

Beheerbibliotheek Zeeuws-Vlaanderen

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



Beheerbibliotheek Zeeuws-Vlaanderen

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

Auteur(s)

Dick Mastbergen

Ellen Quataert

Beheerbibliotheek Zeeuws-Vlaanderen

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



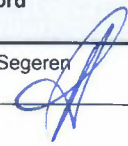
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Naam
Referenties	Referenties
Trefwoorden	beheerbibliotheek, kustvak Zeeuws-Vlaanderen, morfologische ontwikkeling, primaire waterkering, beheer en onderhoud kust, suppleties, recreatief gebruik, natuurbeleid

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	27-02-2020
Projectnummer	11203683-000
Document ID	11203683-000-ZKS-0008
Pagina's	100
Status	definitief

Auteurs(s)

	Dick Mastbergen	
	Ellen Quataert	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	Dick Mastbergen 	Edwin Elias 	Toon Segeren 	
	Ellen Quataert			

Samenvatting

De voorliggende beheerbibliotheek van kustvak 17, Zeeuws-Vlaanderen betreft een update van de eerste versie door Kuijper, Nederhoff en Vergouwen (2016). Belangrijke delen van de tekst zijn uit dit document overgenomen, daarnaast zijn de resultaten van nieuwe studies opgenomen en tekst, figuren en tabellen geactualiseerd.

De beheerbibliotheek beschrijft de toestand van het betreffende kustvak en omvat een beschrijving van de morfologische systeemwerking, de kustverdediging en de primaire waterkeringen.

Doelstelling van deze tweede versie van de beheerbibliotheek Zeeuws-Vlaanderen is 1) geven van een overzicht en samenvatting van de huidige gebiedskennis en 2) aangeven van kennisleemten bij het opstellen van adviezen voor kustonderhoud.

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 (zoals recreatie en natuur) van de kust samengevat, het gaat daarbij om informatie die relevant is voor het vaststellen van het suppletieprogramma.

De kennis in de beheerbibliotheek komt voort uit het project KPP-B&O Kust (Kennis Primaire Processen Beheer & Onderhoud Kust) tussen Rijkswaterstaat en Deltares, maar ook uit eerder uitgevoerde andere kustprojecten en uit wetenschappelijk onderzoek. Tevens wordt opgedane ervaring en kennis uit de uitvoering meegenomen in de beheerbibliotheek. Dit maakt de beheerbibliotheek een periodiek geactualiseerd document dat als handreiking kan dienen voor kustonderhoud.

Over Deltares

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme innovaties, oplossingen en toepassingen voor mens, milieu en maatschappij. We richten ons voornamelijk op delta's, kustregio's en riviergebieden. Omdat het beheer van deze dichtbevolkte en kwetsbare gebieden complex is, werken we nauw samen met overheden, ondernemingen, kennisinstellingen en universiteiten in binnen- en buitenland. Ons motto is 'Enabling Delta Life'.

Als toegepast kennisinstituut zijn we succesvol wanneer onze kennis wordt verzilverd in en voor de samenleving. We stellen hoge eisen aan de kwaliteit van onze kennis en adviezen, rekening houdend met nieuwe wetenschappelijke inzichten, maar ook met de gevolgen die onze adviezen hebben voor milieu en samenleving.

Al onze opdrachten en projecten leveren een bijdrage aan het verstevigen van de kennisbasis. We kijken vanuit een lange termijn perspectief, naar bijdragen voor de oplossingen voor nu. Wij hechten zeer aan openheid en transparantie. Die houding is onder meer terug te zien in het vrij toegankelijk maken van de door Deltares ontwikkelde software en modellen. Open source werkt, is onze vaste overtuiging. Deltares heeft ruim 800 medewerkers en is gevestigd in Delft en Utrecht.

www.deltares.nl

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Kustonderhoud en -onderzoek	8
1.2	Waarom een beheerbibliotheek?	8
1.3	Wat staat er in een beheerbibliotheek?	8
1.4	Kustviewer	9
1.5	Kustlijnkaartenboek	9
1.6	Algemene informatie over het kustvak Zeeuws-Vlaanderen	10
1.7	Leeswijzer voor de beheerbibliotheek Zeeuws-Vlaanderen	11
2	Beleid: dynamische kustlijnhandhaving	12
2.1	Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven	12
2.2	Vaststelling Basiskustlijn	13
2.2.1	Definitie Momentane Kustlijn, en Basiskustlijn	13
2.2.2	Regionale afspraken voor Zeeuws-Vlaanderen	14
2.3	Herzieningen Basiskustlijn	14
2.3.1	Landelijke herzieningen	14
2.3.2	Afspraken Zeeuws-Vlaanderen na herziening 2001.	14
2.3.3	Afspraken Zeeuws-Vlaanderen na herziening 2012.	15
2.3.4	Afspraken Zeeuws-Vlaanderen na herziening 2017	15
3	Beschrijving van het morfologisch systeem	17
3.1	Algemene gebiedsbeschrijving	17
3.2	Paleografische ontwikkeling van het gebied	19
3.2.1	Paleografische ontwikkeling van de regio	19
3.2.2	Paleogeografische ontwikkeling Voordelta	20
3.3	Monitoring van de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust (Baart et al 2018)	22
3.4	Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (Hijma, 2018)	23
3.5	Grootschalige morfologische ontwikkelingen	25
3.5.1	Voordelta	25
3.5.2	Westerscheldemonding	26
3.5.3	Rol van slib in het Westerschelde mondingsgebied (Vroom et al, 2016)	28
4	Kustlijnhandhaving en ontwikkeling kust	30
4.1	Inleiding	30
4.2	Uitgevoerde zandsuppleties	31
4.3	Detailontwikkeling kustprofiel	35
4.3.1	Deelgebied I: Breskens-Groede (raai 11-441)	35
4.3.2	Deelgebied II: Groede-Nieuwvliet (raai 461-802)	42
4.3.3	Deelgebied III: Verdrongen Zwarte Polder-Herdijkte Zwarte Polder (raai 822-1032)	48
4.3.4	Deelgebied IV: Zwartepolder - Cadzand-Bad (raai 1046-1487)	54
4.3.5	Volume-ontwikkelingen op basis van vaklodingen en LiDAR-metingen	58
4.3.6	Samenvatting detailontwikkeling kustvak Zeeuws-Vlaanderen	61
4.4	Dynamiek van de zeereep	62
4.4.1	Inleiding	62
4.4.2	Algemene beschrijving situatie van de zeereep in het kustvak Zeeuws-Vlaanderen (Arens en Neijmeijer, 2015)	63
4.4.3	Volumeveranderingen en dynamiek van de zeereep langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen	63

4.4.4	Effect van suppleties	65
4.4.5	Dynamiseringsprojecten	66
5	Kustverdediging en primaire waterkering	67
5.1	Kustverdediging	67
5.1.1	Historie	67
5.1.2	Harde kustverdedigingswerken	68
5.1.3	Zwakke Schakels West-Zeeuws-Vlaanderen (Waterschap Scheldestromen)	70
5.2	Primaire waterkering	75
5.3	Beoordeling van de primaire waterkering	76
5.3.1	Waterwet & WBI	76
5.3.2	WBI beoordeling 2017	77
5.3.3	Faalkans van de eerste duinenrij / zeereep	78
6	Gebruiksfuncties	81
6.1	Strandrecreatie Zeeuws-Vlaanderen	81
6.2	Natuur	82
6.2.1	Natuurwetgeving	82
6.2.2	Habitatkaracteristieken	84
6.2.3	Aanwezigheid kenmerkende soorten	84
7	Referenties	85
A	Achtergrond informatie over het beleid van dynamische kustlijnhandhaving	90
A.1	Definitie Momentane Kustlijn, en Basiskustlijn	90
A.2	Landelijke vaststelling Basiskustlijn 1990	91
A.3	Landelijke herzieningen Basiskustlijn	92
A.3.1	Landelijke herziening van 2001	92
A.3.2	Landelijke herziening van 2012	93
A.3.3	Landelijke herziening van 2017	93
B	Begrippenlijst morfologie	95
C	Morfologie Voordelta en Westerscheldemonding	96
C.1	De Voordelta, een aaneengesloten systeem van buitendelta's van de (voormalige) zeearmen in Zuidwest Nederland (Lazar et al, 2017)	96
C.2	De Westerschelde buitendelta (Elias et al, 2016, Elias en Van der Spek, 2015)	97
D	Suppletieoverzicht kustvak 17 Zeeuws-Vlaanderen	99

1 Inleiding

1.1 Kustonderhoud en -onderzoek

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het onderhoud van de Nederlandse kust. Daarvoor wordt de zandvoorraad op het strand en op de zeebodem vlak voor de kust regelmatig aangevuld door middel van zandsuppleties op plaatsen waar dit nodig is. Hierdoor 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 2016 is er gemiddeld 12 miljoen kubieke meter zand per jaar gesuppleerd. In 2017 is besloten in het reguliere suppletieprogramma 2016-2019 dit volume tijdelijk te verlagen tot 7 miljoen m³ (Kustlijnkaartenboek, 2018). Hoeveel zand er precies nodig is, en op welke plaatsen en momenten het zand het best kan worden neergelegd (de suppletiepraktijk), baseert Rijkswaterstaat op de jaarlijkse beoordeling 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 binnen het project KPP-B&O Kust (Kennis Primaire Processen Beheer en Onderhoud 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 eraan bij dat acute veiligheidsproblemen langs de kust 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 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 betreffende kustvak en omvat een beschrijving van de morfologische systeemwerking, de kustverdediging en de primaire waterkeringen. 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 (zoals recreatie en natuur) samengevat, het gaat daarbij om informatie die relevant is voor het vaststellen van het suppletieprogramma. 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.

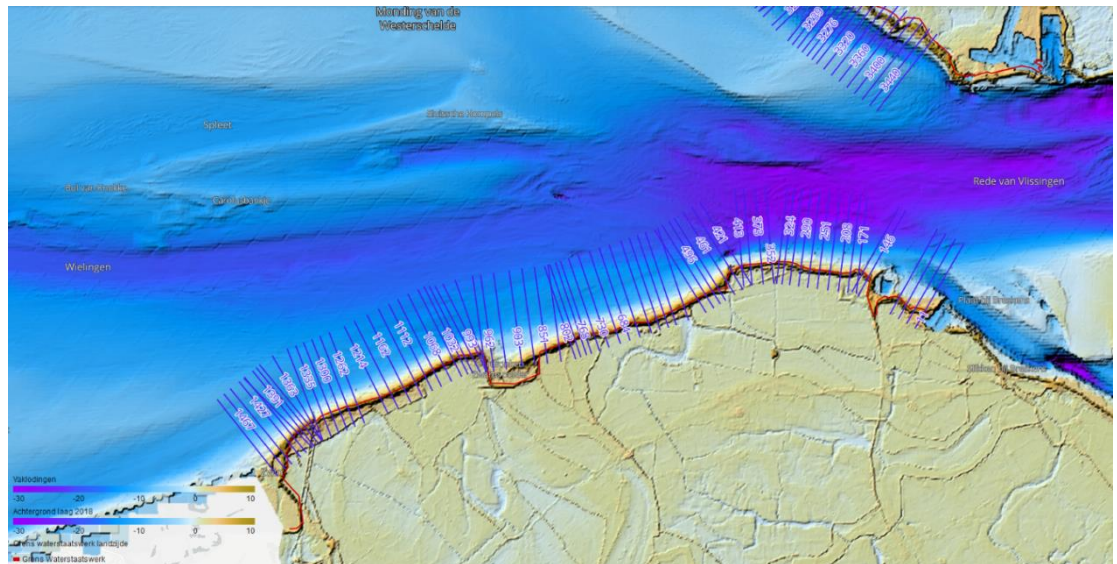
De voorliggende beheerbibliotheek van het kustvak Zeeuws-Vlaanderen betreft een update van de eerste versie door Kuijper, Nederhoff en Vergouwen, 2016. Belangrijke delen van de tekst zijn uit dit document overgenomen, daarnaast zijn de resultaten van nieuwe studies opgenomen en tekst, figuren en tabellen aangevuld en geactualiseerd. Doelstelling van deze tweede versie van de beheerbibliotheek Zeeuws-Vlaanderen is 1) geven van een overzicht en samenvatting van de

huidige gebiedskennis en 2) aangeven van kennisleemten bij het opstellen van adviezen voor kustonderhoud.

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 Nederlandse Noordzeekust online bekijken via:

<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>



Figuur 1.1 - Schermbeeld van het kustvak Zeeuw-Vlaanderen met Jarkusraaien (Kustviewer, 2019)

1.5 Kustlijnkaartenboek

Rijkswaterstaat meet elk jaar waar de kustlijn op dat moment ligt. Aan de hand van de metingen berekent Rijkswaterstaat de lineaire trend van de kustlijnligging. De trend wordt bepaald op basis van de laatste 10 jaar, tenzij suppleties hebben gezorgd voor een trendbreuk. 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 1990. Deze informatie wordt ieder jaar opgeleverd in het kustlijnkaartenboek en is online beschikbaar (zie als voorbeeld Figuur 1.2):

<https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/geoweb51/index.html?viewer=Kustlijnkaart.Webviewer>



Figuur 1.2 - Schermbeeld van het kustvak Zeeuws-Vlaanderen met Jarkusraaien en ligging BKL (paarse lijn) (Kustlijnkaart Webviewer, 2019).

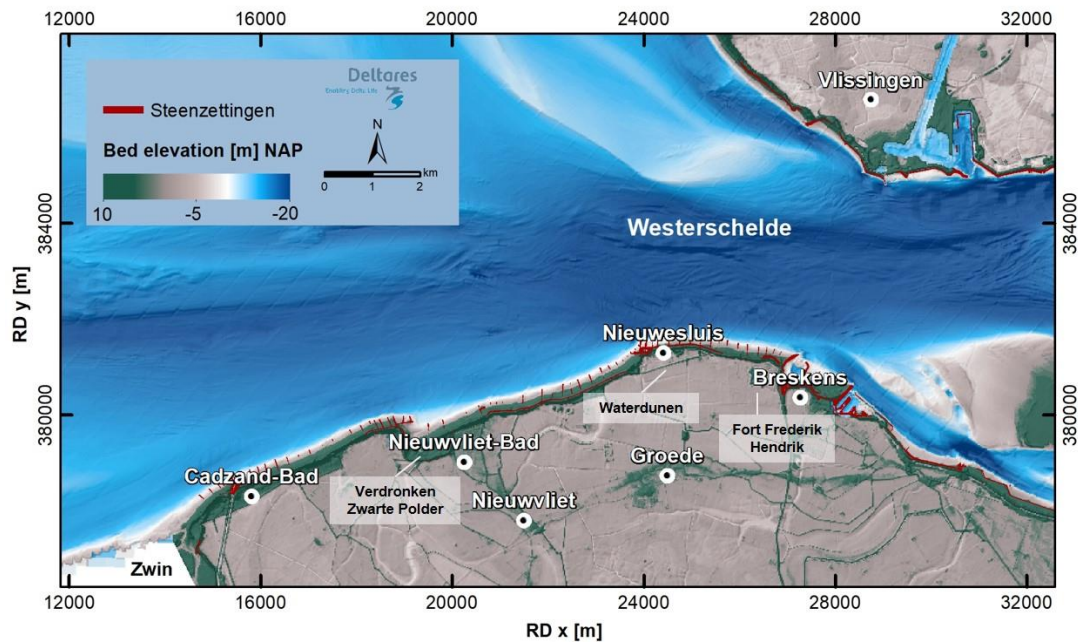
1.6 Algemene informatie over het kustvak Zeeuws-Vlaanderen

De Noordzeekust van Zeeuws-Vlaanderen strekt zich uit over 14 km van de Westerschelde bij de veerhaven van Breskens tot de Belgische grens langs het Zwin bij Cadzand-Bad, zie Figuur 1.3. De kustverdediging bestaat uit afwisselend zeedijken en duinen, her en der onderbroken door voormalige geulen of met strekdammen beschermde haventjes. Over bijna de gehele kust zijn zandstranden aanwezig die vastgelegd zijn door strandhoofden. De afgelopen jaren zijn vooral de werken aan de Zwakke Schakels belangrijk geweest voor dit kustvak, zie verder paragraaf 5.1.

Ter hoogte van Nieuwersluis bij Groede, achter de duinen, liggen de Waterdunen, een natuur- en recreatiegebied, dat is verbonden met de zee door een getijdenduiker. Hierdoor kan het zeewater het gebied tweemaal daags in- en uitstromen. Een dijkdoorbraak zorgde dat de Zwarte Polder bij Nieuwvliet-Bad in 1802 'verdronk'. Tegenwoordig stroomt de zee nog steeds in en uit de Verdrongen Zwarte Polder. Een deel werd herdijkt: dat is nu de naastgelegen Herdijkte Zwarte Polder, tegenwoordig eveneens natuurgebied.

Cadzand-Bad, de meest zuidelijke badplaats van Zeeuws-Vlaanderen, heeft een uitgestrekt duingebied. Ten zuiden van Cadzand-Bad ligt het Zwin, een schor met rijke natuur die verbonden is door een geul met de Noordzee. De Zwinggeul scheidt het strand van Cadzand van Knokke. In het noordoosten van 't Zwin begint de Kievittepolder, en is samen met 't Zwin onderdeel van de Natura 2000-gebieden.

Sinds 1988 worden op regelmatige basis zandsuppleties uitgevoerd, zowel op het strand (zie paragraaf 4.2) en de duinvoet als onder water, in de vooroever of de geulwand. Voor het morfologisch gedrag en het kustbeheer kan het kustvak onderverdeeld worden in verschillende deelgebieden, zie verder paragraaf 4.3 en Figuur 4.6 met de Jarkusraaien.



Figuur 1.3 - Overzicht van het kustvak 17 Zeeuws-Vlaanderen. De strandhoofden en palenrijen zijn weergegeven in rood (steen-zettingen).

1.7 Leeswijzer voor de beheerbibliotheek Zeeuws-Vlaanderen

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. 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 wordt gegeven in Hoofdstuk 5. In Hoofdstuk 6 wordt een kort overzicht gegeven van gebruiksfuncties van de kust, namelijk strandrecreatie en natuur.

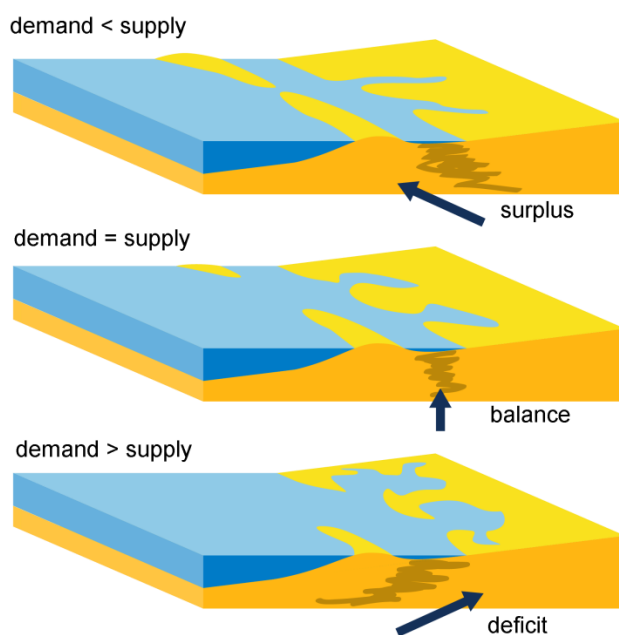
In recente studies is er veel aandacht geweest naar de morfologische veranderingen van de Westerscheldemonding. Bij het opstellen van deze Beheerbibliotheek blijkt dat er geen recente analyses van de kustzone van Zeeuws-Vlaanderen zijn uitgevoerd. De vele opeenvolgende harde verdedigingswerken zorgen voor een complex kustgedrag, waarbij het nog niet duidelijk is hoe deze harde verdedigingswerken het morfologische systeem precies hebben beïnvloed. In deze beheerbibliotheek wordt een eerste aanzet gegeven tot het beter begrijpen van het gedrag door analyse van de kustindicatoren zoals de MKL (H4) en een beknopte volumebalans. Aanvullende profiel- en volumebalansen worden door Deltares nodig geacht om het kustgedrag (beter) te begrijpen.

2 Beleid: dynamische kustlijnhandhaving

Sinds 1990 wordt de Nederlandse kust dynamisch gehandhaafd middels zandsuppleties. Bij de implementatie van dit beleid is er een zogenaamde Basiskustlijn (BKL) vastgesteld die als referentielijn voor de positie van de kustlijn fungeert. In paragraaf 2.1 wordt een toelichting gegeven over de achtergrond van dit kustbeleid. In paragraaf 2.2 worden de keuzes beschreven die gemaakt zijn bij het vaststellen van de Basiskustlijn en welke aanvullende afspraken zijn gemaakt voor het kustvak Zeeuws-Vlaanderen. In paragraaf 2.3 wordt de landelijke herziening van de Basiskustlijn beschreven en de gevolgen hiervan voor het kustvak. Meer achtergrondinformatie staat 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. (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 vooroevers, stranden en 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 kuststelsel verspreid.

Basiskustlijn - Om te bepalen waar het zand langs de kust gesuppleerd moet worden, is in 1990 de 'Basiskustlijn' ofwel BKL als referentie gedefinieerd, met als doel het signaleren van structurele erosie. Elk jaar wordt beoordeeld 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. Bij de verdeling van dit suppletievolume staat het handhaven van de Basiskustlijn nog steeds voorop.

Herziening Basiskustlijn - Om ervoor te zorgen dat de Basiskustlijn overeen blijft komen met de vanuit de verschillende functies bezien gewenste kustlijn, is de Basiskustlijn sinds 1990 herzien in 2001, 2012 en 2017 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002a), (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012), (Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2018)). 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 en herzien van de Basiskustlijn toegelicht voor de periode 1990 tot 2017. Vervolgens wordt de huidige Basiskustlijn en de gehanteerde argumenten voor specifiek het kustvak Zeeuws-Vlaanderen uitgewerkt.

De teksten in de volgende sub-paragrafen 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)
- Bruens et al (2012)
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2012)
- (Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2018))

2.2.1 Definitie Momentane Kustlijn, en Basiskustlijn

Sinds 1965 wordt de kustlijn jaarlijks gemeten (i.e. JARKUS: JAaRlijkse KUSTmeting). 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 "" (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, en Basiskustlijn. In Appendix A.2 staat meer informatie over de landelijke vaststelling van de BKL in 1990.

2.2.2 Regionale afspraken voor Zeeuws-Vlaanderen

Voorstel Rijkswaterstaat in 1991:

Voor de gehele kustlijn is een BKL berekend, ook voor de dijkvakken omdat er bij laagwater vrijwel altijd nat zand aanwezig is. Deltaversterkingen langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen hebben plaatselijk geleid tot trendbreuken in de MKL-positie trend berekeningen, waardoor er enkele aanpassingen in de rekenperiode zijn gemaakt. Ter hoogte van Zwinmond en de Verdrongen Zwarte Polder / Adornispolder kan overwogen worden de BKL landwaarts te verleggen omdat de afstand van de laagwaterlijn tot de waterkering erg groot is (Hillen et al., 1991).

Advies Provinciaal Overleg Kust (POK) uit 1993:

Het advies van het POK-Zeeland neemt in acht dat er eind jaren '80 een aantal suppleties is uitgevoerd om veiligheidsredenen waardoor voor een aantal raaien een meer zeewaartse ligging van de BKL is vastgesteld. Het POK advies representeert een deltaveilige situatie en stelt een zeewaartse verlegging van de BKL voor op de volgende locaties: 6 raaien op het Noorderstrand van Schouwen, 7 raaien op Zuidwest-Walcheren en 20 raaien op Zeeuws Vlaanderen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993).

Reactie Rijkswaterstaat uit 1993:

Rijkswaterstaat neemt de adviezen van het POK-Zeeland voor een zeewaartse verlegging van de BKL over, voor zover dit nodig is om een positie te bereiken waarbij de waterkering nog aan de vereiste veiligheidsnorm voldoet als de kustlijn de BKL heeft bereikt. Dit is het geval op de geadviseerde locaties (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993).

Advies POK uit 1993:

Het POK is van mening dat de BKL alleen niet een sluitend middel is op alle locaties om duurzame veiligheid te waarborgen. Daarom stelt ze voor om de BKL aan te vullen met een 'basisduinvoetlijn'. Als motivatie hiervoor wordt de veiligheid van de waterkering genoemd (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993).

Reactie Rijkswaterstaat uit 1993:

Het gebruiken van een basisduinvoetlijn zou de taakverdeling tussen Rijk en waterkering-beheerder niet ten goede komen. Daarom wordt voorgesteld om de basisduinvoetlijn niet als een criterium voor de kustlijn zorg te hanteren (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993).

2.3 Herzieningen Basiskustlijn

2.3.1 Landelijke herzieningen

Na de vaststelling van de BKL in 1990 is deze herzien in 2001, 2012 en 2017. Meer informatie over de landelijke herzieningen staat in Appendix A.3.

2.3.2 Afspraken Zeeuws-Vlaanderen na herziening 2001.

Voorstel POK uit 2003:

Het POK Zeeland stelt voor om voor heel Zeeuws-Vlaanderen een BKL vast te stellen. Hierbij moet vastgehouden worden aan het beginsel dat landwaartse overschrijding van de vastgestelde BKL ervoor zorgt dat een suppletie noodzakelijk is (BKL met interventiefunctie). Het POK stelt voor om voor Zeeuws-Vlaanderen voor een aantal locaties de BKL zeewaarts te verleggen zodat de stabiliteit van de strandhoofden gewaarborgd kan worden. Dit zal verder geen effect hebben op de hoeveelheid noodzakelijke suppletie, aangezien er door zandtekort in het kustvak ook ter

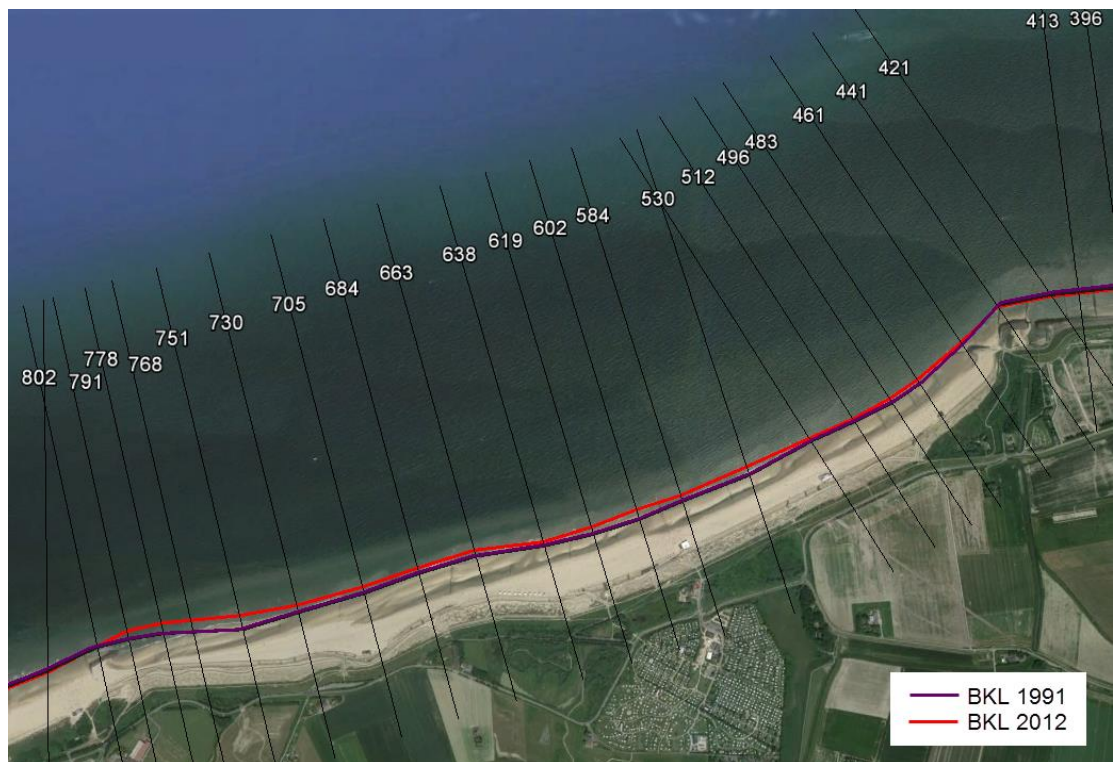
compensatie gesuppleerd dient te worden in dieper water. Verder wordt voorgesteld om in aanvullend advies ook nadere uitwerking te geven aan de taak- en verantwoordelijkheidsverdeling tussen Rijk en waterkeringbeheerder, de beoordeling van suppletie-inspanning en de ligging van de BKL in geval van landwaartse overschrijding van de BKL, functies van strandhoofden als onderdeel van het integrale verbeterplan Zwakke Schakel West Zeeuws-Vlaanderen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003).

Reactie Rijkswaterstaat uit 2003:

Rijkswaterstaat stemt in met het voorstel van het POK (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003).

2.3.3 Afspraken Zeeuws-Vlaanderen na herziening 2012.

In 2009 is het kustvak Nieuwvliet – Groede (Figuur 2.2) in het project Zwakke Schakels versterkt met een zeewaartse duinverzwarende combinatie met een strandverbreding. Hierbij is ook een nieuwe BKL vastgesteld. Deze nieuwe BKL is gebaseerd op het in stand houden van het nieuwe profiel en is overgenomen uit het voorstel van het Waterschap Scheldestromen. Een deel van het versterkingsvolume is gebruikt voor het aanleggen van een erosieberm op de vooroever als pilot-project, echter er zal geen extra BKL verschuiving plaatsvinden om deze berm te handhaven (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).



Figuur 2.2 - Overzicht van herziene BKL op de raaien bij Nieuwvliet – Groede. De rode lijn is de nieuwe ligging van de BKL.

2.3.4 Afspraken Zeeuws-Vlaanderen na herziening 2017

Voor Zeeuws-Vlaanderen is de BKL op de volgende locaties herzien (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018), zie ook A.3.3:

Herziening vanwege zeewaartse versterking van Zwakke Schakels:

- Waterdunen (aan de oostkant bij raaien 230 – 308 wordt de BKL 4 tot 30 m zeewaarts verplaatst en bij raai 461 aan de westkant bij 't Killetje 31 m),

- Herdijkte Zwarte Polder (bij raaien 985 en 993 wordt de BKL met 94 resp. 71 m zeewaarts verlegd, voor de overige raaien 1007 tot 1046 wordt de BKL tot 2050 stapsgewijs verlegd totdat deze op de gewenste plek ligt).

Herziening om morfologische redenen:

- Breskens Oost (bij raaien 51 en 71 wordt de BKL 20 resp. 45 m landwaarts verplaatst zodat deze beter aansluit bij de natuurlijke oriëntatie van de kust en daardoor effectiever gehandhaafd kan worden met suppleties. Daarbij is de veiligheid niet in het geding.

Voor Cadzand-Bad, dat in 2018 is versterkt, is nog geen nieuwe BKL vastgesteld. De ontwikkeling van de kust wordt hier eerst afgewacht.



Figuur 2.3 - Uitvoering strandsuppletie tussen Nieuwvliet en Nieuwesluis, Zeeuws-Vlaanderen, september 2019 (Foto: Rijkswaterstaat).

3 Beschrijving van het morfologisch systeem

Dit hoofdstuk beschrijft de algemene kenmerken van het kustvak Zeeuws-Vlaanderen. Paragraaf 3.1 geeft een algemene beschrijving van het kustgebied. Paragraaf 3.2 beschrijft de paleografische ontwikkeling van het zuidwestelijke Nederlandse kustgebied (de zuidwestelijke Delta) waar Zeeuws-Vlaanderen een onderdeel van vormt. In paragraaf 3.5 wordt dieper ingegaan op de grootschalige morfologische ontwikkelingen in de buitendelta.

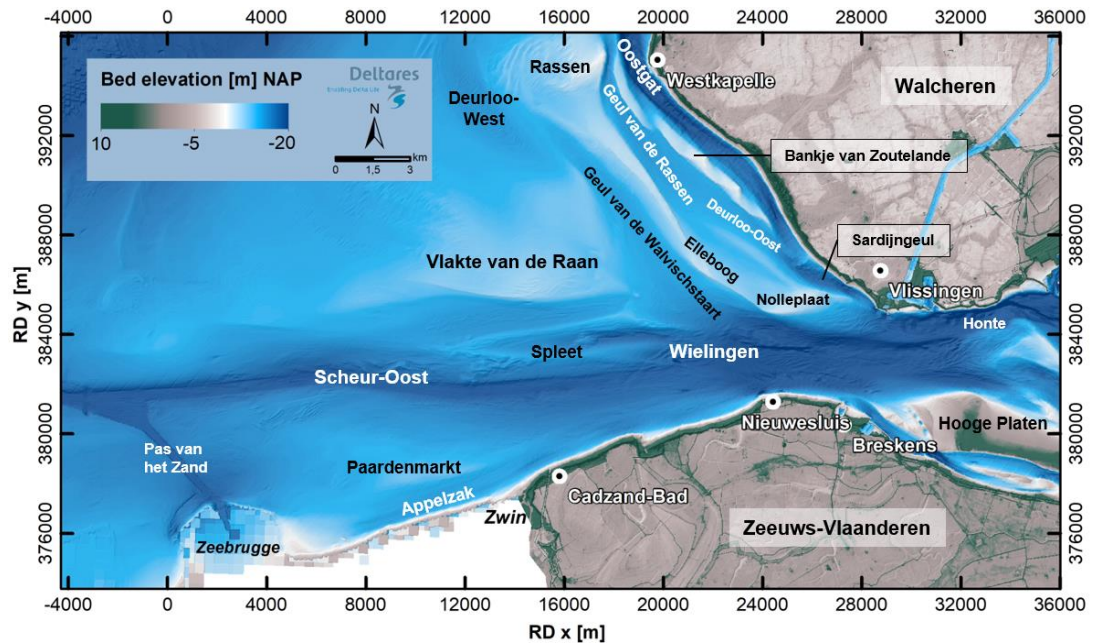
3.1 Algemene gebiedsbeschrijving

De Westerscheldemonding wordt begrensd door de kustvakken Zeeuws-Vlaanderen en Walcheren. Het omvat de Natura 2000 gebieden Vlake van de Raan, Westerschelde-Saeftinghe (tot de lijn Breskens-Vlissingen) en grenst aan het Natura 2000 gebied de Voordelta. De belangrijkste geulen en platen in de Westerscheldemonding zijn weergegeven in Figuur 3.1. De buitendelta van de Westerschelde bestaat uit een uitwaaiend patroon van geulen vanuit de keel van het estuarium in westelijke richting. Landwaarts wordt het mondingsgebied begrensd door de denkbeeldige lijn Vlissingen-Breskens. Zuidwaarts gaat de buitendelta van de Westerschelde over in de Belgische Vlaamse Banken, een gebied met ondiepe kustparallele zandruggen, gescheiden door diepe troggen. De geulen in het mondingsgebied zijn van elkaar gescheiden door ondiepten waarvan de Vlake van de Raan met een oppervlakte van 175 km² de grootste is.

De Noordzeekust van Zeeuws-Vlaanderen, met een lengte van 15 km tussen Breskens en de Nederlands-Belgische grens, vormt de zuidelijke begrenzing van de Westerscheldemonding. De kustlijn zet zich vanaf de grens verder voort in zuidwestelijke richting en wordt onderbroken door de haven van Zeebrugge op 10 km afstand vanaf de grens en de haven van Oostende weer 20 km verder. Aan de Belgische zijde is het project Vlaamse Baaien in ontwikkeling met als doel betere toegankelijkheid van de haven van Zeebrugge en verhogen van de kustveiligheid door aanleg van een eiland voor de kust en verbreding van de strandstrook (De Maerschallck et al., 2015, 2017). Dit zal ook invloed hebben op de kust van Zeeuws-Vlaanderen, alle mogelijke effecten worden onderzocht.

Aan de noordzijde van het mondingsgebied, langs de zuidwestkust van Walcheren, liggen de geulen Oostgat en Sardijngeul met ter plaatse van de overgang een drempel. De drempel wordt af en toe gebaggerd om deze op diepte houden ten behoeve van de scheepvaart. Bovengenoemde geulen vormen een kortsluitgeul tussen de Westerschelde en Oosterschelde. Aan de zeewaartse zijde van het Oostgat ligt het Bankje van Zoutelande, een ondiepe bank met een hoogte tussen NAP-1 m en NAP-5 m, 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 van de geul Deurloo verbonden met de Geul van de Rassen. Het westelijke deel maakt nu verbinding met de Geul van de Walvischstaart. De grote vlakte ten zuiden hiervan is bekend als de Vlake van de Raan en heeft een diepte variërend tussen NAP-2 m en NAP-10 m. De grote oost-west lopende geul in het zuiden, Wielingen in het Nederlandse en Scheur Oost in het Belgische deel, is een belangrijke scheepvaartgeul die toegang biedt tot Zeebrugge en de havens in het Schelde-estuarium, waaronder Vlissingen en Antwerpen. De verbinding tussen Scheur en de haven van Zeebrugge wordt gevormd door de geul Pas van het Zand. Deze scheepvaartgeulen worden regelmatig gebaggerd voor het handhaven van de nautische diepte. Tussen de Belgisch-Nederlandse grens en Zeebrugge bevindt zich de Appelzak, een geul die aanleiding geeft tot erosie van de stranden bij Knokke-Heist (Trouw et al., 2014). Direct noordelijk hiervan ligt de Paardenmarkt, een ondiepe vlakte met een diepte van ongeveer 5 m beneden NAP. De

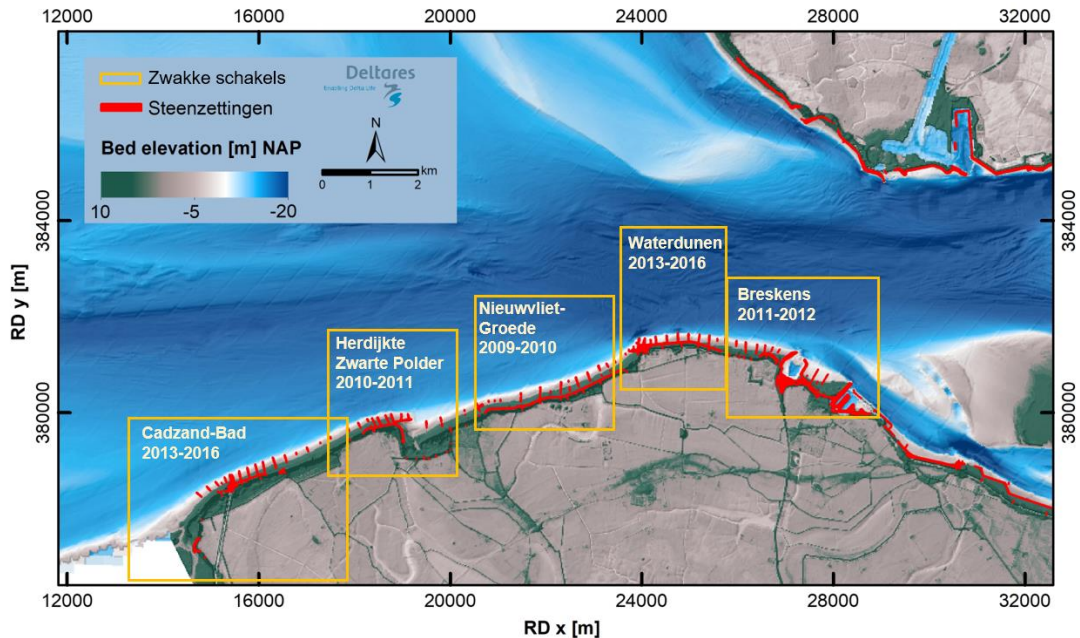
stortlocatie ZBO, die wordt gebruikt voor het verspreiden van sediment (vooral slib) uit de haven van Zeebrugge, bevindt zich 3-4 km westelijk van de Paardenmarkt.



