

Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II

Systeme analyses Waterveiligheid

Deelrapport Zandige waterkeringen kust Hoofdrapport met bijlagen



RWS INFORMATIE

Systemanalyse Waterveiligheid

Deelrapportage Zandige waterkeringen kust

Kennisprogramma Zeespiegelstijging – Spoor II - Systeemverkenningen

Resultaten van waterveiligheidsberekeningen met de impact van (versnelde) zeespiegelstijging op de huidige systeeminrichting waterveiligheid van de Nederlandse zandige kust.

Datum	1 april 2023
Versie	1.1
Status	Definitief

Colofon

Deze publicatie maakt deel uit van het **Kennisprogramma Zeespiegelstijging**, een initiatief van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en de Deltacommissaris. Het programma levert kennis op over de gevolgen van zeespiegelstijging en hoe Nederland daarmee kan omgaan. Deze kennis wordt gebruikt bij de herijking van het Deltaprogramma in 2026.

Meer informatie over het kennisprogramma en een overzicht van alle publicaties staat op kennisprogrammazespiegelstijging.nl.

Uitgegeven door Kennisprogramma Zeespiegelstijging- Spoor 2

In opdracht van Rijkswaterstaat WVL

Auteurs

M.m.v.

Informatie

Telefoon

E-mail

Datum 1 maart 2023

Versie 1.1

Status Definitief

Versiebeheer

0.1	Maurits Groenewegen	Concept rapportage, ter discussie conclusies
0.2	Maurits Groenewegen	Verwerking feedback, toevoeging van versterkingsopgave en vergroting van analyse naar totale kust. Opmaak uitgelijnd voor concept-definitieve versie
0.3	Maurits Groenewegen	Rapportage rekenresultaten
0.5	Rinse Wilmink	Aanvullingen op de resultaten + versterkingsopgave
0.9	Rinse Wilmink	Eindredactie – versie ter review
0.95	Rinse Wilmink	RWS reviews verwerkt, voorgelegd aan waterkering beheerders ter review
1.0	Rinse Wilmink	Opmerkingen waterkeringbeheerders verwerkt.
1.1	Rinse Wilmink	Feedback DGWB verwerkt - Akkoord DGWB

Samenvatting

In dit rapport is een landelijk uniforme inschatting gemaakt van de waterveiligheidsopgave van de zandige kust welke langs de Nederlandse kust zal ontstaan bij een stijgende zeespiegel. Voor de analyse is een pragmatische methode gebruikt waarmee verschillende zeespiegelstijging- (4) en morfologische scenario's (6) voor de toekomst doorgerekend kunnen worden. De keerzijde van deze pragmatische methode is dat het gebruikte rekenmodel voor bepaalde locaties langs de kust – met name op locaties waar een 2D aanpak vereist is – buiten het toepassingsbereik valt. Om die reden dienen de resultaten niet in absolute zin geïnterpreteerd te worden maar nadrukkelijk als een inschatting van de waterveiligheidsopgave die ontstaat bij een bepaald scenario. Ook betreft de uitgevoerde analyse nadrukkelijk geen vervanging of invulling van de wettelijke beoordeling van de waterkeringen.

De analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle raaien langs de Nederlandse kust. Een uitwerking voor 5 meter zeespiegelstijging volgt in een latere fase van het KP-ZSS. Om de onzekerheid van de toekomstige bodemligging te omvatten is er gerekend met meerdere morfologische scenario's van de vooroever, strand en duinen, te weten: niet meegroeien, en 2 varianten binnen het gedeeltelijk meegroeien en het volledig meegroeien scenario. Belangrijke aanname van deze studie is dat het meegroeien van de waterkering niet is getoetst op haalbaarheid, dit is een aanbeveling voor verder onderzoek. Op dit moment groeien de duinen vooral mee aan de zeezijde. Om ook meer landwaarts gelegen duinen te laten groeien zijn aanvullende maatregelen nodig. Ook is het de vraag of duinen snel genoeg meegroeien als de zeespiegel sneller gaat stijgen. Met name in brede duingebieden waar het grensprofiel / de formele waterkering verder landwaarts ligt groeien de duinen verder landinwaarts in de huidige beheerpraktijk niet/minder mee met de zeespiegelstijging.

Op basis van de uitgevoerde analyse komt evident naar voren dat het mee laten groeien van de kust met zeespiegelstijging voor bijna de gehele kust extra waterveiligheidsopgaven voorkomt. Het blijven uitvoeren van het huidige kustbeleid – meegroeien met zeespiegelstijging – blijkt zeer effectief om zeespiegelstijging in de toekomst het hoofd te bieden. Op plaatsen waar de aangroei van duinen onwaarschijnlijk is, bijvoorbeeld waar bebouwing het meegroeien van de waterkering belemmert, ontstaan de eerste problemen voor de waterveiligheid. Het probleem van deze 'lage kustgebieden' kan enkel worden opgelost door het toevoegen van waterkerende hoogte om direct overstromen te voorkomen.

Bij een zeespiegelstijging van 2 meter of meer en in de gedeeltelijk of niet meegroeien scenario's, gaan er op ongeveer de helft van de kustlocaties waterveiligheidsproblemen ontstaan. In deze situaties dienen veel waterkeringen versterkt te worden. De versterking voor 3 meter zeespiegelstijging, bij een niet meegroeien scenario van de kust, is berekend op 45 miljoen kubieke meter zand met een bijbehorend kostenplaatje van 675 miljoen euro (nominale kosten). Daarnaast zullen door deze versterkingen en de reguliere achteruitgang van de kust tussen de versterkte gebieden, bolwerken ontstaan die een veel grotere onderhoudsinspanning van de kustlijn gaan vragen in de toekomst. Laatst genoemde effect zal op de langere termijn mogelijk de overhand gaan nemen. Dit additionele onderhoud is niet nader gekwantificeerd in deze studie. Daarnaast is in deze studie niet berekend of de 'natuurlijke' kustlijn terugtrekking in het scenario van een niet meegroeiende kust leidt tot een additionele versterkingsopgave.

Summary

This report contains an estimate of the impact of (accelerated) sea level rise on the flood risk levels along the Dutch sandy coast. The analysis has been performed in a uniform way along the coast using several sea level rise (4) and morphologic scenario's (6). The downside is that in some locations this uniform approach is outside its application range used, specifically in situations where a 2D approach is needed. Therefore the results cannot be used in an absolute sense. Though, as an estimate for the impact of sea level rise in the far future, the approach is sufficient.

The analysis has been performed for 0, 1, 2 and 3 meters of sea level rise for all coastal transects along the Dutch coast. In addition multiple morphologic scenarios for the shoreface, beach and dunes have been looked into (1. full and 2. no growth with sea level rise of the shoreface, beach and dunes and two scenarios in which the coast partly grows with sea level rise. The feasibility of these scenarios has not been looked into in this study. Nowadays the dunes mostly grow with sea level rise at the seaside front. To let the whole dune area grow with sea level rise (also the more landward parts) additional measures are needed. Also the questions if the dunes can keep up growing with accelerated sea level rise has not been addressed here.

The results clearly show that if the coast can grow with sea level rise, there is hardly any impact strength of the flood defences. Therefore the current coastal policy – to grow with sea level rise – is very effective also for the future. At locations where it is naturally unlikely that the dunes will grow, for example due the coastal villages on top of the dunes, the first issues for flood safety will emerge. In the future with sea level rise, these issues can only be addressed by adding additional height on top of the flood defences.

When the coast will not or only partly grow with sea level rise, at a rate of 2m sea level rise and more, approximately at half of coastal locations flood risk issues will emerge. Large scale reinforcements are needed to keep up with the current flood risk management standards. For example, in a scenario that the coast will not grow at all and 3m sea level rise, approximately 45 mln m³ of sand is needed for reinforcement at an estimated costs of 675 mln euro (nominal costs). Additionally a natural coastal regression might be expected (Bruun's rule). The additional issues regarding flood risk management and regular coastal management due to the natural regression in a scenario where the coast does not grow with sea level rise, have not been quantified in this study. Though it is very likely that the issues due to this natural regression are far more severe than the calculated reinforcement needs.

Inhoud

1. Inleiding	5
1.1. Kennisprogramma Zeespiegelstijging	5
1.2. Achtergrond project	
1.3. Positionering Spoor II Systeemanalyse waterveiligheid	6
1.4. Positionering van de rapportage binnen Spoor II – fase 1	7
1.5. Scope en Doelstelling	7
1.6. Leeswijzer	8
2. Beschrijving methodiek	9
2.1. Duinafslag en modellering	9
2.2. Zeespiegelstijging scenario's	10
2.3. Representatieve kustprofielen	12
2.4. Morfologische scenario's	13
2.5. Hydraulische randvoorwaarden	18
2.6. Versterkingsopgave	19
2.7. Landwaartse grenzen	20
2.8. Kostenberekening	21
3. Resultaten	22
3.1. Inleiding	22
3.2. t/m 3.14. Resultaten per kustvak	23
3.15. Versterkingsopgave, ruimtebeslag en kosten	57
4. Discussie	60
5. Conclusies	62
6. Referenties	63
Bijlagen	64
Bijlage A. Vergelijking DUROS+ en XBeach afslagprofielen	64
Bijlage B. Hydraulische randvoorwaarden	74
Bijlage C. Kaartmateriaal resultaten alle zeespiegelstijgings- en morfologische scenario's	77
Bijlage D. Kaartmateriaal resultaten versterkingsopgave en verplaatsing binnenduintrand bij niet meegroeien scenario.	148

1 Inleiding

1.1 Kennisprogramma Zeespiegelstijging

Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KP ZSS) wordt kennis ontwikkeld om op een juiste manier om te kunnen gaan met een onzekere zeespiegelstijging (ZSS) in de toekomst. Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging loopt van 2019 tot 2025 en dient de kennisleemten ten aanzien van de gevolgen van extreme zeespiegelstijging op het huidige waterbeleid te verkleinen. De inzichten uit het Kennisprogramma worden gebruikt voor de 6-jaarlijkse herijking van het Deltaprogramma in 2026 (DP 2027). Binnen het programma wordt kennis via vijf sporen ontwikkeld.

In spoor I wordt onderzoek gedaan naar de onzekerheden rondom het afsmelten van de ijskappen op Antarctica. Spoor II onderzoekt welke gevolgen ZSS heeft voor onze hoogwaterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid en vormt daarmee belangrijke input voor de houdbaarheid van de voorkeursstrategie (VKS) van het Deltaprogramma. In Spoor III wordt een methode ontwikkeld om tijdig te kunnen signaleren en de nodige maatregelen hierop te kunnen nemen. Als de VKS niet meer houdbaarheid is, dan moet deze op termijn aangepast worden (spoor IV). Om de noodzakelijke aanpassingen te kunnen doen, is de medewerking van relevante partners nodig (Spoor V).

Dit rapport is onderdeel van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II Systeemverkenningen. In spoor II worden langs drie thema's verkenningen gedaan naar de houdbaarheid en opreikbaarheid van de huidige voorkeursstrategieën van het Deltaprogramma, te weten waterveiligheid, de zandige kust en zoetwater. Voorliggende rapportage is onderdeel van het thema Waterveiligheid.

Dit document betreft de Systeemanalyse Waterveiligheid zandige kust. Het is daarmee een eerste orde uitwerking van de impact van (versnelde) zeespiegelstijging op de huidige systeeminrichting waterveiligheid van de Nederlandse zandige kust. Hierbij is het door RWS opgestelde modeldocument *Waterstaatkundige modellering van versnelde Zeespiegelstijging op de kust (Van Walsem, e.a. 2021)* gehanteerd als leidraad voor de aanpak. De berekeningen behelzen zeespiegelstijgingen van 1m, 2m en 3m. De impact van 5m zeespiegelstijging op de zandige waterkeringen langs de kust wordt in een later stadium van het Kennisprogramma uitgewerkt.

1.2 Achtergrond project

In de komende eeuwen zal de zeespiegel verder stijgen. In het Deltaprogramma zijn de effecten van zeespiegelstijging tot 2100 meegenomen, waarbij geen rekening is gehouden met een mogelijke (onzekere) extra versnelling van de zeespiegelstijging volgens het recente IPCC AR6 rapport en eerdere studies (bv. [Bamber et al., 2019] en [De Conto en Pollard,2016]). Met de systeemanalyse waterveiligheid binnen het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging willen Rijkswaterstaat en het Ministerie van IenW meer inzicht krijgen in de eerste orde effecten van verschillende zeespiegelstijgingen op het hoofdwatersysteem en de primaire waterkeringen in Nederland. Binnen het KP ZSS wordt kennis ontwikkeld om op een beter onderbouwde manier om te kunnen gaan met een onzekere ZSS.

Een stijgende zeespiegel heeft direct invloed op de hydraulische belastingen op de waterkeringen, doordat waterstanden en golven toenemen, maar ook indirect, omdat bijvoorbeeld spuiomogelijkheden onder vrij verval vanuit regionale systemen

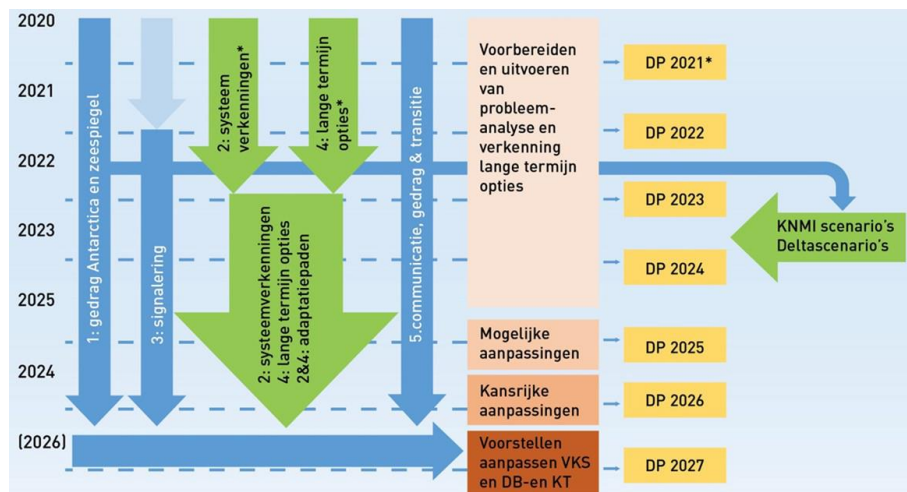
naar het hoofwatersysteem, en van daaruit naar zee wijzigen. Ook de sluitfrequenties van stormvloedkeringen nemen toe. Door grotere belastingen is versterking van de waterkeringen nodig om aan de vereiste overstromingskans te voldoen. De studie in dit project, zogenaamd 'Systeemanalyse Waterveiligheid', dient begrip van en inzicht te geven in het effect van ZSS op de belastingen en de doorwerking daarvan op de overstromingskans. Vervolgens wordt de versterkingsopgave (kosten en ruimtebeslag) in beeld gebracht en worden overige relevante waterstaatkundige indicatoren ten behoeve van de houdbaarheid van de voorkeursstrategieën (VKS) waterveiligheid van de regionale Deltaprogramma uitgerekend. Het KP ZSS gebruikt de resultaten van deze studie om samen met de DP-regio's de impact van ZSS op verschillende functies in beeld te brengen, de houdbaarheid van de VKS te duiden en de oprekmogelijkheden te verkennen.

1.3 Positionering Spoor II Systeemanalyse waterveiligheid

De systeemanalyse waterveiligheid is onderdeel van Spoor II - Systeemverkenningen. De kennisontwikkeling van Spoor II is gericht op inzicht in de vraag:

'Tot hoeveel stijging volstaan de voorkeursstrategieën uit het Deltaprogramma en zijn aanpassingen mogelijk om deze strategieën langer vol te houden?'

Binnen het Spoor II zijn drie thema's geïdentificeerd: Waterveiligheid (keringen en kunstwerken), Zandige Kust (lange-termijn kustontwikkeling), en Zoetwater (verziltning en direct daaraan gekoppeld peilbeheer).



Figuur 1: Globale planning van de vijf sporen van KP ZSS. (bron: [Rijkswaterstaat, 2022a] - Ketenaanpak WV KP ZSS spoor 2 - Samenvatting modelaanpak WV bij ZSS).

De doelstelling van spoor II Systeemverkenningen van KP ZSS is om:

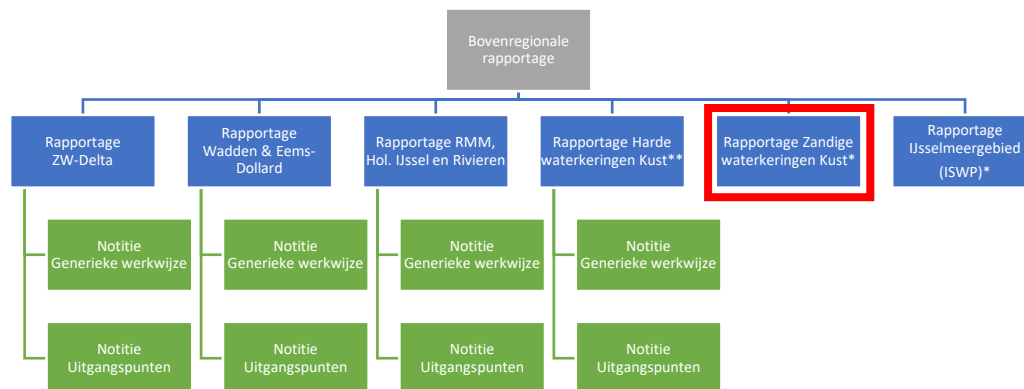
- De waterstaatkundige effecten van zeespiegelstijging op de huidige watersystemen te bepalen;
- De mate van houdbaarheid van de voorkeursstrategieën (VKS) te duiden door waterstaatkundige effecten en andere effecten op gebiedsfuncties in beeld te brengen;
- Te verkennen en in beeld brengen:
 - wat de mogelijkheden voor het oprekken van de huidige VKS zijn;
 - wat de kansrijkheid van lange-termijn oplossingsrichtingen is; de lange-termijn oplossingsrichtingen worden veelal in Spoor IV geagendeerd.

Dit rapport zal enkel het eerste punt behandelen.

1.4 Positionering van de rapportage binnen Spoor II – fase 1

Voor de systeemanalyse waterveiligheid van Spoor II zijn 6 rapportages per DP-regio opgesteld. Deze rapportages geven een beschouwing op de rekenkundige uitkomsten en de doelstelling van Spoor II van het KP ZSS. Voor 4 regio's Zuidwestelijke Delta, Waddengebied (inclusief Eems-Dollard), Kust (alleen harde kust) en Rijn-Maasmonding, Hollandse IJssel en rivierengebied zijn de rapportages opgesteld door de combinatie HKV, Witteveen+Bos en IV-Infra. De systeemanalyses voor de Zandige waterkeringen Kust en IJsselmeergebied zijn door Rijkswaterstaat gerapporteerd. De systeemanalyse IJsselmeergebied is ook bekend onder de naam ISWP (2016-2019).

Op basis van deze 6 regio rapportages is een synthese geschreven die in de bovenregionale rapportage is opgenomen.



*) De systeemanalyses voor de Zandige waterkeringen Kust en de Meren en Vecht-IJsseldelta zijn door Rijkswaterstaat uitgevoerd en gerapporteerd. In de bovenregionale rapportage worden de resultaten voor deze gebieden geïntegreerd met de andere gebieden.

***) De systeemanalyses voor het Flauwe Werk, Veerse Gatdam en Brouwersdam zijn door Rijkswaterstaat uitgevoerd. De resultaten worden geïntegreerd in de rapportage Harde waterkeringen Kust.

Figuur 2: Positionering rapportage Systeemanalyse zandige waterkeringen kust.

1.5 Scope en Doelstelling

Het doel van de Systeemanalyse Waterveiligheid zandige waterkeringen kust is het in beeld brengen van de waterveiligheidsopgave van de zandige waterkeringen langs de Nederlandse kust ten gevolge van zeespiegelstijging. Aangezien de tijdstippen van optreden van de zeespiegelstijgingszichtwaarden waarnaar gekeken wordt ver in de toekomst liggen, zijn er aanzienlijke onzekerheden in hoe Nederland er op dat moment uit zal zien. In de systeemanalyse wordt door middel van scenario's gekeken onder welke omstandigheden er wel of niet wordt voldaan aan de huidige waterveiligheidsnormen. Indien er 'ingeschat' wordt dat voor de waterkering falen op kan treden, wordt een inschatting gegeven van de versterkingsopgave in de ruimte. Er wordt uitdrukkelijk gesproken over 'inschatten' omdat er geen volledige beoordeling van de waterkering is uitgevoerd. Al met al wordt hiermee in dit rapport toegewerkt naar een globaal veiligheidsbeeld van de Nederlandse zandige waterkeringen onder zeespiegelstijging en de daaruit eventueel voortvloeiende versterkingsopgave. Het in beeld brengen van de impact van deze

voortvloeiende versterkingsopgave op andere functies (denk aan natuur, ruimtelijke ordening, ...) valt buiten de scope van dit rapport en wordt binnen het KP-ZSS onder het thema duidingskader opgepakt.

De methodiek voor deze studie is beschreven in Van Walsem, e.a. (2021) is uitgewerkt in Groenewegen (2021) middels een Proof of Principle. In de Proof of Principle is de methodiek toegepast op 26 (representatieve) raaien verdeeld over de Nederlandse zandige kust. De Proof of Principle geeft al een eerste indruk van de te verwachten resultaten uit de Systeemanalyse Waterveiligheid zandige kust. De in dit rapport uitgewerkte Systeemanalyse wordt de methode toegepast met een gedetailleerder niveau van berekeningen waarin uiteindelijk, in een hoger aggregatieniveau, naar alle raaien van de Nederlandse zandige kust wordt gekeken.

1.6 Leeswijzer

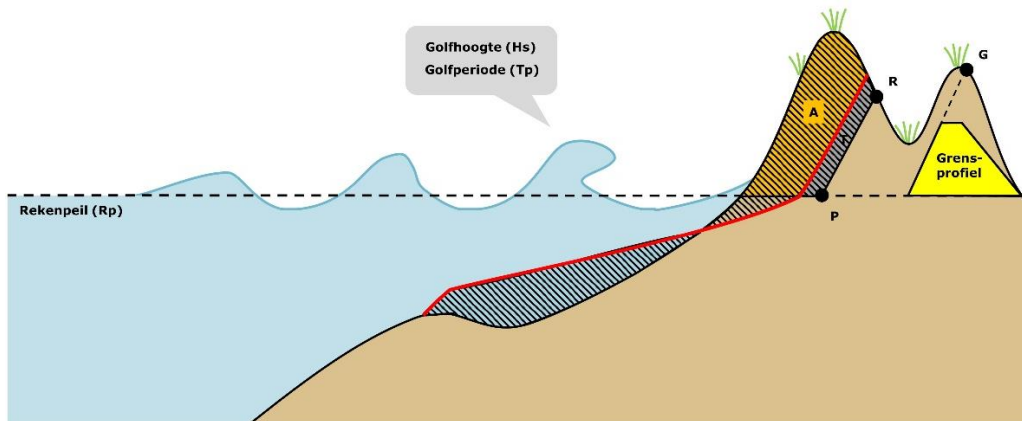
Hoofdstuk 2 beschrijft de gebruikte rekenmethodiek gevolgd door de resultaten in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 betreft de discussie gevolgd door conclusies in hoofdstuk 5.

2 Beschrijving methodiek

2.1 Duinafslag en modellering

Het overgrote deel van de kustwaterkeringen in Nederland bestaat uit zandige waterkeringen. Hier wordt het achterland door de aanwezige duinen beschermd tegen de zee. Tijdens een storm vindt er erosie plaats van deze duinen (duinafslag) door de hydraulische belastingen vanuit zee. De duinen worden aangetast door een combinatie van een hoge waterstand (vertaald in een rekenpeil) als gevolg van stormopzet, astronomisch getij en hoge golven. De golven worden gekarakteriseerd door de significante golfhoogte (H_s) en de piek golfperiode (T_p). Het zand van de duinen wordt zeewaarts getransporteerd naar lagere delen van het profiel. Dit proces wordt duinafslag genoemd. Figuur 3 illustreert dit proces langs een kustdoorsnede. Het bovenste gedeelte van het kustprofiel past zich aan naar een zogenaamd post-stormprofiel, hier weergegeven door de rode lijn. Hierbij wordt aangenomen dat de hoeveelheid geërodeerd zand uit de duinen gelijk is aan de hoeveelheid sedimentatie lager in het profiel. Met andere woorden: de hoeveelheid zand in het profiel blijft gelijk (zandbalans). In de huidige beoordelingssystematiek van duinwaterkeringen wordt er gebruik gemaakt van een eenvoudig balansmodel (DUROS+) om het kustprofiel na de storm te beschrijven. In dit model wordt het afslagprofiel beschreven als een parabolische lijn vanaf de duinvoet in zeewaartse richting. De helling van het zeewaartse duintalud is 1:1. Dit afslagprofiel wordt ingepast in het kustprofiel. Het geërodeerde volume boven het rekenpeil wordt aangeduid als het afslagvolume (A). Onnauwkeurigheden als gevolg van de eenvoudige schematisatie, onzekerheden over stormduur en onnauwkeurigheid van profielmetingen, worden in rekening gebracht door een bepaald toeslagvolume landwaarts van het afslagprofiel in te passen. Dit volume is bepaald op 25% van het afslagvolume ($T=0,25A$). Hierbij geldt dat de maximale breedte van het toeslagprofiel 15m mag worden tijdens maatgevende omstandigheden. De achtergrond van deze systematiek wordt uitgebreid beschreven in Technisch Rapport DuinAfslag (Expertisenetwerk waterveiligheid, 2007).

Het punt R betreft het meest landwaartse punt tot waar zand wordt geërodeerd. Dit wordt het afslagpunt genoemd. De duinwaterkering wordt bestempeld als veilig indien het afslagpunt zeewaarts ligt van het kritieke afslagpunt (G). Indien dit punt wordt overschreden wordt aangenomen dat de duinwaterkering onder die condities zal doorbreken. Het kritieke afslagpunt wordt bepaald door het grensprofiel, het minimale profiel wat nog aanwezig moet zijn aan het einde van een storm. De grootte van dit grensprofiel is afhankelijk van de golfkarakteristieken, zie Expertisenetwerk waterveiligheid (2007) voor een uitgebreidere onderbouwing.



Figuur 3 - Duinafslag introductie

2.1.1 Toepassingsbereik van DUROS+

Het model DUROS+ is een eenvoudig balansmodel dat is ontwikkeld om de veiligheid van een duinwaterkering te kunnen beoordelen. Het is een simplificatie van de complexe interactie tussen de hydraulische belastingen en het kustprofiel. Dit maakt dat de rekentijd minimaal is en het model op grote schaal kan worden toegepast. De keerzijde van deze vereenvoudiging is dat het toepassingsbereik beperkt is. Bij kustprofielen waar er geen sprake is van een regelmatig aflopend kustprofiel, zoals over het algemeen wel het geval is bij de Hollandse kust, leidt de toepassing van DUROS+ tot een minder nauwkeurige resultaten ten opzichte van de werkelijkheid. Voorbeelden zijn kustprofielen met ondiepe vooroevers en eilandkoppen. Voor deze situaties is extra interpretatie of analyse nodig welke in dit rapport niet zijn gemaakt. Wel is benoemd waar de resultaten van Duros+ niet zondermeer gebruikt kunnen worden.

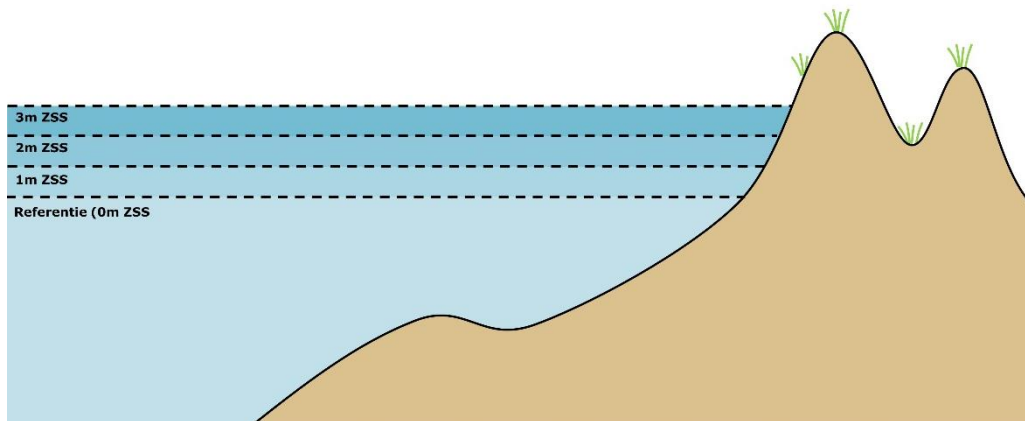
XBeach, een proces gebaseerd (numeriek) model, rekent fysische processen wel uit, wat zorgt voor een breder toepassingsbereik. Omdat in dit model de fysische processen worden uitgerekend is de rekentijd aanzienlijk groter en daarmee de mogelijkheid om veel scenario's door te rekenen beperkter. Op het moment van schrijven van dit rapport is XBeach nog in ontwikkeling en nog niet geschikt om te worden toegepast in de formele waterveiligheidsbeoordeling in Nederland. Met XBeach kan op dit moment nog geen eenduidige inschatting van de waterveiligheid worden gemaakt.

In deze fase van het kennisprogramma is er gekozen om gebruik te maken van de vigerende modelsystematiek die wordt gebruikt bij de beoordeling van zandige (duin)waterkeringen, namelijk DUROS+. In bijlage A is voor 26 profielen langs de Nederlandse kust een vergelijking gemaakt tussen de afslagprofielen van DUROS+ en XBeach in de huidige situatie (0m ZSS). Deze bijlage komt uit Groenewegen (2021) en was de (nieuwe) beoordelingsystematiek met behulp van XBeach nog niet volledig uitgewerkt. In een latere fase van het KP-ZSS zal op deze verschillen verder ingezoomd worden.

2.2 Zeespiegelstijging scenario's

In deze studie wordt er klimaatscenario-onafhankelijk gerekend met 0m (referentie), 1m, 2m en 3m zeespiegelstijging, weergegeven in Figuur 4. Een 5m ZSS impact schatting is nog niet gemaakt, dit wordt in een vervolgfase van het KP-

ZSS verder uitgewerkt. Belangrijke randvoorwaardelijke kennisvragen voor deze analyse zijn: 1. stijgen de hoogwaterstanden onder extreme (storm) condities in gelijke mate mee met de zeespiegel en 2. In hoeverre verandert het golfklimaat als gevolg van zeespiegelstijging (bij onveranderde windstatistiek)? Voor deze studie is op basis van bekende literatuur een eerste inschatting gemaakt van het effect van zeespiegelstijging op de hydraulische belastingen langs de kust.



Figuur 4 – Zeespiegelstijging scenario's

Arns, et al. (2017) analyseerde zeespiegelstijging van eens in de 50, 100 en 200 jaar events bij verschillende IPCC-scenario's. Er werd gebruik gemaakt van een hydraulisch model van de gehele Noordzee en een deel van de Atlantische oceaan, gekoppeld aan een golfmodel uit de Mike-serie. Het interessegebied waren de Duitse Wadden, die veel overeenkomsten hebben met de Nederlandse Wadden en de Nederlandse kust in het algemeen – beide zijn gelegen aan dezelfde zee, beide kennen een flauwe helling tot vele kilometers in zee. Geconcludeerd wordt dat op veel locaties de hoogwaterstanden harder stijgen dan de zeespiegel. Een fysische onderbouwing van deze conclusie is dat het getij minder last heeft van bodemwrijving als de zeespiegel stijgt. Het effect is een toename van de getijde amplitude. Daarentegen zorgt een verhoogde waterdiepte ervoor dat wind in mindere mate in staat is water in beweging te krijgen en daardoor de windopzet relatief kleiner is. In het geval van ondiep water overtreft het effect van de zeespiegelstijging op het getij de reductie van de stormvloed. De hoogwaterstanden nemen dus meer toe dan de zeespiegelstijging. Echter, in het geval van grotere waterdiepte blijkt dat het effect van de stormvloed de toename van getij overtreft en stijgen de hoogwaterstanden minder dan de zeespiegel. Dit is in overeenstemming van de studie van Wegman (2018) waarin een zeespiegelstijging van 1m is geanalyseerd bij een noordwestelijke stormvloed met een terugkeertijd van $T = 4000$ jaar. Er werd gebruik gemaakt van een hydraulisch Waqua-model en een SWAN-model van de gehele Noordzee. Het interessegebied was de Nederlandse kust. De resultaten laten zien dat de hoogwaterstand iets minder hard (ca. 5%) stijgt dan de zeespiegel. Uit beide studies kan worden afgeleid dat bij (extreme) stormen met grote terugkeertijd de hoogwaterstand waarschijnlijk minder stijgt dan de zeespiegel.

Ten aanzien van de golfkarakteristieken wordt in beide studies een beperkte golfgroei geconstateerd. In Arns, et al. (2017) wordt een golfgroei van ongeveer 0.2-0.5m berekend voor golven in het interessegebied per m zeespiegelstijging. De bovengrenswaarde van 0.5 m golfgroei per meter zeespiegelstijging komt overeen met de bovengrens voor golfgroei bij toename van waterdiepte. Het effect van een

meegroeïend strand en vooroever is niet beschouwd. Indien het strand en de vooroever meegroeien met de zeespiegel zullen de werkelijke waarden aanmerkelijk lager zijn. Wegman (2018) berekent een golfgroei van 0,1-0,3m op diep water bij 1 meter zeespiegelstijging. Dit komt, ten opzichte van golven van ongeveer 10 meter onder extreme omstandigheden, neer op een golfgroei van ongeveer 2%. Dat lijkt een redelijke maat voor de groei van de golven als gevolg van de zeespiegelstijging wanneer dieptelimitering niet plaatsvindt. Dichterbij de kust vinden we hier en daar grotere relatieve en absolute stijging van significante golfhoogte. Echter, als de vooroever en strand meegroeien zullen deze grote stijgingen niet optreden omdat de diepte (breking) dan de limiterende factor is. Het lijkt redelijk om aan te nemen dat de golfhoogte van diepe zee tot strand niet meer dan 2% per meter zeespiegel bedraagt. Een uitzondering hierop vormt het scenario dat de voordelta niet meegroeit. Voor de Zeeuwse Delta kunnen in dat geval aanzienlijk hogere golfhoogtes worden verwacht.

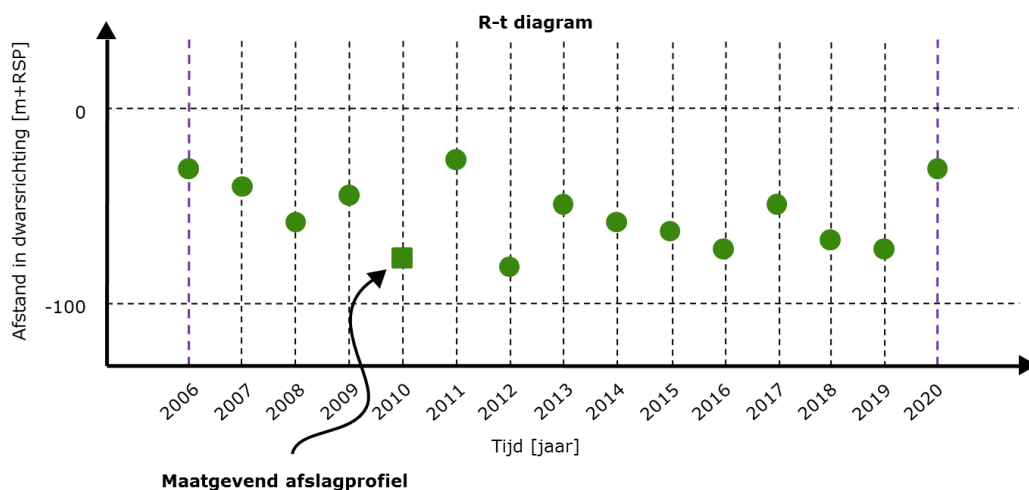
Samenvattend kan op basis van de bovengenoemde literatuur de volgende aannames gemaakt ten aanzien van de hoogwaterstanden en golfkarakteristieken in het geval van zeespiegelstijging:

- De hoogwaterstanden tijdens extreme omstandigheden worden simpelweg opgetild met de zeespiegelstijging.
- De golfhoogte wordt verondersteld met 2% per meter zeespiegelstijging toe te nemen, ten opzichte van de initiële golfcondities. Een uitzondering hierop vormt het scenario dat de voordelta niet meegroeit. Voor de Delta kust kunnen in dat geval aanzienlijk hogere golfhoogte worden verwacht.
- De golfperiode wordt op basis van Wegman (2018) geacht 0,1s per meter zeespiegelstijging toe te nemen.

Afleiding van de hydraulische randvoorwaarden wordt beschreven in paragraaf 2.5.

2.3 Representatieve kustprofielen

De sterkte van de zandige waterkeringen is gerelateerd aan het zandvolume en verdeling van dit zand in het duin, strand en vooroever. Als gevolg van natuurlijke

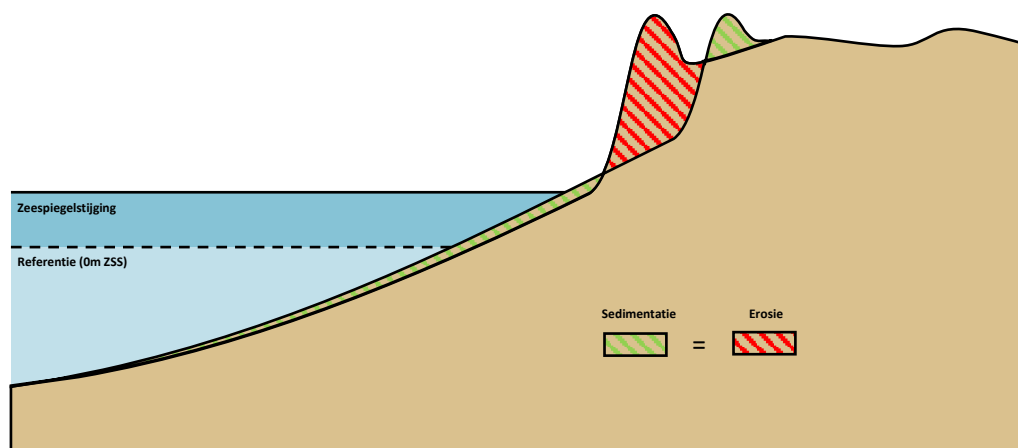


Figuur 5 - Selectie representatief kustprofiel. De groene punten illustreren jaarlijkse positie van het afslagpunt R t.o.v. de Rijksstrandpalen lijn in de periode 2006 -2020. Het groene vierkant illustreert het maatgevend afslagpunt.

processen, beweging van water en wind, vinden er erosie- en sedimentatieprocessen plaats die de kust vormen. Daarnaast wordt de kust van jaar tot jaar beïnvloed door menselijk ingrijpen door bijvoorbeeld de toepassing van zandsuppleties en de aanwezigheid van harde elementen (bebouwing). Om uiteindelijk een oordeel te kunnen geven over de sterkte van de zandige waterkeringen dient een representatief kustprofiel te worden bepaald voor elke door te rekenen locatie. Voor een veiligheidstoets dient voor elk profiel uit een reeks profielmetingen ($N > 15$) een afslagberekening te worden gemaakt met het DUROS+ model (Expertisenetwerk waterveiligheid, 2007). Hierbij wordt gebruik gemaakt van MorphAn waarin Duros+ ontsloten is. De ligging van het afslagpunt R wordt bepaald. Door de tijd kan vervolgens een R-t diagram worden getekend waarin de verandering van het punt R door de tijd is weergegeven. Een voorbeeld is geïllustreerd in Figuur 5. Vervolgens kan het maatgevend afslagpunt worden bepaald, hier gekozen als en op een na slechtste jaar. Het profiel van het jaar waarin het maatgevend afslagpunt is bepaald wordt gebruikt voor de vervolg analyse (ENW, 2007).

2.4 Morfologische scenario's

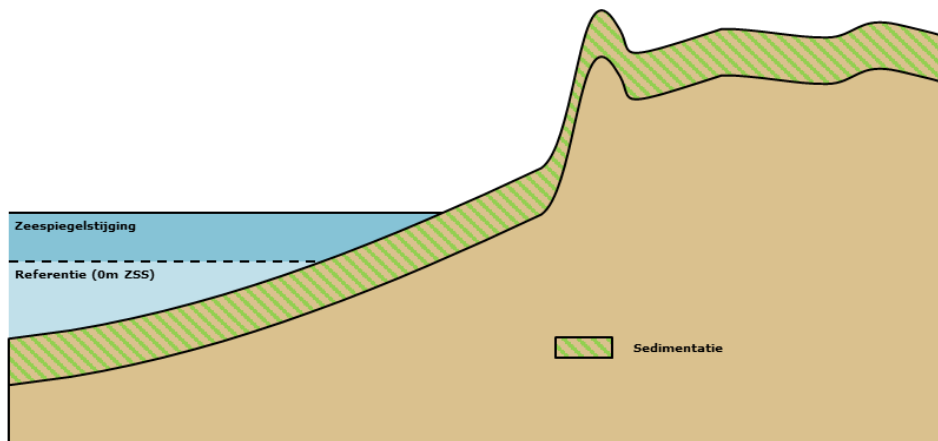
De kust wordt gevormd door de beweging van water en wind. Zeespiegelstijging heeft daarmee ook direct impact op de vorm van de kust. De gemiddelde waterstand stijgt en beïnvloedt daarmee de beweging van water. De golven kunnen een hoger deel van het profiel bereiken. In het geval van zeespiegelstijging zal het huidige profiel zich aanpassen aan de nieuwe situatie door een herverdeling van zand. Zand van het duin zal worden geërodeerd en worden verplaatst naar lagere gedeeltes van het kustprofiel zodanig dat het profiel verticaal gezien onveranderd blijft ten opzichte van de zeespiegel. Deze theorie staat bekend als de Bruun Rule. De Bruun Rule neemt aan dat al het zand uit het bovenste gedeelte van het profiel zeewaarts wordt getransporteerd. Echter, landwaarts sedimenttransport door wind zal ervoor zorgen dat over de tijd ook sedimentatie landwaarts plaatsvindt (duinaangroei). Dit wordt beschreven in Rosiati, Dean & Walton (2013) als de aangepaste Bruun Rule. Figuur 6 illustreert deze verandering.



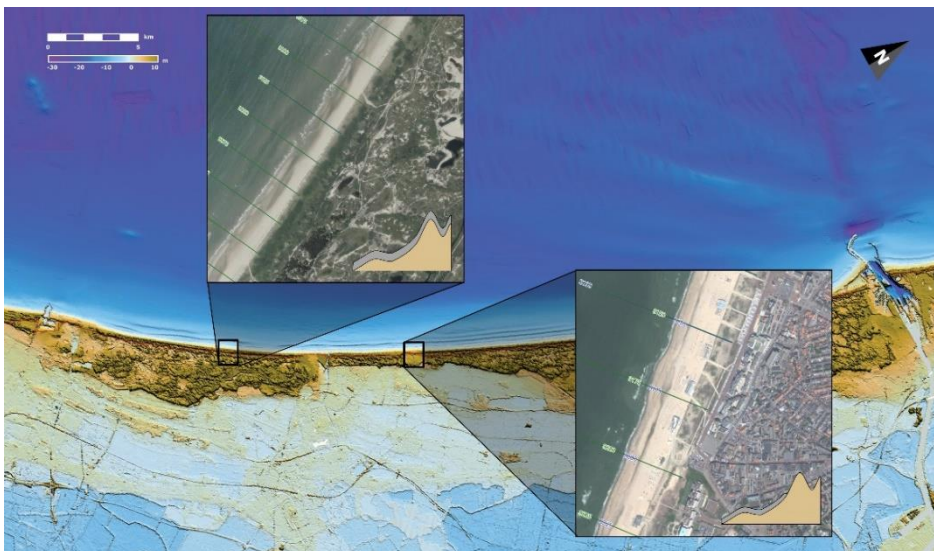
Figuur 6 - Herverdeling van zand in een kustprofiel als gevolg van zeespiegelstijging (volgens de aangepaste Bruun Rule)

Deze natuurlijke aanpassing van de kust aan de zeespiegelstijging heeft als gevolg dat er sprake is van een structurele kustlijnachteruitgang. Het duinvolume neemt af en het afslagpunt onder maatgevende belastingen zal verder landinwaarts liggen. Het uitvoeringsprogramma Kustlijnmonitoring monitort jaarlijks de ligging van de kustlijn

met als doel de positie van de kustlijn in stand te houden. In dit programma wordt jaarlijks getoetst of de Momentane kustlijn (MKL) zeewaarts van de Basiskustlijn (BKL) is gelegen. Deze lijnen worden gedefinieerd door de zandvolumes van kustprofielen binnen bepaalde horizontale en verticale grenzen te bepalen. Indien de BKL (in de nabije toekomst) wordt overschreden kan er worden ingegrepen door het uitvoeren van een suppletie waarbij zand wordt toegevoegd aan het kustprofiel. Op deze manier wordt structurele kusterosie tegengegaan. Daarnaast worden er ook kustfundamentalsuppleties uitgevoerd om mee te kunnen groeien met zeespiegelstijging.



Figuur 5 - Aanpassing van het kustprofiel als gevolg van zeespiegelstijging indien er volledig kan worden meegroeid



Figuur 6 - Variatie in duinlandschap

In het geval van versnelde zeespiegelstijging heeft dat tot gevolg dat het jaarlijks suppletievolume moet toenemen om de kust te laten meegroeien met de zeespiegelstijging en de kustlijn op zijn plek te houden. Een voorbeeld van deze situatie is geïllustreerd in Figuur 5. Dit betreft de voorkeursstrategie waarbij de kustlijn gehandhaafd blijft met suppletiezand. Echter, er zijn situaties denkbaar waarin deze strategie niet kan worden gehandhaafd. In de eerste plaats kan onvoldoende beschikbaarheid van zand ertoe leiden dat deze strategie niet kan worden gehandhaafd. Daarnaast kunnen politieke keuzes leiden tot een andere strategie. Lokaal kunnen er ook situaties zijn waar de aangroei van duinen

onwaarschijnlijk wordt geacht, bijvoorbeeld ter plaatste van kustplaatsen waar bebouwing natuurlijke aangroei verhindert. Een voorbeeld van deze lokale verschillen is weergegeven in Figuur 6. Dit betreft kustvak 8 (Rijnland) met links de haven van Scheveningen (Delfland) en rechts IJmuiden. Binnen dit kustvak zijn er gedeelten met (brede) duinen, waar natuurlijke aangroei van de duinen mogelijk is, en kustplaatsen waar dit wordt verhindert.

In deze studie wordt de onzekerheid van het wel of niet (volledig) meegroeien van de vooroever en het strand en de duinen meegenomen door enkele versimpelde morfologische scenario's te beschouwen. Op hoofdlijnen wordt er onderscheid gemaakt tussen 'volledig meegroeien', 'gedeeltelijk meegroeien' en 'niet meegroeien':

- Volledig meegroeien betekent dat het profiel boven de -10m NAP met 1 meter stijgt bij 1 meter zeespiegelstijging. Waarschijnlijk zal dus enkel de toename van de golfcondities tot enige mate van extra afslag leiden.
- Gedeeltelijk meegroeien betekent dat het profiel boven de -10m NAP met 0,5 meter stijgt bij 1 meter zeespiegelstijging (50%).
- Niet meegroeien betekent dat het profiel hetzelfde blijft, ongeacht de zeespiegelstijging.

De natuurlijke aanpassing van het kustprofiel aan de zeespiegelstijging volgens de Bruun Rule wordt bij niet volledig meegroeien scenario's in deze analyse **niet meegenomen**. Dit leidt tot een te positief beeld van deze resultaten aangezien het werkelijke duinvolume zal afnemen door een reguliere kustachteruitgang van zo'n 60-300 meter (kustachteruitgang door zeespiegelstijging = kusthelling nabij MSL * ZSS \approx 20-100 x ZSS). Bij de beschouwing van de resultaten dienen deze aannames te worden meegenomen.

Een overzicht van de morfologische scenario's en zeespiegelstijgingsscenario's is weergegeven in Figuur .


	① Volledig meegroeien	② Gedeeltelijk meegroeien	③ Niet meegroeien
3m	✓	✓	✓
2m	✓	✓	✓
1m	✓	✓	✓
0m		✓	

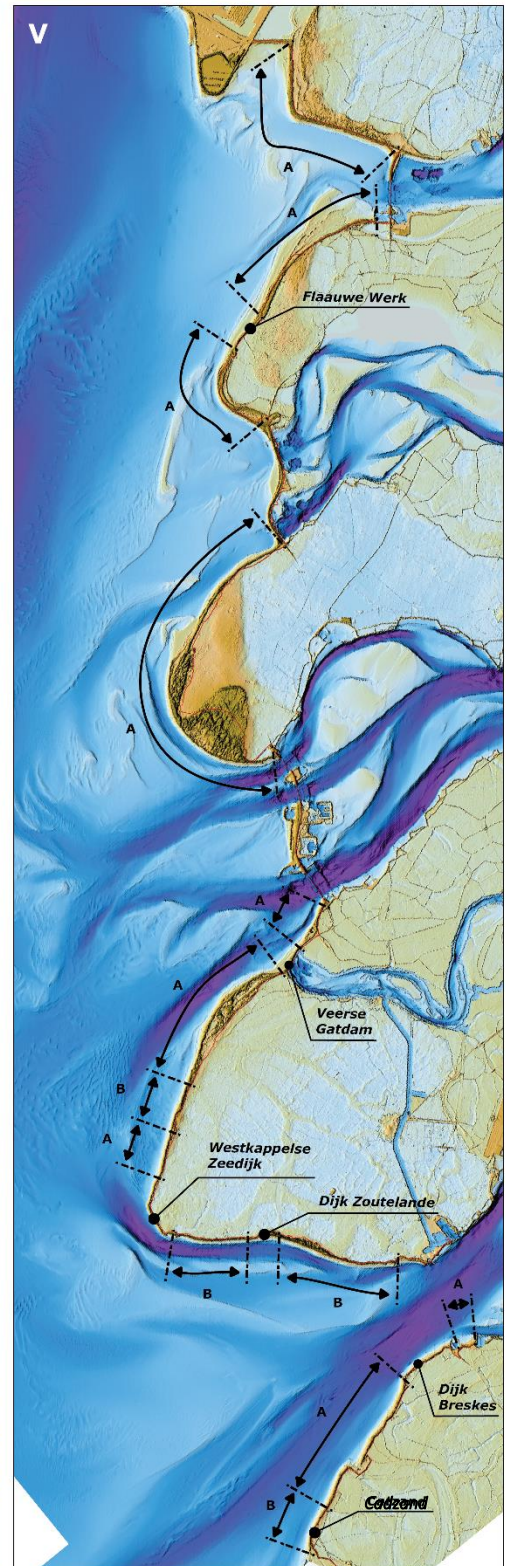
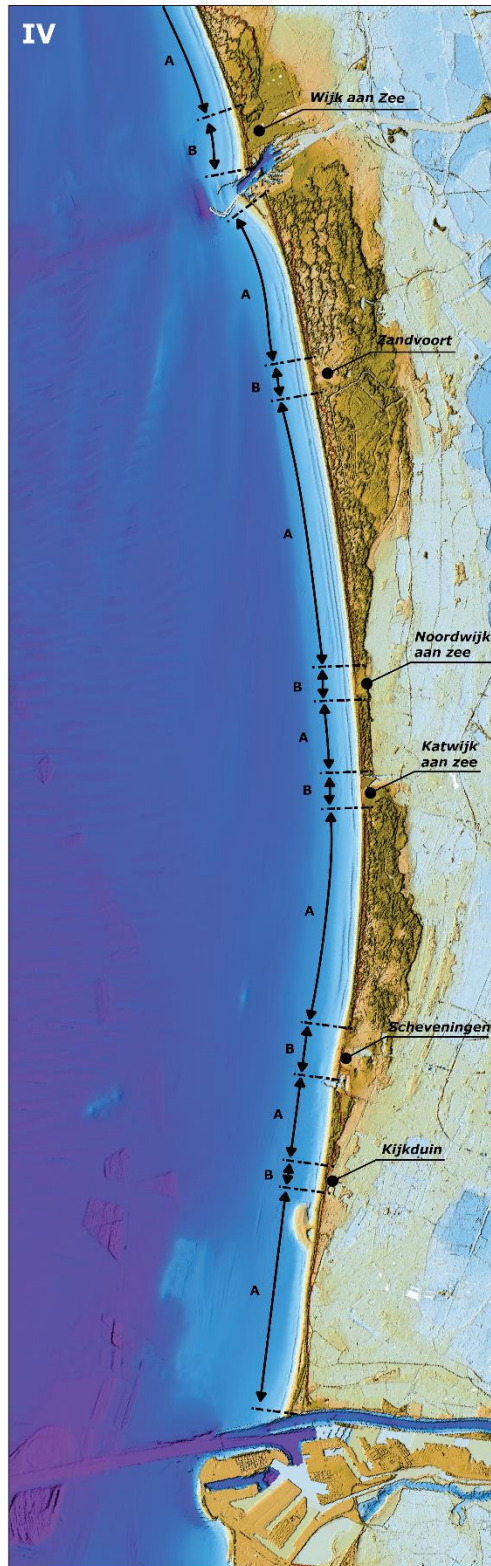
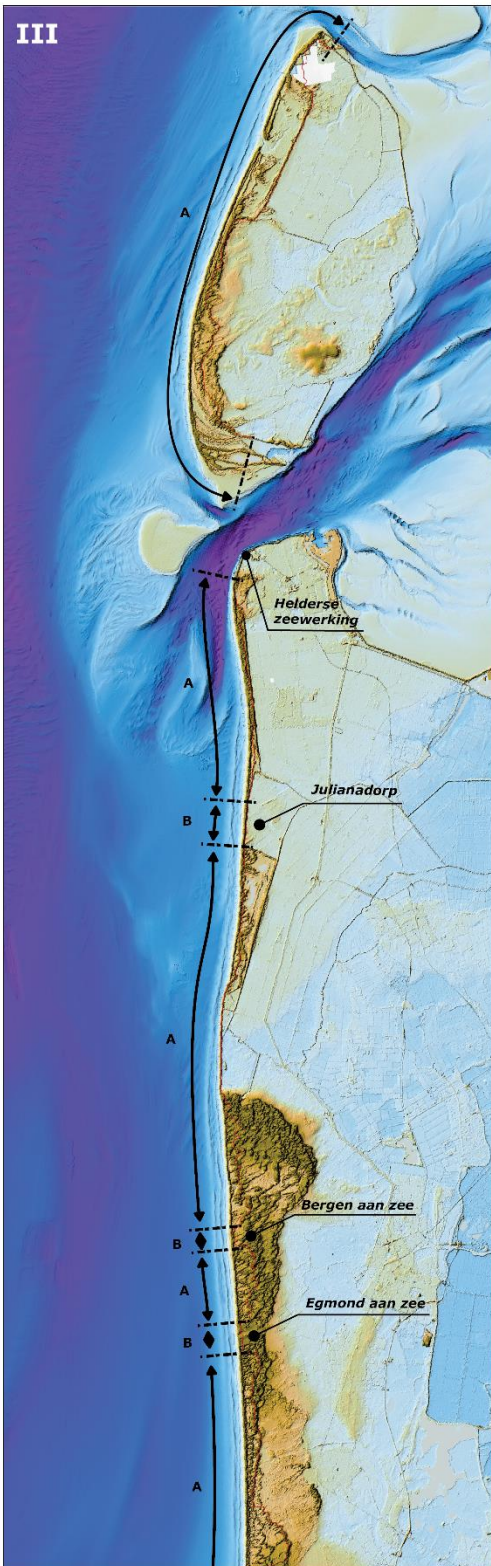
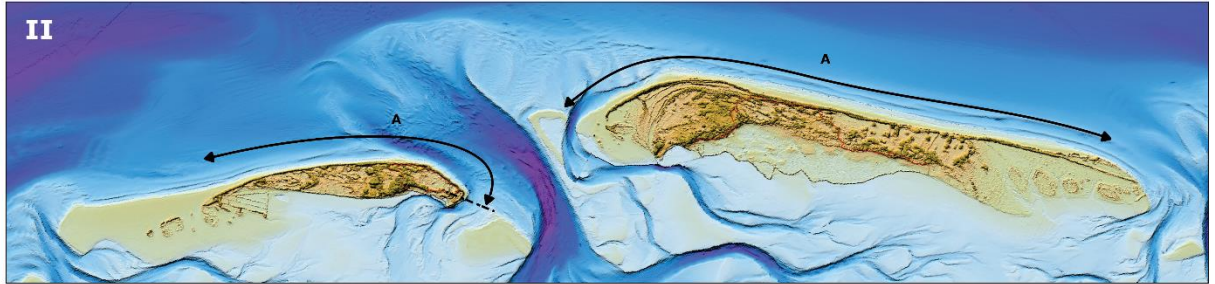
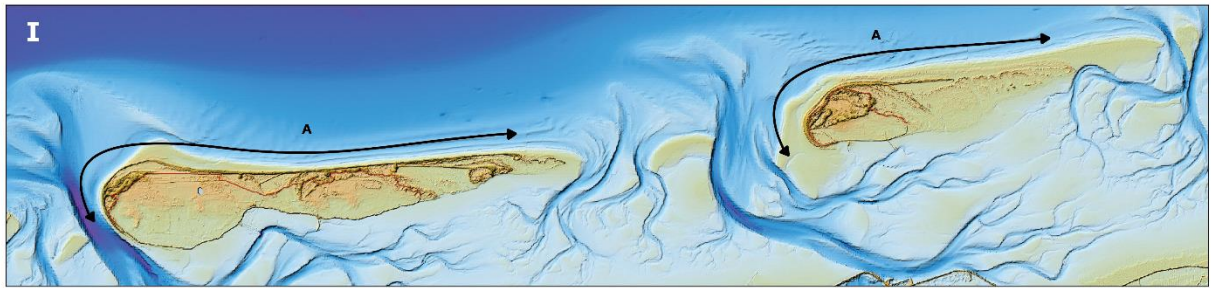
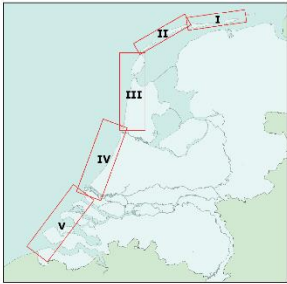
Figuur 7 - Overzicht scenario's

Binnen de drie meegroeiscenario's wordt lokaal onderscheid gemaakt tussen het wel en niet meegroeien van de duinen (boven +3m NAP). Ter plaatse van bebouwde kustzones (kustplaatsen) en locaties met hoge statische duinen wordt de aanname gedaan dat hier het profiel boven de +3m NAP niet meegroeit, ongeacht het morfologische scenario. Op de overige locaties wordt er van uitgegaan dat de duinen even hard meegroeien als de vooroever en het strand. Bij locaties met zeer brede duinen is het de vraag in hoeverre het gehele profiel kan meegroeien. Echter,

vanwege de gelimiteerde lengte landinwaarts waarover jarkus-metingen beschikbaar zijn, wordt dit onderscheid niet gemaakt in deze analyse. De Nederlandse kust is op basis van deze aannames ingedeeld, weergegeven in Figuur 7.

Verwachte morfologische ontwikkeling Nederlandse zandige kust o.b.v. expert judgement

- Grens waterstaatswerk landzijde
 - A** Het gehele kustfundament groeit mee
 - B** Alleen de vooroever en strand groeien mee, duinen niet
- 



2.5 Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden voor het referentie scenario (0m ZSS in 2023) zijn afgeleid met softwarepakket Riskeer. Hierbij is uitgegaan van een standaard faalkansbegroting volgend uit Riskeer. Dit betreffen de lokale maatgevende golfhoogte, golfperiode en het rekenpeil voor het faalmechanisme duinafslag. Per kustprofiel kunnen deze randvoorwaarden worden afgeleid per overstromingskanscategorie (Iv t/m Vv), weergegeven in Figuur 8. Voor de zeespiegelstijging scenario's geldt dat het huidige rekenpeil simpelweg wordt verhoogd met de stijging van de zeespiegel en een toeslag wordt toegepast op de golfkarakteristieken. Dit is beschreven in paragraaf 2.2.

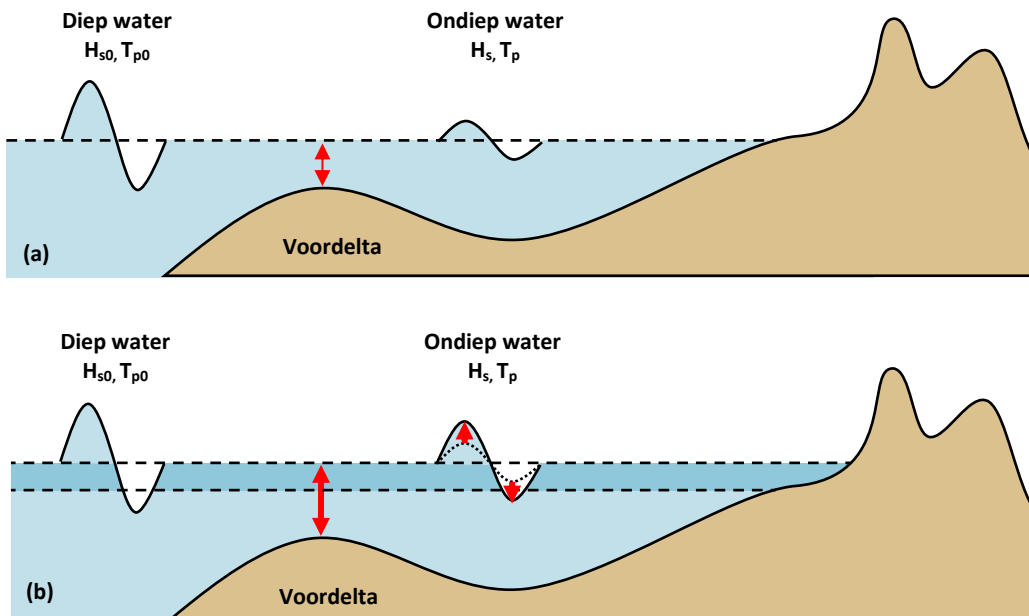
Cat.	Aanduiding categorie toetsoordeel per vak per toetsspoor	Begrenzing categorie
		$P_{f,dsn}$ Faalkans per vak (doorsnede of kunstwerk) [1/jaar]. $P_{eis;sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis;ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis;sig;dsn}$ Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/ jaar]
I _v	voldoet ruim aan de signaleringswaarde	$P_{f,dsn} < \frac{1}{30} P_{eis;sig;dsn}$
II _v	voldoet aan de signaleringswaarde	$\frac{1}{30} P_{eis;sig;dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis;sig;dsn}$
III _v	voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde	$P_{eis;sig;dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis;ond;dsn}$
IV _v	voldoet mogelijk aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde	$P_{eis;ond;dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis;ond}$
V _v	voldoet niet aan de ondergrens	$P_{eis;ond} < P_{f,dsn} < 30P_{eis;ond}$
VI _v	voldoet ruim niet aan de ondergrens	$P_{f,dsn} > 30P_{eis;ond}$
VII _v	nog geen oordeel	

Figuur 8 - Overstromingskanscategoriën voor waterveiligheidsoordeel waterkeringen (Diermanse, Lam, & Knoeff, 2016)

2.5.1 Impact vooroever

In de zuidwestelijke delta zorgt de aanwezigheid van voordelta's ervoor dat de golfimpact op de kust beperkt is. De beperkte waterdiepte nabij de voordelta zorgt ervoor dat de grootste golven breken voordat zij de kust kunnen bereiken (Figuur 9). Deze effecten zitten al verwerkt in de hydraulische randvoorwaarden die uit Riskeer worden afgeleid. Voor categorie III_v geldt voor de zuidwestelijke deltakust een golfhoogte in de orde van 3 à 4 meter, terwijl dezelfde categorie bij de Wadden- en Hollandse kust wordt bereikt met een golfhoogte in de orde van 8 à 10 meter. In het geval van een stijgende zeespiegel is het de vraag in hoeverre de voordelta zal

meegroeien. Een niet meegroeiende voordelta heeft als gevolg dat de dieptelimitatie afneemt en grotere golven de kust bereiken. Dit is geïllustreerd in Figuur 9b. In het geval dat de voordelta niet meegroeit, moet rekening worden gehouden met een toename van de golfhoogte. Laatst genoemde golfgroei is **niet** meegenomen in deze analyse.



Figuur 9 - Impact van een voordelta op de golfkarakteristieken nabij de kustlijn met in (a) de huidige situatie waarin de golfhoogte nabij de kust wordt verkleind door diepte limitatie door de aanwezigheid van de voordelta. Vervolgens in (b) de situatie met zeespiegelstijging en een niet meegroeiende vooroever, waardoor de golfhoogte in mindere mate wordt verkleind.

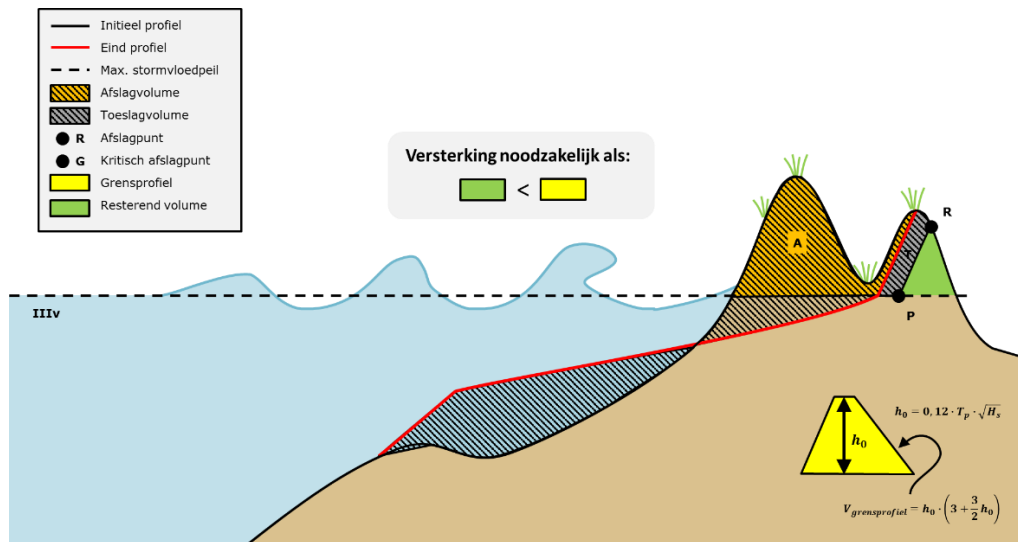
2.6 Versterkingsopgave

Per scenario wordt voor elke overstromingskanscategorie een afslagberekening gedaan. De zwaarste categorie waarbij er nog een grensprofiel kan worden ingepast is de maatgevende overstromingskanscategorie. Indien dit categorie IV t/m IIIv betreft kan worden verondersteld dat het profiel voldoet aan de norm. Indien dit categorie IVv t/m VIv betreft voldoet het profiel niet aan de norm en dienen er maatregelen te worden genomen om alsnog te voldoen aan de norm. Een lokaal in te passen maatregel is de toepassing van een duinversterking waarbij landwaarts wordt versterkt door zandvolume toe te voegen. Een andere optie is een zeewaartse versterking. De versterking van de Hondsbossche zeewering is hier een voorbeeld van. Een zeewaartse versterking is echter niet lokaal (per raai) in te passen omdat een lokale uitbouw van de zandige kust binnen korte tijd naar naastgelegen delen wordt getransporteerd.

In deze analyse is ervoor gekozen om alleen een landwaartse duinversterking te beschouwen. Hoeveel duinvolume is er extra nodig om het stormprofiel in te kunnen passen en nog voldoende grensprofiel over te hebben? Dit volume is berekend zonder een eventueel benodigd inpassingsvolume. Daarnaast staat dit volume los van het zandvolume dat nodig is om mee te kunnen groeien. Het laatstgenoemde wordt onderzocht binnen het Thema Zandige Kust in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Een duinversterking is noodzakelijk indien onder de hydraulische belastingen behorende bij categorie IIIv (ondergrenswaarde) het resterende volume, in Figuur

10 aangegeven met het groen vlak, kleiner is dan het grensprofiel (gele vlak). Het minimale versterkingsvolume (boven het rekenpeil) om nog net te voldoen aan de norm kan dan worden bepaald door de volgende rekensom:



Figuur 10 - Noodzaak tot het toepassen van een duinversterking

$$V_{\text{versterking}} = A + T + V_{\text{grensprofiel}} - V_{\text{initeel}}$$

Waarin:

- A = Afslagvolumen
- T = Toeslagvolumen ($0.25 \cdot A$)
- V = Volume

Een belangrijke aantekening hierbij is dat dit het volume boven het rekenpeil betreft. Het totale volume noodzakelijk is hoger aangezien er een basis nodig is onder het rekenpeil (inpassingsvolume – in figuur 11 gelegen onder het 'resterend volume' wat het volume boven het rekenpeil betreft.).

Het versterkingsvolume is vervolgens gebruikt om een afschatting te maken van de extra benodigde duinbreedte. De benodigde extra duinbreedte is dan:

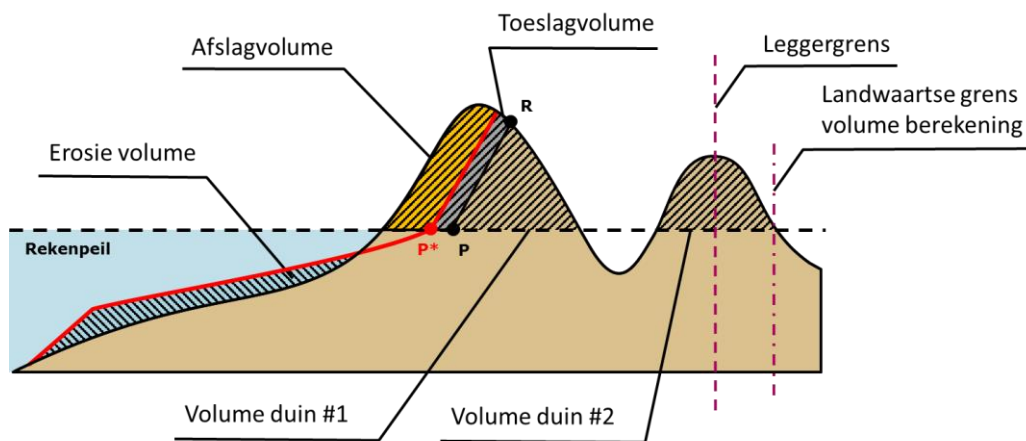
$$X_{\text{ExtraDuinbreedte}} = \frac{V_{\text{versterking}}}{\text{Duinhoogte} - \text{Rekenpeil}}$$

Door de versterkingsopgave op deze manier uit te drukken wordt de beperking van enkel het berekenen van het extra benodigde duinvolume *boven rekenpeil* weggelaten. Hiermee vormt het versterkingsvolume een maat voor de benodigde ruimte in kustdwars landwaartse richting. In de berekening is aangenomen dat een duin 15m+NAP hoog is, gelijkend aan het referentieprofiel voor de Hollandse kust (Vellinga, 1986).

