



Basiskustlijn en Kustveiligheid

Basiskustlijn en Kustveiligheid

Rijkswaterstaat WVL

29 april 2020

Project
Opdrachtgever

Basiskustlijn en Kustveiligheid
Rijkswaterstaat WVL

Document
Status
Datum
Referentie

Basiskustlijn en Kustveiligheid
Definitief 02
29 april 2020
117168/20-006.716

Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

117168
ir. M.H.P. Jansen
ir. R. Bouw

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

ir. C.W.T. van Bemmelen
ir. W.P. Bodde
ir. M.H.P. Jansen

Paraaf



Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Blaak 16
Postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
+31 (0)10 244 28 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INTRODUCTIE	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	5
1.3	Leeswijzer	5
1.4	Begrippen	6
2	REKENMETHODIEK	7
2.1	Toelichting MKL systematiek	7
2.2	Toelichting veiligheidssystematiek	7
2.3	Rekenmethodiek van deze studie	8
2.4	Bepalen toeslag kustkromming DUROS+	10
2.5	Bepalen ligging van MKL 2009-2018	12
2.6	Berekenen afslagpunten 2018 en 2050	13
2.7	Trendanalyse MKL en afslagpunten en bepaling BKL afslagpunt	13
2.8	Classificatie trendanalyse	14
2.9	Bepalen van de ruimte en classificatie	15
2.10	Gevoeligheid zeespiegelstijging in 2050	15
2.11	Rekeninstellingen MorphAn	15
3	RESULTATEN	17
3.1	Geldigheid afslagberekeningen	17
3.2	Classificatie trendanalyse	18
3.3	Classificatie ruimte	20
3.4	Ruimtelijke kaarten en aandachtslocaties	22
3.5	Gevoeligheid zeespiegelstijging	24
4	DISCUSSIE	28
4.1	Zeespiegelstijging	29
4.2	Hybride keringen en aansluitingsconstructies	29

4.3	Het grensprofiel	29
4.4	Aanvullen profielen landwaarts	29
4.5	Negatieve correlatie trendanalyse	29
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	31
5.1	Conclusies	31
5.2	Aanbevelingen	32
6	REFERENTIES	33
	Laatste pagina	33
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Aanpassingen Jarkus raaien in MorphAn	2
II	Ruimtelijke kaarten overige kustvakken	20

1

INTRODUCTIE

1.1 Aanleiding

In 1990 is de 1^e Kustnota verschenen [ref. 1]. Hierin is gekozen voor duurzaam handhaven van de veiligheid en duurzaam behoud van de functies en waarden in het duingebied. De strategie (of afgeleid doel) is de kustlijn tenminste te handhaven op de plaats waar die in 1990 lag. Door deze strategie wordt aan een basisvoorwaarde voor bescherming tegen overstroming voldaan. Om tegelijkertijd recht te doen aan het natuurlijk dynamisch karakter van de kust is dit beleid vervat in de term 'dynamisch handhaven'. Hierbij zijn twee aannames gedaan:

- aanname instandhouding basiskustlijn (BKL) resulteert in het duurzaam handhaven van de waterveiligheid. In 2011 is door Deltares, in het kader van het Deltaprogramma, bekeken of deze aanname juist is. Dit was toen op basis van de vorige normering met de toen geldende hydraulische randvoorwaarden. Een check met de vigerende normering en hydraulische randvoorwaarden is niet uitgevoerd;
- aanname instandhouding BKL resulteert in duurzaam behoud van functies en waarden in het duingebied.

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft behoefte aan een verdere en actuelere onderbouwing van nut en noodzaak van de integrale kustaanpak. De antwoorden op deze vragen kunnen mede als input dienen voor het vervolgonderzoek van Kustgenese 2.0.

Voor het project 'Basiskustlijn en duurzame Kustveiligheid' is geverifieerd of de instandhouding van de basiskustlijn (BKL) resulteert in duurzaam handhaven van de waterveiligheid nu en in 2050. Hiervoor is de ligging van het grensprofiel behorend bij een kustprofiel dat nog net voldoet aan de BKL (MKL = BKL) vergeleken met de leggegevens van verschillende waterkeringbeheerders langs de hele Nederlandse kust.

1.2 Doel

Doel van de onderliggende studie is een check op de aanname uit de 1e Kustnota dat de instandhouding van de BKL resulteert in het duurzaam handhaven de waterveiligheid nu én in 2050, op basis van de vigerende normen en hydraulische randvoorwaarden.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de rekenmethodiek met DUROS+ beschreven. De rekenmethodiek is uitgewerkt in overleg met Deltares. In hoofdstuk 3 zijn de resultaten gepresenteerd, gevolgd door de discussie in hoofdstuk 4. De conclusies van dit onderzoek staan in hoofdstuk 5.

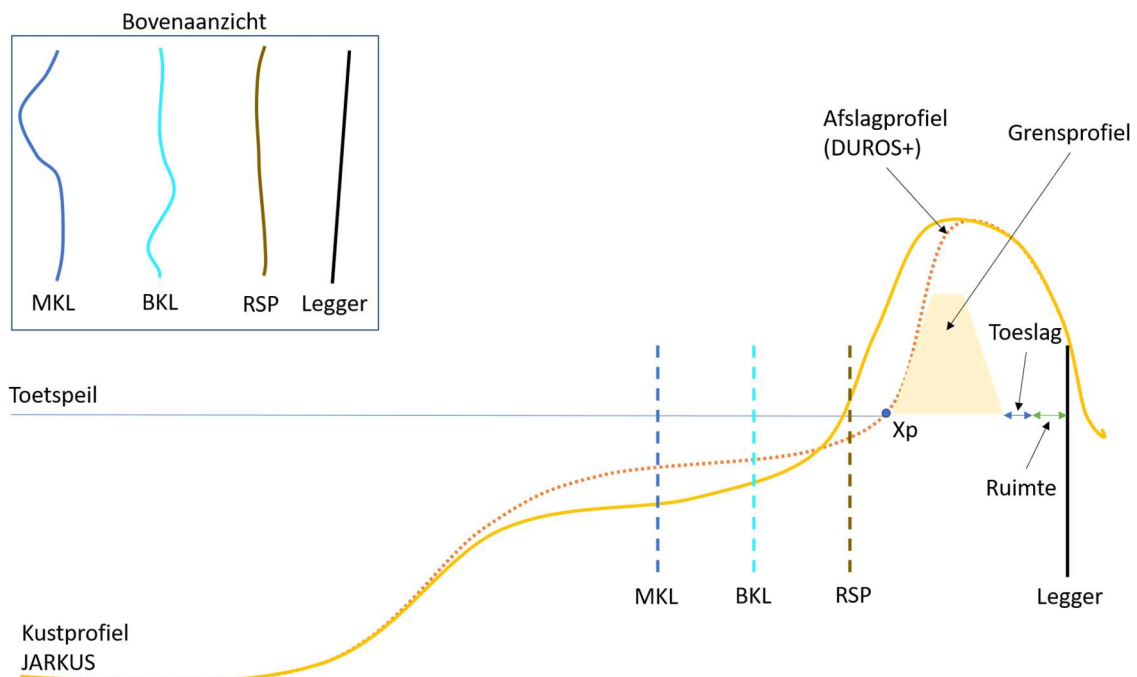
1.4 Begrippen

De begrippen gehanteerd in dit rapport zijn in tabel 1.1 opgenomen. Aangezien de begrippen verwijzen naar posities en referentievlakken in het kustprofiel, zijn de begrippen vanuit een zijaanzicht en bovenaanzicht weergegeven in afbeelding 1.1.

Tabel 1.1 Begrippenlijst

Afkorting	Omschrijving
BKL	Basiskustlijn.
MKL	Momentane kustlijn.
RSP	Rijksstrandpalenlijn, referentielijn voor posities op kustdwarsprofiel (o.a. BKL en MKL).
Afslagpunt	Het snijpunt tussen het afslagprofiel tijdens een maatgevende storm en het toetspeil. Het geeft aan hoever het duin afslaat tijdens een maatgevende storm.
Legger	De landwaartse grens van het waterstaatswerk of kernzone.
Grensprofiel	Grensprofiel dat minimaal aan de landwaartse zijde van het duin is gesitueerd na uitvoering afslagberekening.
Ruimte	Afstand tussen het afslagpunt en de legger, waarvan het grensprofiel en extra toeslag is afgetrokken (zie afbeelding 1.1).
MorphAn	Applicatie voor de Morfologische Analyse van de kust op basis van profielen en rastermetingen.
JARKUS	Landelijk databestand van jaarlijks diepte- en hoogtemetingen van de zandige kust (JAaRlijks KUSTmetingen).
Kustvak	Serie kustlocaties die een geografisch geheel vormen (bv. Walcheren, Delfland).
Kustlocatie	Een specifieke raai dwars op de kust waarvoor JARKUS metingen worden uitgevoerd.

Afbeelding 1.1 Integraal overzicht van het kustdwarsprofiel en bovenaanzicht met begrippen gehanteerd in deze studie inclusief weergaven van de toeslag en ruimte



2

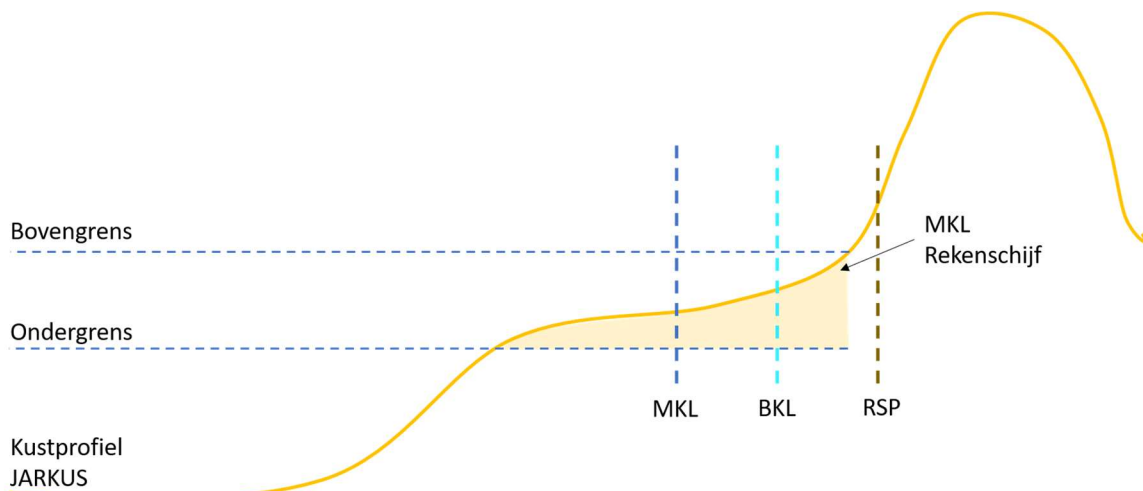
REKENMETHODIEK

Doel van het onderzoek is om te verifiëren of de instandhouding van de basiskustlijn (BKL) resulteert in duurzaam handhaven van de waterveiligheid nu en in 2050. Voor deze studie wordt de instandhouding van de BKL opgevat als het samenvallen van de Momentane kustlijn (MKL) en de BKL.

2.1 Toelichting MKL systematiek

Het kustbeleid in Nederland schrijft voor dat de MKL zeewaarts van de BKL dient te liggen ten behoeve van de instandhouding van diverse functies in de kustzone, waaronder het borgen van de veiligheid tegen overstromingen. In afbeelding 2.1 is aangegeven waar de MKL en BKL liggen. Ter bepaling van de MKL wordt het zandvolume bepaald in de MKL rekenschijf (gele vlak in afbeelding 2.1). Deze rekenschijf bevindt zich tussen de bovengrens (doorgaans de duinvoet op NAP +3 m) en een ondergrens (even ver beneden gemiddeld laagwater als de duinvoet boven gemiddeld laagwater). De positie van de MKL wordt vervolgens bepaald ten opzichte van RSP door het oppervlak te delen door de hoogte van de rekenschijf.

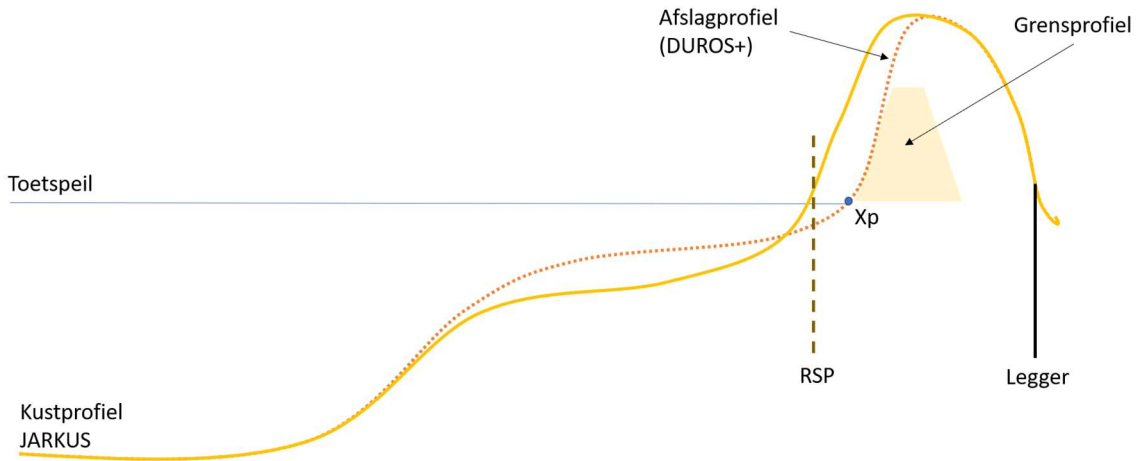
Afbeelding 2.1 Kustdwarsprofiel met visualisatie van de MKL rekenmethode



2.2 Toelichting veiligheidssystematiek

De waterveiligheid wordt gewaarborgd door te zorgen dat er tussen het afslagpunt en de legger voldoende restvolume, uitgedrukt in een grensprofiel, aanwezig is na een extreme storm. Dit is het oranje vlak tussen het afslagpunt X_p en de zwarte lijn (Legger) in afbeelding 2.2. Voor de bepaling van het afslagpunt X_p wordt een empirisch afslagmodel (DUROS+) toegepast. Dit model berekent hoeveel zand er door een extreme storm erodeert en wordt herverdeeld rondom het toetspeil.

Afbeelding 2.2 Kustdwarsprofiel met visualisatie van de rekenmethodiek voor veiligheid (het minimaal benodigd grensprofiel)

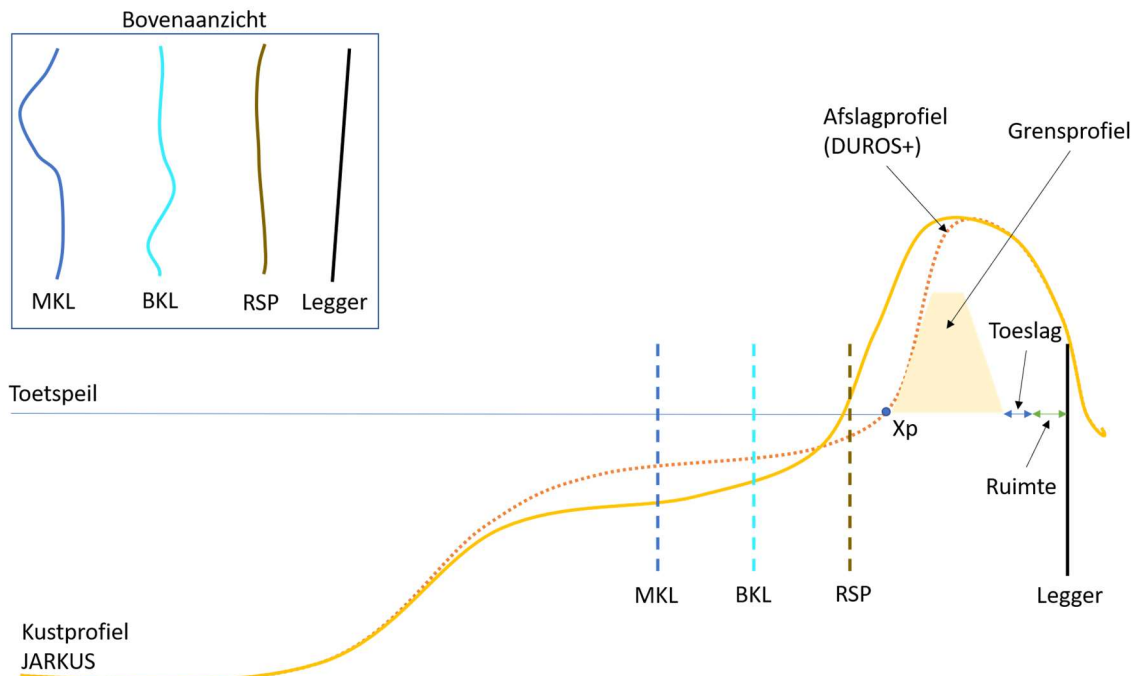


In deze studie wordt de veiligheid uitgedrukt als de ruimte tussen het grensprofiel met toeslag en de legger. Er wordt een extra toeslag meegenomen omdat er onzekerheden zitten ten aanzien van de data, rekenmethodiek en zeespiegelstijging (zie afbeelding 2.3).

De ruimte kan wiskundig omschreven worden met de volgende regel:

$$Ruimte = (Positie\ BKL\ afslagpunt - breedte\ grensprofiel - toeslag) - Positie\ Legger$$

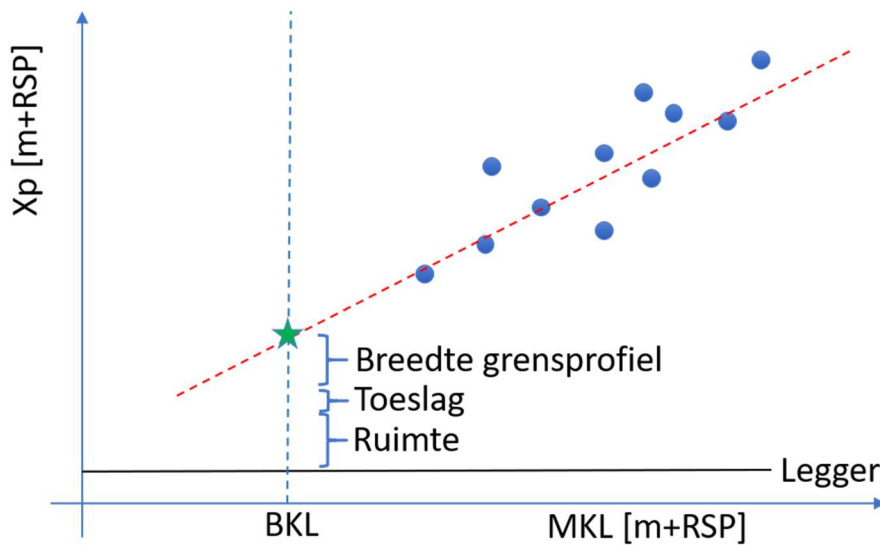
Afbeelding 2.3 Overzicht van het kustdwarsprofiel en bovenaanzicht met begrippen gehanteerd in deze studie inclusief weergaven van de toeslag en ruimte



2.3 Rekenmethodiek van deze studie

Voor deze studie zijn de MKL-systematiek en veiligheidssystematiek gecombineerd (afbeelding 2.4). Aanname is dat de ligging van de MKL en het afslagpunt Xp voor de meeste kustlocaties gecorreleerd is.

