

Kust
visie

Kustvisie

Synthese hydromorfologische analyses
geoptimaliseerde alternatieven

Synthese hydromorfologische analyses geoptimaliseerde alternatieven
I/RA/11630/23.051/ABO

Opgesteld in opdracht van

Vlaamse Overheid- Departement Mobiliteit en Openbare Werken i.s.m. Agentschap Maritieme
Dienstverlening en Kust
MT/02401

Onder begeleiding van

Studieteam Hoogtijd)
IMDC, Arcadis, ORG,
Econopolis, Common Ground, An Luyten, Connect, LDR en Jeroen Bryon

22 november 2023

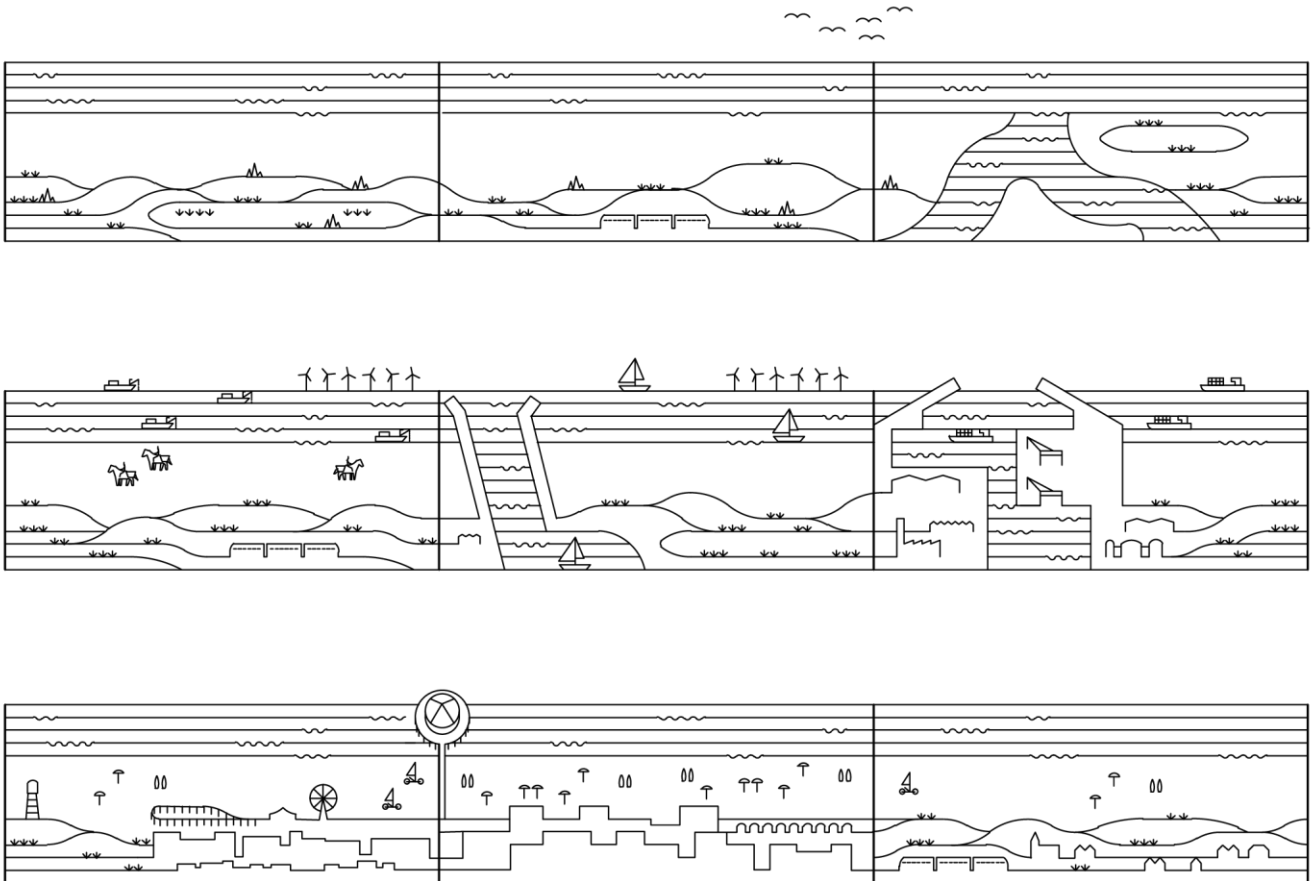
Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	03/05/2023	1e versie	ABR, ADA, VBA	VBA, BRO, ABO	ABO
2.0	06/09/2023	Werkversie ter voorbereiding van workshop 8/09/2023 met aanpassingen na feedback 1e versie en vervolgonderzoek	ABR, ADA, VBA	VBA	ABO
3.0	21/09/2023	2e versie, incl. vervolgonderzoek en conclusies workshop 8/09/2023	ABR, ADA, VBA	VBA	ABO
4.0	22/11/2023	Omzetting template kustvisie	ABR, ADA, VBA	VBA	ABO

De studies en het onderzoek in Kustvisie zijn uitgevoerd ter ondersteuning van het opstellen van het 'strategisch beleidsplan Kustvisie'. Het doel is daarbij een kansrijk kustbeschermingslint af te bakenen, dat is de ruimte waarbinnen de toekomstige zeekering kan worden ontworpen en uitgevoerd om de kust ook op lange termijn te blijven beschermen.

Dit document maakt deel uit van de onderbouwende studies. Het wordt gedeeld om inzicht en achtergrond te geven in het studiewerk voor en de onderbouwing van het strategisch beleidsplan Kustvisie.

Het onderzoek in Kustvisie is uitgevoerd op een niveau dat gepast is voor de keuze van een kansrijk kustbeschermingslint in het strategisch beleidsplan. De focus ligt daarbij op de studie van de onderscheidende effecten van de alternatieven ten opzichte van de referentiesituatie en ten opzichte van elkaar. Het gaat ook steeds over grootteorde dimensies en conceptuele ontwerpen, geschikt voor het opmaken van voorbeelduitwerkingen en voor de evaluatie van alternatieven op strategisch niveau. Het studiewerk in dit document kan daarom niet worden beschouwd als een detailonderzoek of detailontwerp. Dit gebeurt pas op projectniveau. Verder hoort er bij het strategisch beleidsplan Kustvisie een eerste actieplan 2025 – 2034. Dit actieplan bevat de nodige acties om Kustvisie stapsgewijs uit te voeren. In dit plan zijn ook een aantal acties gedefinieerd met betrekking tot het verder onderzoek, het ontwerp, de uitwerking en de uitvoering van de toekomstige kustbeschermingsmaatregelen binnen het gekozen kustbeschermingslint.

Synthese hydromorfologische analyses geoptimaliseerde alternatieven



Inhoud

1	Inleiding	16
1.1	Algemeen	16
1.2	Doel van het rapport	17
1.3	Leeswijzer	17
2	Evaluatieproces en evaluatiekader met betrekking tot hydromorfologie	19
2.1	Co-creatieproces	19
2.2	Geïntegreerd onderzoek	20
2.3	Overzicht studiewerk hydromorfologische evaluaties	21
3	Overzicht van de kansrijke geoptimaliseerde alternatieven voor de tweede evaluatie en vertaling naar redelijke alternatieven voor geïntegreerd onderzoek	23
3.1	Kansrijke geoptimaliseerd alternatieven	23
3.2	Redelijke alternatieven	39
4	Aaneengesloten kustlijn	41
4.1	Inleiding	41
4.2	Bespreking	41
4.2.1	Verbeterde aaneensluiting kustlijn door optimalisatieproces	41
4.2.2	Aansluiting met buurlanden	45
4.3	Synthese	49

5	Hydrodynamiek	52
5.1	Inleiding	52
5.2	Bespreking	52
5.2.1	Invloed op de grootschalige getijbeweging	52
5.2.2	Lokale effecten stroomveld	54
5.2.3	Invloed op het golfveld	60
5.2.4	Effect van strandhoofden op de hydrodynamica	64
5.3	Synthese	66
6	Sedimenttransport	68
6.1	Inleiding	68
6.2	Bespreking	68
6.2.1	Langstransport in de Belgische kustzone	68
6.2.2	Effect van de strandhoofden	80
6.2.3	Slibtransport	82
6.3	Synthese	83
7	Morfologische impact	85
7.1	Inleiding	85
7.2	Bespreking	85
7.2.1	Grootschalige morfologische ontwikkeling	85
7.2.2	Lokale effecten Westkust	88
7.2.3	Lokale effecten tussen Nieuwpoort en Oostende	90
7.2.4	Lokale effecten tussen Oostende en Zeebrugge	92
7.2.5	Lokale effecten Oostkust	94
7.2.6	Effect van strandhoofden	96
7.3	Synthese	99
8	Eolisch transport	101
8.1	Inleiding	101
8.2	Bespreking	101
8.3	Synthese	103
9	Zandvolumes: aanleg en onderhoud	106
9.1	Inleiding	106
9.2	Bespreking aanlegvolumes	106
9.2.1	De geoptimaliseerde alternatieven S, M en L	106
9.2.2	Impact van de korrelgrootte	107

9.3	Bespreking onderhoudsvolumes	109
9.3.1	Huidige onderhoudsaanpak en volumes	109
9.3.2	Inschatting alternatieven	111
9.3.3	Effect van strandhoofden	115
9.3.4	Onderhoud vaarwegen	116
9.3.5	Discussie	118
9.4	Synthese	120
10	Leemtes in de kennis en verder onderzoek	123
11	Conclusies hydromorfologische evaluatie redelijke alternatieven	127
11.1	Algemeen	127
11.2	Conclusies per criterium voor de redelijke alternatieven	128
11.2.1	Aaneengesloten kustlijn (Hoofdstuk 4)	128
11.2.2	Hydrodynamiek (Hoofdstuk 5)	129
11.2.3	Sedimenttransport (Hoofdstuk 6)	129
11.2.4	Morfologische impact van strandprofiel, vooroever en zeebodem (Hoofdstuk 7)	130
11.2.5	Windgedreven (eolisch) zandtransport (Hoofdstuk 8)	130
11.2.6	Benodigde zandvolumes (Hoofdstuk 9)	130
11.3	Samenvatting	131
12	Referenties	132

Lijst van tabellen

Tabel 2-1: Selectie van Evaluatiethema's en evaluatiecriteria Kustvisie, gelinkt aan het Kader van Ambities zoals gehanteerd voor de tweede verfijnde evaluatie van de geoptimaliseerde kansrijke alternatieven, gelinkt aan de hydromorfologische analyse. (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022a)	19
Tabel 9-1: Volumes voor aanleg van de kustbeschermingsmaatregelen voor geoptimaliseerde alternatieven S-M-L voor de strandzones, voor +1, +2, en +3 m zeespiegelstijging, onderverdeeld in zachte en harde maatregelen.	107
Tabel 9-2: Onderhoudsvolumes [miljoen m ³ /jaar] per alternatief en zeespiegelstijging. De geoptimaliseerde alternatieven S M en L worden per zeespiegelstijging vergeleken met de referentie.	112
Tabel 9-3: Overzicht van de kustvakken met erosieve trend (gemarkeerd als √) op basis van de hydromorfologische berekeningen met Scaldis Coast. (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021a) en (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c).	113

Tabel 9-4 : Jaarlijkse volumes sedimentverlies over de volledige kust (miljoen m ³ /jaar) voor verschillende alternatieven en verschillende zeespiegelstijgingen. De berekening resulteert voor de referentiesituatie (0 m ZSS) in een totaal verlies van 0.241 miljoen m ³ /jaar.	114
Tabel 9-5: Overzicht van de gecombineerde verliezen zoals afgeleid uit de modelresultaten voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven S, M en L en bij +1m, +2m en +3m zeespiegelstijging.	115
Zeebrugge is verantwoordelijk voor ruim 95% van het zandonderhoud. In het geval van slib is dit ongeveer 75% waarbij ook Oostende een belangrijke bijdrage toont. Nieuwpoort en Blankenberge dragen samen bij tot 2 à 3% van het zand en slibonderhoud.	
Tabel 9-6 : Referentie onderhoud (in TDS/jr en Mm ³ /jr) geaggregeerd over alle havens, voor zand en slib.	117
Tabel 9-7 : Toekomstige jaarlijkse onderhoudsvolumes (Mm ³ /jr) en procentuele veranderingen (%) ten opzichte van de respectievelijke referentie situaties, geaggregeerd over alle havens.	117
Tabel 9-8: Jaarlijkse volumes sedimentverlies over de volledige kust (miljoen m ³ /jaar) voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven en verschillende zeespiegelstijgingen.	120

Lijst van figuren

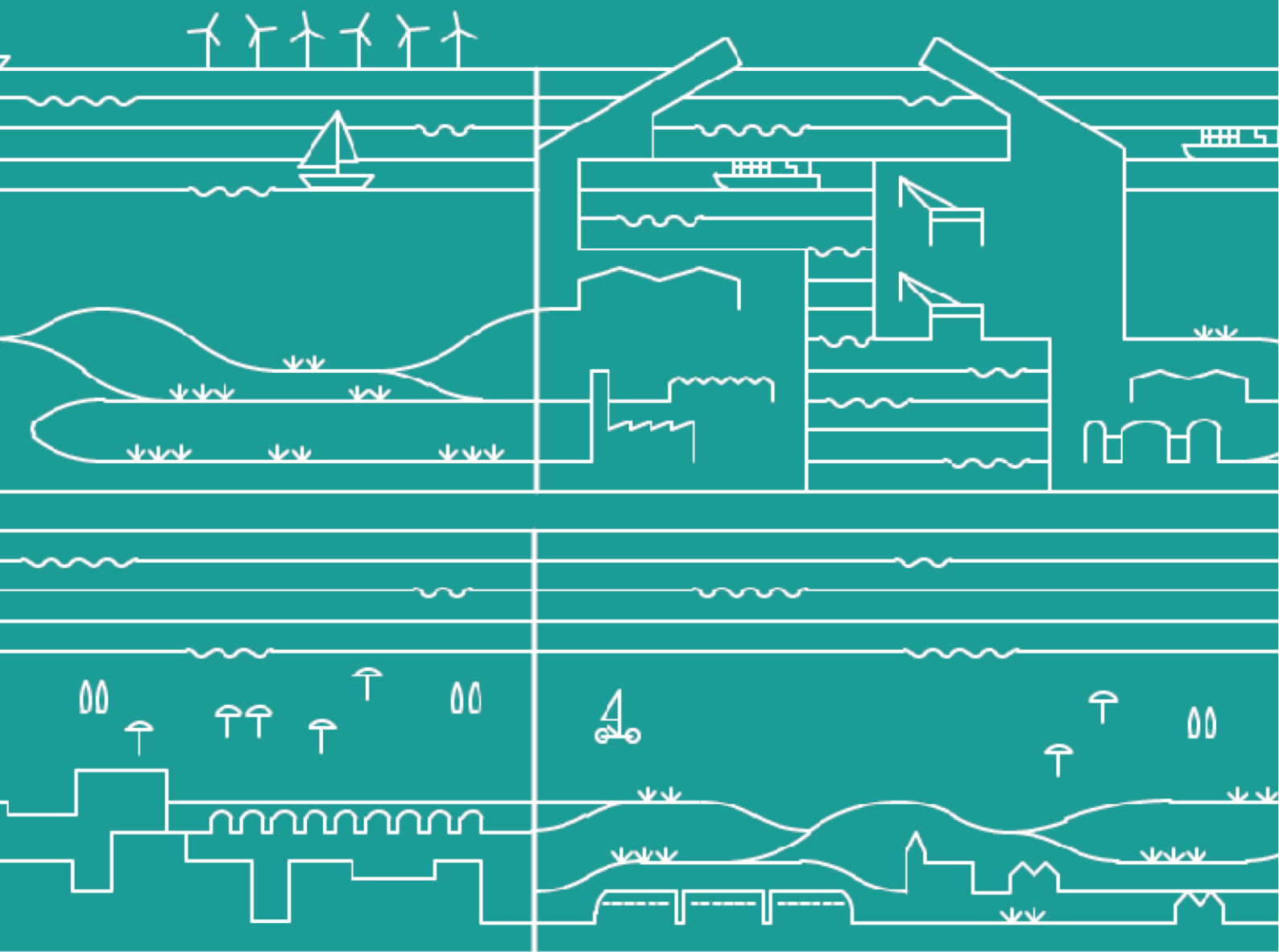
Figuur 2-1: Overzicht van modelinstrumentarium ingezet ter ondersteuning van de hydromorfologische evaluatie van alternatieven.	20
Figuur 2-2: Overzicht met tijdsbalk van het uitgevoerde studiewerk, workshops en feedbacks met betrekking tot de hydromorfologische analyses.	21
Figuur 3-1: Illustratie van de roadmap van de geoptimaliseerde alternatieven voor +1m, +2m en +3m zeespiegelstijging aan de hand van voorbeelduitwerkingen voor de aanpassing nabij een badplaats met verschillende kustverdedigingsmaatregelen en bijhorende dimensies, uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	24
Figuur 3-2: Indicatie van kustvakken met de grootste erosietrends in de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L waar strandhoofden potentieel relevant zijn om het onderhoud te reduceren. Voor de evaluatie van de alternatieven zijn aanpassingen van de strandhoofden in de gemarkeerde kustvakken toegepast.	25
Figuur 3-3: Aansluiting alternatieven strandzones & havens – voorbeeld haven Oostende. De maatvoering is indicatief en zal in de projectfase verfijnd worden. Ook het ontwerp van de aangepaste havendammen en/of opvangdammen dient in projectfase bepaald te worden.	26
Figuur 3-4: Aansluiting alternatieven havens & strandzones – voorbeeld haven Blankenberge. De maatvoering is indicatief en zal in de projectfase verfijnd worden.	26
Figuur 3-5: Geoptimaliseerd alternatief S bij +3m zeespiegelstijging – Westkust. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	27
Figuur 3-6: Geoptimaliseerd alternatief S +3m zeespiegelstijging – Middenkust West. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	28
Figuur 3-7: Geoptimaliseerd alternatief S bij +3m zeespiegelstijging – Middenkust Oost. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	29
Figuur 3-8: Geoptimaliseerd alternatief S bij +3m zeespiegelstijging – Oostkust. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	30
Figuur 3-9: Alternatief M bij +3m zeespiegelstijging – Westkust. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	31
Figuur 3-10: Alternatief M bij +3m zeespiegelstijging – Middenkust West. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	32
Figuur 3-11: Alternatief M bij +3m zeespiegelstijging – Middenkust Oost. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	33
Figuur 3-12: Alternatief M bij +3m zeespiegelstijging – Oostkust. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	34
Figuur 3-13: Alternatief L bij +3m zeespiegelstijging – Westkust. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	35
Figuur 3-14: Alternatief L bij +3m zeespiegelstijging – Middenkust West. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	36

Figuur 3-15: Alternatief L bij +3m zeespiegelstijging – Middenkust Oost. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	37
Figuur 3-16: Alternatief L bij +3m zeespiegelstijging – Oostkust. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).	38
Figuur 4-1 : Toegepaste vuistregels voor opstelling van de kustlijn voor geoptimaliseerde alternatieven M (links) en L (rechts). Hierbij is de afstand tussen de nieuwe hoogwaterlijn en de huidige veiligheidslijn bepalend.	42
Figuur 4-2: Principe van aanpassing van de nieuwe kustlijn (rode lijn) met minimale nodige ruimte naar een meer “stabiele” kustlijn (in relatie tot langstransport) zeewaarts hiervan (blauwe stippellijn)	42
Figuur 4-3: Kustlijnpositie voor geoptimaliseerde alternatieven S (geel), M (blauw) en L (rood) voor +3 m ZSS, voor Franse grens – Haven van Nieuwpoort (boven) en Haven van Nieuwpoort – Haven van Oostende (onder).	43
Figuur 4-4 : Kustlijnpositie voor geoptimaliseerde alternatieven S (geel), M (blauw) en L (rood) voor +3 m ZSS, voor Haven van Oostende – Blankenberge (boven), Blankenberge tot Haven van Zeebrugge (midden) en ten oosten van Haven van Zeebrugge – Nederlandse grens (onder).	44
Figuur 4-5 : Initiële (groen) en finale (na 5 jaar, geel) kustlijn voor de gesimuleerde overgang, geen aanpassingen in Frankrijk naar Alternatief L, ter hoogte van de Franse grens.	45
Figuur 4-6 : Initiële bodemligging op de grens tussen België en Frankrijk (alternatief L, 3 m Zeespiegelstijging).	45
Figuur 4-7 : Verschil in bodemevolutie na 10 jaar tussen geoptimaliseerd alternatief L en de referentieberekening 3 m zeespiegelstijging. Alternatief met strandhoofden	46
Figuur 4-8 Residuele sedimenttransport ter hoogte van de Frans Belgische grens.	46
Figuur 4-9 Erosie -depositie ter plaatse van de Frans Belgische Grens (3m ZSS). Boven : referentiesituatie. Onder : alternatief L	47
Figuur 4-10 Erosie -depositie ter plaatse van de Nederlands Belgische Grens (3m ZSS). Boven : referentiesituatie. Onder : alternatief L (met strandhoofden)	48
Figuur 4-11 Netto sedimenttransport ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens.	48
Figuur 4-12 : Positie van de kustlijn voor de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L, ter hoogte van de haven van Oostende, voor alle zeespiegelstijgingen (+1, 2 en 3 m).	49
Figuur 5-1 Verschilplot Maximum snelheidsmagnitude: Alternatief L (3 m ZSS) minus Referentie (3 m ZSS)	53
Figuur 5-2 Verschilplot gemiddelde snelheid: Alternatief L (3 m ZSS) minus Referentie (3 m ZSS)	53
Figuur 5-3: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief S (boven), M (midden) en L (onder) en referentieberekening in Nieuwpoort bij 3 m zeespiegelstijging.	55
Figuur 5-4: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief S (boven), M (midden) en L (onder) en referentieberekening in Oostende bij 3 m zeespiegelstijging.	56
Figuur 5-5: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief S (boven), M (midden) en L (onder) en referentieberekening in Blankenberge bij 3 m zeespiegelstijging.	57
Figuur 5-6: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief S (boven), M (midden) en L (onder) en referentieberekening in Zeebrugge bij 3 m zeespiegelstijging.	58
Figuur 5-7: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief L (boven), en Alternatief L met extra verlenging havendammen omwille van zeeluis (onder) en referentieberekening in Oostende bij 3 m zeespiegelstijging.	59
Figuur 5-8: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief L (boven), en Alternatief L met wijziging lay-out havendammen omwille van zeeluis (onder) en referentieberekening in Blankenberge bij 3 m zeespiegelstijging.	60
Figuur 5-9: Verschil in significante golfhoogte tussen Alternatief L en referentieberekening te Oostende voor 3 m ZSS bij kalmere condities (boven), zuidwesterstorm (midden) en noorderstorm (onder).	61
Figuur 5-10 Verschil in significante golfhoogte tussen Alternatief L en referentieberekening voor zuidwesterstorm (boven) en noorderstorm (onder) bij 3 m ZSS te Blankenberge.	62
Figuur 5-11 Verschil in significante golfhoogte tussen Alternatief L en referentieberekening (zuidwesterstorm; 3 m ZSS) te Nieuwpoort.	63

Figuur 5-12: Verschil in significante golfhoogte voor de zuidwesterstorm tussen Alternatief L (boven), en Alternatief L met wijziging lay-out havendammen omwille van zeesluis (onder) en referentieberekening in Blankenberge bij 3 m zeespiegelstijging.	63
Figuur 5-13: Verschil in significante golfhoogte voor de zuidwesterstorm tussen Alternatief L (boven), en Alternatief L met wijziging lay-out havendammen omwille van zeesluis (onder) en referentieberekening in Oostende bij 3 m zeespiegelstijging.	64
Figuur 5-14 Verschilplot Maximum snelheidsmagnitude - Oostende: Alternatief S (1m ZSS) hoge strandhoofden minus Referentie (1m ZSS). Boven: lage strandhoofden. Beneden: hoge strandhoofden.-	65
Figuur 6-1 Afbakening van de zones (zwart) gebruikt voor de langstransportberekening. De zone, die overeenkomt met de actieve zone (-5m TAW) is aangegeven met een onderbroken stippelijjn.	69
Figuur 6-2 Conceptuele afbakening van de zone voor golfgedreven langstransport (streeplijnen). Door zeespiegelstijging verplaatst de zone landwaarts. Door aanbrengen van een suppletie (gele lijn) verplaatst de zone zeewaarts. De breedte is afhankelijk van de vorm van het kustprofiel.	69
Figuur 6-3 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte nabij Nieuwpoort (3 m ZSS).	71
Figuur 6-4 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte nabij Oostende (3 m ZSS).	72
Figuur 6-5 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte nabij De Haan (3 m ZSS).	73
Figuur 6-6 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte nabij Wenduine (3 m ZSS).	74
Figuur 6-7 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte nabij Knokke (3 m ZSS).	75
Figuur 6-8 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte over de Appelzak (3 m ZSS).	76
Figuur 6-9: Vergelijking van jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport langsheen de kust voor referentie en alternatieven bij 3 m zeespiegelstijging voor de smalle breedte (doorgetrokken lijnen) en bij verbrede boxen (streep-stippel lijnen).	76
Figuur 6-10 - Vergelijking van het langstransport voor de Referentiesimulatie bij 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging.	78
Figuur 6-11: Langstransport voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven en referentie (1m zeespiegelstijging)	78
Figuur 6-12: Langstransport voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven en referentie (2m zeespiegelstijging)	79
Figuur 6-13: Langstransport voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven en referentie (3 m zeespiegelstijging).	79
Figuur 6-14: Langstransport voor geoptimaliseerd alternatief L en alternatief L gecombineerd met aangepast havendammen voor het voorzien van zeesluizen in de havens van Oostende en Blankenberge (3 m zeespiegelstijging).	80
Figuur 6-15 Effect van strandhoofden op het langstransport (referentieberekening zonder zeespiegelstijging)	80
Figuur 6-16 Overzicht van de strandhoofden in de kustzone (voor alternatief L).	81
Figuur 6-17 Effect van strandhoofden op het langstransport (alternatief S en L; 3m zeespiegelstijging)	81
Figuur 6-18 Effect van de hoogte en lengte van de strandhoofden op het langstransport (alternatief S 1m zeespiegelstijging)	82
Figuur 6-19 Verschil in de maximale bodemschuifspanning tussen Alternatief L en de referentieberekening tijdens een spring doortijperiode (met 3 m zeespiegelstijging).	82
Figuur 7-1 Verschil in bodemevolutie na 10 jaar tussen geoptimaliseerd alternatief S en de referentieberekening bij 3 m zeespiegelstijging. Alternatief met strandhoofden	86
Figuur 7-2 Verschil in bodemevolutie na 10 jaar tussen geoptimaliseerd alternatief M en de referentieberekening bij 3 m zeespiegelstijging. Alternatief met strandhoofden	86

Figuur 7-3 Verschil in bodemevolutie na 10 jaar tussen geoptimaliseerd alternatief L en de referentieberekening 3 m zeespiegelstijging. Alternatief met strandhoofden	87
Figuur 7-4 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) voor de Westkust voor de referentieberekening (bij 3 m ZSS).	88
Figuur 7-5 : Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) voor de Westkust voor de referentieberekening (linksboven) en geoptimaliseerde alternatieven S (rechtsboven), M (linksonder) en L (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.	89
Figuur 7-6: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) in het gebied tussen Nieuwpoort en Oostende voor de referentieberekening (bij 3 m ZSS).	90
Figuur 7-7: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) in het gebied tussen Nieuwpoort en Oostende voor de referentieberekening (linksboven) en geoptimaliseerde alternatieven S (rechtsboven), M (linksonder) en L (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.	91
Figuur 7-8: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) in het gebied tussen Oostende en Nieuwpoort voor de referentieberekening (bij 3 m ZSS).	92
Figuur 7-9: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) in het gebied tussen Oostende en Zeebrugge voor de referentieberekening (linksboven) en geoptimaliseerde alternatieven S (rechtsboven), M (linksonder) en L (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.	93
Figuur 7-10 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) aan de Oostkust voor de referentieberekening (bij 3 m ZSS).	94
Figuur 7-11: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) aan de Oostkust voor de referentieberekening (linksboven) en geoptimaliseerde alternatieven S (rechtsboven), M (linksonder) en L (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.	95
Figuur 7-13: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) in het gebied tussen Oostende en Zeebrugge voor geoptimaliseerd alternatief L (boven) en L in combinatie met zeewaartse uitbreiding havendammen voor zeesluizen in Oostende en Blankenberge (onder) bij 3 m zeespiegelstijging.	96
Figuur 7-14 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) voor de Westkust voor de referentieberekening (linksboven) alternatief L zonder strandhoofden (rechtsboven) en alternatief L met lage strandhoofden (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.	97
Figuur 7-15 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) tussen Nieuwpoort en Oostende voor de referentieberekening (linksboven) alternatief L zonder strandhoofden (rechtsboven) en alternatief L met lage strandhoofden (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.	98
Figuur 7-16 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) tussen Oostende en Zeebrugge voor de referentieberekening (linksboven) alternatief L zonder strandhoofden (rechtsboven) en alternatief L met lage strandhoofden (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.	98
Figuur 7-17 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) voor de Oostkust voor de referentieberekening (linksboven) alternatief L zonder strandhoofden (rechtsboven) en alternatief L met lage strandhoofden (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.	99
Figuur 8-1. Een voorbeeld van een kustprofiel voor geoptimaliseerd alternatief S vergeleken met de huidige configuratie	101
Figuur 8-2. Een voorbeeld van een kustprofiel voor geoptimaliseerd alternatief L vergeleken met de huidige configuratie.	102
Figuur 8-3. Berekening van de zandafzetting aan het duinfront.	102
Figuur 8-4. Jaarlijks maximaal kustdwars eolisch sedimenttransport aan de Belgische kust en vergelijking (%) met referentiesituatie.	102

Figuur 8-5. Jaarlijkse sedimentatie aan de duinvoet aan de Belgische kust en vergelijking (%) met referentiesituatie.	103
Figuur 8-6: Evolutie in duinvolume langsheen de kust en over tijd (blauw is aangroei) (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023h)	104
Figuur 9-1: Aanlegvolumes voor alternatief S-M-L voor de strandzones (hard/zacht) bij +1, +2, en +3 m zeespiegelstijging.	107
Figuur 9-2: Dwarsprofiel met illustratie van het huidige kustprofiel (zwart) en het nieuwe kustprofiel inclusief duin voor dijk bij +3m zeespiegelstijging voor het behoud van de kustlijn in geoptimaliseerd alternatief S (blauw) en de zeewaartse verschuiving in geoptimaliseerd alternatief M, gelijk aan L in dit profiel (groen).	107
Figuur 9-3: Illustratie van de relatieve volumewijzigingen in het volume ten opzichte van het basisvolume (bij behoud huidige strandhelling en korrelgrootte) voor de strandsuppleties bij 1 m zeespiegelstijging langsheen de kust bij toepassing van verschillende korrelgroottes.	108
Figuur 9-4: Overzicht van de variatie in aanlegvolume voor geoptimaliseerd alternatief S in geval van basisvolume (gelijkaardige strandhelling en korrelgrootte als huidige situatie) en bij toepassing van andere korrelgroottes.	109
Figuur 9-5: Overzicht van de gerapporteerde suppletiehoeveelheden (cumulatief per jaar, voor de volledige kust, in miljoen m ³) opgesplitst in het totaal volume, en het aanlegvolume (in kader van MPKV) en onderhoudsvolume. (Bron: afd. Kust).	110
Figuur 9-6: Overzicht van de (totale) gemiddelde suppletiehoeveelheden (m ³ /jaar) per kustsectie langsheen de kust. Opgesteld voor de kustlijnmodellering in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022b).	110
Figuur 9-7: Kustlijnveranderingen van de Franse tot de Nederlandse grens volgens het kustlijnmodel ShorelinesS voor geoptimaliseerd alternatief S, M en L bij 3 m zeespiegelstijging. Een zeewaartse verplaatsing van de kustlijn is positief en geeft sedimentatie aan, een landwaartse verplaatsing van de kustlijn is negatief en geeft erosie aan. De havens zijn gemarkeerd als zwarte lijnen.	112
Figuur 9-8: Schematisch overzicht van dwarse kustprocessen tijdens storm en kalme condities (links) en aanpak voor inschatting dwarse verliezen aan de hand van Xbeach berekeningen (rechts) (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022g). De zone "Low" is gesitueerd tussen laagwater en de 'depth of closure', de zone "Deep" is gesitueerd lager dan de 'depth of closure'. Er wordt aangenomen dat sediment dat naar de zone "Deep" wordt getransporteerd uit het profiel verloren is. Sediment dat in de zone "Low" terechtkomt wordt verloren beschouwd voor kustvakken met een erosieve trend.	113
Figuur 9-9: Indicatie van kustvakken met de grootste erosietrends in de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L en waar strandhoofden potentieel relevant zijn om het onderhoud te reduceren.	115
Figuur 9-10 : Impactzone van strandhoofdenveld in kustvak 13 van alternatief L voor 3 m. (Initiële kustlijn positie (MSL) in oranje en finale (na 5 jaar) kustlijn in groen)	116
Figuur 9-11 : Sedimentatie (rood) en erosie (groen) kaarten rond Zeebrugge voor Alternatief S (boven) en L (onder).	118



Inleiding

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Op 22 december 2017 nam de Vlaamse overheid de startbeslissing om een 'Kustvisie' voor de lange termijn te maken. Deze visie heeft als doel een adaptieve lange termijn aanpak voor de bescherming van onze kust op te stellen waarbij het mogelijk is om stapsgewijs in te spelen op de zeespiegelstijging en zo te komen tot een veilig, gezond en multifunctioneel kuststelsel dat op duurzame wijze gebruikt wordt voor menselijke behoeften.

Kustvisie zal daarbij de maatschappelijk meest wenselijke alternatieven identificeren die nodig zijn om onze kust en het achterland ook op lange termijn stapsgewijs te beschermen tegen een zeespiegelstijging tot 3 meter. Het gaat daarbij om het vastleggen van een toekomstige kustlijn met bijhorende ruimte, namelijk een toekomstig lint waarin plaats is voor het ontwikkelen van de gepaste kustbescherming in combinatie met eventuele andere opportuniteiten.

Het consortium Hoogtij(d) is gevraagd het studiewerk en de begeleiding van het proces- en onderzoekstraject uit te voeren. Het heeft daarvoor een proces- en projectaanpak opgesteld die via een co-creatietraject in samenwerking met stakeholders tot gedragen oplossingen wil komen. Daarbij wordt een ambitieus realisme vooropgesteld waarbij we op zoek gaan naar:

- Een gedragen Kustvisie door het doorlopen van een intensief participatie en co-creatietraject;
- Een onderbouwde Kustvisie door het uitvoeren van een geïntegreerd ontwerp onderzoek;
- Een uitvoerbaar Kustvisie door het uitwerken van een flexibel en adaptief toekomstig beleid.

Gedurende het traject worden verschillende studies uitgevoerd en rapportages opgesteld ter duiding van het onderzoek en het proces. Dit document is daar onderdeel van en is een technisch achtergrondrapport dat een synthese brengt van de hydromorfologische analyses van de geoptimaliseerde alternatieven.

Deze synthese brengt verschillende modelstudies die zijn uitgevoerd rond hydromorfologische aspecten samen, en er wordt verwezen voor meer detail en modelresultaten naar de volgende technische rapporten:

- Strandzoneatlas met overzicht van de geoptimaliseerde alternatieven die zijn geanalyseerd (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a);
- Evaluatiekader met overzicht criteria (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022a) ;
- Rapportering van de opzet en referentie voor de kustlijnmodellering (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022b) ;
- Rapportering van de kustlijnmodellering van de geoptimaliseerde alternatieven (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b);
- Rapportering van de opzet en referentie van het grootschalig hydromorfologisch model Scaldis Coast (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021a);
- Rapportering van de hydromorfologische modellering met Scaldis Coast van de geoptimaliseerde alternatieven (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c);
- Rapportering van de hydromorfologische modellering met Scaldis Coast van de geoptimaliseerde alternatieven met strandhoofden (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023d)
- Rapportering van de methodiek en validatie voor eolisch zandtransportberekeningen (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021b);

- Rapportering van de eolische transportberekeningen voor de referentiesituatie en de geoptimaliseerde alternatieven (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023e);
- Rapportering modelresultaten dwarse verliezen in referentiesituatie en voor geoptimaliseerde alternatieven (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023f).
- Rapportering van gevoeligheidsonderzoek naar de dwarse verliezen tijdens storm in aanwezigheid van een getijdengeul en bij zeewaartse uitbouw (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023g)
- Rapportering van de mogelijkheden voor natuurlijke transporten naar strand en duinen (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023h)

1.2 Doel van het rapport

Dit rapport geeft een synthese van de uitgevoerde onderzoeken met betrekking tot de hydromorfologische impact van de geoptimaliseerde alternatieven en vervolgens de redelijke alternatieven.

Tijdens het co-creatieproces bij de tweede afweging van de geoptimaliseerde alternatieven en vervolgens tijdens het geïntegreerd onderzoek van de redelijke alternatieven wordt een uitgebreide set van evaluatiecriteria semi-kwantitatief beoordeeld. Een deel van deze criteria hebben betrekking op hydromorfologische aspecten. Om deze aspecten te beoordelen zijn een reeks van onderzoeken en modelleringen uitgevoerd. De resultaten en analyses van deze onderzoeken worden samengebracht, geïnterpreteerd en besproken in dit rapport.

De conclusies van dit rapport zijn vervolgens voor wat betreft het co-creatieproces verwerkt in het afwegingsdocument voor de geoptimaliseerde alternatieven waarin ook de bespreking van de overige criteria uit het evaluatiekader zijn opgenomen. De resultaten in dit rapport worden verder gebruikt in het plan-MER en de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) van het geïntegreerd onderzoek. Het plan-MER, de MKBA en de resultaten van deze onderbouwende studie vormen vervolgens de basis voor de onderbouwing van de keuze van een van de redelijke alternatieven tot voorkeursalternatief met het kansrijk kustbeschermingslint dat wordt opgenomen in het strategisch beleidsplan.

1.3 Leeswijzer

Deze evaluatie kadert in een proces van evaluatie, afweging en optimalisatie. Hoofdstuk 2 situeert deze deelstudie in het algehele evaluatieproces en geeft een overzicht van de criteria uit het evaluatiekader met betrekking tot hydromorfologie die in dit rapport worden behandeld. Daarnaast is er een overzicht opgenomen van de verschillende workshops en feedbacks voor de hydromorfologische analyse.

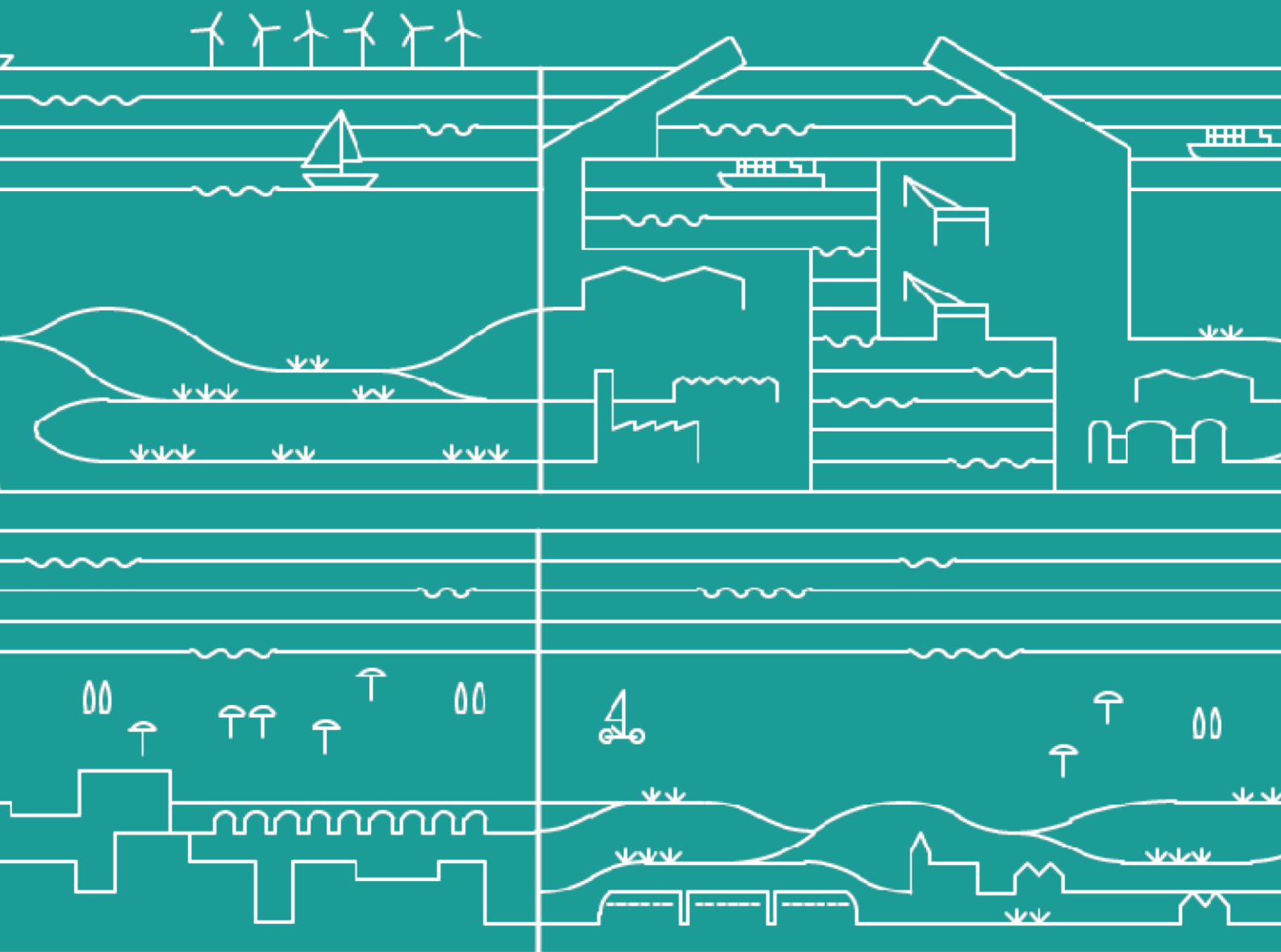
Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de alternatieven die zijn bestudeerd in dit rapport. De beschrijving start met een overzicht van de geoptimaliseerde alternatieven zoals uitgewerkt in het co-creatieproces en waarvoor de tweede evaluatie is gebeurd. Het hoofdstuk geeft eveneens een overzicht hoe deze geoptimaliseerde alternatieven vervolgens zijn vertaald voor het vervolgonderzoek in redelijke alternatieven.

De daaropvolgende hoofdstukken behandelen telkens verschillende hydromorfologische aspecten:

- De mate waarin de alternatieven toelaten om een aaneengesloten kustlijn te vormen is behandeld in Hoofdstuk 4;
- Een bespreking van de hydrodynamische impact van de alternatieven komt aan bod in Hoofdstuk 5 ;
- Hoofdstuk 6 gaat in op het sedimenttransport, met focus op het langstransport van zand en een korte discussie over slib;
- De morfologische impact wordt behandeld in Hoofdstuk 7 ;
- Eolisch transport, inclusief de mogelijkheden voor natuurlijke transporten en zandaangroei, komen aan bod in Hoofdstuk 8 ;
- Hoofdstuk 9 gaat dieper in op de nodige zandvolumes voor de alternatieven. Dat gaat in eerste instantie over de aanlegvolumes en in tweede instantie is een bespreking van de onderhoudsvolumes opgenomen.

Uit het onderzoek kunnen kennisleemtes worden geïdentificeerd en verder onderzocht. Dit wordt beschreven in Hoofdstuk 10.

Tot slot worden de finale conclusies met de evaluatie van de redelijke alternatieven voor de criteria met betrekking tot hydromorfologie gepresenteerd in Hoofdstuk 11.



Evaluatieproces en evaluatiekader met betrekking tot hydromorfologie

2 Evaluatieproces en evaluatiekader met betrekking tot hydromorfologie

2.1 Co-creatieproces

Tijdens het co-creatieproces zijn verschillende fasen doorlopen van evalueren, afwegen en optimaliseren van alternatieven. Na een eerste evaluatie zijn drie overblijvende kansrijke alternatieven geoptimaliseerd, zodat ze beter invulling geven aan de vooropgestelde ambities en waarbij eveneens alle puzzelstukken voor de havens en de strandzones werden samengebracht. Hierbij is ook de adaptieve opbouw van het beschermingslint bij een +1m, +2m en +3m zeespiegelstijgingsscenario in kaart gebracht a.d.h.v. roadmaps / stappenplannen. Deze drie kansrijke alternatieven zijn na optimalisatie meer in detail geëvalueerd tijdens de 2^e evaluatie en opnieuw afgewogen, dit op basis van de volledige set van evaluatiecriteria en voor zowel het +1/+2/+3m zeespiegelstijgingsscenario. Deze 2^e evaluatie is kwalitatief en waar mogelijk kwantitatief.

Bij deze tweede afweging van de geoptimaliseerde alternatieven wordt een uitgebreide set van evaluatiecriteria semi-kwantitatief beoordeeld. Een overzicht van de volledige set aan evaluatiecriteria is gerapporteerd in het evaluatiekader (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022a). Een deel van deze criteria hebben betrekking op hydromorfologische aspecten. Om deze aspecten te beoordelen zijn een reeks van onderzoeken en modelleringen uitgevoerd. De resultaten en analyses van deze onderzoeken worden samengebracht, geïnterpreteerd en besproken in dit rapport. De conclusies van dit rapport zijn vervolgens verwerkt in het afwegingsdocument voor de geoptimaliseerde alternatieven (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022c) waarin ook de bespreking van de overige criteria uit het evaluatiekader zijn opgenomen.

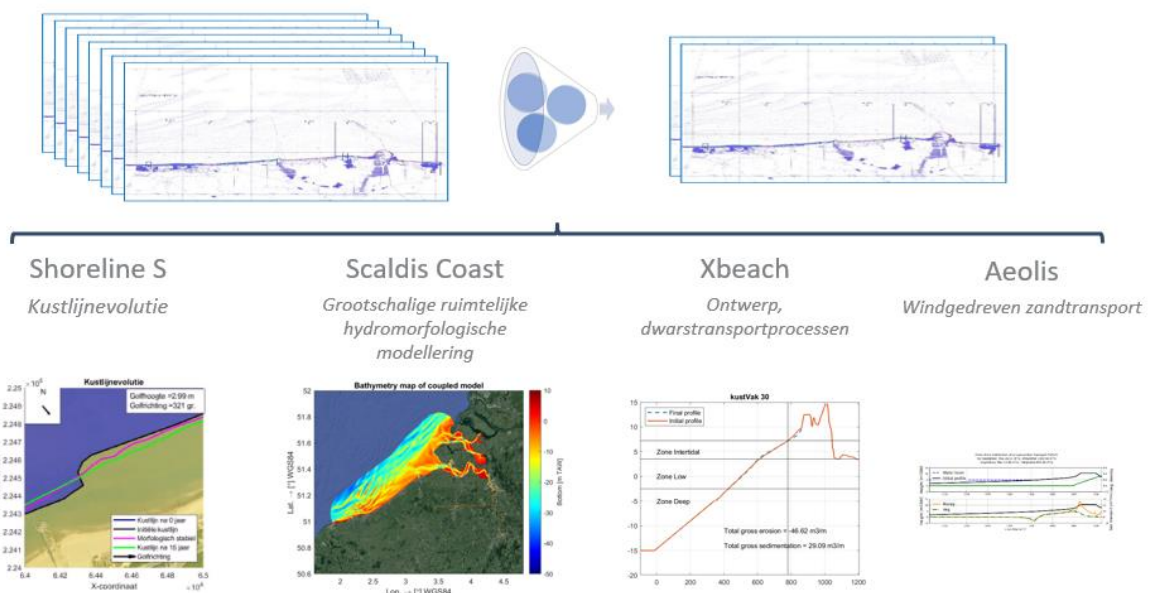
Een overzicht van de specifieke criteria met betrekking tot hydromorfologie en waar deze in dit rapport worden behandeld is opgenomen in Tabel 2-1. Het criterium morfologie strand en duin wordt deels hier behandeld, de volledige evaluatie is terug te vinden in het afwegingsdocument waar ook de link naar meer ecologische aspecten ervan worden opgenomen (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022c). Verder als input voor de aanleg- en onderhoudskosten (Haalbaar – 13. Gericht op evenwichten en noden – Directe kosten & baten) is eveneens een bespreking van de zandvolumes voor aanleg en onderhoud opgenomen. De effectieve kostenbepaling is uitgevoerd in de economische analyse (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis, Econopolis), 2023) en (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023i).

Tabel 2-1: Selectie van Evaluatiethema's en evaluatiecriteria Kustvisie, gelinkt aan het Kader van Ambities zoals gehanteerd voor de tweede verfijnde evaluatie van de geoptimaliseerde kansrijke alternatieven, gelinkt aan de hydromorfologische analyse. (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022a)

Ambitie	Sub-ambitie	Thema	Evaluatiecriteria	Behandeld in deze studie
Beschermend	1. Aaneengesloten	Aaneengesloten	Congruentie	Zie Hoofdstuk 3.2
	5. Technisch uitvoerbaar	Technisch uitvoerbaar	Onderhoudsbehoefte	Zie Hoofdstuk 9
Toekomst-gericht	9. Met ruimte voor fysische & ecologische processen	Fysisch	Hydrodynamica (getijdenwerking)	Zie Hoofdstuk 5
			Sedimenttransport (turbiditeit)	Zie Hoofdstuk 6

Ambitie	Sub-ambitie	Thema	Evaluatiecriteria	Behandeld in deze studie
			Morfologie strand en duinen	De volledige evaluatie van het criterium is opgenomen in de afwegingsnota, een discussie als input is opgenomen in Hoofdstuk 7.
			Morfologie geulen/banken systeem	Zie Hoofdstuk 7
			Eolische zandverstuiving	Zie Hoofdstuk 8
Haalbaar	13. Gericht op evenwichten en noden	Directe kosten & baten	Aanlegkosten en onderhouds- en operationele kost	Dit is opgenomen in de economische analyse, Hoofdstuk 9 geeft input in aanleg- en onderhoudsvolumes.

Om deze analyse mogelijk te maken zijn verschillende modellen ingezet en de resultaten geïnterpreteerd naar de verschillende criteria en gecombineerd met expertenoordeel. Een bondig overzicht van het modelinstrumentarium is gevisualiseerd in Figuur 2-1. Voor de beschrijving van de individuele modellen en hun resultaten wordt verwezen naar de aparte rapportages, zie overzicht onder sectie 1.1.



Figuur 2-1: Overzicht van modelinstrumentarium ingezet ter ondersteuning van de hydromorfologische evaluatie van alternatieven.

2.2 Geïntegreerd onderzoek

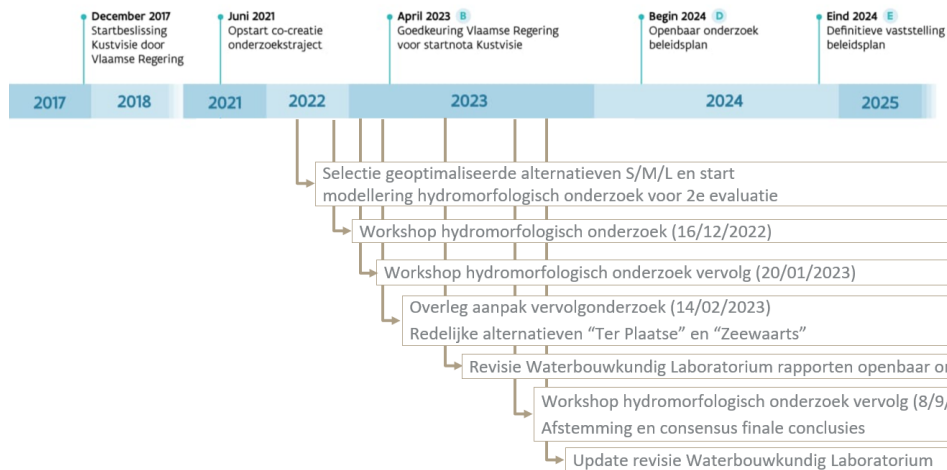
Volgend op de opmaak van de geoptimaliseerde alternatieven zijn redelijke alternatieven gedefinieerd (zie Hoofdstuk 3) en volgt een formeler geïntegreerd onderzoek inclusief plan-MER, maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en ondersteunende studies. Het geïntegreerd onderzoek bouwt daarbij voort op het reeds uitgevoerde onderzoek tijdens het co-creatieproces. Deze synthese hydromorfologische analyses is daarbij een van de ondersteunende studies en bouwt voort op de resultaten van de tweede evaluatie. Enkele bijkomende onderzoeken en gevoeligheidsanalyses met betrekking tot grensoverschrijdende effecten, impact van strandhoofden en onderhoud zijn toegevoegd.

Het geïntegreerd onderzoek vormt daarbij de basis voor de keuze en onderbouwing van het voorkeursalternatief met het kansrijke kustbeschermingslint dat wordt opgenomen in het strategisch beleidsplan.

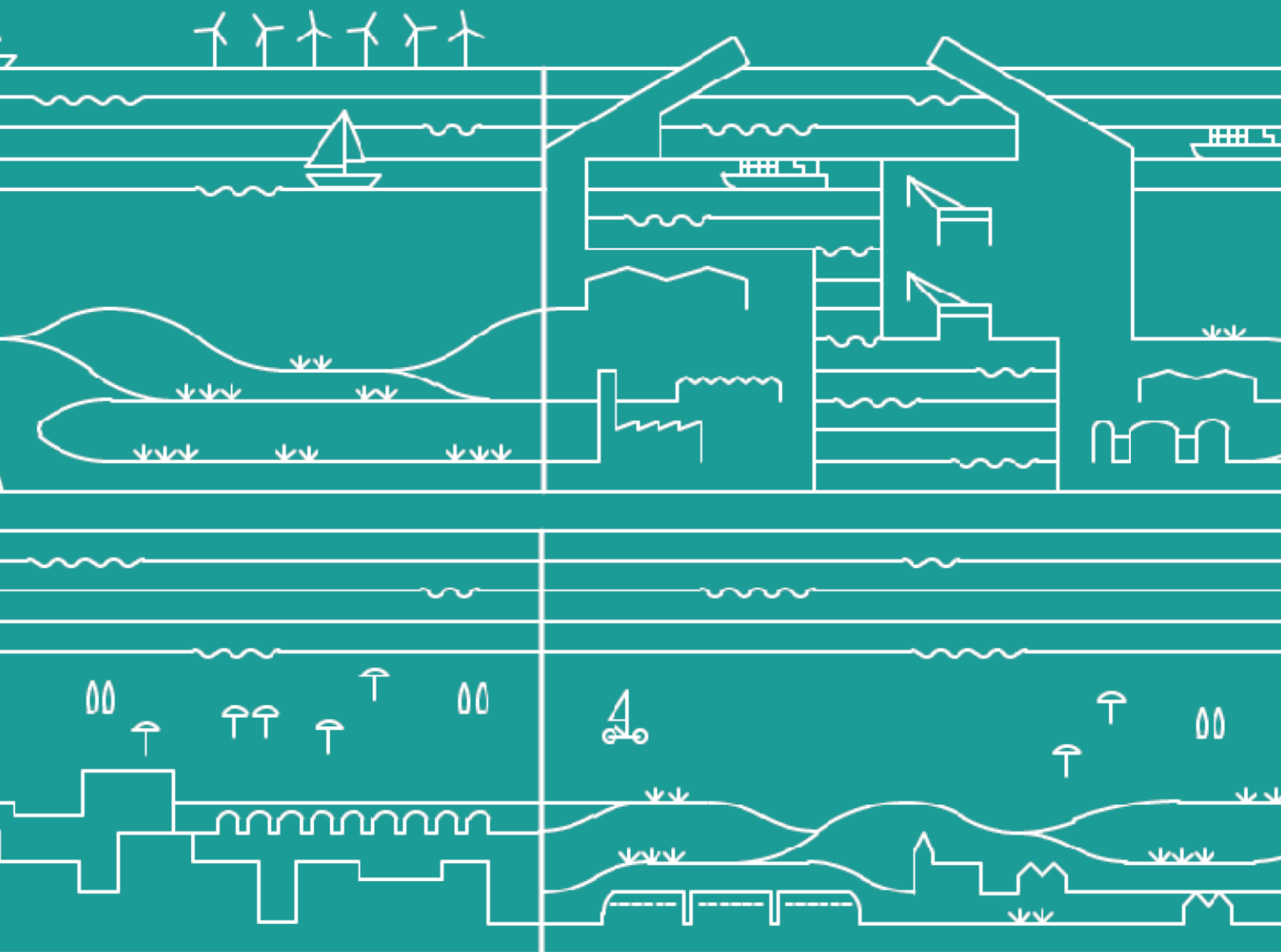
2.3 Overzicht studiewerk hydromorfologische evaluaties

Tijdens het evaluatieproces zijn verschillende workshops georganiseerd met de klant en experts van en in opdracht van het Waterbouwkundig Laboratorium waarbij de methodiek en evaluaties zijn overlopen en feedback is verzameld. Een samenvatting van de feedback is gerapporteerd door het Waterbouwkundig Laboratorium (Verwaest *et al.*, 2023) waarmee tegen de finale workshop aan de slag is gegaan en verwerkt in de finale versie van dit rapport.

Een overzicht van de verschillende afstemmingen is weergegeven in de tijdsbalk van Figuur 2-2.



Figuur 2-2: Overzicht met tijdsbalk van het uitgevoerde studiewerk, workshops en feedbacks met betrekking tot de hydromorfologische analyses.



**Overzicht van de kansrijke
geoptimaliseerde alternatieven voor
de tweede evaluatie en vertaling naar
redelijke alternatieven voor
geïntegreerd onderzoek**

3 Overzicht van de kansrijke geoptimaliseerde alternatieven voor de tweede evaluatie en vertaling naar redelijke alternatieven voor geïntegreerd onderzoek

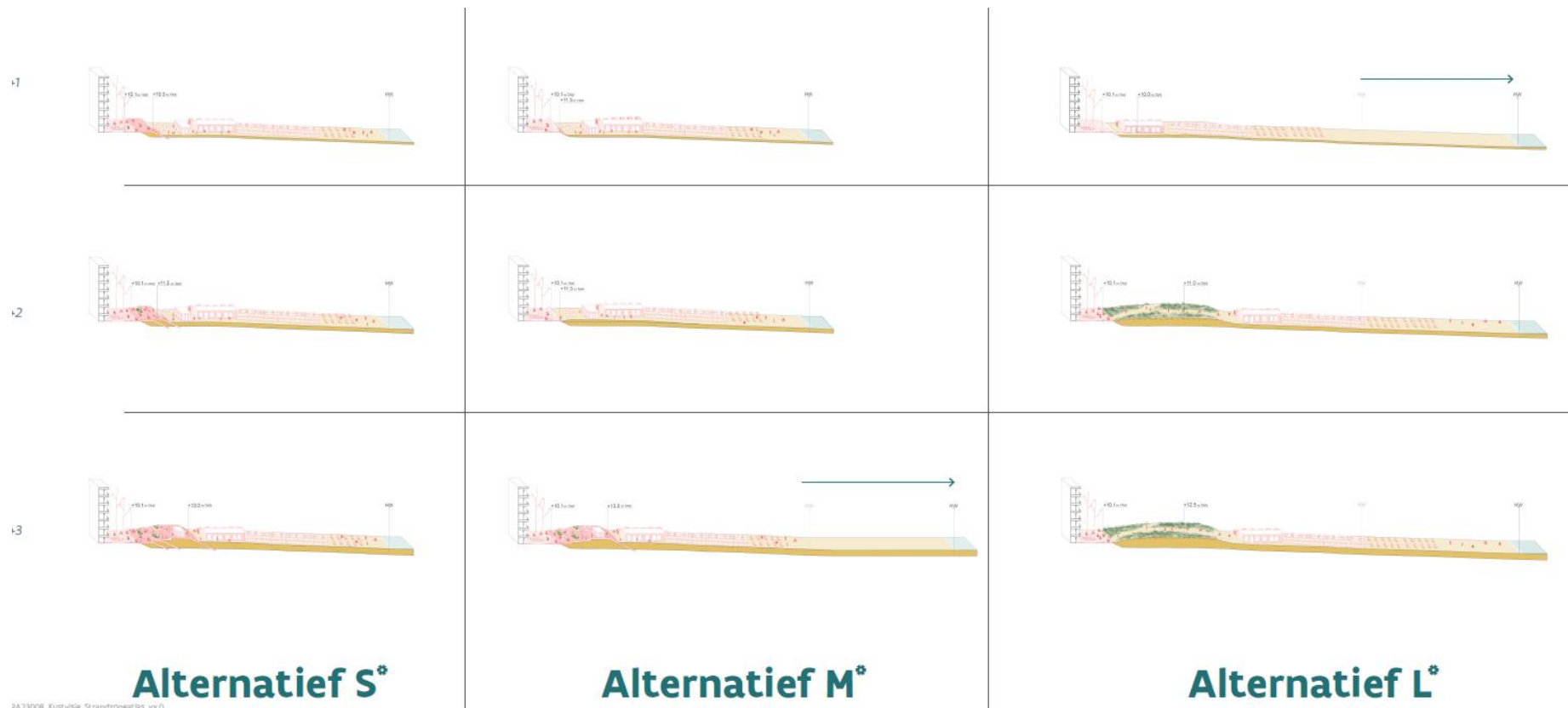
3.1 Kansrijke geoptimaliseerd alternatieven

Na de eerste evaluatie in het cocreatie-proces van Kustvisie zijn er **drie kansrijke alternatieven** behouden voor de **strandzones**, genaamd Small (S), Medium (M) en Large (L). Deze werden verder bijgestuurd en **geoptimaliseerd**, gebaseerd op de resultaten van deze eerste evaluatie en de inputs ontvangen van de stakeholders tijdens de werkbanken doorheen het co-creatieonderzoekstraject. Vervolgens zijn de geoptimaliseerde alternatieven geanalyseerd tijdens de **tweede evaluatie**. Deze drie alternatieven worden in dit rapport dan ook behandeld.