Figuur 3.1 - Huidige configuratie van geulen en platen in de Westerscheldemonding. Bathymetrie gebaseerd op vaklodgingen uit 2015

De kustverdediging van Zeeuws-Vlaanderen bestaat uit afwisselend dijken en duinen. Duinen zijn vaak tegen dijken opgestoven. Soms zijn ook polders geïnundeerd, waarvan de binnendijk dan de nieuwe waterkering is gaan vormen, eventueel met een voorgestoven duin. Voor de gehele kust liggen strandhoofden (Figuur 3.2), die gebouwd zijn gedurende een groot deel van de 19e eeuw vanwege de erosie van de kust. Het kustprofiel staat tamelijk steil, 1:10 tot 1:25. Voor de kust langs loopt de hoofdgeul van de Westerschelde, de Wielingen. In het westelijk deel ligt deze geul niet vlak onder de kust. Daar is een kleine nevengeul ontstaan, de Appelzak, die inmiddels op Belgisch grondgebied "doodloopt" in de havenuitbreiding van Zeebrugge (Verhagen en Van Rossum, 1990).

In 2003 is de veiligheid van de zeekeringen door het Rijk geëvalueerd. Op basis van deze evaluatie is besloten om de kust op 10 plaatsen te versterken. Voor deze plaatsen zijn in het kader van het programma "De Zwakke Schakels" versterkingen uitgevoerd. De Zwakke Schakel West-Zeeuws-Vlaanderen liep van Breskens tot aan Cadzand-Bad, en is opgedeeld in vijf deelgebieden. In Figuur 3.2 is een overzicht van deze deelgebieden weergegeven met de periode van uitvoering. In hoofdstuk 5 staat meer achtergrondinformatie over de harde kustverdediging met strandhoofden, palenrijen en polderdijken (paragraaf 5.1.2) en de uitgevoerde projecten in het kader van de Zwakke Schakels (paragraaf 5.1.3).



Figuur 3.2 - Overzicht van de strandhoofden (rood) en Zwakke Schakel deelprojecten langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen.

3.2 Paleografische ontwikkeling van het gebied

3.2.1 Paleografische ontwikkeling van de regio

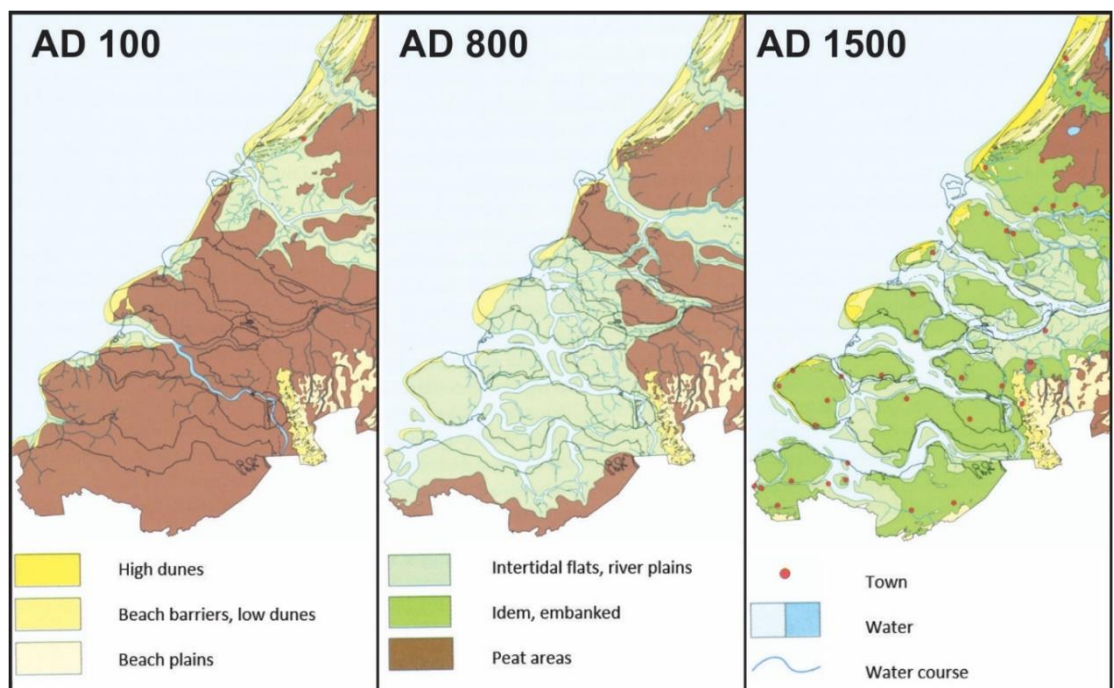
Aan het einde van de laatste ijstijd, het Weichselien, lag Zeeland “droog” en was het nog niet overstromd met zeewater. Twee kleinere rivieren, één ter hoogte van het huidige Zwin, de Eede, en één langs de Brabantse Wal, de Schelde, ontwaterden de zuidelijke helft van de huidige provincie Zeeland. De 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 6000 v. Chr en ca. 2000 v. Chr 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 3500 v. Chr was er een maximum aan open water in het landschap, en snel daarna verlandde het gebied.

Na 2500 v. Chr 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 2500 v. Chr en groeide het veen meters hoog op.

Pas ca. 100 jaar v. Chr, kort voor de Romeinse tijd, vonden aan de kust kleinere inbraken plaats, die eerst na 200 n. Chr aanleiding gaven tot het openbreken van het veensysteem en de afzetting van overstromingskleidekken rond die inbraken. Tussen 200 en 350 jaar n. Chr 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 graafactiviteiten voor sloten en kanalen door de boerenbevolking in die tijd (Vos, 2015).

Rond 1000 n. Chr (Figuur 3.3, 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 n. Chr al bewoningskernen. De bewoners van deze gebieden gaan zich na 1000 n. Chr organiseren en starten met het bedijken van enkele zeer grote hoog opgeslibde gebieden. Rond 1250 n. Chr is het oppervlak ingedijkt land al bijna zo groot als in de huidige tijd.

Na 1500 n. Chr 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 en direct aangrenzend aan de estuaria. Ergens voor of rond 1000 n. Chr 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 19e eeuw (Vos en van Heeringen, 1997), waarmee de Westerschelde definitief de doorgang naar zee werd.



Figuur 3.3 - Tijdreeks van de paleografische ontwikkeling van het deltagebied van ZW Nederland 100 – 1500 AD (AD = v. Chr.). Elias et al., 2016 naar Vos en van Heeringen, 1997.

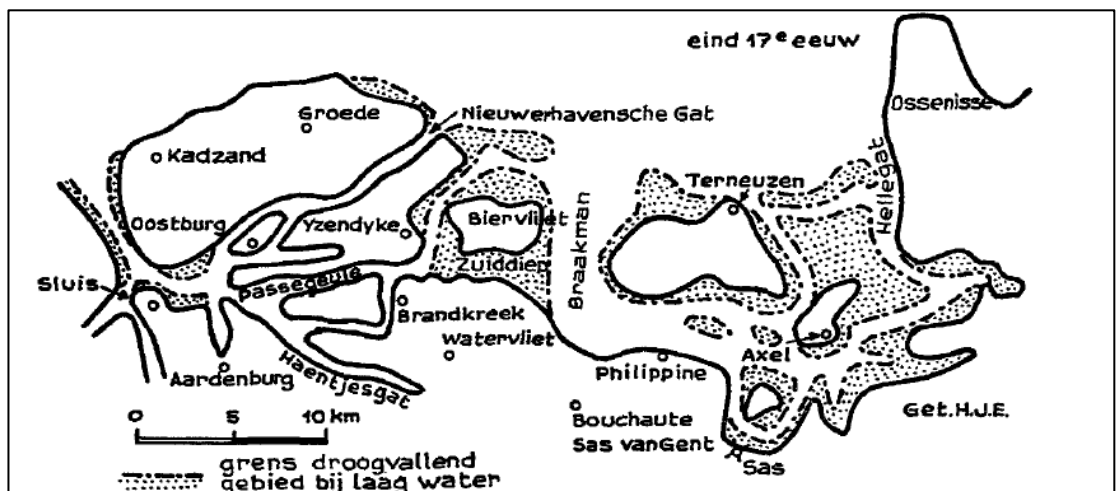
3.2.2 Paleogeografische ontwikkeling Voordelta

Tot in de Romeinse tijd stroomt de Schelde als relatief kleine rivier uit in de toenmalige buitendelta, waarvan overigens niet bekend is hoe deze eruit zag. Deze is mogelijk veel kleiner en veel minder aaneengesloten geweest dan de huidige Voordelta (zie paragraaf 3.5.1). Zeker is wel dat de waarschijnlijk stabiele riviermond een strategische betekenis had, omdat ten zuiden van die mond overblijfselen van een tweetal Romeinse 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 Ooster- en Westerschelde als estuaria en later als getijdensysteem. De ontwikkeling van deze zeearmen moet teruggaan tot de 4e eeuw na Chr. (Vos en Van Heeringen, 1997). Door de enorme overstromingen na de 4e eeuw en de daarmee gepaard gaande verbreding en verdieping van de getijdensystemen moet de buitendelta 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 13e eeuw is er export van sediment uit het Ooster- en Westerschelde 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 erosie-resistente pakketten klei en van geconsolideerd zand in de ondergrond van de Voordelta (Hijma, 2015).

Tot in de 16e eeuw is de ontwikkeling van het getijdenvolume min of meer rechtlijnig vergrotend geweest, maar in de tweede helft van de 16e eeuw nam het getijdenvolume snel toe door verlies aan overstromd buitendijks- en polderland waar eerder naar veen gegraven werd. Vanaf de 18e eeuw verandert het estuarium van de Oosterschelde in een zeegat door de snelle ontwikkeling van de Westerschelde als estuarium.

De Scheldedelta heeft zijn huidige vorm gekregen door het geleidelijk steeds meer indringen van de getijdengeulen in het landschap door de zeespiegelstijging (de Holocene transgressie) en in de laatste eeuwen mede door het door de mens indijken van natuurlijk opgehoogde schorgebieden ('aanwas') die vaak ook vaak weer verloren gingen door stormvloed, dijkvallen of militaire inundaties. Zo is Zeeuws-Vlaanderen, dat voor de 17e eeuw nog een eilandenrijk was bestaande uit platen en slikken en geheel omspoeld werd door de zee, geleidelijk geheel ingepolderd (Figuur 3.4). Door inpoldering en afsluiting van geulen, zoals het Zwin dat de toegang tot de havenplaats Sluis vormde, is de huidige kustlijn van Zeeuws-Vlaanderen ontstaan.



Figuur 3.4 - Polders westelijk Zeeuws-Vlaanderen in de 17e eeuw (Wilderom, 1973)

De laatste grote gebeurtenis in de Zuidwestelijke Delta is de stormramp van 1953 waarbij meer dan 1800 mensen omkwamen en ca. 200.000 ha land overstromde en de daarna uitgevoerde Deltawerken, voltooid in 1987. De overstromde gebieden zijn in de jaren na de ramp weer bijna volledig terug ingepolderd. Tenslotte heeft de verdieping van de Westerschelde vanaf de jaren '90 invloed op getij en morfologie (Taal et al, 2019). Voor natuurontwikkelingen worden tegenwoordig kleine gebiedjes weer ontpolderd, maar ontpoldering stuit in Zeeland op stevige weerstand. De

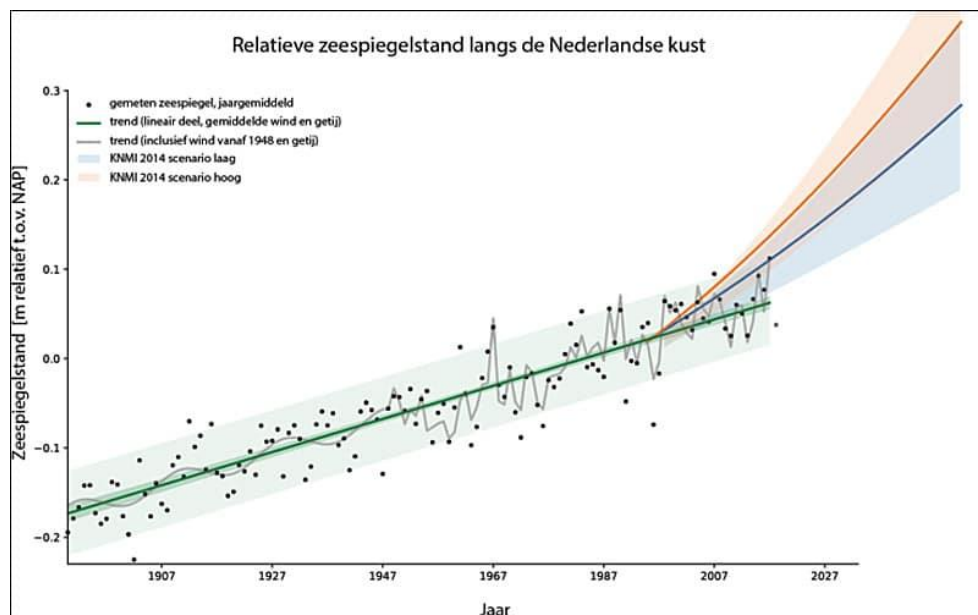
ontwikkeling en historie van de kustverdediging in Zeeuws-Vlaanderen wordt nader beschreven in paragraaf 5.1.

3.3 Monitoring van de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust (Baart et al 2018)

Deltares en HKV IJN in water hebben in opdracht van Rijkswaterstaat gewerkt aan een nieuwe methode om de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust nauwkeuriger te bepalen. In het rapport wordt de actuele stand en stijging van de zeespiegel langs de Nederlandse kust beschreven. In de context van kustbeheer wordt onder de 'zeespiegel' verstaan de over langere tijd gemiddelde hoogte van het zeeoppervlak, waaruit de korte termijn fluctuaties (windgolven, getij, windopzet etc.) nagenoeg zijn verdwenen. Wat overblijft is de geleidelijke verandering van de hoogte van het zeeoppervlak. Deze 'huidige zeespiegel' is belangrijk voor het Nederlandse kustbeleid.

De actuele hoogte van de zeespiegel wordt elk jaar geactualiseerd in de online zeespiegelmonitor. De relatieve zeespiegelstijging is de stijging van de zeespiegel ten opzichte van het land, de som van de absolute zeespiegelstijging en de daling van het landgebonden referentievlak. De relatieve zeespiegelstijging wordt uitgesplitst in een schatting van de absolute bodemdaling (zie paragraaf 3.4) en de absolute zeespiegelstijging. Zowel de hoogte als de stijging van de zeespiegel variëren langs de Nederlandse kust. Dit komt o.m. door regionale verschillen in bodemdaling, zie paragraaf 3.4.

De conclusie is dat de zeespiegel langs de Nederlandse kust van 1890 tot 2017 met 18,6 cm per eeuw is gestegen tot +6 cm NAP en dat de stijging in deze periode niet is versneld. Een deel van de gemeten zeespiegelstijging langs de kust komt door bodemdaling (4,5 cm/eeuw). Gebleken is dat ondanks deze bodemdaling een groot deel van de wereldwijd gemeten zeespiegelstijging van ongeveer 29 cm/eeuw niet bij de Nederlandse kust terecht komt. De huidige zeespiegelstijging zoals vastgesteld in dit rapport is geschikt voor toepassingen op de termijn tot 15 jaar vooruit, voor langere tijdschalen zijn klimaatscenario's van belang. Het z.g. lage KNMI scenario past het best bij de huidige zeespiegelstijging (Figuur 3.5).



Figuur 3.5 - Relatieve zeespiegelhoogte met metingen en scenario's (Baart et al, 2018)

3.4 Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (Hijma, 2018)

In het gehele kustfundament en in de getijdenbekkens vindt bodemdaling plaats en deze draagt bij aan relatieve zeespiegelstijging (de som van absolute zeespiegel- en bodembewegingen, zie paragraaf 3.3). In de huidige rekenregel voor het vaststellen van het suppletievolume wordt gerekend met de gemiddelde relatieve zeespiegelstijging voor Nederland op basis van de zes hoofdgetijden-stations (circa 19 cm/eeuw). De relatieve stijging verschilt per station en varieert tussen de 13 (Harlingen) en 23 (Hoek van Holland) cm/eeuw. Een mogelijke oorzaak voor deze verschillen betreft ruimtelijke verschillen in bodemdaling.

In de nieuwe rekenregel voor het suppletievolume is bodemdaling opgenomen als een aparte term (Van der Spek et al., 2015 en Lodder, 2016). Hiermee wordt het mogelijk om ruimtelijke verschillen in bodemdaling direct mee te nemen in het vaststellen van het suppletievolume en dit leidt tot een betere onderbouwing van het benodigde regionale suppletievolume. Om de nieuwe rekenregel te implementeren, is een goed beeld van de bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens gewenst. In Hijma en Kooi (2018a en b) is een ruimtelijk en kwantitatief overzicht gemaakt van de bijdrage van de verschillende bodemdalingscomponenten. Hierbij is onderscheid gemaakt in geologische bodemdaling en daling veroorzaakt door menselijke activiteiten. De geologische bodemdaling wordt veroorzaakt door glacio-isostasie (GIA), autocompactie en tektoniek, waarbij de bijdrage van autocompactie verwaarloosbaar klein is. Bodemdaling door menselijke activiteiten treedt vooral op bij de winning van olie, gas, zout en grondwater.

De bodemdalingskaarten van het kustfundament en de getijdenbekkens (Hijma & Kooi, 2018b) zijn ontwikkeld voor drie periodes: laatste 100 jaar, laatste 30 jaar en heden tot 2050. In Figuur 3.6 is de totale bodemdaling (winning van gas, olie en zout en geologische bodemdaling) in de periode 1917-2017 weergegeven, de overige periodes zijn terug te vinden in (Hijma & Kooi, 2018b).

De totale bodemdalingsvolumes zijn per deelsysteem van de kust bepaald. Het volume is berekend door op basis van de basiskaarten, voor elk deelgebied de gemiddelde bodembeweging door tektoniek, GIA of winning te bepalen en bij elkaar op te tellen. Deze som wordt vervolgens vermenigvuldigd met het oppervlak van het deelgebied. Voor elk deelgebied is ook de onzekerheid berekend rondom het bodemdalingsvolume op basis van genoemde variatiecoëfficiënten. Het kustvak Zeeuws-Vlaanderen valt binnen het deelgebied 'Westerschelde delta' in Hijma & Kooij (2018b). Voor elke periode zijn in Tabel 3.1 de gemiddelde bodembeweging door tektoniek, GIA en winning weergegeven, alsmede de totale beweging, de gemiddelde bewegingssnelheid over die periode en het berekende bodemdalingsvolume. Tabel 3.2 geeft ten slotte voor de drie periodes voor het gehele kustfundament van Zeeuws-Vlaanderen het jaarlijks gemiddelde bodemdalingsvolume (geologie, winning, totaal).

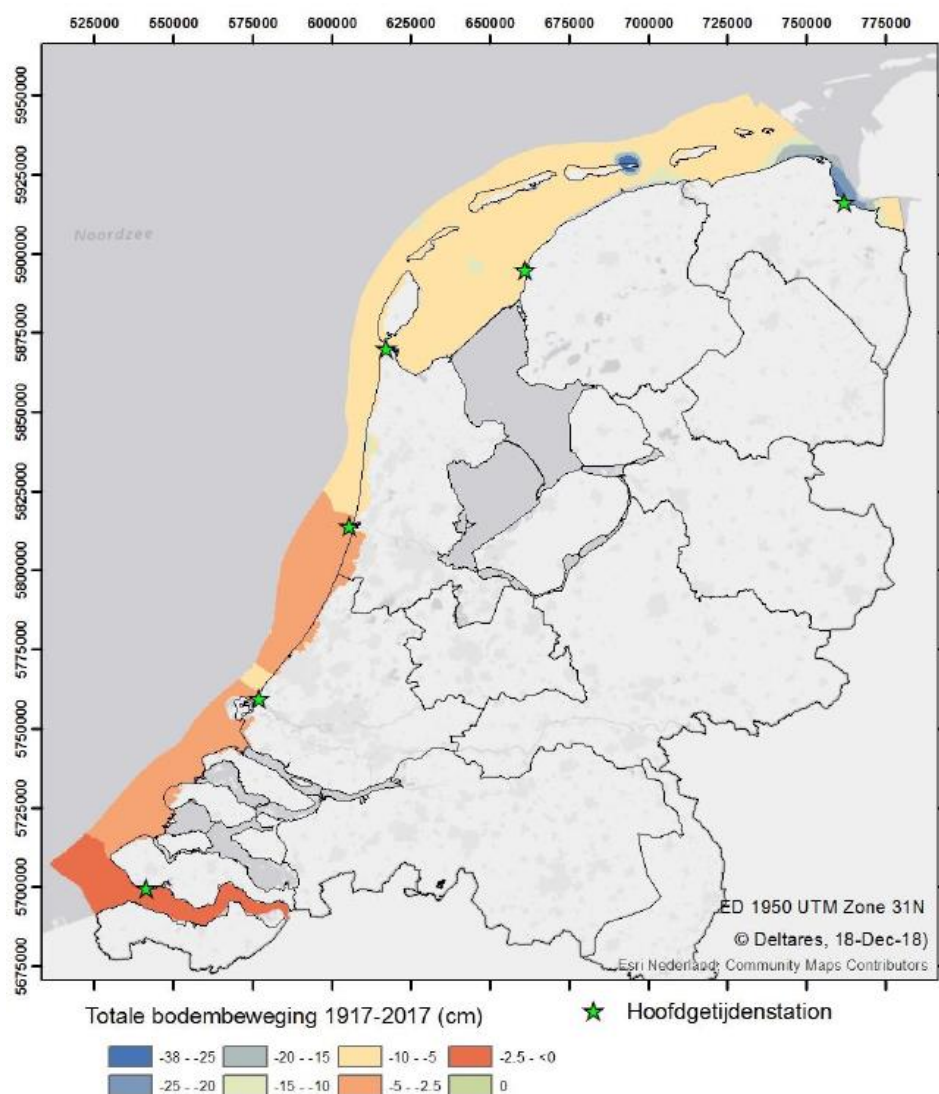
De kaarten zullen in de toekomst geactualiseerd kunnen worden naar aanleiding van veranderingen in de ligging van actieve gas-, olie- en zoutvelden, maar ook door veranderingen in de productie per wingebied (gas en zout). Daarnaast zullen nieuwe inzichten in GIA ook leiden tot veranderingen in het gemodelleerde regionale patroon van geologische bodemdaling en kunnen dus ook kaarten van reeds opgetreden bodemdaling veranderen. Deze actualisaties kunnen dan verschijnen binnen de voorgestelde bodemdalingsmonitor. Te zien is dat in het kustvak Zeeuws-Vlaanderen de effecten relatief gering zijn, net als in het gehele Westerscheldebekken, mogelijk omdat hier geen sprake is van gaswinning of door de samenstelling van de ondergrond.

Tabel 3.1 - Bodembewegingsgetallen voor deelgebied Westerschelde delta, uit Hijma & Kooi (2018b)

Periode	Gemiddelde tektonische bodembeweging (cm)	Gemiddelde GIA-bodem-beweging (cm)	Gemiddeld bodembeweging door winning (cm)	Gemiddelde bodemwegings-snelheid (cm/yr)	Totale bodemdalingsvolumen ± onzekerheid (Mm ³)
1917-2017	+0.10	-2.50	0.00	-0.024	10.1 ± 5.3
1987-2017	+0.03	-0.75	0.00	-0.024	3 ± 1.6
2018-2050	+0.03	-0.82	0.00	-0.024	3.3 ± 1.7

Tabel 3.2 - Jaarlijks gemiddelde bodemdalingsvolumes voor deelgebied Westerschelde delta

Periode	Geologisch bodemdalingsvolumen ± onzekerheid (Mm ³ , gem. per jaar)	Bodemdalingsvolumen door winning ± onzekerheid (Mm ³ , gem. per jaar)	Totale bodemdalingsvolumen ± onzekerheid (Mm ³ , gem. per jaar)
1917-2017	0.101 ± 0.053	0 ± 0	0.101 ± 0.053
1987-2017	0.101 ± 0.053	0 ± 0	0.101 ± 0.053
2018-2050	0.101 ± 0.053	0 ± 0	0.101 ± 0.053



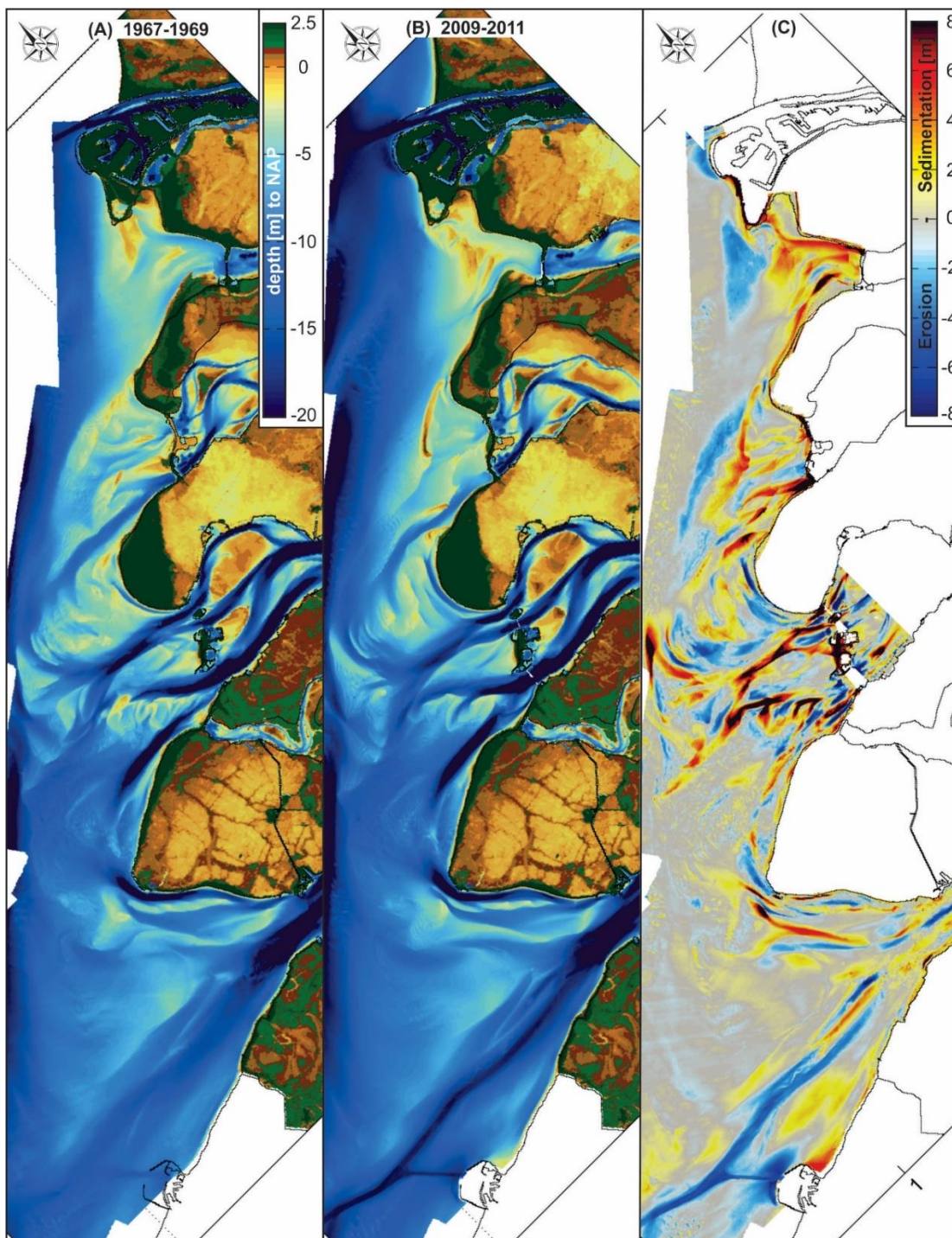
Figuur 3.6 - Totale bodembeweging (winning van gas, olie en zout; geologische bodemdaling) in de periode 1917-2017. (Hijma & Kooi, 2018b)

3.5 Grootschalige morfologische ontwikkelingen

De morfologische ontwikkelingen langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen worden voor een belangrijk deel bepaald door de grootschalige ontwikkelingen in de Voordelta en dan vooral de Westerscheldemonding, zie Figuur 3.1. De morfologische ontwikkelingen van de Voordelta en Westerscheldemonding worden beschreven in respectievelijk paragraaf 3.5.1 en 3.5.2. Vervolgens wordt de rol van slib in de Westerscheldemonding behandeld in paragraaf 3.5.3.

3.5.1 Voordelta

De zeewaartse reikwijdte van de Voordelta gaat tot ongeveer 10 km buiten de kust, zie Figuur 3.7. 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. Dit heeft vorm gegeven aan de snel verplaatsende banken en platen, welke worden doorsneden door vele ondiepe en diepe getijdegeulen. 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. Figuur 3.7 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 3.7 - De bodemligging van de Voordelta voor de jaren (A) 1968 (gebaseerd op de Vaklodingen 1967-1969) en (B) 2010 (gebaseerd op de Vaklodingen 2009-2011). De morfologische veranderingen in deze periode worden getoond door de sedimentatie- en erosie patronen in (C). (Elias et al, 2016).

3.5.2 Westerscheldemonding

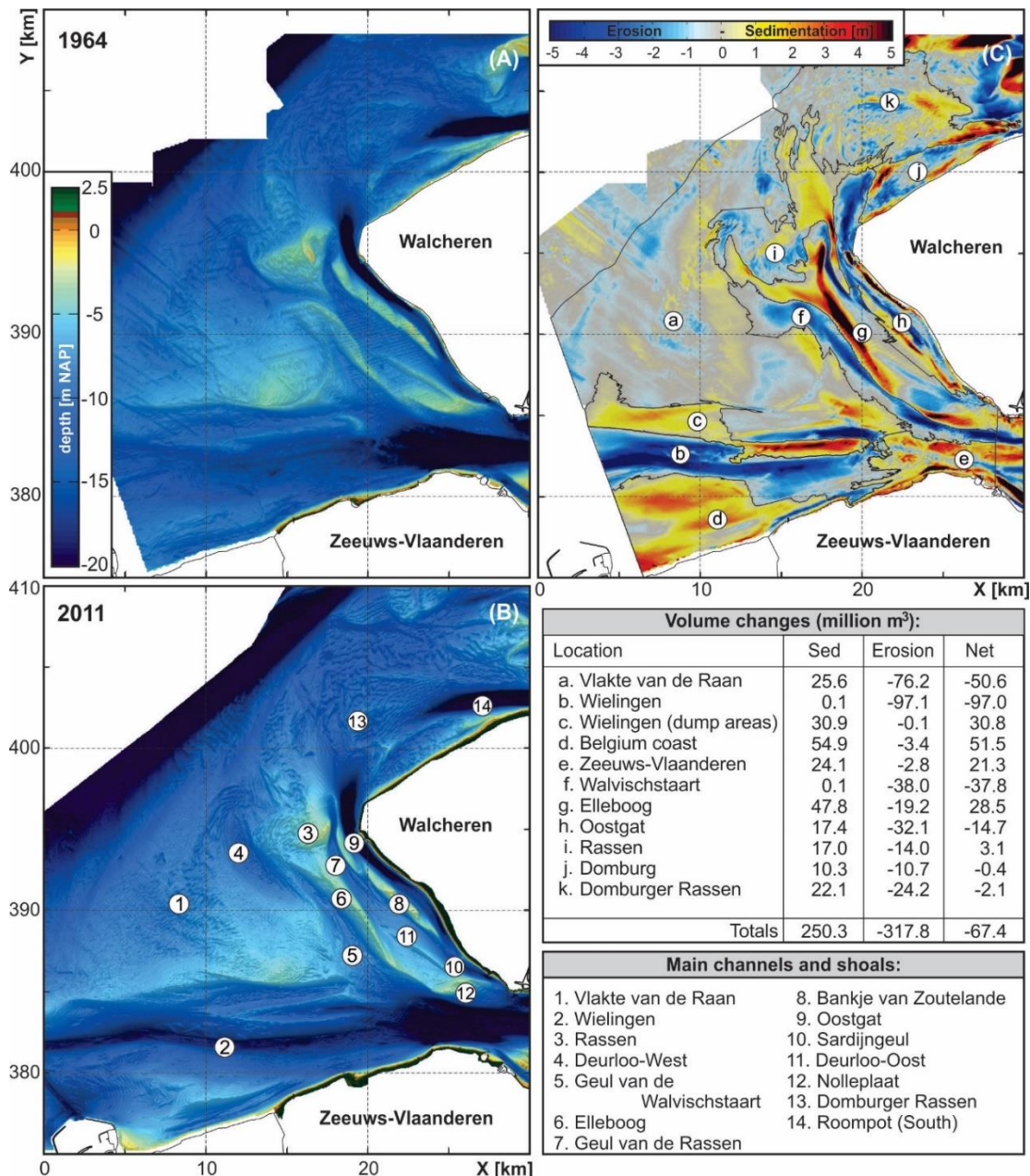
De morfologische ontwikkelingen en volumeveranderingen in de Westerscheldemonding in de periode 1964-2011 is weergegeven in Figuur 3.8. Een belangrijke wijziging in de morfologie van de Westerscheldemonding betreft de verandering van een drie-geulen systeem naar een twee-geulen systeem (Van der Slikke, 1997). Halverwege de 19e eeuw waren Wielingen, Deurloo en Oostgat de belangrijkste geulen, waarbij er een min of meer evenredige verdeling van geulen over de gehele delta was. In de loop van de 20e eeuw is de Deurloo kleiner geworden en zijn de

Wielingen en Oostgat in grootte toegenomen, zodat beide laatste nu de dominante hoofdgeulen vormen. De huidige ligging van de geulen en platen, met de grootste geul (Wielingen) in het zuiden en een uitgebreid stelsel van geulen en platen langs de kust van Walcheren, bestaat op hoofdlijnen al sinds deze omslag. Ondanks de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde en de veranderingen in het Westerschelde estuarium, waar 400 miljoen in-situ m³ sediment is verplaatst door baggeren en storten en 114 miljoen m³ zand is gewonnen sinds 1955 (Haecon, 2006), zijn de morfologische kenmerken van dit hoofdgeulensysteem behouden gebleven. In en langs de geulen vonden grote veranderingen in de buitendelta-morfologie plaats tussen 1964 en 2011. De Wielingen is de belangrijkste toegangsheuvel voor de scheepvaart naar de Westerschelde en haven van Antwerpen. Sinds de jaren 60 wordt de Wielingen door baggerwerkzaamheden op een diepte van circa -20 m gehouden.

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 3.8B). 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 Vlakte 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 3.8C, polygoon k).

De bodem van de Voordelta en de Westerscheldemonding bestaat voornamelijk uit zand. Lokaal zijn er wel slibafzettingen aanwezig waar de stroomsnelheden en golven laag zijn. Ook zijn er afwijkende bodemsamenstellingen in de Westerscheldemonding, waar geulen oude geologische formaties aansnijden.



Figuur 3.8 - 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).

3.5.3 Rol van slib in het Westerschelde mondingsgebied (Vroom et al, 2016)

Uit analyse van de bestaande literatuur en data blijkt dat er mogelijk een slibbron in het gebied rond Zeebrugge aanwezig is die bestaat uit Holocene afzettingen. Deze bron heeft er in het verleden waarschijnlijk voor gezorgd dat grote hoeveelheden slib zijn geërodeerd rond de haven van Zeebrugge (o.a. als gevolg van het uitbreiden van de havenhoofden) en ook tegenwoordig lijkt er rondom de vaargeulen nog erosie plaats te vinden. De grootte, locatie en de precieze samenstelling van deze Holocene slibbron is echter onzeker. De huidige erosie van deze slibbron wordt geschat op maximaal 2,3 miljoen ton per jaar, afhankelijk van de precieze grootte, locatie en samenstelling van de Holocene afzettingen.

In het kader van het onderzoek voor Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie wordt gezamenlijk morfologisch onderzoek gedaan en worden rekenmodellen ontwikkeld ten behoeve van beleid en

beheer. De Scheldemonding wordt gekarakteriseerd door de aanwezigheid van een troebelheidsmaximum (een lokaal verhoogde sedimentconcentratie) rond Zeebrugge. Inzicht in de processen die dit troebelheidsmaximum kunnen veroorzaken is van belang voor een accurate modellering ervan. Vroom et al (2016) beschrijft de opzet van een Delft3D zand-slib-model van de Westerscheldemonding. Het onderzoek richt zich op het reproduceren van gemeten waterstanden, stroomsnelheden, golven, saliniteit, sedimentconcentraties en baggervolumes. Daarnaast wordt het model ingezet om te onderzoeken welke processen van belang zijn voor de geobserveerde sedimenttransportmechanismen. Uiteindelijk kan het model gebruikt worden om het effect van grootschalige ingrepen, zoals baggeren en storten, op de sedimentdynamiek in het mondingsgebied te kwantificeren.

4 Kustlijnhandhaving en ontwikkeling kust

4.1 Inleiding

De Noordzeekust van Zeeuws-Vlaanderen strekt zich uit over een lengte van 15 km van Breskens tot het Zwin, ter plaatse van de Nederlands-Belgische grens (overzicht in Figuur 1.3). Er is een afwisseling van harde en zachte kustverdediging. De grootschalige kustoriëntatie verandert van zuidwest-noordoost naar west-oost. Door verdedigingswerken (bijvoorbeeld bij de Herdijkte Zwarte Polder, Kruishoofd en Nieuwesluis) zijn hier weer lokale afwijkingen op. In hoofdstuk 5 staat meer achtergrondinformatie over de harde kustverdediging met strandhoofden, palenrijen en polderdijken (paragraaf 5.1.2) en de uitgevoerde projecten in het kader van de Zwakke Schakels (paragraaf 5.1.3).

Over vrijwel de gehele lengte is er een strand en zijn strandhoofden aanwezig voor de kustverdediging, zie paragraaf 5.1.2. Sinds 1988 worden op regelmatige basis suppleties uitgevoerd, vaak in de vorm van strand- en duinsuppleties of gecombineerd, maar in 1989 en 1990 ook als vooroeversuppletie en in 2010 bij Nieuwesluis als geulwandsuppletie. In 2015 en 2016 is het project Waterdunen uitgevoerd waarbij er een landwaartse duinversterking heeft plaatsgevonden en een getijdeduiker is gerealiseerd (werkzaam sinds september 2019) als onderdeel van de Zwakke Schakels in combinatie met ruimtelijke ontwikkelingen.

