

## **Kennisprogramma Zeespiegelstijging Synthese systeemanalyse Zandige Kust**

**Sedimentbehoefte, suppletievolumes en houdbaarheid  
strategie bij versnelde zeespiegelstijging**

**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](https://kennisprogrammazeespiegelstijging.nl)

- Opsteller: Rijkswaterstaat-WVL
- Auteurs: C. van Gelder-Maas, H. de Looff, Q. Lodder, L. Brakenhoff
- Februari 2026

# Inhoudsopgave

Samenvatting en hoofdconclusies	3
1. Introductie	5
2. Waarom suppleren we? Strategische doelen, beleid en uitvoering van suppleties	7
3. Zichtwaarden van zeespiegelstijging, gebruikt in dit onderzoek	11
4. Sedimentbehoefte bij zichtwaarden van zeespiegelstijging	13
5. Van sedimentbehoefte naar suppletievolumen	19
6. Houdbaarheid en verlengende maatregelen van de zandige strategie	26
7. Aandachtspunten bij toepassing van de maatregelenpakketten	31
8. Discussie	36
9. <b>Conclusies</b>	41
Bronvermelding	43
Begrippenlijst	47
Bijlage 1: Jaarlijkse suppletievolumes in 2100 en 2200	49

# Samenvatting en hoofdconclusies

## Samenvatting

Het onderzoeksprogramma Zandige Kust is een onderdeel van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. De voorliggende systeemverkenning Zandige Kust richt zich op het effect van versnelde zeespiegelstijging op de houdbaarheid en oprekbaarheid van de voorkeursstrategie voor de zandige kust. De huidige voorkeursstrategie heeft als hoofddoel de veiligheid van het achterland duurzaam te handhaven tegen overstromingen vanuit zee en de functies en waarden van de duingebieden duurzaam te behouden. In de praktijk wordt dit gerealiseerd door de positie van de kustlijn te handhaven door het aanbrengen van zandsuppleties. Handhaven van de kustlijn heeft als resultaat dat de kust geleidelijk meegroeit met een stijgende zeespiegel. Op dit moment wordt er jaarlijks gemiddeld 11 miljoen m<sup>3</sup> zand gesuppleerd, in de vorm van strand-, vooroever-, en geulwandsuppleties.

In het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt gerekend met verschillende zichtwaarden voor zeespiegelstijging, namelijk ½, 1, 2, 3 en 5 m. Die zichtwaarden kunnen al snel of een stuk later bereikt worden, afhankelijk van drie scenario's: lage, hoge en extreme zeespiegelstijging. Deze zichtwaarden en scenario's zijn in dit rapport gebruikt als uitgangspunt.

De hoeveelheid zand die nodig is om de positie van de kustlijn te handhaven, wordt berekend met een rekenregel, waarin zowel het met de zeespiegel mee te stijgen oppervlak als het transport daaruit naar bijvoorbeeld Waddenzee en Westerschelde worden meegenomen. Het mee te stijgen oppervlak is de zogenaamde 'actieve zone'. Dit is de zone van grofweg -8 m NAP tot en met de eerste duinenrij langs de gestrekte delen van de kust. Bij de Waddenkust en de Deltakust reikt deze zone lokaal dieper bij geulen en de buitendelta's. Gesuppleerd zand verspreidt zich binnen deze actieve zone.

Met de oppervlakte van de actieve zone, de zeespiegelstijging en netto transporten naar de Waddenzee en Westerschelde zijn berekeningen gemaakt voor het verwachte suppletievolume bij elke zichtwaarde voor de regio's Waddenkust, Hollandse Kust en Deltakust. Ook is een bandbreedte aangegeven voor rekenkundige onzekerheden en mogelijke regionale extra sedimentbehoefes. Bij 5 meter zeespiegelstijging in 2200 wordt de verwachte jaarlijkse suppletiebehoefte landelijk gezien 5x zo groot als nu. De meeste toename is voor de Waddenkust. Die jaarlijkse behoefte is in 2200 6,5 keer zo groot als nu, terwijl de suppletiebehoefte in de Hollandse Kust en Deltakust dan respectievelijk 2,5 en 3,5 keer zo groot is.

Er zijn twee maatregelenpakketten samengesteld om de voorkeursstrategie voort te zetten. Die kunnen worden ingezet om grotere hoeveelheden zand aan te brengen. Als eerste is het in de toekomst mogelijk om op meer plekken te gaan suppleren, en ook de suppletievolumes

en -frequenties te verhogen. In aanvulling daarop is het ook mogelijk om nog grotere suppletievolumes aan te brengen door middel van systeemsuppleties, zoals zandmotorconcepten en buitendeltasuppleties. De mate waarin de benodigde maatregelen naast elkaar worden toegepast, verschilt per regio. Met deze maatregelenpakketten kan worden voldaan aan de verwachte waarde van de suppletievolumes tot en met 3 m zeespiegelstijging in 2200 voor de gehele Nederlandse Kust. Voor de zichtwaarde van 5 m in 2200 kan hiermee voor de Hollandse Kust en Deltakust zeker en voor de Noordzeekustzone van het Waddengebied waarschijnlijk worden voldaan aan de verwachte waarde van de suppletievolumes. Direct de duinen versterken met duinsuppleties lijkt bij voortzetting van het zandige kustbeheer niet nodig. De duingebieden groeien grotendeels gelijkmatig mee met de voorliggende kustzone en volgen daarmee ook een stijgende zeespiegel.

De maatregelen zorgen er in alle gevallen voor dat de waterveiligheid geborgd blijft. Daarnaast hebben ze invloed op de overige functies van de kust, zoals ecologie en recreatie. In het algemeen hangen de effecten op functies voornamelijk af van de suppletievolumes. Hogere suppletievolumes leiden bij voortzetting van de huidige werkwijze tot meer CO<sub>2</sub>-emissie, een groter beïnvloed kustoppervlakte en meer negatieve effecten op bodemdieren.

### Hoofdconclusies

- De strategische doelen van het kustbeleid – duurzaam handhaven van de veiligheid en duurzaam behoud van de functies en waarden in duingebieden – lijken houdbaar tot 5 meter zeespiegelstijging.
- Ook de werkwijze op tactisch niveau – behoud van sediment in de actieve zone, toevoegen van zand aan het kuststelsel – lijkt houdbaar tot 5 m zeespiegelstijging. Daarvoor zijn grotere hoeveelheden zand nodig dan nu het geval is.
- Op operationeel niveau zijn er aanpassingen in de werkwijze te verwachten ten opzichte van de soorten suppleties die nu worden gebruikt. Dit betekent dat er (met name in de regio Waddenkust) vaker grootschalige suppleties nodig zijn. Daarmee is het mogelijk de in de toekomst benodigde grotere hoeveelheden zand daadwerkelijk aan te brengen.
- De zandbeschikbaarheid, die nu al onder druk staat, wordt een steeds groter punt van zorg. In theorie is er voldoende zand in de Noordzee aanwezig, maar in de praktijk blijkt dat vaak niet winbaar. Daarom wordt aanbevolen om de beperkingen in de zandwinning te verminderen, om voor zowel de huidige als de toekomstige situatie meer winbaar zand beschikbaar te krijgen.

# 1 Introductie

## **Kennisprogramma Zeespiegelstijging en onderzoeksprogramma Zandige Kust**

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zoekt antwoord op de volgende kennisvragen:

- Hoeveel zeespiegelstijging kunnen we aan met de huidige strategieën en maatregelen voor waterveiligheid en zoetwater?
- Wat zijn mogelijke oplossingen voor aanpassing aan zeespiegelstijging in de verre toekomst?

Door middel van systeemanalyses geeft het Kennisprogramma hier antwoord op. Dit is gedaan in de vorm van een stresstest, waarbij lage tot extreme zeespiegelstijging wordt gesimuleerd. Voor het Nederlandse kuststelsel is de eerste van deze onderzoeksvragen opgepakt binnen de systeemverkenning Zandige Kust (2022–2026). Dit programma maakt gebruik van de kennis over het Nederlandse kuststelsel die opgedaan is in onder andere het project Kustgenese 2.0 (2016-2021) en het doorlopende kennisontwikkelingsprogramma Beheer en Onderhoud Kust. Met deze kennis, gecombineerd met 30 jaar aan ervaring met suppleren en daarbij ontwikkelde nieuwe kennis, is onderzoek gedaan naar het effect van versnelde zeespiegelstijging op de houdbaarheid en oprekbaarheid van de voorkeursstrategie voor de zandige kust. Deze voorkeursstrategie komt er in hoofdlijnen op neer dat we de positie van de kustlijn op een dynamische wijze handhaven door het aanbrengen van zandsuppleties. Handhaven van de kustlijn met zand heeft als resultaat dat de kust geleidelijk meegroeit met een stijgende zeespiegel. Indien versterking van de waterkeringen (zwakke schakels) nodig is, dan werken we volgens het principe zacht waar het kan, hard waar het moet.

## **Opzet van het onderzoek en leeswijzer**

Dit rapport begint met een beschrijving van de huidige voorkeursstrategie voor de zandige kust (Hoofdstuk 2). Dit is het referentiekader waarmee de effecten van zeespiegelstijging worden onderzocht. Binnen het Kennisprogramma zijn verschillende scenario's voor zeespiegelstijging opgesteld, deze worden beschreven in Hoofdstuk 3. Vervolgens heeft Deltares daarmee de theoretische sedimentbehoefte berekend van het kuststelsel (Hoofdstuk 4). Deze theoretische waarden zijn omgezet in een suppletiebehoefte (zie verder Hoofdstuk 5). Vervolgens is onderzocht tot welke mate van zeespiegelstijging de kust onderhouden kan worden met suppleties volgens de huidige werkwijze en, als dat niet meer lukt, wat dan de aanvullende maatregelen zijn om de zandige strategie te kunnen blijven uitvoeren (zie verder Hoofdstuk 6). Dit wordt gepresenteerd in de vorm van mogelijke maatregelenpakketten waarbij ook aandacht is voor regionale duiding. De aanvullende maatregelen zijn niet allesomvattend; kanttekeningen en bijvoorbeeld de effecten op

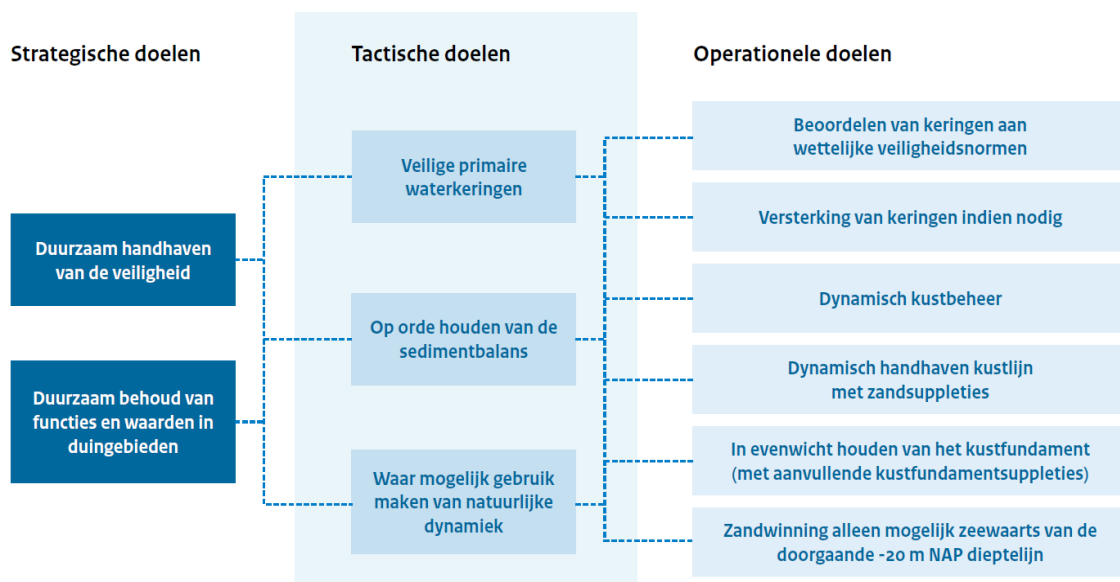
emissies en de functies van de kust, zoals ecologie, zijn beschreven in Hoofdstuk 7. In Hoofdstuk 8 is een algemene beschouwing te vinden op onder meer suppleren in de toekomst, zandbeschikbaarheid en samenhang tussen de verschillende systeemverkenningen van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Hoofdstuk 9 sluit dit rapport af met de conclusies.

# 2 Waarom suppleren we?

## Strategische doelen, beleid en uitvoering van suppleties

### Kustbeheer op strategisch, tactisch en operationeel niveau

Voordat er gesproken kan worden over 'de voorkeursstrategie', is het belangrijk te begrijpen wat dit aanduidt. Het kustbeheer gebeurt op drie niveaus: vaststellen van strategische doelen, werkwijze op tactisch niveau en uitwerking in operationele doelen, zie Figuur 1 en o.a. Rijkswaterstaat (2020).



Figuur 1. Schema met de belangrijkste strategische, tactische en operationele doelen van het vigerende kustbeleid (Rijkswaterstaat, 2020; Lodder, 2024)

Op strategisch niveau stelt het huidige kustbeleid dat we 'de veiligheid van het achterland duurzaam handhaven tegen overstromingen vanuit zee en de functies en waarden van de duingebieden duurzaam behouden' (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat et al., 2022). De strategische doelen worden op tactisch niveau bereikt door het op orde houden van de sedimentbalans. Op operationeel niveau bereiken we de bovenliggende doelen door te suppleren indien mogelijk, en pas harde elementen te gebruiken wanneer het niet anders kan (zacht waar het kan, hard waar het moet) (Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2005). Door het uitvoeren van zandsuppleties wordt de kustlijn dynamisch gehandhaafd met de Basiskustlijn als referentie en blijft ook het kustfundament in evenwicht met de zeespiegelstijging. Beleidsmatig en geografisch is de Noordzeekustzone aangewezen als het kustfundament (Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2005). Dit gebied wordt beschouwd als de drager van alle functies in de kustzone, nu en in

de toekomst. Het kustfundament is begrensd door de binnenduinrand en de doorgaande dieptelijn op NAP -20 meter in de Noordzee.

### Sedimentbehoefte als basis: de rekenregel

Zoals o.a. in Rijkswaterstaat (2020) beschreven, is het kustfundament niet in evenwicht en is er sediment nodig om de kust te laten meegroeien met de stijgende zeespiegel: de sedimentbehoefte. De gemiddelde jaarlijkse sedimentbehoefte wordt bepaald met behulp van een rekenregel, die regelmatig wordt aangescherpt en verbeterd door het toepassen van de nieuwste wetenschappelijke kennis. De rekenregel, zoals gebruikt in Rijkswaterstaat (2020), bepaalt de sedimentbehoefte als volgt:

$$V_{sed} = (A_{kf} \times ZSS_{act}) + V_{exp.zeewaartse\ grens} + V_{exp.landwaartse\ grens} + V_{exp.Wzee\&Eems} + V_{exp.Wschelde} + V_{bodemdaling} + V_{exp.staatsgrenzen}$$

Met:

$V_{sed}$  = Sedimentbehoefte per jaar ( $m^3/jaar$ )

$A_{kf}$  = Oppervlakte van het (rekenkundig) kustfundament ( $m^2$ )

$ZSS_{act}$  = Actuele (relatieve) zeespiegelstijging ( $m/jaar$ )

$V_{exp.zeewaartse\ grens}$  = Netto sedimentuitwisseling over de zeewaartse grens ( $m^3/j$ ) (A in fig 2)

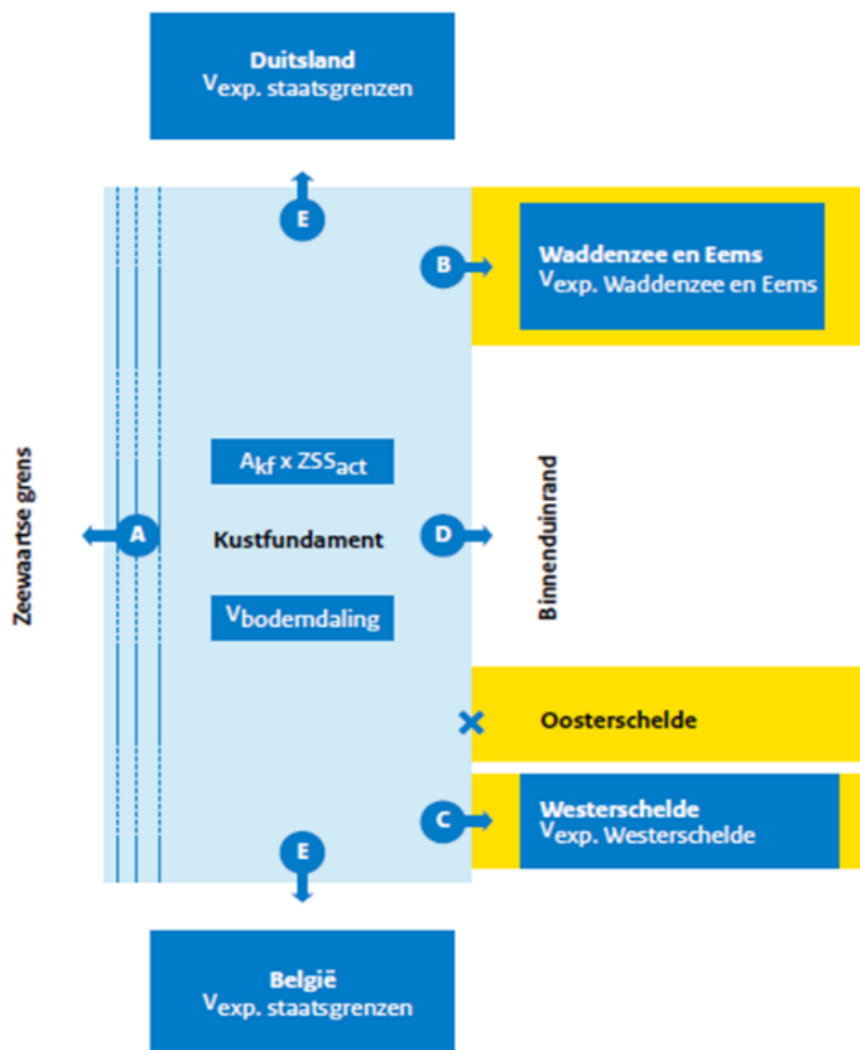
$V_{exp.landwaartse\ grens}$  = Netto sedimentuitwisseling over de landwaartse grens ( $m^3/j$ ) (D in fig 2)

$V_{exp.Wzee\&Eems}$  = Netto sedimentuitwisseling kustfundament naar de Waddenzee en Eems ( $m^3/j$ ) (B in fig 2)

$V_{exp.Wschelde}$  = Netto sedimentuitwisseling kustfundament naar de Westerschelde ( $m^3/j$ ) (C in fig 2)

$V_{bodemdaling}$  = Regionale bodemdaling in kustfundament door winning van delfstoffen en grondwater ( $m^3/j$ )

$V_{exp.staatsgrenzen}$  = Netto sedimentuitwisseling over de staatsgrenzen met België en Duitsland ( $m^3/j$ ) (E in fig 2)



Figuur 2: Schematische weergave van de rekenregel (Rijkswaterstaat, 2020) voor het bepalen van de sedimentbehoefte van het (rekenkundig) kustfundament. De weergegeven pijlen geven aan waar er netto transport plaatsvindt; de richting van de pijlen komt niet per se overeen met de richting van het transport.

