

Kust  
visie

# Kustvisie

Zoutindringing alternatieven

22 november 2023

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	12/09/2023	Concept	JWA, VBA	JAC, API	ABO
2.0	22/11/2023	Omzetten lay-out en verwerking opmerkingen	JWA, JAC	VBA	ABO

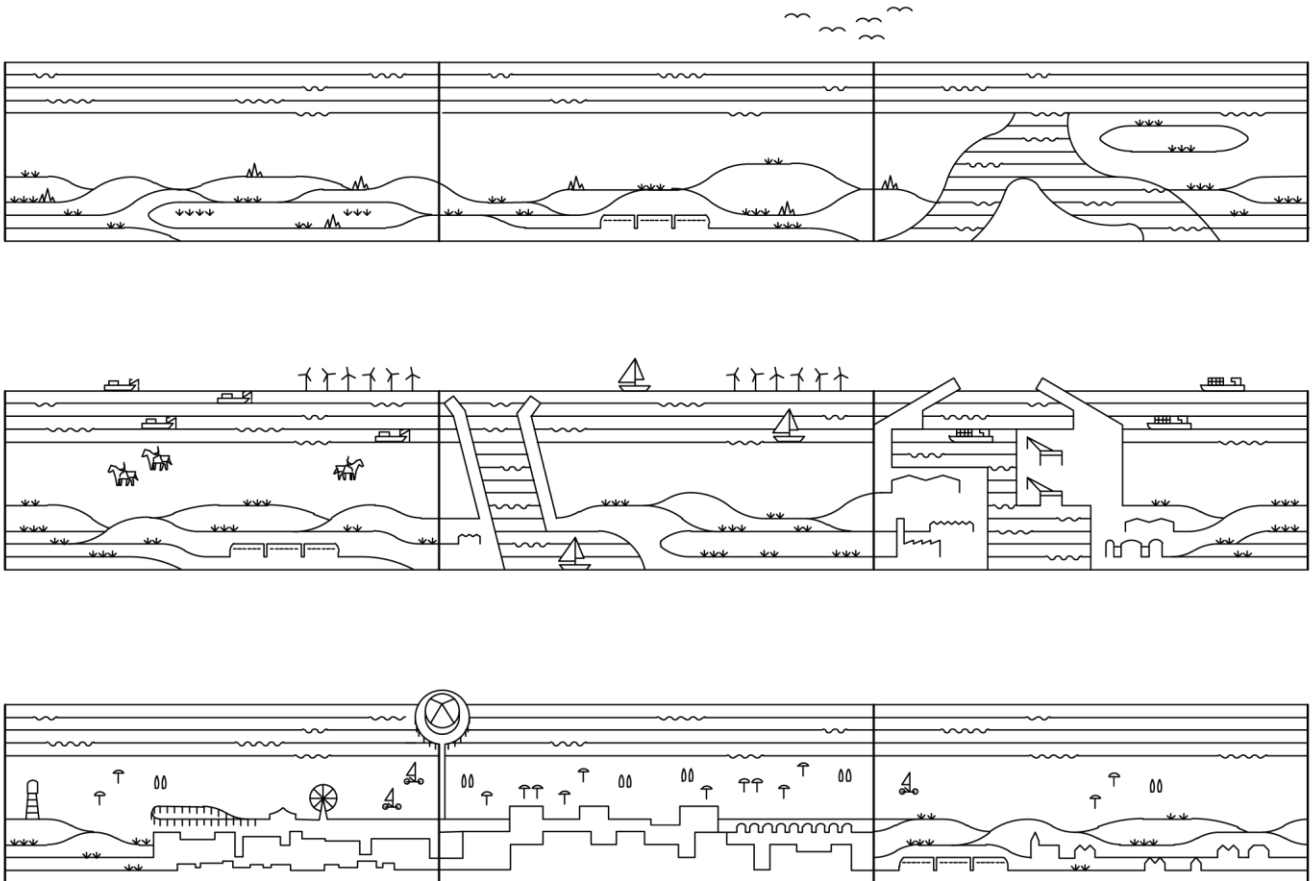
*De studies en het onderzoek in Kustvisie zijn uitgevoerd ter ondersteuning van het opstellen van het 'strategisch beleidsplan Kustvisie'. Het doel is daarbij een kansrijk kustbeschermingslint af te bakenen, dat is de ruimte waarbinnen de toekomstige zeewering kan worden ontworpen en uitgevoerd om de 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.*



# Zoutindringing alternatieven





# Inhoud

1	Inleiding	11
1.1	De opdracht	11
1.2	Doel van het rapport	11
1.3	Leeswijzer	12
2	Overzicht redelijke alternatieven	14
3	Referentiesituatie	17
4	Invloed reliëfwijziging	19
4.1	Modelopbouw	20
4.2	Modelresultaten	21
4.2.1	Invloed op de grondwaterstanden	21
4.2.2	Invloed op de zoet-zout verdeling grondwater	23
4.3	Discussie invloed maatregelen	25
4.3.1	Zeewaartse uitbreiding	25
4.3.2	Uitbreiding ter plaatse	25
5	Invloed alternatieve maatregelen	28
6	Conclusies	30
7	Referenties	32
<b>Bijlages</b>		
	Bijlage A Reliëfwijzigingen	33

## Bijlage B Resultaten hydrodynamisch model 36

B.1	Contourkaarten stijghoogteverschillen	37
-----	---------------------------------------	----

## Bijlage C Resultaten zouttransport 39

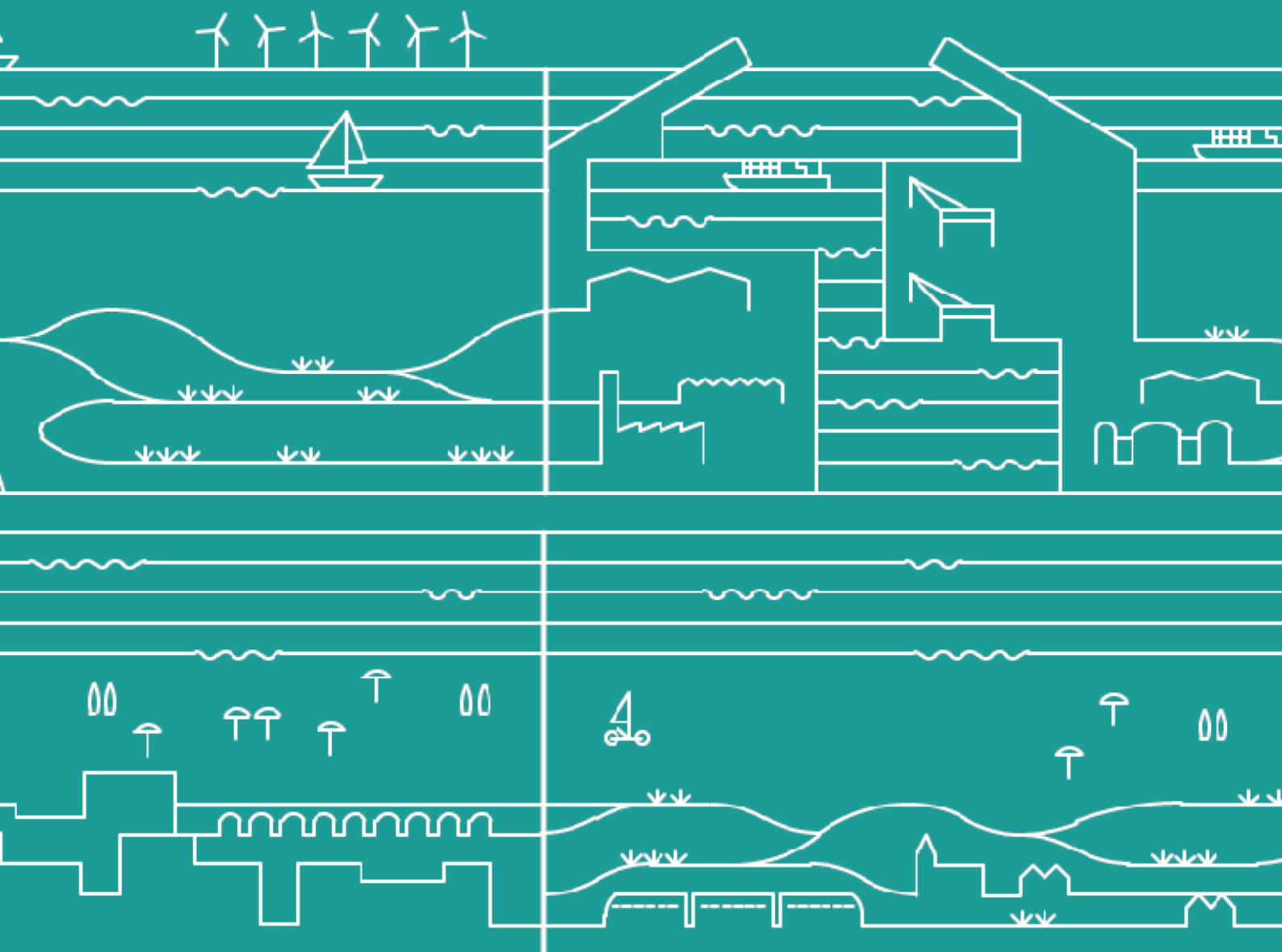
C.1	Contourkaarten verziltingsdiepte	40
C.2	Dwarsprofielen berekende zoutconcentraties	44
C.2.1	Dwarsprofiel 10	45
C.2.2	Dwarsprofiel 20	47
C.2.3	Dwarsprofiel 40	49
C.2.4	Dwarsprofiel 60	52

## Lijst van figuren

Figuur 2-1: Overzicht van de ruimte en opbouw van de redelijke alternatieven ‘Ter plaatse’ (links) en ‘Zeewaarts’ (rechts). Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022a).	15
Figuur 2-2: Overzicht van de mogelijke maatregelen en aanpassingen in duingebieden voor alternatief ‘Ter plaatse’ (links) en alternatief ‘Zeewaarts’ (rechts). Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2022a).	15
Figuur 4-1: Iscontouren 2,4 en 5,4 m TAW van het maaiveld in de huidige toestand (blauwe contouren) en met zeewaartse stranduitbreiding (rode contouren), zoom op rekenrooster ten westen van havengeul te Nieuwpoort	19
Figuur 4-2: Dwarsprofiel 10 met weergave van het huidige maaiveld (DHM_REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV_ZWU), de waterlijn zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025)	20
Figuur 4-3: zoom op rekenrooster ten westen van havengeul te Nieuwpoort	20
Figuur 4-4: Positie dwarsprofielen 10-20-40-60	22
Figuur 4-5: Dwarsprofiel 10 met weergave van het huidige maaiveld (DHM_REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV_ZWU), de grondwaterstanden zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025)	22
Figuur 4-6: Dwarsprofiel 20 met weergave van het huidige maaiveld (DHM_REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV_ZWU), de grondwaterstanden zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025)	22
Figuur 4-7: Dwarsprofiel 40 met weergave van het huidige maaiveld (DHM_REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV_ZWU), de grondwaterstanden zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025)	23
Figuur 4-8: Dwarsprofiel 60 met weergave van het huidige maaiveld (DHM_REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV_ZWU), de grondwaterstanden zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025)	23

Figuur 4-9: DP 10 met weergave van het huidige maaiveld (DHM.REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV\_ZWU/ALT\_L+3), het maaiveld na uitbreiding ter plaatse (MV\_ALT\_S+3), de grondwaterstanden zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025) 26





# Inleiding

# 1 Inleiding

## 1.1 De opdracht

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 langetermijnaanpak 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 waarin de invloed van de duinmaatregelen uit de redelijke alternatieven op de zoutindringing via grondwater wordt onderzocht.

## 1.2 Doel van het rapport

Verzilting van watersystemen via grondwater is het fenomeen waarbij zoet water zout(er) wordt. Hoe gemakkelijk het zoute zeewater naar het achterland kan stromen bepaalt de mate van zoutindringing. Dit wordt onder meer gestuurd door het verschil in waterstanden op zee en in het achterland, maar ook door welk type barrière er aanwezig is tussen zee en achterland. De topografie en geologie in de vorm van waterdoorlatendheid van de grondlagen aanwezig op de grens tussen land en zee, de plek waar ook de kustbescherming zich bevindt, bepaalt mee de zoutindringing.

Voor het strategisch beleidsplan Kustvisie werd eerder in kaart gebracht welke effecten de stijgende zeespiegel heeft op de zoutindringing (op grondwaterstanden, grondwaterstromingen en zoet-zout evenwichten). Met een grondwatermodel werden grondwaterstanden, grondwaterstromingen en zoet-zout evenwichten berekend voor de referentiesituatie over een periode van 100 jaar (2025 – 2125) zonder zeespiegelstijging en voor drie verschillende zeespiegelstijgingsniveaus van +1 m, +2 m en +3 m. De resultaten van deze berekeningen zijn gerapporteerd in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a) en tonen het impactgebied voor verzilting via grondwater ten gevolge van de zeespiegelstijging.

In dit rapport wordt bekeken welke potentie (nieuwe) duinen, één van de mogelijke types kustbeschermingsmaatregelen, kunnen hebben op de zoutindringing via grondwater. Het grondwatermodel is opgebouwd op regionale schaal en maakt hiervoor eveneens gebruik van datasets die voor het volledige studiegebied beschikbaar zijn. Zowel wat betreft de invoer van het model (afbakening van de hydrogeologische formaties, peilbeheer in de polders, pompregimes van de grondwaterwinningen etc.) als de meetdata (metingen van grondwaterstanden) waaraan het model wordt afgeijkt.

Gelet op de regionale schaal waarop het model werd opgesteld kan het modelresultaat lokaal afwijken van de metingen. Het modelresultaat is echter richtinggevend op schaal van het gekozen modeldomein en geeft een goede kijk op de globale processen en evoluties. Om verder onderzoek en modelontwikkeling te ondersteunen wordt wel aangeraden het monitoringsnetwerk uit te breiden met specifieke aandacht voor duinen en uitwateringspunten.

De zeewering bevindt zich op de grens tussen land en zee, en kan dus mee een effect hebben op de zoutindringing. Eén van de mogelijke types kustbeschermingsmaatregelen is de aanleg van nieuwe duinen, of het verder uitbreiden van bestaande duinen. Naast het feit dat duinen adaptief zijn, hebben ze ook tal van ecologische voordelen: ze vormen een habitat voor heel wat dieren en planten en ze capteren het zoet water van neerslag.

Door het capteren van de neerslag wordt in het grondwater een (zoetwater)bel opgebouwd die een buffer kan vormen tegen de zoutindringing in de polders ten gevolge van de stijgende zeespiegel.

De mate waarin de nieuwe duinen (als mogelijke maatregelen in de alternatieven voor de strandzones) kunnen bijdragen aan de beheersing van de zoutindringing via grondwater is berekend met een grondwaterstromingsmodel met een zeewaartse uitbreiding van de duinen. Door vergelijking van de referentietoestand met de toestand na creatie of uitbreiding van de duinen, wordt inzicht geboden in het potentieel dat duinen hebben om zoutindringing te beperken. Voor deze berekeningen zijn de grootteorde dimensies van de duinen zoals bepaald in het bouwtechnisch en ruimtelijk ontwerpend onderzoek gebruikt (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b), zodat met realistische dimensies wordt gewerkt.

Zoutindringing van het oppervlaktewater (verzilting) kan ook plaats vinden door zoutindringing ter hoogte van de verbindingen van waterlopen met zee. Deze interactie van de waterlopen vindt plaats ter hoogte van de lozingspunten in de havens. De alternatieven in de strandzones hebben hier geen invloed op. Voor de invloed van de havenalternatieven op het zoutgehalte in het havengebied wordt verwezen naar de evaluaties in het plan-MER (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b).

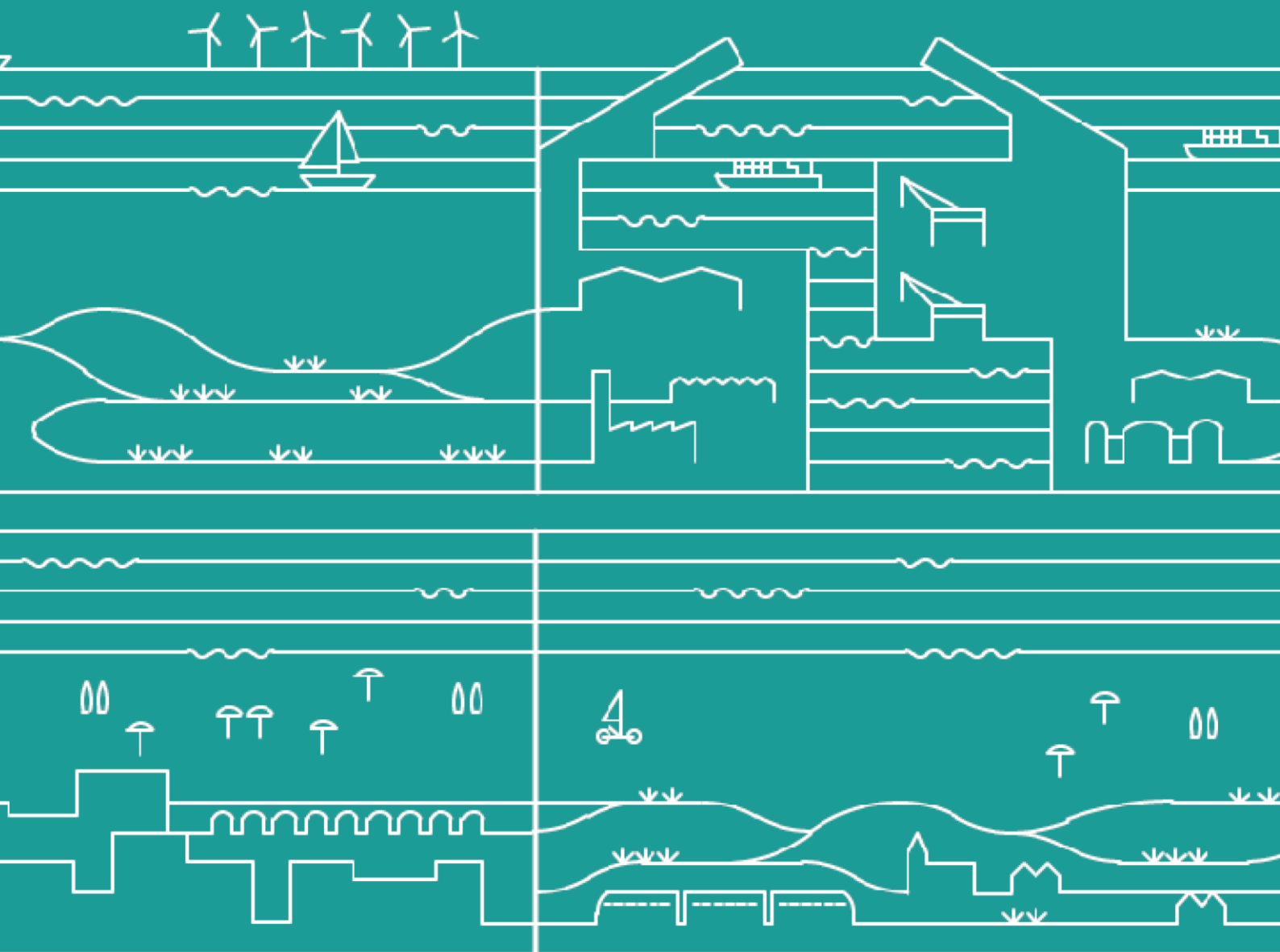
### **1.3 Leeswijzer**

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de bestudeerde redelijke alternatieven en de bijhorende mogelijke maatregelen.

In hoofdstuk 3 “Referentiesituatie” worden kort de resultaten uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a) geschetst en de belangrijkste sturende factoren opgesomd, die aanleiding geven tot een landinwaartse propagatie van zeewater.

In hoofdstuk 4 worden de nodige aanpassingen weergegeven om de impact van zeewaartse uitbreiding van de duinen door te rekenen met behulp van een grondwaterstromingsmodel. De modelresultaten worden geëvalueerd op de impact op grondwaterstijghoogtes en impact van deze gewijzigde grondwaterstroming op de bewegingen van het aanwezige zoute grondwater.

De begrote effecten van zouttransport in het grondwater zijn echter een neveneffect van de zeewaartse uitbreiding van de duinen. Andere, doelgerichtere maatregelen om zoutindringing te beperken worden opgesomd in hoofdstuk 5. Deze vallen echter buiten de scope van het strategisch beleidsplan Kustvisie.