Dit hoofdstuk beschrijft de ontwikkelingen van de vooroever, in relatie tot het uitgevoerde beheer voor het kustvak, met name de zandsuppleties. Jaarlijks wordt aan de hand van posities van de MKL en de TKL getoetst hoe de kustlijn erbij ligt ten opzichte van de BKL (voor uitleg zie Appendix A.1). De resultaten van deze beoordeling worden vastgelegd in het jaarlijks uitgegeven kustlijnkartenboek van Rijkswaterstaat. Hierin wordt aangegeven wat de ligging van de TKL is t.o.v. BKL, kustlijntrends (in m/jaar, landwaarts of zeewaarts). De kustlijnkarten zijn te zien op de website van Rijkswaterstaat (zie als voorbeeld Figuur 4.1 met kustlijntrends):

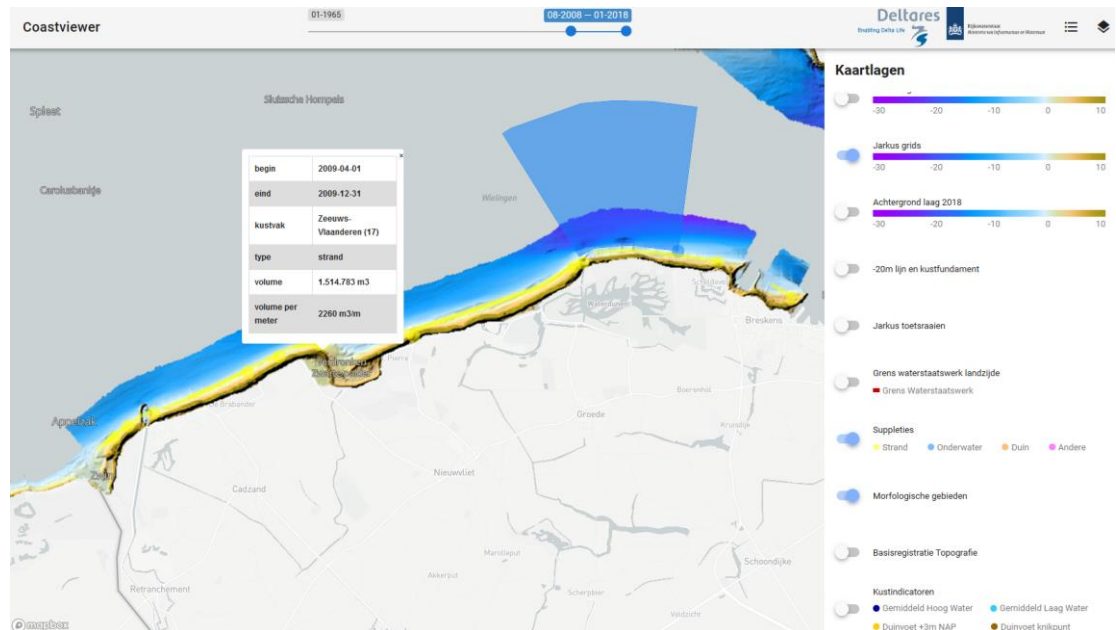
<https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/geoweb51/index.html?viewer=Kustlijnkarten.Webviewer>



Figuur 4.1 - Voorbeeld schermbeeld met trends in kustlijn kustvak Zeeuws-Vlaanderen, beoordeling 1-1-2019 (Kustlijnkarten Webviewer, 2019)

Paragraaf 4.2 geeft een gedetailleerd overzicht van de zandsuppleties die langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen hebben plaats gevonden t/m 2018. De detailontwikkeling van de vooroever met de kustindicatoren staat per deelgebied beschreven in paragraaf 4.3 en de dynamiek van de zeereep in paragraaf 4.4. In Appendix D zijn de uitgevoerde suppleties in kaartvorm aangegeven. In de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>) is ook informatie te vinden in

kaartvorm over de toestand van de kust en de zandsuppleties, zie als voorbeeld Figuur 4.2 met informatie over suppleties.



Figuur 4.2 - Voorbeeld schermbeeld met informatie over uitgevoerde suppleties in kustvak Zeeuws-Vlaanderen (Kustviewer, 2019)

4.2 Uitgevoerde zandsuppleties

Langs de Noordzeekust van Zeeuws-Vlaanderen treedt al jaren structurele erosie op. De kustlijn heeft daardoor van Breskens tot Cadzand een overwegend landwaartse trend. De kustlijnkaarten geven de trend per jaar (zie bijvoorbeeld Figuur 4.1). Om de lokale functies te kunnen waarborgen, wordt de erosie sinds 1971 regelmatig gecompenseerd met zandsuppleties. Met name tussen 2009 en 2016 zijn er in het kader van de Zwakke Schakel projecten veel ingrepen geweest in dit gebied met dijkversterkingen en suppleties.

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de uitgevoerde suppleties langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen. Het totaal voor de gehele periode vanaf de eerste strandsuppletie in 1971 bedraagt 17,5 miljoen m³ ofwel gemiddeld 370.000 m³/jaar (voor de periode vanaf 1988 gemiddeld 575.000 m³/jaar). Figuur 4.3 geeft het totale volume in de tijd. Figuur 4.4 geeft aan welk type suppletie waar is uitgevoerd. De verdeling van het totale suppletievolume per strekkende meter langs de kust voor de periode 1971-2018 wordt getoond in Figuur 4.5. Hieruit blijkt dat langs de gehele kust is gesuppleerd maar dat het zwaartepunt van de suppleties ligt ter plaatse van Nieuwesluis (raai 200-400) en bij de Herdijkte Zwarte Polder (raai 1000-1100). Zie ook Appendix D voor het suppletieoverzicht in kaartjes.

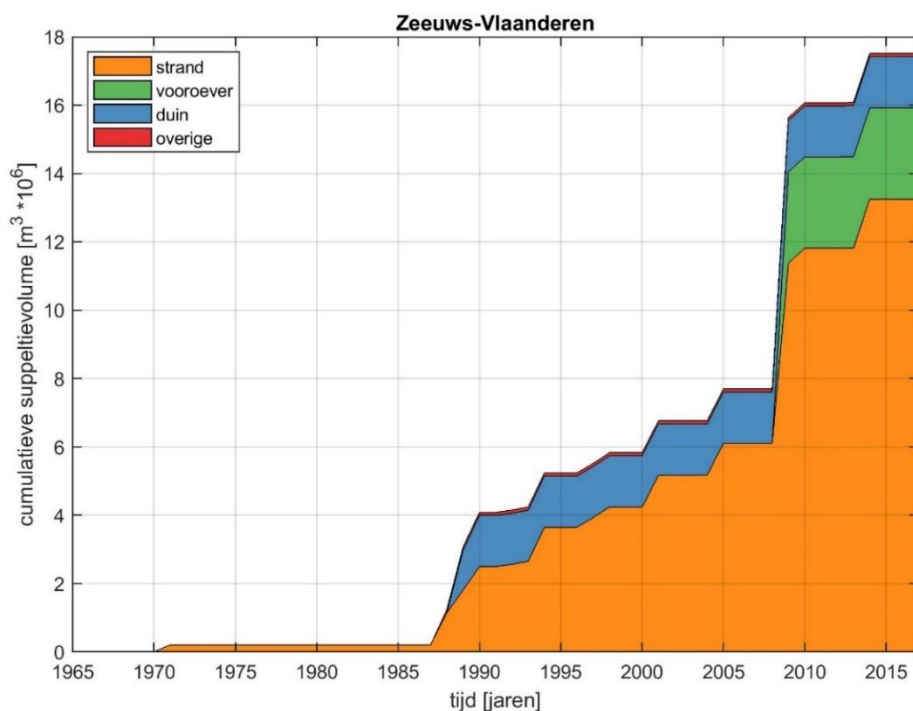
In de jaren 2009/2010 is in het kader van het Hoogwaterbeschermings-programma Zwakke Schakels een strand-duinsuppletie uitgevoerd bij Nieuwvliet-Groede, in totaal 8,4 miljoen m³ zand gesuppleerd. De kust tussen Nieuwvliet en Groede is in 2009 versterkt door het aanleggen van een duin voor de dijk. De kust bij de Herdijkte Zwarte Polder is in 2010/2011 eveneens versterkt door het aanleggen van een duin voor de huidige dijk en het verlengen van een aanwezige strekdam. In 2014 is een strandsuppletie uitgevoerd die aansluit op de kustversterking bij Cadzand-Bad. De kust van Cadzand is tussen 2015 en 2016 versterkt door zand aan te leggen voor de bestaande dijk, zodat een nieuw duin ontstaat. Het deel van het strand onder het nieuwe duin is zeewaarts met een nieuw strand gecompenseerd. In 2014 is een strandsuppletie bij Kievitte West uitgevoerd, die aansloot op de versterking.

Rijkswaterstaat heeft in de periode 2019-2020 in Zeeuws-Vlaanderen opnieuw zandsuppleties uitgevoerd, waarvan drie strandsuppleties en een onderhoud van de geulwandsuppletie uit 2009. Deze suppleties zijn nog niet in de tabel en de figuren opgenomen. Het betreft een geulwandsuppletie voor de kust van Nieuwesluis, tussen raaien 324-461 en strandsuppleties ter hoogte van Nieuwvliet - Groede (raaien 461 – 877, zie ook Figuur 2.3) en, Cadzand - Kievitte West (raaien 1354 – 1467) en Herdijkte Zwarte Polder – Cadzand-Bad tussen raaien 985 - 1335, in totaal 2,9 miljoen m3 zand.

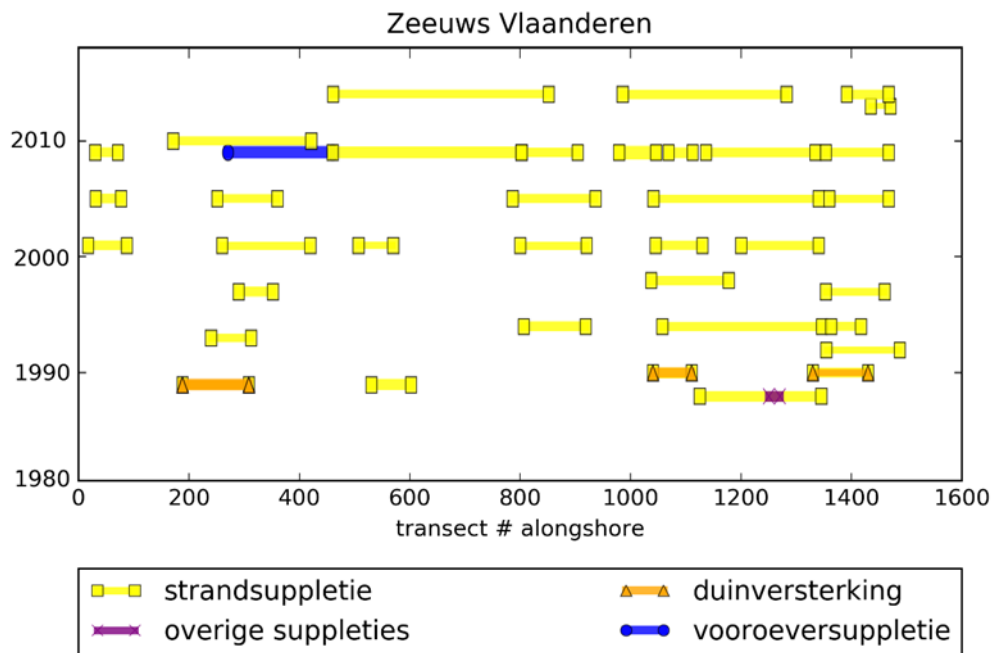
Tabel 4.1 - Uitgevoerde suppleties Noordzeekust Zeeuws-Vlaanderen. Periode 1971-2019 (bron: Suppletiedatabase 2019). Nummers van een aantal Jarkusraaien worden getoond in Figuur 4.6.

Locatie	Datum	Begin	Eind	Type	Volume (situ)	Volume
		raai	Raai		[1000 m ³]	[m ³ /m]
Breskens	1971	40	85	strandsuppletie	206	458
Cadzand	1988	1125	1345	strandsuppletie	936	426
Cadzand (depot)	1988	1250	1270	overige	93	465
Breskens	1989	188,5	308	strandsuppletie	227	190
Breskens	1989	188,5	308	duinverzwaring	926	775
Breskens	1989	188,5	308	duinverzwaring	245	205
Groede	1989	530	602	strandsuppletie	437	607
Cadzand-west	1990	1330	1430	strandsuppletie	319	319
Cadzand-west	1990	1330	1430	duinverzwaring	55	55
Tienhonderdpolder	1990	1040	1110	strandsuppletie	368	526
Tienhonderdpolder	1990	1040	1110	duinverzwaring	270	386
Zwin-noord	1992	1354	1487	strandsuppletie	67	50
Breskens-Schooneveld	1993	240	312	strandsuppletie	90	125
Adornispolder	1994	806	918	strandsuppletie	348	311
Cadzand	1994	1057	1346	strandsuppletie	560	194
Zwin-noord	1994	1363	1417	strandsuppletie	91	169
Breskens-Schooneveld	1997	290	352	strandsuppletie	185	298
Kievitte-West	1997	1353	1460	strandsuppletie	95	89
Tienhonderdpolder	1998	1037	1177,5	strandsuppletie	314	224
Adornispolder	2001	800	920	strandsuppletie	132	110
Breskens	2001	17	87	strandsuppletie	197	281
Breskens Schooneveld	2001	260	420	strandsuppletie	168	105
Cadzand	2001	1200	1340	strandsuppletie	258	184
Groede	2001	507	570	strandsuppletie	52	83
Tienhonderdpolder	2001	1045	1130	strandsuppletie	123	145
Breskens	2005	31	77	strandsuppletie	124	269
Kievitte oost	2005	1041	1340	strandsuppletie	305	102
Kievitte west	2005	1360	1467	strandsuppletie	106	99
Schooneveld	2005	251	360	strandsuppletie	142	130
Adornispolder	2005	786	936	strandsuppletie	252	168

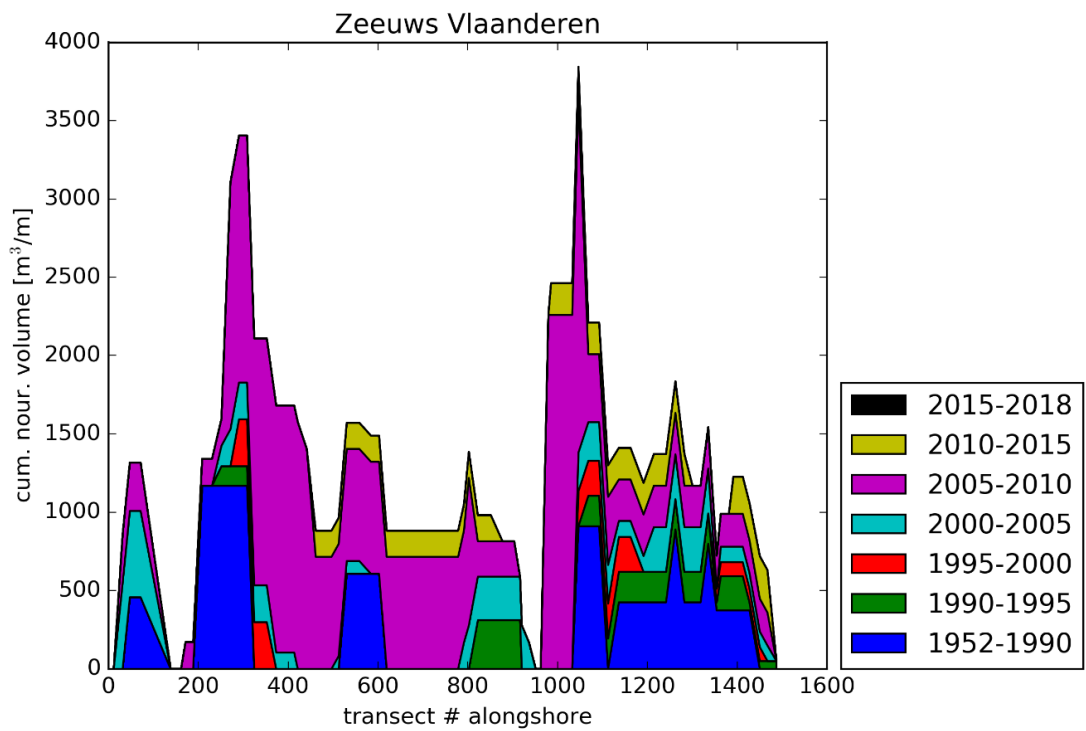
Kom Breskens	2009	30	71	strandsuppletie	127	310
Tienhonderdpolder	2009	1068	1112	strandsuppletie	191	435
Nieuwesluis	2009	270	460	onderwatersuppletie	2670	1405
Herdijkte Zwarte Polder	2009	979	1046	strandsuppletie	1515	2261
Nieuwliet Groede (Zwakke Schakel)	2009	460	802	strandsuppletie	2449	716
Adornispolder	2009	802	904	strandsuppletie	230	226
Cadzand (Kievitte Oost)	2009	1136	1335	strandsuppletie	527	265
Cadzand (Kievitte West)	2009	1353	1467	strandsuppletie	240	211
Schoneveld	2010	171	421	strandsuppletie	430	172
Cadzand	2013	1435	1470	strandsuppletie	12	34
Cadzand (Kievitte West)	2014	1391	1467	strandsuppletie	180	237
Herdijkte Zwarte Polder-Cadzand Bad	2014	985	1282	strandsuppletie	600	202
Nieuwliet-Groede	2014	461	851	strandsuppletie	650	167
Cadzand – Kievitte West	2019	1354	1467	strandsuppletie	150	133
Herdijkte Zwarte Polder – Cadzand Bad	2019	985	1335	strandsuppletie	600	171
Nieuwliet-Groede	2019	461	877	strandsuppletie	600	144
Nieuwesluis	2020	324	461	geulwandsuppletie	1100	803
TOTAAL					17512	



Figuur 4.3 - Cumulatief suppletievolumen Noordzeekust Zeeuws-Vlaanderen t/m 2018. Groen = vooroeversuppletie, Oranje = strandsuppletie en Blauw = Duinversterking)



Figuur 4.4 - Overzicht uitgevoerde suppleties per raai per jaar t/m 2018. Blauw = vooroeversuppletie, Geel = strandsuppletie en Oranje = Duinversterking.



Figuur 4.5 - Totaal suppletievolumen per strekkende meter langs de kust voor de periode 1971-2018. Kleur geeft de periode aan.

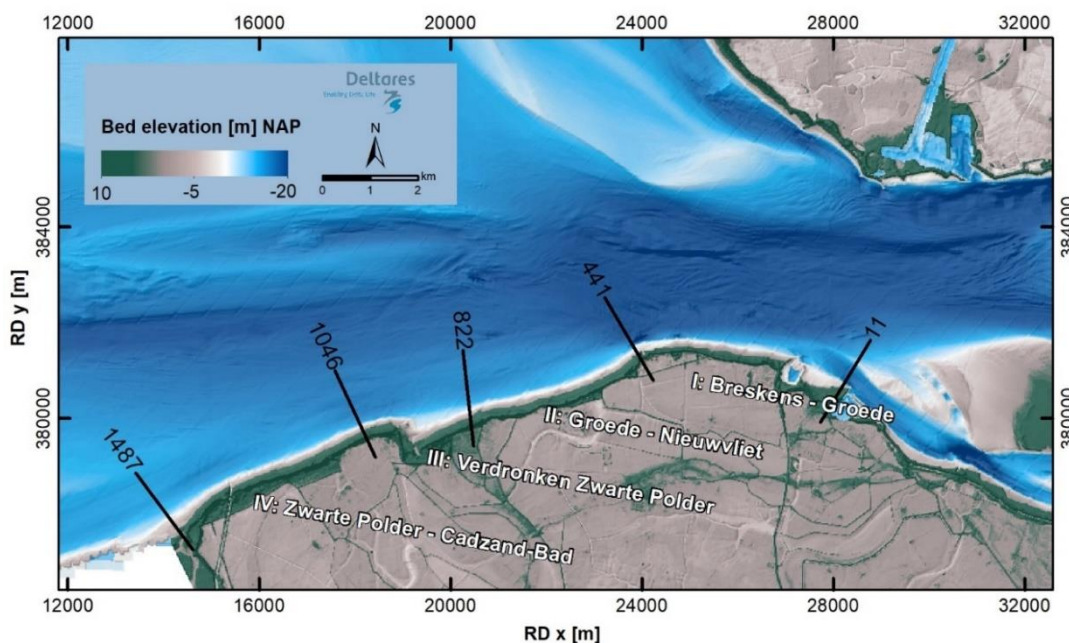
4.3 Detailontwikkeling kustprofiel

In deze paragraaf wordt de morfologische ontwikkeling van de vooroever sinds het midden van de 60-er jaren van de vorige eeuw in detail beschreven. Een gedegen morfologische analyse van de kustzone van Zeeuws-Vlaanderen is nog niet uitgevoerd. De kustlijn ontwikkelingen worden hier beschreven op basis van de Jarkus raaien en verschillende kustlijnindicatoren (onder andere Momentane Kustlijn, Basiskustlijn en strandbreedte, zie Bijlage A). De kustlijnindicatoren geven slechts een beperkt beeld van de morfologische ontwikkelingen, en geven dus geen goed beeld van de volumeveranderingen in dit gebied.

De deelgebieden die we hanteren voor het kustvak Zeeuw-Vlaanderen zijn aangegeven in Figuur 4.6 en Tabel 4.2. Deze indeling volgt de opdeling in afzonderlijke stukken van het project Zwakke Schakels voor de kust van West Zeeuws-Vlaanderen, zie paragraaf 5.3.1.

Tabel 4.2 - Definitie van de vier deelgebieden langs de Noordzeekust van Zeeuws-Vlaanderen

Deelgebied	Naam	Jarkus-raaien
I	Breskens – Nieuwesluis – Groede (kustvak 'Waterdunen')	11 – 441
II	Groede – Nieuwvliet-Bad	461 – 802
III	Verdronken Zwarte Polder en Herdijkte Zwarte Polder	822 – 1032
IV	Herdijkte Zwarte Polder – Cadzand-Bad – Kievitte West	1046 – 1487



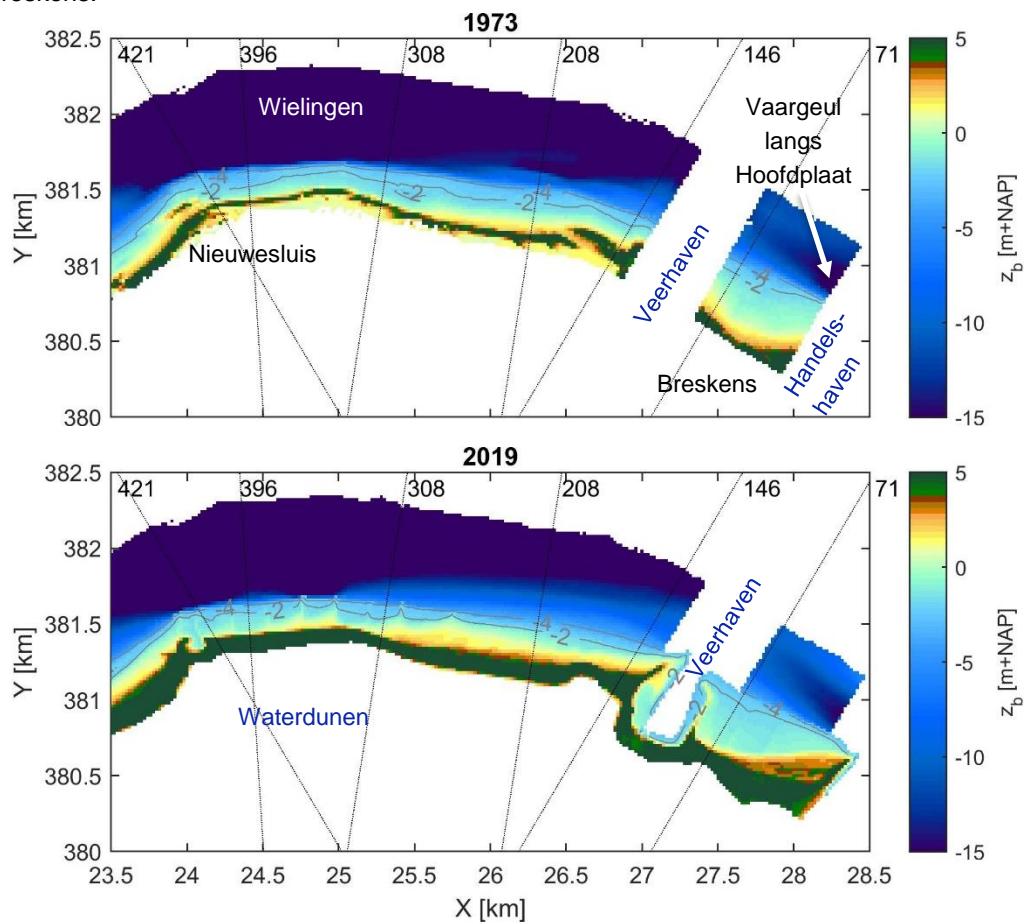
Figuur 4.6 - Overzicht van de kust van Zeeuws-Vlaanderen met deelgebieden en bijbehorende raainummers. Bathymetrie gebaseerd op vaklodingen uit 2015.

4.3.1 Deelgebied I: Breskens-Groede (raai 11-441)

Figuur 4.7 toont de bodemligging tussen Breskens en Nieuwesluis voor de jaren 1973 en 2019. Voor de jaren voorafgaand aan 1973 is de dekking van de metingen op het strand beperkter. De kustzone ligt nu duidelijk hoger. Tussen de Veerhaven en de Handelshaven is een klein strand aanwezig ('pocket beach'), de kom van Breskens (raai 11 - 71). In deze kom blijkt de ligging van de BKL, die in 2001 is gewijzigd, niet duurzaam handhaafbaar zonder (zeer) frequente maatregelen. Bij de herziening in 2017 is de BKL in de raaien 51 en 71 landwaarts verplaatst. Direct westelijk van de westelijke havendam van de Veerhaven (raai 146-290) is het strand

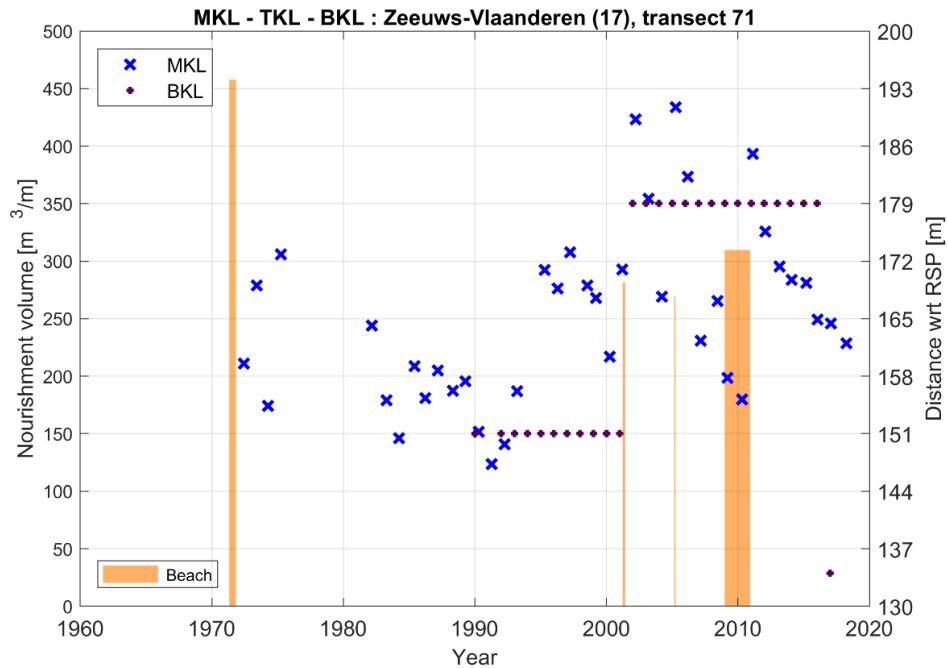
verhoudingsgewijs breed; de laatste jaren is er een geringe zeewaartse verschuiving van de NAP-10 m dieptelij. Tussen raai 308 en 421 is de trend landwaarts gericht en is de BKL in raai 336 en 396 overschreden. Tussen raai 324 en 413 is in 2015 en 2016 het project Waterdunen uitgevoerd waarbij er een landwaartse duinversterking heeft plaatsgevonden en een getijdenuiker is gerealiseerd. In de herziening van 2017 is de BKL in de raaien 230-308, 4 tot 30 m zeewaarts verplaatst.

Bij Nieuwesluis (raai 396) ter plaatse van de uitwatering van het gemaal, is alleen een nat strand aanwezig. De zeewaarts uitstekende dijk en de geul Wielingen die hier de kust dicht nadert, laten onvoldoende ruimte over voor een breder, deels droog strand. Door de geulwandsuppletie in 2009 (2,7 miljoen m³) is op de vooroever sprake van een netto sedimentatie ten opzichte van 1973. In 2019/2020 is hier opnieuw een geulwandsuppletie gepland. Direct oostelijk van Nieuwesluis tot Breskens is de kust uitgebouwd als gevolg van de strandsuppleties die in de loop der jaren zijn uitgevoerd, de laatste in 2010 ter grootte van 430.000 m³ bij Schoneveld tussen Nieuwesluis en Breskens.



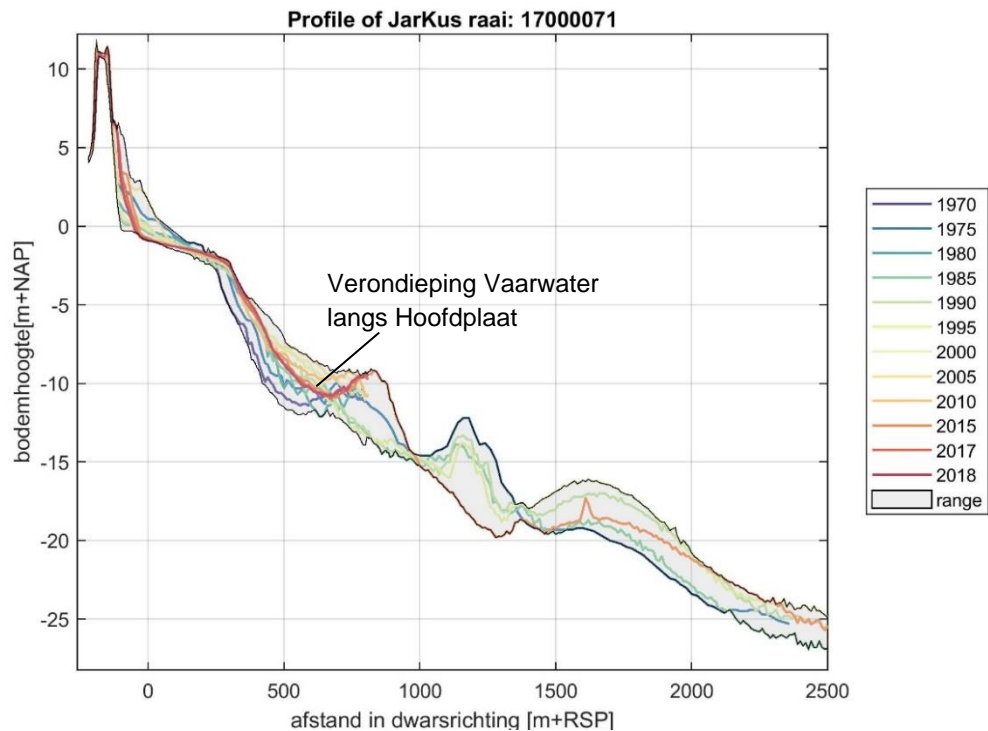
Figuur 4.7 - Bodemligging Deelgebied I: Breskens-Groede (raai 11-441). Boven 1973, onder 2019. Contour: NAP-2 m dieptelij.

Het hierboven beschreven gedrag van de kustlijn wordt geïllustreerd aan de hand van een aantal figuren in de vorm van MKL-posities en dwarsprofielen sinds de 60-er jaren van de vorige eeuw. Figuur 4.8 laat zien dat in raai 71, direct oostelijk van de oostelijke dam van de Veerhaven, na elke suppletie weer erosie optreedt, waardoor het aangebrachte zand binnen enkele jaren weer is verdwenen. Dit komt door verdeling van het zand in de strandkom tussen de havendammen. Te zien is dat in 2017 de BKL in deze raai weer landwaarts is verlegd omdat er geen sprake is van een veiligheidsrisico.



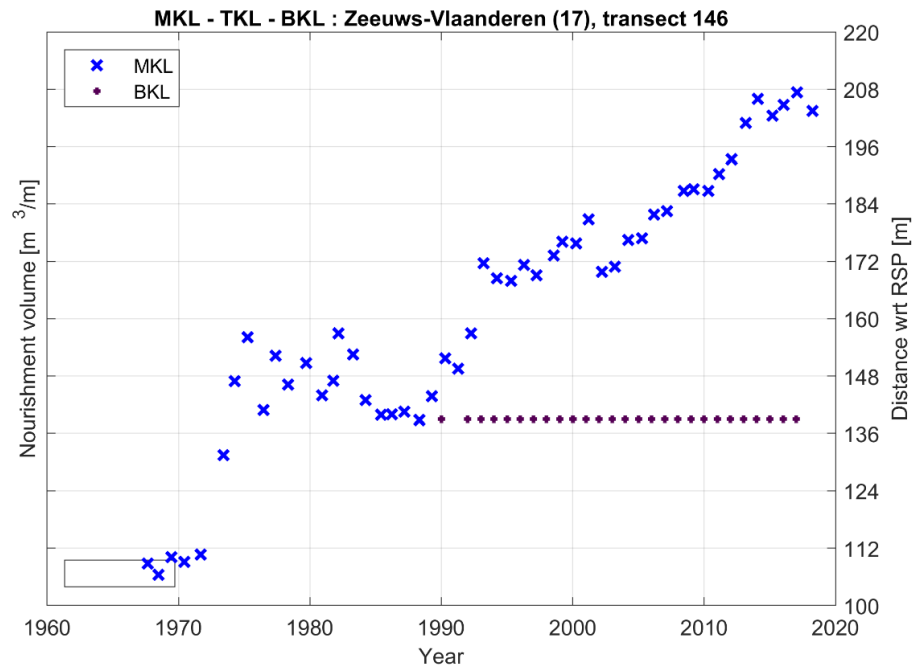
Figuur 4.8 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 71 (westelijk van oostelijke havendam Veerhaven Breskens) (update t/m 2018). De suppletie van 2009/2010 is gedurende beide jaren uitgevoerd. De BKL, MKL zijn ten opzichte van de Rijksstrandpalen (RSP). Suppleties zijn weergegeven met staafdiagrammen

De Jarkus-profielen laten zien dat de geul Vaarwater langs Hoofdplaat sinds 1970 met ongeveer 3 m is verondiept en de kust met 50 m is uitgebouwd, zie Figuur 4.9. De laatste jaren is er op een afstand van 400-800 m sprake van herverdeling van sediment van het ondiepere naar het diepere deel van het profiel. Ook zal er sediment in kustlangse richting zijn verplaatst tussen de twee havens. De in 2009 uitgevoerde strandsuppletie is vrijwel niet meer zichtbaar in 2018.

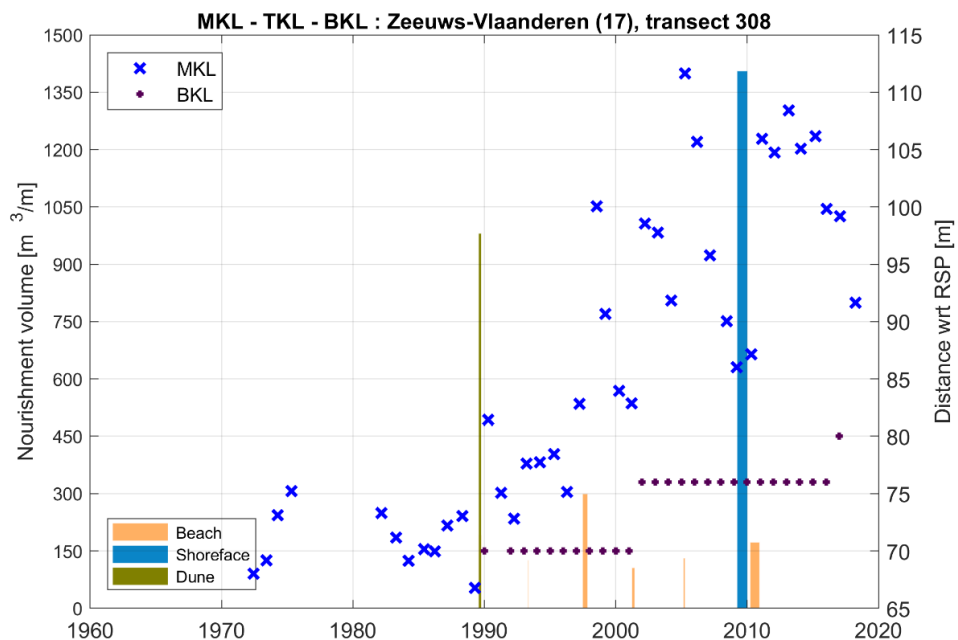


Figuur 4.9 - Jarkus-profielen in raai 71 tussen 1970 en 2018.

Direct westelijk van de westelijke havendam (raai 146, zie Figuur 4.10) is er sinds 2002 een gestage aangroei van de kust (door het blokkeren van kustlangs sedimenttransport door de havendammen), zonder dat hiervoor suppleties nodig zijn geweest. Eenzelfde ontwikkeling vindt plaats in de naastliggende raaien 161, 171 en 188. Mogelijk dat de uitgevoerde suppleties meer westelijk (raaien 251-413) hieraan hebben bijgedragen. Veel van het gesuppleerde zand wordt namelijk in de loop der jaren weer verder in oostelijke richting langs de kust getransporteerd, zie bijvoorbeeld raai 308 in Figuur 4.11, waar gesuppleerd wordt, maar het zand weer snel verdwijnt. In de laatste jaren (vanaf 2015) lijkt de trend ook in raai 146 weer om te slaan.

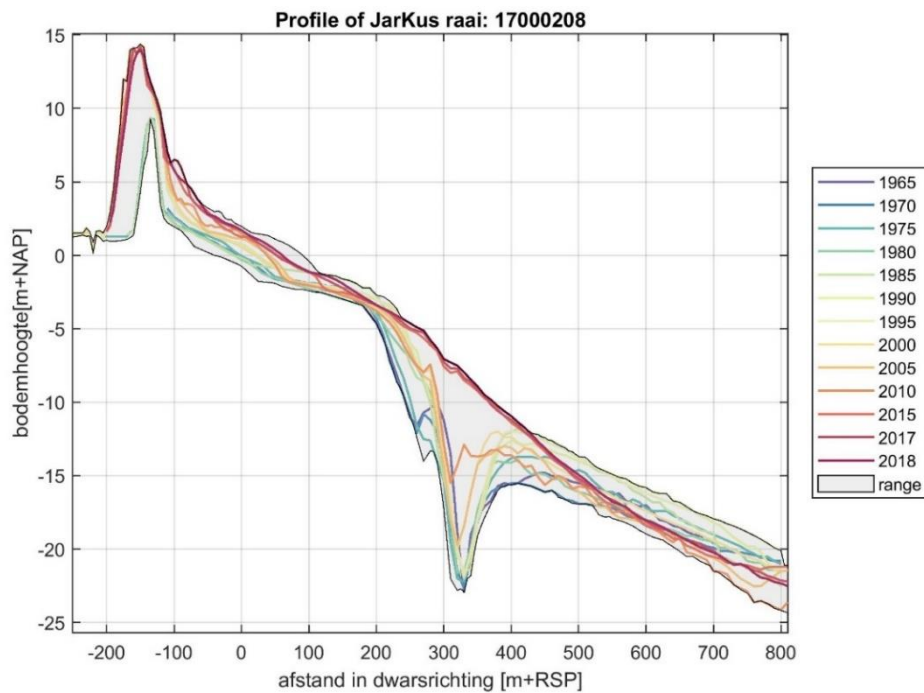


Figuur 4.10 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 146 (oostelijk van oostelijke havendam Veerhaven Breskens). Update t/m 2018.



