

Kennisprogramma Zeespiegelstijging

Systemanalyse Zandige Kust

Duindynamiek en Zeespiegelstijging

Beschouwing van het duingebied bij toenemende zeespiegelstijging



RWS INFORMATIE

Systemanalyse Zandige Kust

Duindynamiek en Zeespiegelstijging

Beschouwing van het duingebied bij toenemende zeespiegelstijging

Kennisprogramma Zeespiegelstijging

Datum	September 2024
Versie	1.0
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 kennisprogrammazeespiegelstijging.nl.

Uitgegeven door Kennisprogramma Zeespiegelstijging

In opdracht van Rijkswaterstaat WVL

Datum September 2024

Versie 1.0

Status Definitief



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Inhoud

1	Introductie	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doelstelling en scope	2
1.3	Globale werkwijze	2
1.4	Uitgangspunten en aannames	3
1.5	Leeswijzer	4
2	Vakindeling en methode	5
2.1	Vakindeling kustgebied	5
2.2	Groeisnelheid van de duinen	6
3	Verkenning effect van dynamisch kustbeheer	8
3.1	Introductie	8
3.2	Suppleties	9
3.3	Kerven	11
4	Resultaten	15
4.1	Huidige groeisnelheid duinen i.r.t. zeespiegelstijging	15
4.2	Inventarisatie maatregelen voor vakken die voldoende meegroeien	19
4.3	Beschouwing vakken die onvoldoende meegroeien	19
4.4	Duinsuppletie	23
5	Gevoeligheidsanalyse	25
5.1	Duinvoet	25
5.2	Duinbreedte	27
5.3	Sedimentbeschikbaarheid	27
6	Discussie en Conclusie	29
7	Referenties	33
	Bijlagen	35
A	Vakindeling	35
B	Berekende duinbreedte	38
C	Kaartmateriaal	41

1 Introductie

1.1 Aanleiding

Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt het systeemgedrag van de Zandige Kust beschouwd. Daarbij wordt gekeken hoe houdbaar de huidige zandige strategie is bij toenemende zeespiegelstijging. Eind 2024 rapporteert het project Zandige Kust over de houdbaarheid van de huidige strategie en de (uitvoerings)maatregelen die er mogelijk zijn om de huidige strategie te verlengen. Een beschouwing van het duingebied bij toenemende zeespiegelstijging is één van de bouwstenen voor de rapportage van het Kennisprogramma. Deze rapportage draagt bij aan deze bouwsteen.

Het strategisch doel van het Rijksbeleid voor de duinen is gericht op het duurzaam behoud van functies en waarden in het duingebied. Dit wordt gedaan door middel van het dynamisch handhaven (suppleren) van de kustlijn en in evenwicht houden van het kustfundament. Doel van de huidige suppletie strategie is om de basiskustlijn te onderhouden en het kustfundament te laten meestijgen met de zeespiegelstijging. Met het onderhouden van de basiskustlijn wordt op veel plekken ook aan de veiligheidsdoelstelling gewerkt (HKV, 2024).

Het duingebied is drager van een aantal functies binnen de kustzone, zoals waterveiligheid, recreatie, economie, natuur. De hoofdfunctie is die van primaire waterkering (waterveiligheid). Om het duingebied ook in de toekomst de drager van functies en waarden binnen de kustzone te laten zijn is belangrijk te weten of het duingebied meegroeit met de zeespiegelstijging. In hoeverre het duingebied bij de huidige strategie mee groeit/mee kan groeien met de zeespiegelstijging is ook belangrijk voor de vraag of het nodig is het huidig beleid aan te scherpen of te veranderen vanuit dit oogpunt.

Deze rapportage geeft een analyse in hoeverre het duingebied meegroeit met de zeespiegelstijging bij de huidige suppletie strategie en de huidige strategieën van beheer & onderhoud van het duingebied. Ook worden mogelijke maatregelen verkend om het meegroeien van het duingebied met zeespiegelstijging te bevorderen. Daarbij wordt eerst gekeken naar intensivering van maatregelen die nu al worden genomen, als suppleties en het aanleggen van kerven. Dit is als het ware het oprekken/intensiveren van de huidige strategie. Daarbij wordt ook in beeld gebracht waar deze maatregelen, op basis van de huidige inzichten, minder goed inzetbaar zijn en waar andere strategieën, mogelijk nodig zijn.

1.2 Doelstelling en scope

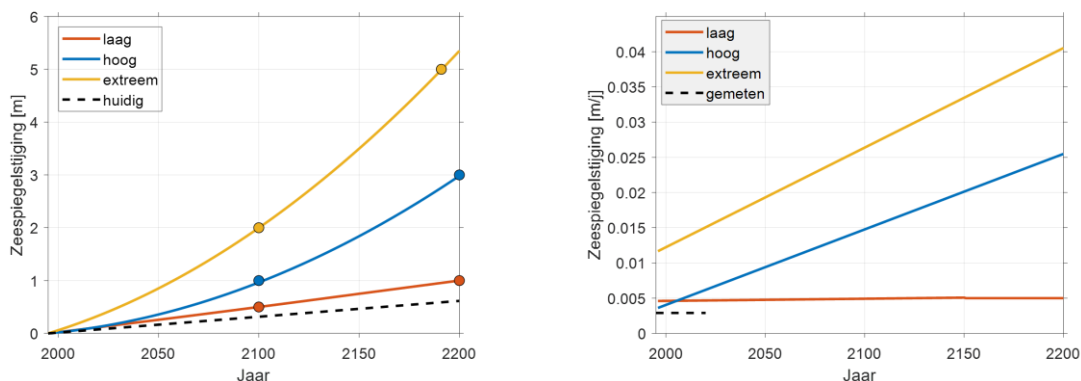
Het doel van deze studie is driedelig:

1. Het verkrijgen van inzicht in de mate van meegroeien van de duinen langs de Nederlandse kust.
2. Het verkennen van mogelijkheden voor het uitvoeren van aanvullende maatregelen binnen de huidige suppletie- en duinbeheerstrategie om het meegroeien van de duinen langs de Nederlandse kust te bevorderen. De maatregelen die we hierbij beschouwen betreffen maatregelen op gebied van suppleties en het aanbrengen van kerven.
3. Het geven van een korte beschouwing van het uitvoeren van duinsuppleties.

De scope van dit onderzoek betreft de gehele zandige kust van Nederland.

De studie vergelijkt de huidige duingroei als gevolg van natuurlijke processen en het bestaande kustbeheer met de verschillende scenario's van zeespiegelstijging uit het Kennisprogramma. Dit zijn de scenario's laag, hoog en extreem (Zie Figuur 1). De huidige duingroei wordt ingeschat op basis van een volumebepaling uit de jaarlijkse kustmetingen over de periode 1990-2023.

Deze studie betreft een globale analyse. De volumebepaling is weliswaar per JarKus-raai uitgevoerd, maar de analyse van de resultaten betreft een globale analyse, waarbij de resultaten op hoofdlijnen zijn geanalyseerd.



Figuur 1: Scenario's zeespiegelstijging zoals die in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging worden gehanteerd. A) Zeespiegelstijging vanaf startjaar 1995 en B) Zeespiegelstijging, snelheid vanaf startjaar 1995. Bron: scenario's toegeleverd door Rijkswaterstaat.

1.3 Globale werkwijze

De doelstelling wordt uitgewerkt in vier inhoudelijke stappen. Figuur 2 geeft de werkwijze globaal weer:

1. Stap 1 betreft gegevensverzameling van de JarKus-raaien, benodigde scripts en de te hanteren vakindeling. In Hoofdstuk 2 is de gehanteerde vakindeling opgenomen.
2. In stap 2 wordt per JarKus-raai de gemiddelde duingroei per jaar, over de periode 1990-2023 bepaald. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de methodiek die door HKV en TU-Delft is ontwikkeld en ook wordt toegepast in de Blokkendoos Levende Kust¹. Hierin is duingroei afgeleid op basis van de jaarlijkse kustmetingen (JarKus-metingen) die worden uitgevoerd door Rijkswaterstaat. De duingroei zoals bepaald uit de JarKus-raaien wordt geëxtrapoleerd naar zichtjaar 2100 en 2200 en vervolgens vergeleken met de drie scenario's van zeespiegelstijging die in Kennisprogramma Zeespiegelstijging worden gebruikt (Zie ook Figuur 1). Tabel 1 geeft

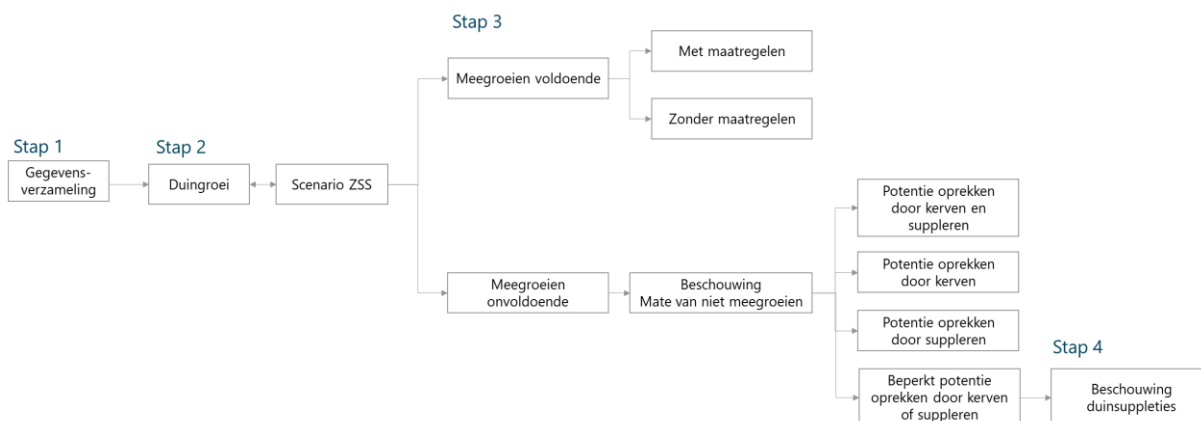
¹ <https://dmmangrove.hkvservices.nl/blokkendoos-levende-kust/>

een overzicht van de verwachte zeespiegelstijging voor zichtjaar 2100 en 2200, waar de duingroei mee wordt vergeleken.

Tabel 1: Zeespiegelstijging in m voor zichtjaar 2100 en 2200 voor scenario's laag, hoog en extreem.

Zichtjaar	Laag	Hoog	Extreem
2100	+0,5 m	+1,0 m	+2,0 m
2200	+1,0 m	+3,0 m	+5,0 m (²)

- Op basis van de resultaten van de vergelijking uit stap 2 wordt in stap 3 onderscheid gemaakt tussen vakken die voldoende en onvoldoende meegroeien. Voor de vakken die voldoende meegroeien wordt geïnventariseerd of dit vakken betreft die in de huidige strategie bovengemiddeld worden gesuppleerd en/of er kerven aanwezig zijn in het vak. Voor de vakken die niet voldoende meegroeien wordt beschouwd in hoeverre deze niet meegroeien. Ook wordt de potentie voor het intensiveren van suppleties en/of het aanbrengen van kerven beschouwd. Deze studie doet daarbij geen uitspraken in welke mate de maatregelen bijdragen aan het daadwerkelijk meegroeien. In de studie wordt op basis van een quickscan alleen het inzicht gegeven bij welke vakken er potentie is voor deze maatregelen.
- Stap 4 geeft een korte beschouwing op duinsuppleties, op basis van bestaande literatuur en expert judgement. Bij duinsuppleties wordt sediment direct op/in het duin neergelegd. Als er geen of onvoldoende mogelijkheden zijn voor het treffen van maatregelen binnen de huidige strategie zijn duinsuppleties mogelijk nodig voor extra volume in het duingebied.



7

Figuur 2 De aanpak in hoofdlijnen in vier stappen.

1.4 Uitgangspunten en aannames

Uitgangspunten en aannamen die in onze aanpak zijn gehanteerd zijn:

- Het meegroeien van de duinen is gebaseerd op basis van historische gegevens uit de JarKus-metingen vanaf 1990. De periode 1990-2023 is beschouwd. De JarKus-raaien die door kerven lopen zijn niet meegenomen in deze analyse omdat deze een onjuist beeld geven (zie paragraaf 3.3).
- Voor de bepaling van de duingroei gebruiken we de methodiek die door HKV en TU-Delft is ontwikkeld en ook wordt toegepast voor de Blokkendoos Levende Kust¹ (zie paragraaf 2.2).

² Figuur 1 laat zien dat de zeespiegelstijging in 2200 op 5,4 m wordt ingeschat. In het KP ZSS wordt gerekend met een zeespiegelstijging van 0,5, 1, 2, 3 of 5m waarbij het zichtjaar wordt losgelaten.

- De analyse over aangroei gebeurt per JarKus-raai. De gegevens per JarKus-raai zijn geaggregeerd naar 'vakken'. Raaien met extreme waarden in het 5^e en 95^e percentiel zijn uit de analyse gehaald. De duingroei van raaien in dit extreme bereik is niet representatief en veelal het gevolg van de gevolgde methodiek (zie paragraaf 2.2).
- We nemen aan dat de huidige duingroei in de toekomst minstens gehandhaafd blijft. Dit betekent dat we ervan uitgaan dat instuiving in de duinen en het sedimentaanbod naar het duingebied in de toekomst gehandhaafd blijft.
- Uitgangspunt in deze studie is dat door het nemen van maatregelen als het intensiveren van suppleren en het aanleggen van kerven de duingroei kan worden versterkt. Hierbij wordt nog geen rekening gehouden met intensivering van suppleren door zeespiegelstijging zelf. In welke mate (kwantitatieve beschrijving) en onder welke omstandigheden dit zo is, wordt in deze studie niet onderzocht. Op dit moment lopen er verschillende studies vanuit OBN Natuurkennis (Ontwikkeling+Beheer Natuurkennis) naar het effect van megasuppleties en kerven op duinontwikkeling waarin hier nader onderzoek naar wordt gedaan. In Hoofdstuk 3 wordt wel een kwalitatieve beschrijving gegeven van het effect van suppleties en kerven op het duingebied op basis van de huidige inzichten.
- We beschouwen drie scenario's van zeespiegelstijging (laag, hoog en extreem) voor de zichtjaren 2100 en 2200. We sluiten hierbij aan op de scenario's zoals die in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging worden gehanteerd (Figuur 1).

1.5 Leeswijzer

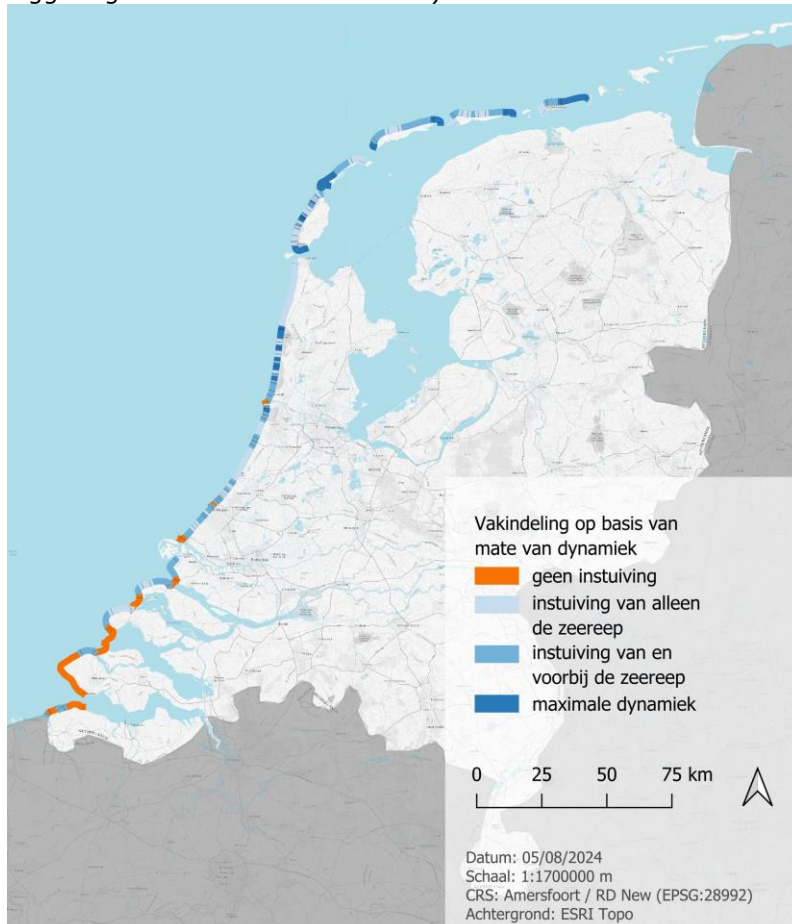
Hoofdstuk 2 beschrijft de vakindeling die we gebruiken en geeft een beschrijving van methode voor het bepalen van de groeisnelheid van de duinen tussen 1990 en 2023. Hoofdstuk 3 beschouwt het effect van dynamisch kustbeheer, specifiek suppleties en kerven, op de groeisnelheid van duinen in een kwalitatieve beschrijving. De resultaten van duingroei worden gepresenteerd in Hoofdstuk 4, waarin de huidige groeisnelheid wordt vergeleken met de scenario's van zeespiegelstijging uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Hoofdstuk 4 beschouwt ook de mate waarin deze vakken niet meegroeien en geeft inzicht in mogelijk handelingsperspectief voor de kustvakken die onvoldoende meegroeien. Ook wordt een korte beschouwing gegeven met betrekking tot suppleties direct op/in het duin. In Hoofdstuk 5 is een gevoeligheidsanalyse opgenomen om ook enig gevoel te krijgen bij de robuustheid van de resultaten. De discussie en conclusies zijn opgenomen in Hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 geeft een overzicht van de gebruikte bronnen.

2 Vakindeling en methode

2.1 Vakindeling kustgebied

In dit project staat het duingebied centraal. Daarom gebruiken we in dit project een vakindeling van het duingebied die is gebaseerd op de mate van dynamiek in het duingebied. De vakindeling is aangeleverd door Rijkswaterstaat. Deze vakindeling is gemaakt in een studie in 2018 naar de toelaatbare dynamiek in de kustzone (Löffler en van der Togt, 2018). Figuur 3 geeft een overzicht van de vakindeling. Er zijn 89 vakken. Een overzicht van de bijbehorende start- en eindraaien per vak is opgenomen in Bijlage A.

In de vakindeling in Figuur 3 is te zien dat de categorie 'geen instuiving' hoofdzakelijk is toegekend aan de harde keringen in de Zeeuwse Delta. Daarbij is ook te zien dat Zuidwest Walcheren als geheel is gekwalificeerd als 'geen instuiving', terwijl hier toch ook stukken duingebied liggen. In 2015 werd instuiving in dit duingebied als 'ongewenst' aangemerkt, vanaf 2017 is verstuing tot in de zeereep toegestaan (Löffler en van der Togt, 2018). Dit vak is mogelijk in de aangeleverde vakindeling iets te conservatief geclassificeerd. Op Schouwen wordt nu maximale dynamiek toegelaten, maar in Figuur 3 is deze geclassificeerd als 'instuiving in en voorbij de zeereep'. In Figuur 3 is de categorie 'maximale dynamiek' te zien op enkele plekken in Noord-Holland, maar vooral op de koppen van de Waddeneilanden. Op deze locaties zijn de duingebieden breed (de legger ligt relatief ver landinwaarts) waardoor er meer ruimte is voor dynamiek.



