



Vlaanderen
is wetenschap



18_142_1
WL rapporten

Morfologische trends aan de Belgische Kust

Evolutie van de Vlaamse kust tot 2019

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Morfologische trends aan de Belgische Kust

Evolutie van de Vlaamse kust tot 2019

Houthuys, R.; Verwaest, T.; Dan, S.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2022
D/2021/3241/285

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Houthuys, R.; Verwaest, T.; Dan, S. (2022). Morfologische trends aan de Belgische Kust: Evolutie van de Vlaamse kust tot 2019. Versie 3.0. WL Rapporten, 18_142_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Tot en met de datum van vrijgave, kan overname uit en verwijzen naar deze publicatie enkel mits uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of het Waterbouwkundig Laboratorium. Correcte bronvermelding is steeds noodzakelijk.

Documentidentificatie

Oprachtgever:	MDK Afdeling Kust	Ref.:	WL2022R18_142_1
Trefwoorden:	Kustmorfologie, volumetrend, zandbalans		
Kennisdomeinen:	Erosiebescherming kust> Morfodynamiek zachte zeevering>Literatuur- en desktoponderzoek		
Tekst (p. 224):	225	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	Vrijgegeven vanaf:	01/01/2023
		Uitzondering:	<input checked="" type="checkbox"/> Vlaamse overheid

Auteur(s):	Houthuys, R.
------------	--------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verwaest, T.	Getekend door: Toon Verwaest (Signature) Getekend op: 2022-01-17 11:27:11 +01:00 Reden: ik keur dit document goed <i>Toon Verwaest</i>
Projectleider:	Dan, S.	Getekend door: Sebastian Dan (Signature) Getekend op: 2022-01-14 16:12:32 +01:00 Reden: ik keur dit document goed <i>Sebastian Dan</i> 

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sign) Getekend op: 2022-01-14 11:24:14 +01:00 Reden: ik keur dit document goed <i>Abdelkarim Bellafkih</i>
-----------------	---------------	--



Abstract

In dit rapport worden de volumetrische en geografische veranderingen van duinaanzet, strand, vooroever en aanpalende zeebodem langs de Vlaamse kust bepaald en bijgewerkt tot 2019 aan de hand van de regelmatige topografische meetvluchten van het deel van de kustbarrière dat droog komt bij laagwater, en de regelmatige bathymetrische opnamen van het aansluitende deel beneden laagwater tot ca. 1,5 km buiten de duinvoet of zeedijk. De vastgestelde veranderingen worden beschreven d.m.v. tijdsgrafieken, trendcijfers, hoogteverschilkaarten en verschuivingen van hoogtelijnen. Tevens wordt rekening gehouden met de hoeveelheden zand die hetzij bij ophogingen, suppleties en baggerspecielossingen in de verschillende kuststroken worden aangevoerd, hetzij bij zandwinnings- of baggerwerken worden verwijderd. Op die manier kan de morfologische evolutie en "efficiëntie" van de ingrepen worden achterhaald. De waargenomen veranderingen leiden tot hypothesen m.b.t. de natuurlijke morfologische processen en enkele aanbevelingen voor verder monitoring- en studiewerk.

Het strand en de duinaanzet vertonen, voor het geheel van de Vlaamse kust genomen, een sterke toename in volume. De hele waargenomen toename sinds 1985 is te verklaren door zandaanvoerwerken. Dankzij de zandaanvoer is gemiddeld genomen over heel de kust het zandvolume ongeveer $310 \text{ m}^3/\text{m}$ zwaarder dan in 1985, wat een substantiële verbetering van het algehele kustveiligheidsniveau betekent. Hierbij is vrijwel alle aanvoer in de hoogtelaag boven laagwater gebleven. Aan het huidig ritme van zeespiegelstijging zou over de voorbije 36 jaar $22,5 \text{ m}^3/\text{m}$ toename nodig zijn om een groei mee met de zeespiegel te realiseren. De waargenomen groei is meer dan 10 maal groter. De vooroever heeft een sterke groei gekend tussen 1992 en 2000, gevolgd door een stabiele periode. Het grootste deel van de aangroei is natuurlijk en situeert zich ten westen en oosten van de voorhavens van Zeebrugge. De zeebodem verliest sediment, in toenemende mate vanaf 2010.

De Westkust kent natuurlijke strandaangroei. Het systeem Potje –Broers Bank migreert geleidelijk naar het oosten aan een gemiddelde snelheid van 15 à 20 m/jaar. Over de 30 km lange strook tussen de IJzermonding tot en met Wenduine, en verder lokaal in Blankenberge en in Knokke-Zoute, is alle aangroei sinds 1983 volledig te danken aan bij herhaling uitgevoerde strandsuppleties. Volgend op de bouw van de nieuwe havendammen van Oostende in 2009-2010 groeit daar de vooroever lokaal aan, zowel ten westen als ten oosten van de dammen. Door de aanleg en het onderhoudsbaggerwerk van de nieuwe vaargeul naar Oostende verdwijnt veel zand uit het kuststelsel. Grote aangroeizones liggen op de vooroever ten westen en ten oosten ("Plaat van Heist") van de Zeebrugge. Het aangroeiritme daar is wel afgenomen sinds 2009. Alle getijgeulen voor de kust verdiepen. T.o.v. 2000 is de bodemverlaging vaak 0,5 tot 1 m, lokaal tot 2 m. De uitdieping is sterk versneld vanaf het jaar 2010.

Deze studie toont de grote interactie aan tussen het strand en het kustnabije mariene domein. In het deel onder laagwater treedt sterk sedimenttransport op, zoals blijkt uit de morfologische wijzigingen die volgden op de uitbouw van de havens van Zeebrugge en Oostende. Op vele andere plaatsen gaat het om doorvoer en zijn de morfologische veranderingen beperkt. Alle waarnemingen wijzen op sedimenttransport en morfologische verplaatsingen naar het oosten. Een hypothese voor de recent versnelde uitdieping van de getijgeulen roept het mechanisme van stroomsectie-insnoering in. De zandbanken zeewaarts van de getijgeulen bij de kust verplaatsen zich wellicht langzaam maar systematisch richting kust. De geulen kunnen zich niet zijdelings richting land verplaatsen, omdat de kustlijn door de vele strandsuppleties vast wordt gehouden. De stroomsecties verkleinen dus waardoor de geulen gaan uitdiepen. Deze evolutie zal op termijn leiden tot een ondermijning van de vooroever waarop stranderosie zal volgen. Deze hypothese dient nader te worden bestudeerd. Indien bevestigd, zal de nieuwe morfologische kennis ingrepen in het systeem toelaten.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	IX
Lijst van de figuren	XI
1 Inleiding: context en doel van dit rapport.....	1
2 Verwerkte gegevens	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Kustsecties.....	3
2.3 Horizontale schijven of hoogtelagen.....	4
2.4 Opnamen van het droge deel.....	5
2.5 Opnamen van het natte deel.....	5
3 Verwerkingsmethode van de gegevens	7
3.1 Principe van de volumebepaling op basis van de LIDAR-opnamen	7
3.2 Principe van de volumebepaling op basis van de vooroeverlodingen	8
4 Opmerkingen i.v.m. de bijwerking tot 2019.....	10
4.1 Invoering van nieuwe sectiegrenzen bij de haven van Oostende.....	10
4.2 Modelleren van de zeebodem bij de haven van Oostende.....	12
4.3 De evolutie van de vooroever in het begin van de jaren 2000	12
4.4 Verwerking in kustzones.....	12
5 Beschouwingen i.v.m. nauwkeurigheid.....	13
5.1 Nauwkeurigheid op de hoogtemeting.....	13
5.2 Fout op de trend.....	15
5.3 Multibeam en singlebeam lodingen.....	15
6 Methodologie van de benadering van de morfologische evolutie per kuststrook en kustzone.....	17
6.1 Tabellen per sectie	17
6.2 Tabellen per kuststrook.....	17
6.3 Waargenomen en gecorrigeerde evolutie	18
6.4 Soorten zandaanvoer en -afvoer	18
6.5 Trend per kuststrook	22
6.6 Levering van de gegevens per kuststrook	22
6.7 Tabellen per kuststrook met tijdreeks volumeverschillen strand en vooroever, met grafiek en trendberekening.....	23

6.8	Opbouw van de rapportage per kuststrook	25
7	Morfologische evolutie per kuststrook, zone 1: van de Franse grens tot Nieuwpoort	28
7.1	Strook 1 (secties 2-6): De Panne, natuurreserveaat Westhoek	28
7.2	Strook 2 (secties 7-12): De Panne, verkaveling Westhoek	30
7.3	Strook 3 (secties 13-17): De Panne-Centrum	32
7.4	Strook 4 (secties 18-21): De Panne camping Zeepark en duinen ten westen van Sint-Idesbald	34
7.5	Strook 5 (secties 22-25): Sint-Idesbald	36
7.6	Strook 6 (secties 26-31): Koksijde-Bad	39
7.7	Strook 7 (secties 32-34): Koksijde-Bad, oostzijde van de bebouwing	44
7.8	Strook 8 (secties 35-39): Koksijde-Oost (Schipgatduinen)	47
7.9	Strook 9 (secties 40-43): Oostduinkerke-Bad, westelijk deel	49
7.10	Strook 10 (secties 44-53): Oostduinkerke-Bad, oostelijk deel, en Groenendijk-Bad	51
7.11	Strook 11 (secties 54-56): westelijk gedeelte van de zeedijk in Nieuwpoort-Bad	53
7.12	Strook 12 (secties 57-59): oostelijk gedeelte van de zeedijk in Nieuwpoort-Bad	55
7.13	Overzicht van de morfologische evolutie voor zone 1	58
7.14	(kuststroken 1 tot en met 12, van de Franse grens tot Nieuwpoort)	58
8	Morfologische evolutie per kuststrook, zone 2: van Nieuwpoort tot Oostende	61
8.1	Strook 13 (secties 60-64): Nieuwpoort oost IJzermonding en Militair Domein Lombardsijde	61
8.1.1	Inleiding en geschiedenis	61
8.1.2	De strandsuppletie van 2008-2009	63
8.1.3	De onderwatersuppletie van 2017	64
8.1.4	Kleine badstrandophoging in 2019	71
8.1.5	Morfologische evolutie voor de hele kuststrook	71
8.2	Strook 14 (secties 65-70): campings Lombardsijde en duinstrook ten westen van Sint-Laureinsstrand	72
8.3	Strook 15 (secties 71-72): Duinen Sint-Laureinsstrand	75
8.4	Strook 16 (secties 73-76): Westende-Bad	77
8.5	Strook 17 (secties 77-82): Westende-Bad en De Krokodille	80
8.6	Strook 18 (secties 83-87): Middelkerke-Bad	84
8.7	Strook 19 (secties 88-92): Middelkerke-Oost	86
8.8	Strook 20 (secties 93-97): Raversijde-West	89
8.9	Strook 21 (secties 98-102): het kustdeel Raversijde-Oost	91
8.10	Strook 22 (secties 103-105): kustdeel "Mariakerke"	94
8.11	Strook 23 (secties 106-108): kustdeel "Oostende-West" (ter hoogte van de Wellingtonrenbaan)	98
8.12	Strook 24 (secties 109-112): kustdeel "Oostende-Centrum-West" (Groot Strand)	101
8.13	Strook 25 (secties 113-117): kustdeel "Oostende-Centrum" (Casino tot en met Klein Strand) ...	106

8.14	Overzicht van de morfologische evolutie voor zone 2 (kuststroken 13 tot en met 25, van Nieuwpoort tot Oostende)	112
9	Morfologische evolutie per kuststrook, zone 3: van Oostende tot en met Wenduine	115
9.1	Strook 26 (secties 118-121): Oostende ten oosten van de havengeul	115
9.2	Strook 27 (secties 122-125): Bredene-West.....	120
9.3	Strook 28 (secties 126-131): Bredene-Oost	124
9.4	Strook 29 (secties 132-139): Bredene-Hippodroom.....	126
9.5	Strook 30 (secties 139-145): Vosseslag	131
9.6	Strook 31 (secties 146-150): De Haan-West.....	134
9.7	Strook 32 (secties 151-155): De Haan-Centrum.....	137
9.8	Strook 33 (secties 156-160): Vlissegem.....	141
9.9	Strook 34 (secties 161-167): Nieuwmunster	143
9.10	Strook 35 (secties 168-172): Wenduine, strand ten westen van de rotonde	146
9.11	Strook 36 (secties 173-176): Wenduine-West, ten oosten van de rotonde	149
9.12	Overzicht van de morfologische evolutie voor zone 3 (kuststroken 26 tot en met 36, van Oostende tot en met Wenduine)	154
10	Morfologische evolutie per kuststrook, zone 4: van Wenduine-Oost tot Zeebrugge.....	156
10.1	Strook 37 (secties 177-181): Wenduine-Oost tot Harendijke	156
10.2	Strook 38 (secties 182-184): Wenduine-Harendijke tot havengeul van Blankenberge	159
10.3	Strook 39 (secties 185-189): Blankenberge, westelijk deel.....	163
10.4	Strook 40 (secties 190-195): Blankenberge, oostelijk deel (Pier).....	168
10.5	Strook 41 (secties 196-201): Blankenberge, Duinse Polders.....	170
10.6	Strook 42 (secties 202-210): Blankenberge, De Fonteintjes	172
10.7	Strook 43 (secties 211-216): Zeebrugge-Strand	174
10.8	Overzicht van de morfologische evolutie voor zone 4 (kuststroken 37 tot en met 43, van Wenduine-Oost tot Zeebrugge)	178
11	Morfologische evolutie per kuststrook, zone 5: van Zeebrugge tot het Zwin	180
11.1	Strook 44 (secties 217-218): Heist, palend aan de Oostdam van Zeebrugge	180
11.2	Strook 45 (secties 219-221): Heist, tegenover Heldenplein.....	183
11.3	Strook 46 (secties 222-224): duinstrook tussen Heist en Duinbergen.....	185
11.4	Strook 47 (secties 225-226): Duinbergen-centrum	188
11.5	Strook 48 (secties 227-232): het kustdeel Albertstrand.....	191
11.6	Strook 49 (secties 233-241): het kustdeel Knokke-Zoute.....	193
11.7	Strook 50 (secties 242-249): het kustdeel Lekkerbek	199
11.8	Strook 51 (secties 250-255): het kustdeel Zwin	201
11.9	Overzicht van de morfologische evolutie voor zone 5 (kuststroken 44 tot en met 51, van Zeebrugge tot het Zwin).....	205

12	Conclusies	208
12.1	Voornaamste morfologische conclusies.....	208
12.2	Enkele grote morfologische ontwikkelingen	214
12.3	Aanbevelingen voor verdere morfologische maatregelen, monitoring en onderzoek.....	216
13	Lijst van de digitale bijlagen	220
13.1	Sectiegrenzen	220
13.2	Tabellen en grafieken per sectie met de evolutie van het volume van duin, strand, vooroever en zeebodem tot 2019	220
13.3	Overzicht van de recentste trends per sectie voor de delen boven en beneden de laagwaterlijn 220	
13.4	Tabellen en grafieken per kuststrook met de evolutie van het volume van duin, strand, vooroever en zeebodem en van de aan- of afgevoerde zandhoeveelheden tot 2019.....	221
13.5	Overzicht van de recentste gecorrigeerde trends per kuststrook voor de delen boven en beneden de laagwaterlijn	222
13.6	Diareeks met hoogtekaarten, hoogteverschilkaarten en kaarten met de verschuiving van de hoogtelijnen op de vooroever en zeebodem	222
13.7	Bestand met alle correctievolumes.....	222
13.8	Gemiddelde profielen van vooroever en zeebodem 2007-2018	223
14	Referenties	224

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van de LIDAR-vluchten van de Vlaamse kust sinds 2012.....	5
Tabel 2 – Lodingen sinds 2012.....	6
Tabel 3 – Nieuwe secties bij de haven van Oostende.....	10
Tabel 4 – Overzicht van de recentste lineaire trend van de voor zandaanvoer en –afvoer gecorrigeerde volumes per kuststrook.....	23
Tabel 5 – Overzicht van de recentste (indien verschillend van de gecorrigeerde) of vorige (indien er in de kuststrook geen zandaanvoer of –afvoer plaatsvond, én de trend is gewijzigd) lineaire trend van de waargenomen volumes per kuststrook.....	24
Tabel 6 – Hoeveelheden betrokken bij de badstrandophogingen in Sint-Idesbald tot 2012.	37
Tabel 7. Volumes betrokken bij de badstrandophogingen in kuststrook 6.	40
Tabel 8 – Hoeveelheden betrokken bij de badstrandophogingen in kuststrook 7.	45
Tabel 9 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 7. Kustlengte: 720 m.	46
Tabel 10 – Overzicht van de hoeveelheden betrokken bij de badstrandophogingen in kuststrook 11.	54
Tabel 11 – Hoeveelheden i.v.m. baggerwerken van de toegang naar de haven van Nieuwpoort.	57
Tabel 12 – Samenvatting van de volumes, afkomstig van onderhoudsbaggerwerk in de toegang tot de haven van Nieuwpoort, aangebracht in kuststrook 13.....	62
Tabel 13 – Verdeling van de volumes van de suppletie van 2008-2009 over de hoogtelagen in kuststrook 13.	63
Tabel 14 – Lijst van MB-opnamen voor en na de aanleg van de onderwatersuppletie in Lombardsijde.....	65
Tabel 15 – Volume- en hoogteverschillen bepaald op de opeenvolgende MB-hoogtemodellen van de onderwatersuppletie Lombardsijde.	70
Tabel 16 – Hoeveelheden betrokken bij de badstrandophogingen in sectie 65.....	73
Tabel 17 – Overzicht van de hoeveelheden aangevoerd bij badstrandophogingen en kleine strandsuppleties in kuststrook 16.....	78
Tabel 18 – Volumes betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 17.	81
Tabel 19 – Volumes betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 18.	84
Tabel 20 – Volumes betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 19.	87
Tabel 21 – Volumes betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 20 en 21.....	90
Tabel 22 – Volumes betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 21.	92
Tabel 23 – Overzicht van de volumes zandaanvoer in het gedeelte boven de laagwaterlijn in kuststrook 22.	95
Tabel 24 – Volumes betrokken bij de vooroever- en strandsuppletie te Mariakerke in 2014.	96
Tabel 25 – Overzicht van de volumes zandaanvoer in het gedeelte boven de laagwaterlijn in kuststrook 23.	99
Tabel 26 – Overzicht van de zandaanvoer in het deel boven laagwater van kuststrook 24.....	102

Tabel 27 – Verdeling van de aangevoerde zandvolumes bij de suppletie van 2013 per kuststrook en hoogtezona.....	104
Tabel 28 – Overzicht van de zandaanvoer bij suppleties in kuststrook 25.	109
Tabel 29 – Bepaling van het aanlegbaggerwerk voor de nieuwe vaargeul naar Oostende.	117
Tabel 30 – Overzicht van de aangevoerde zandhoeveelheden in kuststroken 27, 28 en 29.....	121
Tabel 31 – Volumes aangebracht bij de grote strandsuppletie van 2014 in secties 124-143.....	122
Tabel 32 – Hoeveelheden zand aangevoerd bij de grote strandsuppleties en onderwatersuppleties van de jaren 1990 tussen Bredene en Wenduine.....	127
Tabel 33 – Verdeling van de suppletiehoeveelheden bij de grote suppleties van de jaren 1990 tussen Bredene en Wenduine over de kuststroken.	128
Tabel 34 – Hoeveelheden zand aangevoerd ter hoogte van de strandtoegang "Vosseslag".	132
Tabel 35 – Zandhoeveelheden opgevoerd en aangevoerd in de jaren 1980 in De Haan-Centrum.....	138
Tabel 36 – Verdeling van de zandaanvoer bij de grote onderhoudssuppletie van 2019 in De Haan.	139
Tabel 37 – Volumes betrokken bij de badstrandophogingen tot 1996 ten westen van de rotonde van Wenduine.	146
Tabel 38 – Zandhoeveelheden betrokken bij herverdelingen en suppleties sinds 2008 in kuststrook 35... ..	148
Tabel 39 – Overzicht van de volumes betrokken bij de badstrandophogingen en kleine strandsuppleties in Wenduine.	151
Tabel 40 – Volumes aangebracht bij de strandsuppleties vanaf 2012 in Wenduine.	151
Tabel 41 – Overzicht van de zandverplaatsingen, meestal uit sectie 184 (strook 38), naar sectie 181 (strook 37).....	157
Tabel 42 – Volumes zand gebaggerd uit de toegang tot de haven van Blankenberge en gelost of aangewend voor suppleties op het strand.	160
Tabel 43 – Volumes in kuststroken 39 en 40 bij de badstrandophogingen van 1985-2008.	165
Tabel 44 – Grote strandsuppletie van 2014-2015 in Blankenberge en verdeling van de aangevoerde volumes over de kuststroken.....	166
Tabel 45 – Overzicht van de hoeveelheden betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 46.	186
Tabel 46 – Volumes betrokken bij de badstrandophogingen in kuststrook 47	189
Tabel 47 – Hoeveelheden aangevoerd in kuststrook 48, steeds in een stukje palend aan kuststrook 49	192
Tabel 48 – Volumes aangevoerd bij onderhoudssuppleties en aanvullingen te Knokke-Zoute.	195
Tabel 49 – Opsplitsing van de suppletievolumes (<i>Tabel 48</i>) in correctiehoeveelheden gebruikt in kuststrook 49.....	196
Tabel 50 – Opsplitsing van de suppletievolumes (<i>Tabel 48</i>) in correctiehoeveelheden gebruikt in kuststrook 50.....	199
Tabel 51 – Volumeveranderingen bij de afgraving van de duinenrij aan de Belgische zijde van de Zwingel in 2016.....	202

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Principeschets van een sectie, met daarin de hoogtevlakken die de hoogteschijven (of hoogtelagen) bepalen.....	4
Figuur 2 – Wijze waarop de volumes van de natte opname worden bepaald.....	9
Figuur 3 – Definitie van nieuwe secties bij de haven van Oostende.....	11
Figuur 4 – Principe van verdeling over hoogtelagen bij badstrandophogingen waarbij zand werd gewonnen nabij de laagwaterlijn.....	19
Figuur 5 – Loswal "vooroever Nieuwpoort" (bruingroene rechthoek) gelegen ter hoogte van de kuststroken 16 en 17.....	21
Figuur 6 – Loswal "vooroever Blankenberge" (bruingroene rechthoek) gelegen ter hoogte van de kuststroken 39 en 40.....	21
Figuur 7 – Legende van ingekleurde hoogtekaarten.....	26
Figuur 8 – Situatiekaartje kuststrook 1, Natuurreservaat Westhoek. Kustlengte: 1230 m.	28
Figuur 9 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 1. Kustlengte: 1230 m.	29
Figuur 10 – Situatiekaartje kuststrook 2, Verkaveling Westhoek. Kustlengte: 1420 m.	30
Figuur 11 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 2. Kustlengte: 1420 m.	31
Figuur 12 – Situatiekaartje kuststrook 3, De Panne-Centrum. Kustlengte: 1240 m.	32
Figuur 13 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 3. Kustlengte: 1240 m.	33
Figuur 14 – Situatiekaartje kuststrook 4, camping Zeepark en duinen Sint-Idesbald. Kustlengte: 1045 m....	34
Figuur 15 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 4. Kustlengte: 1045 m.	35
Figuur 16 – Situatiekaartje kuststrook 5, Sint-Idesbald. Kustlengte: 1010 m.	37
Figuur 17 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 5. Kustlengte: 1010 m.	39
Figuur 18. Situatiekaartje kuststrook 6, Koksijde-Bad. Kustlengte: 1125 m.	40
Figuur 19 – Gedetailleerde hoogtemodellen op basis van multibeam van Potje – Broers Bank, opnamen 2013 (bovenaan) en 2018.....	42
Figuur 20 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 6. Kustlengte: 1125 m.	43
Figuur 21 – Situatiekaartje kuststrook 7, oostzijde bebouwing Koksijde-Bad. Kustlengte: 720 m.	45
Figuur 22 – Situatiekaartje kuststrook 8, Schipgatduinen. Kustlengte: 1345 m.	47
Figuur 23 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 8. Kustlengte: 1345 m.	48
Figuur 24 – Situatiekaartje kuststrook 9, westelijk deel Oostduinkerke-Bad. Kustlengte: 965 m.	49
Figuur 25 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 9. Kustlengte: 965 m.	50
Figuur 26 – Situatiekaartje kuststrook 10, oostelijk deel Oostduinkerke-Bad en Groenendijk-Bad. Kustlengte: 2475 m.....	51
Figuur 27 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 10. Kustlengte: 2475 m.	52
Figuur 28 – Situatiekaartje kuststrook 11, westelijk deel Nieuwpoort-Bad. Kustlengte: 680 m.	53

Figuur 29 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 11. Kustlengte: 680 m.....	55
Figuur 30 – Situatiekaartje kuststrook 12, oostelijk gedeelte van Nieuwpoort-Bad. Kustlengte: 990 m.	56
Figuur 31 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 12. Kustlengte: 990 m.....	58
Figuur 32 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de zone van de Franse grens tot de IJzermonding.	59
Figuur 33 – Verplaatsing van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019, kustzone Franse grens-Nieuwpoort....	60
Figuur 34 – Situatiekaartje kuststrook 13, Nieuwpoort oost IJzermonding en Militair Domein Lombardsijde. Kustlengte: 1175 m.....	61
Figuur 35 – Profiel in sectie 62 van de strandsuppletie van 2008-2009.	63
Figuur 36 – Typeprofiel van de onderwatersuppletie van 2017, uit Decloedt, 2017.....	64
Figuur 37 – Uittreksel van de multibeamopname 27 september 2017.	66
Figuur 38 – Onderwatersuppletie Lombardsijde: MB opname van 20 december 2017.....	67
Figuur 39 – Onderwatersuppletie Lombardsijde: MB opname van 8 mei 2018.	68
Figuur 40 – Onderwatersuppletie Lombardsijde: MB-opname van 25 september 2018.	69
Figuur 41 – Onderwatersuppletie Lombardsijde: MB opname van 14 februari 2019.	70
Figuur 42 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 13. Kustlengte: 1175 m.....	72
Figuur 43 – Situatiekaartje kuststrook 14, campings Lombardsijde en duinen Sint-Laureinsstrand. Kustlengte: 1465 m.....	73
Figuur 44 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 14. Kustlengte: 1465 m.....	74
Figuur 45 – Situatiekaartje kuststrook 15, duinen Sint-Laureinsstrand. Kustlengte: 410 m.....	75
Figuur 46 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 15. Kustlengte: 410 m.....	76
Figuur 47 – Situatiekaartje kuststrook 16, Westende-Bad. Kustlengte: 1230 m.	77
Figuur 48 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 16. Kustlengte: 1230 m.....	80
Figuur 49 – Situatiekaartje kuststrook 17, Westende-Bad en De Krokodille. Kustlengte: 2000 m.....	81
Figuur 50 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 17. Kustlengte: 2000 m.....	83
Figuur 51 – Situatiekaartje kuststrook 18, Middelkerke-Bad. Kustlengte: 1745 m.....	84
Figuur 52 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 18. Kustlengte: 1745 m.....	86
Figuur 53 – Situatiekaartje kuststrook 19, Middelkerke-Oost. Kustlengte: 1615 m.	87
Figuur 54 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 19. Kustlengte: 1615 m.....	88
Figuur 55 – Situatiekaartje kuststrook 20, Raversijde-West. Kustlengte: 1305 m.....	89
Figuur 56 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 20. Kustlengte: 1305 m.....	91
Figuur 57 – Situatiekaartje kuststrook 21, Raversijde-Oost. Kustlengte: 1310 m.....	92
Figuur 58 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 21. Kustlengte: 1310 m.....	93
Figuur 59 – Situatiekaartje kuststrook 22, Mariakerke. Kustlengte: 1305 m.....	95
Figuur 60 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 22. Kustlengte: 1305 m.....	97
Figuur 61 – Situatiekaartje kuststrook 23, Oostende-West. Kustlengte: 895 m.....	98
Figuur 62 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 23. Kustlengte: 895 m.....	101

Figuur 63 – Situatiekaartje kuststrook 24, Oostende-Centrum-West. Kustlengte: 1180 m.	102
Figuur 64 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 24. Kustlengte: 1180 m.	105
Figuur 65 – Situatiekaartje kuststrook 25, Oostende-Centrum. Kustlengte 972 m.	107
Figuur 66 – Aanlegprofiel van de noodsuppletie in 2004 in Oostende-Centrum.	108
Figuur 67 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 25. Kustlengte 972 m.	111
Figuur 68 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de zone van Nieuwpoort tot Oostende.	113
Figuur 69 – Verplaatsing van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019, kustzone Nieuwpoort-Oostende.....	114
Figuur 70 – Situatiekaartje kuststrook 26, Oostende-Oost. Kustlengte: 971 m.....	115
Figuur 71 – Veelhoeken (1, 2, 3) voor de raming van het aanlegbaggerwerk van de nieuwe vaargeul naar Oostende.	116
Figuur 72 – Evolutie van het volume in deelsectie 1188, het deel van de nieuwe vaargeul naar Oostende binnen het vooroeverlodingsgebied.	117
Figuur 73 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 26. Kustlengte: 971 m.....	119
Figuur 74 – Situatiekaartje kuststrook 27, Bredene-West. Kustlengte: 1345 m.....	120
Figuur 75 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 27. Kustlengte: 1345 m.....	123
Figuur 76 – Situatiekaartje kuststrook 28, Bredene-Oost. Kustlengte: 1493 m.....	124
Figuur 77 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 28. Kustlengte: 1493 m.....	125
Figuur 78 – Situatiekaartje kuststrook 29, Bredene-Hippodroom. Kustlengte: 1407 m.....	127
Figuur 79 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 29. Kustlengte: 1407 m.....	130
Figuur 80 – Situatiekaartje kuststrook 30, Vosseslag. Kustlengte: 1647 m.....	131
Figuur 81 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 30. Kustlengte: 1647 m.....	134
Figuur 82 – Situatiekaartje kuststrook 31, De Haan-West. Kustlengte: 1264 m.....	135
Figuur 83 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 31. Kustlengte: 1264 m.....	137
Figuur 84. Situatiekaartje kuststrook 32, De Haan-Centrum. Kustlengte: 1006 m.....	138
Figuur 85 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 32. Kustlengte: 1006 m.....	140
Figuur 86 – Situatiekaartje kuststrook 33, Vlissegem. Kustlengte: 1000 m.....	141
Figuur 87 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 33. Kustlengte: 1000 m.....	143
Figuur 88. Situatiekaartje kuststrook 34 – Nieuwmunster. Kustlengte: 1435 m.....	144
Figuur 89 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 34. Kustlengte: 1435 m.....	145
Figuur 90 – vSituatiekaartje kuststrook 35, Wenduine west van de rotonde. Kustlengte: 1044 m.....	147
Figuur 91 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 35. Kustlengte: 1044 m.....	149
Figuur 92 – Situatiekaartje kuststrook 36, Wenduine-West. Kustlengte: 850 m.....	150
Figuur 93 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 36. Kustlengte: 850 m.....	153
Figuur 94 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de zone van Oostende tot en met Wenduine....	154
Figuur 95 – Verplaatsing van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019, kustzone Oostende-Wenduine.	155
Figuur 96 – Situatiekaartje kuststrook 37, Wenduine-Oost en Harendijke. Kustlengte: 1217 m.....	156

Figuur 97 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 37. Kustlengte: 1217 m.....	158
Figuur 98 – Situatiekaartje kuststrook 38, Harendijke tot havengeul Blankenberge. Kustlengte: 637 m.	159
Figuur 99 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 38. Kustlengte: 637 m.....	162
Figuur 100 – Situatiekaartje kuststrook 39, Blankenberge, westelijk deel. Kustlengte 1096 m.....	164
Figuur 101 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 39. Kustlengte 1096 m.....	167
Figuur 102 – Situatiekaartje kuststrook 40, Blankenberge, oostelijk deel. Kustlengte: 1178 m.....	168
Figuur 103 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 40. Kustlengte: 1178 m.....	169
Figuur 104 – Situatiekaartje kuststrook 41, Blankenberge, Duinse Polders. Kustlengte: 1065 m.....	170
Figuur 105 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 41. Kustlengte: 1065 m.....	171
Figuur 106 – Situatiekaartje kuststrook 42, Blankenberge, De Fonteintjes. Kustlengte: 1108 m.....	173
Figuur 107 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 42. Kustlengte: 1108 m.....	174
Figuur 108 – Situatiekaartje kuststrook 43, Zeebrugge-Strand. Kustlengte: 837 m.	175
Figuur 109 – Zandwinningszone op het strand van Zeebrugge in 2006.....	175
Figuur 110 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 43. Kustlengte: 837 m.....	177
Figuur 111 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de zone van Wenduine-Oost tot Zeebrugge....	178
Figuur 112 – Verplaatsing van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019, kustzone Wenduine – Zeebrugge. ...	179
Figuur 113 – Situatiekaartje kuststrook 44, Heist, bij Oostdam Zeebrugge. Kustlengte: 346 m.	180
Figuur 114 – Schematische afbakening, op basis van de 0 m-TAW hoogtelijn bij de opname voorjaar-zomer 2019, van de "Plaat van Heist".	181
Figuur 115 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 44. Kustlengte: 346 m.....	182
Figuur 116 – Situatiekaartje kuststrook 45, Heist, bij Heldenplein. Kustlengte: 626 m.....	183
Figuur 117 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 45. Kustlengte: 626 m.....	184
Figuur 118 – Situatiekaartje kuststrook 46, duinen tussen Heist en Duinbergen. Kustlengte: 973 m.	186
Figuur 119 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 46. Kustlengte: 973 m.....	187
Figuur 120 – Situatiekaartje kuststrook 47, Duinbergen-Centrum. Kustlengte: 700 m.....	188
Figuur 121. – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 47. Kustlengte: 700 m.....	190
Figuur 122 – Situatiekaartje kuststrook 48, Albertstrand. Kustlengte: 1410 m.....	191
Figuur 123 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 48. Kustlengte: 1410 m.....	193
Figuur 124 – Situatiekaartje kuststrook 49, Knokke-Zoute. Kustlengte: 2237 m.....	194
Figuur 125 – Een profiel voor en na de strandsuppletie van 1999 in sectie 235 te Knokke.	195
Figuur 126 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 49. Kustlengte: 2237 m.....	197
Figuur 127 – Situatiekaartje kuststrook 50, Knokke-Lekkerbek. Kustlengte: 2310 m.....	198
Figuur 128 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 50. Kustlengte: 2310 m.....	200
Figuur 129 – Situatiekaartje kuststrook 51, Zwin. Kustlengte: 1590 m.....	201
Figuur 130 – Deelgebieden gebruikt bij de verdeling van de afgravingen van de duinen en de Zwingeel in 2016 over de kuststroken en hoogtelagen.....	203

Figuur 131 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 51. Kustlengte: 1590 m.....	204
Figuur 132 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de zone 5, van Zeebrugge tot de Zwingeu.....	206
Figuur 133. – Verplaatsing van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019, kustzone Zeebrugge – Nederlandse grens.	207
Figuur 134 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de hele Vlaamse kust.	209
Figuur 135 – Overzicht per sectie van de waargenomen recentste lineaire trend, deel boven laagwater. .	210
Figuur 136 – Overzicht per sectie van de waargenomen recentste lineaire trend, deel onder laagwater. .	211
Figuur 137 – Overzicht van de recentste (indien verschillend van de gecorrigeerde) of vorige (indien er in de kuststrook geen zandaanvoer of –afvoer plaatsvond, én de trend is gewijzigd) lineaire trend van de waargenomen volumes per kuststrook.....	211
Figuur 138 – Overzicht van de recentste lineaire trend van de voor zandaanvoer en –afvoer gecorrigeerde volumes per kuststrook.....	212
Figuur 139 – Principeschets "morfologische insnoering van de stroomgeulen onder de kust".	217
Figuur 140 – Voorstel tot uitbreiden jaarlijkse vooroeverlodingen.	219

1 Inleiding: context en doel van dit rapport

Hoewel het strand er nogal vlak uitziet, heeft het in werkelijkheid naar zee toe een lichte helling die onder Morfologische trends aan de Belgische Kust water doorloopt tot op de vlakke bodem voor de kust. Die voortzetting van het strand onder water is de vooroever. Vooroever, strand en duinen vormen samen een groot zandlichaam dat fungeert als natuurlijke kustbarrière of zeewering. Hoewel het uit los zand bestaat, is dit zandlichaam een effectieve natuurlijke dam die de zee tegenhoudt. Inderdaad, zonder kustbarrière zou de zee zeker bij hoogwater het laaggelegen binnenland overspoelen en de stroming die gepaard zou gaan met het binnenlopen en uitlopen van het zeewater door het getij zou mogelijk diepe geulen uitschuren. Reeds sinds het afsmelten van de grote ijskappen na de laatste ijstijd (ruwweg tussen 20.000 en 10.000 jaar geleden), stijgt het zeepeil. De Vlaamse kust, een klein onderdeel van de zuidelijke en zuidoostelijke Noordzeekust, heeft zich ontwikkeld, ruwweg op de positie die we vandaag kennen, sinds ongeveer 7000 tot 5000 jaar geleden. Nadien verschoof de kust lokaal nog land- of zeewaarts. Dit blijkt enerzijds uit onderzoek van afzettingen en anderzijds uit archeologisch onderzoek, en wordt verder ondersteund met informatie uit historische documenten sinds ongeveer de 11^e eeuw. In het tweede millennium is de kust in de 13^e en vooral in de 14^e eeuw nog over enkele honderden meters landwaartse geweken tussen Nieuwpoort en Heist. Vanaf de 16^e eeuw blijkt de kustlijn, op het mondingsgebied van de IJzer en het Zwin na, constant op haar huidige plaats te zijn gebleven. Dit vereiste wel op steeds meer plaatsen kustverdedigingsmaatregelen (zie rapport project WL 14.026, Historische ontwikkeling kustlijn, in voorbereiding). Hoewel het stijgingsritme van het zeepeil in de historische tijd is gedaald, wordt nu door toedoen van de menselijke activiteiten over de hele aarde opnieuw een versnelde stijging verwacht (IPCC, 2019). Het huidige, werkelijke stijgingsritme aan de Vlaamse kust is 2,4 mm per jaar (Ozer et al., 2019). Sinds de eerste gedetailleerde strandkaarten rond 1980 werden gemaakt, is het gemiddeld zeepeil dus al bijna 10 cm gestegen.

Ook vandaag is het oppervlak van de kustbarrière zowel onder als boven water zeer dynamisch. Het zand wordt voortdurend verplaatst door golfbewegingen, getijstroming en windwerking. Veel van de zandverplaatsingen hebben geen netto morfologisch effect. Zo kan het zand dat verwijderd wordt van een bepaalde plek, stelselmatig vervangen worden door een even grote aanvoer. Indien systematisch zand van een plaats wordt afgevoerd, kent deze plaats erosie, en indien deze beweging jaren aanhoudt, spreken we van structurele erosie. Plaatsen met systematische aanzanding kennen sedimentatie, en indien de trend jaren aanhoudt, structurele sedimentatie.

Veel van de erosie en sedimentatie is een (trage) aanpassing van de natuurlijke morfologie onder natuurlijke processen aan veranderende randvoorwaarden. Over het algemeen gaan we ervan uit dat de natuurlijke processen die zand transporteren, niet sterk veranderen in de tijd. De ruimtelijke configuratie verandert door toedoen van de mens wel sterk. Zo werden sinds eeuwen strandkribben en dijken aangebracht om afslag van zand te verminderen of om de kustlijn vast te leggen. Inhammen van de zee en overstroombare slikken en schorren werden ingedijkt. Vanaf de 19^e eeuw werden de zich ontwikkelende badplaatsen beschermd met een harde zeedijkvloeiing. Lange strandhoofden werden op het strand aangelegd om dit vast te leggen. Havens werden steeds verder in zee uitgebouwd en toegangsgeulen naar de havens werden door baggeren verdiept. In de tweede helft van de 20^e eeuw schakelden de kustbeheerders voor kustbescherming over naar zandsuppletie. Hierbij wordt, hetzij via leidingen, hetzij via aanvoer met bulldozers en vrachtwagens, zand op het strand en aan de duinvoet aangebracht om eerder geleden of verwachte erosie te compenseren of om het veiligheidsniveau of de recreatieve waarde te verhogen. Nog later werden er ook onderwatersuppleties uitgevoerd in enkele zones net onder de laagwaterlijn.

De natuurlijke veranderingen in de hoogteligging (= veranderingen in de morfologie) van het kustlichaam en de morfologische veranderingen die geïnduceerd worden door de kustbeschermingswerken en havengerelateerde werken, moeten nauwkeurig worden opgevolgd.

De opnamen ten behoeve van de opvolging en studie van de morfologie van de Vlaamse kust worden uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Kust te Oostende.

Sinds de rapportering "Morfologische trend van de Vlaamse kust in 2011" (Houthuys, 2012) zijn acht jaren verstreken waarin op dezelfde manier als voorheen regelmatig opnamen werden verricht van de hoogteligging van het strand, de zeedijk en de eerste duinenrij, en van de diepteligging van de vooroever. Op die manier werden er 15 nieuwe opnamen verricht van het "droge" gedeelte boven laagwater van de volledige kust en 8 nieuwe volledige en 19 partiële opnamen van het "natte" gedeelte beneden hoogwater. In dezelfde periode werden de suppletie-inspanningen aan de Vlaamse kust gevoelig opgevoerd in het kader van het Masterplan Kustveiligheid, dat werd goedgekeurd in juni 2011. Ruwweg kan men de totale zandaanvoer op het deel van het strand boven de laagwaterlijn van 1983 tot 2011 ramen op 12 miljoen m³; de bijkomende zandaanvoer tussen 2011 en 2019 bedraagt ongeveer 8 miljoen m³. Tevens gebeurde de aanleg van de nieuwe, 600 m in zee uitstekende strekdammen van de haven van Oostende, en werd ook een nieuwe toegangseul tot deze haven, de "Pas van Stroombank", gebaggerd, waarna men de oude vaargeul liet dichtzanden.

De Vlaamse overheid wenst thans een bijwerking te realiseren van het rapport "Morfologische trend van de Vlaamse kust in 2011". Dit betekent een bijwerking met gegevens tot 2019 van de tabellen met de evolutie van het volume per hoogteschijf per sectie. De evolutie van het volume wordt ook weergegeven in grafieken en de recentste lineaire trend wordt bepaald. Tevens wordt de evolutie van aangrenzende secties met een vergelijkbare morfologische ontwikkeling samengenomen per "kuststrook". Voor de kuststroken worden verder ook gegevens verzameld van zandvolumes die bij allerlei werken (strandsuppleties, badstrandophogingen, baggerwerken) worden aan- of afgevoerd. Aan de hand van deze gegevens worden "gecorrigeerde" of "autonome" tijdreeksen van zandvolumes opgesteld, waarvoor eveneens een lineaire trend wordt bepaald.

De verwerking maakt gebruik van digitale hoogtemodellen per opname, dit is een gebiedsdekkende kaart met hoogtewaarden per eenheidscel van het model. Er worden ook verschilkaarten van de hoogteligging gemaakt. De tijdreeks van deze verschilkaarten laat toe een ruimtelijk beeld te schetsen van de hoogteverschillen en de wijziging ervan doorheen de tijd. Zij worden, samen met de verschilvolumes en trends, geïnterpreteerd naar onderliggende morfologische ontwikkelingen van de kust in lokale en regionale context. Deze interpretatie mondt uit in het formuleren van hypothesen over de zandbalansen en zandtransporten en uitspraken over de te verwachten morfologische evolutie in de eerstvolgende jaren. Tevens worden aanbevelingen gedaan voor de verdere morfologische monitoring en verder morfologisch onderzoek.

2 Verwerkte gegevens

2.1 Inleiding

De opnamen ten behoeve van de opvolging en studie van de morfologie van de Vlaamse kust vereisen de gecombineerde inzet van twee soorten meettechnieken. Het "droge deel" van de zeewering (de duinen, het droogblijvende deel van het strand en het bij laagwater droogvallende deel van het strand) wordt sinds ongeveer 1980 opgemeten vanuit vliegtuigen. Tot 1999 werd gebruik gemaakt van stereofotogrammetrie. Vanaf dan werd vliegtuiglaserscanning (LIDAR) ingezet. Een volledige opname gebeurt minstens eenmaal per jaar, meestal in het voorjaar. Vóór 2000 en sinds 2014 wordt systematisch ook een tweede opname in het najaar gedaan. Het "natte deel" van de zeewering (vooroever en een stuk van de aansluitende zeebodem) wordt opgenomen bij hoogwater. Aldus wordt een overlap gerealiseerd met de droge opnamen. De metingen maken gebruik van echoloding. Doorgaans wordt deze uitgevoerd met ondiepe meetvletten die op meetraaien loodrecht op de kust de diepteligging opnemen met gebruik van "singlebeam" (SB) echolood. Een volledige opname gebeurt minstens eenmaal per jaar, meestal in het voorjaar. De tijd nodig om het natte deel op te meten is veel langer dan de meetvlucht voor het droge deel, die slechts ongeveer een uur duurt, en neemt vaak 7 tot 8 dagen in beslag.

De metingen maken gebruik van relatieve en globale plaatsbepalingssystemen. Ze worden voor de kartering, opslag en verwerking steeds omgezet naar een vast Belgisch referentiestelsel. De ruimtelijke coördinaten worden geprojecteerd in het Belgische Lambert 1972 coördinatenstelsel. De hoogte wordt omgezet naar Tweede Algemene Waterpassing (TAW). De laagste laagwaters aan onze kust liggen in TAW ongeveer op 0 m; de hoogste hoogwaters bereiken ongeveer 5 m. Merk op dat deze waarden zullen veranderen door de continue en mogelijk versnellende zeespiegelstijging.

2.2 Kustsecties

De Vlaamse kust is ingedeeld in vaste vakken, "kribvakken" of "secties" genoemd. De secties werden eenmalig vast gedefinieerd op het einde van de jaren 1970 voor de Oostkust en het oostelijke deel van de Middenkust, en begin jaren 1980 voor de rest van de Middenkust en de Westkust. In het midden van de jaren 1990 werden ze hernummerd, zodat ze één opeend systeem vormen. Zij zijn genummerd van west (sectie 1 ligt nog net op Franse bodem) naar oost (de grens met Nederland ligt in sectie 255; vaak wordt gemeten tot sectie 277 net voorbij Cadzand). De grens tussen secties ligt vaak op de kruin van een strandhoofd. Waar geen strandhoofden zijn, werden vaste kustlengtes gehanteerd. De landwaartse grens ligt hetzij aan de landwaartse voet van de eerste duinenrij, hetzij op de kruin van de eerste duinenrij, hetzij, op plaatsen waar een zeedijk aanwezig is, aan de voet van de zeedijk. Deze grens verandert niet in de tijd en is vastgelegd met coördinaten. Op heel wat plaatsen zijn de duinen sinds 1980 aangegroeid, zowel aan de zee- als aan de landzijde. De sectiegrens is niet mee veranderd. Op heel wat plaatsen met een zeedijk zijn strandsuppleties uitgevoerd. Hierdoor is de zeedijk gedeeltelijk of soms volledig onder het zand verdwenen. Ook hier is de sectiegrens niet mee veranderd. Wel zijn de LIDAR-opnamen ook verricht in het deel van de zeewering dat landwaarts van de vaste sectiegrens ligt.

In enkele secties in De Panne en Koksijde zijn na het definiëren van de sectiegrenzen nog gebouwen opgetrokken binnen de sectiegrens. Hier werd de grens eenmalig aangepast, zodat de gebouwen er buiten vallen. Alle volumes werden opnieuw berekend voor de nieuwe sectiegrens. Deze aanpassing gebeurde begin jaren 1990.

Door de uitbreiding van de haven van Oostende vanaf 2009, zijn hier nu aanpassingen aan de sectiegrenzen nodig geworden. De aanpassing is doorgevoerd bij de onderhavige rapportering (zie paragraaf 4.1).

Aan de zeezijde werden vanaf 1986 tot 1992 (afhankelijk van de zone langs de kust waar voor het eerst vooroeverlodingen werden uitgevoerd) de sectiegrenzen zeewaarts verlengd tot een vaste grens op ongeveer 1500 m afstand van de zeedijk of duinvoet. Aldus ontstonden lange rechthoekige vakken met lange as loodrecht op de kustlijn. Vaak is er een lichte knik van de zijdelingse sectiegrens aan de overgang van het deel strand naar het deel vooroever.

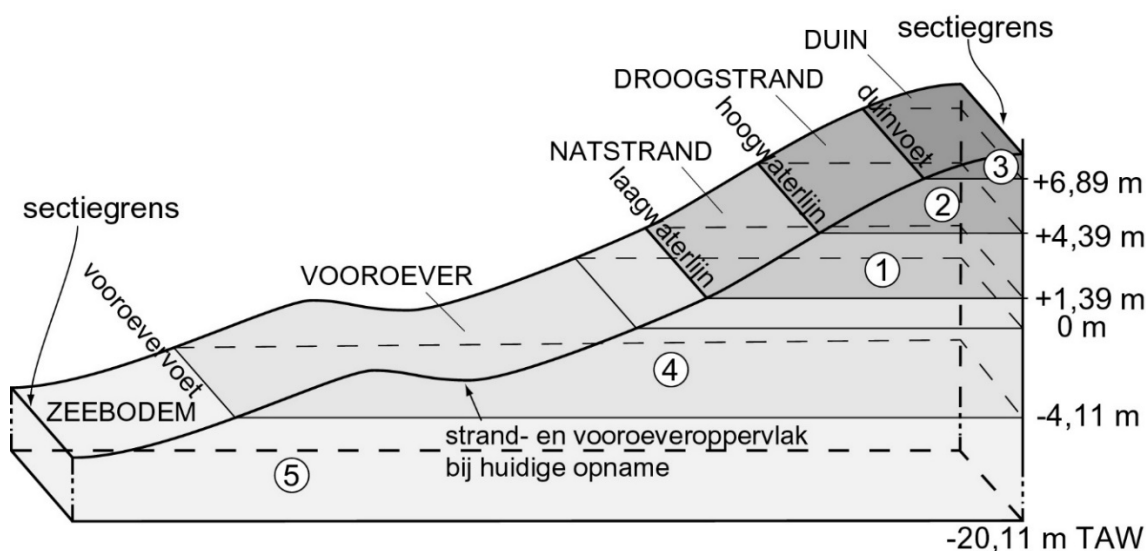
De vaste definitie van de sectiegrenzen is meegeleverd in bijlage 1 (shapefile "Secties_koppeling_2019.shp").

2.3 Horizontale schijven of hoogtelagen

Voor de opvolging van de kustmorfologie via volumecijfers, is van in het begin van de vliegtuigmetingen (eind jaren 1970) de Oostkust ook horizontaal opgedeeld in schijven of hoogtelagen. Deze methodiek bleek interessant ook wanneer er grote morfologische veranderingen in de ligging van de kustlijn begonnen op te treden, bv. rond de buitenhaven van Zeebrugge. De aangroei blijft zich voordoen in dezelfde hoogteschijf. Daarom werd medio jaren 1990 het systeem van opdeling in horizontale schijven ook toegepast voor de Midden- en Westkust (waar aanvankelijk met deelvolumes via vaste blokken, begrensd door vaste verticale vlakken werd gewerkt). Op dat ogenblik werden alle volumes herberekend in horizontale schijven voor de hele Vlaamse kust.

De vaste horizontale grensvlakken lagen op +7 m (duinvoet), +4,5 m (hoogwaterlijn) en +1,5 m (laagwaterlijn) t.o.v. de verticale referentie "MOW Z". Merk op dat deze termen hier conventioneel werden gedefinieerd en geen strikt morfologische betekenis hebben. Immers, in werkelijkheid ligt de bv. de laagwaterlijn wat hoger of lager in functie van de springtijcyclus. Eveneens medio jaren 1990 werd overgestapt van metingen gerefereerd in MOW Z naar het Belgisch stelsel TAW. Voor de omzetting werd een vast verschil van 0,11 m toegepast. Hierdoor kregen de begrenzendende horizontale vlakken de ietwat vreemde hoogtewaarden +6,89 m, +4,39 m en +1,39 m (Figuur 1).

Voor het deel onder laagwater werd de vooroevervoet gedefinieerd op -4 m Z of -4,11 m TAW. Het volume tussen het horizontale vlak door de laagwaterlijn en dat door de vooroevervoet is het "volume vooroever". Het volume dat nog lager ligt, wordt "volume zeebodem" genoemd (Figuur 1).



De volumehoogteschijven (hier weergegeven in verschillende tinten grijs) bij een bepaalde opname zijn ruimtelijke veelvlakken begrensd door het gemeten terreinoppervlak, de verticale vlakken door de vaste sectiegrenzen en de vaste horizontale scheidingsvlakken, en zijn respectievelijk (zie omcirkelde cijfers) (1) "natstrand", (2) "droogstrand", (3) "duin", (4) "vooroever" en (5) "zeebodem".

Figuur 1 – Principeschets van een sectie, met daarin de hoogtevlakken die de hoogteschijven (of hoogtelagen) bepalen.

Bij de studie van de morfologie van de kust blijkt vaak een verschillend morfologisch gedrag van het meest landwaartse stuk van de vooroever tegenover het meer zeewaartse stuk. Het meest landwaartse stuk duiden we in dit rapport aan met de informele term "hogere vooroever", het meest zeewaartse is de "lagere vooroever". De grens tussen beide subzones is ongeveer de hoogtelijn van -2 m TAW. Vaak bevindt zich op de overgang van de lagere naar de hogere vooroever, en meestal nog net binnen de hogere vooroever, de meest zeewaartse brekerbank.

2.4 Opnamen van het droge deel

Vanaf 1999 werd vliegtuiglaserscanning (LIDAR) ingezet voor de opname van de hoogteligging van het deel van het strand dat bij laagwater droog ligt. Voor een overzicht van de meetvluchten van het strand tot 2011 zie Houthuys (2012). Alle datums van de meetvluchten zijn ook opgenomen in de tabellen met de evolutie van de volumes per sectie en kuststrook. *Tabel 1* bevat de gegevens m.b.t. de meetvluchten sinds 2012. Bij alle meetvluchten ligt de geleverde punt dichtheid op het strand hoger dan 1 punt per m². Alle meetvluchten dekken secties 1 tot en met 266, een aantal ook nog tot sectie 277 (Cadzand).

Tabel 1 – Overzicht van de LIDAR-vluchten van de Vlaamse kust sinds 2012.

Hoogtemodel met eenheidscel 2 x 2 m	Vluchtnummer	Datum meetvlucht	Opmerking
2012_1	67	7-mei-12	Voorjaar 2012
2013_1	68	29-apr-13	Voorjaar 2013
2013_3	69	10-dec-13	na de sinterklaasstorm
2014_1	70	15-apr-14	Voorjaar 2014
2014_2	71	6-nov-14	Najaar 2014
2015_1	72	17-mei-15	Voorjaar 2015
2015_2	73	27-okt-15	Najaar 2015
2016_1	74	10-apr-16	Voorjaar 2016
2016_2	75	14-dec-16	Najaar 2016
2017_0	76	17-jan-17	na de storm Dieter
2017_1	77	26-mei-17	Voorjaar 2017
2017_2	78	6-nov-17	Najaar 2017
2018_1	79	17-apr-18	Voorjaar 2018
2018_2	80	6-nov-18	Najaar 2018
2019_1	81	20-apr-19	Voorjaar 2019

2.5 Opnamen van het natte deel

Het uitvoeren van een bedekking via echolodgingen van de vooroever en het stuk aanpalende zeebodem dat binnen de sectiegrenzen valt, vergt doorgaans 7 à 8 lodingsdagen. Omdat er ook rustige zee en hoogwater overdag nodig is, liggen deze dagen vaak weken, tot twee maanden uit elkaar. Voor de verwerking van de volumecijfers tot trends wordt gewerkt met een vaste gemiddelde lodingsdatum voor de hele kust, die middenin de lodingsdagen van een bepaalde opname wordt gekozen.

Voor een overzicht van de gemiddelde lodingsdata van de vooroeveropnamen tot 2011, zie Houthuys (2012). Alle gemiddelde datums van de vooroeverlodgingen zijn ook opgenomen in de tabellen met de evolutie van de volumes per sectie en kuststrook. *Tabel 2* bevat de gegevens m.b.t. de lodgingen sinds 2012. Doorgaans gaat het om singlebeam (SB) echolodgingen, waarbij binnen de raaien, loodrecht op de kustlijn, meestal 4 punten per m worden gemeten, terwijl de raaien meestal 100 m van elkaar liggen. Er zijn ook enkele

multibeam (MB) opnamen beschikbaar van focusgebieden, die een zeer gedetailleerd beeld van de bodem opleveren. Hoewel er veel opnamen (“koppelingen”, naar de gewoonte om de bathymetrische opname te verbinden aan een opname van het strand) zijn uitgevoerd, dekken ze lang niet allemaal de hele kust. Er is wel telkens één opname per jaar.

Tabel 2 – Lodingen sinds 2012.

Hoogtemodel	Afmeting eenheids-cel* (m)	SB-simulatie hoogtemodel uit MB gegevens	Afmeting eenheids-cel* (m)	Koppeling	Gemiddelde opnamedatum	Opgenomen gebied
2012	10			37	24/05/2012	SB hele kust
2013_1	10			38	25/06/2013	SB hele kust
2013_pot en wen	1	2013_pot_s en wen_s	10	39	16/08/2013	MB Potje – Broers Bank 4-33 en Wenduine 171-177
2014_1	10			40	7/05/2014	SB hele kust
2014_2_Mk	1			41	24/09/2014	MB Middelkerke - Oostende
2015_0B	1			42	24/01/2015	MB te Blankenberge, s183-196
2015_1	10			43	2/06/2015	SB hele kust
2015_2m en bk	1	2015_2m_s en bk_s	10	44	31/07/2015	MB zone Mariakerke-Oosendet, s89-111, Blankenberge s199-216, Zwin 251-267
2016_1	10			45	4/05/2016	SB Blankenberge-Zeebrugge 183-194
2016_2	10			46	5/09/2016	SB hele kust
2017_02	10			47	7/02/2017	SB Oostduinkerke 44-53, Mariakerke 98-108, Oostende-Oost 122-123 (en Knokke 232-235 niet volledig bedekt)
2017_03	10			48	15/03/2017	SB Oostduinkerke 44-53, Mariakerke 98-108, Oostende-Oost 122-123 en Knokke 232-237
2017_04	10			49	2/05/2017	SB Oostduinkerke 44-53, Mariakerke 98-108, Oostende-Oost 122-123, Wenduine 169-177 en Knokke 232-237
2017_1	10			50	10/06/2017	SB hele kust
2017_09	1			----	27/09/2017	MB 60-65 OWS Lombardsijde
2017_2	10			51	17/10/2017	SB CREST Groenendijk 43-53, Mariakerke 97-109, Blankenberge-Zeebrugge 185-196
2017_10	1			----	17/10/2017	MB 60-65 OWS Lombardsijde
2017_11	10			52	9/11/2017	SB Crest Groenendijk 43-53
2017_12	1			----	20/12/2017	MB 60-65 onderwatersuppletie Lombardsijde
2018_01	10			53	28/01/2018	SB CREST Mariakerke 97-109, Wenduine 172-175
2018_05	1			54	6/05/2018	MB loswallen Nieuwpoort, Blankenberge
2018_1	10			55	5/07/2018	SB hele kust
2018_09	1			---	25/09/2018	MB 60-65 onderwatersuppletie Lombardsijde
2018_10	1			---	9/10/2018	MB 24-35 Broers Bank
2018_11				---	5/11/2018	MB loswallen Nieuwpoort, Blankenberge
2019_02	1	2019_02s	10	56	14/02/2019	MB 60-65 onderwatersuppletie Lombardsijde wel volledige bedekking maar niet gebruikt in de volumeberekeningen per sectie, wel bij de studie van de evolutie van de onderwatersuppletie
2019_1	10			57	20/06/2019	SB hele kust t/m 266
2019_07	1			58	29/07/2019	MB 60-65 OWS Lombardsijde wel volledige bedekking maar niet gebruikt in de volumeberekeningen per sectie, wel bij de studie van de evolutie van de onderwatersuppletie

Opnamen in cursief zijn niet gebruikt bij de bepaling van volumecijfers per sectie, omdat de bedekking niet volledig is. De betrokken opnamen zijn wel uitgewerkt tot hoogtemodellen en kunnen worden gebruikt bij de geografische studie van morfologische veranderingen. * Eenheids-cel = elementair vierkantje in het rooster van het hoogtemodel.

3 Verwerkingsmethode van de gegevens

3.1 Principe van de volumebepaling op basis van de LIDAR-opnamen

De gegevens van de LIDAR-opnamen worden uitgevoerd in opdracht van de afdeling Kust te Oostende. Zij worden ter beschikking gesteld als tekstbestanden met “maaiveldpunten”. Deze zijn het resultaat van een filtering door de leverancier van de laserscan-opnamen van het strand waarbij punten die niet tot het grondoppervlak behoren, zoals op wateroppervlakken of de bovenkant van het vegetatiedek, door een semi-automatische procedure worden verwijderd, en enkel de punten die op het grondoppervlak liggen, worden behouden. De punten zijn geleverd met X, Y in Lambert 72 en Z in TAW, en worden zo ook verder verwerkt. De ruimtelijke punt dichtheid is gemiddeld hoger dan 1 punt per m². Aangezien er voor de ruimtelijke studie van de morfologie en de berekening van volumes werkbare hoogtemodellen per kustzone gemaakt worden in regelmatige roosters met punten om de 2 m, wordt de oorspronkelijke dichtheid van de LIDAR-puntenwolken verkleind. Doorgaans wordt sequentieel ieder 5^e punt van de puntenwolk behouden. De punten worden gegeorefereerd via hun X, Y-coördinaat en worden via een netwerk van onregelmatige driehoeken (TIN) omgezet tot een gebiedsdekkende beschrijving van de hoogte van het terreinoppervlak. Via lineaire interpolatie in dit TIN op de X, Y-locatie van de centra van het regelmatig rooster wordt de Z-waarde (hoogteligging) in het geografisch datarooster (grid) met eenheidsafstand 2 meter bepaald. De roosterwaarden zijn de hoogte in meter TAW. Door roosterwaardesommatie binnen vakken (de secties) wordt een maat voor het volume binnen de sectie verkregen. Vermenigvuldiging van de somwaarde met de celoppervlakte (4 m²) levert het volume op tussen het terreinoppervlak en het nulvlak. Driehoeksinterpolatie, aanmaak van datarosters en sommatie van roosterwaarden binnen geografisch begrensde gebiedjes (secties) gebeuren in een GIS. Door de 2x2 m-grids in hoogte te verschuiven met respectievelijk -1,39 m, -4,39 m en -6,89 m, en de hoogtewaarden die na deze verschuiving nog kleiner zijn dan 0 gelijk te stellen aan 0, kan men via sommatie van de celwaarden binnen de sectiegrenzen en vermenigvuldiging met de oppervlakte van de eenheidscel de volumes bepalen die gelegen zijn tussen het terreinoppervlak en de genoemde hoogtevlakken. Men verkrijgt aldus achtereenvolgens de volumes van de hoogteschijven 1+2+3, 2+3 en 3 (zie *Figuur 1*). Uit deze waarden kan men dan de volumes per hoogteschijf “natstrand” (1), “droogstrand” (2) en “duin” (3) afleiden.

Ten einde volumeverschillen te bepalen t.o.v. de referentiemeting (de per sectie eerst beschikbare meting), wordt gebruikt gemaakt van het volume bij de scharnierdataset¹ van 2001. De oude bestanden in Excel met de tijdreeksen van volumeverschillen in sectie 2 tot 266 werden aangevuld met de getallen voor de periode 2011-2019. Tevens werden de grafieken aangepast zodat de hele tijdreeks kan worden weergegeven. Vervolgens werd nagegaan wat de recentste lineaire trend per sectie is voor enerzijds de hoogtelaag “strand” (natstrand (1) + droogstrand(2)) en anderzijds “duinaanzet” (3) (*Figuur 1*). De start van de periode waarover de recentste trend werd berekend en gerapporteerd in *bijlage 2*, werd zo mogelijk gelijk gehouden aan de vorige versie van deze studie met bijwerking tot 2011. Enkel wanneer de trend duidelijk veranderd was (bv. bij strandsuppletie), werd de begindatum van de periode waarover de trend werd berekend, aangepast. Indien in het laatste of voorlaatste jaar een strandsuppletie werd uitgevoerd, kon geen trend worden bepaald voor de periode na de werken, omdat er nog niet voldoende meetpunten beschikbaar zijn. In dat geval werd de laatste trend voor de strandsuppletie bepaald.

¹de scharnierdataset is het hoogtemodel waarbij de aansluiting tussen eerder geleverde volumes per sectie en hoogteschijf en de volumes van nieuwe hoogtemodellen wordt gerealiseerd. De eerder geleverde volumes betroffen immers enkel volumeverschillen t.o.v. het volume bij een eerste referentie-opname. Deze is echter niet als hoogtemodel beschikbaar. Bij de scharnierdataset is zowel het eerder geleverd volumecijfer als het hoogtemodel beschikbaar.

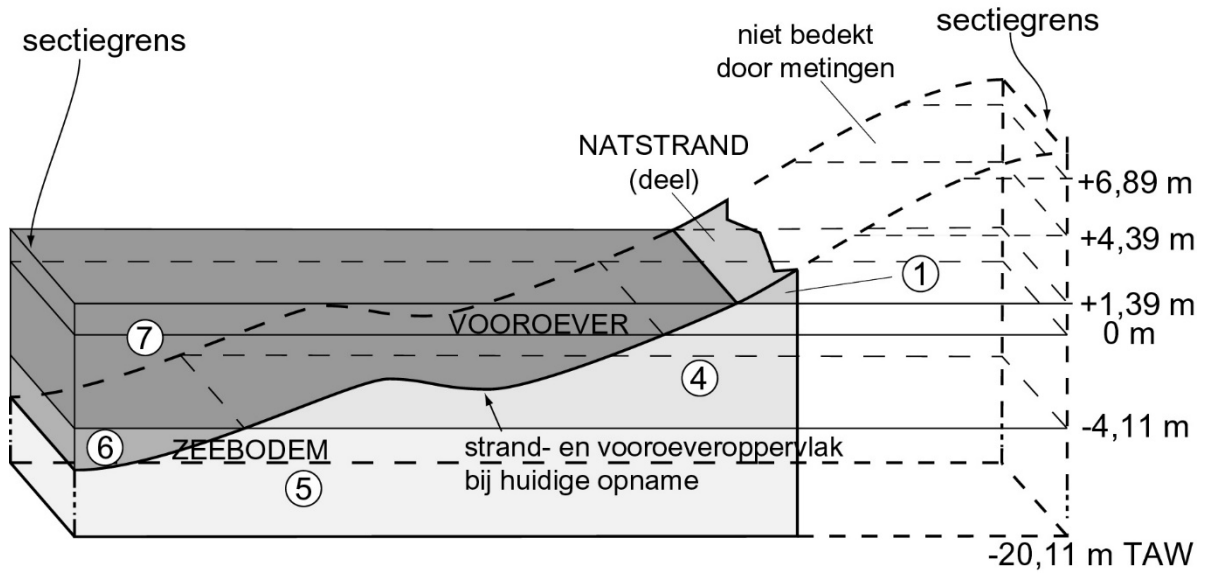
3.2 Principe van de volumebepaling op basis van de vooroeverlodingen

De gegevens van de singlebeam-echolodingen van de vooroever en de aanpalende zeebodem worden uitgevoerd in opdracht van de afdeling Kust te Oostende. De punten gemeten met frequentie 200 kHz meten de bodem onder de vloeibare sliblaag (indien deze aanwezig is). Ze worden ter beschikking gesteld als tekstbestanden met punten binnen de raaien op hun werkelijke positie (er wordt geen filtering toegepast). De punten zijn geleverd met X, Y in Lambert 72 en Z in TAW ("negatieve diepten"), en worden zo ook verder verwerkt. De ruimtelijke punt dichtheid binnen de raaien is gemiddeld hoger dan 4 punten per meter; anderzijds liggen de raaien op een (grote) tussenafstand van meestal 100 m. Als optimum tussen de hoge dichtheid dwars op de kust en de lage dichtheid in de richting langs de kust, worden er voor de ruimtelijke studie van de morfologie en de berekening van volumes werkbare hoogtemodellen per kustzone gemaakt worden in regelmatige roosters met punten om de 10 m. De meetpunten worden gegeoreferereerd via hun X, Y-coördinaat en worden via een netwerk van onregelmatige driehoeken (TIN), waarbij de individuele driehoeken meestal een lange, smalle vorm hebben zodat er punten van twee meetraaien aangesproken worden, omgezet tot een gebiedsdekkende beschrijving van de hoogte van het terreinoppervlak. Via lineaire interpolatie in dit TIN op de X, Y-locatie van de centra van het regelmatig rooster wordt de Z-waarde (hoogteligging) in het geografisch datarooster (grid) met eenheidsafstand 10 meter bepaald. De roosterwaarden zijn de hoogte in meter TAW (negatieve diepte). Door roosterwaardesommatie binnen vakken (de secties) wordt een maat voor het volume binnen de sectie verkregen. Vermenigvuldiging van de somwaarde met de celoppervlakte (100 m²) levert het volume op tussen het terreinoppervlak en het nulvlak. Driehoeksinterpolatie, aanmaak van dataroosters en sommatie van roosterwaarden binnen geografisch begrensde gebiedjes (secties) gebeuren in een GIS. Door de 10x10 m-grids in hoogte te verschuiven met respectievelijk -1,39 m en +4,11 m, en de hoogtewaarden die na deze verschuiving nog groter zijn dan 0 gelijk te stellen aan 0, kan men via sommatie van de celwaarden binnen de sectiegrenzen en vermenigvuldiging met de oppervlakte van de eenheidscel de volumes bepalen die gelegen zijn tussen het terreinoppervlak en de genoemde hoogtevlakken. Men verkrijgt aldus de volumes van de hoogteschijven 6+7 en 7 (zie *Figuur 2*). De bedekking van het 10x10 m-grid is immers aan de landwaartse zijde niet volledig (zie *Figuur 2*) en bovendien is de afsnede van jaar tot jaar verschillend. Daarom moet er gewerkt worden naar de vaste zeewaartse sectiegrens, waar de bedekking met datapunten wel volledig is. Uit de waarden 6+7 en 7 kan men niet rechtstreeks de volumes per hoogteschijf "vooroever (4), en "zeebodem" (5) afleiden. Maar we hoeven enkel het volumeverschil t.o.v. de referentie (=eerst beschikbare vooroeverloding) te bepalen. Door eveneens voor de scharnierdataset (de vooroeverloding van 2000, zie Houthuys, 2012) het volume van de schijven 6 en 7 te bepalen, kan het volumeverschil t.o.v. de referentie worden verkregen. De gezochte volumeverschillen zijn dan:

$$\Delta V_{z_b} = "6"_{\text{huidige vooroeverloding}} - "6"_{\text{scharnierdataset}}$$

$$\Delta V_{z_o} = "7"_{\text{huidige vooroeverloding}} - "7"_{\text{scharnierdataset}}$$

De bestanden in Excel met de tijdreeksen van volumeverschillen in sectie 2 tot 264 (secties 265 en 266 zijn in sommige opnames niet volledig met gegevens bedekt) werden aangevuld met de getallen voor de periode 2011-2019. Tevens werden de grafieken aangepast zodat de hele tijdreeks kan worden weergegeven. Vervolgens werd nagegaan wat de recentste lineaire trend per sectie is voor de hoogtezones "vooroever" (4) en "zeebodem" (5) (*Figuur 1* en *Figuur 2*). De start van de periode waarover de recentste trend werd berekend, werd zo mogelijk gelijk gehouden aan de vorige versie van deze studie met bijwerking tot 2011. Enkel wanneer de trend duidelijk veranderd was (bv. bij onderwatersuppletie), werd de begindatum van de periode waarover de trend werd berekend, aangepast. Indien in het laatste of voorlaatste jaar een onderwatersuppletie werd uitgevoerd, kon geen trend worden bepaald voor de periode na de werken, omdat er nog niet voldoende meetpunten beschikbaar zijn. In dat geval werd de laatste trend voor de onderwatersuppletie bepaald.



Figuur 2 – Wijze waarop de volumes van de natte opname worden bepaald (zie tekst).

4 Opmerkingen i.v.m. de bijwerking tot 2019

4.1 Invoering van nieuwe sectiegrenzen bij de haven van Oostende

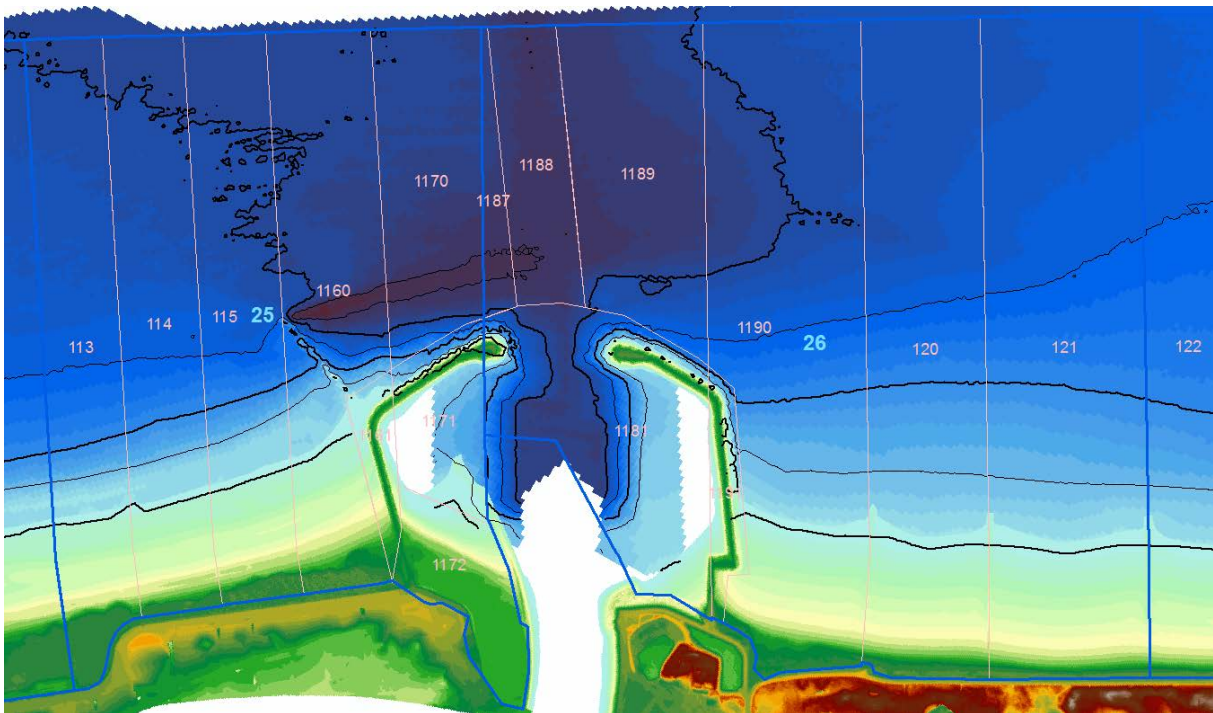
De haven werd uitgebouwd vanaf 2009. De nieuwe strekdammen steken ongeveer 600 m uit in zee t.o.v. de lijn van de zeedijk. Tevens werd een nieuwe vaargeul naar de haven aangelegd. De oude vaargeul liep schuin door het zeewaartse deel van secties 114-118 en had een bodem lager dan TAW -8 m. De nieuwe vaargeul wordt "Pas van Stroombank" genoemd en benadert vanuit zee recht de haveningang. Ze ligt volledig in de oude sectie 118 en heeft een bodem lager dan TAW -9,5 m. De uitbouw van de haven legt een belangrijk stuk van de oppervlakte van secties 116-119 vast. Het stuk met de dammen en binnen de dammen (met uitzondering van het Klein Strand in sectie 117) neemt niet langer deel aan de natuurlijke dynamiek van zandbewegingen langs de kust. Het onderwaterdeel van dit stuk wordt ook niet meer volledig opgemeten. Daarom werden nieuwe sectiegrenzen vastgelegd zodat enkel nog het Klein Strand en het gedeelte van de secties buiten de nieuwe havendammen tot de secties voor morfologische opvolging horen.

Daartoe werden de veelhoeken van secties 116, 117, 118 en 119 geknipt volgens de grens die afdeling Kust hanteert bij de definitie van de lodingsgebieden. Hierdoor werd iedere sectie in twee geknipt. Het deel dat actief blijft deelnemen aan de kustdynamiek, dus het stuk buiten de dammen, kreeg een nummer bestaande uit vier cijfers met als eerste drie het oude sectienummer met erachter een cijfer 0. Het uitgeknipte deel kreeg als laatste cijfer 1. Het Klein Strand ligt weliswaar binnen de havendammen, maar maakt toch nog deel uit van de zeewering en er kunnen veranderingen in zandvolume plaatsvinden. Het blijft opgenomen worden bij de LIDAR-meetvluchten. Het deel van sectie 117 dat het Klein Strand bevat, kreeg het nieuwe sectienummer 1172. De nieuwe sectie 1180 bevat de nieuwe vaargeul Pas van Stroombank. Dit deel werd voor de berekeningen nog eens in drie geknipt: sectie 1187 aan de westzijde, sectie 1188 in het midden omvat de zone die door baggerwerken op diepte wordt gehouden, en sectie 1189 aan de oostzijde. In de tabellen wordt het volume van secties 1187, 1188 en 1189 samengeteld en gerapporteerd als het volume van sectie 1180. Tabel 3. Nieuwe secties bij de haven van Oostende. *Tabel 3* en *Figuur 3* verduidelijken de nieuwe secties.

Tabel 3 – Nieuwe secties bij de haven van Oostende.

Oud sectie-nummer	Nieuw sectie-nummer	Naam van het kustdeel	Kustdeel-nummer	Strook-nummer	Oppervlakte oude sectie (m ²)	Oppervlakte nieuwe sectie (m ²)	Volume wordt berekend na 2009
116	1160	Oostende-Centrum	21	25	283992	255724	ja (lodingen en LIDAR)
116	1161	Oostende-Centrum	21	25		28268	neen
117	1170	Oostende-Centrum	21	25	302930	156697	ja (lodingen)
117	1171	Oostende-Centrum	21	25		71787	neen
117	1172	Oostende-Centrum	21	25		74446	ja (Klein Strand) (LIDAR)
118	1181	Oostende-Oost	22	26	539718	219209	neen
118	1187	Oostende-Oost	22	26		28239	ja, deel van 1180 (lodingen)
118	1188	Oostende-Oost	22	26		92795	ja, deel van 1180 (lodingen)
118	1189	Oostende-Oost	22	26		199476	ja, deel van 1180 (lodingen)
119	1190	Oostende-Oost	22	26	491927	459121	ja (lodingen en LIDAR)
119	1191	Oostende-Oost	22	26		32806	neen

De volumeverschillen voor secties 116, 117, 118 en 119 t.o.v. de referentieopname werden berekend tot de opname Voorjaar 2009. Er werd een tabel met de volumes voor deze secties tot Voorjaar 2009 aangemaakt. Vanaf 2009 wordt gewerkt met de nieuwe secties. Teneinde grafieken te verkrijgen die een zekere continuïteit t.o.v. de meetreeks vóór 2009 behouden, zowel voor de grafieken per sectie als in de samengevoegde tabellen per kuststrook, werd het volumeverschil t.o.v. de referentieopname bij de opname Voorjaar 2009 beschouwd als een constante, die wordt bijgeteld bij de nieuwe volumes vanaf 2009 in de kleinere secties. Hierdoor wordt gesimuleerd dat het deel van de oude secties, dat zich vanaf 2009 buiten de actieve zone bevindt, "bevroren" wordt en als constante bijgeteld wordt bij de actieve secties. Indien nodig werd deze constante (het volume 2009 min referentie) proportioneel en volgens de morfologie verdeeld over de nieuwe secties, zodat ook de inhoudelijke continuïteit min of meer gewaarborgd is. In de tabellen en grafieken per sectie voor de nieuwe secties 1160, 1170, 1172, 1180 en 1190 beginnen de waarden dus in 2009 op het niveau waar ze in de tabellen en grafieken tot 2009 stopten. In de tabellen per kuststrook nabij Oostende (strook 25 en 26) tonen de grafieken bij de opname Voorjaar 2009 een dikke verticale bruine streep, die aangeeft dat er vanaf dan volumes berekend werden in kleinere secties nabij de haven. Dankzij het bijtellen van de constante waarde bij 2009, lopen de grafieken logisch en ononderbroken door en kunnen er zelfs trends berekend worden over de sprong van 2009 heen.



Achtergrond: Ingekleurd hoogtemodel strand Voorjaar 2019 en vooroever Zomer 2019, hoogtes ingekleurd in stappen van een halve meter. Hoogtelijnen van 0, -2, -4, -6 en -8 m TAW. Strookgrenzen in blauw en strooknummers in lichtblauw; sectiegrenzen en nummers in roze. Nabij de haven zijn de eerste drie cijfers van de nieuwe sectienummers het oude nummer van de sectie. De nieuwe secties 1187, 1188 en 1189 worden in de volumerapportering samengeteld en vormen de nieuwe sectie 1180.

Figuur 3 – Definitie van nieuwe secties bij de haven van Oostende.

4.2 Modelleren van de zeebodem bij de haven van Oostende

Voor de hoogtemodellen sinds 2012 werd buiten de gewone lodingen op parallelle raaien gebruik gemaakt van bijkomende multibeamlodingen van de zone aan de voet van de nieuwe havendammen en van de dwarse strekdam in sectie 1160. De multibeamlodingen gebeuren op een andere datum dan de vooroeverlodingen. Er wordt gekozen voor een datum die zo dicht mogelijk bij de datum van de vooroeverloding ligt. De metingen van MB gebruiken een andere lodingsfrequentie. Ze worden daarom enkel overgenomen in een ongeveer 30 m brede zone aan de voet van de havendammen, waar de bedekking met SB absoluut onvoldoende is, en de contour van de onderwaterstrekdam in sectie 1160, die eveneens fout wordt gemodelleerd indien enkel de dieptemetingen van de twee raaien uit de SB-lodingen zouden worden gebruikt die over de onderwaterstrekdam lopen.

Voor de hoogtemodellen 2010 en 2011 is de voet van de havendammen niet al te best gemodelleerd. De weerslag op volumeberekeningen is nog beperkt, omdat de nieuwe secties 1170, 1180, 1190 hun landwaartse grens hebben op 40 m van de voet van de dam.

4.3 De evolutie van de vooroever in het begin van de jaren 2000

De periode 2000-2007 bevat voor de meeste kuststroken maar één tussenliggende vooroeveropname, nl. 2003 (in enkele stroken is ook een opname voor 2004 beschikbaar). De opname van 2003 levert vrijwel steevast lage volumes voor vooroever en zeebodem op. Indien beschikbaar, liggen de volumes voor 2004 ook laag in de algemene trend. Bovendien lijkt de systematische afwijking zich over het grootste deel van de opname, maar niet over de hele opname te hebben voorgedaan. De opnames zijn wel intern consistent. Er zijn geen onafhankelijke opnamen beschikbaar om uit te maken of er een systematische afwijking gebeurd zou zijn (wat aannemelijk lijkt) dan wel of deze opname valt binnen de mogelijk morfologische schommelingen van de vooroever. Deze opnamen leveren evenwel nog volumecijfers per hoogtelaag op die binnen de nauwkeurigheidsmarge op langere termijn liggen (zie onder meer de globale evolutie van de volumes per kustzone, *Figuur 32*, *Figuur 68*, *Figuur 94*, *Figuur 111*, *Figuur 132*). Er werd met deze onzekerheid rekening gehouden bij het uitwerken van de commentaren en interpretatie per kuststrook.

Ook de vooropname 2010 springt uit de tijdreeks: ditmaal als een opname die afwijkend ondiep is. De leverancier en wijze van opname en verwerking was volledig identiek aan die van het jaar ervoor en het jaar erna. Er is geen bijzondere reden om aan te nemen dat de opname systematische vervormingen zou bevatten. Tevens blijken de afwijkingen ook ruimtelijk gedifferentieerd te zijn. Het jaar 2010 blijkt een kantelpunt te zijn in de morfologische evolutie van het deel onder laagwater. Of dit van invloed was op het feit dat deze opname in de grafieken uitschieters oplevert, is niet bekend.

4.4 Verwerking in kustzones

In het kader van het onderzoeksproject CREST werd de Belgische kust opgedeeld in vijf kustzones (Montreuil et al., 2019). Elke kustzone omvat een aaneensluitende reeks kuststroken. Ze wordt indien mogelijk of relevant begrensd door een haventoeegang. Deze indeling wordt in onderhavig rapport ook toegepast bij de bespreking van de morfologische ontwikkeling en de zandbalans op het schaalniveau van een kustzone. Het gaat dus om een bundeling van vakken met vaste omgrenzingen op een ruimtelijk meer omvattende schaal zodat overzichten worden verkregen. De kustzones zijn:

1. kustzone Franse grens – Nieuwpoort: van sectie 2 tot en met 59; omvat kuststroken 1 tot en met 12.
2. kustzone Nieuwpoort – Oostende: van sectie 60 tot en met 117; omvat kuststroken 13 tot en met 25.
3. kustzone Oostende – Wenduine: van sectie 118 tot en met 176; omvat kuststroken 26 tot en met 36.
4. kustzone Wenduine-Oost – Zeebrugge: van sectie 177 tot en met 216; omvat kuststroken 37 tot en met 43.
5. kustzone Zeebrugge – Nederlandse grens: van sectie 217 tot en met 255; omvat kuststroken 44 tot en met 51.

5 Beschouwingen i.v.m. nauwkeurigheid

Deze paragraaf bevat de bevindingen en conclusies m.b.t. de meetonzekerheid van kustmetingen, vooral vooroeverlodingen, uit Houthuys et al. (2019).

5.1 Nauwkeurigheid op de hoogtemeting

De meetfout bij hoogtekarteringen bevat verschillende onafhankelijke componenten:

- Nauwkeurigheid of accuraatheid: het verschil tussen de gemeten waarde en de echte, meestal niet gekende waarde. De nauwkeurigheid is gerelateerd aan de systematische fout. Deze wordt zo klein mogelijk gehouden door ijkingen uit te voeren op de meetapparatuur.
- Precisie of herhaalbaarheid: de mate waarin twee of meer metingen van hetzelfde punt elkaar benaderen. Zij wordt uitgedrukt door een maat voor de ruis, bv. standaardafwijking.

Om de ruis te verkleinen, kan men ook beoordelen of de mate de metingen consistent zijn en zo weinig mogelijk afwijkingen of uitschieters bevatten. Deze worden, meestal in naverwerking, herkend tegen een vooraf gedefinieerd criterium en kunnen worden verwijderd.

De belangrijkste factor in de onzekerheid van hoogteliggingsoptnamen is de nauwkeurigheid. Zij wordt gekwantificeerd met onafhankelijk gemeten punten, waarvan mag worden aangenomen dat zij een hogere nauwkeurigheid bezitten. Doorheen de tijd is de nauwkeurigheid op de 3D-ligging van meetpunten verbeterd. In de jaren 1980-1990 werd het droogvallende deel van het strand opgevolgd met stereofotogrammetrie op grootschalige (1/2000, 1/3000) verticale luchtfoto's. Deze werden gemaakt met een overgrootobjectief zodat de parallax in de stereokoppels sterk overdreven werd, wat nauwkeuriger hoogtemetingen oplevert. Het stereoscopisch uitwerken van de stereokoppels vergde de inzet van een operator die het terreinoppervlak visueel moest interpreteren. Dit voegde een subjectief element toe aan de gerealiseerde hoogtemodellen. De horizontale fout op meetpunten was van de orde van 10-15 cm, de gemiddelde kwadratische verticale fout bedroeg 7 cm. Hierbij kwam nog het feit dat de hoogteligging beschreven wordt door hoogtelijnen om de halve meter. Zo nodig werden tussenhoogtelijnen en hoogtepunten gedigitaliseerd; maar toch was de terreinbedekking niet oppervlakvullend.

De gebiedsbedekking nam beduidend toe vanaf de inzet van vliegtuiglaserscanning, sinds 1999. LIDAR maakt gebruik van continue GPS positionering en attitudebepaling van het vliegtuig tijdens de meting. Er wordt voor de transformatie van de gemeten punten naar het coördinatenstelsel van de levering en voor interne controles ook gebruik gemaakt van terrestrisch opgemeten referentiepunten.

Voor de LIDAR-opnamen beschikt de Vlaamse overheid over controlepunten die met millimeternauwkeurigheid zijn opgemeten. Deze worden gebruikt om de levering van LIDAR-opnamen te evalueren. Als leveringsnorm stelt het bestek 16EH/16/01 (dossiernummer 216.000): "*met betrekking tot de altimetriscie nauwkeurigheid mag de RMSE niet meer dan 5 cm bedragen en dit voor quasi-onbegroeide ondergrond (bestrating, hard substraat of kort gras). Voor de individuele LIDAR punten wordt een hoogteafwijking tot maximaal 15 cm getolereerd. Alle punten die hieraan niet voldoen, worden als uitschieters (outliers) beschouwd. De systematische fout mag evenwel nooit meer dan 5cm bedragen. Voor de eisen met betrekking tot de planimetrische nauwkeurigheid mag de RMSE niet meer dan 10 cm bedragen. Voor individuele LIDAR punten wordt een positionele afwijking tot maximaal 30 cm getolereerd. Alle punten die hieraan niet voldoen, worden als uitschieters (outliers) beschouwd. De systematische fout mag evenwel nooit meer dan 10 cm bedragen.*" Bij iedere LIDAR-opname wordt een kwaliteitsrapport opgemaakt. De rapporten van het laatste decennium stellen over het algemeen dat de absolute verticale afwijking van de orde van 3 cm is en de standaarddeviatie ongeveer 5 cm.

Voor de lodingen is de onafhankelijke verificatie veel minder evident.

Echolodungen gebruikten in de jaren 1980 en 1990 radiopositionering. De dieptemeting zelf, op basis van akoestische signalen, is zeer nauwkeurig t.o.v. het meetplatform en het momentaan zeeoppervlak. Een grote bron van meetfout was de reductie naar een absolute hoogterefentie. Om die fout zo klein mogelijk te houden, werden getijbaken ingezet in de vakken waar men aan het meten was. Toch blijkt, voornamelijk uit de inhoudelijke evaluatie van opeenvolgende metingen van het hetzelfde gebied, dat de individuele onzekerheid op de dieptemeting 15 à 20 cm bedroeg.

Voor de recente peilingen specificeert de afdeling Kust dat hydrografische vaartuigen een acceptatietest moeten ondergaan. Sinds omstreeks 2000 wordt gebruik gemaakt van Real Time Kinematic positionering, die in theorie nauwkeurigheden op de plaatsbepaling in de orde van enkele millimeters oplevert. Toch blijkt ook hier uit de inhoudelijke evaluatie van opeenvolgende opnamen een grotere absolute fout. Op gezette tijden moet een referentiemeting op een vast object, de noordelijke drempel van de Vandammesluis in Zeebrugge, worden uitgevoerd. Doorgaans vallen de diepteverschillen tussen dergelijke opeenvolgende tests onder 5 cm. In het buitengaats gebied leveren controle-dieptemetingen op vaste objecten zoals wrakken verschillen op tot 15 cm. De verticale tolerantie voor oplevering is 15 cm. De evaluatie maakt gebruik van hoogteverschilkaarten t.o.v. de vorige opname van hetzelfde gebied. Bij het inhoudelijk evalueren wordt ook rekening gehouden met werkelijke morfologische veranderingen die kunnen zijn opgetreden tussen de opnamen.

Gelet op de relatief grote fout op dieptemetingen, is ook de weerslag op hoogteverschilkaarten en berekende volumeverschillen groot. Deze heeft immers betrekking op grote oppervlaktes omdat het deel van de secties beneden de laagwaterlijn veel uitgestrekter is dan het droogvallende deel. Hierdoor wordt de fout nog vergroot.

Bij de effectieve aanpak van de foutinschatting wordt dan ook vooral gebruik gemaakt van de consistentie van optredende morfologische veranderingen in de tijd. Zo levert de vaststelling van een gebied waar sedimentatie optreedt, en waar de hoogteligging en vorm van het gebied systematisch in dezelfde zin veranderen, veel vertrouwen op in de nauwkeurigheid van de meting.

Tevens is er meer vertrouwen in de consistentie van afgeleide gegevens, zoals gemiddelde profielen per kuststrook of kustdeel². De studie van tijdreeksen van gemiddelde profielen in gebieden zonder morfologische variatie wees uit dat we in het deel van de lodingen mogen uitgaan van een fout (standaardafwijking op de hoogteligging) van 10 cm voor de meetperiode 1986-2000 en 7 cm voor de periode 2003-heden (zie in Houthuys et al., 2019).

Hetzelfde geldt voor trends in de tijd. Indien systematische trends blijken voor de opeenvolgende volumepunten in de tijdsgrafiek van een sectie of kuststrook, is het vertrouwen in de trend groot. De mate van nauwkeurigheid wordt daarbij aangegeven door de statistische variaties bij de regressieberekening. Wel werd vastgesteld dat de vooroverlodingen van 2003 en 2010 van grote delen van de Vlaamse kust (maar niet overal of systematisch!) respectievelijk te diepe en te ondiep gelegen hoogtemodellen opleverden (zie paragraaf 4.3). Die vertaalden zich verder in uitschieters qua volume: vaak buiten de tijdreeks gelegen in de tijdsgrafieken. De nauwkeurigheid op de trend wordt gerapporteerd via de standaardafwijking op de trend, die in alle tabellen bij de trend is toegevoegd.

² in de 20^e eeuw werden secties gegroepeerd in *kustdelen*, groepen van enkele aangrenzende secties met een gelijkaardige morfologie en doorgaans gelijkaardige morfologische ontwikkeling. In de loop van de jaren is gebleken dat een gedeelte van een kustdeel soms een andere ontwikkeling vertoont dan de rest van de secties in het kustdeel. Vandaar dat in het rapport "Morfologische trend van de Vlaamse kust in 2011" (Houthuys, 2012) nieuwe groeperingen werden gehanteerd, "kuststroken" genoemd. Waar mogelijk werd een kuststrook gelijk gehouden aan het kustdeel, maar dat is lang niet overal het geval. Per sectie is in *bijlage 1*, de shapefile "Secties_koppeling_2019.shp", het nummer van het kustdeel én de kuststrook toegevoegd.

5.2 Fout op de trend

Hoe meer meetpunten men ter beschikking heeft in een tijdreeks van gegevens (bv. volumes t.o.v. het eerste gemeten volume), hoe betrouwbaarder de trend die men uit de meetpunten haalt. Een maat voor de betrouwbaarheid kan worden gehaald uit de variatie van de data. Deze berekening veronderstelt dat de onzekerheid op de individuele punten weliswaar niet precies bekend is, maar constant is in de tijd en onafhankelijk is van meetpunt tot meetpunt. Bij de morfologische opvolging van de kust is de fout wel enigszins verbeterd doorheen de decennia, maar het verschil in de tijd is bescheiden. Vaak zijn er ook opeenvolgende trends aanwezig, waarbij de trend zich uitstrekt over een periode met een homogene fout. Bij de standaardberekening van een lineaire trend met regressie, kan men zowel r^2 , de determinatiecoëfficiënt of het kwadraat van de correlatiecoëfficiënt van de regressie, als $StDev_m$, de standaardafwijking op de trend uitrekenen. Beide kengetallen worden als maat van de betrouwbaarheid van de trend in dit rapport mee vermeld. Over het algemeen hebben zwakke trends (stabiele volumes doorheen de tijd) een lage significantie (lage correlatiecoëfficiënt of een grote standaarddeviatie op de trend, die dan de onzekerheid van de meting genomen voor een hele sectie of kuststrook benadert). In die gevallen is het nuttig de standaarddeviatie op de geschatte Y-waarden te bekijken. Deze geeft een indicatie van de bandbreedte waarbinnen de trend is gelegen. Daarom wordt de standaarddeviatie op de geschatte waarden ($StDev_Y$) eveneens berekend en vermeld in de tabellen per sectie en kuststrook.

De genoemde kengetallen worden als volgt gedefinieerd (met X de bepalende variabele, nl. de tijd in jaar, en Y de afhankelijke variabele, het zandvolume in m^3/m , regressievergelijking: $Y = mX + b$, met \hat{Y} de geschatte waarde van Y, n het aantal waarnemingen ($i = 1 \dots n$)) (wordt berekend met de ingebouwde functies van Microsoft Excel; de onderstaande definities zijn gebaseerd op

https://en.wikipedia.org/wiki/Simple_linear_regression#Normality_assumption):

determinatiecoëfficiënt:
$$r^2 = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{\text{verklaarde variatie van } Y}{\text{totale variatie van } Y}.$$

standaarddeviatie van de trend:
$$StDev_m = \sigma_m = \sqrt{\frac{\frac{1}{n-2} \sum_i^n (Y_i - b - mX_i)^2}{\sum_i^n (X_i - \bar{X})^2}}$$

standaarddeviatie van de geschatte waarden:
$$StDev_Y = \sigma = \sqrt{\frac{(Y_i - b - mX_i)^2}{n}}.$$

5.3 Multibeam en singlebeam lodingen

Klassieke echoloding gebeurt met een apparaat aan boord van een meetvlet dat in verticale richting geluidsgolven uitstuurt naar de zeebodem en de tijd tot het ontvangen van de reflectie omrekent naar afstand. De meetvlet opereert in een op te meten gebied door parallelle lijnen (raaien) af te varen en op deze lijnen de diepte te meten. Alvast de recentste vooroeverlodingen worden uitgevoerd op dezelfde geplande raaien. Weliswaar wijken de gerealiseerde meetpunten tussen 0 en ca. 5 m af van de geplande raai, vanwege de bewegingen van de meetvlet. Omdat wordt gewerkt met één geluidsstraal, noemt men deze techniek “singlebeam” (SB). Er worden doorgaans twee frequenties tegelijk uitgezonden, 33 kHz en 200 kHz. De lage frequentie dringt door de vloeibare sliblaag indien deze aanwezig is en bepaalt de vaste bodem eronder. De lage frequentie wordt weerkaatst op de top van de sliblaag. Voor het maken van de hoogtemodellen van de vooroever wordt stelselmatig met de 200 kHz reflecties gewerkt van de meetpunten op hun ware ligging. De meetpunten worden wel op steeds dezelfde manier omgezet naar het Lambert 72 coördinatenstelsel en naar hoogteligging in TAW.

De recentere techniek “multibeam” (MB) maakt gebruik van een dwars op de vaarrichting brede en volgens de vaarrichting zeer smalle bundel geluidsgolven, doorgaans op de frequentie 300 kHz. Op die manier wordt al varend meteen een hele strook van de zeebodem gebiedsdekkend opgenomen. In het ondiepe water nabij

de kust dienen toch nog vele vaarlijnen te worden gerealiseerd om een gebiedsdekking te verkrijgen. De meetpunten worden omgezet naar rasters met maas van 1 x 1 m, waarbij de dieptewaarde de gemiddelde waarde is van de meetpunten binnen de maas. Ook voor deze datasets worden de meetpunten op steeds dezelfde manier omgezet naar het Lambert 72 coördinatenstelsel en naar hoogteligging in TAW, om er daarna een hoogtemodel van te maken.

SB-opnamen tonen weinig ruimtelijk detail van de zeebodem. Objecten die zich parallel met de meetraaien uitstrekken, zoals strandhoofden, worden niet of nauwelijks in beeld gebracht. De hele ruimte tussen de meetraaien, die doorgaans op 100 m tussenafstand liggen, wordt lineair geïnterpoleerd. In de richting van de meetraaien is het detail uitstekend. Dit detail gaat echter voor een groot deel verloren omdat uit SB-opnamen hoogtemodellen met eenheidscel 10 m worden gemaakt. Deze maat is een optimum tussen de interpolatie over 100 m tussen de raaien en het veel grotere detail, doorgaans 4 punten per meter, binnen de raaien. Het interpoleren van de hoogtemodel-rasters heeft als gevolg dat in de richting van de meetraaien, naar boven bolle morfologie benaderd wordt van onderen (via de enkele geselecteerde punten die worden behouden in het raster), terwijl naar boven holle morfologie wordt benaderd van boven. Zo zal de doorgaans holle knik van vooroever naar zeebodem over het algemeen te ondiep worden gemodelleerd. Dit geldt niet voor de celpunten zelf, maar voor interpolaties er tussen. Bij kuberingen worden doorgaans voor holle zones dan weer te kleine zandvolumes berekend. En voor bolle zones geldt op beide vlakken net het omgekeerde.

Hoogtemodellen gemaakt met MB data tonen een zeer nauwkeurig en gedetailleerd beeld van de zeebodem. Vaak worden de individuele bodemvormen goed in beeld gebracht. Van MB data worden standaard hoogtemodel-rasters gemaakt met een eenheidscel van 1 m.

Toch is werken met SB de regel. SB-opnames kunnen sneller worden uitgevoerd. De hele Vlaamse kust kan worden opgenomen in ongeveer 10 meetdagen. De meetomstandigheden nodig voor echoloding van de vooroever leggen veel beperkingen op (rustige zee, hoogwater overdag). Zelfs de 10 meetdagen voor SB zijn vaak gespreid in een opnameperiode van 2 maanden. Werken met MB zou een veelvoud aan meetdagen vergen. De inzet van tegelijk werkende meetvaartuigen zou vereist zijn. De kost voor opname zou verveelvoudigen. SB was in het verleden de norm, en zal het ook in de komende jaren nog blijven.

Er stelt zich een probleem m.b.t. de vergelijkbaarheid van de data wanneer door elkaar rasters met hoge resolutie op basis van MB en rasters met lagere resolutie op basis van SB worden gebruikt. Een onderzoekje in het kader van het CREST project (Houthuys et al., 2019) wees uit dat verschillen van enkele millimeter tot een centimeter in gemiddelde hoogte kunnen optreden; gelet op de grote oppervlakte van gedeelte onder water lopen die op tot enkele duizenden kubieke meters. Ze zijn het gevolg van de interpolatie tussen raaien bij SB, en de ruwere modellering van het oppervlak bij gebruik van rasters met lage resolutie. Dit heeft vooral een invloed in zones met een gevarieerde morfologie. Hierbij valt ook op dat de morfologie van het hogeresolutieraster systematisch iets dieper ligt dan bij het lage-resolutieraster. Dit heeft te maken met het feit dat bij een over het algemeen holle morfologie (zoals dit het geval is bij de vooroevervoet) en ook wanneer er onderwaterduinen aanwezig zijn, SB aanleiding geeft tot een benadering van het oppervlakte van boven uit. Anderzijds worden de uiteinden van de strandhoofden systematisch gemist in de modellering op basis van SB, omdat de meetraaien de strandhoofden vermijden. Er wordt dus doorheen het strandhoofd gemodelleerd (over het algemeen dieper dan de ware morfologie), maar ook over de erosiekuilen die zich vaak nabij de uiteinden van de strandhoofden bevinden (geeft een te hoog gelegen gemodelleerd oppervlak). Het soort fout en de intensiteit ervan is wel constant indien men steeds met hetzelfde type meting werkt. Daarom worden MB-opnamen “verarmd” tot gesimuleerde SB-opnamen wanneer er volumes per sectie van worden berekend (zie lijst van aldus verwerkte MB-opnamen in *Tabel 2*). Op die manier wordt de constante manier van verwerken van SB-metingen doorgetrokken. Ook hoogteverschilkaarten van MB-lodingen met opnamen op basis van SB worden gemaakt vanaf gesimuleerde SB-opnamen. Er treden immers ongewenste interferentie-effecten op bij het maken van hoogteverschilrasters in GIS vertrekkend van rasters met een verschillende ruimtelijke resolutie. De hoge-resolutie MB-rasters worden nog steeds gebruikt voor vergelijkingen tussen MB metingen onderling (bv. in de opvolging van de morfologische evolutie van de onderwatersuppletie in Lombardsijde) en om de fijnschalige morfologie in beeld te brengen.

6 Methodologie van de benadering van de morfologische evolutie per kuststrook en kustzone

6.1 Tabellen per sectie

De resultaten van de volumeberekeningen en de recentst waargenomen lineaire trend is opgenomen in de Exceltabellen per sectie, die in bijlage 2 bij dit rapport zijn gevoegd. Er is tevens een overzicht gemaakt van de trendcijfers voor het deel boven en onder laagwater, onder de vorm van een Exceltabel die in bijlage 3 is bijgevoegd.

6.2 Tabellen per kuststrook

De tabellen “Strook##.xls” (## van 01 tot 51) werden aangemaakt door de volumecijfers in de tabellen met tijdreeksen van volumeverschillen voor strand en duinaanzet enerzijds en vooroever en zeebodem anderzijds, beschikbaar per sectie, opname per opname en hoogtelaag per hoogtelaag samen te tellen over alle secties die de kuststrook bepalen. De tabellen per kuststrook zijn bijgevoegd in bijlage 4. Het overzicht van de trendcijfers per kuststrook zijn bijgevoegd in bijlage 5.

Er werden bij een vorige versie van dit rapport (Houthuys, 2012) 51 kuststroken gedefinieerd op basis van de gemeenschappelijke trend van de evolutie van volumeverschillen in aangrenzende secties. Meestal komen deze stroken overeen met zones waar zandaanvoerwerken, of net geen aanvoerwerken, gebeuren. De indeling in stroken wordt ook kort beschreven bij de toelichting van de morfologische evolutie per strook. Bij de onderhavige uitbreiding van de gegevens tot 2019 worden dezelfde stroken aangehouden, met één uitzondering: strook 26, Oostende-Oost, werd uitgebreid met het deel van de oude sectie 118, nl. de nieuwe sectie 1180, dat zeewaarts van de nieuwe strekdammen ligt (*Figuur 3*). Op die manier is er geen onderbreking in de bedekking van de zeebodem en zijn het gedeelte van de nieuwe vaargeul naar Oostende binnen de vooroeversecties en de erosieve zones voor de strekdammen in de tijdreeksen met volumes begrepen. Dit is ook van belang voor het maken van sedimentbudgetten voor de hele Vlaamse kust.

Indien in een onderdeel van een bepaalde kuststrook voor een vlucht of vooroeverloding in het verleden geen opname werd gedaan, en in het andere onderdeel wel, werden de cijfers voor die vlucht of loding weggelaten in de tabel per kuststrook (zij zouden immers aanleiding geven tot een onvolledige bedekking van de strook en tot foutieve cijfers per meter kustlengte).

De volumecijfers zijn beschikbaar per hoogtelaag (zeebodem, vooroever, natstrand, droogstrand en duin, zie *Figuur 1*). Zij worden per hoogtezone, verkregen door een van de twee opnametechnieken, samengeteld. Dus enerzijds worden de cijfers verkregen uit lodingen (hieronder systematisch genoemd “zone onder de laagwaterlijn”, afgekort tot “onder LW”) samengeteld. En anderzijds worden de cijfers verkregen uit meetvluchten (verder genoemd “zone boven de laagwaterlijn”, afgekort tot “boven LW”) samengeteld. We herhalen dat in deze studie met “LW” niets anders bedoeld wordt dan het vast gedefinieerde hoogteveld van +1,39 m TAW. Op die manier wordt gewerkt met globale volumecijfers voor de hele strook. Dat cijfer wordt op zijn beurt gedeeld door de kustlengte van de beschouwde kuststrook, zodat vergelijkbare cijfers van strook tot strook worden verkregen. De reden waarom volumecijfers van hoogteschijven samengeteld worden, is dat het vaak moeilijk of niet mogelijk is om precies aan te duiden in welke hoogtezone (bv. natstrand, droogstrand) de zandaanvoer plaatsgevonden heeft. In de praktijk gebeurt de aanvoer over

verschillende hoogtezones of op de grens van hoogtezones. Ook zouden de tabellen en grafieken op den duur te onoverzichtelijk worden en niet meer goed leesbaar of interpreteerbaar zijn.

6.3 Waargenomen en gecorrigeerde evolutie

Bij de beschrijving van de morfologie, morfologische evolutie en trend van de volumes wordt zowel de *waargenomen* als de *gecorrigeerde morfologische evolutie* van de kust behandeld. De *waargenomen* evolutie is deze die volgt uit de opeenvolgende hoogtemodellen opgesteld uit de vooroverlodingen en LIDAR-opnamen. Ze is dus de meest fundamentele informatiebron, want ze geeft de werkelijke toestand weer doorheen de tijd. In de meeste badplaatsen wordt reeds sinds decennia zand aangevoerd. Elders wordt op beperkte schaal zand gewonnen. In de toegangseuvelen naar de kusthavens wordt regelmatig gebaggerd om de vaargeulen op de streefdiepte te houden. Op sommige plaatsen vallend binnen de sectiegrenzen wordt baggerspecie gelost. De hoeveelheden die aldus werden afgevoerd of aangevoerd, worden zo zorgvuldig mogelijk verdeeld over de kuststroken (groepen van aangrenzende secties) waarin de Vlaamse kust opgedeeld werd en over de beschikbare opnamen. De onderliggende gegevens, de wijze en berekening van verdeling en de cijfers die uiteindelijk per kuststrook worden gebruikt als correctiecijfers, zijn opgenomen in de tabel "OverzichtAangevoerdeHoevPerKuststrook.xlsx" (bijlage 7, zie hoofdstuk 13.7). Door deze volumes van de waargenomen volumeverschillen af te trekken of erbij op te tellen, wordt een *gecorrigeerde* tijdreeks van volumes verkregen. Hierop wordt, zoals bij de waargenomen volumes, een trend bepaald d.m.v. lineaire regressie. Deze trend geeft aan in welke mate er natuurlijk verlies of aangroei van zand is opgetreden langs de randen van de beschouwde kuststrook of kustzone. Hij kan ook, indien de aanvoer- of afvoerhoeveelheden door werken niet te groot zijn, gezien worden als de *autonome* evolutie van het beschouwde gebied, dit is de ontwikkeling die de kust zou doormaken zonder ingrijpen van de mens. Op sommige plaatsen creëert het aanvoeren van zand een lokaal meer in zee vooruitstekend strand. Dat is dan vaak onderhevig aan sterkere erosie dan in het geval van een gelijkmatige kustlijn. Wanneer het strand lokaal meer in zee uitsteekt, wordt het als eerste door sterke (golfgedreven) stroming aangetast. Doordat het zand op de suppletielocatie verdwijnt, zal het beheer al snel kiezen voor een aanvullingssuppletie, die op haar beurt sneller zal afslaan dat de stranden in de omgeving. Op die manier kunnen in sommige badplaatsen grote hoeveelheden in de tijd gecumuleerde aanvoer worden bereikt, en worden er ook opvallend grote "gecorrigeerde" of "autonome" afslagcijfers verkregen. Op deze plaatsen is de gecorrigeerde trend een overschatting of bovengrens (in absolute waarde) van wat een echte autonome evolutie zou zijn. Voorbeelden van deze situatie zijn Wenduine en Knokke-Zoute. Bij het interpreteren moet men ermee rekening houden dat de gecorrigeerde cijfers toch wel kunstmatig groot zijn.

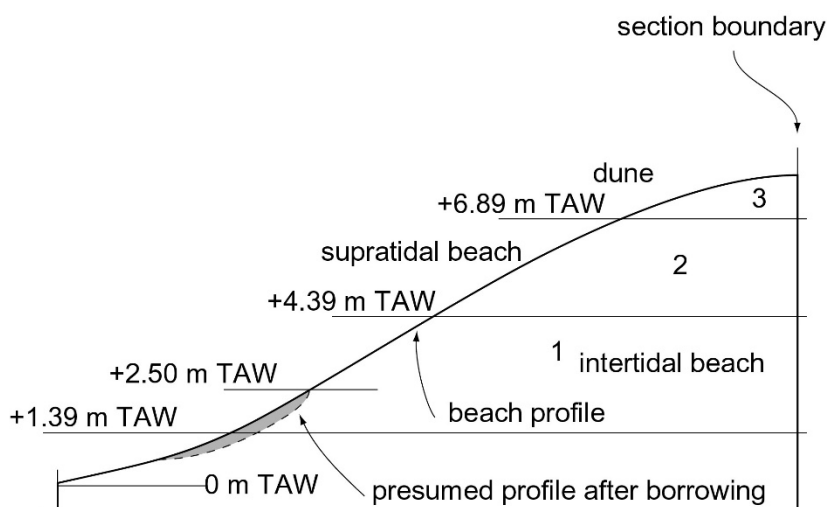
Het daarbij afgeslagen zand wordt echter in eerste instantie in de lokale omgeving herverdeeld. Het blijft dus kortstondig of voor langere tijd beschikbaar in de actieve zone en kan bij rustig weer leiden tot hervoeding van het strand of de omliggende stranden. Op schaal van kuststroken gezien is de stelling "meer suppleren leidt tot meer erosie" niet steeds van toepassing. Buiten de locaties met bijna jaarlijkse aanvullingssuppleties kan men ervan uitgaan dat de gecorrigeerde tijdreeks een vrij getrouw beeld geeft van de autonome of natuurlijke ontwikkeling van de kustmorfologie, dus de ontwikkeling die zou plaatsvinden zonder zandaanvoer- en -afvoerwerken door de mens. En in alle geval moet alle aanvoer worden in rekening gebracht met het oog op volledige balansen per zone.

6.4 Soorten zandaanvoer en -afvoer

Wat de badstrandophogingen betreft, deze houden meestal een vergroting in van het droogstrand. Een klein maar moeilijk te schatten deel kan ook een volumeverhoging op het natstrand en in de duinvoet betekenen. Wat de strandsuppleties betreft, deze veroorzaken vaak, maar niet altijd, een volumetoename in alle hoogtezones van het strand, en bij grote suppleties ook op de hogere vooroever. Er werd zo goed mogelijk

nagegaan of de suppletie ook de vooroever aanvulde, en hoeveel. Alle aannames en het resultaat van de ruimtelijke verdeling, zijn gerapporteerd per kuststrook.

Voor badstrandophogingen waarbij zand werd gewonnen op het strand, gold de instructie aan de uitvoerder van de werken dat er zand mocht worden gewonnen tot TAW +2,5 m en vandaar zeewaarts tot de waterlijn. Er werd niet opgelegd dat bij springtij moest worden gewerkt. Er mocht per plaats maximaal 40 cm uitgediept worden. In de praktijk werd dan wel het merendeel uit de zone net onder +2.5 m worden gewonnen en dus nog binnen de zone "natstrand". Omdat echter de volumes berekend worden in *horizontale* schijven en dus begrensd door het hoogtevlak van +1.39 m, namen we aan dat 50% van het gewonnen zand afkomstig was uit het profiel boven LW en 50% van de vooroever (zie grijs gekleurde zone in *Figuur 4*). De laatste jaren worden dergelijke badstrandophogingen niet meer uitgevoerd. Vrijwel de totaliteit van het zand aangebracht bij kleine en grote suppleties is op zee gewonnen zand. Dit is dus een netto invoer in de actieve kustzone.



Het grijze vlak stelt de winning voor. Dit zand wordt integraal aangebracht op het droogstrand om een droogstrandberm in stand te houden (overwegend zone boven 4,39 m TAW). Volgens deze schets mag de helft van de winning in de hoogteschijf "natstrand" (intertidal beach) en de helft in de hoogtelaaag "vooroever" gesitueerd worden.

Figuur 4 – Principe van verdeling over hoogtelagen bij badstrandophogingen waarbij zand werd gewonnen nabij de laagwaterlijn.

Voor het jaar 2002 waren voor de Oostkust geen gegevens bewaard over de badstrandophogingen. Uit de totale hoeveelheden en budgetten, die wel bewaard gebleven zijn, kunnen we afleiden dat er wel degelijk badstrandophogingen hebben plaatsgevonden, en dit aan ongeveer dezelfde hoeveelheden als de vorige jaren. Daarom werd een geschat cijfer ingevoerd op basis van de vorige jaren en de totale hoeveelheid voor 2002.

De recente cijfers zijn rechtstreeks beschikbaar van de afdeling Kust. Dit rapport bevat alle cijfers tot 2019.

Sinds de goedkeuring van het Masterplan Kustveiligheid in juni 2011 zijn de suppletie-inspanningen aan de Vlaamse kust aanzienlijk toegenomen. Zij behelzen vrijwel uitsluitend de aanvoer van in zee gewonnen zand, meestal grofkorreliger en schelpenrijker zand dan het voorheen aanwezige zand. Bij de zgn. "kleine strandsuppleties" wordt zand aangevoerd met vrachtwagens van een depot in een haven. Hierbij wordt voornamelijk de droogstrandberm en de aansluitingshelling naar het natstrand verhoogd. De gerapporteerde volumes worden idealiter ter plaatse bepaald door voor- en nametingen. Bij de "grote strandsuppleties" wordt meestal gewerkt met opspuiting vanuit een baggerschip, soms ook met tijdens hoogwater kleppen van zand uit het ruim van een baggerschip. Om via opspuiting het zand door een persleiding tot het strand te kunnen brengen, mengt men het met zeewater. Het zand-watmengsel wordt via stalen persleidingen op het strand aangebracht en met bulldozers verplaatst tot het gewenste profiel. Voor de talrijke suppleties van de voorbije jaren zijn vaak geen voor- en nametingen op het strand beschikbaar; doorgaans worden de

gerapporteerde volumes bepaald in het ruim (beun) van het baggerschip. Het opgespoten zand is altijd minder dan het in beun aangevoerde zand, immers, een deel spoelt uit en kan afgevoerd worden met de stroming. Bij verschillende grote zandsuppleties waar zowel beunvolumes als dicht bij de suppletie aansluitende voor- en nametingen beschikbaar waren, bleek een "efficiëntie" (verhouding tussen werkelijke toename van zand op het strand tot het volume aangevoerd in beun) van ongeveer 85%. Tenzij er andere gegevens beschikbaar zijn, wordt in dit rapport steeds gewerkt met een opspuitingsefficiëntie van 85%. Ook bij kleppingen rond en onder de laagwaterlijn wordt doorgaans met deze efficiëntie gerekend.

Voor de hoeveelheden baggerspecie in de toegangen tot de havengeulen werd contact opgenomen met de afdeling Kust (districtswerking) en met de afdeling Maritieme Toegang. In het verleden werd minder gedetailleerd bijgehouden wanneer er gebaggerd werd en welk gedeelte eventueel voor suppletie op het strand werd aangewend. De bevoegdheden waren zowel in de tijd als in de ruimte verdeeld over verschillende diensten. Tot 19 mei 2006 vielen alle baggerwerken onder de bevoegdheid van de afdeling Maritieme Toegang. Vanaf dan was er een ruimtelijke verdeling: de toegangsgeulen op zee (met inbegrip van de vooroeverzone, "voorplein") vielen onder Maritieme Toegang en de geulen tussen de havendammen en alle bekkens en dokken onder de afdeling Kust. Sinds 1 januari 2012 kwamen de toegangen tot Nieuwpoort en Blankenberge en de dokken evenwel opnieuw onder de bevoegdheid van de afdeling Kust. De dokken van de jachthavens in Oostende en Zeebrugge zijn ook voor Afdeling Kust. De rest van de dokken, toegangen en de geulen tussen de havendammen bleven bevoegdheid van Maritieme Toegang.

Er is ook geen eenvormigheid in de rapportering van de gebaggerde hoeveelheden. In sommige gevallen worden de volumes bepaald op basis van voor- en napeilingen. Dit is in theorie de beste informatie voor kustmorfologie, aangezien ze gebaseerd is op morfologische opnamen. Nochtans is het niet zeker of de voor- en napeilingen optimaal afgestemd zijn op de baggercampagnes. Zo zou er een bepaalde periode kunnen verstrijken na de laatste baggerdag, waarin de geul alweer een stuk kan aanzanden. Aanzanding gebeurt ook continu, tijdens de baggercampagne zelf. In die zin zijn volumes verkregen uit voor- en napeilingen minimumbenaderingen voor de werkelijk verwijderde hoeveelheden. Voor- en napeilingen zijn ook onderhevig aan de beperking op de absolute hoogteligging, zoals geschetst in paragraaf 5.1. Dit resulteert in aanzienlijke onzekerheden op de baggervolumes. Een andere rapporteringswijze vertrekt van de debieten in de leidingen bij het baggeren. Deze worden constant bijgehouden en opgenomen in het Baggerinformatiesysteem (BIS). Deze databank kan worden bevraagd volgens baggertijdvak en baggerzone. Hieruit worden gecumuleerde hoeveelheden verkregen, die onder meer dienen voor de rapportering aan de overheid. Doorgaans worden de hoeveelheden gesommeerd per maand. Vaak is de rapportering in tonnen droge stof (TDS). Voor de omzetting naar originele hoeveelheid in situ wordt gerekend met een gemiddelde dichtheid van $1,6 \text{ t/m}^3$ voor het baggeren. Dit is een redelijke raming gebaseerd op een massadichtheid van $2,6$ à $2,65 \text{ t/m}^3$ voor droog sediment zonder water en porieruimte. De te hanteren dichtheid is zeer afhankelijk van het slibgehalte. Enkel bij zuiver zand kan het in de buurt van $1,6 \text{ t/m}^3$ komen. Voor- en napeilingen uitgevoerd op het voorplein van Blankenberge leverden een gemiddelde conversiefactor op van $1,422 \text{ TDS/m}^3$. Deze factor wordt in dit rapport toegepast bij de bepaling van de gebaggerde hoeveelheden te Nieuwpoort en Blankenberge.

In de **haven van Nieuwpoort** wordt enerzijds, op het voorplein (toegangsgeul) en in de vaargeul tot aan de kade in Nieuwpoort-centrum, een sleephopperzuiger ingezet, en anderzijds, in de dokken en sommige randzones waar geen sleephopperzuiger kan komen, bv. onder pontons, een cutterzuiger. Zowel de sleephopperzuiger als de cutterzuiger lossen op de loswal "Nieuwpoort vooroever", indien het gaat om zandige specie. Voor het sediment van het voorplein en de ingang tussen de lage dammen gaat het steeds om zand. De loswal is een rechthoek gelegen ter hoogte van Westende ongeveer in de secties 72 tot 82 (*Figuur 5*).

De ladingen die worden gelost door de sleephopperzuiger, worden opgemeten met het BIS en uitgevoerd in ton droge stof (TDS). De TDS hierin wordt berekend door de formule: $\text{TDS} = (\text{densiteit van het mengsel} - 1.025) / (2.65 - 1.025) \times 2.65 \times \text{Volume}$. Er worden vóór en na de baggerwerken peilingen uitgevoerd maar dit enkel om de overdiepten die gebaggerd werden, te beboeten.

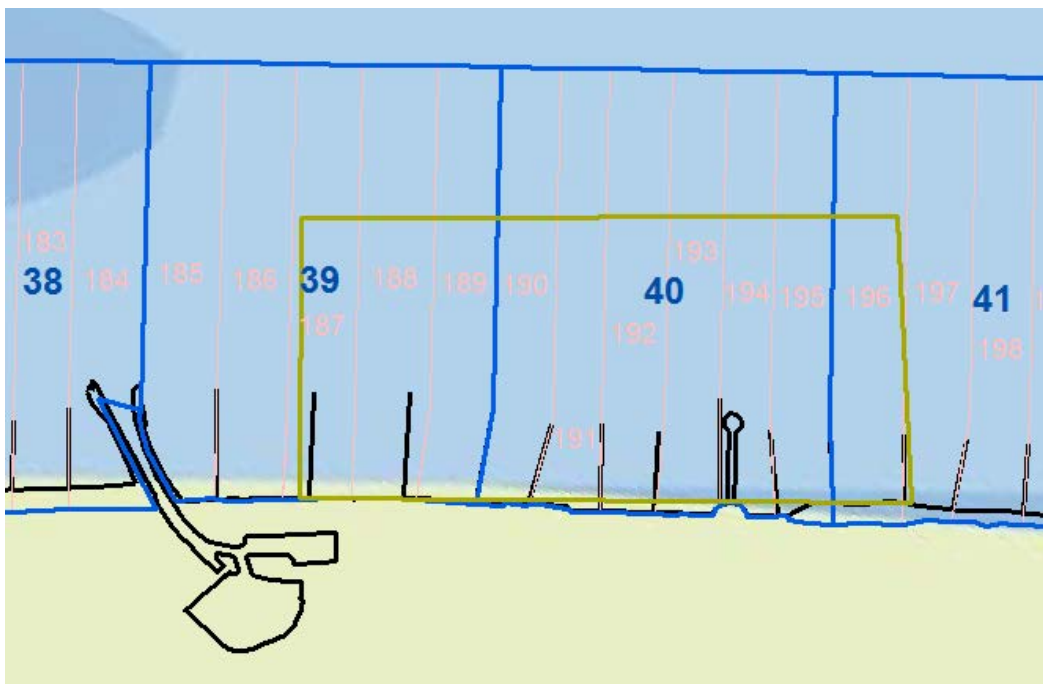
Bij de baggerwerken met de cutterzuiger worden de gebaggerde hoeveelheden gemeten door in- en uitpeilingen en dus gaat het om volumes verwijderd in situ (m^3).



Figuur 5 – Loswal "vooroever Nieuwpoort" (bruingroene rechthoek) gelegen ter hoogte van de kuststroken 16 en 17.

Er wordt analoog gewerkt in de **haven van Blankenberge**.