Afbeelding 2.5 Rekenmethodiek op basis van de relatie tussen de MKL en afslagpunten op het toetspeil (X_p) voor een kustlocatie. De blauwe bolletjes geven de positie van de MKL en het afslagpunt voor elk individueel jaar weer. De rood gestreepte lijn is de regressielijn door deze punten heen, welke snijdt met de positie van de BKL (blauw gestreepte lijn) ter plaatse van het BKL afslagpunt (groene ster). De positie van de Legger is weergegeven met een zwarte lijn



De toegepaste rekenmethodiek in dit onderzoek is dus gebaseerd op de correlatie tussen afslagpunten en de momentane kustlijn (MKL) posities van de afgelopen 10 jaar (2009-2018) per kustlocatie. Met deze methodiek kan de toekomstbestendigheid van de BKL inzichtelijk gemaakt worden.

Ter bepaling van de MKL posities en de afslagpunten is het rekenprogramma MorphAn [ref. 2] gebruikt. Hiermee kunnen onder andere waterveiligheidsberekeningen langs de Nederlandse kust uitgevoerd worden. In MorphAn is gekozen om afslagberekeningen uit te voeren met het DUROS+ rekenmodel. Daar waar geen sprake is van een Legger (onder andere delen van de Waddeneilanden en Maasvlakte 2) ligt er ook geen vraagstuk ten aanzien van de toekomstbestendigheid van de BKL. Dit geldt ook voor de locaties waarbij er geen BKL gedefinieerd is (onder andere de Hondsbossche en Pettemer Zeewering en de Westkappelse Zeedijk). Deze locaties zijn daarom ook niet meegenomen in de voorgestelde rekenmethodiek.

De bovengenoemde stappen zijn in de volgende paragrafen verder uitgewerkt.

DUROS+

Met het (deterministische) rekenmodel DUROS+ kan de kustafslag als gevolg van een zware storm bepaald worden [ref. 6]. De ligging van het kustprofiel (vooroever, strand en duinen) vlak vóór de stormvloed, de korrelgrootte van het duinzand D50, het stormvloedpeil en de golfkarakteristieken op een waterdiepte van circa NAP -20 m (significante golfhoogte H_{m0} en golfperiode T_p) zijn bepalend voor de mate van afslag. DUROS+ kan worden gebruikt bij normale en meer extreme stormvloedcondities. Voor min of meer geleidelijk in zeewaartse richting aflopende kustprofielen langs rechte kusten kan het rekenmodel zonder meer worden gebruikt.

2.4 Bepalen toeslag kustkromming DUROS+

Om het DUROS+ model toe te passen langs de hele Nederlandse kust toe te passen, moet voor sommige locaties maatwerk geleverd worden [ref. 1]. Dit wordt op een pragmatische manier gedaan voor locaties met:

- kustkromming;
- geulen;
- hybride keringen en aansluitingsconstructies;
- dubbele duinenrij.

In onderstaande kopjes is voor elk van de vier Toets op maat-types de toegepaste methode verder uitgewerkt.

Kustkromming

Langs gekromde delen van de Nederlandse kust is er sprake van een gradiënt in het langtransport. Om hier rekening mee te houden wordt voor gebieden met een bolle kustkromming een toeslag gehanteerd conform TRDA2006 [ref. 1]. De benodigde toeslag is gegeven in afbeelding 2.6 voor 4 klassen met een kustkromming die varieert tussen 0 tot en met 24 graden/1.000 m. Voor een kustkromming van meer dan 24 graden/1.000 m wordt een toeslag G_0 van 200 m^3/m gehanteerd [ref. 5]. De kustkromming is bepaald aan de hand van de hoek tussen de richting van de JARKUS raaien.

Afbeelding 2.6 Toeslag DUROS+ voor de kustkromming [ref. 1]

klasse	kromming interval graden / 1000 m	G_0 [m^3 / m]	kustsectie	RSP paal - RSP paal	lengte kustgedeelte [km]
1	0 - 6	0	2 Schiermonnikoog	1.00 - 5.50	4,5
2	6 - 12	50	3 Ameland	48.00 - 5.00	6,5
3	12 - 18	75	4 Terschelling	59.00 - 2.00	3,0
4	18 - 24	100	5 Vlieland	5.00 - 6.50	1,5
5	> 24	nader onderzoek vereist	6 Texel	51.00 - 54.00	3,0
			11 Voorne	4.00 - 8.00	4,0
			12 Goeree	31.00 - 32.00	1,0
			13 Schouwen	9.00 - 11.00	2,0
			16 Walcheren	13.00 - 19.00	6,0
				8.00 - 12.00	4,0
				2.00 - 5.00	3,0
				5.40 - 8.00	2,6

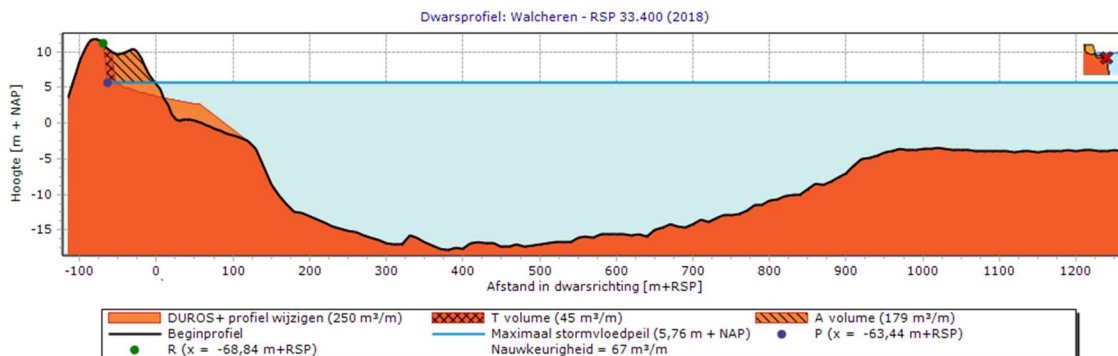
Tabel 2 Referentiewaarden voor het transportverschil voor verschillende klassen van kustkromming.

Tabel 3 Kustsecties met kromming > 24 graden per 1000 m; nader onderzoek noodzakelijk.

Geulen

Voor kustdwarsprofielen die aansluiten op een geul kan een DUROS+ berekening resulteren in een discontinuïteit wanneer het afslagprofiel de geulwand raakt. Dit ontstaat doordat de hoeveelheid sedimentatie in de geul gecompenseerd moet worden met de afslag boven de waterlijn (om de balans kloppend te krijgen). Om hier rekening mee te houden is in MorphAn een controle ingebouwd om te zorgen dat dit fenomeen niet optreedt (afbeelding 2.7). Zodra de geulrand bereikt wordt stopt MorphAn de berekening en worden de resultaten als 'twijfelachtig' bestempeld.

Afbeelding 2.7 Voorbeeld van een waarschuwing uit MorphAn met 'helling geulrand beïnvloedt berekening'



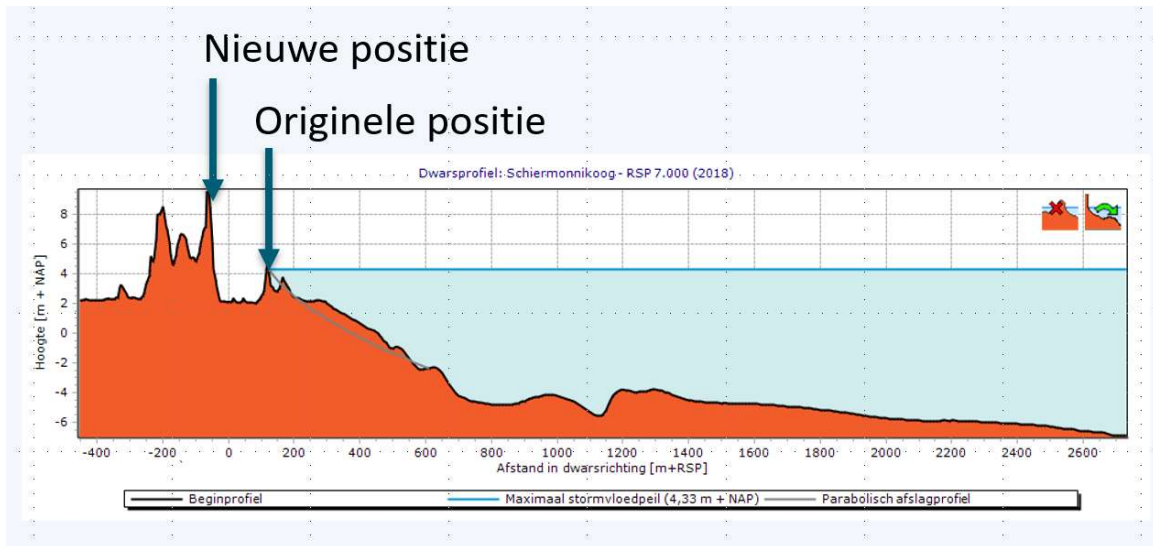
Hybride keringen en aansluitingsconstructies

Bij hybride keringen en aansluitingsconstructies zijn er een of meerdere harde constructies in het profiel aanwezig of in een naastgelegen profiel. In deze rekenmethodiek zijn de harde constructies beschouwd als zand conform het Technisch Rapport Duinafslag [ref. 1].

Dubbele duinenrij

Voor een aantal locaties langs de Nederlandse kust bestaat het landwaartse deel van het profiel uit een dubbele duinenrij. Bij toetsing van deze profielen zal regelmatig het zeewaartse (kleinere) duin resulteren in een ongeldige toetsing als gevolg van duindoorbraak. Ook als het duin net niet doorbreekt en de toetsing geldig is, is deze uitkomst in MorphAn twijfelachtig omdat dit deel van het profiel zich tijdens een storm vaak in het overwash-regime bevindt. Hiervoor is een filter in MorphAn aangezet die deze foutmelding onderdrukt. Een voorbeeld van een dubbele duinenrij is gegeven in afbeelding 2.8.

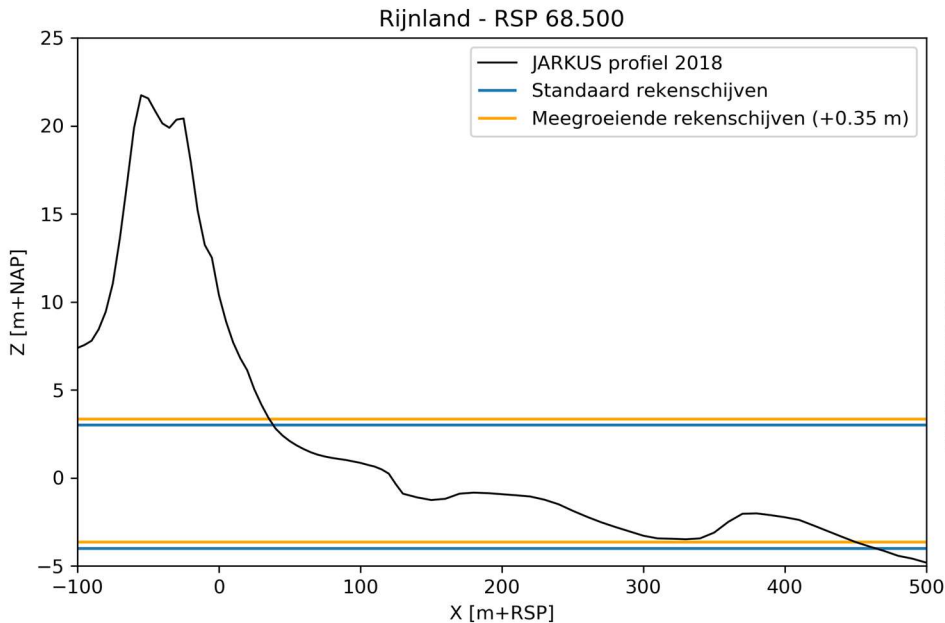
Afbeelding 2.8 Dubbele duinenrij met nieuwe positie van de te toetsen duinenrij bij Schiermonnikoog



2.5 Bepalen ligging van MKL 2009-2018

De positie van de MKL tussen 2009 en 2018 voor een kustlocatie is bepaald met behulp van MorphAn. Er is aangenomen dat de MKL rekenschijven niet meegroeien met de zeespiegelstijging in 2050. Om de gevoeligheid in kaart te brengen van deze aanname, is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd van het meegroeien van de MKL rekenschijven in 2050 (afbeelding 2.9 en paragraaf 3.5). Verder groeit het profiel ook niet mee met de zeespiegelstijging (zie paragraaf 2.6). Hierdoor blijven de MKL posities gelijk tussen beide zichtjaren.

Afbeelding 2.9 Visualisatie meegroeïende rekenschijven ten gevolg van zeespiegelstijging



2.6 Berekenen afslagpunten 2018 en 2050

De DUROS+ berekeningen voor zichtjaar 2018 zijn uitgevoerd met de JARKUS raaien tussen 2009 en 2018 en de huidige WBI2017 randvoorwaarden. De WBI randvoorwaarden bevatten twee condities; de signaleringswaarde en de ondergrenswaarde. De afslagpunten zijn berekend met de ondergrenswaarde en dus een 70-30 faalkansruimte verdeling.

De afslagberekeningen kunnen op een aantal kustlocaties niet uitgevoerd worden zonder aanpassingen aan de JARKUS raaien. De aanpassingen die gedaan zijn aan de profielen zijn in bijlage I opgenomen. Het gaat in deze gevallen om een van de volgende aanpassingen¹:

- 1 het zeewaarts verwijderen van meetgegevens;
- 2 het zeewaarts verlengen van profielen.

Om de analyse voor de ruimte in 2050 uit te voeren, is de rekeninvoer aangepast. Om het effect in zeespiegelstijging mee te nemen in deze som zijn de waterstanden in de hydraulische randvoorwaarden verhoogd met +0,35 m (W+ scenario [ref. 7]). Om de gevoeligheid in kaart te brengen van deze aanname, is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd van de zeespiegelstijging in 2050 (paragraaf 3.5). Hierbij blijven de golfcondities ongewijzigd. Er worden geen wijzigingen in het JARKUS profiel toegepast in de berekeningen voor 2050 ten opzichte van de berekeningen voor 2018.

2.7 Trendanalyse MKL en afslagpunten en bepaling BKL afslagpunt

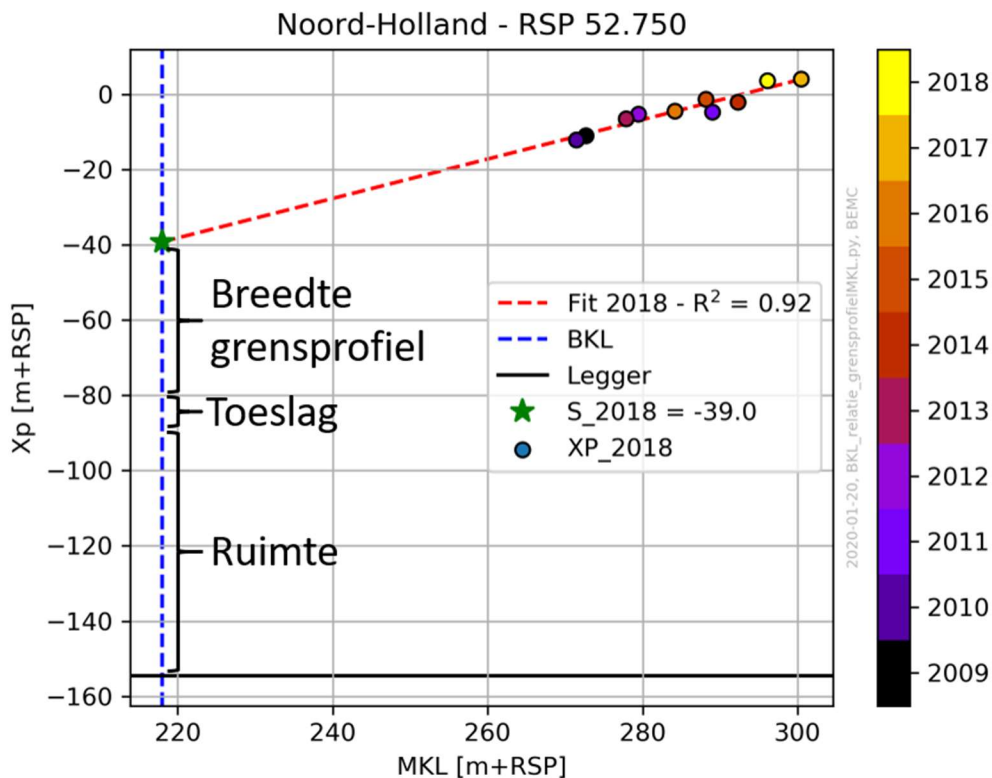
De trendanalyse tussen de berekende MKL en afslagpunten is gedaan met behulp van een lineaire fit tussen deze punten per kustlocatie tussen 2009 en 2018 (zie blauwe bolletjes in afbeelding 2.5). Er is gekozen om het afslagpunt op het toetspeil (X_p) voor de trendanalyse te gebruiken.

Afbeelding 2.10 geeft een voorbeeld weer van de trendanalyse die uitgevoerd is. De kleuren in deze afbeelding geven weer voor welk jaar het datapunt berekend is. De lineaire fit tussen de datapunten is met een rood gestreepte lijn weergegeven, die snijdt met de BKL (blauw gestreept). Op dit snijpunt tussen de

¹ Het aanvullen van de JARKUS raaien met behulp van AHN is niet uitgevoerd in deze studie.

lineaire fit en de BKL bevindt zich de positie van het afslagpunt bij het minimale profiel. In het voorbeeld van afbeelding 2.10 liggen de MKL punten van de afgelopen 10 jaar tussen de 270 en 300 m+RSP. De bijbehorende afslagpunten per jaar liggen tussen de -18 en +3 m+RSP. Door deze lineaire fit van deze punten te snijden met de BKL lijn (218 m+RSP), is het afslagpunt bijbehorende aan de BKL gevonden. In dit voorbeeld ligt dit afslagpunt op -39 m+RSP (groene ster). In het figuur zijn ook de breedte van het grensprofiel, de toeslag en de overgebleven ruimte weergegeven. De bepaling van de ruimte wordt verder toegelicht in paragraaf 2.9.

Afbeelding 2.10 Voorbeeld van de trendanalyse tussen de MKL en afslagpunten (Xp) voor kustlocatie Noord-Holland - RSP 52.750 van 2009 tot en met 2018. De rode lijn is de lineaire fit tussen de punten en de blauwe lijn geeft de positie van de BKL weer. Het snijpunt tussen deze lijnen geeft het afslagpunt voor het BKL profiel (groene ster). Met accolades zijn de breedte van het grensprofiel, de toeslag en de (overgebleven) ruimte voor deze berekening toegevoegd



2.8 Classificatie trendanalyse

De uitgevoerde trendanalyses per kustlocatie zijn in deze stap geïnclassificeerd op grond van de toepasbaarheid van deze methodiek. Om onderscheid te maken tussen bruikbare en niet bruikbare resultaten uit de trendanalyse is er een classificatie opgesteld op basis van de volgende drie criteria:

- kwaliteit van de fit (R^2);
- helling van fit (a);
- aantal punten in de fit (N).

Bruikbare trendanalyses dienen te voldoen aan een kwaliteit van de fit (R^2) van ten minste 0.5. Verder moet er een positieve correlatie (de helling) zijn. Een positieve correlatie geeft weer dat een landwaartse beweging van de MKL gepaard gaat met een landwaartse beweging van het afslagpunt (zie ook afbeelding 3.1). Ook is het minimaal aantal punten voor een bruikbare analyse gesteld op 5 (van de 10 jaar). Deze punten hoeven niet van aaneengesloten jaren te zijn. Trendanalyses die niet aan deze drie criteria voldoen, worden als niet bruikbaar gezien. Er ontstaan hiermee drie groepen, weergegeven in tabel 2.1. Voor elk van de kustvakken wordt een overzicht gemaakt van deze classificatie, zowel numeriek als ruimtelijk.

