

## Morfologische analyse Noordzeekust Goeree



## Morfologische analyse Noordzeekust Goeree

**Auteur(s)**

Edwin Elias

## Morfologische analyse Noordzeekust Goeree

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	de heer S.R.P.M. Pluis
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	Voordelta, Goeree, morfologie

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	23-12-2021
<b>Projectnummer</b>	11206794-004
<b>Document ID</b>	11206794-004-ZKS-0005
<b>Pagina's</b>	83
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Edwin Elias	

<b>Doc. Versie</b>	<b>Auteur</b>	<b>Controle</b>	<b>Akkoord</b>	<b>Publicatie</b>
1.0	Edwin Elias	Marcel Taal	Toon Segeren	

# Samenvatting

In het onderzoeksprogramma KPP B&O Kust werken Deltares en Rijkswaterstaat samen om meer inzicht in de ontwikkeling van het zandige kuststelsel te krijgen en met deze kennis het beheer en onderhoud ervan te ondersteunen. De Noordzeekust van Goeree is één van de locaties langs de Nederlandse kust waar aanvullend inzicht benodigd is.

Na afsluiting van de achterliggende estuaria, het Haringvliet door de Haringvlietdam (1957-1970) en de Grevelingen door de Brouwersdam (1962-1971) zijn grote veranderingen in de mondingsgebieden opgetreden. Deze hebben ook de kustlijn van Goeree beïnvloed. Zo zorgde het wegvallen van de kustdwarse getijstrooming in de Grevelingmonding voor een meer golfgedomineerde omgeving, wat resulteerde in het landwaarts verplaatsen en verdwijnen van de buitendelta van de Grevelingen. Dit sediment accumuleert enerzijds in het landwaartse deel van de monding waar het banken vormt zoals de Bollen van de Ooster, anderzijds wordt het sediment noordwaarts langs de kust van Goeree afgevoerd. Daar heeft het o.a. gezorgd voor de sterke uitbouw van de Kwade Hoek. Het verlies van getijdewerking in het Slijkgat, door afsluiting van het Haringvliet, zorgde, in combinatie met een grote zandtoevoer, ervoor dat de brede getijgeul niet kon worden behouden. Intensief baggeren van een aantal drempelgebieden in het Slijkgat is nu nodig om de vaargeul op de gewenste diepte te behouden.

De huidige erosieproblematiek aan de zuidwestkop van Goeree hangt samen met de groei en noordwaartse verplaatsing van de bank 'Bollen van de Ooster' en het kortsluitgeultje dat tussen die bank en de kust is ingeklemd. Dit geultje verplaatst zich noordelijk, met de Bollen van de Ooster mee, waardoor er lokaal sterke erosie is. Zolang de Bollen van de Ooster aanwezig blijft zal de erosie blijven bestaan. Het al dan niet doorbreken of aanlanden van de Bollen van de Ooster is nu niet te voorspellen. Het is noodzakelijk de Bollen van de Ooster goed te blijven monitoren. Innovatieve meettechnieken zoals satellietbeelden en Satellite Derived Bathymetry kunnen hierin een waardevolle rol te spelen.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>7</b>
1.1	Achtergrond	7
1.2	Doelstelling en Aanpak	7
1.3	Leeswijzer	7
<b>2</b>	<b>Een overzicht van het studiegebied</b>	<b>8</b>
2.1	De kust van Goeree	8
2.2	Suppleties en Ingrepen	11
2.2.1	Het Flaauwe Werk	11
2.2.2	Een overzicht van de uitgevoerde suppleties	12
2.2.3	Onderhoud Slijkgat	14
<b>3</b>	<b>Morfologische veranderingen van de Noordzeekust Goeree</b>	<b>15</b>
3.1	Ontwikkeling van het gehele kustvak	15
3.1.1	Kustlijnontwikkeling sinds 1965	15
3.1.2	Zandvolume in de kustzone	17
3.1.3	Indicatoren	18
3.2	Bollen van de Ooster	21
3.2.1	Inleiding	21
3.2.2	Uitwisseling Bollen van de Ooster met de kust	21
3.2.3	Ontwikkeling van dwarsprofielen en MKL	28
3.3	Centrale Noordzeekust van Goeree.	32
3.4	Kwade Hoek	37
3.5	Ontwikkeling van het Slijkgat	39
3.5.1	Uitwisseling Slijkgat met de Kust	39
3.5.2	Dwarsprofielen	42
<b>4</b>	<b>Conclusies, samenvatting en aanbevelingen</b>	<b>45</b>
4.1	Morfologische veranderingen de Noordzeekust van Goeree	45
4.2	Ontwikkeling van de Bollen van de Ooster	47
4.2.1	Processen	47
4.2.2	Toekomstige ontwikkelingen	47
4.3	Samenvatting	49
4.4	Aanbevelingen	50
<b>5</b>	<b>Referenties</b>	<b>51</b>
<b>A</b>	<b>Vaklodingen</b>	<b>52</b>
A.1	Grevelingen monding	52

A.2	Haringvlietmonding	54
<b>B</b>	<b>Jarkus Grids</b>	<b>57</b>
B.1	Totale Kustzone	57
B.2	Details van de Bollen van de Ooster	59
<b>C</b>	<b>Satellite Derived Bathymetry</b>	<b>63</b>
<b>D</b>	<b>Jarkus Profielen</b>	<b>71</b>
D.1	Bollen van de Ooster	71
D.2	Flauwe Werk	73
D.3	Kwade Hoek / Slijkpat	74
<b>E</b>	<b>LiDAR data</b>	<b>75</b>
E.1	Bollen van de Ooster	75
E.2	Flauwe Werk	77
E.3	Kwade Hoek	80

# 1 Introductie

## 1.1 Achtergrond

In het onderzoeksprogramma KPP B&O Kust worden kennis en tools door Deltares ontwikkeld die Rijkswaterstaat ondersteunen bij 1) verkrijgen van inzicht in de ontwikkeling van het zandig kuststelsel en 2) die ondersteunen in het beheer en onderhoud van het zandig kuststelsel. Het deelprogramma 'Systeemkennis Zeegaten' van het KPP B&O Kust programma focust op de kennisontwikkeling van de zeegatsystemen en de aangrenzende zandige eilandkusten.

Eén van de locaties langs de Nederlandse kust waar aanvullend inzicht benodigd is, is de Noordzeekust van Goeree. Hier spelen twee beheerproblemen. Ten eerste treedt er structureel erosie op aan de zuidwestzijde van de eilandkop. Deze erosie hangt samen met de voorliggende Bollen van de Ooster en het geultje dat tussen deze bank en de kust ligt ingeklemd. Ten tweede is er een sedimentatieprobleem aan de noordoostzijde van de kust bij het Slijkgat. Hier is de Kwade Hoek, een groot strand-duin complex, sterk uitgebouwd. Deze uitbouw beïnvloedt de aanliggende vaargeul het Slijkgat. Frequent baggeren van het Slijkgat is nodig om de vaargeul naar Stellendam te behouden.

## 1.2 Doelstelling en Aanpak

De doelstelling van deze studie is het beter begrijpen van de morfologische ontwikkeling van de Noordzeekust van Goeree.

Om deze doelstelling te behalen is het onderzoek in 2 delen uitgevoerd. Het eerste deel was een grootschalige analyse van het gehele kustvak. Door literatuuranalyse zijn de morfologische ontwikkelingen van de Grevelingenmondning, de Haringvlietmondning en de Noordzeekust van Goeree in kaart gebracht. De bestaande inzichten zijn geactualiseerd aan de hand van de nieuwste Vaklodingen. Deel twee omvatte detailanalyses van de deelgebieden Bollen van de Ooster, Flaauwe Werk en Kwade Hoek. Met behulp van de Jarkus datasets, LiDAR datasets en Sattelite Derived bathymetry (SDB) zijn de recente ontwikkeling van deze 3 deelgebieden in kaart gebracht.

SDB – Sattelite Derived Bathymetry zijn bodemkaarten waarin de bodemhoogte is verkregen door analyse van de satellietopnamen. De studie van Santinelli et al. (2018) geeft een overzicht van de ontwikkeling van deze techniek. Het grote voordeel van satellietdata is dat deze veel continue ingewonnen wordt. Dit maakt het mogelijk bodemkaarten met een veel hogere frequentie dan klassieke metingen (zoals Jarkus of Vaklodingen) te genereren. De SDB data wordt gevisualiseerd via de hiervoor ontwikkelde SDB app (<https://gena.users.earthengine.app/view/rws-bathymetry>).

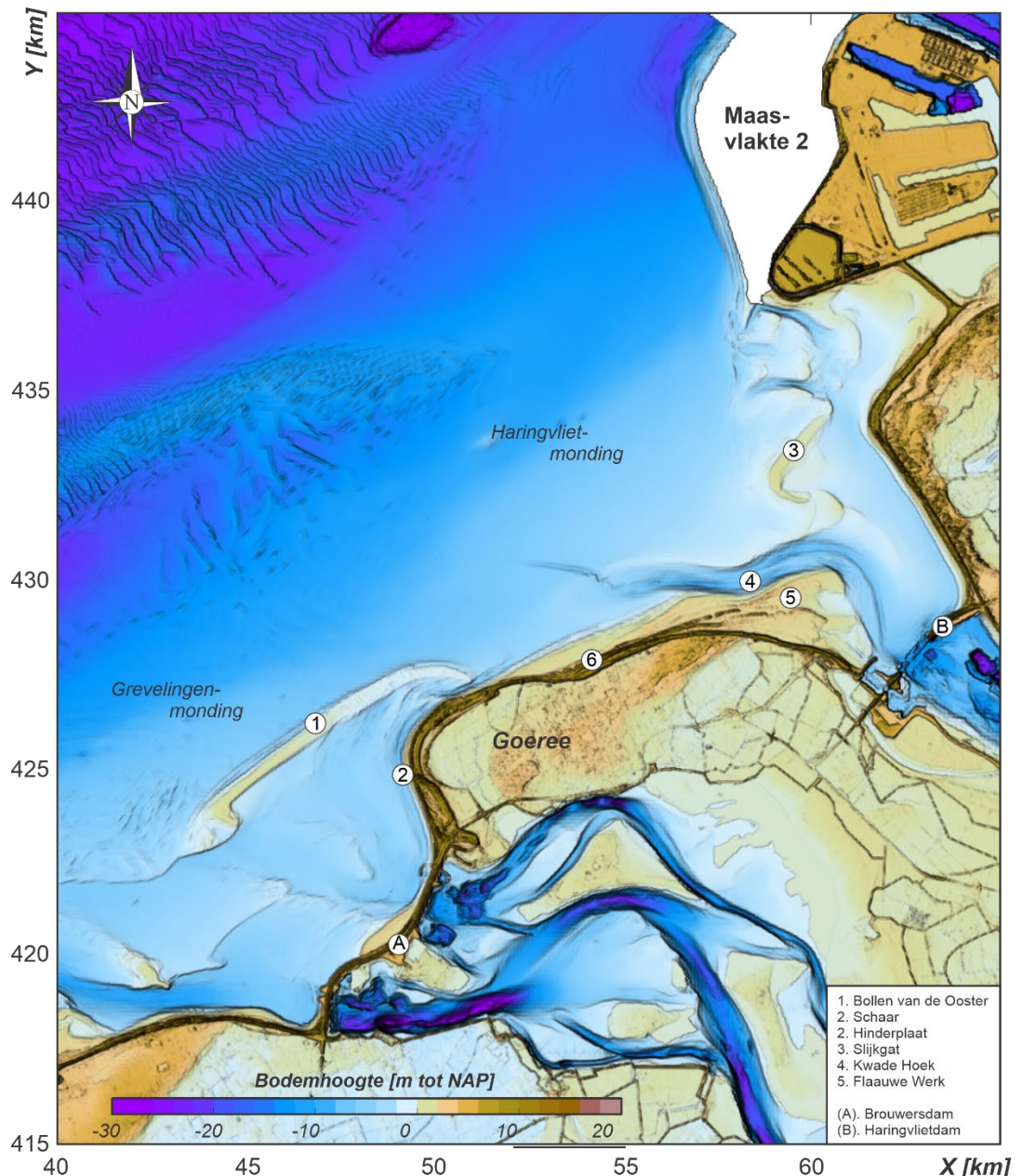
## 1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 presenteert de resultaten van de grootschalige analyse van de Noordzeekust van Goeree in relatie tot de naastliggende Grevelingen- en Haringvlietmondning en geeft een samenvatting van de grootschalige kenmerken en de uitgevoerde ingrepen. In Hoofdstuk 3 zoomt in op de kustontwikkeling van Goeree. Het omvat een analyse van het gehele kustvak (3.1) en detailbeschrijvingen van de deelgebieden Bollen van de Ooster (3.2), centrale Noordzeekust van Goeree (3.2) en de Kwade Hoek (3.3). Paragraaf 3.4 beschrijft de uitwisseling tussen Kwade Hoek en Slijkgat. Hoofdstuk 4 vat de resultaten van deze studie samen en geeft de conclusies en aanbevelingen.

## 2 Een overzicht van het studiegebied

### 2.1 De kust van Goeree

De noordwestkust van Goeree ligt ingeklemd tussen de Grevelingen- en Haringvlietmonding (Figuur 2-1). Beide mondingsgebieden zijn dan ook van belang voor de kustlijnontwikkeling van Goeree. De morfologische ontwikkelingen van de Haringvliet- en Grevelingenmonding vertonen grote overeenkomsten. Beide gebieden zijn veranderd van een actieve naar een passieve buitendelta; een ondiep gebied met platen en geulen waar sediment (voornamelijk landwaarts) wordt herverdeeld. Het Haringvliet is verder in die ontwikkeling. Hier zijn de banken verder landwaarts verplaatst (Van der Spek en Elias, 2021).



Figuur 2-1: Een overzicht van de huidige bodemligging aan de kop van Goeree op basis van de 2018 (Haringvlietmonding) en 2019 (Grevelingenmonding) Vaklodingen.



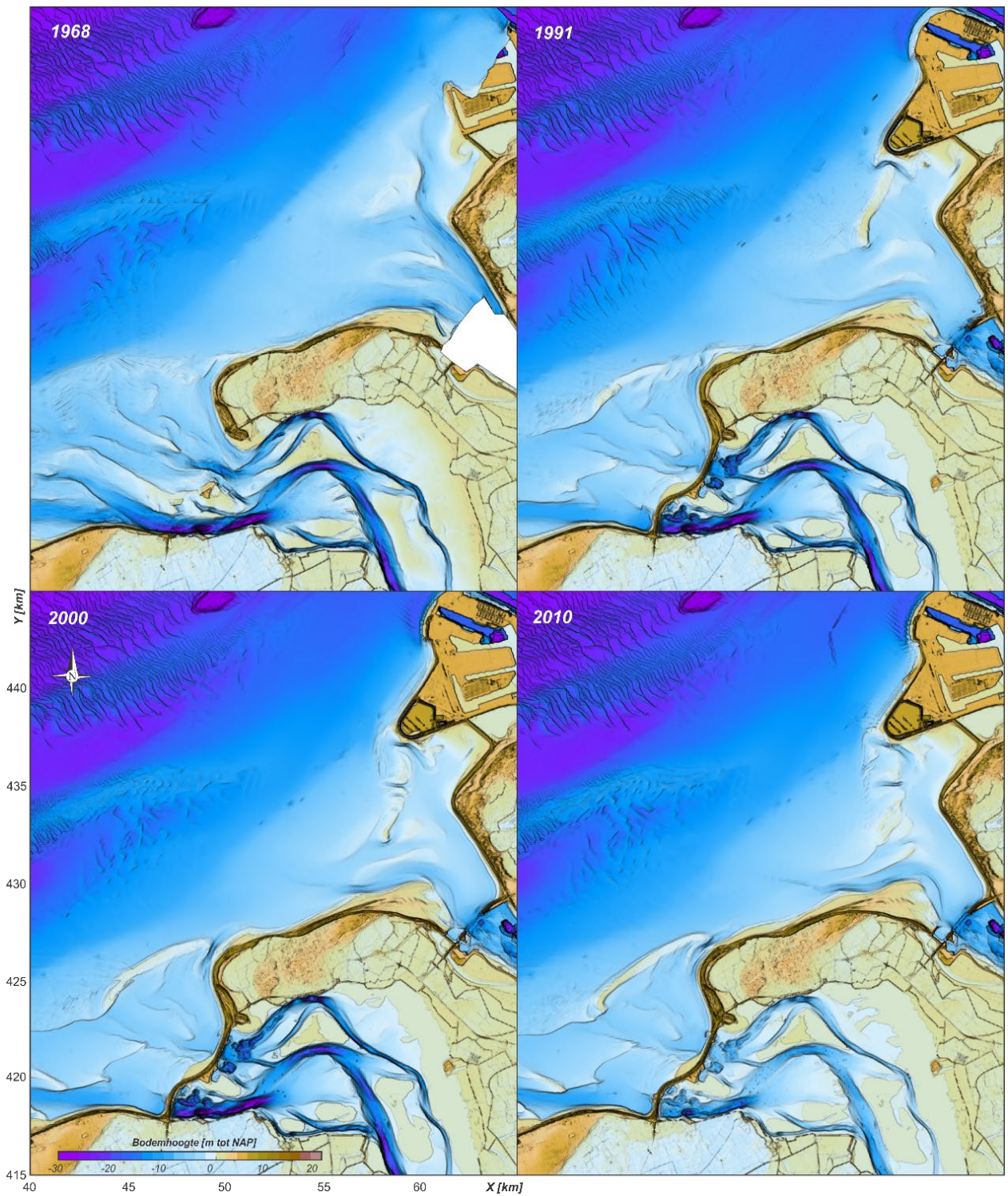
Voor de noordwestelijke kustlijn van Goeree is met name de ontwikkeling van de Grevelingenmonding en de daarop aanwezige Bollen van de Ooster van belang. Vóór de aanleg van de Brouwersdam, zie 1968 opname in Figuur 2-2, bestond het Grevelingen-estuarium uit twee hoofdgeulen en strekte de buitendelta zich ver zeewaarts uit. Langs de zuidwestkust van Goeree ligt in 1968 de getijgeul Schaar. Aan de voorzijde heeft zich een bankengebied, de Ooster, ontwikkeld. Banken landen vanaf de Ooster periodiek aan op de kop van Goeree. Deze banken propageerden als een soort zandgolven in noordoostelijke richting langs de kust en dragen dan al bij aan de vorming van de Kwade Hoek.

Na afsluiting van het Grevelingen-estuarium in 1971 verliest de Ooster zijn voeding vanaf het bekken. Onder invloed van golven wordt het zand van de Ooster landwaarts verplaatst en vormt zich een langgerekte, ondiepe bank (Bollen van de Ooster) met zuidwest-noordoost oriëntatie. In de 1991-bodem is de vorming van de Bollen van de Ooster duidelijk te zien (Figuur 2-2). De bank is dan nog geen aaneengesloten geheel, maar rond 1999 is een vrijwel continue, ononderbroken bank gevormd. In de periode 2000-2010 groeit de Bollen van de Ooster steeds verder in noordoostelijke richting. De huidige kustlijnerosie hangt samen met het landwaarts verplaatsen van de Bollen van de Ooster en het in de kust drukken van de tussenliggende geul (Elias et al. 2015; Groenewegen, 2019). In Hoofdstuk 3.2 wordt dit uitgewerkt.

Net ten noordoosten van de Bollen van de Ooster ligt op Goeree het Flaauwe Werk (Figuur 2-1, 5). Dit centrale deel van de Noordzeekust is al lange tijd aan kusterosie onderhevig. Een zeedijk werd hier rond 1715 aangelegd. Deze dijk werd steeds verder versterkt door het aanbrengen van strandhoofden en een asfaltbekleding. Het huidige Flaauwe Werk bestaat uit een geasfalteerde zeedijk die in het kader van Zwakke Schakels tussen 2007 en 2009 grotendeels met duinzand is afgedekt.

Richting de Haringvlietmonding gaat het strand over in een strand-duinvlakte geheten Kwade Hoek. De Kwade Hoek maakt onderdeel uit van de Duinen van Goeree en is aangewezen als Natura 2000-gebied. De strandvlakte van de Kwade Hoek was al aanwezig voordat afsluiting van de estuaria plaatsvond. Na afsluiting van de Grevelingenmonding is het gebied echter sterk uitgegroeid door het grote zandaanbod vanaf de buitendelta dat zich langs de kust van Goeree in noordoostelijke richting verplaatst. Er vormden grootschalige spits of strandhaken (Reintjes, 2002), die ook het Slijkgat sterk beïnvloedden. Het Slijkgat is de enige overgebleven getijgeul in de Haringvlietmonding en doet dienst als de hoofdafvoergeul van de Haringvlietsluizen en als vaargeul naar de visserijhaven Stellendam. Het Slijkgat wordt beïnvloed door de Kwade Hoek, maar ook door de grote veranderingen die optreden in de Haringvlietmonding. Na afdamming van de Brielse Maas (1950), de afsluiting van het Brielse Gat door de Brielse Gatdam (1958-1970) en de afsluiting van het Haringvliet (1964-1976) verloor ook dit mondingsgebied aansluiting met het achterliggende estuarium. Alleen door de spuilsuizen in de Haringvlietdam wordt er nog periodiek (zoet) water gespuid. Sinds 2019 zijn de spuilsuizen opengezet waardoor een beperkte getijuitwisseling terug mogelijk is (zie [www.kierharingvliet.nl](http://www.kierharingvliet.nl)).

Door het wegvallen van de getijstrooming vanuit de estuaria zijn de waterbeweging en de sedimenttransporten in de monding sterk veranderd. Het ondiepe platengebied is eigenlijk het resultaat van het opruimen van de voormalige buitendelta. Hierbij verplaatst sediment vanuit diep water (vooral door golven) richting de kust. Door het wegvallen van de getijstrooming zanden de geulen sterk aan. Het Slijkgat moet daarom regelmatig uitgebaggerd worden om voldoende vaardiepte richting de haven van Stellendam te waarborgen. De bodemkaarten van de Haringvlietmonding (zie Appendix B.1) geven een volledig overzicht van de opgetreden morfologische veranderingen.



*Figuur 2-2: Morfologische veranderingen van de mondingsgebieden van de Grevelingen en het Haringvliet voor de jaren 1968, 1991, 2000 en 2010. Zie Figuur 2-1 voor het jaar 2018/2019 en zie Appendix A.1 en A.2 voor de volledige tijdserie van Vaklodingen kaarten.*

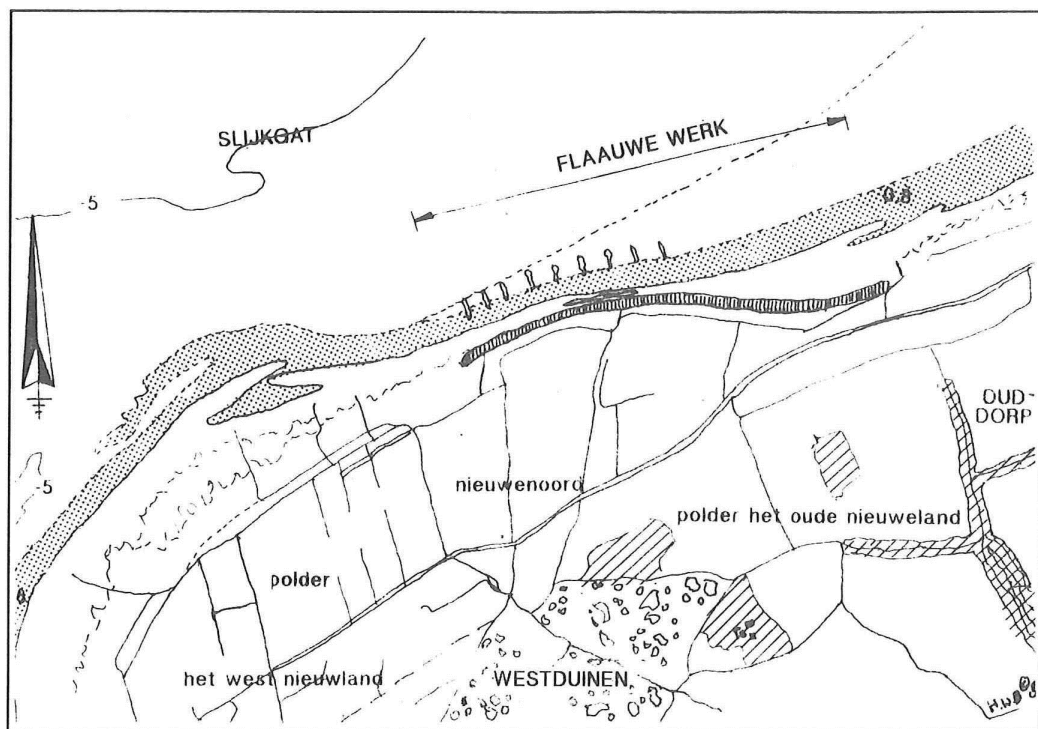
## 2.2 Suppleties en Ingrepen

### 2.2.1 Het Flaauwe Werk

Het Flaauwe Werk is een zeedijk, centraal gelegen lang de noordwestkust van Goeree. De dijk ligt tussen RijksStrandPalen (RSP) 10,50 en 13,25 en heeft een lengte van 2,75 kilometer. De 5 meter brede kruin van de waterkering ligt op NAP + 12,6 meter.