De drie geoptimaliseerde alternatieven genaamd Small (S*), Medium (M*) en Large (L*) zijn opgebouwd uit twee types kustlijnen: een kustlijn 2 (behoud kustlijnpositie) en kustlijn 3 (zeewaartse verplaatsing kustlijn) of combinaties van beiden. Voor deze drie alternatieven is tevens een roadmap of stappenplan aangegeven aan de hand van de benodigde ruimte en maatregelen voor drie zeespiegelstijgingsniveaus: 1m, 2m en 3m. Een uitgebreide beschrijving van de alternatieven is terug te vinden in het ontwerprapport van de zeewering (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023j) en de afwegingsnota na optimalisatie (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022c) en is geïllustreerd in de strandzoneatlas (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a). Een overzicht van de ruimte-inname en mogelijke ingrepen van de drie geoptimaliseerde alternatieven bij 3 m zeespiegelstijging is opgenomen in Figuur 3-5 tot en met Figuur 3-8 voor geoptimaliseerd alternatief S*, in Figuur 3-9 tot en met Figuur 3-12 voor geoptimaliseerd alternatief M* en in Figuur 3-13 tot en met Figuur 3-16 voor geoptimaliseerd alternatief L*. De roadmaps van de alternatieven is geïllustreerd in Figuur 3-1.

- **Small (S*)**: dit alternatief bestaat volledig uit kustlijn 2. De huidige kustlijnpositie blijft behouden door stelselmatig suppleren van het strandprofiel bij zeespiegelstijging, het strand groeit dus als het ware mee (in de hoogte) met de zeespiegelstijging.
- **Medium (M*)**: dit alternatief bestaat uit combinaties van kustlijn 2 en kustlijn 3 zowel naar finaal eindbeeld bij +3m zeespiegelstijging als variërend doorheen de tijd in de roadmap. In alternatief M* wordt zo lang mogelijk getracht binnen de bestaande ruimte (kustlijn 2) de zeewering in te richten en aan te passen. Wanneer dit niet meer mogelijk is volgt een stapsgewijze zeewaartse uitbreiding, we schakelen dan over op kustlijn 3. Het moment waarop deze zeewaartse uitbreiding nodig is varieert langsheen de kust. Omwille van de stabiliteit van de kustlijn wordt de zeewaartse uitbreiding dan meteen toegepast voor ruimere aaneengesloten zones, dit om een kronkelende kustlijn te vermijden. Daarbij wordt van de gelegenheid gebruik gemaakt om bij de stelselmatige zeewaartse uitbreiding toe te werken naar een meer stabiele kustlijn voor wat betreft het langstransport.
- **Large (L*)**: dit alternatief bestaat volledig uit kustlijn 3. Hierbij wordt meteen (bij +1 m zeespiegelstijging) een zeewaartse verplaatsing van de kustlijn uitgevoerd om extra ruimte te creëren voor de zeewering in combinatie met andere opportuniteiten. Bij de zeewaartse uitbreiding is van de mogelijkheid gebruik gemaakt om een meer stabiele kustlijn te creëren voor wat betreft het langstransport. De zeewaartse uitbreiding wordt vervolgens stelselmatig opgehoogd door suppleties bij zeespiegelstijging.

→ Wanneer er verder in dit document over de alternatieven **Small**, **Medium** en **Large** wordt gesproken, gaat dit steeds over de geoptimaliseerde alternatieven, na de eerste evaluatie.

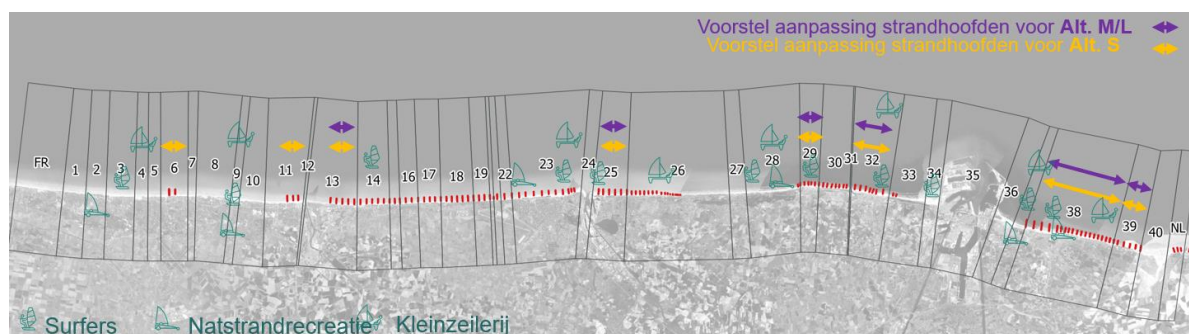


Figuur 3-1: Illustratie van de roadmap van de geoptimaliseerde alternatieven voor +1m, +2m en +3m zeespiegelstijging aan de hand van voorbeelduitwerkingen voor de aanpassing nabij een badplaats met verschillende kustverdedigingsmaatregelen en bijhorende dimensies. uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

Als onderdeel van de alternatieven is een inschatting gemaakt waar het aangewezen kan zijn in de toekomst om **strandhoofden** aan te passen en of te voorzien. Dit is gebaseerd op de kustvakken met de grootste erosievolumes voor de geoptimaliseerde alternatieven, waar een reductie van erosie en onderhoud bij de geoptimaliseerde alternatieven kan zijn aangewezen. Meer achtergrondinformatie is terug te vinden in de secties 9.3.3 en 9.3.5. Figuur 3-2 geeft de kustvakken aan waar voor de evaluatie van de geoptimaliseerde alternatieven is aangenomen dat er strandhoofden aanwezig zijn.

Het meenemen van strandhoofden in deze studie van Kustvisie is relevant voor de kosteninschatting en de evaluaties in het MER zoals bijvoorbeeld rond recreatie en toerisme. In de gemarkeerde kustvakken is in dit onderzoek aangenomen dat de bestaande strandhoofden worden aangepast. Dit betekent voor geoptimaliseerd alternatief S een stelselmatige ophoging van de strandhoofden met zeespiegelstijging, voor geoptimaliseerd alternatief L een verlenging en vervolgens stelselmatige ophoging met zeespiegelstijging en voor geoptimaliseerd alternatief M een stelselmatige ophoging met zeespiegelstijging en verlenging op het moment van de zeewaartse verschuiving.

In dit onderzoek is meegenomen waar erosiebeperkende maatregelen relevant kunnen zijn en wat de impact ervan kan zijn op kosten en MER beoordeling. Er wordt echter geen uitspraak gedaan hoe deze maatregelen in de toekomst zullen worden toegepast. Een verder uitwerking van de noodzaak en het nut van strandhoofden, de impact op onderhoud en de beste ontwerpstrategie voor strandhoofden is aangewezen in vervolgonderzoek. De precieze lay-out en het ontwerp van dergelijke strandhoofdenvelden situeert zich dan weer op een projectniveau.



Figuur 3-2: Indicatie van kustvakken met de grootste erosietrends in de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L waar strandhoofden potentieel relevant zijn om het onderhoud te reduceren. Voor de evaluatie van de alternatieven zijn aanpassingen van de strandhoofden in de gemarkeerde kustvakken toegepast.

Daarnaast zijn er **havenalternatieven die zijn gecombineerd met de alternatieven van de strandzones**. De alternatieven in de havens variëren in de toegepaste strategie tussen het openhouden van de haven, het voorzien van een stormvloedkering of sluisvarianten (gewone sluis of type keersluis).

Meer info over de alternatieven voor de havens is terug te vinden in het ontwerpverslag havens (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022d), de afwegingsnota na optimalisatie (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022c) en de havenzoneatlas (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023k).

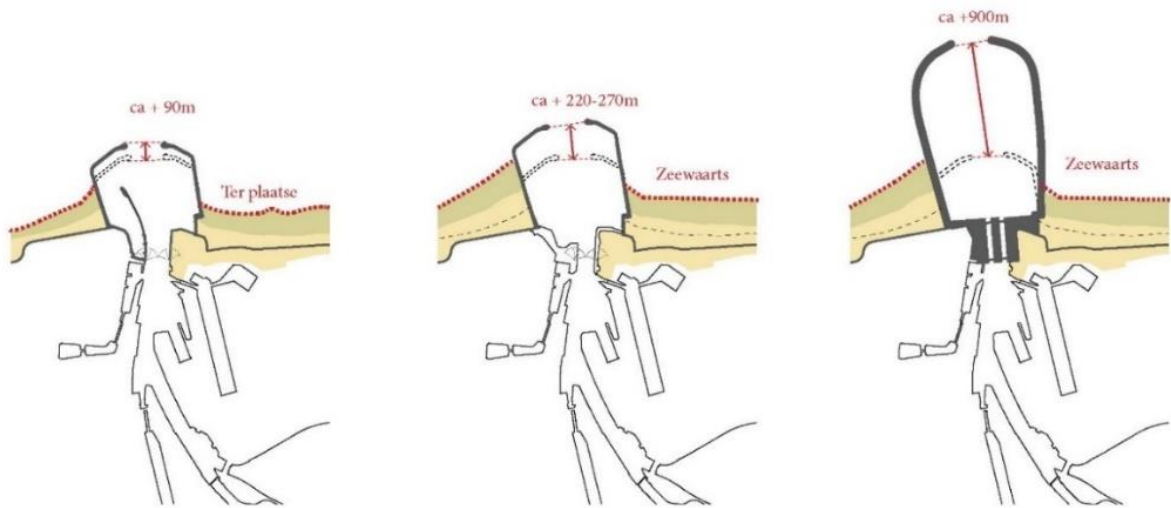
Wat betreft de hydromorfologische analyse in deze deelstudie gaat minder aandacht naar de havenoplossingen binnen de havencontour, wel wordt de invloed van de aanpassingen van havendammen op de hydromorfologie van de kustzone mee beschouwd.

In functie van de zeewaartse uitbreiding van de strandzones zijn immers verschillende zeewaartse aanpassingen van de havendammen en strekdammen of opvangdammen in Blankenberge, Oostende en Nieuwpoort voorgesteld. In dit onderzoek van Kustvisie is gewerkt met een aanpassing van de havendammen. In vervolgonderzoek dient deze aanpassing verder te worden ontworpen en kan ook bestaan uit verlengingen of toevoegingen van opvangdammen. In de haven van Zeebrugge zijn geen zeewaartse aanpassingen van de havendammen nodig voor aansluiting met de strandzones (ze moeten wel verhoogd worden op termijn in functie van de bescherming van de haven).

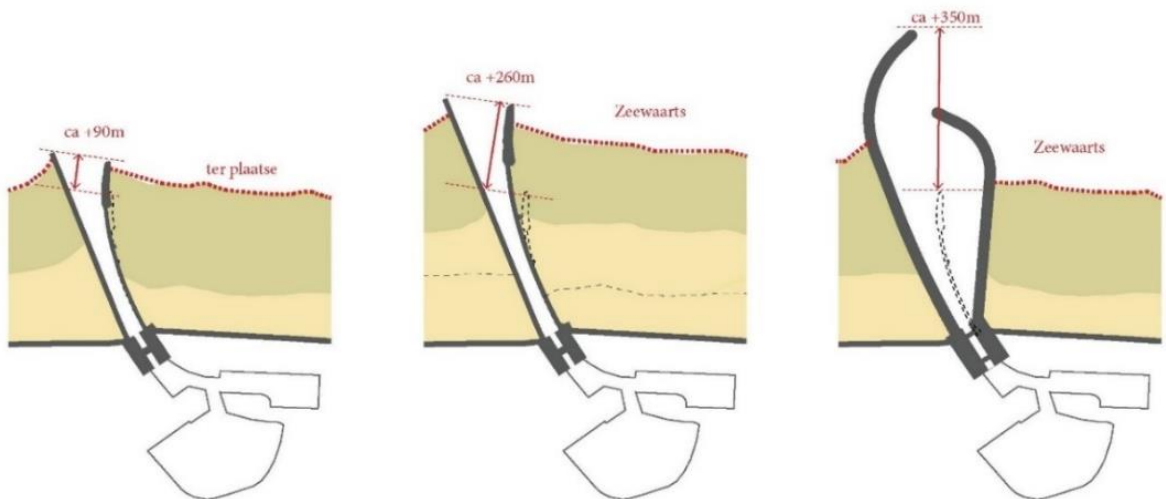
Daarnaast zijn er twee havenalternatieven in Oostende en Blankenberge waar de havendammen nog verder zeewaarts zijn aangepast, niet omwille van de aansluiting op de strandzones, maar omwille van **nautische redenen bij het inpassen van een zeesluis**. De impact daarvan is eveneens onderzocht voor de situatie van 3 m zeespiegelstijging.

De aanpassingen voor aansluiting aan strandzones en verdere verlenging in Oostende en Blankenberge zijn geïllustreerd in respectievelijk Figuur 3-3 en Figuur 3-4.

Tot slot in verband met de referentiesituatie; dit is de huidige situatie waarin de volledige uitvoering van het Masterplan Kustveiligheid is verondersteld (2030). Waar mogelijk is eveneens een inschatting gemaakt hoe de referentiesituatie wijzigt bij +1 m, +2 m en +3 m zeespiegelstijging zodat de vergelijking van alternatief en referentie onder dezelfde gewijzigde omgevingscondities mogelijk is.

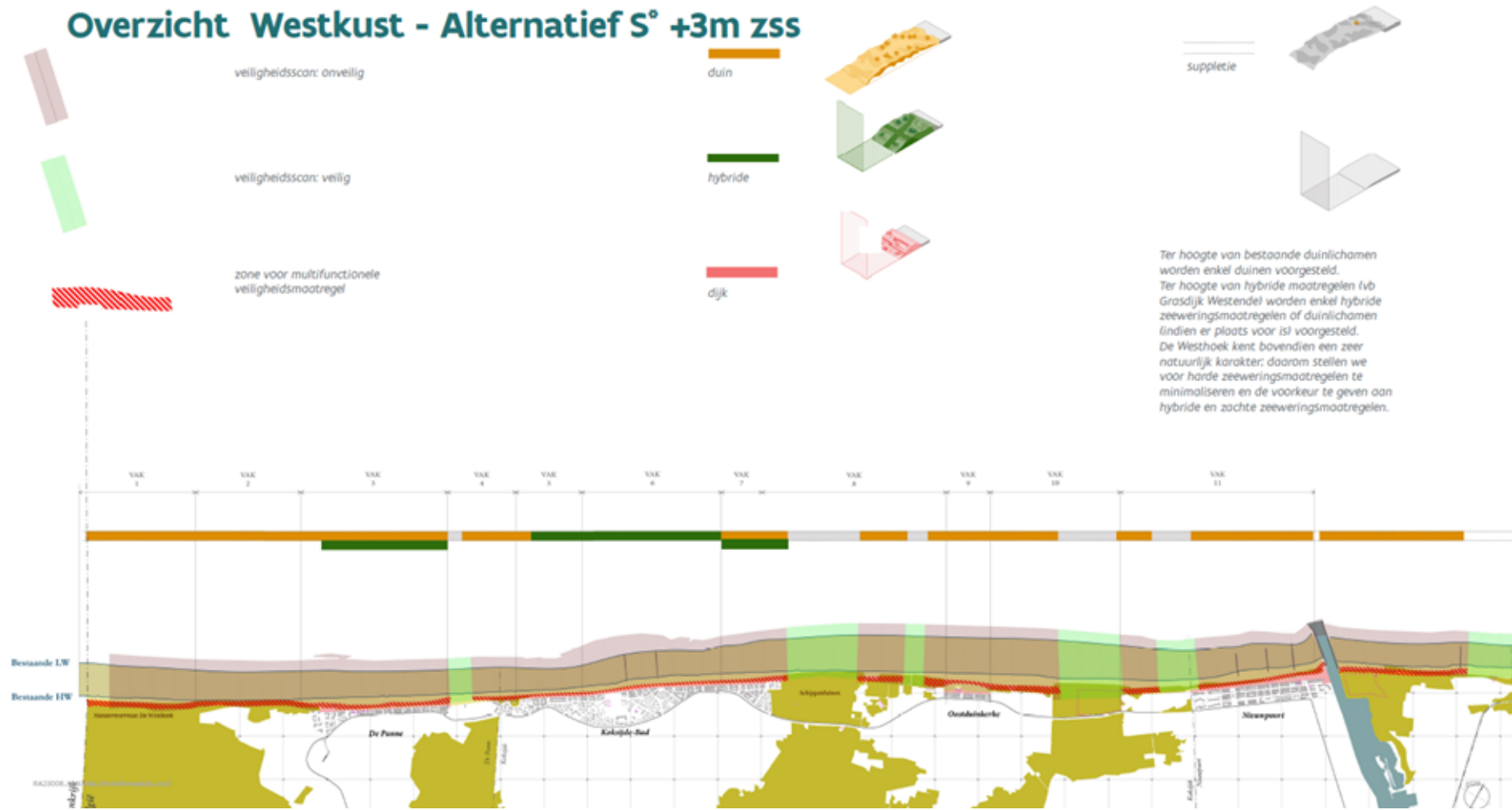


Figuur 3-3: Aansluiting alternatieven strandzones & havens – voorbeeld haven Oostende. De maatvoering is indicatief en zal in de projectfase verfijnd worden. Ook het ontwerp van de aangepaste havendammen en/of opvangdammen dient in projectfase bepaald te worden.



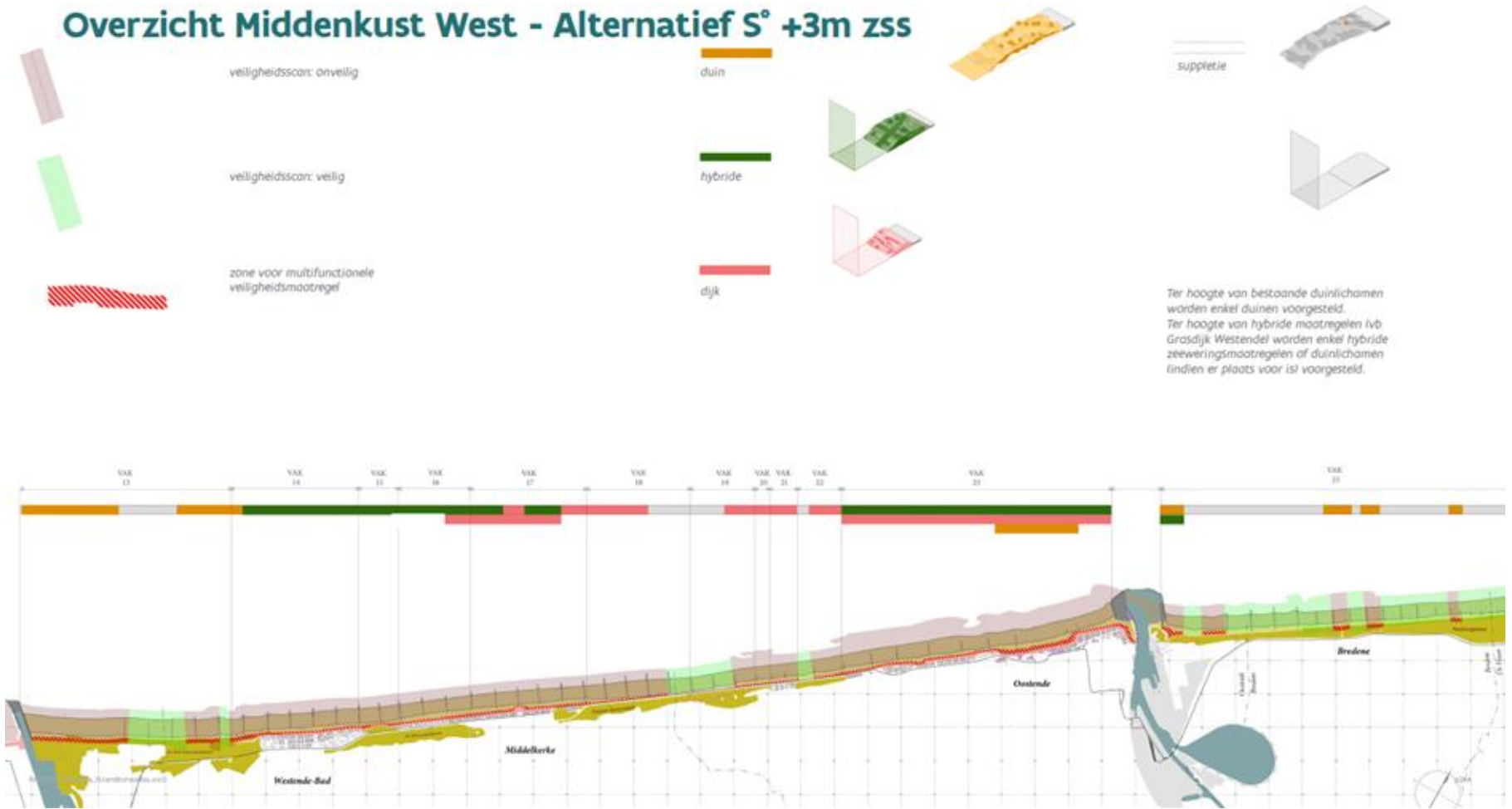
Figuur 3-4: Aansluiting alternatieven havens & strandzones – voorbeeld haven Blankenberge. De maatvoering is indicatief en zal in de projectfase verfijnd worden.

Overzicht Westkust - Alternatief S° +3m zss



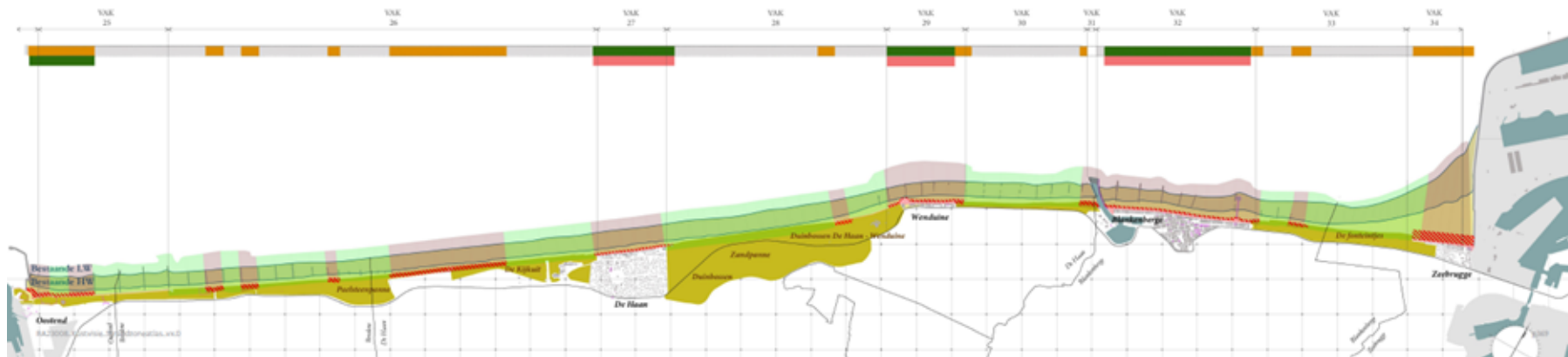
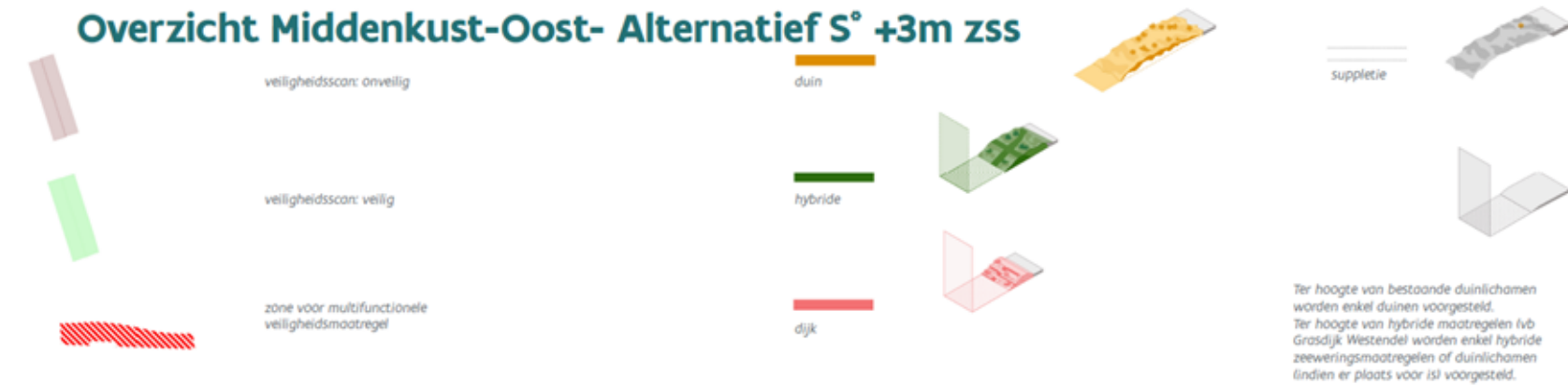
Figuur 3-5: Geoptimaliseerd alternatief S bij +3m zeespiegelstijging – Westkust. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

Overzicht Middenkust West - Alternatief S° +3m zss

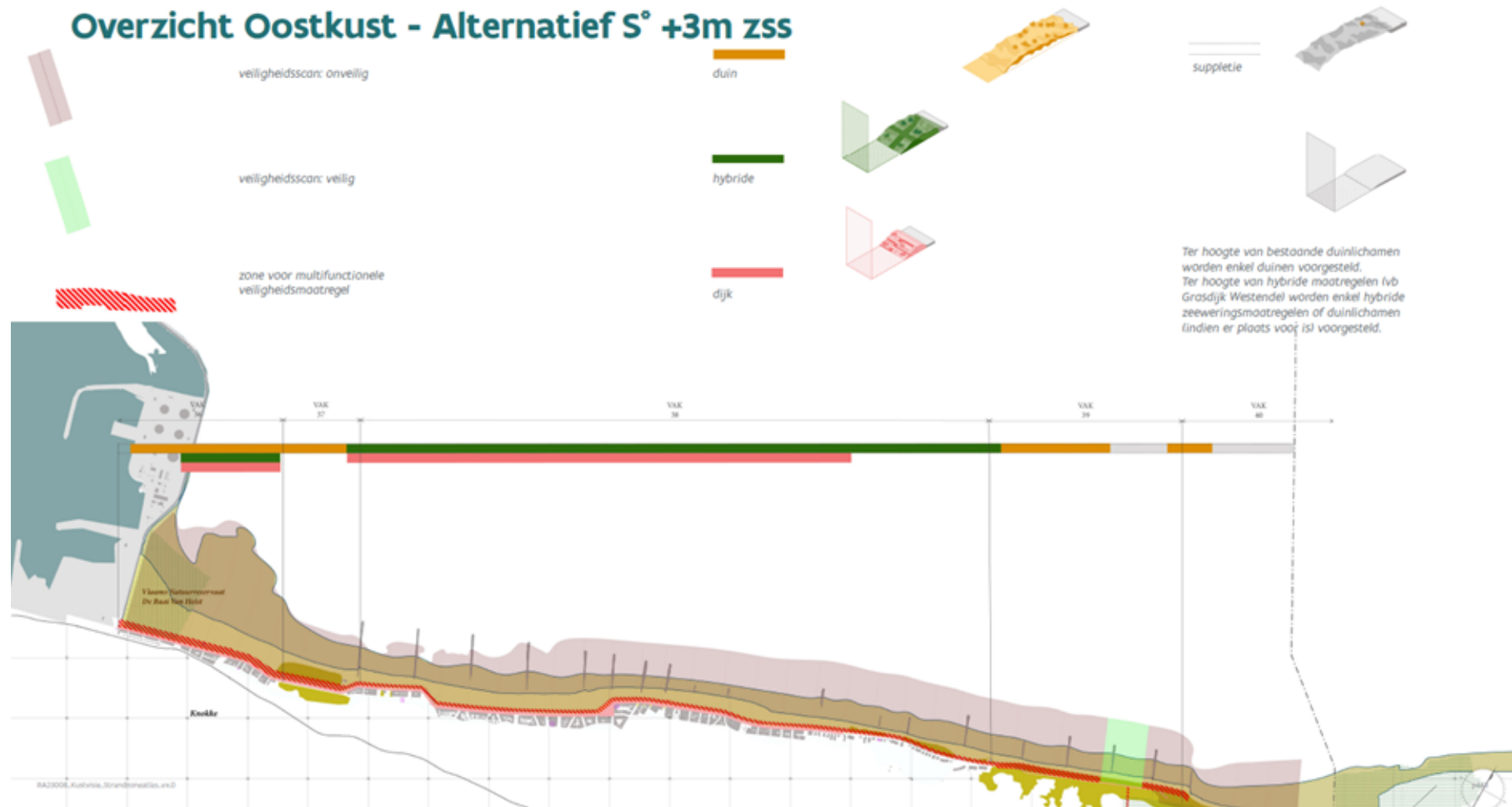


Figuur 3-6: Geoptimaliseerd alternatief S +3m zeespiegelstijging – Middenkust West. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

Overzicht Middenkust-Oost- Alternatief S° +3m zss

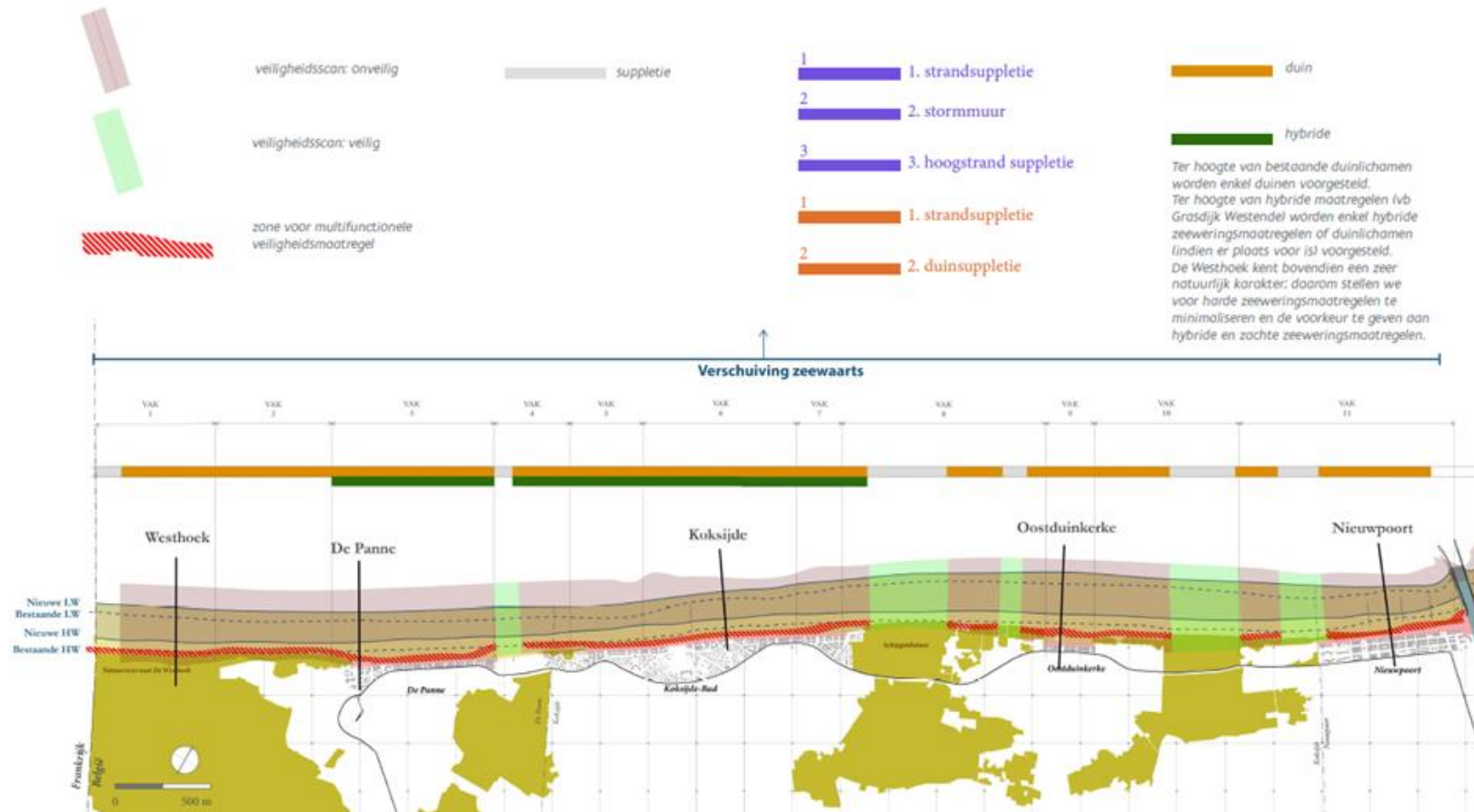


Figuur 3-7: Geoptimaliseerd alternatief S bij +3m zeespiegelstijging – Middenkust Oost. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).



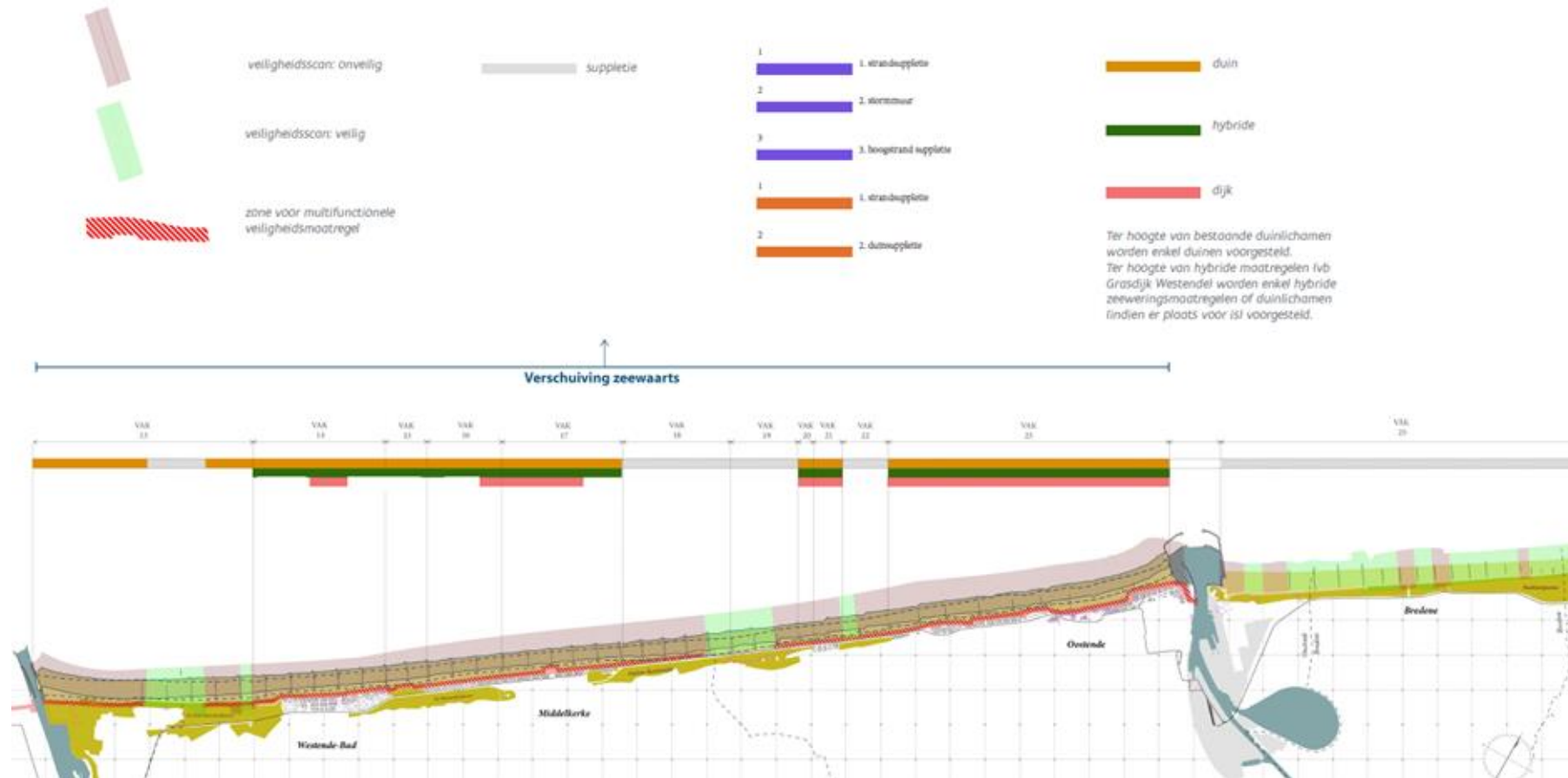
Figuur 3-8: Geoptimaliseerd alternatief S bij +3m zeespiegelstijging – Oostkust. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

Overzicht Westkust - Alternatief M° +3m zss



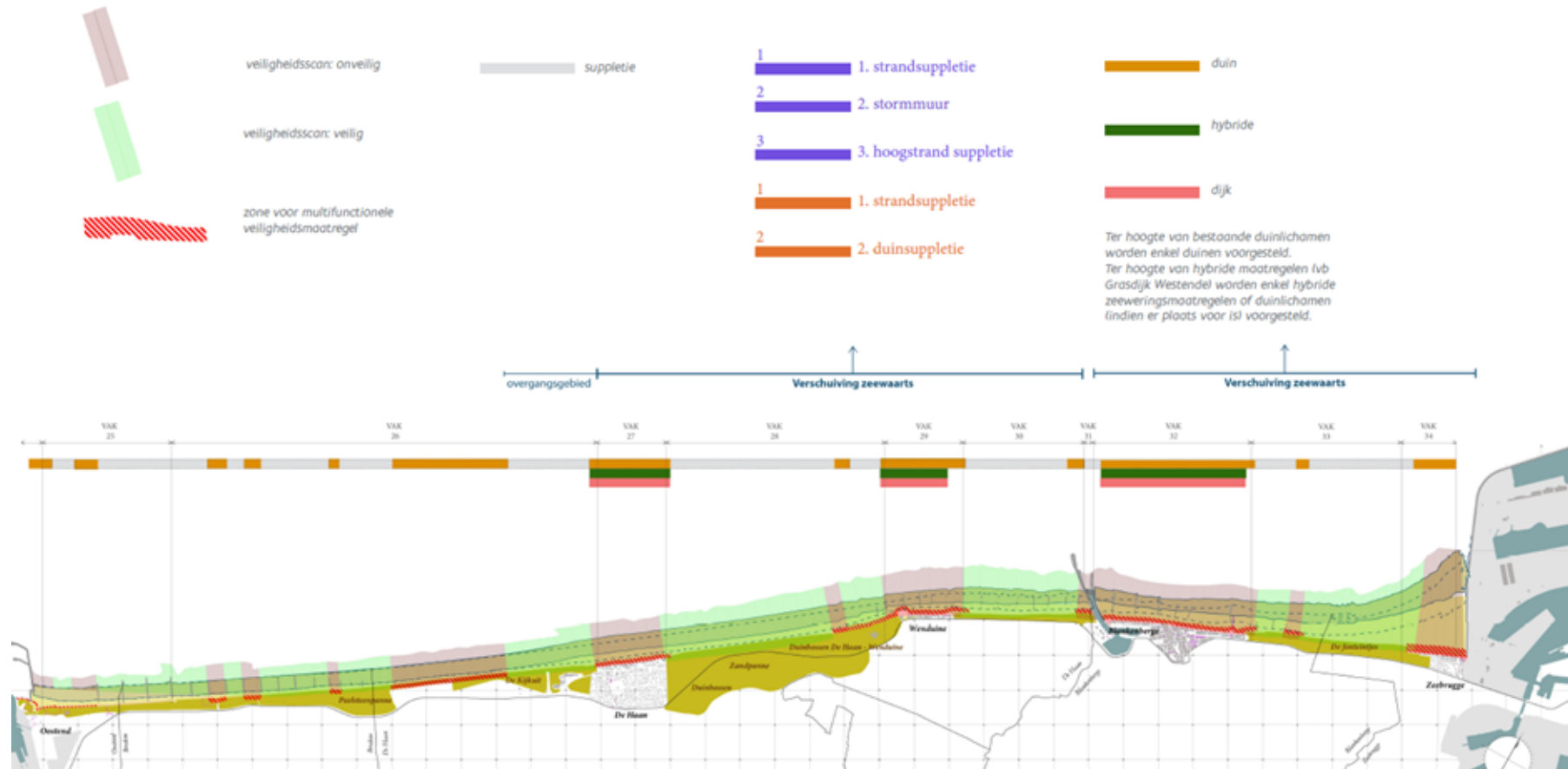
Figuur 3-9: Alternatief M bij +3m zeespiegelstijging – Westkust. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

Overzicht Middenkust West - Alternatief M° +3m zss



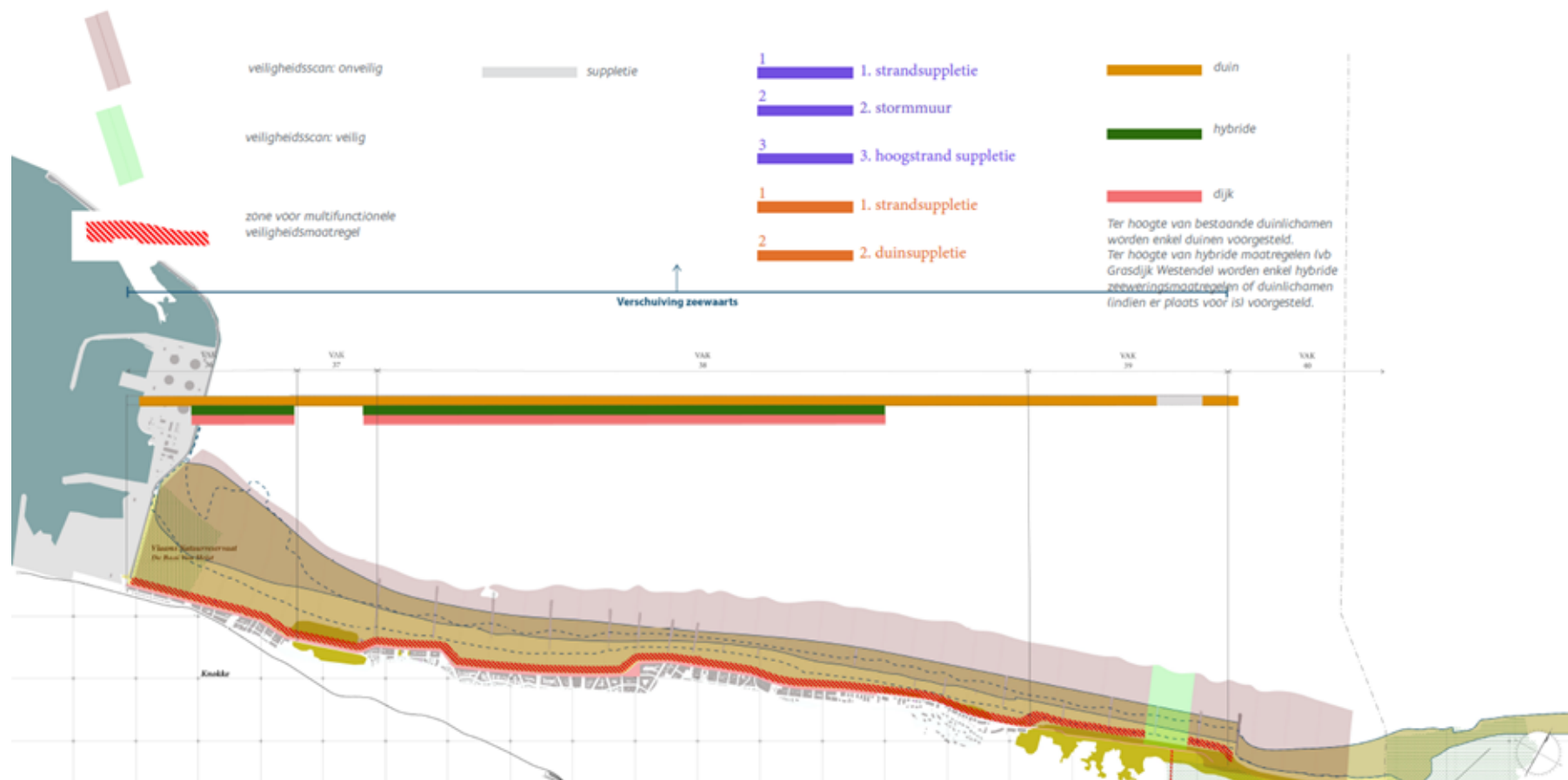
Figuur 3-10: Alternatief M bij +3m zeespiegelstijging – Middenkust West. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

Overzicht Middenkust-Oost - Alternatief M° +3m zss



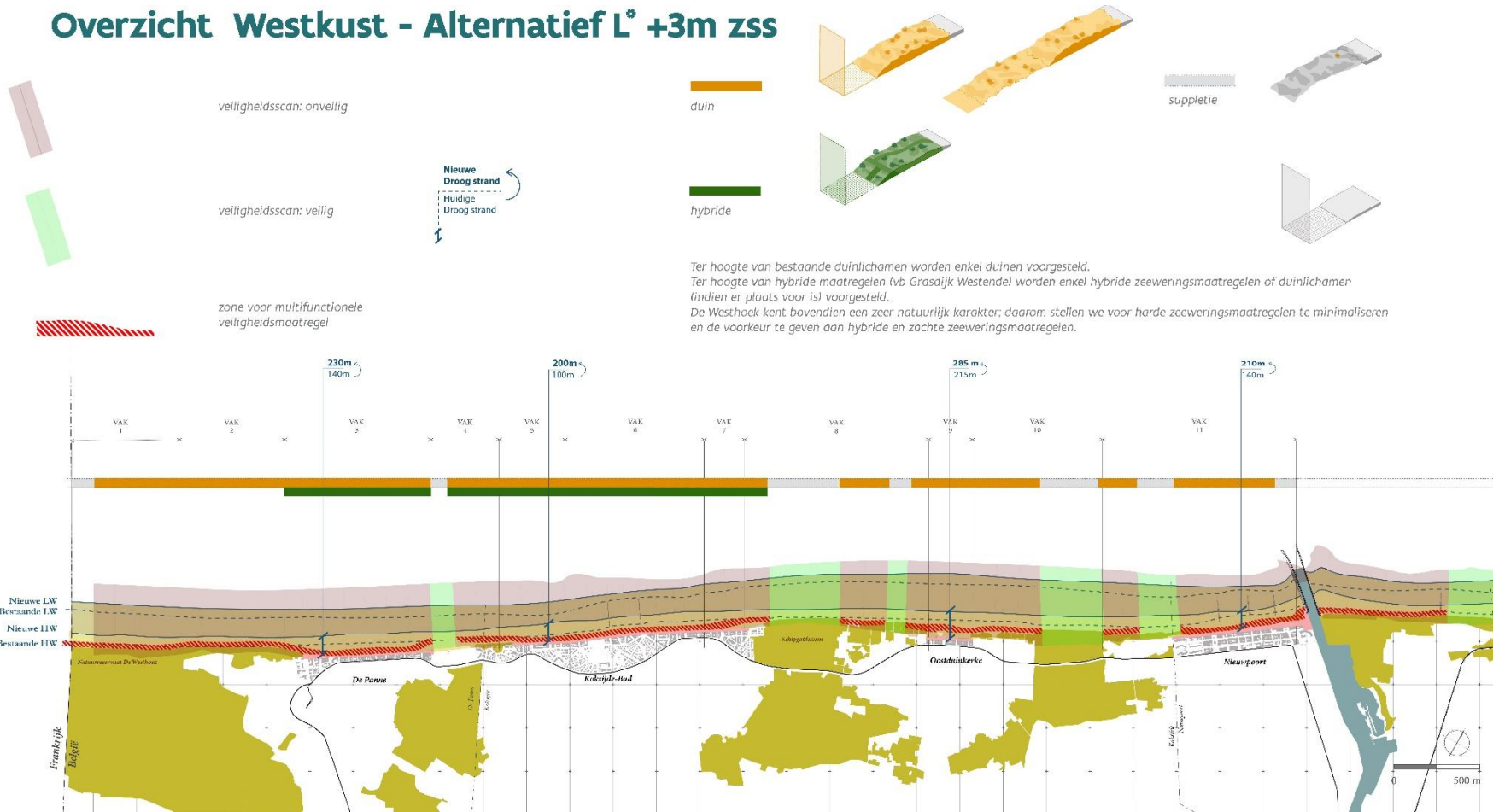
Figuur 3-11: Alternatief M bij +3m zeespiegelstijging – Middenkust Oost. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

Overzicht Oostkust - Alternatief M° +3m zss



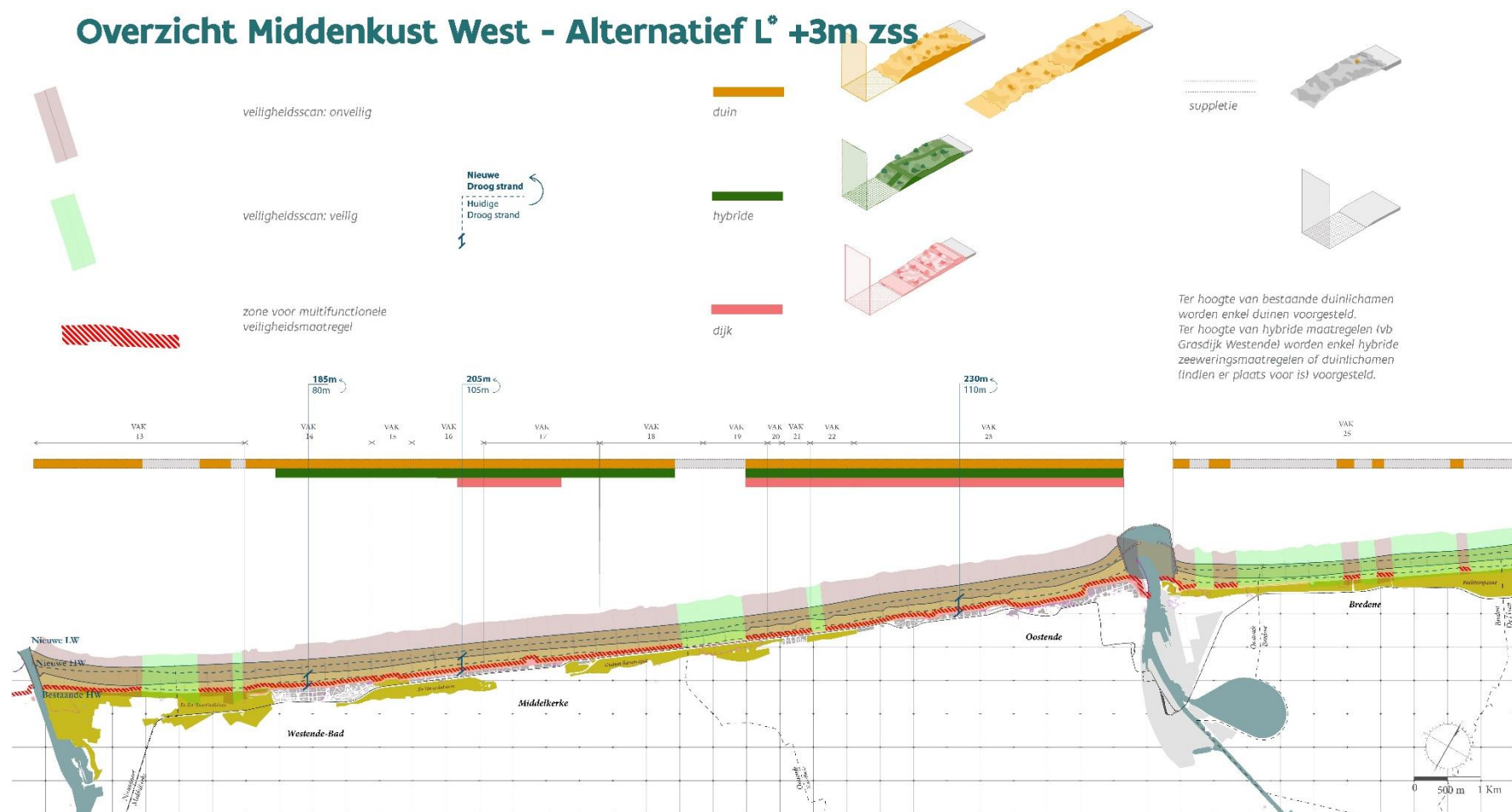
Figuur 3-12: Alternatief M bij +3m zeespiegelstijging – Oostkust. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

Overzicht Westkust - Alternatief L* +3m zss



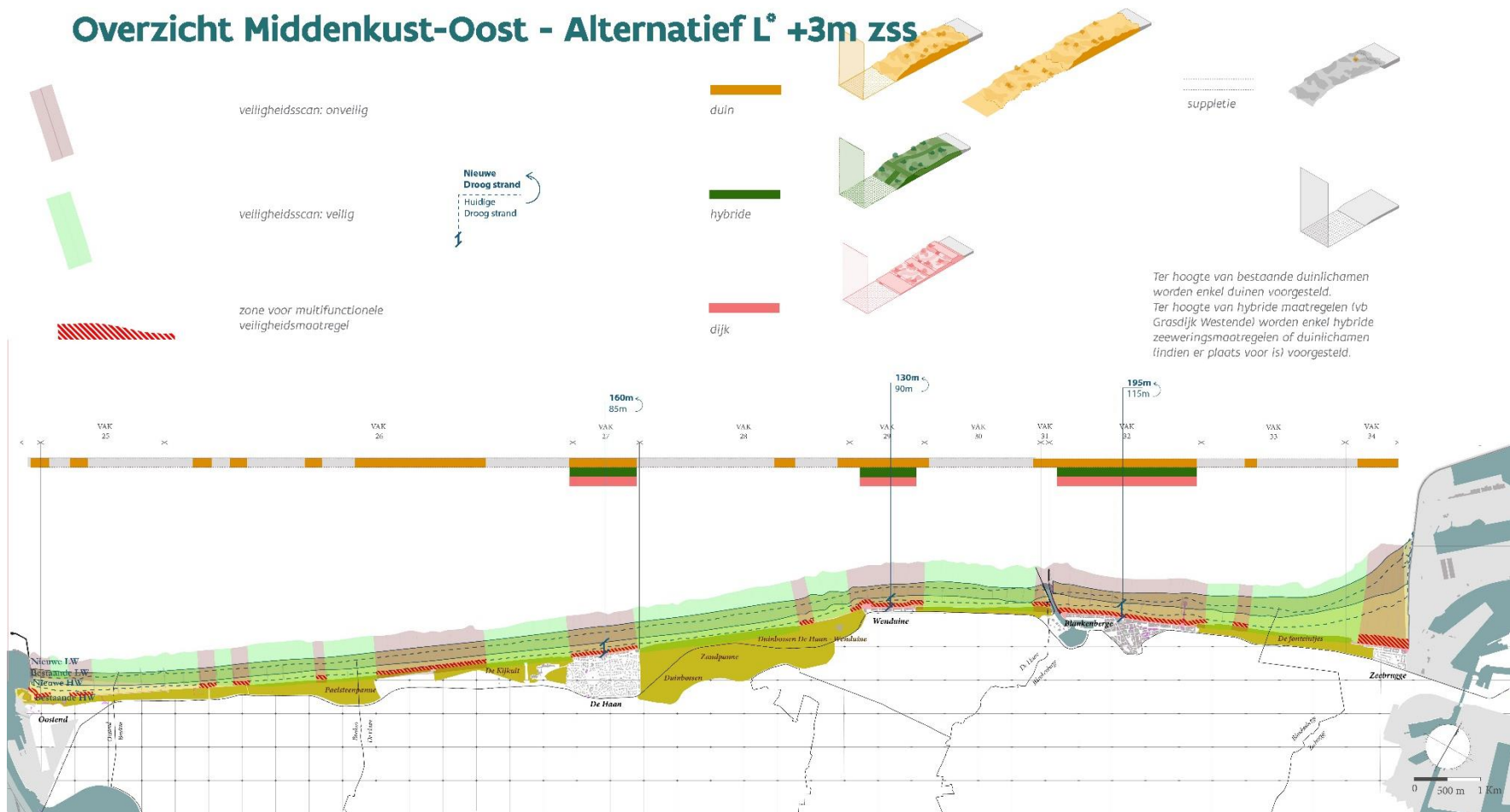
Figuur 3-13: Alternatief L bij +3m zeespiegelstijging – Westkust. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

Overzicht Middenkust West - Alternatief L* +3m zss



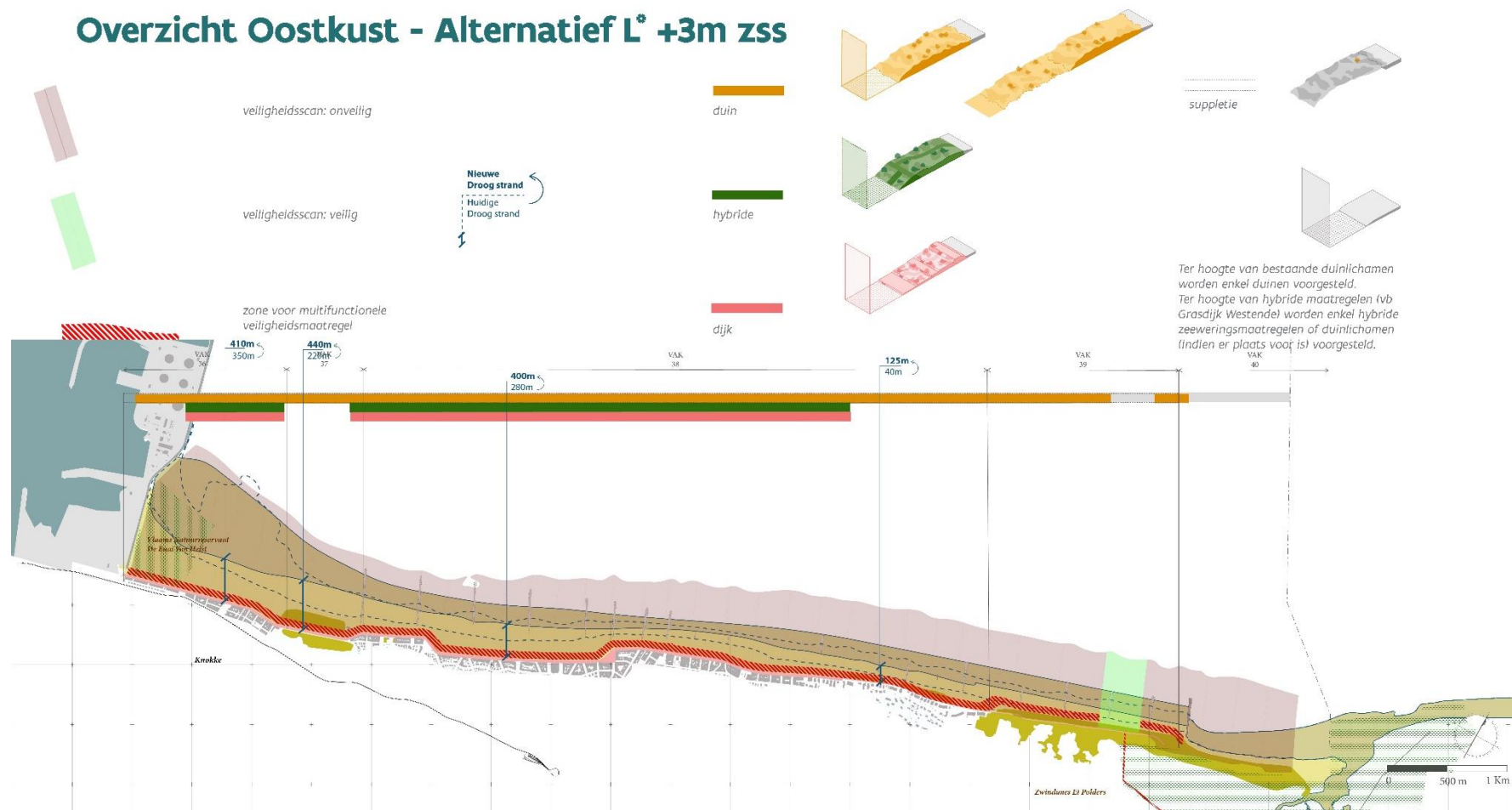
Figuur 3-14: Alternatief L bij +3m zeespiegelstijging – Middenkust West. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

Overzicht Middenkust-Oost - Alternatief L° +3m zss



Figuur 3-15: Alternatief L bij +3m zeespiegelstijging – Middenkust Oost. Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

Overzicht Oostkust - Alternatief L* +3m zss



Figuur 3-16: Alternatief L bij +3m zeespiegelstijging – Oostkust. Uit (Consortium Hoogtijd) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a).