Tabel 2.1 Classificatie groepen trendanalyse

Groep	Bruikbaar	R ²	a	N
A	ja	≥ 0.5	> 0	≥ 5
B	nee, slechte kwaliteit fit of te weinig datapunten	< 0.5	> 0	< 5
C	nee, geen/negatieve correlatie	≥ 0.5	≤ 0	≥ 5

2.9 Bepalen van de ruimte en classificatie

Voor de bruikbare trendanalyses is het mogelijk om de ruimte (zoals gedefinieerd in tabel 1.1) te bepalen (zie afbeelding 2.10). De ruimte kan wiskundig omschreven worden met de volgende regel:

$$\text{Ruimte} = (\text{Positie BKL afslagpunt} - \text{breedte grensprofiel} - \text{toeslag}) - \text{Positie Legger}$$

Het bepalen van het BKL afslagpunt is behandeld in paragraaf 2.7. De breedte van het grensprofiel is afhankelijk van de hydraulische randvoorwaarden en het al dan niet volumetrisch inpassen van het grensprofiel. Met behulp van MorphAn is de breedte van het grensprofiel voor alle kustlocaties tussen 2009 en 2018 bepaald. Hieruit is voor elke kustlocatie de meest conservatieve breedte geselecteerd. Aangenomen is dat deze breedte ook toepasbaar is voor het zichtjaar 2050. Om de onzekerheid van de toegepaste methodiek mee te nemen in deze classificatie is er gekozen om een toeslag van 10 m op de breedte van het grensprofiel te hanteren. De afstand van 10 m is gekozen om de variatie in grensprofiel en zeespiegelstijging op te kunnen vangen, zonder dat de veiligheid in gevaar komt. Door deze toeslag op de breedte van het grensprofiel worden kustlocaties waarbij het grensprofiel nog net in de beschikbare ruimte past toch als aandachtslocatie bestempeld. Dit geeft een beter beeld weer van de aandachtslocaties langs de Nederlandse kust.

De ruimte is voor alle kustlocaties bepaald die in Klasse A vallen (zie tabel 2.1).

De kustveiligheid langs de Nederlandse kust is bepaald door de kustlocaties op te delen op basis van de ruimte (zoals gedefinieerd in tabel 1.1):

- A.1 voldoende ruimte (ruimte > 0);
- A.2 aandachtslocaties (ruimte ≤ 0).

2.10 Gevoeligheid zeespiegelstijging in 2050

Een zeespiegelstijging van 0,35 m in 2050 is als uitgangspunt gekozen in dit onderzoek. Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van deze aanname zijn er additionele afslagberekeningen gedaan met een zeespiegelstijging van 0,30 en 0,40 m. Met deze sommen is het effect van een hogere en lagere zeespiegelstijging op het afslagpunt (Xp) inzichtelijk gemaakt. Ook zijn er gevoeligheidssommen uitgevoerd waarin de MKL rekenschijven meegroeien met de zeespiegelstijging (+0,35 m). Met deze sommen is het effect van de zeespiegelstijging op de MKL punten inzichtelijk gemaakt. Kustvak Rijnland is geselecteerd voor deze gevoeligheidsanalyse.

2.11 Rekeninstellingen MorphAn

In deze studie is er gerekend met MorphAn versie 1.7.3.45496. De volgende (sub)modellen zijn gebruikt in MorphAn:

- het duinveiligheidsmodel:
 - het erosiemodel;
 - het grensprofielmodel;

- het kustlijnontwikkelingsmodel:
 - het MKL model.

De gekozen rekeninstellingen zijn conform TRDA2006. De instellingen van het erosiemodel zijn weergegeven in tabel 2.2. In het grensprofielmodel is gekozen om de grensprofielen te positioneren tegen de afslagpunten uit het erosiemodel.

Tabel 2.2 MorphAn instellingen toegepast in deze studie (regels voor de beoordeling en modelparameters)

DUROS+ methode	DUROS+
pas maximale toeslaglengte toe	aan, 15 m
pas golfperiode aan	aan
golfperiode	Tp
T volume factor	0,25
nauwkeurigheid iteratie	0,1 m ²
aantal parabolische profielpunten	30
maximaal aantal iteraties	50
resultaat ongeldig bij duindoorbraak	uit
grensprofielmodel	TRDA2006 geometrisch profiel
bepaling positie grensprofiel	afslagpunten
volumetrisch grensprofiel toestaan	aan

3

RESULTATEN

3.1 Geldigheid afslagberekningen

Er zijn in totaal 30.524 afslagberekningen uitgevoerd voor de trendanalyses met zichtjaar 2018 en 2050¹. Het aantal sommen dat geldig, twijfelachtig en ongeldig geïnclassificeerd is in MorphAn is per kustvak weergegeven in tabel 3.1. In deze tabel is te zien dat voor de meeste kustvakken het aantal twijfelachtige en ongeldige berekeningen voor zichtjaar 2050 toeneemt ten opzichte van 2018. De ongeldige resultaten zijn niet beschouwd in deze studie en beïnvloeden het aantal punten (N) dat gebruikt kan worden voor de classificatie van de trendanalyse. Geldige en twijfelachtige resultaten van afslagberekningen uit MorphAn (automatisch door MorphAn geïnclassificeerd) zijn in de trendanalyses meegenomen voor zichtjaar 2018 en 2050 (zie paragraaf 3.2).

Tabel 3.1 Geldigheid van de afslagsommen in MorphAn voor de 10 jaar berekeningen voor zichtjaar 2018 en 2050

Kustvak	Zichtjaar	Geldig		Twijfelachtig		Ongeldig		Totaal aantal sommen
		aantal	%	aantal	%	aantal	%	
Schiermonnikoog	2018	448	69	171	26	31	5	650
	2050	306	47	309	48	35	5	650
Ameland	2018	818	74	159	14	133	12	1.110
	2050	694	63	244	22	172	15	1.110
Terschelling	2018	942	82	132	12	68	6	1.142
	2050	866	76	197	17	79	7	1.142
Vlieland	2018	639	65	241	24	106	11	986
	2050	495	50	357	36	134	14	986
Texel	2018	1.042	88	101	9	37	3	1.180
	2050	862	73	275	23	43	4	1.180
Noord-Holland	2018	2.144	83	227	9	209	8	2.580
	2050	2.050	79	297	12	233	9	2.580
Rijnland	2018	1.404	85	199	12	55	3	1.658
	2050	1.260	76	314	19	84	5	1.658
Delfland	2018	1.026	84	112	9	78	6	1.216
	2050	941	77	182	15	93	8	1.216
Voorne	2018	347	68	66	13	96	19	509
	2050	318	62	93	18	98	19	509
Goeree	2018	603	75	197	25	0	0	800
	2050	574	72	226	28	0	0	800

¹ Het aantal uitgevoerde afslagberekningen is niet gelijk aan $1632 \times 10 \times 2$ (aantal kustlocaties in de hydraulische randvoorwaarden, 10 jaar, 2 zichtjaren). Dit komt doordat de JARKUS raaien dataset niet compleet is voor alle locaties tussen 2009 en 2018 (bijvoorbeeld het gebrek van JARKUS raaien in Voorne uit 2010).

Kustvak	Zichtjaar	Geldig		Twijfelachtig		Ongeldig		Totaal aantal sommen
		aantal	%	aantal	%	aantal	%	
Schouwen	2018	816	87	115	12	12	1	943
	2050	769	82	162	17	12	1	943
Noord-Beveland	2018	47	78	13	22	0	0	60
	2050	42	70	18	30	0	0	60
Walcheren	2018	1446	89	97	6	87	5	1630
	2050	1396	86	100	6	134	8	1630
Zeeuws- Vlaanderen	2018	788	92	51	6	17	2	856
	2050	756	88	67	8	33	4	856

3.2 Classificatie trendanalyse

De afslagberekeningen die geldig of twijfelachtig zijn (zie paragraaf 3.1) zijn gebruikt voor de trendanalyses. Om onderscheid te maken tussen bruikbare en niet bruikbare resultaten uit de trendanalyses is er een classificatie opgesteld op basis van de volgende 3 criteria (zie ook paragraaf 2.8):

- kwaliteit van de fit (R^2). Deze moet minimaal 0.5 zijn voor een betrouwbaar resultaat;
- helling van fit (a). Deze moet positief zijn voor een betrouwbaar resultaat;
- aantal punten in de fit (N). Het aantal bruikbare jaren moet groter of gelijk aan 5 zijn.

Bovengenoemde criteria voor de bruikbaarheid van de trendanalyses zijn opgenomen in tabel 3.2 (zelfde als tabel 2.1).

In tabel 3.3 is voor elk kustvak opgenomen hoeveel locaties er per groep A, B en C (uit tabel 3.2) zijn, voor zichtjaar 2018 en zichtjaar 2050. Deze tabel geeft verder de gemiddelde kwaliteit van de fit (R^2) weer voor de trendanalyses die in klasse A vallen. In deze tabel valt op dat de bruikbare trendanalyses voor de meeste kustvakken afnemen voor zichtjaar 2050 ten opzichte van 2018. Uitzonderingen hierop zijn kustvak Noord-Beveland en Schouwen. Voor kustvakken Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling, Vlieland, Goeree en Noord-Beveland geeft minder dan 50 % van de kustlocaties een betrouwbaar resultaat. Resultaten voor deze kustvakken kunnen daarom niet gebruikt worden om de doelstelling van deze studie te toetsen.

Ter illustratie zijn in afbeelding 3.1 voor drie verschillende kustlocaties classificaties van de bruikbaarheid opgenomen (voor kustvak Rijnland met zichtjaar 2018).

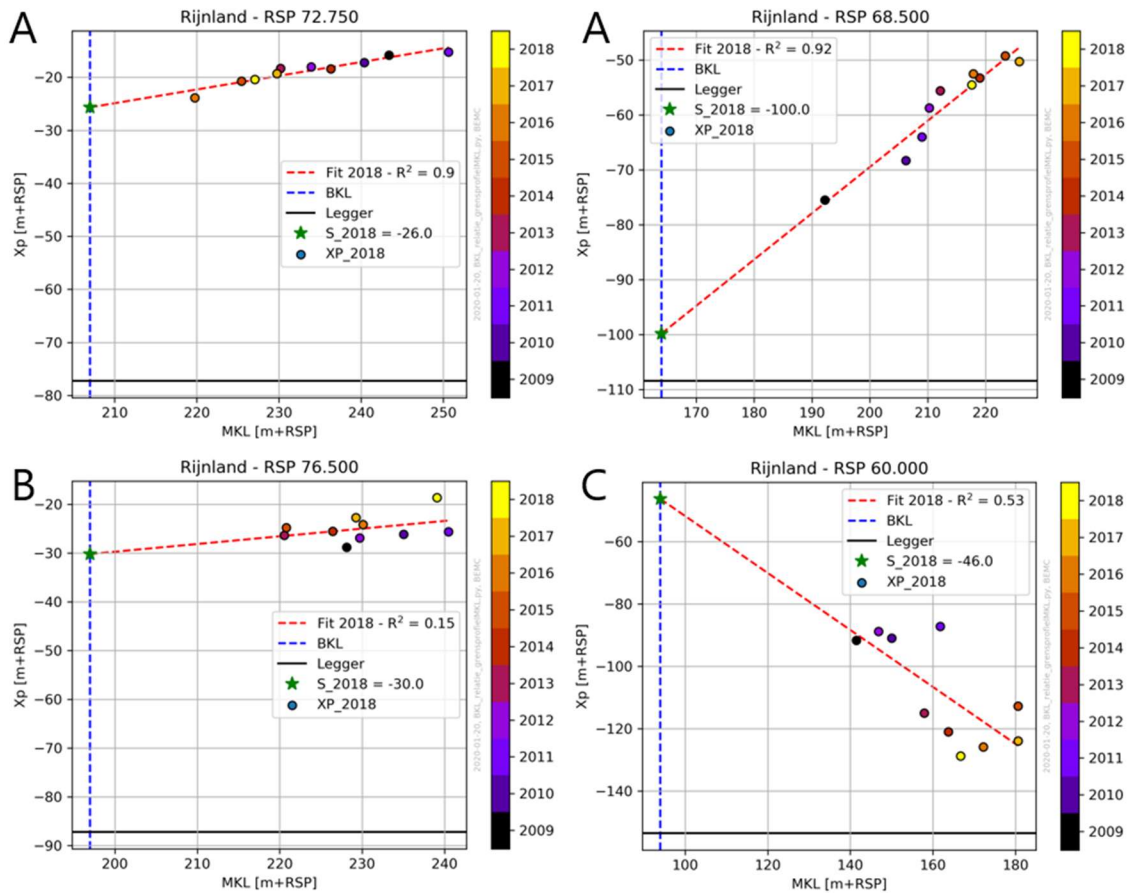
Tabel 3.2 Classificatie groepen trendanalyse (zelfde tabel als tabel 2.1)

Groep	Bruikbaar	R^2	a	N
A	ja	≥ 0.5	> 0	≥ 5
B	nee, slechte kwaliteit fit of te weinig datapunten	< 0.5	> 0	< 5
C	nee, negatieve correlatie	≥ 0.5	≤ 0	≥ 5

Tabel 3.3 Classificatie van de trendanalyse voor de 10 jaar berekeningen voor zichtjaar 2018 en 2050 inclusief de gemiddelde kwaliteit van de fit voor klasse A per kustvak

Kustvak	Zichtjaar	Klasse A		Klasse B		Klasse C		Totaal aantal locaties	R ² (A)	R ² (C)
		aantal	%	aantal	%	aantal	%			
Schiermonnikoog	2018	7	10	48	72	12	18	67	0,74	0,57
	2050	8	12	51	76	8	12	67	0,78	0,56
Ameland	2018	63	47	60	44	12	9	135	0,74	0,76
	2050	48	36	76	56	11	8	135	0,77	0,77
Terschelling	2018	31	23	105	77	1	1	137	0,75	0,52
	2050	30	22	104	76	3	2	137	0,78	0,61
Vlieland	2018	39	46	44	52	2	2	85	0,77	0,63
	2050	31	36	52	61	2	2	85	0,79	0,61
Texel	2018	90	78	25	22	1	1	116	0,84	0,9
	2050	86	74	29	25	1	1	116	0,83	0,7
Noord-Holland	2018	182	81	42	19	0	0	224	0,8	x
	2050	163	73	61	27	0	0	224	0,8	x
Rijnland	2018	119	73	43	26	2	1	164	0,79	0,52
	2050	97	59	66	40	1	1	164	0,79	0,54
Delfland	2018	51	70	21	29	1	1	73	0,85	0,53
	2050	50	68	22	30	1	1	73	0,84	0,52
Voorne	2018	37	86	6	14	0	0	43	0,89	x
	2050	30	70	13	30	0	0	43	0,87	x
Goeree	2018	25	33	45	60	5	7	75	0,76	0,78
	2050	18	24	53	71	4	5	75	0,83	0,84
Schouwen	2018	73	78	21	22	0	0	94	0,83	x
	2050	73	78	21	22	0	0	94	0,84	x
Noord-Beveland	2018	3	23	10	77	0	0	13	0,81	x
	2050	3	23	10	77	0	0	13	0,82	x
Walcheren	2018	90	60	60	40	1	1	151	0,76	0,74
	2050	86	57	64	42	1	1	151	0,75	0,72
Zeeuws-Vlaanderen	2018	60	76	19	24	0	0	79	0,83	x
	2050	55	70	24	30	0	0	79	0,82	x

Afbeelding 3.1 Voorbeeld classificatie trendanalyses voor kustvak Rijnland in bruikbare relaties (A) en niet bruikbare relaties (B,C)



3.3 Classificatie ruimte

Voor de kustlocaties met klasse A (zie paragraaf 3.2) is de ruimte (zoals gedefinieerd in paragraaf 2.9) bepaald. De ruimte (afstand tussen afslagpunt+grensprofiel+toeslag en legger) is een maat voor de veiligheid. Op basis van de trendanalyse per kustlocatie zijn de kustlocatie onderverdeeld in subgroepen A.1 en A.2. Subgroep A.1 is representatief voor de locaties waar de trendanalyse niet resulteert in een tekort in ruimte tussen het grensprofiel en de Legger. Deze locaties zijn dus veilig. Subgroep A.2 is representatief voor de aandachtslocaties, waar de rekenmethodiek een ruimtegebrek aangeeft zodra het profiel gelijk is aan de BKL. Deze locaties zouden dus mogelijk op een onveilige situatie kunnen duiden. De resultaten van de onderverdeling zijn gepresenteerd in tabel 3.4. Om de gemiddelde afname in ruimte te bepalen zijn locaties die een A classificatie in zowel 2018 als 2050 hebben gekregen beschouwd.

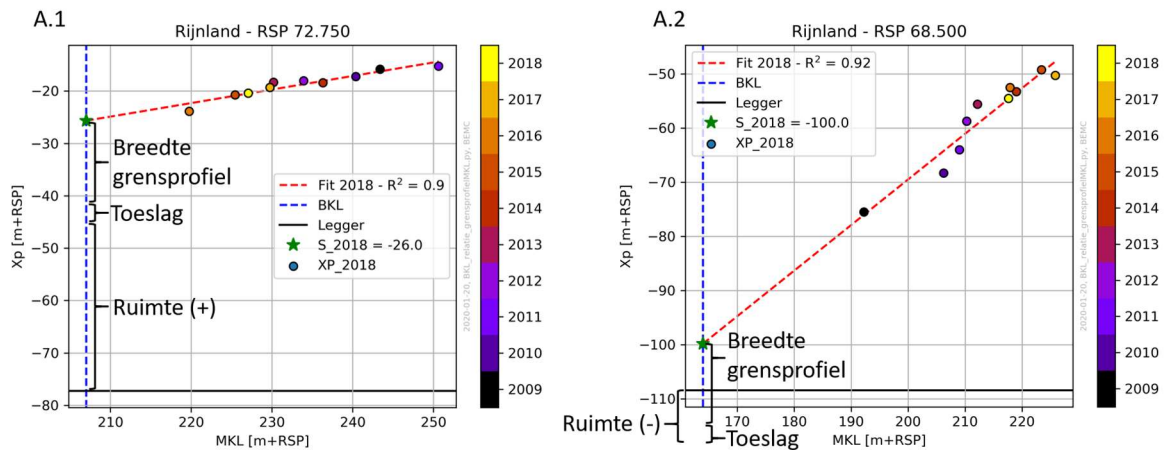
In tabel 3.4 zien we dat voor een vijftal kustvakken er geen aandachtslocaties geïdentificeerd zijn in 2018 en 2050 (Ameland, Texel, Schouwen en Noord-Beveland). Voor drie kustvakken geldt dat er aandachtslocaties zullen zijn in 2050, waar deze niet aanwezig waren in 2018 (Schiermonnikoog, Noord-Holland en Delfland). Voor zes van de kustvakken zijn er aandachtslocaties in zowel 2018 als 2050 (Vlieland, Rijnland, Voorne, Goeree, Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen). De mate waarop deze resultaten representatief zijn voor het kustvak is af te leiden uit het aantal A classificaties (2018 en 2050) ten opzichte van alle kustlocaties. Dit percentage is in de zesde kolom van tabel 3.4 opgenomen.