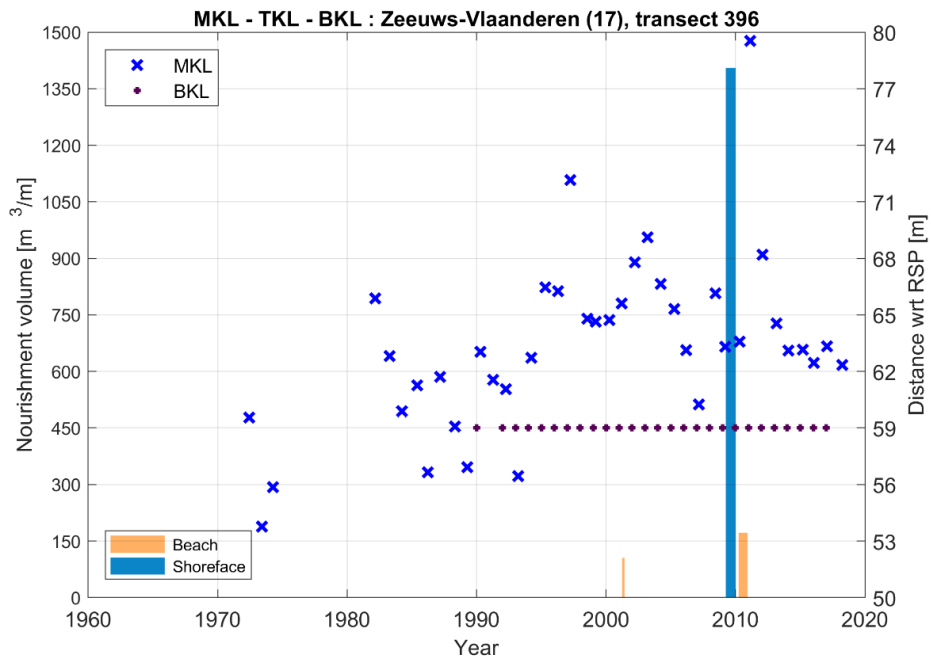
Figuur 4.11 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 308. De suppletie van 2009/2010 is gedurende beide jaren uitgevoerd. Update t/m 2018.

In de Jarkus-raaien 188 en 208 was sinds 1965 een ontgrondingskuil aanwezig die geleidelijk is opgevuld, zie raai 208 in Figuur 4.12. In dit gebied is in 2010 een strandsuppletie uitgevoerd maar deze is niet meer goed zichtbaar in de profielen. De kuil verdwijnt geleidelijk in oostelijke richting en is in 2018 niet meer zichtbaar. De ontgrondingskuilen zijn waarschijnlijk uitgesleten door de Wielingen die hier dichtbij de kust komt, net als in de raaien 352 en 413 en door de strandhoofden en vooroever-suppleties wordt tegengehouden.



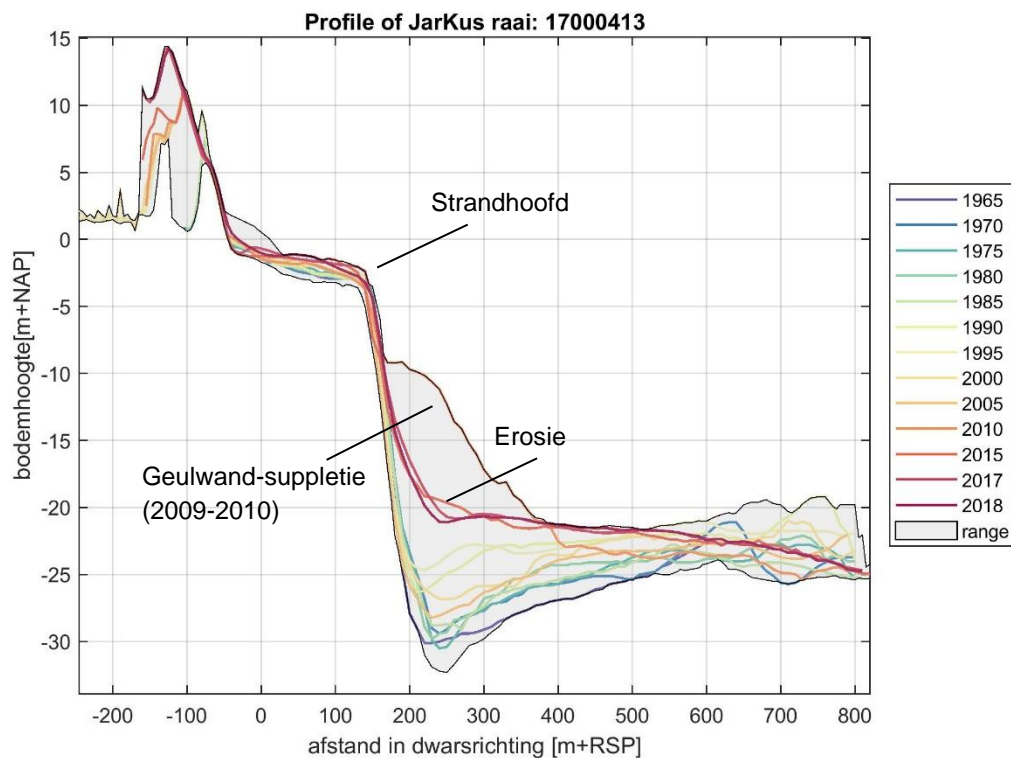
Figuur 4.12 - Jarkus-profielen in raai 208 tussen 1965 en 2018 per jaar.

De erosie van de in 2009 uitgevoerde geulwandsuppletie bij Nieuwesluis (raai 396) wordt gegeven in Figuur 4.13. Tot 2004 bouwt de kust zich nog uit, daarna zorgt de nabijheid van de Wielingen geul voor een achteruitgang in de MKL positie. Na de geulwandsuppletie in 2009 ligt de MKL weer zeewaarts van de BKL, maar verplaatst zich wel weer snel in landwaartse richting zodat nieuwe suppleties noodzakelijk zullen zijn.

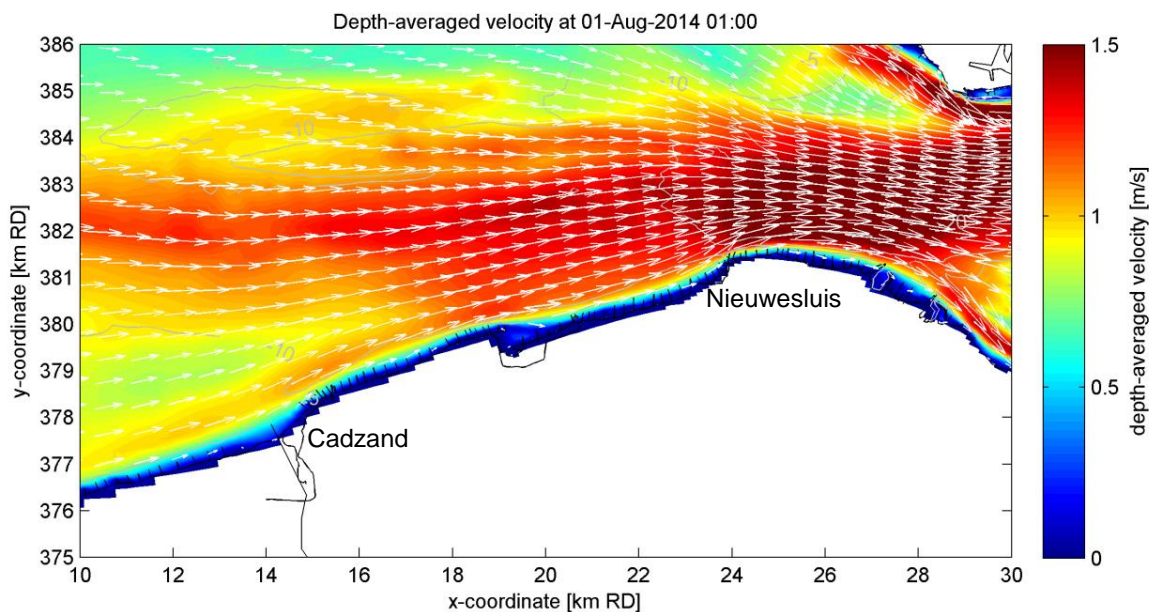


Figuur 4.13 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 396 (Nieuwesluis). De suppletie van 2009/2010 is gedurende beide jaren uitgevoerd. Update t/m 2018.

De geulwandsuppletie rondom Nieuwesluis (2009) wordt ook getoond aan de hand van de profielen van raai 413 in Figuur 4.14. Op deze locatie is de oever steil en verdedigd met strandhoofden, met oeverwerken (zinkstukken en bestorting) rond de kop. De vooroever is daardoor zeer steil, zoals te zien in de figuur, maar is nog wel stabiel (zie ook paragraaf 5.1.2). Vanaf de kop van de hoofden is de onderwateroever erg steil en diep, ooit wel tot -30 m NAP, maar door de suppleties wordt deze afgevlakt en verondiept tot ten hoogste de -10 m NAP lijn. Na de grote vooroeverssuppletie in 2009-2010 is een deel van het aangebrachte zand in deze raai weer afgevoerd door de sterke stroming. De levensduur van de suppletie is hier sterk afhankelijk van de locatie. De raaien 308, 324 en 336 liggen net oostelijk van de meest noordelijke punt van de kust en de uitgevoerde suppletie is hier stabiel. De raaien 352 t/m 441 liggen ter plaatse van de noordelijkste punt en westelijk hiervan. In deze raaien is sterke erosie van de suppletie opgetreden waarbij in raai 421 zelfs alle aangebrachte zand boven NAP-20 m binnen 1-2 jaar weer is verdwenen. De effecten laten zich verklaren door de convergentie van de getijstroming. Een simulatie met een numeriek model laat zien dat tijdens maximale vloedstroming de stroming geconcentreerd is langs de kust met diepte-gemiddelde stroomsnelheden groter dan 1,5 m/s, zie Figuur 4.15. Deze stroming wordt door de strandhoofden, die hier als stroomkribben werken, op afstand van de kust gehouden.



Figuur 4.14 - Jarkus-profielen in raai 413 tussen 1965 en 2018.

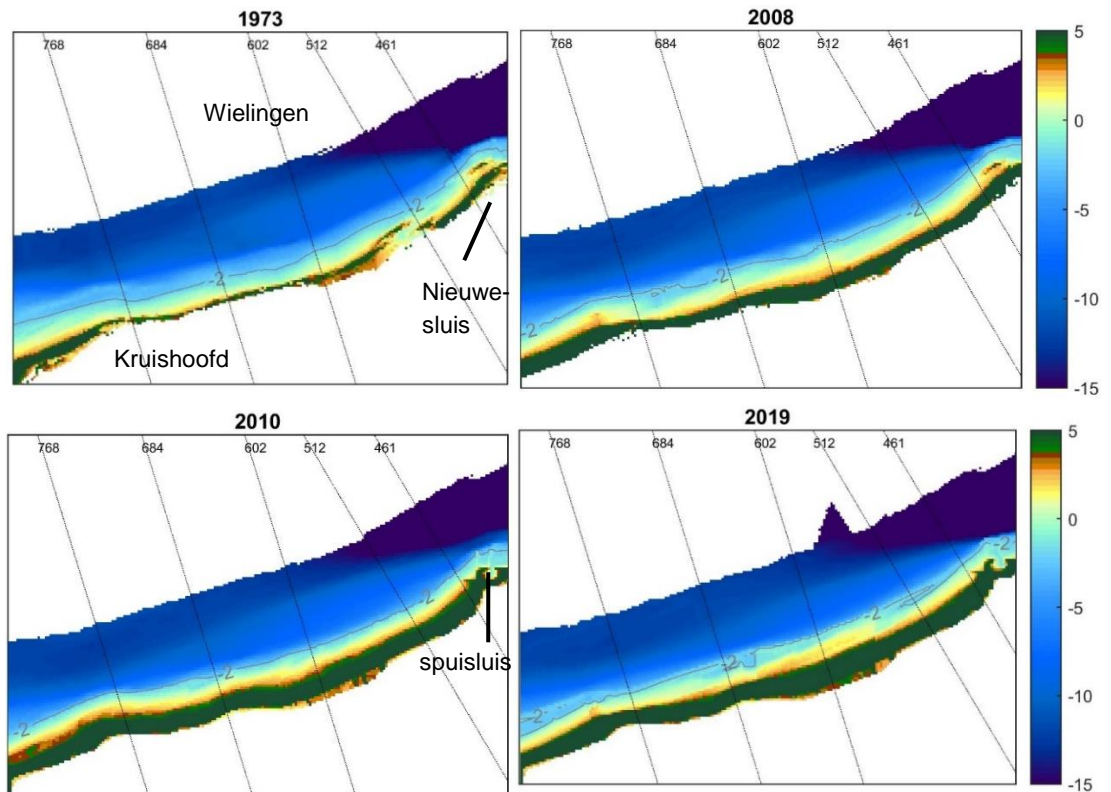


Figuur 4.15 - Berekende diepte-gemiddelde stroomsnelheden langs de Zeeuws-Vlaamse kust tijdens maximale vloedstroming.

Voor de kust bij Nieuwesluis is er dus permanent een erosieve trend als gevolg van een door contractie versterkte getijstroming en een bolvormige kustvorm. Bij de vaststelling van de BKL was hier al weinig ruimte. Door de combinatie van strandhoofden en suppleties is het wel goed mogelijk de kust te behouden. De herhalingsjijd van de suppleties, zoals te zien in Figuur 4.13 bedraagt orde acht tot tien jaren.

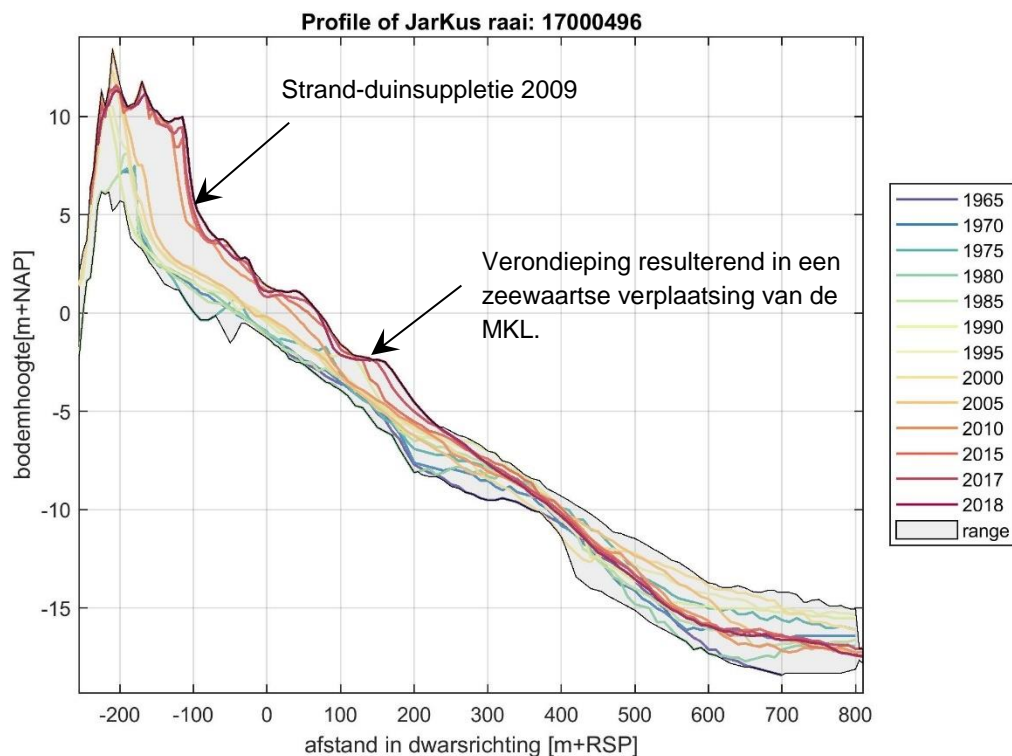
4.3.2 Deelgebied II: Groede-Nieuwvliet (raai 461-802)

Dit deel van het kustvak loopt van Nieuwesluis (spuisluis en inlaat Waterdunen) naar Kruishoofd (ten oosten van Nieuwvliet-Bad). In Figuur 4.16 wordt de bodem getoond voor 1973, 2008, 2010 en 2019. De verhoging en verbreding van de kustzone is duidelijk te zien. De kust is concaaf (hol) tussen de ophangpunten Nieuwesluis en Kruishoofd, dat betekent van nature meer stabiel en is hier niet meer direct onder invloed van de Wielingen. Bij Kruishoofd is een uitgebreide kustverdedigingsconstructie met strekdam aanwezig. Tijdens het project Zwakke Schakels in 2009/2010 zijn met een strand-duinsuppletie de duinen versterkt middels een extra duinrichel en is het strand zeewaarts verplaatst met behoud van de breedte. De BKL is hierbij niet verplaatst (zie paragraaf 2.3.3.). Dit is ook goed te zien in het profiel in raai 496 (Figuur 4.17).

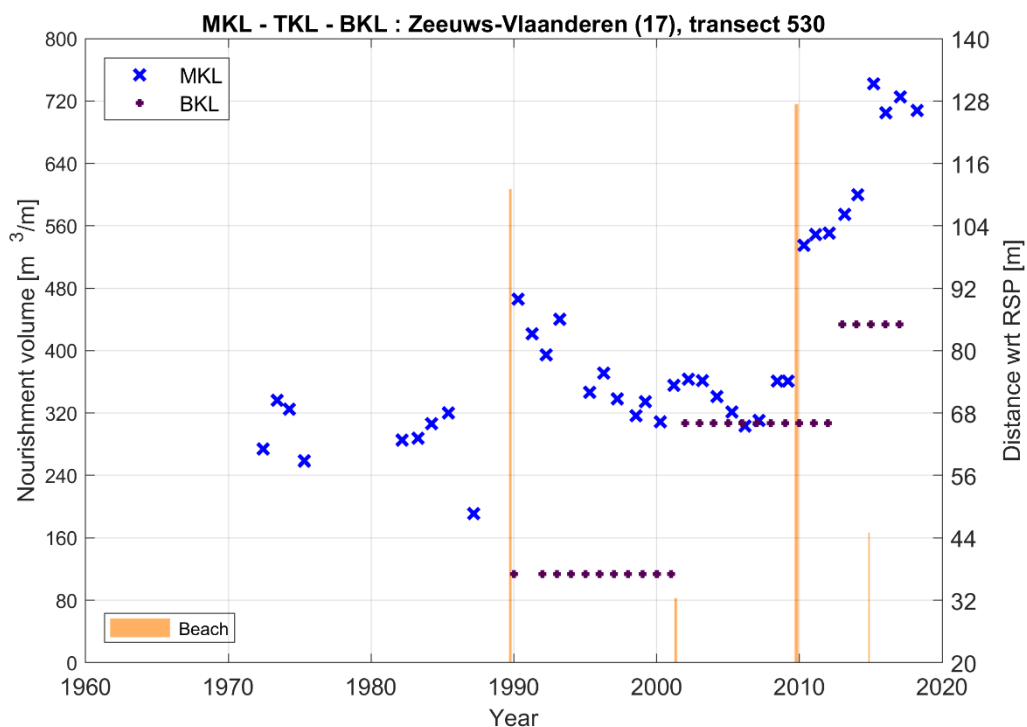


Figuur 4.16 - Bodemligging Deelgebied II: Groede-Nieuwvliet (raai 461-802) 1973, 2008, 2010 en 2019. Contour: NAP-2 m dieptelijn.

Sinds 1990, vóór de uitgevoerde suppleties in 2009 als onderdeel van het project Zwakke Schakels, bevond de MKL zich in de meeste raaien al zeewaarts van de BKL zonder dat hiervoor veel suppleties nodig waren (alleen kleinere suppleties in de raaien 512-558 in 2001, raai 791 in 2005 en raai 802 in 2001 en 2005). De strand- en vooroeversuppleties ter plaatse van de raaien 530-602 hebben geleid tot een zeewaartse sprong in de MKL in de orde van 20 - 50 meter. Na de suppletie in 1989 is de MKL in de raaien 530 en 558 weer 20 m verschoven in landwaartse richting en daarna meer dan 10 jaar stabiel gebleven, zie Figuur 4.18 voor raai 530. De suppleties van 2009 en 2014 hebben geleid tot een verdere zeewaartse opschuiving van de kustlijn. De BKL is ook verlegd in 2003 (om de stabiliteit van de strandhoofden te waarborgen) en 2012 (naar aanleiding van de Zwakke Schakel versterking).

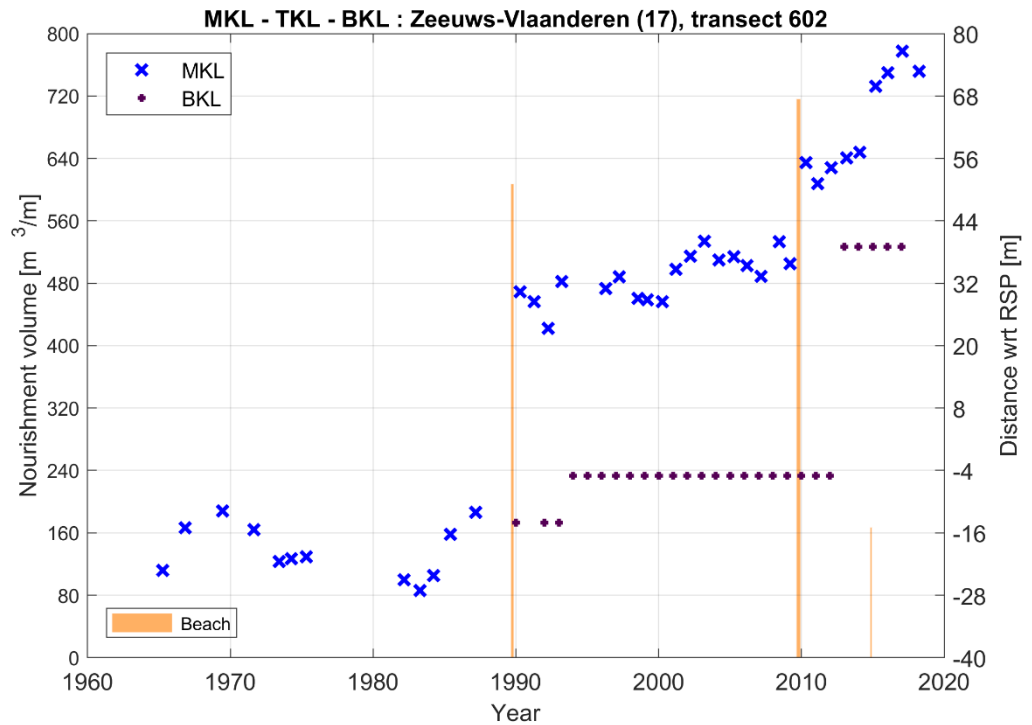


Figuur 4.17 - Jarkus-profielen voor raai 496 van 1965 t/m 2018.



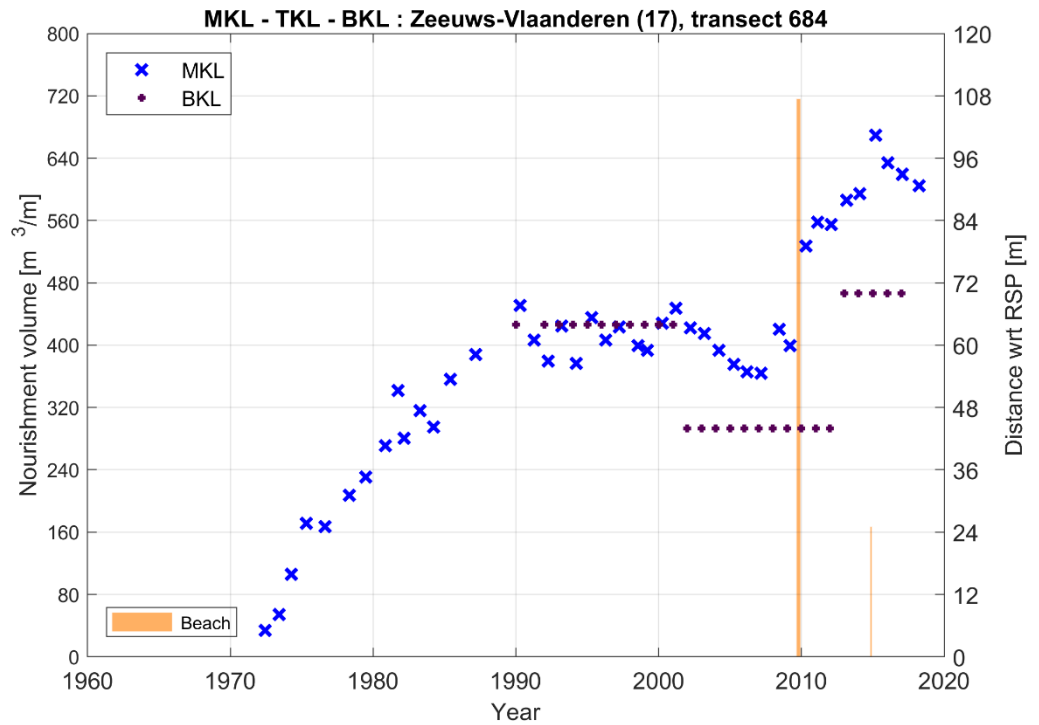
Figuur 4.18 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 530. Update t/m 2018.

In raai 602 is de MKL, na de 1989 strand- en vooroeversuppleties, stabiel gebleven of zelfs nog iets in zeewaartse richting verplaatst, zie Figuur 4.19. Na de 2009 en 2014 strand-duinsuppletie is ook hier sprake van een verdere zeewaartse verplaatsing.

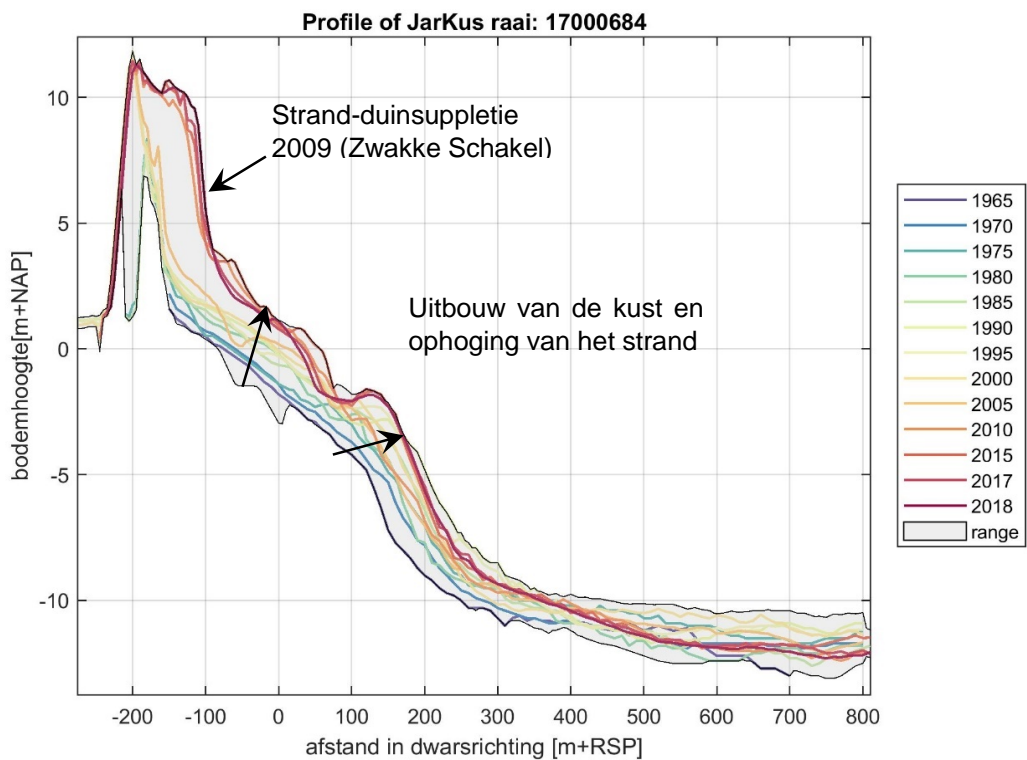


Figuur 4.19 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 602. Update t/m 2018.

Verder in westelijke richting tonen de raaien 619 t/m 730 gedurende de periode 1970-1990 een continue verplaatsing van de MKL-positie in zeewaartse richting tot 1990, zie bijvoorbeeld de ligging van de MKL in raai 684 in Figuur 4.20 en de profielen in deze raai, Figuur 4.21. Tussen 1990 en 2002 blijft de MK-positie redelijk stabiel, waarna er weer een afname is tot de Zwakke Schakel versterking in 2009. De precieze oorzaak van deze trend in de MKL is niet duidelijk, de strandsuppletie in 1989 bij de raaien ten oosten hiervan (raai 602 in Figuur 4.19) kunnen de MKL positie in raaien 619 t/m 730 beïnvloed hebben. De kust tussen Nieuwvliet en Groede is in 2009 versterkt door het aanleggen van een duin voor de dijk. Met de suppleties in 2009 en 2014 is ook hier de kustlijn nog verder zeewaarts verlegd al is de trend negatief. De bodem van 2018 ligt echter bij duin en strand nog ver boven die van 1965 en ook die van 2005.



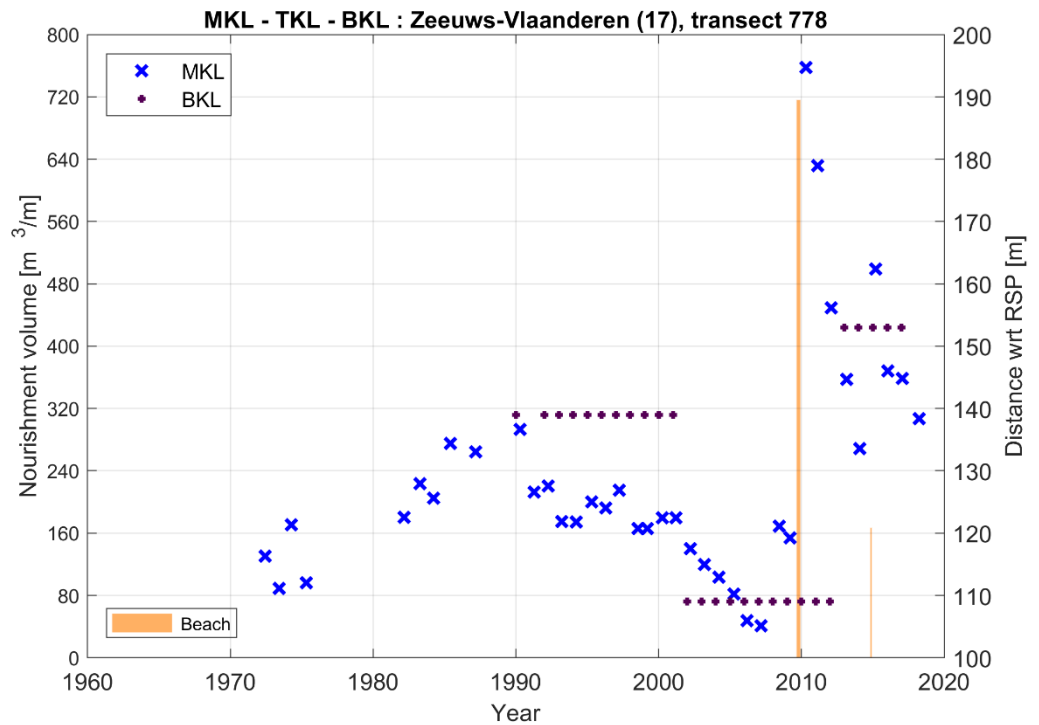
Figuur 4.20 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 684. Update t/m 2018.



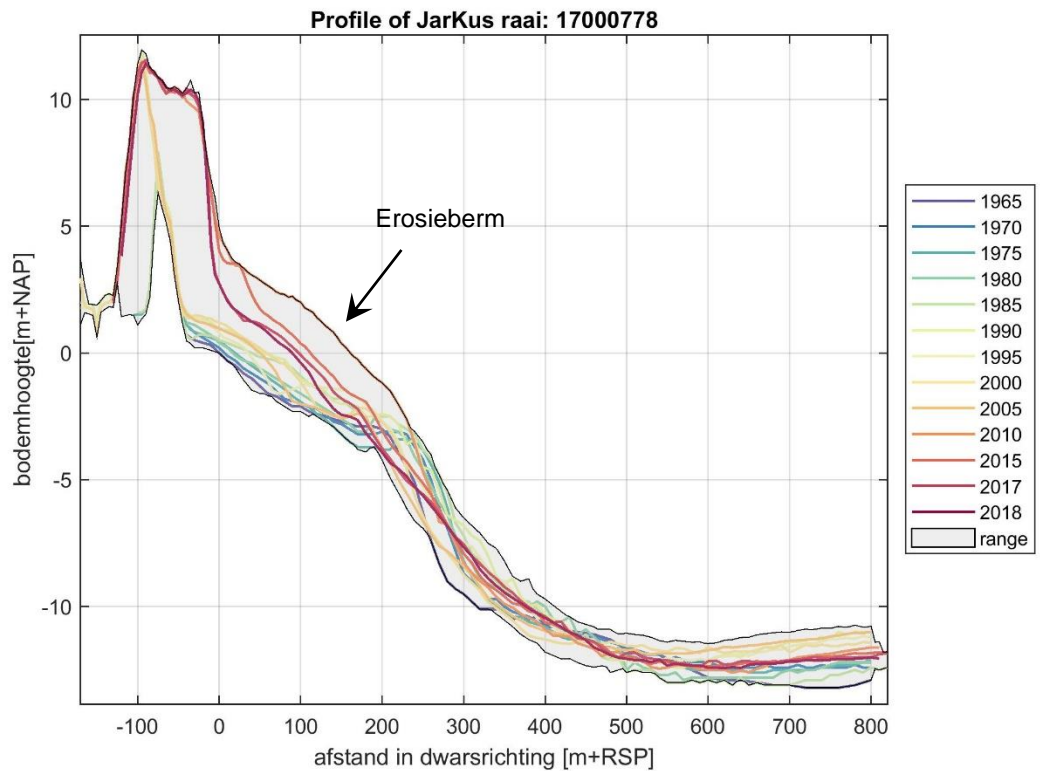
Figuur 4.21 - Jarkus-profielen in raai 684 van 1965 t/m 2018.

Verder ten westen, raaien 751-802 bij Kruishoofd, is sprake van steeds sterkere erosie van de in 2009 uitgevoerde suppletie, met een maximum van 15-17 m/jaar in de raaien 768 en 778, zie Figuur 4.22. Als onderdeel van het project Zwakke Schakels is een erosieberm neergelegd voor de kust (raaien 768-791) met een zandvolume van 165.000 m³. Het doel van deze innovatieve

aanpak is het op natuurlijke wijze verspreiden van het zand door stroming, golven en wind. In Figuur 4.23 worden de dwarsprofielen in raai 778 getoond. Het blijkt dat het aangebrachte zand al na twee jaren grotendeels is afgevoerd.



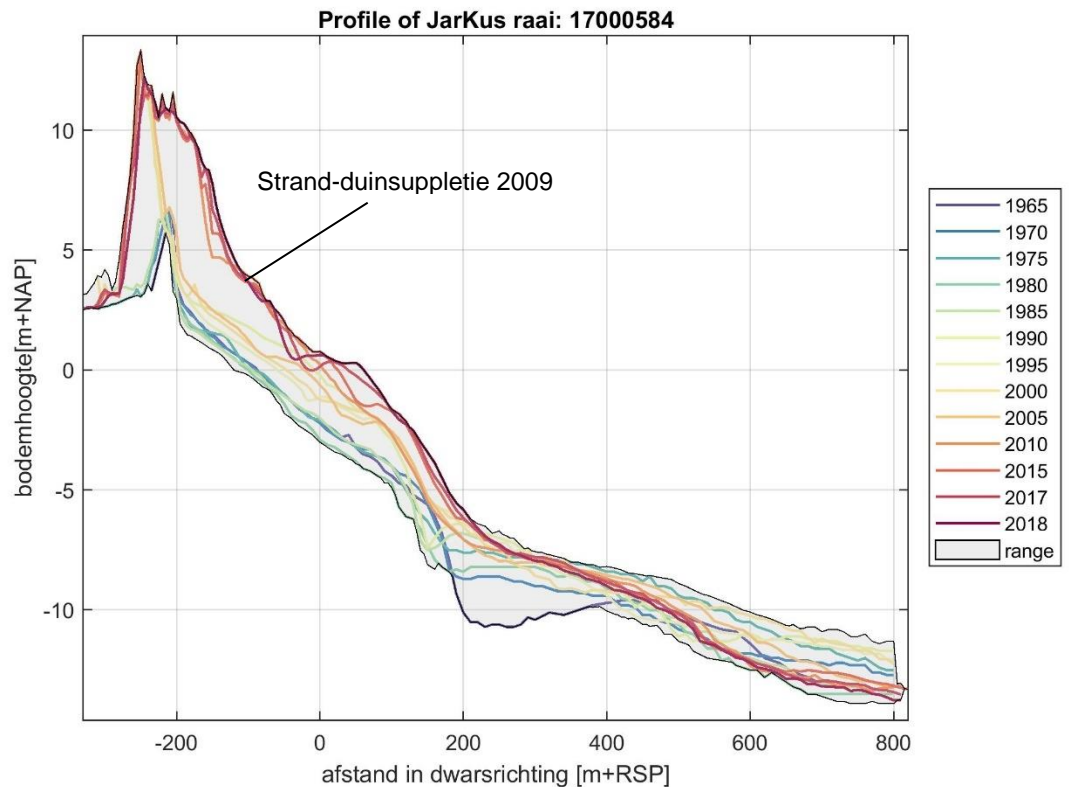
Figuur 4.22 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 778. Update t/m 2018



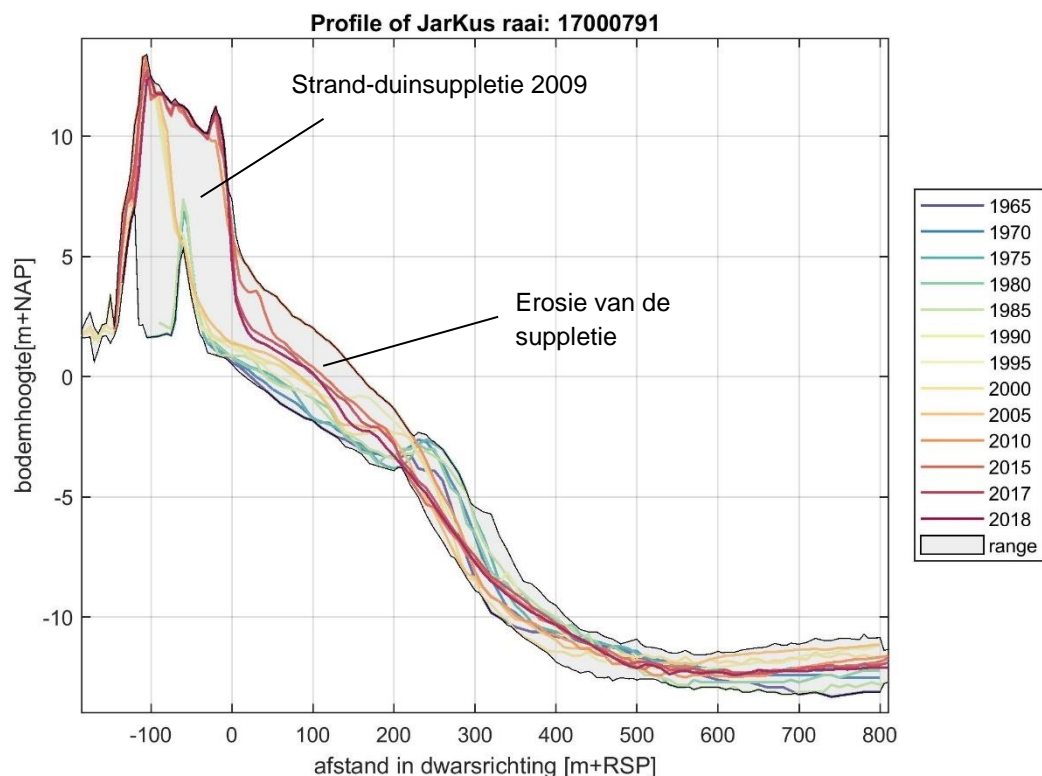
Figuur 4.23 - Dwarsprofielen van de bodemligging in raai 778 voor de periode 1965-2018.