3.2 Redelijke alternatieven

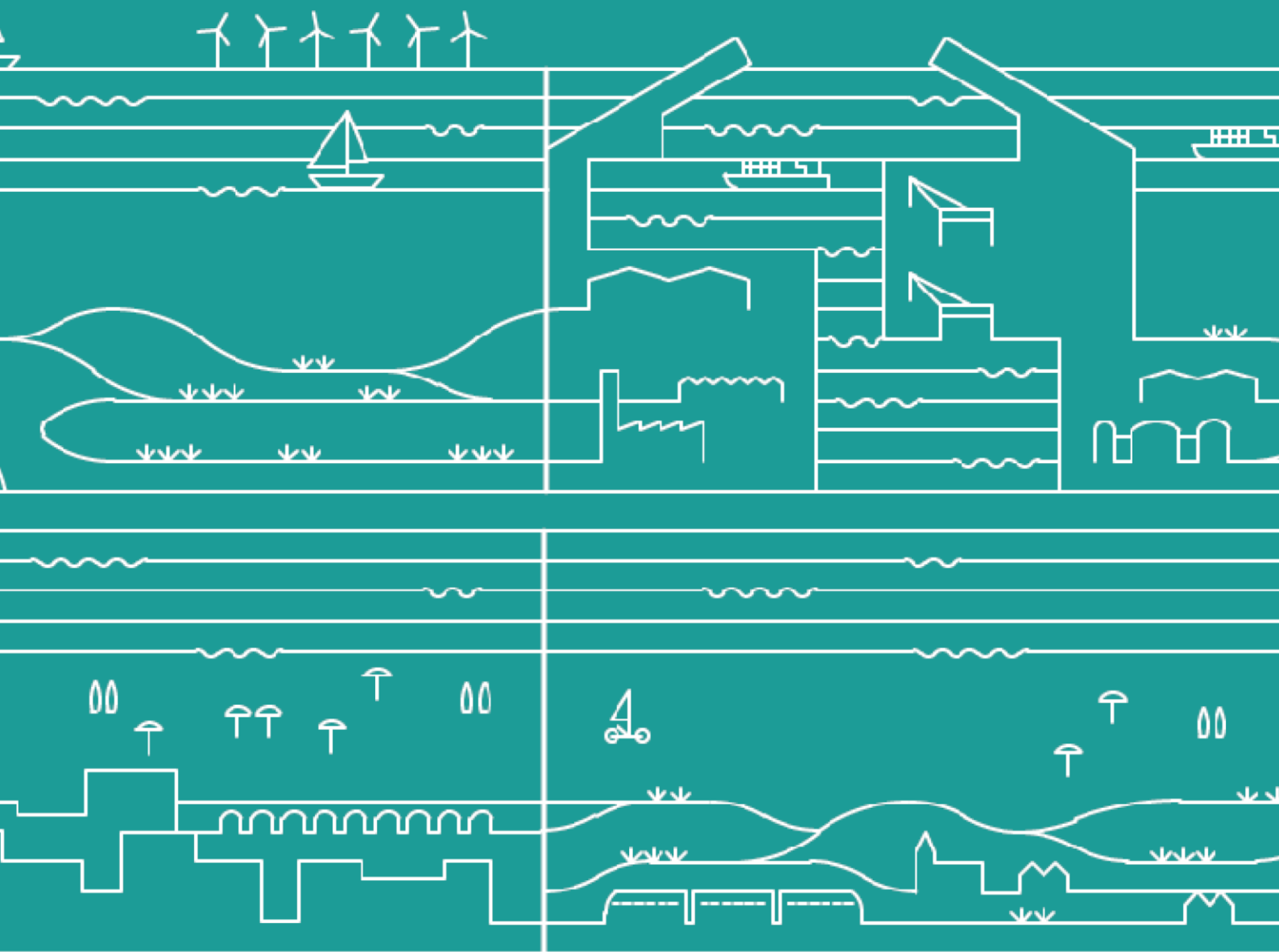
Als resultaat van het cocreatie-traject zijn de kansrijke geoptimaliseerde alternatieven S, M en L vertaald in twee redelijke alternatieven voor het verdere geïntegreerd onderzoek, inclusief plan-MER en een maatschappelijke kosten-batenanalyse en voorontwerp van strategisch plan. Voor de **strandzones** zijn er twee **redelijke alternatieven**:

- **‘Ter plaatse’**. Bij alternatief ‘Ter plaatse’ blijven de huidige hoog- en laagwaterlijn waar die vandaag zijn. De zeeweringsmaatregelen worden met andere woorden uitgevoerd binnen de zone die er vandaag bestaat tussen de zee en de bebouwing. Dit redelijk alternatief komt overeen met de ruimte en stappenplan van **geoptimaliseerd alternatief Small (S)**.
- **‘Zeewaarts’**. Alternatief ‘Zeewaarts’ maakt de ruimte voor beschermingsmaatregelen groter. De hoog- en laagwaterlijn verschuift doorheen de tijd: in één stap of in meerdere stappen. In beide varianten betekent dit dat op termijn de hoog- en laagwaterlijn gemiddeld een honderdtal meter in zee verschuiven. Hierdoor is er niet alleen meer ruimte voor het inpassen van zeeweringsmaatregelen ter hoogte van de promenade. Dankzij de verbreding van het strand, kan in vergelijking met alternatief ‘Ter Plaatse’ de huidige breedte van het droog strand worden behouden of zelfs vergroot. Daarnaast wordt er ruimte gecreëerd waarbinnen het mogelijk is om langsheen de kust een continu beschermend en robuust duinenlandschap in te passen, ook ter hoogte van de badsteden:
 - Wanneer de ruimte in meerdere stappen zeewaarts wordt uitgebreid, gaat het over de variant **‘Zeewaarts in stapjes’** welke overeenkomt met het stappenplan van **geoptimaliseerd alternatief Medium (M)**.
 - Wanneer de kustlijn reeds bij aanvang zeewaarts wordt verschoven, gaat het over de variant **‘Zeewaarts in één sprong’**, welke overeenkomt met het stappenplan van **geoptimaliseerd alternatief Large (L)**.

Deze twee redelijke alternatieven worden in meer detail toegelicht in de synthesesnota (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG,

Wat betreft de redelijke alternatieven in de **havens**, wordt verwezen naar de synthesesnota (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022e) en de onderzoeksnota (Studieteam Hoogtij(d) (IMDC, Arcadis en ORG), 2023).

Arcadis), 2022e) en in de onderzoeksnota (Studieteam Hoogtij(d) (IMDC, Arcadis en ORG), 2023).



Aaneengesloten kustlijn

4 Aaneengesloten kustlijn

4.1 Inleiding

Een van de ontwerpdoelen voor de verschillende alternatieven is het waarborgen van de continuïteit van de kustlijn tussen de kustregio's, met de havens, het Zwin en met de buurlanden zodat geen nadelige effecten in termen van erosie- en sedimentatieproblemen en discontinue aansluitingen worden gecreëerd. In het ideale geval leidt dit bovendien tot het verminderen van sedimenttransportgradiënten langs de kust, waardoor de hoeveelheid onderhoud die nodig is voor het kustlijnonderhoud kan worden verminderd. Het concept continuïteit van de kustlijn is daarmee ingebouwd in het ontwerp van de zeevaartse Alternatieven M en L.

Eén van de manieren om deze continue en meer "stabiele" kustlijn in relatie tot langstransport te ontwerpen is het gebruik van een kustlijnmodel, dewelke deze meer "stabiele" kustlijn op basis van langstransport kan produceren. Daartoe wordt de huidige kustlijn, de referentiesituatie (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022), gebruikt als de eerste kustlijn en wordt de meer "stabiele" kustlijn wat betreft langstransport gedefinieerd op basis van de veranderingen van de kustlijnpositie die worden waargenomen in dat model (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b).

Opgemerkt moet worden dat het kustlijnmodel dat in deze studie wordt gebruikt, de kustontwikkeling simuleert als gevolg van het kustlang sedimenttransport door golflaag. Daarom houdt het geen rekening met het effect van getijdenstromingen, de interactie van de kustlijn met de trage morfodynamiek van het geulen-banken systeem en de aanpassing op lange termijn van het kustprofiel en de lange termijn evolutie van het geulen-banken systeem. De resulterende meer stabiele kustlijn is bijgevolg gelinkt aan het langstransport proces en een indicatie van een mogelijk meer stabiele kustlijn in de toekomst. De verdere uitwerking van de kustlijn in verschillende zones moet plaatsvinden in de detailontwerpfase, waarbij gebruik wordt gemaakt van de kennis en inzichten die in kenniscentra worden gegenereerd. (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b)(Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b)

Het effect van de nieuwe kustlijn wordt daarbij bestudeerd aan de hand van de resultaten van de kustlijnmodellering, en aan de hand van het hydromorfologisch model Scaldis Coast. De invloed op de beschikbare ruimte en de mate waarin maatregel aaneengesloten en continu kunnen worden uitgevoerd behoort hier ook toe.

4.2 Bespreking

Tijdens de optimalisatie van de kansrijke alternatieven is getracht voor de geoptimaliseerde alternatieven met zeevaartse uitbreiding een meer "stabiele" kustlijn met betrekking tot langstransport toe te passen. Dit leidt uiteraard tot betere mogelijkheden dan vandaag voor een aaneengesloten kustlijn. De volledige aanpak van de opbouw van alternatieven is terug te vinden in ontwerprapport zeevering (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023j) en de strandzoneatlas (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a). De sectie hieronder focust op de vormgeving van de meer "stabiele" kustlijnvorm (in relatie tot langstransport). Vervolgens wordt het grensoverschrijdende effect kort toegelicht.

4.2.1 Verbeterde aaneensluiting kustlijn door optimalisatieproces

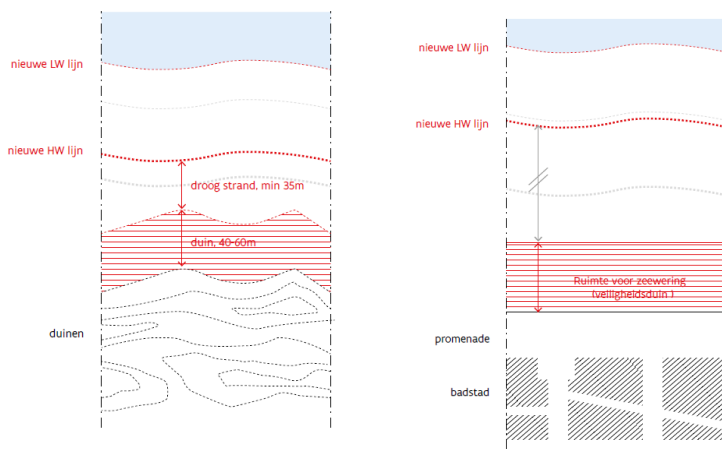
Het geoptimaliseerd alternatief S wordt opgebouwd door het behoud van de huidige HW- en LW-lijn, in de toekomst, ook een Kustlijn 2 genoemd (details hierover te vinden in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021c). Aangezien hier geen zeevaartse uitbreiding wordt gedaan, en de huidige kustlijn wordt vastgehouden wordt dus niet toegewerkt naar een meer "stabiele" kustlijn en blijven de huidige fluctuaties in de kustlijn hetzelfde.

Om de kustlijn van het geoptimaliseerd alternatief M bij 3 m zeespiegelstijging te bepalen, is een combinatie van Kustlijn 2 (KL2, in badsteden) en Kustlijn 3 (KL3, zeewaartse uitbreiding in onveilige duingebieden) opgetekend. In onveilige duingebieden wordt bij de bepaling van de positie van de nieuwe HW-lijn rekening gehouden met een minimaal benodigde voetafdruk van 40-60 m voor duinontwikkeling én minimaal 35 m droog strand (Figuur 4-1, links). Vervolgens is gezorgd dat zeewaarts van de nieuwe HW-lijn de meer "stabiele" kustlijn (in relatie tot langstransport) wordt ingetekend, zoals het principe dat geschetst is in Figuur 4-2. Dat is gebeurd telkens voor de gebieden tussen havendammen (dus van Franse grens tot Nieuwpoort, van Nieuwpoort tot Oostende, van Oostende tot Blankenberge, van Blankenberge tot Zeebrugge en van Zeebrugge tot de Nederlandse grens). Dit leidt ertoe dat overal de minimale breedte aan droog strand aanwezig is met afhankelijk van de oriëntatie van de meer "stabiele" kustlijn in relatie tot langstransport zones die breder zijn dan de vooropgezette breedte van 40-60 m + 35 m.

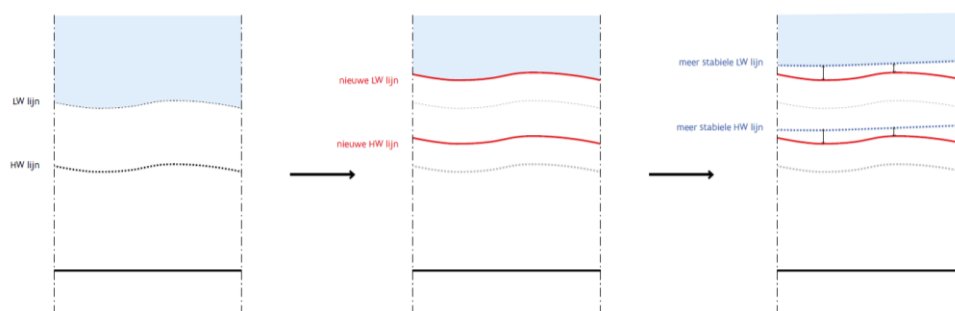
Hierna zijn op basis van alternatief M bij 3 m ZSS (zeespiegelstijging) (M3) de posities van kustlijnen voor dit alternatief bij 1 en 2 m zeespiegelstijging bepaald (M1 en M2) aan de hand van de geïmplementeerde Roadmap. Voor een gedetailleerde beschrijving hoe dit gebeurd is zie de strandzoneatlas (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a). De locaties van zeewaartse verschuiving in M1 en M2 zijn bepaald op basis van het mogelijk voortzetten van de maatregelen uit het Masterplan Kustveiligheid (zie ontwerprapport zeewering (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023j) en de strandzoneatlas (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a)). Wanneer dit niet meer mogelijk is wordt voor een grotere zone een zeewaartse uitbreiding toegepast. Voor de zeewaartse uitbreiding wordt de vorm van de meer "stabiele" kustlijn op basis van langstransport toegepast. Echter er zijn in vergelijking met M3 dan meerdere overgangsgebieden van de huidige kustlijn naar een zeewaarts opgeschoven kustlijn. Dit kan invloed hebben op de stabiliteit ter hoogte van de overgangsgebieden en het algehele erosiegedrag en onderhoudsbehoefte van M1 en M2.

Voor het geoptimaliseerd alternatief L is langs de gehele kustlijn een zeewaartse verschuiving toegepast reeds vanaf 1 m zeespiegelstijging (KL3), die vervolgens wordt behouden bij zeespiegelstijging. Voor het zeewaarts opschuiven wordt gestart vanuit de badsteden waarbij het droog strand wordt uitgebreid met een minimale voetafdruk voor veiligheidsmaatregelen zodat na implementatie van de veiligheidsmaatregel minimaal het huidige droog strand behouden blijft (Figuur 4-1, rechts). Vervolgens is gelijkaardig aan alternatief M zeewaarts van de nieuwe kustlijnpositie de meer "stabiele" kustlijn vorm gelinkt aan het langstransport ingetekend. Alternatief L is met andere woorden dus een zeewaartse verplaatsing van de "stabiele" kustlijn en is voor elke zeespiegelstijging gelijk.

De ruimtelijke inpassing van de hoogwaterlijn voor de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L bij 3 m zeespiegelstijging wordt getoond in Figuur 4-3 en Figuur 4-4.



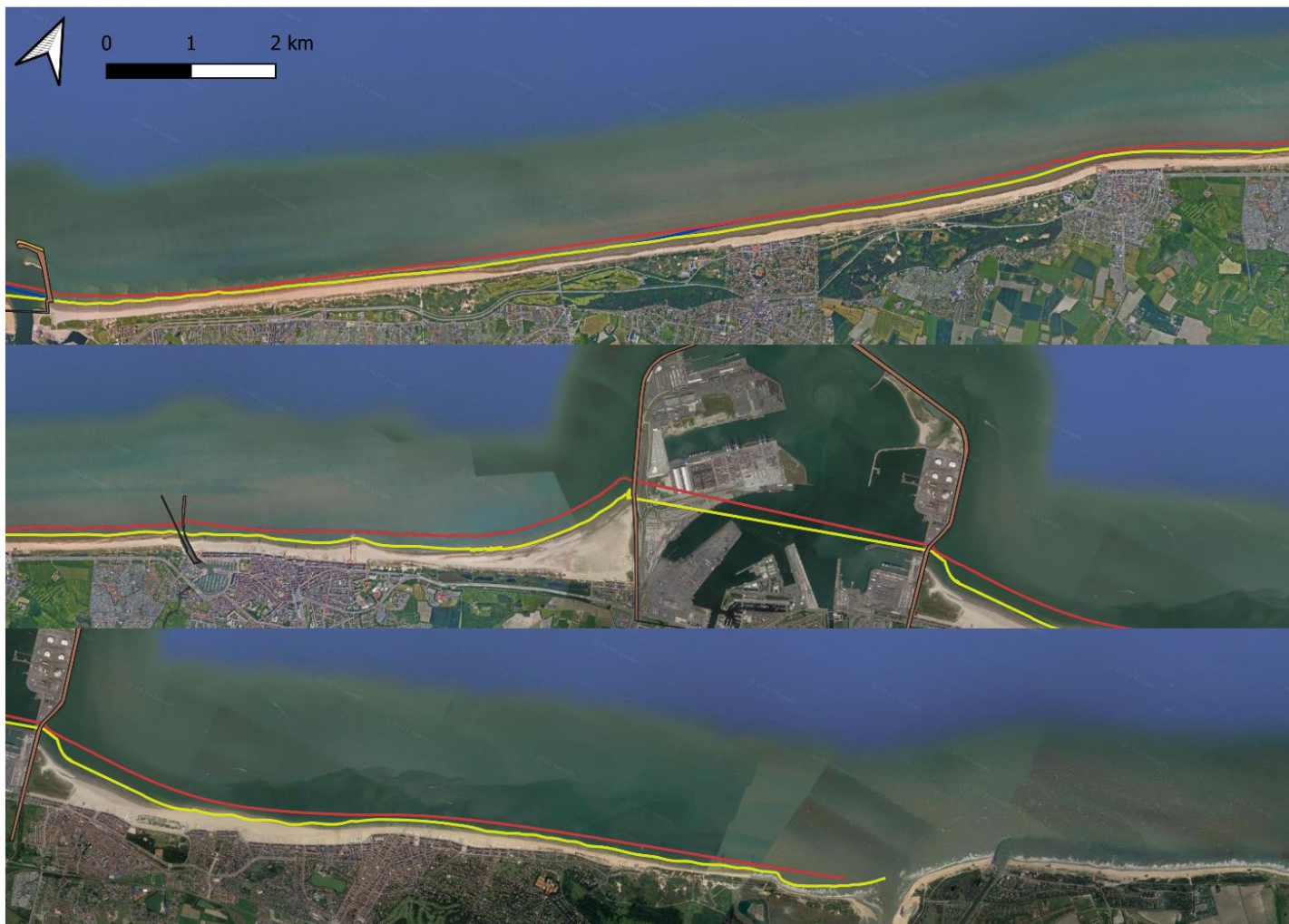
Figuur 4-1: Toegepaste vuistregels voor opstelling van de kustlijn voor geoptimaliseerde alternatieven M (links) en L (rechts). Hierbij is de afstand tussen de nieuwe hoogwaterlijn en de huidige veiligheidslijn bepalend.



Figuur 4-2: Principe van aanpassing van de nieuwe kustlijn (rode lijn) met minimale nodige ruimte naar een meer "stabiele" kustlijn (in relatie tot langstransport) zeewaarts hiervan (blauwe stippellijn)



Figuur 4-3: Kustlijnpositie voor geoptimaliseerde alternatieven S (geel), M (blauw) en L (rood) voor +3 m ZSS, voor Franse grens – Haven van Nieuwpoort (boven) en Haven van Nieuwpoort – Haven van Oostende (onder).



Figuur 4-4: Kustlijnpositie voor geoptimaliseerde alternatieven S (geel), M (blauw) en L (rood) voor +3 m ZSS, voor Haven van Oostende – Blankenberge (boven), Blankenberge tot Haven van Zeebrugge (midden) en ten oosten van Haven van Zeebrugge – Nederlandse grens (onder).

4.2.2 Aansluiting met buurlanden

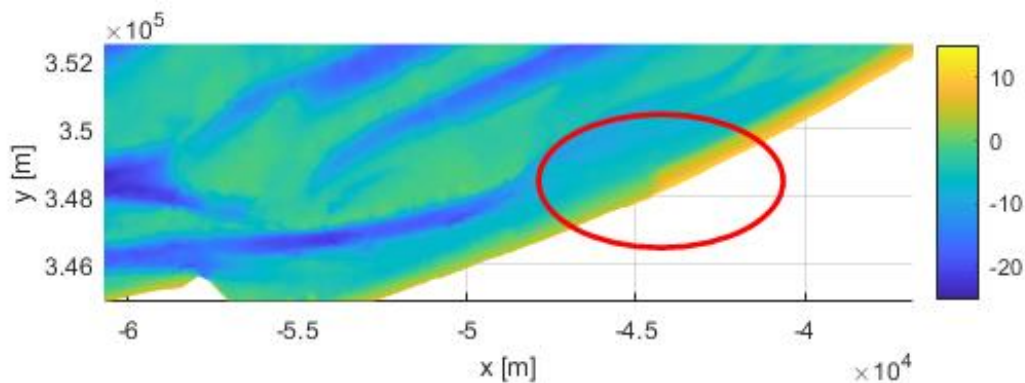
Voor alternatieven M2, M3 en L vindt er ter hoogte van de Franse grens een scherpe overgang plaats door de respectievelijke zeewaartse uitbreidingen. Om de invloed en het verloop hiervan te bestuderen is deze overgang gesimuleerd in het kustlijnmodel ShorelineS (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b). Het is nog niet duidelijk welke maatregelen in Frankrijk zullen worden genomen in de toekomst en dus is aangenomen dat in Frankrijk de huidige kustlijn wordt gehandhaafd.

De resultaten tonen aan dat deze overgang door ShorelineS uitgestreken wordt tot een geleidelijke overgang, zie Figuur 4-5, waarbij de initiële (groen) en finale (na 5 jaar, geel) kustlijnen worden weergegeven. De aanpassing strekt zich uit over circa 600 m aan weerszijden van de grens. De aanpassing leidt lokaal aan de Franse zijde tot aanzanding en heeft dus geen negatief effect op de kustveiligheid aldaar.

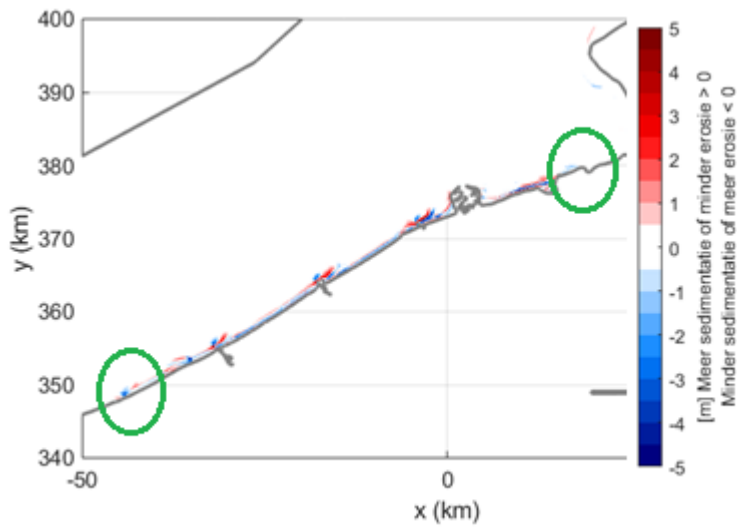


Figuur 4-5: Initiële (groen) en finale (na 5 jaar, geel) kustlijn voor de gesimuleerde overgang, geen aanpassingen in Frankrijk naar Alternatief L, ter hoogte van de Franse grens.

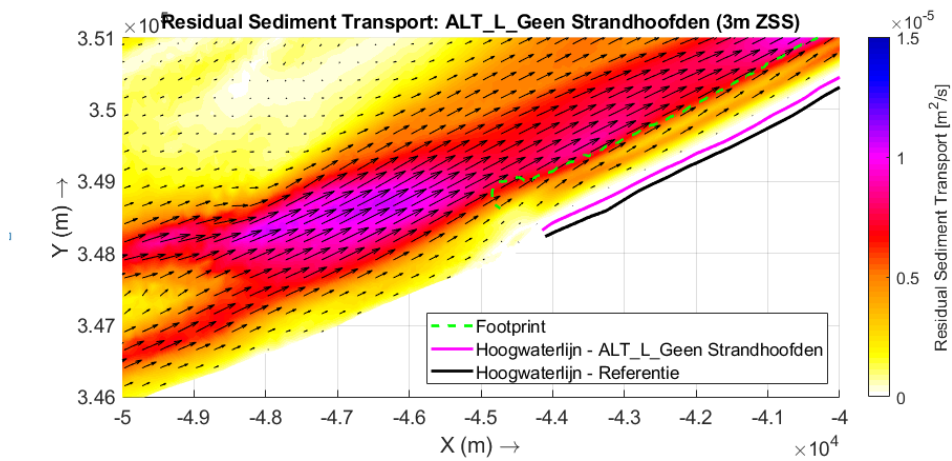
Ook met het hydromorfologisch model Scaldis-Coast kan de grensoverschrijdende impact worden bestudeerd. In de berekeningen met het Scaldis-Coast model is aangenomen dat er in de buurlanden geen maatregelen zijn genomen op de stranden. Op de grens met Frankrijk leidt dit tot een initiële bathymetrie, waar een duidelijke discontinuïteit zichtbaar is de alternatieven (Figuur 4-6; dit komt overeen met de initiële groene ligging in Figuur 4-5 waar dit getoond wordt voor Alternatief L). De resultaten van de berekening in Scaldis-Coast worden getoond in Figuur 4-7. Deze figuur (zie linkse groene cirkel) toont dat het model de discontinuïteit in het strandligging uitsmeert, wat leidt tot erosie van het aangelegde strand aan de Belgische zijde van de grens en depositie aan de Franse zijde. Dit is een lokaal effect, dat zichtbaar is in de onmiddellijke omgeving van de grens (Figuur 4-9), maar geen effecten lijkt te hebben verder weg in de kustzone. Merk op dat het netto sedimenttransport langsheen de Franse-Belgische kust van west naar Oost gericht is (Figuur 4-8). Dit betekent dat er netto sediment van Frankrijk naar België verplaatst. De depositie op de grens bij een discontinuïteit wordt gevoed door zand afkomstig uit Frankrijk. Het zand dat erodeert van het aangelegde strand aan de Belgische kust wordt verder oostwaartse getransporteerd langs de Belgische kust.



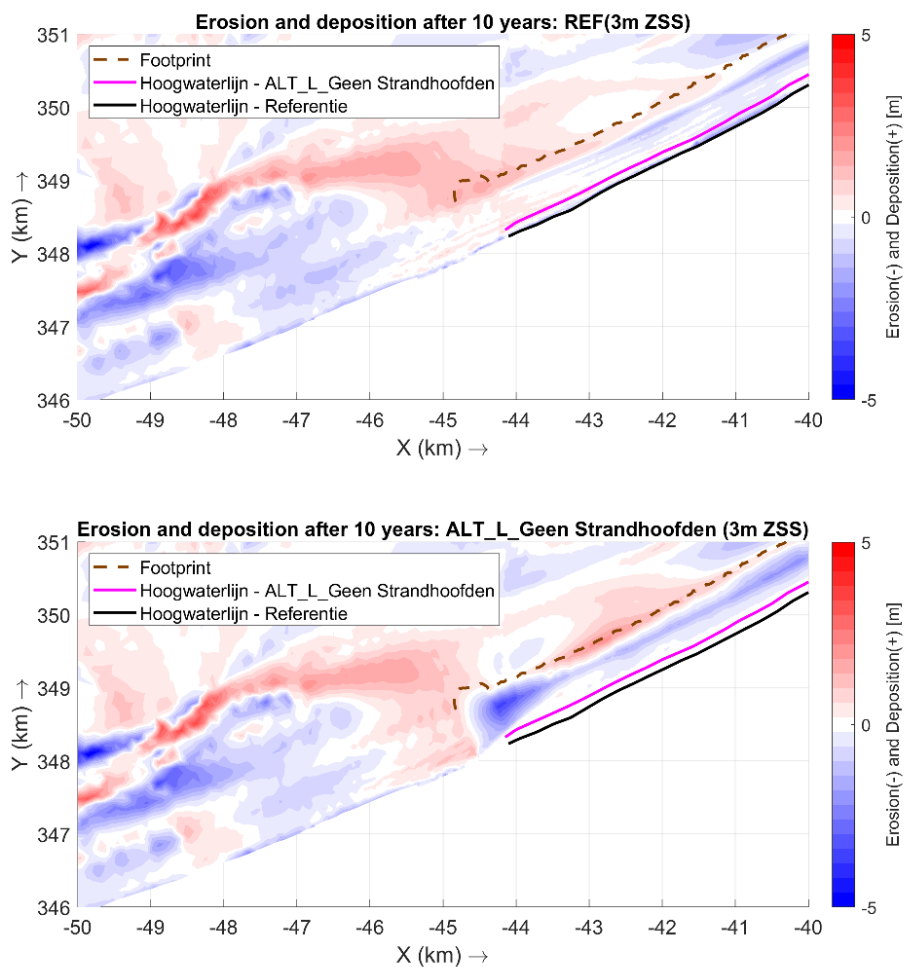
Figuur 4-6: Initiële bodemligging op de grens tussen België en Frankrijk (alternatief L, 3 m Zeespiegelstijging).



Figuur 4-7: Verschil in bodemevolutie na 10 jaar tussen geoptimaliseerd alternatief L en de referentieberekening 3 m zeespiegelstijging. Alternatief met strandhoofden

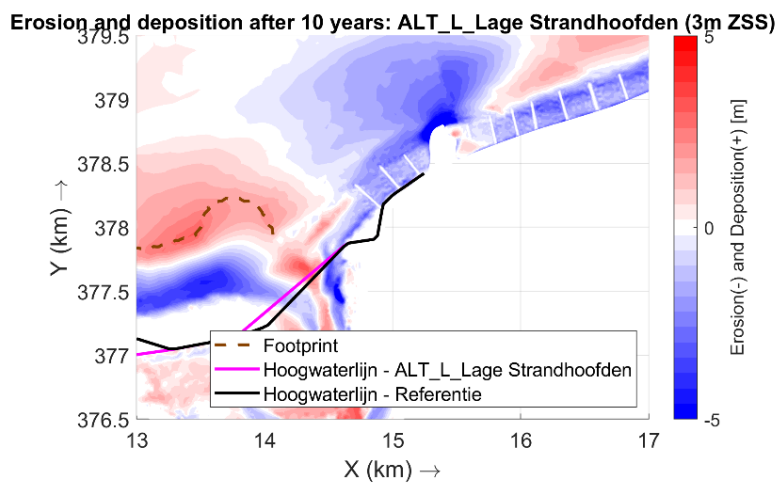
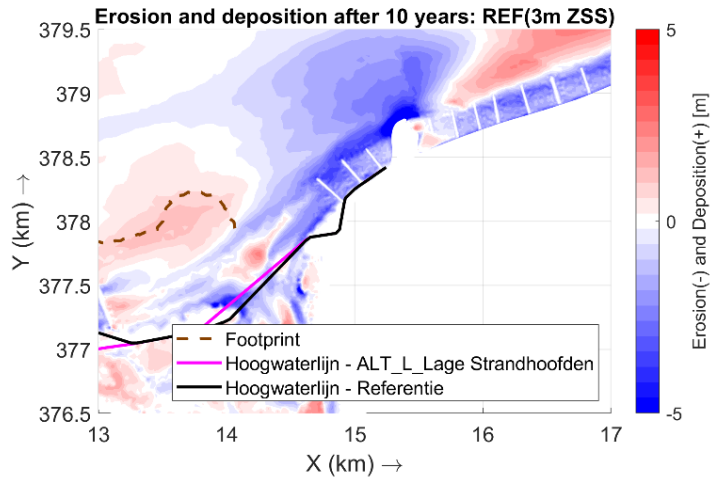


Figuur 4-8 Residuele sedimenttransport ter hoogte van de Frans Belgische grens.

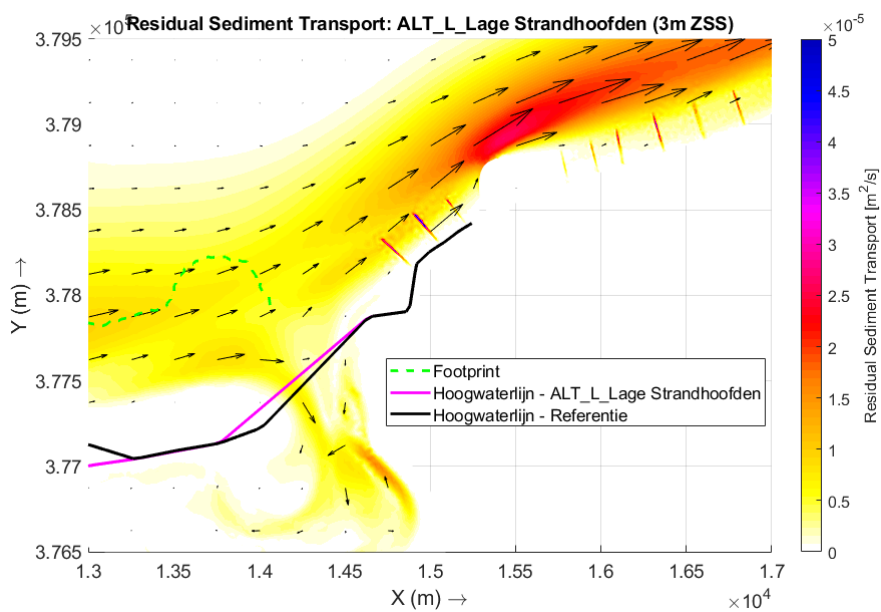


Figuur 4-9 Erosie -depositie ter plaatse van de Frans Belgische Grens (3m ZSS). Boven : referentiesituatie. Onder : alternatief L

De invloed van de alternatieven op de Zeeuws Vlaamse kust in Nederland kan eveneens bestudeerd worden in Figuur 4-7 (rechtse groene cirkel). Er is aangenomen in het model dat de huidige kustlijn in Nederland gehandhaafd blijft. De strandhoofden in het alternatief zijn aangepast aan Belgische zijde (opgehoogd bij alternatief 'Ter Plaatsse' en opgehoogd en verlengd bij alternatief 'Zeewaarts'), aan Nederlands zijde worden de huidige strandhoofden behouden in de simulaties bij zeespiegelstijging. In tegenstelling tot aan de Franse grens is er hier geen discontinuïteit in het strandprofiel op de grens tussen Nederland en België, omdat de getijdengeul van het Zwin hier een natuurlijke scheiding vormt (de invloed van de alternatieven op de natuurlijke ontwikkeling van het Zwin wordt besproken in paragraaf 6.2.2). Aan de Nederlandse kust zijn er bijzonder weinig verschillen in morfologische trends op te merken tussen de referentiesituatie en de situatie waarin een alternatief is uitgevoerd. Er is geen impact merkbaar op de Westerscheldemonding en verder opwaarts. Dit geldt zowel voor alternatief 'Ter Plaatsse' (S) als 'Zeewaarts' (M of L). Dit is ook te zien in Figuur 4-10, waar de erosie/depositie in dit gebied wordt weergegeven. Het model toont erosie in Cadzand en depositie ten oosten. Ook hier is het netto sedimenttransport van West naar Oost, wat betekent dat de depositie zone benedenstrooms is van de erosiezone. De verschillen die ontstaan wijzen op een lichte vermindering in de depositie bij Alternatief L vergeleken met de referentiesituatie. Dit hangt samen met het toegenomen langstransport in deze zone in Alternatief L vergeleken met de referentiesituatie (Figuur 6-17).



Figuur 4-10 Erosie -depositie ter plaatse van de Nederlands Belgische Grens (3m ZSS). Boven : referentiesituatie. Onder : alternatief L (met strandhoofden)



Figuur 4-11 Netto sedimenttransport ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens.

4.3 Synthese

Alle geoptimaliseerde en redelijke alternatieven kunnen een **aaneengesloten kustlijn** vormen, echter door het optimalisatieproces van het creëren van een indicatief meer “stabiele” kustlijn met betrekking tot het langstransport bij zeewaartse uitbouw is een **verbeterde aaneensluiting mogelijk in de alternatieven ‘Zeewaarts’ (‘- in stapjes’, M en ‘- in één sprong’ L) ten opzichte van alternatief ‘Ter Plaatse’ (S).**

De kustlijn van ‘Zeewaarts - in stapjes’(geoptimaliseerd alternatief M) bij 1 m zeespiegelstijging komt grotendeels overeen met de huidige kustlijn zoals in alternatief ‘Ter Plaatse’ (S), met uitzondering van het gedeelte ten westen van de haven van Oostende (zone Raversijde-Oostende). In deze zone wordt reeds voor 1 m zeespiegelstijging het kantelpunt voor het oprekken van de maatregelen uit het Masterplan Kustveiligheid bereikt (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021d) en is meer droog strand gewenst om kustbeschermingsmaatregelen op een kwalitatieve, kansrijke manier ruimtelijk te kunnen integreren. Door de uitbreiding van het strand zijn er mogelijkheden om een iets stabielere kustlijn vorm met betrekking tot langstransport te creëren echter met een lokaal geleidelijke, maar minder stabiele, overgang naar de huidige kustlijn ter hoogte van Raversijde (Figuur 4-12).

De kustlijn van ‘Zeewaarts - in stapjes’(geoptimaliseerd alternatief M) bij 2 m zeespiegelstijging komt in enkele zones nog overeen met de huidige kustlijn zoals in alternatief ‘Ter Plaatse’ (S) (oostelijk van de havens van Nieuwpoort en Oostende, zie Figuur 4-12). In andere gebieden ligt de kustlijn van alternatief ‘Zeewaarts - in stapjes’(M) bij 2 m zeespiegelstijging tussen de kustlijnen van ‘Ter Plaatse’ (S, huidige kustlijn) en ‘Zeewaarts - in één sprong’ (L) en heeft deze occasioneel de oriëntatie van een kustlijn L en dus van de meer “stabiele” kustlijn in relatie tot langstransport. Dit is het geval in De Panne, ten westen van de haven van Oostende (Figuur 4-12) en Zeebrugge en ter hoogte van Knokke-Heist.

Bij 3 m zeespiegelstijging zijn er lokaal verschillen in de kustlijn tussen geoptimaliseerd alternatief M en L. De kustlijn bij geoptimaliseerd alternatief M bij 3 m zeespiegelstijging bevat overal een zeewaartse verplaatsing, behalve ten oosten van de haven van Oostende tot De Haan waar deze overeenkomt met alternatief ‘Ter Plaatse’ (de huidige kustlijn, alternatief S). De kustlijn van alternatief M bij 3 m zeespiegelstijging heeft dus grotendeels de vorm en oriëntatie van de meer “stabiele” kustlijn in relatie tot langstransport. Daarbij komt de zeewaartse verplaatsing van de kustlijn van alternatief M en alternatief L overeen aan de westkust, aan de Middenkust-Oost tussen De Haan en Zeebrugge en aan de Oostkust.

Aan de Middenkust-West is de zeewaarts verplaatsing van de kustlijn bij geoptimaliseerd alternatief L groter dan bij M waarbij het behoud van het droog strand was gemaximaliseerd in alternatief L. Beide alternatieven hebben echter de vorm en oriëntatie van de meer “stabiele” kustlijn in relatie tot langstransport.

Daarbovenop toont Figuur 4-12 ook de uitbreiding van de strekdammen die nodig is ter hoogte van de haven van Oostende, voor de drie verschillende geoptimaliseerde alternatieven S, M en L. De vormgeving van de havendammen is indicatief om de mate van zeewaartse aanpassing te illustreren. De uiteindelijke vormgeving van de aangepaste havendammen kan hiervan variëren en bijvoorbeeld ook bestaan uit een opvangdam zoals die momenteel reeds voorkomt aan de westelijke havendam. Dit dient in het detailontwerp verder uitgewerkt te worden rekening houdend met de activiteiten en ontwikkelingsnoden in de havens op dat moment. Merk op dat de sterk zeewaartse uitbreiding omwille van een zeesluis in Oostende niet is weergegeven in deze figuur (zie daarvoor Figuur 3-3). Een aandachtspunt bij sterke uitbreidingen van havendammen is de mate van aanzanding tegen de dammen, de impact op zwemveiligheid en de interactie tussen beiden.

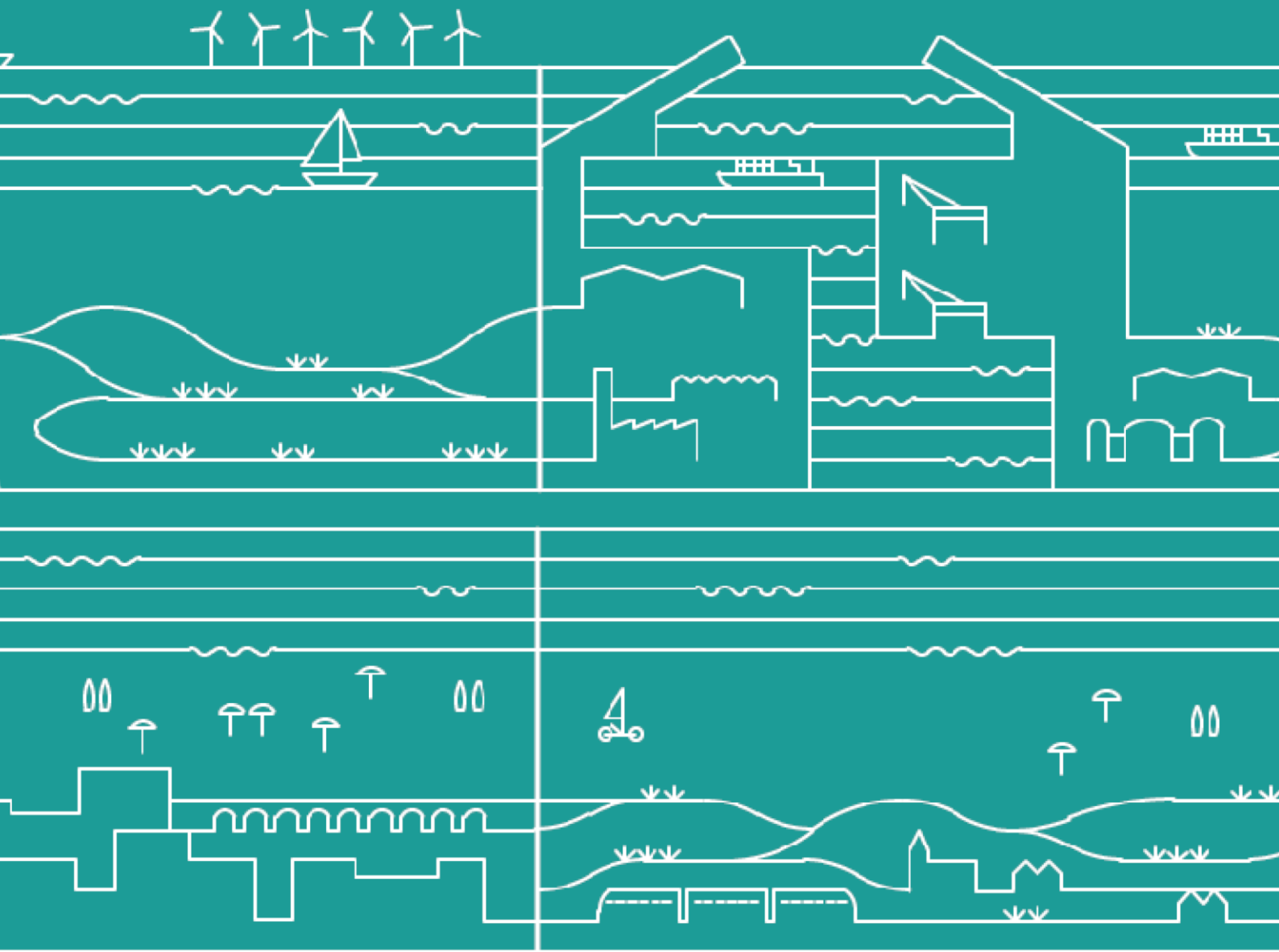


Figuur 4-12: Positie van de kustlijn voor de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L, ter hoogte van de haven van Oostende, voor alle zeespiegelstijgingen (+1, 2 en 3 m).

De geoptimaliseerde alternatieven geven **geen aanleiding tot sterke discontinuïteiten nabij de grens**. In het oosten nabij de Nederlands grens wordt de overgang gevormd ter hoogte van de geul naar het Zwin welke een natuurlijke onderbreking van de kustlijn vormt. Bij aanpassing van het bestaande strandhoofdenveld aan de oostkust is de morfologische impact op de Nederlands kust beperkt. Er is geen impact merkbaar op de Westerscheldemonding en de Westerschelde. Een aanpassing van het strandhoofdenveld in Knokke-Heist kan verder zijn aangewezen in verband met de morfologische ontwikkelingen van het Zwin (zie Hoofdstuk 6).

Nabij de Franse grens is er een zandige continue kust aanwezig. De overgang naar een zeewaartse verplaatsing van de kustlijn in Vlaanderen zal leiden tot een graduele aanpassing van de kustlijn. Op basis van morfologische modellering lijkt deze zich na een evolutie over 5 jaar uit te strekken over circa 500-600 m aan weerszijden van de grens. De morfologische modellering toont dat de alternatieven niet tot andere trends in sedimentatie- en erosiepatronen over de grens leiden. Wel vermindert de depositie ten oosten van Cadzand enigszins door het toegenomen langstransport aan de grens bij de alternatieven.

Het alternatief 'Zeewaarts' (de geoptimaliseerde alternatieven M en L) biedt de mogelijkheid door de uitgebreide ruimte zeewaarts meerdere type kustbeschermingsmaatregelen in te zetten. Zie de overzichtskaarten in Figuur 3-5 tot en met Figuur 3-16. Daardoor zijn er in deze alternatieven, in vergelijking met alternatief 'Ter Plaatsse' (geoptimaliseerd alternatief S), meer **potenties om een maatregel continu en aaneengesloten door te trekken**. In 'Ter Plaatsse' (het geoptimaliseerd alternatief S) komen bijvoorbeeld nog verschillende opeenvolgingen van harde en zachte maatregelen voor (bijvoorbeeld dijkaanpassingen in badstad naast duinsuppletie in nabijgelegen duinen). In het alternatief 'Zeewaarts' (de geoptimaliseerde alternatieven M en L) zijn er daarentegen mogelijkheden om dezelfde maatregel door te trekken (bijvoorbeeld duin voor dijk). Daarbij is er onderscheid tussen 'Zeewaarts - in stapjes' (M) en 'Zeewaarts - in één sprong' (L) doordat deze mogelijkheid in L bestaat voor alle zeespiegelstijgingsniveaus en voor M pas mogelijk wordt zodra zeewaarts wordt uitgebreid.



Hydrodynamiek

5 Hydrodynamiek

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de impact van de verschillende scenario's op de waterbeweging geëvalueerd, op basis van de modelresultaten van het Scaldis-Coast model (zie volledige rapportage resultaten in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c)). Hiervoor zijn berekeningsresultaten gebruikt van een hydrodynamische simulatie (zonder invloed van golven) van een representatieve springtij-doodtij periode, waarin het effect van de alternatieven op het getij wordt onderzocht. Daarnaast is een gekoppelde golf-stromingssimulatie gedaan van een periode met representatief golfklimaat in November 2015. In deze berekening wordt een periode van een week gesimuleerd, waarin een relatief kalmere periode en twee stormen voorkomen, één uit het zuidwesten en één uit het noorden. Merk op dat de berekeningen voor de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L zijn uitgevoerd. Aanpassing van het rekenrooster aan de alternatieven binnen de havens zoals de aanleg van sluizen of een stormvloedkering zijn niet in deze berekeningen opgenomen. De resultaten van de alternatieven worden telkens vergeleken met de referentiesituatie voor ieder specifieke zeespiegelstijgingsniveau. Dit laat toe om specifiek de invloed van een alternatief te bestuderen zonder externe invloeden. De invloed van zeespiegelstijging op de referentiesituatie is apart bediscussieerd in het rapport over de referentiesituatie hydromorfologie (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021a). De alternatieven zijn geanalyseerd voor +1 m, +2 m en +3 m zeespiegelstijging, waarbij voornamelijk de resultaten van +3m zeespiegelstijging zijn opgenomen in dit rapport.

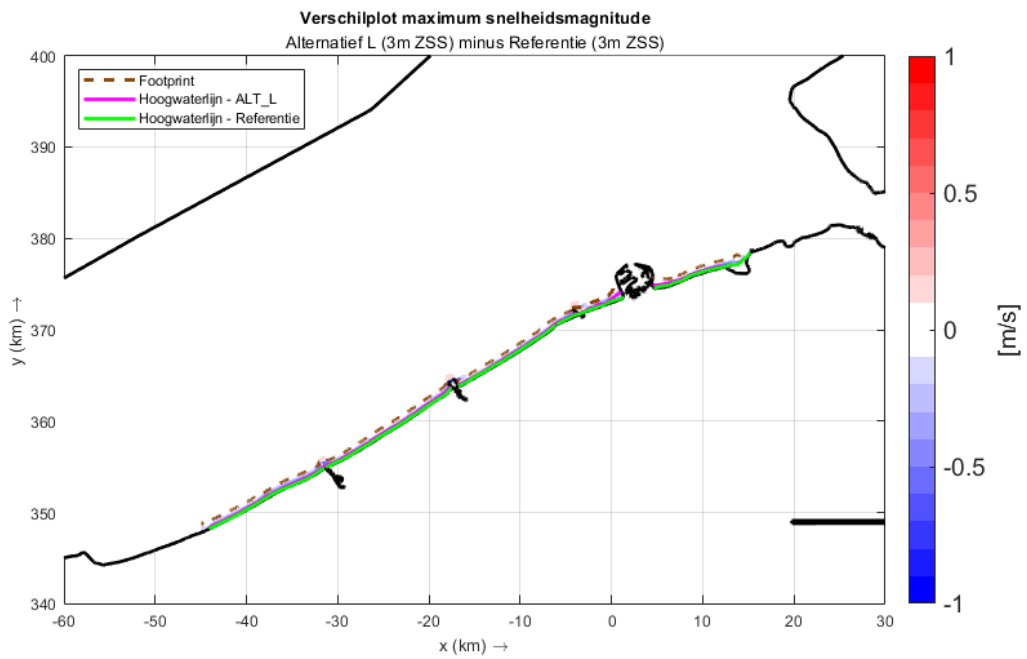
5.2 Bespreking

5.2.1 Invloed op de grootschalige getijbeweging

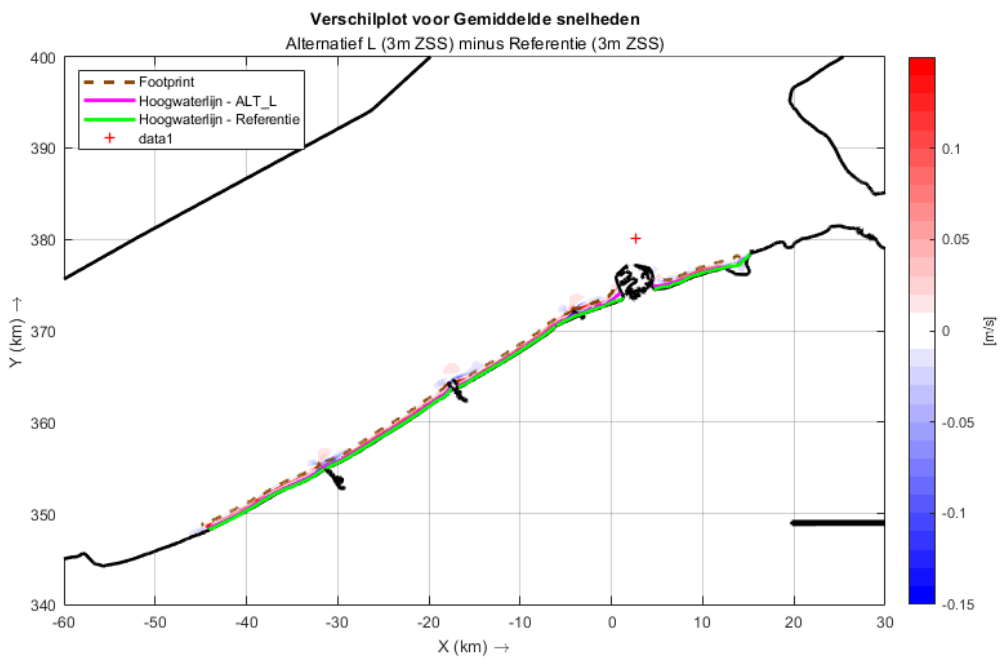
De invloed van de alternatieven op de grootschalige getijvoortplanting is onderzocht aan de hand van de berekende waterstanden in Bol Van Heist en Oostende (zie de figuren in de verschillende annexen van rapport met de Scaldis-Coast berekeningen (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c)). Daaruit blijkt dat de waterstandsverschillen tussen de referentieberekening voor ieder zeespiegelstijgingsniveau en de alternatievenberekening steeds minder dan een centimeter bedragen. Let op, de referentiesituatie wijzigt ook bij zeespiegelstijging waarbij de getijslag toeneemt bij hogere zeespiegelstijging. Dit is, geïllustreerd in de rapportage van referentiesituatie (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021a) waar 3 m zeespiegelstijging leidt in Bol van Heist tot een toename van de getijslag van 17 cm door een verhoging van hoogwater en een verlaging van laagwater, met daarnaast ook kleine veranderingen in getijdenfase. Dezelfde veranderingen treden op in de scenario's met alternatieven.

Effecten op de stroomsnelheid door het getij worden waargenomen voor alle scenario's met zeespiegelstijging ten opzichte van de huidige situatie door een faseverschuiving van de getijgolf. Verschillen ten opzichte van het referentiescenario, met inachtneming van zeespiegelstijging, treden echter enkel op in de locaties waar de bodemligging verschilt tussen de scenario's: bij de havens en de stranden. Ter illustratie: de verschilfiguur in de maximale stroomsnelheid tussen de berekening voor alternatief L en de referentieberekening (bij 3 m zeespiegelstijging) wordt getoond in Figuur 5-1. Hieruit blijkt dat enkel verschillen in de maximale stroomsnelheid optreden in de kustzone bij het strand waar de suppleties worden uitgevoerd en rondom de aangepaste havenkoppelen. Door zeewaartse uitbreiding van het strandprofiel is de lokale stroomsnelheid iets lager in alternatief L. Rondom de verlengde havendammen treedt juist een (lokaal) verhoogde stroomsnelheid op. Ook verschillen in de maximale eb- en vloednelheden treden enkel op bij de stranden en de havens (zie de figuren in de verschillende annexen van rapport met de modelresultaten (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c)). Ook het residuele stromingspatroon door het getij zal niet veranderen in de offshore zone door implementatie van de alternatieven. Enkel rond de haveningangen en aan de stranden zijn geringe verschillen te vinden.

Ter illustratie wordt een verschilplot voor de residuele stroming voor alternatief L ten opzichte van de referentiesituatie (bij 3 m zeespiegelstijging) getoond in Figuur 5-2.



Figuur 5-1 Verschilplot Maximum snelheidsmagnitude: Alternatief L (3m ZSS) minus Referentie (3m ZSS)



Figuur 5-2 Verschilplot gemiddelde snelheid: Alternatief L (3m ZSS) minus Referentie (3m ZSS)

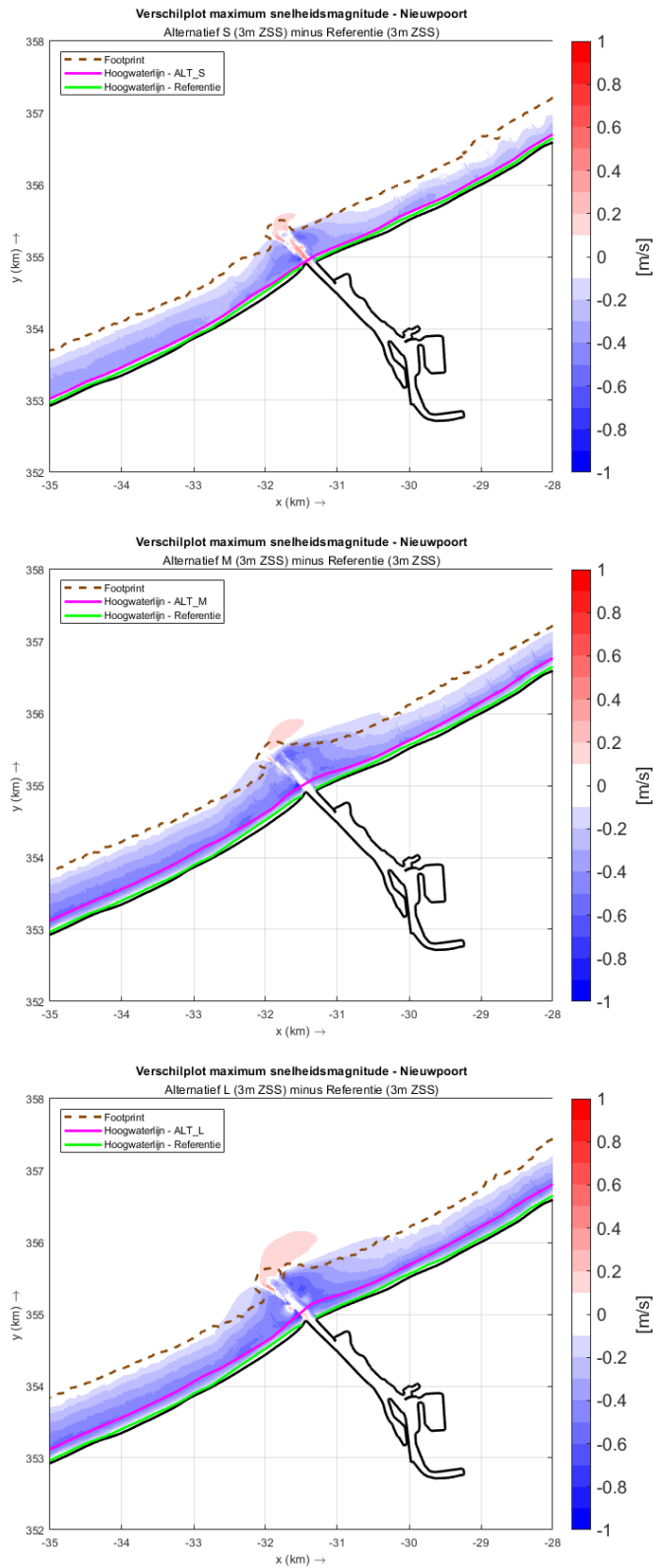
5.2.2 Lokale effecten stroomveld

Rondom de haveningangen treden lokale veranderingen in het stromingsbeeld op. Effecten van de alternatieven op de getijstroming (bij 3 m zeespiegelstijging) worden getoond in detailfiguren van de verschillende haveningangen (Figuur 5-3 tot en met Figuur 5-6). Allereerst wordt een opvallende daling van de stroomsnelheid waargenomen op de stranden. Dit komt door de lagere lokale diepte bij de alternatieven door de zeevaartse uitbreiding van de stranden, wat leidt tot een sterker effect van de bodemwrijving, waardoor de stroming vertraagt. Tevens zal er een groter gedeelte van het strand zich gedurende het gehele getij boven de waterlijn bevinden, waar de snelheid uiteraard 0 is. Dit leidt in een verschilplot eveneens tot een afname van de stroomsnelheid in zo'n positie. Er moet worden opgemerkt dat ook de badzone of zwemzone zeewaarts mee schuift met het strandprofiel, waardoor daar weinig verschil in stroomsnelheid wordt verwacht ten opzichte van de huidige situatie.

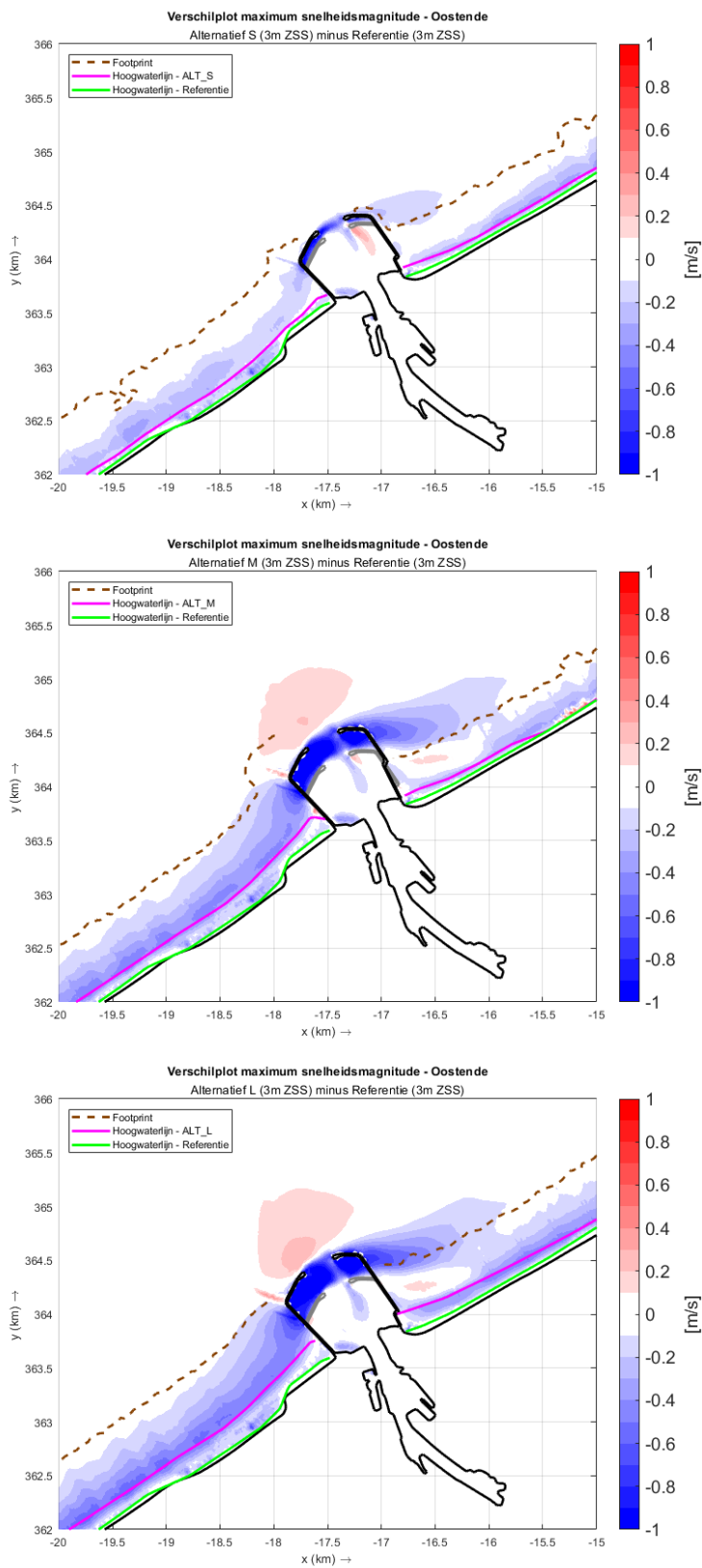
Voor alle havens, behalve Zeebrugge, is een zeevaartse verlenging van de havendammen voorzien in het ontwerp. Deze verlenging leidt tot een grotere stromingsluwe zone aan weerszijden van de havendammen op deze locaties. Tevens leidt een verlenging tot een verhoging van de snelheid aan de uiteindes van de havendammen. Hierdoor ontstaat dus ook een grotere dwarsstroming over de toegangseuvel, welke van invloed is op de scheepvaart. Deze hogere lokale stroomsnelheid leidt ook tot grotere snelheidsgradiënten rondom de havendammen, omdat op grotere afstand de stroomsnelheid gelijk blijft. Wanneer de stroming de havendammen passeert zal deze eerst in snelheid toenemen en vervolgens weer afnemen. De verschillen zijn echter lokaal met een verschil in maximale stroomsnelheid van algemeen 0.1-0.2 m/s tussen alternatief en referentie, met lokaal pieken 0.2-0.3 m/s. Aan de havenmond van de haven van Zeebrugge zijn geen verschillen tussen de referentiesituaties en alternatieven.

De stroomsnelheidsverschillen zijn het grootst in Alternatief L en het kleinst in Alternatief S, wat te verwachten is, gezien de grotere stranduitbreiding en de daarmee gepaard gaande sterkere verlenging van de havendammen in Alternatief L. Er dient te worden opgemerkt dat deze hogere stroomsnelheden beduidend minder groot zijn in de hydrodynamische simulaties die zijn uitgevoerd met de bodem na 10 jaar morfologische ontwikkeling (zie figuren in de annex van het rapport met de modelresultaten (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c)). De reden hiervoor is dat er lokale erosie ontstaat op de plaatsen met een versterkte stroming, waarna de lokale stroomsnelheid weer zal afnemen. Dit betekent dat de gevonden verhoogde stroomsnelheid rond de havenkoppen een tijdelijk fenomeen is wat in de loop van de tijd verdwijnt. In Zeebrugge, waar de havendammen niet veranderen, wordt ook geen verandering in het stromingspatroon waargenomen.