Het voorplein en de toegangszone tussen de lage dammen worden met een sleehopper gebaggerd en de hoeveelheden worden in TDS uit het BIS-systeem van het schip gehaald. Het voorplein wordt ook opgenomen met in- en uitpeilingen. De kubering die hierop wordt doorgevoerd, levert een gemiddelde omzettingfactor op van TDS naar m^3 ; deze bedraagt $1,422 \text{ TDS}/m^3$.



Figuur 6 – Loswal "vooroever Blankenberge" (bruingroene rechthoek) gelegen ter hoogte van de kuststroken 39 en 40.

Het baggerwerk in de havengeul zelf en het havendok gebeurt met een cutterzuiger. De volumes worden bepaald door kubering van voor- en napeilingen in singlebeam of multibeam. Vandaar dat de hoeveelheden gerapporteerd worden in m^3 .

De zandige specie wordt deels aangewend voor suppleties op het strand van Blankenberge, en deels gelost op de zeebodem (geulbodem van de Grote Rede. Beide gebieden liggen in de loswal "vooroever Blankenberge" (zie *Figuur 6*).

In de beschrijving van de morfologische evolutie per strook worden de cijfers en bron betreffende zandaanvoer en eventuele afvoer vermeld. Op die manier is de verwerking in de gecorrigeerde cijferreeks gedocumenteerd. Indien er aannames dienden te gebeuren omtrent de verdeling over de verschillende deelzones, worden deze telkens volledig vermeld.

6.5 Trend per kuststrook

Er werd per kuststrook een trend voor het volume berekend, zowel voor de cijferreeks zonder als met correctie voor de aangevoerde hoeveelheden zand, en afzonderlijk voor de hoogteschijf onder en boven LW. De trend is steeds berekend op cijfers per kustlengte, zodat de trendcijfers van strook tot strook vergelijkbaar zijn. De trend werd berekend door lineaire regressie. Indien tijdens de meetperiode een verandering in trend waargenomen wordt, wordt steeds de recentste lineaire trend gerapporteerd, maar in de toelichtende tekst worden ook voorbije trends vermeld. Indien in een strook geen zandaanvoer plaatsvindt, wordt soms in de waargenomen cijferreeks een trend voor een vorige periode weergegeven, zodat geen dubbele gegevens worden verstrekt en de ruimte voor de berekeningen in de tabellen nuttig gebruikt wordt. Men kan de periode waarover de regressietrend is berekend, aflezen in de tabellen per kuststrook en ook in het overzicht van *Tabel 4* en *Tabel 5*. In de onderstaande tekst per kuststrook wordt de trend, en, waar van toepassing, de trendverandering, toegelicht en wordt een aanzet tot interpretatie gegeven.

Ter inschatting van de betrouwbaarheid van de trend, bevatten alle regressieberekeningen tevens de standaarddeviatie van de regressiecoëfficiënt (de helling) en van de geschatte Y-waarden (zie paragraaf 5.2).

Sommige elementen in de bespreking van de morfologie per kuststrook zijn gebaseerd op de individuele grafieken per sectie, en op de grafische weergave in GIS-omgeving van de beschikbare DTM's, hoogtelijnen en hoogteverschilkaarten. Teneinde goed de ruimtelijke evolutie te kunnen inschatten, vooral van de vooroever- en zeebodem morfologie, is ook een serie verschilkaarten gemaakt met als referentie de opname van 2000. Dit is de eerste opname waarvoor zowel een hoogtemodel van de vooroever als van het strand beschikbaar is (de opnamen van het strand vóór 2000 zijn enkel beschikbaar in verwerkte vorm, als gedrukte kaarten en tabellen). Hierbij werd erop toegezien dat de uitsnede en grootte van iedere kaart doorheen de tijd exact dezelfde is. De opeenvolgende beelden zijn opgenomen in de powerpointpresentatie "KusttrendsTot2019.pptx" die een bijlage is bij dit rapport. Deze presentatie bevat ook per zone een kaart met de hoogtelijnen van 0, -2, -4, -6, -8 m enz. voor de opnamen 2000, 2007, 2011, 2015 en 2019. Wanneer de hoogtelijnen in de tijd eenduidig verschuiven en op die manier geleidelijke maar systematische morfologische veranderingen aangeven, werden deze met pijlen aangeduid: rood bij erosie, groen bij sedimentatie, turquoise indien de sedimentatie te relateren is aan suppleties. De bespreking van de morfologische evolutie is dus ruimer dan enkel een commentaar bij grafieken per kuststrook. In de ruimtelijke weergave van de hoogteverschillen wordt vaak een andere evolutie vastgesteld tussen de "hogere vooroever" en de "lagere vooroever" of "vooroevervoet". De grens tussen deze twee informeel gedefinieerde hoogtezones ligt ongeveer ter hoogte van de hoogtelijn van -2 m TAW.

6.6 Levering van de gegevens per kuststrook

De cijfergegevens en grafieken worden geleverd in bestanden in Excel-formaat, met naam "Strook###.xlsx", met ## het nummer van de strook (van 01 tot 51). Deze bestanden bevatten onder elkaar drie figuren met grafieken. De bovenste geeft de evolutie van de volumes na correctie voor zandaanvoer (of -afvoer). De middelste geeft de waargenomen volumes en de hoeveelheden aan- of afvoer bij suppleties, badstrandophogingen, afgravingen, enz. De onderste geeft alle grafieken (waargenomen en gecorrigeerd) in één figuur. In alle figuren zijn de trendlijnen weergegeven en wordt de trend in m³ per meter kustlengte en

per jaar ook in cijfers weergegeven (helling van de regressielijn). Indien er in een kuststrook geen zandaanvoer plaatsvindt, zijn de "gecorrigeerde" en "waargenomen" trend gelijk. Indien er een trendomslag heeft plaats-gevonden, wordt vaak de "waargenomen" trend over de vorige trendperiode gerapporteerd. Indien de trendperiode van het deel onder LW en het deel boven LW geen (gedeeltelijke) overlap heeft, is de "somtrend" (som van trend onder en boven LW) betekenisloos.

Alle genoemde bestanden werden aan de afdeling Kust geleverd.

6.7 Tabellen per kuststrook met tijdreeks volumeverschillen strand en vooroever, met grafiek en trendberekening

Deze tabellen zijn het resultaat van het samentellen van de gegevens per sectie, opname per opname, voor de secties die samen een kuststrook vormen. Ze worden geleverd in bijlage bij dit rapport (zie paragraaf 13.4). Deze bijlage bevat ook nog de afzonderlijke gecorrigeerde trend voor vooroever en zeebodem, waarbij de som van die twee deeltrends gelijk is aan de hieronder opgenomen gecorrigeerde trend van het deel onder laagwater.

Tabel 4 geeft per kuststrook een overzicht van de recentste voor zandaanvoer of –afvoer **gecorrigeerde** lineaire trend voor het deel onder en boven laagwater. De periode waarover de trend is berekend, blijkt uit de datums "Van" en "Tot". De gegevens in Tabel 4 zijn gebruikt voor de overzichtsgrafiek bij de conclusies, *Figuur 138*.

Tabel 4 – Overzicht van de recentste lineaire trend van de voor zandaanvoer en –afvoer **gecorrigeerde** volumes per kuststrook.

Van sectie	Tot sectie	Kustlengte	Deel onder laagwater (vet=significant $r^2 > 0,707$)							Deel boven laagwater (vet=significant $r^2 > 0,707$)					
			Van	Tot	n	trend	det.coëff.	StDev op m	StDev op Y	Van	Tot	n	trend	det.coëff.	StDev op m
2	6	1230	07-04-00	20-06-19	15	-0.53	0.002	3.255	67.3	16-06-00	20-04-19	27	6.47	0.849	0.545
7	12	1420	07-04-00	20-06-19	16	2.44	0.036	3.357	69.7	16-06-00	20-04-19	27	-0.80	0.114	0.448
13	17	1240	20-10-87	20-06-19	30	-5.17	0.224	1.820	100.5	18-05-83	20-04-19	53	-1.02	0.181	0.303
18	21	1045	20-10-87	20-06-19	30	-9.64	0.497	1.832	101.2	18-05-83	20-04-19	53	4.92	0.847	0.292
22	25	1010	18-04-99	20-06-19	17	-24.68	0.755	3.632	87.6	18-05-83	20-04-19	53	-4.39	0.848	0.260
26	31	1125	18-04-99	20-06-19	17	14.95	0.424	4.503	108.7	06-06-99	20-04-19	28	4.86	0.805	0.468
32	34	720	18-04-99	20-06-19	16	3.39	0.114	2.525	60.6	22-05-95	20-04-19	33	14.25	0.987	0.294
35	39	1345	18-04-99	20-06-19	16	-7.53	0.355	2.716	65.2	18-05-83	20-04-19	53	-3.19	0.690	0.300
40	43	965	18-04-99	20-06-19	16	-10.31	0.626	2.130	51.1	16-06-00	20-04-19	27	4.44	0.765	0.492
44	53	2475	10-05-07	20-06-19	16	-11.15	0.653	2.172	32.4	18-05-83	20-04-19	45	16.89	0.979	0.375
54	56	680	10-05-07	20-06-19	13	-7.63	0.198	4.630	63.4	17-04-04	20-04-19	23	6.56	0.660	1.027
57	59	990	02-05-92	20-06-19	22	39.24	0.926	2.486	102.1	08-04-92	20-04-19	36	27.03	0.971	0.807
60	64	1175	12-05-09	20-06-19	11	-36.28	0.718	7.582	80.7	18-05-83	20-04-19	49	-10.81	0.931	0.430
65	70	1465	12-05-09	20-06-19	11	-24.89	0.703	5.396	57.5	08-04-92	20-04-19	39	14.23	0.982	0.318
71	72	410	12-05-09	20-06-19	11	-14.04	0.308	7.012	74.7	08-04-92	20-04-19	39	9.87	0.964	0.313
73	76	1230	10-05-07	20-06-19	13	-32.97	0.823	4.610	63.1	18-05-83	20-04-19	48	-1.20	0.355	0.239
77	82	2000	10-05-07	20-06-19	13	-8.68	0.232	4.766	65.3	14-04-03	20-04-19	24	-3.81	0.771	0.442
83	87	1745	10-05-07	20-06-19	13	-2.12	0.011	6.175	84.5	06-11-14	20-04-19	11	-19.85	0.840	2.888
88	92	1615	10-05-07	20-06-19	13	-16.26	0.473	5.170	70.8	18-05-83	20-04-19	45	3.48	0.909	0.168
93	97	1305	10-05-07	20-06-19	14	-20.46	0.568	5.147	71.3	16-06-00	20-04-19	27	-0.45	0.139	0.223
98	102	1310	10-05-07	20-06-19	17	-10.82	0.174	6.091	91.2	12-05-02	20-04-19	25	-5.60	0.899	0.392
103	105	1305	10-05-07	20-06-19	17	-18.81	0.459	5.269	78.9	15-04-14	20-04-19	12	-13.90	0.771	2.396
106	108	895	10-05-07	20-06-19	17	-6.62	0.112	4.812	72.1	23-08-05	20-04-19	22	-15.84	0.954	0.782
109	112	1180	24-05-11	20-06-19	9	-23.88	0.432	10.338	81.3	03-06-07	20-04-19	20	1.75	0.098	1.249
113	1172	972	12-05-09	20-06-19	12	-19.60	0.293	9.638	112.8	03-06-07	20-04-19	21	-15.88	0.835	1.617

1180	121	971	12-05-09	20-06-19	12	39.97	0.603	10.250	120.0	06-11-14	20-04-19	11	-16.58	0.832	2.481
122	125	1345	02-05-92	20-06-19	29	-4.13	0.169	1.766	83.5	15-04-14	20-04-19	12	-18.31	0.847	2.462
126	131	1493	24-05-11	20-06-19	9	-55.56	0.825	9.666	76.0	15-04-14	20-04-19	12	-25.41	0.751	4.632
132	138	1407	23-05-10	20-06-19	10	-55.06	0.925	5.546	51.1	15-04-14	20-04-19	12	-23.27	0.813	3.528
139	145	1647	23-05-10	20-06-19	10	-32.78	0.781	6.144	56.6	27-03-96	20-04-19	35	-2.56	0.501	0.445
146	150	1264	12-05-09	20-06-19	11	-25.91	0.590	7.202	76.7	12-11-95	20-04-19	36	4.74	0.797	0.410
151	155	1006	02-05-92	20-06-19	33	-17.56	0.839	1.379	69.9	11-06-92	20-04-19	43	-7.76	0.873	0.462
156	160	1000	12-05-09	20-06-19	11	-44.29	0.859	5.986	63.7	10-05-01	20-04-19	26	8.30	0.887	0.605
161	167	1435	23-05-10	20-06-19	10	-50.92	0.777	9.656	89.0	14-01-97	20-04-19	34	11.92	0.974	0.341
168	172	1044	12-05-09	20-06-19	11	-68.80	0.853	9.522	101.4	15-04-14	20-04-19	12	-25.04	0.729	4.825
173	176	850	12-05-09	20-06-19	13	-43.60	0.805	6.479	71.7	07-05-12	20-04-19	15	-117.92	0.961	6.560
177	181	1217	18-04-99	20-06-19	17	-22.22	0.820	2.693	71.0	29-04-13	20-04-19	14	17.88	0.850	2.172
182	184	637	07-04-00	20-06-19	14	85.05	0.941	6.149	114.8	15-04-82	20-04-19	63	31.46	0.882	1.475
185	189	1096	15-05-96	20-06-19	22	-65.95	0.976	2.315	87.3	22-05-95	20-04-19	37	-28.95	0.972	0.837
190	195	1178	23-05-10	20-06-19	10	-22.73	0.414	9.572	88.2	15-04-14	20-04-19	12	-28.80	0.914	2.793
196	201	1065	10-05-07	20-06-19	13	9.81	0.251	5.107	69.9	03-06-07	20-04-19	20	13.57	0.922	0.933
202	210	1108	20-05-87	20-06-19	41	58.74	0.957	1.991	128.7	01-06-94	20-04-19	39	36.28	0.995	0.411
211	216	837	15-05-96	20-06-19	24	43.28	0.967	1.705	66.1	18-06-79	20-04-19	66	69.97	0.981	1.229
217	218	346	10-05-07	20-06-19	13	8.19	0.770	1.351	18.5	17-04-11	20-04-19	16	-2.71	0.208	1.415
219	221	626	23-05-10	20-06-19	10	37.90	0.923	3.857	35.6	01-06-94	20-04-19	38	12.74	0.971	0.364
222	224	973	20-10-99	20-06-19	16	32.06	0.898	2.885	68.5	15-04-82	20-04-19	62	12.96	0.975	0.268
225	226	700	23-05-10	20-06-19	10	-12.73	0.277	7.265	67.0	18-10-97	20-04-19	32	-8.44	0.967	0.284
227	232	1410	07-04-00	20-06-19	15	-8.90	0.175	5.362	110.8	17-04-04	20-04-19	23	0.17	0.004	0.623
233	241	2237	20-05-86	20-06-19	41	-22.28	0.857	1.458	95.5	18-06-79	20-04-19	66	-19.88	0.963	0.487
242	249	2310	26-10-90	20-06-19	33	-15.76	0.762	1.582	82.7	22-05-95	20-04-19	36	2.03	0.571	0.302
250	255	1590	12-05-09	20-06-19	11	-15.32	0.478	5.331	56.8	14-04-03	20-04-19	24	7.59	0.789	0.838

Tabel 5 geeft per kuststrook een overzicht van de recentste **waargenomen** lineaire trend voor het deel onder en boven laagwater, voor de gevallen waar er zandaanvoer of –afvoer plaatsvindt. In de kuststroken waar geen zandaanvoer of –afvoer plaatsvindt, én er een trendomslag was, wordt vaak de **vorige** lineaire trend gegeven. Dit merkt men aan de periode waarover de trend is berekend. In kuststroken waar recent een strandsuppletie werd uitgevoerd, is vaak gekozen voor de eerste trend na de suppletie, indien er minstens drie waarnemingen na de suppletie beschikbaar waren. Dit leidt lokaal soms tot hoge afslagcijfers omdat dan de initiële afslag na suppletie is weergegeven. De gegevens in *Tabel 5* zijn gebruikt voor de overzichtsgrafiek bij de conclusies, *Figuur 137*.

Tabel 5 – Overzicht van de recentste (indien verschillend van de gecorrigeerde) of vorige (indien er in de kuststrook geen zandaanvoer of –afvoer plaatsvond, én de trend is gewijzigd) lineaire trend van de **waargenomen** volumes per kuststrook.

Van sectie	Tot sectie	Kustlengte	Deel onder laagwater (vet=significant $r^2 > 0,707$)							Deel boven laagwater (vet=significant $r^2 > 0,707$)						
			Van	Tot	n	trend	det.coëff.	StDev op m	StDev op Y	Van	Tot	n	trend	det.coëff.	StDev op m	StDev op Y
2	6	1230	07-04-00	20-06-19	15	-0.53	0.002	3.255	67.3	16-06-00	20-04-19	27	6.47	0.849	0.545	16.4
7	12	1420	07-04-00	20-06-19	16	2.44	0.036	3.357	69.7	16-06-00	20-04-19	27	-0.80	0.114	0.448	13.4
13	17	1240	22-10-89	20-06-19	28	-4.02	0.137	1.983	100.2	26-05-17	20-04-19	5	-12.47	0.968	1.318	2.0
18	21	1045	10-05-07	20-06-19	14	-28.93	0.712	5.314	72.8	16-06-00	20-04-19	27	2.81	0.625	0.436	13.1
22	25	1010	20-10-87	23-05-10	20	4.44	0.079	3.582	108.4	26-05-17	20-04-19	5	-20.89	0.964	2.318	3.5
26	31	1125	18-04-99	20-06-19	17	14.66	0.416	4.489	108.3	06-06-99	20-04-19	28	12.91	0.977	0.389	12.6
32	34	720	18-04-99	20-06-19	16	3.39	0.114	2.525	60.6	09-12-87	20-04-19	48	18.24	0.982	0.368	26.5
35	39	1345	18-04-99	20-06-19	16	-7.53	0.355	2.716	65.2	29-04-98	20-04-19	29	-1.90	0.351	0.497	17.3
40	43	965	18-04-99	20-06-19	16	-10.31	0.626	2.130	51.1	18-05-83	20-04-19	53	8.96	0.907	0.403	33.0
44	53	2475	02-05-92	20-06-19	25	1.67	0.049	1.538	68.3	19-06-08	20-04-19	19	11.98	0.912	0.905	12.4

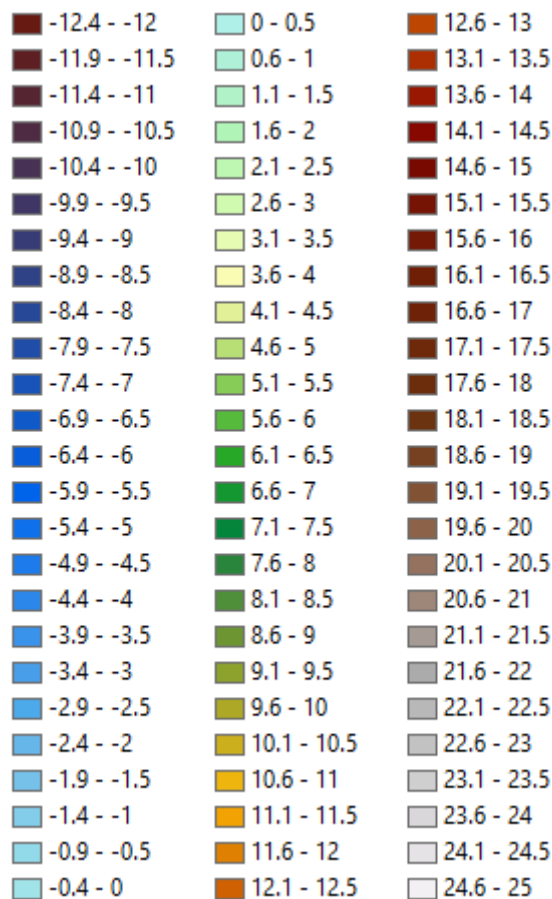
54	56	680	02-05-92	20-06-19	22	4.43	0.178	2.132	87.5	17-04-04	20-04-19	23	10.30	0.897	0.763	16.3
57	59	990	02-05-92	20-06-19	22	2.52	0.060	2.237	91.9	18-05-83	20-04-19	45	15.91	0.973	0.400	30.2
60	64	1175	12-05-09	20-06-19	11	-16.58	0.298	8.478	90.3	24-05-09	20-04-19	18	-14.04	0.880	1.295	15.6
65	70	1465	12-05-09	20-06-19	11	-23.27	0.686	5.245	55.8	24-05-09	20-04-19	18	15.72	0.960	0.804	9.7
71	72	410	14-04-03	20-06-19	14	-4.49	0.056	5.316	89.4	18-05-83	20-04-19	48	11.44	0.937	0.436	33.1
73	76	1230	10-05-07	20-06-19	13	-6.63	0.191	4.105	56.2	26-05-17	20-04-19	5	-11.87	0.864	2.723	4.1
77	82	2000	10-05-07	20-06-19	13	-8.75	0.235	4.762	65.2	06-11-14	20-04-19	11	7.16	0.351	3.246	14.6
83	87	1745	02-05-92	20-06-19	23	5.98	0.331	1.857	76.0	06-11-14	20-04-19	11	-19.85	0.840	2.888	13.0
88	92	1615	10-05-07	20-06-19	13	-16.26	0.473	5.170	70.8	06-11-14	20-04-19	11	9.76	0.865	1.287	5.8
93	97	1305	10-05-07	20-06-19	14	-20.46	0.568	5.147	71.3	25-05-97	20-04-19	30	5.52	0.935	0.275	10.2
98	102	1310	10-05-07	20-06-19	17	-8.40	0.112	6.121	91.7	06-11-14	20-04-19	11	-5.03	0.515	1.626	7.3
103	105	1305	10-05-07	20-06-19	17	11.54	0.179	6.384	95.6	17-04-18	20-04-19	3	-36.86	0.967	6.852	4.9
106	108	895	10-05-07	20-06-19	17	9.47	0.178	5.249	78.6	17-04-18	20-04-19	3	-51.34	0.988	5.622	4.0
109	112	1180	24-05-11	20-06-19	9	-6.91	0.052	11.177	87.9	17-04-18	20-04-19	3	-66.54	0.984	8.386	6.0
113	1172	972	12-05-09	20-06-19	12	16.42	0.177	11.199	131.1	24-05-09	20-04-19	19	31.85	0.788	4.003	53.3
1180	121	971	24-05-11	20-06-19	9	-15.92	0.216	11.448	90.0	06-11-14	20-04-19	11	-16.58	0.832	2.481	11.2
122	125	1345	12-05-09	20-06-19	11	-14.55	0.361	6.459	68.8	26-05-17	20-04-19	5	-22.87	0.654	9.605	14.6
126	131	1493	20-05-94	24-05-11	18	-7.46	0.182	3.947	92.5	26-05-17	20-04-19	5	-7.72	0.051	19.178	29.1
132	138	1407	20-05-94	23-05-10	18	-6.70	0.154	3.925	85.0	26-05-17	20-04-19	5	-11.97	0.137	17.338	26.3
139	145	1647	10-11-98	20-06-19	18	-15.80	0.697	2.604	74.7	26-05-17	20-04-19	5	-23.80	0.554	12.329	18.7
146	150	1264	26-10-90	20-06-19	34	-7.69	0.389	1.704	90.8	26-05-17	20-04-19	5	-9.07	0.103	15.486	23.5
151	155	1006	02-05-92	20-06-19	33	-15.72	0.799	1.415	71.7	10-04-16	06-11-18	7	-25.08	0.801	5.588	12.0
156	160	1000	12-05-09	20-06-19	11	-44.29	0.859	5.986	63.7	10-05-01	20-04-19	26	8.52	0.893	0.603	16.8
161	167	1435	23-05-10	20-06-19	10	-50.92	0.777	9.656	89.0	14-01-97	20-04-19	34	11.92	0.974	0.341	14.8
168	172	1044	05-09-16	20-06-19	4	192.45	0.971	23.399	49.4	15-04-14	20-04-19	12	-25.04	0.729	4.825	25.3
173	176	850	07-04-00	02-05-17	14	-25.06	0.856	2.971	52.8	07-05-12	20-04-19	15	-12.62	0.264	5.841	45.6
177	181	1217	23-05-10	20-06-19	10	-31.48	0.613	8.842	81.5	29-04-13	20-04-19	14	19.98	0.859	2.336	15.8
182	184	637	12-05-09	05-07-18	10	-23.03	0.483	8.432	78.0	17-05-15	20-04-19	10	8.11	0.270	4.716	18.2
185	189	1096	20-05-87	20-06-19	40	-6.37	0.276	1.673	105.3	03-06-07	20-04-19	20	14.39	0.780	1.799	27.9
190	195	1178	23-05-10	20-06-19	10	-22.73	0.414	9.572	88.2	15-04-14	20-04-19	12	7.19	0.320	3.317	17.4
196	201	1065	07-05-08	20-06-19	12	6.33	0.115	5.551	67.4	03-06-07	20-04-19	20	18.66	0.930	1.204	18.7
202	210	1108	07-05-08	20-06-19	13	32.21	0.863	3.864	47.3	01-06-94	20-04-19	39	35.03	0.994	0.437	22.3
211	216	837	20-05-87	15-05-96	18	106.87	0.936	7.011	78.9	18-06-79	20-04-19	66	41.61	0.977	0.802	77.3
217	218	346	10-05-07	20-06-19	13	8.19	0.770	1.351	18.5	17-04-11	20-04-19	16	-2.71	0.208	1.415	12.9
219	221	626	23-05-10	20-06-19	10	37.90	0.923	3.857	35.6	01-06-94	20-04-19	38	13.47	0.972	0.380	19.2
222	224	973	20-05-86	20-10-99	27	108.22	0.966	4.057	85.7	15-04-82	20-04-19	62	13.52	0.975	0.281	25.5
225	226	700	07-04-00	23-05-10	6	41.33	0.689	13.889	121.6	29-04-13	20-04-19	14	-2.68	0.529	0.730	4.9
227	232	1410	07-04-00	20-06-19	15	-8.86	0.173	5.367	111.0	17-05-15	20-04-19	10	-1.45	0.088	1.653	6.4
233	241	2237	23-05-10	20-06-19	10	-34.68	0.743	7.203	66.4	26-05-17	06-11-18	4	-52.37	0.970	6.468	6.9
242	249	2310	24-05-11	20-06-19	9	-2.90	0.032	6.041	47.5	03-06-07	20-04-19	20	1.25	0.349	0.402	6.2
250	255	1590	12-05-09	20-06-19	11	-15.32	0.478	5.331	56.8	17-01-17	20-04-19	6	-0.19	0.000	5.365	10.3

6.8 Opbouw van de rapportage per kuststrook

Hierna volgen de resultaten van de morfologische evolutie tot Voorjaar 2019 per kuststrook en per kustzone.

De weergave per kuststrook gebeurt volgens een vast patroon. Eerst komt een korte beschrijving van de kuststrook, met de secties die ze omvat. Een kaartje brengt de kuststrook in beeld. Deze kaartjes zijn allemaal op dezelfde schaal en met dezelfde legende. De secties zijn omlijnd en gelabeld in roze. De kuststrook is omlijnd in koningsblauw en gelabeld in koningsblauw of zwart. De kustlengte van de kuststrook is vermeld in het bijschrift. De kaartjes zijn geroteerd zodat de kustlijn ongeveer horizontaal ligt. De rotatiehoek is 30° van kuststrook 1 tot en met 36 (centrum van Wenduine), 22,5° van kuststrook 37 tot en met 43 (Zeebrugge-

Strand) en 20° van kuststrook 44 (Heist ten oosten van de havendam van Zeebrugge) tot 51 (Zwin). Sommige speciale vakken (bv. baggervakken) zijn weergegeven en indien nodig gelabeld in helder magenta. De achtergrond is een ingekleurde hoogtekkaart van de opname Voorjaar 2019. Deze is steeds volgens de legende van *Figuur 7*. Voor het gedeelte onder laagwater zijn de hoogtelijnen van 0 (vet), -2 (fijn), -4 (vet), -6 (fijn) (enz.) m weergegeven.



Figuur 7 – Legende van ingekleurde hoogtekkaarten.
De kleur verandert in stappen van een halve meter. Waarden in m TAW.

Vervolgens wordt een zo volledig mogelijke beschrijving gegeven van alle ingrepen die in de kuststrook plaatsvonden (zandaanvoer, badstrandophogingen, egalisatiewerken, ...). De betrokken hoeveelheden worden gerapporteerd in tabellen. Vaak worden werken uitgevoerd die zich uitstrekken in (delen van) aangrenzende kuststroken. De hoeveelheden dienen dan te worden verdeeld per kuststrook, volgens bepaalde aannames. Deze worden hier vermeld. Zo nodig worden bijkomende figuren en grafieken ter verduidelijking toegevoegd.

Nadien volgt een figuur met de evolutie van de zandhoeveelheden in de tijd (volumes t.o.v. de eerst beschikbare opname). De bovenste grafiek is de "gecorrigeerde trend", d.w.z., hier worden de zandvolumes, per hoogtelaag "strand en duinaanzet", "deel onder laagwater" (en dat laatste nog eens opgesplitst in "vooroever" en "zeebodem"), weergegeven met aftrek van door de mens aangevoerde hoeveelheden zand en met bijtelling van door de mens onttrokken hoeveelheden zand. Eveneens wordt de recentste lineaire trend weergegeven en in een tekstvenster worden de waarden ervan vermeld. Indien er in de betrokken kuststrook geen zandaan of -afvoerwerken plaatsvinden, is de bovenste grafiek gelijk aan die eronder, maar vaak wordt een bijkomende lineaire trend (over een andere deelperiode) weergegeven.

De onderste grafiek geeft de evolutie weer van de waargenomen volumes (t.o.v. de eerst beschikbare opname). Ook hierin wordt de recentste lineaire trend weergegeven en in een tekstvenster worden de waarden ervan vermeld.

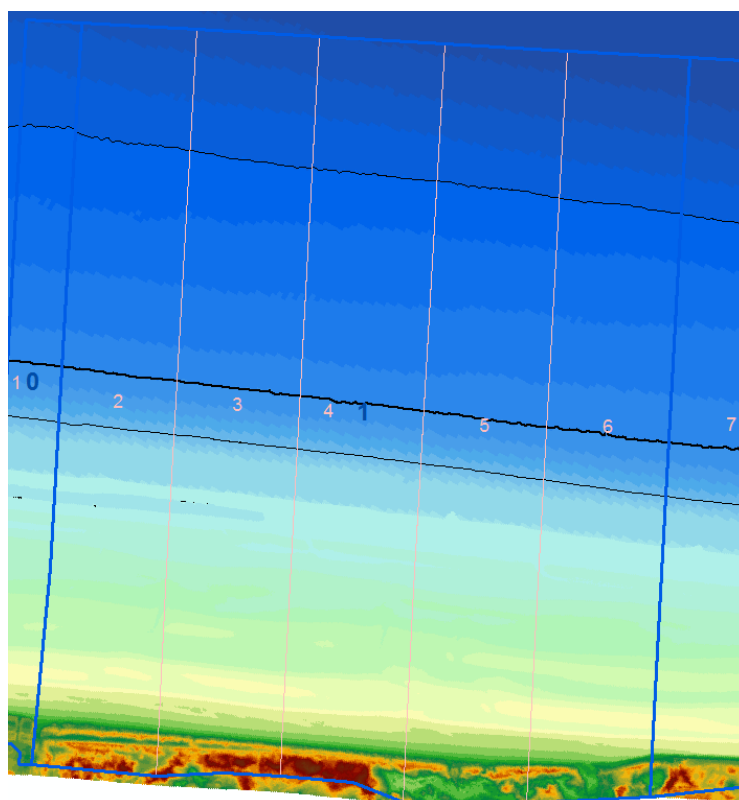
Ten slotte wordt een toelichting en morfologische interpretatie gegeven van de waargenomen en gecorrigeerde evolutie, indien mogelijk aangevuld met hypothesen omtrent de morfologische evolutie die zich in de kuststrook voordoen.

Na de groep kuststroken die samen een kustzone vormen, wordt een samenvatting van de evolutie gebracht voor de kustzone. Deze geeft in een grafiek de waargenomen en gecorrigeerde evolutie van alle volumes gesommeerd van de kustzone. De toelichting focust zich op het waargenomen en gecorrigeerd gedrag van de zandvolumes in de kustzone en beschrijft de belangrijkste trends of ontwikkelingen op het niveau van de kustzone.

7 Morfologische evolutie per kuststrook, zone 1: van de Franse grens tot Nieuwpoort

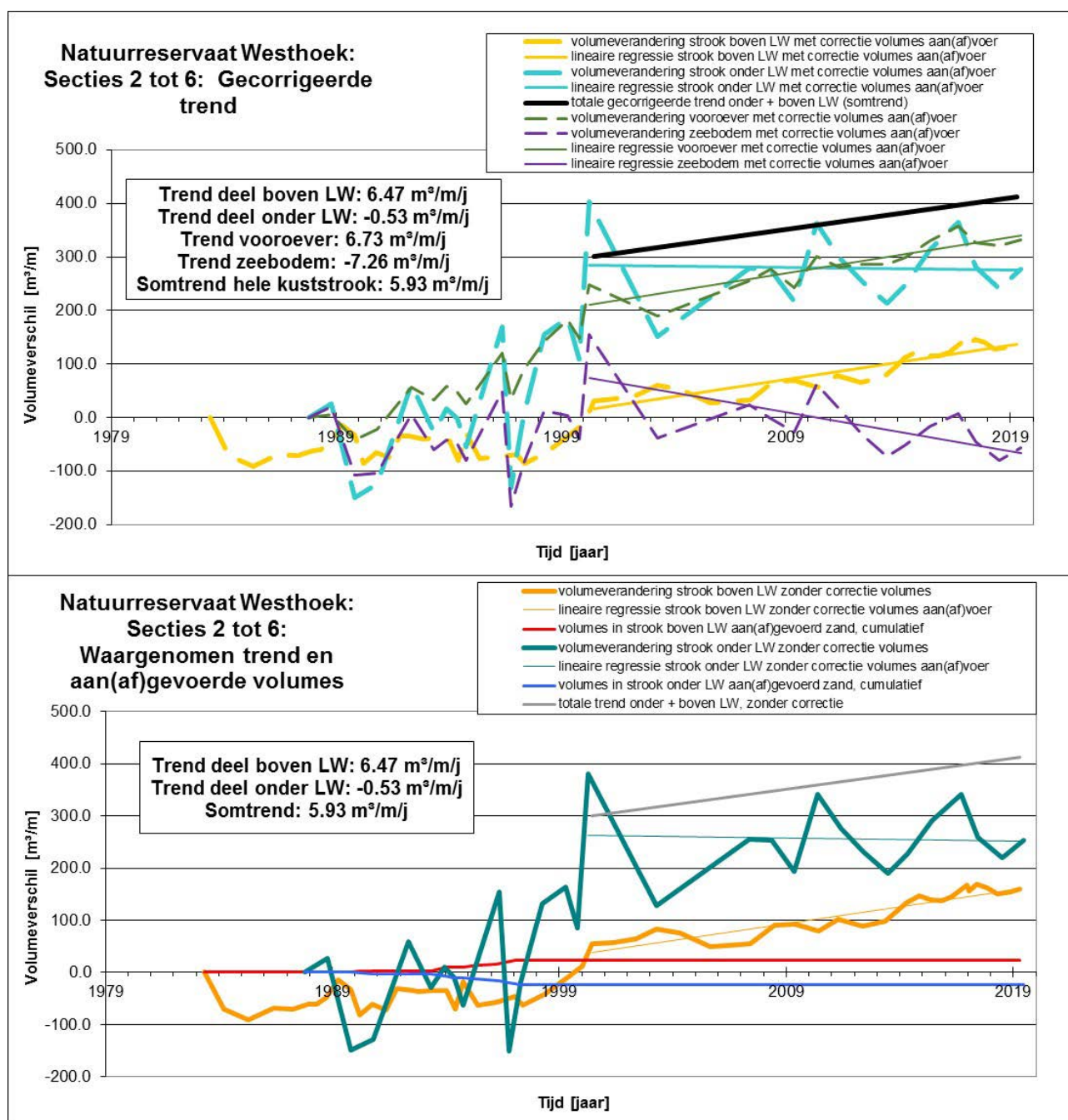
7.1 Strook 1 (secties 2-6): De Panne, natuurreserveaat Westhoek

Ligging van de strook: deze strook valt samen met het kustdeel “Natuurreserveaat Westhoek” (met uitzondering van sectie 1 op Frans grondgebied). Deze strook kende in het verleden intense duinvoetafslag bij storm. Bunkers uit de Tweede Wereldoorlog, destijds gebouwd aan de duinvoet, bevonden zich in de periode 1970-1975, toen ze werden opgeruimd, 30-40 m van de duinvoet op het strand. Omdat de duinvoet steeds verder werd aangetast, is er een betonnen duinvoetversterking aangelegd in de periode 1976-1979; deze loopt nog door in strook 2. Bij de zware stormen van 1990 en 1993 liep het water boven op de betonnen glooiing. Dit gebeurde recent ook nog bij de Sinterklaasstorm van 2013.



Figuur 8 – Situatiekaartje kuststrook 1, Natuurreserveaat Westhoek. Kustlengte: 1230 m.

Er werd na die stormen van begin 1990, van 14 november 1993, van 26-28 januari 1994, 1-2 januari 1995, 19 februari 1996, 29 augustus 1996 en 29 oktober 1996 telkens bij hoogdringendheid zand aangevoerd van nabij de laagwaterlijn. Er zijn geen volumes bekend. Naar beste vermogen realistisch ingeschat, wordt hier telkens de hoeveelheid in de kuststrook op 8.000 m³ geraamd, zodat het gedeelte invoer in de sectie (boven 1,39 m TAW) op 4.000 m³ geraamd wordt en het gedeelte afvoer uit de vooroever (onder 1,39 m TAW) op -4.000 m³. Men dient er bij de interpretatie van de gecorrigeerde cijferreeks rekening mee te houden dat de volumes in werkelijkheid wel anders konden geweest zijn. Na deze noodaanvoer werden er in deze kuststrook geen zandaanvoerwerken meer uitgevoerd.



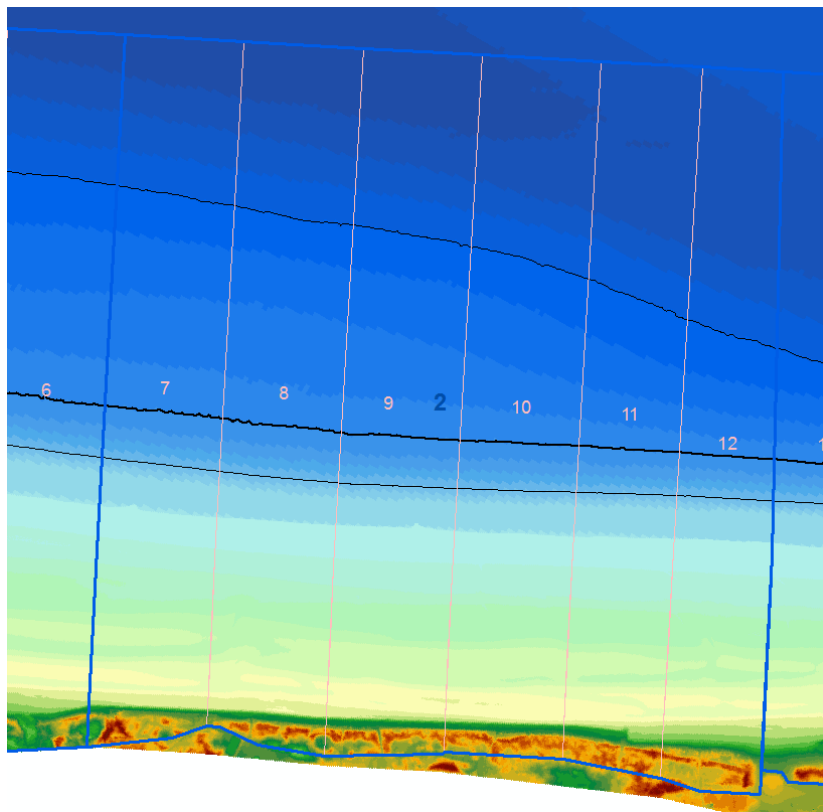
Figuur 9 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 1. Kustlengte: 1230 m.

Beschrijving van de morfologische evolutie: het deel boven LW vertoonde een stabiele trend over de periode 1983-1997 ($+0,5 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). Tussen 1997 en 2000 kenden het strand en de duinaanzet een flinke aangroei ($+36 \text{ m}^3/\text{m/j}$). Deze aangroei is voor zover bekend natuurlijk. De zandopvoerwerken na stormafslag situeren zich vóór 1997. De aangroei na 1997 behelsde een ongeveer even groot volume als wat verloren ging bij de afslag in 1983-1984. Na 2000 bleef de het deel boven LW van de kuststrook een lineaire aangroei kennen, maar aan een lager ritme: in de periode 2000-2019 ($+6,5 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$; standaarddeviatie op de trend: $0,5 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). Hierdoor is het zandvolume in het deel boven LW weliswaar traag maar geleidelijk toegenomen. Een groot deel van de aangroei situeert zich in de duinaanzet en is op het terrein goed zichtbaar doordat een jonge zeereep de betonnen duinvoet overstuift. Het droog- en natstrand kenden verspreide aangroei. De duinvoetaangroei is enkel mogelijk doordat ook het nat- en droogstrand aangroei kennen. Ook de vooroever en zeebodem kennen aangroei. Deze situeerde zich voornamelijk in de periode 1994-2000

(+53 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 20 m³/m/jaar). Sinds 2000 dienen we te spreken van een stabiele evolutie (-0,5 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 3 m³/m/jaar). De jaarlijkse schommelingen zijn groot; dit ligt aan de beperktere nauwkeurigheid van de vooroeverlodingen. De hoogteverschilkaarten tonen een duidelijke ruimtelijke trend: de hogere vooroever groeit sinds 2000 aan; de zeebodem (geulbodem van de getijgeul Het Potje) diept uit, vaak reeds met een halve meter t.o.v. 2000.

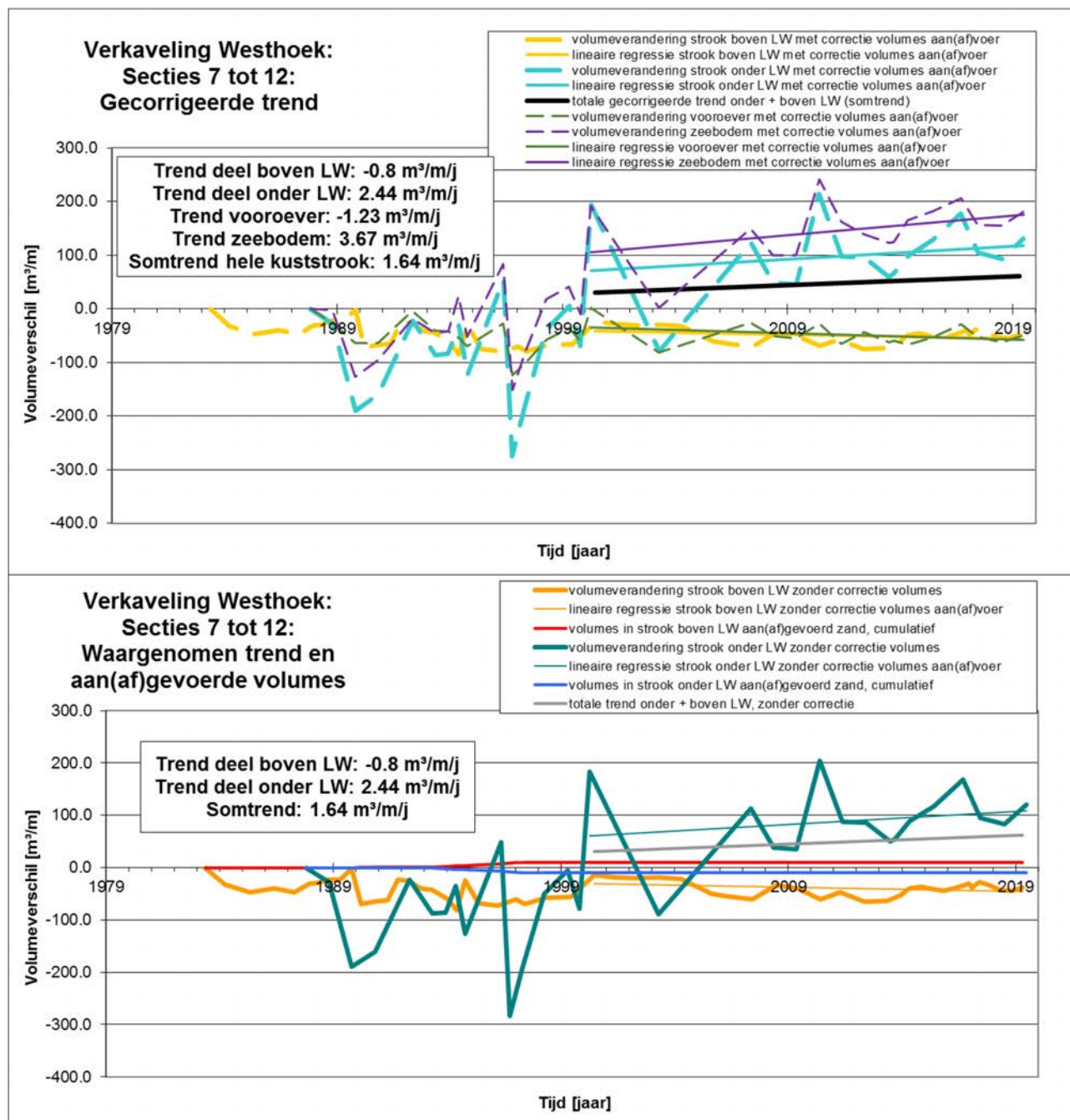
7.2 Strook 2 (secties 7-12): De Panne, verkaveling Westhoek

Ligging van de strook: deze strook valt samen met het kustdeel “Verkaveling Westhoek”. Deze strook kende in het verleden intense duinvoetafslag bij storm. Voor de kustveiligheid werd er, aansluitend bij deze in kuststrook 1, een betonnen duinvoet aangelegd in de periode 1976-1979, die nog eens verlengd werd aan de oostkant in 1990 tot halfweg sectie 11, na de zware stormafslag toen.



Figuur 10 – Situatiekaartje kuststrook 2, Verkaveling Westhoek. Kustlengte: 1420 m.

In de kuststrook werd vrij belangrijke stormafslag opgelopen bij de zware stormen van begin 1990 en bij de stormen in de periode 1993-1994. In sectie 7 en een deel van sectie 8 werd in 1994 een betonnen muurtje boven de duinvoetversterking opgericht. Hierbij werd ook zand boven de duinvoet aangebracht van bij de laagwaterlijn. Er werd nogmaals zand aangevoerd na de stormen van 1-2 januari 1995, 19 februari 1996, 29 augustus 1996 en 29 oktober 1996. Er zijn geen volumes bekend, maar ze worden zo realistisch mogelijk geraamd op 4.000 m³, wat overeenkomt met een invoer van 2.000 m³ in de sectie boven LW en een uitvoer van 2.000 m³ in de sectie onder LW, per keer. Nadien vonden er in deze kuststrook geen zandopvoerwerken meer plaats.



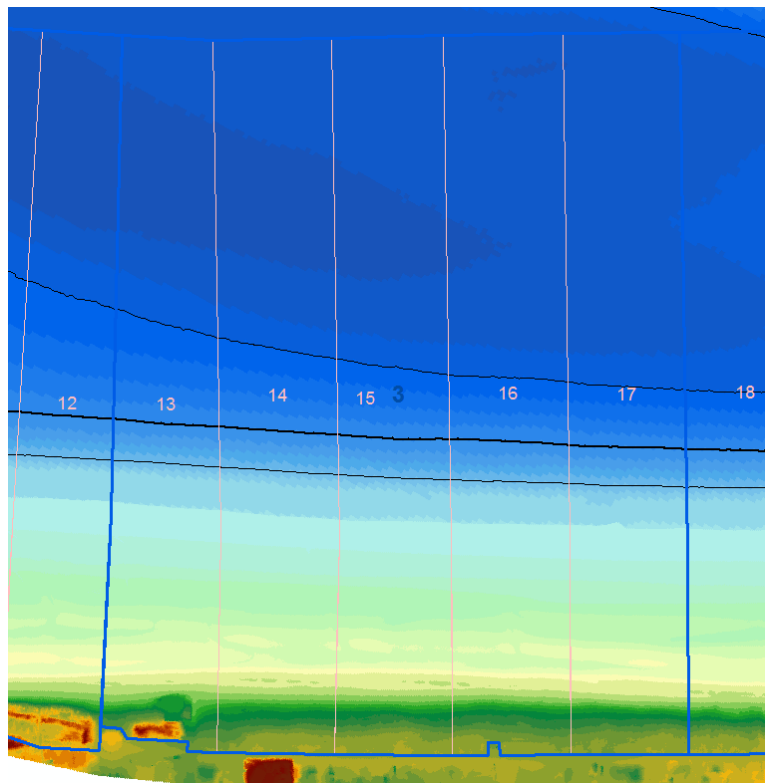
Figuur 11 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 2. Kustlengte: 1420 m.

Morfologische evolutie: het deel boven LW is stabiel en ongeveer gelijk aan dat bij de eerste opname. Het gedeelte onder LW vertoont grote schommelingen in volume. Ook hier verandert het volume omzeggens niet doorheen de tijd. Sinds 2000 is er een lichte aangroei-trend van $+2 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $3,5 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). Er is echter wel een duidelijke ruimtelijke trend: de vooroever kent erosie, en ligt t.o.v. 2000 ongeveer 0,50 tot 0,75 m dieper, terwijl er zich op de zeebodem een dicht bij het strandlichaam een gebiedje bevindt, ongeveer tussen 400 en 800 m afstand van de laagwaterlijn, met systematisch lichte aangroei (lokaal tot $+0,40 \text{ m}$ t.o.v. 2000) en een verder in zee gelegen zone met erosie (tot $-0,40 \text{ m}$ t.o.v. 2000). Deze verschillen hebben duidelijk te maken met verschuivingen in de ligging van de getijgeul Het Potje, die hier lokaal ook wat kustwaarts is verplaatst, en de zeewaarts ervan gelegen zandbank Trapegeer-Broers

Bank. Beide morfologische eenheden verschuiven langzaam maar wel systematisch in de tijd naar het oosten, zie verder bij De Panne en Sint-Idesbald.

7.3 Strook 3 (secties 13-17): De Panne-Centrum

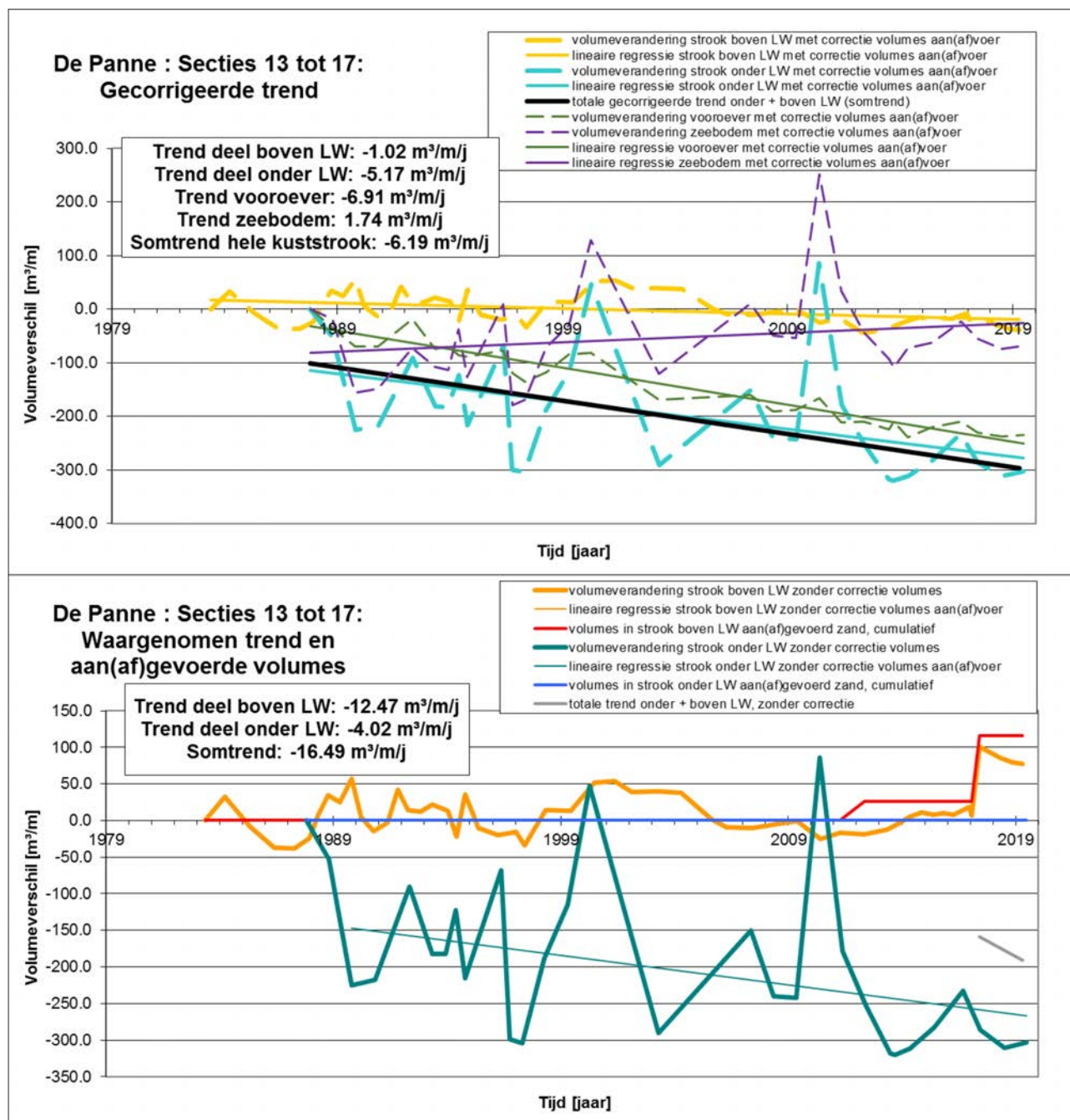
Ligging van de strook: deze strook bevat 5 van de 6 secties van het kustdeel “De Panne”. De meest oostelijke sectie, 18, kent, net als de nog meer oostelijk gelegen secties 19 tot 21 van het kustdeel “Sint-Idesbald”, aangroei en hoort daarom morfologisch bij die secties. De secties 13 tot en met 17 daarentegen kennen een vrijwel constant zandvolume in de tijd, met wel sterke schommelingen van jaar tot jaar. In De Panne vonden tot 2011 geen zandaanvoerwerken plaats. In oktober-november 2011 werd een “kleine strandsuppletie” uitgevoerd in secties 13-18 die een aanvoer met vrachtwagens van 39.185 m³ zeezand behelsde. Op basis van de kustlengte wordt daarvan 32.400 m³ "toegekend" aan deze kuststrook (de rest in kuststrook 4). Bij de opname Najaar 2016 bevond er zich een zandberg in sectie 16: deze was aangelegd ter gelegenheid van een cross op het strand en werd nadien weer verwijderd. In het voorjaar van 2017, vóór de opname Voorjaar 2017, werd er ongeveer 10.000 m³ zand op het strand aangebracht in sectie 13. Dit was afkomstig uit een bouwput en wordt beschouwd als een netto aanvoer van zand. Tevens werd, voor 11 april 2017 en dus voor de meetvlucht van Voorjaar 2017 (26 mei), een grote strandsuppletie uitgevoerd in secties 13 tot 18. Op basis van de betrokken kustlengte en rekening houdend met een "efficiëntie" van 85%, wordt van het aangevoerde volume van 131.470 m³ (in beun) een netto aanvoer in deze kuststrook van 101.100 m³ geteld. De suppletie hoogde enkel het hoogste, droogblijvende deel van het strand op.



Figuur 12 – Situatiekaartje kuststrook 3, De Panne-Centrum. Kustlengte: 1240 m.

Morfologische evolutie: de waargenomen tijdreeks toont lichte erosie, zowel voor het deel boven LW (gecorrigeerde trend is -1 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 0,3 m³/m/jaar) als onder (-5 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 1,8 m³/m/jaar). Het volume van het strand schommelde jarenlang rond hetzelfde peil als bij de eerste opname. Vanaf 2004 overwoog afslag. Er is op gereageerd met een kleine

suppletie in 2011. In 2017 wordt een grote suppletie uitgevoerd in het kader van het Masterplan Kustveiligheid. Deze bracht het peil van het zandvolume op een maximum voor de waarnemingsperiode. Suppleren wordt stevast gevolgd door een initiële sterkere afslag. Tussen Voorjaar 2017 en Voorjaar 2019 bedraagt het afslagritme in de kuststrook $-12,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $1,3 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$).



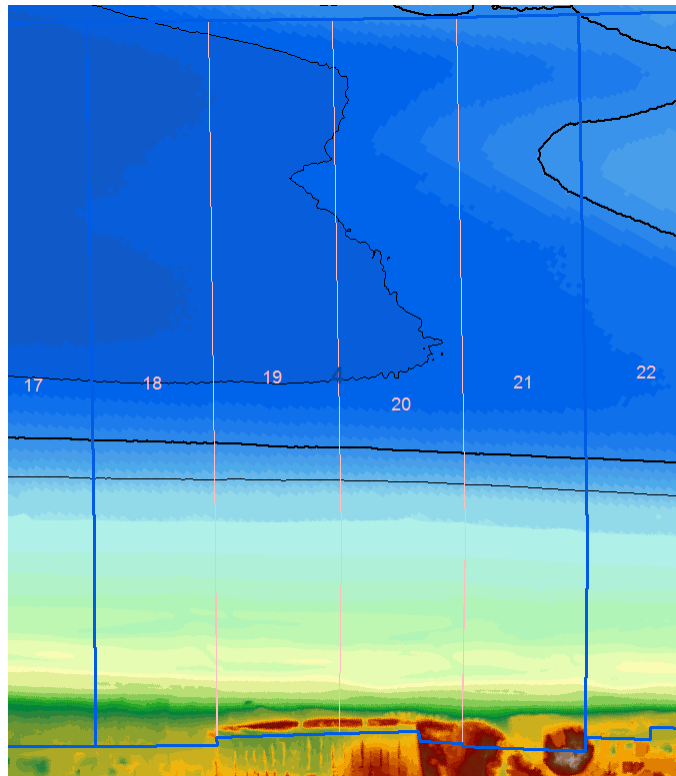
Figuur 13 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 3. Kustlengte: 1240 m.

De schommelingen op de vooroever en zeebodem zijn veel groter. De opnamen Voorjaar 2000 en Voorjaar 2010 leverden abnormaal positieve uitschieters in de grafiek op. Ondanks die uitschieters is de trend negatief. Het is vooral de vooroever die erosie kent. De hoogteverschillen t.o.v. 2000 (met het nodige voorbehoud indien het hier zou gaan om een sterk positieve uitschieter) liggen tussen $-0,5$ en $-1,0 \text{ m}$. Ook de zeebodem is verdiept, met bedragen tot $-0,4 \text{ m}$. De zeebodem is hier deel van de geulbodem van de getijgeul Het Potje, met dieptes rond -7 m TAW. De evolutie heeft te maken met natuurlijke verschuivingen in de ligging van de getijgeul Het Potje en de zeewaarts ervan gelegen zandbank Trapegeer-Broers Bank. Zo

vertoont Het Potje sinds 2000 een trend tot oostwaartse verplaatsing met 15 à 20 m per jaar. Het diepste gedeelte van de geulbodembodem verschuift eveneens en bereikt nu De Panne. En nog daarmee verbonden is de evolutie van de vooroever: van sectie 9 tot 20 vertoont deze een erosiestrook t.o.v. 2000. Deze erosie lijkt zich vooral te hebben voorgedaan tussen 2010 en 2013 en lijkt sindsdien gestabiliseerd.

7.4 Strook 4 (secties 18-21): De Panne camping Zeepark en duinen ten westen van Sint-Idesbald

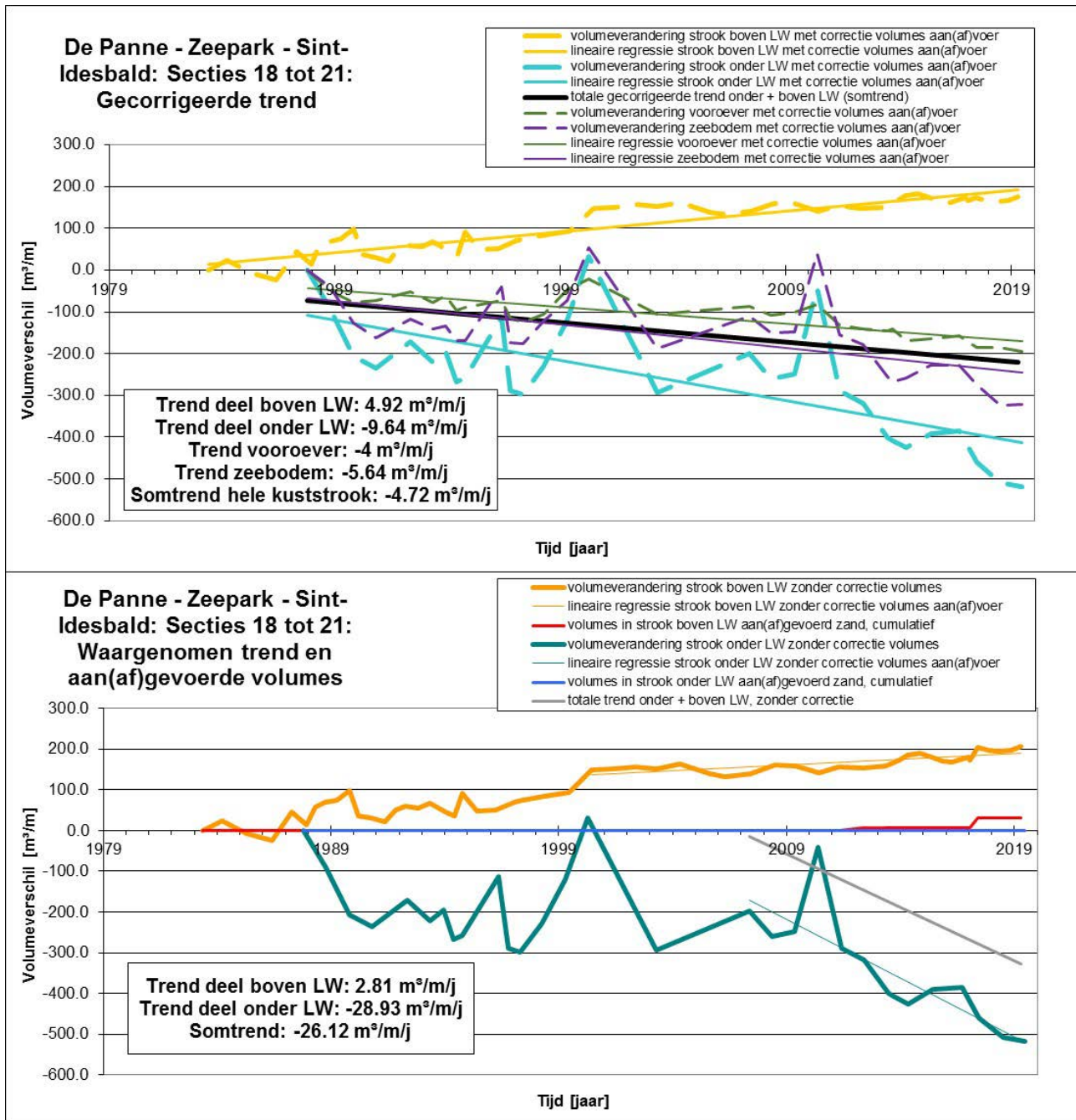
De meest oostelijke sectie, 18, van het kustdeel “De Panne” kent, net als de nog meer oostelijk gelegen secties 19 tot 21 van het kustdeel “Sint-Idesbald”, aangroei en deze strook vormt daarom morfologisch een eenheid. Sectie 18 ligt voor de bebouwing van De Panne, aan het oostelijk uiteinde van de wandelboulevard; de rest van deze strook ligt tussen de bebouwing van De Panne en de versterkte zeeduinglooiingsvoet in Sint-Idesbald. Er is nergens een versterking aan de duinvoet aanwezig. Secties 19 en 20 liggen ter hoogte van camping Zeepark, een van de weinige campings aan onze kust die nog rechtstreeks op het strand aansluiten. Bouwpromotoren hebben hun oog op dit terrein laten vallen. In sectie 20 en 21 zijn hoge duintoppen aanwezig, met hier en daar een villa.



Figuur 14 – Situatiekaartje kuststrook 4, camping Zeepark en duinen Sint-Idesbald. Kustlengte: 1045 m.

Sectie 18 was betrokken bij de kleine strandsuppletie van oktober-november 2011. Op basis van de kustlengte werd ongeveer 6.800 m³ zand in sectie 18 aangebracht. Eveneens was sectie 18 betrokken bij de grote strandsuppletie van Voorjaar 2017. Op basis van de kustlengte bedroeg het aandeel aanvoer hier toen 10.600 m³.

Ten slotte was ook sectie 21 gedeeltelijk betrokken in een strandsuppletie, uitgevoerd eveneens in het voorjaar van 2017, in Sint-Idesbald. Van de daar aangevoerde hoeveelheden bedraagt de netto aanvoer in sectie 21 14.300 m³.



Figuur 15 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 4. Kustlengte: 1045 m.

Morfologische evolutie: het gedeelte boven LW toont sinds de eerste meting een autonome aangroei-trend met $+5 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,3 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). Het meeste van de aangroei is natuurlijk. Sinds 2000 is de aangroei echter afgevlakt, van $+5,6$ over 1983-2000 (standaarddeviatie op de trend: $1,1 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$) naar $+1,4$ over 2000-2019 (standaarddeviatie op de trend: $0,3 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). Dit laatste cijfer is gecorrigeerd voor de zandaanvoer in de twee uiterste secties van de kuststrook. Het waargenomen aangroei-cijfers is $+2,8 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,4 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). De aangroei is duidelijk en alleen gelokaliseerd aan de duinvoet. Het gedeelte onder LW kent over de meetperiode afslag ($-10 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$; standaarddeviatie op de trend: $1,8 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). De schommelingen op de vooroever en zeebodem zijn groot, van dezelfde orde als de waargenomen trend. De opnamen Voorjaar 2000 en Voorjaar 2010 leverden abnormaal positieve uitschieters in de grafiek op. Maken we abstractie van die uitschieters, dan is een nultrend met een vrijwel constant volume rond 2007 omgeslagen in een uitgesproken negatieve

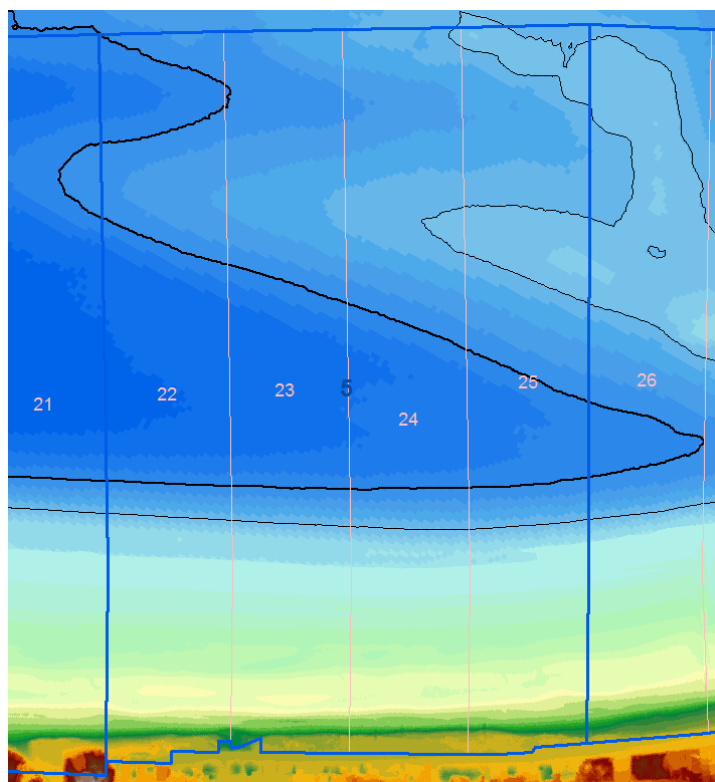
trend. Tussen 2007 en 2019 is de waargenomen afslag van vooroever en zeebodem $-29 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Ruimtelijk is de afslag gespreid. Enerzijds vertoont de vooroever secties 18 tot 20 afslag; deze sluit aan bij de afslagzone in De Panne en hoogteverschillen t.o.v. 2000 (met het nodige voorbehoud indien het hier zou gaan om een sterk positieve uitschieter) liggen tussen $-0,5$ en $-1,0$ m. Anderzijds is de zeebodem verdiept, met bedragen tot $-0,4$ m. De zeebodem is hier het naar het oosten versmallende deel van de geulbodem van de getijgeul Het Potje, met dieptes rond -6 m TAW. Ten slotte is er ook sterke erosie meer zeewaarts, aan het westelijk uiteinde van de Broers Bank. Hier noteren we t.o.v. 2000 verdieping met 1 tot $1,25$ m.

De evolutie heeft te maken met natuurlijke verschuivingen in de ligging van de getijgeul Het Potje en de zeewaarts ervan gelegen zandbank Trapegeer-Broers Bank. Zo vertoont Het Potje sinds 2000 een trend tot oostwaartse verplaatsing met 15 à 20 m per jaar. Deze verplaatsing treft ook de kustnabije bank Broers Bank. Het deel van deze bank dat het dichtst bij de kust ligt, heeft een spitse westelijke flank. Heel de westelijke flank schuift eveneens op naar het oosten, zowel de landwaartse als de zeewaartse helling van de westspits, zie Figuur 33. En nog daarmee verbonden is de evolutie van de vooroever: van sectie 9 tot 20 vertoont deze een erosiestrook t.o.v. 2000. Deze erosie lijkt zich vooral te hebben voorgedaan tussen 2010 en 2013 en is sindsdien gestabiliseerd. De hoogteverschilkaarten lijken ook aan te geven dat reeds jarenlang doorgevoerde aanvullingen en suppleties te Sint-Idesbald lokaal bijdragen tot de aangroei van de vooroever.

7.5 Strook 5 (secties 22-25): Sint-Idesbald

Ligging van de strook: de tijdsevolutie van de volumes in de vier meest oostelijke secties van het kustdeel "Sint-Idesbald" wordt bepaald door de jaarlijkse badstrandophogingen. De meest oostelijke sectie 25 ondervindt ook aangroei ingevolge de uitbouw van krib 10 in de periode 1986-1988 tot een volwaardig, 400 m lang strandhoofd. De volumes aangebracht bij de badstrandophogingen vindt men in *Tabel 6*.

In oktober-november 2011 werd in secties 21-26 een grote strandsuppletie met opspuiting van 139.000 m^3 uitgevoerd (dit volume is gebaseerd op metingen in situ). Deze aanvoer is op basis van de kustlengte van de zone waar de suppletie werd uitgevoerd, verdeeld over kuststroken 4, 5 en 6. Het deel aanvoer in de onderhavige kuststrook 5 is 116.100 m^3 . Na 2012 vinden geen badstrandophogingen meer plaats, maar wordt op basis van toetsingen in het kader van het Masterplan Kustveiligheid gesuppleerd indien nodig. De eerstvolgende suppletie vond plaats in het voorjaar van 2017, en was beëindigd op 27 april, ongeveer een maand vóór de voorjaarsvlucht. De aanvoer behelsde een volume van 123.301 m^3 (volume in beun) over een kustlengte van ongeveer 1430 m, ook nog gedeeltelijk in kuststrook 4 (sectie 21) en kuststrook 6 (sectie 26). Op basis van de betrokken kustlengte en rekening houdend met een suppletieverlies van 15% , werd in kuststrook 5 dus 74.000 m^3 zand aangebracht.



Figuur 16 – Situatiekaartje kuststrook 5, Sint-Idesbald. Kustlengte: 1010 m.

Tabel 6 – Hoeveelheden betrokken bij de badstrandophogingen in Sint-Idesbald tot 2012.

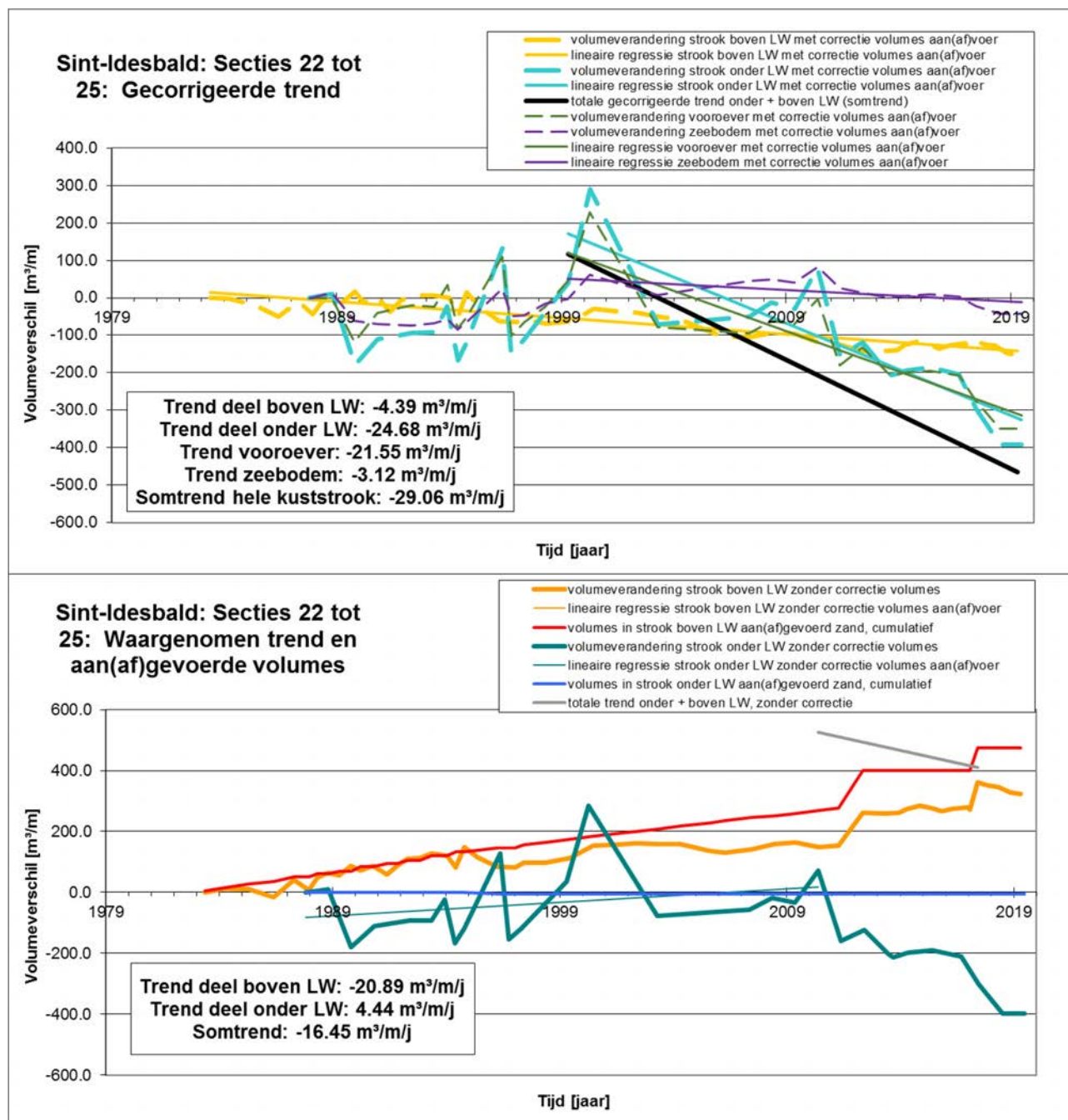
Jaar	West van sanitair gebouw (sectie 22)		Oost van sanitair gebouw (sectie 23)		Oost Strandlaan (secties 23-25)		Hele strook (secties 22-25)	
	zeezand (m ³)	strandzand (m ³)	zeezand (m ³)	strandzand (m ³)	zeezand (m ³)	strandzand (m ³)	gedeelte aangebracht boven LW	gedeelte weggenomen onder LW
1983	2500	2300	0	0	0	0	3700	-1200
1984	2000	5100	0	900	0	10900	10500	-8500
1985	5000	2600	0	0	4100	5300	13100	-4000
1986	4000	1400	0	0	3200	2100	9000	-1800
1987	3500	2500	4500	2500	4500	0	15000	-2500
1988	3971	0	304	0	5836	0	10100	0
1989	4000	0	0	0	4750	0	8800	0
1990	8100	0	0	0	6700	0	14800	0
1991	3000	0	1000	0	6500	0	10500	0
1992	3400	0	500	0	6300	0	10200	0
1993	7100	0	1100	0	7300	0	15500	0
1994	6100	0	1200	0	6900	0	14200	0
1995	0	3827	0	1017	0	6423	5600	-5600
1996	3960	0	600	0	2300	0	6900	0
1997	4650	0	400	0	4100	0	9200	0
1998	5000	0	500	0	3900	0	9400	0
1999	5328	0	258	0	3548	0	9100	0
2000	4540	0	530	0	4852	0	9900	0

2001	4837	0	0	0	3655	0	8500	0
2002	3116	0	441	0	4988	0	8500	0
2003	3974	0	409	0	3872	0	8300	0
2004	3922	0	585	0	4900	0	9400	0
2005	4089	0	498	0	4965	0	9600	0
2006	4425	0	0	0	4245	0	8700	0
2007	0	0	0	0	8822	0	8800	0
2008	3494	0	228	0	2970	0	6700	0
2009							7900*	0
2010							8940*	0
2011							9240*	0
2012							9055*	0

Bron: periode 1985-1998 : rapport KUST2004.112, periode 1999-2007 : afdeling Kust, Jan Goderis, sinds 2008: afdeling Kust.
 *globaal cijfer voor hele zone (aanvoer van zeezand). De badstrandophogingen vinden doorgaans in de periode april-mei plaats.
 Na 2012 vonden geen badstrandophogingen meer plaats.

Morfologische evolutie: het deel boven LW vertoont sinds de eerste meetvlucht in 1983 een lineaire waargenomen aangroei aan een ritme van $+8,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$), maar de hele aangroei wordt verklaard door de zandaanvoerwerken; de gecorrigeerde trend over 1983-2019 is $-4,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,3 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). In de voorbije decennia werd zand opgevoerd van nabij de laagwaterlijn, wat op een interne herverdeling van het zand binnen de kuststrook neerkomt, maar geleidelijk schakelde men over op de aanvoer van grof zeezand, afkomstig van buiten de kuststrook. De laatste jaren worden er geen badstrandophogingen meer doorgevoerd, maar schakelde men over op strandsuppleties (Najaar 2011 en Voorjaar 2017); over de tijd gespreid is het zandaanvoerritme hierdoor constant gebleven. Vooroever en zeebodem vertoonden tot 2010 een licht aangroeiende, maar niet-significante trend ($+4,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$; standaarddeviatie op de trend: $3,6 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$); de afslagtrend sinds 2010 is wel significant en bedraagt $-25 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $3,6 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Er is een duidelijke geografische differentiatie waar te nemen: een strook aan de vooroevervoet (de morfologische knik tussen het onderwaterstrand en de aangrenzende geulbodem) vertoont vooral sinds de laatste 10 jaar een tendens tot aangroeien. De ligging van de aangroei zone laat toe aan te nemen dat zij voeding geniet van het door suppleties in stand gehouden strand van Sint-Idesbald. Tevens zou aangroei hier mogelijk lokaal permanent karakter hebben, doordat er voor de getijstrooming een luwere zone is ontstaan aan de westzijde van de in 1986-1988 uitgebouwde strandhoofden 6 en 10 in Koksijde-Bad. De iets verder in zee gelegen westwaartse uiteinde van de Broers Bank vertoont een duidelijke tendens tot afslag. De bodemdaling sinds 2000 loopt op vele plaatsen al op tot ongeveer 2 m.

De evolutie hier heeft te maken met natuurlijke verschuivingen in de ligging van de getijgeul Het Potje en de zeewaarts ervan gelegen zandbank Trapegeer-Broers Bank. Zo vertoont Het Potje sinds 2000 een trend tot oostwaartse verplaatsing met 15 à 20 m per jaar. Deze verplaatsing treft ook de kustnabije bank Broers Bank. Het deel van deze bank dat het dichtst bij de kust ligt, heeft een spitse westelijke flank. Heel de westelijke flank schuift op naar het oosten, zowel de landwaartse als de zeewaartse helling van de westspits, maar ook het hele topvlak. Deze beweging kan worden gelinkt aan de werking van de vloedstroom. De getijgeul Het Potje loopt naar het oosten spits uit. Het water dat door de getijstrooming wordt aangevoerd, moet over de ondiepe Broers Bank zijn weg zoeken. De kleinere stroomsecties veroorzaken sterkere stromingen en erosie.

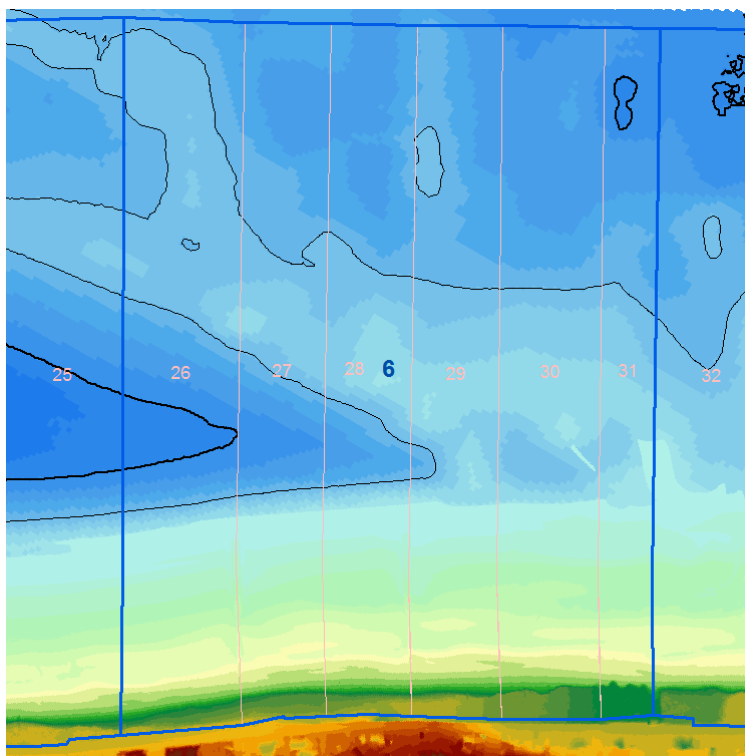


Figuur 17 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 5. Kustlengte: 1010 m.

7.6 Strook 6 (secties 26-31): Koksijde-Bad

Ligging van de strook: in de jaren 1940-1970 was het strand van Koksijde-Bad een van de meest erosiegevoelige van de Westkust. De zeedijk en de 10 korte kribben, die nu helemaal onder het droogstrand liggen, werden in die periode gebouwd. De 1300 m lange zeedijk dateert uit 1949-1953 en 1966; in 1966 en 1977 werd nog een bijkomende teenbescherming aangebracht onder de vorm van een rij schanskorven bedekt met beton. De zes meest oostelijke strandkribben dateren uit 1956 en de vier volgende uit 1969. Hun lengte is 120 m en hun tussenafstand 90 m. Wellicht leed het strand onder erosie doordat de getijgeul Het Potje zich uitbreidde naar het oosten. De vijf meest westelijke secties van het kustdeel "Koksijde-Bad" gedragen zich wat tijdsevolutie van de volumes betreft onderling gelijkaardig maar enigszins verschillend van de rest van het kustdeel Koksijde-Bad. De hoofdreden is de uitbouw van de kribben 6 (op de grens van sectie

26 en 27) en 10 (op de grens van sectie 28 en 29) in de periode 1986-1988 tot volwaardige, 400 m lange strandhoofden. Er is onmiddellijk en langdurig aangroei van de vooroever en het natstrand opgetreden. Door badstrandophogingen werd ook een droogblijvend strand aangelegd en onderhouden tegen de zeedijk. Wellicht door de aangroei van het natstrand werd bij de badstrandophogingen geleidelijk overgeschakeld naar winning van zand nabij de laagwaterlijn. Sinds 2006 werd echter opnieuw zeezand aangevoerd. De betrokken hoeveelheden vindt men in *Tabel 7*.



Figuur 18. Situatiekaartje kuststrook 6, Koksijde-Bad. Kustlengte: 1125 m.

Tabel 7. Volumes betrokken bij de badstrandophogingen in kuststrook 6.

Jaar	Plaats	zeezand (m ³)	strandzand (m ³)	gedeelte aangebracht boven LW (m ³)	gedeelte weggenomen onder LW (m ³)
1983	sectie 29-31	1991	1732	2900	-900
1984	sectie 29-31	2000	8400	6200	-4200
1985	sectie 29-31	8400	3600	10200	-1800
1986	sectie 29-31	4100	1500	4900	-800
1987	sectie 29-31	5300	1500	6100	-800
1988	sectie 29-31	0	8731	4400	-4400
1989	sectie 29-31	5000	0	5000	0
1990	sectie 29-31	6700	0	6700	0
1991	sectie 29-31	0	7000	3500	-3500
1992	sectie 29-31	3800	0	3800	0
1993	sectie 29-31	7400	0	7400	0
1994	sectie 29-31	0	10000	5000	-5000
1995	sectie 29-31	4602	0	4600	0
1996	sectie 29-31	0	5150	2600	-2600

1997	sectie 29-31	0	3800	1900	-1900
1998	sectie 29-31	0	4200	2100	-2100
1999	sectie 29-31	0	6373	3200	-3200
2000	sectie 29-31	0	4034	2000	-2000
2001	sectie 29-31	0	2721	1400	-1400
2002	sectie 29-31	0	2552	1300	-1300
2003	sectie 29-31	0	2562	1300	-1300
2004	sectie 29-31	0	2587	1300	-1300
2005	sectie 29-31	0	2469	1200	-1200
2006	sectie 26-31*	5500	0	5500	0
2007	sectie 26-27**	17736	0	17700	0
2008	sectie 26-33	25125	0	25100	0
2009	sectie 26-33	50124	0	50100	0

*eind 2006 werd een "veiligheidssuppletie" uitgevoerd van 10.600 m³. Het cijfer is bij dat van 2007** geteld. Dit cijfer bevat bovendien een gedeelte van de badstrandophoging van 10.181 m³ dat over de strook van sectie 26 tot en met 33 werd uitgevoerd. De aanvoerwerken voor 2008 en 2009 vallen onder de noemer "kleine strandsuppletie met zeezand". In 2009 werd in twee fasen gewerkt. De volumes werden hier samengeteld. Bron: periode 1985-1998: rapport KUST2004.112, periode 1999-2009: afdeling Kust. De badstrandophogingen hebben doorgaans plaats in april-mei.

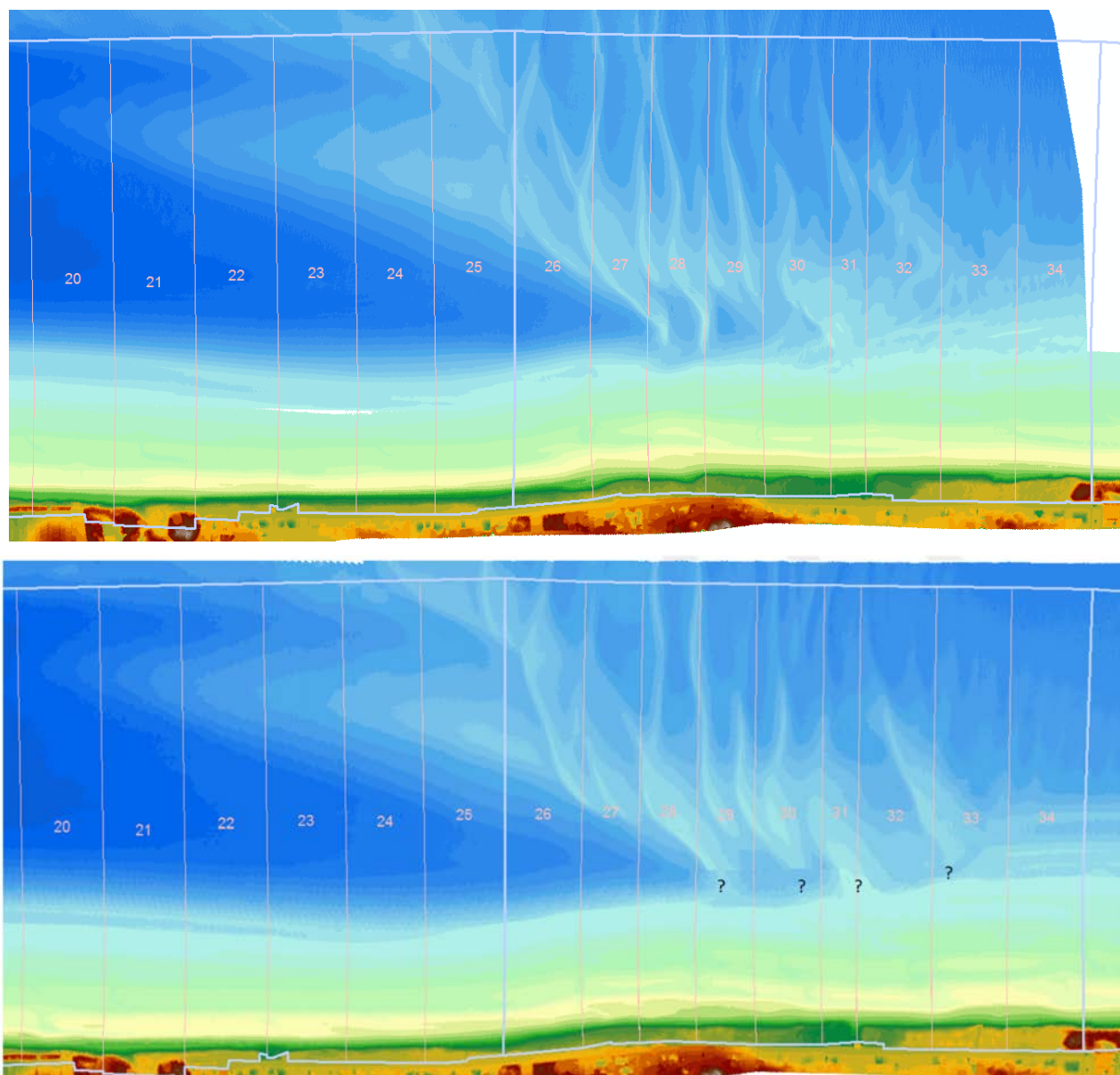
In 2009 werd voor de laatste maal een klassieke badstrandophoging uitgevoerd. De natuurlijke aangroei had er inmiddels voor gezorgd dat bijkomende aanvoer door werken niet meer nodig was. Enkel een gedeelte van sectie 26 was nog mee betrokken in de strandsuppleties van Sint-Idesbald. De suppletie van oktober-november 2011 behelsde een aanvoer van 22.900 m³ en deze van Voorjaar 2017 16.500 m³, berekend op basis van de kustlengte uit de gegevens vermeld bij kuststrook 5.

Ter hoogte van de kuststrook 6 bevindt zich het ondiepste gedeelte van de Broers Bank. Er liggen grote onderwaterduinen op het topvlak van deze bank. Het detail van multibeamopnamen is nodig om deze bodemvormen goed in beeld te brengen (*Figuur 19*). We beschikken over multibeamopnamen, een eerste maal dd. 29 augustus en 8 oktober 2013 (de opnamen bedekken samen de vooroever van secties 4 nabij de Franse grens tot 33, net ten oosten van de bebouwing van Koksijde-Bad) en een tweede op 9 oktober 2018, die de vooroever gedeeltelijk in beeld brengt van sectie 24 in Sint-Idesbald tot 35 aan de Schipgatduinen. De opname van 2018 bedekt niet de eerste paar 100 m zeewaarts van de laagwaterlijn.

De kammen van de onderwaterduinen staan loodrecht op de kustlijn. De kammen hebben een tussenafstand van ongeveer 100 tot 150 m. De onderwaterduinen zijn 1 tot 2 m hoog t.o.v. hun omgeving. De ondiepste punten van de kammen bereiken het peil TAW -20 cm, d.w.z. dat ze bij laaglaagwater net boven water komen. We moeten er rekening mee houden dat de opnamen bij mooi weer worden gedaan. Het is mogelijk dat de onderwaterduinen in perioden met storm en hoge golven afgevlakt worden en daarna weer opgebouwd worden. De combinatie van het getij en de golven bepalen de morfodynamiek van deze bodemvormen.

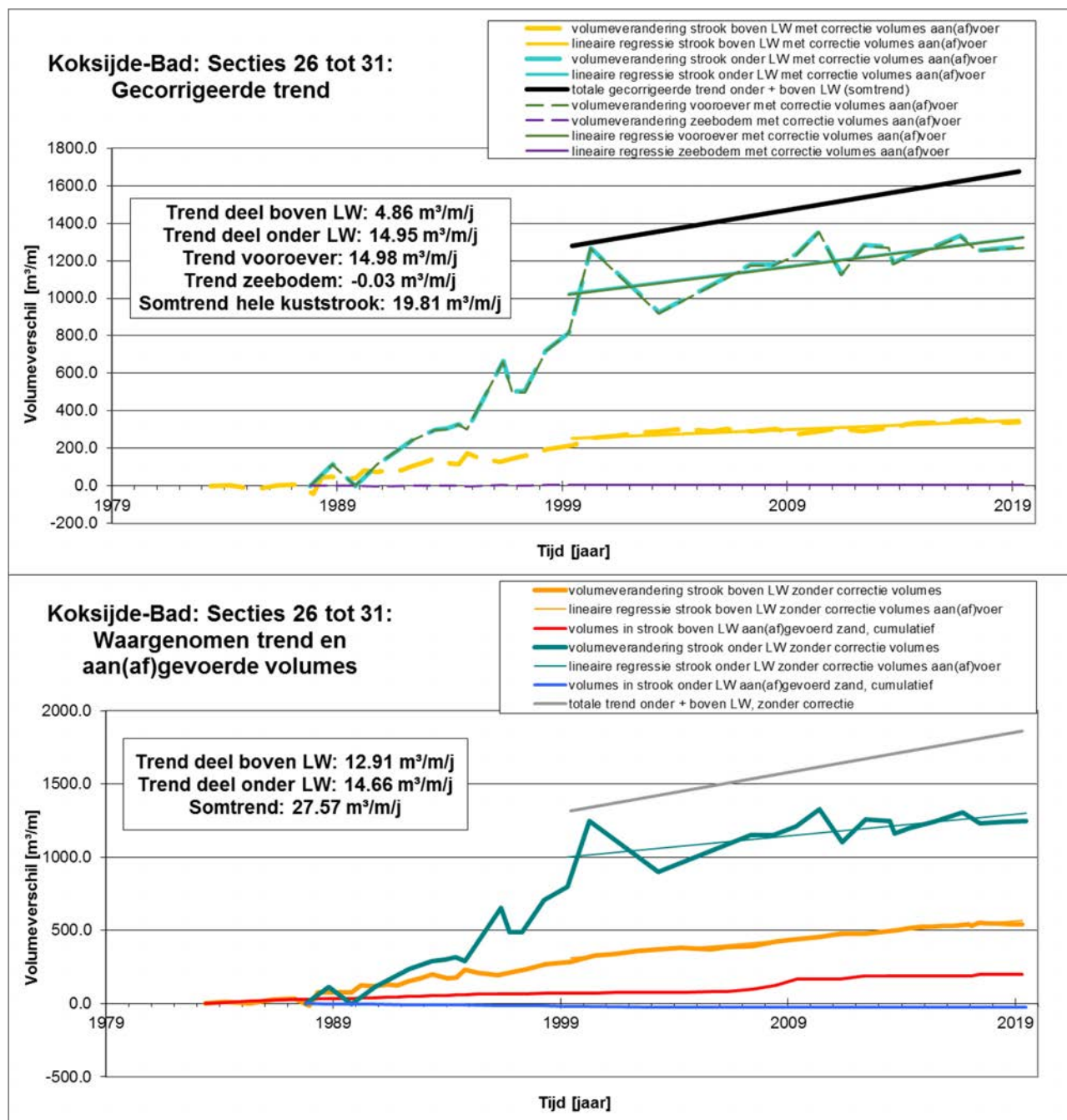
Hoewel de andere opnamen van de zeebodem, die steeds gebaseerd zijn op singlebeam echolodgingen volgens raaien loodrecht op de kust, deze bodemvormen niet goed weergeven, tonen grote schommelingen in diepte van raai tot raai en van opname tot opname aan dat zulke onderwaterduinen hier steeds aanwezig waren.

De gedetailleerde multibeamopname van 2013 toont aan dat onderwaterduinen ook toen al op verschillende plaatsen aansluiting maakten met het strand aan de laagwaterlijn, nl. twee onderwaterduinen in sectie 28 (ter hoogte van het Zavelplein) en twee onderwaterduinen in sectie 31 (net ten westen van de klok aan de Zeelaan). Tussen het uiteinde van de onderwaterduinen en het strand bevond zich een smalle (ongeveer 25 m), iets diepere zone. De essentie van de morfologie is niet veranderd. Wel waren bij de opname in het najaar van 2018 de onderwaterduinen over vrijwel heel de Broers Bank 100 à 150 m naar het oosten verplaatst en is er een verondieping opgetreden. Deze richting van verplaatsing bevestigt nogmaals de dominantie van de vloedstroom.



Hoogteligging, ingekleurd in stappen van 0,5 m, van strand en vooroever in secties 20 (ten westen van de klok in Sint-Indesbald) tot sectie 35 (Schipgatduinen). De rechthoekige sectiegrenzen en de sectienummers zijn aangeduid. De lengte van de secties in zeewaartse richting is ongeveer 1500 m. Het Zavelplein ligt bij sectie 28; de klok aan de Zeelaan op de grens van secties 31 en 32. De brede groene strook langs de dijk is de kleur van TAW + 7 tot +7,5 m. De diepste zone in blauw in sectie 20 is tussen -6,5 en -6 m TAW. Bovenaan de opname strand voorjaar 2013 en vooroever augustus-september 2013, onderaan de opname strand 6 november 2018 en vooroever 9 oktober 2018. NB: omdat de MB opname van 2018 niet tot aan de laagwaterlijn reikt (in de hiaatzone staan vraagtekens), zijn single beam gegevens gebruikt om de aansluiting met de LIDAR opname te maken; deze single beam data geven minder nauwkeurigheid, vandaar de vraagtekens op de figuur.

Figuur 19 – Gedetailleerde hoogtemodellen op basis van multibeam van Potje – Broers Bank, opnamen 2013 (bovenaan) en 2018.



Figuur 20 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 6. Kustlengte: 1125 m.

Morfologische evolutie: deze kuststrook kent aangroei, een sterkere aangroei voor 1999 en een geringere na 1999. Voor 1999 maakt de zone boven LW aangroei mee met +19 m³/m/jaar (gecorrigeerd voor de zandaanvoer, +15 m³/m/jaar; standaarddeviatie op deze laatste trend: 1 m³/m/jaar) en de zone onder LW met +67 m³/m/jaar (gecorrigeerd voor het opvoeren van zand rond de laagwaterlijn, +69 m³/m/jaar; standaarddeviatie op deze laatste trend: 6,5 m³/m/jaar). Nadien nam het groeiritme aanzienlijk af. Over 1999-2019 bedraagt de groei +13 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,4 m³/m/jaar) (gecorrigeerd 5 m³/m/jaar; standaarddeviatie op deze laatste trend: 0,5 m³/m/jaar) voor het gedeelte boven LW en +15 m³/m/jaar voor het gedeelte onder LW (standaarddeviatie op de trend: 4,5 m³/m/jaar). De aangroei wordt (buiten de zandaanvoer uit zee in het verleden) verklaard door aanwas rond de uitgebouwde strandhoofden 6 en 10. De afname van het aangroeiritme vanaf 1999 kan gedeeltelijk verklaard worden door te veronderstellen dat het strand geleidelijk aangepast is aan de uitbouw van de strandhoofden en zich in

een nieuwe evenwichtstoestand bevindt. Het strand ondervindt mogelijk ook wel wat baat bij de suppleties die te Sint-Idesbald worden uitgevoerd. Ruimtelijk situeert de aangroei van de vooroever zich op het onderwaterstrand ter hoogte van de zeewaartse uiteinden van de strandhoofden 6 en 10, maar ook bovenop de Broers Bank ter hoogte van strandhoofd 6. Deze bank is dus ondieper geworden, waarschijnlijk mee ten gevolge van de veranderde stromingen rond de strandhoofden. De westzijde van de Broers Bank heeft echter erosie gekend. Het spitse uiteinde van de getijgeul Het Potje bevindt zich nu ter hoogte van sectie 26. De grotere strandhoofden hebben de stroming in de getijgeul Het Potje zeewaarts geduwd. Hierdoor wordt de landwaartse flank van de Broers Bank aangetast: sinds 2000 is er in sectie 26 bodemverlaging met ongeveer 2,5 m opgetreden. Het hele systeem Potje-Broers Bank wordt door de vloedstroming langzaam maar systematisch oostwaarts verplaatst. Het ritme van de verplaatsing is 15 tot 20 m/jaar.

Ondanks de afname in het groeiritme van de zeebodem en vooroever, stellen we vast dat de ondiepste zone van de Broers Bank, vanaf de laagwaterlijn tot een 500 m in zee, over de recentste decennia nog steeds geleidelijk ondieper wordt. Dit proces lijkt zich continu door te zetten tot vandaag. In secties 28 tot 30 is het topvlak van de Broers Bank in 2019 van 1 tot 2 m ondieper dan in 2000. De zeewaartse helling van de bank kent dan weer lichte erosie.

Het is mogelijk dat de uitbouw van de strandhoofden tussen Koksijde en Sint-Idesbald ertoe bijgedragen heeft dat de zeewaartse flank van de Trapegeer - Broers Bank zich oostwaarts en tegelijk schuin in de richting van het strand is gaan verplaatsen. Het is ook mogelijk dat de grotere intensiteit van zandsuppleties ten westen van Koksijde een extra bron vormt, die zand in het natuurlijke systeem brengt. De gecorrigeerde volumereeks van vooroever en zeebodem in deze kuststrook geeft echter aan dat er ook natuurlijke aanvoer optreedt die bijdraagt tot de groei van de zandbank Broers Bank. Dit feit, gekoppeld met de vaststelling dat de kustlijn te Koksijde-Oost enkele honderden meters vooruitsteekt in zee t.o.v. de veralgemeende kustlijn, leidde tot de hypothese dat zandaanvoer via Het Potje en de Trapegeer - Broers Bank wel eens een natuurlijke aanvoerroute uit zee zou kunnen zijn die het strand van de westkust voedt. Deze aanwijzingen werden verder geverifieerd in het kader van het CREST project (Verwaest et al., 2020). Vergeten we echter niet dat de Broers Bank in De Panne en Sint-Idesbald aan erosie onderhevig is, ten minste in het gedeelte van de bank dat binnen het gebied van de vooroeverlodingen valt. Nadere waarnemingen in een uitgestrekter gebied en verder onderzoek zijn nodig om meer zekerheid te hebben over het bestaan en de sterkte van het veronderstelde natuurlijk voedingsproces.

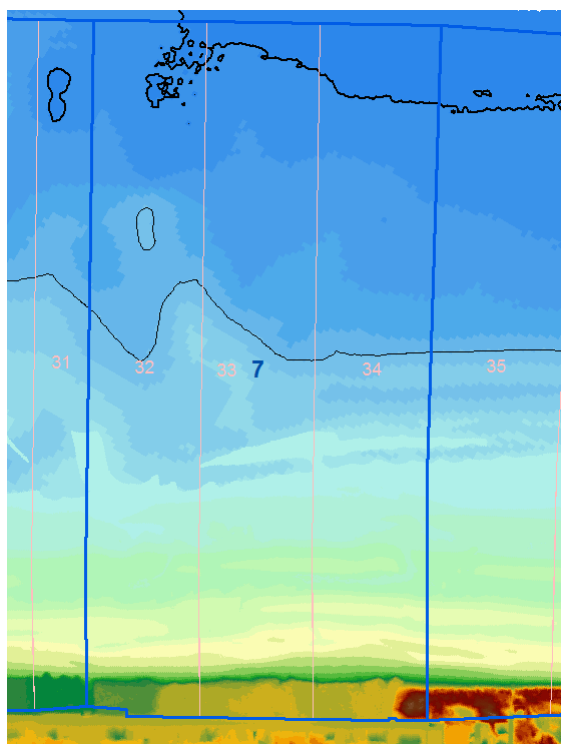
7.7 Strook 7 (secties 32-34): Koksijde-Bad, oostzijde van de bebouwing

Ligging van de strook: de drie meest oostelijke secties van het kustdeel “Koksijde-Bad” gedragen zich wat tijdsevolutie van de volumes betreft gelijkaardig en enigszins verschillend van de rest van het kustdeel Koksijde-Bad. Er is geen zeedijk, maar wel een wandelboulevard, weliswaar lokaal met schanskorven versterkt. In het verleden kende Koksijde-Bad, inclusief deze kuststrook, intense erosie. In sectie 34 werden op een gegeven moment (jaren 1970 ?) op 100 m zeewaarts van de wandelboulevard bunkerresten uit Wereldoorlog 2 opgeruimd.

Er werden badstrandophogingen uitgevoerd sinds 1988, aanvankelijk door het opvoeren van strandzand, later door het aanvoeren van zeezand (*Tabel 8*).

De badstrandophogingen beëindigden in 2012.

Het ondiepe deel van de Broers Bank strekt zich ook nog uit ter hoogte van deze kuststrook (aansluitend bij kuststrook 6). Bij laagwater zijn de grote onderwaterduinen (zie beschrijving bij kuststrook 6) goed zichtbaar van uit de lucht en ook van op het strand. De onderhavige kuststrook 7 is bij uitstek de plaats waar de Broers Bank en de onderwaterduinen die er zich op bevinden, aansluiten bij het strand. Deze onderwaterduinen verplaatsen zich met de vloedstroom naar het oosten. Het zijn grote bodemvormen (zie beschrijving bij kuststrook 6). Mogelijk veroorzaken zij bij laagwater lokaal grillige stromingen, wat gevaar zou kunnen opleveren voor baders.



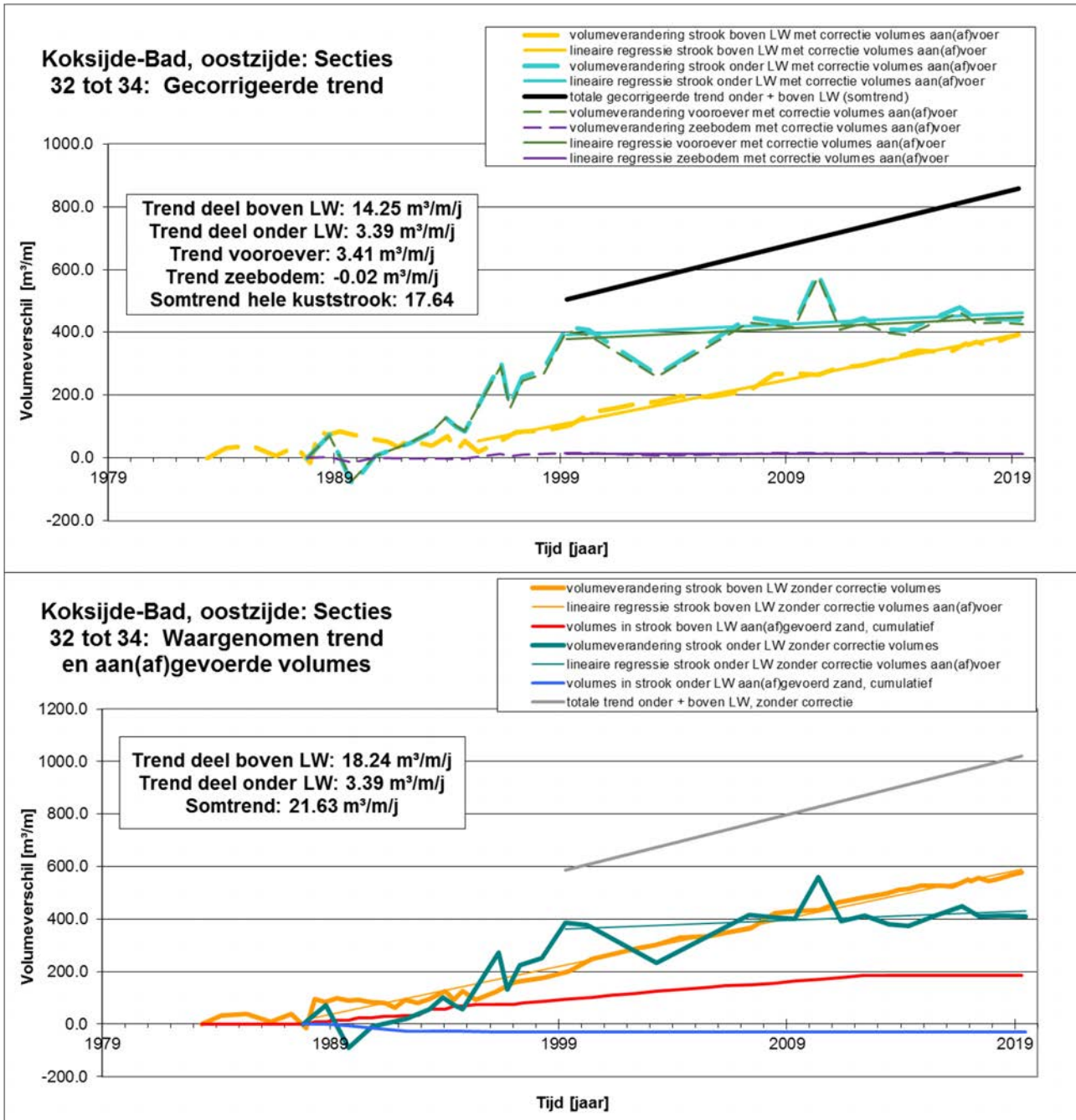
Figuur 21 – Situatiekaartje kuststrook 7, oostzijde bebouwing Koksijde-Bad. Kustlengte: 720 m.

Tabel 8 – Hoeveelheden betrokken bij de badstrandophogingen in kuststrook 7.

Jaar	Plaats	zeezand (m ³)	strandzand (m ³)	gedeelte aangebracht boven LW	gedeelte weggenomen onder LW
1988	sectie 32-33	5331	2260	6500	-1100
1989	sectie 32-33	0	7200	3600	-3600
1990	sectie 32-33	0	13000	6500	-6500
1991	sectie 32-33	0	8000	4000	-4000
1992	sectie 32-33	0	7800	3900	-3900
1993	sectie 32-33	15600	0	15600	0
1994	sectie 32-33	10400	0	10400	0
1995	sectie 32-33	0	6783	3400	-3400
1996	sectie 32-33	0	0	0	0
1997	sectie 32-33	4800	0	4800	0
1998	sectie 32-33	4700	0	4700	0
1999	sectie 32-33	4722	0	4700	0
2000	sectie 32-33	5461	0	5500	0
2001	sectie 32-33	5170	0	5200	0
2002	sectie 32-33	4677	0	4700	0
2003	sectie 32-33	5923	0	5900	0
2004	sectie 32-33	5964	0	6000	0
2005	sectie 32-33	5032	0	5000	0
2006	sectie 32-33	5543	0	5500	0
2007	sectie 32-33*	1903	0	1900	0
2008	sectie 32-33	4282	0	4300	0

2009	sectie 32-33	5625	0	5600	0
2010	sectie 32-33	4600	0	4600	0
2011	sectie 32-33	5275	0	5300	0
2012	sectie 32-33	5708	0	5700	0

*gedeelte over 300 m kustlengte van de aanvoer in secties 26 tot 33. Bron : tot 1998 rapport KUST 2004.111. 1999-2012: afdeling Kust. De badstrandophogingen vonden doorgaans plaats in de maanden april-mei.



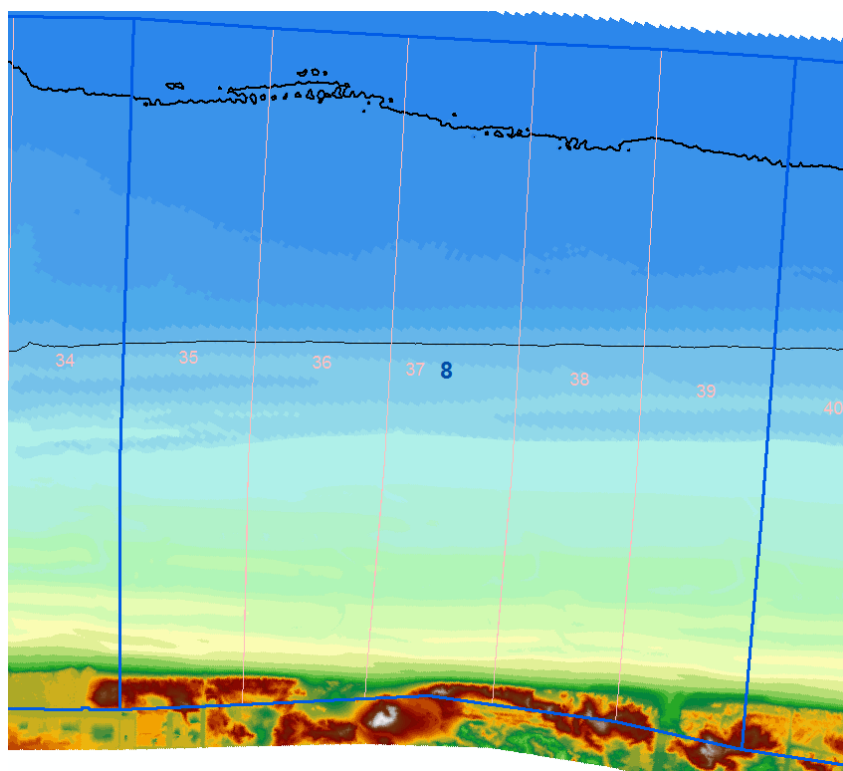
Tabel 9 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 7. Kustlengte: 720 m.

Morfologische evolutie van deze kuststrook: voor het deel boven LW wordt in een eerste deelperiode (1983-1995) lichte aangroei vastgesteld (+9 m³/m/jaar in de gemeten volumereeks en +2 m³/m/jaar in de gecorrigeerde volumereeks). In de volgende deelperiode, van 1995 tot 2019, wordt een sterke

groei waargenomen (+19,4 in de gemeten volumereeks; standaarddeviatie op de trend: 0,4 m³/m/jaar; en +14,2 m³/m/jaar in de gecorrigeerde volumereeks; standaarddeviatie op de trend: 0,3 m³/m/jaar). Wat vooroever en zeebodem betreft was er een sterke aangroei tussen 1987 en 1999 met +30,6 (standaarddeviatie op de trend: 6 m³/m/jaar) m³/m/jaar en, gecorrigeerd voor de opgevoerde volumes, +33,5 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 5 m³/m/jaar). De omslag in 1999 kan te maken hebben met het bereiken van een nieuw evenwichtsprofiel van het strand en de hogere vooroever te Koksijde-Bad rond strandhoofden 6 en 10. Na 1999 groeien de vooroever en zeebodem in deze kuststrook nog slechts in lichte mate aan. Het aangroei tempo over 1999-2019 is +3,4 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 2,5 m³/m/jaar). Hoewel er duidelijk grote onderwaterduinen dicht bij het strand over de top van de Broers Bank lopen en zich met de vloedstroom oostwaarts verplaatsen, kent de vooroever in deze kuststrook dus geen noemenswaardige aangroei. De toename op het strand blijft lineair in de tijd. Na het stopzetten van de badstrandophogingen in 2012 bleef het strand aangroei kennen aan dezelfde trend als voor 2012.

7.8 Strook 8 (secties 35-39): Koksijde-Oost (Schipgatduinen)

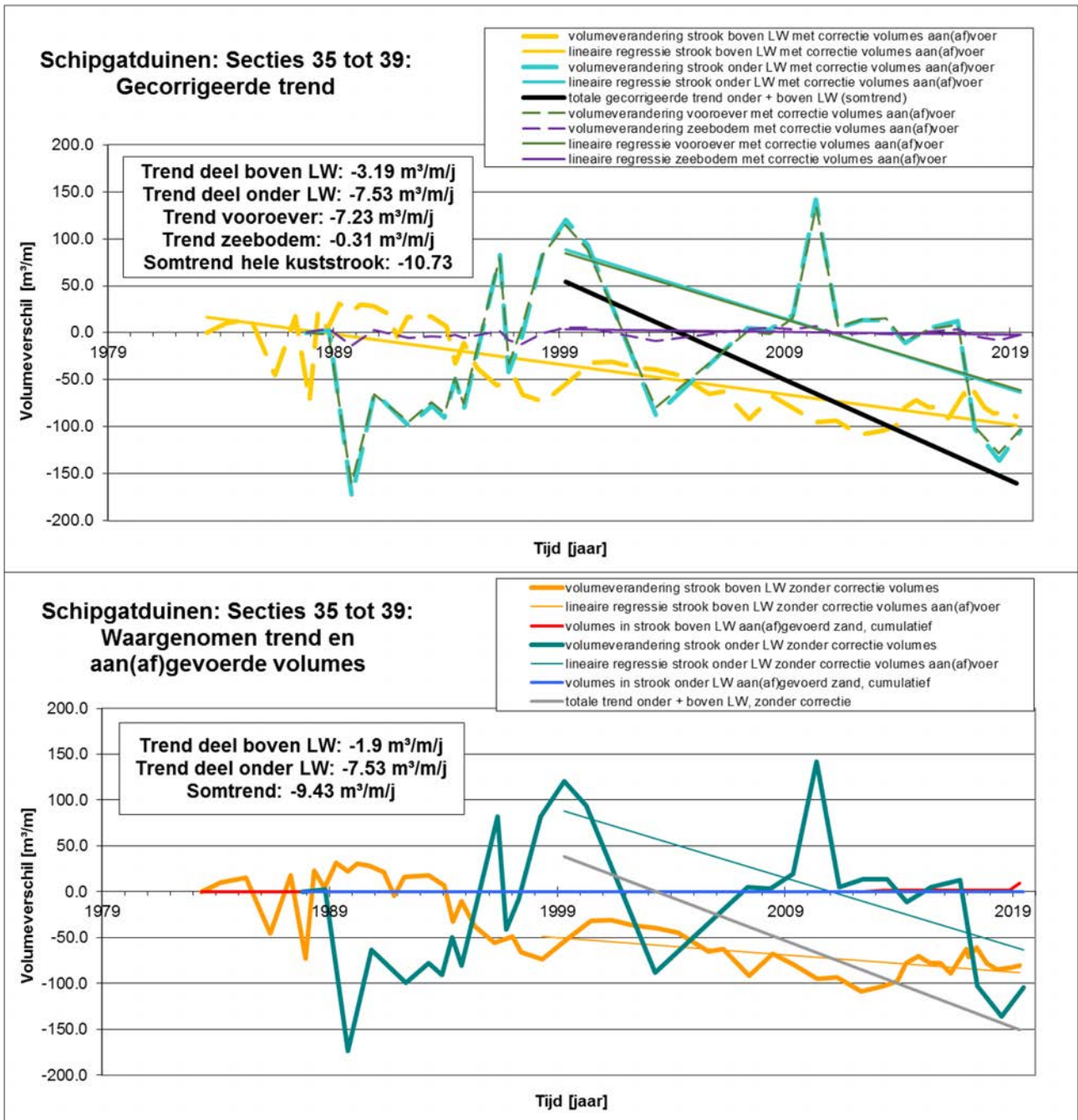
Ligging van de strook: ze valt samen met het kustdeel “Koksijde-Oost”. Sectie 37 is het lokaal meest in zee uitstekende punt van de Westkust; dit punt bestaat zeker al een paar eeuwen (zie Verwaest et al., 2020). Op de vooroever bevindt zich een lange brekerbank met kruin op ongeveer -0,75 m diepte op ongeveer 300 m van de laagwaterlijn. Landwaarts ervan liggen 6 à 7 strandruggen. Deze migreren over korte afstanden en wijzigen van afmetingen en vorm, maar het algemene morfologische uitzicht is constant doorheen de tijd.



Figuur 22 – Situatiekaartje kuststrook 8, Schipgatduinen. Kustlengte: 1345 m.

Dit is een duinstrook waar geen badstrandophogingen gebeuren.

Af en toe worden er kleine duinsuppleties uitgevoerd in sectie 39, aan de strandtoegang “Sint-André”. In 2013 werd 2300 m³ zeezand aangebracht. In 2019 (februari-maart) werd 9850 m³ zeezand aangevoerd, afkomstig van onderhoudsbaggerwerk (beneficial use). Dit zand is aangebracht aan de duinvoet over een kustlengte van ongeveer 150 m zowel aan de west- als de oostzijde van de strandtoegang



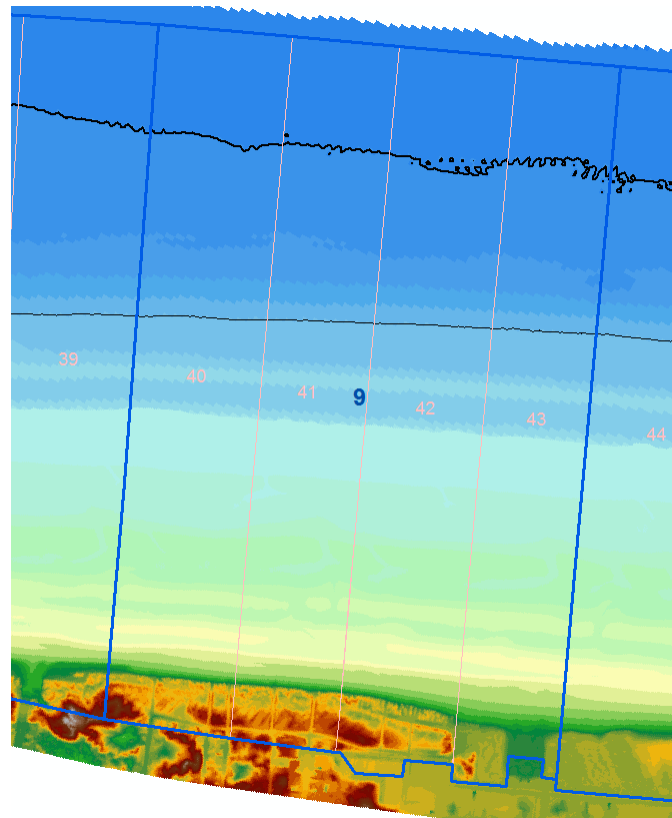
Figuur 23 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 8. Kustlengte: 1345 m.

Morfologische evolutie van de kuststrook: het gedeelte boven LW kent geleidelijk afslag. Op initiële afslag van het natstrand volgde afslag van het droogstrand en de zeeduinglooiing. Maar het deel van de zeereep dat nog binnen de secties valt, groeit eolisch aan, waardoor de duinvolumes resulterend ongeveer onveranderd blijven. De gemiddelde afslag van het deel boven LW is $-3,2 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ sinds 1983 (standaarddeviatie op de trend: $0,3 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). Sinds 1998 is de afslagintensiteit wat afgenomen en bedraagt de gemiddelde afslagtrend $-1,9 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,5 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). Het grootste deel van de erosie is een zich uitdiepende stuifzone in de zeeduinglooiing in secties 36 en 37, net op de "kaap" in de kustlijn. De erosie hier is continu in de tijd. Dit is op zich geen negatieve evolutie voor de kustveiligheid. Er treedt immers eolische aangroei op in het landwaartse deel palend aan de blow-out. Deze aangroei is buiten de sectiegrens gelegen en wordt niet meegeteld in de volumecijfers. De vooroever en zeebodem

kennen grote schommelingen in volume van opname tot opname, maar over de hele waarnemingsperiode bekeken, is er geen duidelijke trend. Twee lokale maxima zijn waar te nemen in 2000 en 2010. Dit zijn bekende outliers en ze hebben mogelijk eerder te maken met fouten op de vooroeverpeilingen. De verticale precisie is wel verbeterd sinds de jaren 2000. Over de periode 1999-2019 wordt (met het nodige voorbehoud) een negatieve trend van $-7,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $2,7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$) waargenomen. De meest zeewaartse brekerbank schoof 50 à 60 m landwaarts op en ook het wat diepere deel van de vooroever, dat hier lokaal de naam "Den Oever" draagt, kende erosie: de dieptelijn van -4 m migreerde over de laatste 20 jaar 90 m naar het land toe. Verwaest et al. (2020) formuleren de hypothese dat de aanhechtingszone van de Broers Bank een zone met natuurlijke aanvoer van zand uit zee naar de kust zou kunnen vormen. Het strand in Koksijde, Oostduinkerke en Nieuwpoort kent inderdaad reeds jarenlang aangroei. Maar de vooroever deelt hierin niet. Op de lange termijn zou op de (lichte) vooroevererosie toch weer stranderosie kunnen volgen.