De dwarsprofielen van raai 584 (2004-2018, Figuur 4.24) tonen de effecten van de in 2009 uitgevoerde strand-duinsuppleties tussen raaien 461 en 802. Tussen de raaien 461 en 730 is het strand na de suppletie redelijk stabiel gebleven. Dit kan ook hier het gevolg zijn van de stabiliserende werking van de strandhoofden (ongeveer tot -2 m NAP).

In het lagere deel van het profiel, rond NAP-10 m, is sinds 2004 weer erosie opgetreden al lijkt de situatie de laatste jaren stabiel. Beschouwing op een langere tijdschaal (1965-2018) laat zien dat de bodem hier bij de teen van de strandhoofden al eerder dieper heeft gelegen (tot -10 m) en zonder suppleties mogelijk opnieuw naar deze diepte zou gaan. Dit geldt ook voor de andere raaien in dit deelgebied; wel wordt de erosie in westelijke richting geleidelijk kleiner (zie ook raai 791 in Figuur 4.25). Er is echter geen sprake van een diepe ontgroning zoals bij Nieuwesluis (Figuur 4.14). Figuur 4.25 toont dat na de suppletie in 2009 het strand in raai 791 weer erodeert, waarbij de duinvoet wordt teruggedrongen. Dit geldt ook voor de raaien 751-802.



Figuur 4.24 - Dwarsprofielen van de bodemligging in raai 584 voor de periode 1965-2018.

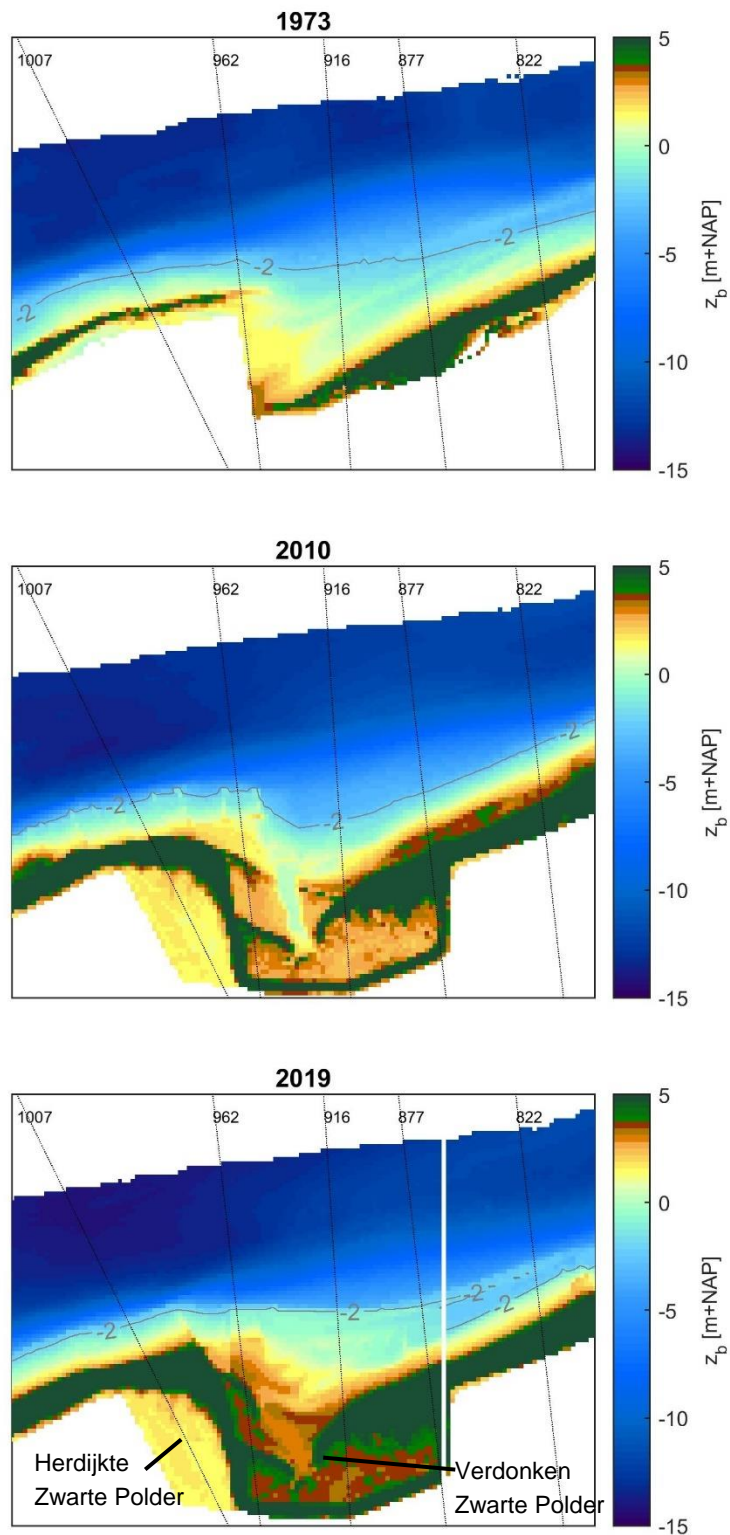


Figuur 4.25 - Dwarsprofielen van de bodemligging in raai 791 voor de periode 1965-2018.

4.3.3 Deelgebied III: Verdrongen Zwarte Polder-Herdijkte Zwarte Polder (raai 822-1032)

Dit deel van het kustvak betreft het gebied rondom de Verdrongen Zwarte Polder en Herdijkte Zwarte Polder. De Verdrongen Zwarte Polder bevindt zich ter plaatse van de sprong in de kustlijn (raai 877- 979), ontstaan bij de dijkdoorbraak van 1802 (zie paragraaf 5.1.1) en staat nu in open verbinding met de zee.

Figuur 4.26 toont de bodem in 1973, 2010 en 2019. De NAP-2 m diepte lijn is weinig veranderd: een geringe landwaartse verschuiving in het oostelijke deel (met de vorming van een soort zandspit of parallelle zandbank) en een geringe zeewaartse verschuiving in het westelijke deel (dit laatste hoort al bij Deelgebied IV). Verder is in de figuur goed waarneembaar dat de duinen zijn verhoogd en het strand in zeewaartse richting is verschoven. De geul naar de Verdrongen Zwarte Polder is in 2010 uitgediept om de instroming van zeewater naar het achtergelegen gebied te bevorderen. De geul is in de lodingen van 2010 duidelijk zichtbaar maar hij neemt in de opvolgende jaren snel in omvang af tot hij in 2014 is verdwenen. De komvullingsstroom is onvoldoende geweest om de geul open te houden. Verder is een strekdam van 300 m aangelegd ter hoogte van de polder (raai 985). Al deze maatregelen zijn in 2009/2010 getroffen als onderdeel van het project Zwakke Schakels, in het kader van het HWBP-2.

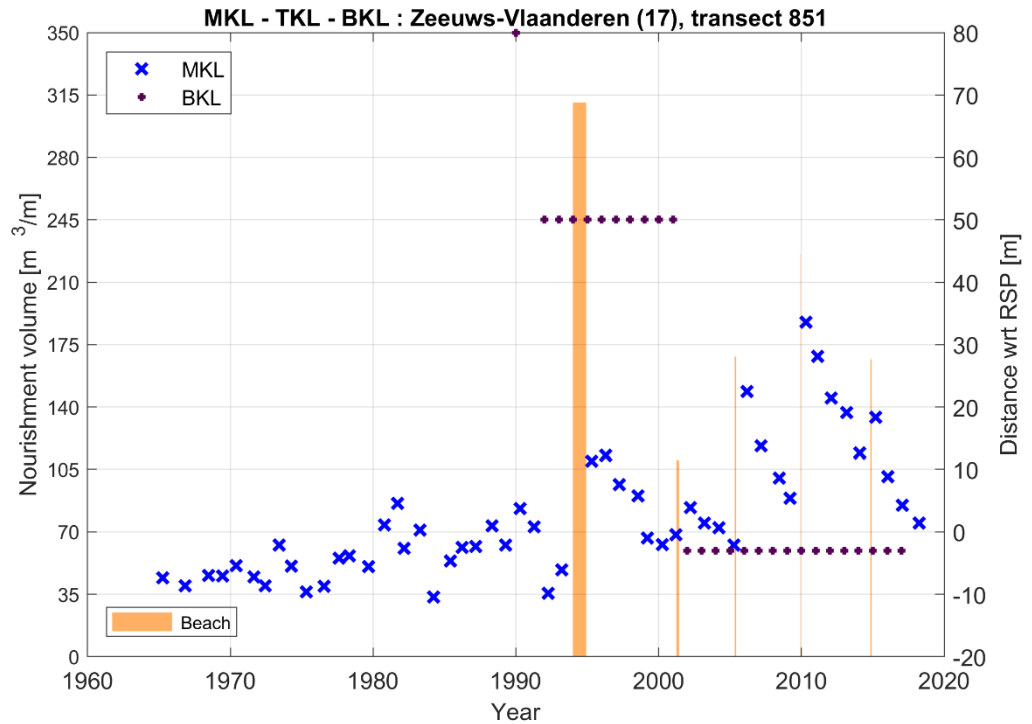


Figuur 4.26 - Bodemligging Deelgebied III: Verdonken Zwarte Polder–Herdijkte Zwarte Polder (raai 822-1032). Boven 1973, midden 2010, onder 2019. Contour: NAP-2 m dieptelijn.

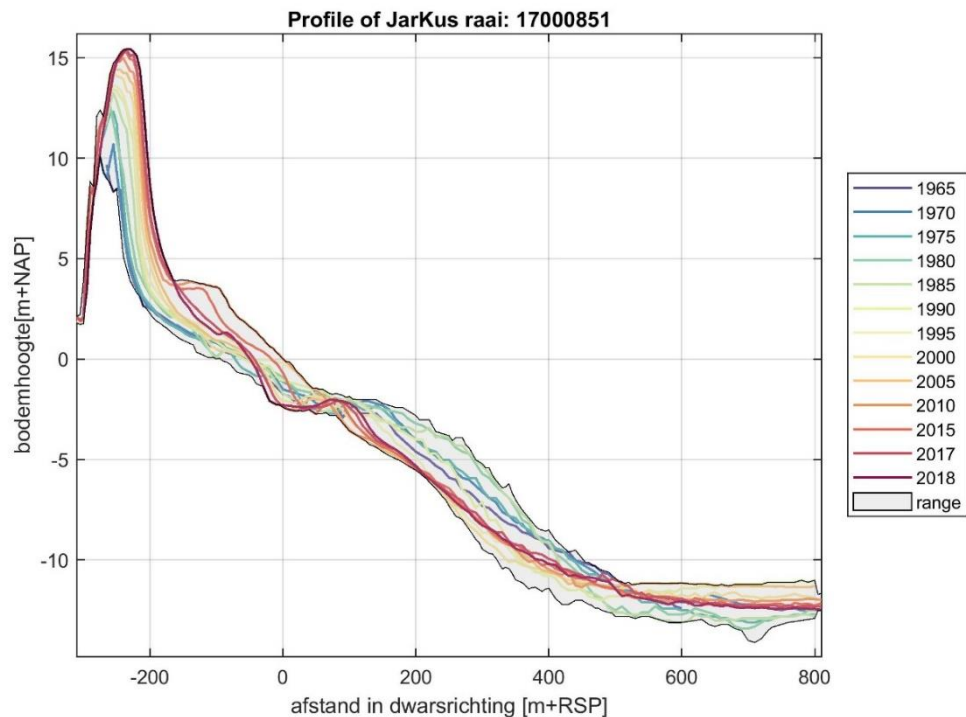
Raaien 822-903

Vanaf de 60-er jaren tot de 90-er jaren van de vorige eeuw vertoont de MKL-positie in de raaien 822-903 fluctuaties van +/- 10 m rondom een stabiele positie. Ter plaatse van deze raaien is in de jaren 1994, 2001, 2005, 2009 en 2014 op het strand gesuppleerd omdat de MKL de BKL had

bereikt (bijvoorbeeld raai 851, Figuur 4.27). De ligging van de BKL is in 2002 landwaarts verplaatst om de stabiliteit van de strandhoofden de waarborgen, zie paragraaf 2.3.2.. Na elke strandsuppletie is weer een landwaartse verplaatsing van de MKL opgetreden van 10-30 m, waardoor na 4-6 jaar een nieuwe zandsuppletie nodig was (het 'zaagtand' effect). Een volgende suppletie zal hier opnieuw nodig zijn.



Figuur 4.27 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 851. Update t/m 2018.

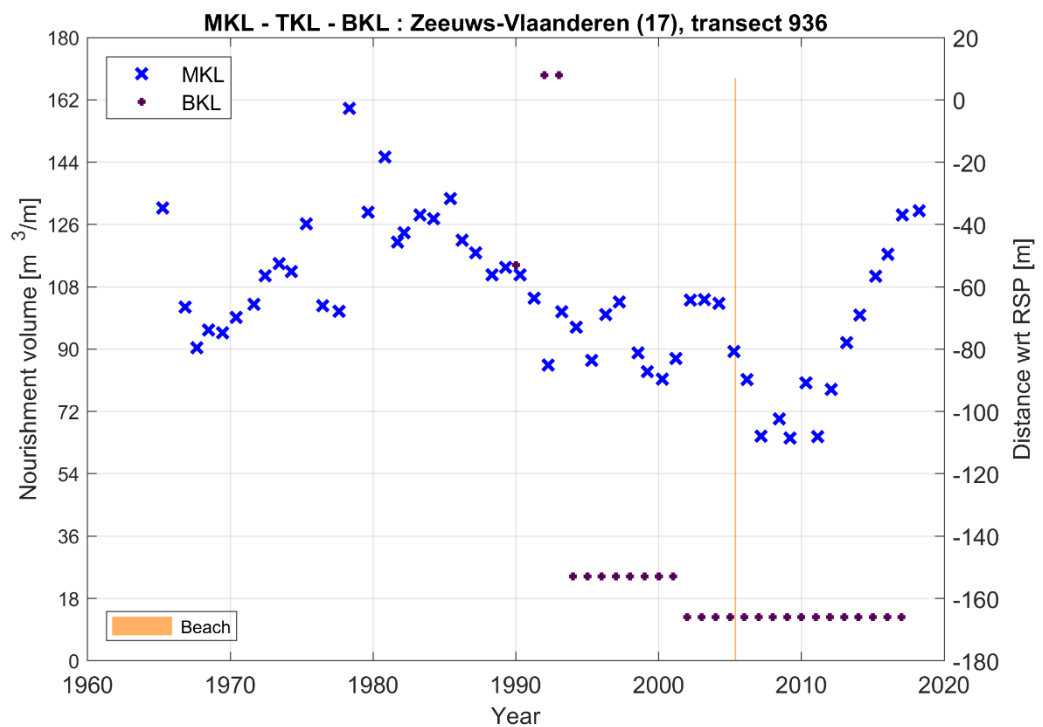


Figuur 4.28 - Dwarsprofielen van de bodemligging in raai 877 voor de periode 1965-2018.

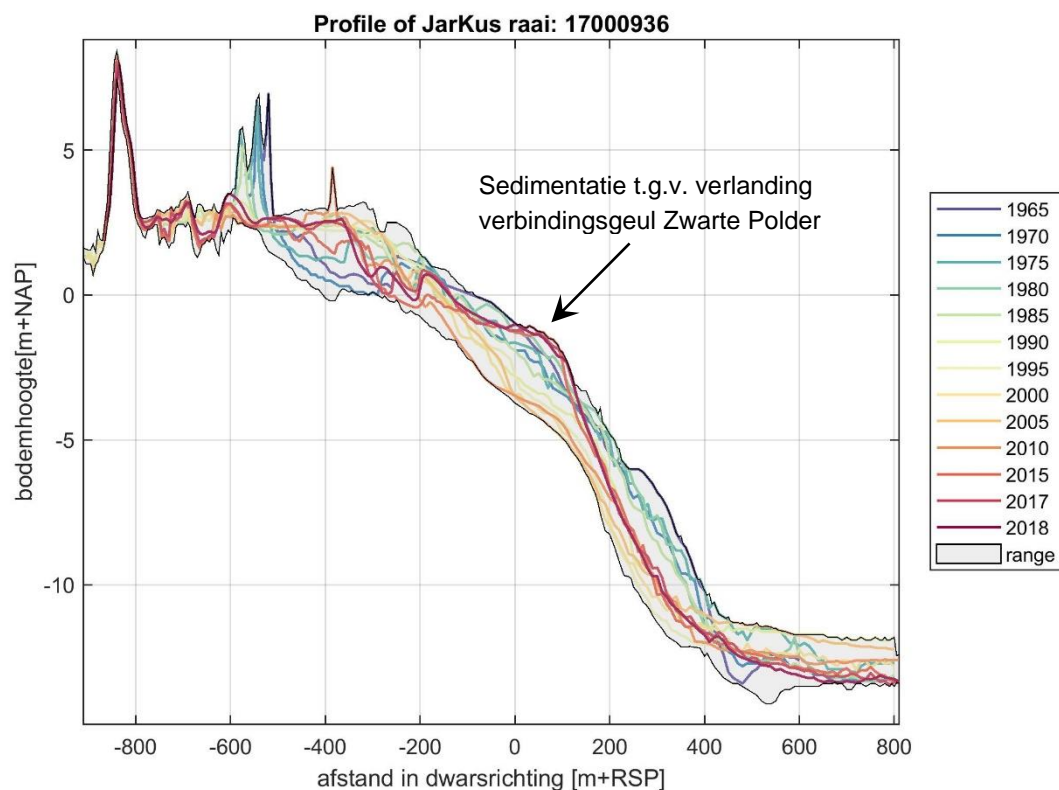
Figuur 4.28 laat de afwisselende strandopbouw en -erosie in raai 851 zien na de uitgevoerde supplementies. Op de langere tijdschaal (1965-2018) is in deze raaien tussen 0 en 400 m+RSP eerst geringe sedimentatie opgetreden, vervolgens erosie en daarna weer enige sedimentatie met als resultaat netto erosie sinds 1965. Op grotere afstand tot de kust, voorbij 400 m+RSP is er alternerend erosie, sedimentatie en erosie met als eindresultaat vrijwel geen bodemverandering sinds 1965.

Raaien 936 en 962

Jarkus-raai 936 ligt ter plaatse van de Verdrongen Zwarte Polder. De kustlijnligging in deze raai is sinds 2006 redelijk stabiel, en sinds 2011 lijkt er zelfs sprake te zijn van een positieve trend. Dit is in tegenstelling tot nabijgelegen raaien (met uitzondering van de naburige raai 962 westelijk), zie ook Figuur 4.29. Dit afwijkende gedrag is mogelijk toe te schrijven aan de verlanding van de in 2010 gegraven verbindingsecul tussen de zee en de Verdrongen Zwarte Polder en/of de aanleg van de strekdam in 2010 als onderdeel van project Zwakke Schakels. De verbindingsecul met de Verdrongen Zwarte Polder heeft altijd van nature de neiging gehad om aan te zanden wegens het kleine komberging natuurgebied Zwarte polder. In Figuur 4.30 worden de dwarsprofielen getoond voor de periode 1965-2019 waaruit blijkt dat in 2012 aanzanding is opgetreden tussen NAP-1 m en NAP-5 m. Gedurende de opvolgende jaren is de situatie stabiel gebleven. De netto sedimentatie in de geul is dus samengegaan met netto sedimentatie ter hoogte van de laagwaterlijn en eronder. Als de ontwikkeling in deze raai sinds 1965 wordt bekeken dan volgt dat de huidige bodem in dit deel van het dwarsprofiel ongeveer samenvalt met de bodem in het verleden. Beneden het niveau van NAP-5 m is sinds 1965 nog wel erosie opgetreden. De waargenomen ontwikkeling in de MKL in raai 936, en wellicht ook in raai 962, is vermoedelijk het gevolg van de plaatselijke ingrepen.



Figuur 4.29 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 936. Update t/m 2018

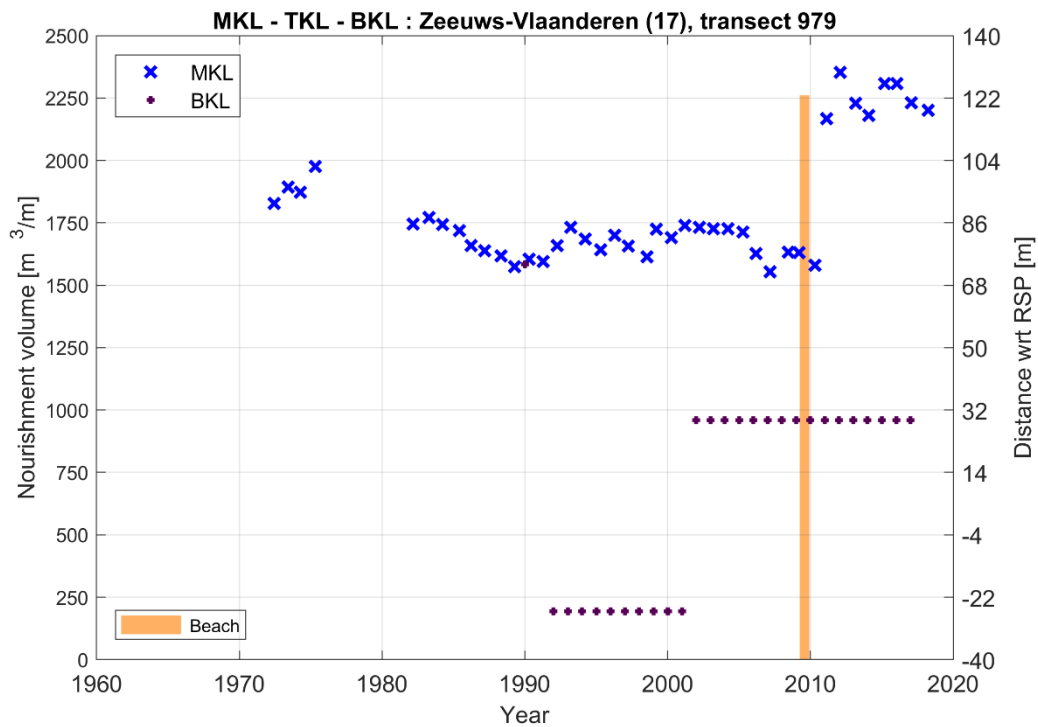


Figuur 4.30 - Dwarsprofielen van de bodemligging in raai 936 voor de periode 1965-2018.

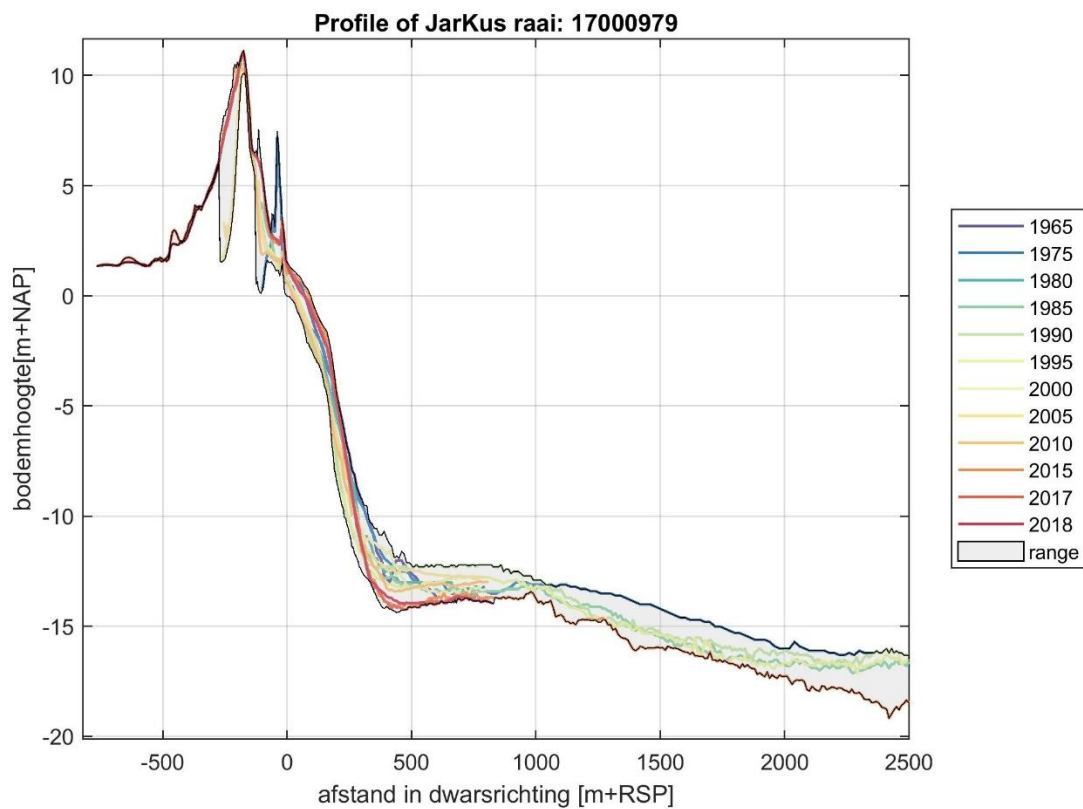
Raaien 979-1032

Westelijk van raai 962, raaien 979-1032, is sinds de jaren 70 van de vorige eeuw sprake van een stabiele situatie waarbij de MKL 50-70 m zeewaarts ligt van de BKL. Vanuit het kustonderhoud is hier vóór 2010 geen noodzaak geweest voor het uitvoeren van suppleties, zie Figuur 4.31 en Figuur 4.32 (raai 979) als representatief voorbeeld. Hier springt de duin weer zeewaarts met een smal strand en een relatief steile onderwateroever gelegen tussen de hoofden. Na de strandduinsuppletie van 2009 tussen de raaien 979 en 1046 is een deel van het gesuppleerde zand weer geërodeerd, waarbij de grootste erosie is opgetreden in de meer westelijk gelegen raaien (gemiddeld 12 m/j). In deze raaien neemt de erosiesnelheid geleidelijk af als de MKL de oorspronkelijke ligging van de kustlijn nadert. Bij de herziening van 2017 is de BKL bij de raaien 985 en 993 met 94 resp. 71 m zeewaarts verlegd, voor de overige raaien 1007 tot 1046 wordt de BKL tot 2050 stapsgewijs verlegd totdat deze op de gewenste plek ligt.

Tussen de raaien 903 en 1032 is er over langere termijn gezien sprake van een geringe verdieping tussen NAP 10 m en NAP-15 m ter grootte van ongeveer 1 m. Deze verdieping neemt geleidelijk af in westelijke richting. Ten opzichte van 1965 is de bodemverandering nihil.



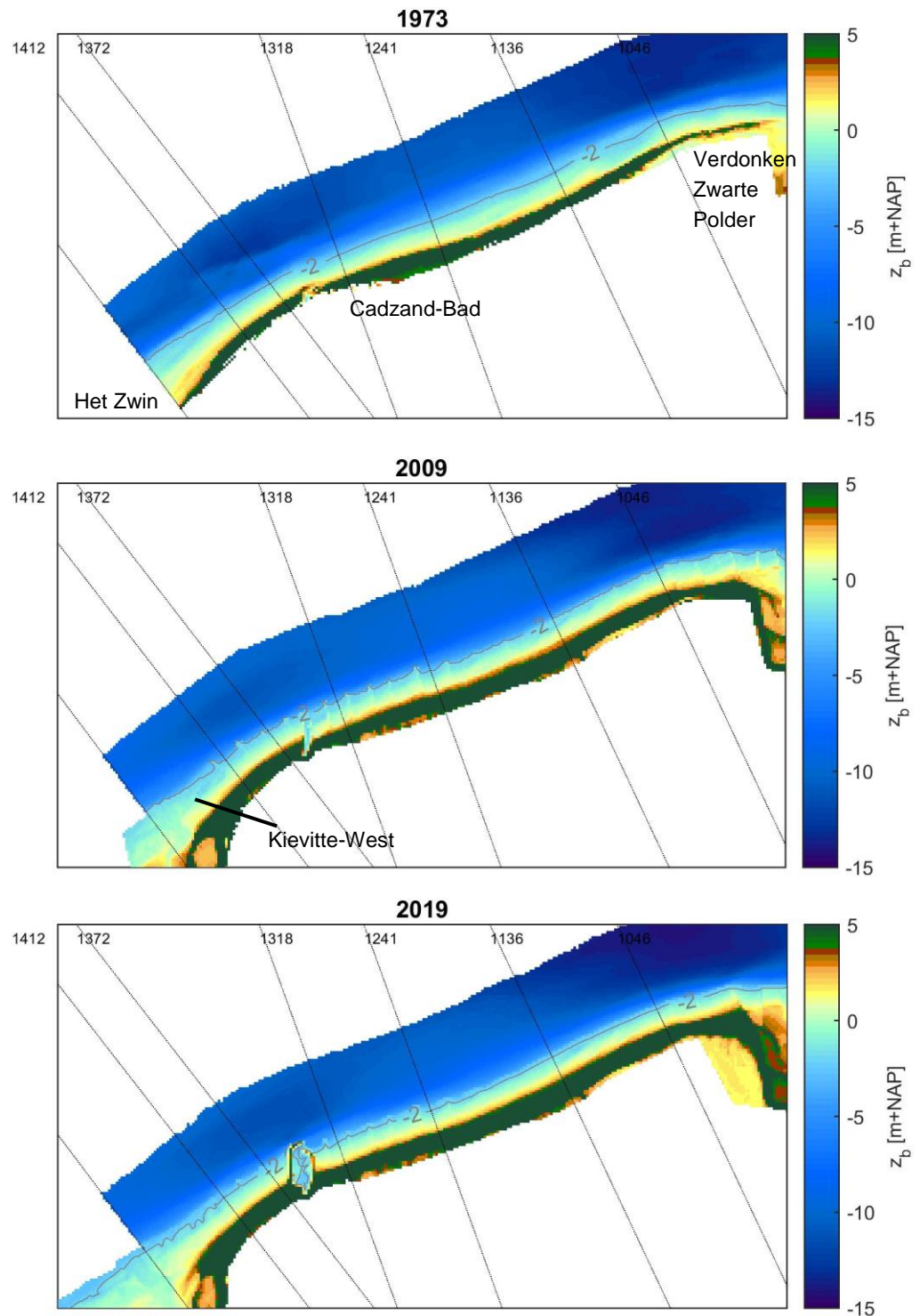
Figuur 4.31 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 979. Update t/m 2018.



Figuur 4.32 - Dwarsprofielen van de bodemligging in raai 979 voor de periode 1965-2018.

4.3.4 Deelgebied IV: Zwartepolder - Cadzand-Bad (raai 1046-1487)

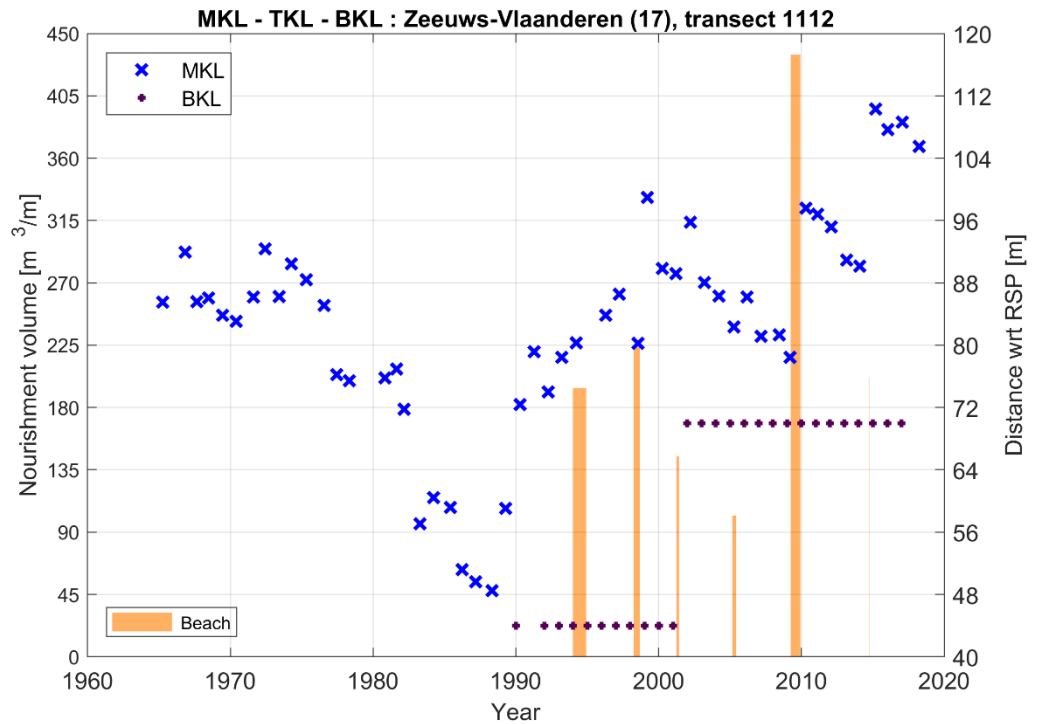
Dit kustvak loopt vanaf de Herdijkte Zwarte Polder tot de Nederlands-Belgische grens bij strand Kievitte-West. Het bestaat uit duin met uitzondering van het gebied rondom Cadzand-Bad waar over een lengte van 1 km de zeewering wordt gevormd door een zeedijk. Het gemaal in Cadzand-Bad verpompt boezemwater naar zee via een afwateringskanaal dat is voorzien van twee strekdammen, uitgebreid tot een jachthaven in 2015. Het Zwin op de grens van Nederland en België staat in open verbinding met de zee en kan volledig overstromen tijdens springtij of gedurende een storm. Figuur 4.33 geeft de bodemligging in 1973, 2009 en 2019. De duinenrij is tussen 1973 en 2019 vooral breder geworden en soms ook hoger (al worden de duinen niet volledig getoond in de bodem van 1973) en het strand is op een aantal plaatsen verbreed. Het afwateringskanaal bij Cadzand-Bad is zichtbaar in de bodems vanaf 2009. De Jarkus raaien 1335 en 1354 liggen aan weerszijden van de strekdammen van het kanaal. Door interpolatie tussen de Jarkus raaien is dit kanaal niet in alle bodems te zien. Bij het Zwin vertoont de bodem in de monding een grotere morfologische dynamiek dan de veranderingen in de rest van het kustvak. Vanaf 2009 wordt ook een gebied verder westelijk van het Zwin over een lengte van 500 m in de vaklodingen meegenomen. Omdat de versterkingswerken bij Cadzand-Bad, zie paragraaf 4.2, pas recent zijn afgerond is de BKL bij de laatste herziening (2017) hier nog niet aangepast en worden eerst de ontwikkelingen van de kust afgewacht.



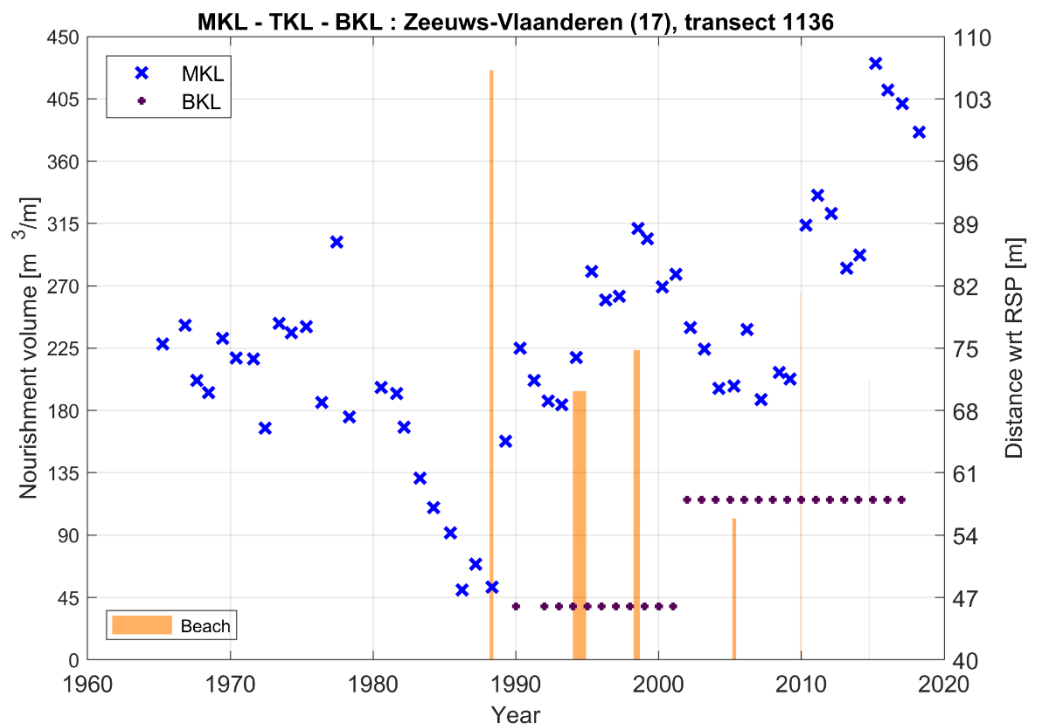
Figuur 4.33 - Bodemligging Deelgebied IV: Herdijkte Zwarte Polder–Cadzand-Bad (raai 1046-1487). Boven 1973, midden 2009 en onder 2019. Contour: NAP-2 m dieptelijn.

In vrijwel alle raaien in dit deel van het kustvak was er in het verleden, voordat sprake was van kustonderhoud middels suppleties, gedurende 10 jaar of meer een negatieve trend van de MKL. Figuur 4.34 laat de positie van de MKL zien in raai 1112 westelijk van de Herdijkte Zwarte Polder. Tussen 1966 en 1976 blijft de MKL min of meer onveranderd maar vanaf 1977 tot 1988 is er sprake van een negatieve trend waarbij de positie 35 m landwaarts opschuift. Tussen 1988 en 1990 neemt de afstand weer toe met 25 m. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door suppleties

die meer westelijk zijn uitgevoerd, zie bijvoorbeeld de naastliggende raai 1136 in Figuur 4.35. Vanaf 1994 wordt de kust periodiek, elke 3-5 jaar, onderhouden met suppleties.