2.7 Landwaartse grenzen

Langs de Nederlandse kust is een grens bepaald tot waar de duinen als waterkering worden beschouwd. Deze leggergrens is ook weergegeven in Figuur 7 met de rode

lijn¹. In deze analyse wordt bij de veiligheidsberekeningen al het volume meegenomen zeewaarts van de leggergrens. Indien de leggergrens boven op een duin is gepositioneerd wordt bepaald waar landwaarts een snijding is met het rekenpeil. In dat geval wordt al het volume meegenomen tot deze landwaartse grens. Dit is geïllustreerd in Figuur 11. De resultaten zijn dus gericht op het aanwezige waterkerend vermogen en niet op de beleidsmatig/juridisch bepaalde waterkering.



Figuur 11 - Volume bepaling en leggergrens

2.8 Kostenberekening

Voor de versterkingsopgave van de zandige kust is enkel een berekening gemaakt wanneer deze zou worden uitgevoerd middels een duinversterking. Voor grote delen van de kust lijkt dit een realistisch te veronderstellen keuze. Hierbij wordt uitgegaan van een prijs van €15,- per m³ zand.

Voor gebieden waar de kust bebouwd is, bijvoorbeeld kustplaatsen, is de keuze voor een duinversterking niet automatisch het voorkeursalternatief. De kosten voor deze versterkingen met veel ruimtelijke knelpunten zijn aanzienlijk hoger. Indicaties lopen uiteen van 20 mln/±km (Noordwijk) tot 50 mln/±km (Katwijk). Vanwege de brede range en het specifieke maatwerk zijn deze kosten niet nader gekwantificeerd en niet opgenomen in dit rapport.

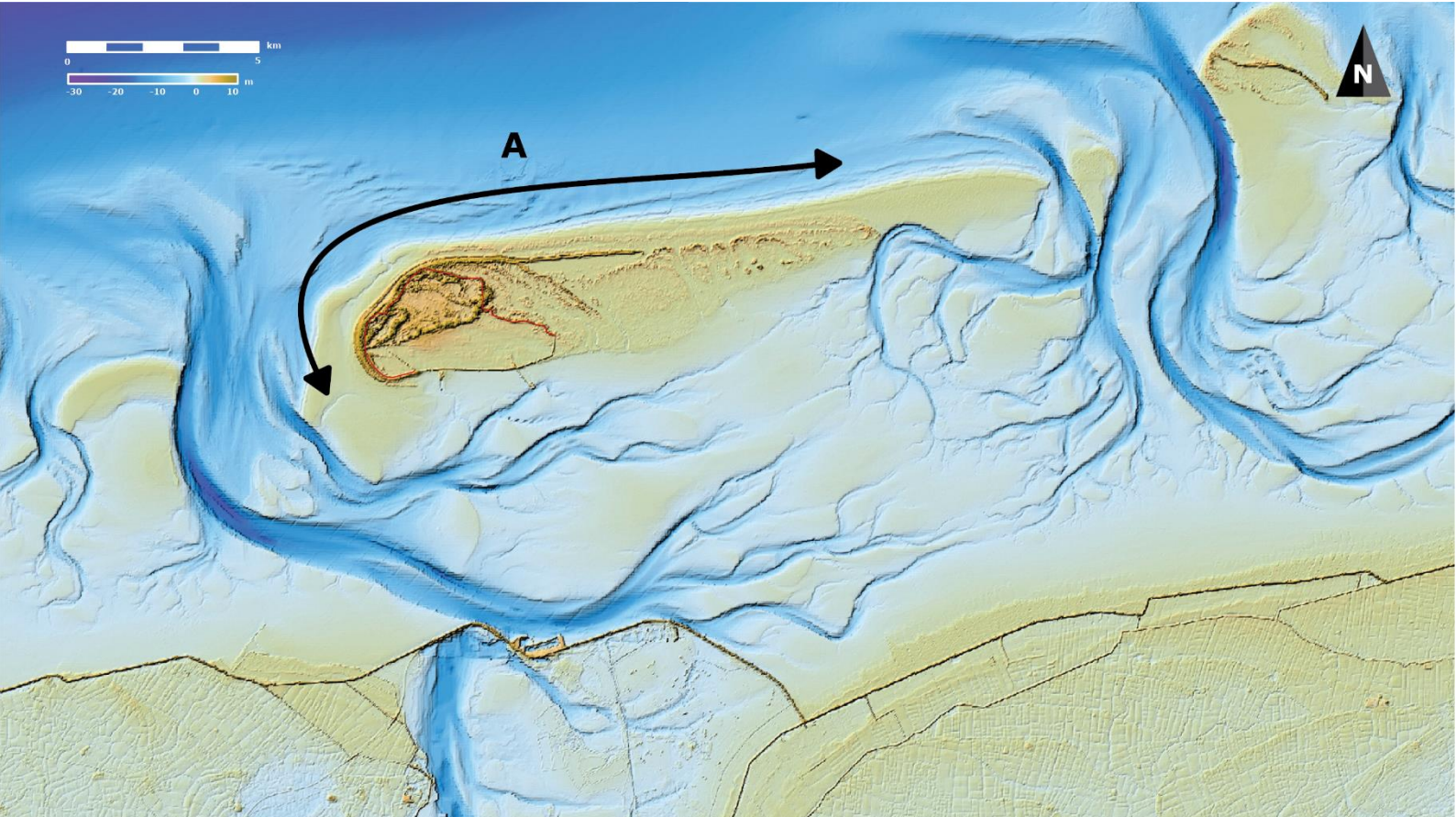
¹ Leggergrenzen worden gemiddeld genomen elke 10 jaar herzien op basis van de nieuwe inzichten. Met de komende KNMI 2023 scenario's in het vooruitzicht is het aannemelijk dat de leggergrenzen landwaarts zullen verschuiven. Derhalve is het gebruik van de huidige leggergrenzen een conservatief uitgangspunt.

3 Resultaten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de methode, beschreven in hoofdstuk 2, toegepast op de Nederlandse kust om de waterveiligheidsopgave door zeespiegelstijging in kaart te brengen. Deze analyse wordt per kustvak besproken in de onderstaande paragrafen. Voor de eerste twee kustvakken worden alle morfologische scenario's weergegeven en kort besproken. Voor alle afbeeldingen geldt de legenda van de overstromingskanscategorieën zoals in figuur 7. De rode lijnen geven de legger weer van het betreffende kustvak.

Voor alle overige kustvakken worden alleen de uitersten weergegeven en besproken in het hoofdrapport alsmede bijzonderheden. Alle resultaten zijn te vinden in bijlage C.



3.2 Schiermonnikoog

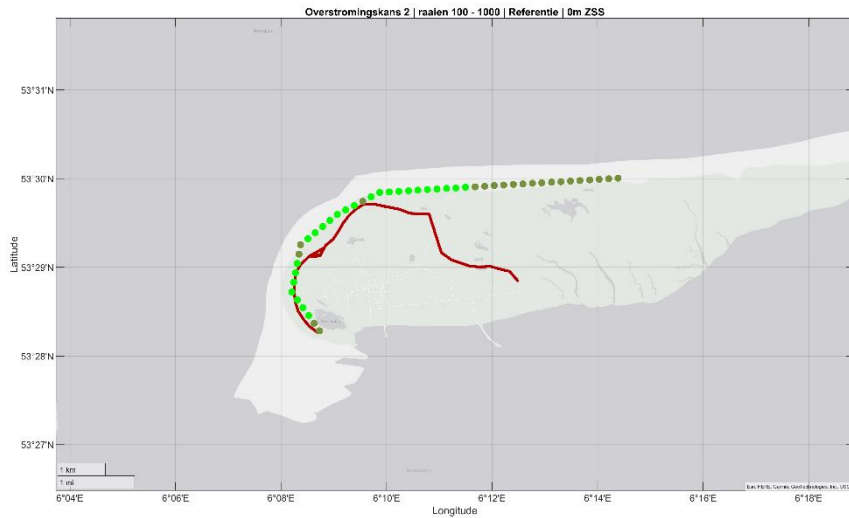
Schiermonnikoog kent geen kustplaatsen (bebouwing) gelegen in de duinenrij. De duinen worden aangenomen volledig te kunnen meegroeien met de vooroever en het strand. De leggergrens ligt alleen in het westelijk deel van het eiland in de zeereep (rode lijnen in de afbeeldingen), op de andere delen verder landwaarts. De aanname van volledig kunnen meegroeien is met name in de bredere duingebieden zonder aanvullende maatregelen niet realistisch. De landinwaarts gelegen grensprofielen in het binnenduin groeien in de praktijk niet of nauwelijks.

Algemeen aandachtspunt bij de analyse van Schiermonnikoog is dat het Duros+ model gedeeltelijk buiten zijn toepassingsbereik wordt gebruikt. Hiermee dient bij de interpretatie van de resultaten in absolute zin, rekening gehouden te worden. Met name voor het oostelijke deel van de zandige waterkering (landwaarts gelegen waterkering door het binnenduin) is de gehanteerde methodiek niet nauwkeurig.

3.2.1 Referentie situatie (0m ZSS)

De met DUROS+ berekende maatgevende overstromingskans categorieën in de referentiesituatie (0m ZSS) zijn weergegeven in Figuur 11. Op basis van deze analyse geldt dat de zeereep in dit kustvak voldoende sterk is om te voldoen aan de signaleringswaarde.

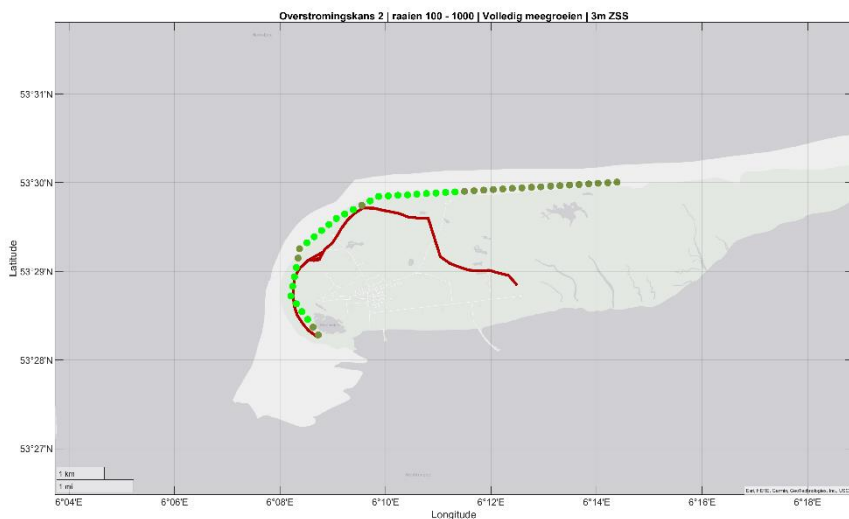
Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat in de huidige wettelijke beoordeling op veiligheid de waterkering niet overal voldoet aan de signaleringswaarde (lokaal). Er loopt daarom ook een versterkingsproject (Wetterskip Fryslân). Met name de duinen in het oostelijk deel zijn onvoldoende sterk. Deze versterkingsopgave komt voort doordat er ook een belasting optreedt vanaf de kwelder die niet is meegenomen in deze studie.



Figuur 12 - Overstromingskans categorieën Schiermonnikoog in referentiesituatie (0m ZSS)

3.2.2 Volledig meegroeien

In het volledig meegroeien scenario, ook bij 3 m zeespiegelstijging, blijft het beeld ongewijzigd ten opzichte van de referentie (0m ZSS); het gehele kustvak voldoet aan de signaleringswaarde. Met name het oostelijk deel van de zandige waterkering zal naar verwachting in werkelijkheid niet (volledig) meegroeien.

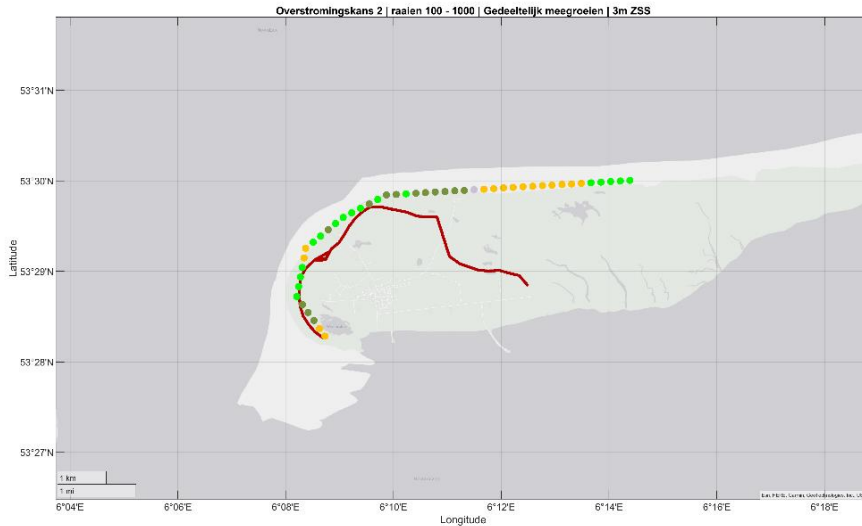


Figuur 13 - Overstromingskans categorieën Schiermonnikoog bij volledig meegroeien scenario en 3m ZSS

3.2.3 Gedeeltelijk meegroeien

Wanneer de kust van Schiermonnikoog slechts gedeeltelijk kan meegroeien met de zeespiegelstijging verandert het veiligheidsbeeld. Op ongeveer 1/3^e van het eiland is de inschatting dat de zeereep niet meer zal voldoen aan de waterveiligheidsnorm en er dus een versterkingsopgave zal ontstaan. Gegeven dat het gebruikte model Duros+ hier buiten zijn toepassingsbereik wordt gebruikt, zal voor de precieze

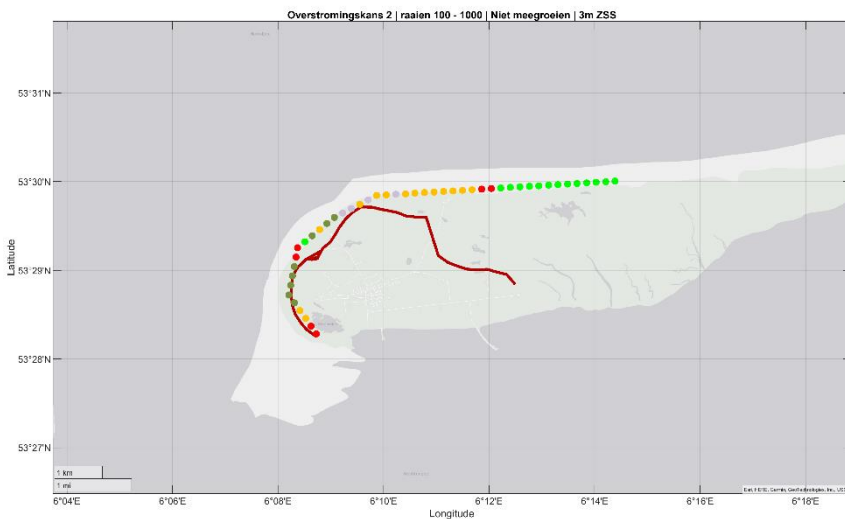
omvang nader onderzoek moeten worden uitgevoerd. Het is daarom, in lijn met het verschil tussen de referentie van deze studie en de wettelijke beoordeling, zeer aannemelijk dat de opgave groter zal zijn.



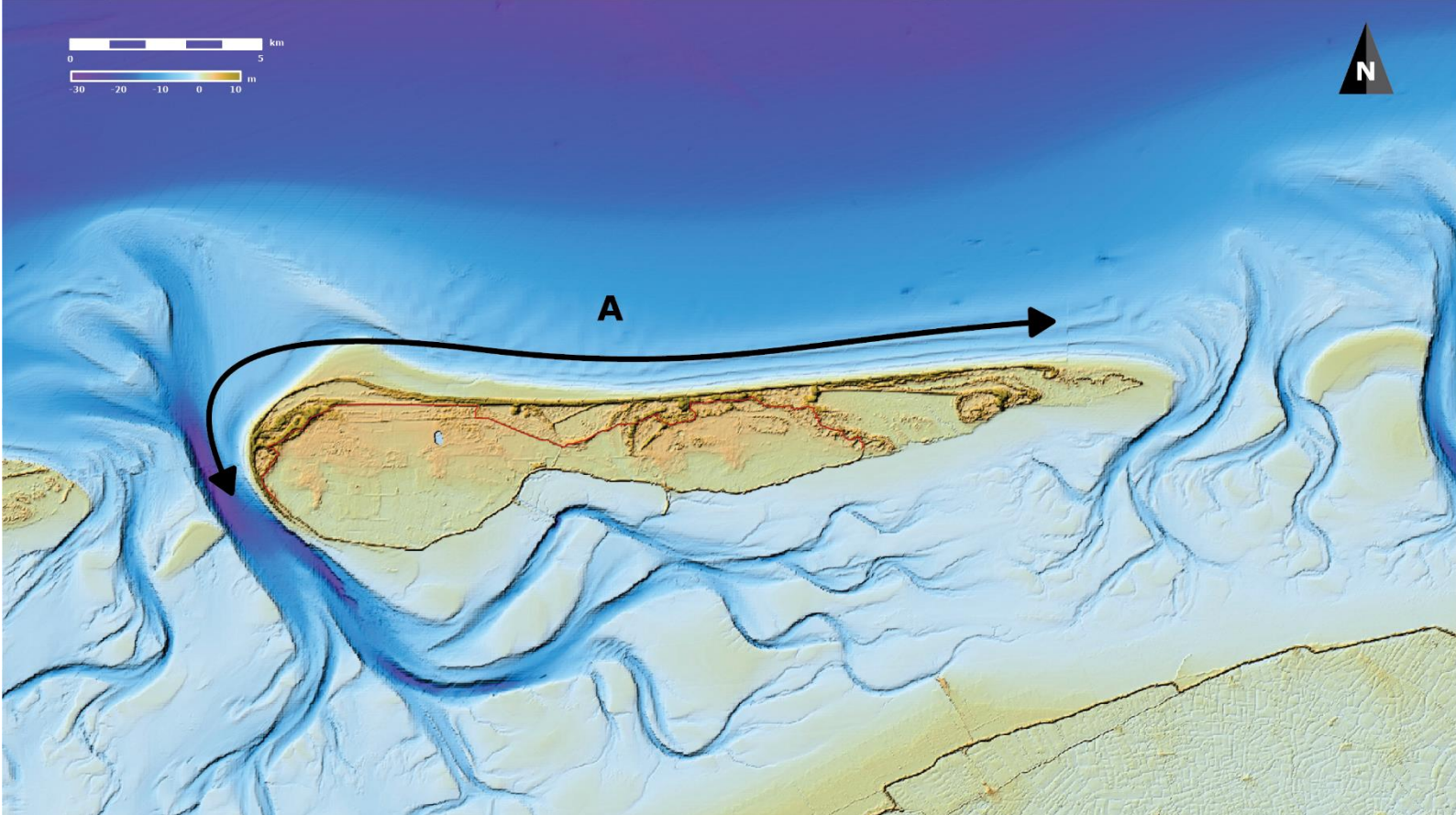
Figuur 14 - Overstromingskans categorieën Schiermonnikoog bij gedeeltelijk meegroeien scenario en 3m ZSS

3.2.4 Niet meegroeien

Bij het niet meegroeien scenario en 3m ZSS is de inschatting dat voor ongeveer twee-derde van de berekende locaties de waterkering niet meer voldoet aan de norm en er dus een versterkingsopgave ontstaat. Opmerkelijk aan de resultaten is dat bij het niet meegroeien scenario enkele locaties een 'beter' oordeel krijgen dan bij het gedeeltelijk meegroeien scenario, met name op de eilandstaart. Dit is mogelijk een artefact van het gebruikte (niet fysische) rekenmodel. Ook in deze situatie geldt dat een nadere beschouwing nodig is om tot een goed beeld van de veiligheidsopgave te komen.



Figuur 15 - Overstromingskans categorieën Schiermonnikoog bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS

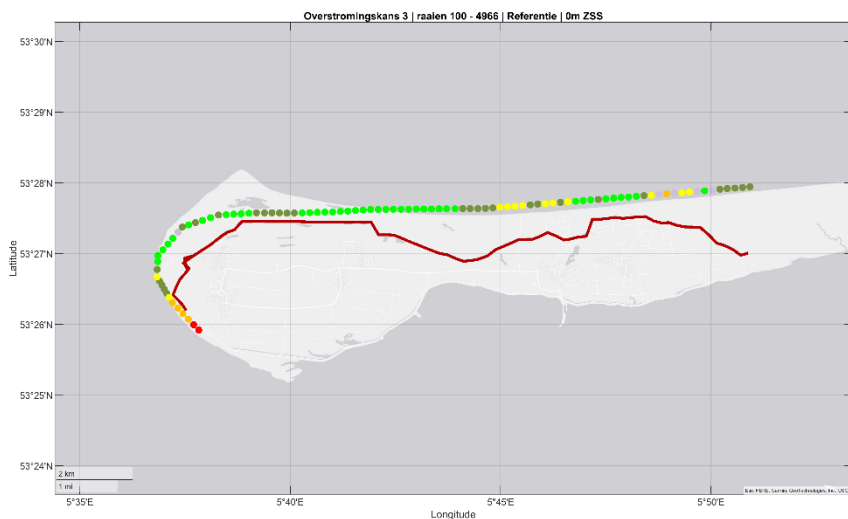


3.3 Ameland

Ameland heeft geen kustplaatsen in de zeereep. De duinen worden aangenomen volledig mee te kunnen groeien met de vooroever en strand, gelijkend aan Schiermonnikoog. De aanname van volledig kunnen meegroeien is, ook hier, met name in de bredere duingebieden zonder aanvullende maatregelen niet realistisch. De landinwaarts gelegen grensprofielen in het binnenduin groeien in de praktijk niet of nauwelijks.

3.3.1 Referentie situatie (0m ZSS)

De met DUROS+ berekende maatgevende overstromingskans categorieën in de referentiesituatie (0m ZSS) zijn weergegeven in Figuur 16. Op basis van deze analyse geldt dat de zeereep op het Noordzeestrand over het algemeen voldoet aan de norm. Het westelijk deel voldoet aan de signaleringswaarde. De kustprofielen in de

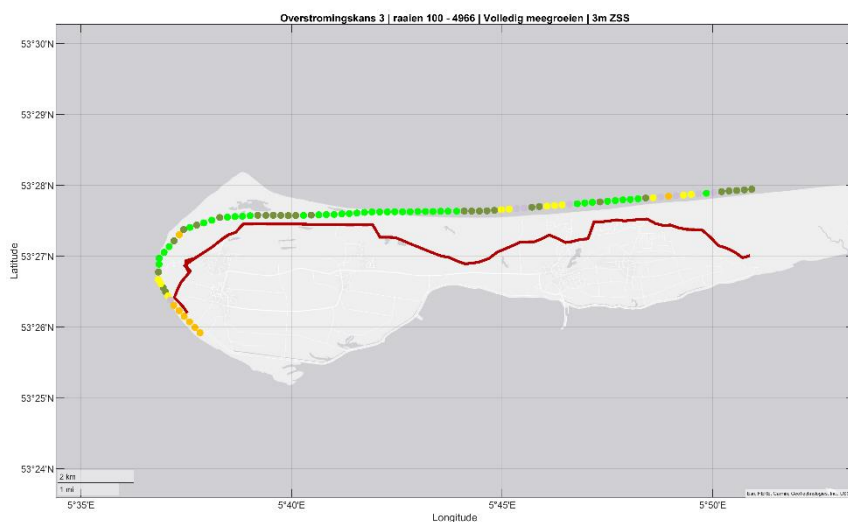


Figuur 16 - Overstromingskans categorieën Ameland in referentiesituatie (0m ZSS)

getijdegeul in het zuidwestelijk deel van het eiland voldoen niet aan de norm in deze analyse. Uit de meest recent uitgevoerde veiligheidsbeoordeling blijkt juist dat dit deel van de kust voldoende veilig is. Dat komt omdat de golfbelasting hier een stuk lager is. Verder liggen er op andere delen van de kust juist wel opgaven. Net als op Schiermonnikoog heeft dat te maken met de landwaartse ligging van het grensprofiel. Dat blijkt echter niet uit de hier uitgevoerde analyse omdat de leggergrens daar ver landinwaarts ligt en zandvolume buiten de Jarkus data aanwezig is. Dat is een van de beperkingen van de methode gebruikt in deze studie.

3.3.2 Volledig meegroeien

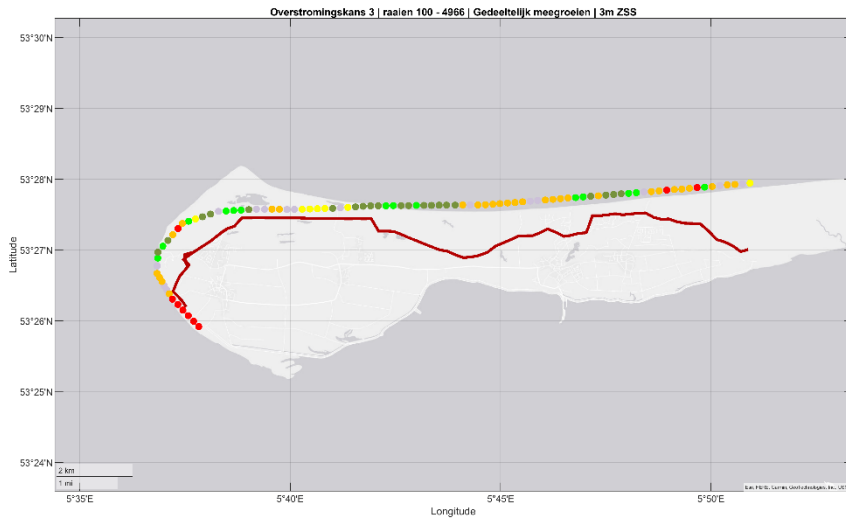
In het volledig meegroeien scenario en 3 m ZSS is het beeld grotendeels overeenkomstig met de referentie situatie.



Figuur 17 - Overstromingskans categorieën Ameland bij volledig meegroeien scenario en 3m ZSS

3.3.3 Gedeeltelijk meegroeien

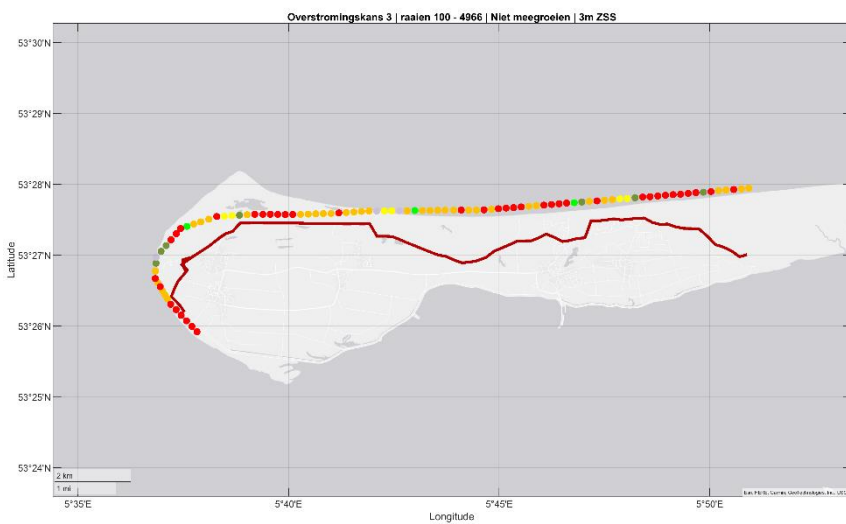
Bij het gedeeltelijk meegroeien scenario, voor 3 m ZSS, zien we dat voor het merendeel van de berekende locaties een versterkingsopgave ontstaat. Deze opgave bevindt zich hoofdzakelijk op de Zuidwestelijke eilandkop alsmede de eilandstaart. Hier is een nadere analyse nodig vanwege de golfbelasting.



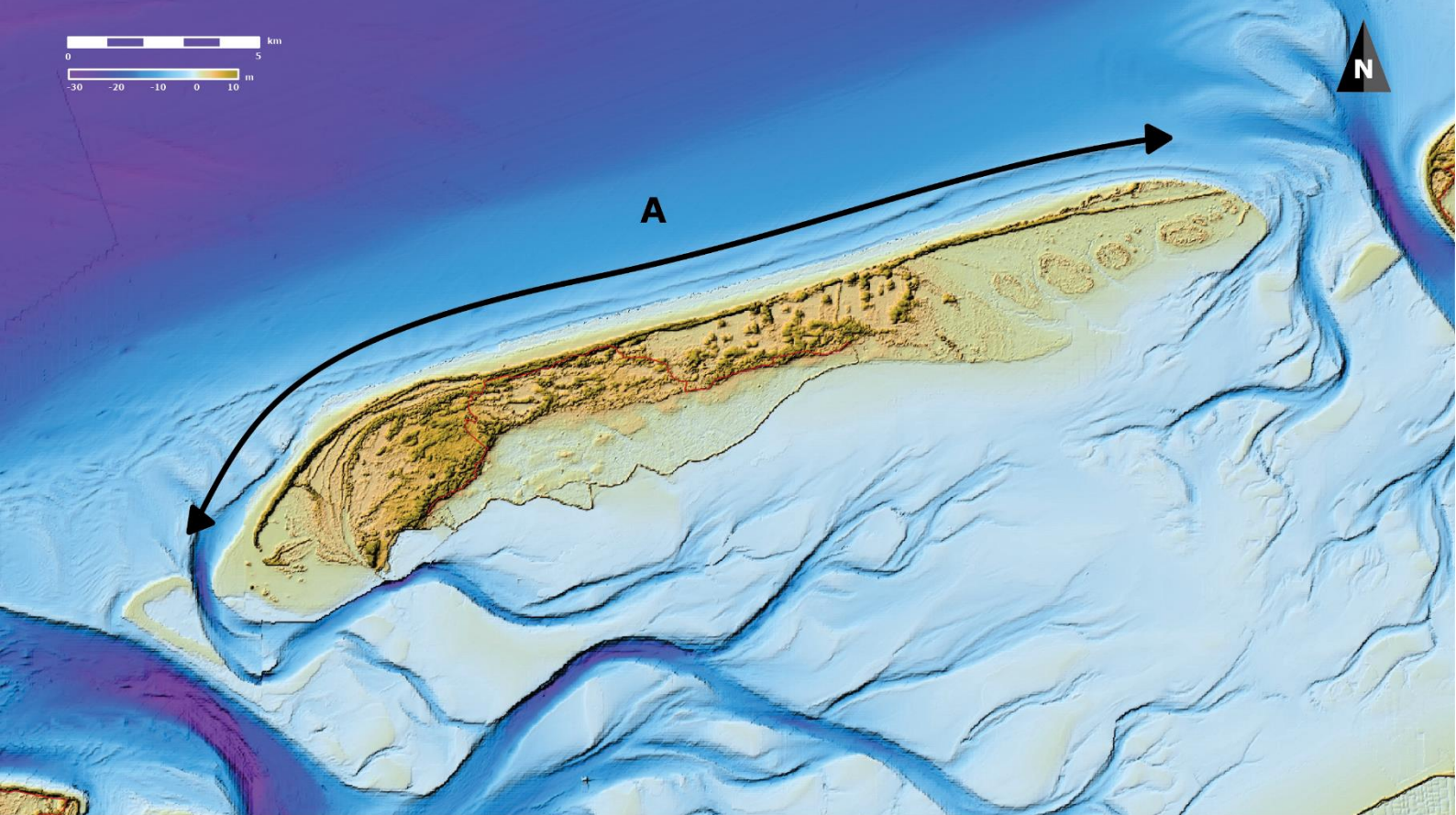
Figuur 18 - Overstromingskans categorieën Ameland bij gedeeltelijk meegroeien scenario en 3m ZSS

3.3.4 Niet meegroeien

In het scenario van niet meegroeien ontstaat er bij 3m ZSS voor bijna de gehele Noordzeekust van het eiland een waterveiligheidsopgave. Dat is een verwacht beeld omdat de duinen/zeereep op Ameland relatief smal is en weinig overmaat aan zand bevat.



Figuur 19 - Overstromingskans categorieën Ameland bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS



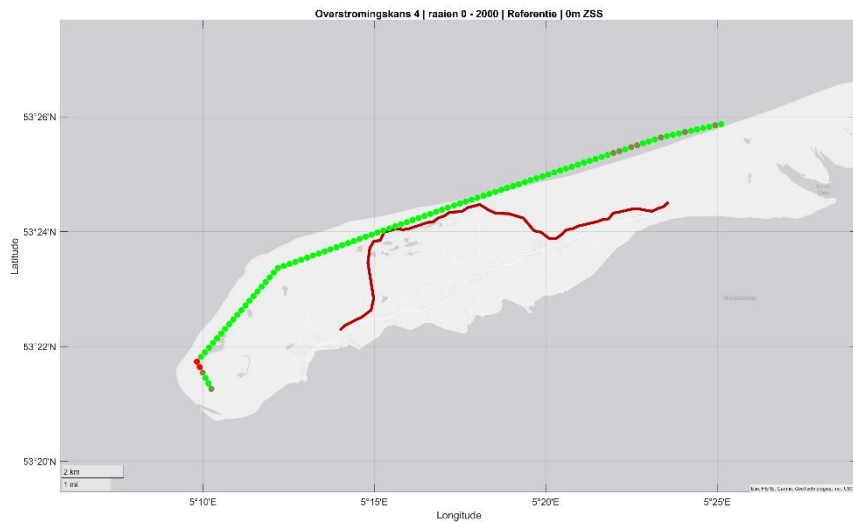
3.4 Terschelling

Terschelling kent net als voorgaande eilanden geen kustplaatsen in de zeeleep. Wel staan er lokaal enkele huizen op het duin bij Midsland aan Zee. Desondanks worden de duinen aangenomen volledig mee te kunnen groeien met de vooroever en het strand. Terschelling heeft een gedeelte aan duinwaterkeringen die in de zeeleep liggen, ook grote delen niet. Het gebruik van Duros+ als rekenmodel is dan ook discutabel / niet volledig representatief voor de waterkering locaties die niet in de zeeleep liggen.

De aanname van volledig kunnen meegroeien, zoals eerder genoemd is met name in de bredere duingebieden zonder aanvullende maatregelen niet realistisch. De landinwaarts gelegen grensprofielen in het binnenduin groeien in de praktijk niet of nauwelijks. Uit de wettelijke beoordeling blijkt dat hier bij beperkte zeespiegelstijging al opgaven ontstaan.

3.4.1 Referentie situatie (0m ZSS)

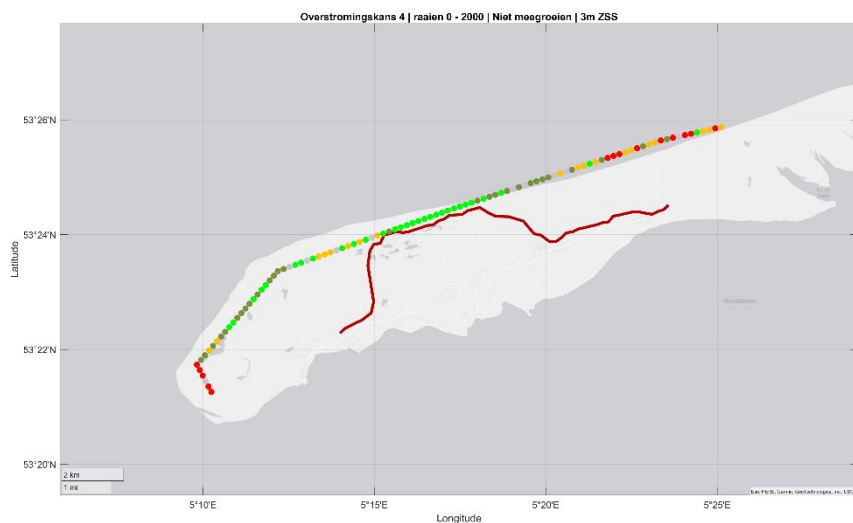
Figuur 21 laat zien dat de waterkering van Terschelling vrijwel geheel voldoende sterk is om een maatgevende storm te weerstaan. Dit is herkenbaar omdat er vrijwel overal hoge en brede duinen aanwezig zijn met een ruime overmaat aan zand. Volgens de gehanteerde rekenmethodiek zou er een kleine opgave zijn op de westkop van het eiland. Dit betreft een artefact van de gebruikte rekenmethodiek (berekening op basis van de eerste duinenrij op basis van de jarkus data beschikbaarheid). De landwaartse grens van waterkering ligt immers vele kilometers meer landinwaarts met nog een behoorlijk duinmassief daartussen. Uit de recent uitgevoerde wettelijke beoordeling komt een vergelijkbaar beeld, de waterkering is voldoende veilig.



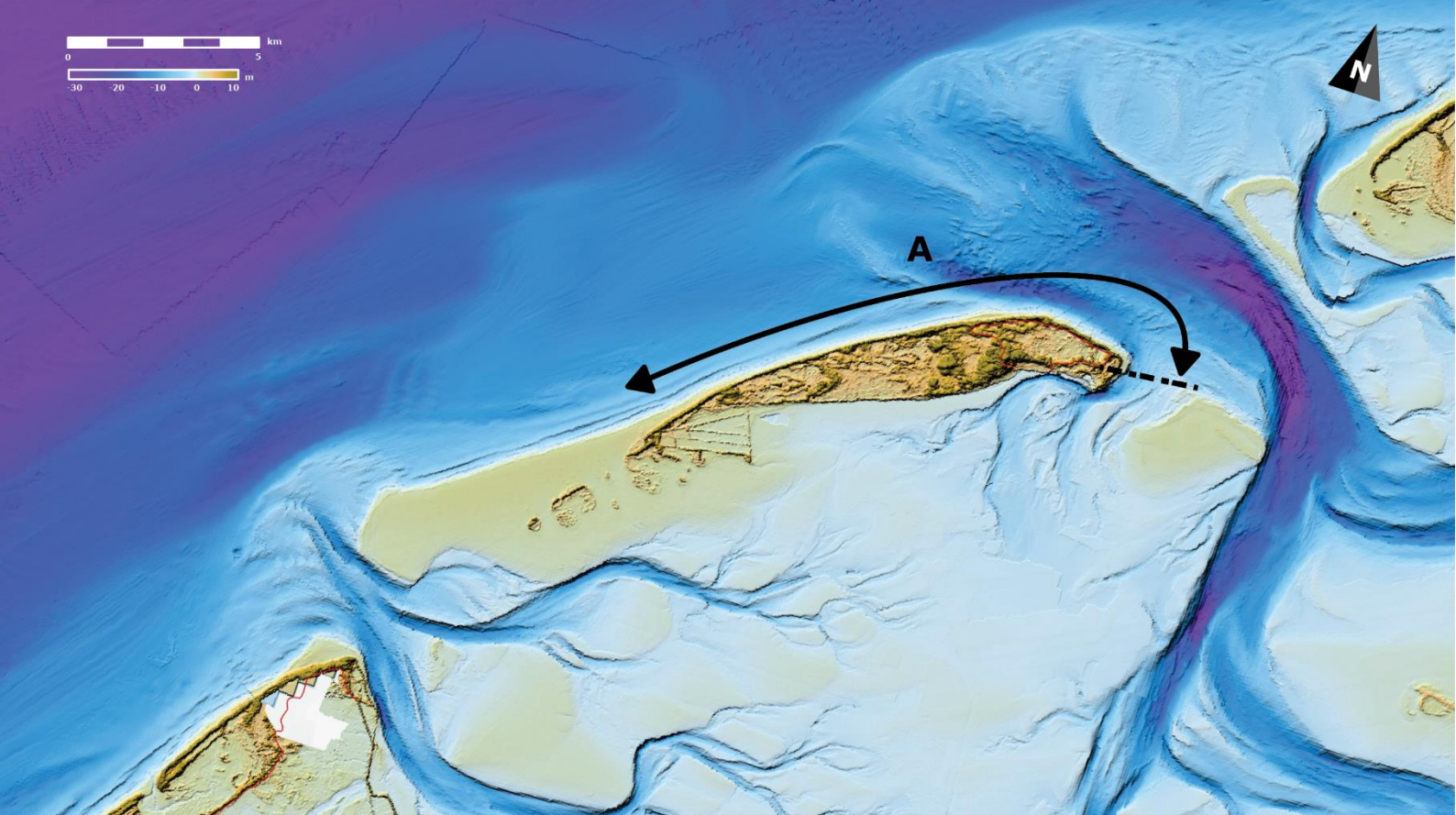
Figuur 20 - Overstromingskans categorieën Terschelling in referentiesituatie (0m ZSS)

3.4.2 Niet meegroeien

In het uiterste hoekpunt van deze analyse (niet meegroeien in combinatie met 3m zeespiegelstijging) ontstaat er met name op het oostelijke stuk van de waterkering een vermoedelijk een waterveiligheidsopgave. Ondanks dat de waterkering hier niet direct achter ligt en het gehanteerde model Duros+ buiten zijn toepassingsbereik gebruikt is, dient de validiteit van deze opgave nader beschouwd te worden. Wat geconcludeerd kan worden is dat de zeereep onvoldoende sterk is en doorbreekt. Een nadere analyse van het grensprofiel moet uitwijzen tot welke waterveiligheidsopgaven dit leidt. Gegeven de hoogteligging is niet uit te sluiten dat deze opgave ook daadwerkelijk ontstaat.



Figuur 21 - Overstromingskans categorieën Terschelling bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS



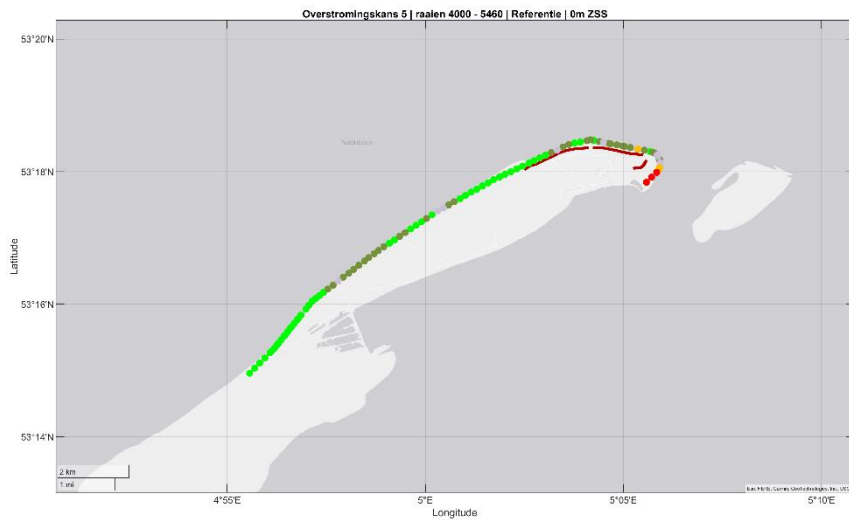
3.5 Vlieland

Het grootste gedeelte van de duinwaterkering van Vlieland wordt niet onderbroken door kustplaatsen. De duinen op dit stuk worden dan ook aangenomen volledig mee te kunnen groeien met de vooroever en strand. Ook is er een overgangsstuk aanwezig nabij de haven (zuidwest kant) waar de duinwaterkering overgaat in een harde waterkering. Dit gedeelte moet buiten beschouwing worden gelaten bij de interpretatie van de resultaten van deze globale analyse.

Ook op Vlieland geldt dat de aanname van volledig kunnen meegroeiën in met name de bredere duingebieden zonder aanvullende maatregelen niet realistisch is. De landinwaarts gelegen grensprofielen in het binnenduin groeien in de praktijk niet of nauwelijks. Daarnaast is in de wettelijke beoordeling is een reductie toegepast op de offshore golfbelastingen. Dat is in deze analyse buiten beschouwing gebleven, maar is hier wel relevant om (later) in ogenschouw te nemen. De toekomstige omvang en ligging van de buitendelta is van direct belang voor de waterkering op het oostelijk deel van het eiland.

3.5.1 Referentie situatie (0m ZSS)

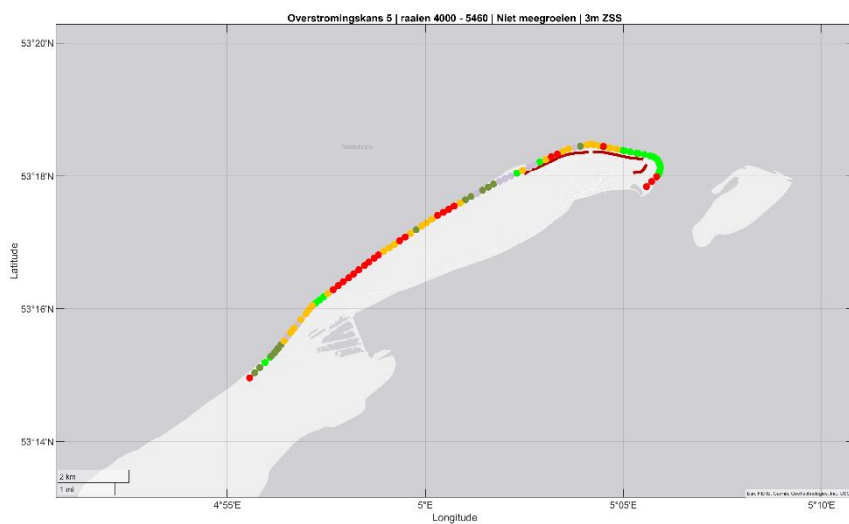
In de referentie situatie voldoet het grootste gedeelte van het eiland aan de norm. De oostkop van het eiland is een aandachtspunt. Of hier ook daadwerkelijk sprake is van een waterveiligheidsopgave in de referentie situatie kan niet beoordeeld worden met het huidige rekenmodel. Net als op Ameland is hier in de wettelijke beoordeling een reductie van de golfbelasting toegepast. Dit vanwege de afgeschermd ligging achter de buitendelta die een deel van de inkomende golfenergie absorbeert.



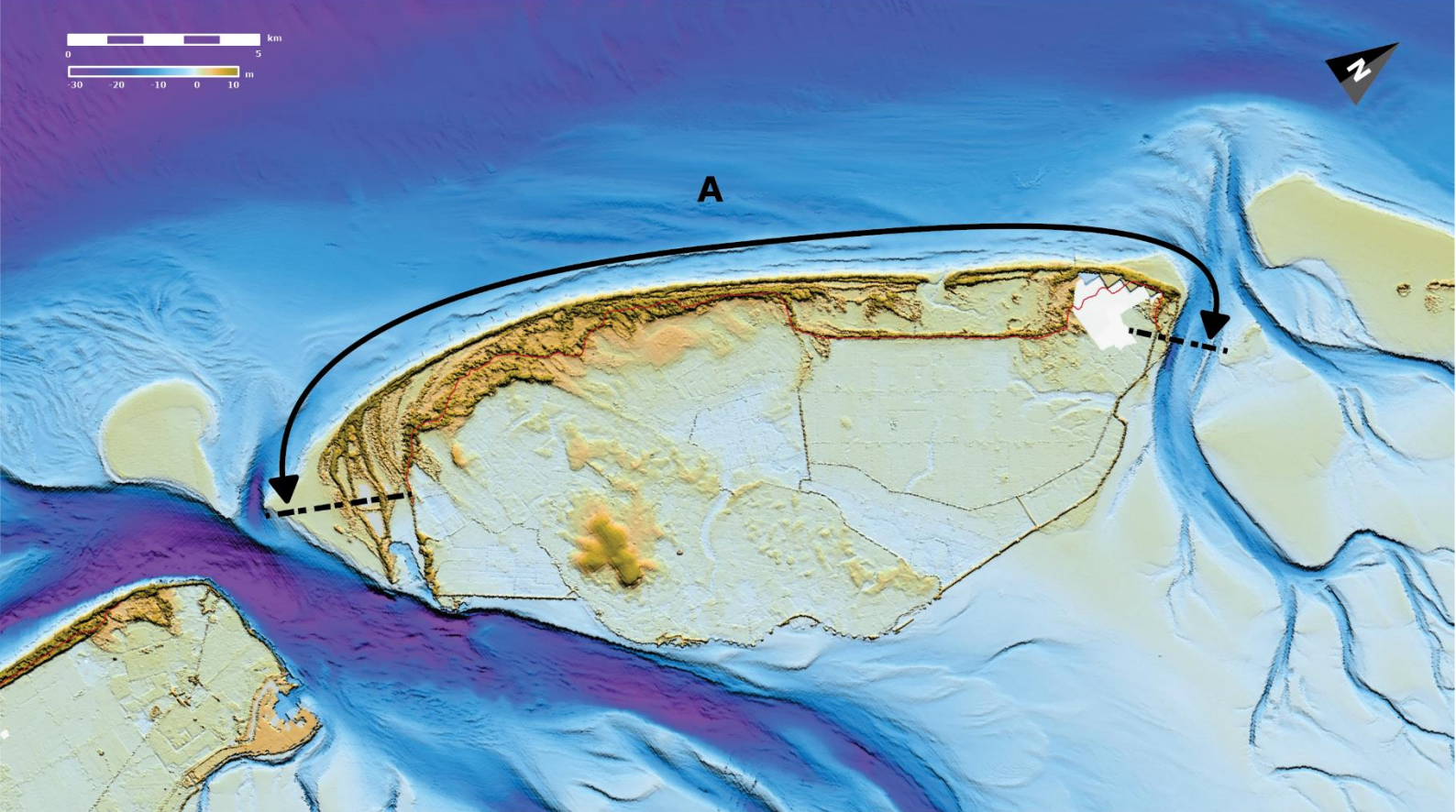
Figuur 22 - Overstromingskans categorieën Vlieland in referentiesituatie (0m ZSS)

3.5.2 Niet meegroeien

In dit andere morfologische hoekpunt lijkt het zo te zijn dat de overstromingskans categorie op sommige delen van het eiland beter wordt bij niet meegroeien en 3m zeespiegelstijging. Dit is wederom een artefact van het Duros+ model in combinatie met de gekozen methode. De rekenmethode is niet goed in staat om te gaan met brede duingebieden. Het globale beeld is dat er bij 3m zeespiegelstijging voor bijna geheel Vlieland een waterveiligheidsopgave ontstaat.



Figuur 23 - Overstromingskans categorieën Vlieland bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS

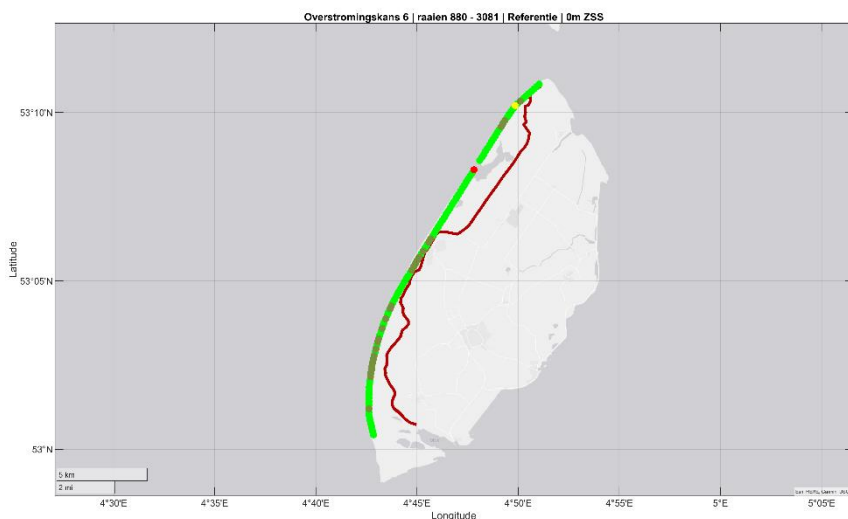


3.6 Texel

Ook voor Texel geldt dat de duinwaterkering niet wordt onderbroken door kustplaatsen. De duinen op dit stuk worden dan ook geacht volledig mee te kunnen groeien met de vooroever en strand. Het stuk nabij de slufte (de onderbreking van de duinenrij aan de Noordzee zijde) valt buiten het toepassingsbereik van Duros+. Terughoudendheid is daarom geboden bij het interpreteren van de resultaten van dit stuk van het eiland.

3.6.1 Referentie situatie (0m ZSS)

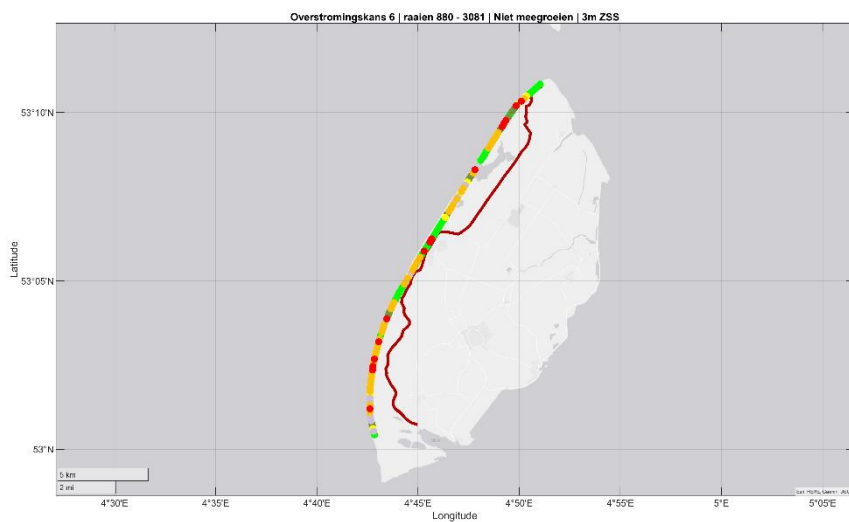
Texel laat in de referentie situatie zien ruim te voldoen aan de ondergrens- en signaleringswaarde voor het hele eiland. Dit mag ook verwacht worden gezien het forse duinmassief wat veelal in de eerste zeereep aanwezig is. De enige raai die niet voldoet, valt buiten het toepassingsbereik van Duros+ (ingang van de slufte).



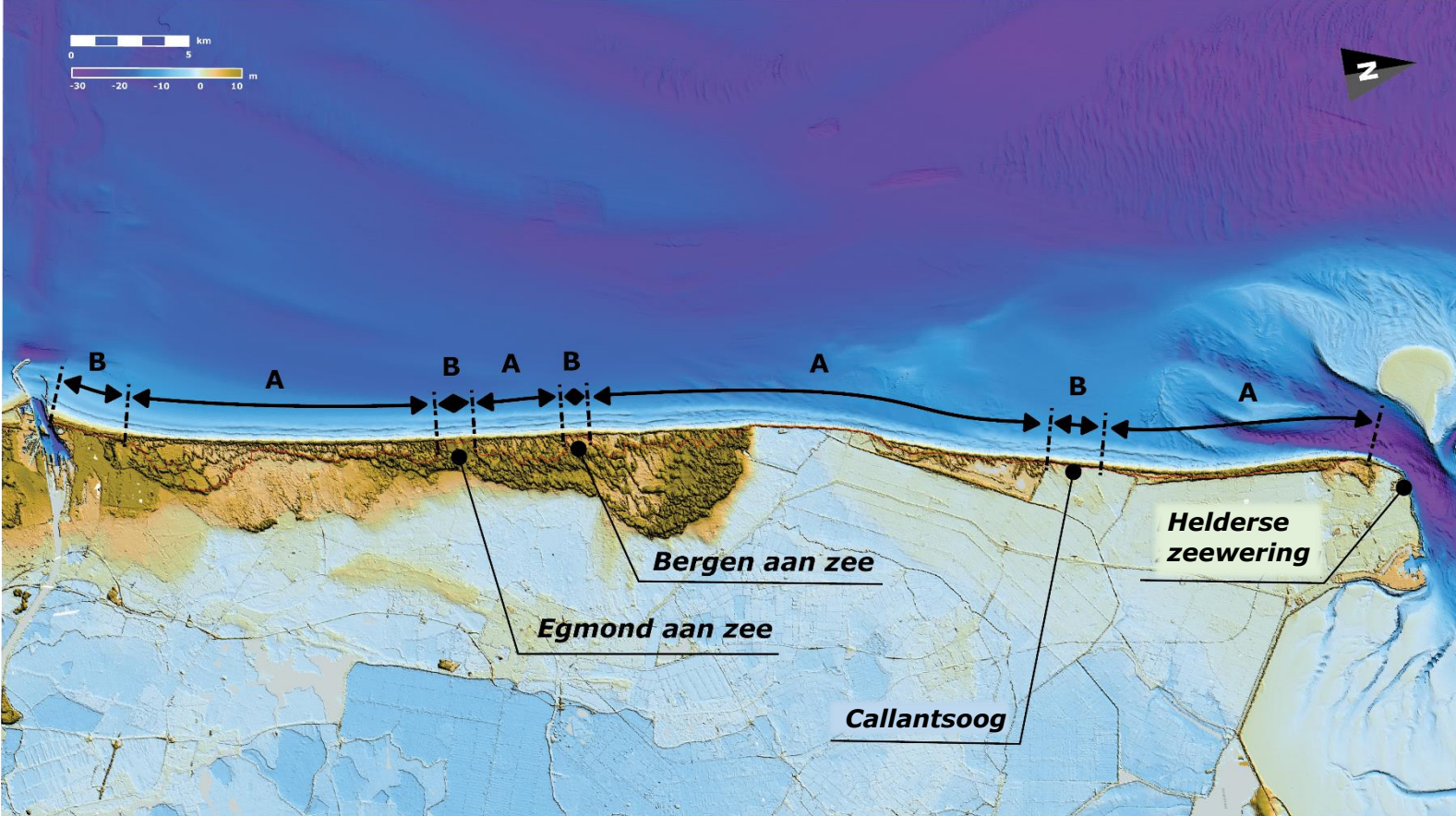
Figuur 24 - Overstromingskans categorieën Texel in referentiesituatie (0m ZSS)

3.6.2 Niet meegroeien

Het niet meegroeien scenario zal leiden tot een waterveiligheidsopgave over bijna het hele eiland. Er zijn op Texel behoorlijk wat locaties met dubbele duinenrijen (ten Zuidwesten van de slufteer - geen doorlopend duinmassief kust dwars gezien) waar mogelijk nog sterkte aan te ontlenen is (gevallen waar achterloopsheid van de eerste duinenrij kan optreden). Dit is niet meegenomen in deze analyse en dient nader beschouwd te worden.



Figuur 25 - Overstromingskans categorieën Texel bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS



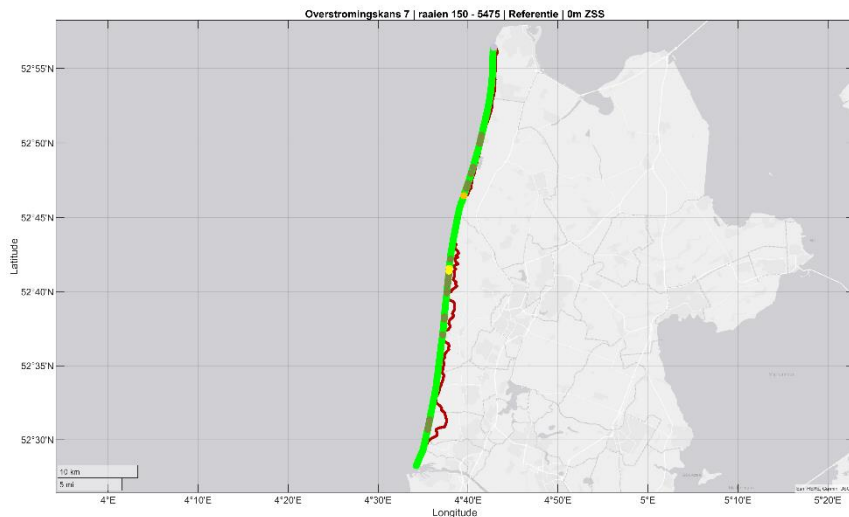
3.7 Noord-Holland

Het kustvak Noord-Holland kent een aantal locaties waar kustplaatsen dicht aan zee liggen. Op deze locaties is de kust slechts in beperkte mate in staat mee te groeien (smalle duinenregels volledig opgesloten tussen zee en bebouwing, alsmede plaatsen waar kustboulevards gelegen zijn). Deze locaties zijn hierboven aangeduid met 'B' en zijn dus in de scenario analyse slechts gelimiteerd meegegroeid in de betreffende meegroeiscenario's. Om die reden wordt ook het resultaat van de volledig meegroeien variant getoond waar op de 'B' locaties slechts beperkt meegegroeid is in de rekenkundige uitwerking van deze analyse.

Kustvak Noord-Holland valt, in tegenstelling tot de Waddeneilanden, grotendeels binnen het toepassingsbereik van de gebruikte rekenmethodiek en het onderliggende rekenmodel Duros+.

3.7.1 Referentie situatie (0m ZSS)

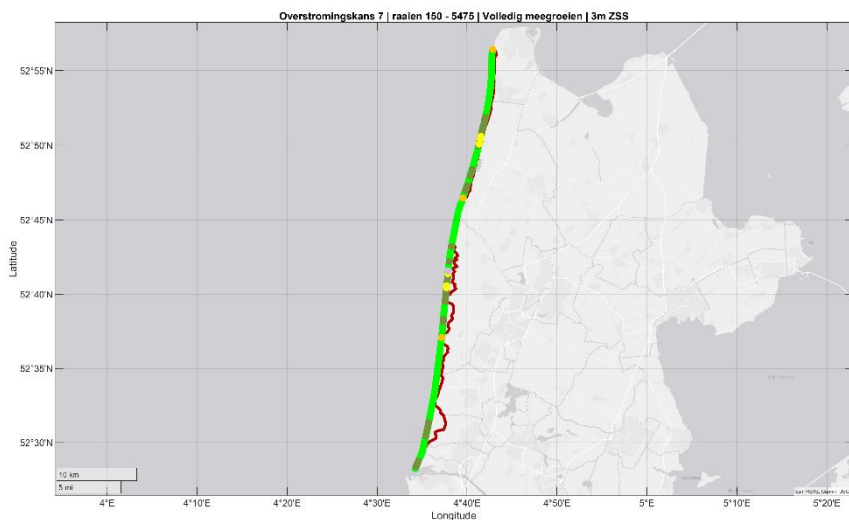
In de referentiesituatie voor Noord-Holland is te zien dat vrijwel de gehele kust in orde is op het gebied van waterveiligheid. Er zijn 3 raaien die in een lagere veiligheids categorie dan nummer IIIv vallen. Deze gebieden hebben echter nog een behoorlijke marge in het achterliggende duingebied om stormvloed en te kunnen weerstaan en worden derhalve hier geïnterpreteerd als veilig.



Figuur 26 - Overstromingskans categorieën Noord-Holland in referentiesituatie (0m ZSS)

3.7.2 Volledig meegroeien

Uit de volledig meegroeien variant, waarin beperkt/niet wordt meegegroeid in de duinen van de kustplaatsen, zien we dat er met name bij de kustplaatsen waterveiligheidsopgaves ontstaan door een hoogtetekort van de waterkering. Voor de overige delen van de waterkering is het beeld overeenkomstig met de referentiesituatie.

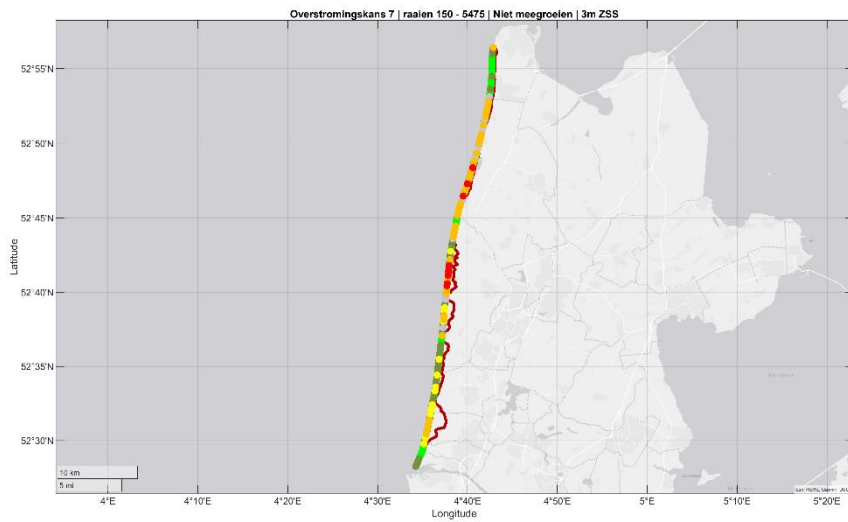


Figuur 27 - Overstromingskans categorieën Noord-Holland bij volledig meegroeien scenario en 3m ZSS

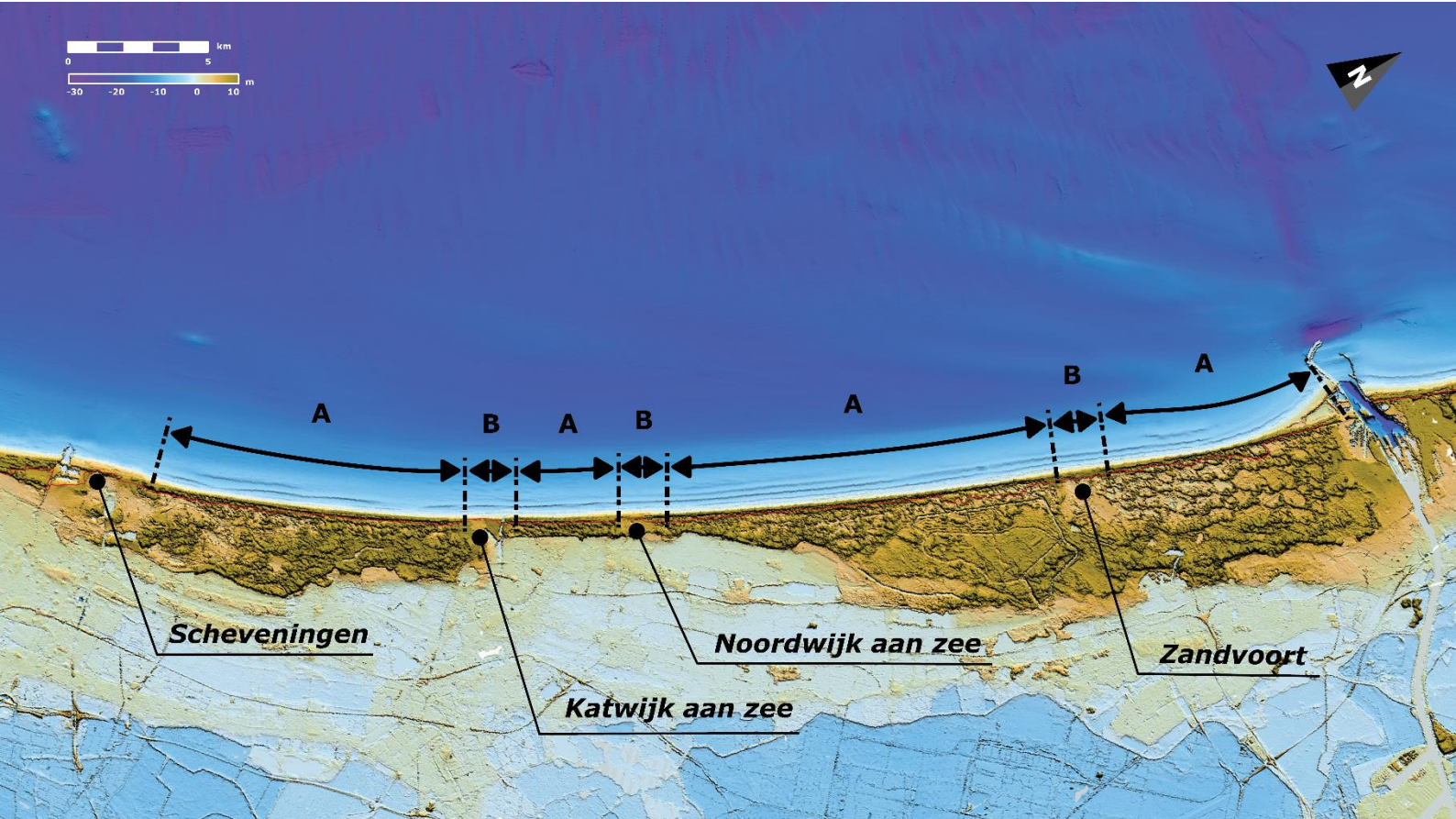
3.7.3 Niet meegroeien

Wanneer de kust niet meegroeit, zal met name het noordelijke deel van Noord-Holland te maken gaan krijgen met waterveiligheidsopgaves door zeespiegelstijging. Deze opgaves zijn het meest prominent op plekken waar de waterkering in de

eerste zeereep gelegen is. In het zuidelijk deel van Noord-Holland lijkt door het aanwezige brede duingebied, ondanks de berekende ontoereikende waterveiligheidscategorie, de waterveiligheidsopgave beperkt(er) te zijn.



Figuur 28 - Overstromingskans categorieën Noord-Holland bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS

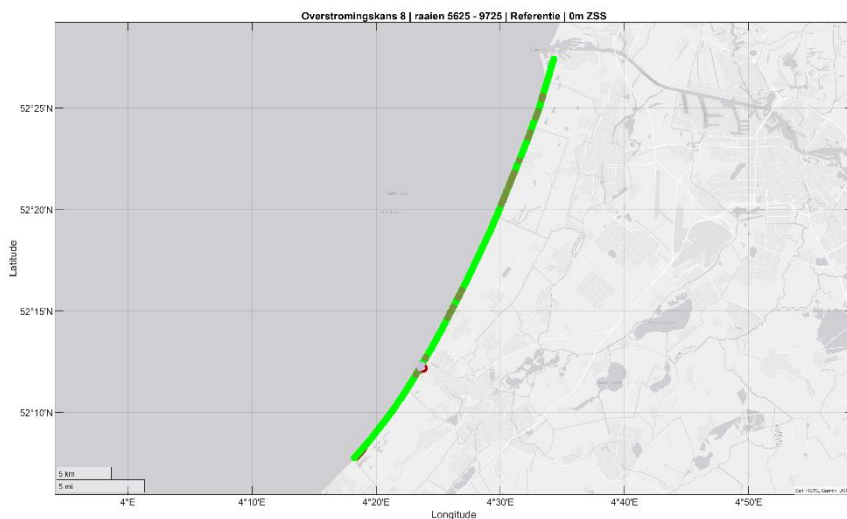


3.8 Rijnland

Het kustvak van Rijnland kenmerkt zich afwisselend door zeer brede duingebieden afgewisseld met bekende kustplaatsen tussenin. Opvallend aan deze kustplaatsen is de zeer beperkte hoogte van de waterkeringen (boulevards, duinen of hybride waterkeringen) aldaar. Ook voor Rijnland geldt dat voor enkele locaties (met 'B' aangeduid hierboven) enkel de vooroever en het strand zijn meegegroeid in de betreffende scenario's.

