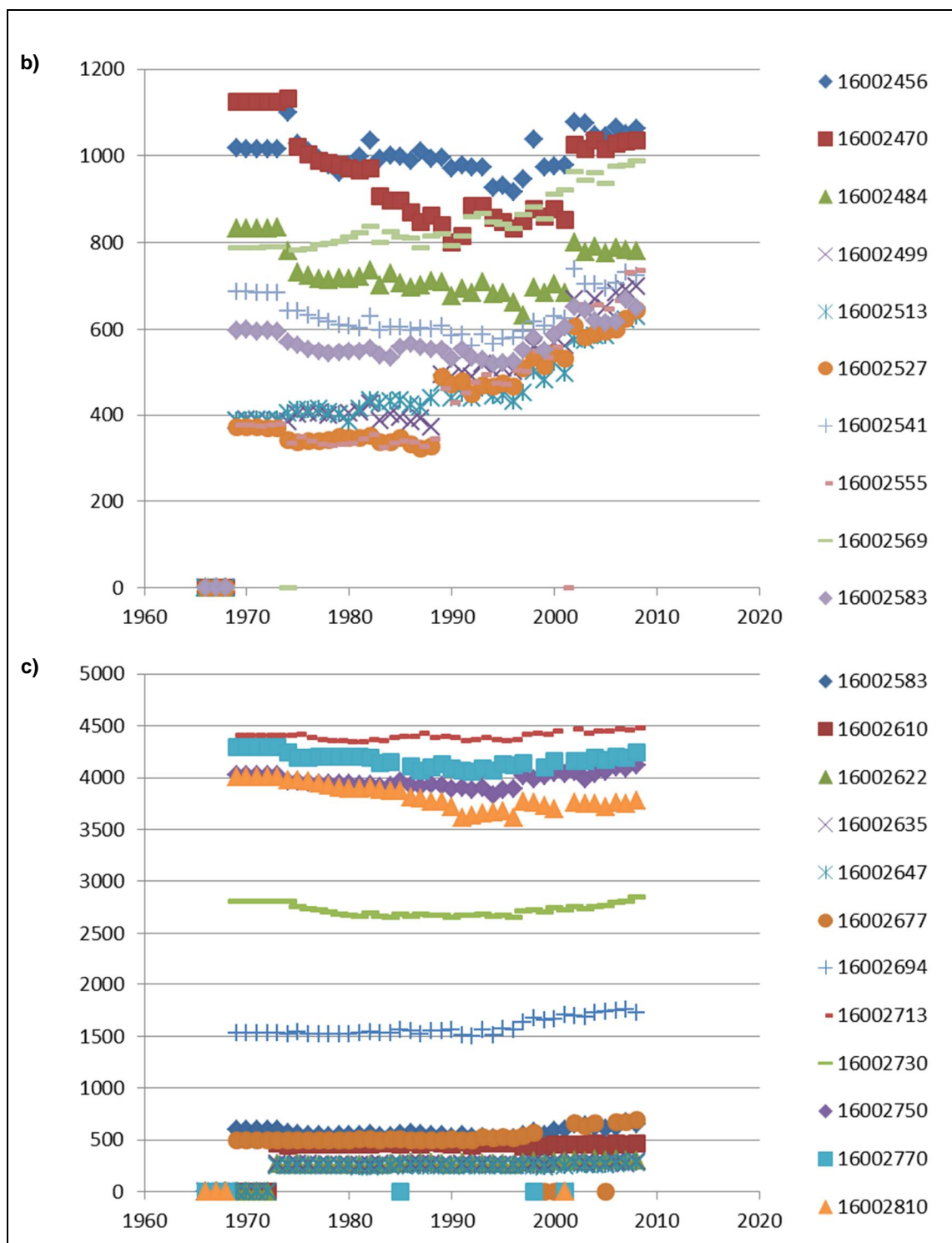
Statische zeereep, soms met geringe achteruitgang. Ook hier is de zeewaartse helling steil en recht, zonder dat er sprake is van afslag. Tussen 25.83 en 26.94 bevindt zich een dijk.