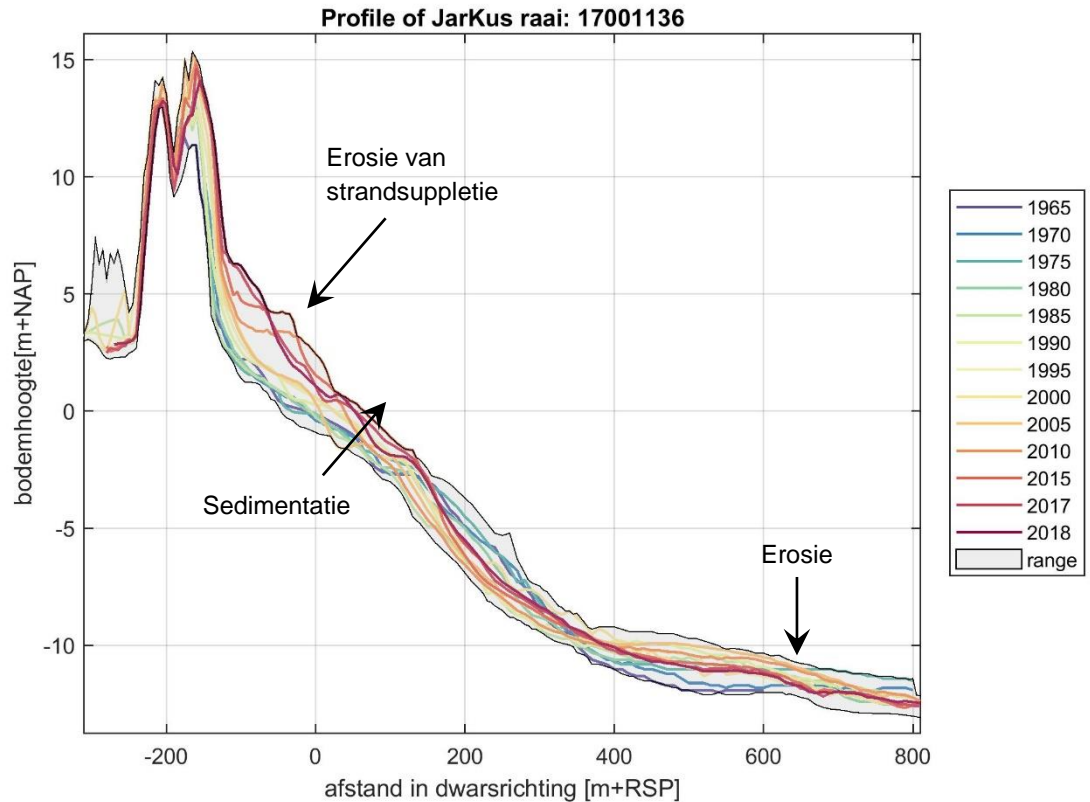
Figuur 4.34 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 1112. Update t/m 2018.



Figuur 4.35 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 1136. Update t/m 2018.

Uit de dwarsprofielen kan worden afgeleid dat het op strand gesuppleerde zand na 1-2 jaar is geërodeerd, zie bijvoorbeeld raai 1136 in Figuur 4.36. Ook de kustlijn vertoont hier een negatieve trend (Figuur 4.35) die door suppleties, ook in 2009 en 2014 uitgevoerd, wordt gecompenseerd.

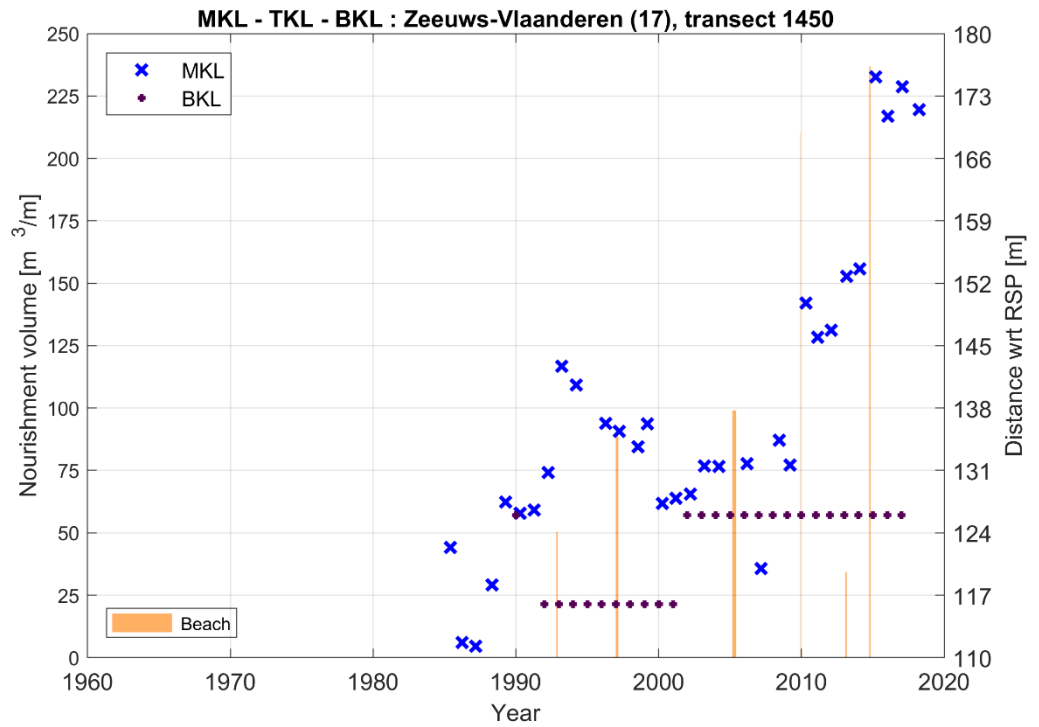
Hierbij is tenminste een deel terecht gekomen op de vooroever tussen NAP-5 en NAP-10 m. De bodem op een diepte groter dan 10 m beneden NAP verdiept tussen 2004 en 2018 met 0,5-1 m. De grootte van deze verdieping neemt af tot 0 m in raai 1282. Bekijken we de bodem van 2018 in vergelijking met de bodem van 1965 (Figuur 4.36) dan is er gedurende deze periode een verondieping van 1-1,5 m opgetreden. Dit is samengegaan met een afname van de zandvoorraad tussen NAP-3 m en NAP-10 m, m.a.w. er is sprake van een herverdeling van zand van het diepere deel naar het ondiepere deel van het profiel.



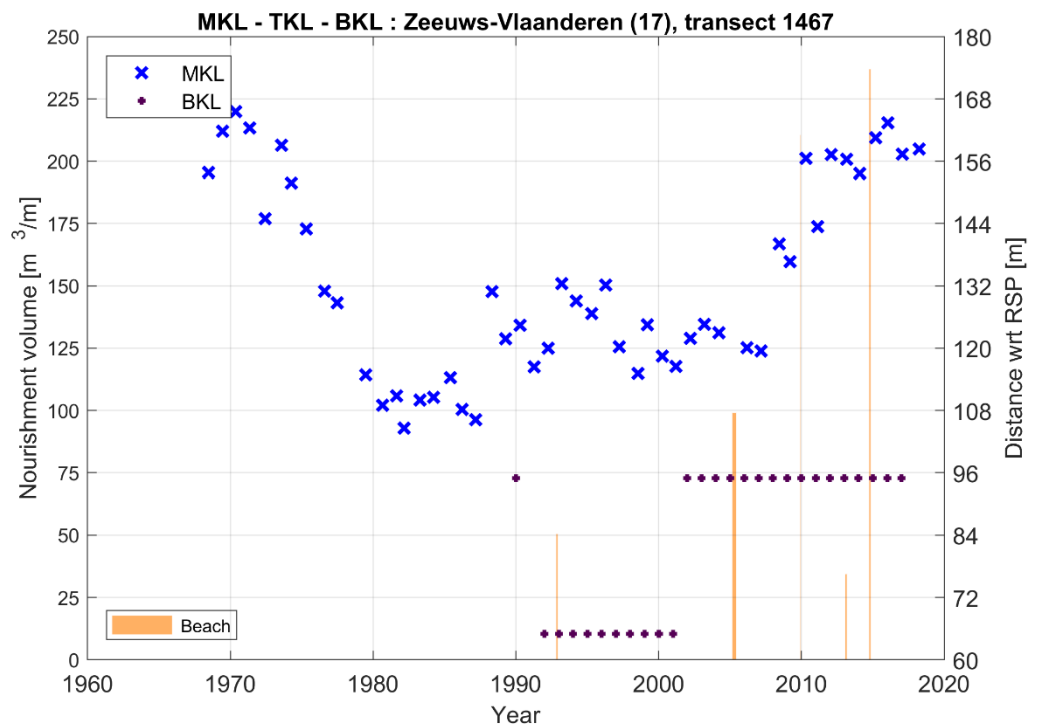
Figuur 4.36 - Dwarsprofielen van de bodemligging in raai 1136 voor de periode 1965-2018.

De positieve trend in de MKL in de raaien 1450 en 1467 bij het Zwin, zoals getoond in Figuur 4.37 en Figuur 4.38, is over een beperkt aantal jaren bepaald (namelijk 2011-2013). Figuur 4.37 (raai 1450) en vooral Figuur 4.38 (raai 1467) laten zien dat de trendbepaling niet erg nauwkeurig is. De uitgevoerde strandsuppletie begin 2013, hoewel beperkt van omvang, kan van invloed zijn geweest op de zeewaartse verplaatsing van de MKL in raai 1450. Het effect van de suppletie is echter niet zichtbaar in raai 1467. Tussen 2014 en 2015 is in raai 1450 nogmaals een substantiële zeewaartse verplaatsing van de MKL ter grootte van 20 m opgetreden.

In 2001 is de Basiskustlijn in de beide raaien zeewaarts verplaatst: 10 en 30 m voor respectievelijk de raaien 1450 en 1467 om de strandhoofden goed in het zand te houden. Deze strandhoofden hebben een functie als zandvanger en dienen samen met de zandsuppleties om de structurele kusterosie tegen te gaan (Bijlage 2 in Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003). De zeewaartse verlegging van de Basiskustlijn heeft niet geleid tot een toegenomen suppletie-inspanning, voor zover dat kan worden afgeleid uit de beschikbare gegevens, en dus ook niet op de MKL-positie.



Figuur 4.37 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 1450. Updat t/m 2018.



Figuur 4.38 - Basiskustlijn (BKL), Momentane Kustlijn (MKL) in raai 1467. Update t/m 2018.

4.3.5 Volume-ontwikkelingen op basis van vaklodingen en LiDAR-metingen

De morfologische veranderingen voor de verschillende deelgebieden volgens de vaklodingen (1965-2011) zijn te zien in Figuur 4.39. Deze volumebalans (uit Kuijper, Nederhoff en Vergouwen, 2016) is in 2019 niet opnieuw bepaald. Het is niet geheel duidelijk of de bepaalde trends

representatief zijn voor de kust van Zeeuws-Vlaanderen. Met name over de periode 1965-1985 is er onzekerheid in de nauwkeurigheid van de metingen.

Om de veranderingen te kwantificeren zijn de volumes per deelgebied bepaald (zie Figuur 4.39).

We maken onderscheid tussen:

- 1 het strand (NAP+3 en 0 m),
- 2 ondiepe vooroever (NAP 0 tot -5 m) en
- 3 dieper gelegen delen.

Als grens van het diepere gebied is gekozen voor de NAP-10 m dieptelijn. De volumeveranderingen per deelgebied en als totaal zijn voor de vier onderscheiden deelgebieden vermeld in Tabel 4.3.

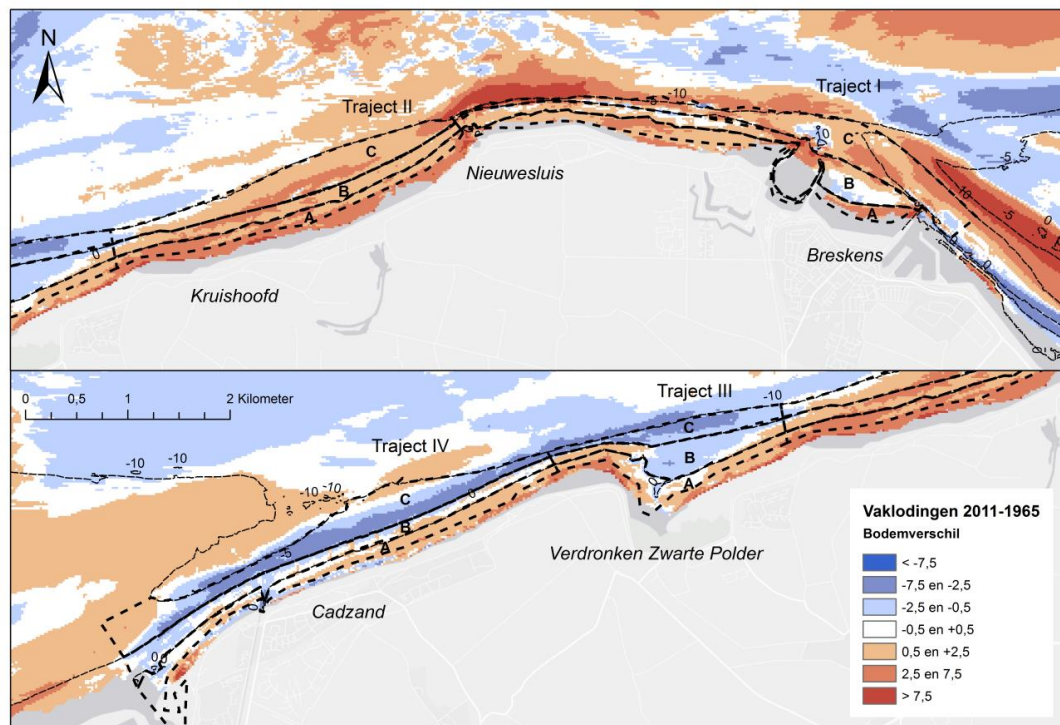
In het deelgebied Breskens – Groede (Traject I) is een grote sedimentatie te zien in zowel de dieper gelegen delen van het profiel (+2,08 miljoen m³) als op de vooroever en het strand (+0,93 en +0,95 miljoen m³). Deze toename hangt mogelijk samen met de verondieping van de Vaargeul langs Hoofdplaat maar kan ook worden toegeschreven aan geulwand- en strandsuppleties waarbij in 2009 en 2010 bijna 3,2 miljoen m³ is neergelegd in dit gebied.

Het deelgebied tussen Groede en Nieuwvliet (Traject II) laat een vergelijkbare positieve trend van depositie op de vooroever en strand zien (+0,86 en +0,94 miljoen m³). Hoewel de toename van de dieper gelegen delen in het profielen kleiner is dan voor het vorige deelgebied constateren we nog steeds een netto depositie tussen 1965 en 2011 van +1,36 miljoen m³.

Voor de kust van Nieuwvliet (vanaf raai 730) tot en met het Zwin vindt er een verdieping plaats rond de NAP-10 m dieptecontour. Dit zorgt ervoor dat erosie optreedt voor de lagere delen van het profiel (-0,73 en -1,68 miljoen m³ voor respectievelijk Traject III en IV). Ook voor de ondiepe vooroever van beide deelgebieden is er sprake van een geringe erosie (ongeveer 0,3 miljoen m³). Er vindt echter wel een netto sedimentatie van het strand plaats voor Traject III (+0,28 miljoen m³) en Traject IV (+0,32 miljoen m³).

De totale volumeverandering van strand, vooroever en dieper gelegen delen gedurende de periode 1965-2011 kan als volgt worden omschreven:

- 1 Van oost naar west neemt de netto sedimentatie af en deze gaat over in netto erosie. Deze tendens treedt vooral op in de dieper gelegen delen van het profiel en in mindere mate op de vooroever. Het strandvolume is tussen 1965 en 2011 voor alle gebieden toegenomen maar deze toename is het grootst in de beide oostelijke trajecten (I en II).
- 2 Voor het gehele kustvak geldt nog wel dat het zandvolume in alle drie gebieden (strand, vooroever en dieper gelegen delen) tussen 1965 en 2011 is toegenomen. Deze toename is voor meer dan de helft opgetreden op het strand.



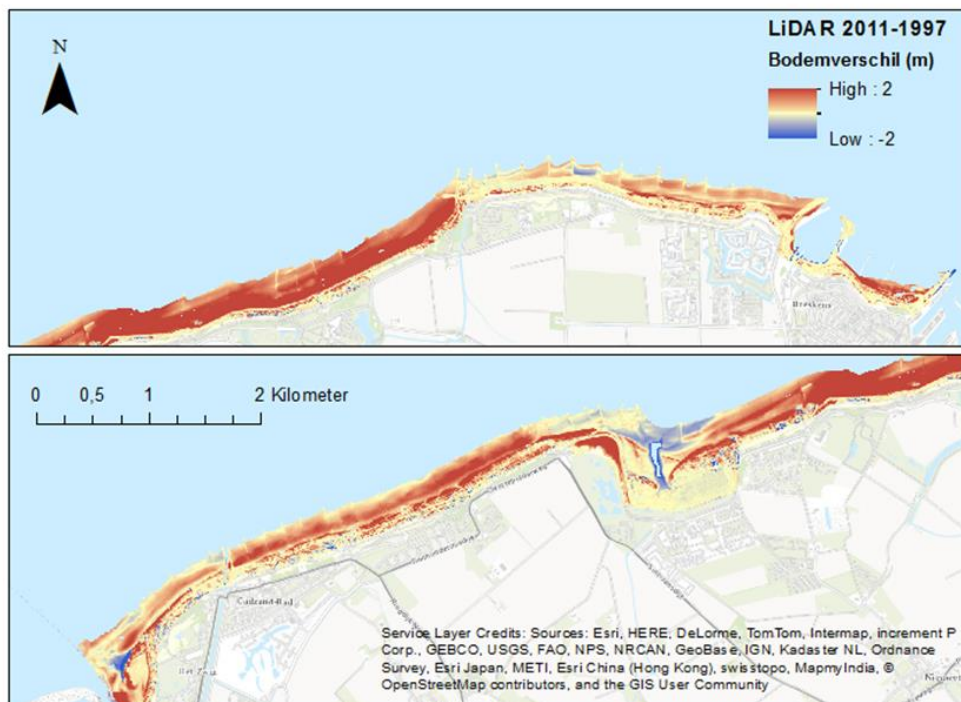
Figuur 4.39 - Morfologische ontwikkeling voor de kust van Zeeuws-Vlaanderen tussen 1965 en 2011 op basis van de vaklodingen. Boven: deelgebieden I (Breskens-Groede) en II (Groede-Nieuwvliet). Onder: deelgebieden III (Herdijkte Zwarte Polder en Verdrongen Zwarte Polder) en IV (Cadzand-Bad). De dieptelijnen van NAP+3 m, NAP 0 m, NAP-5 m en NAP-10 m hebben betrekking op de 2011 bodem. De deelgebieden zijn aangegeven met letters respectievelijk A, B en C.

De LiDAR-data voor de strand- en duingebieden (1997-2011) laten voornamelijk in deelgebied II (Groede-Nieuwvliet) een sterke toename in duinvolume zien (+2.65 miljoen m³). Deze toename is vooral te danken aan de recente versterkingen. Er is ook sprake van een toename van het volume rondom de haven van Breskens (+0.50 miljoen m³). Dit treedt vooral op aan de westelijke zijde van de haven zoals te zien is in een detailkaart (zie Figuur 4.40, bovenste venster). De meer westelijke deelgebieden laten beide een lichte toename zien (+0,50 miljoen m³ en +1.21 miljoen m³ voor respectievelijk deelgebied III en IV). Er dient wel op gemerkt te worden dat een bodemdaling zichtbaar is nabij de Verdrongen Zwarte Polder, zie Figuur 4.40 (onderste venster). De oorzaak hiervan is dat in 2010 de geul van de Verdrongen Zwarte Polder is uitgediept om de zilte natuur meer kansen te bieden (Waterschap Zeeuws-Vlaanderen, 2010).

Tabel 4.3 - Ontwikkeling zandvolumes op basis van vaklodingen (periode 1965-2011) en LiDAR-metingen (periode 1997-2011). Waardes zijn in miljoen m³

	Gebied	Raai- nrs.	Kust- LiDAR	Strand (A)	Voor- oever (B)	Dieper gelegen (C)	Totaal (A)+(B)+(C)
			1997- 2011	1965-2011			
I	Breskens – Groede	11-441	+0,50	+0,95	+0,93	+2,08	+3,96
II	Groede – Nieuwvliet	461-802	+2,65	+0,94	+0,86	+1,36	+3,16
III	Nieuwvliet – Verdrongen Zwarte Polder	822- 1032	+0,50	+0,28	-0,31	-0,73	-0,76

IV	Verdronken Zwarte Polder – Cadzand-Bad	1046-1487	+1,21	+0,32	-0,28	-1,68	-1,64
Totaal	Breskens – Cadzand-Bad	11-1487	4,86	2,49	1,20	1,03	4,72



Figuur 4.40 - Bodemveranderingen voor de strand- en duingebieden tijdens de periode 1997-2011 (LiDAR-data). Boven: Breskens-Groede-Nieuwvliet. Onder: Herdijkte Zwarte Polder-Cadzand-Bad.

4.3.6 Samenvatting detailontwikkeling kustvak Zeeuws-Vlaanderen

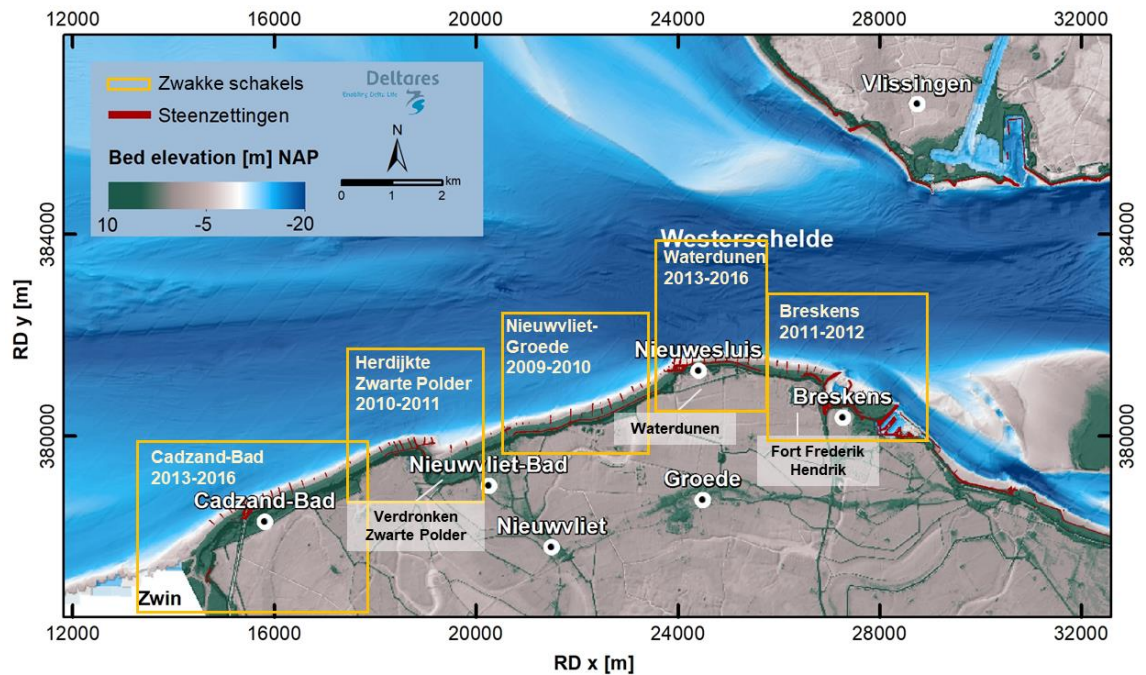
Langs vrijwel de gehele Zeeuwse kust ten westen van Kruishoofd wordt zand gesuppleerd. Na het aanbrengen van de suppletie treedt in alle gevallen weer erosie op. Uitzondering vormt het gebied gelegen voor de Verdronken Zwarte Polder waar geen zand is aangebracht. De tendens tot aanzanding daar is mogelijk het gevolg van (i) de aanleg van een strekdam, (ii) het verlanden van de in 2010 aangelegde verbindingsgeul tussen de polder en zee en (iii) uitgevoerde suppleties in naastliggende gebieden. Ook bij het Zwin is er sprake van een min of meer stabiele situatie. Oostelijk van Kruishoofd tot Breskens is in 2009 en 2010 eveneens langs de gehele kust gesuppleerd. Hier treedt niet altijd erosie van de aangebrachte zandhoeveelheden op en soms is zelfs sprake van een geringe, verdere uitbouw van de kust. In het algemeen zijn de erosiesnelheden langs dit deel van de kust klein (mede als resultaat van de in het verleden uitgevoerde kustverdedigingsmaatregelen) behalve bij Nieuwesluis waar de Wielingen geul dicht onder de kust komt en door stromingscontractie de stroomsnelheden hoog zijn. Hier zijn regelmatige vooroever- of geulwandsuppleties nodig om de strandhoofden die hier als stroomkribben werken goed in het zand te houden.

Effecten van suppleties zijn soms merkbaar in gebieden oostelijk van de suppleties. De in 1989 uitgevoerde vooroeversuppletie in de raaien 530-602 resulteert namelijk ook in een zeewaartse verplaatsing van de MKL in de raaien 483-512 (westelijk van Nieuwesluis). Ook voor het deelgebied tussen de Herdijkte Zwarte Polder en Cadzand-Bad is gevonden dat de effecten van in het verleden uitgevoerde suppleties merkbaar zijn in meer oostelijk gelegen raaien waar niet is gesuppleerd. Dit geeft aan dat er een netto kustlangs transport in oostelijke richting is. De kust toont een sterk erosief gedrag nabij het Kruishoofd waar als onderdeel van het project Zwakke

Schakels in 2009 een erosieberm is aangelegd met als doel zand op natuurlijke wijze langs de kust te verspreiden. Of zand vanaf de erosieberm bij de Verdrongen Zwarte Polder terecht is gekomen is niet bekend.

In het algemeen verloopt na een suppletie de verplaatsing van de MKL positie exponentieel, d.w.z. de snelheid van de jaarlijkse verplaatsing van de MKL positie neemt af in de tijd. De MKL benadert dan de positie van de kustlijn zoals die aanwezig was vóór de suppletie. Bij de interpretatie van de kustlijngrafieken moet ermee rekening worden gehouden dat de veronderstelde lineaire trend als benadering van het werkelijke verloop niet altijd accuraat is.

Voor het gehele kustvak is het zandvolume tussen NAP+3 m en NAP-10 m tussen 1965 en 2018 toegenomen. Een toename heeft echter alleen plaatsgevonden in de beide oostelijke deelgebieden (I en II); in de deelgebieden III en IV is het totale zandvolume afgenomen.



Figuur 4.41 - Overzicht van de strandhoofden (rood) en Zwakke Schakel deelprojecten langs de kust van Zeewuvs-Vlaanderen

4.4 Dynamiek van de zeereep

4.4.1 Inleiding

In deze paragraaf worden de resultaten gepresenteerd van het onderdeel 'Duinen' binnen het programma Natuurlijk Veilig (IJff et al., 2019), aangevuld met (Arens en Neijmeijer, 2015). Centraal in dit onderzoek staat de vraag of, en zo ja hoe, het mogelijk is om door middel van variatie in de uitvoering van suppleties en het zeereepbeheer de diversiteit van kustduinlandschappen te vergroten. In het onderzoek wordt het effect van suppleren, via morfologische en ecologische processen, op de ontwikkeling van het kustduingebied onderzocht. Tevens wordt nagegaan welk type zeereepbeheer bijdraagt aan het doorstuiven naar het achterliggende duingebied en welke processen hierin sturend zijn. In 2019 wordt het onderzoek voortgezet door de invloed van suppleties en zeereepbeheer op duinhabitats en ecologische diversiteit van het achterduin te analyseren.

In Natuurlijk Veilig wordt, net als in Ecologisch Gericht Suppleren (EGS) I, de dynamiek en doorstuiving van de zeereep gecategoriseerd in zogenoemde 'responstypen', zie paragraaf 4.4.3. Binnen deze responstypen wordt de overstuivingsgradiënt van Type 1 naar Type 5 steeds

uitgestrekter in de kustdwarse richting, met een steeds grotere beïnvloeding van de achter de zeereep liggende duinen. De responstypen zijn voor de Nederlandse kust geïdentificeerd m.b.v. luchtfoto's, hoogtekaarten en hoogteverschilkaarten (o.b.v. laseraltimetriegegevens). Tevens is langs de gehele Nederlandse kust per Jarkusraai het zandbudget bepaald voor de volledige periode 1965-2017. Hierbij zijn trendbreuken geïdentificeerd met het oog op veranderingen in het beheer (conventioneel versus dynamisch zeereepbeheer) en autonome ontwikkeling.

Voor het kustvak Zeeuws-Vlaanderen worden na een algemene beschrijving in paragraaf 4.4.2 in paragraaf 4.4.3 volumeveranderingen in de zeereep, en de mate van dynamiek in de zeereep (de responstypen) besproken. Vervolgens wordt het effect van suppleties (paragraaf 4.4.4) op volumeveranderingen en dynamiek getoond. Ten slotte wordt er in paragraaf 4.4.5 een overzicht van enkele dynamiseringsprojecten in kustvak Zeeuws-Vlaanderen gegeven.

4.4.2 Algemene beschrijving situatie van de zeereep in het kustvak Zeeuws-Vlaanderen (Arens en Neijmeijer, 2015)

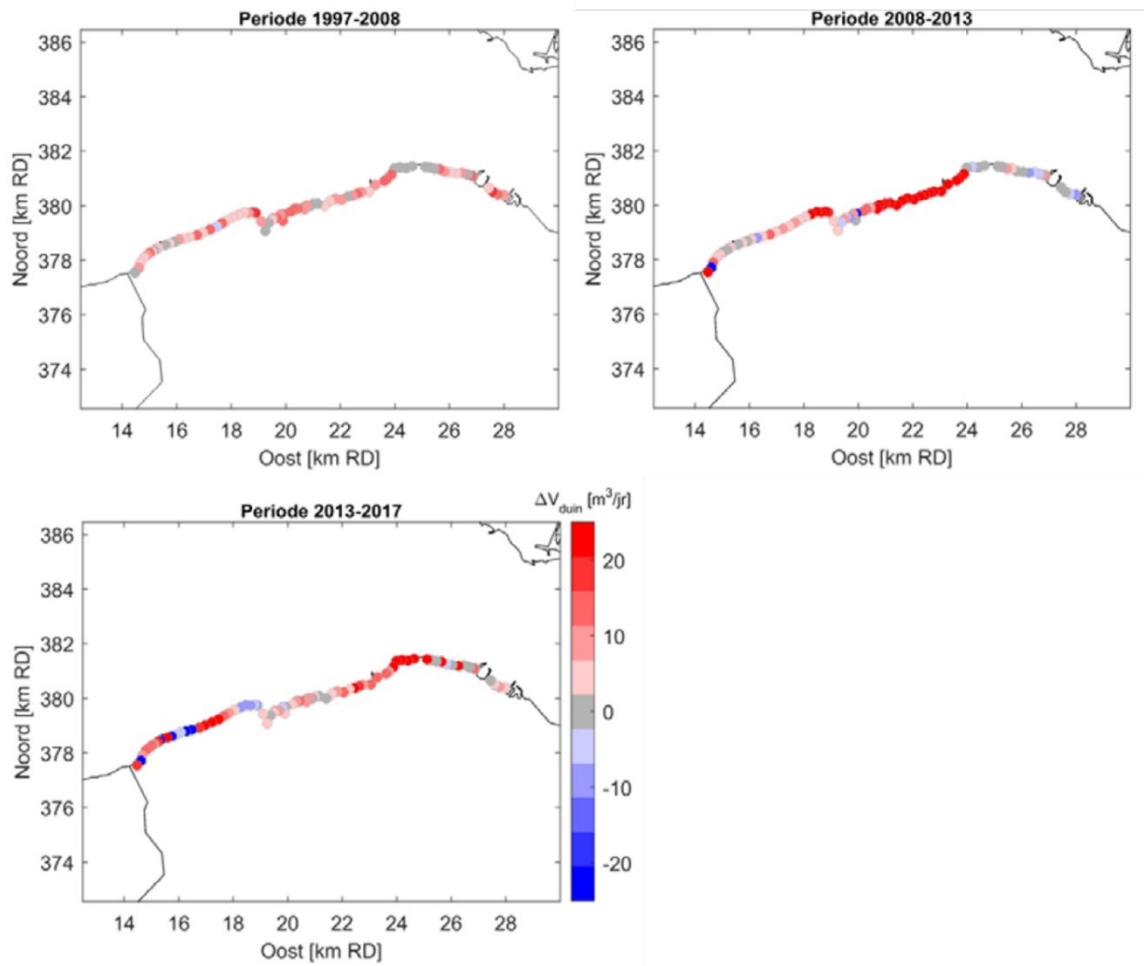
In het kustvak Zeeuws-Vlaanderen bestaat de zeewering voor een groot deel uit dijken en voor een gering deel uit duinen, zie ook paragraaf 5.1. Vóór 1988 is de zeereep laag, smal en kunstmatig en heeft geen achterliggend duingebied. Op een aantal plaatsen vindt vorming van duintjes tegen of op de zeedijken plaats. Bij de Verdronken Zwarte Polder bevindt zich een buitendijks gebiedje met een lage, niet gesloten zeereep. Direct ten noorden hiervan heeft de zeereep over enkele honderden meters een meer natuurlijk karakter: stabiel, gelijkvormig en met aanstuiving tegen de zeehelling.

In de periode 1999-2008 is er sprake van een aangroeiende zeereep. De jaarlijkse toename in volume ligt ongeveer tussen 4 en 8 m³/m/jaar. De grootste jaarlijkse aangroei bevindt zich net ten oosten van de Zwarte Polder (raai 800). Hier is de gemiddelde toename extreem met bijna 16 m³/m/jaar. De enige plek waar de zeereep vrijwel niet groeit is ter hoogte van de zeedijk bij Nieuwesluis (raai 300).

Het meest oostelijke deel van het kustvak wordt tegenwoordig voornamelijk beïnvloed door aanzanding tussen de strandhoofden. Dit zorgt voor verbreding van het strand en aanzanding aan de voorzijde van de dijken. Meer naar het westen is een groot deel van de dijken afgedekt onder een duinversterking. De handmatig aangelegde duinen zijn inmiddels redelijk bedekt met vegetatie en vangen aan de voorzijde zand in. Hierdoor wordt de zeereep langzaamaan verbreed. Over het algemeen heeft dit gebied te maken met een positieve trend in volumeontwikkeling. De aanstuiving wordt beperkt tot de voorzijde van de zeereep, waar op sommige plekken embryonale duinen ontstaan die verder bijdragen aan een verbreding van de zeereep. De duinverzwaring en de al aanwezige zanddijk zorgen ervoor dat het grootste deel van de kust nu een wat natuurlijker karakter heeft.

4.4.3 Volumeveranderingen en dynamiek van de zeereep langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen

De jaarlijkse trend in de volumeontwikkeling in de zeereep langs de Zeeuws-Vlaamse kust is berekend voor de periodes 1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017, zie Figuur 4.42. In dit kustvak zijn vooral volumetoenames gemeten.



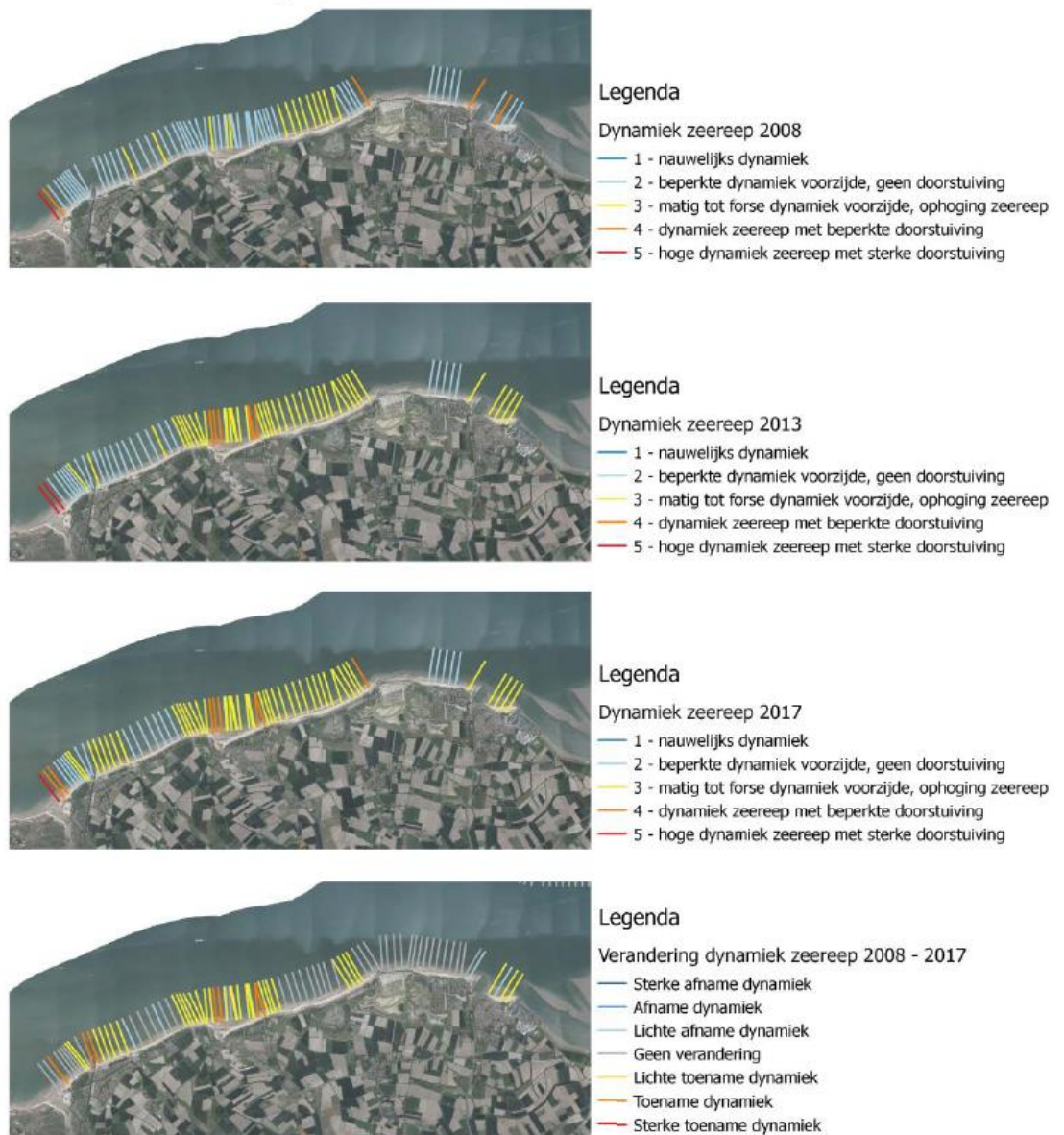
Figuur 4.42 - Trend in zeereepvolume verandering langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen voor periode 1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017 (Ijff et al., 2019).

Voor de periode 2008-2013 en 2013-2017 zijn de dynamiek en doorstuiving van de zeereep voor de kust van Zeeuws-Vlaanderen in kaart gebracht door middel van responstypen, zie Figuur 4.43. Er is sprake van een hoge dynamiek in de deelgebieden II en III en bij het Zwin.

Met de responstypen wordt de mate van dynamiek in de zeereep aangegeven (Arens en Neijmeijer, 2015). Het gaat dan vooral om de eolische dynamiek. Beoordeeld is de mate van erosie en depositie door de wind en de plaats binnen de zeereep waar dit optreedt. Hieruit is ook de mate van doorstuiving over de zeereep heen te bepalen, een maat die belangrijk is voor de ecologische ontwikkeling van duinhabitats achter de zeereep. Responstypen zijn opgesteld met behulp van luchtfoto's, hoogtedata en verschilkaarten van de betreffende jaren (zie voor een uitgebreide beschrijving Arens et al, 2010). Aan de hand van deze analyse is de zeereep ingedeeld in 6 categorieën die hieronder zijn toegelicht:

- 1 Geen dynamiek. Het gaat hierbij om gebieden waar wel een zeereep aanwezig is, maar waar geen zichtbare dynamiek plaatsvindt. Vaak gaat het om gebieden waar de zeereep dichtbegroeid en volledig gestabiliseerd is of waar bebouwing op het strand, of soms de aanwezigheid van een volledig begroeid strand, de dynamiek in de zeereep belemmert.
- 2 Dynamiek in embryonale duinen vóór de zeereep. Dit komt voornamelijk voor in gebieden met veel depositie op het strand. Er kunnen kleine duinen ontstaan die vrijwel al het zand invangen. Met verloop van tijd kunnen de embryonale duinen uitgroeien tot een nieuwe zeereep, vastgroeien aan de bestaande zeereep of weer verdwijnen.