3.8.1 Referentie situatie (0m ZSS)

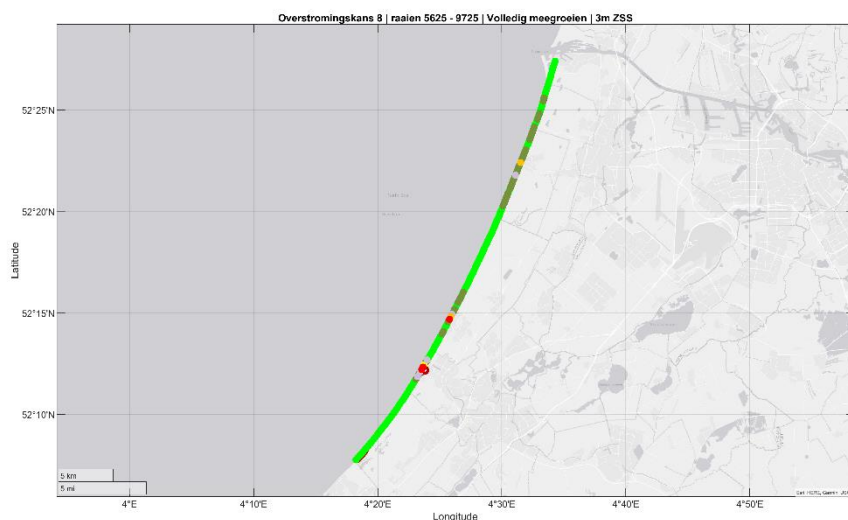
Zoals verwacht bestaat er voor de referentiesituatie met de gebruikte rekenmethodiek geen waterveiligheidsopgave in Rijnland, met uitzondering van Katwijk aan Zee. In deze analyse is echter geen rekening gehouden met het bijzondere type waterkering welke in Katwijk aanwezig is. Deze wordt geacht te voldoen in de referentiesituatie.



Figuur 29 - Overstromingskans categorieën Rijnland in referentiesituatie (0m ZSS)

3.8.2 Volledig meegroeien

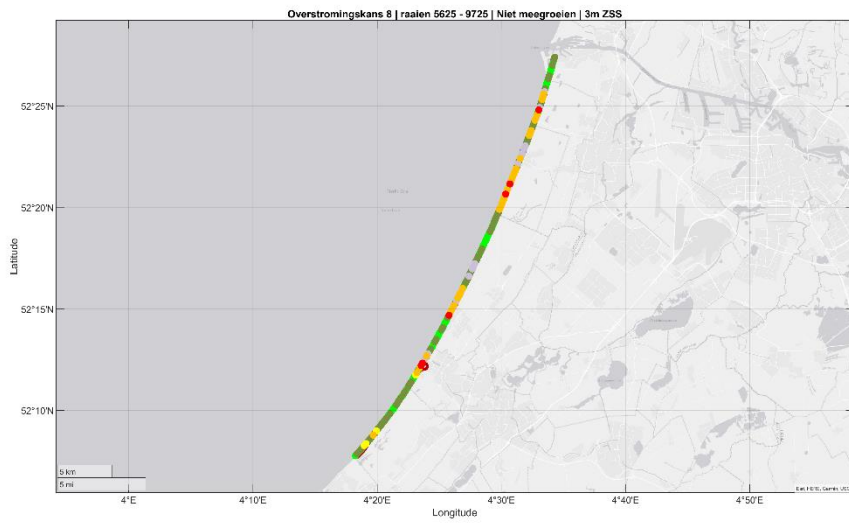
Binnen Rijnland zullen er vooral waterveiligheidsopgaves ontstaan bij de kustplaatsen waar de waterkeringen laag zijn en niet mee (kunnen) groeien. De versterkte zwakke schakel projecten blijven de relatief zwakke schakels van de kust in dit kustvak (de zwakke schakel projecten zijn veelal ontworpen met 60 cm zeespiegelstijging in het ontwerp). Zeespiegelstijging zal op deze locaties eerder tot overslag/overwash of mogelijk overloop van de waterkeringen leiden. Wanneer de overige kust van Rijnland mee kan groeien met zeespiegelstijging, lijkt dit kustvak goed in staat om 3 meter zeespiegelstijging aan te kunnen.



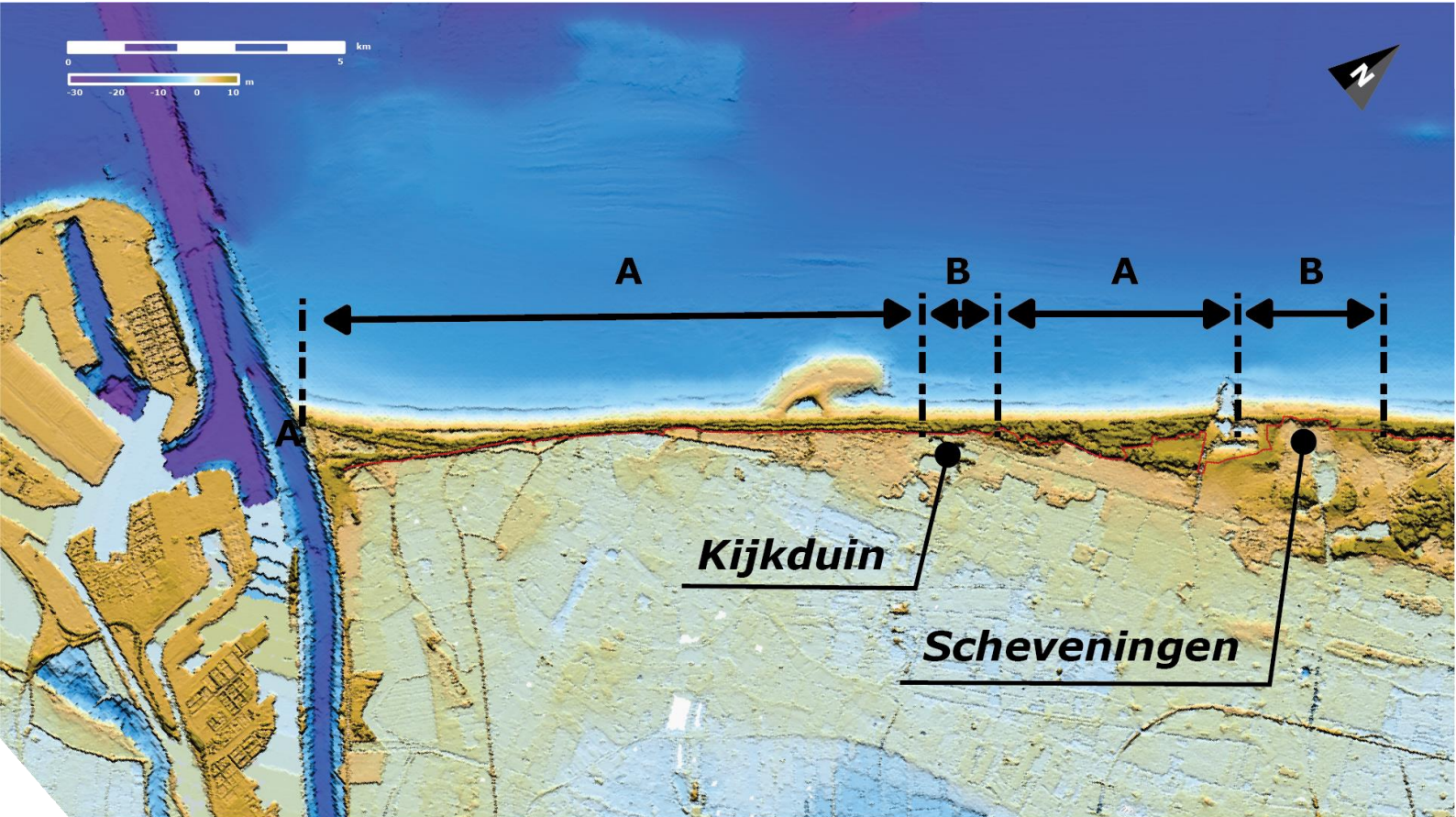
Figuur 30 - Overstromingskans categorieën Rijnland bij volledig meegroeien scenario en 3m ZSS

3.8.3 Niet meegroeien

Wanneer de kust van Rijnland niet mee kan groeien met zeespiegelstijging is het beeld van resultaten wisselend. Enkele brede duingebieden zijn goed in staat met 3 meter zeespiegelstijging nog voldoende te kunnen functioneren als waterkering. Uiteraard zal ook in deze situatie de grootste opgave bij de kustplaatsen ontstaan. Echter door de brede duingebieden in dit kustvak, die formeel (nog) niet altijd tot de waterkering behoren op dit moment, lijkt er op diverse plekken ook een waterveiligheidsopgave te ontstaan daar waar brede duingebieden aanwezig zijn. Nadere informatie van de waterkeringbeheerder kan hierover lokaal uitsluitel geven (buiten de scope van deze studie).



Figuur 31 - Overstromingskans categorieën Rijnland bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS

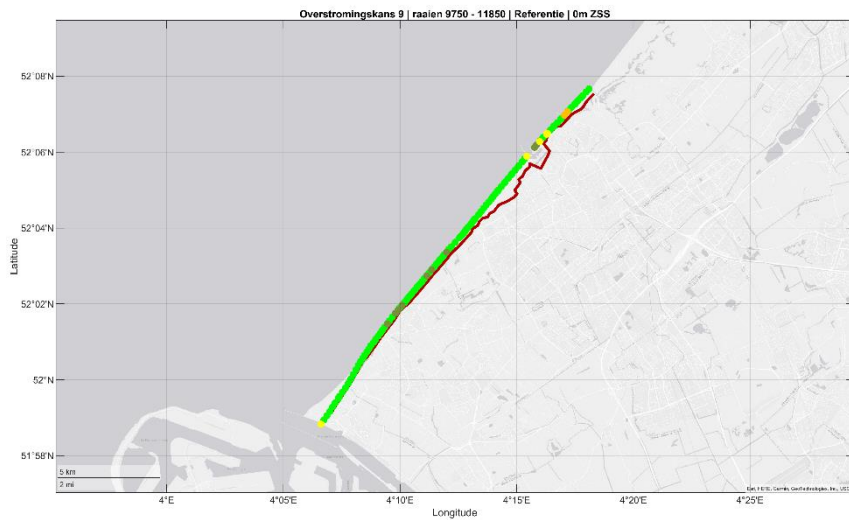


3.9 Delfland

Het kustvak van Delfland lijkt erg op dat van Rijnland. Echter zijn hier minder kustplaatsen met lage waterkeringen aanwezig (enkel Scheveningen). Daarnaast is alleen Kijkduin nog een onderbreking van de reguliere duinwaterkeringen die potentieel mee zouden kunnen groeien met zeespiegelstijging. Deze twee locaties zijn dan ook aangeduid met 'B' (niet meegroeien in de duinen). De haven van Scheveningen is vanwege de bijzondere lay-out niet meegenomen in deze studie.

3.9.1 Referentie situatie (0m ZSS)

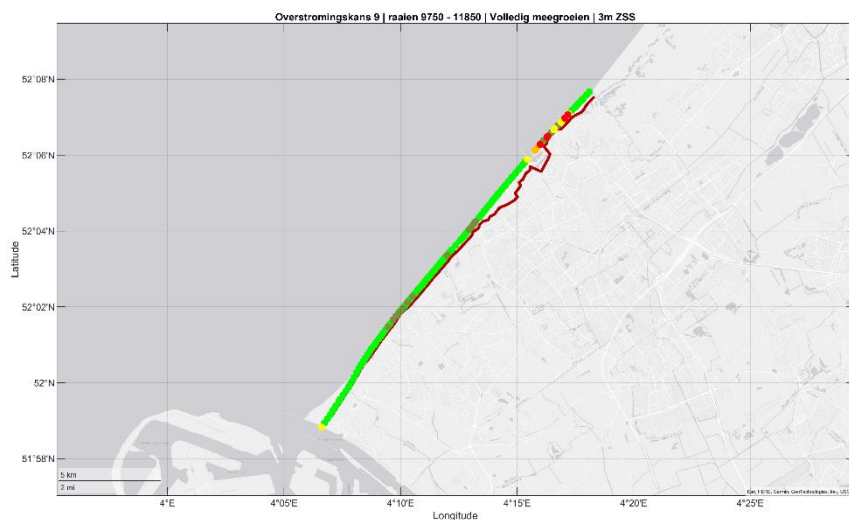
Gelijkend aan Rijnland geldt dat er voor de referentiesituatie in Delfland geen noemenswaardige waterveiligheidsopgave is. Enkele locaties in Scheveningen liggen op de grens van wel of geen waterveiligheidsopgave. Uit de beoordeling van het waterschap is echter bekend dat deze locaties op dit moment voldoen aan de norm.



Figuur 32 - Overstromingskans categorieën Delfland in referentiesituatie (0m ZSS)

3.9.2 Volledig meegroeien

In het scenario van volledig meegroeien ontstaat er, zoals verwacht, een behoorlijke waterveiligheidsopgave bij Scheveningen, door de lage aanwezige waterkering aldaar en de moeilijkheid om de duinen (of boulevard) te laten meegroeien met zeespiegelstijging. Voor het overige deel van dit kustvak zijn de resultaten overeenkomstig de referentiesituatie.

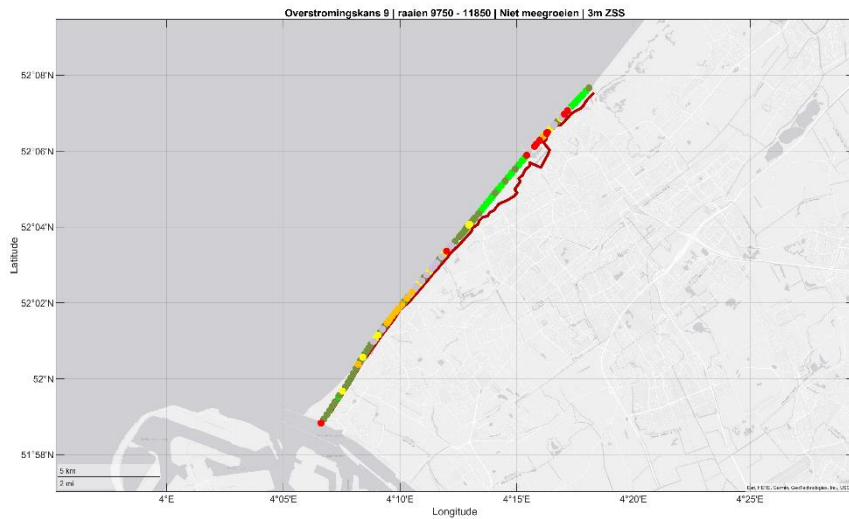


Figuur 33 - Overstromingskans categorieën Delfland bij volledig meegroeien scenario en 3m ZSS

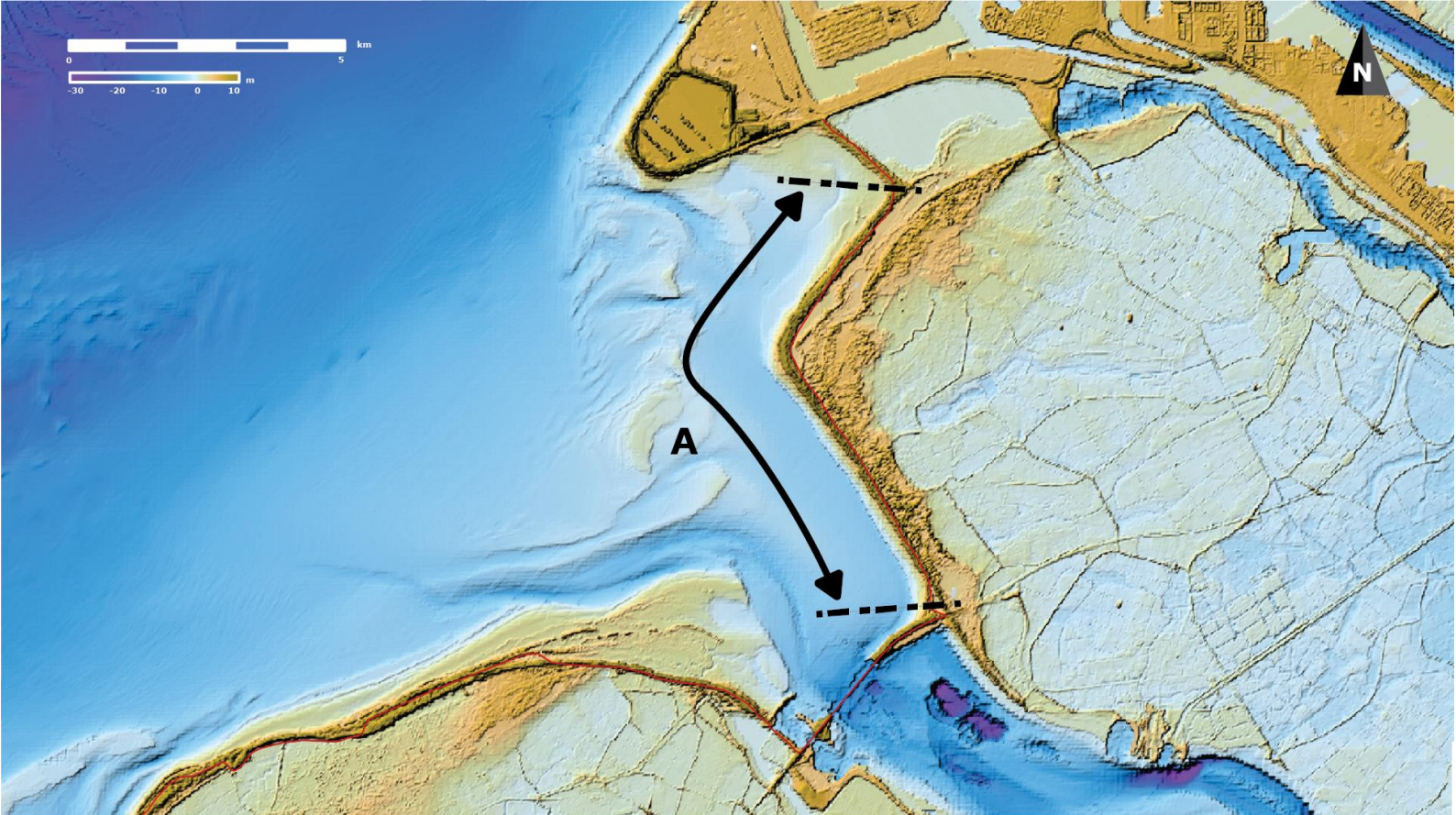
3.9.3 Niet meegroeien

In de situatie van niet meegroeien krijgt Delfland te maken met een waterveiligheidsopgave over een behoorlijke lengte van de waterkering. Deze

opgave ontstaat met name zeewaarts van het Westland ('s Gravenzande en Monster) doordat daar geen breed duinmassief aanwezig is. In de gebieden waar een breed duinmassief aanwezig is, is er niet of nauwelijks sprake van een waterveiligheidsprobleem.



Figuur 34 - Overstromingskans categorieën Delfland bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS

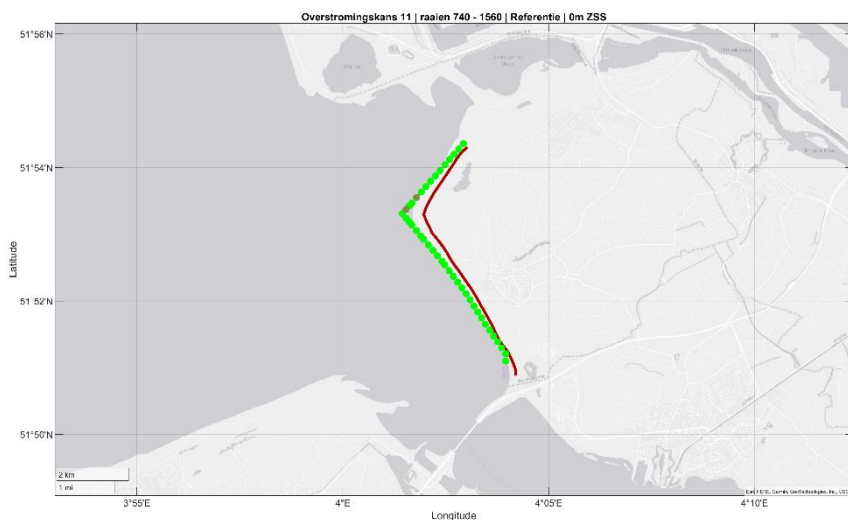


3.10 Voorne

Voorne heeft geen kustplaatsen in de zeereep liggen. Het kustvak is nog steeds aan verandering onderhevig door de afsluiting van het Haringvliet. Hierdoor bouwt er langzaam een ondiepte voor de kust van Voorne op die behoorlijk wat golfenergie kan dempen. Echter door de puntige vorm en daaraan parallel lopende waterkering, is de verwachting dat deze punt een aandachtspunt zal blijven in de toekomst.

3.10.1 Referentie situatie (0m ZSS)

In de referentiesituatie van Voorne voldoen alle locaties (ruim) aan de norm wat naar verwachting is met de brede duingebieden in de zeereep.

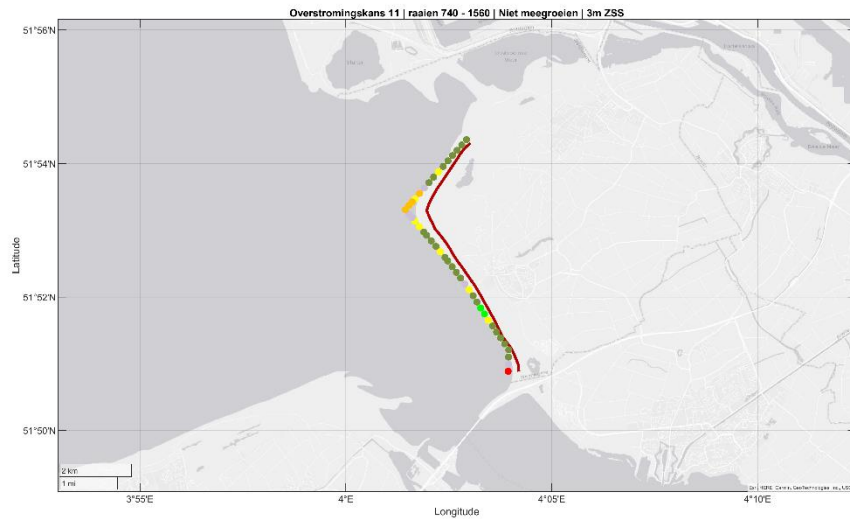


Figuur 35 - Overstromingskans categorieën Voorne in referentiesituatie (0m ZSS)

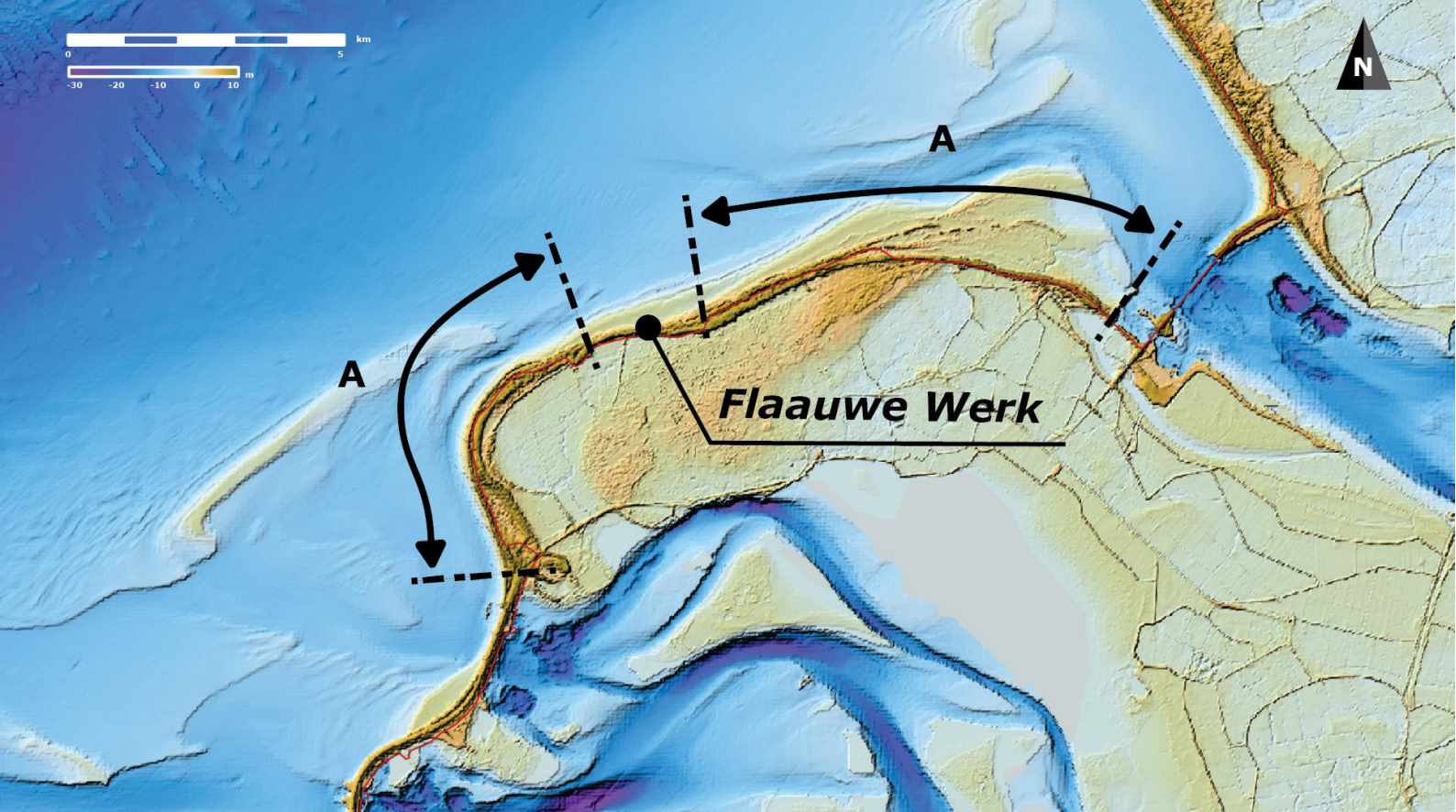
3.10.2 Niet meegroeien

Wanneer de kust van Voorne niet kan meegroeien met zeespiegelstijging springt de puntige kop van het kustvak eruit als aandachtlocatie met waarschijnlijk een

waterveiligheidsopgave. Deze locatie, en de Haringvlietdam, is ook het meest blootgesteld aan extreme condities. Daarnaast moet goed gekeken worden naar de aansluiting met de Haringvlietdam in het zuiden van het gebied. Mogelijk levert dit ook een lokale waterveiligheidsopgave op. Echter is de gebruikte rekenmethodiek niet afdoende om dit oordeel te vellen.



Figuur 36 - Overstromingskans categorieën Voorne bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS

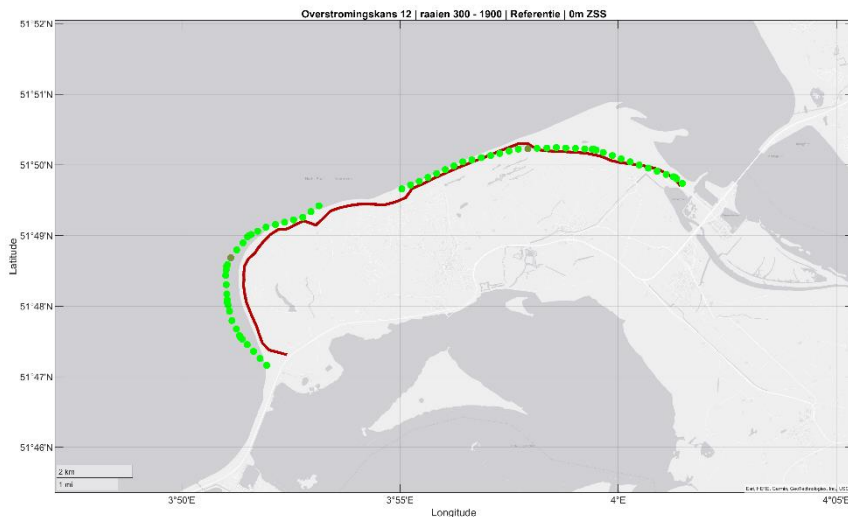


3.11 Goeree

Ook het kustvak van Goeree is nog steeds onderhevig aan veranderingen veroorzaakt door enerzijds het afsluiten van het Haringvliet in het Noorden en anderzijds het afsluiten van de Grevelingen in het Zuiden (middels de Brouwersdam). Het kustvak kent in het Noorden een smalle zeereep welke naar het westen toe onderbroken wordt door het Flauwe Werk (zeedijk). Zuidwestelijk van het Flauwe Werk is er een redelijk brede zeereep aanwezig.

3.11.1 Referentie situatie (0m ZSS)

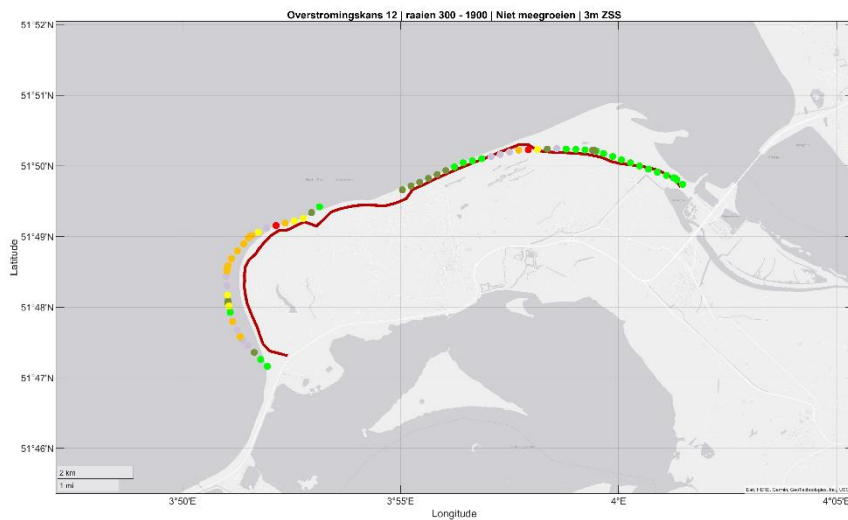
In de referentiesituatie is er, overeenkomstig de verwachting, geen waterveiligheidsopgave op Goeree. Het Flauwe Werk is niet meegenomen in deze analyse en is binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging separaat opgepakt.



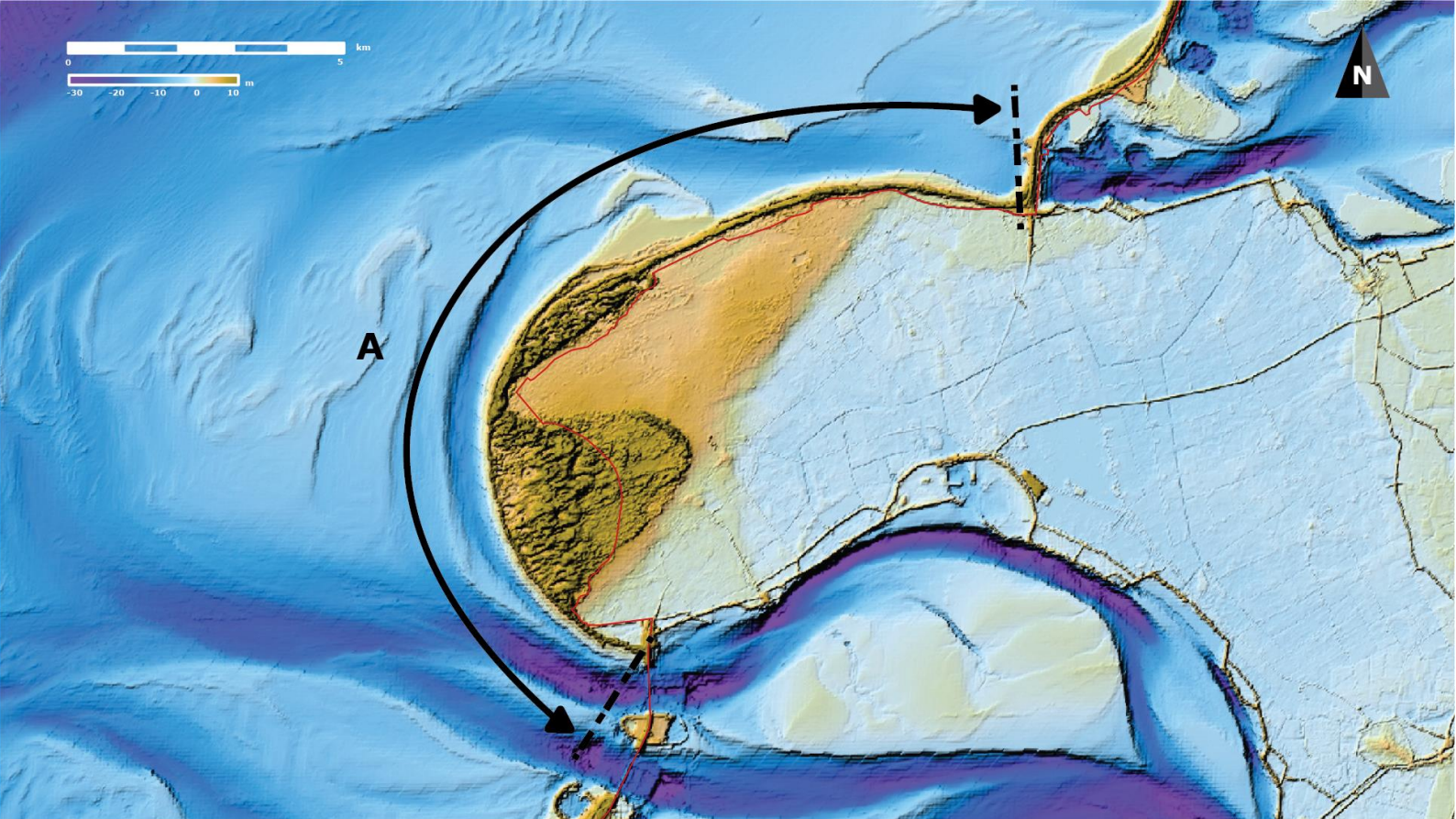
Figuur 37 - Overstromingskans categorieën Goeree in referentiesituatie (0m ZSS)

3.11.2 Niet meegroeien

Op Goeree komt een wisselend beeld naar voren wanneer de kust niet meegroeit met zeespiegelstijging. Het meest westelijke gedeelte van het eiland krijgt vermoedelijk te maken met een waterveiligheidsopgave hierdoor. Voor het gebied ten noorden van het Flauwe Werk lijkt deze opgave beperkter (enkele locaties). Het meest noordelijke deel, nabij de Haringvliet dam, lijkt goed in staat zeespiegelstijging te kunnen opvangen.



Figuur 38 - Overstromingskans categorieën Goeree bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS

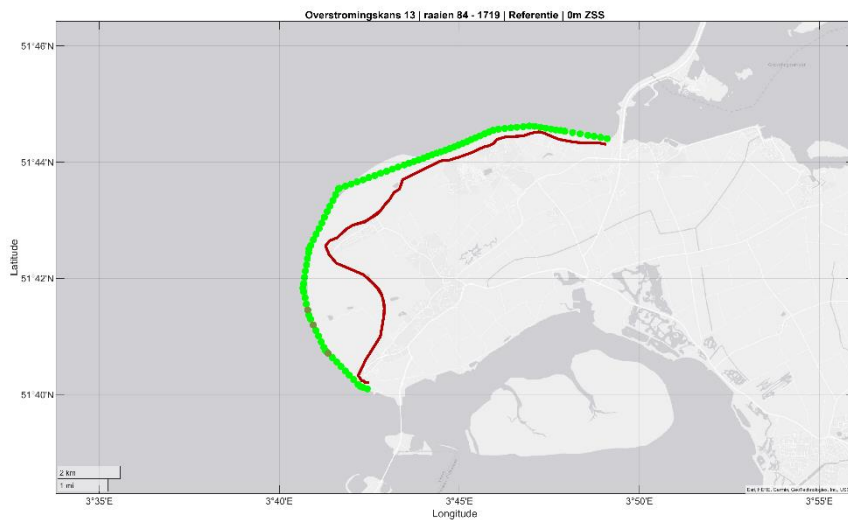


3.12 Schouwen

Het eiland en kustvak Schouwen kenmerkt zich door een enkele smalle zeereep in het Noorden en uitlopende en brede(re) duingebieden naar het Zuidwesten. Op Schouwen zijn geen dorpen of steden gelegen in de zeereep. Schouwen sluit in het noorden aan op de Brouwersdam en in het zuiden op de Oosterscheldekering.

3.12.1 Referentie situatie (0m ZSS)

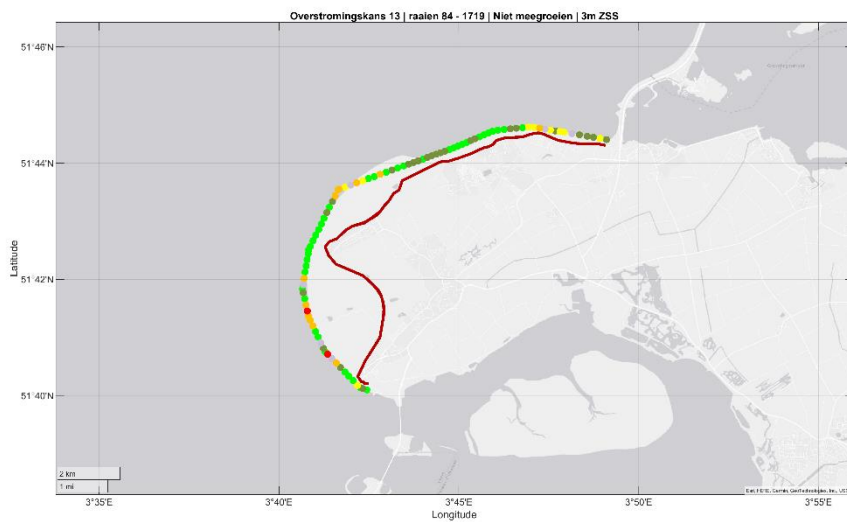
In de referentiesituatie voldoet Schouwen ruim aan de ondergrens en signaleringswaarde van de normering.



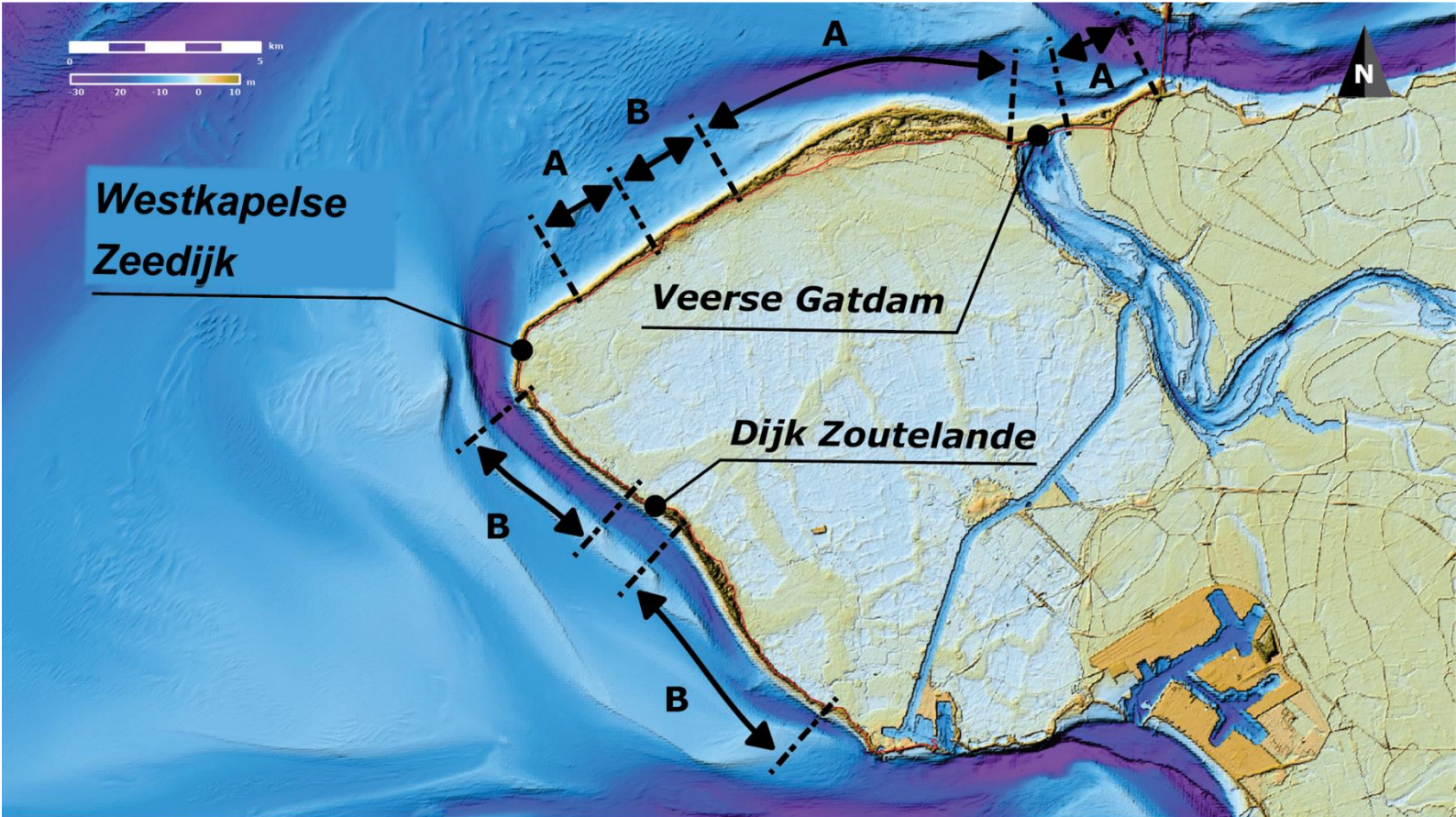
Figuur 39 - Overstromingskans categorieën Schouwen in referentiesituatie (0m ZSS)

3.12.2 Niet meegroeien

Het waterveiligheidsbeeld in de situatie van niet meegroeien en drie meter zeespiegelstijging is wisselend op Schouwen. Met name aan de noordkant, nabij de Brouwersdam, lijkt een waterveiligheidsopgave te ontstaan. Voor de rest zijn er enkele gebieden die volgens deze rekenmethodiek aangeven een waterveiligheidsopgave te krijgen. Echter zijn hier brede duingebieden aanwezig waar de gebruikte rekenmethodiek niet zondermeer tot goede resultaten leidt. Hiervoor is een nadere analyse nodig.



Figuur 40 - Overstromingskans categorieën Schouwen bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS

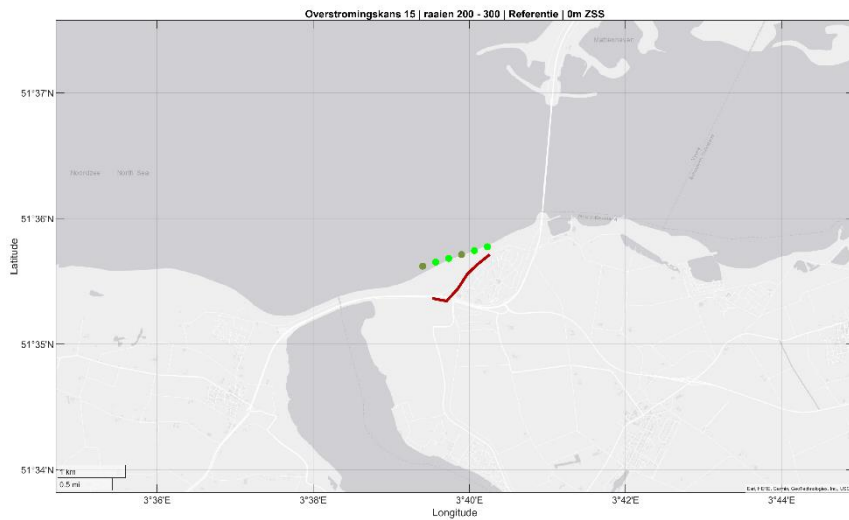


3.13 Noord-Beveland & Walcheren

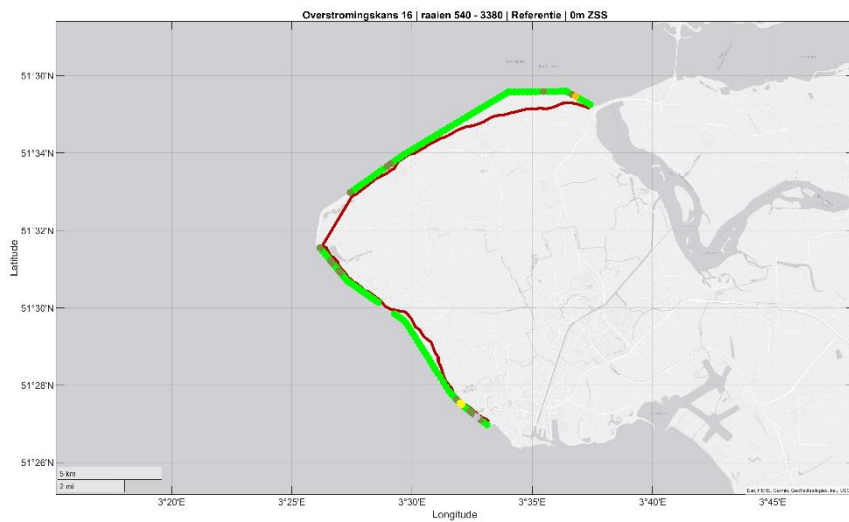
De kustvakken van Noord-Beveland en Walcheren worden vanwege hun ligging in elkaars verlengde, gezamenlijk besproken in dit rapport. De Oosterscheldekering gaat in het Zuiden over in Noord-Beveland waar een enkele zeereep aanwezig is. Noord-Beveland wordt vervolgens van Walcheren gescheiden door de Veerse Gatdam. Op Walcheren is er in het Noorden een breed duinmassief aanwezig dat overgaat in een smalle enkele zeereep, dikwijls onderbroken met kustplaatsen in de zeereep als Domburg en Zoutelande en campings/bungalowparken gelegen in de zeereep. Bij Zoutelande wordt de kust beschermd door een harde kering. Ook is er op de Westkop van Walcheren, ter bescherming van Westkapelle een zeedijk aanwezig (Westkapelse Zeedijk). Voor Walcheren zijn dus ook diverse gebieden met 'B' aangeduid waar er in deze analyse wordt uitgegaan dat het duin niet in staat is om mee te groeien met zeespiegelstijging.

3.13.1 Referentie situatie (0m ZSS)

Zowel voor Noord-Beveland als Walcheren lijken er geen noemenswaardige waterveiligheidsopgaves te bestaan in de referentiesituatie. Wel is bekend dat er op een enkele locatie niet veel overhoogte/sterkte t.o.v. de norm aanwezig is. De Veerse Gatdam is niet meegenomen in deze analyse omdat dit op het moment van schrijven formeel nog een harde waterkering betreft (geen duinwaterkering).



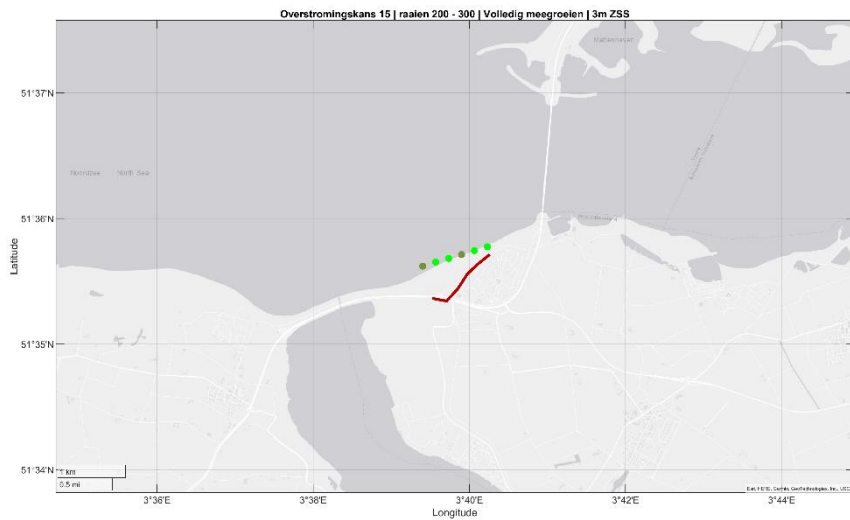
Figuur 41 - Overstromingskans categorieën Noord-Beveland in referentiesituatie (0m ZSS)



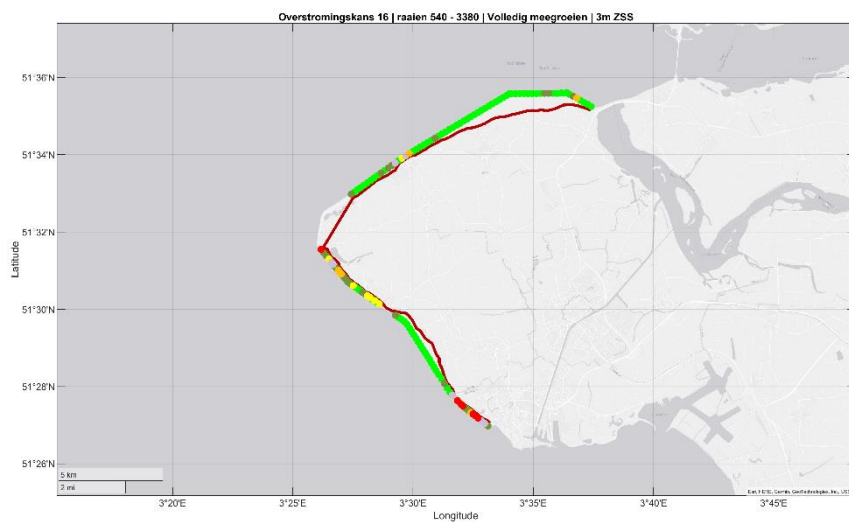
Figuur 42 - Overstromingskans categorieën Walcheren in referentiesituatie (0m ZSS)

3.13.2 Volledig meegroeien

In het volledig meegroeien scenario gaan er met name op de zuidelijke kuststrook van Walcheren waterveiligheidsopgaven ontstaan. Dit komt door de aanname dat de duinen op deze locatie niet kunnen meegroeien door de aanwezige kustplaatsen en (recreatieve) bebouwing. Dit geldt met name voor de strook Westkapelle – Zoutelande en net ten Noordwesten van Vlissingen.



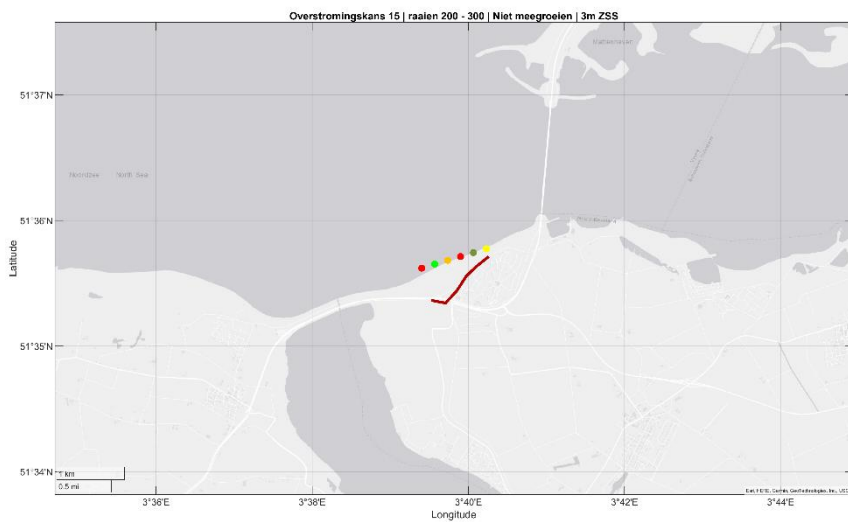
Figuur 44 - Overstromingskans categorieën Noord-Beveland bij volledig meegroeien scenario en 3m ZSS



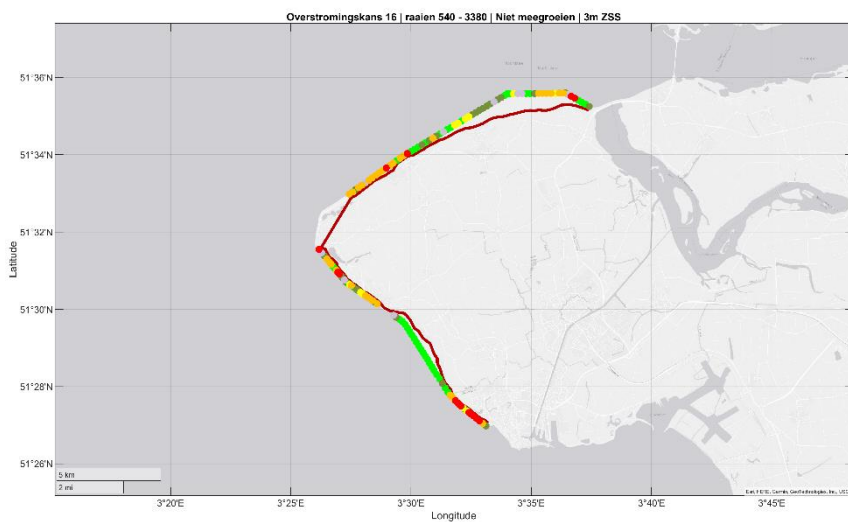
Figuur 43 - Overstromingskans categorieën Walcheren bij volledig meegroeien scenario en 3m ZSS

3.13.3 Niet meegroeien

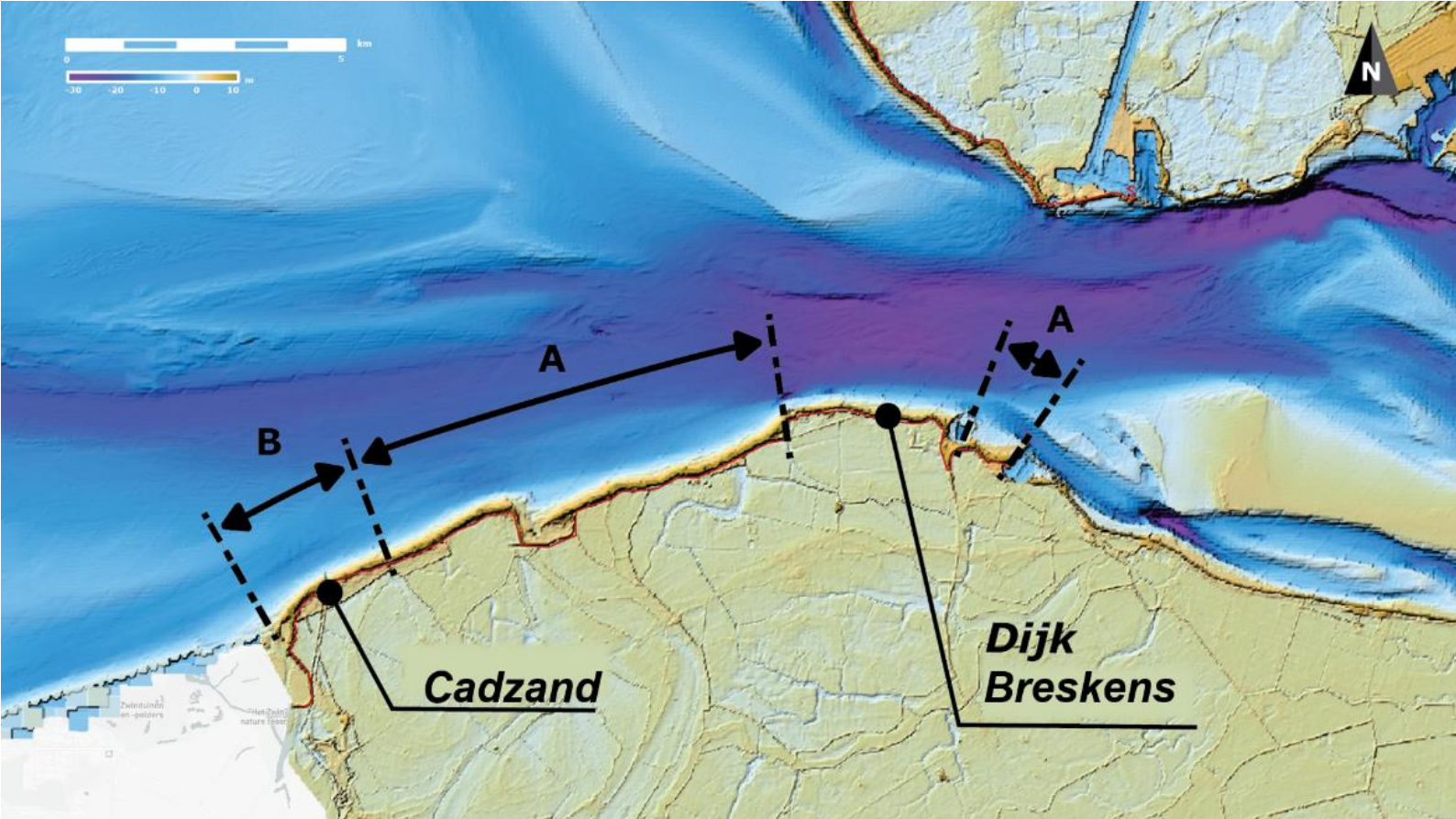
Wanneer de kust niet kan meegroeien met zeespiegelstijging zullen met name op de locaties waar de waterkering in direct in de eerste zeereep ligt, er waterveiligheidsopgaves ontstaan. Dit geldt voor de gehele kuststrook van Domburg naar Zoutelande alsmede ten Noordwesten van Vlissingen. Ook nabij de Veerse Gatdam zullen er in beide kustvakken waterveiligheidsopgaves ontstaan.



Figuur 45 - Overstromingskans categorieën Noord-Beveland bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS



Figuur 46 - Overstromingskans categorieën Walcheren bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS

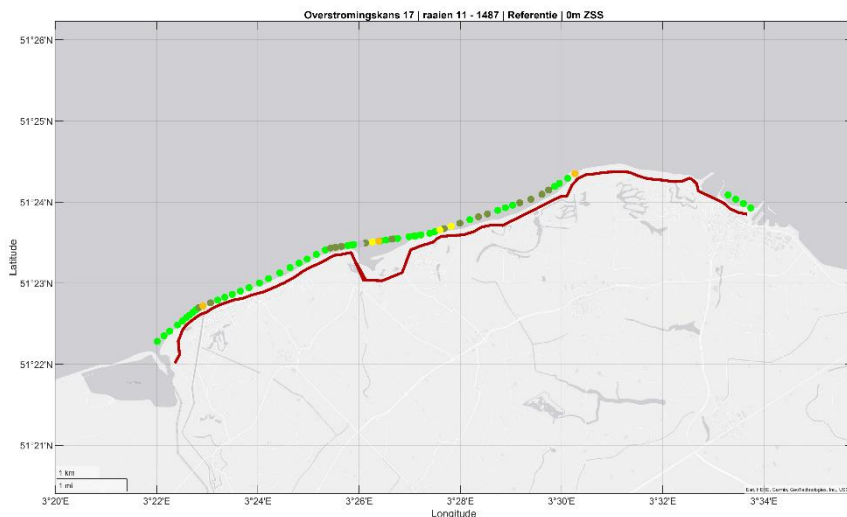


3.14 Zeeuws-Vlaanderen

Het kustvak Zeeuws-Vlaanderen loopt van Breskens richting de Belgische grens en de Vlaamse kust. Het kustvak kenmerkt zich door een duinenkust afgewisseld met een zeedijk bij Breskens en een bebouwde (zandige) kustzone bij Cadzand. De duinenkust tussen Breskens en Cadzand betreft veelal een enkele duinregel als waterkering. De zeedijk bij Breskens valt buiten de scope van deze analyse. De bebouwde kustzone bij Cadzand is aangemerkt als locatie waar de duinen niet mee zullen groeien in de meegroeiscenario's van deze analyse ('B' locatie).

3.14.1 Referentie situatie (0m ZSS)

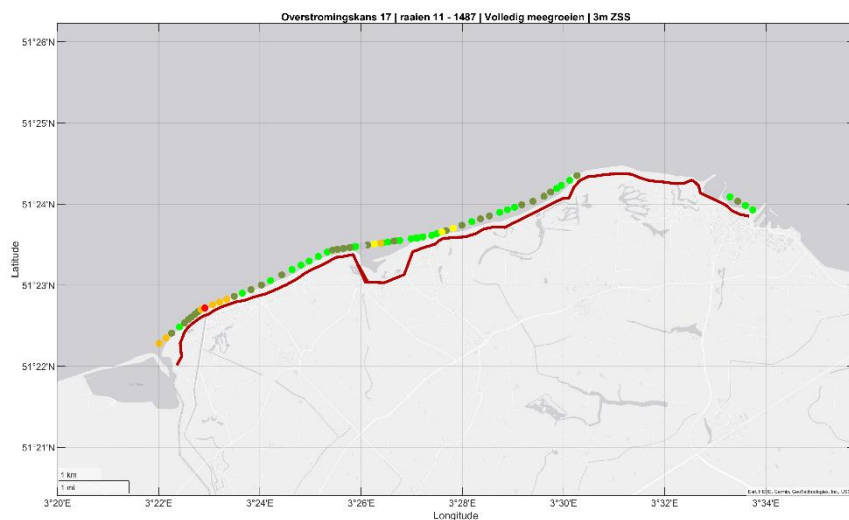
In de referentiesituatie zijn er enkele locaties die in deze beoordeling net als onvoldoende worden beoordeeld. Dit zijn grensgevallen waar uit de formele beoordeling van waterkeringen is gebleken dat de locaties wel voldoen, omdat hier (deels) een harde kering ligt. Voor het overige deel van dit kustvak voldoet de waterkering ruim aan de norm.



Figuur 47 - Overstromingskans categorieën Zeeuws-Vlaanderen in referentiesituatie (0m ZSS)

3.14.2 Volledig meegroeien

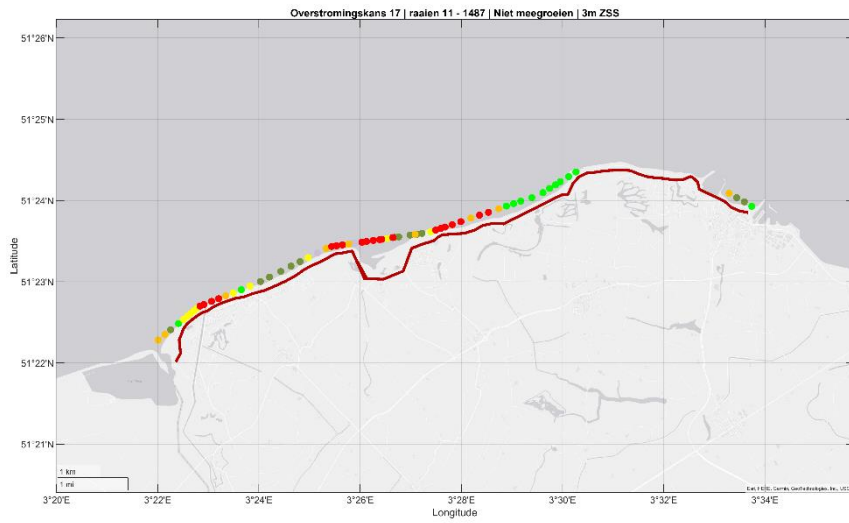
In het scenario met volledig meegroeien van de kust en duinen ontstaat hoofdzakelijk in het gebied waar de duinen niet mee kunnen groeien met zeespiegelstijging (kustzone nabij Cadzand) een waterveiligheidsopgave.



Figuur 48 - Overstromingskans categorieën Zeeuws-Vlaanderen bij volledig meegroeien scenario en 3m ZSS

3.14.3 Niet meegroeien

In het scenario van niet meegroeien zal er in het kustvak van Zeeuws-Vlaanderen een significante waterveiligheidsopgave ontstaan met name rondom Cadzand en het gebied rondom de Verdronken Zwarte Polder – Nieuwvliet-Bad.



Figuur 49 - Overstromingskans categorieën Zeeuws-Vlaanderen bij niet meegroeien scenario en 3m ZSS

3.15 Versterkingsopgave, ruimtebeslag en kosten

De resultaten in paragrafen 3.2-3.14 laten locaties zien waar de duinen onvoldoende volume hebben om, bij stijgende zeespiegel en huidige normen, voldoende bescherming tegen overstromingen te bieden. Wanneer de kust meegroeit met zeespiegelstijging en aangenomen wordt dat de kust in 2050 overal voldoet aan de wettelijke norm, volgt dat 4% van de kustlocaties (54 van de 1504 berekende locaties) nog een waterveiligheidsopgave krijgen bij 3 meter zeespiegelstijging. Deze locaties bevinden zich met name op Schiermonnikoog en Terschelling en zeer lokaal langs de hele kust waar kustdorpen zich in/op de eerste zeereep bevinden. De geschatte omvang van deze opgaves, uitgedrukt in een zandige verbreding/verhoging van het duin, bedraagt gezamenlijk minder dan 1 Mm³ zand, à 15 mln. euro (uitgangspunt: duinversterking 15 euro/m³ zand)².

Bij een niet meegroeïende kust moet voor 50% van de kustlocaties een versterking worden uitgevoerd (742 locaties). Deze versterking (zonder compensatie voor de kustlijn terugtrekking) is berekend op ongeveer 45 Mm³ zand à 675 Meuro.

Daarnaast is voor het laatst genoemde niet meegroeïen scenario op een pragmatische wijze, in paragraaf 2.6 beschreven, de versterkingsopgave geometrisch berekend/ruimtelijk ingepast. Ook wordt in deze paragraaf het totale ruimtebeslag gepresenteerd, inclusief de regulier verwachte kustachteruitgang bij een niet meegroeïen scenario³. De gepresenteerde versterkingsopgave is dan ook een ondergrensscenario.

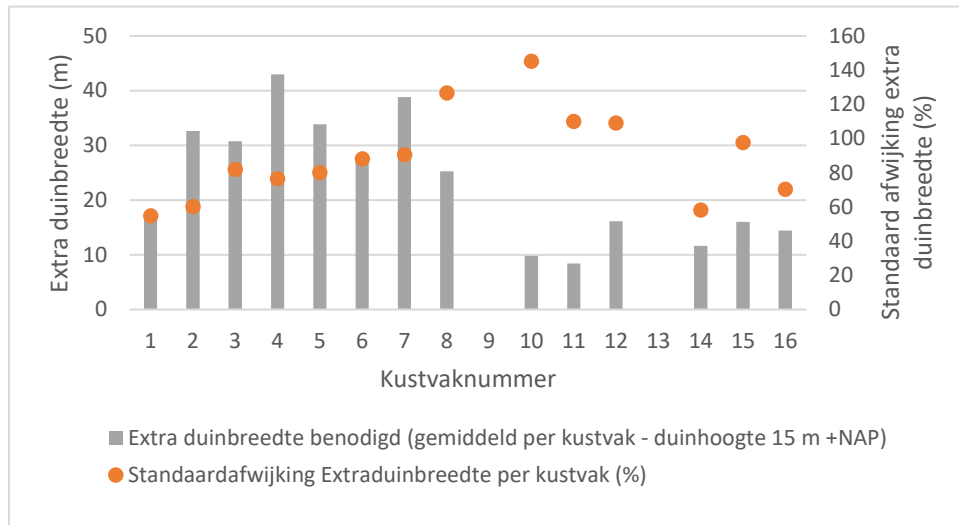
3.15.1 Resultaten versterkingsopgave

Figuur 49 laat per kustvak de gemiddelde versterkingsopgave zien, uitgaande van een duinhoogte van 15m +NAP (gelijk aan het referentieprofiel voor de Hollandse kust). Dit betreft een inschatting van de extra benodigde ruimte landwaarts van het huidige duinmassief om voldoende waterkerend vermogen te kunnen bieden. Deze resultaten zijn uitgerekend voor veiligheids categorie IIIv (voldoet aan de ondergrens) bij 3 meter zeespiegelstijging in het niet meegroeïen scenario. Ook is de standaardafwijking van de versterkingsopgave van het betreffende kustvak weergegeven, uitgedrukt als percentage van de benodigde extra duinbreedte. Dit is een spreidingsmaat van het berekende gemiddelde per kustvak.

Hoewel uit paragrafen 3.2-3.14 blijkt dat de versterkingsopgaven hoofdzakelijk op (vele) lokale stukken kust zullen zijn, zijn die opgaven aanzienlijk in ruimtebeslag, gemiddeld is er 25m extra duinmassief nodig om voldoende waterkerend vermogen op die locaties te kunnen bieden. De berekende extra duinbreedte is exclusief de reguliere kustachteruitgang van 60-300 meter die verwacht mag worden in de niet meegroeïen scenario's volgens de Bruun rule.

² Het is zeer waarschijnlijk dat deze versterkingskosten voor deze bebouwde kustlocaties vele malen hoger zullen liggen doordat er voor andere oplossingen worden gekozen dan de hier genoemde zandige verhoging/versterking van het duin. Dit vanwege de ruimtelijke inpassing. Als voorbeeld is de kust bij Noordwijk in 2008 over ongeveer 1 kilometer lengte versterkt voor 20 mln. euro – prijspeil 2008.

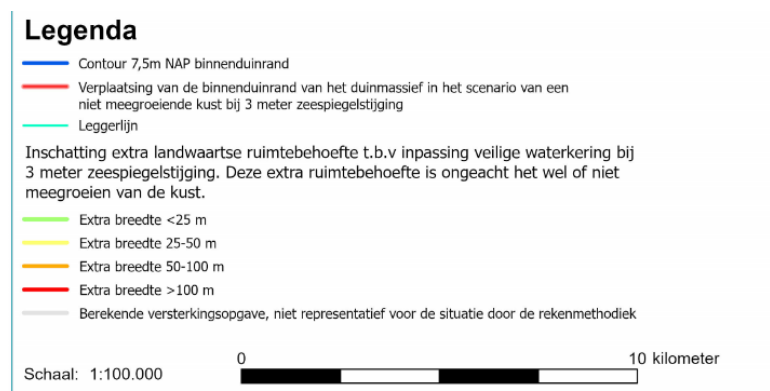
³ Er is in deze analyse niet berekend of de natuurlijke kustachteruitgang bij het niet meegroeïen scenario leidt tot extra waterveiligheidsopgaven. Dit is zeer aannemelijk.



Figuur 50 - Extra duinbreedte benodigd op locaties waar het waterkerend vermogen berekend is als onvoldoende. De extra duinbreedte is zonder regulier verwachte teruggang van de kustlijn van 60-300 meter zoals verwacht mag worden bij het niet meegroeien scenario.