De huidige dijk is in 1984 aangelegd, maar de voorlopers ervan dijk zijn al in de 18<sup>de</sup> eeuw aangelegd. Sterke erosie van de kustlijn leidde al in 1718 tot aanleg van een kleidijk tussen RSP 8,75 en 12,25. Deze dijk is in 1790 verder doorgetrokken tot RSP 13,75. De hoogte van de dijk was rond 1812 circa NAP+5,8 m. In de 18<sup>de</sup> en 19<sup>e</sup> eeuw werden er 9 strandhoofden aangelegd om de kustachteruitgang te vertragen (Verhagen en van Rossum, 1990).

Tijdens de Watersnood van 1953 werd de zeekering grotendeels weggeslagen, waarna grootschalige herstel en verstevigingswerken volgden. Aan de binnenzijde werd een nieuwe zeedijk aangelegd met een kruinhoogte van NAP+8,5 meter. Deze dijk is in 1984 verder verhoogd naar NAP+9,7 m en verbreed tot 8 meter. Het buitentalud is daarbij afgedekt met duinzand om duinvorming te bevorderen. In 2007/2009 is het Flaauwe Werk in het kader van de Zwakke Schakels verder versterkt, door 60.000 ton nieuw asfalt op de dijk aan te brengen en 90.000 m<sup>3</sup> zand als afdeklaag erbovenop. Het hoogste punt ligt nu drie meter hoger, namelijk op NAP +12,60 meter.



Figuur 2-3: Een overzichtstekening van het Flaauwe Werk (uit Eversdijk, 1989).

## 2.2.2 Een overzicht van de uitgevoerde suppleties

Het kustvak bij Goeree wordt regelmatig gesuppleerd (Tabel 2-1). Sinds 1966 is er ca. 16,7 miljoen m<sup>3</sup> zand gesuppleerd (Suppletiedatabase RWS, 2021). Hiervan is 10,7 miljoen m<sup>3</sup> als strandsuppletie aangebracht en is er 6 miljoen m<sup>3</sup> als duinverzwaring uitgevoerd. Opvallend is dat relatief veel suppleties (11,4 miljoen m<sup>3</sup>) vóór 1990 zijn uitgevoerd.

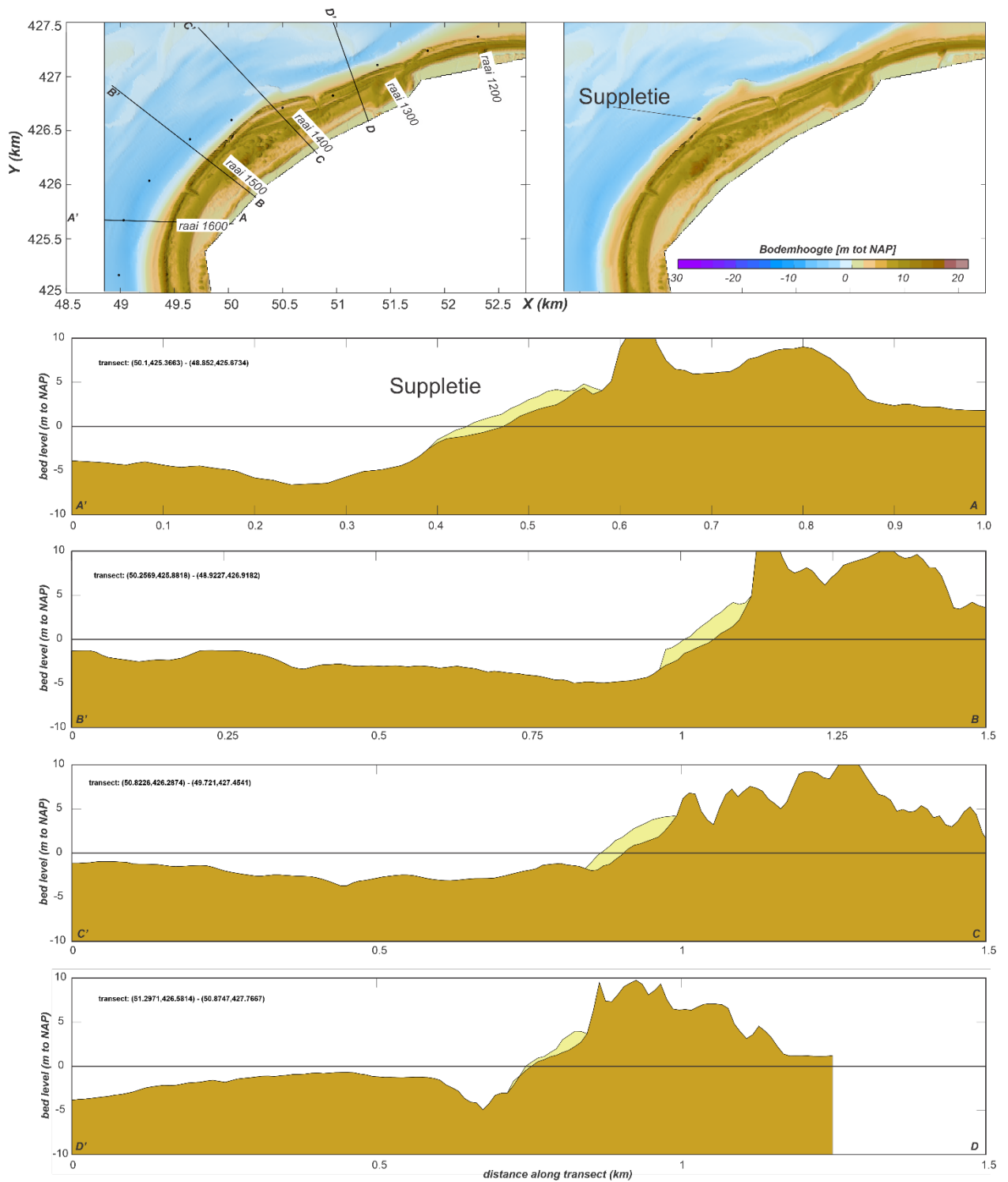
De meeste suppleties zijn aangebracht op het Westhoofd (tussen RSP 14.5 en RSP 19). In totaal is hier 8,4 miljoen m<sup>3</sup> gesuppleerd.

In 2021 is een grote, 1,26 miljoen m<sup>3</sup> strandsuppletie uitgevoerd tussen raaien 1200 en 1625 (RSP 12,00 – 16,25). Een weergave van de suppletie direct na aanleg is gegeven in Figuur 2-4. Er is nog geen meetdata aanwezig om het effect van de suppletie te analyseren.

Tabel 2-1: Een overzicht van de uitgevoerde suppleties langs de kust van Goeree (bron Suppletiedatabase 2021, Rijkswaterstaat).

Locatie	Start jaar	Beginpunt (RSP)	Eindpunt (RSP)	Lengte	Type	Volume [m <sup>3</sup> ]
Westhoofd	1966	15,00	17,00	2000	duinverzwaring	150,000
Flaauwe werk	1968	13,00	15,00	2000	duinverzwaring	800,000
Westhoofd	1969	15,01	16,01	1000	strandsuppletie	401,000
Noordkust Goeree	1970	4,00	6,00	2000	duinverzwaring	200,000
Westhoofd	1971	15,01	16,01	1000	strandsuppletie	610,000
Westhoofd	1972	16,50	17,25	750	duinverzwaring	100,000
Westhoofd, Brouwersdam	1972	18,75	19,00	250	duinverzwaring	100,000
Westhoofd	1973	14,50	17,50	3000	duinverzwaring	1,000,000
Westhoofd	1973	14,50	17,50	3000	strandsuppletie	2,300,000
Westhoofd	1976	18,50	19,00	500	duinverzwaring	50,000
Westhoofd	1977	14,50	17,50	3000	strandsuppletie	1,267,000
Noordkust Goeree	1977	5,75	9,75	4000	duinverzwaring	1,600,000
Noordkust Goeree	1978	9,75	11,25	1500	duinverzwaring	2,000,000
Westhoofd	1984	14,50	17,50	3000	strandsuppletie	330,000
Westhoofd	1985	14,50	17,50	3000	strandsuppletie	530,000
Flaauwe Werk aansluiting	1994	10,25	12,00	1750	strandsuppletie	505,678
Flaauwe Werk-kop Goeree	1998	9,25	10,75	1500	strandsuppletie	745,376
Flaauwe werk (west)	2004	10,25	12,75	2500	strandsuppletie	920,424
Westhoofd	2005	15,50	18,75	3250	strandsuppletie	1,000,552
Brouwersdam	2015	22,40	23,20	800	strandsuppletie	500,000
Westhoofd	2016	15,25	17,25	2000	strandsuppletie	500,000
Goeree Noordwest	2021	12,00	16,25	4250	strandsuppletie	1,255,778
<b>Totaal</b>						<b>16,865,808</b>

In Juni 2021 is een grote strandsuppletie uitgevoerd langs de kop van Goeree. Hiermee is ruim 1,3 miljoen m<sup>3</sup> zand aangebracht over een afstand van 4,25 km (tussen km 12 en 16,25). In Figuur 2-4 illustreert de suppletie. De uitpeiling van de aannemer is hiervoor gecombineerd met de 2020 Jarkus bodemopname. De suppletie is duidelijk zichtbaar in de rechter figuur. Wat ook zichtbaar is, is dat de suppletie zo is aangebracht dat beïnvloeding van het geultje van de Bollen van de Ooster (BvO) minimaal is (zie Figuur 2-4, dwarsprofiel D-D'). Het totale verschil volume tussen deze 2 bodemopnamen is 0,95 miljoen m<sup>3</sup> en het suppletie oppervlakte bedraagt 0,68 km<sup>2</sup>. De afwijking tussen het berekende volume en het aangebrachte volume kan veroorzaakt worden door de onderliggende 2020 bodem.

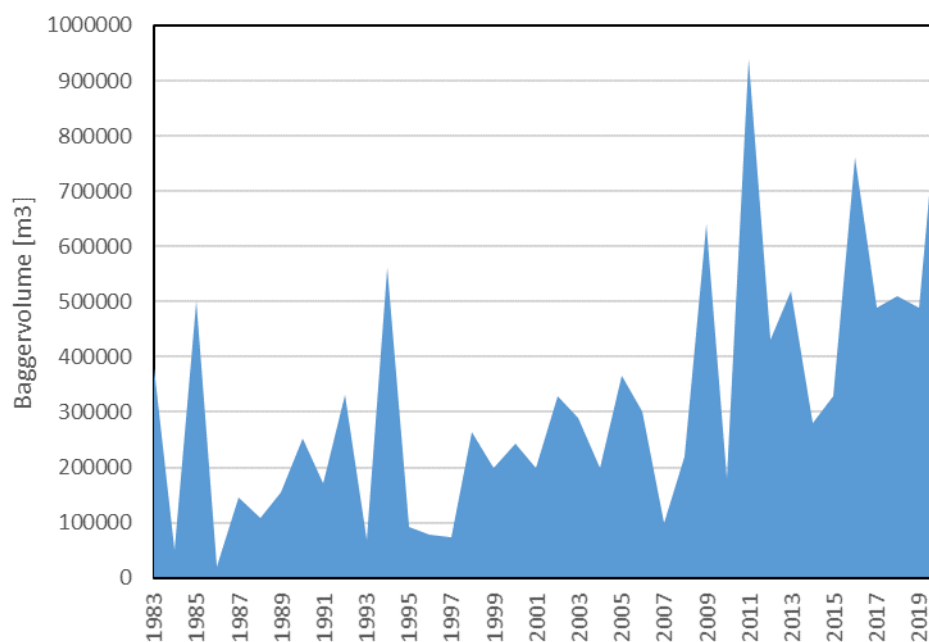


*Figuur 2-4: Een illustratie van de 2021 strandsuppletie (linksboven). Onderliggende bodem is de 2020 Jarkus opname aangevuld met de uitpeiling van de aannemer (rechtsboven). Vier dwarsprofielen genomen over de suppletie. De licht gele kleur geeft de ligging van de suppletie weer en de donkergele kleur de 2020 bodem (Zonder suppletie).*

### 2.2.3 Onderhoud Slijkgat

Het Slijkgat loopt noord van Goeree en verbindt de haven van Stellendam met de Noordzee. De grote morfologische veranderingen in de Haringvlietmonding na afsluiting zorgen ervoor dat al sinds het begin van de jaren tachtig baggerwerkzaamheden nodig zijn om de vaargeul op diepte te houden. Dit onderhoud wordt uitgevoerd door het havenbedrijf Rotterdam.

De baggerhoeveelheden zijn toegenomen (Figuur 2-5). In de periode 1983-2008 lag de trend rond de 300,000 m<sup>3</sup>/jaar. Na 2008 nemen de volumes sterk toe. In 2013 ligt het volume op meer dan 500,000 m<sup>3</sup> en in 2020 is dit verder toegenomen tot 600,000 m<sup>3</sup>/jaar. De toename in het baggervolume is volgens Snoek et al. (2015) volledig het gevolg van de grotere streefdiepte van de vaargeul en niet zozeer door de morfologische dynamiek rondom het Slijkgat. Tot 1993 was de gehanteerde streefdiepte NAP -4 m voor een vaargeul van 200 m breed. In de periode van 1994 tot 2008 was streefdiepte (NAP -5 m) groter, maar wel bij een smallere geulbreedte van 100 m. Vanaf 2008 ligt de vaargeuldiepte op NAP -5,5 m en een breedte van 100 m, met aan beide zijden van de geul een 'plateau' van 50 m breed op NAP -4 m.

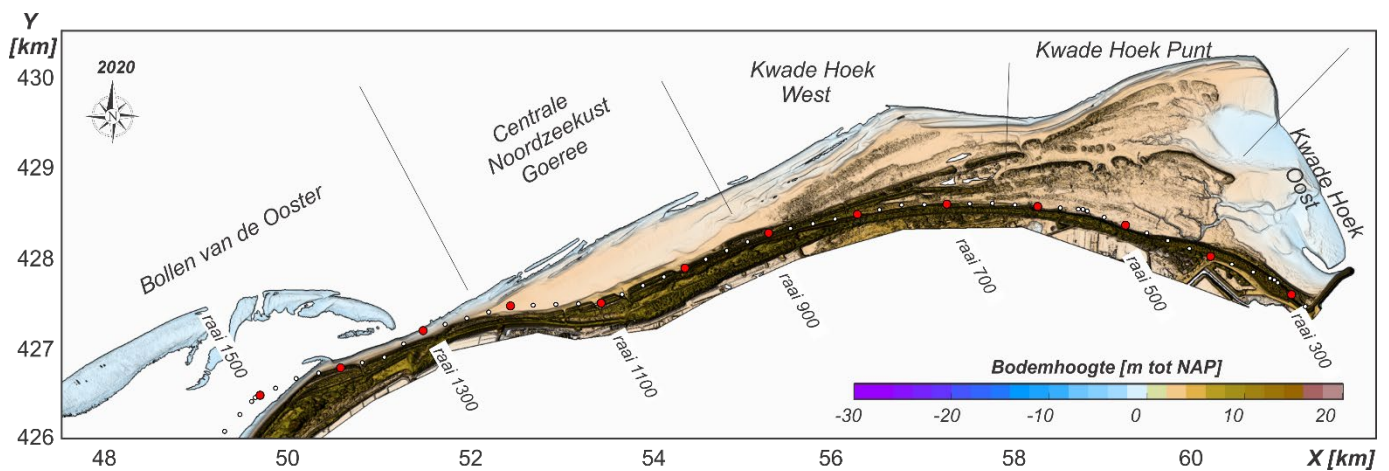


Figuur 2-5: Baggervolumes Slijkgat in de periode 1983-2013. Deze volumes zijn beunvolumes. De volumeverandering in de bodem ligt waarschijnlijk 10-20% hoger.

# 3 Morfologische veranderingen van de Noordzeekust Goeree

## 3.1 Ontwikkeling van het gehele kustvak

Figuur 3-1 geeft een gedetailleerd beeld van de kustlijnligging. De noordwestzijde van Goeree is ingedeeld in 5 deelgebieden, op basis van de 2020 bodemligging. Het deel westelijk van raai 1250 wordt rechtstreeks beïnvloed door de voorliggende Bollen van de Ooster en het Flauwe Werk. Dit gebied wordt in 3.2 in detail beschreven. Het centrale deel van de eilandkust is gelegen tussen de raaien 900 en 1250 en wordt in 3.3 beschreven. Het gebied tussen raai 100 en raai 900 is de Kwade Hoek (zie 3.4). De Kwade Hoek is onder te verdelen in drie kleinere deelgebieden: Kwade Hoek West, Punt en Oost. De zeezijde van de Kwade Hoek wordt begrensd door het Slijkgat (zie 3.5).

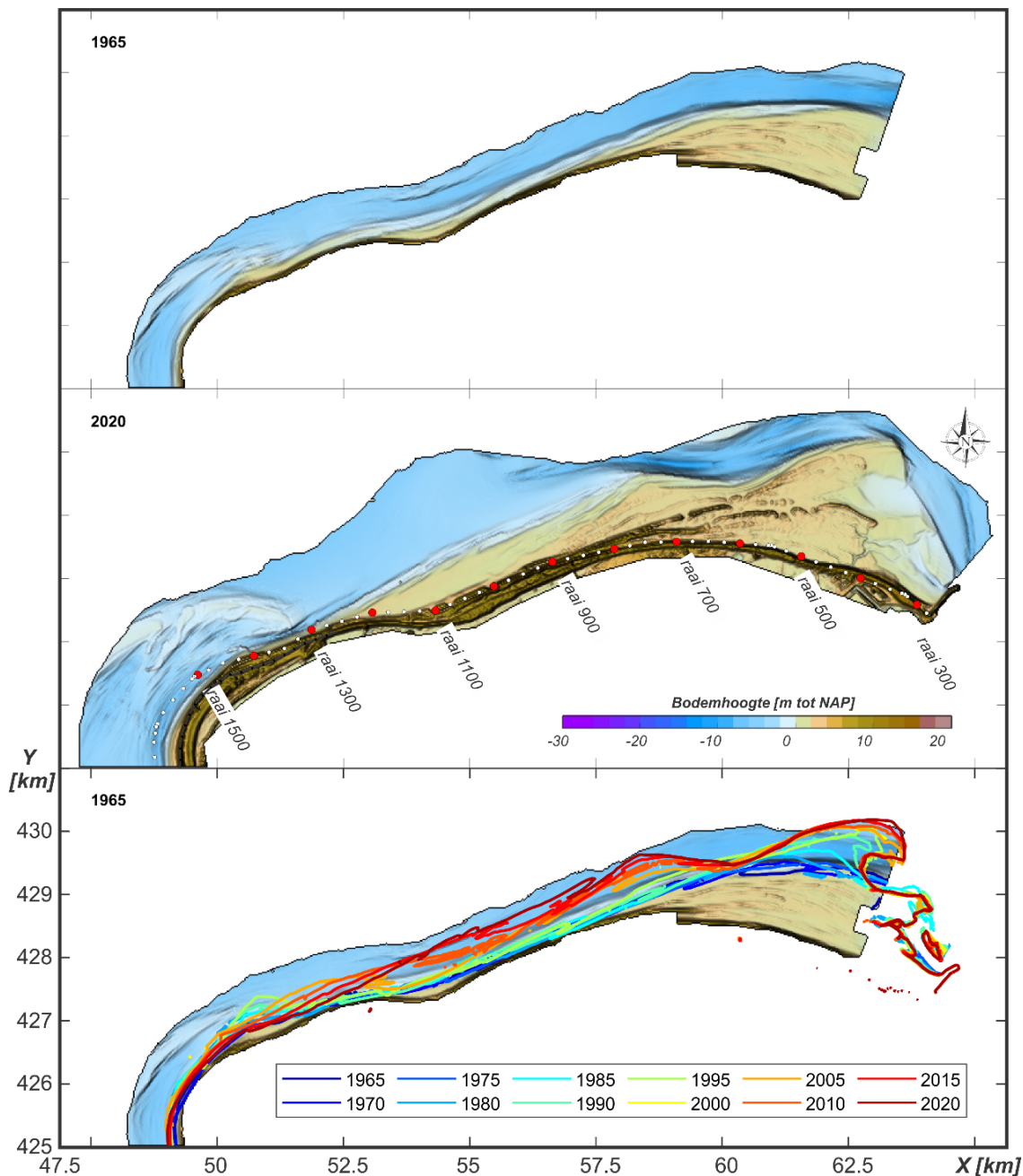


Figuur 3-1: Een overzicht van de kustlijn op basis van de 2020 LiDAR hoogte.

### 3.1.1 Kustlijnontwikkeling sinds 1965

Een duidelijk beeld van de ontwikkeling van de het gehele kustvak (raai 100-1700) wordt verkregen middels analyse van de Jarkusgrids. Figuur 3-2 geeft de morfologische ontwikkeling weer aan de hand van de 1965, 2020 bodem en de 0m contourlijnen (in 5-jaarlijks interval). De periode vanaf 1965 geeft veranderingen weer die mede door de afsluiting van de Grevelingen (1971) en Haringvliet (1965) zijn geïnitieerd. In 1965 is de kust beduidend minder ver zeewaarts uitgebouwd dan in 2020. De kustlijn ten noorden van raai 1500 is in 1965 nagenoeg recht. Rond raai 700 draait de duinenrij oostelijk, maar de strandzone van de Kwade Hoek Punt blijft nog een stuk verder doorlopen. Ten opzichte van de duinenrij steekt de Punt dan ook ver, noordoostelijk, uit. Een uitstulping ter hoogte van de Kwade Hoek West en de karakteristieke zandgolfvorm is in deze opname nog niet aanwezig. Met uitzondering van de Kwade Hoek Punt is het strand in 1965 tussen raai 500 en 1700 smal. In de vooroever zijn brekerbanksystemen, zoals deze bijvoorbeeld voorkomen langs de Hollandse kust, niet duidelijk aanwezig.

Aan de zuidzijde van het gebied is een uitloper van de Ooster zichtbaar. Periodiek landen er banken vanaf de Ooster aan op de kust van Goeree, tussen raaien 1300-1400, hier is ook een kleine uitbouw van de kust te zien. De kust bouwt hier initieel uit (tot 2001), maar met de vorming en migratie van de Bollen van de Ooster erodeert deze uitbouw weer volledig weg en treedt er erosie van de kustlijn op.



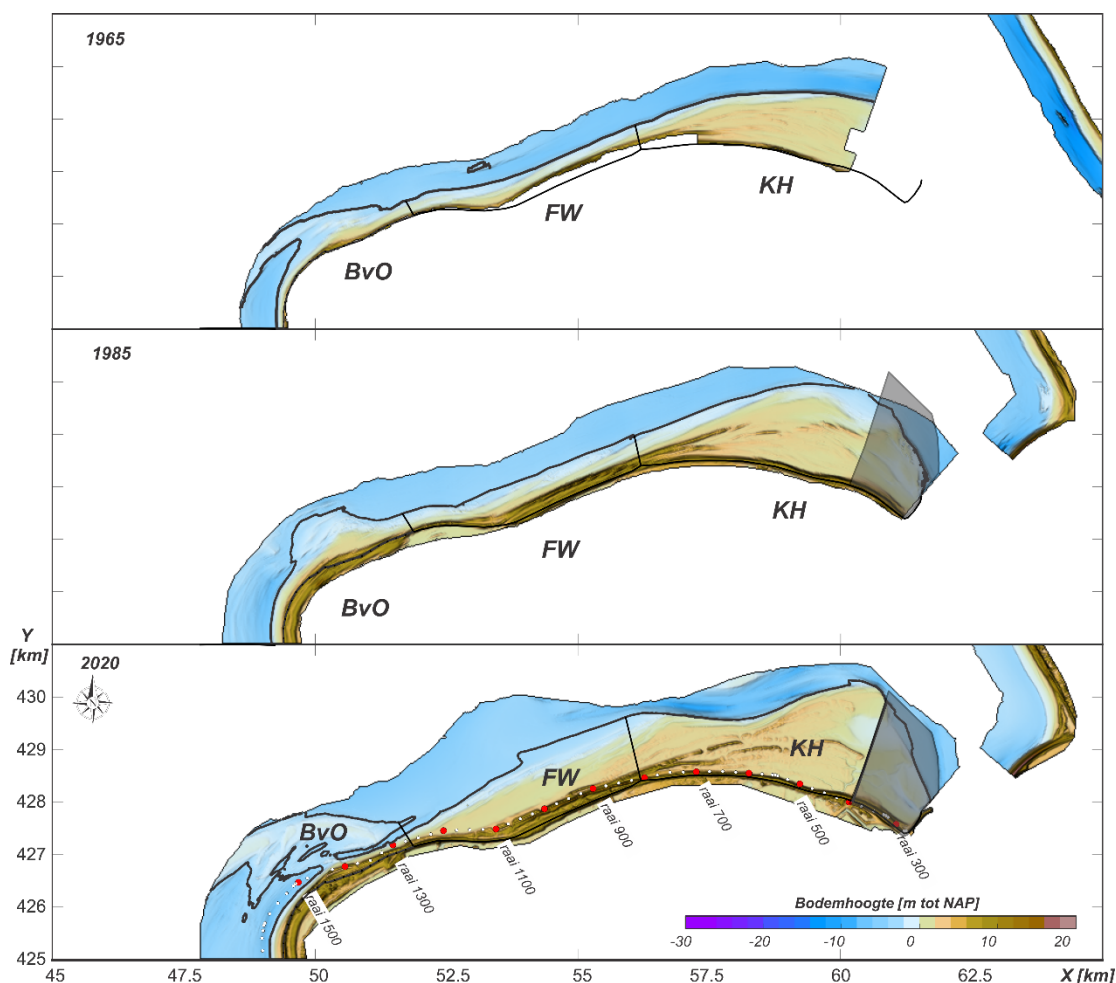
Figuur 3-2: Ontwikkeling kustlijn Goeree tussen 1965 en 2020 aan de hand van de Jarkus grids. Boven: 1965 bodem, Midden: 2020 bodem en RSP ligging, Onder: 1965 bodem en ligging van de 0m contour lijn in 5-jaar interval tussen 1965-2020.