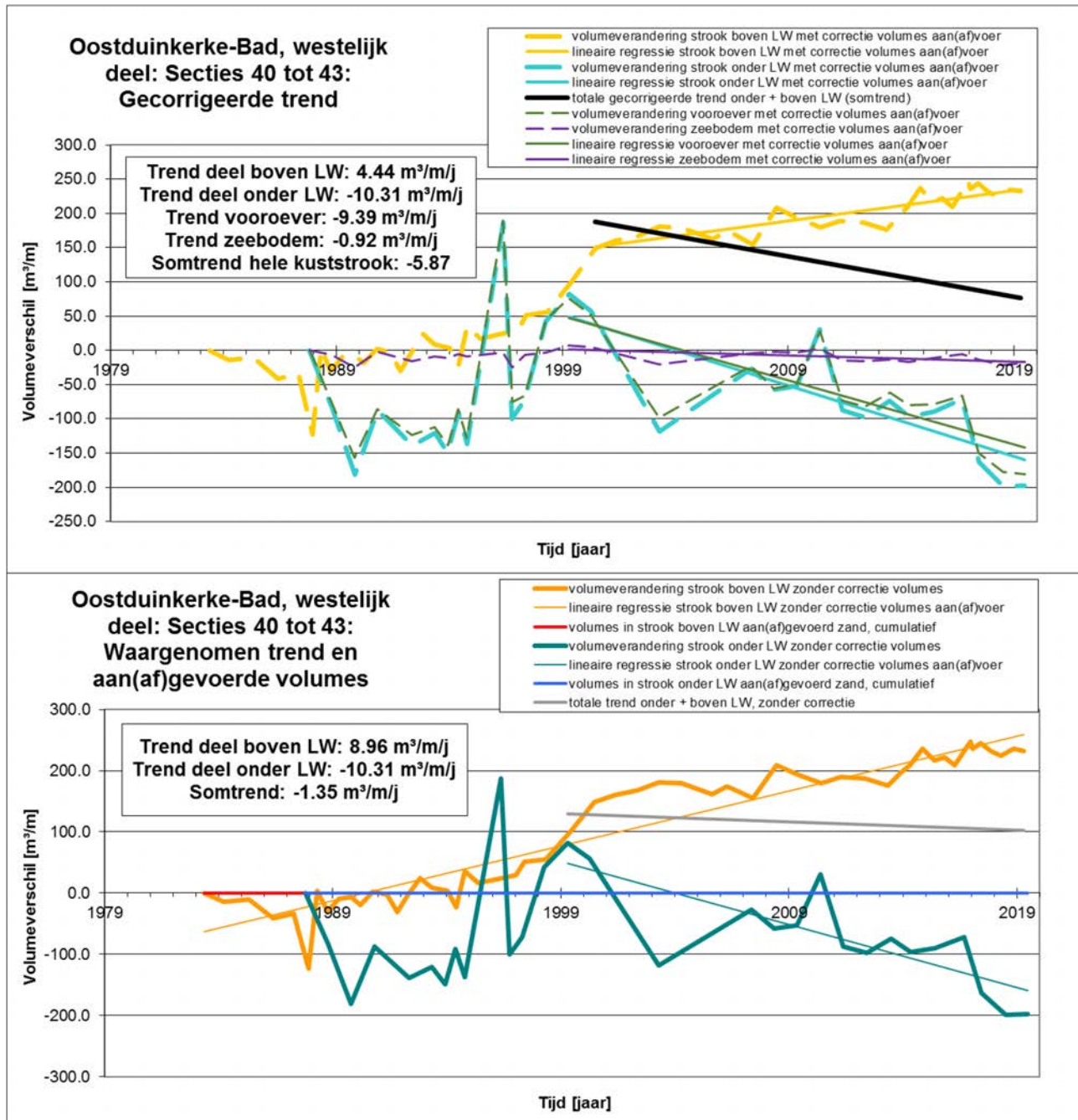
7.9 Strook 9 (secties 40-43): Oostduinkerke-Bad, westelijk deel

Ligging van de strook: de vier meest westelijke secties van het kustdeel "Oostduinkerke-Bad" (van Sint-André tot en met het strandzwembad) kennen een aparte morfologische evolutie.



Figuur 24 – Situatiekaartje kuststrook 9, westelijk deel Oostduinkerke-Bad. Kustlengte: 965 m.

Dit is een duinstrook waar geen badstrandophogingen gebeuren. De "zeedijk" in Oostduinkerke is een weg aangelegd in de duinen, zonder zeedijkvloeiing.



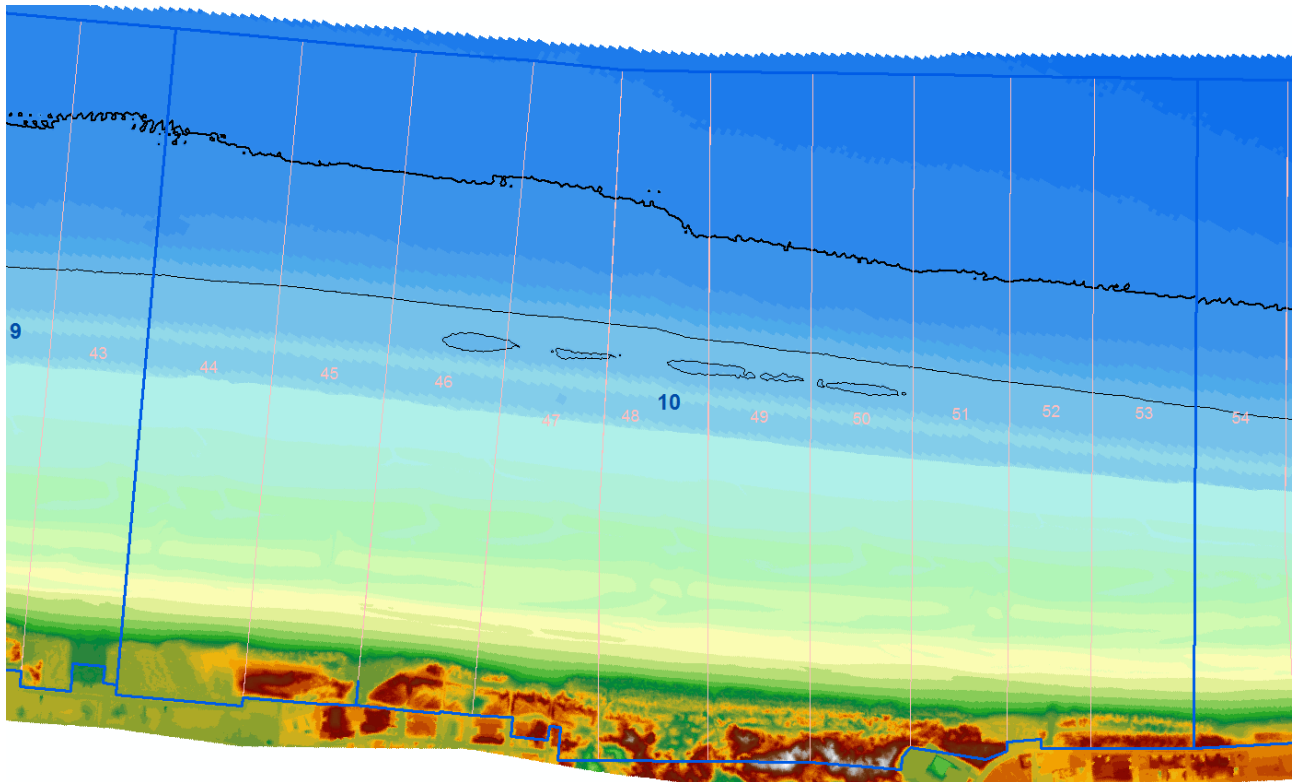
Figuur 25 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 9. Kustlengte: 965 m.

Morfologische evolutie van de kuststrook: het strand van de kuststrook groeit geleidelijk aan. Het gedeelte boven LW kent sinds 1983 een gemiddelde aangroei met $+9 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,4 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). De periode sinds 1983 kan ingedeeld worden in drie deelperioden : tussen 1983 en 1997, met ongeveer constante zandvolumes; tussen 1997 en 2000, met een belangrijke aangroei ($+33 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$); en tussen 2000 en 2019, met opnieuw een kleinere aangroei ($+4,4 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$; standaarddeviatie op de trend: $0,5 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). De grafiek van de waargenomen volumes vertoont enkele volumetoenames (in 2008, 2014 en 2017) gevolgd door milde afslag. De evolutie hier is voor zover bekend natuurlijk, er vinden geen strandsuppleties plaats en de schommelingen vallen ook nog binnen de standaardafwijking op de schattingen van het volumeverschil door de trendlijn. Vooroever- en zeebodenvolumes vertonen grote schommelingen van opname tot opname, maar over de hele waarnemingsperiode bekeken, is er geen duidelijke trend. Er zijn

lokale maxima waar te nemen in 1996, 2000 en 2010. De laatste twee zijn bekende outliers en ze hebben mogelijk eerder te maken met fouten op de vooroeverpeilingen. De verticale precisie is wel verbeterd sinds de jaren 2000. Over de periode 1999-2019 wordt een negatieve trend van $-10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$) waargenomen. De meest zeewaartse brekerbank schoof 60 à 70 m landwaarts op en ook het wat diepere deel van de vooroever, dat hier lokaal de naam "Den Oever" draagt, kende erosie: de dieptelijn van -4 m migreerde over de laatste 20 jaar 100 m naar het land toe. Het strand kent vooralsnog geleidelijke aangroei, maar op de lange termijn zou op de lichte, maar toch systematische vooroevererosie toch weer stranderosie kunnen volgen.

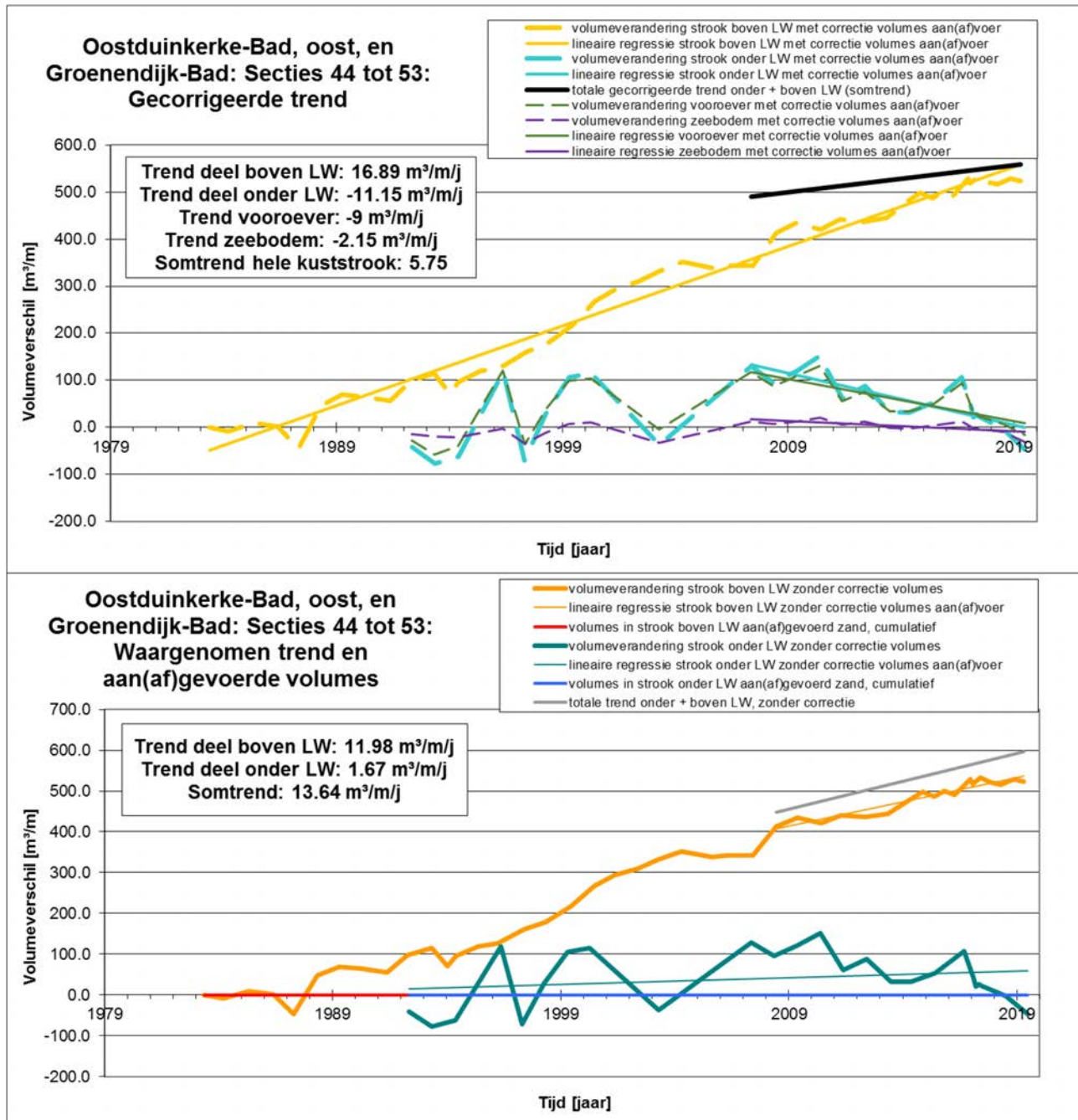
7.10 Strook 10 (secties 44-53): Oostduinkerke-Bad, oostelijk deel, en Groenendijk-Bad

Ligging van de strook: de vier meest oostelijke secties van het kustdeel "Oostduinkerke-Bad" en de zes meest westelijke secties van het kustdeel "Groenendijk-Bad" kennen een homogene morfologische evolutie.



Figuur 26 – Situatiekaartje kuststrook 10, oostelijk deel Oostduinkerke-Bad en Groenendijk-Bad. Kustlengte: 2475 m.

Dit is een duinstrook, waar geen badstrandophogingen gebeuren. De wandelweg te Oostduinkerke is niet aangelegd als een zeedijk, maar is een weg in de duinstrook.



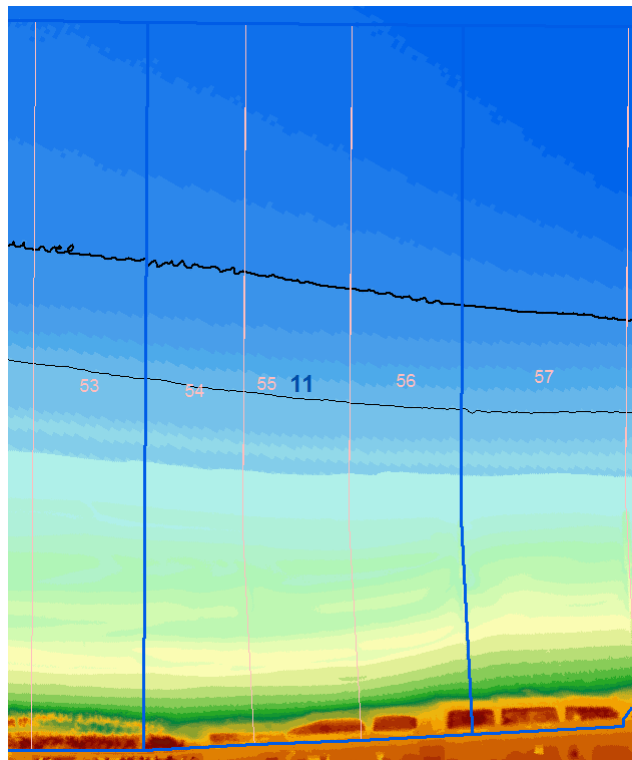
Figuur 27 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 10. Kustlengte: 2475 m.

Morfologische evolutie van de kuststrook: het strand van de kuststrook groeit sterk aan, en vooral de duinaanzet, waar de hoogtezone tussen +6 en +8 m een opmerkelijke (eolische) aangroei kent. Sinds 1983 bedraagt de groeitrend voor het deel boven LW +17 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,4 m³/m/jaar). De mate van aangroei is evenwel licht afgenomen sinds 2008; over de periode 2008-2019 is het trendcijfer +12 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,9 m³/m/jaar). Het volume van zeebodem en vooroever is vrijwel stabiel sinds 1992. Nochtans kunnen we over de recentste periode afslag vaststellen: -11 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,7 m³/m/jaar) voor de periode 2007-2019. De volumeschommelingen tussen de opeenvolgende opnamen van de vooroever waren zeker tot 2007 groter dan de trend. Sinds 2000 schoof de meest zeewaartse brekerbank 40 à 50 m landwaarts op. De erosie op het laagste deel van de vooroever is systematisch en geleidelijk zeker sinds 2007; de dieptelijn van -4 m

migreerde over de laatste 12 jaar ongeveer 80 m naar het land toe. Het strand kent vooralsnog geleidelijke aangroei met waarden die bij de sterkst groeiende kuststroken behoren; de groei doet zich verspreid over het strand maar vooral aan de duinvoet voor. Indien de vooroevererosie aanhoudt, zou ook de trend voor het strand kunnen omslaan.

7.11 Strook 11 (secties 54-56): westelijk gedeelte van de zeedijk in Nieuwpoort-Bad

Ligging van de strook: de meest oostelijke sectie van het kustdeel “Groenendijk-Bad” kent samen met secties 55 en 56 van het kustdeel “Nieuwpoort-Bad” een eigen morfologische evolutie. Er is een zeedijk, maar in deze strook zijn geen strandhoofden.



Figuur 28 – Situatiekaartje kuststrook 11, westelijk deel Nieuwpoort-Bad. Kustlengte: 680 m.

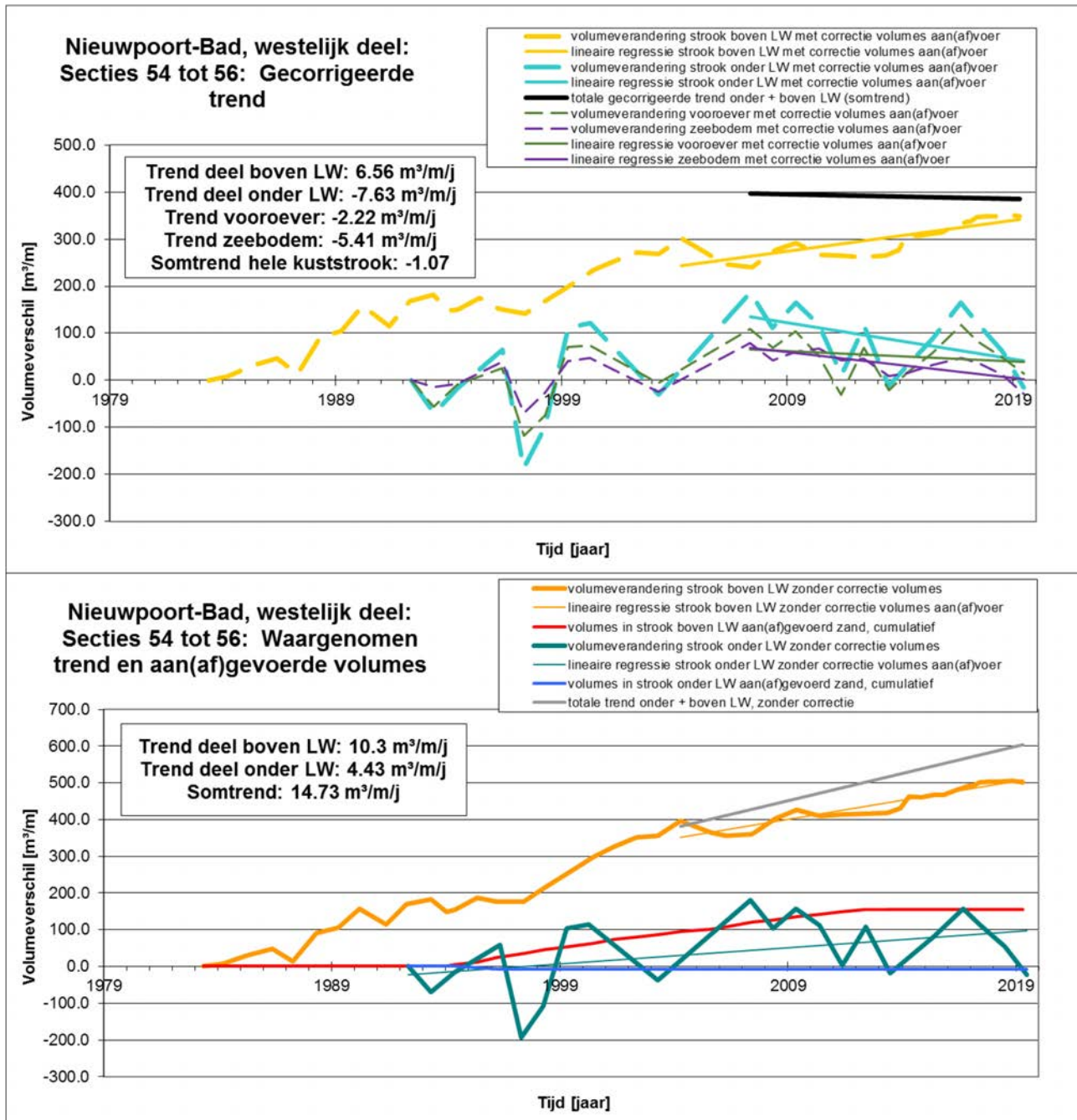
Er gebeuren badstrandophogingen, doorgaans in de maanden april en mei (*Tabel 10*).

Tabel 10 – Overzicht van de hoeveelheden betrokken bij de badstrandophogingen in kuststrook 11.

Jaar	Plaats	zeezand (m ³)	strandzand (m ³)	gedeelte aangebracht boven LW	gedeelte weggenomen onder LW
1994	sectie 56 en 57*	8900	0	3600	0
1995	secties 54-56	0	9840	4900	-4900
1996	secties 54-56	7750	0	7800	0
1997	secties 54-56	7250	0	7300	0
1998	secties 54-56	7200	0	7200	0
1999	secties 54-56	6241	0	6200	0
2000	secties 54-56	5563	0	5600	0
2001	secties 54-56	7132	0	7100	0
2002	secties 54-56	4350	0	4400	0
2003	secties 54-56	5148	0	5100	0
2004	secties 54-56	5091	0	5100	0
2005	secties 54-56	5040	0	5000	0
2006	secties 54-56	4397	0	4400	0
2007	secties 54-56	8377	0	8400	0
2008	secties 54-56	4117	0	4100	0
2009	secties 54-56	5398	0	5400	0
2010	secties 54-56	5025	0	5000	0
2011	secties 54-56	4800	0	4800	0
2012	secties 54-56	3455	0	3500	0

*het gedeelte voor sectie 56 is berekend op basis van de kustlengte. Bron: rapport KUST 2004.111 voor 1994-1998; afdeling Kust voor 1999-2012. Na 2012 vonden er geen zandaanvoerwerken meer plaats.

Morfologische evolutie van de kuststrook: het gedeelte boven LW van de kuststrook groeit geleidelijk aan. We onderscheiden een sterkere groei tussen 1983 en 2004, gemiddeld met +18 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 1 m³/m/jaar), en, gecorrigeerd voor de zandaanvoer, +13 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,9 m³/m/jaar). Het groeiritme sinds 2004 is heel wat lager: +10,3 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,8 m³/m/jaar), en, gecorrigeerd voor de zandaanvoer, +6,6 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 1 m³/m/jaar). Merkwaardig is wel dat het groeiritme na 2012, toen de zandaanvoerwerken stopten, gelijk bleef. T.o.v. 2000 wordt er gelijk gespreide, lichte groei waargenomen over het hele strand, en een sterke groei in de jonge duinen voor de zeedijk. Het deel onder LW is qua volume in 2019 vrijwel gelijk aan dat bij de eerste opname, van 1992. Hoewel de schommelingen van jaar tot jaar groot zijn (wellicht veroorzaakt door de grotere fout op de meting), lijkt zich sinds 2007 systematisch erosie voor te doen. Het afslagcijfer over de periode 2007-2019 is -7,6 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 4,6 m³/m/jaar). De erosiezone van de vooroevervoet uit de kuststroken ten westen van Nieuwpoort (strook 7, 8, 9, 10) loopt door tot hier, maar eindigt hier ook. De erosie op het laagste deel van de vooroever en op de aanpalende zeebodem is niet zeer intens, maar wel systematisch en geleidelijk, zeker sinds 2007; de dieptelijne van -4 m migreerde over de laatste 12 jaar ongeveer 40 à 50 m naar het land toe. Deze kuststrook vormt een overgang tussen een meer westelijke zone met sterk groeiende duinaanzet en in hoogte geleidelijk toenemend strand, en zeker het laatste decennium een systematisch eroderende vooroever en zeebodem, naar de kuststrook ten oosten, met de 3 strandhoofden, waar strand en vooroever nog steeds groeien.

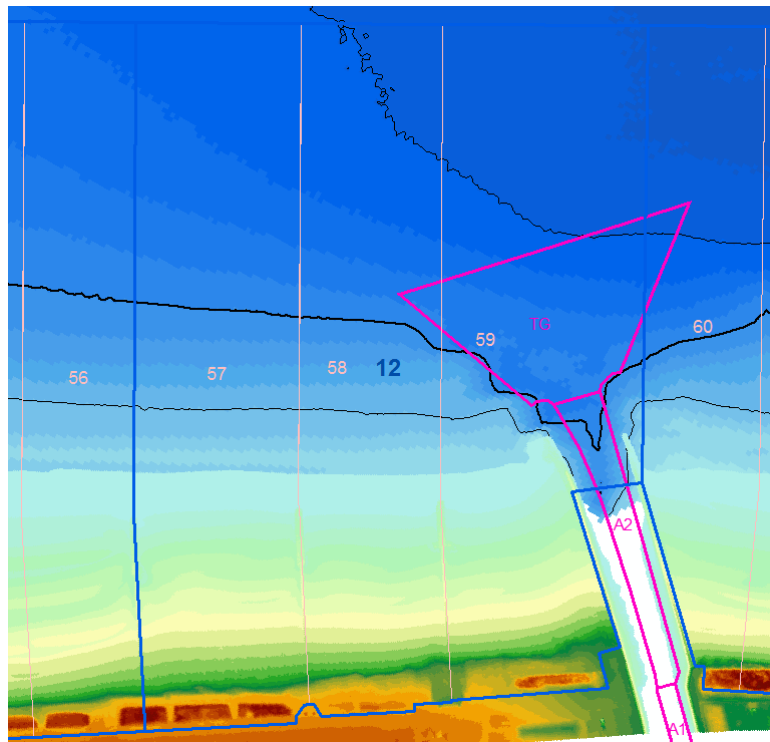


Figuur 29 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 11. Kustlengte: 680 m.

7.12 Strook 12 (secties 57-59): oostelijk gedeelte van de zeedijk in Nieuwpoort-Bad

Ligging van de strook: de meest oostelijke secties van het kustdeel “Nieuwpoort-Bad” kennen een eigen morfologische evolutie. Er is een zeedijk en in deze strook zijn strandhoofden aanwezig. Deze werden uitgebouwd tot lange strandhoofden in 1978-1979.

Er gebeuren geen badstrandophogingen. Enkel werd een gedeelte van de ophoging met zeezand van 1994 ook in sectie 57 uitgevoerd. Op basis van de kustlengte wordt deze hoeveelheid op 5300 m³ geraamd.



Baggervakken omljnd in magenta.

Figuur 30 – Situatiekaartje kuststrook 12, oostelijk gedeelte van Nieuwpoort-Bad. Kustlengte: 990 m.

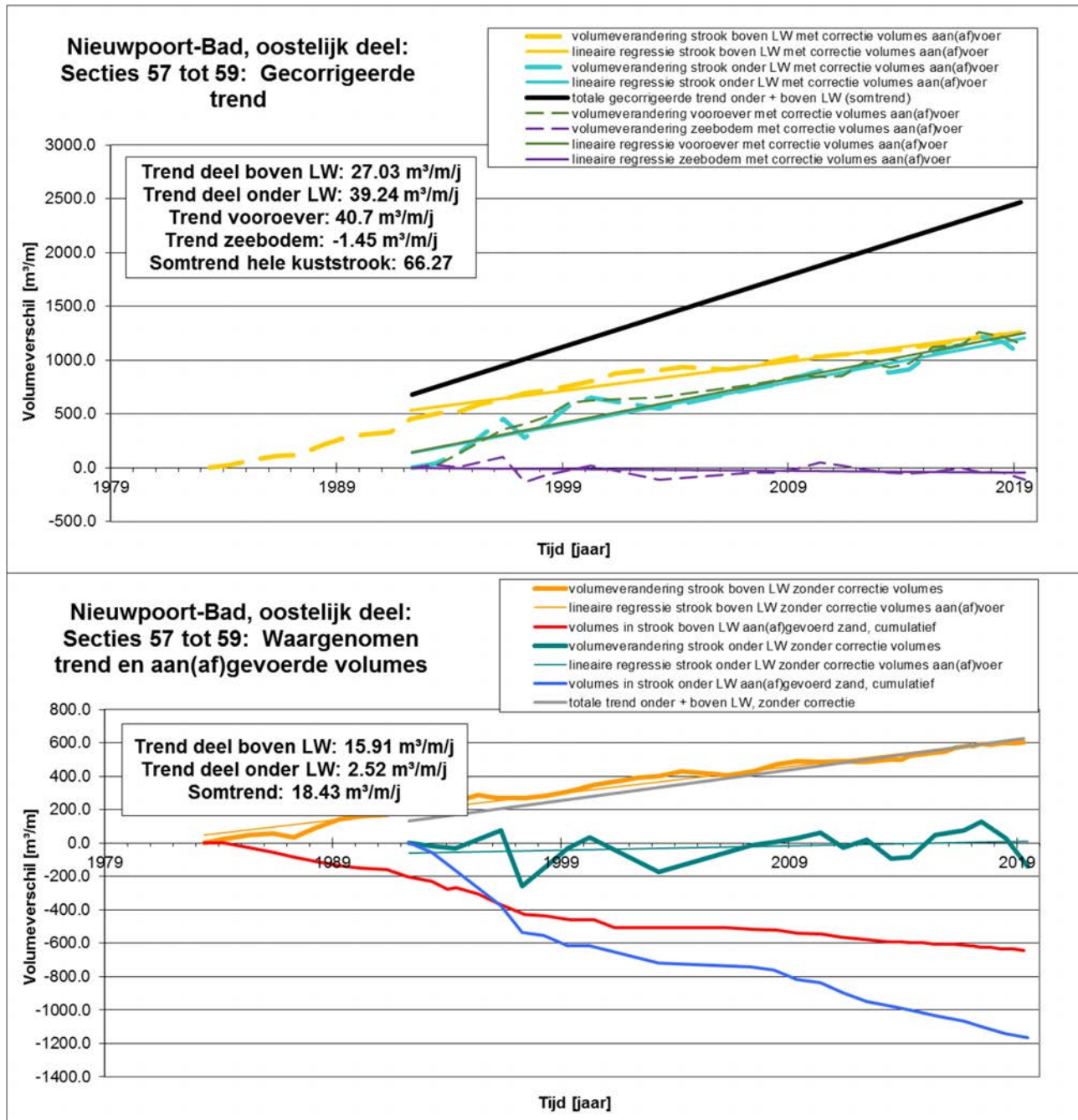
De toegang tot de havengeul en de havengeul zelf (zone tussen de dammen) wordt voortdurend en volgens de noodzaak uitgebaggerd. De specie hier is overwegend zandig, dieper landinwaarts in de haven wordt voornamelijk slib gebaggerd. Indien er slib wordt gebaggerd, wordt dit op een loswal in zee gestort. De zandige specie wordt gestort op een loswal op de vooroever van secties 72-82, ter hoogte van Westende-Bad. De hoeveelheden uit de periode 1984-2001 vindt men bij de volgende kuststrook. Tot 1999 werden enkel globale cijfers gerapporteerd, niet gedifferentieerd per baggerzone, maar wel in speciesoort. Een (naar alle waarschijnlijkheid) klein gedeelte van het zand werd gepompt naar sectie 60 (zie toelichting bij kuststrook 13). Voor de correctie van de zandvolumes op de vooroever en zeebodem van sectie 59 (kuststrook 12, bevat ook de toegang tot de haven van Nieuwpoort) werd aangenomen dat 80 % van het globale zandcijfer afkomstig was uit het voorplein en het gedeelte van de toegangsgedul dat zich in de sectiegrenzen bevindt, en dat de hoeveelheden sinds 1992 ongeveer constant waren en gelijk gespreid in de tijd. Tussen 2001 en 2004 werd er in de toegangszone naar Nieuwpoort geen zand gebaggerd (bron: afdeling Maritieme Toegang). Vanaf 2008 worden de werken opgevolgd door afdeling Kust en beschikken we over meer gedetailleerde cijfers, afkomstig van voor- en napeilingen. Deze laten toe om de volumes preciezer en zonder aannames voor omrekenen van tonnen droge stof naar m^3 voor correcties aan te wenden. Voor het deel van de toegangszone naar Nieuwpoort dat zich in kuststrook 12 bevindt (Figuur 30), nemen we aan dat het voorplein (in de tabellen code TG, toegangsgedul) voor 100% en de toegang tussen de lage dammen (in de tabellen code A2) voor 50% binnen de sectieomgrenzing ligt. De volumes voor correctie worden volgens die aanname berekend. Tussen 2008 en 2009 is het volume zand dat door baggerwerk uit kuststrook 12 is verwijderd, gemiddeld $35.000 m^3/jaar$. Tabel 11 bevat alle verwerkte gegevens van de recentere periode. De cijfers zijn de correctiehoeveelheden die per kuststrook (12, boven LW en vooroever, en 16 zeebodem) worden toegepast.

Tabel 11 – Hoeveelheden i.v.m. baggerwerken van de toegang naar de haven van Nieuwpoort.

Lodingsdatum vooroever kaartblad Oostduinkerke –Middelkerke	STROOK 12	STROOK 12	STROOK 16
	Gedeelte beschouwd als uitvoer van de hoogtelaag boven LW uit sectie 59 (50% van baggervolume zand in zuidelijk deel van vak A2)	Gedeelte in mindering op vooroever van sectie 59 (100% van baggervolume zand toegangsgeul TG + 50% van baggervolume zand in noordelijk deel van vak A2)	Gedeelte gelost binnen de sectiegrenzen op de "loswal vooroever" (= zeebodem) thv secties 73-76 (raming; 2/3 van de totale hoeveelheid gelost op de loswal)
2003	0	0	0
2004	0	0	0
2005	-1900	-3900	3700
2006	0	0	0
2007	-7900	-18700	15600
7/05/2008	-5100	-18200	15600
12/05/2009	-19100	-55300	50500
23/05/2010	-4700	-18800	16000
24/05/2011-14/06/2011	-16300	-60800	52000
11 en 20/04/2012	-15800	-49700	43900
18/06/2013	-14100	-30700	29800
20/05/2014	-4200	-22700	18000
22/05 en 4/06/2015	-9300	-33900	28800
1/09 en 27/10/2016	-10300	-32600	28600
14/06/2017	-7300	-28500	30300
16/07/2018	-11300	-41800	44000
10/07/2019	-9400	-25700	41600

Bron : Cijfers in cursief : slaan op baggerpachtjaar dat eindigt in het genoemde kalenderjaar, bron afdeling Maritieme Toegang. Alle overige gegevens sinds 2008: Geert Alderweireldt, toezichter baggerwerken, afdeling Kust.

Morfologische evolutie van de kuststrook: het gedeelte boven LW in deze kuststrook kende belangrijke aangroei tussen 1983 en 1992, gemiddeld met $+25 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$; gevolgd door een periode van minder intense, maar toch nog significante aangroei tussen 1992 en 2019, met een trend van $+13,6 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,3 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Het gedeelte onder LW vertoont een zeer lichte, niet-significante aangroei ($+2,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$; standaarddeviatie op de trend: $2,2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). In 2019 was het volume omzeggens gelijk aan dat bij de eerste vooroeverloding van 1992. Corrigeren we voor de hoeveelheden gebaggerd in de toegangszone tot de havengeul van Nieuwpoort, dan komen we op een belangrijke "autonome" trend van $+25 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $2,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Deze trend is in die zin een overschatting van de werkelijkheid, dat mocht er niet gebaggerd worden, de toegang zou dichtzanden en nadien in een morfologisch evenwicht treden. Anderzijds geeft het cijfer wel een indruk van de grootte van de *intensiteit van het transport*, indien we ervan uitgaan dat alle zand in langtransport op de vooroever telkens wordt gevangen in de toegangszone naar de haven en wordt verwijderd door het baggerwerk. De zeebodem verder in zee, maar binnen de sectiegrenzen, vertoont geleidelijke, lichte erosie, zoals bij de omgevende kuststroken.



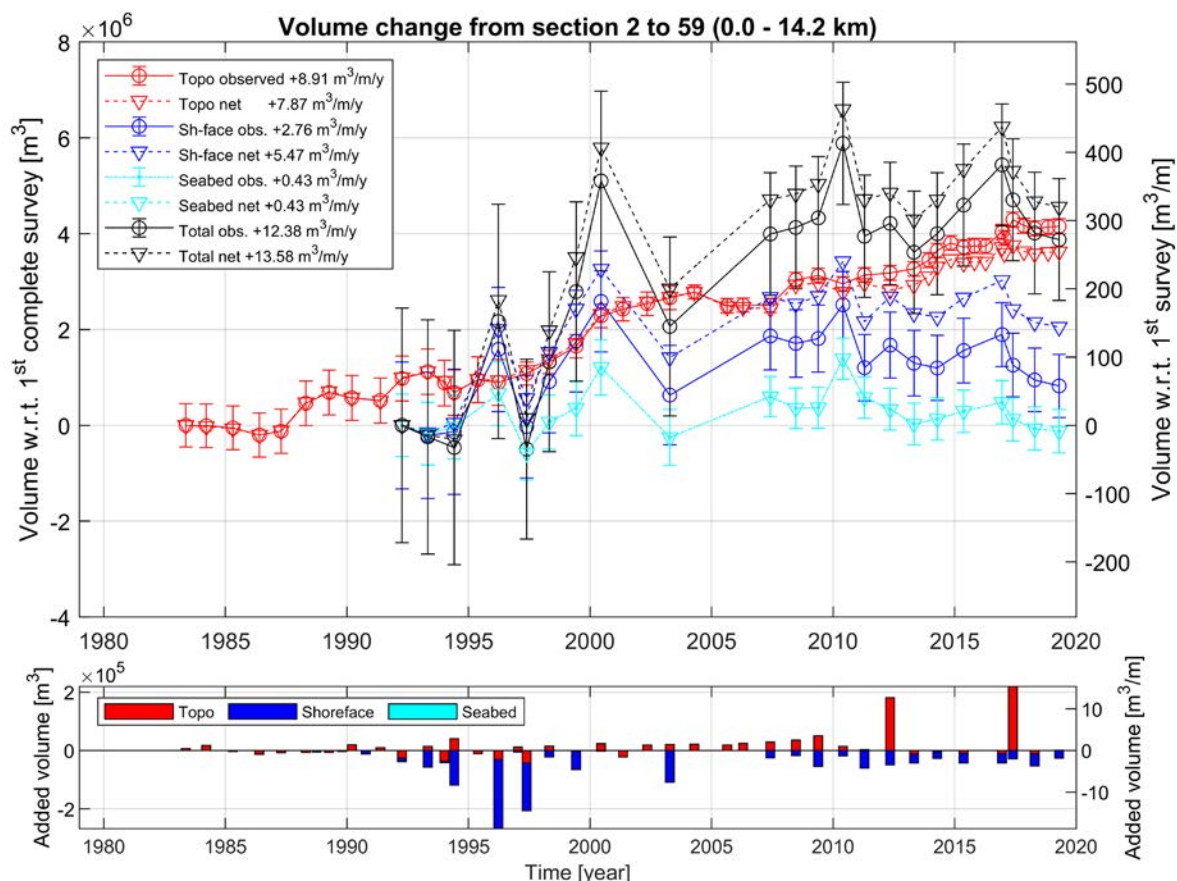
Figuur 31 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 12. Kustlengte: 990 m.

7.13 Overzicht van de morfologische evolutie voor zone 1 (kuststroken 1 tot en met 12, van de Franse grens tot Nieuwpoort)

Figuur 32 geeft de grafiek van de volumes gecumuleerd voor alle kuststroken in zone 1 weer.

De groei van het zandvolume in het gedeelte strand en duinaanzet is groot en continu in de tijd. Ongeveer 1/10 van de groei kan op rekening van suppleties worden geschreven. De reeks hoogteverschilkaarten (weliswaar pas sinds 2000) toont aan dat de groei zich vooral voordoet in de duinaanzet van Sint-Idesbald, Koksijde-Bad, Oostduinkerke, Groenendijk en Nieuwpoort-Bad. De duinaanzet van Koksijde-Oost is een uitzondering: hier wordt erosie vastgesteld. Volgend op duinafslag bij stormen in de jaren 1990 is de

fixerende werking van de vegetatie verdwenen en zijn de duinen hier aan verstuing onderhevig geworden. Er is een waaigat ontstaan, waardoor heel wat zand zich landwaarts heeft verplaatst. Hoewel het zand buiten de sectiegrenzen en de volumes per sectie is terecht gekomen, is het wel in het kuststelsel gebleven. Tevens groeit het strand te Sint-Idesbald, Koksijde-Bad en te Groenendijk en Nieuwpoort-Bad.



Figuur en berekeningen: Bart Roest, KULeuven. Deze grafiek bevat de som van de waargenomen (volle lijnen) en gecorrigeerde (streepjeslijnen) volumes per hoogtezona "boven LW" (rood), "vooroever" (blauw), "zeebodem" (cyan) en voor het totale gebied (zwart) van alle kuststroken in zone 1. Tevens werden in de figuur onderaan, met een eigen verticale schaal, de aangevoerde (positief) of afgevoerde (negatief) zandvolumes weergegeven. Alle cijfers kunnen afgelezen worden als volumes (linkse verticale as) of als cijfers gedeeld door de totale kustlengte van de zone (rechts verticale as). De verticale strepen geven de onzekerheid op de meting aan, bepaald uit de fout op de hoogtemeting vermenigvuldigd met de oppervlakte van de meetzone. Tevens is de trend over de volledige waarnemingsperiode berekend en weergegeven in de legende.

Figuur 32 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de zone van de Franse grens tot de IJzermond.

De vooroever kende waarschijnlijk (de onzekerheid op de meting is vrij groot t.o.v. de waargenomen trends) aangroei tussen 1992 en 2000 en sindsdien lichte erosie. Houden we echter rekening met de verwijdering van zand door het baggeren in de toegang naar de haven van Nieuwpoort, dan is het vooroevervolume na 2000 ongeveer constant. Ook het zeebodemvolume bleef relatief constant. Ruimtelijk zijn er in het gedeelte onder LW grote verschillen en duidelijke trends (Figuur 33). Veel van de dynamiek hangt samen met langzame, maar systematische morfologische verschuivingen van het systeem Potje - Broers Bank. Heel het systeem schuift naar het oosten op, mee met de vloedstroom, aan een gemiddelde snelheid van 15 à 20 m/jaar. De getijgeul Het Potje ondergaat een heel subtiele kanteling (verschuiving van oriëntatie). Hierdoor is de vooroever te De Panne erosief, terwijl hij ten westen van De Panne aangroei kent. De westelijke flanken van de Broers Bank kennen sterke erosie. Het topvlak blijft op ongeveer dezelfde diepte maar verschuift naar het oosten. De grote onderwaterduinen die zich op het topvlak bevinden, verschuiven ook naar het oosten en bevestigen aldus de zandverplaatsing met de vloedstroom. De zeevaartse flank van de Broers Bank en de

vooroever in de 6 km lange kuststrook ten oosten van de bank, tot Nieuwpoort, ondergaan eveneens geleidelijke, langzame erosie.

Mocht de erosie van de vooroever structureel verder gaan in de tijd, dan zou op den duur ook het strand afslag beginnen te ondervinden. Maar het is ook mogelijk dat de zandtransporten verbonden met Het Potje en de Broers Bank een permanente toevoer vanuit zee naar het strand betekenen (hypothese geformuleerd in Verwaest et al., 2020).



Schematische aanduiding met dikke pijlen van de verschuiving van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019. De pijlen geven de verplaatsingsrichting van de hoogtelijnen weer, en dus niet de richting van het eigenlijke sedimenttransport. Rood: natuurlijke erosie, lichtgroen: natuurlijke sedimentatie, donkergroen: aangroei rechtstreeks volgend op zandaanvoerwerken. Hoogtelijnen boven 0 m TAW om de 4 m; beneden 0 m TAW om de 2 m. Geel: 2000, oranje: 2007, rood: 2011, bruin: 2015, zwart: 2019. Kuststroken omlind in blauw, secties in zwart. Een grotere versie van deze kaart bevindt zich in bijlage 6.

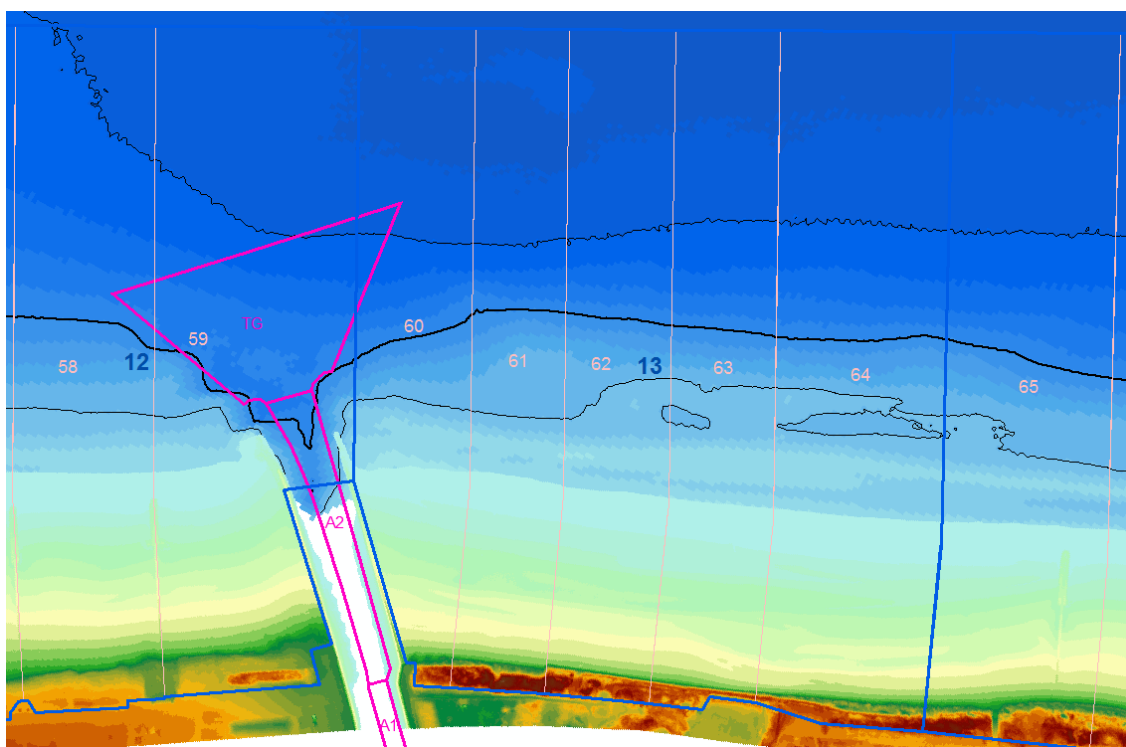
Figuur 33 – Verplaatsing van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019, kustzone Franse grens-Nieuwpoort.

8 Morfologische evolutie per kuststrook, zone 2: van Nieuwpoort tot Oostende

8.1 Strook 13 (secties 60-64): Nieuwpoort oost IJzermondig en Militair Domein Lombardsijde

8.1.1 Inleiding en geschiedenis

Ligging van de strook: het strand ten oosten van de IJzermondig kent structurele erosie. Allerhande maatregelen werden doorgevoerd om hieraan te verhelpen.



Figuur 34 – Situatiekaartje kuststrook 13, Nieuwpoort oost IJzermondig en Militair Domein Lombardsijde. Kustlengte: 1175 m.

In 1981 werd een stelsel van Longardbuizen op het strand aangelegd in secties 62-66. Toen werd ook zand aangebracht tussen de buizen. Er werd zowel strand- als zeezand aangebracht. Het strandzand werd aangebracht tussen de buizen en het grof zeezand ter afdekking van de aanvulling in een halve meter dikke laag (rapport Eurosense, 2004). Er werd 20 à 30 m³/m aangevoerd. De meeste Longardbuizen werden weer verwijderd in 1994-1995.

De betonnen zeeduinglooiingsvoet in secties 62-64 werd aangebracht in 1992-1995.

In secties 60, 61 en 62 werd vroeger baggerspecie opgespoten afkomstig van het uitbaggeren van de monding van de IJzer. Het meeste van de zandige baggerspecie werd op de vooroever te Westende gelost, maar ook het strand werd op onregelmatige tijdstippen opgehoogd. Een pijpleiding in sectie 60 zorgde voor aanvoer van het zand-watermengsel. Met verlengstukken kon men verschillende stukken van het strand bereiken. Het fijnere zand, al dan niet vermengd met slib, werd doorgaan aan de laagwaterlijn gespoten. De

betreffende hoeveelheden voor de periode 1984-2001 vindt men in rapport KUST 2004.111. Er werd jaarlijks gemiddeld 100.000 m³ zand gebaggerd. Hoeveel hiervan op het strand werd gespoten, kan moeilijk nog bepaald worden. In Houthuys (2012) werd voor de gecorrigeerde tijdreeks het volgende aangenomen:

1. de hoeveelheid opgespoten op het strand is evenredig met de hoeveelheden die gebaggerd werden;
2. de hoeveelheid die op strand werd aangebracht is ongeveer een tiende tot een twintigste van de gebaggerde hoeveelheden;
3. de opspuitingen hadden plaats op het einde van het pachtseizoen, ca. maart-april;
4. men is gestopt met opspuitingen op het strand in 1999.

Al deze aannames zijn realistisch maar het blijft een reconstructie. Het detail van de werkelijke verrichtingen is wellicht niet meer te achterhalen. Volgens deze hypothese komt men dan tot de cijfers aangebracht zand zoals in *Tabel 12*.

Tabel 12 – Samenvatting van de volumes, afkomstig van onderhoudsbaggerwerk in de toegang tot de haven van Nieuwpoort, aangebracht in kuststrook 13.

Baggerperiode	Baggerhoeveelheid zand in m ³ (zeewaartse aanloop toegangseul en tussen staketsels)	STROOK 13	STROOK 12	STROOK 12	STROOK 16
		Raming zand hiervan aangebracht in de kuststrook	Raming zand via het deel boven LW in sectie 59 terecht gekomen in het zuidelijk deel van de havengeul (30% van totale hoeveelheid zand)	Raming zand verwijderd in deel beneden LW in sectie 59 (voorplein en noordelijk deel havengeul) (70% van totale hoeveelheid zand)	Raming zand gelost op loswal "vooroever" (2/3 van baggerhoeveelheid zand min gedeelte op het strand aangebracht in strook 13)
1984-1985	90900	5000	-27300	-63600	57300
1985-1986	90600	5000	-27200	-63400	57100
1986-1987	94500	5000	-28400	-66100	59700
1987-1988	90500	5000	-27200	-63300	57000
1988-1989	81000	5000	-24300	-56700	50700
1989-1990	47000	2500	-14100	-32900	29700
1990-1991	28000	2500	-8400	-19600	17000
1991-1992	148000	7500	-44400	-103600	93700
1992-1993	81000	5000	-24300	-56700	50700
1993-1994	154000	10000	-46200	-107800	96000
1994-1995	119000	7500	-35700	-83300	74300
1995-1996	179000	10000	-53700	-125300	112700
1996-1997	221708	12500	-66500	-155208	139500
1997-1998	29000	2500	-8700	-20300	17700
1998-1999*	85000	5000	-25500	-59500	53300
1999-2000*	0	0	0	0	0
2000-2001	150000	0	-45000	-105000	100000

Alle cijfers in deze tabel vanaf kolom 3 zijn ramingen gebaseerd op kolom 2 en veronderstellingen in lijn met wat in het laatste decennium gebeurt.

Sinds 1999 werd er geen zand meer op strand ten oosten van de havengeul opgespoten (informatie van Geert Alderweireldt, afdeling Kust). In de periode 2001-2004 is er geen zandige specie gebaggerd in de toegang tot de haven van Nieuwpoort (bron: afdeling Maritieme Toegang). De baggerhoeveelheden voor de recentere periode vindt men bij kuststrook 12.

In 2006 werd aan de voet van de versterkte zeeduinglooiing 500 m³ zand opgevoerd van nabij de laagwaterlijn. Deze ingreep levert naar schatting een invoer van 300 m³ zand in de sectie op.

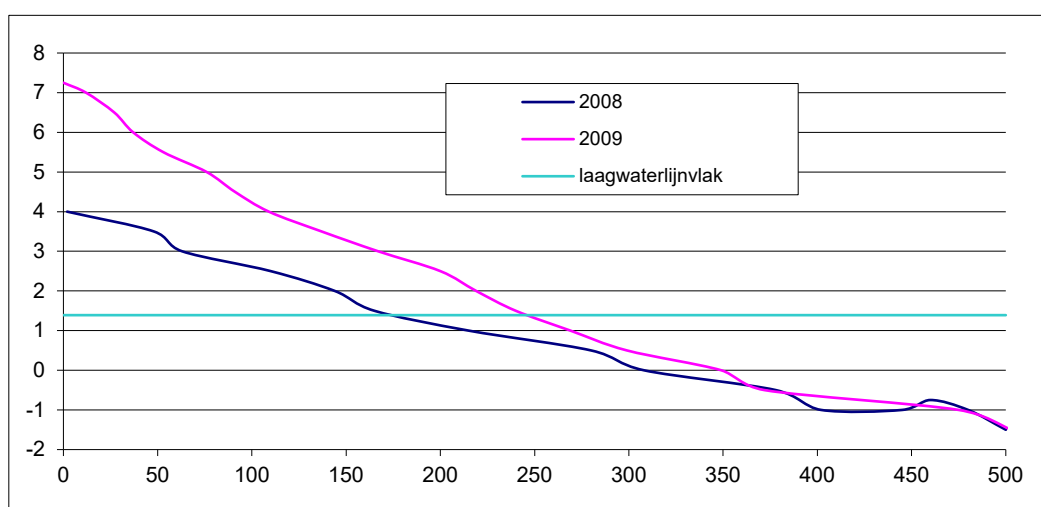
8.1.2 De strandsuppletie van 2008-2009

In 2008-2009 werd een strandsuppletie met opspuiting van zand uitgevoerd in deze kuststrook. Er werd gewerkt vanaf de IJzermonding oostwaarts. De uitvoering startte op 31 oktober 2008 en was beëindigd op 28 juni 2009 (IMDC, 2010). Het zand was afkomstig van baggerwerken voor de verbreding van de havengeul van Oostende. Er werd gewerkt met tussenpozen, maar het meeste van het zand werd opgespoten in het najaar van 2008 en het voorjaar van 2009. De laserscanningvlucht van 2009 had op 24 mei plaats. De gemiddelde datum van de vooroeverlodingen van 2009 is 12 mei. Volgens tabel 4-3 en figuur 4-2 van IMDC (2010) was dan ongeveer 73 % van het opgespoten volume voor de opname van 2009 aangebracht, en de overige 27 % kort nadien. Het totale aangevoerde volume bedroeg, in beun, 606.349 m³. Uit figuur 5-32 van IMDC (2010) kan men opmaken dat medio augustus 2009 een netto volumetoename in het suppletiegebied van ca. 510.000 m³ werd opgemeten, zodat men van een "rendement" van $510.000 / 606.349 = 84,1 \%$ kan spreken. Uit figuur 5-30 van IMDC (2010) blijkt dat de opspuiting geheel gelokaliseerd is in de strook van secties 60 tot en met 64. Na de beëindiging werd een klein gedeelte uitgespreid met bulldozers tot in sectie 65 (figuur 5-31 van IMDC, 2010). Uit de hoogteverschillen blijkt dat het hooguit om enkele percenten van het totale volume zandtoevoer gaat. In onderhavige trendbepaling wordt ervan uitgegaan dat de aanvoer in zijn totaliteit in de kuststrook 13 plaatsgevonden heeft.

Uit de hoogtelijnkaarten gemaakt met de lodingen en lidaropnames van 2008 en 2009 is af te leiden dat een gedeelte van de suppletie zich uitstreckte beneden het vlak van +1,39 m TAW.

Tabel 13 – Verdeling van de volumes van de suppletie van 2008-2009 over de hoogtelagen in kuststrook 13.

	m ³ in beun	% van totaal	% rendement	m ³ aanvoer in morfologie	m ³ boven LW	m ³ onder LW
Hoeveelheid opgespoten voor opname 2009	439889	72.5	84.1	369900	327800	42200
Hoeveelheid opgespoten na opname 2009	166460	27.5	84.1	140000	124000	16000
Totale hoeveelheid	606349			509900	451800	58200



Afstand t.o.v. betonnen dijk en hoogte in TAW, in m. In dit profiel is 88,6 % van de suppletie boven en 11,4 % onder het laagwaterlijnvlak aanwezig. Deze verhoudingen stemmen overeen met de profielen in IMDC, 2010 (fig. 6-4 tot 6-7).

Figuur 35 – Profiel in sectie 62 van de strandsuppletie van 2008-2009.

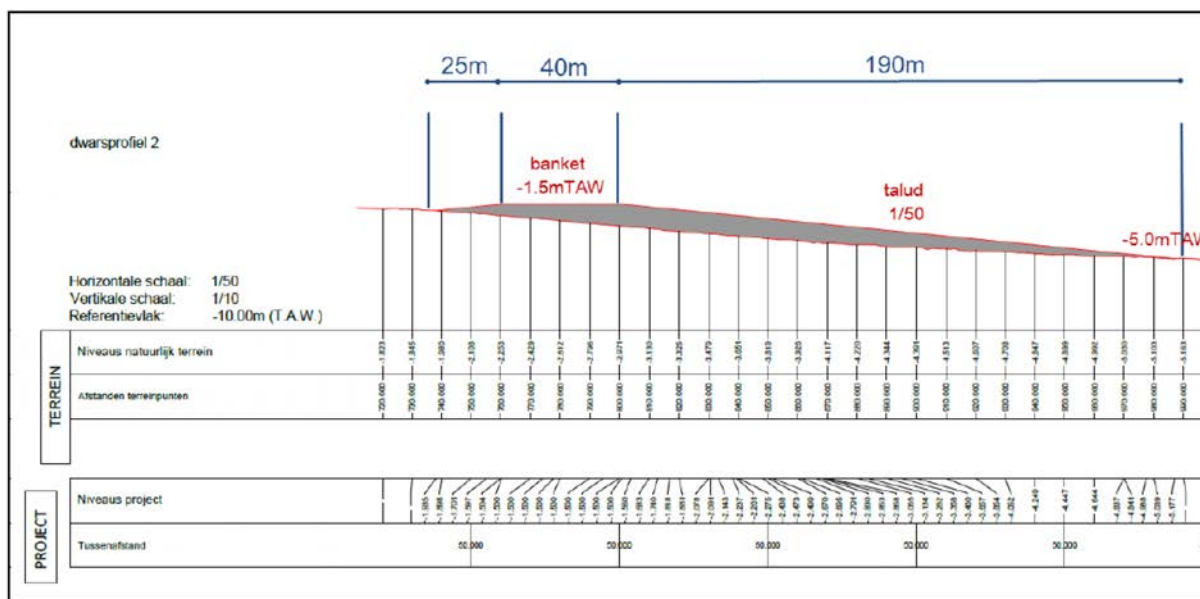
8.1.3 De onderwatersuppletie van 2017

Volgend op de strandsuppletie van 2008-2009 in het kustdeel Militair Domein Lombardsijde werden een aantal harde maatregelen in het vooruitzicht gesteld. Zij werden echter niet uitgevoerd; enkel werd een bakstenen muur in sectie 61 verwijderd die geen zeeverende functie meer had en sterk gedegradieerd was. Om de toegenomen oppervlakte natstrand zoveel mogelijk te behouden zonder nieuwe strandsuppleties te hoeven uitvoeren, werd wel een onderwatersuppletie ontworpen en ten uitvoer gebracht in de herfst van 2017.

De onderwatersuppletie vond plaats in secties 60 (de oostelijke 80 m) tot 65 (daarvan de westelijke 120 m), over een totale kustlengte van ongeveer 1350 m. Deze suppletie wendde zand gewonnen bij het uitbaggeren (of verruimen, geen duidelijke informatie beschikbaar) van de nieuwe havengeul naar Oostende aan. Het zand werd deels geklept, deels opgespoten via de rainbow techniek (Baggerwerken Decloedt, 2017). De werken vonden plaats tussen 30 september en 5 december 2017, met een onderbreking in de tweede helft van oktober. De onderwatersuppletie beoogde het uitbreiden van de meest zeewaartse brekerbank op de hogere vooroever, aan de zeewaartse zijde. Een strook van ongeveer 200 m breed, gelegen tussen een afstand van 550 en 750 m van de duinvoet werd hierbij met ongeveer een meter, lokaal meer, opgehoogd. Er werd derwijze gestort, dat door de stroming de afvoer van het gedeelte in suspensie binnen de suppletiezone bleef: bij vloed loste men het sediment aan de westzijde, bij eb aan de oostzijde van de suppletiezone. Deze werkwijze had tot gevolg dat de gerealiseerde berm aan beide uiteinden een bult vertoonde. Dit is goed te zien op de multibeamopname van 20 december 2017.

Het ontwerp voorzag een 40 m breed banket op TAW - 1,50 m dat met een talud 1/50 aansluit met het strand (over een breedte van gemiddeld 25 m) en met de zeebodem (over een breedte van gemiddeld 190 m) (zie typeprofiel in Figuur 36).

De korrelgrootte van het gewonnen zand was gemiddeld 355 µm (bepaald over alle vaarten op sediment ontnomen in beun). Op te merken valt dat vele stalen een behoorlijk percentage (5, 10, soms 20% en naar het einde van de campagne nog meer) grove fractie hebben (boven 500 µm). Er is niet gespecificeerd of het om werkelijk grove klastische korrels gaat, dan wel om schelpfragmenten, of een mengeling van beide. Het aangevoerde zand is aldus heel wat grover dan het zand dat op de vooroever van nature voorkomt, dat wellicht nog wat fijner was dan de ongeveer 175 µm aan de laagwaterlijn (Deronde et al., 2007).



Figuur 36 – Typeprofiel van de onderwatersuppletie van 2017, uit Decloedt, 2017.

De aangebrachte hoeveelheden, in beun, bedroegen, 317.066 m³. Het zand was afkomstig van verdiepingsbaggerwerk in de nieuwe toegangsgeul naar de haven van Oostende. De uitvoerder van de onderwatersuppletie bepaalde de “efficiëntie” middels bathymetrische surveys vóór, tijdens en na de stortoperaties, en rapporteerde erover aldus: “Van de 317.066 m³ in beun die werd opgespoten binnen het suppletiegebied, heeft zich 274.419 m³ afgezet binnen de zone van de aanleg. Dit impliceert een verlies van 13,4% ten opzichte van het totaal opgespoten zandvolume buiten de suppletiezone. Binnen een invloedssfeer van 150 m rondom het suppletiegebied heeft zich eveneens 35.124 m³ afgezet. Finaal kan gesteld worden dat er zich amper 2,4% van het totaal opgespoten volume buiten deze invloedssfeer van 150 m heeft verspreid.” (Decloedt, 2017). Er kan dus van worden uitgegaan dat, op een verlies van 2,4% na, alle aangebrachte zand in de omgrenzing van de secties is gebleven, in vergelijking met andere onderwatersuppleties toch wel een ongewoon hoog percentage.

Er werden tijdens en na de onderwatersuppletie specifieke multibeam (MB) opnamen gemaakt van het gebied waarin de onderwatersuppletie werd uitgevoerd. Deze opnamen dekken een vierhoek van ongeveer 450 m breed op 1570 m lang. Deze bedekking laat niet toe volumes per sectie en hoogteschijf te bepalen (enkel opnames 6 en 7 bedekken wel secties 60 tot en met 65 volledig, doch aan de landzijde wordt de conventioneel gedefinieerde laagwaterlijn van +1,39 m TAW niet gehaald, waardoor geen volumes per hoogteschijf kunnen worden bepaald). De opnamen bieden echter een zeer goed beeld (ook visueel) van de morfologie en laten uiteraard kuberingen en hoogteverschilberekeningen toe binnen de meetzone.

We beschikken aldus over de opnamen vermeld in *Tabel 14*.

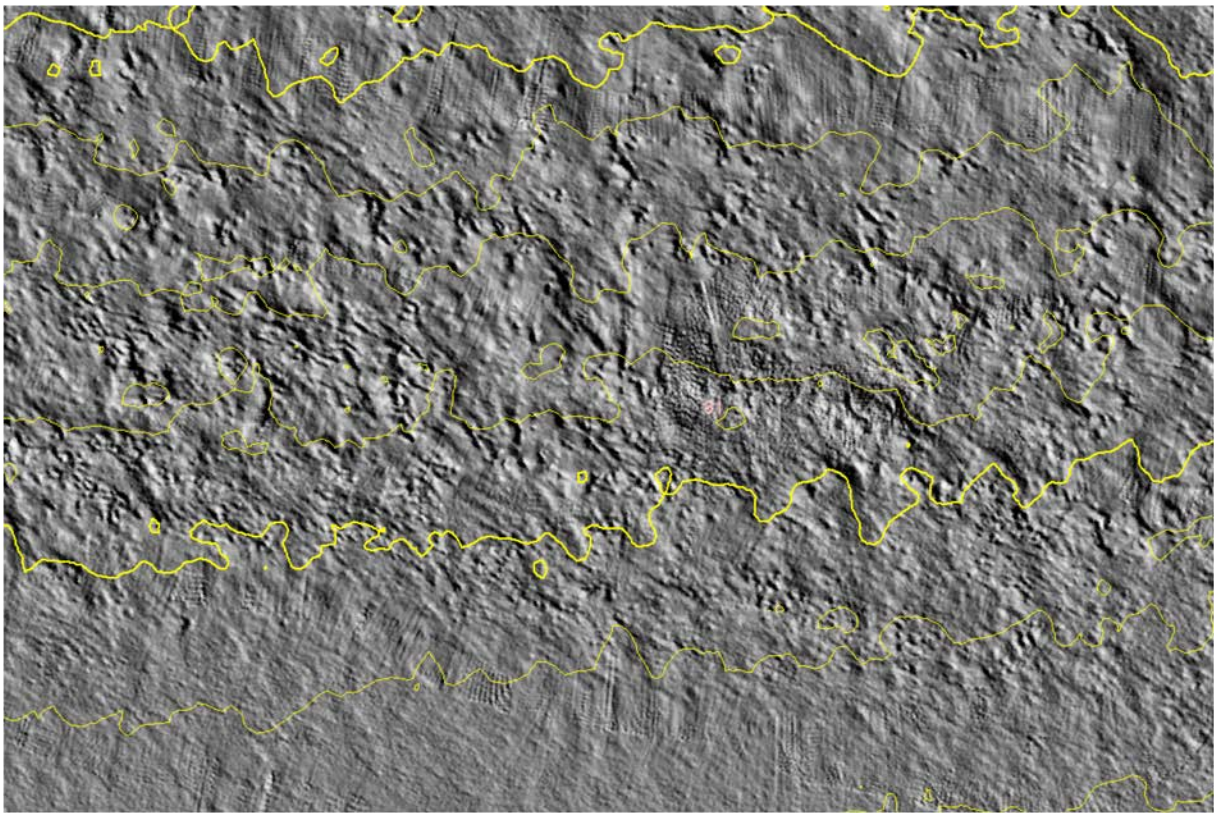
Men vindt de ingekleurde hoogtemodellen, de schaduwzichten ervan, en de relevante hoogteverschilkaarten in de powerpointpresentatie bij dit rapport (bijlage 6, kaartenreeks).

Vóór de onderwatersuppletie (**27 september 2017**) bevatte de hogere vooroever twee brekerbanken, de ene op ongeveer 470 m van de betonnen duinvoet, de andere op ongeveer 570 m, met kruin respectievelijk op -0,60 en -1,75 m TAW. Zeewaarts ervan vertoonde de vooroever een helling van ongeveer 1,5% die via een concaaf profiel geleidelijk overging naar de zeebodem op iets meer dan 5 m diepte TAW. De vooroever bezat over het algemeen een effen morfologie. Het “steile” gedeelte vertoonde enigszins afgevlakte duinen (megaribbels). Deze hadden hun kamlijnen ongeveer loodrecht op de kustlijn, hadden hun steilste zijde aan de oostkant (wat wijst op een laatste actieve verplaatsing met de vloedstroom) en bezaten een gemiddelde ribbellengte van 9 m en hoogte van 5 à 10 cm. Dit is een lage hoogte-op-lengte verhouding; vandaar de veronderstelling dat ze zijn afgevlakt door golfbewegingen en op het ogenblik van de opname geen actieve bodemvormen voorstelden. De aanwezigheid van deze duinen wijst er wel op, dat het hellende gedeelte van de vooroever een mobiele zone is, onderhevig aan langstransport door de vloedstroom. Dergelijke activiteit kan een aanwijzing zijn van erosie, maar strikt genomen ook van sedimentatie.

Tabel 14 – Lijst van MB-opnamen voor en na de aanleg van de onderwatersuppletie in Lombardsijde.

Volg-nummer	Datum van loding	Type loding	Opmerking
0 (T0)	27 september 2017	MB	Voor het begin van de onderwatersuppletie (30 september 2017)
1	17 oktober 2017	MB	Tijdens de onderwatersuppletie
2 (T1)	20 december 2017	MB	Na het einde van de onderwatersuppletie (5 december 2017)
3	8 mei 2018	MB	Vijf maanden na de onderwatersuppletie
4	9 juli 2018	SB	Zeven maanden na de onderwatersuppletie
5	25 september 2018	MB	Negen maanden na de onderwatersuppletie
6	14 februari 2019	MB	Veertien maanden na de onderwatersuppletie
7	29 juli 2019	MB	Twintig maanden na de onderwatersuppletie

Een gedeelte van de steilere vooroever in secties 60 tot 63 vertoont een ruwer oppervlak. Het ziet er pokdalig uit met bulten en kuilen met een typische afmeting van 1 m. Het pokdalige reliëf is al goed te zien op een raster met celzijde 1 m; maar omdat het een fijne structuur betreft, werd van een deelgebied in deze zone een raster gemaakt met hoge resolutie (celzijde 0,20 m) gebruik makend van alle multibeam-meetpunten (deze liggen typisch 15 à 20 cm van elkaar) (Figuur 37). Het reliëf is ook op dit hoge-resolutie beeld vrij uitgesproken, met op korte afstand hoogteverschillen in de orde van 5 tot 15 cm. Er is geen echte lineaire structurering in weer te vinden. Waarschijnlijk gaat het hier om biogene riffen van schelpkokerworm (*Lanice conchilega*) en *Owenia fusiformis*. Een alternatieve verklaring, gelet op de nabijheid van de IJzermonding met nogal wat stortsteen, zou een grote plek met verspreide stortsteen kunnen zijn, maar dat lijkt minder waarschijnlijk. Gezien in zijn ruimtelijke context (nl. aanwezigheid in de zone waar in andere secties tijdelijke actieve onderwaterduinen gevonden worden) is het ook mogelijk dat het hier een zone betreft met wisselend regime. Enerzijds wordt de bodem, mogelijk gedurende een deel van de tijd, door biologische activiteit gedeeltelijk gefixeerd. Anderzijds is de zone, wellicht bij sterke getijstroming, onderhevig aan zandverplaatsing in de vorm van beweging van onderwaterduinen.



Schaduwzicht van de multibeamopname 27 september 2017, berekend op een hoge-resolutie raster met celzijde 0,20 m gemaakt op basis van een dataset met alle gemeten punten. Het strand ligt in de figuur bovenaan (de weergave werd 150° geroteerd). Belichting van rechts. Afstand tussen bovenste dikke hoogtelijn (-4,00 m TAW) en onderste (-5,00 m TAW) is ongeveer 60 m. Fijne hoogtelijnen om de 0,25 m. Dit uittreksel is genomen op het meest hellende stuk van de vooroever in sectie 61. Het onderste stuk van de figuur bevat de effen zeebodem zeewaarts van de vooroever. De fijne strepen hierin zijn artefacten die het gevolg zijn van de scantechniek. De hoogteverschillen tussen deze strepen zijn een indicatie van de meetruis: ongeveer 1 à 2 cm, lokaal tot 5 cm.

Figuur 37 – Uittreksel van de multibeamopname 27 september 2017.

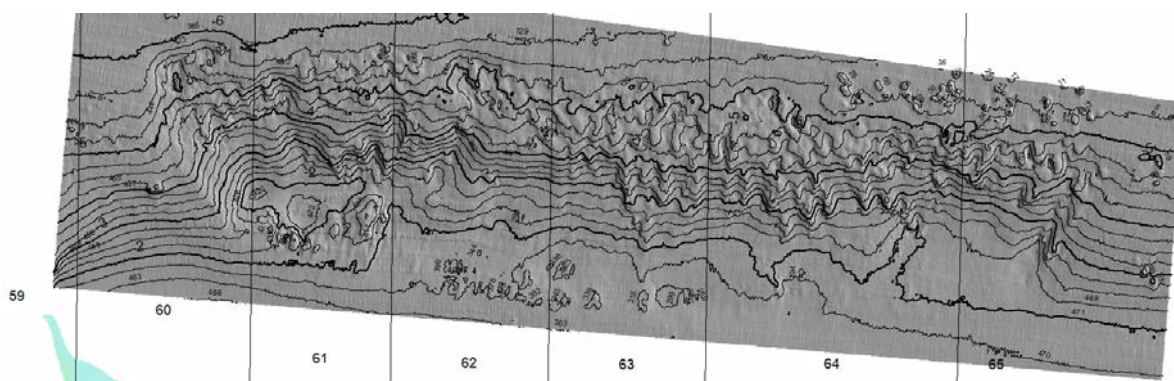
Her en der verspreid, op de zeebodem in secties 60 en 61, en in secties 64 en 65 op het hellende gedeelte van de vooroever, worden enkele geïsoleerde kuilen aangetroffen. Deze zijn van 10 cm tot bijna een halve meter diep en minder dan 10 m in doorsnede. Ze zijn wellicht object-gebonden, bv. erosiekuilen achter een steenblok of gezonken object. Een andere mogelijkheid is evenwel dat het gaat om erosiekuilen (kolkgraten) in een gedeeltelijk gefixeerde bodem. Op zandige bodems in getijdenomgevingen kan het oppervlak lokaal

licht aaneen gekit zijn door slijm afgescheiden door organismen. Het is niet geweten of dergelijke fixatie aangetroffen wordt op de vooroever aan de Belgische kust. Deze verklaring is ingegeven door het feit dat gelijkaardige kuilen in alle opeenvolgende multibeamopnamen worden aangetroffen, maar op wisselende plaatsen. Een zwaar object dat kolkerosie veroorzaakt, zal allicht niet makkelijk verplaatst worden.

De weergegeven toestand vóór de onderwatersuppletie is gebaseerd op één opname, maar wellicht wel representatief voor de lokale vooroever.

De opname van **17 oktober 2017** is uitgevoerd na de eerste stortingen met zand voor de onderwatersuppletie. Er werd vooral gestort in secties 60 en 61, maar alle secties van het projectgebied kwamen al aan bod. De morfologie in de stortingszones is chaotisch. De scherpste van de morfologie verrast enigszins. Lokaal komen korte hellingen van 15 tot 20% voor. In de landwaartse helft van het gebied van de onderwatersuppletie kunnen wel lage onderwaterduinen worden herkend. Ze hebben kamlijnen loodrecht op de kust. Hier zijn ze wellicht een aanwijzing van beginnende mobilisatie door de getijstroming die inwerkt op het grote zandaanbod.

De opname van **20 december 2017** toont de aangelegde onderwaterberm. De vlakke kruin is het meest regelmatig gerealiseerd in de centrale secties 62 tot 64. Hier liggen de ondiepste punten op TAW $-1,60$ m. Er is nauwelijks sprake van een trog tussen de suppletiezone en het strand. Het gerealiseerde vlakke banket is ongeveer 90 m breed. De twee uiteinden van de berm zijn verhevenheden t.o.v. het algemene profiel van de onderwatersuppletie. Enkele kleine zones hebben nog steeds een chaotisch reliëf. Het steilste stuk van de aansluitingshelling is 1/33 (3%). Het laagste gedeelte van de vooroever, nl. het concave hellingsfacet aan de voet van de berm tussen TAW -3 en $-5,5$ m, bevat groeven of geulen dwars op de kustrichting. Zij zijn ongeveer 30 cm diep en verschillende tientallen meters lang. Deze structuur kenmerkt vrijwel de hele lengte van de onderwatersuppletie. Het is niet duidelijk wat ze voorstelt. Het gaat niet om klassieke onderwaterduinen. Mogelijk is het een overgangsvorm bij beginnende ontwikkeling van onderwaterduinen. Maar nog meer waarschijnlijk is het een relictmorfologie veroorzaakt door de wijze van suppleren. De onderwatersuppletie paste ook rainbowing toe. Mogelijk veroorzaakte deze techniek retourstromen nabij de bodem, die erosiegeulen loodrecht op de kust uitsleet. Het feit dat deze geulmorfologie vooral in het centrale, laatst aangelegde gedeelte van de onderwaterberm voorkomt, ondersteunt deze interpretatie.



Schaduwzicht van de MB opname van 20 december 2017. Strand ligt onderaan. Hoogtelijnen om de 25 cm. Dikke hoogtelijnen om de meter. Sectiegrenzen en -nummers zijn aanwezig.

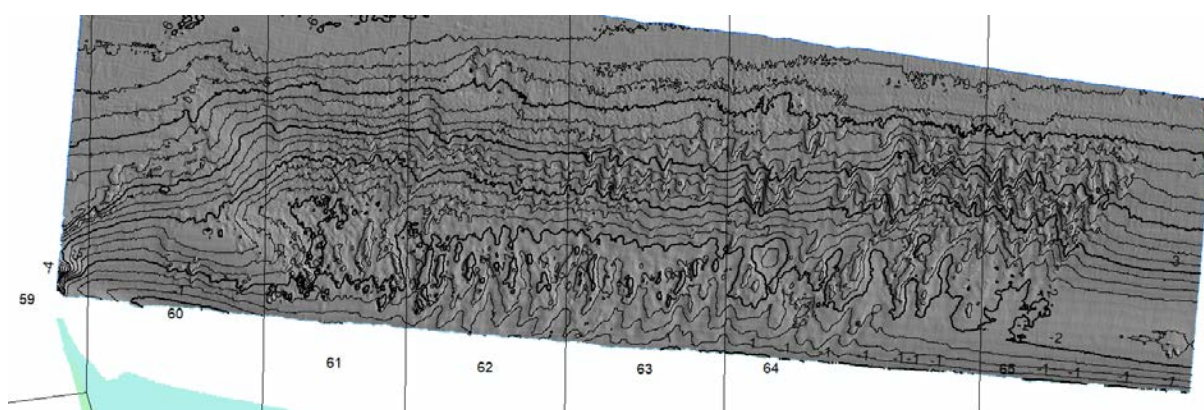
Figuur 38 – Onderwatersuppletie Lombardsijde: MB opname van 20 december 2017.

De opname van **8 mei 2018** toont een veel gestroomlijnder vorm. De onderwatersuppletie heeft grotendeels haar vorm, breedte en diepteligging behouden. Verspreid over de suppletiezone komen enkele grote onderwaterduinen voor, met kamlijn loodrecht op de kust. Deze duinen hebben geen scherpe (frisse) vormen. Ofwel gaat het om megaribbels die bij de opname al een tijd niet actief bewogen. Ofwel gaat het om overgangsvormen teruggaand op de eerder genoemde groeven, en stellen ze nog een laatste relict van de stortingsmorfologie voor. De oriëntatie van de afgevlakte kammen pleit eerder voor een bodemvorm

In andere zones, vooral nabij de voet van de onderwaterberm, treffen we ook nog duinen aan van een andere grootte: golflengte ongeveer 6 à 7 m, hoogte 5 à 10 cm, en kammen eveneens loodrecht op de kust. Het raster met 1 m celzijde laat niet toe deze vormen in detail te bestuderen.

Omheen de onderwaterberm liggen er ook nu hier en daar geïsoleerde, vrijwel ronde kuilen. Ze hebben een doormeter van een kleine 10 m en zijn 30-40 cm diep. Ze liggen op andere locaties dan bij vorige opnamen.

De belangrijkste vaststelling is evenwel dat nagenoeg de gehele onderwaterberm integraal aanwezig is, zonder noemenswaardige verdieping van de bodem, t.o.v. de opname van mei 2018. Dit wordt ook bevestigd in de volumes: er is zelfs enige aangroei, maar dan wel aan de voet van de berm, in secties 60 en 61. De lineaire vormen op de berm zijn opbouw (aangroei ter hoogte van de kammen), terwijl de depressies, zowel de lineaire als de ronde, erosievormen zijn.



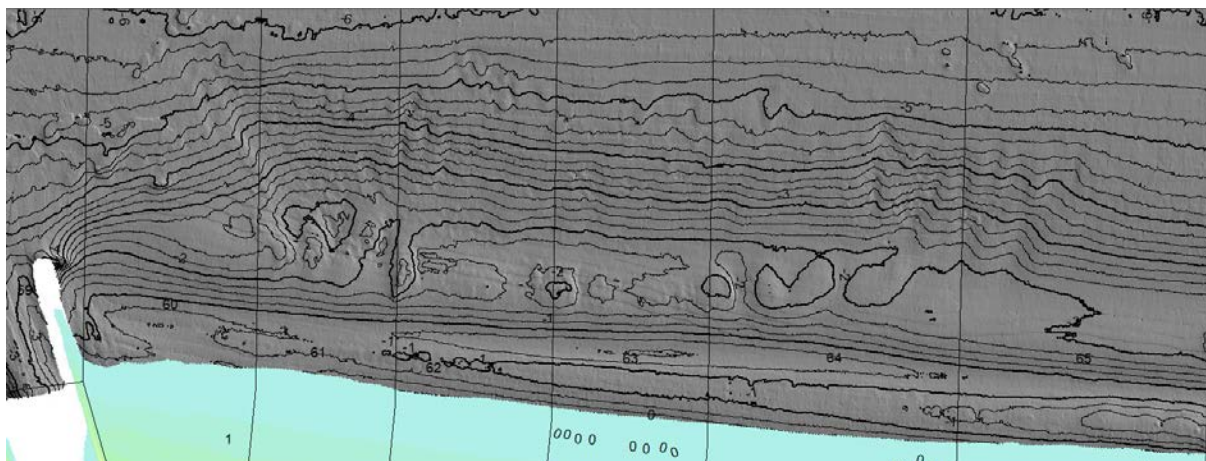
Schaduwzicht van de MB opname van 25 september 2018. Strand ligt onderaan. Hoogtelijnen om de 25 cm. Dikke hoogtelijnen om de meter. Sectiegrenzen en -nummers zijn aanwezig.

Figuur 40 – Onderwatersuppletie Lombardsijde: MB-opname van 25 september 2018.

De multibeamopname van **14 februari 2019** laat opnieuw een afgeronde vorm zien, vrijwel zonder kleine bodemvormen. Nog steeds zijn het algemeen uitzicht en de algemene diepteligging en vorm van de onderwaterberm weinig veranderd. De zeewaarts uitstekende bulten aan de twee uiteinden zijn nog steeds herkenbaar. De hellingen zijn nog steeds ongeveer dezelfde als bij vorige opnamen. Het topbanket op ongeveer -2 m diepte is doorsneden door enkele lage depressies en bulten met lange as loodrecht op de kustrichting. Omheen de onderwatersuppletie komen vlekvormige, ondiepe depressies voor waarvan de vorm suggereert dat ze uitgeschuurd zijn in een omgevende, iets resistentere zeebodem.

De multibeamopname van **29 juli 2019** toont een oppervlak met lage onderwaterduinen, met kam zoals steeds ongeveer loodrecht op de langsrichting van de kust, voornamelijk op het topvlak en nabij het oostelijke uiteinde van de onderwatersuppletie. De kruin van de onderwatersuppletie ligt ongeveer op -1,75 m. Landwaarts ervan heeft zich een gestroomlijnde, kustparallele brekerbank ontwikkeld met kruin op ongeveer -1 m TAW.

In de overlapzone van de multibeam-opnamen kan het **volumeverschil** berekend worden voor de verschillende MB opnamen (*Tabel 15*). Volumeverschillen tussen MB en SB opnamen zijn moeilijk te interpreteren en werden hier weggelaten (zie paragraaf 5.3).



Schaduwzicht van de MB opname van 14 februari 2019. Strand ligt onderaan. Hoogtelijnen om de 25 cm. Dikke hoogtelijnen om de meter. Sectiegrenzen en -nummers zijn in de figuur opgenomen.

Figuur 41 – Onderwatersuppletie Lombardsijde: MB opname van 14 februari 2019.

Bij de eerste opname 15 dagen na de beëindiging van de suppletie was het volume in het opnamegebied toegenomen met 282.700 m³ of 89,2% van de gestorte hoeveelheid. De volumetoename situeerde zich hoofdzakelijk in de aanlegzone. In het kruingebied van de onderwaterberm bedroeg de hoogtetoename ruim een meter. Ingevolge de wijze van suppleren, met meer toevoer aan beide uiteinden, bedroeg de hoogtetoename daar lokaal tot 2 meter en vertoonde het oppervlak van de onderwatersuppletie er enigszins in zee uitstekende verhevenheden (bulten). Vooral deze aan de westelijke zijde was prominent.

Tabel 15 – Volume- en hoogteverschillen bepaald op de opeenvolgende MB-hoogtemodellen van de onderwatersuppletie Lombardsijde.

VERSCHIL-DTM	OPPERVLAKTE (m ²)	VOLUMEVERSCHIL in m ³	Gemiddeld hoogteverschil (cm)
201712-201709	699640	282632	40.4
201805-201712	699640	-42332	-6.1
201809-201712	699640	-15815	-2.3
201902-201712	699640	-27480	-3.9
201907-201712	699640	-5770	-0.8

Het hele opnamegebied kende afslag met ruim 42.000 m³ tussen december 2017 en mei 2018 (ongeveer 1/7 van de bij de aanleg gemeten toename). In hoogte kwam dit voor het hele gemeenschappelijke gebied van de MB-opnamen overeen met een gemiddelde daling van 6 cm (noot: deze gemiddelde daling is van de orde van de meetonnauwkeurigheid; maar er zijn wel degelijk deelgebieden met erosie en deelgebieden met sedimentatie waarin de hoogteverschillen groter zijn). De kruinzone (banket) van de onderwaterberm kende een lichte, verspreide erosie, plaatselijk tot 15-20 cm. De meeste erosie werd waargenomen op de zeewaartse helling van de onderwatersuppletie, voornamelijk in de twee “bulten” aan de uiteinden van het suppletiegebied, met een lokale diepere ligging, tot een halve meter of iets meer. Andere zones kenden dan weer verticale aangroei, vooral op het meest hellende gedeelte van de vooroever, zowel ten westen als ten oosten van de twee uiteinden, en in het gebied tussen de onderwaterberm en het strand.

Nadien nam het volume in het gemeenschappelijk gebied van de opeenvolgend MB-opnamen geleidelijk weer toe. Zo was het volume bij de recentste opname van 29 juli 2019 bijna weer gelijk aan dat kort na de aanleg van de onderwatersuppletie. De verschilkaarten geven wel aan dat deze aangroei zich grotendeels

omheen de onderwatersuppletie voordoet. De vooroeversuppletie zelf kent lichte afslag, vooral op het meest hellende gedeelte van de zeewaartse helling. Aan beide uiteinden is de erosie het grootst, maar vooral aan de westelijke zijde (waar de vloedstroom "tegenaan botst"), waar er lokaal al uitdieping is tot meer dan 1 m. De aanpalende vooroever in secties 59 en 65 kent aangroei (ongeveer met 30 cm) en tevens de zone tussen de vooroeversuppletie en de laagwaterlijn.

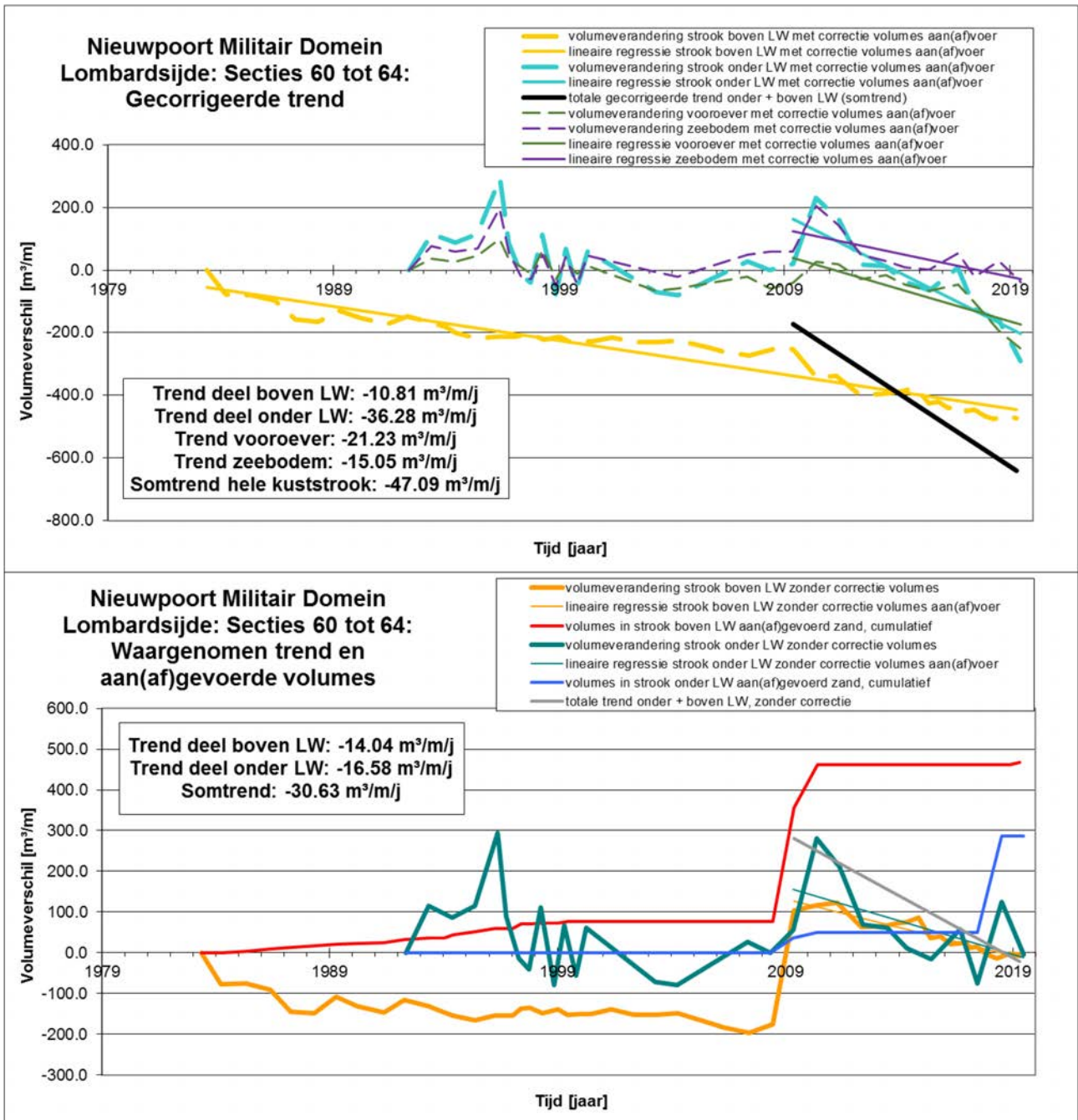
8.1.4 Kleine badstrandophoging in 2019

In het voorjaar van 2019 werd zand, dat verwijderd diende te worden uit het natuureservaat IJzermonding, aangewend voor een kleine badstrandophoging in secties 61 en 62. Bij afwerking was over een kustlengte van ongeveer 425 m en een breedte van ongeveer 125 m een volume aangebracht van ca. 12.000 m³, dit komt overeen met een gemiddelde hoogtetoename over deze zone van 23 cm. Het zand was afkomstig van de meest noordelijke punt van het getijdengebied langs de IJzermonding. Het werd met dumpers aangevoerd naar het strand in twee werkperiodes: van 14/03/2019 tot en met 5/04/2019 en van 3/06/2019 tot en met 14/06/2019. Aangezien de voorjaarsvlucht van 2019 plaatsvond op 20 april, kan men ervan uitgaan dat ongeveer 3/5 van de aanvoer voor en ongeveer 2/5 na deze vlucht te situeren is. Het effect op de hoogteligging is klein, maar toch zichtbaar in het hoogtemodel 2019_1 t.o.v. 2018_2.

8.1.5 Morfologische evolutie voor de hele kuststrook

Rekent men in het deel boven LW de geschatte hoeveelheden zandtoevoer (voorheen uit de baggerwerken in de havengeul van Nieuwpoort, later de strandsuppletie van 2008-2009) uit de meetreeks, dan toont de periode 1983-2019 een gemiddelde jaarlijkse afslag van -10,8 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,4 m³/m/jaar). De waargenomen afslagtrend na de strandsuppletie van 2008-2009 is -14 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 1,3 m³/m/jaar). Deze trend ligt in de lijn van de voorheen bestaande evolutie. Het tijdsverloop na de uitvoering van de onderwatersuppletie in het najaar van 2017 is nog te kort om een invloed op de evolutie van het strand te kunnen zien. We merken wel een stationaire trend tussen Najaar 2017 en Voorjaar 2019.

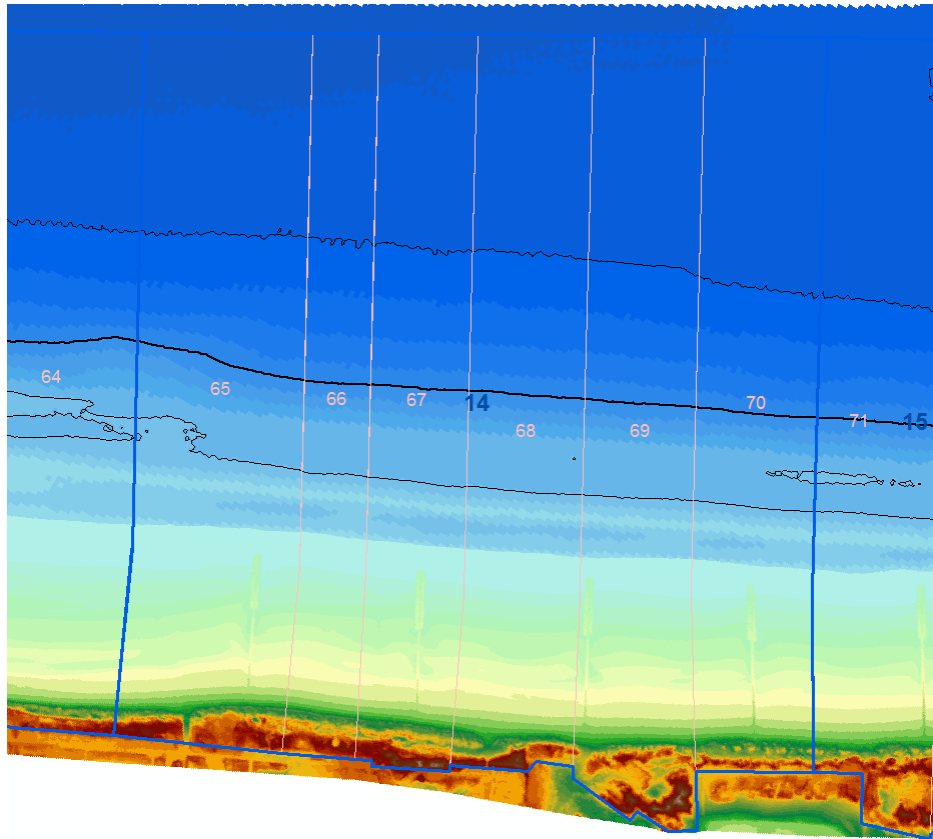
Het deel onder LW heeft een ruwweg constant volume (weliswaar met grote schommelingen) tussen de eerste vooroeverloding (1992) en 2010. Nadien is de waargenomen trend afslag met -16,6 m³/m/jaar, weliswaar ook nu met grote schommelingen (standaarddeviatie op de trend: 8,5 m³/m/jaar), en met een voor de onderwatersuppletie gecorrigeerde trend van -36 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 7,6 m³/m/jaar). Het "natte" deel vertoonde een tijdelijke, sterke groei in 2010. Dit is een weerslag van de aangroei op het bovenste gedeelte van de vooroever die volgde op de strandsuppletie van 2008-2009. Maar voor vele kuststroken is 2010 ook een uitschieter wat de vooroeverloding betreft, met waarschijnlijk te ondiep gemeten hoogte voor het hele lodingsgebied. De onderwatersuppletie van 2017 evolueert zoals deze in andere kuststroken waar onderwatersuppleties werden uitgevoerd: verlaging van de kruin en erosie aan de zeewaartse helling van de door de suppletie gevormde zandlichaam, vooral aan de "vloed-opwaartse" (=westelijke) zijde. De onmiddellijke omgeving vangt een gedeelte van deze erosie op, waardoor het verlies in het hele gebied heel beperkt is. Het meeste in 2017 aangebracht zand is zelfs nog in de onmiddellijke omgeving van de onderwatersuppletie aanwezig. Waarschijnlijk speelt hier ook de grove korrel van het aangewende zand een rol.



Figuur 42 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 13. Kustlengte: 1175 m.

8.2 Strook 14 (secties 65-70): campings Lombardsijde en duinstrook ten westen van Sint-Laureinsstrand

Ligging van de strook: de secties kennen alle een vergelijkbare aangroei. De reden voor de aangroei werd in de jaren 1990 gezien in een morfologische aanpassing aan de bouw van de grote strandhoofden: strandhoofd 9 in sectie 65 in 1989, en meer oostelijk de strandhoofden 8, 7 en 6 in secties 67, 69 en 70 in de jaren ervoor.



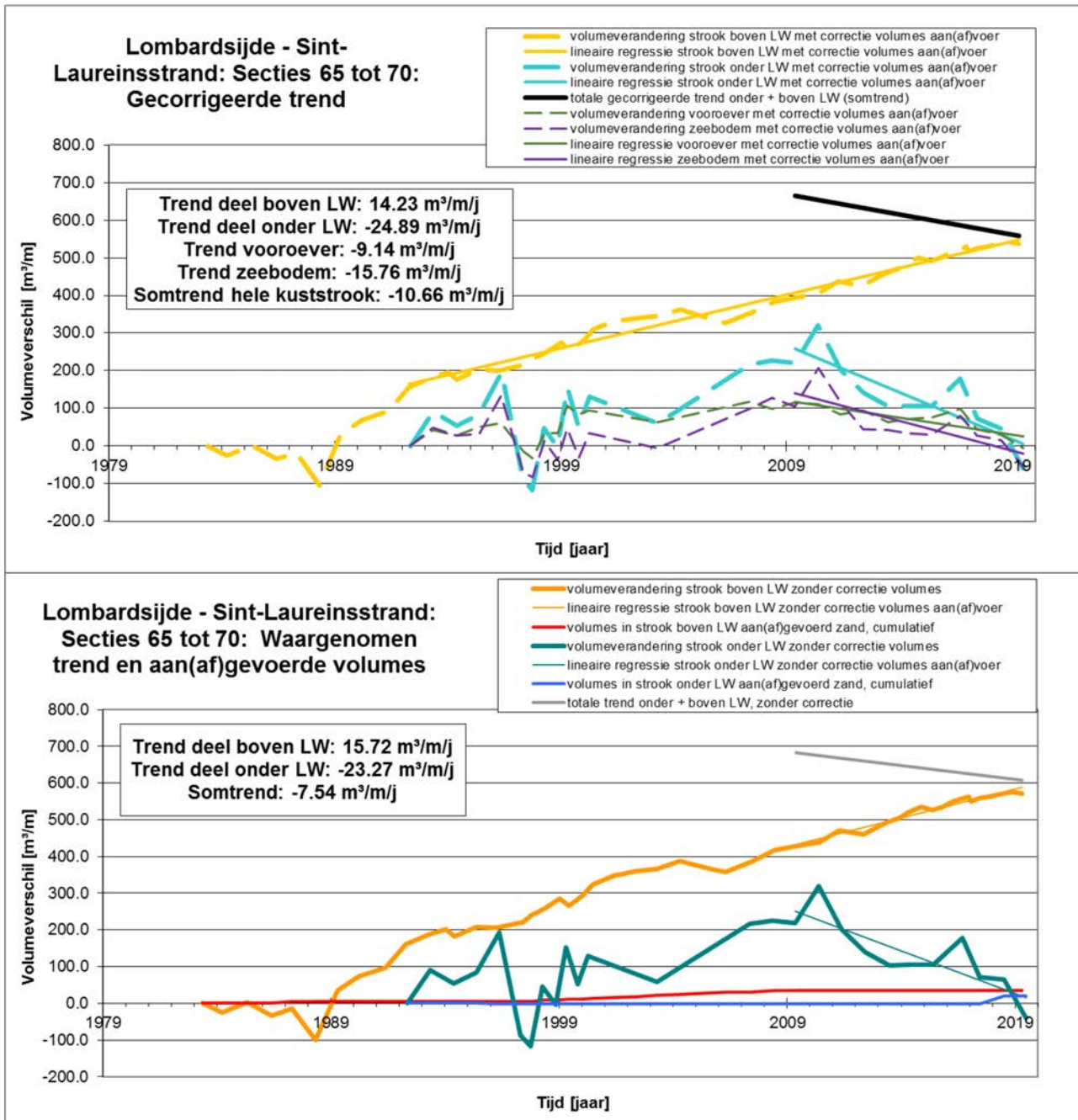
Figuur 43 – Situatiekaartje kuststrook 14, campings Lombardsijde en duinen Sint-Laureinsstrand. Kustlengte: 1465 m.

Lokaal wordt zand aangevoerd. Dit is het geval in sectie 65, tussen de afrit van het militair domein en de versterkte zeeduinglooiingsvoet, over een kustlengte van 185 m. De aanvoerwerken gebeurden, met uitzondering van 1987, sinds 1996. In 2007 en na 2008 werd geen ophoging meer uitgevoerd.

Tabel 16 – Hoeveelheden betrokken bij de badstrandophogingen in sectie 65.

Jaar	plaats	zeezand	strandzand	gedeelte aangebracht boven LW	gedeelte weggenomen onder LW
1987	sectie 65	6539		6500	
1996	sectie 65		hoeveelh. onbekend	2000	-2000
1998	sectie 65	4600		4600	
1999	sectie 65	4481		4500	
2000	sectie 65	3315		3300	
2001	sectie 65	2533		2500	
2002	sectie 65	3689		3700	
2003	sectie 65	4354		4400	
2004	sectie 65	5132		5100	
2005	sectie 65	4980		5000	
2006	sectie 65	3409		3400	
2007	sectie 65	0		0	
2008	sectie 65	5102		5100	

In 1996 werd zand opgevoerd van aan de laagwaterlijn, maar de hoeveelheid is niet meer bekend. Het cijfer van 2000 m³ als aandeel gewonnen onder de laagwaterlijn is een aanname. Bron: 1987-1998: rapport KUST2004.111. 1999-nu: afdeling Kust.



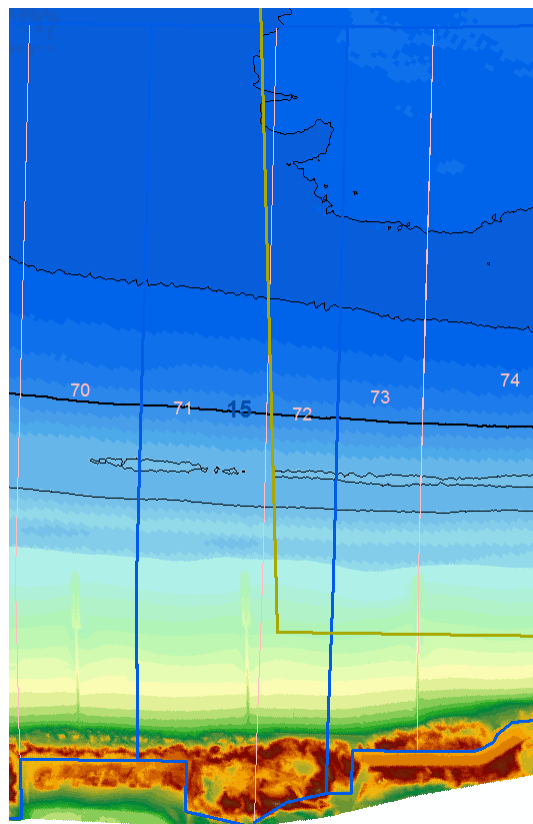
Figuur 44 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 14. Kustlengte: 1465 m.

Morfologische evolutie: gelet op de kleine aangevoerde hoeveelheden is de waargenomen trend ongeveer gelijk aan de gecorrigeerde. Deze kuststrook kende een sterke aangroei in de periode 1988-1992, in het gedeelte boven LW met gemiddeld +57 m³/m/jaar. Het verband met de bouw van grote strandhoofden is duidelijk, temeer daar geografisch de aangroezones duidelijk rond de strandhoofden gesitueerd zijn. Nadien, in 1992-2019, ging de aangroei door, maar aan een lager ritme: gemiddeld +14,2 m³/m/jaar (cijfer gecorrigeerd voor de zandaanvoer in sectie 65) (standaarddeviatie op de trend: 0,3 m³/m/jaar). Het gedeelte onder LW vertoonde tot 2009 een vergelijkbare aangroei-trend. Sinds 2009 is alle aangroei weer verloren gegaan. De trend in de periode 2009-2019 is -25 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 5,4 m³/m/jaar). Op de vooroever bevinden zich twee brede brekerbanken zeewaarts van de strandhoofden. Deze verplaatsen zich van opname tot opname, maar resulterend is er de laatste tijd een terugschrijding. Ook de voet de vooroever kent de laatste 10 jaar een beduidende erosie. T.o.v. 2000 is een ruim 100 m brede strook aan de

voet van de vooroever nu 0,50 à 0,75 m lager. Deze strook zet zich verder in de kuststroken meer ten oosten. Ze was voor 2017 ook aanwezig in kuststrook 13, maar is daar lokaal (meer dan) gecompenseerd door de onderwatersuppletie van Lombardsijde. Er is geen vooroeveraangroei opgemerkt hier, ten oosten van de onderwatersuppletie, tenzij enkel lokaal in sectie 65 net naast de suppletiezone. De erosie van de vooroevervoet kan gezien worden als een morfologische uitbreiding van de getijgeul de Kleine Rede. Bij verdergaande erosie zou ook het strand worden aangetast. De zeebodem is t.o.v. 2000 lichtjes verdiept.

8.3 Strook 15 (secties 71-72): Duinen Sint-Laureinsstrand

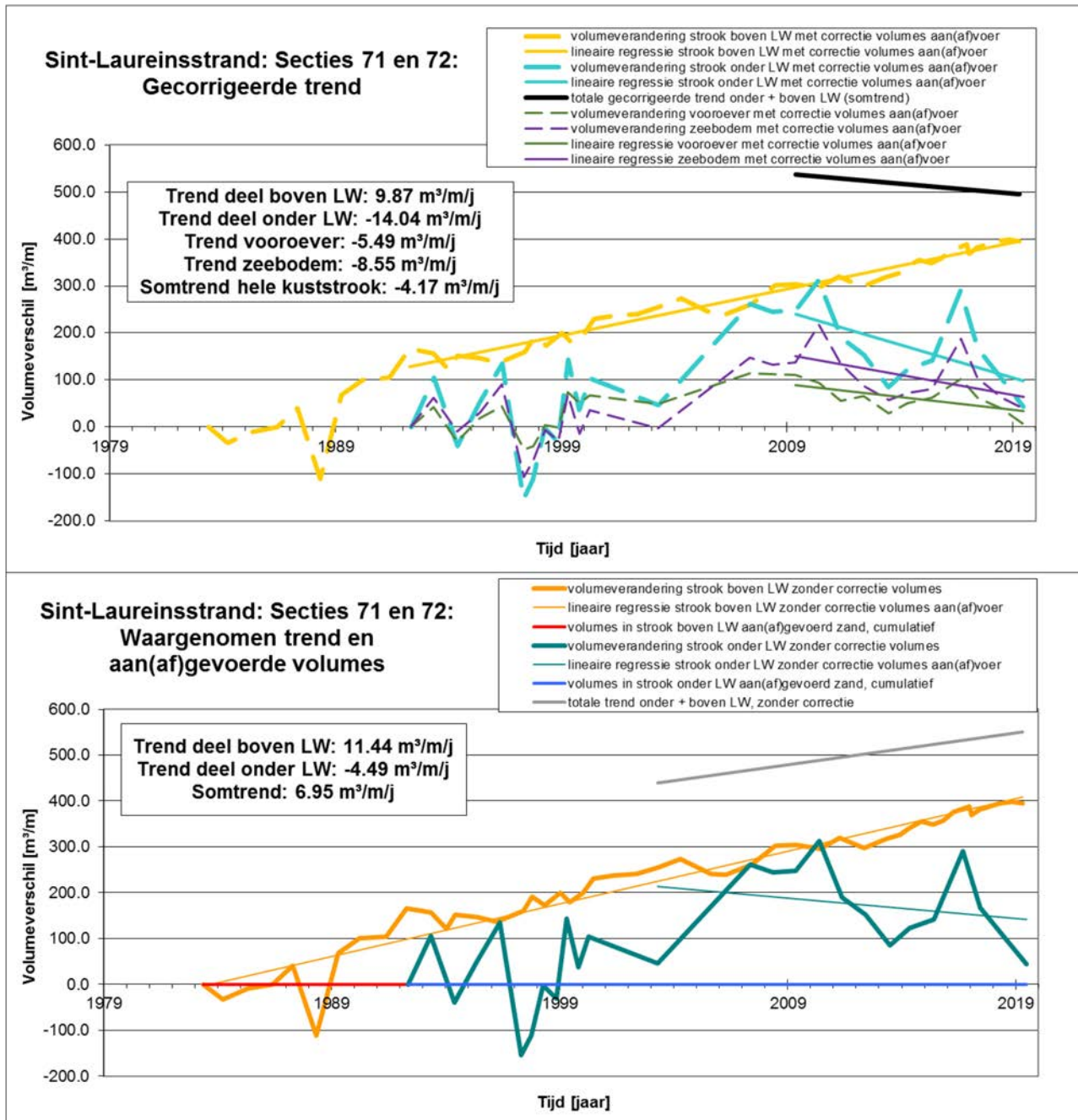
Ligging van de strook: de twee secties van deze kuststrook kennen aangroei, zoals in de vorige kuststrook, maar in tegenstelling tot de vorige strook situeert zich hier een groot aandeel van de aangroei in de duinaanzet. Op het strand is de aangroei die vooral in de jaren 1984-1992 optrad, wellicht ook toe te schrijven aan de invloed van de toen aangelegde strandhoofden.



Figuur 45 – Situatiekaartje kuststrook 15, duinen Sint-Laureinsstrand. Kustlengte: 410 m.

Er zijn geen badstrandophogingen in deze strook.

Morfologische evolutie: de waargenomen tijdreeks toont voor de zone boven LW een gestage aangroei, op een negatief uitschieter in 1988 na (een meetfout?). De waargenomen trend over de observatieperiode 1983-2019 is $+11,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). De aangroei van de eerste jaren was verbonden met de morfologische werking van de kort voordien gebouwde nieuwe strandhoofden in en rond deze kuststrook. De groei heeft zich doorgezet tot heden, zowel op het strand als in de duinaanzet blijft. Het gedeelte onder LW groeit gaf tot 2009 groei te zien. Nadien ging het meeste van de aangroei uit de eerste decennium van de 21^e eeuw weer verloren. Over de periode 2009-2019 kunnen we een afslagritme van $-14 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ bepalen (standaarddeviatie op de trend: $7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$; er zijn inderdaad grote schommelingen in volume van opname tot opname).

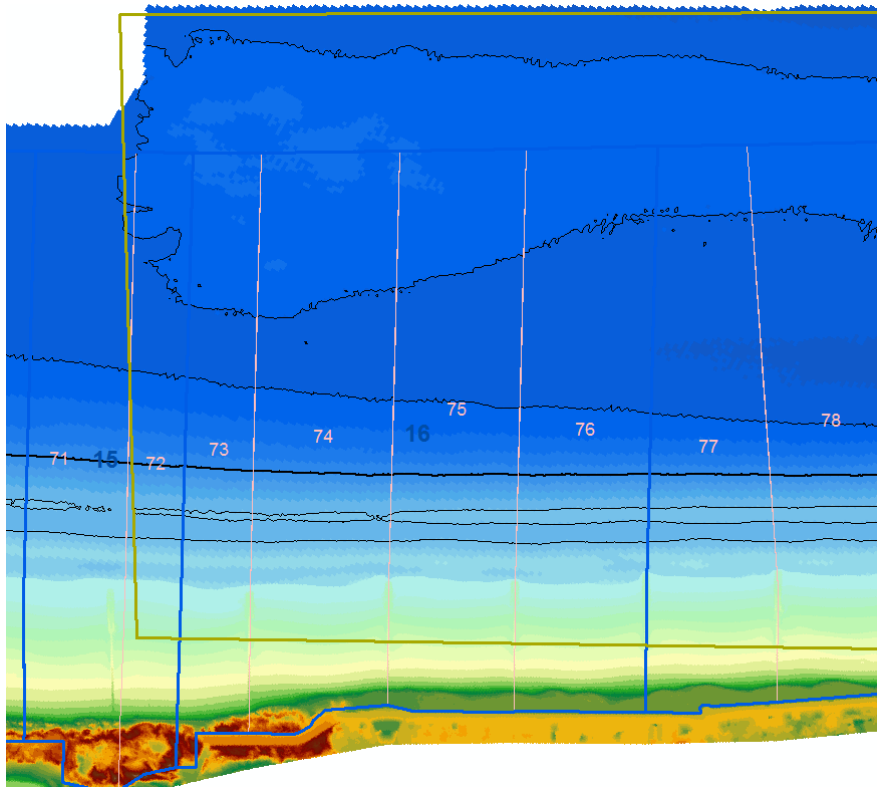


Figuur 46 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 15. Kustlengte: 410 m.

De evolutie vertoont wel een ruimtelijke differentiatie. Enerzijds is het meest zeewaartse gedeelte van sectie 72 nu over het algemeen meer dan een halve meter ondieper dan in 2000. De verklaring ligt voor de hand: dit is (een stuk van) de loswal van Nieuwpoort. Er wordt baggerspecie afkomstig uit de haven en haventoeegang van Nieuwpoort gestort. De morfologische kaarten geven aan dat de lossingen net naast sectie 72 gebeuren. Vandaar dat de "correctie" voor zandaanvoer bij kuststrook 16 wordt toegepast. De aangroei hier wordt grotendeels toegeschreven aan het uitspreiden van de lossingen. Anderzijds kent de voet van de vooroever de laatste 10 jaar een beduidende erosie. T.o.v. 2000 is een ruim 100 m brede strook aan de voet van de vooroever nu 0,50 à 0,75 m lager gelegen. Deze strook zet zich verder in de aangrenzende kuststroken ten westen en ten oosten. De erosie van de vooroevervoet kan gezien worden als een morfologische uitbreiding van de getijgeul de Kleine Rede. Bij verdergaande erosie zou ook het strand worden aangetast.

8.4 Strook 16 (secties 73-76): Westende-Bad

Ligging van de strook: deze strook bevat de meest oostelijke sectie 73 van het kustdeel “Sint-Laureinsstrand” en 3 van de 5 secties van het kustdeel “Westende-Bad”. Deze sectiegroep gedraagt zich morfologisch homogeen. Enkel in sectie 74 werden badstrandophogingen uitgevoerd, en daarin slechts over een ca. 200 m lange strook tussen strandhoofd 3 en de afrit van de Zeedijk rechtover de Oceanlaan. M.a.w., in het grootste deel van deze strook gebeuren geen badstrandophogingen. De badstrandophogingen startten in 1993. Vanaf 2006 werden zgn. “veiligheidssuppleties” of “kleine strandsuppleties” uitgevoerd in secties 74 en 75, 78 en de aansluiting met secties 77 en 79. Het aandeel in de onderhavige kuststrook wordt berekend op basis van de kustlengte.



Figuur 47 – Situatiekaartje kuststrook 16, Westende-Bad. Kustlengte: 1230 m.

Tabel 17 – Overzicht van de hoeveelheden aangevoerd bij badstrandophogingen en kleine strandsuppleties in kuststrook 16.

Jaar	Plaats	Zeezand (m ³)
1988		0
1989		0
1990		0
1991		0
1992		0
1993	sectie 74	1200
1994	sectie 74	1700
1995	sectie 74	1868
1996	sectie 74	1100
1997	sectie 74	2400
1998	sectie 74	3000
1999	sectie 74	2989
2000	sectie 74	3923
2001	sectie 74	3858
2002	sectie 74	3204
2003	sectie 74	3483
2004	sectie 74	3577
2005	sectie 74	2966
2006	sectie 74	2922
2007	sectie 74, 75, 76 (veiligheidssuppletie)	6300
2008	sectie 74, 75, 76 (veiligheidssuppletie)	15400
2009	sectie 74, 75, 76 (veiligheidssuppletie)	54800
2010	sectie 74, 75 (330 m)	1400
2011		0

Bron : 1988-1998: rapport KUST2004.111. 1999-2010 : afdeling Kust.

Eind 2006 werd een veiligheidsophoging met zeezand uitgevoerd in secties 75, 76 en 78. Er werd 9.500 m³ aangebracht. Het deel in deze kuststrook (secties 75 en 76) kan op basis van de kustlengte geschat worden op $9500 \times 680 / 1025 = 6300$ m³. Dit cijfer wordt in rekening gebracht bij de meting in 2007.

Eind 2007 werd een veiligheidsophoging met zeezand uitgevoerd in secties 74 en 78 met 29.900 m³. Het deel in deze kuststrook (sectie 74) kan op basis van de kustlengte geschat worden op $29.900 \times 365 / 710 = 15.400$ m³. Dit cijfer wordt pas in rekening gebracht bij de meting van 2008.

In 2008 werd een kleine strandsuppletie met zeezand uitgevoerd in delen van secties 74, 75, 77, 78 en 79 over een geschatte totale kustlengte van 375 m in secties 74 en 75 en 410 m in secties 77, 78 en 79. Op basis van die lengtes kan de aangevoerde hoeveelheid van 35.622 m³ gereduceerd worden tot 17.000 m³ in deze kuststrook. Dit cijfer wordt pas in rekening gebracht bij de meting van 2009.

In 2009 werd eveneens een kleine strandsuppletie met zeezand uitgevoerd in delen van secties 74, 75, 77, 78 en 79 over een geschatte totale kustlengte van 375 m in secties 74 en 75 en 410 m in secties 77, 78 en 79. Op basis van die lengtes kan de aangevoerde hoeveelheid van 79.131 m³ gereduceerd worden tot 37.800 m³ in deze kuststrook. Dit cijfer wordt hier eveneens in rekening gebracht bij de meting van 2009, al kan de suppletie deels na de meetvlucht van 2009 plaats gevonden hebben.

In 2010 werd een kleine strandsuppletie met zeezand uitgevoerd in delen van secties 74 tot 78. Het aandeel in deze kuststrook wordt op basis van de kustlengte geraamd op 1400 m³.

Er waren geen aanvoerwerken in 2011 en 2012.

In 2013 werd, na de voorjaarsvlucht, een grote strandsuppletie uitgevoerd in secties 74 tot 78. Het aandeel in deze kuststrook wordt op basis van de kustlengte geraamd op 112.400 m³. De totale aanvoer (in beun) was 201.210 m³; er wordt een "efficiëntie" van 85% aangenomen bij de volumetoename op het strand.

Er waren geen aanvoerwerken in 2014, 2015 en 2016.

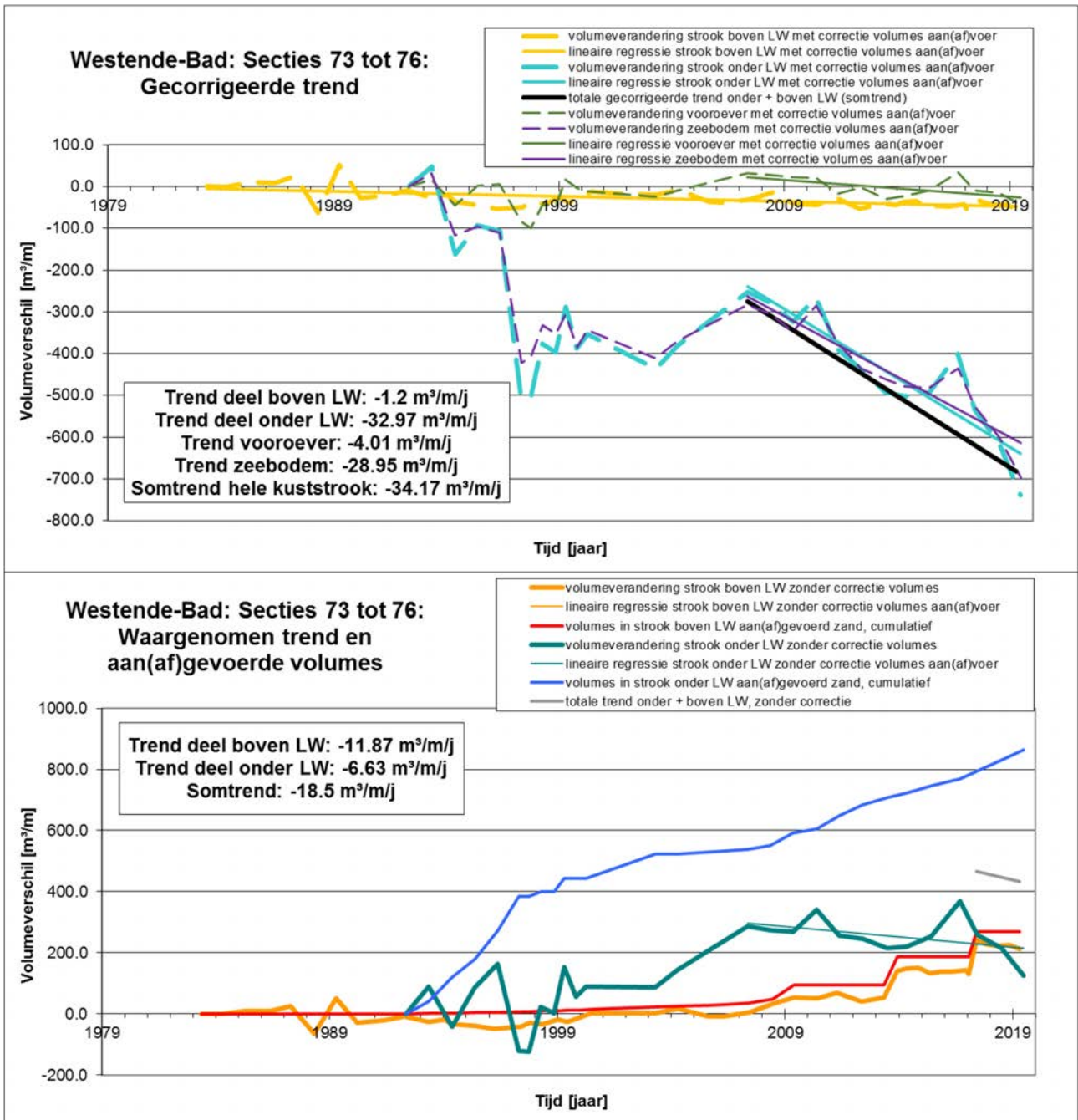
In de drie weken voorafgaand aan 29 maart 2017 werd een grote strandsuppletie uitgevoerd in secties 74 tot 78. Het aandeel in deze kuststrook wordt op basis van de kustlengte geraamd op 101.100 m³. De totale aanvoer (in beun) was 197.514 m³; er wordt een "efficiëntie" van 85% aangenomen bij de volumetoename op het strand

Er waren geen aanvoerwerken in 2018 en 2019.

In het vooroever- en zeebodemgebied van de kuststrook van secties 72 tot en met 82 strekt zich de vooroeverloswal van de baggerwerken in de toegang tot de haven van Nieuwpoort uit. De opeenvolgende differentiële hoogtekarten geven aan dat de lossingen van zandige specie blijkbaar hoofdzakelijk in het zeebodemgebied van secties 72 tot en met 75 gebeuren, dus grotendeels in deze kuststrook. Inderdaad neemt de aannemer die de baggerwerken uitvoert, in de regel de kortste weg heen en terug. In theorie zou de lading gespreid moeten worden gestort, maar het BIS legt op dat het schip bij metingen volledig stil moet liggen. Hoewel de loswal eveneens met de benaming "vooroever" wordt aangeduid, vinden er geen lossingen plaats op de morfologische vooroever ("shoreface"), maar in de stroomgeul.