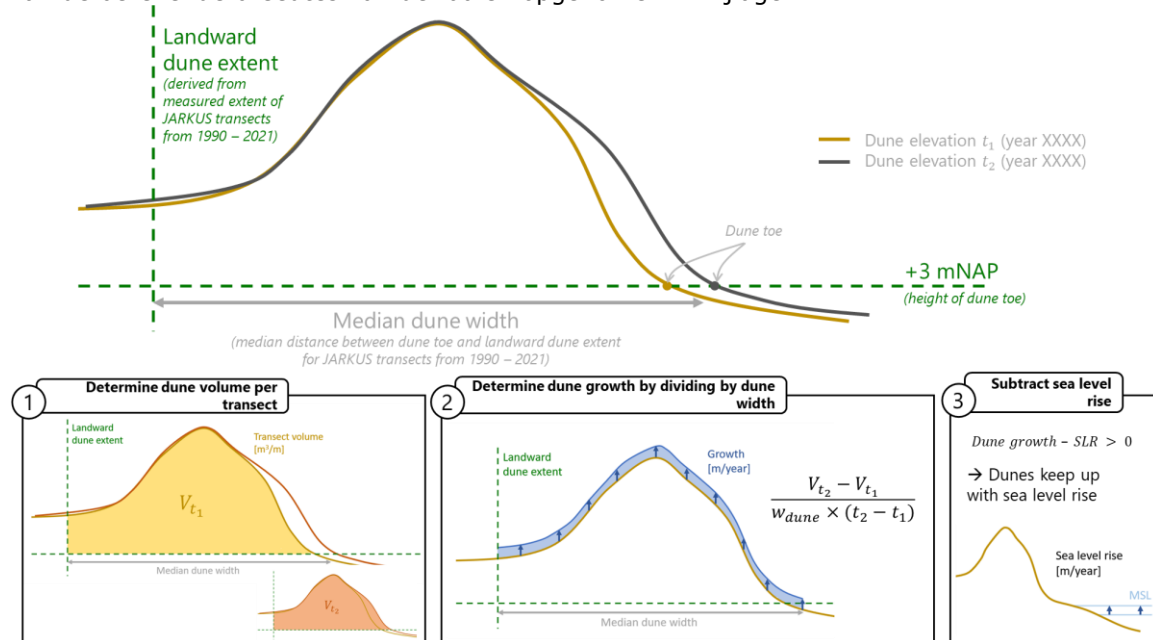
Figuur 3: Vakindeling op basis van mate van dynamiek, aangeleverd door RWS.

2.2 Groeisnelheid van de duinen

De groeisnelheid van het duingebied bepalen we aan de hand van JarKus-raaien (Jaarlijkse Kustmeting). Voor deze raaien worden door Rijkswaterstaat jaarlijks hoogte- en dieptemetingen gedaan langs de gehele Nederlandse kust. In de analyse maken we gebruik van de JarKus Analysis Toolbox³ (JAT). De analyse wordt uitgevoerd voor de periode 1990-2023. Wij kiezen voor het startjaar 1990 omdat vanaf dat moment de zandige Nederlandse kust versterkt wordt door middel van systematisch en grootschalig suppleren in het programma Kustlijnzorg.

Figuur 4 zet de stappen voor het bepalen van de duingroei op basis van de JarKus-raai uiteen. Per JarKus-raai wordt per jaar het volume van het duin bepaald vanaf de duinvoet tot de landwaartse zijde van het duingebied. De duinvoet is gedefinieerd als het punt waarop de zeewaartse zijde van het duingebied een hoogte van 3 m boven NAP bereikt (Figuur 4, boven). De landwaartse zijde van het duingebied is gedefinieerd als het einde van de desbetreffende raai. Tussen deze punten berekenen we het volume (in m³/m) van de doorsnede voor opeenvolgende jaren (❶ in Figuur 4). De verticale duingroei (in m per jaar) is dan het volumeverschil gedeeld door de mediane duinbreedte van het duin over de gehele periode 1990-2023 (❷ in Figuur 4). Over de periode van 1990-2023 wordt voor elk jaar de duingroei bepaald. Op basis van een volledige tijdreeks zijn er dan over de periode 1990-2023 per JarKus-raai 32 bepalingen van de duingroei. Op basis van deze 32 bepalingen wordt een gemiddelde jaarlijkse duingroei berekend. De extreme waarden, dat wil zeggen de waarden die buiten het 5% en 95% interval liggen van de waarden binnen alle raaien zijn niet meegenomen in de analyse. De duinen groeien voldoende mee als de geëxtrapoleerde duingroei voor zichtjaar 2100 of 2200 groter is dan de zeespiegelstijging (❸ in Figuur 4), gegeven het scenario 'Laag', 'Hoog', of 'Extreem' (Zie Tabel 1).

De methode is gevoelig voor de gedetecteerde breedte van het duingebied. Daarom is in Hoofdstuk 5 (gevoeligheidsanalyse) een berekening gedaan met een constante duinbreedte van 200m om inzicht te krijgen in het effect van deze benadering op de resultaten. Voor elk vak is de verdeling van de berekende breedtes van de raaien opgenomen in Bijlage B.



Figuur 4: Schematische weergave voor het berekenen van de groeisnelheid van duinen in relatie tot zeespiegelstijging.

³ <https://jarkus-analysis-toolbox.readthedocs.io/en/latest/Gettingstarted.html>

Deze toolbox wordt ook in de blokkendoos levende kust toegepast (<https://dmmangrove.hkvservices.nl/blokkendoos-levende-kust/>)

Op basis van de vergelijking van de geëxtrapoleerde gemeten duingroei en de verschillende scenario's voor zeespiegelstijging verdelen we de vakken in vakken die voldoende en onvoldoende meegroeien. Voor de vakken die voldoende meegroeien inventariseren we of hier intensief wordt gesuppleerd en/of kerven aanwezig zijn. Voor de vakken die onvoldoende meegroeien inventariseren we in welke mate de raaien in deze vakken niet meegroeien en of er potentie is voor het intensiveren van suppleties en/of het aanbrengen van kerven.

Onderliggende aanname bij deze inventarisatie is dat door het intensiveren van suppleties en het aanleggen van kerven het meegroeien van het duingebied gestimuleerd kan worden. In Hoofdstuk 3 gaan we hier verder op in.

3 Verkenning effect van dynamisch kustbeheer

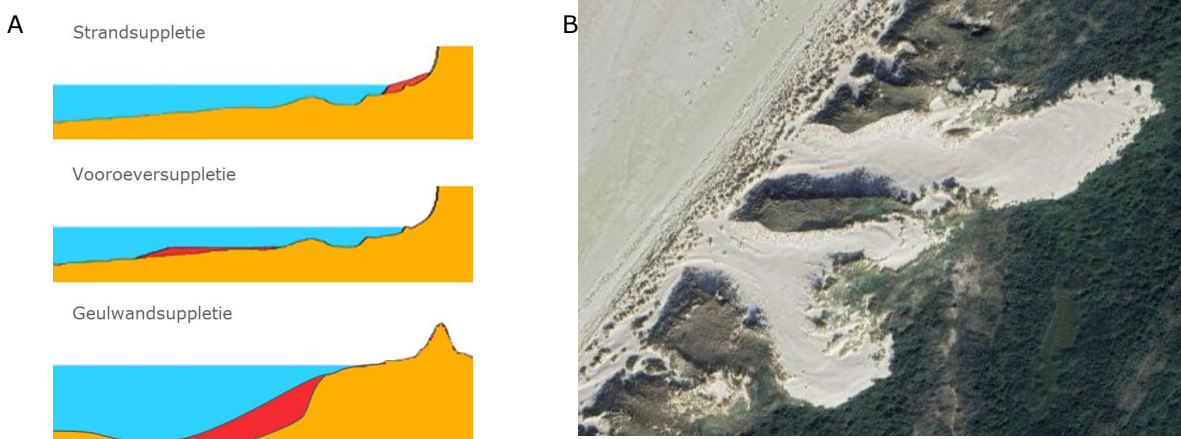
3.1 Introductie

Binnen het programma Kustlijnzorg wordt de kustlijn dynamisch gehandhaafd door middel van suppleties. Uitgangspunt in het beleid is dat de kust zodanig beheerd wordt dat natuurlijke processen zoveel mogelijk gehandhaafd blijven. De wind en zee krijgen de ruimte om sediment te verplaatsen tussen de ondiepe zee, het strand en de duinen. Dit leidt tot een natuurlijk, gevarieerd en robuust kustlandschap dat kan meegroeien met de stijgende zeespiegel. Het beleid van dynamisch kustbeheer creëert daarmee een randvoorwaarde voor dynamiek in de gehele kustzone. Naast het dynamisch kustbeheer van suppleties, worden op verschillende locaties nog extra maatregelen specifiek toegepast om (extra) dynamiek in het duingebied te bewerkstelligen. Een voorbeeld van een dergelijke maatregel is het aanleggen van kerven. Deze maatregelen zijn gericht op het bevorderen van zandverstuiving naar en binnen de duinen.

In deze studie nemen we aan dat door het intensiveren van suppleren en/of het aanleggen van kerven de duingroei kan worden versterkt.

Bij suppleren wordt het kustprofiel aangevuld met grote hoeveelheden zand dat wordt neergelegd op strategische locaties langs de kust. Veelal gaat het hierbij om suppleties op de vooroever of op het strand (Figuur 5A).

Kerven zijn natuurlijke of aangelegde onderbrekingen van de eerste duinenrij (Figuur 5B). Deze onderbreking bevindt zich over het algemeen boven de 6 m+NAP of soms zelfs 8 m+NAP. Sediment vanaf het strand kan via deze kerven de achterliggende duinen in stuiven. Dit zorgt voor een verplaatsing van zand naar het achterland (volumetoename in het achterland) ten opzichte van een ongekerfde zeereep.



Figuur 5: Links: Verschillende suppletievormen (Bron: STOWA, deltafacts) Rechts: Bovenaanzicht van kerven op Terschelling bij Noordsvaarder (Bron: google maps).

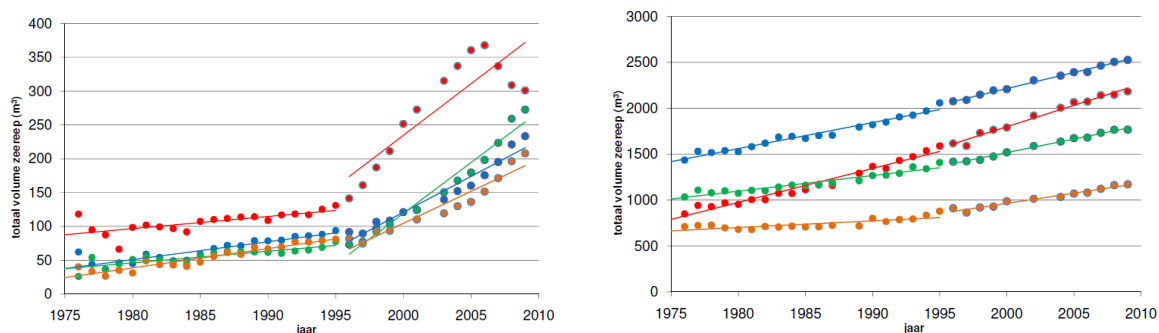
Er lopen op dit moment verschillende onderzoeken waarin het effect van suppleties en de aanwezigheid van kerven op duinontwikkeling wordt onderzocht. We noemen in het bijzonder de

OBN projecten *Megasuppleties en duinontwikkeling* en *Kerven in de Zeereep*. De resultaten uit deze onderzoeken zijn nog niet bekend. In de volgende paragrafen geven we een korte reflectie op basis van eerder uitgevoerd onderzoek waarin de effecten van suppleties (paragraaf 3.2) en kerven (paragraaf 3.3) op het meegroeien van duinen zijn onderzocht. Aan het eind van elke paragraaf beschrijven we het uitgangspunt dat we in deze studie hanteren voor de betreffende maatregel.

3.2 Suppleties

Suppleren draagt bij aan kustversterking doordat het zorgt voor een vergroting van het sedimentvolume in het kustprofiel en het beschikbare sediment voor doorstuiven naar de zeereep. Met het dynamisch handhaven van de kustlijn is ook de mogelijkheid ontstaan om de zeereep meer dynamisch te gaan beheren (Deltares, 2019). Het doorstuiven van het sediment naar de eerste of tweede duinenrij versterkt en verhoogt het kerende profiel. Het effect van suppleties op het sedimentvolume in de zeereep is niet eenduidig vast te stellen en verschilt per locatie. Vanwege het grote aantal fysische processen langs de kust, is het effect van suppleties niet te isoleren van de overige factoren. Hoe suppleties de dynamiek van de kustreep beïnvloeden wordt door lokale omstandigheden bepaald. Wel is in eerdere studies gezien dat gemiddeld een toename van aanzanding in de duinen plaatsvindt als gevolg van suppleren (Arens *et al.*, 2010 en Deltares, 2019). Arens *et al.* (2010) hebben op basis van gegevensanalyse aangetoond dat de trend van aanzanding in het duingebied sinds suppleren is toegenomen op een aantal locaties. In veel gebieden is tussen 1990 en 2000 een omslag waar te nemen, waarbij erosie overgaat in aanzanding, of waar de mate van aanzanding sterk toeneemt (voorbeeld in Figuur 6, links). Deze trendbreuk komt overeen met het moment van starten van het dynamisch kustbeheer, waarvan suppleties een onderdeel zijn (Arens *et al.*, 2010). In een detailanalyse van de kustreep bij Schoorl en Schouwen komt Deltares (2019) ook tot de bevinding dat aanzanding van de zeereep hier sterk afhankelijk is van het aanbod via vooroever- en strandsuppletie.

Deze aanzandende trend is echter ook zichtbaar op locaties waar niet is gesuppleerd, wat suggereert dat het effect van suppleties op aangroei van duinvolume niet alleen geldt voor de plek in de nabijheid van suppletie. Ook zijn er locaties waar geen trendbreuk te zien is en de trend van volumetoename in het duin vóór suppleren al was ingezet (voorbeeld in Figuur 6, rechts, Arens *et al.*, 2010).



Figuur 6: Totaal volume in de zeereep voor Ameland west tussen rijkstrandpaal 3.00 en 5.00 (links), en Terschelling west tussen rijkstrandpaal 2.00 en 6.00 (rechts). De kleuren komen overeen met verschillende raaïen. Bron: Arens *et al.*, 2010.

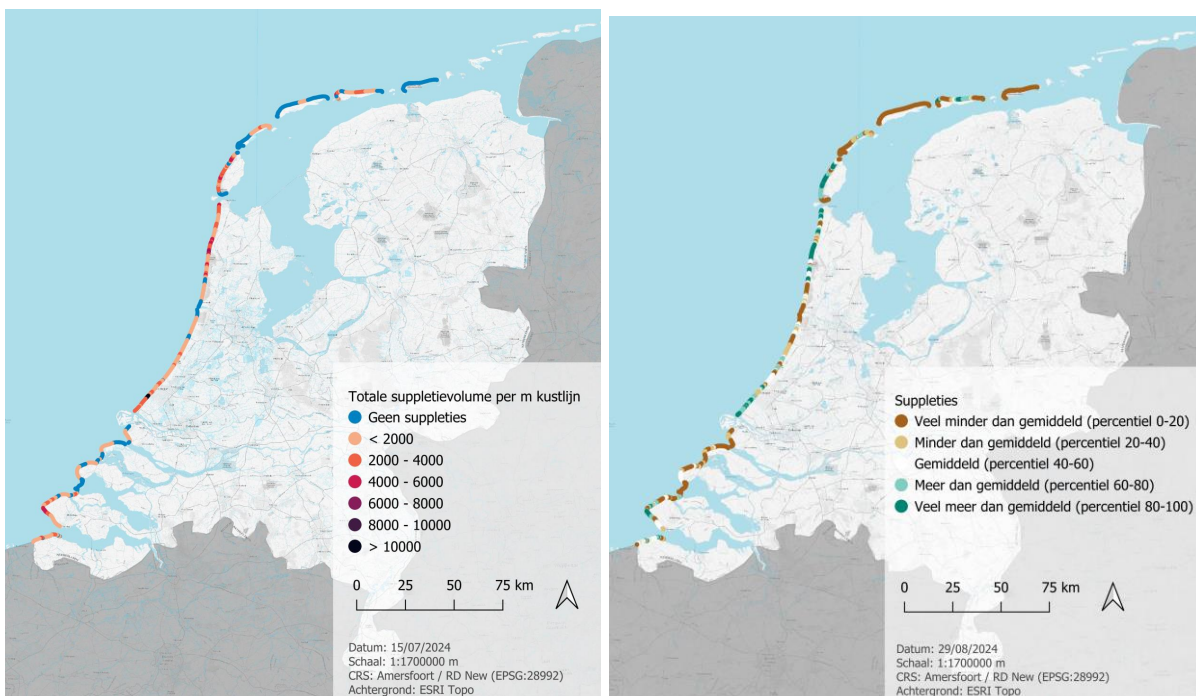
Uitgangspunt

De analyse van Arens *et al.* (2010) laat zien dat de kustvakken met een sterk positief zandbudget de kustvakken zijn waar veel gesuppleerd wordt. In deze studie gaan we uit dat door het intensiveren van suppleren de duingroei kan worden versterkt.

We merken op dat in de toekomst er intensivering van suppleren nodig zal zijn omdat de sedimentbehoefte van het kuststelsel toeneemt door een versnelde zeespiegelstijging (Deltares, 2023). Deze intensivering van suppleren is bedoeld om de huidige doelen van het suppletiebeleid (handhaven kustlijn en op orde houden van het kustfundament) te continueren.

In de context van deze studie bedoelen we intensiveren van suppleren vanuit oogpunt van duingroei. Met andere woorden het meer suppleren op bepaalde plekken om de duingroei te bevorderen. Het handelingsperspectief voor dit intensiveren van suppleren baseren we op de huidige verdeling van suppletievolumen over de kust. Gedachtegang daarbij is dat bij vakken die op dit moment al bovengemiddeld worden gesuppleerd en niet meegroeien met de zeespiegelstijging het nog meer suppleren mogelijk niet zoveel effect heeft. En dat voor die vakken waar nu relatief minder wordt gesuppleerd er in principe potentie is om meer te suppleren, zodat er meer sediment beschikbaar zal zijn voor duingroei. Dit is een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid en deze relatie zal niet overal gelden of toepasbaar zijn, maar geeft een indicatie voor een mogelijk te nemen maatregel. Voor een specifiek vak zou nader onderzocht moeten worden of de verwachting dat er werkelijk meer duingroei zal optreden gezien de processen die er spelen, realistisch is. Dergelijke analyses vallen echter buiten de scope van deze studie.

Figuur 7 (links) geeft het totale suppletievolumen per meter kustlijn tussen 1990 en 2023. Figuur 7 (rechts) geeft per vak aan of de mate van suppleren gemiddeld is of boven- of ondergemiddeld. We houden hierbij geen rekening met het type suppletie, omdat de relatie tussen het type suppletie en de verspreiding van het sediment over de gehele kustlijn niet helder is ⁴. Waar in de huidige suppletie strategie minder dan gemiddeld of gemiddeld gesuppleerd wordt, gaan we uit dat ruimte is voor een intensivering van de strategie ten behoeve van het meegroeien van de duinen. In paragraaf 4.3 worden deze resultaten beschouwd in relatie tot de locaties die onvoldoende meegroeien. Een vergroting van deze figuren is opgenomen in Bijlage C.3.