3.15.2 Ruimtebeslag niet meegroeien scenario i.c.m. versterkingsopgave

Om inzichtelijk te maken welke gevolgen zeespiegelstijging heeft wanneer de kust niet meegroeit, in combinatie met het handhaven van de huidige normen voor waterveiligheid, is per kustvak indicatief op een kaart weergegeven waar het landwaartse punt van het duinmassief – op rekenpeil hoogte – zich zou moeten bevinden. Deze indicatie geeft een beeld van de ruimtelijke impact van zeespiegelstijging voor het niet-meegroeien scenario. Bovenop deze terugtrekking van de kustlijn moet de versterkingsopgave nog ingepast worden. Figuur 50 geeft een totaal overzicht. Hieronder is de legenda van figuur 50 uitvergroot weergegeven.



Alle kaarten per kustvak zijn te vinden in bijlage D.

Hoewel op onderstaande kaarten, uitgezonderd zeer brede dungebieden, overal de verwachte verplaatsing van de binnenduinrand is geschetst in het scenario van een niet meegroeien scenario, is dit enkel te verwachten op locaties waar de breedte van het totale dungebied beperkt is.

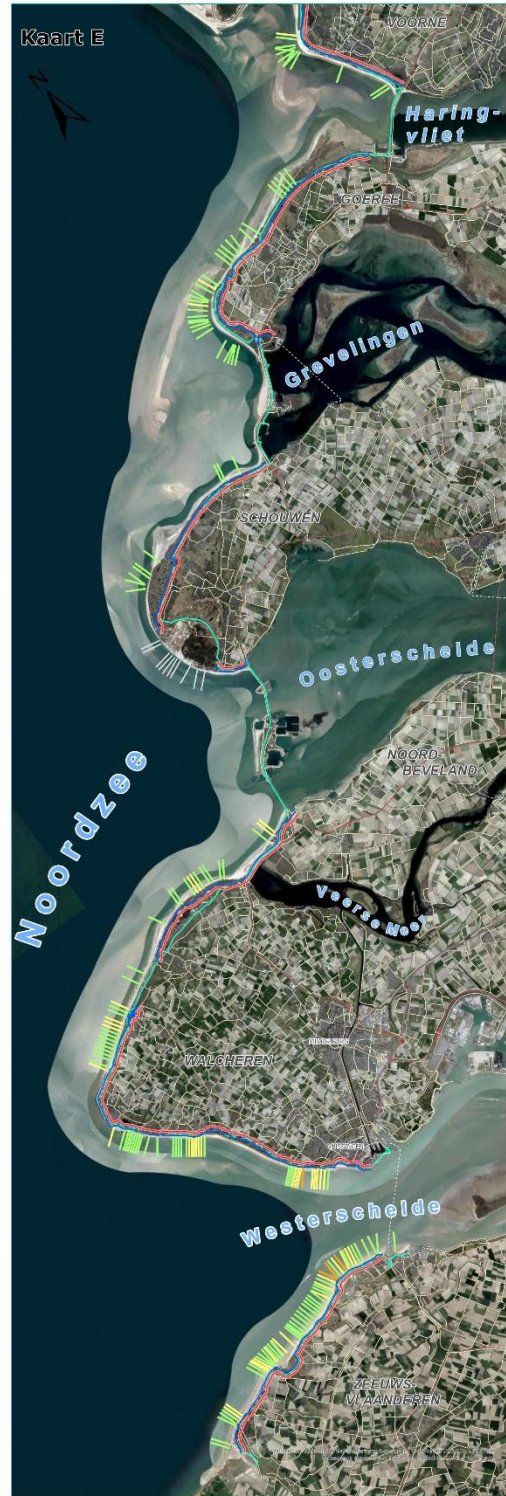
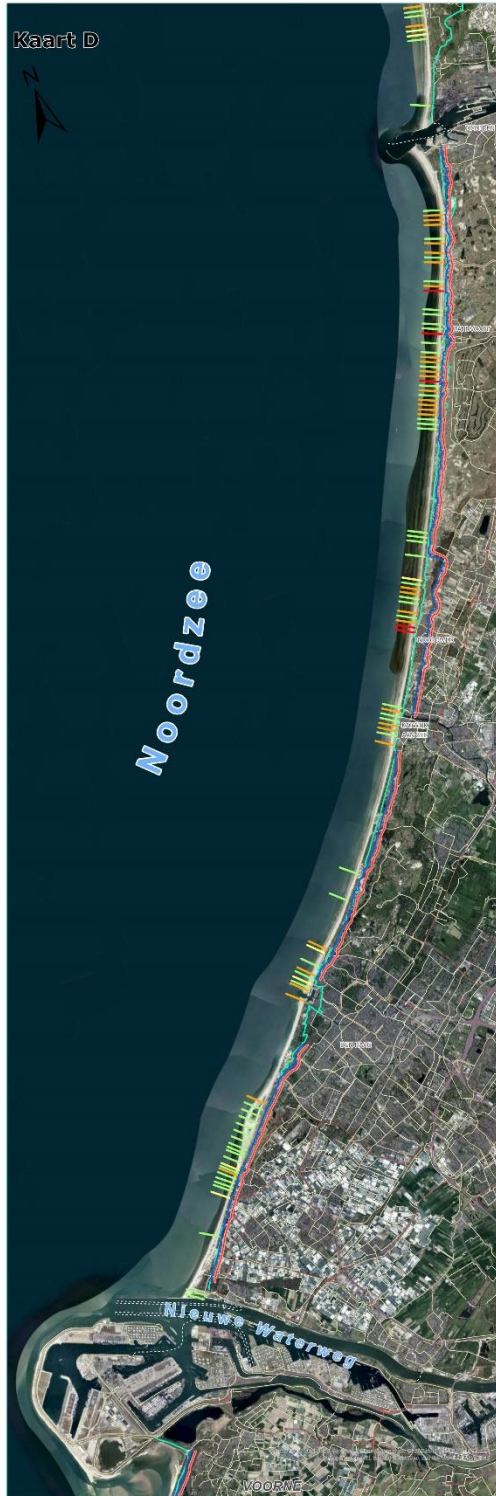
Binnenduinrand

Verplaatsing binnenduinrand scenario

Legenda

- Contour 7,5m NAP binnenduinrand
- Verplaatsing van de binnenduinrand van het dijkprofiel in het scenario van een met hoogwaterstand 3 meter zeespiegelstijging
- Leggerlij
- Inschaling naar landwaarts: ruimtelijke L.b.v. inpassing veilige wederkering bij 3 meter zeespiegelstijging. Deze contour numerieke waarde is ongeveer het vel of met meegroten van de kaart.
- Fata (waarde < 25 m)
- Fata (waarde 25-50 m)
- Fata (waarde 50-100 m)
- Fata (waarde > 100 m)
- Denkbeeld verplaatsingsprofiel, niet representatief voor de situatie door de rekenmethode

Schaal: 1:100.000



4 Discussie

4.1 Morfologische scenario's

In deze studie worden morfologische scenario's gebruikt waarvan experts denken dat dat de uiterste realistische scenario's/ontwikkelingen zullen zijn voor het kustfundament ten behoeve van waterveiligheidsberekeningen. Over de waarschijnlijkheid van deze scenario's, of tussenliggende opties, worden geen uitspraken gedaan. Op dit punt zal thema zandige kust van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging meer inzicht gaan verschaffen.

Zoals beschreven in paragraaf 2.4 is de verwachting dat een kustprofiel zich van nature zal aanpassen aan een nieuwe zeespiegel door erosie van duinen, en dat daarmee een landwaartse verplaatsing van de kustlijn plaatsvindt wanneer de gehele kust niet meegroeit (de huidige Voorkeursstrategie van het Deltaprogramma is dat het gehele kustfundament meegroeit met zeespiegelstijging). In deze analyse is het kustprofiel simpelweg verhoogd of constant gehouden afhankelijk van het morfologische scenario. Het aanpassen van het kustprofiel bij niet volledig meegroeien scenario's is niet meegenomen. Dit zal leiden tot een reguliere kustachteruitgang van ongeveer 60-300 meter (20-100 * ZSS). In die scenario's zal bij de interpretatie van de resultaten van deze analyse deze 60-300 meter kustachteruitgang nog verdisconteerd moeten worden. Hier bovenop dient nog rekening te worden gehouden met voldoende waterkerend vermogen van dit kustprofiel. De uitgevoerde waterveiligheidsberekeningen voor het morfologische scenario 'niet meegroeien' zijn daarmee een onderschatting van wat in werkelijkheid mag worden verwacht in deze situatie.

Ook is het belangrijk te melden dat het scenario volledig meegroeien niet zonder enige menselijke inspanning / actieve sturing zal plaatsvinden. Op dit moment groeien de duinen in de praktijk vooral mee aan de zeezijde. Om ook meer landwaarts gelegen duinen te laten groeien – zoals de huidige VKS beoogt (volledig meegroeien van de kust / het kustfundament met zeespiegelstijging) - zijn aanvullende maatregelen nodig. Daarbij rijst de vraag of de duinen snel genoeg natuurlijk kunnen meegroeien als de zeespiegel sneller gaat stijgen. Dit geldt met name in brede duingebieden waar het grensprofiel landwaarts kan liggen, groeien de duinen in de huidige beheerpraktijk niet/minder mee met de zeespiegelstijging. Welke maatregelen voldoende effectief zijn, is een aanbeveling voor verder onderzoek.

4.2 Gebruik DUROS+ vs XBeach en achterloopsheid

Zoals beschreven in paragraaf 2.1.1 zijn de afslagberekeningen gedaan met het vigerende beoordelingsmodel DUROS+. Dit om grote hoeveelheden berekeningen te kunnen uitvoeren. Daarnaast kan met XBeach – op het moment van schrijven – nog geen brede goed onderbouwde veiligheidsbeoordeling worden gemaakt. Echter is DUROS+ niet op alle locaties geschikt om een goede inschatting te geven van de afslag.

Het gebruikte rekenmodel Duros+ kent met name beperkingen voor het juist uitvoeren van duinafslagberekeningen in complexe kustgebieden met meerdere duinenrijen en afwijkende vooroevers t.o.v. de Hollandse kust. Met name bij de Waddeneilanden kent dit rekenmodel beperkingen.

Bij de bepaling of er nog voldoende volume beschikbaar is voor het grensprofiel, is het volume meegerekend dat zeewaarts van de leggergrens aanwezig is boven het rekenpeil. Bij kustprofielen waarbij er sprake is van brede duingebieden wordt daarmee ook het achterliggende volume meegenomen. Echter, indien de eerste duinenrij doorbreekt wordt het afslagproces complexer door achterloopsheid van het eerste duin en is het onvoldoende om de situatie op grond van 1D op achterloopsheid te beoordelen.

4.3 **Inschatting waterveiligheidsopgave versus wettelijke beoordeling**

De uitgevoerde analyse betreft een inschatting van de waterveiligheidsopgave als gevolg van de verwachte zeespiegelstijging. Deze analyse kan nadrukkelijk niet gebruikt worden als wettelijke beoordeling van duinwaterkeringen. Hoewel de BOI-systematiek zoveel mogelijk is gevolgd, zijn er pragmatische keuzes gemaakt ten behoeve van een landelijk uniformiteit van de analyse, inclusief diverse scenario berekeningen, die voor een deel geen recht doen aan de lokale situatie, of waar de gebruikte methodiek buiten het toepassingsbereik ingezet is. De analyse is bedoeld om een landelijke inschatting van de waterveiligheidsopgave van duinwaterkeringen te maken.

4.4 **2^e orde effecten bij niet meegroeien scenario**

Indien de kust niet mee zal groeien met de zeespiegelstijging en er daarnaast wordt gekozen de kustplaatsen lokaal wel te beschermen, is het belangrijk te beseffen dat er grote 2^e orde effecten zullen optreden die niet in dit rapport worden gekwantificeerd, noch zijn benoemd in paragraaf 3.15.

In deze situatie vindt een versnelling van de bolwerkvorming plaats. Deze uitstulpingen in zee hebben als gevolg dat deze, net zoals de omliggende kuststroken, een veel grotere onderhoudsinspanning gaan krijgen om de kustlijn op zijn plek te houden. De kust heeft namelijk van nature het karakter zich 'recht' te trekken. Dit belangrijke 2^e orde effect dient niet uit het oog verloren te raken bij de vergelijking van deze varianten.

5 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde analyse komt evident naar voren dat het mee laten groeien van de kustlijn met zeespiegelstijging voor bijna de gehele Nederlandse kust waterveiligheidsopgaven voorkomt, uitgezonderd enkele lokale situaties. Dit kan worden verklaard uit het feit dat de situatie vrijwel hetzelfde blijft, alleen de toegenomen golfenergie leidt tot een kleine toename in afslag. Het blijven uitvoeren van de huidige voorkeursstrategie en daarin het huidige kustbeleid – meegroeien met zeespiegelstijging door middel van het uitvoeren van kustfundament-, vooroever- en strandsuppleties– blijkt zeer effectief om waterveiligheidsopgaven in de toekomst te voorkomen. Aangetekend moet worden dat hierbij ook de duinen voldoende moeten kunnen meegroeien over de gehele (waterkerende) breedte van het duingebied maar dat is niet in alle situaties evident.

Op plaatsen waar de aangroei van duinen onwaarschijnlijk is / de kust niet kan meegroeien, ontstaan de eerste problemen. Dit zijn met name Noordwijk aan Zee, Katwijk aan Zee en Scheveningen. Hier zullen vermoedelijk al eerder dan bij 2 meter zeespiegelstijging problemen ontstaan, zelfs met een volledig meegroeiende vooroever en strand. Het probleem van deze lage kustgebieden kan enkel worden opgelost door het toevoegen van hoogte in de waterkering doordat de waterstand dusdanig hoog wordt, dat direct overlopen op gaat treden. Aangezien op deze locaties harde elementen aanwezig zijn, kan niet direct een exact oordeel worden gegeven over de veiligheid. Ook op Walcheren ten zuiden van Westkapelle, richting Vlissingen, ontstaan problemen in dit scenario door de aanwezigheid van bebouwing. In al deze situaties ontstaat een tekort aan waterkerende hoogte die enkel met het toevoegen van hoogte opgelost kan worden (constructief versterken is niet voldoende). Met een zandige versterking is hiervoor ongeveer 1 miljoen m³ zand nodig.

Bij een zeespiegelstijging van 2 meter of meer en in de gedeeltelijk of niet meegroeien scenario's, gaan er op ongeveer de helft van de kustlocaties waterveiligheidsproblemen ontstaan. In deze situaties dienen veel duinwaterkeringen versterkt te worden. De versterking voor 3 meter zeespiegelstijging, bij een niet meegroeien scenario van de kust, is berekend op 45 miljoen kubieke meter zand met een bijbehorende kostenschatting van 675 miljoen euro (nominale kosten). Daarnaast zullen door deze versterkingen en de reguliere achteruitgang van de kust tussen de versterkte gebieden, bolwerken ontstaan die een veel grotere onderhoudsinspanning van de kustlijn gaan vragen in de toekomst. Laatst genoemde effect zal op de langere termijn mogelijk de overhand gaan nemen. Dit additionele onderhoud is niet nader gekwantificeerd in deze studie. Daarnaast is in deze studie niet berekend of de 'natuurlijke' kustlijnterugtrekking in het scenario van een niet meegroeiende kust leidt tot een additionele versterkingsopgave.

6 Referenties

- Arns, A., Dangendorf, S., Jensen, J., Talke, S., Bender, J., & Pattiaratchi, C. (2017). *Sea-level rise induced amplification of coastal protection design heights*. Sci. Rep. 7, 40171; doi: 10.1038/srep40171.
- Diermanse, F., Lam, K., & Knoeff, H. (2016). *Assemblageprotocol WBI2017*.
- Expertise Netwerk Waterveiligheid (2007). Technisch Rapport DuinAfslag.
- Groenewegen, M. (2021). *KP-ZSS. Proof of Principle zandige kust*. Concept-rapport
- Rosiati, J., Dean, R., & Walton, T. (2013). *The modified Bruun Rule extended for landward transport*.
- Van Santen, R. (2021). *BOI Zandige Keringen – Selectie representatieve kustprofielen*. Memo
- Van Walsem (T.), e.a. (2021). *Waterstaatkundige modellering van versnelde zeespiegelstijging op de zandige kust*. Werkdocument
- Wegman, C.N. Nicolai, R. (2018). *Impact zeespiegelstijging op HBN en golven*. Memo HKV PR3706.20

Bijlagen

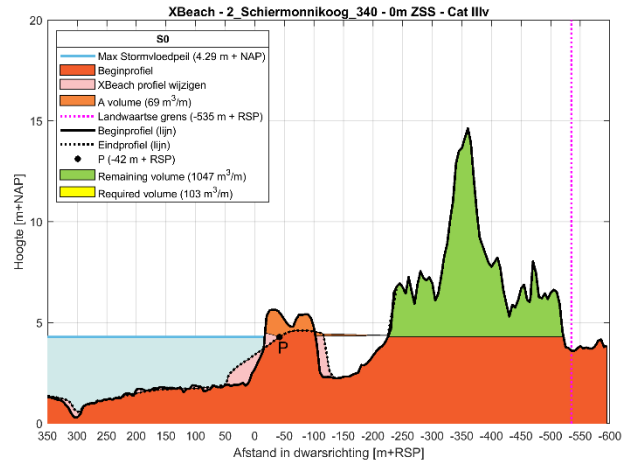
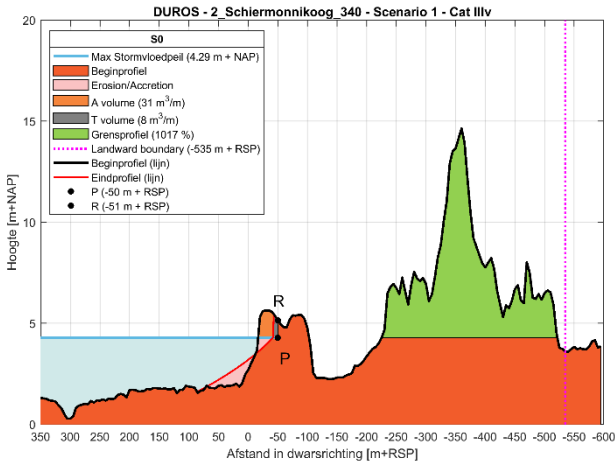
Bijlage A. Vergelijking DUROS+ en XBeach afslagprofielen

Voor de referentie situatie (0m ZSS) is een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van DUROS+ en XBeach voor alle 26 kustprofielen. Hierin is de positie van de punten P en R, het afslagvolume (A) en het aantal keer dat het grensprofiel in de resterende duin past boven het rekenpeil. Visualisaties van de afslagprofielen zijn weergegeven op de volgende pagina's.

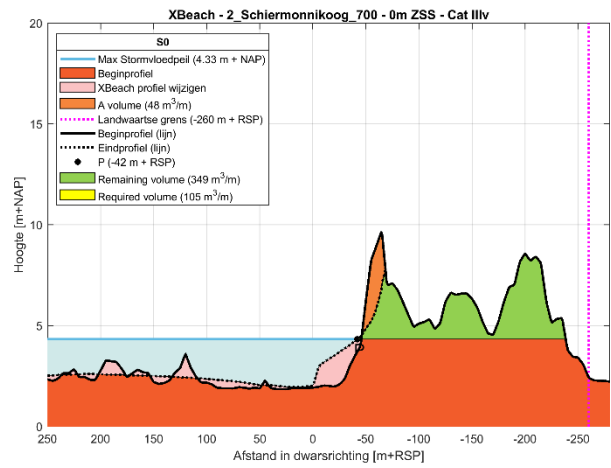
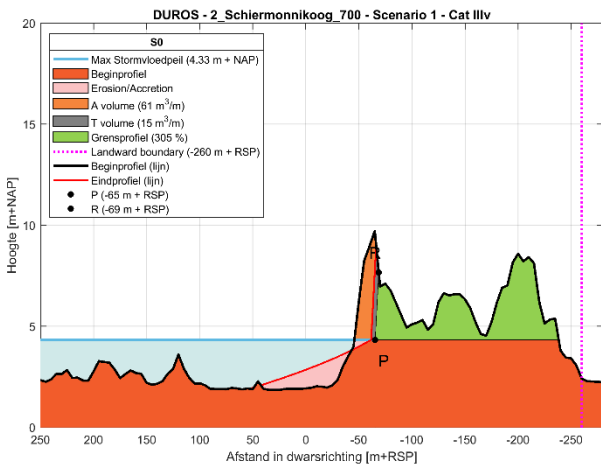
Tabel 1 - Vergelijking DUROS+ en XBeach

			P		R		A		G	
			D+	XB	D+	XB	D+	XB	D+	XB
2	Schiemonnikoog	340	-50	-225	-51	-239	31	69	10,17	10,17
2	Schiemonnikoog	700	-65	-42	-69	-68	61	48	3,05	3,32
3	Ameland	600	201	219	197	192	36	42	2,76	2,78
3	Ameland	1000	-228	-203	-232	-235	41	39	7,07	7,24
4	Terschelling	900	73	95	72	58	13	22	8,11	8,04
4	Terschelling	1700	-408	-480	-409	-541	45	97	4,37	4,37
5	Vlieland	4377	-111	-65	-117	-93	248	72	0,99	4,12
5	Vlieland	5289	-119	-41	-123	-77	391	57	3,83	8,89
6	Texel	1190	-83	-41	-97	-70	368	92	10,41	15,43
6	Texel	1853	120	179	112	-154	370	103	5,68	10,26
7	Noord-Holland	308	-170	-132	-179	-156	243	104	40,73	43,71
7	Noord-Holland	928	-230	-192	-242	-214	208	67	8,99	11,78
7	Noord-Holland	1483		-93		-120		142		8,44
7	Noord-Holland	1955	-248	-191	-252	-216	351	109	10,12	5,40
7	Noord-Holland	3775	-53	-28	-63	-58	96	56	33,92	35,18
8	Rijnland	6625	-65	9	-73	-21	522	88	16,2	24,72
8	Rijnland	8175		44		12		110		4,21
9	Delfland	9975	-31	-23	-32	-50	2	14	25,5	25,65
9	Delfland	11196	-38	4	-45	-17	179	47	11,7	16,13
9	Delfland	11825	822	827	822	791	0	11	11,99	11,70
11	Voorne	1002	-530	-507	-534	-518	90	41	17,59	21,10
12	Goeree	1000	-7	2	-9	-17	5	8	32,83	32,35
13	Schouwen	529	-12	2	-16	-7	69	41	1,29	3,67
15	Noord-Beveland	300	-141	-139	-141	-149	0	5	12,84	13,11
16	Walcheren	1530	-47	-49	-56	-65	122	82	10,35	11,08
17	Zeeuws-Vlaanderen	1046	-105	-84	-112	-96	127	38	18,95	27,10

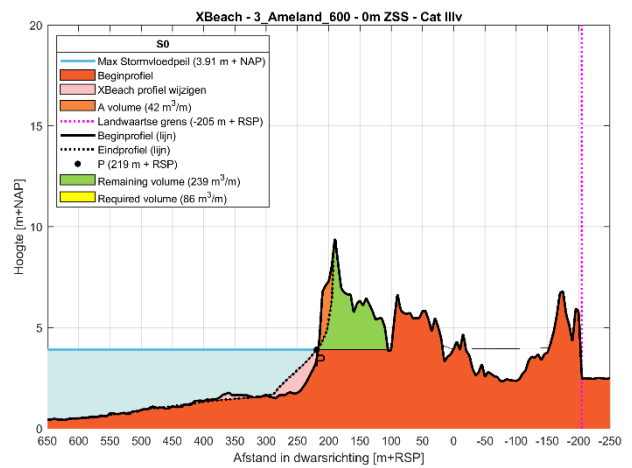
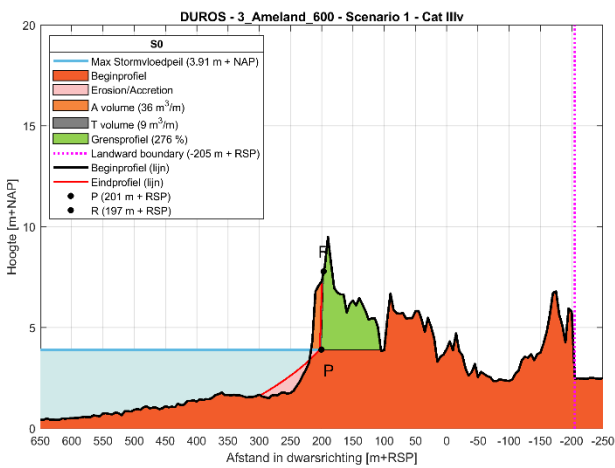
6.1.1 Schiermonnikoog 340



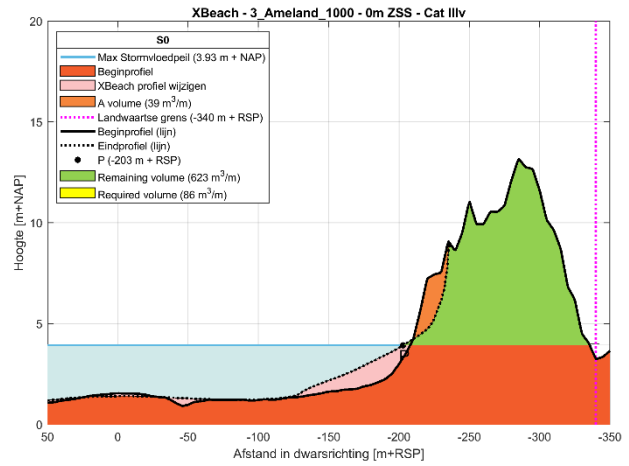
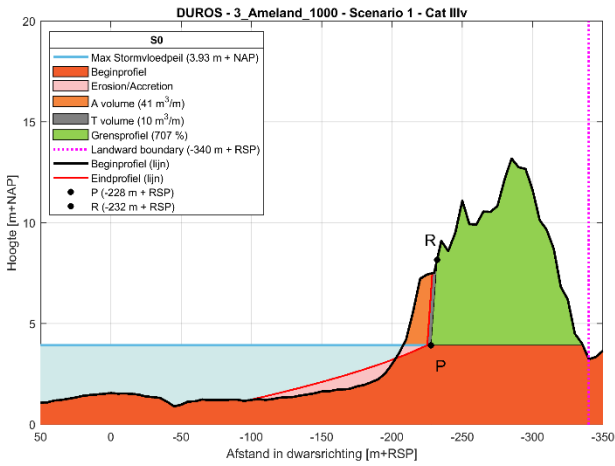
6.1.2 Schiermonnikoog 700



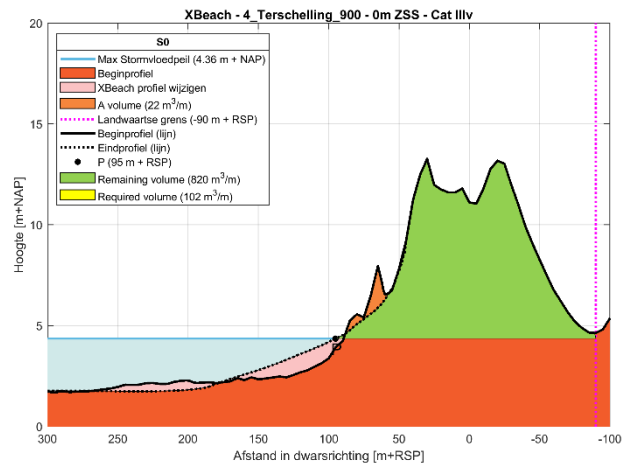
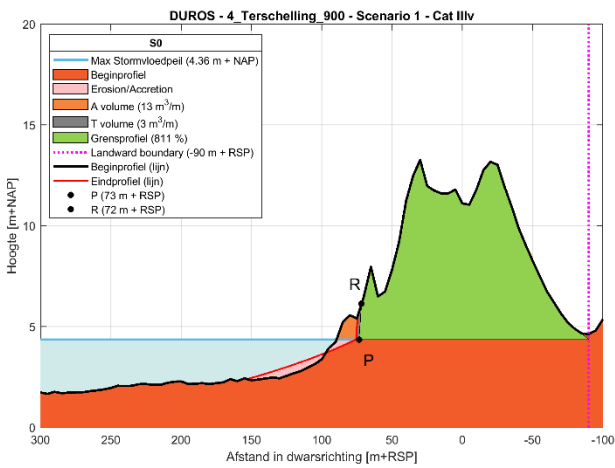
6.1.3 Ameland 600



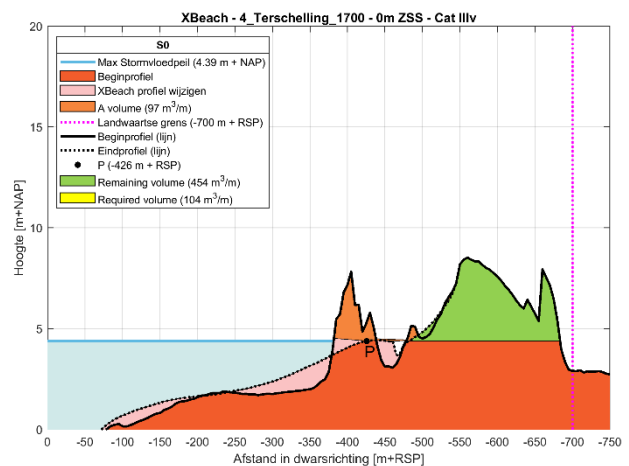
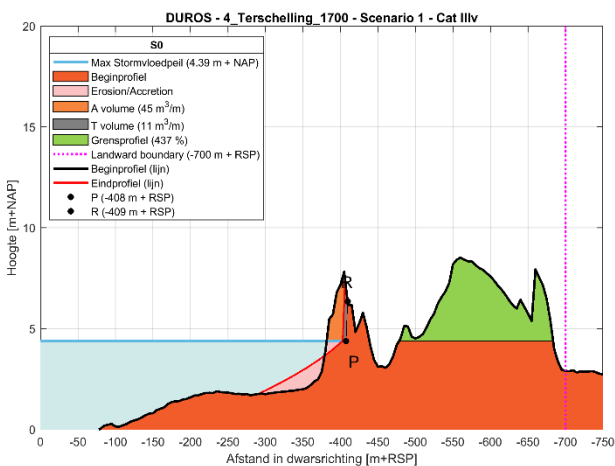
6.1.4 Ameland 1000



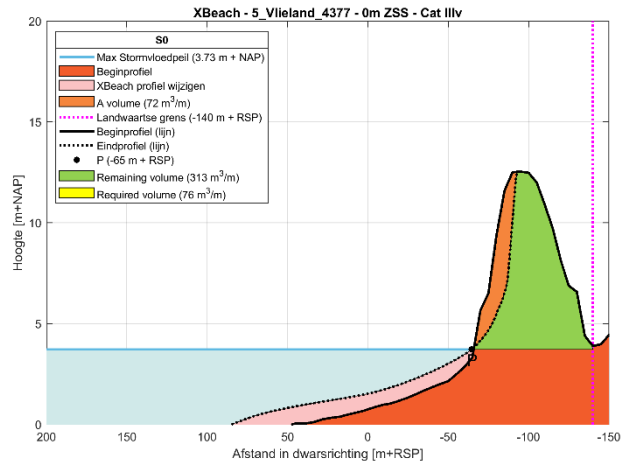
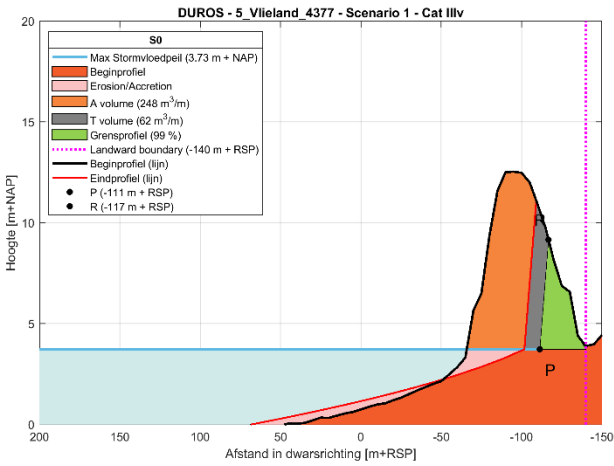
6.1.5 Terschelling 900



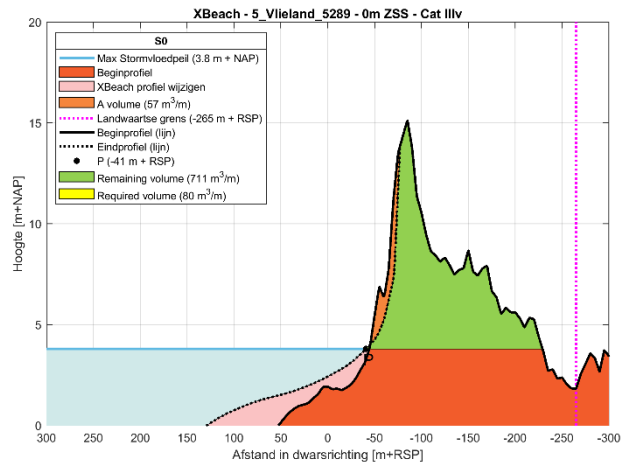
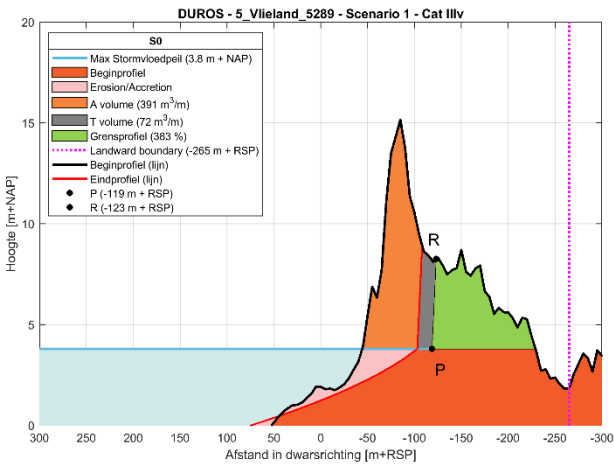
6.1.6 Terschelling 1700



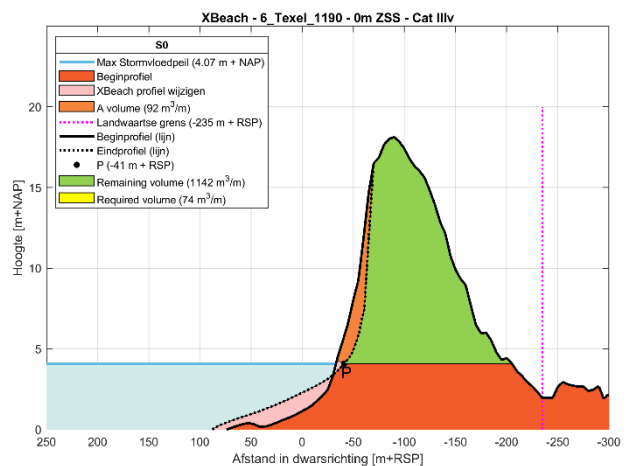
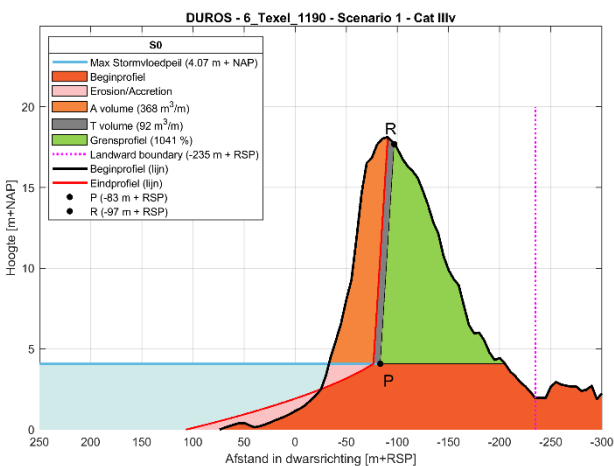
6.1.1 *Vlieland 4377*



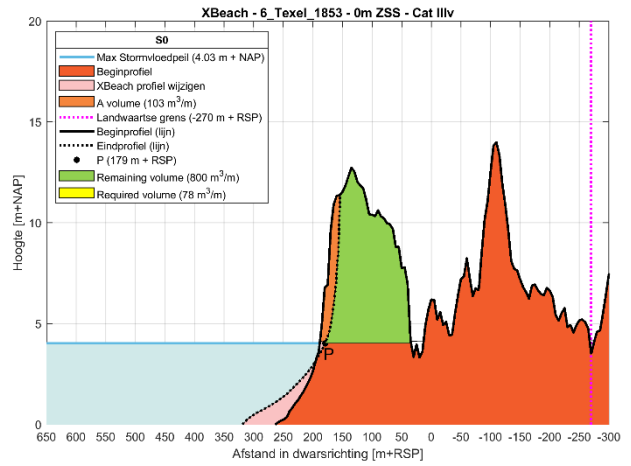
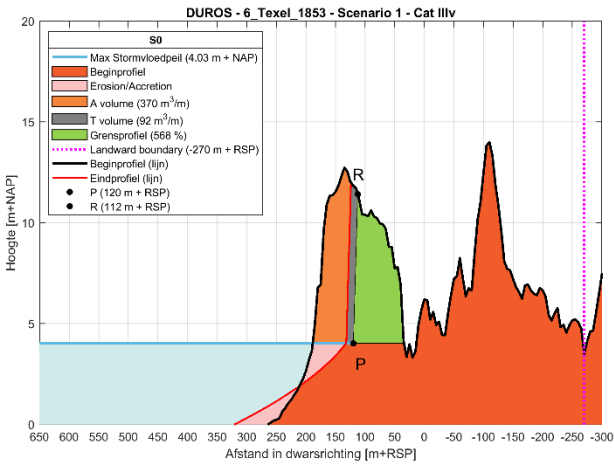
6.1.2 *Vlieland 5289*



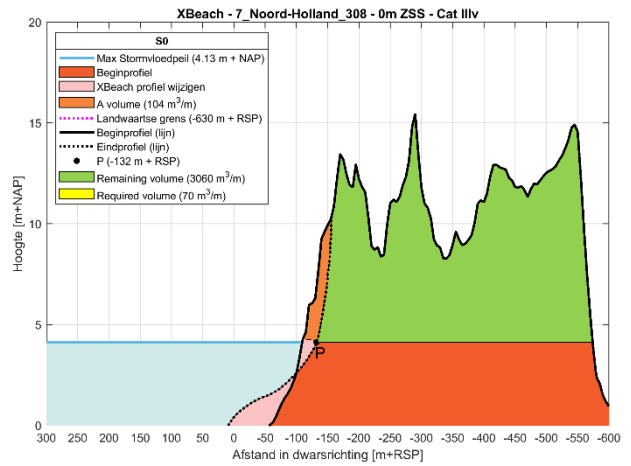
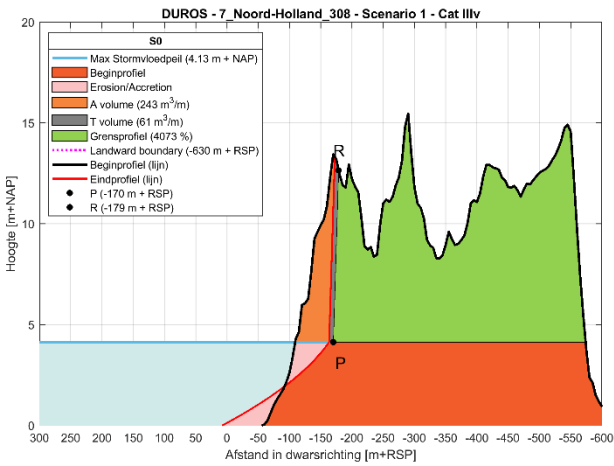
6.1.3 *Texel 1190*



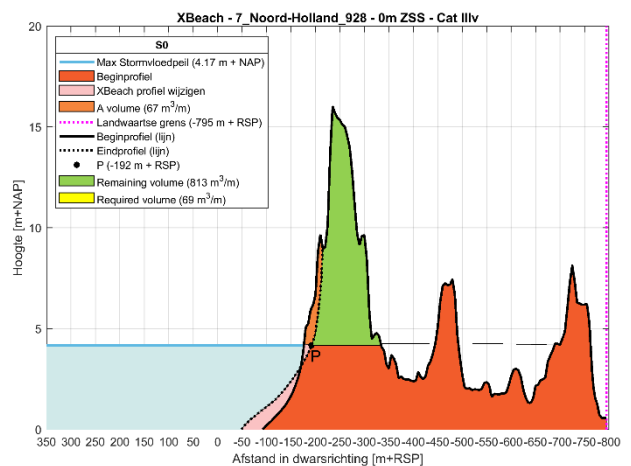
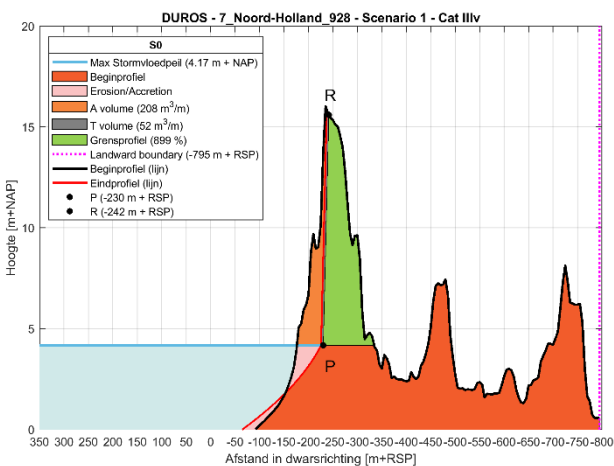
6.1.1 *Texel 1853*



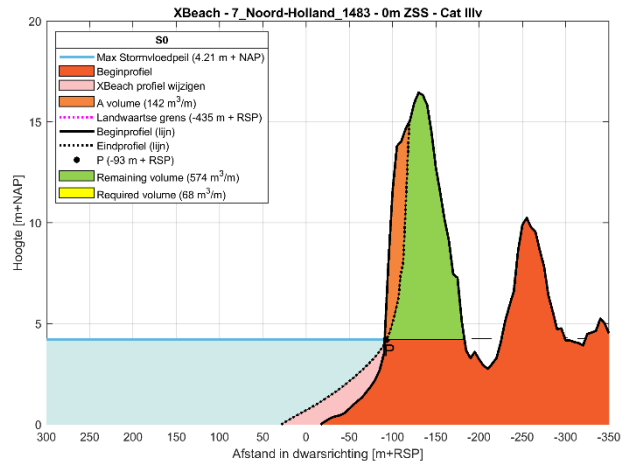
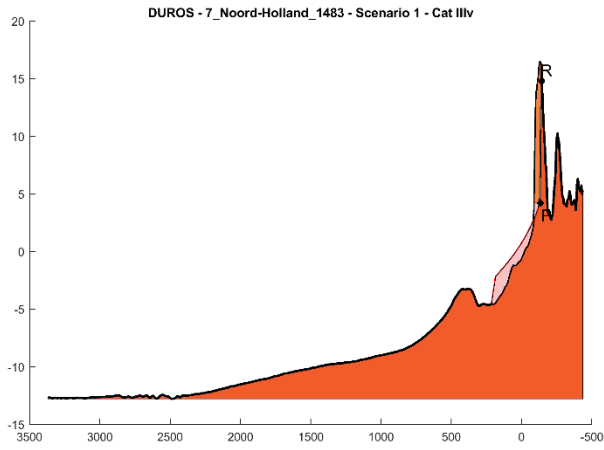
6.1.2 *Noord-Holland 308*



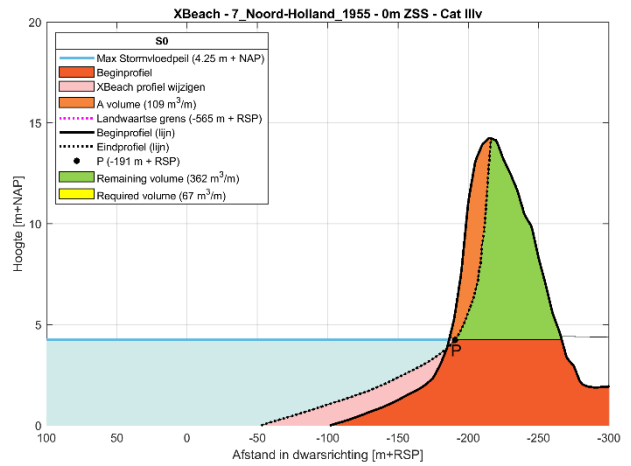
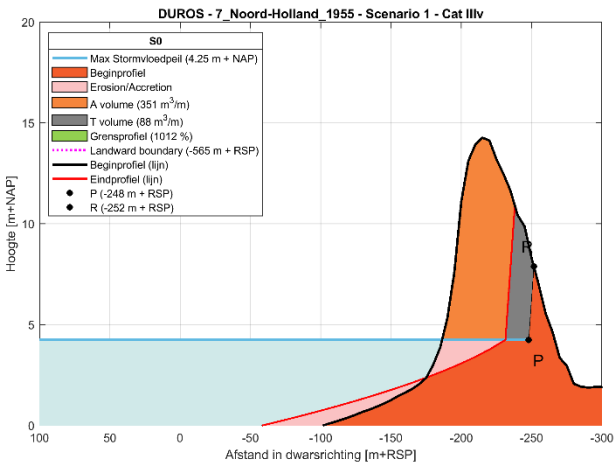
6.1.3 *Noord-Holland 928*



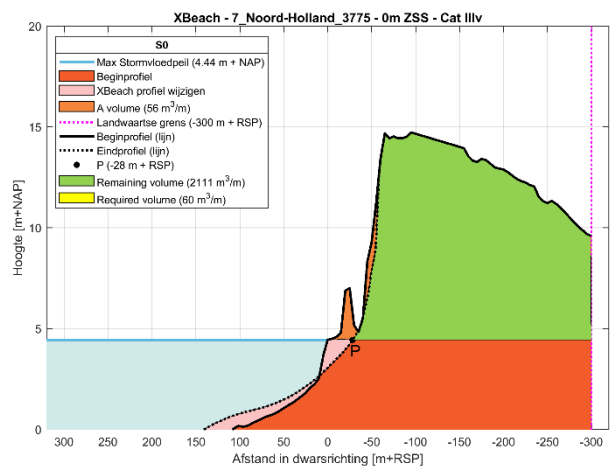
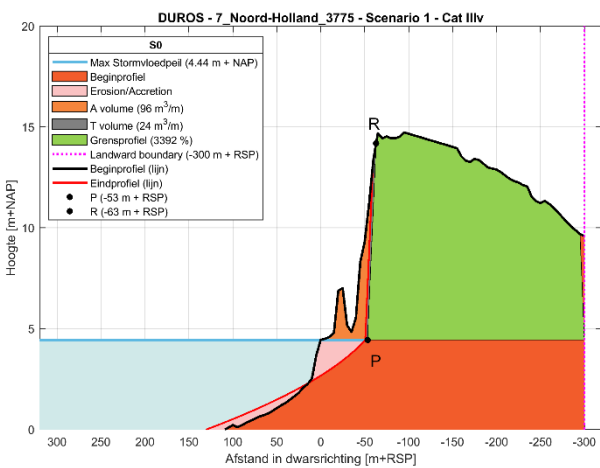
6.1.1 Noord-Holland 1483



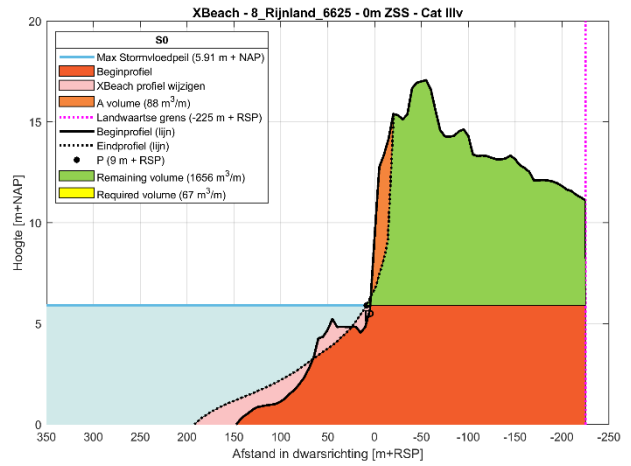
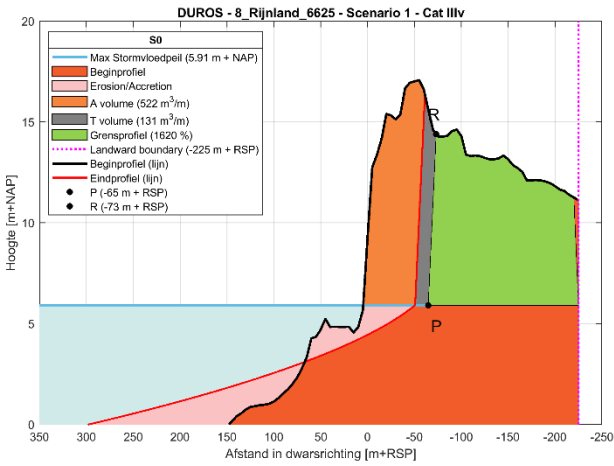
6.1.2 Noord-Holland 1955



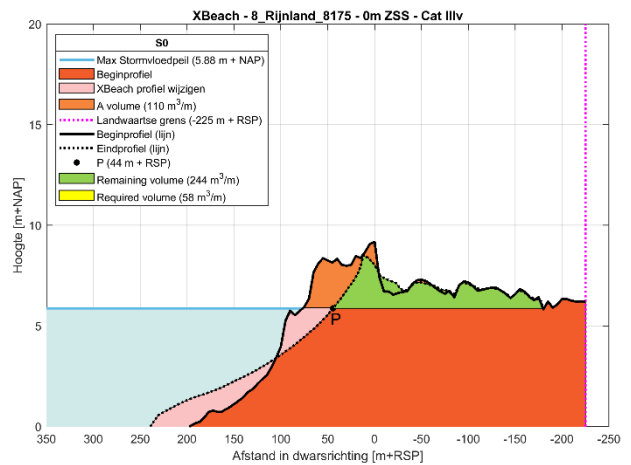
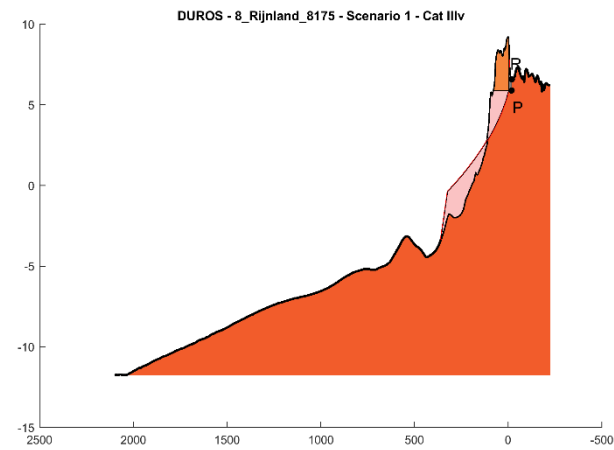
6.1.3 Noord-Holland 3775



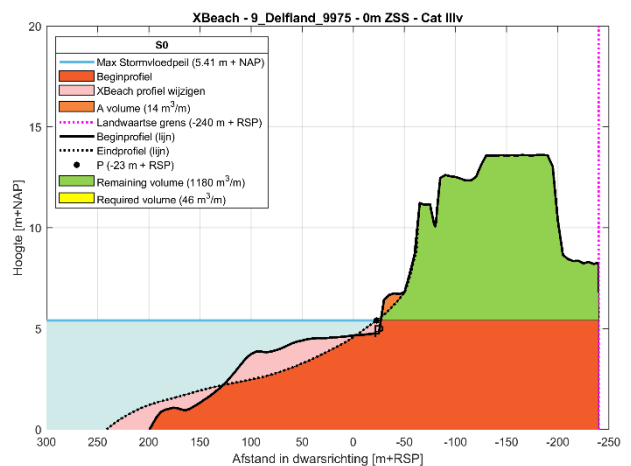
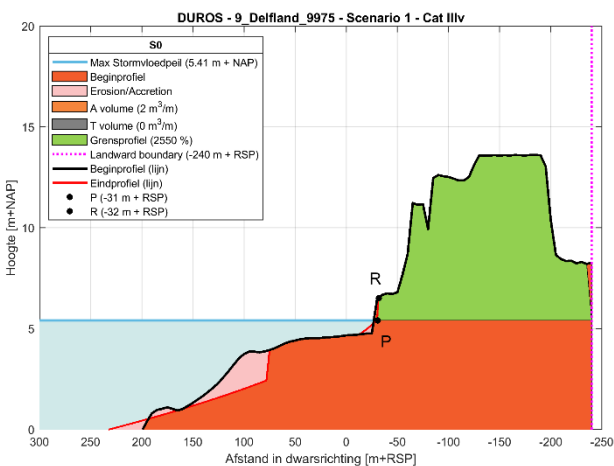
6.1.4 *Rijnland 6625*



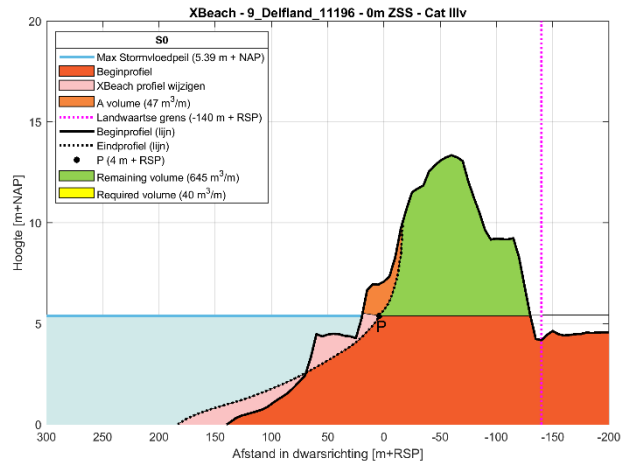
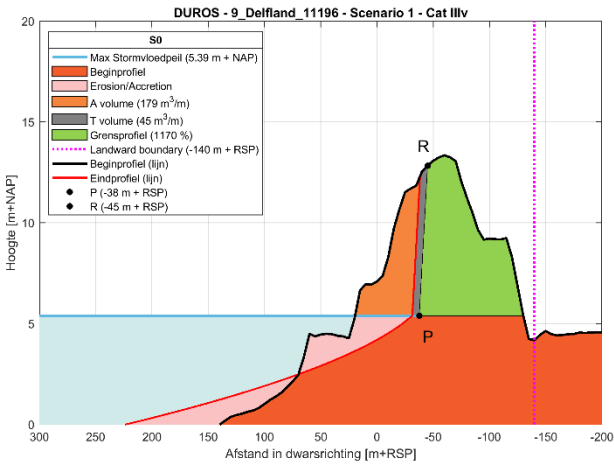
6.1.5 *Rijnland 8175*



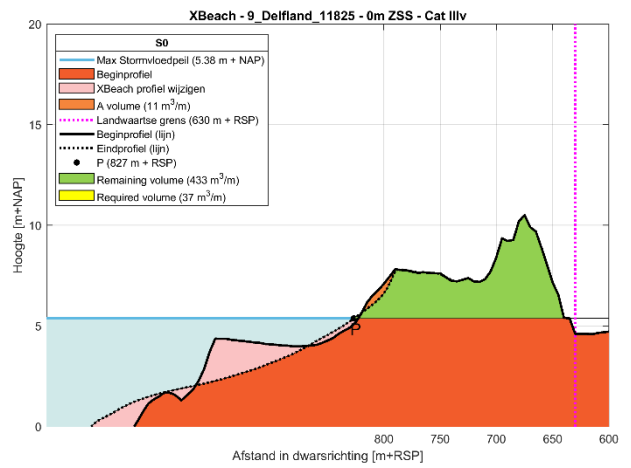
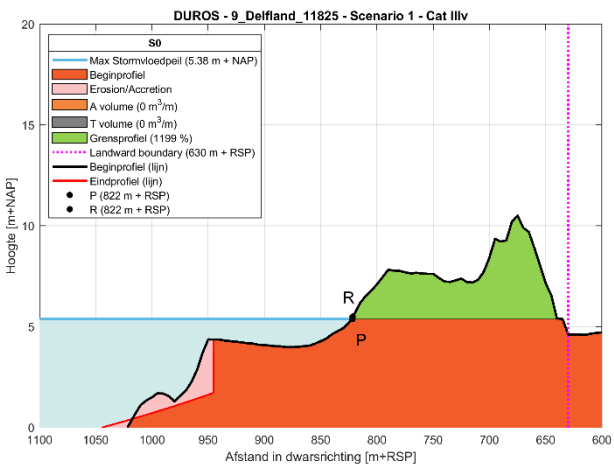
6.1.6 *Delfland 9975*



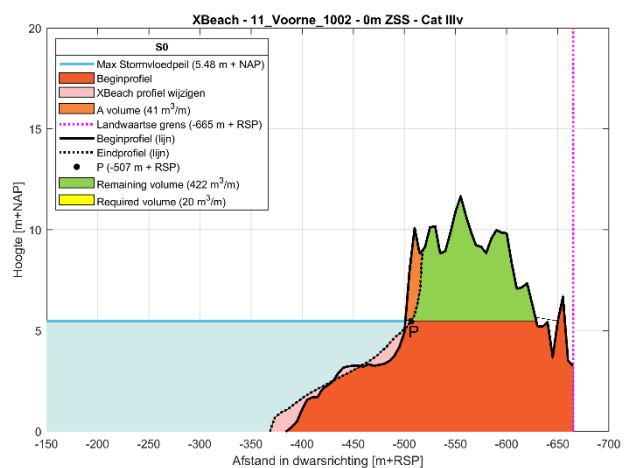
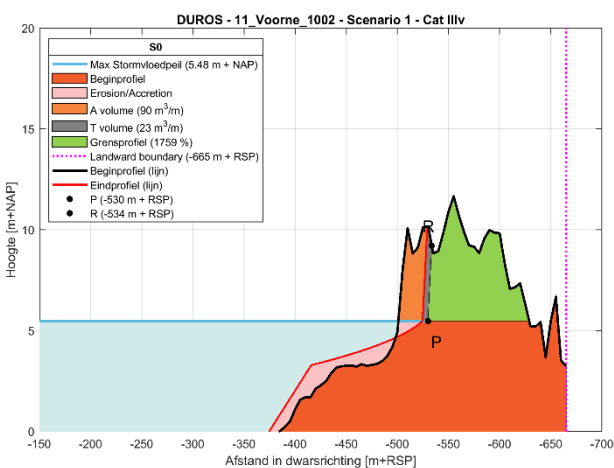
6.1.7 Delfland 11196



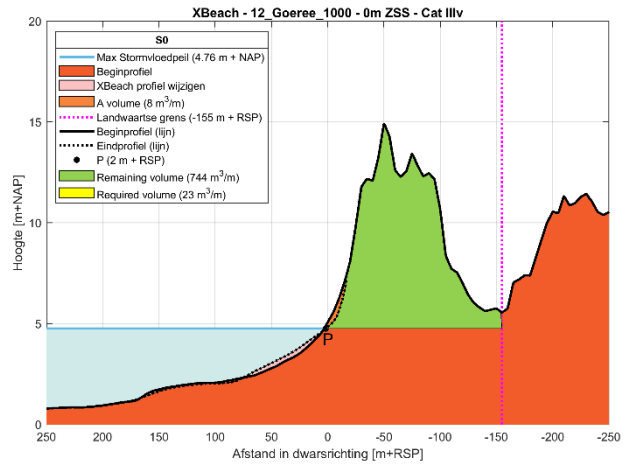
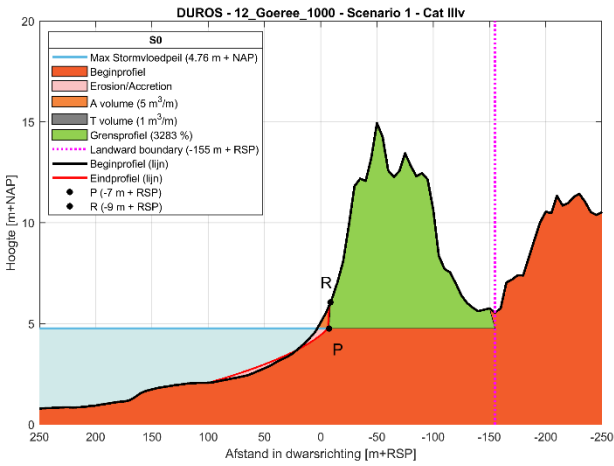
6.1.8 Delfland 11825



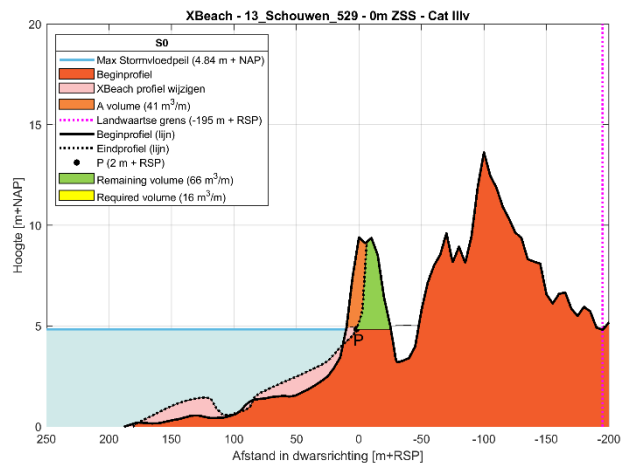
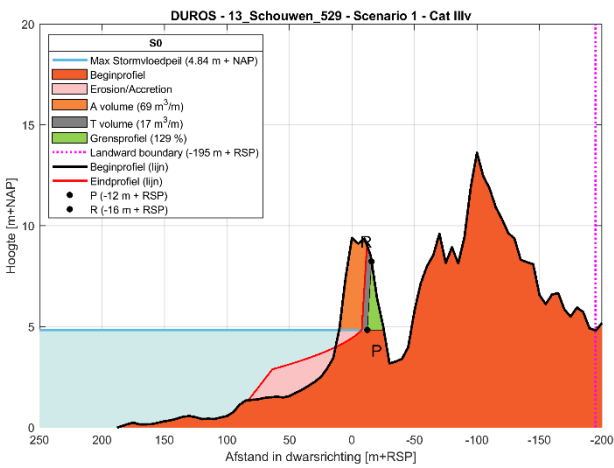
6.1.9 Noord-Holland 3775



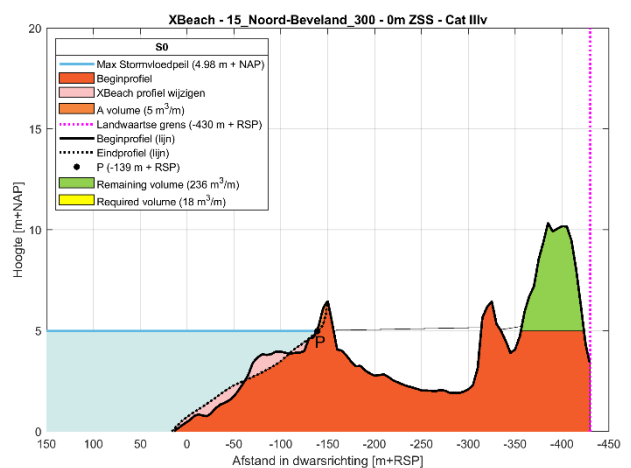
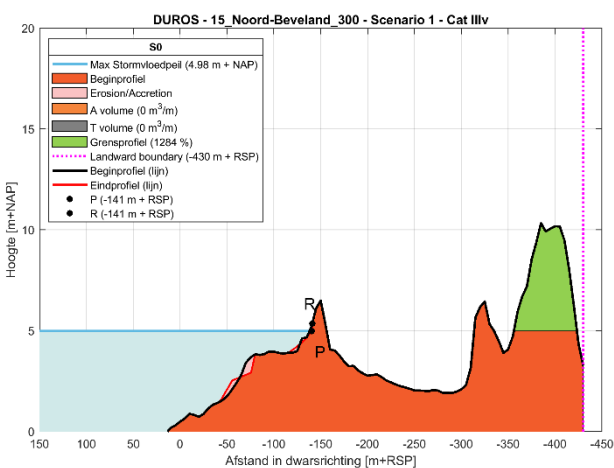
6.1.10 Goeree 1000



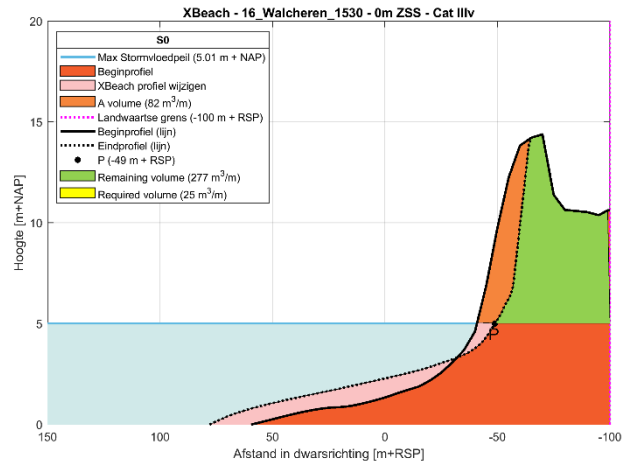
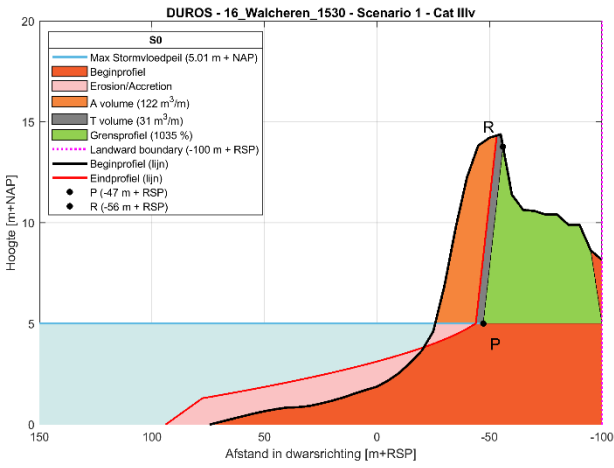
6.1.11 Schouwen 529



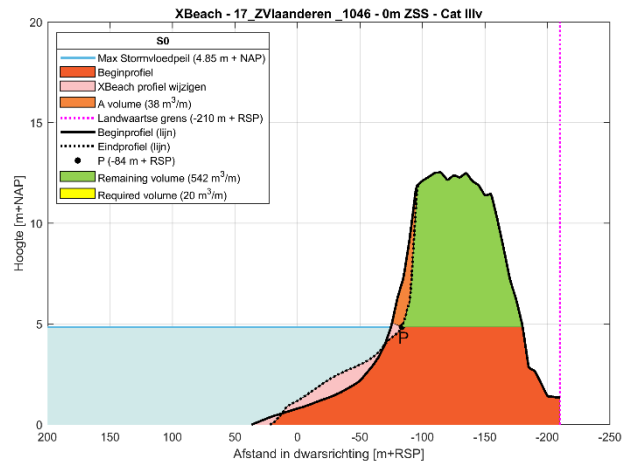
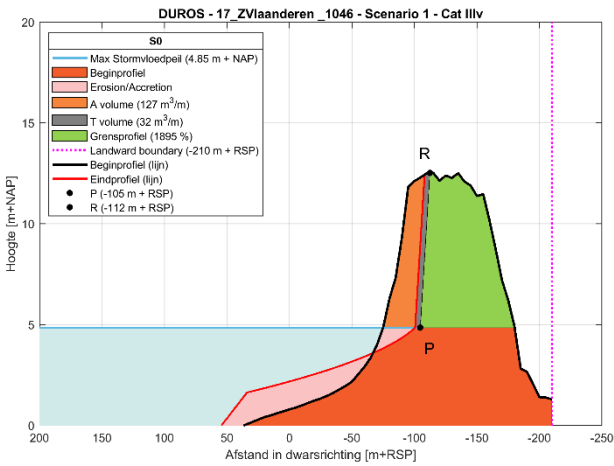
6.1.12 Noord-Beveland 300



6.1.13 *Walcheren 1530*



6.1.14 *Zeeuws-Vlaanderen 1046*



Bijlage B. Hydraulische randvoorwaarden**B.1. Rekenpeil [m]***Tabel 2 – Rekenpeil [m] voor referentiesituatie (0m ZSS) afgeleid met Riskeer*

	Kustvak	Raai	Iv	IIv	IIIv	IVv	Vv
2	Schiermonnikoog	340	5,19	4,29	4,29	4,03	3,14
2	Schiermonnikoog	700	5,24	4,33	4,33	4,06	3,17
3	Ameland	600	5,07	4,21	3,91	3,65	2,74
3	Ameland	1000	5,09	4,23	3,93	3,66	2,75
4	Terschelling	900	5,17	4,36	4,36	4,11	3,29
4	Terschelling	1700	5,22	4,39	4,39	4,14	3,31
5	Vlieland	4377	4,5	3,73	3,73	3,48	2,59
5	Vlieland	5289	4,61	3,8	3,8	3,55	2,65
6	Texel	1190	5,14	4,34	4,07	3,82	2,94
6	Texel	1853	5,05	4,28	4,03	3,78	2,93
7	Noord-Holland	308	5,24	4,41	4,13	3,87	2,96
7	Noord-Holland	928	5,33	4,45	4,17	3,9	2,98
7	Noord-Holland	1483	5,44	4,51	4,21	3,93	2,99
7	Noord-Holland	1955	5,53	4,55	4,25	3,96	3
7	Noord-Holland	3775	6,02	4,8	4,44	4,1	3,07
8	Rijnland	6625	7,45	5,91	5,91	5,48	4,22
8	Rijnland	8175	7,4	5,88	5,88	5,45	4,22
9	Delfland	9975	7,35	5,85	5,41	5,02	3,87
9	Delfland	11196	7,29	5,82	5,39	5	3,88
9	Delfland	11825	7,26	5,8	5,38	4,99	3,88
11	Voorne	1002	7,24	5,88	5,48	5,11	4,06
12	Goeree	1000	6,31	5,11	4,76	4,44	3,48
13	Schouwen	529	6,34	5,18	4,84	4,53	3,6
15	Noord-Beveland	300	6,38	5,3	4,98	4,69	3,79
16	Walcheren	1530	6,39	5,32	5,01	4,71	3,82
17	Zeeuws Vlaanderen	1046	6,12	5,17	4,85	4,59	3,72

B.2. Golfhoogte [m]

