



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Kustgenese 2.0: kennis voor een veilige kust

Water. Wegen. Werken. Rijkswaterstaat.



Colofon

*Dit rapport is een uitgave van Rijkswaterstaat.
Het rapport is tot stand gekomen door
samenwerking van het Kernteam Kustgenese 2.0,
bestaande uit Carola van Gelder, Judith Litjens,
Harry de Looff, Quirijn Lodder en Cor Schipper.*

*Het rapport dient gerefereerd te worden als:
Rijkswaterstaat, 2020. Kustgenese 2.0: kennis
voor een veilige kust.*

Tekstproductie
Bureau Landwijzer

Fotografie
Beelden van beeldbank Rijkswaterstaat.
Illustraties op pagina 3 en 79 door Carola
van Gelder.

Kustgenese 2.0: kennis voor een veilige kust



Samenvatting

In 2020 is het onderzoeksprogramma Kustgenese 2.0 afgerond. Dit programma, dat in 2015 van start ging, had tot doel om kennis te genereren over het Nederlandse zandige kuststelsel, om na 2020 goed onderbouwde besluiten te kunnen nemen over toekomstig beleid en beheer van dit stelsel. Hiertoe werden onder andere onderzoeken uitgevoerd naar de hoeveelheid sediment (zand en slib) die het kustfundament¹ op verschillende tijdschalen nodig heeft om in evenwicht te blijven, naar de verdeling van dit zand langs de kust, de ecologie van het Amelandse Zeegat en naar de mogelijkheden van suppleren op een buitendelta. Op grond van de resultaten van Kustgenese 2.0 – en op grond van de resultaten van gerelateerd onderzoek en de ervaring met 25 jaar suppleren – heeft Rijkswaterstaat het ‘Beleidsadvies Kustgenese 2.0’ uitgebracht (RWS, 2020). Dit syntheserapport vormt de onderbouwing van het beleidsadvies.

De Nederlandse kust is voor het overgrote deel opgebouwd uit enorme hoeveelheden zand. Zand is cruciaal voor de bescherming van het achterland tegen overstromingen en vormt de basis voor tal van andere functies, zoals natuur en recreatie. Op dit moment is de zandbalans van het kuststelsel echter niet in evenwicht. Dat komt onder meer doordat de rivieren – onder invloed van allerlei menselijke ingrepen in de stroomgebieden – nog maar weinig zand vanuit de bergen naar de Nederlandse kust transporteren. Tegelijkertijd ‘vraagt’ de kustzone om zand om de zeespiegelstijging te compenseren. Ook is er zand nodig voor het aanvullen van de natuurlijke zandtekorten in de zuidwestelijke Delta en de Waddenzee, die onder meer een gevolg zijn van de (gedeeltelijke) afsluiting van de getijdenbekkens en de bodemdaling door gaswinning. De onbalans in de kustzone leidt tot processen zoals structurele kusterosie, naar de kust oprukkende geulen en krimpende buitendelta’s.

Kustbeleid

Om deze ontwikkelingen het hoofd te bieden, vormt het op orde houden van de sedimentbalans een speerpunt van het kustbeleid. Zandsuppleties vormen het belangrijkste middel hiervoor. De basis voor het huidige kustbeleid werd gelegd in 1990, toen de eerste Kustnota van kracht werd. Er werd toen gekozen voor ‘duurzame handhaving van de veiligheid van het achterland tegen overstromingen vanuit de zee en voor duurzaam behoud van functies en waarden in het duingebied’ (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990). Deze strategische doelen van het kustbeleid zijn in latere nota’s steeds herbevestigd en vormen nog steeds de kern van het kustbeleid.

Aanvankelijk hadden de zandsuppleties vooral tot doel om de kustachteruitgang tegen te gaan, met de basiskustlijn (bkl) als referentie. Medio jaren ’90 van de vorige eeuw werd gesignaleerd dat de diepere vooroever (tussen de NAP -8m en NAP -20m dieptelijn) steiler werd en er zand vanuit de ondiepe kustzone naar de diepe Noordzee werd getransporteerd. Omdat doorgaand zandverlies uit de ondiepe zone zou kunnen leiden tot kusterosie en golfaanval op de duinen en daarmee tot extra kustonderhoud, werd besloten om vanaf 2001

¹ Zie de Begrippenlijst voor de definitie van vaktermen.

extra zand te suppleren om de zandbalans op orde te houden (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000). Dit is operationeel gemaakt via de invoering van het 'kustfundament' en de doelstelling om dit kustfundament in structureel evenwicht te houden met de stijgende zeespiegel (Rijksoverheid, 2005). De hoeveelheid zand die hiervoor nodig is wordt de 'sedimentbehoefte' van het kustfundament genoemd.

Huidige suppletie strategie

Volgens het huidige kustbeleid moet er jaarlijks gemiddeld 12 miljoen m³ zand worden gesuppleerd om de zandverliezen te compenseren en het kustfundament in evenwicht te houden (Rijksoverheid, 2016). Deze hoeveelheid zand komt voort uit de berekening van de sedimentbehoefte van het kustfundament in 2005 (Nederbragt, 2005).

In de praktijk bedroeg het van 2001 t/m 2015 gesuppleerde volume zand gemiddeld 13 miljoen m³ per jaar, inclusief het zand dat werd aangebracht voor de aanleg van de erosiebuffers van de zandige, zeewaartse versterkingen (sinds 2008), de Zandmotor (in 2011) en het onderhoud van Maasvlakte 2 (sinds 2013).

In 2016 bleek dat de zandige kust goed voorzien was van zand en er tijdelijk minder zand voor het kustonderhoud nodig was. Dat had deels te maken met de grote hoeveelheid zand die door genoemde projecten aan het kuststelsel toegevoegd was. Daarnaast bleek het in de voorgaande jaren gesuppleerde zand langer te blijven liggen dan eerder was verwacht (effectievere suppleties). Daarom werd voor de periode 2016 t/m 2019 een lager volume geprogrammeerd, namelijk 9,5 miljoen m³ zand/jaar (inclusief de pilotsuppletie op de buitendelta bij Ameland en het onderhoud van de Maasvlakte). In de praktijk kwam het van 2016 t/m 2019 gesuppleerde volume zand iets hoger uit (gemiddeld 10,5 miljoen m³ per jaar). Dit komt doordat er in deze periode ook suppleties werden uitgevoerd die al voor 2016 waren gepland².

Verreweg het grootste deel van het zand is gesuppleerd op locaties waar dit nodig was voor het handhaven van de positie van de kustlijn op een termijn van 0 tot 20 jaar. Het ging hierbij om strandsuppleties, vooroever-suppleties en geulwandsuppleties.

Aanvullend hierop is er extra zand gesuppleerd voor het in evenwicht houden van het kustfundament op de langere termijn (>20 jaar). Dit gebeurde vooral via pilots met nieuwe (grootschaligere) suppletievormen, zoals de Zandmotor en een suppletie op de buitendelta. Deze vormen zitten (nog) niet in de standaard 'gereedschapskist' van het uitvoeringsprogramma Kustlijnzorg.

Bij de verdeling van suppletiezand langs de kust werd niet expliciet rekening gehouden met de sedimentbehoefte van het regionale kuststelsel. Langs de Hollandse kust is er meer zand gesuppleerd dan de sedimentbehoefte van dat deel van het kustfundament. Dat was nodig om de positie van de kustlijn te handhaven. Langs de Deltakust benaderde het suppletievolume de sedimentbehoefte en langs de kust van de Waddeneilanden werd aanzienlijk minder zand gesuppleerd dan de sedimentbehoefte. Reden daarvoor was dat daar relatief weinig zand nodig was om structurele achteruitgang van de kust te voorkomen (Mulder & Lodder, 2012).

² Tussen de planning en de uitvoering van de suppleties zit vaak een tijdsverschil, bijvoorbeeld doordat er vertragingen optreden in aanbestedingen. Ook loopt de uitvoering van suppleties vaak over de jaargrensen heen, waardoor deze dus in twee kalenderjaren valt.

Dwars op de kust gezien is het meeste zand geconcentreerd aangebracht in een beperkt deel van het kustfundament, namelijk vooral op het strand, op de vooroever tussen de NAP -8m en -5m dieptelijn en tegen de landwaartse wand van een getijdengeul dicht bij de kust. De gesuppleerde zone vormt dus maar een klein deel van het gehele kustfundament. Op een tijdschaal van 0 tot 20 jaar blijkt dat dit zand zich slechts beperkt herverdeelt. Langs de Hollandse kust blijkt bijvoorbeeld dat het in de ondiepe zone gesuppleerde zand zich nog niet of langzaam verspreidt naar de diepere kustzone (dieper dan ca. NAP -8 m). Daardoor wordt het profiel van sommige delen van de Hollandse kust relatief steiler. De komende 20 jaar wordt niet verwacht dat dit effect heeft op de strategische doelen van het kustbeleid. Mogelijk kan dit op langere termijn wel optreden. Dit aspect vraagt om nader onderzoek.

Realisatie van beleidsdoelen

Zandsuppleties leveren een belangrijke bijdrage aan het behalen van de strategische doelen van het kustbeleid: duurzame handhaving van de veiligheid en duurzaam behoud van functies en waarden in het duingebied.

Wat betreft de operationele doelen van het kustbeleid geldt dat er met de jaarlijkse zandsuppleties wel wordt voldaan aan het handhaven van de positie van de kustlijn, maar niet geheel aan het in evenwicht houden van het kustfundament met de stijgende zeespiegel. Vooral langs de Waddenkust wordt de sedimentbehoefte niet volledig gecompenseerd.

Dit heeft meerdere oorzaken:

- Er is een beperkt aantal locaties waar de suppleties die primair bedoeld zijn voor het in evenwicht houden van het kustfundament bijdragen aan andere doelen, zoals recreatie, economische ontwikkeling, natuur of kennisontwikkeling. Dit is een uitgangspunt bij de programmering van dit type suppleties (Rijkswaterstaat, 2019a).
- Er ontbreekt een instrument om 'gericht' invulling te geven aan het programmeren van suppleties voor het kustfundament, zoals de basiskustlijn dat is voor het handhaven van de positie van de kustlijn.
- Suppleties voor het kustfundament zijn op sommige plaatsen moeilijk uitvoerbaar, door bijvoorbeeld ondieptes of de aanwezigheid van getijdengeulen.
- Voor het in evenwicht houden van het kustfundament zijn naar verwachting nieuwe (grotere) vormen van suppleties nodig. Op dit moment bevinden deze vormen zich nog in de pilotfase en is de kennis over de (ecologische) effecten ervan nog in ontwikkeling. Dit kan invloed hebben op de vergunbaarheid.

Dat er nog niet geheel wordt voldaan aan het in evenwicht houden van het kustfundament met de stijgende zeespiegel, vormt voor de komende 20 jaar geen probleem. De ervaring laat zien dat de huidige suppletievolumes volstaan om de kustlijn op een tijdschaal van 0 tot 20 jaar te handhaven en daarmee op deze termijn aan de strategische doelen van het kustbeleid te blijven voldoen. Daarbij wordt uitgegaan van de huidige snelheid van zeespiegelstijging.

Voor de langere termijn (>20 jaar) wordt verwacht dat het in evenwicht houden van het kustfundament steeds belangrijker zal worden voor het behalen van de strategische doelen. Het is immers duidelijk dat de sedimentbalans op lange termijn sturend is voor de ontwikkeling van de kust. Bij een kustfundament dat niet in balans is, is te verwachten dat de golfaanval op strand en duinen op langere termijn toeneemt en er meer kusterosie optreedt. Ook kunnen de buitendelta's kleiner worden, waardoor er minder zand beschikbaar is voor het handhaven van de kustlijn op de Waddeneilanden.

Dat betekent dat het suppletievolume op de lange termijn dichterbij de buurt moet komen van de sedimentbehoefte van het kustfundament. Wanneer dit precies nodig is, is niet aan te geven, omdat de relatie tussen de beleidsdoelen en de sedimentbehoefte van het kustfundament nog niet helemaal scherp is. Hiervoor is meer onderzoek nodig.

Voorstel voor herformulering van de operationele doelen

Op grond van bovenstaande bevindingen, wordt een kleine bijstelling aanbevolen voor twee operationele doelen van het kustbeleid door een tijdshorizon te introduceren. Verwacht wordt dat met deze aangepaste doelen de strategische doelen kunnen worden behaald. De aangepaste doelen kunnen als volgt worden geformuleerd:

- Dynamisch handhaven van de kustlijn op een tijdschaal van 0 tot 20 jaar;
- Voldoende in evenwicht houden van het kustfundament op langere termijn (>20 jaar).

Nieuwe inzichten over de sedimentbehoefte

Een speerpunt binnen het Kustgenese 2.0 onderzoek was het beter kwantificeren van de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035, met een doorkijk naar de periode erna. Daarvoor werd gebruik gemaakt van een in 2016 opgestelde rekenregel. Deze gaat er van uit dat de sedimentbehoefte van het kustfundament gelijk is aan de som van:

- De oppervlakte van het kustfundament keer de zeespiegelstijging;
- Het volume zand dat vanuit het kustfundament wordt geëxporteerd (over de zee- en landwaartse grens, over de staatsgrenzen en naar de getijdenbekkens Waddenzee, Eems en Westerschelde);
- Het volume zand dat nodig is voor de compensatie van bodemdaling van het kustfundament door de winning van delfstoffen en grondwater.

In Kustgenese 2.0 zijn de verschillende termen van deze rekenregel verder onderbouwd en gekwantificeerd (Deltares, 2020a), gebruik makende van zowel resultaten uit Kustgenese 2.0 als andere onderzoeksprogramma's. Daarbij werden soms verschillende keuzemogelijkheden aangegeven, zoals bij de zeewaartse grens van het kustfundament. Voor dit syntheserapport en het bijbehorende beleidsadvies zijn de volgende uitgangspunten/getallen gehanteerd voor het berekenen van de sedimentbehoefte van het kustfundament:

Oppervlak kustfundament keer zeespiegelstijging

Deze term is berekend aan de hand van de volgende drie termen:

- *De actuele (relatieve) zeespiegelstijging*
Op basis van de geanalyseerde metingen wordt er tot 2035 nog geen versnelling van de zeespiegelstijging verwacht. Voor het berekenen van de sedimentbehoefte tot 2035 wordt daarom uitgegaan van de huidige relatieve zeespiegelstijging van 1,86 mm/jaar. Hierin is de geologische bodemdaling meegenomen.
- *De zeewaartse begrenzing van het kustfundament*
Voor het berekenen van de oppervlakte van het kustfundament wordt uitgegaan van een zeewaartse begrenzing die per kustregio verschilt. Daarbij is de grens gebaseerd op de variatie in de bodemligging bezien over een periode van 50 jaar (plus een extra onzekerheidsmarge). De diepte waarop deze variatie stabiliseert, is gebruikt als zeewaartse grens van het kustfundament. De ligging hiervan varieert tussen de NAP -12,5m dieptelijn (voor een deel van de Waddeneilanden) tot de NAP -19m dieptelijn (voor de buitendelta's in het waddengebied). Dit zijn 'rekeninggrenzen' ten behoeve van het berekenen van de sedimentbehoefte. Deze grenzen staan los van de in het huidige beleid vastgestelde grens van het kustfundament, die op de doorgaande NAP -20m dieptelijn ligt en ook wordt gebruikt als begrenzing voor o.a. zandwinning en Natura 2000-gebieden. Er is geen onderzoek gedaan naar de eventuele effecten van beleidsmatige verplaatsing van de zeewaartse grens.

- *De landwaartse begrenzing van het kustfundament*

Er is geen nieuw onderzoek uitgevoerd naar de landwaartse begrenzing van het kustfundament. Voor het bepalen van de sedimentbehoefte wordt daarom uitgegaan van de huidige landwaartse begrenzing. Deze wordt gevormd door de binnenduinrand of – bij smalle duinen door de landwaartse grens van de beschermingszone van de waterkering.

Export van zand uit het kustfundament over de zeewaartse grens

Op grond van de resultaten van Kustgenese 2.0 is het vrij zeker dat er geen verlies van zand optreedt door export over de eerdergenoemde zeewaartse grenzen, maar dat er juist sprake is van een landwaarts gericht transport. De omvang van dit transport is echter niet zeker. Daarom wordt voor deze term een waarde aangehouden van 0 m³/jaar.

Export van zand uit het kustfundament over de landwaartse grens

De huidige aanname dat er geen netto uitwisseling is over de landwaartse grens van het kustfundament wordt ongewijzigd overgenomen. Deze aanname wordt voor het onderhavige doel betrouwbaar geacht.

Het volume zand dat nodig is voor de compensatie van regionale bodemdaling

In de gemeten relatieve zeespiegelstijging is de gemiddelde bodemdaling die optreedt als gevolg van geologische processen 'verwerkt'. Dit geldt niet voor de regionale bodemdaling die het gevolg is van menselijke invloed (zoals de winning van gas en delfstoffen), die vooral optreedt buiten de gebieden waar de meetstations staan. Voor het volume zand dat nodig is om de regionale bodemdaling tot 2035 te compenseren wordt een waarde gehanteerd van 0,4 miljoen m³/jaar langs de Waddenkust, 0,1 miljoen m³/jaar langs de Hollandse kust en 0 miljoen m³/jaar langs de Deltakust.

Export van zand uit het kustfundament naar de Waddenzee en Eems-Dollard

Op grond van nieuwe inzichten kan de netto zandexport vanuit het kustfundament naar de Waddenzee beter worden ingeschat. De export naar de Eems-Dollard – die uit de literatuur is afgeleid – vormt echter een best mogelijke schatting, die met aanzienlijke onzekerheid is omgeven.

Voor het bepalen van de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035 wordt uitgegaan van een netto zandexport naar de Waddenzee en Eems-Dollard van 6.0 miljoen ± 1,7 m³/jaar (waarvan 1,2 miljoen ± 0,8 m³/jaar voor de Eems-Dollard).

Export naar de Westerschelde

Ook de waarde voor de export van zand van het kustfundament naar de Westerschelde tot 2035 is afgeleid uit de literatuur en met aanzienlijke onzekerheid omgeven. Voor het bepalen van de sedimentbehoefte wordt uitgegaan van een netto zandexport naar de Westerschelde van 0,5 ± 0,5 miljoen m³/jaar.

Export over de staatsgrenzen

In Kustgenese 2.0 is geen extra onderzoek uitgevoerd naar het netto zandtransport over de staatsgrenzen. Hoewel het bekend is dat er zand over de grenzen wordt getransporteerd, is de omvang van dit transport niet goed bekend. Daarom wordt de bestaande aanname dat de import van sediment vanuit België gelijk is aan de export naar Duitsland gehandhaafd. Dat betekent dat er voor het bepalen van de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035 wordt uitgegaan van een netto zandexport over de staatsgrenzen van 0 m³/jaar. Hoewel deze aanname waarschijnlijk onjuist is, is er nog onvoldoende kennis om de onzekerheidsmarge aan te geven en/of de aanname bij te stellen.

Uitkomsten rekenregel: sedimentbehoefte van het kustfundament

Uit het invullen van alle waarden van de rekenregel volgt een sedimentbehoefte van het kustfundament van 13,3 miljoen m³ per jaar. Uitgesplitst gaat het om 9,1 miljoen m³ zand/jaar voor de Waddenkust, 1,6 miljoen m³ zand/jaar voor de Hollandse kust en 2,6 miljoen m³ zand/jaar voor de Deltakust.

Nieuwe inzichten over suppleren op de buitendelta

Het Kustgenese 2.0 onderzoek richtte zich enerzijds op de werking van buitendelta's in algemene zin en anderzijds op de pilotsuppletie op de buitendelta van het Amelanders Zeegat.

Het onderzoek naar de werking van buitendelta's bevestigde nogmaals dat de buitendelta op de schaal van de Waddenzee en de kustzone een buffer vormt waarin grote hoeveelheden zand zijn opgeslagen en van waaruit zand voor het achterliggende bekken beschikbaar kan komen. Op schaal van de individuele zeegaten beïnvloedt de buitendelta de lokale dynamiek van de kustprocessen. Met oog op het handhaven van de kust, is het gewenst dat de buitendelta's gehandhaafd blijven op een zodanige omvang dat ze hun functie als schakel in de sedimentstroom tussen eilandkusten, sedimentbuffer en kustbeschermer kunnen blijven uitoefenen. Buitendeltasuppleties kunnen dan ook een belangrijk instrument worden om het kustbeheer verder te optimaliseren (Deltares, 2020c).

Door het uitvoeren van de pilotsuppletie in het Amelanders Zeegat is een goed inzicht verkregen in de haalbaarheid van buitendeltasuppleties. De suppletie bleek vergunbaar en uitvoerbaar te zijn én er was draagvlak voor. Verder bleken er geen of nauwelijks effecten te zijn op andere gebruiksfuncties. Dankzij de monitoring is de systeemkennis van zeegat-systemen in het algemeen en van het Amelanders Zeegat in het bijzonder vergroot. Tenslotte heeft de pilotsuppletie bijgedragen aan het in evenwicht houden van het kustfundament.

Voordat buitendeltasuppleties echter daadwerkelijk inzetbaar zijn voor het programma Kustlijnverzorging, is er meer kennis nodig over onder meer de beste ligging van een buitendeltasuppletie, de bijdrage aan kustlijnhandhaving en de ecologische randvoorwaarden voor de uitvoering (Ebbens, 2019).

Ecologische effecten van zandsuppleties

De belangrijkste bevindingen die input vormen voor het ontwikkelen van kansrijke suppletie strategieën kunnen als volgt worden samengevat:

- De bodemdiergemeenschap wordt door suppleties bedolven, maar de meeste soorten blijken zich binnen 1 tot 5 jaar te kunnen herstellen. Voor veel soorten geldt dat de biomassa en de dichtheid in slechts ongeveer 1 jaar weer terug zijn op het niveau van voor de verstoring.
- De bedelving van belangrijke voedselbronnen, met name schelpdieren, kan een negatief effect hebben op vogels. Veel negatieve effecten lijken echter te kunnen worden voorkomen door mitigerende maatregelen.
- Er zijn geen directe effecten van suppleties op zeehonden aangetoond.
- Er zijn geen negatieve effecten waargenomen op de vispopulatie na een zandsuppletie.
- De praktijk laat zien dat de aangroei van de zeereep sinds de grootschalige uitvoering van suppleties is toegenomen. Daarbij zijn afslagkusten lokaal veranderd in aangroei-kusten en is de oppervlakte van embryonale duinen op het strand toegenomen. Uit onderzoek blijkt dat de hoeveelheid zand die doorstuift naar de achterliggende duinen primair afhankelijk is van de hoeveelheid verstuiving in de zeereep en niet van het gesuppleerde volume zand. Daarbij is het type beheer van de zeereep bepalend.
- Er is geen relatie gevonden tussen suppleties en de samenstelling van de vegetatie in de duinen. Dit geldt ook voor de dieren die leven in de duinbodem.
- Door zeer grote suppleties zoals de Zandmotor wordt de bodem diverser van samenstelling. Dit leidt waarschijnlijk tot een toename van de diversiteit en biomassa van bodemdieren.
- Langdurige kustuitbouw door zeer grote suppleties zoals de Zandmotor beïnvloeden de grondwaterstand in de duinen.

Suppletiestrategieën tot 2032 ³

Bij de tijdschaal die wordt gehanteerd voor het advies over suppletiestrategieën (tot 2032 met een doorkijk naar de periode erna) wordt een iets andere tijdschaal gehanteerd dan voor het Kustgenese 2.0 onderzoek (tot 2035 met een doorkijk naar de periode erna). De keuze voor 2032 hangt samen met de herijking van het Deltaprogramma.

Op grond van de ervaringen met ruim 25 jaar suppleren en de nieuwe inzichten uit Kustgenese 2.0 en gerelateerd onderzoek, zijn mogelijke strategieën ontwikkeld voor de periode tot 2032 die allemaal voldoen aan de doelen van het kustbeleid. Dit geldt ook voor de eerder voorgestelde aangepaste operationele doelen van het kustbeleid.

Hieruit zijn drie kansrijke strategieën gedestilleerd:

A. Noodzakelijke kustbescherming (huidige praktijk)

Deze strategie gaat uit van voortzetting van de werkwijze van de voorgaande jaren en is de minimale variant om de strategische doelen van het kustbeleid tot 2032 te behalen.

De hiervoor benodigde volumes kunnen worden afgeleid uit de meerjarige suppletieprogramma's (2012-2023). Dit komt neer op gemiddeld 10,1 miljoen m³ zand/jaar, te verdelen over de Waddenkust (4,8 miljoen m³/jaar), de Hollandse kust (3,1 miljoen m³/jaar) en de Deltakust (2,2 miljoen m³/jaar).

B. Ruim voortzetten van de huidige praktijk

Net als in de vorige strategie, wordt er voldoende zand gesuppleerd voor het handhaven van de kustlijn op een termijn van 0 tot 20 jaar. Daarbovenop wordt er langs de Waddeneilanden jaarlijks 0,9 miljoen m³ zand gesuppleerd dat bijdraagt aan de sedimentbehoefte van dat deel van het kustfundament op langere termijn. Totaal gaat het om 11,0 miljoen m³ zand/jaar.

C. Robuust

In deze strategie wordt er voldoende zand gesuppleerd voor het handhaven van de kustlijn op een termijn van 0-20 jaar én voor het in evenwicht houden van het kustfundament op de langere termijn. Daarvoor wordt voldaan aan de huidige 'zekere' sedimentbehoefte van het kustfundament. De (onzekere) export naar Eems en Westerschelde wordt niet meegenomen. Totaal gaat het om 13,2 miljoen m³ zand/jaar.

Deze strategieën zijn in eerste instantie beoordeeld aan de hand van de robuustheid voor de lange termijn. Hieraan wordt veel belang gehecht, omdat de sedimentbalans op lange termijn sturend is voor de ontwikkeling van de kust en het waarborgen van de strategische doelen. Daarnaast werd rekening gehouden met emissies (vooral CO₂), effecten op bodemdieren (door bedelving), doorstuiving van zand naar de duinen, de beschikbaarheid van zand, beschikbare locaties voor suppleties en vergunbaarheid.

Uit deze analyse bleek dat:

- Strategie A op grond van het criterium robuustheid als 'marginaal' wordt beoordeeld. In deze strategie wordt er geen aanvullend sediment toegevoegd voor het in evenwicht houden van het kustfundament voor de langere termijn.
- Strategie C het meest robuust is, omdat hierbij de volledige (zekere) sedimentbehoefte van het kuststelsel gecompenseerd wordt door suppleties. Daar staat tegenover dat de

hogere suppletievolumes leiden tot een hogere CO₂ uitstoot, hogere kosten en grotere kortetermijneffecten op bodemdieren op de vooroever. Bovendien kan de uitvoering van strategie C worden belemmerd doordat er te weinig locaties beschikbaar zijn voor suppleties die primair bedoeld zijn voor het in evenwicht houden van het kustfundament. Ook kan de vergunbaarheid een knelpunt vormen.

- Strategie B als het meest kansrijk naar voren komt. Deze strategie wordt voorgesteld als voorkeursstrategie.

Voorkeursstrategie: Ruim voortzetten van de huidige praktijk (B)

De voorkeursstrategie voldoet tot 2032 aan de doelen van het kustbeleid, waarbij er tevens wordt geanticipeerd op de langere termijn. Bovendien wordt de uitvoering haalbaar geacht. In totaal wordt er jaarlijks 11,0 miljoen m³ zand gesuppleerd (5,7 miljoen m³ in het Waddenkustgebied, 3,1 miljoen m³ langs de Hollandse kust en 2,2 miljoen m³ in de Delta). Dit volume zand is opgebouwd uit de minimale hoeveelheid zand die nodig is voor het handhaven van de kustlijn op een termijn van 0 - 20 jaar (strategie A) plus 0,9 miljoen m³ zand dat aanvullend wordt gesuppleerd voor het in evenwicht houden van het kustfundament voor de langere termijn (> 20 jaar).

Verwacht wordt dat er voldoende locaties zijn waar deze aanvullende 0,9 miljoen m³ zand per jaar kan bijdragen aan andere doelen dan alleen langetermijn veiligheid. In hoeverre het verkrijgen van een mogelijk benodigde vergunning voor deze hoeveelheid zand de uitvoering kan belemmeren, hangt af van de verwachte effecten op de ecologie en is op voorhand niet aan te geven. Zeker is wel dat de uitvoerbaarheid van deze strategie kansrijker is dan de strategie waarbij volledig aan de sedimentbehoefte wordt voldaan.