2011

Overwegend weinig dynamische zeereep met hier en daar forse aanstuiving tegen de duinvoet. Vanaf 27.70 naar het zuidoosten neemt de aanstuiving sterk af. De volumeverandering varieert rondom de 10 m³/m.jaar met tussen 26.22 en 26.47 nauwelijks verandering. Diverse malen gesuppleerd.

Respons type 3 met een klein stuk van type 4 (rondom 25.69).





Figuur E.11 Volume (m^3) boven + 3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 23.37 – 24.43 (a), RSP 24.56 – 25.83 (b), en RSP 25.83 – 28.10 (c), zie legenda.

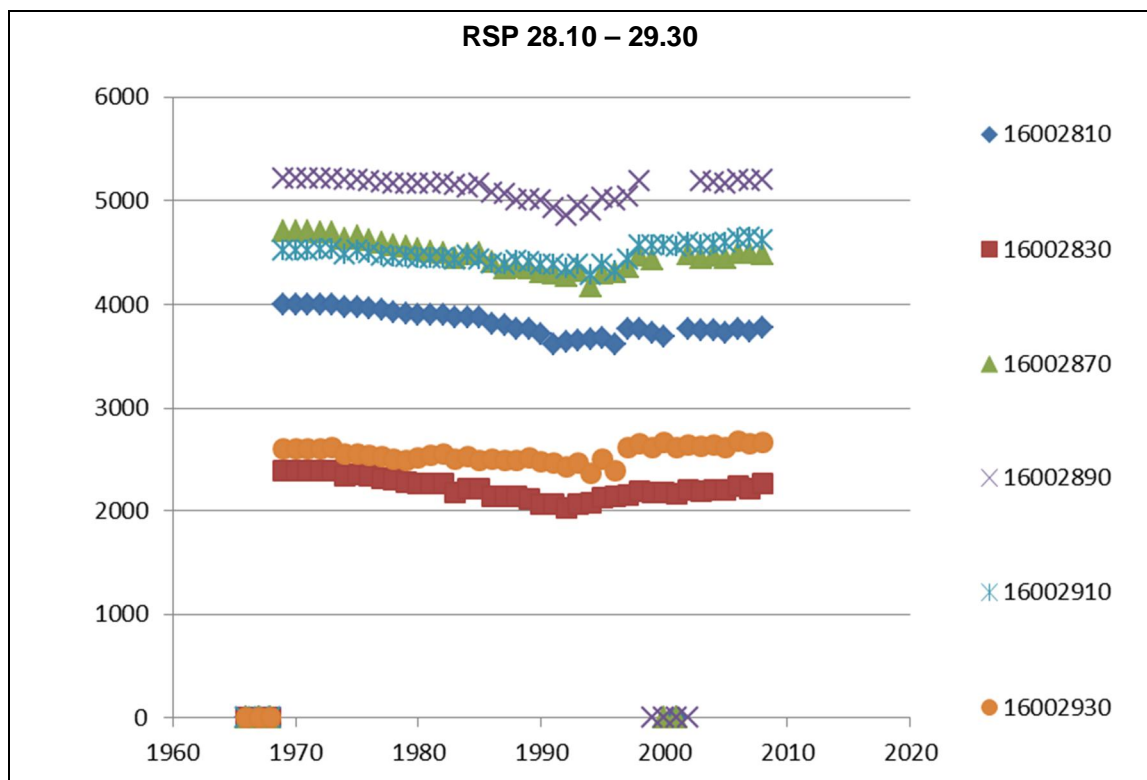
E.1.10 RSP 28.10 – 29.30 (Jarkusraaien 2810-2930)
1988

De zeereep is zeer hoog (tot 41 m), met sterke overstuiving en winderosie, met name op de zeewaartse helling en de zeereptop. De zeewaartse helling is steil en recht, als een afslagklif. Er treedt geringe achteruitgang op. De helling wordt soms bedekt met snoeisels om overstuiving tegen te gaan. De top van de zeereep lijkt te bestaan uit door afslag aangesneden en inmiddels gestabiliseerde blow-outs.

2011

Zeer forse en massieve zeereep met aanstuiving aan de voorzijde. Er is geen sprake van winderosie. Variabele volumetoename, rondom $5 \text{ m}^3/\text{m.jaar}$. Diverse malen gesuppleerd.