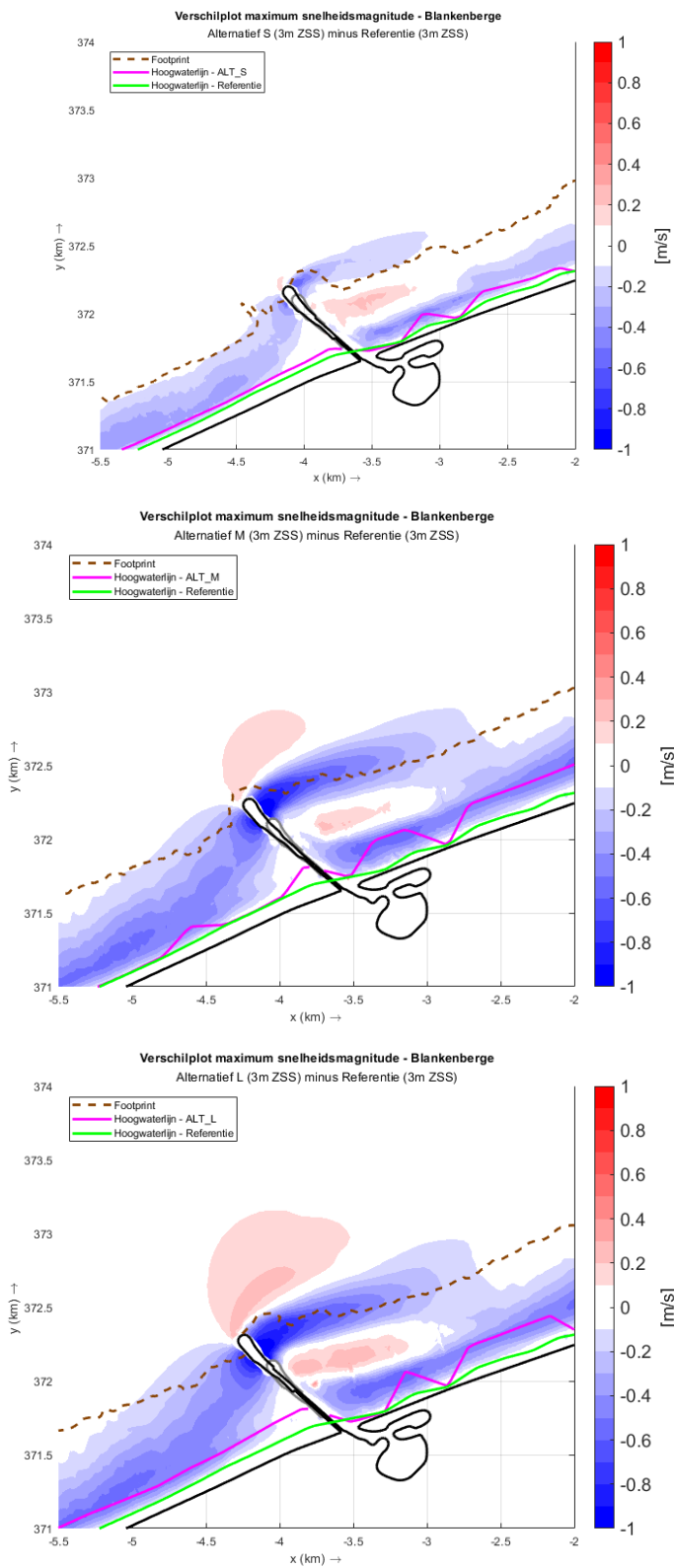
Daarnaast zijn er alternatieven waarin de havendammen van Oostende en Blankenberge extra zijn verlengd omwille van nautische redenen bij het voorzien van een zeeluis oplossing in de havens. Voor deze alternatieven is een berekening gedaan bij +3m zeespiegelstijging (zie rapportage resultaten in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c)). De impact van deze uitbreiding in Oostende is daarbij beduidend groter dan de vorige alternatieven, met veranderingen van stroomsnelheden over een ruimer gebied (toenames ter hoogte van de havenmond met circa 0.75 m/s). De vergelijking van de impact van alternatief L en het alternatief met de extra grote uitbreiding ten opzicht van de referentiesituatie wordt getoond in Figuur 5-7. In Blankenberge is de impact door de uitbreiding minder uitgesproken en meer in lijn met de impact van alternatief L, zie Figuur 5-8.



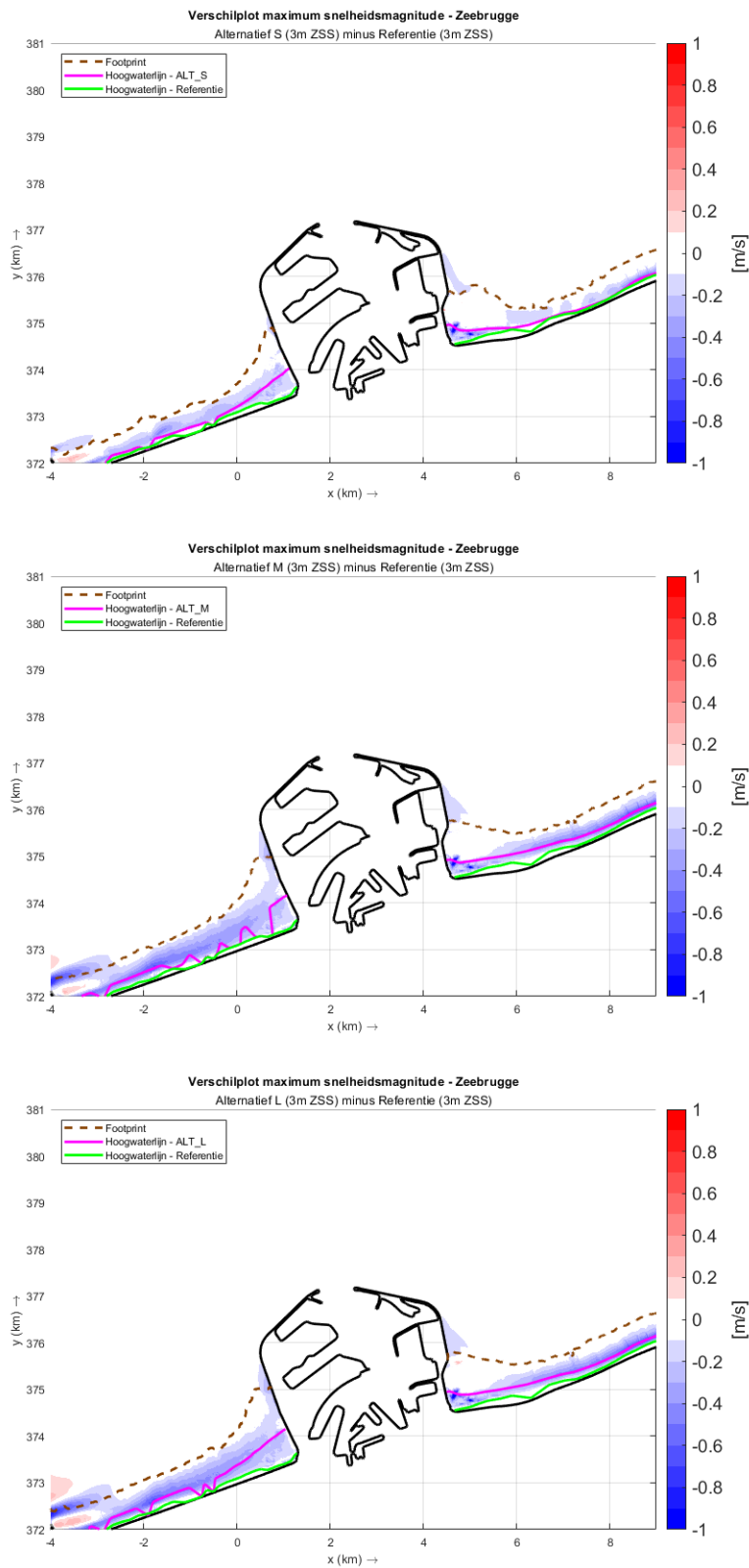
Figuur 5-3: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief S (boven), M (midden) en L (onder) en referentieberekening in Nieuwpoort bij 3 m zeespiegelstijging.



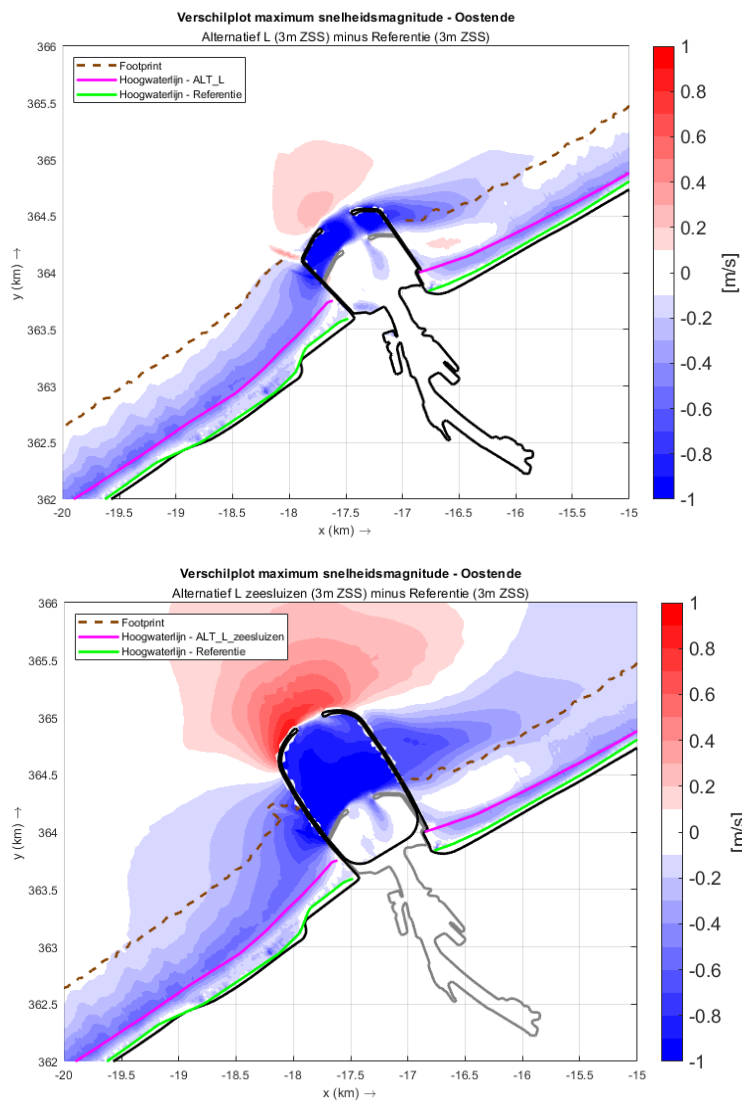
Figuur 5-4: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief S (boven), M (midden) en L (onder) en referentieberekening in Oostende bij 3 m zeespiegelstijging.



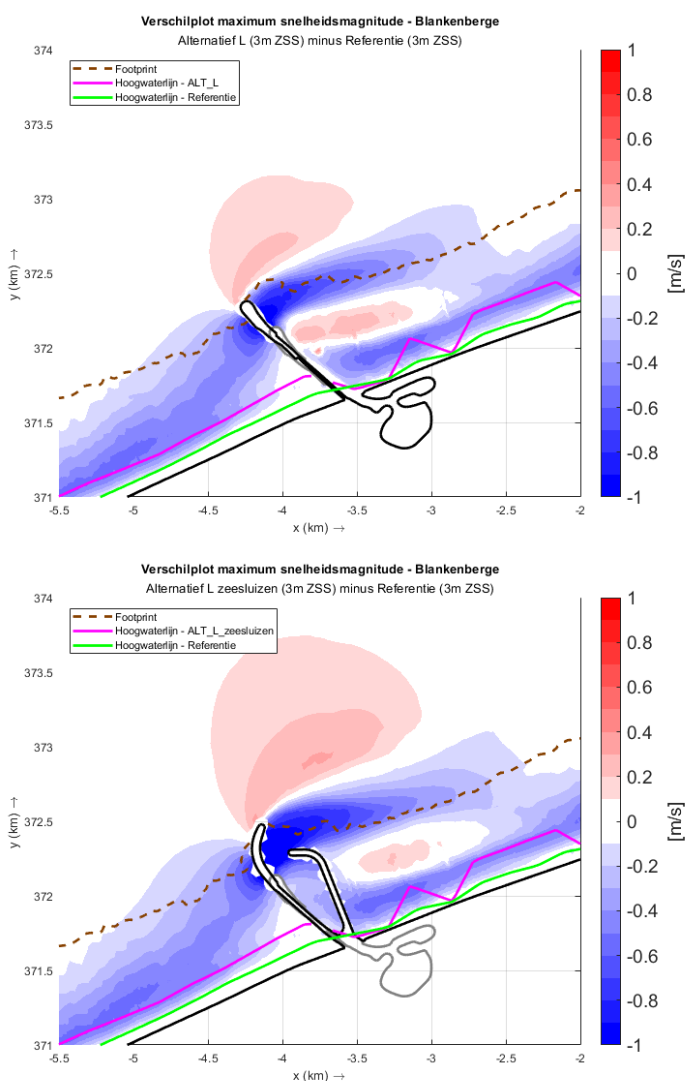
Figuur 5-5: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief S (boven), M (midden) en L (onder) en referentieberekening in Blankenberge bij 3 m zeespiegelstijging.



Figuur 5-6: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief S (boven), M (midden) en L (onder) en referentieberekening in Zeebrugge bij 3 m zeespiegelstijging.



Figuur 5-7: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief L (boven), en Alternatief L met extra verlenging havendammen omwille van zeesluis (onder) en referentieberekening in Oostende bij 3 m zeespiegelstijging.



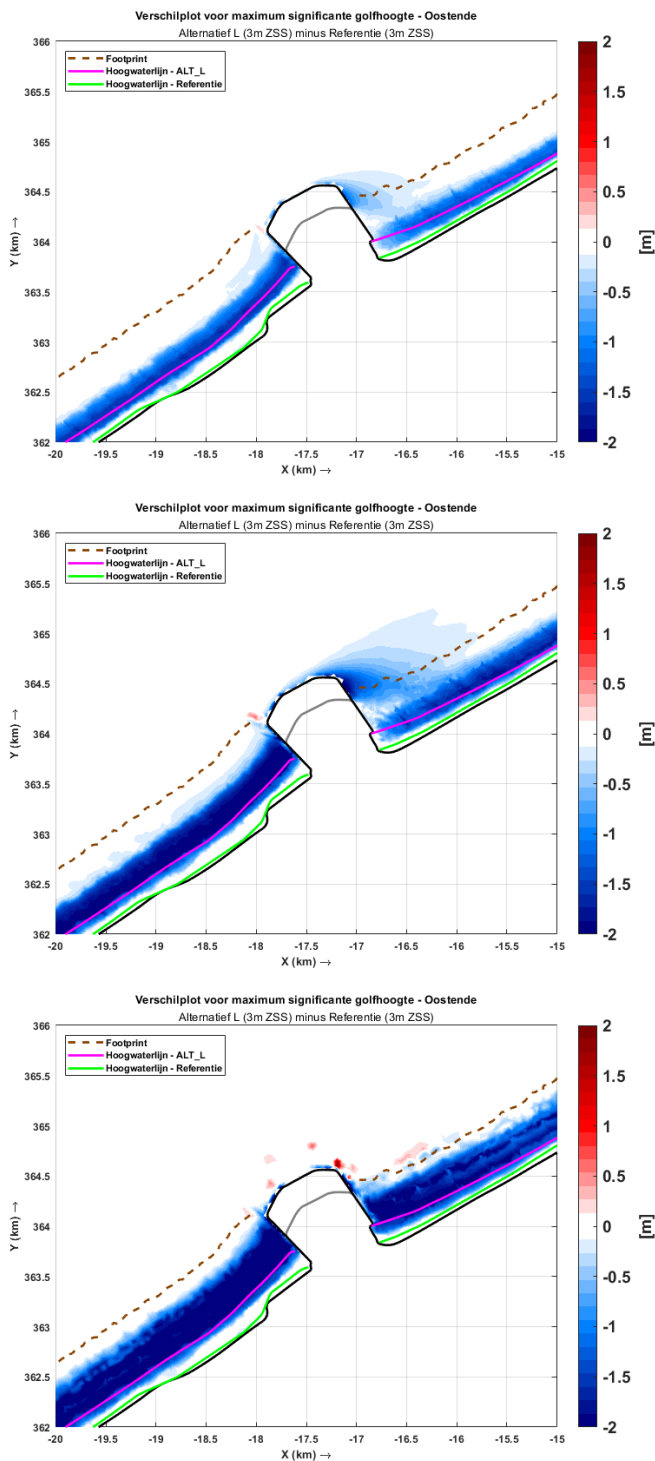
Figuur 5-8: Verschil in de maximale stroomsnelheid tussen Alternatief L (boven), en Alternatief L met wijziging lay-out havendammen omwille van zeesluis (onder) en referentieberekening in Blankenberge bij 3 m zeespiegelstijging.

5.2.3 Invloed op het golfveld

De berekeningen van het golfveld laten zien dat op de stranden de significante golfhoogte afneemt bij alle Alternatieven, voor zowel de kalme periode als de twee stormen. Enkele voorbeelden van verschilkaarten voor de significante golfhoogte tussen alternatief L en de referentieberekening zijn weergegeven in Figuur 5-9 tot Figuur 5-13 (overige figuren in de annex van rapport (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c)). Dit komt doordat de lokaal afgenomen waterdiepte door de zeewaartse uitbreiding van het strand leidt tot breking van de golven op een meer zeewaartse positie ten opzichte van de huidige kustlijn. Uiteraard zijn er in de alternatieven ook geen golfcondities meer aanwezig in de zones met droog strand bij zeewaartse uitbreiding.

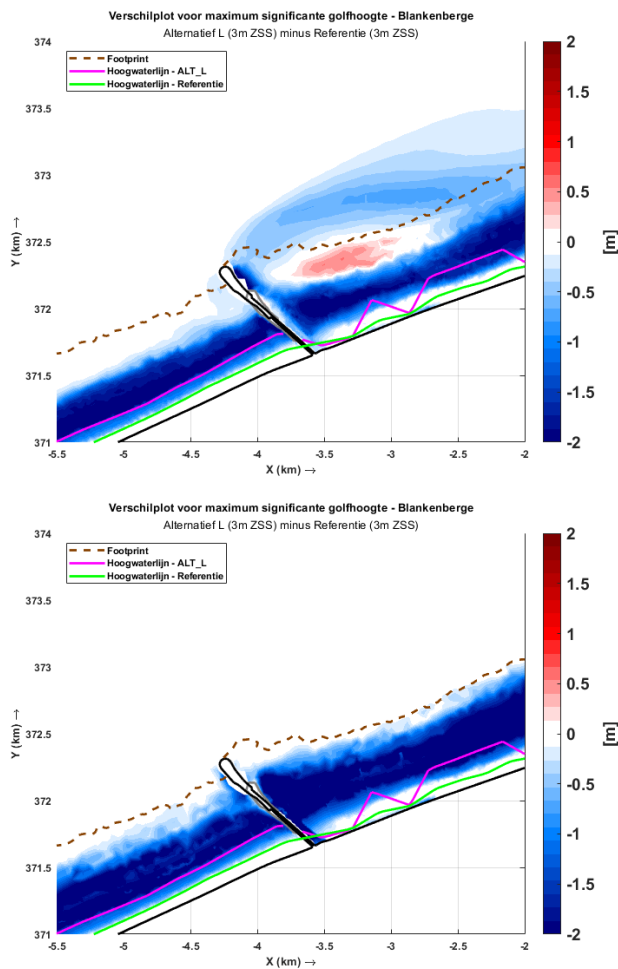
Rondom de havendammen laat het model ook veranderingen in de maximale golfhoogte zien. Hierbij moet worden opgemerkt dat het model geen reflectie en diffractie in rekening brengt, waardoor de lokale golfpatronen buiten de dammen een benadering zijn, die verfijnd kan worden door deze effecten in rekening te brengen. Binnen de havens zijn golfreflectie en -diffractie van zo'n groot belang dat de oplossing van het huidige model daar niet geldig is. Om de golfindringing in havens te bestuderen is een ander type model noodzakelijk.

Rond de havendammen zien we eveneens een afname van de maximale golfhoogte ten opzichte van de referentieberekening tijdens de noorderstorm en de kalme periode. Dit is geïllustreerd in Figuur 5-9 voor de haven van Oostende voor alternatief L bij +3m zeespiegelstijging.



Figuur 5-9: Verschil in significante golfhoogte tussen Alternatief L en referentieberekening te Oostende voor 3 m ZSS bij kalmere condities (boven), zuidwesterstorm (midden) en noorderstorm (onder).

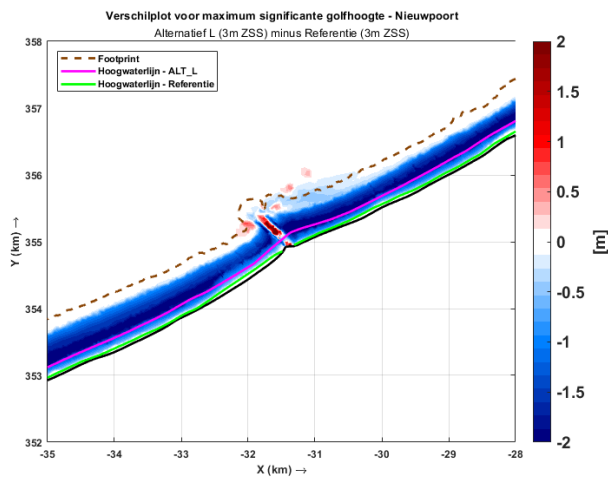
Voor de zuidwesterstorm, waarbij de golven zich parallel aan de kust voortplanten zien we eveneens afnames van de golfhoogtes voor de haven van Oostende Figuur 5-9. , maar zien we complexe patronen in de verschilkaart met golfhoogtes bij Blankenberge (Figuur 5-10). Hierbij bevindt zich in de golfschaduwzone van de verlengde havendam zowel een zone waar de golfhoogte toeneemt als een zone waar de maximale golfhoogte afneemt. Deze schaduwzone is groter dan in de referentieberekening door de verlengde havendammen. Hierdoor is er ook sprake van een sterkere refractie van het golfveld.



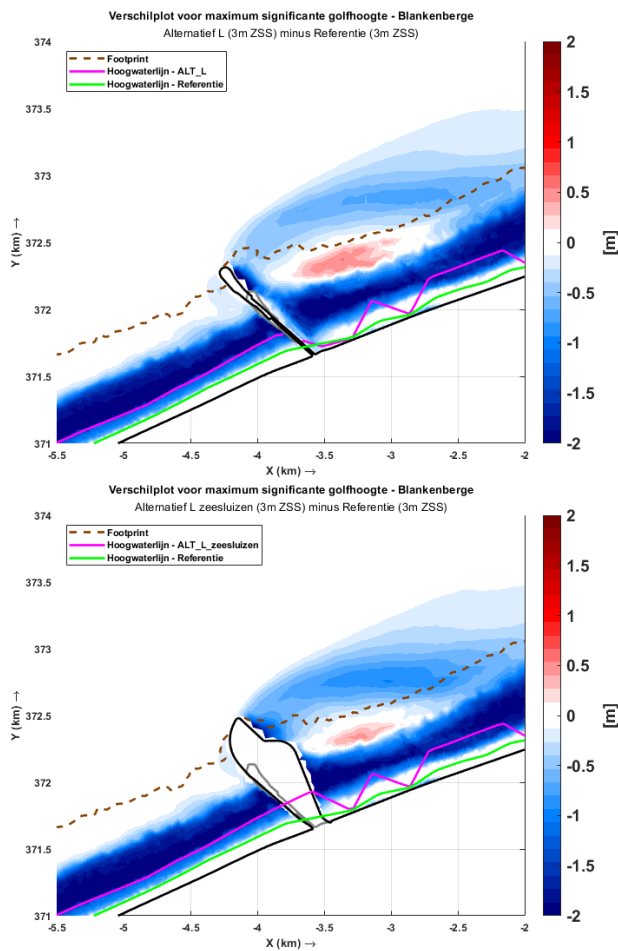
Figuur 5-10 Verschil in significante golfhoogte tussen Alternatief L en referentieberekening voor zuidwesterstorm (boven) en noorderstorm (onder) bij 3 m ZSS te Blankenberge.

Ook in Nieuwpoort is er een lokale verhoging van de significante golfhoogte in de toegangsheul (Figuur 5-11) bij Alternatief L tijdens zuidwesterstorm.. De golfpiekperiode wijkt lokaal eveneens af, waarbij er vooral een verlaging plaatsvindt op het strand, maar ook verlagingen zijn rond de haven ingangen (modelresultaten in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c)).

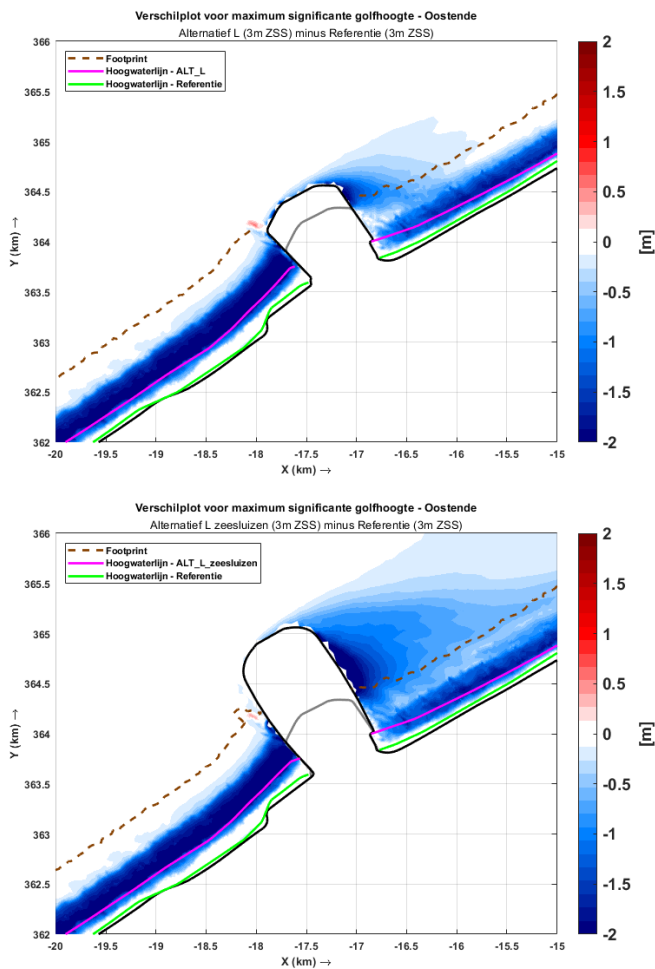
Gelijkaardig aan het effect op het stroomveld leidt de aanpassing van de havendammen omwille van een zeesluis in Blankenberge tot gelijkaardige, maar licht toegenomen impact als alternatief L, maar tot een grotere en ruimere impact rond de haven van Oostende. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 5-12 en Figuur 5-13 voor de zuidwesterstorm bij 3 m zeespiegelstijging voor respectievelijk Blankenberge en Oostende.



Figuur 5-11 Verschil in significante golfhoogte tussen Alternatief L en referentieberekening (zuidwesterstorm; 3 m ZSS) te Nieuwpoort.



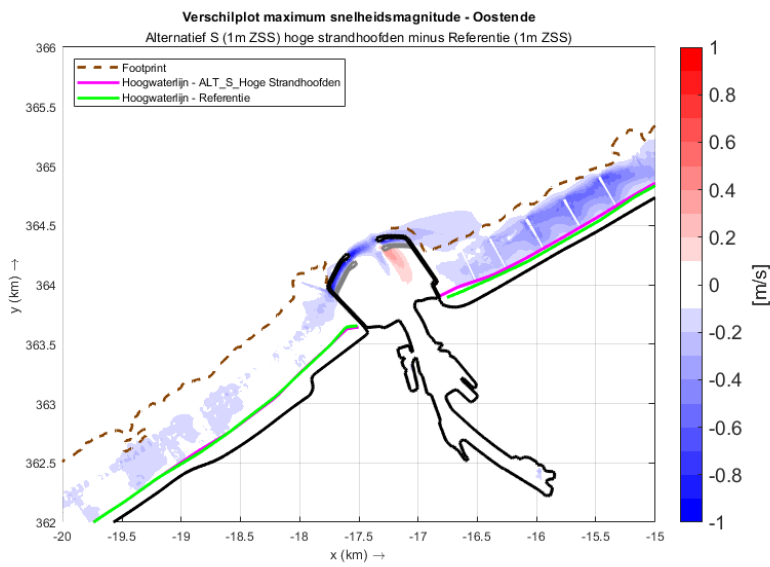
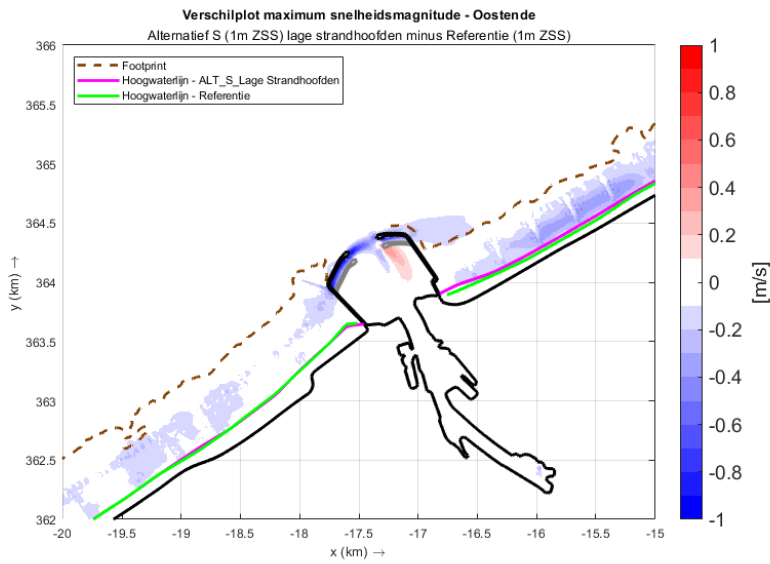
Figuur 5-12: Verschil in significante golfhoogte voor de zuidwesterstorm tussen Alternatief L (boven), en Alternatief L met wijziging lay-out havendammen omwille van zeesluis (onder) en referentieberekening in Blankenberge bij 3 m zeespiegelstijging.



Figuur 5-13: Verschil in significante golfhoogte voor de zuidwesterstorm tussen Alternatief L (boven), en Alternatief L met wijziging lay-out havendammen omwille van zeesluis (onder) en referentieberekening in Oostende bij 3 m zeespiegelstijging.

5.2.4 Effect van strandhoofden op de hydrodynamica

Het effect van strandhoofden is onderzocht in verschillende scenarioberekeningen, waarbij het effect van zowel lage als hoge strandhoofden is onderzocht. De focus lag hierbij op het bestuderen van de effecten op het langstransport en de morfologische ontwikkeling. Met betrekking tot de hydrodynamica, blijkt dat de strandhoofden lokaal effect hebben op de stroming, waarbij strandhoofden de stroming afremmen in het gebied van het strandhoofdenveld zelf en direct kustlangs hiervan (zie het modelresultatenrapport (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023d)). Een voorbeeld is getoond voor de getijstroming ten oosten van Oostende in Figuur 5-14. Dit effect is sterker voor hoge strandhoofden dan voor lage strandhoofden. Opvallend is dat er geen duidelijke versnelling zichtbaar is rond de koppen en over de strandhoofden, wat aan de gebruikte visualisatiemethode te wijten is. De vertraging is sterker voor hoge strandhoofden dan voor lage strandhoofden. Merk op dat sommige lokale effecten op de hydrodynamica (zoals bijvoorbeeld het optreden van muistromen, die een gevaar voor zwemmers kunnen zijn) niet met de gebruikte modelinstellen berekend kan worden, en in een verdere detailontwerpfase bestudeerd dienen te worden.



Figuur 5-14 Verschilplot Maximum snelheidsmagnitudo - Oostende: Alternatief S (1m ZSS) hoge strandhoofden minus Referentie (1m ZSS). Boven: lage strandhoofden. Beneden: hoge strandhoofden.-

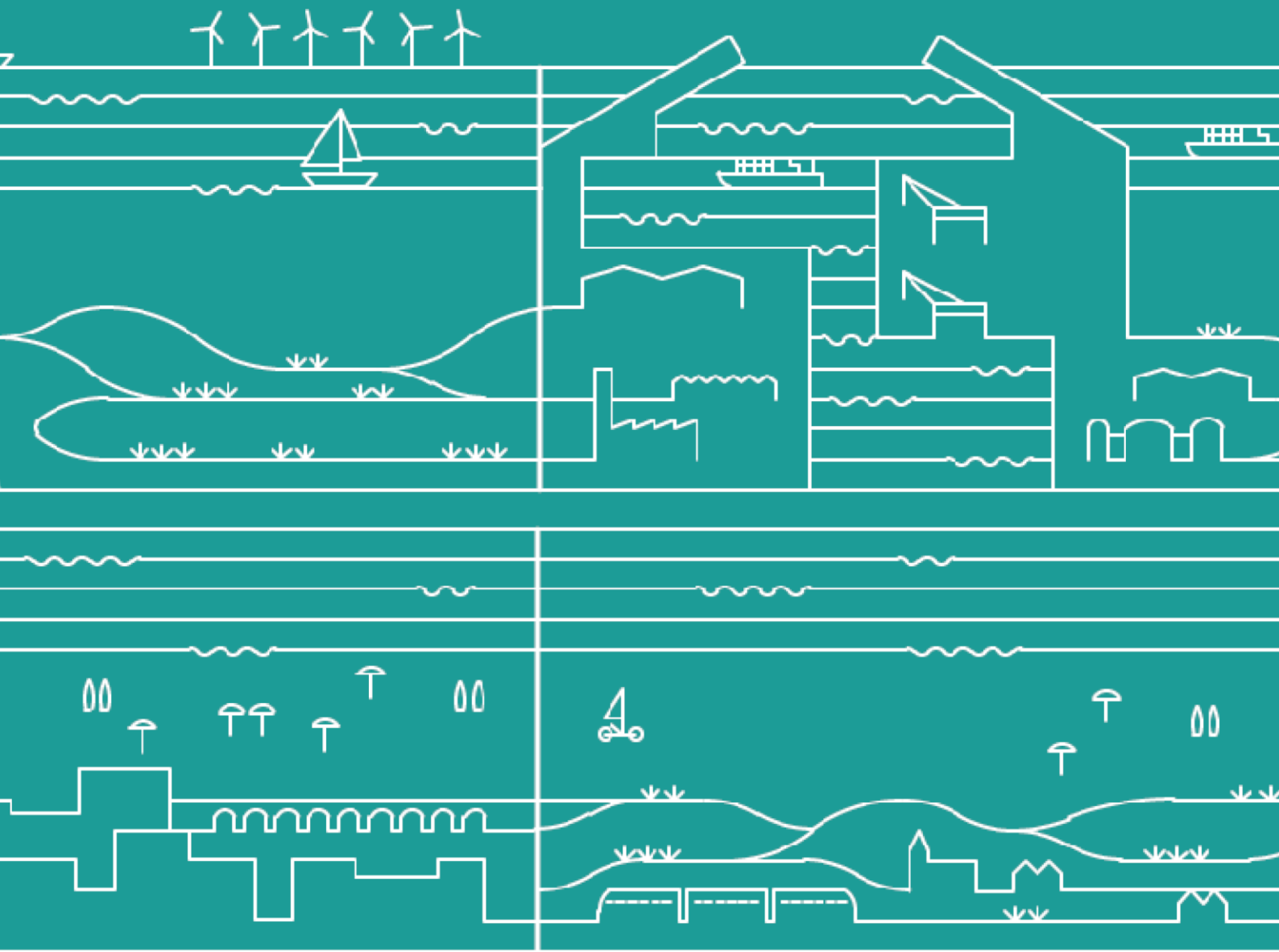
5.3 Synthese

Op basis van de hier gepresenteerde resultaten, kan geconcludeerd worden dat de invloed van de verschillende redelijke en geoptimaliseerde alternatieven op de waterbeweging beperkt is. Veranderingen in de waterstanden, getijstroming, golfhoogte en golfperiode beperken zich tot de directe omgeving van de ingrepen zelf. Grootschalige effecten (d.w.z. buiten de directe omgeving van de haveningangen en de stranden) worden niet waargenomen. Het ophogen van de stranden leidt tot een afname van de stroomsnelheid door het getij ter plaatse van de ophoging. Deze ophoging leidt eveneens tot een afname van de significante golfhoogte ter plaatse. De golfbreking vindt namelijk meer zeewaarts ten opzichte van de huidige kustlijn plaats. Omdat de badzone of zwemzone mee schuift met het strandprofiel, zullen de stroomsnelheden en golfcondities daar weinig afwijken van de referentiesituatie. De veranderingen rondom de havendammen van de havens van Nieuwpoort, Oostende en Blankenberge, leiden lokaal tot versnellingen in de getijstroom. Deze leidt tot (geleidelijke) erosie bij de koppen van de dammen, waardoor deze snelheidstoename na verloop van tijd weer afneemt. Initieel zal de grotere versnelling van de stroomsnelheid rond de haveningang een grotere dwarsstroming over de toegangseu veroorzaken, welke van invloed is op de scheepvaart.

Een uitzondering zijn de havenalternatieven waarin bij de haven van Oostende en Blankenberge voor een zeeluis wordt gekozen. In deze gevallen dienen de havendammen, vooral in geval van de haven van Oostende, (veel) verder zeewaarts worden aangepast dan zuiver voor aansluiting op de nabijgelegen strandzones. Dit geeft voor de haven van Blankenberge een beperkt grotere impact in vergelijking met de zeevaartse aanpassing van de havendammen zuiver voor het opvangen van het zeewaarts alternatief voor de strandzones (geoptimaliseerd alternatief L). Voor de haven van Oostende leidt de zeevaartse aanpassing omwille van de zeeluis tot een duidelijk grotere impact in vergelijking met de aanpassing van de havendammen voor het zeevaartse alternatief van de strandzones (alternatief L) met sterke toename van de stroomsnelheden aan de havenmond en afname van de stroomsnelheden in een ruimere zone. Gelijkaardig wordt het golfveld in een veel ruimere zone beïnvloed dan in alternatief L.

Het aanpassen van strandhoofden in de alternatieven illustreert dat de impact van strandhoofden op de hydrodynamica zeer lokaal is en beperkt tot het strandhoofdenveld en de nabije kustlangse zone.

Met het huidige numerieke hydromorfologisch model worden eerste inzichten bekomen van de impact op de golfcondities rond de uitgebreide havendammen en rond structuren zoals strandhoofden. Een aantal processen zoals golfreflectie en -diffractie worden niet in rekening gebracht met deze modellering. Voor een meer gedetailleerde voorspelling van golfhoogtes rondom de havendammen en met name voor de golfcondities in de haven is dus een bijkomende studie nodig met een ander type golfmodel. De golfhoogtes rondom de havendammen in de huidige modelstudie zijn een onderschatting van de werkelijkheid. Ook voor gedetailleerde stromingen rond structuren zoals strandhoofden kunnen meer gedetailleerde modellen zijn vereist in ontwerpfase om ook aspecten zoals zwemveiligheid in rekening te brengen (verder te bestuderen op projectniveau).



Sedimenttransport

6 Sedimenttransport

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het effect geëvalueerd van de verschillende geoptimaliseerde alternatieven (S, M en L) op het sedimenttransport in de kustzone. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen het langtransport van zand in de kustzone enerzijds en het transport van slib anderzijds. Het zandtransport wordt geëvalueerd uit de resultaten van het morfodynamisch Scaldis-Coast model, dat het langtransport van zand in de Belgische kustzone berekent. Dit model simuleert een half jaar aan gecombineerde golf- en stromingsberekeningen met een morfologische versnellingsfactor van 20, resulterend in 10 jaar morfologische veranderingen. Voor de golven werd een representatief half jaar uitgekozen en voor het getij een representatieve springtij-doodtijcyclus. Meer details rond modelopzet zijn terug te vinden in de rapportage van de referentiesituatie (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021a).

Voor het slibtransport zijn geen aparte morfodynamische berekeningen uitgevoerd, maar werd een expertbeoordeling gedaan. Deze beoordeling is gebaseerd op veranderingen in de hydrodynamica (stroming en golven) door de verschillende geoptimaliseerde alternatieven. Hieraan liggen de hydrodynamische berekeningen van het Scaldis-Coast model ten grondslag (zie vorige Hoofdstuk).

6.2 Bespreking

6.2.1 Langtransport in de Belgische kustzone

Uit de resultaten van morfodynamische simulaties met Scaldis-Coast is het kustlangs sedimenttransport berekend. Het langtransport is gedefinieerd als het gemiddelde potentiële netto sedimenttransport geïntegreerd over de langtransportzone. Hierbij is het potentiële sedimenttransport de hoeveelheid sediment, die getransporteerd wordt bij de aanwezigheid van een voldoende dikke zandbodem. Het effect van niet-erodeerbare lagen op het sedimenttransport wordt niet in rekening gebracht, aangezien deze gegevens in de TELEMAC modelcode niet expliciet aanwezig zijn (dit wordt wel in rekening gebracht bij het aanpassen van de bodem). Het gemiddelde jaarlijkse netto sedimenttransport is berekend over de gehele tijdsperiode (10 jaar van de morfologische berekening). Een belangrijke opmerking hierbij is dat het langtransport is berekend in een morfodynamische modus, waarin terugkoppeling plaatsvindt tussen veranderingen in de bodem en sedimenttransport. Dit betekent dat het berekende jaargemiddelde langtransport zowel initiële als langdurige effecten bevat. Het gaat hierbij om het langtransport dat wordt uitgemiddeld van het moment direct na het aanleggen van een alternatief tijdens de aanpassing van de bodemligging na aanleg van een alternatief over een periode van 10 jaar.

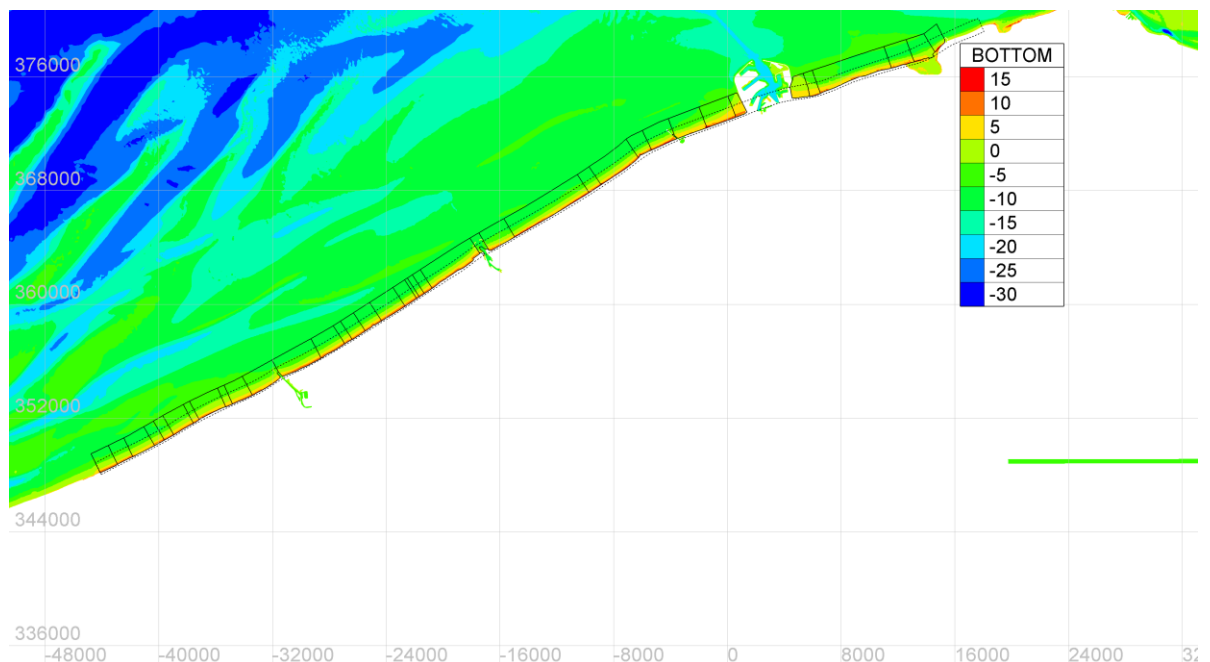
6.2.1.1 Verdeling van langtransport over het kustprofiel

Voor het langtransport is gekozen om dit te berekenen in een strook langs de kust. Traditioneel (bijvoorbeeld Afdeling Kust, 2009; Houthuys, 2012; Vandebroek *et al.*, 2017) wordt een zone gebruikt om volumeveranderingen in de Belgische Kustzone te berekenen, met een zeewaartse lijn, die ongeveer correspondeert met de -5 m TAW contourlijn en een landwaartse lijn, die dusdanig op het strand is gelegd dat er geen sedimenttransport plaatsvindt op het strand buiten deze zone. Deze zone wordt in Figuur 6-1 afgebakend met de zwarte onderbroken stippellijn. De keuze van de zeewaartse rand van de box is een belangrijke keuze, aangezien deze de absolute waarde van het langtransport kan beïnvloeden.

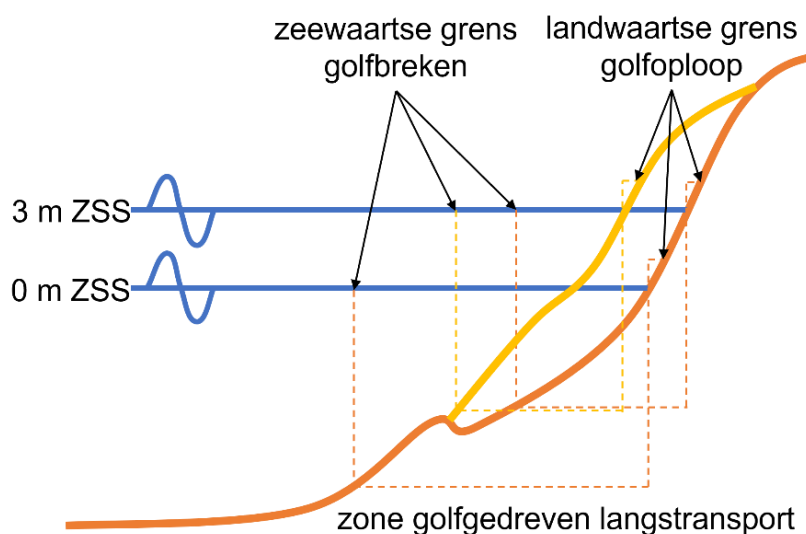
In de Belgische kustzone vind namelijk zowel golfgedreven langtransport als getijgedreven transport plaats, waarbij het langtransport voor een belangrijk deel plaatsvindt in de brekerzone. De locatie daarvan hangt af van de waterstand en golfhoogte. Buiten de brekerzone vindt getijgedreven sedimenttransport plaats, welke mogelijk versterkt wordt door extra opwoeling door golven. Hierdoor is geen duidelijke zeewaartse grens aan te wijzen waar geen sedimenttransport meer plaatsvindt.

Het zeewaarts uitbreiden van de box zal dus leiden tot extra sedimenttransport, omdat de richting van het getijgedreven sedimenttransport en het golfgedreven langtransport hetzelfde is (beide van zuidwest naar noordoost).

De zeewaartse grens van het golfgedreven kustlangs sedimenttransport wordt bepaald door de combinatie van waterdiepte, golfhoogte en golfperiode. De landwaartse grens wordt bepaald door het punt van maximale golfoploop. In geval van zeespiegelstijging zal de langtransportzone zich landwaarts verschuiven, een hogere waterstand leidt immers tot het breken van de golven hoger in het kustprofiel en dus een zeewaartse grens van de langtransportzone dichterbij de kust (Figuur 6-2). Ook de landwaartse grens schuift mee, de golfoploop komt immers boven de waterstand uit. De alternatieven aan de andere kant bestaan typisch uit een lokale verondieping door een zeewaartse verschuiving van het kustprofiel, wat leidt tot een zeewaartse verschuiving van de langtransportzone. Deze effecten kunnen elkaar dus opheffen. De totale breedte van de langtransportzone wordt bepaald door de helling van het strandprofiel.



Figuur 6-1 Afbakening van de zones (zwart) gebruikt voor de langtransportberekening. De zone, die overeenkomt met de actieve zone (-5m TAW) is aangegeven met een onderbroken stippellijn.



Figuur 6-2 Conceptuele afbakening van de zone voor golfgedreven langtransport (streeplijnen). Door zeespiegelstijging verplaatst de zone landwaarts. Door aanbrengen van een suppletie (gele lijn) verplaatst de zone zeewaarts. De breedte is afhankelijk van de vorm van het kustprofiel.

Voor de huidige studie is het belangrijk om het langstransport van de Referentie te kunnen vergelijken met de Alternatieven. Het is hierbij belangrijk dat de conclusies in verband met de vergelijking van Alternatieven niet afhangen van de grootte van de gekozen zone. Daarom is het langstransport bepaald voor twee verschillende groottes van de langstransportzone:

- De traditionele zone met een zeevaartse rand, die overeenkomt met de -5m TAW (onderbroken stippellijn in Figuur 6-1). Deze heeft een breedte van ongeveer 500 m en wordt in het vervolg “grens LST berekening” genoemd.
- Een grotere zone, met een breedte van rond de 1500 m (doorgetrokken lijn in Figuur 6-1). Deze zone is zodanig groot gekozen, dat het sedimenttransport tussen de alternatieven en de referentie op de zeevaartse rand vergelijkbaar is. Dat betekent dat de gehele zone, waarin de alternatieven het transport beïnvloeden in deze box in beschouwing genomen wordt. Deze zone wordt in het vervolg “offshore rand kustvak” genoemd.

Om het effect van de grootte van de box op het langstransport verder te bestuderen, worden dwarsprofielen van het jaargemiddelde langstransport getoond op verschillende locaties aan de kust tesamen met de bodemveranderingen (in Figuur 6-3 tot en met Figuur 6-8). Het gaat hierbij om berekeningen voor de Referentie en Alternatief L bij 3 m zeespiegelstijging.

Het aanbrengen van een grootschalige suppletie, zoals in Alternatief L (Figuur 6-3 t/m Figuur 6-8, bovenste paneel) zorgt voor een versmalling van de langstransportzone, wat in de meeste gevallen leidt tot een afname van het langstransport. Tegelijkertijd zijn er op enkele dwarsdoorsnedes verhoogde pieken in het sedimenttransport, die samenhangen met een steiler deel van het aanlegprofiel. Aan de Oostkust (Knokke Figuur 6-7 en Appelzak Figuur 6-8) neemt het langstransport over het hele profiel juist toe.

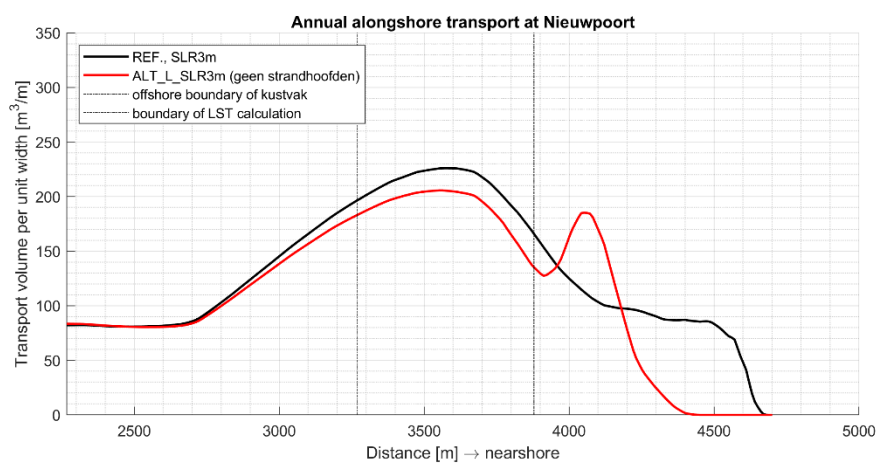
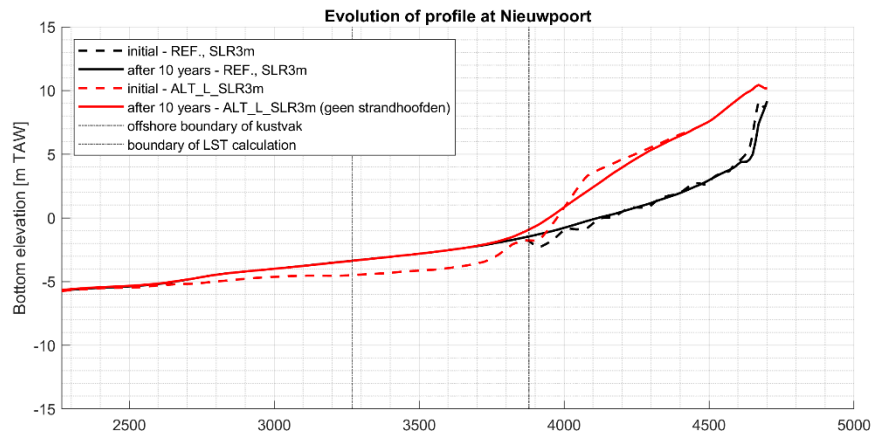
De verdeling van het langstransport is niet uniform verdeeld over het kustprofiel. Het langstransport neemt scherp toe vanaf de hoogwaterlijn tot een maximum aan de vooroevervoet (de overgang tussen het steilere strand en vlakke zeebodem). Dit transport is hoofdzakelijk golfgedreven. Verder zeewaarts neemt het langstransport weer langzaam af door een afname van het golfgedreven transport en neemt het belang van het getijgedreven transport toe.

De afgebakende langstransportzone tot de offshore rand van het kustvak (in Figuur 6-3 tot en met Figuur 6-8) geeft voor alle profielen het gebied aan met de hoogste transporten en de grootste morfologische veranderingen. In Wenduine (Figuur 6-6), Knokke (Figuur 6-7) en de Appelzak (Figuur 6-8) is de zone met het verhoogde transport in zijn geheel in de afgebakende zone.

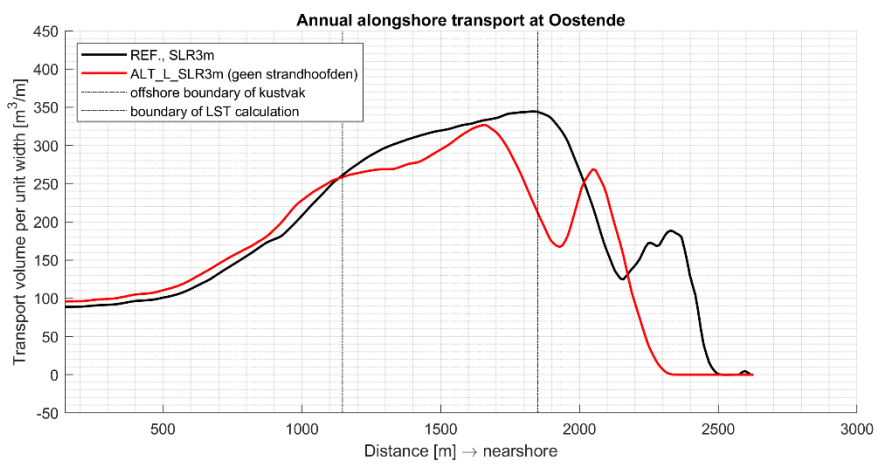
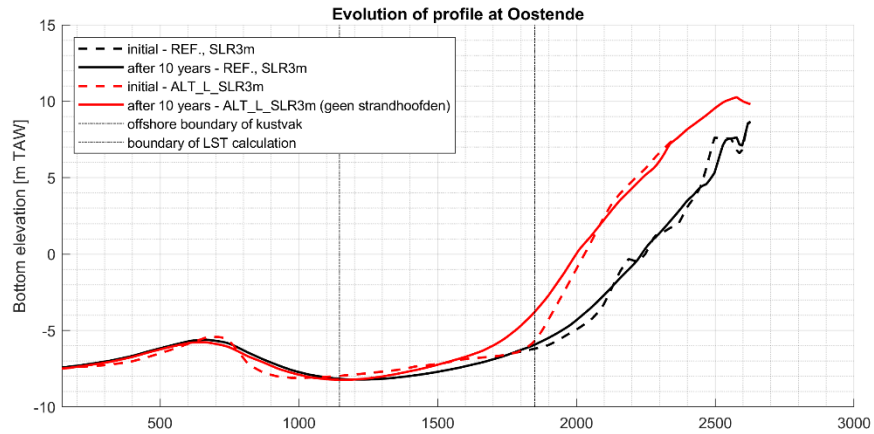
Voor Nieuwpoort (Figuur 6-3), Oostende (Figuur 6-4), en De Haan (Figuur 6-5) is er nog een afname van het langstransport merkbaar aan de grens van de afbakening. Echter, zijn voor alle getoonde dwarsdoorsnedes de verschillen tussen Alternatief L en de referentieberekening klein aan de zeevaartse grens. Hiermee wordt verondersteld dat de gekozen zone groot genoeg is om een goede vergelijking van het transport in de kustzone te kunnen maken. In het kleinere vak “grens LST berekening” komen de grootste verschillen voor in de sedimenttransporthoeveelheden tussen de referentie en de alternatieven. Echter, behalve in Oostende, waar de verschillen buiten dit vak substantieel zijn, zijn de verschillen buiten dit vak redelijk klein. Vermoedelijk is de uitzonderlijke situatie in Oostende het gevolg van de invloed van de verandering in de lengte van de havendammen. Voor Alternatief S en M worden minder grote verschillen ten opzichte van de Referentie verwacht dan voor Alternatief L, aangezien de aanpassing in het kustprofiel in deze alternatieven minder groot is.

Een vergelijking van het langstransport op basis van de traditionele zone en de grotere zone wordt voor referentie en alternatieven S, M en L getoond in Figuur 6-9. Vergelijking van het langstransport tussen alternatief en referentie in de traditionele zone geeft algemeen een trend weer waarin het langstransport gelijkaardig is of afneemt in de alternatieven ten opzichte van de referentie, daarbij is de afname voor alternatief L beperkt groter dan voor alternatief S. In de grotere zone komt globaal een gelijkaardige trend voor, al is de afname in een groot deel van de kust minder uitgesproken. Dit is vermoedelijk omdat het relatieve belang van het getijtransport, waarop de alternatieven minder invloed hebben, is toegenomen en daardoor de relatieve invloed op het kustnabije transport afneemt.

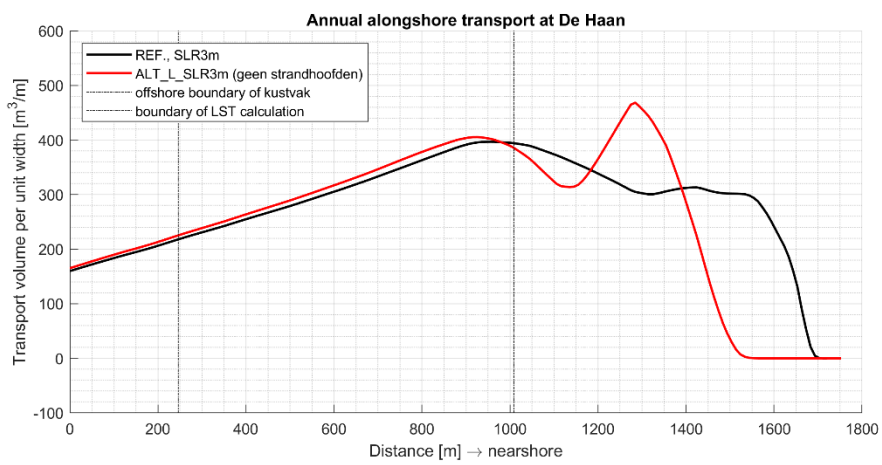
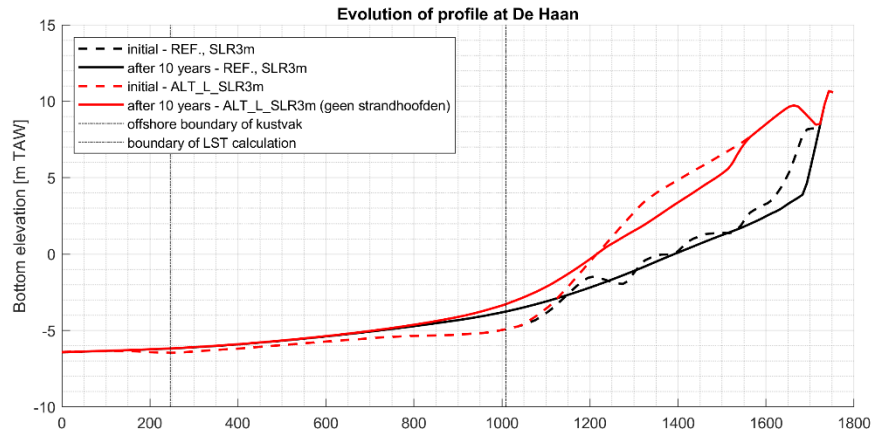
Ter hoogte van Oostende valt op dat bij alternatief L een sterke afname in het langstransport optreedt in vergelijking met de referentie en alternatief S, omwille van de sterkere uitbreiding van de havendammen in dit alternatief. De oostkust wijkt qua patroon af en vertoont een toename in het langstransport voor de alternatieven, zowel voor de traditionele zone als de grotere zone. Dit is te wijten aan het ontbreken van strandhoofden in het alternatief. De toepassing van strandhoofden aan de oostkust zal leiden tot een gelijkaardig langstransport als in de referentie (zie sectie 7.2.6).