Verder is in deze tabel ook de gemiddelde afname van de ruimte tussen 2018 en 2050 opgenomen per kustvak. Voor de meeste locaties zien we een afname van de ruimte in 2050 van 5 m tot 15 m. De gemiddelde afname in de ruimte op Schiermonnikoog ligt hoger (38,6 m). In bijlage II is het verschil in ruimte tussen 2018 en 2050 voor alle aandachtslocaties opgenomen (in tabel II.1).

Tabel 3.4 Classificatie van de ruimte voor de 10 jaar berekeningen voor zichtjaar 2018 en 2050 inclusief de gemiddelde ruimte van klasse A.1 (voldoende ruimte) en A.2 (mogelijk te weinig ruimte). De kolom met de gemiddelde afname in ruimte bevat enkel de locaties met zowel een A classificatie voor 2018 als 2050

Kustvak	Zichtjaar	Klasse A.1 [% A]	Klasse A.2 [% A]	Aantal A / totaal aantal locaties	Aantal A [% ABC]	Gemiddel de ruimte A.2 [m]	Gemiddel de afname ruimte 2018-2050 [m]
Schiermonnikoog	2018	100	0	7 / 67	10	x	38,6
	2050	75	25	8 / 67	12	-8	
Ameland	2018	100	0	50 / 135	37	x	15,5
	2050	100	0	48 / 135	36	x	
Terschelling	2018	100	0	16 / 137	12	x	12,1
	2050	100	0	16 / 137	12	x	
Vlieland	2018	45	55	11 / 85	13	-41	6,9
	2050	50	50	10 / 85	12	-48	
Texel	2018	100	0	87 / 116	75	x	11,4
	2050	100	0	86 / 116	74	x	
Noord-Holland	2018	100	0	165 / 224	74	x	8,3
	2050	99	1	163 / 224	73	-4	
Rijnland	2018	92	8	92 / 164	56	-26	8,8
	2050	75	24	96 / 164	59	-14	
Delfland	2018	100	0	49 / 73	67	x	9,9
	2050	96	4	50 / 73	68	-10	
Voorne	2018	71	29	31 / 43	72	-19	3,6
	2050	70	30	30 / 43	70	-24	
Goeree	2018	92	8	25 / 75	33	-1	5,2
	2050	89	11	18 / 75	24	-22	
Schouwen	2018	100	0	73 / 94	78	x	12,8
	2050	100	0	73 / 94	78	x	
Noord-Beveland	2018	100	0	3 / 13	23	x	5,1
	2050	100	0	3 / 13	23	x	
Walcheren	2018	98	2	85 / 151	56	-10	4,4
	2050	97	3	86 / 151	57	-15	
Zeeuws-Vlaanderen	2018	93	7	55 / 79	70	-17	5,0
	2050	91	9	55 / 79	70	-19	

Afbeelding 3.2 Voorbeeld van de classificatie ruimte voor kustvak Rijnland met voldoende ruimte (A.1) en voor een aandachtslocatie (A.2), oftewel met respectievelijk positieve en negatieve ruimte



3.4 Ruimtelijke kaarten en aandachtslocaties

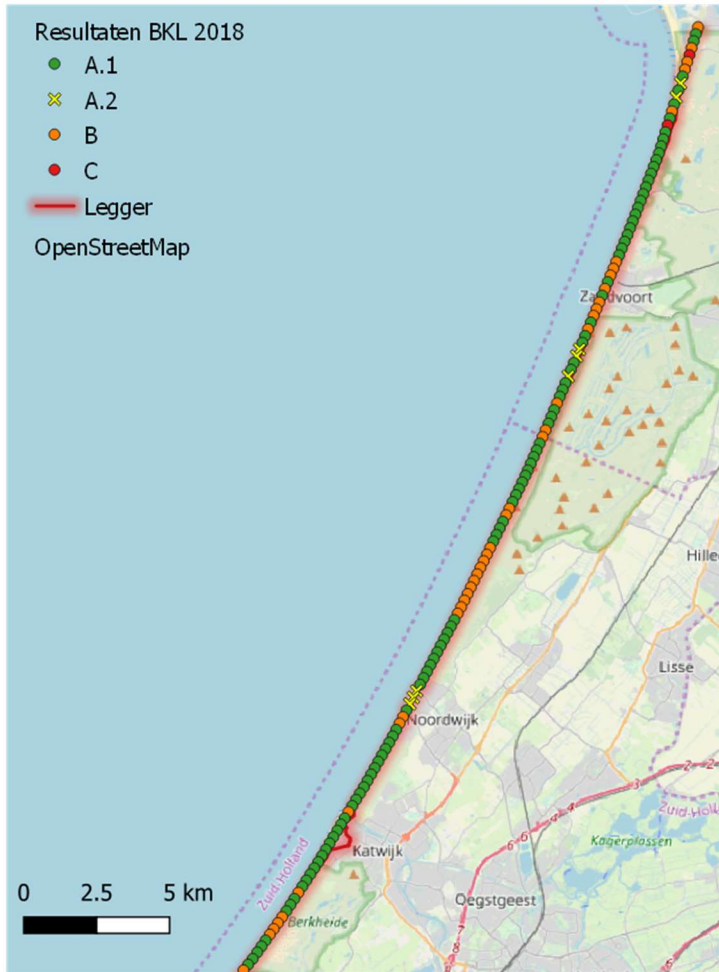
Om een ruimtelijk beeld te krijgen van de locaties waarop de trendanalyses bruikbaar en onbruikbaar zijn en waar de aandachtslocaties zich bevinden, zijn er ruimtelijke kaarten per kustvak gemaakt (voor zichtjaar 2018 en 2050). In deze paragraaf zijn als voorbeeld de resultaten van kustvak Rijnland opgenomen. In bijlage II zijn alle ruimtelijke kaarten opgenomen.

Rijnland

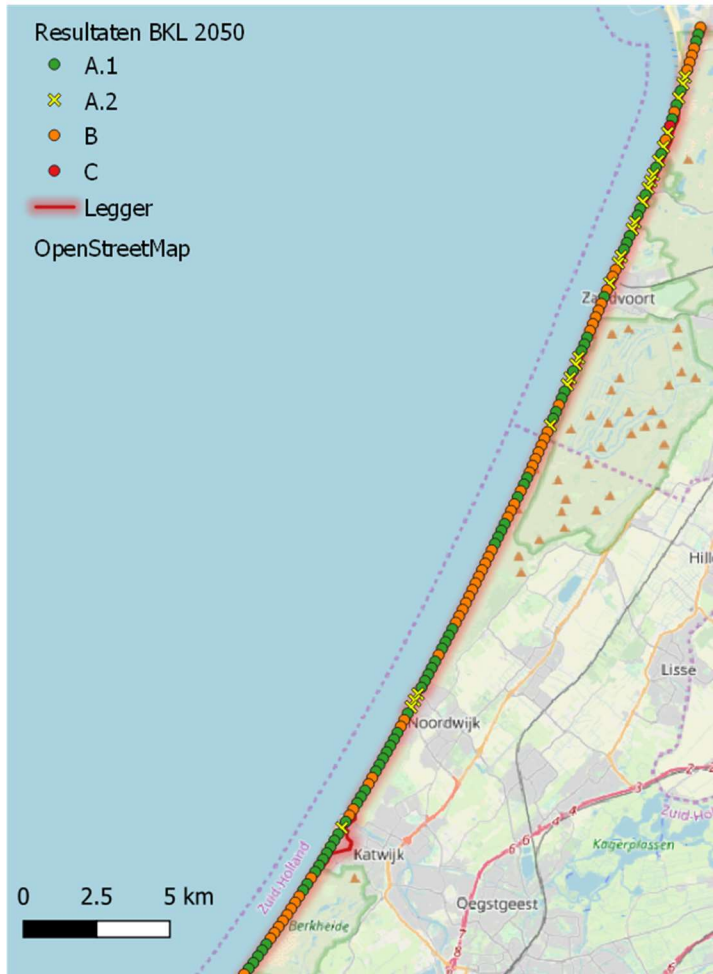
In Rijnland is 73 % van de kustlocaties in 2018 geschikt om een goede en betrouwbare analyse uit te voeren (van in klasse A, zie ook tabel 3.3). Afbeelding 3.3 geeft ruimtelijk weer waar die locaties zich bevinden. Voor de bruikbare punten in de trendanalyse geven de groene punten klasse A.1 weer en de gele markers klasse A.2. Afbeelding 3.4 geeft dit weer voor zichtjaar 2050, waarbij het percentage van klasse A is gezakt naar 59 %. Klasse B (onbetrouwbaar) of klasse C (negatieve correlatie) zijn weergegeven met oranje en rode punten. Voor deze punten is het niet mogelijk een BKL afslagpunt te bepalen met de toegepaste methodiek.

De ruimtelijke weergave laat zien dat de locaties waarop de trendanalyse toepasbaar is niet altijd gegroepeerd liggen. Verder laat de kaart van 2018 zien dat er voor dat zichtjaar drie clusters met aandachtsgebieden zijn voor Rijnland (acht locaties in totaal). De kaart van 2050 laat zien dat er een grote toename van aandachtsgebieden ontstaat voor dat zichtjaar. In 2050 blijven de clusters van 2018 bestaan, maar neemt het aantal aandachtslocaties sterk toe tussen Zandvoort en IJmuiden (24 locaties).

Afbeelding 3.3 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Rijnland 2018



Afbeelding 3.4 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Rijnland 2050



3.5 Gevoeligheid zeespiegelstijging

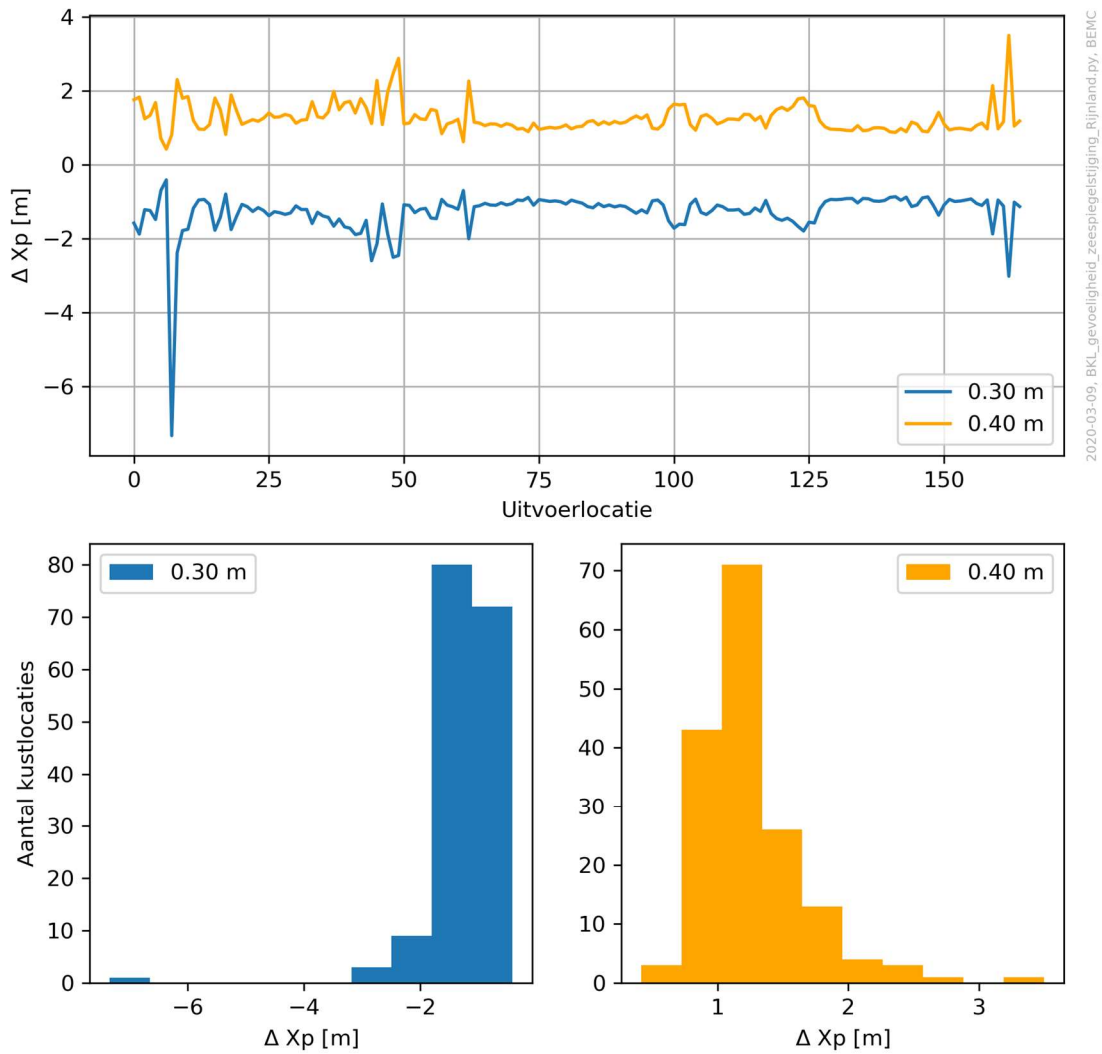
De gevoeligheid van de resultaten voor de zeespiegelstijging is bekeken voor kustvak Rijnland. Hiervoor zijn er sommen uitgevoerd met 0,30 m en 0,40 m zeespiegelstijging in 2050. De resultaten zijn vergeleken met de referentiesom waarbij er een zeespiegelstijging van 0,35 m gehanteerd is.

Afbeelding 3.5 laat zien dat het afslagpunt met een zeespiegelstijging van 0,30 m leidt tot een zeewaartse verschuiving van 1-2 m (ten opzichte van een zeespiegelstijging van 0,35 m). Omgekeerd leidt het verhogen van de zeespiegel tot 0,40 m tot een landwaartse verschuiving van 1-2 m. Er lijkt relatief weinig variatie tussen deze verschuivingen in kustvak Rijnland te zijn¹.

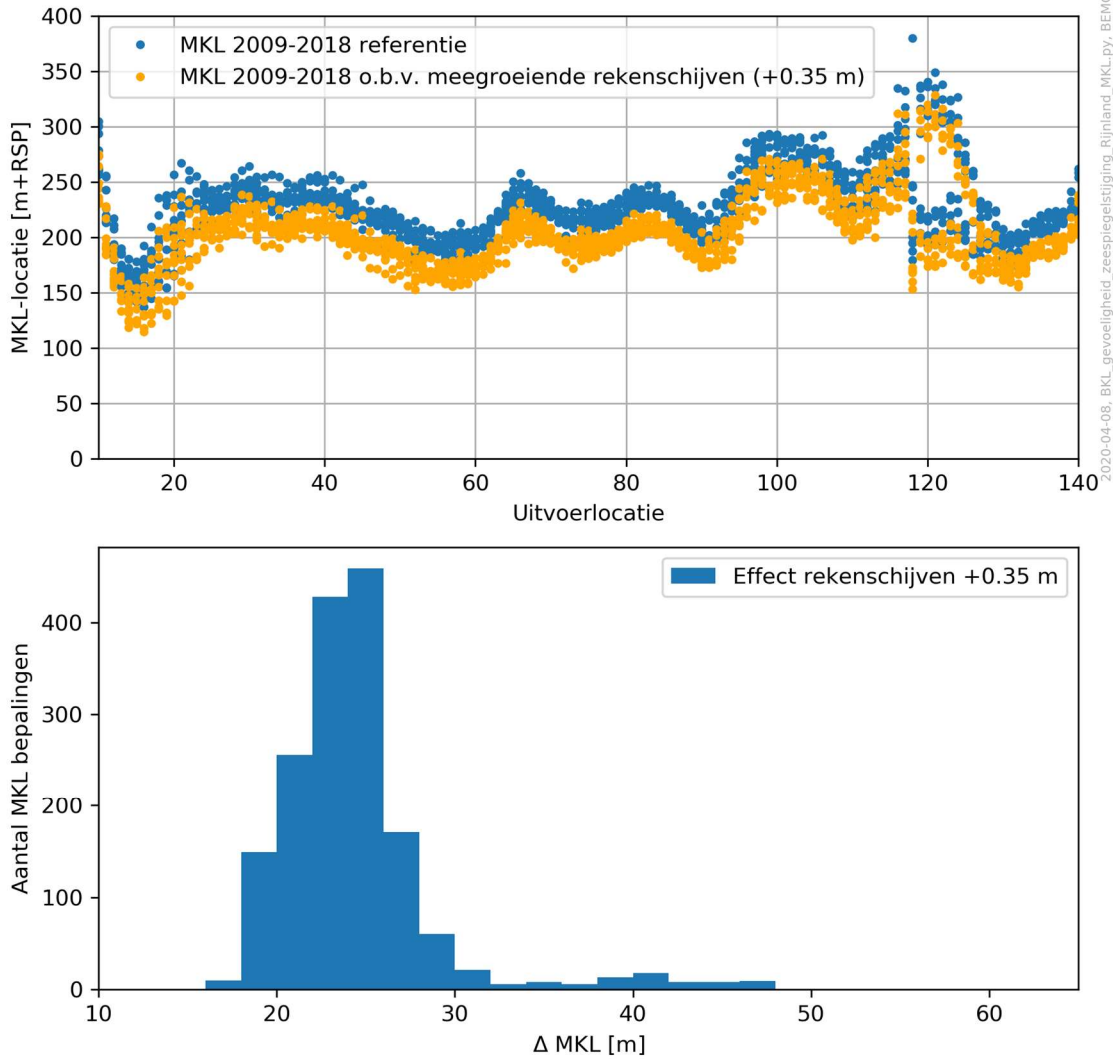
Afbeelding 3.6 laat zien dat de positie van de MKL erg gevoelig is voor het mee laten stijgen van de rekenschijven met zeespiegelstijging (afbeelding 2.9). Gemiddeld verschuift de MKL-positie zo'n 20-30 m landwaarts door het meestijgen van de rekenschijven met 0,35 m zeespiegelstijging in 2050. Op een enkele locatie is de MKL verschuiving meer 159 m. Op deze locatie (Rijnland - RSP 86.000, 2014) loopt de rekenschijf met zeespiegelstijging net in de duinvallei, waardoor deze grote verschuiving verklaard kan worden (afbeelding 3.7).

¹ Uitzondering is 1 locatie waarbij het afslagpunt 7 m zeewaarts verschuift bij een zeespiegelstijging van 0,30 m.