# Overzicht redelijke alternatieven

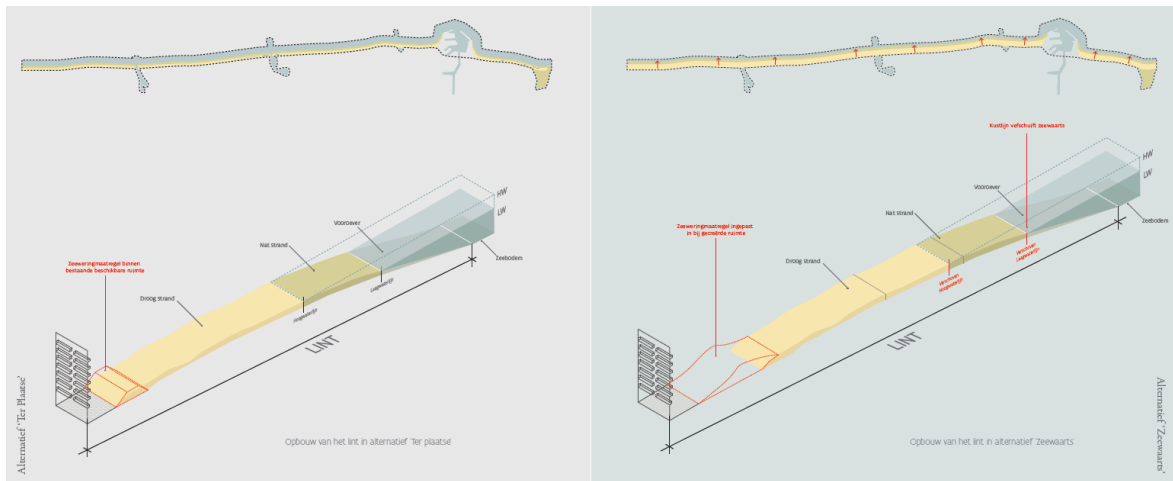
## 2 Overzicht redelijke alternatieven

Als resultaat van het cocreatie-traject zijn de kansrijke geoptimaliseerde alternatieven Small (S), Medium (M) en Large (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**:

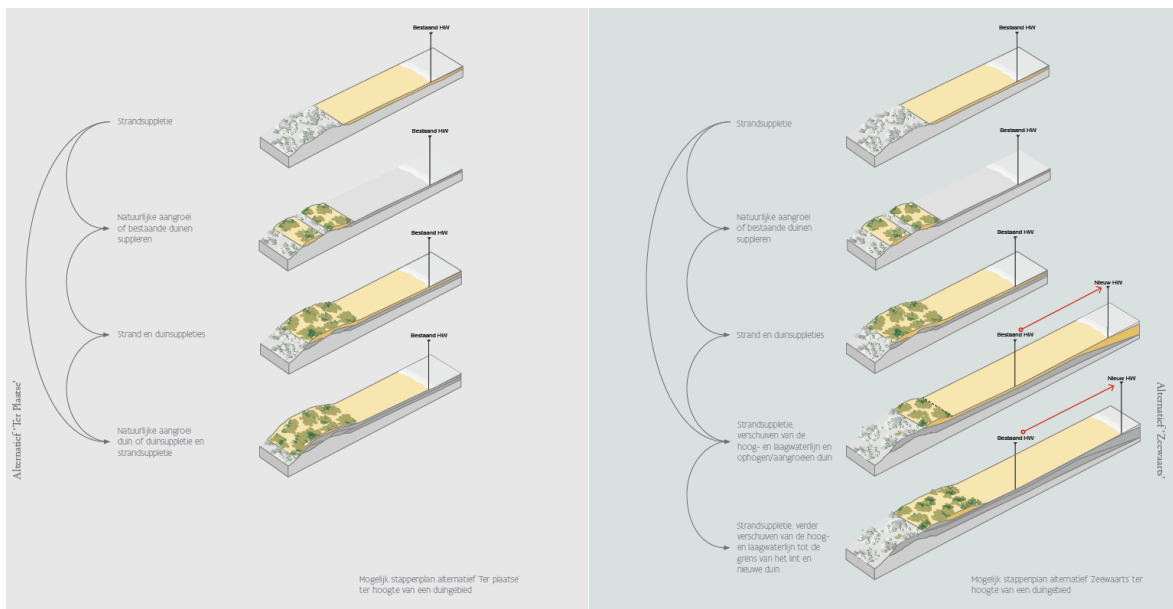
- **‘Ter plaatse’**. Bij alternatief ‘Ter plaatse’ blijven de huidige hoog- en laagwaterlijn waar die vandaag zijn. Het strand en de vooroever worden gesuppleerd en stelselmatig opgehoogd bij zeespiegelstijging. De zeeweringsmaatregelen worden met andere woorden uitgevoerd binnen de zone die er vandaag 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. Het strand en de vooroever worden niet alleen opgehoogd bij zeespiegelstijging, maar ook zeewaarts uitgebreid. 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, Arcadis), 2023c) en in de onderzoeksnota (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023d).

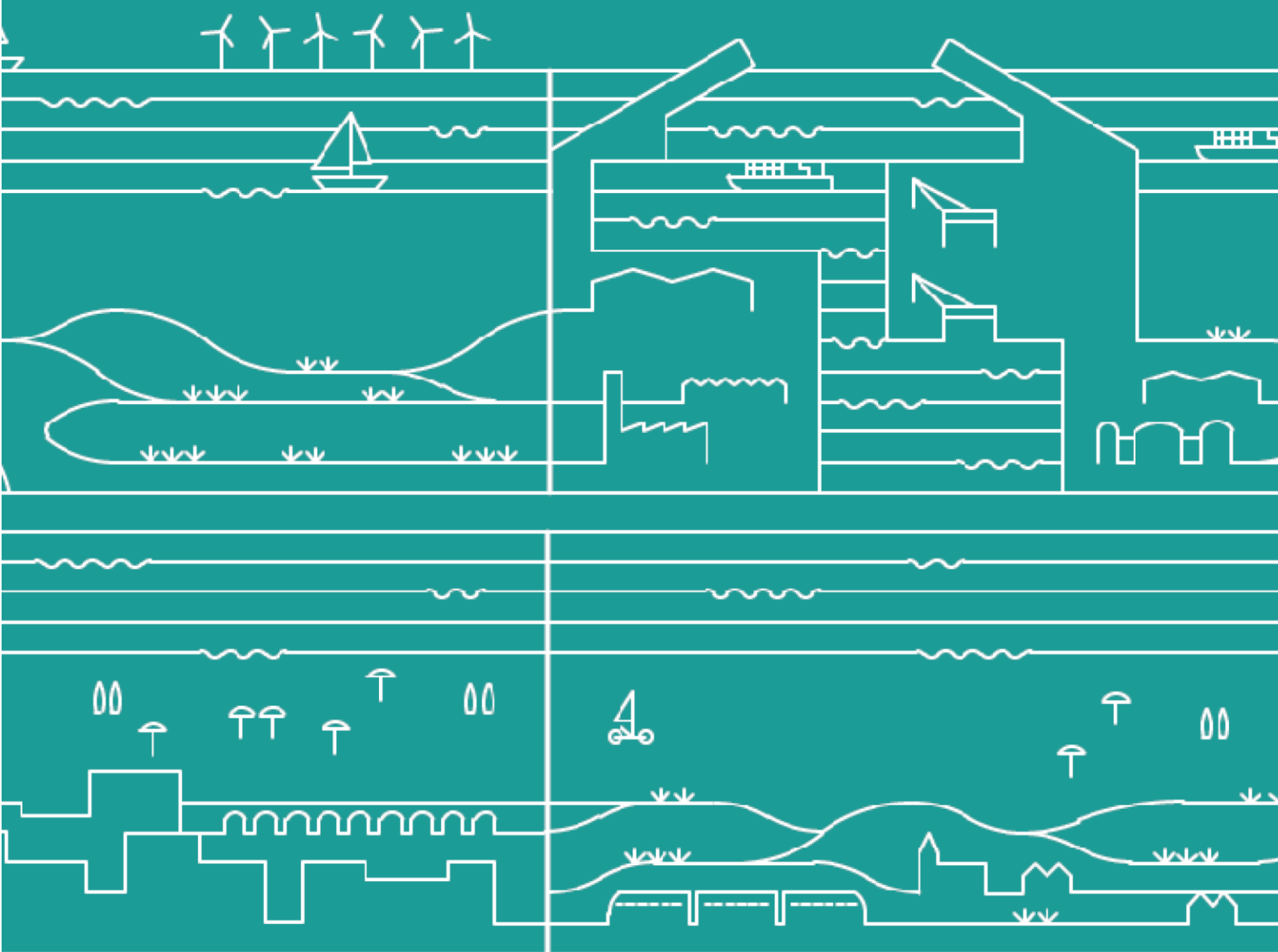
Wat betreft de mogelijke maatregelen in de twee redelijke alternatieven wordt verwezen naar de conceptuele schetsen die hieronder zijn opgenomen uit de synthesesnota (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c). Figuur 2-1 geeft het verschil in ruimte tussen alternatief ‘Ter plaatse’ en ‘Zeewaarts’. Mogelijke maatregelen ter hoogte van duingebieden worden getoond in Figuur 2-2. In beide alternatieven zijn strandsuppleties nodig. In alternatief ‘Ter plaatse’ dienen de strandsuppleties om de kustlijn op zijn huidige positie te behouden bij zeespiegelstijging. De bestaande duingebieden worden versterkt door natuurlijke aangroei of door suppleties. In alternatief ‘Zeewaarts’ kunnen ten opzichte van alternatief ‘Ter plaatse’ bijkomende strandsuppleties worden uitgevoerd om de kustlijn zeewaarts te verplaatsen. Dit zorgt voor een verbreding van het strand bij zeespiegelstijging en de duinen kunnen ook zeewaarts uitbreiden. Het alternatief dient daarbij minstens de maatregel te bevatten om beschermd te zijn tegen de maatgevende storm. De dimensies van dergelijke duinmaatregelen zijn bestudeerd in het ontwerpverslag zeewering (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023b). De zeewerende duin die bestand is tegen de maatgevende storm heeft daarbij een typische breedte van 40 à 60 m.



Figuur 2-1: Overzicht van de ruimte en opbouw van de redelijke alternatieven 'Ter plaatse' (links) en 'Zeewaarts' (rechts). Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c).



Figuur 2-2: Overzicht van de mogelijke maatregelen en aanpassingen in dungebieden voor alternatief 'Ter plaatse' (links) en alternatief 'Zeewaarts' (rechts). Uit (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023c).



# Referentiesituatie

### 3 Referentiesituatie

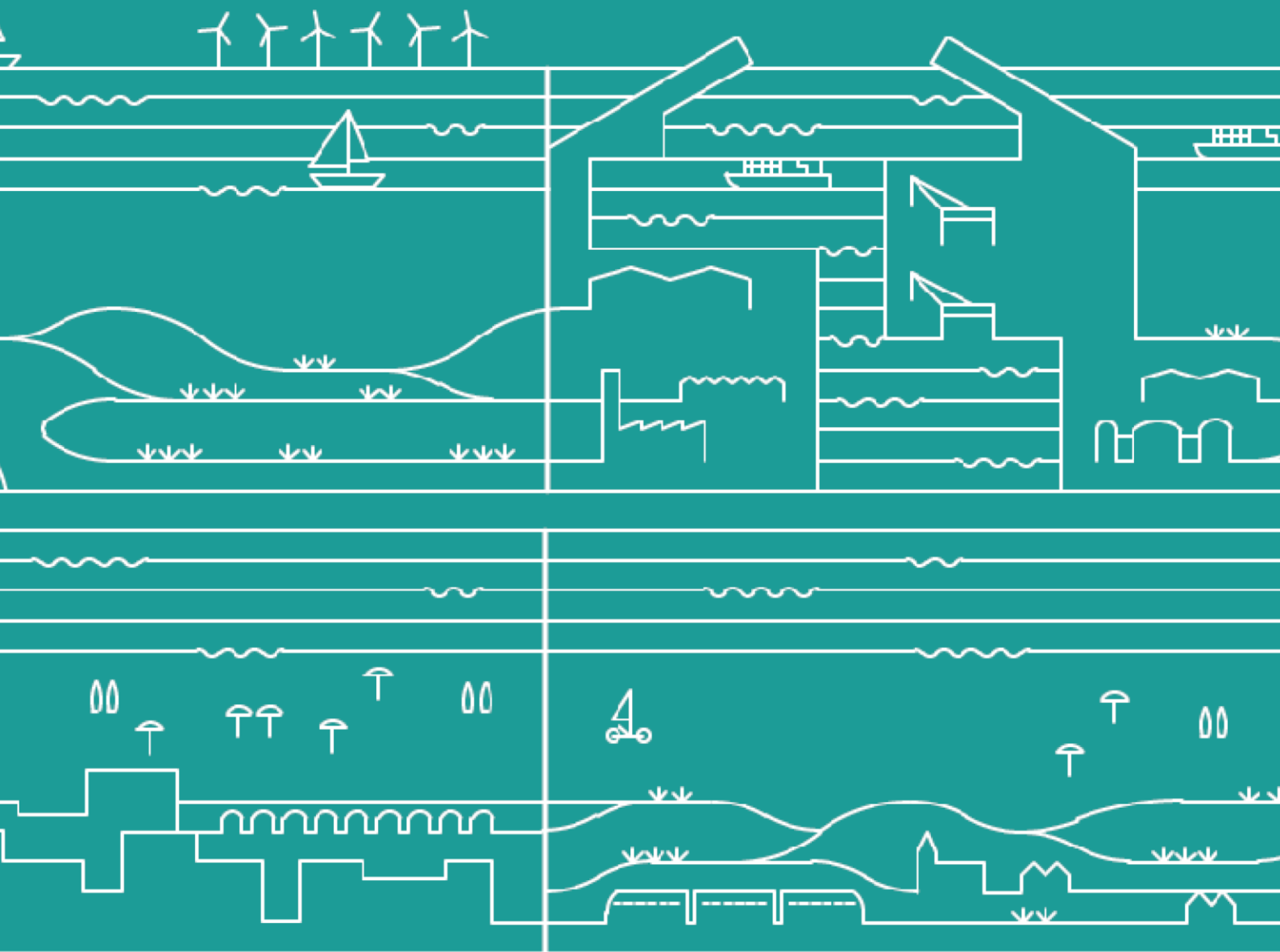
De referentiesituatie werd behandeld in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a). Aan de hand van een tijdsafhankelijk en dichtheitsafhankelijk grondwatermodel werd de impact berekend van de zeespiegelstijging op de grondwaterstanden en de zoet-zout verdeling van het grondwater. Er werd een progressieve verhoging van het zeeniveau beschouwd met 1 m, 2 m en 3 m.

In deze modeloefening werd enkel de zeespiegelstijging beschouwd, er werd abstractie gemaakt van andere, mogelijk meer impactvolle, invloeden van klimaatwijziging zoals een verminderd aanbod van (zoet) neerslagwater voor aanvulling van grondwater. De peilen van de waterlopen in de kanalen en polderwaterlopen werd niet gewijzigd. Ook werden eventuele beschermingsmaatregelen tegen de zeespiegelstijging, zoals een wijziging van de kustmorfologie en kunstwerken in de havens, niet in aanmerking genomen. De havenmonden (Nieuwpoort tot Ganzepootsluizen, Oostende tot Sas Slijkens etc.) blijven met andere woorden in verbinding staan met de zee.

Of de stijging van de zeespiegel een impact heeft, hangt af van een aantal factoren:

- Topografie van het strand. Door het ophogen van het strand wordt deze randvoorwaarde verder zeewaarts verplaatst. Wat de mogelijke impact hiervan is wordt in hoofdstuk 4 behandeld aan de hand van modelresultaten.
- Aan de westkust zorgen hoge en brede duinen voor een opbolling van overwegend zoet grondwater. Samen met de relatief dunne watervoerende laag wordt hierdoor propagatie van de stijgende grondwaterdruk uit de zee afgeblokt. Er worden zeer beperkte wijzigingen van de zoutconcentraties berekend.
- Naar het oosten stijgt de dikte van de watervoerende laag en is de duinengordel ook minder breed ontwikkeld dan aan de westkust. Een zeespiegelstijging kan hier het zout water daardoor verder landinwaarts laten stromen en het ondiep grondwater verder verzilt. Over een afstand van 2 km landinwaarts wordt een stijging van het zoutfront berekend van meer dan 1 meter.





# Invloed reliëfwijziging

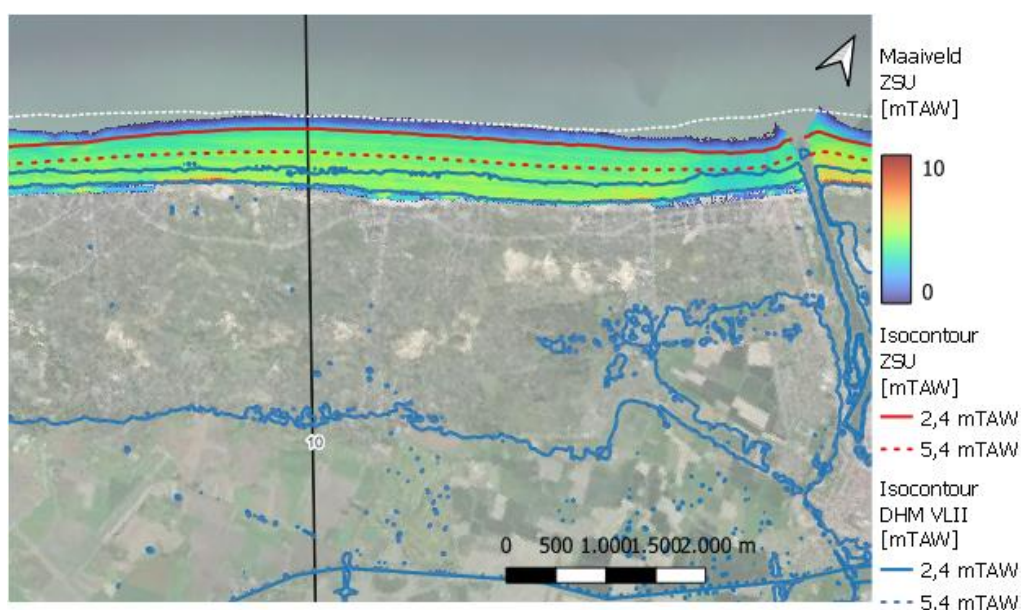
## 4 Invloed reliëfwijziging

De reliëfwijziging door de zeewaartse stranduitbreiding wordt in Figuur bijlage A-1 en Figuur bijlage A-2 geduid aan de hand van de het huidige maaiveldpeil volgens het Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II (Figuur bijlage A-1) en het maaiveld in de zone van de zeewaartse stranduitbreiding (Figuur bijlage A-2). In Figuur bijlage A-2 worden eveneens de isocontouren weergegeven volgens het DHM en de ligging van de hoogtelijnen 2,4 en 5,4 m TAW. In Figuur 4-1 wordt een zone ten westen van Nieuwpoort in meer detail weergegeven (uit Figuur bijlage A-2).

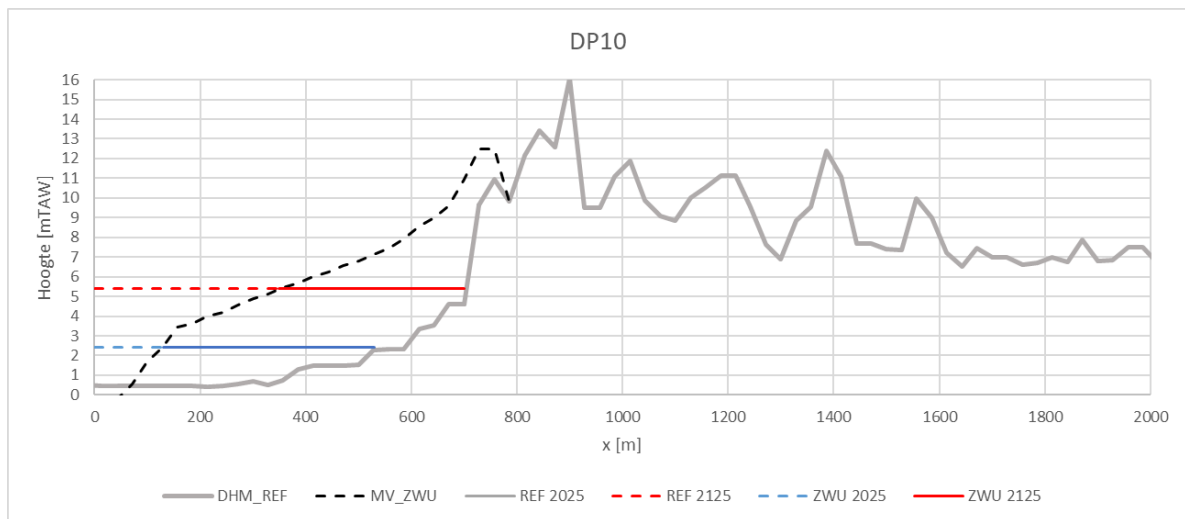
Het maaiveldpeil volgens de reliëfwijziging door de zeewaartse uitbreiding wordt in Figuur 4-2 vergeleken met het huidige maaiveldpeil volgens DHM VL II in een dwarprofiel (DP10) ten westen van Nieuwpoort.