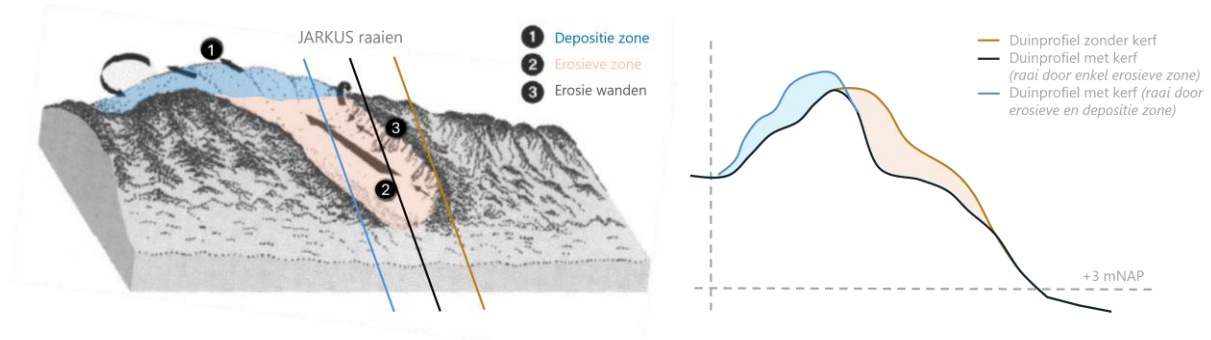


Figuur 7: Totale suppletievolumen per m kustlijn (links) en de mate van suppleren ten opzichte van het gemiddelde (rechts).

⁴ NB: De aanlegvolumes van Maasvlakte en Hondsbossche Duinen zijn niet in deze analyse meegenomen. De Zandmotor is wel in de analyse opgenomen.

3.3 Kerven

Vanwege het driedimensionale karakter van kerven, waarbij erosie en sedimentatie plaatsvindt over een oppervlakte, is de werking van kerven niet zichtbaar in JarKus-raaien (Figuur 8). JarKus-raaien liggen haaks op de basiskustlijn (BKL), terwijl kerven langs de Nederlandse kust vaak in een hoek (50-90 graden t.o.v. de kustlijn) georiënteerd zijn. Wanneer een raai bij de ingang van een kerf ligt, vindt netto erosie plaats langs de dwarsdoorsnede. De kerf heeft hierdoor een negatief effect op het sedimentvolume in de JarKus-raai. De volumeverplaatsing en doorstuiving van sediment naar de achtergelegen duinenrij is dan echter niet meegenomen. We beschouwen de effecten van kerven op doorstuiving daarom met een analyse van vlakdekkende gegevens.

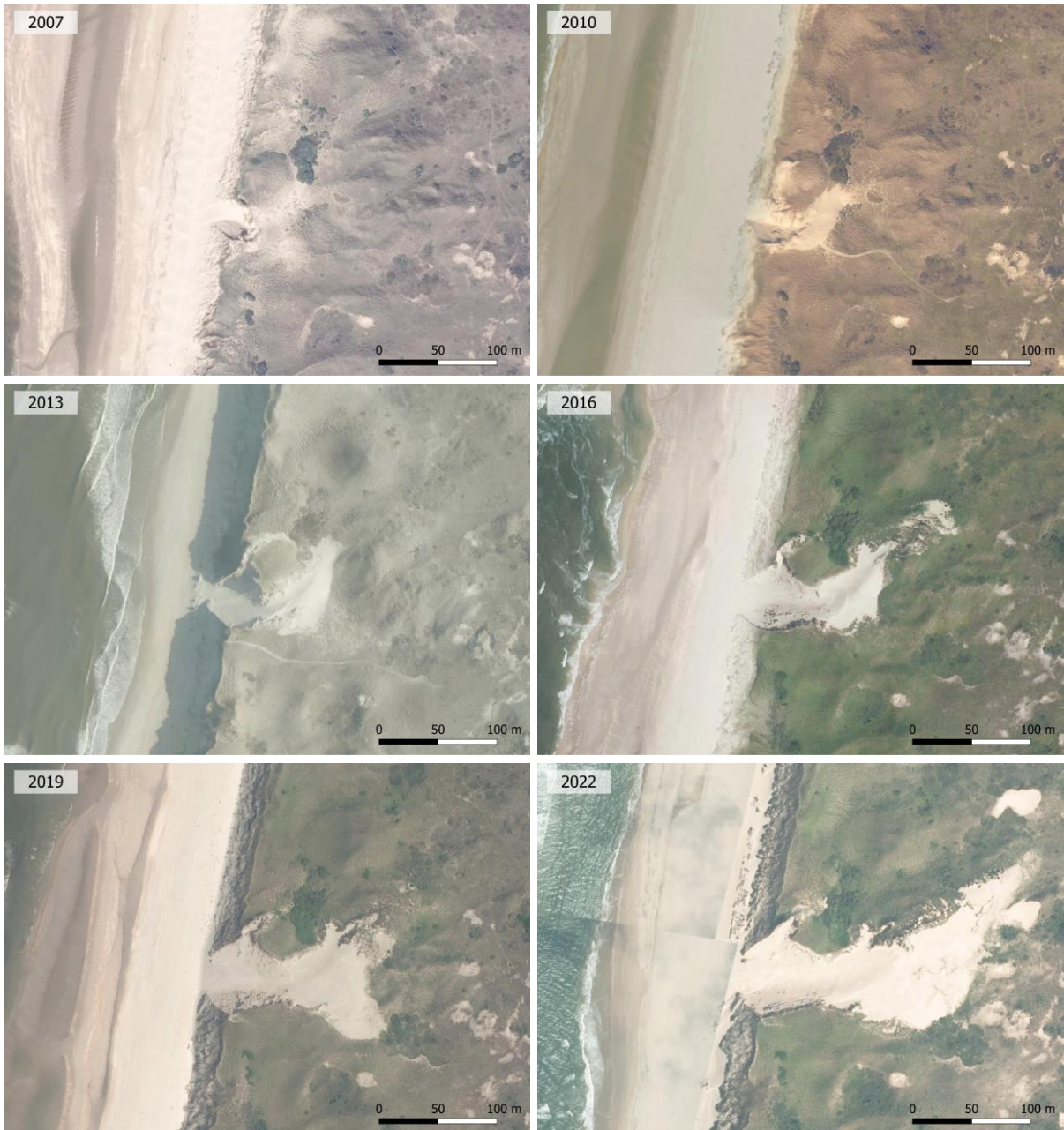


Figuur 8: Schematische weergave van een kerf en de oriëntatie van de JarKus-raai en kerf ten opzichte van de kustlijn (links) en het bijbehorende duinprofiel vóór en na aanleg van een kerf (rechts). Linkerfiguur aangepast op basis van Hesp (2002).

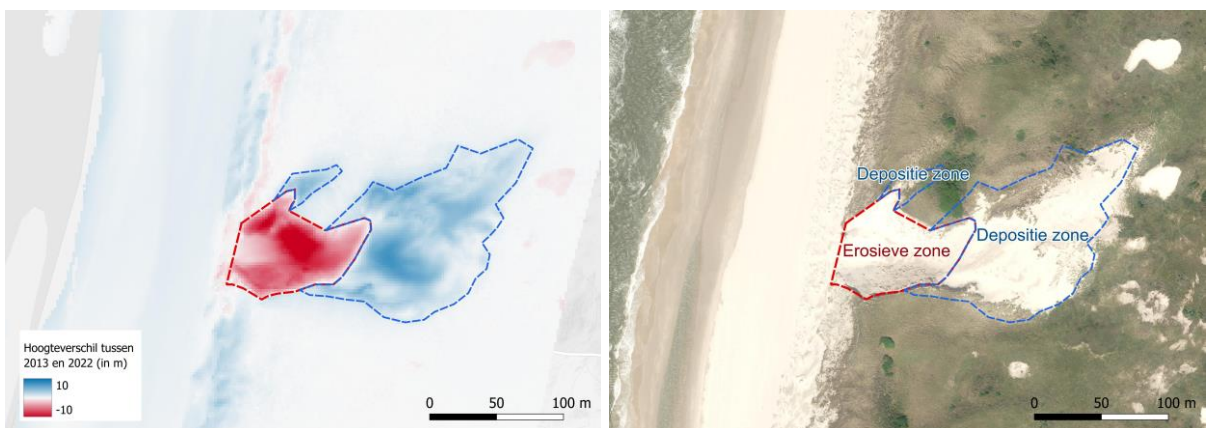
Figuur 9 laat de ontwikkeling van een kerf in Noord-Holland (Wijk aan Zee, nabij raai 47650) tussen 2007 en 2022 zien. Tussen iedere luchtfoto zit steeds drie jaar. De kerfopening wordt steeds groter, met als gevolg dat het oppervlak van de erosieve zone achter de opening toeneemt. In de lob vindt depositie plaats van zowel het geërodeerde sediment als het ingewaaid sediment vanuit het strand. Ook deze lob ontwikkelt zich en verplaatst steeds verder landinwaarts. De kerf zorgt hiermee voor instuiving van sediment in de achterliggende duinenrij.

Als gevolg van deze instuiving en de depositie van het materiaal in de achterliggende duinenrij vindt een verandering van de volumeverdeling in het gebied plaats (Figuur 9). Nabij de ingang van de kerf erodeert materiaal, zodat de duinenrij lokaal verlaagt. In de lob wordt de duinenrij juist steeds hoger. Het gebied direct achter de kerf ontvangt hierdoor meer materiaal dan de naastgelegen ongekerfde zeereep. Het doel van de kerf voor waterveiligheid is met name een herverdeling van het sediment binnen het profiel, waardoor een groter gedeelte van het sediment hoger in het profiel komt te liggen.

Figuur 9 en Figuur 10 laten voor de kerf bij Wijk aan Zee het effect van de kerf ten opzichte van de ongekerfde zeereep duidelijk zien. De totale erosie in de erosieve zone tussen 2013 en 2022 is 25.000 m³. Voor dezelfde periode geldt een depositie van 33.000 m³ in de lobben. In dit geval is er dus sprake van een netto sedimentatie. Uit balans analyses van meerdere kerven in Nederland blijkt dat de sedimentbalans van een kerf niet altijd positief hoeft uit te vallen. In het OBN project *Kerven in de zeereep* wordt nader onderzoek gedaan naar factoren die dit kunnen verklaren. Factoren die mogelijk een rol hierbij spelen zijn bijvoorbeeld mogelijke onderschatting van het aandeel van de doorstuiving naar het achterland, afslag, minder zand op het strand beschikbaar of suboptimale kenmerken in het ontwerp (bijvoorbeeld vorm, omvang, breedte opening, aanwezigheid vegetatie, richting lengte-as).

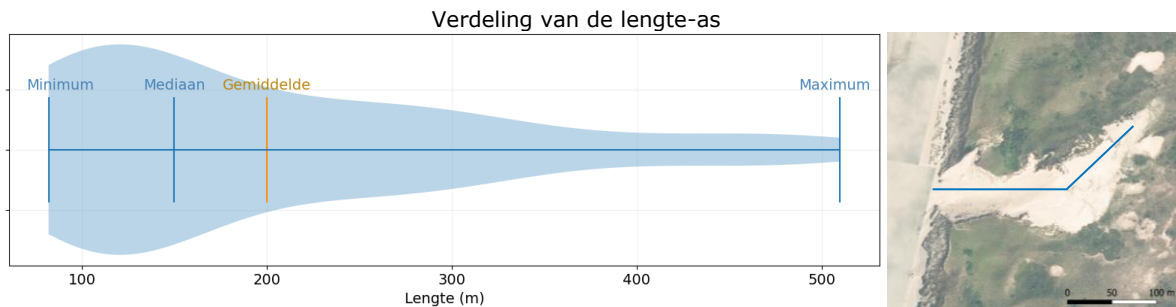


Figuur 9: De ontwikkeling van een kerf (Wijk aan Zee, nabij raai 47650) tussen 2007 en 2022.



Figuur 10: Hoogteverschil tussen 2013 en 2022 in de kerf bij Wijk aan Zee in Noord-Holland (links) en locatie van erosie en depositie zones (rechts). De hoogte in de duinenrij direct achter de kerf is sterker toegenomen dan de hoogte van de naastgelegen omgekeerde zeereep.

Een analyse van de dimensies van bestaande kerven in de Nederlandse zeereep geeft inzicht in de ruimte die benodigd is voor het inzetten van een kerf ten behoeve van instuiving achter de eerste duinenrij. De dimensies zijn afgeleid in een onderzoek van OBN (lopend, het hier gepresenteerde werk is uitgevoerd door Bas Arens), op basis van 62 kerven. Hieruit volgt dat de lengte van de kerf-as – de lengte waarover erosie en depositie plaatsvindt – sterk variabel is: de kortste as is 82 m en de langste as is 510 m. Figuur 11 geeft een beeld van de verdeling van deze lengte tussen deze minimale en maximale waarde. De mediaan is 150 m en het gemiddelde 200 m. In de meeste gevallen is de richting van deze lengte-as tussen de 50 en 90 graden ten opzichte van de duinoriëntatie.



Figuur 11: Verdeling van de lengte van de longitudinale kerf-as: vanaf de kerfopening naar het einde van de depositie zone (links) en een geschetste weergave van de lengte-as voor de kerf bij Wijk aan Zee (rechts).

Uitgangspunt

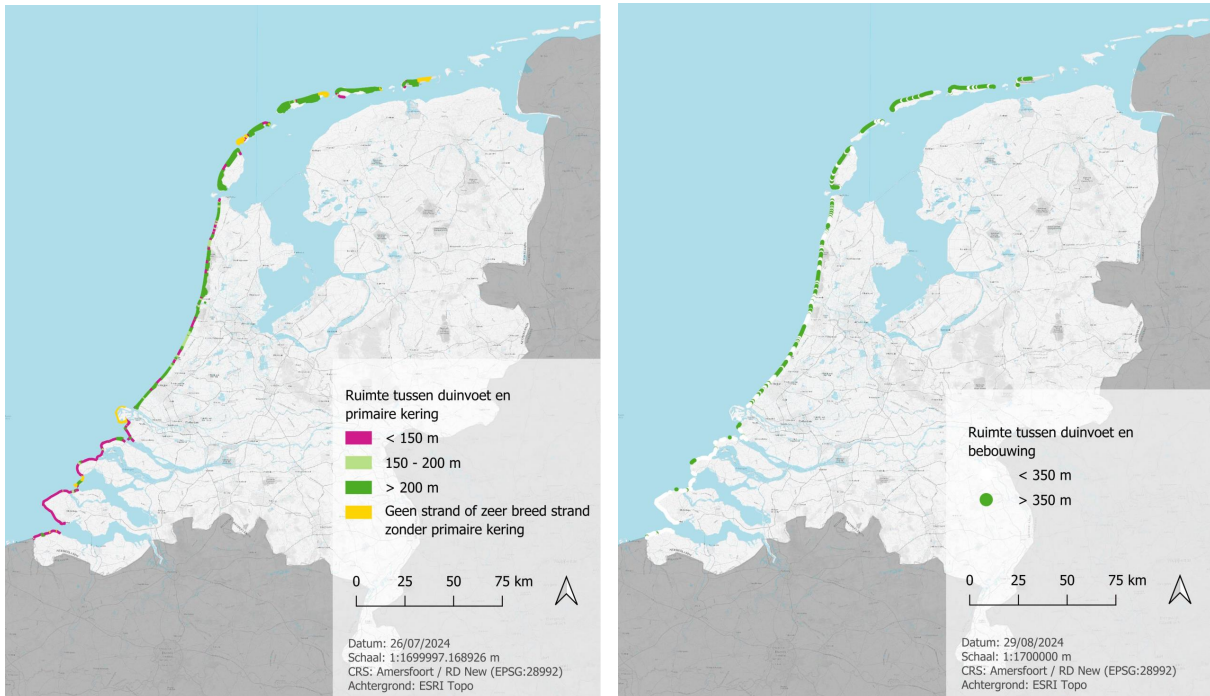
In dit project gaan we ervanuit dat door het aanleggen van kerven de duingroei kan worden versterkt. We merken op dat dit niet voor alle kerven geldt die er nu in Nederland zijn. De ene kerf is actiever/dynamischer met doorstuiven dan een andere kerf. In een aantal gevallen ligt dit bijvoorbeeld aan suboptimale omstandigheden (zoals oriëntatie lengte-as van de kerf, breedte opening, aansluiting met strand, ontwikkeling vegetatie in de kerf). In kerven waar deze factoren optimaal zijn, is doorstuiving van zand naar het achterland duidelijk waarneembaar (zie ook Figuur 9). Daarom gaan we er in dit project vanuit dat door aanleg van kerven er doorstuiving naar het achterland kan plaatsvinden en daarmee het meegroeien van duinen met zeespiegelstijging kan worden versterkt. We merken daarbij op dat het aanleggen van een kerf ten behoeve van doorstuiven altijd maatwerk is, waarbij factoren als locatie, kerfrichting, kuststelsel, omvang etc een rol spelen.

Op basis van de bestaande kerven is een inschatting gemaakt van de benodigde ruimte voor het kunnen aanleggen van een kerf. We gaan uit van een minimale benodigde ruimte van 150 m en een minimale gewenste ruimte van 200 m loodrecht op de kust voor de aanleg van een kerf (zie ook Figuur 11). De breedte speelt een rol bij het aantal kerven dat per strekkende meter zou passen. In deze analyse is daarvoor geen criterium opgesteld. De potentie is gebaseerd op minimaal benodigde ruimte voor de lengte-as.

Figuur 12 (links) laat de ruimte tussen de duinvoet en de primaire kering zien. De duinvoet is – in tegenstelling tot de rest van deze rapportage – gedefinieerd als het duin vanaf 6 m+ NAP , omdat kerven doorgaans op deze hoogte worden aangelegd. Om stuifhinder te voorkomen gaan we er ook vanuit dat binnen 200 m van een kerf geen stedelijk gebied ligt. We handhaven daarom een minimale afstand van 350 tot 400 m vanaf de kerfopening tot aan bebouwing (gebouwen) om overlast door verstuuving te voorkomen (Figuur 12, rechts).

Gezamenlijk resulteert dit in locaties die potentieel geschikt zijn voor de aanleg van kerven waarmee het meegroeien van de duinenrij kan worden gestimuleerd. Opvallend in Figuur 12 is dat uit deze analyse in de kop van Schouwen geen ruimte lijkt te zijn voor kerven terwijl hier sprake is van een brede duinenrij. Dit wordt verklaard door de huidige ligging van de kering volgens de legger. Er is deze analyse niet gekeken of er mogelijkheden zijn om de kering eventueel te verleggen om zo ruimte te creëren voor de aanleg van een kerf.

In Hoofdstuk 4, paragraaf 4.1.2 worden deze uitgangspunten beschouwd in relatie tot de vakken die onvoldoende meegroeien. Een vergroting van deze kaarten is opgenomen in Bijlage C.



Figuur 12: Ruimte tussen de duinvoet en de primaire kering (links) en bebouwing (rechts).

4 Resultaten

4.1 Huidige groeisnelheid duinen i.r.t. zeespiegelstijging

De jaarlijkse groei van de duinen is afgeleid voor elke JarKus-raai op basis van de methode beschreven in paragraaf 2.2. De resultaten per JarKus-raai zijn geaggregeerd per kustvak. Paragraaf 4.1.1 beschrijft de resultaten per JarKus-raai zoals die voor elk kustvak is berekend. Paragraaf 4.1.2 beschrijft de resultaten voor alle kustvakken.

In totaal is duingroei afgeleid voor 2319 raaien langs de gehele Nederlandse kust. Hiervan overlappen 73 raaien met een gekerfde zeereep en vallen 192 raaien in het 5^e of 95^e percentiel van berekende duingroei. Ook deze raaien zijn uit de analyse verwijderd. Hierdoor blijven 2054 raaien over. Van de overgebleven raaien vallen nog eens 471 raaien weg omdat 1) deze buiten de gedefinieerde kustvakken vallen (bijvoorbeeld in zeegaten, langs de Maasvlakte of op Rottumerplaat) of 2) de JarKus Toolbox geen dimensies heeft kunnen afleiden. Dit is het geval bij West-Vlieland en Rottumerplaat. Dit resulteert in 1583 raaien die meegenomen zijn in de analyse.