- 3 Beperkte dynamiek, voorzijde zeereep. Dit type komt voor langs grote delen van de Nederlandse kust. Er vindt aan- en overstuiving plaats, maar het zand stuift niet door naar de achterzijde van de zeereep of verder landinwaarts. De dynamiek blijft beperkt tot de voorzijde van de zeereep.
 - 4 Dynamische zeereep, beperkte doorstuiving. Meer dynamiek en kleine openingen in de zeereep zorgen ervoor dat het zand vanaf het strand verder landinwaarts kan verplaatsen.
 - 5 Zeer dynamische of gekerfde zeereep, forse doorstuiving. Kerven, stuifkuilen en openingen in de zeereep dragen bij aan een forse doorstuiving naar het binnenland.
- X. Bebouwing, Dijk, Geen zeereep. Hier vindt geen dynamiek plaats. Er is in de meeste gevallen geen zand aanwezig doordat een dijk de functie van zeereep over heeft genomen. Responstype X wordt ook gebruikt bij strandvlaktes waar geen zeereep aanwezig is.



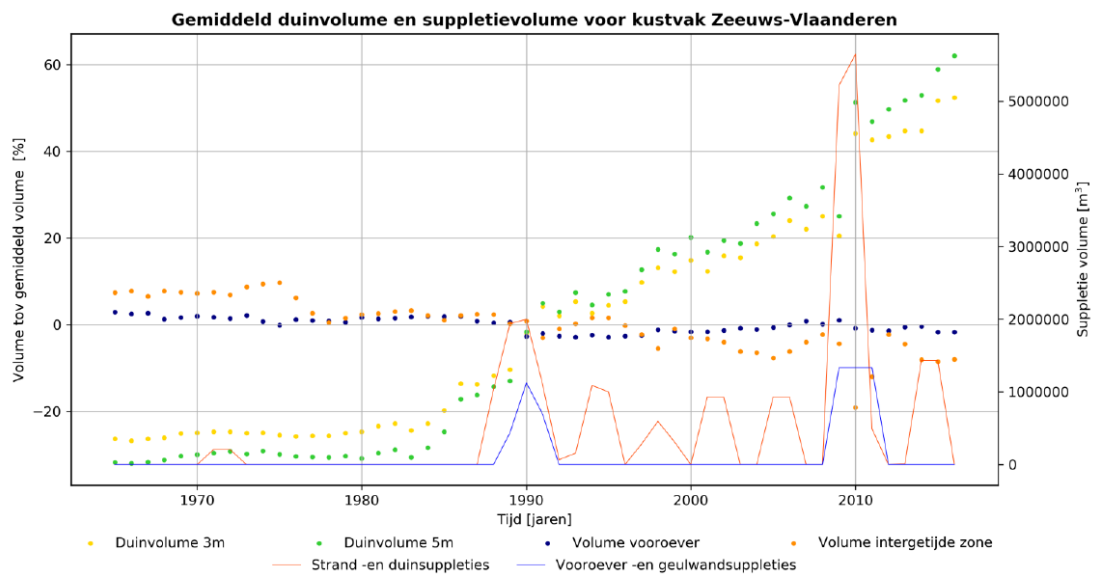
Figuur 4.43 - Dynamiek zeereep 2008, 2013, 2017 Zeeuws-Vlaanderen en de verandering in dynamiek in de periode van 2008 tot 2017 (Jff et al., 2019)

4.4.4 Effect van suppleties

In Figuur 4.44 is een tijdserie weergegeven van de suppleties en volumeveranderingen langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen. De suppleties zijn opgesplitst in twee groepen: (1) suppleties die

bovenwater zijn aangebracht, bestaande uit strand –en duinsuppleties en (2) suppleties die onderwater zijn aangebracht, bestaande uit vooroever– en geulwandsuppleties. De volumeveranderingen zijn niet in absolute volumes weergegeven, maar als percentage van het gemiddelde volume per compartiment over de hele beschouwde periode. Dit maakt het mogelijk om de volumeveranderingen van alle compartimenten samen in een enkel figuur te tonen. Belangrijk om te vermelden is dat het volume van de vooroever het grootst is van alle compartimenten, hier kan een kleine procentuele volumeverandering gelijk staan aan een significant absoluut volume. De grenzen van de compartimenten leiden ertoe dat het volume van het strand nagenoeg gelijk is aan nul. Om deze reden is dit compartiment niet weergegeven in onderstaande figuren.

Wanneer de veranderingen in het suppletievolume worden vergeleken met veranderingen in het volume van de zeereep, zie Figuur 4.44, valt op dat met het toenemen van het suppletievolume ook het duinvolume toeneemt. Dit ondersteunt de hypothese uit (Arens et al. 2010) dat de toename van het volume in de zeereep (deels) veroorzaakt wordt door het uitvoeren van suppleties.



Figuur 4.44 - Volumeverandering van de zeereep voor Zeeuws-Vlaanderen (berekend met een duinvoet van 3m en 5m), de vooroever en de intergetijdzone (stippellijnen) en de volumeverandering van vooroeversuppleties (inclusief geulwandsuppleties, blauwe lijn) en strand- en duinsuppleties (oranje lijn). (IJff et al., 2019)

4.4.5 Dynamiseringsprojecten

In het kustvak Zeeuws-Vlaanderen zijn er verschillende dynamiseringsprojecten uitgevoerd waarbij door middel van gerichte ingrepen, namelijk de aanleg van stuifkuilen, te komen tot een verbetering van de landschappelijke diversiteit, de geomorfologische vormen en processen in de zeereep en de ecologische waarden van zeereep en direct achterliggende duinen. Voorbeelden van dynamiseringsprojecten in Zeeuws-Vlaanderen zijn Verdronken Zwarte Polder, Waterdunen en het Zwin (Van der Valk et al, 2013).

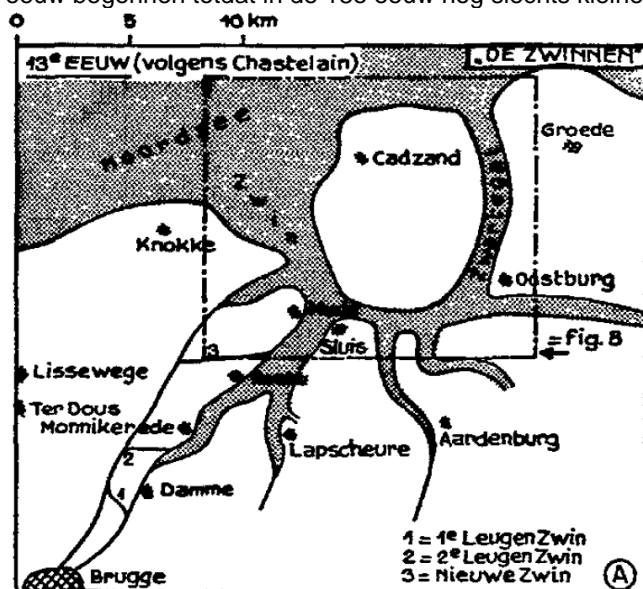
5 Kustverdediging en primaire waterkering

In dit hoofdstuk staat een beschrijving van de historie van de kustverdediging van Zeeuws-Vlaanderen in paragraaf 5.1.1, de kustverdedigingswerken in 5.1.2 en de recent uitgevoerde werken voor de Zwakke Schakels in 5.1.3. Paragraaf 5.2 gaat over inrichting en beoordeling van de primaire waterkering in Zeeuws-Vlaanderen en paragraaf 5.3.3 in het bijzonder over de duinenkust, voor zover aanwezig.

5.1 Kustverdediging

5.1.1 Historie

Wilderom (1973) geeft een uitgebreide beschrijving van de waterstaatkundige ontwikkeling van Zeeuws-Vlaanderen tot halverwege de 20e eeuw. Onderstaande beknopte beschrijving is vrijwel geheel aan hem ontleend. Al in de 8e eeuw werd de kuststrook ten zuiden van de toenmalige Scheldemond (de huidige Oosterschelde) aangeduid als Vlaanderen. Voordat men in de 11e eeuw begon met inpolderingen lag de noordelijke begrenzing in het huidige Belgische Vlaanderen ter hoogte van de lijn Brugge-Antwerpen. Het Zwin ter plaatse van de huidige grens is in de 11e eeuw ontstaan na een doorbraak tijdens een transgressie van de kustlijn. Cadzand lag toen op een eiland evenals Groede en Oostburg, zie Figuur 5.1. Verzanding van het Zwin is al in de 12e eeuw begonnen totdat in de 18e eeuw nog slechts kleine schepen Sluis konden bereiken.



Figuur 5.1 - Het Zwin in de 13e eeuw (Wilderom, 1973).

Duinvorming is pas in de 17e eeuw begonnen waarbij het zand vermoedelijk afkomstig was van de Vlaamse Banken, een gebied met ondiepe kustparallelle zandruggen langs de Belgische kust. De Zeeuwse duinen zijn lager en smaller dan de duinen elders langs de Nederlandse kust, wat wordt veroorzaakt door de geulen langs de kust. De huidige Herdijkte Zwarte Polder en de Verdrongen Zwarte Polder liggen in de monding van een oude getijdengeul. Tijdens de stormvloed van 1802 is de toenmalige Zwarte Polder geïnundeerd. Het vormt nu een natuurgebied met dezelfde naam bestaande uit laag duingebied en deels schorgebied.

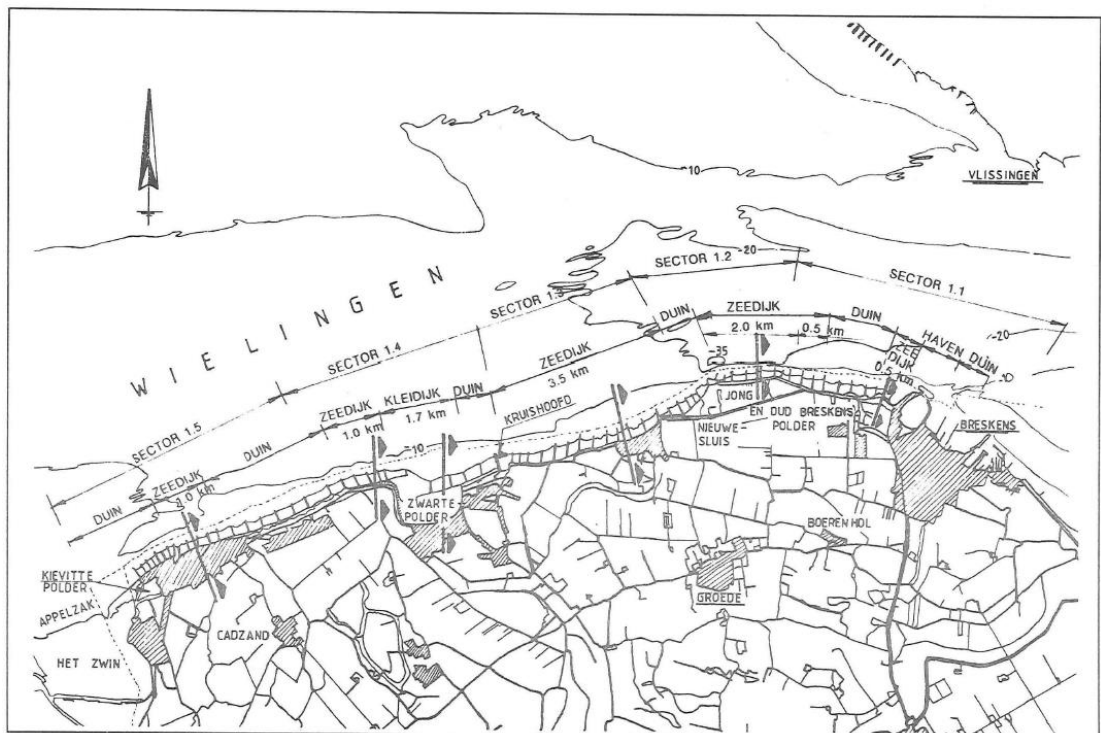
De Zeeuwse delta heeft een groot aantal stormvloeden ondergaan waarvan beschrijvingen teruggaan tot het jaar 1000. Van de St. Felixvloed (5 november 1530) wordt gezegd "dat hij behoorde tot de meest vernielende overstromingen, die de Noordzeekusten tussen het Kanaal en Jutland geteisterd hebben" maar Zeeuws-Vlaanderen wordt bij de vermeldingen weinig genoemd

(Wilderom, 1973). De stormvloed werd kort daarna, in 1532, gevolgd door de Allerheiligenvloed. Opvolgende stormvloeden die overstromingen in Zeeuws-Vlaanderen veroorzaakten zijn die van 1570, 1606, 1682, 1715, 1808, 1828 en 1906. De drie hoogste stormvloeden van na 1906 zijn die van 1 februari 1953, 3 januari 1976 en 6 december 2013 met hoogwaterstanden te Vlissingen van resp. NAP+4,55 m, NAP+3,94 m en NAP+3,99 m. Bij de stormvloed van 1953 heeft Zeeuws-Vlaanderen, gelet op het overstroomd oppervlak, de ramp relatief goed doorstaan in vergelijking met het overige deltagebied (Wilderom, 1973).

Zettingsvloeiingen in de vorm van oever- en dijkvallen ("grondbraken") langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen kwamen in het verleden veelvuldig voor maar dan vooral ten oosten van Breskens, zoals langs de Hoofdplaatpolder. Wilderom (1973) noemt een totaal van 357 oever- en dijkvallen sinds 1800. Nieuwesluis vormt de enige locatie langs de Zeeuwse Noordzeekust waar in het recent verleden oeverafschuivingen werden geregistreerd: 6 in de 2e helft van de 19e eeuw en 7 in de 20e eeuw waarvan de laatste in 1973. De vooroever is hier erg steil, zie bijv. Figuur 4.14. De ontgrondingen waren beperkt met een maximale grondverplaatsing van 25000 m³ in 1940. Door geulwandsuppleties wordt dit tegengegaan.

5.1.2 Harde kustverdedigingswerken

Langs de Noordzeekust van Zeeuws-Vlaanderen wordt de waterkering afwisselend gevormd door duinen en dijken, zie Figuur 5.2 uit (Eversdijk, 1989).



Figuur 5.2 - Dijken en duinen langs het kustvak Zeeuws-Vlaanderen (Eversdijk, 1989).

Het voormalig Fort Impérial bij Breskens (later Fort Frederik Hendrik en nu Scheldeveste) is in 1809 aangelegd in opdracht van Napoleon om de Westerschelde, de toegang naar Antwerpen te beschermen tegen de Engelsen. Tijdens de Slag om de Schelde in 1944 was het fort door de Duitsers bezet (Figuur 5.3). Breskens werd toen zwaar gebombardeerd door de geallieerden. Op de foto is ook te zien dat er tussen de strandhoofden slechts een smal zandstrand lag. De tegenwoordige Deltakering bij het fort bestaat uit een betonnen keerwand en volgt de historische boog langs de buitenzijde van het fort, waar oorspronkelijk een batterij kanonnen stond opgesteld. Op het terrein zijn nu recreatiewoningen gebouwd, maar het patroon van verdedigingsgrachten is behouden.



Figuur 5.3 - Luchtfoto van het voormalig Fort Frederik Hendrik bij Breskens in 1944.

Bij Breskens bevindt zich een dijk die doorloopt van de Scheldeveste tot voorbij de oostelijke strekdam van de Veerhaven. De dijk is verhoogd, verbreed en versterkt als onderdeel van het project Zwakke Schakels in 2009/2010. Westelijk van Breskens is er eerst een stuk duin en vervolgens weer een zeedijk tot Nieuwesluis. De steile oever (plaatselijk 1:2 over een hoogte van ca. 20 m) is verdedigd met oeverwerken. Hier is ook een klein gemaal aanwezig (spuisluis) en een getijdenduiker voor de Waterdunen.

Tussen Nieuwesluis en Kruishoofd is eveneens een zeedijk aanwezig met aan weerszijden een klein stuk duin. Bij de Verdrongen Zwarte Polder en de Herdijkte Zwarte Polder ligt respectievelijk een kleidijk en een zeedijk. De zeedijk is verbonden met de strekdam die in het kader van het project Zwakke Schakels is versterkt. Het deelgebied tussen de Herdijkte Zwarte Polder en de Nederlands-Belgische grens (Zwin) bestaat uit duinen onderbroken door een deels overstoven zeedijk bij Cadzand-Bad. Daar bevindt zich een gemaal met bijbehorend afwateringskanaal voor de afvoer van boezemwater naar zee. Het kanaal wordt beschermd door twee strekdammen. Als onderdeel van de kustversterking is direct westelijk van het gemaal de bestaande dijk gehandhaafd en is een hoeveelheid zand als duin voor de dijk aangebracht. Oostelijk van het gemaal is de bekleding vervangen en is voor de dijk een zandpartij aangebracht (Waterschap Scheldestromen, 2013). Middels een aansluitings-constructie is de dijk verbonden met het duin westelijk van Cadzand-Bad.

Langs de gehele Zeeuwse kust zijn 84 strandhoofden aanwezig, die zijn gebouwd gedurende de tweede helft van de 19e eeuw (Figuur 5.4). Sindsdien is de kusterosie duidelijk afgenomen met 0.2 tot 2.7 m/jaar (Verhagen en Van Rossum, 1990). In dit kustvak is ook sprake van een sterke getijstroom langs de kust, de hoofden hebben ook hier een duidelijke kribfunctie.



Figuur 5.4 - Strandhoofd met palenrij bij Nieuwesluis (foto E. van Amstel)

5.1.3 Zwakke Schakels West-Zeeuws-Vlaanderen (Waterschap Scheldestromen)

De Zwakke Schakel West-Zeeuws-Vlaanderen liep van Breskens tot aan Cadzand-Bad, over ruim tien kilometer. Het project is uitgevoerd en gefinancierd in het Tweede Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP-2) en is opgedeeld in de volgende vijf deelgebieden (met tussen haakjes de uitvoeringsperiode, zie ook Figuur 3.2):

- Breskens (2011-2012)
- Waterdunen (2013-2016)
- Nieuwvliet-Groede (2009-2010)
- Herdijkte Zwarte Polder (2010-2011)
- Cadzand-Bad (2013-2016)

De kustversterking rondom Breskens loopt van strandpark Scheldeveste tot en met het Badstrand. Het werk vond plaats van 2011 tot 2012 op drie locaties, zie Figuur 5.5:

- Scheldeveste
- Het (voormalige) Veerplein
- Het Badstrand (Breskens-Oost)

Scheldeveste ligt voor het oude fort Frederik Hendrik (raaien 146-208). Vlak voor dit stuk kust ligt een diepe geul, waar het Vaarwater langs de Hoofdplaat overgaat in de Wielingen. Zeewaarts versterken was daarom een moeilijke en dure optie. Ook landwaarts versterken ging niet, omdat daar huizen staan. Daarom is de huidige dijk sterker gemaakt en verhoogd. In de dijk is een betonnen muur van ruim twee meter hoog geplaatst (waarvan een kleine meter boven het maaiveld), die het water moet tegenhouden dat nog over de dijk kan stromen tijdens een (super)storm.

De zeedijk op het Veerplein is verhoogd en zeewaarts verbreed met een nieuwe laag klei. Het Veerplein was nog ingericht zoals het was toen de oude veerboot nog voer waar je met de auto op kon. Sinds die vervangen is door het fiets-/voetveer werden veel wegen op het veerplein niet meer gebruikt, deze zijn weggehaald en er zijn een nieuwe toegangsweg en een fietspad rechtstreeks

van de boot naar het nieuwe duingebied naast Scheldeveste gemaakt. Een deel van de haven (aanlandingspunten) waar de oude veerboot aanmeerde is dicht gemaakt.

Bij het Badstrand (raaien 11-71), vanaf de Veerhaven tot net na het appartementencomplex De Wulpen, is 400 meter dijk versterkt en verhoogd. De nieuwe dijk is afgedekt met zand zodat het op een duin lijkt. Aan de zeezijde is een onderhoudspad aangelegd waar men kan wandelen en fietsen.



Figuur 5.5 – Kustversterking Zwakke Schakel rondom Breskens voor (2005) en na (2013). Bewerkt uit Google Earth afbeeldingen.

Ook bij Waterdunen, het kustvak tussen Breskens en Groede (raai 271-530) is de kust versterkt, zie Figuur 5.6. De kustversterking Waterdunen start bij 't Killetje en loopt door tot de vogeltelpost op de Panoramaweg en buurtschap 't Zandertje. Omdat ook hier een diepe getijdengeul voor de kust ligt, de Wielingen, was een zeewaartse versterking niet mogelijk. De duinen zijn dan ook landwaarts versterkt. Om deze reden is camping Napoleon Hoeve afgebroken en op de plek waar de camping lag een nieuw duin aangelegd tegen de bestaande dijk. Tussen 't Killetje en het Zandertje is circa 1,5 miljoen m³ grond en circa 400.000 m³ zand aangevoerd. Daarvoor is grond ontgraven uit de kreek en geulen van het natuur- en recreatiegebied Waterdunen dat door Provincie Zeeland wordt aangelegd. Het zand is aangevoerd vanuit de Noordzee met hopperzuigers. Bovenop de grond en klei is zand aangebracht. Het hoogste duin is zo'n 18 meter hoog. De breedte van dit zogenaamde klimaatduin bedraagt circa 300 meter en is gemiddeld 14 meter hoog, de kruinhoogte van de bestaande dijk bedraagt 11 meter. Het klimaatduin is dermate groot en sterk dat het bescherming moet kunnen bieden voor 200 jaar.

Door de getijdenduiker, aangelegd in de waterkering bij 't Killetje, kan zeewater gecontroleerd het gebied in- en uitstromen. De getijdenduiker bestaat uit vier kokers. Er zijn drie kokers om het getij te regelen en de vierde koker zorgt voor de afvoer van polderwater via het gemaal en het spuikanaal. In september 2019 is de getijdenduiker voor het eerst getest en zout water het gebied ingestroomd. Waterdunen is een bijzonder project, want naast de kustversterking legt Provincie Zeeland een natuur- en recreatiegebied aan van binnendijkse schorren en slikken. Deze zilte natuur met slikken, schorren en geulen biedt aan kustvogels voedsel en broedgelegenheid. Er komen ook een duincamping, een hotel en recreatiewoningen met wegen en parkeerplaatsen.



Figuur 5.6 - Kustversterking Zwakke Schakel Waterdunen voor (2005) en na (2018). Bewerkt uit Google Earth afbeeldingen

Nieuwvliet-Groede (raai 558 - 802) was het eerste deelproject van de Zwakke Schakel West Zeeuws-Vlaanderen en is in juni 2010 afgerond (Figuur 5.7). Tussen Nieuwvliet en Groede zijn over een lengte van drie kilometer nieuwe duinen aangelegd tegen de bestaande dijk. Er is 2,8 miljoen m³ zand op het strand gespoten, waardoor de kustlijn ongeveer 50 meter richting zee is opgeschoven. Ter hoogte van het Kruishoofd (JarKus raai 802) is de 'erosieberm' aangelegd van ongeveer 180.000 m³ zand. Het was de bedoeling dat de zee het zand met de stroming meeneemt en afzet op het strand van Nieuwvliet-Groede. Aanvullende reguliere zandsuppleties zorgen ervoor dat de basiskustlijn behouden wordt.



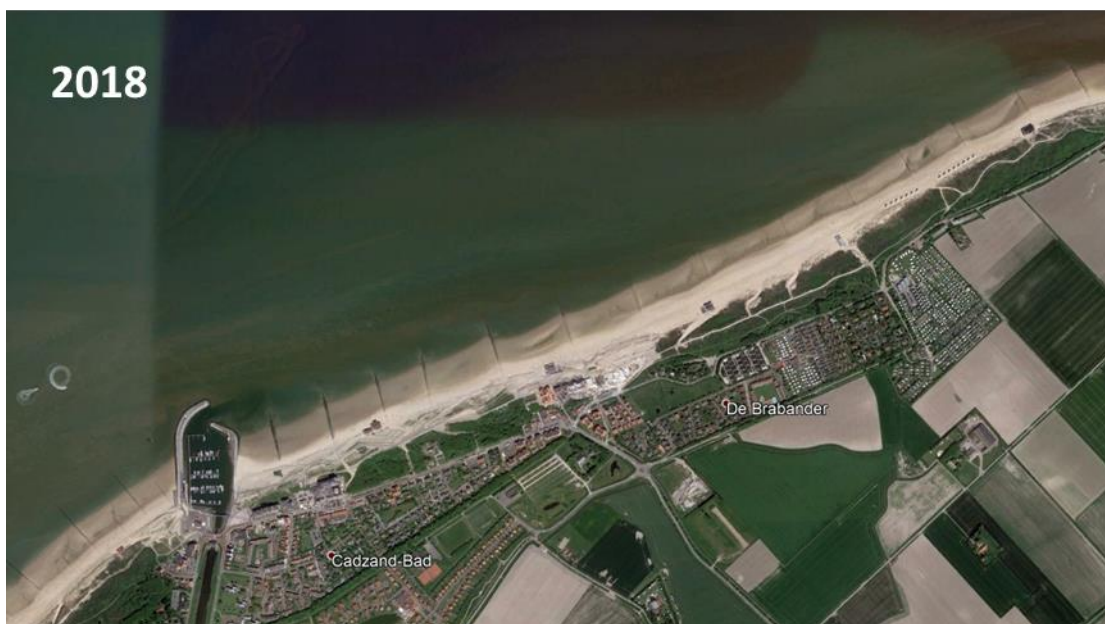
Figuur 5.7 - Kustversterking Zwakke Schakel Nieuwvliet-Groede voor (2005) en na (2013). Bewerkt uit Google Earth afbeeldingen

De kuststrook bij de dijk van de Herdijkte Zwarte Polder (raaien 877-979), zie Figuur 5.8, is over een lengte van 600 meter verbreed. Richting de Noordzee is een nieuw duin aangelegd, met onder andere zand uit de geul in de Verdrongen Zwarte Polder (Figuur 5.5) en is er een nieuwe strekdam gebouwd (ter vervanging van de oude). Tussen de Verdrongen en de Herdijkte Zwarte Polder is de dijk versterkt en overslagbestendig gemaakt.



Figuur 5.8 - Kustversterking Zwakke Schakel Verdronken Zwarte Polder voor (2005) en na (2013). Bewerkt uit Google Earth afbeeldingen

De kustversterking in Cadzand-Bad was het laatste deeltraject van de Zwakke Schakel West Zeeuws-Vlaanderen, zie Figuur 5.9. De kust is over een kilometer versterkt door zand aan te brengen voor de bestaande dijk, zodat een nieuw duin is ontstaan. Dit nieuwe duin is niet hoger dan de bestaande kruinhoogte. Het deel van het strand dat het nieuwe duin in beslag neemt, is gecompenseerd door extra zand op het strand te spuiten, waardoor het uiteindelijke strandoppervlak gelijk is gebleven. De strekdammen aan weerszijden van het uitwateringsgemaal zijn langer, hoger en breder gemaakt. De strekdammen zijn aangelegd met breuksteen en een toplaag van Xblocs. De ruimte tussen de Xblocs vormt tevens een leefgebied voor flora en fauna. Het is de eerste keer dat Xblocs in Nederland worden toegepast. De westelijke strekdam is naar het westen verplaatst, waardoor meer ruimte is ontstaan tussen de dammen, zodat een jachthaven kon worden aangelegd.



Figuur 5.9 - Kustversterking Zwakke Schakel Cadzand-Bad voor (2005) en na (2013). Bewerkt uit Google Earth afbeeldingen

5.2 Primaire waterkering

Zeeuws-Vlaanderen heeft een primaire waterkering in dijkring 32. Het traject 32-1¹ beslaat de gehele Noordzeekust van Zeeuws-Vlaanderen van de grens bij Cadzand-Bad tot voorbij Breskens. Hiervoor geldt voor de normering van de overstromingskans een signaleringswaarde van 1:1000 (maatregelen inplannen) en een ondergrens 1:300 (onmiddellijk ingrijpen noodzakelijk).

De primaire waterkering langs de 15 km lange Noordzeekust bestaat afwisselend uit duinen en dijken, namelijk (i) de dijk tussen Breskens en de Herdijkte Zwarte Polder, (ii) kleine stukken duin westelijk van de haven van Breskens, westelijk van Nieuwesluis en tussen Kruishoofd en de

¹ <https://waterveiligheidsporaal.nl/#/nss/nss/assessment>

Verdronken Zwarte Polder, (iii) de duinen tussen de Herdijkte Zwarte Polder en Cadzand-Bad, (iv) de dijk bij Cadzand-Bad en (v) de duinen westelijk van Cadzand-Bad. Tussen Nieuwesluis en Kruishoofd bevindt zich zeewaarts van de dijk een duinrichel die deel uitmaakt van de primaire waterkering. Dit geldt ook voor de duinrichel zeewaarts van de noordelijke dijk van de Herdijkte Zwarte Polder, de duinrichel landwaarts van de oostelijke dijk van de Herdijkte Zwarte Polder en de duinrichel zeewaarts van de dijk bij Cadzand-Bad Oost. Het gemaal bij Cadzand-Bad maakt eveneens deel uit van de primaire waterkering.

5.3 Beoordeling van de primaire waterkering

5.3.1 Waterwet & WBI

Beheerders van primaire waterkeringen moeten minimaal eens in de twaalf jaar beoordelen of hun keringen voldoen aan de wettelijke veiligheidseisen. Dat schrijft de Waterwet² voor. Sinds 2017 is het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium voor de primaire waterkeringen van kracht, het WBI³, voorheen de VTV. De huidige beoordelingsronde is begin 2017 gestart en duurt tot 1 januari 2023. Deze beoordelingsronde is de eerste ronde op basis van de overstromingskansbenadering. Deze eerste ronde wordt gebruikt om een eerste veiligheidsbeeld van de keringen te schetsen, ervaring op te doen met de nieuwe systematiek en te leren voor de toekomst. De keringen moeten in 2050 aan de normen in de Waterwet voldoen. Er is tijd om de keringen die niet voldoen, te verbeteren.

De gegevens over de belasting op de waterkering (bijvoorbeeld golfeigenschappen en waterstanden) die nodig zijn voor de beoordeling, worden aangeleverd in de hydraulische randvoorwaarden. De beheerders van de waterkering zijn verantwoordelijk voor gegevens over de actuele toestand van de waterkering.

De methode van toetsing beoordeling hangt in grote mate af van de soort waterkering. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen:

- dijken & dammen,
- duinen (ook wel duinwaterkeringen genoemd)
- waterkerende kunstwerken (bijvoorbeeld sluizen of kademuren) en
- niet waterkerende objecten (NWO's, zoals kabels en leidingen).

Voor al deze categorieën zijn beoordelingsinstrumenten beschreven in het WBI.

De primaire waterkeringen zijn voor ongeveer 90% bij de waterschappen en voor ongeveer 10% bij Rijkswaterstaat in beheer. Deze waterkeringbeheerders zijn verantwoordelijk voor het (laten) uitvoeren van de beoordeling en de beschikbaarheid van de actuele gegevens van de waterkering. In het volgende tekstkader staan begrippen die in deze paragraaf gebruikt worden toegelicht.

Begrippenlijst Toetsing Waterkering

Aansluitingsconstructie

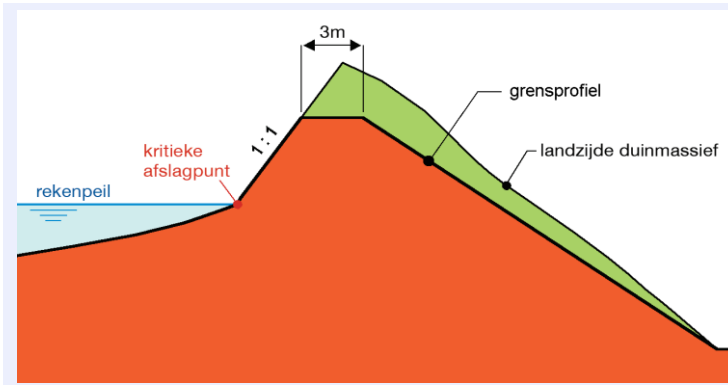
Een aansluitingsconstructie vormt een overgang (aansluiting) tussen twee verschillende type waterkeringen, vaak tussen een duin en een dijk.

Grensprofiel

Het grensprofiel is het minimale dwarsprofiel wat in de toetsing nog aanwezig moet zijn na een duinafslag berekening. De dimensies van het benodigde grensprofiel zijn afhankelijk van de Hydraulische Randvoorwaarden. De ligging van het grensprofiel is opgenomen in de legger van de waterkering.

² <http://wetten.overheid.nl/>

³ <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-wbi/>



Hybride kering

Een kering die bestaat uit een combinatie van twee type waterkeringen, bijvoorbeeld een dijk achter een duinenrij of een dijk-in-duin constructie.

Legger

De legger van de primaire waterkering registreert de precieze ligging van de waterkering. Leggers kunnen de vorm hebben van een kaartenboek of een digitaal (GIS) bestand. De Waterwet verplicht sinds 2009 dat er voor elk waterstaatswerk een legger wordt opgesteld. Bij duinwaterkeringen wordt in de legger het grensprofiel geregistreerd.

Signaleringswaarde

De signaleringswaarde voor een dijktraject is, samen met de ondergrens, als norm in de wet opgenomen. De waarde betreft een overstromingskans. Alle primaire waterkeringen in Nederland hebben een signaleringsnorm gekregen tussen de 1:300 en de 1:1.000.000.

Ondergrens

De ondergrens geeft de maximaal toelaatbare faalkans voor een waterkering weer, die hoort bij de betreffende signaleringswaarde van de kering. Voor de meeste keringen geldt dat de kans van de ondergrens drie maal groter is dan de kans van de signaleringswaarde.

Voorland

Het gebied dat aan de zeezijde van een waterkering gelegen is.

Zeereep

De duinenrij die direct aan het strand grenst. Deze kan samenvallen met, of zeewaarts liggen van, de primaire waterkering.

5.3.2 WBI beoordeling 2017

De Eerste beoordeling primaire waterkeringen overstromingskans (eerste beoordelingsronde) is gestart op 1 januari 2017. Het doel van de eerste beoordelingsronde is het beoordelen van alle primaire waterkeringen. De beoordeling geeft inzicht in de actuele faalkans van de waterkeringen en hoe deze is gerelateerd aan de normering. Het veiligheidsoordeel van het normtraject is uit te drukken in vijf categorieën (Figuur 5.10). Deze zijn gerelateerd aan de afstand van de berekende overstromingskans tot de wettelijke norm.

Voor de Noordzee kust van Zeeuws-Vlaanderen dient alleen normtraject 32-1 beoordeeld te worden. Op dit moment (november 2019) heeft er voor normtraject 32-1 nog geen beoordeling plaatsgevonden.



Figuur 5.10 - Het veiligheidsoordeel van de kering op trajectniveau voor Zeeuws-Vlaanderen. Bron: <https://waterveiligheidsportaal.nl/#/nss/nss/assessment>, bezocht op 20 november 2019

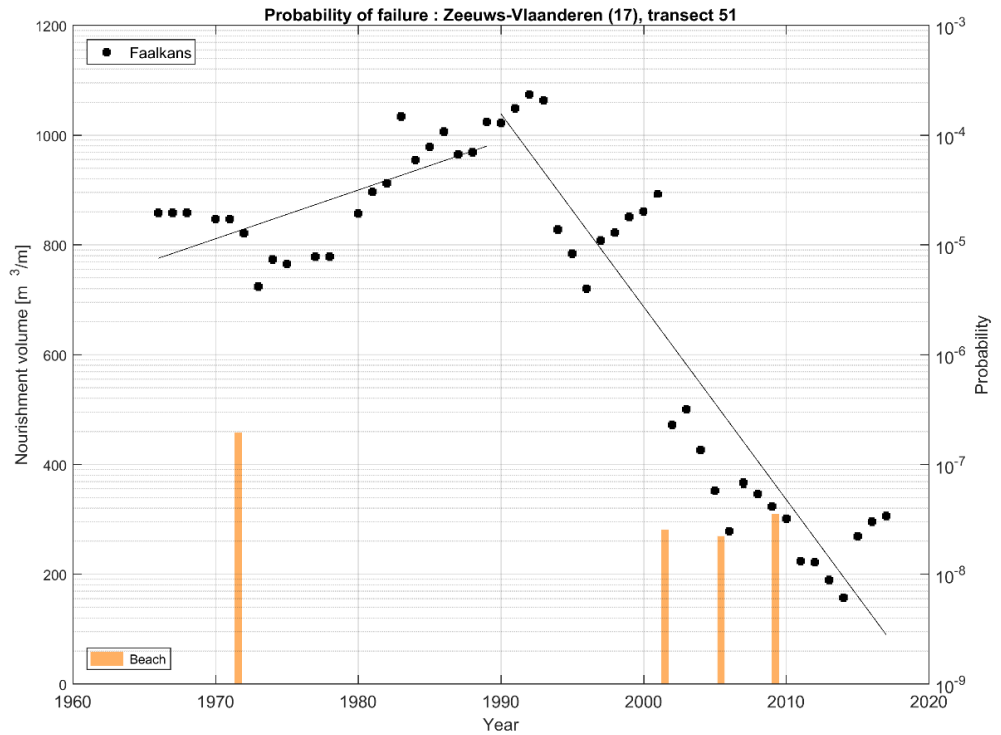
5.3.3 Faalkans van de eerste duinenrij / zeereep

De officiële wettelijke toetsing van de duinen als primaire waterkering is gebaseerd op het bepalen van de hoeveelheid duinafslag onder maatgevende belastingcondities. Bij deze toetsing komt geen informatie beschikbaar over de ontwikkeling (trend) in (on)veiligheid en het effect van suppleties op deze trend. Om dit effect in beeld te kunnen brengen is in 2011 is een database samengesteld met faalkansen van alle JarKus raaien langs de Nederlandse duinenkust. De faalkans is dus de kans op overstroming door een doorbraak van de duinen. Op basis van deze database zijn analyses uitgevoerd van de effecten van veranderingen in suppletiebeleid door de jaren heen op de faalkans van de duinen. In 2017 is deze database geactualiseerd voor de periode tot en met 2017 (HKV, 2017). De berekende faalkansen hebben in absolute zin geen betekenis voor de officiële faalkans van de duinwaterkering. Het ontwikkelde probabilistische duinafslagmodel heeft daarnaast geen officiële status binnen het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI).