Een hoogte van 2,4 m TAW komt overeen met het huidige gemiddelde zeeniveau, 5,4 m TAW is het gemiddelde zeeniveau bij een stijging van de zeespiegel met 3,0 m. Door ophogen van het strand wordt ingegrepen op 2 belangrijke sturende factoren van de grondwaterstroming:

- De positie van de waterlijn bij gemiddeld tij wordt in het huidige klimaat (2,4 m TAW) en bij de verhoging van het zeeniveau ca. 300 meter zeewaarts verplaatst.
- De zone waarvoor een vaste concentratie gelijk aan zeewater (35 g/l zout) wordt opgelegd wordt eveneens zeewaarts verplaatst, gelijk aan de verplaatsing van deze hydrodynamische randvoorwaarden.
- De zeewaartse stranduitbreiding wordt uitgevoerd met een ophoging van het maaiveld van minimaal 6 mTAW. Dit is hoger dan de berekende grondwaterstanden in de duinen dicht tegen de zeerand. Met deze stranduitbreiding wordt een maaiveldhoogte gerealiseerd waar neerslag de mogelijkheid wordt geboden om het grondwaterreservoir aan te vullen, en zodoende een extra druk kan worden gevormd tegen de druk van het zeewater.



Figuur 4-1: Isocontouren 2,4 en 5,4 m TAW van het maaiveld in de huidige toestand (blauwe contouren) en met zeewaartse stranduitbreiding (rode contouren), zoom op rekenrooster ten westen van havengeul te Nieuwpoort



Figuur 4-2: Dwarsprofiel 10 met weergave van het huidige maaiveld (DHM\_REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV\_ZWU), de waterlijn zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025)

## 4.1 Modelopbouw

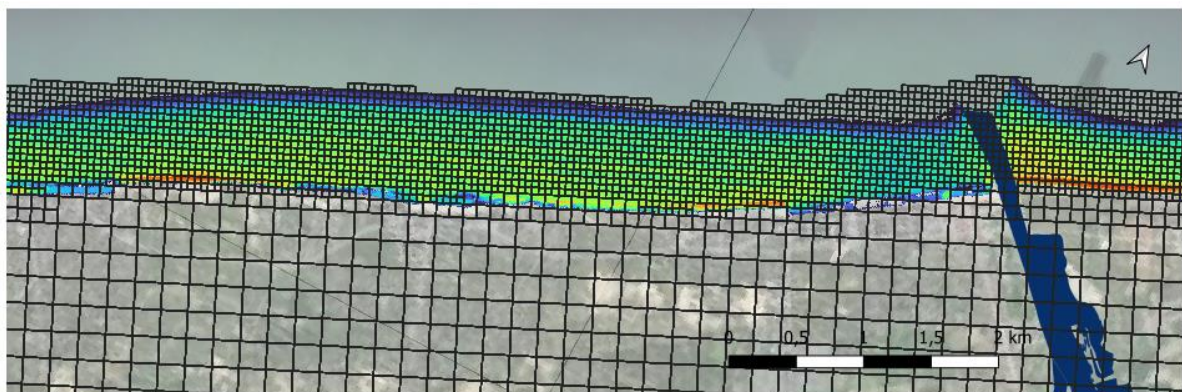
Om de invloed van de voorgestelde reliëfwijziging te duiden worden 2 modellen doorgerekend (mét en zonder zeewaartse stranduitbreiding) waar telkens een progressieve zeespiegelstijging van 3 m wordt opgelegd (0 m stijging in 2025 oplopend tot 3 m stijging in 2125):

- Referentietoestand model REF3: Huidig maaiveld (dus zonder zeewaartse stranduitbreiding) met zeespiegelstijging vanaf 2025 tot 5,4 m TAW in 2125
- Model ZWU3m: Wijziging van het reliëf door zeewaartse stranduitbreiding met zeespiegelstijging vanaf 2025 tot 5,4 m TAW in 2125. De zeewaartse stranduitbreiding wordt instant toegepast op tijdstip 2025, er wordt geen progressieve grondaanvulling beschouwd.

Er werd een aangepast modelrooster opgebouwd waarmee de huidige toestand en bovenvermelde scenario's werden doorgerekend. Dit modelrooster werd over de zone met de zeewaartse stranduitbreiding verfijnd met een knooppunt afstand van 50 m, wat resulteert in 1172160 rekencellen, verdeeld over de 24 modellagen (Figuur 4-3).

Ten opzichte van de referentietoestand worden volgende modelaanpassingen doorgevoerd:

- Het maaiveld van de bovenste rekenlaag wordt aangepast aan de nieuwe maaiveldhoogte van de zeewaartse stranduitbreiding.
- De posities van de randvoorwaarden voor zeeniveau en voor een vaste concentratie van het zeewater worden aangepast aan de nieuwe topografie en ca. 300 meter zeewaarts verplaatst.



Figuur 4-3: zoom op rekenrooster ten westen van havengeul te Nieuwpoort

## 4.2 Modelresultaten

De invloed van zeespiegelstijging op zich werd reeds onderzocht in (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a), door middel van vergelijking van de resultaten van model REF3 op tijdstip 2025 en tijdstip 2125. In dit rapport wordt niet opnieuw ingegaan op de invloed van zeespiegelstijging zelf.

De zeewaartse stranduitbreiding en de daaraan verbonden verplaatsing van de waterlijn heeft impact op de grondwaterstanden (sectie 4.2.1) en dus onrechtstreeks op de zoet-zoutverdeling in het grondwater (sectie 4.2.2):

- De grondwaterstanden reageren relatief snel op het aangepaste maaiveld en verplaatsing van het zeeniveau. Een vergelijking van de resultaten van model **ZWU3** op tijdstip **2025** met de resultaten van **REF3** op tijdstip **2025** geeft de invloed van de reliëfwijzigingen op de grondwaterstanden bij een zeeniveau van **2,4** m. Vergelijking van de resultaten van model **ZWU3** op tijdstip **2125** met de resultaten van **REF3** op tijdstip **2125** geeft de invloed van de reliëfwijzigingen op de grondwaterstanden bij een zeeniveau van **5,4** m.
- De wijziging van de zoet-zoutverdeling onder invloed van de gewijzigde hydraulische condities verloopt traag. Beide modellen starten met dezelfde zoet-zoutverdeling in het grondwater in 2025. Invloeden van de gewijzigde condities zijn doorgaans pas na tientallen jaren significant, en daarom worden de modelresultaten van het zouttransport voor beide modellen vergeleken na 100 jaar in 2125.

### 4.2.1 Invloed op de grondwaterstanden

Deze vergelijking tussen grondwaterstanden wordt gemaakt aan de hand van verschilkaarten voor het jaar 2025 (zonder zeespiegelstijging) en het jaar 2125 (met 3 m zeespiegelstijging) in achtereenvolgens Figuur bijlage B-1 en Figuur bijlage B-2.

De reliëfwijziging door de zeewaartse stranduitbreiding kan een invloed hebben op de grondwaterstanden. De zeewaartse rand (met opgelegde stijghoogte) wordt gemiddeld 300 m zeewaarts verplaatst. Er ontstaat hierdoor een bredere duin. De grondwatervoeding legt hierdoor een langere weg af richting zee wat een extra opbolling van de grondwaterstanden toelaat.

Bij een ongewijzigde zeespiegel in 2025 worden hogere grondwaterstanden berekend door het model met zeewaartse stranduitbreiding t.o.v. de referentiesituatie (Figuur bijlage B-1). Door de zeewaartse stranduitbreiding wordt de randvoorwaarde van het lage zeeniveau (2,4 m TAW) ca. 300 m verder van de duinen gelegd.

Ook bij een zeespiegelstijging van 3 m tot 5,4 m TAW worden doorgaans hogere grondwaterstanden berekend door het model met zeewaartse stranduitbreiding t.o.v. de referentiesituatie (Figuur bijlage B-2). De extra opbolling door de zeewaartse stranduitbreiding (of verhoging van de watertafel) voor een zeeniveau van 5,4 m TAW is echter minder dan voor een zeeniveau van 2,4 m TAW.

Het relatieve verschil in stijghoogte bij achtereenvolgens een zeeniveau van 2,4 m TAW en 5,4 m TAW wordt geïllustreerd aan de hand van 4 dwarsprofielen loodrecht op de kustlijn "10" en "20" (respectievelijk op 10 en 20 km van de westelijke grens met Frankrijk) waarin voor beide modellen (met en zonder zeewaartse stranduitbreiding) de verschillen worden getuurd.

Dwarsprofiel 10 (Figuur 4-5) wordt getrokken over een relatief breed duinmassief (met maaiveld hoger dan 6,0 m TAW over een breedte van ca 2 km). Deze breedte laat in de huidige toestand van het maaiveld én bij een zeeniveau van 2,4 m TAW een significante opbolling toe tot 6,4 m TAW. Het verplaatsen van de randvoorwaarde ca. 300 m zeewaarts en het opvullen van deze zone met zeewaartse stranduitbreiding verplaatst de randvoorwaarde en laat opbolling toe in de opgevulde zone.

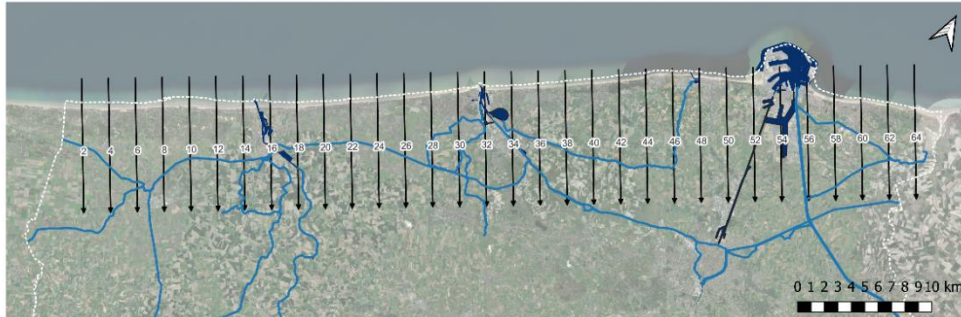
Bij een zeeniveau van 5,4 m TAW wordt de grondwaterstand aan zeezijde in hoofdzaak bepaald door het zeeniveau, er is slechts sprake van opbolling van de watertafel aan landzijde. Het verplaatsen van de randvoorwaarde heeft hierdoor slechts een beperkt effect.

In dwarsprofiel 20 (Figuur 4-6) laat de beperkte breedte van de duin (met maaiveld hoger dan 6,0 m TAW over een breedte ca 400 m) slechts een zeer beperkte opbolling toe van de grondwatertafel tot ca. 3,6 m TAW. De verbreding van het duinmassief met de zeewaartse stranduitbreiding tot 600 à 700 m resulteert bij een zeeniveau van 2,4 m TAW in een verhoging van de maximale grondwaterstand tot 3,7 m TAW en lokaal wordt een verhoging van de grondwaterstand berekend met 30 cm.

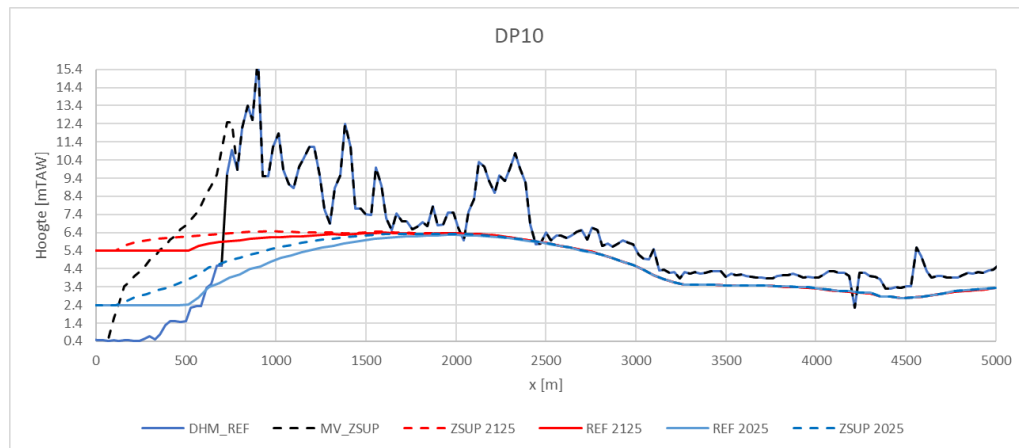
Bij een zeeniveau van 5,4 m TAW is er geen opbolling van de grondwatertafel, het maximaal berekende grondwaterpeil bedraagt met het huidige maaiveldpeil 5,4 m TAW. Bij zeewaartse stranduitbreiding (en verplaatsen van de waterlijn) wordt eveneens een continu dalende grondwaterstand landinwaarts berekend. Er wordt nergens in het profiel een stijging van de grondwaterstand berekend. Lokaal wordt zelfs een daling van de grondwaterstanden berekend met ca. 20 cm onder invloed van de zeewaartse stranduitbreiding t.o.v. de referentietoestand.

In dwarsprofiel 40 wordt de opbolling weergegeven in een bredere duin t.o.v. DP 20 (met maaiveld hoger dan 6,0 m TAW over een breedte ca 800 m). Met het huidige maaiveld wordt hier een opbolling gerealiseerd tot 5,4 m TAW bij een zeeniveau van 2,4 m TAW. Bij dit zeeniveau tonen de berekeningen met zeewaartse stranduitbreiding een lokale verhoging winst van het grondwaterpeil met 25 cm ( $x = 400$  m). Bij een zeeniveau van 5,4 m TAW zijn de grondwaterstanden met zeewaartse stranduitbreiding doorgaans lager met een maximale daling van 9 cm ten opzichte van de situatie zonder zeewaartse stranduitbreiding.

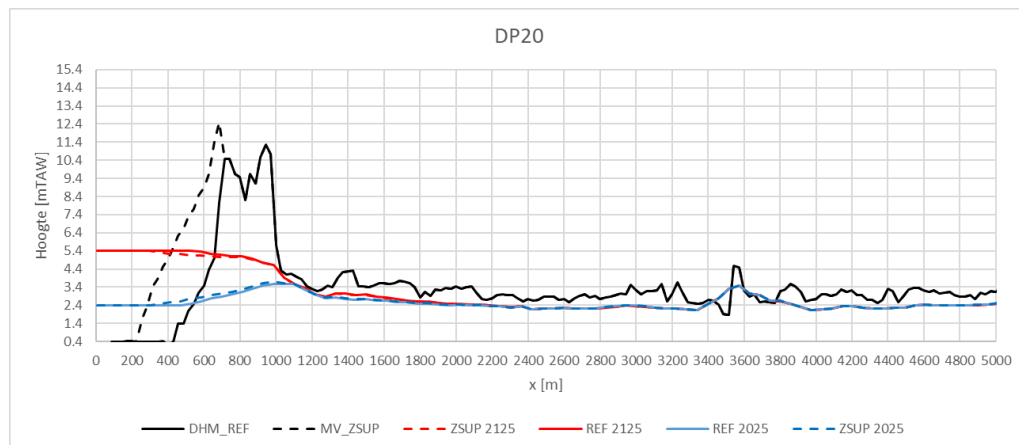
In dwarsprofiel 60 wordt een gelijkaardig resultaat bekomen als in dwarsprofiel 40. De opbolling van de grondwatertafel is hier, ondanks de significant bredere (maaiveldhoogte boven 4,0 m TAW met ca. 2 km breedte) duin, minder dan in het geval van DP 10. Een grondwatervoerende laag met grotere dikte zorgt hier voor een betere laterale grondwaterstroming en minder accumulatie van de grondwatervoeding.



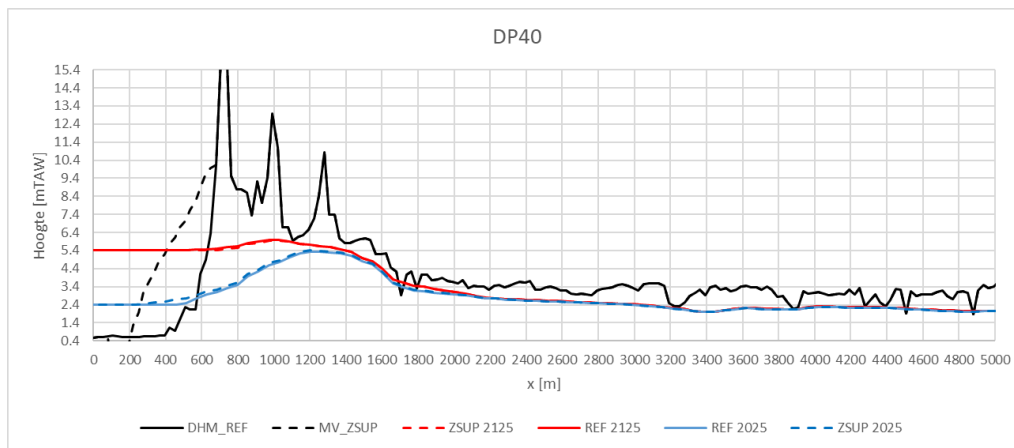
Figuur 4-4: Positie dwarsprofielen 10-20-40-60



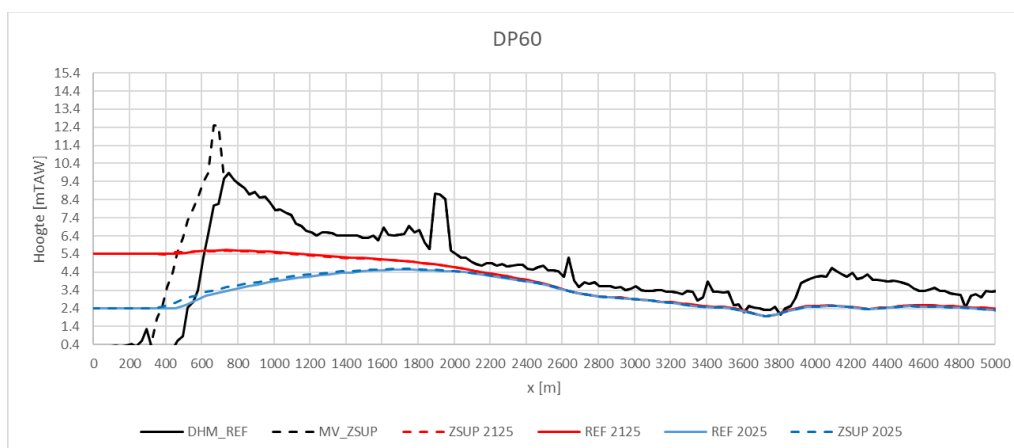
Figuur 4-5: Dwarsprofiel 10 met weergave van het huidige maaiveld (DHM\_REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV\_ZWU), de grondwaterstanden zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025)



Figuur 4-6: Dwarsprofiel 20 met weergave van het huidige maaiveld (DHM\_REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV\_ZWU), de grondwaterstanden zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025)



Figuur 4-7: Dwarsprofiel 40 met weergave van het huidige maaiveld (DHM\_REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV\_ZWU), de grondwaterstanden zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025)



Figuur 4-8: Dwarsprofiel 60 met weergave van het huidige maaiveld (DHM\_REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV\_ZWU), de grondwaterstanden zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025)

## 4.2.2 Invloed op de zoet-zout verdeling grondwater

De invloed op het zouttransport wordt weergegeven aan de hand van de dieptekaarten van het zoutfront. Dit is de diepte onder maaiveld waarop de zoutconcentratie hoger is dan 1500 mg/l, en dit is een maat voor de beschikbare zoetwatervoorraden.

Deze resultaten worden weergegeven aan de hand van 4 kaarten:

- Figuur bijlage C-1: Berekende diepte zoutfront (zoutconcentratie > 1500 mg/l) 2025. De huidige toestand
- Figuur bijlage C-2: Verschilkaart van de diepte zoutfront anno 2125 tov 2025 zonder zeewaartse stranduitbreiding en met zeespiegelstijging. De autonome evolutie onder invloed van zeespiegelstijging en onderwerp van rapport (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023a)
- Figuur bijlage C-3: Verschilkaart van de diepte zoutfront anno 2125 tov 2025 met zeewaartse stranduitbreiding en met zeespiegelstijging. De evolutie onder invloed van zeespiegelstijging na zeewaartse stranduitbreiding
- Figuur bijlage C-4: Verschilkaart van de diepte zoutfront anno 2125 met zeewaartse stranduitbreiding en met zeespiegelstijging tov diepte zoutfront anno 2125 zonder zeewaartse stranduitbreiding en met zeespiegelstijging. De relatieve bijdrage van de zeewaartse stranduitbreiding aan de invloed van zeespiegelstijging. In Figuur bijlage C-4 wordt overwegend een daling van de verziltingsdiepte berekend. De daling is doorgaans beperkt in grootte en omvang ten opzichte van de smalle duinengordels tussen Nieuwpoort en Zeebrugge. Ten westen van Nieuwpoort wordt over een strook van 300 meter een significante daling van het zoet-zoutfront berekend. Deze bevindt zich hoofdzakelijk ter hoogte van de zone met de zeewaartse stranduitbreiding. Het oorspronkelijk zoutfront uit 2025 wordt hier volledig weggedrukt door de gerealiseerde opbolling van de grondwatertafel.