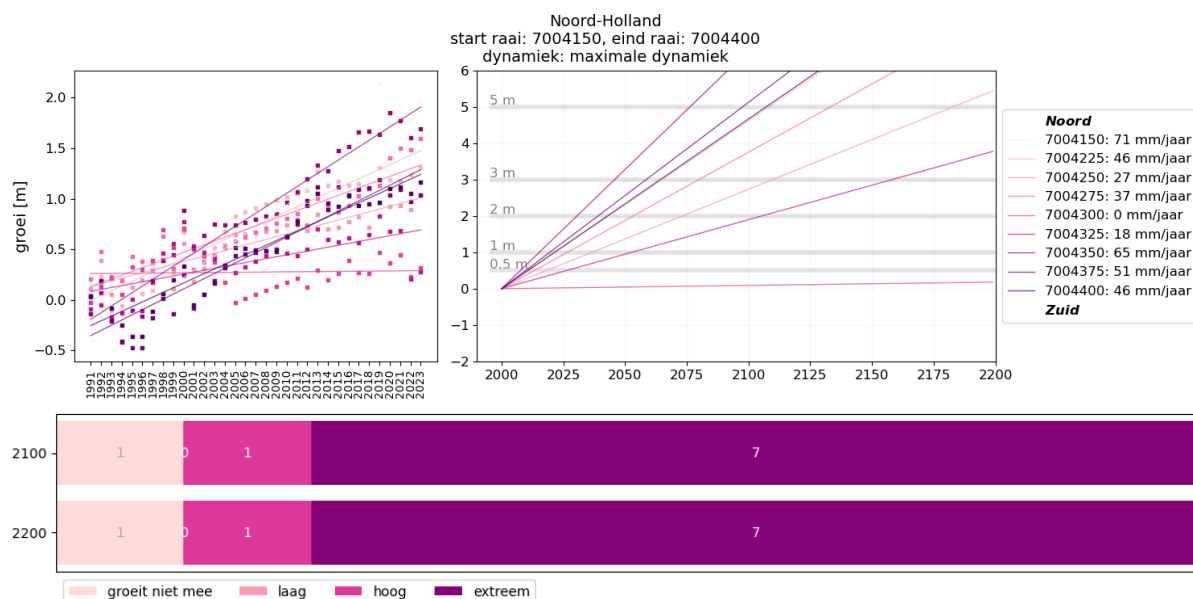
Naast deze rapportage zijn de resultaten per kustvak, zoals weergegeven in figuren als beschreven in paragraaf 4.1.1 als losse figuren opgeleverd. Daarmee zijn de resultaten per JarKus-raai voor elk kustvak voor iedereen inzichtelijk.

4.1.1 Resultaten per JarKus-raai binnen elk vak

Per vak is de jaarlijkse groei van de duinen afgeleid voor elke JarKus-raai vanaf 1990. Figuur 13 (linksboven) geeft een voorbeeld van de jaarlijkse duingroei voor alle raaien in kustvak 60, gelegen tussen raai 41500 en 44000 in Noord-Holland. Elke raai is als afzonderlijke kleur weergegeven. De jaarlijkse bepalingen van de duingroei zijn per raai als datapunt weergegeven. Voor elke raai is het gemiddelde aantal mm groei per jaar bepaald aan de hand van een trendlijn door de datapunten. Deze gemiddelde groei wordt vanaf startjaar 2000⁵ geëxtrapoleerd naar zichtjaren 2100 en 2200 (Figuur 13, rechtsboven). De scenario's van zeespiegelstijging van 0,5 m, 1,0 m, 2,0 m, 3,0 m en 5,0 m zijn als grijze lijnen weergegeven. Voor elk vak is een figuur als Figuur 13 gemaakt. Daarmee is er per vak een beeld van de mate van meegroeien met de verschillende scenario's van zeespiegelstijging.

Voor het specifieke vak van Figuur 13 is te zien dat het vak bestaat uit 9 raaien. Voor zowel zichtjaar 2100 als 2200 is er één raai – van de in totaal 9 raaien in het vak – waarbij de duingroei minder is dan de zeespiegelstijging in scenario 'Laag'. (Figuur 13, onder). Dit komt overeen met 11%. Tegelijkertijd groeit één raai mee met het scenario hoog (11%) en de overige 7 raaien met scenario extreem (87%). In het voorbeeld is geen verschil in de verdeling van de raaien tussen zichtjaar 2100 en 2200, maar dit kan wel voorkomen vanwege de exponentiële toename in de zeespiegelstijging in dit scenario (Figuur 1). Een geografisch overzicht van de mate waarin elke raai meegroeit is opgenomen in Bijlage C.1.

⁵ Dit is het startjaar dat in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt aangehouden als het startjaar waarop de scenario's zijn gebaseerd. In sommige studies wordt ook 1995 aangehouden. In overleg met Rijkswaterstaat is gekozen om het jaar 2000 aan te houden.



Figuur 13: Voorbeeld van de duingroei voor kustvak met startraai 41500 en eindraai 44000 in Noord Holland. Linksboven: Berekende duingroei per jaar met de trendlijn; Rechtsboven: Geëxtrapoleerde trendlijn tot zichtjaar 2200; Onder: Het aantal raaien dat voldoet aan de scenario's van zeespiegelstijging uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging ⁶.

Tabel 2 presenteert het percentage raaien ten opzichte van de in totaal 1583 raaien die zijn meegenomen in deze studie, waarbij de duingroei meegroeit met het scenario van zeespiegelstijging. De zeespiegelstijging voor elk scenario is in Tabel 2 tussen haakjes in grijs weergegeven. Gegeven de uitgangspunten en aannamen in deze studie is voor zichtjaar 2200 ingeschat dat 81% van de geanalyseerde raaien meegroeien met de zeespiegelstijging in het extreme scenario. Voor de scenario's hoog en laag in zichtjaar 2200 geldt dat respectievelijk 88% en 94% voldoende meegroeit om de zeespiegelstijging bij te houden. Voor zichtjaar 2100 zijn deze percentages 84%, 92% en 94% voor respectievelijk de scenario's extreem, hoog en laag. Dit betekent dat 6% van de geanalyseerde raaien op basis van historische data onvoldoende duingroei laten zien om mee te groeien met het lage scenario van zeespiegelstijging.

De resultaten laten zien dat het percentage raaien waarin de duingroei meegroeit met de zeespiegelstijging afneemt als het scenario van zeespiegelstijging extremer wordt. Voor alle hier beschouwde scenario's geldt dat het percentage dat voldoende meegroeit boven de 80% ligt. Het aantal raaien dat in scenario 'Laag' meegroeit voor zichtjaar 2100 en 2200 is gelijk aan elkaar. Dit komt omdat in dit scenario de (snelheid van) zeespiegelstijging per jaar constant is (zie Figuur 1). In scenario 'Hoog' en scenario 'Extreem' is het aantal raaien dat meegroeit met de zeespiegelstijging minder voor zichtjaar 2200 ten opzichte van zichtjaar 2100. In deze scenario's is de gemiddelde zeespiegelstijging per jaar tussen 2000 en 2100 minder dan in de periode tussen 2100 en 2200 (zie Figuur 1).

Tabel 2: Percentage raaien (van het totale aantal raaien, n = 1583) dat meegroeit met zeespiegelstijging voor zichtjaar 2100 en 2200 voor scenario's laag, hoog en extreem. De zeespiegelstijging is in grijs tussen haakjes weergegeven

Zichtjaar	Laag	Hoog	Extreem
2100	94% (0,5 m)	92% (1,0 m)	84% (2,0 m)
2200	94% (1,0 m)	88% (3,0 m)	81% (5,0 m)

⁶ De codering van de raainummers in de Figuur begint met de code voor het kustvaknummer (aangegeven als 700) gevolgd door het raainummer in decimeters.

4.1.2 Resultaten per vak voor het hele kustgebied

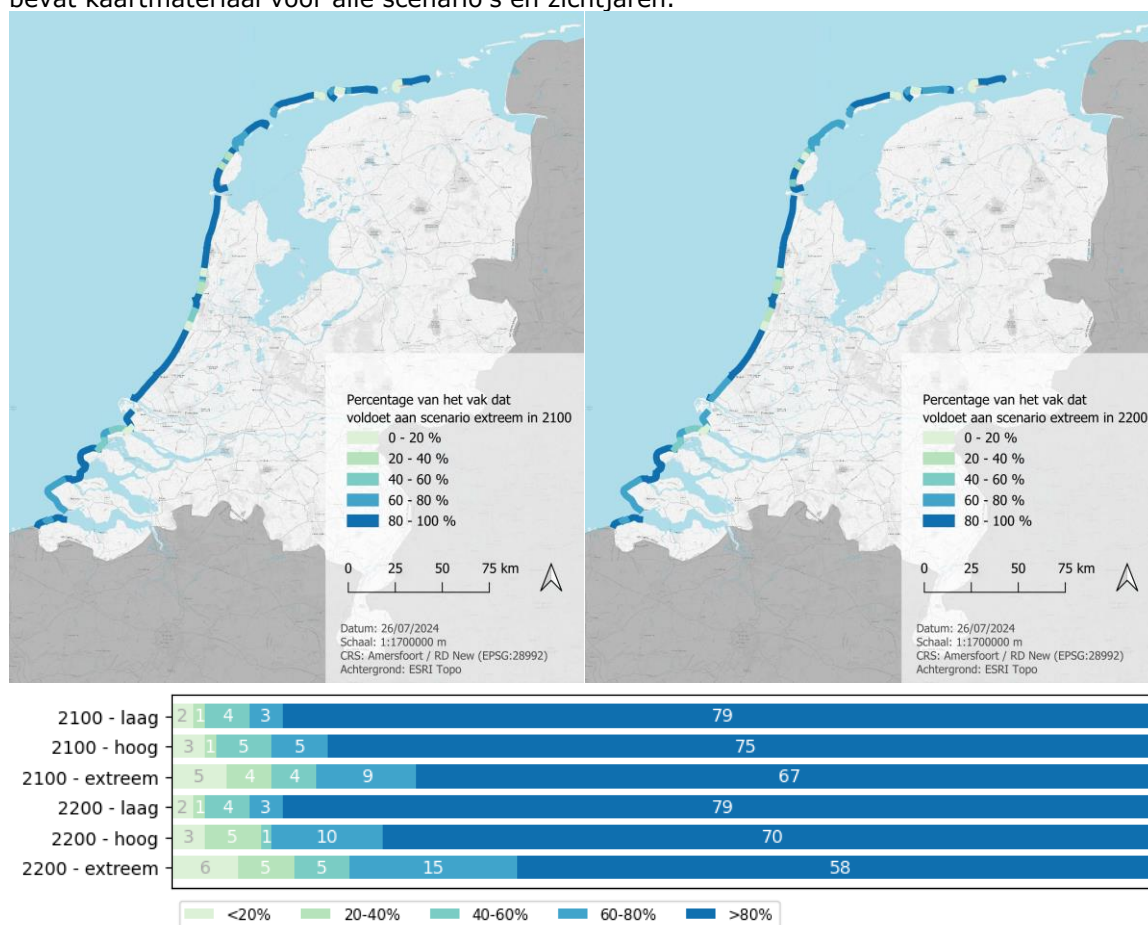
De 1583 raaien uit deze analyse zijn verdeeld over 89 vakken (zie ook paragraaf 2.1 en bijlage A). Het percentage van ieder vak dat voldoet aan het scenario 'Extreem' in zichtjaren 2100 (duingroei van 3 m of meer) en 2200 (duingroei van 5 m of meer) is weergegeven in Figuur 14).

De vakken zijn ingedeeld in vijf klassen:

- 0 - 20% van de raaien in het vak groeit mee met het scenario;
- 20 - 40% van de raaien in het vak groeit mee met het scenario;
- 40 - 60% van de raaien in het vak groeit mee met het scenario;
- 60 - 80% van de raaien in het vak groeit mee met het scenario;
- Meer dan 80% van de raaien in het vak groeit mee met het scenario.

Vakken die in de categorie 'Meer dan 80% van de raaien in het vak groeit mee met het scenario' vallen beschouwen we als vakken die meegroeien met de zeespiegelstijging. De vakken die minder dan 80% meegroeien beschouwen we als vakken die onvoldoende meegroeien met de zeespiegelstijging. Deze vakken analyseren we nader in paragraaf 4.3.2. Kustvakken die in 2100 niet voldoende meegroeien, groeien per definitie ook niet mee met het scenario in 2200. Het kan echter wel voorkomen dat een kustvak wel voldoende meegroeit richting 2100, maar niet richting 2200. Dit is bijvoorbeeld het geval voor een vak in Ameland tussen raai 15200 en 23000.

Figuur 14 (onder) laat voor elk scenario van zeespiegelstijging zien hoeveel vakken met een bepaald percentage raaien (van het totale aantal raaien binnen het vak) meegroeien. Zo groeien 79 vakken met minimaal 80% (van de raaien binnen het vak) voldoende mee met scenario laag in 2100. Slechts 2 vakken groeien met minder dan 20% mee met hetzelfde scenario. Bijlage C.1 bevat kaartmateriaal voor alle scenario's en zichtjaren.



Figuur 14: Links en Rechtsboven: Percentages van de kustvakken dat voldoet aan scenario extreem in 2100 (linksboven) en 2200 (rechtsboven); Onder: Het aantal vakken met in kleur aangegeven het percentage raaien dat voldoet aan elk scenario.

Als we de categorie waarbij minimaal 80% van de raaien in het vak meegroeien met de zeespiegelstijging beschouwen als 'meegroeien met het scenario', groeien de duinen in 58 vakken voldoende en in 31 vakken onvoldoende mee met de zeespiegelstijging in het extreme scenario voor zichtjaar 2200 (5 m) (Zie Figuur 14). De 31 vakken die onvoldoende meegroeien zijn opgenomen in Tabel 3. De gearceerde vakken groeien onvoldoende (<80% van het vak) mee met het desbetreffende scenario. De kleurcodering komt overeen met Figuur 14, Waarbij donkerblauw uit Figuur 14 gelijk is aan wit in de tabel.

Tabel 3: Overzicht van vakken die onvoldoende meegroeien (<80 % van de raaien binnen het vak) voor de scenario's laag, hoog en extreem voor zichtjaren 2100 en 2200.

Vak	Vaknaam	Min raai	Max raai	Aantal raaien (n)	% van vak dat meegroeit met scenario					
					laag		Hoog		Extreem	
					2100	2200	2100	2200	2100	2200
1	Schiermonnikoog	1000	5000	36	81	81	58	42	19	17
22	Ameland	3020	6000	16	88	88	75	75	75	75
27	Ameland	6200	8200	11	36	36	18	9	9	0
28	Ameland	12400	15000	14	100	100	100	86	79	79
2	Ameland	15200	23000	38	97	97	92	89	82	68
29	Terschelling	0	1800	12	75	75	75	67	67	58
32	Terschelling	26000	31600	6	17	17	17	17	17	17
4	Vlieland	40200	49150	53	98	98	89	81	81	77
34	Vlieland	49330	54600	43	91	91	91	86	81	74
51	Texel	10030	10330	2	100	100	100	100	100	50
44	Texel	19720	19920	3	100	100	33	33	33	33
40	Texel	23800	25400	8	88	88	88	75	75	75
39	Texel	25600	26200	4	50	50	50	25	25	0
37	Texel	28200	28800	2	100	100	100	100	100	50
35	Texel	30010	31020	8	100	100	100	75	75	63
59	Noord-Holland	40500	41250	5	40	40	40	20	20	20
60	Noord-Holland	41500	44000	9	89	89	89	89	78	78
61	Noord-Holland	44250	45250	5	100	100	100	100	80	60
63	Noord-Holland	46750	47750	4	100	100	75	75	50	25
64	Noord-Holland	48250	50750	8	50	50	50	25	25	25
16	Rijnland	62250	69750	31	87	87	81	68	55	32
71	Rijnland	70000	71000	4	50	50	50	25	0	0
87	Delfland	106710	110720	16	81	81	81	81	81	75
11	Delfland	112440	118250	24	96	96	92	83	83	79
6	Voorne	6200	16000	53	98	98	94	92	85	77
90	Voorne	16010	17000	6	0	0	0	0	0	0
91	Goeree	2800	10250	33	67	67	67	61	55	48
7	Goeree	13500	19250	29	97	97	93	76	69	62
94	Goeree	19500	25250	25	76	76	64	60	48	44
12	Walcheren	11050	34580	137	96	96	92	82	78	76
101	Zeeuws-Vlaanderen	7910	9620	14	86	86	86	79	71	64

Tabel 3 (en ook Figuur 14) laten zien dat veel van de vakken die niet meer meegroeien met het scenario 'Extreem' voor zichtjaar 2200 nog wel meegroeien tot zichtjaar 2100. Ook groeien veel vakken nog wel mee met de scenario's 'Laag' en 'Hoog'. Er zijn enkele vakken die op basis van deze analyse vanaf scenario 'Laag' niet meegroeien met de zeespiegelstijging. Nadere analyse van deze vakken nuanceert dit beeld enigszins. Enerzijds gaat dit om vakken met relatief weinig raaien (minder dan 10 stuks). Ook gaat het om een aantal vakken in Zeeland, waarbij een deel van de vakken uit harde kering bestaat. In andere gevallen (bij met name Ameland) is door het toepassen van de methode uitgegaan van een breed duin. Het volume in m²/jaar delen door een breed duin [m], leidt tot een relatief lage duingroei per jaar. Bij een breed duin wordt de berekende meegroeisnelheid daarom lager, terwijl het meest zeewaartse deel van het duingebied misschien wel voldoende meegroeit. De gehanteerde methode is daarom gevoelig voor de breedte van het duingebied. In de methode wordt deze automatisch bepaald (zie ook paragraaf 2.2). Voor elk vak is de verdeling van de berekende breedtes van de raaien opgenomen in Bijlage B. Een gevoeligheidsanalyse is opgenomen in paragraaf 5.2.

4.2 Inventarisatie maatregelen voor vakken die voldoende meegroeien

In totaal groeien 58 van de 89 vakken voor minimaal 80% van de geanalyseerde raaien mee met het extreme scenario in 2200 (zie Figuur 14). Beschouwing van de vakken in relatie tot de mate van suppleren in de huidige strategie laat zien dat de relatie tussen suppleren en het wel of niet meegroeien van de duinen niet eenduidig is. Er zijn 25 vakken (van de 58) minder dan gemiddeld gesuppleerd. Dit is met name het geval bij de Waddeneilanden en de Zeeuwse kust. Op deze plekken is de strandbreedte vaak relatief breed. In 17 vakken is meer dan gemiddeld gesuppleerd. In de overige 16 vakken is gemiddeld gesuppleerd of is de variatie in suppletie intensiteit binnen het vak groot.

In 12 van de vakken die voldoende meegroeien is een deel van de zeereep gekerfd. Deze raaien zijn echter uit de analyse gehaald, dus dit effect is niet terug te zien in de mate waarin een vak wel of niet meegroeit. Tegelijkertijd zijn ook kerven aanwezig in vakken die niet of onvoldoende meegroeien met zeespiegelstijging. De locaties van kerven zijn opgenomen in Bijlage C.5.