De kosten voor de realisatie van deze strategie worden ingeschat op 46,2 miljoen euro per jaar, en de uitstoot van CO₂ op 37,9 miljoen kg/jaar (dit komt grofweg overeen met de jaarlijkse uitstoot van 1600 huishoudens)³.

Tot 2032 kan er meer kennis worden opgedaan over onzekerheden over de sedimentbehoefte, die binnen Kustgenese 2.0 niet of niet voldoende zijn ingevuld. Het gaat daarbij vooral om de export van zand uit het kustfundament naar de Eems Dollard en de Westerschelde. Ook kan er ervaring worden opgedaan met nieuwe suppletietechnieken, die mogelijk voor minder CO₂-uitstoot zorgen, en met nieuwe suppletievormen. Daarnaast zal er in de komende periode vanuit het KNMI meer duidelijkheid komen over een verandering van de zeespiegelstijgingsnelheid in de periode na 2032.

Mochten de ontwikkelingen anders verlopen dan verwacht – bijvoorbeeld doordat de zeespiegel sneller gaat stijgen en de kusterosie toeneemt –, dan kan hierop worden geanticipeerd door het suppletievolume te verhogen. De grote kracht van suppleties is immers dat deze adaptief zijn en eenvoudig kunnen worden opgeschaald.

³ Hierbij wordt uitgegaan van een jaarlijkse uitstoot van 23.000 kg CO₂ per huishouden (Bron: Milieu Centraal, 2015)

Inhoud

Samenvatting	5	7 Nieuwe inzichten over suppleren op de buitendelta	72
Begrippenlijst	16	7.1 Inleiding	72
1 Inleiding	18	7.2 Werking van buitendelta's en mogelijkheden voor suppleties	72
2 Introductie op het kuststelsel	22	7.3 Pilotsuppletie Amelander Zeegat	73
3 Huidig beleid voor de kust	28	7.4 Leerpunten en aanbevelingen	76
3.1 Kustbeleid	28	8 Inzichten over de ecologische effecten van suppleties	78
3.2 Strategische doelen	28	8.1 Vooroever	79
3.3 Tactische doelen en uitwerking naar operationele doelen	29	8.2 Strand en duinen	82
3.4 Overige belangen	35	8.3 Aanbevelingen	83
4 Huidige praktijk: zandsuppleties als belangrijk middel	36	9 Suppletiestrategieën	84
4.1 Programmering van suppleties	36	9.1 Werkwijze	85
4.2 Huidige suppletiestrategie	38	9.2 Minimaal en maximaal benodigde suppletievolumes	85
4.2.1 Hoeveel zand	38	9.3 Mogelijke suppletiestrategieën	87
4.2.2 Waar wordt het zand gesuppleerd?	40	9.4 Kansrijke strategieën	88
4.2.3 Hoe suppleren (type suppleties)	40	9.5 Voorkeursstrategie	91
4.3 Bevindingen na ruim 25 jaar suppleren	44	9.6 Doorkijk naar de langere termijn (na 2032)	92
4.3.1 Bijdrage aan beleidsdoelen	44	9.7 Beschikbaarheid van zand	92
4.3.2 Beschikbare locaties en vergunbaarheid	45	9.8 Aanbevelingen beleid en uitvoering	95
4.3.3 Verspreiding van suppletiezand	46	10 Vervolgonderzoek (hoge urgentie)	96
5 Kustgenese 2.0 en gerelateerd onderzoek	50	11 Literatuur	98
5.1 Inleiding	50	Bijlage A Onderzoeksvragen Kustgenese 2.0	104
5.2 Kustgenese 2.0	50	Bijlage B Vervolgonderzoek (gemiddelde en lage urgentie)	106
5.3 Gerelateerd onderzoek	51		
6 Nieuwe inzichten over de sedimentbehoefte	54		
6.1 Verbeterde rekenregel voor bepalen van de sedimentbehoefte	54		
6.2 Actuele (relatieve) zeespiegelstijging	56		
6.3 Oppervlakte kustfundament (zeewaartse grens en landwaartse grens)	57		
6.3.1 Keuze zeewaartse (reken)grens	57		
6.3.2 Keuze landwaartse grens	61		
6.3.3 (Regionale) oppervlakte van kustfundament	61		
6.4 Sedimentexport over de zeewaartse en landwaartse grens	61		
6.4.1 Export over de zeewaartse grens	61		
6.4.2 Export over de landwaartse grens van het kustfundament	62		
6.5 Regionale bodemdaling	62		
6.6 Export naar Waddenzee en Eems	63		
6.7 Export van zand naar de Westerschelde	66		
6.8 Export van zand over de staatsgrenzen	67		
6.9 Uitkomsten van de rekenregel volgens de nieuwe inzichten	69		
6.9.1 Periode tot 2035	69		
6.9.2 Doorkijk naar de lange termijn (na 2035)	70		

Begrippenlijst

Bij veel begrippen wordt verwezen naar een referentie. Daarbij moet worden opgemerkt dat deze referentie een voorbeeld is, maar dat er meer referenties mogelijk zijn.

Absolute zeespiegelstijging

De werkelijke verhoging van de zeespiegel ten opzichte van het middelpunt van de aarde (geoïde) door vermeerdering van de hoeveelheid water in de oceanen en door uitzetting als gevolg van temperatuurstijging (Baart et al., 2019).

Actuele zeespiegelstijging

Huidige relatieve zeespiegelstijging (*zie relatieve zeespiegelstijging*).

Basiskustlijn

De kustlijn die in het kader van het kusthandhavingsbeleid als referentie dient. In het algemeen de positie van de 'gemiddelde' kustlijn op 1 januari 1990 (Programma Aan de slag met de Omgevingswet, 2020).

Buitendelta's (ook wel ebdelta's genoemd)

Buitendelta's zijn zandlobben die aan de Noordzeezijde van de zeegaten tussen de eilanden liggen. Ze worden gevormd door het samenspel van golven en getijstrooming, vooral tijdens eb (Elias et al., 2012).

Continentaal plat

Dit is de zone die zeewaarts van de diepe vooroever ligt. De helling van de bodem is hier over het algemeen minder dan 1:1000. Er komen zandribbels, zandgolven en zandbanken voor (Deltares, 2020b).

Diepe vooroever

De diepe vooroever is de zone onder circa NAP -8 m met typische bodemhellingen tussen 1:200 en 1:1000. In dit bereik kunnen zandruggen aanwezig zijn (Deltares, 2020b).

Dynamisch kustbeheer

Het beheer dat gericht is op het dynamiseren van de buitenste duinen, om het natte en het droge deel van de kust met elkaar te verbinden. Doel is om een meer dynamische kust te krijgen, waarbij de veiligheid gewaarborgd blijft (Löffler et al., 2011).

Kust

De kust is de overgangszone van open zee naar land. Deze zone wordt gekenmerkt door een, over het algemeen, in zeewaartse richting toenemende waterdiepte en afnemende intensiteit van sedimentverplaatsing en daarmee afnemende morfodynamiek van de zeebodem (Deltares, 2020b).

Kustfundament

Het kustfundament omvat het gehele zandgebied, 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 kustfundament alle duingebieden én alle daarop gelegen harde zeeweringen (Rijksoverheid, 2005).

Natura 2000-gebied

Natuurgebied dat deel uitmaakt van het Europese ecologische Natura 2000-netwerk van beschermde natuurgebieden. Deze gebieden zijn aangewezen onder de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn (www.natura2000.nl).

Ondiepe vooroever (of brandingszone)

Dit is de zone tot een diepte van 5 à 8 m onder gemiddeld zeeniveau en een gemiddelde helling van 1:50 tot 1:200 (Deltares, 2020b).

Relatieve zeespiegelstijging

De stijging van de zeespiegel ten opzichte van een referentievlak, dat verbonden is aan een vast punt in de ondergrond, en is dus de som van de werkelijke zeespiegelstijging en de beweging van het referentievlak. In Nederland is het NAP (Normaal Amsterdams Peil) het nationale referentievlak. Ten opzichte van dit referentievlak worden al gedurende ruim 300 jaar waterstanden gemeten (Baart et al., 2019).

Sediment

Sediment of afzetting is de benaming voor door wind, water en/of ijs getransporteerd materiaal. Dit materiaal wordt gevormd door vertering en erosie van gesteente, mineralen, organisch materiaal en bodems. Voorbeelden zijn slib, zand en grind.

Sedimentbehoefte

Met de sedimentbehoefte van het kustfundament wordt de hoeveelheid zand bedoeld die nodig is om het kustfundament te laten meegroeien met zeespiegelstijging en de zandverliezen uit het kustfundament, bijvoorbeeld naar de Waddenzee, te compenseren (Deltares, 2020b).

Vooroever (of onderwateroever)

De onderwateroever van de kust vormt het onderwater gelegen deel van het kustfundament en loopt van de laagwaterlijn tot aan het continentaal plat. De technische term voor onderwateroever is vooroever. De onderwateroever kan worden onderverdeeld in de ondiepe vooroever (ofwel de brandingszone) en de diepe vooroever (Deltares, 2020b).

Zeegat

De verbinding tussen de open Noordzee en de Waddenzee. Tweemaal daags stroomt via het zeegat en het achterliggende geulensysteem water het getjebekken binnen. Bij vloed stromen de ondiepe wadplaten onder water. Tijdens eb gebeurt het omgekeerde. Door de geulen stroomt het water via het zeegat weer terug de Noordzee in (Elias et al., 2012).

Zeereep

De meest zeewaarts gelegen duinenrij.

1 Inleiding

Dit syntheserapport vormt de onderbouwing van het beleidsadvies 'Kustgenese 2.0'. In deze inleiding leest u meer over de achtergrond van het rapport en over de opbouw ervan.

De Nederlandse kustzone vormt een uniek gebied, waar veel mensen wonen en werken en waar jaarlijks vele toeristen en bezoekers te gast zijn. Ook is de kustzone belangrijk voor natuur en drinkwaterwinning en dragen de (overwegend zandige) waterkeringen bij aan de waterveiligheid van miljoenen inwoners. Het fundament van de Nederlandse kust bestaat uit 'zand', een flexibel materiaal dat voortdurend in beweging is onder invloed van wind en zee. Zand vormt de basis voor de duurzame bescherming van het achterland tegen overstromingen en is de drager van de functies in het kustgebied.

Niet voor niets speelt zand een centrale rol in het kustbeleid. Het vigerende beleid is gestoeld op een beleidskeuze die in 1990 werd gemaakt, als antwoord op een langdurige periode van kustafslag. Er werd gekozen voor het 'dynamisch handhaven van de kustlijn' via het toevoegen van zand. In 2001 werd het beleid uitgebreid naar het 'in evenwicht houden van het kustfundament', als middel voor het op orde houden van de sedimentbalans. Deze beleidskeuzes werden gebaseerd op jarenlang onderzoek naar de werking van het zandige kuststelsel, dat onder andere plaatsvond in het kader van het programma Kustgenese (de voorloper van Kustgenese 2.0) en het programma Kust2000.

Ook na afronding van die onderzoeksprogramma's werd het onderzoek naar de werking van het zandig kuststelsel en de uitvoering van zandsuppleties voortgezet. Maar ondanks de uitgebreide kennis over het kuststelsel die daarbij werd

opgedaan, resteerden er vragen en onzekerheden, bijvoorbeeld over het anticiperen op de mogelijke versnelling van de zeespiegelstijging. In 2015 constateerde het Deltaprogramma daarom dat er meer kennis nodig was over het gedrag van het zandig systeem en het op orde brengen van de zandbalans (Deltaprogramma, 2015b). Via een adaptatiepad werd geschetst hoe de voortschrijdende inzichten, verkregen uit nieuw onderzoek, zouden kunnen leiden tot aanpassingen in de omvang en verdeling van zandsuppleties in de tijd. Tegen die achtergrond werd besloten tot de uitvoering van het onderzoeksprogramma Kustgenese 2.0 (Rijksoverheid, 2016).

Kustgenese 2.0 en beleidsadvies

Het onderzoeksprogramma Kustgenese 2.0 ging in 2015 van start en werd in 2020 afgerond. Het programma had tot doel om kennis te genereren over het Nederlandse zandige kuststelsel, om na 2020 goed onderbouwde besluiten te kunnen nemen over toekomstig beleid en beheer van dit systeem. Hiertoe werden onder andere onderzoeken uitgevoerd naar de hoeveelheid sediment (zand en slib) die het kustfundament nodig heeft om in evenwicht te blijven, naar de verdeling van dit zand langs de kust en naar de mogelijkheden van suppleren op de buitendelta. Daarbij lag de focus op de periode tot 2035 en werd een doorkijk gegeven naar de periode erna, waarbij verschillende snelheden van zeespiegelstijging werden meegenomen. In par. 5.2 worden de doelen en onderzoeksvragen nader belicht.



Figuur 1.1 Foto Satellietfoto van de kust [bron: openearth.nl]

Op grond van de resultaten van Kustgenese 2.0 – en op grond van de resultaten van gerelateerd onderzoek en de ervaring met 25 jaar suppleren – is het ‘Beleidsadvies Kustgenese 2.0’ uitgebracht (RWS, 2020).

Dit syntheserapport

Dit syntheserapport vormt de onderbouwing van het beleidsadvies en ‘duikt meer de diepte in’. Daarbij richten het beleidsadvies en de onderbouwing van suppletie strategieën zich vooral op de periode tot 2032, met een doorkijk naar de periode erna. Dit is een net iets andere periode dan waarop het Kustgenese 2.0 onderzoek zich richt. De keuze voor 2032 hangt samen met de herijking van het Deltaprogramma.

Voor meer inhoudelijke achtergrond wordt verwezen naar onderliggende literatuur, zoals de technische adviezen die Deltares heeft opgeleverd als resultaat van Kustgenese 2.0.

Het syntheserapport bevat de volgende onderdelen:

Hoofdstuk 2 geeft een korte beschrijving van het kuststelsel en benoemt de belangrijkste opgaven voor de zandige kust.

Hoofdstuk 3 beschrijft de belangrijkste strategische, tactische en operationele doelstellingen van het huidige kustbeleid.

In *hoofdstuk 4* is te lezen hoe het kustbeleid wordt uitgevoerd. Dit hoofdstuk gaat onder andere in op gesuppleerde hoeveelheden zand, de verdeling daarvan en verschillende (nieuwe) vormen van suppleren. Daarbij wordt aangegeven welke bevindingen er uit 25 jaar suppletiepraktijk naar voren komen. Het hoofdstuk sluit af met aspecten rondom de uitvoerbaarheid van suppleties.

Hoofdstuk 5 gaat in op het programma Kustgenese 2.0 en op gerelateerde onderzoeken, waaruit is afgetapt bij het opstellen van het beleidsadvies en het syntheserapport.

In *Hoofdstuk 6* staan nieuwe inzichten over de sedimentbehoefte van het kustfundament centraal. Het hoofdstuk start met een beschrijving van de (verbeterde) rekenregel 2016 om deze sedimentbehoefte te bepalen. Vervolgens worden de verschillende termen van de rekenregel gekwantificeerd en onderbouwd. Het hoofdstuk eindigt met de uitkomsten van de rekenregel.

Hoofdstuk 7 beschrijft de nieuwe inzichten die Kustgenese 2.0 heeft opgeleverd over de werking van buitendelta's in het algemeen en over de pilotsuppletie op de buitendelta van het Amelanders zeegebied in het bijzonder.

In *Hoofdstuk 8* ligt de focus op nieuwe inzichten over de ecologische effecten van suppleties. De aandacht hiervoor is de afgelopen 15 jaar sterk toegenomen en er zijn/worden diverse onderzoeksprogramma's uitgevoerd. Dit hoofdstuk beschrijft de belangrijkste conclusies.

Hoofdstuk 9 beschrijft mogelijke en kansrijke suppletie strategieën, waarmee de strategische doelen van het kustbeleid tot 2032 kunnen worden behaald. Ook wordt een voorkeursstrategie aangegeven, die het meest kansrijk wordt geacht. Daarbij wordt o.a. rekening gehouden met de robuustheid voor de langere termijn, de uitstoot van broeikasgassen, de uitvoerbaarheid en mogelijke effecten op de ecologie.

Hoofdstuk 10 bevat aanbevelingen voor acties en urgent vervolgonderzoek, op grond van het Kustgenese 2.0 onderzoek.

Bijlage A bevat de belangrijkste onderzoeksvragen van het onderzoeksprogramma Kustgenese 2.0.

In *Bijlage B* zijn de minder urgente aanbevelingen weergegeven die voortkomen uit het Kustgenese 2.0 onderzoek. De urgente aanbevelingen zijn opgenomen in Hoofdstuk 10.

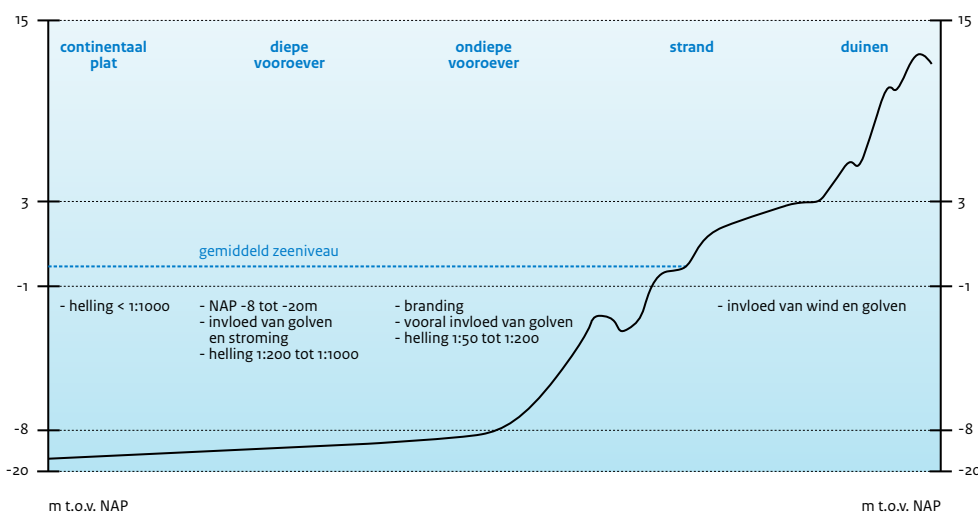


2 Introductie op het kuststelsysteem

Dit hoofdstuk geeft een korte introductie op het Nederlandse zandige kuststelsysteem. Daarbij ligt de focus op het natuurlijk fysisch stelsysteem, als basis voor de veiligheid van het achterland en het duurzaam behoud van functies en waarden van het duingebied.

De Nederlandse kust is opgebouwd uit een opeenstapeling van enorme hoeveelheden zand, hoewel lokaal ook slib en veenlagen voorkomen. Wind en zee brengen de zandkorrels in beweging en voeren ze met zich mee. Daarbij wordt er voortdurend zand uitgewisseld tussen de Noordzee, het strand, de duinen, de Waddenzee, de Eems en de Westerschelde. Om deze reden wordt het Nederlandse kuststelsysteem ook wel een 'zanddelend systeem' genoemd.

Er zijn ook gebieden die (deels) afgesloten zijn geraakt van de kust en niet tot het zanddelend systeem worden gerekend. Dit zijn de (half)afgesloten bekkens in de zuidwestelijke Delta (Oosterschelde, Grevelingenmeer, Haringvliet, Hollands Diep, Volkerak-Zoommeer en Veerse Meer) en in het IJsselmeergebied (IJsselmeer, Markermeer en randmeren) en het Lauwersmeer (Deltaprogramma, 2015a).



Figuur 2.1 Schematische weergave van een typisch Nederlands kustprofiel (niet op schaal). In de figuur is een indicatie van de dieptes van de zones gegeven; deze verschillen langs de kust.



Figuur 2.2 Het zanddelend kuststelsel en processen die de waterveiligheid van het achterland en het behoud van functies van het kustgebied kunnen beïnvloeden. Bron: Nationaal Waterplan (Rijksoverheid, 2016).

Dwars op de kust – van zee naar land – bestaat de kust uit verschillende zones: continentaal plat, diepe vooroever, ondiepe vooroever, strand en duinen (zie Figuur 2.1). Deze zones verschillen van elkaar qua morfologie en processen.

Processen in het zandig systeem

Zand vormt het fundament van de waterkeringen langs de kust en van de functies in het duingebied. Dit 'kust-fundament' is echter niet in balans. Door structureel zandtekort treden er processen op zoals structurele kusterosie, opdringende geulen en krimpende buitendelta's (zie Figuur 2.2). De effecten van deze processen kunnen worden versterkt door (mogelijk versnelde) zeespiegelstijging en bodemdaling. In onderstaande tekst worden de processen in het zandig systeem nader toegelicht.

Sedimentbalans niet in evenwicht

Op dit moment is de natuurlijke sedimentbalans van het Nederlandse kuststelsel niet in evenwicht: het aanbod van sediment is kleiner dan de vraag ernaar. Dat komt onder meer doordat de rivieren – onder invloed van allerlei menselijke ingrepen in de stroomgebieden – nog maar weinig zand vanuit de bergen naar de Nederlandse kust transporteren. Tegelijkertijd 'vraagt' de kustzone om zand om de zeespiegelstijging te compenseren. Ook is er zand nodig voor het aanvullen van de natuurlijke zandtekorten in de zuidwestelijke Delta en de Waddenzee, die onder meer een gevolg zijn van de (gedeeltelijke) afsluiting van de getijdenbekkens en de bodemdaling als gevolg van gaswinning. De onbalans in de kustzone leidt tot processen zoals structurele kusterosie, naar de kust oprukkende geulen en krimpende buitendelta's.

Sediment, zand en slib

In dit syntheserapport worden zowel de begrippen zand als sediment (een combinatie van zand en slib) gebruikt. Voor de zandige kustzone geldt daarbij dat de volumes sediment meestal overeenkomen met de volumes zand. Dit komt doordat het gehalte slib daar in het algemeen dusdanig laag is, dat de slibkorrels 'verborgen' blijven in de poriën van het zandskelet in de bodem (Oost et al., 2018) (Deltares, 2020a). Daarom staat in dit rapport het sedimentvolume van het kustfundament gelijk aan het zandvolume, tenzij anders wordt vermeld.

Structurele kusterosie door zandtekort

Het kuststelsel wordt al eeuwenlang gekenmerkt door zeespiegelstijging en structurele erosie. Zonder maatregelen zou de kustlijn geleidelijk terugwijken, waardoor de veiligheid van het achterland wordt bedreigd en de functies van het duingebied worden aangetast.

Uit onderzoek blijkt dat het proces van kusterosie te maken heeft met de eerder beschreven 'onbalans' in de sedimenthuishouding van het kuststelsel. De ontwikkeling van onze kust wordt bepaald door de balans tussen het aanbod van zand en de vraag ernaar. In perioden waarin er veel zand in de kustzone beschikbaar is, groeit de kust aan. In perioden waarin er een tekort is aan zand, bijvoorbeeld door zeespiegelstijging, trekt de kust zich landwaarts terug (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1988).

Om de achteruitgang van de kust tegen te gaan, vormt het op orde houden van de sedimentbalans van het kuststelsel door het uitvoeren van zandsuppleties een speerpunt van het kustbeleid (zie Hoofdstuk 3). De belangrijkste gedachte hierachter is dat het aangebrachte zand het profiel van de bodem zo beïnvloedt, dat de landwaartse terugtrekking van de kust door zeespiegelstijging wordt beperkt (zie het kader hiernaast).

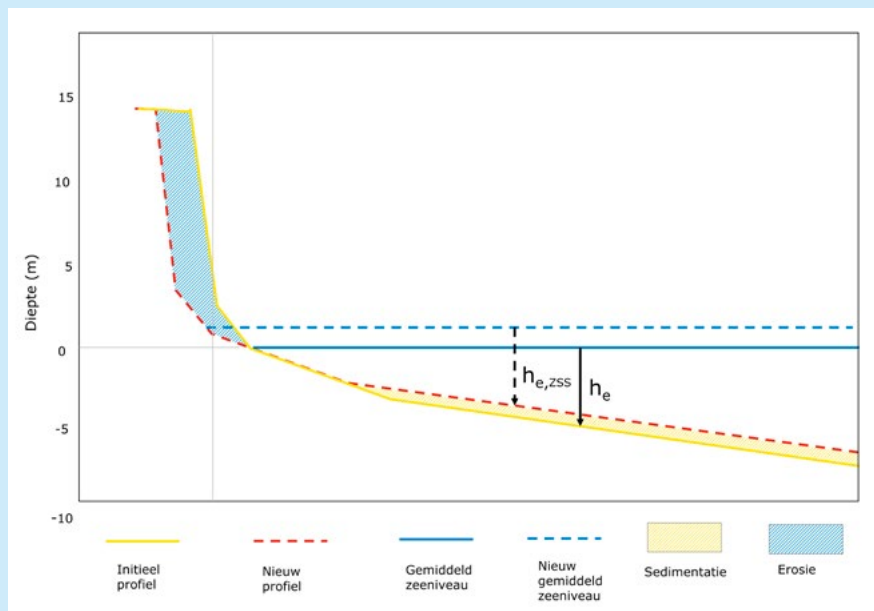
Ontwikkeling van het kustprofiel bij zeespiegelstijging en relatie met suppleties

Onderzoekers gaan ervan uit dat de bodem van de kust voortdurend zoekt naar een evenwicht dat past bij de stand van de zeespiegel en de heersende golf-omstandigheden. Een kustprofiel in evenwicht (dwars op de kust) wordt ook wel het evenwichtsprofiel genoemd.

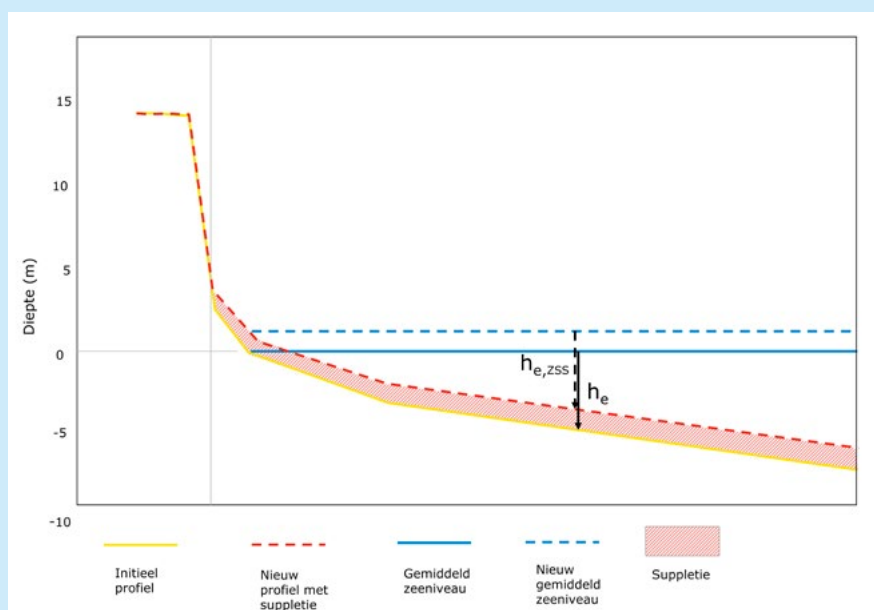
Een gangbare theorie (de zogenaamde Bruun-regel) gaat ervan uit dat de vorm van het kustprofiel gelijk blijft bij een stijging van de zeespiegel (Bruun, 1962). Resultaat daarvan is dat het evenwichtsprofiel landwaarts verplaatst waarbij de ondiepe kustzone zand verliest (met kustachteruitgang tot gevolg) en de diepere kustzone zand 'wint' (zie Figuur 2.3A). In wetenschappelijke literatuur is er

discussie over de Bruun-regel. Er zijn meerdere kanttelingen te plaatsen over de geldigheid ervan, maar de conclusie luidt ook dat de regel van waarde is door zijn eenvoud en dat er geen algemeen geldend alternatief is (Rosati et al., 2013).