De zone die aangroei kent, strekt zich uit over een 750 m brede zone op de zeewaartse grens van de vooroeverlodgingen, waarbij we ramen dat 1/3 van de effectieve loswal zeewaarts van de vooroeverlodgingen ligt en 2/3 binnen de sectiegrens. De lossingen vinden verspreid over het jaar plaats. Het vermoeden bestaat, op grond van de hoeveelheden van het baggerwerk te Nieuwpoort voor 2000, dat vrij grote hoeveelheden zijn gelost op de loswal. We konden er geen cijfers over terugvinden. Er is geen zand gebaggerd in 2001-2004, wel slib. Daarvan wordt aangenomen dat er geen invloed is op de evolutie van de zandhoeveelheden in de zeewering. Vanaf 2003 zijn de hoeveelheden wel gemeld, zie *Tabel 11* bij kuststrook 14. Voor de periode vóór 2000 werden cijfers als gestorte hoeveelheden aangenomen, die enigszins arbitrair gebaseerd zijn op de jaren met de meeste activiteit na 2003. Er is dus veel onzekerheid omtrent de hoeveelheden in het verleden, maar recenter werden de gegevens zorgvuldig bijgehouden.

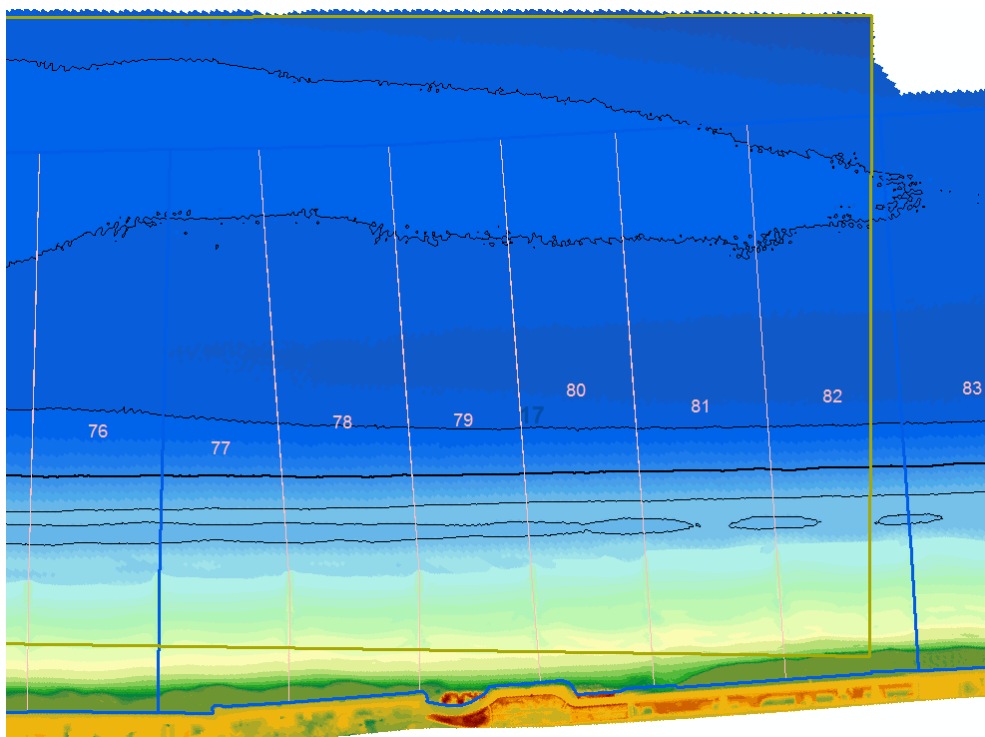
Morfologische evolutie: de zandaanvoer, die sinds 1993 begon, heeft de natuurlijke afslagtrend in deze kuststrook effectief gecounterd. Het zandvolume is in 2019 213 m³/m groter dan in 1983. De gecumuleerde aanvoer sinds 1993 is 268 m³/m. Dit betekent dat 79,5% van alle zandaanvoer nog steeds in de kuststrook terug te vinden is, een mooi "rendement" en een beduidende versterking van de zeewering. De "autonome" evolutie is langjarige, structurele, lichte erosie; de gecorrigeerde trend 1983-2019 is -1,2 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,2 m³/m/jaar). Het gedeelte onder LW was tot 2007 gekenmerkt door een stabiel volume, weliswaar met grote schommelingen tussen de opnamen. Na 2007 wordt erosie waargenomen. Over de periode 2007-2019 is het waargenomen afslagritme -6,6 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 4,1 m³/m/jaar; er zijn inderdaad grote schommelingen in volume van opname tot opname). Wanneer we de gestorte hoeveelheden op de loswal in rekening brengen, is de "gecorrigeerde" trend veel negatiever: -33 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 4,6 m³/m/jaar). De evolutie vertoont wel een ruimtelijke differentiatie. Enerzijds is het meest zeewaartse gedeelte van secties 73-75 nu meer dan een halve meter ondieper dan in 2000. De verklaring ligt voor de hand: dit is (een stuk van) de loswal van Nieuwpoort. Er wordt baggerspecie afkomstig uit de haven en haventoeegang van Nieuwpoort gestort. Anderzijds kent de voet van de vooroever de laatste 10 jaar een beduidende erosie. T.o.v. 2000 is een ruim 150 m brede strook aan de voet van de vooroever nu 0,50 à 0,75 m lager gelegen. Deze strook zet zich verder in de aangrenzende kuststroken ten westen en ten oosten. De erosie van de vooroevervoet kan gezien worden als een morfologische uitbreiding van de getijgeul de Kleine Rede. Bij verdergaande erosie zou ook het strand worden aangetast.



Figuur 48 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 16. Kustlengte: 1230 m.

8.5 Strook 17 (secties 77-82): Westende-Bad en De Krokodille

Ligging van de strook: de secties kennen qua zandvolumes een gestage stijging in de tijd. Er zijn cijfers voor badstrandophogingen sinds 1988 (Tabel 18). Tegen Westende-Bad ging het eerder om opvoeringen van op het laatste deel van het strand gewonnen zand, aan de zijde van Middelkerke-Bad betrof het eerder aanvoer van zeezand. Vanaf 2007 werden kleine strandsuppleties uitgevoerd met zeezand. Na 2012 wordt de veiligheid op peil gebracht en gehouden met grote suppleties.



Figuur 49 – Situatiekaartje kuststrook 17, Westende-Bad en De Krokodille. Kustlengte: 2000 m.

Tabel 18 – Volumes betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 17.

Jaar	Sectie 77 Strandzand (m ³)	Sectie 78 Zeezand (m ³)	Secties 79- 80 Strandzand (m ³)	Secties 81- 82 Zeezand (m ³)	gedeelte aangebracht boven LW	gedeelte weggenomen onder LW
1988	2200	0	0	6682	7800	-1100
1989	0	0	3750	8700	10600	-1900
1990	1200	8100	6800	13300	25400	-4000
1991	0	3000	5000	9500	15000	-2500
1992	0	3800	5100	3200	9600	-2600
1993	0	9400	9100	12000	26000	-4600
1994	0	6700	11400	15300	27700	-5700
1995	0	5739	0	12897	18600	0
1996	0	0	5200	4500	7100	-2600
1997	0	5900	5250	5900	14400	-2600
1998	0	6500	3050	5900	13900	-1500
1999	0	5582	4288	6479	14200	-2100
2000	0	4464	3999	6453	12900	-2000
2001	0	3338	3467	6457	11500	-1700
2002	0	4162	3481	6399	12300	-1700
2003	0	3533	4045	6763	12300	-2000
2004	0	3425	4074	8262	13700	-2000
2005	0	2558	3960	7901	12400	-2000
2006	0	2639	3508	7764	12200	-1800

2007	0	6940	3918	7478	16400	-2000
2008	0	14500	2289*	7100	22700	-1100
2009	0	59900	2978*	8300	69700	-1500
2010	0	1825	2300*	4700	8800	0
2011	0	0	2835*	6900	9700	0
2012	0	0	0	3872	3900	0

Bron : 1988-1998 : rapport KUST2004.111; 1999-2012 : afdeling Kust. *berekend uit het cijfer voor de zone sectie 81-87 volgens de kustlengte (700 m / 2445 m). Cijfers in cursief bevatten de hoeveelheden aangebracht bij kleine strandsuppleties of veiligheidsophogingen met zeezand.

Eind 2006 werd een veiligheidsophoging met zeezand uitgevoerd in secties 75, 76 en 78. Er werd 9.500 m³ aangebracht. Het deel in deze kuststrook (secties 75 en 76) kan op basis van de kustlengte geschat worden op $9500 \times 345 / 1025 = 3200$ m³. Dit cijfer wordt in rekening gebracht bij de meting in 2007.

Eind 2007 werd een veiligheidsophoging met zeezand uitgevoerd in secties 74 en 78 met 29.900 m³. Het deel in deze kuststrook (sectie 74) kan op basis van de kustlengte geschat worden op $29.900 \times 345 / 710 = 14.500$ m³. Dit cijfer wordt pas in rekening gebracht bij de meting van 2008.

Evenzo werd eind 2007 een veiligheidsophoging met zeezand uitgevoerd in secties 79-82. Het betrokken volume was 34.700 m³. Dat cijfer wordt eveneens pas in rekening gebracht bij de meting van 2008.

In 2008 werd een kleine strandsuppletie met zeezand uitgevoerd in delen van secties 74, 75, 77, 78 en 79 over een geschatte totale kustlengte van 375 m in secties 74 en 75 en 410 m in secties 77, 78 en 79. Op basis van die lengtes kan de aangevoerde hoeveelheid van 35.622 m³ gereduceerd worden tot 18.600 m³ in deze kuststrook. Dit cijfer wordt pas in rekening gebracht bij de meting van 2009.

In 2009 werd eveneens een kleine strandsuppletie met zeezand uitgevoerd in delen van secties 74, 75, 77, 78 en 79 over een geschatte totale kustlengte van 375 m in secties 74 en 75 en 410 m in secties 77, 78 en 79. Op basis van die lengtes kan de aangevoerde hoeveelheid van 79.131 m³ gereduceerd worden tot 41.300 m³ in deze kuststrook. Dit cijfer wordt hier eveneens in rekening gebracht bij de meting van 2009, al kan de suppletie deels na de meetvlucht van 2009 plaats gevonden hebben.

In 2010 werd een veiligheidsophoging met zeezand uitgevoerd in secties 74-75 en 77-78. Het aandeel in deze kuststrook wordt op basis van de kustlengte geraamd op 1825 m³.

Er waren enkel kleine zandaanvoerwerken in 2011 en 2012, in de meest oostelijke secties van de kuststrook.

In 2013 werd, na de voorjaarsvlucht, een grote strandsuppletie uitgevoerd in secties 74 tot 78. Het aandeel in deze kuststrook wordt op basis van de kustlengte geraamd op 58.600 m³. De totale aanvoer (in beun) was 201.210 m³; er wordt een "efficiëntie" van 85% aangenomen bij de volumetoename op het strand.

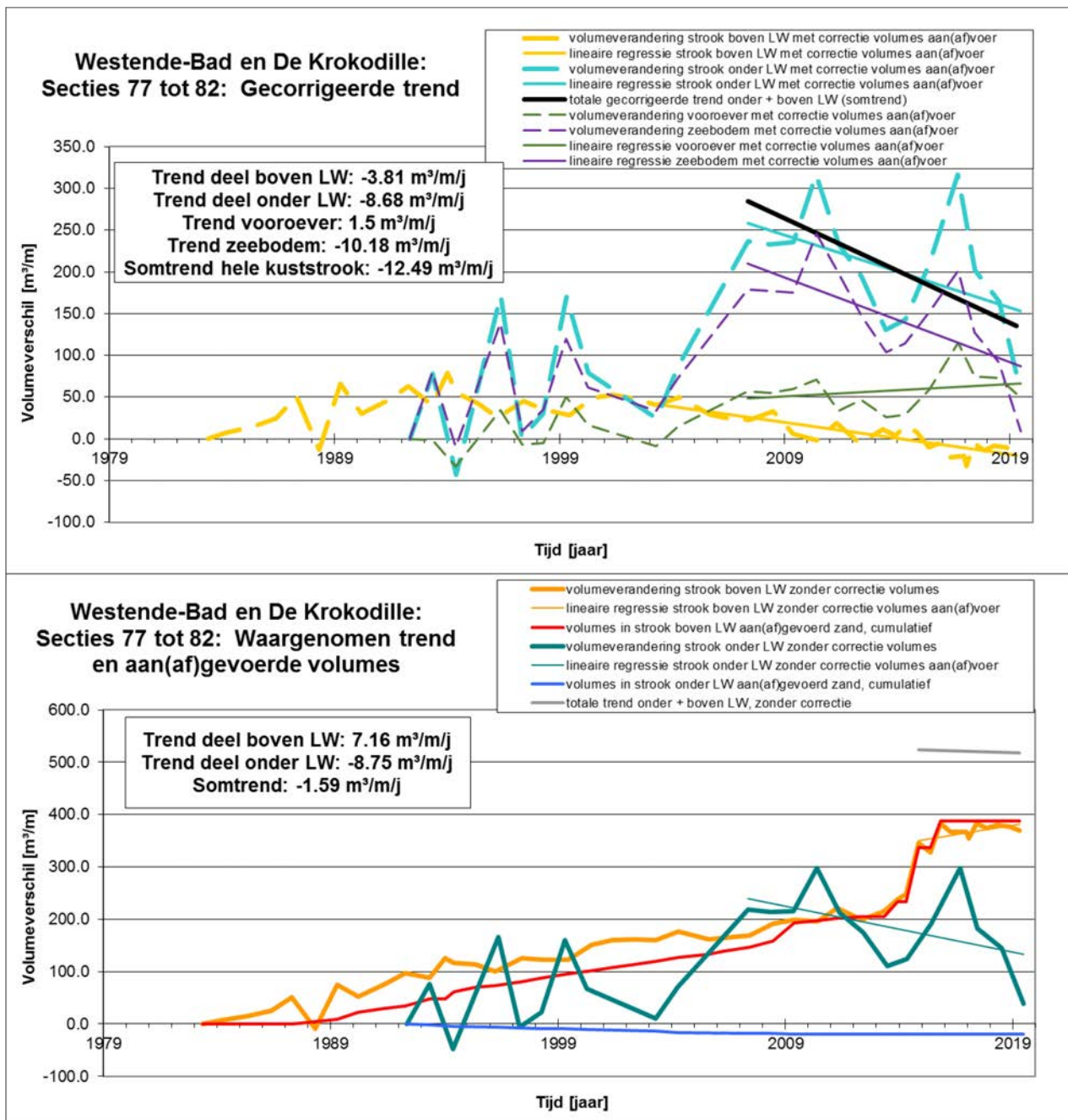
In 2014 werd, na de voorjaarsvlucht, een grote strandsuppletie uitgevoerd in secties 81 tot 88. Het aandeel in deze kuststrook wordt op basis van de kustlengte geraamd op 207.300 m³. De totale aanvoer (in beun) was 968.754 m³; er wordt een "efficiëntie" van 85% aangenomen bij de volumetoename op het strand.

In 2015 werd, na de voorjaarsvlucht, een kleine strandsuppletie uitgevoerd in secties 77 tot 81. Ze valt volledig in deze kuststrook en wordt met aannahme van een "efficiëntie" van 85% geraamd op 101.100 m³. De totale aanvoer (in beun) was 118.893 m³.

Er waren geen aanvoerwerken tussen 2016 en 2019.

Morfologische evolutie: de zandaanvoerwerken, uitgevoerd sinds 1988, hebben de natuurlijke afslagtrend in deze kuststrook effectief gecounterd. Het zandvolume is in 2019 370 m³/m groter dan in 1983. De gecumuleerde aanvoer sinds 1993 is 388 m³/m. Dit betekent dat 95,3% van alle zandaanvoer nog steeds in de kuststrook terug te vinden is, een uitzonderlijk "rendement" en een beduidende versterking van de zeevering. De "autonome" evolutie is een periode van lichte groei, gevolgd door een stabiele situatie tussen 1983 en 2003. Sinds 2003 stellen we structurele, lichte erosie vast; de gecorrigeerde trend 2003-2019 is -8,7 m³/m/jaar

(standaarddeviatie op de trend: $4,8 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Het gedeelte onder LW was tot 2007 gekenmerkt door een groei, weliswaar met grote schommelingen van opname tot opname; de gemiddeld groei bedroeg $+9,6 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $5,1 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Na 2007 wordt erosie waargenomen. Over de periode 2007-2019 is het waargenomen afslagritme $-8,8 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $4,8 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$; er zijn inderdaad grote schommelingen in volume van opname tot opname).

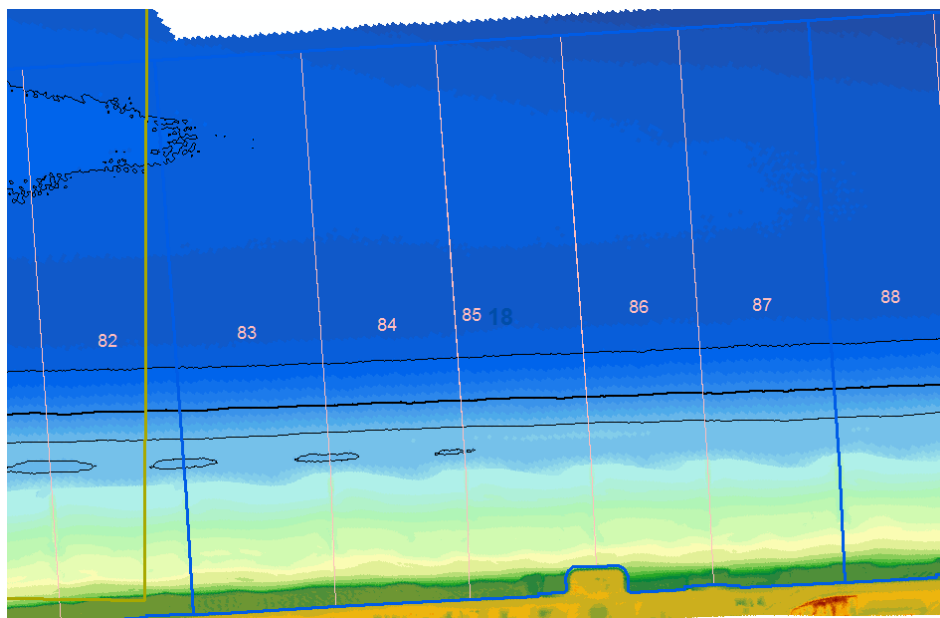


Figuur 50 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 17. Kustlengte: 2000 m.

De erosie in het gedeelte onder laagwater is voornamelijk terug te brengen tot stelselmatige erosie van de voet van de vooroever, die zowat 10 jaar geleden is ingezet. T.o.v. 2000 is een ruim 100 m brede strook aan de voet van de vooroever nu 0,25 à 0,50 m lager gelegen. Deze strook zet zich verder in de aangrenzende kuststroken ten westen en ten oosten. De erosie van de vooroevervoet kan gezien worden als een morfologische uitbreiding van de getijgeul de Kleine Rede. Bij verdergaande erosie zou ook het strand worden aangetast.

8.6 Strook 18 (secties 83-87): Middelkerke-Bad

Ligging van de strook: ze stemt overeen met het kustdeel “Middelkerke-Bad”. De secties kennen een gelijklopende evolutie in de tijd. Er zijn cijfers voor badstrandophogingen sinds 1983. Aanvankelijk gebeurden er ook opvoeringen van strandzand, maar nadien werd volledig overgeschakeld naar aanvoer van zeezand. In 2014 werd een grote strandsuppletie uitgevoerd.



Figuur 51 – Situatiekaartje kuststrook 18, Middelkerke-Bad. Kustlengte: 1745 m.

Tabel 19 – Volumes betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 18.

jaar	plaats	zeezand	strandzand	gedeelte aangebracht boven LW	gedeelte weggenomen onder LW
1983	secties 85-87	6800	5000	9300	-2500
1987	secties 85-87	0	3400	1700	-1700
1988	secties 85 en 86	0	3698	1800	-1800
1989	secties 85 en 86	6400	0	6400	0
1990	secties 85-87	18800	18000	27800	-9000
1991	secties 85-87	7500	7500	11300	-3800
1992	secties 83-87	19900	0	19900	0
1993	secties 83-87	34400	0	34400	0
1994	secties 83-87	37800	0	37800	0
1995	secties 83-87	0	25037	12500	-12500
1996	secties 83-87	15350	0	15400	0
1997	secties 83-87	16150	0	16200	0
1998	secties 83-87	16230	0	16200	0
1999	secties 83-87	17336	0	17300	0
2000	secties 83-87	17962	0	18000	0
2001	secties 83-87	19511	0	19500	0
2002	secties 83-87	20638	0	20600	0

2003	secties 83-87	22182	0	22200	0
2004	secties 83-87	23673	0	23700	0
2005	secties 83-87	24570	0	24600	0
2006	secties 83-87	19742	0	19700	0
2007	secties 83-87	23936	0	23900	0
2008*	secties 83-87	17600	0	17600	0
2009*	secties 83-87	20700	0	20700	0
2010**	secties 83-87	37600	0	37600	0
2011**	secties 83-87	30700	0	30700	0
2012	secties 83-87	23403	0	23400	0

Volumes in m³.

Het cijfer voor 1991 is een globaal cijfer dat strand- en zeezand omvat. Het werd gelijk verdeeld over de twee types zand.

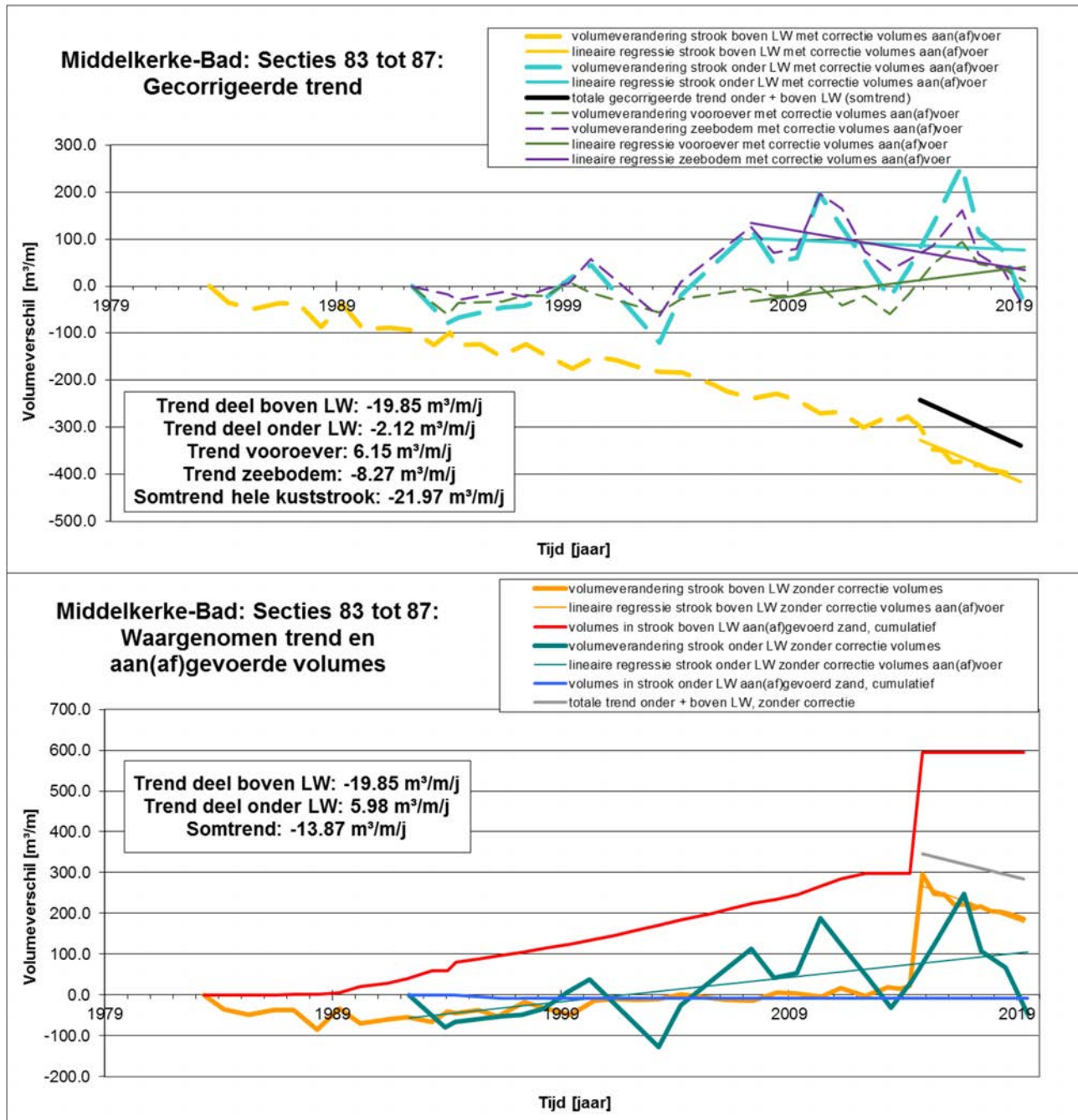
Bron: 1988-1998: rapport KUST2004.111; 1999-2019: afdeling Kust. *berekend uit het cijfer voor de zone sectie 81-87 volgens de kustlengte (1745 m / 2445 m). **idem voor badstrandophogingen plus het gedeelte "kleine strandsuppletie" uit het cijfer voor de zone secties 83-88 volgens de kustlengte (1745 m / 2080 m).

In 2014 werd, na de voorjaarsvlucht, een grote strandsuppletie uitgevoerd in secties 81 tot 88. Het aandeel in deze kuststrook wordt op basis van de kustlengte geraamd op 516.900 m³. De totale aanvoer (in beun) was 968.754 m³; er wordt een "efficiëntie" van 85% aangenomen bij de volumetoename op het strand.

Morfologische evolutie: het strand in deze kuststrook kende structurele erosie, waarop de beheerder gereageerd heeft met ophogingen en zandaanvoerwerken. De waargenomen volumecijfers voor het gedeelte boven LW tonen een duidelijke correlatie met de zandaanvoerwerken. Na een afslag in de periode 1983-1988 trad er herstel op in de periode 1988-2000. Hoewel hetzelfde ritme van zandaanvoer nadien werd aangehouden, bleef het waargenomen zandvolume tot 2014 gelijk aan dat in 2000 (dat ook gelijk was aan dat in 1983). M.a.w., alle aanvoer verdween wat het deel boven laagwater betreft, uit deze kuststrook. Tussen 1983 en 2014 was het voor zandaanvoer gecompenseerde ritme constant in de tijd en bedroeg het -9 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,3 m³/m/jaar). De hoogteverschilkaarten geven aan dat de hogere vooroever aanvankelijk een deel van de erosie borg, maar geleidelijk werd het zand ook van daar weggevoerd. De strandsuppletie van 2014 betekende een belangrijke toename van het zandvolume in de kuststrook. De structurele erosie blijft aanhouden. De waargenomen afslagtrend tussen Najaar 2014 en Voorjaar 2019 is -20 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 2,9 m³/m/jaar), dus nog groter dan voorheen. Op 5 jaar tijd verdween ongeveer 40% van de aanvoer bij de suppletie van 2014. De evolutie van kuststrook 19, Middelkerke-Oost, maakt wel duidelijk dat deze zone winst heeft van de zandaanvoer in Middelkerke. De reeks hoogteverschilkaarten geeft alleszins een zich uitbreidende aangroei in de secties ten oosten van Middelkerke aan.

Het gedeelte onder LW kent grote schommelingen in zandvolume door de tijd. In 2019 is het volume ongeveer gelijk aan dat bij de eerste vooroeverloding in 1992. De schommelingen mogen gedeeltelijk verband houden met de meetfout op bodempeilingen, ruimtelijk zijn er wel significant verschillende ontwikkelingen. De hogere vooroever, landwaarts van de buitenste brekerbank, ligt nu tussen een halve meter en een meter ondieper dan in 2000. De hoogteverschilkaarten tonen aan dat deze aangroei gevolgd is op de grote strandsuppletie van 2014. Daarentegen kent een meer dan 200 m brede strook op de lagere vooroever sterke erosie. De bodemverlaging bedraagt t.o.v. 2000 tussen 0,50 en 0,75 m. Deze erosie sluit aan bij de structurele afslagtrend van de vooroevervoet die ongeveer tien jaar geleden inzette in de hele kustzone tussen Nieuwpoort en Oostende. De erosie van de vooroevervoet kan gezien worden als een morfologische uitbreiding (verschuiving richting land) van de getijgeul de Kleine Rede. Bij verdergaande erosie (en zonder suppleties) zou ook het strand worden aangetast.

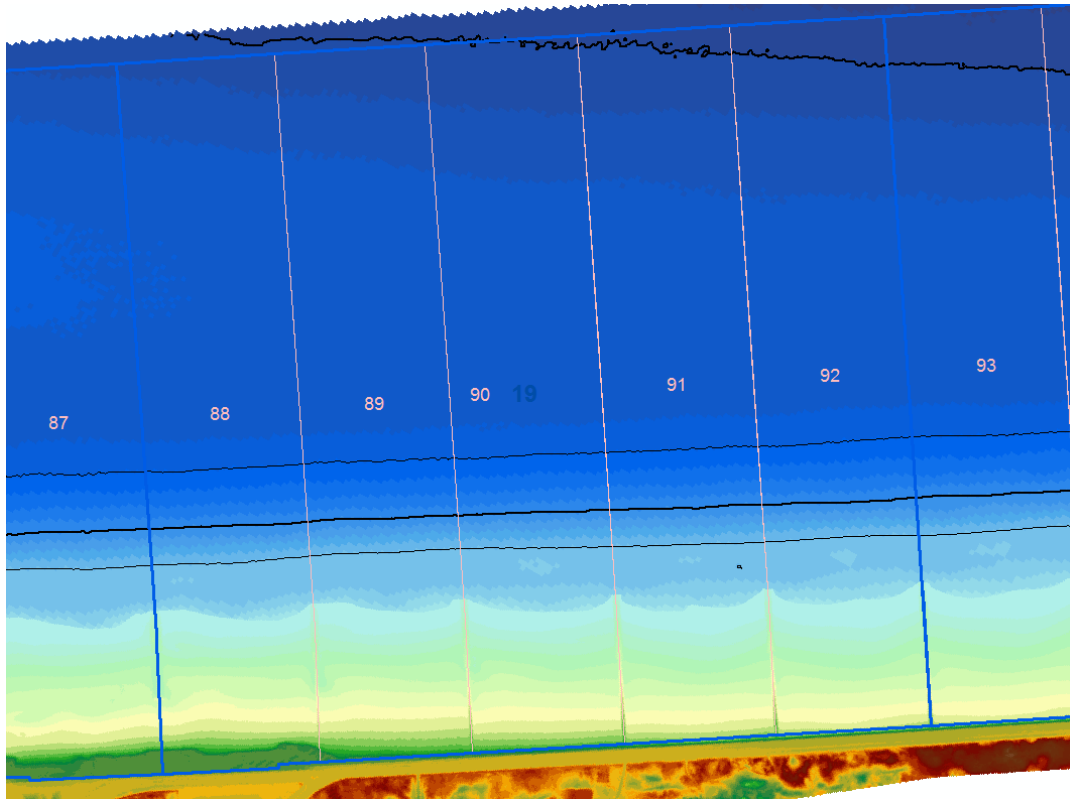
Het blijkt dat Middelkerke sterke erosie kent, maar het zand komt zeker ook de evolutie van de nabijgelegen stranden ten goede.



Figuur 52 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 18. Kustlengte: 1745 m.

8.7 Strook 19 (secties 88-92): Middelkerke-Oost

Ligging van de strook: deze kuststrook stemt overeen met het kustdeel “Middelkerke-Oost”. De meest westelijke sectie 88 sluit eerder nog aan bij het kustdeel Middelkerke-Bad. Er werden in het verleden ook badstrandophogingen uitgevoerd. Omdat zulks gedurende meerdere jaren niet meer gebeurde, werd ervoor geopteerd de sectie bij de overige secties van het kustdeel Middelkerke-Oost te behouden. Nochtans werd sectie 88 bij de recente strandsuppleties te Middelkerke-Bad opnieuw betrokken. De hoeveelheden zeezand aldus aangevoerd in sectie 88 vindt men in *Tabel 20*.



Figuur 53 – Situatiekaartje kuststrook 19, Middelkerke-Oost. Kustlengte: 1615 m.

Tabel 20 – Volumes betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 19.

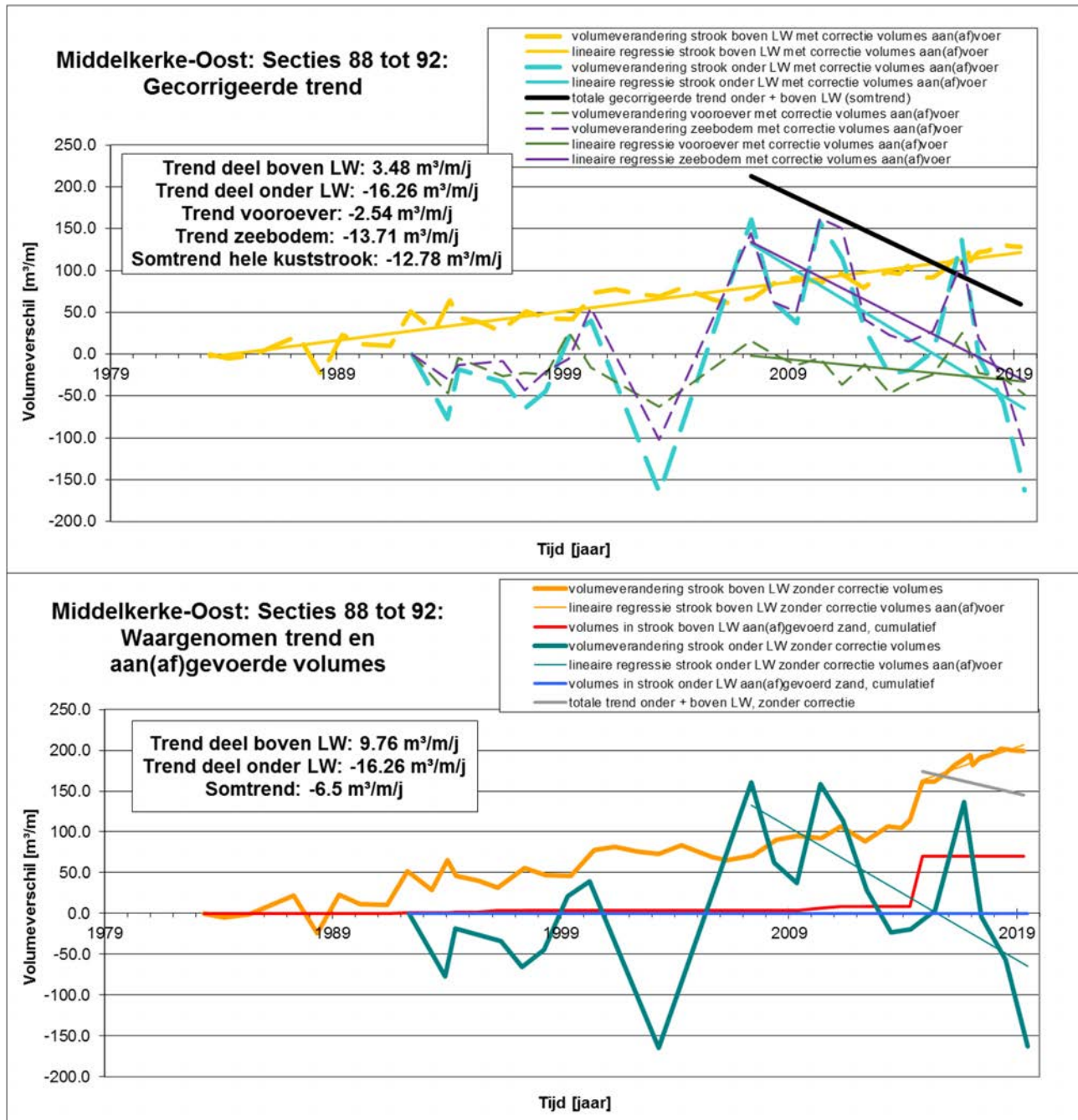
Middelkerke Oost, sectie 88	
Jaar	Zeezand (m ³)
1992	700
1993	1200
1994	1600
1996	2750
2010*	5200
2011*	3000
2012	0
2013	0
2014**	99200

Bron: 1992-1996: rapport KUST 2004.111. 2010-2019: afdeling Kust.

*hoeveelheid afgeleid van de totale hoeveelheid betrokken bij de kleine strandsuppletie, op basis van de kustlengte van sectie 88.

**onderdeel van de grote strandsuppletie van Middelkerke van 2014.

In 2014 werd, na de voorjaarsvlucht, een grote strandsuppletie uitgevoerd in secties 81 tot 88. Het aandeel in deze kuststrook wordt op basis van de kustlengte geraamd op 99.200 m³. De totale aanvoer (in beun) was 968.754 m³; er wordt een "efficiëntie" van 85% aangenomen bij de bepaling van de volumetoename op het strand.



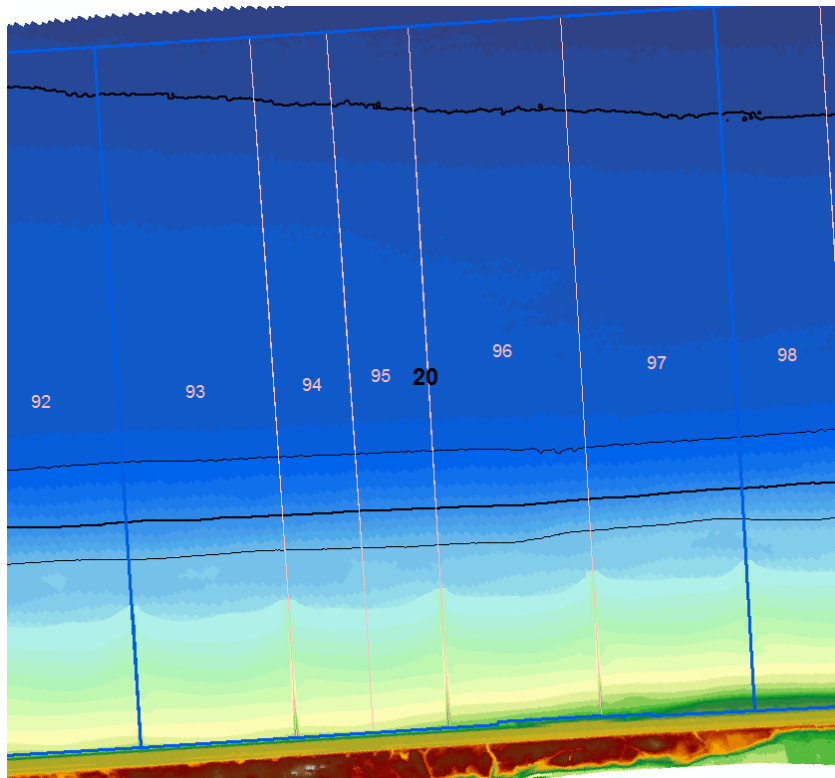
Figuur 54 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 19. Kustlengte: 1615 m.

Morfologische evolutie: het gedeelte boven LW van deze kuststrook kent doorheen de tijd een constante, lichte aangroei (gecorrigeerde trend over 1983-2019 is $+3,5 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$; standaarddeviatie op de trend: $0,2 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). Er is een belangrijke zandvolumetoename in 2014, toe te schrijven aan de suppletie van 2014 in sectie 88. De evolutie nadien, tussen 2014 en 2019, is nog steeds aangroei: de trend is $+9,8 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $1,3 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). De conclusie is dat de kuststrook ten oosten van Middelkerke, waar net sterke erosie wordt waargenomen, mee profiteert van de zandaanvoerwerken te Middelkerke, onder invloed van het laterale transport. Het gedeelte onder LW kent schommelingen in volume die groter zijn dan de trend. Toch is ook in deze kuststrook een omslag opgetreden rond 2007. Sinds 2007 wordt een afslag van $-16 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $5,2 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$) waargenomen. Hierbij is er een beduidende ruimtelijke differentiatie. De hogere vooroever groeit aan, wellicht ingevolge

aanvoer vanaf de suppletiezone van Middelkerke, terwijl een brede strook op de lagere vooroever stelselmatig uitdiept, zeker sinds 2010. Ook de zeebodem, tevens geulbodem van de getijgeul Kleine Rede, is sindsdien lichtjes verdiept.

8.8 Strook 20 (secties 93-97): Raversijde-West

Ligging van de strook: deze kuststrook stemt overeen met het kustdeel "Raversijde-West". De secties kennen wat volume-evolutie betreft, een gelijkaardige ontwikkeling. Met uitzondering van de meest oostelijke sectie 97 is in deze kuststrook geen droogblijvend strand aanwezig. Hierdoor kunnen de golven bij hoogwater rechtstreeks de zeedijk bereiken.



Figuur 55 – Situatiekaartje kuststrook 20, Raversijde-West. Kustlengte: 1305 m.

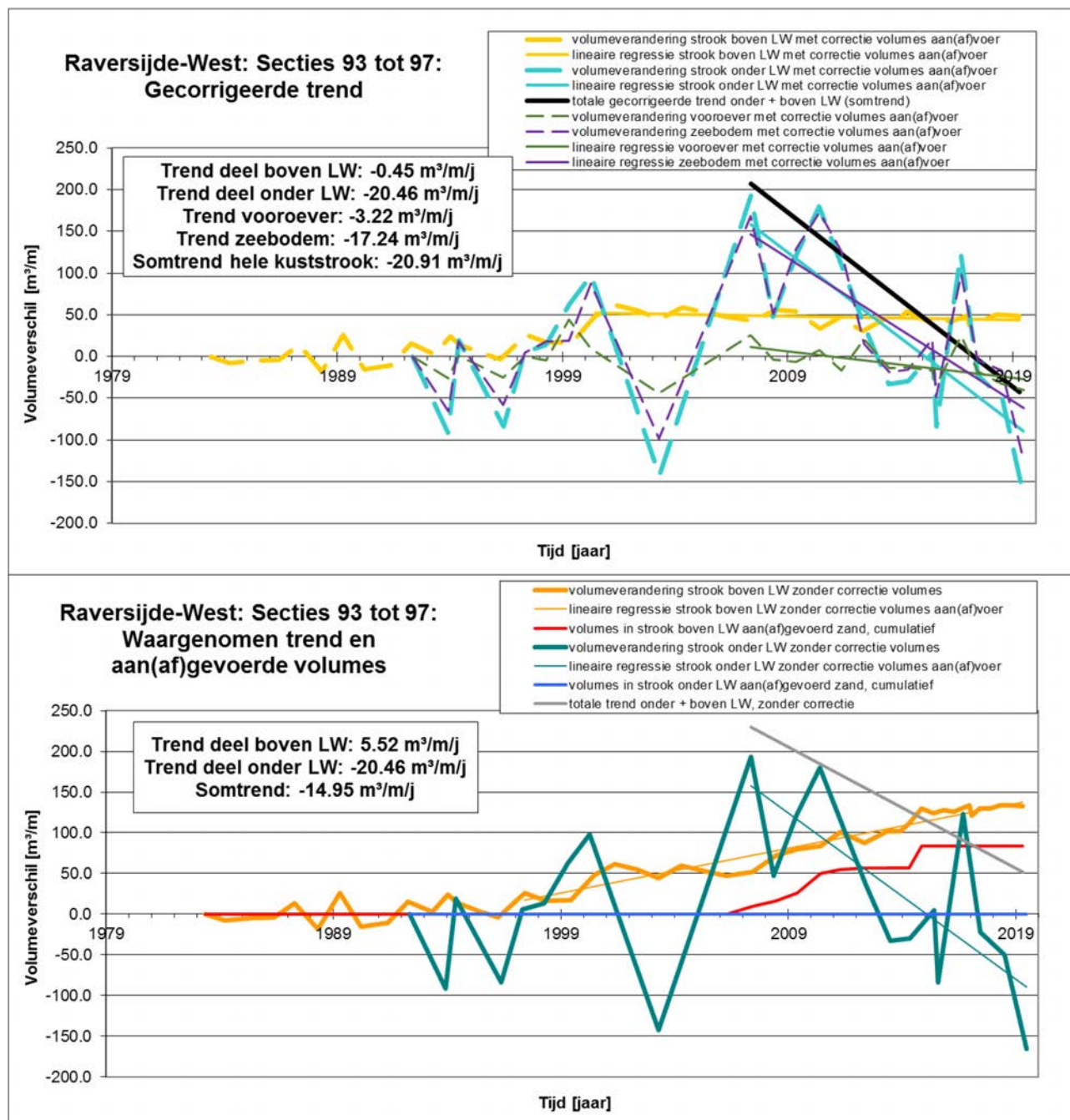
De meest oostelijke sectie 97 is deel van de zone ter hoogte van Raversijde waar sinds 2006 veiligheidsophogingen (kleine strandsuppleties) met zeezand worden uitgevoerd. Het gedeelte dat van het aangevoerde zand in sectie 97 wordt aangebracht, wordt op basis van de kustlengte (325 m van 970 m) bepaald. In 2014 was deze sectie ook betrokken in de grote strandsuppletie met zeezand in secties 97-102. Hierbij werd 190.904 m^3 (volume in beun) aangevoerd in de periode die viel tussen de opnames Voorjaar en Najaar 2014. Voor de bepaling van de volumetoename op het strand werd gerekend met een "efficiëntie" van 85%.

Tabel 21 – Volumes betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 20 en 21.

wanneer	waar?	totaal aangevoerd zeezand (m ³)	deel in sectie 97 (strook 20)	secties 98-102 (strook 21)
eind 2006	secties 97-101	45000	12300	32700
eind 2007	secties 97-101	30600	8400	22200
eind 2008	secties 97-100	37776	12700	25100
eind 2009	secties 97-100	68966	23100	45900
2010	secties 97-100	26850	9000	17900
2011	secties 97-100	17235	5800	11400
2012	secties 97-101	17051	3100	14000
2014 (na VJ)*	secties 97-102	190904	35200	127100

*grote strandsuppletie

Morfologische evolutie: het gedeelte van deze kuststrook boven LW kent na een periode zonder veel veranderingen tussen 1983 en 1997 thans een lichte aangroei (gemiddelde aangroei +5,5 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 0,3 m³/m/jaar) tussen 1997 en 2019. De gecorrigeerde trend voor de periode 2000-2019 is -0,4 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,2 m³/m/jaar). Het feit dat aangroei van het strand zich reeds voordeed vanaf 1997, vóór de start van zandaanvoerwerken in deze kuststrook, toont aan dat het strand hier baat had bij badstrandophogingen en suppleties uitgevoerd op naburige stranden. Merkwaardig genoeg veranderde het waargenomen, noch het gecorrigeerde aangroeiritme na 2007, toen ook hier zandaanvoerwerken startten. Eenvoudig gesteld hebben deze aanvoerwerken het strand groter gemaakt (meer volume in het strandlichaam) en is al het aangevoerde zand ter plaatse gebleven. Het gedeelte onder LW toont zeer sterke schommelingen in zandvolume. Er kan een (niet-systematische) aangroei onderscheiden worden tussen 1992 en 2007, gevolgd door een (niet-systematische) afslag. De recentste trend is vrij sterke erosie (-20,5 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 5,1 m³/m/jaar) en het volume in 2019 van zeebodem en vooroever samen was het laagste van de meetperiode sedert 1992. De erosie doet zich voornamelijk voor in een 250 m brede zone gesitueerd op de lagere vooroever en aan de vooroevervoet. De hoogteverschilkaarten geven aan dat deze erosie zich stelselmatig heeft doorgezet sinds ongeveer 2010. Dit structureel erosiefenomeen vinden we terug in de hele zone tussen Nieuwpoort en Oostende. Het is de landwaartse flank van de getijgeul Kleine Rede, die zich uitbreidt richting strand. Het maximum van deze uitschuring situeert zich in deze kuststrook en Raversijde-Oost. Ook de as van de Kleine Rede, hier gelegen op ongeveer 1000 m van de laagwaterlijn, is een brede zone met geleidelijke erosie.

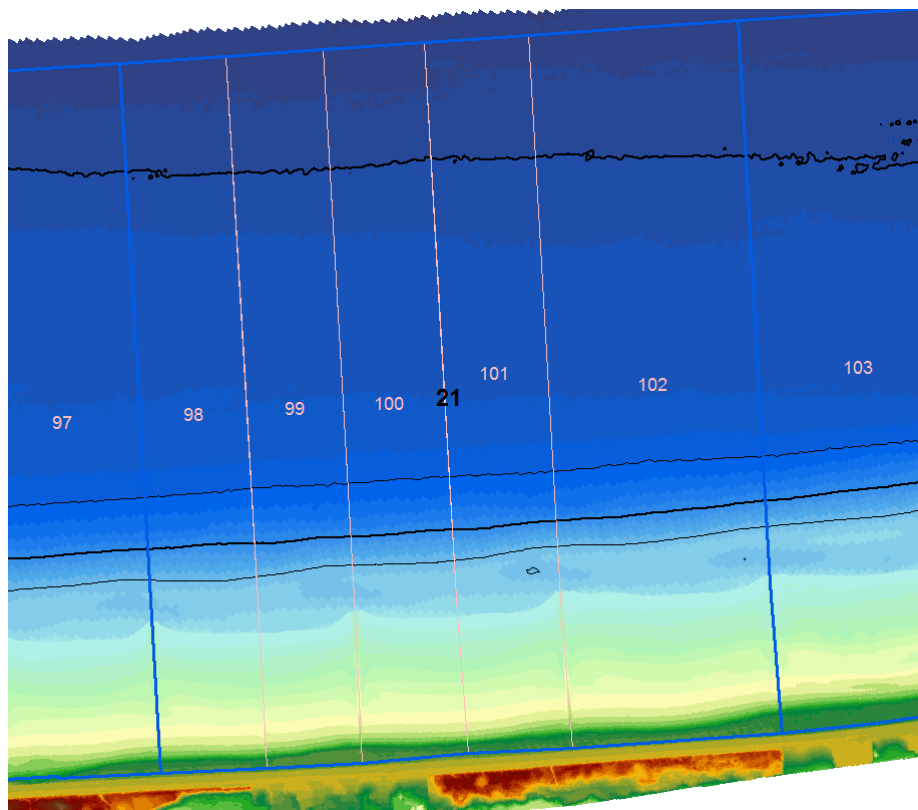


Figuur 56 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 20. Kustlengte: 1305 m.

8.9 Strook 21 (secties 98-102): het kustdeel Raversijde-Oost

Ligging van de strook: ze valt samen met het kustdeel Raversijde-Oost. De morfologische evolutie van de secties is vrij gelijklopend. De gedetailleerde morfologie van deze kuststrook en de aanpalende stroken 22 en 23, met nadruk op de onderwatersuppletie, is beschreven in Houthuys (2019).

In sectie 99 werd aanvankelijk sporadisch, later jaarlijks, zand aangebracht (*Tabel 22*). Sinds 2006 worden veiligheidsophogingen of kleine strandsuppleties uitgevoerd met zeezand. De betrokken hoeveelheden zijn groter geworden, zie *Tabel 21* bij de vorige kuststrook.



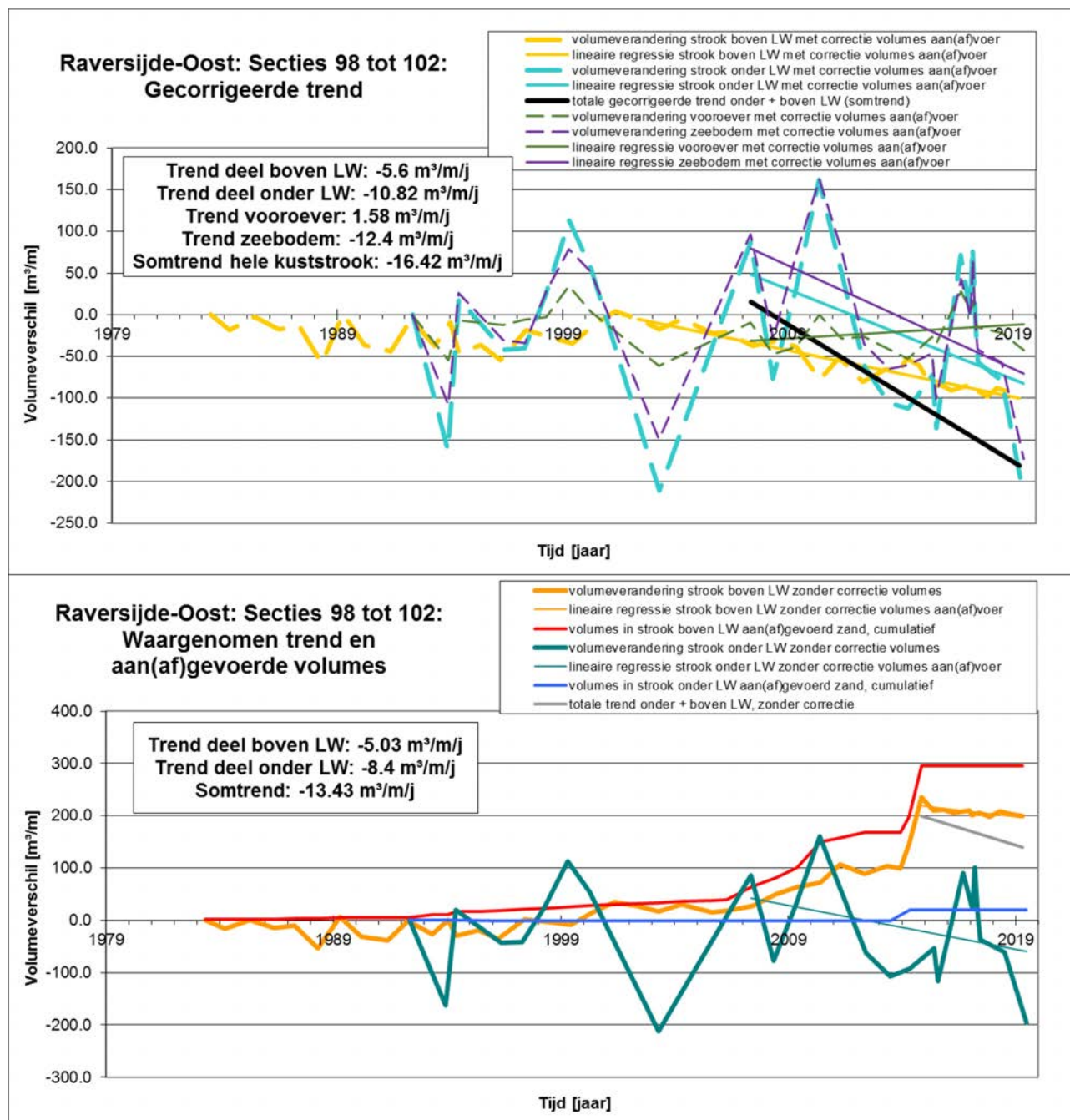
Figuur 57 – Situatiekaartje kuststrook 21, Raversijde-Oost. Kustlengte: 1310 m.

Tabel 22 – Volumes betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 21.

Raversijde-Oost, sectie 99			
jaar	strandzand (m ³)	zeezand (m ³)	gedeelte boven 1,39 m (m ³)
1983		3500	3500
1987		1500	1500
1989		1500	1500
1993		7000	7000
1994		7800	7800
1995	2356		1200
1996		1900	1900
1997		3150	3200
1998		3200	3200
1999		3086	3100
2000		3058	3100
2001		3038	3000
2002		2104	2100
2003		2538	2500
2004		2523	2500
2005		2525	2500
2006		2438	2400

Bron : 1983-1999 : rapport KUST2004.111; vanaf 1999 : afdeling Kust, Jan Goderis, Annelies Geldhof.

In 2014 was de meest oostelijke sectie van deze kuststrook, sectie 102, ook betrokken in de strandsuppletie van Raversijde en Mariakerke. De beschrijving en de hoeveelheden vindt men bij kuststrook 22 en in *Tabel 24*. Het westelijk uiteinde van de toen aangelegde onderwatersuppletie kwam tot de grens van sectie 102 met 103.



Figuur 58 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 21. Kustlengte: 1310 m.

Nadien werd deze strandsuppletie uitgebreid naar het westen (secties 97-102). Deze werken vonden plaats tussen de voorjaars- en najaarsvlucht van 2014. Hierbij werd 190.904 m^3 (volume in beun) aangevoerd. Voor de bepaling van de volumetoename op het strand werd gerekend met een "efficiëntie" van 85%. Het toen aangebrachte zand moet worden verdeeld over twee kuststroken. Dit gebeurde op basis van de betrokken kustlengte (zie volumeverdeling in *Tabel 21* bij kuststrook 20).

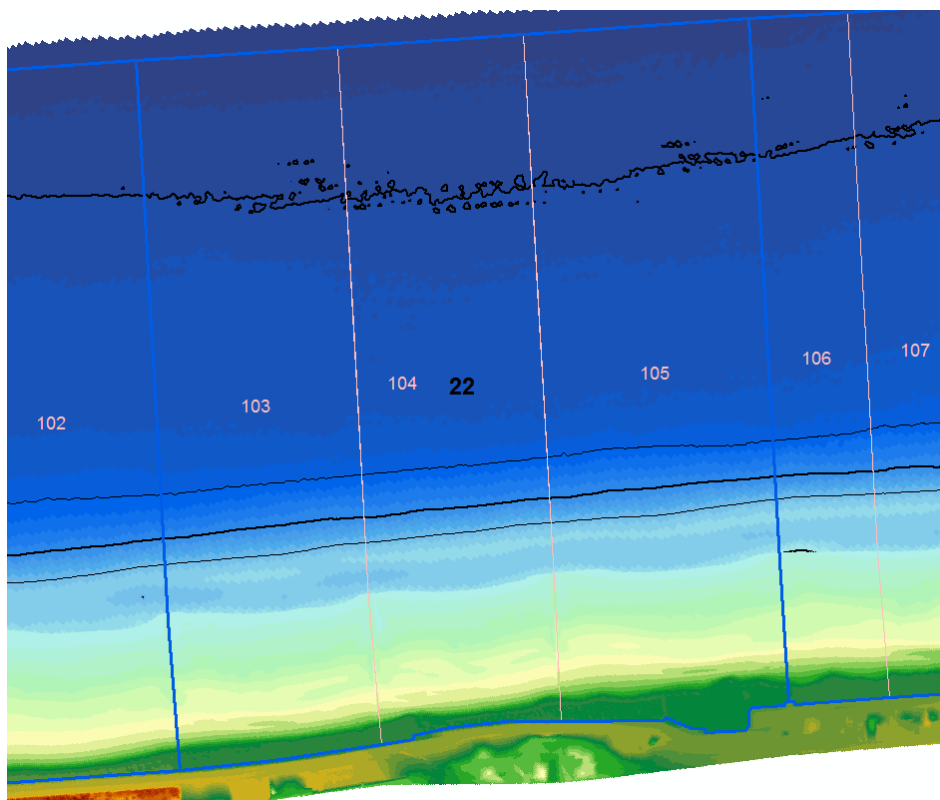
Morfologische evolutie: de volumes zand in deze kuststrook in het gedeelte boven LW namen aanvankelijk af, tot ca 1991. Nadien neemt het volume toe. Deze toename kan volledig aan de aanvoer van zand toegeschreven worden. Rekent men de aangevoerde hoeveelheden af, dan is de autonome trend lineaire afslag aan een ritme van $-5,6 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ sinds 2002 (standaarddeviatie op de trend: $0,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Vanaf 2006 werden de aanvoerhoeveelheden aanzienlijk groter. Daarop volgden de strandsuppleties van 2014. Door deze grotere aanvoer is het volume in de kuststrook thans groter dan op enig eerder tijdstip in de meetreeks en is er een behoorlijke zandvoorraad in het strand aanwezig. Na de suppleties van 2014 is het afslagritme van het strand $-5,0 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $1,6 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$), m.a.w. gelijk aan de voordien bestaande autonome trend. Hierdoor is het zandverlies van de zone boven laagwater tot 2019 beperkt. Ongeveer 2/3 van de zandvolumes die de laatste decennia in de hoogtezone boven $+1,39 \text{ m}$ in deze kuststrook zijn aangevoerd, bevindt zich er nog steeds. Het volume van vooroever en zeebodem vertoont sterke schommelingen. Mogelijk zijn ze deels toe te schrijven aan meetfouten, maar er zijn significante geografische verschillen. Ondanks de grote schommelingen in de tijd, is het totale volume nog steeds ongeveer gelijk aan dat bij de eerste vooroeverloding in 1992. Enkel in het laatste decennium, van ongeveer 2007, lijkt er toch een systematische trend tot afslag: $-10,8 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (cijfer gecorrigeerd voor zandaanvoer; met een grote standaarddeviatie op de trend: $6,1 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). De erosie doet zich voornamelijk voor in een 300 m brede zone gesitueerd op de lagere vooroever en aan de vooroevervoet. De hoogteverschilkaarten geven aan dat deze erosie zich stelselmatig heeft doorgezet sinds ongeveer 2010. Dit structureel erosiefenomeen vinden we terug in de hele zone tussen Nieuwpoort en Oostende. Het is de landwaartse flank van de getijgeul Kleine Rede, die zich uitbreidt richting strand. Het maximum van deze uitschuring situeert zich in deze kuststrook en Raversijde-West. Ook de as van de Kleine Rede, hier gelegen op ongeveer 1000 m van de laagwaterlijn, is een brede zone met geleidelijke erosie.

8.10 Strook 22 (secties 103-105): kustdeel “Mariakerke”

Ligging van de strook: ze valt samen met het kustdeel Mariakerke. De morfologische evolutie van de secties is vrij gelijklopend. De gedetailleerde morfologie van deze kuststrook en de aanpalende stroken 21 en 23, met nadruk op de onderwatersuppletie van 2014, is beschreven in Houthuys (2019). Er gebeuren ophogingen en aanvullingen in alle secties, zij het niet overal in ieder jaar (*Tabel 23*).

In en nabij Mariakerke werd een proef uitgewerkt van strandsuppletie gecombineerd met vooroeversuppletie. De uitwerking van deze maatregel kan worden vergeleken met de zones in de omgeving, waar enkel het strand werd gesuppleerd. De werken gebeurden in het begin van 2014, vóór de voorjaarsvlucht van 15 april en de vooroeverlodingen van 20 mei. Voor de onderwatersuppletie werd bij de bepaling van de effectieve volumetoename een grotere efficiëntie verondersteld (90%) dan bij de strandsuppletie (85%). Op basis van enkele schematische profielen werd aangenomen dat de zandtoename bij de strandsuppletie voor 1/3 in de hoogteschijf beneden TAW $+1,39 \text{ m}$ is aangebracht en dus nog moet worden in rekening gebracht voor de vooroever. De betrokken volumes zijn opgenomen in *Tabel 24*.

In de zone met sterkste afslag na de grote suppletie van 2014, nl. in secties 105-109, werd in 2018 een grote onderhoudssuppletie uitgevoerd. De werken vonden plaats tussen 5 februari en 4 maart. Er werd 315.381 m^3 zand aangevoerd (volume in beun) afkomstig van de winzones 4b en 4c. Rekening houdend met een kustlengte van 485 m in sectie 105 t.o.v. een totale gesuppleerde lengte van 1790 m, rekening houdend met een suppletie-efficiëntie van 85%, kan het in sectie 105 aangevoerde zandvolume op 72600 m^3 geraamd worden.



Figuur 59 – Situatiekaartje kuststrook 22, Mariakerke. Kustlengte: 1305 m.

Tabel 23 – Overzicht van de volumes zandaanvoer in het gedeelte boven de laagwaterlijn in kuststrook 22.

jaar	plaats	zeezand (m ³)	strandzand (m ³)	opvoer/aanvoer in gedeelte boven 1,39 m (m ³)
1988	sectie 104	1178		1200
1990	secties 103 t/m 105	21200	13200	27800
1991	secties 104 en 105	7000		7000
1992	secties 104 en 105	10700		10700
1993	secties 104 en 105	13000		13000
1994	secties 104 en 105	11500	9300	16200
1995	secties 103 t/m 105	17327		17300
1996	secties 103 t/m 105	13000		13000
1997	secties 103 t/m 105	14050		14100
1998	secties 103 t/m 105	12900		13500
1999	secties 103 t/m 105	13199		13200
2000	secties 103 t/m 105	13032		13000
2001	secties 103 t/m 105	13954		14000
2002	secties 103 t/m 105	12338		12300
2003	secties 103 t/m 105	15590		15600
2004	secties 103 t/m 105	16057		16100
2005	secties 103 t/m 105	15963		16000
2005*	secties 103 t/m 105	62157		62200
2006	secties 103 en 104	15000		15000
2007				0

2008	secties 103 t/m 105	68700		54000
2009	secties 103 t/m 105	15400		15400
2010	secties 103 t/m 105	7100		7100
2011	secties 103 t/m 105	6500		6500
2012	secties 103 t/m 105	16000		16000
2013				0
2014	Vooroever- en strandsuppletie, zie Tabel 24	298000		298000
2015-2017				0
2018	Sectie 105	72600		72600

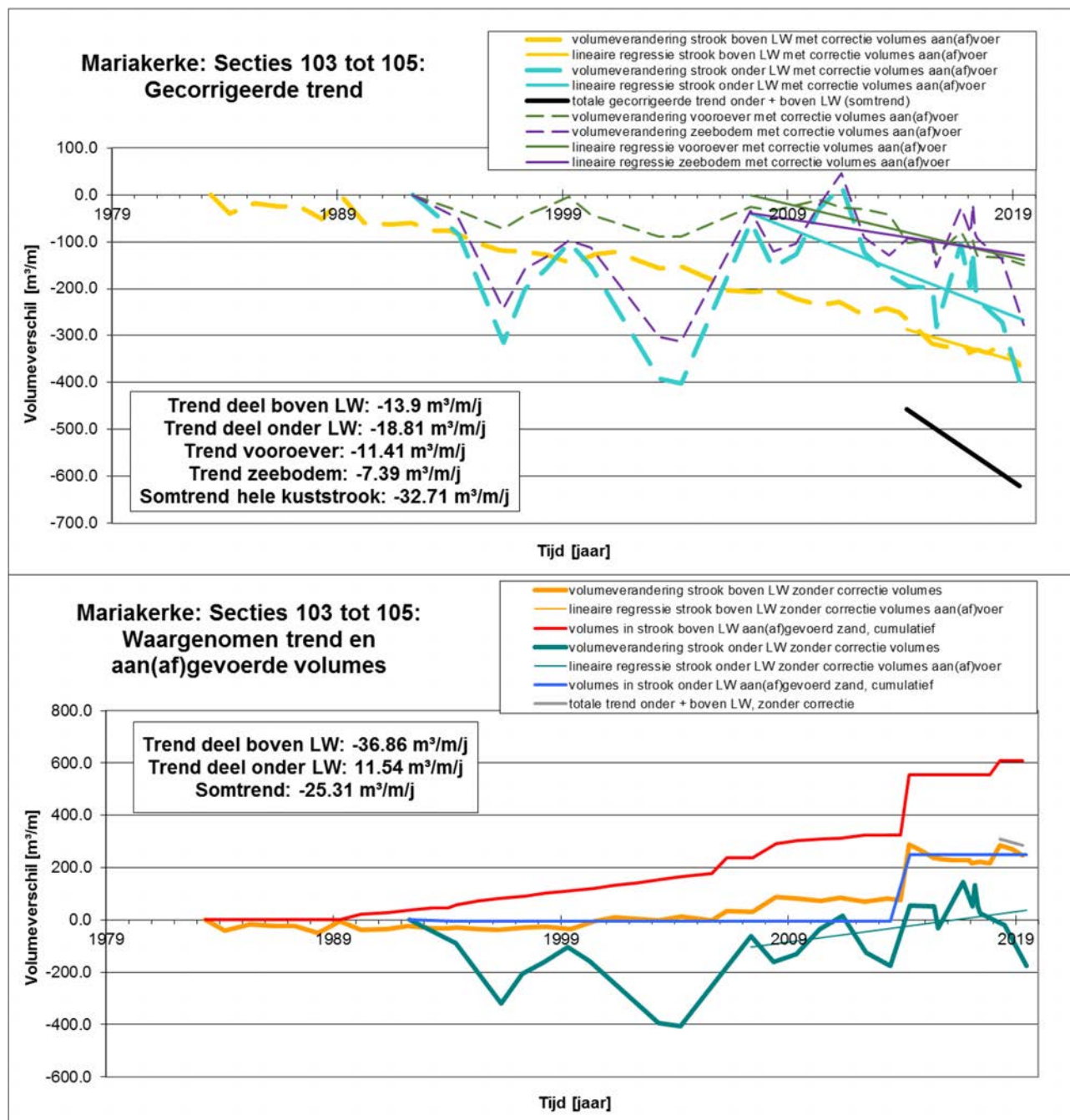
De cijfers tot 1999 zijn afkomstig uit KUST 2004.111 en de cijfers nadien van de afdeling Kust. De cijfers werden zo nodig volgens de kustlengte afgeleid uit de globale gerapporteerde aanvoervolumes. Indien er meer dan een aanvulling gebeurt tussen twee opeenvolgende opnames, worden die cijfers samengeteld. *2005: uitzonderlijke aanvulling tussen 21 november 2005 en 15 december 2005 na sterke afslag. Meer gegevens over de suppleties van 2014 en 2018 in de tekst.

Tabel 24 – Volumes betrokken bij de vooroever- en strandsuppletie te Mariakerke in 2014.

wanneer	wat	volume in beun [m ³]	hypothese efficiëntie	totaal netto [m ³]	STROOK 21		STROOK 22		STROOK 23	
					≤1.39 m [m ³]	>1.39 m [m ³]	≤1.39 m [m ³]	>1.39 m [m ³]	≤1.39 m [m ³]	>1.39 m [m ³]
voor VJ2014	vooroever secties 102-108	303837	90%	273500		7000		182100		84300
voor VJ2014	strand secties 102-106	681243	85%	579100	39000	19500	298000	148900	49300	24600

Morfologische evolutie: op het gedeelte boven LW werd na een initiële lichte afslagtrend, een stabiele ontwikkeling tot lichte aangroei waargenomen. De ombuiging is te verbinden met de start van zandaanvoerwerken in 1988. Ondanks volgehouden badstrandophogingen, bleef het strandvolume op ongeveer het peil van de eerste meetvlucht in 1983. Vanaf 2006 werd overgegaan tot omvangrijker aanvoerwerken. Er ontstond toen wel een kleine veiligheidsbuffer boven het volume van 1983, maar tot 2014 bleef het zandvolume constant, ondanks de verdere aanvoer. De autonome trend (gecorrigeerd voor de zandaanvoer) over de periode 1983-2014 is lineaire afslag met $-8,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,3 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Om het veiligheidsniveau sterk te verhogen, werd in 2014 in Mariakerke en de omgevende kuststroken een grootschalige suppletie-operatie doorgevoerd. Daarbij werd er ook in deze kuststrook en kuststrook 23 een onderwatersuppletie uitgevoerd. We bekijken eerst het deel boven de laagwaterlijn. De suppletie van 2014 bracht het zandvolume op een nooit voordien gemeten peil. Weliswaar volgde op de suppletie sterke initiële afslag, maar het ritme van de erosie nam na het eerste jaar af. Toch werd in 2018 door een partiële suppletie (voor deze kuststrook enkel sectie 105) het zandniveau weer op het peil van 2014 gebracht. Ook nu volgde sterkere initiële afslag. In de onderhavige kuststrook Mariakerke is iets minder dan de helft van al het ooit aangevoerde zand op het gedeelte van het strand boven de laagwaterlijn echter nog steeds aanwezig in 2019.

Wat de morfodynamica van de boven- en onderwatersuppleties van 2014 te Mariakerke samen met de secties van kuststrook 23 net ten oosten ervan betreft, werd de volgende ontwikkeling waargenomen (Houthuys, 2019). Volgend op de suppletiewerken van begin 2014 werd bij de opname Voorjaar 2017 een verlies op het strand van ongeveer 40% van de bij de suppletie gemeten volumetoename vastgesteld. De erosie was vooral te vinden op de bovenste 2/3 van het natstrand. De droogstrandberm was niet aangetast en vertoonde zelfs een kleine uitbreiding aan het begin van de aansluitingshelling naar het natstrand. Wellicht trad er eolische aangroei op, waarna de gemeente het gevangen zand met bulldozers richting natstrand verplaatste. Er werd geen aangroei vastgesteld ten westen en oosten van de strandsuppletie.



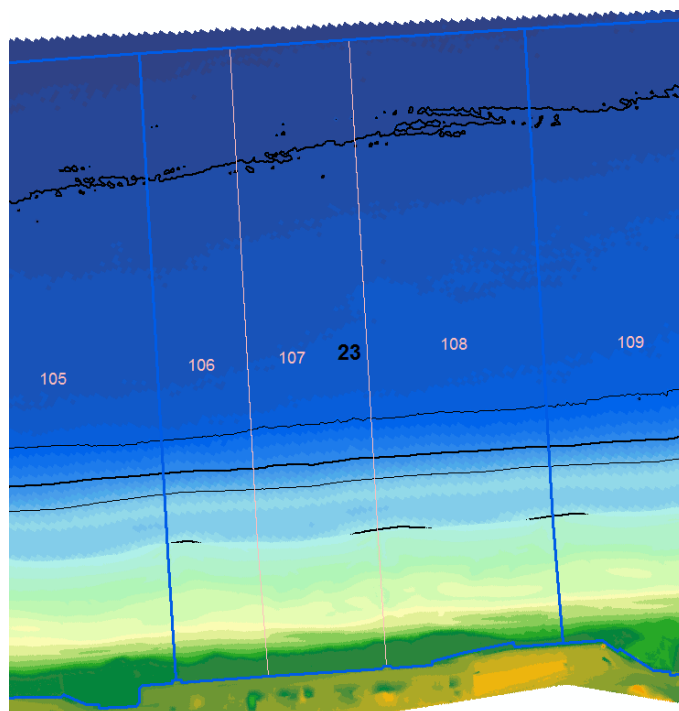
Figuur 60 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 22. Kustlengte: 1305 m.

De zeebodem en vooroever hadden nog hetzelfde volume als in Voorjaar 2014. Maar dit cijfer is een samentelling van verschillende ontwikkelingen. De zeewaartse flank van de onderwaterberm ligt in 2019 tussen een halve en anderhalve meter dieper dan in Voorjaar 2014, de kruin van de berm was kustwaarts verplaatst en stemt nu overeen met een strook op de hogere vooroever die 0,75 tot 1 m ondieper ligt dan in 2014. Uit deze waarnemingen kan men afleiden dat de onderwatersuppletie een gunstig effect had op de ontwikkeling van de strandsuppletie, omdat de hogere vooroever meer zand behield, waardoor op zijn beurt de erosie van het natstrand gereduceerd wordt. Door de onderhoudssuppletie van 2018 nam het zandvolume in de kustbarrière nog verder toe, ondanks het feit dat 43% van de waargenomen toename reeds verdween in het eerste jaar na de afwerking van de suppletie. De kustbarrière is alleszins sterker nu dan ooit voorheen in de laatste 40 jaar.

Wat de zeebodem betreft, hier noteren we een trendverandering. Sinds ongeveer 2009 merken we een structurele, doorgaande uitdieping. De geulbodem van de getijgeul Kleine Rede ligt nu in 2019 0,3 à 0,5 m dieper dan in 2009. Over de oorzaak van de trendverandering kunnen we thans slechts speculeren. Mogelijk is er een verband met de uitbouw van de nieuwe havendammen van Oostende, die begon in 2009.

8.11 Strook 23 (secties 106-108): kustdeel “Oostende-West” (ter hoogte van de Wellingtonrenbaan)

Ligging van de strook: ze valt samen met het kustdeel “Oostende-West”. De evolutie van de volumeverschillen in de secties is gelijklopend.



Figuur 61 – Situatiekaartje kuststrook 23, Oostende-West. Kustlengte: 895 m.

De gedetailleerde morfologie van deze kuststrook en de aanpalende stroken 21 en 22, met nadruk op de onderwatersuppletie te Mariakerke, is beschreven in Houthuys (2019). Er gebeuren ophogingen en aanvullingen in alle secties, zij het niet overal in ieder jaar; de laatste jaren wordt ingegrepen via grote strandsuppleties (Tabel 25).

Tabel 25 – Overzicht van de volumes zandaanvoer in het gedeelte boven de laagwaterlijn in kuststrook 23.

jaar	plaats	zeezand (m ³)	strandzand (m ³)	opvoer/aanvoer in gedeelte boven 1,39 m (m ³)
1983	secties 106 en 107	17356		17400
1985	secties 106 en 107	12760		12800
1987	secties 106 en 107	6550		6600
1988	secties 105-107	7931		7900
1989	secties 106 en 107	7800	4100	9900
1990	secties 106 en 107	9100	6000	12100
1991	secties 106-108	5000		5000
1992	secties 106 en 107	6100		6100
1993	secties 106-108	15300		15300
1994	secties 106 en 107	12000		12000
1995	secties 106 en 107	6431		6400
1996	secties 106-108	4500		4500
1997	secties 106 en 107	3100		3100
1998	secties 106 en 107	5100		5100
1999	secties 106 en 107	6257		6300
2000	secties 106 en 107	6010		6000
2001	secties 106 en 107	7030		7000
2002	secties 106 en 107	8065		8100
2003	secties 106 en 107	7119		7100
2004	secties 106 en 107	7527		7500
2005	secties 106 en 107	6456		6500
2006	secties 106-108	15000		15000
2006*	secties 106-108	56014		56000
2006**	secties 106-108	9652		9700
2007	sectie 108		8000	4000+56700
2008	secties 106 t/m 108	47100		47100
2009	secties 106 t/m 108	10600		10600
2010	secties 107 en 108	21300		21300
2011	secties 106 en 107	6500		6500
2012	secties 106 en 107	16000		16000
2013 ⁺	deel in sectie 107-108	132390		132400
2014 ⁺⁺	deel in secties 106- 108	49300		49300
2015	geen aanvoer			
2016	geen aanvoer			
2017	geen aanvoer			
2018 ⁺⁺⁺	deel in secties 106- 108	134000		134000
2019	geen aanvoer			

De cijfers tot 1998 zijn afkomstig uit KUST 2004.111 en de cijfers nadien rechtstreeks van de afdeling Kust. De cijfers worden zo nodig volgens de kustlengte afgeleid uit de globale gerapporteerde aanvoervolumes. Indien er meer dan een aanvulling gebeurt tussen twee opeenvolgende opnames, worden die cijfers samengeteld. *2006: uitzonderlijke aanvulling met zeezand tussen 6 februari en 2 maart 2006 over een kustlengte van 900 m. **2006: uitzonderlijke aanvulling met zeezand tussen 6 november en 25 november 2006 over een kustlengte van 900 m. +zie bij kuststrook 24 en Tabel 27.

**zie bij kuststrook 22 en Tabel 24. +++deel van grote strandsuppletie (onderhoudssuppletie) in secties 105-109.

Er wordt tevens lokaal en op onregelmatige tijden zand aangevoerd van het Groot Strand, wanneer daar eolisch zand gevangen wordt. Deze werken worden door de stad uitgevoerd, doorgaans vóór het toeristisch seizoen. Deze hoeveelheden kunnen moeilijk begroot worden, maar ze betreffen enkel een herschikking van zand van strook 24 naar 23.

In 2006 gebeurde een “veiligheidssuppletie” met zeezand. De suppletie vond op het einde van het jaar plaats en wordt pas in rekening gebracht voor de "correctie "van de meting van 2007. Er werd 56.000 m³ zeezand aangevoerd in de secties 106 tot en met 108.

In het najaar van 2013 werd een grote strandsuppletie uitgevoerd in Oostende. Deze suppletie was aan de gang toen de "sinterklaasstorm" van 5 december 2013 de kust trof. Ze werd uitgevoerd vanaf de havendam in Oostende naar het westen. In deze kuststrook waren ook secties 107 en 108 betrokken. De gegevens zijn vermeld bij kuststrook 24. De volumes aangevoerd in de onderhavige kuststrook 23 werden bepaald op 132.400 m³ voor het deel boven de laagwaterlijn en 36.000 m³ voor het deel beneden de laagwaterlijn (zie *Tabel 27*).

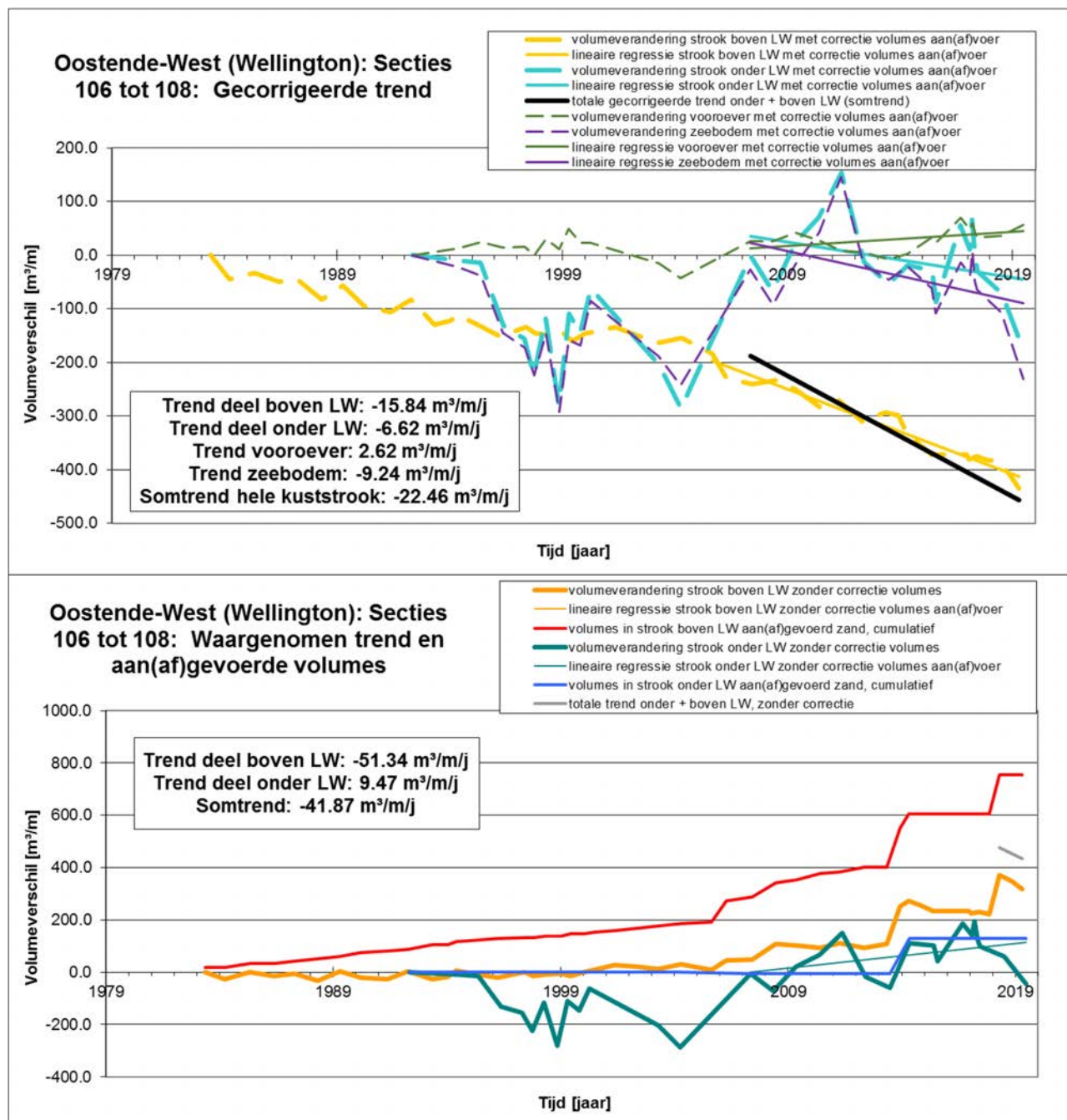
Daarbij aansluitend werd verder westwaarts gesuppleerd in en nabij Mariakerke. Deze suppletie hield ook een proef van vooroeversuppletie in. De onderwatersuppletie strekte zich uit van sectie 103 tot halverwege sectie 108, dus ook in kuststrook 23. De uitwerking van deze maatregel kan worden vergeleken met de zones in de omgeving, waar enkel het strand werd gesuppleerd. De werken gebeurden in het begin van 2014, vóór de voorjaarsvlucht van 15 april en de vooroeverlodgingen van 20 mei. Voor de onderwatersuppletie werd bij de bepaling van de effectieve volumetoename een grotere efficiëntie verondersteld (90%) dan bij de strandsuppletie (85%). Op basis van enkele schematische profielen werd aangenomen dat de zandtoename bij de strandsuppletie voor 1/3 in de hoogteschijf beneden TAW +1,39 m is aangebracht en dus nog moet worden in rekening gebracht voor de vooroever. De betrokken volumes zijn opgenomen in *Tabel 24*.

In de zone met sterkste afslag na de grote suppletie te Mariakerke van 2014, nl. in secties 105-109, werd in 2018 een grote onderhoudssuppletie uitgevoerd. De werken vonden plaats tussen 5 februari en 4 maart. Er werd 315.381 m³ zand aangevoerd (volume in beun) afkomstig van de winzones 4b en 4c. Rekening houdend met een kustlengte van 895 m in secties 106-108 t.o.v. een totale gesuppleerde lengte van 1790 m, rekening houdend met een suppletie-efficiëntie van 85%, kan het in secties 106-108 aangevoerde zandvolume op 134.000 m³ geraamd worden.

Morfologische evolutie: op het gedeelte boven LW worden al sinds de eerste meetvlucht badstrand-ophogingen uitgevoerd met aanvoer van zand uit zee. Het strand groeide in zeer lichte mate aan. Medio 2005 was gedurende de voorbije decennia bijna 200 m³/m kustlengte zand aangevoerd, terwijl de volumetoename t.o.v. 1983 nog geen 10 m³/m bedroeg. Men kan de maatregel niet als nutteloos beschouwen, want het aangevoerde zand kwam compenseerde lokale erosie en wat van hier verdween, kwam wel de nabijgelegen stranden en wellicht ook de vooroever ten goede; enkel was de aanvoer onvoldoende voor het strand in kuststrook 23 zelf. De voor zandaanvoer gecorrigeerde afslag over de periode 1983-2005 bedroeg -7 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,5 m³/m/jaar). Sindsdien zijn de inspanningen sterk verhoogd en werden verschillende grote strandsuppleties en in 2014 ook een onderwatersuppletie uitgevoerd. De weerslag op de hoogteligging de volumereserves in het kustlichaam is gunstig. Van alle aanvoer sinds 2005 (561,5 m³/m) is ruim de helft (309,5 m³/m) ter plaatse gebleven. Hierdoor heeft het gedeelte van het strand boven de laagwaterlijn in deze kuststrook thans een behoorlijk hogere ligging en groter volume t.o.v. 1983 (en 2005). Weliswaar blijven de afslagintensiteiten vrij hoog. De voor zandaanvoer gecorrigeerde afslagtrend over 2005-2019 is -16 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,8 m³/m/jaar), een cijfer dat in het bereik van de hogere waarden valt voor de Vlaamse kust. Na ieder suppletie volgt een sterkere initiële afslag. Maar de evolutie na de grote suppletie van 2013-2014 toont aan dat het afslagritme na een jaar bijna op nul valt.

De morfodynamische evolutie van de boven- en onderwatersuppleties van 2014 te Mariakerke werd, samen met de secties van kuststrook 22 besproken in Houthuys (2019). De voornaamste bevindingen zijn opgenomen bij de bespreking bij kuststrook 22.

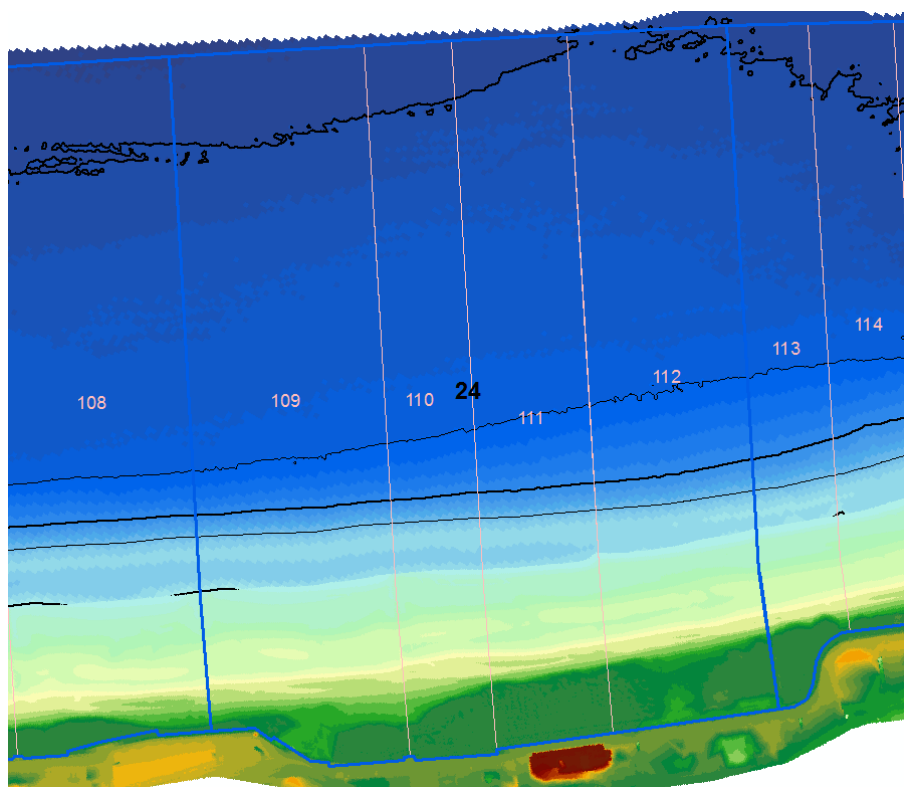
Wat de zeebodem betreft, hier noteren we een trendverandering. Sinds ongeveer 2009 merken we een structurele, doorgaande uitdieping. De geulbodem van de getijgeul Kleine Rede ligt nu in 2019 0,3 à 0,5 m dieper dan in 2009. Over de oorzaak van de trendverandering kunnen we thans slechts speculeren. Mogelijk is er een verband met de uitbouw van de nieuwe havendammen van Oostende, die begon in 2009.



Figuur 62 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 23. Kustlengte: 895 m.

8.12 Strook 24 (secties 109-112): kustdeel “Oostende-Centrum-West” (Groot Strand)

Ligging van de strook: ze valt samen met het kustdeel “Oostende-Centrum-West”. Dit is het Groot Strand waar de zeedijk landwaarts terugspringt en het strand veel breder is dan ten oosten en westen. Op dit brede strand wordt vaak eolisch aangevoerd zand gevangen, dat nadien d.m.v. bulldozers wordt uitgespreid en gedeeltelijk herverdeeld naar de secties ten westen. De hoeveelheden hierbij betrokken kunnen moeilijk geschat worden, maar het gaat slechts om een kleine herverdeling.



Figuur 63 – Situatiekaartje kuststrook 24, Oostende-Centrum-West. Kustlengte: 1180 m.

Sinds 1999 gebeuren er kleinschalige zandaanvoerwerken. In 2013 werd heel het strand te Oostende gesuppleerd en daardoor op een hoger veiligheidsniveau gebracht. In 2018 hadden onderhoudssuppleties plaats (Tabel 26).

Tabel 26 – Overzicht van de zandaanvoer in het deel boven laagwater van kuststrook 24.

jaar	plaats	zeezand (m ³)	strandzand (m ³)	opvoer/aanvoer in gedeelte boven 1,39 m (m ³)
juni 1999	sectie 109	4029	0	4000
eind 1999	sectie 109	3784	0	3800
2000	sectie 109	1052	0	1100
2001	sectie 109	6475	0	6500
2002	sectie 109	5275	0	5300
2003	sectie 109	6112	0	6100
2004	sectie 109	5028	0	5000
2005	sectie 109	6384	0	6400
2006	sectie 109	6500	0	6500
2007	sectie 109	0	0	0
2008	sectie 109	0	0	0
2009	sectie 109	0	0	0
2010	sectie 109	12100	0	12100
2011	sectie 109	0	0	0
2012	sectie 109	0	0	0
2013	deel van suppletie in sectie 109-112	142500	0	142500

2014-2017	geen aanvoer			
2018	deel van suppletie in sectie 109-112	183100 61400	0 0	183100 61400
2019	geen aanvoer			

De cijfers zijn verzameld door de afdeling Kust. Het cijfer voor eind 1999 komt pas morfologisch tot uiting bij de opname van 2000 en werd bij dat jaar verrekend. In 2008 en 2009 werden geen badstrandophogingen uitgevoerd in sectie 109, enkel de aansluiting met het bestaande profiel van de kleine strandsuppleties in de meer westelijke secties 103-108 komt nog tot in sectie 109. In 2010 werd een badstrandophoging uitgevoerd, in 2011 en 2012 niet. 2013: deel van de grote strandsuppletie van Oostende, zie in tekst en *Tabel 27*. 2018: deel van onderhoudssuppletie te Mariakerke en te Oostende, zie in tekst.

De meest oostelijke sectie 112 is betrokken in de noodsuppletie van 2004 en sommige van de erop volgende aanvullingssuppleties van Oostende-Centrum.

In 2004 werd 718.300 m³ aangebracht in de kuststrook van sectie 112 tot en met 117. Bij deze suppletie waren strand- en vooroevermetingen beschikbaar onmiddellijk voor en na de werken. Het aandeel aangebracht in sectie 112, rekening houdend met een "efficiëntie" van 86 % (zie toelichting bij de volgende kuststrook), kan op 77.300 m³ geraamd worden. Dit volume strekt zich, wat betreft horizontale volumeschijven, uit op het strand en de vooroever, de zone onder TAW + 1,39 m. In Oostende-Centrum was vóór de suppletie vrijwel geen strand aanwezig en was meer dan de helft van de suppletie een aanvulling van het hoogste deel van de vooroever (zie volgende strook). In sectie 112 kunnen we het gedeelte aangebracht boven +1,39 m TAW op 70 % ramen en onder dat hoogtevlak op 30 % (in deze sectie was al een vrij breed strand aanwezig vóór de suppletie). Aldus kan het aangevoerde volume voor het deel boven LW hier geraamd worden op 77.300 m³ x 70 % = 54.100 m³. De overige 30 % (23.200 m³) wordt geteld als aanvoer op de vooroever. De opname van de vooroever had op 6 april 2004 plaats en viel net vóór de aanleg van de onderwaterberm. De volumetoename in de gecorrigeerde volumereeks werd echter toch reeds bij de opname 2004 in rekening gebracht, omdat de eerstvolgende vooropname pas deze van 2007 was.

Er werd ook op de vooroever een berm aangelegd, zie bij de volgende kuststrook 25. Deze berm strekte zich niet uit tot in de strook tot sectie 112.

In 2005 werd in secties 113-117 een aanvulling verricht met 159.000 m³ (zie kuststrook 25).

In 2007 werd aan aanvulling uitgevoerd in de strook van sectie 112 tot en met 116. Het aandeel aangebracht in sectie 112 kan geraamd worden op basis van de kustlengte (x345/1039) op 43.000 m³. Dit volume werd echter grotendeels pas aangebracht na de meetvlucht van 3 juni 2007 en werd daarom in aanmerking genomen bij de meetvlucht van 2008.

Van de aanvullingen in 2005-2007 kan aangenomen worden dat ze zich volledig in de zone boven TAW + 1,39 m uitstrekten.

In 2008 werd een "grote strandsuppletie" uitgevoerd (aanvoer met schepen) van 70.000 m³ in de strook van sectie 112 tot en met 117. Op basis van de kustlengte en rekenend met een rendement van 85 % bedroeg de aanvoerhoeveelheid in sectie 112 70.000 m³ x 0,85 x 345 m / 1317 m = 15.600 m³. Op basis van de opeenvolgende hoogtekaarten wordt aangenomen dat 90 % van de suppletie in de zone boven LW terecht kwam (+14.000 m³) en 10 % in de zone onder LW (+1.600 m³).

In 2009, 2010 en 2011 werd in sectie 112 geen zand aangevoerd, wel in de aangrenzende secties 113-117.

In 2013 werd een grote strand- en vooroeversuppletie uitgevoerd om de veiligheid van de zeewering in overeenstemming te brengen met het Masterplan Kustveiligheid. De werkcampagne vond plaats in het najaar en liep ononderbroken door naar 2014. Hierbij werd er gewerkt van oost, nabij de nieuwe havendam in sectie 116, naar west, tot in Mariakerke. In eerste instantie, in het najaar van 2013, werd gesuppleerd in secties 109 tot 116. Tijdens de werkperiode trof de "Sinterklaasstorm" (5 december 2013) de kust. Een deel van het inmiddels aangebrachte zand werd bij die storm afgeslagen. Uit de morfologische analyse van de Dieterstorm (14-15 januari 2017) (Montreuil et al., 2019) weten we dat het zand dat van nabij de hoogwaterlijn wordt afgeslagen, niet helemaal uit het kuststelsel verdwijnt, maar grotendeels nabij de

laagwaterlijn en op de hogere vooroever wordt afgezet. Aldus kunnen we aannemen dat de verliezen bij de Sinterklaasstorm geen groot effect op de zandbalansen hebben gehad. Er werd een aanvoervolume in beun van 822.164 m³ gerapporteerd voor de suppletiestrook van sectie 109 tot 116. De aanvoer gebeurde van september tot december 2013, het meeste in de maanden oktober en november. Het zand was afkomstig van winzone 4 en ook nog een klein deel uit winzone 2C. Tijdens de grote suppletie werden wel lokale profielmetingen uitgevoerd, maar de doorgaande aard van de werken en de impact van de Sinterklaasstorm maken deze weinig bruikbaar om te bepalen hoeveel zand er uiteindelijk werd toegevoegd aan het morfologisch systeem en om dit te verdelen over de kuststroken en de zones onder en beneden laagwater. Er werd gebruik gemaakt van de vooroeverpeilingen en LIDAR-opnamen van het strand om een verdeling uit te werken. Deze gaven voor de suppletiezone van secties 109 tot en met 116 een volumetoename met 826.790 m³. Dit is zelfs meer dan het gerapporteerde aangevoerde volume in beun. De frequentie van de vooroeverpeilingen is echter onvoldoende om het effect van natuurlijke aanvoer naar de vooroever van Oostende (secties 113-116), onder meer volgend op de afslag bij de Sinterklaasstorm, uit andere kuststroken correct te vatten. Ook uit de evolutie na 2014 zien we dat de vooroever in secties 113-116 als een groeizone fungeert. Daarom wordt er bij de bepaling van de correctiehoeveelheden toch, zoals bij vele andere gelijkaardige suppleties aan de Vlaamse kust, van uitgegaan dat een "efficiëntie" van 85% werd gehaald. De verdeling over de kuststroken 24 en 25 maakte gebruik van een reeks dwarsprofielen, een per sectie, die werden gekubeerd. De relatieve verdeling van de gemeten toename werd dan toegepast op het aangevoerd volume, gerekend voor 85% (Tabel 27, stroken 24 en 25).

Een rapporteringslacune geldt voor secties 107 en 108 uit kuststrook 23. Hier werd eveneens, wellicht net na de Sinterklaasstorm, gesuppleerd, maar er worden geen cijfers meer voor teruggevonden. Daarom werden in deze twee secties op dezelfde manier als in kuststroken 24 en 25 dwarsprofielen gemaakt met behulp van de LIDAR-opnamen en de beschikbare vooroeverpeilingen. Hier werd, gelet op de goede overeenstemming tussen gerapporteerde aanvoer en gemeten toename in stroken 24 en 25, aangenomen dat alle toename het gevolg is van suppletie (cijfers met sterretje in Tabel 27).

Tabel 27 – Verdeling van de aangevoerde zandvolumes bij de suppletie van 2013 per kuststrook en hoogtezone.

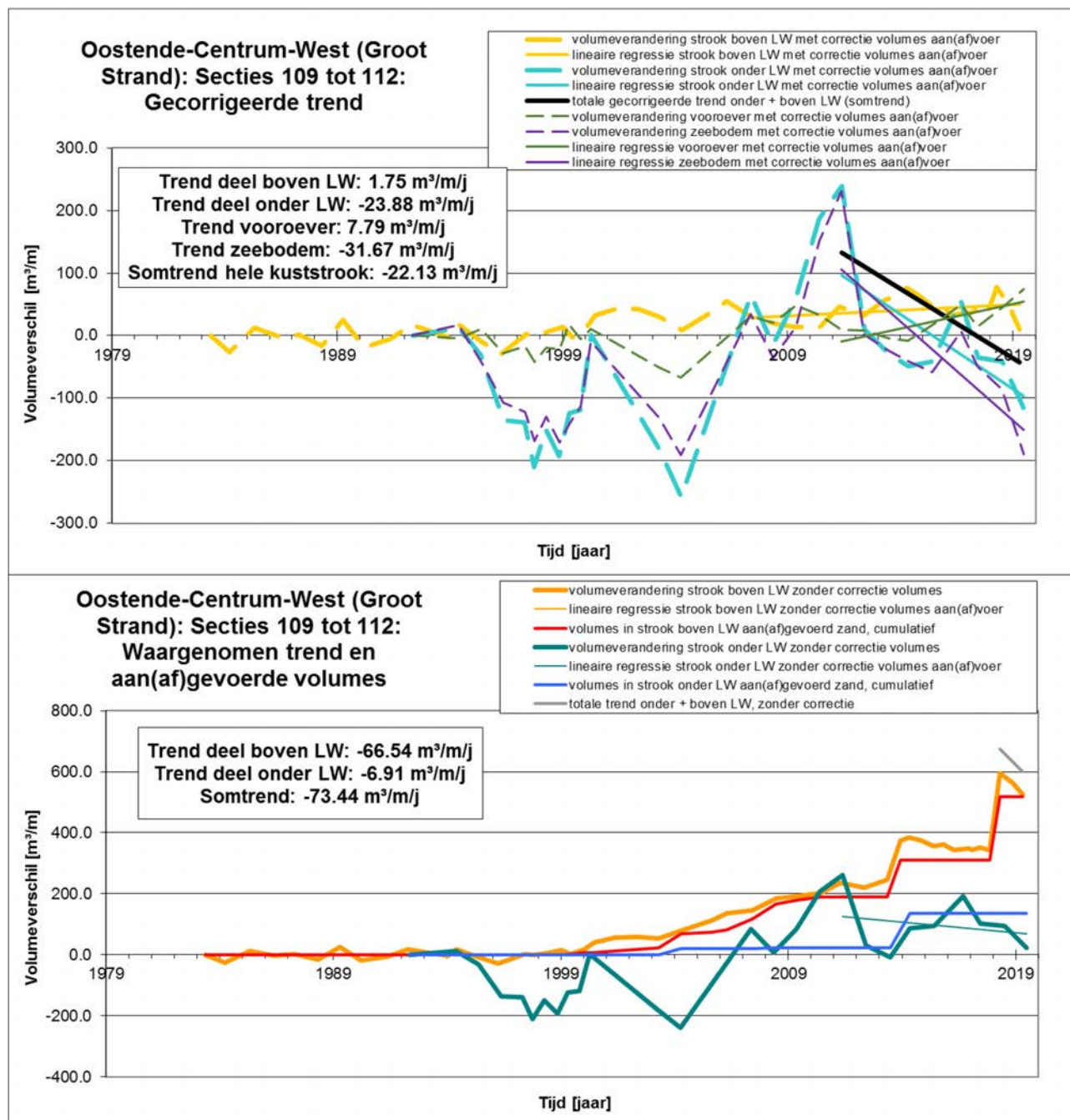
	Na opname	Voor opname	STROOK 23	STROOK 24	STROOK 25
strand (>1,39 m)	2013_1	2013 storm	132390*	142534	116009
vooroever (<1,39 m)	2013_1	2014_1	35972*	136023	304275

*cijfer afkomstig uit de gemeten toename tussen Voorjaar 2013 en Storm 2013 (strand) en Voorjaar 2013 en Voorjaar 2014 (vooroever).

In de zone met sterkste afslag na de grote suppletie van 2014, nl. in secties 105-109, werd in 2018 een grote onderhoudssuppletie uitgevoerd. De werken vonden plaats tussen 5 februari en 4 maart. Er werd 315.381 m³ zand aangevoerd (volume in beun) afkomstig van de winzones 4b en 4c. Rekening houdend met een kustlengte van 410 m in sectie 109 t.o.v. een totale gesuppleerde lengte van 1790 m, en rekening houdend met een suppletie-efficiëntie van 85%, kan het in sectie 109 aangevoerde zandvolume op 61.400 m³ geraamd worden.

Rond dezelfde tijd, tussen 12 februari en 23 maart 2018, werden ook secties 110-116 heraangevuld middels een grote strandsuppletie. Hierbij werd (in beun) 424.631 m³ aangevoerd uit winzone 4b en c en volgens de gewone manier op het strand geperst. Daarbij houden we rekening met stortverliezen van 15%. Aldus, en rekening houdend met de kustlengte die valt in kuststrook 24, wordt een aanvoervolume van 183.100 m³ in rekening gebracht.

Zoals op vele plaatsen langs de Vlaamse kust, voert de gemeente effeningswerken uit ter voorbereiding van het toeristisch seizoen. Langs enkele gedeelten van het Groot Strand wordt het droogblijvend banket geëffend en wordt het overtollig zand naar de helling aan de zeezijde uitgespreid.



Figuur 64 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 24. Kustlengte: 1180 m.

Morfologische evolutie: van 1983 tot 2000 was het volume zand in het deel boven laagwater in deze kuststrook stabiel en werd er geen zand aangevoerd. Vanaf dan werd er, eerst geleidelijk via badstrandophogingen, daarna in toenemende hoeveelheden bij strandsuppleties, zand aangevoerd. Hierbij blijkt de waargenomen toename de aanvoer (licht) te overtreffen. Wellicht ontvangt het Groot Strand zand van het naburige Mariakerke, waar al jarenlang vrij veel zand wordt aangevoerd. Ook na correctie voor de zandaanvoer tussen 2000 en 2007 stellen we nog een lichte aangroei vast, waarna het gecorrigeerd strandvolume stabiel blijft, weliswaar op een hoger peil dan voordien. De twee grote strandsuppleties van 2013 en 2018 brachten het zandvolume in de kuststrook op het hoogste peil sinds de morfologische monitoring. In het eerste jaar volgend op de grote strandsuppleties treedt telkens vrij intense afslag op. Daarna volgt een lichte afslag. In 2019 was het zandvolume in deze kuststrook $526,4 \text{ m}^3/\text{m}$ groter dan in

1983, waarvan 479,2 m³/m verklaard wordt door zandaanvoer. Er is dus ook nog enige extra groei. Volgend op de suppletie van 2004 trad een vrij grote natuurlijke aanvoer (uitspreiding vanuit Oostende-Centrum) richting west naar secties 110 en 111 op; dit kan men opmaken uit de differentiële hoogtekarten. Het deel onder water kende aanvankelijk een daling van de zandvolumes. Tussen 2004 en 2011 trad een grote aangroei op (+66 m³/m/jaar), enerzijds bestaande uit verspreide aangroei in een grote zone op de zeebodem, anderzijds uit aangroei van de hogere vooroever, die in verband kan worden gebracht met aanvoer uit naburige stroken (voornamelijk Oostende-Centrum, strook 25) waar sterk gesuppleerd werd.

Sinds 2011 wordt weer belangrijke afslag vastgesteld. Het waargenomen afslagritme tussen 2011 en 2019 is -7 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 11 m³/m/jaar); het gecorrigeerde cijfer is -24 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 10 m³/m/jaar). Gelet op de sterke schommelingen kunnen we niet spreken van een afslagtrend. De hoogteverschilkaarten maken duidelijk dat de cijfers verschillende ontwikkelingen samen nemen. De hogere vooroever groeit sterk aan, enerzijds door suppleties die tot de vooroever reiken, anderzijds door aanvoer vanaf naburige gesuppleerde zones (dit blijkt uit het feit dat er ook hoogtetoename optreedt in periode waarin niet wordt gesuppleerd). De lagere vooroever heeft de neiging om te verdiepen. De suppleties zetten de tendens tot uitdiepen telkens in sterke mater terug. De zeebodem diept eveneens uit. Dit is een recent fenomeen, op de hoogteverschilkaarten te zien vanaf omstreeks 2011. Hierdoor wordt de getijgeul Kleine Rede dieper. De timing lijkt te wijzen op een verband met de aanleg van de strekdammen in Oostende en het baggeren van de nieuwe, diepere toegangsgeul "Pas van Stroombank".

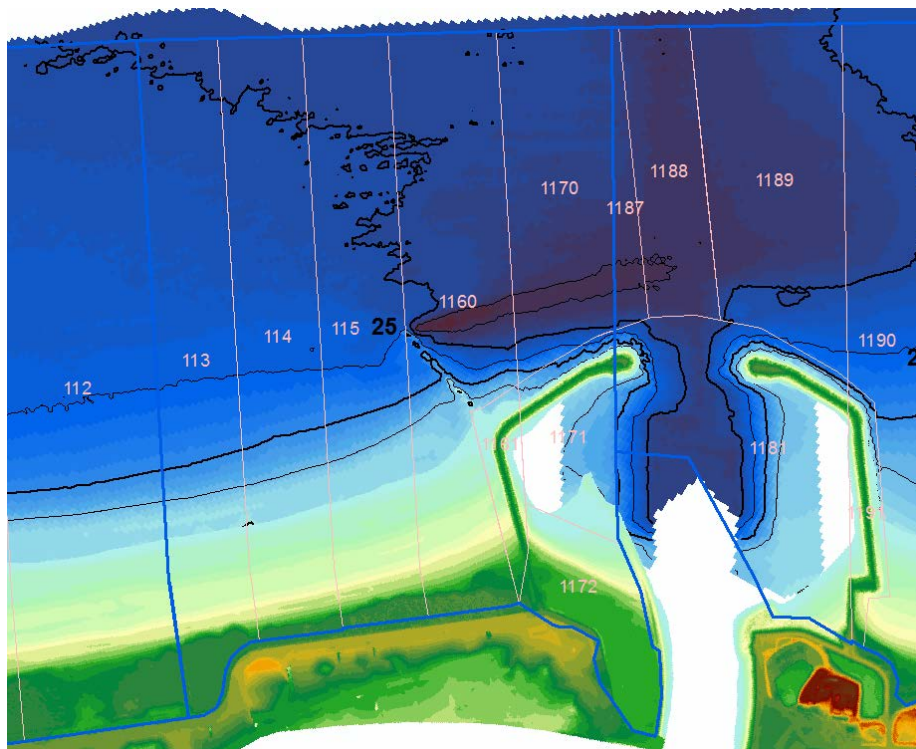
8.13 Strook 25 (secties 113-117): kustdeel "Oostende-Centrum" (Casino tot en met Klein Strand)

Ligging van de strook: ze valt samen met het kustdeel "Oostende-Centrum". Historisch was hier vrijwel geen strand aanwezig, in feite reikte de vooroever tot de zeedijk. Sectie 113 omvatte nog een stukje van het Groot Strand nabij het casino, waar wel een droogblijvend, hoger gelegen stranddeel aanwezig was. Sectie 117 omvatte het Klein Strand, waar eolisch aangevoerd zand vaak voor overlast zorgde op de aangrenzende wandelwegen. Het overtollige zand werd uitgespreid over het lagere deel van het strand.

Vanaf 2009 werden de nieuwe havendammen in zee uitgebouwd. Hierdoor werd een belangrijk gedeelte van secties 116 en 117 aan de natuurlijke dynamiek van het zandtransport aan de kust onttrokken. Er werden nieuwe secties 1160, 1170 (vooroever en zeebodem) en 1172 (Klein Strand) gedefinieerd die de nog actieve zones van de oude secties 116 en 117 bevatten (zie paragraaf 4.1).

Op de zeebodem van deze kuststrook bevond zich de toegangsgeul naar de haven van Oostende. Voor het behoud van de vaardiepten was onderhoudsbaggerwerk nodig. Er werd een peil van de bodem aangehouden dat niet ondieper lag dan TAW -8 m. De geul verliep lichtjes schuin t.o.v. de kustrichting, vanaf de ingang van de haven naar het westen doorheen het meer in zee gelegen gedeelte van secties 118, 117, 116, 115 en 114. Zeewaarts van de zeewaartse sectiegrens doorkruiste de vaargeul de Stroombank. Onderhoudsbaggerwerk werd ook voor 2009 uitgevoerd in de oude geul. Het baggerwerk gebeurde onder de bevoegdheid en in opdracht van de afdeling Maritieme Toegang. Alle specie werd gestort op zee, op de loswal "Bruggen en Wegen Oostende". De cijfers werden niet gevraagd en gerapporteerd in Houthuys (2012). Er werd toen van uitgegaan dat de specie enkel uit slib bestond. Nochtans geven de latere rapporteringen i.v.m. het baggerwerk in de (nieuwe) vaargeul "Pas van Stroombank" aan dat er ook zandige specie wordt gebaggerd. We beschikken over cijfers i.v.m. het aanleg- en onderhoudsbaggerwerk van de nieuwe vaargeul, die volledig in sectie 1180 gelegen is (zie bij kuststrook 26). Ook beschikken we voor het laatste decennium over een hele reeks peilingsplannen van de nieuwe vaargeul. De studie ervan toont aan dat er wel degelijk belangrijke morfologische wijzigingen optreden in deze geul, die weliswaar wordt onderhouden op 1,5 m grotere diepte dan de oude geul. Dit wordt toegelicht bij kuststrook 26. We moeten dus toch veronderstellen dat ook het onderhoudsbaggerwerk vóór 2009 de zandbalans voor kuststrook 25 beïnvloedde. In overleg met de specialisten betrokken bij het morfologisch onderzoek van het project CREST, werd besloten om de jaarlijkse baggervolumes tussen 1992 en 2004 te ramen op 40.000 m³ en tussen 2004 en 2009 op 60.000 m³. Deze

cijfers zijn gebaseerd op de evolutie na 2009 en rekening houdend met het feit dat vanaf 2004 in Oostende suppleties worden uitgevoerd, waarvan werd vastgesteld dat erosie zorgde voor een zandtoevoer naar de vooroever en zeebodem. Deze aanname is voorlopig en kan in vervolgonderzoek verder uitgezocht worden. Er zijn immers ook uit die tijd peilingsplannen en logs van baggeractiviteiten beschikbaar.



In sectie 1160 ligt een onderwaterdam die loodrecht aftakt van de westelijke havendam. Deelsecties 1187, 1188 en 1189 vormen samen sectie 1180. Deelsectie 1188 is de vaargeul "Pas van Stroombank", althans het stuk dat valt binnen de vooroeverlodingen.

Figuur 65 – Situatiekaartje kuststrook 25, Oostende-Centrum. Kustlengte 972 m.

In 2009 – begin 2010 werd de nieuwe geul, "Pas van Stroomban", gebaggerd, die meer oostelijk gelegen is, nl. in sectie 118. De oude geul werd na de ingebruikname aan haar lot overgelaten, zodat zij op natuurlijke wijze kon dichtsedimenteren. Ook voor de nieuwe vaargeul is onderhoudsbaggerwerk nodig. Het "vooroevergedeelte" van deze geul is volledig in sectie 1180 gelegen en wordt dus behandeld bij kuststrook 26.

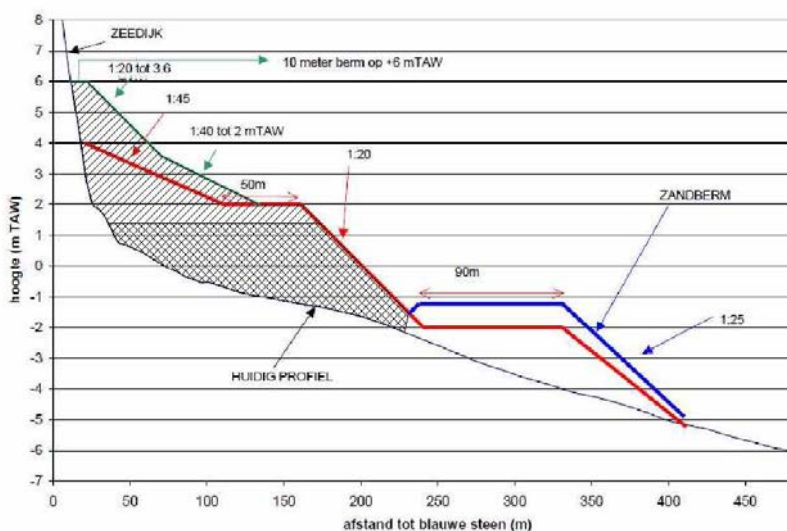
In 2004 werd het "noodstrand" aangelegd, dat Oostende-Centrum een beter niveau van veiligheid wat betreft zeekering biedt. Middels opspuiting van een zand-water mengsel werd een nat- en droogstrand gecreëerd.

Hierbij werd 718.348 m^3 (volume in beun) aangebracht in het kustgedeelte van sectie 112 tot en met 117. Voor de verdeling werd aangenomen dat het gesuppleerde deel in sectie 112 een lengte van 278 m en in secties 113-117 een lengte van 972 m had (totale lengte van de suppletie was 1250 m). Op basis van het lengte-aandeel zou dan 78 % van het opgespoten zand in de strook van secties 113-117 terecht gekomen zijn. Maar het profiel werd in secties 113-117 veel sterker verzaamd dan in sectie 112, dat de aansluiting naar het bestaande strand bevatte. Er werd daarom aangenomen dat per meter kustlengte in secties 113-117 tweemaal zoveel zand per longitudinale meter werd opgespoten als in sectie 112. Op basis van die aanname is van het opgespoten zand 87,5 % of 628.500 m^3 in de onderhavige strook aangebracht. Uit een

nota uit 2004³ werd uit voor- en nametingen het verlies bepaald, dat voor de strandsuppletie 11,9 % bedroeg. De netto-volumetoename was dus 553.800 m³.

De in secties 113-117 gemeten volumetoename moet, wat betreft horizontale volumeschijven, verdeeld worden over strand en vooroever, de zone onder TAW + 1,39 m. Op basis van fig. 2.1 in IMDC (2006) kan het gedeelte boven 1,39 m geschat worden op 45 % van het volledige gerealiseerde profiel (zonder de vooroeverberm, zie *Figuur 66*). Aldus moet het aangevoerde volume hier geraamd worden op 553.800 m³ x 45 % = 249.200 m³ voor het strand en (x 55 %) 304.600 m³ voor de vooroever. De meetvlucht van 2004 (17 april) had plaats voor de aanvang van de suppletie. Daarom wordt het aangebracht volume voor het deel boven LW pas als aanvoer gerekend bij de meetvlucht van 2005. Voor het deel onder LW wordt echter wel de opname van 2004 aangevuld, omdat de eerstvolgende opname pas die van 2007 is.

Op de vooroever werd een berm aangelegd met grof zand. Er werd 144.525 m³ zand gedumpt. De nota van 2004 vermeldt een gemeten toename van het volume met 134.480 m³. Hieruit kan men een efficiëntie van 93% afleiden.



Het gedeelte van de noodsuppletie boven TAW + 1,39 m (enkel gearceerd) kan geraamd worden op 45 % van het totaal volume van de noodsuppletie (enkel en dubbel gearceerd).

Figuur 66 – Aanlegprofiel van de noodsuppletie in 2004 in Oostende-Centrum.

Er is geen hoogtemodel gemaakt in deze trendbepaling voor de toestand net na de aanleg van de noodsuppletie en de onderwatersuppletie. Het is echter mogelijk om zowel voor het deel onder als boven laagwater een volumepunt in te voegen in de tijdreeks met volumes en de grafiek ervan ("vlucht 59.1"), waarbij op het einde van de zandaanvoerwerken (30 juni 2004) het "waargenomen" volume gelijk is aan het volume net voor de suppletie (17 april 2004 voor de laserscanningopname en 6 april 2004, gemiddelde datum voor de vooroeverloding) plus de gemeten toename, zoals hierboven vermeld. In de tabel met de volumereeks voor strook 25 werden deze beide geconstrueerde waarden in cursief geplaatst. Op die manier kan een correctere trend na de aanleg van de noodsuppletie worden berekend. Inderdaad, zonder dit extra punt zou alle toevoer op het gedeelte boven LW pas in 2005 geteld worden, terwijl er inmiddels reeds afslag en aanvullingen gebeurden. Voor het gedeelte onder LW zijn er tussen 2004 en 2007 wel verschillende

³ in Houthuys (2012) werd voor de verdeling en het aanbrengverlies van het in 2004 toegevoerd volume gebruik gemaakt van een gekoppeld hoogtemodel aangemaakt in het kader van het project "INSHORE". Een "debriefing nota" uit augustus 2004 van Toon Verwaest vermeldt aanbrengverliezen voor de onderwatersuppletie en de strandsuppletie op basis van uitmetingen die wat lager zijn. De verschillen zijn niet groot, maar hier werden de cijfers herzien op basis van de nota en de metingen uit 2004.

opnamen gebeurd in enkel de zone van de onderwatersuppletie, maar niet over de hele oppervlakte van de sectie, zodat er geen waarden per sectie konden worden bepaald en geen punten in de grafiek aanwezig zijn.

In 2005 werd in secties 113-117 een aanvulling verricht met 159.050 m³ (aanvoer met schepen; na reductie voor aanvoerverlies netto 135.200 m³).

In 2006 werd in sectie 117 een aanvulling verricht met 34.300 m³ (aanvoer met vrachtwagens).

In 2007 werd aan aanvulling uitgevoerd in de strook van sectie 112 tot en met 116, in het totaal met 136.200 m³. Het aandeel aangebracht in secties 113-116 kan geraamd worden op basis van de kustlengte ($\times 748/1039$) op 93.200 m³. Dit volume werd echter grotendeels pas aangebracht na de meetvlucht van 3 juni 2007 maar toch wordt ook hier het volume al geplaatst bij de meetvlucht van 2007, om het onderscheid met de latere aanvullingen nog te kunnen maken.

Van de aangebrachte hoeveelheden in 2005-2007 kan verondersteld worden dat ze volledig in de zone hoger dan TAW + 1,39 m plaatsvonden.

In 2008 werd een "grote strandsuppletie" uitgevoerd (aanvoer met schepen) van 70.000 m³ in de strook van sectie 112 tot en met 117. Op basis van de kustlengte en rekenend met een rendement van 85 % bedraagt de aanvoerhoeveelheid in sectie 113-117 $70.000 \text{ m}^3 \times 0,85 \times 972 \text{ m} / 1317 \text{ m} = 43.900 \text{ m}^3$. Op basis van de opeenvolgende hoogtekaarten wordt aangenomen dat 90 % van de suppletie in de zone boven LW terecht kwam (+39.500 m³) en 10 % in de zone onder LW (+4.400 m³).

In 2008 werd tevens 5629 m³ zand verplaatst van sectie 117 (Klein Strand) naar de droogstrandberm van secties 113-116. Deze verplaatsing binnen de kuststrook beïnvloedt niet de volumes van de strook in haar geheel.

Ook in 2009 werd 12.800 m³ zand verplaatst van sectie 117 (Klein Strand) naar de droogstrandberm van secties 113-116. Deze verplaatsing binnen de kuststrook beïnvloedt niet de volumes van de strook in haar geheel.

In 2009-2010 werd de nieuwe vaargeul naar de haven gebaggerd. De nieuwe vaargeul ligt in sectie 1180 en de gegevens voor het aanlegwerk worden dan ook beschreven bij kuststrook 26. De volumes voor het aanlegbaggerwerk zijn bepaald uit de vooroeverhoogtemodellen van 2009, 2010 en 2011. Uit deze opnamen bleek dat het zijtalud onder water (of alleszins de invloedszone van het aanleggen van de vaargeul) ook nog gedeeltelijk in sectie 1170 is gelegen. De volumes verwijderd door baggeren zijn voor sectie 1170 bepaald op 12.000 m³ vóór de vooroeverpeiling van 2010 en 42.000 m³ vóór de vooroeverpeiling van 2011.

In 2010 werd in secties 113-117 een grote strandsuppletie verricht, waarbij 71.850 m³ werd opgespoten. We rekenen telkens met een "efficiëntie" van 85 % en komen zo op een aanvoer van 61.100 m³. Ook hier schatten we op basis van de hoogtekaarten dat 90 % (+55.000 m³) boven en 10 % onder LW (+6.100 m³) is aangebracht.

In oktober-december 2011 werd in secties 113-117 nogmaals een grote strandsuppletie uitgevoerd, waarbij 229.840 m³ werd opgespoten. We kunnen ook ditmaal rekenen met een efficiëntie van 85 %. Deze aanvoer had plaats na de opname van 2011 en wordt dus verrekend bij de voorjaarsvlucht van 2012.

Tabel 28 – Overzicht van de zandaanvoer bij suppleties in kuststrook 25.