Tabel 3 - Golfhoogte [m] voor referentiesituatie (0m ZSS) afgeleid met Riskeer

	Kustvak	Raai	Iv	IIv	IIIv	IVv	Vv
2	Schiermonnikoog	340	11,97	10,15	10,15	9,55	7,44
2	Schiermonnikoog	700	11,99	10,15	10,15	9,54	7,4
3	Ameland	600	11,94	10,16	9,49	8,88	6,65
3	Ameland	1000	11,94	10,16	9,48	8,87	6,64
4	Terschelling	900	12,41	10,74	10,74	10,19	8,31
4	Terschelling	1700	12,43	10,74	10,74	10,19	8,29
5	Vlieland	4377	11,26	9,56	9,56	9	6,92
5	Vlieland	5289	11,29	9,53	9,53	8,95	6,81
6	Texel	1190	11,57	10,12	9,63	9,15	7,44
6	Texel	1853	11,88	10,36	9,85	9,35	7,58
7	Noord-Holland	308	11,19	9,81	9,35	8,89	7,26
7	Noord-Holland	928	11,08	9,73	9,27	8,82	7,22
7	Noord-Holland	1483	10,94	9,63	9,18	8,74	7,16
7	Noord-Holland	1955	10,82	9,54	9,1	8,66	7,12
7	Noord-Holland	3775	10,2	9,07	8,67	8,28	6,87
8	Rijnland	6625	10,16	9,21	9,21	8,9	7,83
8	Rijnland	8175	9,75	8,82	8,82	8,53	7,54
9	Delfland	9975	9,36	8,45	8,16	7,88	6,93
9	Delfland	11196	8,93	8,04	7,77	7,52	6,66
9	Delfland	11825	8,71	7,83	7,57	7,32	6,52
11	Voorne	1002	3,43	3,1	3	2,91	2,6
12	Goeree	1000	4,46	4,04	3,91	3,78	3,3
13	Schouwen	529	2,99	2,71	2,63	2,54	2,23
15	Noord-Beveland	300	3,68	3,36	3,26	3,16	2,81
16	Walcheren	1530	5,56	5,09	4,94	4,8	4,26
17	Zeeuws Vlaanderen	1046	4,77	4,44	4,27	4,15	3,67

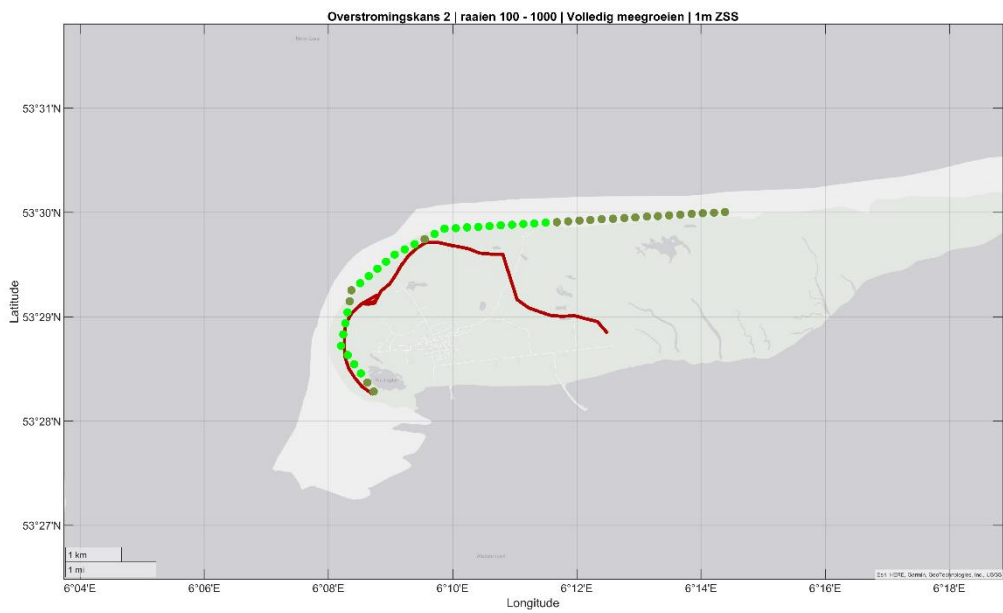
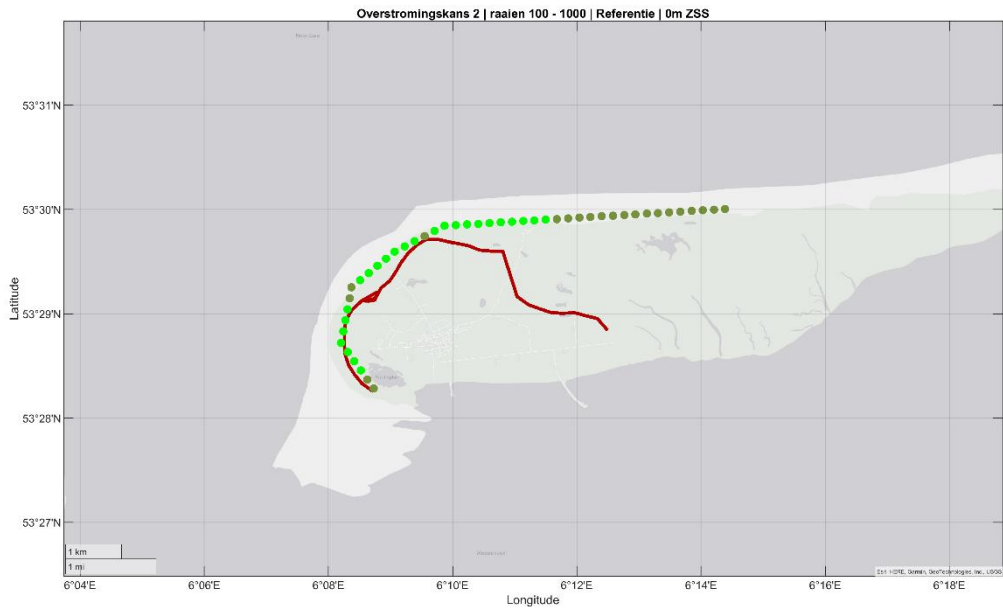
B.3. Golfperiode [s]

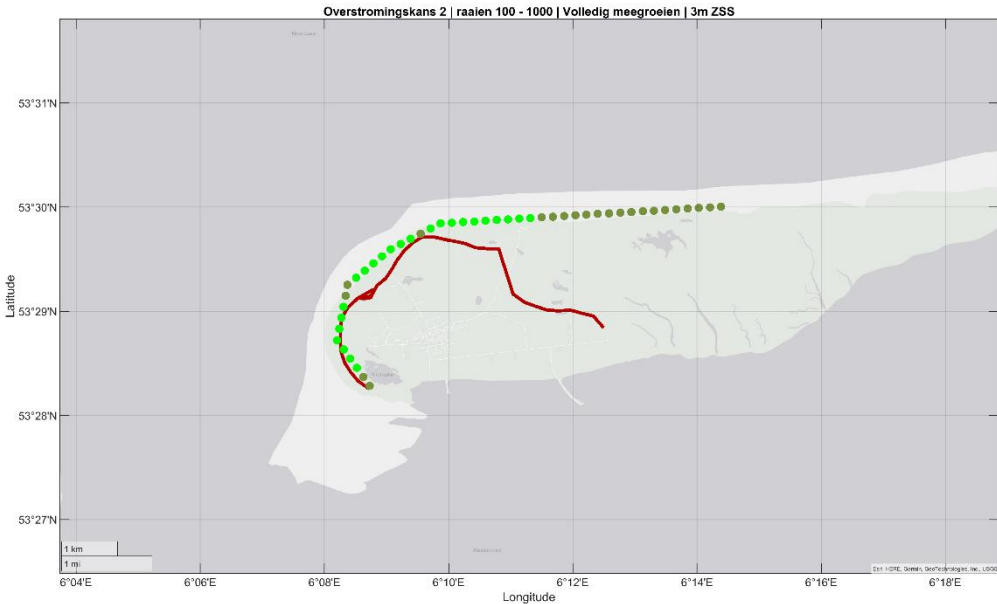
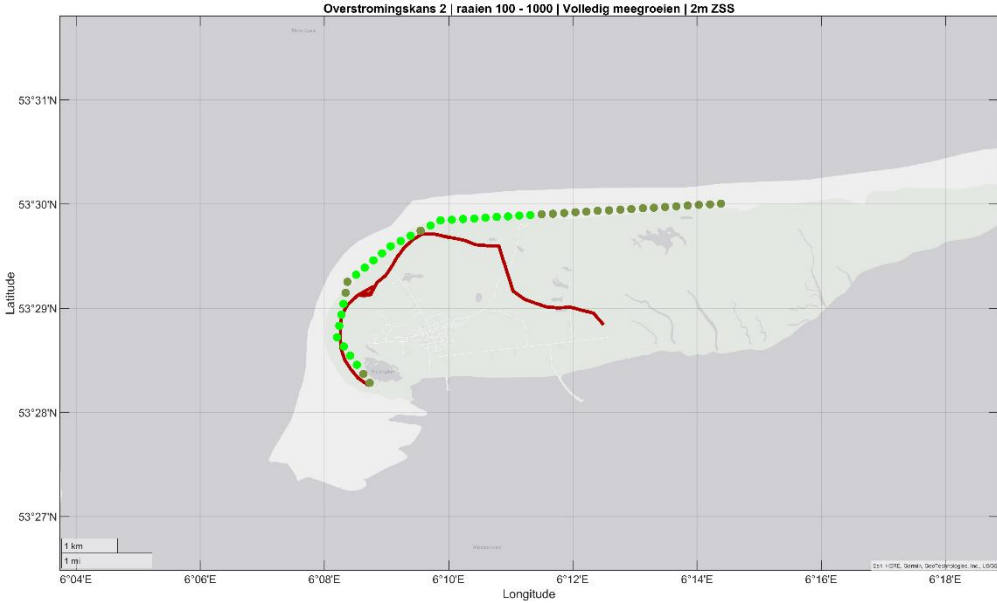
Tabel 4 - Golfperiode [s] voor referentiesituatie (0m ZSS) afgeleid met Riskeer

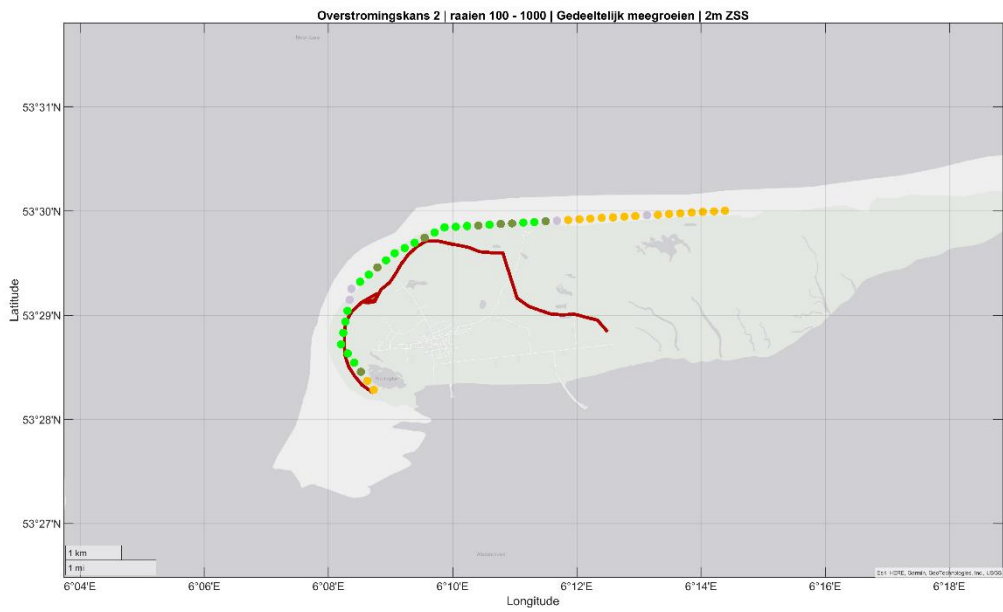
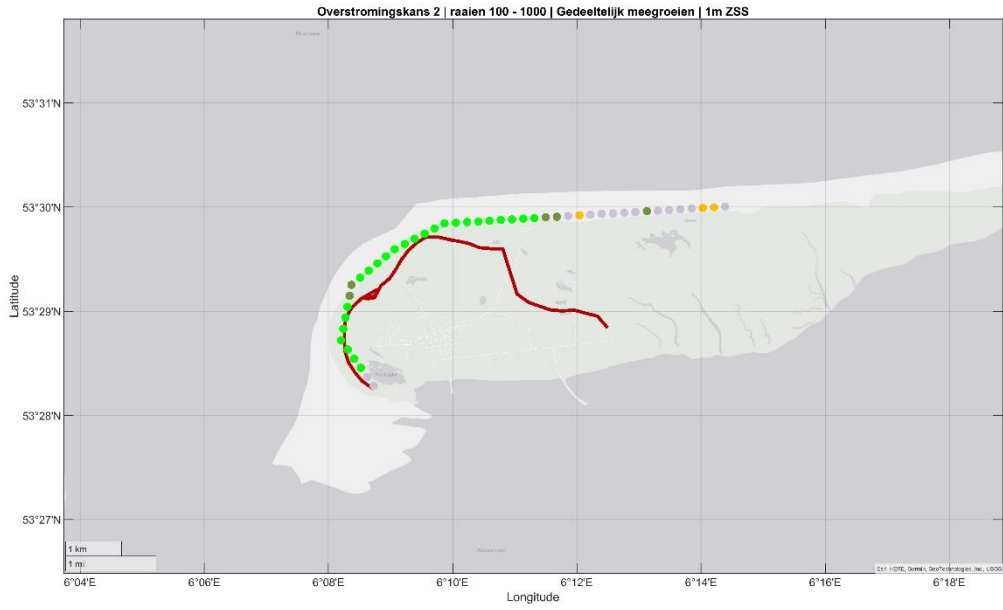
	Kustvak	Raai	Iv	IIv	IIIv	IVv	Vv
2	Schiermonnikoog	340	21,35	19,21	19,21	18,5	16,02
2	Schiermonnikoog	700	21,65	19,45	19,45	18,73	16,18
3	Ameland	600	20,71	18,68	17,92	17,23	14,69
3	Ameland	1000	20,82	18,77	18	17,3	14,74
4	Terschelling	900	20,37	18,54	18,54	17,95	15,91
4	Terschelling	1700	20,62	18,76	18,76	18,15	16,06
5	Vlieland	4377	18,42	16,64	16,64	16,06	13,89
5	Vlieland	5289	19,06	17,16	17,16	16,53	14,22
6	Texel	1190	18,56	16,96	16,42	15,89	14,01
6	Texel	1853	18,8	17,18	16,64	16,11	14,21
7	Noord-Holland	308	18,22	16,65	16,12	15,6	13,75
7	Noord-Holland	928	18,13	16,57	16,04	15,52	13,67
7	Noord-Holland	1483	18,01	16,46	15,93	15,42	13,57
7	Noord-Holland	1955	17,9	16,36	15,84	15,32	13,48
7	Noord-Holland	3775	17,27	15,81	15,3	14,8	12,98
8	Rijnland	6625	17,03	15,76	15,76	15,36	13,94
8	Rijnland	8175	15,97	14,8	14,8	14,44	13,19
9	Delfland	9975	15,01	13,93	13,58	13,25	12,12
9	Delfland	11196	14,03	13,04	12,73	12,45	11,49
9	Delfland	11825	13,54	12,59	12,3	12,04	11,16
11	Voorne	1002	14,64	13,67	13,37	13,1	12,2
12	Goeree	1000	13,85	12,97	12,7	12,43	11,45
13	Schouwen	529	13,62	12,8	12,54	12,29	11,36
15	Noord-Beveland	300	13,13	12,4	12,18	11,95	11,13
16	Walcheren	1530	13,03	12,32	12,1	11,88	11,09
17	Zeeuws Vlaanderen	1046	12,06	11,51	11,31	11,13	10,39

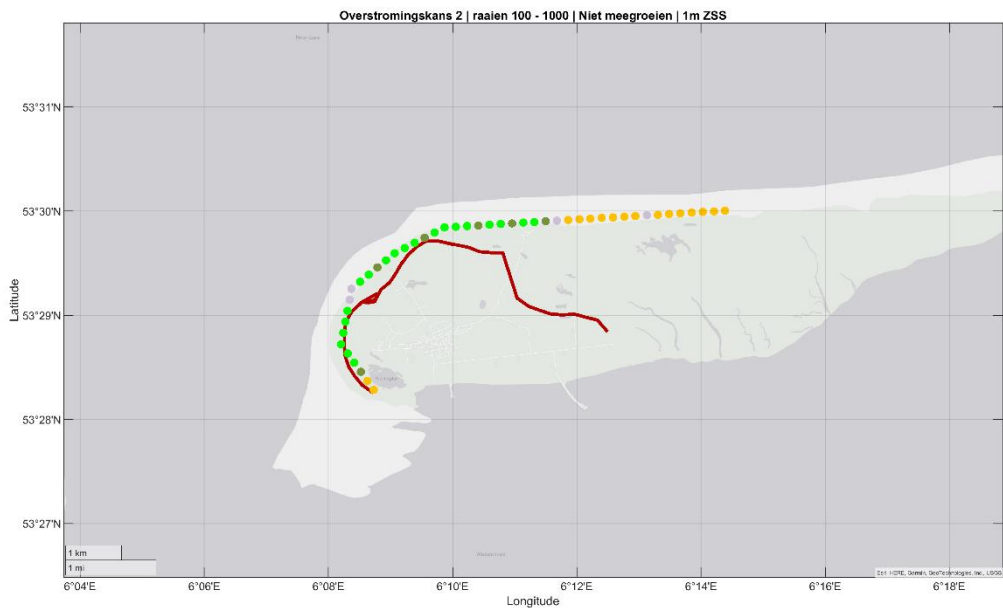
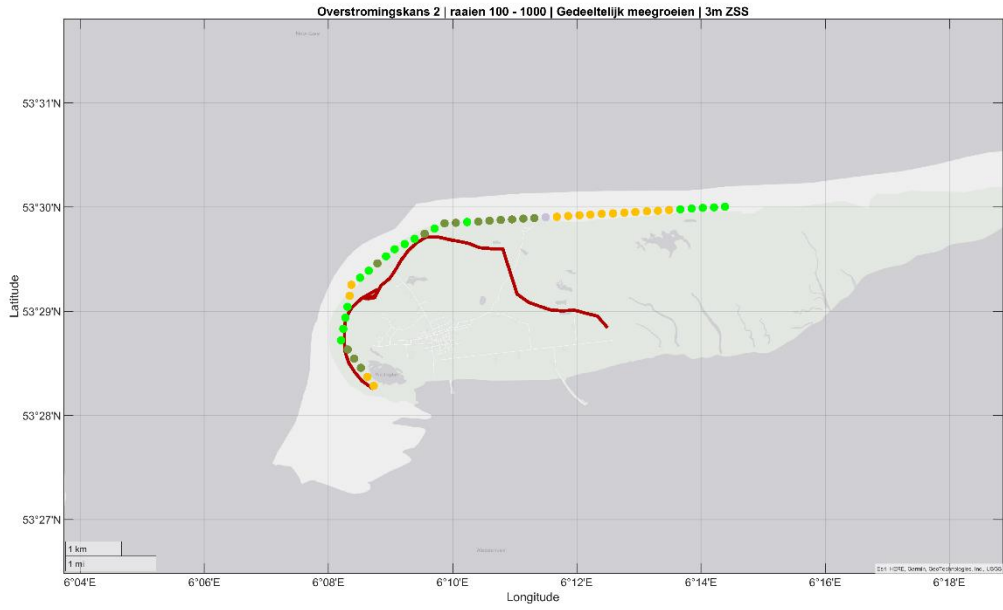
Bijlage C. Kaart resultaten alle zeespiegelstijgings- en morfologische scenario's

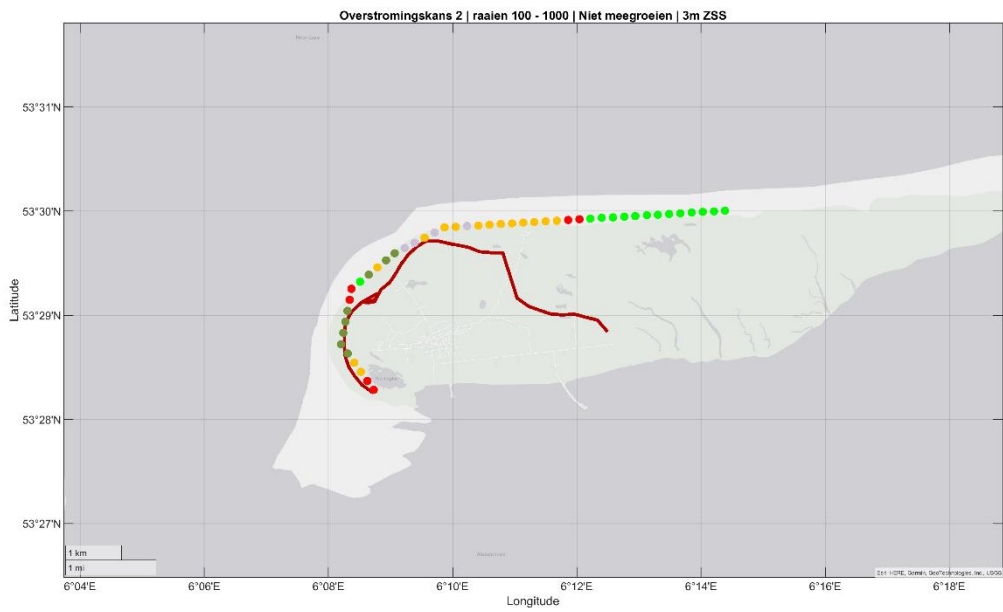
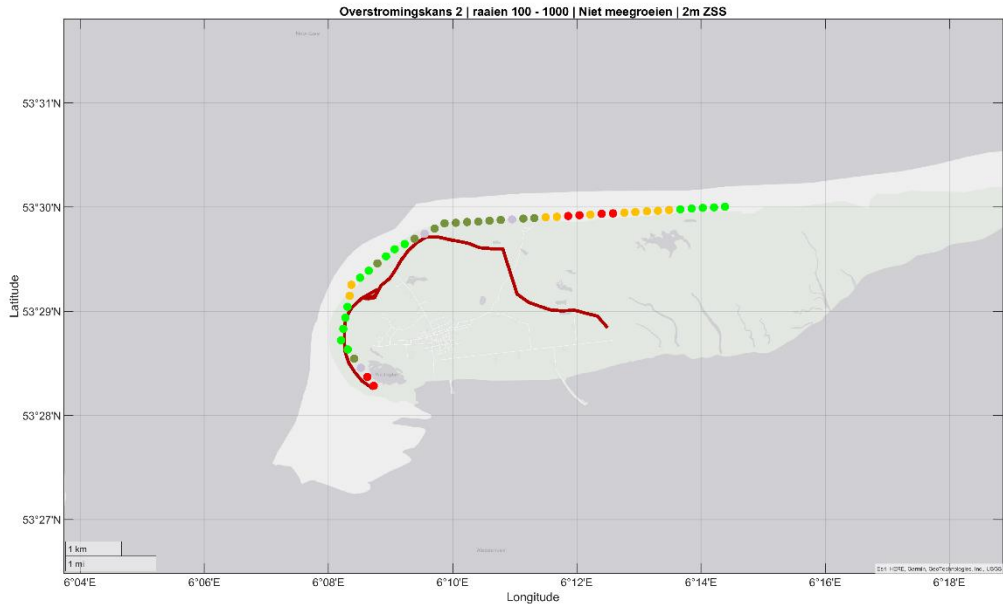
C.1. Schiermonnikoog



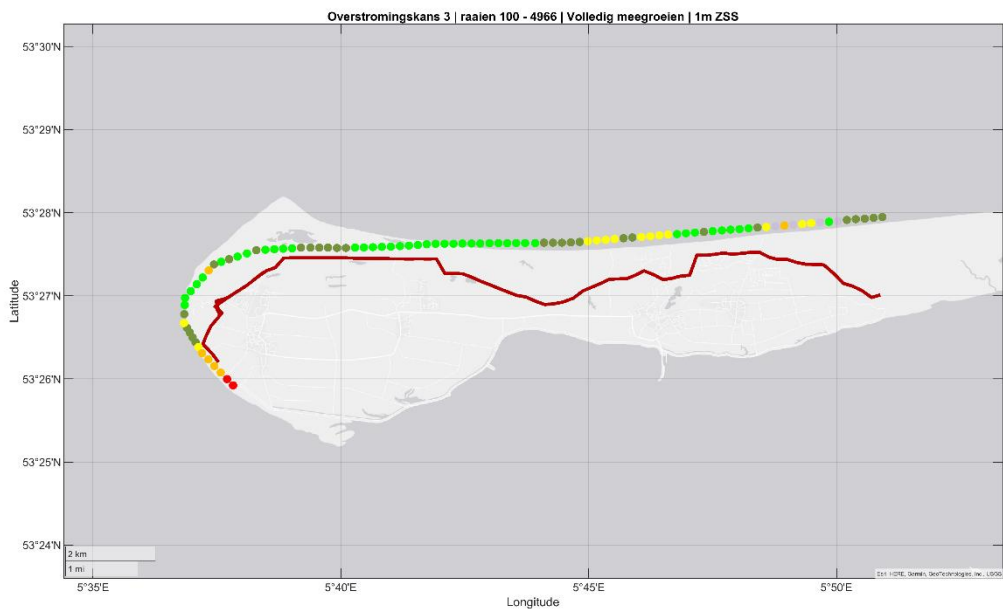
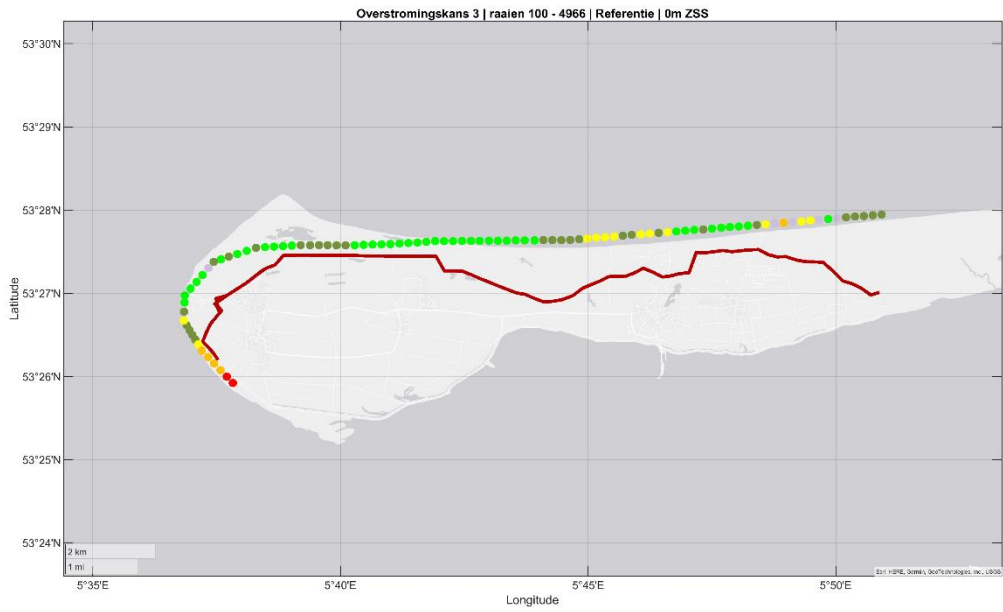


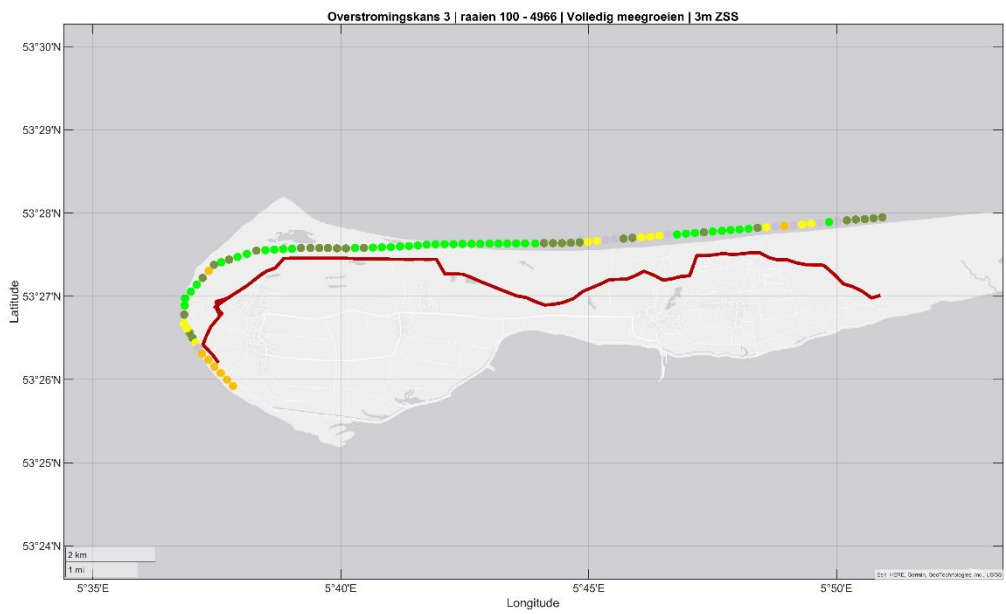
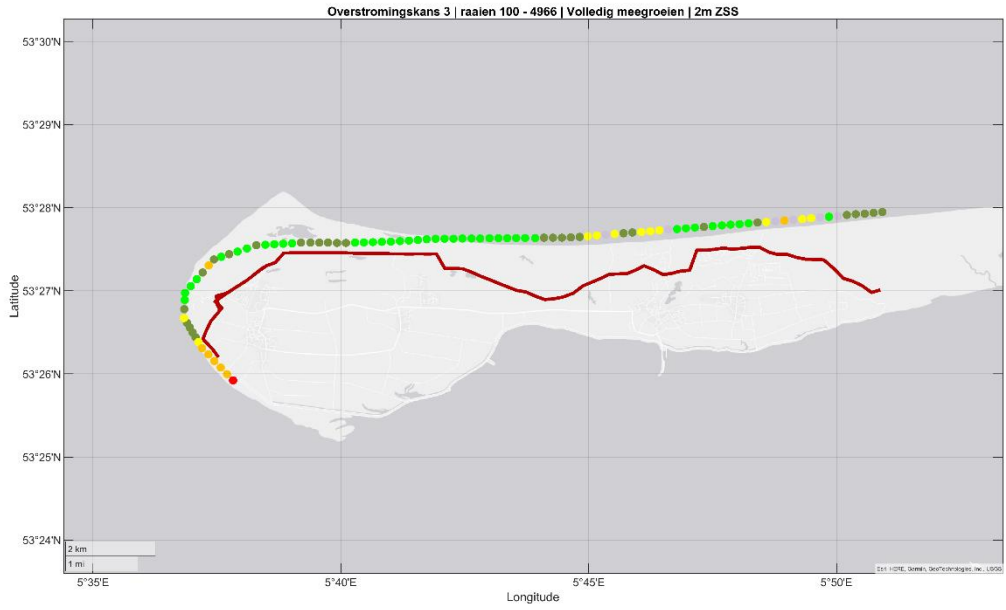


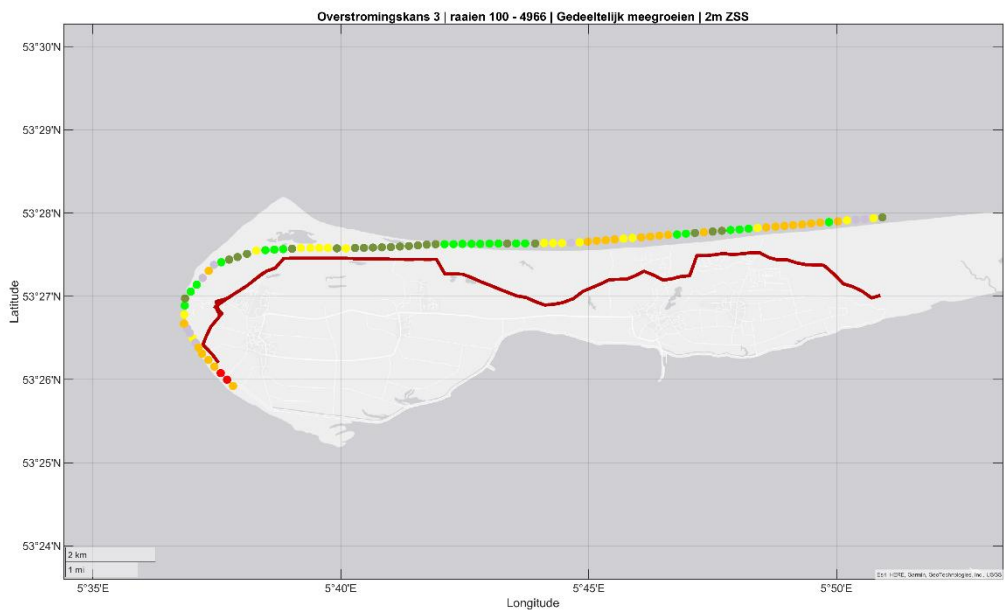
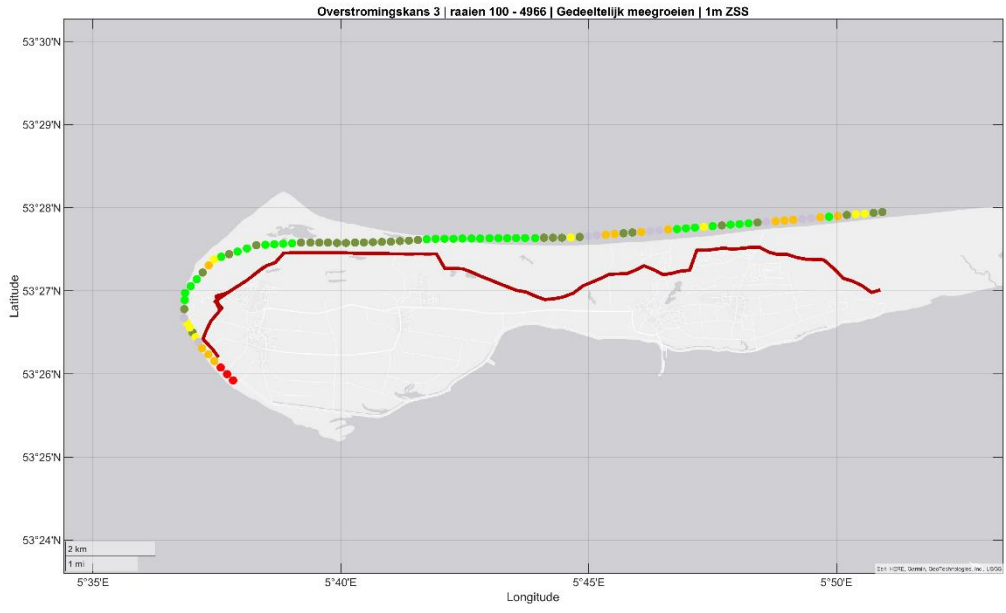


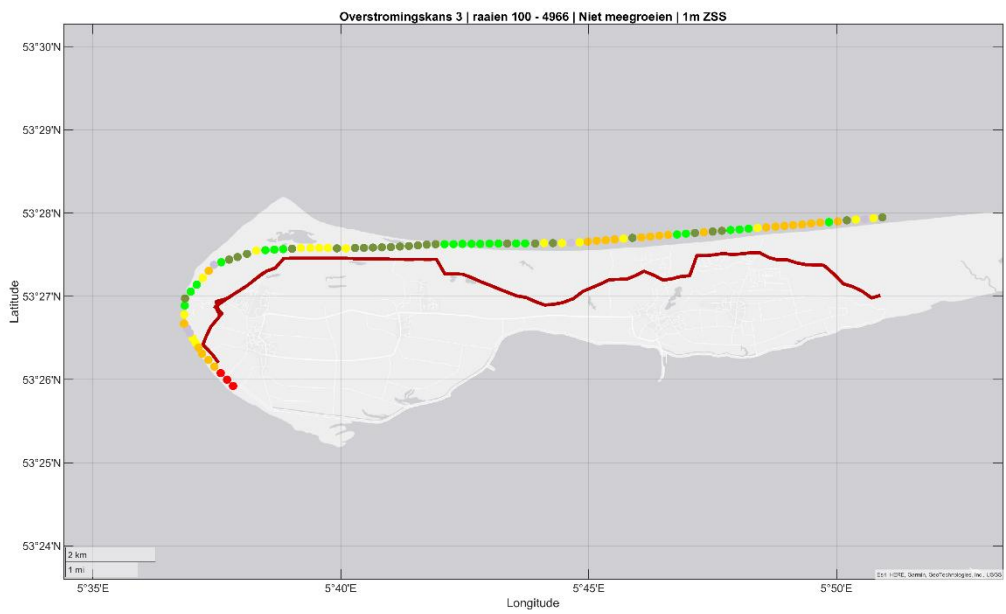
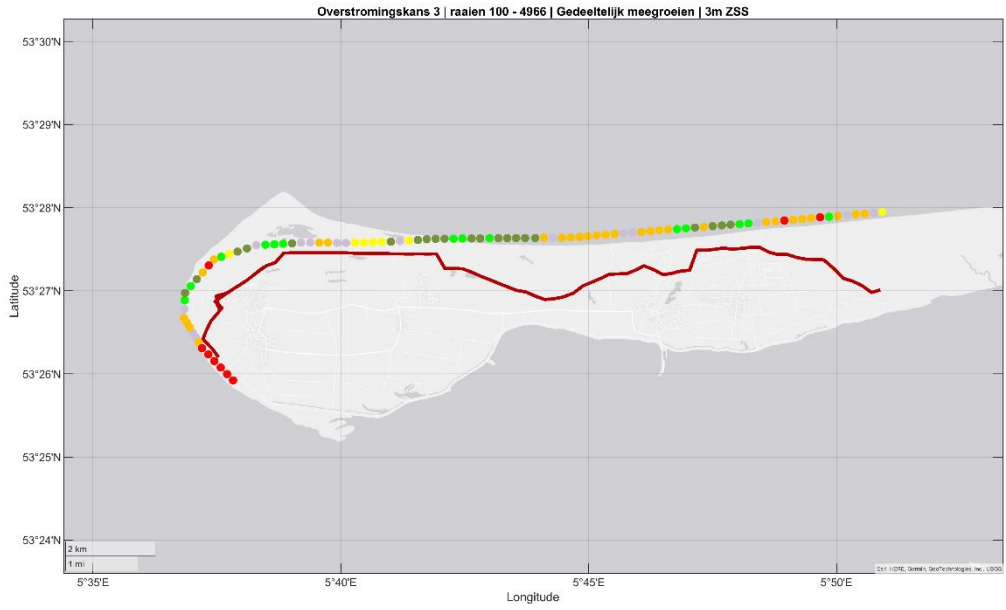


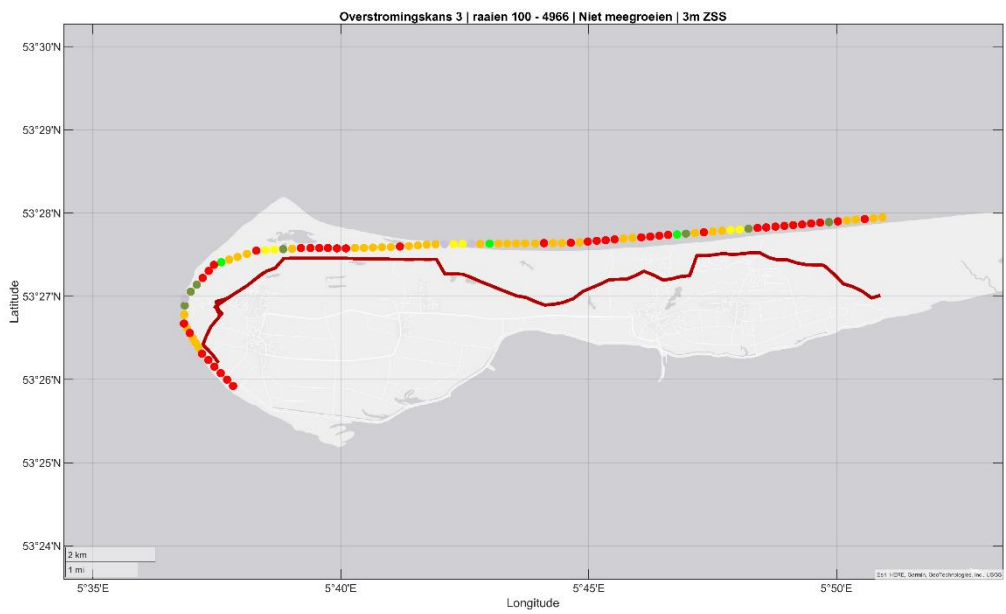
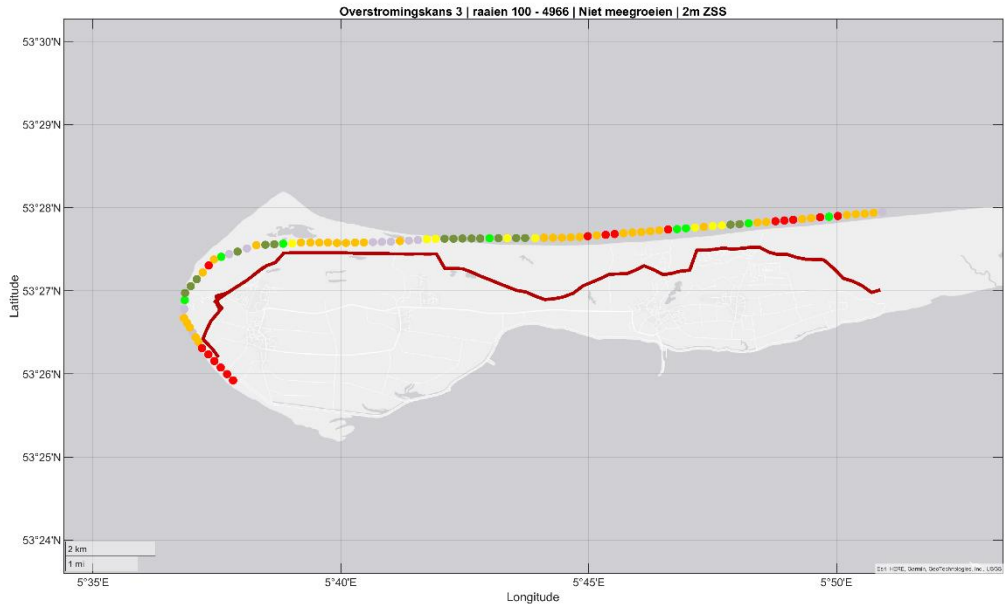
C.2. Ameland



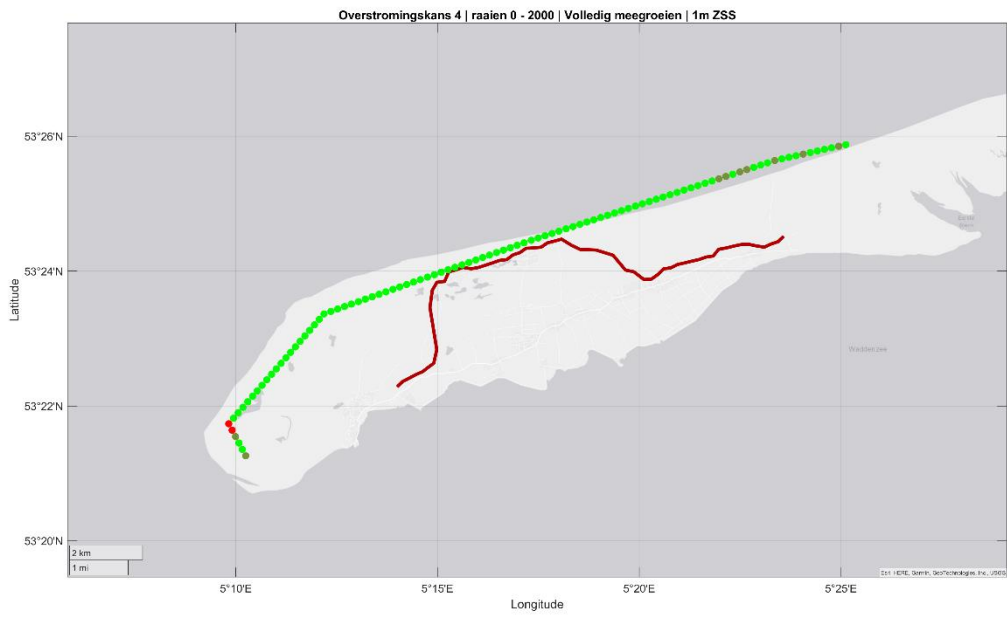
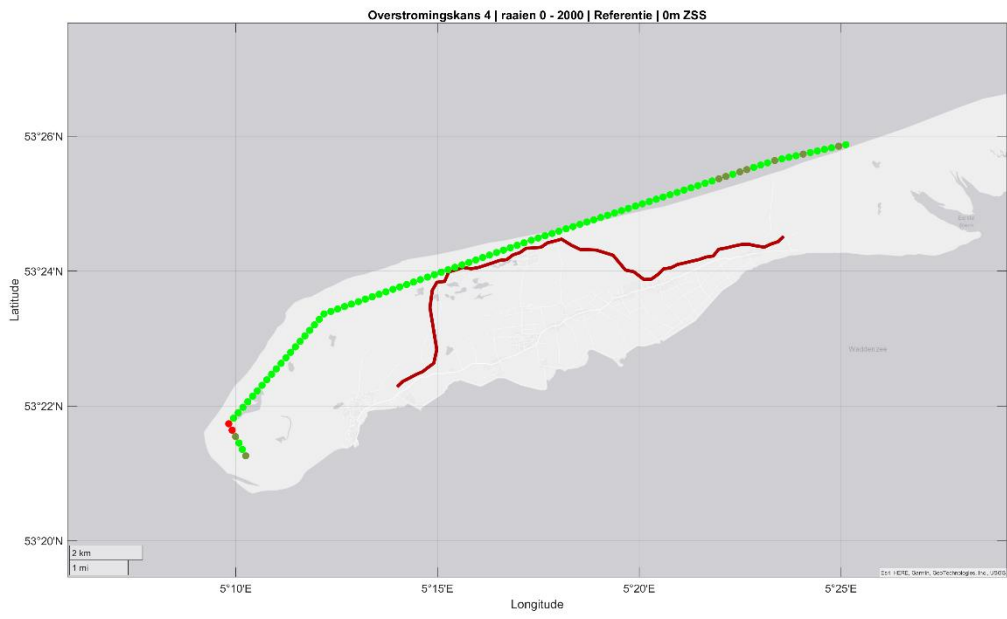


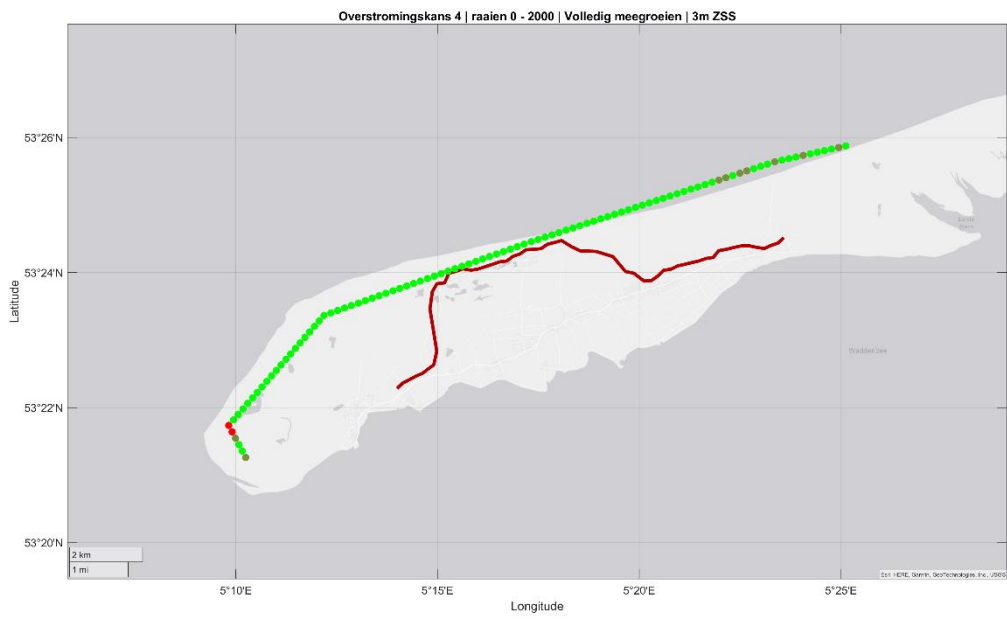
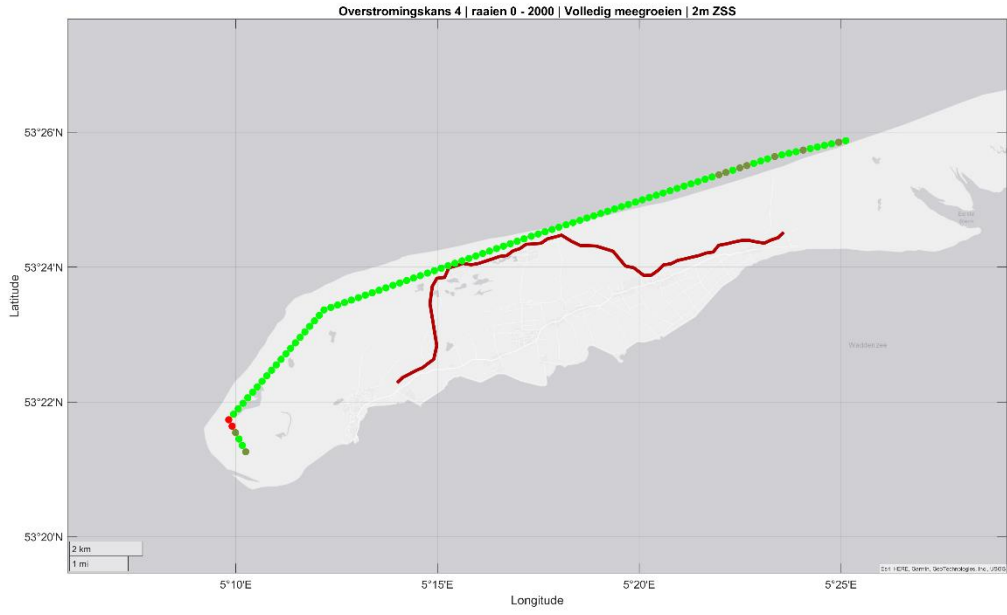


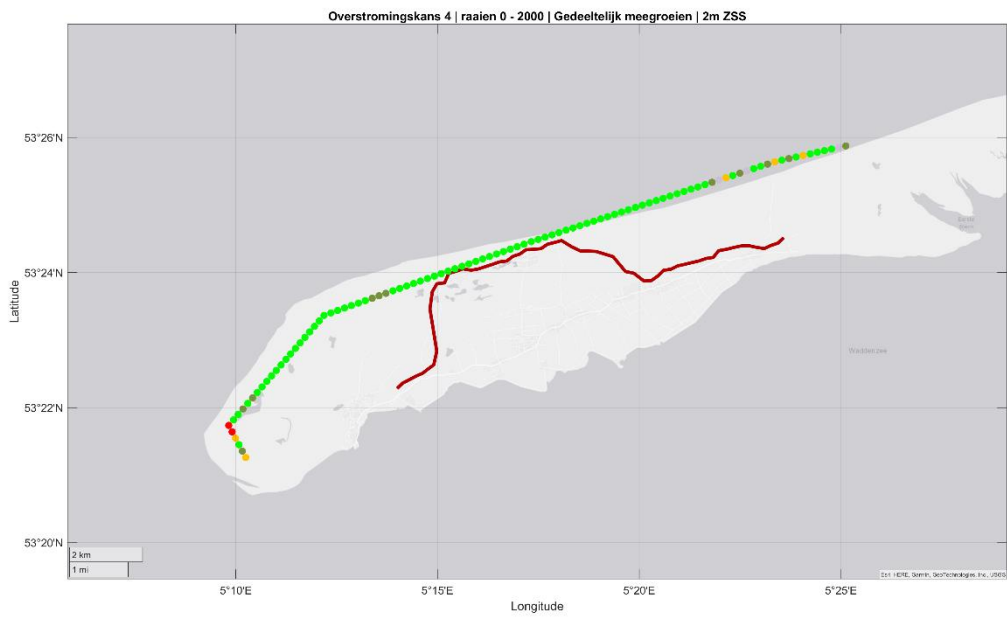
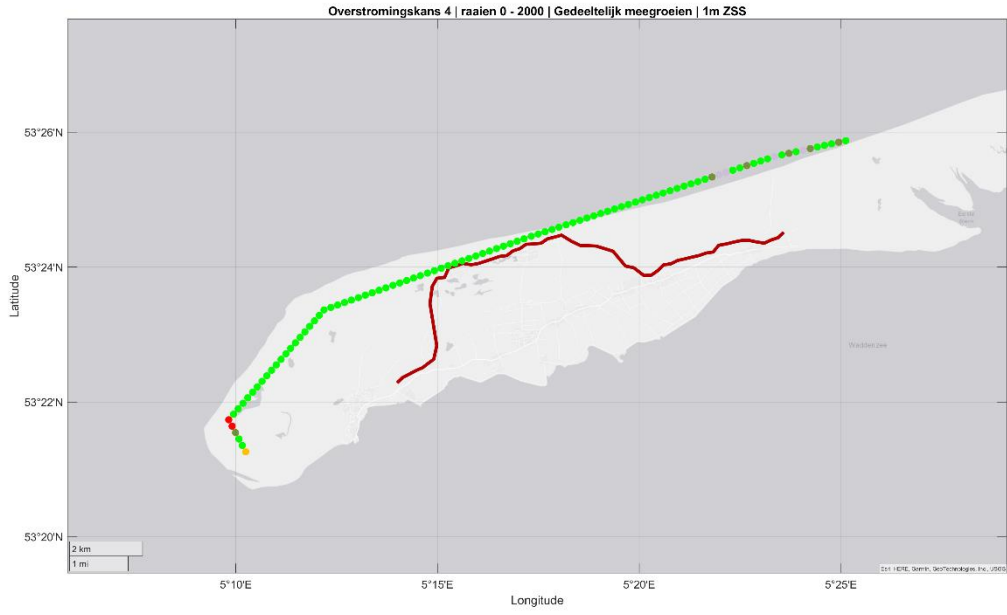


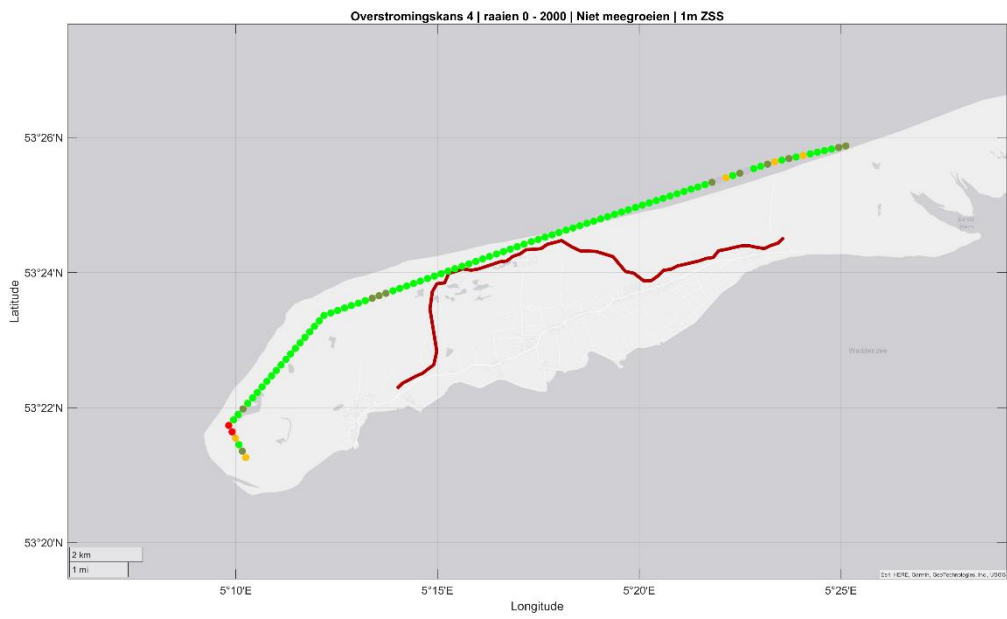
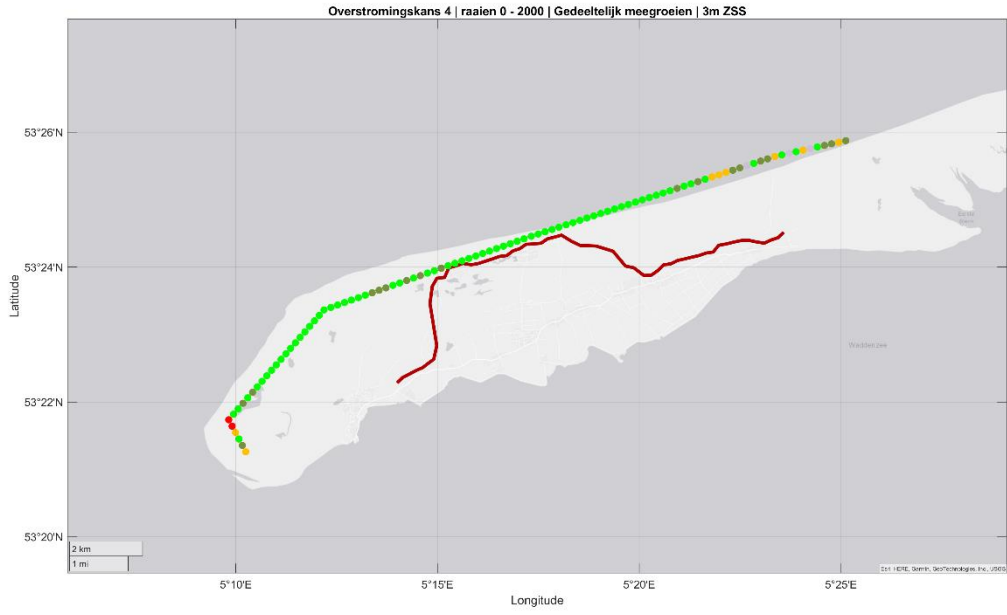


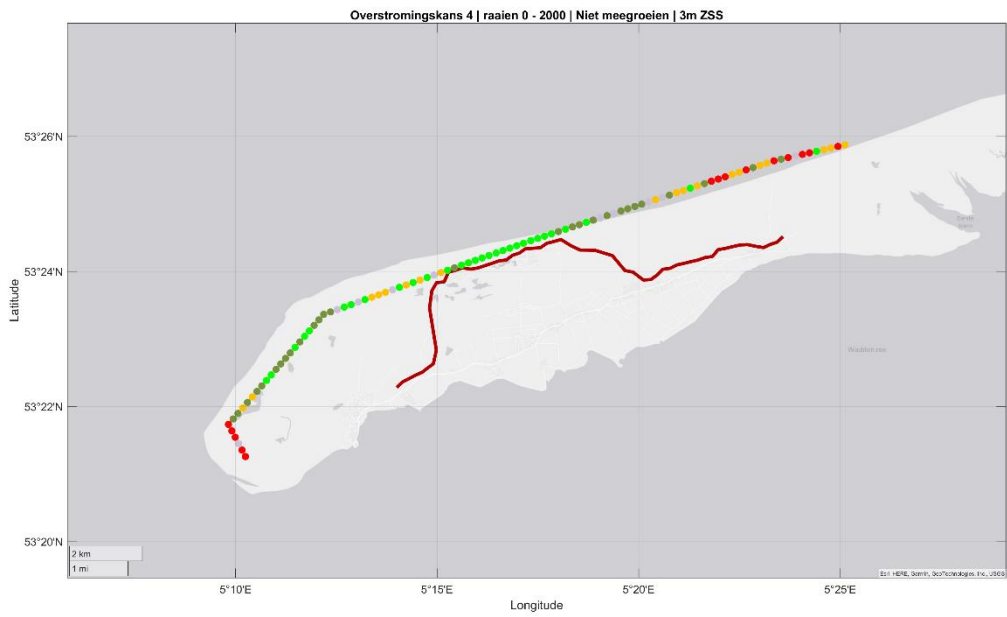
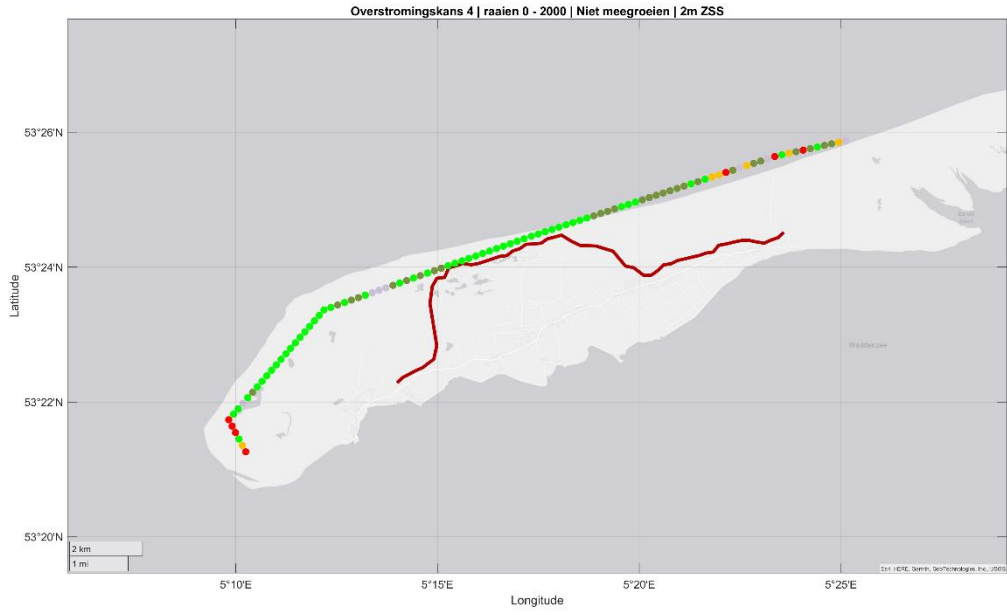
C.3. Terschelling



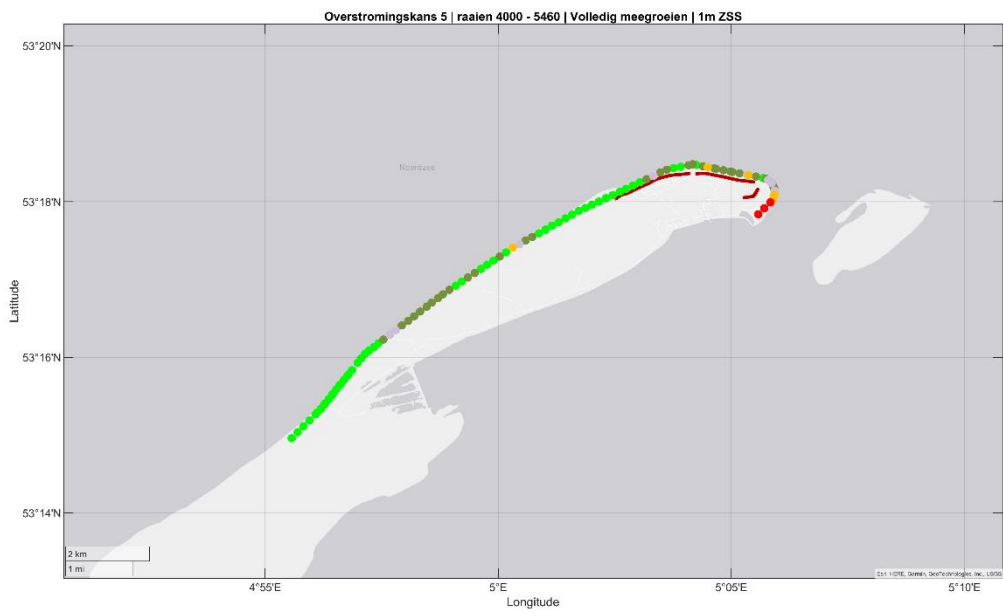
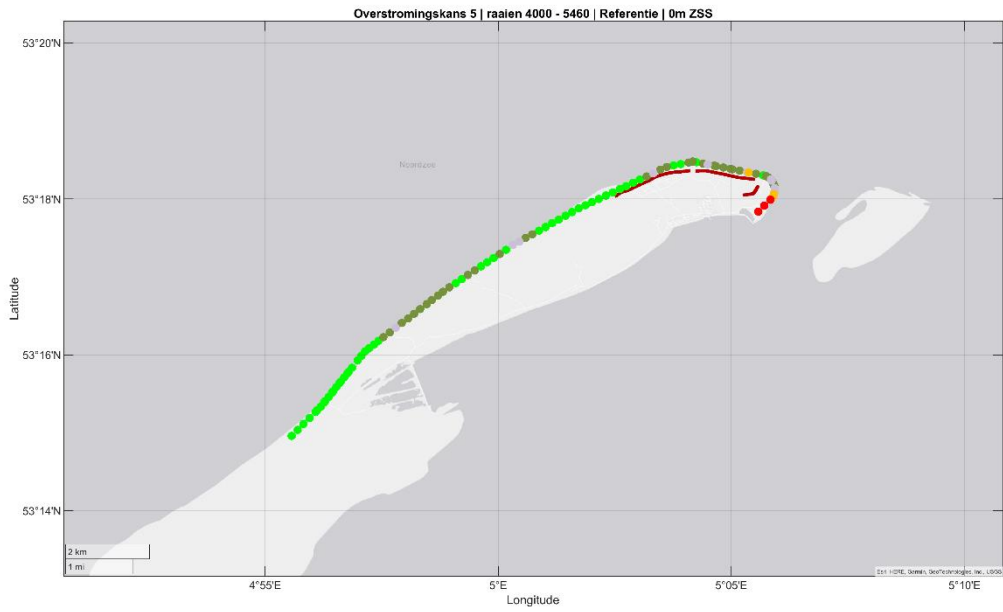


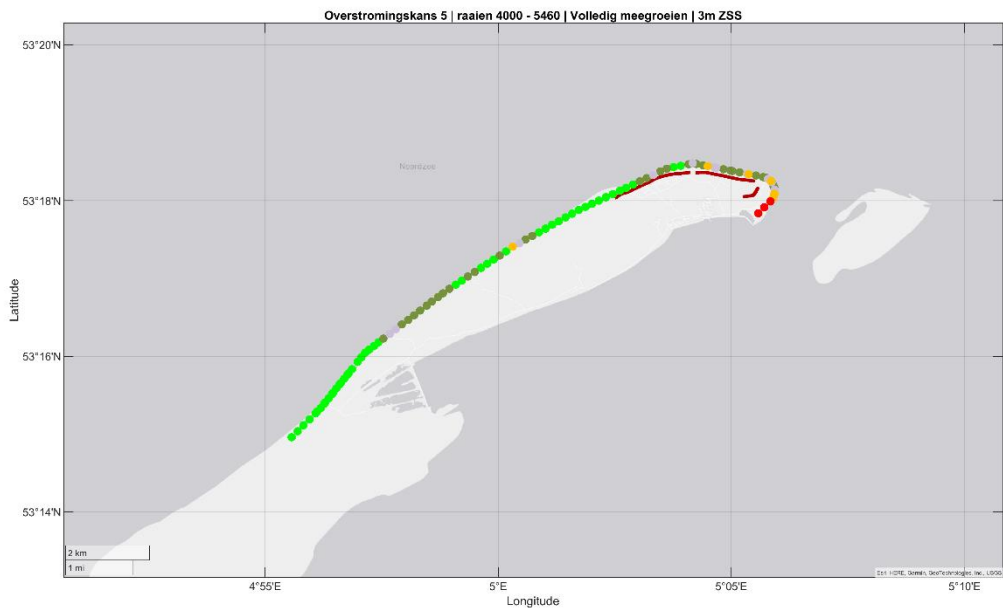
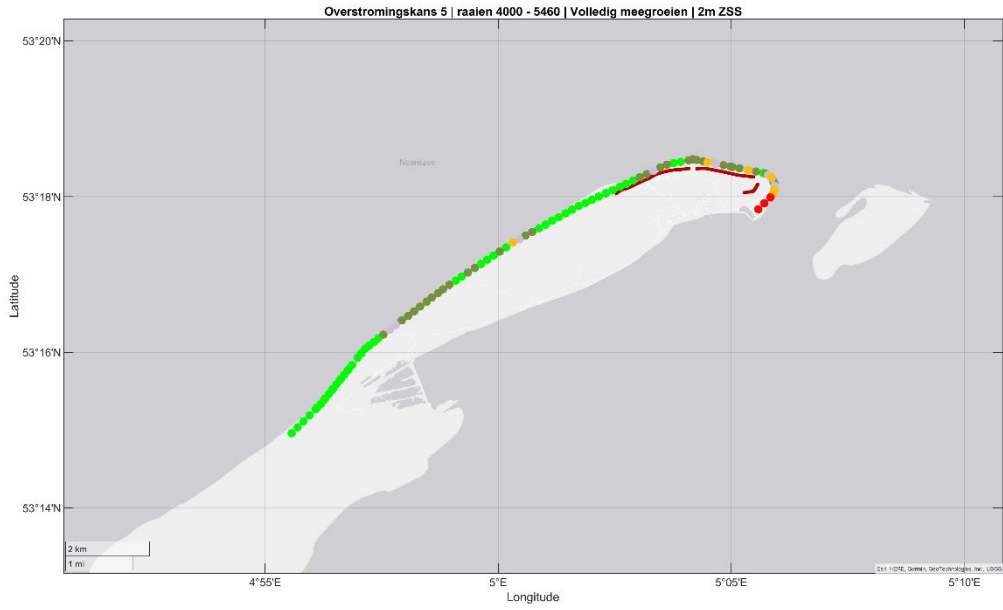