4.3 Beschouwing vakken die onvoldoende meegroeien

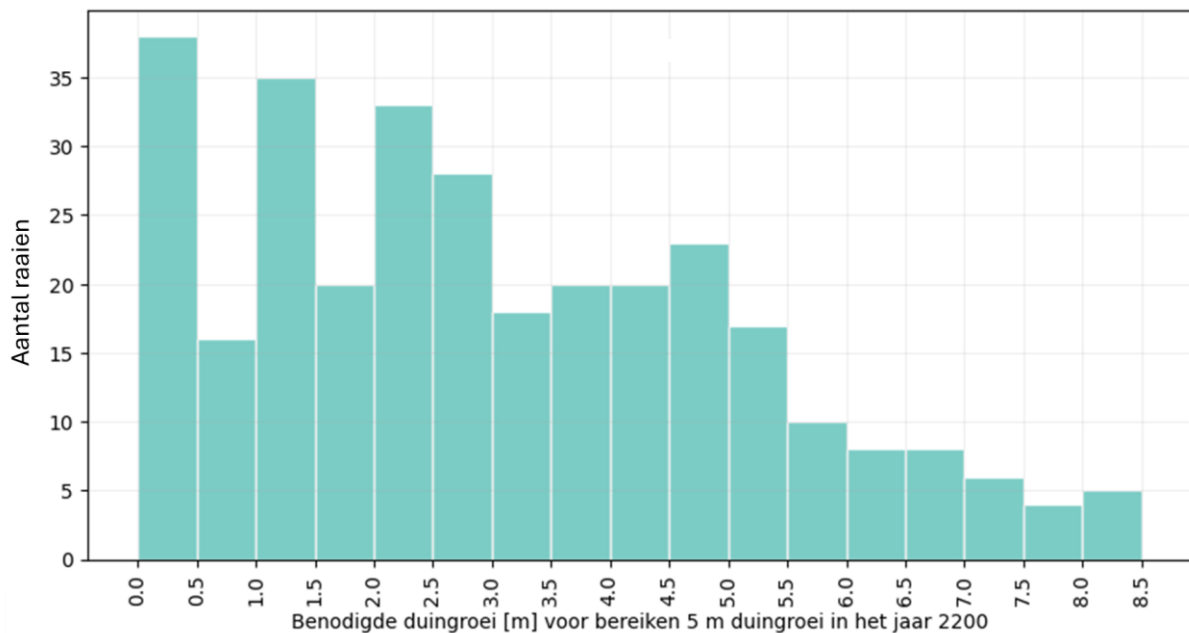
In totaal groeien in 31 vakken minder dan 80% van de geanalyseerde raaien mee met het extreme scenario in 2200 (zie Figuur 14). Dit is circa een derde van de vakken. Voor de vakken die onvoldoende meegroeien beschouwen we in deze paragraaf de mate waarin deze niet meegroeien (Paragraaf 4.3.1) en het handelingsperspectief voor het nemen van aanvullende maatregelen als het intensiveren van suppleties en/of het aanleggen van kerven (Paragraaf 4.3.2). We verwijzen naar Hoofdstuk 3 voor de uitgangspunten die worden gehanteerd voor de suppleties (paragraaf 3.2) en kerven (paragraaf 3.3).

4.3.1 Inschatting mate waarin duinvakken onvoldoende meegroeien

Voor de 31 vakken die niet voldoende meegroeien (met scenario Extreem in 2200) zijn de raaien nader geanalyseerd. In totaal bevatten deze vakken 659 raaien, waarvan 309 raaien niet voldoende meegroeien met het extreme scenario in 2200. Figuur 15 geeft voor de 309 raaien die

niet voldoende meegroeien weer in welke mate de raaien niet meegroeien. Figuur 15 laat zien hoeveel m duingroei nog nodig is om in 2200 de 5 m duingroei te kunnen bereiken. Zo zijn er 38 raaien waarbij 0-0,5 m extra duingroei benodigd is om in 2200 de 5 m duingroei te bereiken. Voor meer dan de helft van de raaien is de benodigde extra duingroei meer dan 2,5 m. Voor ca 1/5 deel van de 309 raaien is zelfs meer dan 5 m duingroei benodigd. Voor deze raaien is er over de periode 1990-2023 een afname van duinvolume.

Figuur 15 schetst met de mate waarin de raaien onvoldoende meegroeien ook een beeld van het benodigd effect dat het nemen van maatregelen ter bevordering van duingroei zou moeten opleveren. Dit project geeft geen inzicht met welke maatregelen je in welke mate duingroei kan versterken. De impliciete aanname in het project is wel dat hoe minder de nog benodigde duingroei (zoals weergegeven in Figuur 15), hoe groter de kans dat dit kan worden bewerkstelligd met het nemen van maatregelen die passen binnen de huidige strategie. In de volgende paragraaf inventariseren we of er potentie is voor het nemen van maatregelen uit oogpunt van intensiveren van suppleties of ruimte voor aanleg van kerven. Of de benodigde duingroei werkelijk bewerkstelligd kan worden door het intensiveren van maatregelen binnen de huidige strategie zal nader moeten worden onderzocht.



Figuur 15: Hoogteverschil in meters tussen de totale duingroei in 2200 en de nog benodigde duingroei bij het extreme scenario in 2200.

4.3.2 Handelingsperspectief door intensivering suppleties en aanleg kerven

Voor de 31 vakken die onvoldoende meegroeien (paragraaf 4.1.2) beschouwen we het handelingsperspectief door het intensiveren van de suppleties (paragraaf 3.2) of de aanleg van kerven (paragraaf 3.3). De potentie van maatregelen voor suppletie en aanleggen van kerven binnen de huidige strategie is ingedeeld in vier categorieën, die zijn beschreven in Tabel 4.

Tabel 4: Indeling in categorieën van potentie van maatregelen om duingroei te versterken.

Categorie	Maatstaf voor indeling
■ de aanleg van kerven en intensivering van de huidige suppletiestrategie;	<ul style="list-style-type: none"> Er is minimaal 150 tot 200 m (in dwarsrichting) ruimte voor de aanleg van kerven, en er is minimaal 350 m (in alle richtingen) afstand tot bebouwing. het huidige suppletievolume in relatie tot het gemiddelde suppletievolume langs de gehele Nederlandse kust is lager dan gemiddeld of gemiddeld
■ de aanleg van kerven;	<ul style="list-style-type: none"> Er is minimaal 150 tot 200 m (in dwarsrichting) ruimte voor de aanleg van kerven, en er is minimaal 350 m (in alle richtingen) afstand tot bebouwing.
■ intensivering van de huidige suppletiestrategie;	<ul style="list-style-type: none"> het huidige suppletievolume in relatie tot het gemiddelde suppletievolume langs de gehele Nederlandse kust is lager dan gemiddeld of gemiddeld
■ weinig tot geen potentie van oprekken met de huidige strategie.	<ul style="list-style-type: none"> Geen ruimte voor aanleg van kerven Huidig suppletievolume is al bovengemiddeld.

In Tabel 5 zijn de vakken opgenomen waarbij minder dan 80% van de raaien in het vak niet meegroeien met het extreme scenario voor zichtjaar 2200, met daarbij een verkenning naar mogelijkheden voor aanleg van kerven en/of het intensiveren van suppleren. Voor elk vak is geïnterpreteerd of er kerven aanwezig zijn en of er voldoende ruimte in het vak is voor het aanleggen van een kerf (zie paragraaf 3.3). Er is niet gekeken of er mogelijkheden zijn om de kering eventueel te verleggen om zo ruimte te creëren voor de aanleg van een kerf. Ook is per vak nagegaan of er nu gemiddeld, boven- of ondergemiddeld gesuppleerd wordt. Als er nu gemiddeld of ondergemiddeld wordt gesuppleerd gaan we ervanuit dat er potentie is voor het intensiveren van suppleren (zie ook paragraaf 3.2). Tabel 5 geeft daarmee een eerste indruk van potentiële locaties die nader onderzocht kunnen worden.

Tabel 5 laat zien dat voor 7 (van de 31) vakken weinig tot geen potentie wordt gezien voor maatregelen van suppleren en/of het aanleggen van kerven (grijs gekleurd). In 3 van deze 7 vakken is er een harde kering aanwezig. Nadere analyse van de 5 vakken die in de klasse 'weinig tot geen potentie' vallen geeft een wat genuanceerder beeld op het onvoldoende meegroeien. Eén van de vakken (bij Texel) bestaat slechts uit 3 raaien. De andere 3 vakken bestaan uit meerdere raaien, maar vallen net buiten de 80% grens. De overige vakken zijn als volgt geclassificeerd: Voor 3 vakken is potentie voor de aanleg van kerven op basis van beschikbare ruimte (We merken op dat als er in een vak al kerven aanwezig zijn, het vak ook is geclassificeerd als potentie voor kerven). Voor 18 vakken geldt dat deze onder- of gemiddeld worden gesuppleerd op dit moment. Hiervan is bij 11 vakken ook ruimte voor het aanleggen van kerven.

Tabel 5: De potentie van kerfen en suppleties voor de kustvakken die niet meegroeien met het extreme scenario voor 2200. Legenda suppleties: ◀◀ veel minder dan gemiddeld, ◀ minder dan gemiddeld, ● gemiddeld, ▶ meer dan gemiddeld, ▶▶ veel meer dan gemiddeld (zie Figuur 7, rechts). Bij meerdere iconen wordt een range aangegeven.

Vak	Vaknaam	Kerf	Ruimte voor kerf?	Suppleties	Harde kering	Klasse
1	Schiermonnikoog	Nee	Ja	◀◀	Nee	
2	Ameland	Ja	Ja	◀ / ▶	Nee	
22	Ameland	Nee	Ja	◀◀ / ▶	Nee	
27	Ameland	Nee	Ja	◀◀ / ◀	Nee	
28	Ameland	Nee	Beperkt	▶	Nee	
29	Terschelling	Nee	Ja	◀◀	Nee	
32	Terschelling	Nee	Ja	◀◀	Nee	
4	Vlieland	Ja	Ja	◀◀ / ●	Nee	
34	Vlieland	Nee	Beperkt	◀◀ / ▶	Nee	**
35	Texel	Nee	Ja	◀◀ / ●	Nee	
37	Texel	Nee	Ja*	▶	Nee	**
39	Texel	Nee	Ja	▶ / ▶▶	Nee	
44	Texel	Nee	Nee	▶	Nee	
51	Texel	Nee	Ja*	▶	Nee	
40	Texel (Slufter)	Nee	Beperkt	◀◀	Nee	
59	Noord-Holland	Ja	Ja	◀◀	Nee	
60	Noord-Holland	Ja	Ja	◀◀	Nee	
61	Noord-Holland	Nee	Ja*	◀◀	Nee	
63	Noord-Holland	Ja	Ja*	●	Nee	
64	Noord-Holland	Ja	Ja*	●	Nee	
16	Rijnland	Ja	Beperkt	◀◀ / ●	Gedeeltelijk	**
71	Rijnland	Ja	Ja	◀◀	Nee	
11	Delfland	Nee	Beperkt*	▶	Nee	
87	Delfland (bij Zandmotor)	Nee	Beperkt	▶ / ▶▶	Nee	
6	Voorne	Nee	Nee	◀◀ / ●	Nee	
90	Voorne	Nee	Nee	◀◀	Ja	
7	Goeree	Ja	Nee	◀◀ / ●	Nee	
91	Goeree	Nee	Beperkt	◀◀ / ●	Nee	
94	Goeree	Nee	Nee	◀◀ / ◀	Ja	
12	Walcheren	Nee	Nee	◀◀ / ▶▶	Gedeeltelijk	
101	Zeeuws-Vlaanderen	Nee	Nee	◀◀ / ●	Nee	

* Parkeerplaats aanwezig, ** Beperkte potentie

Tabel 6: Uitsnede van Tabel 3 voor 4 vakken die in Tabel 5 zijn geclassificeerd met 'weinig tot geen potentie van oprekken met de huidige strategie'.

Bijscript Tabel 3: Tabel geeft het overzicht van vakken die onvoldoende meegroeien (<80 % van de raaie binnen het vak) met scenario de scenario's laag, hoog en extreem voor zichtjaren 2100 en 2200. De niet-gearceerde vakken groeien mee met het desbetreffende scenario.

Vak	Vaknaam	Min raaie	Max raaie	Aantal raaie (n)	% van vak dat meegroeit met scenario					
					laag		Hoog		Extreem	
					2100	2200	2100	2200	2100	2200
28	Ameland	12400	15000	14	100	100	100	86	79	79
44	Texel	19720	19920	3	100	100	33	33	33	33
87	Delfland	106710	110720	16	81	81	81	81	81	75
11	Delfland	112440	118250	24	96	96	92	83	83	79

4.4 Beschouwing Duinsuppletie

Als het duingebied onvoldoende meegroeit en maatregelen van de huidige strategieën niet inpasbaar zijn of mogelijk niet het beoogde resultaat opleveren vanuit oogpunt van volumetoename zou kunnen worden overgestapt naar een andere strategie, zoals een duinsuppletie. In het verleden zijn duinsuppleties uitgevoerd bij de Noord-Hollandse kust (Noordwijk, Hondsbossche Duinen), Zuid-Hollandse kust (Goeree, Voorne, Hoek van Holland, Scheveningen, Katwijk) en Zeeland (Walcheren, Zeeuws-Vlaanderen)⁷. Deze suppleties zijn uitgevoerd vanuit het oogpunt van waterveiligheid. De functie van primaire kering was niet meer gewaarborgd waardoor versterking noodzakelijk was. Door te suppleren in het duingebied is er een instantane versterking van het duingebied, bij vooroever-suppleties is dit effect indirecter (zie ook HKV, 2024). De meeste van de duinsuppleties zijn aangelegd en dicht beplant, zodat er geen verstuing kon optreden. De Hondsbossche Duinen en Voorne zijn daarop een uitzondering. Daarbij is er bij het ontwerp expliciet aandacht besteed aan dynamisering van de zeereep. Er zijn eigenlijk geen duinsuppleties uitgevoerd vanuit het oogpunt van duinbeheer.

Suppleties voor duinversterking zijn vanuit ecologisch oogpunt doorgaans niet gunstig. Er wordt instantaan relatief veel volume in het duin gebracht, wat de aanwezige habitattypen en ecosystemen sterk beïnvloedt en een grotere verstoring van het ecosysteem veroorzaakt. Vroeger werd ook nog wel gesuppleerd met slib of steenrijk zand, wat ook ongunstig is voor de aanwezige habitattypen, maar dat gebeurt tegenwoordig niet meer. In geval suppleties zouden worden uitgevoerd vanuit het oogpunt van zeereepbeheer en het meegroeien van het duingebied met de zeespiegelstijging is instantane versterking geen direct doel. Er hoeft ook nog geen waterveiligheidsprobleem te zijn als de duinen niet meegroeien met de zeespiegelstijging. Als het duingebied voldoet aan waterveiligheidseisen zal de noodzaak voor duinsuppletie afhangen of de belangen van het meegroeien met de zeespiegelstijging opwegen tegen de belangen van het verstoren van het duingebied, zoals bijv. natuurwaarden (mogelijke verstoring van habitattypen en ecosystemen). Als gekozen wordt voor duinsuppleties kan bij het ontwerp van dergelijke suppleties rekening worden gehouden met de natuurwaarden die in het gebied aanwezig zijn, zodat deze behouden en zelfs versterkt kunnen worden. Zo speelt het een rol of een gebied al deels dynamisch is of geheel stabiel en verruigd.

⁷ Uit suppletiedatabase aangeleverd door RWS en rapportage Deltares (2019)

5 Gevoeligheidsanalyse

De gepresenteerde resultaten uit Hoofdstuk 4 schetsen een beeld van het meegroeien van het duingebied met verschillende scenario's van zeespiegelstijging, maar zijn mede bepaald door gekozen aanpak en methode in deze studie. Om meer gevoel te krijgen bij de robuustheid van de resultaten die gepresenteerd zijn in dit hoofdstuk, zijn de resultaten van drie varianten van gevoeligheidsberekeningen opgenomen:

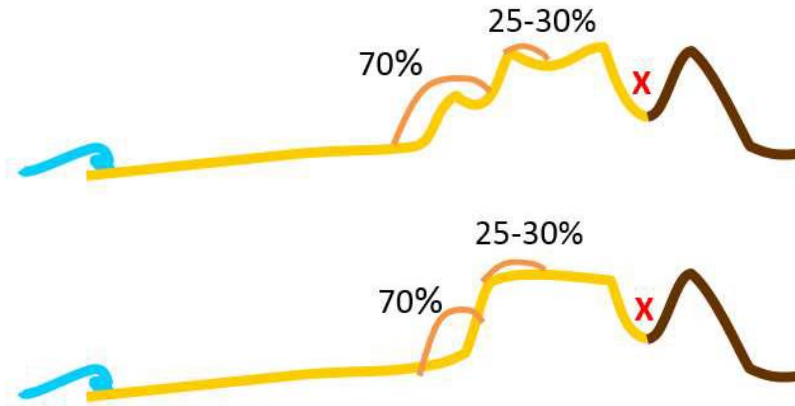
1. Duinvoet. In de basisberekening is het volume in het duin berekend op basis van een hoogteligging van de duinvoet van 3m+NAP (zie paragraaf 2.2). Paragraaf 5.1 presenteert resultaten waarbij het volume van het duin is berekend vanaf een hoogteligging van 6m+NAP en 9m+NAP. Met deze berekeningen wordt inzichtelijk gemaakt of de berekende duingroei een volume betreft in het achterliggende duingebied of dat deze vooral geconcentreerd is rondom de duinvoet.
2. Duinbreedte: In de basisberekening is het volume in het duin berekend op basis van mediane duinbreedte over de periode 1990-2023 (zie paragraaf 2.2). Er is eerder opgemerkt dat de methode gevoelig lijkt voor de duinbreedte. Paragraaf 5.2 presenteert resultaten waarbij het volume van het duin is berekend met een constante duinbreedte van 200m.
3. Sedimentbeschikbaarheid: In de basisberekening is het volume in het duin berekend op basis van de aanname dat de duingroei zoals berekend over de periode 1990-2023 tenminste gehandhaafd blijft in de toekomst. Dit betekent dat het sedimentaanbod naar het duingebied gelijk blijft. Paragraaf 5.3 presenteert resultaten waarbij is aangenomen dat de sedimentbeschikbaarheid vermindert (factor 2) om de gevoeligheid en het effect van deze aanname inzichtelijk te maken.

5.1 Duinvoet

Een aanname in deze studie is dat de verandering in volume gelijkwaardig over het gehele profiel plaatsvindt. Een studie naar de geomorfologische ontwikkeling van de Hondsbossche Duinen (HBD) de eerste jaren na aanleg liet zien dat ongeveer 70% van de totale accumulatie in het dwarsprofiel plaatsvond op het lage duin en/of buitentalud dat initieel onder NAP+6 m lag. De overige 30% accumulatie vond hoofdzakelijk hoog op het buitentalud plaats en op het zeewaartse deel van de kruin van het hoge duin (Figuur 16; HKV & Witteveen+Bos, 2018).