### Zeewaartse rekengrens kustfundament

Binnen het kustfundament houden we de sedimentbalans op orde door geen zand te onttrekken en door zandverliezen aan te vullen met supplementies. Het onderzoek dat is gedaan binnen Kustgenese 2.0 (Rijkswaterstaat, 2020) wijst uit dat niet het hele oppervlak van het kustfundament in beschouwing hoeft te worden genomen bij het bepalen van de sedimentbehoefte. Het diepere deel van de Noordzee is beperkt morfologisch actief, en draagt daarmee weinig bij aan de sedimentbehoefte. De zeewaartse rekengrens die in Kustgenese 2.0 gehanteerd is voor de bepaling van de oppervlakte, ligt landwaarts van de NAP -20 m dieptelij. Deze grens varieert langs de kust: voor een deel van de Waddeneilanden is deze diepte -12,5 m NAP, oplopend naar -19 m NAP voor de actieve buitendelta's. De oppervlakte die met deze grenzen wordt bepaald noemen we het rekenkundig kustfundament (Van der Spek et al., 2020).

## Dynamisch handhaven van de kustlijn in de praktijk

Het operationele doel 'Dynamisch handhaven van de kustlijn met zandsuppleties' kent in de huidige praktijk drie variabelen: locaties (waar wordt gesuppleerd), methodes (hoe wordt gesuppleerd) en volume (hoeveelheid zand die wordt gesuppleerd).

### *Huidige suppletielocaties*

Bijna alle suppleties vinden op dit moment plaats op plekken waar de BasisKustLijn (BKL) overschreden is of in de nabije toekomst wordt (zie ook het Kustlijnkaartenboek (Rijkswaterstaat, 2024a); Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023). Rijkswaterstaat beoordeelt, in het programma kustlijnverzorging jaarlijks de kustlijn en stelt vast waar suppleties nodig zijn om overschrijding van de BKL tegen te gaan. Jaarlijks wordt er gemiddeld 11 miljoen m<sup>3</sup> zand gesuppleerd (Kamerstukken/27625-557, 2021). Niet alle delen van de kust met een vastgestelde BKL worden gesuppleerd bij overschrijding ervan. Uitzonderingen zijn bijvoorbeeld (delen van) de kusten van Terschelling en Schiermonnikoog, waar de functies van de kust tot op heden niet in het geding kwamen bij overschrijding van de BKL. Ook zijn er plekken die worden gesuppleerd waar geen BKL is vastgesteld, namelijk de Hondsbossche Duinen en de Tweede Maasvlakte. Op deze locaties is onderhoud met zand nodig. Het benodigde onderhoud wordt echter op een andere wijze bepaald. Het suppletieprogramma omvat niet alleen suppleties die gericht zijn op lokaal en op korte termijn handhaven van de kustlijn. Er worden ook suppleties uitgevoerd die vooral op lange termijn hieraan bijdragen. Deze vinden bijvoorbeeld plaats tegen geulwanden aan. Ook is in 2018 als experiment een suppletie op de buitendelta van het zeegat van Ameland geplaatst. De overige delen van de kust worden gevoed door kustlangs transport van sediment uit de suppletielocaties of uit niet gesuppleerde delen van de kust (zoals de buitendelta's).

### *Huidige suppletiemethoden*

Er zijn drie soorten suppleties die op dit moment regelmatig worden uitgevoerd: strand-, vooroever-, en geulwandsuppleties. Strand- en vooroeversuppleties dragen direct bij aan handhaving van de kustlijn, terwijl geulwandsuppleties bijdragen aan handhaving van de kustlijn op langere termijn. In de jaren 1990 werden de meeste suppleties op het strand aangebracht, daarna werden ook vooroever- en geulwandsuppleties steeds vaker toegepast. Uit ervaring blijkt dat het ook met dit type suppleties vaak mogelijk is om de kustlijn dynamisch te handhaven met als voordeel lagere kosten, minder impact op de omgeving (Brand et al., 2025). Deze verandering in uitvoeringsmethode betreft een geleidelijke aanscherping van de operationele werkwijze. De strategische en tactische doelen zijn niet aangepast. Tot slot zijn er lokaal plekken waar harde maatregelen nodig zijn, zoals dijken, dammen en strandhoofden. Ook deze maatregelen horen dus bij de huidige strategie.

### *Huidige suppletiehoeveelheid*

Zoals eerder benoemd is het gemiddelde landelijk suppletievolume 11 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (Rijkswaterstaat, 2020; Kamerstukken/27625-557, 2021). De Nederlandse kustzone is hier, net als in Rijkswaterstaat (2020), opgedeeld in drie regio's, die ieder een vast gedeelte van dit totale volume ontvangen. De Deltakust, die loopt van de Nederlands-Belgische grens tot aan de Tweede Maasvlakte, ontvangt gemiddeld 2,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Op de Hollandse Kust, die loopt vanaf de Tweede Maasvlakte tot aan Groote Keeten, wordt jaarlijks gemiddeld 3,1 miljoen m<sup>3</sup> gesuppleerd. De Waddenkust (de Noordzeekustzone van het Waddengebied), die begint bij Groote Keeten en loopt tot aan de Nederlands-Duitse grens, ontvangt jaarlijks gemiddeld 5,7 miljoen m<sup>3</sup>. In de afgelopen 10 jaar was het gemiddelde suppletievolume voor de Waddenkust 4,8 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Voor dit gebied is voor de lange termijn 5,7 miljoen m<sup>3</sup>/jaar geadviseerd door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat naar aanleiding

van onderzoek binnen het programma Kustgenese 2.0. Omdat het KP ZSS zich richt op de lange termijn, wordt in dit rapport uitgegaan van 5,7 miljoen m<sup>3</sup>/jaar voor de Waddenkust.

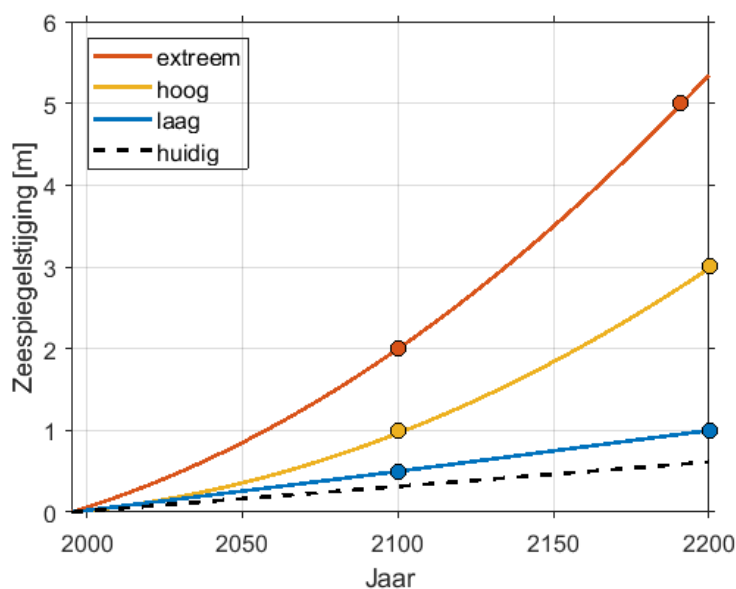
**Kader 1: Zand versus sediment**

Een belangrijke notie in dit rapport is het verschil tussen zand en sediment (zowel zand als slib). In het zandige deel van de kustzone is het slibgehalte vaak laag, zodat de weinige slibkorrels die er zijn 'verborgen' blijven in de poriën van het zandskelet in de bodem (Nolte, 2020a). In dit rapport is het sedimentvolume daarom gelijk genomen aan het zandvolume, tenzij anders wordt vermeld.

# 3 Zichtwaarden van zeespiegelstijging, gebruikt in dit onderzoek

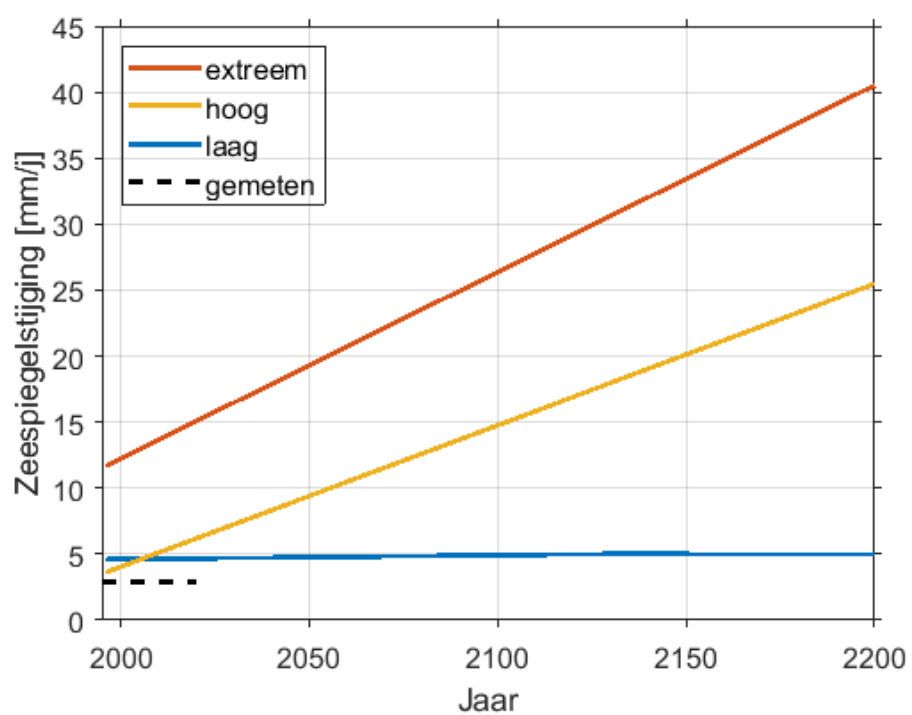
## Zichtwaarden

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II (Systeemverkenningen) werkt met zichtwaarden van zeespiegelstijging van ½, 1, 2, 3 en 5 m. De totale sedimentbehoefte wordt bij voorkeur tijdsonafhankelijk bepaald, aangezien het niet zeker is wanneer welke zichtwaarde zich voordoet. Een deel van de sedimentbehoefte is echter wel afhankelijk van de snelheid van stijging, in het bijzonder de transporten naar de bekkens van de Waddenzee. Daarom zijn de zichtwaarden op tijdlijnen geplaatst (Figuur 3), zoals bepaald in Rijkswaterstaat (2021a).



Figuur 3: Zichtwaarden (cirkels) en bijbehorende tijdlijnen zoals gebruikt in dit rapport. Berekeningen zijn te vinden in Rijkswaterstaat (2021a). De tijdlijn 'extreem' komt op 5,0 m in 2190 en 5,3 m in 2200. Hier is gebruik gemaakt van 5,3 m in 2200.

Uit Figuur 3 zijn de snelheden van de zeespiegelstijging af te leiden, deze zijn weergegeven in Figuur 4. Voor zowel de totale zeespiegelstijging als de stijging per jaar geldt dat de berekeningen starten in 1995, in overeenstemming met de IPCC-projecties (IPCC, 2023). Merk op dat voor alle gehanteerde tijdlijnen al vanaf 1995 de snelheid van zeespiegelstijging hoger is dan momenteel wordt waargenomen langs de Nederlandse kust (~2,9 mm/j; Stolte et al., 2023).



Figuur 4: Snelheid van zeespiegelstijging in mm/j voor de verschillende scenario's.

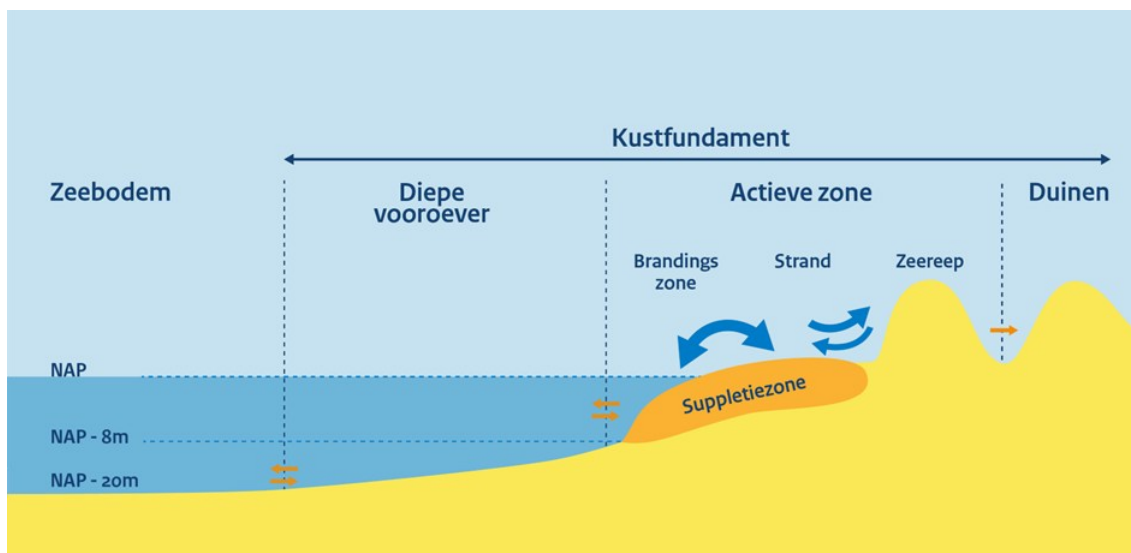
# 4 Sedimentbehoefte bij zichtwaarden van zeespiegelstijging

## Concept “actieve zone”

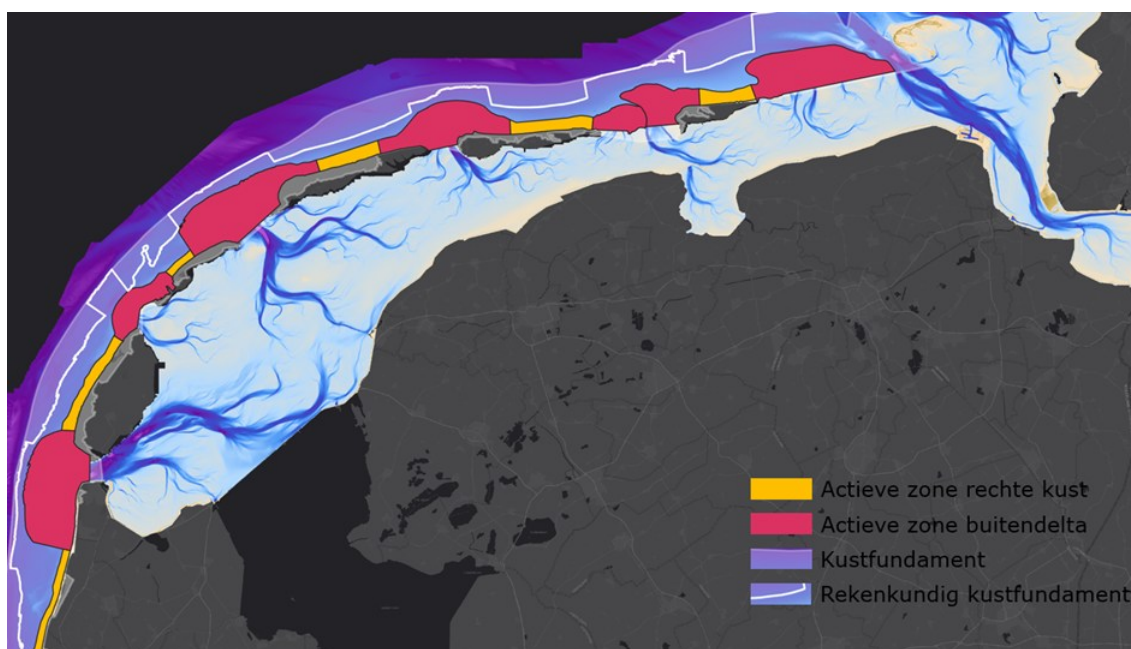
Door Deltares is onderzoek uitgevoerd naar de sedimentbehoefte van het Nederlandse kuststelsel bij toegenomen zeespiegelstijging (Taal et al., 2023a en Taal et al., 2025). Zij tonen aan dat het gesuppleerde zand zich in de afgelopen 30 jaar in een relatief beperkte zone heeft verspreid door natuurlijke processen zoals golven, stromingen en wind. In deze zone heeft het zand bijgedragen aan het behalen van de strategische doelen van het kustbeleid. In dat onderzoek wordt voor deze beperktere zone het begrip “actieve zone” gebruikt. Dit is het gebied dat moet meegroeien met de zeespiegelstijging. Het uitgangspunt hierbij is dat bij handhaving van de kustlijn door zandsuppleties de gebruiksfuncties van de kust in stand blijven, inclusief het deels meegroeien van het duingebied voor waterveiligheid. Op een tijdschaal van eeuwen tot millennia wordt de ontwikkeling van de kust daarnaast ook bepaald door ontwikkelingen op de diepere Noordzee inclusief de diepe vooroever (Van der Spek en Beets, 1992; Beets, Van der Valk en Stive, 1992; Stive en De Vriend, 1995, Van der Spek, 2025). Het monitoren van deze ontwikkelingen en uitvoeren van verdiepend onderzoek blijft daarom van belang.

Het onderzoek laat zien dat het zand dat in de afgelopen 30 jaar door suppleties is aangebracht in de “rechte” Hollandse kust, zich netto nauwelijks zeewaarts of landwaarts buiten deze zone heeft verplaatst, Figuur 5 illustreert dit principe. Het suppletiezand blijft grotendeels binnen de actieve zone. Dit is een zone die niet door één bepaalde dieptelijn wordt gedefinieerd, maar zich in het algemeen in het dwarsprofiel bevindt tussen de NAP -8 m lijn aan de zeezijde en net landwaarts van de eerste duinenrij aan de landzijde.