De sterk gewijzigde grondwaterstanden geven hier eveneens aanleiding tot een ogenschijnlijke stijging (negatieve waarden) van het zoutfront. In realiteit gaat het hier om restanten van het oorspronkelijke zoutbel die landinwaarts worden gedrukt en op grote diepte aanleiding geven tot een verzilting.

Aanvullend, en om de mechanismen van het zouttransport te duiden, worden de berekende concentraties en wijzigingen van de concentraties weergegeven aan de hand van een aantal dwarsprofielen loodrecht op de kustlijn. Voor ieder profiel wordt telkens weergegeven:

- De concentratie anno 2025 zonder zeewaartse stranduitbreiding (vb. Figuur bijlage C-6), de huidige concentratie
- De concentratie anno 2125 zonder zeewaartse stranduitbreiding (vb. Figuur bijlage C-7), dus met invloed van de zeespiegelstijging.
- De concentratie anno 2125 met zeewaartse stranduitbreiding (vb. Figuur bijlage C-8), dus met invloed van de zeespiegelstijging en invloed van zeewaartse stranduitbreiding
- Het verschil in concentratie anno 2125 voor de toestand met zeewaartse stranduitbreiding min de toestand zonder zeewaartse stranduitbreiding (vb. Figuur bijlage C-9), de invloed van de zeewaartse stranduitbreiding op de concentraties. Negatieve waarden wijzen hierbij op een afname van de zoutconcentratie door de zeewaartse stranduitbreiding.

In dwarsprofiel 10 wordt aan de zeezijde het zoute zeewater onder invloed van de zeespiegelstijging beperkt landinwaarts geduwd (Figuur bijlage C-7 vs. Figuur bijlage C-6). Een verschuiving van de waterlijn met ca. 300 m geeft voor dit duinmassief met significante breedte een extra opbolling van de grondwatertafel aan zeezijde. De druk van deze opbolling is voldoende om het onderliggende zout water zeewaarts te verdringen (Figuur bijlage C-9).

In dwarsprofiel 20 wordt in de huidige toestand een beperkte opbolling van de grondwatertafel berekend in de duin met beperkte breedte (Figuur 4-6). Bij een zeespiegelstijging verhoogt de waterdruk vanuit zeezijde tot boven de druk die het grondwater in de duin kan leveren, waardoor de zoetwaterbel onder de duin verkleint (zone "A" - Figuur bijlage C-10, Figuur bijlage C-11). Bij een ophoging aan zeezijde door zeewaartse stranduitbreiding wordt een beperkte afname van de grondwaterstand berekend op afstand  $x = 500$  m (cf. Figuur 4-6, sectie 4.2.1). Aan de oppervlakte trekt dit het zoete water aan, dat zich centraal in de duin bevond. Dit is echter onvoldoende om te verhinderen dat het zoutfront onder deze nieuwe zoetwaterbel zich landinwaarts verplaatst (Figuur bijlage C-13).

In dwarsprofiel 40 (Figuur bijlage C-14 t.e.m. Figuur bijlage C-18) wordt in de referentietoestand bij een zeeniveau van 5,4 m TAW een opbolling van de grondwatertafel berekend tot 6.0 mTAW (REF2125 - Figuur 4-7). Dit is net voldoende om de aanwezige zoetwaterbel ("A" in Figuur bijlage C-14, Figuur bijlage C-15) ter plaatse te houden. Bij een zeewaartse uitbreiding worden slechts beperkt verschillende grondwaterstanden berekend (ZWU 2125 t.o.v. REF2125 - Figuur 4-7). De randvoorwaarde met zout zeewater wordt evenwel 300 m zeewaarts verplaatst in het geval van een zeewaartse uitbreiding. Dit laat na 10 jaar (evenwel met een zeespiegelstijging van gemiddeld 0.15 m van 2.4 tot 2.7 mTAW in 2035) de aangroei van een zoetwaterbel toe ("A" in Figuur bijlage C-16).

Een gelijkaardige invloed wordt berekend in dwarsprofiel 60 (Figuur bijlage C-19 t.e.m. Figuur bijlage C-23). Door zeewaartse stranduitbreiding wordt aan zeezijde de mogelijkheid geboden tot opbouw van een nieuwe zoetwaterbel tussen posities  $x = 400$  m en  $x = 600$  m ("A" in Figuur bijlage C-21). Bij een verhoogd zeeniveau tot 5,4 m TAW blijft deze is de grondwaterdruk, noch in de referentietoestand, noch met zeewaartse uitbreiding voldoende om deze druk vanuit zee te weerstaan. In het geval van de zeewaartse uitbreiding wordt in 2125 zoeter grondwater berekend op deze locatie. Dit is het restant van de eerder gevormde zoetwaterbel ("A" in Figuur bijlage C-23).

## 4.3 Discussie invloed maatregelen

### 4.3.1 Zeewaartse uitbreiding

De zeewaartse uitbreiding heeft door de ophoging van de duinen en de verplaatsing van de zeewaartse rand algemeen een positieve bijdrage aan de grondwaterstanden, zowel in de zone met zeewaartse stranduitbreiding als in de landinwaarts gelegen duingebieden. In beide zones wordt ook een verlaging van het zoutfront verwacht.

Of de ingreep van de reliëfwijziging een significant effect heeft, is sterk ruimtelijk verdeeld en hangt sterk af van de breedte en hoogte van het huidige duinmassief. In het geval van duinen met beperkte breedte, ruwweg smaller dan 1 km, wordt zowel in de huidige toestand als de toestand met zeewaartse stranduitbreiding slechts een zeer beperkte opbolling van de grondwatertafel berekend bij zeespiegelstijging tot 5,4 m TAW. Er wordt bij dit zeeniveau in deze duinen een uniform dalende, landinwaarts gerichte grondwaterstroming berekend. De stijghoogtegradiënt verandert door de zeewaartse stranduitbreiding nergens van richting waardoor de landinwaartse propagatie van het zoutfront niet of nauwelijks wordt geremd.

Zowel de zone van de zeewaartse stranduitbreiding en de achterliggende duin moeten logischerwijs over een voldoende breed een voldoende hoog maaiveld beschikken, bij voorkeur hoger dan 5,4 m TAW. Zoniet, wordt het opgestuwde grondwater weer aan de oppervlakte afgevoerd en is de oppervlakte, en de grondwatervoeding van de duin ontoereikend voor opbolling van de grondwatertafel.

Bij een significante breedte van het duinmassief, grosso modo groter dan 1 km, is doorgaans wel voldoende grondwateraanvulling beschikbaar en liggen de randvoorwaarden van de stijghoogtes (zowel het zeeniveau als het polderpeil landinwaarts) voldoende ver voor een significante opbolling van de grondwatertafel.

Het effect hiervan op de zoet-zoutwaterverdeling in het grondwater is overwegend een verdringing van het aanwezige zoutfront. Dit zoutfront wordt echter zowel zeewaarts als landinwaarts weggedrukt, wat in het laatste geval aanleiding kan geven tot een opwaartse beweging van het zoutfront in de polders.

### 4.3.2 Uitbreiding ter plaatse

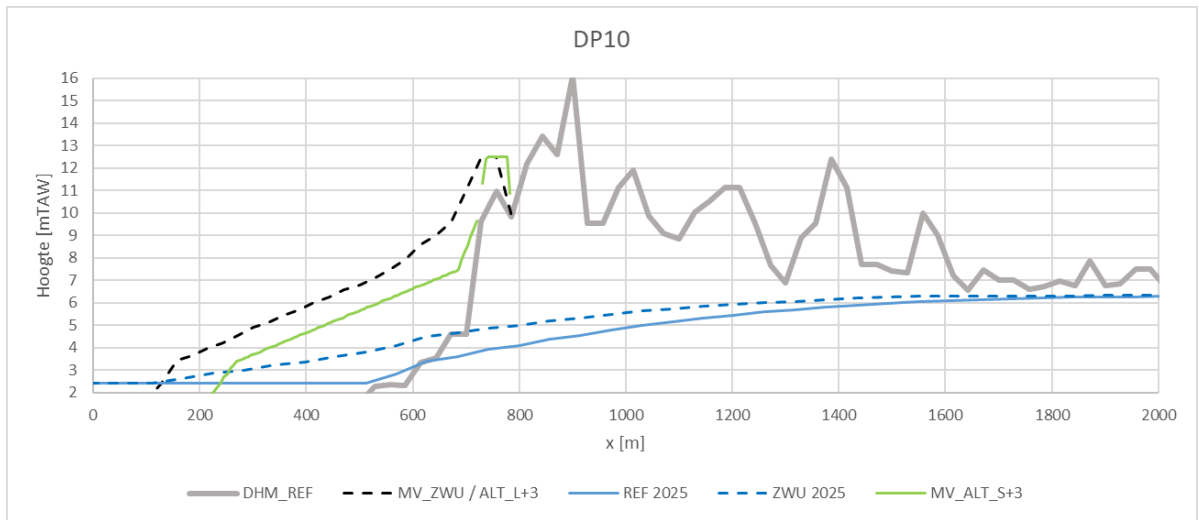
Ophoging van het maaiveld in de duinen is slechts zinvol voor een verhoging van de grondwaterstanden indien in de referentietoestand het maaiveld van de duinen op deze locatie ontoereikend is (m.a.w. het maaiveld is lager dan ca. 6 mTAW waardoor het grondwater hier niet wordt geaccumuleert in de ondergrond doch oppervlakkig afstroomt).

Zoals echter weergegeven wordt in Figuur 4-5 t.e.m. Figuur 4-8 is in de referentietoestand het maaiveldpeil aan zeezijde reeds voldoende hoog. Eventuele oppervlakkige afvoer en verlaging van de grondwatertafel treedt niet op.

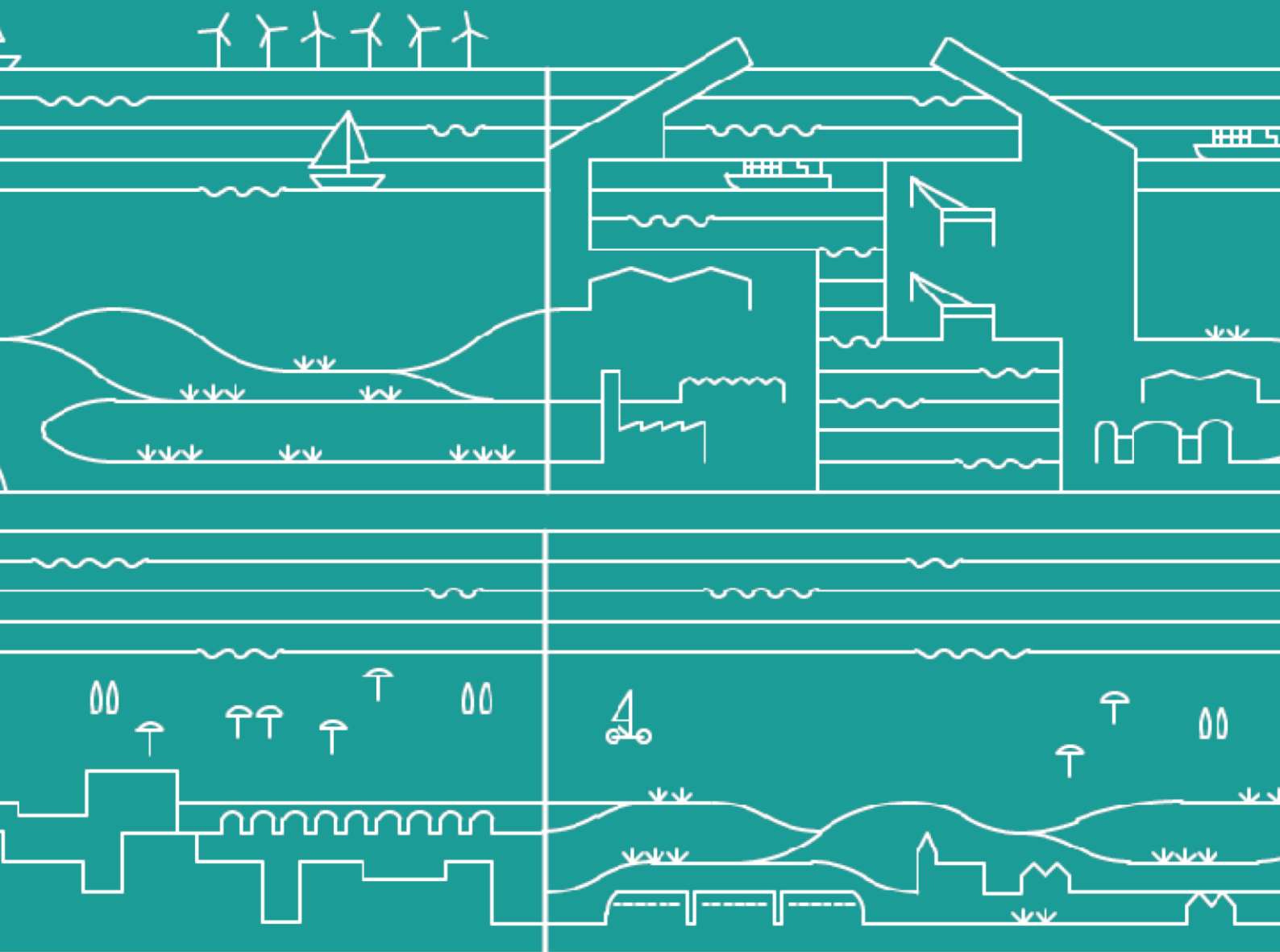
Aan landwaartse zijde van de duin kunnen zones worden aangeduid waar de grondwaterstanden zeer ondiep voorkomen en desgewenst kunnen worden verhoogd door verhoging van het maaiveld. Enige locatie specifieke evaluatie is hier aan de orde. In de zones met ondiepe grondwaterstand liggen thans grondwaterafhankelijke habitats. Een ophoging van het maaiveld, louter om extra grondwaterstand te realiseren kan gepaard gaan met het vernietigen van deze habitats.

Een uitbreiding ter plaatse voorziet echter louter in een ophoging van het maaiveld aan de zeewaartse zijde van de duin. Deze ophoging volgens scenarioalternatief ALT\_S.+3 houdt een verhoging in van het maaiveld, en om stabiliteitsredenen wordt eveneens een zeewaartse uitbreiding van de duin gerealiseerd zoals weergegeven in Figuur 4-9. In realiteit betreft het daarom slechts een tussenvariant van de zeewaartse uitbreiding.





Figuur 4-9: DP 10 met weergave van het huidige maaiveld (DHM\_REF), het maaiveld na zeewaartse stranduitbreiding (MV\_ZWU/ALT\_L+3), het maaiveld na uitbreiding ter plaatse (MV\_ALT\_S+3), de grondwaterstanden zonder zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2025), zonder zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025), met zeespiegelstijging en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF 2125) en met zeespiegelstijging en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU 2025)



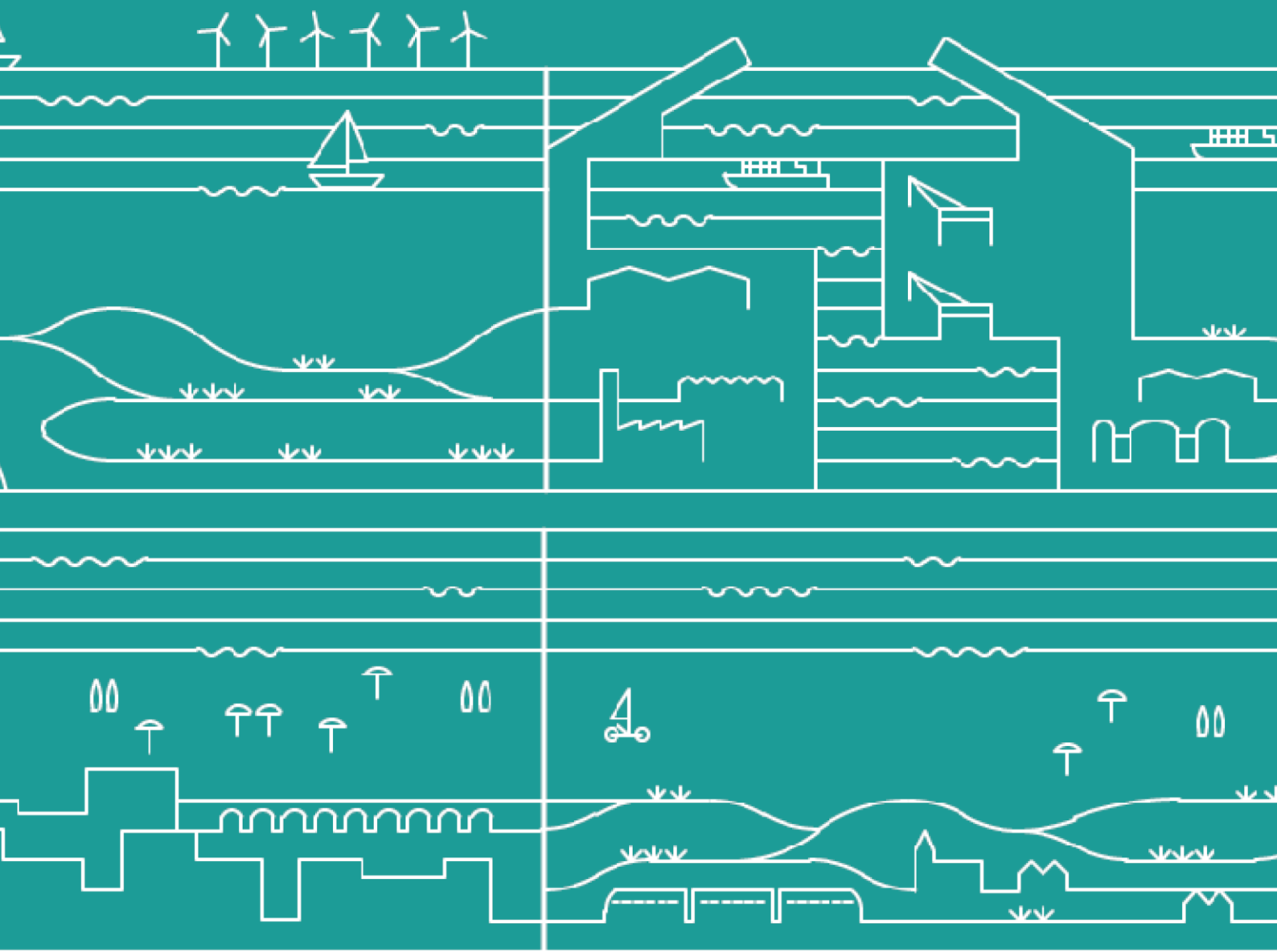
# Invloed alternatieve maatregelen

## 5 Invloed alternatieve maatregelen

De zeewaartse stranduitbreiding heeft slechts een beperkte invloed of mitigatie van de zoutconcentraties in het achterland, ongeacht het beschouwen van een zeespiegelstijging.

Er wordt herhaald dat in de voorliggende berekeningen slechts beschouwing wordt gemaakt van een zeespiegelstijging en niet van andere, mogelijk meer ingrijpende factoren van klimaatwijziging. Hierbij wordt gedacht aan een verminderde of meer variabele neerslag, een eventuele verminderde aanvoer van zoet water uit het kanaal Gent-Oostende naar Blankenbergse polders en een verhoogde watervraag voor landbouwactiviteiten of voldoende beschikbaar water om de polderwaterlopen op peil te houden om tegendruk te bieden. Deze invloeden hebben betrekking op het volledige poldergebied en hebben daarom een hogere impact op de totale (zoetwater)waterbalans. Deze factoren brengen niet meer zout in de ondergrond maar zorgen ervoor dat er minder tegendruk is en de aanwezige verzilting meer naar boven migreert. In het poldergebied zijn daarom volgende (niet-limitatieve lijst) maatregelen onderwerp van het huidige beheer alsook van lopende onderzoeken en pilotacties:

- Het huidig beheer van het peil in de polderwaterlopen is gericht op het beperken van verdroging en op het beperken van mogelijke opwaartse migratie van het zoute grondwater. Er wordt een verschillend zomer- en winterpeil gehandhaafd. Een lager winterpeil biedt de mogelijkheid tot tijdelijk bufferen van overtollige neerslag en voldoende drainage van de doorgaans natte poldergronden. Tijdens de zomer worden de stuwen opgetrokken en wordt een hoger zomerpeil ingesteld (20 tot 70 cm hoger dan het winterpeil). Via een hogere oppervlaktewaterstand in het oppervlaktewater wenst men een hogere grondwaterstand te realiseren en voldoende tegendruk uit te oefenen op het onderliggende zoute grondwater.
- Pilotacties:
  - Bij Kreekruginfiltratie wordt het neerslagoverschot tijdens de wintermaanden bemaald naar opduikingen of zogenaamde kreekruggen. Het gebufferde water wordt volgens terug gewonnen tijdens de zomermaanden. Als voorbeeld wordt verwezen naar het lopende pilotproject in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij : <https://www.vmm.be/water/grondwater/kreekruginfiltratie>
  - Bij diepdrainage of zoutwatergrachten wordt preferentieel gedraineerd in diepere en zoute grondwaterlagen. Het zoute gedraineerde water wordt afgevoerd. De toepassing ervan heeft een tweeledig effect:
    - Door het gericht afvangen van zout grondwater kan ruimte vrijgemaakt worden voor aanvulling met zoetwater.
    - Er wordt rechtstreeks ingegrepen op de grondwaterstanden en stromingsrichting waardoor ongewenste uitbreiding van zoutwatermassa kan worden gecontroleerd.