De kustlijn van het centrale deel van de Noordzeekust blijft lange tijd stabiel in ligging (zie Figuur 3-2, onder). Tot ongeveer 1995 is het zandvolume in de MKL zone beperkt. De 0m contourlijn ligt hier dan dicht tegen de duinen aan. Toch verplaatst er wel veel zand langs de kust, vanaf Grevelingenmondning. Dit zandtransport is zichtbaar in de vorm van banken die periodiek langs de kust migreren. Deze banken zorgen ervoor dat de Kwade Hoek sterk uitbouwt. Tot 2001 groeit vooral de Kwade Hoek Punt, maar vanaf 2001 begint ook de Kwade Hoek West sterk zeewaarts uit te bouwen (zie 3.3 voor details). Er ontstaat zo de karakteristiek golvende kust die ook nu nog aanwezig is. Na de vorming van de Kwade Hoek West vult ook het strand tussen het Flaauwe werk en de Kwade Hoek West in. Tussen 2007 en 2020 ontstaat zo een doorgaande (natte) strandvlakte die begint bij raai 1300 en eindigt bij raai 700. Ten zuiden van raai 1300 blijft de strandbreedte nog minimaal. Hier blijft erosie optreden door het opdringen van het geultje voorliggend aan de BvO (zie 3.2 voor details).



### 3.1.2 Zandvolume in de kustzone

De aangroei van de kust is ook in de ontwikkeling van de sedimentvolumes duidelijk zichtbaar. Het kustvak is voor analyse van de sedimentvolumes ingedeeld in 3 deelgebieden (Figuur 3-3). Deze deelgebieden wijken qua indeling iets af van de definitie in 3.1, maar geven zo de volumeontwikkeling over de gehele periode het best weer. Deelgebied 1, beslaat het kustvak nabij de Bollen van de Ooster (BvO) tussen raaien 1275 en 1700. Deelgebied 2 beschrijft het kustvak tussen raai 800 en raai 1275 en is gelabeld Flaauwe Werk (FW). Het vak Kwade Hoek (KH) ligt tussen raai 800 en raai 300. Het stukje Kwade Hoek Oost, tussen raai 300 en de havendam van de buitenhaven van Stellendam, is niet meegenomen in de analyse vanwege beperkte databeschikbaarheid (dit deel is grijs weergegeven in Figuur 3-3). Op basis van de beschikbare metingen wordt wel geconcludeerd dat de volumeverandering tussen de duinenrij en de NAP -3 m hier beperkt is en dat dit geen significante verandering van de inzichten zal geven.



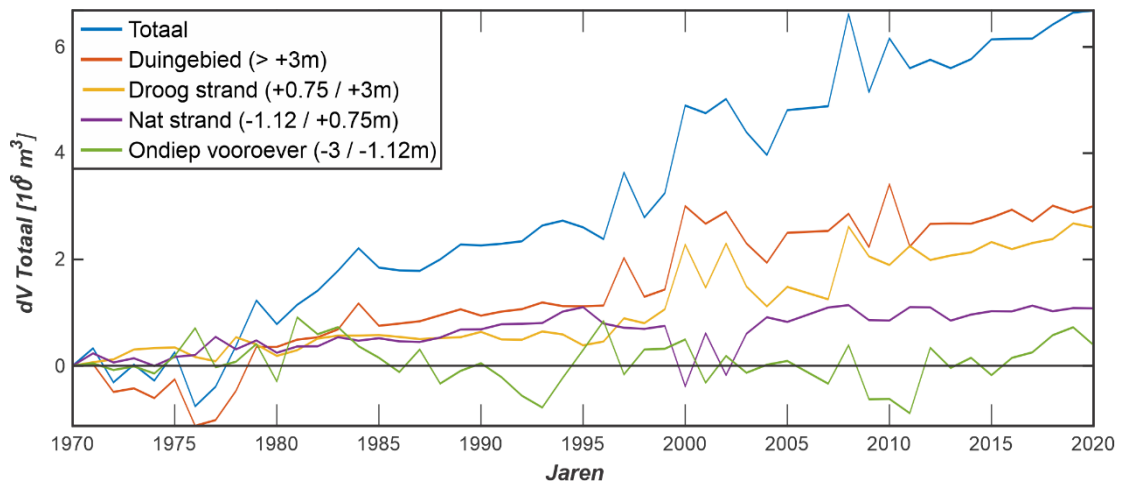
Figuur 3-3 (van boven naar onder): Een overzicht van de ligging van de polygonen Bollen van de Ooster (BvO), Flaauwe Werk (FW) en Kwade Hoek (KH) en de dekking van de onderliggende meetdata in de jaren 1965-1985 en 2020. De getekende polygonen geven de dekking weer voor de verschillende bodemliggingen. Aan de zeezijde is dit de -3m contour.

De landwaartse grens van de vakken is gekozen op een duinenrij die duidelijk te definiëren is. Deze grens is daarom gebaseerd op de 2020-bodem, maar ligt vrijwel gelijk aan de buitenste duinenrij in de 1965-bodem. Door de grote uitbouw van de kust is het niet mogelijk een vaste begrenzing van de zeewaartse grens te gebruiken. De omhullende polygoon op basis van de 1965 meting zou zich in 2020 over het droge deel van de Kwade Hoek uitstrekken (Figuur 3-3). Als zeewaartse begrenzing is daarom de NAP -3 m dieptecontour

gebruikt. De dekking van de Jarkusdata is in alle bodemmetingen voldoende voor deze grens en geeft daardoor een geschikte afbakening. Het oppervlakte waarop de volumebalans wordt berekend varieert dus in de tijd; het oppervlak wordt groter naarmate de kust meer uitbouwt en de -3m contour zeewaarts verschuift.

De bodemkaarten getoond in Appendix B laten duidelijk zien dat niet alle metingen een volledige dekking hebben. Om onnauwkeurigheden in de analyse te voorkomen zijn de Jarkus bodems in de periode 1965-1970 daarom niet gebruikt voor de volumebepaling. De bodems in de periode 1970-2020 zijn voor aanvang van de volumebepaling compleet gemaakt. Missende meetdata zijn opgevuld met de dichtstbijzijnde recentere metingen. Dit opvullen van de meetdatasets geeft geen significante beïnvloeding van de resultaten, maar zorgt er wel voor dat grote uitschieters in de volumetijdseries worden voorkomen. Uit analyse van de meetreeksen blijkt dat de volumeveranderingen in de periode 1970-1979 grote, waarschijnlijk onrealistische, fluctuaties vertonen. In de analyses wordt hier rekening met gehouden.

In de volumebalans worden de zones: duin (DV tot binnenrand), droge strand (GHW - DV), intergetijd gebied (GLW - GHW) en de vooroever (-3 - GLW) bepaald. De Duinvoet ligt op NAP +3m, Gemiddeld hoogwater (GHW) op NAP +0,75m en Gemiddeld laagwater (GLW) op -1,12m NAP. Het totale volume is gedefinieerd als het volume tussen GLW (-1,12m NAP) en de landwaartse polygoon grens. De diepere vooroever wordt hierbij niet opgeteld omdat hier grote veranderingen zoals geulvorming (Slijkgat) en bankvorming (BvO) opstreden waardoor de afbakening van het balansgebied sterk varieert

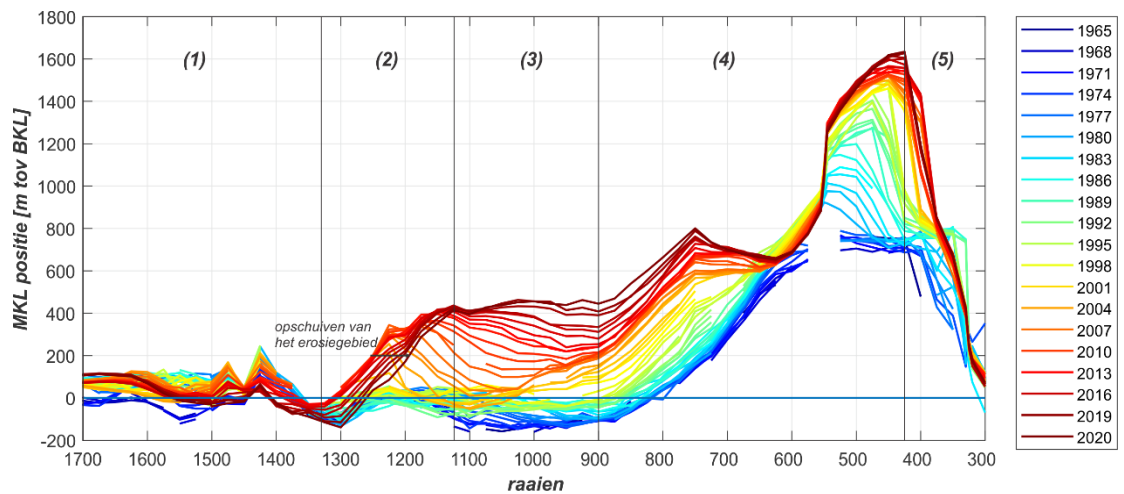


Figuur 3-4: Een overzicht van de volumeveranderingen van het totale kustvak (raai 300-1700).

In totaal is het gehele vak, inclusief de diepe vooroever, met 7,1 miljoen m<sup>3</sup> in volume toegenomen. Het merendeel van deze toename vindt plaats in de duinen (42%) en in de strandzone (+37%). De veranderingen in het intergetijd gebied en de vooroever tot NAP -3 m geven dan nog een toename van 21 %. De volumeveranderingen van de duinen vertonen een vrijwel lineair verloop met een trendwaarde van +0,14 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. De verandering in strandvolume is beperkt tussen 1970 en 1995 (+0,02 miljoen m<sup>3</sup>/jaar), maar ligt sindsdien met +0,08 miljoen m<sup>3</sup>/jaar duidelijk hoger.

### 3.1.3 Indicatoren

Het verloop van de MKL-positie (Figuur 3-5) geeft een duidelijk beeld van de groei van de kustlijn tussen raai 350 en 1200 en een vrijwel stabiele positie in het deel tussen raai 1300 en 1700. Op basis van deze figuur is een onderverdeling te maken in verschillend gedrag van de kustzone.



Figuur 3-5: Ontwikkeling MKL kustlijn Goeree tussen 1965 en 1990 ten opzichte van de BKL.

Gebied (1) in Figuur 3-5 ligt tussen raai 1325 en 1700. Tussen raai 1500 en 1700 blijft de MKL over de gehele periode tussen de 0 en 100m tot de RSP liggen. Tussen de voorliggende schaar en de duinenrij is weinig ruimte voor kustlijnverandering. In dit gebied wordt momenteel een strandsuppletie uitgevoerd, wat zal leiden tot zeewaartse uitbouw van de MKL positie. De kust tussen raai 1300 en 1500 vertoont variaties in MKL-ligging. Initieel landden hier nog banken vanaf de Ooster aan, waardoor tijdelijk de kust zeewaarts uitbouwde (tot 1995). Deze uitbouw is in 2020 geheel verdwenen. De MKL ligt dan vrijwel op of landwaarts van de BKL-positie. De huidige erosie van de kustlijn hangt hier samen met de voorliggende BvO. Met de noordwaartse verplaatsing van de kop van de BvO verplaatst het gebied van erosie ook in noordelijke richting. Dit effect is duidelijk terug te zien tussen raai 1200 en 1325 (gebied 2). Tot ca. raai 1250 ligt de MKL inmiddels landwaarts van de BKL. In het gebied tussen raai 1100 en 1200 is de MKL eerst zo'n 400m zeewaarts uitgebouwd. Deze uitbouw erodeert dan kustlangs weer, door de migratie van de BvO.

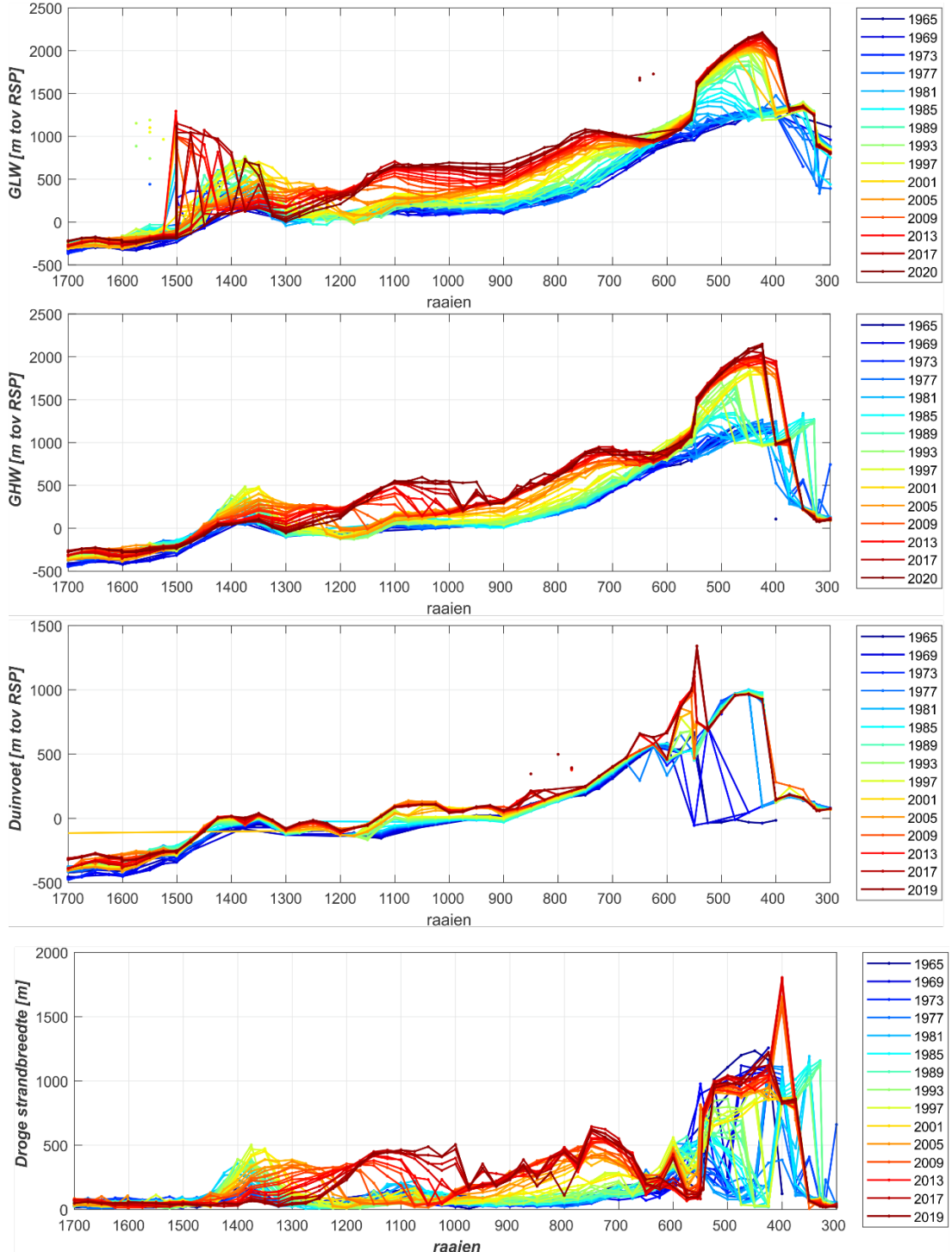
Deelgebied (3) ligt tussen het Flauwe Werk en de uitbouw van Kwade Hoek West. Hier is de kust met name in de periode 2007-2020 sterk uitgebouwd en heeft zich een grote strandvlakte gevormd (zie 3.3). Een grote uitbouw vond ook plaats ten westen en oosten van raai 550 (deelgebied 4). Dit deelgebied loopt van Kwade Hoek West tot Kwade Hoek Punt. Raai 550 blijft eigenlijk heel stabiel liggen. Het Slijkgat bocht hier zuidwaarts uit waardoor de kust hier vrijwel niet uitbouwde. De grootste uitbouw treedt op tussen raai 425 en 550. Hier ontstaat een grote haakvormige strandvlakte. Deze uitbouw vond vooral plaats in de periode 1965-2000. Daarna (2000-2020) gaat de uitbouw wel door, maar met een kleinere snelheid. Een deel van het zand wordt waarschijnlijk westelijk in de Kwade Hoek West en voor het Flauwe Werk ingevangen. Ten oosten van raai 425 (deelgebied 5 – Kwade Hoek Oost) zijn de veranderingen beperkt. Tussen Slijkgat en de noordelijke havendam van Stellendam wordt de uitbouw snel minder.

De lijnen van gemiddeld hoogwater (GLW), gemiddeld laagwater (GHW), duinvoet (DV) en droge strandbreedte staan in Figuur 3-6. Deze strandlijnen hebben vergelijkbare trends. De variaties in ligging zijn groter. Met name in het gebied Kwade Hoek geeft dit voor Duinvoet en Droge Strandbreedte een vertekend beeld.

Zowel de GHW, GLW en DV laten zien dat ter plaatse van de Kwade Hoek de afstand tot de RSP groot is. Deze afstand is sterk toegenomen sinds 1965. De lijnen van GHW en GLW vertonen een vergelijkbaar gedrag met de MKL-positie. De GLW vertoont grote fluctuaties tussen raai 1300-1500. Deze variaties zijn gerelateerd aan de dynamiek die hier optreedt.

Daarnaast is een trend van landwaartse verplaatsing in de periode 1997-2020 zichtbaar, duidelijk zichtbaar in de GHW-ligging.

De droge strandbreedte vertoont grote veranderingen. Hierin zijn drie ontwikkelingen te onderscheiden. Het gebied tussen raai 1450 en 1700 vertoont vrijwel geen verandering. In het gebied tussen raai 1000 en 1400 vindt een westelijke verplaatsing plaats. Dit blijkt uit een door de tijd toenemende strandbreedte tussen raai 1000 en 1200 en een afnemende breedte tussen raai 1200 en 1450.



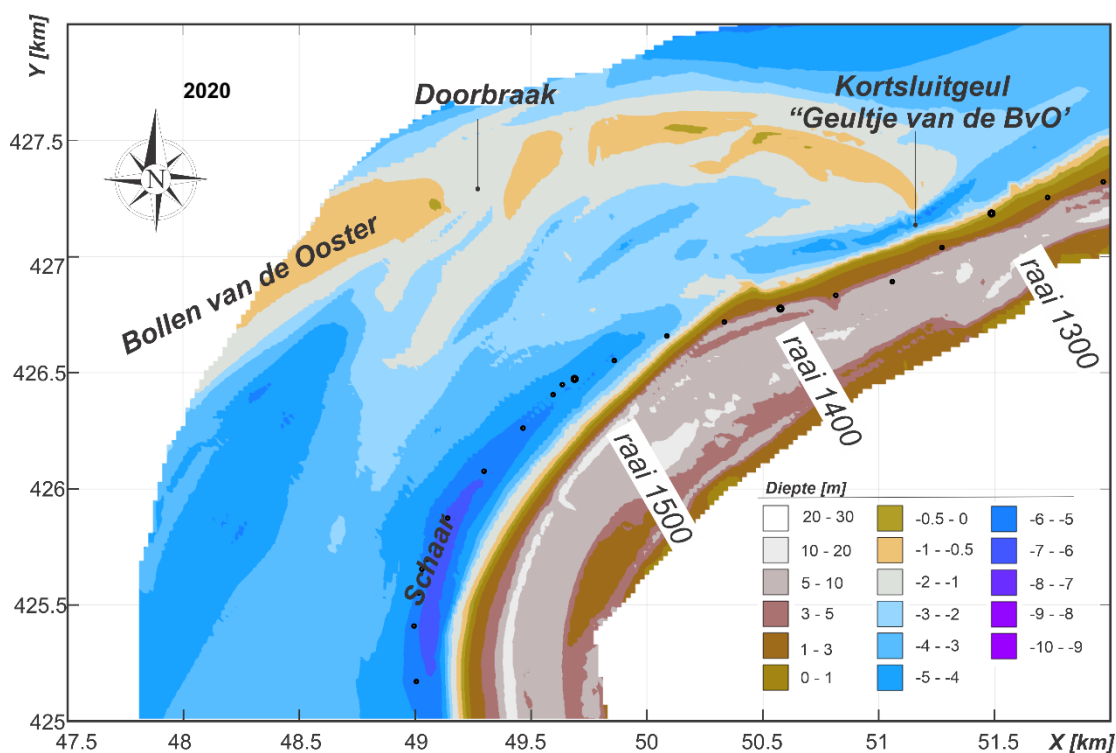
**Figuur 3-6:** Een overzicht van geselecteerde indicatoren voor het kustvak Goeree gelegen tussen raaien 300 en 1700 sinds 1965. Van boven naar onder: gemiddeld hoogwaterlijn (GHW), gemiddeld Laagwaterlijn (GLW), de duinvoet (+3m) en de droge strandbreedte (afstand tussen GHW en de DV).

## 3.2 Bollen van de Ooster

### 3.2.1 Inleiding

De meest recente Jarkus bodem van de kop van de Bollen van de Ooster (BvO) staat in Figuur 3-7. De Bollen van de Ooster is hier ter hoogte van raai 1325 de kust tot op 100m genaderd. De maximale diepte van het geultje van de BvO is 6 m. Deze kortsluitgeul maakt niet rechtstreeks verbinding met de oude getijdegeul Schaar. Ter hoogte van raai 1400 ligt een drempelgebied, welke een scheiding geeft tussen het geultje van de BvO en de Schaar.

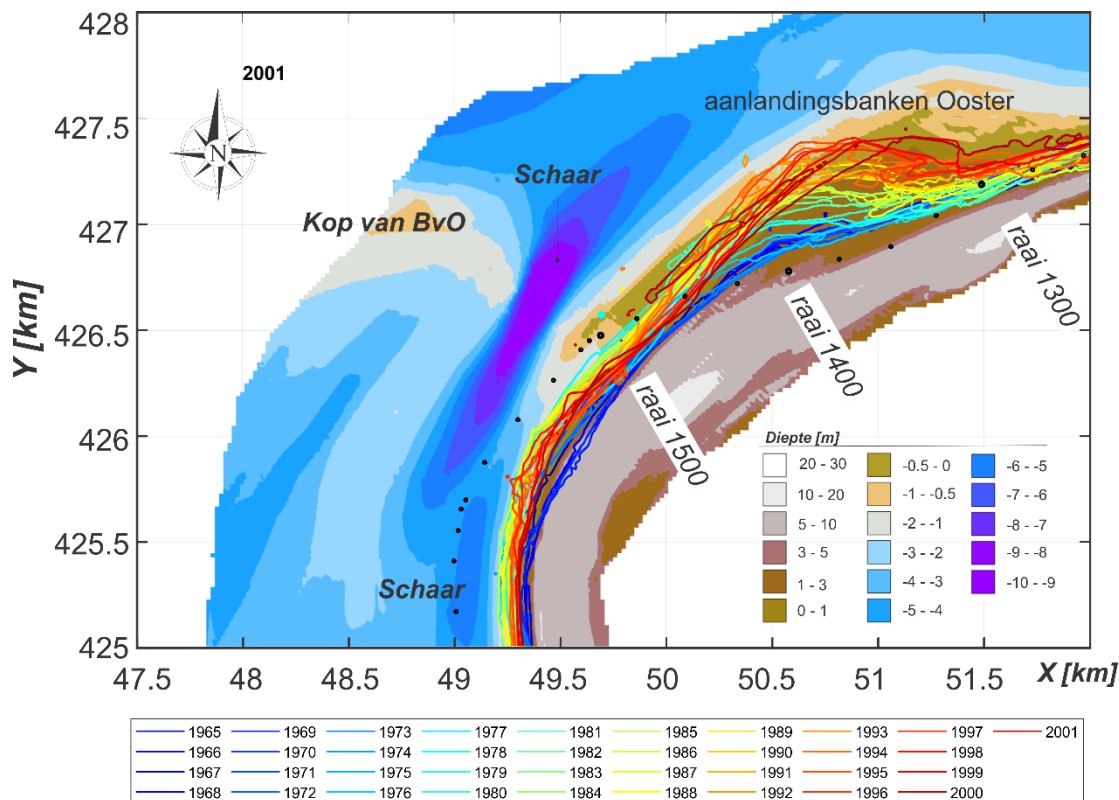
De BvO hebben een maximale hoogte van NAP -0.4 m. Onder de GLW lijn vormt de BvO een doorlopende bank. Het deel intergetijdegebied (de diepteklasse -0.5 tot -1m) vertoont enkele doorbraken. De grootste doorbraak ligt ongeveer ter hoogte van raai 1500. Een duidelijke verbinding tussen deze doorbraak en de achterliggende geulen is niet (meer) te onderscheiden.