Respons type 3.



Figuur E.12 Volume (m^3) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 28.10 – 29.30, zie legenda.

E.1.11 RSP 29.30 – 32.02 (Jarkusraaien 2930-3202)

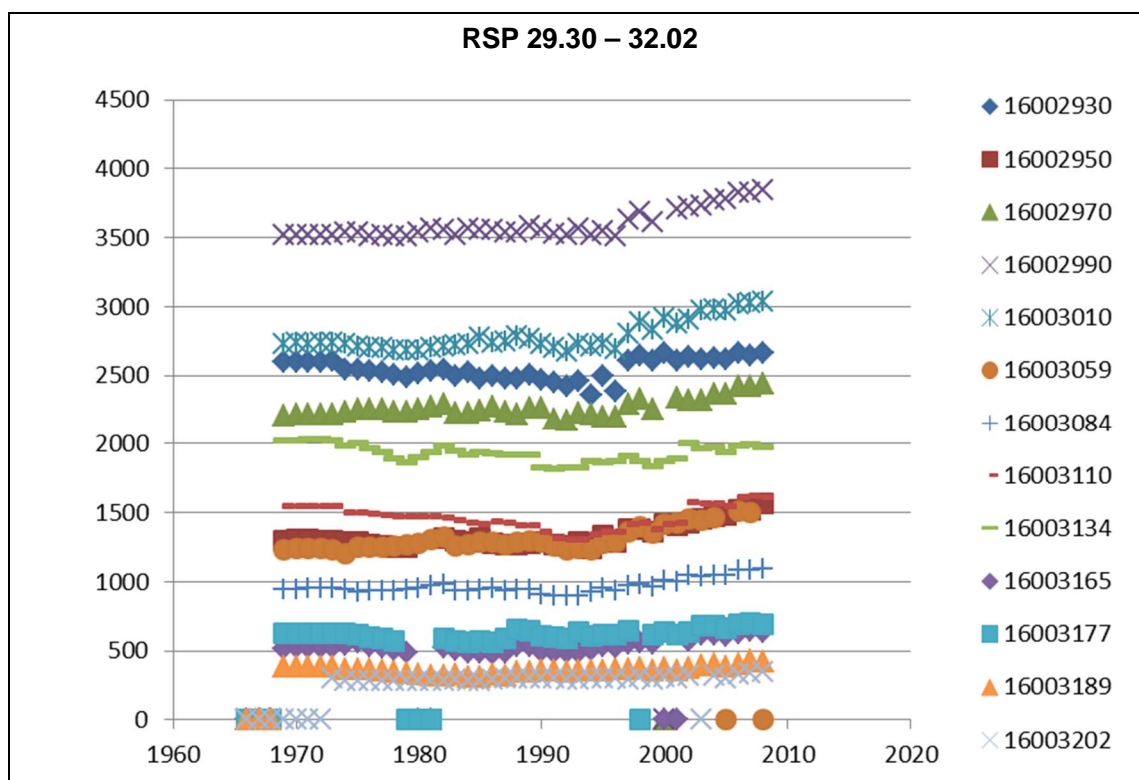
1988

Stabiele en statische zeereep, plaatselijk met een niet actief afslagklif. Alleen tegen de duinvoet vindt lokaal accumulatie plaats. Het beheer lijkt zich te beperken tot strandhoofden en palenrijen op het strand, en plaatselijk verharden van de duinvoet.

2011

Van 29.30 tot 31.53 forse en massieve zeereep met aanstuiving aan de voorzijde. Vanaf 31.53 verzwaring aan de landwaartse zijde. Volumeverandering varieert tussen 10 en 20 m³/m.jaar. Diverse malen gesuppleerd.

Respons type 3 en 4.



Figuur E.13 Volume (m³) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 29.30 – 32.02, zie legenda.