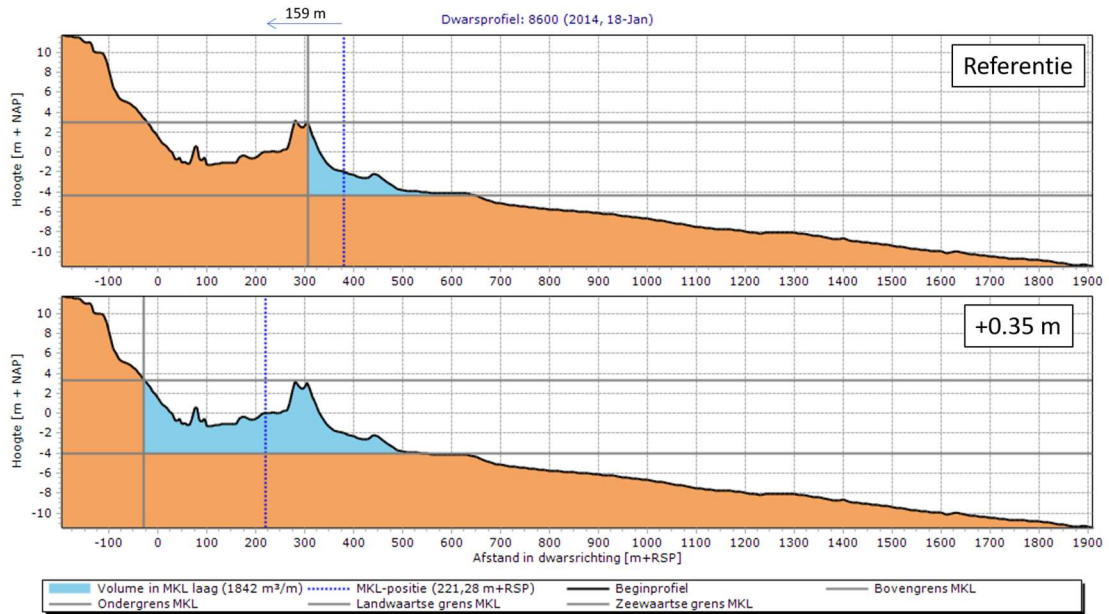
Afbeelding 3.5 Gevoeligheidsanalyse zeespiegelstijging voor kustvak Rijnland (positief is landwaarts). Het bovenste paneel geeft voor de kustlocaties in Rijnland (van zuid naar noord) de kustdwarse verschuiving van het afslagpunt weer (ΔX_p) bij een zeespiegelstijging van 0,30 m en 0,4 m (t.o.v. 0,35 m). In de onderste panelen geven histogrammen de verdeling van deze verschuiving weer voor een lagere (links) en hogere (rechts) zeespiegelstijging



Afbeelding 3.6 Gevoeligheidsanalyse voor het meegroeien van de MKL rekenschijven met de zeespiegelstijging voor kustvak Rijnland (positief is landwaarts). Het bovenste paneel geeft voor de kustlocaties in Rijnland (van zuid naar noord) de positie van de MKL weer voor de jaren 2009-2018. In het onderste paneel geeft het histogram de verdeling van deze verschuiving weer voor zeespiegelstijging



Afbeelding 3.7 Kustwarse weergave extreme verschuiving MKL positie als gevolg van zeespiegelstijging in rekenschijven. Het bovenste paneel geeft het resultaat van de referentie som weer in 2014. Het onderste paneel geeft het resultaat inclusief verhoging van de rekenschijven weer voor hetzelfde profiel (Rijnland - RSP 86.000)



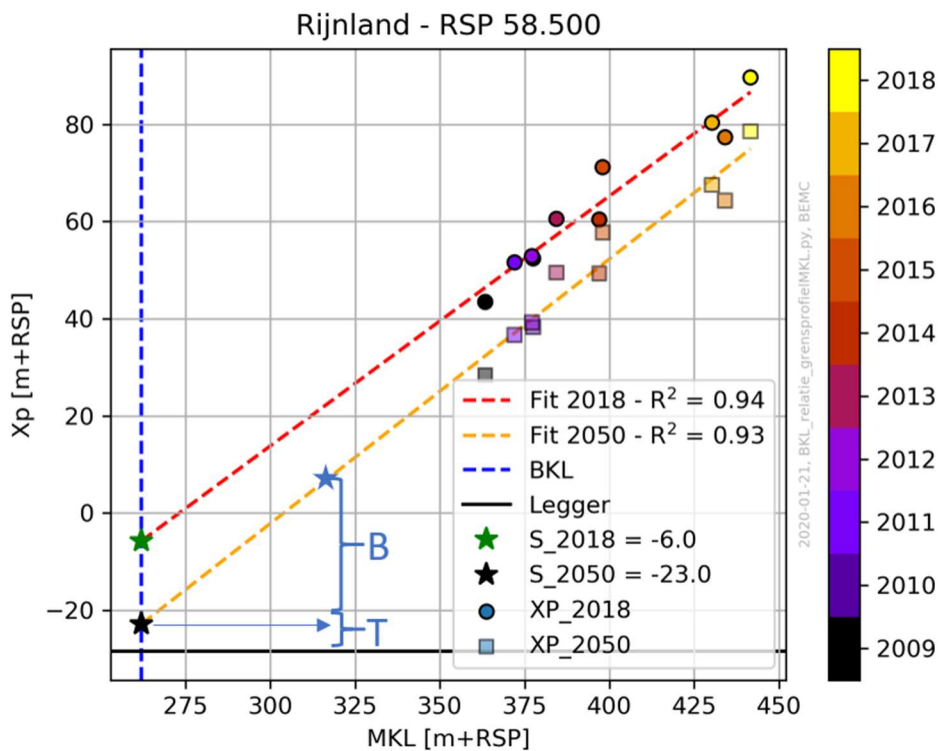
4

DISCUSSIE

4.1 Extrapolatie en ligging BKL

De resultaten uit deze studie geven aan dat er in de meeste kustvakken aandachtslocaties in zowel 2018 als 2050 zijn. Met een positieve correlatie tussen MKL en afslagpunten zal een zeewaartse verlegging van de BKL leiden tot een zeewaartse verschuiving van het (fictieve) afslagpunt (zie bijvoorbeeld afbeelding 4.1). Overigens moet voorzichtig omgegaan worden met extrapolatie naar het BKL punt, want dan kan bijvoorbeeld het fictieve afslagpunt op een zwakke plek komen te liggen (bijvoorbeeld duinvalei, zie bijvoorbeeld afbeelding 3.7). Er is immers geen garantie dat er ook voldoende duinvolume landwaarts ligt van het grensprofiel op basis van deze rekenmethodiek.

Afbeelding 4.1 Trendanalyse van een aandachtslocatie in Rijnland voor 2018 en 2050. Voor deze kustlocatie kan een zeewaartse verlegging van de BKL tot meer ruimte in het profiel leiden. Deze benodigde verschuiving is aangegeven in blauwe kleuren, de pijl geeft de zeewaartse verschuiving aan, B de breedte van het grensprofiel, T de gehanteerde toeslag



4.2 Zeespiegelstijging

In deze studie is een waterstandsverhoging van 0,35 m als uitgangspunt gekozen om het effect van zeespiegelstijging in 2050 mee te nemen. Om de gevoeligheid van dit uitgangspunt in kaart te brengen zijn er rekenommen gedaan met een zeespiegelstijging van 0,30 en 0,40 m. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor kustvak Rijnland en laten een gemiddelde verschuiving van 1-2 m zeewaarts of landwaarts zien. Ten opzichte van de analyse die uitgevoerd is van de ruimte (en de bijbehorende aandachtslocaties) zijn deze verschuivingen gering. Tevens is er in de bepaling van de aandachtslocaties een toeslag van 10 m meegenomen. Hiermee kan gesteld worden dat dit uitgangspunt geen grote impact zal hebben op de uitkomsten van deze studie en de resulterende aandachtslocaties.

4.3 Hybride keringen en aansluitingsconstructies

In deze studie zijn harde constructies niet in detail meegenomen. Op locaties waar deze constructies wel aanwezig zijn, zijn de berekeningen met DUROS+ daarom mogelijk niet representatief. Aangezien harde constructies niet voorkomen in de meeste kustlocaties, geeft deze studie wel een goed algemeen beeld van de ruimteontwikkeling tussen 2018 en 2050 en de bijbehorende aandachtslocaties. Lokaal kunnen de resultaten wel anders zijn als gevolg van harde constructies.

4.4 Het grensprofiel

Een ander uitgangspunt is dat het grensprofiel van 2018 gebruikt mag worden voor zichtjaar 2050. Er bestaat echter een mogelijkheid dat het grensprofiel in 2050 voor sommige locaties niet meer op de traditionele manier in het duin past. Hierdoor zal het grensprofiel op die locaties volumetrisch ingepast moeten worden in 2050 en neemt de breedte van het grensprofiel toe.

4.5 Aanvullen profielen landwaarts

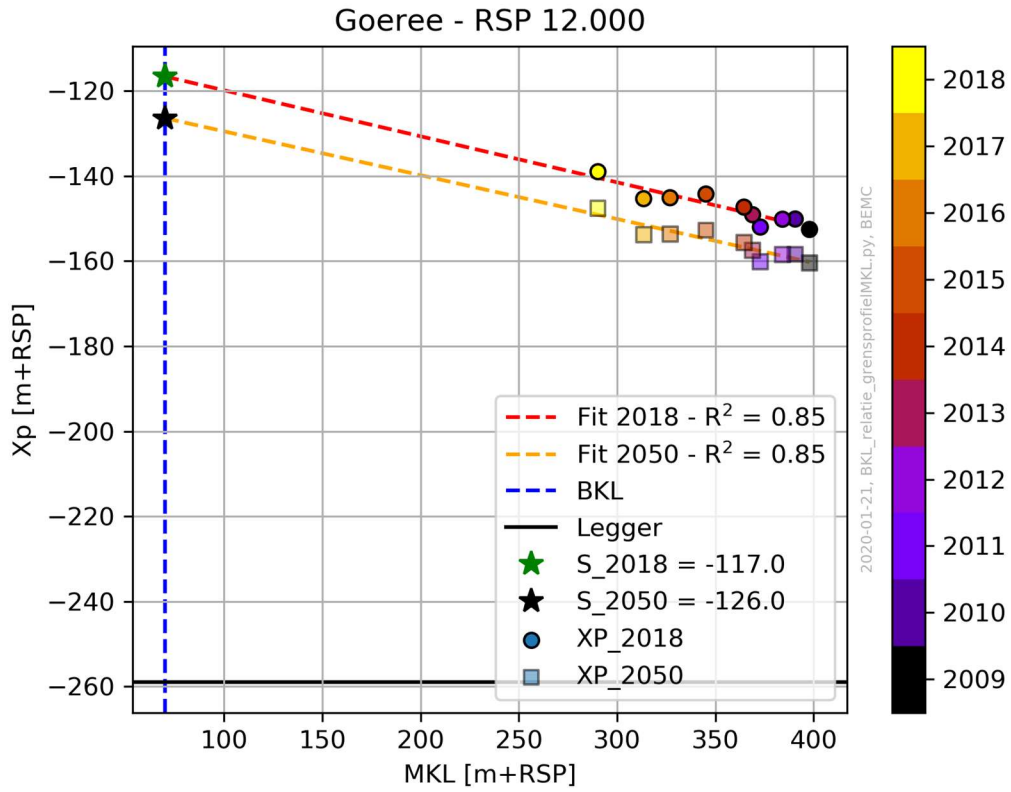
Het aanvullen van de JARKUS raaien met behulp van AHN data is niet uitgevoerd in deze studie. Door deze stap wel uit te voeren zullen er mogelijk meer kustlocaties zijn waarop de trendanalyse uit te voeren is. Dit is onderzocht voor de JARKUS raaien van 2018, waaruit bleek dat er voor zes locaties aan landwaartse aanvulling van het profiel nodig was.

4.6 Negatieve correlatie trendanalyse

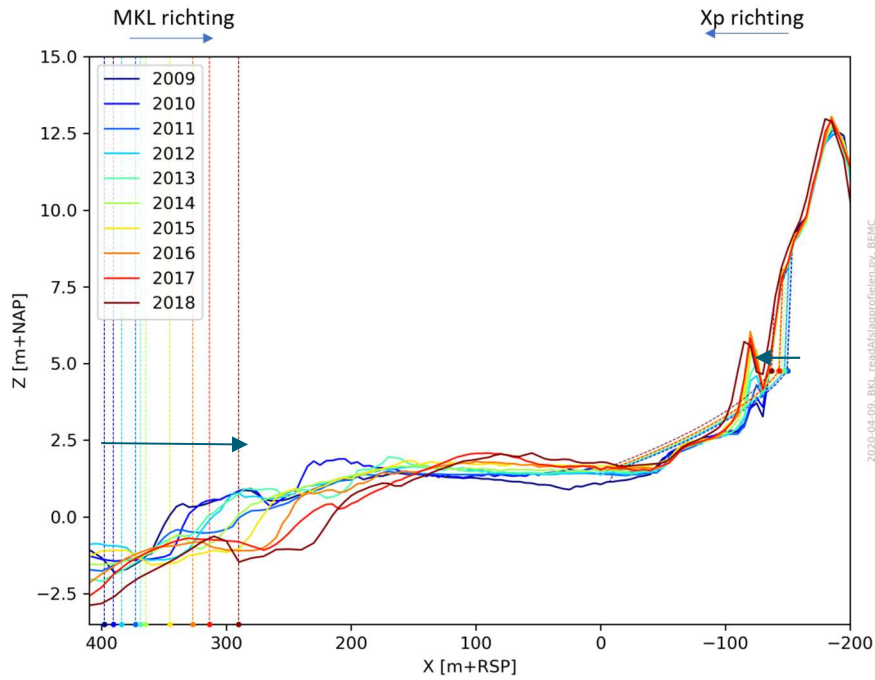
De toegepaste rekenmethodiek resulteerde voor kustvakken Schiermonnikoog, Ameland en Goeree tot veel locaties met een sterke negatieve correlatie. Op deze locaties treedt een verschuiving van het duinfront naar zee op terwijl de MKL landwaarts verplaatst (zie afbeelding 4.2 en afbeelding 4.3). Dit kan onder andere optreden door verschuiving van een geul en/of aangroei van het duin [ref. 1]. De locaties waarop een sterke negatieve correlatie gevonden is zijn niet gebruikt in de analyse van de ruimteverschillen in 2018 en 2050. Extrapolatie op basis van deze lijn, naar de positie van de BKL kan namelijk een te gunstig beeld geven omdat er dan niet zoveel duin aanwezig zal zijn.

Deze negatieve relaties kunnen echter wel een goed beeld geven van trends waarbij er een verschuiving van het duinfront en de MKL positie plaatsvindt.

Afbeelding 4.2 Voorbeeld van negatieve correlatie voor RSP9.200 op Schiermonnikoog



Afbeelding 4.3 Voorbeeld van de verschuivingen van de MKL en het afslagpunt (Xp) tussen 2009 en 2018. Aangezien deze twee parameters tegengesteld bewegen is hier sprake van een negatieve correlatie



5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusies

Uit het onderzoek zijn de volgende conclusies te trekken met betrekking tot de rekenmethodiek:

- de in het onderzoek gebruikte methodiek om met DUROS+ de afslag van kustprofielen te bepalen is voldoende nauwkeurig om de duurzaamheid van het huidige beleid te bepalen;
- ook de extra toeslag en andere toevoegingen in MorphAn voor de locaties waar maatwerk nodig is, werken goed in de gekozen methodiek;
- de toegepaste rekenmethodiek voor het opstellen van de trendanalyses is voor meer dan de helft van de kustlocaties bruikbaar in de volgende kustvakken:
 - Texel;
 - Noord-Holland;
 - Rijnland;
 - Delfland;
 - Voorne;
 - Schouwen;
 - Walcheren;
 - Zeeuws-Vlaanderen;
- voor kustvakken Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling, Vlieland, Goeree en Noord-Beveland geeft minder dan 50 % van de kustlocaties een betrouwbaar resultaat (klasse A). Resultaten voor deze kustvakken kunnen daarom niet gebruikt worden om de doelstelling van deze studie te toetsen;
- indien niet gelet wordt op de betrouwbaarheid van de fit (dus A en B locaties), maar de negatieve correlatie wordt uitgesloten, dan kunnen wel alle kustvakken beschouwd worden (meer dan 80 % van de locaties valt in A of B).

Uit het onderzoek zijn de volgende conclusies te trekken met betrekking tot de resultaten:

- als de huidige kustlijn zorg wordt voortgezet (handhaven van de BKL door daar waar nodig suppleties uit te voeren) laten de resultaten van deze studie zien dat er gemiddeld zo'n 5-20 m afname in (veiligheids)ruimte tussen 2018 en 2050 is als gevolg van zeespiegelstijging;
- de beleidsdoelstelling uit 1990 dat kustlijn zorg duurzaam is klopt voor de meeste kustvakken. Het aantal locaties waar de kustveiligheid in het geding komt neemt niet toe tussen 2018 en 2050. Uitzondering hierop zijn de kustvakken Rijnland en Voorne. Bij Rijnland neemt het aantal locatie met mogelijk een ruimtegebrek toe in 2050. In Voorne is zowel nu als in 2050 het aantal locatie met ruimtegebrek op basis van deze rekenkundige exercitie groot¹. Wanneer het huidige beleid wordt gecontinueerd in de overige kustvakken zal dat in 2050 waarschijnlijk niet resulteren in veel extra onveilige locaties;
- voor het kustvak Rijnland is de toegepaste rekenmethodiek voor 2018 en 2050 representatief voor respectievelijk 56 % en 59 % van de kustlocaties. Van deze representatieve locaties is in 2018 8 % als aandachtsgebied geclassificeerd. Voor zichtjaar 2050 is dit percentage verdrievoudigd naar 24 %;
- voor het kustvak Voorne is de toegepaste rekenmethodiek voor 2018 en 205 representatief voor respectievelijk 72 % en 70 % van de kustlocaties. Van deze representatieve locaties is in 2018 29 % als aandachtsgebied geclassificeerd. Voor zichtjaar 2050 is dit percentage nagenoeg gelijk met 30 %.

¹ Voor Vlieland geldt ook dat het aantal locatie met ruimtegebrek groot is, maar hierbij is de analyse uitgevoerd voor een klein aantal (~10 %) van het totaal aantal locaties.

5.2 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om voor de resulterende aandachtslocaties in deze studie, met name voor kustvak Rijnland en Voorne, te onderzoeken hoe aanpassingen aan de BKL kunnen leiden tot een duurzaam kustbeleid.

Voor kustvakken Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling, Vlieland, Goeree en Noord-Beveland geeft minder dan 50 % van de kustlocaties een betrouwbaar resultaat. Dit kan verschillende oorzaken hebben (bijvoorbeeld door grote veranderingen in de geometrie, onnauwkeurige of onvolledige data). Nadere onderzoek naar deze locaties kan het aantal betrouwbare locaties doen toenemen.

Verder wordt geadviseerd om voor aandachtslocaties ter plaatse van harde constructies additionele berekeningen uit te voeren waarin de toets op maat toegepast wordt.