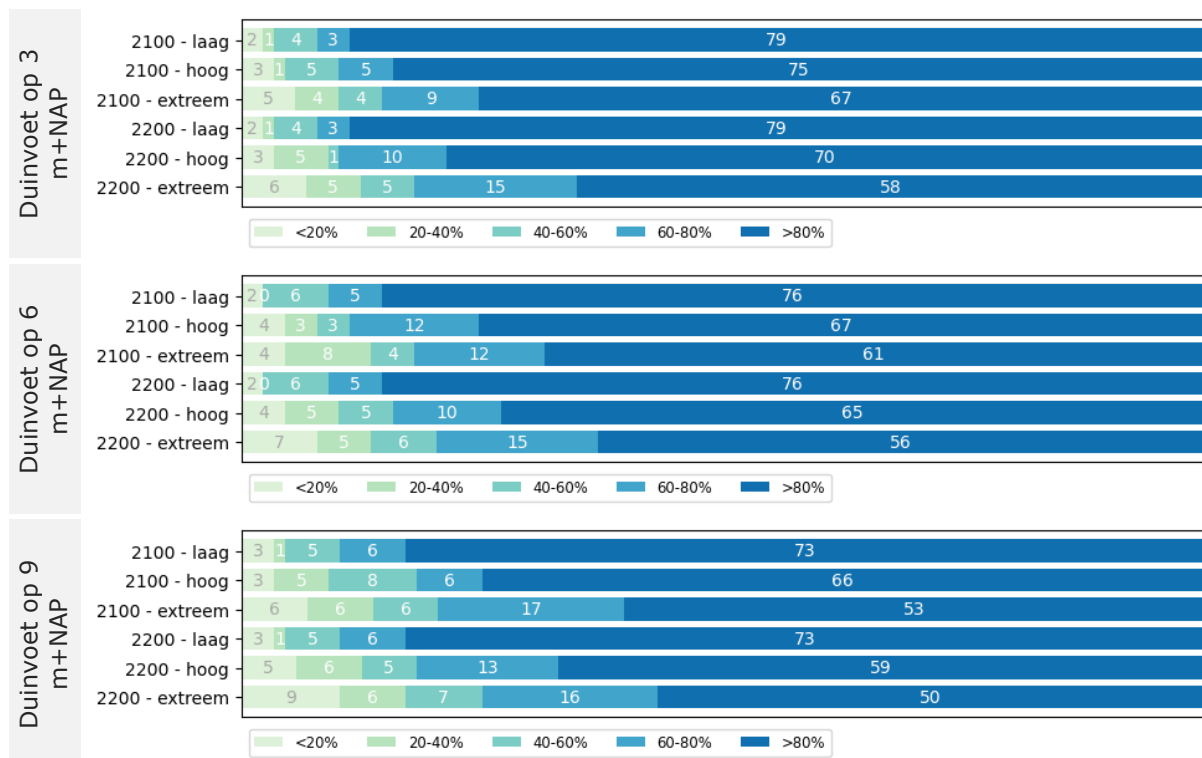
Als dit ook voor de JarKus-raaien op veel plekken het geval is, betekent dit dat we in deze studie de jaarlijkse duingroei en de daaruit volgende trend dus mogelijk zouden overschatten.

Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor de hoogte van de duinvoet. Naast de duinvoet op 3m+NAP zijn ook de duinvoet op een hoogte van 6 m+NAP en 9 m+NAP doorgerekend. Dit geeft een beeld van het volume sediment dat aan de duinvoet (tussen de 3m+NAP en 6 m+NAP) terecht komt ten opzichte van het volume dat bovenin het duin komt te liggen. Het sediment bovenin het duin is relevanter voor de mate van meegroeien met zeespiegelstijging, omdat dit voor een daadwerkelijke ophoging van het duin zorgt. Het sediment aan de duinvoet zal eerder wegslaan bij een storm en/of zeespiegelstijging.



Figuur 16: Schematische accumulatieverdeling - deze is gelijk voor profielen met een laag en hoog duin (boven) en voor profielen met alleen een hoog duin (onder)

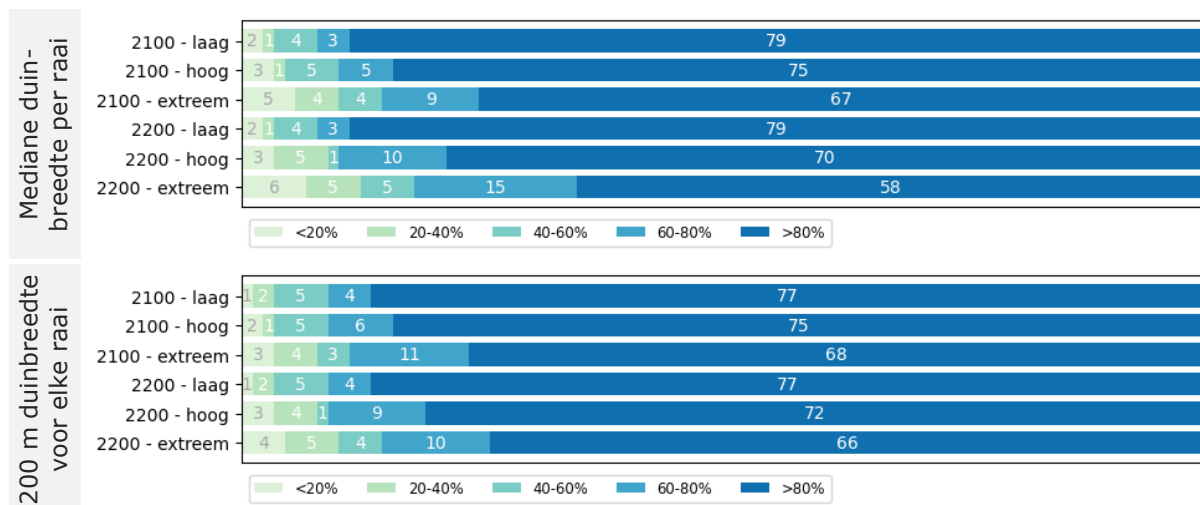
De resultaten laten zien dat bij volumebepaling vanaf 6m+NAP (Figuur 17, midden) of 9m+NAP (Figuur 17, onder) minder vakken meegroeien met de zeespiegelstijging dan in de Ausgangssituatie met een duinvoet op 3m+NAP (Figuur 17, boven). Tegelijkertijd blijft het beeld gelijk: een vergelijkbaar gedeelte van de vakken voldoet aan dezelfde scenario's. De resultaten zijn dus niet sterk gevoelig voor de hoogte van de duinvoet.



Figuur 17: Het aantal vakken met in kleur aangegeven het percentage raaien dat voldoet aan elk scenario bij een duinvoet op 3 m+NAP (boven), 6 m+NAP (midden) en 9 m+NAP (onder). Het totale aantal vakken is 89.

5.2 Duinbreedte

De groeisnelheid van de duinen binnen een raai is met de huidige methodiek afhankelijk van de jaarlijkse volumeverandering en de mediane duinbreedte over alle jaren in de periode 1990-2023. De mate van groei is hierdoor gevoelig voor de gedetecteerde duinbreedte. De verandering in volume wordt in de methode dus over de gehele duinbreedte verdeeld, terwijl de volumeverandering daadwerkelijk over een kleiner oppervlakte plaatsvindt. Dit is daarmee mogelijk een onderschatting van de resultaten. Daarom is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarin een standaard duinbreedte van 200 m is doorgerekend (Figuur 18, onder). Voor het extreme scenario wordt het beeld dan iets gunstiger, maar globaal blijft het beeld vergelijkbaar met de uitgangssituatie (Figuur 18, boven). De resultaten zijn dus ook niet sterk gevoelig voor het hanteren van een duinbreedte van 200 m in plaats van de mediane duinbreedte.



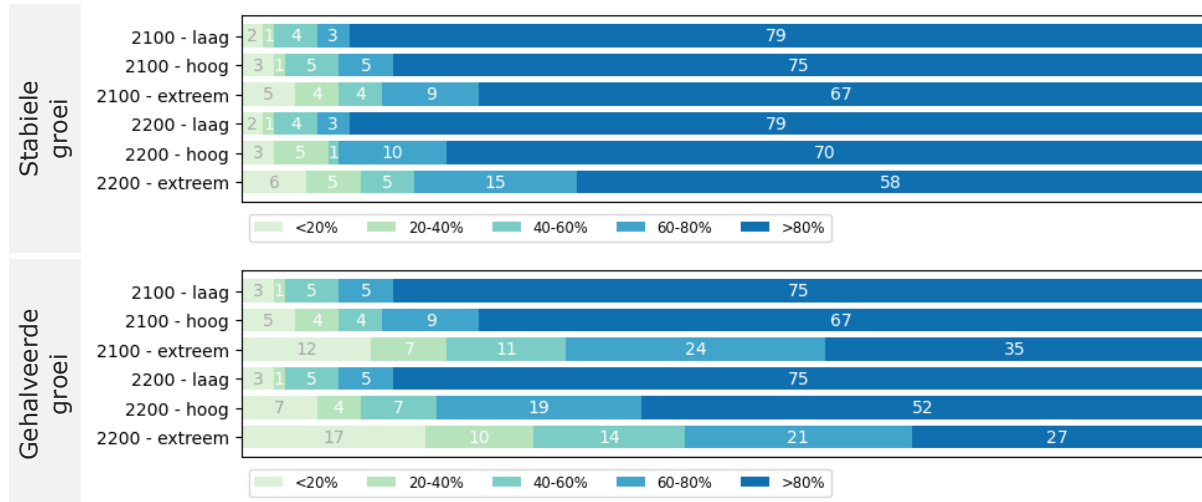
Figuur 18: Het aantal vakken met in kleur aangegeven het percentage raaien dat voldoet aan elk scenario bij gebruik van de mediane duinbreedte per raai (boven) en een breedte van 200 m voor elke raai (onder). Het totale aantal vakken is 89.

5.3 Sedimentbeschikbaarheid

De groeisnelheid van de duinen binnen een raai is met de huidige methodiek afhankelijk van de jaarlijkse volumeverandering en de mediane duinbreedte over alle jaren. De jaarlijkse volumeverandering is afhankelijk van het sedimentaanbod, welke bestaat uit het natuurlijke sedimentaanbod en het aanbod als gevolg van suppleties. De gevolgde methodiek gaat er van uit dat de duingroei zoals bepaald over de periode 1990-2023 zich met gemiddeld dezelfde mate doorzet in de toekomst. Daarmee nemen we dus aan dat het sedimentaanbod gelijk blijft in toekomstige scenario's. Impliciete aanname hierbij is dat door intensivering van het suppletiebeleid bij een stijgende zeespiegel de vorm van het dwarsprofiel van de kust behouden blijft. Het is ook denkbaar dat de sedimentatieprocessen bij de kust met andere tijdschalen verlopen en er wel (tijdelijk) verandering van kustprofiel optreedt. Mogelijk ontstaat door de zeespiegelstijging een versmalling van het voorliggende strand, wat voor een vermindering van het voor windtransport beschikbare sediment zorgt en daarmee voor een vermindering van het sedimentaanbod.

Om het belang van de aanname van een gelijkblijvende groei te illustreren, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met een gehalveerde groeisnelheid om een verminderd sedimentaanbod te simuleren. Voor zichtjaar 2100 zijn de resultaten voor scenario laag en hoog globaal nog wel vergelijkbaar met de basisberekening. Voor het klimaatscenario 'Extreem' ontstaat

er een ander beeld. In de basisberekening groeit 75% van de vakken (67 van de 89, Figuur 19, boven) voldoende mee. In de gevoeligheidsberekening is dat 39% (35 van de 89 vakken, Figuur 19, onder). Voor zichtjaar 2200 wordt dit beeld versterkt. Daarbij is niet alleen een verschuiving voor het scenario 'Extreem' te zien, maar ook bij het scenario 'Hoog'. De resultaten zijn dus wel gevoelig voor de aanname van het blijven handhaven van het sedimentaanbod.



Figuur 19: Het aantal vakken met in kleur aangegeven het percentage raaien dat voldoet aan elk scenario bij doorgaande duingroei (op basis van historische duingroei tussen 1990-2023) (boven) en een gehalveerde groei ter simulatie van een verminderd sedimentaanbod (onder). Het totale aantal vakken is 89.

6 Discussie en Conclusie

Deze rapportage geeft een analyse in hoeverre het duingebied in de hoogte meegroeit met de zeespiegelstijging bij de huidige suppletie strategie en de huidige strategieën van beheer & onderhoud van het duingebied. Daarbij is voor 89 vakken per JarKus-raai een analyse gedaan naar de duingroei in de periode 1990-2023. De duingroei is vergeleken met de scenario's voor zeespiegelstijging van het kennisprogramma Zeespiegelstijging. Tabel 7 geeft een overzicht van de resultaten.

Tabel 7: Percentage vakken waarbij meer en minder dan 80% van de raaien voldoende meegroeit met verschillende scenario's van zeespiegelstijging⁸.

Zeespiegelstijging	Percentage vakken waarbij <u>meer</u> dan 80% van de raaien voldoende meegroeit	Percentage vakken waarbij <u>minder</u> dan 80% van de raaien voldoende meegroeit
Zichtjaar 2100		
+0,5 m (Laag)	89%	11%
+1,0 m (Hoog)	84%	16%
+2,0 m (Extreem)	75%	25%
Zichtjaar 2200		
+1,0 m (Laag)	89%	11%
+2,0 m (Hoog)	79%	21%
+5,0 m (Extreem)	65%	35%

Opvallend is dat in het scenario van een 0,5 m zeespiegelstijging (zichtjaar 2100) er al een aantal vakken uit de analyse komen die niet voldoende mee lijken te groeien. Nadere analyse van deze vakken nuanceert dit beeld enigszins en maakt een aantal gevoeligheden van de rekenmethode in de resultaten zichtbaar:

- Vakken met relatief weinig raaien (minder dan 5 stuks) vallen al snel in het criterium dat minder dan 80% van de raaien mee kan groeien.
- Ook wordt in sommige gevallen door het automatisch detecteren van de duinbreedte gerekend met een relatief breed duin. Het delen van volume door een breed duin leidt tot een relatief lage duingroei per jaar.

Een gevoeligheidsberekening waarbij is uitgegaan van een uniforme duinbreedte van 200 m laat zien dat iets meer vakken voldoende meegroeien met de zeespiegelstijging (Tabel 8), maar de trend is vergelijkbaar met de resultaten waarbij is uitgegaan van de mediane duinbreedte per raai. Gevoeligheidsberekeningen waarbij de volumebepaling van het duin is berekend vanaf 6m+NAP en 9m+NAP, in plaats van 3m+NAP veranderen het beeld enigszins, maar nog niet drastisch (Tabel 8).

⁸ De resultaten in Tabel 2 zijn afgeleid uit de resultaten van Figuur 17. (Voor zichtjaar 2100 zijn er in scenario "Laag" 79 vakken van de 89 vakken waarbij er meer dan 80% van de raaien meegroeien. Dit is 89%).

De resultaten blijken wel gevoelig voor de aanname dat de duingroei zoals bepaald over de periode van 1990-2023 zich in gelijke mate door zal zetten. Dit uit zich met name in het extreme scenario. Bij een gehalveerde duingroei, kan meer dan de helft van de vakken niet met de zeespiegelstijging van het scenario Extreem meegroeien.

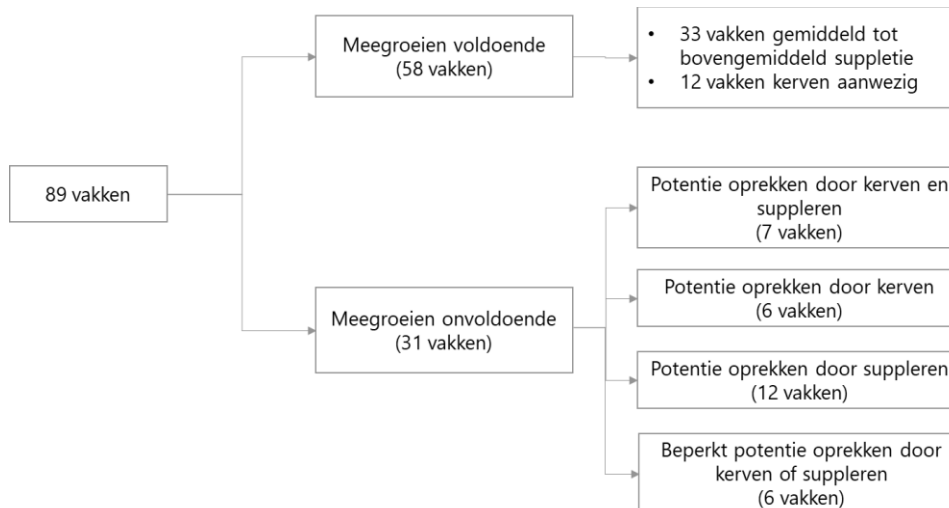
De aanname dat de duingroei zoals die over de periode 1990-2023 is gezien, in de toekomst blijft gewaarborgd is dus cruciaal voor met name het extreme scenario. Het sedimentaanbod naar de zeereep bestaat uit het sedimentaanbod door de natuurlijke processen en het extra sedimentaanbod als gevolg van suppleties. Bij zeespiegelstijging zal er meer gesuppleerd moeten worden als we de basiskustlijn en het volume zand in het kustfundament willen blijven handhaven (Deltares 2023). Voor een continuering van het sedimentaanbod naar de zeereep is het dan van belang dat de vorm van het dwarsprofiel van de kust behouden blijft. Als bijvoorbeeld door de zeespiegelstijging een versteiling van het profiel zou optreden is vermindering van het sedimentaanbod niet geheel ondenkbaar.

Tabel 8: Percentage vakken waarbij meer dan 80% van de raaien voldoende meegroeit met verschillende scenario's van zeespiegelstijging.

Zeespiegelstijging	Basisberekening Duinvoet 3m+NAP Duinbreedte mediaan	Duinvoet 6m+NAP	Duinvoet 9m+NAP	Duinbreedte 200m	Halvering duingroei per jaar
Zichtjaar 2100					
+0,5 m (Laag)	89%	85%	82%	87%	84%
+1,0 m (Hoog)	84%	75%	74%	84%	75%
+2,0 m (Extreem)	75%	69%	60%	76%	39%
Zichtjaar 2200					
+1,0 m (Laag)	89%	85%	82%	87%	84%
+2,0 m (Hoog)	79%	73%	66%	81%	58%
+5,0 m (Extreem)	65%	63%	56%	74%	30%

Voor het scenario van 5 m zeespiegelstijging (zichtjaar 2200) is voor de vakken waarbij minder dan 80% van de raaien meegroeien met de zeespiegelstijging geïnventariseerd of er potentie is voor het nemen van maatregelen. Daarbij is gekeken naar 1) intensiveren van suppleren binnen de huidige suppletiestrategie (Hierbij is dus geen rekening gehouden met intensivering van suppleren door zeespiegelstijging zelf) en 2) ruimte voor aanleg van kerven. (Figuur 20)

Voor de meeste vakken lijkt handelingsperspectief te zijn voor het uitvoeren van maatregelen. We verwijzen naar Hoofdstuk 3 voor de gehanteerde uitgangspunten en aannamen waarop de inventarisatie is gebaseerd. Of deze maatregelen ook werkelijk inpasbaar zijn en de volumes opleveren die gewenst zijn, zal nader moeten worden onderzocht.



Figuur 20: Quickscan potentie maatregelen voor vakken die onvoldoende meegroeien op basis van huidige suppletie strategie en ruimte.

NB: Dit is geen uitspraak over effectiviteit van de maatregel.

In die gevallen waar geen potentie voor maatregelen binnen de huidige strategie mogelijk is of waarbij het beoogd effect niet groot genoeg zal zijn naar verwachting, is duinsuppletie mogelijk een maatregel waartoe overgegaan zou kunnen worden. In Nederland zijn er nog geen suppleties in het duin uitgevoerd vanuit het oogpunt van duinbeheer. De suppleties die zijn gedaan zijn altijd gedaan vanuit het oog van waterveiligheid. Het is van belang de belangen ten aanzien van duinsuppleties af te wegen voor zowel waterveiligheid/kustveiligheid als het meegroeien van de duinen voor alle functies en waarden. Dan kan een transparante afweging gemaakt worden of maatregelen ter bevordering van meegroeien van het duin en in het uiterste geval duinsuppletie uitgevoerd moeten worden in relatie tot de andere functies.