E.1.12 RSP 32.02 – 33.60 (Jarkusraaien 3202-3360)

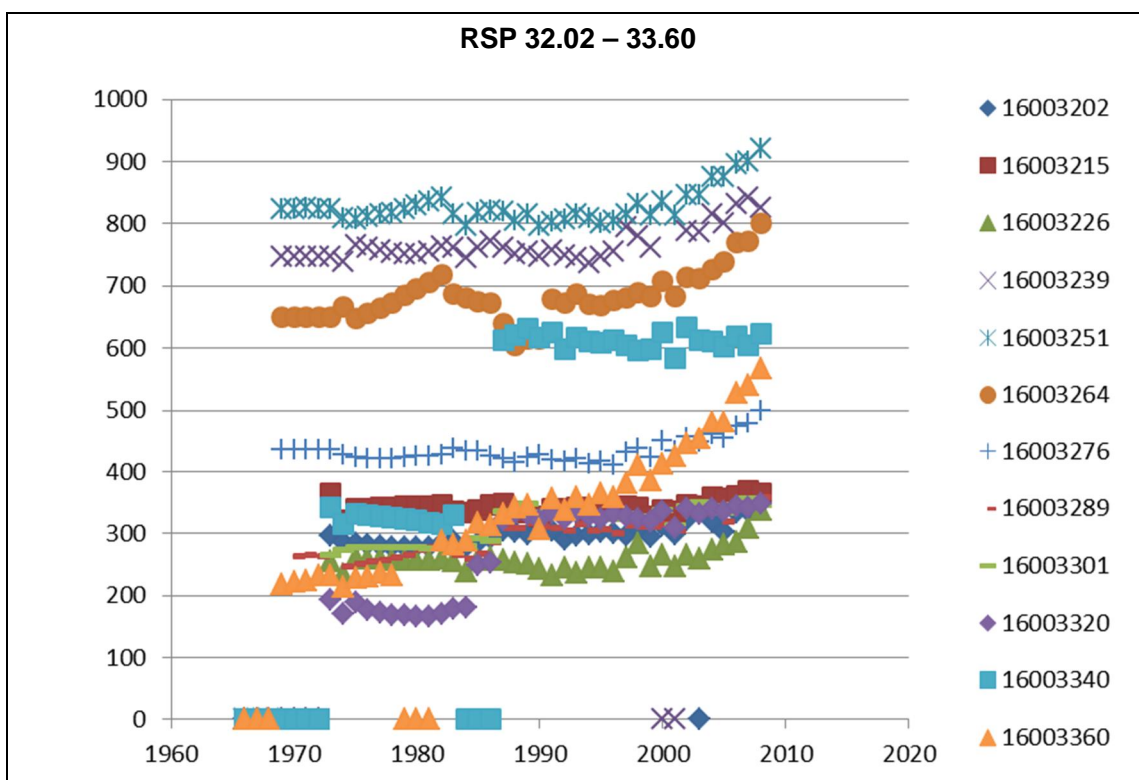
1988

Dijk, geen omschrijving.

2011

Overheersende dynamiek door beheersactiviteit ten gevolge van aanleg duinverzwaring aan de landwaartse zijde. Volumetoename in orde $5 \text{ m}^3/\text{m.jaar}$. Diverse malen gesuppleerd.

Respons type 3 (achterhaald door huidige beheersactiviteit).



Figuur E.14 Volume (m^3) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 32.02 – 33.60, zie legenda.

E.1.13 RSP 33.60 – 33.80 (Jarkusraaien 3360-3380)