6

REFERENTIES

- 1 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat (RWS) (1989). Kustverdediging na 1990, Beleidskeuze voor de Kustlijn­zorg. Tweede Kamer, 1990(21), 136.
- 2 MorphAn. Rijkswaterstaat (2019). <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/aanleg-onderhoud/aanleg-onderhoud/morphan/>
- 3 Deltares (2012). Kustonderhoud en duinveiligheid. Deltares rapport 1206189.
- 4 Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017. Bijlage III Sterkte en veiligheid (Ministeriele regelingen).
- 5 Helpdesk Water (2017). Vraag Waterschap Hollandse Delta omtrent kustkromming richting Helpdesk Water (vraagnummer # 17 08 1247).
- 6 Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) (2007). Technisch Rapport Duinafslag 2006; Beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering ten behoeve van Voorschrift Toetsing op Veiligheid 2006. TRDA2006.
- 7 KNMI Klimaatscenario's. KNMI'06, 25-05-2007. Samenvatting. KNMI. <http://www.klimaatscenarios.nl/knmi06/samenvatting/>

Bijlage(n)

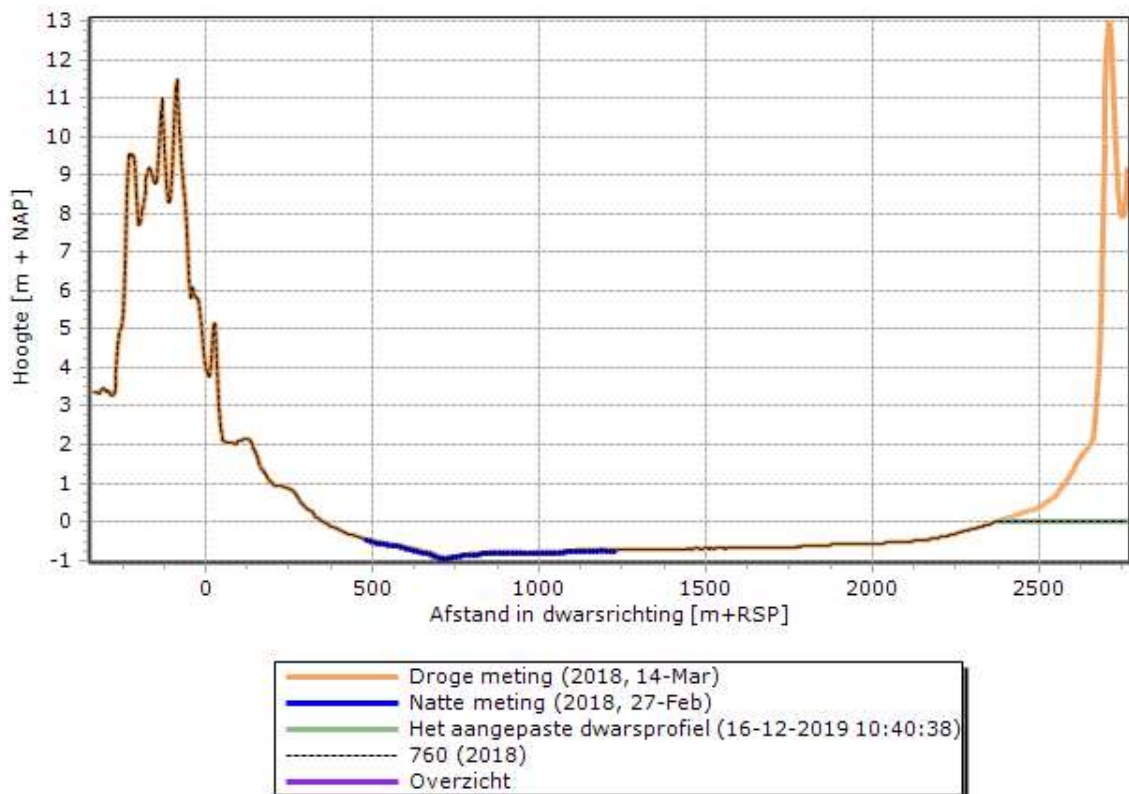
BIJLAGE: AANPASSINGEN JARKUS RAAIEN IN MORPHAN

Tabel I.1 Locaties waarop het profiel zeewaarts verwijderd is in de JARKUS raai

Kustlocatie

Voorne - RSP 7.600
Voorne - RSP 7.400
Voorne - RSP 7.200
Voorne - RSP 7.000
Voorne - RSP 6.800
Voorne - RSP 6.600

Afbeelding I.1 Voorbeeld aanpassing zeewaarts profiel Voorne - RSP 7.600 (2018)

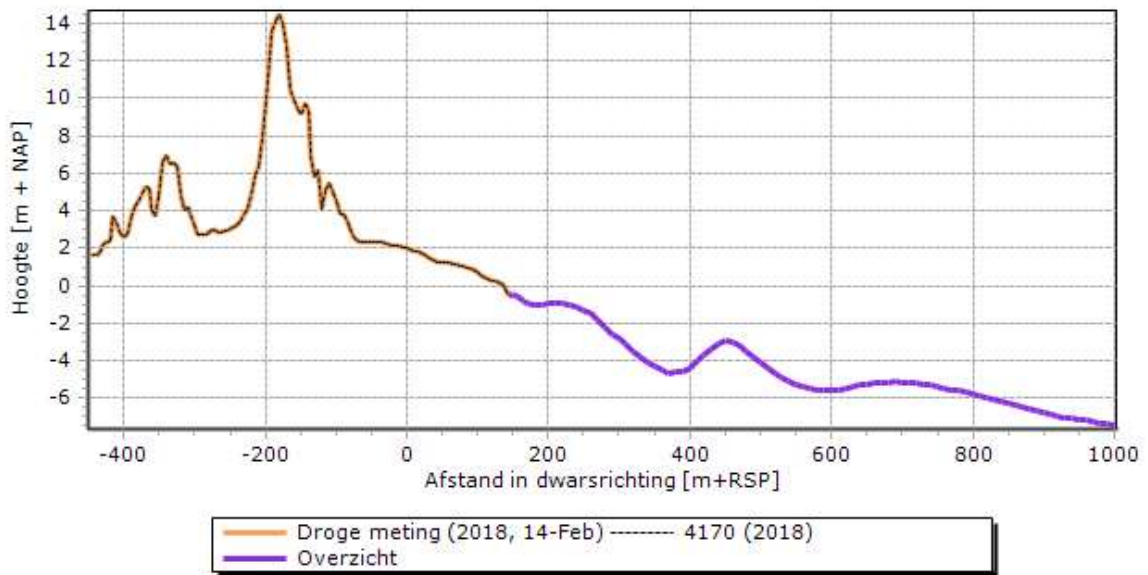


Tabel I.2 Locaties waarop het profiel zeewaarts aangevuld is met voorgaande jaren in de JARKUS raai

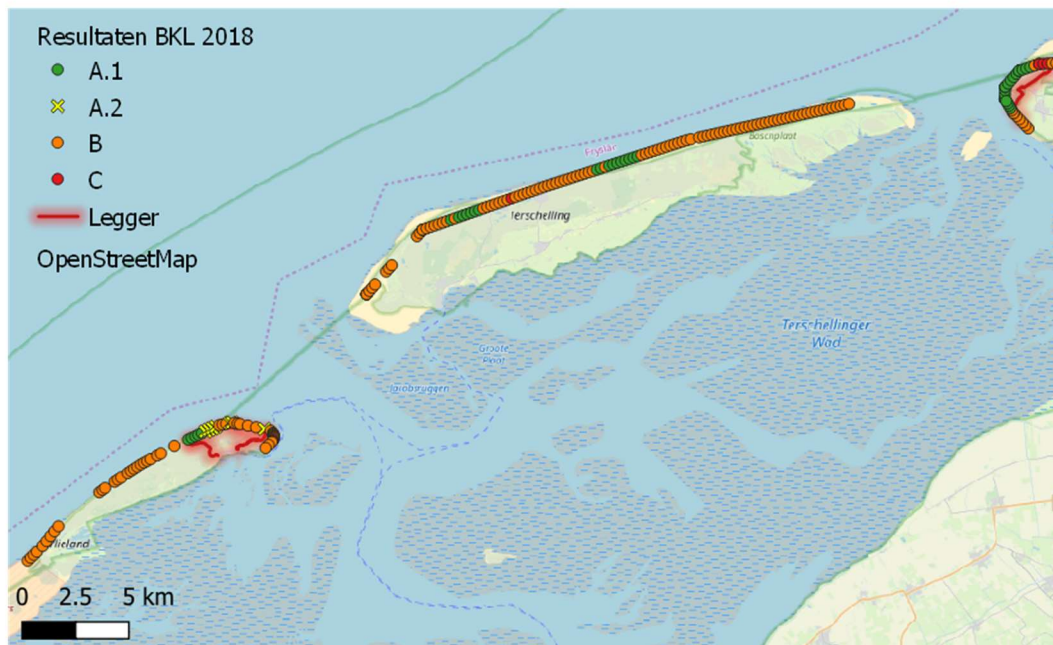
Kustlocatie

Vlieland - RSP 53.070
Vlieland - RSP 52.670
Vlieland - RSP 52.270
Vlieland - RSP 42.040
Vlieland - RSP 42.000
Vlieland - RSP 41.740
Vlieland - RSP 41.700
Vlieland - RSP 41.440

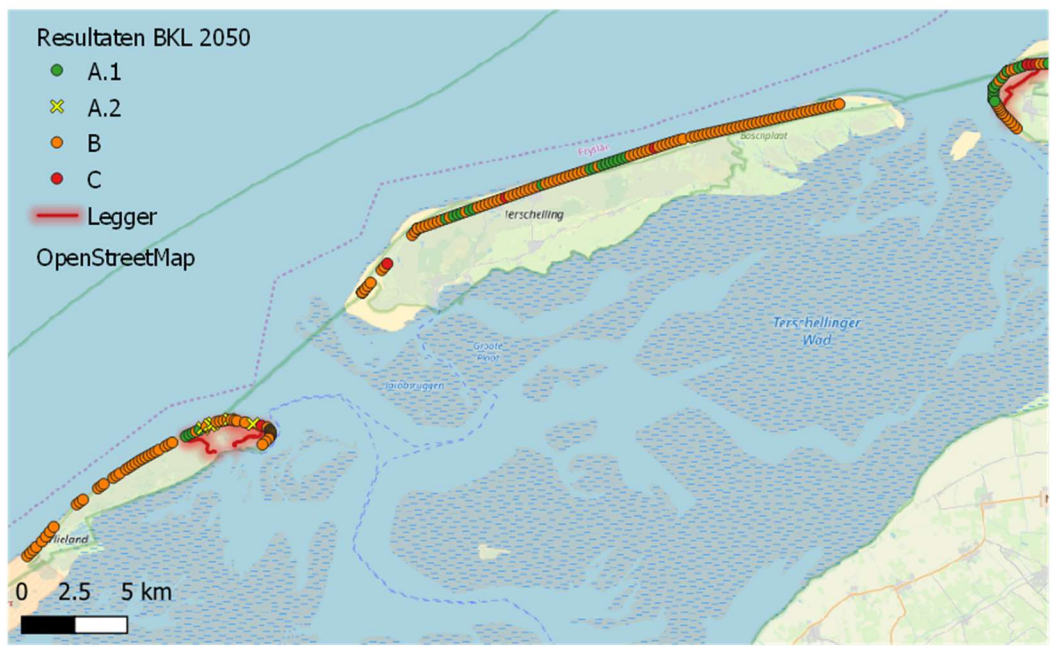
Afbeelding I.2 Voorbeeld aanvulling zeewaarts profiel Vlieland - RSP 41.400 (2018)



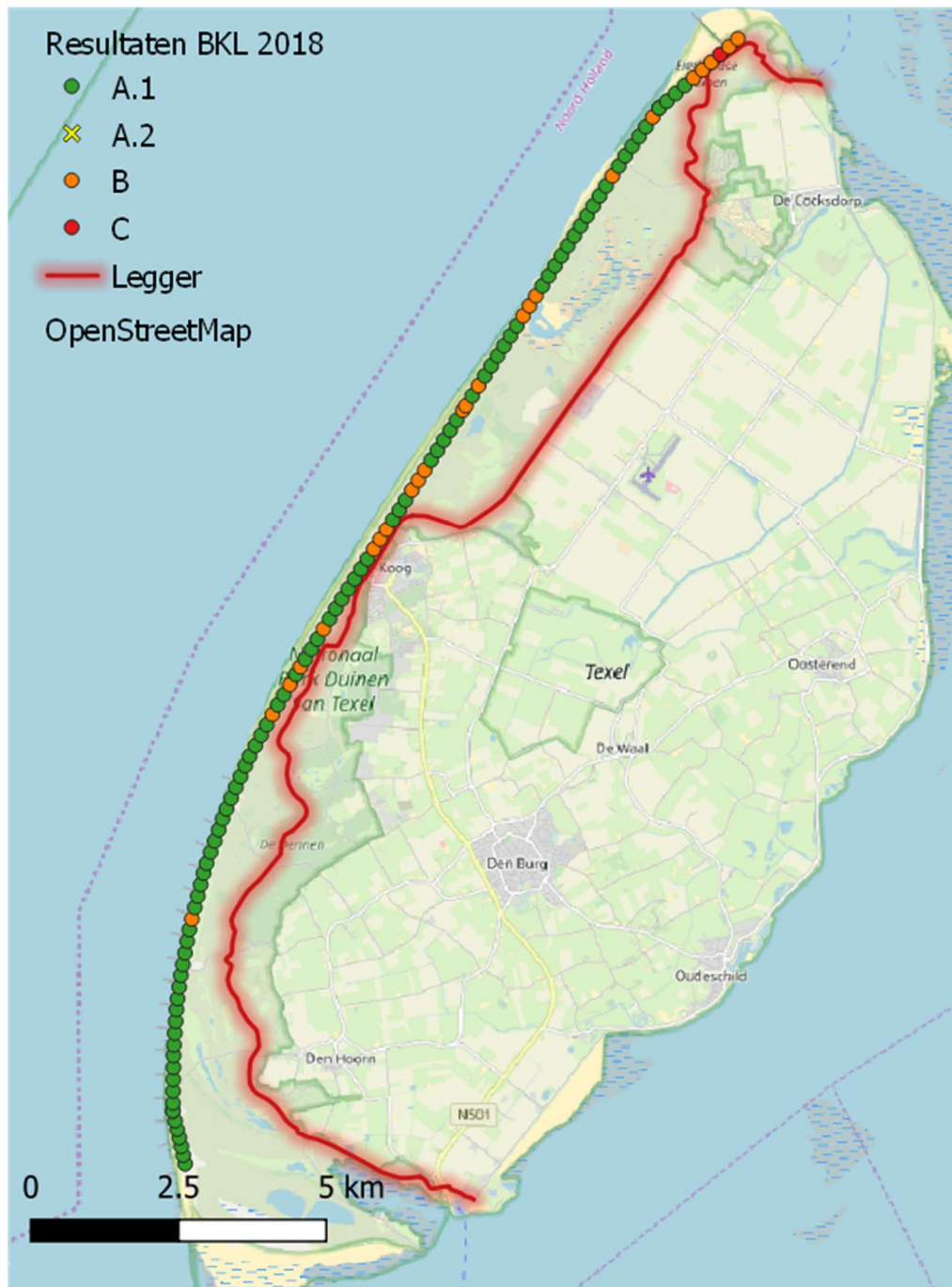
Afbeelding II.3 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Vlieland en Terschelling 2018



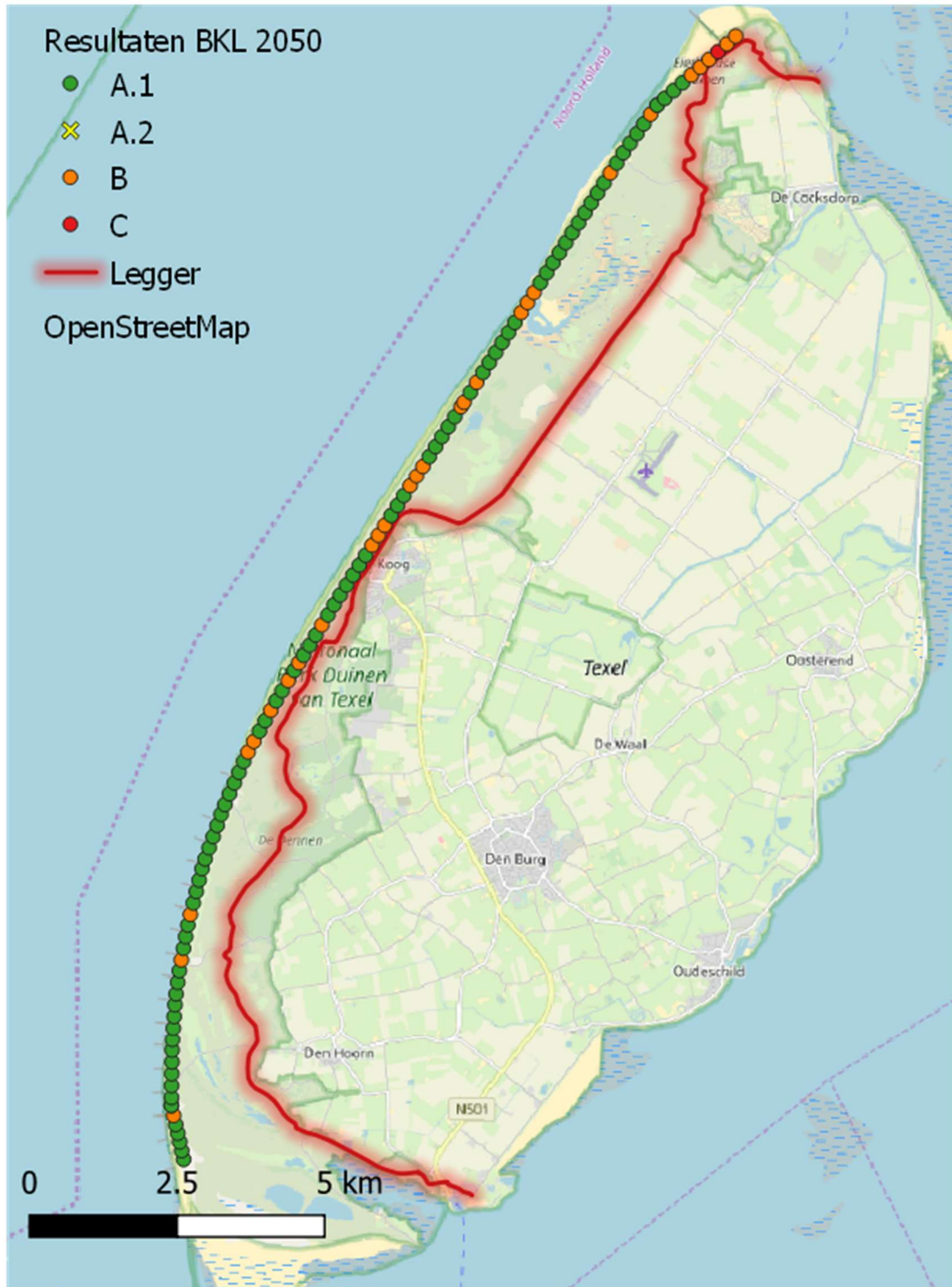
Afbeelding II.4 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Vlieland en Terschelling 2050