7 Referenties

Arens SM, Van Puijvelde SP & Brière C, 2010.

Effecten van suppleties op duinontwikkeling. Rapportage geomorfologie. Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij, Rapport nr. 2010/OBN142-DK

Deltares, 2019.

Natuurlijk Veilig door Kust- en Zeereepbeheer. In opdracht van Rijkswaterstaat WVL. Kenmerk 11203683-002-ZKS-0014.

Deltares, 2023.

Sedimentbehoefte Nederlands kustsysteem bij toegenomen zeespiegelstijging, In opdracht van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging Ministerie Infrastructuur en Waterstaat / Deltacommissaris, Rapportnummer: 11207897-002-ZKS-0004.

Hesp P, 2002.

Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. Geomorphology 2002, 48, 245-268.

HKV & Witteveen+Bos, 2018.

Innovatieproject Hondsbossche Duinen. B2-P2: Analyse effecten maatregelen. Opdrachtgever: Ecoshape, referentie DDT169-18-017.256.

HKV, 2024.

Basiskustlijn en Waterveiligheid. Opdrachtgever: Rijkswaterstaat WVL, PR5123.10, september 2024.

Loffler, M. & R. van der Togt, 2018.

Dynamiek in de kustzone - Doelen en achtergronden op grond van bezoeken aan de regio's. Opdrachtgever: Rijkswaterstaat WVL, 18 oktober 2018.

Bijlagen

A Vakindeling

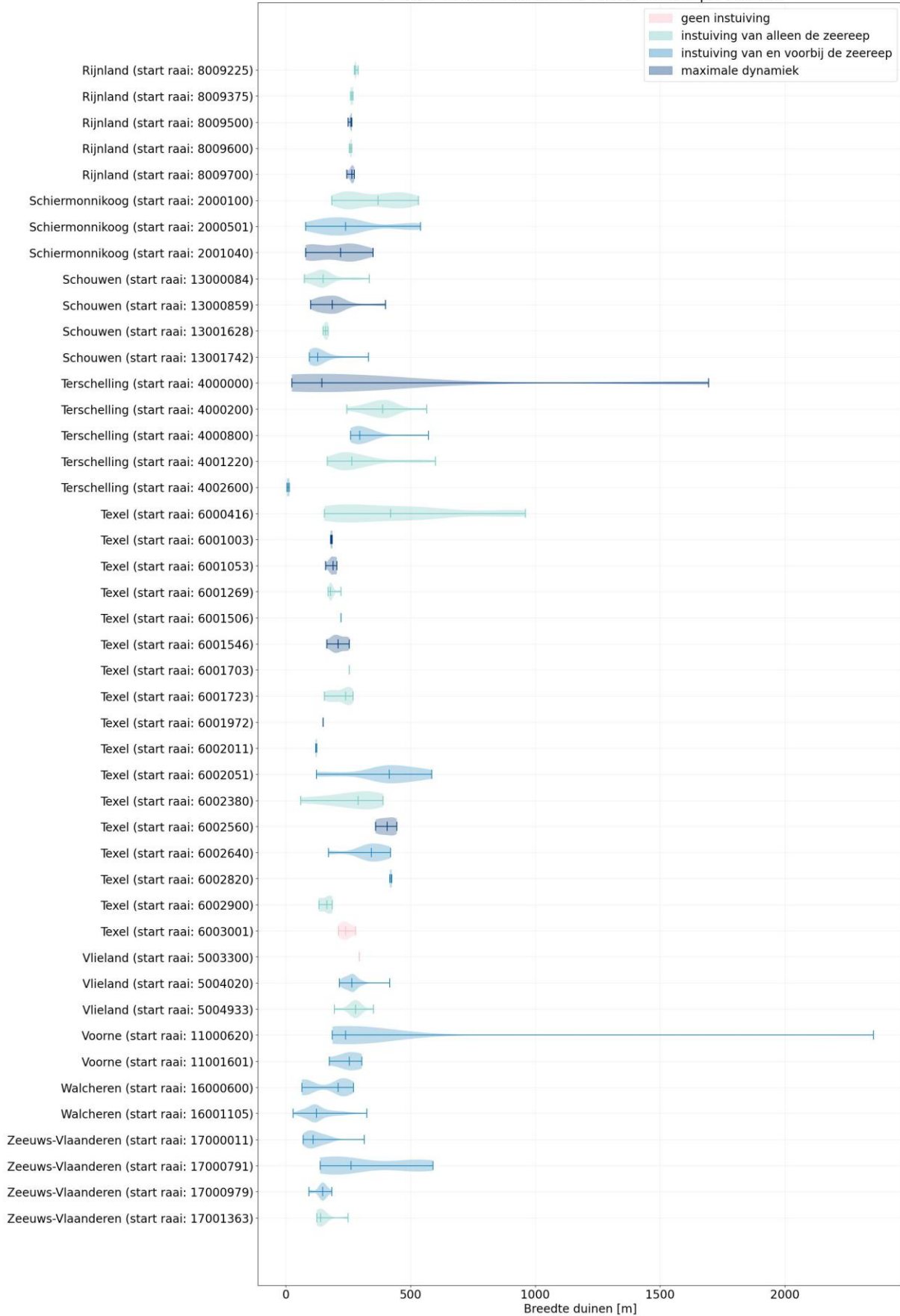
Vak	Locatie	Dynamiek	Start raai	Eind raai	n
1	Schiermonnikoog	instuiving van alleen de zeereep	2000100	2000500	1
18	Schiermonnikoog	instuiving van en voorbij de zeereep	2000501	2001020	2
20	Schiermonnikoog	maximale dynamiek	2001040	2011940	3
21	Ameland	instuiving van alleen de zeereep	3000100	3004966	4
22	Ameland	instuiving van en voorbij de zeereep	3000302	3000600	5
27	Ameland	instuiving van alleen de zeereep	3000620	3000820	6
23	Ameland	instuiving van en voorbij de zeereep	3000840	3001220	7
28	Ameland	instuiving van alleen de zeereep	3001240	3001500	8
2	Ameland	instuiving van en voorbij de zeereep	3001520	3002300	9
24	Ameland	maximale dynamiek	3002320	3002510	10
29	Terschelling	maximale dynamiek	4000000	4000180	11
30	Terschelling	instuiving van en voorbij de zeereep	4000200	4000780	12
31	Terschelling	instuiving van alleen de zeereep	4000800	4001200	13
3	Terschelling	instuiving van en voorbij de zeereep	4001220	4002580	14
32	Terschelling	maximale dynamiek	4002600	4003160	15
33	Vlieland	maximale dynamiek	5003300	5004000	16
4	Vlieland	instuiving van en voorbij de zeereep	5004020	5004915	17
34	Vlieland	instuiving van alleen de zeereep	5004933	5005460	18
50	Texel	maximale dynamiek	6000416	6001001	19
51	Texel	instuiving van alleen de zeereep	6001003	6001033	20
5	Texel	instuiving van en voorbij de zeereep	6001053	6001249	21
49	Texel	instuiving van alleen de zeereep	6001269	6001490	22
48	Texel	maximale dynamiek	6001506	6001526	23
47	Texel	instuiving van alleen de zeereep	6001546	6001694	24
46	Texel	instuiving van en voorbij de zeereep	6001703	6001703	25
45	Texel	maximale dynamiek	6001723	6001952	26
44	Texel	instuiving van alleen de zeereep	6001972	6001992	27
42	Texel	maximale dynamiek	6002011	6002031	28
41	Texel	instuiving van alleen de zeereep	6002051	6002360	29
40	Texel	instuiving van en voorbij de zeereep	6002380	6002540	30
39	Texel	maximale dynamiek	6002560	6002620	31
38	Texel	instuiving van alleen de zeereep	6002640	6002800	32
37	Texel	instuiving van en voorbij de zeereep	6002820	6002880	33
36	Texel	instuiving van alleen de zeereep	6002900	6002977	34
35	Texel	instuiving van en voorbij de zeereep	6003001	6003102	35
52	Noord-Holland	instuiving van alleen de zeereep	7000110	7002677	36
53	Noord-Holland	instuiving van en voorbij de zeereep	7002700	7002700	37

54	Noord-Holland	maximale dynamiek	7002716	7003175	38
55	Noord-Holland	instuiving van alleen de zeereep	7003200	7003400	39
56	Noord-Holland	maximale dynamiek	7003425	7003650	40
57	Noord-Holland	instuiving van alleen de zeereep	7003675	7003875	41
58	Noord-Holland	maximale dynamiek	7003900	7004025	42
59	Noord-Holland	instuiving van en voorbij de zeereep	7004050	7004125	43
60	Noord-Holland	maximale dynamiek	7004150	7004400	44
61	Noord-Holland	instuiving van alleen de zeereep	7004425	7004525	45
62	Noord-Holland	instuiving van en voorbij de zeereep	7004550	7004650	46
63	Noord-Holland	maximale dynamiek	7004675	7004775	47
64	Noord-Holland	instuiving van en voorbij de zeereep	7004825	7005075	48
10	Noord-Holland	instuiving van alleen de zeereep	7005100	7005275	49
65	Noord-Holland	instuiving van en voorbij de zeereep	7005300	7005500	50
66	Rijnland	geen instuiving	8005650	8005725	51
67	Rijnland	instuiving van alleen de zeereep	8005750	8005775	52
68	Rijnland	instuiving van en voorbij de zeereep	8005800	8005900	53
69	Rijnland	maximale dynamiek	8006025	8006025	54
70	Rijnland	instuiving van en voorbij de zeereep	8006050	8006200	55
16	Rijnland	instuiving van alleen de zeereep	8006225	8006975	56
71	Rijnland	instuiving van en voorbij de zeereep	8007000	8007100	57
73	Rijnland	instuiving van en voorbij de zeereep	8007175	8007300	58
72	Rijnland	instuiving van alleen de zeereep	8007325	8008950	59
75	Rijnland	instuiving van en voorbij de zeereep	8008975	8009125	60
76	Rijnland	instuiving van alleen de zeereep	8009225	8009350	61
77	Rijnland	instuiving van en voorbij de zeereep	8009375	8009400	62
78	Rijnland	instuiving van alleen de zeereep	8009500	8009575	63
74	Rijnland	instuiving van en voorbij de zeereep	8009600	8009675	64
81	Rijnland	instuiving van alleen de zeereep	8009700	9009770	65
83	Delfland	instuiving van en voorbij de zeereep	9009795	9009853	66
80	Delfland	geen instuiving	9009875	9010140	67
85	Delfland	instuiving van en voorbij de zeereep	9010200	9010547	68
86	Delfland	instuiving van alleen de zeereep	9010567	9010653	69
87	Delfland	instuiving van en voorbij de zeereep	9010671	9011072	70
88	Delfland	instuiving van alleen de zeereep	9011094	9011221	71
11	Delfland	instuiving van en voorbij de zeereep	9011244	9011825	72
89	Delfland	geen instuiving	9011850	9011850	73
6	Voorne	instuiving van en voorbij de zeereep	11000620	11001600	74
90	Voorne	geen instuiving	11001601	11001700	75
91	Goeree	instuiving van en voorbij de zeereep	12000280	12001025	76
93	Goeree	instuiving van alleen de zeereep	12001050	12001325	77
7	Goeree	instuiving van en voorbij de zeereep	12001350	12001925	78
94	Goeree	geen instuiving	12001950	12002525	79
95	Schouwen	instuiving van alleen de zeereep	13000084	13000839	80
8	Schouwen	instuiving van en voorbij de zeereep	13000859	13001608	81
96	Schouwen	geen instuiving	13001628	13001719	82
97	Schouwen	geen instuiving	13001742	16000580	83

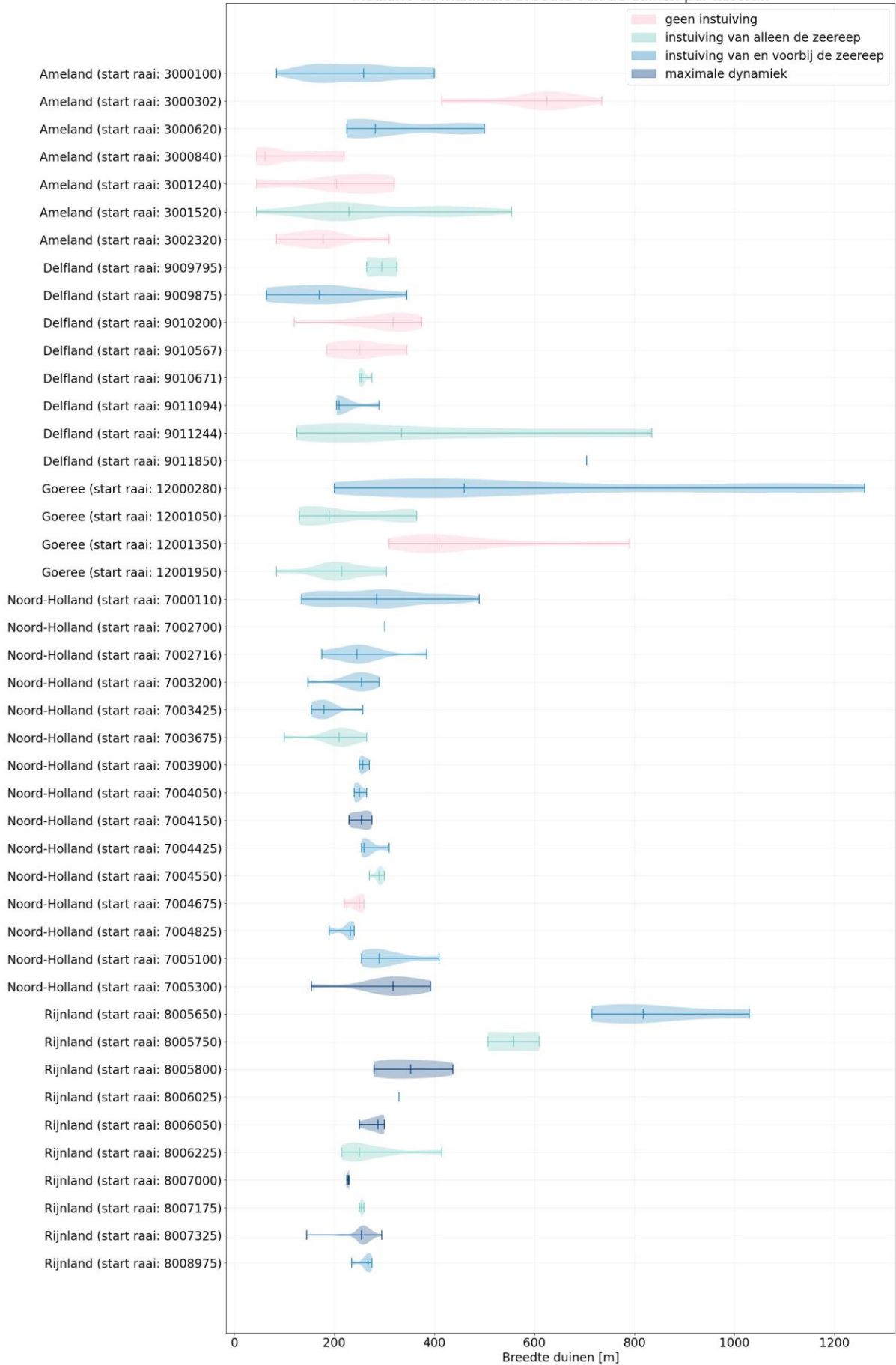
99	Walcheren	instuiving van en voorbij de zeereep	16000600	16001085	84
12	Walcheren	geen instuiving	16001105	16003458	85
14	Zeeuws-Vlaanderen	geen instuiving	17000011	17000778	86
101	Zeeuws-Vlaanderen	instuiving van en voorbij de zeereep	17000791	17000962	87
100	Zeeuws-Vlaanderen	geen instuiving	17000979	17001318	88
17	Zeeuws-Vlaanderen	instuiving van en voorbij de zeereep	17001363	17001487	89

B Berekende duinbreedte

Mediane en maximale breedte van de duinen per kustvak



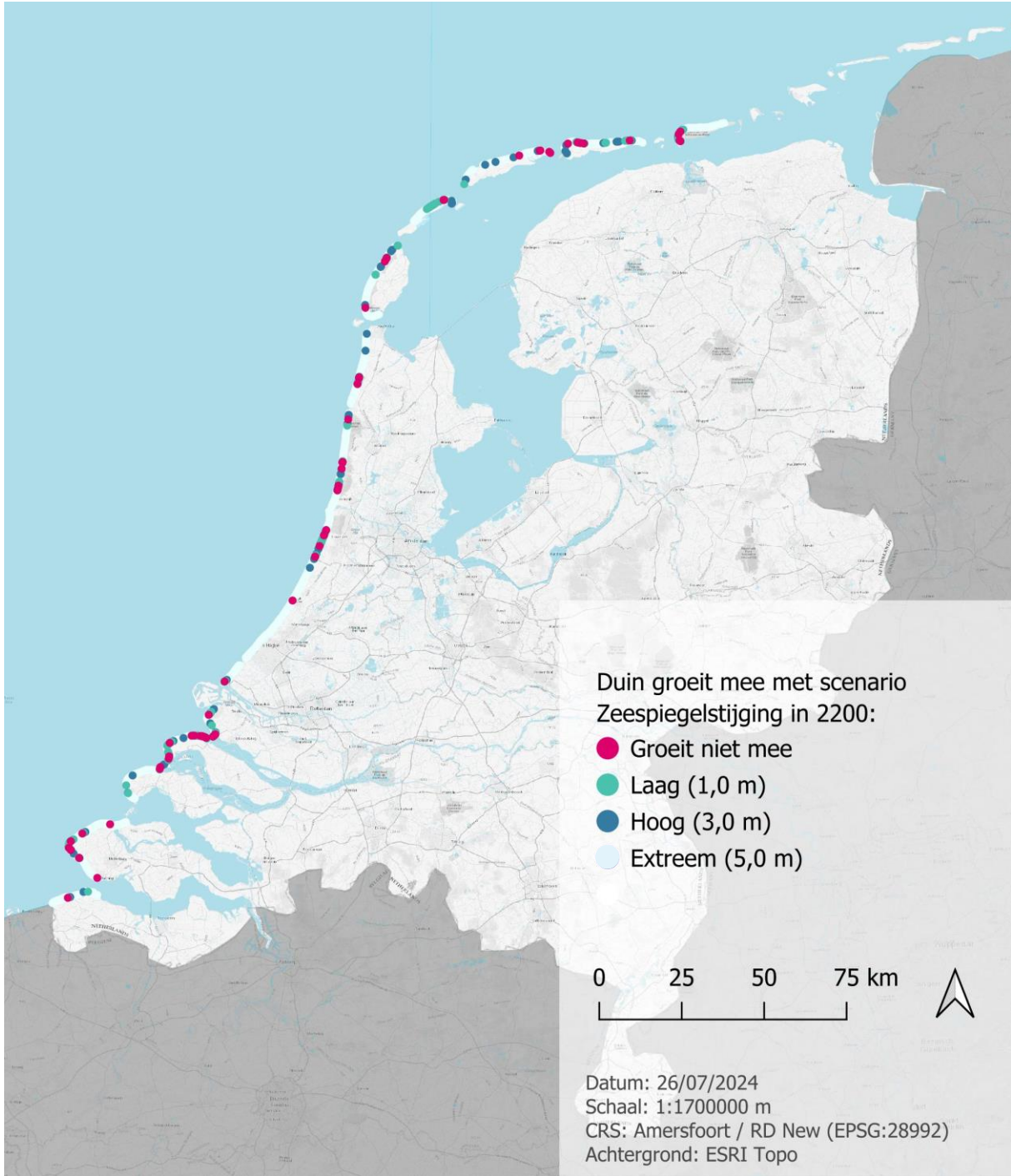
Mediane en maximale breedte van de duinen per kustvak