Figuur 5 laat een conceptueel kustprofiel zien van de gestrekte Hollandse Kust en de gestrekte kusten van de Waddeneilanden. Bij de Deltakust ziet de actieve zone er anders uit, onder andere door de aanwezigheid van getijdengeulen. Wanneer er een getijdgeul dicht langs de kust ligt, is de zeewaartse grens van de actieve zone aan de zeezijde van de geul gekozen. Bij de buitendelta's van de Waddenkust is gerekend met een actieve zone bepaald door de oppervlakte van een zogenaamde “minimum bodemligging” over de laatste 2 decennia. Zie ter illustratie Figuur 6 met een overzicht van de actieve zones van de buitendelta's.



Figuur 5: Dwarsprofiel, met conceptuele schematisatie van de actieve zone voor een gestrekte kust. De transporten binnen de actieve zone (blauwe pijlen) zijn veel groter dan de transporten naar de andere zones (oranje pijlen). De uitwisseling met de zeebodem (zeewaartse grens kustfundament), heeft geen of zeer kleine invloed op de ontwikkeling van de actieve zone.



Figuur 6: Actieve zones van de buitendelta's en rechte kusten van de Waddeneilanden

Ten opzichte van zowel het kustfundament als het rekenkundig kustfundament, is de actieve zone aan twee zijden kleiner in oppervlakte: zowel aan de landwaartse als aan de zeewaartse kant. De actieve zone is mede bepaald op basis van dynamiek die plaatsvindt in bepaalde zones, en die dynamiek is niet groot in de diepe vooroever en in het duingebied landwaarts van de zeereep. Zoals zichtbaar is in Figuur 5 zijn de transporten binnen de actieve zone op kortere tijdschaal veel groter dan de transporten naar de andere zones.

Tot slot blijkt uit de sedimentbalans van de Nederlandse kust (Elias et al., 2024) dat er in de afgelopen 30 jaar slechts netto beperkte sedimentuitwisseling lijkt te zijn tussen de actieve zone en de diepe vooroever. Deze conclusie wil niet zeggen dat de uitwisseling er niet is, maar dat die significant kleiner is dan de morfologische processen, inclusief suppleties,

binnen de actieve zone. Tevens blijkt uit deze sedimentbalans dat er indicaties zijn dat er lokaal sedimentuitwisseling plaatsvindt tussen de diepere delen van het kustfundament (diepe vooroever) en de diepere Noordzee. De sedimentbalans laat zien dat met name ten noorden van Texel en Terschelling er verdieping optreedt van delen van de vooroever die niet te verklaren is zonder langtransport met een deels zeewaartse component. Omdat er slechts beperkte netto uitwisseling van sediment lijkt te zijn tussen de actieve zone en de diepe vooroever, is er vooralsnog geen merkbaar effect op de suppletiebehoefte.

### **Van actieve zone naar sedimentbehoefte**

Na het bepalen van de oppervlakte van de actieve zone, is in Taal et al. (2023a) de cumulatieve sedimentbehoefte van het kuststelsel op dezelfde manier berekend als eerder met het (rekenkundig) kustfundament, namelijk met behulp van een aangepaste rekenregel:

$$\text{Sedimentbehoefte} = \text{"oppervlakte gebieden die moeten meegroeien"} \times \text{zeespiegelstijging}^{[1]} + \text{netto transporten uit die gebieden}$$

[1] Lees hier 'relatieve zeespiegelstijging', dus inclusief bodemdaling. De bodemdaling kan echter als ondergeschikt aangenomen worden op de tijdschaal en zichtwaarden waar dit rapport zich op richt.

De basis is in dit geval het vermenigvuldigen van de oppervlakte van de actieve zone met de totaal opgetreden zeespiegelstijging tussen 2020<sup>1</sup> en 2100 of 2200. Vervolgens worden daarbij opgeteld: het sedimenttransport uit de actieve zone naar o.a. Westerschelde, Waddenzee en Eems. Het transport naar de Eems wordt op 0 gesteld en verder niet meer benoemd. Dit volgt uit Taal et al. (2023a), waarin wordt gesteld dat "de grote uitbouw van de eilandstaart van Schiermonnikoog laat zien dat het merendeel van dit transport direct ingevangen wordt. Daarnaast nemen ook in de naastliggende zeegaten, de eilanden en de oostzijde van het Groninger Wad de zandvolumes toe. Het lijkt onwaarschijnlijk dat er grote verliezen van zand vanuit de actieve zone 'buitendelta Groninger Wad' naar de Eems-Dollard zullen plaatsvinden."

Er wordt aangenomen dat de import op de schaal van de actieve zone vanuit België gelijk is aan de export naar Duitsland (Van der Werf, 2022) en dat ze elkaar daarom opheffen. Het kustlangtransport binnen de Nederlandse kust is van invloed op de morfologische ontwikkeling van individuele kustvakken. De kustlangse transporten hebben echter geen invloed op de sedimentbehoefte van de actieve zone op nationale schaal. Het kustlangs transport op de ondiepe vooroever is vrijwel overal van de actieve zone in het ene kustvak naar een actieve zone in het aangrenzende kustvak (Elias et al., 2024). Om deze reden is voor de bepaling van de sedimentbehoefte het kustlangtransport tussen de individuele kustvakken niet opgenomen.

Uit de hierboven gegeven beschrijving van de actieve zone volgt dat de netto transporten over de landwaartse en zeewaartse grenzen verwaarloosbaar zijn. Mocht in de toekomst blijken dat deze transporten toenemen, bijvoorbeeld door interactie tussen de diepe vooroever en de actieve zone of door veelvuldig toepassen van kerven, dan is er ruimte binnen de strategie om daar rekening mee te houden. Het periodiek aanpassen van het suppletievolume aan de nieuwste inzichten en ontwikkelingen is expliciet onderdeel van de strategie.

Kortom, naast de oppervlakte van de actieve zone zijn alleen de exporten naar de Waddenzee en Westerschelde belangrijk. De exporten naar de Waddenzee worden bepaald

<sup>1</sup> Startjaar voor de berekeningen van sedimentbehoefte en suppletievolume is 2020. Startjaar voor de snelheid van zeespiegelstijging (Hoofdstuk 3) is 1995.

met behulp van een rekenkundig model (ASMITA), omdat deze sterk afhankelijk zijn van de snelheid van zeespiegelstijging. ASMITA is een morfologisch model voor het voorspellen van de grootschalige ontwikkeling van getijdenbekkens over een periode van tientallen tot honderden jaren. Het model berekent de ontwikkeling van de buitendelta, de geulen en platen in het waddenbekken, gebaseerd op empirisch afgeleide evenwichtsrelaties. Daarbij worden de volumes van deze elementen per bekken voorspeld op basis van de sedimentuitwisseling tussen de elementen onder aandrijving van het getij en zeespiegelstijging.

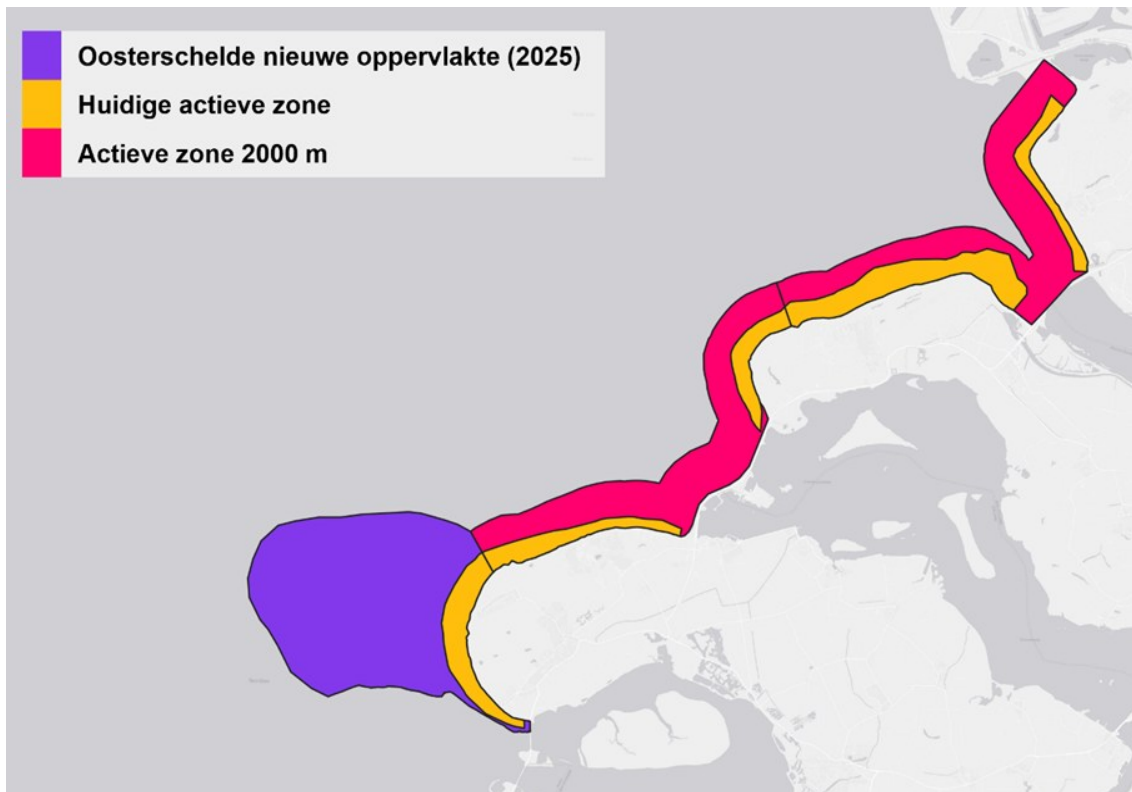
Het netto transport van zand uit het kustfundament naar de Westerschelde, is voor de lange termijn bepaald op ongeveer 2 miljoen m<sup>3</sup>/j, bestaande uit een gemiddelde van 1 miljoen m<sup>3</sup>/j met daarbovenop een onzekerheid van nog eens 1 miljoen m<sup>3</sup>/j (Taal et al., 2023a; Elias et al., 2024). Dit transport is bepaald op basis van veranderingen in bodemhoogte in de Westerscheldemonding. Op basis van de genoemde studies kan worden geconcludeerd dat de Westerschelde op dit moment waarschijnlijk meer sediment importeert dan nodig is om de huidige zeespiegelstijging bij te houden. Dit sediment is deels afkomstig uit de actieve zone. De mate van import lijkt mede afhankelijk van het bagger- en stortbeleid ten behoeve van de vaargeul in de Westerschelde en het mondingsgebied.

### **Bepaling totale sedimentbehoefte**

In Taal et al., 2025 is de cumulatieve sedimentbehoefte van de Nederlandse kust bepaald voor de beschouwde zichtwaarden en tijdlijnen van zeespiegelstijging. De getallen zijn weergegeven in Tabel 1. Daarin wordt onderscheid gemaakt tussen 3 categorieën:

1. De actieve zone van de gebieden waar momenteel kustonderhoud plaatsvindt of waar afspraken zijn om kustonderhoud te doen als dat nodig is. Dat wil zeggen die gebieden die onder het huidige beleid vallen. Onder deze post valt zowel het meegroeien van de actieve zone met de zeespiegelstijging, als ook het transport uit de actieve zone naar getijdebekkens.
2. Extra volumes ten opzichte van 1. Hieronder valt de bovengrens van de rekenkundige onzekerheid bij de bepaling van de breedte van de actieve zone en de bovengrens van de rekenkundige onzekerheid van de export naar de Westerschelde (o.b.v. expert judgement). Uitgangspunt voor deze onzekerheden is dat ze constant zijn per regio en niet afhankelijk van zeespiegelstijging (hoewel ze daar uiteindelijk wel mee worden vermenigvuldigd). Daarnaast zijn er zones in de voormalige buitendelta's van de afgesloten zeegaten in de Deltakust (de Voordelta) waar momenteel waarschijnlijk geen actieve verspreiding van gesuppleerd zand plaatsvindt, maar waar dat in de toekomst mogelijk wel gaat plaatsvinden. Hiertoe is een bovengrens afgeschat in Taal et al. (2025)

op basis van een bredere actieve zone van 2000 m en het meenemen van de monding van de Oosterschelde, zie Figuur 7.



Figuur 7: Huidige actieve zone en bovengrens actieve zone voor de Deltakust.

3. Mogelijke extra sedimentbehoefte in gebieden die niet regulier actief worden onderhouden volgens het huidige beleid. Dit is het gebied ten oosten van Schiermonnikoog (buitendelta Groninger Wad) en de Vlakte van de Raan (mondingsgebied Westerschelde). Op enig moment in de toekomst is het denkbaar dat de waterveiligheid van de Groninger vastelandskust gebaat is bij volumebehoud van het Groninger Wad. Op dat moment kan bijvoorbeeld door een beleidswijziging besloten worden om in de Noordzeekustzone ten oosten van Schiermonnikoog actief kustonderhoud te plegen met bijbehorende extra zandsuppleties. Het precieze volume hiervoor is lastig vast te stellen. Taal et al., 2025 stelt dat 10-20% van het cumulatieve volume zoals bepaald in Taal et al. (2023a) waarschijnlijk voldoende is. In voorliggend rapport is gekozen voor de aanname van 20%. Ook de Vlakte van de Raan heeft een relatie tot de waterveiligheid van de nabijgelegen kust, in dit geval de kusten van Zuidwest Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen. Daarom is ook voor de Vlakte van de Raan een sedimentbehoefte bepaald. De kans dat bij het Groninger Wad en op de Vlakte van de Raan regulier actief onderhoud nodig is, is niet groot, maar het effect op de sedimentbehoefte wel, omdat het een groot gebied betreft.

Tabel 1: Cumulatieve sedimentbehoefte per zichtwaarde van zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust, in miljoenen m3. AZ = Actieve Zone.

<b>Sedimentbehoefte Nederlandse kust - totaal</b>						
<i>zichtwaarde</i>	<i>0,5 m</i>	<i>1 m</i>	<i>2 m</i>	<i>1 m</i>	<i>3 m</i>	<i>5 m</i>
<i>scenario zeespiegelstijging</i>	<i>laag</i>	<i>hoog</i>	<i>extreem</i>	<i>laag</i>	<i>hoog</i>	<i>extreem</i>
<i>eindjaar</i>	<i>2100</i>	<i>2100</i>	<i>2100</i>	<i>2200</i>	<i>2200</i>	<i>2200</i>
<b>1. Volumes actieve zones in gebieden waar kustonderhoud plaatsvindt</b>						
Waddenkust, meegroeien AZ	295	590	1180	590	1770	2950
Waddenkust, transport uit AZ	539	626	803	1288	1756	2063
Hollandse kust, meegroeien AZ	64	127	255	127	382	637
Deltakust, meegroeien AZ	78	156	311	156	467	779
Deltakust, transport uit AZ	80	80	80	180	180	180
<b>TOTAAL onderdeel 1</b>	1056	1579	2629	2341	4555	6609
<b>2. Aanvullende volumes i.v.m. onzekerheden actieve zones in gebieden waar kustonderhoud plaatsvindt</b>						
Extra breedte AZ	32	63	126	63	190	316
Deltakust uitbreiding AZ	62	124	249	124	373	622
Meer transport naar Westerschelde uit actieve zone	80	80	80	180	180	180
<b>Totaal aanvullende volumes</b>	174	268	455	368	743	1118
<b>3. Mogelijk aanvullende volumes mee te groeien gebieden, waar nu geen kustonderhoud plaatsvindt</b>						
Groninger Wad	11	39	96	23	152	276*
Vlakte van de Raan (VvR)	84	168	335	168	503	838
Meer transport naar Westerschelde uit VvR	80	80	80	180	180	180
<b>Totaal mogelijk aanvullend mee te groeien volumes</b>	175	287	511	371	835	1294
<b>TOTAAL onderdelen 1, 2, 3</b>	1404	2133	3596	3079	6133	9021

\*deze waarde is berekend door Deltares voor het jaar 2190, er zijn geen schattingen voor 2200.

# 5 Van sedimentbehoefte naar suppletievolume

Een belangrijke notie ten aanzien van zowel de korte als de lange termijn, is dat de suppletievolumes die daadwerkelijk aangebracht (moeten) worden op de kust, niet per definitie hetzelfde zijn als de sedimentbehoefte van het kustsysteem. De sedimentbehoefte is de hoeveelheid sediment die theoretisch nodig is om de kust (kustfundament of actieve zone) volledig te laten meegroeien met zeespiegelstijging en de zandverliezen uit de gebieden, bijvoorbeeld naar de Waddenzee, volledig te compenseren (Nolte et al., 2020a). Het suppletievolume is een daaraan gerelateerde beleidskeuze. In de praktijk betekent dit dat niet altijd wordt gesuppleerd volgens de formule van sedimentbehoefte zoals beschreven in Hoofdstuk 4.

De grootste verschillen tussen de sedimentbehoefte en het suppletievolume worden veroorzaakt door de zogenaamde 'bolwerken' en de compensatie voor het transport naar de Waddenzee (zie kader 2). Bij de bolwerken (zeewaarts versterkte kustplaatsen, Maasvlakte, Hondsbossche Duinen) is het lokale suppletievolume voor het behouden van een (relatief) zeewaarts gelegen positie van de kustlijn ten behoeve van de lokale functies relatief hoog. Het cumulatieve suppletievolume is daardoor groter dan de sedimentbehoefte van het gebied op lange termijn. Bij de Hollandse Kust wordt daarom 2,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar en bij de Deltakust 0,4 miljoen m<sup>3</sup>/j aanvullend gesuppleerd bovenop de sedimentbehoefte. Op de lange termijn is de verwachting dat deze waarde constant blijft, omdat de langstransporten niet significant veranderen door zeespiegelstijging (Taal et al., 2023). Andersom geldt ook: voor de regio Waddenkust wordt op dit moment met suppleties ongeveer 50% van het sedimenttransport naar de Waddenzee gecompenseerd. Dat betekent dat hier juist een lager suppletievolume gehanteerd wordt dan de sedimentbehoefte. In de toekomst kunnen beide keuzes veranderen, en zullen bovendien meer van dit soort verschillen aan de orde komen.