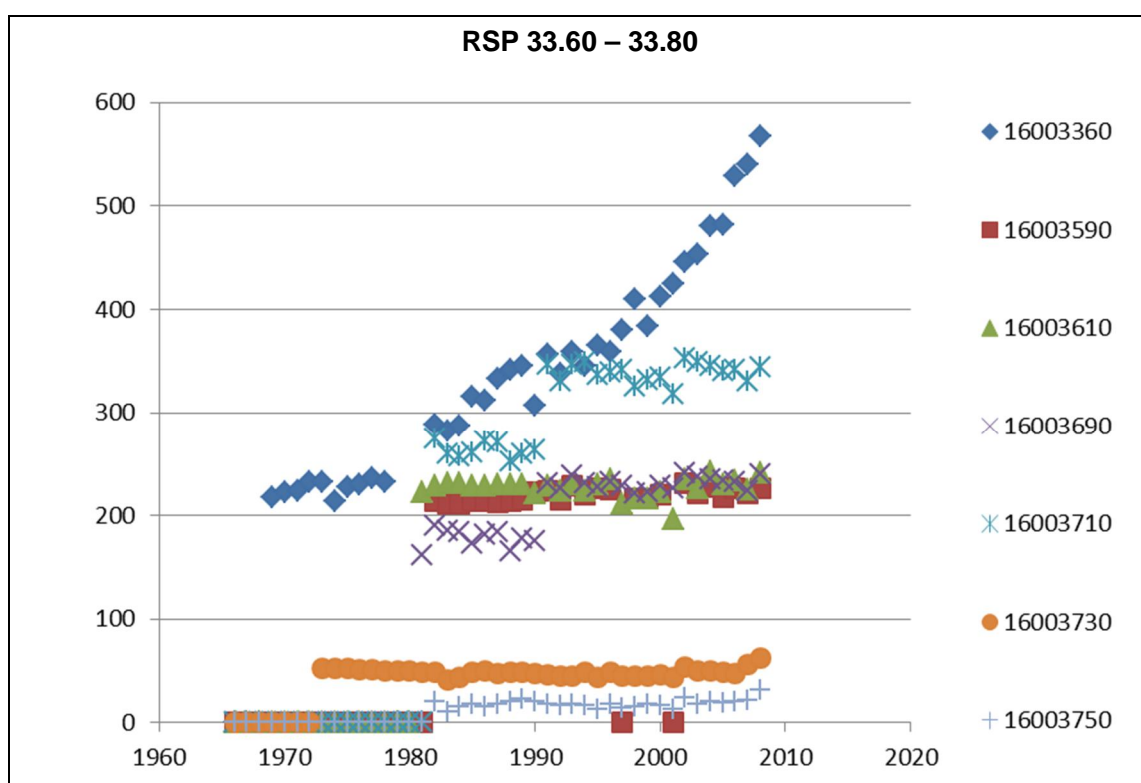
1988

Stabiele en sterk overstuivende zeereep.

2011

Zeer klein tussen dijken ingeklemd deelgebiedje met zeereep en achterliggende dijk. Forse aanstuiving tegen zeewaartse helling. Volumetoename groter dan $10 \text{ m}^3/\text{m.jaar}$. Diverse malen gesuppleerd.

Respons type 4.



Figuur E.15 Volume (m^3) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 33.60 – 33.80, zie legenda.

E.2 Beschrijving situatie 1988 en 2014 per deelgebied, kustvak Noord-Beveland

E.2.1 De Banjaard (RSP 1.20-2.20)

1996

Zeedijk met aanstuiving.

Volumeontwikkeling tot 2008

Aangroeiende zeereep onder invloed van strandsuppleties (Figuur E.16). In 1973 werd hier een eerste suppletie uitgevoerd. In 1986 is het volume in de zeereep plotseling flink toegenomen. Dit heeft mogelijk ook te maken met een suppletie of duinverzwaring (niet bekend). Het meest oostelijke deel van Noord-Beveland toont sinds 1986 een geleidelijke aangroei. Ter hoogte van RSP 2.20 is een onrustiger patroon, maar de suppleties leiden hier toch tot een algemeen positieve trend in volume.