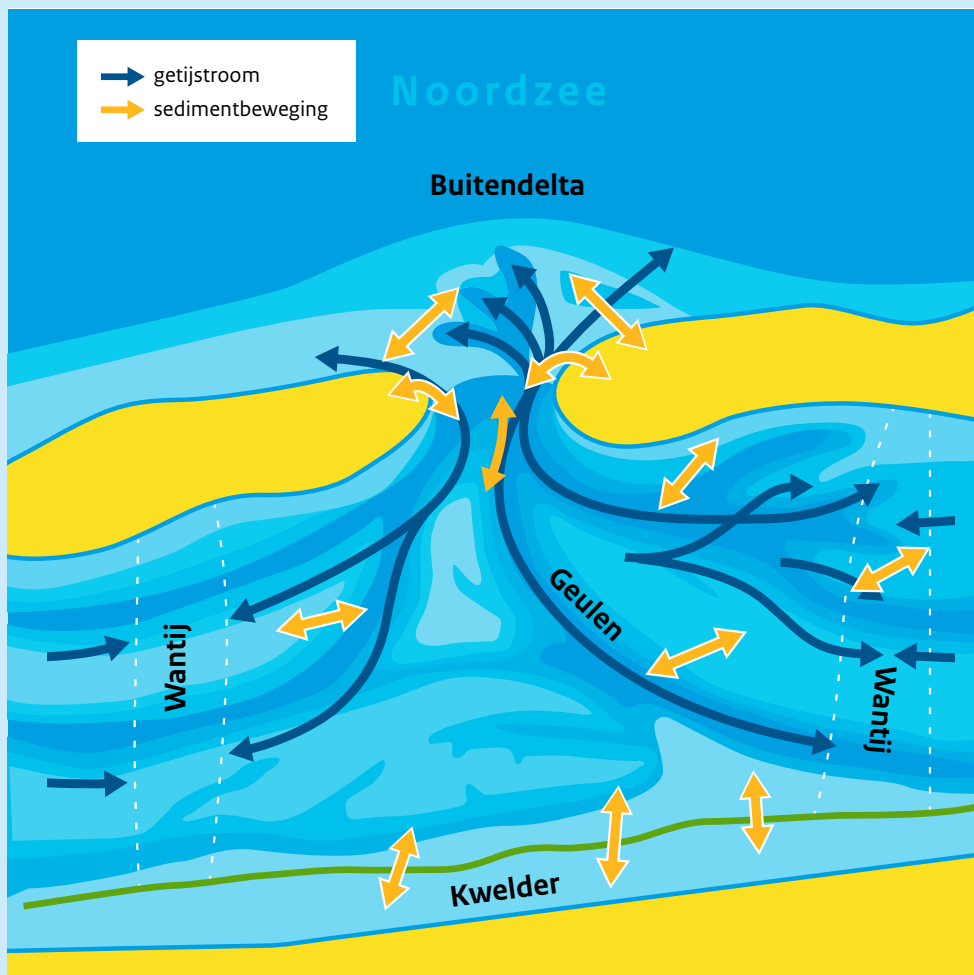
Door het toevoegen van zand (via zandsuppleties), wordt het initiële profiel verhoogd, en blijft het profiel op zijn evenwichtsdiepte ondanks zeespiegelstijging. Hierdoor gaat er minder zand verloren uit de ondiepe kustzone, wat de landwaartse terugtrekking van de kustlijn beperkt of stopt (zie Figuur 2.3B). Dit principe vormt de inhoudelijke basis voor het suppletiebeleid.



Figuur 2.3A Schematische weergave van aanpassingen van het kustprofiel na zeespiegelstijging volgens de theorie van Bruun, op basis van het referentieprofiel voor de Zuid-Hollandse Kust zoals afgeleid door Vellinga (Vellinga, 1986). Er is ingezoomd op het bovenste deel van het profiel. De sedimentatie loopt verder zeewaarts door. Uitgangspunt is dat de erosie en de sedimentatie aan elkaar gelijk zijn. Te zien is dat de evenwichtsdiepte h_e bij zeespiegelstijging landwaarts verschuift. Ter illustratie is gekozen voor de NAP -5 m dieptelijn; in werkelijkheid heeft elke locatie zijn eigen evenwichtsdiepte.



Figuur 2.3B Schematische weergave van een gesuppleerd kustprofiel na zeespiegelstijging. Indien er evenveel zand gesuppleerd is als de opgetreden toename van het gemiddelde zeespiegel treedt er geen landwaartse verplaatsing van het evenwichtsprofiel op. De locatie van de evenwichtsdiepte is gelijk voor het oude en het nieuwe gemiddelde zeespiegel (net naast elkaar weergegeven voor de zichtbaarheid). Het suppletiebeleid is gebaseerd op dit principe.



Figuur 2.4 Het zanddelende systeem van het kustfundament en de Waddenzee. Bron: Deltaprogramma Waddengebied (2012).

Krimpde buitendelta's

Buitendelta's zijn zandlobben die aan de Noordzezijde van de zeegaten tussen de eilanden liggen (zie Figuur 2.4). Ze worden gevormd door het samenspel van golven en getijstrooming, vooral tijdens eb. Om die reden worden ze ook wel ebdelta's genoemd. Het zijn dynamische gebieden met getijdengeulen en (niet droogvallende) zandbanken, die zich onder invloed van getij en golven voortdurend verplaatsen. Buitendelta's vormen een samenhangend, zanddelend systeem met de zeegaten en zijn een schakel tussen de getijdenbekkens van de Waddenzee en het kustfundament (Elias et al., 2012).

Het laatste decennium is gebleken dat enkele buitendelta's sterk van vorm veranderen en afnemen in volume (Elias et al., 2012). Dit kan tot gevolg hebben dat de golfbrekende werking afneemt, waardoor de golven met meer energie op de koppen van de eilanden (en de waterkeringen die daar liggen) slaan en er meer golfenergie doordringt in de getijbekkens en estuaria (Lenstra et al., 2019). Ook kan de werking van de buitendelta's als zandbron voor de kusten van de Waddeneilanden en voor de Waddenzee afnemen (De Ronde & Oeveren-Theeuwes, 2013).

Voor de zuidwestelijke Delta geldt dat de getijden-uitwisseling met de estuaria sinds het afdammen van de zeegaten (met uitzondering van de Westerschelde) sterk is gereduceerd. Doordat golven zijn gaan overheersen worden de voormalige buitendelta's van de estuaria landwaarts gedrukt. Door deze (nog steeds optredende) morfologische ontwikkelingen is de delta ingrijpend veranderd.

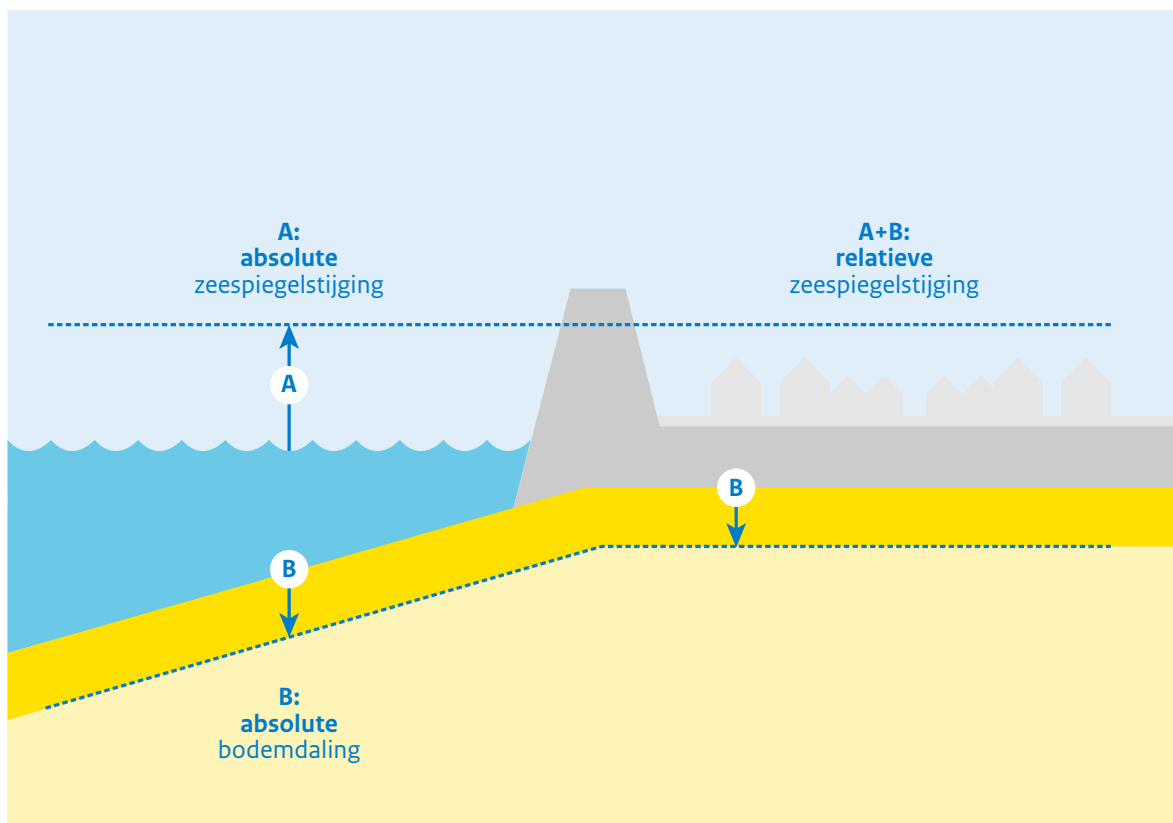
Opdringende geulen

In het Waddengebied en in het Deltagebied verplaatsen sommige getijdengeulen zich richting de kust. Deze geulen kunnen de stabiliteit van de (voor)oever en de daarachterliggende waterkering bedreigen.

De verplaatsing van enkele geulen was in het verleden al aanleiding tot het nemen van 'harde' maatregelen en het uitvoeren van zandsuppleties op de geulwand. Verwacht wordt dat de opdringende geulen in de komende 1 à 2 decennia voor meer problemen gaan zorgen (Deltaprogramma, 2015a).

Versnelde zeespiegelstijging en bodemdaling

Door versnelde zeespiegelstijging – in combinatie met bodemdaling – neemt het zandtekort in de toekomst verder toe. De bodemdaling is zowel het gevolg van geologische processen als menselijke activiteiten (vooral de winning van olie, gas, zout en grondwater) (Hijma & Kooi, 2018a).



Figuur 2.5 Relatieve zeespiegelstijging is de som van absolute zeespiegelstijging en absolute bodemdaling

Wat betreft zeespiegelstijging is er onderscheid te maken tussen absolute zeespiegelstijging en relatieve zeespiegelstijging⁵. Absolute zeespiegelstijging is de werkelijke verhoging van de zeespiegel ten opzichte van het middelpunt van de aarde. Relatieve zeespiegelstijging is de stijging van de zeespiegel ten opzichte van een referentievlak, dat verbonden is aan een vast punt in de ondergrond. De relatieve zeespiegelstijging is dus de som van de absolute zeespiegelstijging en de absolute daling van de bodem (Baart et al., 2019). Dit is weergegeven in Figuur 2.5.

In de afgelopen eeuw bedroeg de relatieve zeespiegelstijging in Nederland 18,6 cm (1,86 mm/jaar), waarvan ca. 4,5 cm valt toe te schrijven aan de absolute bodemdaling en 14,1 cm aan de absolute zeespiegelstijging (Baart et al., 2019). De absolute zeespiegelstijging wordt op dit moment vooral veroorzaakt door de uitzetting van het warmer geworden zeewater.

Recente metingen en studies laten zien dat afbrekend en afsmeltend landijs van Antarctica tot een versnelling van de absolute zeespiegelstijging kan leiden. Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gaat sinds september 2019 uit van een wereldwijde absolute zeespiegelstijging met een 'meest waarschijnlijke bovengrens' van 110 cm in 2100 (IPCC, 2019).

Er zijn veel onzekerheden rondom de stijging van de zeespiegel. Dit heeft vooral te maken met de mate waarin de CO₂-uitstoot wereldwijd vermindert en hoe dit doorwerkt in de opwarming van de aarde en het (mechanisme en tempo van het) afsmelten van Antarctica. Als delen van de Antarctische Ijskap instabiel worden, kan de versnelling na 2050 flink toenemen en hoger uitvallen dan de door IPCC genoemde waarden (Le Bars et al., 2019).

Voor de snelheid van zeespiegelstijging worden in dit synthese rapport dezelfde waarden gehanteerd als bij het Kustgenese 2.0 onderzoek. Dat betekent dat er voor de snelheid van de relatieve zeespiegelstijging tot 2035 een waarde wordt gebruikt van 1,86 mm/jaar (zie par. 6.2). Voor toekomstanalyses zijn waarden gehanteerd van 2, 4, 6 en 8 mm relatieve zeespiegelstijging per jaar⁶.

In het – in 2019 gestarte – Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt nader onderzoek gedaan naar de (verwachte) zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust en naar de impact hiervan (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019).

⁵ Zie de Begrippenlijst in het begin van dit rapport voor de exacte definitie van absolute- en relatieve zeespiegelstijging.

⁶ Voor toekomstanalyses is de snelheid van zeespiegelstijging afgerond naar mm/jaar.

3 Huidig beleid voor de kust

Dit hoofdstuk geeft de doelen van het kustbeleid weer. De belangrijkste (strategische) doelen van het kustbeleid zijn: duurzame handhaving van de veiligheid van het achterland tegen overstromingen vanuit de zee en het duurzaam behoud van functies en waarden in het duingebied (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990). Deze doelen zijn in latere nota's steeds herbevestigd. De strategische doelen zijn uitgewerkt in tactische en operationele doelen, waarbij het op orde houden van de sedimentbalans via zandsuppleties een centraal thema vormt.

3.1 Kustbeleid

Het rijksbeleid voor waterveiligheid dat relevant is voor de kust, is verwoord in het Nationaal Waterplan 2016-2021 (Rijksoverheid, 2016) en de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (Rijksoverheid, 2012). Deze nota's bevestigen het beleid uit eerdere beleidsnota's voor de kust, zoals de Nota Ruimte (Rijksoverheid, 2005), de Beleidslijn Kust (Rijksoverheid, 2007) en de 1e, 2e en 3e Kustnota (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990, 1995 en 2000). Voor de Beleidslijn Kust geldt dat het daarin opgenomen bouwbeleid is gewijzigd door het uitbrengen van het Kustpact (Rijksoverheid, kustprovincies, & kustgemeenten, 2017); deze wijzigingen zijn doorgevoerd in het Besluit algemene regels ruimtelijke ordening (Barro).

De belangrijkste doelstelling van het rijksbeleid voor de kust is duurzame handhaving van de veiligheid van het achterland tegen overstromingen vanuit de zee. De kustveiligheid wordt geborgd in combinatie met behoud en ontwikkeling van functies van de kust (zoals ecologie, recreatie, beroepsvisserij, zeehavens en zeescheepvaart), zolang deze functies de waterveiligheid niet in gevaar brengen (Rijksoverheid, 2012). In het kustbeleid is dit uitgewerkt in strategische, tactische en operationele doelen (zie *Figuur 3.1*). Deze worden in de onderstaande paragrafen op hoofdlijnen beschreven. Voor nadere toelichting wordt verwezen naar de memo 'Doelen en

uitgangspunten van het historisch en huidig kustbeleid' (Rijkswaterstaat, in prep.).

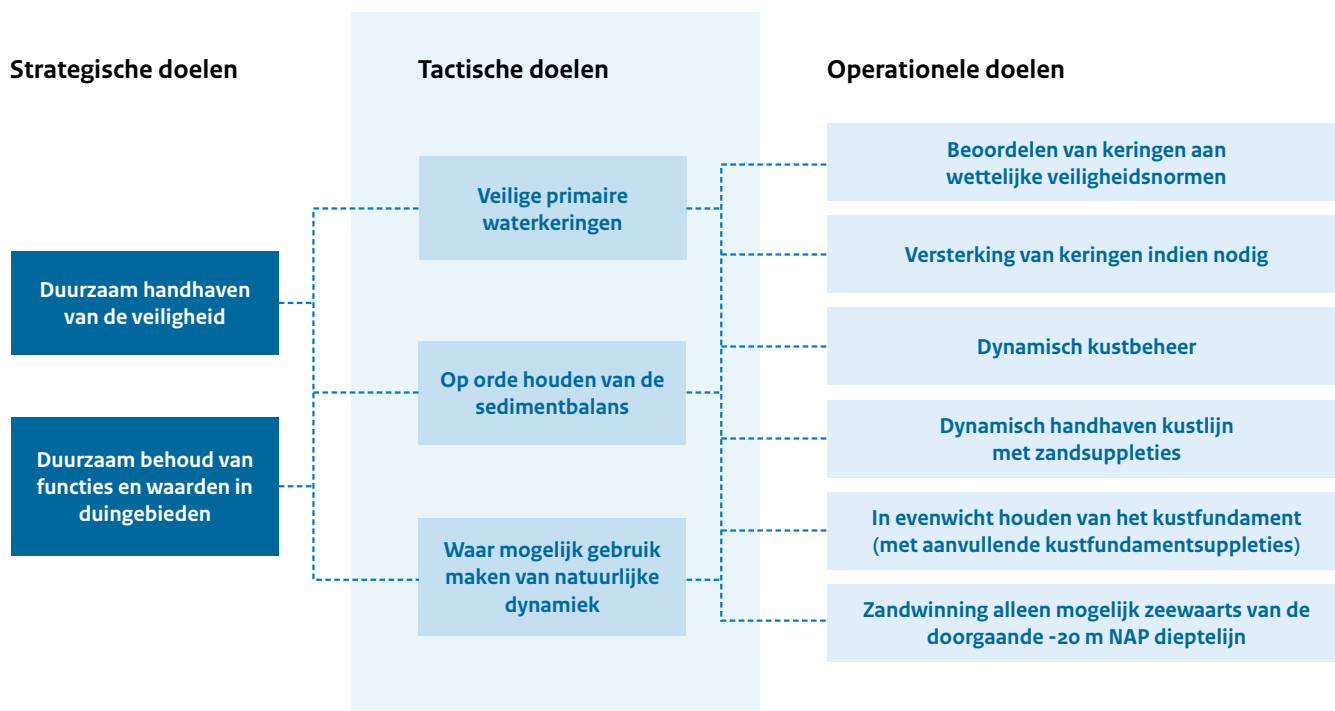
De Waterwet vormt het wettelijk kader voor de uitvoering van het kustbeleid voor wat betreft waterveiligheid en kustlijnonderhoud. In de wet is vastgelegd waar de primaire waterkeringen liggen, aan welke veiligheidsnormen ze moeten voldoen en hoe deze worden beoordeeld. Bovendien schrijft de wet voor dat 'landwaartse verplaatsing van de kustlijn van rijkswege wordt voorkomen of tegengegaan, voor zover dat naar het oordeel van de minister noodzakelijk is vanwege de ingevolge deze wet te handhaven normen voor dijktrajecten' (art. 2.7).

3.2 Strategische doelen

De strategische doelen van het kustbeleid werden voor het eerst geformuleerd in de eerste Kustnota (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990) en zijn in latere beleidsnota's telkens bevestigd:

Duurzaam waarborgen van de veiligheid van het achterland (strategisch doel)

De belangrijkste strategische doelstelling van het rijksbeleid voor de kust is duurzame handhaving van de veiligheid van het achterland tegen overstromingen vanuit de zee.



Figuur 3.1 Schema met de belangrijkste strategische, tactische en operationele doelen van het vigerende kustbeleid (Rijkswaterstaat, in prep.)⁷

Duurzaam behoud van functies en waarden van het duingebied (strategisch doel)

Een tweede strategische doelstelling van het kustbeleid is de bescherming van de functies en waarden in het duingebied tegen de gevolgen van kustachteruitgang (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990). Het gaat hierbij bijvoorbeeld om natuur, recreatie en drinkwaterwinning. Ter onderbouwing gaf de eerste Kustnota aan dat het grootste deel van het duingebied, naast een functie als waterkering, ook een functie heeft als natuurgebied en (in mindere mate) als waterwingebied, woongebied, industriegebied en recreatiegebied.

Ook benadrukte de eerste Kustnota het belang van de 'reserveruimte' die in sommige duingebieden aanwezig is om de versnelde zeespiegelstijging op te kunnen vangen (zie Figuur 3.2). Volgens de nota was de grootte van deze reserve in hoge mate bepalend voor de duurzaamheid van de veiligheid van het polderland. Daarom besloot de toenmalige regering dat er niet 'mocht worden ingeteerd op deze reserves'.

3.3 Tactische doelen en uitwerking naar operationele doelen

Op sterkte houden van primaire keringen (tactisch doel)

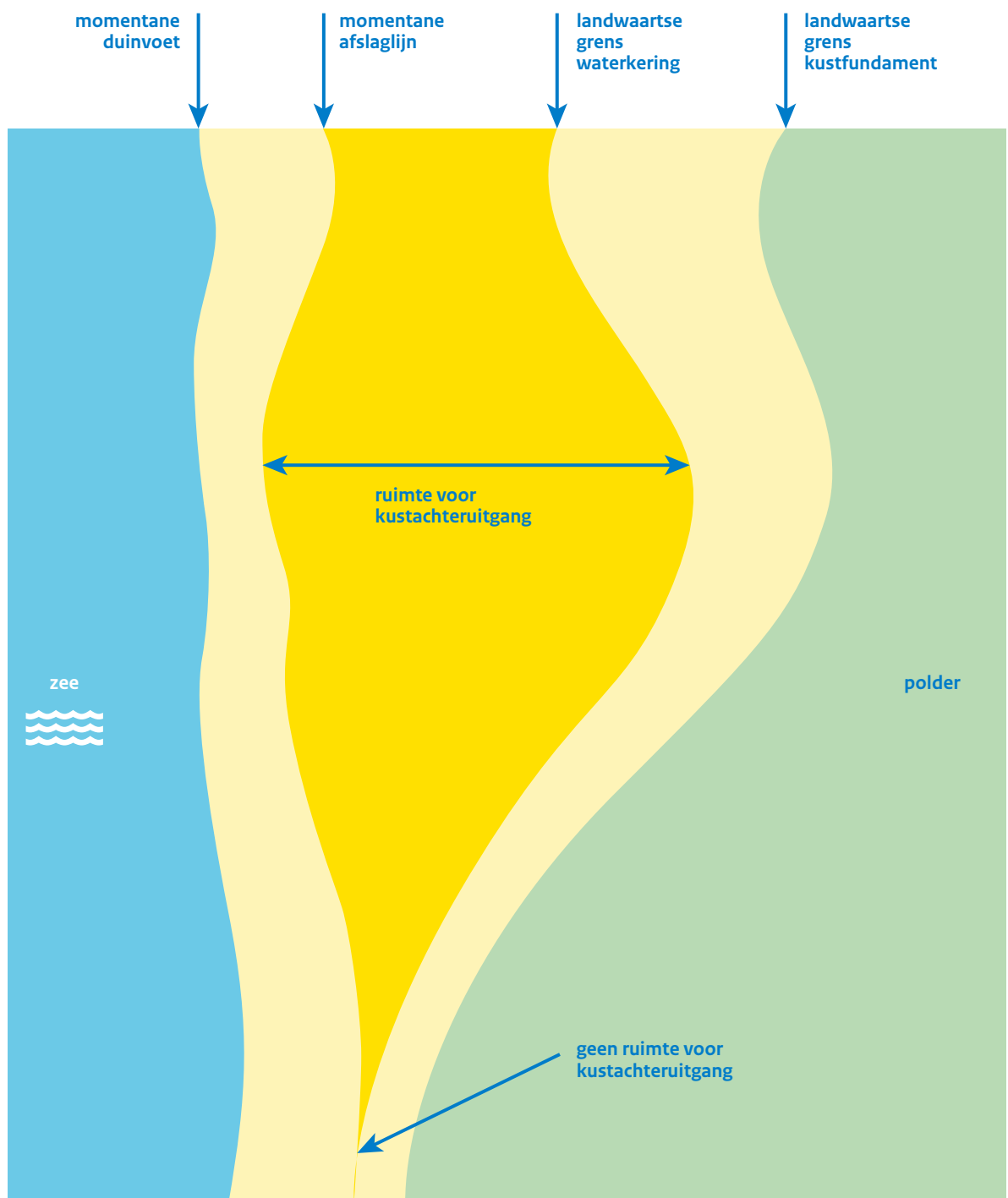
Bij het realiseren en duurzaam in stand houden van waterveiligheid staat preventie voorop. Daarvoor moeten de primaire waterkeringen voldoen aan wettelijk vastgelegde normen. Sinds 1 januari 2017 zijn de normen voor de waterveiligheid gebaseerd op overstromingskansen; het beleid is erop gericht dat alle primaire waterkeringen in 2050 aan deze nieuwe normen voldoen. Met de nieuwe normen geldt er een 'basisbeschermingsniveau' voor iedereen in Nederland: dat wil zeggen dat de individuele kans om te overlijden door een overstroming niet groter mag zijn dan 1:100.000 per jaar. Daarnaast worden gebieden waar veel slachtoffers kunnen vallen of waar de economische schade groot zal zijn, extra beschermd (Rijksoverheid, 2019a).

Uitwerking in operationele doelen:

Beoordeling van waterkeringen aan wettelijke veiligheidsnormen

De Waterwet verplicht de beheerders om de veiligheid van hun primaire waterkeringen te beoordelen en indien nodig te versterken.

⁷ Geconstateerd wordt, dat de beleidsdoelen 'versnipperd' worden weergegeven in de verschillende beleidsnota's en het lastig is om een sluitend overzicht van de beleidsdoelen te vormen.



Figuur 3.2 Weergave van het verschil tussen smalle duinen (zonder ruimte voor kustachteruitgang) en brede duinen (met reserveruimte). In de eerste Kustnota koos de toenmalige regering ervoor om de reserveruimte die nog aanwezig was in de duinen te behouden, ten behoeve van duurzame veiligheid van het achterland. Gebaseerd op: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989.

Versterking van keringen indien nodig

Als de (toekomstige) veiligheid van de waterkeringen dat vereist, moeten deze worden versterkt. Dit was in het verleden bijvoorbeeld het geval voor een aantal ‘zwakke schakels’ langs de kust. Deze plekken werden begin deze eeuw aangewezen nadat onderzoek uitwees dat de golfbelasting op de kust sterker was dan eerder werd aangenomen.

Bij het versterken van waterkeringen heeft het gebruik van zand de voorkeur boven harde constructies. Ofwel: ‘zacht waar het kan, hard waar het moet’ (Rijksoverheid, 2007). De voorkeur voor zandige oplossingen heeft verschillende achtergronden. Harde zeeweringen in onze duinenkust hebben vaak te maken met sterke erosie (vooral op de overgangen tussen harde en zandige zeeweringen), hebben een sterker onomkeerbaar karakter dan zachte maatregelen, doen afbreuk aan de beweeglijkheid van de kust en zijn veelal duurder. Zandige versterkingen zijn flexibel en adaptief, omdat er relatief snel en eenvoudig meer zand kan worden aangebracht wanneer dat nodig mocht zijn, bijvoorbeeld bij een sneller stijgende zeespiegel. Bovendien sluiten ze aan bij het collectieve beeld van de identiteit van de kust (Deltaprogramma, 2015a).

Op orde houden van de sedimentbalans (tactisch doel)

Om de strategische doelen van het kustbeleid te halen, vormt het toevoegen van zand aan het kuststelsel een belangrijk middel. Aanvankelijk hadden de suppleties vooral tot doel om de kustachteruitgang tegen te gaan. Medio jaren '90 van de vorige eeuw werden zandverliezen en versteiling van de diepere vooroever (tussen de NAP -8 m en NAP -20m dieptelijn) gesignaleerd. Volgens de nota Kustbalans 1995 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995) konden deze ontwikkelingen de veerkracht van het kuststelsel aantasten en het fundament van de kust geleidelijk ondermijnen. Daardoor zou de kans op schade aan de (zandige) waterkering toenemen en zou het steeds lastiger worden om het evenwicht te herstellen. Later verschoof de aandacht van versteiling van de diepe vooroever naar het in evenwicht houden van de zandbalans (Mulder, 2000) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000).