## Conclusies

## 6 Conclusies

In de **referentiesituatie**, zonder enig vorm van reliëfwijzigingen voor kustverdediging werd als gevolg van de zeespiegelstijging een evolutie van de zoutconcentratie in het grondwater berekend waarin het zoutfront vanuit de zee sneller landinwaarts beweegt dan zonder zeespiegelstijging en waarin de verhoogde druk van het zeewater landinwaarts leidt tot een opwaartse beweging van het dieper gelegen zoute grondwater.

**Ophoging en zeewaartse uitbreiding van de stranden en duinen voor kustverdediging** kan een positieve invloed uitoefenen op de landinwaartse progressie van de zoutconcentratie. Het verhogende zeepeil wordt zeewaarts verplaatst, en lokaal kunnen lagergelegen duinmassieven worden opgehoogd. Dit alles biedt mogelijkheid tot een extra aanvulling en verhoging van de grondwaterstanden in de duinen, een mogelijke extra grondwaterdruk tegen de (door de zeespiegelstijging) verhoogde druk vanuit de zee en een vertraging van de landinwaartse progressie van zeewater.

De **impact op de grondwaterstanden** door de voorgestelde reliëfwijziging in Alternatief 'Zeewaarts', met de grootste uitbreiding van duinen, is beperkt, maar overwegend positief. In brede en hoge duinmassieven met een voldoende opbolling in de referentiesituatie wordt deze opbolling versterkt door de zeewaartse verplaatsing van het zeepeil. In duinmassieven met beperkte breedte treedt in de referentiesituatie nauwelijks een opbolling en grondwaterscheiding op in de duinmassieven, maar eerder een uniform landinwaarts gerichte gradiënt van de grondwaterstanden. De reliëfwijziging Alternatief 'Zeewaarts' leidt nauwelijks tot installatie van een grondwaterscheiding.

De **impact op de zoutconcentraties** door de voorgestelde reliëfwijziging **Alternatief 'Zeewaarts'** is beperkt, maar overwegend positief (of verzoeting van het grondwater) doch minder eenduidig dan de impact op de grondwaterstanden. Naast een potentieel oprukkend zoutfront vanuit de zee dient men eveneens rekening te houden met de reeds aanwezige en zeer ruimtelijk verdeelde zoutconcentraties in het grondwater.

Andermaal dient men te onderscheiden in geometrie van de duinen. In een brede duin met reeds significante opbolling van de grondwaterstanden en omvangrijke zoetwaterbel, zal de ingreep doorgaans leiden tot een verhoging en verbreding van deze zoetwaterbel. In smallere duinen levert de ingreep doorgaans een extra zoetwaterbel, maar enkel in de uitbreiding zelf en met onvoldoende grondwaterdruk om dit zoet water naar dieper gelegen grondwaterlagen te stuwen. Er kan dus worden gesteld dat bij significante breedte van het duinmassief, grosso modo groter dan 1 km, de bijdrage van het alternatief zeewaarts positief is op het reduceren van de zoutindringing bij zeespiegelstijging naar het achterland, terwijl er quasi geen tot zeer beperkte invloed is van het alternatief bij smalle duinen.

Ook in **alternatief 'Ter plaatse'** wordt zand toegevoegd aan zeezijde. Het strand wordt daarbij opgehoogd en lokaal de duinen. Ten opzichte van de referentiesituatie is er daardoor in dit alternatief ook potentieel voor opbolling. Er is echter geen bijkomende zeewaartse uitbreiding van de kustlijn zoals bij alternatief 'Zeewaarts' waardoor de versterkte opbolling bij brede en hoge duinmassieven in dit alternatief niet aanwezig is. Dit betekent dat alternatief 'Ter plaatse' globaal een gelijkaardig, zij het minder uitgesproken, gedrag vertoont aan alternatief 'Zeewaarts' met een positieve invloed op het reduceren van de zoutindringing naar het achterland bij zeespiegelstijging en quasi geen tot zeer beperkte invloed van het alternatief bij smalle duinen.

De beide alternatieven hebben door het suppleren ten opzichte van de referentiesituatie een beperkt positieve invloed op het reduceren van de zoutindringing, maar er dient opgemerkt te worden dat de bijdrage slechts beperkt is. Het is de verwachting dat **andere maatregelen buiten de typische ingrepen in Kustvisie een grotere bijdrage** zullen hebben op de zoutindringing zoals grondverzet voor het aanvullen van lager gelegen duingebieden meer landinwaarts, een slim peilbeheer op de polderwaterlopen en captatieverboden, en niet in het minst zoetwaterinfiltraties en zoutwaterdrainages in de duingebieden.

Ook ter hoogte van de **uitwateringslocaties** in de havens dient er in de toekomst aandacht besteed te worden aan de evolutie van zoutindringing. Hier gaat het echter niet om zoutindringing via grondwater zoals onderzocht in deze studie, maar via het oppervlaktewater. De beide onderzochte alternatieven 'Ter plaatse' en 'Zeewaarts' hebben hier echter geen impact op. Voor de impact van de havenalternatieven op het zoutgehalte in de havens wordt verwezen naar het plan-MER (Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis), 2023e).

Mogelijke maatregelen die hier kunnen worden beschouwd zijn het vrijwaren van de zoete oppervlaktewaterkolom in havengebieden door efficiënt schutten, bellenschermen, zoutvangen en slim peilbeheer. Een verdere opvolging en mogelijke uitwerking maakt deel uit van het actieplan.

Gezien de sterke ruimtelijke variatie van de bodemkarakteristieken en de impacten en de onzekerheden met betrekking tot de lange termijn evoluties met zeespiegelstijging wordt **verder onderzoek en monitoring** aangeraden. Daarbij is het aangewezen om de waterkwaliteit- en waterkwantiteitsmonitoring uit te breiden en gebiedsdekkend te maken, met aandacht voor duinen en het monitoren aan uitwateringspunten om de zoutindringing via oppervlaktewater op te volgen. Een verdere ontwikkeling van het modelinstrumentarium, inclusief het grondwatermodel is aangewezen, waarbij een uitgebreid monitoringsnetwerk een betere afijking mogelijk zal maken. Er wordt verder verwezen naar het actieplan waar voorstellen zijn geformuleerd in verband met het verder onderzoek naar de problematiek en het omgaan van verzilting.

# 7 Referenties

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023a). Kustvisie - Referentiesituatie verzilting. I/RA/11630/21.196/ABO/.

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

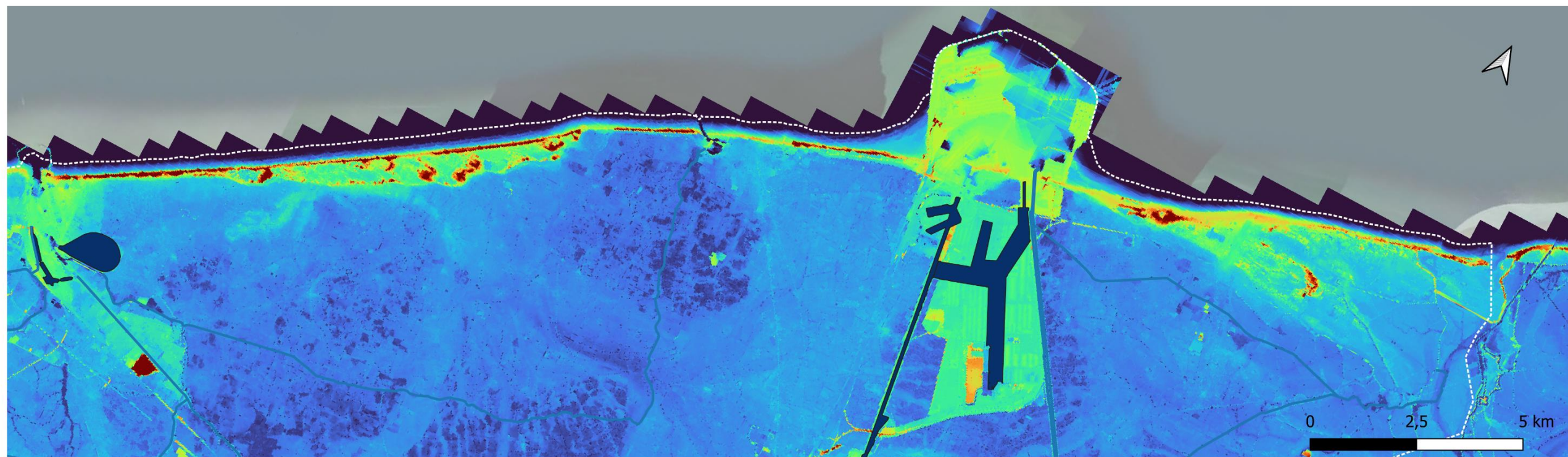
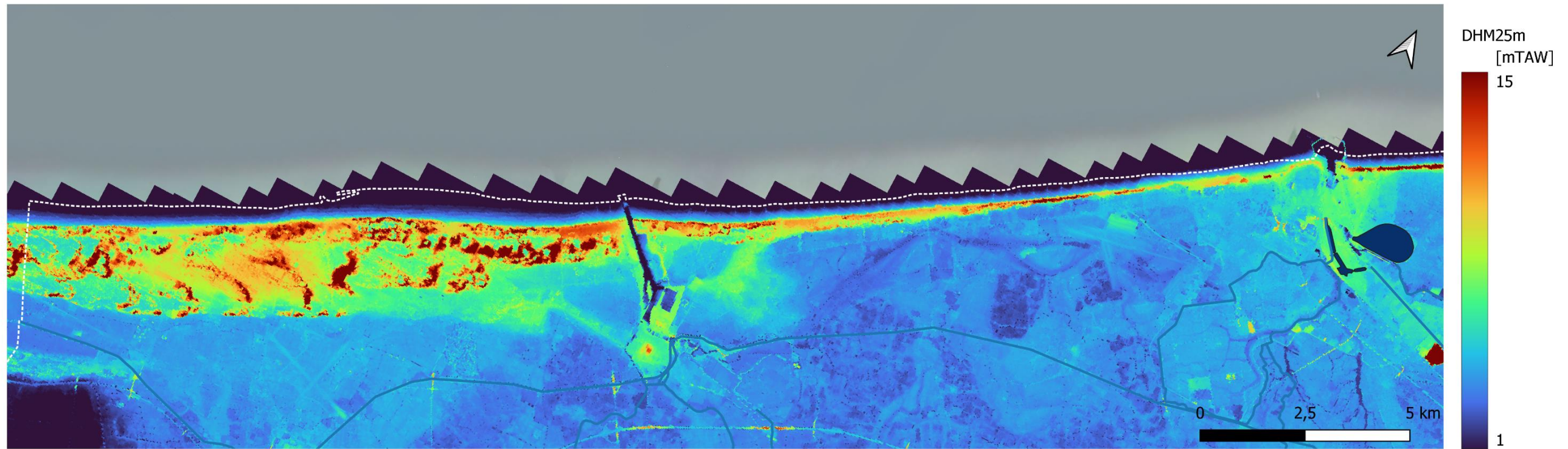
Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023c). Kustvisie - Synthesenota. I/RA/11630/22.209/ABO/.

Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023d). Kustvisie - Onderzoeksnota Strategisch beleidsplan. E/RA/11630/22.041/ABO/.

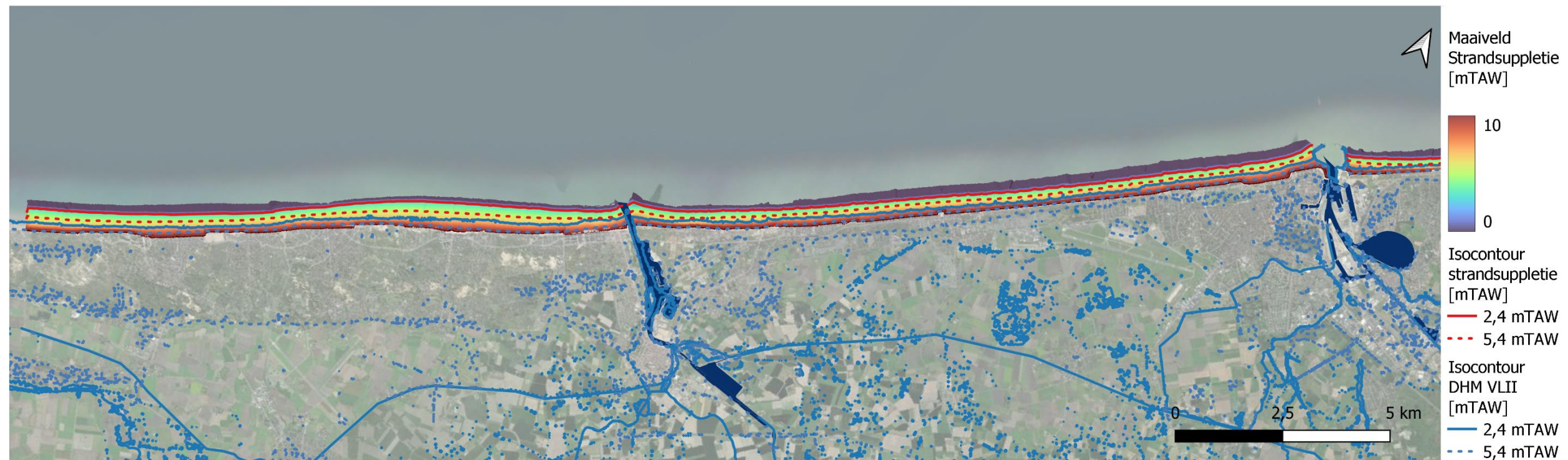
Consortium Hoogtij(d) (IMDC, ORG, Arcadis) (2023e). Kustvisie - Ontwerp plan-MER. E/RA/11630/23.045/ABO/.

## **Bijlage A    Reliëfwijzigingen**





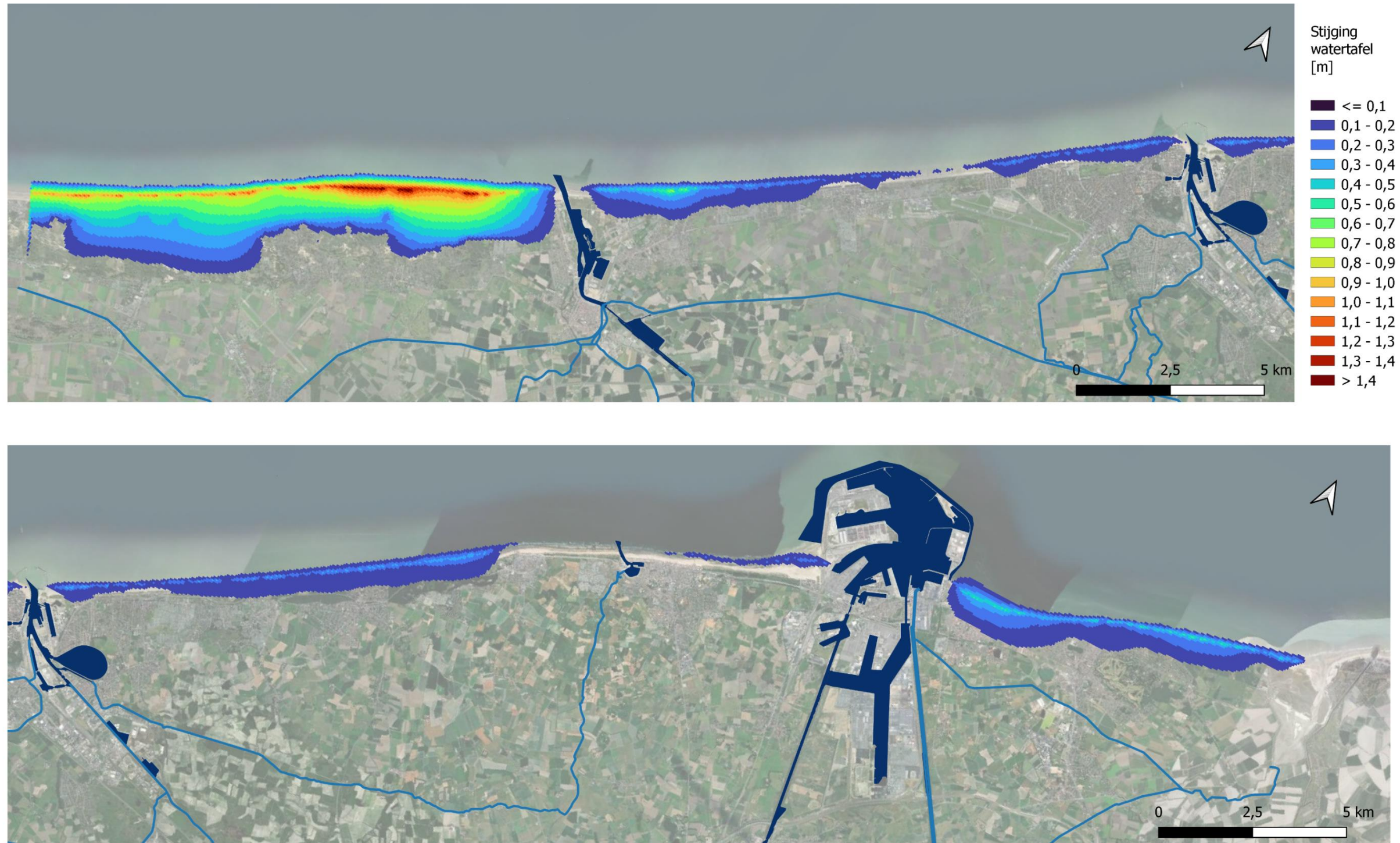
Figuur bijlage A-1: Digitaal Hoogtemodel DHM VL II



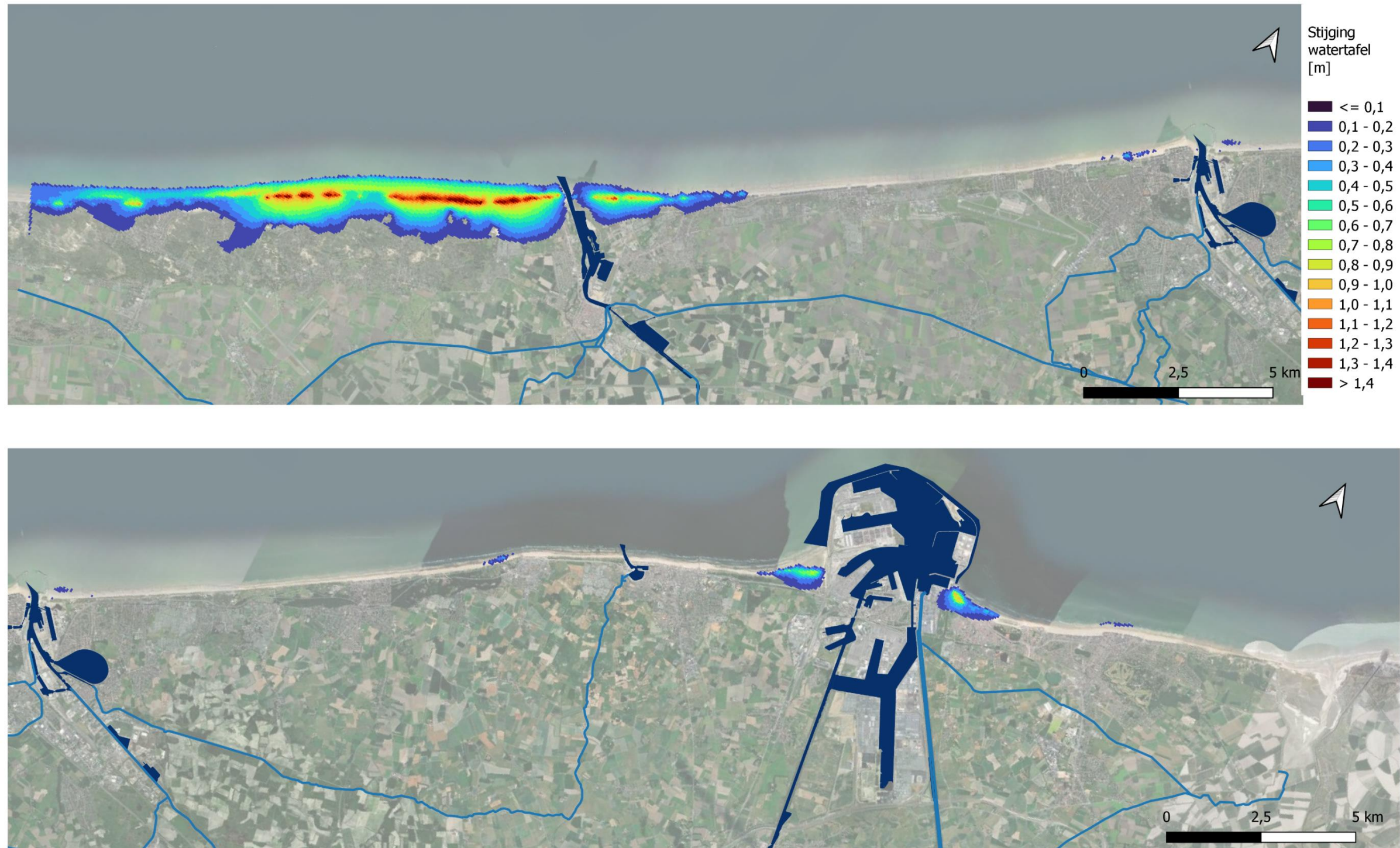
Figuur bijlage A-2: Maaiveldhoogte [m TAW] voor de zone met reliëfwijziging