Gebaseerd op de rekenregel voor de sedimentbehoefte (zie Hoofdstuk 2), is een rekenregel afgeleid voor het suppletievolume  $V_{sup}$  die rekening houdt met de actieve zone en de daaraan gekoppelde sedimentbehoefte.

$$V_{sup} = (A_{az} \times ZSS) + V_{vast} + \alpha V_{exp.Wzee} + V_{exp.Wschelde} + V_{aanv},$$

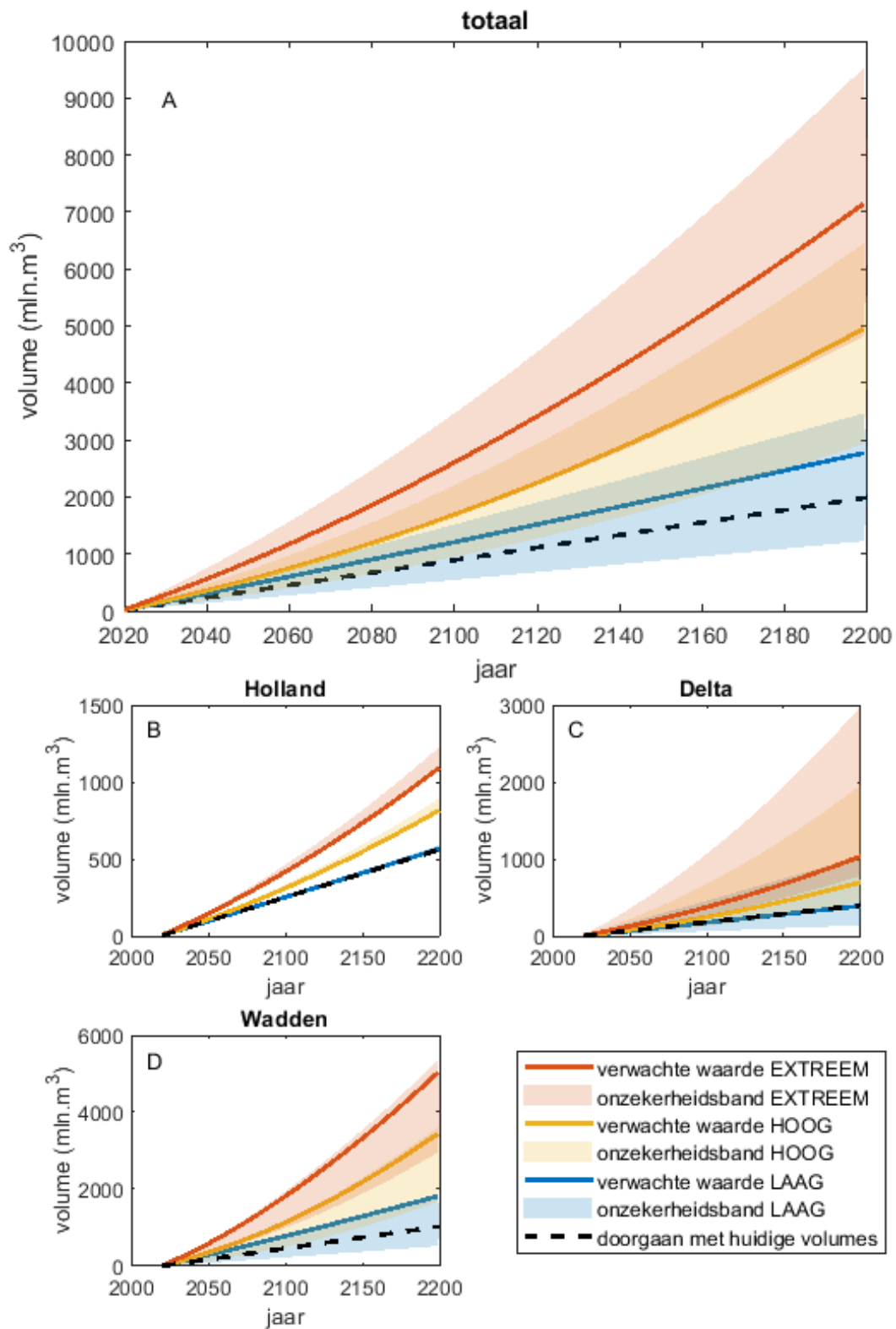
Alle termen die in de oorspronkelijke rekenregel een sedimentbehoefte van 0 hebben, zijn hier weggelaten. De termen zijn:

$A_{az}$	Oppervlakte van de actieve zone in m <sup>2</sup> ;
$ZSS$	(Relatieve) zeespiegelstijging (m/jaar);
$V_{vast}$	Gemiddelde jaarlijks vaste volume dat aanvullend wordt gesuppleerd voor de bolwerken (m <sup>3</sup> /jaar);
$\alpha$	Percentage van het transport naar de Waddenzee dat wordt gecompenseerd door suppleties op de lange termijn;

$V_{exp.Wzee}$	Transport naar de Waddenzee. Deze is sterk afhankelijk van de mate van zeespiegelstijging door de accommodatieruimte (ruimte waar sediment blijvend kan bezinken) die zeespiegelstijging in de Waddenzee genereert. Deze term is daarom variabel in de tijd. De gemiddelde jaarlijkse sedimenttransporten naar de Waddenzee voor de tijdlijnen zijn te vinden in appendix B van Taal et al., 2023a.;
$V_{exp.Wschelde}$	Transport naar de Westerschelde; in dit onderzoek wordt deze waarde vastgezet op 1 miljoen m <sup>3</sup> /jaar. De verwachting is dat deze waarde onafhankelijk is van zeespiegelstijging, omdat de kustlangse transporten ook ongeveer gelijk blijven (Taal et al., 2023a);
$V_{aanv.}$	Volumes om aan de mogelijke aanvullende sedimentbehoefte te voldoen. Hieronder vallen de extra breedte van de actieve zone, de actieve zone en export Groninger Wad, Voordelta Deltakust, Vlake van de Raan, extra export naar Westerschelde (1 miljoen m <sup>3</sup> /jaar) en extra transport van Vlake van de Raan naar Westerschelde (1 miljoen m <sup>3</sup> /jaar).

In Figuur 8 wordt een bandbreedte gegeven voor de cumulatieve suppletievolumes per zeespiegelstijgingsscenario. Er zijn per scenario drie suppletievolumes geïdentificeerd:

- De onderkant van de bandbreedte (blauw in de rekenregel hierboven) is gebaseerd op de oppervlakte van de actieve zone maal zeespiegelstijging, plus het vaste volume dat nodig is voor de bolwerken. De export van sediment naar de Waddenzee en Westerschelde wordt hierbij niet gecompenseerd. De sedimentvoorraad van de actieve zone neemt daardoor af. Dit minimum suppletievolume garandeert op lange termijn zeer waarschijnlijk niet dat de waterveiligheid geborgd blijft.
- De meest waarschijnlijke waarde (blauw en oranje in de rekenregel hierboven) is de minimale waarde plus compensatie van de export naar de Waddenzee en Westerschelde. Op dit moment compenseren we met suppleties ongeveer de helft van de export naar de Waddenzee, maar op lange termijn is het waarschijnlijk nodig deze volledig te compenseren (Rijkswaterstaat, 2020). Daarom is aangenomen dat  $\alpha = 1$  de meest waarschijnlijke waarde is voor de lange termijn. De geleidelijke overgang van  $\alpha = 0,5$  (huidig) naar  $\alpha = 1$  (toekomst) is onderdeel van toekomstige besluitvorming, maar omdat niet bekend is hoe snel deze overgang zal plaatsvinden, is in deze studie (als stresstest) voor 1 gekozen. N.B. voor de Hollandse kust is de meest waarschijnlijke waarde gelijk aan de minimale waarde omdat daar geen exportterm is.
- De bovenkant van de bandbreedte (blauw en oranje en paars in de rekenregel hierboven) is dan het totaal: de meest waarschijnlijke waarde plus de volumes om de mogelijke extra sedimentbehoefte aan te vullen ( $V_{aanv.}$ ).



Figuur 8: Bandbreedtes en verwachte waarden voor het cumulatief te suppleren volume langs (A) de gehele Nederlandse kust, (B) de Hollandse kust, (C) de Deltakust en (D) de Waddenkust.

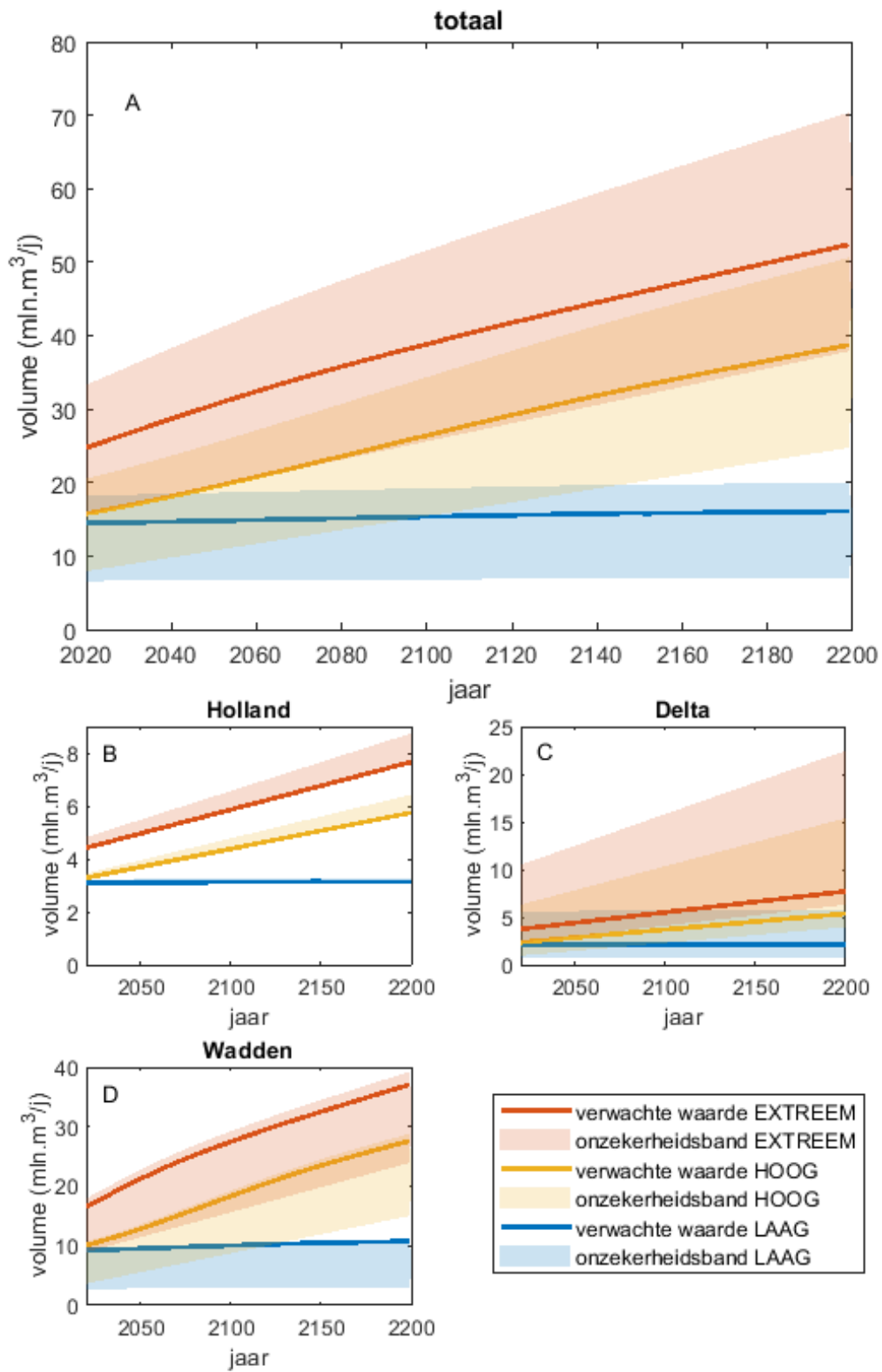
Uit Figuur 8 wordt duidelijk dat zelfs onder extreme zeespiegelstijging de suppletievolumes niet extreem verhogen. De meest waarschijnlijke cumulatieve suppletievolumes in 2200 zijn landelijk anderhalf (in het lage scenario) tot drieënhalf keer zo hoog (in het extreme scenario) als wanneer het huidige volume (11 miljoen m<sup>3</sup>/jaar) zou worden voortgezet (Figuur 8A). Het maximale cumulatieve suppletievolume in 2200 (de bovenkant van de bandbreedte bij extreme zeespiegelstijging) is circa vijf keer zo hoog. Het minimale volume (onderkant van de bandbreedte bij lage zeespiegelstijging) is zelfs lager dan de huidige volumes. Dat komt omdat bij de onderkant van de bandbreedte alleen de oppervlakte van de actieve zone en het onderhoud van de bolwerken worden meegenomen, terwijl in de huidige volumes ook wordt gecompenseerd voor de export naar Waddenzee en Westerschelde.

In de verschillende regio's is een vergelijkbaar beeld zichtbaar. De verwachte waarde voor het cumulatieve suppletievolume is bij de Hollandse kust maximaal twee keer zo hoog als bij voortzetting van het huidige volume (Figuur 8B). Bij de Deltakust is dat ongeveer tweeënhalf keer zo hoog (Figuur 8C), en bij de Waddenkust maximaal vijf keer zo hoog (Figuur 8D). Bij de Hollandse kust en Deltakust zijn de verwachte waarden voor het lage scenario gelijk aan het doorzetten van de huidige waarde. De verwachte waarde voor de Deltakust ligt aan de onderkant van de bandbreedte, omdat bij de bovengrens de Voordelta en de Vlakte van de Raan worden meegenomen. Dit zijn beide grote oppervlaktes, die daarom zorgen voor grote benodigde volumes als ze volledig moeten meestijgen met zeespiegelstijging. Bij de Waddenkust is de verwachte waarde in het lage scenario hoger dan het doorzetten van het huidige volume, omdat in deze scenario's wordt uitgegaan van het volledig compenseren van de export naar de Waddenzee toe, terwijl dat in de huidige volumes maar voor 50% wordt gedaan.

### **Suppletievolumes per jaar en per regio**

De cumulatieve volumes zoals weergegeven in Figuur 8 geven voornamelijk een beeld van de hoeveelheid benodigd suppletievolume tot aan een gegeven zichtwaarde. Om te weten of en hoe lang de zandige strategie ook in de praktijk voortgezet kan worden, zijn volumes per jaar en per regio nodig (Figuur 9). Deze zijn berekend door de rekenregel voor het suppletievolume in te vullen met de jaarlijkse zeespiegelstijging uit Figuur 4 in plaats van de totale opgetreden zeespiegelstijging. In bijlage 1 staan deze jaarlijkse waarden voor alle onderdelen van de rekenregel in 2100 en 2200.

Het jaarlijkse suppletievolume voor de Hollandse kust is weergegeven in Figuur 9B. Het huidige suppletievolume van 3,1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar komt overeen met de verwachte waarde voor het lage scenario van zeespiegelstijging. Bij hoge en extreme zeespiegelstijging worden grotere waarden verwacht, tussen 4,4 en 7,7 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. De bovengrens ligt 0,1 (bij 0,5 m zeespiegelstijging) tot 1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (bij 5 m zeespiegelstijging) hoger dan de verwachte waarde.



Figuur 9: Bandbreedtes en verwachte waarden voor het jaarlijks te suppleren volume langs (A) de gehele Nederlandse kust, (B) de Hollandse kust, (C) de Deltakust en (D) de Waddenkust.

De jaarlijkse suppletievolumes voor de Deltakust zijn weergegeven in Figuur 9C. De verwachte waarden zijn vergelijkbaar met die van de Hollandse Kust, en liggen tussen 2,2 en 7,7 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Dat komt doordat de oppervlaktes van de actieve zones van beide gebieden vergelijkbaar zijn. Uit Figuur 9C blijkt dat het verschil tussen het verwachte suppletievolume en de bovengrens van het suppletievolume bij de Deltakust aanzienlijk is (3,5 miljoen m<sup>3</sup>/j bij 0,5 m zeespiegelstijging tot 15 miljoen m<sup>3</sup>/j bij 5 m zeespiegelstijging). Dit wordt veroorzaakt door de onzekerheid in het oppervlak van de actieve zone bij de Voordelta en onzekerheid van het mogelijk mee te groeien gebied van de Vlake van de Raan. Indien de Voordelta en de Vlake van de Raan geen extra suppletiebehoefte hebben, zijn de maximale suppletievolumes in dezelfde orde grootte als voor de Hollandse Kust.

De jaarlijkse suppletievolumes voor de Waddenkust zijn weergegeven in Figuur 9D. Zowel de volumes als de onzekerheidsband zijn (veel) groter dan in de andere regio's. De verwachte waarden in 2200 liggen bijvoorbeeld tussen 10,8 en 37,1 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Dit komt doordat zowel de export naar de Waddenzee als de export naar het Groninger Wad groot is. Daarnaast is ook de oppervlakte van de actieve zone van de Waddenkust ongeveer vier keer zo groot als die van de Hollandse Kust en de Deltakust. De oorzaak hiervoor ligt in de grote oppervlaktes van de buitendelta's. Het huidige suppletievolume zit aan de onderkant van de bandbreedte van het lage scenario, dit komt voornamelijk doordat op dit moment circa 50% van de export naar de Waddenzee gecompenseerd wordt. Voor de waarschijnlijke waarde wordt uitgegaan van 100%.

Tot slot valt in Figuur 9D op dat de jaarlijkse volumes bij de Waddenkust niet lineair toenemen, zoals bij de Hollandse Kust en Deltakust wel het geval is. De jaarlijkse volumes stijgen eerst snel, maar de stijgsnelheid neemt na verloop van tijd af. Dit komt doordat op basis van de modelsimulaties met ASMITA verwacht wordt dat het transport naar de Waddenzee eerst toeneemt, en op een gegeven moment constant wordt (Taal et al., 2023a). Op dat moment neemt dus alleen het onderdeel "actieve zone maal zeespiegelstijging" nog toe, en daarom neemt het totale jaarlijkse suppletievolume voor de Waddenkust minder snel toe.

Tabel 2 geeft een samenvatting van de verwachte waarden uit Figuur 9. Voor elke zichtwaarde van zeespiegelstijging is voor elke regio weergegeven wat het bijbehorende verwachte jaarlijkse suppletievolume is in het genoemde zichtjaar. Als referentie is ook het huidige suppletievolume per regio bijgevoegd.

Tabel 2: Verwachte suppletievolumes in miljoen m<sup>3</sup>/jaar voor elke zichtwaarde in het zichtjaar, per regio.