Ontwikkeling op basis van verschilkaart 2007-2013

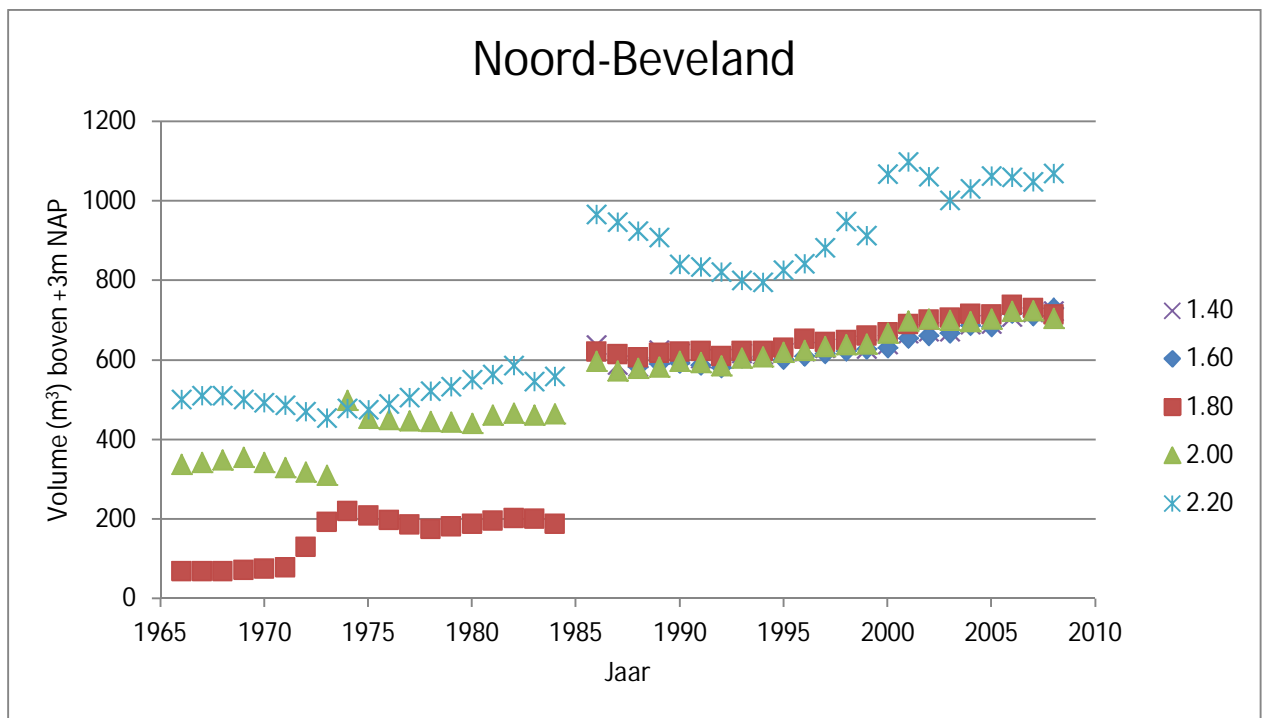
Aanzanding op strand en voorzijde, maximaal tussen RSP 1.40 en 1.80. Enige erosie in de oksel van de dijk bij RSP 1.20 op het strand en de dijk zelf, en tussen RSP 1.80 en 2.00 in verband met maatregelen aldaar.

Responstype 2010-2014

Langzaam aangroeiende zeereep (Figuur 4.51). Zeedijk is vrijwel geheel bedekt met zand en vegetatie. Aan- en overstuiving is beperkt tot de voorzijde van de zeereep. Op het strand tussen RSP 1.2 en 1.6 ontstaat een zone met embryonale duinen, waardoor het RT hier van 3 naar 2 is veranderd. Ter hoogte van RSP 1.80 zorgt een toegangsroute tot het strand voor enige doorstuiving, waarschijnlijk ook over de dijk heen.

Responstype

2 (RSP 1.20-1.60), 5 (RSP 1.80), 3 (RSP 2.00-2.20)



Figuur E.16 Volume (m³) boven +3m NAP per jaar voor RSP 1.40-2.20 (legenda).

E.2.2 Schotsman (RSP 2.20-3.80)

1996

Slufterachtige situatie, ontstaan rondom resten van een oude zeereep of dijk. Duinen lijken te zijn ontstaan in de luwte van overblijfselen van een oude zeedijk die meer zeewaarts lag. Overstuiving vindt plaats over de oude dijk, tot de huidige dijk.

Volumeontwikkeling tot 2008

Aangroeiende zeereep (Figuur E.17). Stabiel tot 1993 waarna het volume geleidelijk toeneemt. Dit is waarschijnlijk gerelateerd aan strandsuppleties die hier sinds dat jaar worden uitgevoerd. De verschillen tussen raai 2.80 en de overige raaien zijn waarschijnlijk het gevolg van een andere landwaartse begrenzing voor raai 2.80 en van het feit dat raai 2.80 ter hoogte van een voormalig zeereep/dijkrestant ligt en daarom ook onderhevig is geweest aan erosie. De sterkste uitbouw met de grootste zeewaartse verplaatsing van de duinvoet vindt plaats tussen RSP 3.00 en 3.60.