Uitwerking in operationele doelen:

Dynamisch handhaven van de kustlijn

In 1990 besloot de toenmalige regering dat de kustachteruitgang een halt moest worden toegeeroepen. Er werd gekozen voor het dynamisch handhaven van de kustlijn, door het uitvoeren van zandsuppleties. De positie van de basiskustlijn (bkl) geldt hierbij als referentie. Deze komt ruwweg overeen met de positie van de kust in 1990, waarbij rekening is gehouden met de kustlijnontwikkeling in de

periode 1980-1990. De basiskustlijn is gebaseerd op het zandvolume in een beperkt dwarsprofiel van de kust, ook wel rekenvenster genoemd (TAW, 2002). Elk jaar rapporteert Rijkswaterstaat over de toestand van de kustlijn. De resultaten hiervan worden weergegeven in de jaarlijks uitgebrachte Kustlijnkaartenboeken (Rijkswaterstaat, 1992-heden). Als de basiskustlijn structureel overschreden dreigt te worden wordt – als dat nodig en wenselijk is – zand gesuppleerd. Daarbij wordt onder andere rekening gehouden met bestuurlijke afspraken, het in geding komen van functies, morfodynamiek en de efficiëntie van een suppletie (Rijkswaterstaat, 2016).

Deze suppleties dragen eraan bij dat Nederland op een termijn van 0 tot 10 jaar geen land verliest aan de zee en dat er ruimte blijft voor de verschillende functies in het duingebied. De positie van de basiskustlijn wordt regelmatig herzien; de laatste herziening heeft plaatsgevonden in 2017 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018a).

In evenwicht houden van het kustfundament

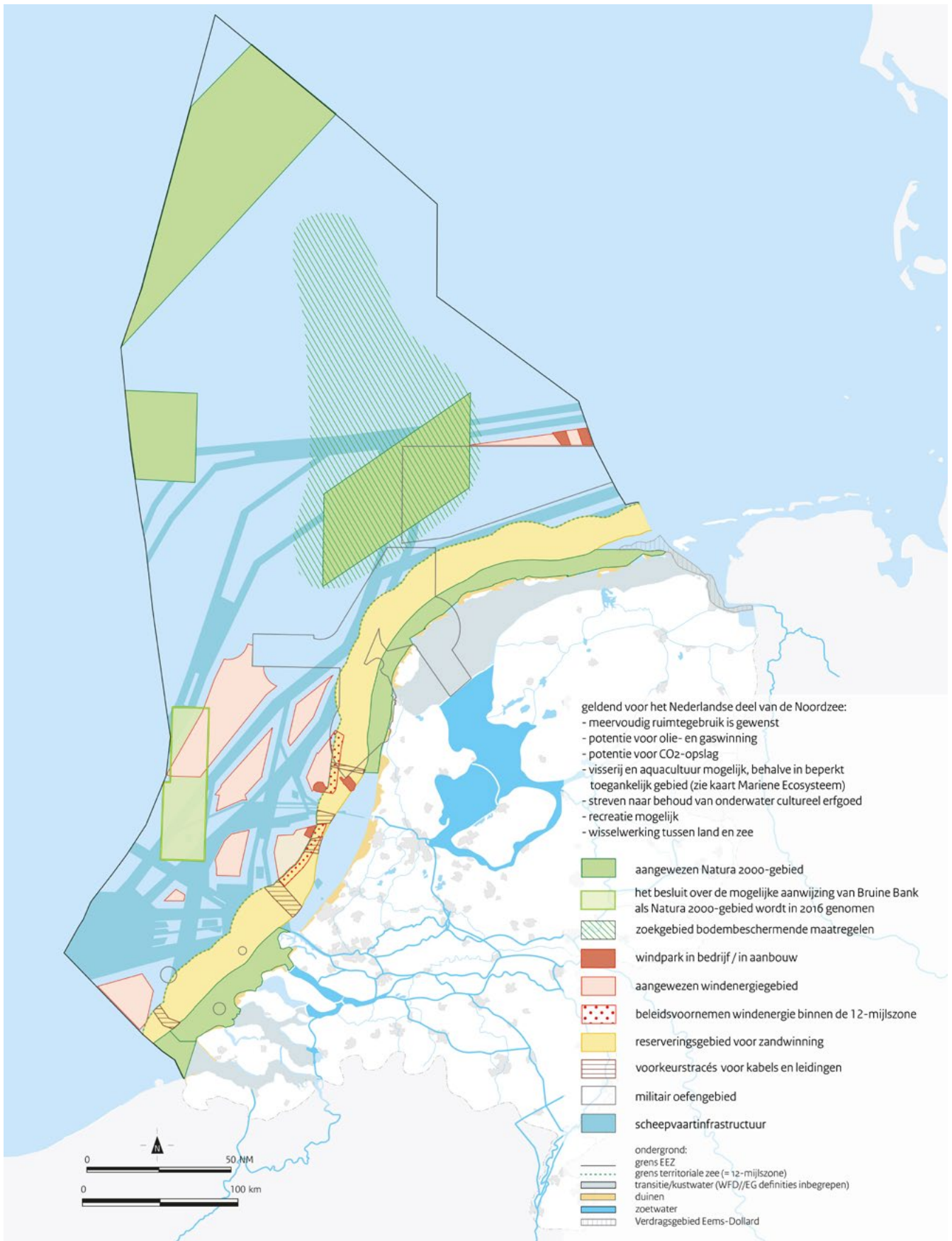
Zoals eerder is beschreven, werd medio jaren '90 van de vorige eeuw gesignaleerd dat de diepere vooroever steiler werd en er zand vanuit de ondiepe kustzone naar de diepe Noordzee werd getransporteerd. Omdat doorgaand zandverlies uit de ondiepe zone zou kunnen leiden tot kusterosie en golfaanval op de duinen en daarmee tot extra kustonderhoud, werd besloten om vanaf 2001 extra zand te suppleren om de zandbalans op orde te houden (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000). Dit is operationeel gemaakt via de invoering van het begrip kustfundament (zie Figuur 3.3) en de doelstelling om dit kustfundament in structureel evenwicht te houden met de stijgende zeespiegel (Rijksoverheid, 2005) (Rijksoverheid, 2016).

Het kustfundament wordt – voor heel Nederland – aan de zeewaartse kant begrensd door de doorgaande NAP -20 m dieptelijn. Aan de landwaartse zijde valt de grens samen met de binnenduintrand of – bij smalle duinen en bij dijken – met de grens van de waterkering uitgebreid met de ruimtereservering voor 200 jaar zeespiegelstijging, tegenwoordig beschermingszone landzijde genoemd (Rijksoverheid, 2005).

Bij de verdeling van het zand dat nodig is om het kustfundament in evenwicht te houden wordt op dit moment geen rekening gehouden met regionale (morfologische) variaties langs de kust.



Figuur 3.3 Kustfundament (Besluit Kwaliteit Leefomgeving, 2018)



Figuur 3.4 Deze kaart geeft de bestaande functies weer en het op lange termijn voor zandwinning gereserveerde gebied (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken, 2015).



Zandwinning is alleen mogelijk zeewaarts van de doorgaande NAP -20m dieptelijn

Het zandwinbeleid is uitgewerkt in een ‘zandwinstrategie’ in de Nota Noordzee (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken, 2015).

Voor zandwinning is een gebied gereserveerd tussen de 12-mijlsgrens en de doorgaande NAP -20 m dieptelijn (zie Figuur 3.4). In dit gebied, met een oppervlakte van 5.134 km², heeft zandwinning prioriteit, maar andere gebruiksfuncties zijn niet uitgesloten. Landwaarts van de doorgaande NAP -20 m dieptelijn mag, afgezien van enkele uitzonderingen, in principe geen winning plaatsvinden.

Bij zandwinning dient het doorgraven van ondiepe klei- en veenlagen te worden voorkomen, zodat de aanwezige zandbodem wordt gehandhaafd én de hoeveelheid slib die vrijkomt door de zandwinning wordt geminimaliseerd. De maximale zandwinddiepte is daarom begrensd tot één meter boven deze lagen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken, 2015).

Verder mag er geen zandwinning plaatsvinden in de Waddenzee en in de zeegaten. De reden hiervoor is dat zandwinning schade toebrengt aan het milieu en extra kustafslag kan veroorzaken op de Waddeneilanden, doordat

de export van sediment uit het kustfundament naar de Waddenzee toeneemt. Vanaf 2021 moet het zand dat vrijkomt bij baggeren weer volledig worden teruggebracht in het systeem.

In de Westerschelde wordt een pilot uitgevoerd, waarbij er voor gewonnen volumes (specifiek) zand een gelijke hoeveelheid Noordzeezand in de Westerschelde wordt gestort op een voor de natuur gunstige locatie. Er wordt naar gestreefd om de netto zandwinning volledig stop te zetten. Dat wil zeggen dat de hoeveelheid zand in de Westerschelde gelijk blijft (Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie, 2018).

Waar mogelijk gebruik maken van natuurlijke dynamiek (tactisch doel)

‘Ruimte geven aan de natuurlijke beweeglijkheid van de kustlijn en het duinfront’ vindt zijn oorsprong in de eerste Kustnota. Dit maakte onderdeel uit van het dynamisch handhaven beleid. De daaropvolgende kustnota’s bevestigden de keuze om zoveel mogelijk gebruik te maken van natuurlijke zandtransportprocessen, ten behoeve van een robuust kuststelsel dat kan meegroeien met de stijgende zeespiegel (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000) (Rijksoverheid, 2016).



Uitwerking in operationeel doel:

Dynamisch kustbeheer

Het ruimte geven aan dynamiek krijgt onder andere vorm via 'dynamisch kustbeheer' (Rijksoverheid, 2016). Dit type beheer kan worden omschreven als het zodanig beheren van delen van de buitenste duinen (de zeereep) dat er ruimte is voor de verstuiwing van zand. Dit beheer heeft een dubbeldoelstelling: bijdrage aan duurzame veiligheid (door het laten meegroeien van de duinen met de stijgende zeespiegel) én het vergroten van de variatie/biodiversiteit van het duingebied.

De uitvoering van zandsuppleties heeft de mogelijkheden voor dynamisch kustbeheer sterk vergroot, omdat er door de suppleties voldoende zand in het kuststelsel blijft (Löffler et al., 2011).

3.4 Overige belangen

Naast de strategische doelen van het kustbeleid, zijn ook andere nationale belangen relevant. Het gaat daarbij onder andere om het realiseren van een goede leefomgevingskwaliteit, het beperken van (de gevolgen van) klimaatverandering,

het waarborgen en versterken van een aantrekkelijk ruimtelijk-economisch vestigingsklimaat en het verbeteren en beschermen van de biodiversiteit (Rijksoverheid, 2019a). In dit kader moet ook het 'Kustpact' worden genoemd, een convenant waarin bijna 60 bij de kust betrokken overheden en maatschappelijke organisaties afspraken hebben gemaakt over de balans tussen de ontwikkeling van de kust en de bescherming van kernkwaliteiten en collectieve waarden. Bij de uitvoering van het kustbeleid wordt ernaar gestreefd om zoveel mogelijk mee te koppelen met andere ontwikkelingen, opgaven en kwaliteiten.

Daarnaast wordt in toenemende mate rekening gehouden met andere grote maatschappelijke opgaven van dit moment, zoals de energietransitie en de vermindering van CO₂-uitstoot. Om de opwarming van de aarde beperkt te houden tot minder dan twee graden Celsius stelt het kabinet zich met het nationale Klimaatakkoord tot doel om in 2050 de uitstoot van broeikasgassen in Nederland terug te dringen met 49% ten opzichte van 1990. Dit centrale doel van het Klimaatakkoord raakt aan alle beleidsterreinen (Rijksoverheid, 2019b).

4 Huidige praktijk: zandsuppleties als belangrijk middel

Dit hoofdstuk gaat over de huidige uitvoering van zandsuppleties, als belangrijk middel voor het realiseren van het kustbeleid. Daarbij wordt ingegaan op de programmering van suppleties en op de huidige suppletiestrategie (hoeveel zand wordt er gesuppleerd, waar wordt het zand neergelegd en volgens welke methode). Het hoofdstuk sluit af met ervaringen die zijn opgedaan tijdens ruim 25 jaar suppleren. Deze bevindingen dienen als input voor te ontwikkelen suppletiestrategieën voor de toekomst (zie Hoofdstuk 9).

4.1 Programmering van suppleties

Prestatieafspraken

Rijkswaterstaat en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) hebben meerjarige prestatieafspraken gemaakt over het beheer en onderhoud van de kust. Deze zijn vastgelegd in een 'Service Level Agreement' (SLA). De huidige SLA loopt van 2018 t/m 2021 en bevat afspraken die zijn uitgedrukt in een Prestatie Indicator (PIN) over het percentage te handhaven Basiskustlijn (in maximaal 10% van de kusttraaien wordt de positie van de Basiskustlijn overschreden) en een Indicator (IN) Meestijgen Kustfundament (gebaseerd op een jaarlijks suppletievolume van 20 miljoen m³ zand/jaar⁸). In de huidige SLA is afgesproken om gemiddeld 7 miljoen m³ zand/jaar te suppleren. Dit is lager dan in de SLA's uit de periode 2001 t/m 2017, toen het afgesproken volume suppletiezand gemiddeld 12 miljoen m³ zand/jaar bedroeg. De redenen voor dit tijdelijk lagere volume zijn beschreven in par. 4.2.1.

De beheer- en onderhoudsmaatregelen die worden genomen voor het nakomen van de twee prestatieafspraken zijn op hoofdlijnen beschreven in het Beheer- en ontwikkelplan voor de rijkswateren (Bprw 2016-2021). Vanaf 2022

worden het Bprw en het Nationaal Waterplan samengebracht in één programma: het Nationaal Waterprogramma 2022-2027. Er gaan dan ook nieuwe prestatieafspraken gelden.

Meerjarenprogramma Kustlijnzorg

Rijkswaterstaat werkt de afspraken in de SLA (sinds 2012) uit in het meerjaren-programma Kustlijnzorg. In dit programma staat op hoofdlijnen hoeveel zand er op welke locaties moet worden aangebracht. Rijkswaterstaat hanteert bij het uitvoeren van zandsuppleties de volgende prioriteit:

- Eerst worden de suppleties gepland die als primair doel hebben om kusterosie op korte termijn tegen te gaan (0-10 jaar).
- Vervolgens worden zogenaamde kustfundamentsuppleties gepland, ten behoeve van het handhaven van de kust op de lange termijn (> 10 jaar). Deze worden aangebracht op plaatsen waar de zandbehoefte van het kuststelsel het grootst is en waar de suppleties zo mogelijk ook bijdragen aan andere doelen dan de lange termijnveiligheid, zoals recreatie, economische ontwikkeling of natuur (Rijkswaterstaat, 2019a). Daarbij wordt verondersteld dat de natuur zelf zorgdraagt voor een herverdeling van het zand die zo goed mogelijk past bij een nieuw evenwicht (Mulder, 2000).

8 Dit volume is overeenkomstig het advies over het suppletievolume uit het Nationaal Waterplan 2009-2015 (Rijksoverheid, 2009). Daarin werd vermeld dat 'om het hele kustfundament mee te laten groeien met de huidige zeespiegelstijging, een verhoging van het suppletievolume nodig was van 12 miljoen m³ naar 20 miljoen m³ per jaar.'

Rijkswaterstaat besteedt de daadwerkelijke uitvoering van het kustonderhoud uit aan marktpartijen. De vergunningen en andere wettelijke verplichtingen verzorgt Rijkswaterstaat zelf.

Het suppletieprogramma wordt eenmalig voor 4 jaar vastgesteld en vervolgens jaarlijks geactualiseerd en ter consultatie voorgelegd aan de bij het kustbeheer betrokken regionale partijen, om waar mogelijk samen doelen te realiseren. Na de consultatie wordt het suppletieprogramma bestuurlijk vastgesteld. Het jaar 2020 is een overgangsjaar: de eindfase van het suppletieprogramma 2016-2019 loopt nog en het nieuwe meerjarenprogramma 2020 - 2023 is van start gegaan (Rijkswaterstaat, 2019a).

Innovaties in de Kustlijnzorg: CO₂-reductie

Uiterlijk in 2030 wil het ministerie van IenW energie- en klimaatneutraal zijn. Dat betekent dat de hoeveelheid energie die IenW verbruikt gelijk is aan de hoeveelheid hernieuwbare energie die wordt opgewekt binnen het eigen areaal.

Ook Rijkswaterstaat staat voor de taak om deze ambitieuze doelen te behalen bij het beheer van zijn netwerken; prestatieafspraken hierover zijn vastgelegd in een Service Level Agreement (SLA) met de bestuurskern (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018b).

Mede tegen deze achtergrond streeft Rijkswaterstaat ernaar om vanaf 2024 innovatieve werkwijzen in de kustlijnzorg in te zetten. De innovaties worden samen met de markt ontwikkeld in het programma 'Innovaties in de Kustlijnzorg' (IKZ). Doel is om – uitgaande van het vigerende beleid – technisch uitvoerbare en kosteneffectieve innovaties te vinden binnen de keten van winnen, transporteren en aanbrengen van zand. Daarbij wordt een grensverleggende CO₂-reductie nagestreefd.

Suppleties voor kustlijn en kustfundament

In het Meerjarenprogramma Kustlijnzorg wordt onderscheid gemaakt tussen basiskustlijnsuppleties en kustfundamentsuppleties. Daarbij geven basiskustlijnsuppleties invulling aan het operationele doel 'handhaven van de kustlijn', met de positie van de basiskustlijn als referentie en kustfundamentsuppleties aan het in evenwicht houden van het kustfundament. In de praktijk blijkt bovengenoemd onderscheid niet altijd scherp te kunnen worden gemaakt. Voor het handhaven van de kustlijn op een tijdschaal van 0-20 jaar blijken aanvullende kustfundamentsuppleties (vooral geulwandsuppleties) namelijk onontbeerlijk te zijn. Dit heeft onder andere te maken met het opdringen van geulen naar de kust, die de positie van de kustlijn op een tijdschaal van 0-20 jaar kunnen bedreigen.

Voor de eenduidigheid is er in de rest van dit rapport voor gekozen om de basiskustlijnsuppleties die nodig zijn voor het handhaven van de kust op een termijn van 0-10 jaar en de kustfundamentsuppleties die

noodzakelijk zijn voor het handhaven van de kust op een termijn van 10-20 jaar als één categorie te beschouwen. De termen basiskustlijnsuppleties en kustfundamentsuppleties worden in dit rapport verder niet meer gebruikt.

In plaats daarvan worden de volgende typen suppleties onderscheiden:

- Suppleties voor het handhaven van de kustlijn op de korte termijn (0-20 jaar). Dit zijn suppleties die nodig zijn om de positie van de kustlijn op een termijn van 0-20 jaar te handhaven. Deze suppleties dragen ook bij aan het in evenwicht houden van het kustfundament;
- Suppleties voor het op lange termijn in evenwicht houden van het kustfundament (> 20 jaar). Dit zijn aanvullende suppleties die nodig zijn om het kustfundament op lange termijn in evenwicht te houden. Een voorbeeld hiervan is de pilotsuppletie op de buitendelta in het Amelander Zeegat.

4.2 Huidige suppletie strategie

4.2.1 Hoeveel zand

Sedimentbehoefte als basis

Zoals eerder beschreven, is het kustfundament niet in evenwicht en is er sediment nodig om in evenwicht te blijven met de stijgende zeespiegel (zie hoofdstuk 2). Dit wordt de sedimentbehoefte van het kustfundament genoemd. Om aan deze behoefte te voldoen werd er in 2001 voor gekozen om het suppletievolume te verhogen tot gemiddeld 12 miljoen m³ zand/jaar (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000). Dit volume zand is gebaseerd op een begin deze eeuw opgestelde zandbalans van het kustsysteem (Mulder, 2000). In 2005 werd deze zandbalans verder uitgewerkt in een methode om de sedimentbehoefte van het kustfundament te berekenen (Nederbragt, 2005). Deze 'rekenregel' gaat ervan uit dat de sedimentbehoefte wordt bepaald door het totale oppervlak van het kustfundament én van de getijdenbekkens Waddenzee en Westerschelde (zogenaamde zanddelende systemen) te vermenigvuldigen met de actuele zeespiegelstijging (zie ook Figuur 4.1).

$$V_{\text{sed}} = (A_{\text{kf}} + A_{\text{wz}} + A_{\text{ws}}) * ZSS_{\text{act}}$$

Met:

- **V_{sed}** Sedimentbehoefte per jaar (m³/jaar)
- **A_{kf}** Oppervlakte kustfundament (m²)
- **A_{wz}** Oppervlakte Waddenzee (m²)
- **A_{ws}** Oppervlakte Westerschelde (m²)
- **ZSS_{act}** Actuele relatieve zeespiegelstijging (m/jaar)

Bij het bepalen van de sedimentbehoefte van het kustfundament (met de rekenregel 2005) werden de volgende uitgangspunten gehanteerd (Lodder, 2016):

- Het volume te suppleren zand is gelijk aan de sedimentbehoefte van het kustsysteem.
- Het kustsysteem is gedefinieerd als het kustfundament en de zanddelende bekkens Westerschelde en Waddenzee. De zeewaartse grens van het kustfundament ligt op de doorgaande NAP -20m dieptelijne, de landwaartse grens ligt op de binnenduinrand. Over deze grenzen vindt geen netto transport van sediment plaats (conform het inzicht uit 2005).
- Het gehele oppervlak van het kustfundament moet meegroeien met de actuele relatieve zeespiegelstijging; dit is de combinatie van absolute zeespiegelstijging en geologische bodemdaling.

- Het sedimenttekort van het kustfundament ontstaat door de actuele relatieve zeespiegelstijging.
- Daarnaast onttrekken de Waddenzee en Westerschelde zand aan het kustfundament om in evenwicht te blijven met de zeespiegelstijging. De sedimentexport is dus een verliespost voor het kustfundament en wordt gelijkgesteld aan het product van het oppervlak van deze bekkens en de zeespiegelstijging.
- De export naar de Oosterschelde is verwaarloosbaar.
- De import van sediment vanuit België wordt gelijkgesteld aan de export naar Duitsland.

Inmiddels heeft Kustgenese 2.0 nieuwe inzichten opgeleverd over de rekenregel en de sedimentbehoefte van het kustsysteem. Hiervoor wordt verwezen naar Hoofdstuk 6.

Suppletiehoeveelheden in de praktijk (zie Figuur 4.2)

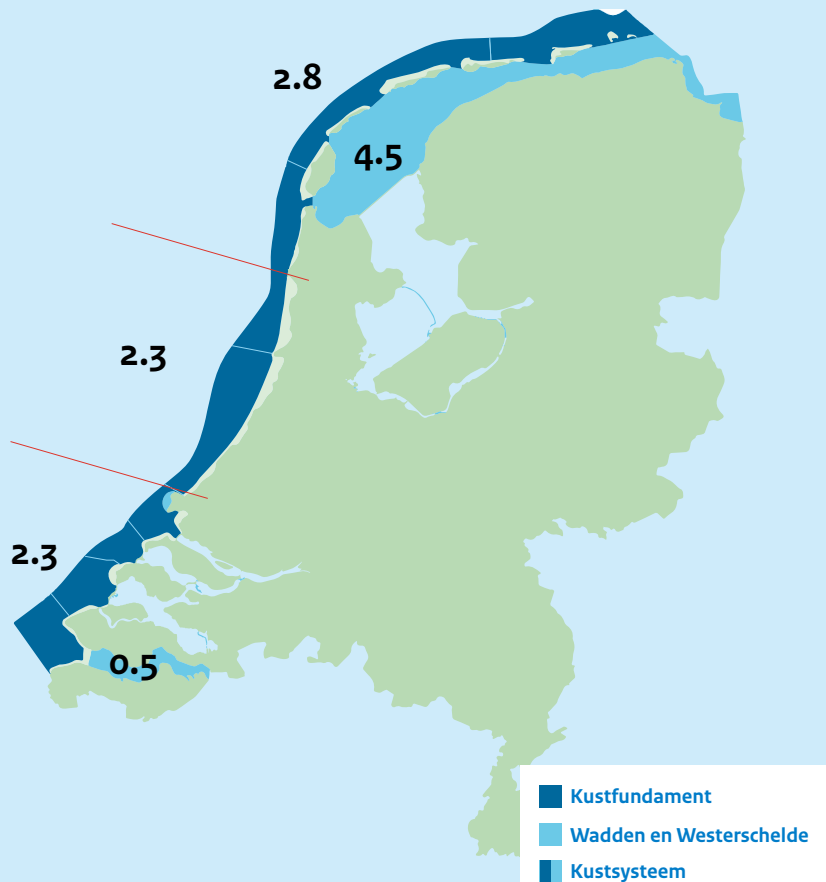
1990-2000

Bij de aanvang van het uitvoeren van het dynamisch handhaven van de kustlijn in 1991 werd ingeschat dat het jaarlijks benodigde suppletievolume 6 miljoen m³ zou bedragen. Uit de in de periode 1991 t/m 2000 gesuppleerde volumes blijkt dat het werkelijk uitgevoerde suppletievolume hoger was, namelijk gemiddeld 7,5 miljoen m³ per jaar (Mulder & Lodder, 2012).

2001-2015

Sinds 2001 is de richtwaarde voor het jaarlijks te suppleren volume zand verhoogd tot 12 miljoen m³ om het kustfundament op langere termijn in evenwicht te houden met de stijgende zeespiegel (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000) (Rijksoverheid, 2016).

In de praktijk bedroeg het volume suppletiezand zand van 2001 t/m 2015 gemiddeld 13,2 miljoen m³ zand/jaar. Daarvan werd gemiddeld 10,8 miljoen m³ zand/jaar gesuppleerd voor het reguliere onderhoud van de kust (kustlijninzorg) en gemiddeld 2,4 miljoen m³ zand/jaar voor de aanleg van de erosiebuffers van de zandige, zeewaartse versterkingen (sinds 2008), de aanleg van de Zandmotor (in 2011) en het onderhoud van de Tweede Maasvlakte (sinds 2013). Voor de Tweede Maasvlakte is weliswaar geen basiskustlijn gedefinieerd, maar er zijn wel suppleties nodig om de sterkte van de zeewering te waarborgen. Deze suppleties dragen ook bij aan het op langere termijn in evenwicht houden van het kustfundament (Lodder et al., 2019).



Figuur 4.1 Rekenregel 2005 voor het bepalen van de jaarlijkse sedimentbehoefte (miljoen m³/jaar) van het kustfundament. Hierbij is uitgegaan van een zeespiegelstijging van 1,86 mm/jaar. Uit de rekenregel volgt een sedimentbehoefte van het kustfundament van 12,4 miljoen m³/jaar (naar Nederbragt, 2005).

2016-2019

In 2016 bleek dat de zandige kust 'goed voorzien was van zand' en er tijdelijk minder zand voor het kustonderhoud nodig was. Dat had deels te maken met de grote hoeveelheid zand die door genoemde projecten aan het kustsysteem toegevoegd was. Daarnaast bleek het in de voorgaande jaren gesuppleerde zand langer te blijven liggen dan eerder was verwacht (effectievere suppleties). Daarom werd voor de periode 2016 t/m 2019 een lager volume

geprogrammeerd, namelijk 9,5 miljoen m³ zand/jaar (inclusief de pilotsuppletie op de buitendelta bij Ameland en het onderhoud van de Maasvlakte). In de praktijk kwam het van 2016 t/m 2019 gesuppleerde volume zand iets hoger uit (gemiddeld 10,5 m³ per jaar). Dit komt doordat er in deze periode ook suppleties werden uitgevoerd die al voor 2016 waren gepland ⁹.

⁹ Tussen de planning en de uitvoering van de suppleties zit vaak een tijdsverschil, bijvoorbeeld doordat er vertragingen optreden in aanbestedingen. Ook loopt de uitvoering van suppleties vaak over de jaargrens heen, waardoor deze dus in twee kalenderjaren valt. Om deze redenen zijn de voor een jaar geplande 'programmakuubs' niet altijd goed te matchen met de in dat jaar gesuppleerde kuubs. De programmakuubs sluiten echter wel het beste aan bij de beleidsafspraken en de SLA.

4.2.2 Waar wordt het zand gesuppleerd?

De verdeling van zand langs de kust wordt in de eerste plaats bepaald door de te handhaven kustlijn. De locaties voor de aanvullende suppleties – die primair bedoeld zijn voor het in evenwicht houden van het kustfundament – worden afgestemd op de zandbehoefte van het kuststelsel en de bijdrage aan andere doelen dan langetermijnveiligheid (waaronder kennisontwikkeling).

Uit de meerjarenprogramma's van Kustlijn­zorg (2012-2023) is af te leiden dat de meeste zandsuppleties ge­pro­grammeerd zijn voor de Waddenkust (4,8 miljoen m³), gevolgd door de Hollandse kust (3,1 miljoen m³) en de Deltakust (2,2 miljoen m³).