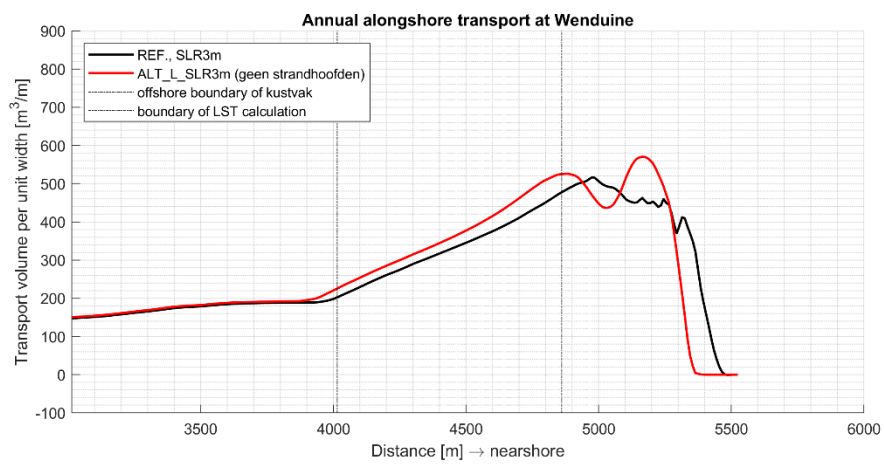
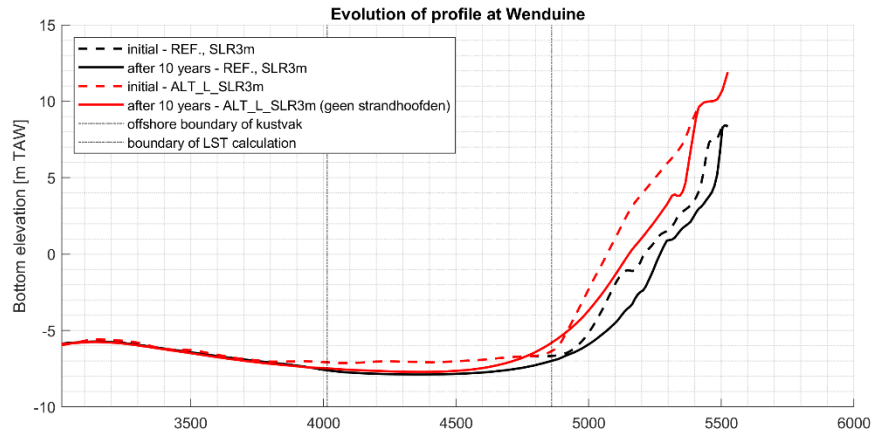
Figuur 6-3 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte nabij Nieuwpoort (3 m ZSS).



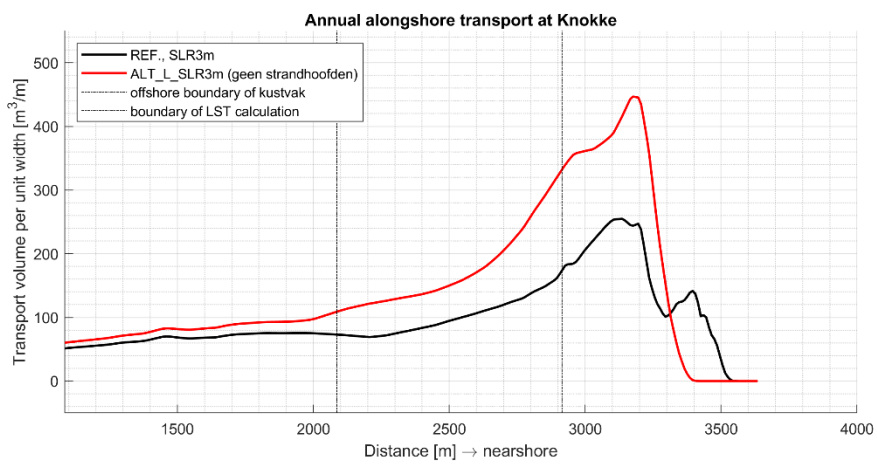
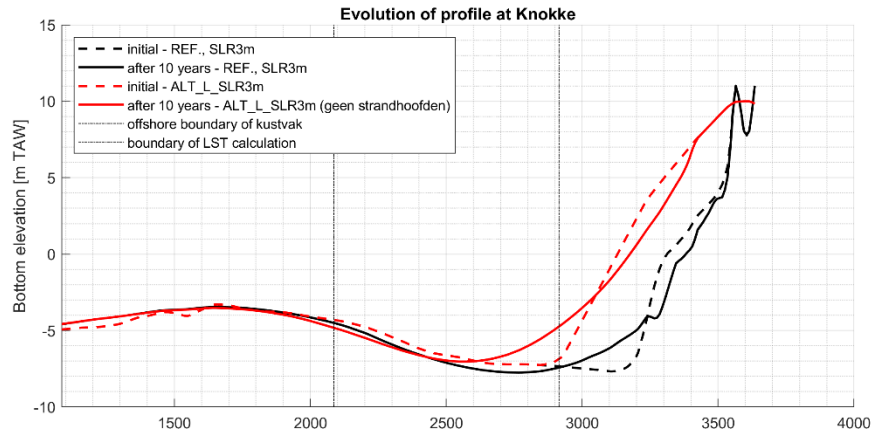
Figuur 6-4 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte nabij Oostende (3 m ZSS).



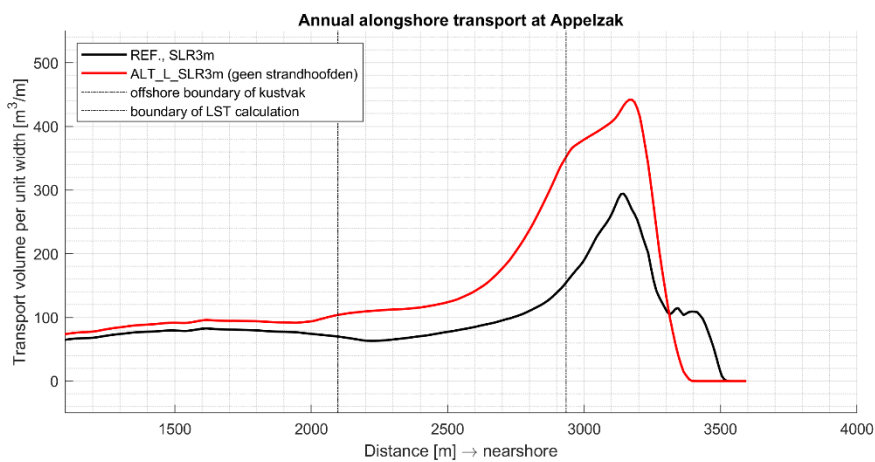
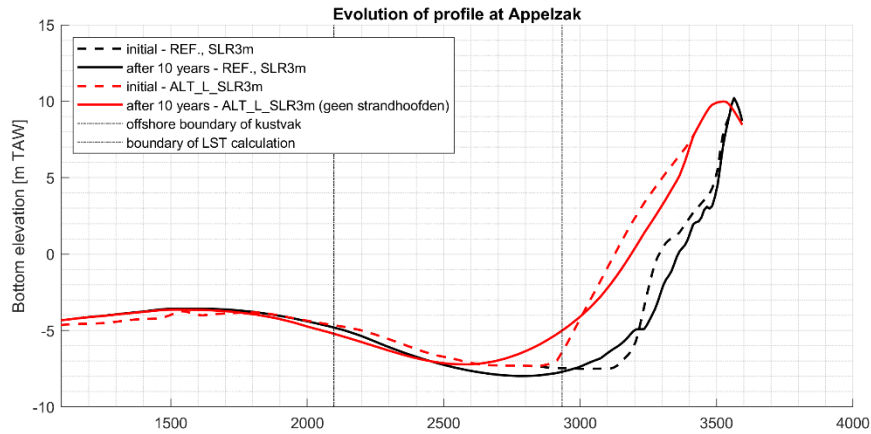
Figuur 6-5 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte nabij De Haan (3 m ZSS).



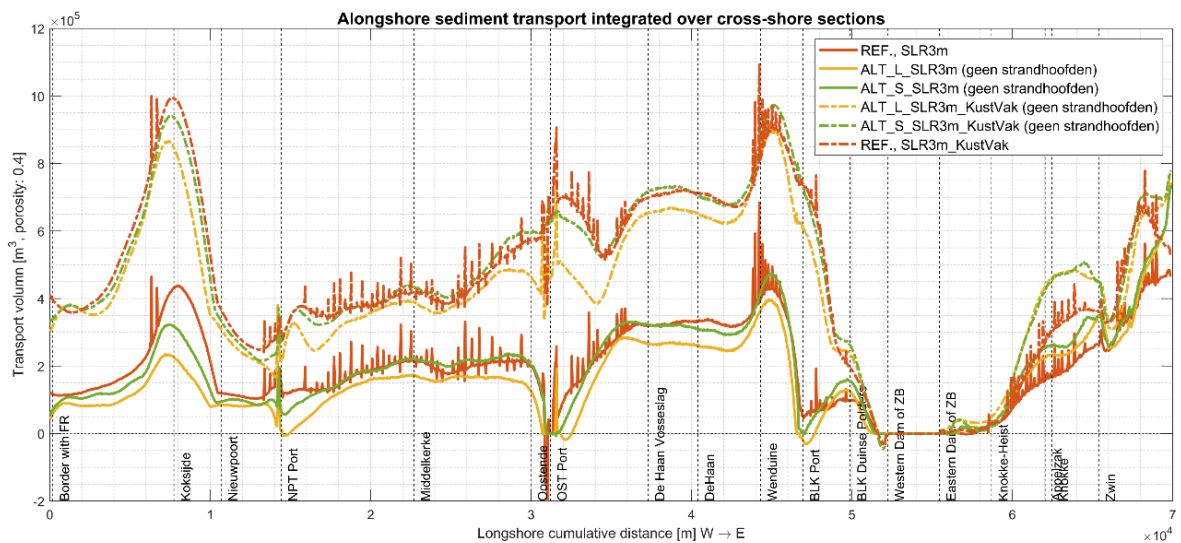
Figuur 6-6 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte nabij Wenduine (3 m ZSS).



Figuur 6-7 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte nabij Knokke (3 m ZSS).



Figuur 6-8 Dwarsprofiel van het jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport per eenheid van breedte over de Appelzak (3 m ZSS).



Figuur 6-9: Vergelijking van jaarlijks gemiddelde potentiële langstransport langs de kust voor referentie en alternatieven bij 3 m zeespiegelstijging voor de smalle breedte (doorgetrokken lijnen) en bij verbrede boxen (streep-stippel lijnen).

De toepassing van de zone bepaalt in welke mate welke sedimenttransportprocessen worden meegenomen. De traditionele zone focust op de kustnabije langstransporten welke een directe impact op de strandzones zullen hebben.

De grotere zone neemt in toenemende mate het getijgedreven transport in beschouwing, waardoor de invloed van het kustnabije transport verhoudingsgewijs reduceert in de vergelijking. De toepassing van beide zones in de vergelijking van referentie en Alternatief resulteert in relatief gelijkaardige trends, waarbij de impact van een alternatief duidelijker af te leiden is in het geval van de traditionele zone die focust op het kustnabije transport. Daarom zal in het vervolg enkel de smallere traditionele zone (grens LST berekening) worden gebruikt.

6.2.1.2 Kustlangse variatie van het langstransport

Het kustlangs transport wordt kustdwars geïntegreerd over de afgebakende kustnabije zone (Figuur 6-1), hieruit wordt dan per kustsectie het totale langstransport gevonden (6.2.1.1). Het langstransport kent sterke variaties langsheen de kust onder invloed van de kustlijnoriëntatie, ondiepe zandbanken en ver in zee stekende havendammen. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor alle Alternatieven en de Referentie bij 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging (zie respectievelijk Figuur 6-11, Figuur 6-12, Figuur 6-13).

Opvallend in deze figuren is het effect van de strandhoofden op het sedimenttransport in de referentieberekening, waarbij sterke pieken optreden. De strandhoofden werden overgenomen uit het hoogtemodel voor de huidige bodemligging. Deze pieken zijn het gevolg van verhoogd sedimenttransport over de strandhoofden. Dit is een artefact van de gebruikte berekeningsmethode, waarin het effect van niet-erodeerbare lagen op het sedimenttransport niet in beschouwing genomen is. Het transport boven de strandhoofden wordt meegenomen in de berekening, terwijl zich daar in werkelijkheid geen erodeerbaar sediment bevindt. Voor een correcte interpretatie moet dus enkel naar de gedeeltes van de lijn tussen de pieken gekeken worden. De berekeningen voor de alternatieven zijn uitgevoerd zonder strandhoofden, waardoor deze effecten niet optreden. Op het effect van de strandhoofden wordt verder ingegaan in sectie 6.2.2.

De overeenkomsten in langstransportpatronen tussen de berekeningen bij verschillende zeespiegelstijgingsniveaus zijn groot, kwalitatief wordt vrijwel hetzelfde patroon gevonden in het langstransport. Er zijn echter belangrijke kwantitatieve verschillen in het langstransport zowel tussen de verschillende zeespiegelstijgingsniveaus als tussen de verschillende Alternatieven (Figuur 6-11, Figuur 6-12 en Figuur 6-13).

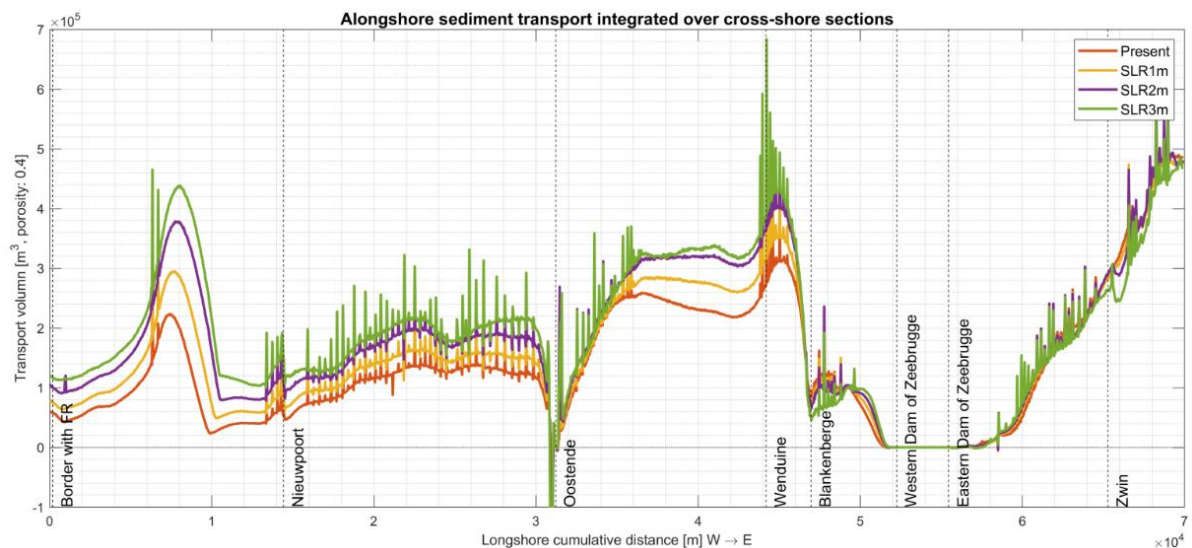
Als eerste zal hier het langstransport kwalitatief worden besproken van west naar oost, overeenkomstig met de dominante richting van het netto langstransport. Daarna worden per zeespiegelscenario de verschillen tussen de Alternatieven besproken.

Over het algemeen is er een toename van het langstransport van de grens tot de Broersbank, waar een lokaal maximum is, gelinkt aan de aanwezigheid van een kustaangehechte zandbank. Het transport neemt dan weer sterk af over de Broersbank en blijft dan constant tot Nieuwpoort. Van Nieuwpoort tot Middelkerke neemt het langstransport weer licht toe, en blijft dan vrijwel constant tot Oostende. De sterke aanwezigheid van strandhoofden in dit gebied is duidelijk uit het gepiekte transportsignaal. Rondom de haven van Oostende duiden de sterke veranderingen op een blokkade van het langstransport door de havendammen, het transport neemt af tot nul. Van Oostende tot Bredene neemt het transport opnieuw sterk toe, waarna het vrijwel constant blijft tot Wenduine. Bij Wenduine volgt een verandering van kustlijnoriëntatie die aanleiding geeft tot een toename en scherpe afname in het langstransport die voortduurt tot de westelijke havendam van Zeebrugge alwaar het transport tot nul reduceert. De afname in langstransport tussen Wenduine en Zeebrugge kent lokaal een scherpe afname door de strekdammen en havengeul van de haven van Blankenberge waar sediment wordt gecaptureerd. Ten westen van de strekdammen neemt het langstransport over een beperkte afstand geleidelijk toe en daalt vervolgens terug richting Zeebrugge. Ten oosten van Zeebrugge is er opnieuw een almaar toenemend transport tot over de grens met Nederland, met opnieuw de duidelijke aanwezigheid van strandhoofden zichtbaar door de pieken in het langstransportsignaal.

Een kustlangse toename van het langstransport, in de dominante transportrichting, zal over het algemeen leiden tot erosie op het onderhavige deel van de kust, terwijl een afname juist aanleiding geeft tot aanzanding. Havendammen blokkeren, indien zij lang genoeg zijn, het langstransport.

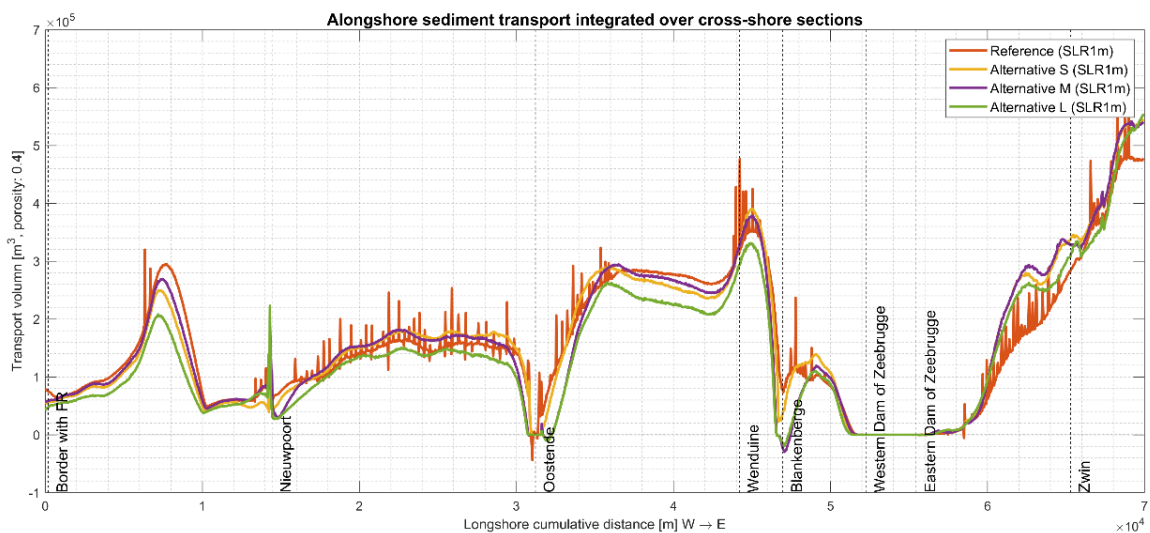
Ter hoogte van de havens van Nieuwpoort, Oostende en Blankenberge strekt de zone waarin het langstransport wordt berekend zich uit tot zeewaarts van de havendammen (Figuur 6-1) en wordt mogelijk zandtransport voorbij deze havens in de figuren mee opgenomen. In Zeebrugge strekken de havendammen zich zo ver zeewaarts uit dat hier geen langstransport wordt berekend.

Bij een toename van het gemiddeld zeeniveau zal het langstransport over het algemeen toenemen (Figuur 6-10). De grootste verschillen treden op aan de Westkust en tussen Middelkerke en Bredene. Op de Broersbank loopt het verschil tussen 0 en 3 m ZSS op tot een factor twee. Aan de Oostkust zit er weinig verschil in het langstransport voor de verschillende zeeniveaus. Uit de analyse in het rapport met de referentiesituatie (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021a) werd dit gelinkt aan de vermoedelijk hogere bijdrage van getijgedreven transport waarbij getijden minder sterk variëren dan golfcondities bij zeespiegelstijging. De sterkere getijinvloed in deze regio komt doordat de getijstrooming toeneemt in de getijmonding van de Westerschelde. Daarnaast ligt deze regio beschut van de golven door de havendammen van Zeebrugge en de Vlakte van de Raan en Walcheren, wat zorgt dat de golfhoogte en golfrichting veranderen, zodat het langstransport meer van het getij dan van de golven afhangt. Een mogelijke bijkomende verklaring is dat het golfklimaat aan de oostkust minder gevoelig is voor een stijgende zeespiegel, omdat er aan de oostkust minder ondiepe zandbanken liggen.



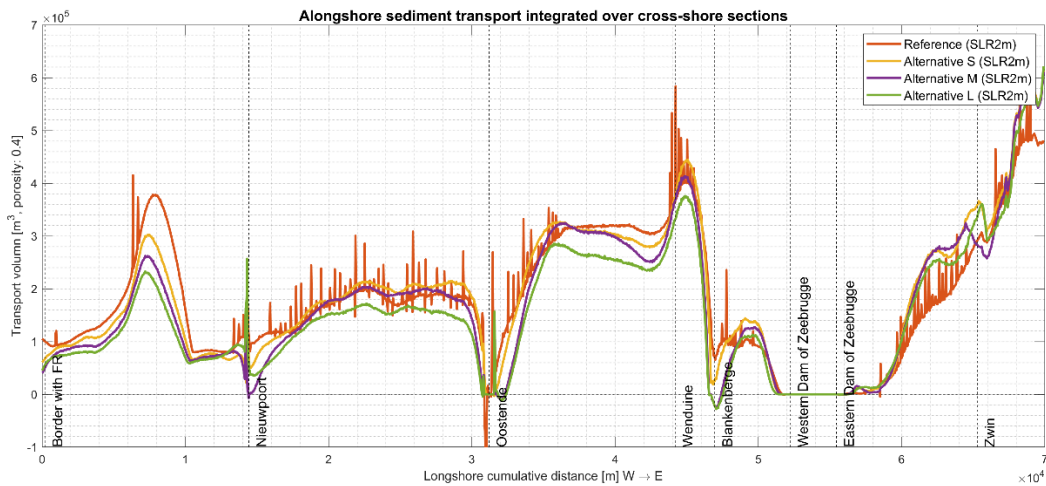
Figuur 6-10 - Vergelijking van het langtransport voor de Referentiesimulatie bij 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging.

Wanneer de langtransportsimulaties van alle alternatieven bij één meter zeespiegelstijging worden vergeleken valt het op dat het langtransport bij alternatief L vrijwel overal lager ligt dan bij de referentie. Dit komt doordat in alternatief L de kustlijnoriëntatie is aangepast om een stabielere kustlijn te krijgen, wat resulteert in een afname van de transporten. De gradiënten in het langtransport zijn bij alternatief L minder groter dan bij M, of S. Bij alternatief L wordt in de roadmap meteen een zeewaartse verplaatsing uitgevoerd naar een meer stabiele (in termen van golfgedreven transport) kustlijn, terwijl dit nog niet het geval is voor alternatief M dat grotendeels gelijkaardig is als alternatief S bij 1 m zeespiegelstijging (zie voorstel alternatieven in Hoofdstuk 3). Dit leidt vermoedelijk tot de afname in langtransportgradiënten in alternatief L. Enkel ten oosten van Zeebrugge is het langtransport groter. De alternatieven M en S zijn ten westen van Zeebrugge gelijkaardig aan de referentie. Ter hoogte van de Broersbank en Blankenberge is het langtransport wel iets lager. Ten oosten van Zeebrugge is het langtransport voor alternatief M en S zelfs iets groter dan alternatief L en dus ook groter dan de referentie. Rondom de havens geeft alternatief L aanleiding tot de grootste verlenging van de havendammen, waardoor de invloed op het langtransport toeneemt.



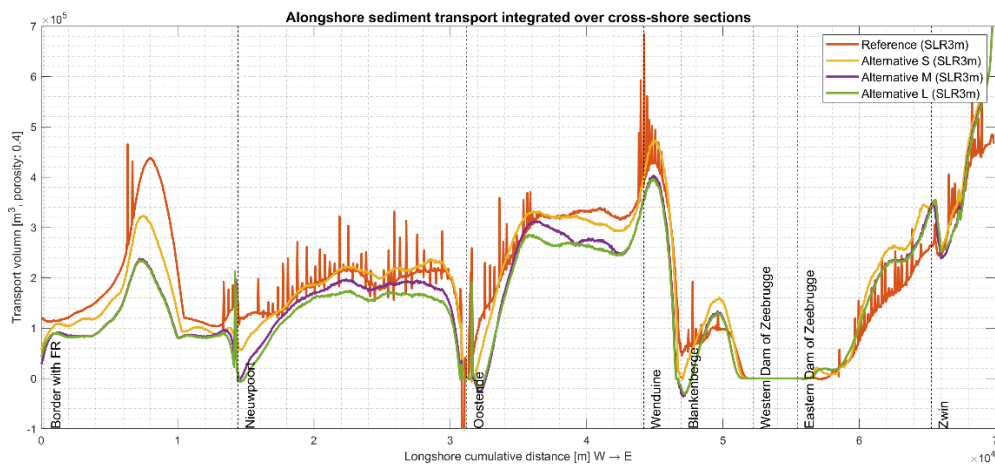
Figuur 6-11 Langtransport voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven en referentie (1m zeespiegelstijging)

Bij twee meter zeespiegelstijging worden de verschillen in langtransport tussen de alternatieven iets groter (Figuur 6-12). Ook hier heeft alternatief L het laagste kustlangs transport, dat behalve ten oosten van Zeebrugge, overal lager is dan in de referentiesimulatie. De transportgradiënt over de Broersbank is voor alle alternatieven groter dan bij één meter zeespiegelstijging, maar ook de verhouding in transporthoeveelheid tussen referentie en alternatief L is groter. Aan de Westkust Tussen Nieuwpoort en Oostende leidt enkel alternatief L tot een lager transport. Ten oosten van Oostende is het transport minder voor alle alternatieven, maar het laagst voor L. Aan de Oostkust is opnieuw een groter langtransport in de alternatieven dan de referentieberekening. Er treedt daar tot wel tweemaal meer transport op, in combinatie met een sterke gradiënt tussen Heist en Knokke die aanleiding geeft tot structurele erosie.



Figuur 6-12: Langtransport voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven en referentie (2m zeespiegelstijging)

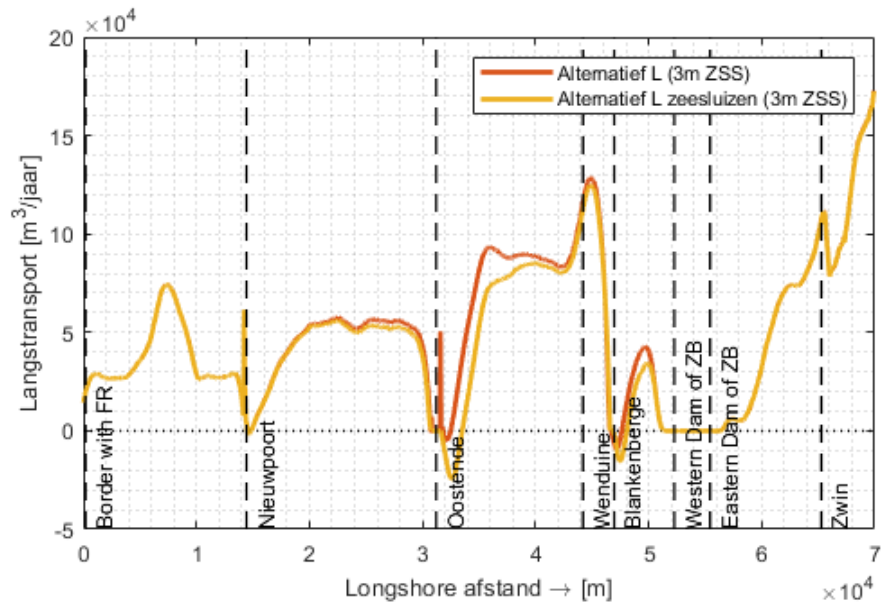
Bij drie meter zeespiegelstijging (Figuur 6-13) is het sedimenttransport langs de gehele kust ten westen van Blankenberge lager in de alternatieven dan in de referentie, het laagste transport is aanwezig in alternatief L. Aan de Westkust zijn de resultaten van alternatief M zeer gelijkaardig aan die van alternatief L aangezien beide alternatieven hier een gelijkaardige opbouw hebben. Alternatief S zit hier tussen de referentie en de andere. Aan de Oostkust daarentegen, leiden de alternatieven tot een groter langtransport vergeleken met de referentieberekening, waarbij Alternatief S lokaal tot het hoogste langtransport leidt.



Figuur 6-13: Langtransport voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven en referentie (3 m zeespiegelstijging).

Tot slot is ook het langtransport bepaald voor het alternatief met zeewaartse uitbreiding van de havendammen in Oostende en Blankenberge omwille van het voorzien van zeesluizen in de havens. In dit alternatief zijn de kustlijn en bodem van de strandzones van geoptimaliseerd alternatief L opgenomen. Dit vertaalt zich in een langtransport dat globaal gelijk is aan dat van geoptimaliseerd alternatief L, maar wijkt af rond de havens van Oostende en Blankenberge (Figuur 6-14). Ten westen van de haven van Blankenberge is het langtransport gelijkaardig aan beide alternatieven. Ten oosten van de haven is het langtransport beperkt lager in alternatief L met zeesluis door de uitbreiding van de havendam.

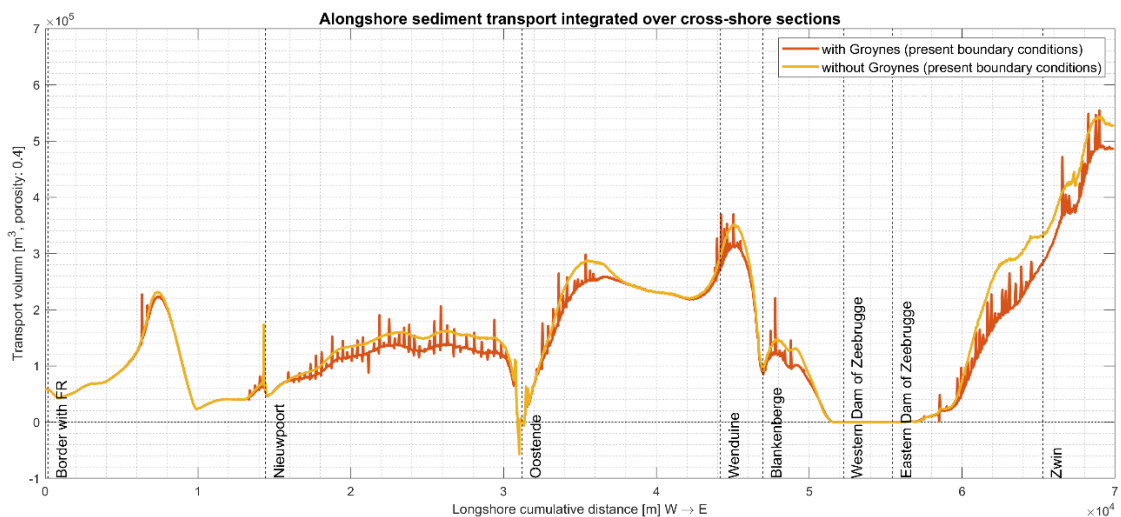
Het verschil met geoptimaliseerd alternatief L is echter beperkt. Rond de haven van Oostende is de invloed van de zeewaarts verlengde havendammen groter op het langtransport, vooral ten oosten van de haven. Er is een afname van het langtransport bij het alternatief met verlengde havendammen ten opzichte van alternatief L merkbaar tot juist ten westen van Wenduine. Er is vermoedelijk een afname van de oostelijke component in het langtransport over deze zone door de uitbreiding van de havendammen. Dit vertaalt zich eveneens in een negatief langtransport (netto langtransport naar het westen) juist ten oosten van de haven.



Figuur 6-14: Langstransport voor geoptimaliseerd alternatief L en alternatief L gecombineerd met aangepast havendammen voor het voorzien van zeesluizen in de havens van Oostende en Blankenberge (3 m zeespiegelstijging).

6.2.2 Effect van de strandhoofden

Om het effect van de strandhoofden op het sedimenttransport te kunnen inschatten is voor de referentiesimulatie zonder zeespiegelstijging een vergelijking gemaakt tussen de situatie met en zonder strandhoofden. Deze berekening is weergegeven in Figuur 6-15. Net als in de vorige sectie zijn de strandhoofden duidelijk zichtbaar in de resultaten van de simulatie in de vorm van pieken in het potentiële sedimenttransport, die grotendeels verklaard kunnen worden door het effect van niet-erodeerbare lagen wat niet in de berekening van het langstransport in rekening is gebracht. Een vergelijking van de transporthoeveelheden toont dat waar de strandhoofden aanwezig zijn, het langstransport duidelijk lager is (zo'n 10 à 15%), met de sterkste afname in absolute waarde aan de Oostkust (met afnames in langstransport tot circa 40%). De Westkust en de zone tussen Oostende en Wenduine zonder strandhoofden laten in beide berekeningen zeer gelijkaardige transporthoeveelheden zien. Uit de resultaten van deze berekening kan geconcludeerd worden dat de langstransporthoeveelheden in de verschillende alternatieven, zoals gepresenteerd in paragraaf 6.2.1 potentieel verlaagd kunnen worden door het aanbrengen van strandhoofden.

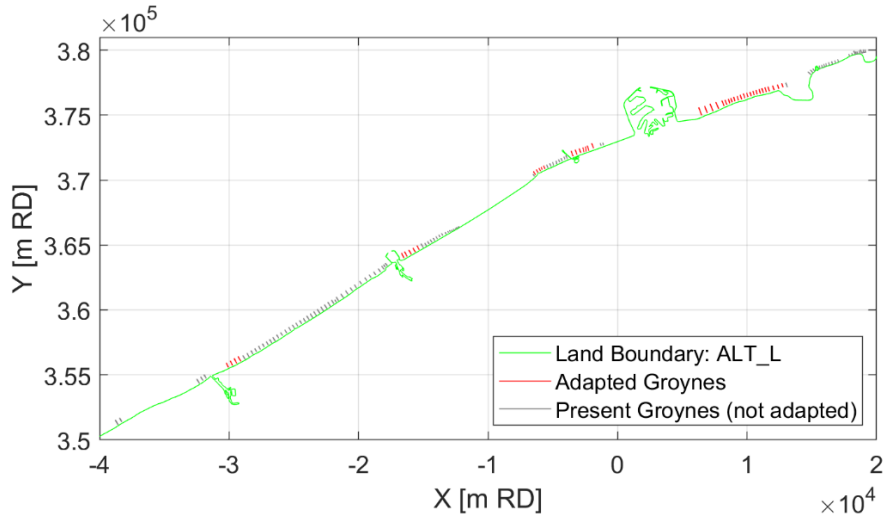


Figuur 6-15 Effect van strandhoofden op het langstransport (referentieberekening zonder zeespiegelstijging)

Om deze reden zijn simulaties uitgevoerd met het model voor de verschillende alternatieven met strandhoofden. In deze berekeningen werden de bestaande strandhoofden opgenomen, zoals deze nu voorkomen, wat betekent dat ze bij de alternatieven begraven zijn onder het zand (tenzij deze tijdens de berekening door erosie bloot komen te liggen).

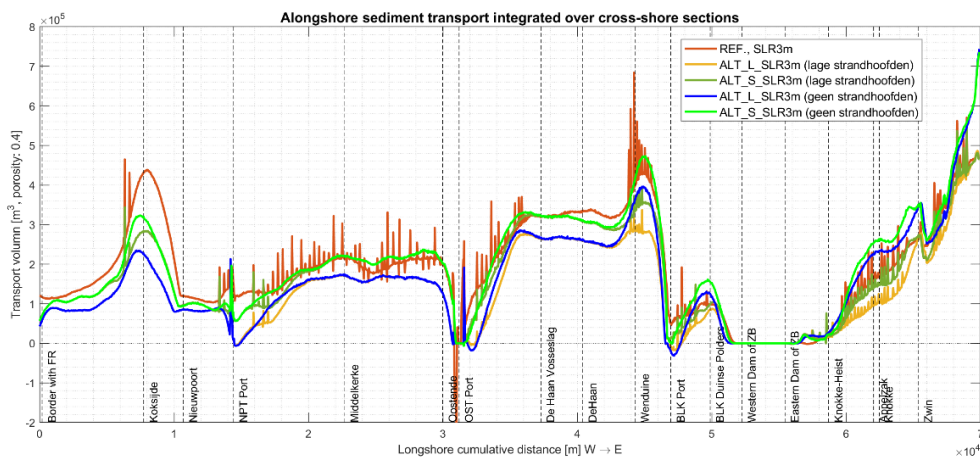
Voor een beperkt aantal strandhoofden, zijn er aanpassingen uitgevoerd, zodat deze niet onder het zand liggen, maar werkzaam in de bestudeerde alternatieven (zie Figuur 6-16 voor de locaties van de bestaande en aangepaste strandhoofden). De locaties waar het aangewezen is om strandhoofden te voorzien om erosie en onderhoud te reduceren zijn gebaseerd op voorgaande kustlijnmodellering (zie hoofdstuk 9.3.5).

In alternatief S (met 1 m zeespiegelstijging) zijn tevens verschillende types strandhoofden gesimuleerd, lage strandhoofden (met een kruinhoogte circa 1 m boven het strand die deels onder water staat) in zowel een korte als een lange variant en hoge strandhoofden (met een kruinhoogte boven de hoogwaterstand).



Figuur 6-16 Overzicht van de strandhoofden in de kustzone (voor alternatief L).

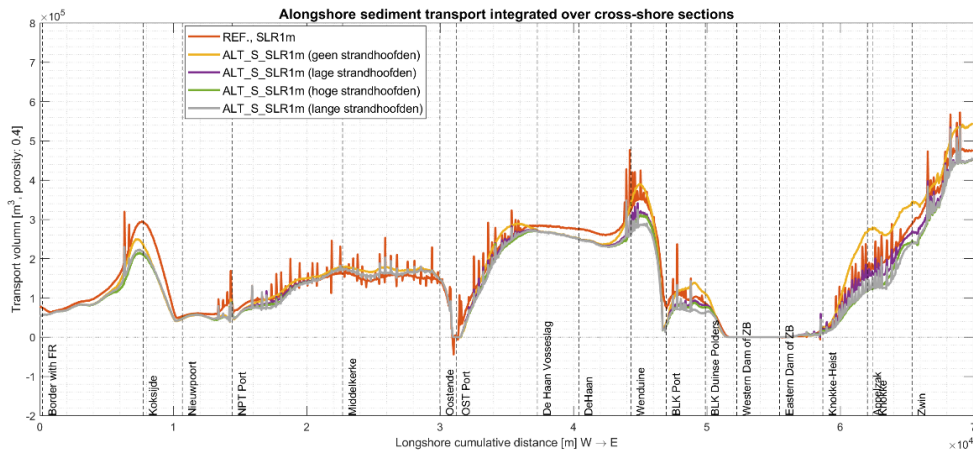
Het effect van de strandhoofden op het langstransport wordt getoond in Figuur 6-17 voor de situatie met 3 m zeespiegelstijging. Enkel alternatief L en S worden getoond, aangezien alternatief M bij 3m zeespiegelstijging zeer gelijkaardig is aan alternatief L. Uit de berekeningen blijkt, dat op de meeste locaties waar de strandhoofden zijn toegevoegd (ten oosten van Nieuwpoort, Wenduine en de Oostkust) een substantiële verlaging van het langstransport optreedt (30%). De strandhoofden ten oosten van Oostende zijn minder efficiënt in het model (de vermindering van het langstransport is hier klein). Een mogelijke reden hiervoor is dat deze zone al beschermt is door de aanwezigheid van de oostelijke havendam van Oostende. Belangrijk is dat aan de oostkust het langstransport met strandhoofden lager is dan het transport zonder strandhoofden en op die manier gelijkaardig wordt aan de referentiesituatie voor alternatief S of beperkt kan afnemen voor alternatief L.



Figuur 6-17 Effect van strandhoofden op het langstransport (alternatief S en L; 3m zeespiegelstijging)

Het effect van de hoogte en lengte van de strandhoofden is onderzocht in scenario S met 1m zeespiegelstijging (Figuur 6-18). Hierbij zijn zowel lage als hoge strandhoofden gebruikt, waarbij de lage strandhoofden zowel met een standaardlengte als in een verlengde variant zijn doorgerekend. Uit de figuur blijkt dat de het toepassen van strandhoofden het langstransport in scenario S verlaagt. Ook in locaties waarbij in Scenario S het transport verhoogt (Wenduine en ten oosten van Blankenberge en de Oostkust), neemt het transport af ten opzichte van de referentieberekening bij gebruik van strandhoofden. De onderlinge verschillen tussen de types strandhoofden lijkt kleiner dan het effect van het al of niet aanwezig zijn van strandhoofden, al varieert het effect langsheen de kust (zie bijvoorbeeld de oostkust waar er een duidelijker verschil is tussen type golfbrekers). Bij Wenduine zijn lange strandhoofden het meest effectief in het verlagen van het langstransport. Aan de oostkust zijn zowel lange als hoge strandhoofden efficiënter in het verlagen van het langstransport dan lage strandhoofden.

De invloed van de alternatieven op het Zwin kan niet direct uit de modellering bepaald worden, omdat de gebruikte resolutie van het model in het Zwin onvoldoende is. De lange termijn ontwikkeling van het Zwin onder de invloed van de zeespiegelstijging is bovendien onbekend en dient verder wetenschappelijk bestudeerd te worden. Desalniettemin kan wel een uitspraak gedaan worden met betrekking tot de invloed van de alternatieven op het Zwin. Voor het Zwin is namelijk de sedimentuitwisseling met de kustzone van belang. Deze hangt af van de in- en uitstroom van water, waarvoor geen aanwijzingen zijn dat deze verandert door de voorgestelde alternatieven, en de sedimentconcentratie bij de ingang van het Zwin. Deze sedimentconcentratie is direct gerelateerd aan het langstransport in dit gebied. Uit Figuur 6-17 blijkt dat bij het gebruik van strandhoofden (aangepast aan zeespiegelstijging), het langstransport aan de ingang van het Zwin gelijkaardig blijft, terwijl deze zonder strandhoofden verhoogt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat zolang erosiebeperkende maatregelen (zoals strandhoofden) gebruikt worden in deze zone, de alternatieven een gelijkaardige impact zullen hebben als de referentiesituatie op de natuurlijke ontwikkeling van het Zwin.

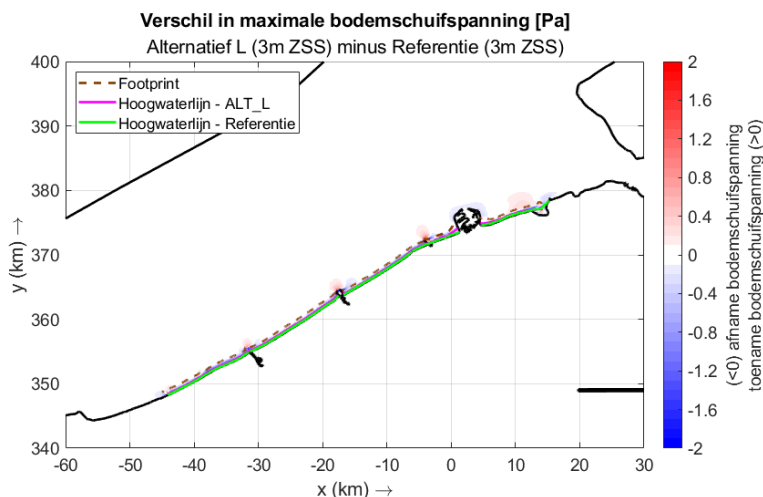


Figuur 6-18 Effect van de hoogte en lengte van de strandhoofden op het langstransport (alternatief S 1m zeespiegelstijging)

6.2.3 Slibtransport

In de kustzone komen slibconcentraties voor met substantiële slibhoeveelheden in de buurt van de haven van Zeebrugge waar zich een troebelheidsmaximum bevindt. Er zijn geen berekeningen uitgevoerd met het Scaldis-Coast model naar het transport van slib. Om toch te kunnen inschatten wat het effect is van de verschillende maatregelen op het slibtransport, is in het hydrodynamische model de maximale bodemschuifspanning tijdens een springtij dootijd periode berekend. Een voorbeeld wordt getoond voor Alternatief L met 3 m zeespiegelstijging in Figuur 6-19. De overige vergelijkingen zijn te vinden in het rapport met de modelresultaten (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c). Er zijn lokale verschillen in de bodemschuifspanning, die samenhangen met de veranderde stroomsnelheden. De verschillen zijn echter zeer klein (de zichtbare waarden in deze figuur komen overeen met veranderingen in stroomsnelheid van +/- 0.01 m/s). Uit de berekende waarden blijkt dat deze nauwelijks veranderen in de scenarioberekeningen ten opzichte van de referentieberekening in de zone waar zich substantiële slibhoeveelheden bevinden.

Ook de residuele getijstrooming, die een belangrijk effect heeft op de vorming van het troebelheidsmaximum in de kustzone, verandert niet buiten de directe kustzone (zie paragraaf 5.2.1). Om deze twee redenen wordt er verwacht dat het effect van de alternatieven S, M en L op de slibdynamiek in de kustzone beperkt zal zijn.



Figuur 6-19 Verschil in de maximale bodemschuifspanning tussen Alternatief L en de referentieberekening tijdens een spring dootijperiode (met 3 m zeespiegelstijging).

6.3 Synthese

Uit de resultaten van de sedimenttransportberekeningen kan geconcludeerd worden dat voor de geoptimaliseerde alternatieven het langtransport langs grote delen van de Belgische kust lager ligt dan in de referentie. De afname is niet gevoelig aan de grootte van de box, die gebruikt wordt om het langtransport te berekenen. De afname wordt gelinkt aan een afname van de breedte van de zone met golfgedreven langtransport door enerzijds de landwaartse opschuiving van de brekergrens met zeespiegelstijging en anderzijds het behoud of de zeewaartse verplaatsing van de kustlijn door suppleties. Merk op dat de verondieping van de kustzone tevens leidt tot een afname van de getijstrooming (door een verhoogde bodemwrijving in de ondiepere zone), wat eveneens leidt tot een afname van het sedimenttransport in de kustzone. Er dient hierbij echter te worden opgemerkt dat op langere termijn door mogelijke profielaanpassingen (in functie van natuurlijke veranderingen en de suppletie strategie) de actieve transportzone eventueel weer in breedte kan toenemen. Daarnaast wordt het langtransport beïnvloed door de veranderingen in kustlijnoriëntatie bij zeewaartse uitbouw in de alternatieven M en L (alternatief 'Zeewaarts').

De kleinste langstransporten behoren bij 'Zeewaarts - in één sprong' (het geoptimaliseerd alternatief L) voor elk van de beschouwde waardes voor de zeespiegelstijging, ook bij 1 m zeespiegelstijging door de directe zeewaartse uitbouw in de roadmap van alternatief 'Zeewaarts - in één sprong' (L). In het geval van 3 m zeespiegelstijging komen de waardes voor 'Zeewaarts - in stapjes' (het geoptimaliseerd alternatief M) dicht in de buurt van die voor 'Zeewaarts - in één sprong' (alternatief L) wanneer ook het alternatief 'in stapjes' (M) zeewaarts is uitgebouwd (maar beperkter dan alternatief L). Belangrijke uitzondering is de Oostkust waar het langtransport juist groter is. 'Zeewaarts - in één sprong' (geoptimaliseerd alternatief L) wijkt hier het minst af van de referentie. Wel moet worden opgemerkt dat het langtransport voor alle alternatieven en de referentie toeneemt met de verhoging van de zeespiegel. Dit geeft aanleiding tot snellere morfologische veranderingen.

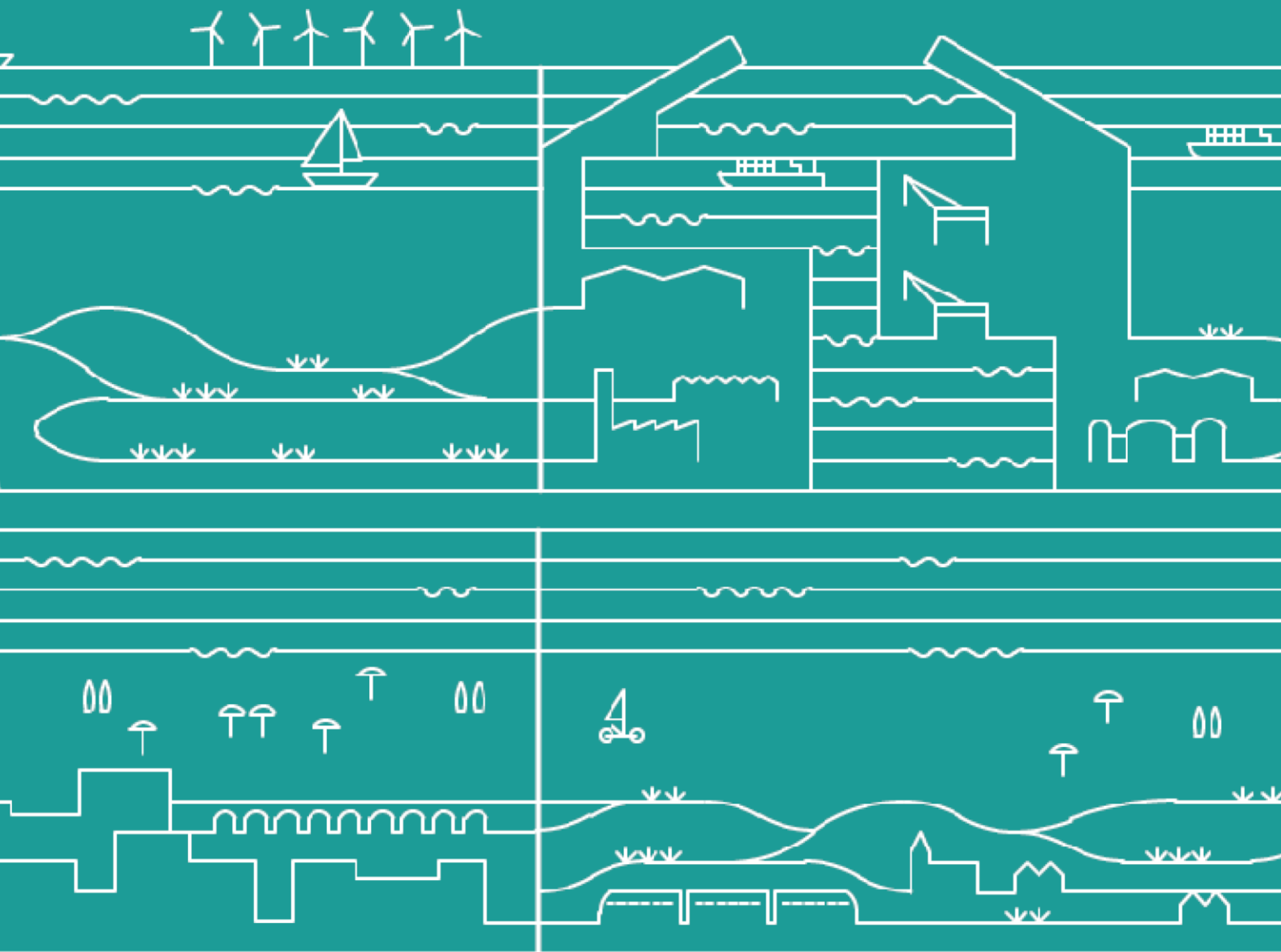
Het toevoegen van strandhoofden kan het langtransport verder verlagen. Het is hierbij niet noodzakelijk over de gehele kustlijn strandhoofden toe te voegen. Een situatie met nieuw toegevoegde strandhoofden ten oosten van Oostende rond Wenduine en aan de oostkust blijkt te leiden tot een substantiële verlaging (30%) van het langtransport rond Wenduine en de Oostkust, terwijl de afname beperkt is ten oosten van Oostende. Dit leidt tevens tot een gelijkmatigere langtransportverdeling aan de kust.

Hierbij lijkt de hoogte en lengte van het strandhoofd een relatief klein effect te hebben. De aanwezigheid van een strandhoofd is belangrijker dan de lengte en de hoogte van het strandhoofd.

Meer van belang voor de kustmorfologie en de ontwikkeling van de kustlijnpositie zijn de kustlangse *veranderingen* van het kustlangs sedimenttransport. Hoe geleidelijker deze veranderingen, en des te kleiner de kustlangse verschillen, des te minder erosie en depositie er zal optreden. Het zijn immers de gradiënten in sedimenttransportcapaciteit die een verandering van de bodemligging veroorzaken. Deze gradiënten zijn vooral aanwezig rond de kusthavens, de Broersbank en Wenduine (o.w.v. de verandering van kustlijnoriëntatie). De pieken zijn algemeen het laagst voor 'Zeewaarts - in één sprong' (geoptimaliseerd alternatief L), wat een aanwijzing is dat dit alternatief het stabielst is met betrekking tot het kustlangs transport. Deze pieken kunnen verder verlaagd worden door het toevoegen van strandhoofden. Dit is ook in lijn met de opmaak van dit alternatief waarbij door de zeewaartse uitbreiding een kustlijnoriëntatie is toegepast die tot minder (golfgedreven) langtransport zal leiden.

De zeewaartse verlenging van de havendammen bij het voorzien van zeesluizen in de havens van Blankenberge en Oostende leidt tot veranderingen in de langstransporten rond de havens. Dit is relatief beperkt nabij Blankenberge, met afname van het langtransport ten oosten van de haven. De impact is groter nabij de haven van Oostende waarbij de afname van het langtransport zich uitstrekt van Oostende tot juist ten westen van Wenduine, met een netto westwaarts transport in de zone juist ten oosten van de haven.

Met betrekking tot het slibtransport in de Belgische kustzone worden er geen significante veranderingen verwacht door de geoptimaliseerde alternatieven.



Morfologische impact

7 Morfologische impact

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de bodemveranderingen geëvalueerd die zijn berekend met een langdurige simulatie in het Scaldis-Coast model. In dit model zijn bodemveranderingen over een periode van tien jaar berekend voor de situatie met 1 m, 2 m en 3 m, zeespiegelstijging, op basis van een morfologisch getij in combinatie met representatieve golfcondities. In deze berekening wordt enkel zandtransport in beschouwing genomen, waarbij sedimenttransport onder invloed van golven en stromingen in rekening wordt gebracht. Echter, het Scaldis-Coast model beschikt niet over parametrisaties voor het berekenen van kustdwars sedimenttransport. Meer details rond modelopzet zijn terug te vinden in de rapportage van de referentiesituatie (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021a).

De langdurige evolutie van de kustnabije geulen en banken en het effect hiervan op de kustlijnevolutie kan van belang zijn voor het gedrag van de voorgestelde alternatieven. Het is op dit moment onduidelijk of Scaldis-Kust in staat is deze processen te simuleren. Bovendien is de focus van de modellering op een kortere tijdschaal (max 10 jaar). Deze langdurige processen worden momenteel in het MOZES project op het waterbouwkundig laboratorium onderzocht.

De resultaten worden geëvalueerd om te bepalen hoe de morfologie in de kustnabije zone (vooroever en strandprofielen) veranderen, en tevens hoe het bestaande bank-geulen systeem wordt beïnvloed door implementatie van een van de geoptimaliseerde alternatieven. Het criterium morfologie strand en duin wordt hier behandeld met focus op de bodemveranderingen, de volledige evaluatie is terug te vinden in het afwegingsdocument waar ook de link naar meer ecologische aspecten zijn opgenomen (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022c). De evaluatie focust hierbij op de situatie met een zeespiegelstijging van 3 m. Resultaten voor de overige beschouwde zeespiegelstijgingen (1 m en 2 m) worden weergegeven in de het rapport met de modelresultaten (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c).

Bij de bespreking van de aansluiting met buurlanden zijn grensoverschrijdende effecten opgenomen waarbij ook resultaten van de morfologische berekeningen zijn opgenomen. Er wordt verwezen naar sectie 4.2.2.

7.2 Bespreking

7.2.1 Grootschalige morfologische ontwikkeling

Om de invloed van de alternatieven op de grootschalige morfologische ontwikkeling na 10 jaar te vergelijken, wordt eerste globaal de invloed geïllustreerd en vervolgens in meer detail voor deelgebieden langsheen de kust.

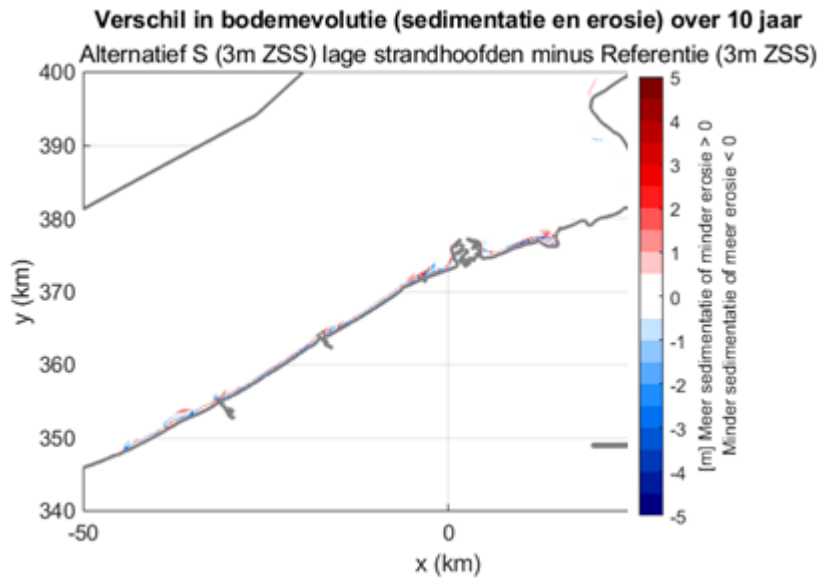
Ter illustratie van de grootschalige impact zijn figuren opgemaakt die het verschil in bodemontwikkeling illustreren tussen de alternatieven en de referentieberekening (Figuur 7-1 tot en met Figuur 7-3). Waar in deze figuren een inkleuring aanwezig is betekent dit dat het geoptimaliseerd alternatief en de referentie een verschillende bodemontwikkeling hebben over de periode van 10 jaar, in de locaties waar de figuur blanco is zijn er geen verschillen (of quasi geen) verschillen in bodemontwikkeling tussen referentie en alternatieven. Wat betreft de kleurschaal in deze figuren betekent een rode kleur dat in het geoptimaliseerd alternatief de bodemverandering een hogere waarde heeft dan in de referentieberekening. Deze kleur heeft enkel betrekking op de verschillen tussen de twee berekeningen. Er kunnen meerdere fysische verklaringen zijn, namelijk dat er minder erosie plaatsvindt in het alternatief dan in de referentieberekening, dat er meer sedimentatie plaatsvindt in de berekening van het alternatief, of dat er in het alternatief sedimentatie plaatsvindt, terwijl er in de referentieberekening erosie plaatsvindt.

Wel is het resultaat dat in deze gebieden de uiteindelijke bodemligging hoger is voor de gedeeltes van het model waar de initiële bodemligging hetzelfde is in alternatief en referentieberekening (d.w.z. vrijwel het gehele model met uitzondering van de strandzones). Voor de blauwe gedeeltes in deze figuren geldt precies het tegenovergestelde.

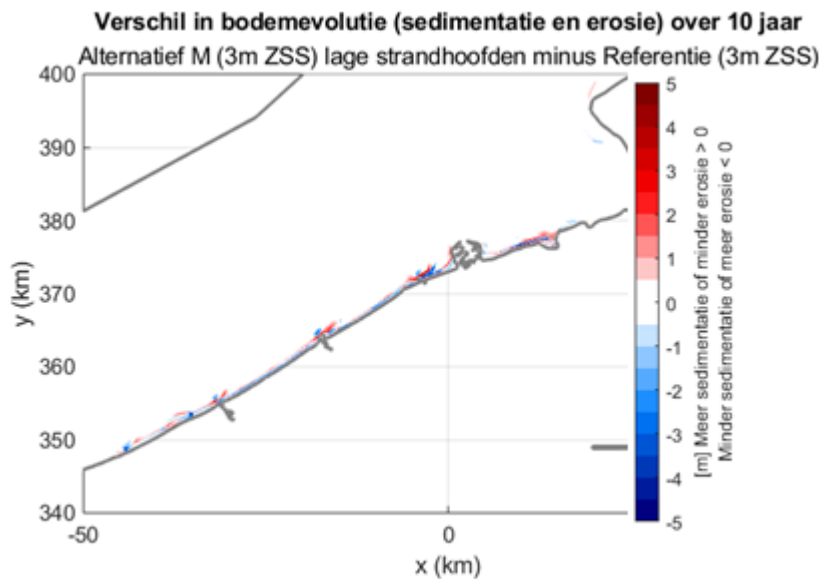
De belangrijkste conclusies uit deze figuren is dat de invloedssfeer van geoptimaliseerd alternatief L groter is dan die van geoptimaliseerd alternatief M, respectievelijk S.

In alle gevallen is de invloed van de geoptimaliseerde alternatieven beperkt tot een zone tot circa twee kilometer uit de kustlijn. Er is geen invloed op de bodemligging verder van de kust of in de Westerschelde.

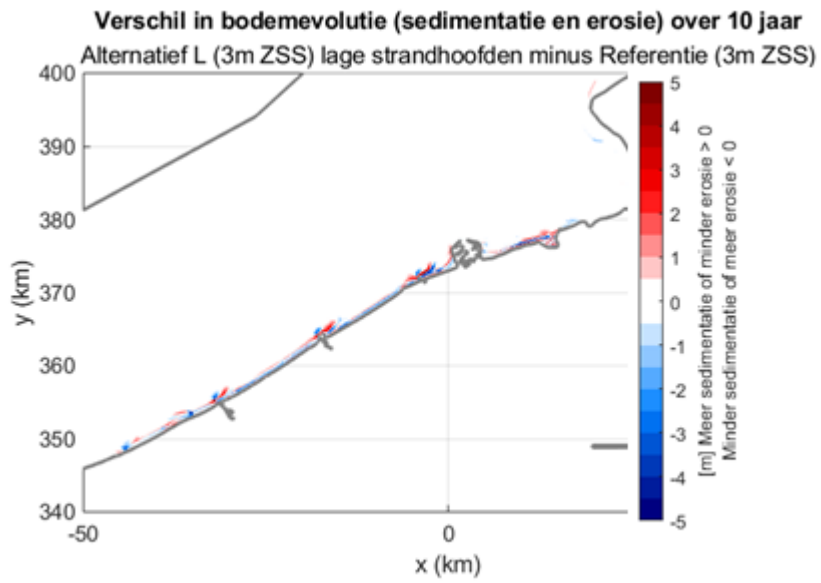
Lokale effecten worden besproken in de volgende secties.