Figuur 3-7: Een overzicht van de kop van de Bollen van de Ooster op basis van de 2020 Jarkus opname.

### 3.2.2 Uitwisseling Bollen van de Ooster met de kust

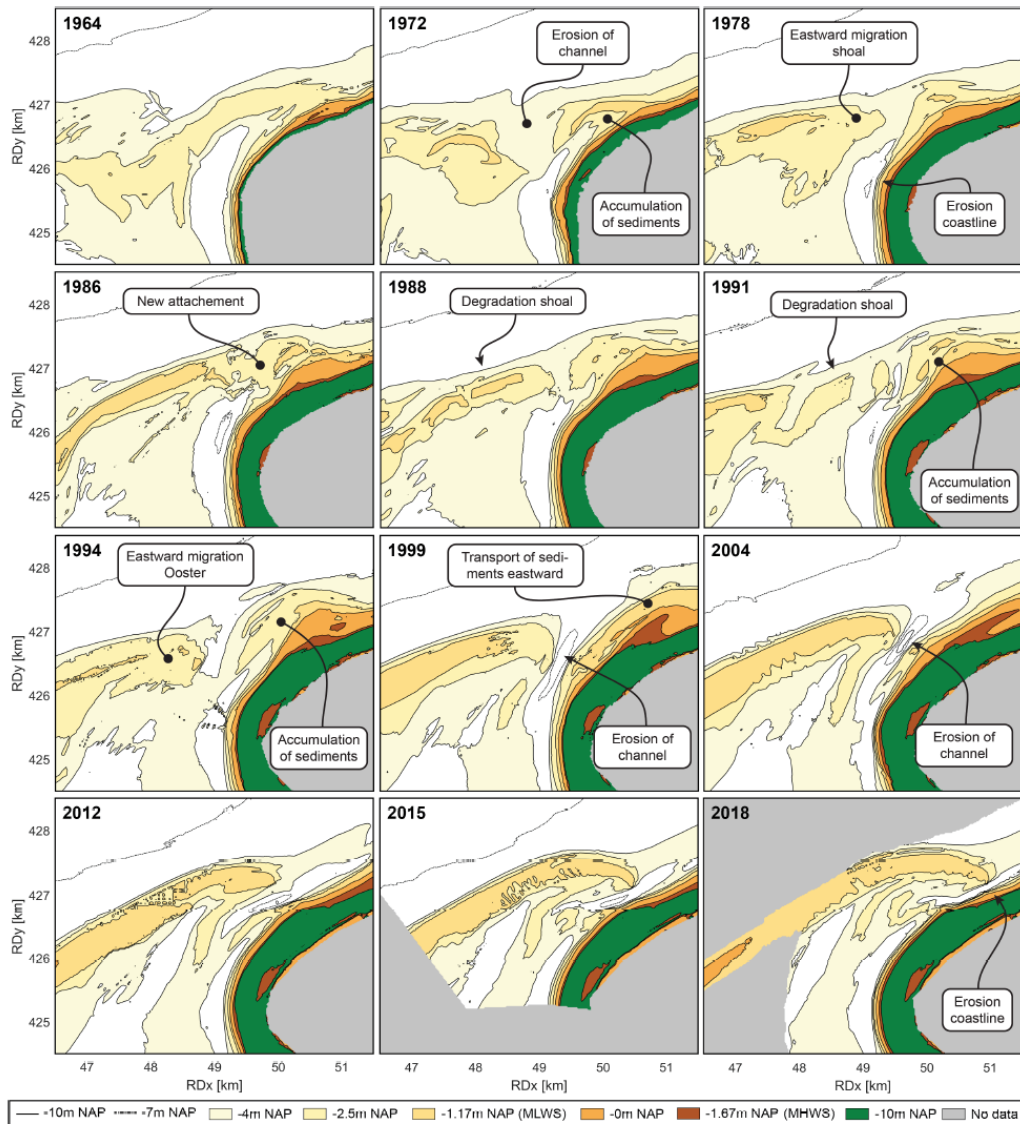
Het is bekend dat de morfologische veranderingen aan de kop van Goeree (raai 1300-1700) direct samenhangen met de veranderingen op de buitendelta van de Grevelingenmondning (Groenewegen, 2020; Elias, 2015). Een uitgebreide beschrijving van de morfologische veranderingen van de gehele Grevelingenmondning wordt gegeven in Elias en van der Spek (2014) en Elias et al. (2017). In dit deel wordt vooral gekeken naar de geul Schaar, het bijbehorende ebschild Ooster en, vanaf ongeveer 1991, ook de BvO, omdat deze morfologische elementen de kust van Goeree direct beïnvloeden.



Figuur 3-8: Ontwikkeling van de NAP 0m contourlijn tussen 1965 en 2001. Onderliggende bodem is de 2001 Jarkus opname.

In 1964-1972 was Schaar nog een geul die zich langs de kust van Goeree uitstrekte en rechtstreeks in verbinding stond met het achterliggende Grevelingen bekken. Aan de zeewaartse uitstroom had zich een ebschild gevormd. Dit ebschild heet dan nog Ooster, de BvO was toen nog niet gevormd (zie H2.1). Het ebschild maakt rond raai 1300-1400 verbinding met de kust van Goeree. Lokaal is het strand hier ook al iets uitgebouwd. Na aanleg van de Brouwersdam (1971) verliest de Schaar zijn verbinding met het achterliggende estuarium. Het voorliggende ebschild kan dan niet langer gehandhaafd worden. Onder invloed van golven verplaatst het zand landwaarts en vormen zich allerlei bankjes en geultjes. In het zuidelijke deel van de Ooster wordt de vorming van de BvO snel zichtbaar. Een langgerekte bank is rond 1976 zichtbaar (Figuur 3-9 en Appendix B.2). Deze bank strekt zich echter nog niet tot aan de kust van Goeree uit.

In 1991-1996 begint de BvO zich verder noordoostwaarts uit te breiden en een langgerekte doorgaande bank wordt gevormd. De kop van deze bank ligt in 1995 ongeveer in het verlengde van Schaar. Tussen de kop van de BvO en de aanlandingsbanken nabij de kust vormt een geul die tijdelijk verbinding maakt met Schaar (zie Figuur 3-8 en Figuur 3-9). In het noordelijke deel van de Ooster vormen zich kleinere banken die zich oostwaarts verplaatsen en tussen raai 1300 en 1500 verhelen met de kust van Goeree. De vorming van de BvO had initieel niet direct een negatief effect op de kustlijnligging aan de noordwestzijde van Goeree. Tot ongeveer 1995 bouwde de kust ter hoogte van raai 1300-1500 zelfs sterk uit (Figuur 3-8).

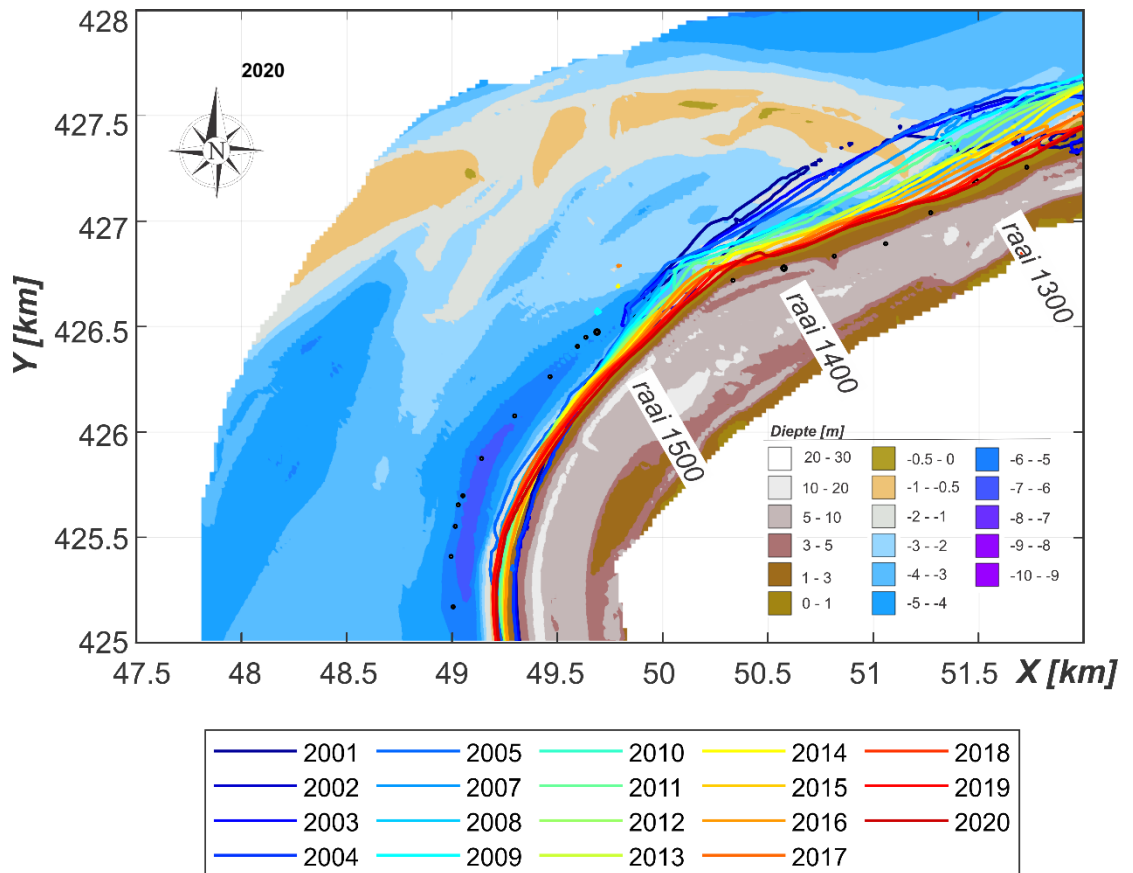


**Figuur 3-9: Ontwikkeling Bollen van de Ooster in relatie tot de stranderosie van Goeree (uit Groenewegen, 2019).**

De noordoostelijke verplaatsing van de kop van de BvO zet door vanaf 1995 (Figuur 3-9 en Figuur 3-10). Die verplaatsing zorgt ervoor dat de tussenliggende geul richting de kust wordt gedrukt en de geul zorgt er weer voor dat er geen banken meer aanlanden op de kust. Vanaf 2001 begint de eerder uitgebouwde kustlijn dan ook sterk te eroderen. Een deel van het geërodeerde sediment wordt zuidwaarts verplaatst en hier vormt zich uiteindelijk een ondiep platform dat een scheiding gaat vormen tussen de geul Schaar en de het geultje van de BvO. De noordelijke verplaatsing van het geultje van de BvO zorgt ervoor dat de erosie van de kustlijn steeds verder noordwaarts optreedt. In 2020 ligt het zwaartepunt rond raai 1325 (Figuur 3-10).

Met de afsluiting van de Grevelingen verliest Schaar voor een groot deel zijn getijdewerking. De geul wordt dan steeds ondieper en de geuldoorsnede neemt af (Groenewegen, 2019). Toch blijft Schaar ook in de huidige bodems nog steeds duidelijk zichtbaar als geul. Deze geul ligt direct langs de zuidwestkust van Goeree. Tussen Schaar en het Geultje van de Bollen en de duinen is slechts een beperkte ruimte beschikbaar, waardoor het strand hier smal blijft. Dwarsverliezen zorgen hier voor een structureel zandverlies vanaf het strand richting de geul. Dit zand draagt enerzijds bij aan de opvulling van de geul en zal deels ook

kustlans worden afgevoerd. Zandaanvoer vanuit Schaar richting de kust treedt waarschijnlijk niet op. Hierdoor heeft dit stuk kust (ten zuiden van raai 1500) een structureel zandtekort en zijn er periodiek zandsuppleties benodigd om landwaartse verplaatsing van de MKL tegen te gaan.

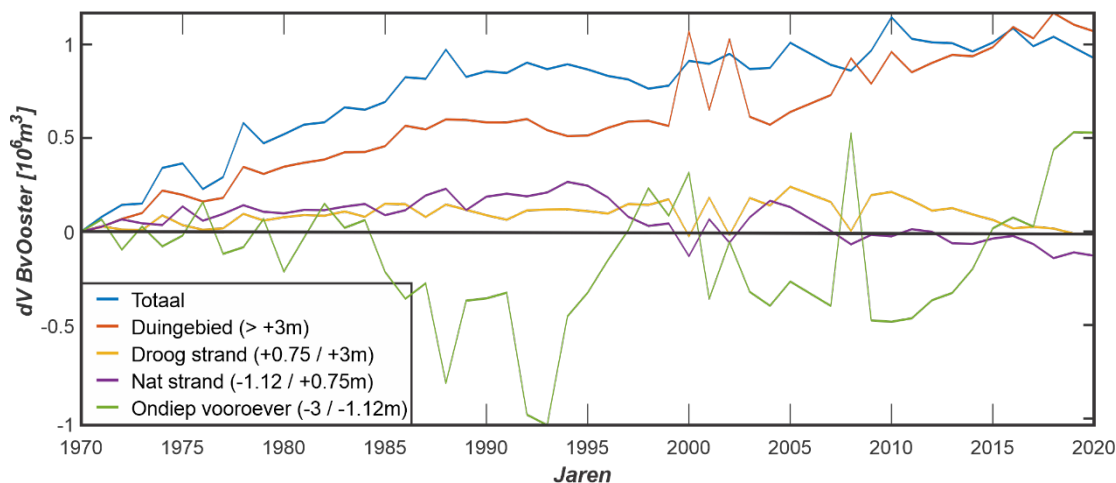


Figuur 3-10: Ontwikkeling van de NAP 0m contourlijn tussen 2001 en 2020. Onderliggende bodem is de 2020 Jarkus opname.

Figuur 3-11 geeft een overzicht van de volumeontwikkeling in de BvO polygoon (zie Figuur 3-3 voor ligging). De diepe vooroever (NAP -3 / -1,12m) is in de analyse niet meegenomen. De grote dynamiek in de vooroever zorgt ervoor dat er geen sluitende zeewaartse begrenzing aanwezig is.

Het totale volume tussen het duin tot de NAP -1.12m contour neemt met een kleine 1 miljoen m<sup>3</sup> toe tussen 1970 en 2020. Initieel, tot 1995, nemen zowel de duin- als de volumes van het droge en natte strand toe. Sinds 1995 nemen de strandvolumes juist iets af (-0,13 miljoen m<sup>3</sup>). Het duinvolume blijft over de gehele periode toenemen.



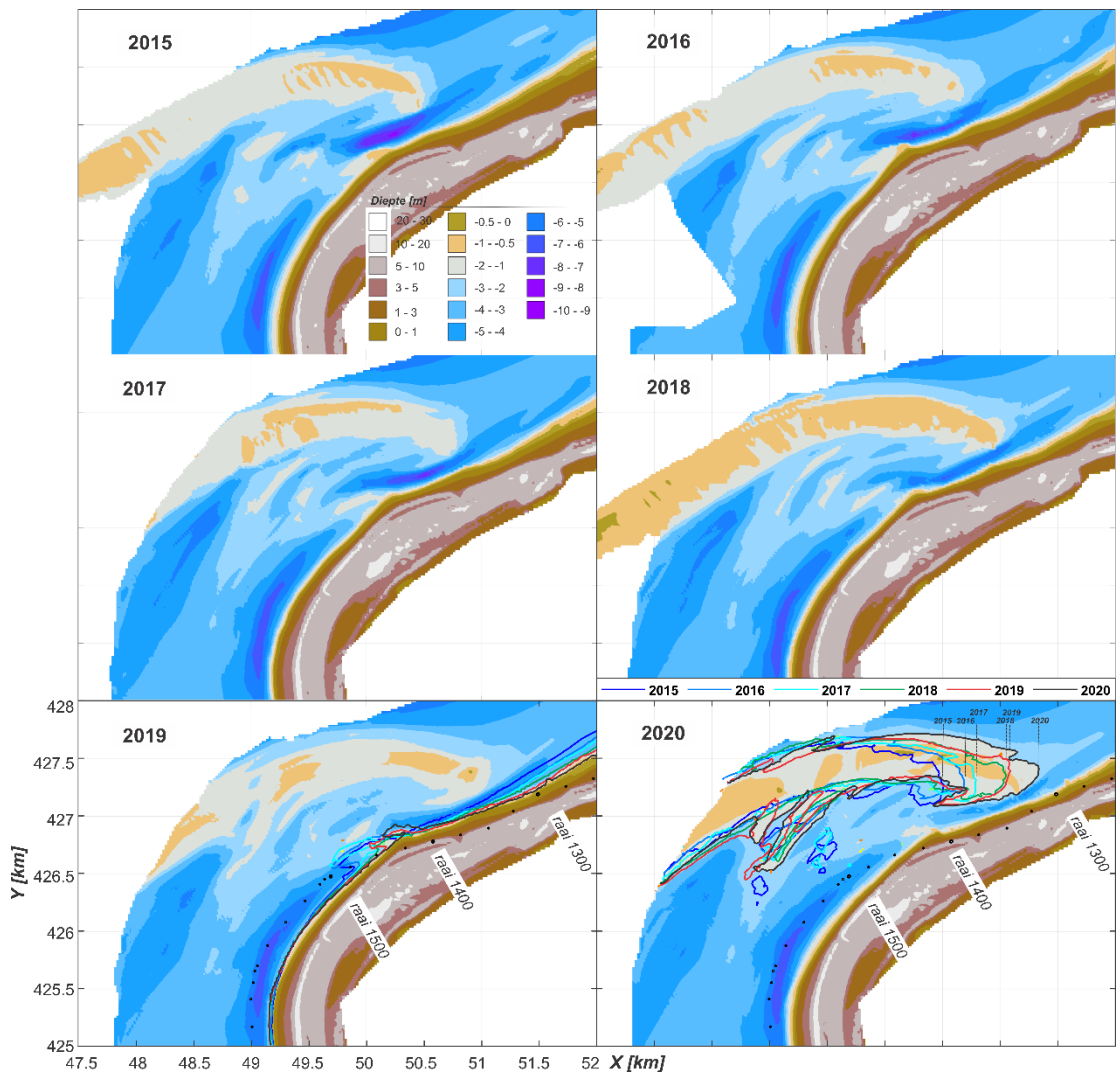


Figuur 3-11: Ontwikkeling volumes van de kop van de Bollen van de Ooster voor verschillende diepteklassen. Totaal is hier de optelsom van duingebied + droog strand + nat strand.

Figuur 3-12 geeft een gedetailleerd beeld van de huidige ontwikkeling van de BvO. In 2015 ligt de kop van de BvO bij raai 1400. In de volgende 5 jaar breidt de kop zich 750m uit in noordoostelijke richting. In 2020 ligt de kop ter hoogte van raai 1325. De tussenliggende Geul van de BvO is dan in breedte afgenomen.

Naast het opschuiven van de BvO valt ook op dat de bank varieert in hoogte. De bank was op zijn hoogst en vrijwel ononderbroken in 2018. In de periode 2015-2017 was een brede, ondiepe trog aanwezig. Deze trog is waarschijnlijk gerelateerd aan de vloedstroming. Stromingsmodellering (Elias, 2015; Groenewegen, 2019) laat zien dat de vloedstroming in Schaar noordelijk is gericht. Deze stroming kan de kromming van de kustlijn niet volgen, maar strekt zich over de BvO uit. In 2018 was de BvO tijdelijk duidelijk hoger dan in voorgaande jaren, met een vrijwel continue kruinhoogte tussen de -0.5 en -1m NAP. Deze kruinhoogte was instabiel en kon niet worden behouden. In de 2019 bodem is het hoge deel van de bank weggevaagd. Er lijkt een doorbraak te zijn geweest. Hierdoor ontstaat het begin van een geul door de BvO heen. De 2020 bodem laat zien dat deze doorbraak zich niet verder heeft ontwikkeld. De getijstrooming is blijkbaar niet voldoende om de geul open te houden. Het diepere platform (diepteklasse -1 - -2 m NAP) heeft zich dan al hersteld en weer een doorgaande bank gevormd. De hogere gelegen delen van de bank zijn wel groter dan in 2019, maar hebben nog geen volledig doorgaande bank gevormd.

In de SDB kan deze doorbraak ook worden teruggezien (Appendix C). Zowel de Jarkus data (2019) als de SDB data (Appendix C, Figuur C-3) laten zien dat er een doorbraak door de BvO ontstaat. Hoe deze doorbraak ontstaan is, is echter niet op te maken op basis van de data. De Jarkus data laten zien dat in 2018 de bank vrijwel ononderbroken is terwijl op basis van de SDB data geconcludeerd zou kunnen worden dat de doorbraak eind 2017 ontstaat. In de 01-10-2017 bodem is dan al een langgerekte bank te onderscheiden in de dataset (Appendix C, Figuur C-5). Deze bank blijft dan duidelijk zichtbaar in de SDB kaarten. De oorsprong van deze doorbraak ligt waarschijnlijk in 2016. Op De SDB data laat zien dat al in de 01-10-2016 kaart een inkeping aan de zeezijde van de BvO vormt ter hoogte van de doorbraak.



*Figuur 3-12: Recente morfologische veranderingen (2015-2020) rond de kop van Goeree en de BvO. De contourlijnen in de 2019 en 2020 opname geven een samenvatting van de verplaatsing van de -2m contour van de kustlijn van Goeree (2019) en de kop van de BvO (2020).*

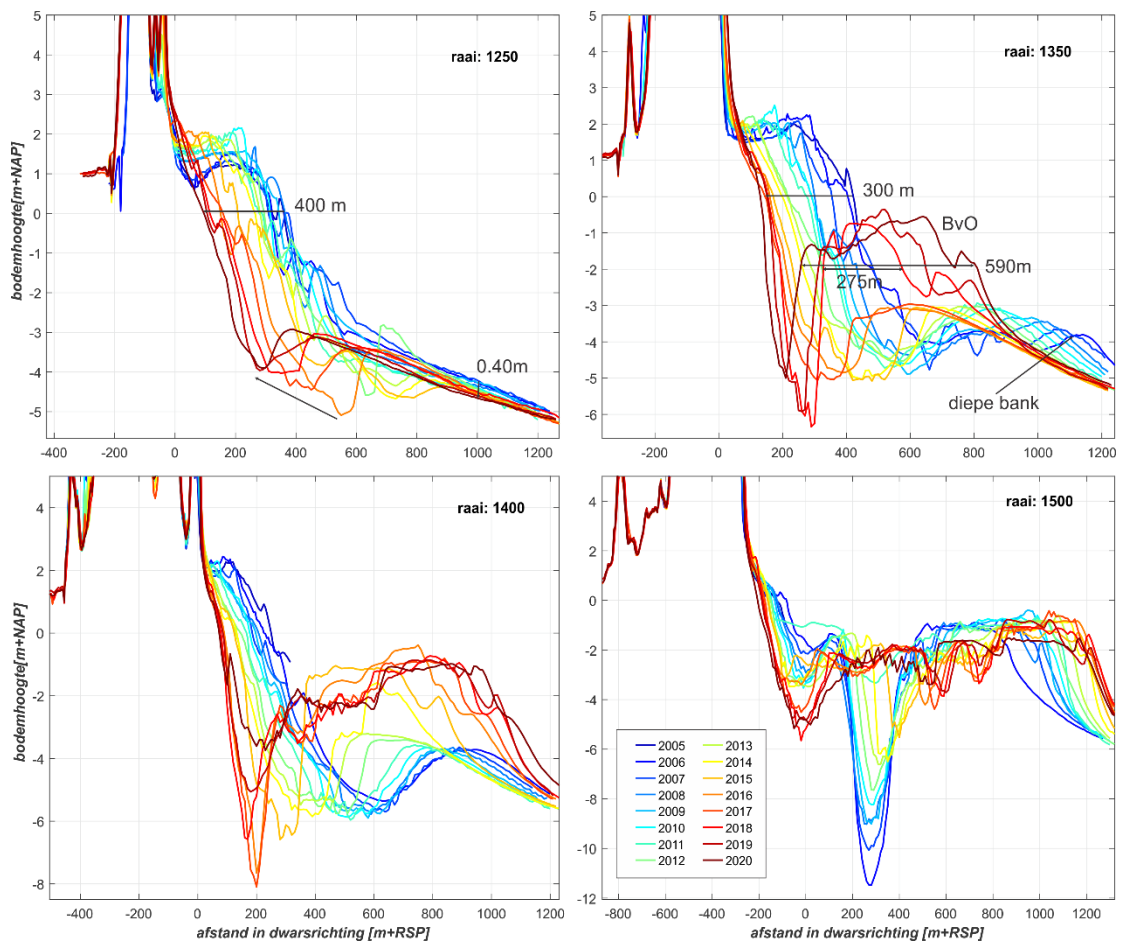
Een beeld van de veranderingen rond de kop van Goeree in 2020-2021 kan ook worden verkregen aan de hand van satellietopnamen die beschikbaar zijn via [www.Satellietdataportaal.nl](http://www.Satellietdataportaal.nl). In Figuur 3-13 worden de 3 meest recente opnamen getoond waarin de BvO duidelijk zichtbaar is. De juni 2020 opname komt overeen met de 2020 Jarkus opname zoals getoond in Figuur 3-7 en Figuur 3-12. In deze opname is de doorbraak door het deel intergetijdgebied van de BvO zichtbaar, evenals de kop, die zich tot dicht bij de kust van Goeree heeft uitgestrekt. De september 2020 en maart 2021 opnamen geven een vergelijkbaar beeld. In 2021 is de kop van de BvO nog verder noordwaarts verplaatst. Net als in eerdere metingen is te zien dat de kustlangse verplaatsing veel groter is dan de kustdwarse verplaatsing. De geul tussen de kop van de BvO en de kust van Goeree blijft aanwezig. Een erosiekuil vormt tegen het eerste strandhoofd van het Flaauwe werk bij RSP.