## **Bijlage B    Resultaten hydrodynamisch model**

B.1 Contourkaarten stijghoogteverschillen



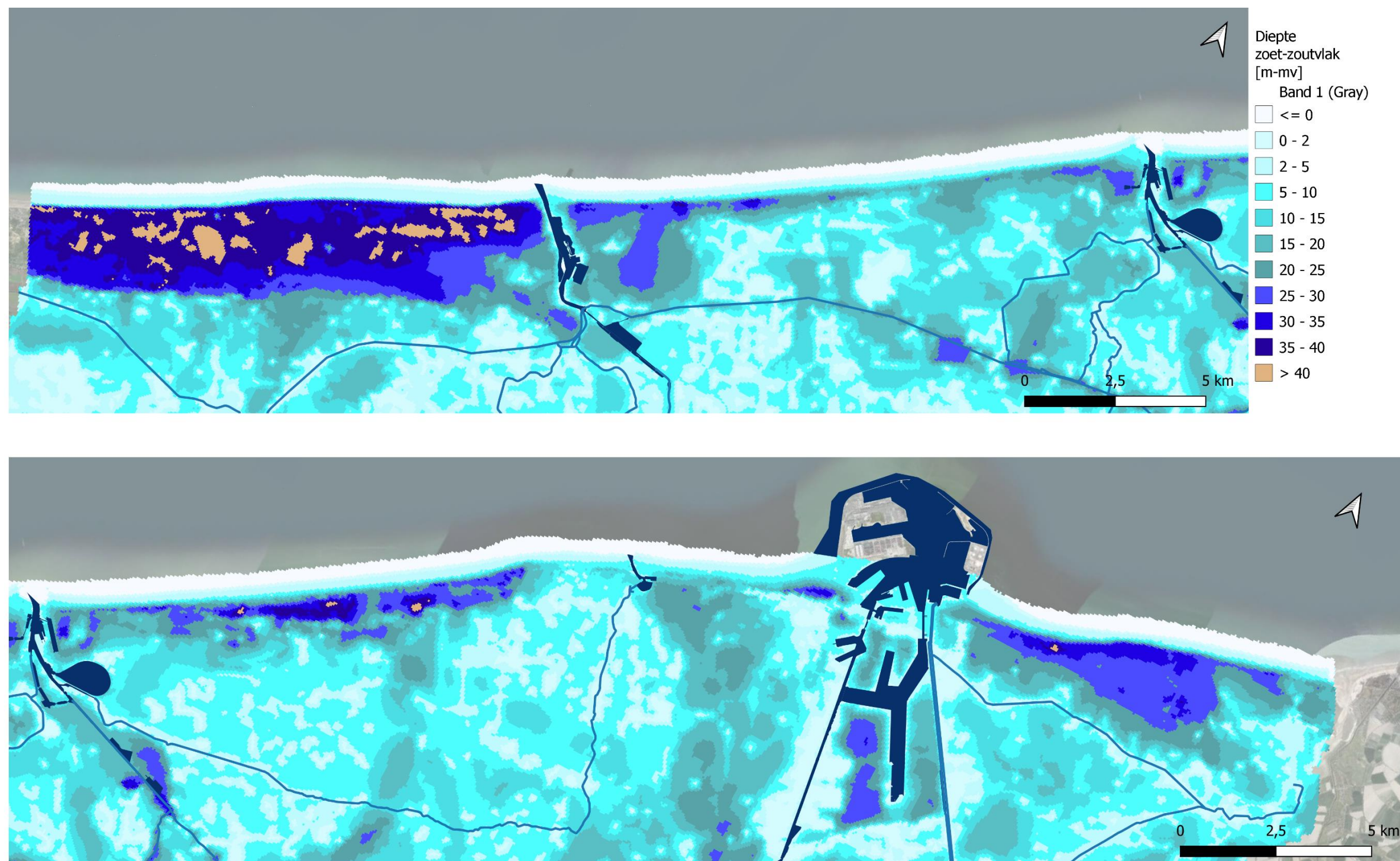
Figuur bijlage B-1: Verschilkaart van de grondwaterstand met zeewaartse stranduitbreiding t.o.v. de huidige situatie bij een zeespiegel van 24 m TAW (anno 2025)



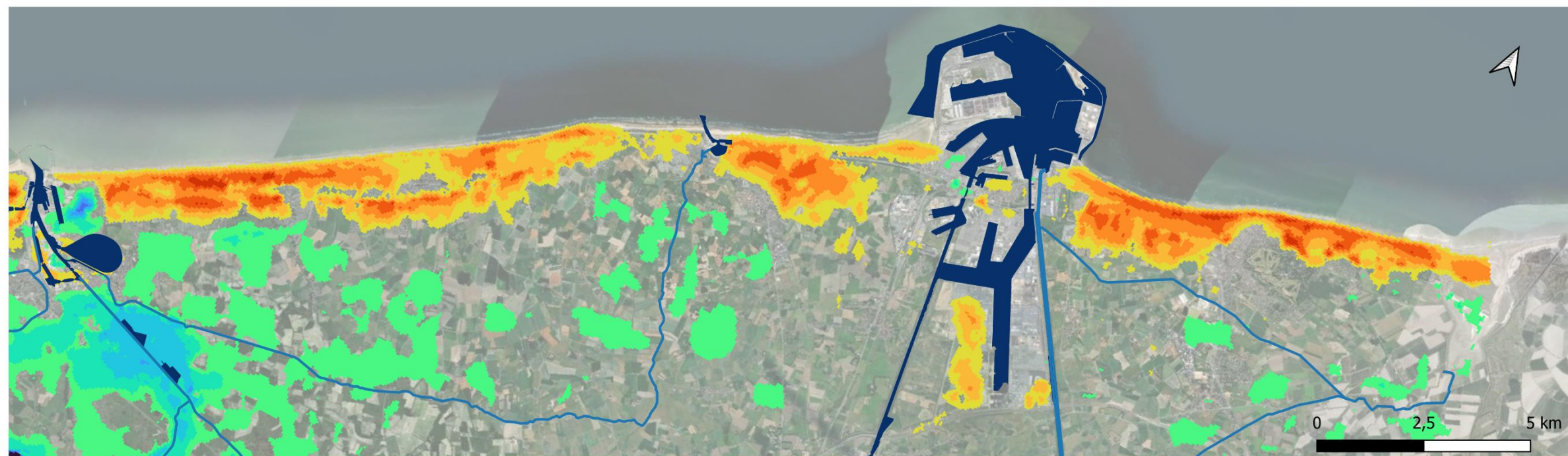
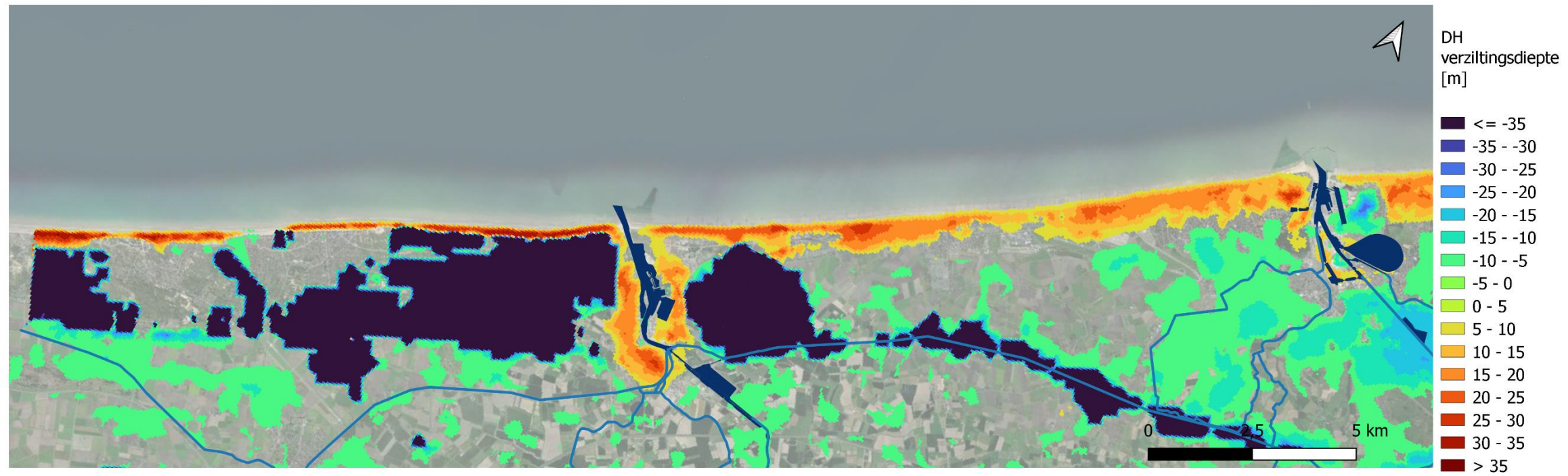
Figuur bijlage B-2: Verschilkaart van de grondwaterstand met zeewaartse stranduitbreiding t.o.v. de huidige situatie bij een zeespiegel van 5,4 m TAW (anno 2125)

## **Bijlage C    Resultaten zouttransport**

### C.1 Contourkaarten verziltingsdiepte

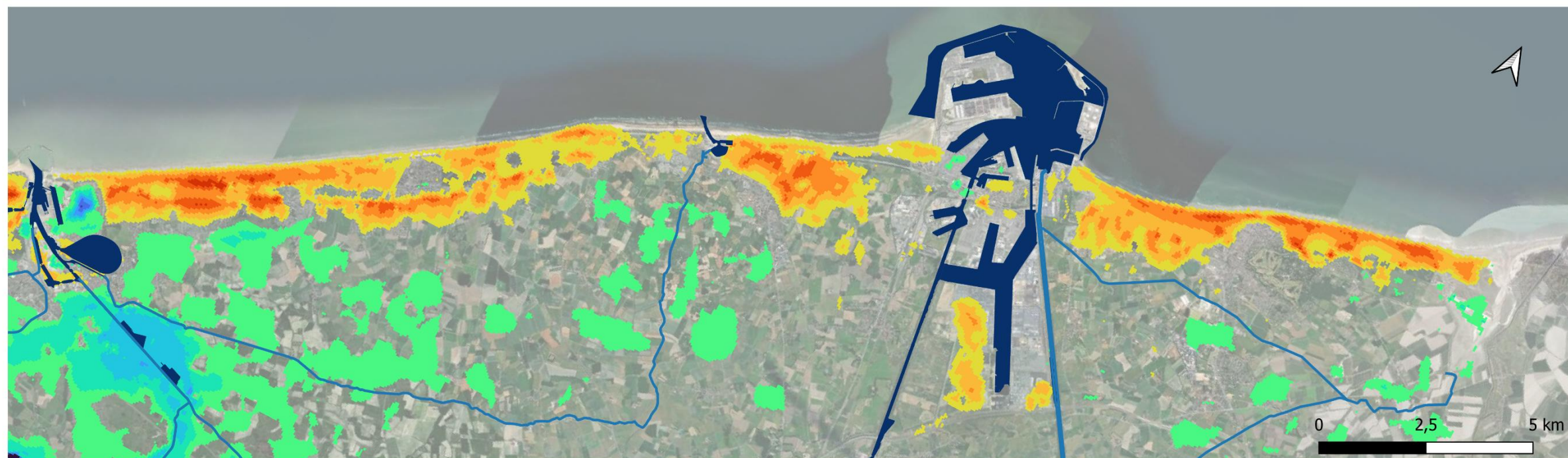
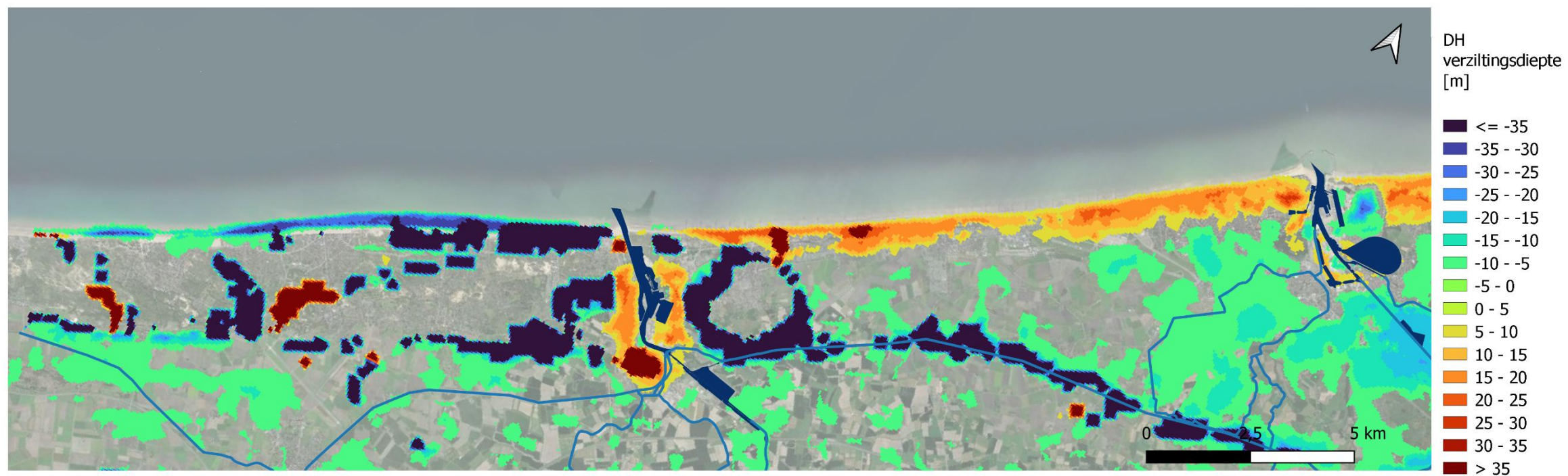


Figuur bijlage C-1: Berekende diepte zoutfront (zoutconcentratie > 1500 mg/l) 2025

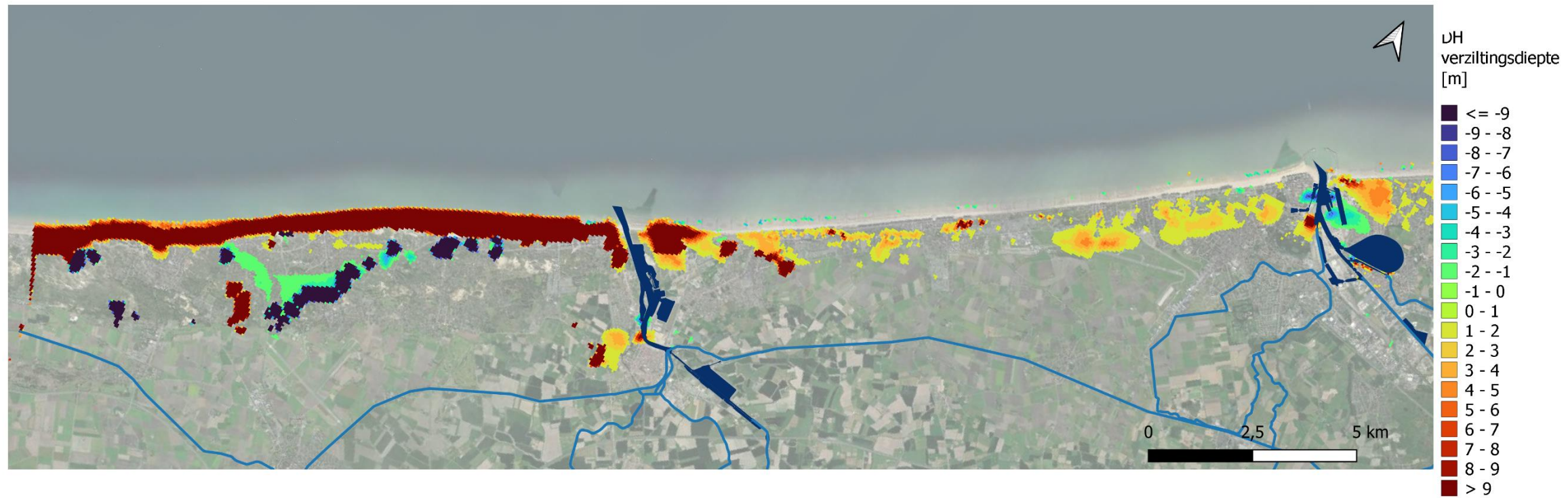


Figuur bijlage C-2: Verschilkaart van de diepte zoutfront anno 2125 tov 2025 zonder zeewaartse stranduitbreiding en met zeespiegelstijging



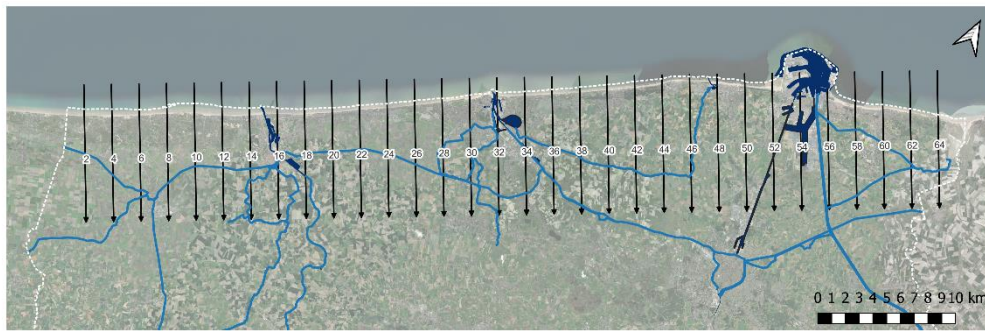


Figuur bijlage C-3: Verschilkaart van de diepte zoutfront anno 2125 tov 2025 met zeewaartse stranduitbreiding en met zeespiegelstijging



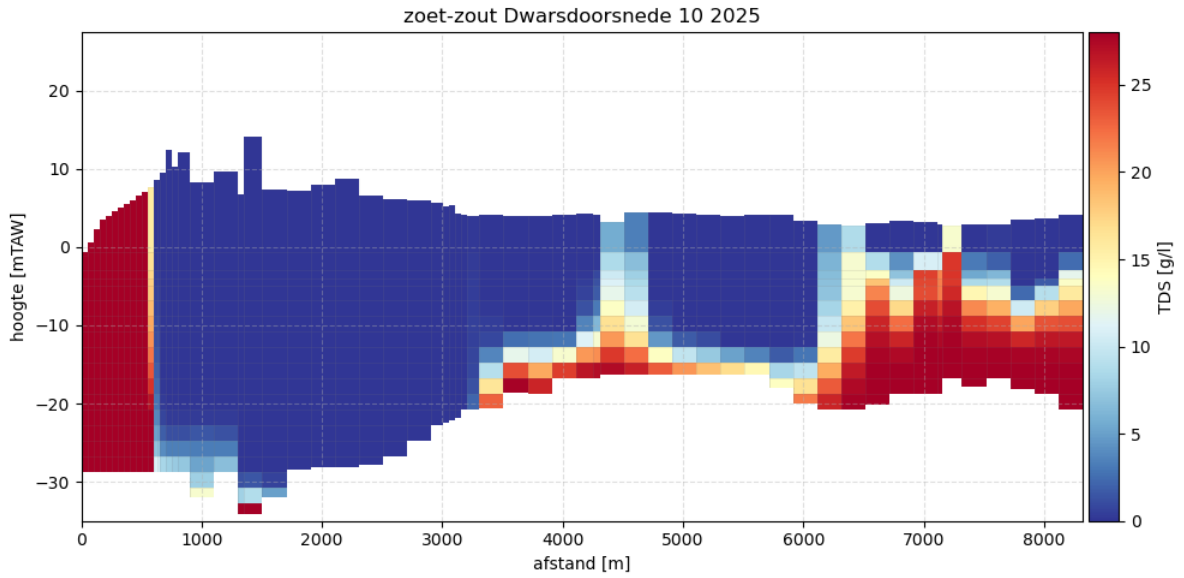
Figuur bijlage C-4: Verschilkaart van de diepte zoutfront anno 2125 met zeewaartse stranduitbreiding en met zeespiegelstijging tov diepte zoutfront anno 2125 zonder zeewaartse stranduitbreiding en met zeespiegelstijging