Figuur 7-1 Verskil in bodemevolutie na 10 jaar tussen geoptimaliseerd alternatief S en de referentieberekening bij 3 m zeespiegelstijging. Alternatief met strandhoofden



Figuur 7-2 Verskil in bodemevolutie na 10 jaar tussen geoptimaliseerd alternatief M en de referentieberekening bij 3 m zeespiegelstijging. Alternatief met strandhoofden



Figuur 7-3 Vershil in bodemevolutie na 10 jaar tussen geoptimaliseerd alternatief L en de referentieberekening 3 m zeespiegelstijging. Alternatief met strandhoofden

7.2.2 Lokale effecten Westkust

De bodemontwikkeling na 10 jaar van de Westkust wordt getoond in Figuur 7-4 voor de referentiesituatie bij 3 m zeespiegelstijging (rode kleuren geven sedimentatie aan, blauwe kleuren erosie). Vervolgens zijn de bodemontwikkeling voor de referentiesituatie en de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L ter vergelijking tezamen gevisualiseerd in Figuur 7-5. De figuren tonen duidelijk een sterke morfologische ontwikkeling van de Broersbank dicht bij de kust, die zich in het model oostwaarts verplaatst.

De verplaatsing in het model is veel groter dan de geobserveerde verplaatsing in (Houthuys, R *et al.*, (2022)). Deze verplaatsing vindt plaats in zowel de referentieberekening als de berekeningen voor de alternatieven. De verschillen in de ontwikkeling tussen alternatieven en referentie zijn beperkt, wat suggereert dat het bank-geulstelsel hier ter plaatse niet sterk zal veranderen door de aangebrachte alternatieven. De migratie van de Broersbank is wel beduidend minder bij geoptimaliseerd alternatief L (vergelijk veranderingen in kustvak 9).

Eer treedt in alle berekeningen een verdieping op rond de havenkoppen in Nieuwpoort. Deze erosiekuil is groter in geoptimaliseerd alternatief L dan in de overige alternatieven, maar in elk van de alternatieven is de verdieping groter dan in de referentiesituatie. Verlenging van de havendammen leidt tot lokale versnelling van de getijstrooming rond de havenkoppen wat leidt tot extra verdieping van de erosiekuil (zie ook sectie 0).

In de geoptimaliseerde alternatieven treedt erosie op van de aangelegde stranden die niet zichtbaar is in de referentieberekening. Erosie van de stranden leidt tot een verflauwing van het profiel. Dit is verrassend, aangezien dwarstransport processen niet expliciet in het model zijn meegenomen. Dit effect is vermoedelijk een modelartefact, waarvoor een nader onderzoek aangewezen lijkt. Mogelijk is het waargenomen effect gerelateerd aan de parametrisatie van hellingseffecten op het sedimenttransport. Het hellingseffect leidt tot een afbuiging van de sedimenttransportrichting in de hellingsrichting. Deze effecten zijn in het model in rekening gebracht volgens huidige state-of-the-art parametrisaties, die echter oorspronkelijk ontwikkeld zijn voor gebruik in riviermodellen en niet zozeer in kustmodellen. Meer wetenschappelijk onderzoek naar de parametrisatie van deze effecten in kustmodellen lijkt aangewezen. Overigens wordt in realiteit wel degelijk een aanpassing van het aanlegprofiel van de grootschalige suppleties verwacht.



Figuur 7-4 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) voor de Westkust voor de referentieberekening (bij 3 m ZSS).



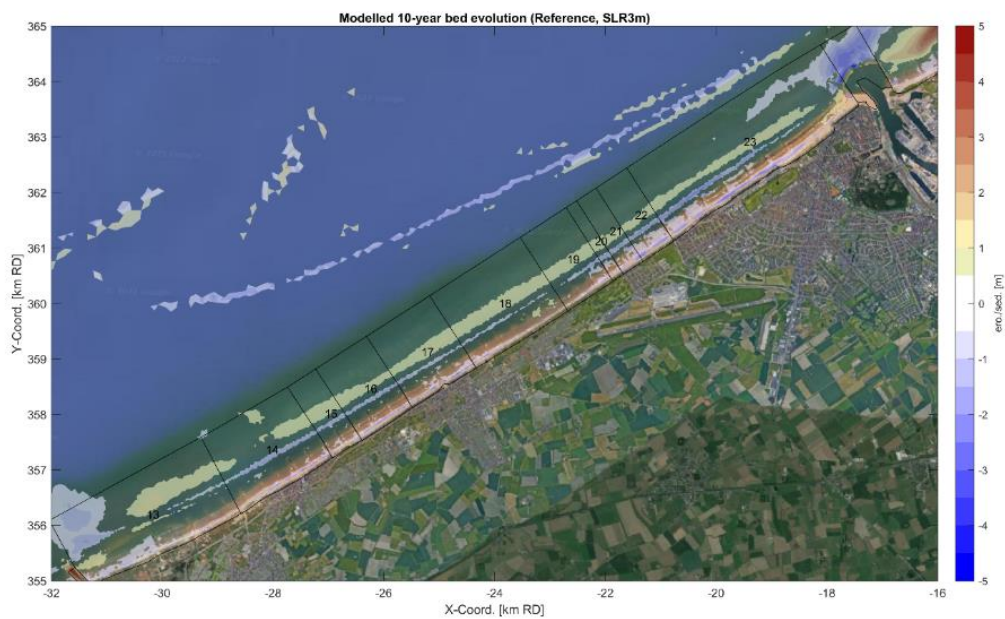
Figuur 7-5: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) voor de Westkust voor de referentieberekening (linksboven) en geoptimaliseerde alternatieven S (rechtsboven), M (linksonder) en L (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.

7.2.3 Lokale effecten tussen Nieuwpoort en Oostende

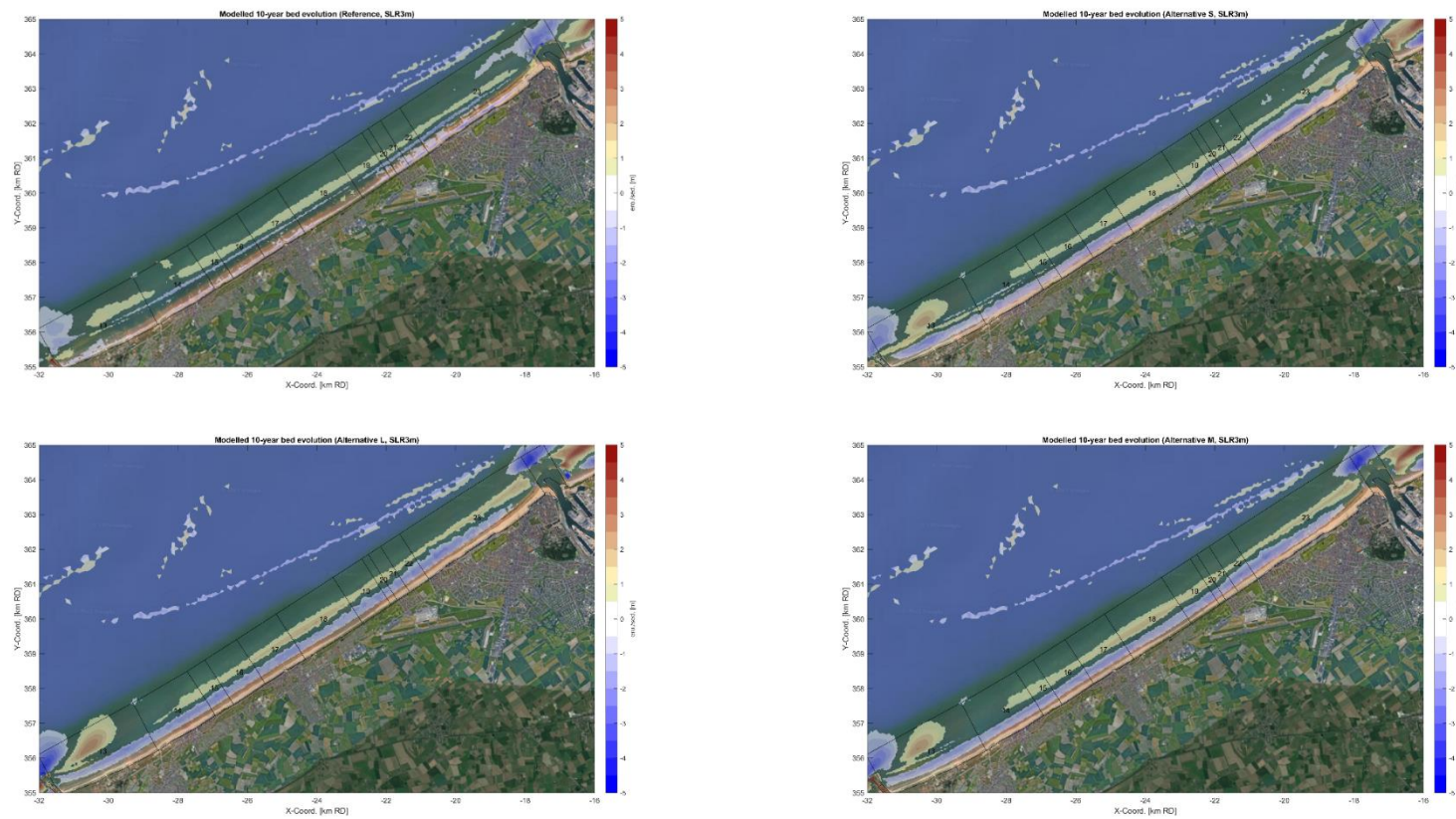
De bodemontwikkeling na 10 jaar in het gebied tussen Nieuwpoort en Oostende wordt getoond in Figuur 7-6 voor de referentiesituatie bij 3 m zeespiegelstijging (rode kleuren geven sedimentatie aan, blauwe kleuren erosie). Vervolgens zijn de bodemontwikkeling voor de referentiesituatie en de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L ter vergelijking tezamen gevisualiseerd in Figuur 7-7.

In deze figuren is zichtbaar dat de morfologische ontwikkeling in de referentiesituatie beperkt is tot een verflauwing van het strandprofiel, wat waarschijnlijk een artefact is van het model (zoals besproken in sectie 7.2.2) en erosie rond de havenkoppelen van Oostende.

Het belangrijkste verschil in de geoptimaliseerde alternatieven ten opzichte van de referentie is de sterkere sedimentatie ten oosten van de haven van Nieuwpoort, die samenhangt met de sterkere erosie rond de haveningang en de grotere golfschaduwzone door verlenging van de havendammen (sectie 5). Ook in Oostende vinden we een sterkere verdieping van de erosiekuil in de alternatieven (met de grootste verdieping in alternatief L) die samenhangt met de verlenging van de havendammen. Tenslotte is de artificiële verflauwing van het strandprofiel sterker in de berekening van de alternatieven dan voor de referentieberekening.



Figuur 7-6: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) in het gebied tussen Nieuwpoort en Oostende voor de referentieberekening (bij 3 m ZSS).

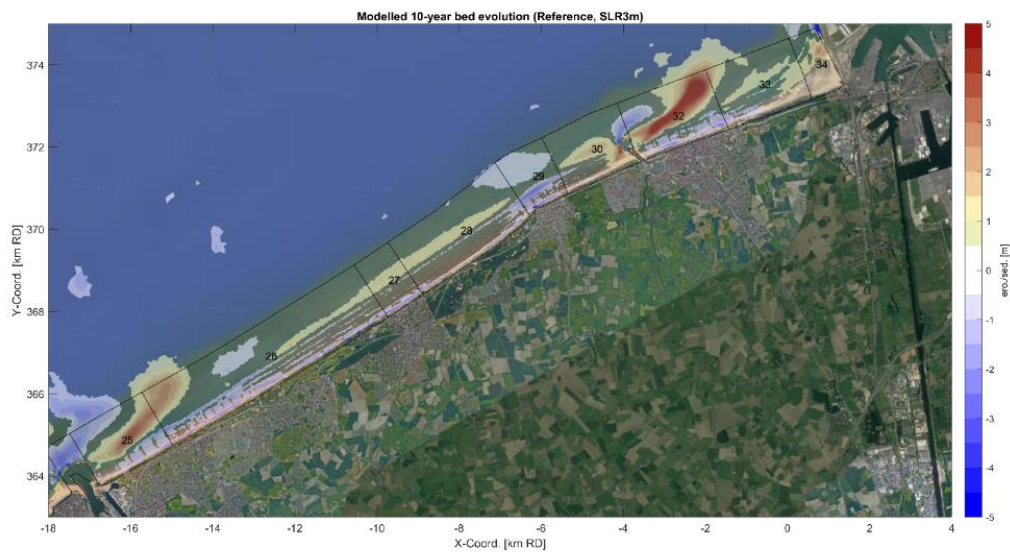


Figuur 7-7: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) in het gebied tussen Nieuwpoort en Oostende voor de referentieberekening (linksboven) en geoptimaliseerde alternatieven S (rechtsboven), M (links onder) en L (rechts onder) bij 3 m zeespiegelstijging

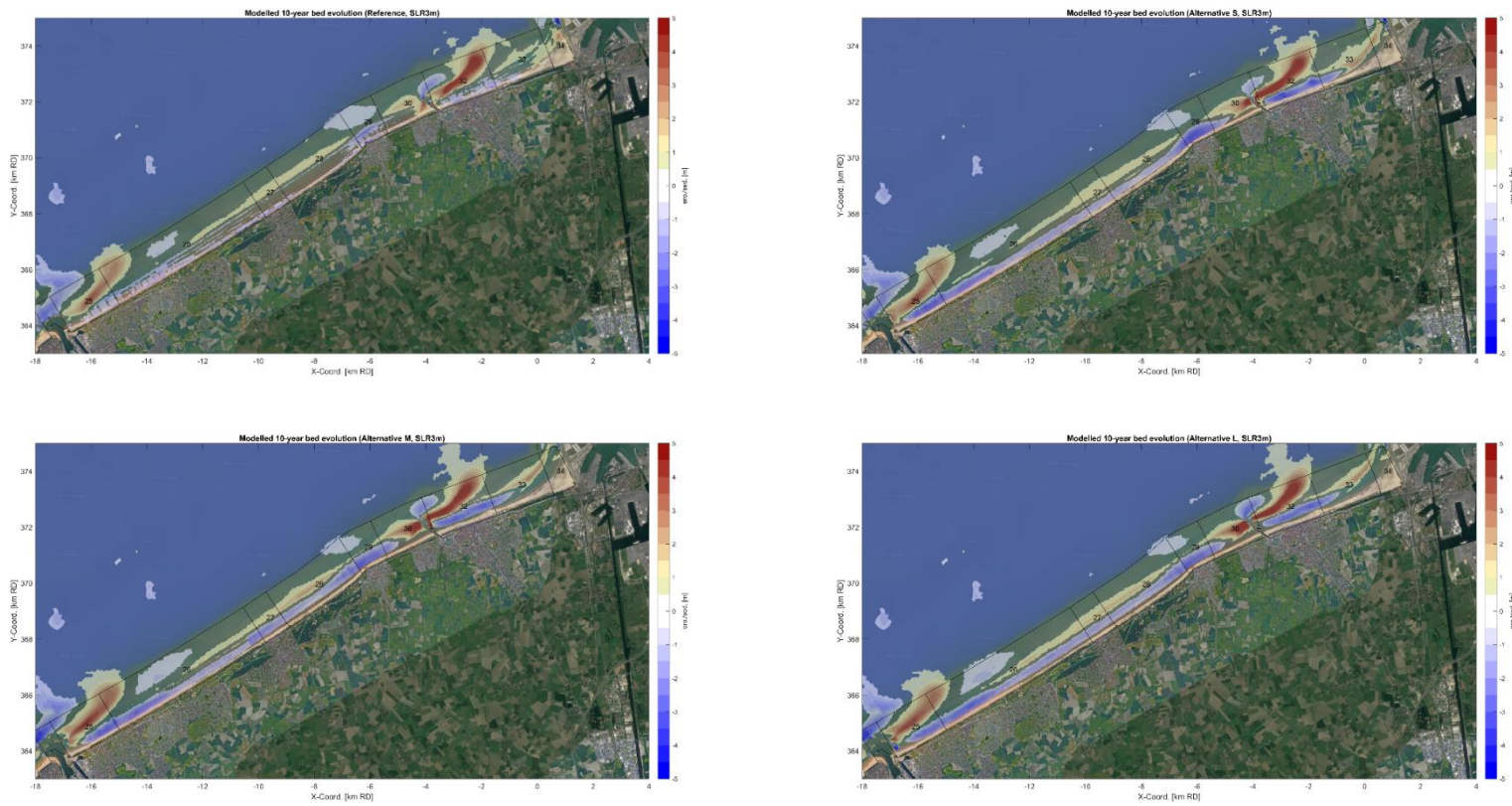
7.2.4 Lokale effecten tussen Oostende en Zeebrugge

De bodemontwikkeling na 10 jaar in het gebied tussen Oostende en Zeebrugge wordt getoond in Figuur 7-8 voor de referentiesituatie bij 3 m zeespiegelstijging (rode kleuren geven sedimentatie aan, blauwe kleuren erosie). Vervolgens zijn de bodemontwikkeling voor de referentiesituatie en de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L ter vergelijking tezamen gevisualiseerd in Figuur 7-9.

De erosie-depositiepatronen tussen Oostende en Zeebrugge geven allereerst de artificiële verandering van de helling van de stranden weer in de alternatieven (en in veel mindere mate ook in de referentieberekening), zoals besproken in de vorige twee paragrafen. Ten oosten van Oostende is duidelijk aanzanding zichtbaar, door het zand dat voor de haveningang wordt geërodeerd in zowel de alternatieven als in de referentieberekening. Dit zand zet zich af in de golfschaduwzone van de havendammen. Vergelijkbare effecten treden ook op bij de haven van Blankenberge. Merk op dat ten westen van de haven van Blankenberge duidelijke sedimentatie optreedt bij de geoptimaliseerde alternatieven (gerelateerd aan het onderbreken van het langstransport door de westelijke havendam). Er is erosie rond de kop, die in de alternatieven meer noordwaarts plaatsvindt dan in de referentieberekening. Merk ten slotte op dat de aanzanding ter hoogte van de westelijke havendam in Zeebrugge sterker is in de verschillende alternatieven dan in de referentieberekening. De grote sedimentatiezone tussen Blankenberge en Zeebrugge kan worden gerelateerd aan het aanzanden van de vooroever tegen de westelijke havendam van Zeebrugge door de reductie van het langstransport.



Figuur 7-8: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) in het gebied tussen Oostende en Nieuwpoort voor de referentieberekening (bij 3 m ZSS).



Figuur 7-9: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) in het gebied tussen Oostende en Zeebrugge voor de referentieberekening (linksboven) en geoptimaliseerde alternatieven S (rechtsboven), M (links onder) en L (rechts onder) bij 3 m zeespiegelstijging.

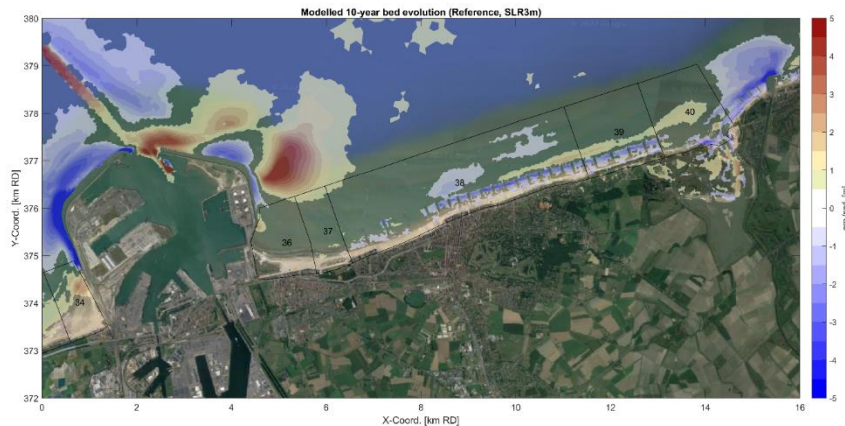
7.2.5 Lokale effecten Oostkust

De bodemontwikkeling na 10 jaar aan de Oostkust wordt getoond in Figuur 7-10 voor de referentiesituatie bij 3 m zeespiegelstijging (rode kleuren geven sedimentatie aan, blauwe kleuren erosie). Vervolgens zijn de bodemontwikkeling voor de referentiesituatie en de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L ter vergelijking tezamen gevisualiseerd in Figuur 7-11.

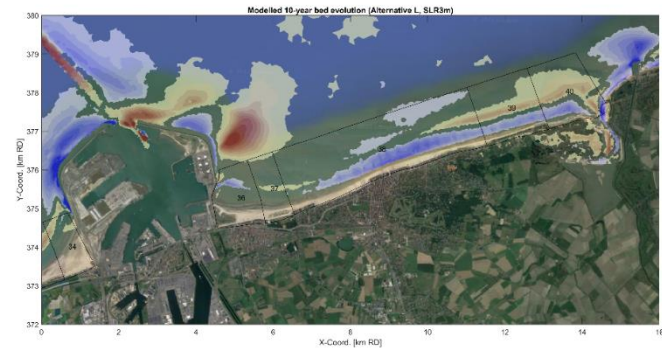
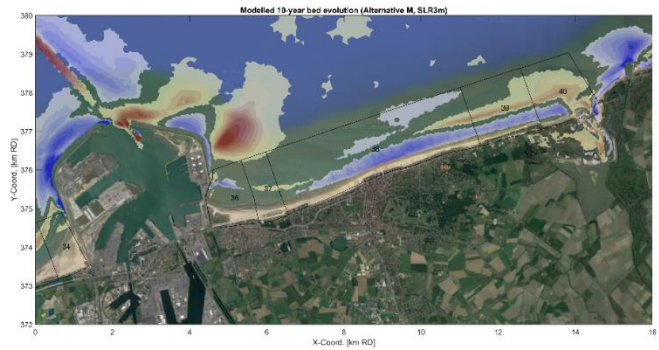
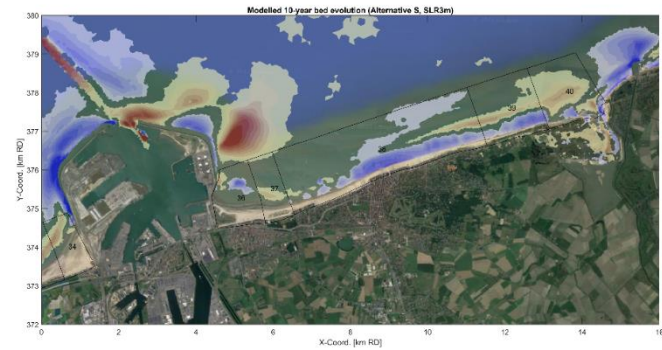
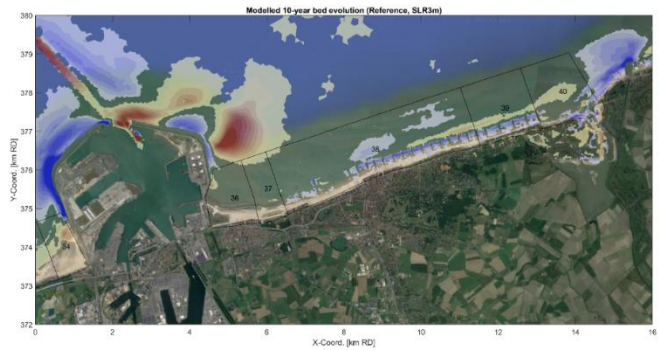
Opnieuw is er een artificiële verflauwing van de stranden zichtbaar in de referentieberekening en de berekening van de geoptimaliseerde alternatieven. Dit effect is sterker voor geoptimaliseerd alternatief L dan voor S. Sterke erosie en sedimentatie treedt in het model op rond de haven van Zeebrugge. Deze patronen worden echter niet beïnvloed door de alternatieven, wat niet verwonderlijk is aangezien de vorm en ligging van de havendammen van Zeebrugge niet veranderd zijn in de geoptimaliseerde alternatieven.

In dit gebied bevindt zich de Appelzak, een diepe geul dicht bij de kust die zeewaarts wordt ingesloten door de zandbank de Paardenmarkt. In het model zijn geen duidelijk verschillende effecten van verdieping of verzanding van de Appelzak zichtbaar in de alternatievenberekeningen in vergelijking met de referentieberekening, anders dan de artificieel geachte profielaanpassing. Daarom wordt er geconcludeerd dat het model geen aanwijzingen geeft voor de verandering van het bank-geul systeem ter plaatse van de Oostkust op de middellange termijn (10 jaar).

Het Zwin is in het model opgenomen, en daardoor zijn er erosie-depositiepatronen in het Zwin zichtbaar op de figuren. De resolutie in dit gedeelte van het model is echter vrij laag. Daarom worden de patronen die hier zichtbaar zijn, niet als een nauwkeurige modellering van de bodemontwikkeling in het Zwin beschouwd en worden deze in dit rapport niet besproken.



Figuur 7-10 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) aan de Oostkust voor de referentieberekening (bij 3 m ZSS).



Figuur 7-11: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) aan de Oostkust voor de referentieberekening (linksboven) en geoptimaliseerde alternatieven S (rechtsboven), M (linksonder) en L (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.

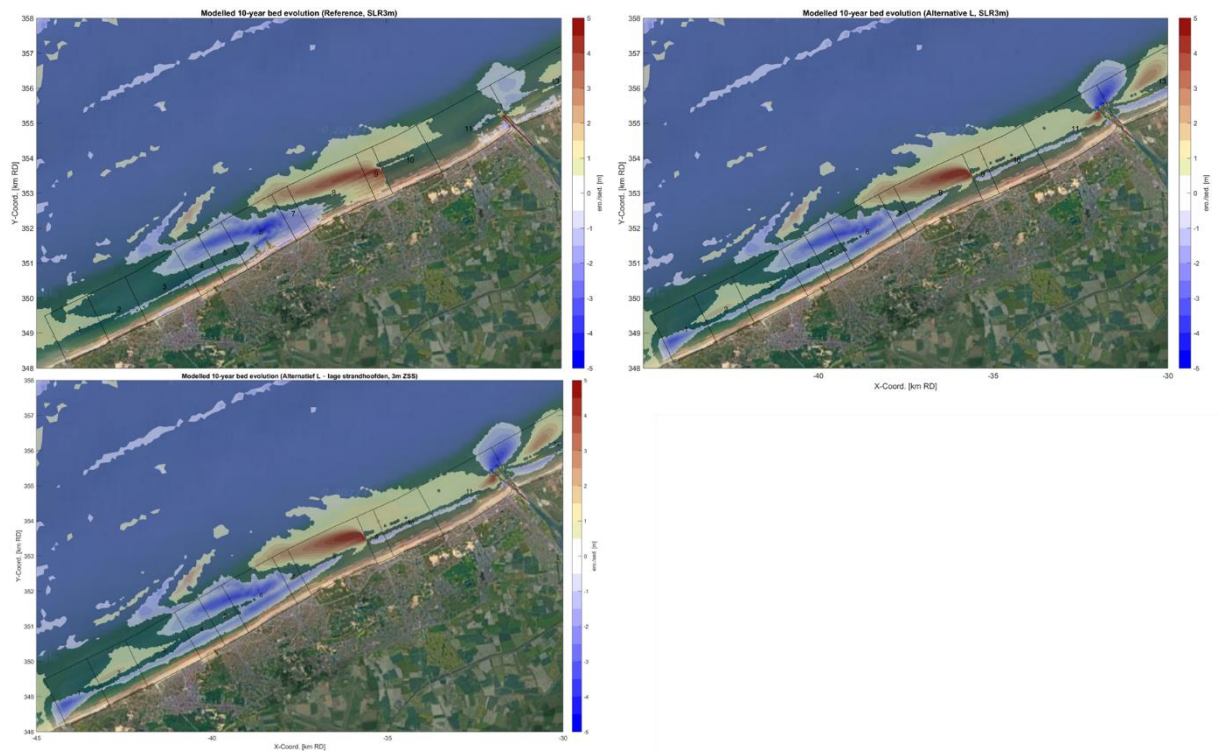


Figuur 7-12: Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) in het gebied tussen Oostende en Zeebrugge voor geoptimaliseerd alternatief L (boven) en L in combinatie met zeevaartse uitbreiding havendammen voor zeeluisen in Oostende en Blankenberge (onder) bij 3 m zeespiegelstijging.

7.2.6 Effect van strandhoofden

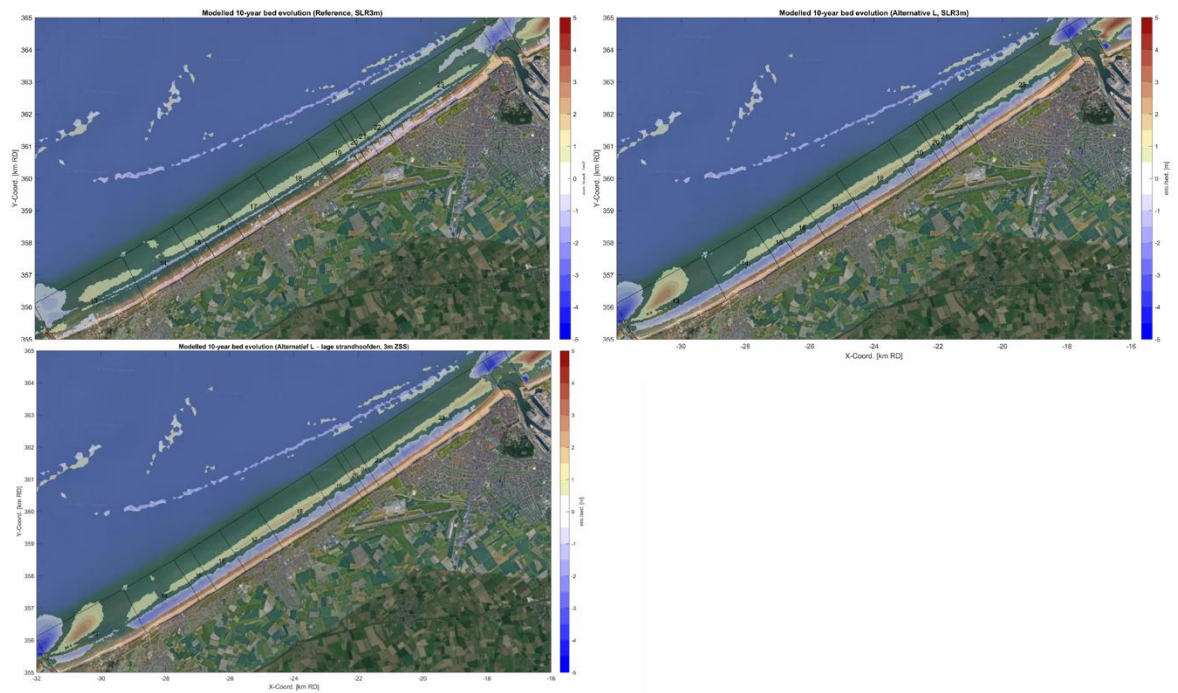
Het effect van de strandhoofden (zie ook 5.2.4) op de morfologische ontwikkeling is onderzocht met behulp van het Scaldis-Coast model. Een overzicht van de strandhoofden die in het model in beschouwing genomen worden is getoond in Figuur 6-16. De resultaten worden getoond (voor alternatief L met 3 m zeespiegelstijging) in Figuur 7-13 tot en met Figuur 7-16. Voor de overige gevallen (1, 2 en 3 m zeespiegelstijging in alternatief S en L worden vergelijkbare resultaten gevonden als hier getoond worden.

Aan de westkust (Figuur 7-13) zijn er geen verschillen waar te nemen in de erosie-depositiepatronen tussen de situatie met en zonder strandhoofden. Dit is niet verwonderlijk, omdat er in dit gedeelte van de kust geen veranderingen aan de strandhoofden zijn uitgevoerd (Figuur 6-16) en de situatie hier lokaal identiek is in de alternatievenberekeningen met en zonder strandhoofden.



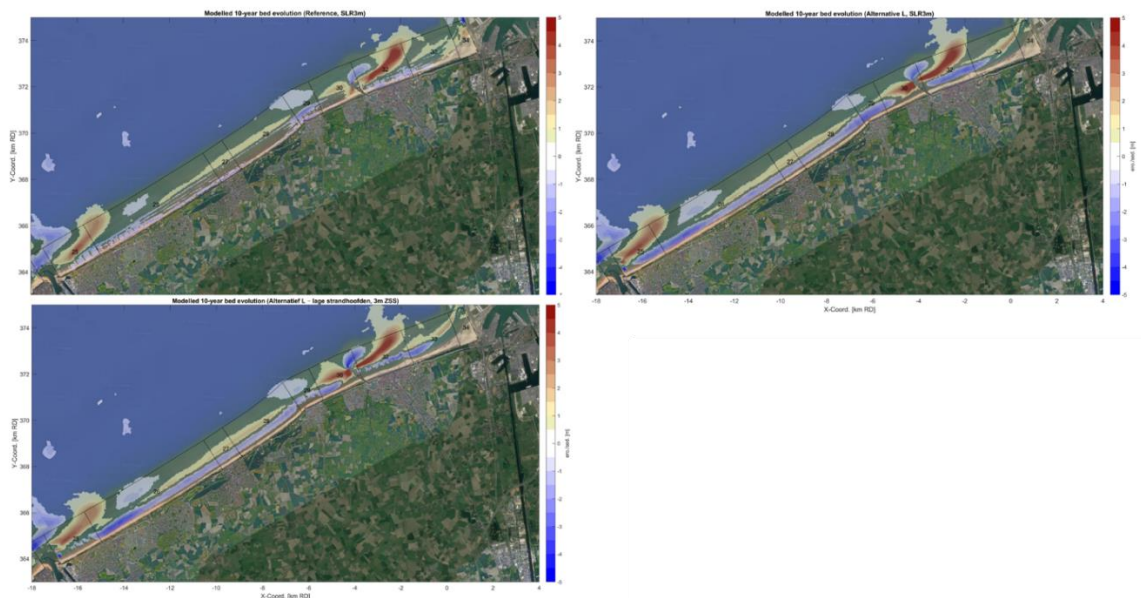
Figuur 7-13 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) voor de Westkust voor de referentieberekening (linksboven) alternatief L zonder strandhoofden (rechtsboven) en alternatief L met lage strandhoofden (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.

Tussen Nieuwpoort en Oostende (Figuur 7-14) zijn er verschillen waar te nemen ten oosten van de haven van Nieuwpoort, waar enkele strandhoofden zijn toegevoegd. Rekening houdend met het feit dat het gebruikte type model de ontwikkeling van de helling van het strand niet nauwkeurig kan weergeven, wordt hier gekeken naar de netto erosie/depositie in de kustzone, waarbij aangenomen is dat het afvlakken van de stranden een relatief beperkte invloed heeft op het langstransport, zodat de erosie-depositiepatronen hierdoor niet te sterk beïnvloed worden. Verder onderzoek door middel van het verbeteren van het model is aangewezen om de invloed van deze aanname verder te onderzoeken. Dan blijkt dat de erosie van het strand in deze zone afneemt direct naast de oostelijke dam van Nieuwpoort. Wat meer naar het westen is er een extra depositiezone te vinden voor het strand in het alternatief met strandhoofden, wat betekent dat op deze locatie de netto erosie van de kust is verminderd. Verder van de kust, zijn er geen verschillen tussen beide scenario's waar te nemen, wat betekent dat het effect van de strandhoofden beperkt is tot de kustzone.



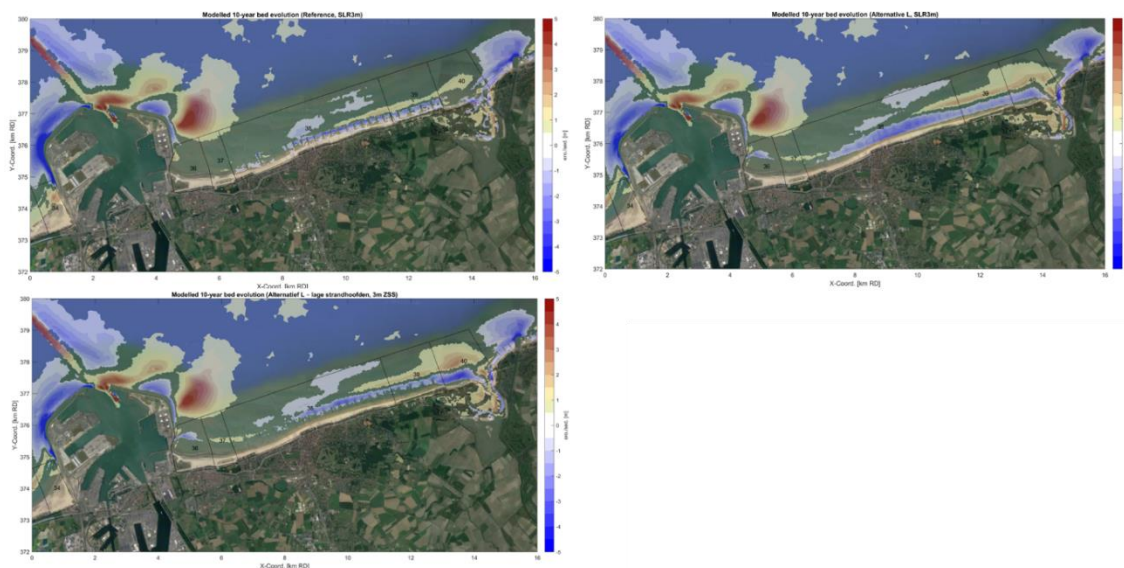
Figuur 7-14 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) tussen Nieuwpoort en Oostende voor de referentieberekening (linksboven) alternatief L zonder strandhoofden (rechtsboven) en alternatief L met lage strandhoofden (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.

In de zone tussen Oostende en Zeebrugge (Figuur 7-15) zijn strandhoofden aangepast ten oosten van Oostende, ten oosten van Wenduine en ten oosten van Blankenberge. Ten oosten van Oostende is een vermindering van de erosie van het strand waar te nemen. Rond Wenduine is de invloed van de strandhoofden gecompliceerder. Er is weliswaar minder erosie aan het strand in het alternatief met strandhoofden, maar de erosiezone wat verder van de kustlijn verwijderd is toegenomen in grootte. Toch tonen volumeberekeningen dat dit leidt tot minder netto erosie aan de punt van Wenduine. Er is in het model sprake van een sterkere aanpassing van het strandprofiel (iets wat het model niet goed kan weergeven) ten oosten van Wenduine in de simulatie met strandhoofden, maar dit lijkt niet tot netto erosie in de kustzone te leiden. Ten slotte is er ook ten oosten van Blankenberge sprake van een verminderde erosie van de het strand in het alternatief met strandhoofden.



Figuur 7-15 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) tussen Oostende en Zeebrugge voor de referentieberekening (linksboven) alternatief L zonder strandhoofden (rechtsboven) en alternatief L met lage strandhoofden (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.

De meeste strandhoofden zijn aangepast aan de Oostkust. Deze leiden tot een duidelijke vermindering van de erosie van de stranden. Er is wel enigszins meer erosie dieper in de kustvakken waar te nemen in het alternatief met strandhoofden, maar dit effect is minder sterk, wat leidt tot een netto afname van de erosie door het aanbrengen van strandhoofden.



Figuur 7-16 Erosie/ sedimentatie na 10 jaar morfologische ontwikkeling (in respectievelijk blauwe en rode kleur) voor de Oostkust voor de referentieberekening (linksboven) alternatief L zonder strandhoofden (rechtsboven) en alternatief L met lage strandhoofden (rechtsonder) bij 3 m zeespiegelstijging.

7.3 Synthese

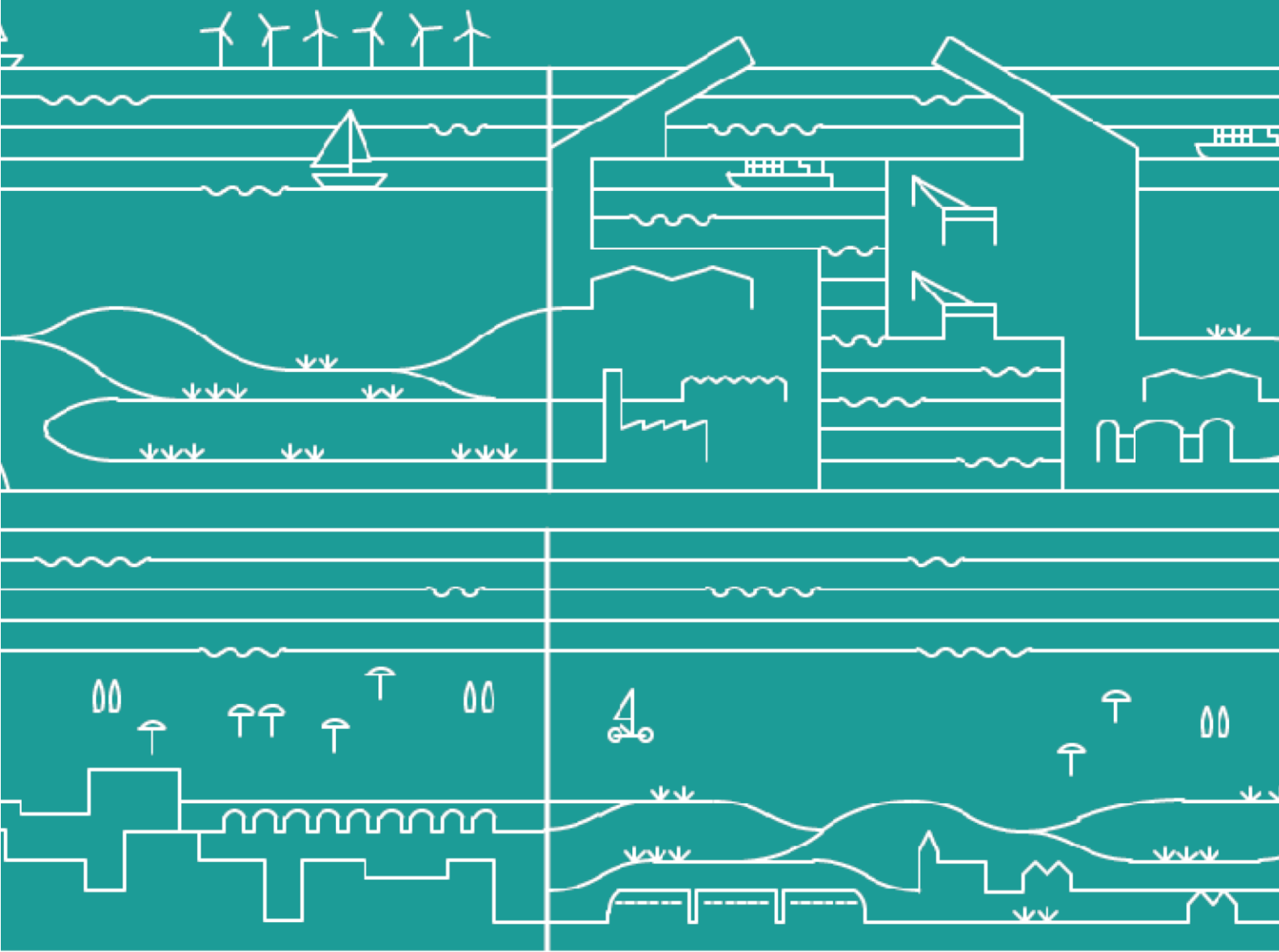
Op basis van de gepresenteerde resultaten voor de redelijke alternatieven 'Ter Plaatse' (geoptimaliseerde alternatief S) en 'Zeewaarts' (geoptimaliseerde alternatieven M en L) kan worden geconcludeerd dat veranderingen in de morfologische ontwikkelingen voornamelijk plaatsvinden in de kustzone en niet verder van de kust.

De verlenging van de havendammen in Nieuwpoort, Blankenberge en Oostende leidt tot erosie rond de koppen en extra sedimentatie ten oosten van de respectievelijke havens. Het aanpassen (verlengen en ophogen) van de strandhoofden op een aantal geselecteerde locaties, lijkt stranderosie in het model in deze zones te verminderen.

Er zijn geen effecten in de modelresultaten gevonden van eventuele invloeden van de geoptimaliseerde alternatieven op de interactie met de offshore zandbanken op de tijdschaal van het model (10 jaar). Het model kan geen uitspraken doen over de ontwikkeling van het banken-geul systeem en de interactie met de kustlijn op decennialange tijdschalen. Hiervoor is nood aan wetenschappelijk onderzoek, zoals het MOZES project, dat momenteel op het Waterbouwkundig laboratorium wordt uitgevoerd. Voor de kustaangehechte banken wordt gevonden dat de morfologische ontwikkeling van de Broersbank in het model met geoptimaliseerde alternatieven vergelijkbare trends toont als in de referentieberekening. Aan de Oostkust (specifiek ter hoogte van de Paardenmarkt en Appelzak) worden gelijkaardige morfologische patronen gevonden in de berekening voor de alternatieven en de referentieberekening.

In de modelresultaten is een verflauwing van het strandprofiel zichtbaar door erosie van het strand. Dit is niet verwacht met het toegepaste modelinstrumentarium waarin geen expliciete dwarsprocessen aanwezig zijn, maar mogelijk gelinkt aan een modelartefact en parametrisaties. Deze verflauwing treedt zowel op voor de referentiesituatie als voor de geoptimaliseerde alternatieven waar deze iets sterker aanwezig is. In realiteit is overigens wel een aanpassing van het aanlegprofiel van de grootschalige suppleties te verwachten.

Bij de verdere zeevaartse uitbreiding van de havendammen bij zeesluizen in de havens van Oostende en Blankenberge zijn vooral verschillen in bodemontwikkeling rond de havendammen merkbaar, met name rond Oostende waar zich een diepe erosiekuil vormt aan de havenmond en aanzanding aan weerszijden van de verlengde havendammen. De impact ter hoogte van de verderop gelegen strandzones is minder duidelijk te onderscheiden ten opzichte van de verandering in de andere geoptimaliseerde alternatieven.



Eolisch transport

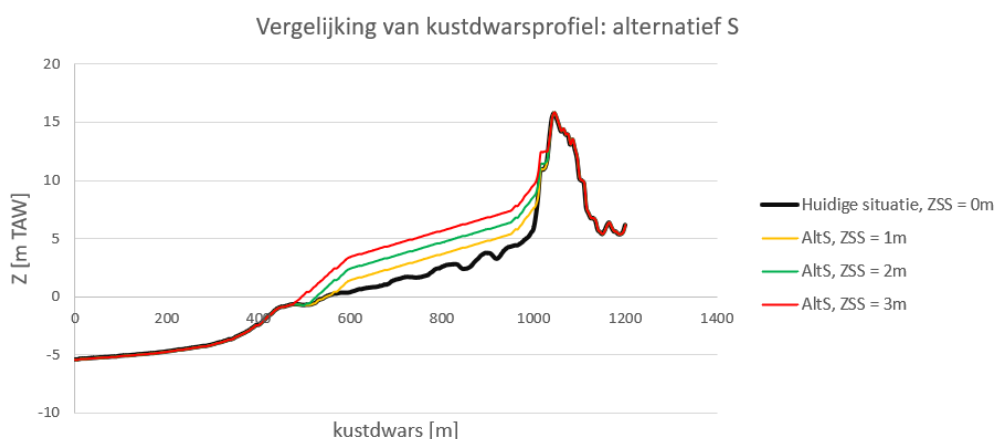
8 Eolisch transport

8.1 Inleiding

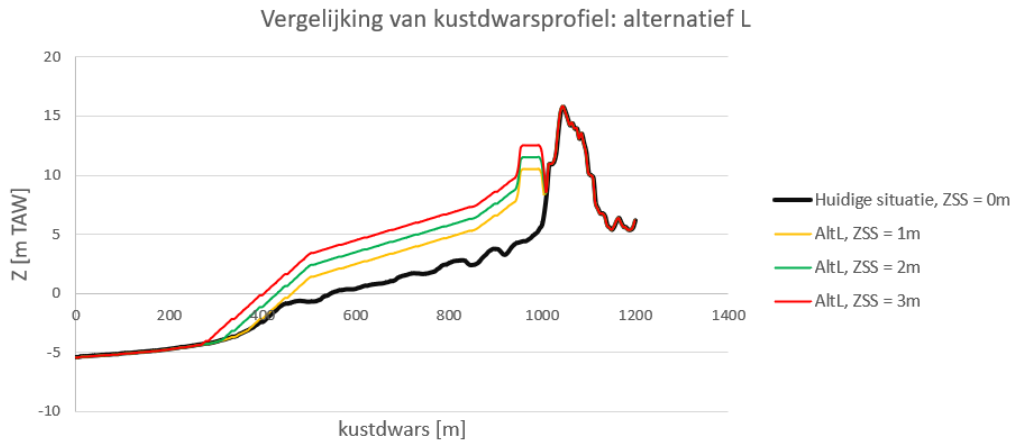
Eén van de andere criteria om de alternatieven te vergelijken is de hoeveelheid potentieel windgedreven (of eolisch) zandtransport op het strand en naar het duin of dijk in elk alternatief. Om een idee te krijgen van het effect van verschillende geoptimaliseerde alternatieven op het eolisch transport is een 1-dimensionaal Aeolis-model opgezet en gevalideerd voor verschillende kustprofielen langs de kust (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021b). Vervolgens wordt hetzelfde model gebruikt om het eolisch transport te evalueren voor de geoptimaliseerde alternatieven L en S bij verschillende zeespiegelstijgingsniveaus (geoptimaliseerd alternatief M is beschouwd als een combinatie van S en L voor de verschillende zeespiegelstijgingen) (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023e).

8.2 Bespreking

In Kustvisie is de kust onderverdeeld in veertig kustvakken en voor elk kustvak is een representatief kustprofiel geselecteerd. In dit hoofdstuk richten wij ons op het onderzoek van deze 40 kustprofielen, met uitsluiting van de estuaria en havens (35 in totaal). Twee geoptimaliseerde alternatieven (S en L) worden met een zeespiegelstijging van 1, 2 en 3 meter afzonderlijk gesimuleerd. In Figuur 8-1 en Figuur 8-2 is een voorbeeld van een kustprofiel voor respectievelijk geoptimaliseerd alternatief S en L voor verschillende zeespiegelstijgingsniveaus weergegeven. Te zien is dat voor alternatief L een bredere structuur (duin of dijk) is opgezet voor het oude duin of dijk. Bij zeespiegelstijging wordt het strand mee gesuppleerd, wat resulteert in een minimaal vergelijkbare strijklengte voor de windactie. De resultaten van de alternatieven zijn vergeleken met de referentiesituatie, die wordt weergegeven door de huidige strandconfiguratie (kustprofiel), waarbij geen rekening is gehouden met een zeespiegelstijging. De vergelijking is geëvalueerd in termen van jaarlijks maximaal sedimenttransport, totale sedimentatie aan de duinrand (potentiële duingroei) en de invloed van verschillende structuren (duin of dijk). Deze parameters bieden een blik op het globale beeld van landwaarts transport en de bijbehorende duingroei aan de kust in de verschillende alternatieven.

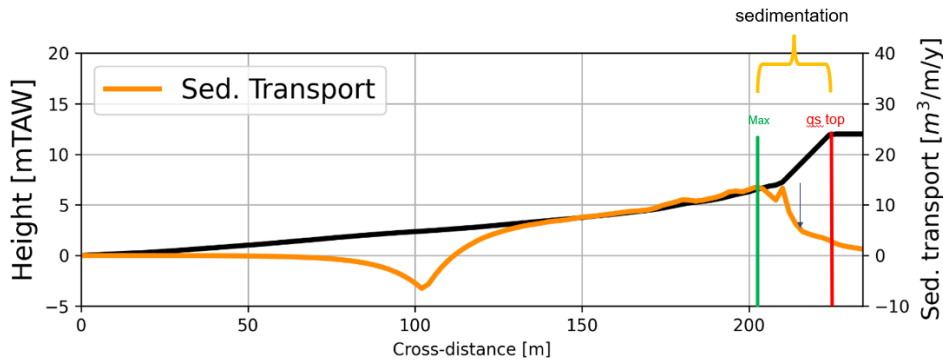


Figuur 8-1. Een voorbeeld van een kustprofiel voor geoptimaliseerd alternatief S vergeleken met de huidige configuratie

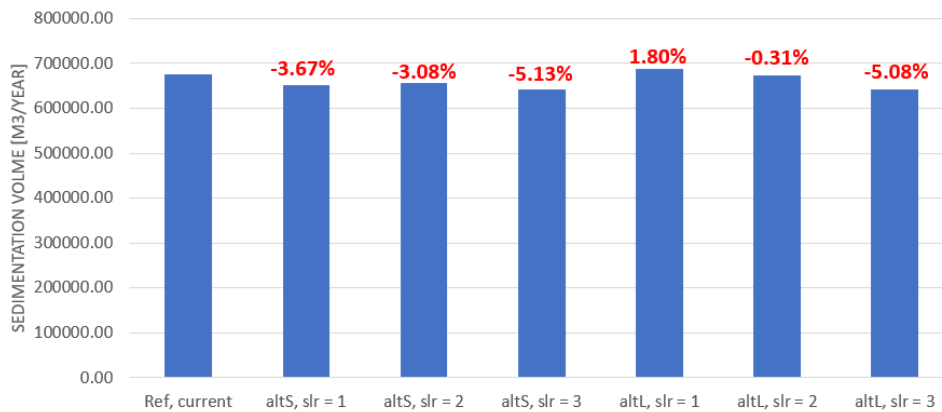


Figuur 8-2. Een voorbeeld van een kustprofiel voor geoptimaliseerd alternatief L vergeleken met de huidige configuratie.

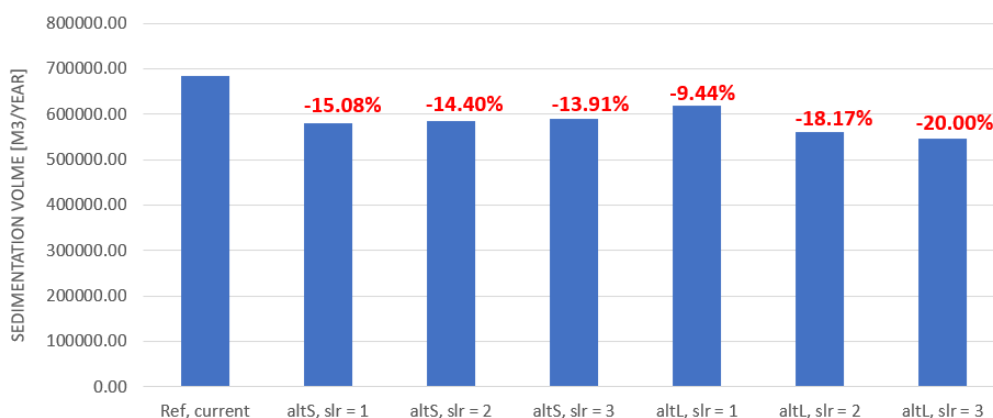
Figuur 8-3 illustreert de definitie van het maximale eolische sedimenttransport en de sedimentatie aan de duinvoet, en Figuur 8-4 en Figuur 8-5 tonen het jaarlijkse maximale sedimenttransport en het jaarlijkse totale sedimentatievolume aan de duinvoet (potentiële duinaangroei) voor de gehele kust voor de geoptimaliseerd alternatieven S en L en de verschillende zeespiegelstijgingsniveaus.



Figuur 8-3. Berekening van de zandafzetting aan het duinfront.



Figuur 8-4. Jaarlijks maximaal kustdwars eolisch sedimenttransport aan de Belgische kust en vergelijking (%) met referentiesituatie.



Figuur 8-5. Jaarlijkse sedimentatie aan de duinvoet aan de Belgische kust en vergelijking (%) met referentiesituatie.

8.3 Synthese

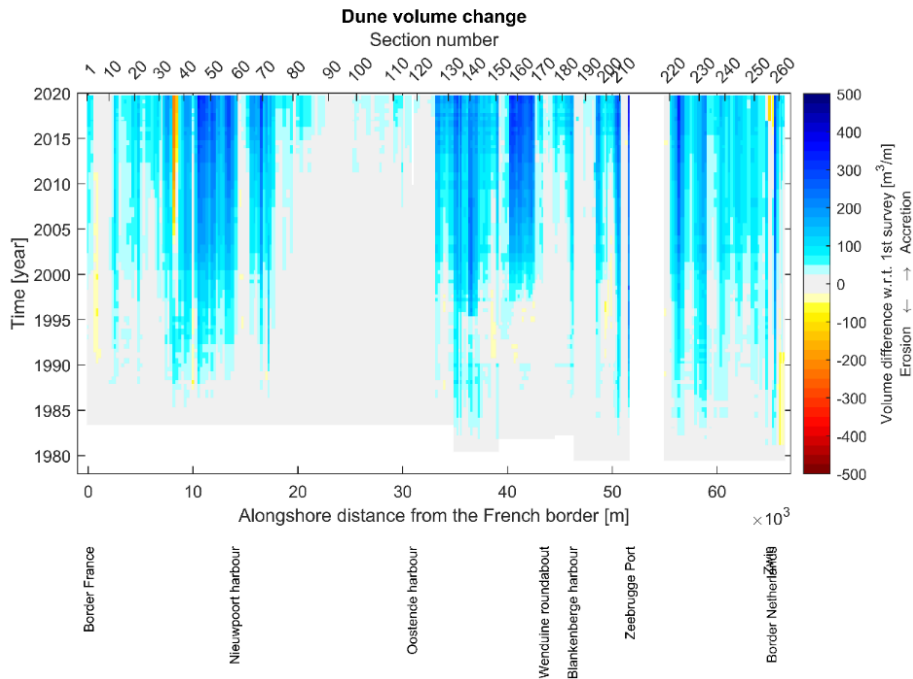
Er kan worden geconcludeerd dat het **jaarlijkse maximale eolisch zandtransport**, dat vooral afgezet wordt aan de duinvoet of dijkteen, niet veel verschilt tussen de alternatieven en de huidige situatie. Voor de meeste simulaties ligt deze waarde tussen de 10 en 12 m³/m/jaar. Er wordt een beperkt hoger maximaal transport waargenomen voor 'Zeewaarts' (geoptimaliseerd alternatief L) in vergelijking met 'Ter Plaatse' (geoptimaliseerd alternatief S). Dit komt door het hogere maximale transport als gevolg van een iets grotere strijklengte, maar het verschil is bijzonder klein en niet significant.

Om de **jaarlijkse maximale sedimentatievolume** aan de voorzijde van het duin te vergelijken als een proxy voor potentiële duingroei, is de transportgradiënt tussen de duinvoet en -top berekend, wat de hoeveelheid zand oplevert die in deze zone wordt afgezet. In deze studie werd de gradiënt berekend tussen de duinvoet en de hoogste top van in het kustprofiel welke ofwel nog overeenkomt met de huidige duin ofwel met de kruin van de nieuwe duin die hier eventueel zeewaarts van ligt. De verschillende positie van de hoogste kruin leidt daardoor soms tot verschillen tussen en binnen een alternatief voor het maximale sedimentatievolume. Uit de resultaten kan echter worden afgeleid dat de trend van sedimentatievolume gelijkaardig is als de trend in maximaal zandtransport en gelijkaardig voor de verschillende redelijke alternatieven.

De verschillen tussen de alternatieven zijn marginaal en kunnen worden toegeschreven aan de aannames en modelinstellingen. Daarom kunnen de alternatieven in dit opzicht als vergelijkbaar worden beschouwd.

Wat de verschillende **structuren** betreft, zijn de invloed van duinen en dijken op de zandverdeling door eolisch transport vergeleken. Uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat het type structuur een verwaarloosbaar effect heeft op het zandtransport zeewaarts ervan. De impact van het zandtransport hangt uiteraard af van het type maatregel waarbij in geval van duinen zandtransport gewenst is en in geval van harde structuren het zandtransport tot aan de structuur kan leiden tot onderhoud van wandelpaden en boulevards.

Verder is er een analyse uitgevoerd naar het **potentieel voor natuurlijke duingroei**, zie (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023h) voor meer detail. Als we kijken naar de aanhoudende natuurlijke duingroei in de huidige situatie kunnen we concluderen dat duinen langs de Vlaamse kust groeien met gemiddeld 6 m³/m/jaar Figuur 8-6. Die groei is wel voor een groot deel te danken aan de vele suppleties langs de kust en het actieve beheer met stuifschermen en helmaanplant. De duinvoet neemt ook sneller in hoogte toe dan de zeespiegelstijging. Ook het duinvolume van de zeereep neemt sneller toe dan noodzakelijk om de zeespiegelstijging te compenseren.



Figuur 8-6: Evolutie in duinvolume langsheen de kust en over tijd (blauw is aangroei) (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023h)

Aanplant van vegetatie, voornamelijk helmgras, wordt al lange tijd toegepast om zand vast te houden of af te vangen in de duinen teneinde de zeewerende functie te versterken. Ook het plaatsen van rijshouten hagen of andere stuifschermen zijn effectief in het vastleggen van zand in de zeereep en zorgen voor een effectieve toename van sediment.