Zeespiegelstijging	Waddenkust	Hollandse kust	Deltakust	Totaal
huidig	5,7	3,1	2,2	11,0
<b>Zichtjaar 2100</b>				
0,5 m (laag)	10,1	3,1	2,2	15,4
1 m (hoog)	18,3	4,4	3,7	26,4
2 m (extreem)	27,5	5,9	5,5	38,9
<b>Zichtjaar 2200</b>				
1 m (laag)	10,8	3,1	2,2	16,1
3 m (hoog)	27,6	5,7	5,4	38,7
5 m (extreem)	37,1	7,7	7,7	52,5

## **Kader 2: Sedimentbehoefte versus benodigd suppletievolumen**

In dit rapport wordt onderscheid gemaakt tussen de sedimentbehoefte en de suppletiebehoefte van de kust. De sedimentbehoefte is gedefinieerd als de hoeveelheid sediment die (een deel van) de kust op lange termijn en grote ruimteschaal theoretisch nodig heeft om mee te groeien met de zeespiegelstijging en de zandverliezen uit de betreffende gebieden, bijvoorbeeld naar de Waddenzee, volledig te compenseren (Nolte et al., 2020a). De suppletiebehoefte is gedefinieerd als het suppletievolumen dat nodig is om een kustvak te onderhouden ten behoeve van de waarden en functies in het betreffende kustvak.

Op lange termijn en grote ruimteschaal zijn de sedimentbehoefte en het suppletievolumen vaak aan elkaar gelijk. Dat is echter niet altijd het geval. Met name langs de Hollandse kust en in mindere mate langs de Deltakust is de sedimentbehoefte voor het meegroeien van de actieve zone kleiner dan de suppletiebehoefte voor het onderhouden van de kustlijnpositie van de zogeheten "zandige bolwerken". Dit zijn locaties waar de kust, relatief gezien ten opzichte van de directe omgeving, ver zeewaarts ligt waardoor deze meer onderhoud vraagt. Voorbeelden zijn de Maasvlakte 2, de Hondsbossche duinen en verschillende kustplaatsen als Domburg, Scheveningen en Katwijk.

Voor de Hollandse kust is de sedimentbehoefte van de actieve zone bij de actuele zeespiegelstijging ongeveer 0,6 miljoen m<sup>3</sup>/j. De suppletiebehoefte van dit gebied (Maasvlakte 2 t/m Groote Keeten in Noord-Holland) is 3,1 miljoen m<sup>3</sup>/j (Rijkswaterstaat, 2020). Hieruit kan worden afgeleid dat aanvullend op de sedimentbehoefte van de actieve zone 2,5 miljoen m<sup>3</sup>/j gesuppleerd moet worden om de veiligheid en de waarden en functies van dit deel van de Nederlandse kust in stand te houden.

Voor de Deltakust is de sedimentbehoefte van de actieve zone bij de actuele zeespiegelstijging ongeveer 1,8 miljoen m<sup>3</sup>/j. De suppletiebehoefte van dit gebied (Cadzand t/m Oost-Voorne) is 2,2 miljoen m<sup>3</sup>/j (Rijkswaterstaat, 2020). De aanvullende suppletiebehoefte in dit gebied is derhalve 0,4 miljoen m<sup>3</sup>/j.

Het is de verwachting dat de aanvullende suppletiebehoefte voor de zandige bolwerken relatief constant zal zijn in de periode die beschouwd is in het kennisprogramma zeespiegelstijging. Huisman et al. (2024) laten zien dat de gradiënten in het netto kustlangse sedimenttransport relatief onafhankelijk zijn van zeespiegelstijging. De lokale en kortere termijn kustontwikkeling bij de bolwerken wordt primair aangedreven door de gradiënten in het kustlangse sedimenttransport.

Voor de Waddenkust is de sedimentbehoefte van de actieve zone, inclusief de zandverliezen naar de Waddenzee, bij de actuele zeespiegelstijging ongeveer 10,1 miljoen m<sup>3</sup>/j. De suppletiebehoefte van dit gebied (Groote Keeten in Noord-Holland t/m Schiermonnikoog) is 4,8 miljoen m<sup>3</sup>/j (Rijkswaterstaat, 2020). Aanvullend hierop is het beleidsstreven om 0,9 miljoen m<sup>3</sup>/j te suppleren ten behoeve van de lange termijn (Kamerstukken/27625-557). Voor de Waddenkust is de huidige sedimentbehoefte dus groter dan het suppletievolumen. Hiermee wordt ongeveer 50% van de sediment export naar de Waddenzee actief gecompenseerd met suppleties. Op lange termijn is het waarschijnlijk nodig deze export volledig te compenseren (Rijkswaterstaat, 2020).

# 6 Houdbaarheid en verlengende maatregelen van de zandige strategie

Nu de verwachtingswaarde en de bandbreedte bekend zijn van het toekomstige suppletievolume bij versnelde zeespiegelstijging, rijst de vraag in hoeverre de hogere volumes ook daadwerkelijk zijn aan te brengen op de kust. Met andere woorden: in theorie is de opgave bekend, maar in hoeverre is deze operationeel te realiseren en welke werkwijze hoort daarbij? Dit geeft een beeld van de houdbaarheid van de zandige strategie en van welke strategieverlengende maatregelen mogelijk zijn. In dit Hoofdstuk worden de diverse maatregelen om de zandige strategie te verlengen beschreven en gekwantificeerd. Vervolgens is beschouwd tot welke mate van zeespiegelstijging deze maatregelen toereikend zijn.

Bij snellere zeespiegelstijging zijn grotere volumes zand nodig, en is het noodzakelijk de huidige praktijk van suppleren te intensiveren. Binnen de zandige voorkeursstrategie kan de huidige werkwijze eenvoudig opgeschaald worden. Volgens de uitgangspunten van het Kennisprogramma zijn de mogelijkheden tot opschaling gebundeld in twee maatregelenpakketten, die hieronder worden beschreven. De maatregelenpakketten zijn aanvullend op de huidige praktijk van suppleren (zie Hoofdstuk 2) en aanvullend op elkaar. Ze kunnen elkaar daarom in de tijd overlappen.

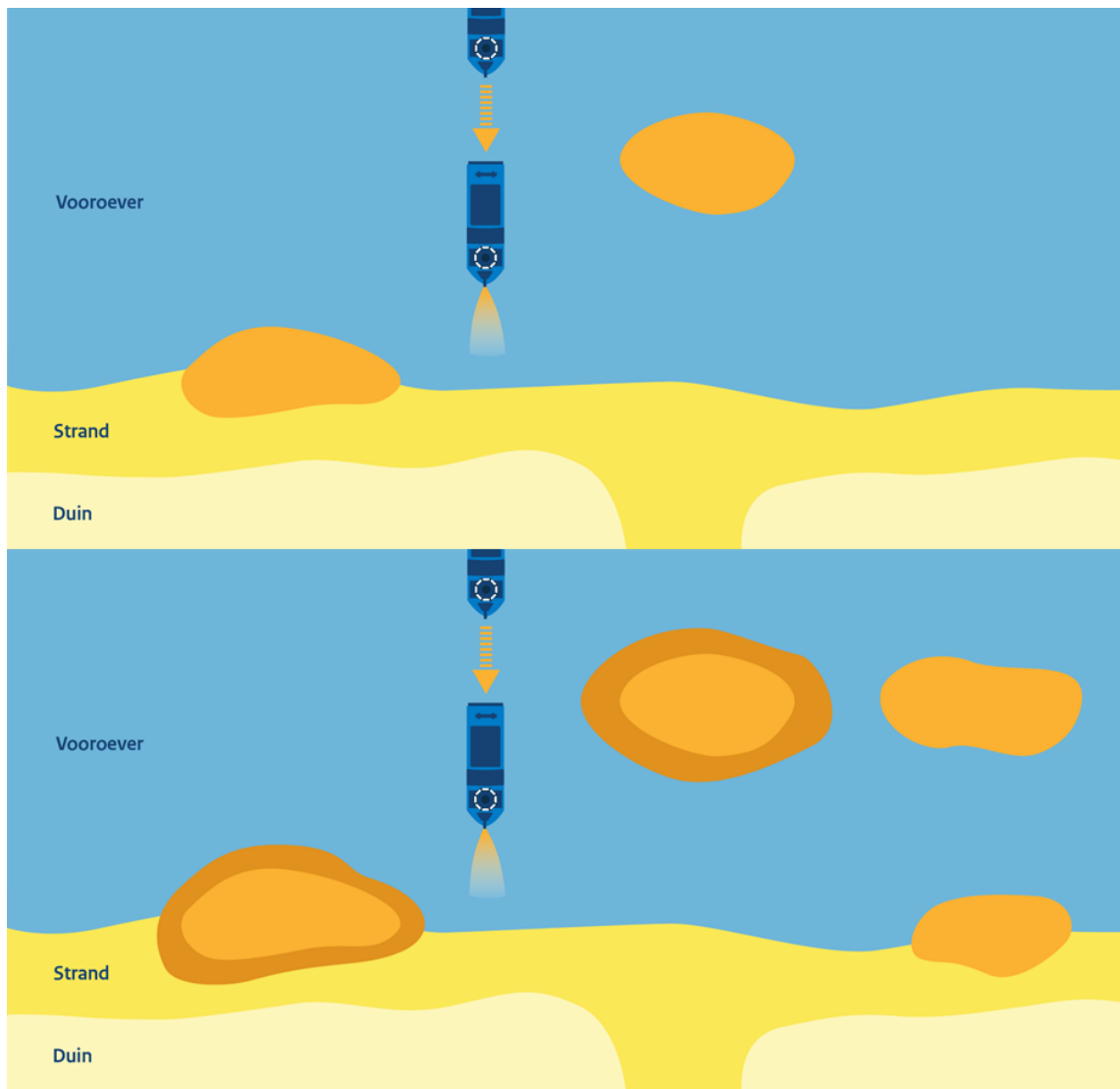
## **Maatregelenpakket 1**

De eerste aanvullende stap is om op de huidige suppletielocaties en met de huidige methodes te voorzien in een toenemende sedimentbehoefte. De strand-, vooroever-, en geulwandsuppleties kunnen daartoe met grotere volumes en/of met hogere frequentie aangebracht worden (Figuur 10). Zeespiegelstijging geeft bovendien een mogelijkheid om grotere volumes aan te brengen, want in de tijd tussen twee suppleties ontstaat extra verticale accommodatieruimte die gelijk is aan de opgetreden zeespiegelstijging.

Naast het vergroten van de volumes die op de huidige locaties worden gesuppleerd en het opvoeren van de frequentie, kan het in de toekomst nodig zijn om op nieuwe locaties te gaan suppleren (Figuur 10). Als de lokale sedimentvraag die ontstaat door zeespiegelstijging groter is dan de kustlangse aanvoer van sediment, dan zullen er op meer plekken BKL-overschrijdingen ontstaan, waardoor er ook tussen de huidige suppletielocaties gesuppleerd moet worden. Hierbij gaat het dus om locaties waar een BKL is bepaald, maar waar nog niet (regelmatig) wordt gesuppleerd.

Om bovenstaande te kwantificeren is een inventarisatie uitgevoerd naar de mogelijkheden van het vergroten van suppleties (tot gemiddeld 150% van de huidige) en het verruimen van de suppletielocaties (Rijkswaterstaat, 2025a). Het doel van de inventarisatie is om per regio aan te geven welk volume er theoretisch maximaal op genoemde wijze kan worden aangebracht. De resultaten zijn samengevat in Tabel 3, waarbij ook te zien is hoe dit zich

verhoudt tot de verwachte suppletievolumes zoals vermeld in Tabel 2. Daaruit blijkt dat suppleties uit maatregelenpakket 1 volgens het theoretisch maximum volledig dekkend zijn om in de suppletiebehoefte te voorzien voor de Hollandse Kust en de Deltakust. Voor de Waddenkust geldt dit alleen voor het lage scenario.



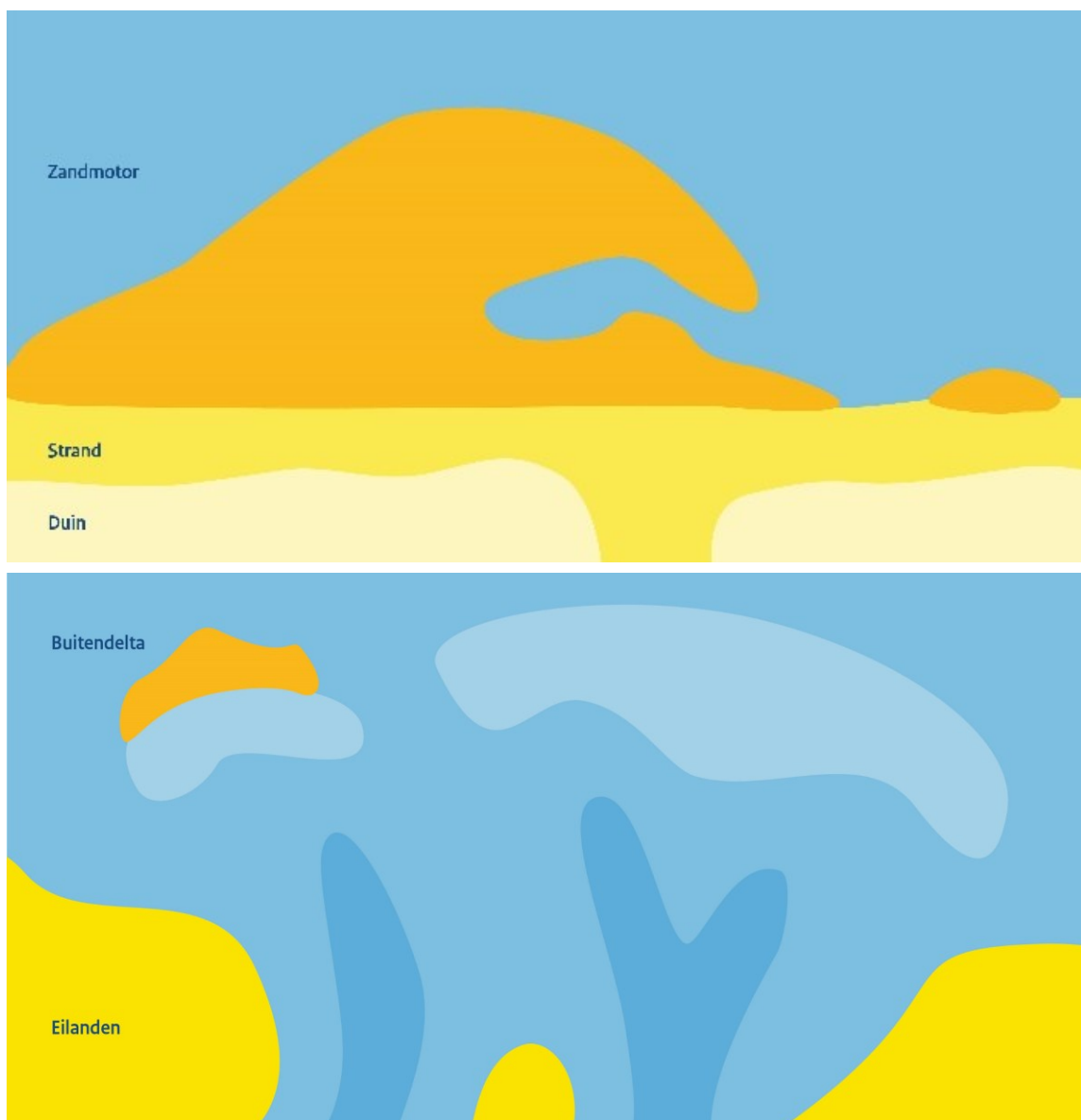
Figuur 10: Illustratie van maatregelenpakket 1 (onder), in vergelijking met de huidige suppletiepraktijk (boven)

Tabel 3: Theoretische mogelijke maximale suppletievolumes (miljoen m<sup>3</sup>/jr) per regio bij ruim voortzetten van de huidige strategie, op huidige locaties en op potentieel nieuwe locaties (maatregelenpakket 1). Ter vergelijking zijn in de rechter kolom ook de verwachte suppletievolumes bij 5 m zeespiegelstijging in 2200 weergegeven (scenario 'extreem').

Regio	Totaal volume in miljoen m <sup>3</sup> /jaar, theoretisch maximum	Verwachte suppletievolumes in miljoen m <sup>3</sup> /jaar in 2200 bij scenario 'extreem'
Waddenkust	15	37,1
Hollandse Kust	21	7,7
Deltakust	9	7,7
Totaal	45	52,5

## Maatregelenpakket 2

Naast het vergroten van suppletievolumes en -frequenties op de huidige en nieuwe locaties, kunnen ook nieuwe typen suppleties worden toegepast. In het afgelopen decennium zijn er enkele experimenten gedaan met zogeheten systeemsuppleties. Dit zijn suppleties die, vergeleken met strand- en vooroeversuppleties, een groter volume hebben, langere tijd hun werk doen en meestal het kuststelsel op grotere schaal versterken of beïnvloeden. De experimenten betreffen de Zandmotor aan de Delflandse kust in 2011 en de buitendelta-suppletie in het Amelander Zeegat in 2018. Tot nu toe vallen deze suppletievormen nog niet onder de reguliere werkwijze van kustonderhoud, maar ze zouden als strategieverlengende maatregel toegevoegd kunnen worden aan de werkwijze (Figuur 11).



Figuur 11: Illustratie van maatregelenpakket 2: een zandmotorconcept (boven) en een buitendeltasuppletie (onder).

Binnen het onderzoeksprogramma Zandige Kust is voor alle zichtwaarden van zeespiegelstijging per regio verkend of het theoretisch haalbaar is om het benodigde jaarlijkse suppletievolume te realiseren met systeemsuppleties als aanvulling op de reguliere suppleties. Een belangrijke aanname hierbij is dat er een vaste verdeling is tussen de reguliere suppleties en de systeemsuppleties. Hierbij is ervan uitgegaan dat de huidige suppleties worden vergroot tot 150% en worden toegepast op de bestaande reguliere suppletielocaties. Het extra volume dat dan jaarlijks nodig is om de rest van de suppletiebehoefte in te vullen, zal vervolgens met systeemsuppleties (zandmotorconcepten of buitendeltasuppleties) worden gerealiseerd.

De Waddenkust heeft de grootste suppletiebehoefte onder andere door de sedimentexport naar de Waddenzee. Daardoor is er ook een grotere behoefte aan systeemsuppleties. Er zijn zowel rechte (eiland)kusten als buitendelta's, waardoor het suppletievolume verdeeld kan worden over zandmotorconcepten en buitendeltasuppleties. Aangenomen is dat alle rechte eilandkusten ruimte bieden voor minimaal één zandmotorconcept, en dat op alle buitendelta's kan worden gesuppleerd. De resultaten uit deze verkenning laten zien dat het theoretisch haalbaar is om met aanvullende suppleties uit maatregelenpakket 2 te voldoen aan de volledige suppletiebehoefte van de regio Waddenkust bij de scenario's 'laag' en 'hoog'. 'Voor het scenario 'extreem' geldt dit hoogstwaarschijnlijk ook, daarvoor is een forse inzet van buitendeltasuppleties belangrijk.