Jaar van de werken	Plaats	deel boven LW [m ³]	deel onder LW [m ³]
2004	deel sectie 112	55400	23800
2004	deel s. 113-117	249200	304600
2004			134500
2005		135200	
2006		34300	
2007	deel sectie 112	43000	
2007	deel s. 113-116	93200	

2008	deel s. 112 aan 85%	14000	1600
2008	deel s. 113-117	39500	4400
2010	deel s. 113-117 aan 85%	55000	6100
okt-dec 2011	deel s. 113-117 aan 85%	175800	19500
2012	geen aanvoer		
2013: ts VJ en ST	deel s. 113-116 aan 100%	116000	304300
2014	geen aanvoer		
2015	geen aanvoer		
2016	geen aanvoer		
2017	geen aanvoer		
voor VJ2018	deel in 113-116	177900	0

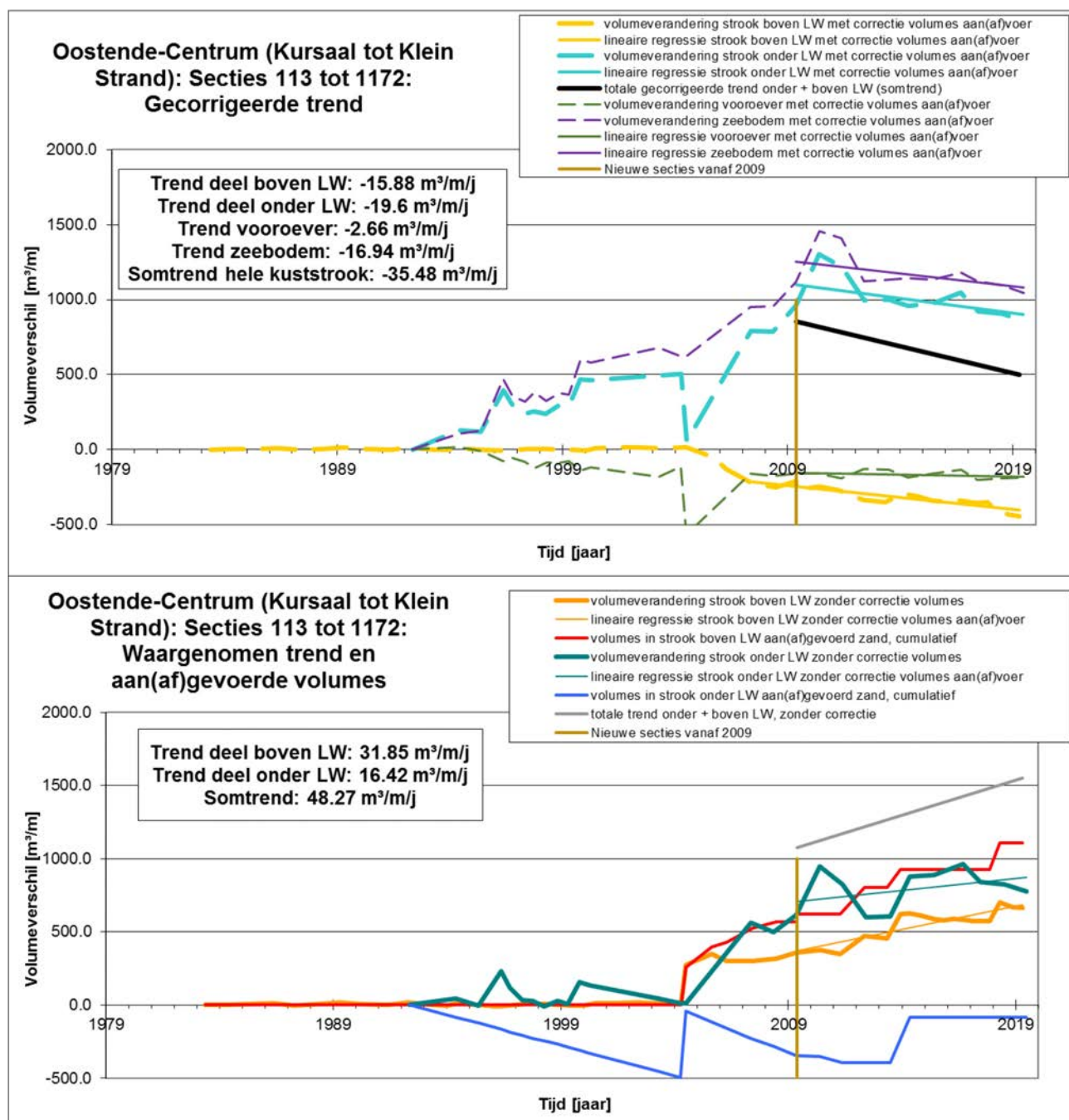
In het najaar van 2013 werd een grote strandsuppletie uitgevoerd in Oostende. Deze suppletie was aan de gang toen de "Sinterklaasstorm" van 5 december 2013 de kust trof. Ze werd uitgevoerd vanaf de havendam in Oostende naar het westen. In deze kuststrook waren derhalve de secties 113, 114, 115 en 1160 betrokken. De gegevens zijn vermeld bij kuststrook 24. De volumes aangevoerd in de onderhavige kuststrook 25 werden bepaald op 116.000 m³ voor het deel boven de laagwaterlijn en 304.300 m³ voor het deel beneden de laagwaterlijn (zie *Tabel 27*). Het belang van de aanvoer op de (hogere) vooroever in deze kuststrook is dus groot.

Na enkele jaren werd in 2018, tussen 12 februari en 23 maart 2018, een onderhoudssuppletie uitgevoerd in secties 110-116. Het ging om een grote strandsuppletie. Hierbij werd (in beun) 424.631 m³ aangevoerd uit winzone 4b en c en volgens de gewone manier op het strand geperst. Daarbij houden we rekening met stortverliezen van 15%. Aldus, en rekening houdend met de kustlengte die valt in kuststrook 25, wordt een aanvoervolume van 177.900 m³ in rekening gebracht.

In de "luwe" zone van sectie 113, aan het oostelijk einde van het Groot Strand, nabij het Casino, hoopt zich vaak eolisch zand op. Dit wordt door de stad Oostende weggehaald en doorgaans uitgespreid op het strand ter hoogte van Oostende-Centrum. Het gaat om beperkte hoeveelheden. Ze worden niet systematisch gemeten.

Morfologische evolutie: tot 2003 bestond er in secties 113-116 geen strand boven 1,39 m; enkel lag er in sectie 117 het Klein Strand met een natstrand en ook een stukje droogblijvend strand. Het Klein Strand bestaat nog steeds en is nu beschermd gelegen binnen de nieuwe havendammen. Er is op schaal van de kuststrook geen verandering in zandvolume sinds 1983 tot 2004 voor het deel boven laagwater. Het deel onder laagwater veranderde eveneens niet. Door de veronderstelde gebaggerde volumes uit de vaargeul zou er wel zandaanvoer door natuurlijke processen naar de vaargeul zijn opgetreden, waardoor de gecorrigeerde tijdreeks wel aan aangroei te zien geeft: +42 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 6,5 m³/m/jaar) tussen 1992 en 2004. De noodsuppletie van 2004 betekende een belangrijke volumetoename op strand en vooroever in Oostende. Er werd een permanent strand gerealiseerd, dat sindsdien door vrij frequente zandaanvullingswerken in stand wordt gehouden. De grafiek met waargenomen en aangevoerde volumes toont aan dat op het gedeelte boven laagwater ongeveer 58% (645 m³/m gemeten toename tegenover 1107 m³/m aanvoer) over de periode 2004-2019 nog op het strand teruggevonden wordt. Na een aanvankelijk zeer sterke afslag tussen 30 juni 2004 en Voorjaar 2007 (gecorrigeerde trend -91 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 6,3 m³/m/jaar), stelde zich een veel mildere erosietrend in: de gecorrigeerde trend over de periode 2007-2019 is -14,5 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 2,3 m³/m/jaar). De waargenomen trend (incl. zandaanvoer) over 2009-2019 is +32 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 4 m³/m/jaar). De onderwatercijfers zijn een combinatie van uiteenlopende ontwikkelingen. In haar geheel groeide de zone onder laagwater sterk aan tussen 2004 en 2010; daarna bleef het totale volume ongeveer constant. De differentiële hoogtekaarten tonen een sterk aangroeiende vooroever. Na de noodsuppletie en aanleg van de onderwaterberm in 2004 moet er heel wat zand naar de vaargeul zijn verplaatst, vanwaar het weer gebaggerd werd. De aanleg van de havendammen in 2009, en de onderwaterstrekdam in sectie 1160, zorgden ervoor dat het zand van de vooroever beter werd vastgehouden. Over 2009-2019 bleef de voor

aanvoer gecorrigeerde trend met een licht afslagcijfer van $-2,7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{j}$) vrijwel stabiel.



Figuur 67 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 25. Kustlengte 972 m.

De grote suppletie van 2013 veroorzaakte een bijkomende sterke aangroei van de vooroever. Ook nadien bleef de vooroever in deze kuststrook uitbreiden: dit is waarschijnlijk het gevolg van de suppleties te Oostende en meer ten westen, waarvan het na de suppleties afgeslagen zand deels in deze zone palend aan de nieuwe westelijke havendam wordt opgevangen. Het feit dat de oude vaargeul in één jaar tijd (in 2010) dichtzandde en hierbij zowat 200.000 m^3 (cijfer met een geschatte onzekerheid van $265.300 \text{ m}^2 \times 0,07 \text{ m} \times \sqrt{2} \cong 26.000 \text{ m}^3$) sediment aantrok, illustreert de grootte van het natuurlijke zandtransport in de getijgeul Kleine Rede voor de kust. Het aanleggen van de nieuwe vaargeul met een grotere diepte in sectie 1180 en

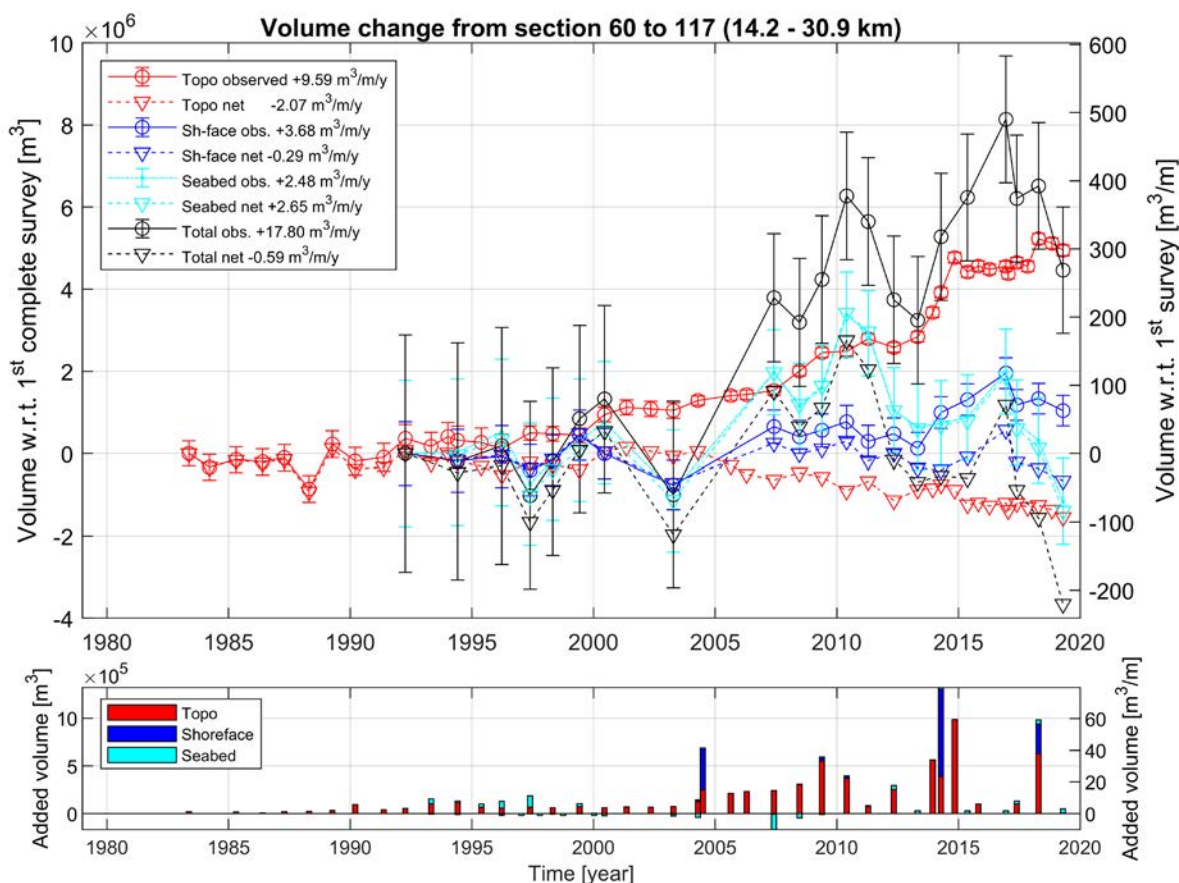
de bouw van de havendammen in 2009-2010 had het uitschuren van een stroomkuil tot gevolg aan de zeezijde van de westelijke havendam. De onderwaterstrekdam in sectie 1160 vormt de harde westelijke grens van de stroomkuil. De kuil heeft in 2019 een lengte van ongeveer 500 m, een breedte van ongeveer 75 m en een grootste diepte t.o.v. de nabijgelegen, vlakkere zeebodem van ongeveer 2 m in de nabijheid van de strekdam. De kuil noch het westelijke talud van de vaargeul Pas van Stroombank lijkt zich de recentste jaren verder te verdiepen. Mogelijk komt dat door een voldoende grote zandaanvoer via de Kleine Rede volgend op de reeks suppletiewerken in de kustzone ten westen van Oostende.

Het Klein Strand gedraagt zich sinds de bouw van de nieuwe havendammen in 2009 als een afzonderlijke eenheid. De evolutie kan worden waargenomen in de tabel en grafiek van sectie 1172 (bijlage 2). Het droogstrand kende een belangrijke aangroei, met iets meer dan 100 m³/m, tussen 2010 en 2013. De suppleties van 2010 en 2011 hadden effectief nog plaats tot in sectie 117 (waarvan we het deel boven LW nu als sectie 1172 beschouwen). Er is geen deelname in de grote suppletie van 2013 gerapporteerd, maar het lijkt aannemelijk, gelet op de geïsoleerde ligging, dat de toename het gevolg is van zandaanvoerwerken, die mogelijk kaderden in het suppletieproject. De aangroei tussen 2014 en 2019 bedraagt 7 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 1,5 m³/m/jaar). Dit is slechts een lichte aangroei, maar gesteld dat er geen zandaanvoerwerken plaatsvinden, toch vrij merkwaardig, gelet op de geïsoleerde ligging binnen de havendammen.

8.14 Overzicht van de morfologische evolutie voor zone 2 (kuststroken 13 tot en met 25, van Nieuwpoort tot Oostende)

Figuur 68 geeft de tijdsgrafieken van de volumes gecumuleerd voor alle kuststroken in zone 2 weer.

De groei van het zandvolume in het gedeelte strand en duinaanzet is groot en de mate van aangroei nam in de tijd geleidelijk toe tot 2014; nadien bleef het vrijwel stabiel. De groei is volledig het gevolg van suppleties. Er werd meer zand aangevoerd dan wat er in 2019 nog in de hoogtezone boven LW van wordt teruggevonden: dat laatste is ongeveer 300 van de aangevoerde 400 m³/m of 75% van de aanvoer. Tijdelijk (bv. in de periode 2007-2013) wordt een deel van de aanvoer naar het strand teruggevonden op de vooroever (wellicht de hogere vooroever). Nadien verdwijnt dat zand van de vooroever, want de volledige groei in 2019 is te verklaren door zandaanvoer op de vooroever (nl. bij strandsuppleties die ook reiken tot de hogere vooroever). Uit de kaart met hoogtelijnen voor 2000, 2007, 2011, 2015 en 2019 en uit de hoogteverschilkaarten t.o.v. 2000 blijkt dat de lagere vooroever in deze kustzone systematisch en structureel landwaarts terugschrijdt. Ook de zeebodem (geulbodem van de getijgeul Kleine Rede) diept uit. Tot 2010 werd er aangroei waargenomen; een belangrijk gedeelte wordt toegeschreven aan de lossingen van baggerspecie uit Nieuwpoort op de loswal te Westende. De evolutie van de hoogtelijnen geeft aan dat men steeds dichterbij Nieuwpoort is gaan lossen, terwijl de brede ondiepte van de loswal aan alle andere kanten inkromp (*Figuur 69*). Er is geen morfologische aanwijzing voor enige voeding van de vooroever (onderwaterstrand) vanuit de loswal te Westende. Het gedeelte van de landwaartse flank van de Stroombank dat binnen het lodingsgebied valt, migreert landwaarts. Voor het geheel van de zeebodem (geul Kleine Rede) heeft zich omstreeks 2010 een belangrijke trendverandering voorgedaan. De laatste 10 jaar diept de bodem zich lichtjes maar stelselmatig verder uit. Tevens verschuift de lagere vooroever landwaarts. Mogelijk heeft de trendverandering te maken met het landwaarts verschuiven van de Stroombank en het feit dat terzelfdertijd de kustbarrière door suppleties vergroot werd. Het netto effect is dus een kleinere stroomsectie, waardoor de getijstroming de bodem begint uit te diepen. Deze hypothese moet nog verder worden onderzocht.

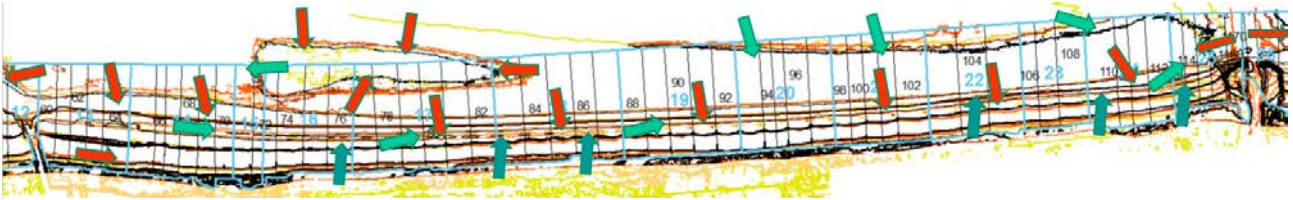


Figuur en berekeningen: Bart Roest, KULeuven. Deze grafiek bevat de som van de waargenomen (volle lijnen) en gecorrigeerde (streepjeslijnen) volumes per hoogtezone "boven LW" (rood), "vooroever" (blauw), "zeebodem" (cyaan) en voor het totale gebied (zwart) van alle kuststroken in zone 2. Tevens werden in de figuur onderaan, met een eigen verticale schaal, de aangevoerde (positief) of afgevoerde (negatief) zandvolumes weergegeven. Alle cijfers kunnen afgelezen worden als volumes (linkse verticale as) of als cijfers gedeeld door de totale kustlengte van de zone (rechts verticale as). De verticale strepen geven de onzekerheid op de meting aan, bepaald uit de fout op de hoogtemeting vermenigvuldigd met de oppervlakte van de meetzone. Tevens is de trend over de volledige waarnemingsperiode berekend en weergegeven in de legende.

Figuur 68 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de zone van Nieuwpoort tot Oostende.

Tevens zijn er belangrijke, maar eerder lokale erosieve ontwikkelingen nabij de havendammen en de nieuwe vaargeul naar Oostende. Het feit dat de oude vaargeul in één jaar tijd (in 2010) dichtzandde en hierbij zowat $200.000 \text{ m}^3 \pm 26.000 \text{ m}^3$ sediment aantrok, illustreert de grootte van het natuurlijke zandtransport in de getijgeul Kleine Rede voor de kust. Het aanleggen van de nieuwe vaargeul in sectie 1180 met een grotere diepte dan de oude geul, en de bouw van de havendammen in 2009-2010 had het uitschuren van een stroomkuil tot gevolg aan de zeezijde van de westelijke havendam. De onderwaterstrekdam in sectie 1160 vormt de harde westelijke grens van de stroomkuil. De kuil heeft in 2019 een lengte van ongeveer 500 m, een breedte van ongeveer 75 m en een grootste diepte t.o.v. de nabijgelegen, vlakke zeebodem van ongeveer 2 m in de nabijheid van de strekdam. De kuil noch het westelijke talud van de vaargeul Pas van Stroombank lijkt zich de recentste jaren verder te verdiepen. Mogelijk komt dat door een voldoende grote zandaanvoer via de Kleine Rede volgend op de reeks suppletiewerken in de kustzone ten westen van Oostende.

De kustzone van Nieuwpoort tot Oostende is structureel erosief. De reeds decennialange inspanningen voor zandaanvoer, die sinds het laatste decennium nog gevoelig zijn verhoogd, hebben met succes de erosie van de stranden gecompenseerd. De stranden zijn nu steviger en bevatten meer zandreserve dan ooit voorheen in de observatieperiode. Waar het strand zo sterk wordt gesuppleerd dat het nadien lokaal enigszins in zee uitsteekt t.o.v. de omgevende kustlijn, is de erosie het sterkst: Middelkerke, Mariakerke, tot 2009 Oostende-Centrum. De erosie van die zwaardere suppleties komt wel de aangrenzende stranden ten goede.



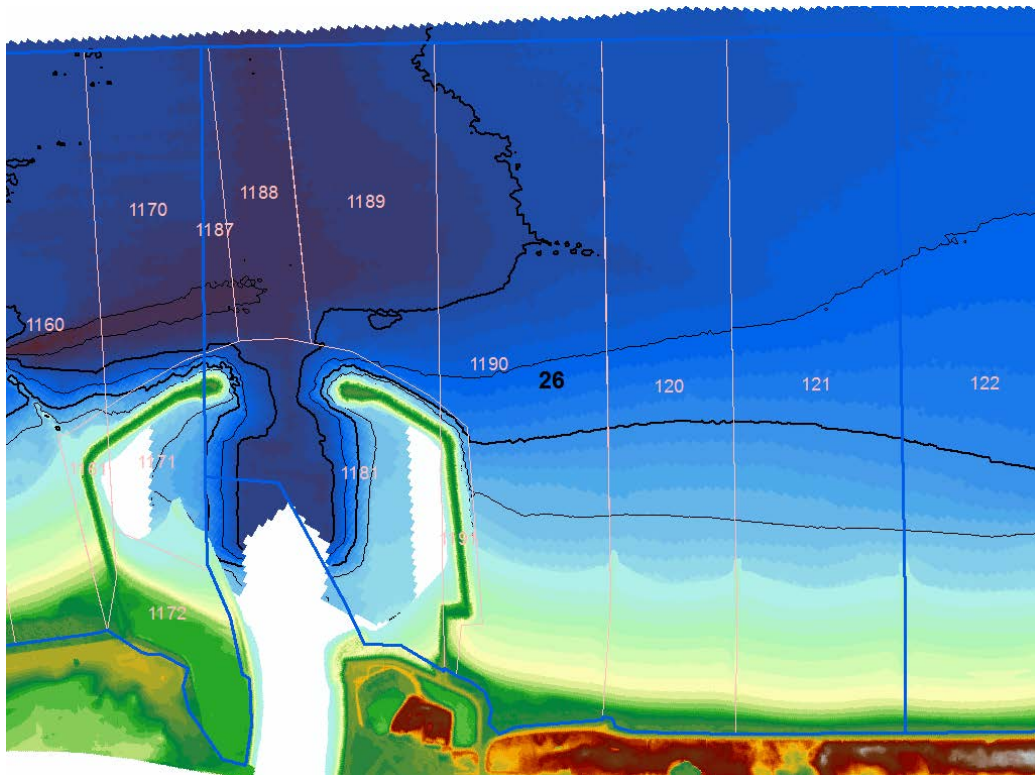
Schematische aanduiding met dikke pijlen van de verschuiving van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019. De pijlen geven de verplaatsingsrichting van de hoogtelijnen weer, en dus niet de richting van het eigenlijke sedimenttransport. Rood: natuurlijke erosie, lichtgroen: natuurlijke sedimentatie, donkergroen: aangroei rechtstreeks volgend op zandaanvoerwerken. Hoogtelijnen boven 0 m TAW om de 4 m; beneden 0 m TAW om de 2 m. Geel: 2000, oranje: 2007, rood: 2011, bruin: 2015, zwart: 2019. Kuststroken omlijnd in blauw, secties in zwart. Een grotere versie van deze kaart bevindt zich in bijlage 6.

Figuur 69 – Verplaatsing van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019, kustzone Nieuwpoort-Oostende.

9 Morfologische evolutie per kuststrook, zone 3: van Oostende tot en met Wenduine

9.1 Strook 26 (secties 118-121): Oostende ten oosten van de havengeul

Ligging van de strook: de secties van deze strook stemmen overeen met het kustdeel “Oostende-Oost”. In Houthuys (2012) werd de sectie 118 uit de strook weggelaten. Deze sectie maakt sinds het uitbouwen van de havendammen deel uit van het havengebied en bevat nauwelijks nog een strand. Maar voor een correctie studie van de evolutie van zandvolumes in de kustzone dient deze morfologisch actieve sectie wel bij de kuststrook te worden betrokken. De oude en nieuwe toegangseul bevindt zich immers in het zeebodemgedeelte van de oude sectie 118, nl. sectie 1180.



Figuur 70 – Situatiekaartje kuststrook 26, Oostende-Oost. Kustlengte: 971 m.

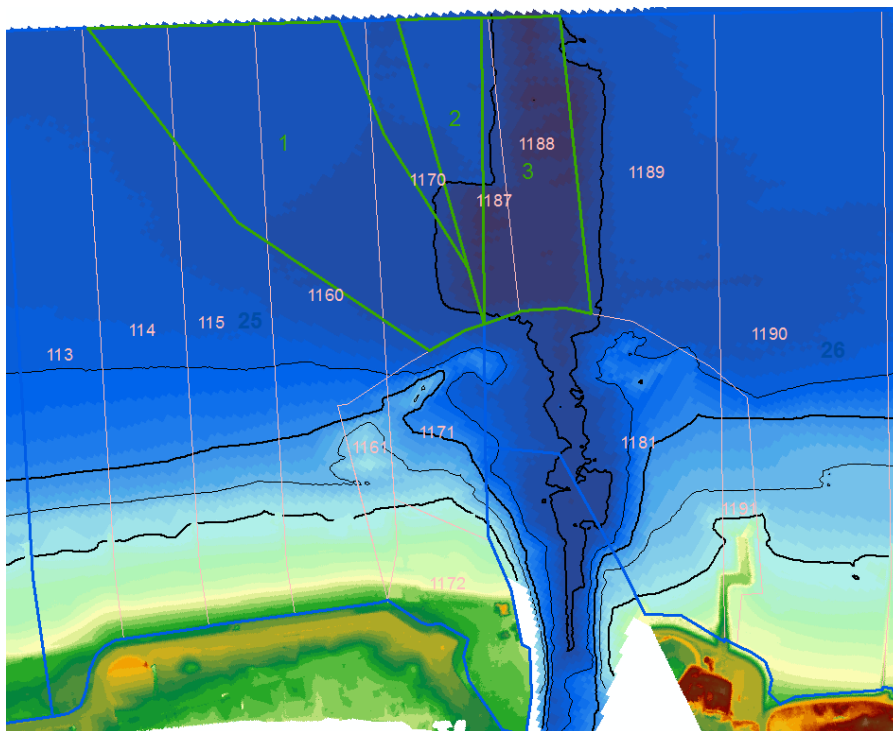
Vanaf 2009 werden de nieuwe havendammen van Oostende in zee uitgebouwd. Hierdoor werd een belangrijk gedeelte van secties 118 en 119 aan de natuurlijke dynamiek van het zandtransport aan de kust onttrokken. Er werden nieuwe secties 1180 en 1190 (vooroever en zeebodem) gedefinieerd die de nog actieve zones van de oude secties 118 en 119 bevatten (zie paragraaf 4.1).

De oude toegangseul naar de haven van Oostende verliep lichtjes schuin t.o.v. de kustrichting, vanaf de ingang van de haven naar het westen doorheen het meer in zee gelegen gedeelte van secties 118, 117, 116, 115 en 114, dus in kuststrook 25. Er werd een peil van de bodem aangehouden dat niet ondieper lag dan TAW -8 m. Vanaf 2009 werd de nieuwe vaargeul, "Pas van Stroombank" aangelegd. Deze heeft een oriëntatie die vrijwel loodrecht is op de kustlijn en doorkruist, voor wat de zone van de vooroeverlodingen betreft, enkel nog sectie 1180, deel van kuststrook 26. De geul wordt gehouden op een diepte van minstens

-9,5 m TAW en is dus ca. 1,5 m dieper dan de oude toegangsgeul. Ze doorkruist net buiten de sectiegrenzen de Stroombank. Er worden enkel cijfers gerapporteerd voor de volledige baggerzone, waarvan in oppervlakte maar ongeveer 1/4 tot sectie 1180 hoort. Daarom werden de volumes van het aanlegbaggerwerk geraamd uit de vooroever-hoogtemodellen voor 2009, 2010 en 2011, in drie veelhoeken die samenvallen met de morfologische eenheden van de nieuwe geul (zie *Figuur 71*).

Tabel 29 geeft de volumes bepaald in de veelhoeken tussen de vooroevermodellen voor, tijdens en na het aanlegbaggerwerk. De gemiddelde hoogteverschillen per vak zijn toegevoegd als indicatie voor de significantie van de bepaalde volumeverschillen. Men dient er zich wel rekenschap van te geven dat tijdens de baggeroperatie doorlopend aanzanding zal zijn opgetreden. Ook deze verse sedimentatie is telkens verwijderd. Dit volume is *niet* opgenomen in het resulterend volumeverschil.

De nieuwe vaargeul, "Pas van Stroombank", moet doorlopend worden onderhouden door baggerwerk. Het baggerwerk gebeurt onder de bevoegdheid en in opdracht van de afdeling Maritieme Toegang. Er zijn cijfers beschikbaar per baggercampagne en baggergebied. Er wordt om de drie à zes maanden een baggercampagne gehouden om de vaargeul op diepte te houden. Dit tijdsbestek laat toe af te leiden dat er doorlopend aanzanding (of aanslibbing) plaatsvindt in de geul aan een ritme van (zeer ruwweg geschat) 1 decimeter per maand. Uiteraard is de aanzanding geografisch niet gelijk gespreid. Deze vaststelling, en het feit dat de baggercampagnes vallen tussen de datums van de vooroeverlodingen, en het feit dat de rapporteringszone "Pas van Stroombank" niet samenvalt met het gebied dat gekubeerd wordt bij de opvolging van de morfologie van vooroever en zeebodem (de zone is veel groter in zeewaartse richting), was de reden waarom in deze studie ook naar de beschikbare peilplannen werd gekeken.



Achtergrond: hoogtemodel Voorjaar 2010, ingekleurd naar hoogteligging in stappen van 0,5 m.

Veelhoek 1: oude geul.

Veelhoek 2: deel van nieuwe geul in sectie 1160 en 1170 kuststrook 25).

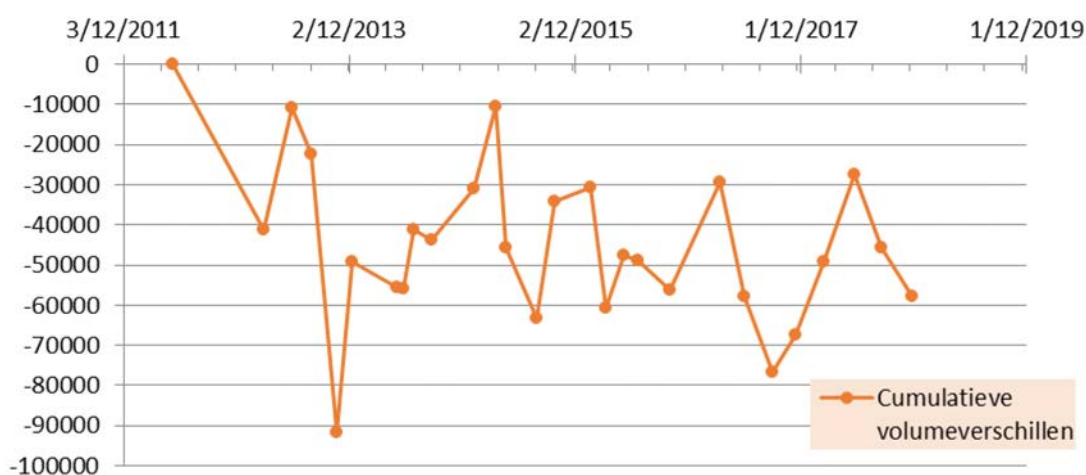
Veelhoek 3: deel van nieuwe geul in sectie 1180 (kuststrook 26).

Figuur 71 – Veelhoeken (1, 2, 3) voor de raming van het aanlegbaggerwerk van de nieuwe vaargeul naar Oostende.

Tabel 29 – Bepaling van het aanlegbaggerwerk voor de nieuwe vaargeul naar Oostende.

Gebied of veelhoek	Volumeververschil tussen hoogtemodellen	Oorzaak volumeververschil	Volumeververschil (m ³)	Gemiddeld hoogteverschil (m)
1	DV 2010-2009	natuurlijke aanzanding	199678	
2	DV 2010-2009	grotendeels aanlegbaggerwerk	-11864	
3	DV 2010-2009	grotendeels aanlegbaggerwerk	-192660	
1	DV 2011-2010	natuurlijke erosie	-28028	
2	DV 2011-2010	grotendeels aanlegbaggerwerk	-42042	
3	DV 2011-2010	grotendeels aanlegbaggerwerk	-5253	
Samenvatting volumeververschillen per kuststrook				
Strook 25 (113-117)	voor VO_2010	natuurlijke aanzanding	205000	0,77
Strook 25 (113-117)	voor VO_2010	grotendeels aanlegbaggerwerk	-12000	-0,04
Strook 26 (118-121)	voor VO_2010	grotendeels aanlegbaggerwerk	-193000	-1,09
Strook 25 (113-117)	voor VO_2011	grotendeels aanlegbaggerwerk	-42000	-0,16
Strook 26 (118-121)	voor VO_2011	grotendeels aanlegbaggerwerk	-5000	-0,03

Tussen mei 2012 en november 2018 werden 28 peilingen uitgevoerd van de zone "Pas van Stroombank". Er werd de ene keer met singlebeam op raaien loodrecht op de vaargeul, de andere keer met multibeam gemeten. De hoogteverschilkaarten t.o.v. de eerste opname, 10 mei 2012, tonen aan dat de zones met grootste diepteververschillen (toe te schrijven aan afwisselend sedimentatie en dan weer uitbaggeren) te vinden zijn waar de nieuwe vaargeul de Stroombank doorsnijdt enerzijds, en anderzijds net buiten de ingang tussen de nieuwe havendammen. Van deze 28 peilingen werden in de zone van de vaargeul die valt binnen de omlijning van de vooroeverlodingen, dus in deelsectie 1188 (zie *Figuur 71*), volumeververschillen t.o.v. de eerste opname van 10 mei 2012 bepaald (zie *Figuur 72*).



Evolutie tussen 10 mei 2012 en 27 november 2018. Volumes in m³ (verticale as) verkregen door het verschil tussen twee opeenvolgende peilplannen bij het vorige verschil te tellen. Een dalende curve tussen twee opnamen betekent dat het volume tussen die twee opnamen verkleint door erosie of baggeren, een stijging betekent dat er sedimentatie optreedt in de betreffende periode.

Figuur 72 – Evolutie van het volume in deelsectie 1188, het deel van de nieuwe vaargeul naar Oostende binnen het vooroeverlodingsgebied.

Er werd getracht een verband te leggen met de volumes gerapporteerd bij de baggeroperaties en gesommeerd per campagedag voor de zone "Pas van Stroombank". Er kon geen zinvolle relatie worden

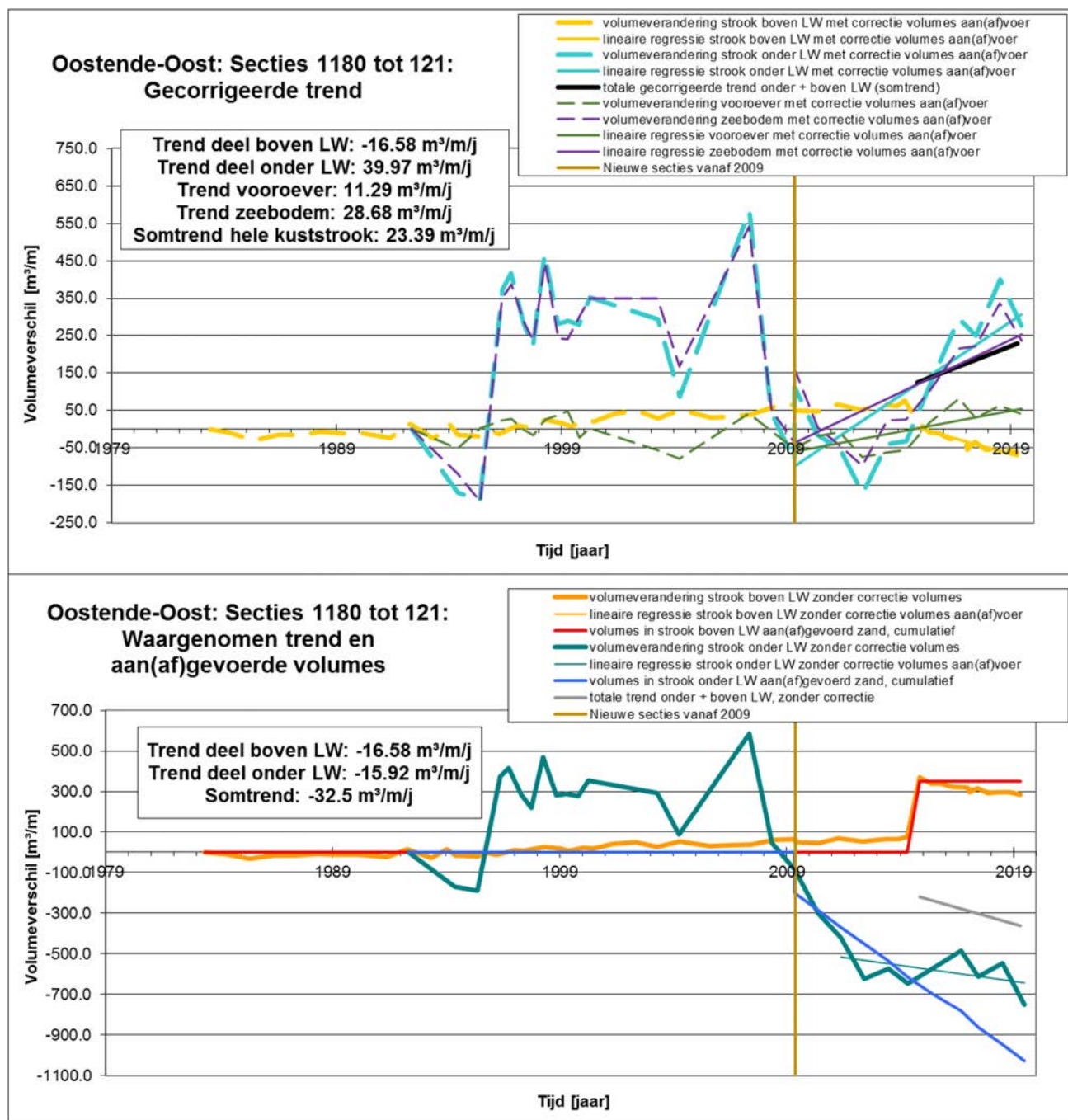
gelegd. De reden is het verschil in rapporteringszone. Ook wordt gerapporteerd in andere eenheden. En mogelijk speelt de tussentijds optredende, doorgaande verzanding, ook een versturende rol.

Uit de waargenomen volumeverschillen tussen de peilingen (*Figuur 72*) blijkt over de 6,5 jaren van de peilingen een lichte, resulterende afname, dus resulterende verdieping van de vaargeul. De volumeverschillen tussen opeenvolgende peilingen kunnen variëren van slechts een paar duizend m³ tot maximaal 70.000 m³. Het gemiddelde verschil (ongeacht positief of negatief) is een kleine 20.000 m³. Hieruit kunnen we afleiden dat de gemiddelde jaarlijkse volume-verwijdering gelijk is aan $20.000 \text{ m}^3 \times 27$ (aantal verschillen) / 6,5 (aantal jaren) / 2 (enkel afname) = 41.500 m³. Nochtans houden we ook rekening met de aanzanding die niet gevat wordt door de momentopnamen van de peilingen. Immers, er is geen verband tussen de datums van de peilingen en de baggeractiviteiten en in elke periode tussen twee peilingen waarin ook gebaggerd werd, is de sedimentatie tussen de eerste peiling en het baggeren niet begrepen. Ook het feit dat ooit, tussen de peiling van 31 juli 2013 en 24 oktober 2013 een volumevermindering van ongeveer 70.000 m³ werd gemeten, geeft aan dat de hoeveelheden per jaar vrij groot kunnen zijn. Modelleringen uit de tijd van het ontwerp van de nieuwe vaargeul, die met een aanlegpeil van -11 m TAW weliswaar ruim een meter dieper was voorzien dan later gerealiseerd, kwamen voor de eerste kilometer uit op een verwachte sedimentatie van 180.000 m³/jaar. Onze zone betreft enkel de eerste 600 m en de geul is dus minder diep aangelegd. Bij gebrek aan verdere gegevens nemen we voorlopig aan dat het gemiddelde jaarlijks volume zand dat uit het gedeelte van de nieuwe vaargeul dat binnen het gebied van de vooroeverlodingen valt, wordt verwijderd door baggeren, 80.000 m³ bedraagt. Dit cijfer wordt derhalve aangewend voor de gecorrigeerde volumereeks in kuststrook 26.

Alle specie wordt gestort op zee, op de loswal "Bruggen en Wegen Oostende". Dit zou betekenen dat de baggerspecie voornamelijk slib is. Gelet op de nabijheid van het strand en de zandige Stroombank moet er toch zeker ook zand bij zijn. Een uitzondering vormde het aanlegbaggerwerk. Hierbij werd grotendeels zand opgebaggerd. Het werd deels aangewend voor de strandsuppletie van Lombardsijde en deels voor de aanleg van een Sterneneiland in de buitenhaven van Zeebrugge. Er werd bij kuststrook 13 vermeld dat bij de suppletie van 2008-2009 meer dan 500.000 m³ werd aangebracht. Het is echter ook afkomstig uit zones die buiten het vooroeverlodingsgebied vallen en mogelijk ook uit andere winzones.

In het kader van het OW-plan Oostende werd in 2014 een grote strandsuppletie uitgevoerd met zeezand in secties 1190, 120, 121 en 122. Het werk werd uitgevoerd tussen de meetvluchten van Voorjaar en Najaar 2014. De aanvoer verhoogde grotendeels het deel van het strand boven laagwater, hoewel mogelijk ook een kleine aanvoer beneden de laagwaterlijn plaatsvond; het volume is echter geteld als correctie bij het deel boven LW. Er werd 507.801 m³ aangevoerd in beun. Met de gebruikelijke "efficiëntie" van 85% bedraagt de netto aanvoer op het strand 431.600 m³. Volgens de kustlengte (971 m in kuststrook 26, waarbij sectie 1190 met haar kustlengte van 347 m tweemaal mag worden geteld omdat in die sectie bij benadering tweemaal meer werd opgespoten, en 360 m in kuststrook 27) bedraagt de aanvoer respectievelijk 339.000 en 92.600 m³ voor kuststrook 26 en 27.

Morfologische evolutie: de volumes in het deel boven LW in deze kuststrook waren constant tot 1995, waarna er tot de grote suppletie van 2014 een lichte aangroei van +4 m³/m/jaar wordt waargenomen. De reden voor deze verandering is niet heel duidelijk. Er is geen trendverandering te bespeuren die zou kunnen worden gecorreleerd met de suppletiewerken in Oostende-Centrum sinds 2004. Maar er kan wel worden aangenomen dat er westwaarts langtransport optrad vanuit de kuststrook 27 (Bredene-West), waar omstreeks 1995 gestart werd met badstrandophogingen die in toenemende mate de aanvoer van zeezand inhielden. Na de strandsuppletie van 2014 doet zich het verwachte fenomeen van initieel sterkere, en geleidelijk mildere afslag voor. Het gemiddelde afslagritme Najaar 2014 – Voorjaar 2019 is -16,6 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 2,5 m³/m/jaar), een in verhouding tot de aangebrachte hoeveelheden milde afslag. Bij de opname Voorjaar 2019 is nog ongeveer 60% van het opgespoten zand aanwezig. Het deel onder LW kende een belangrijke trendverandering rond 2007. Een grote component van de sterke afname in 2007-2013 is het aanleggen en nadien op diepte houden van de nieuwe vaargeul naar de haven van Oostende, de "Pas van Stroombank". Zelfs wanneer we compenseren voor het aanleg- en onderhoudsbaggerwerk, is er in die periode nog erosie.



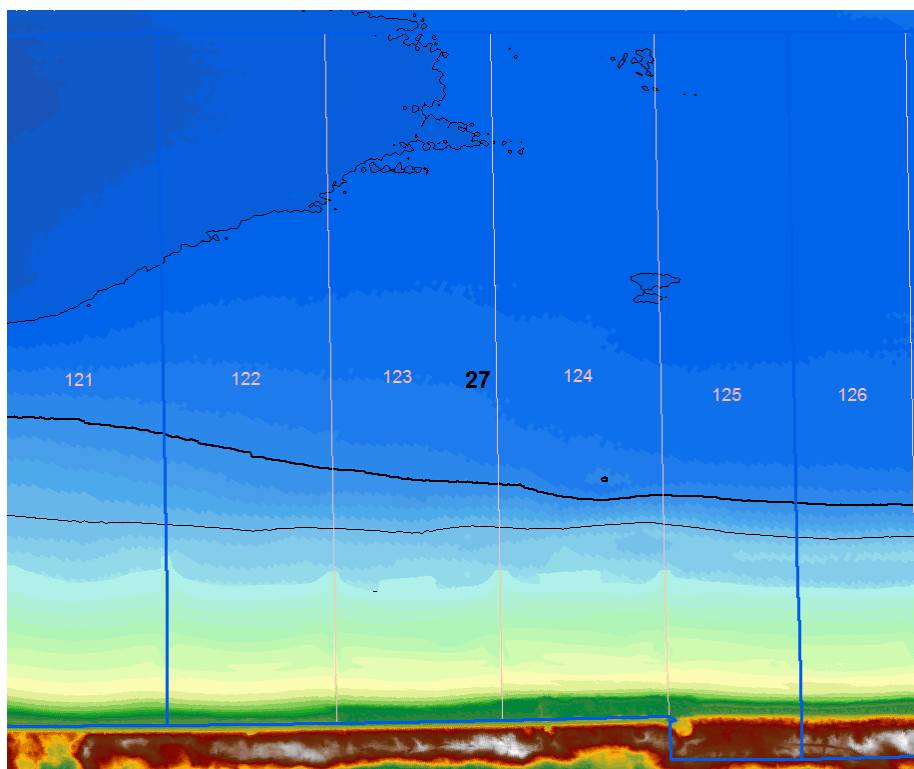
Figuur 73 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 26. Kustlengte: 971 m.

De opeenvolgende differentiële hoogtekarten tonen aan dat de nabijheid van de nieuwe vaargeul in de eerste jaren na de aanleg van de nieuwe vaargeul sterke verbreding en uitdieping meemaakt. Dit proces gaat nog door tot de recentste opname van 2019 en bereikt over een ruime oppervlakte waarden tussen 1 en 2, maar wordt (in de globale cijfers) deels gemaskeerd door aangroei in een andere zone, ongeveer 350 m breed, parallel met de kustlijn en ter hoogte van de bocht in de oostelijke dam, waar dan weer stelselmatige aangroei wordt waargenomen, volgend op de bouw van de havendammen. De verticale aangroei is in 2019 tot ongeveer 1 m. Gaande in de richting van het strand merken we nog de aanzet van een erosiestrook op het midden van de vooroever. Deze is naar het oosten toe verbonden met een belangrijke erosiestrook aan

de voet van de vooroever. En tussen deze smalle erosiezone en het strand ligt de hogere vooroever, die al jarenlang eerder aangroei vertoont. Er kan worden aangenomen dat deze zone voeding ontvangt van het strand te Bredene, waar reeds decennia en in steeds toenemende mate badstrandophogingen en suppleties plaatsvinden.

9.2 Strook 27 (secties 122-125): Bredene-West

Ligging van de strook: deze kuststrook komt overeen met het kustdeel “Bredene-West”. Secties 122-124 hebben een zeedijk en er is geen “duin”zone zeewaarts van de zeedijk. Sectie 125 heeft een duinaanzet. Er werden badstrandophogingen uitgevoerd in sectie 124 (de meest oostelijke 250 m van deze sectie) en sectie 125 en verder naar het oosten. De aanwas van de volumes doet zich dan ook vooral in secties 124 en 125 voor.



Figuur 74 – Situatiekaartje kuststrook 27, Bredene-West. Kustlengte: 1345 m.

Tabel 30 geeft een overzicht van de volumes betrokken bij de badstrandophogingen en de verdeling ervan over de kuststroken berekend op basis van de kustlengte. Hierbij werd voor sectie 124 rekening gehouden met het feit dat deze sectie slechts gedeeltelijk, palend aan sectie 125, aanvoer gebeurt. Voor 2000-2002 zijn geen cijfers bewaard. Er werd een redelijke aanname gedaan van het aangevoerde volume zeezand. Voor 2000-2003 is de zone waar de aanvoer verricht werd, niet bewaard. Er werd redelijkerwijze verondersteld dat dit in de secties 124-129 was, dezelfde zone als in de jaren erna. In sectie 129 werd vanaf 2004, en vermoedelijk ook vanaf 2000, slechts in de oostelijke 75 m van de 252 m kustlengte zand aangebracht. Ook hiermee werd rekening gehouden bij de verdeling over de kuststroken. Vanaf 2014 werden grote strandsuppleties uitgevoerd. De volumes werden telkens gerapporteerd in beun. Voor de omrekening naar netto volumetoenames op het strand werd gebruik gemaakt van een efficiëntiefactor van 85%.

Tabel 30 – Overzicht van de aangevoerde zandhoeveelheden in kuststroken 27, 28 en 29

Jaar	Plaats	zeezand (m ³)	strandzand (m ³)	STROOK 27 Gedeelte aangevoerd boven LW in secties 122-125	STROOK 27 Gedeelte afgevoerd onder LW in secties 122-125	STROOK 28 Gedeelte aangevoerd boven LW in secties 126-131	STROOK 28 Gedeelte afgevoerd onder LW in secties 126-131	STROOK 29 Gedeelte aangevoerd boven LW in secties 132-139	STROOK 29 Gedeelte afgevoerd onder LW in secties 132-139
1990	secties 125-127, 129, 131	7378		1600		5800			
1992	secties 124-127, 131		13910	2900	-2900	4100			
1993	secties 124-128 secties 133-148 secties 134-149	40000 20000	31040	6400	-6400	9100		6400 10000	-6400 -10000
1994	secties 134-149 secties 124-131	20000	44956	5900	-5900	16600		10000	-10000
1995	secties 124-133 secties 132-138		72921	7700	-7700	21600	-21600	7200 169100 + 360800	-7200 176200
1996	secties 124-132		34746	4000	-4000	11300	-11300	2100	-2100
1997	secties 124-131		40998	5400	-5400	15100	-15100		
1998	secties 125-130	19294		3500		15800			
1999	secties 125-127	17681		6400		11300			
2000	secties 124-129	15000		5900		9100			
2001	secties 124-129	15000		5900		9100			
2002	secties 124-129	15000		5900		9100			
2003	secties 124-129	10814	5684	5300	-1100	8400	-2500		
2004	secties 124-129	14951		5900		9100			
2005	secties 124-129	22040		8600		13400			
2006	secties 124-129	18203		7100		11100			
2007	secties 124-129	24856		9700		15200			
2008	secties 124-129	31445		11400		20000			
2009	secties 124-129	34974		12700		22300			
2010	geen ophoging	0	0						
2011	secties 124-128	32090		13400		18690			
2012	secties 124-129	29782		10000		19000			
2013	secties 129, 133, 134	31353				25100		6300	
2014	secties 124-143*	402350**		9700		113500		106900	
2014 (zomer)	secties 124-143 sectie 122+ sectie 123			38400 92600 38300					
2015	geen aanvoer								
2016	grote strandsuppletie secties 126-128	48938**				41600			
2017	grote strandsuppletie secties 124-129	296223**		94000		154300			
2017 (zomer)	grote strandsuppletie secties 129-133 secties 133-137	136419** 173174**				69600		46400 142000	
2018	geen aanvoer								
2019	geen aanvoer								

Bron : rapport 2004.111 voor 1990-1999; redelijke aanname voor 2000-2002; afdeling Kust, voor 2003-2019. *gedeeltelijke gegevens, zie overigens *Tabel 31*; **volume in beun, bij de netto toename wordt steeds gewerkt met een "efficiëntie" van 85%. +zie hierna in tekst.

Een eerste grote strandsuppletie werd in het begin van 2014 uitgevoerd, niet alleen in kuststrook 27 maar ook in stroken 28, 29 en 30. Hierbij werd in secties 124 tot en met 143 een volume van 402.350 m³ aangevoerd (volume in beun). Voor de raming van de netto toevoer op het strand wordt gewerkt met een "efficiëntie" van 85% (Tabel 31). De cijfers zijn overgenomen in Tabel 30.

Tabel 31 – Volumes aangebracht bij de grote strandsuppletie van 2014 in secties 124-143.

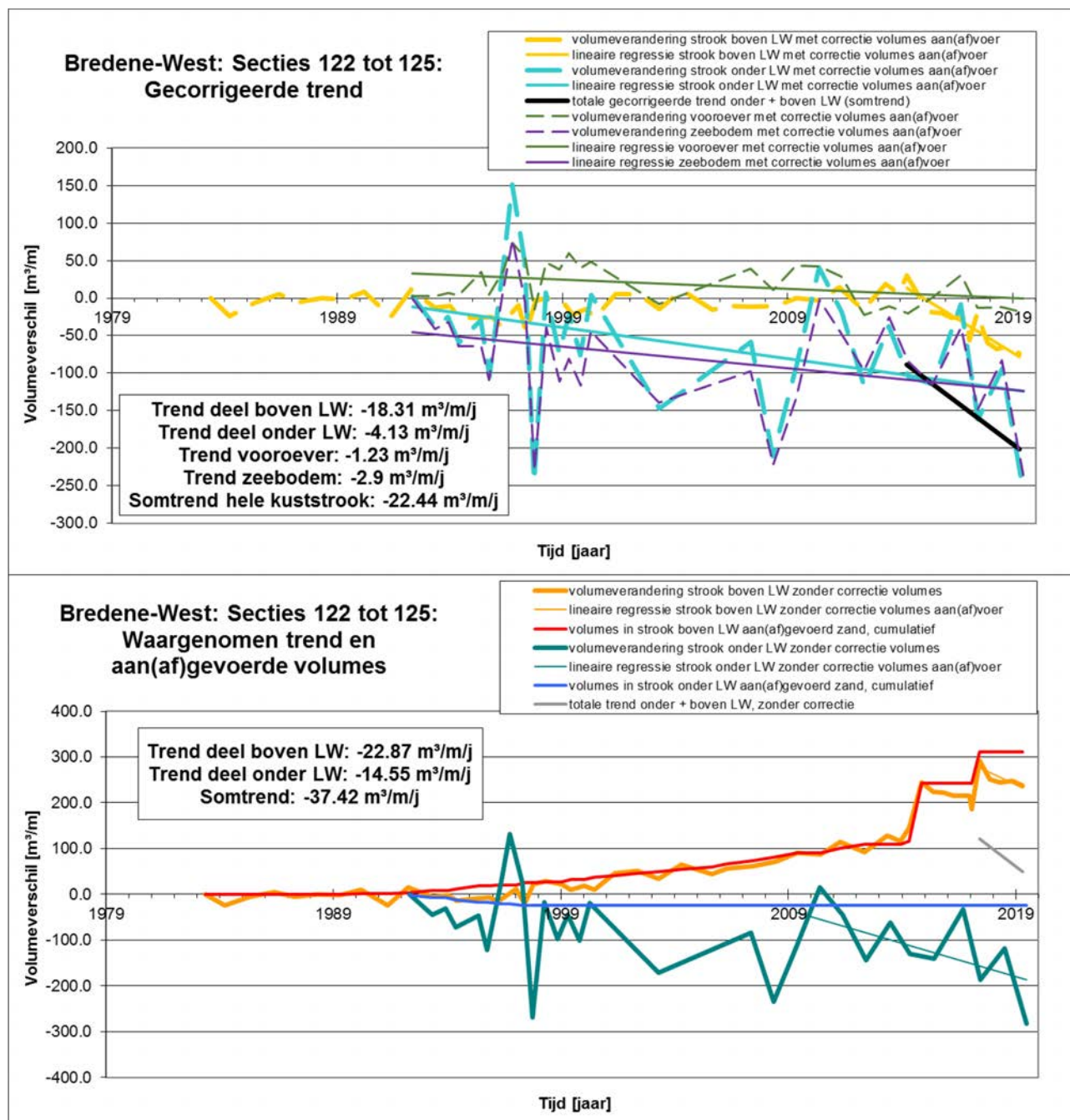
	Strook 27	Strook 28	Strook 29	Strook 30
gesuppleerde secties	124-125	126-131	132-138	139 tot 69 m in 143
kustlengte	633	1493	1407	967
waargenomen volumetoename in deel boven LW tussen VJ14-storm13	11600	106600	104300	96900
waargenomen volumetoename in deel boven LW tussen NJ14-VJ14	45700	-26800	-18100	-20100
totaal of maximum waargenomen volumetoename (voor verdeling)	57300	106600	104300	96900
berekende volumetoename bij suppletie op basis van kustlengte (samen 402.350 m³ x 85%)	48108	113468	106932	73492
verdeling suppletie over LIDAR-vluchten (gecorrigeerd volgens de kustlengte en de verdeling van de gemeten toename tussen de meetvluchten):				
voor Voorjaar 2014	9700	113500	106900	73500
tussen Voorjaar en Najaar 2014	38400			

De waargenomen toename (bovenste lijnen) wordt enkel gebruikt om de suppletiehoeveelheden (onderste lijnen) te kunnen verdelen over de tijdvakken tussen de meetvluchten.

In het kader van het OW-plan Oostende werd in 2014 een grote strandsuppletie uitgevoerd met zeezand in secties 1190, 120, 121 en 122. Het werk werd uitgevoerd tussen de meetvluchten van Voorjaar en Najaar 2014. De aanvoer verhoogde grotendeels het deel van het strand boven laagwater, hoewel mogelijk ook een kleine aanvoer beneden de laagwaterlijn plaatsvond; het volume is echter geteld als correctie bij het deel boven LW. Er werd 507.801 m³ aangevoerd in beun. Met de gebruikelijke "efficiëntie" van 85% bedraagt de netto aanvoer op het strand 431.600 m³. Volgens de kustlengte (971 m in kuststrook 26, waarbij sectie 1190 met haar kustlengte van 347 m tweemaal mag worden geteld omdat in die sectie bij benadering tweemaal meer werd opgespoten, en 360 m in kuststrook 27) bedraagt de aanvoer respectievelijk 339.000 en 92.600 m³ voor kuststrook 26 en 27.

Morfologische evolutie: de waargenomen tijdreeks van het deel boven LW toont constante volumes over de periode 1983-1997, gevolgd door een langzaam toenemende toename over 1997-2014. De badstrand-oophogingen begonnen reeds in 1990, maar hielden in die tijd vooral opvoer van nabij de laagwaterlijn in; er werd toen dan ook geen aangroei in deze kuststrook waargenomen. Vanaf 1995 hield de waargenomen aangroei ongeveer gelijke tred met de zandaanvoer. De gecorrigeerde tijdreeks van het deel boven LW toont een constante evolutie (trend 0) over de periode 1983-2014. De grote suppleties van 2014 en 2017 hebben bovenop de gestage aangroei voor 2014 het zandvolume aanwezig in de kuststrook nog eens verdubbeld. De suppleties kaderen in het verhogen van de kustveiligheid volgens het Masterplan Kustveiligheid. Op iedere suppletie volgt aanvankelijk, in het eerste jaar na de suppletie, intensere erosie gevolgd door veel mildere erosie die neigt naar nulafslag. In 2019 is van alle ooit in de kuststrook aangevoerd zand nog 76% aanwezig; van de aanvoer sinds 2014 is nog 60 % aanwezig. De voor aanvoer gecorrigeerde trend over 2014-2019 is -18 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 2,5 m³/m/jaar). Deze cijfers slaan op het deel boven LW; de hoogteverschilkaarten tonen duidelijk aan dat de hogere vooroever aangroeit wanneer het strand

gesuppleerd wordt en er is dus ook nog een gedeelte van het gesuppleerde volume aanwezig in het deel onder LW. Het deel onder LW vertoont grote schommelingen in de tijd. De algehele gecorrigeerde trend is negatief, $-4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $1,8 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$; het trendcijfer is dus niet significant). Het globale cijfer verbergt verschillen per zone.



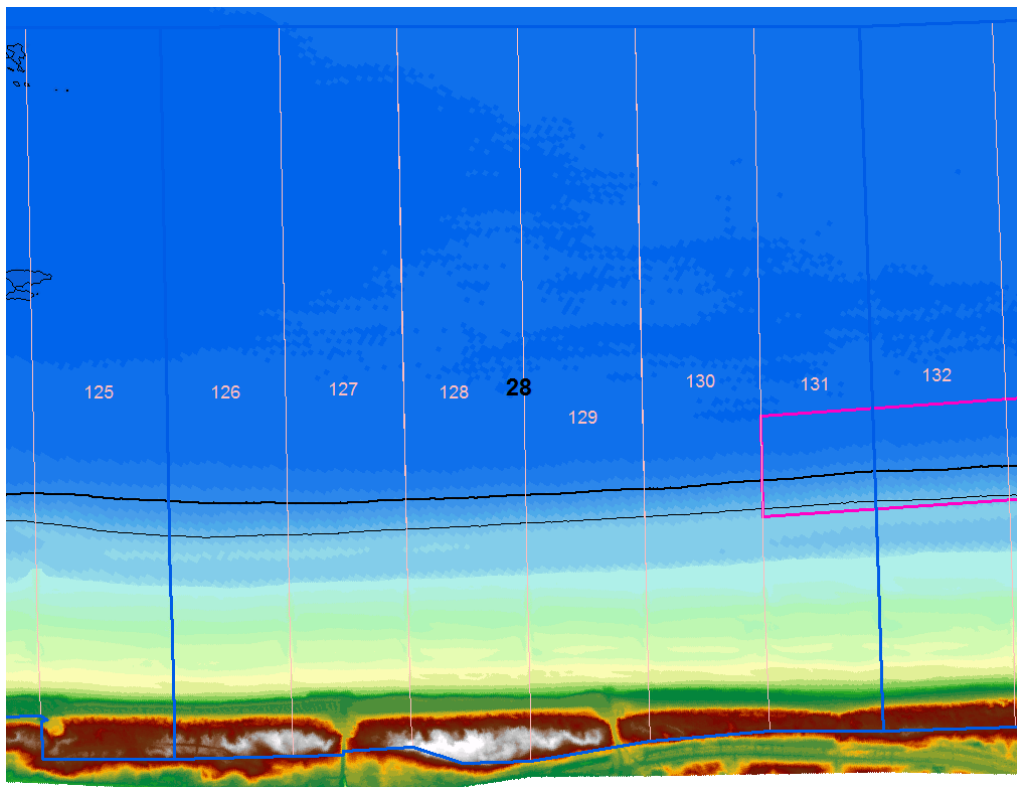
Figuur 75 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 27. Kustlengte: 1345 m.

Het volume van de zeebodem kende in deze kuststrook een eenmalige piek in 1996. Mogelijk heeft hier eenmalige doorvoer richting Oostende-Oost plaatsgevonden vanuit de zone met grootschalige zandaanvoeren tussen Bredene en Wenduine, hoewel dit enigszins onwaarschijnlijk klinkt gelet op het dominant oostwaartse transport. Sinds 2010 is de waargenomen trend afslag: $-14,6 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $6,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Ruimtelijk zijn er belangrijke verschillen. Zoals in kuststrook 26 vertoont de hogere vooroever reeds jaren een neiging tot aangroei (het lijkt erop dat een deel van de afslag van het strand na

suppletie hier terecht komt), kent een ruim 100 m brede strook op de lagere vooroever systematisch afslag, is er aan de zeezijde daarvan een ruim 300 m brede aangroeistrook, verbonden met de oostelijke dam van Oostende, die sinds de aanleg van die dam geleidelijk aangroeï kende, en verdiept de rest van de zeebodem in lichte mate, maar ook systematisch.

9.3 Strook 28 (secties 126-131): Bredene-Oost

Ligging van de strook: deze strook stemt overeen met het kustdeel “Bredene-Oost”. Hier worden sinds 1990 badstrandophogingen uitgevoerd. Meestal was dit nodig in de meest westelijke secties van het kustdeel, hoewel soms alle secties betrokken werden, en soms zelfs nog de secties van het aangrenzende kustdeel “Hippodroom” (kuststrook 29). In de jaren 1990 werd nog vaak zand van bij de laagwaterlijn opgevoerd, wat neerkomt op een interne herverdeling van het zand binnen het profiel. Na 2003 ging het nog uitsluitend om aanvoer van zeezand. In 2014 was de kuststrook betrokken in een grote strandsuppletie en in 2017 in een grote onderhoudssuppletie. De betrokken hoeveelheden vindt men in *Tabel 30* bij kuststrook 27.



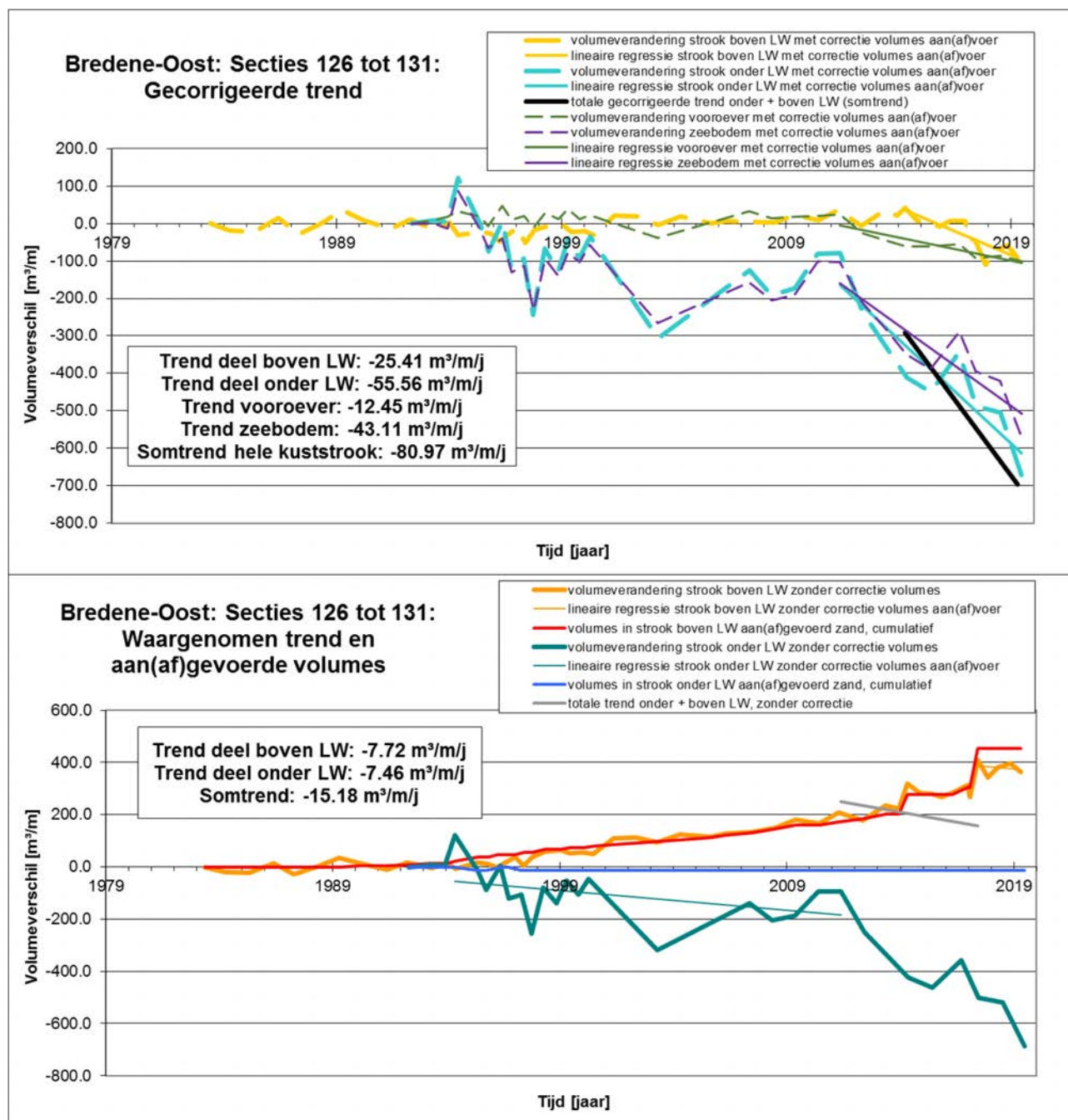
Dikke magenta omlijning: vak waarin in de jaren 1990 de onderwatersuppletie werd uitgevoerd.

Figuur 76 – Situatiekaartje kuststrook 28, Bredene-Oost. Kustlengte: 1493 m.

Sectie 131 was ook nog betrokken bij de aanleg van een onderwatersuppletie (fase 2a) op ongeveer 300 m zeewaarts van de laagwaterlijn in 1995-1996. De volledige gegevens en aannames over de bepaling van de volumetoename op de vooroever vindt men bij de volgende kuststrook (*Tabel 32*). Volgens de betrokken kustlengte kan men berekenen dat er tussen de koppelingen Najaar 1995 en Voorjaar 1996 30.100 m^3 werd aangebracht.

Na de Sinterklaasstorm (5-6 december 2013) werd in het begin van 2014 een grote onderhoudssuppletie uitgevoerd ter bescherming van de duinvoet, niet alleen in kuststrook 28 maar ook in stroken 27, 29 en 30. Hierbij werd in secties 124 tot en met 143 een volume van 402.350 m^3 aangevoerd (volume in beun). Voor

de raming van de netto toevoer op het strand wordt gewerkt met een "efficiëntie" van 85% (Tabel 31). De cijfers zijn overgenomen in Tabel 30.



Figuur 77 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 28. Kustlengte: 1493 m.

Na beginnende erosie volgend op de grote strandsuppletie van 2014, werd in 2017 een grote onderhoudssuppletie uitgevoerd in secties 129-133 (vallend in kuststroken 28 en 29). Het werk vond plaats tussen 29 maart en 15 april 2017. De aanvoer met schepen was uit winzone 4c en er werd in beun in het totaal een volume van 136.419 m^3 aangevoerd. Zoals gebruikelijk wordt een "rendement" van 85% verondersteld bij het bepalen van de netto volumetoename door de suppletie op het strand. De suppletiehoeveelheden werden volgens de kustlengte van de suppletie verdeeld over kuststrook 27 (570 m) en 28 (380 m). Deze hoeveelheden zijn eveneens opgenomen in Tabel 30.

Morfologische evolutie: de waargenomen tijdreeks van het deel boven LW was constant tot 1992 en werd gevolgd door een langzaam toenemende toename in de periode 1992-2014. De toename is volledig het gevolg van badstrandophogingen en toenemende zandaanvoer. In 2014 was het volledige volume aanvoer tot dan, ruim 300.000 m³, nog steeds aanwezig op het strand. Dat had daardoor reeds een verzwarende meegemaakt met 201 m³/m. De grote suppleties van 2014 en 2017 hebben bovenop de gestage aangroei voor 2014 het zandvolume aanwezig in de kuststrook nog eens verdubbeld. Op iedere suppletie volgt aanvankelijk, in het eerste jaar na de suppletie, intensere erosie gevolgd door veel mildere erosie die neigt naar nulafslag. In 2019 is van alle ooit in de kuststrook aangevoerd zand nog 80% aanwezig; van de aanvoer sinds 2014 is nog 56 % aanwezig. De voor aanvoer gecorrigeerde trend over 2014-2019 is -25 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 4,6 m³/m/jaar). De afslag was vooral sterk in het eerste jaar na iedere grote suppletie, daarna is hij veel milder. Deze cijfers slaan op het deel boven LW; de hoogteverschilkaarten tonen aan dat de hogere vooroever enigszins aangroeit wanneer het strand gesuppleerd wordt en er is dus ook nog een gedeelte van het gesuppleerde volume aanwezig in het deel onder LW.

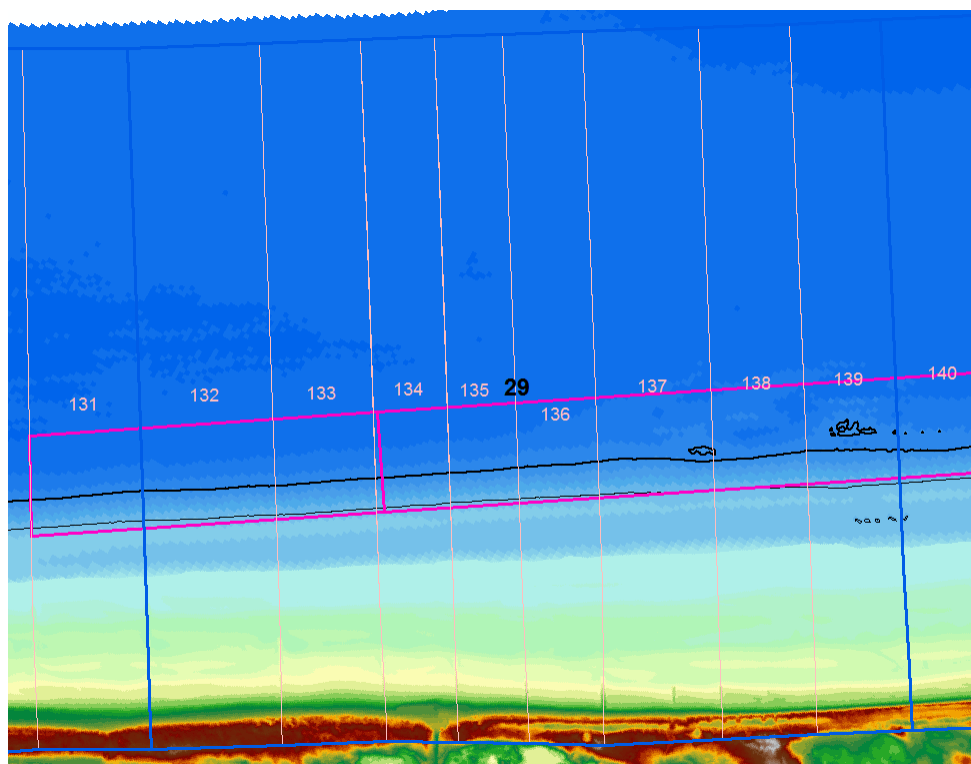
Het deel onder LW vertoont grote schommelingen in de tijd. Aanvankelijk, over de periode 1992-2011, was er een lichte afslagtrend van -7,5 m³/m/jaar (standaarddeviatie van de trend: 3,9 m³/m/jaar). Nadien nam de afslag sterk toe. Er wordt een trend van -56 m³/m/jaar (standaarddeviatie van de trend: 10 m³/m/jaar) waargenomen over 2011-2019. Het globale cijfer verbergt verschillen per zone. Het volume van de zeebodem kende in deze kuststrook een eenmalige piek in 1996. Mogelijk heeft hier eenmalige doorvoer richting Oostende-Oost plaatsgevonden vanuit de zone met grootschalige zandaanvoerwerken tussen Bredene en Wenduine, hoewel dit enigszins onwaarschijnlijk klinkt gelet op het dominant oostwaartse transport. Sinds 2010 is de waargenomen trend afslag: -14,6 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 6,5 m³/m/jaar). Ruimtelijk zijn er belangrijke verschillen. Zoals in de aanpalende kuststroken vertoont de hogere vooroever nog steeds een neiging tot aangroeien, maar het profiel schrijdt wel landwaarts terug. De verticale groei wijst erop dat een deel van de afslag van het strand na suppletie hier terecht komt. Een 150 m brede strook op de lagere vooroever kent evenwel systematisch afslag. T.o.v. 2000 nam de diepte meer dan 1 m, lokaal meer dan 2,5 m toe. En ook de hele zeebodem in deze kuststrook verdiept in minder intense mate, maar toch ook systematisch. T.o.v. 2000 ligt de zeebodem, die hier tevens de geulbodem van de getijgeul Kleine Rede is, meer dan een halve meter dieper. De verdieping van het gedeelte beneden LW stemt toch wel tot bezorgdheid.

9.4 Strook 29 (secties 132-139): Bredene-Hippodroom

Ligging van de strook: de secties van deze strook stemmen overeen met het kustdeel "Hippodroom". De secties kennen een gelijkaardige volume-evolutie en waren alle betrokken in de grote strandsuppletie van 1995 en de onderhoudssuppletie van 2017.

In 1978-1980 werd langs de kust in secties 133-150 een Longardsysteem aangebracht, een stelsel van grote kunststof buizen die gevuld werden met zand met de bedoeling om zand op het strand vast te houden. Het gedeelte in secties 133 tot halverwege sectie 142 dateert uit 1978. Bij de aanleg van dit gedeelte werd ook 558.230 m³ zand opgespoten. Deze aanvoer dateert van vóór de eerste meetvlucht voor de kuststrook. De Longardbuizen werden gedeeltelijk verwijderd in 1990 en 1993. Een ander deel is echter nog steeds aanwezig onder de suppletie van 1995-1996.

Er zijn beperkt badstrandophogingen uitgevoerd na de zware stormen van het begin van de jaren 1990. De hoeveelheden die aansluiten bij de badstrandophogingen van Bredene staan in de tabel bij de kuststrook 27 (Tabel 30).



Dikke magenta omlijning: vak waarin in de jaren 1990 de onderwatersuppletie werd uitgevoerd.

Figuur 78 – Situatiekaartje kuststrook 29, Bredene-Hippodroom. Kustlengte: 1407 m.

Zo werd in maart 1993 bij dringende noodzaak ca. 40.000 m³ zand opgevoerd van nabij de laagwaterlijn over ca. 3500 m kustlengte in secties 133-148. Het aandeel in deze kuststrook kan op basis van de kustlengte worden geraamd op $1131/3527 \times 40.000 / 2$ (deel beneden de laagwaterlijn) = 6.400 m³.

In december 1993 was opnieuw dringende opvoer noodzakelijk in de kuststrook vanaf de strandtoegang "Hippodroom" (sectie 134) tot de tunnel van het Zeepreventorium (sectie 149). Er werd ca. 20.000 m³ opgevoerd in de hier behandelde kuststrook, wat geraamd kan worden op een invoer in het sectievolume (zie Figuur 4) van 10.000 m³.

Ongeveer eenzelfde hoeveelheid werd opgevoerd na de storm van 26-28 januari 1994.

In dit kustdeel en de vier volgende zijn gefaseerd strandsuppleties uitgevoerd in de jaren 1990. De aangevoerde hoeveelheden zijn gerapporteerd als "volumes in beun" = volume aanwezig in het ruim van de baggerschepen vóór het opspuiten.

Tabel 32 – Hoeveelheden zand aangevoerd bij de grote strandsuppleties en onderwatersuppleties van de jaren 1990 tussen Bredene en Wenduine.

Timing	Wat	Waar?	Kustlengte	Volume in beun (m ³)
feb-jul 1991 en dec91-mrt92	voedingsberm fase 1	secties 148-157	2170	661787
apr-mei 1992	strandsuppletie fase 1	secties 149-158	2200	794365
nov93-sep94 en okt-dec95	voedingsberm fase 2a	secties 131-148	4043	649128
nov94-nov95	strandsuppletie fase 2a	secties 132-149	3250	1439964
jan96-feb98	voedingsberm fase 2b	secties 158-169	2400	471493
mrt-okt96	strandsuppletie fase 2b	secties 157-172	3200	1002385
feb98-aug99	bijstorting voedingsberm	secties 132-150	4318	94989
mei-jun 2000	aanvullingsuppletie strand	secties 150-156	1200	260493

Voor alle suppleties wordt hier aangenomen dat het “rendement” (= volumetoename van het strand / volume aanwezig in beun voor de opspuiting) 85% bedraagt. We nemen, op basis van eigen waarnemingen op het strand in die periode, aan dat bij de fases 2a en 2b (1994-1996) 90% van het aangevoerde zand in de volumeschijf boven het laagwatervlak en 10% in de schijf onder het laagwatervlak terecht kwam. Bij fase 1 (1992) en de aanvullingssuppletie van 2000 in en nabij De Haan-Centrum kunnen we een verdeling 80% - 20% veronderstellen.

Ook de voedingsberm op de vooroever werd in fases aangelegd. Er werden schattingen verricht van de efficiëntie ten tijde van de aanleg, op basis van de laatste vooroeverloding voor en de eerste na de uitvoering van de diverse fases. De rendementcijfers lopen uiteen van 44% tot 85%. De grote spreiding is toe te schrijven aan de slechte aansluiting van de lodingen bij de uitvoeringsfases. In het hoge cijfer 85%, dat bepaald werd voor fase 1 in De Haan-Centrum, is ook een bijdrage van het deel van de strandsuppletie onder laagwaterlijn verrekend. In Oostende sloten de voor- en nametingen wel goed aan bij de aanleg van de voedingsberm en werden kuberingen enkel gedaan in de zone zelf van de onderwaterberm. Hier werd toen een “rendement” van 78% behaald. We nemen voor de aanleg in de periode 1991-1999 aan dat het rendement ook telkens 78% bedroeg. Het tijdstip van aanleg verschilt van plaats tot plaats omdat de aanleg gefaseerd en over verschillende jaren verliep, tussen 1991 en 1999. De fasen zijn gedocumenteerd en de spreiding over de secties binnen de fasen wordt afgeleid uit de individuele grafieken van het vooroevervolume per sectie.

Tabel 33 – Verdeling van de suppletiehoeveelheden bij de grote suppleties van de jaren 1990 tussen Bredene en Wenduine over de kuststroken.

Suppletie rond De Haan : verdeling over de kuststroken			kust- lengte [m]	hoeveelheid [m ³] x rendement x kustlengte	hoeveel- heid [m ³] boven LW	hoeveel- heid [m ³] onder LW
Strook 28 s. 126-131						
	voedingsberm fase 2a	sectie 131	240	30100		30100
Strook 29 s. 132-138						
hele strook	strandsuppletie fase 2a		1407	529900		
	strandsuppletie fase 2a	sectie 137 en 138	449	169100	152200	16900
	strandsuppletie fase 2a	secties 132-136	958	360800	324700	36100
	voedingsberm fase 2a	secties 132-138	1407	176200		176200
	bijstorting voedingsberm	secties 132-138	1407	24100		24100
Strook 30 s. 139-145						
hele strook	strandsuppletie fase 2a		1647	620300		
	strandsuppletie fase 2a	secties 139-144	1272	479100	431200	47900
	strandsuppletie fase 2a	secties 144-145	375	141200	127100	14100
	voedingsberm fase 2a	secties 139-145	1647	206300		206300
	bijstorting voedingsberm	secties 132-138	1647	28300		28300
Strook 31 s. 146-150						
	strandsuppletie fase 1	secties 149-150	515	163900	131100	32800
	voedingsberm fase 1	secties 148-150	764	181700		181700
	strandsuppletie fase 2a	secties 146-149	800	301300	271200	30100
	aanvullingssuppletie strand	sectie 150	95	15500	12400	3100

	voedingsberm fase 2a	secties 146-148	749	93800		93800
	bijstorting voedingsberm	secties 132-138	749	12900		12900
Strook 32 s. 151-155						
	strandsuppletie fase 1	secties 151-155	1006	320300	256200	64100
	voedingsberm fase 1	secties 151-155	1006	239300		239300
	aanvullingssuppletie strand	secties 151-155	1006	185600	148500	37100
Strook 33 s. 156-160						
	strandsuppletie fase 1	secties 156-158	600	191000	152800	38200
	voedingsberm fase 1	secties 156-157	400	95200		95200
	strandsuppletie fase 2b	secties 157-160	800	213000	191700	21300
	voedingsberm fase 2b	secties 158-160	600	91900		91900
	aanvullingssuppletie strand	sectie 156	100	18500	14800	3700
Strook 34 s. 161-167						
	strandsuppletie fase 2b	secties 161-167	1435	382100	343900	38200
	voedingsberm fase 2b	secties 161-167	1435	219900		219900
Strook 35 s. 168-172						
	strandsuppletie fase 2b	secties 168-172	965	256900	231200	25700
	voedingsberm fase 2b	secties 168-169	365	55900		55900

Bijgevolg komen we aan volgende hoeveelheden aanvoer (werkelijke toename op het oppervlak) bij de suppleties in deze kuststrook.

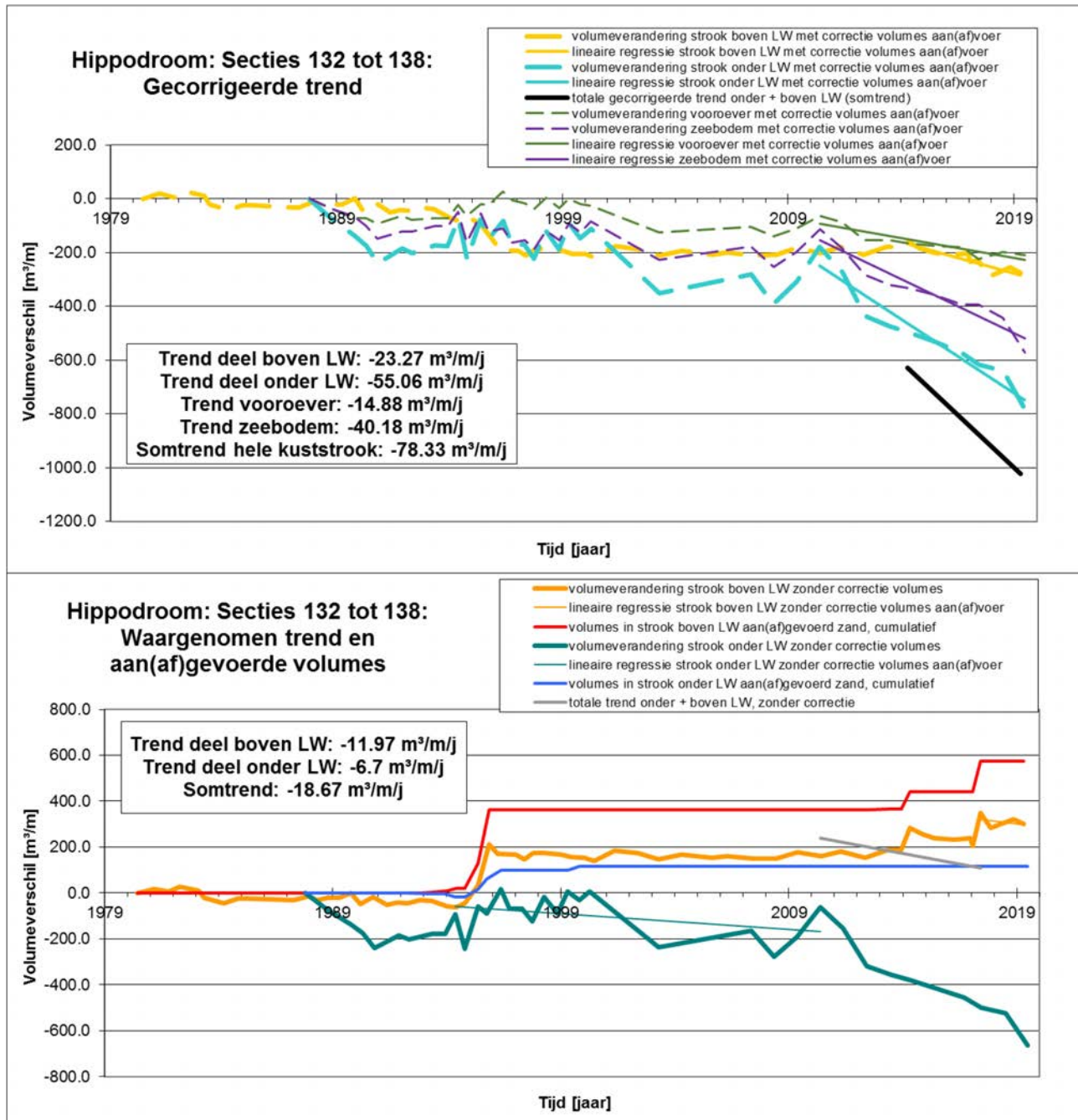
Het bij de strandsuppletie van 1995 aangevoerde zand kan geraamd worden op 529.900 m³, waarvan de secties 137 en 138 (of volgens de kustlengte 169.100 m³) reeds gerealiseerd werden in mei 1995 en de overige 360.800 m³ in secties 132-136 afgewerkt waren bij de meetvlucht van november 1995.

Het bij de aanleg van de voedingsberm aangevoerde zand kan geraamd worden op 176.200 m³. De stortingen vonden in secties 137-138 plaats tussen koppelingen Najaar 1994 en Voorjaar 1995, in secties 135-136 grotendeels tussen Voorjaar 1995 en Najaar 1996, en in secties 132-134 tussen de koppelingen Najaar 1995 en Voorjaar 1996. De volumetoename wordt daarom verdeeld in drie fases volgens deze tijdvakken.

Na 1995 werd er lange tijd geen zand meer aangevoerd.

Pas in het begin van 2014 werd een volgende grote strandsuppletie uitgevoerd, in kuststrook 27 tot 30. Hierbij werd in secties 124 tot en met 143 een volume van 402.350 m³ aangevoerd (volume in beun). Voor de raming van de netto toevoer op het strand wordt gewerkt met een "efficiëntie" van 85% (*Tabel 31*). De cijfers zijn overgenomen in *Tabel 30*.

Na beginnende erosie volgend op de grote strandsuppletie van 2014, werd in 2017 een grote onderhoudssuppletie uitgevoerd in secties 129-133 (vallend in kuststroken 28 en 29). Het werk vond plaats tussen 29 maart en 15 april 2017. De aanvoer met schepen was uit winzone 4c en er werd in beun in het totaal een volume van 136.419 m³ aangevoerd. Zoals gebruikelijk wordt een "rendement" van 85% verondersteld bij het bepalen van de netto volumetoename door de suppletie op het strand. De suppletiehoeveelheden werden volgens de kustlengte van de suppletie verdeeld over kuststrook 28 (570 m) en 29 (380 m). Deze hoeveelheden zijn eveneens opgenomen in *Tabel 30*. In dezelfde periode, en eindigend op 21 april 2017, werden ook de secties 133-137 onderworpen aan een grote onderhoudssuppletie. De aanvoer met schepen was uit winzone 4c en er werd in beun in het totaal een volume van 173.174 m³ aangevoerd. Ook nu wordt een "rendement" van 85% verondersteld bij het bepalen van de netto volumetoename door de suppletie op het strand. De toename valt volledig in kuststrook 29 en bedraagt aldus ca. 142.000 m³.

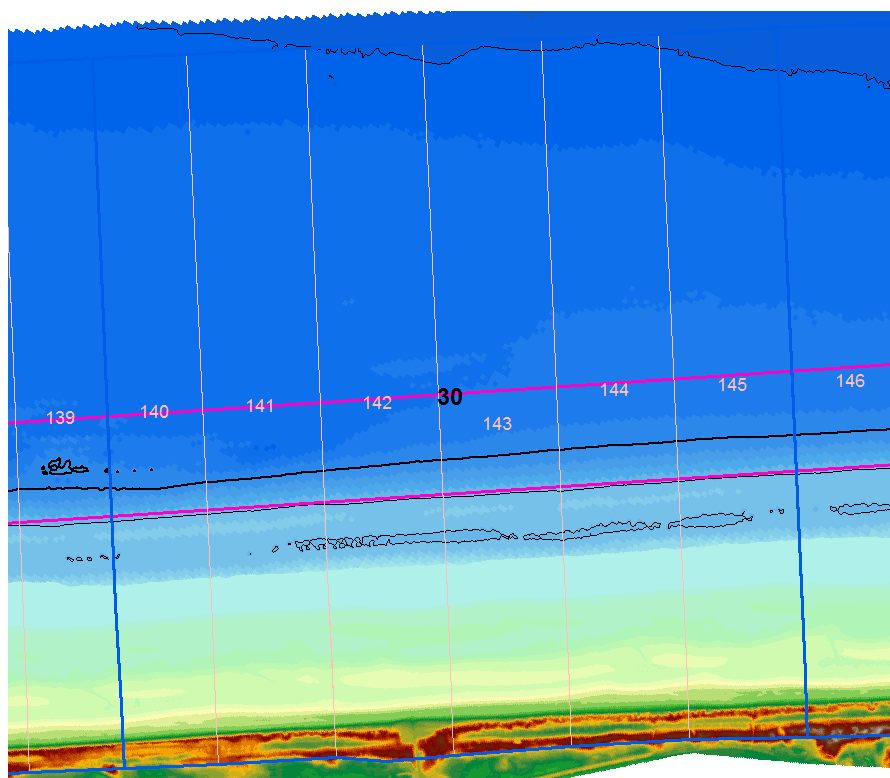


Figuur 79 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 29. Kustlengte: 1407 m.

Morfologische evolutie: voor 1995 kende het deel boven LW van deze kuststrook afslag, gemiddeld met $4 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ tussen 1980 en 1994. De grote strandsuppletie van 1995 verhoogde het profiel gevoelig, gemiddeld met bijna $+300 \text{ m}^3/\text{m}$. Na 1995 was er een initiële afslag in het eerste jaar; vervolgens bleven de zandvolumes constant, tot 2014, toen bij een nieuwe suppletie nogmaals $76 \text{ m}^3/\text{m}$ werd toegevoegd. Ditmaal was er wel erosie van enig belang, vooral in het eerste jaar na de suppletie, maar ook bij de storm Dieter (14-15 januari 2017), waarna al het in 2014 aangebrachte zand van het deel boven LW verdwenen was. De onderhoudssuppletie van 2017 verhoogde het gemiddeld volume vrij fors, met $134 \text{ m}^3/\text{m}$. Hiervan was bij de opname Voorjaar 2019 ca. $48 \text{ m}^3/\text{m}$ opnieuw geërodeerd, of ongeveer 35%. Over de periode 2017-2019 is de gemiddelde waargenomen afslag $-12 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie van de trend: $17 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$, dus groter dan de trend zelf). Zoals steeds was het eerste jaar de periode met de sterkste afslag. Van al het in de

observatieperiode in deze kuststrook aangevoerde zand (809.100 m^3) is er in 2019 nog 476.400 m^3 in de zone boven LW aanwezig, of 59%. De vooroever vertoont op de hoogteverschilkaarten enige aangroei in de zone van de eerste, meest zeewaartse brekerbank. Deze is echter wel de laatste jaren stelselmatig landwaarts verschoven. Hieraan paalt, op de lagere vooroever, een ca. 150 m brede erosiestrook. De vooroever schrijdt effectief landwaarts terug. Hierbij kunnen we stellen dat ook de in de jaren 1990 aangelegde "voedingsberm" helemaal is opgeruimd. De uitdieping sinds 2000 bedraagt vaak al tussen 2 en 2,5 m. Het zeewaarts aansluitende deel van de zeebodem hoort morfologisch tot de bodem van de getijgeul Kleine Rede. Deze kent erosie. Vooral de laatste 10 jaar was er een trendomslag en diepte deze geul uit; t.o.v. 2000 ligt de geulbodem lokaal tussen 0,5 en 0,75 m dieper. De zich uitdiepende zone verbreedde zich de laatste 10 jaar zowel westwaarts als oostwaarts.

9.5 Strook 30 (secties 139-145): Vosseslag



Dikke magenta omlijning: vak waarin in de jaren 1990 de onderwatersuppletie werd uitgevoerd.

Figuur 80 – Situatiekaartje kuststrook 30, Vosseslag. Kustlengte: 1647 m.

Ligging van de strook: deze kuststrook komt overeen met het kustdeel "Vosseslag". De secties kennen een gelijkaardige volume-evolutie en waren alle betrokken in de grote strandsuppletie met onderwatersuppletie van rond 1995.

In 1978-1980 werd langs de kust in secties 133-150 een Longardsysteem aangebracht. Het gedeelte in secties 133 tot halverwege sectie 142 dateert uit 1978. Bij de aanleg van dit gedeelte werd ook 558.230 m^3 zand opgespoten. Een tweede gedeelte werd in 1980 uitgevoerd van sectie 142 tot 150 over een lengte van 2100 m. Bij dit gedeelte van de uitvoering werd in het totaal 686.370 m^3 zand opgespoten. De aanvoer van het eerste gedeelte dateert van vóór de eerste meetvlucht voor de kuststrook. De aanvoer van het tweede gedeelte gebeurde na de eerste meetvlucht en wordt dus in rekening gebracht bij de aangevoerde hoeveelheden zand, volgens de kustlengte in deze kuststrook (873 m /2137 m) en met een geschat "rendement" van 75 %. Aldus bedroeg de aanvoer in deze kuststrook in 1980 210.300 m^3 De Longardbuizen

werden gedeeltelijk verwijderd in 1990 en 1993. Een ander deel is echter nog steeds aanwezig onder de suppletie van 1995-1996.

Er zijn beperkt badstrandophogingen uitgevoerd na de zware stormen van het begin van de jaren 1990. De hoeveelheden vindt men in *Tabel 34*.

Tabel 34 – Hoeveelheden zand aangevoerd ter hoogte van de strandtoegang "Vosseslag".

Badstrandophogingen in sectie 142, toegang Vosseslag	
Jaar	Zeezand (m ³)
1990	5152
1992	4979
1993	8500
1994	11820
2017	78500 (secties 142-143)

Bron : rapport KUST 2004.112 (1990-1994); afdeling Kust (2017).

Rond dezelfde periode waren bij stormafslag aan de duinvoet dringende opvoerwerken noodzakelijk.

Zo werd in maart 1993 bij dringende noodzaak ca. 40.000 m³ zand opgevoerd van nabij de laagwaterlijn over ca. 3500 m kustlengte in secties 133-148. Het aandeel in deze kuststrook kan op basis van de kustlengte worden geraamd op $1647/3527 \times 40.000 / 2$ (deel beneden de laagwaterlijn) = 9.300 m³.

In december 1993 was opnieuw dringende opvoer noodzakelijk in de kuststrook vanaf de strandtoegang "Hippodroom" (sectie 134) tot de tunnel van het Zeepreventorium (sectie 149). Er werd ca. 41.000 m³ opgevoerd in dit kustdeel, wat geraamd kan worden op een invoer in het sectievolume van 20.500 m³.

Ongeveer eenzelfde hoeveelheid werd opgevoerd na de storm van 26-28 januari 1994.

Gegevens en aannames over de verdeling van de aangevoerde hoeveelheden zand bij de grote zachte kustverdedigingswerken van medio de jaren 1990 vindt men bij de vorige kuststrook (*Tabel 32* en *Tabel 33*).

Het bij de suppletie van 1995 aangevoerde zand kan in dit kustdeel geraamd worden op 620.300 m³, waarvan de secties 139 - half 144 (of volgens de kustlengte 479.100 m³) reeds gerealiseerd werden in mei 1995 en de overige 141.200 m³ in secties half 144-145 afgewerkt waren bij de meetvlucht van november 1995.

10 % van deze aanvoer wordt bij de hogere vooroever geteld.

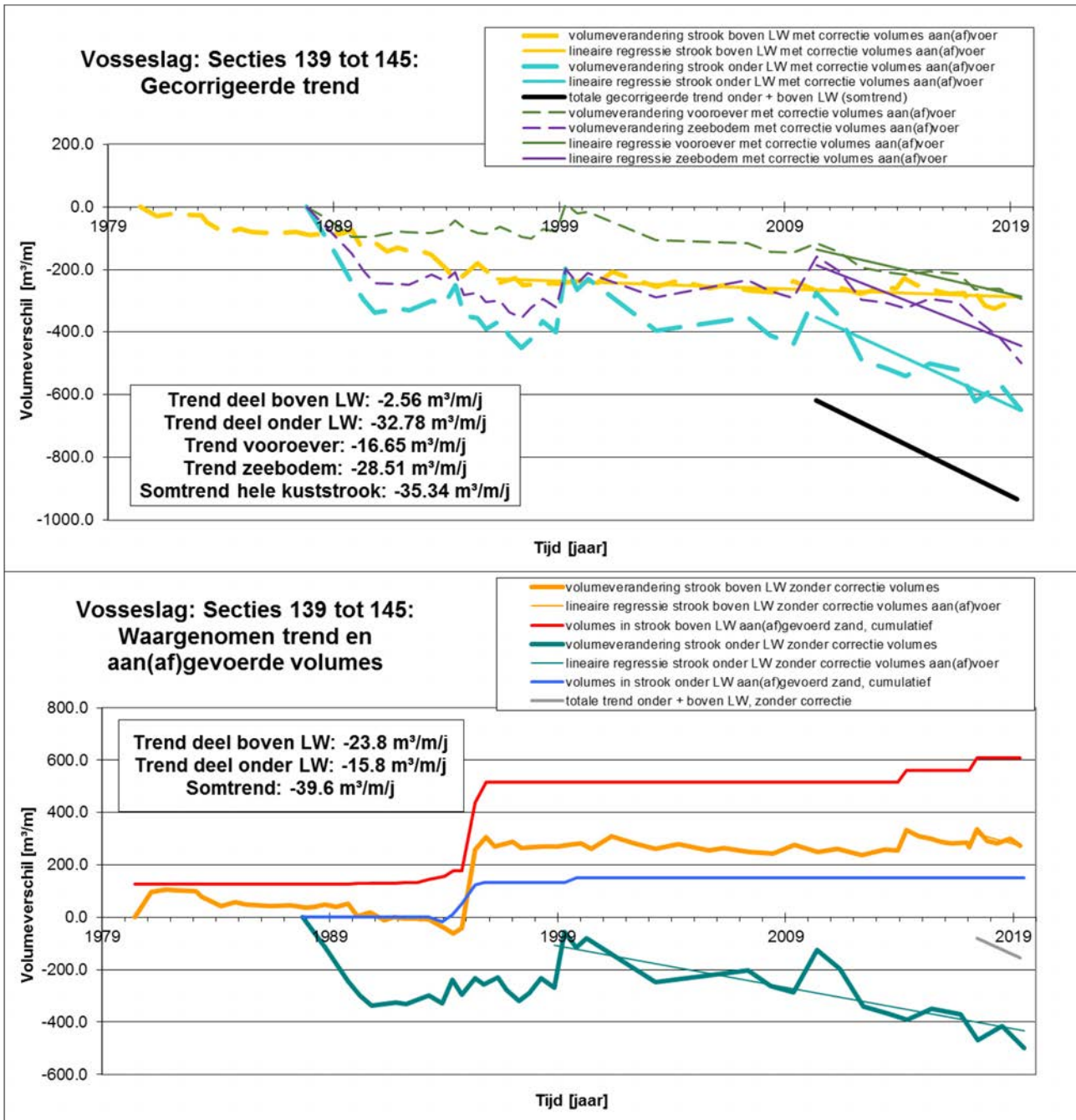
De aanleg van de voedingsberm in deze kuststrook omhelsde een volumetoevoer van 206.300 m³ verdeeld over de periode tussen Najaar 1993 en Voorjaar 1995. Er gebeurden ook nog eens bijstortingen met 28.300 m³ tussen voor- en Najaar 1999.

Na 1995 werd er lange tijd geen zand meer aangevoerd.

Pas in het begin van 2014 werd een volgende grote strandsuppletie uitgevoerd, in kuststrook 27 tot 30, volgend op de Sinterklaasstorm van eind 2013 en kaderend in het onderhoudsprogramma. Hierbij werd in secties 124 tot en met 143 een volume van 402.350 m³ aangevoerd (volume in beun). Voor de raming van de netto toevoer op het strand wordt gewerkt met een "efficiëntie" van 85% (*Tabel 31*).

Na beginnende erosie volgend op de grote strandsuppletie van 2014, werd in 2017 een grote onderhoudssuppletie uitgevoerd, waarbij de onderhoudssuppletie van kuststroken 28 en 29 aansluit. Het werk werd uitgevoerd in maart-april 2017, eindigend op 12 april 2017, en vond plaats in secties 142 en 143. De aanvoer met schepen was uit winzone 4c en er werd in beun in het totaal een volume van 92.346 m³ aangevoerd. Ook nu wordt een "rendement" van 85% verondersteld bij het bepalen van de netto volumetoevoer door de suppletie op het strand. De toename valt volledig in kuststrook 30 en bedraagt aldus ca. 78.500 m³ (zie *Tabel 34*).

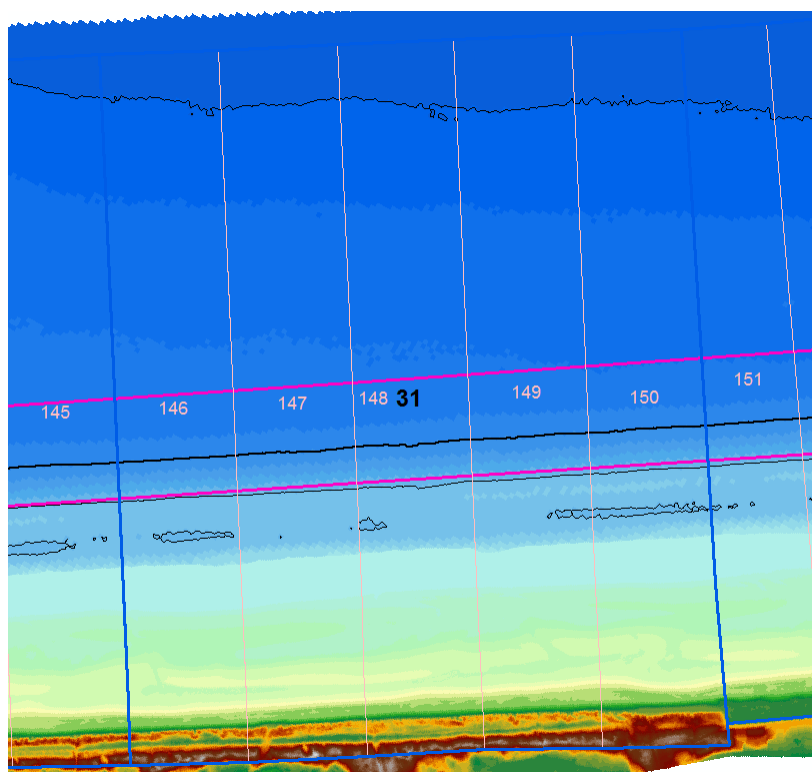
Morfologische evolutie: vooral het deel beneden LW slaat af. Deze erosie ligt waarschijnlijk ten oorzaak aan de erosie van het deel boven LW, die succesvol bestreden wordt met suppleties. Het veiligheidsniveau van 1995 bleef minstens behouden en de zandvolumes bleven sindsdien steeds meer dan 250 m³/m boven het in 1981 eerst opgemeten volume. De grote strandsuppletie van 1995 verhoogde het profiel gevoelig, gemiddeld met meer dan +300 m³/m. Na 1995 was er een initiële afslag in het eerste jaar; vervolgens was er een nauwelijks merkbare afslagtrend, tot 2014, toen bij een nieuwe suppletie nogmaals 45 m³/m werd toegevoegd. Ditmaal was er wel erosie van enig belang, vooral in het eerste jaar na de suppletie, maar ook bij de storm Dieter (14-15 januari 2017), waarna 70% van het in 2014 aangebrachte zand van het deel boven LW verdwenen was. De onderhoudssuppletie van 2017 verhoogde het zandvolume enkel in secties 142 en 143. Gemiddeld voor de kuststrook was de toename dan wat minder groot, nl. 48 m³/m. Hiervan was bij de opname Voorjaar 2019 ca. 40 m³/m opnieuw geërodeerd, of ongeveer 84%. Over de periode 2017-2019 is de gemiddelde waargenomen afslag -24 m³/m/jaar (standaarddeviatie van de trend: 12 m³/m/jaar). Zoals steeds was het eerste jaar de periode met de sterkste afslag. Van al het in de observatieperiode in deze kuststrook aangevoerde zand (1.001.400 m³) is er in 2019 nog 451.300 m³ in de zone boven LW aanwezig, of 45%. Op de hogere vooroever is de eerste, meest zeewaartse brekerbank de laatste jaren stelselmatig landwaarts verschoven. Hieraan paalt, op de lagere vooroever, een ca. 150 m brede erosiestrook. De vooroever schrijdt effectief landwaarts terug. Hierbij kunnen we stellen dat ook de in de jaren 1990 aangelegde "voedingsberm" helemaal is opgeruimd. De uitdieping sinds 2000 bedraagt vaak al tussen 2 en 3 m. Het deel zeebodem van deze kuststrook bevat de in oostelijke richting vernauwende bodem van de getijgeul Kleine Rede. Zeewaarts ervan ligt een lage verhevenheid, die nog geen halve meter hoger is dan de geulbodem. Het is het oostelijke uiteinde van de Stroombank die in kuststroken 30-32 aanhecht bij de vooroever. Zeewaarts ervan wordt de bodem opnieuw wat dieper: dit is de getijgeul Grote Rede. Heel het zeebodemgedeelte kent erosie. Vooral de laatste 10 jaar was er een trendomslag en diepte het deel onder LW uit. De afslagtrend 2010-2019 is -33 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 6 m³/m/jaar); over de laatste 2 decennia (1999-2019) is de afslag -16 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 2,6 m³/m/jaar). T.o.v. 2000 ligt de zeebodem lokaal tussen 0,5 en 0,75 m dieper. De "top" van de uitloper van de Stroombank is evenwel ongeveer op dezelfde diepte gebleven.



Figuur 81 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 30. Kustlengte: 1647 m.

9.6 Strook 31 (secties 146-150): De Haan-West

Ligging van de strook: deze kuststrook komt overeen met het kustdeel “De Haan-West”. De secties kennen een gelijkaardige volume-evolutie. Weliswaar werden de verschillende fases van de strandsuppletie in en rond De Haan niet in alle secties gelijktijdig doorgevoerd. De bijdrage van iedere fase werd zo nauwkeurig mogelijk ingeschat.



Dikke magenta omlijning: vak waarin in de jaren 1990 de onderwatersuppletie werd uitgevoerd.

Figuur 82 – Situatiekaartje kuststrook 31, De Haan-West. Kustlengte: 1264 m.

In 1978-1980 werd langs de kust in secties 133-150 een Longardsysteem aangebracht. Een tweede gedeelte werd in 1980 uitgevoerd van sectie 142 tot 150 over een lengte van 2100 m. Bij dit gedeelte van de uitvoering werd in het totaal 686.370 m³ zand opgespoten. De aanvoer van het tweede gedeelte gebeurde na de eerste meetvlucht en wordt dus in rekening gebracht bij de aangevoerde hoeveelheden zand, volgens de kustlengte in deze kuststrook (1264 m /2137 m) en met een geschat "rendement" van 75 %. Aldus bedroeg de aanvoer in deze kuststrook in 1980 304.500 m³. De Longardbuizen werden gedeeltelijk verwijderd in 1990 en 1993. Een ander deel is echter nog steeds aanwezig onder de latere suppleties.

In deze kuststrook vonden geen badstrandophogingen plaats.

Na de intense afslag bij de zware voorjaarsstormen van 1990 werden in en rond De Haan grootschalige opspuitingswerken noodzakelijk (*Tabel 32* en *Tabel 33*). In 1991 werd gestart met de aanleg van een voedingsberm op de vooroever. Deze berm werd in verschillende jaren uitgebreid tot hij zich voor de hele kuststrook van sectie 132 tot 169 uitstrekte. De hoeveelheden hierbij betrokken zijn ruwweg de helft van de volumes die bij de opeenvolgende fases van de strandsuppleties op het strand werden aangebracht.

In de eerste fase van de grote strandsuppletie rond De Haan werd over een kustlengte van 2100 m, van sectie 149 tot 158, in april-mei 1992 794.365 m³ opgespoten. Het aandeel in deze kuststrook op basis van de kustlengte en rekening houdende met een "rendement" van 85 % is 163.900 m³. Dit volume wordt voor de correctie van de cijfergegevens gespreid over het deel onder en boven LW volgens de verhouding 20%-80%.

Bij de voedingsberm fase 1 werd tussen Najaar 1990 en Najaar 1991 in dit kustdeel 181.700 m³ aangebracht (geraamde effectieve toename).

Kort nadien waren bij stormafslag aan de duinvoet dringende opvoerwerken noodzakelijk.

Zo werd in maart 1993 bij dringende noodzaak ca. 40.000 m³ zand opgevoerd van nabij de laagwaterlijn over ca. 3500 m kustlengte in secties 133-148. Het aandeel in deze kuststrook kan op basis van de kustlengte worden geraamd op $749/3527 \times 40.000 / 2$ (deel beneden de laagwaterlijn) = 4.200 m³.

In december 1993 was opnieuw dringende opvoer noodzakelijk in de kuststrook vanaf de strandtoegang "Hippodroom" (sectie 134) tot de tunnel van het Zeepreventorium (sectie 149). Er werd ca. 25 m³/m opgevoerd, wat voor deze kuststrook geraamd kan worden op een invoer in het sectievolume van 25 m³/m x 800 m x 0,5 (deel afkomstig onder laagwaterlijn) = 10.000 m³.

Ongeveer eenzelfde hoeveelheid werd opgevoerd na de storm van 26-28 januari 1994.

Inmiddels ging de aanleg van fase 2a van de onderwaterberm verder. Tussen Najaar 1992 en Voorjaar 1994 werd een ingeschat effectief volume van 93.800 m³ in dit kustdeel aangebracht.

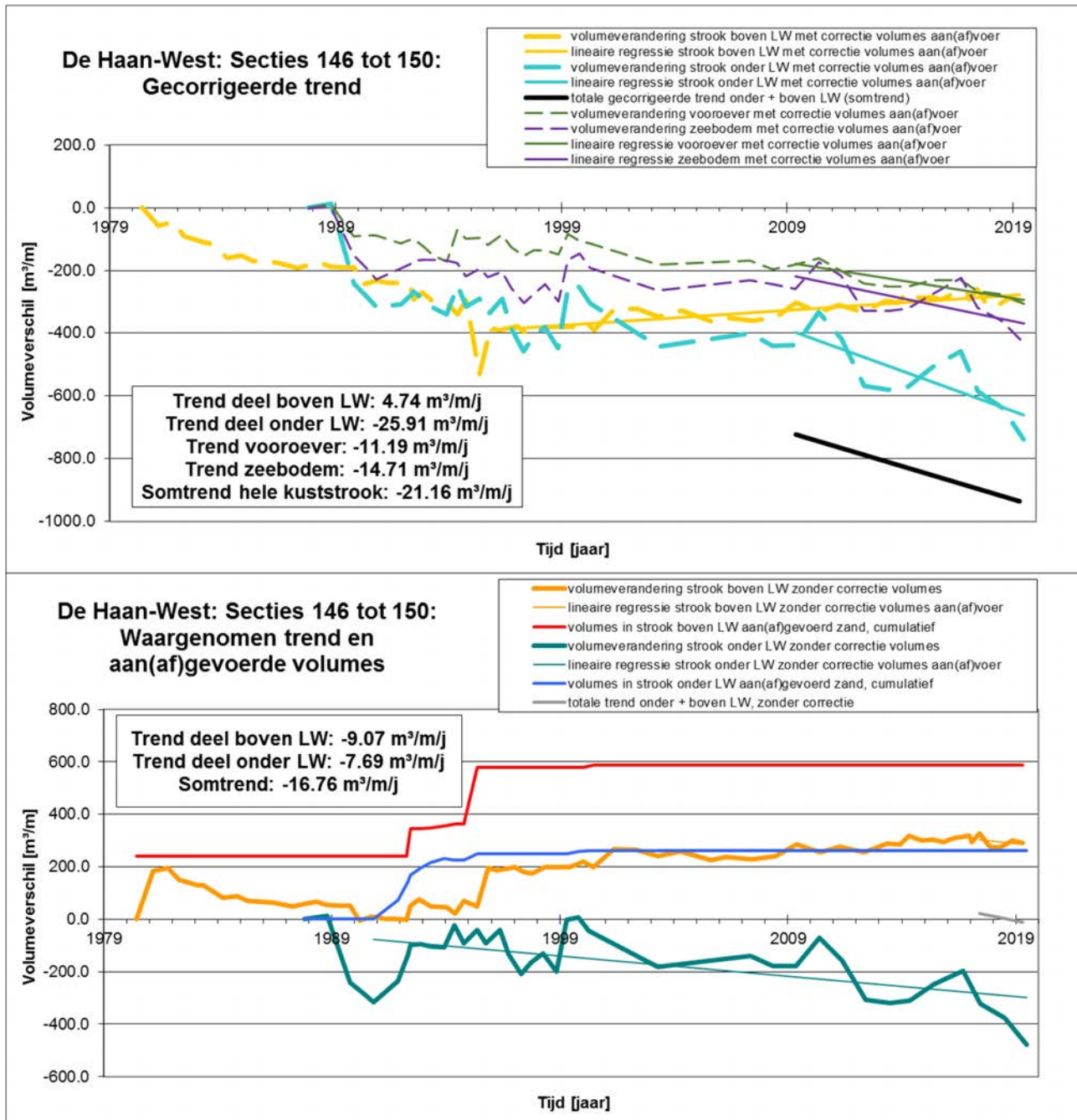
Het bij de suppletie van oktober 1995 aangevoerde zand kan in dit kustdeel geraamd worden op 301.300 m³. Dit zand werd aangebracht in de secties 146-148 met een overgang in sectie 149 naar het in 1992 opgespoten deel. Het wordt verdeeld over de volumes onder LW – boven LW als 90%-10%.

In 1999 werden bijstortingen verricht aan de onderwaterberm. De effectieve volumes hierbij in dit kustdeel aangebracht belopen 12.900 m³.

In mei-juni 2000 werd in De Haan-Centrum een aanvullingssuppletie uitgevoerd over een strook van 1200 m lengte. Een deel van deze kuststrook, nl. de meest oostelijke 95 m van sectie 150, werd in deze suppletie betrokken. Het hier aangebrachte volume kan geraamd worden op 15.500 m³.

Lange tijd was geen nieuwe aanvoer nodig. Maar recent werd opnieuw gesuppleerd op het strand. Een eerste grote strandsuppletie situeerde zich net ten oosten van kuststrook 31, in de kuststrook 32, De Haan-Centrum. Zij werd uitgevoerd in het voorjaar van 2016. Een tweede grote onderhoudssuppletie was nodig geworden in 2019. Deze had een grotere uitgestrektheid, van sectie 150 tot 158. Aldus was er ook enige zandaanvoer in kuststrook 31, nl. 27.700 m³. Maar in sectie 150 werd pas na de voorjaarsvlucht van 2019 gesuppleerd, zodat in de tabel en de grafiek van kuststrook 30 de aanvoer nog niet is ingevoerd.

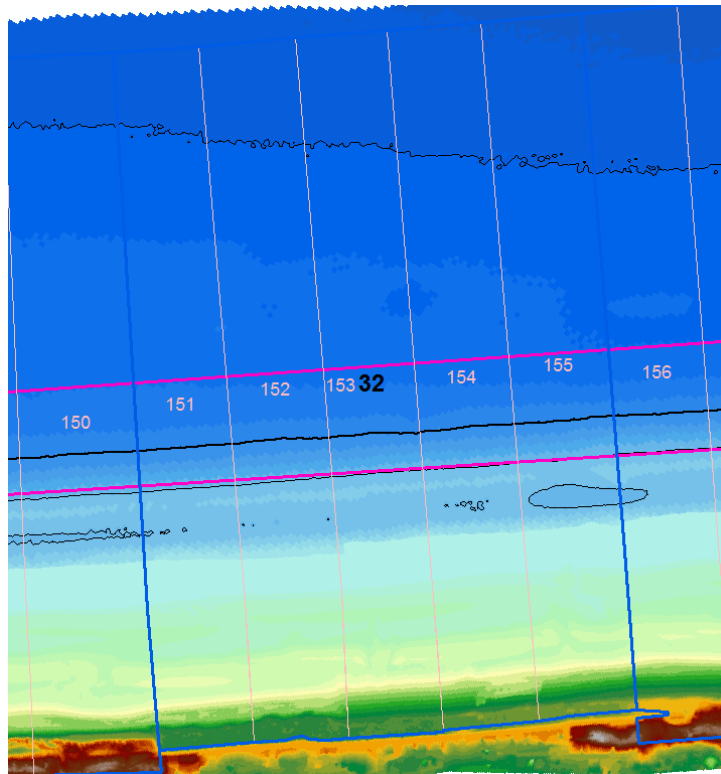
Morfologische evolutie: strand, vooroever en zeebodem kennen structureel en al decennia lang erosie. Op het deel boven LW was de aanvoer bij de aanleg van het Longardsysteem rond 1990 volledig weggeërodeerd. Bij de zware stormafslag van begin 1990 kwam de veiligheid van de zeewering in het gedrang. Er werd een programma met belangrijke suppleties uitgerold vanaf 1991. Het veiligheidsniveau is sinds 1995 gewaarborgd en de zandvolumes bleven sindsdien steeds meer dan 200 m³/m boven het in 1981 eerst opgemeten volume. De strandsuppleties van 1991 en 1995 verhoogden het profiel gevoelig, gemiddeld met meer dan +300 m³/m. De stormen tussen 1991 en 1995 veroorzaakten afslag van het in 1991 gesuppleerde zand. Na 1995 is er geen afslag van betekenis meer opgetreden in het deel boven LW. Er werd daarentegen sindsdien gestage aangroei gemeten. De waargenomen trend tussen Najaar 1995 en Voorjaar 2017 is +5,8 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,4 m³/m/jaar). Sinds 2017 kunnen we opnieuw spreken van lichte erosie: -9 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 15,5 m³/m/jaar, dus groter dan de waargenomen trend). Van al het in de observatieperiode in deze kuststrook aangevoerde zand (743.400 m³) is er in 2019 nog 367.500 m³ in de zone boven LW aanwezig, of 49%. Op de hogere vooroever is de eerste, meest zeewaartse brekerbank de laatste jaren stelselmatig landwaarts verschoven. Hieraan paalt, op de lagere vooroever, een ca. 150 m brede erosiestrook. De vooroever schrijdt effectief landwaarts terug. Hierbij kunnen we stellen dat ook de in de jaren 1990 aangelegde "voedingsberm" helemaal is opgeruimd. De uitdieping sinds 2000 bedraagt vaak tussen 1 en 2 m. Het deel zeebodem van deze kuststrook bevat het nog nauwelijks als een verhevenheid van de zeebodem herkenbare oostelijke uiteinde van de Stroombank die in kuststroken 30-32 aanhecht bij de vooroever. Zeewaarts ervan wordt de bodem opnieuw wat dieper: dit is de getijgeul Grote Rede. Heel het zeebodemgedeelte kent erosie, maar vooral de bodem van de Grote Rede, waar sinds 2000 uitdieping tot 0,5 m is opgetreden. Vooral de laatste 10 jaar was er een trendomslag en diepte het deel onder LW uit. De afslagtrend 2010-2019 is -26 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 6 m³/m/jaar); over de laatste 2 decennia (1999-2019) is de afslag -16 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 7,2 m³/m/jaar).



Figuur 83 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 31. Kustlengte: 1264 m.

9.7 Strook 32 (secties 151-155): De Haan-Centrum

Ligging van de strook: deze kuststrook komt overeen met het kustdeel “De Haan-Centrum”. De secties kennen een gelijkaardige volume-evolutie en werden op hetzelfde ogenblik onderworpen aan strandsuppleties. De morfologie wordt beschreven in Houthuys, 2019.



Dikke magenta omlijnning: vak waarin in de jaren 1990 de onderwatersuppletie werd uitgevoerd.

Figuur 84 – Situatiekaartje kuststrook 32, De Haan-Centrum. Kustlengte: 1006 m.

In het verleden werden er badstrandophogingen uitgevoerd in De Haan-Centrum. *Tabel 35* geeft de hoeveelheden weer. De badstrandophogingen hadden plaats in secties 151 tot en met 156. Sectie 156 hoort tot het kustdeel “Vlissegem”. De badstrandophogingen hadden echter enkel plaats in het kleine stukje van ongeveer 35 m lang waar de afrit van de zeedijk zich bevindt. Daarom worden deze hoeveelheden hier volledig bij de kuststrook De Haan-Centrum geteld.

Tabel 35 – Zandhoeveelheden opgevoerd en aangevoerd in de jaren 1980 in De Haan-Centrum.

Jaar	Zeezand (m ³)	Strandzand (m ³)	Totaal (m ³)	opvoer/aanvoer in gedeelte boven 1,39 m (m ³)	gedeelte weggenomen onder LW	verhouding zeezand/totale hoeveelheid
1982	15900	13300	29247	22600	-6700	
1983	25700	21800	47455	36600	-10900	
1984	20600	17400	38000	29300	-8700	
1985	12300	8200	20500	16400	-4100	0.600
1986	8200	16400	24600	16400	-8200	0.333
1987	12000	10000	22000	17000	-5000	0.545
1988	19354	15196	34550	27000	-7600	0.560
1989	21000	17062	38062	29500	-8500	0.552
1990	55800	26300	82100	69000	-13200	0.680
1991	23422	21002	44424	33900	-10500	0.527
					<i>gemiddeld 1985-1991</i>	<i>0.543</i>

Bron : Eurosense (1993). De cijfers voor 1982-1984 zijn niet verdeeld in hoeveelheden gewonnen op het strand nabij de laagwaterlijn en hoeveelheden aangevoerd zeezand. Ook in die periode werden beide types badstrandophoging uitgevoerd. De globale hoeveelheden werden verdeeld volgens het gemiddelde aandeel zeezand in de periode 1985-1991 (rechtse kolom).