Dwars op de kust worden de zandsuppleties gecon­centreerd aangelegd in gedeeltes van het kustfundament, zoals in de buurt van de laagwaterlijn (op het strand), op de voor­oever tussen de NAP – 8 m en -5 m dieptelijn of tegen de land­waartse wand van een getijdengeul dicht bij de kust. De gesuppleerde zone vormt dus maar een klein deel van het gehele kustfundament (zie Figuur 4.3).

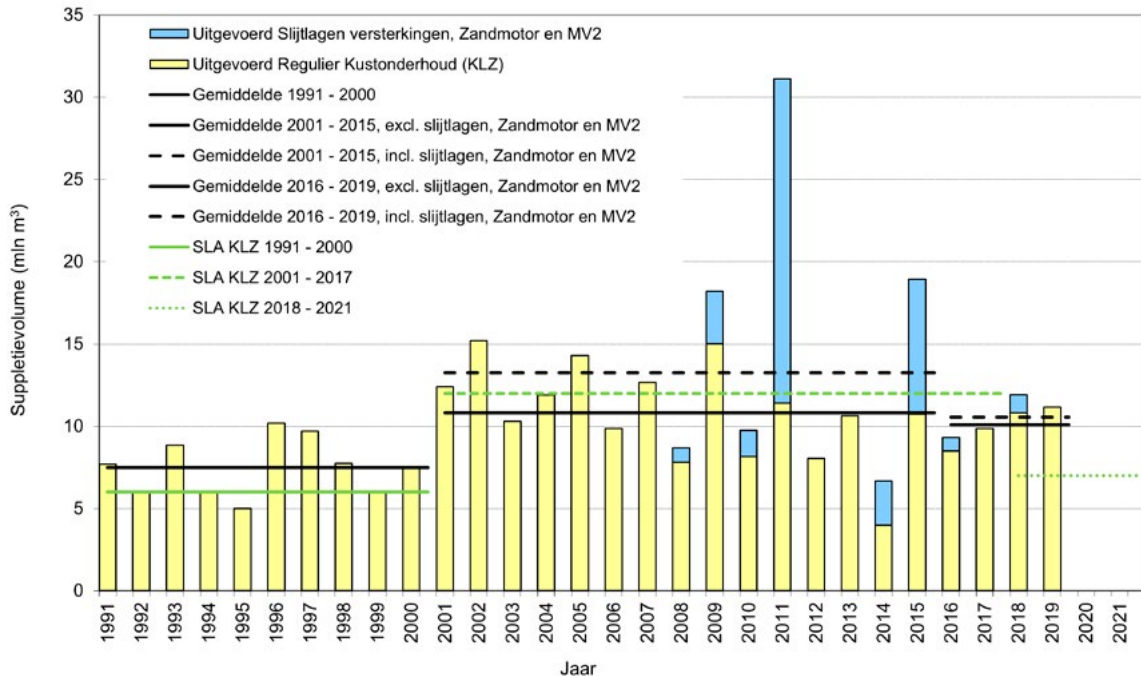
De aanname daarbij is dat natuurlijke processen het gesuppleerde zand verder langs- en dwars op de kust verspreiden.

4.2.3 Hoe suppleren (type suppleties)

Deze paragraaf beschrijft verschillende – gangbare én vernieuwende – typen suppleties. Daarbij worden alleen suppleties beschouwd waar het 'zand vrij kan bewegen' onder invloed van golven, stromingen en wind.

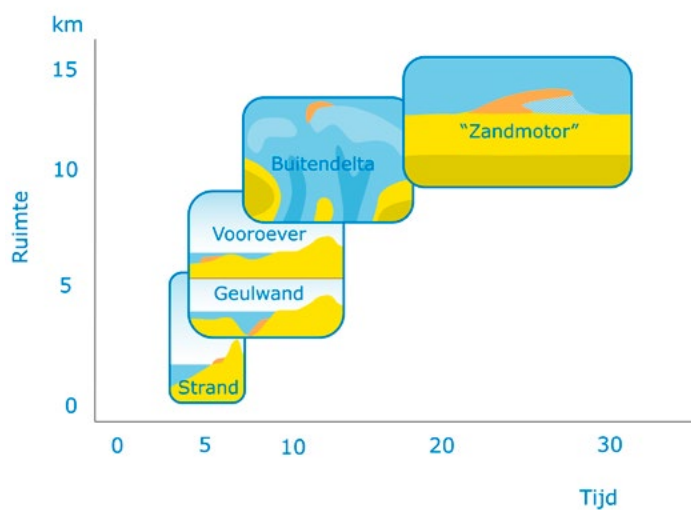
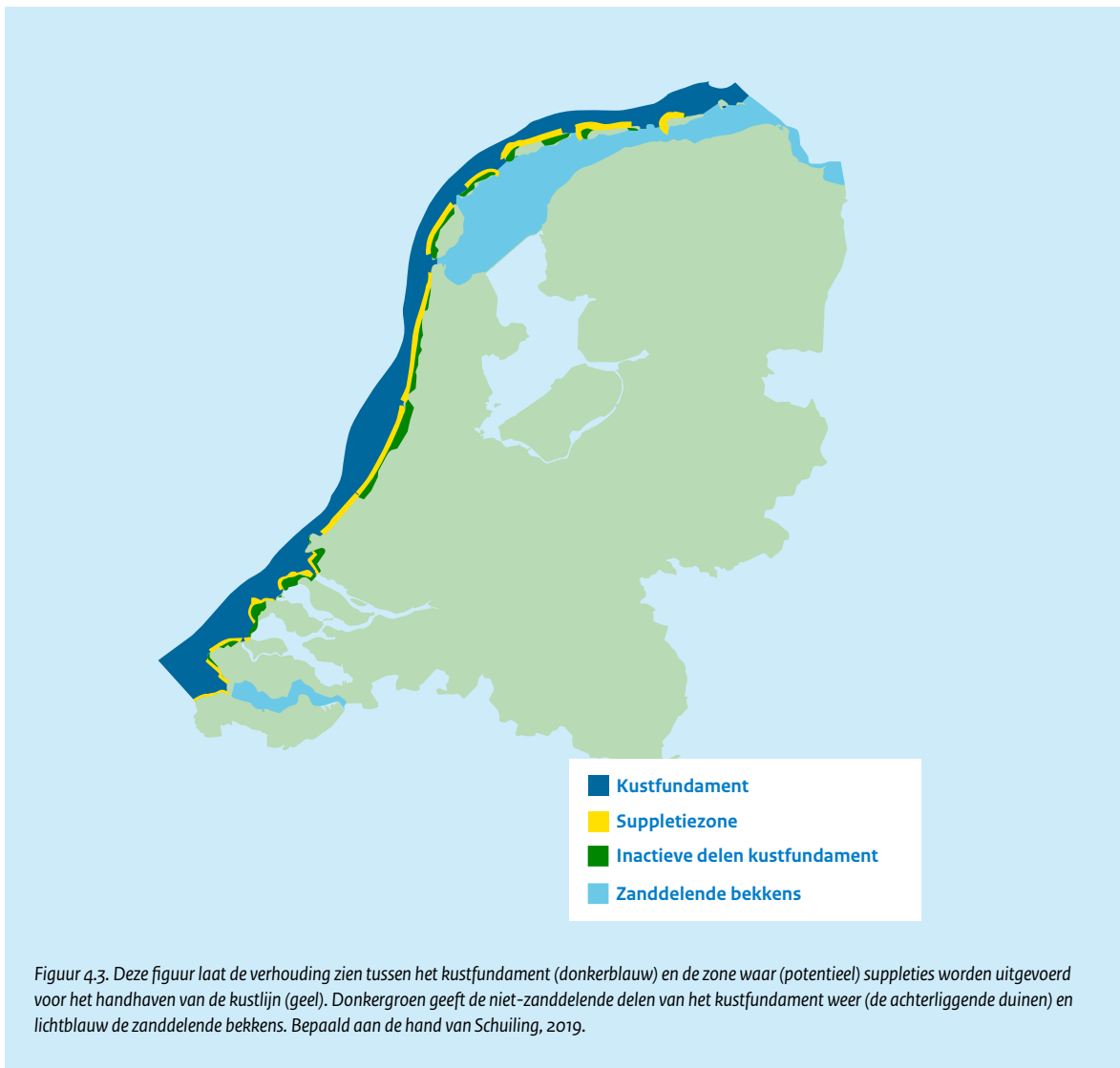
Duinverzwaringen en duinsuppleties worden hier dus niet toe gerekend.

Zandsuppleties kunnen op verschillende schaalniveaus worden uitgevoerd. Daarbij hebben suppleties die op een kleine ruimteschaal worden uitgevoerd doorgaans een kortstondiger effect dan grootschaligere suppleties (zie Figuur 4.4).



Figuur 4.2 Gesuppleerde volumes zand langs de Nederlandse kust (Actualisatie van Lodder et al., 2019).

- De gele balken geven het jaarlijkse volume van de reguliere suppleties weer, die zijn uitgevoerd binnen het programma Kustlijn­zorg. De doorgetrokken zwarte horizontale lijn geeft het jaarlijks gemiddelde van deze suppletievolumes weer.
- De blauwe balken geven 'extra' gesuppleerde volumes zand weer, voor de Zandmotor (2011, 19 miljoen m³), het onderhoud van Maasvlakte 2 (vanaf 2013) en de aanleg van 'erosiebuffers' bij de zwakke schakels (Hondsbos­sche- en Pettemer Zeewering, Noordwijk, Katwijk, Scheveningen, Delflandse kust, Zeeuws-Vlaanderen). De erosiebuffer is het deel van het volume zand dat bij de versterking werd aangebracht dat 'vrij mag bewegen' en dus niet ter plekke van de versterking aanwezig moet blijven. Om die reden is bv. niet het hele volume van de zandige versterking van de Hondsbos­sche en Pettemer Zeewering in deze figuur meegenomen. De gestreepte zwarte horizontale lijn geeft de jaarlijks gemiddeld totaal gesuppleerde volumes zand weer, inclusief de bijdrage van eerdergenoemde overige projecten.
- De groene lijnen geven de in de Service Level Agreements afgesproken volumes suppletiezand weer.



Figuur 4.4 Suppleties kunnen op verschillende schaalniveaus (tijd en ruimte) worden uitgevoerd.



Figuur 4.5 Figuur met verschillende gangbare vormen van suppleties en een indicatie van de toepasbaarheid langs de kust.

Gangbare vormen van suppleties (zie Figuur 4.5)

Strandsuppleties en vooroeversuppleties

Voor het handhaven van de kustlijn worden vooral strand- en vooroeversuppleties uitgevoerd. Daarbij hebben strandsuppleties het voordeel dat ze direct effect hebben op het handhaven van de kustlijn: zodra het zand op het strand is gestort, neemt het volume zand in de basiskustlijnzone toe en bouwt de momentane kustlijn uit. Bij vooroeversuppleties is er meer zand nodig om de achteruitgang van de – boven water gelegen – kust te stoppen. Vooroeversuppleties sluiten echter beter aan bij de natuurlijke dynamiek, zijn goedkoper en hebben gedurende een langere tijd een positief effect op de positie van de kustlijn.

Bij de uitvoering van suppleties wordt daarom waar mogelijk gekozen voor suppleties op de ondiepe onderwateroever: op het strand waar het moet, onder water waar het kan (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 3e Kustnota, 2000). In de uitgangspunten van het huidige suppletieprogramma Kustlijnzorg (Rijkswaterstaat, 2019a) wordt dit als volgt geformuleerd: ‘het zand voor basiskustlijnsuppleties wordt bij voorkeur neergelegd op de vooroever, tenzij suppleren op het strand efficiënter en effectiever is. (...) De afgelopen jaren is gebleken dat de verhouding tussen vooroever- en strandsuppleties ongeveer 70% - 30% is.’

De keuze voor een strand- of vooroeversuppletie hangt samen met het type kust. Op sommige plaatsen maakt de lokale kustmorfologie – zoals de aanwezigheid van grote geulen – het bijvoorbeeld onmogelijk om zandsuppleties op de vooroever uit te voeren die bijdragen aan de ontwikkeling

van de kust. Een voorbeeld hiervan is de Zuidwestkust van Walcheren, waar de getijdengeul Sardijngeul-Oostgat dicht bij de kust ligt. Verder worden er in de nabijheid van ‘harde werken’ zoals havens of havendammen meestal strandsuppleties neergelegd in plaats van vooroeversuppleties.

Geulwandsuppleties

Hierbij wordt het zand neergelegd tegen de wand van een (grote) geul in de vooroever. Hierdoor wordt het richting de kust oprukken van de geulen vertraagd of gemitigeerd. Geulwandsuppleties worden zowel aangebracht om de kustlijn op middellange termijn te handhaven (orde 10-20 jaar) als om het kustfundament op langere termijn in evenwicht te houden met de stijgende zeespiegel.

Nieuwe vormen van suppleties

Naast deze gangbare suppletievormen zijn/worden er pilots met nieuwe vormen van suppleties uitgevoerd, zoals suppleren op de diepe vooroever, de Zandmotor en suppleren op de buitendelta.

Suppletie op de diepe vooroever

In 2017 is voor de kust van Callantsoog 1 miljoen m³ zand gesuppleerd op de diepe vooroever (aanlegdiepte ca. NAP -10 m, hoogte 3 m) voor het onderhoud van het kustfundament (zie Figuur 4.6). Nevendoel is het onderhoud van de kustlijn. De morfologische ontwikkeling wordt gemonitord en geëvalueerd in het programma Beheer en Onderhoud Kust (Lodder et al., 2019).

Zandmotor

Het aanbrengen van een zandmotor komt neer op het toevoegen van een overmaat aan zand aan het kuststelsel, dat vervolgens door natuurlijke (stromings)processen wordt herverdeeld. Het zand leidt tot tijdelijke kustuitbreiding en draagt bij aan één of meer functies en waarden, zoals bescherming tegen overstroming, recreatie, natuur of kennisontwikkeling. Dat betekent dat het concept qua vormgeving, volume en plaats kan verschillen (Oost et al., 2016).

In 2011 werd bij wijze van pilot de Zandmotor aangelegd voor de Delflandse kust (zie Figuur 4.7). Hiervoor werd 19,5 miljoen m³ zand in situ aangebracht. De Zandmotor heeft tot doel om de kustveiligheid op langere termijn te vergroten en natuurontwikkeling en recreatie te versterken door verbreding van het strand en de duinen. Daarnaast is kennisontwikkeling en innovatie in relatie tot kustbeheer een belangrijk doel: vormt een zandmotor een doelmatige en kostenefficiënte manier van suppleren in vergelijking met de gangbare suppletie methoden? Welke aanvullende baten levert een zandmotor?

Uit monitoring en onderzoek blijkt dat de Zandmotor een belangrijke meerwaarde heeft voor de natuurwaarden van de Delflandse kust en voor de recreatie. Ook is duidelijk dat de Zandmotor een langere levensduur heeft dan de beoogde 20 jaar. In 2021 volgt de beleidsevaluatie van 10 jaar Zandmotor, waarin wordt beschreven in hoeverre de vooraf beschreven beleidsdoelen worden gehaald.

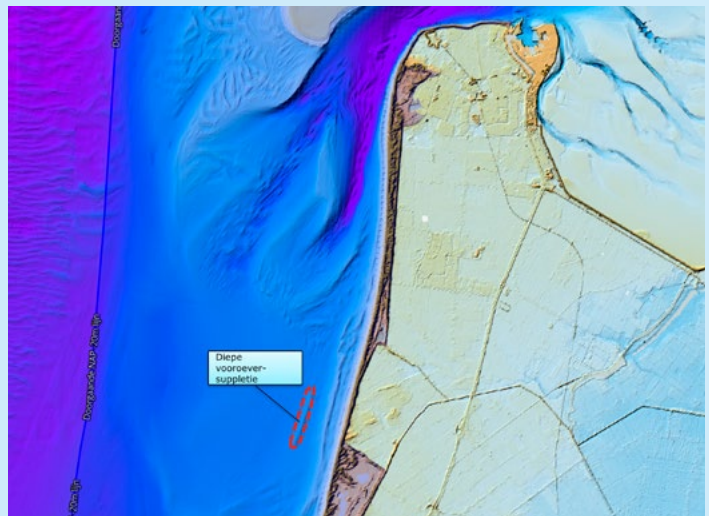
Suppletie op de buitendelta

Een suppletie op de buitendelta grijpt in op de schaal van het zeegatsysteem en maakt gebruik van de natuurlijke processen op die schaal. Hierdoor zouden zandverliezen in het kustfundament al kunnen worden aangevuld voordat ze een probleem vormen voor het kustlijnonderhoud van de eilanden (zie Hoofdstuk 2).

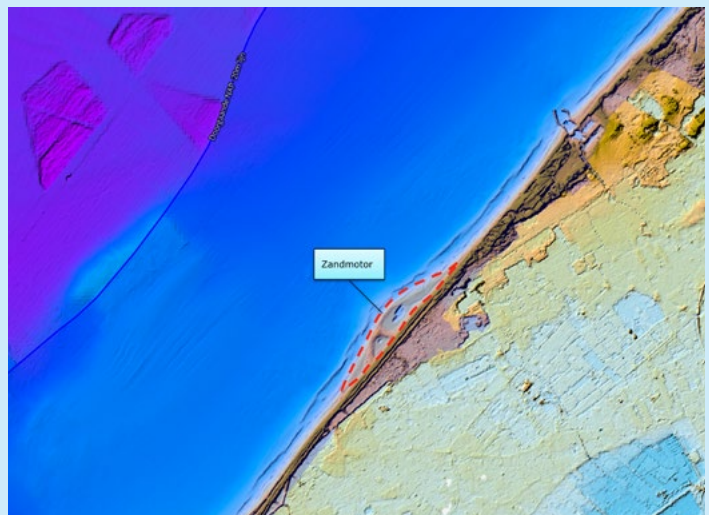
In 2018-2019 is er in het kader van Kustgenese 2.0 een pilotsuppletie met een omvang van 5 miljoen m³ zand aangebracht op de buitendelta van het Amelandse Zeegat (zie Figuur 4.8).

Deze pilotsuppletie draagt bij aan het meegroeien van het kustfundament met de zeespiegelstijging en aan het vergaren van systeemkennis over de morfologie en ecologie van zeegaten. Verder geeft de pilot inzicht in het ontwerp, de schaalbaarheid en de uitvoerbaarheid van suppleties op de buitendelta (zie Hoofdstuk 7.3 voor meer informatie).

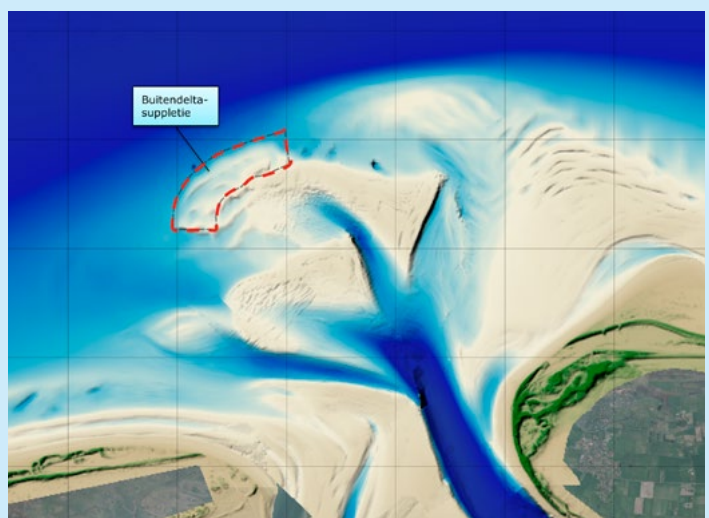
Voor bredere toepassing moet rekening worden gehouden met onder andere de vergunningaanvragen en eventuele bezwaarprocedures door stakeholders.



Figuur 4.6 Suppletie op de diepe vooroever bij Callantsoog. De zeevaartse grens van het kustfundament is in de figuur zichtbaar, evenals het zeegat van Texel bij Den Helder.



Figuur 4.7 Zandmotor langs de Delflandse kust.



Figuur 4.8 Buitendeltasuppletie in het Amelandse Zeegat.

4.3 Bevindingen na ruim 25 jaar suppleren

4.3.1 Bijdrage aan beleidsdoelen

Zandsuppleties leveren een belangrijke bijdrage aan het behalen van de strategische doelen van het kustbeleid: duurzame handhaving van de veiligheid en duurzaam behoud van functies en waarden in het duingebied. Dat blijkt onder andere uit een externe evaluatie (DHV, 2005), waarin het ‘dynamisch handhaven beleid’ met zandsuppleties wordt beoordeeld als doeltreffend en doelmatig. Volgens het rapport hebben zandsuppleties in de evaluatieperiode (1990-2005) substantieel bijgedragen aan het handhaven van de veiligheid. Ook geeft de evaluatie aan dat ‘het betrokken ministerie alert is op mogelijke ontwikkelingen in de toekomst, met name door te anticiperen op zeespiegelstijging.’

Wat betreft de operationele doelen van het kustbeleid geldt dat er met de jaarlijkse zandsuppleties wel wordt voldaan aan het handhaven van de positie van de kustlijn, maar niet geheel aan het in evenwicht houden van het kustfundament met de stijgende zeespiegel. Vooral langs de Waddenkust wordt de sedimentbehoefte niet volledig gecompenseerd. Dit heeft vooral te maken met de uitvoerbaarheid van suppleties (zie par. 4.3.2).

Dat er nog niet geheel wordt voldaan aan het in evenwicht houden van het kustfundament met de stijgende zeespiegel, vormt voor de komende 20 jaar geen probleem. De ervaring laat zien dat de huidige suppletievolumes volstaan om de kustlijn op een tijdschaal van 0 tot 20 jaar te handhaven. Dit is voldoende om op deze termijn aan de strategische doelen

van het kustbeleid te blijven voldoen. Daarbij wordt uitgegaan van de huidige snelheid van zeespiegelstijging.

Voor de langere termijn (>20 jaar) wordt verwacht dat het in evenwicht houden van het kustfundament steeds belangrijker zal worden voor het behalen van de strategische doelen. Het is immers duidelijk dat de sedimentbalans op lange termijn sturend is voor de ontwikkeling van de kust. Bij een kustfundament dat niet in balans is, is te verwachten dat de golfaanval op strand en duinen op langere termijn toeneemt en er meer kusterosie optreedt. Ook kunnen de buitendelta's kleiner worden, waardoor er minder zand beschikbaar is voor het handhaven van de kustlijn op de Waddeneilanden.

Dat betekent dat het suppletievolume op de lange termijn dichter in de buurt moet komen van de sedimentbehoefte van het kustfundament. Wanneer dit precies nodig is, is niet aan te geven, omdat de relatie tussen de beleidsdoelen en de sedimentbehoefte van het kustfundament nog niet helemaal scherp is. Hiervoor is meer onderzoek nodig.

Voorstel voor herformulering van de operationele doelen

Op grond van bovenstaande bevindingen, wordt aanbevolen om twee operationele doelen van het kustbeleid bij te stellen door een tijdshorizon te introduceren. Verwacht wordt dat met deze aangepaste doelen de strategische doelen tot 2032 kunnen worden behaald. De aangepaste doelen kunnen als volgt worden geformuleerd:

- Dynamisch handhaven van de kustlijn op een tijdschaal van 0-20 jaar.
- In evenwicht houden van het kustfundament op langere termijn (>20 jaar)

Relatie tussen de strategische beleidsdoelen

De strategische doelen van het kustbeleid hebben een grote overlap. Het suppleren van zand draagt immers bij aan zowel duurzame veiligheid als duurzaam behoud van functies in het duingebied. De relatie tussen de veiligheid van de waterkering en zandsuppleties uit zich op meerdere manieren:

- Bij duinwaterkeringen draagt het onderhouden van de basiskustlijn direct bij aan het op peil houden van het zandvolume van het achterliggende duin en daarmee aan het op sterkte houden van de duinwaterkering. Dit is inzichtelijk gemaakt in de kaart en toelichtende memo ‘Kustlijnverzorging in relatie tot de kustfuncties’ (Hoogland, 2014).
- Uit een analyse uit 2012 blijkt dat de zeewering langs circa 64 kilometer van de Nederlandse kust relatief smal en laag is en direct gebaat is bij zandsuppleties. Het uitvoeren van suppleties kan hier de faalkans significant

verlagen (Stronkhorst, 2012). Ook volgens een recente studie geldt er op hoofdlijnen dat een kust die voldoet aan de Basiskustlijn ook voldoet aan de normen voor waterveiligheid (Witteveen en Bos, 2020).

- Bij hybride keringen, zoals Noordwijk en Katwijk, borgt het handhaven van de kustlijn het zandvolume dat nodig is om aan de veiligheidsnorm van de kering te voldoen.
- Ook bij harde keringen met een voorliggend droog strand is er soms een Basiskustlijn vastgesteld. Hierbij geldt dat erosie aan de voet van de dijk wordt bestreden, indien deze de stabiliteit van de waterkering zo sterk bedreigt, dat het polderland gevaar loopt (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990).
- Zandsuppleties dragen altijd bij aan het meegroeien van het kustfundament en daarmee aan langetermijn veiligheid van het achterland.



4.3.2 Beschikbare locaties en vergunbaarheid

De ervaring laat zien dat zandsuppleties voor het op lange termijn in evenwicht houden van het kustfundament soms lastig uitvoerbaar zijn. Dit heeft onder andere de volgende redenen:

Beschikbaarheid van locaties

In par. 4.1 werd reeds beschreven dat de verdeling van suppletiezand langs de kust in de eerste plaats wordt bepaald door de te handhaven kustlijn. De locaties voor de aanvullende suppleties – die primair bedoeld zijn voor het in evenwicht houden van het kustfundament – worden afgestemd op de zandbehoefte van het kuststelsel en de bijdrage aan andere doelen dan langetermijnveiligheid, zoals recreatie, economische ontwikkeling, natuur of kennisontwikkeling.

In de huidige praktijk blijkt echter dat het aantal locaties waar deze aanvullende suppleties meerdere doelen kunnen dienen beperkt is. Ook komt naar voren dat de suppleties voor het kustfundament op sommige plaatsen moeilijk uitvoerbaar zijn, door bijvoorbeeld ondieptes of de aanwezigheid van getijdengeulen.

Dit betekent dat het – om het kustfundament op lange termijn in evenwicht te houden – noodzakelijk kan worden om te suppleren op locaties waar dit op korte termijn niet gewenst is vanuit andere belangen.

Ontbreken van een instrument

Bij het programmeren van de suppleties die nodig zijn om het kustfundament op lange termijn in evenwicht te houden, is er behoefte aan scherpe criteria waarmee kan worden bepaald wanneer en waar deze suppleties nodig geacht worden. Aanbevolen wordt om ter ondersteuning daarvoor een instrument te ontwikkelen, zoals de basiskustlijn dat is voor het handhaven van de kustlijn. Een dergelijk instrument is ook zinvol om te volgen op welke tijdschaal het tactische doel ‘op orde houden van de sedimentbalans’ moet worden behaald.

Vergunbaarheid

Voor het winnen van zand en het uitvoeren van (grote) zandsuppleties kan het nodig zijn om een vergunning aan te vragen in het kader van de Ontgrondingenwet en de Wet natuurbescherming. De vergunbaarheid kan vooral voor nieuwe, grotere vormen van suppleties, waarover de kennis over de (ecologische) effecten nog beperkt is, een probleem vormen.

Wet natuurbescherming

De Wet natuurbescherming implementeert de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn en beschermt (Natura 2000) natuurgebieden en planten- en diersoorten. Voor activiteiten die een negatief effect hierop kunnen hebben (bijvoorbeeld via de uitstoot van stikstof), is in veel gevallen een natuurvergunning nodig.

Vanaf 2009 is in overleg met het ministerie van LNV en natuurorganisaties besloten om natuurvergunningen aan te vragen voor het uitvoeren van suppleties. Inmiddels is echter duidelijk geworden dat suppleties die bedoeld zijn voor het reguliere beheer en onderhoud van de kust niet gezien worden als een nieuw plan of project in de zin van de Habitatrictlijn en dat hiervoor geen vergunning nodig is. Dat betekent niet dat er geen rekening meer hoeft te worden gehouden met het natuurbelang. Het zorgvuldig uitvoeren van zandsuppleties is geregeld binnen de juridische context van de zorgplicht. In dat kader worden er reguliere conformiteitstoetsen uitgevoerd, waaronder toetsing aan de Natura 2000-beheerplanvoorwaarden. Dat betekent dat er bij de uitvoering van suppleties standaard rekening wordt gehouden met onder andere het broedseizoen en het overwinteringsgebied van kust- en zeevogels, de aanwezigheid van schelpenbanken, zeehondenuitruimplaatsen, strand en schorvegetaties, duinvegetaties, broedvogels en steenlopers.