Op de BvO blijft de doorbraak zichtbaar. Deze doorbraak lijkt zich iets oostelijker te hebben verplaatst en er is een tweede kleine doorbraak zichtbaar (Figuur 3-13 boven). Vanuit de satellietdata is niet te onderscheiden of deze doorbraak zich beperkt tot de intergetijdzone of dat deze al dieper is uitgeschuurd.



Figuur 3-13; Drie recente opnamen van de BvO (Satellietdataportaal.nl). De verticale lijnen geven de ligging van de doorbraak en Kop van de BvO in Juni 2020.

De ontwikkeling van de kustlijn wordt verder geïllustreerd aan de hand van vier Jarkus profielen (raai 1250, 1350, 1400 en 1500), in Figuur 3-14 (2005-2020) en in Appendix D.1(1965-2020). Het bijbehorende verloop van de MKL wordt getoond in Figuur 3-15.



**Figuur 3-14:** Een overzicht van de diepteontwikkeling op basis van Jarkusraaien 1250, 1350, 1400 en 1500 over de periode 2005-2020. In Appendix D worden de volledige tijdseries sinds 1965 samengevat. De ligging van de raaien is weergegeven in Fig. 3-7.

Raai 1250 ligt net ten noorden van de kop van de Bollen van de Ooster, ter hoogte van het Flaauwe Werk. Deze raai vertoont een maximale zeewaartse uitbouw rond 2003. Sindsdien vertoont het profiel een vrijwel continue trend van terugtrekking. Sinds 2005 is het profiel 400m landwaarts verplaatst. Deze positie is echter nog wel zo'n 145 m zeewaarts van de 1965 locatie. Een klein geultje, met een diepte van 1 tot 2 m onder het ongestoorde profiel, ligt aan de teen van het talud. Wat ook opvalt is dat vooroever dieper dan -4 m hier 0.40 m in diepte is toegenomen. De kop van de BvO heeft deze raai nog niet bereikt, maar wel is al een omslag naar een eroderend MKL-volume te observeren (Figuur 3-15). Sinds 2012 is de MKL-positie met 140m landwaarts gegaan. Als die trend zich voortzet treedt er over 2 tot 3 jaar een overschrijding van de BKL-positie op.

In de huidige (2020) bodem ligt de kop van de BvO ter hoogte van raai 1325. De invloed van de BvO is in die raai echter beperkt zichtbaar. Raai 1350 geeft de invloed van de BvO beter weer (Figuur 3-14, Figuur 3-16). Hier is ook het landwaarts migreren (300m sinds 2005) van het gehele kustprofiel zichtbaar. Deze landwaartse migratie begint al in 1993 (Appendix D.1). Ook de vorming van de BvO is hier nu duidelijk herkenbaar. Tot 2016 was de BvO niet heel duidelijk herkenbaar in dit dwarsprofiel. Er was alleen een ondiepe bank te zien met een

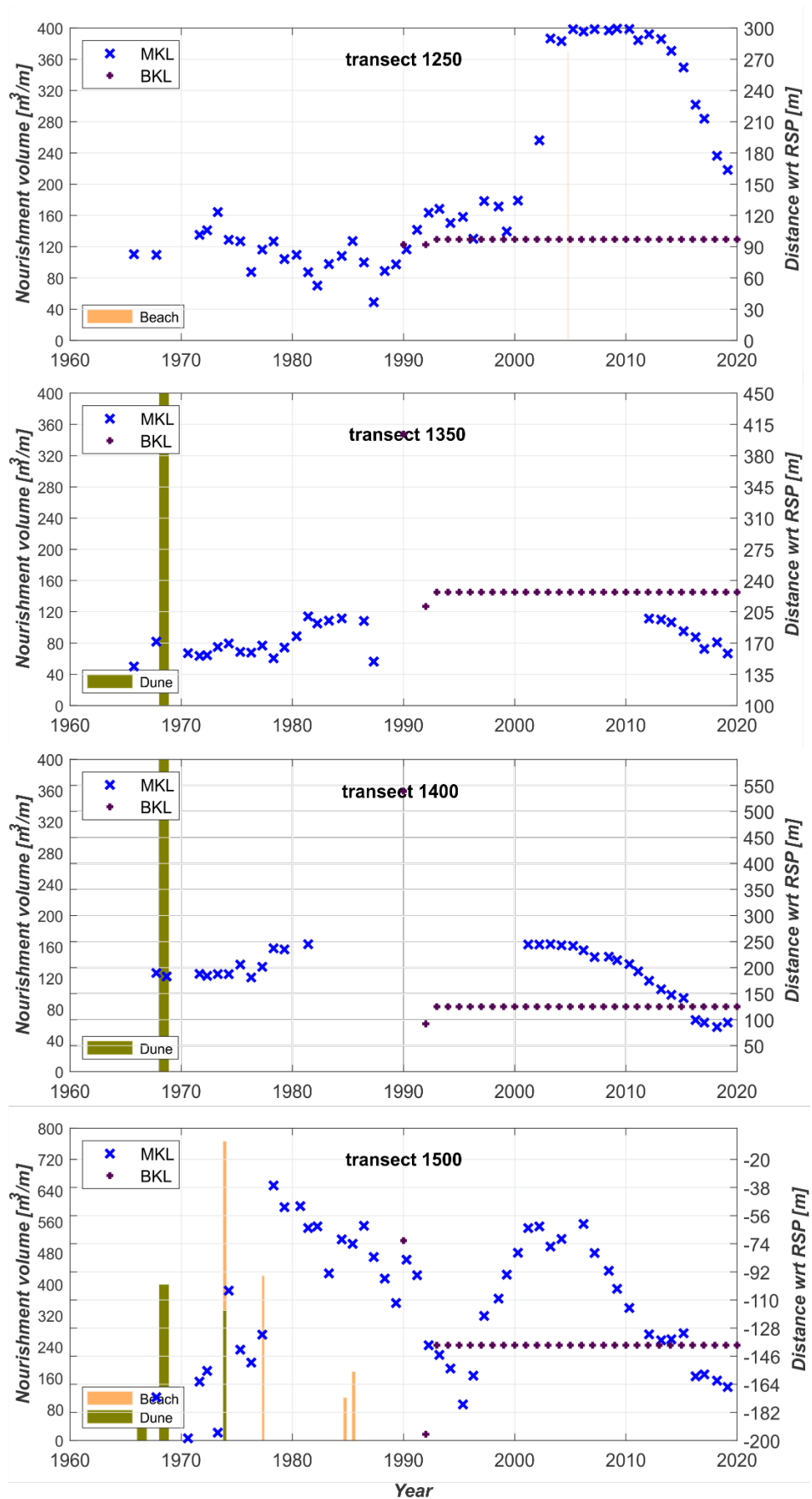
kruinhoogte van -3 m NAP. Dit bankje migreerde landwaarts en nam tussen 2016 en 2017 in omvang en hoogte sterk toe. Tussen 2016 en 2020 handhaaft de BvO een kruinhoogte tussen de -0.5 en -1 m. De breedte van de BvO neemt daarbij sterk toe; gemeten op de -2m contour van 275 naar 590m. Door de vorming van de bank ontstaat een geultje ingeklemd tussen de bank en de kust. Initieel blijft de geuldiepte gehandhaafd op een diepte van -5m NAP. Vanaf 2016 neemt de diepte van de geul toe en een maximale diepte van meer dan -6 m werd bereikt in 2018. Sindsdien is diepte afgenomen naar -5m NAP. Deze toename en vervolgens afname hangt samen met de kop van de BvO die zich rond 2016 in dit profiel bevond maar sindsdien weer verder noordoostelijk is gemigreerd. De geulbreedte nam af van 235m in 2018, naar 135m in 2019 en 105 m in 2020.

De MKL-positie vertoont op deze locatie niet over de gehele periode een dekking. Alle aanwezige MKL-posities liggen hier landwaarts van de BKL. De laatste 3 metingen geven een indicatie dat de MKL-terugtrekking afneemt.

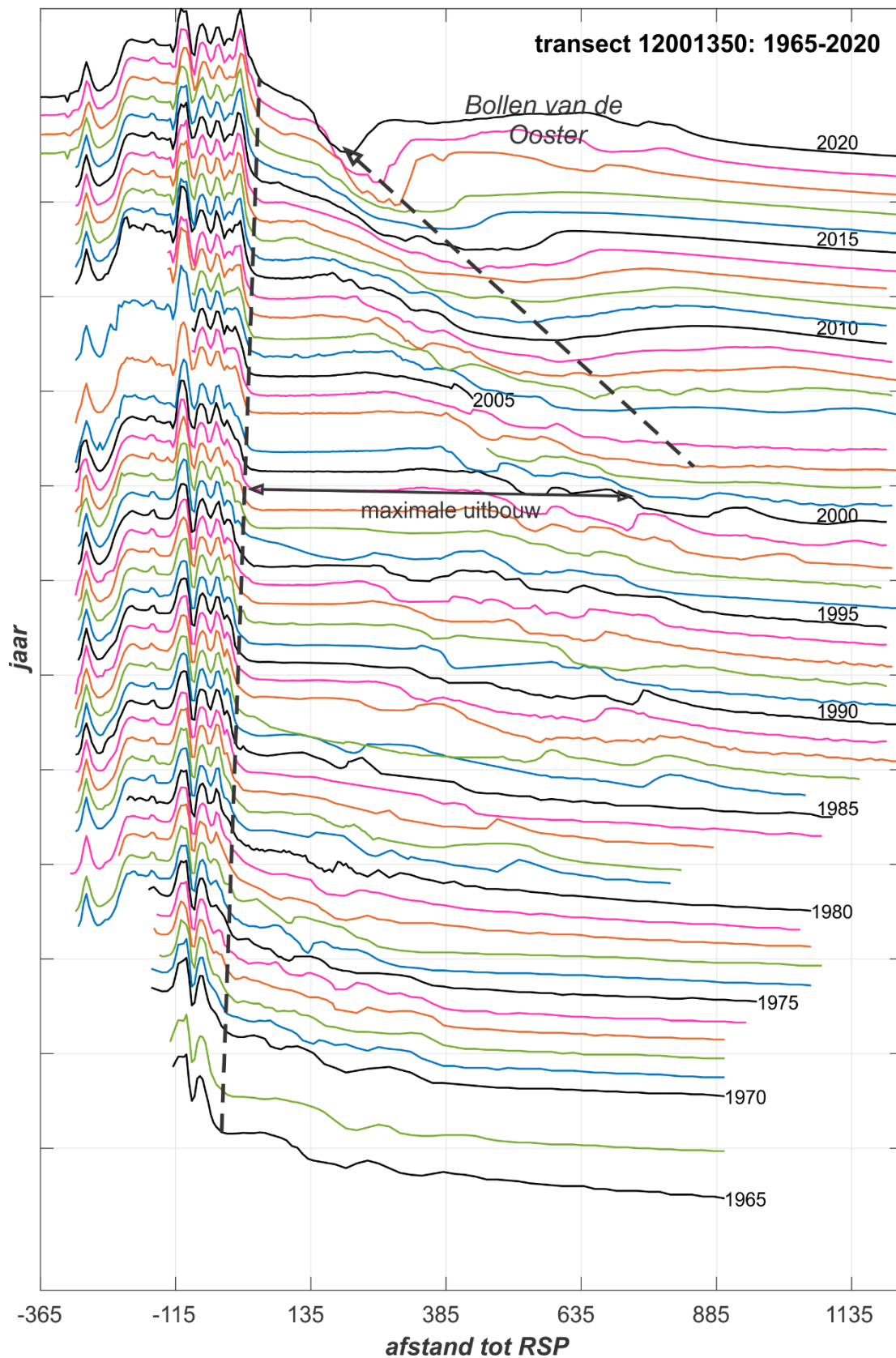
De profielen gelegen ten westen van de eilandkop (1400 en 1500) geven het opvullen van het gebied tussen de BvO en Goeree weer. In Profiel 1400 lijkt de ontwikkeling sterk op die van profiel 1350, alleen loopt dit profiel wat voor in de ontwikkeling. De opvulling van de geul is hier al verder gevorderd. Een maximale geuldiepte werd hier bereikt in 2017 (-8m NAP), sindsdien is de diepte afgenomen tot -3 m NAP. Dit opvullen van de geul heeft in het bovenste deel van het profiel (boven de -2m NAP) weinig effect. De kustlijn blijft hier teruggetrokken liggen. De MKL-ligging vertoont hier een doorgaande afname tot 2017. In de laatste metingen lijkt de MKL te stabiliseren.

Ook raai 1500 geeft een beeld van de morfologische ontwikkeling van het drempelgebied dat zich tussen Schaar en de kop van de BvO heeft gevormd. Dit drempelgebied bestaat uit een ondiep platform met een diepte van NAP -2m. Dit platform wordt doorsneden door kleinere geulen. Deze geulen variëren in positie en diepte. In 2005 was er nog een geul met een diepte van bijna 12 m aanwezig. Deze geul is vrijwel geheel ingevuld. Direct langs de kust heeft zich dan een nieuw klein geultje gevormd. Hierdoor is het kustprofiel sterk teruggetrokken.

Het MKL-verloop is hier grillig. Afhankelijke van het aanlanden van banken of de vorming van geulen vertoont de MKL een ligging ver zeewaarts van de BKL of teruggetrokken tot landwaarts van de BKL. Vanaf 2006 is de MKL hier sterk teruggetrokken. Tussen 2011 en 2014 lag de MKL tijdelijk rond de BKL positie, maar vanaf 2015 ligt de MKL dan zo'n 20m landwaarts van de BKL. Waarschijnlijk is deze ontwikkeling gerelateerd aan het iets noordoostelijk verplaatsen van het drempelgebied, in het kielzog van de migratie van de kop van de BvO. Hierdoor kan Schaar zich iets verder uitstrekken langs de kust van Goeree.



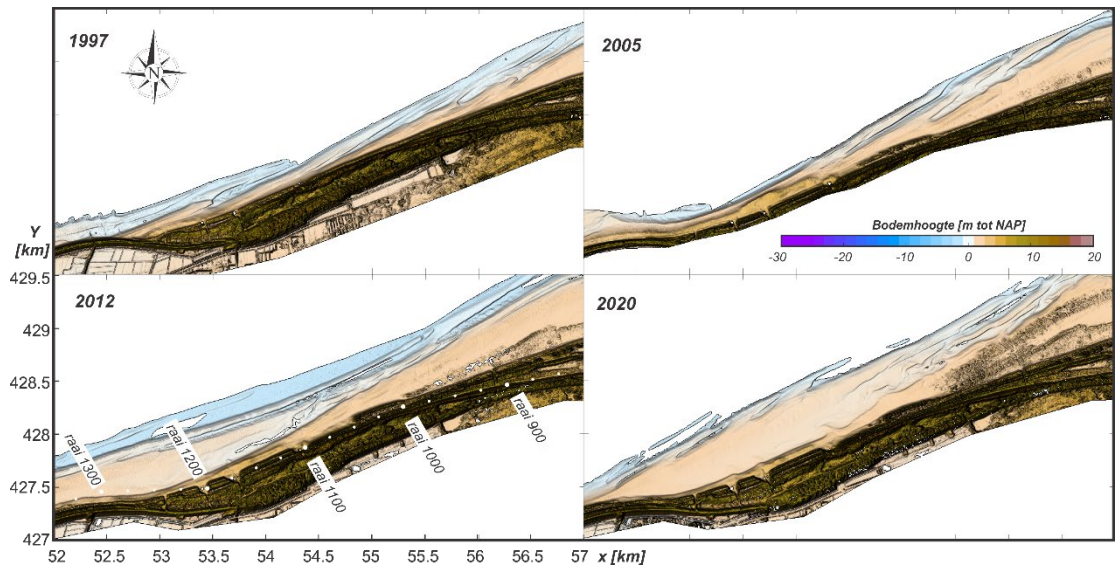
Figuur 3-15: Een overzicht van de MKL ontwikkeling van raaien 1250, 1350, 1400 en 1500. Zie Appendix D.1 voor aanvullende MKL figuren voor raaien 1100 – 1325.



Figuur 3-16: Een timestack voor de dwarsprofiel ontwikkeling van raai 1350 over de periode 1965-2020.

### 3.3 Centrale Noordzeekust van Goeree.

Het Flauwe Werk ligt tussen raaien 1050 en 1325. Hier is ook een knik in de kustlijn zichtbaar en zijn er in het verleden 9 strandhoofden aangelegd. Deze strandhoofden zijn zichtbaar in de 1997-opname van de LiDAR dataset (Figuur 3-17). Ten westen van het knikpunt is de breedte van de duinenrij en het strand minimaal, ten oosten hiervan is de duinenrij breder. Ook ontstaat hier sinds 2005 een breder (intergetijde) strand.



Figuur 3-17: Een overzicht van de ontwikkeling van de kust bij het Flauwe Werk en Kwade Hoek West aan de hand van de 1997, 2005, 2012 en 2020 LiDAR opname.

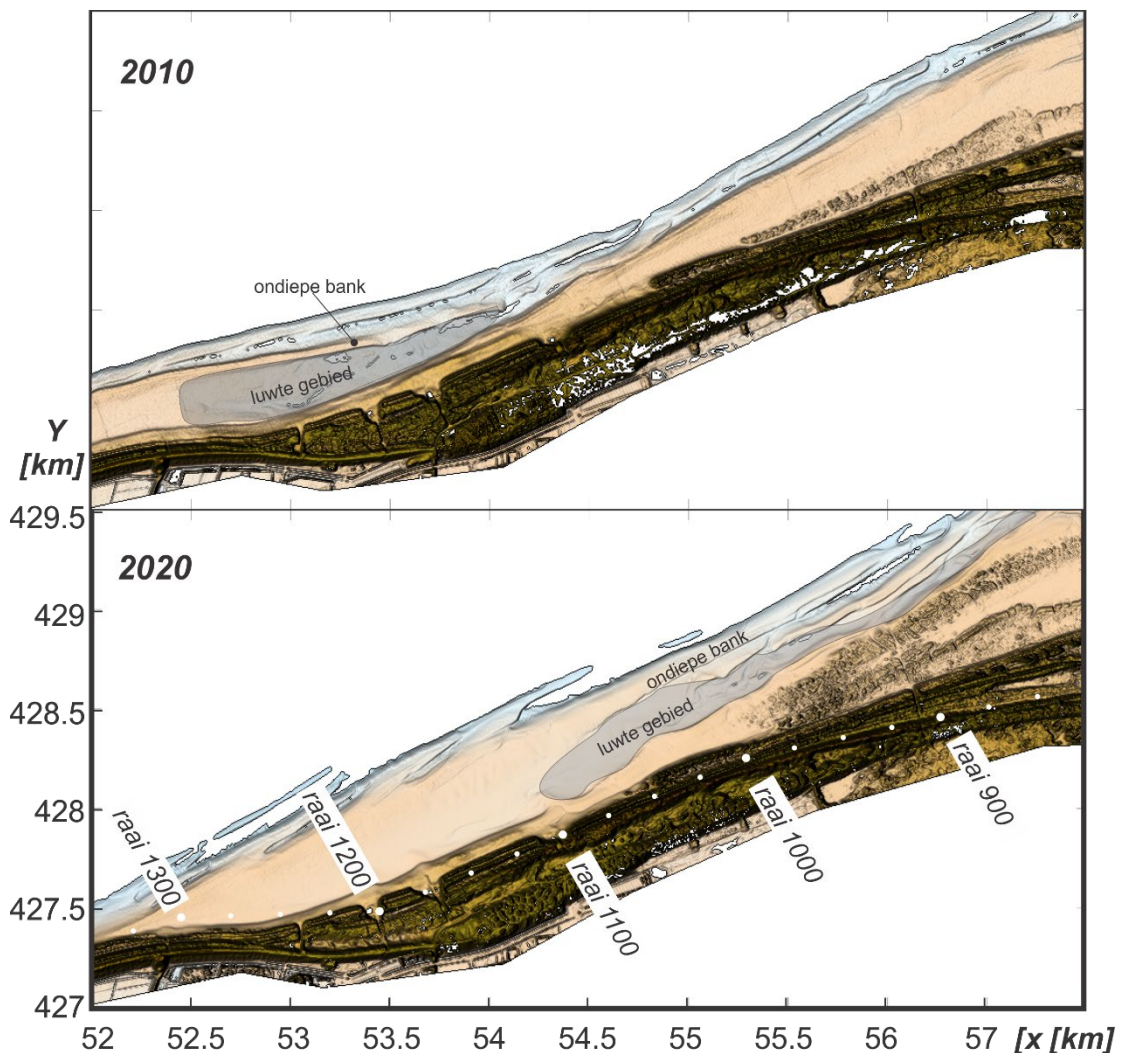
De kustontwikkeling vertoont een duidelijke tweedeling in gedrag. De kust was minimaal in breedte gedurende de periode 1965-2005 maar nam daarna sterk in breedte toe. Er ontstaat een platform met een hoogte tussen de +1 en +2m NAP. Dit platform is ook in de recente bodems nog duidelijk aanwezig. Dit platform vormt zich als resultaat van twee morfologische ontwikkelingen. Ten eerste bouwt de kust als een soort driehoek zeewaarts uit. In raai 1200 blijft de kustlijn tot 2005 eigenlijk stabiel en heeft een minimale ligging. Richting het oosten neemt de kustuitbouw toe. In raai 900 is de uitbouw zo'n 600m. De 2012 bodem (Figuur 3-17) illustreert de zo gevormde driehoekige uitbouw. Deze driehoek wordt sinds 2007 ingevuld. Zandtoevoer vanaf de Bollen van de Ooster speelt hier waarschijnlijk een belangrijke rol. In 2020 is een breed uitgebouwd platform te zien met een breedte van meer dan 400m.

De LiDAR data geven een duidelijke illustratie van de vorming van langgerekte banken die zich kustlangs ver uitstrekken. Deze banken spelen naar alle waarschijnlijkheid een belangrijke rol in de slibproblematiek die speelt op het strand van Ouddorp. In Figuur 3-18 is getracht dit te illustreren aan de hand van de 2010 en 2020 bodemopname. De 2010 bodemopname laat een langgerekte ondiepe bank zien die zich vanaf het Flauwe werk (raai 1250) ver kustlangs uitstrekt (tot raai 1050). Achter deze bank ligt een iets diepere zone, die afgeschermd wordt van de kustprocessen door de bank. In dit luwtegebied kan slib makkelijk bezinken en zo een sliblaag op het strand vormen. Deze banken kwamen eigenlijk al gedurende de gehele meetperiode voor, alleen werden deze meer oostelijk, nabij de Kwade Hoek gevormd. Rond 2003 beginnen deze banken zich ook direct vanaf het Flauwe werk te vormen.

In 2012-2020 bouwt het strand rond raai 1100-1200 zich steeds hoger op. De luwtezone lijkt dan oostelijk te zijn verplaatst (raai 1100-900). Met toenemende opvulling van het strand neemt de ruimte voor slibdepositie af. In 2020 is het strand tot raai 1100 van een dusdanige

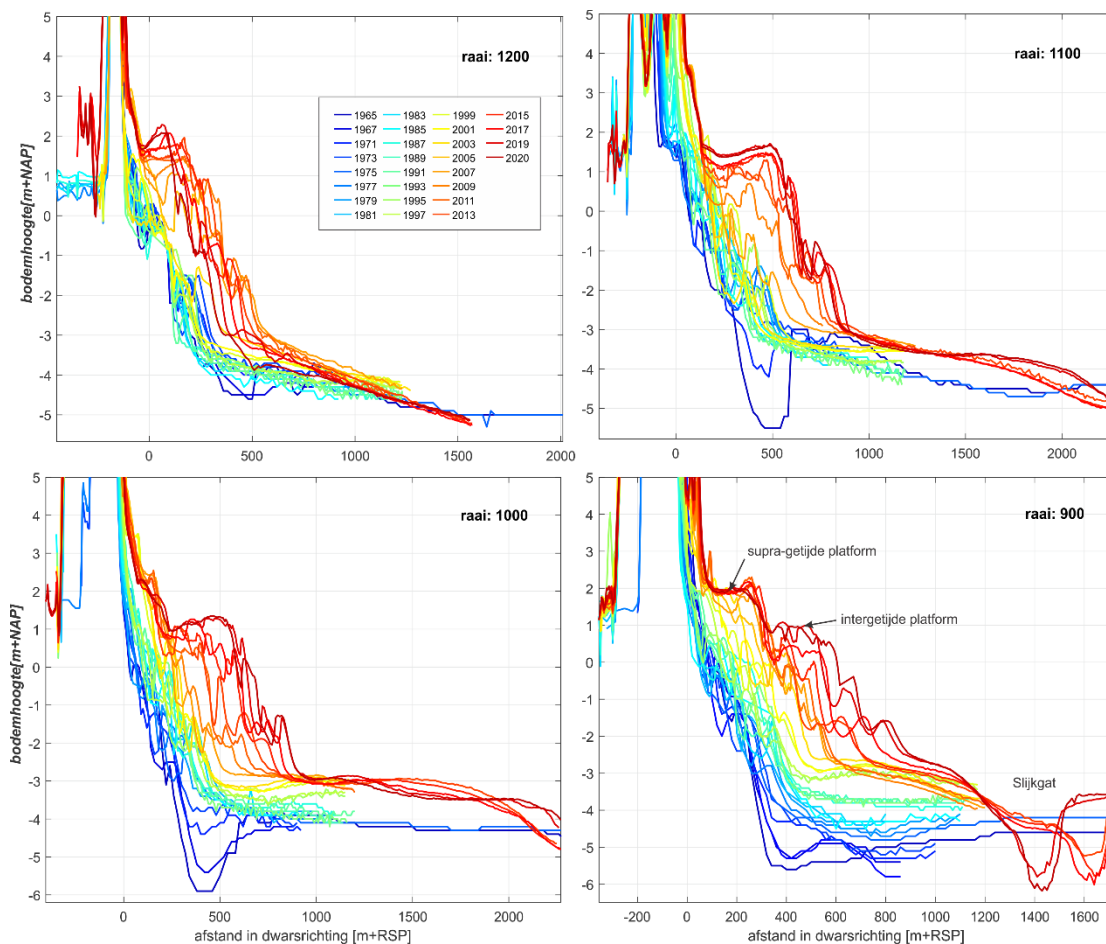


hoogte dat in dit deel waarschijnlijk minder slibafzetting zal optreden. Ten oosten van raai 1100 is zo'n zone nog wel duidelijk zichtbaar (Figuur 3-18, onder) en kan slibdepositie nog steeds optreden.