De stranderosie bij de zware voorjaarsstormen van 1990 was het grootst in De Haan. De hele droogstrandberm voor de zeedijk in De Haan-Centrum was verdwenen en de oude zeedijk onder de zichtbare zeedijk was bloot gekomen. Er werd een schema uitgewerkt voor grootschalige opspuitingswerken in en rond De Haan, en te beginnen in De Haan-Centrum. Zolang de strandsuppletie er niet uitgevoerd was, werden de badstrandophogingen voortgezet, maar om de verliezen bij de stormafslag te compenseren werden de hoeveelheden opgedreven (zie *Tabel 35*). Tevens werd een onderwatersuppletie uitgevoerd op de vooroever. De idee was dat deze suppletie als "voedingsberm" zou fungeren voor het strand. *Tabel 32* en *Tabel 33* (bij kuststrook 29) vermelden de fases van de uitvoering van de zachte kustverdedigingswerken tussen Bredene en Wenduine alsook de hoeveelheden en de wijze van verdeling over de kuststroken.

In april-mei 1992 werd op het strand over een kustlengte van 2100 m, van sectie 149 tot 158, 794.365 m³ opgespoten. Het aandeel in deze kuststrook op basis van de kustlengte en rekening houdende met een "rendement" van 85 % is 320.300 m³. Deze hoeveelheid werd volgens een verdeling 80% - 20% gespreid over de volumeschijven boven en onder LW.

De hoeveelheid aangebracht bij de aanleg van de voedingsberm op de vooroever wordt op 239.300 m³ geraamd en vond plaats tussen Najaar 1990 en Najaar 1991.

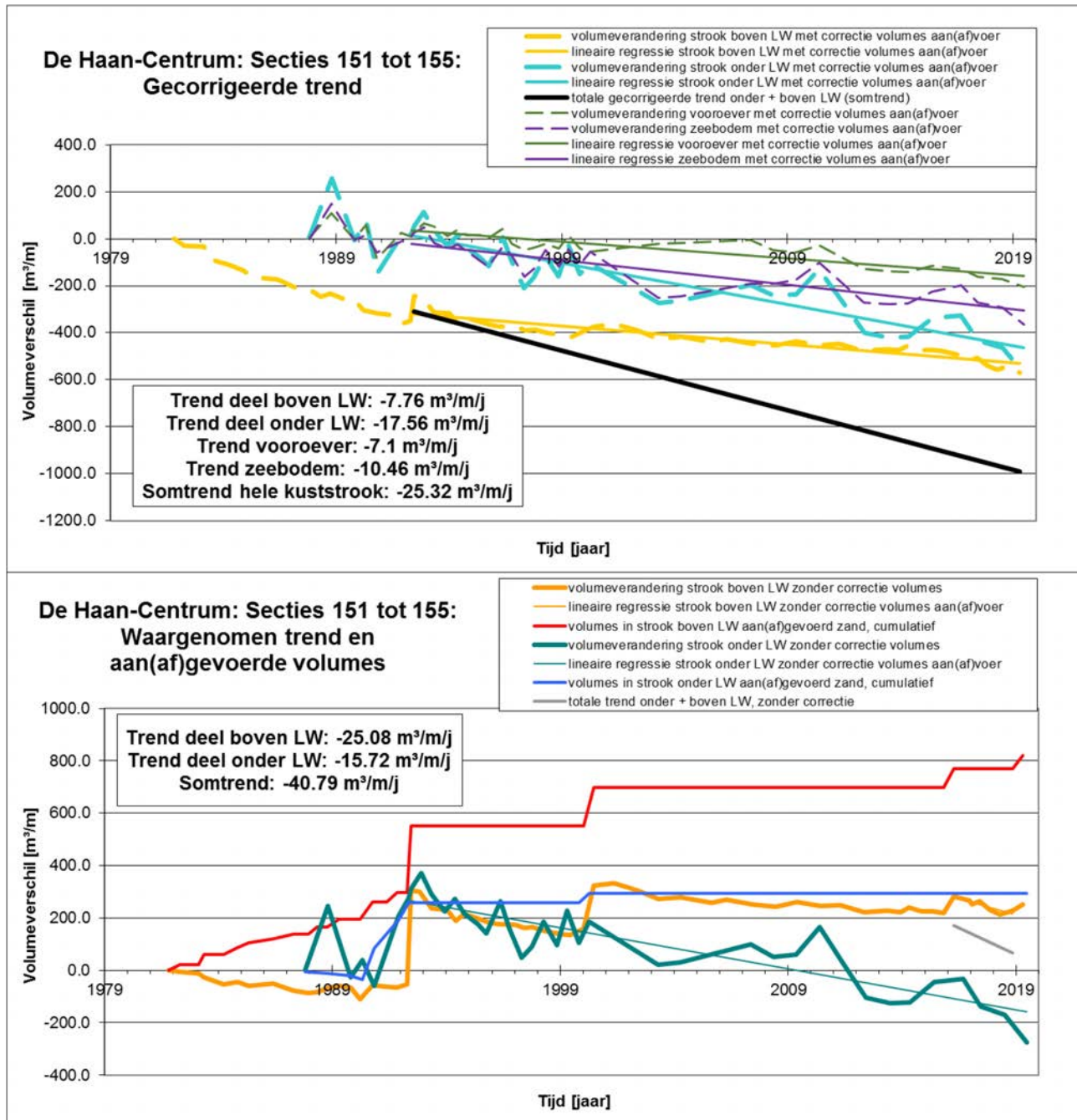
In mei-juni 2000 werd in De Haan-Centrum een aanvullingssuppletie uitgevoerd over een strook van 1200 m lengte. Het in dit kustdeel aangebrachte volume kan geraamd worden op 185.600 m³, opnieuw gespreid volgens 80% - 20% in het deel boven en onder LW.

Na 2000 werd er lange tijd niets meer aangevoerd. Pas vanaf 2016 vonden opnieuw onderhoudssuppleties plaats. De grote strandsuppletie van 2016 had plaats vóór de LIDAR-opname Voorjaar 2016 en was gesitueerd in een strook palend aan de zeedijk in secties 151-155. Er werd 85.051 m³ in beun aangevoerd. Rekening houdend met een "efficiëntie" van 85% zou de volumetoename op het strand dus 72.300 m³ bedragen hebben.

Een grote onderhoudssuppletie vond plaats in 2019. Deze had een grotere uitgestrektheid, van sectie 150 tot 158. De aanvoer, afkomstig uit winzone 4a, bedroeg 229.735 m³ in beun. De uitvoering betrof een kustlengte van 1871 m en vond deels voor, deels na de voorjaarsvlucht van 2019 plaats. Bij de verdeling over de kuststroken werd zoals gebruikelijk rekening gehouden met een "rendement" van 85% (*Tabel 36*). De suppletie had enkel betrekking op het strand nabij de zeedijk.

Tabel 36 – Verdeling van de zandaanvoer bij de grote onderhoudssuppletie van 2019 in De Haan.

Grote onderhoudssuppletie van 2019 (s. 150-158)	STROOK 31 (s. 146-150)		STROOK 32 (s. 151-155)		STROOK 33 (s. 156-160)	
	betrokken kustlengte	volume- toename boven LW (m ³)	betrokken kustlengte	volume- toename boven LW (m ³)	betrokken kustlengte	volume- toename boven LW (m ³)
6/03/2019 t.e.m. 22/05/2019						
voor VJ2019	0	0	500	52200	225	23500
na VJ2019	265	27700	506	52800	375	39100



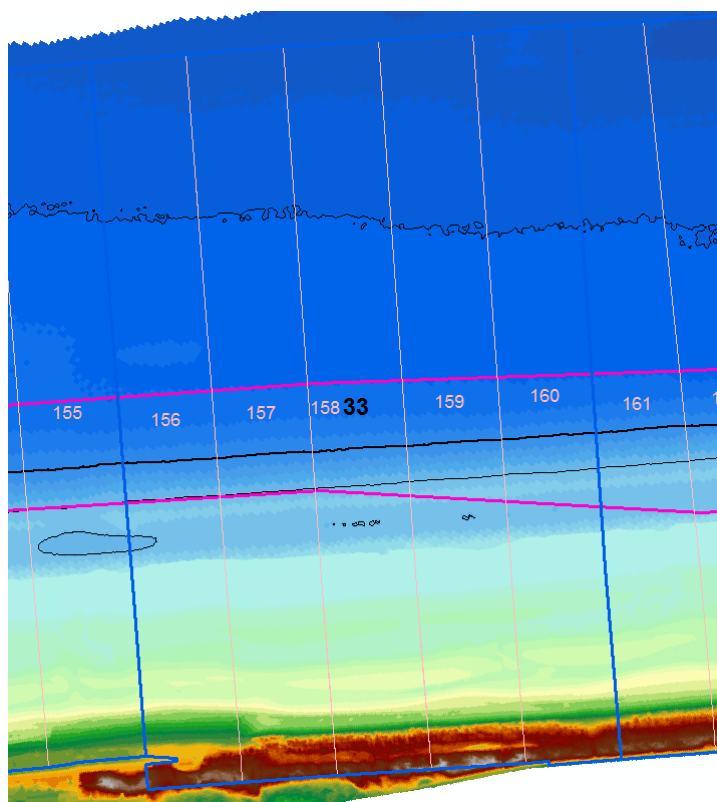
Figuur 85 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 32. Kustlengte: 1006 m.

Morfologische evolutie: deze kuststrook kende strandafslag tot de grote strandsuppletie van 1992. De voor zandaanvoer gecorrigeerde afslag beliep $-30 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $2 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$) over de periode 1981 – juni 1992. Bij de suppleties van 1991-1992, 2000, 2016 en 2019 werd heel wat zand aangevoerd en de grafieken zijn complex. Maar corrigeren we voor de aanvoer, dan blijft een uniforme afslagtrend waar te nemen. Voor het deel boven LW is het cijfer over de periode juni 1992 - Voorjaar 2019 $-8 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,5 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$), toch een belangrijke reductie t.o.v. de periode voorheen. We merken ook op dat geen onderhoudssuppletie nodig waren tussen 2000 en 2016, mogelijk een effect van mildere afslag dankzij de aanwezigheid van de onderwaterberm. Van alle sinds 1983 aangevoerde zand (826.900 m^3) is in 2019 nog 252.100 m^3 of 30% in de kuststrook aanwezig. Per meter kustlengte is het strand 250 m^3 "sterker" dan in 1981. Over dezelfde periode is de gecorrigeerde trend voor

het deel beneden LW $-18 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $1,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). De afslag in het natte deel is structureel en geeft aanleiding tot vol te houden waakzaamheid. Enerzijds bevindt er zich op de lagere vooroever een ca. 150 m brede erosiestrook. De vooroever schrijdt effectief landwaarts terug. Hierbij kunnen we stellen dat ook de in de jaren 1990 aangelegde "voedingsberm" helemaal is opgeruimd. De uitdieping sinds 2000 bedraagt vaak tussen 1 en 1,5 m. De structurele vooroevererosie deed zich voornamelijk voor na 2010. Het deel zeebodem van deze kuststrook bevat het nog nauwelijks als een verhevenheid van de zeebodem herkenbare oostelijke uiteinde van de Stroombank die in kuststroken 30-32 aanhecht bij de vooroever. Zeewaarts ervan wordt de bodem opnieuw wat dieper: dit is de getijgeul Grote Rede. Heel het zeebodembedeelte kent erosie, maar vooral de bodem van de Grote Rede, waar sinds 2000 uitdieping tussen 0,3 en 0,6 m is opgetreden. Vooral de laatste 10 jaar was er een trendomslag en diepte deze getijgeul uit. Een verband met de aanleg van de nieuwe vaargeul naar Oostende en het onderscheppen van langstransport in de geulen en over de Stroombank is mogelijk een deel van de verklaring van de omslag. De erosie van de hogere vooroever en het strand is de morfologische respons op deze evolutie.

9.8 Strook 33 (secties 156-160): Vlissegem

Ligging van de strook: deze kuststrook komt overeen met het kustdeel "Vlissegem". De secties kennen een gelijkaardige volume-evolutie. Weliswaar werden opeenvolgende fases van de grootschalige strandsuppletiewerken uit 1992-2000 in de verschillende secties op verschillende ogenblikken uitgevoerd, maar nog verder opsplitsen in ruimtelijke gebieden per fase zou tot te veel fragmentatie in het overzicht leiden. De juiste timing en locatie van de opeenvolgende zandaanvoerwerken en de aannames bij de bepaling van de effectief aangevoerde volumes vindt men in *Tabel 32* en *Tabel 33* bij kuststrook 29.



Dikke magenta omlijning: vak waarin in de jaren 1990 de onderwatersuppletie werd uitgevoerd.

Figuur 86 – Situatiekaartje kuststrook 33, Vlissegem. Kustlengte: 1000 m.

De zware voorjaarsstormen van 1990 hadden in dit kustdeel vooral de zeeduinglooiing⁴ aanzienlijk aangetast. Na die stormen werden in en rond De Haan grootschalige opspuitingswerken noodzakelijk.

Bij de aanleg van de voedingsberm fase 1 (1991) werd in deze kuststrook 95.200 m³ aangebracht.

Voor de eerste fase van de strandsuppletie (1992) bedroegen de hoeveelheden op het deel boven LW 152.800 m³ en onder LW 38.200 m³.

De uitbreiding van de voedingsberm (fase 2b) (voor deze kuststrook in 1996) bracht een toegevoerde hoeveelheid van 91.900 m³ met zich mee.

Het uitvoeren van de tweede fase van de strandsuppletie vergrootte eind 1996 het strand (deel boven LW) met 191.700 m³ en het deel van de vooroever onder LW met 21.300 m³.

In 2000 werd in De Haan een aanvullingssuppletie uitgevoerd. Deze strekte zich uit tot in deze kuststrook. Hierbij nam het deel boven LW in deze kuststrook met 14.800 m³ toe en het deel onder LW met 3.700 m³.

Sindsdien verstreek een langere periode zonder zandaanvoer. Pas vanaf 2016 vonden opnieuw suppleties plaats. Hierbij werd gesuppleerd in De Haan-Centrum, in secties 151-155, dus net ten westen van de kuststrook, en enkel in een strook palend aan de zeedijk.

Een onderhoudssuppletie vond plaats in 2019. Deze had een grotere uitgestrektheid, van sectie 150 tot 158. De aanvoer voor deze kuststrook gebeurde deels voor en deel na de LIDAR-vlucht van Voorjaar 2019 (*Tabel 36*).

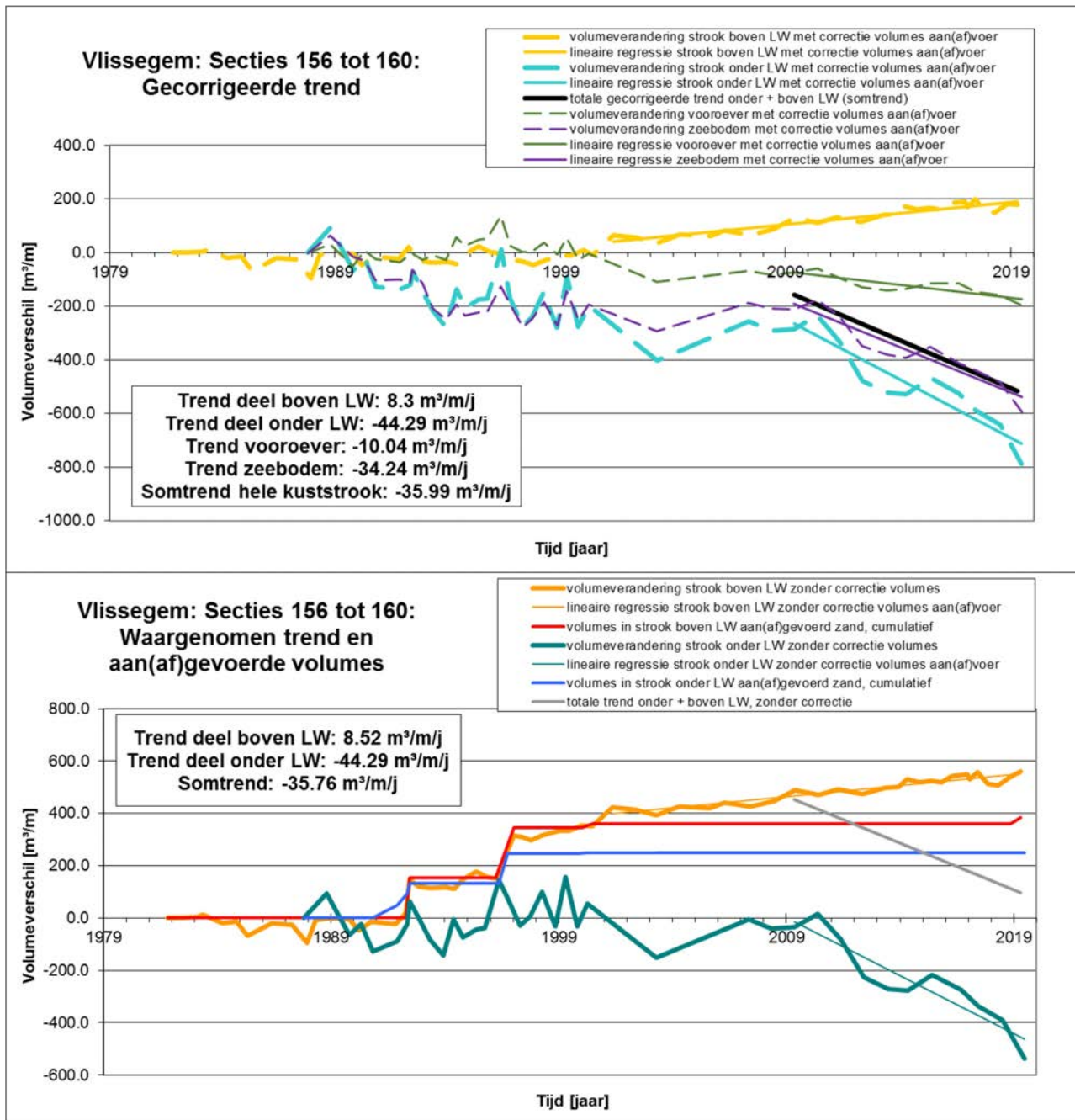
Morfologische evolutie: in de eerste deelperiode 1981-1992 bedroeg de waargenomen afslagtrend van het deel boven LW -2 m³/m/jaar, weliswaar minder dan in De Haan zelf, maar de duinvoet was zwaar aangetast bij opeenvolgende stormen. Het deel onder LW kende sterke erosie. Tussen 1987 en 1993 werd een afslagcijfer van -16 m³/m/jaar waargenomen, en dit ondanks de uitvoering van de eerste fase van de voedingsberm op de vooroever. De gecorrigeerde trend is dan ook nog sterker erosief, -45 m³/m/jaar.

De kuststrook kende een belangrijke kentering ingevolge de uitvoering van de grootschalige zachte kustverdedigingswerken van de jaren 1990. Vooral op het deel boven LW is dit duidelijk. De aanvoer bij de suppleties van 1992 en 1997 bracht een belangrijke volumetoename met zich mee en telkens volgde een periode waarin de zandvolumes stabiel bleven. Na 2000 is er zelfs een ononderbroken aangroei-trend waar te nemen in deze kuststrook: +8,5 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,6 m³/m/jaar). Waar de secties ten westen van de kuststrook Vlissegem na de onderhoudssuppletie afslag vertonen, is de trend hier net aangroei. Dit wijst erop dat een gedeelte van het in en ten westen van De Haan afgeslagen zand zijn weg vindt naar de kuststrook Vlissegem (en de volgende kuststrook, Nieuwmunster). Het volume in het deel boven LW is met gemiddeld 561 m³ per meter kustlengte groter dan ooit en bedraagt vrijwel anderhalf keer de aanvoer (383 m³/m). De hoogteverschilkaarten maken duidelijk dat het vooral de zeeduinglooiing en de droogstrandberm zijn, die continu aangroei kennen.

De evolutie in het deel onder LW was stabiliteit tot 2010 gevolgd door belangrijke erosie. De grafiek met de waargenomen volumes maakt duidelijk dat de stabiliteit verbonden is met de toevoer van zand op de hogere vooroever (aanleg onderwaterberm), wellicht gevolgd door voeding via het langstransport van de ten westen gelegen, erosieve stroken. Na 2010 doet zich in de volume-evolutie een kentering voor. De trend over de periode 2010-2019 is -44 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 6 m³/m/jaar). Dezelfde morfologische processen als in De Haan-Centrum doen zich hier in Vlissegem voor. De afslag in het natte deel is structureel en geeft aanleiding tot verhoogde waakzaamheid. Enerzijds bevindt er zich op de lagere vooroever een ca. 150 m brede erosiestrook. De vooroever schrijdt effectief landwaarts terug. Hierbij kunnen we stellen dat ook de in de jaren 1990 aangelegde "voedingsberm" helemaal is opgeruimd. De uitdieping sinds 2000 bedraagt vaak tussen 1 en 1,5 m. De structurele vooroevererosie deed zich voornamelijk voor na 2010. De zeebodem in deze kuststrook kan morfologisch opgevat worden als het meest landwaartse deel van de

⁴ zeeduinglooiing: zeewaartse helling van de zeeoever, voet van de duinen die bij uitzonderlijk hoog water kan worden aangetast door golfafslag

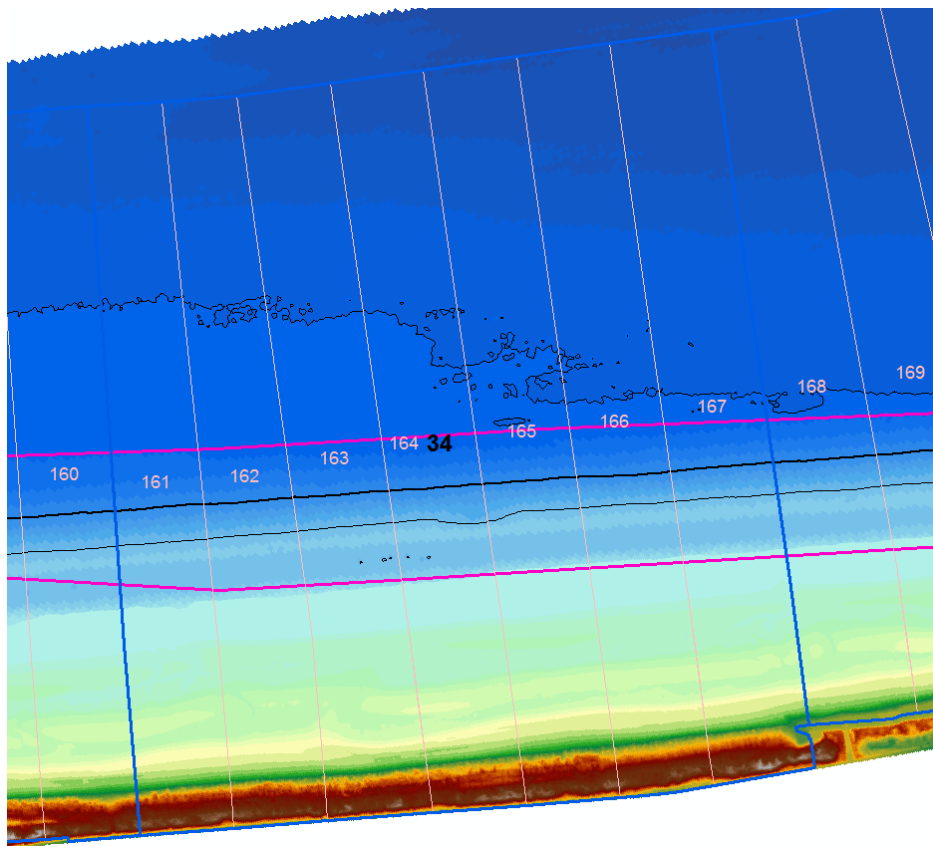
getijgeul Grote Rede. Vooral de as van de geulbodemp van de Grote Rede, gelegen in het meest zeewaartse stuk van de sectiegrens, diept zich uit. T.o.v. 2000 is de uitdieping tussen 0,3 en 0,8 m. Vooral de laatste 10 jaar was er een trendomslag en diepte deze getijgeul uit. De erosie van de hogere vooroever en het strand is de morfologische respons op deze evolutie.



Figuur 87 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 33. Kustlengte: 1000 m.

9.9 Strook 34 (secties 161-167): Nieuwmunster

Ligging van de strook: deze kuststrook komt overeen met het kustdeel “Nieuwmunster”. De secties kennen een gelijkaardige volume-evolutie. De kuststrook maakt deel uit van de zone met grootschalige strandsuppletiewerken in en rond De Haan in 1992-1996. Men vindt de verdeling van de in deze kuststrook effectief aangebrachte hoeveelheden in *Tabel 32* en *Tabel 33* bij kuststrook 29.



Dikke magenta omlijning: vak waarin in de jaren 1990 de onderwatersuppletie werd uitgevoerd.

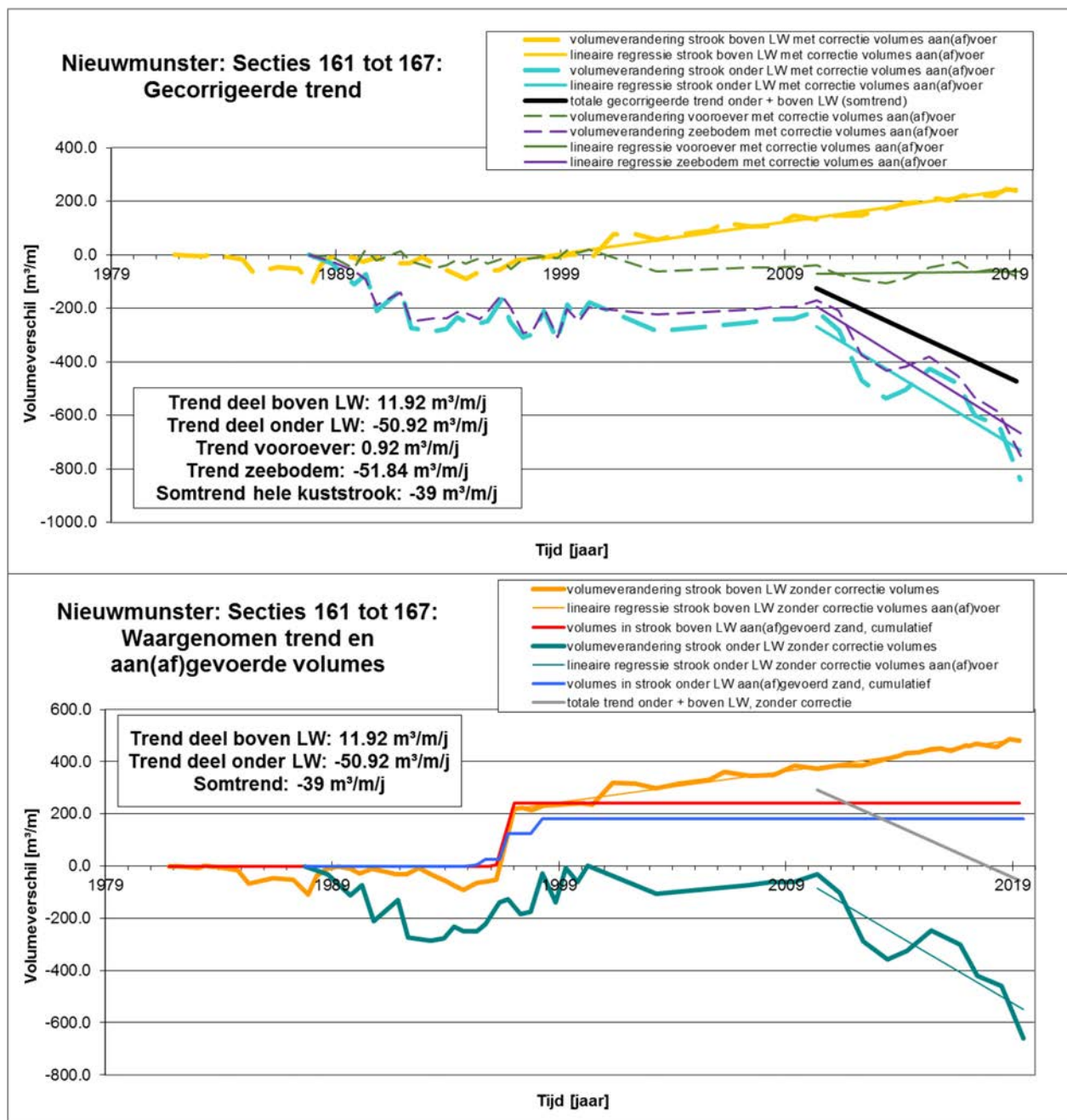
Figuur 88. Situatiekaartje kuststrook 34 – Nieuwmunster. Kustlengte: 1435 m.

De zware voorjaarsstormen van 1990 hadden in dit kustdeel vooral de zeeduinglooiing aanzienlijk aangetast. Na die stormen werden in en rond De Haan grootschalige opspuitingswerken uitgevoerd. In 1991 werd gestart met de aanleg van een voedingsberm op de vooroever. Deze berm werd in verschillende jaren uitgebreid tot hij zich voor de hele kuststrook van sectie 132 tot 169 uitstrekte. De hoeveelheden hierbij betrokken zijn ruwweg de helft van de volumes die bij de opeenvolgende fases van de strandsuppleties op het strand werden aangebracht.

In 1996 werd fase 2b van de strandsuppletie uitgevoerd, waarbij in deze kuststrook voor en na de zomeronderbreking van 1996 343.900 m³ in het deel boven LW en 38.200 m³ in het deel beneden de laagwaterlijn werd aangebracht. Bij de aanleg van de voedingsberm fase 2b werd tussen Voorjaar 1996 en Voorjaar 1998 219.900 m³ toegevoegd aan de vooroever.

Na 1998 is er in deze kuststrook geen zandaanvoer meer geweest.

Morfologische evolutie: in de eerste deelperiode 1981-1996 werd lichte erosie waargenomen, aan een veel lager ritme dan in en ten westen van De Haan, maar de duinvoet was zwaar aangetast bij opeenvolgende stormen, vooral die van begin 1990. Het deel onder LW kende ook in die tijd al sterke erosie. Het was vooral de zeebodem die een vrij grote uitdieping kende in deze periode. Morfologisch gaat het om de bodem van de getijgeul Grote Rede, die lokaal tot een halve meter dieper werd.



Figuur 89 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 34. Kustlengte: 1435 m.

De strand- en onderwatersuppletie van 1996-1998 verhoogde het zandvolume aanzienlijk, gemiddeld per meter kustlengte met meer dan 200 m³ in het deel boven LW en bijna 200 m³ in het deel beneden LW. Vanaf 1997 wordt een onafgebroken aangroei waargenomen in het deel boven LW. De aangroei cijfer is +12 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,3 m³/m/jaar). Waar de secties ten westen van en in De Haan-Centrum na de onderhoudssuppleties afslag vertonen, is de trend hier (zoals in de kuststrook Vlissegem) net aangroei. Dit wijst erop dat een gedeelte van het in en ten westen van De Haan afgeslagen zand zijn weg vindt naar de kuststrook Vlissegem en de onderhavige kuststrook Nieuwmunster. Het volume in het deel boven LW is met gemiddeld 481 m³ per meter kustlengte groter dan ooit en bedraagt het dubbele van de aanvoer (240 m³/m). Er is dan ook sinds 1998 geen zandaanvoer door suppleties meer geweest. De hoogteverschilkaarten maken duidelijk dat het vooral de zeeduinglooiing en de droogstrandberm zijn, die continu aangroei kennen.

De evolutie in het deel onder LW was erosie, zoals hoger gesteld, gevolgd door een herstel, dat gelet op de timing van de grote zachte kustverdedigingswerken uit de jaren 1990 hieraan mag worden toegeschreven. Vervolgens nemen we stabiliteit waar tot 2010 gevolgd door een grote kentering naar belangrijke erosie. De trend over de periode 2010-2019 is $-51 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). De morfologische processen voor het deel beneden LW hier in kuststrook Nieuwmunster sluiten aan bij deze reeds gemeld voor de kuststroken De Haan-Centrum en Vlissegem. De afslag in het natte deel is structureel en geeft aanleiding tot een verhoogde waakzaamheid. Enerzijds bevindt er zich op de lagere vooroever een meer dan 150 m brede erosiestrook. De vooroever schrijdt effectief landwaarts terug. Hierbij kunnen we stellen dat ook de in de jaren 1990 aangelegde "voedingsberm" helemaal is opgeruimd. De uitdieping sinds 2000 is het grootst in de westelijke secties van de kuststrook en bedraagt vaak tussen 1 en 1,5 m; in de oostelijke secties is de bodemverlaging beperkt tot minder dan een meter. De structurele vooroevererosie deed zich voornamelijk voor na 2010. De zeebodem in deze kuststrook kan morfologisch opgevat worden als het meest landwaartse deel van de getijgeul Grote Rede. Vooral de as van de geulbodem van de Grote Rede, gelegen in het meest zeewaartse stuk van de sectiegrens, diept zich uit. T.o.v. 2000 is de uitdieping tussen 0,50 en 1,75 m. Het maximum van de uitdieping bevindt zich in deze kuststrook, op 1 km van de laagwaterlijn en ook nog verder zeewaarts, buiten de sectiegrenzen. De trendomslag naar sterke erosie trad sinds ongeveer 2010 en in de laatste 5 jaar is het uitdiepe van deze getijgeul sterk uitgesproken. De erosie van de hogere vooroever en het strand is de morfologische respons op deze evolutie.

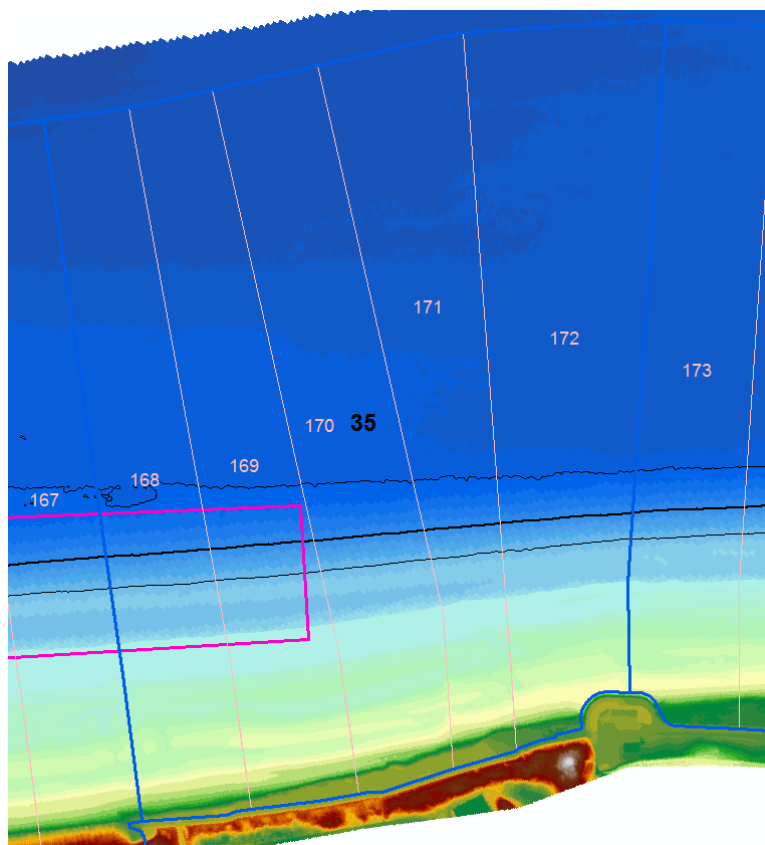
9.10 Strook 35 (secties 168-172): Wenduine, strand ten westen van de rotonde

Ligging van de strook: deze kuststrook komt overeen met het gedeelte van het kustdeel "Wenduine-West" dat ten westen van de rotonde in de zeedijk is gelegen (tot het strandhoofd in het centrum van de rotonde). Er is een zeedijk aanwezig. De secties kennen een gelijkaardige volume-evolutie. De kuststrook maakte deel uit van de zone met grootschalige strandsuppletiewerken in en rond De Haan uit 1992-1998.

Vóór 1996 werden jaarlijkse opvoeringen van strandzand van de laagwaterlijn naar de droogstrandberm gedaan in secties 171-173. Voor de volumes in secties 171-172 werden de volumes van tabel 4 in het rapport "Kustmorfologie KUST 2004.112" vermenigvuldigd met $2/3$ (om rekening te houden met de kustlengte) en dan nogmaals met $1/2$ omdat het ging op zand gewonnen rond de laagwaterlijn (zie *Tabel 37*). De gewonnen volumes worden voor de vooroever afgetrokken.

Tabel 37 – Volumes betrokken bij de badstrandophogingen tot 1996 ten westen van de rotonde van Wenduine.

Jaar	Secties 171 tot 173, m^3	Secties 171 en 172, gedeelte boven 1,39 m, afgerond op 100 m^3	Sectie 173, gedeelte boven 1,39 m, afgerond op 100 m^3
1983	12078	4000	2000
1984	6000	2000	1000
1985	5500	1800	900
1986	1000	300	200
1987	5100	1700	900
1988	5419	1800	900
1989	0	0	0
1990	12807	4300	2100
1991	6602	2200	1100
1992	8328	2800	1400
1993	8521	2800	1400
1994	18175	6100	3000
1995	8018	2700	1300
1996	10500	3500	1800



Dikke magenta omlijnning: vak waarin in de jaren 1990 de onderwatersuppletie werd uitgevoerd.

Figuur 90 – vSituatiekaartje kuststrook 35, Wenduine west van de rotonde. Kustlengte: 1044 m.

In september-oktober 1996 bereikten de zachte kustverdedigingswerken in en rond De Haan hun voltooiing aan de zijde van Wenduine. Zoals meer ten westen werd op het strand en aan de zeedijk een profielsuppletie⁵ uitgevoerd. De volumes en de aannames gemaakt om effectieve volumetoenames per strook te berekenen vindt men in *Tabel 32* en *Tabel 33* bij kuststrook 29. In deze kuststrook werd bij fase 2b van de strandsuppletie 231.200 m³ aangebracht in het deel boven LW en 25.700 m³ in het deel onder LW. De strandsuppletie had hier in het vroege najaar van 1996 plaats. Voor de aanleg van de voedingsberm werd 59.900 m³ aangebracht tussen de lodingen van Najaar 1997 en Voorjaar 1998.

In 2008 en 2009 werden badstrandophogingen uitgevoerd in een zone van ongeveer 1000 m langs de Westdijk in Wenduine (secties 168-172). Uit de omschrijving van de werken uit 2008 en 2009 ("afgraven ter hoogte van de Westdijk") is niet duidelijk dat het om een klassieke badstrandophoging gaat. Er is ook geen effect in de evolutiegrafiek. Daarom wordt aangenomen dat het om een herverdeling ging van zand binnen de kuststrook, waarbij overtollig opgehoopt zand tegen de dijk of de rotonde werd uitgespreid over het strand. Indien deze aanname juist is, beïnvloeden deze werken de zandvolumes in de kuststrook niet. Er moeten ook geen correcties binnen de hoogtezones voor worden aangebracht ("niet verrekend", zie *Tabel 38*).

⁵ strandsuppletie waarbij het volledige strandprofiel verhoogd wordt

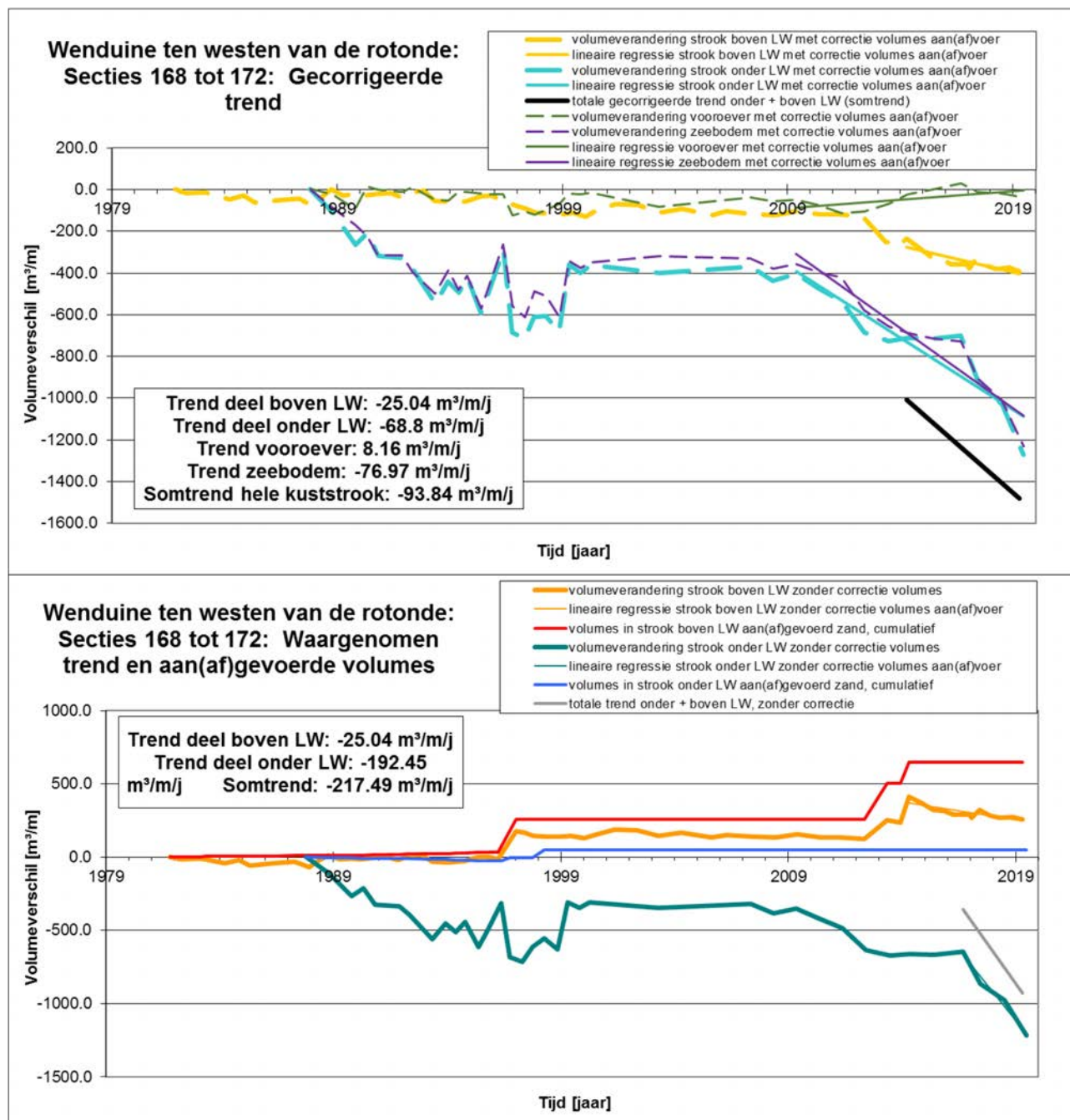
Tabel 38 – Zandhoeveelheden betrokken bij herverdelingen en suppleties sinds 2008 in kuststrook 35.

Wenduine-West, ten westen van de rotonde (secties 168 tot 172)		
Jaar	strandzand (m ³)	zeezand (m ³)
2008	10956 (niet verrekend)	
2009	22913 (niet verrekend)	
2012 (na voorjaarsvlucht)		258000
2014 (voor voorjaarsvlucht)		151600

Na de grote strandsuppletie van 1996 werd er op het strand geleidelijke, lichte erosie waargenomen. In 2012 voldeed het veiligheidsniveau niet meer aan de normen van het Masterplan Kustveiligheid en werd er opnieuw gesuppleerd, eerst met enige dringendheid (na de voorjaarsvlucht van 2012), en nadien, in 2014, nogmaals om een optimaal veiligheidsniveau te bereiken. De gegevens voor de suppleties vanaf 2012 vindt men in (bij kuststrook 36). Voor de gegevens i.v.m. de suppleties van 2012 en later: zie *Tabel 40*.

Morfologische evolutie voor deze kuststrook: de trend voor de periode vóór de strandsuppletie van 1996 was erosie. Het deel boven LW kende over 1981-1987 een waargenomen afslag van $-8,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (gecorrigeerd : $-10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$), een belangrijke aangroei in 1987-1989, en opnieuw erosie (gecorrigeerde trend : $-6 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$) over 1988-1997. De suppletie van 1996 verhoogde het zandvolume in het deel boven LW met bijna $220 \text{ m}^3/\text{m}$. Er volgde geleidelijke, lichte erosie over de periode 1997-2012 (in het totaal een afname met bijna $50 \text{ m}^3/\text{m}$). Het veiligheidsniveau werd aanzienlijk verbeterd door de suppleties van 2012 en 2014. Er werd $392 \text{ m}^3/\text{m}$ aangevoerd en de gemeten toename (bij de gewone opnamen van het strand) beliep $290 \text{ m}^3/\text{m}$. Zelfs tijdens het suppleren moeten er dus verliezen zijn opgetreden. Na de suppletie van 2014 is de afslagtrend over de periode 2014-2019 $-25 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $4,8 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Over de hele observatieperiode sinds 1981 is er $648 \text{ m}^3/\text{m}$ aangevoerd bij ophogingen en suppleties, terwijl de volumes slechts $257 \text{ m}^3/\text{m}$ groter zijn in 2019 dan in 1981 (40% van de aanvoer is in de aanvoerzone bewaard).

Het deel onder LW maakte zeer sterke erosie mee in 1987-1993 (waargenomen trend : -90 , gecorrigeerd : $-88 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Deze afname was volledig gesitueerd op de zeebodem, waar de geulbodem van de getijgeul Grote Rede uitdiepte. Tussen 1993 en 1997 ging de erosie door, maar aan een lager ritme (waargenomen trend : -33 , gecorrigeerd : $-36 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Deze erosie was eveneens op de zeebodem gesitueerd. Tussen Najaar 1998 en Voorjaar 1999 kenden vooroever en zeebodem een belangrijke aangroei. Het verband met de suppletiewerken in de zone Bredene-Wenduine is duidelijk. Nadien stelde zich opnieuw erosie in. Het deel onder LW vertoont een waargenomen trend van $-69 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ over 2009-2019 (standaarddeviatie op de trend: $9,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$), waarvan de meeste erosie zich de laatste jaren voordeed: $-192 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ over 2016-2019 (standaarddeviatie op de trend: $23 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Er doet zich erosie voor op de hogere vooroever, de lagere vooroever, maar vooral op de zeebodem, waar de diepteligging t.o.v. 2000 tussen 0,5 en 1,5 m lager is in 2019. Het meeste van die toch wel ernstig te noemen verandering trad maar de laatste jaren op.



Figuur 91 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 35. Kustlengte: 1044 m.

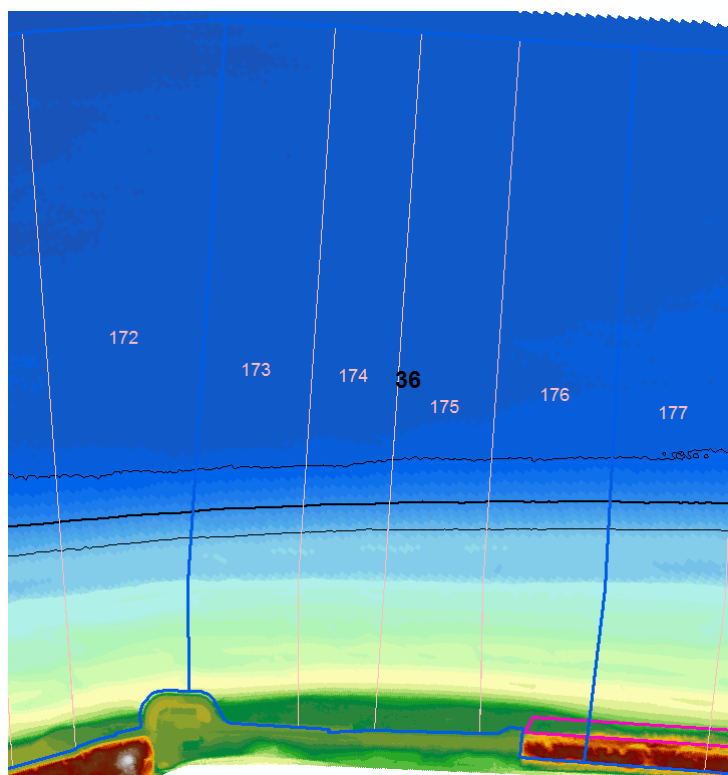
9.11 Strook 36 (secties 173-176): Wenduine-West, ten oosten van de rotonde

Ligging van de strook: deze strook bevat de meest oostelijke secties 173 tot 176 van het kustdeel “Wenduine-West”. Het is het gedeelte ten oosten van de rotonde, voor de bebouwing van Wenduine. In het verleden vonden regelmatig badstrandophogingen plaats voor de zeedijk. Sinds 2005 werden de zandaanvoerwerken aanzienlijk opgedreven met het oog op het verhogen van de kustveiligheid.

Er werden in de jaren voor en kort na 2000 jaarlijkse opvoeringen van strandzand uitgevoerd van de laagwaterlijn naar de droogstrandberm. De volumes werden gerapporteerd voor het geheel van de werkzone in secties 171-173 (dus deels in kuststrook 35 en deels in 36). Om het gedeelte te verkrijgen dat in sectie 173 werd opgevoerd, werden de volumes van tabel 4 in het rapport “Kustmorfologie KUST 2004.112” vermenigvuldigd met 1/3 (om rekening te houden met de kustlengte) en dan nogmaals met 1/2 omdat het ging op zand gewonnen rond de laagwaterlijn (zie tabel bij strook 168-172, rechts). Deze hoeveelheden werden van het vooroevervolume afgetrokken in de gecorrigeerde reeks.

Er bleven opvoeringen gebeuren na de grootschalige suppletiewerken van de jaren 1990 tussen De Haan en Wenduine. Vanaf 2005 volstonden de ophogingen niet meer en werd overgeschakeld op kleine strandsuppleties met aanvoer van zeezand. De volumes staan in *Tabel 39*. Vanaf 2012 dienden er in het kader van het Masterplan Kustveiligheid grote strandsuppleties te gebeuren. Daarvan vindt men de gegevens in *Tabel 40*. De volumes hieruit afgeleid voor de correctie van de waargenomen volumes staan eveneens in *Tabel 39*.

De zandaanvoerwerken gebeuren doorgaans in het voorjaar (april-mei), tenzij anders vermeld. De zone die opgehoogd werd, sloot aan bij de zeedijk.



Dikke omlijning in magenta: gebied waar enkele malen zandaanvoer plaatsvond met zand gebaggerd in de havengeul van Blankenberge.

Figuur 92 – Situatiekaartje kuststrook 36, Wenduine-West. Kustlengte: 850 m.

Tabel 39 – Overzicht van de volumes betrokken bij de badstrandophogingen en kleine strandsuppleties in Wenduine.

Jaar	Secties 173-176, strandzand	Secties 173-176, zeezand	Secties 173-176, gedeelte boven 1,39 m	Secties 173-176, gedeelte onder LW
1995	19717		9900	-9900
1997	9681		4800	-4800
1998	25204		12600	-12600
1999	12191		6100	-6100
2000	16743		8400	-8400
2001	7497		3700	-3700
2002	8000		4000	-4000
2003	10106	4753	9800	-5100
2004	8069	6670	10700	-4000
2005	10212	48047	53200	-5100
2006	0	37938	37900	0
2007	0	39700	39700	0
2008	0	25378	25400	0
2009	0	60304	60300	0
2010	0	38250	38300	0
2011	0	19220	19200	0
voor VJ2012	0	375600	375600	0
voor VJ2014	0	123700	123700	0
voor VJ2016	0	69500	69500	0
voor NJ2016	0	69500	69500	0
voor VJ2017	0	170300	170300	0
5% voor VJ2018	0	4300	4300	0
95% na VJ2018	0	80800	80800	0

bron : rapport KUST 2004.112 voor gegevens tot 2001.

De gegevens voor 2002 zijn geïnterpoleerd. Gegevens vanaf 2003 rechtstreeks afkomstig van afdeling Kust.

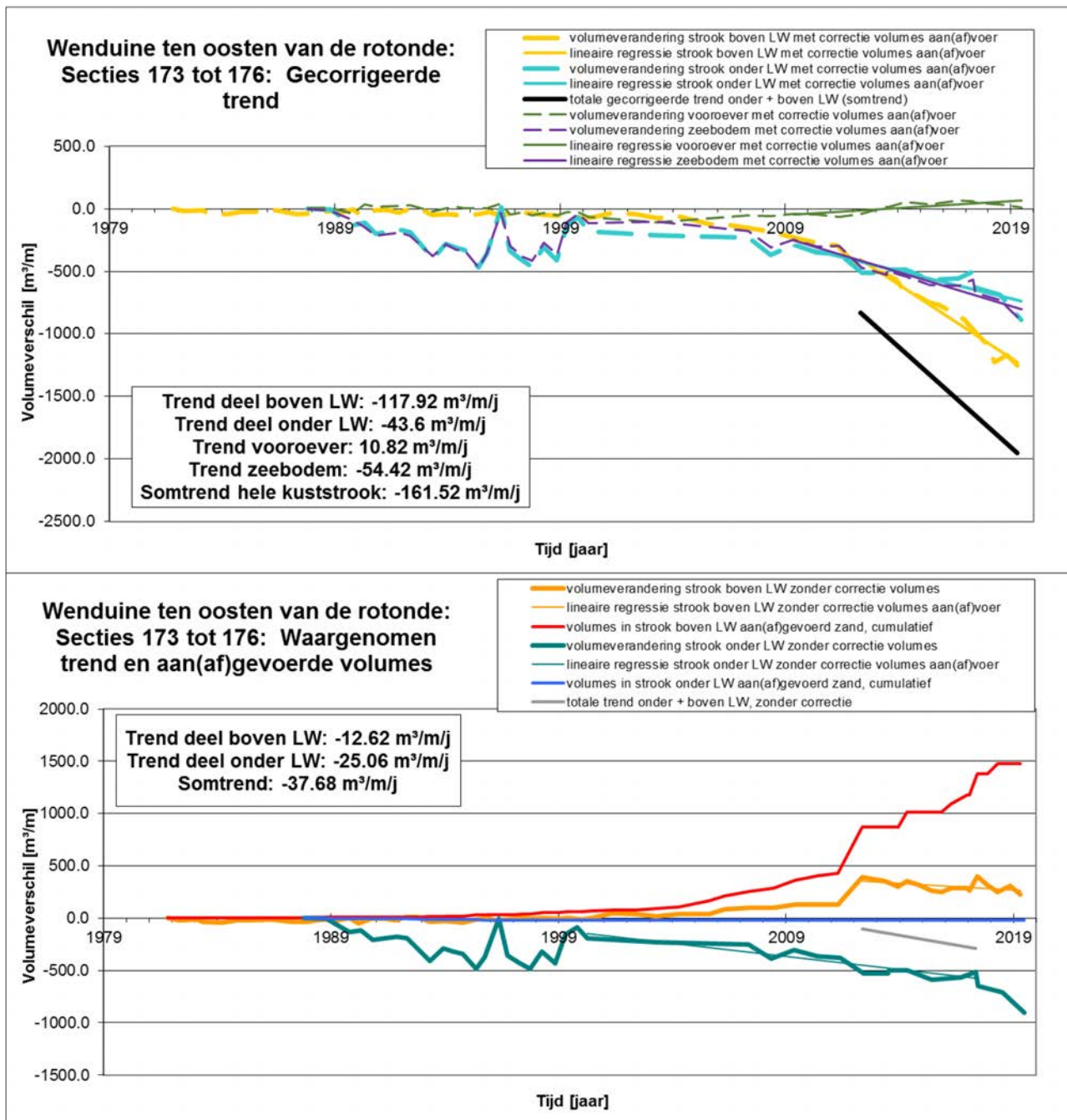
Tabel 40 – Volumes aangebracht bij de strandsuppleties vanaf 2012 in Wenduine.

datum	gesuppleerde secties	totale gesuppleerde kustlengte (m)	volume in beun (m ³)	rendement (aanname)	effectieve volumetoename op het strand (m ³)	gegevens voor de verdeling in stroken en in het deel boven en onder LW
2012	s. 169-177	1510			667197	volume in situ; winzone 4. Volledig boven LW. Deel in strook 35 (kustlengte 584 m) na VJ 2012, in strook 36 (kustlengte 850 m) voor VJ 2012, in strook 37 (kustlengte 76 m) na VJ 2012
2014	s. 169-175	1387	323847	85%	275300	volume in beun, winzone 4c. 764 m in strook 35; 623 m in strook 36, alles voor VJ 2014
2016	s. 173-176	850	163556	85%	139000	volume in beun, winzone 3a. Alles in strook 35 over 425 m kustlengte; de helft voor VJ 2016, de rest voor NJ 2016
2017	s. 173-176	850	200401	85%	170300	volume in beun, winzone 4c. Voltooid 21-04-2017
2018			100111	85%		volume in beun, winzone 4c.
	s. 173				4300	tussen 15-04 en 28-04-2018; vlucht was 17-04-2018; dus 5% voor VJ 2018
	s. 173-176				80800	tussen 15-04 en 28-04-2018; vlucht was 17-04-2018; dus 95% na VJ 2018

Morfologische evolutie voor deze kuststrook: op het deel boven LW was de waargenomen trend een constant zandvolume in de periode 1981-2001 (trend $+1,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$; gecorrigeerd voor zandaanvoer: $-2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Het deel onder LW kende sterke erosie (trend over 1987-2000 was $-18 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$; gecorrigeerd voor zandaanvoer: $-17 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Het was vooral de zeebodem (geulbodem van de getijgeul Grote Rede) die uitdieping meemaakte. De volumes schommelden sterk van opname tot opname. In 1996 was er op de zeebodem een kortstondige, zeer sterke aangroei. Dit moet een morfologische respons zijn op de grote zandaanvoerwerken tussen Bredene en Wenduine in de jaren voordien. Een gelijkaardige respons was ook terug te vinden in de kuststrook 37 (secties 177-181). Een trendverandering deed zich voor in 2001. Het deel boven LW groeide over de periode 2001-2012 aan met $+21 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $5,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$), maar de trend gecorrigeerd voor de zandaanvoer was afslag met $-34 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). In deze periode werden de hoeveelheden betrokken bij badstrandophogingen en kleine strandsuppleties geleidelijk opgevoerd. Over deze 11 jaar beliep de zandaanvoer in het deel boven LW $355 \text{ m}^3/\text{m}$, terwijl de waargenomen aangroei slechts $129 \text{ m}^3/\text{m}$ bedroeg, of 36%. In het kader van de uitvoering van het Masterplan Kustveiligheid werden vanaf 2012 grote strandsuppleties toegepast, met in het totaal over de periode 2012 (inbegrepen) – 2019 een aanvoer van $1051,4 \text{ m}^3/\text{m}$. Daartegen staat een waargenomen afslag (na de suppletie van 2012) van $160,2 \text{ m}^3/\text{m}$ (verlies van 115%, nl de volledige (afgeslagen) aanvoer plus de waargenomen afslag, gedeeld door de aanvoer). De waargenomen afslagtrend over 2012 – 2019 is $-13 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $6 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$) en de voor zandtoevoer gecompenseerde trend is $-118 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Dit is de hoogste afslagtrend die zich voordoet aan de Vlaamse kust. Bij de LIDAR-vlucht Voorjaar 2019 was het zandvolume van het deel boven LW in de kuststrook nog steeds 195.000 m^3 of $229,3 \text{ m}^3/\text{m}$ groter dan bij de eerste opname in 1983.

Vooroever en zeebodem kenden over 2000-2009 een afslagtrend van $-15,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $6,7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Dit cijfer was de som van aangroei op de hogere vooroever en afslag aan de vooroevervoet en op de zeebodem. De aangroei op de hogere vooroever was de voortzetting van aanvoer door kustprocessen uit de suppletiezone ten westen van Wenduine. Na 2009 deed zich een belangrijke trendversterking voor naar nog sterkere erosie. Het afslagcijfer over de periode 2009-2019 is $-44 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $6,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). In dit laatste decennium ging de aangroei op de hogere vooroever geleidelijk weer verloren. Tegelijk versterkte de trend tot uitdiepen van de zeebodem zich. T.o.v. 2000 ligt de zeebodem in 2019 tussen 0,5 en 1 m dieper. De meeste uitdieping deed zich voor in de recentste jaren.

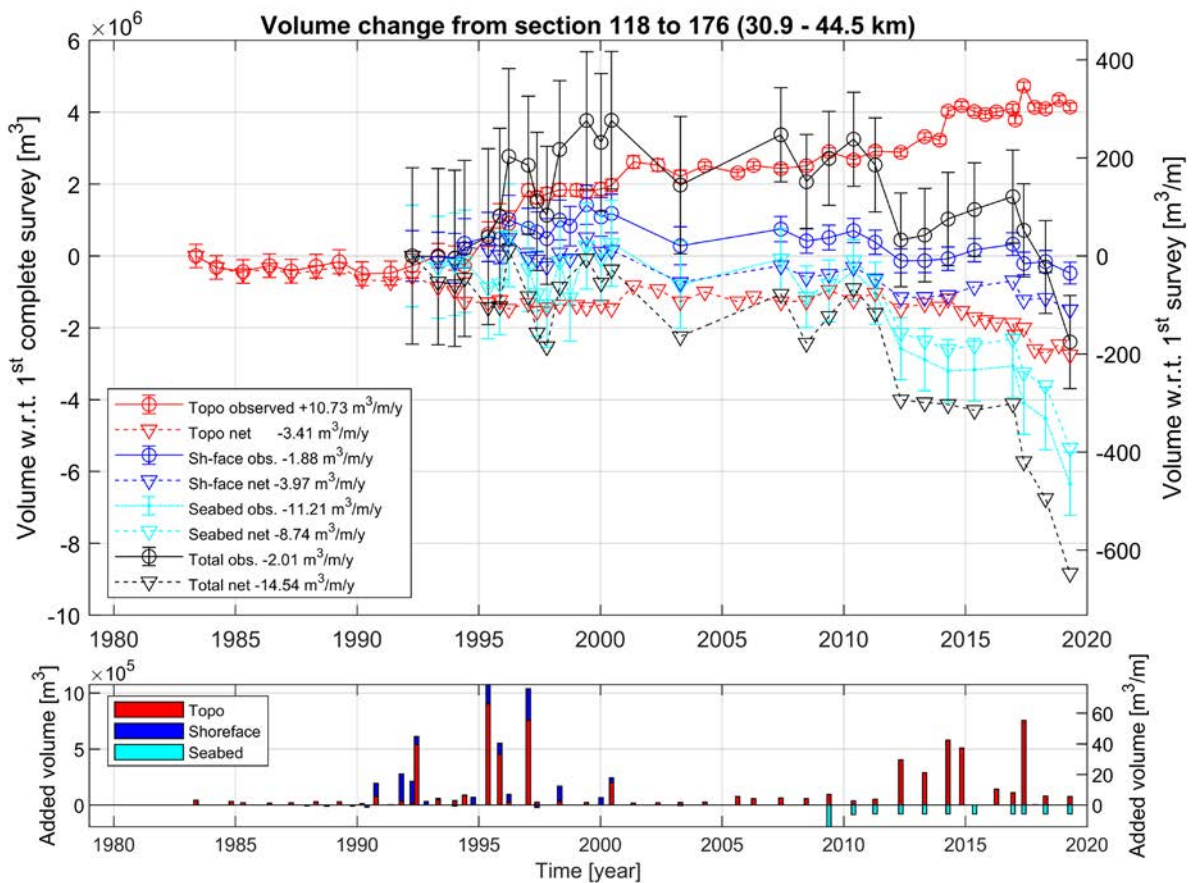
De zeer hoge erosiecijfers te Wenduine (kuststrook 37) roepen de vraag op "maakt veel suppleren de erosie groter?" Het antwoord is genuanceerd. Ook in het verleden was de trend, zowel onder LW als boven LW, afslag. Het verdiepen en zeewaarts naderen van de getijgeul Grote Rede stellen we in alle kuststroken vast, niet alleen hier in Wenduine waar veel wordt gesuppleerd. De erosie is in Wenduine wellicht ook sterker doordat de kust hier een knik vertoont (zoals een kaap). Bij verder uitdiepen van de getijgeul zullen golven nog minder verzwakken voor ze het strand bereiken. De invloed van de morfologische veranderingen op de stroming hangen ook samen met de ontwikkeling van de buiten het meetgebied gelegen Wenduinebank. Tot slot ook nog deze observatie: de kuststroken ten westen en oosten van Wenduine vertonen de laatste decennia geleidelijke aangroei, vooral het deel boven LW en in het bijzonder de duinvoet. De timing en ook de ruimtelijke ontwikkeling, geïllustreerd door de reeks hoogteverschilkaarten, maakt duidelijk dat die kuststroken natuurlijke aanvoer ondervonden uit de sterk erosie kuststrook 36, Wenduine.



Figuur 93 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 36. Kustlengte: 850 m.

9.12 Overzicht van de morfologische evolutie voor zone 3 (kuststroken 26 tot en met 36, van Oostende tot en met Wenduine)

Figuur 94 geeft de tijdsgrafieken van de volumes gecumuleerd voor alle kuststroken in zone 3 weer.



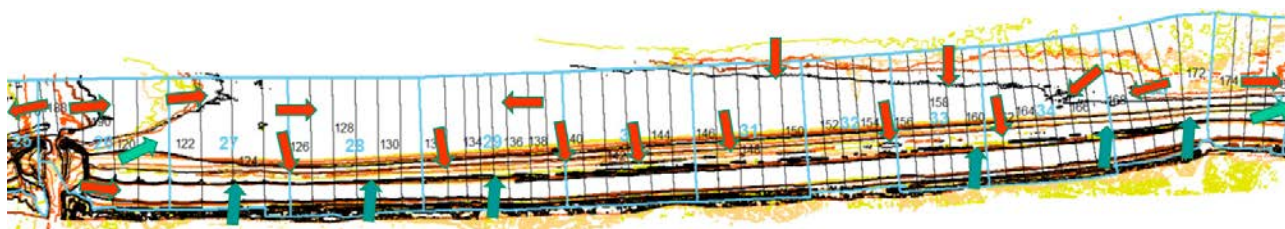
Figuur en berekeningen: Bart Roest, KULeuven. Deze grafiek bevat de som van de waargenomen (volle lijnen) en gecorrigeerde (streepjeslijnen) volumes per hoogtezone "boven LW" (rood), "vooroever" (blauw), "zeebodem" (cyaan) en voor het totale gebied (zwart) van alle kuststroken in zone 3. Tevens werden in de figuur onderaan, met een eigen verticale schaal, de aangevoerde (positief) of afgevoerde (negatief) zandvolumes weergegeven. Alle cijfers kunnen afgelezen worden als volumes (linkse verticale as) of als cijfers gedeeld door de totale kustlengte van de zone (rechts verticale as). De verticale strepen geven de onzekerheid op de meting aan, bepaald uit de fout op de hoogtemeting vermenigvuldigd met de oppervlakte van de meetzone. Tevens is de trend over de volledige waarnemingsperiode berekend en weergegeven in de legende.

Figuur 94 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de zone van Oostende tot en met Wenduine.

In de eerste observatiejaren slaat het gedeelte strand en duinaanzet in deze kustzone af. Vanaf ca. 1995 is er een sterke volumetoename, eerst door de grootschalige zachte kustverdedigingswerken in de strook Bredene – De Haan – Wenduine, daarna vooral door grote suppleties in Bredene, lokaal in De Haan en in het centrum van Wenduine. Hierdoor is het zandvolume per strekkende meter ca. 300 m³ groter dan in 1983 en ca. 350 m³ groter dan in 1992. De voor zandaanvoer gecorrigeerde trend is echter erosie. Mocht er geen enkele zandaanvoer in de kustzone hebben plaatsgevonden, dan zou het volume van het deel boven LW ongeveer 200 m³/m lager zijn dan in 1983. Vereenvoudigd gesproken is de volledige aangroei in de zone 3 te danken aan zandsuppleties, en daarvan is ongeveer 60% nog steeds weer te vinden in het deel boven LW. De vooroever had aanvankelijk baat bij de onderwatersuppleties. Inderdaad was er tussen 1995 en 1999 aangroei tot ongeveer 100 m³/m, en aangezien de voor zandaanvoer gecorrigeerde curve ongeveer de nullijn bleef volgen, kunnen we concluderen dat deze aangroei het gevolg was van enkel de onderwatersuppleties.

Van 1999 tot 2012 ging die aangroei volledig verloren. Nadien bleef het volume van de vooroever ongeveer constant rond hetzelfde volume als bij de eerste opname in 1992. Deze trend is echter de som van twee ruimtelijk gescheiden ontwikkelingen, zoals blijkt uit de tijdreeks van hoogteverschilkaarten en de kaart met de hoogtelijnen in 2000, 2007, 2011, 2015 en 2019 (Figuur 95). Enerzijds groeit de hogere vooroever globaal aan, en hier kunnen we een tijdelijke berging veronderstellen van zand dat afgeslagen wordt van de gesuppleerde stranden. Anderzijds kent de lagere vooroever sterke erosie. De zeebodem (geulbodem van de getijgeul Kleine Rede, de lage top van het oostelijke uiteinde van de Stroombank en de geulbodem van de Grote Rede) kende tussen 1992 en omstreeks 2011 een min of meer stabiele ontwikkeling, weliswaar met sterke schommelingen in volume van opname tot opname. Vanaf 2011 is er een omslag naar sterke erosie. De zeebodem ligt in 2019 op vele plaatsen 0,5 tot 1 m dieper dan in 2011, lokaal zelfs meer dan 1,5 m. Het verband met de aanleg en het onderhoudsbaggerwerk van de nieuwe vaargeul naar Oostende, de Pas van Stroombank, ligt voor de hand. De geul werkt als een zandvang en door het baggeren wordt het zand onttrokken aan het natuurlijk zandtransport binnen het kuststelsel, omdat de loswal ter hoogte van Bredene ongeveer 3 tot 4 km zeewaarts van de laagwaterlijn en dus helemaal buiten het kuststelsel is gelegen. Er kunnen echter ook nog andere processen spelen. Zo zien we de getijgeul Grote Rede toch ver buiten de mogelijke morfologische invloedssfeer van de Pas van Stroombank eveneens uitdiepen. Een "aanzuigefect" van het onderhoudsbaggerwerk van de toegang tot Blankenberge lijkt ook uitgesloten. Weliswaar worden er jaarlijks belangrijke hoeveelheden zand gebaggerd (zie Tabel 42 bij kuststrook 38). Maar de baggerzone vormt geen depressie op de geulbodem zoals dit voor de Pas van Stroombank het geval is; eerder vormt deze een holle brede kuil in de helling van de vooroever. Het is zeer aannemelijk dat die kuil veel zand van de hogere vooroever en het strand vangt, maar minder waarschijnlijk, gelet op de diepte, dat er zand zou in terecht komen via erosie van de bodem van de Grote Rede. Mogelijk houdt de ontwikkeling van de Grote Rede wel verband met verplaatsingen van de Wenduinebank. Deze valt echter buiten het gebied dat regelmatig morfologisch wordt opgevolgd in het kader van de kustveiligheid. Een alternatieve hypothese i.v.m. de geulverdieping volgt bij de conclusies.

De kustzone van Oostende tot en met Wenduine is structureel erosief. De geulen voor de kusten diepen uit en de vooroevervoet wordt aangetast. Zonder de hoge suppletie-inspanningen zou de kust structureel eroderen. Met de huidige inspanningen werd bereikt dat de hoeveelheid zand in de kustbarrière hoger is dan ooit tijdens de observatieperiode. Wel ging nog 2/5 van de aanvoer verloren uit de kustzone. Waar het strand zo sterk wordt gesuppleerd dat het nadien lokaal enigszins in zee uitsteekt t.o.v. de omgevende kustlijn, is de erosie het sterkst: Bredene, De Haan-Centrum en vooral Wenduine-Centrum. De erosie van die zwaardere suppleties komt wel de aangrenzende stranden ten goede.



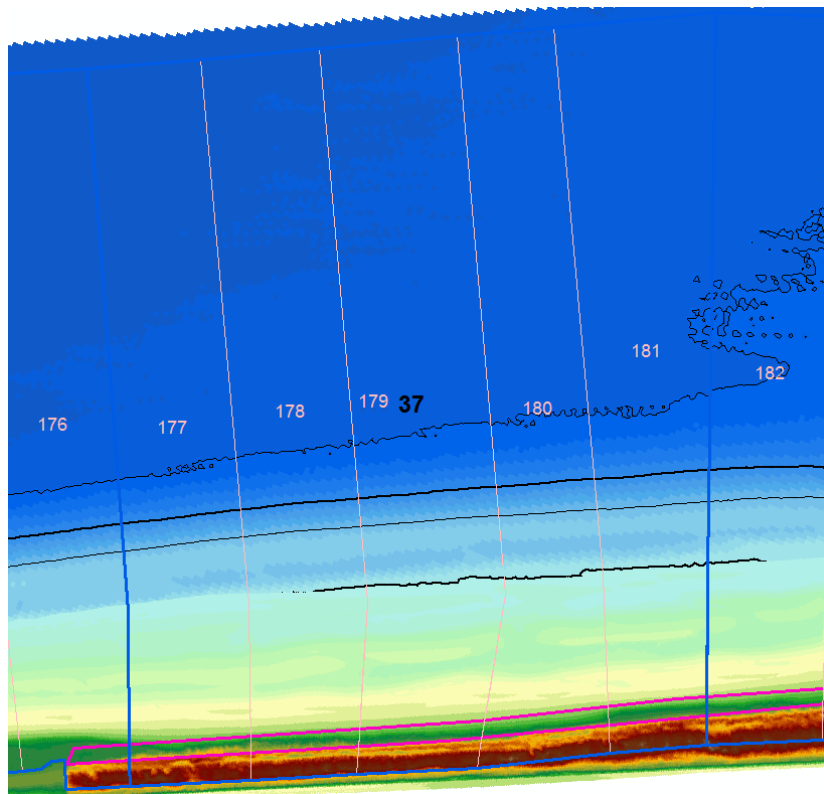
Schematische aanduiding met dikke pijlen van de verschuiving van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019. De pijlen geven de verplaatsingsrichting van de hoogtelijnen weer, en dus niet de richting van het eigenlijke sedimenttransport. Rood: natuurlijke erosie, lichtgroen: natuurlijke sedimentatie, donkergroen: aangroei rechtstreeks volgend op zandaanvoerwerken. Hoogtelijnen boven 0 m TAW om de 4 m; beneden 0 m TAW om de 2 m. Geel: 2000, oranje: 2007, rood: 2011, bruin: 2015, zwart: 2019. Kuststroken omlijnd in blauw, secties in zwart. Een grotere versie van deze kaart bevindt zich in bijlage 6.

Figuur 95 – Verplaatsing van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019, kustzone Oostende-Wenduine.

10 Morfologische evolutie per kuststrook, zone 4: van Wenduine-Oost tot Zeebrugge

10.1 Strook 37 (secties 177-181): Wenduine-Oost tot Harendijke

Motivering van de kuststrook: dit is het meest westelijke deel van het kustdeel “Wenduine-Oost”. De secties kennen een morfologische gelijklopende evolutie. Er is geen zeedijk, een hoge duinrug sluit aan bij het strand. In dit gedeelte wordt zand aangevoerd in sectie 181, waar het strandpaviljoen “Harendijke” gelegen is. Het gaat meestal om de aanvoer van zand gewonnen op het strand nabij de lage dam van de havengeul van Blankenberge. Verder wordt er niet zoveel gesuppleerd, met de hierna genoemde uitzonderingen.



Dikke omlijning in magenta: gebied waar enkele malen zandaanvoer plaatsvond met zand gebaggerd in de havengeul van Blankenberge.

Figuur 96 – Situatiekaartje kuststrook 37, Wenduine-Oost en Harendijke. Kustlengte: 1217 m.

Zo werd er zand aangevoerd in 2007 afkomstig uit de havengeul van Blankenberge. Hierbij werd tussen 15 januari en 15 maart 59.931 m^3 aangebracht in de strook van sectie 177 tot 184. Op basis van de kustlengte kan de aanvoer in de strook van 177 tot 181 op $1217 / 1854 \times 59.931 = 39.300 \text{ m}^3$ geraamd worden. Tevens werd tussen 5 november 2007 en 17 februari 2008 29.038 m^3 van zelfde herkomst in dezelfde kuststrook aangebracht. Het deel in de strook van 177 tot 181 bedraagt dan ongeveer $1217 / 1854 \times 29.038 \text{ m}^3 = 19.100 \text{ m}^3$.

Verder werd een "kleine strandsuppletie" uitgevoerd in 2008 in de strook van sectie 181 tot en met 184. Deze behelsde de aanvoer met vrachtwagens van 69.526 m³ zeezand. Op basis van de kustlengte kan de in sectie 181 aangebrachte hoeveelheid op 17.100 m³ geraamd worden.

De grote strandsuppletie van 2012 in Wenduine (secties 169 tot 177) bracht ook zandaanvoer teweeg in sectie 177, die in de onderhavige kuststrook ligt.

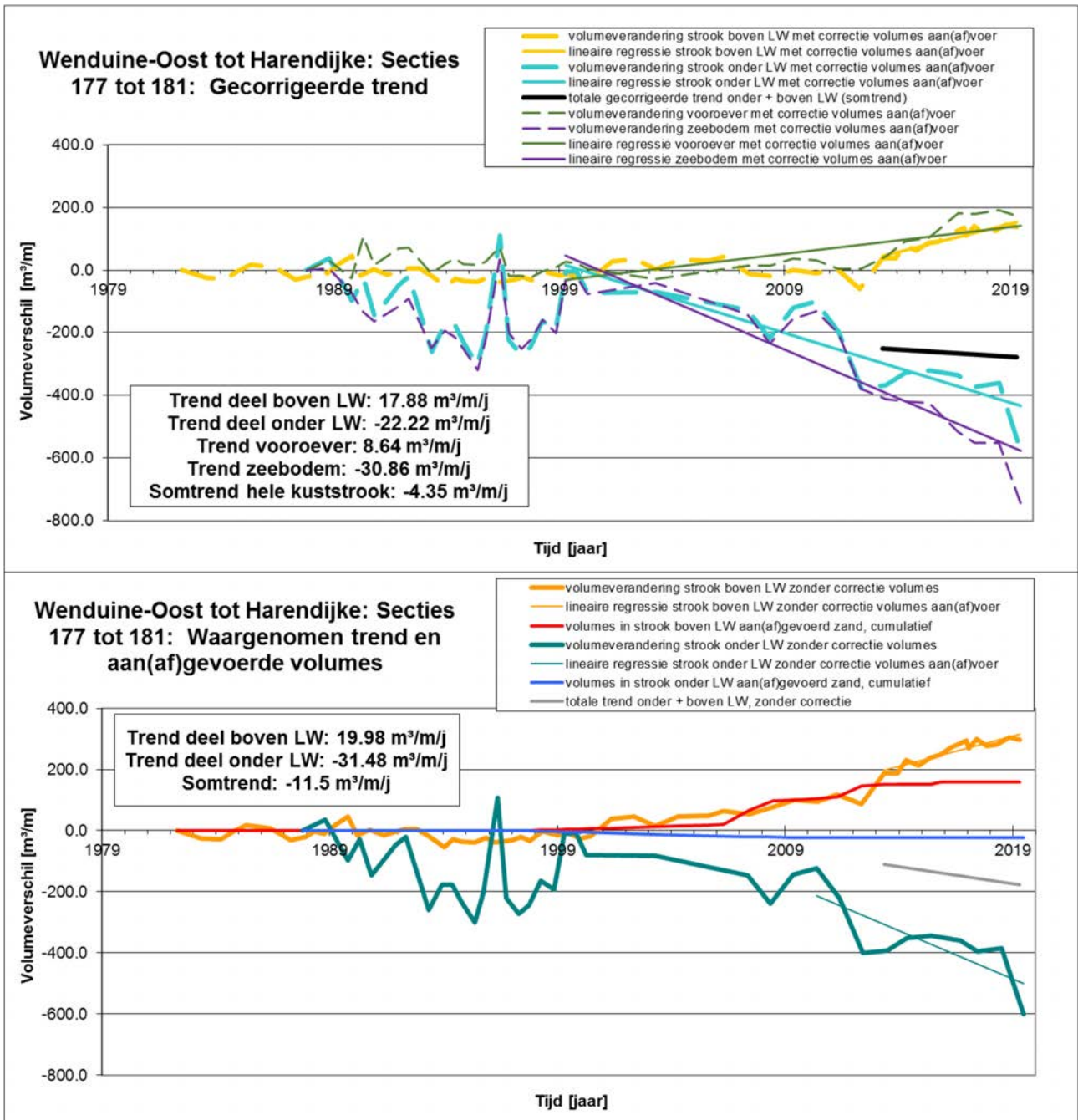
In *Tabel 41* zijn alle hoeveelheden samengevat. De aanvoer in sectie 181 gebeurt aan de strandtoegang Harendijke. Na 2015 werd er in deze kuststrook geen zand meer aangevoerd.

Tabel 41 – Overzicht van de zandverplaatsingen, meestal uit sectie 184 (strook 38), naar sectie 181 (strook 37).

Jaar	Sectie 181, strandpaviljoen		aanvoer in strook 37 (secties 177-181) (m ³)		afvoer uit sectie 184 (m ³) (helft boven, helft beneden LW)
	strandzand (m ³)	zeezand (m ³)	aanvoer in gedeelte boven LW	afvoer in gedeelte onder LW	
1997	270		100	-100	
1998	5401		2700	-2700	
1999	5093		2500	-2500	
2000	5000		2500	-2500	
2001	5000		2500	-2500	
2002	5000		2500	-2500	
2003	5136		2600	-2600	
2004	5400		2700	-2700	
2005	6706		3400	-3400	
2006	6288		3100	-3100	
2007		18000	18000	0	
2008*		17100	17100	0	
2009	7931		4000	-4000	
2010**	5750		5800	0	-5800
2011**	7375		7400	0	-7400
2012**	7640		7600	0	-7600
2012 (s. 177)°			33600	0	0
2013**	6915		6900	0	-6900
2014			0		
2015+			11400		-11400*

Bron: 1997-1999 : rapport KUST 2004.112. 2003-2019: afdeling Kust. Gegevens niet meer beschikbaar voor 2000-2002, de ingevulde cijfers zijn een redelijke veronderstelling. *de "kleine strandsuppletie" van 2008 werd uitgevoerd in secties 181 tot en met 184. Hier is het deel voor sectie 181 vermeld. **er werd zand gewonnen nabij de lage dam van de havengeul van Blankenberge in sectie 184. Deze volumes zijn dus netto-invoer voor de kuststrook. In sectie 184 (strook 38) wordt aangenomen dat de helft van het volume is afgegraven beneden, en de helft boven LW. °deel van grote strandsuppletie in Wenduine, van secties 169 tot en met 177. *afkomstig van tijdelijke zandvoorraad in secties 183-184 van zand gebaggerd in de havengeul van Blankenberge.

Morfologische evolutie van deze kuststrook: op het deel boven LW is de waargenomen trend, lichte schommelingen niet te na gesproken, een vrijwel constant zandvolume in de periode 1982-1995 (trend -1,7 m³/m/jaar). Het deel onder LW kende sterke erosie (trend over 1987-1995 was -37 m³/m/jaar). Het was vooral de zeebodem (geulbodem van de getijgeul Grote Rede) die uitdieping meemaakte. De volumes schommelden sterk van opname tot opname. In 1996 was er in het deel beneden LW een kortstondige, zeer sterke aangroei, die bij de volgende loding alweer verdwenen was. Meetfout of een kortstondige sterke aanvoer uit de zone met grootschalige suppleties tussen Bredene en Wenduine? Alleszins was na die uitschieter ook tussen 1996 en 2000 de trend positief, en noteerden we zowel aangroei op de vooroever als op de zeebodem. Aanvoer door de natuurlijke kustprocessen vanuit de suppletiezone tussen Bredene en Wenduine lijkt ook voor deze ontwikkeling de aannemelijke verklaring.



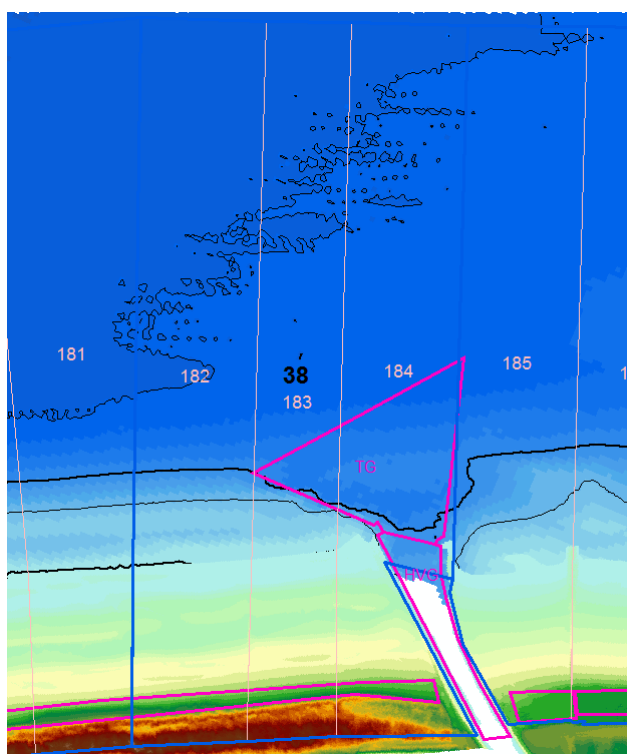
Figuur 97 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 37. Kustlengte: 1217 m.

Tussen 2006 en 2013 vonden in de kuststrook zelf zandaanvoerwerken plaats. Het aangevoerde volume nam gespreid over deze periode toe met 130,5 m³/m. De waargenomen volumes in het deel boven LW volgden deze trend. Na 2013 werd er omzeggens geen zand meer aangevoerd. Toch bleven de zandvolumes in het deel boven LW toenemen: een trend van +20 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 2,3 m³/m/jaar) wordt waargenomen tussen 2013 en 2019. Vooral de strandzone bij de duinvoet kende sterke aangroei. Tevens tonen de hoogteverschilkaarten significante en vrijwel continue aangroei op de hogere vooroever. De kaartserie laat de samenhang afleiden met de ontwikkeling van de gesuppleerde zones in Wenduine. Iedere keer na een grote strandsuppletie daar, volgt in het jaar erop een aangroei-golf op de hogere vooroever tussen Wenduine en de havengeul van Blankenberge. Deze ligt ter hoogte van de buitenste brekerbank thans tot 0,75 m ondieper dan in 2000. De lagere vooroever en zeebodem verliezen echter zand. Na een eerder

stabiële trend, weliswaar met schommelingen, trad rond 2010 een ommekeer op en begonnen de volumes sterk af te nemen. De waargenomen trend tussen 2010 en 2019 voor het deel beneden LW is $-31,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $8,8 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). De zeebodem is hier tevens de geulbodem van de Grote Rede. Hier treedt over het hele gebied van kuststrook 37 erosie op, gelijk gespreid in de ruimte, met bodemverlaging t.o.v. 2000 tussen 0,25 en 0,75 m; het meeste van de erosie deed zich voor na 2010.

10.2 Strook 38 (secties 182-184): Wenduine-Harendijke tot havengeul van Blankenberge

Motivering van de kuststrook: deze meest oostelijke secties van het kustdeel “Wenduine-Oost” kennen meer aangroei dan het westelijke deel. Er is een zeer sterke invloed van de baggerwerken in de toegang tot de havengeul van Blankenberge. De zone die gebaggerd wordt om de toegang tot de havengeul van Blankenberge op diepte te houden, het “voorplein”, ligt op de vooroever van secties 183 en 184. Ook de havenmond hoort nog tot sectie 184, maar de geul tussen de lage dammen valt buiten het kuberingsgebied.



Dikke omlijnning in magenta: gebied aan de duinvoet ten westen van de havengeul waar enkele malen zandaanvoer plaatsvond met zand gebaggerd in de havengeul van Blankenberge. Baggerwerk haven Blankenberge: TG = toegang of voorplein; HVG = havengeul-noord (gedeelte tussen de lage dammen). Gebied palend aan de zeedijk ten oosten van de havengeul: hier wordt vrijwel jaarlijks zand aangevoerd afkomstig van baggerwerk in de toegang naar de haven van Blankenberge.

Figuur 98 – Situatiekaartje kuststrook 38, Harendijke tot havengeul Blankenberge. Kustlengte: 637 m.

In de rapporten “Kustmorfologie” werden de hoeveelheden in m^3 gebaggerd in de periode 1980-1997 gerapporteerd. Deze hoeveelheden zijn per baggerpachtjaar (1 april – 31 maart) en zijn globaal voor het voorplein en het gedeelte met zand tussen de havendammen. Dat laatste gedeelte valt buiten de vooroeverzone van sectie 184. In de rapporten “Kustmorfologie” werd vermeld dat jaarlijks gemiddeld 25.000 à 30.000 m^3 zand op het strand ten oosten van de havengeul werd aangebracht. Er werd een redelijke aanname gedaan per jaar, in functie van de globale hoeveelheid gebaggerd zand (“cijfers eerste reeks”). Dat

cijfer werd vervolgens afgetrokken van het totaal gerapporteerd cijfer gebaggerd zand. Aldus werd voor de periode 1980-1997 ook de hoeveelheid gereconstrueerd die op het voorplein werd onttrokken. Men vindt de hoeveelheden in *Tabel 42*. Ze staan in cursief omdat de onzekerheid op de hoeveelheden toch wel groot is.

Van 1997 tot 2011 werden de hoeveelheden per baggerzone afzonderlijk gerapporteerd. Deze cijfers waren uitgedrukt in ton droge stof (TDS). Deze grootte wordt aan boord van het baggerschip gemeten met behulp van het Hopper Well Densimeter systeem. In overleg met de betrokken diensten wordt aangenomen dat voor zandige baggerspecie de hoeveelheid TDS door 1,6 ton/m³ moet worden gedeeld om een schatting te verkrijgen van het oorspronkelijk op de bodem aanwezige zand in m³. Vanaf 2012 is het overzicht van de betrokken baggerwerken opnieuw bij de afdeling Kust. Deze houdt de cijfers nu bij per baggermaand, baggervak en soort specie (slib of zand). Doorgaans worden de volumes afgeleid uit voor- en napeilingen, zodat ze als betrouwbare gegevens voor morfologische doeleinden kunnen worden beschouwd. Enkele malen is de rapportering toch nog in TDS. De afdeling Kust laat de baggerwerken op het voorplein (ook in Nieuwpoort) in- en uitpeilen en kuberen en bepaalt zo benaderend de omzetting van TDS naar m³: gemiddeld 1,422 TDS/m³. De verschillende conversiefactoren tonen nogmaals de noodzaak dat de relatie tussen baggeractiviteiten en morfologische evolutie nader moet worden bestudeerd. In dit rapport worden de omzettingen voor wat betreft baggeren op het voorplein verricht met de factor 1/1,6 en voor wat betreft de zandige (maar allicht ook slibhoudende) specie van de havengeul tussen de lage dammen met de factor 1/1,422.

Alle betrokken volumes, gegroepeerd per tijdvak tussen de LIDAR-vluchten of vooroeverlodingen, en met de verdeling over de kuststroken, vindt men in *Tabel 42*.

Tabel 42 – Volumes zand gebaggerd uit de toegang tot de haven van Blankenberge en gelost of aangewend voor suppleties op het strand.

Jaar (telkens tot voorjaarsopname, of tot opname zoals aangegeven)	Strook 38 Baggerhoeveelheden in m ³ op voorplein + helft havengeul Noord (secties 183-184) (correctie bij deel onder LW)	Strook 38 Baggerhoeveelheden in m ³ in helft havengeul Noord (buiten secties 183-184) (correctie bij deel boven LW)	Strook 39 Hoeveelheid in m ³ gestort op vooroever van secties 187-189	Hoeveelheid (m ³) afkomstig uit de havengeul en aangebracht in secties 185-193	Strook 39 Deel daarvan op het STRAND van secties 185-189	Strook 40 Deel daarvan op het STRAND van secties 190-193
1981	-102 000	vervat in cijfer links	102 000	25 000	14 500	10 500
1982	-102 000	vervat in cijfer links	102 000	25 000	14 500	10 500
1983	-102 000	vervat in cijfer links	102 000	25 000	14 500	10 500
1984	-102 000	vervat in cijfer links	102 000	25 000	14 500	10 500
1985	-159 000	vervat in cijfer links	159 000	30 000	17 400	12 600
1986	-51 000	vervat in cijfer links	51 000	20 000	11 600	8 400
1987	-119 000	vervat in cijfer links	119 000	25 000	14 500	10 500
1988	-118 000	vervat in cijfer links	118 000	25 000	14 500	10 500
1989	-85 000	vervat in cijfer links	85 000	25 000	14 500	10 500
1990	-43 000	vervat in cijfer links	43 000	20 000	11 600	8 400
1991	-186 000	vervat in cijfer links	186 000	30 000	17 400	12 600
1992	-140 000	vervat in cijfer links	140 000	25 000	14 500	10 500
1993	-173 000	vervat in cijfer links	173 000	25 000	14 500	10 500
1994	-126 000	vervat in cijfer links	126 000	25 000	14 500	10 500
1995	-211 000	vervat in cijfer links	211 000	30 000	17 400	12 600
1996	-343 600	vervat in cijfer links	343 600	47 400	27 400	20 000
1997	-150 500	vervat in cijfer links	150 500	43 100	24 900	18 200
1998	-81 100	-22700	58 400	45 400	26 300	19 100
1999	-128 200	-38200	89 900	76 500	44 200	32 300
2000	-72 600	-5300	67 400	10 500	6 100	4 400
2001	-112 100	-39800	72 300	79 600	46 000	33 600

2002	-76 500	-16500	60 000	12 300	7 100	5 200
2003	-145 800	-26400	119 400	79 700	46 100	33 600
2004	-60 300	-23100	37 200	46 200	26 700	19 500
2005	-177 500	-63300	114 200	126 500	73 200	53 300
2006	-57 000	-11900	45 100	23 800	13 800	10 000
2007	-100 900	-30000	71 000	0	0	0
2008	-93 500	-14500	79 000	18 700	10 800	7 900
2009	-50 400	-20200	30 200	40 500	23 400	17 100
2010	-30 400	-10700	19 700	21 400	12 400	9 000
VJ 2011	-39 200	-11800	62 400	0	0	0
VJ 2012	-25 400	-25400	0	50 846	29 400	21 400
VJ 2013	-58 400	-20300	46 900	40 531	23 400	17 100
Storm 2013		-15 900		10 743	6 200	4 500
VJ 2014	-63 900	-3000	72 200	6 000	3 500	2 500
NJ 2014		-9600		19 138	11 100	8 100
VJ 2015	-84 200	-41500	46 900	83 048	48 000	35 000
NJ 2015				0	0	0
VJ 2016		-63900		127 787	73 900	53 900
Zomer/NJ 2016	-104 200	-5000	49 600	10 000	5 800	4 200
Storm 2017		-4100		8 200	4 700	3 500
VJ 2017	-18 200	-9100	0	18 126	10 500	7 600
NJ 2017	-22 400	-31100	0	62 278	36 000	26 300
eind 2017	-32 600		0			
VJ 2018	-38 800	-62 600	0	125 214	72 400	52 800
Zomer/NJ 2018	-38 300	-5100	52 000	0	0	0
VJ 2019	-81 600	-41300	132 300	0	0	0

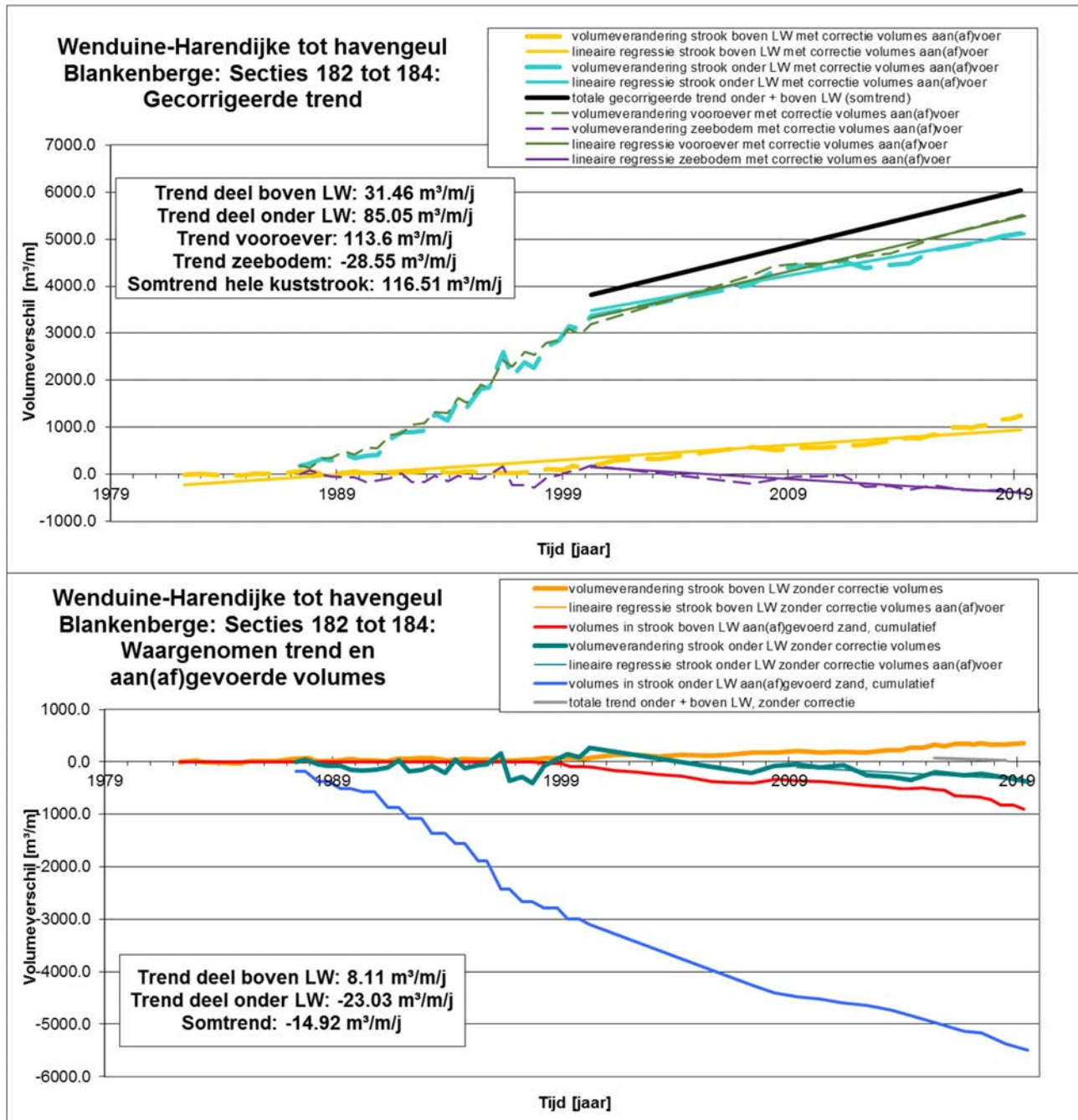
Bron : rapporten "Kustmorfologie" tot 1997. Cijfers in cursief omdat de aannames om tot de cijfers te komen aanleiding geven tot heel wat onzekerheid. 1998-2011: afdeling Maritieme Toegang. Vanaf 2012: afdeling Kust. In 2011, het najaar van 2018 en in 2019 werd ook de zandige baggerspecie afkomstig uit de havengeul op de vooroever gestort.

Voor kuststrook 38 betekent het onderhoudsbaggerwerk een zeer grote evacuatie van zandig materiaal. De "gecorrigeerde" cijfers geven dan ook aanleiding tot het vaststellen van een zeer sterke aangroei. Dit kan kunstmatig lijken, maar voor de zandbalans is de correctie verantwoord: het zand heeft het kuststelsel hier verlaten en is er (volgens de gegevens in *Tabel 42*) gedeeltelijk ook weer aan toegevoegd in de meer oostelijk gelegen kuststroken 39 en 40, waar op haar beurt negatieve correcties worden toegepast.

Enmalig werd zand afkomstig van baggerwerken in de havengeul van Blankenberge in de kuststrook ten westen van de havengeul aangevoerd. Dat gebeurde in 2007. Bij de zandaanvoer van 2007 werd tussen 15 januari en 15 maart 59.931 m³ aangebracht in de strook van sectie 177 tot 184. Op basis van de kustlengte kan de aanvoer in de strook van 182 tot 184 op $637 / 1854 \times 59.931 = 20.600 \text{ m}^3$ geraamd worden. Tevens werd tussen 5 november 2007 en 17 februari 2008 29.038 m³ van zelfde herkomst in dezelfde kuststrook aangebracht. Het deel in de strook van 182 tot 184 bedraagt dan ongeveer $637 / 1854 \times 29.038 \text{ m}^3 = 10.000 \text{ m}^3$.

In 2008 werd een "kleine strandsuppletie" uitgevoerd in de strook van sectie 181 tot en met 184. Zij behelsde de aanvoer met vrachtwagens van 69.526 m³ zeezand. Op basis van de kustlengte kan de aangebrachte hoeveelheid in secties 182-184 op 52.500 m³ geraamd worden.

De aanvullingen in sectie 181 rond het strandpaviljoen Harendijke hielden tussen 2010 en 2015 aanvoer in van zand verwijderd nabij de laagwaterlijn in sectie 184 aan de lage dammen van de havengeul. Het gaat dus om uitvoer uit deze kuststrook, die half verdeeld wordt over het strand en de vooroever. De hoeveelheden vindt men in *Tabel 41* bij kuststrook 37.



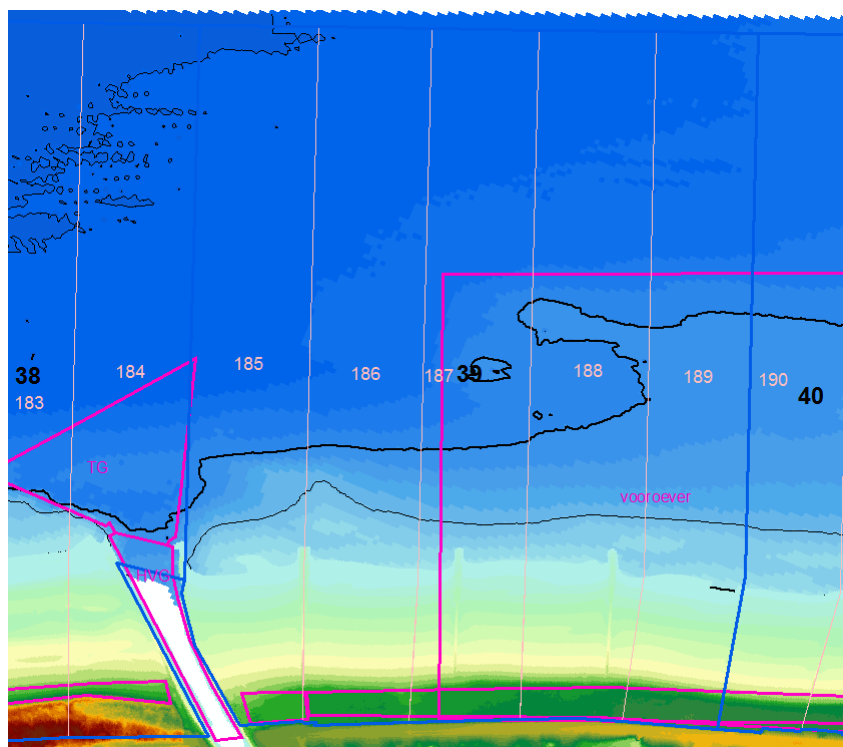
Figuur 99 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 38. Kustlengte: 637 m.

Morfologische evolutie in deze kuststrook: het deel boven LW kent een gestage aangroei sinds de eerste meting : +8,1 m³/m/jaar over de periode 1982-2019 (standaarddeviatie op de trend: 4,7 m³/m/jaar). Gecorrigeerd voor de aangevoerde hoeveelheden is de trend +4,5 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,3 m³/m/jaar). De zandaanvoer van de laatste jaren belooft in 2019 (t.o.v. 1982) een toevoer van 159 m³/m, waartegenover een waargenomen aangroei staat met 353 m³/m. Voor het deel onder LW is er een grote invloed van de baggerwerken. Het deel onder LW kende tot ca. 2011 een stabiele ontwikkeling: de waargenomen trend 1987-2011 was +0,5 m³/m/jaar, weliswaar met belangrijke jaarlijkse schommelingen. Tussen 2011 en 2019 wordt afslag waargenomen, de trend is -23 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 8,4 m³/m/jaar). We noteren, zoals in Wenduine en Wenduine-Oost, verspreide uitdieping van de zeebodem, dus de bodem van de getijgeul Grote Rede. T.o.v. 2000 is de uitdieping tussen 0,25 en 0,75 m.

Er gaat een belangrijke invloed op de lokale zandbalans uit van de gebaggerde hoeveelheden. Bij het baggeren van het voorplein voor de haveningang van Blankenberge wordt een "kuil" voor de ingang van de havengeul gecreëerd. Deze brede kom vormt een depressie in de vooroever, niet in de zeebodem. Hieruit (en dit lezen we ook uit de verandering van aangroeizones op de opeenvolgende hoogteverschilkaarten) kunnen we een zandaanvoer afleiden via het natstrand en de hogere vooroever. Het voorplein en de haventoeegang tussen de lage dammen zandt telkens snel toe. Vandaar de hoge baggerhoeveelheden en de grote aangroeiritmes van het deel onder LW na "correctie". Hierin kunnen we twee deelperioden onderscheiden. De gecorrigeerde trend van het deel onder LW over 1990-2000 is $+291 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $13 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Deze zeer sterke, gereconstrueerde aangroei zou kunnen samenhangen met de grote suppletiewerken tussen 1991 en 1998 in de kuststrook van Bredene tot Wenduine. In 2000 is er uitgesproken knik in de gecorrigeerde grafiek met een verandering naar een lager aangroeiritme. Maar er is geen weerslag in de evolutie ten gevolge van de sterk toegenomen suppleties in Wenduine. De gecorrigeerde trend over 2000-2019 is $+73 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $6,7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Er is niet meteen een verklaring voor de vermindering van de baggerhoeveelheden. Wordt er rationeler gebaggerd? Maakten we foute veronderstellingen bij de opbouw van het deel vóór 2000 in Tabel 42? In die periode werden er afzonderlijke cijfers gerapporteerd "1e reeks" (vnl. zand; uit voorplein en eerste deel havengeul) en "2e reeks" (vnl. slib uit de haven), en werd er op toegekeken dat ze geen dubbeltelling van gesuppleerd zand inhielden. Of is er werkelijk een omslag in de natuurlijke aanvoer opgetreden? Die kwestie werd ook behandeld in Houthuys et al. (2014), waar toen gedacht werd dat de hogere frequentie van stormen in 1984-1997 meer sedimentatie in de geul veroorzaakten. De hoeveelheden waren lager in 1997-2007 en namen nog af voor 2007-2011.

10.3 Strook 39 (secties 185-189): Blankenberge, westelijk deel

Ligging van de strook: het strand van de vijf meest westelijke secties van het kustdeel Blankenberge gedraagt zich wat tijdsevolutie van de volumes betreft gelijkaardig en enigszins verschillend van de rest van het kustdeel Blankenberge. Dit heeft te maken met het feit dat de drie strandhoofden ten oosten van de havengeul verzwaard en zeewaarts verlengd werden. Er worden suppleties verricht met zand, afkomstig van onderhoudsbaggerwerk in de havengeul, op het strand palend aan de zeedijk. Op de geulbodem, ongeveer 800 m van de zeedijk en 500 m van de laagwaterlijn, bevindt zich de loswal "Blankenberge" (*Figuur 100, Figuur 102*). De diensten die de baggerwerken aansturen noemen deze locatie "vooroever", maar morfologisch is ze geen deel van de vooroever (in de zin van onderwaterstrand). Hier wordt de zandige specie gelost van baggerwerken in de aanloop naar de havengeul, het "voorplein". Weliswaar ligt deze loswal in een gebied van sectie 187 tot en met 196, maar de opeenvolgende vooroeverlodingen en differentiële hoogtekaarten tonen aan dat vrijwel uitsluitend in secties 187 tot 189 specie gelost wordt. Daarom wordt de "correctie" van de tijdreeks van volumes voor lossingen met baggerspecie uit de toegang naar de haven van Blankenberge volledig toegepast in deze kuststrook. De loswal ligt morfologisch gezien wel in de geul "Grote Rede", maar ze ligt ondieper dan $-4,11 \text{ m TAW}$ en de correcties worden dus toegepast op de volumes van de hoogtelaag vooroever.



Dikke omlijning in magenta: gebied aan de duinvoet ten westen van de havengeul waar enkele malen zandaanvoer plaatsvond met zand gebaggerd in de havengeul van Blankenberge. Baggerwerk haven Blankenberge: TG = toegang of voorplein; HVG = havengeul-noord (gedeelte tussen de lage dammen). Gebied palend aan de zeedijk ten oosten van de havengeul: hier wordt vrijwel jaarlijks zand aangevoerd afkomstig van baggerwerk in de toegang naar de haven van Blankenberge. Groot vak in kuststrook 39 en 40: omlijning loswal "vooroever Blankenberge".

Figuur 100 – Situatiekaartje kuststrook 39, Blankenberge, westelijk deel. Kustlengte 1096 m.

De cijfers van de lossingen op de vooroever vindt men in *Tabel 42* bij kuststrook 38. Hoewel uit de opeenvolgende hoogteverschilkaarten blijkt dat de lossingen op ongeveer 500 m van de laagwaterlijn ter hoogte van secties 187-189 plaatsvinden, en de correcties dus volledig op kuststrook 38 worden toegepast, blijkt uit dezelfde kaarten dat de gestorte specie snel verspreid wordt, en hoofdzakelijk in oostelijke richting. De correctie uitsluitend toepassen voor kuststrook 38 lijkt niet tot fouten in de zandbalans voor de kustzone 4. Wat eventueel te weinig gecorrigeerd zou zijn in kuststrook 39, is dan zeker wel gecorrigeerd in kuststrook 38.

Vaak werd en wordt een deel van het zand dat bij onderhoudsbaggerwerk uit de havengeul van Blankenberge werd opgehaald, gestockeerd in sectie 185, net ten oosten van de havengeul. Vandaar wordt het verspreid over de secties 185 tot 193 in een strook aansluitend bij de zeedijk. Die hoeveelheden zijn op basis van de kustlengte van de secties verdeeld over deze en de volgende kuststrook. De aldus verkregen hoeveelheden zijn weergegeven in *Tabel 42* bij kuststrook 38. Hierin zijn de cijfers tot 1996 vrij ruwe ramingen. Er werden toen geen afzonderlijke hoeveelheden bijgehouden en gerapporteerd.

Tijdens het stormachtige weer in het begin van 2019 sedimenterden grote hoeveelheden zand, afgeslagen van de stranden ten westen en in Wenduine, in de havengeul. Het zand werd deze keer geruimd met een klein baggerschip en via persleidingen aangebracht op de vooroever van de secties net ten oosten van de havengeul. Hierdoor is de vooroever er bij de bathymetrische opname van 2019 heel wat ondieper dan bij de vorige opnames.

In deze kuststrook werd tijdens de periode waarover metingen voorhanden zijn, aan de strandhoofden gewerkt. Strandhoofd 14 op de grens van secties 185 en 186 werd uitgebouwd en zeewaarts verlengd in 1985-1986. In sectie 187 werd begin 1991 gestart met de aanleg van het nieuw strandhoofd 15/16 en werd

het oude strandhoofd 15, op de grens van secties 186 en 187, afgebroken. Nadien, tussen mei 1991 en oktober 1991, werd begonnen met de aanleg van het nieuwe strandhoofd 17 in sectie 188, en het afbreken van de oude strandhoofden 16 en 17, op de grenzen van secties 187, 188 en 189. Deze werken waren vrijwel voltooid in de eerste helft van 1992. Vooral de aanleg van strandhoofd 14 stond vermoedelijk in voor een kentering van afslag tot 1984 naar een periode met strandaangroei.

Verder vonden hier en in de volgende kuststrook ook badstrandophogingen plaats. Deze praktijk vond plaats tussen 1985 en 2008. Er werden globale cijfers gerapporteerd. Het gedeelte aangebracht in de twee betrokken kuststroken wordt geschat op basis van de kustlengte (zie *Tabel 43*). De hoeveelheden die opgevoerd werden van nabij de laagwaterlijn, worden voor de helft als een invoer in de horizontale volumeschijf van de strandsectie gezien en als een uitvoer uit de hoogteschijf van de vooroever.

Tabel 43 – Volumes in kuststroken 39 en 40 bij de badstrandophogingen van 1985-2008.

Jaar	Plaats (sectie)	Volume strandzand (m ³)	Gedeelte gewonnen boven 1,39 m TAW (m ³)	Strook 39 Gedeelte in secties 185-189 (m ³)	Strook 40 Gedeelte in secties 190-195 (m ³)
1985	188-190	9900	5000	3500	1500
1986	188-191	5000	2500	1300	1200
1987	187-188	30000	15000	15000	0
1988	187-188, 191-192	26358	13200	7000	6200
1989	187-192	25000	12500	6600	5900
1990	187, 189-192	30346	15200	6400	8800
1991	187, 189, 190	16981	8500	6000	2500
1992	186-188, 190-192	20919	10500	5600	4900
1993	186-188, 190-192	32790	16400	8800	7600
1994	186-193	45965	23000	12100	10900
1995	186-187, 189-193	35170	17600	8000	9600
1996	189-192	10405	5200	1300	3900
1997	186-191	25551	12800	8900	3900
1998	189-192	5623	2800	700	2100
1999	189-192	8637	4300	1100	3200
2000	186-192	9909	5000	3000	2000
2001	186-192	2599	1300	800	500
2002	186-192	8500	4300	2600	1700
2003	186-192	8366	4200	2500	1700
2004	186-192	9579	4800	2900	1900
2005	186-192	11550	5800	3500	2300
2006	186-192	21776	10900	6500	4400
2007	186-192	16625	8300	5000	3300
2008	186-192	7761	3900	2300	1600

Badstrandophogingen in Blankenberge. Voor 2000-2003 is geen zone vermeld, aangenomen wordt dat deze dezelfde is als in de latere jaren. Het cijfer voor 2002 is een schatting, er is geen cijfer terug te vinden in de bronnen. Bron : periode 1985-2001 : rapport KUST2004.112, periode 2003-2008 : afdeling Kust. Na 2008 worden geen badstrandophogingen met strandzand meer uitgevoerd, enkel nog supplementies met zand afkomstig uit de havengeul.

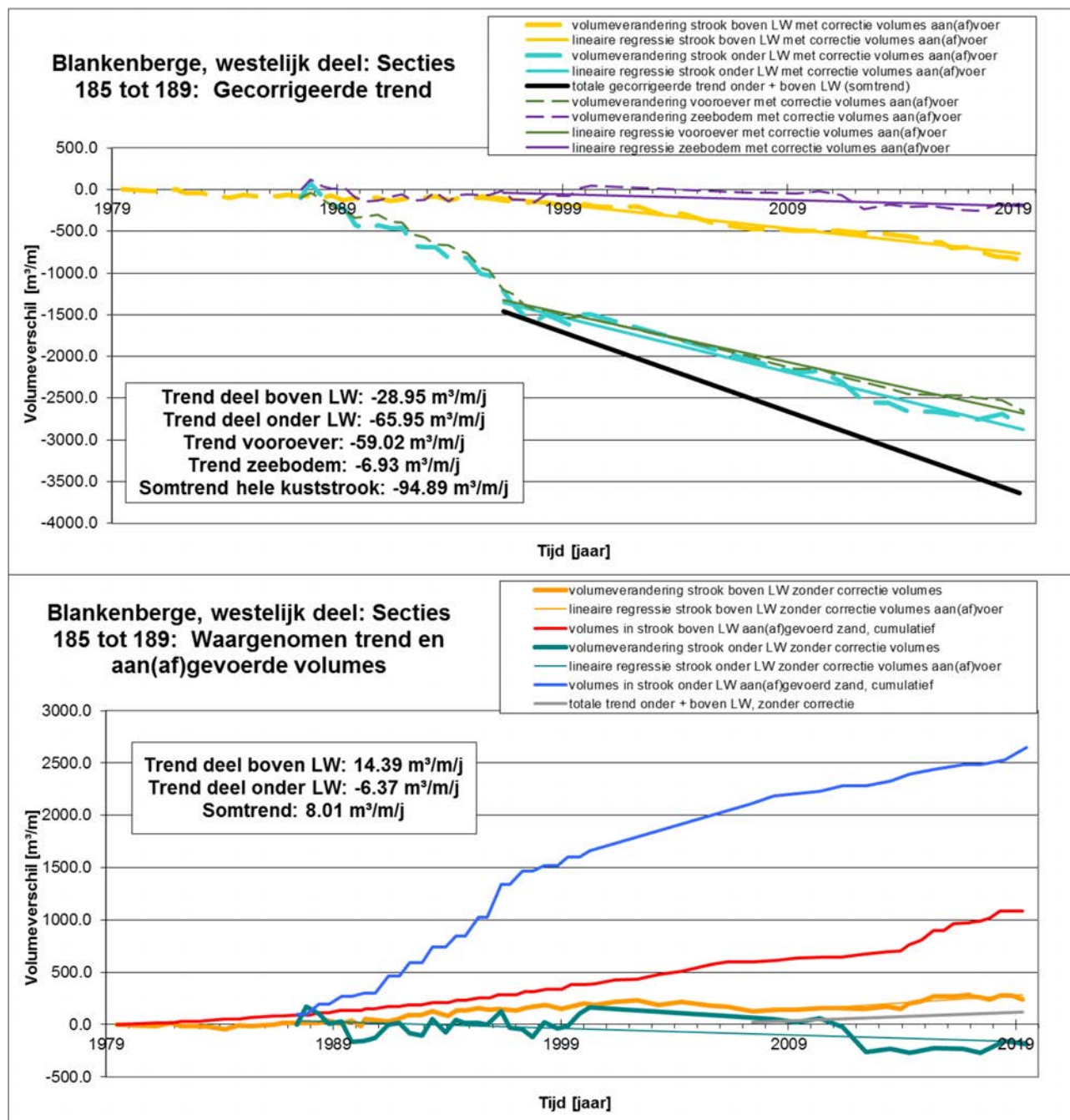
Na 2008 werd enkel nog zand aangewend afkomstig van het onderhoudsbaggerwerk in de toegang naar de haven van Blankenberge, met uitzondering van een grote strandsuppletie, uitgevoerd in het kader van het Masterplan Kustveiligheid. Deze werd ten uitvoer gebracht in de fases en de aangevoerde volumes werden verdeeld over de betrokken kuststroken, zoals weergegeven in *Tabel 43*. Het zand gebaggerd in mei 2018 en van januari tot juni 2019 werd integraal op de loswal gestort (*Tabel 42*).

Tabel 44 – Grote strandsuppletie van 2014-2015 in Blankenberge en verdeling van de aangevoerde volumes over de kuststroken.

Jaar	Periode in jaar	Secties	Volume in beun (m ³)	"Rendement" (aanname)	Effectief volume (m ³)	Winzone	Kust-lengte (m)	Strook 39, aangevoerd volume (m ³) boven LW	Strook 40, aangevoerd volume (m ³) boven LW	Strook 41, aangevoerd volume (m ³) boven LW
2014	ts VJ en NJ 2014	185	47450	85%	40300	zone 3a	202	40300	0	0
2014	voor VJ 2014	186-198	221206	85%	188000	zone 4c	2723	62000	81800	45000
2015	voor VJ 2015	185-193	108790	85%	92500	zone 3a	1895	53500	39000	0

Morfologische evolutie: er is een verschillende ontwikkeling in het deel boven LW en het deel onder LW. Voor het deel boven LW vertoont de waargenomen evolutie een kentering rond 1999-2002. Er was tussen 1979 en 2002 aangroei met gemiddeld +12 m³/m/jaar. De aangroei werd volledig verklaard door de zandaanvoerwerken, waarvan uiteindelijk slechts ongeveer de helft in de kuststrook bleef. De gecorrigeerde trend was -8 m³/m/jaar. Tussen 2002 en 2007 is ook de waargenomen trend afslag : -17 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 4,7 m³/m/jaar). En dit ondanks doorgaande zandaanvoer. Een groot deel van de aangroei voor 2002 bevond zich voornamelijk in de omgeving van de strandhoofden 14, 15/16 en 17 en kan wellicht gezien worden als een morfologische aanpassing aan de uitbouw van de strandhoofden, waarbij een nieuw evenwicht rond 2002 bereikt zou zijn. Vanaf 2007 wordt opnieuw aangroei opgemerkt. De waargenomen trend is +14,4 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 1,8 m³/m/jaar) over 2007-2019. Vooral de laatste jaren blijven de volumes van het deel boven LW eerder constant rond ongeveer het peil +270 m³/m boven de waarneming van 1979. Dit is wel een voldoende reserve bij stormafslag, maar alle aanvoer sinds 1979 belooft in deze kuststrook al 1075 m³/m. Er is daarvan dus maar 25% ter plaatse gebleven. De strook is derhalve onderhevig aan structurele erosie. Dat merken we ook aan de gecorrigeerde trend. Vóór 1995 was er sprake van een milde afslag, na 1995 verscherpte de trend naar -36 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 7 m³/m/jaar) over 1995-2019.

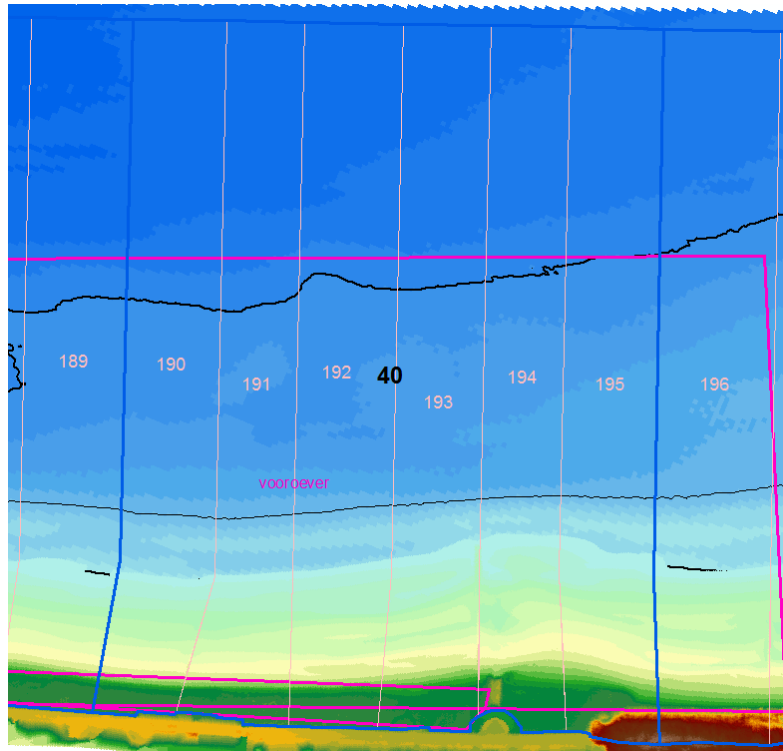
Het deel onder LW evolueert met een lichte afslagtrend (sinds 1987) van -6,4 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 1,7 m³/m/jaar) rond een stabiele toestand. Gecorrigeerd voor de baggerspeciellossingen is er echter een sterk erosieve trend, -88 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 3 m³/m/jaar). Dit sterk erosief cijfer is enigszins artificieel, omdat het verklaard wordt door de lossingen en de erop volgende uitspreiding van het sediment in de omgeving. De lossingen op de vooroever zorgen iedere keer voor aangroei ter hoogte van de loswal, maar deze wordt snel weggeruimd. Op die manier zorgen de natuurlijke transportprocessen voor een morfologisch evenwicht. Toch speelt er ook een structurerend proces, voortvloeiend uit de lossingen. Deze vinden namelijk nogal geconcentreerd op een in oppervlakte beperkte locatie plaats. Hierdoor ontstaat daar, vooral op de zeebodem van secties 187 en 188, een lokale bodemverheffing, en wordt de vloedstroming gedeeltelijk gesplitst in twee paden: een geulachtige, iets diepere zone landwaarts van de loswal en voor het overige naar de zone zeewaarts van de loswal. De opeenvolgende hoogteverschilkaarten tonen aan dat er op die manier een secundaire stroomgeul in stand wordt gehouden tussen de vooroever van Blankenberge en de loswal. Deze is terug te vinden in kuststroken 39 en 40. De locatie van de erosie op het laagste deel van het strand, nabij de laagwaterlijn, en op de hogere vooroever, en de evolutie ervan op de hoogteverschilkaarten, lijkt aan te geven dat de geul deze erosie wel eens zou kunnen hebben uitgelokt.



Figuur 101 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 39. Kustlengte 1096 m.

10.4 Strook 40 (secties 190-195): Blankenberge, oostelijk deel (Pier)

Ligging van de strook: de vijf meest oostelijke secties van het kustdeel Blankenberge (met in sectie 194 de pier) gedragen zich wat tijdsevolutie van de volumes betreft, samen met sectie 195 van het kustdeel Pier-Zeebrugge, gelijkaardig en enigszins verschillend van de rest van het kustdeel Blankenberge.



Dikke omlijning in magenta: gebied palend aan de zeedijk ten oosten van de havengeul: hier wordt vrijwel jaarlijks zand aangevoerd afkomstig van baggerwerk in de toegang naar de haven van Blankenberge. Groot vak in kuststrook 39, 40 en 41: omlijning loswal "vooroever Blankenberge".