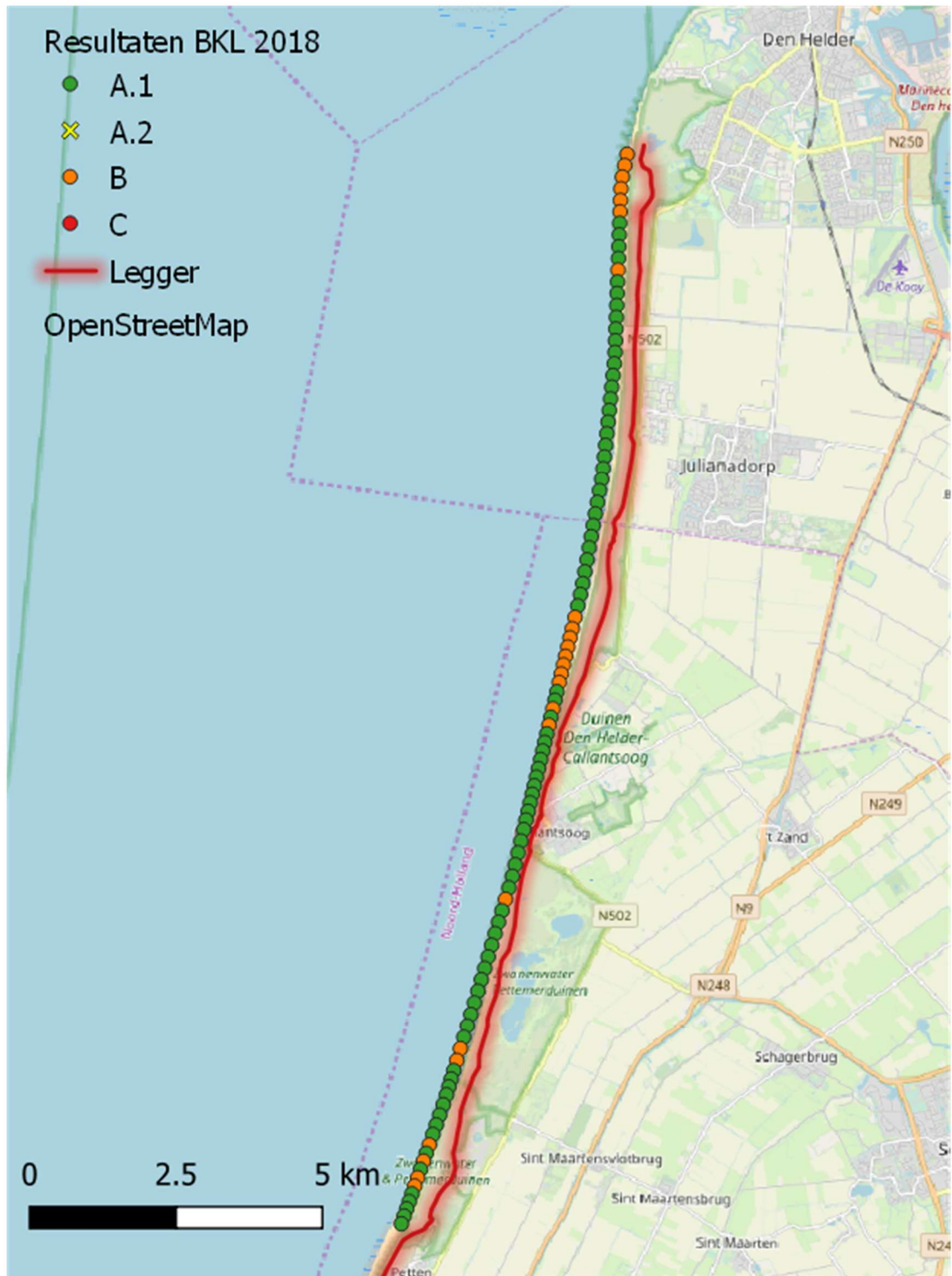
Afbeelding II.5 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Texel 2018



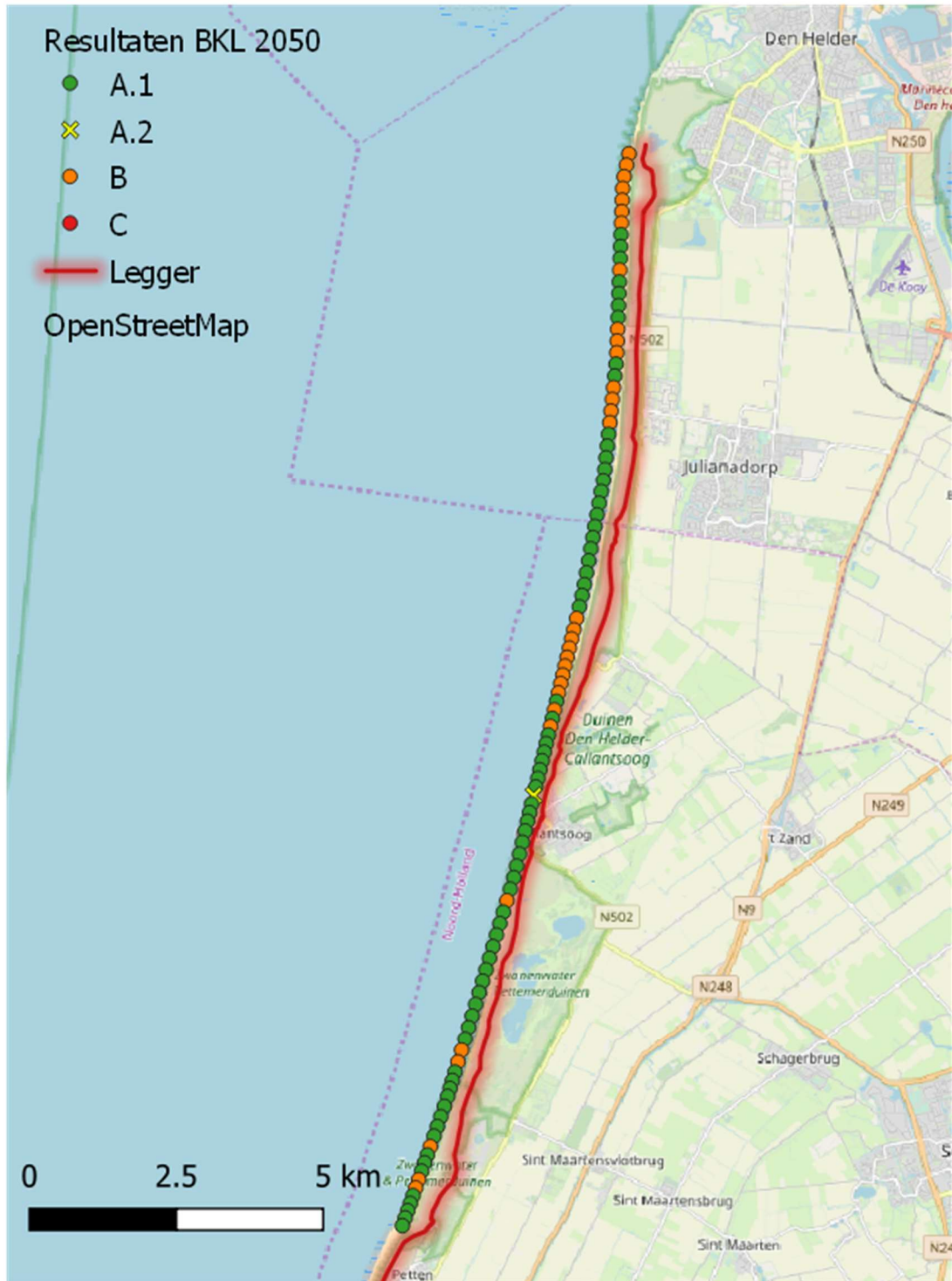
Afbeelding II.6 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Texel 2050



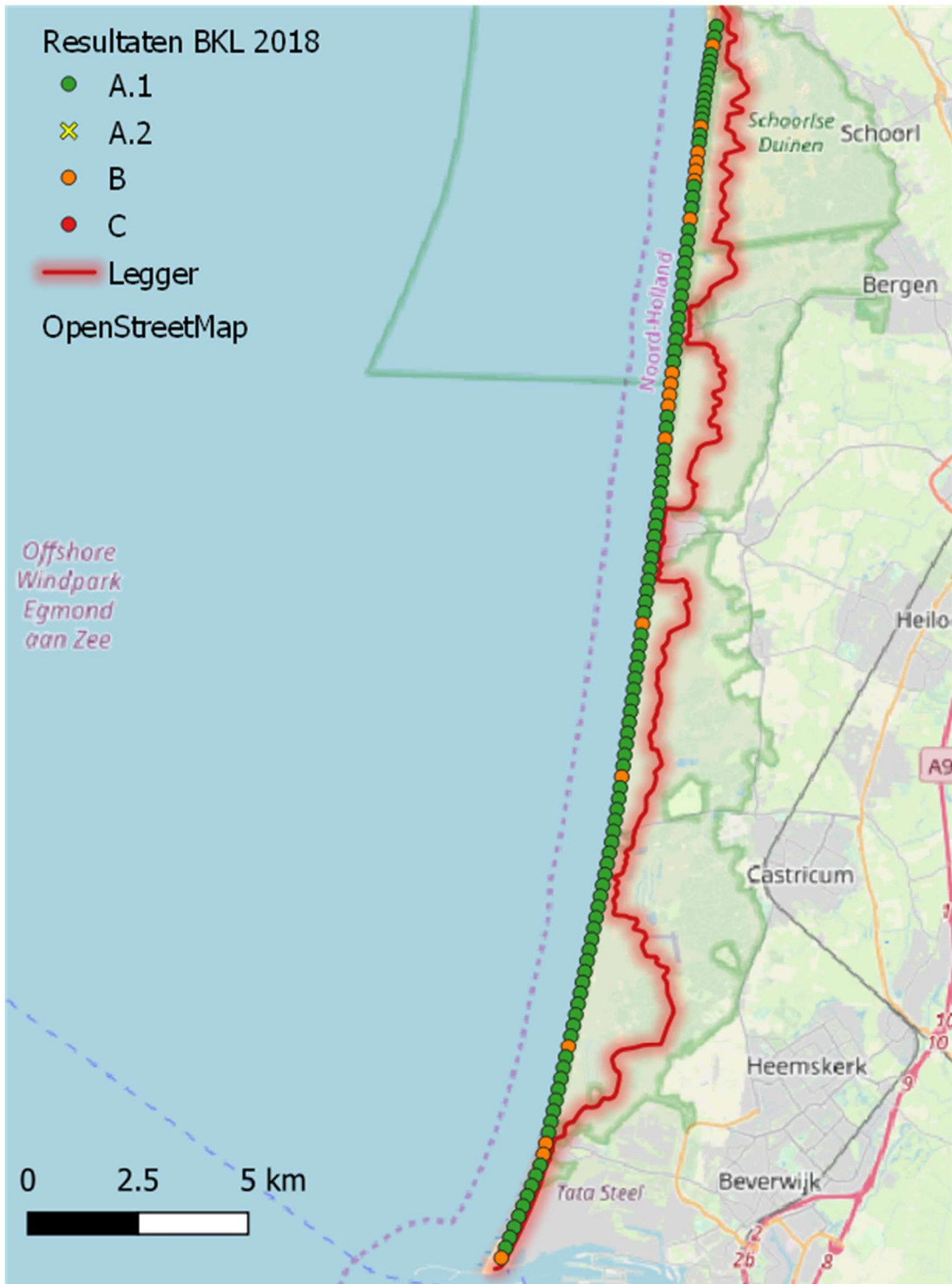
Afbeelding II.7 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Noord-Holland 2018 (deel 1)



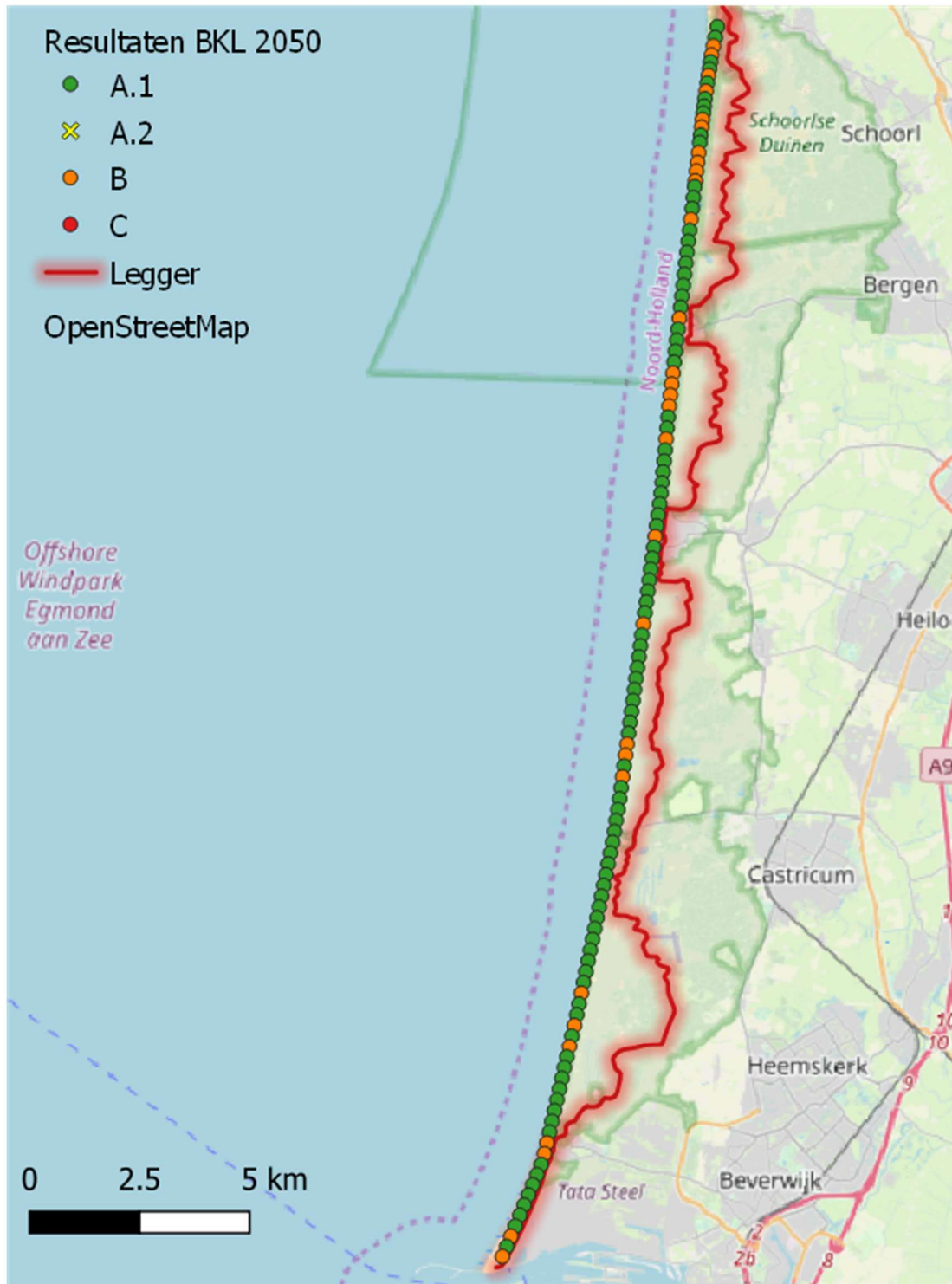
Afbeelding II.8 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Noord-Holland 2050 (deel 1)



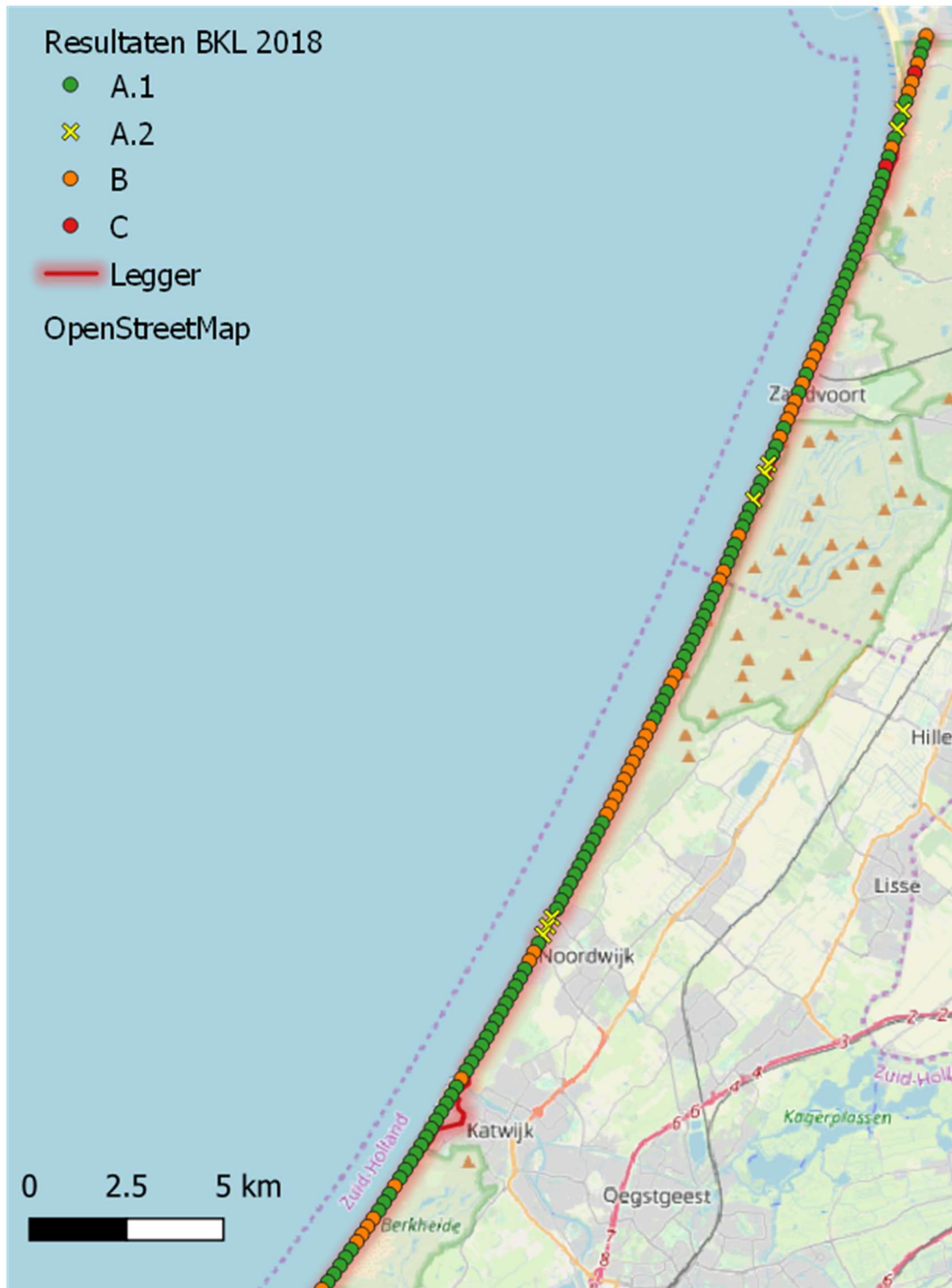
Afbeelding II.9 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Noord-Holland 2018 (deel 2)