## C.2 Dwarsprofielen berekende zoutconcentraties

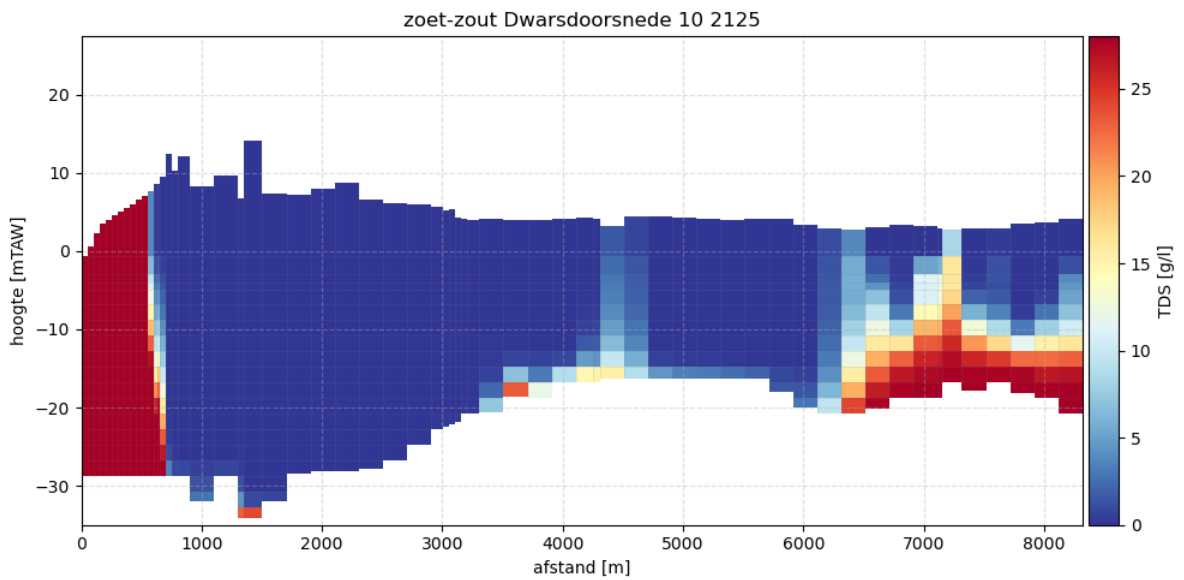


Figuur bijlage C-5: positie dwarsprofielen 10, 20, 40 en 60

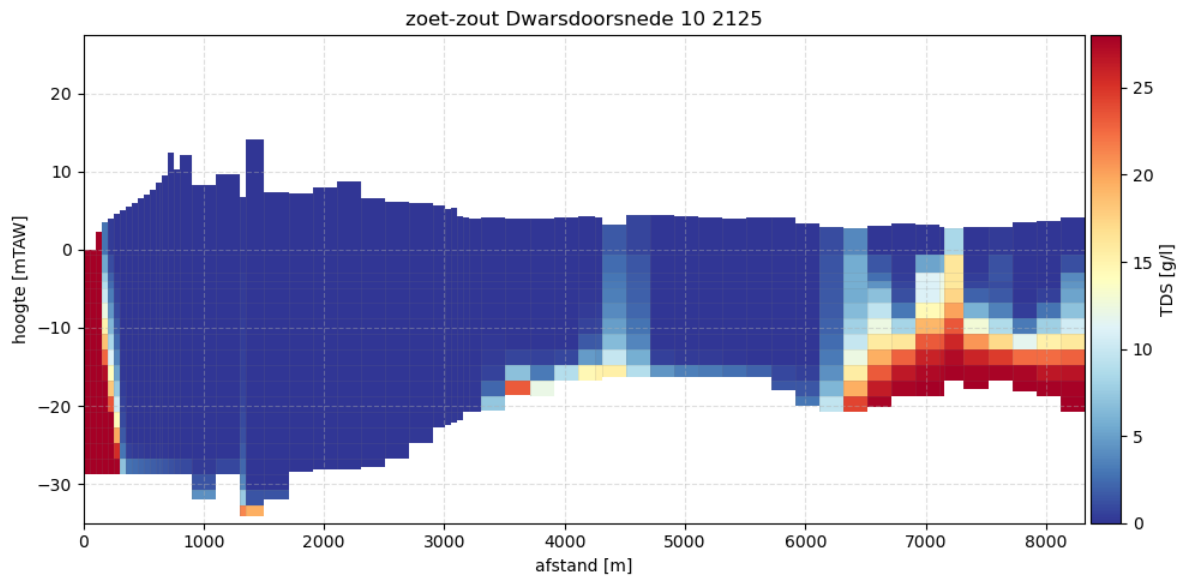
## C.2.1 Dwarsprofiel 10



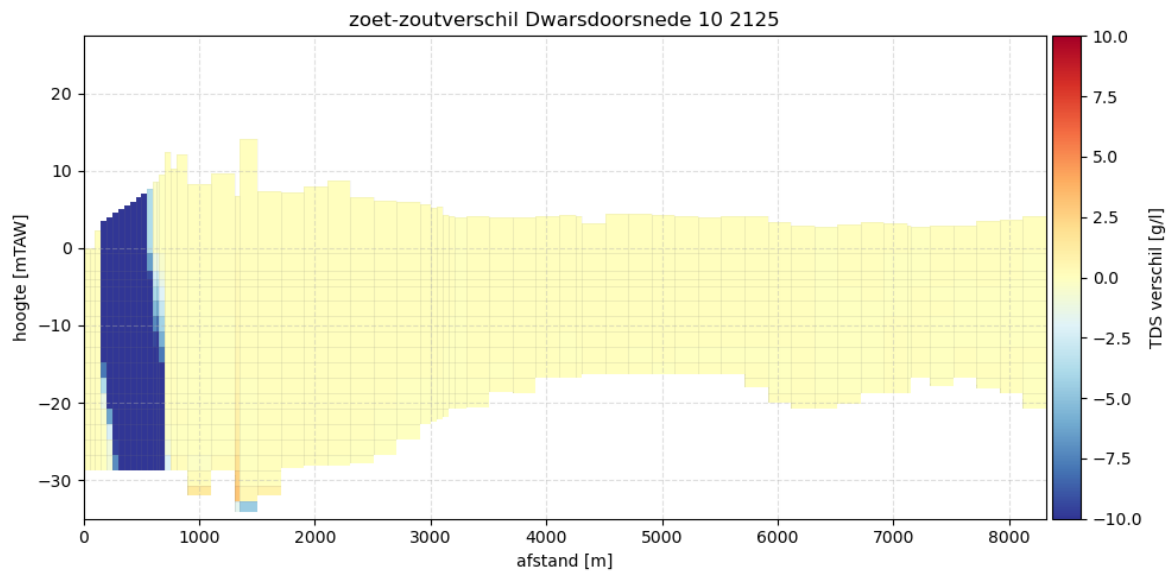
Figuur bijlage C-6: Dwarsprofiel 10 met weergave van de zoutconcentratie anno 2025 (REF2025)



Figuur bijlage C-7: Dwarsprofiel 10 met weergave van de zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF2125)

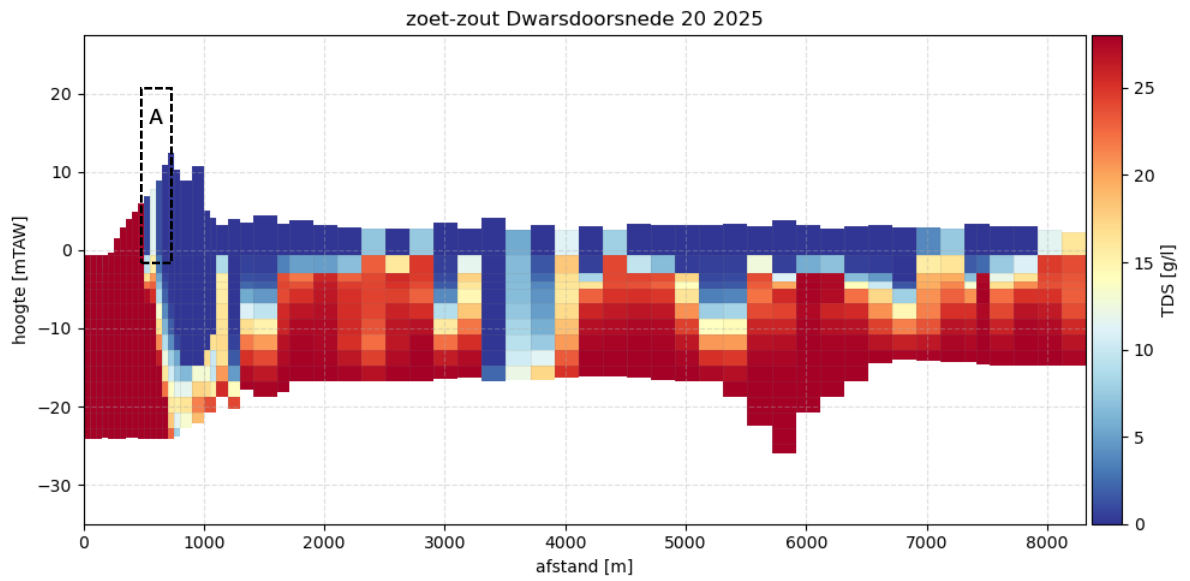


Figuur bijlage C-8: Dwarsprofiel 10 met weergave van de zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU2125)

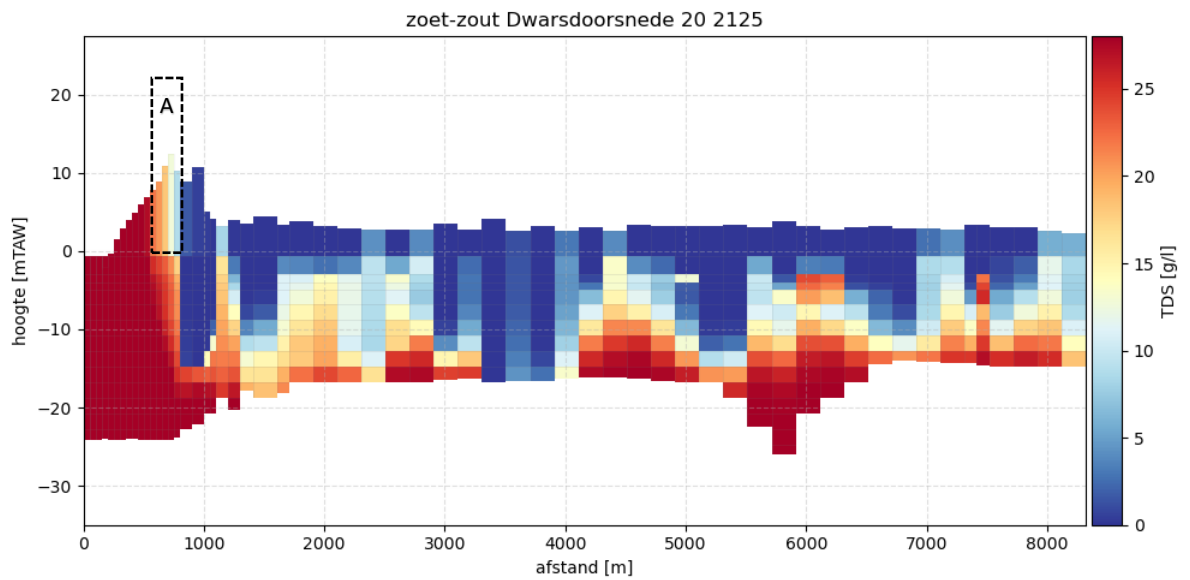


Figuur bijlage C-9: Dwarsprofiel 10 met weergave van het verschil in zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) tussen de modellen met en zonder zeewaartse stranduitbreiding. Negatieve waarden wijzen op een verzoeting van het grondwater door zeewaartse stranduitbreiding, positieve op een verzilting

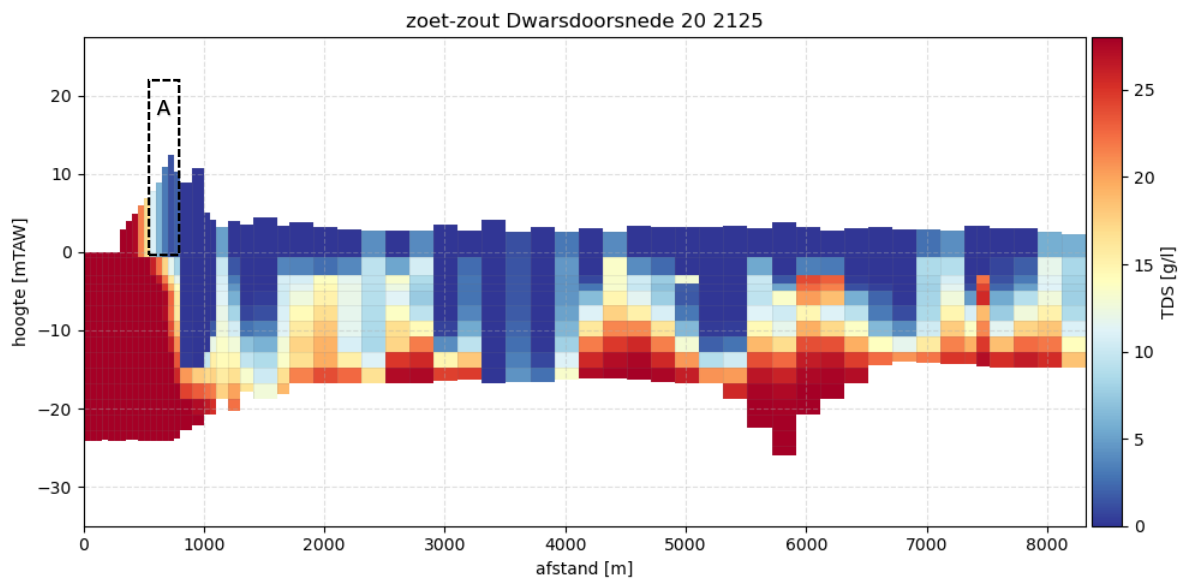
## C.2.2 Dwarsprofiel 20



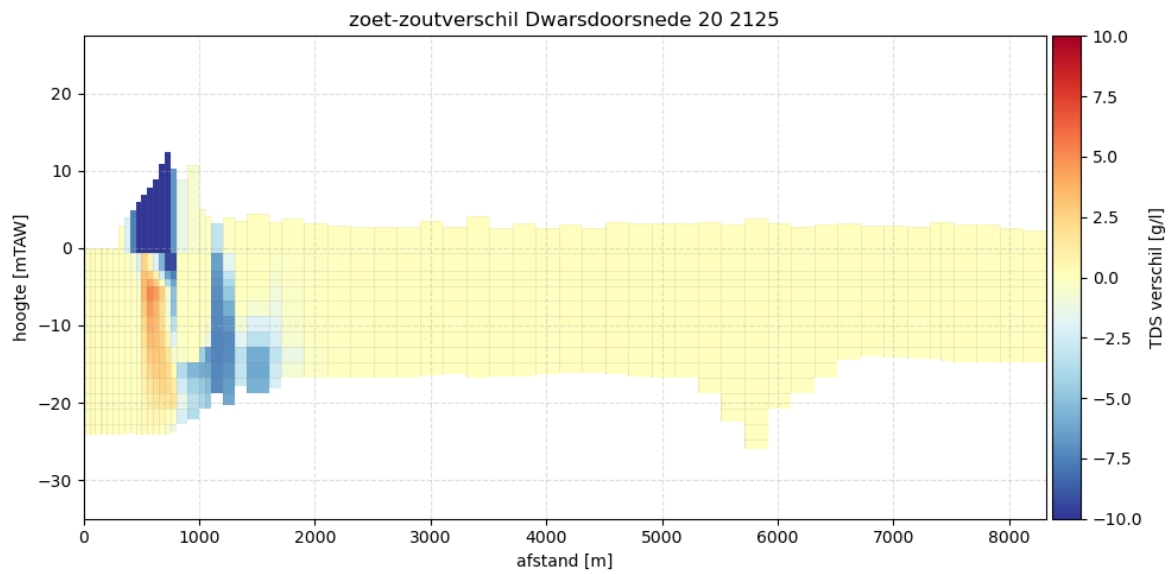
Figuur bijlage C-10: Dwarsprofiel 20 met weergave van de zoutconcentratie anno 2025 (REF2025)



Figuur bijlage C-11: Dwarsprofiel 20 met weergave van de zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF2125)

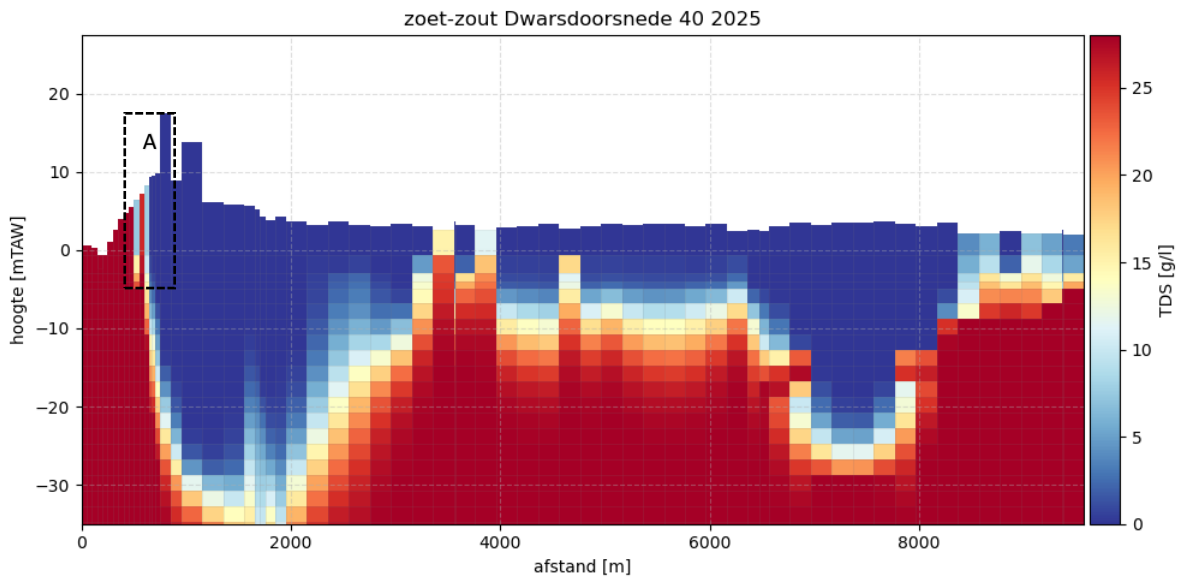


Figuur bijlage C-12: Dwarsprofiel 20 met weergave van de zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU2125)

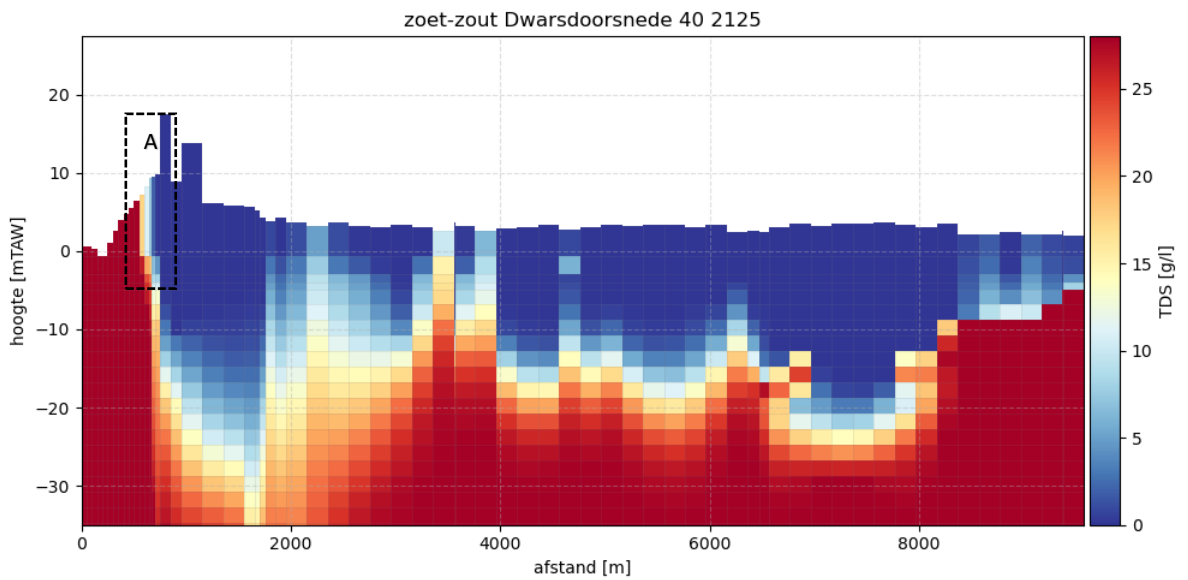


Figuur bijlage C-13: Dwarsprofiel 20 met weergave van het verschil in zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) tussen de modellen met en zonder zeewaartse stranduitbreiding. Negatieve waarden wijzen op een verzoeting van het grondwater door zeewaartse stranduitbreiding, positieve op een verzilting