Voor (grotere) suppleties die primair worden neergelegd voor het op lange termijn in evenwicht houden van het kustfundament, zijn naar verwachting nieuwe (grotere) vormen van suppleties nodig. Op dit moment bevinden deze vormen zich nog in de pilotfase en is de kennis over de (ecologische) effecten ervan nog in ontwikkeling. Deze suppleties zijn weliswaar vereist voor het onderhoud van de kust op lange termijn, maar de koppeling met waterveiligheid en het handhaven van de kustlijn op de korte termijn is beperkt. Gezien het belang van deze adaptieve suppleties is het gewenst om tot een integrale werkwijze te komen, waarin meerdere aspecten van de uitvoering van suppleties via een toetsingskader worden beoordeeld.

Ontgrondingenwet

Voor het winnen van zand op de Noordzee is een vergunning ingevolge de Ontgrondingenwet nodig van het ministerie van IenW. Vergunningen voor zandwinning voor meer dan 10 miljoen m³ of een oppervlakte groter dan 500 ha zijn m.e.r.-plichtig.

Voor het onderhoud van de kust conform het programma Kustlijnzorg (waarvoor meer zand nodig is dan 10 miljoen m³), heeft Rijkswaterstaat een m.e.r. op laten stellen (Sweco, 2017) op basis waarvan een meerjarige ontgrondingsvergunning is aangevraagd; de nieuwste vergunning is medio 2018 verleend.

Nieuwe Omgevingswet

De wetten die eerder zijn genoemd, zullen worden opgenomen in de nieuwe Omgevingswet. Deze Wet is goedgekeurd door de Eerste Kamer en zal naar verwachting in 2022 in werking treden. De vergunningplicht wordt beschreven in de bijbehorende Algemene Maatregelen van Bestuur (AMvB's), zoals het Besluit Activiteiten Leefomgeving (BAL).

4.3.3 Verspreiding van suppletiezand

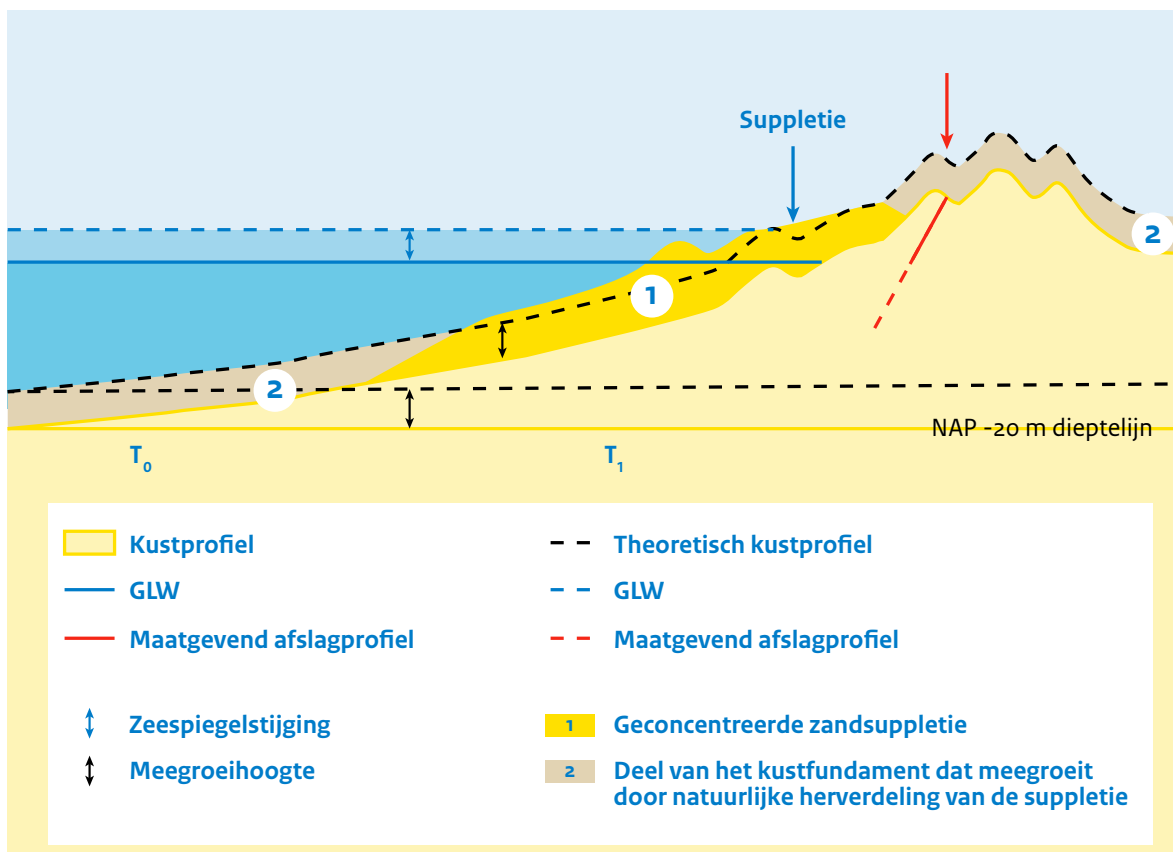
Verspreiding langs de kust

Tot op heden wordt het kustfundament beschouwd als één geheel. In 2005 werd weliswaar al aangegeven dat de sedimentbehoefte per kustregio verschilt (Nederbragt, 2005), maar daarmee is bij de verdeling van suppletiezand niet expliciet rekening gehouden (zie Tabel 4-1). Aangenomen werd dat het zand zich vanzelf langs de kust zou verspreiden.

Uit een in 2012 uitgevoerde analyse blijkt dat er langs de Hollandse kust tussen 2000 en 2009 meer zand is gesuppleerd dan de sedimentbehoefte van dat deel van het kustfundament. Langs de Deltakust benaderde het suppletievolume de sedimentbehoefte en langs de kust van de Waddeneilanden werd aanzienlijk minder zand gesuppleerd dan de sedimentbehoefte (Mulder & Lodder, 2012).

Periode 2000 - 2009	Realisatie/ behoefte (Uitgaande van 12 miljoen m ³ zand/jaar)
Wadden	70 %
Holland	165 %
Delta	95 %

Tabel 4-1 Resultaten van een in 2012 uitgevoerde analyse van gerealiseerde suppleties per deelgebied ten opzichte van de met de rekenregel 2005 berekende sedimentbehoefte (uitgedrukt in percentages). Hierbij werd de periode 2000-2009 in beschouwing genomen.



Figuur 4.9. In de huidige praktijk wordt vrijwel al het zand gesuppleerd op de ondiepe vooroever en op het strand (1). Dit zand verspreidt zich over het kustfundament (2). Bij een evenredige herverdeling van het zand over het hele kustfundament, ontstaat het theoretisch kustprofiel (zwarte stippellijn). In de praktijk treedt deze herverdeling nog beperkt op (gebaseerd op: Deltaprogramma, 2015a).

Voor de afwijkingen kunnen onder andere de volgende redenen worden genoemd:

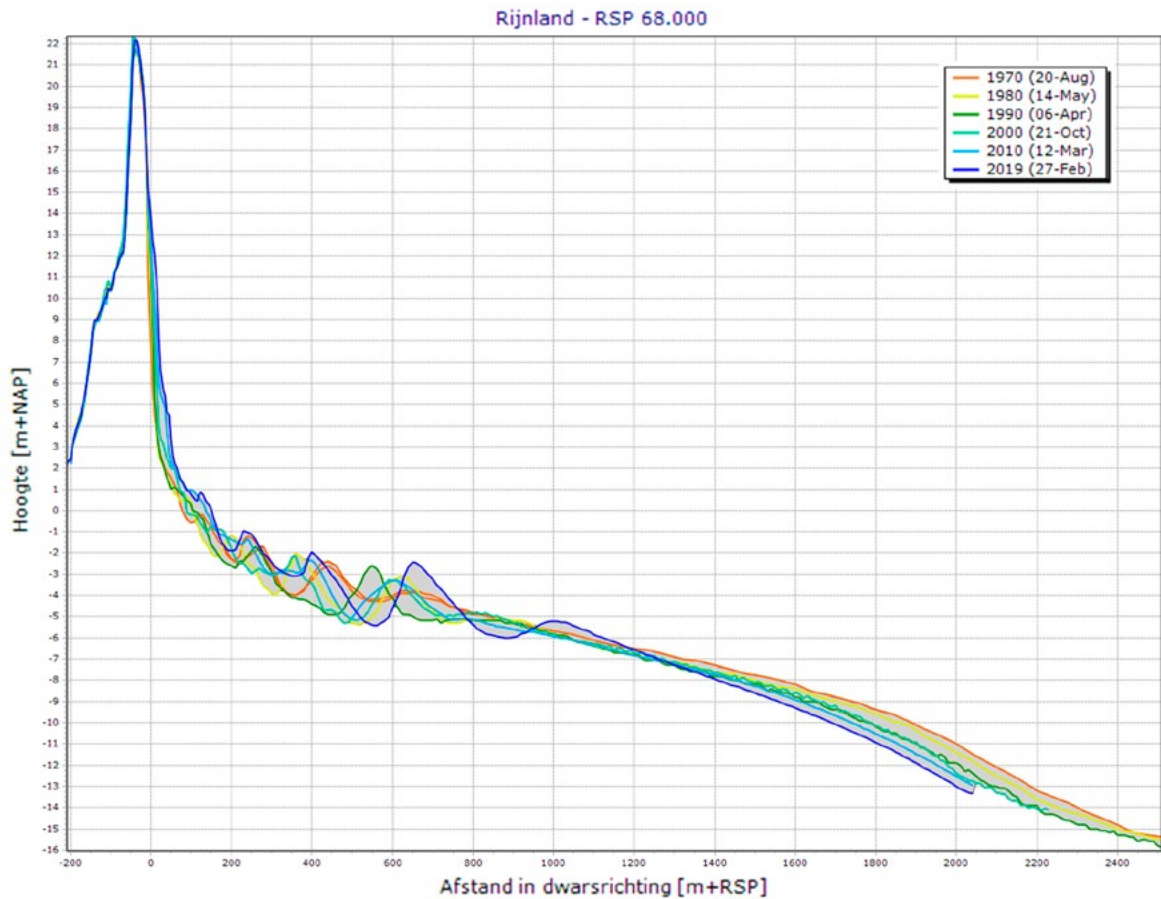
- Het handhaven van de kustlijn heeft een hogere prioriteit dan het in evenwicht houden van het kustfundament (zie par. 4.1). In het Waddengebied liggen relatief veel kustdelen waarvoor geen basiskustlijn is gedefinieerd en die niet in aanmerking komen voor suppleties ten behoeve van het handhaven van de kustlijn.
- Langs de Hollandse kust en de kust van de zuidwestelijke Delta spelen relatief grotere maatschappelijke belangen. Dit komt onder andere tot uitdrukking in een groter percentage kustdelen waarvoor een basiskustlijn is vastgesteld en lokaal een meer zeewaarts gelegen basiskustlijn om aanwezige functies afdoende te kunnen beschermen (zoals bij Callantsoog, Bergen aan Zee, Egmond aan Zee, Katwijk, Noordwijk en Scheveningen). Het in standhouden van deze meer zeewaarts gelegen basiskustlijn vraagt om suppletievolumes die hoger kunnen zijn dan de sedimentbehoefte van het betreffende deel van het kustfundament.
- De voorkeur voor onderwatersuppleties voor het handhaven van de kustlijn (zie par. 4.2.3) leidt tot grotere volumes zand langs kustdelen met basiskustlijnoverschrijdingen.

Aanbeveling: verdeling van zand beter afstemmen op de regionale sedimentbehoefte

Op een tijdschaal van jaren tot decennia blijkt dat het gesuppleerde zand zich slechts beperkt verspreidt langs de kust. Op deze tijdschaal komt zand dat langs de Deltakust wordt gesuppleerd bijvoorbeeld niet of heel beperkt langs de Hollandse kust terecht. Ook het langs de Hollandse kust gesuppleerde zand bereikt op die termijn maar mondjesmaat het Waddengebied. Om het kustfundament op langere termijn in evenwicht te houden, wordt daarom aanbevolen om de suppleties beter af te stemmen op de regionale sedimentbehoefte van het kustfundament.

Verspreiding dwars op de kust

Een uitgangspunt voor het bepalen van de sedimentbehoefte is dat het hele kustfundament in evenwicht blijft met de stijgende zeespiegel. Met andere woorden: over het gehele profiel van binnenduintrand tot de NAP -20 m lijn, is de zandbehoefte in theorie gelijk aan de laagdikte van optredende zeespiegelstijging. In de huidige praktijk wordt vrijwel al het zand gesuppleerd op de ondiepe vooroever en op het strand, ondieper dan NAP -8 m (zie Figuur 4.9).



Figuur 4.10. Voorbeeld van het verloop van een kustprofiel voor de kust van Rijnland iets ten zuiden van Zandvoort in stappen van 10 jaar, tussen 1970 en 2010. Duidelijk is te zien dat de diepere vooroever (dieper dan de NAP -8m dieptelij) lager is komen te liggen. Het gevolg hiervan is dat het kustprofiel op deze locatie steiler is geworden.

De verwachte herverdeling van het suppletiezand over het volledige profiel van het kustfundament is echter nog beperkt. Langs de Hollandse kust bijvoorbeeld blijkt dat het in de ondiepe zone gesuppleerde zand zich (nog) niet of slechts langzaam verspreidt naar de diepere kustzone (dieper dan NAP -8 m). Het gemiddelde sedimentvolume in de ondiepe zone neemt daarmee toe ten opzichte van de diepere zone (zie *Figuur 4.9* en *Figuur 4.10*). Daardoor wordt het profiel van de Hollandse kust relatief steiler (Van der Spek & Lodder, 2014).

Het proces van versteiling veroorzaakt op dit moment geen problemen voor de stabiliteit van de duinen. Bij doorgaande verdieping zal het kustonderhoud naar verwachting toenemen, doordat er meer sediment uit de ondiepe zone wordt getransporteerd. Door de toenemende diepte kan de golfaanval op de duinen bovendien toenemen omdat de golfenergie minder wordt gedempt. Mogelijk kan dit op langere termijn voor problemen zorgen.

Om op de verdieping en de mogelijke gevolgen hiervan te anticiperen is er in 2017 een pilotsuppletie bij Callantsoog uitgevoerd op een aanlegdiepte van ca. NAP -10 m (zie par. 4.2.3).

Verstuiving van suppletiezand naar de duinen

Een deel van het gesuppleerde zand stuift door naar de duinen. Het zand accumuleert in de zeereep of stuift, via kuilen en kerven, naar de landwaarts van de zeereep gelegen duinen. Onderzoek laat zien dat de zeereep sterk is aangegroeid sinds de uitvoering van zandsuppleties (Arens, Van Puijvelde, & Brière, 2010). Over de periode 1997-2008 bedraagt de totale hoeveelheid zand die in de zeereep is opgeslagen circa 34 miljoen m³, ofwel gemiddeld 9,3 m³ zand per meter kust per jaar. Het volume van deze aangroei komt overeen met ongeveer 26% van het volume suppletiezand (zie *Tabel 4-2*). Daarbij is het belangrijk om te beseffen dat de aangroei niet per se alleen uit suppletiezand hoeft te bestaan.



	Volume gesuppleerd zand tussen 1997-2008 (miljoen m ³)	Totale aanzanding van de zeereep tussen 1997-2008 (miljoen m ³)	Gemiddelde jaarlijkse volumeverandering van de zeereep (m ³ /m/jaar)
Waddenkust	34	14	10,8
Hollandse kust	71	12	10,6
Deltakust	26	8	6,6
Totaal	131	34	9,3

Tabel 4-2 Volumeverandering van de zeereep tussen 1997 en 2008 in relatie tot gesuppleerde volumes zand

5 Kustgenese 2.0 en gerelateerd onderzoek

Zoals in de inleiding is aangegeven, onderbouwt dit syntheserapport het beleidsadvies Kustgenese 2.0. De belangrijkste bouwstenen daarvoor bestaan uit nieuwe kennis en nieuwe inzichten. Dit hoofdstuk beschrijft de onderzoeksprogramma's waaruit is afgetapt. Naast Kustgenese 2.0 gaat het ook om gerelateerd onderzoek. De belangrijkste nieuwe inzichten komen aan bod in de hoofdstukken 6 t/m 8 van dit rapport.

5.1 Inleiding

Het is al heel lang bekend dat kennis over het zandige kuststelsel belangrijk is voor Nederland. In 1937 schreef Johan van Veen, een bekende waterbouwkundig ingenieur: 'Een historische studie onzer kust is bepaald noodig om met eenige grootere mate van zekerheid de toekomstige neigingen van aangroeiing of afslag te kunnen voorspellen. Men kan de algemeene natuurwetten wel opsporen en deze brengen ons ook reeds ver, doch men wil de proef op de som zien en de tijd onzer ervaring zoo lang mogelijk verlengen.'

Het onderzoek naar de werking van het zandige systeem kreeg een impuls door het uitvoeren van het project Kustgenese (1985-1990). Het doel van het project was om een prognose op te stellen voor de kustontwikkeling met een tijdshorizon van circa 200 jaar. Daartoe probeerden de onderzoekers het grootschalige gedrag van de Nederlandse kust te karakteriseren, belangrijke factoren te onderscheiden en sturende fysische processen te modelleren. Rijkswaterstaat was de voortrekker van het project en vele onderzoeksinstellingen droegen bij. Dat leidde tot een combinatie van wetenschappelijke kennis vanuit heel verschillende invalshoeken. Kustgenese leidde in 1990 tot het beleid om de kustlijn te handhaven, met de positie van de basiskustlijn als referentie (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990). Het programma werd opgevolgd door programma's met vergelijkbare doelstellingen, zoals

Kust2000, Kust2005 en – van 2015 tot 2020 – het onderzoeksprogramma Kustgenese 2.0, dat een belangrijke bron vormt voor dit syntheserapport.

Naast deze onderzoeksprogramma's worden/zijn er tal van andere onderzoeken uitgevoerd, die relevant zijn voor de werking van het kuststelsel en het uitvoeren van zand-suppleties. Denk bijvoorbeeld aan het doorlopende onderzoek dat gepaard gaat met het uitvoeren van zand-suppleties, zoals het onderzoek 'Beheer en Onderhoud Kust' (B&O Kust) en het programma 'Natuurlijk Veilig'.

5.2 Kustgenese 2.0

Dit programma werd uitgevoerd tussen 2015 en 2020, met de volgende doelen:

- Verdere kennisontwikkeling van het zandige kuststelsel;
- Invullen van kennisleemten voor het toekomstig beleid en beheer van de zandige kust;
- Het geven/doen van aanbevelingen voor vervolgonderzoek tot 2026 die opgenomen dienen te worden in de onderzoeksagenda van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Op grond van dit onderzoek zijn suppletie strategieën ontwikkeld, die een antwoord geven op de vragen hoeveel zand er benodigd is voor de periode 2020-2032, waar het te suppleren zand neergelegd zal moeten worden om aan de

beleidsdoelstellingen te voldoen en hoe de suppleties in de nabije toekomst het best tot uitvoering kunnen worden gebracht. Hierbij wordt ook een doorkijk gegeven naar de periode erna (zie Hoofdstuk 9).

Kustgenese 2.0 werd in 2020 afgerond. Het vervolg van het programma loopt door tot 2026 en valt daarbij onder het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Onderzoekslijnen Kustgenese 2.0¹⁰

Het programma Kustgenese 2.0 werd opgebouwd uit de onderzoekslijnen 'langetermijn kustonderzoek', 'pilot-suppletie buitendelta Amelanders Zeegat' en 'ecologie'. Parallel aan deze onderzoekslijnen vormde het thema 'datamanagement' een speerpunt.

Langetermijn kustonderzoek

Deze onderzoekslijn richtte zich op aanvullende monitoring en modelontwikkeling om meer inzicht te krijgen in de werking van zeegatsystemen en de uitwisseling van sediment in dieper water. Ook het vaststellen en valideren van de begrenzing van het kustfundament en het in kaart brengen van zeespiegelstijging en bodemdaling vormden onderdelen van het langetermijn kustonderzoek.

De resultaten van dit onderzoek zijn onder meer gebruikt om de sedimentbehoefte van het kustfundament te bepalen (zie Hoofdstuk 6).

Pilotsuppletie buitendelta Amelanders Zeegat

Binnen deze onderzoekslijn werd een nieuwe manier van kustonderhoud verkend om het kustfundament op langere termijn in evenwicht te houden. De belangrijkste vragen gingen over de meerwaarde van buitendeltasuppleties voor het kustbeheer, de haalbaarheid van dit type suppleties en de eventuele effecten op morfologie en ecologie (zie Hoofdstuk 7).

Ecologie

Deze onderzoekslijn richtte zich op de ecologische effecten van de pilotsuppletie buitendelta Amelanders Zeegat.

Datamanagement

Bij het invullen van bovengenoemde onderzoekslijnen was er veel aandacht voor datamanagement. Dit vloeide voort uit de wens om de verzamelde data beschikbaar te stellen voor onderzoek en gebruik in binnen- en buitenland, zodat de data weer tot nieuwe inzichten en innovaties kunnen leiden. Hiervoor maakten de partijen afspraken over het ontsluiten, opslaan, delen en archiveren van data. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van een datamanagement-systeem dat openbaar is gemaakt via www.waterinfoextra.nl.

Alle data zijn in het systeem opgenomen en honderden datasets zijn op een consistente wijze beschikbaar gemaakt.

Ook zijn alle voor Kustgenese 2.0 uitgevoerde metingen vastgelegd in een zogenaamd datarapport. Uitgangspunten, uitvoeringsmethoden en dataverwerking zijn hierin uitvoerig beschreven (Rijkswaterstaat, 2019b).

5.3 Gerelateerd onderzoek

Onderzoeksprogramma Beheer en Onderhoud kust

Het langjarige onderzoeksprogramma Beheer en Onderhoud van de Nederlandse kust (B&O kust) heeft tot doel om onderzoeksvragen over het beheer en onderhoud van de kust te beantwoorden en de kennis over het kuststelsel uit te breiden en te verspreiden. Het project adviseert de kustbeheerders van Rijkswaterstaat en ondersteunt het programma Kustlijn zorg.

In het onderzoeksprogramma B&O kust werkt Rijkswaterstaat samen met o.a. Deltares en Wageningen Marine Research. Het programma bestaat uit deelprojecten die zich richten op de morfologische en ecologische werking van het kuststelsel en op het effect van suppleren op dit systeem. Per deelproject worden data-analyses en modelsimulaties uitgevoerd om onderzoeksvragen te beantwoorden en adviezen op te stellen over de effectiviteit en duurzaamheid van het kustbeheer. De belangrijkste deelprojecten, waaruit ook voor Kustgenese 2.0 is geput, zijn:

Sedimentbeweging kust

Hierbij wordt kennis ontwikkeld over de volgende drie onderwerpen:

- Ondergrond. In dit kader is onder andere het Delfstoffeninformatiesysteem ontwikkeld;
- Morfologie (toestand van de kust en autonome ontwikkeling);
- Invloed van ingrepen (voornamelijk suppleties en zandwinning).

Systeembegrip zeegaten

Het gaat hier om kennisontwikkeling die specifiek gericht is op het functioneren van zeegaten en eilandkoppen. De grootschalige sedimentbalans die is opgesteld voor de Waddenzee is een belangrijk product van dit deelproject.

Natuurlijk Veilig

In dit deelproject wordt kennis ontwikkeld over ecologisch gericht suppleren (zie verderop in deze paragraaf).

¹⁰ De kennis- en onderzoeksvragen van deze onderzoekslijnen zijn nader beschreven in Bijlage A.



Bodemdaling en zeespiegelstijging

Dit betreft kennisontwikkeling ten behoeve van de relatieve zeespiegelstijging langs de kust, waarbij specifiek gekeken wordt naar geologische bodemdaling en bodemdaling door delfstoffenwinning.

Kennisprogramma Westerschelde

De diepte van de bodem van het Schelde-estuarium is belangrijk voor tal van functies, zoals waterveiligheid, ecologie en scheepvaart. Daarbij vormt sedimentbeheer een zeer belangrijk instrument. Om dit instrument efficiënt in te zetten vindt onderzoek plaats, waarbij de vragen zich richten op vragen vanuit beheer, beleid en omgeving. De belangrijkste aspecten zijn de toegenomen getijslag in de (Wester)Schelde, de kans op versnelde zeespiegelstijging en de slechte staat van instandhouding van de natuur van de Westerschelde.

Om vragen te beantwoorden en het effect van eventuele ingrepen te voorspellen, is meer kennis nodig over factoren die de ontwikkelingen in het estuarium sturen en over het sedimenttransport tussen de monding van de Schelde en de Westerschelde.

Om de kennis te vergroten werken Rijkswaterstaat en Deltares – in nauwe samenwerking met de Vlaams Nederlandse Schelde Commissie – aan het Kennisprogramma Westerschelde. Daarbij zoeken zij de verbinding met de programma's B&O Kust, Kustgenese en de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW).

Kennisprogramma Waddenzee

Dit programma heeft tot doel om een goede en gedragen kennis- en informatiebasis te leveren voor diverse vraagstukken over de morfologie en sedimenthuishouding van de Waddenzee. Dit gebeurt door het samen met stakeholders ontwikkelen van een beeld van de (langetermijn) morfologische ontwikkelingen. Op grond hiervan kan er proactief geadviseerd worden over vraagstukken waarin de morfologie een rol speelt.

Het bereiken van dit doel vraagt om een inspanning van meerdere jaren, die elk jaar nader wordt ingevuld. Het structureel ontwikkelen en borgen van morfologische kennis voorkomt dat de kennisontwikkeling ad-hoc en versnipperd is. Op die manier kan de opgedane kennis effectief benut worden voor diverse vragen.

Ecologisch Gericht Suppleren (EGS I)

In de periode 2009 tot 2015 werd het onderzoeks- en monitoringprogramma 'Ecologisch Gericht Suppleren' uitgevoerd. Dit programma werd mede gestuurd door een samenwerkingsovereenkomst die in 2009 werd gesloten tussen het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (destijds ministerie van Verkeer en Waterstaat), de Waddenvereniging, Stichting Duinbehoud, Stichting de Noordzee en Vogelbescherming Nederland. Doel van het programma was om meer inzicht te verkrijgen in de invloed van zandsuppleties op natuurwaarden en in de wijze waarop suppleties kunnen bijdragen aan de opgaven van veiligheid én natuurbehoud en -ontwikkeling. In dit kader werd onder meer onderzoek gedaan naar de effecten van zandsuppleties op bodemdieren, vissen en kustvogels. Dit onderzoek was grotendeels gekoppeld aan de suppletie voor de kust van Ameland die in 2010-2011 plaatsvond en waarbij 4,7 miljoen m³ zand werd aangebracht.

Daarnaast werd onderzoek gedaan naar het effect van zandverstuiving op de flora en fauna in de duinen. Daarbij is een nauwe aansluiting gezocht met het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (Deltares, 2016).

Natuurlijk Veilig (EGS II)

Als vervolg op EGS I, startte in 2017 'Natuurlijk Veilig'. Dit is een meerjarig samenwerkingsproject van Rijkswaterstaat, de Waddenvereniging, Staatsbosbeheer, Vogelbescherming Nederland, Stichting De Noordzee, Stichting Duinbehoud, 12 Landschappen, Natuurmonumenten, PWN, Dunea en Watermet. In het project (dat doorloopt tot 2021) komen de belangrijkste, nader te onderzoeken thema's aan bod, die in EGS I werden gesignaleerd. Ook dit project heeft tot doel om meer inzicht te krijgen in het effect van zandsuppleties op de natuur en in maatregelen om eventuele negatieve effecten te beperken. Daarbij staan vooral de cumulatieve effecten van reguliere suppleties centraal: welke effecten hebben deze op de samenstelling en het functioneren van het ecosysteem van de voorover (Herman et al., 2016).

Zandmotoronderzoek

De Zandmotor is een pilotproject, dat is aangelegd in 2011 met als doel om de kustveiligheid op langere termijn te vergroten en natuurontwikkeling en recreatie te versterken door verbreding van het strand en de duinen. Daarnaast is kennisontwikkeling en innovatie in relatie tot kustbeheer een belangrijk doel.