Zoals eerder beschreven kan bij de Hollandse kust in theorie volstaan worden met maatregelenpakket 1. Natuurlijk is het mogelijk aanvullend zandmotorconcepten als systeemsuppletie toe te passen als dat efficiënter of goedkoper is dan maatregelenpakket 1, of vanwege andere functies.

Zoals eerder beschreven kan ook voor de Deltakust in theorie maatregelenpakket 1 volstaan om aan de verwachte waarden van het suppletievolume te voldoen. Door de aanwezigheid van geulen is dit in de praktijk niet altijd eenvoudig. Aanvullende maatregelen in de vorm van zandmotorconcepten en suppleren op de buitendelta's (de Voordelta) komen hier in beeld. Door deze hier toe te passen kan hoogstwaarschijnlijk voor alle beschouwde scenario's voldaan worden aan de verwachte suppletiebehoefte.

### **Toereikendheid van de maatregelenpakketten**

Samenvattend wordt geconcludeerd dat het mogelijk is met maatregelenpakket 1 en 2 te voldoen aan de verwachte waarde van de suppletievolumes tot en met 3 m zeespiegelstijging in 2200 (scenario 'hoog') voor de gehele Nederlandse Kust (Tabel 4). Voor de zichtwaarde van 5 m in 2200 (scenario 'extreem') kan voor de Hollandse Kust en Deltakust zeker en voor de Waddenkust waarschijnlijk voldaan worden aan de verwachte waarde van de suppletievolumes.

Gegeven de huidige mogelijkheden zijn de maatregelen technisch al uitvoerbaar. Nadrukkelijke kanttekening hierbij is dat er meer en andere uitvoerbaarheidsvraagstukken gaan spelen naarmate de te suppleren hoeveelheid toeneemt. Denk hierbij onder andere aan lokale zandbeschikbaarheid en het verkrijgen van vergunningen, daarvoor is aanvullend onderzoek nodig.

Tabel 4: Houdbaarheid en oprekbaarheid van de huidige strategie per regio. Getallen zijn hetzelfde als in Tabel 1 (miljoen m<sup>3</sup>/j), kleuren geven aan in hoeverre de strategie houdbaar/oprekbaar is. Groen kan worden aangebracht met de huidige methodes, eventueel op nieuwe locaties. Lichtgroen is haalbaar door middel van systeemsuppleties boven op de huidige werkwijze. De lichtste kleur is waarschijnlijk haalbaar met een combinatie van huidige methodes en systeemsuppleties.

Zeespiegelstijging	Waddenkust	Hollandse kust	Deltakust	Totaal
huidig	5,7	3,1	2,2	11,0
<b>Zichtjaar 2100</b>				
0,5 m (laag)	10,1	3,1	2,2	15,4
1 m (hoog)	18,3	4,4	3,7	26,4
2 m (extreem)	27,5	5,9	5,4	38,9
<b>Zichtjaar 2200</b>				
1 m (laag)	10,8	3,1	2,2	16,1
3 m (hoog)	27,6	5,7	5,4	38,7
5 m (extreem)	37,1	7,7	7,7	52,5

# 7 Aandachtspunten bij toepassing van de maatregelenpakketten

Bij toepassing van de maatregelenpakketten is een aantal kanttekeningen en aandachtspunten te plaatsen. Soms zijn deze algemeen van aard, soms heel specifiek. In dit Hoofdstuk komen achtereenvolgens aan bod:

- Maatregelenpakketten in ruimte en tijd
- Functies van het kustgebied
- Maatregelen die buiten de maatregelenpakketten vallen: duinsuppleties, suppleren in de Waddenzee en geulsuppleties

## Maatregelenpakketten in ruimte en tijd

Bij het aanbrengen van suppletiezand is de verspreiding van het zand onder invloed van natuurlijke processen een onderdeel van de zandige strategie. In Taal et al. (2023b) zijn reguliere vooroever- en strandsuppleties vergeleken met zogenaamde zandmotorconcepten. Met alle soorten suppleties is het mogelijk om grotere volumes zand aan te brengen. In alle gevallen is de natuurlijke verspreidingsnelheid van het zand in langsricting een beperkende factor om het zand op alle erosieve locaties te brengen via natuurlijke processen. Ter illustratie, de gesimuleerde zandmotorconcepten in Taal et al. (2023b) laten een significante aanzanding zien in ca. 5 km rondom het aanleggebied in 10 jaar, en dit stagneert ook binnen deze 10 jaar. Hierdoor kan slechts een beperkt deel van de kust gevoed worden vanuit een centrale verspreidingslocatie. Een extra gevolg van het gelijk blijven van het kustlangse transport is dat de frequentie van strand- en vooroeversuppleties niet sterk zal (kunnen) toenemen, omdat het gesuppleerde zand niet veel sneller van de suppletielocatie vandaan zal worden getransporteerd. Het blijft dus ongeveer net zo lang liggen als nu (onder de huidige zeespiegelstijging). Om een groter deel van de kust te voeden zijn dus meerdere verspreidingslocaties nodig. Aan de andere kant betekent een beperkte verspreiding in langsricting dat zandmotorconcepten een robuuste oplossing kunnen zijn voor erosiehotspots/ bolwerken/kustplaatsen (Taal et al., 2023b). Naar verwachting zal dit kostenefficiënt kunnen zijn als de sedimentbehoefte groter wordt dan de suppletiebehoefte, dus met name voor scenario 'hoog' en 'extreem'. Dit leidt ertoe dat op deze locaties sneller voor maatregelenpakket 2 gekozen kan worden, ook al kan alleen met maatregelenpakket 1 theoretisch voldoende volume aangebracht worden.

## Effecten op functies

Bij voortzetting van de zandige strategie onder toenemende zeespiegelstijging zijn grotere hoeveelheden zand nodig, op meer locaties dan nu en met andere vormen van aanleg. Dit alles heeft effect op de diverse functies in de kustzone. Duurzaam behoud van functies en

waarden in het kustgebied is wezenlijk onderdeel van de zandige strategie. In dit hoofdstuk wordt beschouwd in hoeverre voortzetten van de suppletie strategie effect heeft op de functies natuur (incl. CO<sub>2</sub>-emissies) en recreatie. De functie waterveiligheid wordt door de verschillende maatregelenpakketten in gelijke mate geborgd en wordt daarom niet besproken.

### Natuur

Het effect van suppleties op ecologie is erg soortafhankelijk, en hangt vooral samen met het suppletievolume en de bedekte bodemoppervlakte (Cleveringa, 2024). In alle scenario's van zeespiegelstijging neemt het suppletievolume toe en is er een groot oppervlak waar het bodemleven verstoord wordt door bedelving.

In het algemeen is bodemleven in ondiep water beter aangepast aan dynamische condities dan soorten op dieper water en herstelt het daarom sneller na een suppletie. Hierdoor leiden suppleties op de ondiepe vooroever en op het strand tot minder negatieve impact op de ecologie dan suppleties op de diepe vooroever (Vergouwen en Meijer-Holzauer, 2016).

Bovendien is naast de bedekte bodemoppervlakte, ook de frequentie van bedekking van belang. Voor de ecologie heeft het de voorkeur om, als er grotere volumes aangebracht moeten worden, dat te doen door de suppleties groter te maken in plaats van vaker te suppleren. Dit geeft de ecologie meer tijd om te herstellen. Maatwerk hiervoor in het ontwerp van de suppletie is goed mogelijk. Bijvoorbeeld een schiereiland (zandmotorconcept) zal door de lage suppletiefrequentie meer kansen bieden voor nieuwe natuurwaarden (Taal et al., 2023b).

De CO<sub>2</sub>-emissie is afhankelijk van de vaarafstand, brandstoftype, het suppletievolume en de methode van suppleren (Cleveringa, 2024). Hoewel strandsuppleties per m<sup>3</sup> de meeste CO<sub>2</sub>-emissie veroorzaken, is het suppletievolume leidend. Daarom wordt in de verschillende scenario's van zeespiegelstijging de meeste CO<sub>2</sub> uitgestoten bij de Waddenkust, omdat daar de grootste volumes worden gesuppleerd.

### Recreatie

Het effect van suppleties op recreatie is lastig te meten, omdat strandtoerisme afhankelijk is van veel factoren, zoals recreatiewaarde, zwemveiligheid en beschikbaarheid van strand. In de huidige situatie is volgens Taal et al. (2023b) een zandmotorconcept in de vorm van een schiereiland het meest voordelig voor toerisme, omdat dat veel ruimte biedt. Volgens Geukes et al. (2025) wordt een te breed strand echter niet gewaardeerd door badgasten, en hebben voor deze groep hierdoor juist strand- en vooroeversuppleties een hogere recreatiewaarde.

Bij een toename in suppletievolume is er weinig effect te verwachten voor de Hollandse Kust, omdat de suppletievolumes wel toenemen, maar niet in de buurt komen van het maximaal mogelijke suppletievolume. Voor de Waddenkust en Deltakust wordt een negatief (Waddenkust) tot zeer negatief (Deltakust) effect op toerisme verwacht (Cleveringa, 2024). Dit komt met name doordat het suppletievolume onder zeespiegelstijging in de buurt komt van het maximum van wat er op de kust past in deze regio's. Daardoor zijn de stranden grotere delen van het jaar niet beschikbaar omdat er dan suppleties worden uitgevoerd. Bovendien zijn op de Deltakust zandmotorconcepten vereist om de suppletiebehoefte in te vullen, en kunnen deze de zwemveiligheid negatief beïnvloeden.

## Maatregelen die buiten de maatregelenpakketten vallen maar de strategie nog verder kunnen oprekken

In dit rapport zijn slechts een paar voorbeelden van systeemsuppleties beschouwd, namelijk zandmotorconcepten en buitendeltasuppleties. Hiermee zijn echter nog niet alle mogelijkheden benoemd, want in principe kan er bijvoorbeeld ook gesuppleerd worden in de duinen, in de Waddenzee, en in de geulen tussen de Waddeneilanden. Deze mogelijkheden worden hieronder toegelicht. Daarnaast zijn er uiteraard nog meer opties, maar deze vallen buiten de scope van Zandige Kust en worden verder niet besproken.

### *Duinsuppleties*

In de maatregelenpakketten wordt het suppleren in het duingebied niet expliciet als maatregel genoemd. Dit komt doordat deze maatregel geen grote bijdrage lijkt te leveren aan het verlengen van de zandige strategie.

Een belangrijk uitgangspunt bij het concept "actieve zone" (Hoofdstuk 4) is dat (suppletie)zand vanuit deze zone door windgedreven transport verplaatst naar het duingebied (blauwe pijlen in Figuur 6). Eerdere studies tonen dit aan, o.a. Arens et al. (2010) en De Groen et al. (2019). Daardoor kan de eerste duinenrij (en wellicht ook grote delen van het duingebied) aangroeien. Interessant is te voorspellen of deze aangroei voldoende is om de versnelde zeespiegelstijging bij te houden. Daartoe is in opdracht van RWS een studie uitgevoerd (HKV, 2024). Het vertrekpunt daarbij is dat op raainiveau bepaald is wat de gemiddelde duinaangroei is geweest in de afgelopen 30 jaar, de periode waarin actief de basiskustlijn is onderhouden door middel van suppleties. Die gemiddelde duinaangroei (in mm/jaar) is vergeleken met de diverse scenario's van versnelde zeespiegelstijging om te kijken of de duinaangroei door natuurlijke processen de zeespiegelstijging bij kan houden. De aanname daarbij is dat we ook in de toekomst blijven suppleren om de kustlijn te handhaven en dat voldoende instuiving in de duinen plaatsvindt. Uit de studie blijkt dat bij de scenario's laag en hoog een groot percentage van de kustvakken mee te kunnen groeien (79 – 89%). Bij het scenario extreem groeit nog steeds de ruime meerderheid mee met zeespiegelstijging (65 – 75%).

In de vakken waar de aangroei achterblijft is het in veel gevallen mogelijk de doorstuiving te bevorderen met aanvullende maatregelen: het maken van kerven of het specifiek voor doorstuiving aanbrengen van strandsuppleties (wat in feite al onderdeel is van maatregelenpakket 1). Door deze ingrepen verhogen de bovengenoemde percentages. Het aantal vakken waar suppleties in het duingebied een effectieve aanvullende maatregel kan zijn, is hierdoor waarschijnlijk beperkt.

### *Suppleren in de Waddenzee*

Een andere maatregel die in dit rapport niet besproken is, is het suppleren in de Waddenzee zelf. Het operationele doel 'in stand houden van het kustfundament' wordt op dit moment ingevuld door te suppleren in de actieve zone van de Noordzeekust. De Waddenzee is daar geen onderdeel van, hoewel het aannemelijk is dat het gesuppleerde, en het reeds in de kust aanwezige, zand zich via natuurlijke processen ook naar de Waddenzee zal verspreiden. Het is nog de vraag of het naar de Waddenzee verspreide sediment (zand en slib) voldoende zal zijn voor het behouden van de functies en waarden van de Waddenzee zelf en wanneer suppleren in de Waddenzee mogelijk aan de orde zal komen.

Zoals betoogd in Wang et al. (2018) zijn de Waddenzeebekkens accommodatieruimte gedreven systemen. Dit betekent dat de bekkens onder versnelde zeespiegelstijging een hoeveelheid sediment zullen importeren die gelijk is aan de accommodatieruimte in het bekken, waarbij er een vertraging kan optreden door de transportcapaciteit van de zeegaten.

Er is geen sprake van een aanbodgelimiteerd systeem: er is in principe genoeg sediment aanwezig in de Noordzeekust van de Noord-Holland en de Waddeneilanden, wat beschikbaar is om naar de bekkens getransporteerd te worden. Dit transport van sediment zorgt, zonder compensatie, dat het sedimentvolume in de Noordzeekust van de Noord-Holland en de Waddeneilanden afneemt.

Bij de huidige voorkeursstrategie zal de hoeveelheid sediment die naar de Waddenzee gaat niet bepaald worden door de suppletie strategie. Die wordt bepaald door de ontwikkeling van het bekken zelf, omdat dit de accommodatieruimte bepaalt. Wel zal de voorkeursstrategie ervoor zorgen dat de effecten van de exporten naar de Waddenzee (erosie van de eilanden en de buitendelta's) opgevangen worden. Meegroeien van de actieve zone van de buitendelta's zorgt ervoor dat er geen aanbod gelimiteerd systeem ontstaat in de Waddenzee, omdat de buitendelta's de Waddenzee blijven voeden. Het ontstaan van een aanbod gelimiteerd systeem heeft namelijk wel effect op de ontwikkeling van de Waddenzee. Immers, dan wordt de ontwikkeling van het bekken niet meer bepaald door de accommodatieruimte maar door het aanbod aan sediment. Daarom is het belangrijk om de Noordzeekust van Noord-Holland, de Waddeneilanden en eventueel de buitendelta's van voldoende sediment te blijven voorzien. Dit is ook de reden waarom op termijn suppleties ten oosten van Schiermonnikoog in beeld komen. Dat gebeurt als de Noordzeekust ten oosten van Schiermonnikoog niet meer voldoende sediment kan leveren aan het Groninger Wad om zijn dynamische evenwichtsdiepte te behouden. In dat geval is er dus sprake van aanbod limitering.

Naar verwachting is de sedimentexport uit de actieve zone op de lange termijn onvoldoende om het gehele bekken mee te laten groeien met de zeespiegel. De reden hiervoor is dat de bekkens onder een snellere zeespiegelstijging naar verwachting dieper worden (zie bijlage B in Taal et al. (2023a)). In Wang et al. (2018), Huismans et al. (2022) en Lodder et al. (2022) wordt de kritische zeespiegelstijgingssnelheid bepaald. Dit is de snelheid waarbij op lange termijn (2100 of verder) de sedimentatie snelheid in de Wadden bekkens de zeespiegelstijging niet meer kan bijhouden. Specifiek is dit de zeespiegelstijgingssnelheid waarbij er geen evenwicht meer is tussen de sedimentimport naar een bekken en de stijging van het zeeniveau op lange termijn. Voor de westelijke Waddenzee ligt deze waarde in de orde van 6 tot 7 mm per jaar. Voor de oostelijke Waddenzee is die in de orde van 10 tot 30 mm per jaar. De studie van Huismans et al. (2022) laat zien het totale oppervlak van wadplaten tot 2100 afneemt in de orde van 0 tot 50%, gegeven de aannamen voor ZSS, huidige en toekomstige morfologische toestand en model instellingen. Belangrijk is hierbij te benoemen dat de kernaanname is dat de oostelijke Waddenzee nu ongeveer in dynamisch evenwicht is. Dat wil zeggen dat deze bekkens evenveel sediment importeren als nodig is om te compenseren voor de zeespiegelstijging. Vanuit de ontwikkeling van de bekkens blijkt dat dit mogelijk niet klopt. Meerdere bekkens lijken meer sediment te importeren en die bekkens worden dus ten opzichte van de zeespiegel ondieper. Ten opzichte van NAP worden de bekkens dat sowieso, ze importeren immers sediment.

Desalniettemin kan het toch gebeuren dat er in de toekomst (maar niet in de komende decennia) maatschappelijke redenen ontstaan om te sturen op het sediment volume in de Waddenzee. Twee redenen daarvoor kunnen zijn:

1. Waterveiligheid. Het kan van nut worden om voor de waterveiligheid van de vastelandskust langs de Waddenzee een ondieper Waddensysteem na te streven. Dat helpt namelijk om de belasting op de Waddenedijk en schade bij overstroming te beperken. Uit de systeemanalyse van het KP ZSS thema Waterveiligheid blijkt dat dit met name in de oostelijke Waddenzee van nut kan zijn.

2. Natuurwaarden. De droogvallende delen van de Waddenzee zijn van exceptionele waarde voor het nationale en internationale ecosysteem. Dat kan een reden zijn om de Waddenzee ondieper te houden dan zij vanuit zichzelf (vanuit het principe dynamisch evenwicht) zou "willen" zijn. In essentie is dit de strategie die op dit moment voor de platen van de Oosterschelde wordt gevolgd door delen van zandplaten periodiek te suppleren.

Kortom, de systeemkeuze "suppleren in de Waddenzee" staat los van de strategieverlengende maatregelen voor de zandige kust. Immers, deze systeemkeuze wordt niet gemaakt om de strategische doelen voor de zandige kust te behalen, maar voor functies in en van de Waddenzee zelf, die geen onderdeel is van het kustfundament. Daarom is deze verder niet meegenomen in dit rapport.