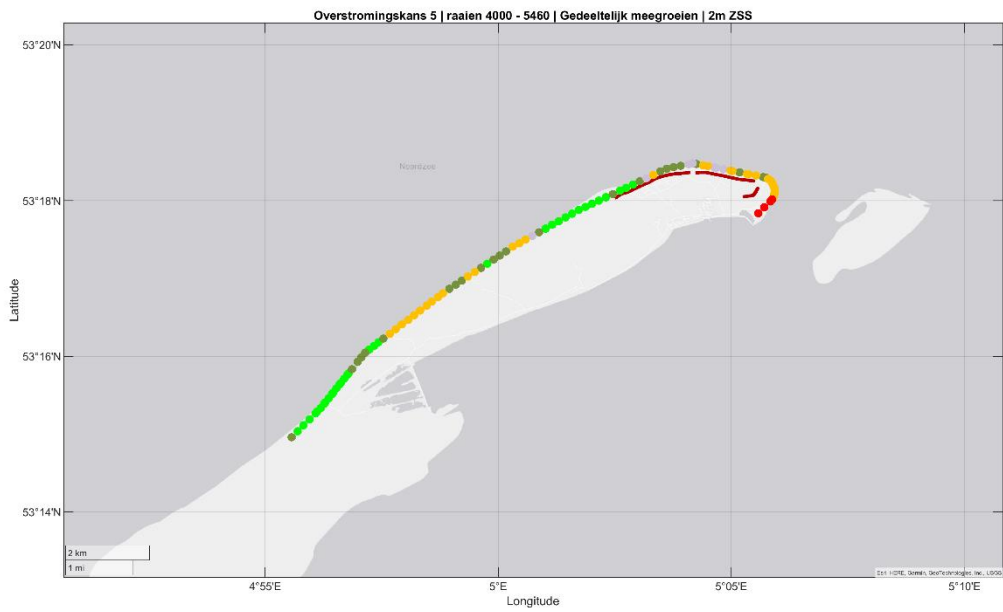
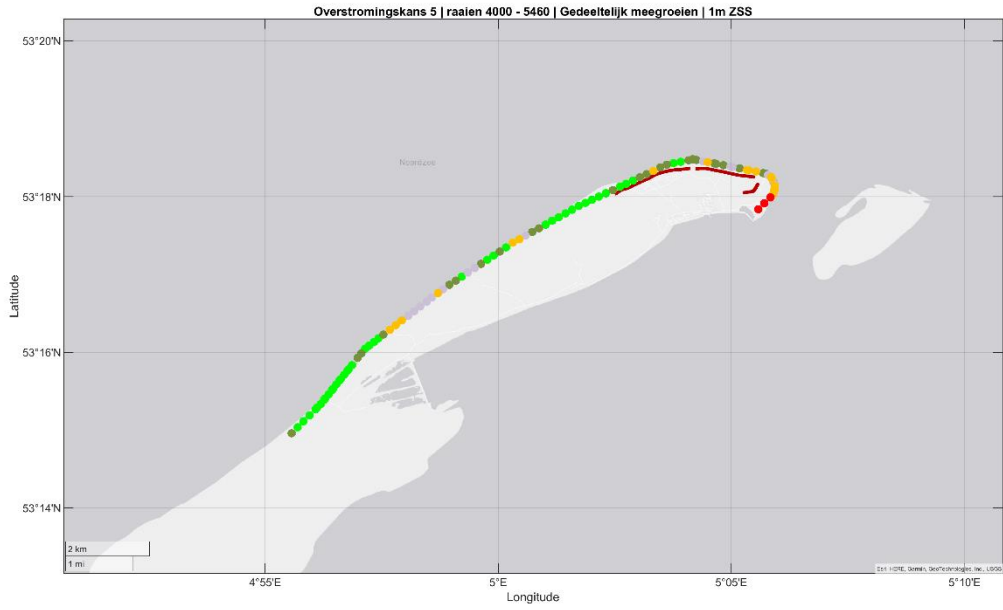


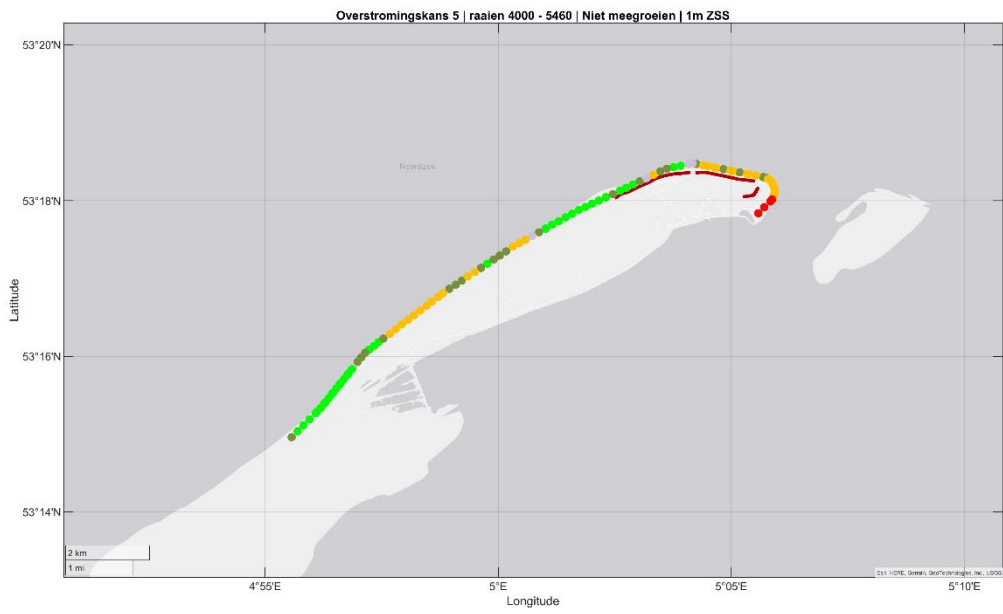
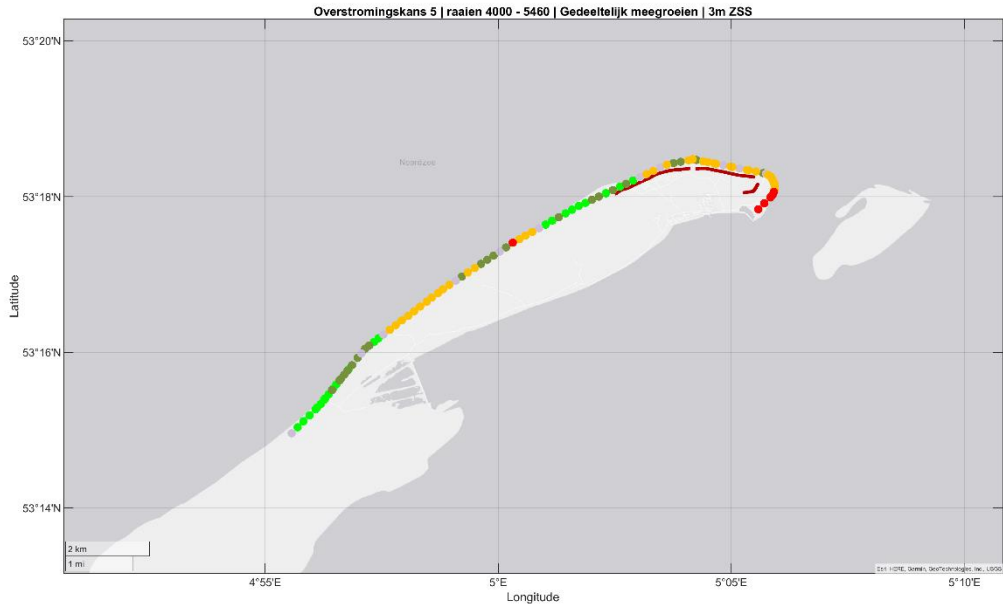


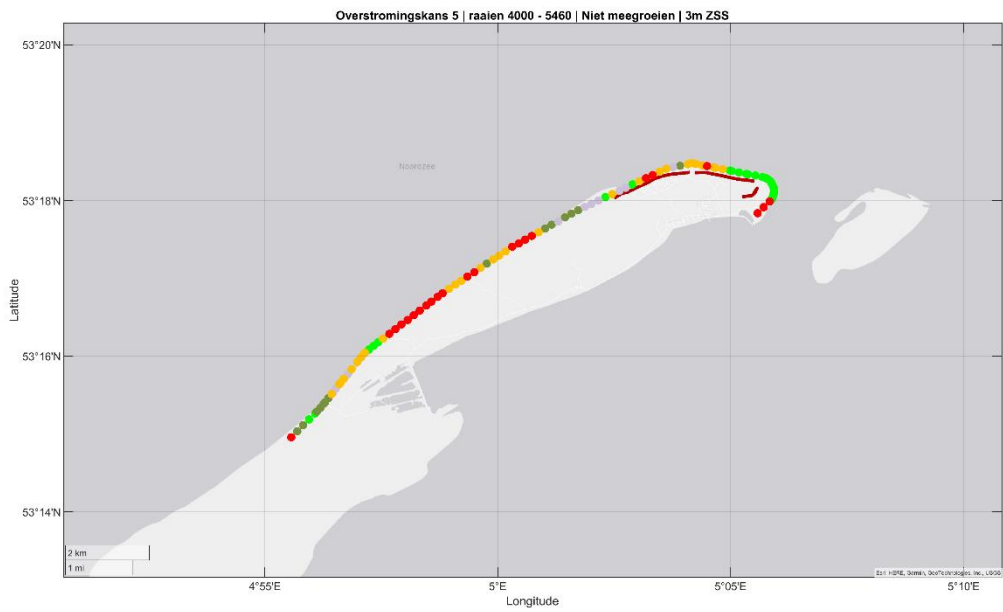
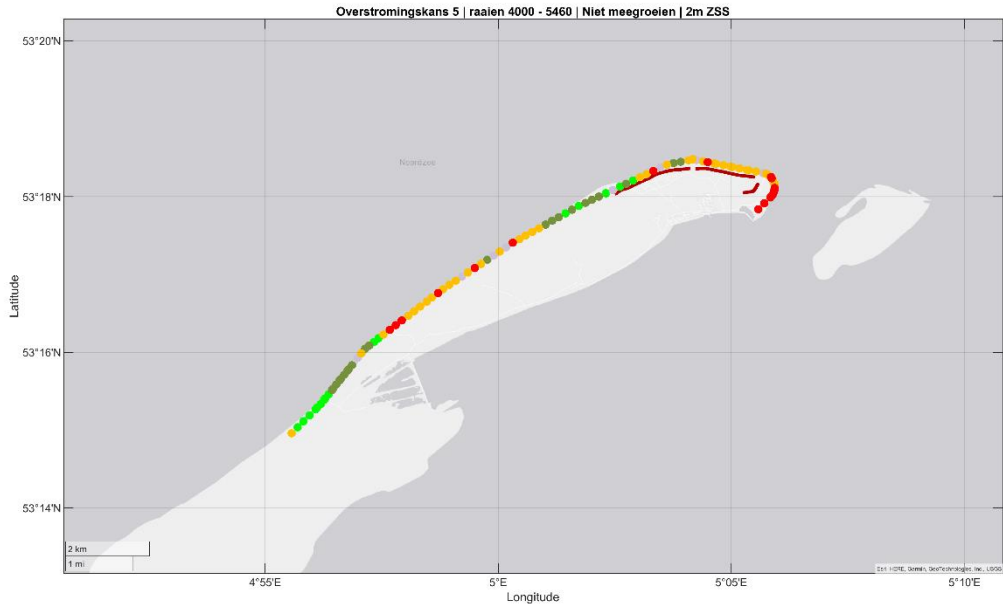
C.4. Vlieland



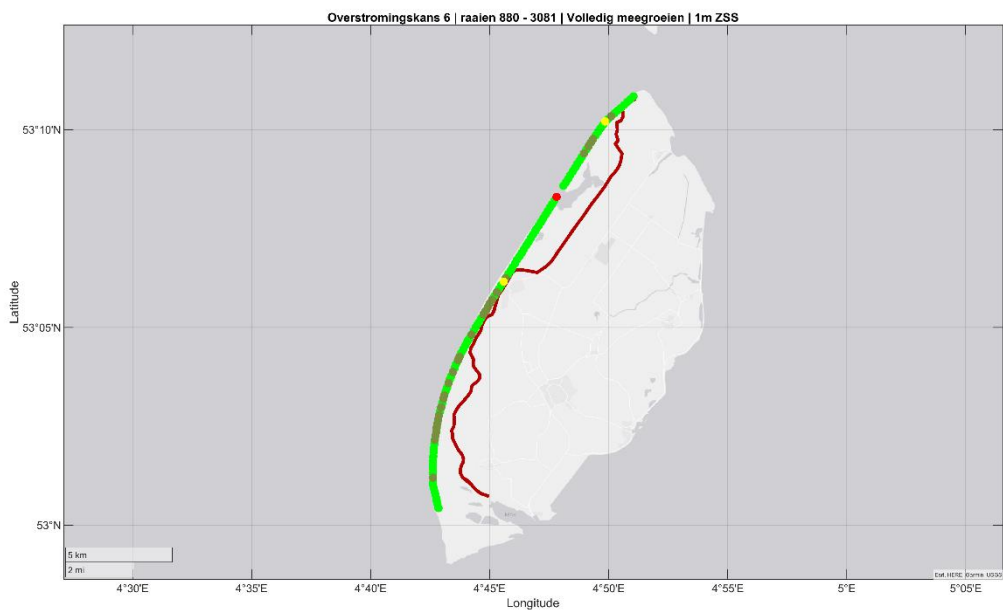
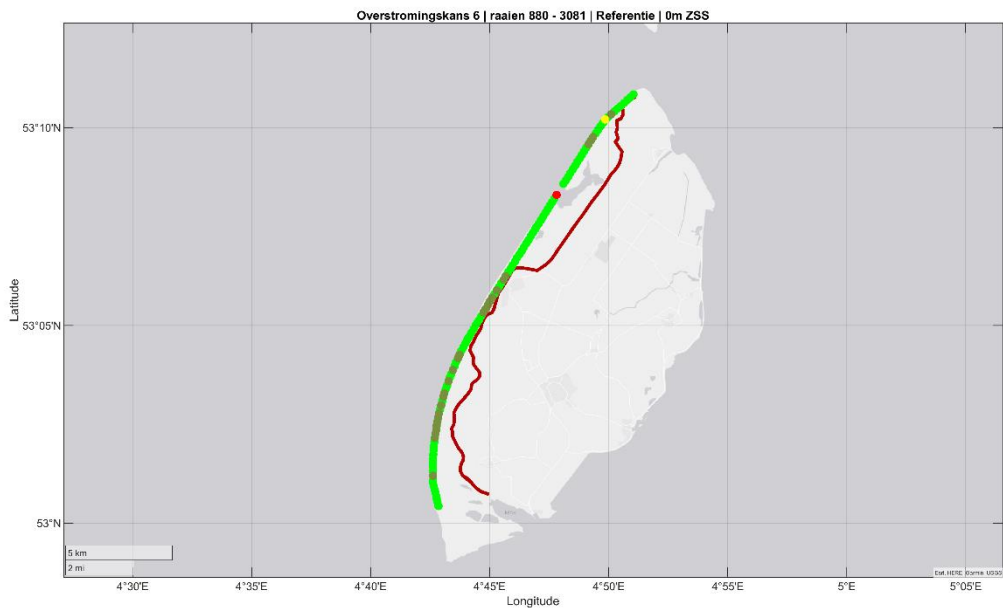


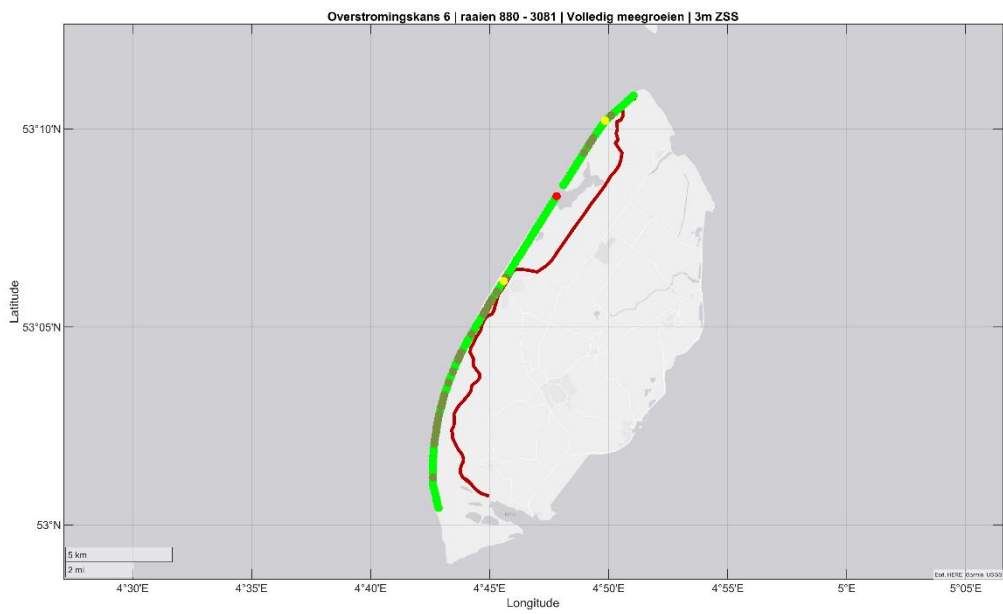
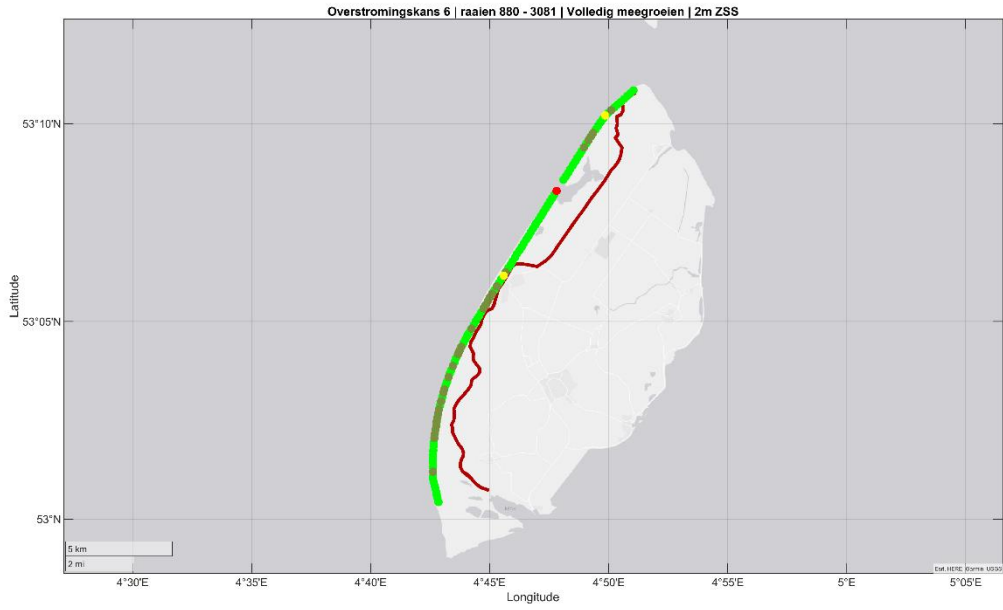


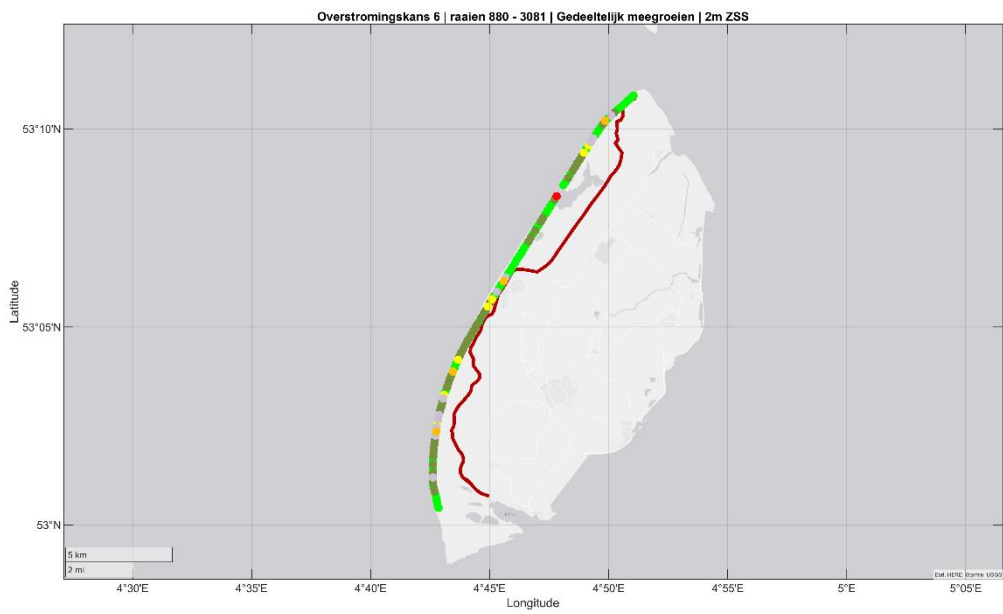
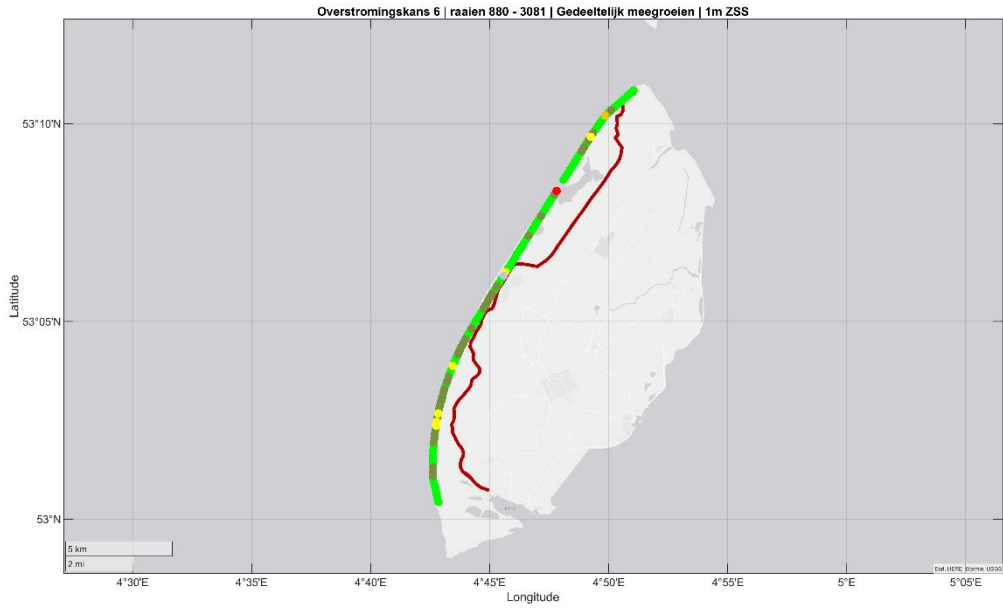


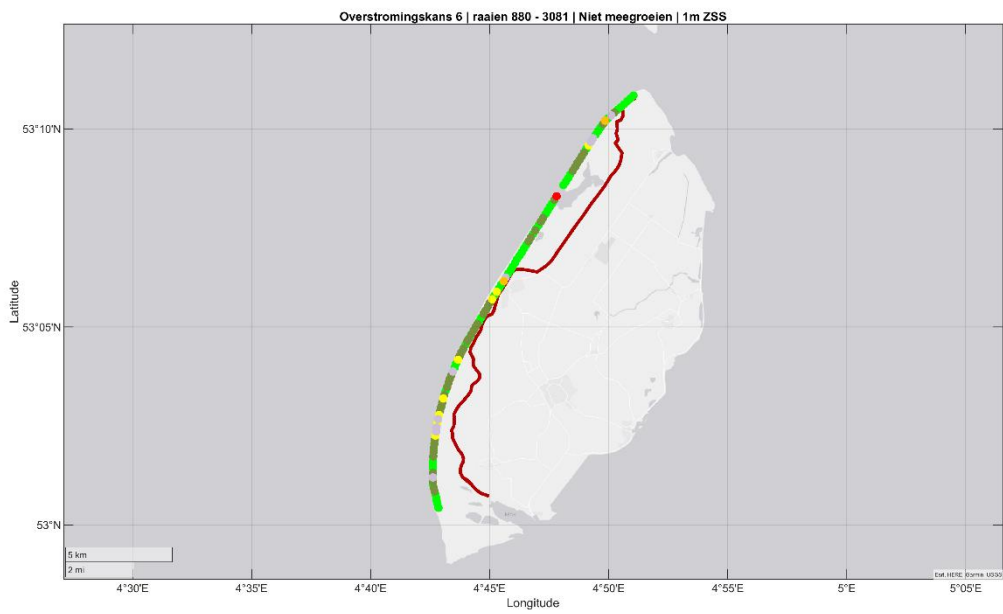
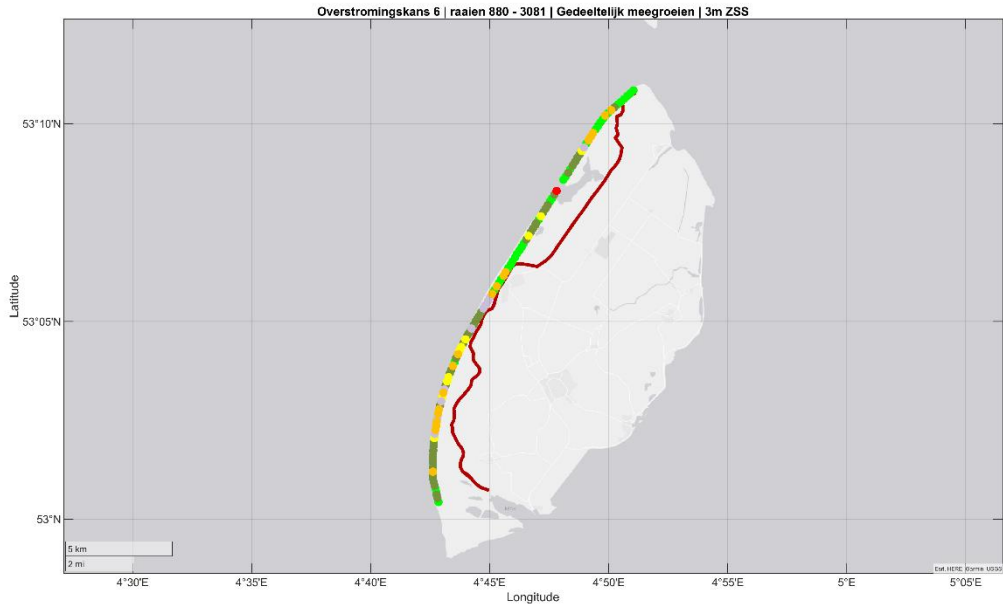


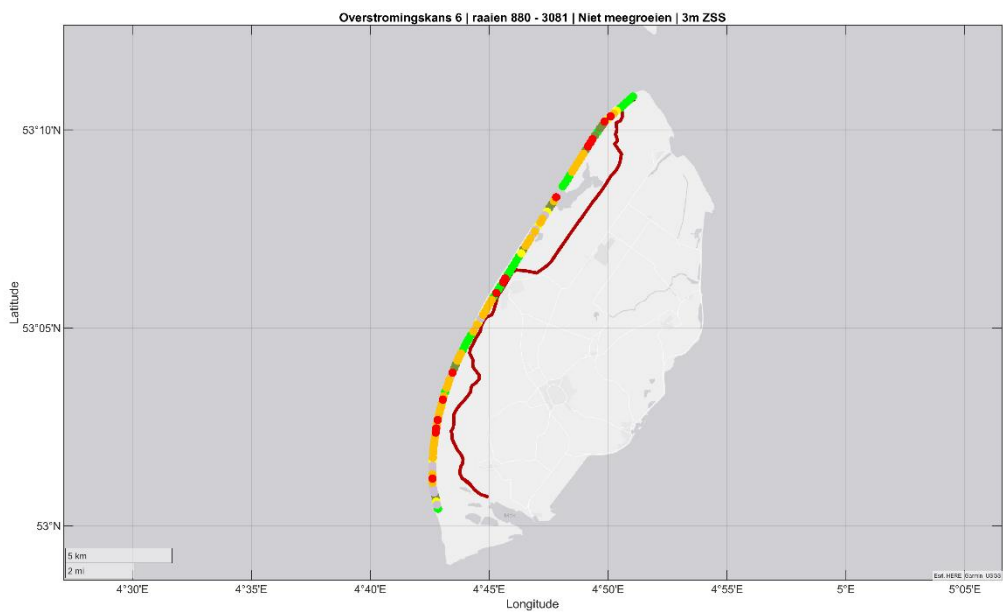
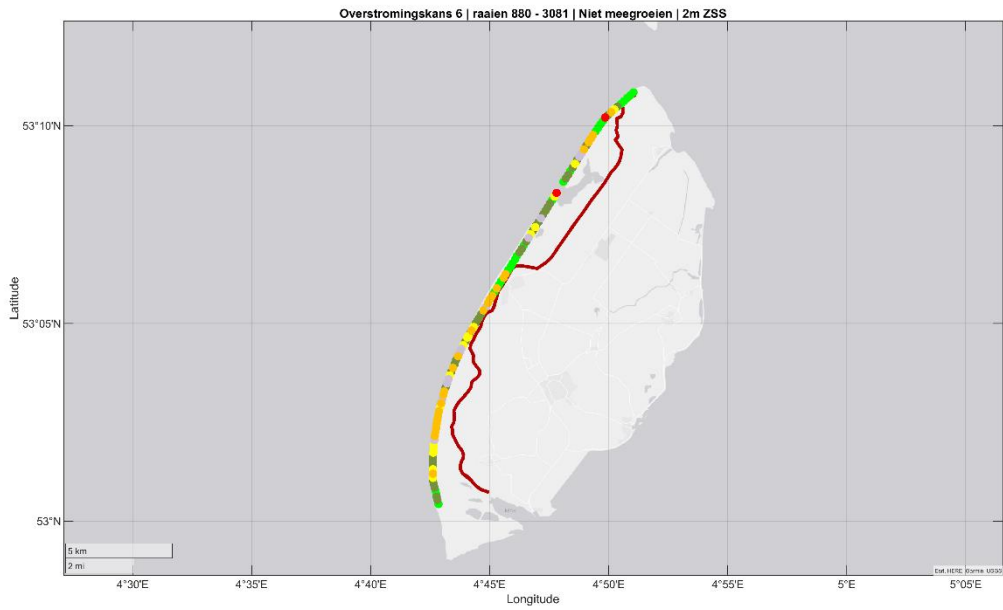
C.5. Texel



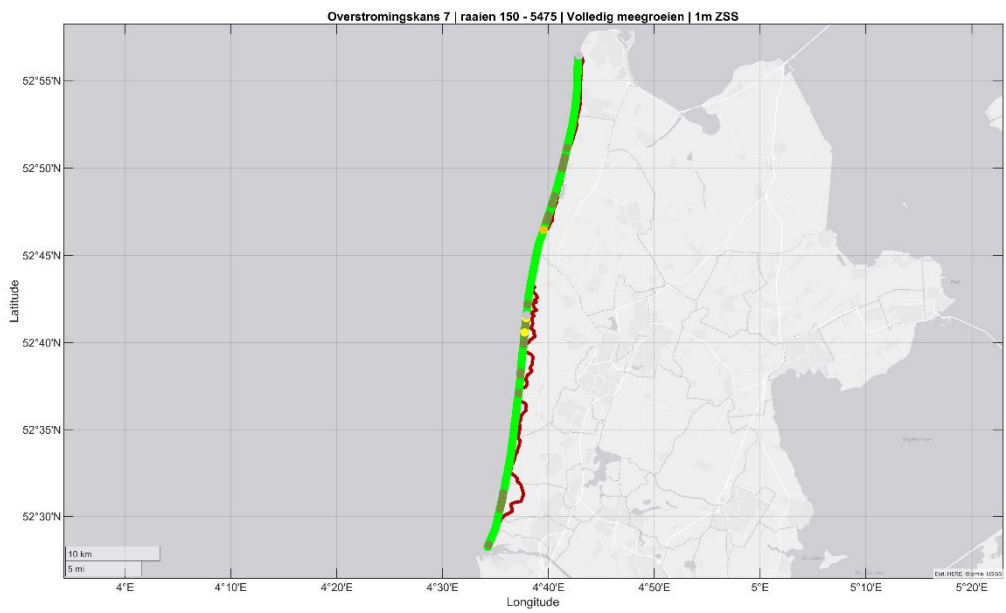
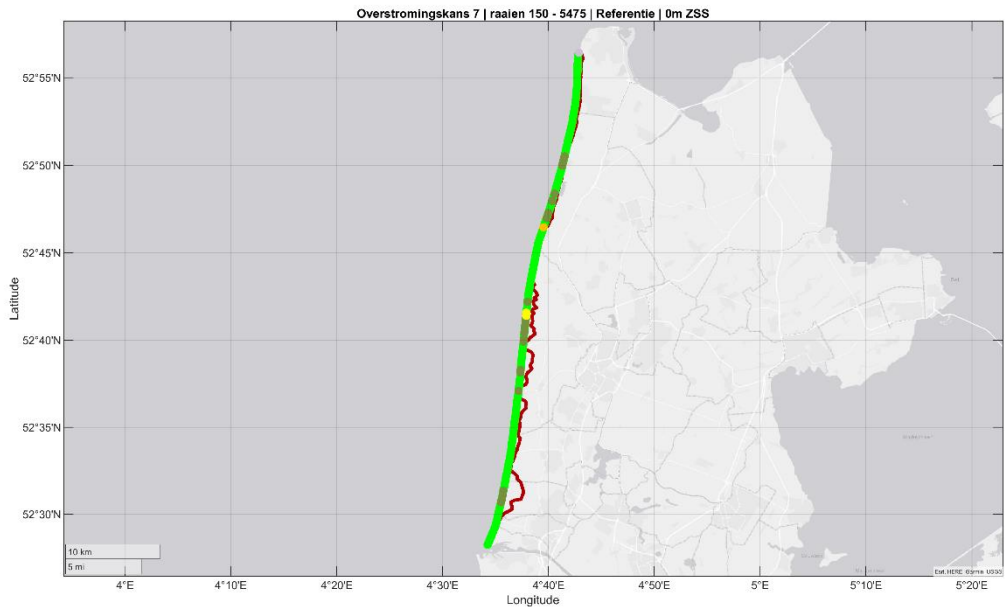


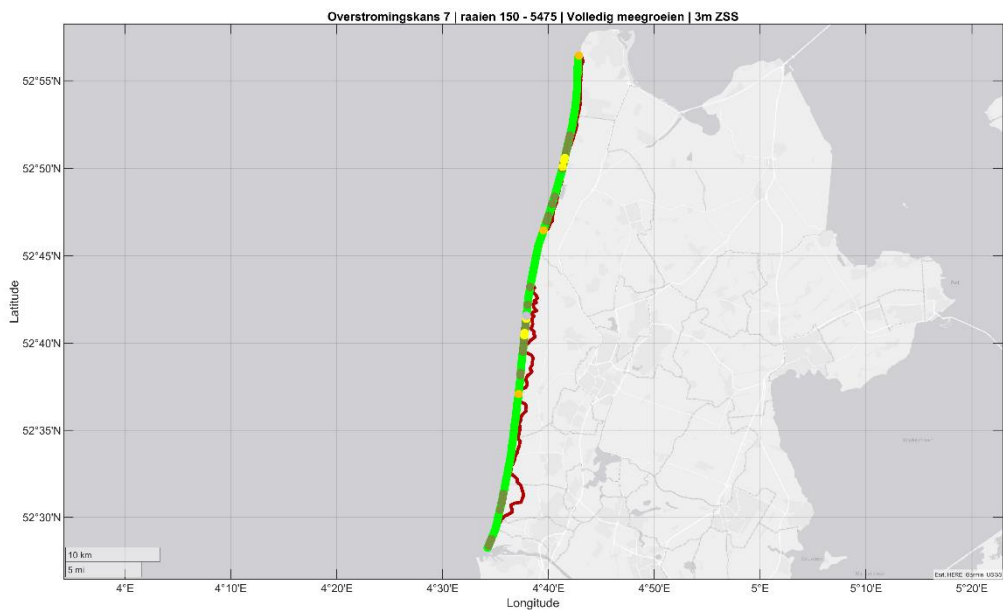
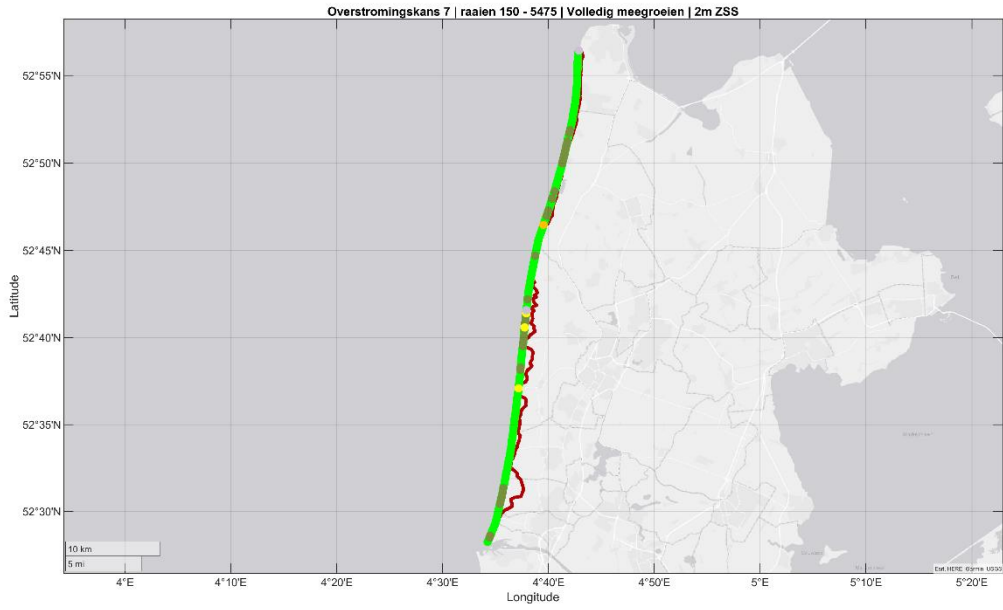


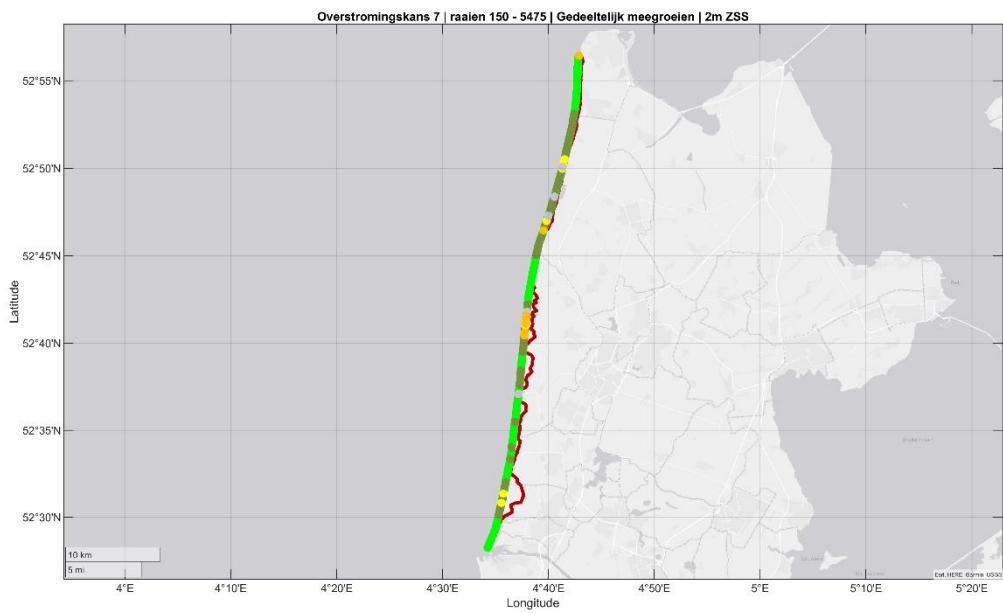
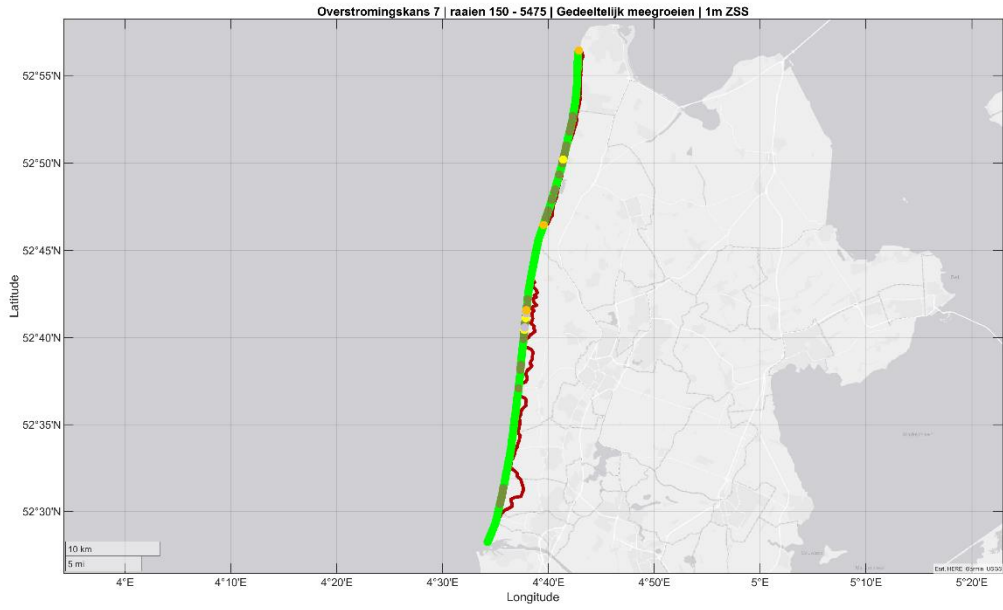


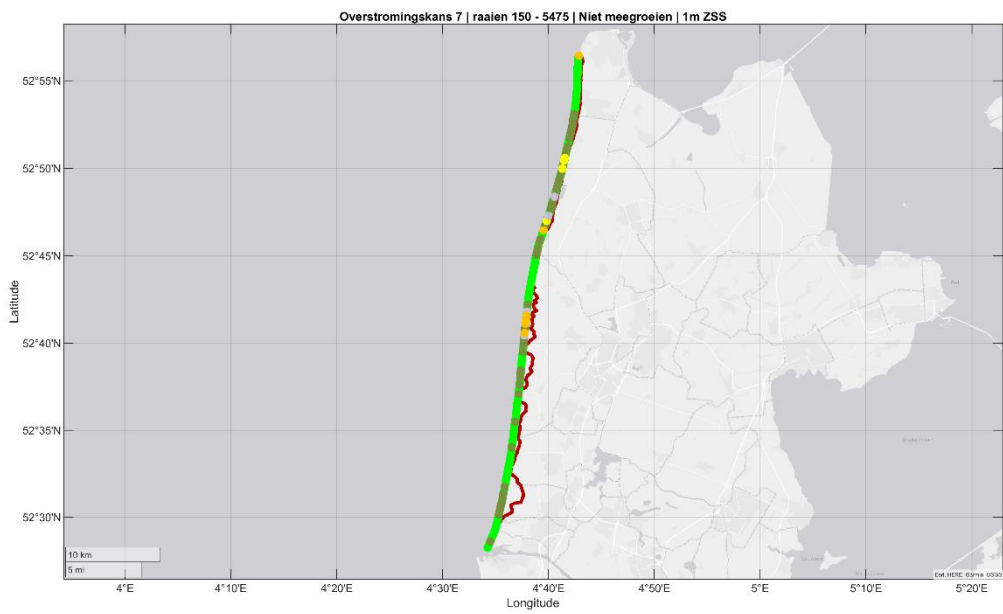
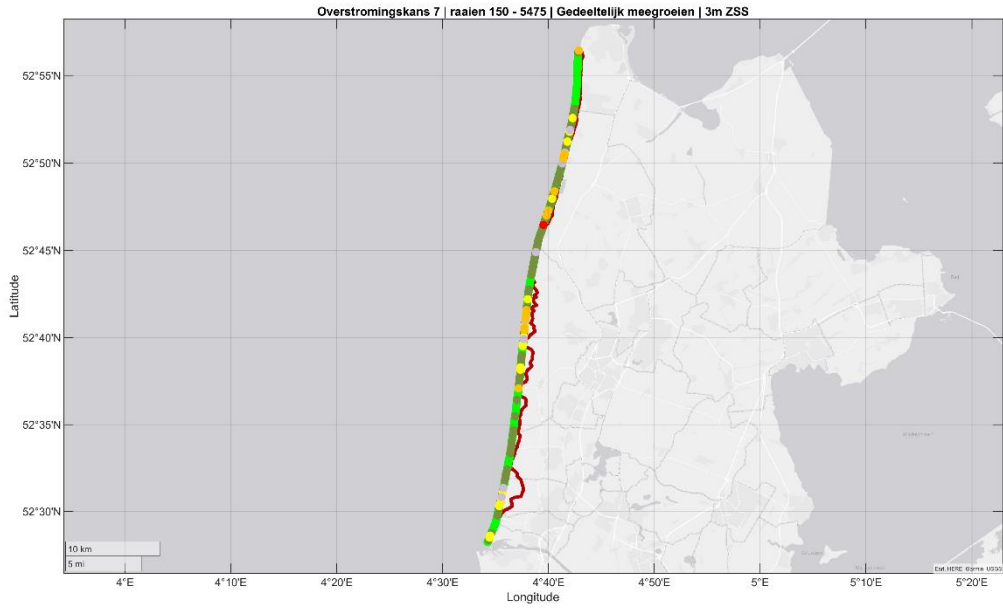


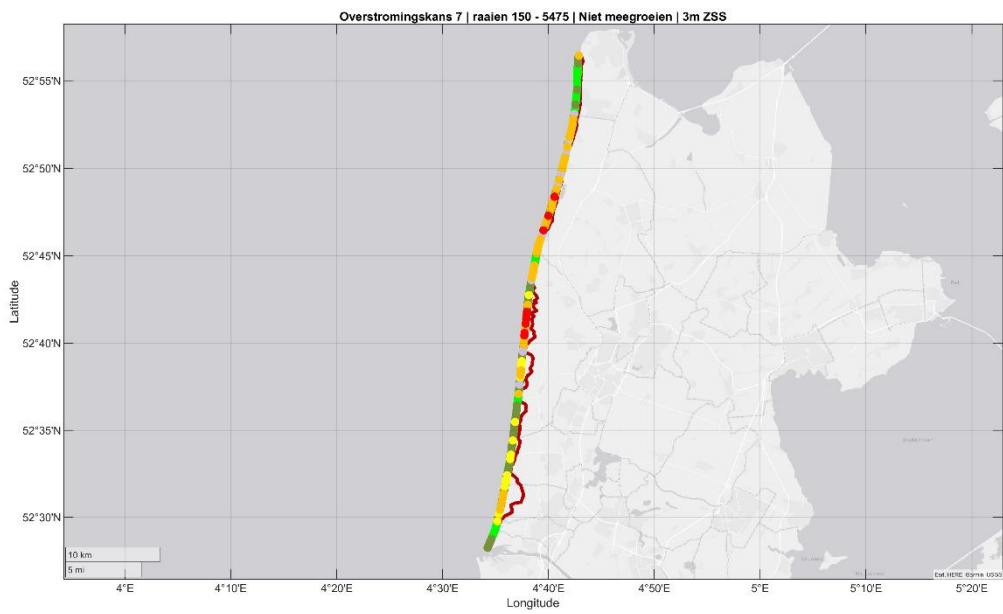
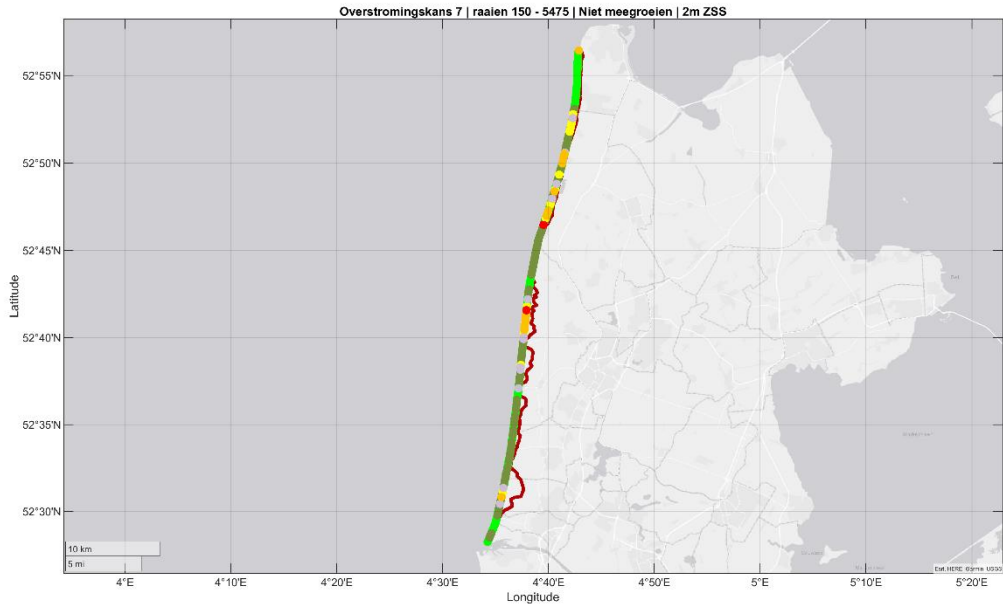
C.6. Noord-Holland



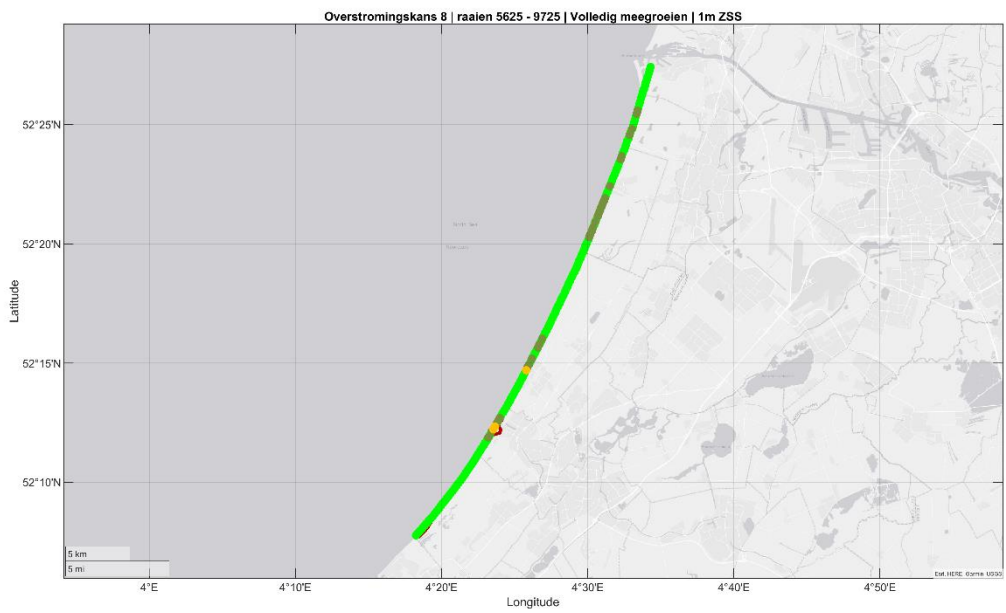
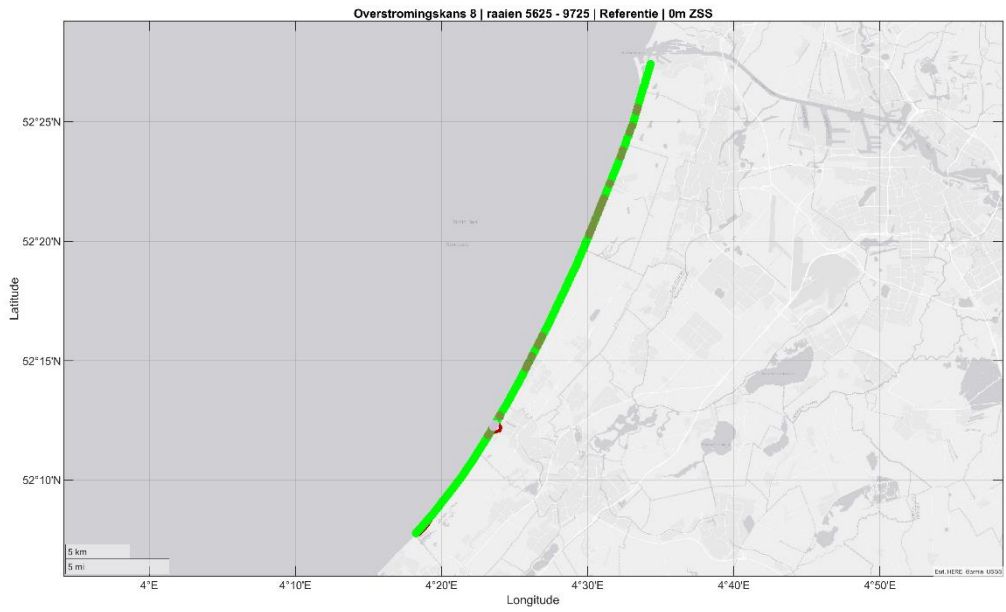


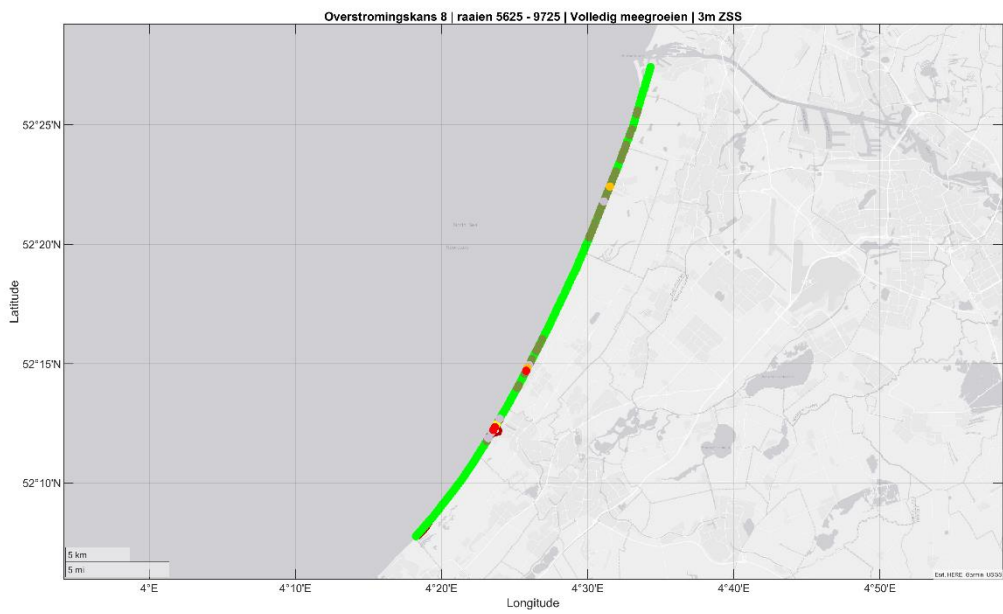
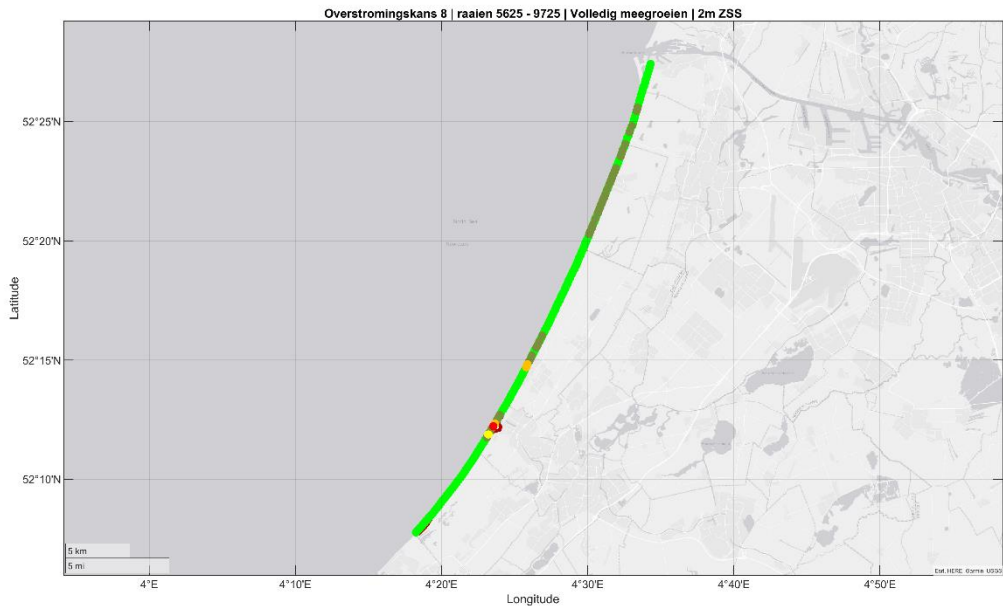


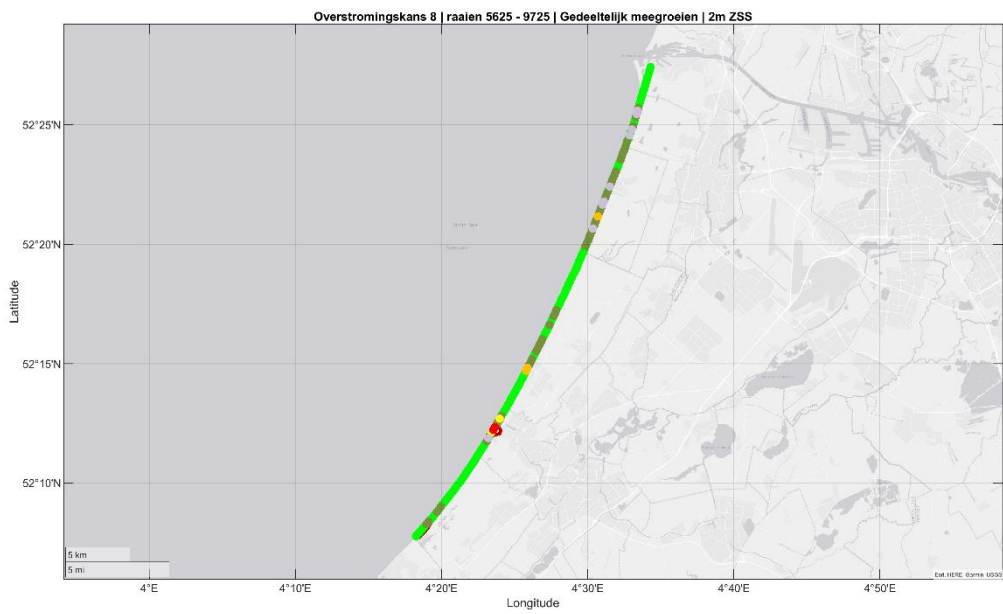
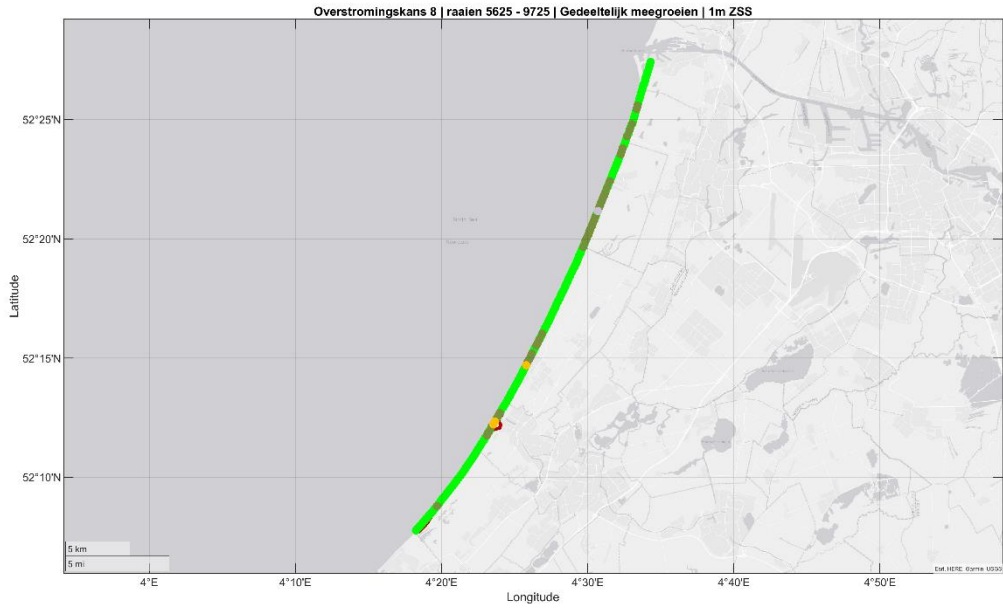


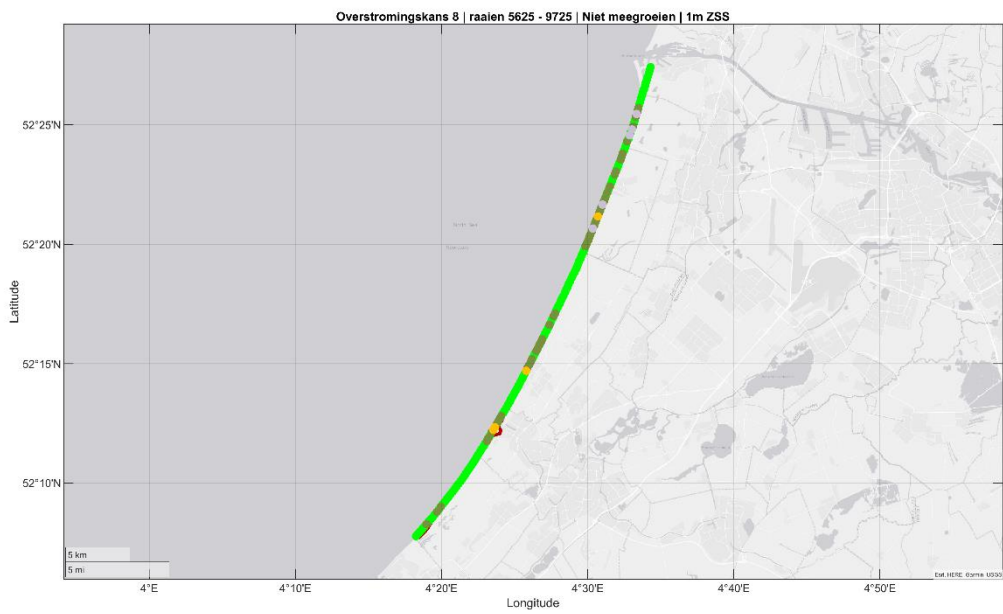
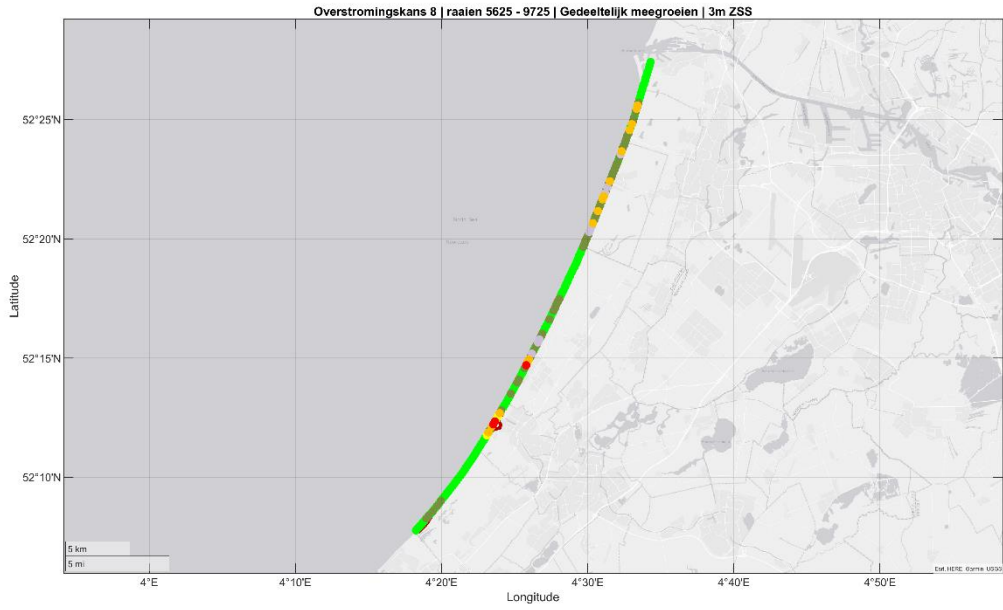


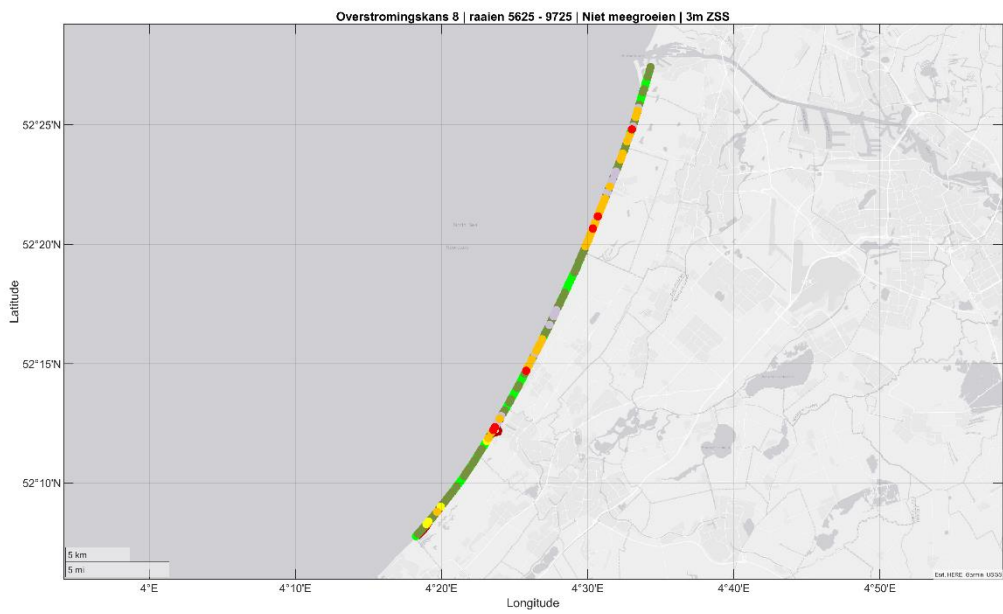
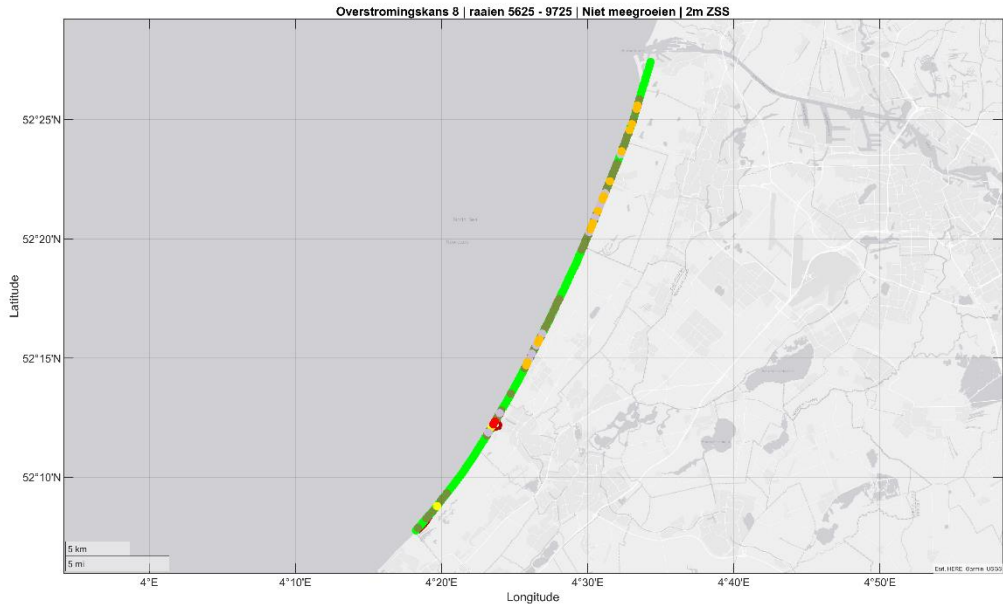
C.7. Rijnland



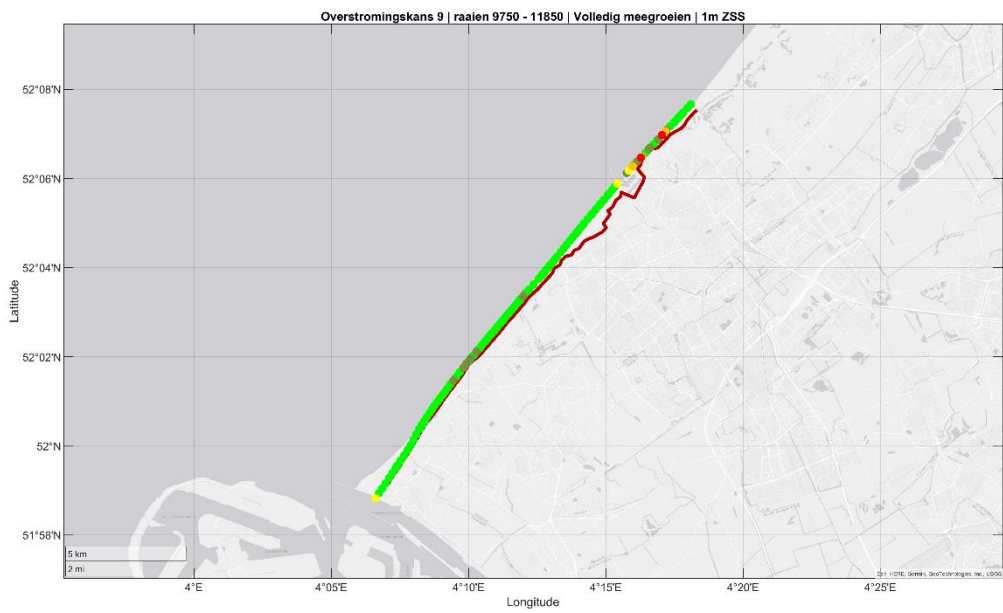
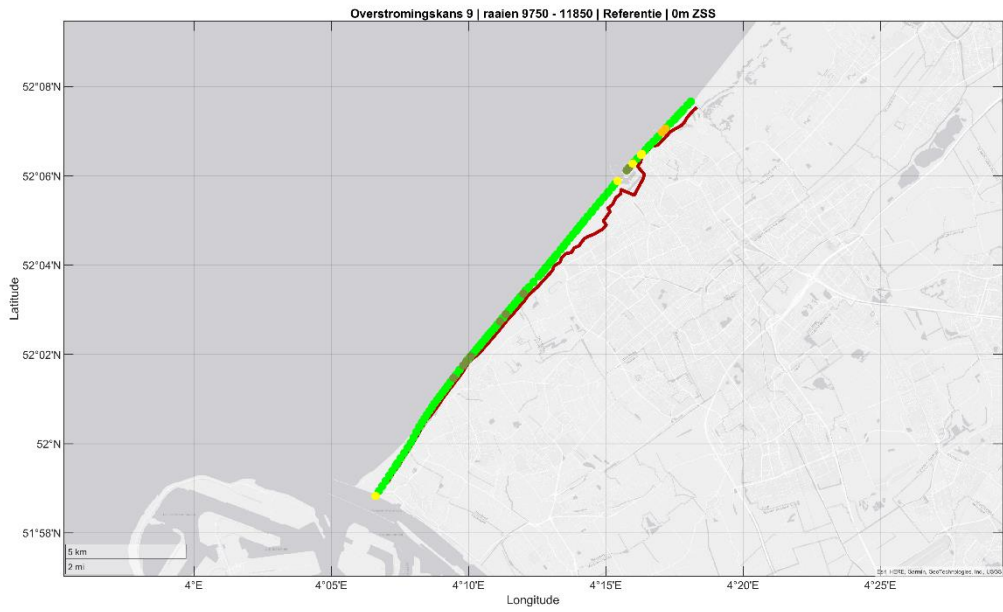