### C.2.3 Dwarsprofiel 40

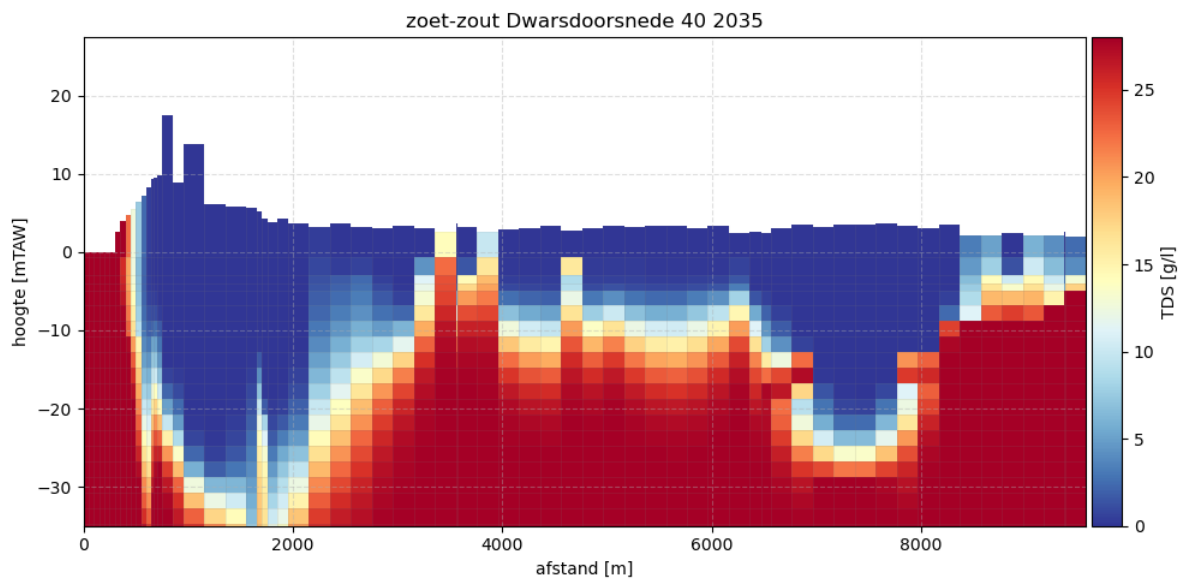


Figuur bijlage C-14: Dwarsprofiel 40 met weergave van de zoutconcentratie anno 2025 (REF2025)

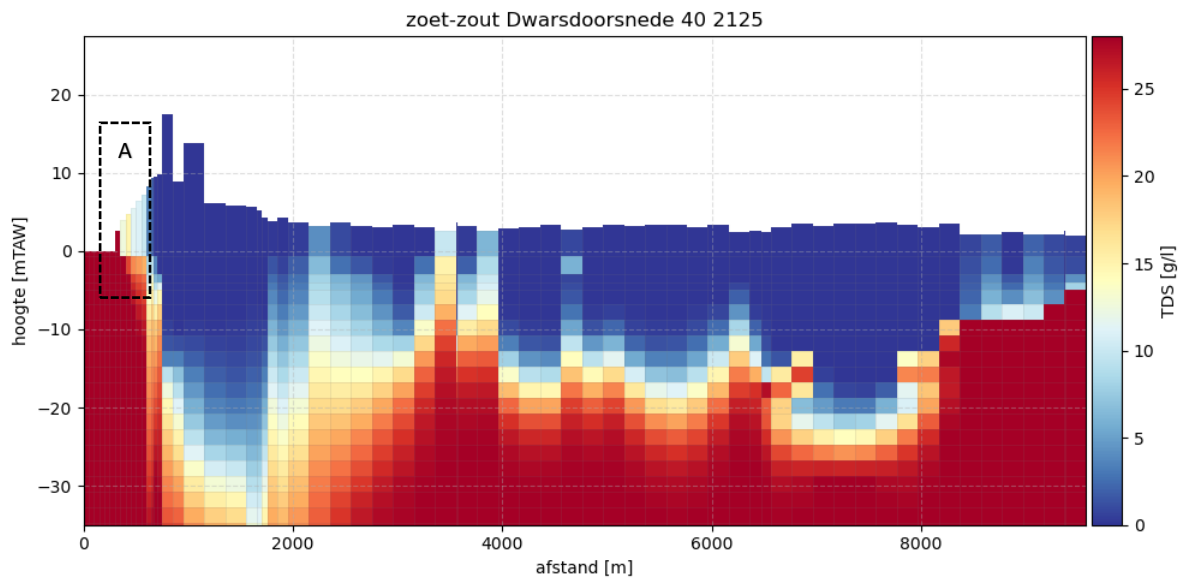


Figuur bijlage C-15: Dwarsprofiel 40 met weergave van de zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF2125)

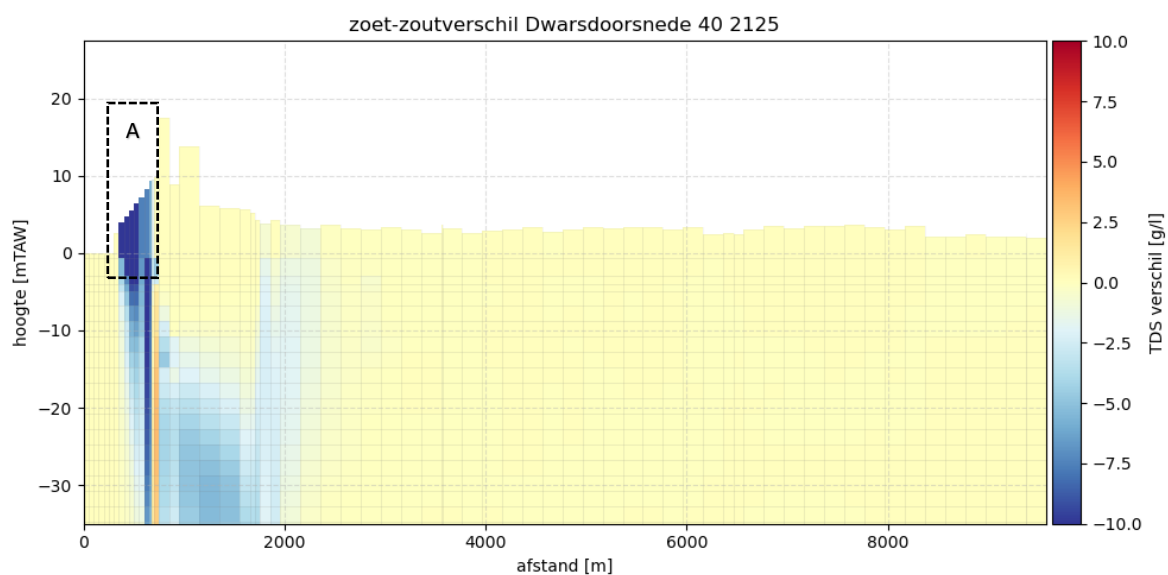




Figuur bijlage C-16: Dwarsprofiel 40 met weergave van de zoutconcentratie anno 2035 (zeespiegelstijging +0.3 m) en zonder zeewaartse stranduitbreiding (ZWU2125)

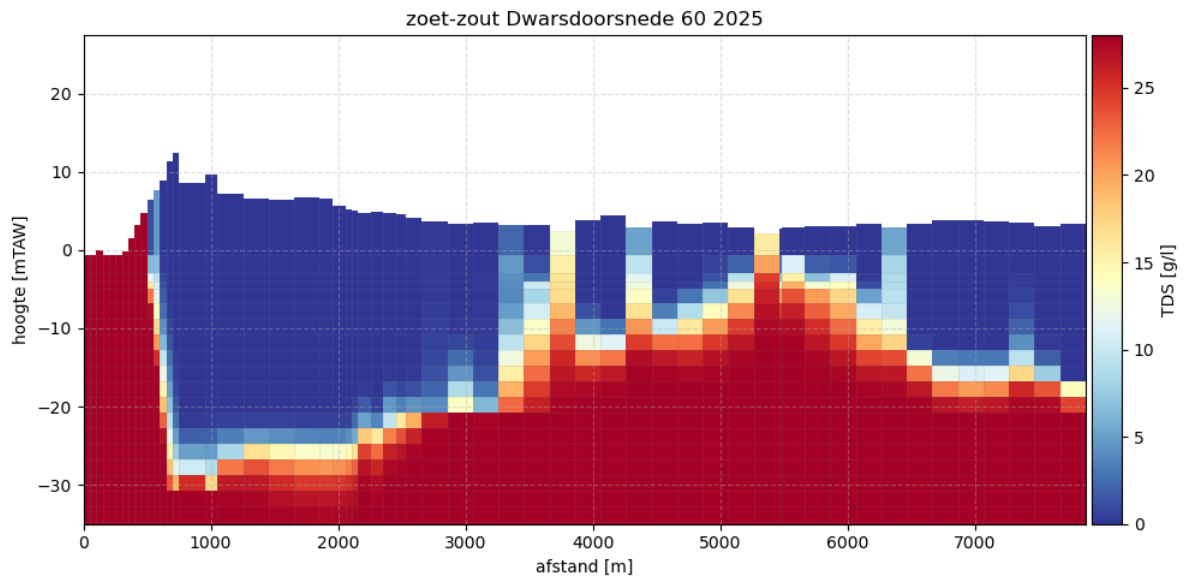


Figuur bijlage C-17: Dwarsprofiel 40 met weergave van de zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU2125)

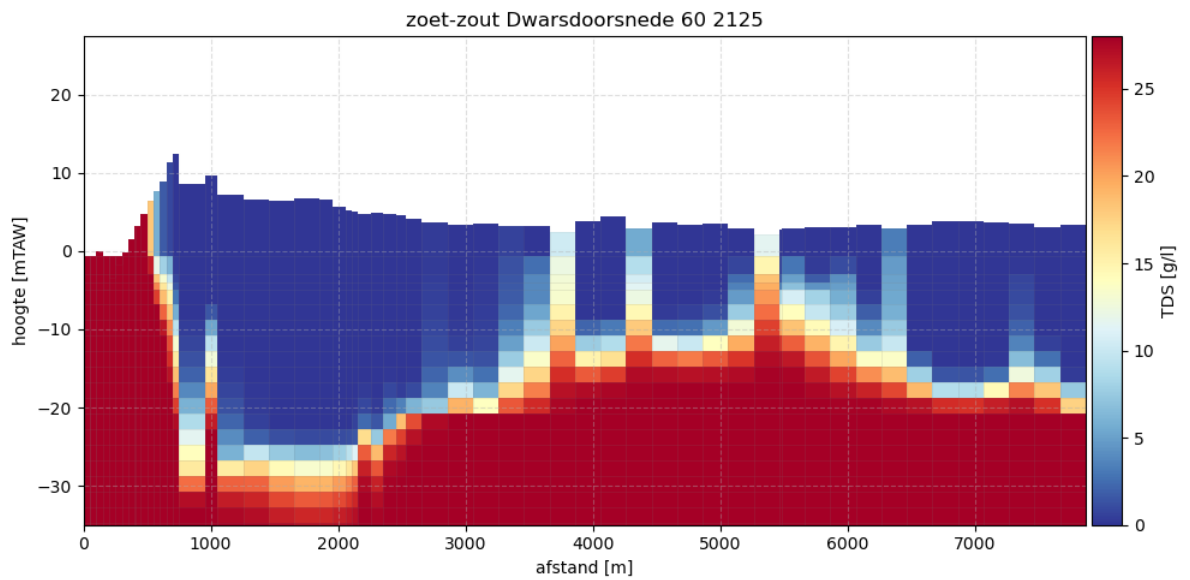


Figuur bijlage C-18: Dwarsprofiel 40 met weergave van het verschil in zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) tussen de modellen met en zonder zeewaartse stranduitbreiding. Negatieve waarden wijzen op een verzoeting van het grondwater door zeewaartse stranduitbreiding, positieve op een verzilting.

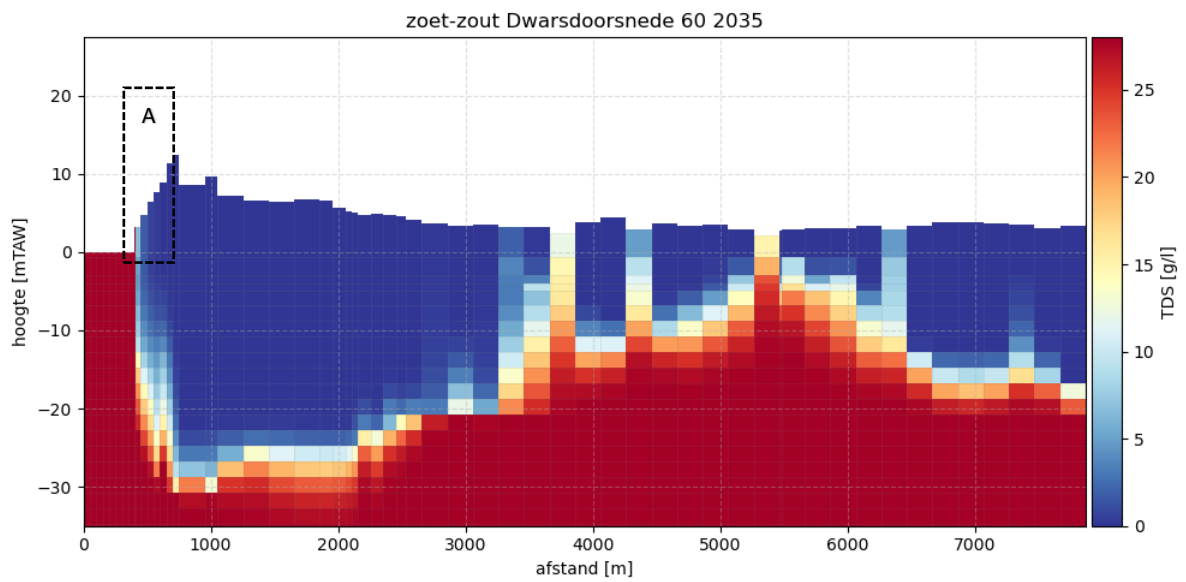
## C.2.4 Dwarsprofiel 60



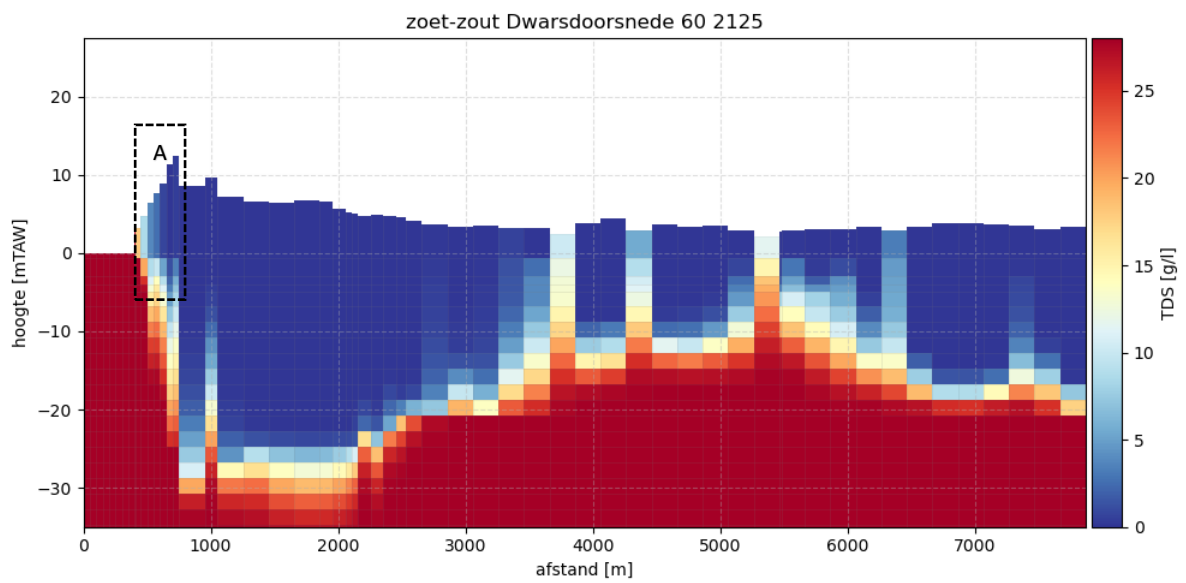
Figuur bijlage C-19: Dwarsprofiel 60 met weergave van de zoutconcentratie anno 2025 (REF2025)



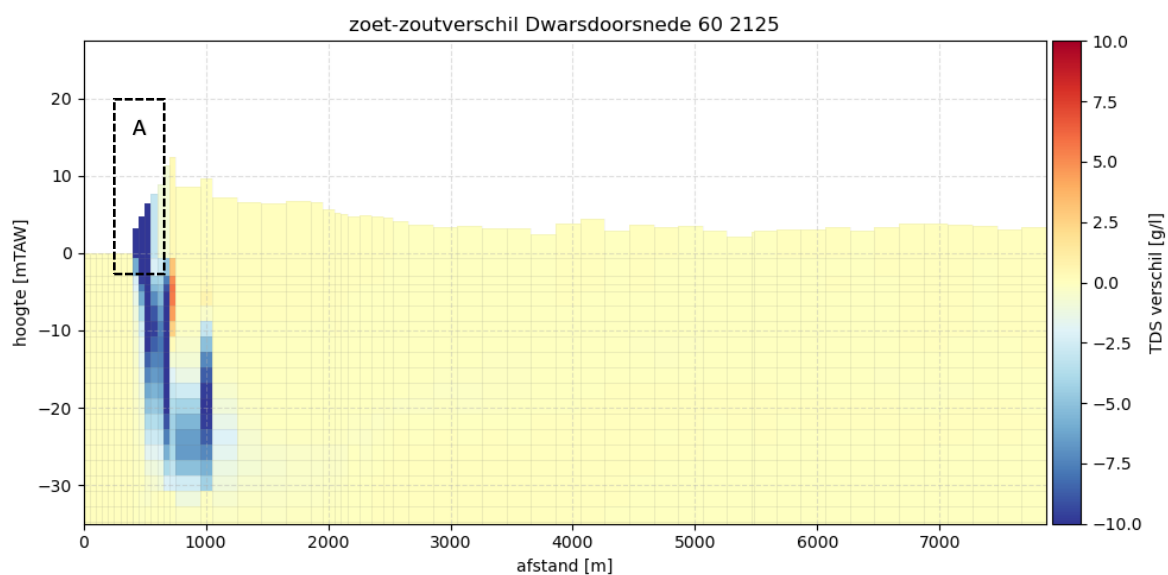
Figuur bijlage C-20: Dwarsprofiel 60 met weergave van de zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) en zonder zeewaartse stranduitbreiding (REF2125)



Figuur bijlage C-21: Dwarsprofiel 60 met weergave van de zoutconcentratie anno 2035 (zeespiegelstijging +0.3 m) en zonder zeewaartse stranduitbreiding (ZWU2035)



Figuur bijlage C-22: Dwarsprofiel 60 met weergave van de zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) en met zeewaartse stranduitbreiding (ZWU2125)



Figuur bijlage C-23 Dwarsprofiel 60 met weergave van het verschil in zoutconcentratie anno 2125 (zeespiegelstijging +3 m) tussen de modellen met en zonder zeewaartse stranduitbreiding. Negatieve waarden wijzen op een verzoeting van het grondwater door zeewaartse stranduitbreiding, positieve op een verzilting.



# Colofon

<b>COPYRIGHT</b>	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.
<b>OMSLAG</b>	Hoogtij(d)
<b>PUBLICATIEDATUM</b>	22/11/2023
<b>UITGEVER</b>	ir. Filip Boelaert secretaris-generaal Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken
<b>OPMAAK</b>	Hoogtij(d)







Kust  
visie