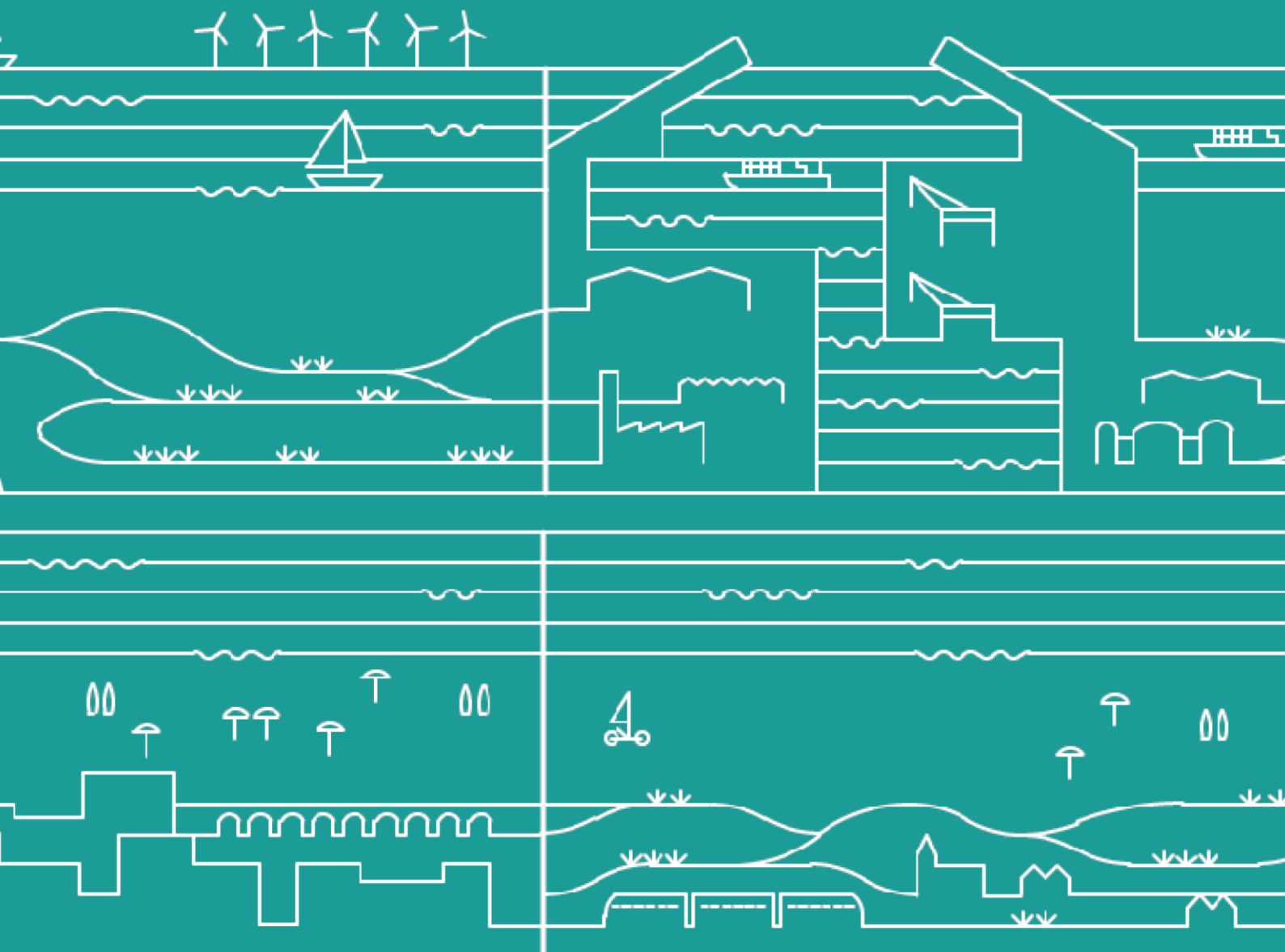
In de duin voor dijk proefprojecten is het ook mogelijk gebleken om duinen te laten ontstaan op het droogstrand, door aanzandingsruimte te creëren door de aanplant van helmgras en/of aanbrengen van stuifschermen (rijshout). In de eerste maanden is de aanplantdichtheid en vegetatiehoogte bepalend voor de morfologie van de aanzanding, op langere termijn is de vegetatieontwikkeling meer bepalend. Zodra verzadiging wordt bereikt vindt weer transport tot achter de zone plaats.

Duinvoetverdediging zorgt ervoor dat de duinen worden afgesneden van zandaanvoer door eolisch transport. Op plaatsen waar deze aanwezig is wordt geen duinaangroei vastgesteld. Dit komt mede doordat er op deze duinvoetverdediging vaak een weg aanwezig is, die actief wordt uitgeruimd door de kustgemeentes. Hierbij wordt het zand terug op het strand geschoven. Enkel bij uitzonderlijk harde wind stuift hier nog enige hoeveelheid zand naar de zeereep.

Om het bestaande potentieel aan duingroei in de toekomst te behouden zijn ruimte, beheer en voldoende sediment belangrijk. Er moet voldoende ruimte zijn voor de duinen om te groeien en ook voldoende droogstrandbreedte zeewaarts van het duin om de kritieke strijklengte en maximaal transport te bieden. Het beheer van de duinen moet de vangstcapaciteit garanderen zoals het beperken van de toegang tot duingebieden om de jonge vegetatie te beschermen of het gebruik van rijshouthagen of vegetatie zoals helmgras of andere soorten indien er onvoldoende invangcapaciteit is ter hoogte van de natuurlijke vegetatieontwikkeling. Er dient ook voldoende sediment beschikbaar te zijn voor de opbouw en eventuele herstel na stormen van de duinen.

Op basis van de geobserveerde volumes in bestaande duinen en in pilootprojecten blijkt dat het enkele jaren zal duren om de vereiste duinvolumes op natuurlijke wijze te ontwikkelen, wanneer uiteraard voldaan wordt aan de voorwaarden uit bovenstaande paragraaf. De daadwerkelijke ontwikkelingstijd van de vegetatie hangt af van het klimaat en de beheeromstandigheden en studies wijzen uit dat dit in de orde van 5-10 jaar kan liggen

Toegepast op de redelijke alternatieven betekent dit dat het verschil in ruimte tussen 'Ter Plaatsse' (S) en 'Zeewaarts' (L) **meer potenties biedt voor het alternatief 'Zeewaarts' (L)** voor natuurlijke duingroei en herstel.



Zandvolumes: aanleg en onderhoud

9 Zandvolumes: aanleg en onderhoud

9.1 Inleiding

Binnen de ambitie “beschermend” bevat het evaluatiekader het criterium onderhoudsbehoefte. De impact van de verschillende alternatieven op de onderhoudsbehoefte (uitgedrukt in de totale hoeveelheid zand per jaar) is daarom geanalyseerd met verschillende modelinstrumenten die verschillende transportprocessen in rekening brengen. In een discussie worden de verschillende resultaten samengebracht en vergeleken met de actuele volumes.

Daarnaast is het aanlegvolume ook van belang voor het bepalen van de haalbaarheid in termen van zandbeschikbaarheid en voor het bepalen van de kosten. Het aanlegvolume is besproken in het rapport ontwerp zeevering (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023j). Om de volledige zandbehoefte in kaart te brengen is een samenvatting van de resultaten hier kort opgenomen, inclusief een gevoeligheidsanalyse van de variatie in korrelgrootte. De kostenanalyse waarin het aanlegvolume en onderhoudsvolume zijn opgenomen wordt besproken in het rapport met de resultaten van de economische analyse (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023i).

9.2 Bespreking aanlegvolumes

De aanlegvolumes van de geoptimaliseerde alternatieven zijn bepaald op basis van de kustlijnpositie per alternatief in combinatie met de ontwerpdimensies van de maatregelen, samen verwerkt in een hoogtemodel (GIS). De vergelijking met de referentiebodembodem geeft vervolgens de aanlegvolumes. Een overzicht is terug te vinden in het rapport ontwerp zeevering (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023j).

Het totale aanlegvolume is per geoptimaliseerd alternatief en per zeespiegelstijgingsniveau opgesplitst in een eerder zachte variant (zoveel mogelijk de inzet van duinen als maatregel) en een eerder harde variant (waar vooral harde maatregelen worden uitgevoerd). De volumes worden getoond in Figuur 9-1 en opgelijst in Tabel 9-1 zoals opgenomen in het ontwerprapport zeevering (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023j).

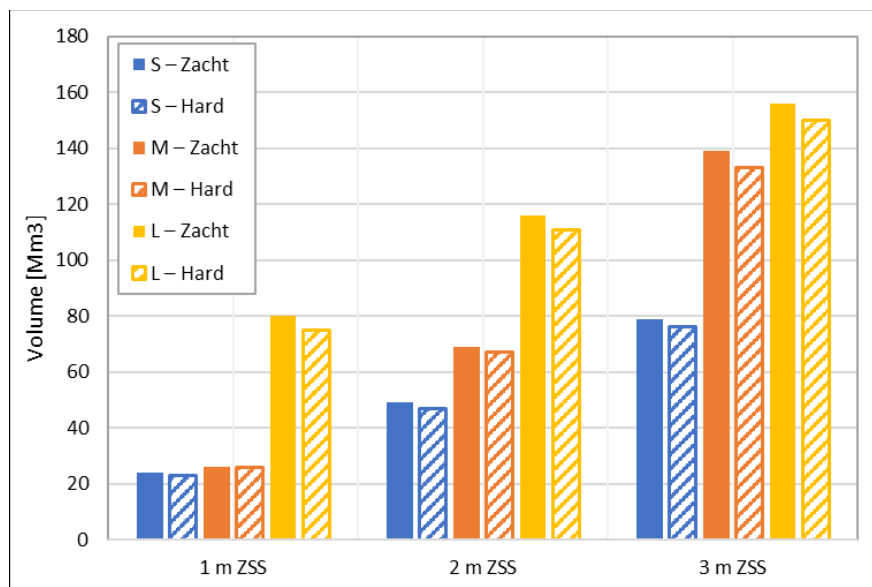
9.2.1 De geoptimaliseerde alternatieven S, M en L

De aanlegvolumes bij 1 m zeespiegelstijging variëren van circa 23-26 miljoen m³ voor het geoptimaliseerd alternatief S en M tot circa 75-80 miljoen m³ voor het geoptimaliseerd alternatief L. Bij +3 m zeespiegelstijging is het aanlegvolume voor S toegenomen tot circa 76-79 miljoen m³, voor alternatief M tot circa 133-139 miljoen m³ en voor alternatief L tot circa 150-156 miljoen m³.

Aangezien het geoptimaliseerd alternatief S stapsgewijs wordt aangepast bij zeespiegelstijging is er een geleidelijke opbouw in het benodigde volume. Geoptimaliseerd alternatief L vraagt meteen een groot volume van bij de start (+1 m zeespiegelstijging) door de zeewaartse uitbouw (circa 3x meer dan S en M). Voor alternatief L is er vervolgens een geleidelijke opbouw van het aanlegvolume bij zeespiegelstijging vergelijkbaar met, maar iets sterker dan S, doordat de strandbreedte en bijgevolg ook het suppletievolume in L is toegenomen. In het geoptimaliseerd alternatief M zijn in eerste instantie tot +1 m zeespiegelstijging gelijkaardige volumes nodig als voor alternatief S gezien er in alternatief M nog op weinig locaties een zeewaartse verschuiving aanwezig is bij +1 m zeespiegelstijging. Vanaf +2m zeespiegelstijging beginnen de aanlegvolumes van M af te wijken van die voor S en voor +3m zeespiegelstijging zijn de aanlegvolumes van M vergelijkbaar met die voor alternatief L en ongeveer dubbel zo veel als voor alternatief S.

Het aanlegvolume wordt daarbij gedomineerd door het suppletievolume voor de stranden, zowel in het geval dat de positie van de kustlijn wordt behouden en het strand mee ophoogt met zeespiegelstijging als in het geval van de zeewaartse uitbreiding.

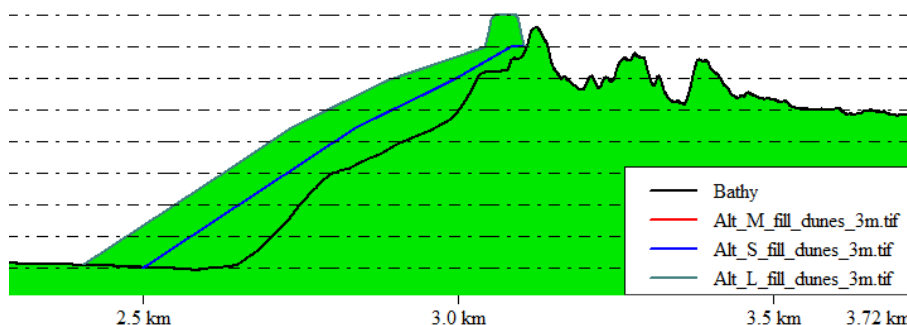
Het zandvolume nodig in de duingebieden varieert tussen circa 3 – 6 % van het totale benodigde zandvolume. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 9-2 voor het kustprofiel in Knokke.



Figuur 9-1: Aanlegvolumes voor alternatief S-M-L voor de strandzones (hard/zacht) bij +1, +2, en +3 m zeespiegelstijging.

Tabel 9-1: Volumes voor aanleg van de kustbeschermingsmaatregelen voor geoptimaliseerde alternatieven S-M-L voor de strandzones, voor +1, +2, en +3 m zeespiegelstijging, onderverdeeld in zachte en harde maatregelen.

Alternatief	1 m ZSS (Mm ³)	2 m ZSS (Mm ³)	3 m ZSS (Mm ³)
S – Zacht	24	49	79
S – Hard	23	47	76
M – Zacht	26	69	139
M – Hard	26	67	133
L – Zacht	80	116	156
L – Hard	75	111	150



Figuur 9-2: Dwarsprofiel met illustratie van het huidige kustprofiel (zwart) en het nieuwe kustprofiel inclusief duin voor dijk bij +3m zeespiegelstijging voor het behoud van de kustlijn in geoptimaliseerd alternatief S (blauw) en de zeewaartse verschuiving in geoptimaliseerd alternatief M, gelijk aan L in dit profiel (groen).

9.2.2 Impact van de korrelgrootte

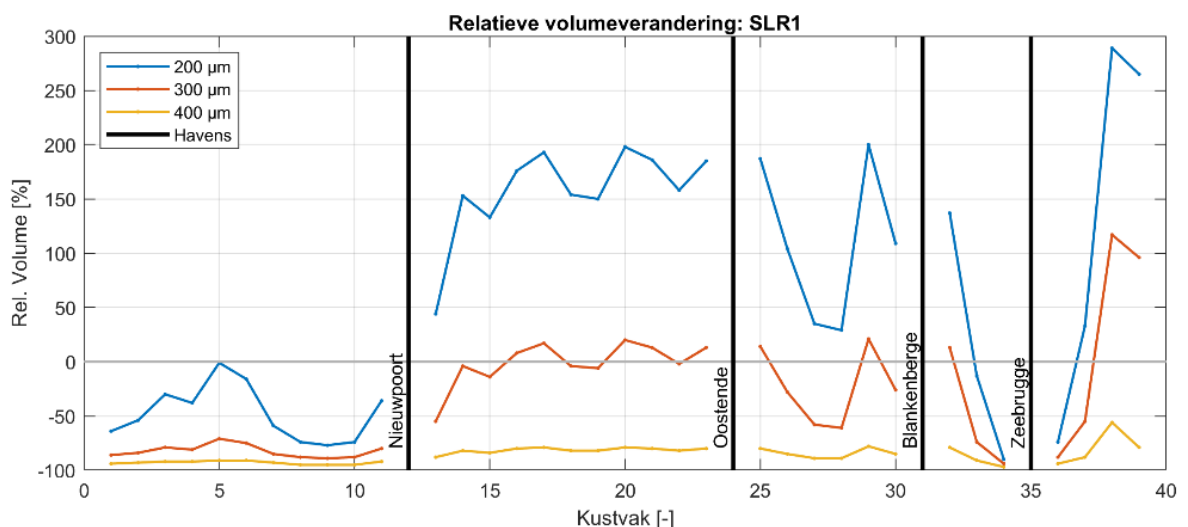
Een belangrijke aanname bij het bepalen van de aanlegvolumes is dat wordt verondersteld dat voor de strandsuppleties met gelijkaardige korrelgrootte en gelijkaardige helling als in de huidige situatie wordt gewerkt. Het type zand dat zal worden gebruikt voor de suppleties is echter nog niet gekend. Afhankelijk van de beschikbaarheid van verschillende types zand, of van keuzes met betrekking tot ecologische aspecten (bij voorkeur fijnere korrels) of kustveiligheid (bij voorkeur grovere korrel) kan de suppletie worden uitgevoerd met ander materiaal dan wat momenteel typisch aanwezig is op de stranden. Er is daarbij een typische relatie tussen de helling van natuurlijke stranden en de korrelgrootte, waarbij het strandprofiel typisch steiler wordt naarmate de korrelgrootte toeneemt. De toepassing van een fijnere korrel kan bijgevolg leiden tot flauwere hellingen en daarmee de noodzaak tot meer zandvolume, terwijl de inzet van een grovere korrel juist kan leiden tot een afname van het benodigde aanlegvolume. Daarom is een gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd naar de impact van andere korrelgroottes op de aanlegvolumes in het ontwerprapport zeevering (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023j), waarvan een samenvatting hier is opgenomen.

De impact van korrelgrootte op aanlegvolume is bestudeerd aan de hand van een evenwichtsrelatie tussen korrelgrootte en strandhelling op basis van opgemeten strandprofielen en korreldiameters. Voor ieder kustvak is bestudeerd aan de hand van de evenwichtsrelaties voor hellingen wat het betekent in volumetoename wanneer in plaats van de huidige strandhelling (en huidige korrelgrootte) de strandhellingen horende bij korreldiameters (D50) van 200 μm , 300 μm en 400 μm worden toegepast. Daarbij wordt aangenomen dat het totale zandvolume wordt gedomineerd door het suppletievolumen van het nat strand, zoals ook gevonden in de volumeberekeningen. Uit eerdere gevoeligheidsanalyses bleek verder dat het hoge deel van het strand en de duin minder gevoelig zijn voor variaties in korrelgrootte en wordt de grootste impact op het suppletievolumen door korrelgrootte verwacht door het aandeel in nat strand en vooroever.

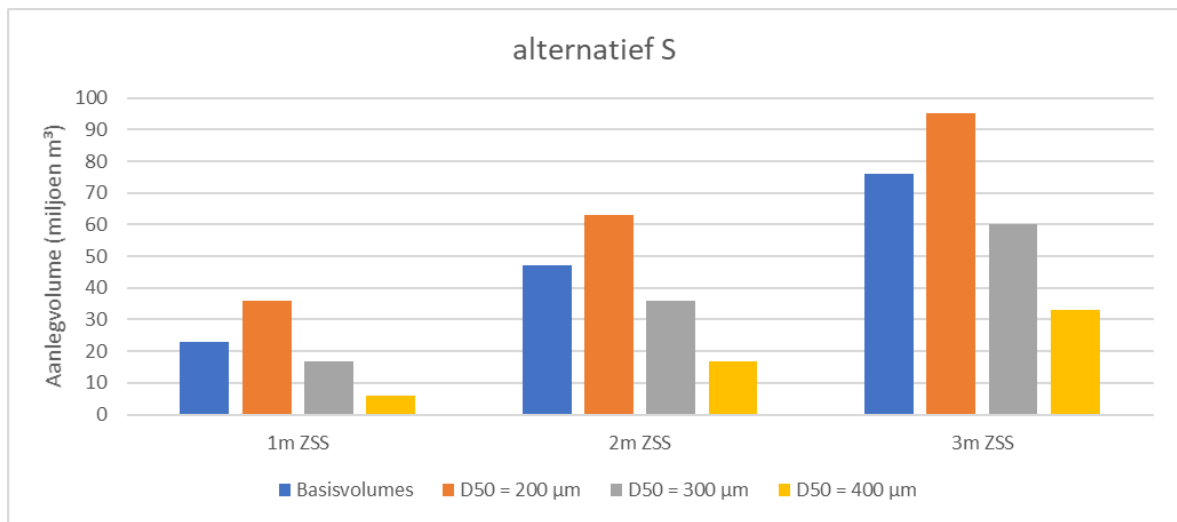
De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn overgenomen uit het ontwerprapport zeevering. Figuur 9-3 geeft aan of de toepassing van een andere korrelgrootte leidt tot relatief meer of minder volume dan het basisvolume (op basis van huidige korrelgrootte en strandhelling). Een samenvatting van de totale volumes voor het basisvolume en in geval andere korrelgroottes toegepast worden, wordt getoond in Figuur 9-4 waar dit is geïllustreerd voor alternatief S en de drie zeespiegelstijgingsniveaus. De andere alternatieven volgen dezelfde trends.

Uit de gevoeligheidsanalyse volgen onderstaande conclusies:

- Uit de resultaten blijkt dat de toepassing van een D50 van 200 μm langsheen de volledige kust leidt tot een serieuze toename in aanlegvolume in vergelijking met het basisvolume. De stijging is belangrijk, circa 50-70% meer voor 1 m zeespiegelstijging, al neemt het relatieve verschil af voor hogere zeespiegelstijgingen (ca 25%).
- De toepassing van een D50 van 300 μm langsheen de volledige kust leidt tot een beperkt daling van het aanlegvolume (circa -10 à -20%). De toepassing van een korrelgrootte van 300 μm lijkt globaal langsheen de kust tot vrij gelijkaardige aanlegvolumes te leiden in vergelijking met het toepassen van de huidige korrelgrootte langsheen de kust.
- De impact van de toepassing van een D50 van 400 μm is duidelijk. In dat geval dalen de aanlegvolumes met een factor 3-4 voor 1 m zeespiegelstijging en een factor 2 voor 3 m zeespiegelstijging.
- In deze oefening is de D50 uniform gewijzigd langsheen de volledige kust. Een lokale variatie lijkt in realiteit echter meer aangewezen zoals geïllustreerd in Figuur 9-3. De verschillen zullen in dat geval minder groot zijn ten opzichte van het basis aanlegvolume. De resultaten geven echter inzicht in het belang van de korrelgrootte in het uiteindelijke nodige aanlegvolume.



Figuur 9-3: Illustratie van de relatieve volumewijzigingen in het volume ten opzichte van het basisvolume (bij behoud huidige strandhelling en korrelgrootte) voor de strandsuppleties bij 1 m zeespiegelstijging langsheen de kust bij toepassing van verschillende korrelgroottes.



Figuur 9-4: Overzicht van de variatie in aanlegvolume voor geoptimaliseerd alternatief S in geval van basisvolume (gelijkaardige strandhelling en korrelgrootte als huidige situatie) en bij toepassing van andere korrelgroottes.

Tot slot is er mogelijk impact op de aanlegvolumes door verandering in de referentiebodemp. Deze kan onder invloed van natuurlijke processen, andere onderhoudsstrategie of onder invloed van zeespiegelstijging in de toekomst een ander bodemverloop kennen waardoor eventueel meer, of minder, aanlegvolume nodig is. Opvolging en monitoring is bijgevolg aangewezen.

9.3 Bespreking onderhoudsvolumes

Aan de kust vindt onderhoud plaats in de strandzones in de vorm van zandsuppleties om structurele erosie te compenseren en om verliezen aan zandvolume op strand en duinen na storm aan te vullen. Om in te schatten hoe de alternatieven het onderhoud beïnvloeden zijn verschillende modelresultaten samengebracht om zowel de structurele erosie als de erosie na stormen te analyseren. Daarbij wordt een onderhoudsaanpak verondersteld om de positie van de kustlijn vast te houden. Een verkennende analyse van de invloed en nood aan strandhoofden is opgenomen. Als startpunt wordt de huidige onderhoudsaanpak en de gerapporteerde suppletievolumes toegelicht.

9.3.1 Huidige onderhoudsaanpak en volumes

Een analyse van erosietrends van stranden en duinen uit de kustlijnkarten (Afdeling Kust, 2009) en de toenmalige suppletievolumes bij de opmaak van het Masterplan Kustveiligheid (anno 2010) concludeerde dat er toen om alle erosie te compenseren zo'n 700 000 m³ zand per jaar nodig was. Dit was op dat moment ongeveer 280 000m³ meer dan het huidige gemiddelde jaarlijkse suppletievolume. Er werd toen, voorafgaand het Masterplan Kustveiligheid, dus jaarlijks zo'n 400 000 m³ à 500 000 m³ zand gesuppleerd (IMDC, 2010).

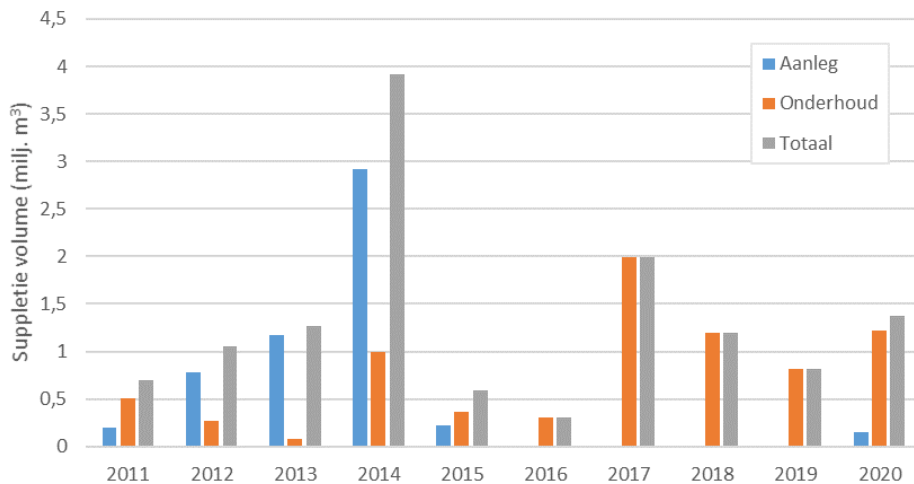
In de huidige toestand (2023) worden aan de kust zowel onderhoudssuppleties uitgevoerd, als suppleties voor het versterken van de zeewering in het kader van het Masterplan Kustveiligheid (aanleg). Momenteel is er geen onderhoudsstrategie die uitgaat van het behoud van de ligging van de kustlijn, maar wordt er doelgericht gesuppleerd om het gewenste beschermingsniveau te bereiken of te handhaven. Zo worden de suppletiewerken vooral bepaald door de voorziene maatregelen uit het Masterplan Kustveiligheid, de 6-jaarlijkse toetsing van de zeewering die verzwakte kustsecties aangeeft en het onderhoud nodig na stormen om het veiligheidsniveau te handhaven of in sommige gevallen om het recreatieve strand te behouden.

Figuur 9-5 toont een overzicht van de gerapporteerde aangevoerde zandvolumes sinds de start van de uitvoering van het Masterplan Kustveiligheid vanaf 2011 (bron afdeling Kust). Er wordt onderscheid gemaakt tussen de totale suppletievolumes en de volumes nodig voor aanleg en onderhoud. De totale volumes werden gerapporteerd. De verdeling tussen aanleg (in kader van Masterplan Kustveiligheid) en onderhoud is een inschatting. Het aanlegvolume nodig voor de maatregelen uit het Masterplan Kustveiligheid is gebaseerd op de acties gerapporteerd in (Agentschap Maritieme Dienstverlening & Kust, 2021) en de referentiesituatie kustveiligheid (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022f).

Er is duidelijk een sterke variatie in suppletievolumes per jaar tussen circa 300 000 m³ en circa 4 miljoen m³. Uitgemiddeld over de periode 2011-2020 is er een totaal suppletievolume van circa 1.3 miljoen m³ / jaar. Hiervan is circa 550 000 m³/jaar nodig voor aanleg en circa 800 000 m³/jaar voor onderhoud. Het totale suppletievolume is een overschatting van de huidige onderhoudssuppletiehoeveelheden gezien dit ook aanlegvolumes bevat.

De getallen voor aanleg en onderhoud zijn indicatief en waarschijnlijk is er een onderlinge afhankelijkheid. Waar gesuppleerd is in het kader van Masterplan Kustveiligheid zal in de daaropvolgende jaren het onderhoud waarschijnlijk ook beperkter zijn, en waar een onderhoudssuppletie is uitgevoerd zal het aanlegvolume vermoedelijk gereduceerd kunnen worden. Dit is echter locatieafhankelijk en wordt ook bepaald door het type en het ontwerp van de suppletie. Zo kennen vooruitstekende suppleties (vb. Wenduine) grote langsverliezen.

De grootteorde van 0.8 miljoen m³ / jaar wordt toegepast in Kustvisie als inschatting van het huidige gemiddelde jaarlijkse onderhoud (anno 2023). Dit getal ligt iets hoger dan de inschatting van jaarlijks onderhoud van circa 0.5 miljoen m³ / jaar bij opmaak van het Masterplan Kustveiligheid (IMDC, 2010). Dit heeft mogelijk te maken met een toename van erosieve condities, het voorkomen van meer stormen, meer inzicht in de onderhoudsnoden en een actievere rol in onderhoud van de strandzonen die wordt toegepast sinds de opmaak van het Masterplan Kustveiligheid. Dit lijkt ook te suggereren dat de gefragmenteerde aanpak met aparte, vooruitspringende suppleties van het Masterplan Kustveiligheid aanleiding gaf tot meer onderhoud. Er wordt aanbevolen voor het gekozen alternatief de suppletiestrategie en het stappenplan verder te detailleren, zodat het onderhoud maximaal beperkt kan worden.



Figuur 9-5: Overzicht van de gerapporteerde suppletiehoeveelheden (cumulatief per jaar, voor de volledige kust, in miljoen m³) opgesplitst in het totaal volume, en het aanlegvolume (in kader van MPKV) en onderhoudsvolume. (Bron: afd. Kust).

Figuur 9-6 toont de verdeling van de suppletievolumes (het gemiddelde totale suppletievolume in m³/jaar) langsheen de kust. Sinds 2011 zijn suppleties uitgevoerd langs grote delen van de kust. Aan de Westkust zijn er in relatief weinig kustsecties suppleties geweest, enkel in De Panne en Koksijde en zeer lokaal in Oostduinkerke en Nieuwpoort. Langs de rest van de kust is er over het merendeel van de kustsecties in de afgelopen jaren minstens één suppletie uitgevoerd. De grootste suppletievolumes komen voor in Wenduine, Knokke en Bredene. In Oostende is ook een groot suppletievolume zichtbaar, wellicht gelinkt aan de grote aanlegssuppletie in 2014 (Agentschap Maritieme Dienstverlening & Kust, 2021).



Figuur 9-6: Overzicht van de (totale) gemiddelde suppletiehoeveelheden (m³/jaar) per kustsectie langsheen de kust. Opgesteld voor de kustlijnmodellering in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022b).

9.3.2 Inschatting alternatieven

Om te ramen hoeveel zand er nodig is voor het onderhoud van de kustlijn in elk van de alternatieven, is enerzijds het structureel verlies op langere termijn door golfgedreven langstransport bepaald en anderzijds het verlies aan sediment in dwarsrichting als gevolg van storm.

Voor het **structurele sedimentverlies langsheen de kust op lange termijn** is het kustlijnmodel, ShorelineS, ingezet. Dit werd gerapporteerd voor de referentiesituatie in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022b) en voor de alternatieven in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b). Hiermee wordt aan de hand van het golfgedreven langstransport bestudeerd op welke plaatsen langs de kust erosie en accumulatie aan de kustlijn optreedt. Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd wat de invloed van strandhoofden kan zijn op het langse verlies via het ShorelineS model (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b) en met het Scaldis-Coast model (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023d).

Voor het **verlies aan sediment in dwarsrichting** zijn Xbeach berekeningen (met de CST tool) toegepast waarbij de evolutie in erosie en sedimentatie dwars op het kustprofiel is bestudeerd bij een storm met een terugkeerperiode van één jaar. Dit werd gerapporteerd in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023f). Daarnaast is op basis van de morfologische analyses met het Scaldis Coast model bepaald in welke gebieden structurele erosie optreedt die het verlies in dwarse richting kunnen versterken. Dit werd gerapporteerd voor de referentiesituatie in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021a) en voor de alternatieven in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c). Verder is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met een conceptueel Xbeach model wat de impact is van de aanwezigheid van een geul aan de vooroever en zeewaartse suppleties op dwarse verliezen tijdens storm (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023g).

9.3.2.1 Sedimentverlies langsheen de kust

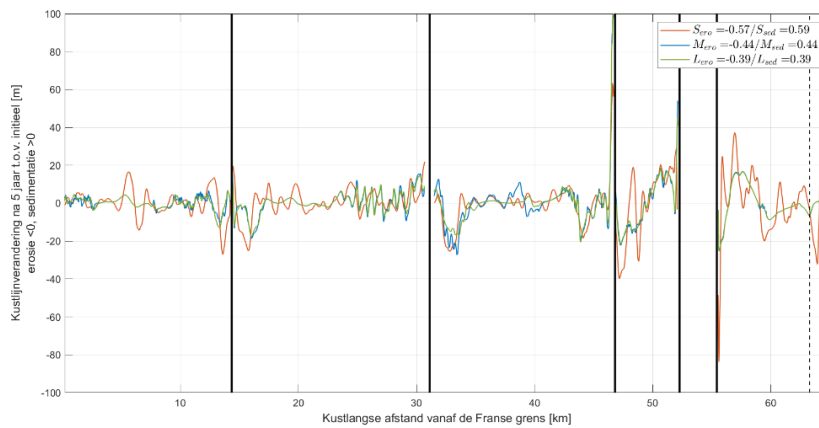
Voor de raming van het sedimentverlies langs de kust wordt het ShorelineS kustlijnmodel zoals beschreven in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022b) toegepast. De verschillende geoptimaliseerde alternatieven (S, M en L), worden onderling vergeleken, per zeespiegelstijging (+1, +2 en +3 m), in termen van benodigd onderhoud (suppletie) volgens het "hold the line" principe waarbij de kustlijn (per alternatief) op zijn plaats wordt gehouden. In het ShoreLineS kustlijnmodel worden de erosievolumes bepaald per kustvak, om zo een schatting te maken van het nodige onderhoud dat per alternatief nodig is. De evaluatie van elk alternatief voor verschillende zeespiegelstijgingen wordt beschreven in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b).

De cumulatieve erosievolumes, per alternatief en meter zeespiegelstijging, worden weergegeven in Tabel 9-2. Dezelfde hoeveelheden zand zijn nodig om een landwaartse verplaatsing van de kustlijn overal te compenseren en de kustlijn op de gewenste plaats te houden, dit wordt vanaf nu het onderhoudsvolume genoemd. De variatie in kustlijnpositie voor de drie alternatieven is geïllustreerd in Figuur 9-7. De figuur toont dat de geoptimaliseerde alternatieven M en L minder veranderingen in kustlijnpositie kennen dan alternatief S (met een gelijkaardige kustlijn als vandaag). Dit is omwille van het optimalisatieproces voor M en L waarbij de kustlijnoriëntatie is aangepast om het golfgedreven langstransport te reduceren (zie ook Hoofdstuk 3.2). Bij de geoptimaliseerde alternatieven M en L is er dan ook minder erosie te compenseren, wat leidt tot een lagere inschatting van het onderhoudsvolume. Dit geeft volgens het kustlijnmodel voor het geoptimaliseerde alternatief M en L tot een afname van respectievelijk 23% en 32% ten opzichte van de referentiesituatie en alternatief S.

Ook kan er worden opgemerkt dat voor zowel geoptimaliseerde alternatieven S en L de zeespiegelstijging weinig tot geen invloed heeft. Dit komt doordat vanaf 1 m zeespiegelstijging het strand stelselmatig wordt verder gesuppleerd met de zeespiegelstijging en dat de kustlijnpositie daarmee wordt aangehouden. Daarbij wordt de zeewaarts verschoven kustlijnpositie voor het geoptimaliseerd alternatief L vanaf 1 m zeespiegelstijging aangehouden voor +2 m en +3 m zeespiegelstijging. Een gelijkaardige trend werd ook al vastgesteld voor de referentiesituatie (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022b).

Voor het geoptimaliseerd alternatief M is er een graduele verschuiving zeewaarts van de kustlijn die varieert in tijd en in ruimte. Bij 1 m zeespiegelstijging leidt dit nog tot een beperkte toename in het erosievolume.

Bij hogere zeespiegelstijgingen nemen de erosievolumes af doordat naarmate er meer zones zeewaarts verschuiven de mogelijkheden toenemen om een meer stabiele kustlijnoriëntatie te creëren langsheen de kust.



Figuur 9-7: Kustlijnveranderingen van de Franse tot de Nederlandse grens volgens het kustlijnmodel ShorelineS voor geoptimaliseerd alternatief S, M en L bij 3 m zeespiegelstijging. Een zeewaartse verplaatsing van de kustlijn is positief en geeft sedimentatie aan, een landwaartse verplaatsing van de kustlijn is negatief en geeft erosie aan. De havens zijn gemarkeerd als zwarte lijnen.

Tabel 9-2: Onderhoudsvolumes [miljoen m³/jaar] per alternatief en zeespiegelstijging. De geoptimaliseerde alternatieven S M en L worden per zeespiegelstijging vergeleken met de referentie.

	Referentie	Alt S	Alt M	Alt L	Alt S	Alt M	Alt L
ZSS [m]	Erosievolumes per jaar [Mm ³ /jaar]				Vergelijking met referentie		
0	0.542	/	/	/	/	/	/
1	0.559	0.559	0.597	0.378	0%	7%	-32%
2	0.568	0.568	0.481	0.385	0%	-15%	-32%
3	0.574	0.574	0.440	0.391	0%	-23%	-32%

Er wordt op gewezen dat in deze simulaties geen strandhoofden aan de kust werden opgenomen. Zoals blijkt uit punt 6.2.2, kan de aanwezigheid van strandhoofden een aanzienlijk effect op het sedimenttransport hebben langs de kust en dus ook op het sedimentverlies. Het gebruik van strandhoofden in de zeer erosieve kustvakken kan de onderhoudsbehoefte in die gebieden verminderen. De mogelijke impact van strandhoofden op het langstransport en morfologie is reeds behandeld in sectie 6.2.2 en sectie 7.2.6. Een discussie over de mogelijke bijdrage van strandhoofden om het onderhoud te reduceren is opgenomen in dit hoofdstuk onder sectie 9.3.3.

9.3.2.2 Kustdwarse sedimentverliezen

Een ander aspect van het onderhoud is gelinkt aan het compenseren van kustdwarse verliezen. Dit dwarstransport is typisch gelinkt aan stormcondities waarbij sediment hogerop het kustprofiel erodeert en accumuleert lager in het kustprofiel. Tijdens kalme condities kan dit sediment in principe terug hogerop het kustprofiel worden getransporteerd en zo de zeevering terug versterken. Dit principe is geïllustreerd in Figuur 9-8 (linkerpaneel).

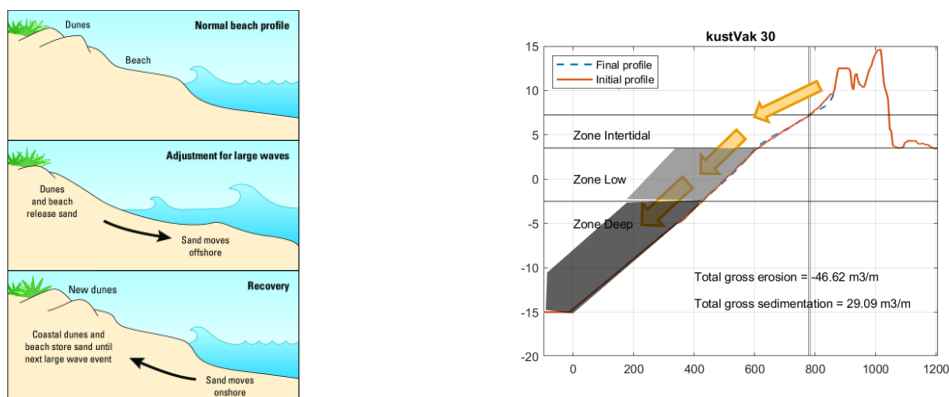
Om een inschatting van het kustdwarse sedimentverlies te maken is daarom het sedimenttransport dwars op het kustprofiel ingeschat bij een typische storm. In deze oefening om het onderhoud in te schatten is een jaarlijkse storm toegepast. Daarbij is het verlies van sediment in rekening gebracht dat ofwel lager dan de morfologisch actieve zone ofwel lager dan de laagwaterlijn accumuleert in geval dit een erosieve zone is. Dit sediment is na de storm in principe niet meer beschikbaar om het kustprofiel terug op te bouwen tijdens de kalmere periodes.

De kustvakken met erosieve trend van de vooroever zijn daarbij gebaseerd op de hydromorfologische berekeningen met Scaldis Coast, zie de erosie- en sedimentatiekaarten in Hoofdstuk 7. Deze aanpak is geïllustreerd in Figuur 9-8.

Dwarse transporten met verlies van sediment uit het kustprofiel kunnen zich ook voordoen in andere condities dan stormcondities. Die zijn in deze oefening niet expliciet in rekening gebracht. In de discussie wordt hier dieper op ingegaan.

Om de kustdwarse sedimentverliezen veroorzaakt door de impact van de jaarlijkse storm in te schatten wordt de **Coastal Safety Tool** ingezet (met behulp van de **XBeach** Kingsday Bug fix versie) zoals toegepast bij het ontwerp van de zeevering (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023j). Het model wordt gebruikt voor een simulatieduur van 45 uur met waterpeil- en golfbrandvoorwaarden die representatief zijn voor een **storm met een terugkeerperiode van 1 jaar** (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023f). Deze berekening is uitgevoerd voor een representatief profiel van elk kustvak. Voor enkele kustvakken, afhankelijk van het representatief kustprofiel en het alternatief, is er een extra variant van alternatief met dijk in plaats van duin opgemaakt.

Wat betreft de **kustvakken met erosieve trend van de vooroever** zijn de resultaten van de hydromorfologische berekeningen met het Scaldis Coast model geanalyseerd (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021a) en (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c). Op basis van de sedimentatie- en erosietrends per kustvak (zie bijvoorbeeld de kaarten in Hoofdstuk 7) is een **gemiddelde bodemverandering per kustvak** bepaald. Een drempelwaarde is afgeleid om de meest erosieve zones in kaart te brengen en gelijk gesteld aan een bodemerosie van meer dan 1.6 cm/jaar. Een overzicht van de kustvakken met erosieve trends is opgenomen in Tabel 9-3. Over het algemeen verandert de erosieve trend van de vooroever niet sterk tussen de referentiesituatie en de alternatieven en treedt dit op in dezelfde of nabije kustvakken. Bij de alternatieven is eveneens een erosieve trend aanwezig in kustvak 1 door de overgang aan de Franse grens. Daar zit een sprong tussen de huidige kustlijn in Frankrijk en de kustlijn van het alternatief in Vlaanderen. Deze trend is ook aanwezig in alternatief S en neemt toe voor alternatief M en L. Afhankelijk van de uiteindelijke overgang en de maatregelen in Frankrijk kan deze trend veranderen.



Figuur 9-8: Schematisch overzicht van dwarse kustprocessen tijdens storm en kalme condities (links) en aanpak voor inschatting dwarse verliezen aan de hand van Xbeach berekeningen (rechts) (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022g). De zone "Low" is gesitueerd tussen laagwater en de 'depth of closure', de zone "Deep" is gesitueerd lager dan de 'depth of closure'. Er wordt aangenomen dat sediment dat naar de zone "Deep" wordt getransporteerd uit het profiel verloren is. Sediment dat in de zone "Low" terechtkomt wordt verloren beschouwd voor kustvakken met een erosieve trend.

Tabel 9-3: Overzicht van de kustvakken met erosieve trend (gemarkeerd als √) op basis van de hydromorfologische berekeningen met Scaldis Coast. (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2021a) en (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c).

Kustvak	Referentie	Alt S	Alt M	Alt L
1		√	√	√
3	√	√	√	√
4	√	√	√	√
5	√	√	√	√
6	√	√	√	√
7		√		
21	√	√	√	√
22	√	√	√	√
26		√*	√*	√*
29	√	√	√	√
30	√			
38	√	√	√	√

√*: gezien de grootte van dit vak wordt enkel de helft beschouwd als erosieve trend

Op basis van de resultaten van de simulaties voor de profielen in alle kustvakken voor de geoptimaliseerde alternatieven S en L (voor zowel de variant met duinen als dijken) en rekening houdend met het effect van de getijdengeulen werden de sedimentverliezen voor elk kustvak berekend en opgeteld tot een cumulatief verlies langsheen de volledige kust. Tabel 9-4 geeft een overzicht van de resultaten zoals gerapporteerd in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022g). Opgemerkt moet worden dat dit sedimentverlies zeer waarschijnlijk een overschatting is, omdat de storm met een terugkeerperiode van één jaar de hele kust niet in hetzelfde jaar overal even hard zal treffen en omdat er eveneens een kustlangse herverdeling mogelijk is van sediment dat erodeert uit het ene kustvak naar een ander kustvak.

De berekening resulteert voor de referentiesituatie (0 m ZSS) in een totaal verlies van 0.241 miljoen m³/jaar. Over het algemeen blijkt uit deze oefening dat, gezien de gebruikte methodologie en het gebruikte model, Alternatief S beperkt meer sediment kan verliezen dan Alternatief L voor een storm met een terugkeerperiode van 1 jaar. Het verschil wordt stelselmatig kleiner bij hogere zeespiegelstijgingen (+2 m en +3m zeespiegelstijging). Voor de verschillende berekende alternatieven worden totale verliezen in de range van 0.185 – 0.322 miljoen m³/jaar gevonden. Deze zijn globaal gelijkaardig in grootteorde aan die voor de referentiesituatie.

Tabel 9-4 : Jaarlijkse volumes sedimentverlies over de volledige kust (miljoen m³/jaar) voor verschillende alternatieven en verschillende zeespiegelstijgingen. De berekening resulteert voor de referentiesituatie (0 m ZSS) in een totaal verlies van 0.241 miljoen m³/jaar.

	1 m ZSS		2 m ZSS		3 m ZSS	
	Alt S	Alt L	Alt S	Alt L	Alt S	Alt L
Zachte variant (duinen)	0.299	0.185	0.295	0.232	0.322	0.290
Harde variant	0.300	0.187	0.297	0.238	0.322	0.290

Wat betreft de lange termijn kustdwarse transportprocessen en mogelijke verliezen bestaan nog veel onzekerheden waarvoor verder onderzoek gewenst is (zie discussie in sectie 9.3.5). Op het Waterbouwkundig Laboratorium loopt momenteel al onderzoek rond de interactie van geulen-banken en vooroever in het MOZES project, waarvan de resultaten meer inzicht in deze kustdwarse processen kunnen geven. Voor het Kustvisie onderzoek is een **gevoeligheidsanalyse gedaan rond de dwarse verliezen bij stormcondities** aan de hand van een conceptueel 2D Xbeach model (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023g).

In het conceptueel model is onderzocht hoe de dwarse transporten worden beïnvloed in aanwezigheid van een getijdengeul en wanneer een zeewaartse suppletie wordt uitgevoerd. Gezien de focus op het kustdwars verlies zijn modelsettings aangenomen die het zeewaarts kustdwars transport maximaliseren. Met het model worden de transportprocessen bestudeerd, metingen en modelcalibratie zijn aangewezen om uitspraak te doen over transporthoeveelheden. De belangrijkste bevindingen geven aan dat de aanwezigheid van een getijdengeul voor het strand leidt tot meer dwarse verliezen tijdens storm van het strand naar de vooroever. In de getijdengeul komen ook hogere langse sedimenttransporthoeveelheden voor in vergelijking met de situatie zonder geul. Tegenwoordig leidt dit tot een potentie voor meer sedimentverlies en meer onderhoud. Dit bevestigt om in de aanpak rekening te houden met zones met getijdengeul of diepere vooroever (in de voorgaande methodiek gekenmerkt door de zones met erosie aan de vooroever). Verder geven de resultaten aan dat de zeewaartse suppletie het langstransport in de getijdengeul niet direct beïnvloedt zodat dit proces niet meteen leidt tot meer verlies bij zeewaartse suppletie. Er is wel kleine variatie in het dwarse verlies bij zeewaartse suppletie. Afhankelijk van het type profiel is er quasi geen tot zeer beperkte toename in dwars verlies van strand naar vooroever bij zeewaartse suppletie, wat aangeeft dat lokaal ontwerp en verfijning is aangewezen tijdens projectfase. Verder wordt gerefereerd naar het rapport voor de volledige analyse.

In dit conceptuele model wordt ook het effect van stormen met schuin invallende golven vergeleken met de standaardmethode waarbij stormen loodrecht op de kust worden toegepast. Uit de resultaten blijkt dat de conclusies over het effect van getijdengeulen op het kustdwars sedimenttransport en het kustlangs sedimenttransport als gevolg van getijdenstromingen in de getijdengeulen hetzelfde blijft, maar als gevolg van meer sedimentopwoeling door golfgedreven kustlang stroming die leidt tot een hogere sedimentconcentratie, neemt de omvang van het sedimenttransport over de kust toe. Ook veroorzaakt de golfgedreven langsstroming een kustlang sedimenttransport in de brandingszone die zich zeewaarts verplaatst met de zeewaarts suppleties (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023g). Verder onderzoek naar de impact van schuin invallende gevallen bij stormcondities kan relevant zijn voor het bepalen van de meest kritische condities voor ontwerp en kustveiligheidstoetsing.

9.3.2.3 Samenvatting

Een analyse van het onderhoud van de zandige kust en de havengeulen is gebaseerd op de resultaten van verschillende modelinstrumenten voor wat betreft de lange termijn kustlangse verliezen en kortere termijn kustdwarse verliezen. Voor wat betreft de kustlangse verliezen zijn er kwalitatieve verschillen tussen de alternatieven.

De toepassing van een andere kustlijnoriëntatie bij het alternatief 'Zeewaarts' (alternatief M en L) leidt voor de situatie van +3 m zeespiegelstijging tot een afname met een vierde en een derde van het verlies in de referentiesituatie en alternatief 'Ter Plaatsse' (alternatief S). Wat betreft de dwarse verliezen vertonen de resultaten van de modeloefening gelijkaardige groottes en zijn de verschillen gezien de modelonzekerheden minder uitgesproken.

Als indicatie voor het totale onderhoud worden de kustlangse en kustdwarse verliezen gecombineerd. Dit is opgenomen in Tabel 9-5 Het totale onderhoud op basis van de oefening varieert voor de verschillende alternatieven en zeespiegelstijgingsniveaus tussen 0.6 en 1.0 miljoen m³ / jaar met de laagste volumes voor alternatief 'Zeewaarts' (L) bij +1 m zeespiegelstijging en de grootste volumes bij alternatief 'Ter Plaatsse' (S) voor +3 m zeespiegelstijging.

Dit is een eerste inschatting waarbij verschillende kanttekeningen te maken zijn, deze worden behandeld in het volgende discussie onderdeel waarbij wordt besproken hoe de onderhoudsinschatting verder wordt behandeld in de evaluatie.

Tabel 9-5: Overzicht van de gecombineerde verliezen zoals afgeleid uit de modelresultaten voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven S, M en L en bij +1m, +2m en +3m zeespiegelstijging

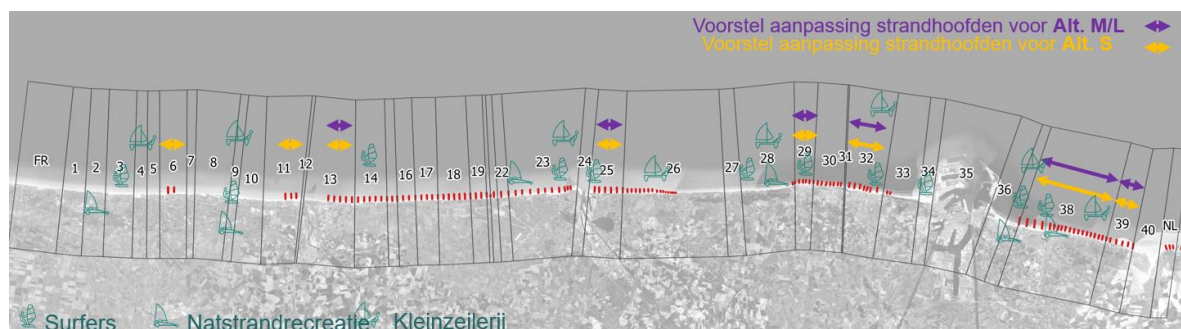
ZSS (m)	Alt S (Mm ³ /jr)			Alt M (Mm ³ /jr)			Alt L (Mm ³ /jr)		
	Langs-verlies	Dwars-verlies	Totaal	Langs-verlies	Dwars-verlies	Totaal	Langs-verlies	Dwars-verlies	Totaal
1	0.6	0.3	~0.9	0.6	0.3	~0.9	0.4	0.2	~0.6
2	0.6	0.3	~0.9	0.5	0.3	~0.8	0.4	0.3	~0.7
3	0.6	0.3	~1.0	0.4	0.3	~0.7	0.4	0.3	~0.7

9.3.3 Effect van strandhoofden

Een van de methoden die de hoeveelheid sediment die nodig is voor het onderhoud van de kustlijn en het strand kan verminderen, is het gebruik van strandhoofden in de eroderende zones. Mits goed ontworpen, kunnen strandhoofden het kustlangs sedimenttransport verminderen en de kustlijn stabiliseren door de gemiddelde kustlijnpositie op zijn plaats te houden in hun impactzone.

Ze kunnen echter ook lokale erosies veroorzaken en een gedetailleerde studie is dan ook vereist bij het ontwerp of aanpassing van strandhoofden om tot een optimale configuratie te komen.

Een eerste inschatting waar het aangewezen kan zijn om strandhoofden ook in de toekomst te voorzien is gebaseerd op de erosievolumes met het kustlijnmodel (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b). De zones met de grootste erosievolumes zijn per alternatief opgelijst wat leidt tot een eerste voorstel voor kustvakken waar strandhoofden zijn aangewezen in Figuur 9-9. Alle kustvakken waar volgens het kustlijnmodel ook in de toekomst strandhoofden kunnen bijdragen aan een reductie van onderhoud bij de geoptimaliseerde alternatieven bevatten momenteel ook al strandhoofden. Voor enkele kustvakken kan nagedacht worden in de toekomst om geen strandhoofden toe te passen, zoals de zone ten westen van Oostende. Daarnaast is er potentieel om in het geoptimaliseerd alternatief M en L zonder strandhoofden te werken aan de westkust waar dit voor alternatief S nog wel aangewezen is. Omwille van de directe nabijheid van de Appelsak geul in kustvak 38 en 39 lijkt de inzet van strandhoofden hier, zeker bij zeevaartse uitbouw, minimaal nodig.



Figuur 9-9: Indicatie van kustvakken met de grootste erosietrends in de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L en waar strandhoofden potentieel relevant zijn om het onderhoud te reduceren.

Hydromorfologische berekeningen zijn uitgevoerd met het Scaldis Coast model waarin voor de alternatieven de strandhoofden op de hierboven vermelde locaties zijn opgenomen. Daarbij wordt een gelijkaardig type strandhoofd als vandaag opgenomen in de alternatieven (laagkruinig en strekkend tot circa LW-lijn). In het alternatief 'Ter Plaatsse' wordt het strandhoofd opgehoogd, in 'Zeewaarts' verlengd en opgehoogd in functie van de zeevaartse verplaatsing. Daarnaast is een gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd naar de invloed van andere type strandhoofden (langer, of hoger).

Uit de berekeningen blijkt dat strandhoofden toch een beperkte tot belangrijke reductie in het langstransport kunnen geven variërend langsheen de kust en van type strandhoofd in reducties van -10% tot -40% (zie sectie 6.2.2 en 6.2.2) en lokale reductie in erosie (zie sectie 7.2.6).

De invloed van het type strandhoofd varieert langsheen de kust, waarbij in een aantal gebieden vooral de aanwezigheid van een strandhoofd van belang is en niet zozeer het type, en in andere zones zoals de Oostkust wel verschillen optreden. Dit illustreert het belang voor een verder ontwerp en optimalisatie van strandhoofden in de toekomst.

Het effect van strandhoofden in de alternatieven op het onderhoud wordt onderzocht in Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023b). Daartoe worden de eroderende kustvakken in verschillende alternatieven geïdentificeerd en worden in die kustvakken strandhoofdenveld geïmplementeerd die vergelijkbaar zijn met bestaande strandhoofdenveld langs de Vlaamse kust. Vervolgens wordt hetzelfde kustlijnmodel in ShorelineS gebruikt om de evolutie van de kustlijn (voorgesteld als MSL) van verschillende alternatieven met strandhoofden te bepalen.

Ervan uitgaande dat in de zones met strandhoofdenveld het doel van het onderhoud is om de gemiddelde kustlijn op zijn plaats te houden, toonden de simulaties aan dat voor verschillende alternatieven en verschillende zeespiegels strandhoofdenveld het volume zand voor onderhoud ter compensatie van sedimentverlies als gevolg van golfgedreven kustlang sedimenttransport tussen 30%-70% kunnen verminderen. Het gaat daarbij over het sedimentverlies langsheen de kust, strandhoofden hebben geen of zeer beperkte invloed op de kustdwarse verliezen. Er moet worden opgemerkt dat het feitelijke ontwerp van de strandhoofdenvelden (lengte, afstand, oriëntatie en hoogte) een aanzienlijk effect kan hebben op de effectiviteit van de strandhoofdenvelden en dat ze daarom voor elk alternatief afzonderlijk moeten worden ontworpen.

Een voorbeeld van het effect van strandhoofden op de evolutie van de kustlijn ten oosten van Nieuwpoort in alternatief L wordt getoond in Figuur 9-10 .

Een verder uitwerking van de noodzaak en het nut van strandhoofden en de impact op onderhoud is aangewezen in vervolgonderzoek. De precieze lay-out en het ontwerp van dergelijke strandhoofdenvelden situeert zich dan weer op een projectniveau.



Figuur 9-10: Impactzone van strandhoofdenveld in kustvak 13 van alternatief L voor 3 m. (Initiële kustlijn positie (MSL) in oranje en finale (na 5 jaar) kustlijn in groen)

9.3.4 Onderhoud vaarwegen

9.3.4.1 Referentie

De referentie voor het jaarlijks onderhoud (Mm^3/jr) wordt bepaald op basis van beschikbare onderhoudsdata per haven over de laatste elf jaar (2012-2022). Voor Oostende en Zeebrugge wordt het onderhoud in de vaarwegen maar ook in de haven zelf bijgehouden door Maritieme Toegang, voor de kleinere havens (Nieuwpoort en Blankenberge) gebeurt dit door Afdeling Kust.

In de analyse wordt onderscheid gemaakt tussen slib en zand. Daarbij is een inschatting gemaakt van de bijdrage slib en zand in de beschikbare gegevens. Aangezien slib niet gemodelleerd wordt in het Scaldis Coast model is de analyse voor de alternatieven gebeurd op basis van expert judgement. Het is onzeker hoe de slibconcentraties en verdeling in de referentiesituatie zullen wijzigen op lange termijn, echter de alternatieven lijken niet te leiden tot wijzigingen in de slibhuishouding ten opzichte van de referentiesituatie. Daarom wordt aangenomen dat ook het onderhoud van slib niet wijzigt in de alternatieven.

Op basis van de gerapporteerde onderhoudsvolumes in TDS per haven, wordt het geaggregeerd onderhoudsvolume in Mm^3/jr berekend (Tabel 9-6) over alle havens met behulp van de densiteit en de porositeit van het gebaggerde materiaal.

Zeebrugge is verantwoordelijk voor ruim 95% van het zandonderhoud. In het geval van slib is dit ongeveer 75% waarbij ook Oostende een belangrijke bijdrage toont. Nieuwpoort en Blankenberge dragen samen bij tot 2 à 3% van het zand en slibonderhoud. Tabel 9-6: Referentie onderhoud (in TDS/jr en Mm³/jr) geaggregeerd over alle havens, voor zand en slib.

	Referentie onderhoud	
	Mm ³ /jaar	TDS/jaar
Zand	4.8	7.2x10 ⁶
Slib	-	3.9x10 ⁶

9.3.4.2 Alternatieven

De volgende stap is het bepalen van het onderhoud voor de verschillende alternatieven (S, M en L), voor stijgende zeespiegel, met behulp van het Scaldis Coast model en de beschikbare data.

Het gemodelleerde onderhoud wordt bepaald aan de hand van bodemveranderingen na 10 jaar ten opzichte van de eerste tijdstap binnen de gedefinieerde polygonen. De polygonen komen overeen met de baggervakken die ook in de data gebruikt worden. De alternatieven worden steeds met de respectievelijke referentiesituatie vergeleken, om een procentuele toename/afname te bepalen. Deze wordt dan gebruikt om op basis van het gedefinieerde referentieonderhoud in de huidige situatie, het toekomstig onderhoud te bepalen, zie Tabel 9-7. Voor slib wordt hetzelfde onderhoud aangenomen voor alle alternatieven.

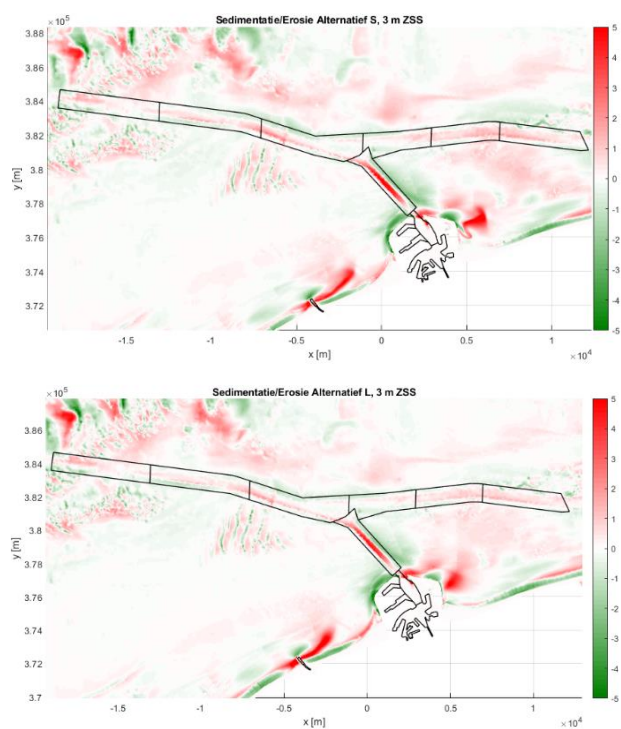
Tabel 9-7: Toekomstige jaarlijkse onderhoudsvolumes (Mm³/jr) en procentuele veranderingen (%) ten opzichte van de respectievelijke referentie situaties, geaggregeerd over alle havens.

ZSS	Zand			
	Referentie	S	M	L
0 m	4.8			
1 m	4.5 (-7%)	4.4 (-8%)	4.4 (-8%)	4.4 (-9%)
2 m	4.4 (-8%)	4.3 (-10%)	4.2 (-11%)	4.2 (-11%)
3 m	3.5 (-27%)	3.4 (-28%)	3.3 (-31%)	3.2 (-32%)

Er kan opgemerkt worden dat voor stijgende zeespiegel het onderhoud afneemt voor alle havens, ook zonder de toepassing van alternatieven. Ook valt op dat alternatief L het laagste onderhoud nodig heeft omdat door de zeewaartse verlenging van de havendammen een deel van de oude vaargeul wordt omsloten door de havendammen en minder sedimentatie kent. Echter de verschillen zijn klein tussen de alternatieven. Het verschil tussen de alternatieven en de respectievelijke referentiesituaties is eveneens klein.

Deze trend is gelijkaardig voor alle havens, maar het percentage slib en zand in het gebaggerde materiaal kan het percentage van de vermindering voor verschillende havens wijzigen, vooral in Oostende, waar de gebaggerde sedimenten voor een groot deel uit slib bestaan, is de vermindering van het baggervolume bij hogere zeeniveaus verwaarloosbaar.

Er moet worden opgemerkt dat in de bovenstaande berekening wordt aangenomen dat het huidige niveau van de zeebodem moet worden gehandhaafd, maar dit kan een overschatting zijn als de omvang van de schepen die de havens aandoen in de toekomst niet substantieel toeneemt en het stijgende zeeniveau een deel van de sedimentaties in de vaarwegen compenseert.



Figuur 9-11: Sedimentatie (rood) en erosie (groen) kaarten rond Zeebrugge voor Alternatief S (boven) en L (onder).