De ontwikkelingen van de Zandmotor worden nauwkeurig gemonitord en bestudeerd. Overheid, bedrijfsleven en kennisinstututen werken hiervoor samen in een kennisontwikkelingsproject. Het onderzoek richt zich onder andere op stroming, verspreiding van zand, flora en fauna, zwemveiligheid, duinontwikkeling, grondwater en recreatief gebruik. Vóór de aanleg van de Zandmotor is de bodemligging en het ecosysteem in kaart gebracht met een nulmeting. Ook is de samenstelling van het Noordzeezand onderzocht dat is gebruikt voor de aanleg van het schiereiland. Daarnaast is er een prognose gemaakt van de verwachte ontwikkeling van de Zandmotor in de tijd.

In 2016 verscheen een eerste rapportage met tussenresultaten (Taal et al., 2016). In 2021 zullen de resultaten na 10 jaar bekend worden gemaakt.

NWO-programma SEAWAD

Gelijktijdig met – en deels gefinancierd uit – Kustgenese 2.0, ging het NWO-project SEdiment supply At the Wadden Sea ebb-tidal Delta (SEAWAD) van start.

In dit project voerden vier promovendi van de TU Delft, Universiteit Utrecht en Universiteit Twente fundamenteel onderzoek uit rond het zeegat van Ameland. De samenwerking tussen het SEAWAD-team en Rijkswaterstaat heeft geresulteerd in de uitvoering van een uiterst waardevolle en zeer uitgebreide meetcampagne (Prooijen et al., 2020). Ook de databewerking en het datarapport, waarmee deze unieke verzameling aan data nauwkeurig is beschreven en de kwaliteit ervan is geborgd, is een product van de samenwerking van deze partijen.

De kennis die in het project SEAWAD wordt opgedaan, heeft een grote meerwaarde voor het langetermijn kustonderzoek. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om:

- Habitatmodellen voor zeegaten zoals toegepast in het onderdeel ecologie;
- Studies en methodes voor het traceren van gesuppleerd sediment;
- Verbeterde fysica voor modellering van zeegaten.

6 Nieuwe inzichten over de sedimentbehoefte

Dit hoofdstuk richt zich op nieuwe inzichten over de sedimentbehoefte van het kuststelsel. Hiertoe worden om beurten de termen van een verbeterde rekenregel beschreven en gekwantificeerd. Daarbij ligt de focus op de periode tot 2035. De technische adviezen van Deltares, waarin de belangrijkste resultaten van Kustgenese 2.0 zijn beschreven, vormen de belangrijkste bron voor dit hoofdstuk.

6.1 Verbeterde rekenregel voor bepalen van de sedimentbehoefte

Binnen het vigerende beleid wordt de 'rekenregel 2005' gebruikt om te bepalen hoeveel sediment er nodig is om het kustfundament in evenwicht te houden (zie par. 4.2.1). Deze rekenregel berekent de sedimentbehoefte door het totale oppervlak van het kustfundament én de getijdenbekkens Waddenzee en Westerschelde te vermenigvuldigen met de actuele (relatieve) zeespiegelstijging. Diverse onderzoeken (oa. Vermaas et al., 2015 en Van der Spek & Lodder, 2014) wezen er echter op dat de gehanteerde uitgangspunten voor de rekenregel waarschijnlijk niet klopten en onvolledig waren.

Daarom is in 2016 een verbeterde rekenregel geïntroduceerd, met aangepaste/ nieuwe componenten (Lodder, 2016). In het vervolg van dit document wordt dit de 'rekenregel 2016' genoemd. Belangrijke verschillen met de rekenregel 2005 zijn:

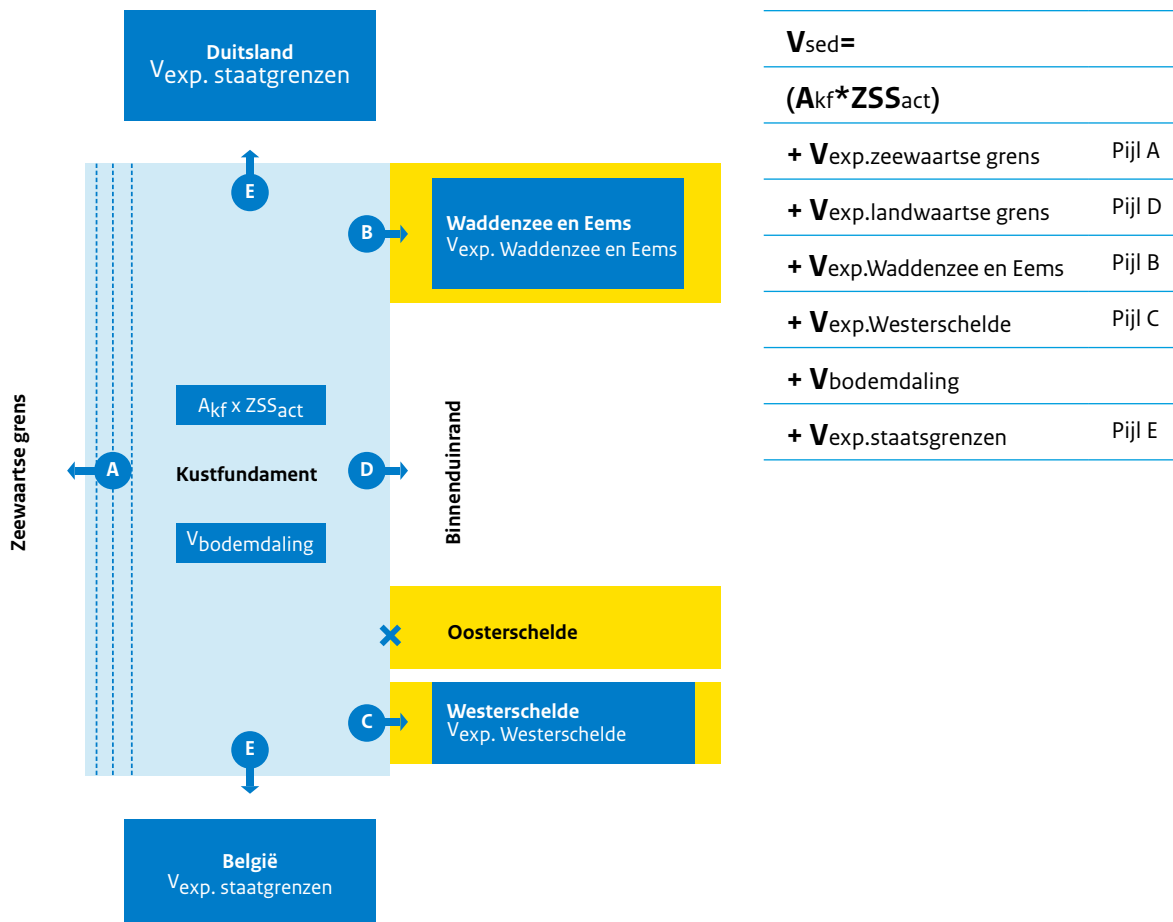
- De export van zand vanuit het kustfundament naar de zanddelende bekkens (verliespost) wordt niet langer bepaald door het gehele oppervlak van de bekkens te vermenigvuldigen met de zeespiegelstijging, maar door het werkelijke jaarlijkse netto zandtransport door de zeegaten. Hierdoor wordt o.a. rekening gehouden met de maximale transportcapaciteit van de zeegaten. De sedimentbehoefte is hierbij onafhankelijk van de oorzaak van de export. Dat kan zeespiegelstijging zijn, maar ook aanpassing aan menselijke ingrepen.
- Bij de export naar de zanddelende bekkens wordt onderscheid gemaakt tussen de Westerschelde, de Waddenzee en de Eems.
- Naast relatieve zeespiegelstijging (soms van absolute zeespiegelstijging en geologische bodemdaling) wordt rekening gehouden met regionale bodemdaling als gevolg van winning van delfstoffen en grondwater.

De rekenregel 2016 luidt als volgt (zie ook Figuur 6.1):

$$V_{sed} = (A_{kf} * ZSS_{act}) + V_{exp.zeewaartse\ grens} + V_{exp.landwaartse\ grens} + V_{exp.Waddenzee\ en\ Eems} + V_{exp.Westerschelde} + V_{bodemdaling} + V_{exp.staatsgrenzen}$$

Met:

- V_{sed} Sedimentbehoefte per jaar ($m^3/jaar$)
- A_{kf} Oppervlakte van het kustfundament met aangepaste grenzen (m^2)
- ZSS_{act} Actuele (relatieve) zeespiegelstijging ($m/jaar$)
- $V_{exp.zeewaartse\ grens}$ Netto zanduitwisseling over de zeewaartse grens ($m^3/jaar$)
- $V_{exp.landwaartse\ grens}$ Netto zanduitwisseling over de landwaartse grens ($m^3/jaar$)
- $V_{exp.Waddenzee\ en\ Eems}$ Netto volume sediment dat vanuit het kustfundament naar de Waddenzee en de Eems wordt geëxporteerd ($m^3/jaar$).
- $V_{exp.Westerschelde}$ Netto volume zand dat vanuit het kustfundament naar de Westerschelde wordt geëxporteerd ($m^3/jaar$).
- $V_{bodemdaling}$ Regionale bodemdaling in kustfundament door de winning van delfstoffen en grondwater ($m^3/jaar$)
- $V_{exp.staatsgrenzen}$ Netto zanduitwisseling over de staatsgrenzen richting België en Duitsland ($m^3/jaar$)



Figuur 6.1 Schematische weergave van de rekenregel 2016 voor het bepalen van de sedimentbehoefte van het kustfundament. Daarbij geven de weergegeven pijlen aan waar er netto transport van sediment plaatsvindt; de richting van de pijlen komt niet per se overeen met de richting van dit transport.

Kwantificeren van de termen binnen Kustgenese 2.0

In 2017 heeft het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) over de rekenregel 2016 positief advies uitgebracht aan het voormalige ministerie van Infrastructuur en Milieu. ENW gaf aan de keuze te ondersteunen om dit conceptuele model als 'gids' te gebruiken bij het opstellen van het langetermijn onderzoeksprogramma Kustgenese 2.0 (ENW, 2017).

Het onderzoek binnen Kustgenese 2.0 richtte zich op de onderbouwing en kwantificering van vier van de (meest onzekere) termen:

- De mogelijke positie van de zeewaartse grens van het kustfundament, die bepalend is voor de oppervlakte van het kustfundament (zie par. 6.3.1);
- De netto zeewaartse zanduitwisseling over de zeewaartse grens (zie par. 6.4.1);
- Het netto zandtransport van kustfundament naar de Waddenzee en Eems (zie par. 6.6);
- Het volume zand dat benodigd is voor het compenseren van regionale bodemdaling, door winning van delfstoffen en grondwater (zie par. 6.5).

Voor de overige termen is gebruik gemaakt van bestaande kennis, of is afgetapt uit ander onderzoek (Deltares, 2020a).

6.2 Actuele (relatieve) zeespiegelstijging

Voor nadere informatie wordt verwezen naar de 'Zeespiegelmonitor' (Baart et al., 2019).

Achtergrond

Wereldwijd wordt doorgaans gekeken naar de absolute zeespiegelstijging. Voor waterveiligheid en kustlijnhandhaving wordt echter de relatieve (actuele) zeespiegelstijging gebruikt (zie Hoofdstuk 2).

Kustgenese 2.0 maakt voor de zeespiegelstijging op korte termijn gebruik van de Zeespiegelmonitor (Baart et al., 2019). Daarin is de relatieve zeespiegelstijging in Nederland berekend uit de waterstandsmetingen van zes Nederlandse getijdstations.

In het getal van de relatieve zeespiegelstijging is de gemiddelde bodemdaling die optreedt als gevolg van geologische processen 'verwerkt'. Dit geldt niet voor de regionale bodemdaling die het gevolg is van menselijke invloed en die vooral optreedt buiten de gebieden waar de meetstations staan. In par. 6.5 is te lezen hoe hiermee wordt omgegaan.

De sedimentbehoefte van het kustfundament komt voor een groot deel voort uit de actuele (relatieve) zeespiegelstijging. Voor de eerste component van de rekenregel

(Akf*ZSSact) zijn dan ook getallen nodig over de mate van relatieve actuele zeespiegelstijging.

Resultaten

De berekeningen die gemaakt zijn in het kader van de Zeespiegelmonitor laten een constante stijging van de jaargemiddelde zeespiegel zien van $18,6 \pm 1.2$ cm per eeuw, gemeten over de periode 1890 tot en met 2017. Dit betreft de relatieve stijging van de zeespiegel ten opzichte van de diep gefundeerde meetpalen waar de getijdstations aan vast zitten. Op dit moment is (nog) niet aangetoond dat de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust versnelt, maar gezien de gemeten versnelling van het smelten van ijs op onder andere Groenland en Antarctica wordt dat wel verwacht. Het is echter niet de verwachting dat de komende 15 jaar de zeespiegelstijging significant zal afwijken van de gemeten 18,6 cm stijging per eeuw. Daarom wordt voor die periode uitgegaan van een voortzetting van de huidige trend.

Doorkijk na 2035

Als gevolg van klimaatverandering zal de globale (absolute) zeespiegel de komende honderden jaren onvermijdelijk blijven stijgen. Dit komt mede doordat er steeds meer aanwijzingen zijn dat de Antarctische Ijskap sneller kan afsmelten dan voorheen werd gedacht. Er zijn aanwijzingen dat er nu al processen optreden waardoor delen van de ijskap instabiel kunnen worden met een versneld massaverlies tot gevolg (Le Bars et al., 2019). De snelheid waarmee de zeespiegel zal gaan stijgen, hangt mede af van de hoeveelheid broeikasgassen die de maatschappij blijft uitstoten. Welke verwachtingen er zijn voor Nederland en hoe daarop kan worden geanticipeerd, vormt onderwerp van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, dat in 2019 is gestart (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019).

Voor een doorkijk naar de sedimentbehoefte van het kustfundament na 2035 werkte Kustgenese 2.0 met vier snelheden van relatieve zeespiegelstijging:

- 2 mm/jaar
- 4 mm/jaar
- 6 mm/jaar
- 8 mm/jaar

Deze getallen zijn respectievelijk een voortzetting van de actuele (afgeronde) snelheid van zeespiegelstijging en een 2, 3 en 4 keer zo snelle stijging in 2100 (Deltares, 2020a) (Wang & Lodder, 2019). De snelheden omvatten ongeveer de spreiding van de mediane snelheden van zeespiegelstijging voor de Waddenregio, voor de IPCC scenario's 2.6 en 4.5 (Vermeersen et al, 2018) (Wang et al, 2018). Deze stijgingssnelheden vormen zeker geen bovengrens en kunnen ook hoger uitkomen (IPPC, 2019). Van belang is dat de gekozen snelheden niet bedoeld waren om de volledige range aan projecties voor zeespiegelstijging te omvatten en ook niet om de meest waarschijnlijke snelheden van zeespiegelstijging te simuleren. Het doel was

om inzicht te krijgen in de effecten van verschillende stijgingsnelheden op het gedrag van het kuststelsel en de sedimentexport uit het kustfundament. Onderzoek naar de invloed van hogere snelheden van zeespiegelstijging zal bij het vervolg op Kustgenese 2.0 worden opgepakt. Daarbij zullen de nieuwste inzichten uit het Assessment rapport dat de IPCC in 2022 uitbrengt worden meegenomen.

Onzekerheden

Voor de periode tot 2035 is de onzekerheid over de waarde van de relatieve zeespiegelstijging klein. De extrapolatie van de metingen sinds 1870 die een constante stijging van de zeespiegel laten zien, wordt betrouwbaar geacht. Er is geen reden om aan te nemen dat de zeespiegelstijging de komende 15 jaar drastisch zal veranderen. Ook de bandbreedte wordt als betrouwbaar gezien.

Wel is er onzekerheid over de metingen van de relatieve zeespiegelstand. Er is discussie over de nulpunten van de peilstations en over regionale verschillen in o.a. de geologische bodemdaling.

Keuze waarde 'Actuele zeespiegelstijging' voor de rekenregel

Op basis van de geanalyseerde metingen wordt er op korte termijn nog geen versnelling van de zeespiegelstijging verwacht. Voor de rekenregel wordt daarom voor de periode tot 2035 de huidige snelheid van zeespiegelstijging toegepast. Hoewel er nog onzekerheden zijn over eventuele regionale verschillen, hanteert Kustgenese 2.0 een uniforme waarde voor heel Nederland.

Voor het bepalen van de sedimentbehoefte tot 2035 wordt de volgende waarde voor relatieve actuele zeespiegelstijging ZSS_{act} gehanteerd:
 $1,86 \text{ mm} \pm 0,12 \text{ mm per jaar}$.

6.3 Oppervlakte kustfundament (zeewaartse grens en landwaartse grens)

Voor nadere informatie wordt verwezen naar het 'Technisch Advies Mogelijkheid voor een Alternatieve Zeewaartse Grens van het kustfundament; ten behoeve van het beleidsadvies Kustgenese 2.0' (Deltares, 2020b).

Voor het invullen van de eerste component van de rekenregel ($A_{kr} * ZSS_{act}$) zijn getallen nodig over de oppervlakte van het kustfundament en daarmee over de landwaartse en zeewaartse begrenzing van het kustfundament. Vooral de zeewaartse grens heeft een grote invloed op het totale oppervlak en daarmee op de sedimentbehoefte van het kustfundament.

De zeewaartse begrenzing vormde dan ook een belangrijk onderzoeksthema binnen Kustgenese 2.0. Het ging hierbij om het bepalen van de morfologische grens, die relevant is voor de sedimentbalans van het kustfundament. Deze grens staat los van de (beleidsmatig) vastgestelde grens die op de doorgaande NAP -20 m dieptelijn ligt en wordt gebruikt als begrenzing voor o.a. zandwinning en Natura 2000-gebieden.

Naar de landwaartse grens is in het kader van dit onderzoeksprogramma geen onderzoek gedaan.

6.3.1 Keuze zeewaartse (reken)grens

Begin deze eeuw werd de zeewaartse begrenzing van het kustfundament gelegd op de doorgaande NAP -20 m dieptelijn. Dit werd primair onderbouwd door morfologische argumenten: deze dieptelijn zou grofweg de overgang van de licht hellende onderwateroever naar het continentaal plat vormen. Op een tijdschaal van 50 tot 200 jaar zou er op een diepte van 20 meter onder NAP nauwelijks nog zanduitwisseling plaatsvinden tussen de diepere zeebodem en de kustzone. Daarmee zou de NAP -20 m dieptelijn het gebied begrenzen dat rechtstreeks aan het zandvolume van het kustfundament bijdraagt, de zogenaamde actieve zone (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002) (Mulder, 2000).

Hoewel het bekend was dat er regionale verschillen waren, werd toch voor een uniforme toepassing van de doorgaande NAP -20 m dieptelijn gekozen, omdat deze de landwaartse begrenzing voor zandwinning vormde. Later werd ook voor de zeewaartse begrenzing van Natura 2000-gebieden in de Noordzee gekozen voor de doorgaande NAP -20 m dieptelijn.

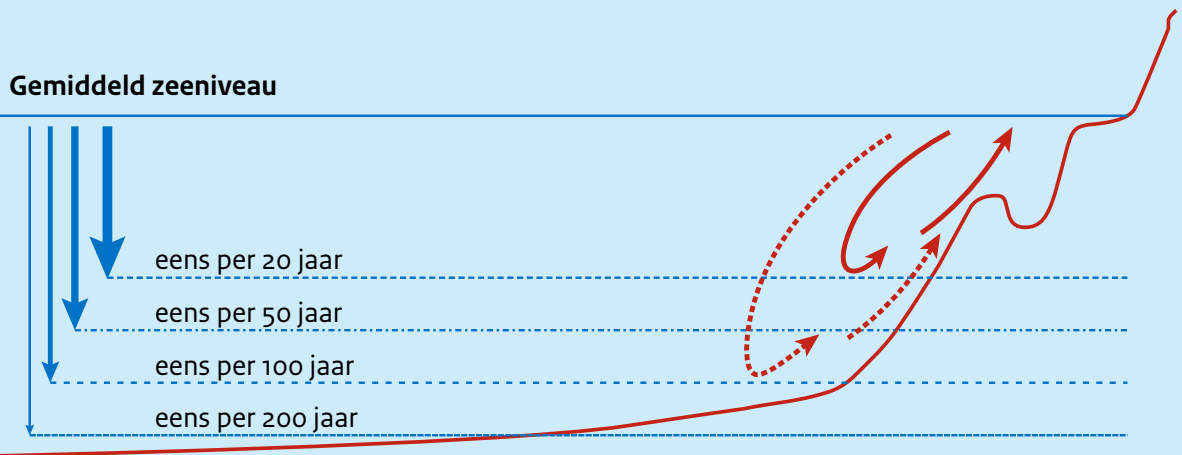
Aanpak

Binnen Kustgenese 2.0 is onderzoek uitgevoerd naar de morfologische zeewaartse begrenzing van het kustfundament. Omdat deze grens wordt gebruikt voor het berekenen van de sedimentbehoefte, wordt deze ook wel de zeewaartse 'rekeningren' genoemd. Een belangrijk uitgangspunt van het onderzoek naar de zeewaartse rekeningren was het (theoretisch) principe dat er een dieptelijn is te bepalen, zeewaarts waarvan de bodemligging niet significant verandert en waarover geen significant zandtransport plaatsvindt. Er is dan dus geen zanduitwisseling van betekenis tussen de zeebodem en de kustzone.

Op grond van dit uitgangspunt werden drie morfologische criteria benoemd waarop de zeewaartse grens zou kunnen worden gebaseerd:

1. De vorm van het kustprofiel

In theorie is de bodem van de Noordzee relatief vlak in vergelijking met de helling van het kustprofiel. Hierbij zou de gemiddelde helling van de zeebodem kleiner dan 1:1.000 zijn en de helling van het kustprofiel groter. Het punt waarop de helling 1:1.000 bedraagt kan dan



Figuur 6.2 Schematische weergave van de invloed van de tijdschaal op de zeewaartse grens. Zand dat naar grotere diepte afgevoerd wordt, doet er langer over om weer terug naar de kust gevoerd te worden.

mogelijk als zeewaartse rekgrens van de onderwateroever beschouwd worden.

2. Netto zandtransport over een dieptecontour

Dit criterium gaat uit van een diepte waar het netto kustwaartse zandtransport over een bepaalde periode verwaarloosbaar klein is.

3. De variatie in bodemligging over het kustprofiel

Het diepteverloop van het profiel van de vooroever kan door de tijd veranderen door de aan- en afvoer van zand. Op een tijdschaal van decennia zal het profiel daardoor rond een gemiddeld profiel variëren. De diepte waarop de variatie in bodemligging stabiliseert kan gebruikt worden als zeewaartse grens van het kustfundament.

In het kader van Kustgenese 2.0 onderzocht Deltares in hoeverre deze criteria toepasbaar zijn voor de zeewaartse begrenzing van het kustfundament en op welke diepte de zeewaartse rekgrens kan worden gelegd. Hierbij werden verschillende tijdschalen onderscheiden (50 en 200 jaar), omdat de ligging van de zeewaartse grens hiermee samenhangt. Immers: hoe groter de tijdschaal, hoe groter de kans is dat er complexe processen optreden, die de zeebodem op grotere diepte in beweging kunnen brengen, zowel dwars op de kust als kustlangs (zie Figuur 6.2). Verder werd er onderscheid gemaakt tussen de verschillende kustregio's (Deltagebied, Hollandse kust, Texel, overige Waddeneilanden en buitendelta's Waddengebied), omdat deze morfologisch van elkaar verschillen.

Het onderzoek werd gebaseerd op onder meer bemonsteringen van bodemsediment, sonar bathymetrie, metingen van stroming, golven, sedimentconcentraties en kleinschalige morfodynamiek, jaarlijkse gemeten kustprofielen (1964-2013)

en modelberekeningen. In het kader van Kustgenese 2.0 werd bijvoorbeeld een numeriek model ontwikkeld (het 'Dutch Lower Shoreface Model, DSLM'), dat op iedere locatie op de diepe vooroever het zandtransport kan berekenen.

Resultaten

Uit het onderzoek blijkt dat de variatie in bodemligging over het kustprofiel een geschikt criterium is om de zeewaartse rekgrens te bepalen. Voor de inhoudelijke onderbouwing hiervan wordt verwezen naar het technisch advies van Deltares (Deltares, 2020b). Metingen van kustprofielen laten zien dat de variatie in bodemligging in zeewaartse richting afneemt tot een diepte tussen NAP -10 m en -15 m en daarna min of meer constant blijft bij verder toenemende waterdiepte. Bij zeegaten ligt deze grens op circa NAP -18m en bij de centrale delen van de Waddeneilanden ligt deze overgang rond NAP -10 m.

Op grond van de variatie in bodemligging over het kustprofiel heeft Deltares verschillende varianten voor een zeewaartse rekgrens van het kustfundament bepaald (zie Tabel 6-1):

- Een variant op de tijdschaal van 50 jaar. Deze variant is morfologisch goed onderbouwd met metingen en kennis. De gevonden dieptewaarden voor deze tijdschaal bevatten echter onzekerheden, omdat niet duidelijk is of de meetreeks representatief is voor de stormen die de komende 50 jaar verwacht kunnen worden.
- Een variant op de tijdschaal van 200 jaar, waarbij rekening wordt gehouden met het optreden van een zeldzame zeer zware storm. Hierbij moet een grens op dieper water aangehouden worden. Deze variant is echter morfologisch zwak onderbouwd.
- Een tussenvariant die rekening houdt met een onzekerheidsmarge ten opzichte van de '50 jaar variant'. Voor de zeewaartse grens is daarbij het gemiddelde genomen van de dieptewaarden van de 50- en 200 jaar varianten.

		Variant 50 jaar	Tussenvariant ¹¹	Variant 200 jaar
Uniform		-15	-16,5	-18
Regionaal	Delta	-15	-16,5	-18
	Holland	-15	-16,5	-18
	Texel	-13	-15	-17
	Overige Waddeneilanden	-10	-12,5	-15
	Buitendelta's Waddengebied	-18	-19	-20

Tabel 6-1 Opties voor uniforme en regionaal gedifferentieerde posities van de zeewaartse rekengrens van het kustfundament langs de kust (in m NAP), rekening houdend met te verwachten hoogenergetische events op een tijdschaal van 50 jaar en op een tijdschaal van 200 jaar. Ook wordt een tussenvariant weergegeven, die rekening houdt met een onzekerheidsmarge ten opzichte van de 50 jaar variant.

Alle gegeven dieptewaarden zijn ten opzichte van NAP, maar kunnen direct vertaald worden naar dieptes ten opzichte van gemiddeld zeeniveau. De gegeven grensdieptes kunnen in principe meegroeien met een stijgende zeespiegel.

Periode na 2035

Tot 2035 speelt versnelde zeespiegelstijging (nog) geen rol van betekenis. Verwacht wordt dat dit op langere termijn, tot 2100 en verder, anders zal zijn. Om het kustfundament op deze termijn in evenwicht te houden wordt ervan uitgegaan dat er zoveel zand aan het kustfundament toegevoegd wordt dat het relatieve zandvolume (ten opzichte van gemiddeld zeeniveau) gelijk blijft.

Onzekerheden

Op de positie van de zeewaartse grens zal de zeebodem waarschijnlijk niet in gelijke mate meegroeien met de stijging van het gemiddelde zeeniveau. Aannemende dat de positie van de kustlijn gehandhaafd blijft, zal het kustprofiel op termijn waarschijnlijk steiler worden. De mate waarin hangt af van de toegepaste suppletie strategie.

De versteiling kan worden veroorzaakt doordat het proces van zeespiegelstijging sneller verloopt dan het proces van sedimentatie of doordat de vooroever dieper komt te liggen.

Het eventuele risico van de versteiling voor de toekomst is nog niet goed bekend. Dit aspect vraagt om aanvullend onderzoek en om beleidsmatige afweging voor de periode na 2035 (zie Hoofdstuk 10).