### *Geulsuppleties*

In theorie kan er in de geulen tussen de Waddeneilanden bijna een oneindige hoeveelheid zand gesuppleerd worden, zodat het van daaruit door het natuurlijke kustsysteem snel verspreid wordt. De diepste delen van de geulen zijn vaak meer dan 20 m diep en enkele honderden meters breed. Als daar een miljoen m<sup>3</sup> in één keer zou worden gesuppleerd, wordt dit diepe deel dus maar enkele decimeters tot maximaal een meter opgehoogd, wat relatief weinig is ten opzichte van de gehele diepte van de geul. In het Marsdiep (tussen Den Helder en Texel) wordt jaarlijks tussen de 0,5 en 1 miljoen m<sup>3</sup> sediment gestort, verdeeld over meerdere momenten (niet voor handhaving van de kustlijn of het kustfundament, maar ter depositie van gebaggerd materiaal uit de haven van Den Helder en de veerhaven van Texel) (De Wit, 2024; Rijkswaterstaat, 2025b). Zelfs dit aanzienlijke volume is niet terug te zien in de jaarlijkse bodem (verschil) kaarten. Kanttekening hierbij is wel dat het materiaal met een aanzienlijk percentage slib betreft, wat zich anders gedraagt dan een suppletie van zand. Er is aanvullend onderzoek nodig voordat dit soort suppleties in het algemene suppletieprogramma kunnen worden opgenomen en ze worden daarom ook in dit rapport nog niet opgenomen in maatregelenpakket 2. Aandachtspunt bij aanvullend onderzoek is de verspreiding van sediment uit de geulen naar de andere delen van het kustsysteem en de bijdrage aan de functies en waarden van de kust.

# 8 Discussie

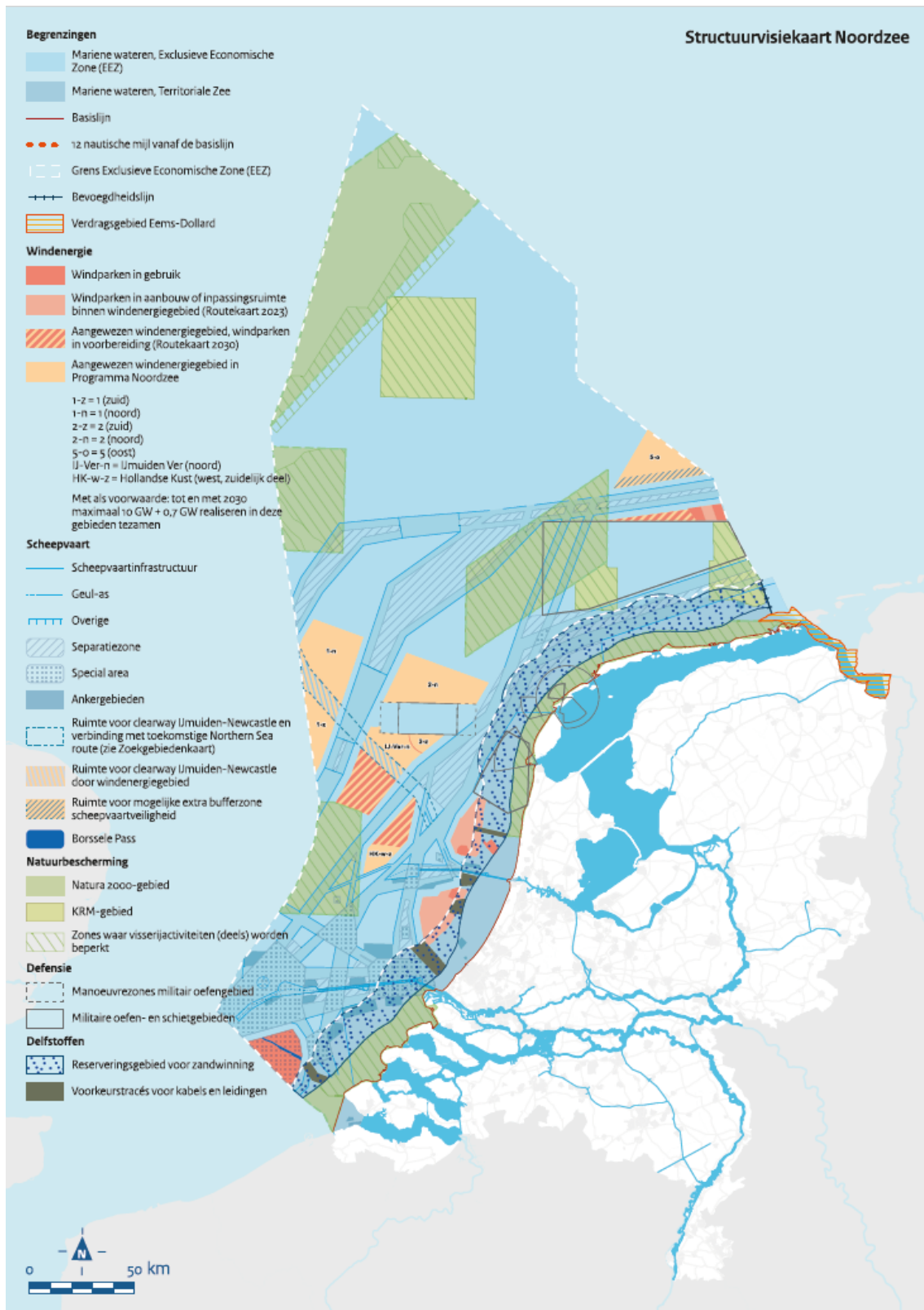
In voorgaande hoofdstukken zijn suppletievolumes aangegeven en ook de methode om die aan te brengen. Daarbij zijn uitgangspunten en aannames gekozen. Hierbij zijn kanttekeningen te maken op het gebied van onder andere de gebruikte zeespiegelstijging, de aanwezigheid en beschikbaarheid van het benodigde suppletiezand, de effecten van de grotere suppletievolumes op de vorm van het kustprofiel en de uitvoering van de suppleties. In de breedte van het kustonderhoud spelen nog meer onderwerpen, we beperken ons hier tot onderwerpen die binnen het KP Zeespiegelstijging relevant zijn of zijn onderzocht. Tot slot worden de resultaten vergeleken met de andere thema's binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging: waterveiligheid en zoetwater.

## **Het effect van de snelheid van zeespiegelstijging**

De suppletievolumes zoals weergegeven in dit rapport zijn volledig afhankelijk van de gebruikte curves voor zeespiegelstijging zoals weergegeven in Figuur 3. Als de zeespiegelstijging in werkelijkheid anders blijkt te gaan, dan worden de jaarlijkse volumes ook anders. Dit is met name belangrijk als de snelheid van zeespiegelstijging plotseling sterk toeneemt, bijvoorbeeld door zeer snelle afbraak en smelt van de ijskappen van Antarctica.

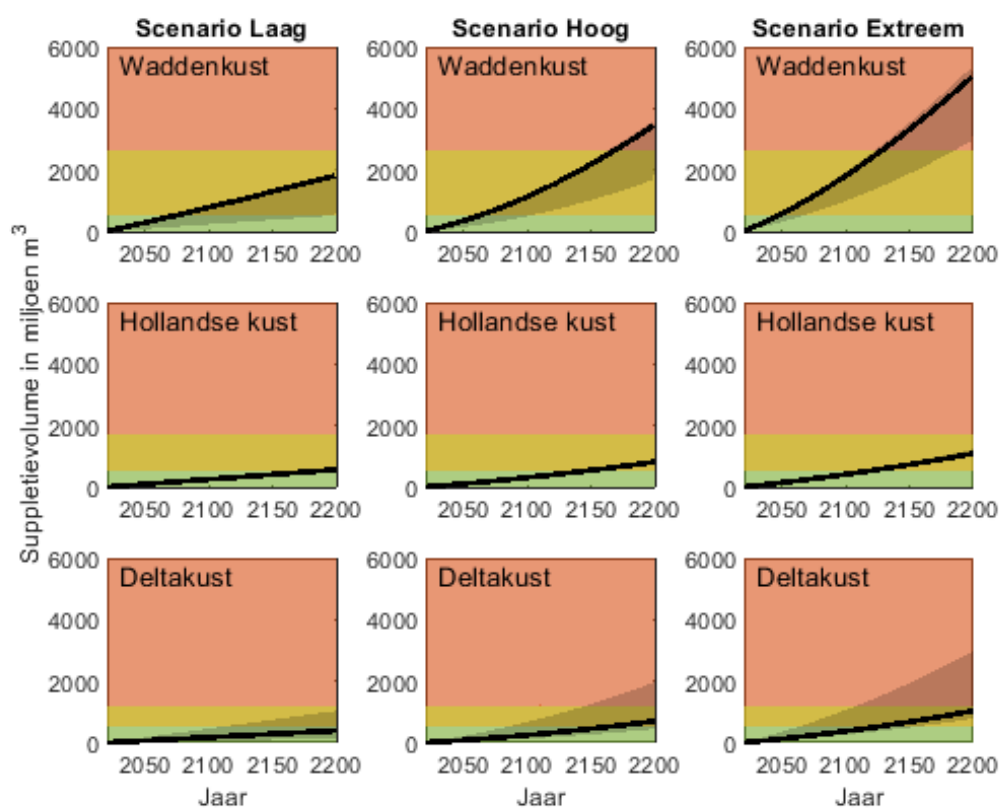
## **De randvoorwaarde van zandbeschikbaarheid**

De haalbaarheid van de gekozen suppletiestrategie, en de houdbaarheid van de zandige strategie in het algemeen, worden voor een groot deel bepaald door de zandbeschikbaarheid in het voor zandwinning gereserveerde gebied op de Noordzee (Figuur 12). Zoals zichtbaar is in Figuur 12, wordt dit gebied niet exclusief gebruikt voor zandwinning. Een deel van het oppervlak is toegewezen aan onder andere kabels, leidingen en windparken. Van het gebied dat overblijft na uitsluiting van deze delen, is op dit moment zo'n 40% niet winbaar doordat er nog potentieel ontplofbare oorlogsresten uit de Tweede Wereldoorlog zouden kunnen liggen. Tot slot zitten er ook onzekerheden in de aanwezigheid van kwalitatief geschikt zand in de Noordzeebodem (Rijkswaterstaat, 2022). Rekenkundig gezien is niet met 100% zekerheid vast te stellen waar precies de juiste zandlagen te vinden zijn en hoe dik deze zijn. Beleidsmatig gezien zijn er grote onzekerheden over de toekomstige beschikbaarheid van wingebieden in verband met de toenemende vraag naar ruimte voor ander gebruik van de Noordzee, zoals de verwachte toename aan windparken. Aan de andere kant zijn de huidige beperkingen, bijvoorbeeld omtrent ontplofbare oorlogsresten, wellicht in de toekomst niet meer nodig in de huidige vorm. Hiermee kan het aantal wingebieden en daarmee de zandbeschikbaarheid mogelijk vergroot worden. Bovendien wordt er op dit moment tot 6 m diepte zand gewonnen, deze winddiepte zou in de toekomst ook vergroot kunnen worden.



Figuur 12: Structuurvisiekaart Noordzee (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2022))

Omdat de onzekerheden op langere termijn aanzienlijk zijn, worden de suppletievolumes in Figuur 13 per regio vergeleken met de huidige inzichten in zandbeschikbaarheid. Het is duidelijk dat bij de Waddenkust zelfs onder lage zeespiegelstijging de beschikbare zandvoorraden niet lang toereikend zijn; wellicht ontstaan er al vóór 2060 problemen in dit gebied. Langs de Hollandse kust en Deltakust zijn vraag en aanbod beter op elkaar afgestemd; zelfs bij extreme zeespiegelstijging zouden de voorraden regionaal gezien tot voorbij 2100 voldoende moeten zijn. Dit sluit echter niet uit dat er voor die tijd lokaal al knelpunten kunnen ontstaan. Deze zijn er nu al, bijvoorbeeld bij Walcheren, IJmuiden en Texel (Vermaas en Bakx, 2023). Daarom wordt aanbevolen om de voorgenoemde beperkingen in de zandwinning te verminderen, om voor zowel de huidige als de toekomstige situatie meer winbaar zand beschikbaar te krijgen.



Figuur 13: Suppletievolumes (zwarte lijnen) en bandbreedtes per regio (van boven naar beneden, zelfde als in Figuren 9-11) per scenario van zeespiegelstijging (van links naar rechts). Kleuren geven de zandbeschikbaarheid aan onder de huidige voorwaarden en beperkingen (winddiepte 5 m, huidige ruimtelijke ordening, 40% verlies door potentieel ontplofbare oorlogsresten, huidige kennis ondergrond): het groene volume is beschikbaar, oranje is misschien beschikbaar en rood is niet beschikbaar. Met andere beperkingen en aanvullende kennis van de ondergrond kan mogelijk meer volume beschikbaar komen.

## Versteiling

Het onderzoek binnen Zandige Kust wijst uit dat er sprake is van verdieping van de diepe vooroever (Van der Spek, 2025), terwijl de actieve zone dankzij suppleties meegroeit met de zeespiegel (Taal et al., 2023). Het zand uit de actieve zone verplaatst zich netto gezien niet of slechts beperkt naar dieper water. Het resultaat is dat het kustprofiel de afgelopen decennia relatief steiler is geworden. Op basis van dit onderzoek is nog niet te zeggen of de relatieve versteiling een probleem is. Uit het actieve zone-concept blijkt dat een steiler profiel geen belemmering vormt voor het bereiken van de lange termijn doelen (duurzaam handhaven van de veiligheid en de functies en waarden van duingebieden). Dit komt omdat

het gesuppleerde zand netto in de actieve zone blijft. Zo lang de aanname blijft gelden dat meestijden van de actieve zone voldoende borging geeft voor het behoud van functies, worden ook de tactische en operationele doelen van het kustbeleid gehaald.

Er kan natuurlijk op de lange termijn een moment ontstaan dat het profiel zo steil wordt, dat de gradiënt in de bodem ervoor gaat zorgen dat zand zich netto gaat verplaatsen van de actieve zone naar de diepe vooroever. In Taal et al. (2025) is hiervoor in de berekeningen een onzekerheidsmarge opgenomen in de breedte van de actieve zone. Mocht het netto transport naar de diepe vooroever in de toekomst groter worden dan kan daarop geanticipeerd worden middels de periodieke herijkingen van het delta programma. Hiervoor is het van groot belang dat de monitoring van de ontwikkeling van de (diepe) vooroever wordt voortgezet of geïntensiveerd.

### **Uitvoeringservaring**

Uit de huidige studie blijkt dat maatregelenpakket 1 in theorie nog lange tijd voldoende is om in de suppletiebehoefte te voorzien. In de huidige uitvoeringspraktijk blijkt echter dat het nu al lastig is om het huidige benodigde suppletievolume van gemiddeld 5,7 miljoen m<sup>3</sup> per jaar voor de Waddenkust aan te brengen, ook met het reeds vergroten van de gebruikelijke suppletievolumes. De redenen hiervoor zijn bijvoorbeeld beperkte lokale noodzaak tot suppletie (omdat de BKL niet overschreden wordt) en beperkingen vanuit natuurdoelstellingen. Daarom komen maatregelen uit maatregelenpakket 2 in deze regio nu al in beeld, aanzienlijk sneller dan volgens de huidige studie wordt voorspeld. Het is dan ook aan te bevelen om buitendeltasuppleties nu alvast operationeel te maken. Op die manier wordt er ervaring opgedaan die kan worden ingezet op het moment dat deze suppleties echt noodzakelijk worden.

Verder is het goed om te bedenken dat technologische vooruitgang, aanpassing in regelgeving, nieuwe kennisinzichten op ecologie en morfologie de operationele uitvoering in de toekomst zullen veranderen. Met name voor systeemsuppleties lijkt continue voeding bijvoorbeeld een mogelijkheid, dit is verder verkend in Taal et al. (2023b). Dit alles kan ervoor zorgen dat de grote suppletievolumes die nodig zijn bij extreme zeespiegelstijging, wellicht makkelijker kunnen worden aangebracht dan nu wordt voorzien.

### **Vergelijking resultaten met andere thema's KP ZSS (Waterveiligheid en Zoetwater)**

Het feit dat de sedimentbehoefte van de kust gecompenseerd kan worden met suppleties betekent niet automatisch dat ook de waterveiligheid voor heel de Nederlandse kust geborgd is. Daarvoor moeten ook de maatregelen uitgewerkt in het KP ZSS thema Waterveiligheid in acht genomen worden. Denk hierbij aan het verhogen en verbreden van dijken, en het vergroten van pompcapaciteit van gemalen. Omgekeerd is het ook het geval; op dit moment worden veel dijken en harde keringen extra beschermd door de aanwezigheid van ondiepe voorlanden. Denk hierbij aan de dijken van de vastelandskust van Groningen, waar uitgebreide kwelders en zandplaten van de Waddenzee zorgen voor golfbreking. Als de Waddenzee dieper wordt, dan zullen golven deze dijken makkelijker bereiken en ondervinden de dijken een zwaardere golfbelasting. Daarom is het ook voor de waterveiligheid van de dijken en harde keringen van belang dat de suppletiebehoefte van de zandige kust blijvend wordt aangebracht (Rijkswaterstaat, 2024b).

Ook tussen de thema's Zandige Kust en Zoetwater bestaan er interacties, zij het van kleinere orde dan tussen de keringen en de zandige kust. Uit een studie van het KP ZSS thema Zoetwater blijkt dat het meestijden van de kust door middel van suppleties een licht positief effect heeft op de zoetwatervoorraad in de duinen (Oude Essink en Horta Nogueira, 2024). Door zeespiegelstijging neemt de hoeveelheid zoet water in de duinen af (-5,7% bij 1 m

zeespiegelstijging), maar als de kust mee kan stijgen door middel van suppleties neemt de hoeveelheid zoet water minder sterk af (-5,2% bij 1 m zeespiegelstijging).

# 9 Conclusies

Dit rapport richt zich op het effect van versnelde zeespiegelstijging op de houdbaarheid en oprekbaarheid van de voorkeursstrategie voor de zandige kust. De hoofdconclusies zijn:

- De strategische doelen van het kustbeleid – duurzaam handhaven van de veiligheid en duurzaam behoud van de functies en waarden in duingebieden – lijken houdbaar tot 5 m zeespiegelstijging.
- Ook de werkwijze op tactisch niveau – behoud van sediment in de actieve zone, toevoegen van zand aan het kuststelsel – lijkt houdbaar tot 5 m zeespiegelstijging. Daarvoor zijn grotere hoeveelheden zand nodig dan nu het geval is.
- Op operationeel niveau zijn er aanpassingen in de werkwijze te verwachten ten opzichte van de soorten suppleties die nu worden gebruikt. Dit betekent dat er (met name in de regio Waddenkust) vaker grootschalige suppleties nodig zijn. Daarmee is het mogelijk de straks benodigde grotere hoeveelheden zand daadwerkelijk aan te brengen.
- De zandbeschikbaarheid, die nu al onder druk staat, wordt een steeds groter punt van zorg. In theorie is er voldoende zand in de Noordzee aanwezig, maar in de praktijk blijkt dat vaak niet winbaar. Daarom wordt aanbevolen om de beperkingen in de zandwinning te verminderen, om voor zowel de huidige als de toekomstige situatie meer winbaar zand beschikbaar te krijgen.