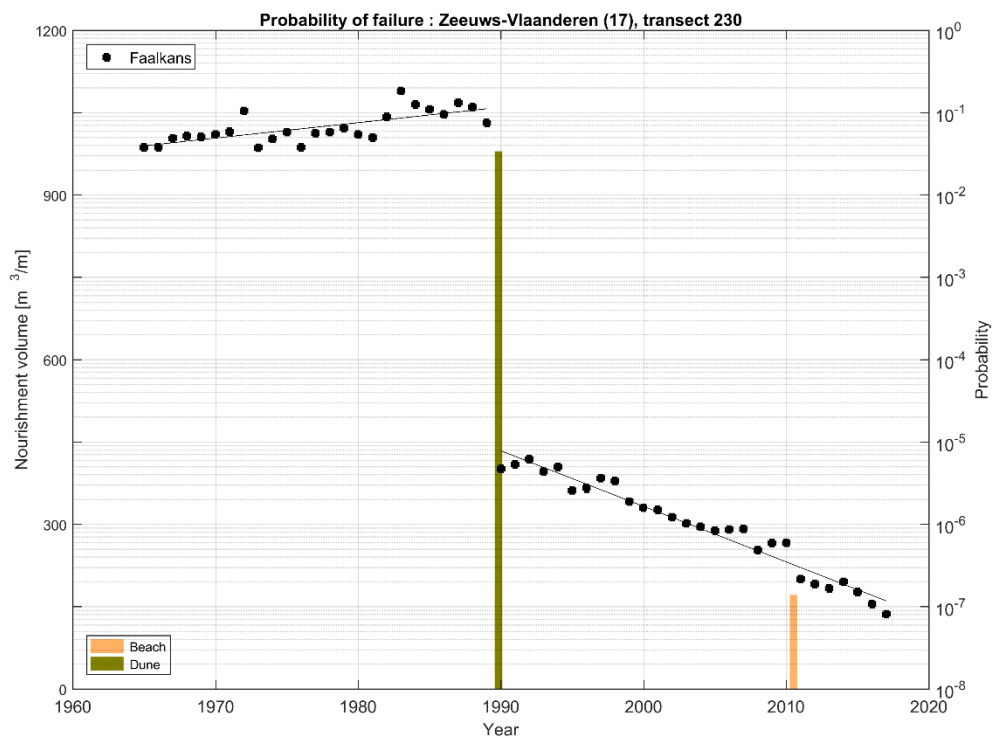
In deze paragraaf wordt als voorbeeld voor enkele karakteristieke Jarkusraaien uit elk deelgebied van het kustvak (zie paragraaf 4.1 en Figuur 4.6), voor zover er sprake is van een waterkering door duinen, de trend van de faalkans en het effect van het suppletiebeleid op de faalkans weergegeven. Figuur 5.11 voor raai 51 bij Breskens Badstrand (deelgebied I) laat zien dat de faalkans hier sterk afgenomen is. Voor de raaien 138-188 zijn geen faalkansen berekend omdat dit een dijk betreft (Scheldeveste) evenals 271-441 (Nieuwesluis, Waterdunen). Figuur 5.12 laat zien dat in raai 231 in het tussengelegen gebied de faalkans van de daar aanwezige duinen ook afgenomen is.

Figuur 5.13 (raai 496 in deelgebied II) laat zien dat ook hier de faalkans afneemt en dat de suppleties van 2010 en 2014 deze trend duidelijk versterken. Van de raaien 886-1032 (Zwarte Polder, deelgebied III) bestaat de kust weer uit dijken en is er geen analyse uitgevoerd. Figuur

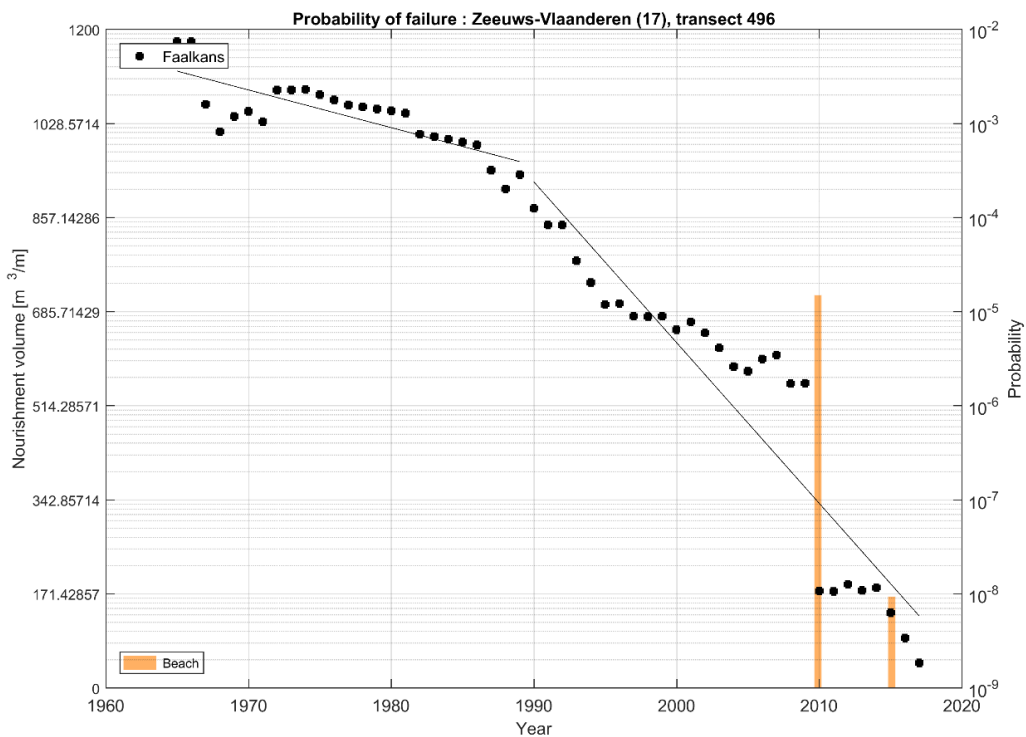
5.14 (raai 1412 in deelgebied IV) laat duidelijk zien dat bij Cadzand tot 1990 de faalkans sterk toenam maar door zandsuppleties is omgebogen in een dalende trend.



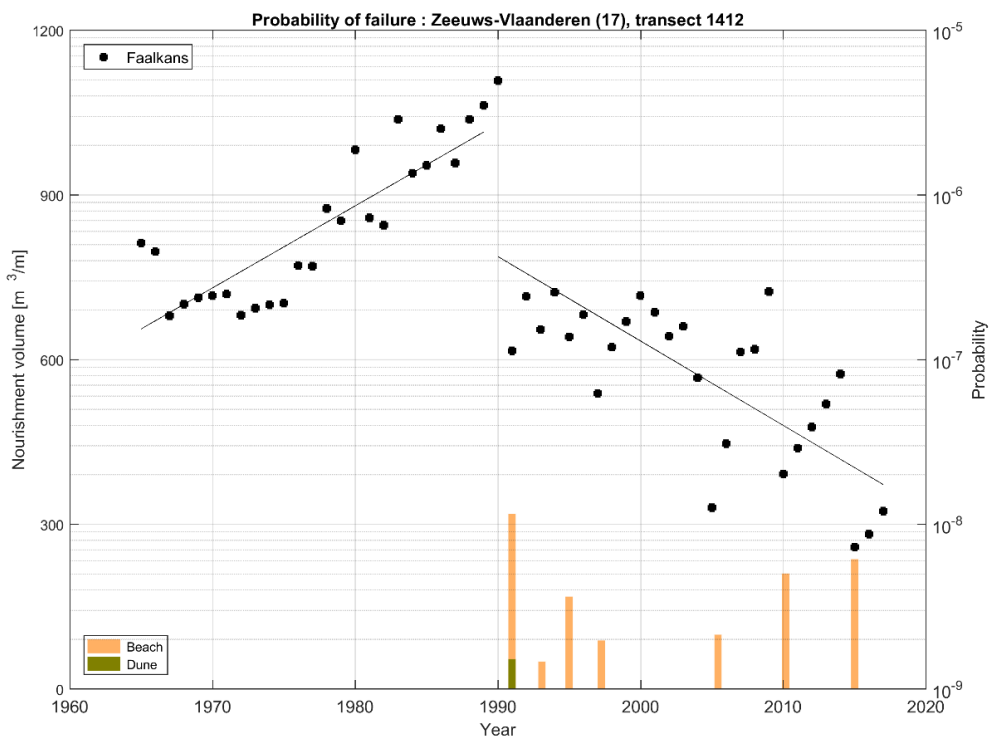
Figuur 5.11 - Ontwikkeling van faalkans in raai 51 bij Breskens Badstrand (deelgebied I)



Figuur 5.12 - Ontwikkeling van faalkans in raai 230 bij Schoneveld (deelgebied I)



Figuur 5.13 - Ontwikkeling van faalkans in raai 496 ten westen van Nieuwesluis (deelgebied II)



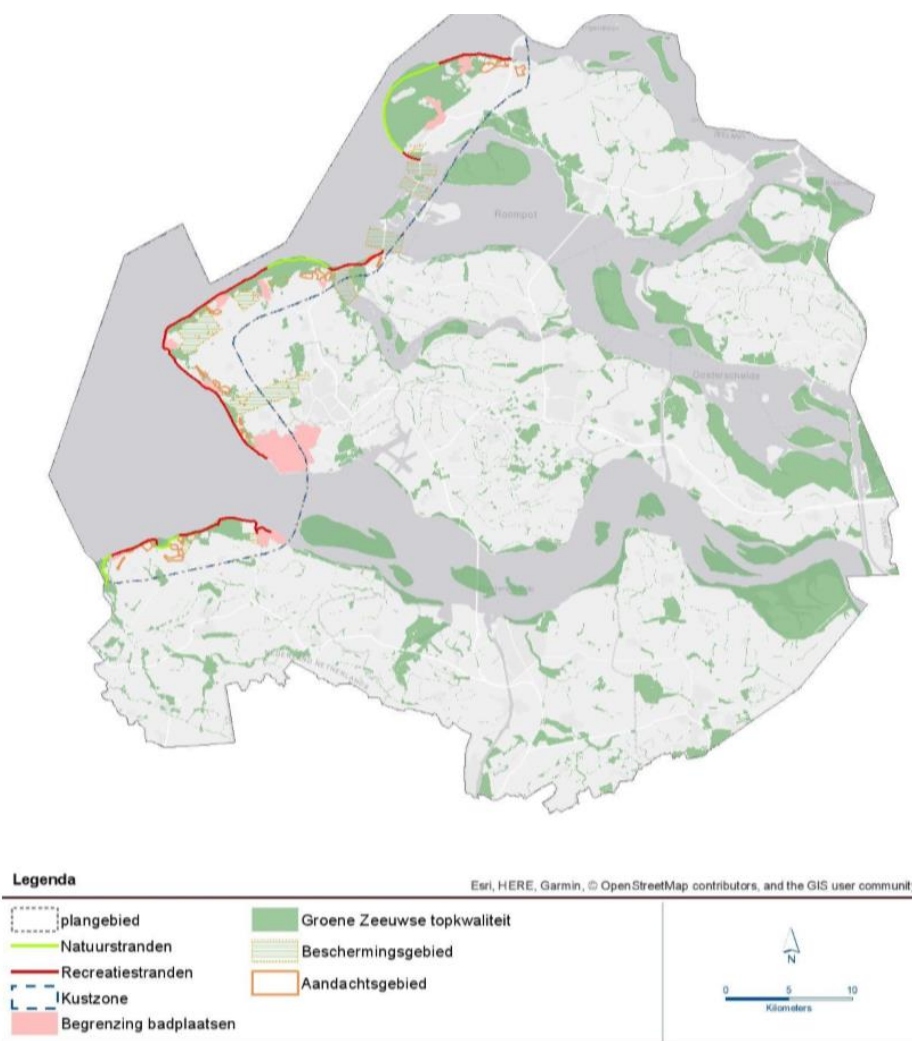
Figuur 5.14 - Ontwikkeling van faalkans in raai 1412 strand Cadzand (deelgebied IV)

6 Gebruiksfuncties

De beheerbibliotheek kan, op termijn, verder aangevuld te worden met ecologische en socio-economische kennis die relevant is voor het vaststellen van de suppletiestrategie. In paragraaf 6.1 volgt een korte beschrijving van de strandrecreatie zoals in de Omgevingsplan Zeeland 2018 (Provincie Zeeland, 2018). In paragraaf 6.2 staat een overzicht van de Natura 2000 gebieden en habitatkaarten van het gebied.

6.1 Strandrecreatie Zeeuws-Vlaanderen

Met de uitgangspunten van de Zeeuwse Kustvisie wordt de Zeeuwse Kwaliteitskust beschermd, versterkt en waar nodig hersteld (Provincie Zeeland, 2018). De Zeeuwse natuurstranden (Figuur 6.1) zijn relatief ongerept en weids, waarbij natuurlijke processen van zee, zand en wind centraal staan. Andere stranden staan juist in het teken van recreatie. Hier wordt ingezet op kwaliteitsverbetering van bestaande strandvoorzieningen en bestaat de wens voor een voldoende breed en droog strand ten behoeve van de recreatie. Omdat het strand van en voor iedereen is, is domeinvorming niet wenselijk. Extra locaties met strandbebouwing zijn in de kustzone niet mogelijk. Alleen bestaande locaties en de benoemde projecten uit de notitie Overgangsbeleid bij de Zeeuwse kustvisie (26 juni 2017) zijn toegestaan.



Figuur 6.1 - Kaart 2 uit omgevingsplan Zeeland 2018 (uit Provincie Zeeland, 2018)

6.2 Natuur

6.2.1 Natuurwetgeving

Het Natuurnetwerk Zeeland en de Natura2000-gebieden vormen samen de gebieden van groene topkwaliteit, zie Figuur 6.2 (Provincie Zeeland, 2018). Om de kwaliteiten van deze gebieden te beschermen, zijn nieuwe (verblijfs)recreatieve ontwikkelingen uitgesloten. De kust van Zeeuws-Vlaanderen behoort tot drie verschillende Natura 2000 gebieden. Doordat de Westerschelde uitmondt in de Noordzee langs de kust van West-Vlaanderen, behoort een deel van de kustlijn tot het Natura 2000 gebied Westerschelde-Saeftinghe, zie Figuur 6.3. Daarnaast behoort het meer zuidwestelijke deel van de kust tot Natura 2000 gebied de Vlakte van Raan voor het habitatype 'permanent overstromde zandbanken van geringe diepte' (H1110).



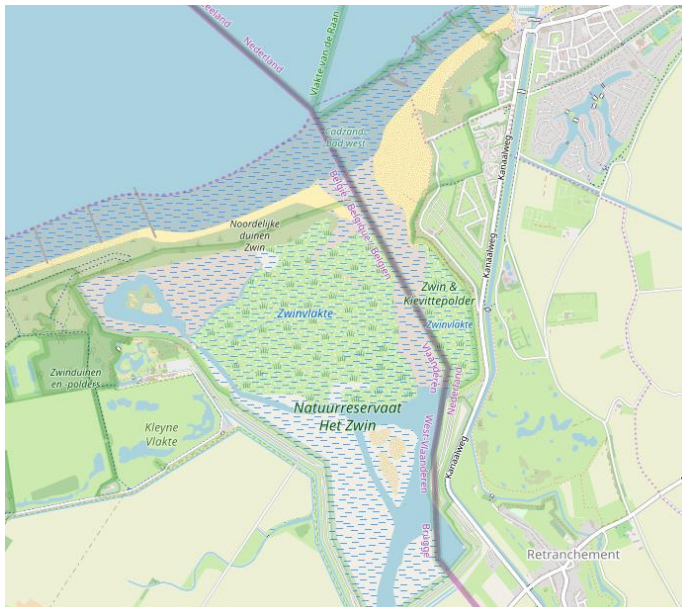
Figuur 6.2 - Kaart 2 uit omgevingsplan Zeeland 2018 (uit Provincie Zeeland, 2018)



Figuur 6.3 - Natura2000 gebieden langs de kust van Zeewuws-Vlaanderen (bron: sportvisserijzwn.nl)

De Westerschelde & Saeftinghe zijn onderdeel van het Schelde-estuarium, en omvatten verschillende natuurgebieden (Ministerie van Economische Zaken, 2015). Overgangen van geulen naar platen zijn ecologisch interessante gebieden onder andere voor steltlopers, vegetatie van laag dynamische habitats en het is een leefgebied voor de gewone zeehond. Het habitattypen estuarium zou de komende jaren moeten toenemen in oppervlak en kwaliteit om de instandhoudingsdoelstelling te behalen (Ministerie van Economische Zaken, 2015).

Het Zwin & Kievittepolder (Figuur 6.4) is een sluftegebied dat belangrijk is voor soorten zoals de Kamsalamander en de Boomkikker. Verder komt de Kleine zilverreiger er voor, waardoor het gebied ook is aangewezen onder de Vogelrichtlijn. Het is één van de weinige zandige schorren in Zeeland en het lijkt daarmee op de plaatkwelders die gevonden worden op de Waddeneilanden (Ministerie van Economische Zaken, 2015). De komberging van het Zwin is vergroot om de natuur een impuls te geven.



Figuur 6.4 - Natura 2000-gebied 'Zwin & Kievittepolder' (bron: <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/googlemapsgebied.aspx?id=n2k123&groep=10>)

6.2.2 Habitatkarakteristieken

Natuurgebied het Zwin is een belangrijk onderdeel van de kust en loopt van Cadzand Bad tot aan Knokke in Vlaanderen. Het is een sluftegebied dat populair is bij toeristen. Doordat overstromingen ervoor zorgen dat de slufte kan verzanden en ophogen, kan dit een negatief effect hebben op de bijbehorende karakteristieke habitats van dit gebied. Er wordt gekeken hoe het verzandingsprobleem in dit gebied kan worden tegengegaan, bijvoorbeeld door schorren af te graven of door de Nederlands-Belgische Willem-Leopoldpolder (bij Retranchement) te ontpolderen. Vergroting van het kombergingsgebied door gehele of gedeeltelijke ontpoldering zal weer zorgen voor hogere stroomsnelheden en daardoor minder aanzanding en meer insnijding van de geulen (Decisio, 2011).

6.2.3 Aanwezigheid kenmerkende soorten

Zeeuws-Vlaanderen is een belangrijk gebied voor de aanwezigheid van vogels. Natura 2000 gebied Westerschelde & Saefinghe is een belangrijk gebied voor steltlopers zoals de scholekster, vanwege de kenmerkende habitats in dit gebied. Daarnaast is het Zwin een belangrijk gebied voor de Kleine zilverreiger. De schorren van het Zwin zijn gebieden die van belang zijn voor broedvogels. Qua vegetatie komen er in het gebied van het Zwin verschillende kweldersoorten voor zoals Gewoon kweldergras, Zilte rus en Schorrenzoutgras (Ministerie van Economische Zaken, 2015).

7 Referenties

- Arcadis 2018 Conformiteitstoets Beheerplan. Conformiteitstoets zandwinning, zandtransport en zandsuppletie Nieuwvliet-Groede, Herdijkte Zwarte Polder - Cadzand Bad, Cadzand - Kievitte West, Rijkswaterstaat Kustlijn zorg
- Arens, Bas en Neijmeijer, T. Beheerbibliotheek Nederlandse Kust: Kustvak Zeeuws-Vlaanderen. Oktober 2015
- Arens, S.M., S.P. van Puijvelde en C. Brière, 2010. Effecten van suppleties op duinontwikkeling. Rapportage geomorfologie. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, Bosschap Rapport OBN 142 in opdracht van LNV Directie Kennis (OBN) en Rijkswaterstaat Waterdienst.
- Arens, S.M. & B.J.W.M. Kruijssen, 2005. Duinen langs de Westerschelde. Hoe uniek zijn de duinen bij de Kaloot. Rapport in opdracht van Zeeland Seaports.
- 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.
- Baart, Fedor (Deltares), Guus Rongen (HKV), Marc Hijma (Deltares), Henk Kooi (Deltares), Renske de Winter (Deltares) en Robin Nicolai (HKV) (2018), Zeespiegelmonitor 2018, De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust
- Beekman, F., 2007. De Kop van Schouwen onder het zand. Duizend jaar duinvorming en duingebruk op een Zeeuws eiland. Matrijs, Utrecht, 304 pp.
- Bruens, A., McCall, R., Steetzel, H., & Van Santen, R. (2012). Achtergrondrapport Basiskustlijn 2012 – feiten & cijfers ter onderbouwing van de herziening van de Basiskustlijn.
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2012). Toerisme en recreatie in cijfers 2012. Reproduction.
- Cleveringa, J., (2006). Morphodynamische ontwikkeling Voordelta. Rapport Alkyon A1698.
- 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 recreatieBasiskustlijn., 40.
- De Maerschack, B.; van der Werf, J.; Dijkstra, J.; Kolokythas, G.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). Strandverbreding Zeebrugge tot Cadzand: Morfologische effecten. Versie 4.0. WL Rapporten, 15_102. Waterbouwkundig Laboratorium & Deltares: Antwerpen, België. Deltares rapportnummer: 1210301-009-ZKS-0004
- De Maerschack, B.; van der Werf, J.; Kolokythas, G.; Quataert, E.; Van Oyen, T.; Vroom, J.; Dijkstra, J.; Wang, Z.B.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Modelling Belgische Kustzone en Scheldemonding: Deelrapport 2 –Morfologische analyse scenario's Vlaamse Baaien. Versie 4.0. WL Rapporten, 15_068_2. Waterbouwkundig Laboratorium & Deltares, Antwerpen. Deltares referentie: 1210301-010-ZKS-0003
- Elias, E.P.L. en Spek, A.J.F. van der, 2015, Uitwerking sedimentbudget van de Westerscheldemonding, Deltares, Delft, Rapport 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>
- Eversdijk, P. J. (1989). *Kustverdediging na 1990. Technisch rapport 16: Harde kustverdediging. Zeedijken, havengebieden en strandmuren als waterkering.*
- Gemeente Sluis. (2012). *Activiteitenplan Recreatie & Toerisme 2.0 - Een zichtbaar, leefbaar en betrokken West Zeeuws-Vlaanderen.*
- Gerritsen, F. en de Jong, H., 1983. *Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde. Report WWKZ-83.V008, Rijkswaterstaat (Vlissingen): 36 pp.*
- Haecon, 2006. *Actualisatie van de zandbalans van de Zee-en Westerschelde*
- Herman, P., Meijer-Holzhauer, H., Vergouwen, S., Wijsman, J., Baptist, M. (2016), *Ecologische effecten van kustsuppleties. Deltares, "Ecologisch gericht suppleren: Bevindingen van het onderzoek naar effecten van suppleren op het kustecosysteem 2009-2016"*
- Hijma, M., 2017, *Geology of the Dutch coast, The effect of lithological variation on coastal morphodynamics. Deltares, Delft, Rapport 1220040-007*
- Hijma M. en Kooi H., 2018a. *Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens: door geologische processen en menselijke activiteiten, Deltares, Delft, Rapport 11200538-008-ZKS-0001*
- Hijma M. en Kooi H., 2018b. *Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (deel 2): een update, case IJmuiden en kwantificering onzekerheden. Deltares 11202190-001-ZKS-0001*
- Hillen, R., Ruig, de J. H. M., Roelse, P., & Hallie, F. P. (1991). *De basiskustlijn, een technisch / morfologische uitwerking.*
- HKV (2017). *Faalkansendatabase duinen. Update voor de periode 1965-2017. HKV rapport PR2063.70. Vincent Vuik en Guy Dupuits, december 2017*
- IMDC, Deltares, Svasek, & Arcadis. (2013). *Ontwikkeling mesoschaal Westerschelde (factsheets). Basisrapport kleinschalige ontwikkeling K-16.*
- IJff, S., Smits B., van Zelst V. en Arens B., 2019. *Natuurlijk Veilig - Landschapsvormende processen: Invloed van suppleties en beheer op dynamiek in de zeeoep. Deltares, Delft, Rapport 11202190-001-ZKS-0012*
- Israel, C. G. (1993). *De ontwikkeling van de Westerscheldemonde voor de Zuid-Westkust van Walcheren. HTS Vlissingen, Afdeling Civiele Techniek.*
- 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*
- Löffler, Moniek and Remco van der Togt. 2018. *Dynamiek in de Kustzone. Doelen En Achtergronden Op Grond van Bezoeken Aan de Regio's (Concept)*
- Mastbergen, Dick R. en Kees Nederhoff (2018) *Beheerbibliotheek Walcheren en Noord-Beveland / Veerse Dam, Deltares, Delft, Rapport*

- Ministerie van Economische Zaken. (2015). Beschermde natuur in Nederland: soorten en gebieden in wetgeving en beleid. Retrieved from <http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k>
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2012). Basiskustlijn 2012. Herziening Basiskustlijn.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (1990). Kustverdediging na 1990, beleidskeuze voor de kustlijninzorg.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (1993). De Basiskustlijn, Norm voor Dynamisch Handhaven.
- 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. (2003). Basiskustlijn 2001 - Evaluatie ligging Basiskustlijn.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2018). Basiskustlijn 2017, Herziening van de ligging van de basiskustlijn.
- Mulder, J. (2000). Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel Advies voor Dynamische Handhaven in de 21e eeuw.
- NBTC. (2010). Kerncijfers toerisme en recreatie - editie 2010. Reproduction.
- NRIT. (2004). Waarde (kust)recreatie intensiteit, bestedingen en werkgelegenheid in relatie tot toerisme en recreatie aan de Nederlandse kust.
- Oost, A. et al. 2017. Plan van Aanpak Op Hoofdpijnen: Effecten van Suppleren Op Het Kustduingebied Onder EGS II.
- Provincie Zeeland (2018). Omgevingsplan Zeeland 2018. <https://www.zeeland.nl/digitaalarchief/zee1800160>
- Rijkswaterstaat. (2018). Kustlijinkaartenboek 2018.
- Rijkswaterstaat. (2015). Natura2000 Vlake van de Raan. Ontwerpbeheerplan.
- Rijkswaterstaat, 2017. Kustlijinkaarten 2018. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, december 2017.
- RIKZ. (2005). Hoofdrichting voor risicobeheersing in kustplaatsen. Beheersing van kansen en gevolgen van kustafslag en overstroming tijdens zware storm in buitendijksgebied. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, RIKZ/2005.021
- RIKZ. (2007). Strandlopers - inventarisatie van strandgebruik aan de Noordzeekust en de relatie met natuurwetgeving. Rapport RIKZ 2007.001
- Roskam, A.P., 1988, Golfklimaten voor de Nederlandse Kust. Report GWAO- 88.046, Rijkswaterstaat, Tidal Waters Division (The Hague): 69 pp.

- Taal, Marcel, Dick Mastbergen, Jelmer Cleveringa, Reinier Schrijvershof, Yves Plancke, Zheng Wang, Jebbe van der Werf, Ad van der Spek (2019) Mesoschaal Westerschelde, Integratierapport 2014-2018, Deltares, Delft
- 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.
- Trouw, K., Zimmermann, N., Wang, L., De Maerschalck, B., Delgado, R., & Mostaert, F. (2014). Scientific support regarding hydrodynamics and sand transport in the coastal zone. Literature review coastal zone Zeebrugge – Zwin. Version 1.0. Antwerp, Belgium.
- Valk, L. van der et al (2013). Voorbeelden van Dynamisch Kustbeheer, Een inventarisatie van dynamisch kustbeheer projecten langs de Nederlandse kust, Deltares, Delft, Rapport
- Van den Berg, J.H., 1987. Toelichting bij de Isallobatenkaart Voordelta 1975-1984. Nota ZL 87.0020, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg, 49 pp.
- Van der Slikke, M. J. (1997). Grootschalige zandbalans van de Westerscheldemonding (1969-1993), een inventarisatie van dieptegegevens (1800-1996). Utrecht.
- Van der Slikke, M.J. (1998). Grootschalige en interne zandbalans Westerscheldemonding (1969–1993). Report R98-05, Instituut voor marien en atmosferisch onderzoek (Utrecht): 60 pp.
- Van der Spek, A.J.F., 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.
- Van der Spek, A.J.F. 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
- Van Enkevoort, I., 1996. Morfologische ontwikkeling van de Westerschelde monding sinds 1800. Report R96-21, Instituut voor marien en atmosferisch onderzoek Utrecht (Utrecht): 56 pp.
- Van Rijn, L. C. (1998). *Principles of Coastal Morphology*. Aqua Publications. Amsterdam, The Netherlands.
- Verhagen, H.J en Van Rossum, H. (1990). Technisch rapport 12, Strandhoofden en Paalrijen. Evaluatie van hun werking. Rijkswaterstaat
- 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.
- Vroom, J., van Maren, B., van Rooijen, A., van der Werf, J. (2016) Zand-slib modellering voor het mondingsgebied van het Schelde-estuarium. Deltares rapport 1210301-002-ZKS-0002. 142 pp, Delft
- Vroom, J., and Schrijvershof, R., (2015). Overzicht van menselijke ingrepen in de Westerschelde en haar mondingsgebied in de periode 1985-2014. Deltares memo 1210301-001-ZKS-0005 40, Delft
- Vroom, J., 1994. Hydrodynamic characteristics of the Oosterschelde / Eastern Scheldt in recent decades. *Hydrobiologia* 282/283, 17-27.

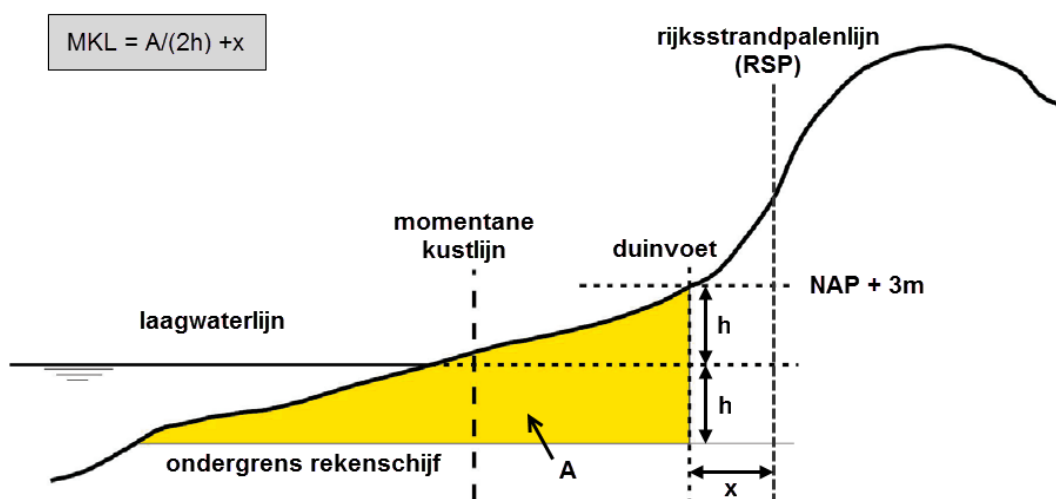
- Vlaams-Nederlandse Schelde-commissie. (2013). Water, zand en slib in het Schelde-estuarium. Inzichten uit het Vlaams Nederlandse onderzoek.
- Waterschap Scheldestromen. (2013). Ontwerp kustversterkingsplan West Zeeuws-Vlaanderen. Projectplan: deelproject Cadzand-Bad. Juni 2013.
- Waterschap Zeeuws-Vlaanderen. (2007). Kustversterkingsplan West Zeeuws-Vlaanderen.
- Waterschap Zeeuws-Vlaanderen. (2008). Kustversterkingsplan Waterdunen. Kustversterking in de Jong- en Oud-Breskenspolder.
- Waterschap Zeeuws-Vlaanderen. (2010). Zwakke Schakel West Zeeuws-Vlaanderen. Nieuwsbrief 7 september 2010.
- Waterschap Scheldestromen (2018), Zwakke Schakels West-Zeeuws-Vlaanderen.
<https://scheldestromen.nl/zwakke-schakel-west-zeeuws-vlaanderen>
- Wilderom, M. H. (1973). Tussen Afsluitdammen en Deltadijken. Deel IV. Zeeuws-Vlaanderen.
- Wijnberg, K.M., 1995. Morphologic behaviour of a barred coast over a period of decades. PhD Thesis. Utrecht University (Utrecht): 245 pp.

A Achtergrond informatie over het beleid van dynamische kustlijnhandhaving

A.1 Definitie Momentane 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).

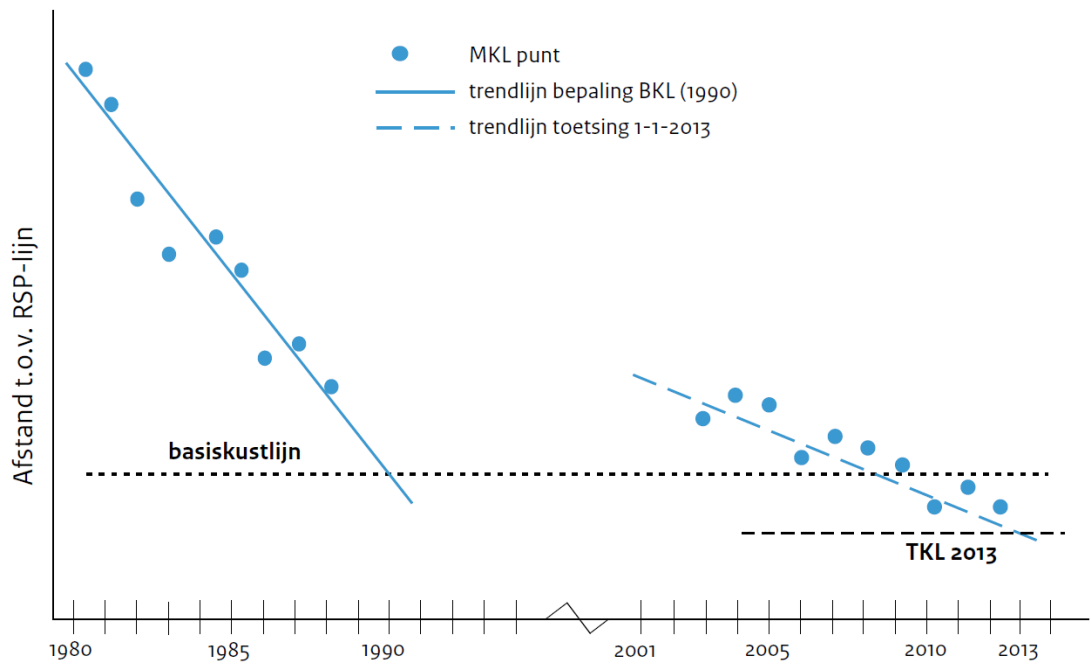


Figuur A1 - Methode om de Momentane Kustlijn (MKL) af te leiden uit het gemeten kustprofiel. Eerst wordt het zandvolume (oppervlak A) bepaald in de zogenaamde rekenschijf tussen duinvoet (doorgaans NAP + 3m NAP) en een ondergrens (even ver beneden gemiddeld laagwater als de duinvoet boven gemiddeld laagwater (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 Rijksstrandpalenlijn (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 periode. 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 TKL, ten opzichte van de Basiskustlijn. Ook de jaarlijkse

wordt afgeleid uit de trend in de Momentane Kustlijn uit voorgaande jaren (meestal 10 jaar). De methode om de Basiskustlijn en de uit de trend te bepalen staat weergegeven in Figuur 7.2.



Figuur A1 - De Basiskustlijn (BKL) en de jaarlijkse (TKL) worden afgeleid uit de trend in de Momentane Kustlijn (MKL) uit de voorgaande jaren (Rijkswaterstaat, 2012).

A.2 Landelijke vaststelling Basiskustlijn 1990

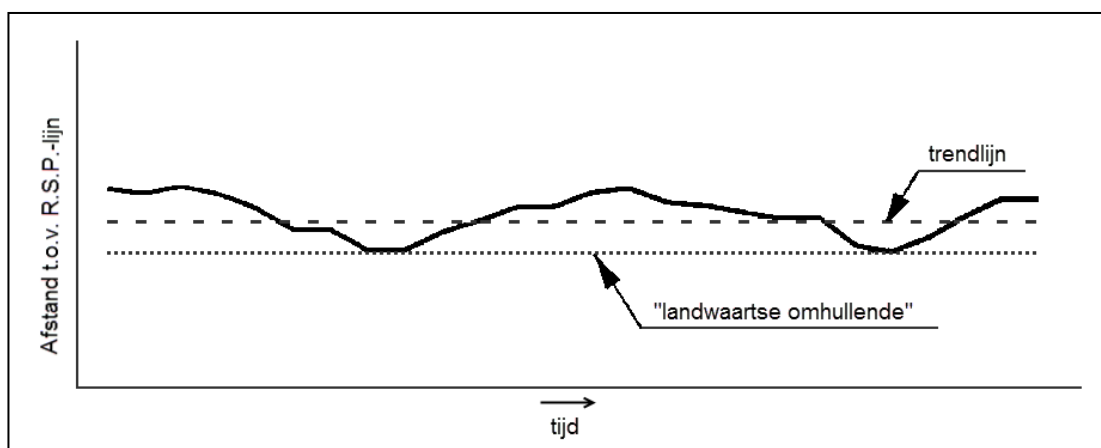
Voor de meeste delen van de Nederlandse kust leidt toepassing van de beschreven methodiek tot een goede norm. Voor een aantal locaties langs de Nederlandse kust is in 1990, bij het vaststellen van de Basiskustlijn, geconstateerd dat het wenselijk is om af te wijken van de standaardmethode uit Figuur A.1 en Figuur A.2. 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 getigeul wordt echter het landwaartse snijpunt als grens gekozen.
- 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:

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



Figuur A2 - 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 vastgesteld .

A.3 Landelijke herzieningen Basiskustlijn

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 afslagzone 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:

- 1 Positief beeld uit de evaluatie van 10 jaar dynamisch handhaven,
- 2 Eenduidigheid van de rekentechnische bepaling van de Basiskustlijn,
- 3 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 gezien of ten behoeve van de transparantie van beleid en uitvoering moet worden gestreefd naar een harmonisatie 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".

A.3.3 Landelijke herziening van 2017

Voor de herziening van de BKL in 2017 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018) heeft Rijkswaterstaat de ligging van de BKL langs de hele Nederlandse kust opnieuw geanalyseerd. Hierbij zijn ook de locaties meegenomen die in de herziening 2012 zijn doorgeschoven naar de volgende tranche. Rekening houdend met de 'doorgeschoven locaties uit 2012' en met de resultaten van de jaarlijkse toetsing van de ligging van de kustlijn, zijn 18 locaties geselecteerd, waar het mogelijk wenselijk is om de BKL te verleggen. Het gaat om twee categorieën:

- 1 Recent versterkte locaties ('zwakke schakels'). Het herzien van de BKL is hier nodig om het voor de veiligheid benodigde zandvolume in stand te houden. De huidige basiskustlijn ligt hiervoor te ver landwaarts;
- 2 Morfologische locaties. Dit zijn locaties waar de BKL niet aansluit bij de natuurlijke, reële ligging en vorm van de kust en daardoor geen signaalfunctie meer heeft. De BKL ligt hier:
 - a te ver landwaarts;

b of juist te ver zeewaarts (geldt voor de meeste locaties). De BKL wordt hier regelmatig of permanent overschreden. Er is echter geen sprake van structurele achteruitgang van de kust en/of er worden geen functies aangetast. In de praktijk wordt er daarom zelden zand gesuppleerd; het verleggen van de BKL maakt dan ook niet uit voor de frequentie van suppleren.

B Begrippenlijst morfologie

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 bankzone.
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 ebstroom 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 toename en afname van de sedimentvoorraad langs de kust. Dit verschijnsel is te zien langs de eilanden in de Zuid-Westelijke 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 orde van grootte van meters tot tientallen meters per jaar.

C Morfologie Voordelta en Westerscheldemonding

C.1 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 een aantal (voormalige) getijdebekkens. Brielse Maas, 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, 2015).

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 bodemmorfologie.

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 Westerscheldemonding. Niettemin vertoont de morfologie 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 3.7 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.

C.2 De Westerschelde buitendelta (Elias et al, 2016, Elias en Van der Spek, 2015)

De Westerschelde buitendelta strekt zich uit van het eiland Walcheren in het noorden tot de Belgische kustwateren in het zuiden (zie Figuur 3.8 in paragraaf 3.3.1). De zuidelijke morfologische begrenzing is niet duidelijk vastgesteld, omdat ten zuiden van de monding van de Wielingen de kustzone samenvalt met de Vlaamse Banken, een gebied met ondiepe kustparallele 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 Vlakte van de Raan doorsneed, verzandde. Dit proces moet al ver voor 1800 begonnen zijn en houdt verband met verandering van het betreffende belang van de geulen in de afvoer van het getijdebied, 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 parallele 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 3.8B). 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 Vlakte 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 3.8C, polygoon k).

D Suppletieoverzicht kustvak 17 Zeeuws-Vlaanderen

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