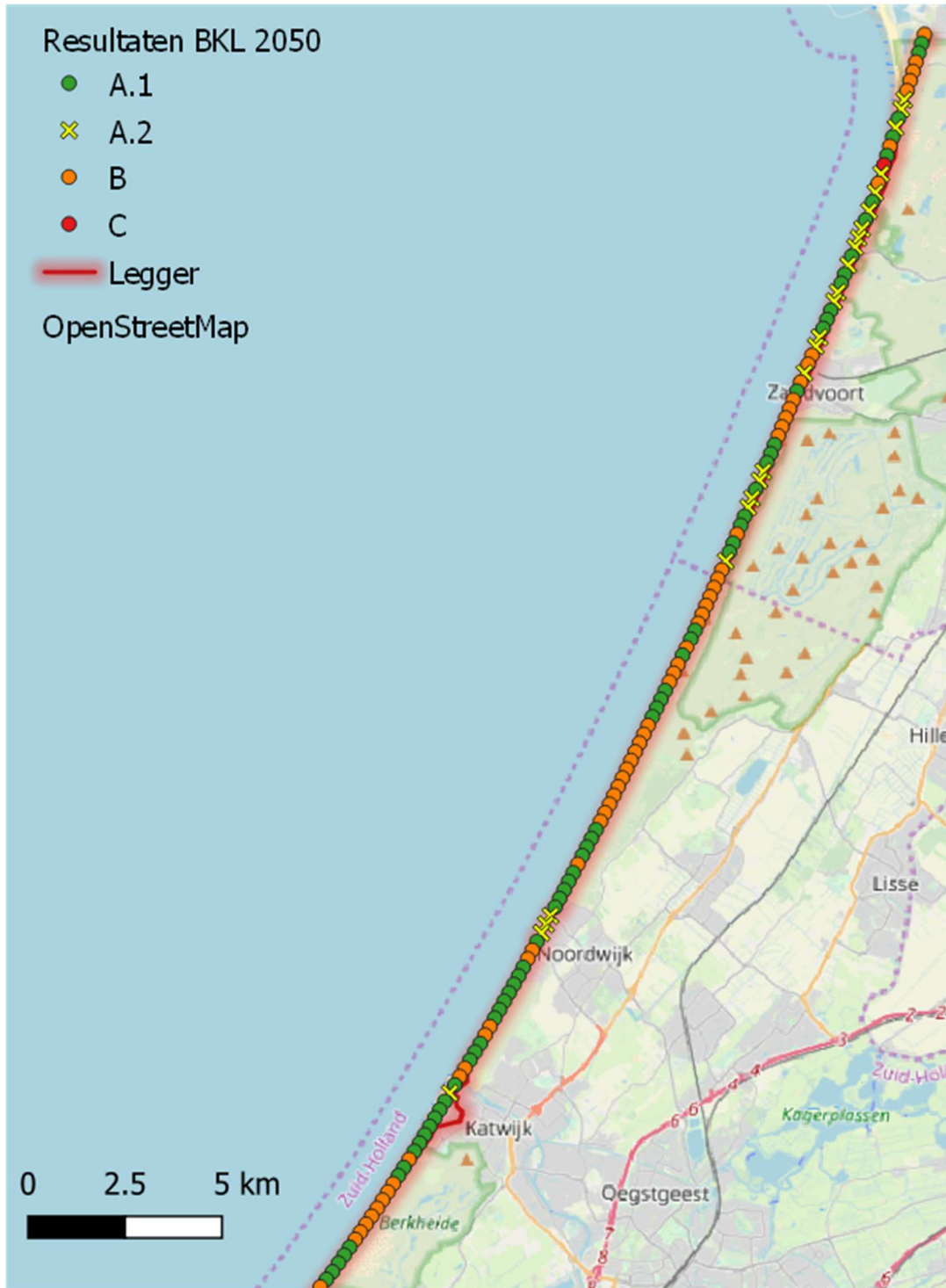
Afbeelding II.10 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Noord-Holland 2050 (deel 2)



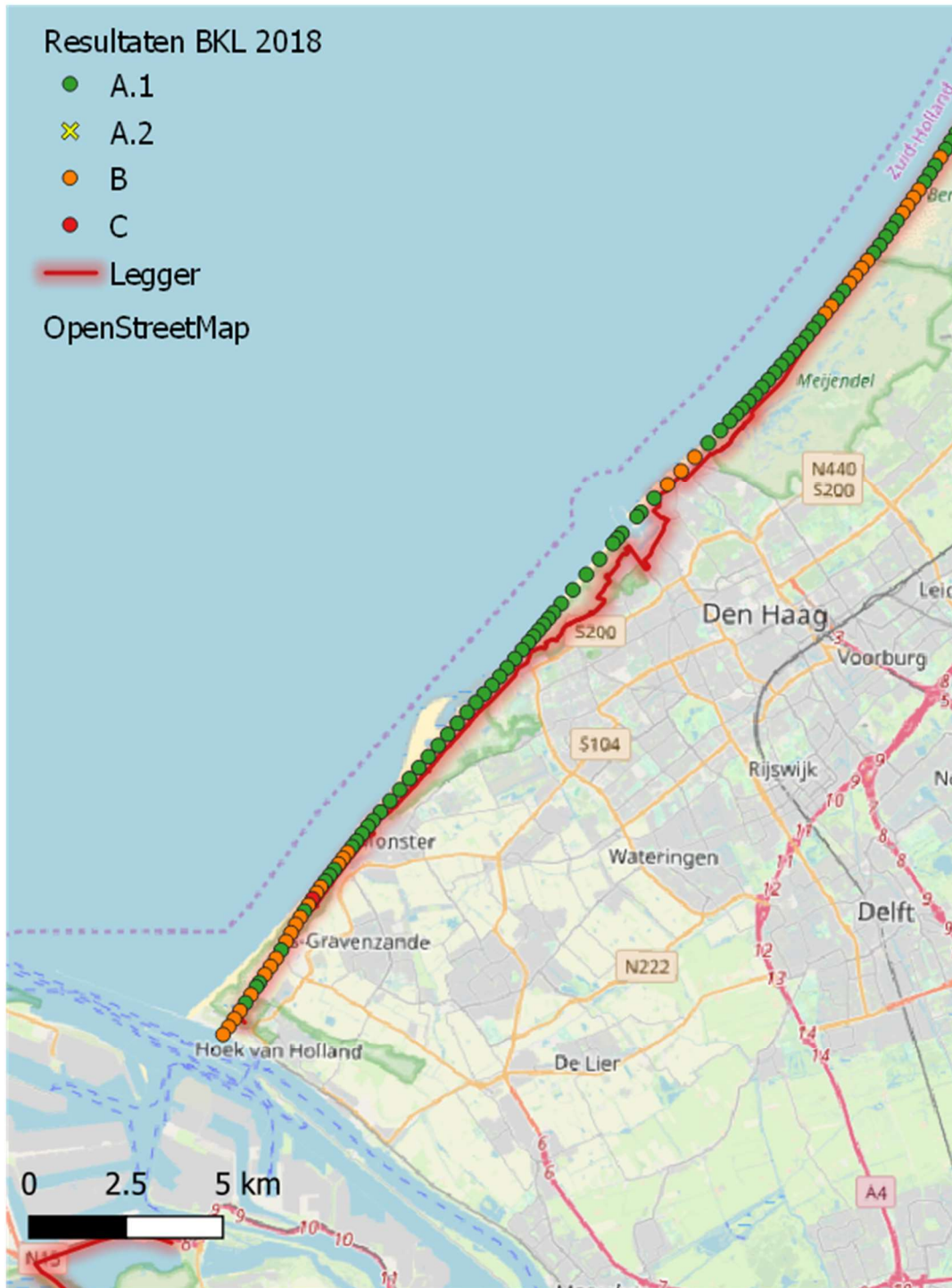
Afbeelding II.11 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Rijnland 2018



Afbeelding II.12 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Rijnland 2050



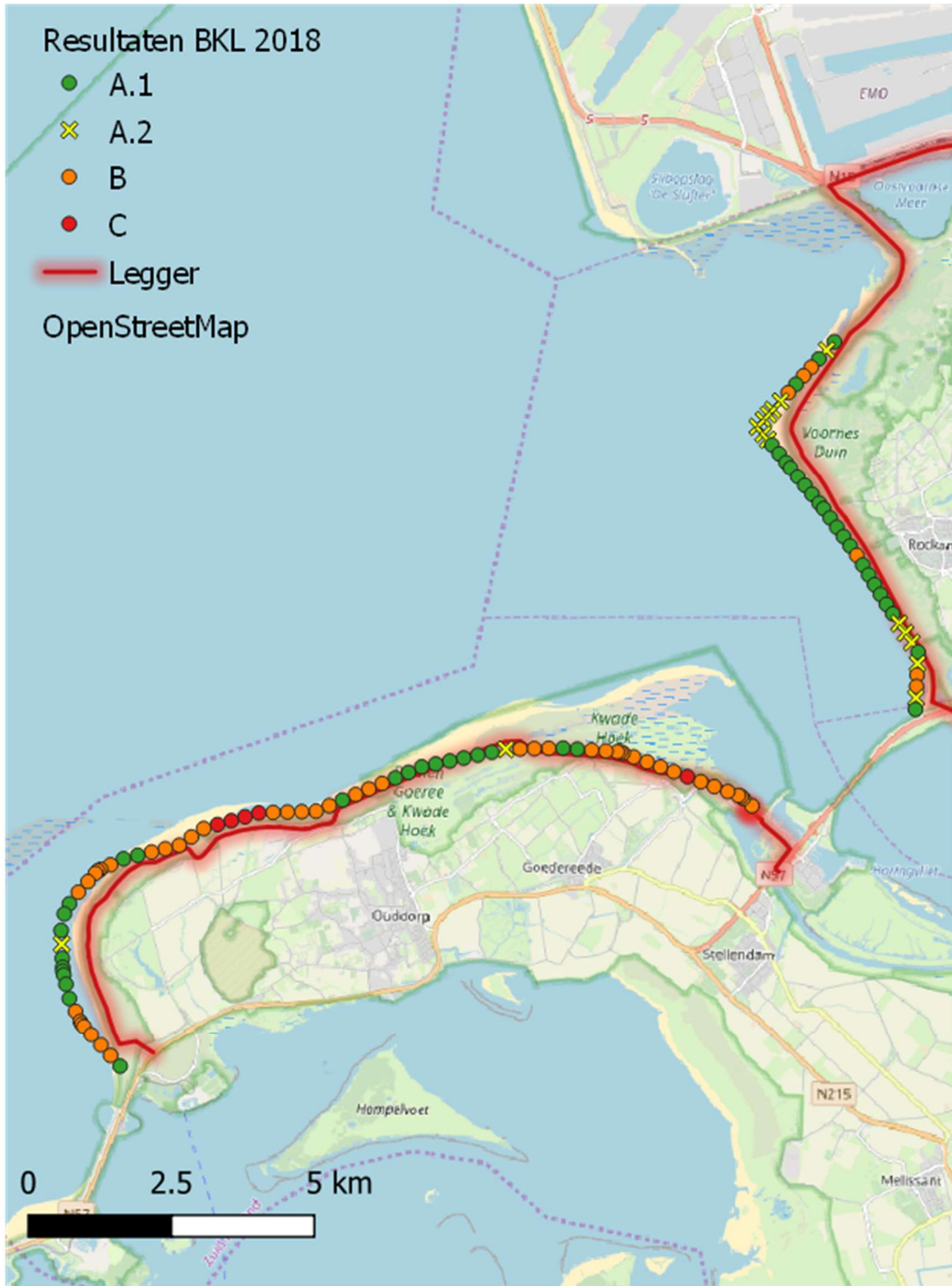
Afbeelding II.13 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Delfland 2018



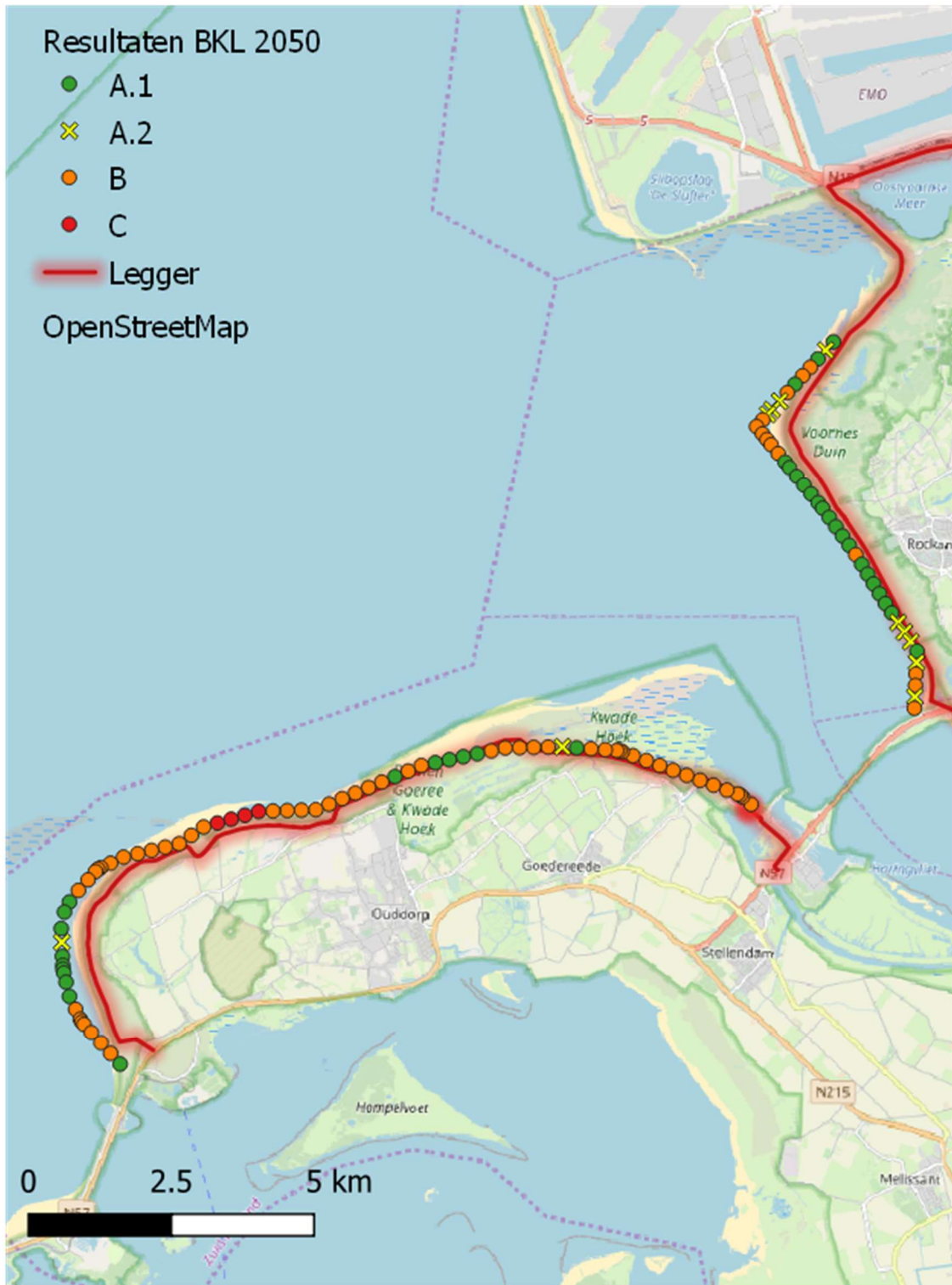
Afbeelding II.14 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Delfland 2050



Afbeelding II.15 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Voorne en Goeree 2018



Afbeelding II.16 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Voorne en Goeree 2050



Afbeelding II.17 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Schouwen 2018



Afbeelding II.18 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Schouwen 2050



Afbeelding II.19 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Walcheren 2018



Afbeelding II.20 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Walcheren 2050



Afbeelding II.21 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Zeeuws-Vlaanderen 2018



Afbeelding II.22 Ruimtelijke kaart met classificatie van de trendanalyse voor Zeeuws-Vlaanderen 2050



Tabel II.1 Overzicht ruimte 2018 en 2050 voor aandachtslocaties inclusief de afname in ruimte

Kustlocatie	Ruimte 2018 [m]	Hellingshoek MKL-afslag 2018 [-]	Ruimte 2050 [m]	Hellingshoek MKL-afslag 2050 [-]	Breedte grens-profiel [m]	Afname in ruimte [m]
Schiermonnikoog - RSP 2.010	96.5	0.134	-7.8	0.240	53.12	104.3
Vlieland - RSP 50.410	-19	0.813	-24.8	0.747	21.73	5.8
Vlieland - RSP 50.770	-90.6	0.801	-94.5	0.606	68.83	3.9
Vlieland - RSP 50.950	-21.1	0.571	-32.9	0.627	21.75	11.9
Vlieland - RSP 51.750	-34.9	1.139	-41.1	1.020	21.93	6.2
Noord-Holland - RSP 12.580	2.2	0.338	-4.1	0.327	20.45	6.3
Rijnland - RSP 58.250	4.2	0.432	-5.9	0.413	26.80	10
Rijnland - RSP 58.500	-10.5	0.514	-27.6	0.545	23.22	17.1
Rijnland - RSP 59.000	-21.1	0.507	-23.5	0.464	20.83	2.3
Rijnland - RSP 60.250	3.6	0.559	-10.1	0.610	16.22	13.7
Rijnland - RSP 60.750	2.3	0.527	-1.1	0.428	20.60	3.4
Rijnland - RSP 61.250	11.2	0.352	-1.6	0.409	20.68	12.7
Rijnland - RSP 61.750	5.1	0.368	-5.3	0.395	20.64	10.4
Rijnland - RSP 62.000	1.6	0.399	-7.3	0.402	20.61	8.9
Rijnland - RSP 62.250	9.3	0.260	-0.6	0.279	20.58	9.9
Rijnland - RSP 62.750	8.1	0.354	-0.6	0.349	20.52	8.7
Rijnland - RSP 63.500	7.4	0.396	-1.5	0.391	20.45	8.9
Rijnland - RSP 63.750	5.7	0.393	-2.2	0.393	20.42	7.9
Rijnland - RSP 64.750	5.9	0.210	-3	0.208	20.42	8.9
Rijnland - RSP 65.750	6.8	0.337	-3.4	0.334	20.27	10.2
Rijnland - RSP 68.500	-37.4	0.843	-43.9	0.733	36.03	6.5
Rijnland - RSP 68.750	9.7	0.384	-0.1	0.432	19.96	9.8
Rijnland - RSP 69.250	-1	0.716	-9.3	0.669	19.91	8.3
Rijnland - RSP 69.500	8	0.571	-5.4	0.672	19.88	13.5
Rijnland - RSP 71.000	5.9	0.337	-2.6	0.364	19.72	8.5
Rijnland - RSP 81.250	-19.2	0.424	-24.8	0.342	15.32	5.6
Rijnland - RSP 81.500	-38.1	0.526	-51.1	0.561	26.50	13
Rijnland - RSP 81.750	-81.2	0.532	-90.3	0.463	57.96	9
Rijnland - RSP 86.500	7.9	0.917	-3.3	0.916	17.82	11.3
Delfland - RSP 111.760	7.8	0.585	-0.7	0.588	15.80	8.5
Delfland - RSP 114.690	54.6	0.726	-19.4	1.526	49.98	74
Voorne - RSP 8.200	-19	0.392	-12.5	0.336	10.59	-6.5
Voorne - RSP 9.400	-14.6	1.089	-19.7	1.069	11.36	5.1
Voorne - RSP 9.600	-48.4	1.447	-52.8	1.427	11.36	4.4
Voorne - RSP 10.000	-70.9	1.655	-74.3	1.626	11.36	3.4
Voorne - RSP 14.400	-0.3	0.477	-4.6	0.422	11.21	4.3
Voorne - RSP 14.600	-12.2	0.442	-17.2	0.446	11.21	5
Voorne - RSP 14.800	-2.4	0.430	-7	0.417	11.21	4.6
Voorne - RSP 15.200	-5.8	0.687	-14.2	0.725	11.19	8.3
Voorne - RSP 15.800	-0.2	0.848	-13	0.980	12.71	12.8
Goeree - RSP 6.500	20.1	0.714	-20.6	10.197	12.96	40.7
Goeree - RSP 16.500	-0.8	0.814	-0.3	0.606	11.20	-0.5
Walcheren - RSP 5.400	-3	0.576	-11.3	0.595	11.15	8.3
Walcheren - RSP 26.600	-17.6	0.677	-26.3	0.738	11.19	8.6
Walcheren - RSP 33.010	1.6	0.823	-7.4	0.923	11.19	9
Zeeuws-Vlaanderen - RSP 9.930	-7.2	1.279	-14.2	1.270	11.41	7
Zeeuws-Vlaanderen - RSP 10.070	-9	1.297	-16.2	1.313	11.41	7.2
Zeeuws-Vlaanderen - RSP 10.210	-8.8	1.407	-14.2	1.385	11.41	5.4
Zeeuws-Vlaanderen - RSP 10.320	-44.5	1.651	-49.7	1.633	11.41	5.2
Zeeuws-Vlaanderen - RSP 13.180	3	0.850	-2.9	0.838	11.41	5.9