Figuur 3-18: Een overzicht van de het droogvallende strand nabij Ouddorp aan de hand van de 2010 en 2020 LiDAR opname. Het grijze vlak illustreert de mogelijke locatie voor slibdepositie.

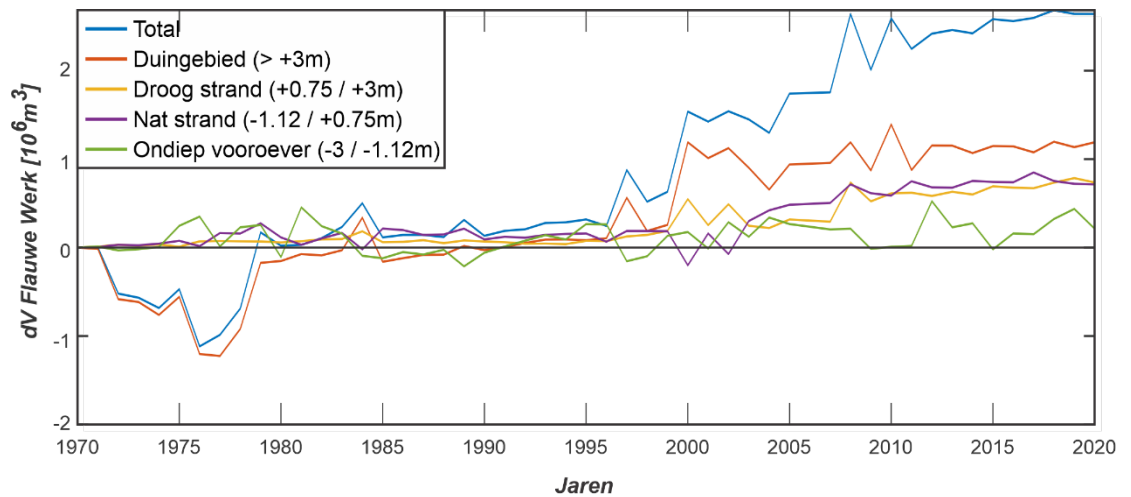
Bovenstaande ontwikkelingen van het kustprofiel worden in detail getoond aan de hand van geselecteerde dwarsprofielen (1200, 1100, 1000 en 900) in Figuur 3-19. Deze profielen laten duidelijk zien dat richting de Kwade Hoek de kustuitbouw een doorgaand proces is (raai 900). In deze raai bouwt de kust over de gehele periode al geleidelijk uit. Tegen de duinen aan ontstaat een 200m breed supra-getijde platform met een hoogte van +2 m. Recentelijk, sinds 2005, neemt de voorliggende vooroever ook in hoogte toe en ontstaat er een tweede intergetijde platform met een hoogte van +1m NAP. Aan het zeewaartse uiteinde van het profiel is sinds 2013 het voorliggende Slijkgat ook ingemeten. De geul ligt hier zo'n 2 m onder het kustprofiel dat aanwezig was voordat de geul zichtbaar was.



Figuur 3-19: Een overzicht van recente kustprofielen op basis van Jarkusraaien 1200, 1100, 1000 en 900 over de periode 1965-2020. In Appendix D worden de recent periode (2005-2020) in meer detail getoond.

De uitbouw van de kust komt ook tot uitdrukking in de zandvolumes. Sinds 1970 is het volume in de Jarkuszone, tussen raai 800 en raai 1275 met 2,9 miljoen m<sup>3</sup> toegenomen. Ten opzichte van het minimum in 1977 is deze toename 3,8 miljoen m<sup>3</sup>. De toename in de periode 1977-1979 zal mede veroorzaakt zijn de suppleties die hier zijn uitgevoerd.

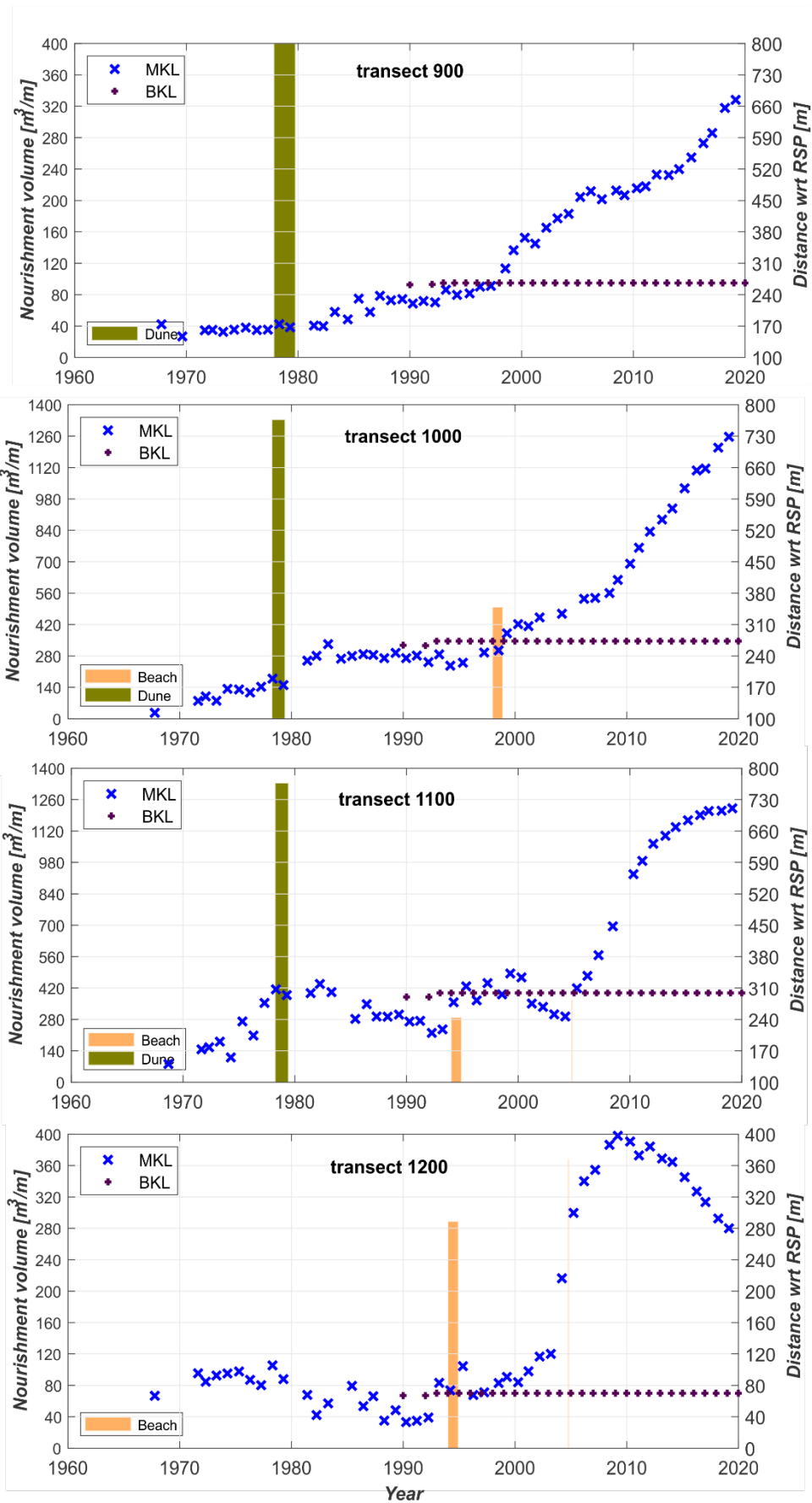
De volumetijdseries laten zien dat de toename van de duinen een continu proces is sinds 1979, met een trendwaarde van 0,04 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. De sprong in duinvolume in 2000 beïnvloedt deze trendwaarde nauwelijks. De strand- en intergetijdevolumes blijven tot 1995 vrijwel stabiel. Sinds 1995 neemt het volume tot 2017 toe met 1,5 miljoen m<sup>3</sup>. Sinds 2017 blijven de volumes vrijwel stabiel. De zandvolumes in de zone tussen GLW en de -3m NAP nemen tot 2007 toe met een maximum van 1,4 miljoen m<sup>3</sup>. Sinds 2008 is het volume stabiel.



Figuur 3-20: Een overzicht van de volumeveranderingen van het Flauwe Werk en Kwade Hoek West. Zie Figuur 3-3 voor ligging polygoon.

Figuur 3-21 geeft een overzicht van de MKL ontwikkeling. Deze bevestigt nogmaals het beeld dat de volumes van de kustzone richting de Kwade Hoek sterk toenemen. In raaien 900 en 1000 is er een doorgaande trend van sterke zeewaartse MKL-verplaatsing sinds 1999. Deze trend zet zich ook in de meest recente datapunten door.

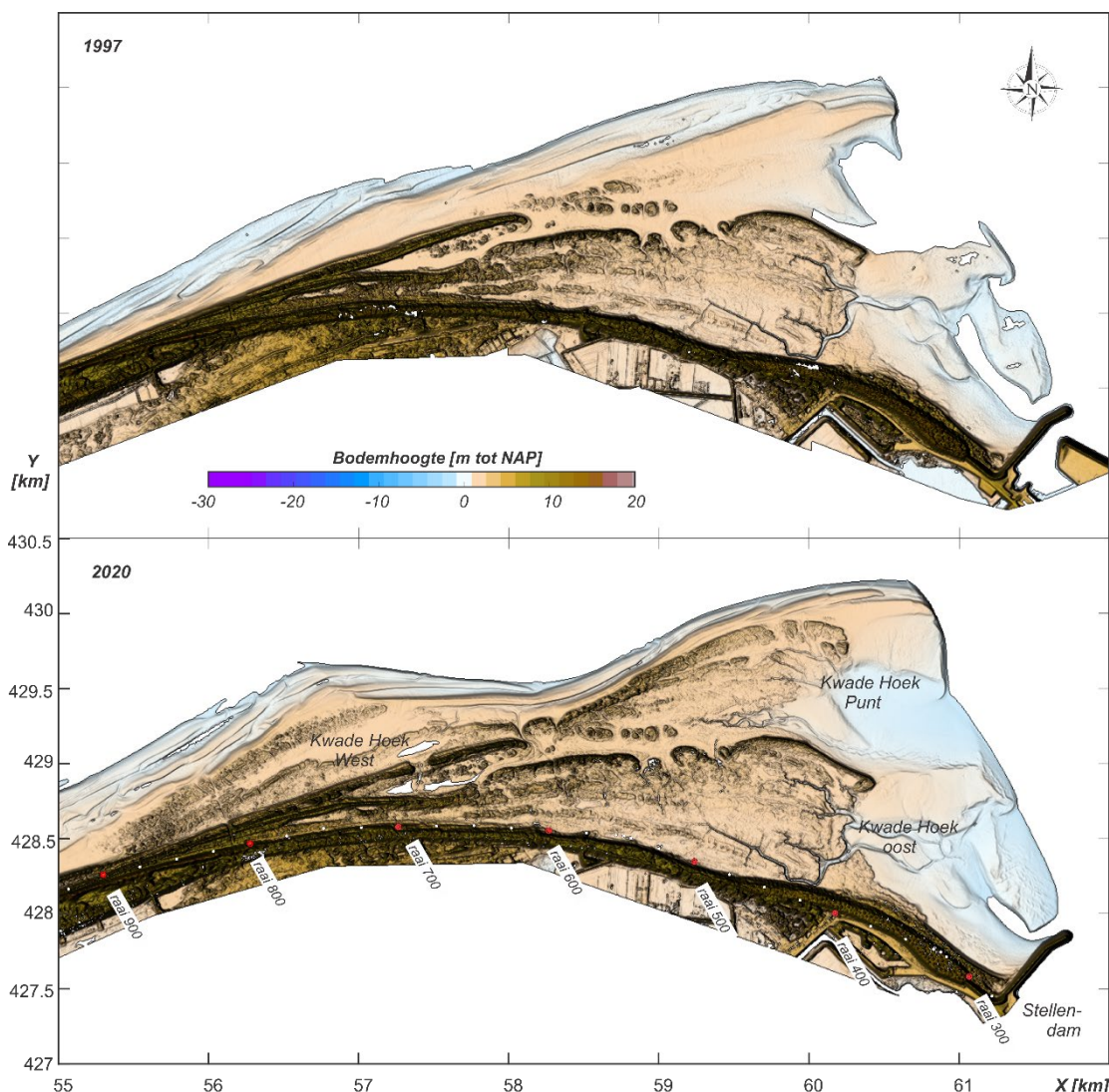
Het noordoostelijk opschuiven van het gebied waar kusterosie optreedt is in de figuren voor raaien 1100 en 1200 te zien. In raai 1100 stabiliseert de trend van MKL toename. De MKL ligt hier in 2020 wel 420 m zeewaarts van de BKL. In raai 1200 nam de kust in de periode 2000-2010 tijdelijk sterk in volume toe. Sindsdien is er een doorgaande trend van terugtrekking. In 10 jaar is de MKL hier 120m landwaarts verplaatst. Aangezien de MKL hier ruim 200m zeewaarts van de BKL ligt duurt het, als de huidige trends onveranderd voortzetten, nog meer dan 10 jaar voordat de BKL wordt overschreden.



Figuur 3-21: Een overzicht van de MKL ontwikkeling voor raaien 900, 1000, 1100 en 1200.

### 3.4 Kwade Hoek

Aan de zeezijde van de Kwade Hoek hebben zich grote morfologische veranderingen voorgedaan sinds 1997 (Figuur 3-22). Het oostelijke, landwaartse deel, van de Kwade Hoek bleef daarbij vrijwel onveranderd. In de Kwade Hoek Oost vertoont de kust een doorgaande uitbouw. De tijdserie van LiDAR opnamen, gepresenteerd in Appendix E.1, geeft goed inzicht in de onderliggende processen.



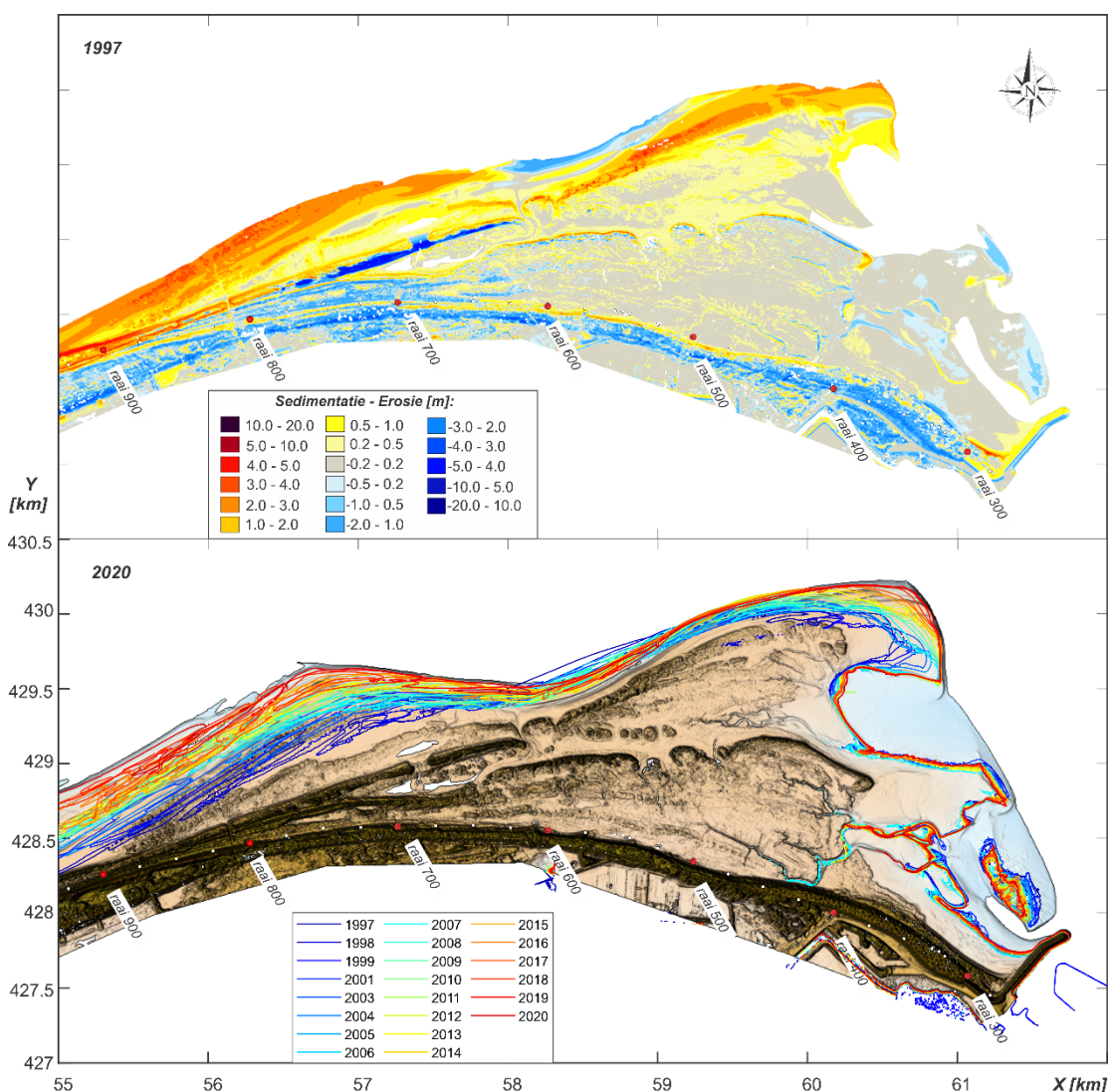
Figuur 3-22: Een overzicht van de ontwikkeling van het droogvallende deel van de Kwade Hoek op basis van de 1997 en 2020 LiDAR opname.

Vanaf de noordwestkust van Goeree vindt golfgedreven zandtransport plaats. Dit accumuleert in langgerekte banken of spits. In 1997 is zo'n bank al gevormd. Deze bank groeit verder uit (1997-2001). In 2001 is een langgerekte spit gevormd die al bijna verheeld is met het al aanwezige strand van de Kwade Hoek Punt. Deze spit wordt verder gevoed door kleinere banken die verhelen met de kust. In 2001 is ook de uitbouw nabij de Kwade Hoek West te zien. Sinds 2001 lijkt de bulk van het sediment juist hier aan te landen. Hierdoor ontstaat een sterke uitbouw en neemt ook de hoogte van het strand toe (Figuur 3-23). Een deel van het sediment voedt nog steeds de Kwade Hoek Punt, maar de aanlandingsbanken zijn kleiner dan voor de vorming van Kwade Hoek West.

In 2008 is de vorming van een nieuwe duinenrij, zeewaarts van de oorspronkelijke duinen, zichtbaar. Deze nieuwe duinenrij strekt zich vanaf Kwade Hoek West ook over de Kwade Hoek Punt uit.

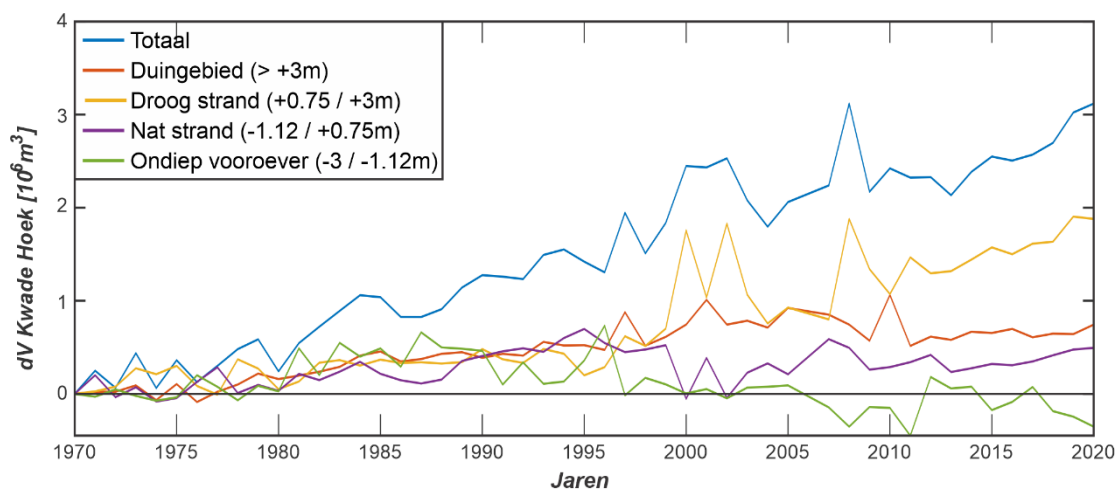
De LiDAR-data illustreren duidelijk dat de recente morfologische ontwikkeling van de Kwade Hoek gedomineerd wordt door de zandtoevoer langs de noordwestkust van Goeree. Er zijn zandbanken te zien die zich vanaf de BvO langs de kust verplaatsen. Zandtoevoer vanaf de Haringvlietmonding lijkt beperkt. De morfologische ontwikkeling van de Haringvlietmonding lijkt aldus een kleinere rol te spelen. Een directe invloed is eigenlijk alleen waarneembaar in de insnoering van het Slijkgat.

Nabij de RSP-lijn is er langs de hele kust een smalle zone waarin de duinhoogte lijkt af te nemen. Het is echter de vraag of dit ook daadwerkelijk optreedt. In dit gebied zijn hellingen groot, waardoor een klein verschil in positie een relatief groot verschil kan veroorzaken. Daarnaast kan het wel of niet voorkomen van vegetatie en correcties hierop een verschil opleveren.



Figuur 3-23: Een samenvatting van de morfologische veranderingen over de periode 1997-2020 door middel van het sedimentatie-erosie patroon (boven) en de ligging van de NAP 0m contour lijn.

De volumeverandering van de Kwade Hoek vindt vooral aan de Noordzeezijde plaats (Figuur 3-23, boven), voornamelijk in de strandzone, 1.9 miljoen m<sup>3</sup> sinds 1965. Ook het intergetijdegebied (+0.5 miljoen m<sup>3</sup>) en de duinen (+0.7 miljoen m<sup>3</sup>) nemen in volume toe. In totaal geeft dit een toename van 3.1 miljoen m<sup>3</sup>. Het diepere deel van de vooroever neemt juist iets in sedimentvolume af. Door verdieping van het Slijkgat neemt het volume af met -0.35 miljoen m<sup>3</sup>.



Figuur 3-24: Een overzicht van de volumeveranderingen van het Flauwe Werk en Kwade Hoek West.