9.3.5 Discussie

Om een beeld te krijgen van de onderhoudsbehoeften voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven zijn een reeks modelinstrumenten ingezet met verschillende doeleinden. Het ingezette modelinstrumentarium voor de onderhoudsinschatting omvat daarbij de best beschikbare huidige modellen, inzetbaar en geschikt voor het strategisch niveau van de studies in deze fase van Kustvisie. Om de inschattingen mogelijk te maken zijn daarbij vereenvoudigingen en aannames gemaakt. Ook de toegepaste modellen zijn vereenvoudigingen van de realiteit en niet alle relevante processen zijn aanwezig of beschikbaar om evoluties op tijdschalen van decennia door te rekenen. Bovendien is er nog onzekerheid over de sedimentprocessen zelf in de kustzone en de ontwikkelingen ervan bij zeespiegelstijging.

De resultaten geven daarom een eerste inzicht in de onderhoudshoeveelheden, voor de evaluatie van de alternatieven op een strategisch niveau. Er zijn uiteraard ook enkele kanttekeningen bij te plaatsen. Daar gaat deze discussie dieper op in.

Er is in deze oefening een **onderhoudsaanpak** verondersteld waarin de kustlijnpositie wordt behouden. Dit verschilt enigszins met de huidige aanpak waarin op basis van de maatregelen uit het Masterplan Kustveiligheid, na toetsingen en eventueel na stormen suppleties worden uitgevoerd om het gewenste veiligheidsniveau te behouden. Op basis van gerapporteerde suppletievolumes is een inschatting gemaakt van het huidig jaarlijks onderhoud van circa 0.8 miljoen m^3 / jaar.

De modelresultaten voor de **referentiesituatie** zonder zeespiegelstijging leveren een sterk gelijkaardige jaarlijkse inschatting op voor het onderhoudsvolume van circa 0.78 Mm^3 /jaar (0.54 Mm^3 /jaar voor de kustlangse verliezen en 0.24 Mm^3 /jaar voor de kustdwarse verliezen). Ondanks de goede overeenkomst is er voorzichtigheid geboden in de interpretatie van de resultaten gezien de verschillen in onderhoudsstrategie en de onzekerheden rond de verschillende sedimentprocessen. Verder onderzoek is vereist om de jaarlijkse onderhoudshoeveelheden te onderbouwen en onzekerheden te reduceren op projectniveau.

Voor de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L is de onderhoudsinschatting gebaseerd op de volgende **sedimenttransportprocessen**:

- het bepalen van de **kustlangse verliezen** (dit is de structurele lange termijn erosie) door golfgedreven transport en
- het bepalen van de **kustdwarse verliezen op basis van erosie tijdens stormcondities** waarbij het sediment dat dieper in het kustprofiel accumuleert als verloren wordt beschouwd. Daarbij wordt in rekening gebracht of er een erosieve trend aan de vooroever aanwezig is.

Andere processen die mogelijks bijdragen tot verlies van sediment uit het systeem:

- Mogelijk verliezen door **eolisch transport**. In badplaatsen en op dijken wordt bij onderhoud van de boulevard het zand vaak terug naar het strand getransporteerd waardoor dit terug in het systeem wordt gebracht. In duingebieden wordt verondersteld dat het windgedreven zandtransport helpt in het versterken van het duinsysteem en op deze manier ook in het systeem blijft. Het eolisch transport is bijgevolg niet meegenomen in de onderhoudsbepaling al kan dit lokaal wel een rol spelen (bijvoorbeeld verliezen naar havengeulen).
- Door langstransport accumuleert momenteel zand in de **havengeulen**. Indien dit zand na onderhoudsbaggerwerken dieper in zee wordt gestort is dit eveneens niet meer ter beschikking in het kuststelsel. Dit aspect is niet expliciet gemodelleerd en wordt mogelijk onderschat. Door de calibratie van de type randvoorwaarden ter hoogte van de strekdammen en havendammen (zie referentierapport kustlijnmodel (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022b)) in het kustlijnmodel aan de hand van de nabijgelegen kustlijnevoluties wordt onrechtstreeks rekening gehouden met bypass en verliezen waardoor onrechtstreeks mogelijke verliezen die tot erosie van de kustlijn leiden deels zijn vertegenwoordigd in de kustlijnmodellering.
- Andere transportprocessen die het onderhoud mogelijk beïnvloeden zijn gelinkt aan **dwarse transportprocessen** door uitwisseling van sediment ter hoogte **van de vooroever naar diepere delen**. Daarbij kan het gaan over voeding van het kuststelsel bij kustaangehechte zandbanken tot verlies in kustzones in de nabijheid van geulen. Indien deze getijdengeulen tot een erosieve trend van de vooroever leiden volgens het hydromorfologisch model Scaldis Coast is dit deels gecapteerd in de oefening. Deze modellering bevat voorlopig echter geen expliciete kustdwarse processen en kan bijgevolg de ontwikkeling en sedimentuitwisseling op de vooroever onderschatten (zowel positief als negatief). Daarbij is er een hypothese dat de getijdengeulen zich landwaarts verplaatsen met mogelijk meer erosie van de vooroever tot gevolg al is het nog onduidelijk wat de invloed hiervan zal zijn op lange termijn. Er zijn momenteel dus nog onzekerheden rond deze transportprocessen en deze zijn dan ook niet opgenomen in deze oefening, maar vormen deel van lopend wetenschappelijk onderzoek in het Mozes project aan het Waterbouwkundig Laboratorium.
- **Variatie in korrelgrootte** langsheen de kust en dwars op de kust. Uit een verkennende gevoeligheidsanalyse met het kustlijnmodel bleek de impact van een verandering in korrelgrootte op het sedimenttransport beperkt (circa 10 %), zie kustlijnmodellering alternatieven in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c). Echter in deze analyse werd de korrelgrootte uniform langsheen de kust aangepast. In realiteit is er een variatie in korrelgroottes, van nature en door suppleties, die een invloed zullen hebben op het sedimenttransport en tot gradiënten kunnen leiden. Gezien de complexiteit van de ruimtelijke variatie in korrelgroottes is dit niet opgenomen in deze oefening op strategisch niveau.
- **Effect van strandhoofden**. Het gebruik van strandhoofden kan resulteren in een vermindering van het sedimentvolume dat nodig is om het sedimentverlies te compenseren als gevolg van kustlong sedimenttransport door de golven. Deze vermindering is verschillend voor verschillende alternatieven en is afhankelijk van het exacte ontwerp van het strandhoofdenveld.
- Tot slot kan ook de zeespiegelstijging een invloed hebben door **aanpassingen van het strandprofiel** waarvoor gecompenseerd moet worden om de kustlijnpositie te handhaven. Er is momenteel aangenomen dat hetzelfde kustprofiel wordt behouden. Meer uitgebreid onderzoek is echter nodig om de tijdsevolutie van het kustprofiel bij zeespiegelstijging te evalueren.

Deze sedimentprocessen zijn momenteel niet mee opgenomen in de studies voor Kustvisie op strategisch niveau, gezien de impact ofwel beperkt is, ofwel verondersteld wordt elders gecapteerd te zijn ofwel nog onzeker is.

Op basis van de verkennende modelberekeningen wordt een **jaarlijks onderhoud** berekend met een range van 0.6 – 1.0 Mm³/jaar voor alle geoptimaliseerde alternatieven en zeespiegelstijgingsniveaus (Tabel 9-8). De laagste onderhoudshoeveelheden treden op voor 'Zeewaarts - in één sprong' (het geoptimaliseerd alternatief L) bij +1m zeespiegelstijging en de grootste voor 'Ter Plaats' (het geoptimaliseerd alternatief S) bij +3m zeespiegelstijging.

Daarbij valt op dat er duidelijk kansen zijn om de kustlangse zandverliezen en het daarbij horende aandeel van het onderhoud te optimaliseren door de verandering in kustlijnvorm bij alternatief 'Zeewaarts' (de geoptimaliseerde alternatieven M en L) door de zeewaartse uitbouw. Dit blijkt ook uit de afgenomen kustlijnvariaties volgens de kustlijnberekeningen in ShorelineS en uit de afname in langstransporten zoals berekend met het grootschalige Scaldis Coast model. Wat betreft de dwarse verliezen tonen de verkennende analyses slechts beperkte verschillen tussen de alternatieven. Op basis van de berekende verliezen tijdens storm lijkt een zeewaartse uitbouw niet tot meer zandverlies te leiden. Wat betreft de impact van de zeewaartse uitbouw zijn er nog onzekerheden of dit kan leiden tot meer verliezen dan momenteel ingeschat door dwarse verliezen naar diepere delen en bij aanwezigheid van getijdengeulen.

Omwille van deze onzekerheden wordt in deze fase voor de evaluatie op strategisch niveau het onderhoud van alle alternatieven als gelijkaardig ingeschat en gelijk genomen aan de referentietoestand, namelijk 0.8 miljoen m³ / jaar. Dit wordt samengevat in Tabel 9-8.

Tabel 9-8 : Jaarlijkse volumes sedimentverlies over de volledige kust (miljoen m³/jaar) voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven en verschillende zeespiegelstijgingen.

ZSS (m)	Alt S (Mm ³ /jr)		Alt M (Mm ³ /jr)		Alt L (Mm ³ /jr)	
	Berekening	Voor evaluatie	Berekening	Voor evaluatie	Berekening	Voor evaluatie
1	~0.9	0.8	~0.9	0.8	~0.6	0.8
2	~0.9	0.8	~0.8	0.8	~0.7	0.8
3	~1.0	0.8	~0.7	0.8	~0.7	0.8

Door de aanname van het behoud van de kustlijn op alle locaties wordt een onderhoudshoeveelheid ingeschat die verder kan **geoptimaliseerd** worden. Er wordt bijvoorbeeld geen rekening gehouden met **herverdeling van sediment langsheen de kust**. Er zijn mogelijkheden omtrent hergebruik van sediment dat accumuleert in bepaalde zones langs de kust of in havengeulen of het voorzien van bypass systemen daar waar het kustlangs transport wordt onderbroken.

Een andere optimalisatie van het onderhoud is mogelijk door het toepassen van strandhoofden. De impact hiervan werd reeds besproken in sectie 9.3.3. Strandhoofden zijn niet expliciet mee opgenomen in deze oefening. Uit een berekening met het Scaldis Coast en ShorelineS model blijkt dat **strandhoofden** toch een beperkte tot belangrijke reductie in het langtransport kunnen geven (zie sectie 6.2.2 en sectie 9.3.3). Een eerste inschatting waar het aangewezen kan zijn om strandhoofden ook in de toekomst te voorzien is gebaseerd op de erosievolumes met het kustlijnmodel, zie Figuur 9-9 (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b).

De precieze lay-out en het ontwerp van dergelijke strandhoofden velden situeert zich op een projectniveau.

9.4 Synthese

Wat betreft de **aanlegvolumes** zand zijn grootteorde inschattingen gemaakt op basis van de kustlijnkeuzes en de ontworpen maatregelen voor elk van de geoptimaliseerde alternatieven.

Voor 3 m zeespiegelstijging zijn de aanlegvolumes voor het alternatief 'Zeewaarts' (het geoptimaliseerde alternatief M en L) gelijkaardig en ongeveer dubbel zo groot dan voor het alternatief 'Ter Plaatsse' (het geoptimaliseerde alternatief S). Daarentegen zijn er verschillen in de opbouw van 'Zeewaarts' tussen 'Zeewaarts - in stapjes' en 'Zeewaarts - in één sprong', respectievelijk het geoptimaliseerde alternatief M en L. Het grootste deel van het zandvolume is gelinkt aan de strandsuppleties, met slecht een beperkt aandeel (grootteorde 5% van het totale aanlegvolume) voor de duinen in de alternatieven.

Variaties op de aanlegvolumes zijn mogelijk door veranderingen in de referentie bodem omwille van natuurlijke evoluties of door evolutie van het kustprofiel bij zeespiegelstijging. Bij de bepaling van de aanlegvolumes is verondersteld dat een gelijkaardige strandhelling als in de huidige situatie en gelijkaardige korrelgrootte worden toegepast. De keuze van de korrelgrootte voor de aanlegsuppletie is echter van belang voor het aanlegvolume. Uit een gevoeligheidsanalyse blijkt dat het toepassen van een algemeen fijnere korrel van 200 µm leidt tot een sterke toename in de aanlegvolumes (tot circa +50-70%) door flauwere strandhellingen.

Bij een algemeen grovere korrel van 400 µm is een sterke reductie van de aanlegvolumes (van halvering tot derde van het basisvolume). Een toepassing van 300 µm leidt gemiddeld tot sterk gelijkaardige volumes als het basisvolume (huidige korrelgrootte). Echter in de huidige situatie zijn er ruimtelijke verschillen in voorkomen van korrelgroottes langsheen de kust. Dit biedt dan ook mogelijkheden om te variëren en korrelgrootte te optimaliseren.

Een eerste verkennende grootteorde inschatting op strategisch niveau van de **onderhoudsbehoefte** is uitgevoerd. Hierbij werd de onderhoudsaanpak uitgevoerd volgens het principe om de kustlijnpositie te behouden. Verschillende rekenmodellen zijn daarbij ingezet waarbij onderscheid is gemaakt tussen de kustlangse (structurele) verliezen en de kustdwarse verliezen (bij jaarlijkse storm). Het ingezette modelinstrumentarium omvat daarbij de best beschikbare huidige modellen, inzetbaar en geschikt voor het strategisch niveau van de studies in deze fase van Kustvisie. Er zijn echter nog veel onzekerheden en ontwikkelingen mogelijk zowel op vlak van de processen als modelontwikkeling. Daarnaast is het nog onduidelijk hoe het kuststelsel zal evolueren bij zeespiegelstijging. Verdere ontwikkeling en monitoring zijn bijgevolg aangewezen.

De rekenresultaten tonen voor de huidige situatie qua grootteorde een goede overeenkomst met ingeschat jaarlijks onderhoud, al is voorzichtigheid in de interpretatie van deze resultaten geboden. Verder blijken er potenties om het onderhoud te optimaliseren voor wat betreft de kustlangse verliezen in het alternatief 'Zeewaarts' (de geoptimaliseerde alternatieven M en L) door de verandering in kustlijnoriëntatie die mogelijk is door de zeewaartse uitbreiding.

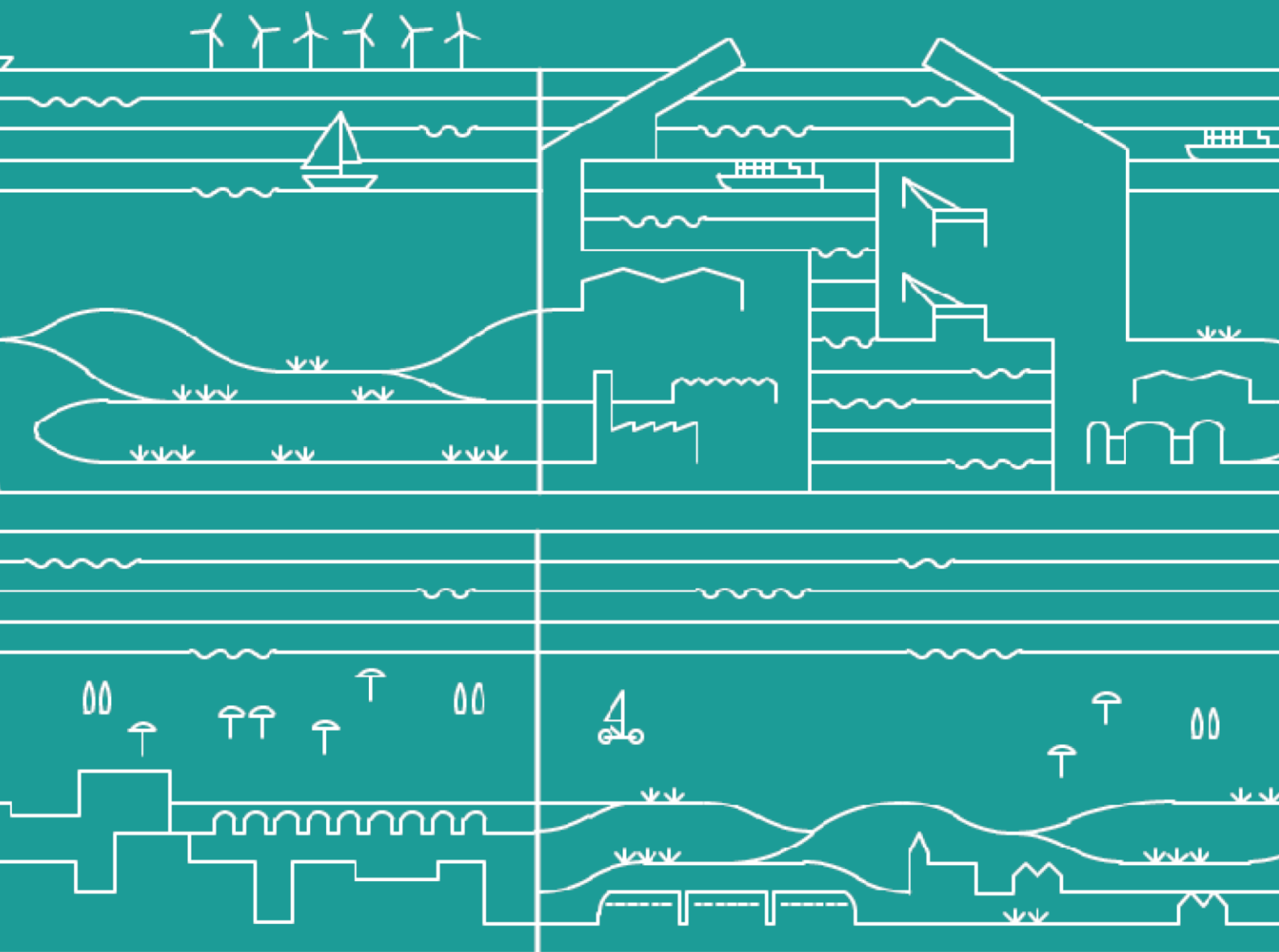
De kustdwarse verliezen volgens de berekeningen vertonen relatief weinig verschillen tussen de alternatieven, vooral voor de hogere zeespiegelstijgingen. De berekende jaarlijkse onderhoudsvolumes variëren voor de alternatieven tussen 0.6 en 1.0 miljoen m³ / jaar.

Door onzekerheden die er nog zijn omwille van mogelijke verliezen bij zeewaartse uitbouw en interactie met vooroever en getijengeulen wordt voor de verdere evaluatie van kost en zandbeschikbaarheid, dezelfde grootteorde voor de verschillende geoptimaliseerde alternatieven toegepast van 0.8 miljoen m³ / jaar. Dit is gelijkaardig aan het huidige jaarlijkse onderhoud.

Optimalisaties van het onderhoud zijn verder mogelijk door toepassing van **strandhoofden**. Een eerste inschatting in welke kustvakken strandhoofden nuttig kunnen zijn is opgemaakt. In een aantal kustvakken lijken strandhoofden nog steeds aangewezen om de erosie te reduceren, met name in kustvakken 38 en 39 nabij de Appelzak. In het alternatief 'Zeewaarts' (geoptimaliseerd alternatief M en L) zijn er daarnaast door afname van de erosie door langstransport mogelijkheden om het aantal strandhoofden te verminderen in vergelijking met 'Ter Plaatse' (het geoptimaliseerd alternatief S). Uit gevoeligheidsanalyses blijkt dat het mogelijk is met strandhoofden het langstransport te verminderen met 10% tot 40% en door het gericht toepassen van strandhoofden in de meest kritische zones het onderhoud door sedimentverlies langsheen de kust te verminderen met 30% tot 70% (er is geen reductie van kustdwarse verliezen).

Daarbij is er variatie langsheen de kust van de invloed van strandhoofden op de afname van het langstransport. Met name aan de oostkust is de bijdrage van strandhoofden groot en blijkt het aangewezen om het strandhoofdenveld in de toekomst aan te passen voor alle alternatieven.

Het **onderhoud van de vaargeulen en havens** is ingeschat voor zand en slib. Gezien er geen aanwijzingen zijn dat de alternatieven leiden tot verandering in de slibhuishouding, wordt aangenomen dat het slibonderhoud gelijkaardig blijft als de referentiesituatie (aanname dat slibconcentraties niet wijzigen op lange termijn in de referentiesituatie). Wat betreft het zandig onderhoud is een inschatting gemaakt op basis van de resultaten van de hydromorfologische modellering. Bij het onderhoud van vaargeulen om de bodemdiepte te handhaven zijn jaarlijkse onderhoudsvolumes ingeschat, deze zijn sterk gelijkaardig voor de verschillende alternatieven waarbij er een afname is bij zeespiegelstijging door afname van de getijdenstroming.



**Leemtes in de kennis en
verder onderzoek**

10 Leemtes in de kennis en verder onderzoek

Deze studie en het uitgevoerde onderzoek in Kustvisie was gericht ter ondersteuning van het opstellen van een strategisch beleidsplan Kustvisie door een toekomstige kustlijn met bijhorende ruimte af te bakenen om de kust op lange termijn te beschermen. Daarbij zijn aannames en een studieaanpak toegepast die het mogelijk maken om op strategisch niveau onderzoek te doen en keuzes te maken voor een voorkeursalternatief. Tijdens en door het uitvoeren van dit studiewerk zijn echter ook kennisleemtes geïdentificeerd. Verder speelt dit onderzoek zich af op strategisch niveau waardoor tot op heden niet alles in detail (zoals op projectniveau) kan worden geëvalueerd. De aannames, onzekerheden en geïdentificeerde kennisleemtes die tijdens het geïntegreerd onderzoek naar boven zijn gekomen verdienen verder onderzoek of opvolging om de mogelijke effecten en opportuniteiten van de alternatieven verder te onderbouwen, en het gekozen alternatief verder succesvol te ontwerpen en verfijnen.

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van kennisleemtes en aandachtspunten voor verder onderzoek met betrekking tot de hydromorfologie. Uiteraard hangt de hydromorfologie samen met andere disciplines zoals ecologie, nautische aspecten, kosten, etc. Daarbij is er voor de leesbaarheid de volgende onderverdeling gemaakt, al is de keuze enigszins arbitrair door overlap tussen verschillende onderdelen:

- **Monitoring van het kuststelsel.** Het monitoren en verzamelen van kennis over de evolutie van het kuststelsel ondersteunt de adaptieve aanpak in Kustvisie door onzekerheidsmarge op historische en toekomstige ontwikkelingen stelselmatig te verkleinen en ter ondersteuning van andere deelonderzoeken. Het is hierbij aangeraden bestaande monitoring voort te zetten, nieuwe monitoring zo snel mogelijk op te starten en deze monitoring ook blijvend in te zetten tijdens en na uitvoering van verschillende fasen in Kustvisie om een adaptieve aanpak en beheer te ondersteunen.
- **Fundamenteel onderzoek naar fysische processen.** Hoewel er al veel kennis is rond de verschillende fysische processen in het kuststelsel is verder wetenschappelijk onderzoek gewenst. Het gaat daarbij over zaken zoals lange termijn processen, de interactie tussen verschillende processen en verder onderzoek naar bestaande en alternatieve grondstoffen.
- **Modelontwikkelingen.** Het kuststelsel wordt bestudeerd aan de hand van numerieke modellen, ieder met hun eigen toepassingsgebied en voor- en nadelen. Het ingezette modelinstrumentarium voor Kustvisie omvat daarbij de best beschikbare huidige modellen, inzetbaar en geschikt voor het strategisch niveau van de studies in deze fase van Kustvisie. Verdere modelontwikkeling is echter aangewezen om nieuwe inzichten te incorporeren.
- **Verdere opvolging en uitwerking in projectfase.** De focus lag nu op strategische keuzes. Veel van de aandachtspunten komen aan bod bij een ontwerp op projectniveau, een aantal andere zijn eerder te zien als kennisleemtes. Het hierboven geschetste onderzoek zal bijdragen om tot een uitwerking in projectfase te komen. Daarbij zijn ook een aantal aandachtspunten die zijn opgelijst zoals de blijvende afstemming met buurlanden. In dit kader past ook de inzet van pilootprojecten.

Tot slot wordt opgemerkt dat dit geen limitatieve lijst is. Het uitvoeren van onderzoek, zoals gebeurt in Kustvisie, leidt tot meer inzichten en tegelijk werpt het meer vragen op. Nieuw onderzoek zal worden geïdentificeerd als onderdeel van het actieplan in Kustvisie waarbij gebruik wordt gemaakt en wordt voortgebouwd op lopende onderzoeken zoals MOZES (Dujardin *et al.*, 2023), Living lab Raversijde, Coastbusters, Dunefront, Duin voor Dijk, Cassandra, etc. Een update en bijstelling van relevant onderzoek zal dan ook volgen na verloop van tijd en maakt deel uit van het actieplan voor Kustvisie.

Monitoring kustsysteem

- Verdere monitoring van fysische parameters zoals: zeespiegelstijging, snelheid van zeespiegelstijging, golfcondities, windsnelheden, stormduur, frequentie en zwaarte, etc. om de evolutie van klimaatverandering op deze parameters op te volgen. Dit zowel voor, tijdens en na uitvoering van de maatregelen.
- Monitoring van de natuurlijke evolutie van het morfologisch systeem en de kustprofielen (vooroever, stranden en duinen) bij zeespiegelstijging om na te gaan welke wijzigingen optreden in zeebodem en de kustprofielen (vooroever, stranden en duinen) en hoe dit in verhouding staat tot het sedimentaanbod. De monitoring van de vooroever en banken en geulen is relevant in het onderzoek naar mogelijke dwarse transporten en lange termijn evoluties. De verdere monitoring van stranden en duinen (zoals momenteel de (half)-jaarlijkse Lidar surveys) laat toe om het sedimentbudget te blijven opvolgen met aandacht voor de erosieve en sedimenterende zones en de duinontwikkelingen te bestuderen. Daarbij is verder onderzoek gewenst naar de sedimentbalans langsheen de kust (waar komt eroderend sediment terecht?). De monitoring van de aanzanding in de gebaggerde havengeulen en de toekomstige aanzanding nabij de nieuwe westelijke havendam in Blankenberge kunnen daarbij relevante inzichten geven naar langtransportprocessen en -hoeveelheden.
- Monitoring van de evolutie in de bestaande slikken en schorren langsheen de kust (Zwin, Baai van Heist en IJzermonding). In welke mate evolueren deze gebieden en kunnen deze meegroeien met zeespiegelstijging.
- Monitoring van de evolutie van vegetatie (helmgras, aanwezigheid van nieuwe soorten) met klimaatverandering. Dit is van belang voor de morfologische stabiliteit en ontwikkeling van duinsystemen.

Fundamenteel onderzoek naar fysische processen

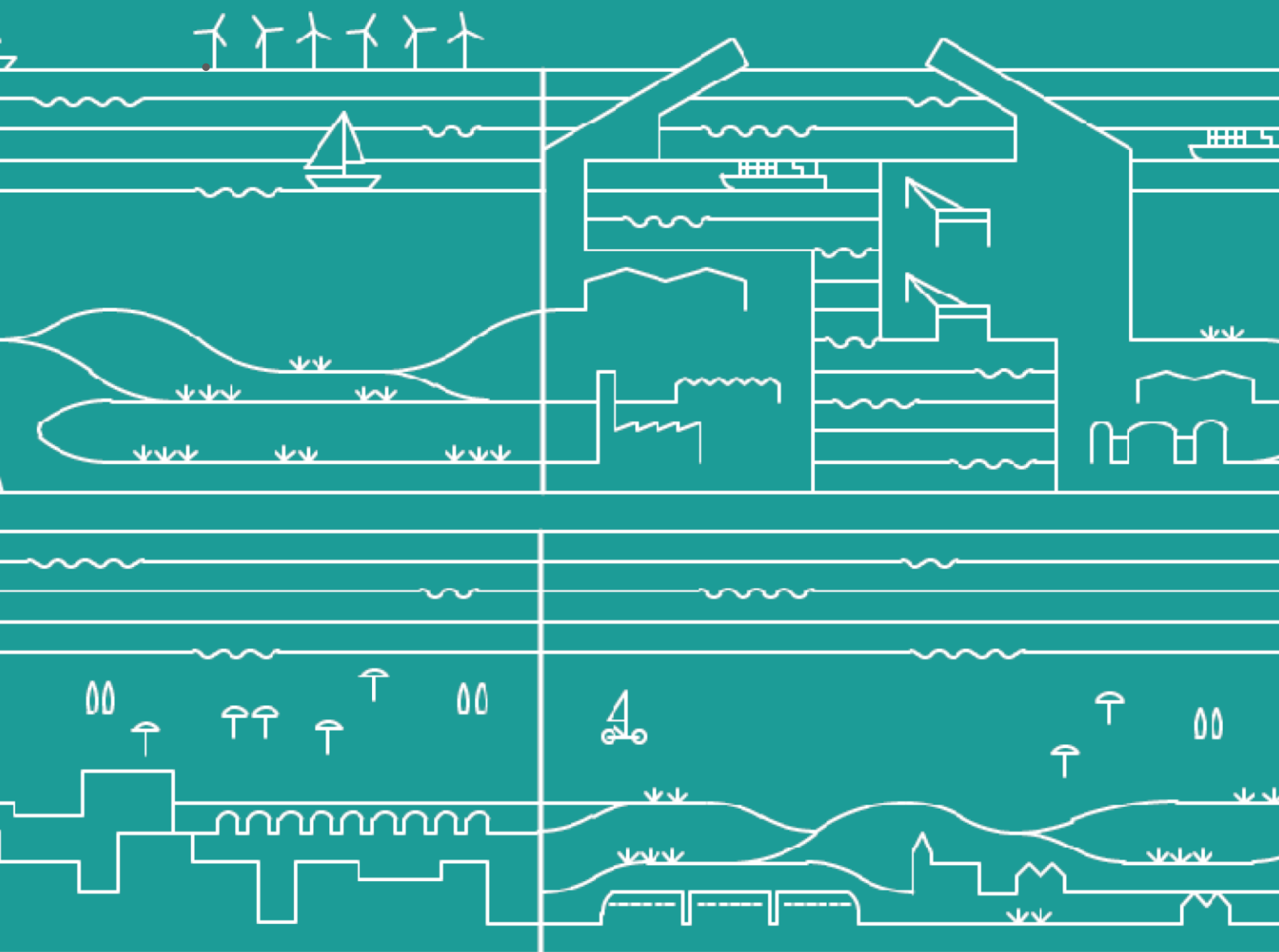
- Verder onderzoek naar de lange termijn evoluties en processen. Het gaat daarbij over de algemene morfologische respons van het kustsysteem op zeespiegelstijging en specifiek over de gradueel kustdwarse sedimenttransporten door trage verplaatsingen van zandbank-geulen systemen, de interacties met de kustlijn, aanpassingen en de mate van ophoging van het strand- en duinprofiel en de impact van zeespiegelstijging hierop. De eerste stappen worden hierbij reeds gezet in het MOZES onderzoek op het Waterbouwkundig Laboratorium.
- Verder onderzoek naar de bijdrage en interacties van de verschillende transportprocessen (golfgedreven langtransport, getijgedreven transport, kustdwarse transporten zoals in vorig punt, eolisch transport) op de morfologische evoluties van het kustsysteem. Een belangrijk punt van aandacht hierbij is de huidig beschikbare sedimenttransportformules, die een grote bron van onzekerheid vormen in de modelresultaten.
- Verder onderzoek naar duingroeiprocessen met aandacht voor de processen die spelen op verschillende tijdschalen (bijvoorbeeld erosieve acties bij korte events en trage natuurlijke opbouw), analyse van de duinontwikkeling doorheen de tijd en het effect van klimaatverandering op duinmorfologie met focus op wijzigingen van vegetatie en regenval in de toekomst. Daarnaast zal de toekomstige implementatie van duinmaatregelen worden ondersteund door verder onderzoek naar sturing van duinmorfologie door (vegetatie)beheer, onderzoek naar alternatieve zandvangende soorten ter voorkomen van helmgrasmonocultuur en opvolging van stormerosie en herstelcycli van bestaande duinen.
- Verder onderzoek naar grondstoffen. Dit gaat enerzijds over een verfijning naar beschikbare zandhoeveelheden (o.a. in termen van beschikbare sedimentklassen) voor kustverdediging op het Belgisch continentaal plat op basis van mogelijke wijzigingen in concessiezones (zie ook herziening mariene ruimtelijke planning) en nieuwe inzichten naar duurzame zandexploitatie (o.a. referentieniveau), en verder onderzoek naar mogelijke buitenlandse bronnen voor zandaanvoer of alternatieve bronnen zoals hergebruik of gebruik uit infrastructuurprojecten. Anderzijds gaat het over onderzoek naar alternatieve grondstoffen voor toepassing in suppleties en kustveiligheidsmaatregelen. Tot slot onderzoek naar de mogelijkheden om sedimentverliezen tijdens exploitatie en na aanleg te minimaliseren.

Modelontwikkelingen

- Verdere validaties en modelontwikkelingen van het modelinstrumentarium om nieuwe inzichten te integreren en modelonzekerheden te reduceren. Aandachtspunten voor verdere modelontwikkelingen zijn het modelleren van de invloed van strandhoofden en invloed van korrelgroottes op onderhoud waarvoor validatie en verfijning van de modeltools is aangewezen. Specifiek, voor het Scaldis Coast model gaat het daarbij in eerste instantie over het valideren en ontwikkelen van de interacties tussen de verschillende morfologische onderdelen van het kuststelsel (geulen, zandbanken en stranden) en het aanpakken van de artificiële vervlakking van het dwarse kustprofiel. Voor het kustlijnmodel Shoreline S gaat het over het toevoegen van transportprocessen (getijdgedreven transport), verschillende randvoorwaarden langs de kust (variaties in golfcondities), het effect van variaties en gradiënten in korrelgrootte op het langtransport langs de kust en lokale modelverfijningen zoals bijvoorbeeld aan de Oostkust. In profielmodellen zoals Xbeach gaat het daarbij over extra aandacht naar de evoluties in de vooroever, de invloed van korrelgroottes en de interacties tussen hydrodynamische respons bij stormen en eolisch transport ter hoogte van duinen.
- Het modelinstrumentarium wordt momenteel hoofdzakelijk toegepast aan de hand van “snapshot” modellering. Op de huidige morfologische situatie wordt een zeespiegelstijgingsniveau toegepast en vervolgens gemodelleerd. Een modelontwikkeling die toelaat om de geleidelijke evolutie in tijd met zeespiegelstijging te simuleren laat toe om de geleidelijke evoluties en wijzigingen in morfologie te bestuderen.
- Op dit moment worden de verschillende modellen die focussen op verschillende processen apart ingezet. De resultaten uit de verschillende simulaties kunnen vervolgens worden samengelegd voor analyse en interpretatie. Toekomstige modelontwikkelingen waarin meerdere processen worden geïntegreerd laten toe om de interacties te bestuderen. Het gaat daarbij bijvoorbeeld over het toevoegen van dwarse processen en interacties in het Scaldis Coast model en de combinatie van hydrodynamisch en eolische transport (bijvoorbeeld Xbeach en Aeolis of het toevoegen van aeolische processen aan Scaldis_coast) zoals beschreven in het eerste punt.
- Modelleren van de windcondities langs de kust als onderdeel van de studie naar duinmorfologie. In tweede instantie kan gedacht worden aan de terugkoppeling tussen strand- en duinmorfologie en windsnelheid en windrichting.
- Bij toenemende computerkracht en computercapaciteit kan in de toekomst gedacht worden aan een meer probabilistische modelaanpak, waarbij aan de hand van een grote hoeveelheid scenario's en performante modellen een bandbreedte en kansverdeling van morfologische veranderingen kan worden afgeleid.

Verdere opvolging en uitwerking in projectfase

- Opvolging en afstemming met de buurlanden. Het opvolgen en afstemmen van het beleid in de buurlanden en grensoverschrijdend onderzoek zullen toelaten de grensoverschrijdende effecten op te volgen en tot het meest geschikte ontwerp te komen in projectfase.
- Preliminair onderzoek geeft aan dat schuin invallende golven tijdens storm kunnen leiden tot meer sedimentverlies uit het kustprofiel. Verder onderzoek naar de bijdrage van schuin invallende golven tijdens storm kunnen bijdragen op het bepalen van de meest relevante ontwerpcondities en zo tot een verfijning van de ontwerpmethodiek en methodiek kustveiligheidsstoetsing.
- Onderzoek naar de effectiviteit en mogelijke implementatie van hybride kustveiligheidsmaatregelen en nature based solutions. Daar hoort eveneens monitoring van bestaande hybride maatregelen bij (zoals bijvoorbeeld de grasdijk, of duin voor dijk in Living lab Raversijde).
- Onderzoek naar de ontwerpstrategie voor strandhoofden (waar, type, configuratie) en finaal het gedetailleerd ontwerp van de strandhoofden in projectfase om de morfologische impact te optimaliseren (sedimentatie stimuleren met beperkte erosie elders).
- Onderzoek naar de ontwerpstrategie voor de aanpassingen van de havens om aan te sluiten op de strandzones. In de uitgevoerde studie voor Kustvisie is een aanpassing van de havendammen toegepast met indicatieve zeevaartroute uitbreiding om onderzoek naar de impact mogelijk te maken. Het finale ontwerp dat toelaat om de havens aan te sluiten op de strandzones moet in de toekomst gemaakt worden en kan bestaan uit een zeevaartroute uitbreiding van de havendammen (sowieso op te hogen bij zeespiegelstijging) of alternatieve aanpassingen zoals verlengen of aanleggen van opvangdammen. Het ontwerp zal daarbij rekening dienen te houden met aspecten zoals bestaand beleid en plannen voor havenadaptaties, asset management, havenuitbreidingen, economische ontwikkelingen (groei, scheepsdimensies, etc), sociale ontwikkelingen. Er kan daarbij nagedacht worden om naast kantelpunten in het stappenplan op basis van zeespiegelstijging gelinkt aan klimaatverandering, ook te kijken naar kantelpunten voor andere aspecten zoals sociale en economische ontwikkelingen.
- Onderzoek naar het optimale ontwerp van zachte maatregelen zoals optimale droogstrandbreedtes voor duinen oplossingen en het ontwerp van het onderwaterprofiel om aan te sluiten op de zeebodem.
- Het toepassen van goed ontworpen pilots of living labs om aan de hand van monitoring proefondervindelijk een of meerdere van bovenstaande onderwerpen te onderzoeken.



**Conclusies hydromorfologische
evaluatie redelijke alternatieven**

11 Conclusies hydromorfologische evaluatie redelijke alternatieven

11.1 Algemeen

Dit rapport geeft een **synthese** van de uitgevoerde onderzoeken met betrekking tot de **hydromorfologische effecten** van de **geoptimaliseerde alternatieven S, M en L (uit het co-creatieonderzoekstraject)** en **vervolgens de redelijke alternatieven voor het strategisch beleidsplan Kustvisie 'Ter Plaatse' (gebaseerd op S) en 'Zeewaarts' (met varianten 'in stapjes' gebaseerd op M en in 'in één sprong' gebaseerd op L)**. Deze alternatieven variëren in de vormgeving van de strandzones door verschillende kustlijnposities, type kustbeschermingsmaatregelen en een verschillende roadmap.

In elk van de alternatieven zijn ook zones aangeduid waar strandhoofden als erosiebeperkende maatregelen zijn aangewezen. Deze strandhoofden maken integraal deel uit van het alternatief en zijn meegenomen in de evaluatie. De concrete uitwerking en ontwerp van dergelijke strandhoofdenvelden (of maatregelen met een vergelijkbaar effect) maakt deel uit van een volgende fase op projectniveau.

In de havens zijn, voor de analyse van de alternatieven voor de strandzones, geen maatregelen opgenomen buiten een aanpassing van de havendammen. De havendammen in de alternatieven 'Ter Plaatse' (S) en 'Zeewaarts' (M en L) zijn telkens aangepast in functie van de zeewaartse uitbreiding van de nabijgelegen strandzones om het strand te stabiliseren en aanzanding van de havengeul te beperken. Daarnaast is een analyse gemaakt waarbij de havendammen van Oostende en Blankenberge nog verder zeewaarts worden verlengd, wat nodig is als een zeesluis in deze havens wordt voorzien. Ook hier geldt dat het concrete ontwerp van de aanpassing van havendammen en of opvangdammen voor een volgende fase op projectniveau is.

De hydromorfologische effecten van de alternatieven in Kustvisie werden begroot en ingeschat op basis van de analyse van de resultaten van een aantal numerieke modellen, in combinatie met expert judgement. Dit **evaluatieproces** bestond uit verschillende iteraties waarbij telkens afgestemd werd aan de hand van reviews en workshops met de klant en experts van of in opdracht van het Waterbouwkundig Laboratorium.

Tijdens het co-creatie onderzoekstraject werden de geoptimaliseerde alternatieven S, M en L geëvalueerd tijdens de **tweede afweging van de geoptimaliseerde alternatieven**. Daarbij werd een uitgebreide set van evaluatiecriteria semi-kwantitatief beoordeeld (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022c). Een deel van deze criteria hebben betrekking op de hydromorfologische aspecten. Om deze aspecten te beoordelen zijn een reeks van onderzoeken en modelleringen uitgevoerd. De resultaten en analyses van deze onderzoeken worden samengebracht, geïnterpreteerd en besproken in dit rapport. De conclusies van het hydromorfologisch onderzoek tijdens de tweede afweging zijn vervolgens verwerkt in het afwegingsdocument voor de geoptimaliseerde alternatieven waarin ook de bespreking van de overige criteria uit het evaluatiekader is opgenomen.

Volgend op de opmaak van de geoptimaliseerde alternatieven zijn redelijke alternatieven ('Ter Plaatse' en 'Zeewaarts') gedefinieerd voor het strategisch beleidsplan Kustvisie en volgt een formeler **geïntegreerd onderzoek** (zie onderzoeksnota (Studieteam Hoogtij(d) (IMDC, Arcadis en ORG), 2023). Wat betreft de hydromorfologische analyses gaat het daarbij over een verdere uitwerking van het eerdere studiewerk tijdens de tweede evaluatie waarbij enkele bijkomende onderzoeken en gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd. De resultaten van dit onderzoek worden vervolgens gebruikt voor de beoordelingen in het plan-MER, de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en de ondersteunende studies die in deze fase worden uitgevoerd. De resultaten van al deze onderzoeken (het geïntegreerd onderzoek) vormen de basis voor de keuze en onderbouwing van het voorkeursalternatief, voor één van de kansrijke kustbeschermingslinten van de redelijke alternatieven, dat wordt opgenomen in het strategisch beleidsplan Kustvisie.

Voor de bespreking van de impact van de geoptimaliseerde alternatieven is de vergelijking telkens gemaakt met de **referentiesituatie**. Dit is de huidige situatie waarin de volledige uitvoering van het Masterplan Kustveiligheid is verondersteld (2030). Waar mogelijk is de referentiesituatie bij zeespiegelstijging beschouwd zodat de vergelijking van het geoptimaliseerd alternatief en de referentie onder dezelfde gewijzigde omgevingscondities mogelijk is.

De hydromorfologische studies, net als al het andere uitgevoerde onderzoek in Kustvisie werd uitgevoerd ter ondersteuning van de opmaak van het strategisch beleidsplan Kustvisie. Hierbij wordt een kansrijk kustbeschermingslint afgebakend waarbinnen de nodige kustbeschermingsmaatregelen gerealiseerd kunnen worden om de kust op lange termijn blijvend te beschermen, ook bij zeespiegelstijging tot zelfs +3 m. Daarbij zijn bepaalde aannames en een specifieke studieaanpak toegepast die het mogelijk maken om op **strategisch niveau onderzoek** te doen en keuzes te maken voor een voorkeursalternatief.

Hoewel verschillende vereenvoudigingen en aannames zijn toegepast voor de evaluatie van de alternatieven, omvatten de ingezette evaluatiemethodiek en de modelinstrumenten daarbij de best beschikbare huidige modellen en kennis, inzetbaar en geschikt voor het strategisch niveau van de studies in deze fase van Kustvisie. De toegepaste modellen zijn daarbij zelf vereenvoudigingen van de realiteit en niet alle relevante processen zijn altijd aanwezig, beschikbaar, of zelfs gekend, wat het geval is bij elke numerieke modelstudie.

Er zijn daarnaast nog onzekerheden omtrent de sedimenttransportprocessen in de kustzone in de huidige situatie en de mogelijke veranderingen bij zeespiegelstijging van zowel fysische processen, sedimenttransport als verandering in zeebodem en strandprofiel. Deze aspecten worden ook geduid bij de leemten in de kennis in het plan-MER.

Verdere kennisontwikkeling van zowel de processen in het kuststelsel, als van modelinstrumenten en monitoring blijven bijgevolg aangewezen en kunnen helpen de inschattingen te verfijnen en onzekerheden te reduceren bij de verdere uitwerking van het gekozen alternatief in latere fases op projectniveau. Voorstellen voor verder onderzoek en kennisleemtes zijn dan ook opgenomen in dit rapport.

11.2 Conclusies per criterium voor de redelijke alternatieven

De **belangrijkste conclusies voor de redelijke alternatieven** van het strategisch beleidsplan Kustvisie met betrekking tot de criteria rond hydromorfologie worden hieronder opgelijst. Voor een meer uitgebreide onderbouwing van de evaluatie per criterium wordt verwezen naar de afzonderlijke hoofdstukken en syntheses in dit rapport.

11.2.1 Aaneengesloten kustlijn (Hoofdstuk 4)

- Alle redelijke alternatieven vormen een aaneengesloten kustlijn wat leidt tot een globaal positieve evaluatie.
- Door het optimalisatieproces waarbij gestreefd wordt naar een meer stabiele kustlijn voor wat betreft het golfgedreven langtransport en de beschikbare ruimte in het alternatief 'Zeewaarts'. Een verbeterde aansluiting is mogelijk in het alternatief 'Zeewaarts' ten opzichte van het alternatief 'Ter Plaatsse'.
- In het alternatief 'Zeewaarts' is er meer ruimte en dus ook meer mogelijkheden om kustbeschermingsmaatregelen continu en aaneengesloten door te trekken zodat er minder overgangen tussen verschillende type maatregelen nodig zijn.
- Bij het ontwerp en uitwerking van de verlengde havendammen is aandacht nodig voor de aansluiting strandhavendam voor wat betreft aanzanding en zwemveiligheid en de interactie tussen beiden. Dit is in het bijzonder het geval voor het alternatief met sluis in Oostende en Blankenberge waarbij de havendammen sterk verlengd worden en de effecten groter zijn.
- Voor wat betreft de grensoverschrijdende impact naar Frankrijk:
 - Er zijn geen grootschalige wijzigingen in de morfologische processen in Frankrijk ten gevolge van de redelijke alternatieven, wel zijn er lokale morfologische aanpassingen nabij de grensovergang.
 - Bij het alternatief 'Zeewaarts' wordt er aanzanding waargenomen aan de Franse zijde van de overgang en is er dus geen negatief effect op kustveiligheid. Dit komt in mindere mate voor bij alternatief 'Ter Plaatsse' en is afhankelijk van de kustontwikkeling in Frankrijk.
 - Het netto sedimenttransport nabij de grens blijft oostwaarts gericht bij alle redelijke alternatieven. Er is geen netto verlies naar Frankrijk.
 - Het ontwerp van de overgang van de kustlijnen aan de grens dient in detail te worden ontworpen in de projectfase, waarbij wordt afgestemd met het beheer en beleid in Frankrijk, en kan afwijken van de huidige alternatieven op lokale schaal.
- Voor wat betreft de grensoverschrijdende impact naar Nederland:
 - De getijdengeul van het Zwin zorgt ook nu al voor een natuurlijke onderbreking tussen de Vlaamse en Nederlandse kustlijn. Voor de evaluatie van de effecten op het Zwin wordt verwezen naar de discussie in verband met het sedimenttransport.

- De redelijke alternatieven leiden niet tot grootschalige wijzigingen in de morfologische processen in Nederland. Daarbij is het behoud en de aanpassing van het strandhoofdenveld aan de oostkust (integraal onderdeel van de redelijke alternatieven) van belang. Het ontwerp van deze strandhoofden dient verder in detail te worden uitgewerkt in de projectfase.
- Er is geen impact op de Westerscheldemonding en de Westerschelde door de redelijke alternatieven.

11.2.2 Hydrodynamiek (Hoofdstuk 5)

- De impact van de redelijke alternatieven op de hydrodynamiek is lokaal, en situeert zich ter hoogte van de suppletiezones en rond de havens. Deze lokale invloed van de aanpassing van havendammen en (eventuele) opvangdammen dient het ontwerp in de projectfase in meer detail bestudeerd te worden.
- Er wordt geen impact waargenomen zeewaarts van de footprint van de redelijke alternatieven.
- De grote zeewaartse uitbreiding van de havendammen in Oostende bij het alternatief met de zeesluis hebben een veel grotere invloed in vergelijking met de uitbreiding van de havendammen om aan te sluiten op alternatief 'Zeewaarts'. De impact is ook ruimer dan het lokale havengebied dat wordt beïnvloed door alternatief 'Zeewaarts'. Ter hoogte van Blankenberge is de impact door de zeewaarts uitbreiding van de havendammen omwille van de zeesluis minder uitgesproken en slechts beperkt groter dan de aanpassing van de havendammen voor het alternatief 'Zeewaarts'.

11.2.3 Sedimenttransport (Hoofdstuk 6)

Zandtransport

- Het alternatief 'Ter Plaatsse' leidt zowel tot afnames als toenames in langtransport langsheen de kust in vergelijking met de referentiesituatie. In het alternatief 'Zeewaarts' zijn er potenties om het langtransport te reduceren door een andere kustlijnoriëntatie en kustlijnform in vergelijking met de referentiesituatie. Een analyse van het langtransport waarbij de traditionele geanalyseerde kuststrook verder zeewaarts is uitgebreid leidt tot gelijkaardige trends en impacten van de alternatieven maar andere grootteordes van absolute transporten.
- De analyse van de impact van strandhoofden in de redelijke alternatieven geeft aan dat de aanwezigheid van strandhoofden helpt om het langtransport te reduceren en effectief werkt als erosiebeperkende maatregel. De invloed van de strandhoofden en verschillende ontwerpvarianten op het langtransport varieert langsheen de kust. Zo zijn er langsheen een groot deel van de oostkust erosiebeperkende maatregelen nodig waardoor het sedimenttransport met of zonder strandhoofden het sterkst wordt beïnvloed langsheen de kust. In deze strategische fase van Kustvisie lag de focus in de onderbouwing waar er erosiebeperkende maatregelen zoals strandhoofden zijn aangewezen. Daarbij werden voor een aantal zones langsheen de kust bestaande strandhoofden stelselmatig opgehoogd met zeespiegelstijging in 'Ter Plaatsse' en verlengd en stelselmatig opgehoogd in 'Zeewaarts'. Er is echter geen specifieke ontwerpstrategie voor strandhoofden zoals type, locatie, configuratie uitgevoerd. Dit volgt in vervolgfase en op projectniveau.
- De impact van de redelijke alternatieven op het Zwin is bestudeerd aan de hand van een vergelijking van het sedimentaanbod (op basis van het langtransport) ter hoogte van de Zwinmond voor de referentiesituatie en de redelijke alternatieven. De evolutie in het Zwin zelf is afhankelijk van het sedimentaanbod en de snelheid van zeespiegelstijging waarvoor verdere monitoring en onderzoek is vereist om dit op te volgen. Wat betreft het sedimentaanbod blijkt uit het onderzoek dat beide redelijke alternatieven tot een gelijkaardig langtransport en dus gelijkaardige randvoorwaarde aan sediment leiden als de referentiesituatie. Belangrijk hierbij is dat dit geldt wanneer een aangepast strandhoofdenveld aanwezig is aan de oostkust, zoals opgenomen in de redelijke alternatieven. Zonder strandhoofden aan de oostkust stijgt het sedimentaanbod ter hoogte van de Zwinmond.

Slibgedrag

- Op basis van de analyse dat de redelijke alternatieven niet leiden tot wijzigingen in hydrodynamische condities (snelheden, bodemschuifspanningen) wordt beoordeeld dat de redelijke alternatieven niet leiden tot veranderingen in slibhuishouding.

11.2.4 Morfologische impact van strandprofiel, vooroever en zeebodem (Hoofdstuk 7)

- De redelijke alternatieven leiden tot verandering in morfologie in de kuststrook, maar niet tot interactie met offshore zandbanken op de tijdschalen die worden gemodelleerd. Ter hoogte van de kustaangehechte banken zoals de Broersbank, Stroombank en aan de Oostkust worden gelijkaardige trends in morfologische evoluties waargenomen in de referentiesituatie en de redelijke alternatieven. De evolutie op lange termijn en modelontwikkelingen met betrekking tot evolutie van het kustprofiel maken deel uit van de kennisleemtes en verder onderzoek.
- Strandhoofden hebben een lokale impact op de morfologie in de kustnabije zone met aanzanding en erosiezones tot gevolg. Een gedetailleerd ontwerp van strandhoofdenveld is nodig in de projectfase.

11.2.5 Windgedreven (eolisch) zandtransport (Hoofdstuk 8)

- Er wordt een gelijkaardig maximaal windgedreven zandtransport en potentieel voor duingroei gevonden voor de redelijke alternatieven.
- Uit monitoring van bestaande duinen en living labs blijkt de potentie voor natuurlijke duingroei aanwezig op voorwaarde van voldoende ruimte, aangepast beheer en voldoende sediment beschikbaar.
- Tussen alternatief 'Ter Plaatse' en 'Zeewaarts' is er een verschil in ruimte wat zich vertaalt in meer potentie voor natuurlijke duingroei en natuurlijke herstel (na storm) in alternatief 'Zeewaarts' in vergelijking met alternatief 'Ter Plaatse'.
- Wat betreft de impact van het windgedreven transport op het onderhoud is er een verschil tussen type kustveiligheidsmaatregelen. Een behoud of toename van het zandtransport wordt positief ingeschat voor duinsystemen omwille van de zandbuffer die wordt opgebouwd, maar negatief bij harde maatregelen omwille van het onderhoud van de wandelpaden en boulevard.

11.2.6 Benodigde zandvolumes (Hoofdstuk 9)

Aanleg

- Grootteordes voor aanlegvolumes zijn ingeschat voor de redelijke alternatieven. Daarbij is er bij 3 m zeespiegelstijging circa dubbel zo veel aanlegvolume nodig voor alternatief 'Ter Plaatse' in vergelijking met alternatief 'Zeewaarts'. Een deel van het benodigde aanlegvolume kan mogelijk worden opgebouwd door natuurlijke processen.
- Wat betreft alternatief 'Zeewaarts' zijn er verschillen in de opbouw van het benodigde aanlegvolume in tijd tussen 'Zeewaarts - in één sprong' (grootste volume bij 1 m zeespiegelstijging) en 'Zeewaarts - in stapjes'(geleidelijke opbouw).
- De aanlegvolumes zijn gebaseerd op de toepassing van een gelijkaardige, courant toegepaste, korrelgrootte. Bij variatie van de korrelgrootte is de impact op het volume van het natstrand groot. Dit geldt voor alle redelijke alternatieven.

Onderhoud

- Als input voor de kost- en volumeinschattingen worden dezelfde grootteordes aan onderhoud/jaar ingeschat voor alle redelijke alternatieven.
- Wat betreft het onderhoud gelinkt aan langtransport zijn er potenties om dit te reduceren in het alternatief 'Zeewaarts' in vergelijking met 'Ter Plaatse'. Gezien de onzekerheden vraagt deze potentie echter verder onderzoek in combinatie met de mogelijke dwarse verliezen op lange termijn.
- Wat betreft het onderhoud gelinkt aan de dwarse verliezen zijn deze bepaald voor het dwarse verlies bij storm. Uit onderzoek blijkt tussen de redelijke alternatieven beperkt verschil in dwarse verliezen. Verder analyses bevestigen daarbij het belang van de nabijheid van getijdengeulen in de dwarse verliezen en het ontwerp van de aansluiting van de vooroever naar de zeebodem, zonder daarbij de verschillen tussen de alternatieven en de referentiesituatie te beïnvloeden. Het dwarse verlies op lange termijn is nog onderdeel van lopende onderzoeken (MOZES project).
- Korrelgrootte heeft een effect op onderhoud. Dit geldt voor beide redelijke alternatieven. De mate van het effect en de modelcapaciteiten om dit te bestuderen vragen verder onderzoek in vervolgfase.

- Bij toepassing van strandhoofden als erosiebeperkende maatregel is het mogelijk door in een beperkter aantal zones dan vandaag, gekenmerkt door de sterkste erosietrends, de strandhoofden aan te passen of vernieuwen het onderhoud (voor wat betreft het langstransport) te reduceren. De ontwerpstrategie en feitelijk ontwerp van de strandhoofden zijn voor de projectfase.
- Het onderhoud van de vaargeulen om het bodempeil te behouden blijkt voor alle redelijke alternatieven en de bijhorende havenaanpassingen gelijkaardig. Daarbij daalt het onderhoud bij zeespiegelstijging voor deze ontwerpstrategie. Verder onderzoek naar de meest gewenste strategie is nodig in de toekomst waarbij ook kan worden gekozen in plaats van het bodempeil, de diepgang te handhaven. Daarbij zullen economische ontwikkelingen in de havens en scheepsontwikkelingen wat betreft diepgang in de toekomst een rol spelen.

11.3 Samenvatting

- Wat betreft de keuze tussen alternatieven op strategisch niveau zijn er vanuit het hydromorfologisch onderzoek geen belangrijke verschillen tussen de alternatieven 'Ter Plaatsse' en 'Zeewaarts' met uitzondering van:
 - Het benodigde aanlegvolume voor zand
 - Het verschil in beschikbare ruimte om maatregelen zoals duinen mogelijk te maken.
- In een volgende fase, op projectniveau, zijn er meer gedetailleerde studies en onderzoeken nodig zowel voor aanleg om de kustbeschermingsmaatregelen te ontwerpen binnen de gekozen ruimte als voor het onderhoud ervan.
- De studie en het onderzoek in Kustvisie was erop gericht om een keuze op strategisch niveau mogelijk te maken. Tijdens en door het uitvoeren van dit studiewerk zijn kennisleemtes geïdentificeerd voor verder onderzoek, wat zal toelaten om het gekozen redelijk alternatief verder succesvol te ontwerpen en verfijnen. Waar mogelijk kunnen pilot cases of living labs (wanneer goed ontworpen) daarbij tot verdere inzichten leiden.

12 Referenties

Afdeling Kust (2009). Kustlijnkaarten - Evolutie van het strandvolume en verschuiving van de hoog- en laagwaterlijn tot 2007.

Agentschap Maritieme Dienstverlening & Kust (2021). Tien jaar Masterplan Kustveiligheid. Tien jaar investeren in een veilige, aantrekkelijke en natuurlijke kust.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2021a). Kustvisie - Referentiesituatie hydromorfologie. I/RA/11630/21.203/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2021b). Kustvisie - Eolisch transport: modelopzet en validatie. I/RA/11630/21.204/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2021c). Kustvisie - Synthese Optiespectrum Kustlijnen. I/RA/11630/21.189/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2021d). Kustvisie - Oprekbaarheid MPKV. I/RA/11630/21.188/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2022a). Kustvisie - Evaluatiekader. I/RA/11630/21.192/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2022b). Kustvisie - Lange termijn kustlijnevolutie van de Belgische kust - Opzet Kustlijnmodel. I/RA/11630/22.058/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2022c). Kustvisie - Afwegingsnota na optimalisatie. I/RA/11630/22.199/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2022d). Kustvisie - Ontwerp havens. I/RA/11630/21.187/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2022e). Kustvisie - Synthesenota. I/RA/11630/22.209/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2022f). Kustvisie - Referentiesituatie kustveiligheid. I/RA/11630/21.184/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2022g). Kustvisie - Achtergrond Hydromorfologisch Systeem. I/RA/11630/22.127/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023a). Kustvisie - Strandzoneatlas. I/RA/11630/23.008/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023b). Kustvisie - Kustlijnevolutie alternatieven. I/RA/11630/23.048/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023c). Kustvisie - Hydromorfologische modellering geoptimaliseerde alternatieven. I/RA/11630/23.007/KCH/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023d). Kustvisie - Hydromorfologische modellering alternatieven met strandhoofden. I/RA/11630/23.200/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023e). Kustvisie - Eolisch transport referentie en alternatieven. I/RA/11630/23.049/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023f). Kustvisie - Dwarse verliezen referentie en alternatieven. I/RA/11630/23.050/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023g). Investigating the impact of large coastal profile seaward shifts and the presence of tidal gullies on sediment transport. I/RA/11630/23.149/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023h). Kustvisie - Natuurlijke transporten en aangroei stranden en duinen. I/RA/11630/23.205/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023i). Kustvisie - Resultaten economische analyse. E/RA/11630/23.014/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023j). Kustvisie - Ontwerp zeekering. I/RA/11630/21.186/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023k). Kustvisie - Havenzoneatlas. I/RA/11630/23.009/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis, Econopolis) (2023). Kustvisie - Methodiek economische analyse. E/RA/11630/23.001/ABO/.

Dujardin A., Houthuys R., Rübke, B., Van der Werf J., de Swart H.E., Biernaux V., De Maerschack B., Dan S. & Verwaest T. (2023). WL Rapporten. MOZES – Research on the Morphological Interaction between the Sea bottom and the Belgian Coastline: Working year 1. Flanders Hydraulics Research, WL2023R20_079_1.

Houthuys R. (2012). Morfologische trend van de Vlaamse kust in 2011. Agentschap Maritieme dienstverlening en Kust. Afdeling Kust.

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

IMDC (2010). Geïntegreerd Kustveiligheidsplan – DO4: Kustmorfologie en onderhoud. I/RA/11310/10.003/ABO.

Studieteam Hoogtij(d) (IMDC, Arcadis en ORG) (2023). Kustvisie - Onderzoeksnota strategisch beleidsplan. Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken i.s.m. Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust.

Vandebroek R., Dan S., Vanlede J., Verwaest T. & Mostaert F. (2017). Sediment Budget for the Belgian Coast: Final report. Flanders Hydraulics Research: Antwerp & Antea Group., 12_155_1.

Verwaest T., De Roo S., Eloit K., Dan S. & Vanlede J. (2023). Kustvisie: Revisie van de rapportage in openbaar onderzoek. Versie 4.0. WL Rapporten, 15_115_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Colofon

COPYRIGHT

Copyright © 2023, Alle rechten voorbehouden. Deze publicatie of delen mogen niet worden gekopieerd, gereproduceerd of verzonden in welke vorm of op welke manier dan ook, digitaal of anderszins zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Verwijzing naar een deel van deze publicatie dat tot verkeerde interpretatie kan leiden, is verboden.

OMSLAG

Hoogtij(d)

PUBLICATIEDATUM

22/11/2023

UITGEVER

ir. Annelies Bolle
Senior ingenieur Projectleider Kustvisie – consortium Hoogtij(d)
+32 479 92 03 08, Annelies.bolle@imdc.be

OPMAAK

Hoogtij(d)



Kust
visie