Figuur 102 – Situatiekaartje kuststrook 40, Blankenberge, oostelijk deel. Kustlengte: 1178 m.

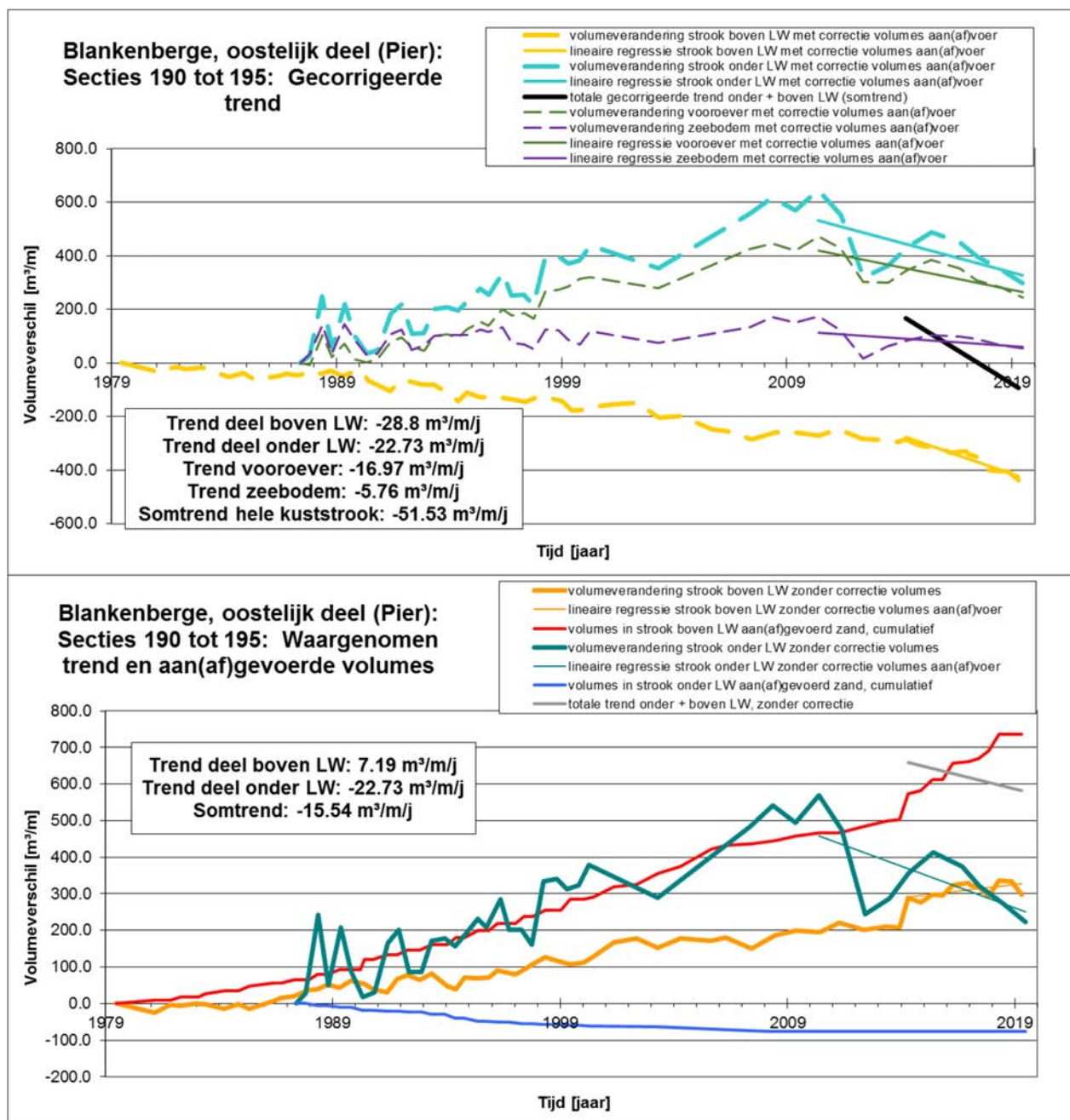
Het strandhoofd 22, op de grens van secties 193 en 194 nabij de pier, werd zeewaarts verlengd en versterkt in de periode maart 1985 - mei 1986.

Deze kuststrook kende tot 2008 jaarlijks badstrandophogingen met strandzand. De hoeveelheden van het kustdeel en het gedeelte voor deze kuststrook zijn vermeld in *Tabel 43* bij de kuststrook 39. Bovendien werd in 1990, het jaar van de zware voorjaarsstormen, in secties 191-193 nog eens 15.000 m³ zeezand aangebracht. In secties 190-193 wordt eveneens jaarlijks, zoals in de kuststrook ten westen, zand uitgespreid afkomstig van het onderhoudsbaggerwerk in de havengeul van Blankenberge. Dit zand wordt nabij de zeedijk aangebracht. De betrokken hoeveelheden vindt men in *Tabel 42* bij de bespreking van kuststrook 38.

In 2014-2015 onderging het strand in Blankenberge een grote strandsuppletie, uitgevoerd in het kader van het Masterplan Kustveiligheid. Deze werd ten uitvoer gebracht in de fases en de aangevoerde volumes werden verdeeld over de betrokken kuststroken, zoals weergegeven in *Tabel 43*, bij kuststrook 39.

De loswal van de baggerspecie afkomstig uit baggerwerken op het voorplein strekt zich ook in deze kuststrook uit. De differentiële hoogtekarten tonen echter aan dat het merendeel van de specie gelost wordt in de naburige secties 187-189. De groei die periodiek op de vooroever van de onderhavige kuststrook wordt gemeten, wordt toegeschreven aan uitspreiding van het geloste sediment door de stroming en de golfwerking.

Morfologische evolutie: in deze kuststrook groeit het strand sinds het begin van de morfologische opvolging geleidelijk aan. De aangroei is integraal het werk van mensenhanden. Van het aangebrachte zand ging over de hele periode sinds 1979 genomen, iets meer dan de helft verloren door erosie. Toch is het volume in 2019 300 m³/m groter dan in 1979 zodat de kuststrook de nodige zandreserve bezit om een sterke afslag te doorstaan. De globale waargenomen trend voor het deel boven LW is +9 m³/m/jaar sinds 1979 (standaarddeviatie op de trend: 0,2 m³/m/jaar) en, gecorrigeerd voor de zandaanvoer, -8 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,3 m³/m/jaar). Sinds de suppletie van 2014 is de waargenomen trend +7 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 3,3 m³/m/jaar) en de gecorrigeerde -27 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 2,5 m³/m/jaar).

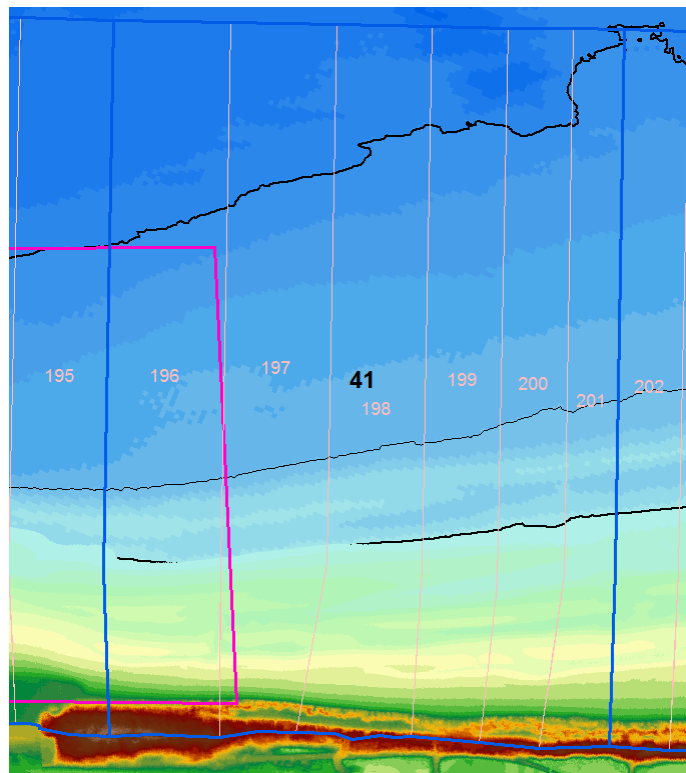


Figuur 103 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 40. Kustlengte: 1178 m.

Het deel onder LW groeide aan tussen 1987 en 2010 met $+22 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $1,8 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). In 2010 was er een trendomslag. Het evolutiecijfer is negatief, $-23 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $9,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$) over 2010-2019. De hoogteverschilkaarten tonen aan dat zich, mogelijk onder invloed van de lossingen die vooral op de vooroever van secties 187 en 188, een geul lijkt te ontwikkelen tussen de kust en het grote aangroeilichaam op de vooroever tussen de lossingsplaats en de westelijke dam van Zeebrugge (zie ook bij stroken 41 en 42). Hierdoor zou de vloedstroming dichter bij het strand van Blankenberge haar pad vinden en zand van het strand meenemen. Ook zeewaarts van het aangroeilichaam treedt zeebodemverdieping op, vooral de laatste jaren. Vooralsnog is niet duidelijk waarom die omslag naar erosie is opgetreden.

10.5 Strook 41 (secties 196-201): Blankenberge, Duinse Polders

Ligging van de strook: de op sectie 195 na vijf meest westelijke secties van het kustdeel Pier-Zeebrugge gedragen zich wat tijdsevolutie van de volumes betreft, gelijkaardig en waren ook de plaats van ernstige duinafslag, vooral bij de stormen van 1990, 1993 en 1995, en van de duinvoetsuppletie van 1999.



Dikke omlijning in magenta: groot vak in kuststrook 40 en 41: omlijning loswal "vooroever Blankenberge".

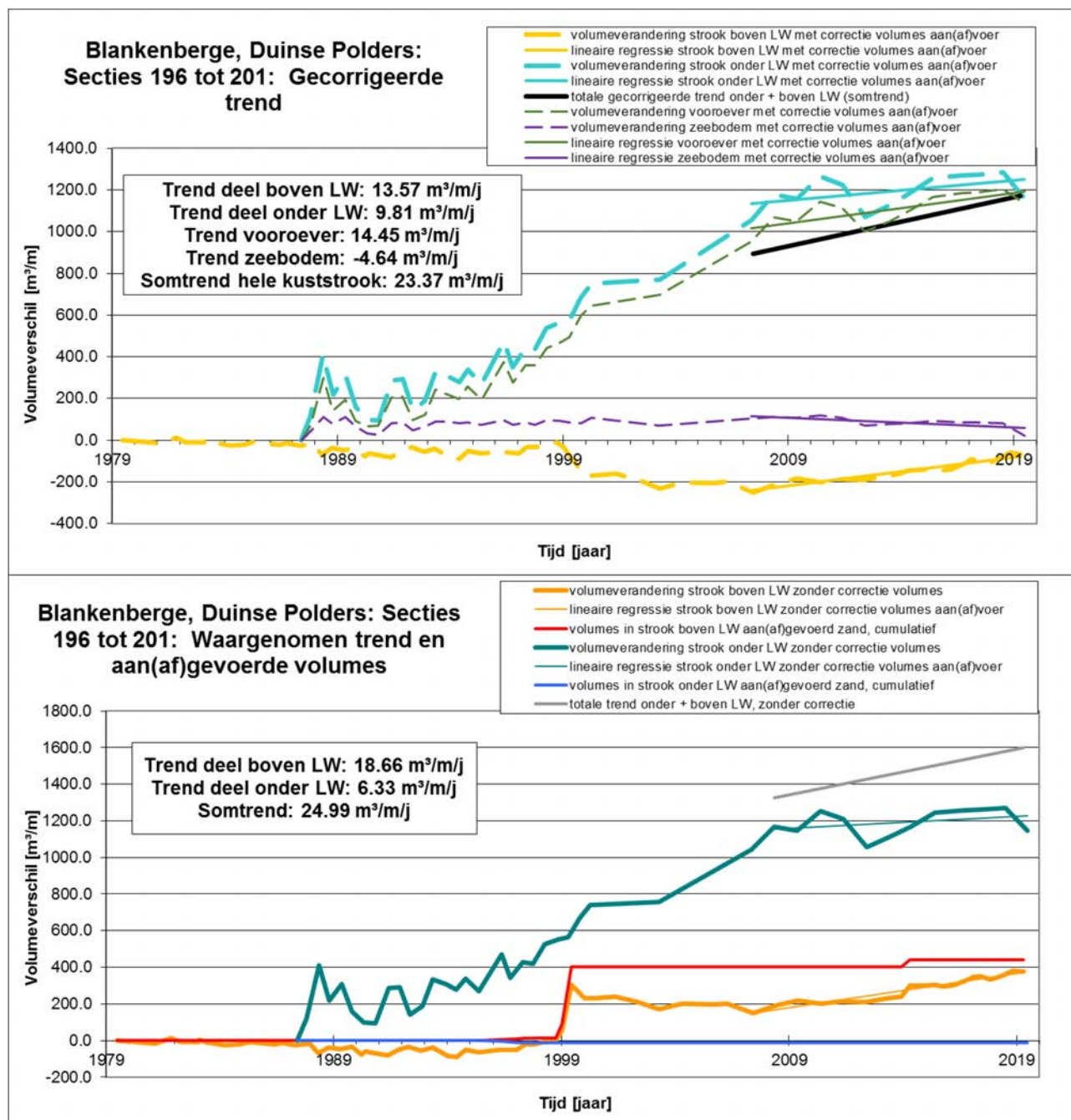
Figuur 104 – Situatiekaartje kuststrook 41, Blankenberge, Duinse Polders. Kustlengte: 1065 m.

Na de duinvoetafslag werd in het voorjaar van 1996 een aanvulling gedaan rond de toenmalige trap die de strandtoegang vormde van de Duinse Polders, met 5787 m^3 zand, gewonnen op het strand. Na de storm van 29 augustus 1996 diende nog eens dringend zand te worden opgevoerd vanaf de laagwaterlijn, ditmaal ca. 16.000 m^3 . In het voorjaar van 1997 werd 3986 m^3 opgevoerd. Beide aanvullingen hadden in sectie 199 en 200 plaats.

Tussen oktober 1998 en april 1999 werd een duinvoetsuppletie met zeezand uitgevoerd in secties 196-201 over een kustlengte van ruim 900 m. De aangevoerde hoeveelheden bedragen 486.291 m^3 . Dit volume is naar alle waarschijnlijkheid een hoeveelheid in beun. Rekenen we opnieuw met een "rendement" van 85 %,

dan is de netto toevoer op het strand naar raming 413.400 m³. Dit cijfer wordt dan nog verdeeld voor 1/5 of 82.700 m³ vóór de vlucht van 9 januari 1999 en 4/5 of 330.700 m³ na die vlucht. De volledige toename werd op het strand en in de duinaanzet gerealiseerd.

Sindsdien was de meest westelijke secties 196-198 betrokken in de strandsuppletie ter verhoging van het kustveiligheidsniveau in Blankenberge van 2014-2015. Er werd in het begin van 2014 ongeveer 45.000 m³ aangebracht (Tabel 44).



Figuur 105 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 41. Kustlengte: 1065 m.

Morfologische evolutie: het strand en vooral de duinvoet kenden geleidelijk afslag tussen 1979 en 1996. De gemiddelde afslag voor het hele sectievolume bedroeg over deze periode 5 m³/m/jaar. Er werd een lichte aangroei gemeten tussen 1996 en 1998. Toch was de duinvoet structureel aangetast en werd deze hersteld met een duinvoetsuppletie eind 1998 – begin 1999. Na de afwerking van de duinvoetsuppletie kende het

deel boven LW een sterkere lineaire afslag met gemiddeld $-12 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ over de periode 1999-2007. In 2007 was ongeveer de helft van het in 1999 aangebrachte zand opnieuw verdwenen. Na 2007 is er opnieuw aangroei : $+19 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$. De opeenvolgende hoogteverschilkaarten maken duidelijk dat gebiedjes met strandaangroei over het strand migreren van Blankenberge richting Zeebrugge, volgens het dominerend oostwaarts gerichte kustlangtransport. Hierdoor kennen ook kuststroken 42 en 43, ten westen van Zeebrugge, aangroei op het strand. De erosie van het sterk aan suppleties onderworpen strand van Blankenberge komt dus het strand ter hoogte van de Duinse Polders en De Fonteintjes ten goede. In de onderhavige kuststrook 41 is het strand in 2019 ongeveer $375 \text{ m}^3/\text{m}$ zwaarder dan in 1979 en de initiële afslag na de duinvoetsuppletie van 1999 is vrijwel gecompenseerd door de aangroei sinds 2007.

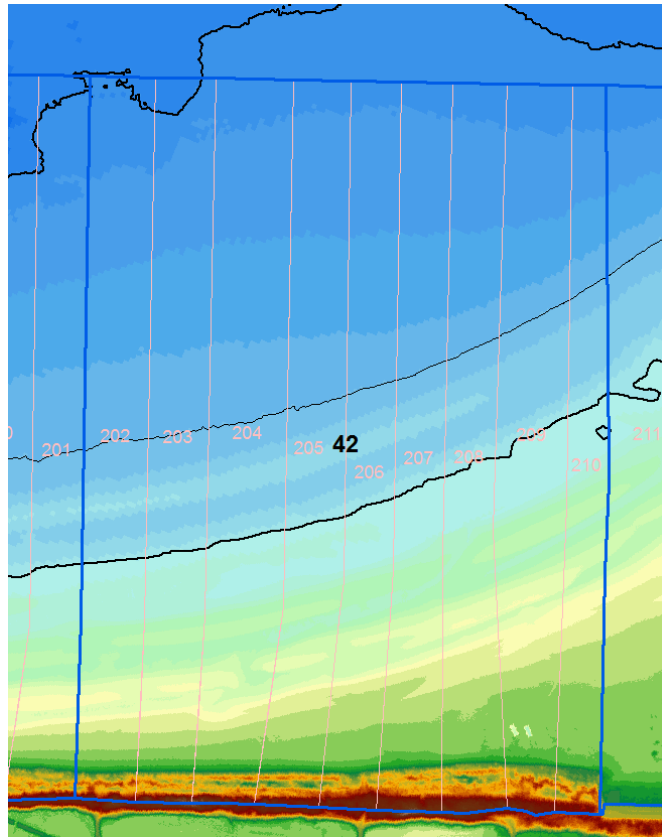
Het deel onder LW kent sinds 1990 ononderbroken aangroei. Er zijn twee fases in de ontwikkeling en ook ruimtelijk zijn er verschillende bewegingen. Tussen 1987 en 2008 was er sterke aangroei van het deel beneden LW, $+46 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$); nadien, over 2008-2019, was er nog nauwelijks aangroei: $+6,3 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $5,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). De aangroeizone op de vooroever sluit aan bij het grote aangroeigebied tussen het gebied van de baggerlossingen op de vooroever van Blankenberge en de westelijke strekdam van de voorhaven van Zeebrugge. Deze aangroeizone is de morfologische aanpassing van de vooroever ten westen van de voorhaven van Zeebrugge, nadat hier vanaf 1980-1985 een stromingsluw gebied is ontstaan. De morfologische aanpassing was aanvankelijk sterk en lijkt vanaf omstreeks 2008 aan een lager tempo verder te gaan. De stroomgeul tussen het strand en de loswal, genoemd bij de kuststroken 39 en 40, heeft in de onderhavige kuststrook 41 haar meest oostelijke uitloper. Zij vormt hier nog een smalle erosiestrook in de hoogteverschilkaart t.o.v. 2000 net zeewaarts van de laagwaterlijn. Tevens stellen we, vooral de laatste tien jaren, uitdieping van de zeebodem vast aan de zeevaartse grens van de kuststrook. Deze zone ligt waarschijnlijk net buiten het gebied van de sterke aangroei ten westen van de voorhaven van Zeebrugge en is mogelijk deel van de stroomgeulen buiten de dammen, waar reeds decennia uitdieping optreedt. Om een nog onbekende reden lijkt deze zone met meer stroming zich lichtjes kustwaarts uit te breiden of te verleggen.

10.6 Strook 42 (secties 202-210): Blankenberge, De Fonteintjes

Ligging van de strook: de negen meest oostelijke secties van het kustdeel Pier-Zeebrugge gedragen zich wat tijdsevolutie van de volumes betreft gelijkaardig. In deze strook hebben geen zandaanvoerwerkzaamheden plaatsgevonden. Wel werden de strandhoofden 25, 26, 28 en 29 verstevigd en voorzien van stortsteen in de periode 1994-1996.

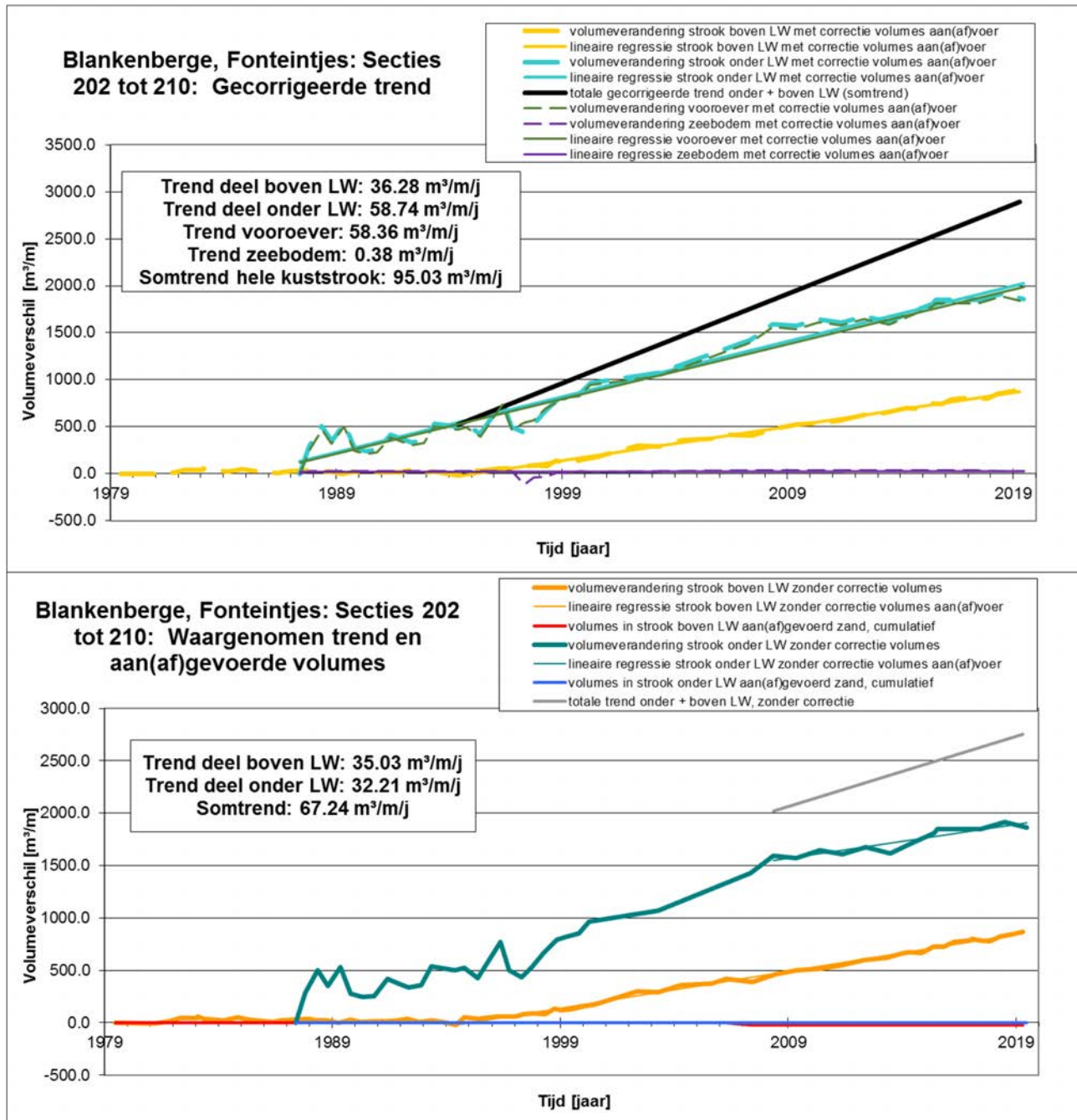
In 2006 werd er zand afgegraven in de secties 208-210 (zie bij kuststrook 43). De afgegraven hoeveelheid werd voor deze kuststrook geraamd op 25.000 m^3 en werd voor de gecorrigeerde trend in rekening gebracht voor de opname 2007.

Morfologische evolutie van deze kuststrook: in de ontwikkeling van het deel boven LW kan men twee perioden onderscheiden. Tussen 1979 en 1994 bleef het volume in de kuststrook omzeggens stabiel (de trend was $-1,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Vanaf 1994 was er sterke en in de tijd continue aangroei. De gemiddeld trend 1994-2019 is $+35 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Men kan een invloed zien van de werken aan de strandhoofden en wellicht vanaf 1999 aanvoer vanuit het gesuppleerde gebied in de strook "Duinse Polders". Tevens treedt er veel aanvoer op van het strand van Blankenberge, waar sterk wordt gesuppleerd. Dit blijkt niet alleen uit de tijdsrelatie van de erosie te Blankenberge en de aangroei ook, maar ook uit de sprongsgewijs oostwaartse bewegingen van aangroeizones op het strand en de hogere vooroever die men ziet op de opeenvolgende hoogteverschilkaarten. De meeste verticale aangroei vinden we in de zeeduinglooiing (tussen $+3$ en $+6 \text{ m}$, lokaal nog meer, t.o.v. 2000). Op het strand en de hogere vooroever nam de hoogteligging tussen $+1$ en $+2,5 \text{ m}$ toe sinds 2000.



Figuur 106 – Situatiekaartje kuststrook 42, Blankenberge, De Fonteintjes. Kustlengte: 1108 m.

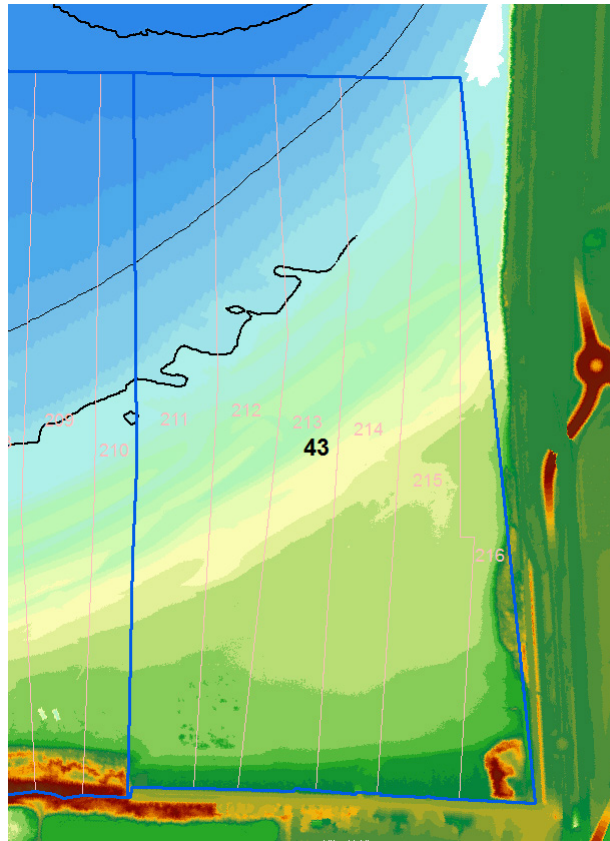
Ook het deel onder LW groeit continu aan. We kunnen ook hier twee perioden onderscheiden: sterke groei tussen 1987 en 2008 (+58 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 5 m³/m/jaar) gevolgd door mildere groei (+32 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 4 m³/m/jaar). De groei is het gevolg van het onderscheppen van het langstransport aan de westzijde van de voorhaven van Zeebrugge. De getijstrooming is zeewaarts verlegd. De morfologische aanpassing ten westen van Zeebrugge loopt nog steeds door, maar het groeiritme is verkleind sinds 2008. Enerzijds is de "berging" (de beschikbare sedimentatieruimte) door de steeds verdergaande sedimentatie afgenomen. Anderzijds merken we ook aan de zeewaartse grens van deze kuststrook, zoals in strook 41, sinds enkele jaren een omslag naar erosie. Deze zone ligt waarschijnlijk net buiten het gebied van de sterke aangroei ten westen van de voorhaven van Zeebrugge en is mogelijk deel van de stroomgeulen buiten de dammen, waar reeds decennia uitdieping optreedt. Om een nog onbekende reden lijkt deze zone met meer stroming zich lichtjes kustwaarts uit te breiden of te verleggen.



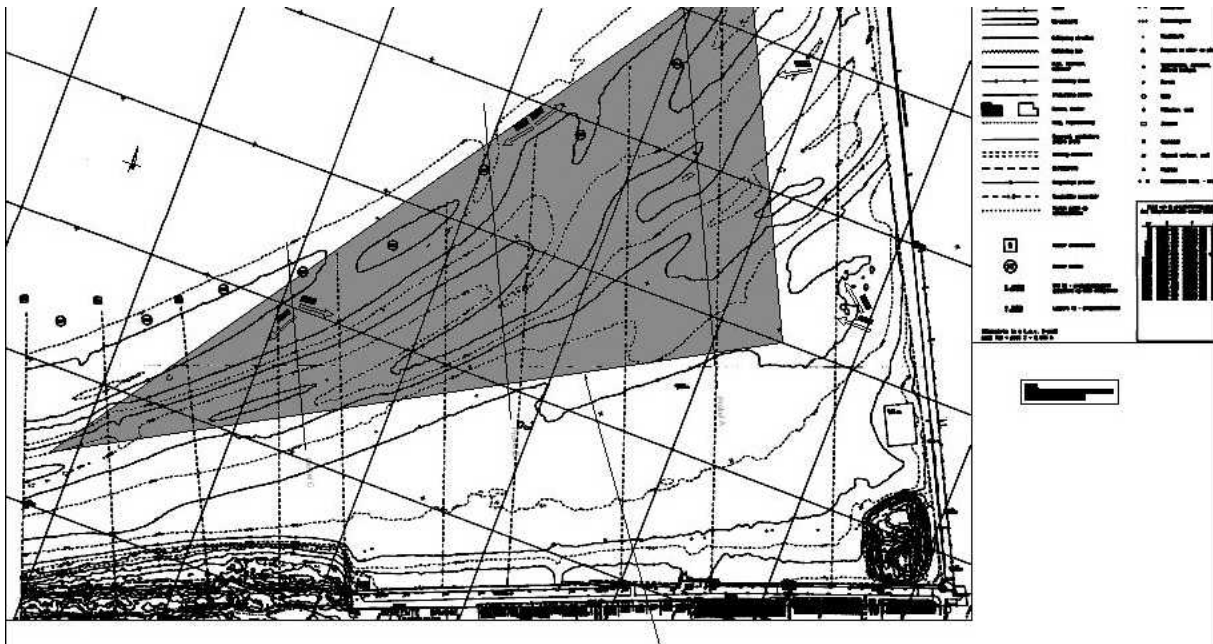
Figuur 107 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 42. Kustlengte: 1108 m.

10.7 Strook 43 (secties 211-216): Zeebrugge-Strand

Ligging van de strook: deze kuststrook valt samen met het kustdeel Zeebrugge-Strand. Na de uitbouw van de westelijke strekdam van Zeebrugge in de periode 1977-1986 is een zeer sterke aangroei op het strand van deze kuststrook opgetreden. De aangroei treft ook de vooroever. Men kan de aangroei beschouwen als een morfologische aanpassing aan de bouw van de voorhaven van Zeebrugge. De aangroei zone is ook al uitgebreid naar stroken 41 en 42.



Figuur 108 – Situatiekaartje kuststrook 43, Zeebrugge-Strand. Kustlengte: 837 m.



Bron : doorgestuurd door afdeling Kust.

Figuur 109 – Zandwinningszone op het strand van Zeebrugge in 2006.

In april-december 1999 heeft men op dit alsmar groeiende strand zand gewonnen. De hoeveelheid beliep 450.000 m³ en werd gewonnen in secties 211-214. Het zand werd aangewend als bouwzand en kwam dus niet het strand van de kust ten goede. Daarom gaat het om een netto uitvoer. De hoeveelheid werd volgens de beschikbare gegevens verdeeld in een eerste afgraving van ca. 100.000 m³ vóór de meetvlucht van 6 juni 1999 en de rest erna.

Tegen de westelijke strekdam van de haven van Zeebrugge heeft in 2006 een grootschalige afgraving plaats gevonden ter compensatie van de aanzanding tegen de strekdam. De winningszone is in grijs aangeduid in *Figuur 109* en strekt zich dus uit op het strand in secties 207 tot en met 215. De werken gebeurden in opdracht van de afdeling Maritieme Toegang. De volledige oppervlakte van de winningszone bedraagt ongeveer 296.500 m². Men heeft hier 0,85 m weggegraven met een helling van 8/4 aan de rand naar het bestaande strand.

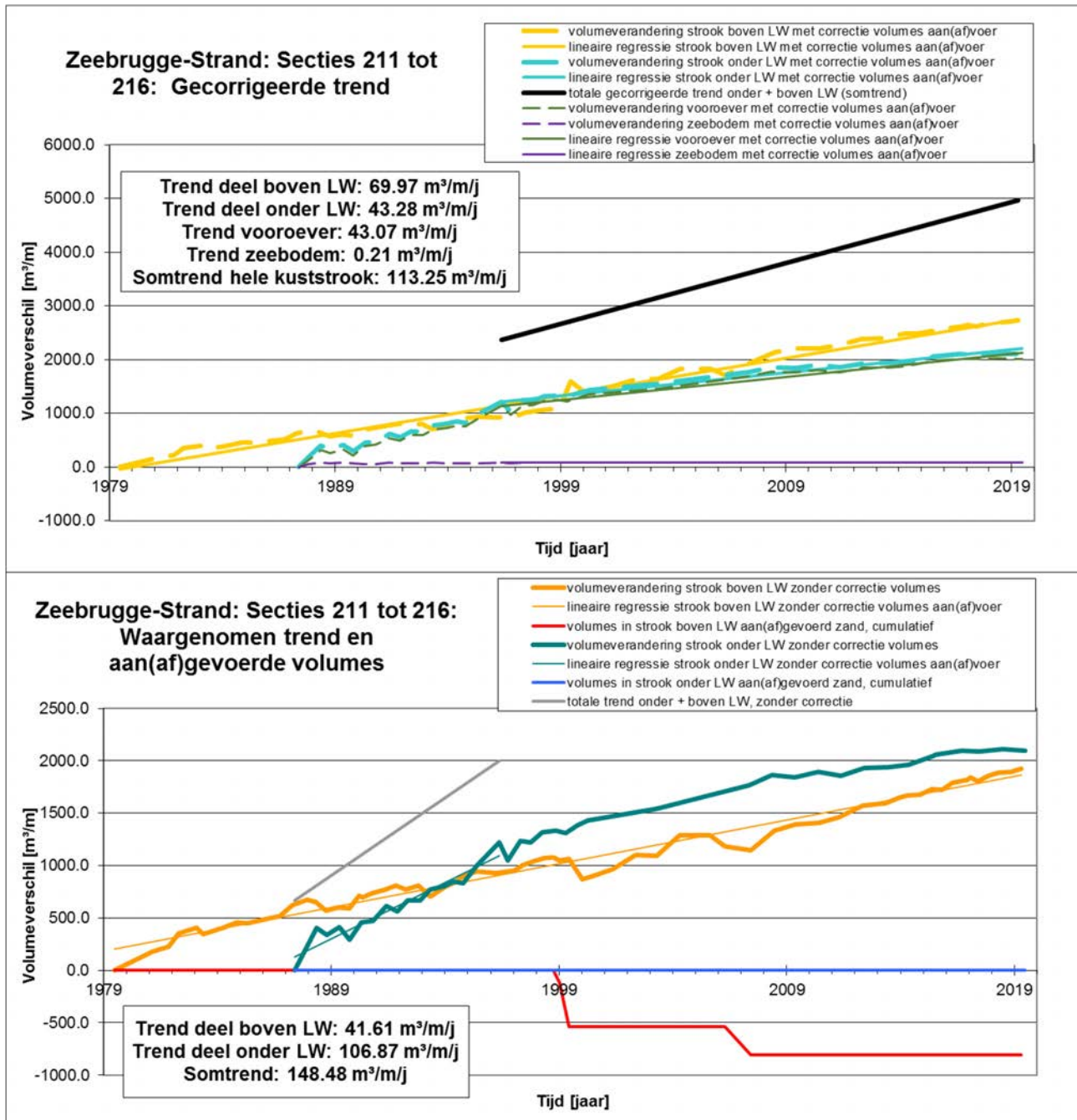
De gewonnen volumes kan men ramen op $296.500 \text{ m}^3 \times 0,85 \text{ m} = 252.025 \text{ m}^3$ of, rekening houdend met het aansluitingstalud, 250.000 m³. Voor de kust is het een netto uitvoer. Ze is voor 10 % gesitueerd in secties 207-210 van de vorige kuststrook en voor 90 % in de onderhavige kuststrook. Aldus werd in de gecorrigeerde volumereeks van deze kuststrook 225.000 m³ afvoer in rekening gebracht bij het volume van Voorjaar 2007 (de waargenomen volumeverschillen gaven aan dat de afgraving na de opname Voorjaar 2006 plaatsgevonden heeft).

Morfologische evolutie van deze kuststrook: de toename van de volumes is lineair in de tijd. De gecorrigeerde tijdreeks geeft voor het deel boven LW een gemiddelde aangroei-trend van +70 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 1 m³/m/jaar). De waargenomen trend is slechts +42 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,8 m³/m/jaar) over de periode 1987-2019. De lagere waargenomen trend wordt volledig verklaard door de zandwinnings van 1999 en 2006.

Ook het deel onder LW groeit continu aan. We kunnen ook hier twee perioden onderscheiden: sterke groei tussen 1987 en 1996 (+107 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 7 m³/m/jaar) gevolgd door mildere groei (+43 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 1,7 m³/m/jaar). De groei is het gevolg van het onderscheppen van het langstransport aan de westzijde van de voorhaven van Zeebrugge. De getijstrooming is zeewaarts verlegd. De morfologische aanpassing ten westen van Zeebrugge loopt nog steeds door, maar het groeiritme is verkleind sinds 1996. In kuststrook 42 trad de afname in groeiritme 12 jaar later op, in 2008. Dit wijst er wellicht op dat bereiken van een nieuw morfologische evenwicht bereikt wordt en dat dit evenwicht zich uitbreidt naar het westen, en mogelijk ook nog een stukje zeewaarts van de vaste sectiegrenzen. De laatste 3 jaar was er in de kuststrook 43 geen aangroei meer op de vooroever en bleef het volume constant.

De gecorrigeerde volumecijfers laten toe een schatting te maken van het langstransport op het strand (boven LW). De gehele gecorrigeerde toename sinds 1979 voor de zone boven LW van kuststroken 42 en 43 is 3.268.600 m³. Dit is een gemiddelde toename per jaar met 81.715 m³. Voor het deel beneden LW beschouwen we de gezamenlijke volumetoename sinds 1987 voor kuststroken 41, 42 en 43. Deze bedraagt 5.053.500 m³, of per jaar 157.920 m³. Voor de hele actieve zone, en in de veronderstelling dat al het langstransport bijdraagt tot morfologische aangroei ten westen van Zeebrugge en constant is in de tijd, zou het gemiddelde langstransport dus zowat 239.635 m³/jaar bedragen.

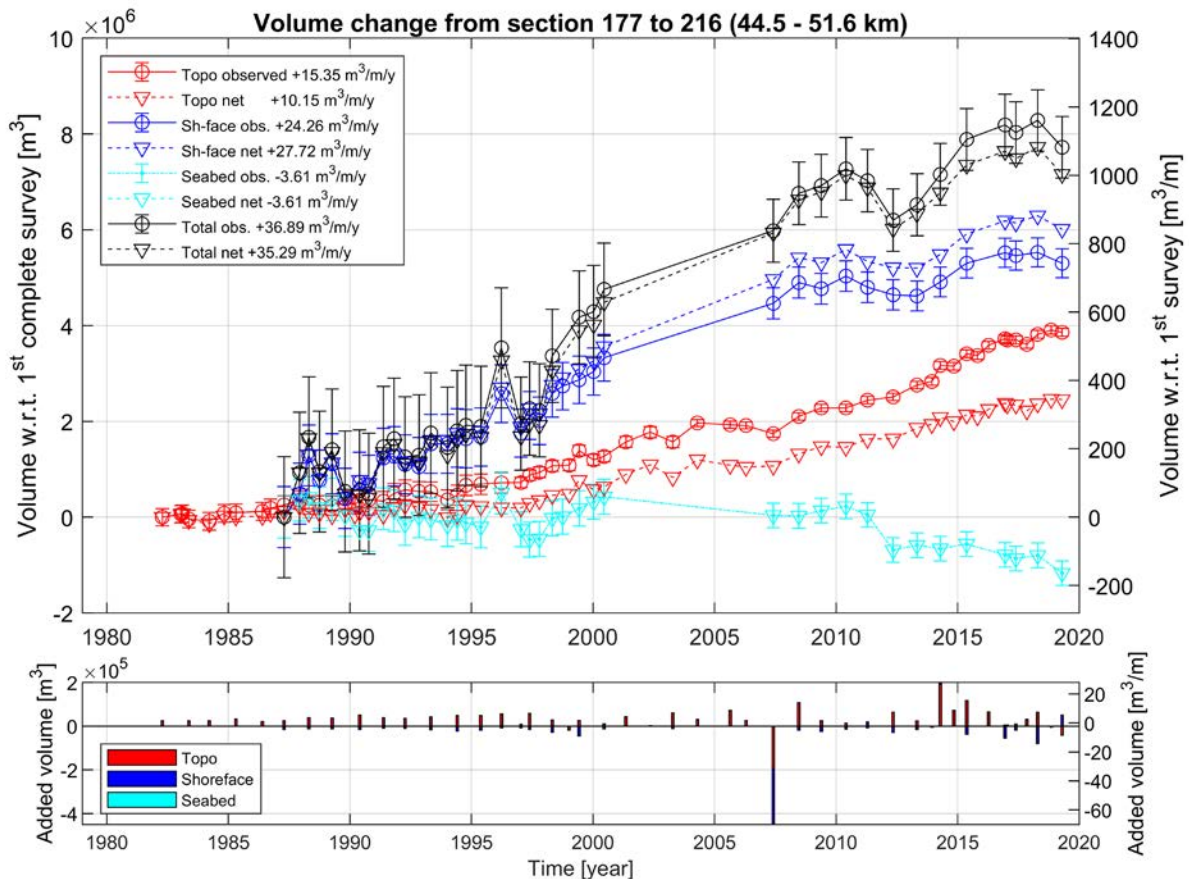
Houthuys et al. (2014) rapporteerden 355.000 m³/jaar. Dat cijfer was berekend over een kortere periode (1997 – 2007), en in niet volledig hetzelfde gebied. Het resultaat van het langstransport is alleszins afhankelijk van het gebied dat men betreft in de aangroeizone. Bovendien is er nog een klein aangrenzend gebied buiten de zeewaartse grens van kuststroken 42 en 43 die in de voorbije decennia ook ondieper geworden is, maar die buiten de grens voor volumebepalingen valt. Het cijfer is ook enkel gebaseerd op morfologische aangroei. In werkelijkheid treedt er allicht ook nog transport omheen de dammen van Zeebrugge op, waarvan de grootte echter niet gekend is. Naarmate de morfologie in evenwicht komt met de ruimtelijke configuratie nabij Zeebrugge, zal de hoeveelheid zand in transit allicht ook toenemen.



Figuur 110 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 43. Kustlengte: 837 m.

10.8 Overzicht van de morfologische evolutie voor zone 4 (kuststroken 37 tot en met 43, van Wenduine-Oost tot Zeebrugge)

Figuur 111 geeft de volumes gecumuleerd voor alle kuststroken in zone 4 weer.



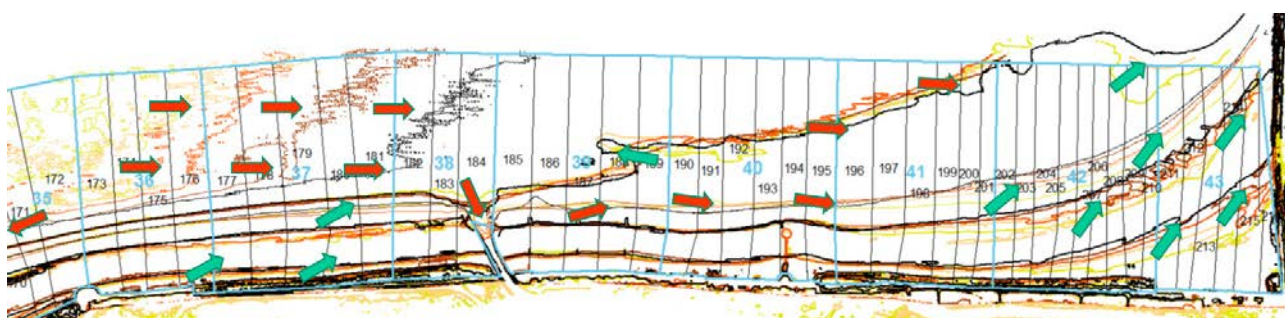
Figuur en berekeningen: Bart Roest, KULeuven. Deze grafiek bevat de som van de waargenomen (volle lijnen) en gecorrigeerde (streepjeslijnen) volumes per hoogtezone "boven LW" (rood), "vooroever" (blauw), "zeebodem" (cyaan) en voor het totale gebied (zwart) van alle kuststroken in zone 4. Tevens werden in de figuur onderaan, met een eigen verticale schaal, de aangevoerde (positief) of afgevoerde (negatief) zandvolumes weergegeven. Alle cijfers kunnen afgelezen worden als volumes (linkse verticale as) of als cijfers gedeeld door de totale kustlengte van de zone (rechts verticale as). De verticale strepen geven de onzekerheid op de meting aan, bepaald uit de fout op de hoogtemeting vermenigvuldigd met de oppervlakte van de meetzone. Tevens is de trend over de volledige waarnemingsperiode berekend en weergegeven in de legende.

Figuur 111 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de zone van Wenduine-Oost tot Zeebrugge.

Het gedeelte strand en duinaanzet in deze kustzone bleef tussen 1983 en 1988 constante volumes bewaren en kende vervolgens een in intensiteit steeds toenemende aangroei. Bij de recentste opname, Voorjaar 2019, bereikte deze vrijwel $550 m^3/m$, maar hij was voor ruim een derde, ca. $200 m^3/m$, het gevolg van zandaanvoer. Het meeste van de zandaanvoer is gesitueerd op het strand van Blankenberge (kuststroken 39 en 40), waar ook de erosie het grootst is. Het is echter duidelijk dat het zand in het kuststelsel van deze zone blijft. De aangroei ten westen van Zeebrugge strekt zich uit over de kuststroken 43 en 42 en heeft wellicht de laatste jaren ook strook 41 bereikt. Het groeiritme blijft constant in de tijd. De vooroever van kustzone 4 kende een sterke aangroei tussen 1987 en 2010, waarna het aangroeiritme gevoelig afnam, hoewel er nog steeds aangroei optreedt. Er is weinig invloed van de baggerwerken bij de haveningang van Blankenberge, omdat het baggeren in strook 38 (wegnemen van zand) vrijwel gelijk is aan het storten van baggerspecie in strook 39 (toevoegen van zand). Wellicht wordt in de stroken ten westen van Zeebrugge een

nieuw morfologisch evenwicht bereikt. Wel lijkt het erop dat het lossen van baggerspecie op vrijwel steeds dezelfde plek midden in het deel beneden LW van secties 187 en 188 sinds ongeveer 2004 tot gevolg heeft, dat er zich een secundaire vloedchaar ontwikkelt net voor het strand van Blankenberge en de Duinse Polders. Deze zou mogelijk hier de erosie van het strand in de hand werken. Verder diept de zeebodem (de geulbodem van de Grote Rede, ter hoogte van de kuststroken 37-41) zich opnieuw uit, en zoals in zone 3 is dit uitdiepen verbonden met een trendomslag, hier omstreeks 2011. De reden van de trendomslag is niet bekend. Zijn er veranderingen verder in zee, buiten het opvolgingsgebied van de strand en vooroever, die tot gevolg hebben dat de stroomsectie van de geul verkleint (zie hypothese bij conclusies)? Mogelijk is er ook een verband met de sterke stroming aan de zeezijde van de dammen van Zeebrugge.

Indien men aanneemt dat alle waargenomen aangroei van het strand en de duinaanzet in kuststroken 42 en 43 van de laatste 40 jaar toe te schrijven is aan het onderbreken van het kustlangtransport door de haven van Zeebrugge, dan zou het gemiddelde jaarlijkse langtransport boven LW 81.715 m^3 bedragen. Een gelijkaardige redenering voor de volumetoename sinds 1987 op de vooroever van kuststroken 41, 42 en 43 leidt tot een cijfer voor de vooroever van 157.920 m^3 . Voor de hele actieve zone zou het gemiddelde langtransport ten westen van Zeebrugge dus bijna 240.000 m^3 per jaar bedragen. Dit cijfer is enkel gebaseerd op morfologische aangroei, in de genoemde kuststroken. Daarbuiten treedt er nog aangroei op in een klein gebied zeewaarts van de kuststrookgrens en is er allicht ook nog transport omheen de dammen van Zeebrugge, waarvan de grootte echter niet gekend is.



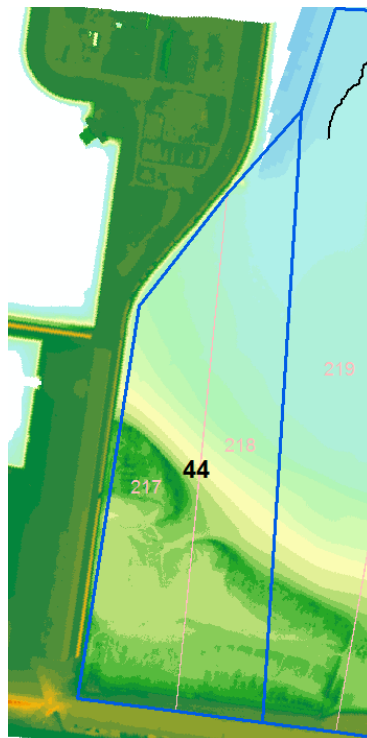
Schematische aanduiding met dikke pijlen van de verschuiving van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019. De pijlen geven de verplaatsingsrichting van de hoogtelijnen weer, en dus niet de richting van het eigenlijke sedimenttransport. Rood: natuurlijke erosie, lichtgroen: natuurlijke sedimentatie, donkergroen: aangroei rechtstreeks volgend op zandaanvoerwerken. Hoogtelijnen boven 0 m TAW om de 4 m; beneden 0 m TAW om de 2 m. Geel: 2000, oranje: 2007, rood: 2011, bruin: 2015, zwart: 2019. Kuststroken omlijnd in blauw, secties in zwart. Een grotere versie van deze kaart bevindt zich in bijlage 6.

Figuur 112 – Verplaatsing van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019, kustzone Wenduine – Zeebrugge.

11 Morfologische evolutie per kuststrook, zone 5: van Zeebrugge tot het Zwin

11.1 Strook 44 (secties 217-218): Heist, palend aan de Oostdam van Zeebrugge

Ligging van de strook: deze strook bevat de meest westelijke secties 217 en 218 van het kustdeel “Heist”. De secties kennen een aparte volume-evolutie, afwijkend van de andere secties van het kustdeel “Heist”.



Figuur 113 – Situatiekaartje kuststrook 44, Heist, bij Oostdam Zeebrugge. Kustlengte: 346 m.

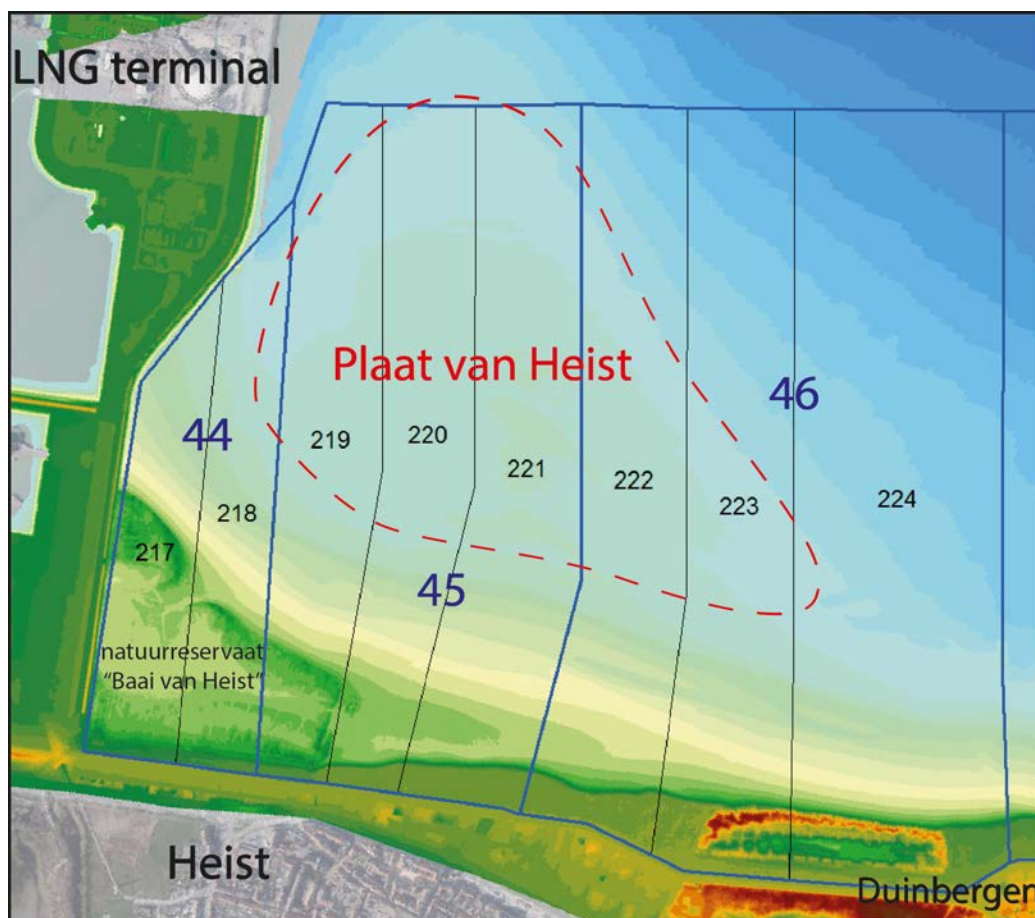
De reden is de ligging palend aan de Oostdam van de haven van Zeebrugge.

Zoals de andere secties ten oosten van Zeebrugge werd deze kuststrook betrokken in de grote strandsuppletie van 1977-1979. Hierbij werd over een kuststrook van ca. 9 km ca. 8,5 miljoen m³ zand opgespoten, wat neerkomt op gemiddeld een toevoer per strekkende meter van bijna 950 m³/m. Deze grote zandaanvoer valt net voor de eerste waarneming van de zandvolumes, die dus start op een "hoog" punt. In 1977 werd begonnen met de uitbouw van de Oostdam. Deze werd in 1980-1982 verlengd met het “LNG-schiereiland”. In 1986 was de oostelijke strekdam voltooid.

In de zomer 1986 werd het strand van enkel de secties palend aan de Oostdam opgespoten met zand afkomstig van baggerwerken in de Zeebrugse voorhaven. De opgespoten volumes zijn vrij groot, maar het slib spoelt weg tijdens de opspuiting en enkel de zandfractie blijft liggen. Tussen 26 mei 1986 en 25 september 1986 werd op het strand in secties 217 en 218 een volumetoename van meer dan 340.000 m³ gemeten. De volledige toename wordt toegeschreven aan de opspuiting, waarvan de exacte volumes niet meer gekend zijn. Op de vooroever van sectie 218 werd in dezelfde periode een volumetoename van

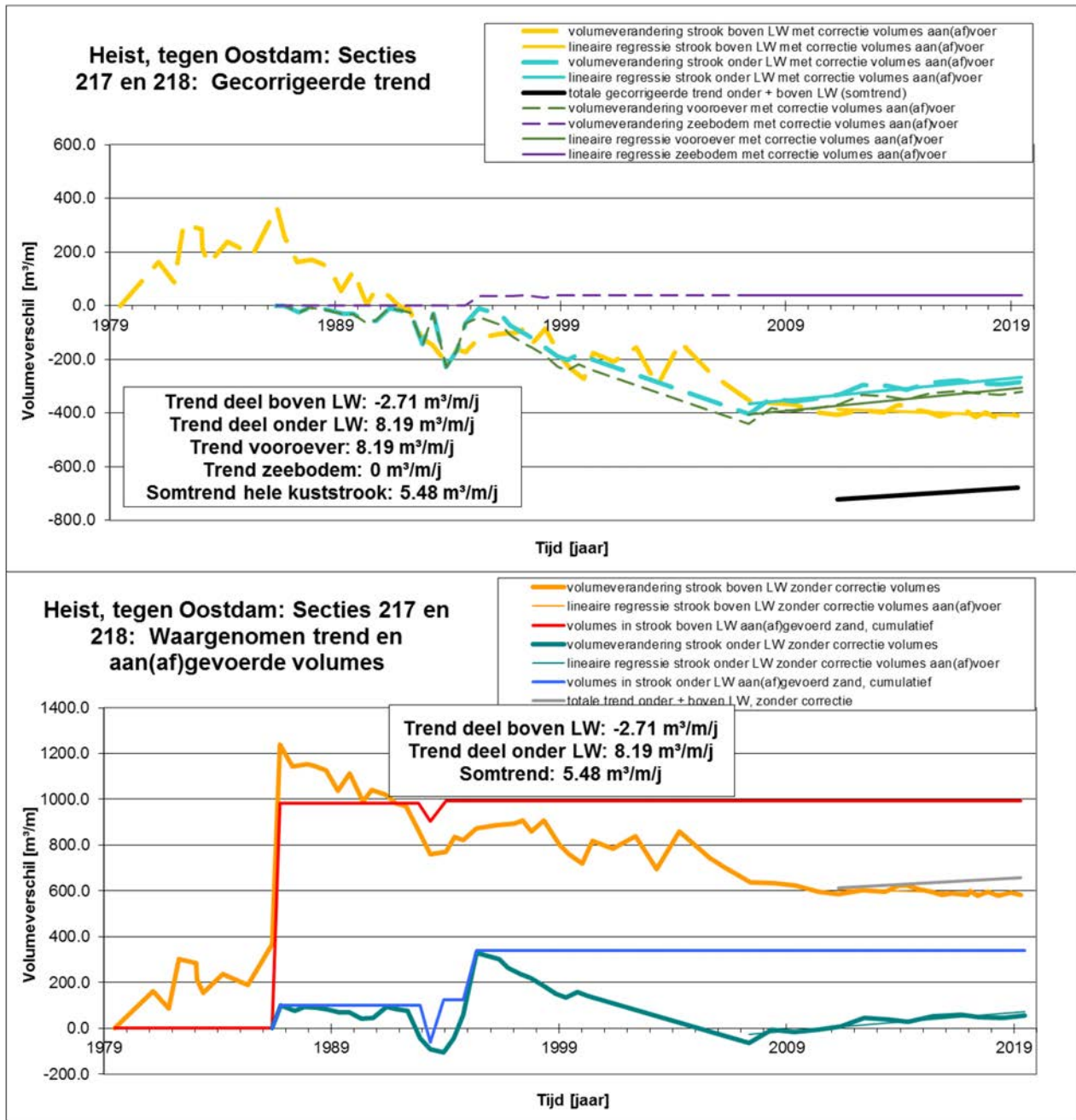
16.600 m³ gemeten, die ook volledig beschouwd wordt als toe te schrijven aan de zandaanvoer. Op de vooroever strekte de suppletie zich ook nog uit in de volgende secties 219-221, waar een toename met 162.100 m³ gemeten werd. De in totaal meer dan 500.000 m³ volumetoename werd aan de opspuiting toegeschreven (Eurosense, 1997).

Tussen 4 november 1992 en 30 april 1993 nam het natstrand- en vooroevervolume in secties 217 en 218 af. Deze afname was een morfologische weerslag van winningen op het strand en de vooroever nabij de laagwaterlijn, verricht bij werken bij het aanbrengen van de landval van de aardgasleiding "Zeepipe". Ook in de voorgaande jaren, tot het intrekken van de concessie in 1993, werd er af en toe zand gewonnen nabij de laagwaterlijn van secties 217 en 218, bestemd voor verkoop (Eurosense, 1997). De hoeveelheden in 1992-1993 gewonnen zand zijn niet meer te achterhalen, maar werden in het genoemde rapport geraamd op 53.200 m³, verdeeld over natstrand en vooroever. In onze gecorrigeerde tijdreeks verdelen we deze hoeveelheid voor de helft op de vooroever en de helft op het natstrand. Nadien ontstond hier een dik pakket ongeconsolideerd slib. Omdat deze laag een gevaar betekende voor strandwandelaars, werd ze afgegraven en werd vervolgens 72.047 m³ (volume in beun) of naar raming met een rendement van 85% 61.200 m³ zand opgespoten in juli 1993. Ook dit volume werd voor de helft op het natstrand en voor de helft op de vooroever gesitueerd voor de opbouw van de gecorrigeerde volumereeks. Omdat er zich vers slib bleef afzetten, werd in oktober 1994 nogmaals baggerspecie afkomstig uit de haven van Zeebrugge opgespoten, naar schatting 123.616 m³ specie x 85 % zandfractie = 105.100 m³ zand. Dit volume kwam uitsluitend op de vooroever beneden de laagwaterlijn terecht en werd naar beste raming voor 1/3 meegeteld in de aangevoerde volumes van de vooroever voor deze kuststrook en voor 2/3 in de vooroever van kuststrook 45.



Sectienummers in zwart, kuststrooknummers in blauw. Een ondiepe geul scheidt de Plaats van Heist nog van het natstrand.

Figuur 114 – Schematische afbakening, op basis van de 0 m-TAW hoogtelijn bij de opname voorjaar-zomer 2019, van de "Plaats van Heist".



Figuur 115 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 44. Kustlengte: 346 m.

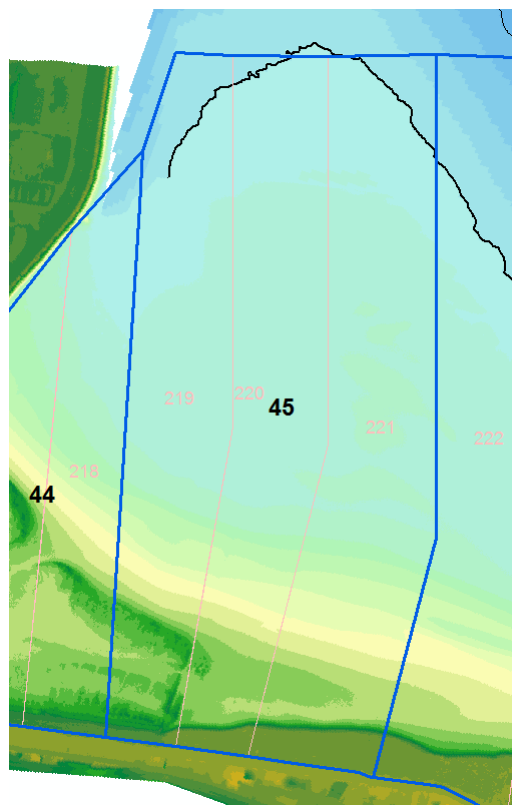
Na 1995 werd het grootste deel van deze kuststrook een natuureservaat, genoemd “Baai van Heist” (Figuur 114). Er werden geen grootschalige ingrepen meer verricht.

Morfologische ontwikkeling van deze kuststrook: tussen 1979 en 1985 kende het strand van de strook aangroei met 30 m³/m/jaar. Het gaat om aangroei volgend op de uitbouw van de oostelijke strekdam van de haven van Zeebrugge. Deze aangroei kan mee het gevolg zijn van aanvoer van zand (opspuitingen), waarvan we geen gegevens meer hebben. In 1986 werd een grote suppletie uitgevoerd, waarbij het brede strand, nu gekend als “Baai van Heist”, werd gecreëerd. Hierop, in de periode 1986-2011, kende het strand in deze kuststrook afslag, met een gemiddeld ritme van -22 m³/m/jaar. Als reden werd de onderbreking van het langstransport in de strandzone door de voorhaven van Zeebrugge gezien. Hierdoor was dit deel van het strand verstoken van aanvoer van strandzand. Het ritme van de afslag nam echter af in de tijd. En sinds 2011 bleef het volume van het deel boven water constant; er was nog een lichte, niet-significante afslagtrend

van $-3 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $1,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Ook de vooroever verminderde in volume, wanneer men corrigeert voor de aangevoerd hoeveelheden: $-16 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ over 1986-2007. Sinds 2007 is de trend van de vooroever omgeslagen, en wordt er aangroei waargenomen ($+5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$; standaarddeviatie op de trend: $1,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). De gegevens m.b.t. de vooroever moeten echter voorzichtig worden geïnterpreteerd, want de bedekking met bathymetrische metingen dicht bij de Oostdam is niet al te goed en de hoogtemodellen kunnen extrapolaties bevatten. De grootste afslag in de periode vóór 2011 (strand) en 2007 (vooroever) was gesitueerd rond de laagwaterlijn en nabij de Oostdam. Maar op de vooroever van de volgende kuststrook, en sinds 2007 ook in deze kuststrook, groeit een grote zandplaat geleidelijk aan. We duiden ze in dit rapport aan met de nieuwe naam "Plaat van Heist" (Figuur 114). Wellicht is deze aangroei zo ver gevorderd (grote oppervlaktes van de zandplaat komen bij laagwater reeds boven water) dat ze nu het strand in deze kuststrook bescherming biedt tegen golfafslag. Er zijn geen (morfologische) aanwijzingen dat het strand voeding zou ondervinden vanuit de stranden ten oosten. Tevens heeft de aangroei van deze "Plaat van Heist" de accommodatie reeds zozeer ingenomen, dat de stroming, zeker de ebstroming bij laagwater, zeewaarts geduwd en versterkt wordt, waardoor er thans aan de zeewaartse flank van de Plaat van Heist erosie optreedt.

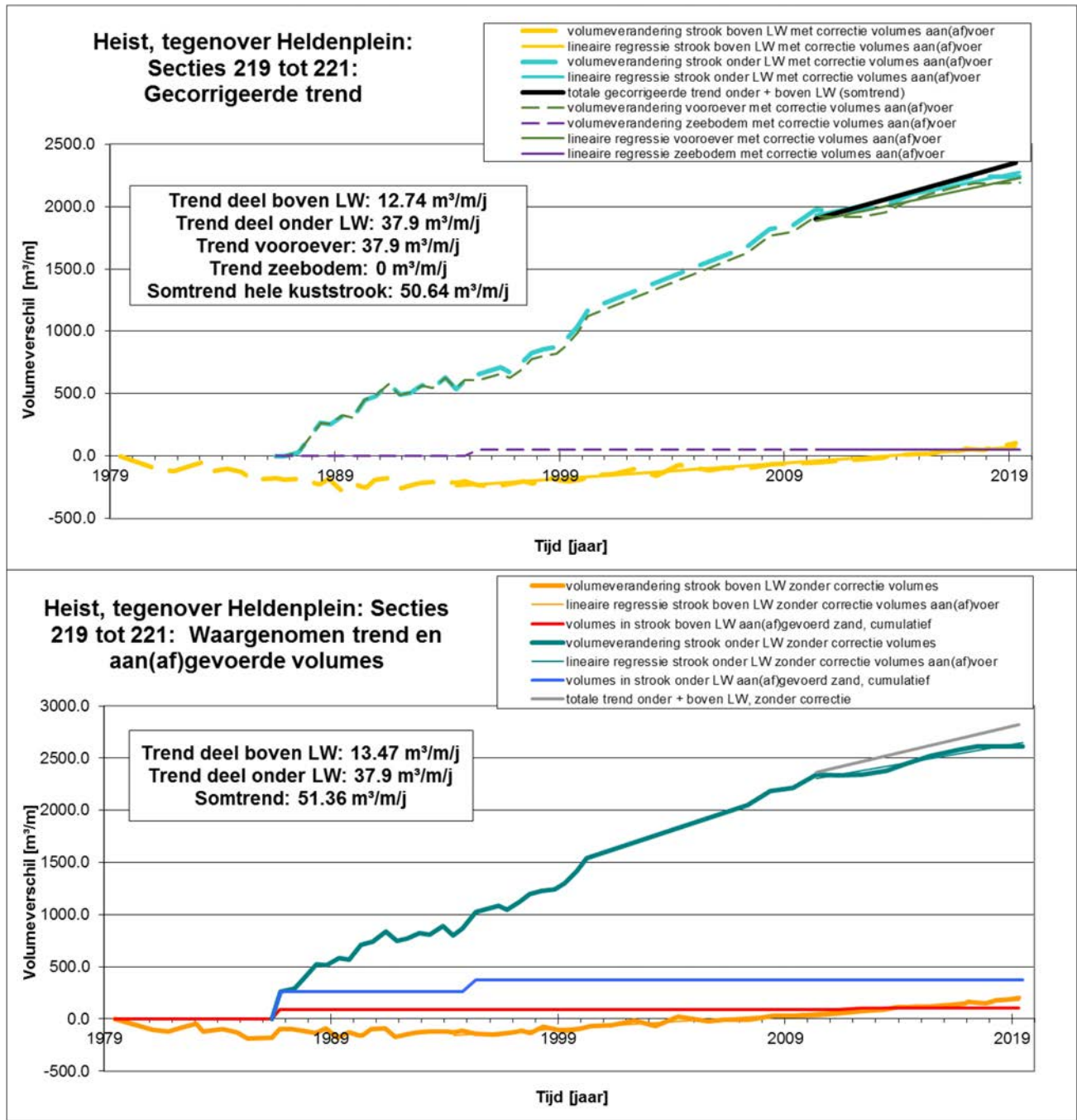
11.2 Strook 45 (secties 219-221): Heist, tegenover Heldenplein

Ligging van de strook: deze strook bevat de meest oostelijke secties 219 tot 221 van het kustdeel "Heist". De secties kennen een gelijkaardige volume-evolutie, afwijkend van de andere secties van het kustdeel "Heist".



Figuur 116 – Situatiekaartje kuststrook 45, Heist, bij Heldenplein. Kustlengte: 626 m.

Deze kuststrook was een deel van de grote strandsuppletie van 1977-1979. Hierbij werd over een kuststrook van ca. 9 km ca. 8,5 miljoen m^3 zand opgespoten, wat neerkomt op gemiddeld een toevoer per strekkende meter van bijna $950 \text{ m}^3/\text{m}$. Dit werk situeert zich vóór de eerst beschikbare opmeting, waardoor de tijdsgrafieken starten op een "hoog" punt.



Noot: het cijfer 0 m³/m/jaar voor de zeebodem (bovenste grafiek) is een artefact.
In deze kuststrook is geen zeebodem aanwezig (zeer ondiepe vooroever).

Figuur 117 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 45. Kustlengte: 626 m.

In 1986 werd het strand van enkel de secties palend aan de Oostdam opgespoten met zand afkomstig van baggerwerken in de Zeebrugse voorhaven. De opgespoten volumes waren vrij groot, maar het slib spoelt weg tijdens de opspuiting en enkel de zandfractie blijft liggen. Een gedeelte van de invloed van deze zandaanvoer strekte zich uit tot in sectie 219 van deze kuststrook. Tussen 24 mei 1985 en 25 september 1986 werd op het strand in sectie 219 een volumetoename van 55.000 m³ gemeten. Ook op de vooroever werd een grote aangroei gemeten, nl. met 162.100 m³. Die toenames worden volledig toegeschreven aan de opspuiting, waarvan de exacte volumes niet meer gekend zijn.

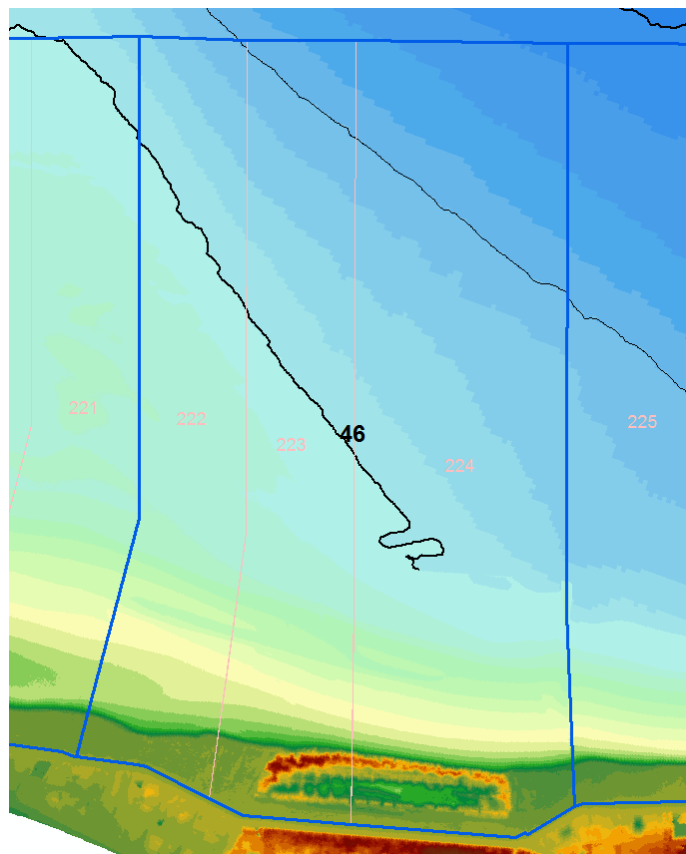
In oktober 1994 vond nogmaals een opspuiting plaats (zie kuststrook 44). De toename voor deze kuststrook wordt op 70.000 m³ geraamd, enkel op de vooroever.

Er zijn in deze kuststrook weinig of geen badstrandophogingen gebeurd. Wel werd in sectie 221 in een zone van 155 m breed ter hoogte van het Heldenplein in 2012 nog eenmalig 8824 m³ zeezand aangevoerd nabij de zeedijk. Sindsdien is er niets meer aangevoerd in deze kuststrook.

Morfologische ontwikkeling van deze kuststrook: de evolutie van het deel boven LW is in twee periodes op te splitsen: afslag met gemiddeld -13,5 m³/m/jaar (gecorrigeerd cijfer voor aanvoer; standaarddeviatie op de trend: 1,8 m³/m/jaar) tussen 1979 en 1994, gevolgd door aangroei met +12,7 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,4 m³/m/jaar) tussen 1994 en 2019. De gecorrigeerde volumereeks van het deel onder LW toont gestage aangroei met +77 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 2 m³/m/jaar) tussen 1986 en 2010, voortgezet tussen 2010 en 2019, maar aan een lager ritme: +38 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 4 m³/m/jaar). De aangroei van de vooroever is begonnen na de afwerking van de Oostdam van de voorhaven van Zeebrugge. Op de vooroever heeft zich hier een zandplaat ontwikkeld, de "Plaat van Heist" (Figuur 114). Deze blijft nog steeds aangroeien. Waarschijnlijk is de trendomslag van het strand rond 1994 geïnduceerd door de aanwezigheid van de zandplaat op de vooroever. Deze zandplaat is reeds in die mate verticaal (en ook zeewaarts) aangegroeid dat grote oppervlaktes van de zandplaat bij laagwater boven water komen. De plaat kan dus het strand in deze kuststrook bescherming bieden tegen golfafslag. Hierdoor is het strand van secties 220-221 (en 222-223) meer dan voorheen beschermd tegen golfafslag. Er zijn geen (morfologische) aanwijzingen dat het strand voeding zou ondervinden vanaf de meer oostelijk gelegen stranden. Zowel de sinds 2010 verminderde mate van aangroei, als het feit dat het meest zeewaartse deel (enkel in de 200 meest zeewaartse meters van het gebied omsloten door de sectiegrens) op de zeeflank van de zandplaat al sinds 2000 een trend tot erosie vertoont, zijn tekenen van het naderen van een nieuw morfologisch evenwicht, waarbij de aangroei in het door de dam beschermd gebied "in concurrentie komt" met geulerosie in het gebied zeewaarts van de voorhaven van Zeebrugge.

11.3 Strook 46 (secties 222-224): duinstrook tussen Heist en Duinbergen

Ligging van de strook: dit deel van het kustdeel "Duinbergen" werd afgescheiden van secties 225-226 omdat zijn evolutie totaal anders is. Hier springt de zeedijk landwaarts terug. In deze ruimte is een duinmassief ontwikkeld, dat steeds aangroeit. Ook wordt vermoed dat deze secties zich in de zone bevinden waar de stroming die rond Zeebrugge gedwongen wordt, zich opnieuw aanhecht aan het strand, waardoor er een langjarige netto landwaartse transportcomponent zou zijn. Het strand groeit alleszins van nature aan sinds de uitbouw van Zeebrugge.

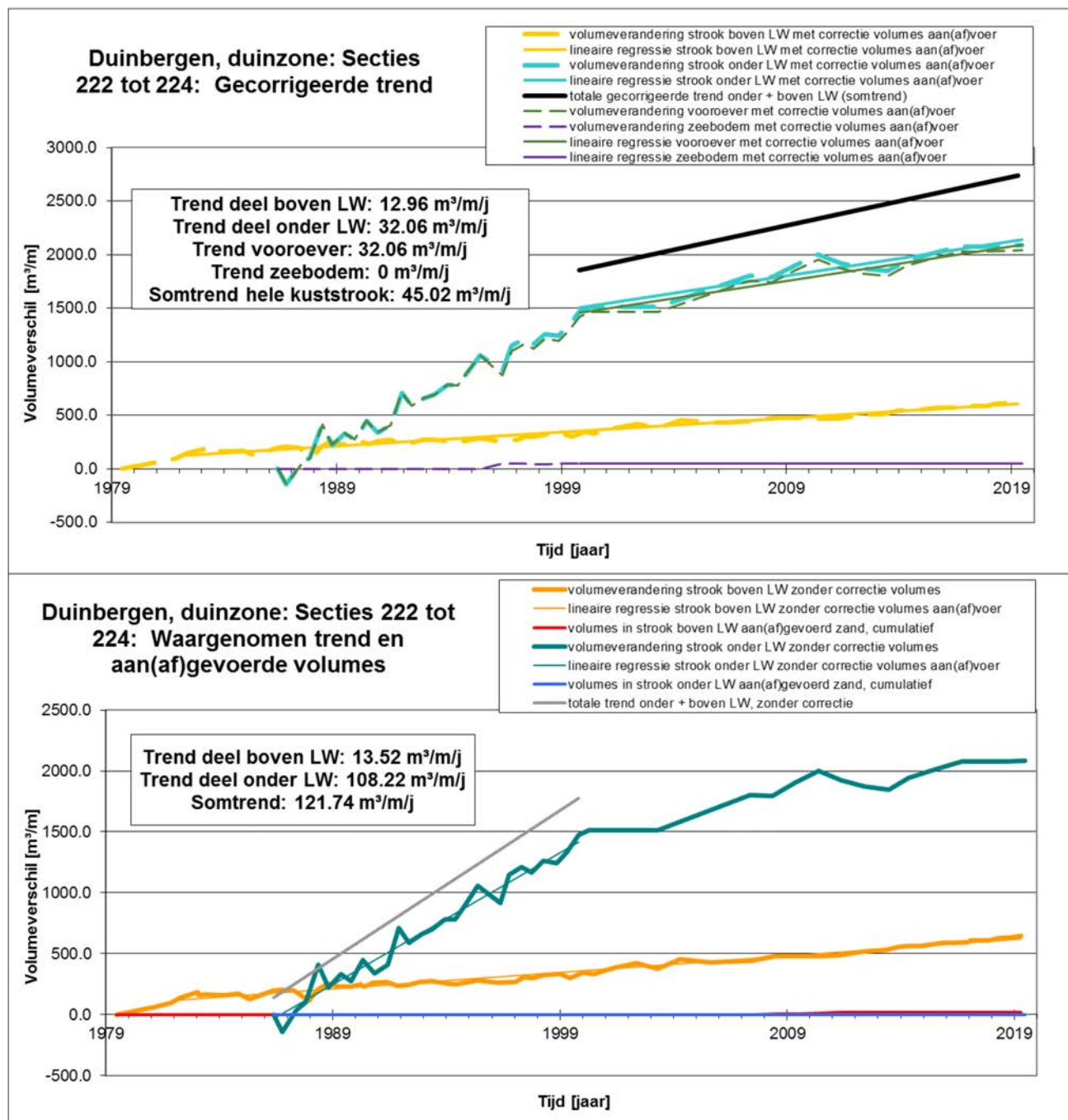


Figuur 118 – Situatiekaartje kuststrook 46, duinen tussen Heist en Duinbergen. Kustlengte: 973 m.

In Duinbergen-centrum werden badstrandophogingen uitgevoerd die sinds 2003 de aanvoer van zeezand inhouden. Een deel daarvan strekt zich sinds 2008 ook nog uit in de 200 m van sectie 224 die aansluit bij Duinbergen-centrum. Op basis van de kustlengte worden de hoeveelheden van *Tabel 45* in deze kuststrook aangevoerd. Na 2017 vond er nog eenmaal een badstrandophoging plaats.

Tabel 45 – Overzicht van de hoeveelheden betrokken bij badstrandophogingen in kuststrook 46.

jaar	sectie	deel in strook 46 (m ³)	boven LW (m ³)	onder LW (m ³)
2008	200 m in s. 224	3200	3200	0
2009	200 m in s. 224	2200	2200	0
2010	200 m in s. 224	4200	4200	0
2011	200 m in s. 224	6200	6200	0
voor 31-03-2017	140 m in s. 224	3100	3100	0



Noot: het cijfer $0 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ voor de zeebodem (bovenste grafiek) is een artefact. In deze kuststrook is geen zeebodem aanwezig (zeer ondiepe vooroever).

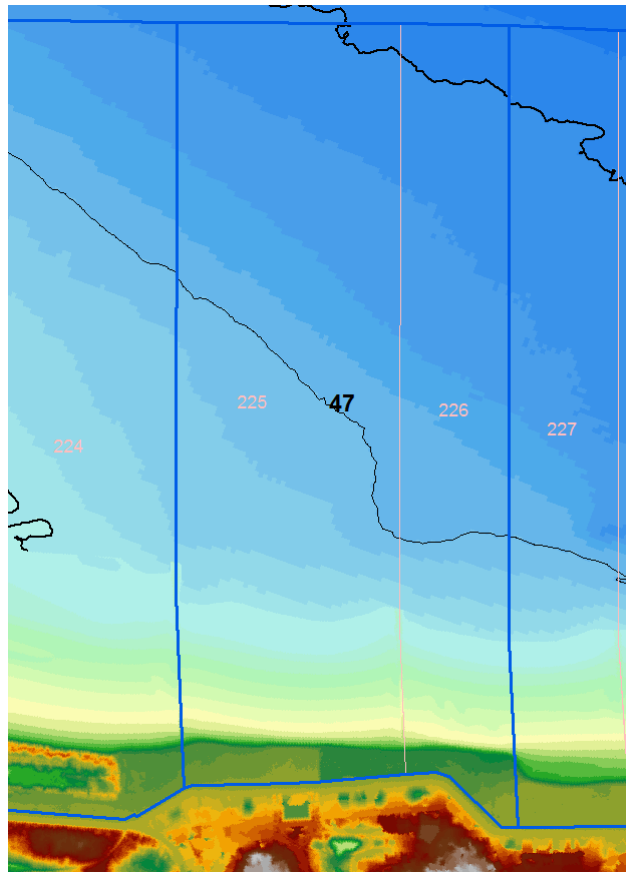
Figuur 119 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 46. Kustlengte: 973 m.

Morfologische ontwikkeling van deze kuststrook: het deel boven LW kent aangroei, continu in de tijd. Na een grotere aangroei in de periode 1979-1982 bleef het aangroeiritme constant in de tijd over 1982-2019 (waargenomen trend: $+13,5 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$; standaarddeviatie van de trend: $0,3 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$; gecorrigeerde trend: $+13 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$; standaarddeviatie van de trend: $0,3 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). De aangevoerde hoeveelheden in de meest oostelijke 200 m van sectie 224 beïnvloeden de tijdreeks nauwelijks. Ruimtelijk gezien zijn er op het strand twee aangroeizones: de zeedinglooiing van het kleine duinmassief vóór de zeedijk en het strand van de westelijke secties 222 en 223. De aangroei op het strand is een eerder recent fenomeen, dat te linken is aan de verticale groei van de "Plaat van Heist". Hierdoor is het strand van secties 222-223 (en 220-221) meer dan

voorheen beschut tegen golfafslag. Er zijn geen morfologische aanwijzingen voor zandaanvoer langs het strand; de groei zou door het dwarstransport gebeurd zijn.

De evolutie van het deel onder LW is sterke aangroei, maar we kunnen twee periodes onderscheiden : tussen 1986 en 1999 was de trend $+108 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$) en tussen 1999 en 2019 is het ritme teruggevallen tot $+32 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $2,9 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). De aangroei op de vooroever is het gevolg van morfologische aanpassingen na de uitbouw van de voorhaven van Zeebrugge. De nieuwe zandplaat van Heist strekt zich tot in deze kuststrook uit. Waarom het aangroei ritme op de vooroever rond 1999 afnam, is niet meteen duidelijk. Wel wijst de afnemende aangroei trend op het bereiken van een nieuw morfologische evenwicht. Verder stellen we (zeker sinds 2000) een gebied met erosie vast aan de zeewaartse zijde van de "Plaat van Heist" (Figuur 114). De vooroever verdiepte er lokaal tot 30 cm en de hoogtelijnen weken tot 75 m landwaarts terug. Een dergelijke landwaartse verplaatsing van de morfologie vinden we op de meeste plaatsen langs de Vlaamse kust.

11.4 Strook 47 (secties 225-226): Duinbergen-centrum



Figuur 120 – Situatiekaartje kuststrook 47, Duinbergen-Centrum. Kustlengte: 700 m.

Ligging van de strook: dit deel van het kustdeel "Duinbergen" werd afgescheiden van de secties 222-224 omdat het een aparte ontwikkeling kent die eerder gelijkloopt met het aan de oostzijde gelegen kustdeel Albertstrand, maar omdat hier een droogstrandberm wordt aangelegd voor de zeedijk, worden de secties apart gehouden.

In deze zone werden voor het eerst zandopvoerwerken gedaan in 1997. Het zand was afkomstig van een strook bij de laagwaterlijn. De informatie voor de periode 1998-1999 is aanwezig in KUST 2004.112. Voor

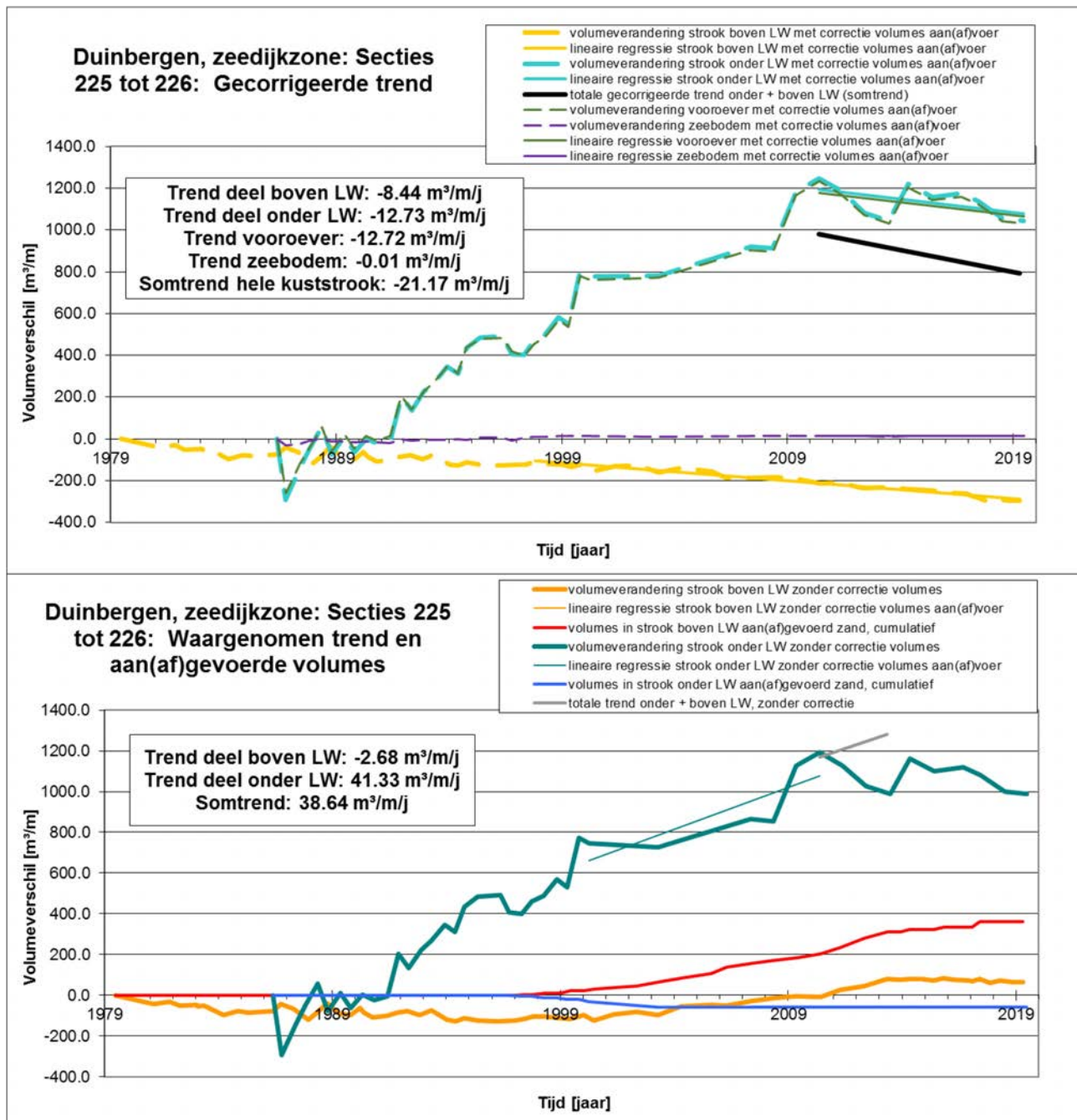
2000-2002 is er geen informatie maar vrijwel zeker werd toen eveneens zand opgevoerd. Daarom wordt hier de aanname gedaan dat jaarlijks ca. 12.000 m³ werd opgevoerd. In 2003 werd 4855 m³ zeezand en 13.597 m³ strandzand aangebracht. Vanaf 2004 werd alleen nog zeezand aangevoerd. De recentste ingreep was in 2017 (*Tabel 46*).

Tabel 46 – Volumes betrokken bij de badstrandophogingen in kuststrook 47 (zo nodig, na herverdeling met kuststrook 46).

jaar	strandzand (m ³)	zeezand (m ³)	gedeelte boven LW (m ³)	gedeelte onder LW (m ³)
1997	7049		3500	-3500
1998	10617		5300	-5300
1999	12411		6200	-6200
2000	12000		6000	-6000
2001	12000		6000	-6000
2002	12000		6000	-6000
2003	13597	4855	11700	-6800
2004		13124	13100	0
2005		18146	18100	0
2006		19372	19400	0
2007		14000	14000	0
2008*		11400	11400	0
2009*		7800	7800	0
2010*		14700	14700	0
2011*		21600	21600	0
2012		10600	10600	0
2012, voor VJ		20722	20700	0
2013, voor VJ		22600	22600	0
2014, voor VJ		6300	6300	0
tussen VJ en NJ 2015		10000	10000	0
voor 31-03-2017		16900	16900	0

Zandaanvoerwerken in secties 225 en 226 te Duinbergen. In cursief: veronderstelling. *de badstrandophogingen van sinds 2008 strekten zich ook nog uit over 200 m van sectie 224. Die hoeveelheden zijn hier weggelaten, op basis van de kustlengte, en opgenomen in *Tabel 45*. Bron: gegevens van afdeling Kust.

Morfologische ontwikkeling van deze kuststrook: het strand van deze secties kende in 1997 een omslag van erosie naar aangroei. Het is evenwel duidelijk dat de morfologische omslag in deze secties volledig verklaard wordt door de badstrandophogingen. Rekent men de aangevoerde hoeveelheden uit de tijdreeks, dan blijkt de erosie zelfs iets groter dan voorheen: -8 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,3 m³/m/jaar) tussen 1997 en 2019 tegenover -5 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,7 m³/m/jaar) tussen 1979 en 1997. De evolutie van het zandvolume in het deel boven LW is nauw gekoppeld aan de zandaanvoer. Tussen 1997 en 2013 werd er meer aangevoerd en wordt er een aangroei-trend waargenomen van +11,3 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,8 m³/m/jaar). Na 2013 zijn de aangevoerde volumes kleiner en de waargenomen trend over 2013-2019 is zelfs een kleine afslag: -2,7 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,7 m³/m/jaar). In 2019 is per m kustlengte in het totaal over ruim 20 jaar 360 m³ aangevoerd, terwijl de waargenomen aangroei t.o.v. het dieptepunt in 1997 bijna 193 m³/m kustlengte bedraagt. Van de aanvoer bleef dus bijna 54% ter plaatse.



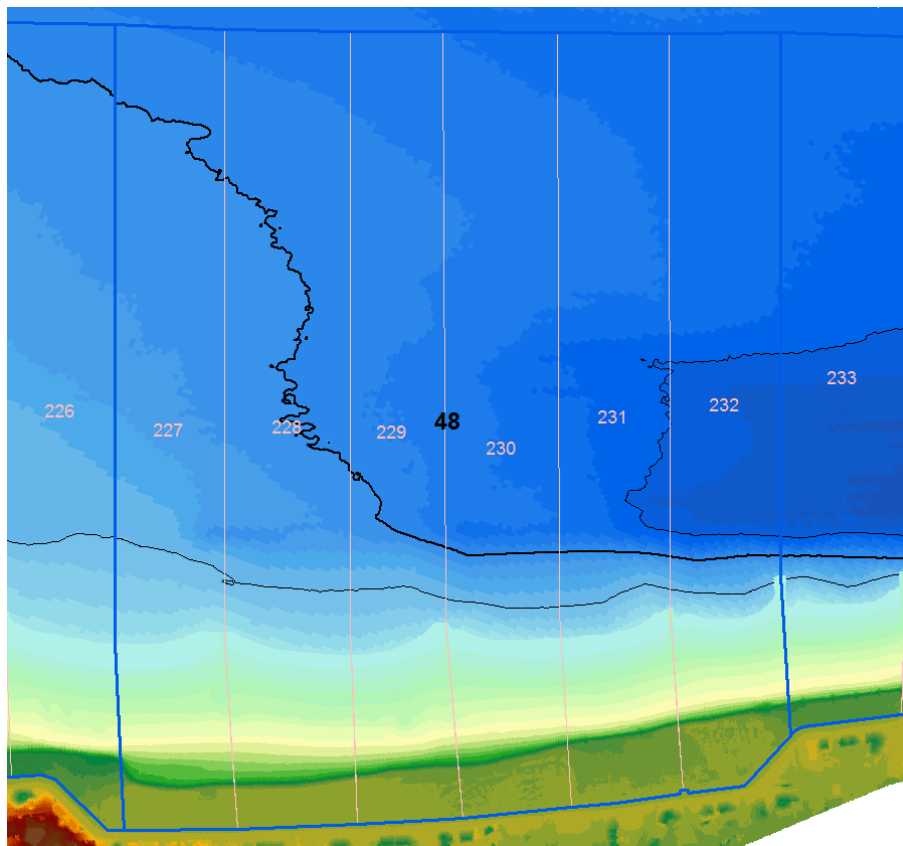
Figuur 121. – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 47. Kustlengte: 700 m.

De vooroever groeide sterk aan tussen 1986 en 2000: $+62 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $4 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). Daarop volgde een decennium met minder sterke groei: $+44 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (gecorrigeerde trend; standaarddeviatie op de trend: $13 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). En het laatste decennium namen de zandvolumes af: $-13 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $7 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$). Deze cijfers verhullen gescheiden ruimtelijke ontwikkelingen. De aangroei vindt (alvast sinds 2000) plaats in twee oostelijke uitlopers van de "Plaat van Heist". De eerste uitloper ligt op ca 200 m van de laagwaterlijn, de tweede op ongeveer 750 m. Tussen beide aangroei stroken ligt er een westelijke uitloper van de Appenzakgeul ("tak 1", zie bij kuststrook 49), met grootste uitdieping op ongeveer 600 m van de laagwaterlijn. Deze geul verlengt zich tussen sommige vooroeveropnames naar het westen, en krimpt op andere momenten weer. Blijkbaar vindt er ter hoogte van Duinbergen en Albertstrand een "competitie" plaats tussen zandaanvoer verbonden met de aangroei van de

"Plaat van Heist" en erosie door de stroomgeul Appelzak, met wisselend effect volgens de grootte van de aanvoercomponenten. Ter hoogte van deze kuststrook is er resulterend nog morfologische winst (aangroei) voor de Plaat van Heist, maar de laatste jaren treedt er, zoals in kuststrook 46, erosie op aan de zeewaartse zijde van deze zandplaat.

11.5 Strook 48 (secties 227-232): het kustdeel Albertstrand

Ligging van de strook: ze valt samen met het kustdeel "Albertstrand". Dit was wel betrokken in de grote suppletie van 1977-1979, maar nadien vonden er geen aanvoerwerken of suppleties meer plaats. Enkel werd een stukje van sectie 232, mee betrokken in de meeste onderhoudssuppleties te Knokke-Zoute. Buiten de suppletie van 1986 was de toevoer hier klein. In 2014 werd een gedeelte van de zandaanvoer in Duinbergen ook nog aangebracht in sectie 227.



Figuur 122 – Situatiekaartje kuststrook 48, Albertstrand. Kustlengte: 1410 m.

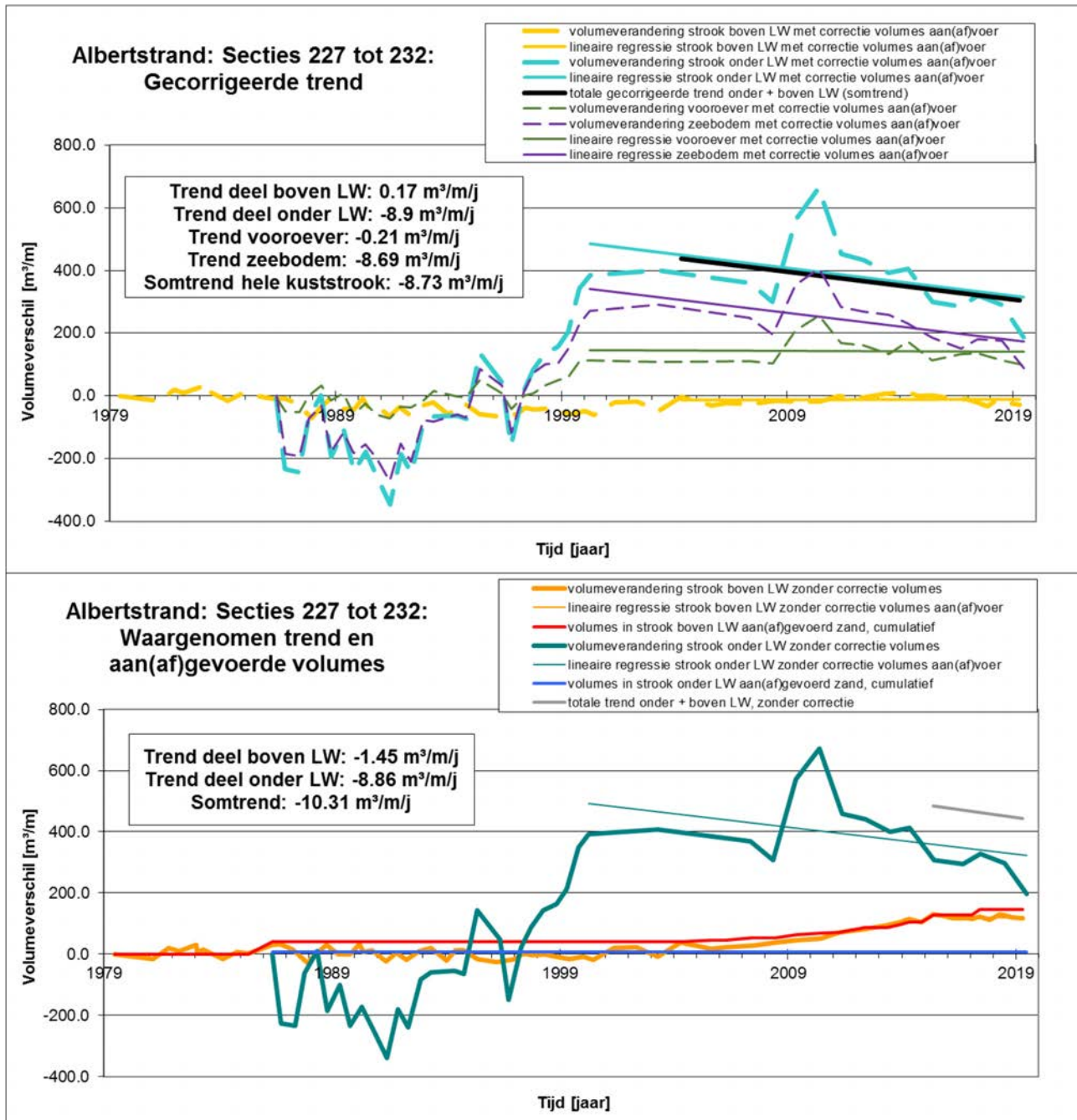
Deze kuststrook is dus gelegen tussen stranden waar regelmatig wordt gesuppleerd. De hoeveelheden voor de correctie van de volumetijdreeks van de kuststrook staan in *Tabel 47*.

Tabel 47 – Hoeveelheden aangevoerd in kuststrook 48, steeds in een stukje palend aan kuststrook 49 (en in 2014 ook 47).

Periode	Plaats	Kust- lengte (m)	Effectief volume (m ³)	Deel boven LW (m ³)	Deel onder LW (m ³)
Voorjaar 1986	sectie 232	235	67400	57300	10100
juni 2004	sectie 232	76	9000	7700	1400
2007	sectie 232	235	8500	8500	0
2007	sectie 232	118	1400	1400	0
2009	secties 231-232	470	14800	14800	0
2010	sectie 232	118	7300	7300	0
2011	sectie 232	118	3600	3600	0
2012, voor VJ	sectie 231, 232	470	16300	16300	0
2012, voor VJ	sectie 232	171.5	7000	7000	0
2013, net na VJ	sectie 232	235	11800	11800	0
2014, voor VJ	sectie 227	235	2100	2100	0
2014, voor VJ	sectie 232	125	8800	8800	0
2015, voor VJ	sectie 232	235	33200	33200	0
voor 31-03-2017	sectie 232	235	24600	24600	0

Morfologische ontwikkeling van deze kuststrook: de gemiddelde meerjarige aangroei van de duinzone (strook langs de zeedijk) was in de periode 1979-2004 even groot als de gemiddelde meerjarige afslag van nat- en droogstrand, waardoor de netto-evolutie van het deel boven LW stabiliteit was. Nadien, tussen 2004 en 2015, werd er een aangroeiendens waargenomen, met als gemiddelde trend +10 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 1 m³/m/jaar). Meer recent is er een lichte erosietrend: -1,5 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 1,7 m³/m/jaar, dus de trend is niet significant) tussen 2015 en 2019. Heel deze evolutie wordt verklaard door de zandaanvoer in de secties van de kuststrook die palen aan de naburige, sterk aan suppleties onderworpen kuststroken. Het aanvoerritme was kleiner vanaf 2015; de knik in de waarnemingen stemt ermee overeen. Op de hoogteverschilkaarten zien we ook dat het natstrand tijdelijk aangroei kent wanneer in de aanpalende kuststroken wordt gesuppleerd, maar na een of twee LIDAR-opnames is die aangroei weer weg. De gecorrigeerde trend over de periode 2004-2019 is stabiliteit, m.a.w. wat bij suppleties in deze kuststrook werd aangevoerd, blijft wel ter plaatse, maar niet de natuurlijke aanvoer die volgt op suppleties in de nabijheid.

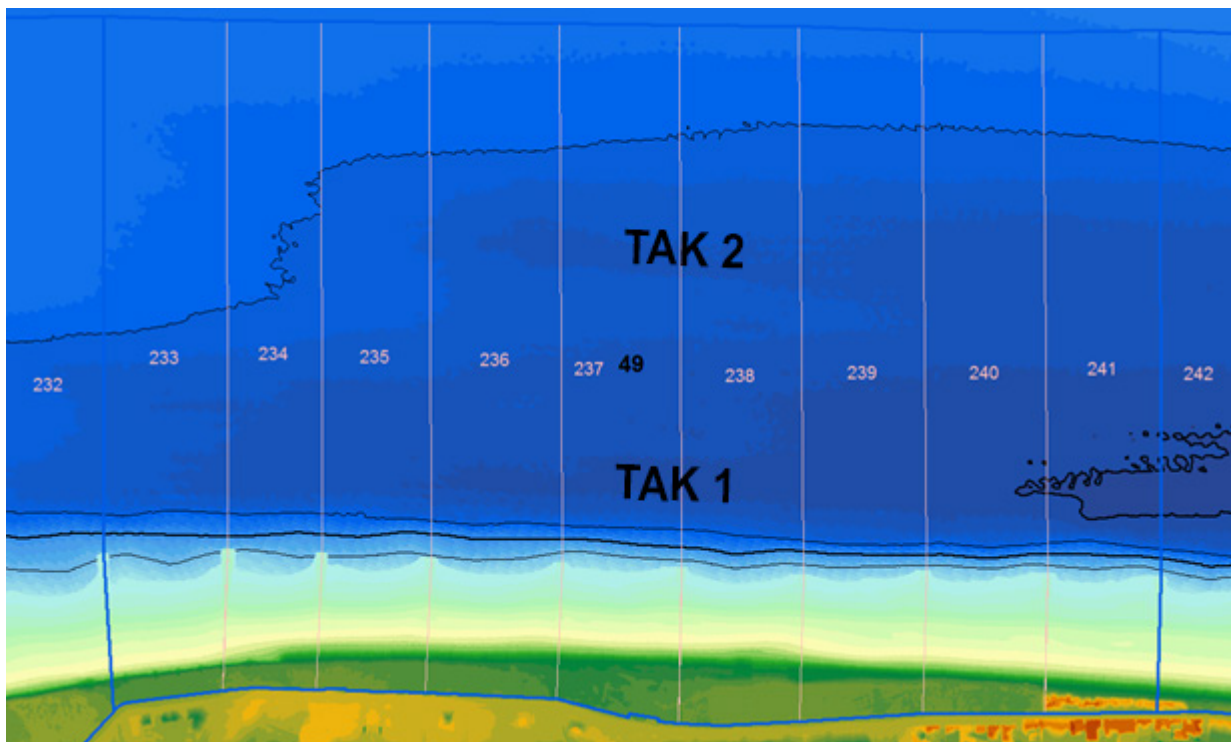
De vooroever en de zeebodem groeide sterk aan tussen 1991 en 2000: +61 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 8 m³/m/jaar). Na 2000, tot 2019, is er lichte erosie: -9 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 5 m³/m/jaar; de trend is niet erg significant: meer bepaald is er een sterke piek in de volumes in 2010). Deze cijfers verhullen gescheiden ruimtelijke ontwikkelingen. De aangroei vindt (alvast sinds 2000) plaats in twee oostelijke uitlopers van de "Plaat van Heist". De eerste uitloper ligt op ca 200 m van de laagwaterlijn, de tweede op ongeveer 750 m. Tussen beide aangroeistroken ligt er een westelijke uitloper van de Appenzakgeul ("tak 1", zie bij kuststrook 49), met grootste uitdieping op ongeveer 600 m van de laagwaterlijn. Deze geul verlengt zich tussen sommige vooroeveropnames naar het westen, en krimpt op andere momenten weer. Blijkbaar vindt er ter hoogte van Duinbergen en Albertstrand een "competitie" plaats tussen zandaanvoer verbonden met de aangroei van de "Plaat van Heist" en erosie door de stroomgeul Appenzak, met wisselend effect volgens de grootte van de aanvoercomponenten. Ter hoogte van deze kuststrook is er sinds ongeveer 2010 een trendomslag. Waar de dichter bij het strand gelegen "tak 1" van de Appenzakgeul (as op ca. 400 m van de laagwaterlijn) in de tijd afwisselend wat uitdiept en wat opvult, lijkt zich de laatste jaren een verder gelegen "tak 2" (as op ca. 1,3 km van de laagwaterlijn) eveneens wat uit te diepen en op die manier aan te sluiten bij de zone in de kuststroken 45 en 46 aan de zeewaartse flank van de "Plaat van Heist", die erosie ondervindt. Met "tak 1" en "tak 2" worden hier delen van de Appenzak bedoeld, eveneens met lange as evenwijdig met de kust, die de laatste jaren uitdiepen, en die van elkaar gescheiden zijn door een deel van de geulbodem dat vrijwel stabiel blijft (ligging is aangegeven in *Figuur 124* en *Figuur 133*).



Figuur 123 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 48. Kustlengte: 1410 m.

11.6 Strook 49 (secties 233-241): het kustdeel Knokke-Zoute

Ligging van de strook: ze komt overeen met het kustdeel "Knokke-Zoute". Het is een van de plaatsen met de grootste afslag aan de Vlaamse kust. De strook was deel van de grote suppletie van 1977-1979. Hierbij werd over een kuststrook van ca. 9 km ca. 8,5 miljoen m^3 zand opgespoten, wat neerkomt op gemiddeld een toevoer per strekkende meter van bijna $950 \text{ m}^3/\text{m}$. Dit werk situeert zich vóór de eerst beschikbare opmeting, waardoor de tijdsgrafieken starten op een "hoog" punt.



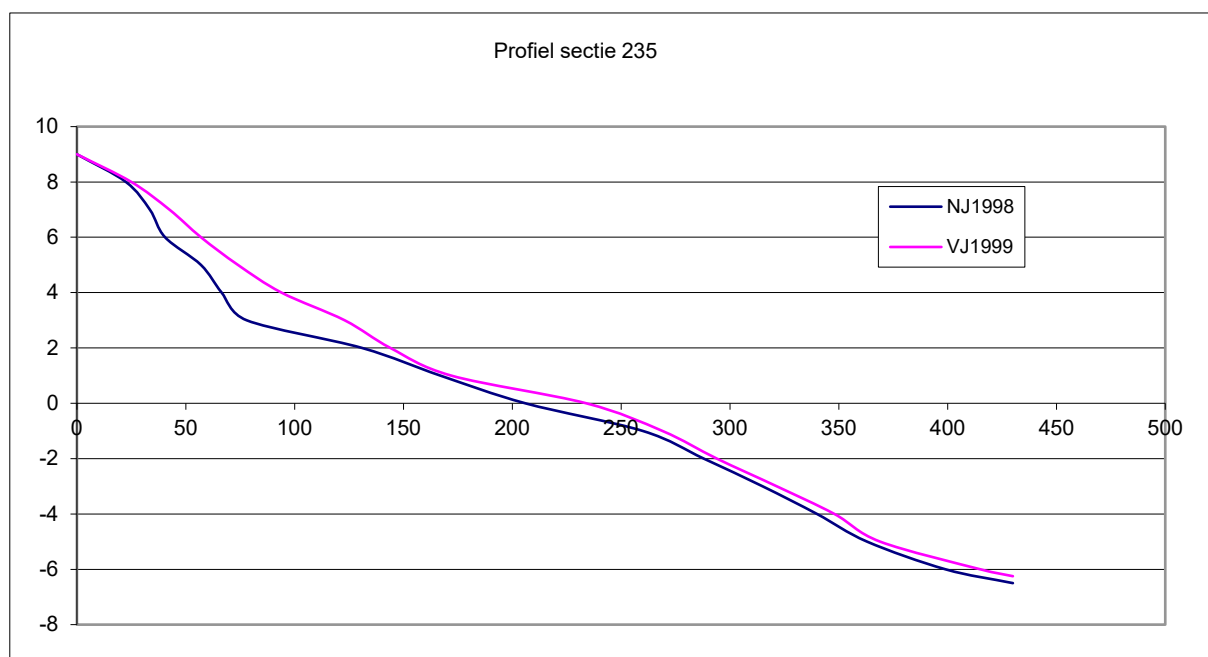
Figuur 124 – Situatiekaartje kuststrook 49, Knokke-Zoute. Kustlengte: 2237 m.

Er vonden verschillende aanvullingssuppleties plaats, de meeste d.m.v. opspuiting via persleidingen, soms ook door aanvoer met vrachtwagens.

Bij metingen rond de eerste aanvullingssuppletie van 1986 werd op basis van voor- en nametingen geschat dat er een efficiëntie van 77 % gehaald werd. De metingen vielen niet meteen net voor of na de uitvoering van de suppletie, waardoor er enige onzekerheidsmarge op dit "rendement" is. De suppletie in Oostende van 2004 had beter aansluitende voor- en nametingen en haalde 86 %. Het deel dat wegvloeit, bezinkt natuurlijk ook op de vooroever. In de onderhavige studie worden de vooroevervolumes mee in rekening gebracht (zie ook onderstaand profiel). Op grond van deze beschouwingen, en overwegend dat de techniek van opspuiting niet wezenlijk gewijzigd is sinds de jaren 1980, wordt voor Knokke nu ook met een oorspronkelijk rendement van 85 % gewerkt, dat zal toegepast worden op alle opspuitingen.

Van de suppletie van 1999 beschikken we over de data om een profiel voor en na de suppletie te maken. *Figuur 125* toont een profiel midden in sectie 235.

Het hele profiel onder LW lijkt te zijn aangegroeid, tot op de bodem van de Appelzakgeul toe. Hoewel we de meetfout van lodingen niet mogen uitsluiten, is een verhoging van het profiel ook best mogelijk. Er werd na afweging voor gekozen om te rekenen met een verdeling van de aanvoer voor 85% op duin, droogstrand en natstrand en 15% op vooroever en zeebodem. Deze verdeling werd bij de aanvullingssuppleties in deze kuststrook van 1986, 1999 en 2004 toegepast. Recentere onderhoudssuppleties waren gericht op het verhogen van het strand, vooral nabij de zeedijk.



Noot : de strandvlucht en vooroeverlodging hebben niet meteen onmiddellijk voor en na de suppletie plaats. Dit profiel werd enkel gebruikt om de verdeling van de aangevoerde volumes over het deel boven LW (strand) en onder LW (vooroever) in te schatten.

Figuur 125 – Een profiel voor en na de strandsuppletie van 1999 in sectie 235 te Knokke.

Tabel 48 geeft het overzicht van de volumes en de aannames voor het berekenen van de correctievolumes in de schijven boven en onder laagwater.

Tabel 48 – Volumes aangevoerd bij onderhoudssuppleties en aanvullingen te Knokke-Zoute.

Jaar	Plaats	Kust- lengte (m)	Volume in beun (m ³)	"rende- ment"	Effectief volume (m ³)	Deel boven LW	Deel onder LW
Voorjaar 1986	secties 232-243	2963	1000000	85%	850000	85%	15%
maart-mei 1999	secties 233-243	2728	486418	85%	413500	85%	15%
juni 2004	secties 232-243	2800	389940	85%	331400	85%	15%
2006	secties 236-240	1318	(vrachtwagens)	100%	55500	100%	
2007	secties 232-237 en 239-240	1517	(vrachtwagens)	100%	55076	100%	
2007	secties 232(helft)- 236	1076	(vrachtwagens)	100%	12435	100%	
2009	secties 231-237 en 239-240	1770	(vrachtwagens)	100%	55785	100%	
2010	232-237, deel 239- 240	1651	(vrachtwagens)	100%	101600	100%	
2010	234-236, deel 239- 240	1052	(vrachtwagens)	100%	15400	100%	
2011	232-237, deel 239- 240	1651	(vrachtwagens)	100%	50920	100%	
2011	233-237, delen 239-240	1533	(vrachtwagens)	100%	60810	100%	
2012, voor VJ	s231-240	2466	100840	85%	85700	100%	

2012, voor VJ	s232-237, 239-240	1557.5	(vrachtwagens)	100%	63550	100%	
2013, net na VJ	s. 232-240	2231	132113	85%	112300	100%	
2014, voor VJ	s. 232-240	2121	175322	85%	149000	100%	
2015, voor VJ	s. 232-237	1451	252789	85%	204900	100%	
voor 31-03-2017	s 232-240	2231	309642	85%	233200	100%	
23/02/2019 t.e.m. 17/03/2019	s 234-243	2131	292802	85%	218900	100%	

In de 4^e kolom is het gerapporteerde volume van de aanvoer in beun gegeven, tenzij er aanvoer was met vrachtwagens: in dat geval wordt het volume als een 100% bijdrage aan de strandmorfologie beschouwd.

In *Tabel 49* worden de volumes opgelijst die voor deze kuststrook als aanvoer moeten worden beschouwd.

Tabel 49 – Opsplitsing van de suppletievolumes (*Tabel 48*) in correctiehoeveelheden gebruikt in kuststrook 49.

Periode	Plaats	Kustlengte (m)	Effectief volume (m ³)	Deel boven LW (m ³)	Deel onder LW (m ³)
Voorjaar 1986	secties 233-241	2237	641700	545400	96300
maart-mei 1999	secties 233-241	2237	339100	288200	50900
juni 2004	secties 233-241	2237	264800	225100	39700
2006	secties 236-240	1318	55500	55500	0
2007	sectie 233-237 en 166m	1282	46500	46500	0
2007	sectie 233-236	958	11100	11100	0
2009	secties 233-237 en 170m	1300	41000	41000	0
2010	233-237, deel 239-240	1533	94300	94300	0
2010	234-236, deel 239-240	1052	15400	15400	0
2011	233-237, deel 239-240	1533	47300	47300	0
2011	233-237, delen 239-240	1533	60800	60800	0
2012, voor VJ	sectie 231, 232	470	16300	16300	0
2012, voor VJ	sectie 232	171.5	7000	7000	0
2013, net na VJ	sectie 232	235	11800	11800	0
2014, voor VJ	sectie 232	125	8800	8800	0
2015, voor VJ	sectie 232	235	33200	33200	0
voor 31-03-2017	sectie 232	235	24600	24600	0

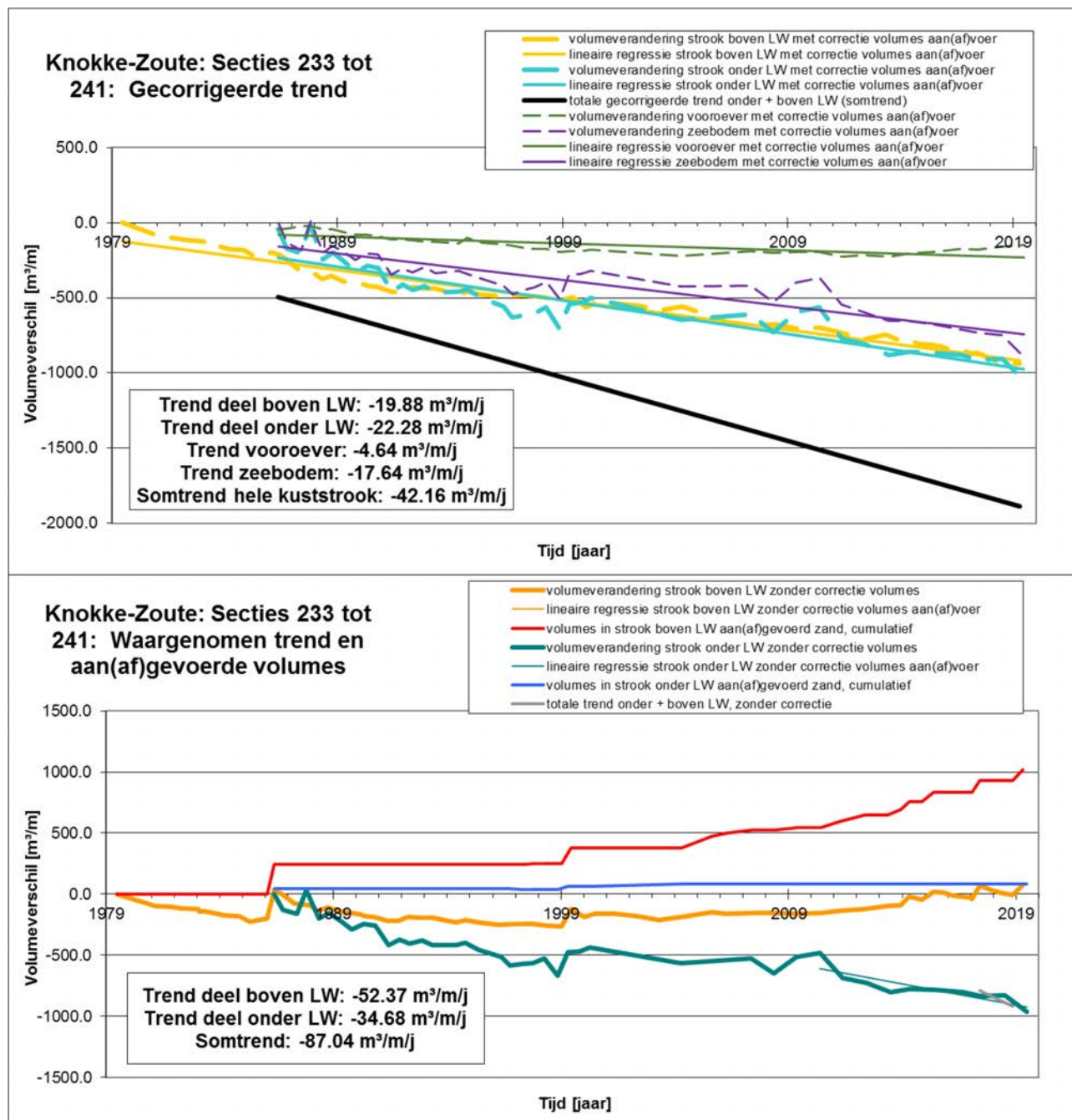
Daarbuiten zijn er nog enkele beperkte ingrepen gebeurd :

1995-1996: beperkte opvoeringen van zand ter hoogte van de strandcabines, binnen het profiel (geen cijfers bekend).

1997: badstrandophoging in secties 234-237 met 12.300 m³ zand gewonnen bij de laagwaterlijn. Dit wordt geteld als een netto invoer in het deel boven LW van de sectie met de helft, of 6.200 m³, en een netto uitvoer van het deel onder LW.

Morfologische ontwikkeling van deze kuststrook: wat betreft het deel boven LW, werd het (hoge) volumepeil van 1979 (en 1986, na de eerste aanvullingssuppletie) lange tijd niet meer bereikt. Pas na het opdrijven van de suppletie-inspanningen vanaf 2013 werd na iedere onderhoudssuppletie het beginvolume opnieuw nog eens overschreden. Op iedere suppletie volgde vrij belangrijke erosie: bv. na de suppletie van 2017, tussen VJ 2017 en NJ 2018, bedroeg de gemiddelde lineaire afslagtrend -52 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 6,5 m³/m/jaar). De gegevens eindigen met de suppletie van 2019, waardoor het volumepeil op dat ogenblik hoger is dan in het begin van de metingen. Corrigeren we voor alle aanvoer, dan is de trend

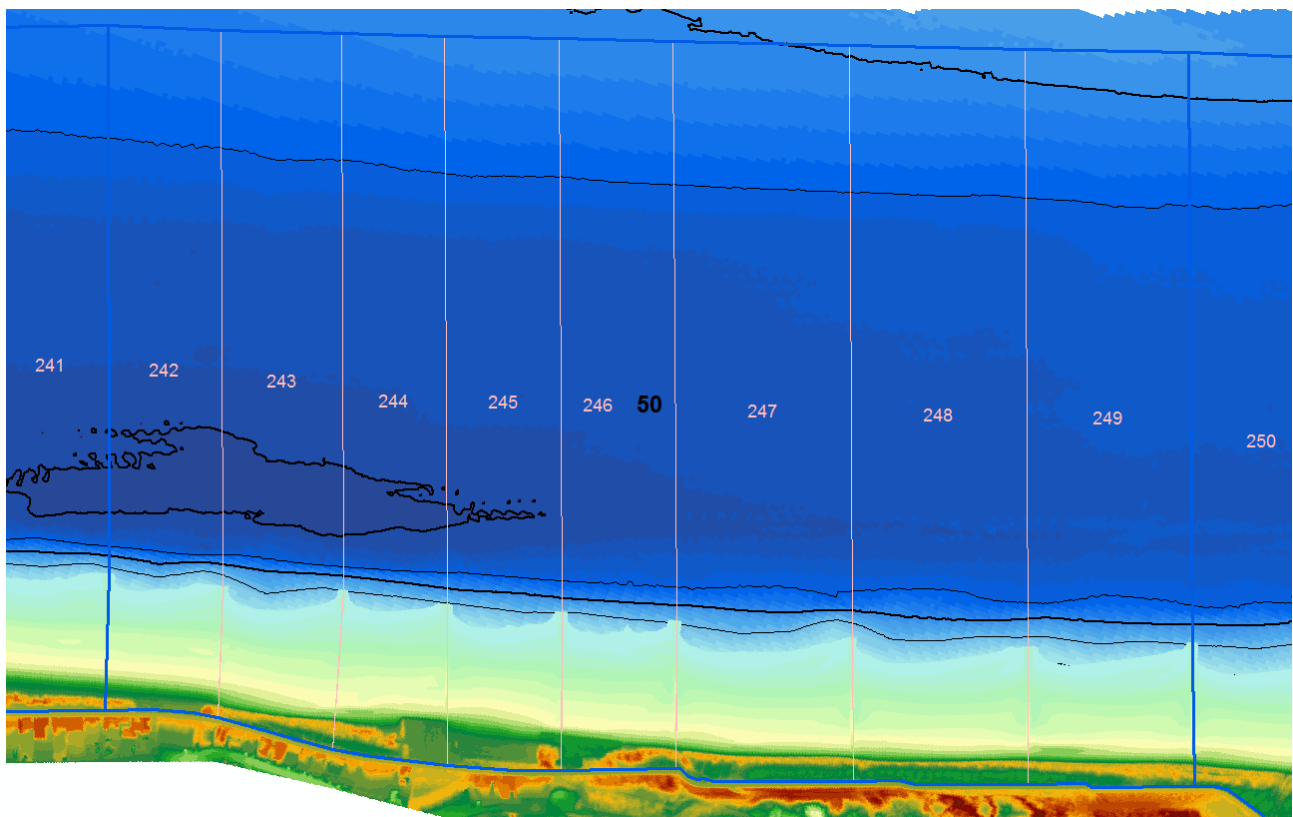
1979-2019 voor het deel boven LW $-20 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$) en deze trend is vrij stabiel over de hele 40-jarige periode. We kunnen ook stellen dat een groot deel van de gecumuleerde aanvoer sinds 1986 (bijna $1020 \text{ m}^3/\text{m}$) door voortdurende erosie verdwenen is van het deel boven LW, dat in 2019 (net na een aanvullingssuppletie) t.o.v. de situatie net voor de suppletie van 1986, nog ongeveer $275 \text{ m}^3/\text{m}$ meer bevat dan in 1986. Over deze periode is de gecumuleerde afslag t.o.v. de totale aanvoer dus 73%.