Ontwikkeling op basis van verschilkaart 2007-2013

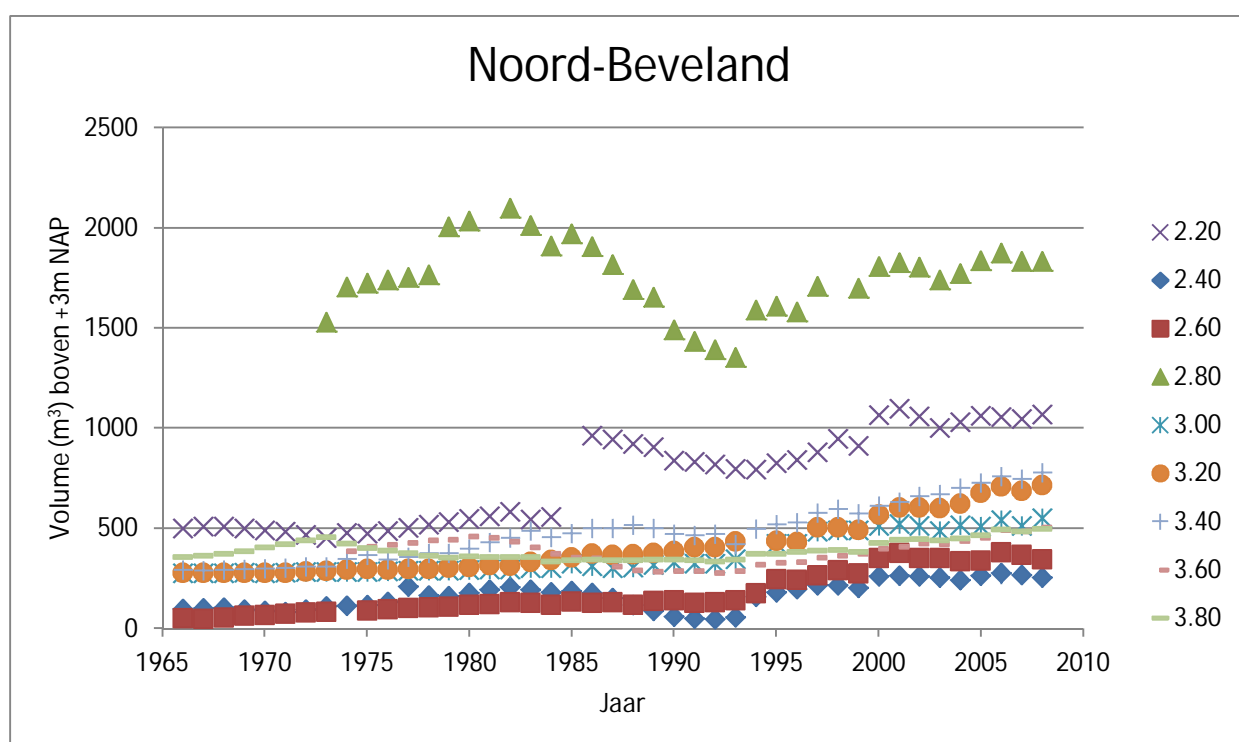
Lichte erosie op het strand tussen RSP 2.2 en 3.0. Sterkere aanzanding ten westen van RSP 3.0.

Responstype 2010-2014

In het voor de (overstoven en begroeide) dijk gelegen duingebied is sprake van flinke dynamiek, maar deze strekt zich niet uit tot over de dijk. Omdat het nieuwe duingebied een niet gesloten duinenrij heeft, is er ook sprake van enig transport door water. Er is geen verandering in dynamiek tussen 2010 en 2014, wel van uitbreiding van het duingebied.

Responstype

3 (RSP 2.20-2.80), 4 (RSP 3.00), 2 (RSP 3.20-3.80)



Figuur E.17 Volume (m^3) boven +3m NAP per jaar voor RSP 2.20-3.80 (legenda).