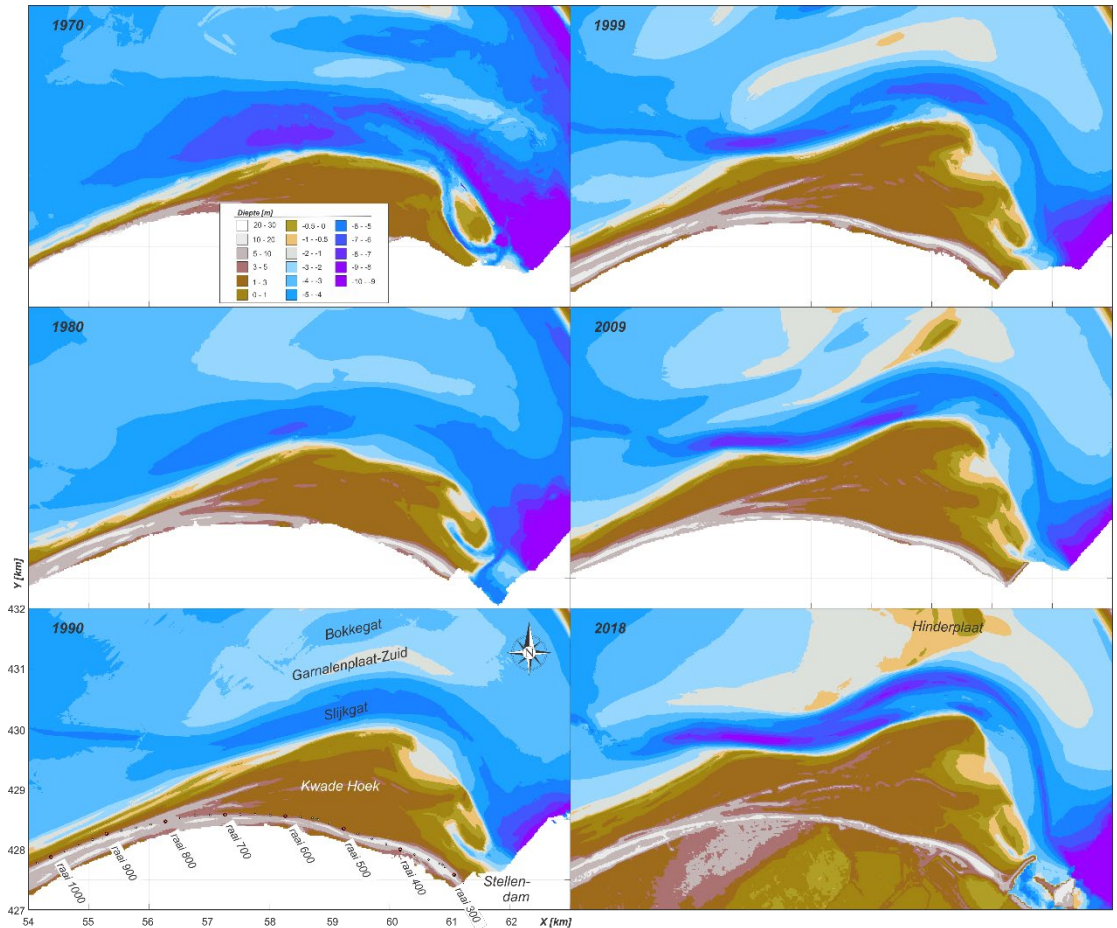
## 3.5 Ontwikkeling van het Slijkgat

In deze studie is de ontwikkeling van het Slijkgat slechts beperkt geanalyseerd. De focus ligt op de verandering in geulligging door de uitbouw van de Kwade Hoek.

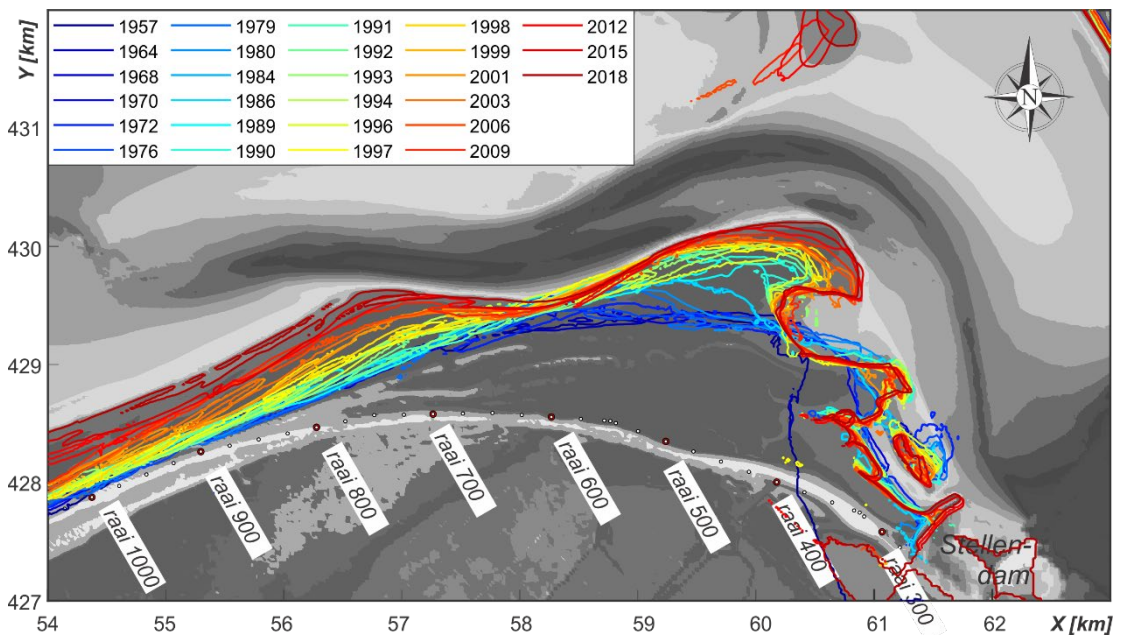
### 3.5.1 Uitwisseling Slijkgat met de Kust

De ontwikkeling van het Slijkgat over 1970-2018 wordt in detail getoond in Figuur 3-25. Aanvullende bodemkaarten worden getoond in Appendix A.2. Het Slijkgat heeft een west-oost oriëntatie en loopt vanaf de Noordzee langs de kust van Goeree richting de Haringvlietsluizen. Bij de Haringvlietsluizen gaat het Slijkgat over in de geul Noord-Pampus. Ten zuiden van het Slijkgat ligt de Kwade hoek. Deze strandvlakte had in 1970 nog een vloeiende kustlijn, maar door aanzanding zijn er grote strandhaken ontstaan (zie 3.4 en Figuur 3-26). De groei van de Kwade Hoek en de vorming van de strandhaken heeft het Slijkgat sterk beïnvloed. De geul volgt namelijk de oriëntatie van de kustlijn.

Tussen 1957 en 1970 werden in een aantal fasen de Haringvlietdam en -sluizen gebouwd. In 1970 werd het laatste, noordelijke, sluitgat in het Haringvliet gedicht en was de monding gescheiden van het estuarium. Het Slijkgat fungeert sindsdien alleen nog als hoofdafvoergeul van het rivierwater en als toegangsheul tot de haven van Stellendam.



Figuur 3-25: Bodemligging zuidelijke deel Haringvlietmonding en Slijkgat tussen 1970 en 2018.



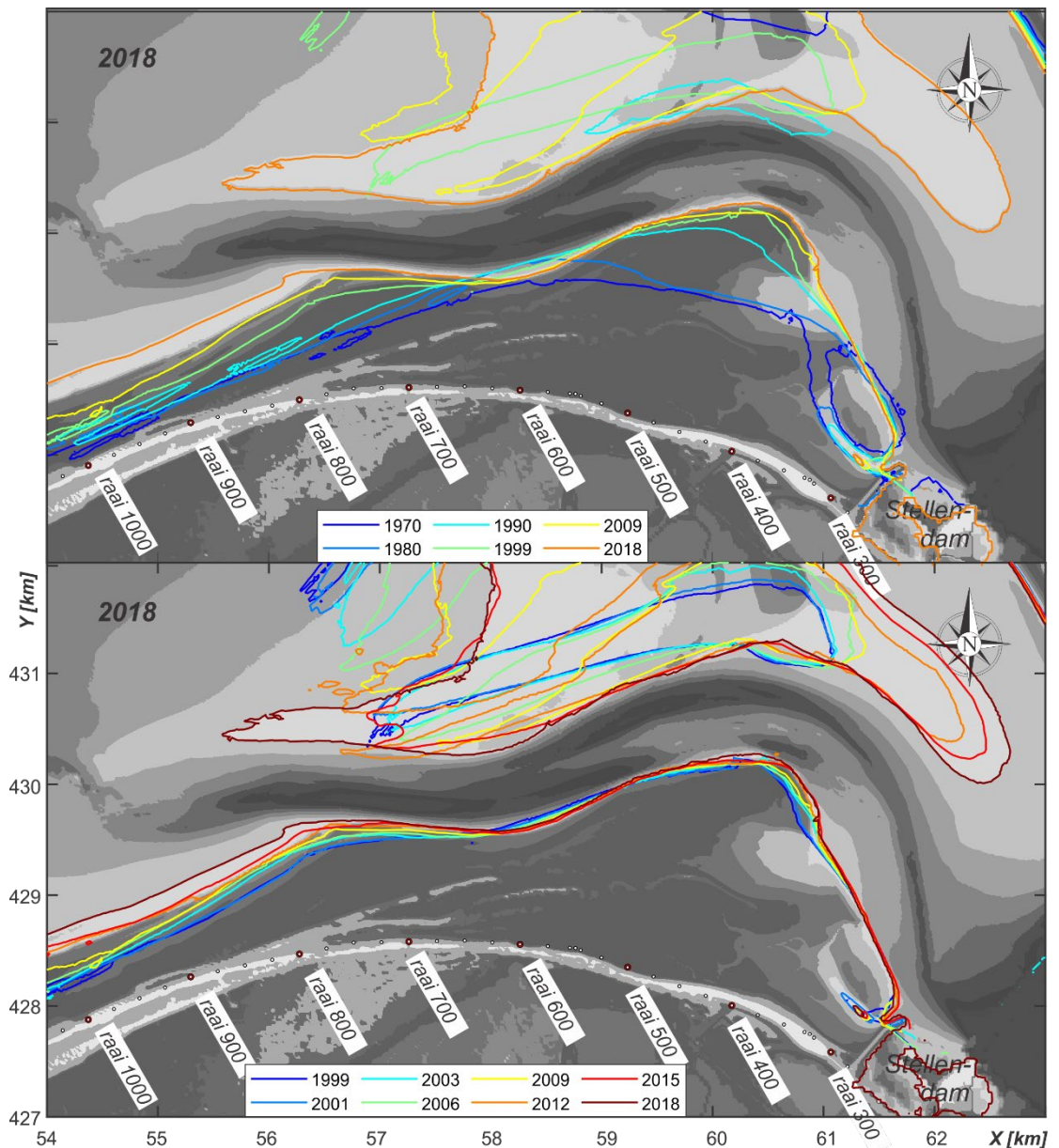
Figuur 3-26: Verplaatsing van de 0m- contour lijn op basis van de Vakkodgingen data over 1957-2018.

Naast het opdringen van de Kwade Hoek beïnvloeden ook de banken ten noorden ervan het Slijkgat. Deze banken laten na afsluiting van het Haringvliet grote morfologische veranderingen zien (Figuur 3-25 en Figuur 3-27). De bank die de noordzijde van het Slijkgat flankiert heet de Garnalenplaat-Zuid. In 1970 ligt deze bank nog diep en strekt zich ver uit

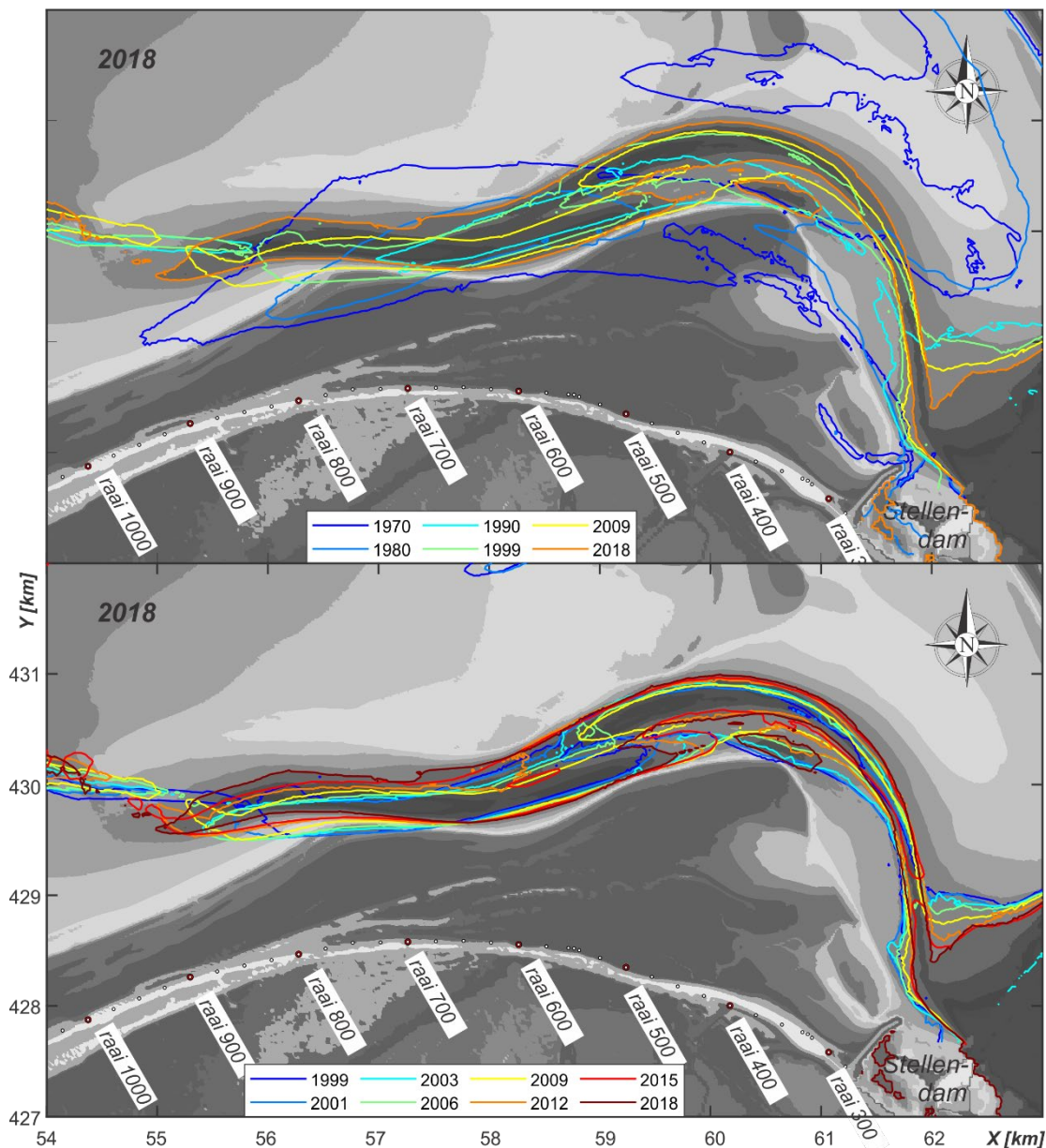


over de monding. Aan de noordzijde van de Garnalenplaat-zuid ligt een kleinere geul Bokkegat. De Garnalenplaat-Zuid verplaatst sinds 1970 landwaarts en zuidwaarts. Deze veranderingen hangen samen met de afsluiting van het Haringvliet. Door het verlies van het estuariene getij wordt sediment onder invloed van golven landwaarts getransporteerd (Van der Spek en Elias, 2021). De gehele Haringvlietmonding wordt zo landwaarts geduwd. De banken, waaronder de Garnalenplaat-Zuid, verplaatsen landwaarts en nemen sterk in hoogte toe. In 2020 is er een relatief ondiepe grote bank ontstaan aan de noordzijde van het Slijkgat. Deze bank vormt onderdeel van het grootschalige Hinderplaat complex.

Het Slijkgat zelf ondergaat grote veranderingen. Door het verlies aan getij en de bijbehorende stromingen kan het grote, brede Slijkgat, zoals aanwezig voor afsluiting van het Haringvliet, niet worden gehandhaafd. Het Slijkgat wordt snel minder breed (Figuur 3-28), alhoewel de diepte min of meer op peil blijft. Hiervoor is wel is er intensief baggeren benodigd in een aantal drempel gebieden.



Figuur 3-27: Verplaatsing van de -2m- contour lijn op basis van de Vaklodgingen data over 1970-2018.



Figuur 3-28: Verplaatsing van de -5m- contour lijn op basis van de Vaklodgingen data over 1970-2018.

### 3.5.2 Dwarsprofielen

#### Raai 300

Deze raai ligt net ten noorden van de havendam van de buitenhaven van Stellingdam. Hier is duidelijk het verondiepen van het Slijk gat zien. Tussen 1965 en 1970 verandert de landwaartse geulwand van het Slijk gat van een flauwe naar een steile helling. Vanaf 1970 blijft de geulwand steil, maar vult de geul wel op met sediment. De geulbodem is met 3.2 m toegenomen. Deze opvulling zet zich ook nu nog door. In de periode 2005-2020 was de toename +1.1m. Alleen op 1300m van de RSP neemt de geuldiepte niet af. Hier spelen de baggerwerkzaamheden een rol.

#### Raai 400.

De grote uitbouw van de Kwade Hoek Oost en Punt is duidelijk te zien in Raai 400. Het Slijk gat was in 1965 nog een bijna 10m diepe, smalle geul. Deze geul is rond 1975 al opgevuld tot bijna NAP -5m. De landwaartse geulwand vult steeds verder in en verplaatst noordelijk. Tot 2000 bepaalt deze invulling de ontwikkeling van het dwarsprofiel. De

geulwand is dan al zo'n 600m noordelijk verplaatst. In de periode 2000-2020 ontstaat een hoge bank in het profiel (de uitbouw van de Kwade Hoek Punt). Deze uitbouw zorgt ervoor dat er een steile geulwand ontstaat, die tussen 2005 en 2020 nog bijna 150m noordelijk verplaatst. Tussen de bank en de kust ontstaat een lagune met een diepte rond NAP -1.25m. Deze lagune vult langzaam op met sediment. In 2020 ligt de diepte rond NAP -0.70m.

Tot 2015 verplaatst de gehele geulwand noordelijk. Rond 2015 treedt aan de teen van de geulwand een verandering in gedrag op en tot 2020 wordt deze weer enkele meters dieper.

#### *Raai 500*

Deze raai doorsnijdt de Kwade Hoek Punt en laat de sterke uitbouw van de strandvlakte zien. Sinds 1965 is het Slijkgat opgevuld en is de kust hier sterk uitgebouwd (+775 m). Er heeft zich een strandvlakte gevormd met een hoogte rond de NAP +2m. In de periode 2005-2020 ligt het profiel vrijwel stabiel in positie. Deze raai blijft sinds 2005 vrij stabiel liggen. Alleen in het Slijkgat zijn grote fluctuaties aanwezig.

#### *Raai 600*

Raai 600 ligt aan de Noordzeezijde van de Kwade Hoek. Het dwarsprofiel vertoont kleinere veranderingen dan de voorgaande raaien. In de periode 1965-1990 is het profiel zeewaarts uitgebouwd, maar sindsdien trekt het weer langzaam terug. Het profiel ligt in 2020 ongeveer op de positie zoals in 1980. De geuldiepte van het Slijkgat vertoont een overeenkomstige slingering. De diepte nam af van een kleine -10m NAP in 1965 tot een minimale ligging van -5m NAP in 1991. In 2020 is de diepte dan weer toegenomen tot -7.25 m NAP. De geulwand is hierbij 85m landwaarts verplaatst.

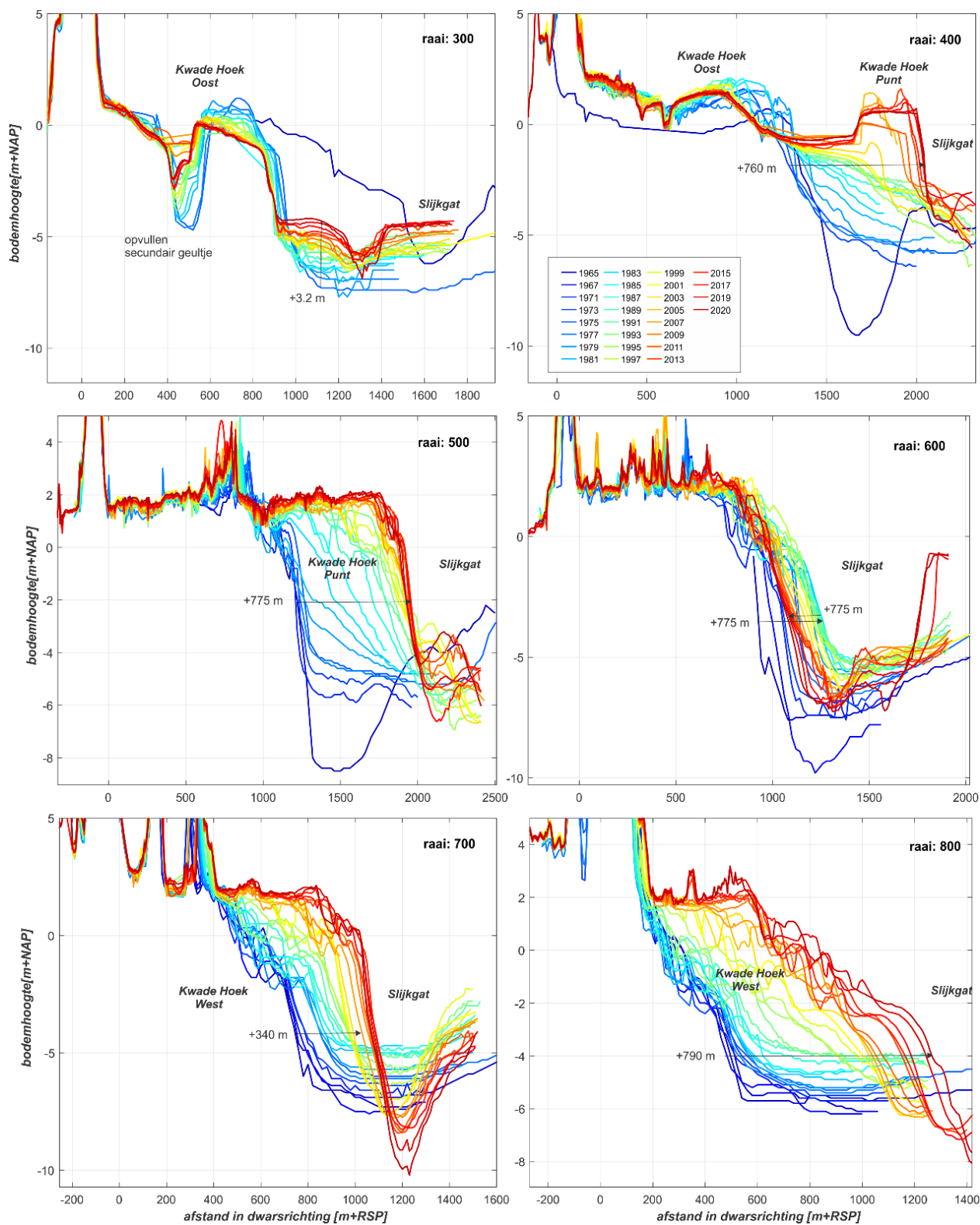
De geulontwikkeling wordt hier mede gestuurd door veranderingen in de Haringvlietmonding. Door de doorgaande landwaartse, iets zuidelijke, verplaatsing van de Garnalenplaat wordt de zeezijde van het Slijkgat hier zuidwaarts geduwd, in de kust van Goeree. Sinds 2016 is de geulwand zichtbaar in het dwarsprofiel. Deze geulwand migreert tussen 2016 en 2020 125m landwaarts.

#### *Raai 700 en 800*

Raai 700 en 880 doorsnijden de Kwade Hoek West en tonen de grote zeewaartse uitbouw die hier is opgetreden. In 1965-2020 is de kustlijn hier tot 800m zeewaarts verplaatst en is er een 400-600m breed platform ontstaan.

Het Slijkgat is zichtbaar in de vooroever en vertoont een gelijkwaardig gedrag aan dat van raai 600. De geul neemt tussen 1965 en 1991 in diepte af (van NAP -7.5m tot -5m). Vanaf 1991 wordt de geul smaller en steeds dieper. In 2020 ligt de geuldiepte in raai 700 op meer dan 10 m diepte. In tegenstelling tot raai 600 migreert hier de gehele geul zeewaarts.

Het dieper worden van het Slijkgat gaat geleidelijk door tot 2016. In 2005-2016 neemt de geuldiepte slechts met 0.7 m toe. In 2020 ligt de geuldiepte echter ruim 2 m dieper dan in 2016.