Belangrijke deelconclusies zijn:

- Uit de analyses die gedaan zijn in het kader van Zandige Kust blijkt dat het suppletiezand zich in een relatief beperkte zone verspreidt. Door te suppleren binnen deze zogenaamde “actieve zone” is afgelopen decennia voldaan aan de doelstellingen van het suppletiebeleid (behoud van veiligheid en behoud van waarden en functies in het duingebied). De sedimentbehoefte van de kust op lange tijdschaal is berekend met de aanname van het voorzetten van de suppletiestrategie in de actieve zone.
- De suppletiebehoefte neemt toe onder versnelde zeespiegelstijging. Bij 5 meter zeespiegelstijging in 2200 wordt de verwachte jaarlijkse suppletiebehoefte landelijk gezien 5x zo groot als nu. Een groot deel van de toename komt voor rekening van de regio Waddenkust. Deze wordt bij 5 m zeespiegelstijging in 2200 jaarlijks 6,5 keer zo groot als nu, terwijl de suppletiebehoefte in de Hollandse Kust en Deltakust respectievelijk 2,5 en 3,5 keer zo groot wordt.
- Zowel de verwachte suppletiebehoefte als de onzekerheidsbandbreedte daaromheen zijn het grootst in de regio Waddenkust.
- Om blijvend invulling te geven aan de zandige strategie moet de huidige werkwijze voortgezet worden en zijn aanvullende suppletievormen nodig. Maatregelen variëren

van suppleren op meer locaties en met grotere volumes (pakket 1) tot grootschalige suppletievormen als zandmotorconcepten en buitendeltasuppleties (pakket 2).

- De verwachting is dat de duinen bij voortzetting van de zandige strategie kunnen meegroeien met zeespiegelstijging en dat daarmee veiligheid tegen overstromen door de duinwaterkeringen behouden blijft.
- Hogere suppletievolumes leiden bij voortzetting van de huidige werkwijze tot meer CO<sub>2</sub>-emissie, een groter beïnvloed kustoppervlakte en meer negatieve effecten op bodemdieren.

# Bronvermelding

- Arens, S.M., Van Puijvelde, S.P. & Brière C. (2010). Effecten van suppleties op duinontwikkeling. Rapportage geomorfologie. Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij, Rapport nr. 2010/OBN142-DK
- Beets, D.J., Van der Valk, L. & Stive, M.J.F. (1992). Holocene evolution of the coast of Holland. *Marine Geology*, 103, 423-443. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(92\)90030-L](https://doi.org/10.1016/0025-3227(92)90030-L)
- Brand, E., Lodder, Q., Quataert, E., & Slinger, J. (2025). Sustainable coastline management – the cumulative effects of 30 years of nourishments in the Netherlands. *Ocean and Coastal Management*, 270, Article 107895. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107895>
- Cleveringa, J. (2024). Effect van zandsuppleties op functies in de kustzone bij toenemende zeespiegelstijging. Arcadis rapport YNAZZ7T4N37D-1129855941-175:1
- De Groen, F., Van Zelst, V., Van der Valk, L. & Arens, B. (2019). Natuurlijk Veilig door Kust- en Zeereepbeheer. Deltares rapport 11203683-002-ZKS-0014.
- Vermaas, T. & Bakx, E. (2023). Oplossingsrichtingen ten behoeve van de beschikbare zandvoorraad. Deltares rapport 11209329-002-BGS-0002
- De Wit, L., Grasmeyer, B., Van Kessel, T., Dees, N., Meijers, C. & Quataert, E. (2024). Abiotische effecten baggeren en verspreiden in de Waddenzee. Deltares rapport 11210370-014-ZKS-0001
- Elias, E., Quataert, E., Taal, M. & Vermeer, N. (2024). Sedimentbalans Nederlandse Kust. Deltares rapport 11207897-002-ZKS-0007
- Geukes, H.H., Kettler, T.T., De Schipper, M.A., Van Bodegom, P.M. & Van Oudenhoven, A.P.E. (2025). Evaluating coastal multifunctionality: sand nourishment strategies at decadal timescales. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114487>
- HKV. (2024). Duindynamiek en Zeespiegelstijging, beschouwing van het duingebied bij toenemende zeespiegelstijging. HKV-rapport PR5239.10
- Huisman, B. (2024). Transporten in de ondiepe Nederlandse kustzone - Data en modelanalyse als basis voor de sedimentbalans van de ondiepe kust. Deltares rapport 11207897-002-ZKS-0005

- Huismans, Y., Van der Spek, A., Lodder, Q., Zijlstra, R., Elias, E. & Wang, Z.B. (2022). Development of intertidal flats in the Dutch Wadden Sea in response to a rising sea level: Spatial differentiation and sensitivity to the rate of sea level rise. *Ocean & Coastal Management, Volume 216*, 105969, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105969>
- IPCC. (2023): Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Kamerstukken/27625-557. (2021). Stand van zaken van een aantal onderwerpen en over de invulling van een aantal moties en toezeggingen. Brief voor het Wetgevingsoverleg Water van 22 november 2021. [https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven\\_regering/detail?id=2021Z20595&did=2021D43934](https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2021Z20595&did=2021D43934)
- Lodder, Q., Huismans, Y., Elias, E., De Loeff, H. & Wang, Z.B. (2022). Future sediment exchange between the Dutch Wadden Sea and North Sea Coast - Insights based on ASMITA modelling. *Ocean & Coastal Management, Volume 219*, 106067. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106067>
- Lodder, Q. J. (2024). Connecting science and policy in Dutch coastal management: The role of system understanding and conceptual models. *PhD Thesis, Delft University of Technology*. <https://doi.org/10.4233/uuid:9263ad52-7e4a-45af-ba57-9aaa43eb5f03>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2022). Programma Noordzee 2022-2027. <https://www.noordzeeloket.nl/programma-noordzee-2022-2027>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit & Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2022). Nationaal Water Programma 2022-2027
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2023). Basiskustlijn 2023. Herziening van de ligging van de basiskustlijn. [https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/185076/basiskustlijn\\_2023\\_defc.pdf](https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/185076/basiskustlijn_2023_defc.pdf)
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (1990). Kustverdediging na 1990.
- Nolte, A., Van Oeveren-Theeuwes, C., Van der Werf, J., Tonnon, P.K., Grasmeijer, B., Van der Spek, A., Elias, E. & Wang, Z.B. (2020a). Technisch Advies Sedimentbehoefte Kustfundament ten behoeve van het beleidsadvies Kustgenese 2.0. Deltares rapport 1220339-009-ZKS-0014.
- Oude Essink, G., Horta Nogueira, G.E. (2024). Effecten zeespiegelstijging op zoetwater in de Nederlandse duinen. Deltares rapport 11210315-005-BGS-0001
- Rijkswaterstaat. (2020). Kustgenese 2.0: kennis voor een veilige kust.
- Rijkswaterstaat. (2021a). Tijdlijnen voor Spoor 2 Kennisprogramma Zeespiegelstijging. RWS memo.
- Rijkswaterstaat. (2021b). Historische suppletievolumes voor handhaven kustlijn Delta, Holland en Waddengebied. Rijkswaterstaat-WVL memo. <https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/4518/memo-historische-suppletievolumes.pdf>
- Rijkswaterstaat. (2022). Beschouwing beschikbaarheid zand. Rijkswaterstaat-WVL memo.

- Rijkswaterstaat. (2023). Synthese: oplossingsrichtingen om zandwinning te borgen in het kader van de Partiële Herziening. Rijkswaterstaat-ZD memo.  
<https://open.rijkswaterstaat.nl/@297395/synthese-oplossingsrichtingen>
- Rijkswaterstaat. (2024a). Kustlijinkaarten 2025.  
<https://open.rijkswaterstaat.nl/@281477/kustlijinkaarten-2025/>
- Rijkswaterstaat. (2024b). Systemanalyse Waterveiligheid, Deelrapportage Zandige waterkeringen kust – Impact van 3 tot 5 meter zeespiegelstijging.
- Rijkswaterstaat. (2025a). Accommodatieruimte per kustvak op basis van gangbare suppletie methoden. RWS memo.
- Rijkswaterstaat. (2025b). Jaarrapportage baggerwerkzaamheden Waddenzee 2024.  
[https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/211687/jaarrapportage\\_baggerwerkzaamheden\\_waddenzee\\_2024\\_1.pdf](https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/211687/jaarrapportage_baggerwerkzaamheden_waddenzee_2024_1.pdf)
- Stive, M.J.F. & De Vriend, H.J. (1995). Modelling shoreface profile evolution. *Marine Geology*, 126, 235-248. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(95\)00080-I](https://doi.org/10.1016/0025-3227(95)00080-I)
- Stolte, W., Baart, F., Muis, S., Hijma, M., Taal, M., Le Bars, D. & Drijfhout, S. (2023). Zeespiegelmonitor 2022. Deltares rapport 11209266-000-ZKS-0001
- Taal, M., Quataert, E., Van der Spek, A., Huisman, B., Elias, E., Wang, Z.B. & Vermeer N. (2023a). Sedimentbehoefte Nederlands kuststelsel bij toegenomen zeespiegelstijging. Deltares rapport 11207897-002-ZKS-0004
- Taal, M., IJff, S. & De Boer, W. (2023b). Duurzaam kustonderhoud in de nabije en verre toekomst; Synthesedocument Dutch Coastline Challenge. Deltares rapport 11207047-005-HYE-0002
- Taal, M., Huisman, B., Elias, E., Van der Spek, A., Quataert, E., Vermeer, N. & Wang, Z.B. (2025). Zand en Zee in Balans op lange termijn. Technisch eindrapport Zandige Kust voor Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Deltares rapport 11207897-002-ZKS-0009
- Tweede Kamer der Staten-Generaal (2005). Nota ruimte: Ruimte voor ontwikkeling. Kamerstuk 29435, nr. 154.  
[https://www.eerstekamer.nl/behandeling/20050412/deel\\_3a\\_aangepast](https://www.eerstekamer.nl/behandeling/20050412/deel_3a_aangepast)
- Van der Spek, A.J.F. & Beets, D.J. (1992). Mid-Holocene evolution of a tidal basin in the western Netherlands: a model for future changes in the northern Netherlands under conditions of accelerated sea level rise? *Sedimentary Geology*, 80, 185-197.  
[https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90040-X)
- Van der Spek, A., Van der Werf, J., Grasmeyer, B., Vreugdenhil, H., Van Oeveren – Theeuwes, C. & Nolte, A. (2020). Technisch Advies Mogelijkheid voor een Alternatieve Zeewaartse Grens van het kustfundament; ten behoeve van het beleidsadvies Kustgenese 2.0. Deltares rapport 1220339-009-ZKS-0013.
- Van der Spek, A. (2025). Ontwikkeling diepe vooroever Nederlandse kust. Deltares rapport 11207897-002-ZKS-0012
- Van der Werf, J. (2022). Netto zandtransporten op de laterale grenzen van het Kustfundament. Deltares rapport 11207897-002-ZKS-0003

Vergouwen, S. & Meijer-Holzauer, H. (2016). Ontwikkeling van het bodemleven in de vooroever na aanleg van een onderwatersuppletie. Case studie Ameland en Schiermonnikoog 2009-2014. Deltares rapport 1220040-008-ZKS-0012

Wang, Z.B., Elias, E., Van der Spek, A.J.F. & Lodder, Q. (2018). Sediment budget and morphological development of the Dutch Wadden Sea: Impact of accelerated sea-level rise and subsidence until 2100. *Netherlands Journal of Geosciences*, 97, 183-214.  
<https://doi.org/10.1017/njg.2018.8>

# Begrippenlijst

**Accommodatieruimte** – ruimte waar sediment blijvend kan bezinken.

**Actieve zone** – het deel van het kuststelsel waarin gesuppleerd zand zich daadwerkelijk verspreidt en bijdraagt aan het behalen van de strategische doelen van het kustbeleid. De actieve zone ligt globaal tussen NAP -8 m en de eerste duinenrij.

**Basiskustlijn (BKL)** – De wettelijk vastgelegde referentielijn voor het handhaven van de kustpositie. Rijkswaterstaat beoordeelt jaarlijks of de BKL wordt overschreden en zet waar nodig zandsuppleties in om de kustlijn te herstellen en waterveiligheid te waarborgen.

**Buitendelta** – zandlobben aan de Noordzezijde van de zeegaten tussen eilanden. Ze worden gevormd door het samenspel van golven en getijstroming, vooral tijdens eb.

**Kustfundament** – het zandige gebied, nat én droog, dat als geheel van belang is als drager van functies in het kustgebied. Aan de zeewaartse kant wordt het kustfundament begrensd door de doorgaande NAP -20 m dieptelijn; aan de landwaartse zijde omvat het alle duingebieden én alle daarop gelegen harde zeeweringen. Het kustfundament is als zodanig vastgelegd in beleidsdocumenten, en wordt ook gebruikt als begrenzing voor o.a. zandwinning en Natura2000-gebieden.

**Regio's** – deelgebieden van de Nederlandse kustzone

*Deltakust* – het gebied van de Nederlands-Belgische grens tot aan de Tweede Maasvlakte.

*Hollandse Kust* – het gebied vanaf de Tweede Maasvlakte tot aan Groote Keeten.

*Waddenkust* – de Noordzeekustzone van het Waddengebied, die loopt vanaf Groote Keeten tot aan de Nederlands-Duitse grens.

**Rekenkundig kustfundament** – een afgeleide van het kustfundament, bedoeld om de sedimentbehoefte en suppletievolumes te bepalen in Rijkswaterstaat (2020). Deze is gebaseerd op de morfologisch zeewaartse begrenzing van het kustfundament. De ligging hiervan wijkt af van die zoals gebruikt voor het kustfundament (doorgaande NAP -20 m dieptelijn) en ligt meer landwaarts, tussen NAP -19 m en -12,5 m.

**Sedimentbehoefte** – de hoeveelheid sediment die theoretisch nodig is om de kust (kustfundament of actieve zone) volledig te laten meegroeien met zeespiegelstijging en de zandverliezen uit de gebieden, bijvoorbeeld naar de Waddenzee, volledig te compenseren.

**Suppletiebehoefte** - het suppletievolume dat nodig is om een kustvak te onderhouden ten behoeve van de waarden en functies in het betreffende kustvak.

**Systeemsuppletie** - suppleties die, vergeleken met strand- en vooroeversuppleties, een groter volume hebben, langere tijd hun werk doen en meestal het kustsysteem op grotere schaal versterken of beïnvloeden. Hieronder wordt momenteel verstaan:

*Buitendeltasuppletie* – systeemsuppletie op de buitendelta om het morfologische systeem te volgen of te beïnvloeden.

*Zandmotorconcept* – systeemsuppletie voor natuurlijke kustbescherming, waarbij wind, golven en stroming het zand geleidelijk verspreiden om de kustlijn te versterken en nieuwe natuur en recreatieruimte te creëren.

**Voorkeurstrategie** – de huidige nationale strategie voor kustbeheer, gericht op het dynamisch handhaven van de kustlijn en het duurzaam borgen van waterveiligheid en kustfuncties. Deze strategie maakt primair gebruik van zandsuppleties en vermijdt harde kustverdediging waar mogelijk.

# Bijlage 1

In Tabel 5 staan de jaarlijkse suppletievolumes per zichtwaarde van zeespiegelstijging in het betreffende zichtjaar. Om deze getallen te verkrijgen, zijn alle onderdelen van de rekenregel voor het suppletievolume los ingevuld per regio, gebruik makend van de jaarlijkse zeespiegelstijging zoals weergegeven in Figuur 4.

Tabel 5: Jaarlijks suppletievolume per zichtwaarde van zeespiegelstijging in het betreffende zichtjaar voor de Nederlandse kust, in miljoenen m<sup>3</sup>. AZ = Actieve Zone.

Suppletievolume Nederlandse kust - totaal						
zichtwaarde	0,5 m	1 m	2 m	1 m	3 m	5 m
scenario zeespiegelstijging	laag	hoog	extreem	laag	hoog	extreem
eindjaar	2100	2100	2100	2200	2200	2200
<b>1. Volumens actieve zones in gebieden waar kustonderhoud plaatsvindt</b>						
Waddenkust, meegroeien AZ	2,9	8,8	15,6	3,0	15,1	24,0
Waddenkust, transport uit AZ	7,1	9,6	11,8	7,8	12,6	13,1
Hollandse kust, meegroeien AZ	0,6	1,9	3,4	0,6	3,2	5,2
Hollandse kust, bolwerk	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Deltakust, meegroeien AZ	0,8	2,3	4,1	0,8	4,0	6,3
Deltakust, transport uit AZ	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Deltakust, bolwerk	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>Totaal onderdeel 1</b>	<b>15,3</b>	<b>26,5</b>	<b>38,8</b>	<b>16,1</b>	<b>38,8</b>	<b>52,5</b>
<b>2. Aanvullende volumes i.v.m. onzekerheden actieve zones in gebieden waar kustonderhoud plaatsvindt</b>						
Extra breedte AZ	0,3	0,9	1,7	0,3	1,6	2,6
Deltakust uitbreiding AZ	0,6	1,8	3,3	0,6	3,2	5,0
Meer transport naar Westerschelde uit actieve zone	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Totaal aanvullende volumes</b>	<b>1,9</b>	<b>3,7</b>	<b>6,0</b>	<b>1,9</b>	<b>5,8</b>	<b>8,6</b>
<b>3. Mogelijk aanvullende volumes mee te groeien gebieden, waar nu geen kustonderhoud plaatsvindt</b>						
Groninger Wad	0,1	0,7	1,4	0,1	0,9	1,6
Vlakte van de Raan (VvR)	0,8	2,5	4,4	0,8	4,3	6,8
Meer transport naar Westerschelde uit VvR	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Totaal mogelijk aanvullend mee te groeien volumes</b>	<b>1,9</b>	<b>4,2</b>	<b>6,8</b>	<b>1,9</b>	<b>6,2</b>	<b>9,4</b>
<b>TOTAAL onderdelen 1, 2, 3</b>	<b>19,1</b>	<b>34,4</b>	<b>51,6</b>	<b>19,9</b>	<b>50,8</b>	<b>70,5</b>