E.2.3 Veerse Dam (RSP 3.80-5.20)

Zeedijk met enige aan- en overstuiving en plaatselijk begroeiing (met name aan voorzijde en op de bovenkant).

Volumeontwikkeling tot 2008

Door aan- en opstuiving neemt het volume aan zand tegen en op de dijk geleidelijk toe vanaf circa 1990.

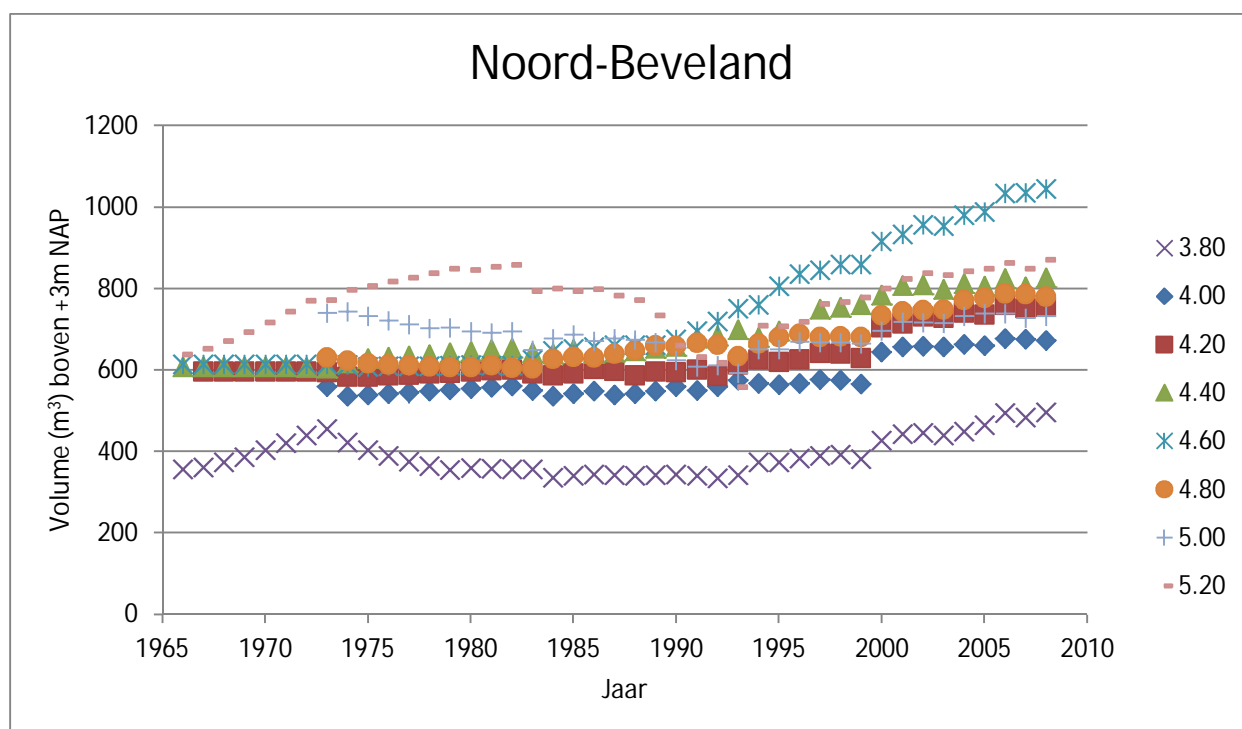
Responstype 2010- 2014

In 2010 is de dijk geheel begroeid en vindt er alleen verstuing aan de voorzijde plaats, vergelijkbaar met een licht aangroeiende zeereep. De dijk is geheel bedekt met zand en vegetatie. Embryonale duintjes op het strand zijn inmiddels bijna aan de zeereep gegroeid.

In 2014 is de situatie hetzelfde, zij het dat aan de oostkant (RSP4.0-4.2) de duinvoet enigszins zeewaarts is verplaatst.

Responstype

3 (RSP 4.00), 2 (RSP 4.20-4.80), 3 (5.00-5.20)



Figuur E.18 Volume (m³) boven +3m NAP per jaar voor RSP 3.80-5.20 (legenda).