Figuur 126 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 49. Kustlengte: 2237 m.

Wat betreft de ontwikkeling van de laag onder LW, zien we drie perioden. Tussen de eerste vooroeverloding, 1986, en 1999 (net voor de aanvullingssuppletie op het strand van 1999), is de waargenomen afslag $-45 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $3,2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Van 1999 tot 2010 bleef het volume constant. Nadien stelde zich opnieuw erosie in. De waargenomen afslagtrend over 2010-2019 is $-35 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). De gecorrigeerde afslagtrend over de hele meetperiode, 1986-2019, is $-22 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $1,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Hoewel dit niet uit de grafieken blijkt, tonen de hoogteverschilkaarten wel aan dat er op het hoogste deel van de vooroever bij suppletie aangroei optreedt. Het lijkt dan vooral te gaan om tijdelijke opslag van zand dat is geërodeerd van het strand na suppleties. Maar het zand dat tijdelijk op de vooroever wordt afgezet, gaat nadien ook daar weg, en uiteindelijk overheerst de erosie.

De zeebodem (bodem van de ebgeul Appelzak) diept zich uit. De ongeveer 900 m geul diept overal uit, maar er zijn twee kustparallele assen waar de erosie nog sterker is en de verticale verlaging t.o.v. 2000 nu ongeveer 1 m bedraagt. De eerste as ligt op ongeveer 250-300 m van de laagwaterlijn (500-550 m van de zeedijk) en kan gezien worden als een onderdeel van "tak 1", die naar het westen toe morfologisch insnijdt in de "Plaat van Heist". De tweede as ("tak 2") ligt op ongeveer 700-750 m van de laagwaterlijn (950-1000 m van de zeedijk) en verbindt zich zeker de laatste jaren met de erosieve, zeewaartse flank van de "Plaat van Heist" (zie *Figuur 124* en *Figuur 133*). Ten slotte treedt er ook in de meest oostelijke secties van kuststrook 49 en in het meest zeewaartse deel, aangroei op van de zandbank "Paardenmarkt". De hele evolutie kunnen we samenvatten als een trend over de periode 2000-2019 waarbij de hele zeebodem morfologie met ongeveer 50 m landwaarts opschuift en de geulbodem van de Appelzak uitdiept (wellicht als reactie op de aanhoudende suppleties van het strand, waardoor de stroomsectie aan de kant van het strand niet kan toenemen). Hierbij spelen, zeker op de ondiepe stukken, ook golfprocessen, maar de morfologische respons met kustparallele uitdiepingsassen toont ook een groot belang van stromingserosie.



Figuur 127 – Situatiekaartje kuststrook 50, Knokke-Lekkerbek. Kustlengte: 2310 m.

11.7 Strook 50 (secties 242-249): het kustdeel Lekkerbek

Ligging van de strook: ze stemt overeen met het kustdeel "Lekkerbek". Dit was deel van de grote suppletie van 1977-1979, die plaatsvond voor het begin van de meetreeks. Hierbij werd over een kuststrook van ca. 9 km, ca. 8,5 miljoen m³ zand opgespoten, wat neerkomt op gemiddeld een toevoer per strekkende meter van bijna 950 m³/m. Dit werk situeert zich vóór de eerst beschikbare opmeting, waardoor de tijdsgrafieken starten op een "hoog" punt. Nadien hadden er voornamelijk in secties palend aan Knokke-Zoute aanvullingssuppleties plaats.

De cijfers i.v.m. onderhoudssuppleties in Knokke-Zoute en de aannames gemaakt om de aanvoer ruimtelijk te verdelen, vindt men in *Tabel 48* bij kuststrook 49. Concreet werd er in deze kuststrook zand aangebracht zoals in *Tabel 50*.

Tabel 50 – Opsplitsing van de suppletievolumes (*Tabel 48*) in correctiehoeveelheden gebruikt in kuststrook 50.

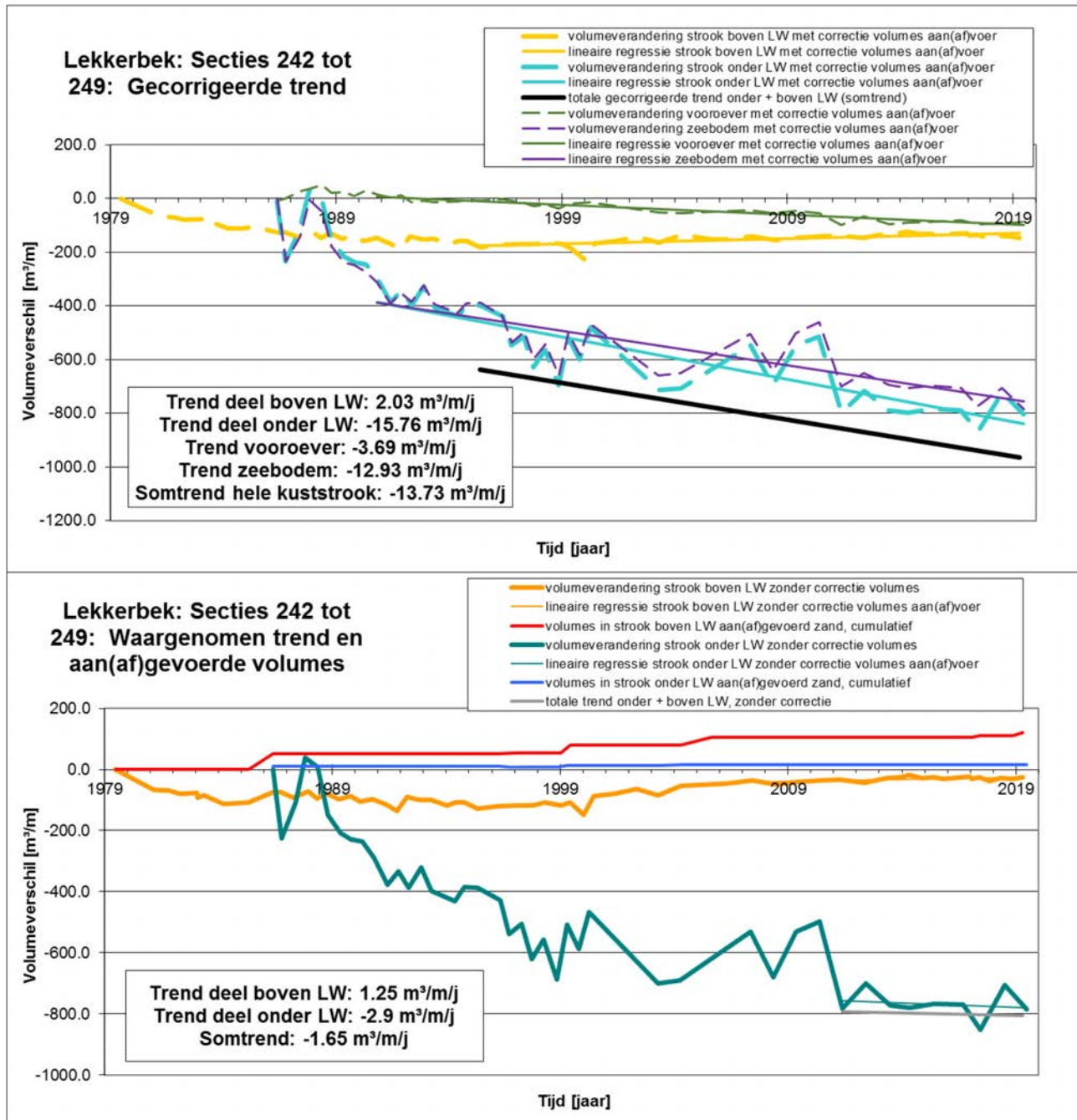
Periode	Plaats	Kustlengte (m)	Effectief volume (m ³)	Deel boven LW (m ³)	Deel onder LW (m ³)
Voorjaar 1986	secties 242-243	491	140900	119800	21100
na storm 29 augustus 1996	Sectie 242	240	0 (opvoer strandzand)	2500	-2500
maart-mei 1999	secties 242-243	491	74400	63200	11200
juni 2004	secties 242-243	491	58100	49400	8700
2013 (na VJ)	secties 247-249	1098	VOLUME NIET GEKEND		
voor 02-05-2017	sectie 242	240	10000	10000	0
23/02/2019 t.e.m. 17/03/2019	sectie 242	240	24700	24700	0

Toelichting bij *Tabel 50*: na de storm van 29 augustus 1996 werd 5000 m³ strandzand opgevoerd in sectie 242 (wordt voor de helft beschouwd als invoer in het deel boven LW en uitvoer uit het deel onder LW).

In 2013, na de voorjaarsvlucht, werd zand gewonnen in het Zwin aangewend voor aanvulling in secties 247-249. De betrokken volumes werden niet gerapporteerd. Er is geen echte morfologische uiting van terug te vinden op de hoogtekarten, dus waren de hoeveelheden wellicht niet al te groot.

De 10.000 m³ toename in 2017 was toevoer over het strand vanuit het gebied dat gesuppleerd werd in Knokke-Zoute.

Morfologische ontwikkeling van deze kuststrook: wat betreft het deel boven LW, werd het (hoge) volumepeil van 1979 nooit meer bereikt. Aanvankelijk, tussen 1979 en 1985, was de erosie sterk: -17 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 2,4 m³/m/jaar). Van 1986 tot 2000 bleef het zandvolume grosso modo constant. Van 2000 tot 2007 nam het toe met +11 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 2,7 m³/m/jaar). Na 2007 bleef het volume van het deel boven LW opnieuw vrijwel constant; er was een heel kleine aangroei-trend van +1,25 m³/m/jaar (standaarddeviatie op de trend: 0,4 m³/m/jaar). Buiten de wat meer uitgesproken aangroei tussen 2000 en 2007 die voornamelijk in het duinmassief tussen de zeedijk en het strand te situeren was, merken we op het strand geen (morfologische zichtbare) invloed die toe te schrijven zou zijn aan aanvoer uit de suppletiezone van Knokke-Zoute. Corrigeren we voor alle lokale aanvoer, dan stellen we voor het deel boven een ombuiging van de trend rond 1995. Iets sterkere afslag over 1979-1995 (-8 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 0,7 m³/m/jaar) wordt gevolgd door een heel lichte aangroei-trend over 1995-2019 (+2 m³/m/jaar; standaarddeviatie op de trend: 0,3 m³/m/jaar). We kunnen ook stellen dat het meeste van de waargenomen toename sinds 1985 (+131,6 m³/m) toe te schrijven is aan de aanvoer in deze kuststrook (+120,5 m³/m).

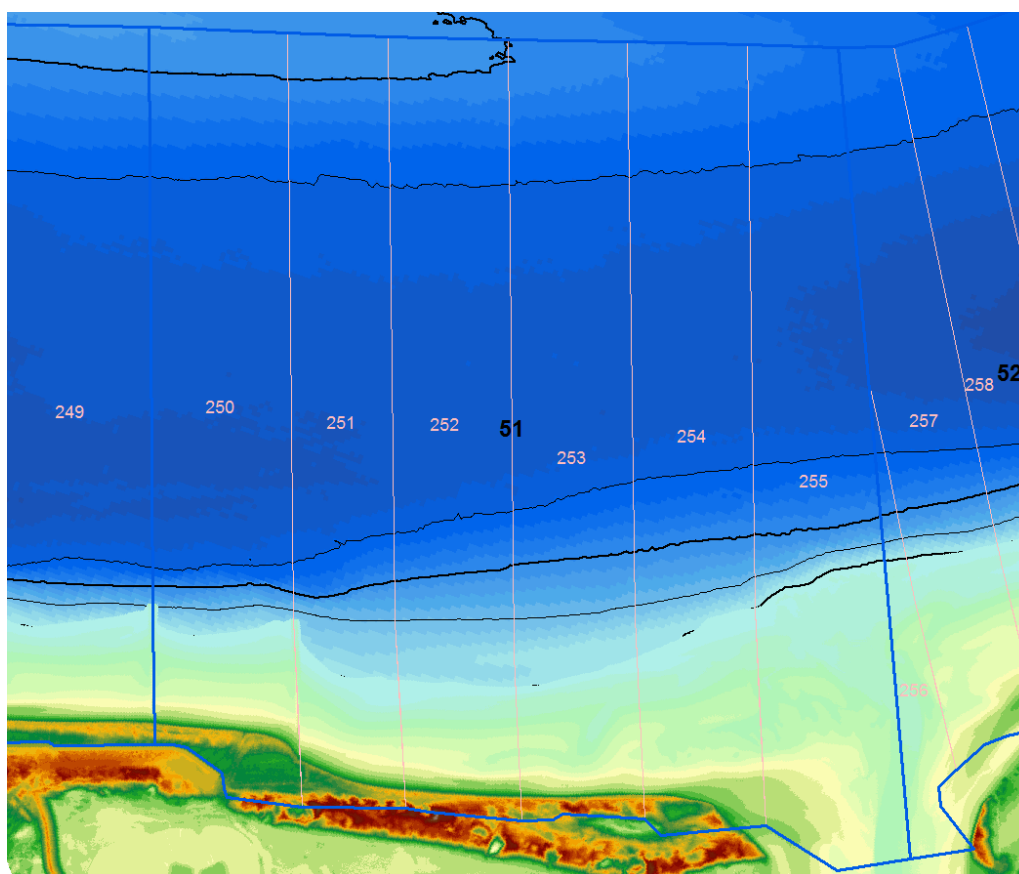


Figuur 128 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 50. Kustlengte: 2310 m.

Het deel onder LW kende zeer sterke erosie tussen 1986 en 2000 (waargenomen trend: $-40 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$; standaarddeviatie op de trend: $3,6 \text{ m}^3/\text{m/jaar}$) gevolgd door veel mildere erosie. Abstractie makend van de schommelingen in volume die wellicht de meetfout weerspiegelen, stellen we een geleidelijke afname in de tijd van het erosiecijfer vast. Sinds 2011 is het volume vrijwel constant. De cijfers zijn wel een combinatie van ruimtelijk uiteenlopende morfologische trends.

Om te beginnen is er sterke erosie op de vooroever, die hier ook een vrij grote helling heeft (gradiënt is gemiddeld 5% tegenover 2% voor het natstrand). Vooral de voet van de vooroever en een smalle strook op de aanpalende zeebodem diept uit. T.o.v. 2000 is de uitdieping lokaal meer dan 2 m. De uitdiepingsstrook is parallel met de kustlijn en is de verderzetting van de "tak 1" die we als erosiestrook herkennen vanaf kuststrook 47 (Duinbergen) en verder ook in kuststrook 48 (Albertstrand) en kuststrook 49 (Knokke-Zoute).

Vervolgens, op ongeveer 500 m van de laagwaterlijn en 700 m van de zeedijk, bevindt er zich op de geulbodem van de getijgeul Appelzak een smalle, eveneens kustparallele zone, die niet uitdiept en met pozen wat aangroeit t.o.v. de diepteligging in 2000. De vorm en ontwikkeling ervan geeft aan dat ze voeding lijkt te ondervinden uit de kuststrook in Nederland tussen het Zwin en de monding van het Uitwateringskanaal in Cadzand. In deze strook wordt frequent gesuppleerd. Mogelijk treedt er ook tijdelijke voeding uit de suppletiezone van het strand in Knokke-Zoute op. Nog verder op zee bevindt zich de oostelijke voortzetting van de "tak 2", beschreven bij Knokke-Zoute. In deze kuststrook is de uitdieping er t.o.v. 2000 tussen een halve en één meter over een brede zone van de geulbodem van de Appelzak. Nog verder in zee, merken we t.o.v. 2000 opmerkelijke aangroei van de zandbank Paardenmarkt. T.o.v. 2000 is vooral de kruinzone van deze zandbank reeds meer dan één meter aangegroeid. De kruinzone breidt zich oostwaarts uit, in de richting van Cadzand. De hele bank migreert ook landwaarts. Dit laatste is vooral een fenomeen van de laatste 10 jaar. De landwaartse verplaatsing is over die periode tussen 50 en 60 m. De uitdieping van de getijgeul Appelzak kunnen we begrijpen als een morfologische respons op het landwaarts migreren van de Paardenmarkt, wat in combinatie met aanhoudende suppleties van het strand in Knokke-Zoute en in Cadzand leidt tot afnemende getijstroomsecties, waardoor de Appelzak uitdiept. Deze morfologische respons is verbonden met erosie door de getijstrooming. Aangezien in deze kuststrook, op de meest westelijke secties na, niet wordt gesuppleerd, kan hier ook de vooroever eroderen en landwaarts terugschrijden. De vooroever schrijdt meer achteruit dan de hogere vooroever, waardoor de vooroever hier ook merklijk steiler wordt.



Figuur 129 – Situatiekaartje kuststrook 51, Zwin. Kustlengte: 1590 m.

11.8 Strook 51 (secties 250-255): het kustdeel Zwin

Ligging van de strook: ze stemt overeen met het kustdeel "Zwin". De meest westelijke sectie 250 maakte nog deel uit van de grote suppletie van 1977-1979. Hierbij werd over een kuststrook van ca. 9 km,

ca. 8,5 miljoen m³ zand opgespoten, wat neerkomt op gemiddeld een toevoer per strekkende meter van bijna 950 m³/m. Dit werk situeert zich vóór de eerst beschikbare opmeting, waardoor de tijdsgrafieken starten op een "hoog" punt.

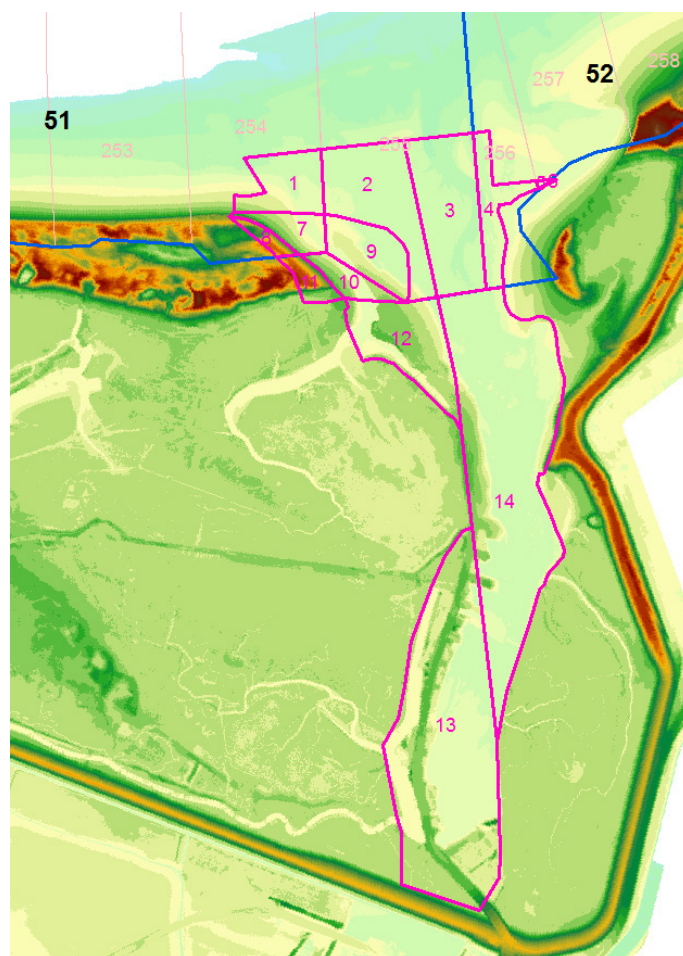
Er vinden geen badstrandophogingen plaats. In sectie 255 (en 256) bevindt zich de monding van de Zwingeul. De vrije verplaatsingen van deze geul over het strand en in de doorgang tussen de duinen zijn een van de redenen waarom secties 255 (en 256) grote jaarlijkse schommelingen in zandvolume vertonen.

Volgend op belangrijke duinafslag in 1993-1995 werd ter gelegenheid van onderhoudswerken in oktober-november 1995 aan de monding van de Zwingeul een aanvulling verricht aan de zeeduinglooiing in secties 252 en 253. Omdat het zand afkomstig was van het Zwinmondingsgebied, werd het beschouwd als een netto aanvoer van zand. Er werd 13.930 m³ zand aangevoerd over een lengte van 530 m.

Vanaf 2016 werd de reeds lang geplande uitbreiding van het slikken- en schorregebied van het Zwin ten uitvoer gebracht. Een ca. 120 ha groot poldergebied horend tot de Willem-Leopoldpolder werd met een nieuwe zeedijk omringd en begin 2019 vond de doorsteek van de oude Internationale Dijk plaats. Hierdoor worden de bij hoogtij overstroombare oppervlaktes aanzienlijk vergroot en zijn vanaf 2019 de volumes van het getijprisma sterk toegenomen, wat op zijn beurt grote gevolgen heeft voor de Zwingeul en de monding op het strand. Er wordt een grotere dynamiek verwacht en meer sedimentbewegingen. De meeste van die veranderingen zijn echter pas te merken na de voorjaarsvlucht van 2019 en worden afzonderlijk opgevolgd. In 2016 werd ook de duindoorgang van de geul vergroot door het afgraven van het duinuiteinde aan de Belgische zijde in secties 254 en 255. Hierbij werd het duin over een lengte van ongeveer 200 m en een breedte van vaak meer dan 100 m afgegraven. Deze werken vonden plaats tussen 1 augustus 2016 en 31 maart 2017. De hoogtemodellen tonen aan dat het gedeelte "afgraven" werd uitgevoerd tussen Voorjaar 2016 en Januari 2017. De werkzone valt niet samen met het deel binnen de sectiegrenzen. Daarom werden de hoeveelheden ten behoeve van de correctie van de volumereeks bepaald op basis van kuberingen van de beschikbare hoogtemodellen VJ 2016 (2016_1), NJ 2016 (2016_2) en STORM 2017 (2017_0), enkel binnen de sectiegrenzen. Ook het deel van de afgraving landwaarts van de sectiegrenzen werd bepaald. De som van alle hoeveelheden in de hoogteschijf "duin" komt goed overeen met het door de aannemer gerapporteerde afgegraven volume van 124.986,83 m³. Er is echter ook heel wat afgegraven in de hoogteschijf van het droogstrand; die volumes zijn evenwel vervat in de gerapporteerde volumes "afgraven geul" (311.393,73 m³ op Belgisch grondgebied en 216.313,71 m³ zand + 91.388,56 m³ slappe specie op Nederlands grondgebied), die ook voor een groot gedeelte op werken ten zuiden van de sectiegrens slaan. Dat deel van het werk moet ook als een netto uitvoer uit de sectie worden beschouwd en de cijfers voor de correctie van de volumereeks werden eveneens afgeleid uit de waargenomen volumeverschillen tussen de hoogtemodellen. Het zand werd aangewend voor de nieuwe Zwindijk. De resultaten staan in *Tabel 51*.

Tabel 51 – Volumeveranderingen bij de afgraving van de duinenrij aan de Belgische zijde van de Zwingeul in 2016
Enkel deel van volume binnen de sectiegrenzen.

plaats en tijd	deelgebieden (<i>Figuur 130</i>)	hoogtezone	waargenomen volumeverschil [m ³]
sectie 254, ts 2016_1 en 2016_2	1	ds	-11500
sectie 255, ts 2016_1 en 2016_2	2	ds	-92000
sectie 254, ts 2016_1 en 2016_2	7	duin	-33100
sectie 255, ts 2016_1 en 2016_2	9	duin	-61000
sectie 254, ts 2016_2 en STORM 2017	7	ds	-16000
sectie 255, ts 2016_2 en STORM 2017	9	ds	-27200
samengenomen voor kuststrook 51			
wanneer		strook, strand	volume [m ³]
ts VJ 2016 en NJ 2016	1, 2, 7, 9	STROOK 51	-197600
ts NJ 2016 en STORM 2017	7, 9	STROOK 51	-43200

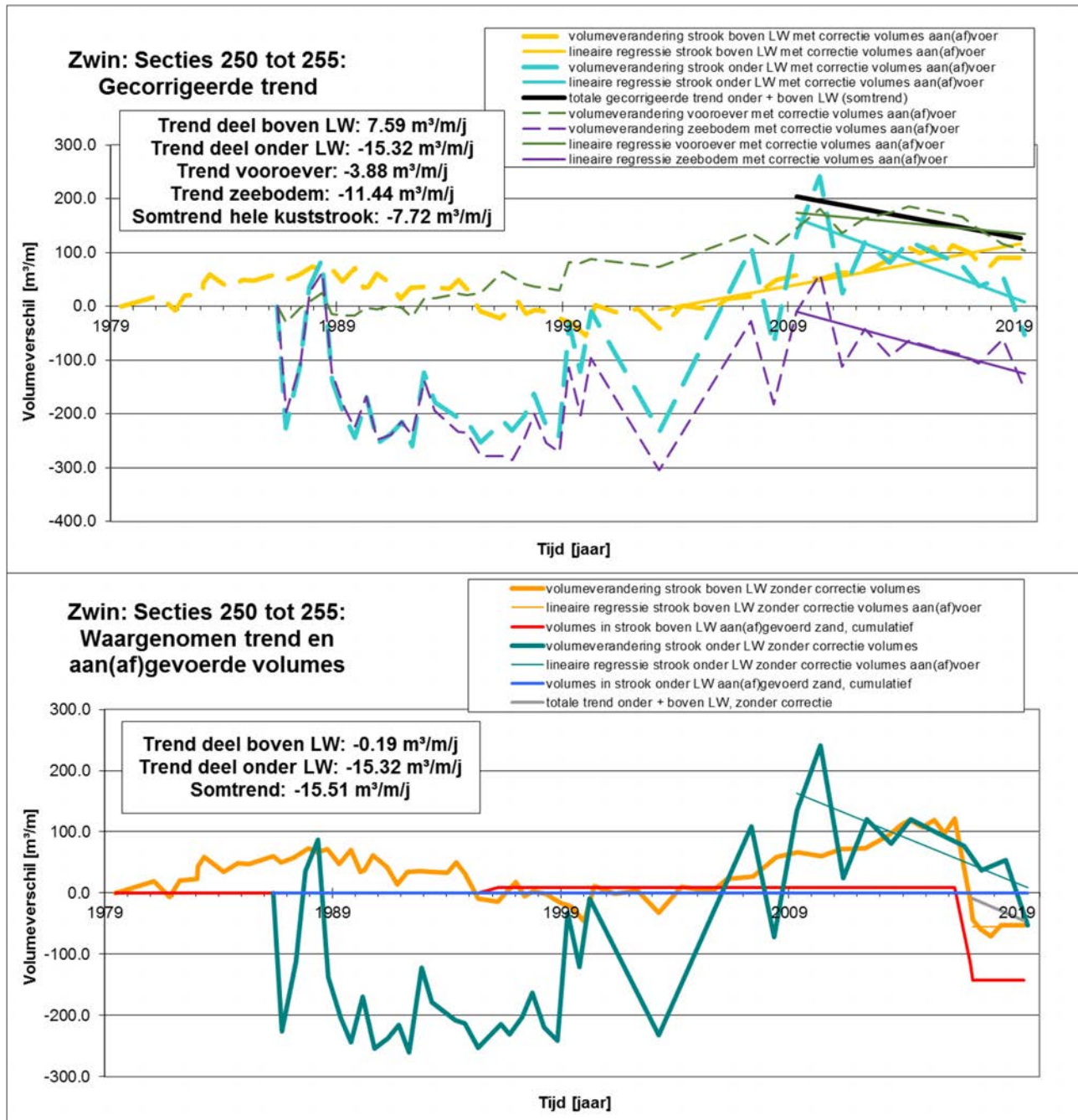


Deelgebieden omlind en genummerd in magenta. Achtergrond: hoogteligging bij de opname STORM 2017 (2017_0).

Figuur 130 – Deelgebieden gebruikt bij de verdeling van de afgravingen van de duinen en de Zwingeel in 2016 over de kuststroken en hoogtelagen.

In dezelfde periode werden ook grote uitgravingen gedaan aan de schorrerand en in de Zwingeel (deelgebieden 12, 13 en 14 in *Figuur 130*). Deze werken hadden volledig buiten de omgrenzing van de strandsecties plaats. Ook dit zand werd verwerkt in de nieuwe Zwindijk.

Morfologische ontwikkeling van deze kuststrook: er was op het deel boven LW aangroei tussen 1979 en 1987, met $+7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$. Men kan hierin de invloed zien van de grote suppletie van 1977-1979 te Knokke-Heist, die gevolgd werd door snelle erosie aldaar. Blijkbaar profiteerde dit gebied net ten oosten van de suppletiestrook van die erosie. Naar verluidt is in die periode ook versnelde verzanding van de Zwinschorre opgetreden. Nadien, tussen 1987 en 2000, keerde de trend om en trad er erosie op. Gemiddeld bedroeg het afslagcijfer $-7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$. Op die manier ging alle winst van de vorige periode verloren. In de jaren die erop volgden, trad een trendomslag op. Vanaf 2003 tot 2014 werd opnieuw groei opgemeten. Corrigeert men voor de duinafgraving van 2016, dan vindt men een trend van $+7,6 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (standaarddeviatie op de trend: $0,8 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$). Door de duinafgraving is het volume in de kuststrook op een minimum, onder het niveau van 1979. De aangroei van 2003 tot 2014 heeft zich voornamelijk aan de duinvoet voorgedaan. Bovendien groeide vaak een zandtong in sectie 255 ter hoogte van het droogstrand uit in de richting van de Zwingeel. De stroming van de geul nam het aangeboden zand mee. Wat deze tijdelijk aangroei betreft, ligt het voor de hand als bron van het zand de suppletiezone in Knokke-Zoute te zien, maar de timing en de ruimtelijke ontwikkeling van de morfologische veranderingen geeft hierover geen uitsluitsel.



Figuur 131 – Evolutie van de zandvolumes in kuststrook 51. Kustlengte: 1590 m.

Op het deel onder LW is er geen eenduidige trend. Er zijn grote schommelingen in volume van opname tot opname, die vanwege hun karakter als geïsoleerde pieken eerder op meetonzekerheden dan op ware morfologische veranderingen wijzen. Er lijkt een aangroeitendens te hebben bestaan tussen 1998 en 2010, waarna die opnieuw is omgeslagen in erosie.

Ruimtelijk zijn er wel enkele duidelijke morfologische processen op te merken. De vooroever van de kuststrook kende een sterke aangroei in de genoemde periode van 1998 en 2010, en nogmaals kortstondig in 2012-2013. Tussenin en nadien verdwijnt de aangroei. De vorm van de aangroeizone en haar ruimtelijke ontwikkeling suggereren een aanvoer vanaf het strand tussen de Zvingeul en het Uitwateringskanaal, dus vanuit het oosten. Dit gaat wat tegen onze kustmorfologische intuïtie in, die ons steeds verschuivingen van zuidwest naar noordoost laat verwachten. Lokaal speelt zeker de wat afwijkende vorm van de kust

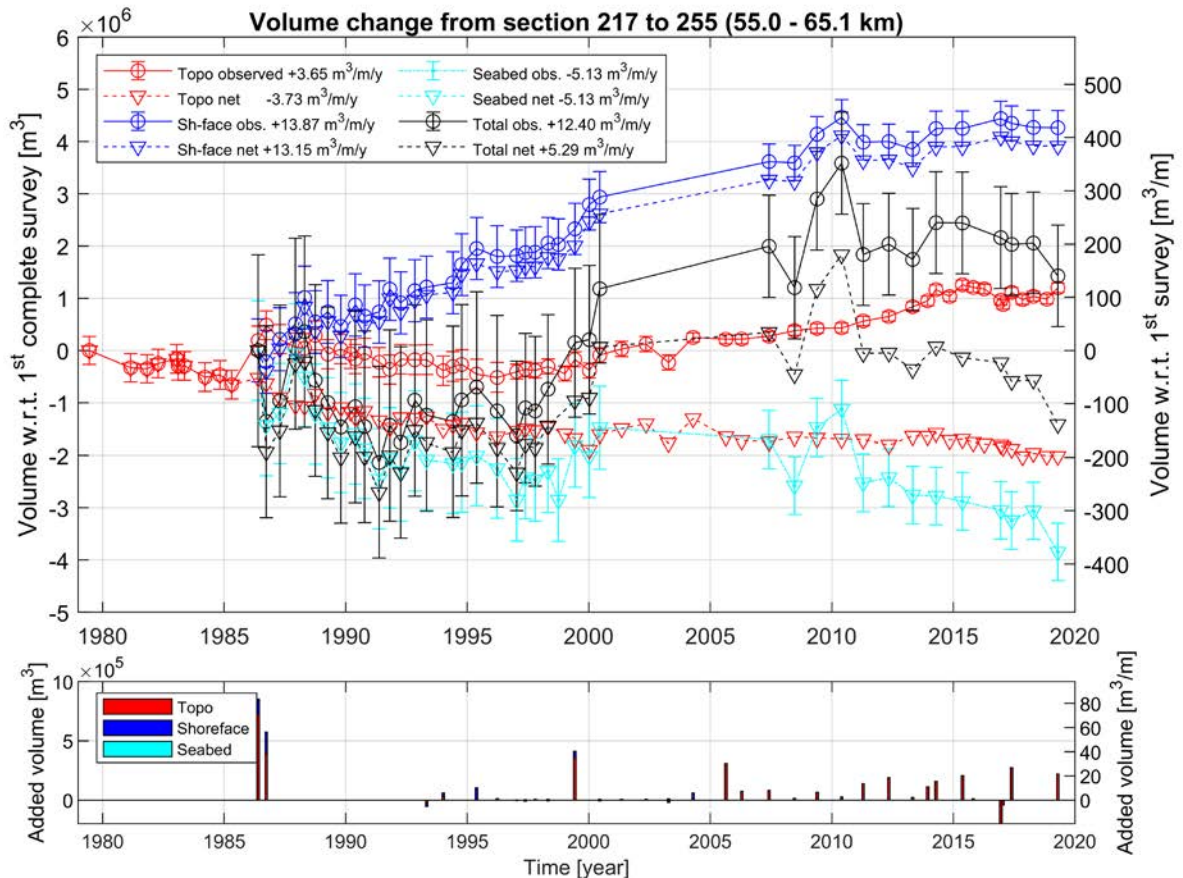
(kuststrook 51 vormt enigszins een baai t.o.v. de omgevende stranden) en verder is er in Cadzand na suppletie ook rond de laagwaterlijn voldoende aanbod van zand dat de ebstream kan meenemen in westelijke richting. Deze aangroei is in "morfologische competitie" met de erosiezone op de vooroever, die we ontmoetten bij kuststrook 50 en die zich tijdelijk uitbreidt in kuststrook 51. De conclusie is wel duidelijk: niet suppleren van de stranden in Knokke-Zoute en Cadzand zou verdere erosie van de vooroever tot gevolg hebben. Zeewaarts van het tijdelijk aangroei gebied diept de bodem van de getijgeul Appelzak uit. De laatste jaren is er een verbinding van het uitdiepingsgebied met de "tak 2" (zie bij kuststrook 49, Knokke-Zoute) tot stand gekomen, waardoor de dynamiek in deze kuststrook aansluit bij de grootschalige, regionale evolutie. En eveneens zien we reeds sinds 2000 een geleidelijke, maar systematische oostelijke uitbreiding en lichte landwaartse migratie van de zandbank Paardenmarkt. Het kruingebied van de Paardenmarkt bevindt zich ter hoogte van de zeewaartse sectiegrens van kuststrook 51. De aanwas sinds 2000 loopt er op tot 1 à 1,5 m. Het laatste decennium gaf de landwaartse verplaatsing van de landwaartse flank van de zandbank met ongeveer 40 m te zien.

11.9 Overzicht van de morfologische evolutie voor zone 5 (kuststroken 44 tot en met 51, van Zeebrugge tot het Zwin)

Figuur 132 geeft de tijdsgrafiek van de volumes gecumuleerd voor alle kuststroken in zone 5 weer.

Het grootste gedeelte van duinaanzet, strand en hogere vooroever in deze kustzone onderging in 1977-1979 een grote strandsuppletie, die werd uitgevoerd om verwachte ontzanding na de uitbouw van de voorhaven van Zeebrugge (1977-1986), die het langstransport van zand volledig zou onderbreken, tegen te gaan. In het begin van de 20^e eeuw had men reeds sterke ontzanding van de Oostkust waargenomen na de aanleg in 1896-1907 van het Leopold II-havenhoofd (môle), de eerste havendam in Zeebrugge. In 1977-1979 werd in twee grote werkfasen over een kuststrook van ca. 9 km ca. 8,5 miljoen m³ zand opgespoten, wat neerkomt op gemiddeld een toevoer per strekkende meter van bijna 950 m³/m. Dit werk situeert zich vóór de eerst beschikbare opmeting in de volumetijdreeksen, waardoor de tijdsgrafieken starten op een "hoog" punt. Voor de kustzone in haar geheel bekeken, namen de zandvolumes van het deel boven LW af tussen 1979 en 1985. De erosie was vooral gelokaliseerd in kuststrook 49, Knokke-Zoute. In 1986 werd daar voor het eerst een aanvullingssuppletie uitgevoerd. Deze bracht het zandvolume ongeveer terug op het peil van 1979. Er volgde opnieuw erosie, ook weer voornamelijk gesitueerd in Knokke-Zoute. Vanaf het jaar 1999 werden de suppletie-inspanningen hervat. Geleidelijk kwam het zandvolume in de kustzone boven het peil van 1979. De inspanningen werden nog opgedreven, voornamelijk in uitvoering van het Masterplan Kustveiligheid. Hierdoor is het volume van het deel boven LW thans in 2019 gestegen tot gemiddeld ongeveer 100 m³/m boven het peil van 1979. Dit heeft wel de toevoer van ongeveer 300 m³/m kustlengte zand gevegd. Slechts een derde van de toevoer is in de laag boven LW gebleven.

Het volume van de vooroever kende een sterke stijging tussen de eerste vooroeverloding, 1986, en 2010. De aangroei is bijna uitsluitend te situeren in de luwte ten oosten van de voorhaven van Zeebrugge. Hier ontwikkelde zich een zandplaat, de "Plaat van Heist", die sinds ongeveer 2010 bij laagwater droog komt. De aangroei was het gevolg van een natuurlijk proces en vereiste geen aanvoer van zand door werken. Als bronrichting van de zandaanvoer lijkt, gelet op het algemene stromingspatroon, het transport met de vloedstroom rond de voorhaven van Zeebrugge een belangrijke component; tevens is aanvoer met de ebstream uit de Appelzak een mogelijke aanvoerrichting, al wijst de evolutie van de vooroever- en zeebodem morfologie op wisselingen doorheen de tijd (nu eens aangroei, dan weer erosie).



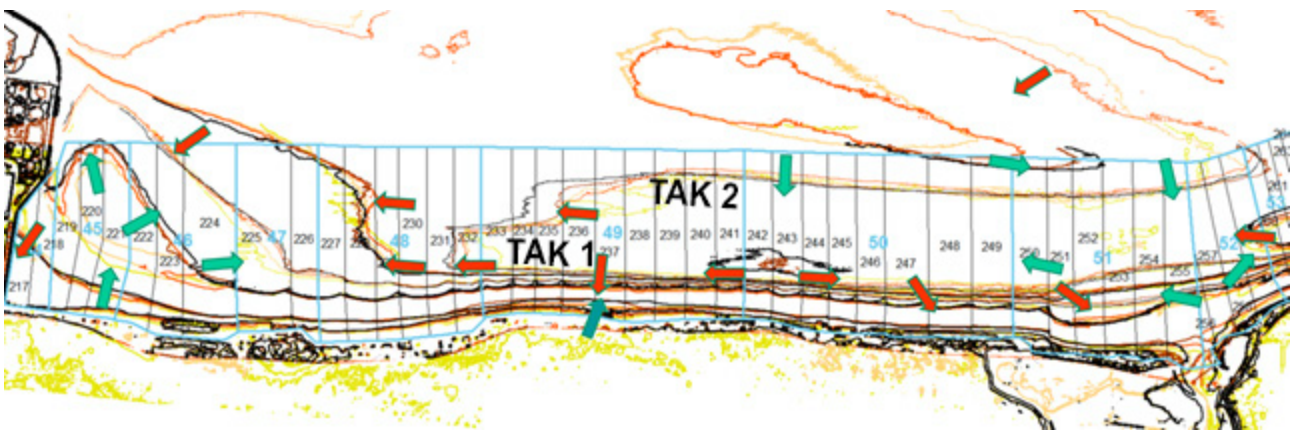
Figuur en berekeningen: Bart Roest, KULeuven. Deze grafiek bevat de som van de waargenomen (volle lijnen) en gecorrigeerde (streepjeslijnen) volumes per hoogtezona "boven LW" (rood), "vooroever" (blauw), "zeebodem" (cyaan) en voor het totale gebied (zwart) van alle kuststroken in zone 5. Tevens werden in de figuur onderaan, met een eigen verticale schaal, de aangevoerde (positief) of afgevoerde (negatief) zandvolumes weergegeven. Alle cijfers kunnen afgelezen worden als volumes (linkse verticale as) of als cijfers gedeeld door de totale kustlengte van de zone (rechts verticale as). De verticale strepen geven de onzekerheid op de meting aan, bepaald uit de fout op de hoogtemeting vermenigvuldigd met de oppervlakte van de meetzone. Tevens is de trend over de volledige waarnemingsperiode berekend en weergegeven in de legende.

Figuur 132 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de zone 5, van Zeebrugge tot de Zwingel.

Sinds 2010 neemt het vooroevervolume niet meer verder toe. De Plaat van Heist groeit nog wel verticaal en in de richting van het strand, maar aan de zeezijde kent ze sinds 2010 erosie. De zandplaat is waarschijnlijk de oorzaak van lokale strandaangroei tijdens de twee recentste decennia in secties 220-223. Ze breekt immers de golfenergie. Aan haar oostzijde wordt de zandplaat met wisselend morfologisch succes aangesneden door een stroomgeul net zeewaarts van de vooroever ("tak 1" van de Appenzak, zie ligging in *Figuur 133*). Wellicht bepaalt zandaanvoer van rond de voorhaven het tijdelijk terugdringen van deze stroomgeul.

De zeebodem kende twee fasen van sterke erosie: enerzijds tussen 1986 en 1995 en anderzijds tussen 2010 en 2019. Beide fasen zijn gescheiden door 15 jaar met omzeggens stabiele volumes. Het gaat vooral om uitdieping van de getijgeul Appenzak. Althans sinds 2000 gebeurt de uitdieping voornamelijk in twee kustparallele stroken. De meest landwaartse "tak 1" (*Figuur 133*) breidt zich tijdelijk uit tot in de Plaat van Heist. De meest zeewaartse "tak 2" maakt de laatste jaren verbinding met een erosiezone op de zeewaartse flank van de Plaat van Heist. De zeewaartse sectiegrens ligt ter hoogte van de zandbank Paardenmarkt. Deze verlengt zich in oostelijke richting naar Cadzand toe en de landwaartse flank groeit ook in de richting van de kust, ruwweg 50 m sinds 2000.

Een aantal elementen in de ontwikkeling van de Appellakgeul wijst op het wisselend morfologisch overwicht van de vloed- en de ebstroom. De beschikbaarheid van zand is bepalend voor welke component tijdelijk wint. Zo zien we na strandsuppletie in Cadzand een aangroei optreden op de vooroever van kuststrook 51, die tijdelijk ook nog een uitloper naar het westen krijgt, iets verder in zee ter hoogte van kuststrook 50. De aangroei valt stil wanneer er niet gesuppleerd wordt, en de aangroeizone ondergaat in die perioden erosie. En ter hoogte van kuststroken 45 en 46 (Heist) breidt zich de erosiegeul "tak 1", parallel met de kust en net voor de vooroever gelegen, met wisselend "succes" uit tot in de zandplaat "Plaat van Heist". Wellicht is ook hier de in de tijd variërende aanvoer van zand omheen de voorhaven van Zeebrugge bepalend voor welk morfologisch proces tijdelijk wint.



Schematische aanduiding met dikke pijlen van de verschuiving van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019. De pijlen geven de verplaatsingsrichting van de hoogtelijnen weer, en dus niet de richting van het eigenlijke sedimenttransport. Rood: natuurlijke erosie, lichtgroen: natuurlijke sedimentatie, donkergroen: aangroei rechtstreeks volgend op zandaanvoerwerken. Hoogtelijnen boven 0 m TAW om de 4 m; beneden 0 m TAW om de 2 m. Geel: 2000, oranje: 2007, rood: 2011, bruin: 2015, zwart: 2019. Kuststroken omlijnd in blauw, secties in zwart. Een grotere versie van deze kaart bevindt zich in bijlage 6.

Figuur 133. – Verplaatsing van de hoogtelijnen tussen 2000 en 2019, kustzone Zeebrugge – Nederlandse grens.

12 Conclusies

De morfologische evolutie van de Vlaamse kust is in dit rapport bijgewerkt tot Voorjaar 2019. De bijwerking maakt gebruik van alle meetvluchten sinds de vorige rapportage tot Voorjaar 2011 (Houthuys, 2012). Er werden thans 15 bijkomende vluchten en 17 bijkomende lodingen verwerkt. De opnamen werden uitgewerkt tot hoogtemodellen waarbij veel zorg werd besteed aan de volledige bedekking van de opnamezones en het vermijden van randeffecten. Uit de hoogtemodellen werden t.o.v. de referentie-opname verschilvolumes afgeleid per hoogtelaag (duin, droogstrand, natstrand, vooroever en zeebodem) en per sectie (de Vlaamse kust ligt volledig omvat in de groep secties van 2 tot en met 255; haveningangen beschermd door dammen of golfbrekers vallen buiten de secties). Zij werden vervolgens gecumuleerd per kuststrook (groep bijeen liggende secties met een gelijkaardige morfologische ontwikkeling; de Vlaamse kust wordt bedekt door 51 kuststroken). Tevens werden alle gegevens verzameld i.v.m. door de mens uitgevoerde werken die de morfologische ontwikkeling beïnvloeden: badstrandophogingen, suppleties, onderwatersuppleties, zandwinnings, afgravingen, baggerwerken. Na 2011 volgde een periode met veel ingrepen, zowel in aantal als in het betrokken volume. De waargenomen volumes per kuststrook van de eerste opname na een dergelijke ingreep werden gecorrigeerd met de volumes betrokken bij de ingreep: zandaanvoer werd in mindering gebracht, zandafvoer werd bijgeteld. Op die manier werd een "gecorrigeerde" of "autonome" tijdreeks verkregen per kuststrook. Bij de interpretatie werd er rekening mee gehouden dat in gebieden met een grote morfologische dynamiek, waar bij herhaling zand wordt toegevoegd of verwijderd, een overdreven gecorrigeerde trend wordt verkregen. Inderdaad, mocht er na een sterke afslag niet telkens worden bijgesuppleerd, dan zou de erosie in de tijd geleidelijk afnemen naar een (allicht, wat kustveiligheid betreft, te laag liggend) evenwicht. De gecorrigeerde trend is in die gebieden dus niet volledig relevant, maar de "correctie" is wel nodig om sluitende sedimentbudgetten te verkrijgen: bij herhaling afgeslagen zandvolumes blijven wel deels aanwezig in het kuststelsel, op andere locaties. Er zijn ook sedimentbudgetten opgesteld per kustzone, die een reeks aanpalende kuststroken bevat. De grenzen van de kustzones zijn indien mogelijk gekozen bij havendammen, die belangrijke barrières vormen voor het kusttransport. De cijfers per kustzone zijn de sommaties per opname van de cijfers van de kuststroken die de zone opbouwen.

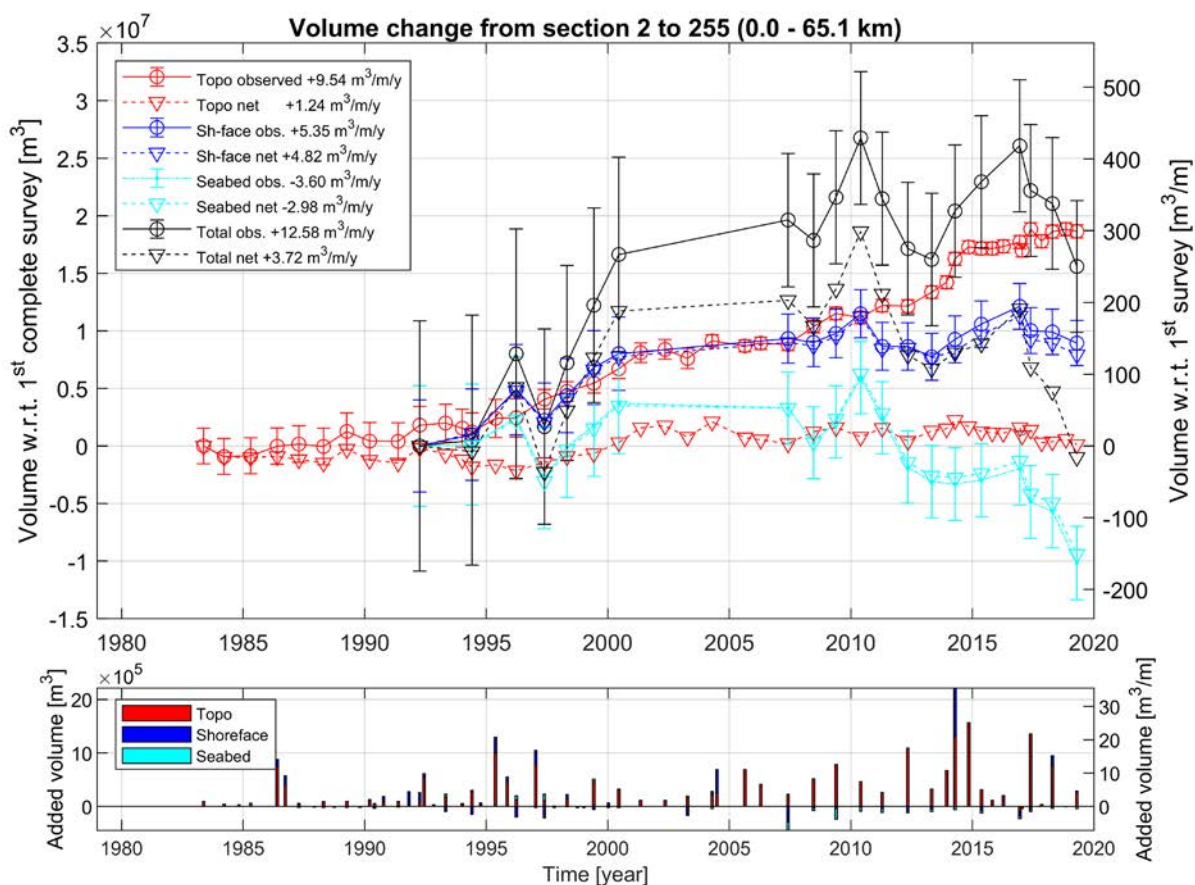
De uitbreiding van de reeks hoogtemodellen en volumecijfers leidt tot een continue dataset van hoge kwaliteit, met goede dekking van de hele kustzone in ruimte en in tijd die, afhankelijk van de plaats, 27 tot 40 jaren bestrijkt. Hierdoor kunnen heel wat uitspraken over de morfologische ontwikkeling van de kust met meer zekerheid dan voorheen worden gedaan.

12.1 Voornaamste morfologische conclusies

Het strand en de duinaanzet vertonen, voor het geheel van de Vlaamse kust genomen, een sterke toename in volume. De stijgende trend is continu in de tijd, maar kende versnellingen tussen 1992 en 2000 (voornamelijk door de grote suppletiewerken tussen Bredene en Wenduine) en tussen 2012 en 2015 (grotere suppletieinspanningen na de goedkeuring van het Masterplan Kustveiligheid). De hele waargenomen toename sinds 1985 is te verklaren door zandaanvoerwerken. Dankzij de zandaanvoer is gemiddeld genomen over heel de kust het zandvolume ongeveer $300 \text{ m}^3/\text{m}$ zwaarder dan in 1985. Dit stemt overeen met een substantiële verbetering van het algehele kustveiligheidsniveau. Opmerkelijk is ook dat vrijwel alle aanvoer in de hoogtelaag boven laagwater gebleven is, weliswaar niet steeds in de badplaatsen waar de concrete suppleties plaatsvonden.

Houden we er rekening mee dat de zeespiegel gemiddeld met $2,4 \text{ mm/jaar}$ steeg (Ozer et al., 2019), of met een kleine 9 cm over 36 jaar, dan zou heel benaderend berekend ($0,09 \text{ m}$ in hoogte x 400 m gemiddelde breedte van strand en duinaanzet) een toename met $36 \text{ m}^3/\text{m}$ nodig zijn om een groei mee met de zeespiegel te realiseren. De waargenomen groei is meer dan 8 maal groter, maar zonder zandaanvoer zou het

zandvolume wellicht ongeveer constant gebleven zijn, wat t.o.v. de waargenomen zeespiegelstijging een relatieve vermindering zou betekend hebben.



Figuur en berekeningen: Bart Roest, KULeuven. Deze grafiek bevat de som van de waargenomen (volle lijnen) en gecorrigeerde (streepjeslijnen) volumes per hoogtezona "boven LW" (rood), "vooroever" (blauw), "zeebodem" (cyaan) en voor het totale gebied (zwart) van alle kuststroken in zone 4. Tevens werden in de figuur onderaan, met een eigen verticale schaal, de aangevoerde (positief) of afgevoerde (negatief) zandvolumes weergegeven. Alle cijfers kunnen afgelezen worden als volumes (linkse verticale as) of als cijfers gedeeld door de totale kustlengte van de zone (rechts verticale as; totale kustlengte gehanteerd voor deze figuur is gemeten op de vooroever/zeebodem en bedraagt 62342 m. Telt men er de kustlengte van de voorhavens van Zeebrugge bij, dan komt men aan 65,1 km). De verticale strepen geven de onzekerheid op de meting aan, bepaald uit de fout op de hoogtemeting vermenigvuldigd met de oppervlakte van de meetzone. Tevens is de trend over de volledige waarnemingsperiode berekend en weergegeven in de legende.

Figuur 134 – Evolutie van de gecumuleerde volumes voor de hele Vlaamse kust.

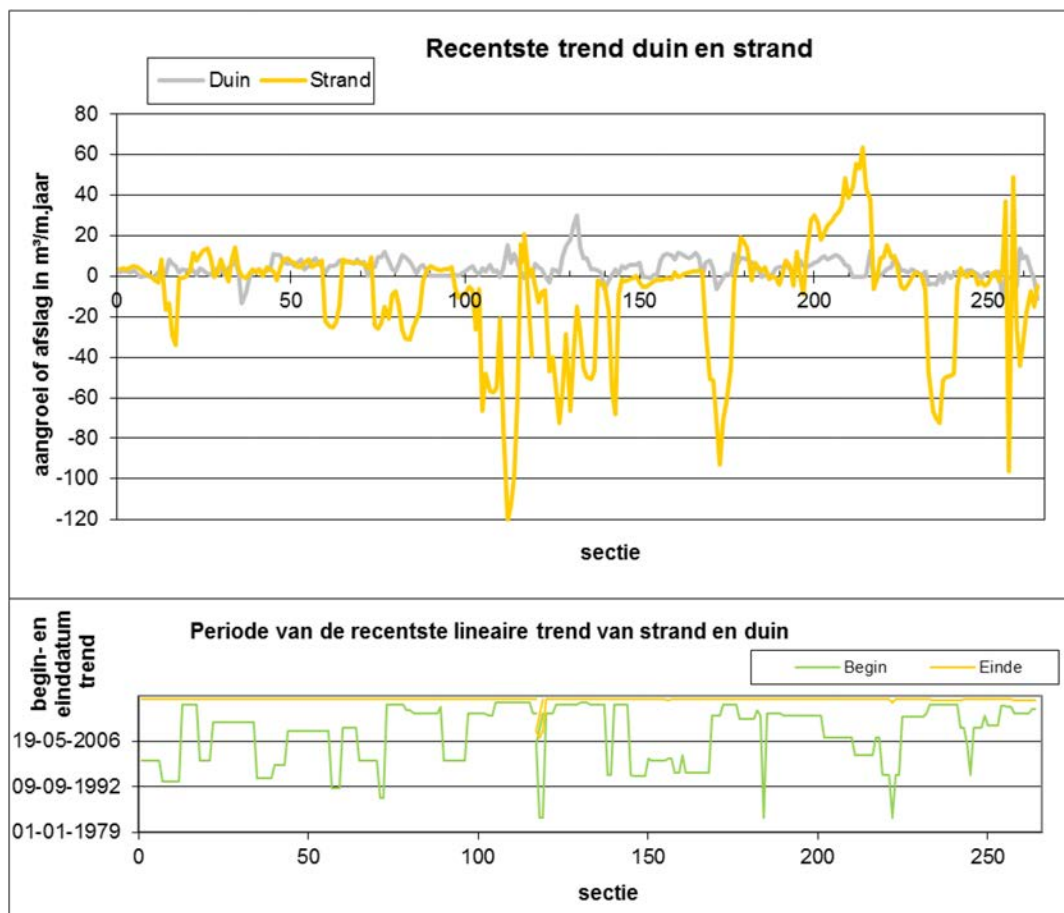
Veel van de aangroei in de laag boven laagwater is opgenomen in de duinlaag. Eolische groei van de zeeuerende duinen heeft baat gehad bij de grotere breedte van de stranden (Strypsteen, 2019). De opname in de duinengordel betekent een onttrekking aan de actieve zone en kan daardoor beschouwd worden als een zandreserve in het kader van kustveiligheid "in tweede orde", die pas wordt aangesproken bij duinafslag.

De vooroever heeft een sterke groei gekend tussen 1992 en 2000, gevolgd door een stabiele periode, weliswaar met schommelingen in het volume binnen de betrouwbaarheidsmarge aangegeven door de meetfout. Het grootste deel van de aangroei is natuurlijk. Op schaal van de hele Vlaamse kust moet de bron van het zand wel in zee liggen. Lokaal zal er wel voeding vanaf gesuppleerde stranden zijn opgetreden. Veel van de vooroeveraangroei situeert zich rond Zeebrugge.

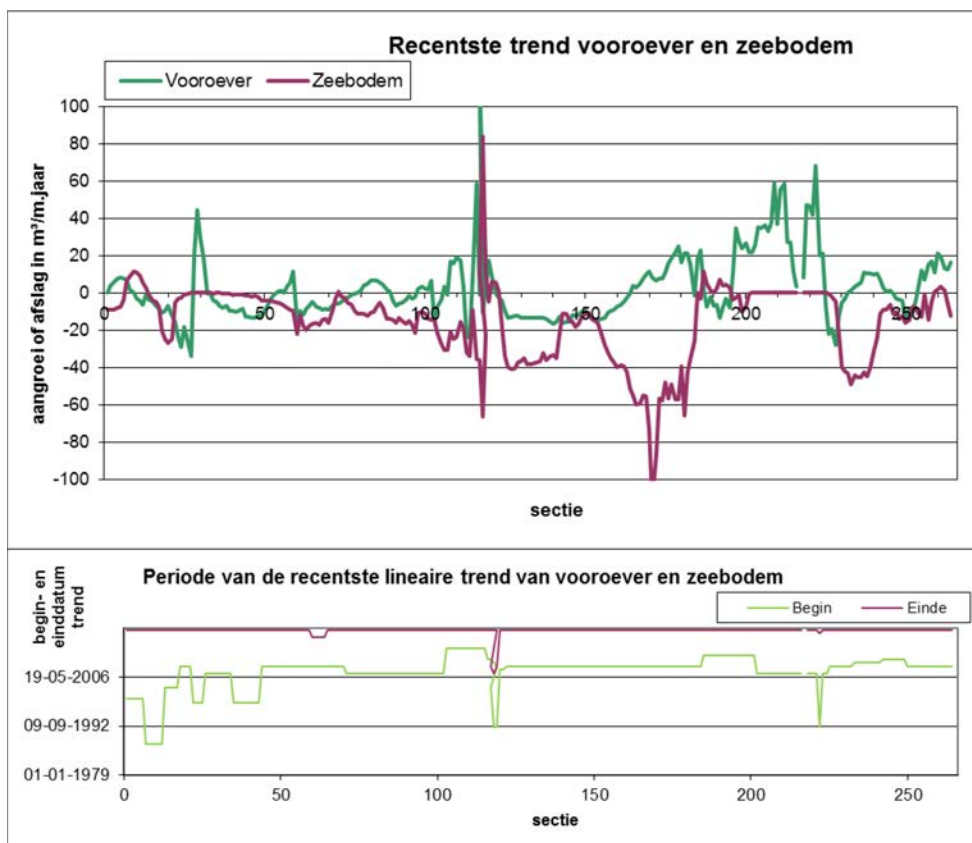
Bij de zeebodem zien we sterke erosie vanaf 2010. De diverse hoogteverschilkaarten tonen aan dat het de getijgeulen voor de kust zijn, die uitdiepen. Ook omvat de afnametrend een belangrijke bijdrage van het aanleg- en onderhoudsbaggerwerk van de vaargeul naar Oostende, aangelegd in 2009-2010.

Figuur 137 en *Figuur 138* geven een overzicht van de waargenomen, respectievelijk gecorrigeerde recentste lineaire volumetrend per kuststrook, voor het deel boven en het deel onder laagwater. Met "recentste lineaire trend" wordt bedoeld: de zo lang mogelijk genomen, recente periode na een natuurlijke trendverandering of na een groot werk dat de zandhoeveelheden in een sectie of kuststrook beïnvloedt, zoals een grote suppletie. Deze periode moet minimaal 3 opnamen beslaan. Indien er bv. een suppletie is uitgevoerd in 2018, dan zijn er geen 3 opnamen beschikbaar na die suppletie, en wordt de "recentste lineaire trend" vóór die suppletie bepaald en weergegeven. De periode van de "recentste lineaire trend" is weergegeven in de grafiek onderaan bij de vier volgende figuren. Hierbij is *Figuur 137* gebaseerd op de samentelling van de trends per sectie, waarvan het overzicht voor de hele Vlaamse kust voor het deel boven laagwater en onder laagwater respectievelijk in *Figuur 135* en *Figuur 136* is weergegeven.

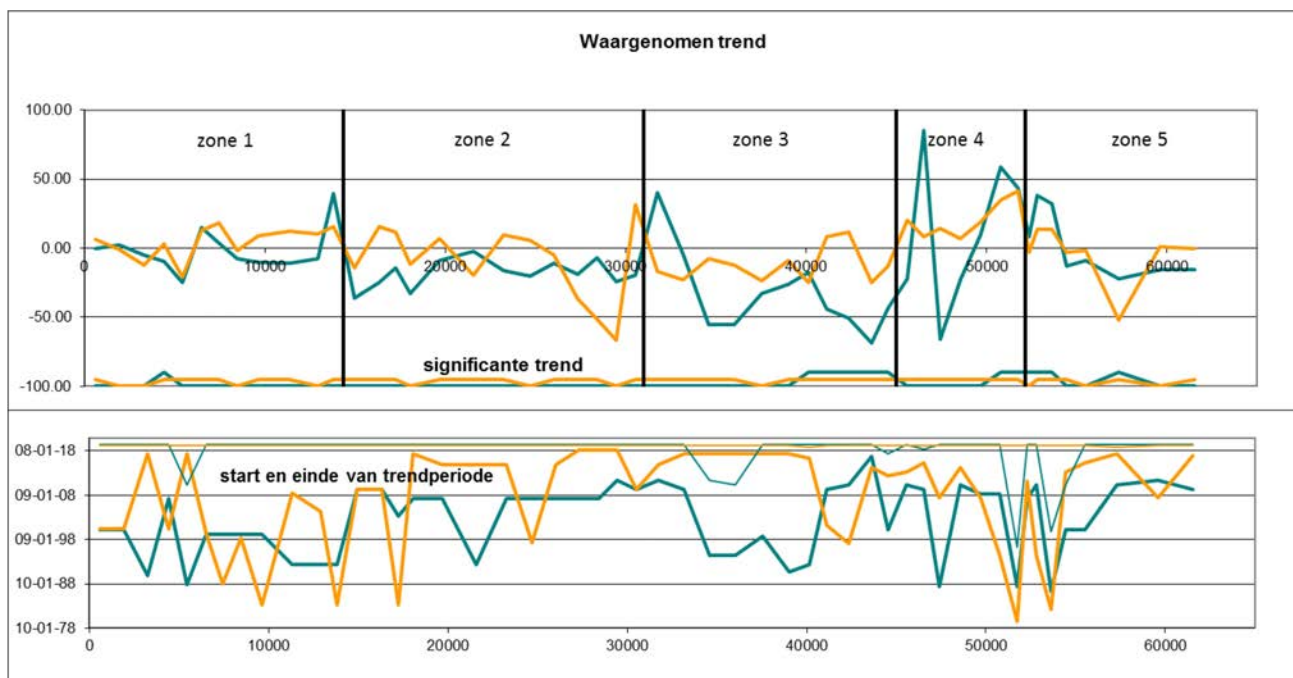
Veralgemeend is er van de Franse grens tot Zeebrugge een verandering, in de waargenomen trends (*Figuur 135*, *Figuur 136* en *Figuur 137*), van min of meer stabiliteit naar toenemende erosie. De sterkste strandafslag zien we na de recentste suppleties in Oostende-Centrum en Knokke-Zoute. Hier is de periode waarover de trend berekend is, kort, en de cijfers geven dan ook de initiële afslag weer. De erosietrend van het gedeelte onder laagwater bereikt maximale waarden rond Wenduine en Blankenberge.



Figuur 135 – Overzicht per sectie van de waargenomen recentste lineaire trend, deel boven laagwater. Gegevens in bijlage 3.



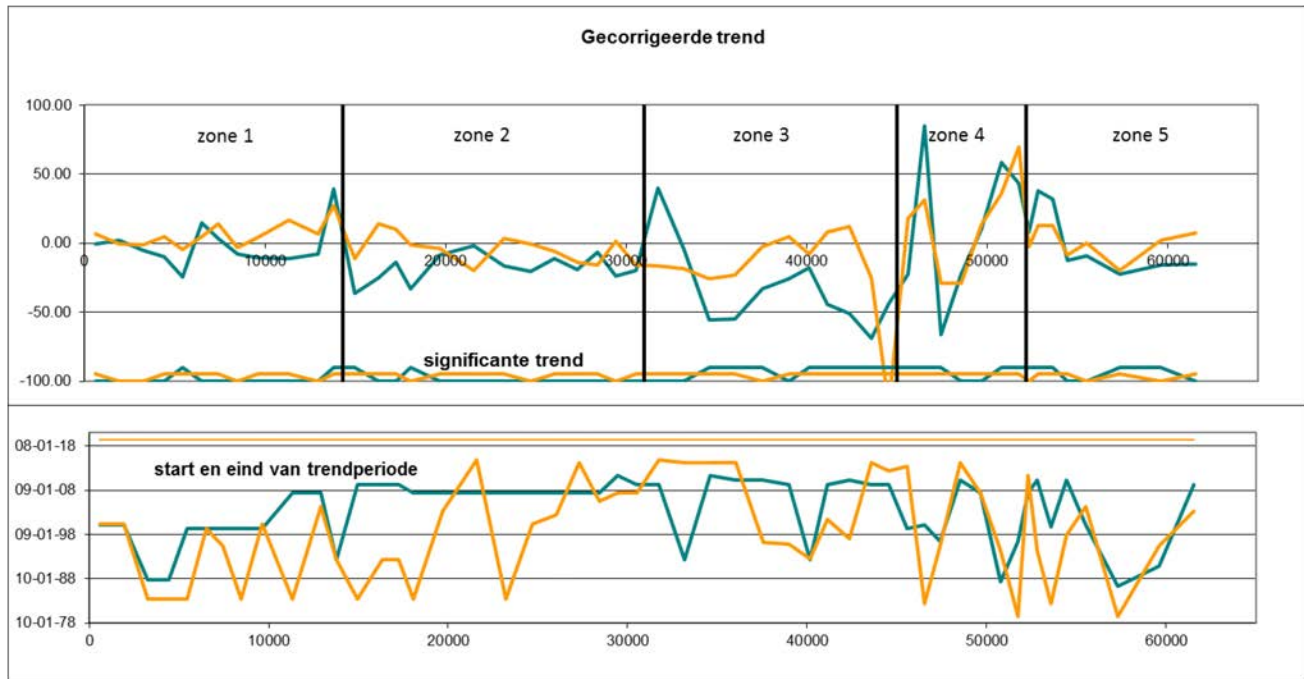
Figuur 136 – Overzicht per sectie van de waargenomen recentste lineaire trend, deel onder laagwater. Gegevens in bijlage 3.



Verticale as: aangroei (+) of afslagtrend (-) in $m^3/m/jaar$. Horizontale as: afstand in meter vanaf de Franse grens (enkel strand; de breedte van de havens is niet meegeteld). Grafieken in oranje: deel boven LW. Grafieken in turquoise: deel onder LW.

Figuur 137 – Overzicht van de recentste (indien verschillend van de gecorrigeerde) of vorige (indien er in de kuststrook geen zandaanvoer of -afvoer plaatsvond, én de trend is gewijzigd) lineaire trend van de **waargenomen** volumes per kuststrook (gegevens in Tabel 5). De concrete berekeningsperiode is grafisch weergegeven in de onderste grafiek en is ook vermeld in Tabel 5.

Bekijken we de voor zandaanvoer of -afvoer gecorrigeerde trends, en enkel de recentste lineaire trend (de periode kan verschillen van badplaats tot badplaats) (*Figuur 138*) dan blijkt ook hier duidelijk de geografische evolutie van min of meer stabiliteit in zone 1 naar sterke erosie rond de overgang van zone 3 naar zone 4. De uitschieter van (gecorrigeerde) stranderosie is het badstrand van Wenduine. De gecorrigeerde trend is daar afslag groter dan $100 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$. Hier wordt dan ook zeer frequent gesuppleerd. Voor het deel onder laagwater zijn er aangroepieken rond de grote havens. Een lokaal sterk positieve piek in het westen van zone 4 wordt gecompenseerd door de aanpalende sterk negatieve piek. De pieken zijn veroorzaakt door enerzijds het baggeren van de toegang naar de haven van Blankenberge, anderzijds het lossen van de baggerspecie op de vooroever van Blankenberge.



Verticale as: aangroei trend (+) of afslagtrend (-) in $\text{m}^3/\text{m}/\text{jaar}$. Horizontale as: afstand in meter vanaf de Franse grens (enkel strand; de breedte van de havens is niet meegeteld). Grafieken in oranje: deel boven LW. Grafieken in turquoise: deel onder LW.

Figuur 138 – Overzicht van de recentste lineaire trend van de voor zandaanvoer en -afvoer **gecorrigeerde** volumes per kuststrook (gegevens in *Tabel 4*).

Hieronder volgen de voornaamste conclusies inzake de morfologische ontwikkeling van de Vlaamse kust, gespecificeerd per gebied van west naar oost.

In zone 1, van de Franse grens tot de IJzermondig, is het deel boven laagwater t.o.v. 1983 aangegroeid met gemiddeld $290 \text{ m}^3/\text{m}$. Drie vierde van deze groei is afkomstig van natuurlijke aanvoer uit zee. De zone kent dus natuurlijke voeding. In het deel onder laagwater wordt, althans sinds 2000, een stelselmatige verschuiving van het systeem getijgeul Het Potje – zandbank Broers Bank naar het oosten opgemerkt aan een gemiddelde snelheid van 15 à 20 m/jaar. De grote onderwaterduinen met kammen loodrecht op de kustlijn die zich op het topvlak bevinden, verschuiven ook naar het oosten en bevestigen aldus de zandverplaatsing met de vloedstroom. Verwaest et al. (2020) formuleren de hypothese dat het zandtransport verbonden met de bewegingen van de Broers Bank ook het pad zijn van een permanente toevoer vanuit zee naar het strand.

In zone 2, van de IJzermondig tot de haven van Oostende, is de groei van het deel boven laagwater t.o.v. 1983 volledig te danken aan zandaanvoer, waarvan slechts een klein gedeelte uit dat deel boven laagwater verdween: het strand is nog gemiddeld $300 \text{ m}^3/\text{m}$ groter dan in 1983 tegenover een gemiddelde totale aanvoer van $390 \text{ m}^3/\text{m}$. Ook de hele vooroevergroei van gemiddeld ongeveer $60 \text{ m}^3/\text{m}$ in zone 2 wordt door

zandaanvoer verklaard. Tijdelijk vertoont de hogere vooroever aangroei, in relatie tot lokale afslag van gesuppleerde stranden. De lagere vooroever maakt eenduidige en sterke erosie mee. Het onderwaterprofiel versteilt dus.

De aanleg in 2009-2010 van de nieuwe havendammen van Oostende trok vooroeversedimentatie aan in de luwte aan de west- en oostzijde van de dammen. Zeewaarts van de havendammen ontstond op de zeebodem een tot 2 m diepe stroomkuil. Na het baggeren rond dezelfde tijd van de nieuwe vaargeul naar Oostende, de "Pas van Stroombank", zandde de oude vaargeul in één jaar tijd dicht. Naar schatting trok de oude geul in één jaar tijd zowat $200.000 \text{ m}^3 \pm 26.000 \text{ m}^3$ zand aan. Dit cijfer geeft een belangrijke aanwijzing van de grootte van het natuurlijk zandtransport in de getijgeulen. Doordat de nieuwe vaargeul op een grotere diepte wordt onderhouden dan de omgevende zeebodem, trekt ook deze vergelijkbare zandhoeveelheden aan. Die worden echter door het onderhoudsbaggerwerk uit het kuststelsel verwijderd. De correctie in dit rapport voor onderhoudsbaggerwerk in de nieuwe vaargeul met 80.000 m^3 per jaar is wellicht een onderschatting van de werkelijke baggeractiviteit. De dynamiek nabij de vaargeul wordt ook aangetoond door uitdieping van de zeebodem in de omgeving, lokaal tot meer dan 2 m sinds de geul werd aangelegd.

Ook in zone 3, van de haven van Oostende tot en met Wenduine, is de groei van het deel boven laagwater t.o.v. 1983 volledig te danken aan zandaanvoer, waarvan over de hele observatieperiode ongeveer 40% uit de hoogtelaag verdween: het strand is nog gemiddeld $300 \text{ m}^3/\text{m}$ groter dan in 1983 tegenover een gemiddelde totale aanvoer van $500 \text{ m}^3/\text{m}$. De hogere vooroever ondervindt aangroei, zowel van onderwatersuppleties als door tijdelijke opslag van zand dat van de gesuppleerde stranden wordt afgeslagen. Anderzijds kent de lagere vooroever sterke erosie.

Over zone 2, 3 en aanpalende stukken van zones 1 en 4 verdiept de bodem van de getijgeulen Kleine Rede en Grote Rede zich, sinds 2000 vaak met 0,5 tot 1 m, lokaal tot 2 m. De uitdieping is sterk versneld vanaf het jaar 2010.

In zone 4, van Wenduine-Oost tot Zeebrugge, is het volume van het deel boven laagwater opgelopen tot vrijwel $550 \text{ m}^3/\text{m}$ t.o.v. 1983, maar ook deze toename is voor bijna de helft, ca. $250 \text{ m}^3/\text{m}$, het gevolg van zandaanvoer. Het strand van Blankenberge dient regelmatig te worden gesuppleerd, deels met zand van het onderhoudsbaggerwerk van de haventoeegang van Blankenberge, dat aldus in het kuststelsel blijft. De rest van de baggerspecie wordt op de vooroever voor Blankenberge gelost, weliswaar in een diepere zone op ca. 500 m van de laagwaterlijn, die geen deel uitmaakt van de morfologische vooroever. Wel lijkt het erop dat het lossen van baggerspecie op vrijwel steeds dezelfde plek midden in het deel beneden LW van secties 187 en 188 sinds ongeveer 2004 tot gevolg heeft, dat er zich een secundaire vloedchaar ontwikkelt net voor het strand van Blankenberge en de Duinse Polders. Deze zou mogelijk hier de erosie van het strand in de hand werken.

De morfologische invloed van de bouw van de voorhaven van Zeebrugge (1977-1986) is nog steeds zeer groot. Aan de i.v.m. het kustlangtransport "opwaartse" (westelijke) zijde bevindt zich een 3 km lange zone waar nog steeds continue aangroei optreedt. Sinds ongeveer 2009 is het ritme van de aangroei afgenomen: mogelijk een aanwijzing van het bereiken van een morfologische evenwichtstoestand. Indien men aanneemt dat alle waargenomen aangroei van het strand en de duinaanzet in het gebied tot ongeveer 3 km ten westen van de westelijke dam van Zeebrugge toe te schrijven is aan het onderbreken van het kustlangtransport door de haven van Zeebrugge, dan krijgt men een schatting van het gemiddelde jaarlijkse langtransport over de hele actieve zone van bijna 240.000 m^3 per jaar. Dit cijfer omvat wel niet de aangroei in het gebied net zeewaarts van de kuststrookgrenzen, en de (onbekende en wellicht in de tijd toenemende) component van het langtransport die rond de havendammen trekt, is er al helemaal niet in betrokken.

De zone 5, van Zeebrugge tot het Zwin, kent erosie in het deel boven laagwater. Wel was het volumepeil bij het begin van de metingen in 1979 hoog, na een grote strandsuppletie. In de periode tot 2019 nam het volume toe tot gemiddeld ongeveer $100 \text{ m}^3/\text{m}$ boven het peil van 1979. Dit heeft wel de toevoer van ongeveer $300 \text{ m}^3/\text{m}$ kustlengte zand gevegd. Slechts een derde van de toevoer is in de laag boven LW gebleven. De vooroever groeide in een gebied tot ongeveer 2,5 km ten oosten van Zeebrugge sterk aan. Het aangroeigebied, "Plaat van Heist" (*Figuur 114*), komt bij laagwater droog. Sinds 2010 groeit de Plaat van Heist

nog wel verticaal en in de richting van het strand, maar aan de zeezijde kent ze sinds 2010 erosie. De zandplaat is waarschijnlijk de oorzaak van lokale strandaangroei tijdens de twee recentste decennia in secties 220-223. Ze breekt immers de golfenergie. Aan haar oostzijde wordt de zandplaat met wisselend morfologisch succes aangesneden door een stroomgeul net zeewaarts van de vooroever ("tak 1" van de Appelzak) (Figuur 133). Wellicht treedt er zandaanvoer rond de voorhaven op, waardoor deze stroomgeul telkens tijdelijk teruggedrongen wordt. Het rond de voorhaven aangevoerde zand zou dan in de geul sedimenteren en deze tijdelijk kleiner maken. De getijgeul Appelzak diept uit, en althans sinds 2000 gebeurt de uitdieping voornamelijk in twee kustparallele stroken. De meest landwaartse "tak 1" ligt voor de voet van de vooroever. Op een paar plaatsen ontvangt de vooroever tijdelijk aanvoer vanaf frequent gesuppleerde stranden (enerzijds Knokke-Zoute en anderzijds de kuststrook bij het Zwin, dat vaak zandaanbod ontvangt uit de richting van Cadzand). Buiten die plaatsen erodeert ook de vooroevervoet, die ook kan worden gezien als de zijdelingse flank van de getijgeul Appelzak. De meest zeewaartse "tak 2" (Figuur 133) maakt de laatste jaren verbinding met een erosiezone op de zeewaartse flank van de Plaat van Heist. De zandbank Paardenmarkt verlengt zich in oostelijke richting naar Cadzand toe en de landwaartse flank groeit ook in de richting van de kust, ruwweg 50 m sinds 2000.

12.2 Enkele grote morfologische ontwikkelingen

Deze studie toont de sterke samenhang aan tussen morfologische veranderingen op het strand en deze op vooroever en aanpalende zeebodem. Enerzijds leiden grote zandtoevoegingen door strandsuppleties meestal eerder kortstondig, gedurende de eerste paar jaren, tot aanvoer naar de vooroever en de zeebodem. De winst daar is slechts tijdelijk: de bestaande natuurlijke dynamiek houdt aan en ruimt de aangroei op. Anderzijds leidt erosie van de zeebodem en de vooroever uiteindelijk tot strandafslag. Op enkele locaties is de vooroever ondiep en kent hij natuurlijke aanvoer, wat op zijn beurt bijdraagt tot natuurlijke groei van het strand.

De havenuitbreidingen hebben geleid tot gebieden waar het natuurlijk langstransport wordt onderschept. Het zijn zeer belangrijke sedimentatiegebieden geworden. Deze gebieden ondervinden allicht ook aanvoer vanuit gesuppleerde stranden. Er heeft zich sinds 2010 zowel ten westen als ten oosten van de nieuwe havendammen van Oostende op de vooroever een aangroeigebied met een breedte van ongeveer 250 m ontwikkeld. Ten westen is de aangroeizone tot bijna 1 km, ten oosten tot bijna 2 km lang. Bij Zeebrugge is het aangroeigebied tot ongeveer 750 m breed. Aan de westzijde is het tot 3 km lang, aan de oostzijde ("Plaat van Heist") tot 2,5 km. De aangroei is al aan de gang sinds het begin van de uitbouw van de voorhaven van Zeebrugge. De laatste 10 jaar is het aangroeiritme beduidend afgenomen, wat kan wijzen op het bereiken van een nieuw grootschalig morfologisch evenwicht.

Wat al vele jaren bekend is voor het strand, geldt ook voor de geulen en banken voor de kust: er is een overwegend oostwaarts transport van zand, met de vloedstroom en de resultante van de golfdrift. Dit heeft zich ten minste in de periode 2000-2019 duidelijk morfologisch geuit door de autonome oostwaartse verplaatsing van het systeem Potje - Broers Bank, de lokale aangroei van de vooroever ten westen van de nieuwe havendam van Oostende, de uitgestrekte aangroei ten westen van Zeebrugge en de oostwaartse uitbreiding van de Paardenmarkt. De dichtzanding van de oude vaargeul naar Oostende op de bodem van de getijgeul Kleine Rede ($200.000 \text{ m}^3 \pm 26.000 \text{ m}^3$ in één jaar tijd) illustreert het belang van het zandtransport door de getijstrooming en is ook een aanwijzing voor overwegend transport van west naar oost; immers, aanvoer vanuit het oosten zou door de nieuwe, diepere vaargeul onderschept zijn.

Alle getijgeulen voor de Vlaamse kust kennen structurele uitdieping, die misschien al voor 2000 aan een meer bescheiden tempo aan de gang was. Rapporten i.v.m. de grootschalige suppletiewerken in de zone Bredene tot Wenduine in de jaren 1990 (bv. Eurosense, 1993) meldden dat de zeebodem ten westen van De Haan sterk uitdiepte in 1988-1990 en ten oosten van De Haan, vooral in en rond Wenduine, was er eveneens sterke uitdieping van de geulbodems tussen 1988 en 1993. Deze beide uitdiepingszones lagen, zoals nu, respectievelijk in de getijgeul Kleine Rede en Grote Rede. Na 2000 is het verdiepen van alle grote stroomgeulen nog gevoelig toegenomen sinds 2010. In zeer ruime gebieden bedraagt de bodemverlaging

t.o.v. de ligging in 2000 een halve tot één meter, en lokaal wordt meer dan twee meter verlaging vastgesteld. Een ermee verbonden ontwikkeling is de erosie van de lagere vooroever (het deel onder -2 m TAW), waardoor het laagste deel van het kustprofiel landwaarts terugschrijdt en het hele onderwaterprofiel dus steiler wordt.

Het tijdstip van de trendomslag suggereert een verband met de aanleg en het onderhoud van de nieuwe vaargeul naar Oostende, de Pas van Stroombank. Hier is onder invloed van het diepere aanlegpeil (TAW -9,5 m, ongeveer 2 m dieper dan de omgevende zeebodem) en het onderhoudsbaggerwerk, waarbij de specie verwijderd wordt uit het kuststelsel, uitdieping in een gebied van een halve kilometer aan de westzijde en een kilometer aan de oostzijde opgetreden. Mogelijk is er ook een ver morfologisch effect in de uitdieping van het deel van de Kleine Rede ten oosten van Oostende en de sterke vooroevererosie rond Bredene – De Haan, waar de natuurlijke aanvoer van zand via de getijgeul sinds 2010 door het onderhoudsbaggerwerk in de Pas van Stroombank sterk zou kunnen zijn verminderd. Maar veel verder kan de morfologische invloedssfeer niet reiken, en toch doet zich vooroevererosie en stroomgeuluitdieping langs zowat de volledige Vlaamse kust voor.

Daarom moet naar een belangrijke bijkomende verklaring worden gezocht. Bij de studie van de morfologie van het onderwatergedeelte van de jaarlijkse vooroeverlodgingen, werd vastgesteld dat de enkele zandbanken waarvan een gedeelte nog binnen de vooroeverlodgingzone valt, stelselmatig oostwaarts maar ook landwaarts uitbreiden. Indien deze waarneming mag worden doorgetrokken naar het hele stelsel van kustnabije zandbanken, dan schuiven deze allemaal, weliswaar heel langzaam, maar toch stelselmatig, op in de richting van de kust. Waar de verplaatsingssnelheid richting kust kon worden waargenomen, is deze ongeveer 25 tot 50 meter per 10 jaar.

De algehele ontwikkeling dient nader te worden bestudeerd. Belangrijke morfologische veranderingen aan de kustgeulen en –banken werden reeds bestudeerd door Van Cauwenberghe (1971) Pas dan zal duidelijk worden of deze algemene trend er is, en kan gezocht worden naar verklaringen ervoor. Op geologische tijdschaal is aangetoond dat bij stijgend zeepeil, en indien er geen secundaire effecten spelen van lokaal sterk zandaanbod uit riviermondingen of erosieve kusten, de kustlijn door de zee mee landinwaarts en (mee met het zeepeil) hogerop wordt verplaatst. Zijn de vastgestelde veranderingen van de kustnabije zandbanken een reactie op het ook in deze tijden stijgende zeepeil?

Tegelijkertijd is het kustbeheer, zeker na de goedkeuring van het Masterplan Kustveiligheid, overgeschakeld naar grotere suppleties op meer plaatsen langs de Vlaamse kust. Hierdoor is het veiligheidspeil van de kust aanzienlijk verbeterd. Maar de ingrepen houden ook het vastleggen van de zeereep in. Aan de zeewaartse zijde ondervinden de getijgeulen dus inkrimping van de stroomsecties door de zich landwaarts verplaatsende zandbanken. Indien een stroomgeul met gelijk blijvend debiet door sedimentatie aan één zijde verkleind wordt, zal zij zich aan de andere zijde proberen te verbreden. Dat dit het geval is, wordt aangetoond door de vele plaatsen langs de Vlaamse kust waar erosie optreedt aan de voet van de vooroever. Op de meeste plaatsen houden de suppletiewerken de kust ter plaatse. De getijgeulen kunnen zich dus niet zijdelings verplaatsen. Het gevolg is dat de stroomsectie ingesnoerd wordt en dat er allicht hogere stroomsnelheden zullen voorkomen dan voor de insnoering. Hierdoor zullen de geulen dan verticaal eroderen (uitdiepen), tot de stroomsectie min of meer hersteld is.

Dit morfologisch mechanisme is ook een verklaring voor het feit dat zand, dat van strand en vooroever wordt afgeslagen, in het bijzonder na strandsuppleties, niet in de geulen blijft liggen. De stroming ruimt de geulen uit. Het zand wordt afgevoerd naar stroomluwe zones, die over het algemeen afwaarts, dus oostelijk van de erosiegebieden, gelegen zijn. Deze transportrichting wordt voldoende onderbouwd door de beweging van sommige tijdelijke aangroeigebiedjes zoals te zien op de reeks hoogteverschilkaarten, en door de hierboven beschreven aanwijzingen voor oostwaarts transport in de geulen onder de kust. Wat de sterke erosie van Middelkerke, Mariakerke en Oostende-West betreft, zal de afvoer voor een gedeelte bijdragen tot de aangroei van de vooroever rond de nieuwe havendammen van Oostende; een ander gedeelte komt in de nieuwe vaargeul naar Oostende terecht, waar het door baggeren wordt verwijderd en gelost op de loswal die 3 tot 4 km van de laagwaterlijn ter hoogte van Bredene is gelegen, en dus buiten het kuststelsel. Voor het zand afgeslagen van de kuststrook van Bredene tot Wenduine kunnen we eveneens afvoer naar het

oosten vooropstellen. De aangroei van het strand en de duinstrook tussen Wenduine en Blankenberge kan baat gehad hebben bij deze zandaanvoer. Het grootste deel trekt voorbij en wordt, via de tussenstap van de baggerwerken bij de haveningang van Blankenberge en het aanbrengen van de specie deels op het strand, deels op de vooroever van Blankenberge, uiteindelijk afgevoerd naar de grote aangroeizone ten westen van Zeebrugge. Wat de erosie volgend op iedere strandsuppletie te Knokke-Zoute betreft, is de afvoerrichting minder duidelijk. In een eerdere studie (Houthuys et al., 2013) kon geen eenduidige morfologische indicatie van significante zandaanvoer zowel naar de Baai van Heist als naar de Zwinvlakte na suppletie van de zone Knokke-Zoute worden aangetoond, bovenop de processen die van nature spelen. Ook in deze bijwerking tot 2019 vonden we geen morfologische aanwijzingen voor een westwaartse afvoer over het strand. Het zand moet wel ergens naartoe gaan. Een natuurlijke afvoer van een gedeelte over het strand naar het oosten, en uiteindelijk naar de Zwingel, lijkt aannemelijk, op basis van de zich bij herhaling vanuit het westen ontwikkelende zandtongen ter hoogte van de doorgang van de Zwingel door het droogstrand. De volumes die hierbij betrokken zijn, zijn wel maar een fractie van de suppletievolumes. Het zand dat in de getijgeul Appelzak terecht komt, kan mogelijk ook voor een gedeelte bijdragen aan de groei van de Plaat van Heist. Maar voor deze zandplaat wordt ook een aanvoer van rond de voorhaven van Zeebrugge vermoed. Korrelgrootteonderzoek van de Plaat van Heist zou hierover meer duidelijkheid kunnen scheppen.

De algemene getijgeulverdieping en de erosie aan de voet van de vooroever aan de Vlaamse kust moeten zorgvuldig opgevolgd worden. En, indien het bestaan van het morfologisch mechanisme van geulinsnoering door verder onderzoek en morfologische modellering kan worden bevestigd, zal er wellicht ook in moeten worden ingegrepen.

12.3 Aanbevelingen voor verdere morfologische maatregelen, monitoring en onderzoek

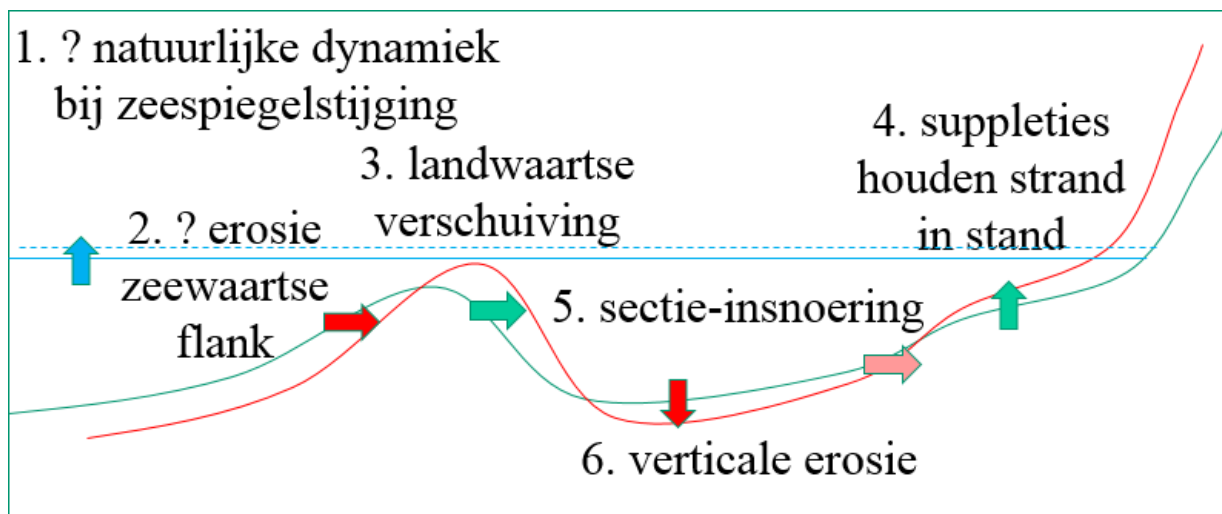
Het programma van strandsuppletie zal moeten worden verdergezet om het veiligheidsniveau van de zeevering te blijven waarborgen. Er kan wel worden bekeken in het licht van de in dit rapport geschetste morfologische context, of optimalisaties mogelijk zijn. Zo zou kunnen worden onderzocht of zandwinning voor suppletie in het grote aangroeigebied op de vooroever van De Fonteintjes, ten westen van Zeebrugge, mogelijk is, aangezien dit gebied de morfologische eindbestemming lijkt te zijn van veel van het in Bredene, De Haan, Wenduine en Blankenberge na suppletie afgeslagen zand. Er komt wellicht ook sediment toe afkomstig uit de zich uitdiepende geulen voor de kust; dit kan uit fijnkorrelig sediment bestaan.

De onderwatersuppleties te De Haan (Houthuys et al., 2014) en Mariakerke (Houthuys, 2019) lijken gedurende jaren bijgedragen te hebben tot voeding van de vooroever van de nabije kuststroken en lokaal tot mildere afslag van de stranden gelegen landwaarts van de vooroeversuppleties. De aanleg van de onderwatersuppletie in Lombardsijde in september 2017 wordt goed morfologisch gemonitord en zal spoedig een nieuwe evaluatie van de morfologische relatie met het ertegenover gelegen strand toelaten. Natuurlijke ondiepten op de vooroever die tot boven het laagwaterpeil zijn aangegroeid, gaan eveneens gepaard met aangroeiende stranden: lokaal te Koksijde tegenover de Broers Bank en te Heist tegen de Plaat van Heist. Op basis van deze waarnemingen lijkt vooroeversuppletie een morfologisch efficiënte zachte kustverdedigingstechniek. Buiten het lokale effect waarbij een zandlichaam op de vooroever, zeker bij laagwater, de golfenergie dempt, vormt het een aanbodzone voor het dwars- en langstransport en kan er ruimtelijke uitspreiding optreden, waardoor ook de omgevende niet-gesuppleerde kuststroken baat hebben bij een vooroeversuppletie. Hierbij kan wellicht ook uitspreiding tegen de overheersende, oostwaartse langstransportrichting in gebeuren, want bij laagwater blijft het aanbod van de vooroever daar dan beschikbaar voor de ebstroming.

Zowel strandsuppleties als onderwatersuppleties zijn effectief tegen het landwaarts terugschrijden van de vooroever.

Een nog nader te bestuderen dynamiek is de getijgeuluitdieping. Dit rapport stelt een nieuw morfologisch mechanisme voor, morfologische insnoering van de stroomsectie (*Figuur 139*). Door morfologische

insnoering gaan de geulen, die gelijk blijvende stromingsdebieten verwerken, zich uitdiepen om hun sectie te behouden. De insnoering is het gevolg van het door suppleties vastleggen van de kustbarrière enerzijds en langzame maar stelselmatige landwaartse verplaatsing van de zandbanken buiten de kust anderzijds. Die beweging is althans aangetoond voor delen van de Stroombank en Paardenmarkt die binnen het vooroeverlodingsgebied vallen. Wellicht zijn alle zgn. "kustbanken" aan geleidelijke landwaartse migratie onderhevig: Trapegeer - Broers Bank, Nieuwpoortbank, Stroombank, Wenduinebank, Paardenmarkt. Indien dit systeem door meer waarnemingen en ook door modellering beter kan worden begrepen, zal er effectief kunnen worden ingegrepen. Indien de kustbanken voeding met zand krijgen vanuit zee, zou kunnen worden overwogen om de landwaartse flank af te graven en het daar verwijderde zand aan te brengen aan de voet van de vooroever, ervoor wakende dat de stroomsectie van de getijgeulen bij de kust niet wijzigt. Indien er geen voeding is van de kustbanken uit zee, zou men de banken kunnen "terugzetten" door de landwaartse flank af te graven en de zeewaartse flank te suppleren.



Hypothese van morfologische procesketen die leidt tot verticale uitdieping van de stroomgeulen onder de Vlaamse kust. De cijfers geven de logische opeenvolging van de deelprocessen aan. Profiel in groen aan het begin van de procesketen, in rood op het einde van de procesketen. Rode dikke pijlen: erosie; groene dikke pijlen: aangroei (of aanvoer van zand door de mens).

Figuur 139 – Principeschets "morfologische insnoering van de stroomgeulen onder de kust".

Ook kan er voor een veilige kustmorfologie winst geboekt worden bij het baggeren van de toegangen naar de kusthavens. Vooreerst dient het morfologische functioneren beter te worden bestudeerd. In de mate van het mogelijke moet ook de onzekerheid op gerapporteerde baggerhoeveelheden te worden weggewerkt door het toepassen van een gefundeerde omrekening van baggervolumes aan boord naar volumes in situ. Voor Blankenberge en Nieuwpoort geldt luidens de afdeling Kust een gemiddelde omrekening van 1,422 TDS/m³. Deze blijkt uit herhaalde voor- en napeilingen op het voorplein en in de toegang tot de havengeul van Blankenberge. In vorige versies van dit rapport en gelijkaardige studies werd telkens met een omrekening van 1,6 gewerkt. De gehanteerde omzetting heeft wel niet al te veel invloed op de zandbalans voor de hele kust, en daarenboven worden de meeste volumes enerzijds in min (bij het baggeren) als anderzijds in plus (bij het lossen) geteld. Na afweging is er in dit rapport voor geopteerd om de omzettingen voor wat betreft baggeren op het voorplein te verrichten met de factor 1,6 en voor wat betreft de zandige (maar allicht ook licht slibhoudende) specie van de havengeul tussen de lage dammen met de factor 1,422, en dit zowel voor Nieuwpoort als Blankenberge, en dit uiteraard enkel voor de cijfers gerapporteerd in TDS.

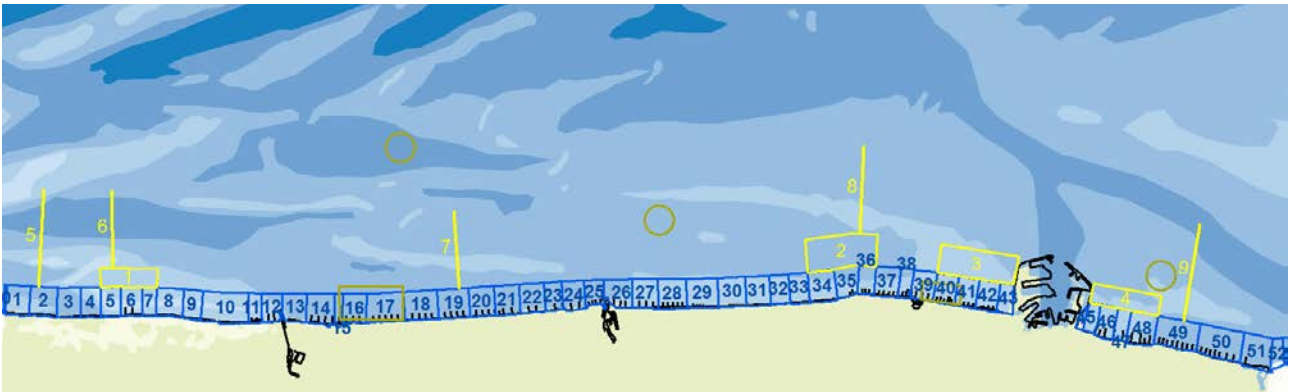
De onmogelijkheid op vandaag om de precieze plaats en tijd van baggeren te koppelen aan de in deze studie gehanteerde morfologische vakken, noopten tot verregaande, veralgemenende aannames voor de omgeving van de toeganggeul naar Oostende, de Pas van Stroombank. Er wordt dan ook aanbevolen om verder studiewerk door te voeren naar de precieze tussen baggeractiviteiten en morfologische ontwikkeling.

Hiertoe dient de informatie van het Baggerinformatiesysteem (BIS) raadpleegbaar te worden gemaakt in functie van de morfologische opvolging aan de hand van peilplannen en vooroeverlodingen, en dit in overleg en samenwerking met de afdeling Maritieme Toegang. Vervolgens dient te worden gezocht naar morfologische mechanismen verbonden aan de baggeractiviteit.

Uit het onderhavige rapport volgen alvast enkele suggesties i.v.m. de locatie van de loswallen. We kunnen uit de morfologische evolutie van de ten westen van Oostende gelegen kuststroken afleiden dat afslag uit deze sterk gesuppleerde stranden deels in de vaargeul "Pas van Stroombank" belandt. De lossingen van het onderhoudsbaggerwerk van de Pas van Stroombank gebeuren op ongeveer 3 à 4 km buiten de laagwaterlijn ter hoogte van Bredene en betekenen een netto uitvoer van zand uit het kuststelsel. Mogelijk wordt wel de zeevaartse flank van de Wenduinebank hierdoor gevoed, maar dit is ook geen wenselijke situatie, omdat ze er misschien mee aanleiding toe geeft dat deze bank zich dan verder landwaarts verplaatst en zo het systeem van morfologische insnoering van de stroomgeulen onder de kust (*Figuur 139*) mee opwekt. Althans de zandige fractie zou misschien beter onder de vorm van onderwatersuppleties ten oosten van Oostende kunnen worden aangewend, wat de morfologische veerkracht van de kuststrook tussen Oostende en Wenduine ten goede zou kunnen komen. Voor het deel van de zandige specie afkomstig uit onderhoudsbaggerwerk in de toegang tot de haven Blankenberge dat gelost wordt op de vooroever ter hoogte van Blankenberge, wordt vermoed dat het daar een splitsing van de vloedstroom teweeg brengt, waarbij een dicht bij de kust gelegen stroomtak de erosie van het strand van Blankenberge zou in de hand werken. Een herlocatie van de loswal of aanwending van de specie voor vooroeversuppleties lijkt aangewezen. Evenzo is de loswal voor zandige specie gebaggerd in Nieuwpoort (althans de zone waar de lossingen daadwerkelijk plaatsvinden) buiten de actieve zone gelegen, en dient onderzocht te worden of de zandige specie niet efficiënter kan worden heringezet door lossingen in de actieve zone.

Er is op vrij eenvoudige wijze meer zekerheid te verkrijgen over de beschreven langetermijnprocessen die plaatsvinden op de vooroever. Op dit ogenblik zijn alle hoogteverschilkaarten, die de studie van ruimtelijke processen toelaten, gerefereerd aan de vooroeverloding van 2000. Er zijn gescande plannen beschikbaar van alle eerdere vooroeverlodingen uitgevoerd met vergelijkbare methodes en nauwkeurigheid als de huidige lodingen aan de Vlaamse kust. In het bijzonder zou de eerst beschikbare loding kunnen worden gevectoriseerd en omgezet in een hoogtemodel. Dit is voor het westelijke en middelste gedeelte van de kust de vooroeverloding van 1992, voor de zone De Haan – Zeebrugge de vooroeverloding van Najaar 1987 en voor het gebied Zeebrugge – Cadzand de vooroeverloding van Voorjaar 1986. Aldus zou de tijdshorizon van de gegevens met een betekenisvolle 8 tot 14 jaar terug in de tijd kunnen worden uitgebreid.

Voor de relatie met de morfologische evolutie van het meer buitengaats deel van de zeebodem, zijn we aangewezen op lodingsplannen die minder frequent zijn uitgevoerd en mogelijk ook meer onzekerheid bieden wat betreft de absolute diepteligging. Toch is het van belang voor de kennis van het kuststelsel dat de dynamiek van de "kustnabije zandbanken" ook in het gebied zeewaarts van de vooroeverlodingen wordt bestudeerd.



Vlaamse kust. Kuststroken omlijnd en gelabeld in blauw. Voorstel bijkomende vakken (geel omlijnd) voor de jaarlijkse vooroeverlodingen: 1. Broers Bank. 2. Geulbodem Grote Rede bij Wenduine. 3. Aangroeizone vooroever ten westen van Zeebrugge. 4. Aangroeizone vooroever ten oosten van Zeebrugge ("Plaat van Heist"). Voorstel lange raaien (gele lijnen), eveneens te realiseren bij de jaarlijkse vooroeverlodingen: 5. in sectie 8, doorheen Potje, Trapegeer en Westdiep. 6. in sectie 24, van Broers Bank doorheen Westdiep. 7. in sectie 91, doorheen Kleine Rede, Stroombank, Grote Rede. 8. in sectie 172, doorheen Grote Rede, Wenduine Bank tot De Poortjes. 9. in sectie 238, doorheen Paardenmarkt tot in Scheur.

Figuur 140 – Voorstel tot uitbreiden jaarlijkse vooroeverlodingen.

Voor de toekomstige vooroeverlodingen werden in het CREST-project enkele eenvoudige aanbevelingen gedaan (Monbaliu et al., 2020):

- omwille van de snelheid en volledigheid van bedekking verder werken met singlebeam lodingen (er kunnen voor lokale situaties zeker aanvullend multibeamopnamen worden verricht, die een uitstekende lokale bedekking realiseren en veel detail tonen).
- verhogen van de absolute meetnauwkeurigheid van de lodingen: tijdens het eerste laagtij volgend op de dag van vooroeverloding een in oppervlakte beperkte terrestrische controlemeting verrichten van een stukje strand nabij de laagwaterlijn; tevens een kleine ruimtelijke overlap van aangrenzende lodingsgebieden opleggen bij het uitvoeren van bathymetrische lodingen op andere werkdagen.
- enkele raaien zeewaarts uitbreiden om de relatie met de meer in zee gelegen banken te achterhalen (zie *Figuur 140*).

13 Lijst van de digitale bijlagen

13.1 Sectiegrenzen

Bevat de vaste omlijningsen per sectie gebruikt om de volumes van de horizontale volumeschijven “duin”, “droogstrand”, “natstrand”, “vooroever” en “zeebodem” te berekenen. Naam: “**Secties_koppeling_2019.shp**” (formaat : shapefile type polygoon). Deze shapefile bevat de attributen:

- KRIBVAK: het sectienummer
- KD: de naam van het kustdeel
- KD_nr: het nummer van het kustdeel
- Oppervlakte_m2: de oppervlakte van de sectie in m²
- Strook_nr: het nummer van de kuststrook waartoe de sectie hoort

13.2 Tabellen en grafieken per sectie met de evolutie van het volume van duin, strand, vooroever en zeebodem tot 2019

De Excelbestanden met de tijdreeksen en grafieken van volumeverschillen per sectie hebben als naam “**Sectie####.xlsx**” met ##### het nummer van de sectie (van 0002 tot 0264, en ook nog nabij Oostende vanaf 2009 secties 1160, 1170, 1172, 1180, 1190).

Deze bestanden bevatten van boven naar onder:

- een figuur met de evolutie in de tijd van het volume van natstrand, droogstrand, strand (= natstrand + droogstrand) en duin. Het volume werd gedeeld door de kustlengte van de sectie. De figuur geeft ook de recentste lineaire trend van het volume van strand en duin weer;
- een figuur met de evolutie in de tijd van het volume van vooroever en zeebodem. Het volume werd gedeeld door de kustlengte van de sectie. De figuur geeft ook de recentste lineaire trend van het volume van vooroever en zeebodem weer;
- een datagebied met de volumeverschillen t.o.v. de eerst beschikbare meting van de zone boven laagwater (duin, droogstrand en natstrand);
- een datagebied met de volumeverschillen t.o.v. de eerst beschikbare meting van de zone beneden laagwater (vooroever en zeebodem).

Rechts van de figuren staan ook de trendcijfers, de periode waarover de trend berekend werd en de punten nodig om de trendlijn in de figuren te kunnen weergeven.

In het totaal zijn dit 268 bestanden in Excel-formaat.

13.3 Overzicht van de recentste trends per sectie voor de delen boven en beneden de laagwaterlijn

De trendcijfers per sectie, de trendperiode en de cijfers m.b.t. de relevantie van de trend werden voor het deel boven en onder laagwater samengebracht in het Excelbestand “**OverzichtTrendsTot2019.xlsx**”. Dit bestand bevat van boven naar onder:

- een datagebied met de trends, trendperiodes en kengetallen i.v.m. de significantie van de trend voor het deel boven laagwater (strand en duinaanzet);

- een datagebied met de trends, trendperiodes en kengetallen i.v.m. de significantie van de trend voor het deel onder laagwater (vooroever en zeebodem);
- grafieken met de trendcijfers en trendperiodes per sectie volgens sectienummer, voor het deel boven en onder laagwater afzonderlijk.

13.4 Tabellen en grafieken per kuststrook met de evolutie van het volume van duin, strand, vooroever en zeebodem en van de aan- of afgevoerde zandhoeveelheden tot 2019

De Excelbestanden met de tijdreeksen en grafieken van volumeverschillen per kuststrook hebben als naam “**Strook##.xlsx**” met ## het nummer van de strook (van 1 tot 51).

Deze bestanden bevatten van boven naar onder:

- een figuur met de evolutie in de tijd van het voor zandaanvoer of -afvoer gecorrigeerde volume van de schijven boven laagwater (som van het volume van natstrand, droogstrand en duin) en van de schijven beneden laagwater (som van het volume van vooroever en zeebodem). Het volume werd gedeeld door de kustlengte van de kuststrook. De figuur geeft ook de recentste lineaire trend van het volume van het gedeelte boven en onder laagwater weer;
- een figuur met de evolutie in de tijd van het niet-gecorrigeerde (dus waargenomen) volume van de schijven boven laagwater (som van het volume van natstrand, droogstrand en duin) en van de schijven beneden laagwater (som van het volume van vooroever en zeebodem). Het volume werd gedeeld door de kustlengte van de kuststrook. Ook de aangevoerde en afgevoerde zandvolumes voor de delen boven en onder laagwater zijn weergegeven. De figuur geeft ook de recentste lineaire trend van het waargenomen volume van het gedeelte boven en onder laagwater weer (noot: indien in een kuststrook geen zandaanvoer of -afvoer plaatsvindt, wordt hier soms een oudere trend of een trend berekend over een andere periode dan in de eerste figuur weergegeven);
- een figuur met de evolutie in de tijd van zowel de waargenomen als de gecorrigeerde volumes van de schijven boven laagwater en beneden laagwater alsook van de aan- of afgevoerde zandhoeveelheden. Het volume werd gedeeld door de kustlengte van de kuststrook. De figuur geeft ook de recentste lineaire trend van het waargenomen en gecorrigeerde volume van het gedeelte boven en onder laagwater weer;
- een datagebied met de volumeverschillen t.o.v. de eerst beschikbare meting van de zone boven laagwater (duin, droogstrand en natstrand). Rechts hiervan is een zone met de in rekening gebrachte aan- of afgevoerde volumes en de gecorrigeerde volumereeks van het deel boven laagwater;
- een datagebied met de volumeverschillen t.o.v. de eerst beschikbare meting van de zone beneden laagwater (vooroever en zeebodem). Rechts hiervan is een zone met de in rekening gebrachte aan- of afgevoerde volumes en de gecorrigeerde volumereeks van het deel onder laagwater.

Rechts van de figuren staan ook de trendcijfers, de periode waarover de trend berekend werd, de punten nodig om de trendlijn in de figuren te kunnen weergeven en de tekst nodig om in de figuren de trendcijfers als tekst te kunnen weergeven.

In het totaal zijn dit 51 bestanden in Excel-formaat.

13.5 Overzicht van de recentste gecorrigeerde trends per kuststrook voor de delen boven en beneden de laagwaterlijn

De trendcijfers per kuststrook werden voor het deel boven en onder laagwater samengebracht in het Excelbestand "**OverzichtTrendPerStrookTot2019.xlsx**". Dit bestand bevat van boven naar onder:

- een datagebied met de cijfers betreffende de gecorrigeerde trends per kuststrook voor het deel onder en boven laagwater. Indien de trend significant is in de zin dat de regressiecoëfficiënt groter is dan 0,707, dan wordt de trend in vet weergegeven. In kolom AH staat de gecumuleerde kustlengte van het centrum van de kuststrook, nodig om het trendcijfer in functie van de kustlengte in grafiek te kunnen weergeven. In kolom AI en AK staat de waarde "-90" indien de trend voor het deel onder laagwater significant is en "-100" indien de trend niet significant is. Deze waarde dient louter om in de grafiek onderaan een curve te kunnen weergeven die onderaan in het grafiekvenster te zien is indien het cijfer van de trend significant is. In kolom AJ en AL staat de waarde "-95" indien de trend voor het deel boven laagwater significant is en "-100" indien de trend niet significant is. Deze waarde heeft dezelfde bedoeling als in kolom AH en AK, maar voor het deel boven laagwater;
- een grafiek met het trendcijfer per strook volgens de kustlengte, voor het deel boven en onder laagwater afzonderlijk. Onderaan in het figuurgebied is een curve in dezelfde kleur als de curve van de trendcijfers te zien indien het trendcijfer significant is;
- een grafiek met de trendperiode (begin en einde van de trendperiode).

13.6 Diareeks met hoogtekarten, hoogteverschilkaarten en kaarten met de verschuiving van de hoogtelijnen op de vooroever en zeebodem

De diareeks in het Powerpointbestand "**KusttrendsTot2019.pptx**" laat toe de geografische veranderingen in de tijd **vanaf 2000** in een diavoorstelling waar te geven. De weergegeven gebieden vallen samen met de "kustzones". Alle relevante opnamen zijn opgenomen, aan de hand van een gekoppelde weergave van het deel onder laagwater en boven laagwater.

13.7 Bestand met alle correctievolumes

Het bestand "**OverzichtAangevoerdeHoevPerKuststrook.xlsx**" bevat de gegevens gebruikt voor de correctie van zandvolumes per kuststrook in dit rapport. Meer bepaald houdt dit in: de brongegevens plus bronvermelding, de aannames voor verdeling over kuststroken en hoogtelagen, en de berekening van de uiteindelijk voor correctie gebruikte cijfers.

Het bestand is opgebouwd van de Franse grens naar de Nederlandse grens en bestaat uit opeenvolgende deeltabellen, in principe per kuststrook.

Binnen de deeltabel per kuststrook zijn de gegevens chronologisch.

Tussen de tabellen per strook met gebruikte correctiecijfers, bevinden zich waar nodig extra tabellen met brongegevens. De formules in de uiteindelijk gebruikte correctiecijfers laten toe de wijze van berekening uit de brondata na te trekken.

Gelet op de schaal en de onzekerheden, zijn alle correctiecijfers afgerond op veelvoud van 100 m³.

De gegevens zijn bijgewerkt tot voorjaar (soms tot zomer) 2019.

Gelet op de complexiteit van de gegevens en verwerking, werden cellen in het bestand op een uniforme manier ingekleurd. De legende van de toegepaste kleuren staat vooraan in het bestand.

13.8 Gemiddelde profielen van vooroever en zeebodem 2007-2018

Deze profielen werden berekend in de marge van het onderhavige project. Bedoeling was een reeks profielen ter beschikking te hebben om op schaal van een kustdeel of kuststrook een beeld te krijgen van de onzekerheid op de hoogteligging bij vooroeverlodingen. Achterliggende idee is dat het gedeelte van het bodemprofiel zeewaarts van de actieve zone in sommige kustdelen niet wijzigt in de tijd. De variaties tussen de verschillende profielen geven dan in dat gedeelte een maat voor de onzekerheid op de diepteligging op het niveau van een kustdeel of kuststrook. Het feit dat in deze "stabiele" profielgedeelten de bodemligging doorheen de tijd willekeurig op en neer gaat, versterkt het vertrouwen dat deze beweging enkel de "ruis" of onzekerheid op de dieptemeting is. Dit idee is uitgewerkt - op basis van de in deze bijlage geleverde dataset - door Bart Roest van de KULeuven in het kader van het project CREST, zie Montreuil et al. (2019), hoofdstuk 5.

Deze gemiddelde profielen dienden een weergave te zijn van de periode 2007-2018 op een analoge manier als de profielen aangewend in de studie "Versteiling Vooroever" (Eurosense, 1998) die profielen bevat en bespreekt van de periode 1963/1965/1954 - 1998. De gemiddelde profielen voor 2007-2018 werden op dezelfde manier aangemaakt als de gemiddelde profielen van de studie tot 1998. Evenwel zijn de vaste parameters per kustdeel (oorsprong van de rotatie, rotatiehoek, begin van het gemiddeld profiel) niet meer terug te vinden. Daarom werd een nieuwe set vaste parameters per kustdeel bepaald op een wijze die dicht aanleunt bij de werkwijze in 1998.

Deze parameters gebruikt voor 2007-2018 vindt men in het bestand ParamS.txt.

De verkregen gemiddelde profielen voor 2007-2018 zijn aldus volledig te vergelijken met de set van 1998, met enkel deze verschillen:

- in de set van 1998 was de hoogte in Z MOW. In de set voor 2007-2018 is de hoogte in TAW;
- het vaste beginpunt van de gemiddelde profielen per kustdeel verschilt voor de set van 1998 en de set voor 2007-2018. De vaste offset per kustdeel is (nog) niet achterhaald.

Alle gemiddelde profielen per kustdeel voor 2007-2018 vindt men in het bestand PR_v2007_2018_PerKustdeel.zip. Er is een tekstbestand per profiel en per hoogtemodel.

Naamgeving van deze bestanden:

gv = (uit 5m-)grid van de vooroever

2015_1 = Voorjaar 2015

kd32 = kustdeel 32

In ieder bestand is er een header met enkele basisgegevens gevolgd door het profiel zelf weergegeven door een regel (record) per profielpunt.

ProfX is van land naar zee.

nPoints = aantal punten loodrecht op profiel (geeft ook de breedte van het kustdeel mits vermenigvuldigd met 5 m)

Zmean = gemiddelde hoogte in TAW voor het gemiddelde profiel in het kustdeel

-9999.0 = geen waarde (het raster bevatte op deze profielafstand niet genoeg gegevens om een representatieve gemiddelde hoogte te berekenen).

14 Referenties

- Deronde, B., Houthuys, R., De Wolf, P.,** 2007. Het zandtransport langs de Vlaamse kust, opgevolgd vanuit de lucht, in: De Grote Rede 19. De Grote Rede: Nieuws over onze Kust en Zee, 19: pp. 7-12.
- Baggerwerken Decloedt & Zoon nv,** 2017. Vooroeversuppletie Nieuwpoort. Rapportage van uitvoering van bestek 16EH/16/50 aan opdrachtgever agentschap voor Maritieme Dienstverlening, afdeling Kust, 15 p. + bijlagen.
- Eurosense,** 1993. Evolutie van de strandmorfologie tussen Bredene en De Haan. Periode 1980 – 1993. Rapport VOSS 93.001, in opdracht van afdeling Kust.
- Eurosense,** 1997. Morfologie Oostkust. Evolutie tot Voorjaar 1997. Rapport OOST 97.001 in opdracht van afdeling Kust, 202 p.
- Eurosense,** 1998. Studie over de versteiling van de vooroever langs de Vlaamse kust. Rapport VV 98.001 in opdracht van afdeling Kust, 119 p.
- Eurosense,** 2004. Kustmorfologie. Evolutie tot Voorjaar 2004. Rapport KUST 2004.111 in opdracht van afdeling Kust.
- Houthuys, R.,** 2012. Morfologische trend van de Vlaamse kust in 2011. Agentschap Maritieme dienstverlening en Kust. Afdeling Kust: Oostende, 150 p.
- Houthuys, R., Trouw, K., De Maerschallck, B., Verwaest, T., Mostaert, F.,** 2013. Inschatting van de morfologische impact van strandsuppleties te Knokke op het Zwin en de Baai van Heist. Versie 4.0. WL Rapporten, 12_107. Waterbouwkundig Laboratorium & IMDC: Antwerpen, België.
- Houthuys, R.; Trouw, K.; Delgado, R.; De Maerschallck, B.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014).** Scientific support regarding hydrodynamics and sand transport in the coastal zone: Update of the sediment budget for the nearshore of Blankenberge – Zeebrugge. Version 2_0. WL Rapporten, 00_072. Flanders Hydraulics Research & IMDC: Antwerp, Belgium.
- Houthuys, R., Trouw K., Delgado, R., Verwaest, T., Mostaert, F. (2014).** Evaluation of a shoreface nourishment in De Haan: Analysis of 20 years of data. Version 5.0. FHR reports, 00_128. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.
- Houthuys, R., Verwaest, T., De Sloover, L., De Wulf, A., Roest, B.,** 2019. Assessment of data uncertainty. Deliverable D3.3.1 (2) CREST (Climate Resilient Coast) VLAIO/IWT project 150028.
- Houthuys, R.,** 2019. Morphological analysis and decadal trends at Groenendijk, Mariakerke and De Haan until Summer 2019. Deliverable D3.3.1 (1) CREST (Climate Resilient Coast) VLAIO/IWT project 150028.
- IMDC,** 2006. Onderhoud noodsuppletie Oostende-Centrum 2005. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, afdeling Kust, Brussel, VI, 66 + bijlagen.
- IMDC,** 2010. Evaluatie strandsuppletie Lombardsijde. Rapport nr. I/RA/11213/10.040/ABO in opdracht van afdeling Kust, 231 pp.

IPCC, 2019. Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. oloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.)]. In press, 42 p.

Monbaliu, J. et al., 2020. CREST, 2020. Final Scientific Report. Take home messages and project results. VLIZ Special Publication 85, 145 p. Jaak Monbaliu, Tina Mertens, Annelies Bolle, Toon Verwaest, Pieter Rauwoens, Erik Toorman, Peter Troch and Vincent Gruwez (Editors) - Corrado Altomare, Annelies Bolle, Evelien Brand, Margaret Chen, Sebastian Dan, Lars De Sloover, Alain Dewulf, Juan Sebastian Escobar Ramos, Vincent Gruwez, Rik Houthuys, Britt Lonneville, Tina Mertens, Jaak Monbaliu, Anne-Lise Montreuil, Mohamed Ouda, Stéphanie Ponsar, Pieter Rauwoens, Bart Roest, Erik Toorman, Glenn Strypsteen, Tomohiro Suzuki, Peter Troch, Koen Trouw, Samuel Van Ackere, Ine Vandebek, Dries Van den Eynde, Toon Verwaest, Samor Wongsoredjo, & Qinghui Zhang (Contributors).

Montreuil, A.-L., Brand, E., Strypsteen, G., Roest, B., De Sloover, L., Rauwoens, P., De Wulf, A., Houthuys, R., Chen, M., Verwaest, T. (2019). Scientific Report on Coastal Resilience. Deliverable D 3.4.1 CREST (Climate Resilient Coast) VLAIO/IWT project 150028

Montreuil, A.-L., Chen, M., Brand, E., Houthuys, R., 2020. Recovery assessment of macro-tidal sandy beaches with different environmental settings, Belgian coast. Accepted for Geomorphology

Ozer, J., S. Ponsar and D. Van den Eynde, 2019. Revisiting the trend analysis of relative mean sea level rise at Oostende (southern North Sea – Belgian coast). Report CREST/X/JO/201906/EN/TR02. Prepared for the CREST Project, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Brussels, 28 pp.

Strypsteen, G., 2019. Monitoring and modelling Aeolian sand transport at the Belgian coast. PhD thesis, KULeuven, Faculty of Engineering Technology, 186 p.

Van Cauwenberghe, C. (1971). Hydrografische analyse van de Vlaamse banken langs de Belgisch-Franse kust. Het Ingenieursblad 40(19): 563-576

Verwaest, T., Houthuys, R., Roest, B., Dan, S., Montreuil, A.-L., 2020. A coastline perturbation caused by natural feeding from a shoreface-connected ridge (headland Sint-André, Belgium). In: Malvárez, G. and Navas, F. (eds.), Global Coastal Issues of 2020. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 95, pp. 701-705. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be