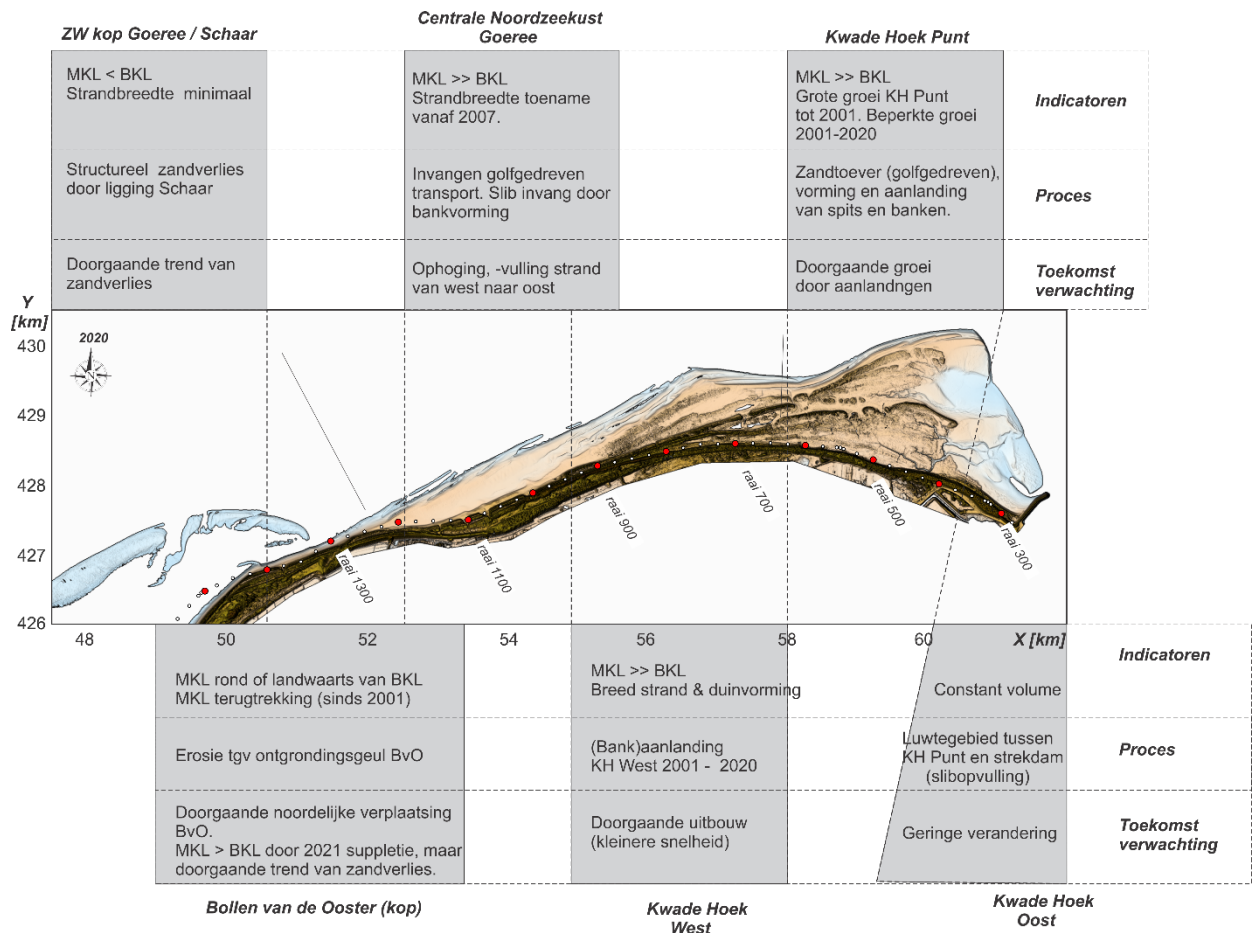
Figuur 3-29: Een overzicht van recente kustprofielen op basis van Jarkusraaii 1200, 1100, 1000 en 900 over de periode 1965-2020. In Appendix D worden de recent periode (2005-2020) in meer detail getoond.

# 4 Conclusies, samenvatting en aanbevelingen

## 4.1 Morfologische veranderingen de Noordzeekust van Goeree

Deze rapportage brengt de morfologische veranderingen van de noordwestelijke kustlijn van Goeree in kaart (1965-2020). Hiervoor zijn de Vaklodingen, Jarkus en LiDAR datasets gebruikt. Ook is er een vergelijking gemaakt tussen bodemveranderingen op basis van de Satellite Derived Bathymetry en de Jarkus datasets.

De noordwestkust van Goeree ligt ingeklemd tussen de Grevelingen- en Haringvlietmonding. Na afsluiting van de achterliggende estuaria zijn grote veranderingen in deze mondingsgebieden opgetreden. Deze veranderingen hebben ook de kustlijn van Goeree beïnvloed. Het opruimen van de monding van de Grevelingen zorgt voor een groot sedimentaanbod. Gedeeltelijk accumuleert dit sediment in het landwaartse deel van de monding waar het banken vormt, waaronder de Bollen van de Ooster (BvO). Een ander deel van het sediment wordt noordwaarts langs de kust van Goeree afgevoerd. In de LiDAR data is dit proces te volgen in de vorm van lange banken die zich langs de kust uitstrekken en dan periodiek verhelen met het strand. Dit zandaanbod heeft gezorgd voor de sterke uitbouw van de Kwade Hoek.



Figuur 4-1: Een samenvatting van de geobserveerde veranderingen van de kustlijn van Goeree.

De morfologische ontwikkelingen langs de huidige Noordzeekustlijn Goeree zijn samengevat in Figuur 4-1. Het gebied ten zuiden van raai 1500 wordt gekenmerkt door een structureel

smal strand. Dit komt door de aanwezigheid van de voormalige geul Schaar die zich hier nog in de vooroever bevindt. Aan de kop van de BvO bevindt zich het geultje van de de BvO, waardoor er veel zandverlies van de aangrenzende kust optreedt. Deze geul verplaatst zich met de kop van de BvO noordwaarts. Vanaf 2001 domineert dit de ontwikkeling van het kustvak gelegen tussen raai 1300 en 1500. In 2020 ligt het zwaartepunt van de erosie rond raai 1325, maar ligt de MKL tot raai 1275 al landwaarts van de BKL. Bij voortzetting van de huidige trends zal de MKL over 2-3 jaar de BKL bij raai 1250 overschrijden en over 5 jaar die bij raai 1225. Met dit opschuiven van de geul neemt de erosie in het gebied tussen raai 1300 en 1400 waarschijnlijk af.

Het effect van de in 2021 uitgevoerde strandsuppletie is in deze evaluatie niet meegenomen. Deze suppletie zal leiden tot (gedeeltelijk) herstel van de kustlijn ten opzichte van de BKL en zal er mogelijk voor zorgen dat de kop van de BvO verheelt met de kust. In 4.2 wordt de toekomstige ontwikkeling van de BvO nader beschouwd.

Het centrale deel van de kust, gelegen tussen raai 900 en 1250, is sterk uitgebouwd. Na de uitbouw van de Kwade Hoek West rond 2001, ontstond hier een 'kom' waar vanaf 2007 een breed strand is gevormd. Karakteristiek in deze vorming waren grote langgerekte zandbanken of spits. Landwaarts van deze banken ontstaat een ondiepe lagune waar veel slib kan bezinken. In 2012-2020 bouwt het strand rond raai 1100-1200 steeds hoger op en neemt de ruimte voor slibdepositie af. In 2020 is het strand tot raai 1100 zo hoog dat in dit deel nog weinig slibafzetting zal optreden. Ten oosten van raai 1100 kan slibdepositie nog steeds optreden.

De huidige, karakteristieke zandgolfvorm van de kust is ontstaan door groei van de Kwade Hoek West en Kwade Hoek Punt. De Kwade Hoek Punt vertoonde een grote uitbouw tot 2001 door aanlanding van langgerekte (breker)banken. Deze banken ontstaan uit de zandtoevoer vanaf de Grevelingenmonding. De aangroei van de Kwade Hoek Punt nam in snelheid af na 2001. Toen begon de sterke groei van de Kwade Hoek West, waardoor veel zand hier werd ingevangen. In 2020 vindt er nog steeds groei van zowel de Kwade Hoek West als Kwade Hoek Punt plaats, maar ligt de snelheid lager dan in de voorgaande jaren, omdat er nu ook veel zand tussen het Flauwe Werk en de Kwade Hoek West afgezet.

Het Slijkgat heeft grote veranderingen in vorm en grootte ondergaan. Door afsluiting van het Haringvliet verliest de geul een groot deel van de getijdewerking. De brede getijgeul kon hierdoor niet worden behouden. Een smalle getijgeul ontstaat door de noordoostelijke uitbouw van de Kwade Hoek en zuidelijke, landwaartse verplaatsing van de banken in de Haringvlietmonding (Garnalenplaat-zuid). Deze geul volgt het golvende verloop van de Kwade hoek. Intensief baggeren van een aantal drempelgebieden in het Slijkgat is nodig om de geul op de gewenste vaargeuldiepte te behouden.

## 4.2 Ontwikkeling van de Bollen van de Ooster

### 4.2.1 Processen

De erosieproblematiek van de zuidwestelijke eilandkop van Goeree speelt al langere tijd, maar de onderliggende processen die ten grondslag liggen aan deze erosie zijn wel veranderd. Ook vóór afsluiting van de Grevelingen was de Noordzeekust van Goeree kwetsbaar voor kustafslag en zorgde de geul Schaar voor erosie van de aanliggende kust. Na afsluiting van de Grevelingen vindt nog steeds erosie plaats. Door de ligging van de Schaar direct langs de zuidwestzijde van de eilandkop blijft dit strand smal en kwetsbaar voor erosie (Gebied A in Figuur 4-2). Schaar zorgt ervoor dat er wel zand kustlangs wordt afgevoerd, maar de aanvoer van zand richting het strand beperkt is.

Een sterk erosief gebied is ook aanwezig ten noorden van raai 1400 (Gebied C). De kop van de BvO is hier de kust dicht genaderd. Getijstroming wordt tussen de kop en de kust door geperst waardoor stroming en transporten toenemen. Er ontstaat zo een geul die voor een sterk verlies van de kustvolumes zorgt. In 2020 ligt de kop van de BvO ter hoogte van raai 1325. Het erosiegebied strekt zich echter verder uit. Tot raai 1275 ligt de MKL al landwaarts van de BKL en tot en met raai 1150 is er een negatieve trend van de MKL zichtbaar. De recente strandsuppletie zal leiden tot (gedeeltelijk) herstel van de MKL-positie.

De Schaar en het geultje van de BvO vormen geen doorgaande geul, maar worden gescheiden door een ondiep drempelgebied (Gebied B). In dit gebied wisselen perioden van erosie en sedimentatie elkaar af. Met het noordwaarts opschuiven van de kortsluitgeul lijkt het drempelgebied ook op te schuiven. De Schaar lijkt zich hierdoor weer wat verder langs de kust uit te strekken waardoor er een (kleine) trend van erosie ontstaat.

### 4.2.2 Toekomstige ontwikkelingen

De toekomstige ontwikkeling van de zuidwestzijde van Goeree hangt af van de ontwikkeling van de Bollen van de Ooster. De huidige trends vertonen daarin een duidelijk deterministisch verloop, waarvan de processen wel bekend en voorspelbaar zijn. Golfgedreven transporten langs de zeezijde van de BvO zorgen ervoor dat de kop van de BvO zich kustlangs in noordoostelijke richting verplaatst. Over de laatste 4 jaar ligt de verplaatsingssnelheid rond 170 m/jaar. Bij voortzetting van de huidige trends zou dit betekenen dat de kop van de BvO over 2 jaar rond Raai 1250 zal liggen en over 5 jaar rond 1200 (Figuur 4-2, linksonder). Hoelang die ontwikkeling zich doorzet is een vraagteken en afhankelijk van 2 stochastische ontwikkelingen: de stabiliteit van het geultje van de BvO en de stabiliteit van de BvO. Hierbij wordt opgemerkt dat bij verzanden van het geultje van de BvO er waarschijnlijk een doorbraak van de BvO zal optreden en andersom. Bij een doorbraak van de BvO is het waarschijnlijk dat de kop van de BvO landwaarts kan verplaatsen waardoor het geultje verzand.

#### *Stabiliteit van de kortsluitgeul (geultje van de BvO)*

De kortsluitgeul zorgt niet alleen voor een directe erosie van de naastliggende kustlijn, maar zorgt er ook voor dat de BvO niet aan kan landen op de kust. Bij het verdwijnen van de geul zou de kop van de BvO instantaan de kust sterk uitbouwen. Door het kustlangs verspreiden van deze aanlandingsbank zou dan de aanliggende kust over lange tijd gevoed worden. Dit proces trad ook in 1964-2001 op. Het wel of niet verdwijnen van de kortsluitgeul is niet te voorspellen. Groenewegen (2019) verwacht op basis van de geobserveerde geulafname dat deze geul op korte termijn zal verdwijnen. De ontwikkelingen van een vergelijkbaar systeem zoals de Bornrif Strandhaak (Elias et al. 2019) laten daarentegen zien dat juist zo'n kleine kortsluitgeul zich lang kan handhaven en daarbij lokaal veel erosie kan veroorzaken. De 2021 satellietopname wijst erop dat de kortsluitgeul nog blijft bestaan. Deze opname laat ook zien dat er veel erosie optreedt rond het naastliggende strandhoofd. Zonder verder ingrepen is de

inschatting dat huidige trend zich wel doorzet en er over circa 5jaar een systeem ontstaat dat er uitziet zoals geschetst in Figuur 4-2. In deze voorspelling is niet het effect van de strandsuppletie meegenomen die in 2021 is uitgevoerd.

Een evaluatie van de 2021 uitgevoerde suppletie is in dit rapport nog niet mogelijk en daarmee is het inschatten van de effecten speculatie. Het suppletieontwerp is zodanig dat het geultje van de BvO niet dichtgezet wordt. Onder voortzetting van de huidige trends is het waarschijnlijk dat dit de processen niet significant verandert. De kustzone verplaatst wel zeewaarts en daarmee de MKL ook. Daarna zal de MKL waarschijnlijk weer landwaarts gaan, mogelijk met een snelheid gelijk aan voor aanleg van de suppletie. Het extra aanbod van zand als gevolg van de suppletie kan ervoor zorgen dat aanlanding van de BvO eerder optreedt.

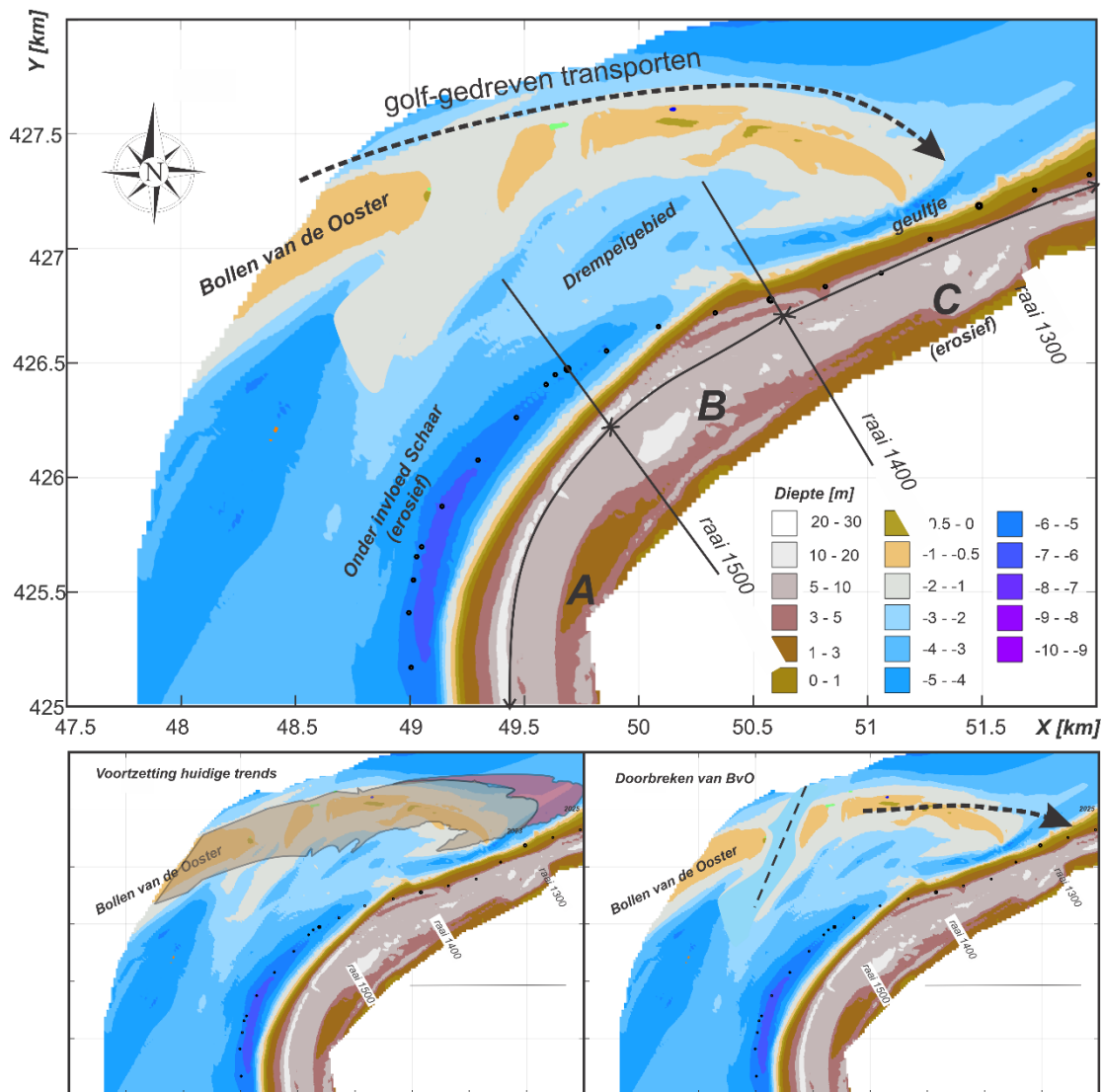
#### *Stabiliteit van de BvO*

Het wel of niet aanwezig zijn van een doorbraak door de BvO is al langere tijd onderwerp van discussie. Op basis van luchtfoto's en satellietdata (Figuur 3-13) zou geconcludeerd kunnen worden dat een doorbraak inderdaad aanwezig is. Er is een duidelijke doorgang door de BvO te onderscheiden. De Jarkus data (Figuur 4-2) laat zien dat een doorbraak inderdaad aanwezig is in de diepteklasse -0.5 - -1m NAP, maar dat het diepere deel nog een ononderbroken bank vormt. Dit is belangrijk omdat hier het brandingstransport plaatsvindt en dus nauwelijks wordt beïnvloed door de ondiepe doorbraak. De kop van de BvO is dus nog steeds verbonden met het zuidelijk gelegen deel. De doorbraak zorgt er dus niet voor dat de brandingszone en dus ook de zandtoevoer doorbroken wordt. De ontwikkeling van de Hinderplaat in de Haringvlietmonding (Van der Spek en Elias, 2021) laat zien dat zo'n doorbraak kan optreden als de breedte van de bank te smal wordt. In combinatie met een extreem spuidebiet zorgde dit voor een doorbraak van de Hinderplaat waardoor deze snel uiteen viel. De breedte van de BvO wijst erop dat dit proces onder voortzetting van de huidige trends op korte termijn (5 jaar) waarschijnlijk niet zal optreden.

Deze voorspelling bevat een stochastische onzekerheid. In het verleden is de BvO niet blijvend doorgebroken tijdens stormcondities, maar bodemdata laten wel zien dat er tijdens stormcondities veel morfologische verandering is. Ook lijkt er, in ieder geval tijdelijk, een breuk geweest te zijn rond 2019. Het lijkt daarom wel mogelijk dat er tijdens een zware storm een breuk in de BvO ontstaat. In combinatie met een periode van langdurige uitstroming ten gevolg van een ongunstig verhang gecombineerd met springtij, zou dit voor geulvorming kunnen zorgen en zo het definitief doorbreken van de BvO) betekenen.

Bij doorbreken van de BvO ontstaat een nieuwe kortstluitgeul. De kop van de BvO zou dan waarschijnlijk snel aanlanden aan de kust (Figuur 4-2, rechts). Dit aanlandingsproces is vergelijkbaar met de morfologische ontwikkelingen uit de periode 1965-2001.





Figuur 4-2: Een conceptuele beschrijving van het huidige en mogelijk toekomstig gedrag rond de BvO. De bovenste figuur geeft het huidige gedrag weer. De twee onderste figuren mogelijk toekomstige scenario's.

### 4.3 Samenvatting

De kustontwikkeling van de Noordzeekust van Goeree wordt sterk bepaald door het sedimentaanbod vanaf de Grevelingenmondning. Na afsluiting van de Grevelingen wordt de buitenrand van de buitendelta landwaarts verplaatst en in noordoostelijke richting opgeruimd. Dit sedimentaanbod resulteert in de vorming van de BvO en een noordoostelijk gericht sedimenttransport langs de kust van Goeree. Dit heeft geresulteerd in de sterke uitbouw van de Kwade Hoek en recentelijk ook het centrale deel van de kust van Goeree. Sterke uitbouw van de Kwade Hoek Punt vond plaats in de periode 1965-2001 en van de Kwade Hoek West in de periode 2001-2020. Sinds 2007 vult het strand tussen de Kwade Hoek West en het Flauwe Werk in. De uitbouw van de Kwade Hoek is medeverantwoordelijk voor de vormverandering van het Slijkgat.

De westkop van Goeree wordt sterk beïnvloed door de voorliggende bank BvO en de voormalige geul Schaar. Schaar zorgt ervoor dat er slechts een beperkte strandbreedte optreedt ten zuiden van raai 1500. Ten noorden van raai 1500 treedt initieel aanzanding op door het verlanden van banken vanaf de Ooster en de BvO. Sinds 2001 domineert erosie het gebied tussen raaien 1250 en 1500. Deze erosie is gerelateerd aan de noordoostelijke

uitbouw van de BvO. Het erosiegebied van de kust schuift in noordoostelijke richting op. In 2020 ligt het zwaartepunt van de erosie rond raai 1325. Bij doorzetting van de huidige trends is het de verwachting dat de kustlijnerosie zich hier zal voortzetten en zich verder noordoostelijk zal uitstrekken. Het al dan niet doorzetten van de huidige trends wordt gedreven door stochastische processen zoals het doorbreken van de BvO en het aanlanden van de kop van de BvO tijdens een zware storm. Wanneer zo'n stochastisch event optreedt is a priori niet te voorspellen.

#### 4.4 Aanbevelingen

- De effecten van de in 2021 uitgevoerde strandsuppletie zijn in de aanwezige bodemdata nog niet zichtbaar. Deze zal de MKL zeewaarts verplaatsen, waardoor de kustindicatoren veranderen. Aanbevolen wordt de suppletie goed te monitoren en een evaluatie van de suppletie uit te voeren. Afwegingen over toekomstige suppleties bij Goeree kunnen met de kennis daarvan beter worden onderbouwd.
- Een tekortkoming van de huidige meetdata, zoals Jarkus en LiDAR, is dat deze slechts 1x per jaar opgenomen worden en dat het vervolgens nog enige tijd duurt voordat ze beschikbaar zijn. Hierdoor loopt de data altijd achter op de morfologische ontwikkeling. Met behulp van satellietdata en SDB kan dit hiaat in principe opgelost worden. Dit vormt daarmee een waardevolle aanvulling op de andere datasets. Het is hierbij wel essentieel dat de SDB de meest recente satellietdata bevat.
- De bruikbaarheid van de SDB data kan ook worden vergroot door het toevoegen van:
  - een mogelijkheid tot het instellen van het kleurenpalet, waardoor ook kleinere banken en geulen in meer detail worden weergegeven.
  - het wegschrijven van geogereferende kaarten en hoogtedata zodat SDB data en reguliere meetdata in de analyse beter geïntegreerd kan worden.
- Een uitgebreide vergelijking tussen geobserveerde slibdepositie en de LiDAR bodemhoogte kan inzicht in de slibproblematiek op het strand van Goeree verder vergroten. Een eerste, beknopte inventarisatie van de slibproblematiek is uitgevoerd op basis van de LiDAR data. Deze data laat zien dat slibdepositie op het strand van Goeree waarschijnlijk verklaard kan worden door het ontstaan van langgerekte brekerbanken die de achterliggende lagune afschermen. Deze relatie zou dan gebruikt kunnen worden om met behulp van recente LiDAR en SDB data een voorspelling te maken van toekomstige gebieden waar slibdepositie kan optreden.
- Voor beheer en onderhoud van de vaargeul van het Slijkgtat is het aan te bevelen een gedetailleerde volumebalans van de Haringvlietmonding (incl. Slijkgtat) op te stellen. Zo'n volumebalans geeft meer inzicht in de geulontwikkeling en de invloed van baggeren hierop.

## 5 Referenties

- Elias E.P.L. (2015). Verkenning morfologische effecten (geulwand)suppletie Bollen van de Ooster. Rapport Deltares 1220040-000-ZKS-005, Delft, 53 p.
- Elias, E. P. L., Van Der Spek, A. J. F. (2014). Grootschalige morfologische veranderingen in de Voordelta 1964 – 2013. Werkdocument, 1207724-001, Deltares, Delft.
- Elias, E. P. L., Van Der Spek, A. J. F., & Lazar, M. (2017). 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. *Geologie En Mijnbouw/Netherlands Journal of Geosciences*, 96(3), 233–259. <https://doi.org/10.1017/njg.2016.37>.
- Eversdijk, P.J., 1989. Technisch rapport 16: harde kustverdediging. Zeedijken, havengebieden en strandmuren als waterkering. Rijkswaterstaat, Directie Sluizen en Stuwen, hoofdafdeling Waterbouw: 141 p.
- Groenewegen, M.Q.T. (2019). Morphological development of the Bollen van de Ooster. A potential hazard for Goeree-Overflakkee?, MSc. Study, Delft University of Technology
- Reintjes, C.M., 2002. Morfologische ontwikkeling van de Kwade Hoek en het omringend kustgebied in de Haringvlietmond. TNO rapport, NITG 02-069.
- Snoek, R.C. , Baijens, I.M., van Sluis, C.J., Koolstra, B. (2015). Passende beoordeling baggerwerkzaamheden Slijkgat, Gemeente Goeree-Overflakkee. Rapport Arcadis 078184510:0.12 – Definitief, 162 p.
- Verhagen, H. J. & van Rossum, H., 1990. Strandhoofden en paalrijen: evaluatie van hun werking. Report, Ministry of Transport and Public Works, Rijkswaterstaat, Dienst Wegen en Waterbouwkunde (The Hague): 40 p.
- Van der Spek, A.J.J, Elias, E.P.L. 2021, Half a century of morphological change in the Haringvliet and Grevelingen ebb-tidal deltas (SW Netherlands) - Impacts of large-scale engineering 1964–2015. *Marine Geology*, 432. DOI: j.margeo.2020.106404.