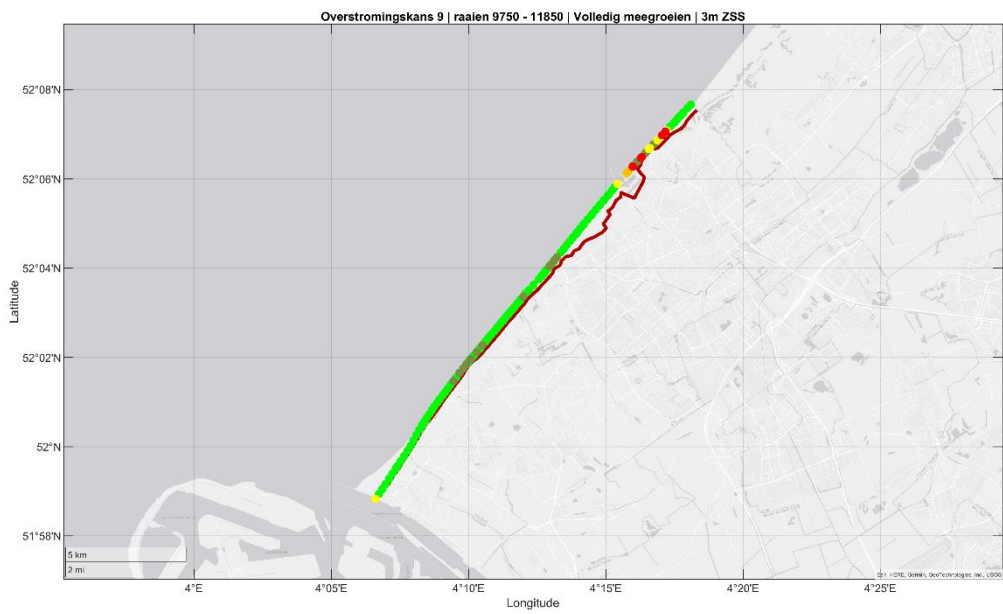
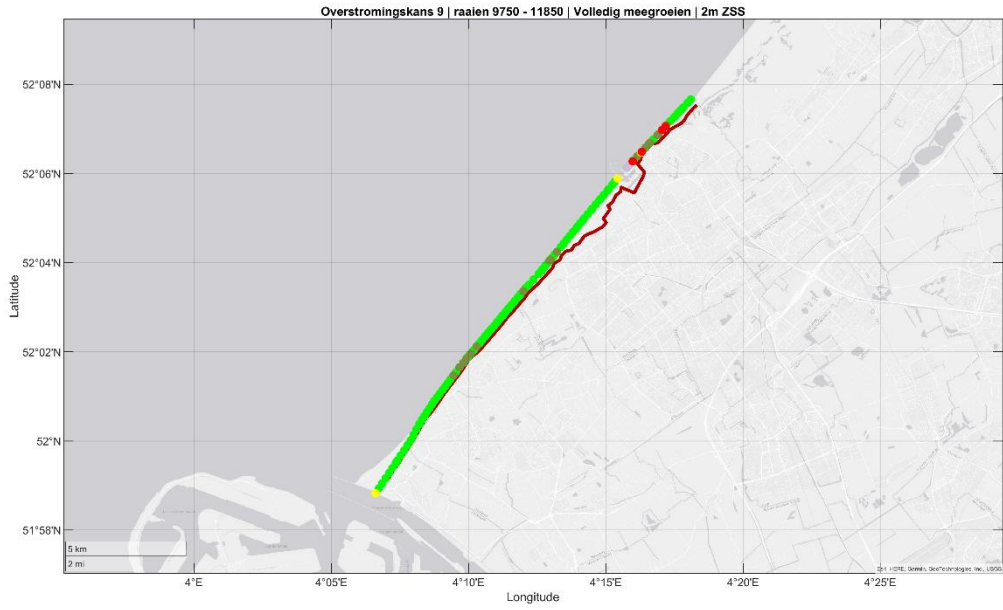


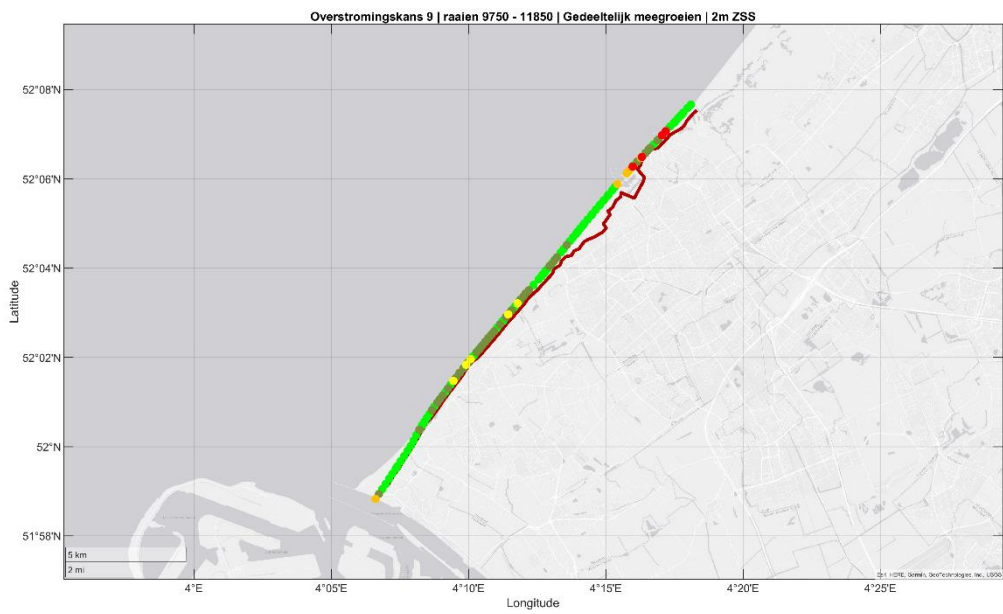
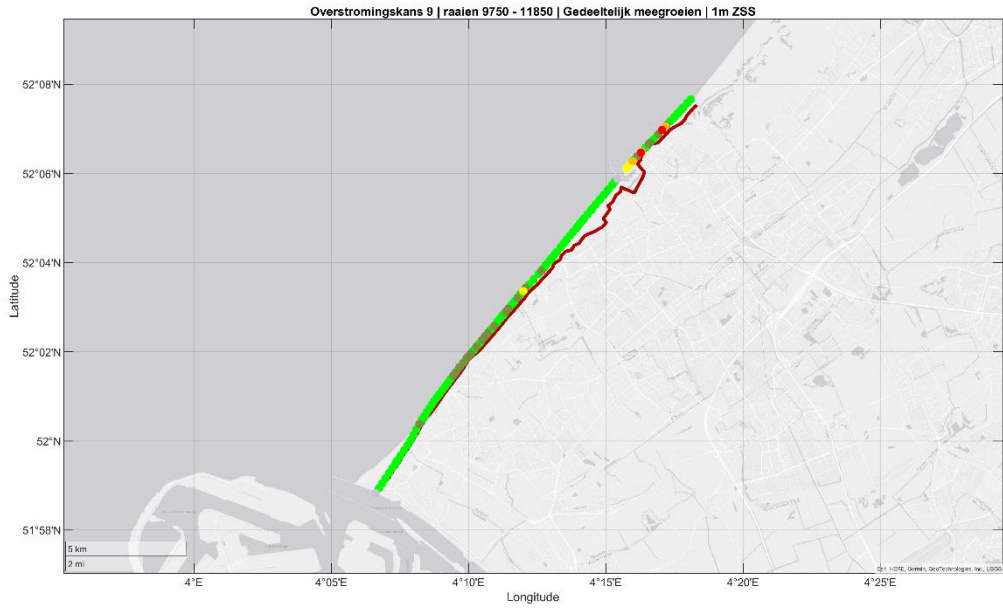


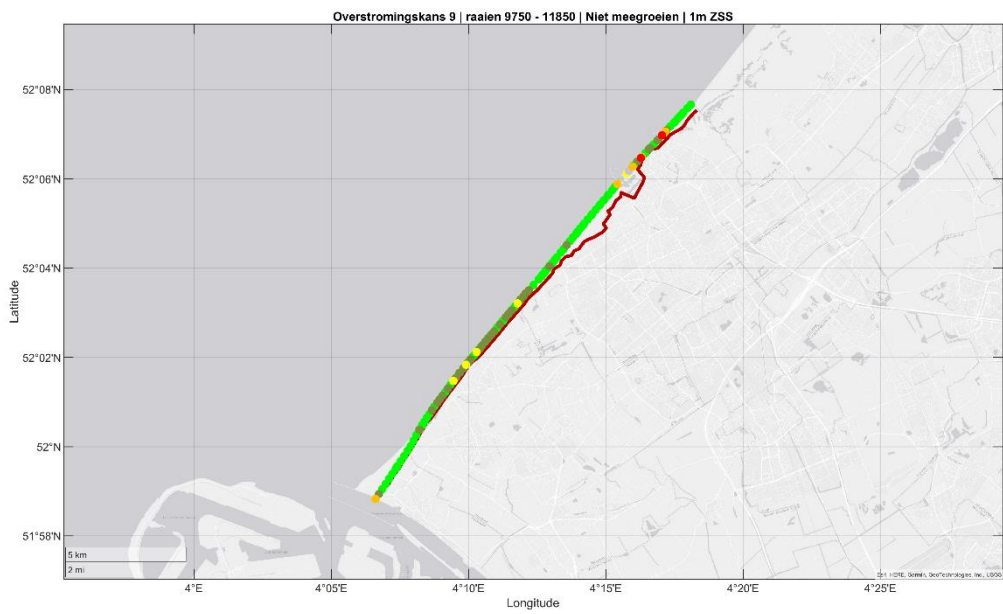
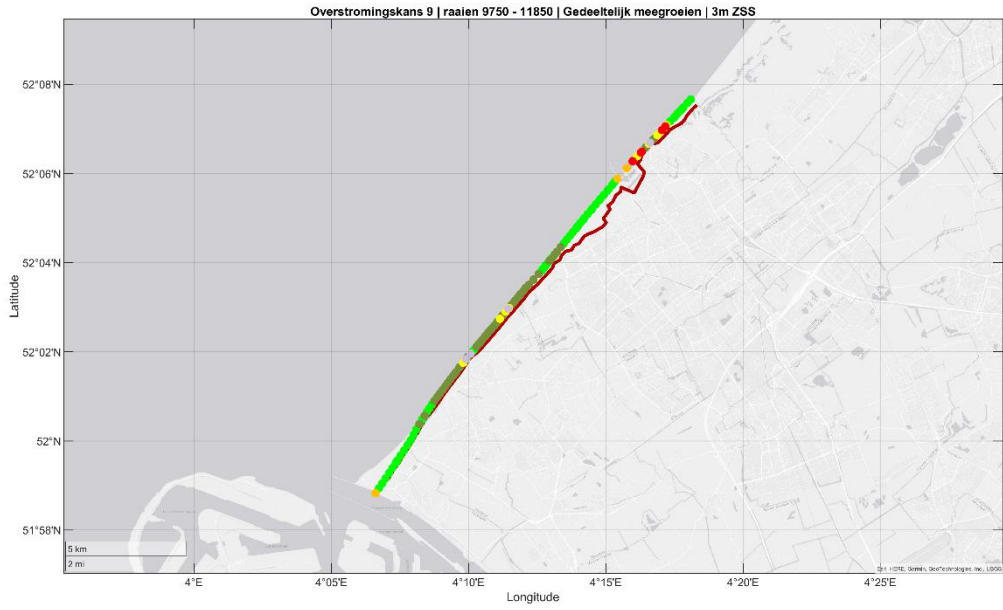


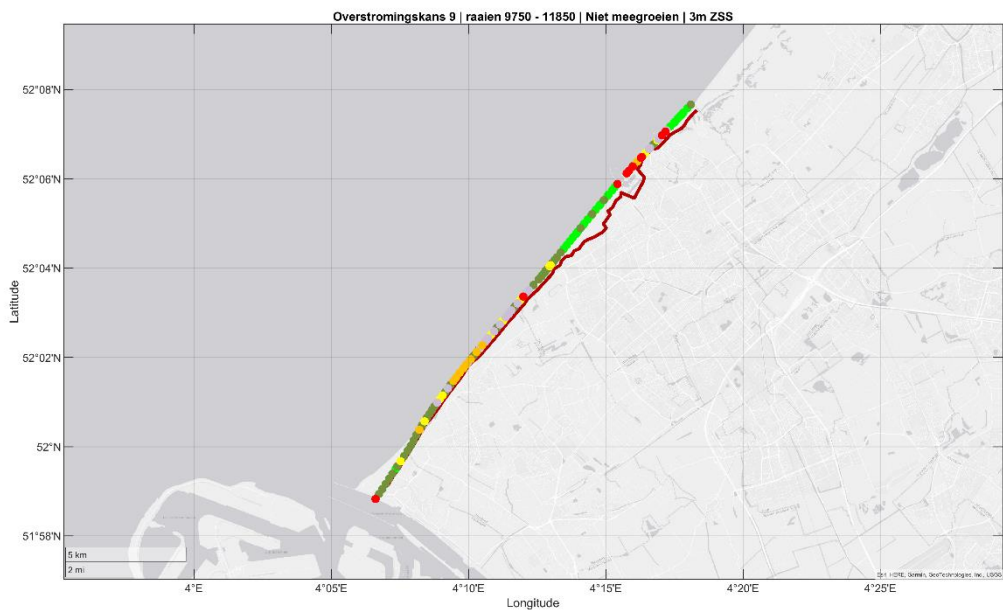
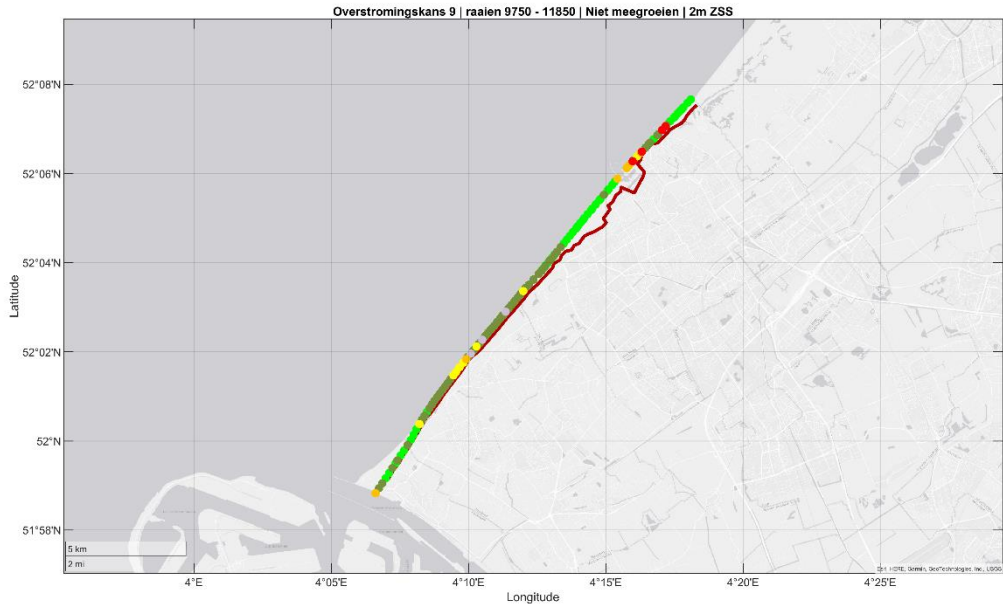
C.8. Delfland



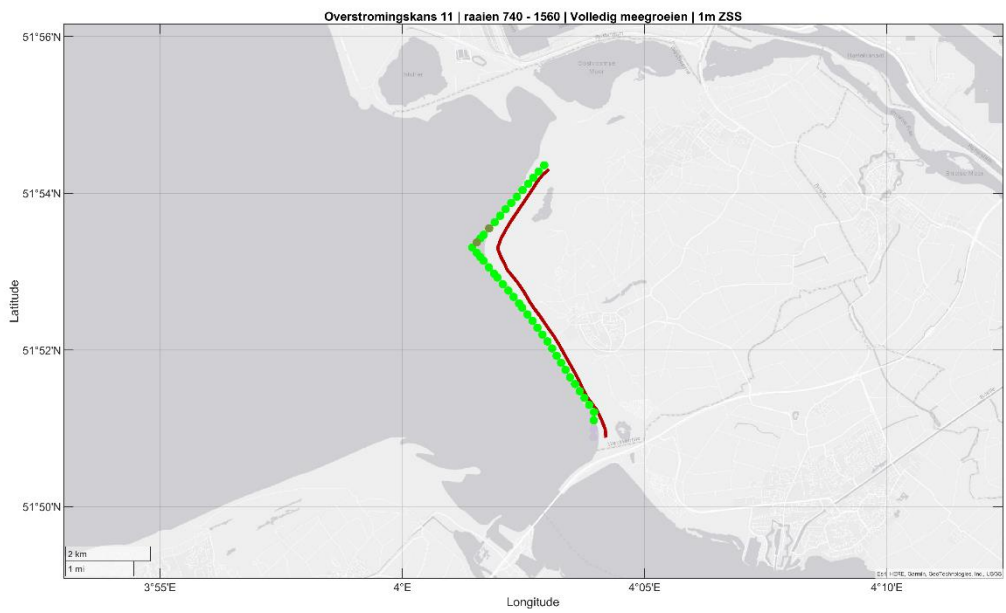
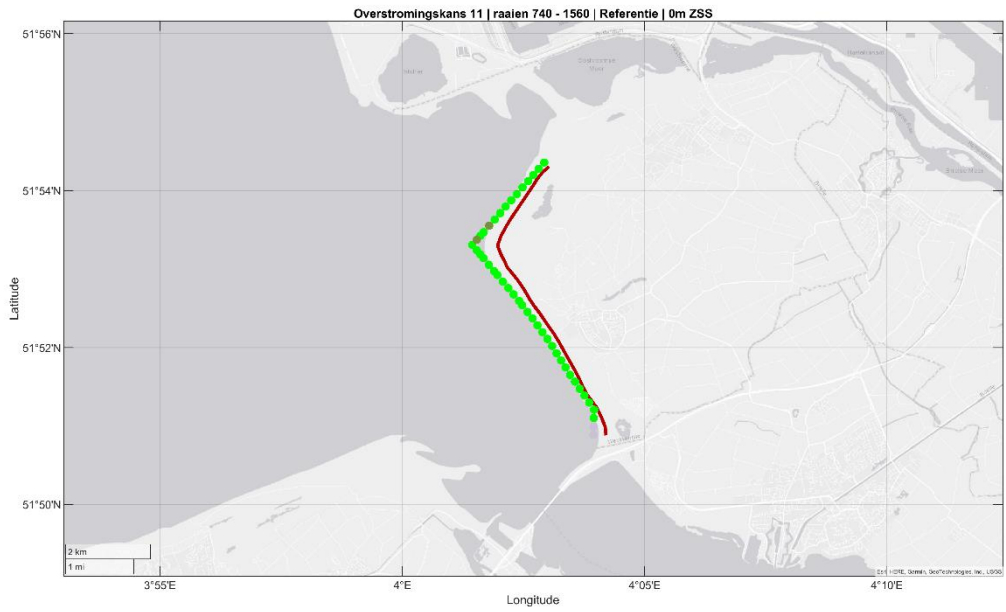


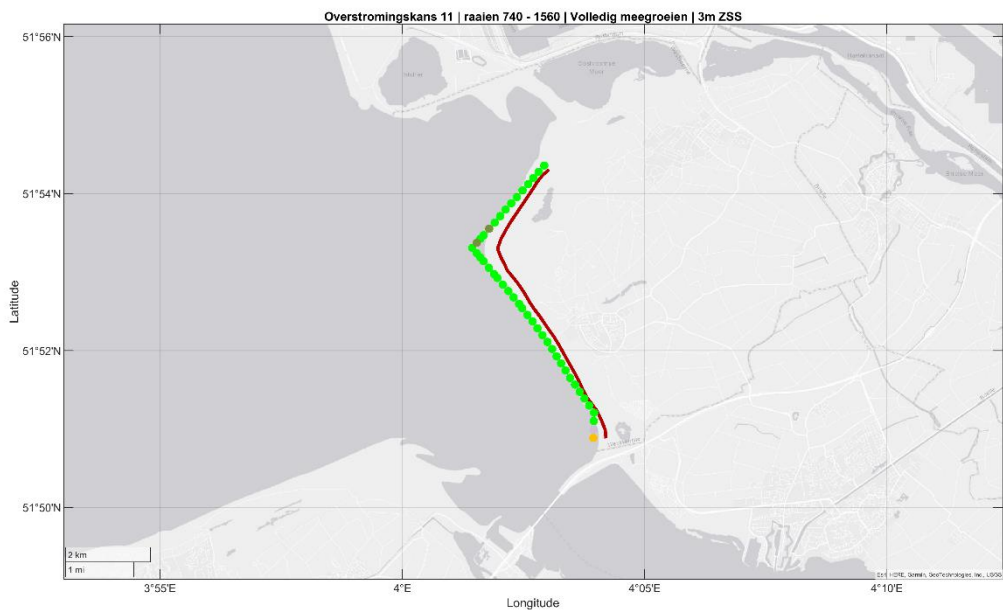
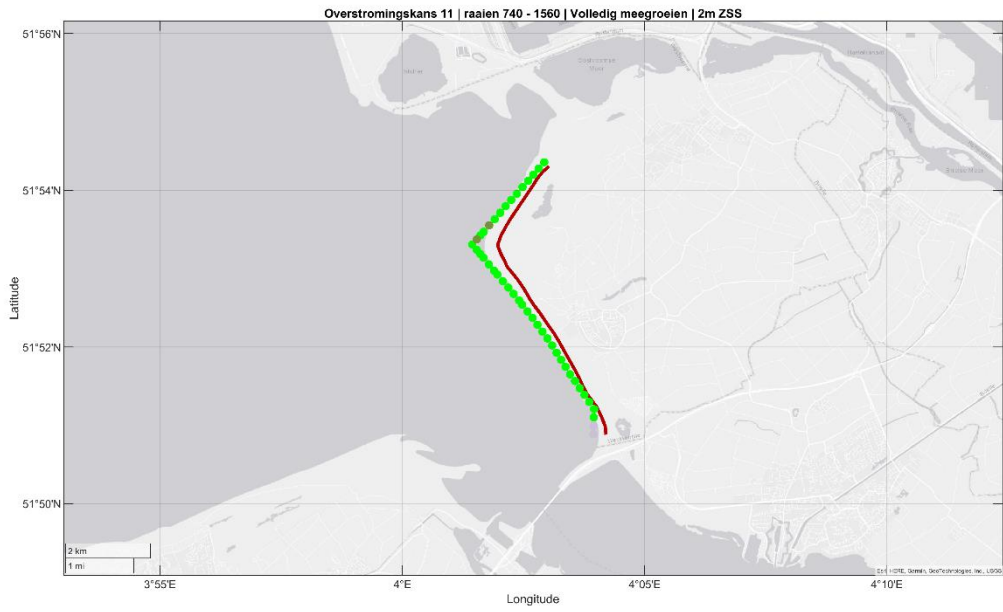


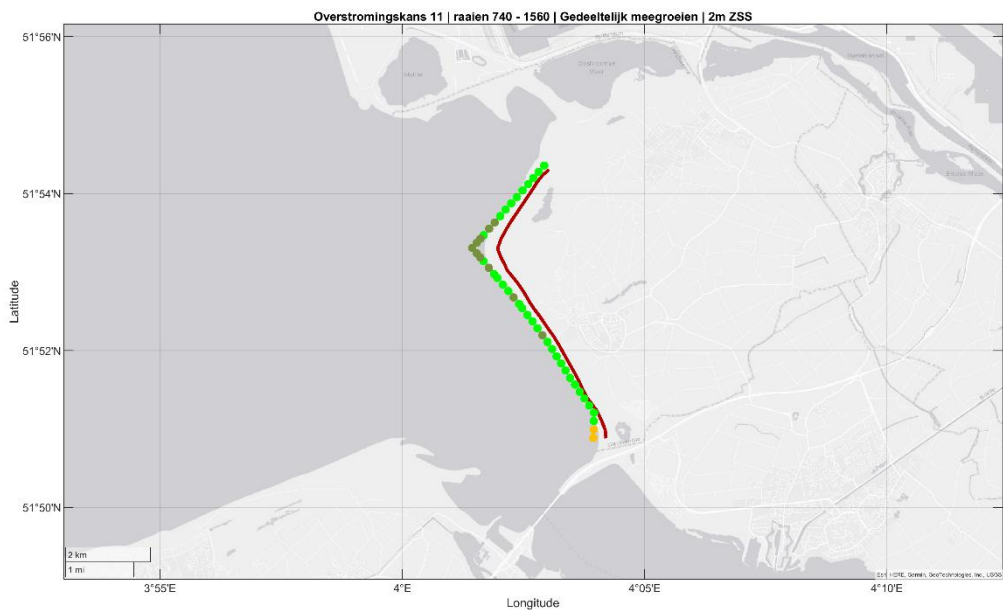
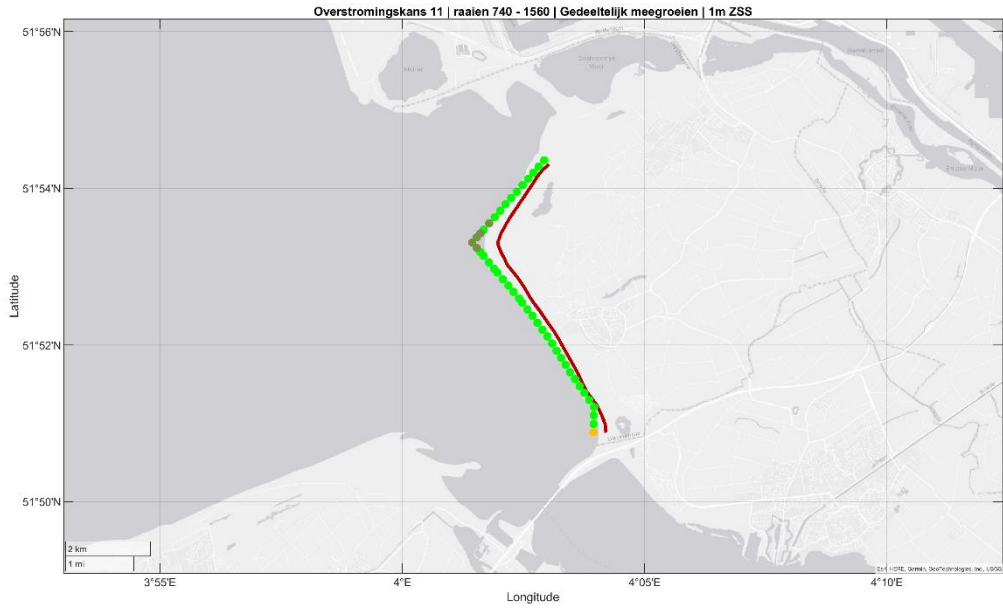


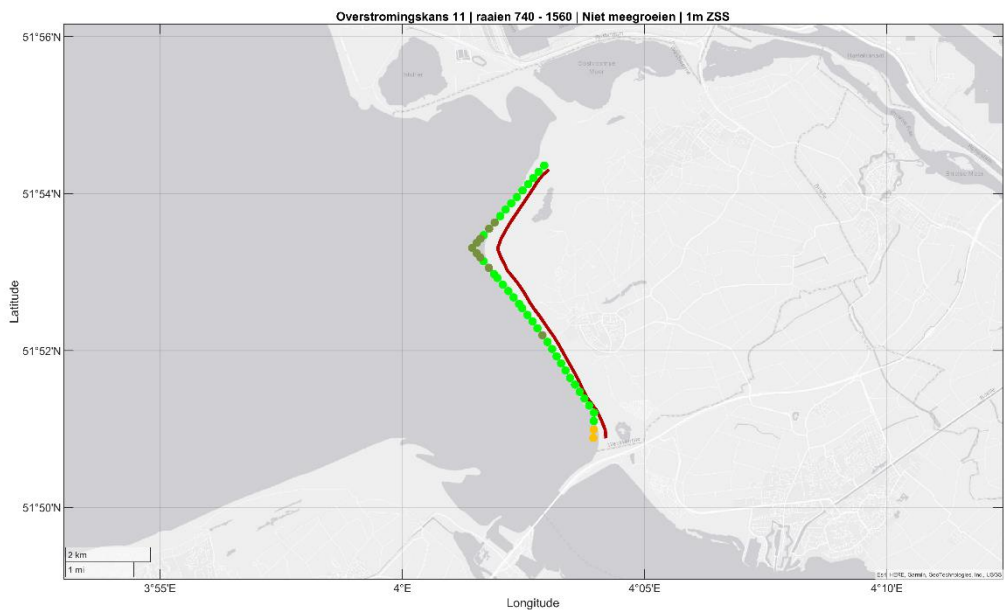
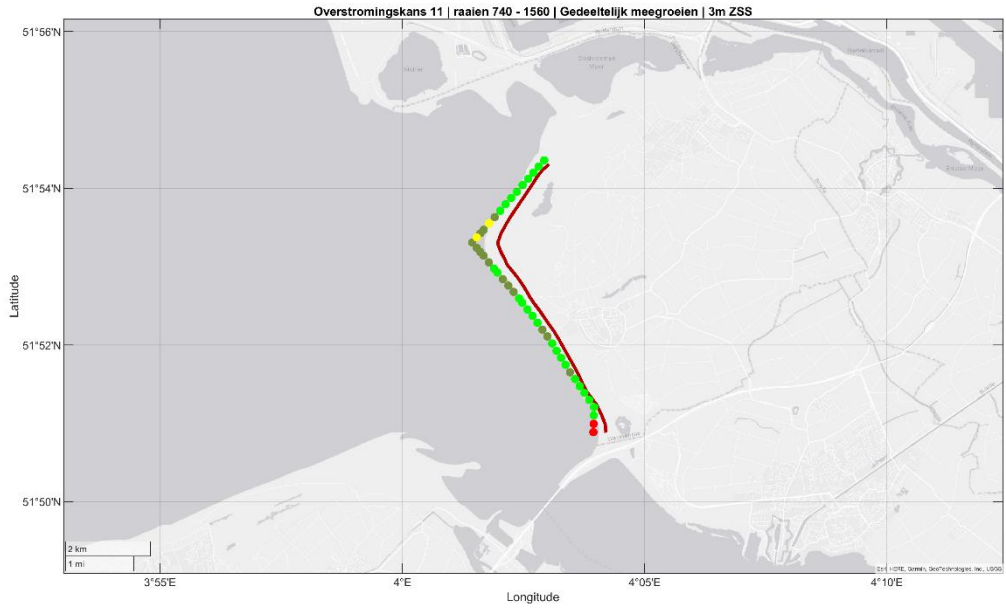


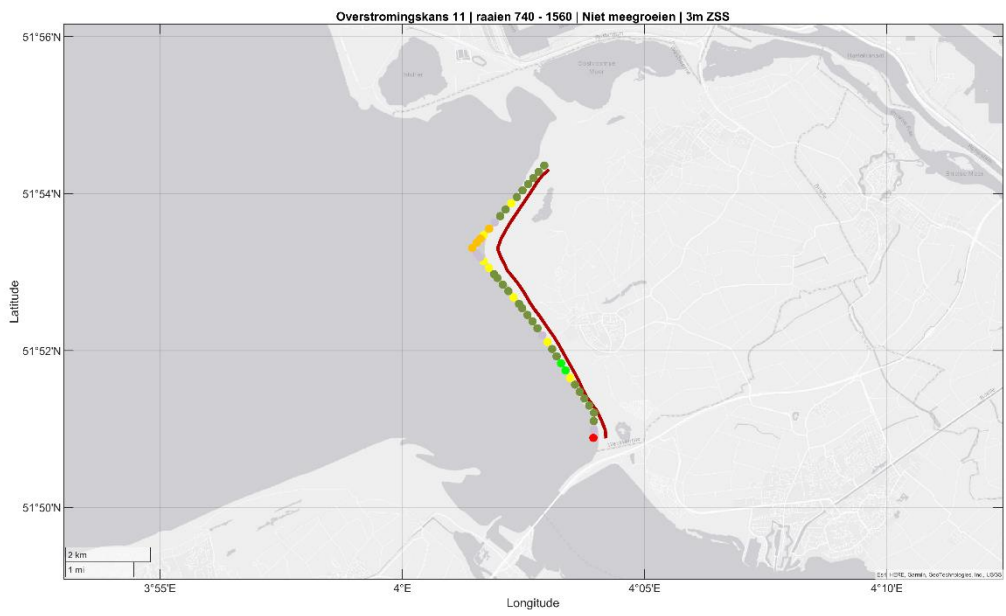
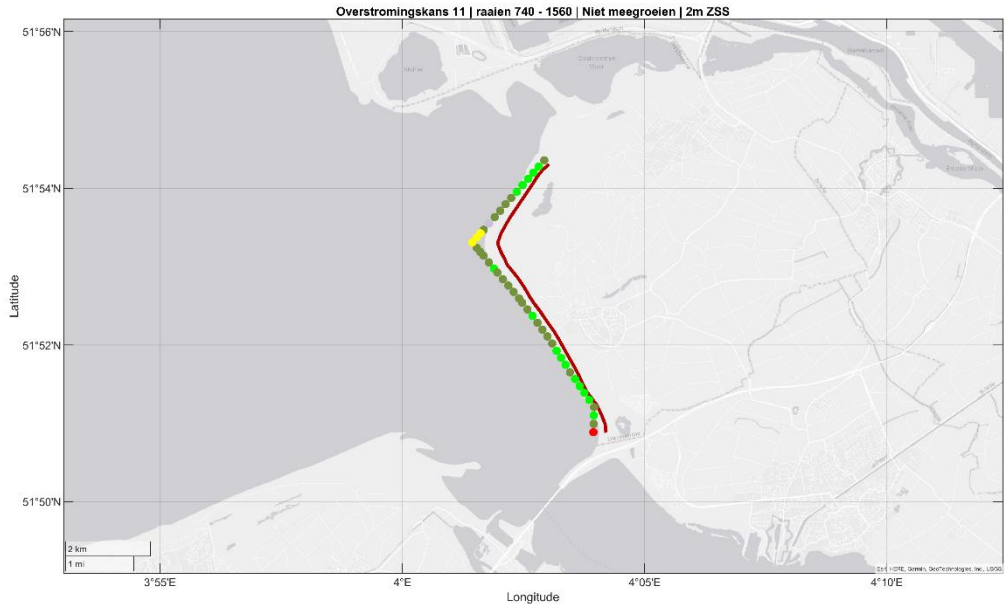
C.9. Voorne



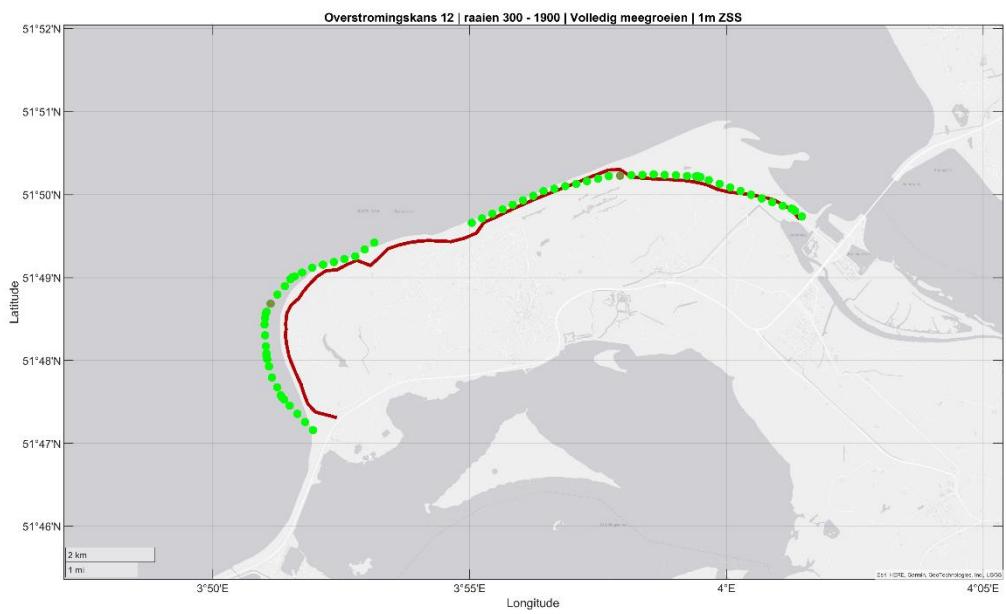
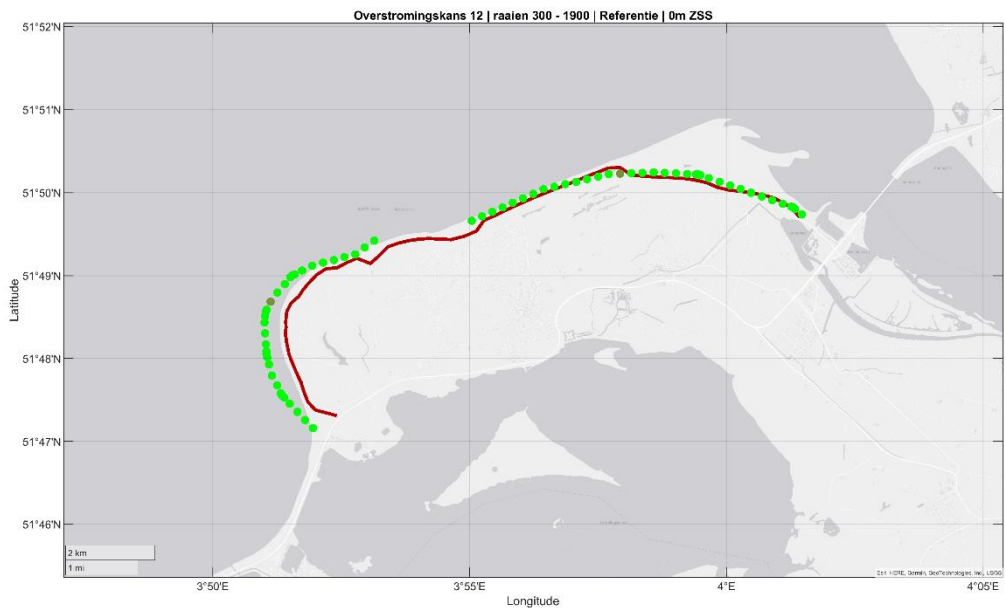


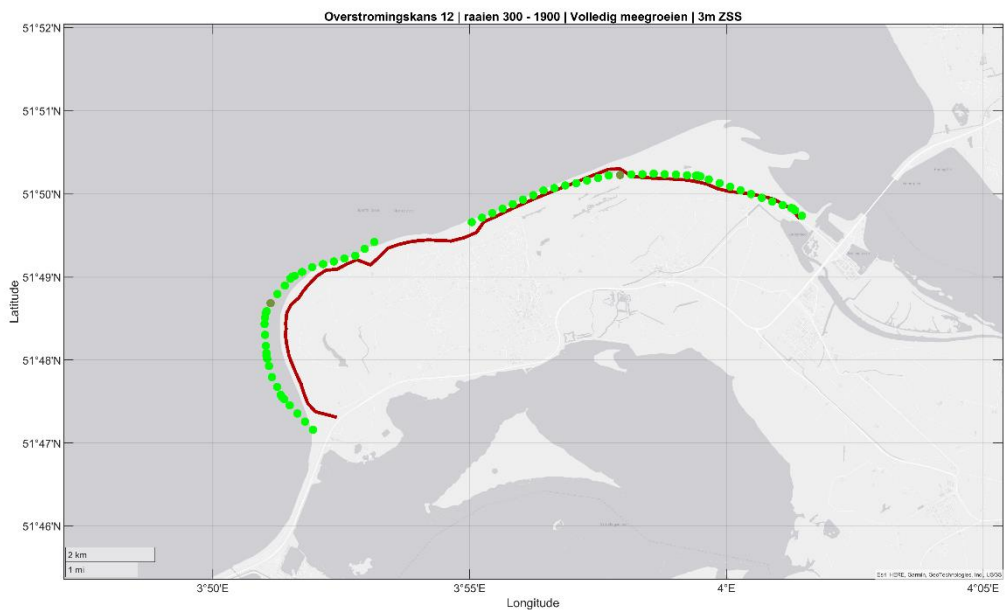
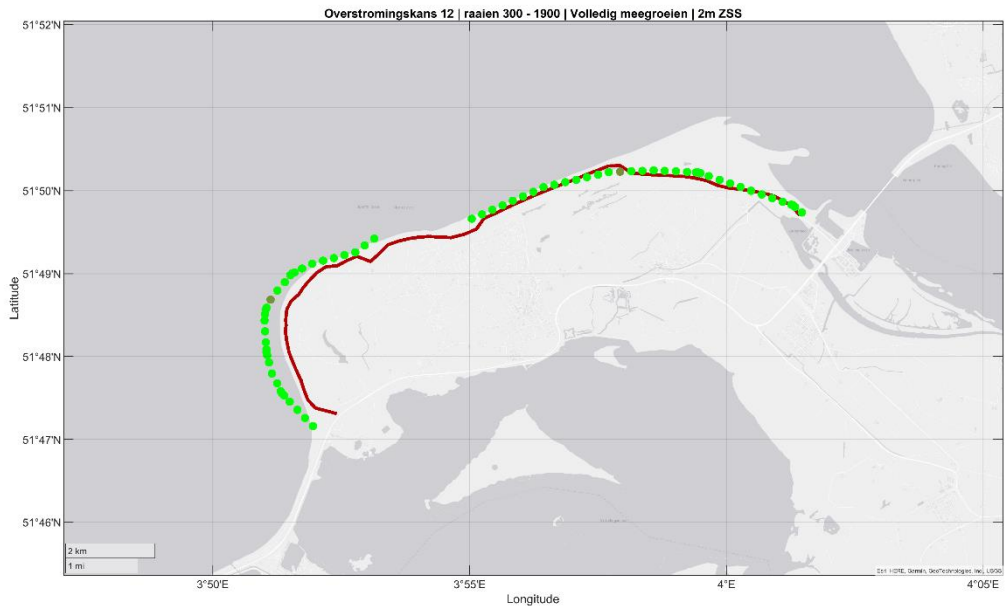


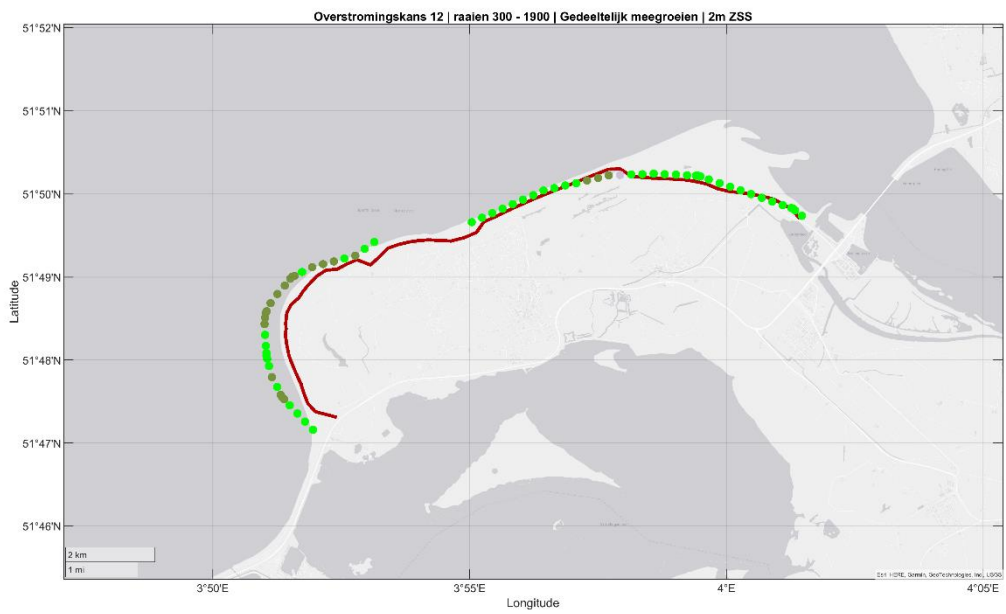
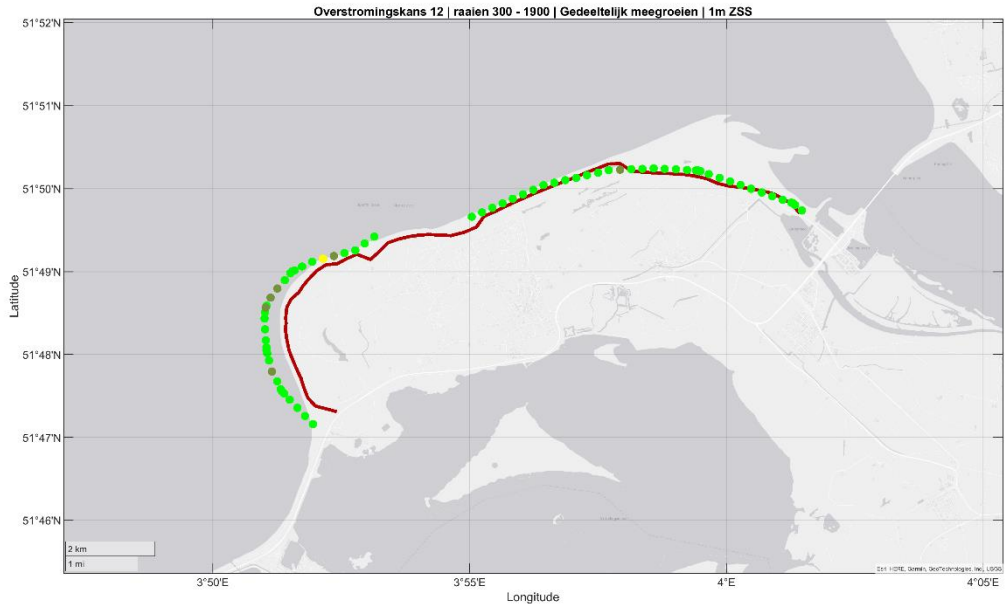


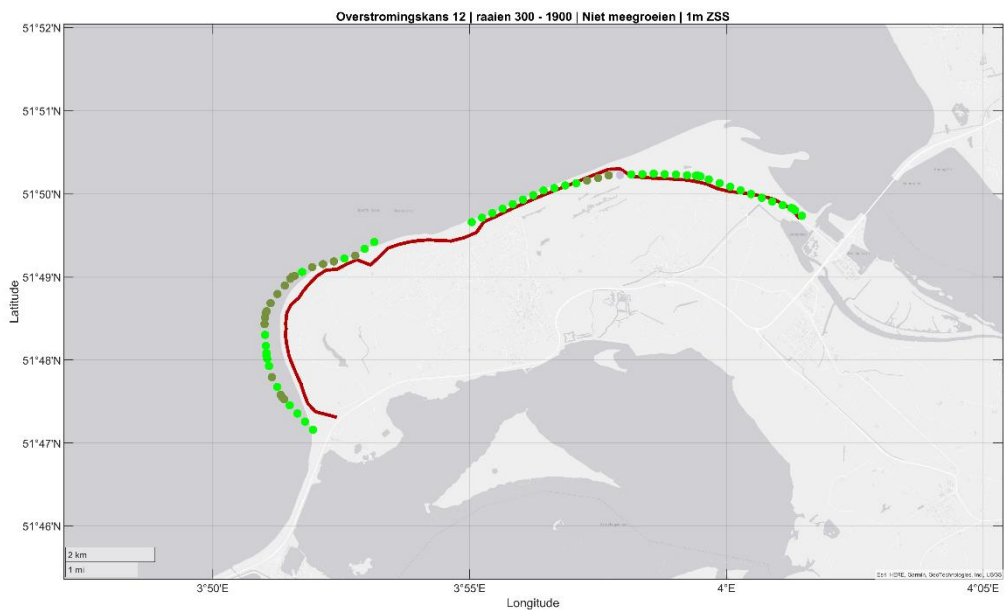
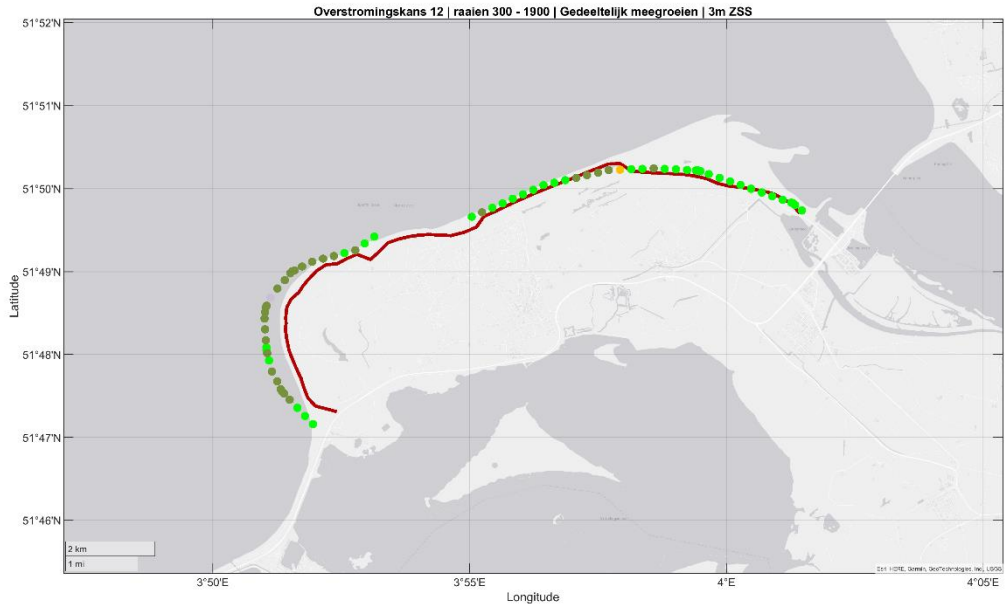


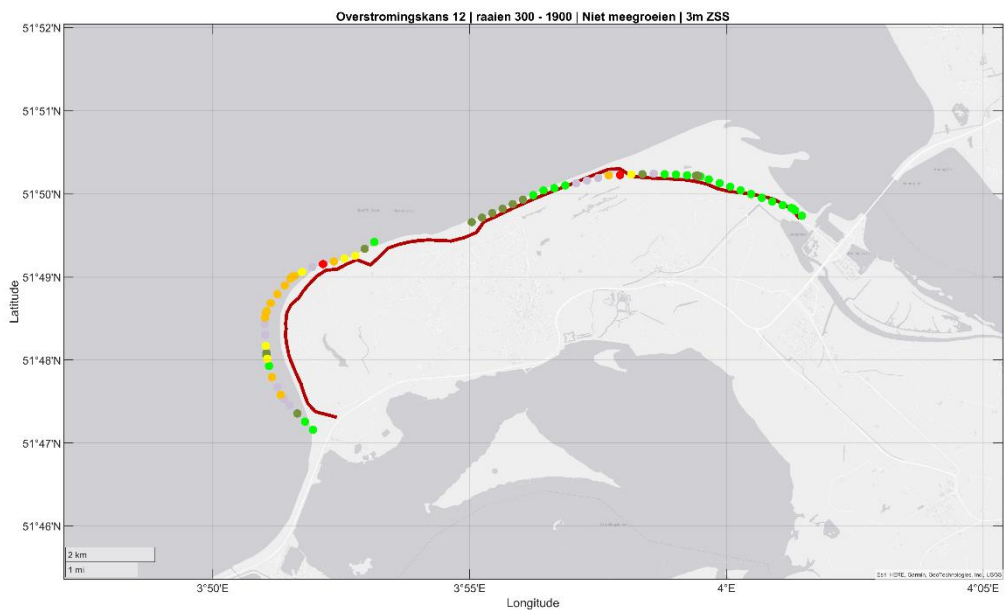
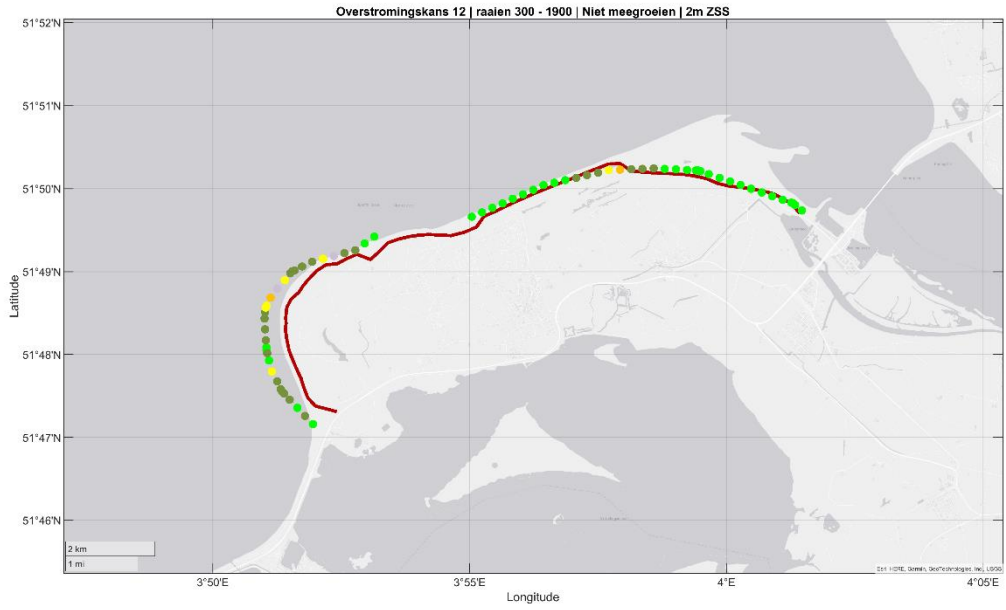
C.10. Goeree



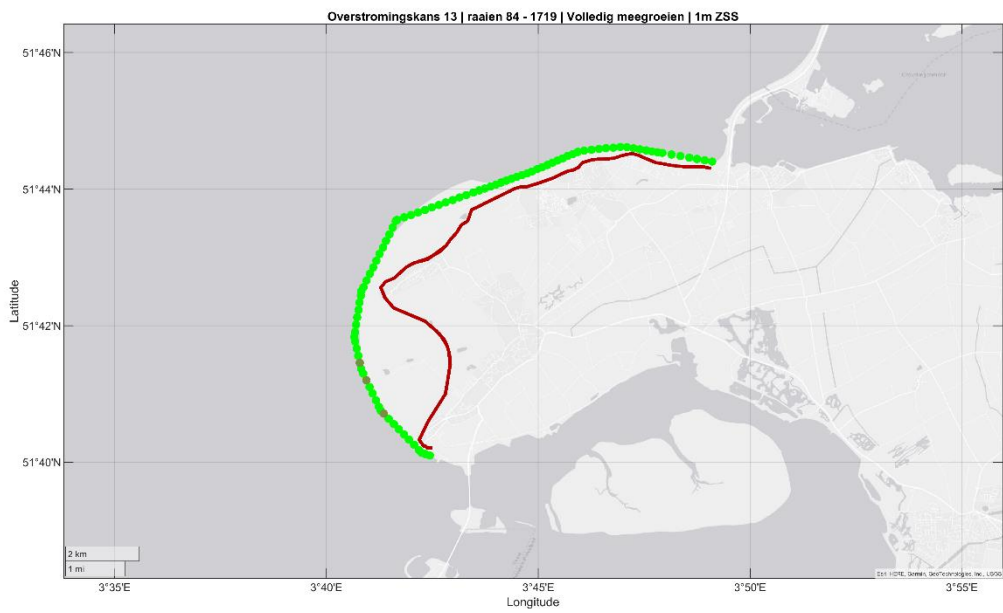
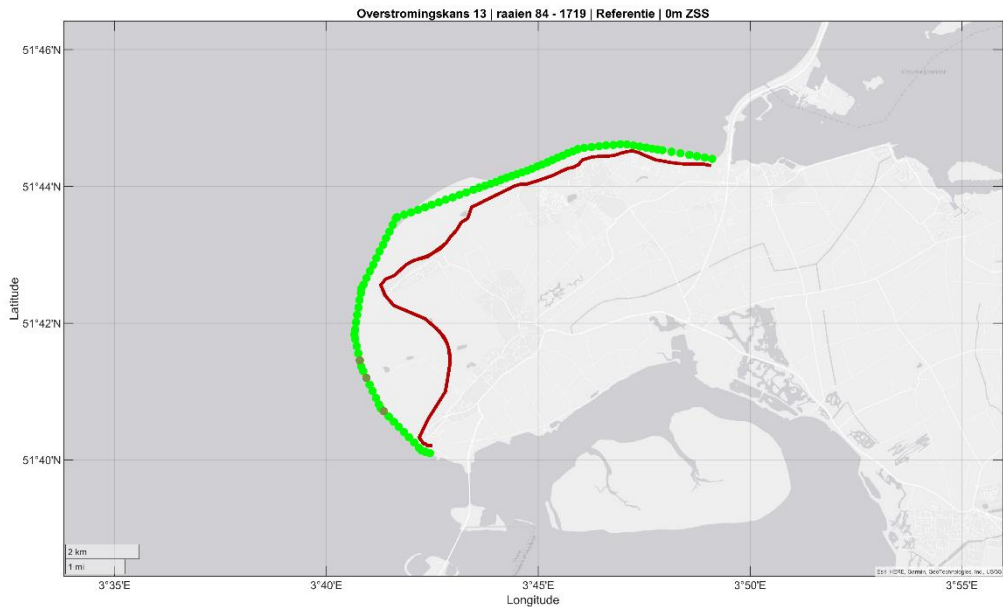


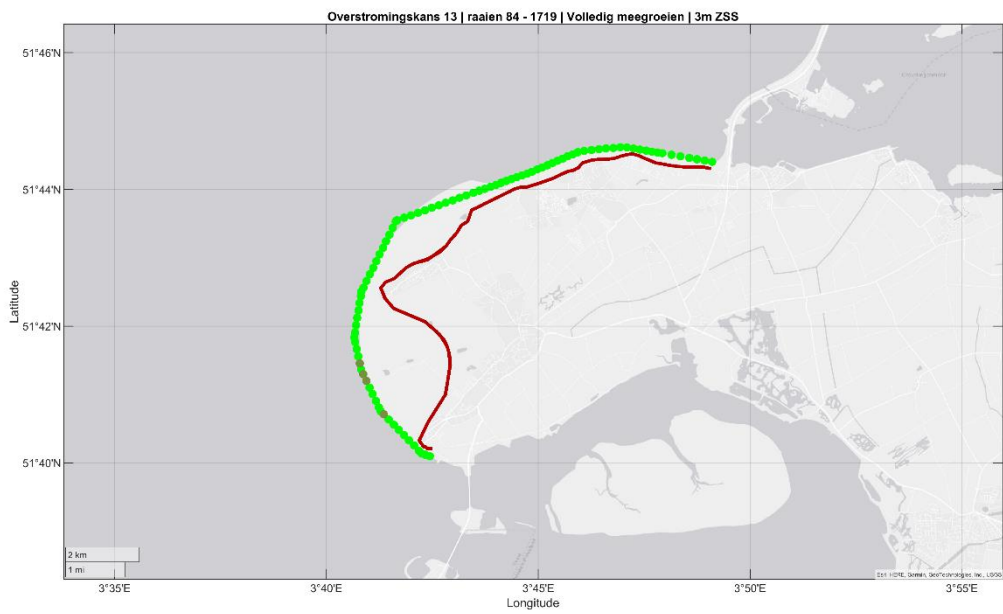
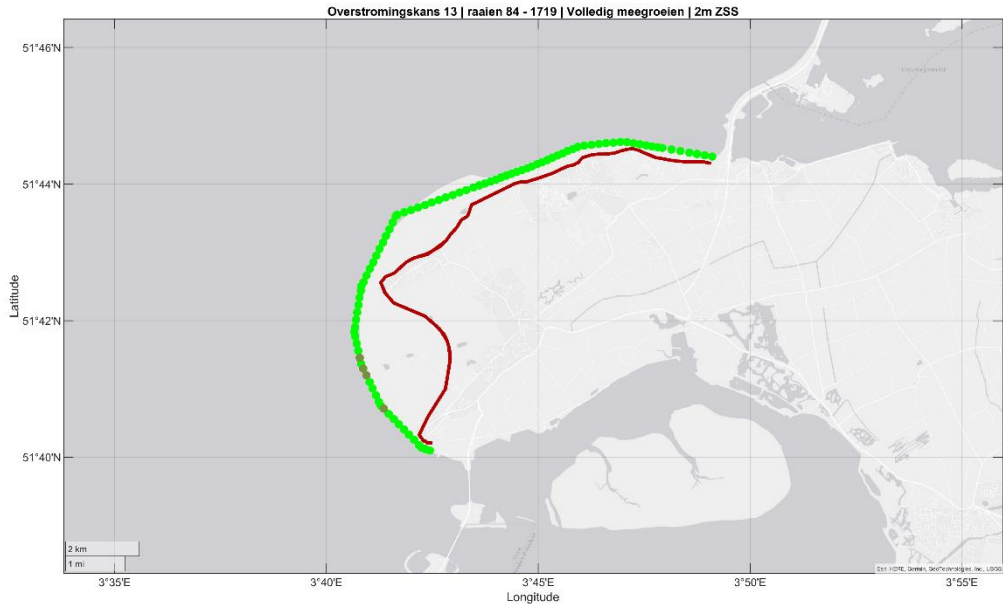


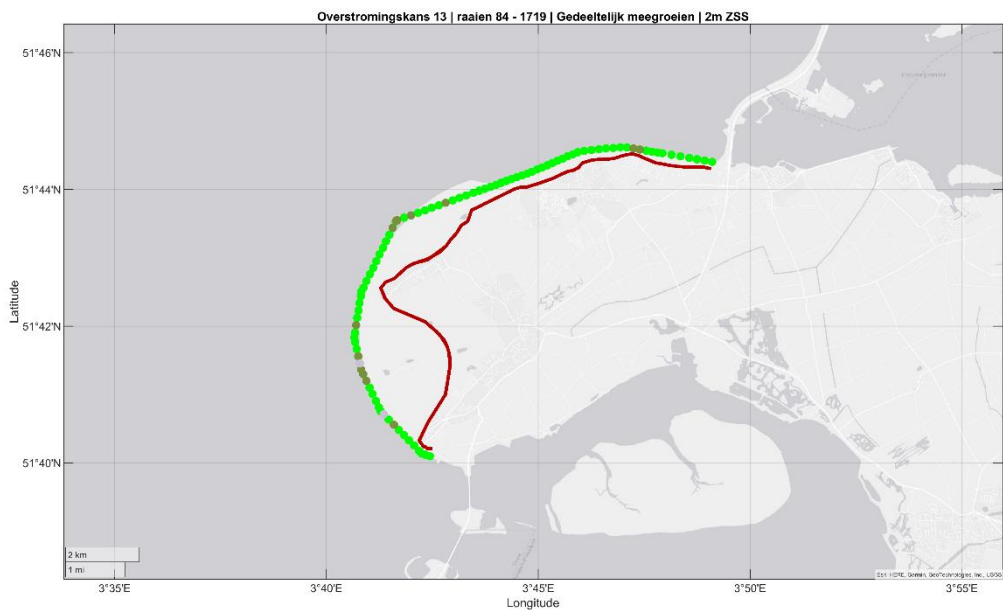
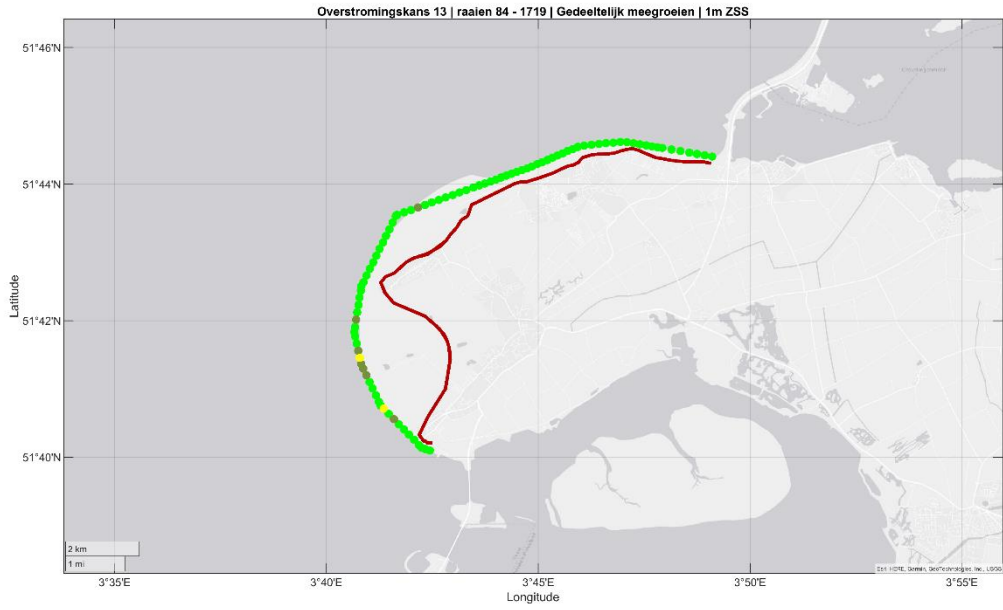


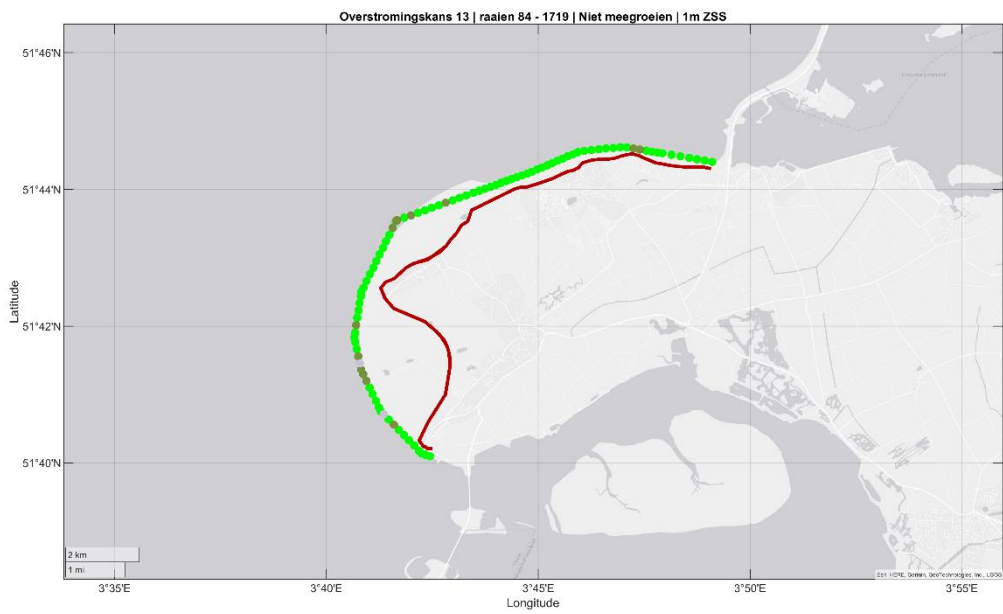
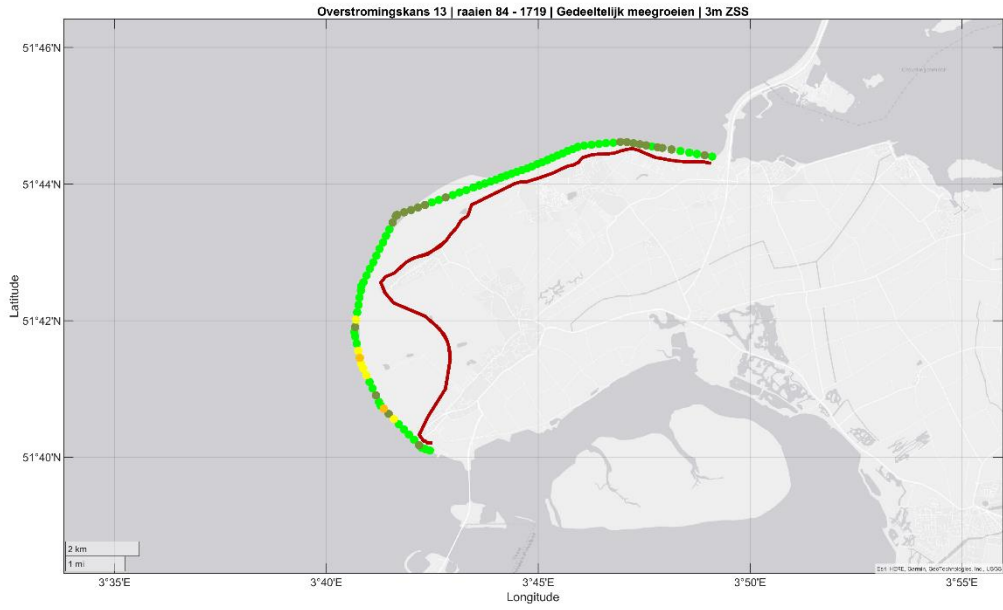


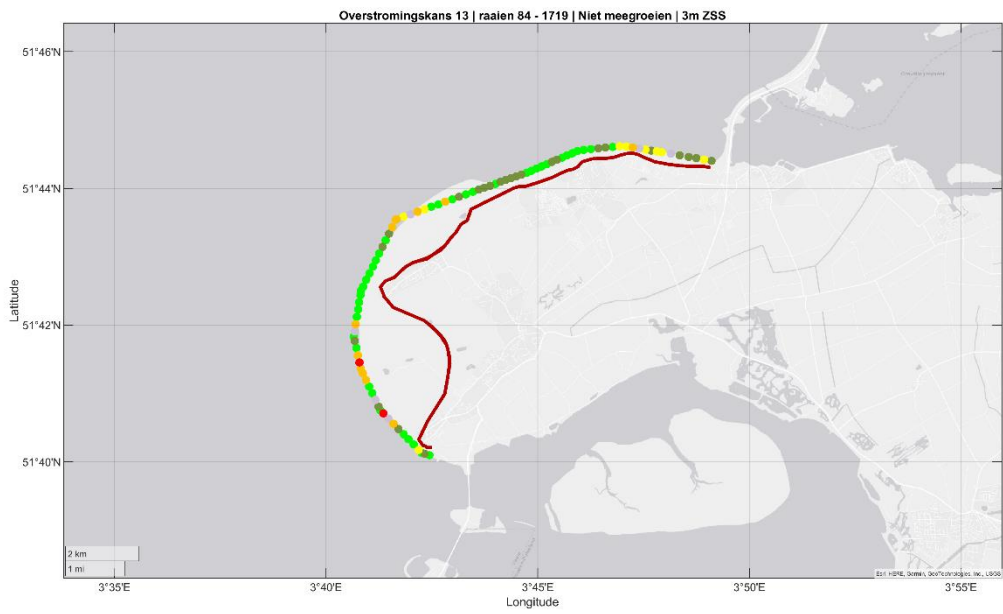
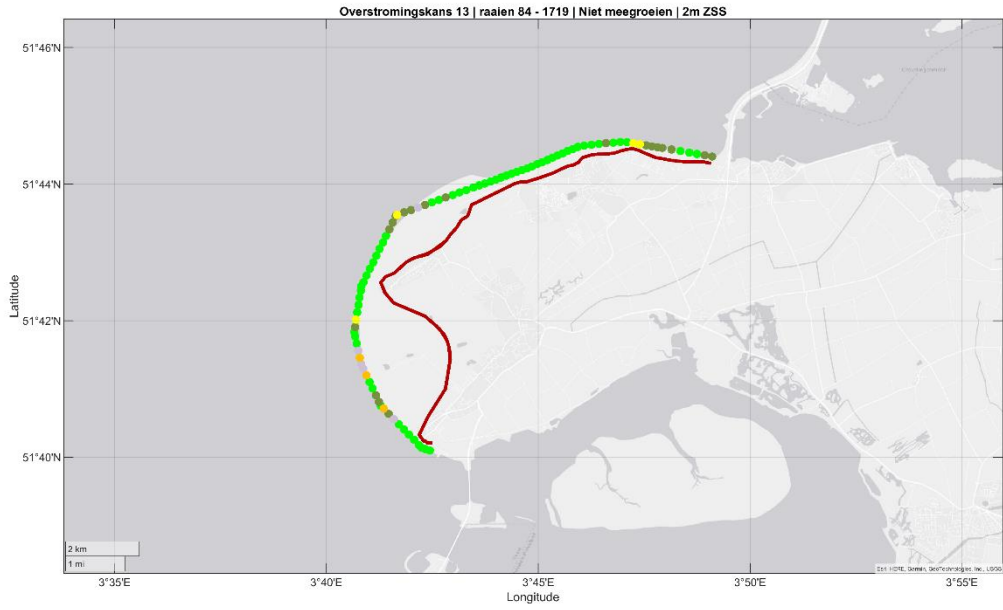
C.11. Schouwen