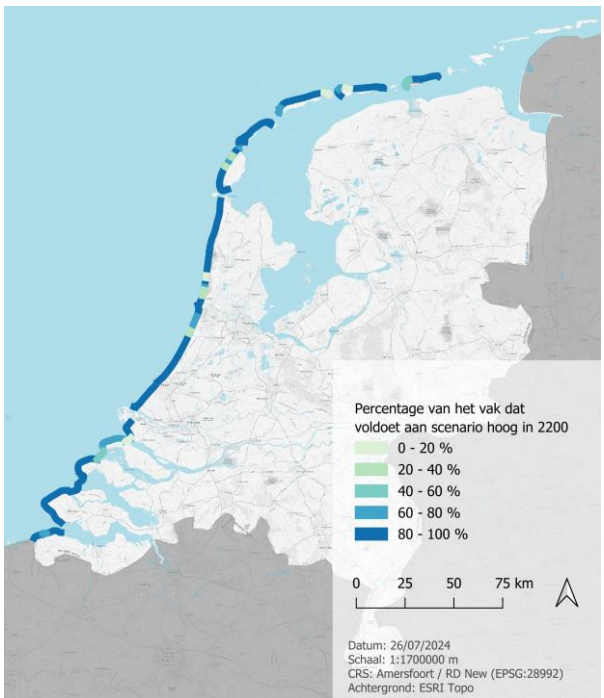
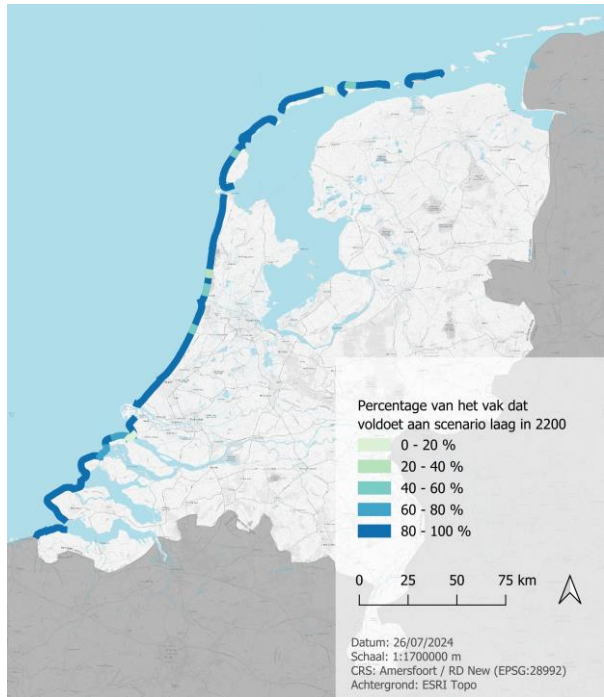
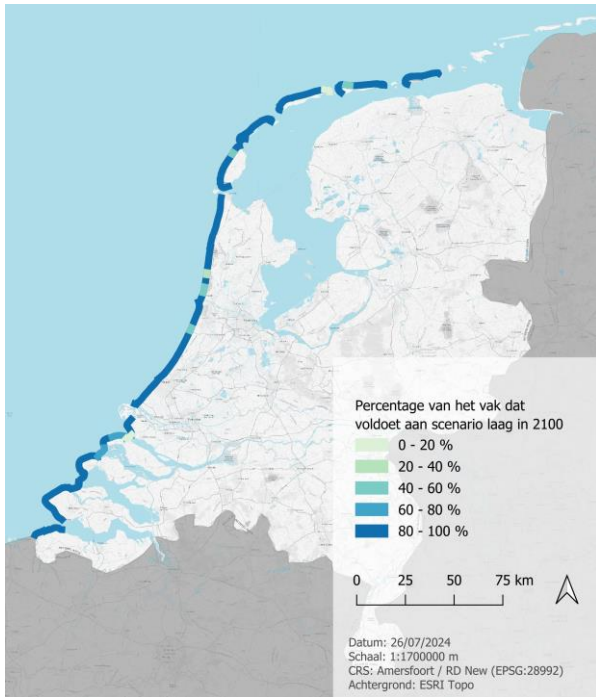
C Kaartmateriaal

c.1 Mate van meegroeien van individuele raaien met de scenario's van zeespiegelstijging



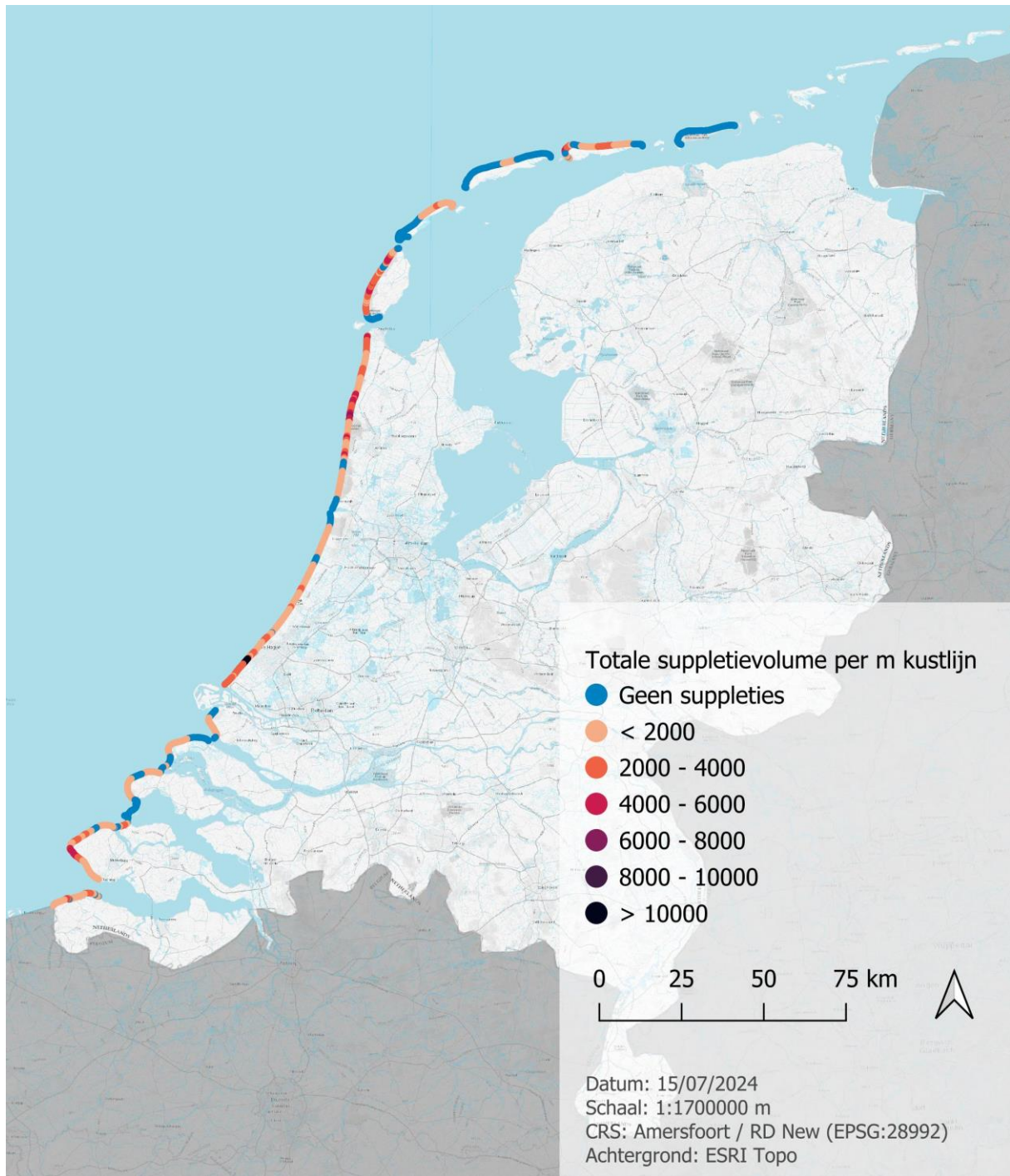


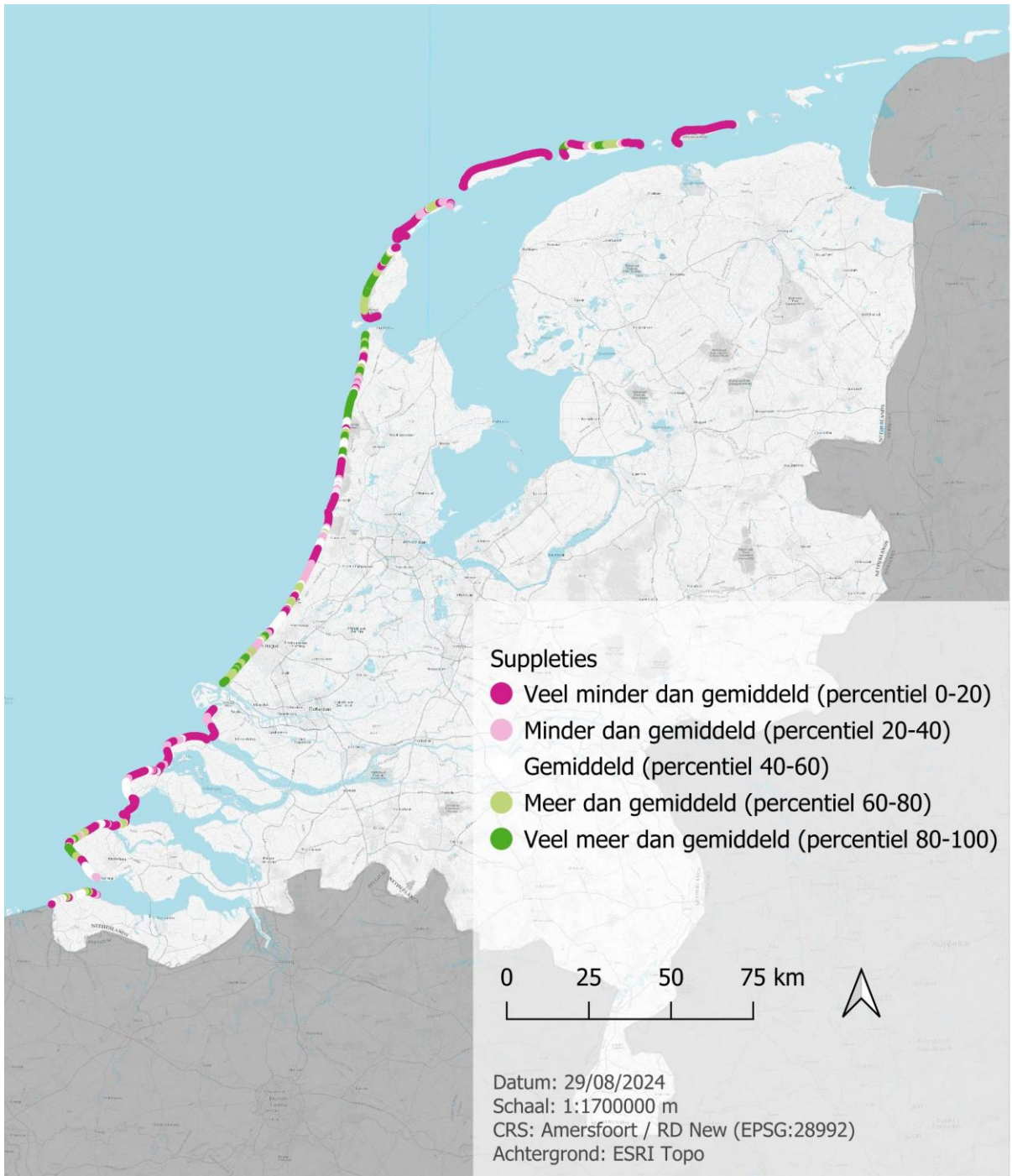
c.2 Scenario's en zichtjaren



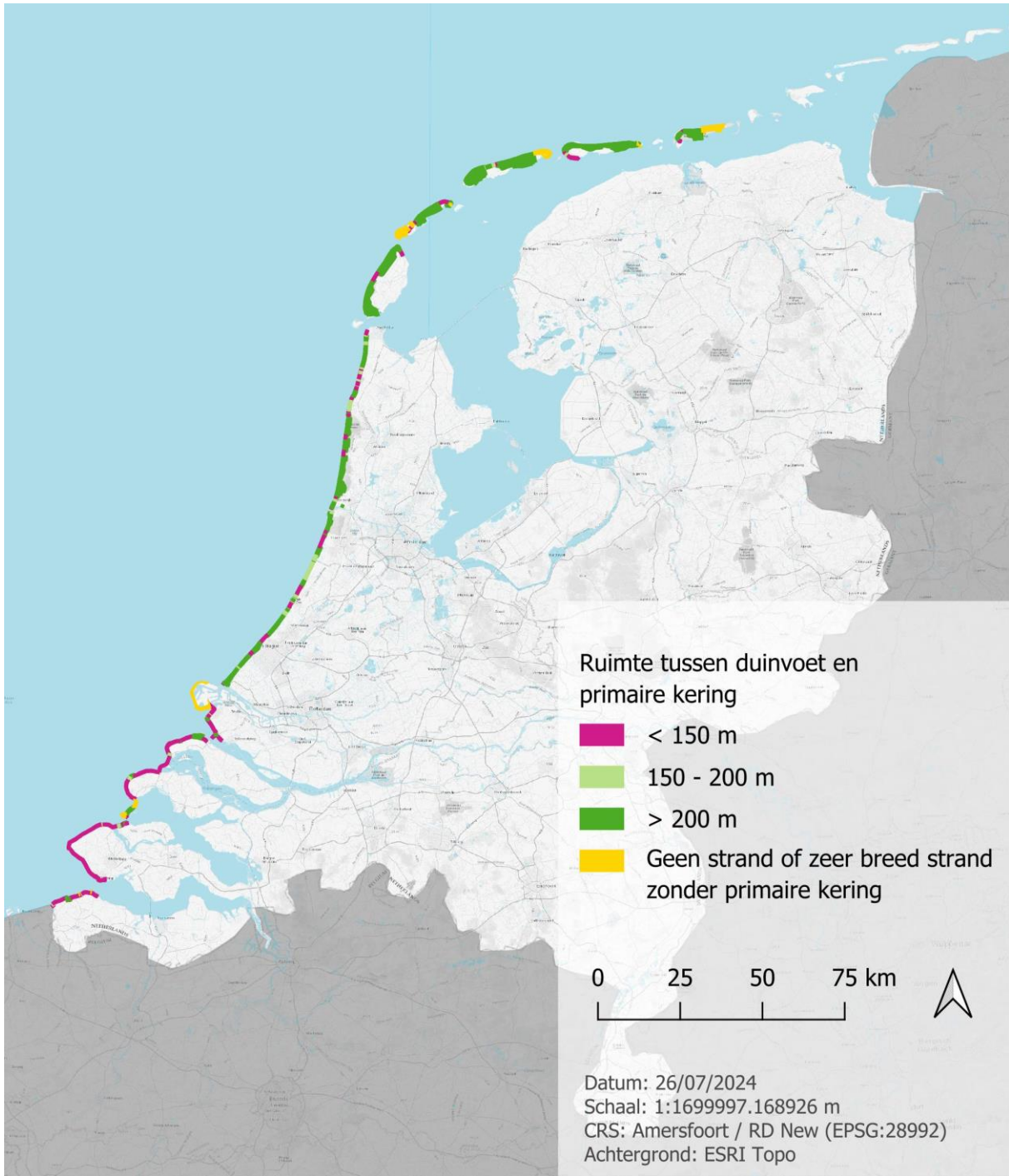


c.3 Huidige suppletiestrategie





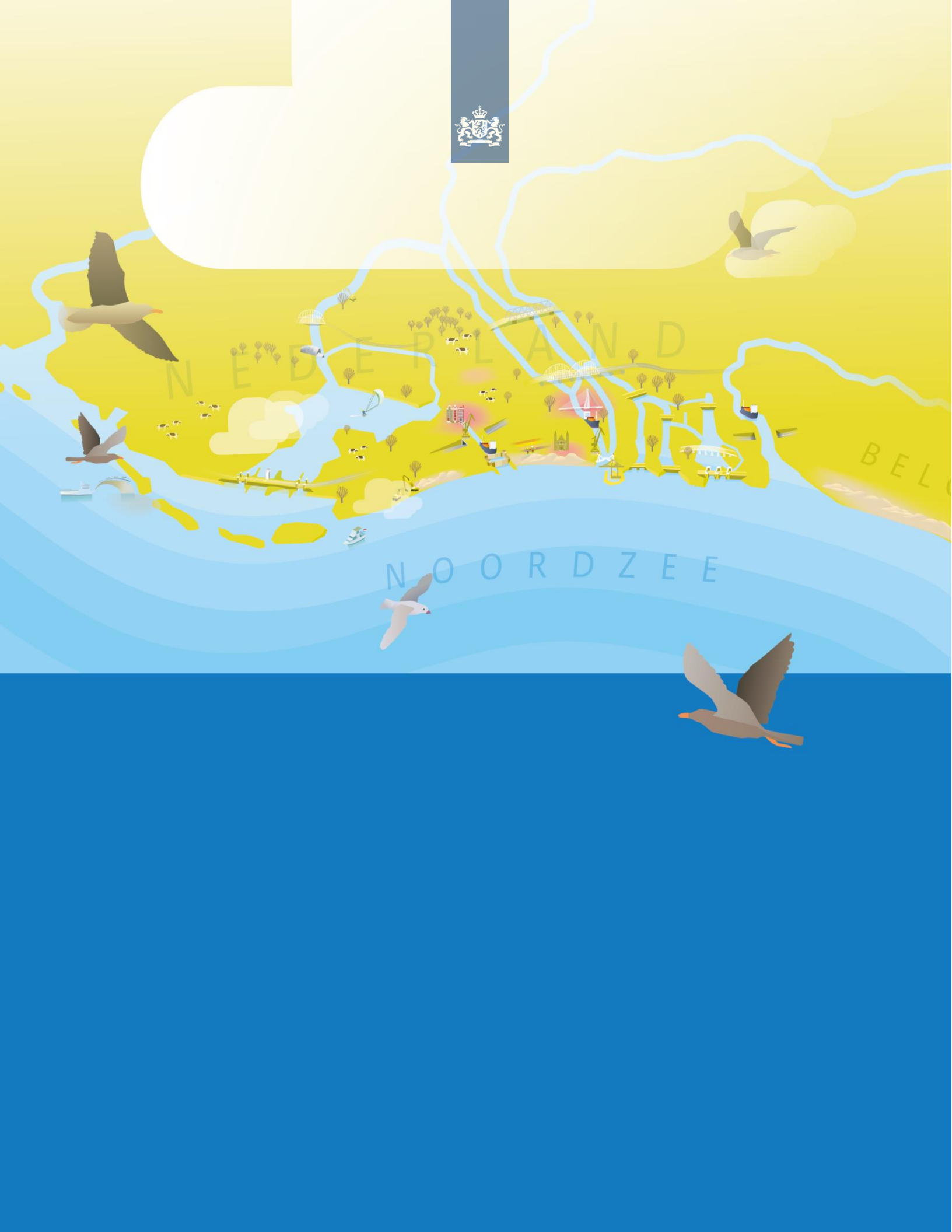
c.4 Ruimte voor kerven





c.5 Locaties van kerven





N E D E R L A N D

B E L G I E

N O O R D Z E E