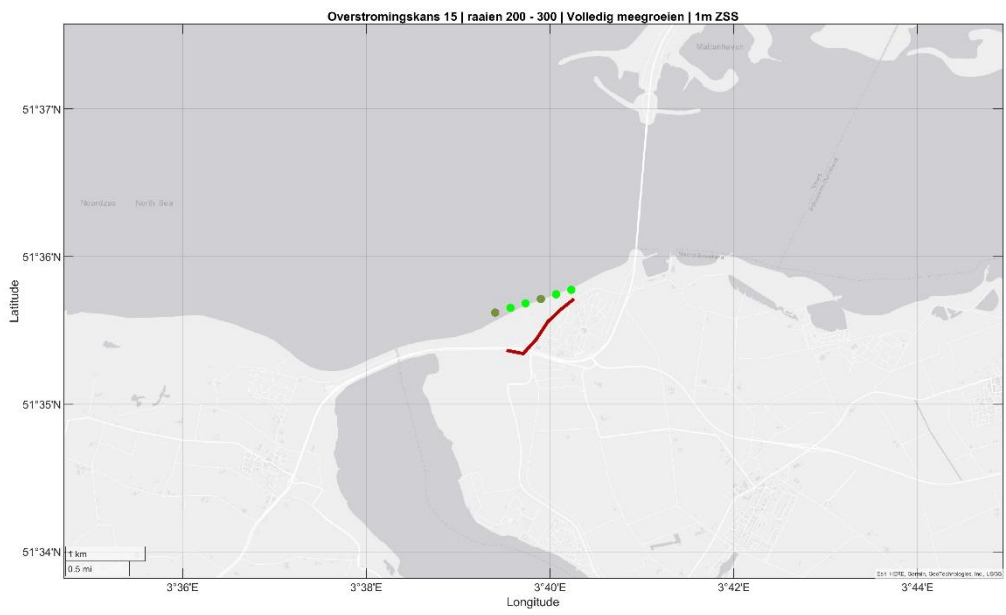
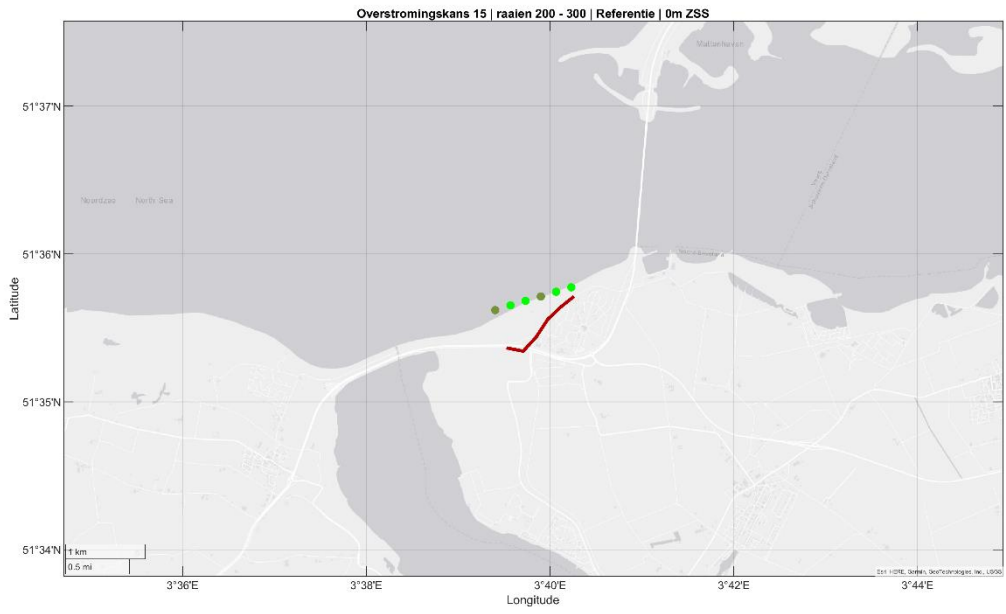


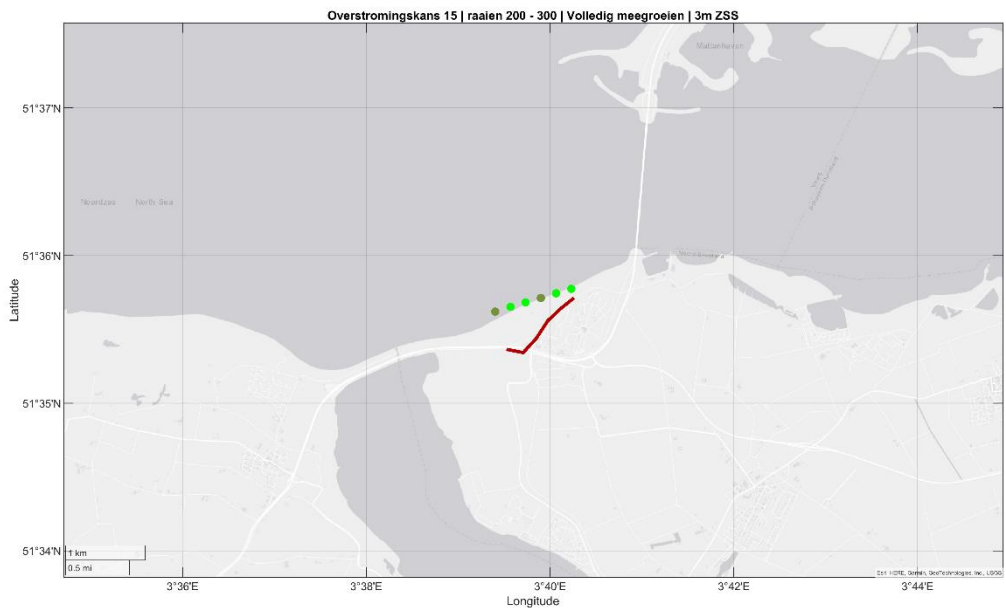
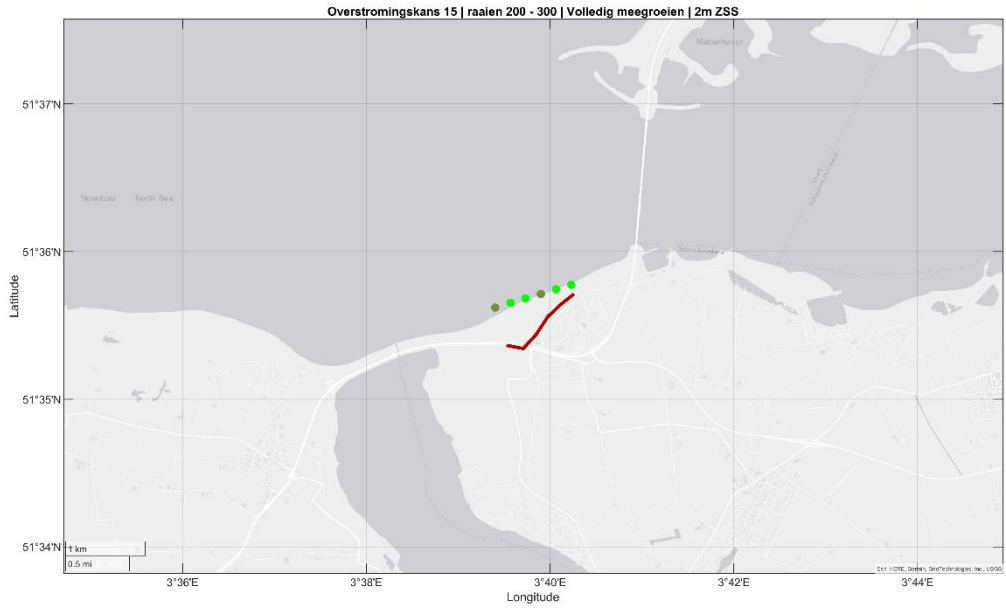


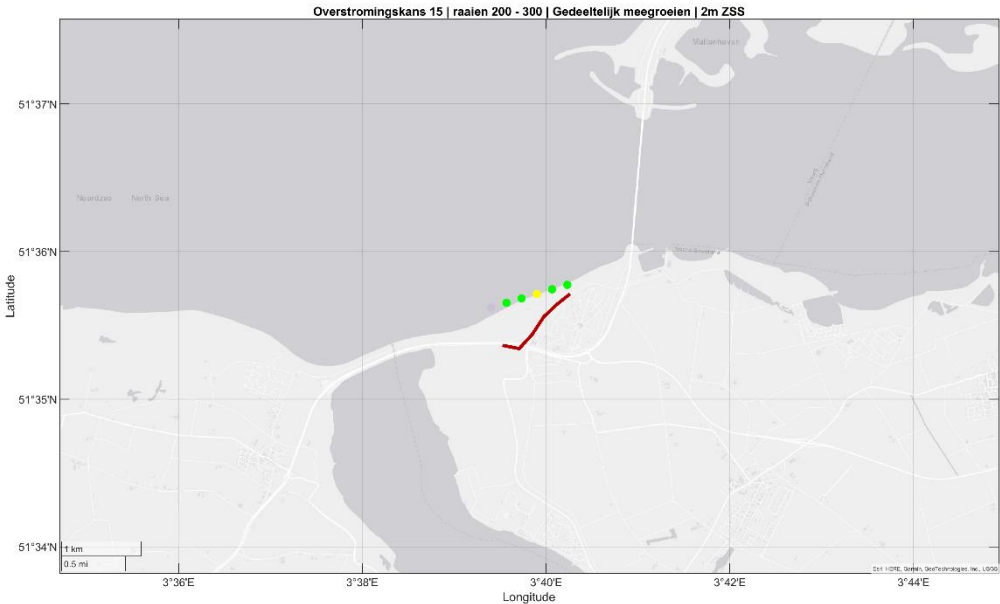
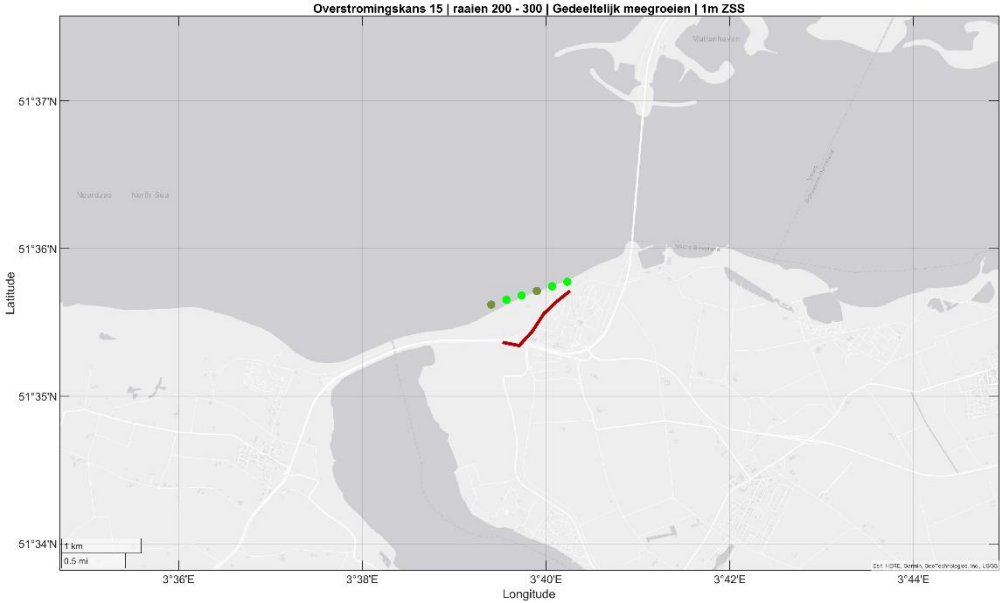


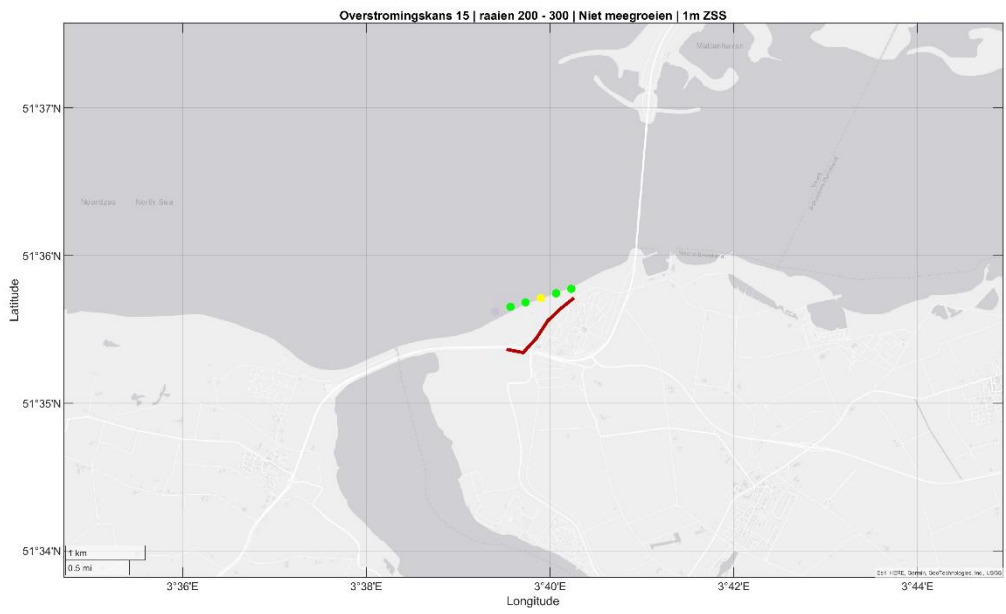
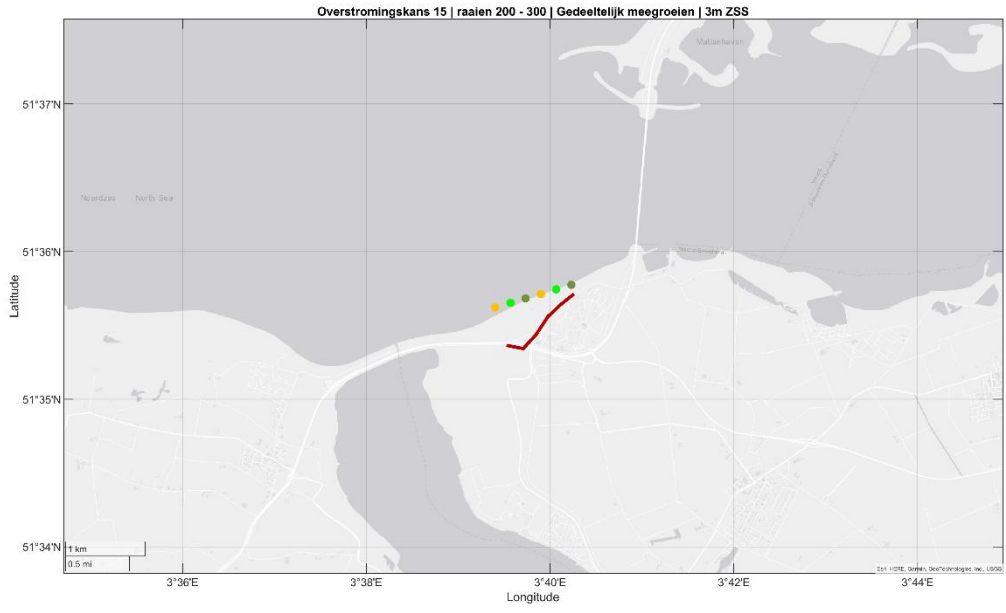


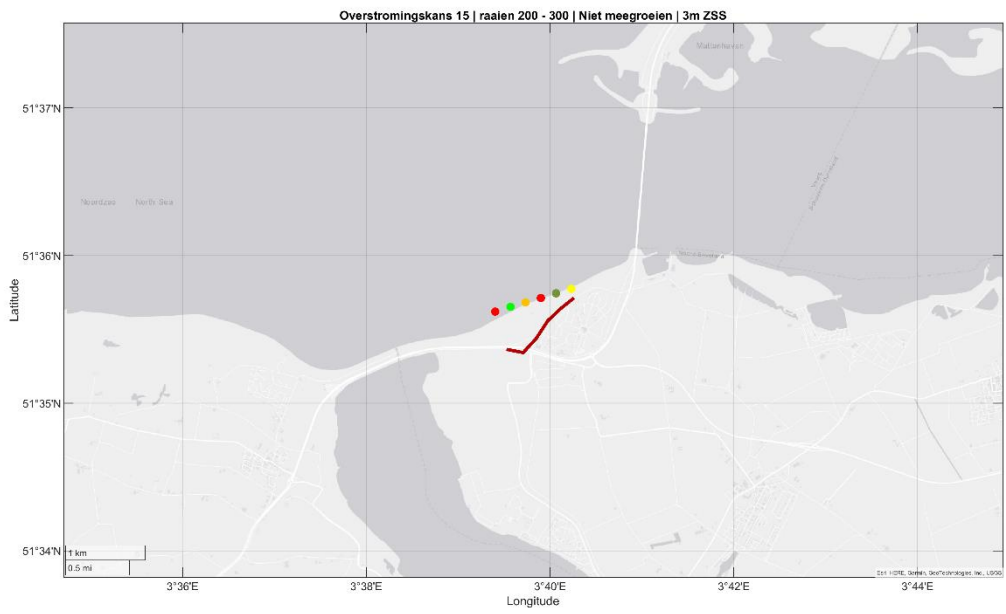
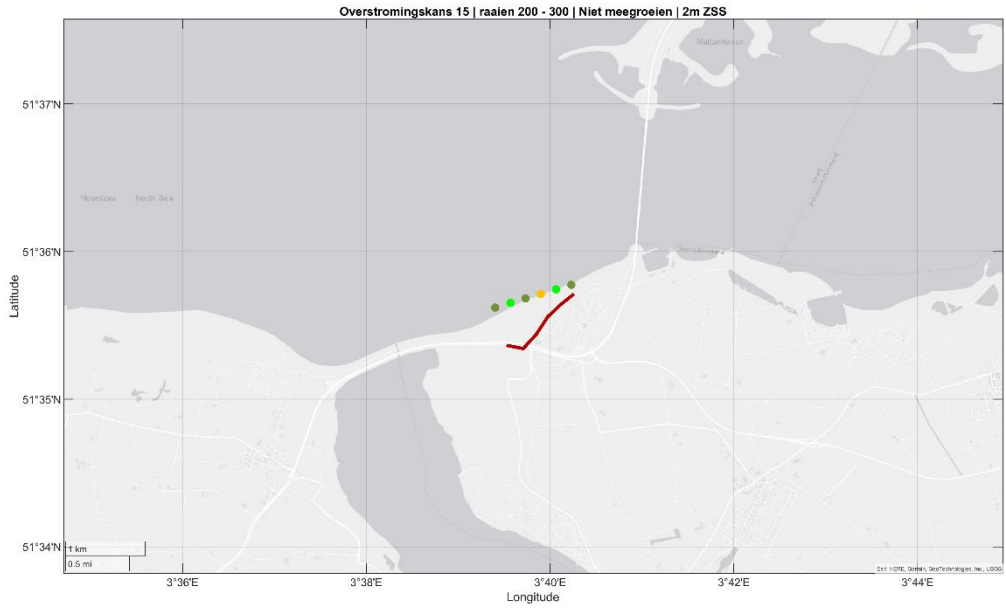
C.12. Noord-Beveland



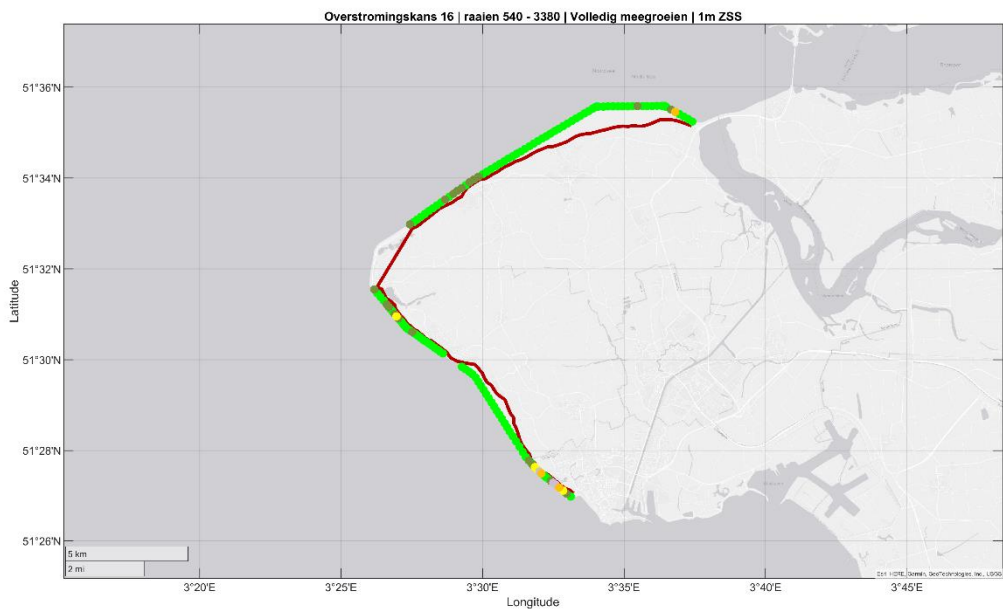
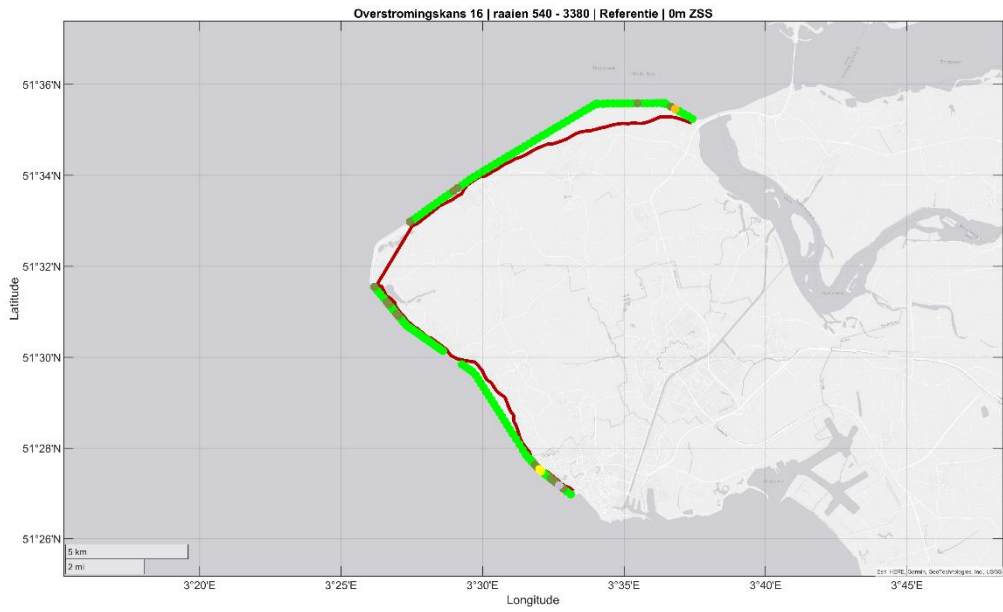


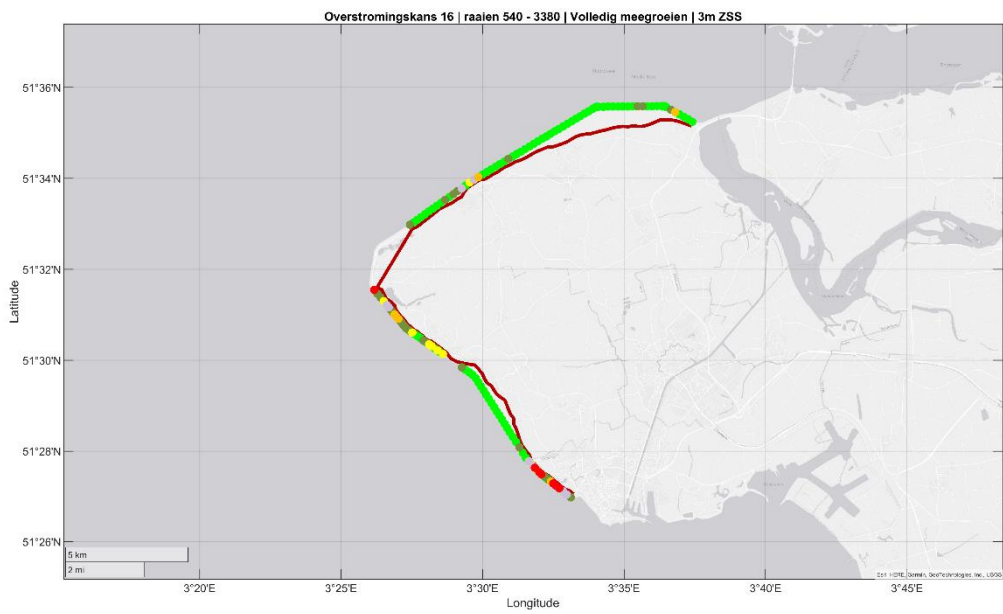
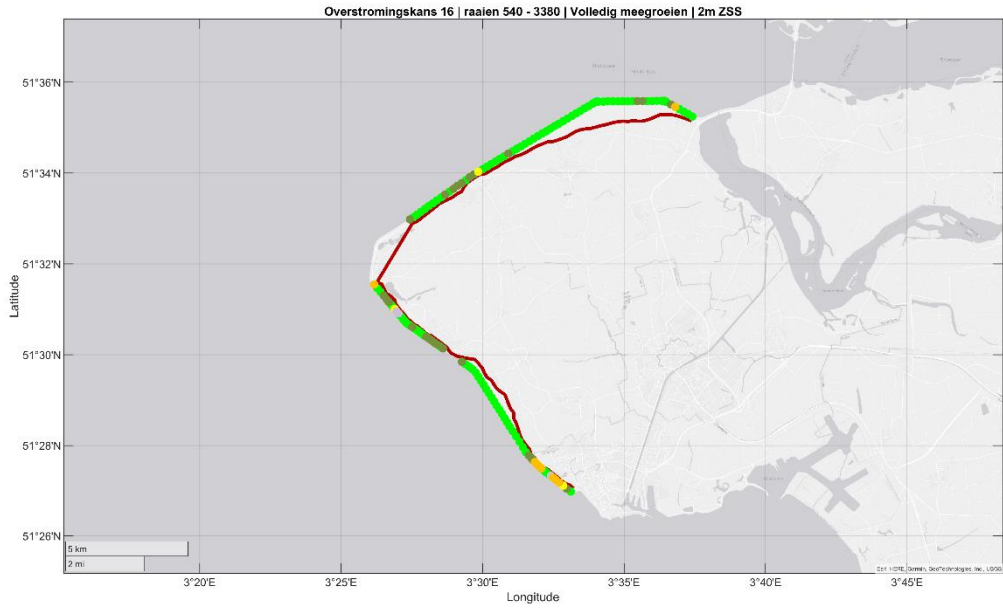


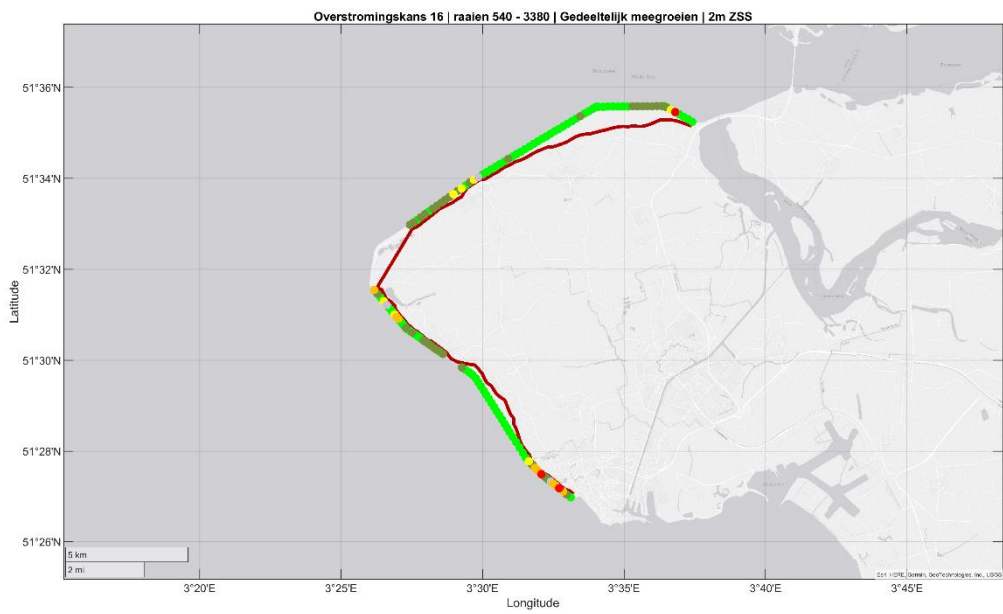
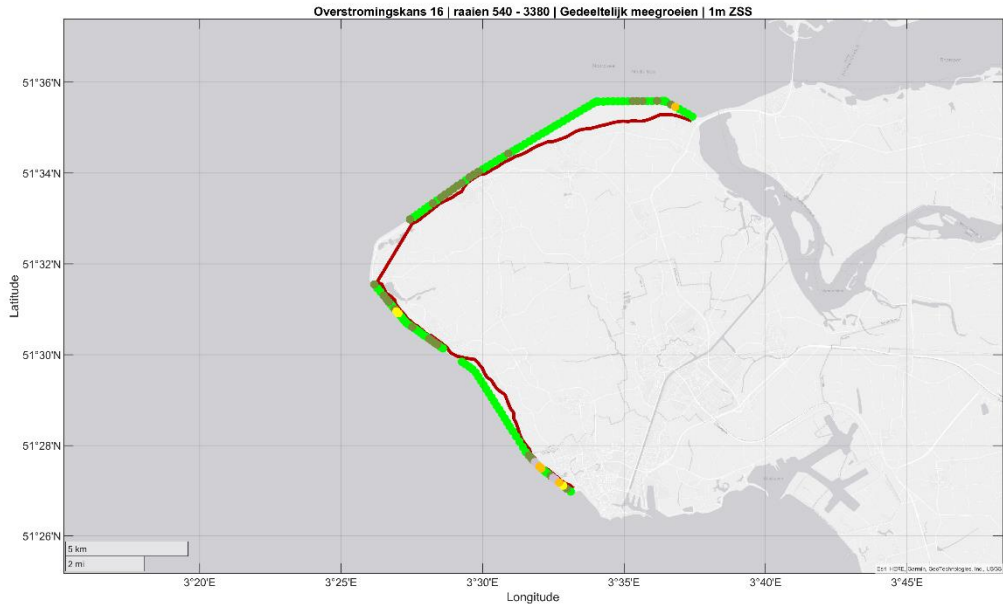


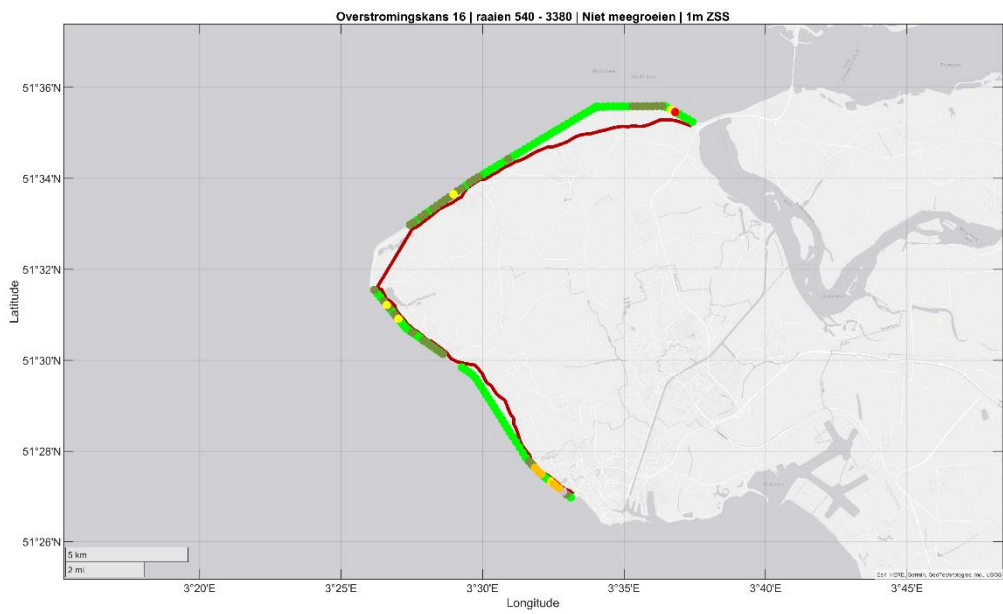
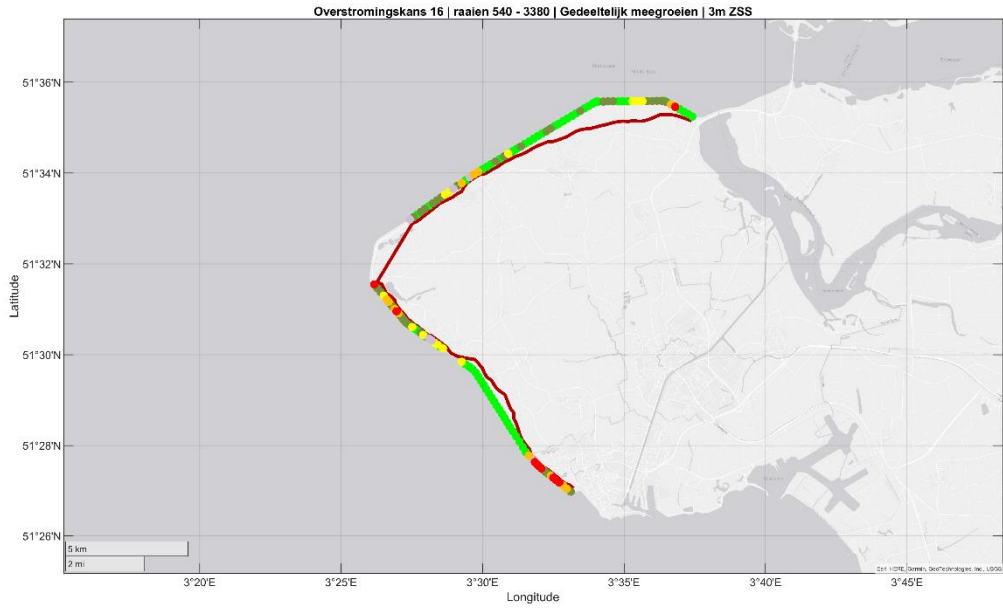


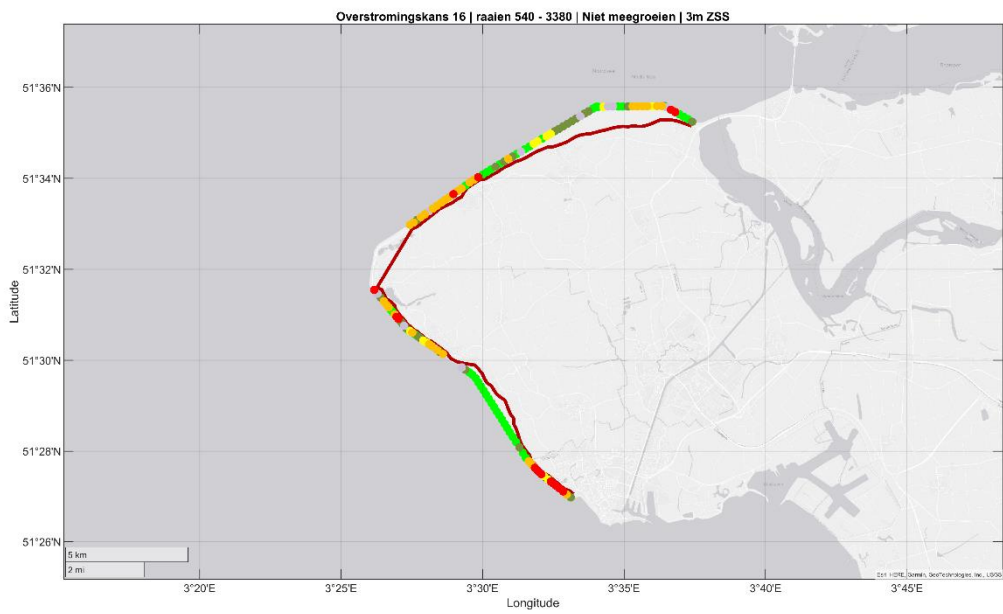
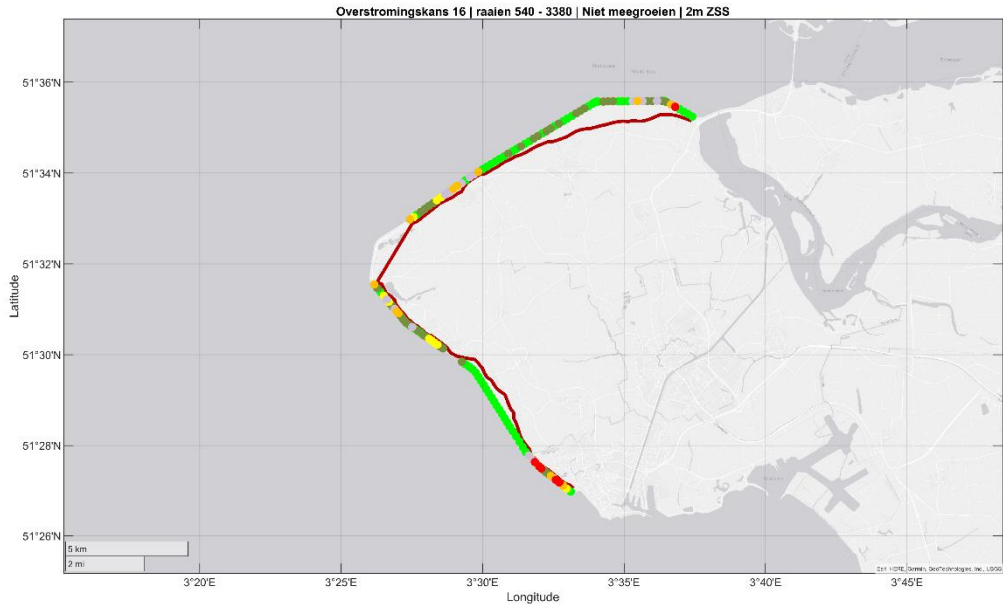
C.13. Walcheren



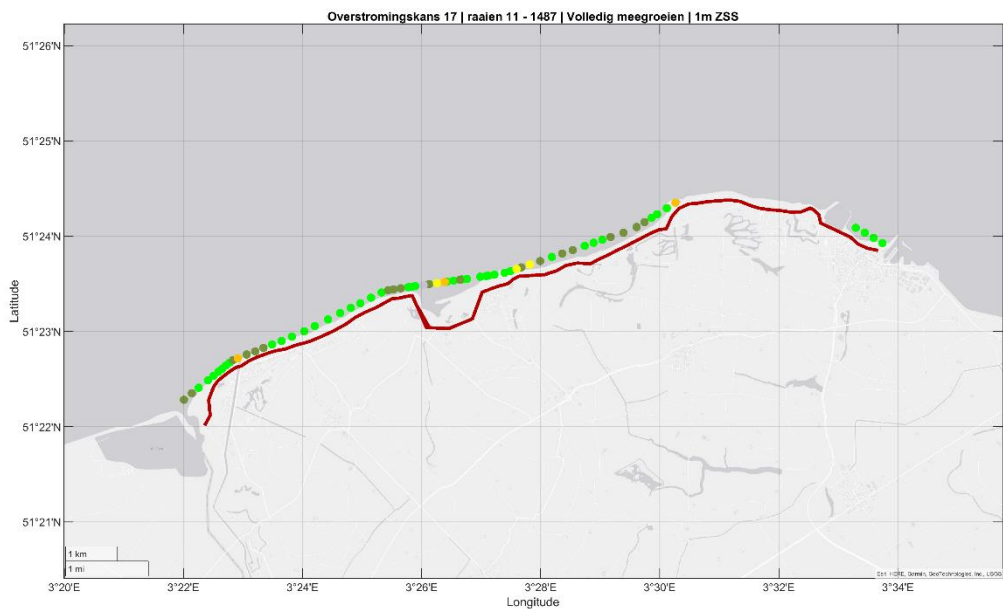
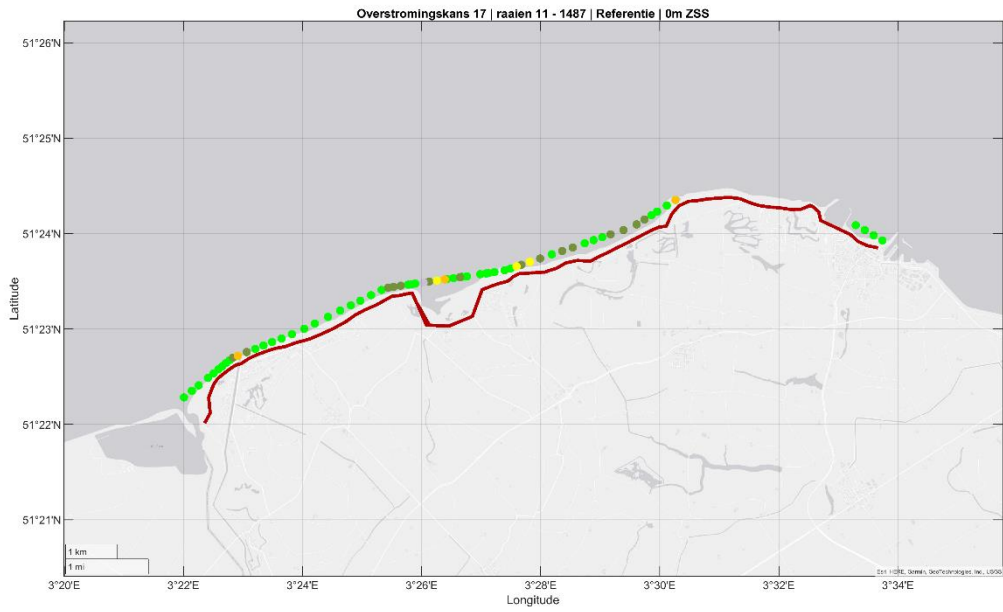


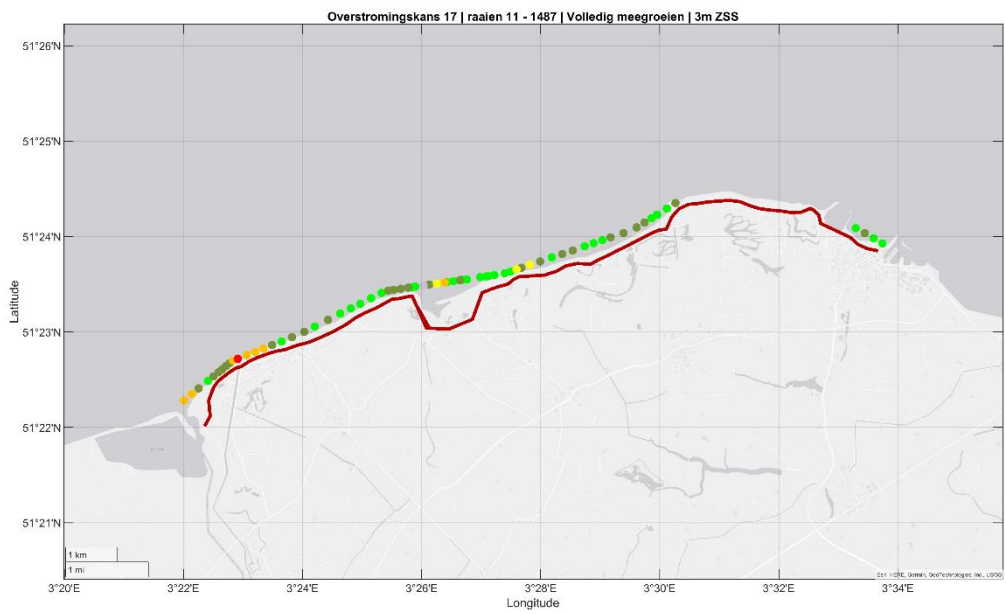
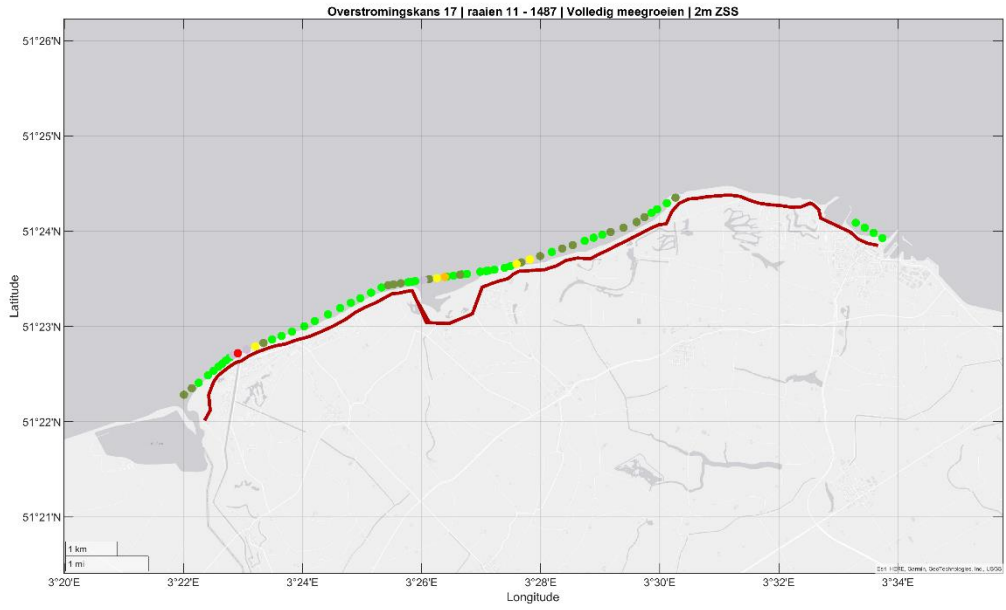


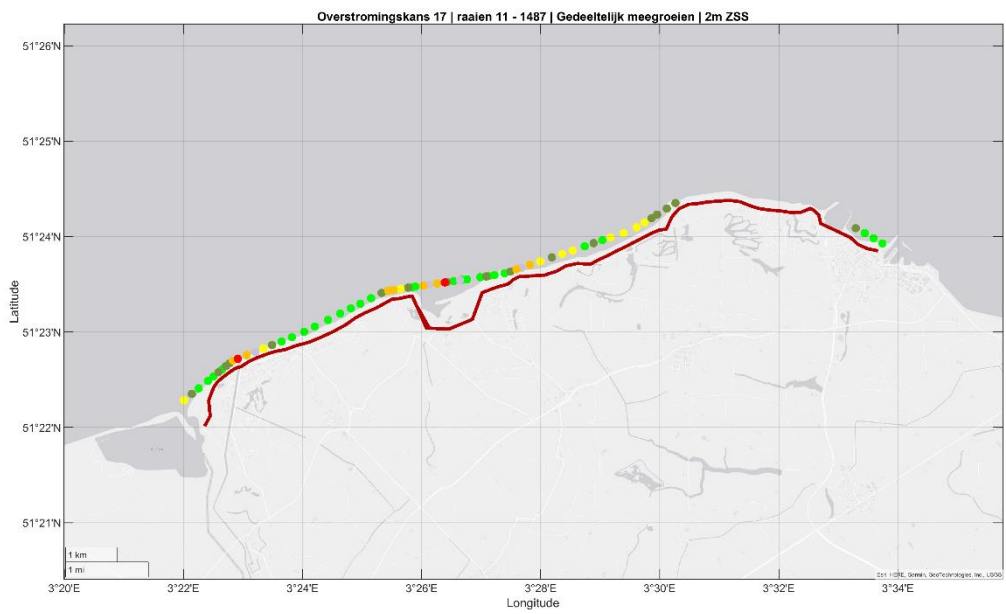
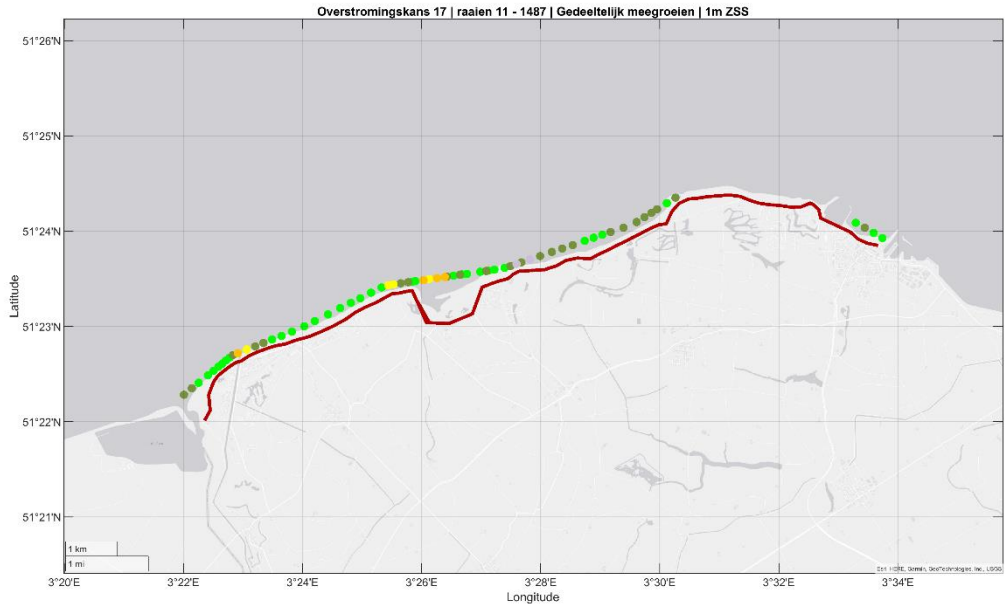


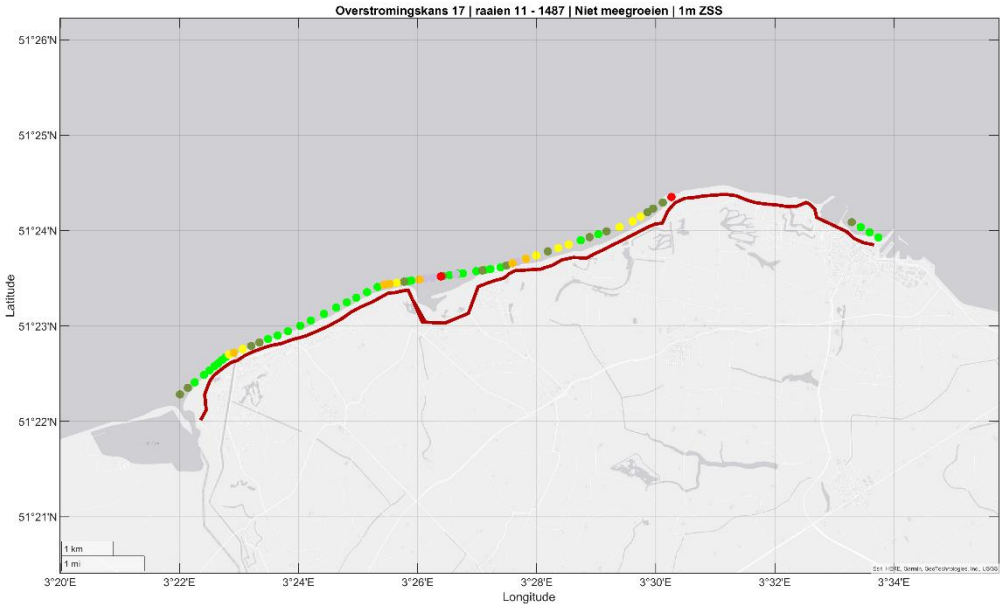
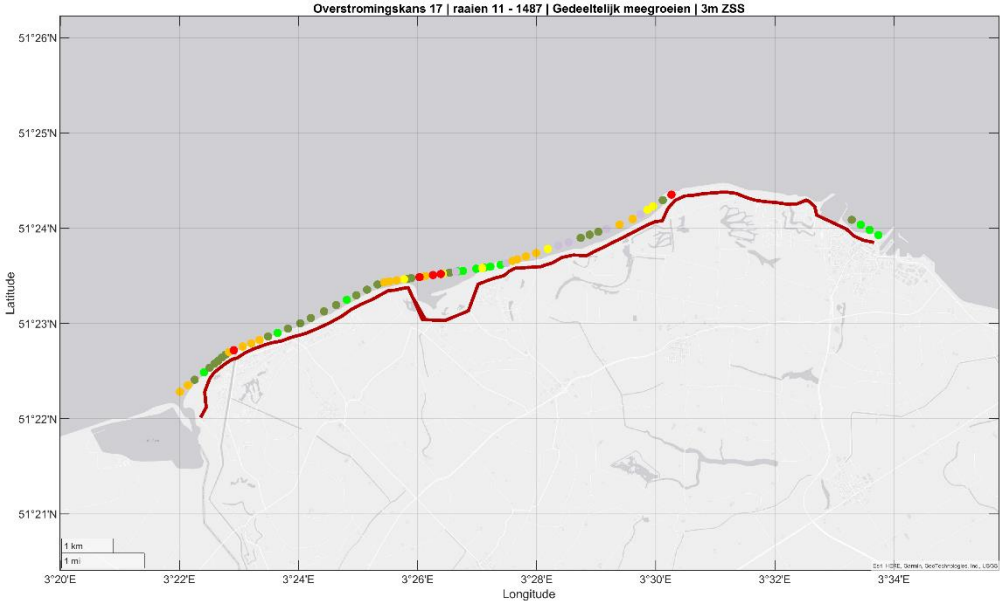


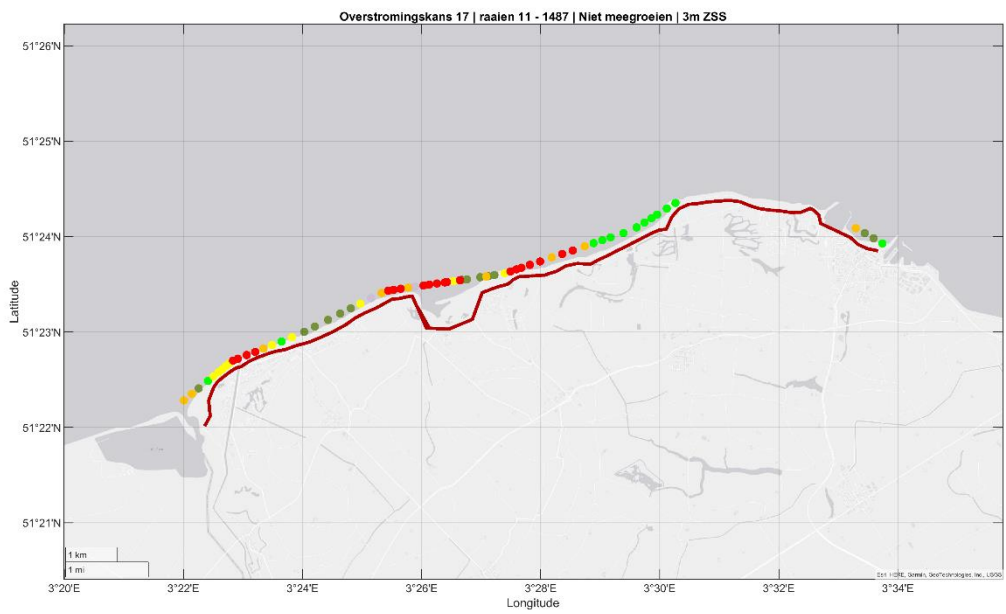
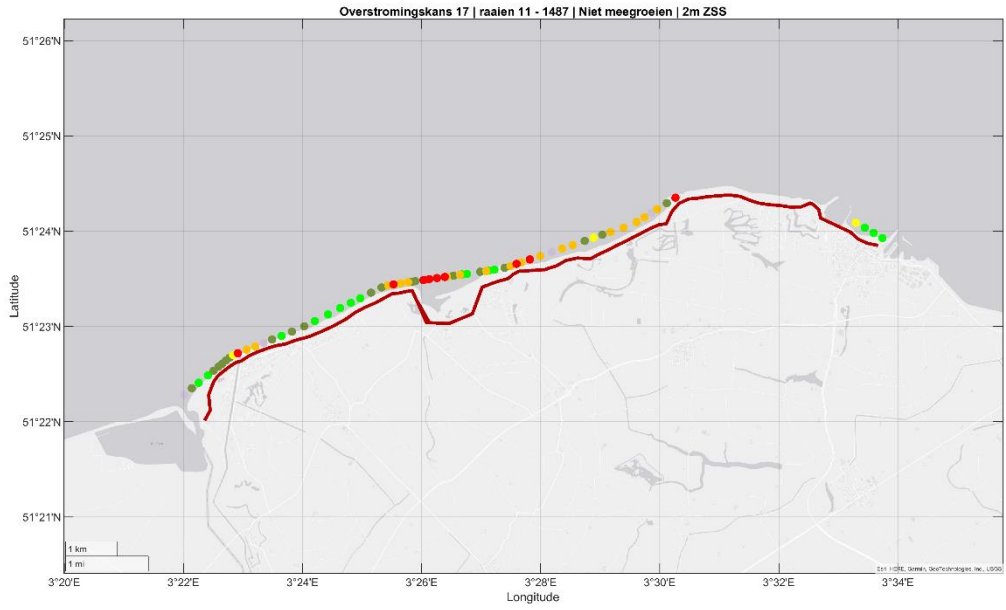
C.14. Zeeuws-Vlaanderen











Bijlage D. Kaartmateriaal resultaten versterkingsopgave en verplaatsing binnenduinrand bij niet meegroeien scenario.

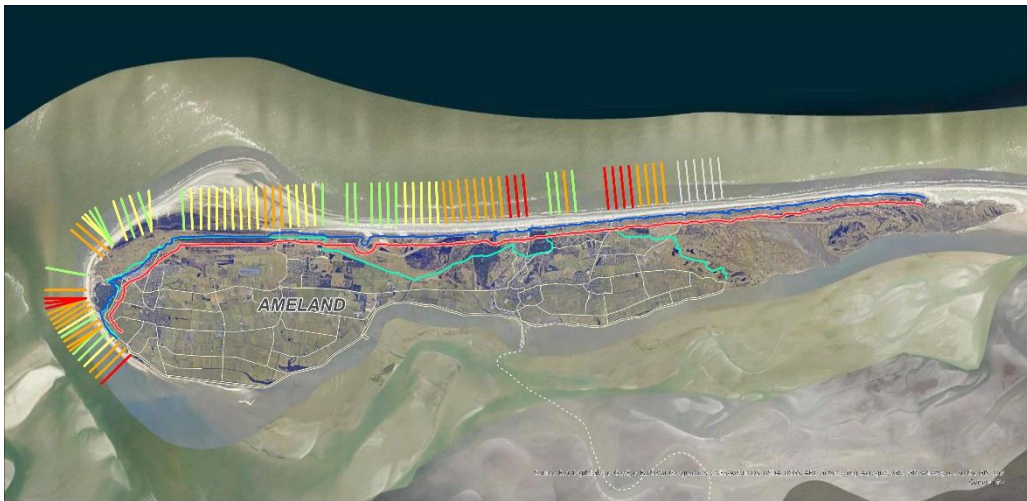
Legenda kaarten:



D.1. Schiermonnikoog



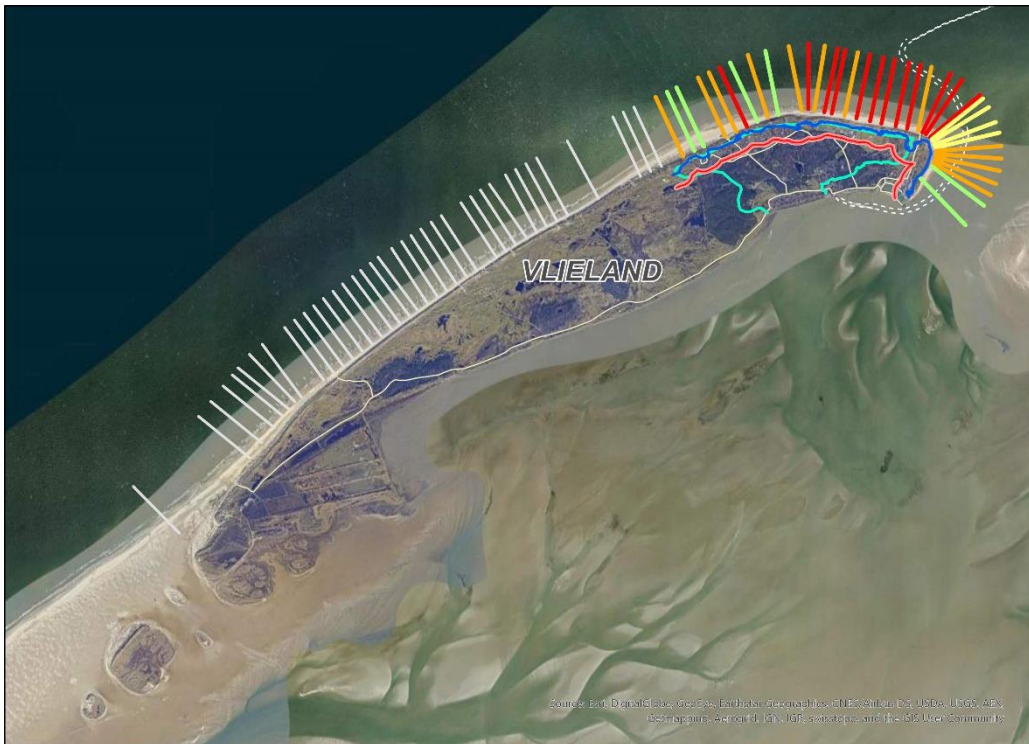
D.2. Ameland



D.3. Terschelling



D.4. Vlieland



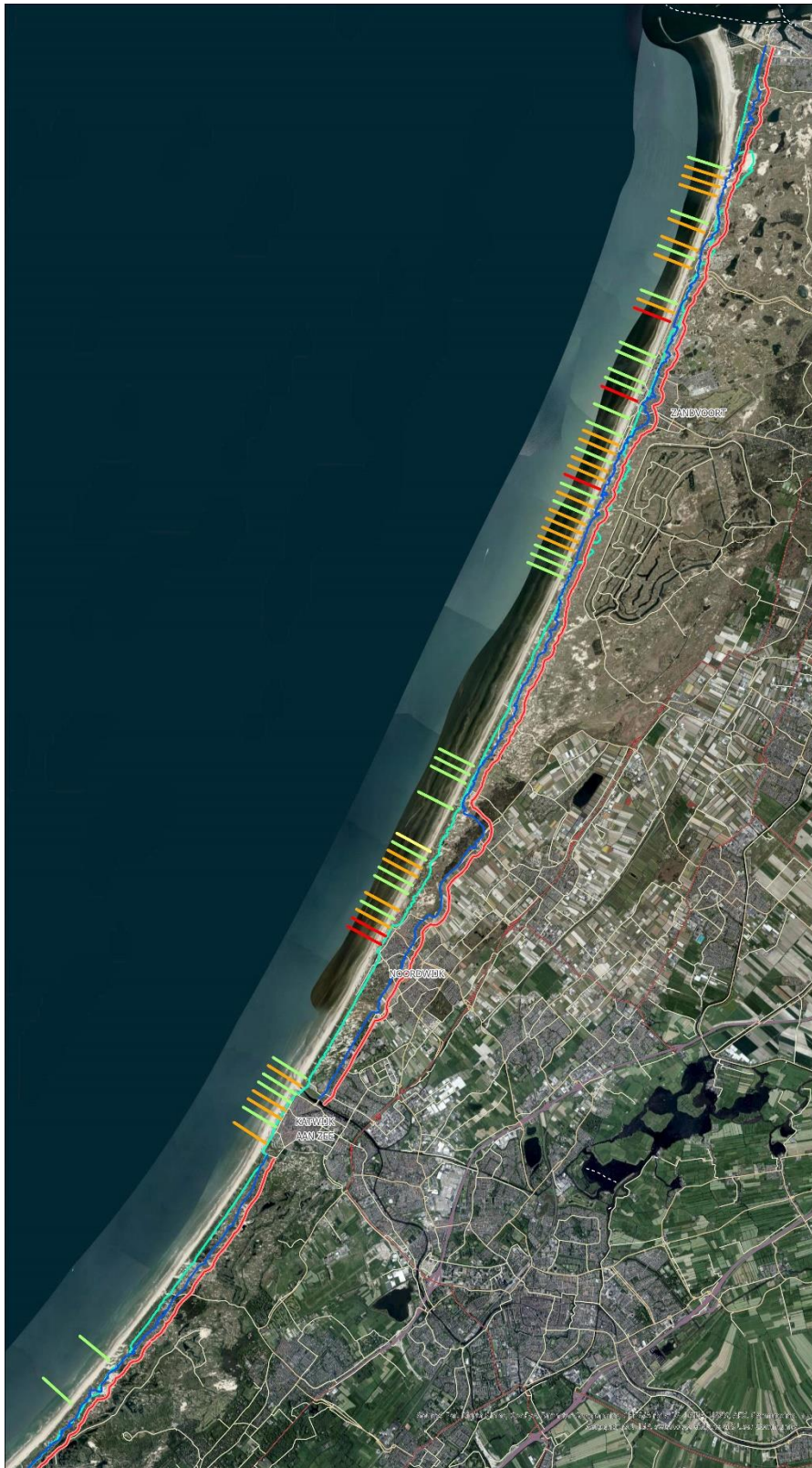
D.5. Texel



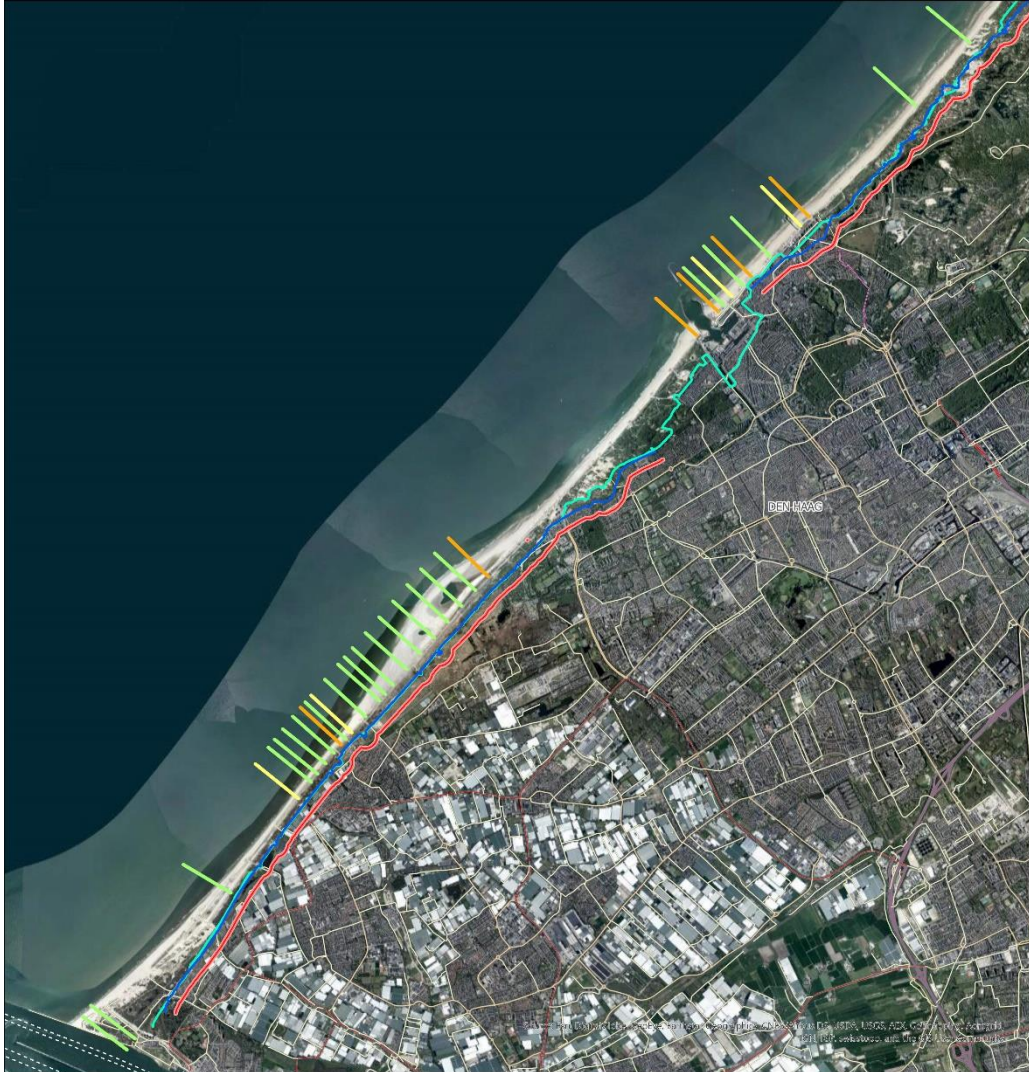
D.6. Noord-Holland



D.7. Rijnland



D.8. Delfland



D.11. Schouwen



D.12. Noord-Beveland en Walcheren



D.13. Zeeuws-Vlaanderen