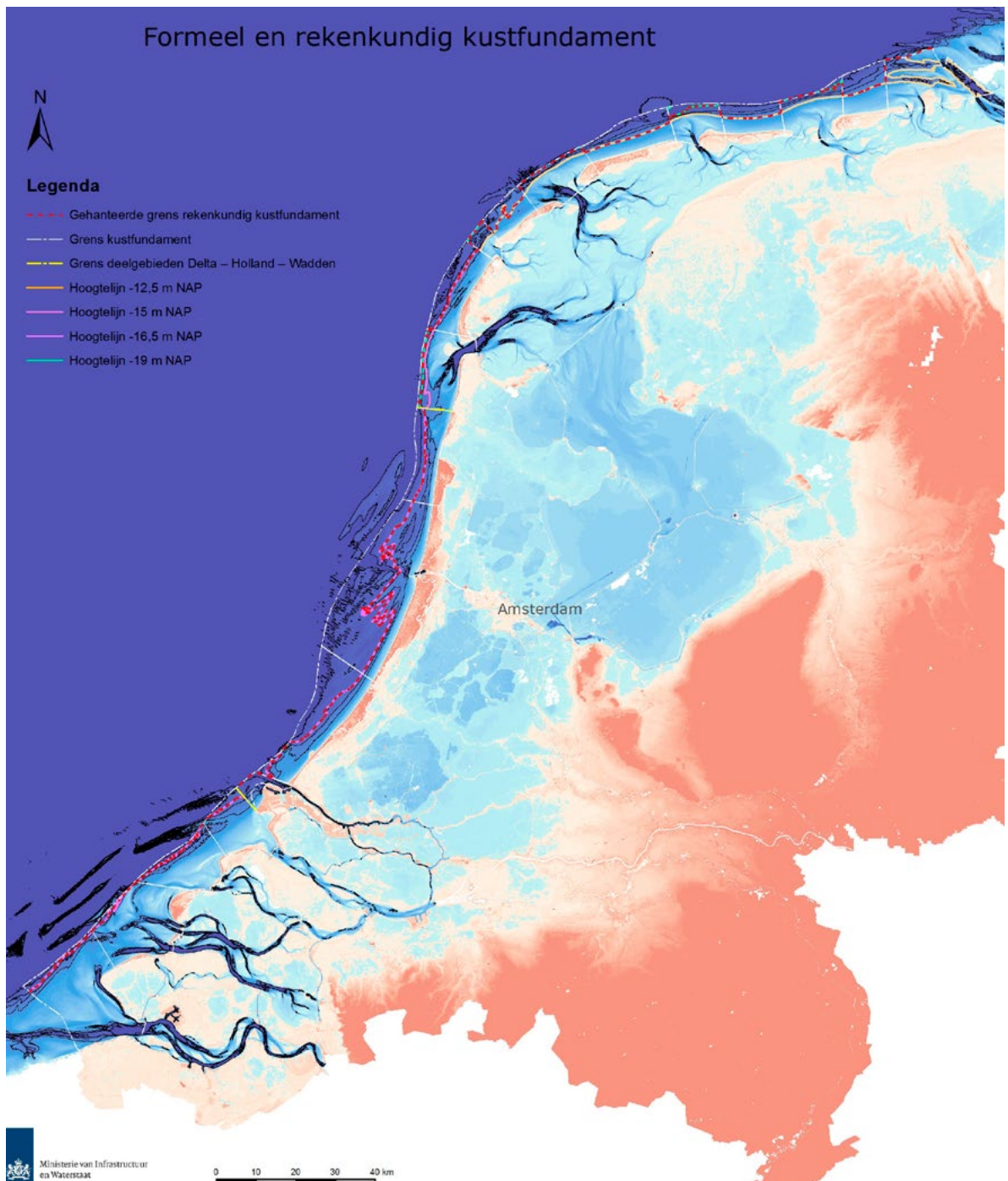
Op de vooroever langs de centrale Hollandse kust liggen meerdere grote zandruggen, ook wel bekend als 'shoreface-connected ridges'. Bij de keuze voor een ondieper gelegen zeewaarts gelegen rekengrens van het kustfundament, komen deze deels buiten het kustfundament te liggen. Het is op dit moment niet duidelijk of, en zo ja, hoe, deze zandbanken het gedrag van de vooroever in dit kustvak beïnvloeden.

Keuze zeewaartse rekengrens

Voor het bepalen van de oppervlakte van het kustfundament ($A_{kf} \cdot ZS_{act}$) wordt de zeewaartse begrenzing van het kustfundament gebaseerd op de variatie in de bodemligging van het kustprofiel. Daarbij is op morfologische gronden gekozen voor een regionaal gedifferentieerde zeewaartse begrenzing van het kustfundament (voor de kust, de Hollandse kust, Texel, de overige Waddeneilanden en de buitendelta's in het Waddengebied). De dieptewaarden van de zeewaartse begrenzingen zijn gebaseerd op een tijdschaal van 50 jaar plus een onzekerheidsmarge (zie Tabel 6-2).

De bepaalde begrenzingen zijn 'rekengrenzen'. Deze grenzen staan los van de in het huidige beleid vastgestelde grens van het kustfundament, die op de doorgaande NAP -20m dieptelijn ligt en ook wordt gebruikt als begrenzing voor o.a. zandwinning en Natura 2000-gebieden (zie Figuur 6.3).

¹¹ Deze tussenvariant houdt rekening met een onzekerheidsmarge ten opzichte van '50 jaar variant'. Voor de zeewaartse grens is daarbij het gemiddelde genomen van de dieptewaarden van de 50- en 200 jaar varianten.



Figuur 6.3 Weergave van de zeewaartse (rekenkundige) begrenzings van het kustfundament, die zijn gebruikt voor het bepalen van de sedimentbehoefte (rood gestippeld). Daarbij geven de witte lijnen dwars op de kust de vakken aan die zijn onderscheiden bij het bepalen van deze sedimentbehoefte. In de figuur zijn de shoreface-connected ridges die langs de centrale Hollandse kust liggen duidelijk te zien. De witte stippellijn in zee en langs de binnenduinrand geeft de formele, wettelijk vastgestelde begrenzing van het kustfundament aan. In het deelgebied bij Maasvlakte 2 is geen rekengrens bepaald, omdat de Maasvlakte in de gebruikte dataset nog niet correct was verwerkt. Daarom is voor dat kustdeel de formele begrenzing van het kustfundament aangehouden. Ook is in deze figuur de begrenzing van de deelgebieden Waddenkust, Hollandse kust en Deltakust weergegeven.

Regio	Zeewaartse grens in m NAP
Delta	-16,5
Holland	-16,5
Texel	-15
Overige Waddeneilanden	-12,5
Buitendelta's Waddengebied	-19

Tabel 6-2 Keuze van de zeewaartse begrenzing van het kustfundament per kustregio, gebaseerd op een tijdschaal van 50 jaar plus een onzekerheidsmarge.

	Tussenvariant
Delta	1.171 km ²
Holland	702 km ²
Texel	137 km ²
Overige Waddeneilanden	339 km ²
Buitendelta's Waddengebied	959 km ²
TOTAAL	3.308 km²

Tabel 6-3. Oppervlaktes van het kustfundament, gebaseerd op een regionaal gedifferentieerde zeewaartse rekengrens, bepaald op grond van de in 50 jaar optredende dynamiek plus een onzekerheidsmarge.

6.3.2 Keuze landwaartse grens

Binnen Kustgenese 2.0 is geen onderzoek uitgevoerd naar de landwaartse begrenzing van het kustfundament. Dit onderwerp had een lagere prioriteit dan andere thema's, omdat het op het land gelegen deel van het kustfundament veel kleiner is dan het op zee gelegen deel. Daardoor heeft de landwaartse begrenzing van het kustfundament minder invloed op het oppervlak van het kustfundament (en daarmee op de sedimentbehoefte) dan de zeewaartse begrenzing.

Keuze landwaartse grens

Omdat er geen nieuwe inzichten zijn over de landwaartse begrenzing van het kustfundament wordt voor het bepalen van de oppervlakte van het kustfundament Akf de huidige landwaartse begrenzing van het kustfundament aangehouden. Deze wordt gevormd door de binnenduintrand of – bij smalle duinen – door de landwaartse grens van de beschermingszone van de waterkering (zie par. 3.3).

6.3.3 (Regionale) oppervlaktes van kustfundament

Uitgaande van de in de vorige paragrafen gekozen begrenzingen van het kustfundament, kunnen de regionale oppervlaktes van het kustfundament worden berekend. Deze zijn weergegeven in Tabel 6-3. Ter vergelijking: de oppervlakte van het beleidsmatig vastgestelde kustfundament is 4.396 km².

6.4 Sedimentexport over de zeewaartse en landwaartse grens

Voor nadere informatie wordt verwezen naar het 'Technisch Advies Mogelijkheid voor een Alternatieve Zeewaartse Grens van het kustfundament; ten behoeve van het beleidsadvies Kustgenese 2.0' (Deltares, 2020b).

6.4.1 Export over de zeewaartse grens

In de rekenregel 2005 die voor het vigerende beleid is gebruikt om de sedimentbehoefte van het kustfundament te bepalen (zie par. 4.2.1) is aangenomen dat over de zeewaartse rekengrens geen netto transport van sediment plaatsvindt. In het kader van Kustgenese 2.0 is deze aanname nader onderzocht met het Dutch Lower Shoreface Model. Dit model is speciaal ontwikkeld om inzicht te krijgen in de zandtransporten op de diepe vooroever. Met dit model zijn de jaarlijkse netto kustdwarse zandtransporten over de NAP -20 m, NAP -18 m en NAP -16 m dieptelijnen berekend voor de vijf jaren in de periode 2013-2017, inclusief effecten van getij, wind, dichtheid, rivierafvoer en temperatuur.

Voor het opstellen en de validatie van dit model zijn op meerdere plekken metingen gedaan op de diepere vooroever. Deze zijn weergegeven in 'The Atlas of the Dutch Lower Shoreface' (Van der Spek et al., 2020).

Resultaten

De berekende netto zandtransporten op de diepe vooroever zijn landwaarts gericht, onafhankelijk van de beschouwde dieptelijnen (-20 m, -18 m en -16 m). De omvang hiervan is echter onzeker.

De landwaartse richting van het zandtransport is conform eerdere bevindingen en komt met name door golfeffecten en dichtheidsverschillen die een netto landwaartse stroming aan de bodem veroorzaken. De berekende netto zandtransporten variëren sterk van jaar tot jaar als gevolg van verschillen in de optredende wind- en golfcondities. Met name zware stormen hebben een grote invloed.

Onzekerheden

De omvang van de berekende zandtransporten is onzeker door modelbeperkingen en door het niet meenemen van (waarschijnlijk zeer relevante) stormstatistiek.

Conclusie rekenregel

Uit de resultaten blijkt dat de landwaartse richting van het zandtransport over de beschouwde dieptelijnen vrij zeker is, maar de omvang van deze transporten niet.

Gezien de onzekerheden over de omvang wordt de sedimentexport over de zeewaartse rekengrens van het kustfundament $V_{\text{exp.zeewaartse grens}}$ gelijkgesteld aan $0 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

Het wordt als voldoende zeker beschouwd dat hierdoor geen onderschatting van de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035 optreedt.

6.4.2 Export over de landwaartse grens van het kustfundament

Binnen Kustgenese 2.0 is geen onderzoek uitgevoerd naar de export van zand over de landwaartse grens van het kustfundament. Daarom wordt de huidige aanname dat er geen netto uitwisseling is over de landwaartse grens ongewijzigd overgenomen. Deze aanname wordt betrouwbaar geacht.

Keuze voor de rekenregel:

Voor het bepalen van de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035 wordt de sedimentexport over de landwaartse grens $V_{\text{exp.landwaartse grens}}$ van het kustfundament gelijkgesteld aan $0 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

6.5 Regionale bodemdaling

Voor nadere informatie wordt verwezen naar de volgende publicaties:

- 'Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens deel 1 en deel 2' (Hijma & Kooi, 2018a) (Hijma & Kooi, 2018b)
- 'Technisch Advies Sedimentbehoefte Kustfundament ten behoeve van het beleidsadvies Kustgenese 2.0' (Deltares, 2020a).

Achtergrond

Voor de sedimentbehoefte van het kustfundament vormt de daling van de bodem een belangrijke parameter. Deels zit de bodemdaling reeds verwerkt in de actuele (relatieve) zeespiegelstijging, die wordt berekend uit de waterstandsmetingen van zes Nederlandse getijdestations (zie par. 6.2). In de meeste gevallen gaat het daarbij om bodemdaling die wordt veroorzaakt door geologische processen.

Tussen de getijdestations in bestaan echter gebieden met relatief veel bodemdaling door met name menselijke activiteiten, zoals de winning van olie, gas, zout en grondwater. Omdat deze regionale daling niet is meegenomen in de relatieve zeespiegelstijging, is hiervoor in de rekenregel 2016 een aparte term $V_{\text{bodemdaling}}$ opgenomen. Daarbij wordt rekening gehouden met ruimtelijke verschillen.

In het kader van Kustgenese 2.0 is onderzoek gedaan naar de regionale bodemdaling in het kustfundament. Om de bodemdaling te bepalen, is beschikbare informatie (vooral literatuur) geanalyseerd (Deltares, 2020a).

Resultaten

De grootste dalingen van het kustfundament, die worden veroorzaakt door menselijke invloed en niet zijn verwerkt in het getal van de relatieve zeespiegelstijging, vinden plaats bij Ameland en in het Eems-Dollardgebied. Voor de periode tot 2050 is een totale zandbehoefte door regionale bodemdaling berekend van $0,51 \pm 0,26$ miljoen m^3 zand/jaar. Het grootste deel daarvan ($0,4$ miljoen m^3) komt voort uit regionale bodemdaling in het Waddengebied, een kleiner deel ($0,1$ miljoen m^3) uit regionale bodemdaling langs de Hollandse kust.

Doorkijk na 2035

Hijma en Kooi (2018a) hebben de bodemdaling geraamd voor de periode 2018-2050. Er is geen onderzoek gedaan naar de bodemdaling na 2050. Het is aannemelijk dat olie- en gaswinning na 2050 (veel) verder afgenomen zullen zijn. De winning van andere grondstoffen levert nu een beperkte bijdrage aan de bodemdaling. Het is een redelijke aanname dat de bodemdaling van het kustfundament als gevolg van delfstoffenwinning aanzienlijk zal afnemen.



Figuur 6.4 Een overzicht van de Waddenzee en de vijf grote zeegaten van het Nederlandse deel van de Waddenzee (gebaseerd op een foto van www.waddensea-secretariat.org, Satellite image: albedo39 Satellitenbildwerkstatt e.K. (image processing), Brockmann Consult GmbH (scientific consulting), raw data: U.S. Geological Survey).

Onzekerheden

De onzekerheid in de zandbehoefte door regionale bodemdaling is beperkt. De afzonderlijke componenten van bodemdaling zijn redelijk goed tot goed bekend. De bandbreedte rondom het gemiddelde is op zichzelf vrij groot met circa 50%, maar is in absolute termen ten opzichte van bijvoorbeeld het huidige suppletievolume klein (0,26 miljoen m³/jaar versus 9,5 miljoen m³/jaar).

Conclusie voor de rekenregel

Voor het volume zand dat nodig is om de regionale bodemdaling tot 2035 te compenseren $V_{\text{bodemdaling}}$ wordt een waarde gehanteerd van 0,4 miljoen m³ in het Waddengebied, 0,1 miljoen m³ langs de Hollandse kust en 0 miljoen m³ in het Deltagebied.

6.6 Export naar Waddenzee en Eems

Voor nadere informatie wordt verwezen naar het 'Technisch Advies Sedimentbehoefte Kustfundament ten behoeve van het beleidsadvies Kustgenese 2.0' (Deltares, 2020a).

Achtergrond

De Waddenzee bestaat uit een opeenvolging van diepe en ondiepe platen, grote en kleine geulen, kweldergebieden, eilanden en zeegaten daartussen. Daarbij is onderscheid te

maken tussen de westelijke Waddenzee (ten westen van het Amelandse zeegat) en de oostelijke Waddenzee (ten oosten daarvan). Het westelijke deel van de Waddenzee is relatief diep en heeft weinig intergetijdenplaten (zie Figuur 6.4).

Aan de noordoostzijde vormt het Eems-Dollard estuarium een scheiding met het Duitse deel van de Waddenzee.

In de Waddenzee kunnen natuurlijke processen relatief vrij hun gang gaan, maar wel binnen een begrenzing die door menselijk ingrijpen is gevormd. Gedurende de laatste eeuwen zijn de grenzen van de Waddenzee namelijk vrijwel vastgelegd. De kusten van Noord-Holland, Friesland en Groningen worden beschermd door dijken en zeeweringen. In 1932 is de voormalige Zuiderzee afgescheiden van de Waddenzee door de aanleg van de Afsluitdijk. De Lauwerszee is in 1969 afgesloten.

Om in balans te komen met de nieuwe hydrodynamische omstandigheden 'vraagt' de Waddenzee om extra sediment. Studies geven aan dat het sedimentvolume in de Waddenzee tussen 1926 en 2016 met ruwweg 650 miljoen m³ is toegenomen (Elias et al., 2012) (Elias, 2019). Het merendeel van dit sediment werd geleverd door de buitendelta's die daardoor sterk in volume zijn afgenomen. De grootste volumeverandering, ongeveer 75%, werd geobserveerd in het westelijke deel van de Waddenzee. Geulen vulden zich hier op en er trad sterke sedimentatie op langs de Waddenkust van Friesland en Noord-Holland.

Zeegat	Sedimentexport (miljoen m ³ /jaar)		Zandexport (miljoen m ³ /jaar) ¹²	
Texel	+1,98	±0,35	+1,88	±0,34
Eierlandse Gat	-0,32	±0,06	-0,29	±0,05
Vlie	+1,18	±0,21	+1,07	±0,19
Ameland	+1,23	±0,22	+1,11	±0,20
Friesche Zeegat	+0,45	±0,08	+0,42	±0,08
Groninger Wad	+0,63	±0,11	+0,58	±0,10
Totaal	+5,15	±0,93	+4,75	±0,85
Eems-Dollard ¹³	-	-	+1,2	±0,8

Tabel 6-4 Overzicht van sediment- en zandtransporten (inclusief bandbreedte) van het kustfundament naar de Waddenzee (+ is export uit het kustfundament, - is import). Bron: (Deltares, 2020a)

Aanpak

Waar in dit rapport de sedimentbehoefte en zandbehoefte van het kustfundament aan elkaar gelijk worden gesteld (zie kader in Hoofdstuk 2), geldt dit niet voor het bepalen van de export van sediment vanuit het kustfundament naar de relatief slibrijke Waddenzee en Eems. Uit onderzoek volgt dat het volume sediment dat vanuit het kustfundament naar de Waddenzee wordt geëxporteerd voor 5% tot 10% bestaat uit slib (Oost et al, 2018). Voor de Eems-Dollard is dit slibpercentage hoger.

Gezien het verschillende karakter van de Waddenzee en de Eems-Dollard, met andere transportprocessen en een andere samenstelling van het sediment, zijn deze twee systemen apart beschouwd bij het bepalen van de export van sediment uit het kustfundament. Hierbij is voor de export naar de Waddenzee rekening gehouden met een volumebijdrage van slib van 8% en voor de Eems-Dollard van 60% (Deltares, 2020d).

Export naar de Waddenzee op korte termijn (tot 2035)

Voor het bepalen van het sedimenttransport naar de Waddenzee is uitgegaan van voortzetting van de huidige snelheid van zeespiegelstijging en van het recente sedimenttransport. Onder die aannamen kon de export naar de Waddenzee worden afgeleid uit een op data gebaseerd sedimentbalansmodel. Dit sedimentbalansmodel deelt de Waddenzee op in morfologische eenheden. Daarbij werd het sedimenttransport door elk zeegat bepaald. Vervolgens werd een correctie aangebracht voor het percentage slib.

Export naar de Eems-Dollard op korte termijn

Voor de Eems-Dollard kon deze aanpak niet gevolgd worden, omdat er onvoldoende (betrouwbare) data beschikbaar waren. Voor het Eems-Dollard estuarium is daarom geen volumebalans opgesteld, maar is literatuur gebruikt. Het bleek echter lastig te zijn om de sedimentexport naar de Eems-Dollard te kwantificeren, omdat de sedimentbalans in het estuarium erg complex is door de interactie van zand en slib, de bagger- en stortactiviteiten, sedimentonttrekking en de ligging van de Nederlands-Duitse grens. Daarnaast is er sprake van een aanzienlijke wisselwerking tussen het estuarium en de Oosterschelde.

Doorkijk na 2035

Voor de periode na 2035 zijn modelvoorspellingen gedaan, voor vier verschillende zeespiegelscenario's (zie par. 6.2). Hierbij is gebruik gemaakt van ASMITA, een morfodynamisch model voor zeegatsystemen (Wang & Lodder, 2019). Een essentieel verschil tussen ASMITA en de eerder toegepaste proces-gebaseerde modellen is dat ASMITA gebaseerd is op empirische relaties van het morfologisch evenwicht van de Waddenzee en de snelheid van aanpassing naar een nieuw evenwicht na verstoring.

Resultaten

Tot 2035

Uitwerking van de volumebalans geeft tot 2035 een netto sedimentexport vanuit het kustfundament naar de Waddenzee (exclusief Eems-Dollard) van 5,2 miljoen ± 0,9 m³/jaar. Hiermee komt de netto zandexport door de zeegaten van de Waddenzee exclusief Eems-Dollard uit op 4,8 miljoen ± 0,9 m³/jaar.

¹² Bij het bepalen van de zandexport van het kustfundament naar de Waddenzee is rekening gehouden met 8% slib.

¹³ Voor de Eems-Dollard is een afwijkende benadering gebruikt voor het bepalen van het zandtransport en is een hoger slibpercentage gehanteerd.



Op grond van literatuur is het netto zandexport vanuit het kustfundament naar de Eems-Dollard geschat op 1,2 miljoen $\pm 0,8$ m³/jaar (zie Tabel 6-4).

Doorkijk na 2035

Uit analyse van de (op modellen gebaseerde) toekomstige sedimentbalans blijkt dat zeegatsystemen in de Waddenzee vertraagd reageren op de verandering van zeespiegelstijging. De vertraging is groter voor de zeegaten die in verbinding staan met grotere bekkens en/of bekkens die een sedimenttekort hebben door ingrepen in het verleden. De veranderingen van het zandtransport naar de Waddenzee ten opzichte van de huidige situatie zijn relatief klein. Voor alle onderzochte zeespiegelstijgingen (resp. een relatieve zeespiegelstijging van 2, 4, 6 en 8 mm/jaar) neemt het totale sedimenttransport eerst af door het dempen van de verstoringen die het gevolg zijn van ingrepen in het verleden. De versnelling van zeespiegelstijging buigt deze afnemende trend om, maar niet vóór 2050. Dat betekent dat er tot 2050 voor het sedimenttransport naar de Waddenzee geen rekening hoeft te worden gehouden met verschillende snelheden van zeespiegelstijging.

Het netto zandtransport na 2035 hangt sterk af van de snelheid van zeespiegelstijging. Bij de huidige snelheid daalt het netto transport in 2100 licht. Bij een zeespiegelstijging van 8 mm/jaar wordt een toename van het netto zandtransport naar de Waddenzee (exclusief Eems-Dollard) van 40% berekend in 2100. Dit komt neer op een toename van 4,8 miljoen m³ per jaar naar 6,7 miljoen m³ per jaar.

Onzekerheden

Bijdrage van slib

Zoals eerder aangegeven is er bij het bepalen van de zandexport van het kustfundament naar de Waddenzee rekening gehouden met 8% slib. Dit is echter een veronderstelling, de cijfers lopen nogal uiteen. Schattingen van het slibpercentage in de bodem van de Waddenzee liggen tussen de 8 en 37% (Oost et al., 2018) of 12-31% (Cleveringa, 2018). Naar dit thema is nader onderzoek nodig (zie Hoofdstuk 10).

Waarden voor export naar de Eems-Dollard

De uit de literatuur afgeleide waarde voor export van zand van het kustfundament naar de Eems-Dollard is op dit moment de best mogelijke schatting. Deze is echter met aanzienlijke onzekerheid omgeven. Meer onderzoek hiernaar is gewenst.

Conclusie voor de rekenregel:

Voor het bepalen van de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035 wordt uitgegaan van een netto zandexport Vexp.Waddenzee en Eems van 6,0 $\pm 1,7$ miljoen m³/jaar.

Dit getal is opgebouwd uit 4,8 $\pm 0,9$ miljoen m³ /jaar zandexport uit het kustfundament naar de Waddenzee en (naar schatting) 1,2 miljoen $\pm 0,8$ miljoen m³/jaar zandexport naar de Eems-Dollard.



6.7 Export van zand naar de Westerschelde

Voor nadere informatie wordt verwezen naar het 'Technisch Advies Sedimentbehoefte Kustfundament ten behoeve van het beleidsadvies Kustgenese 2.0' (Deltares, 2020a).

Er is in het kader van Kustgenese 2.0 geen onderzoek gedaan naar de export van zand vanuit het kustfundament naar de Westerschelde. Voor deze term is gebruik gemaakt van literatuur en eerder uitgevoerd onderzoek.

De zanduitwisseling tussen het kustfundament en de Westerschelde is afgeleid uit sedimentbalansstudies, met onderscheid tussen zand en slib. Dergelijke studies zijn gebaseerd op (een combinatie van) metingen van de bodemligging en sedimenttransportberekeningen met numerieke modellen.

Analyses laten zien dat het sedimentvolume van de Westerschelde tussen 1800 en 2000 sterk is afgenomen. Dit komt enerzijds doordat er zand werd afgezet in (nu ingepolderde) gebieden, zoals de zeearmen Braakman en Sloe en anderzijds door zandwinning (tot 2016). Tussen 1955 en 2013 is er gemiddeld circa 2 miljoen m³ zand/jaar gewonnen.

Recente data laten zien dat die trend sinds 2000 is omgeslagen naar een toename van het sedimentvolume. Rekening houdend met de bijdrage van slib wordt geschat dat er sinds 2000 gemiddeld 0 tot 1 miljoen m³ sediment per jaar van het kustfundament naar de Westerschelde wordt getransporteerd. Dat is dus zand én slib.

Voor de periode tot 2035 wordt de recente trend vanaf 2000 als representatief gezien. Op grond hiervan wordt voor de periode tot 2035 een zandtransport van kustfundament naar Westerschelde verwacht van 0 tot 1 miljoen m³/jaar.

Onzekerheden

De uit de literatuur afgeleide waarde voor de export van zand van het kustfundament naar de Westerschelde is op dit moment de best mogelijke schatting. Deze is echter met aanzienlijke onzekerheid omgeven. Meer onderzoek hiernaar is gewenst.

Keuze voor de rekenregel

Voor het bepalen van de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035 wordt uitgegaan van een netto zandexport naar de Westerschelde $V_{exp.Westerschelde}$ van $0,5 \pm 0,5$ miljoen m³/jaar.

Dit is de best mogelijke schatting, maar deze is met grote onzekerheid omgeven.



6.8 Export van zand over de staatsgrenzen

Voor nadere informatie wordt verwezen naar het 'Technisch Advies Sedimentbehoefte Kustfundament ten behoeve van het beleidsadvies Kustgenese 2.0' (Deltares, 2020a).

In het kader van Kustgenese 2.0 is geen extra onderzoek uitgevoerd naar deze term. Hoewel bekend is dat er wel degelijk sprake is van sedimenttransport over de staatsgrenzen (Steetzel & Wang, 2003) is de omvang van dit transport niet goed bekend.

Daarom wordt de bestaande aanname dat de import van sediment vanuit België gelijk is aan de export naar Duitsland gehandhaafd.

Onzekerheden

Het is waarschijnlijk dat bovengenoemde aanname niet juist is. Er zijn grote onzekerheden, die samenhangen met de complexe sedimentbalans van de Eems-Dollard en de Westerschelde. Er is echter onvoldoende kennis om de onzekerheidsmarge aan te geven en/of de aanname bij te stellen. Daarom is onderzoek naar de export van zand over de staatsgrenzen opgenomen in de aanbevelingen voor het vervolg van Kustgenese 2.0. Aanbevolen wordt om samen met het Duitse bevoegd gezag (NLWKN) de mogelijkheden na te gaan voor het gezamenlijk bestuderen van de integrale

sedimentbalans van het gehele Eems-Dollard estuarium inclusief de Osterems tot en met de NAP -20 m dieptelijn in de Noordzee. Verder wordt aanbevolen om samen met de Vlaamse overheden onderzoek te doen naar de onbekende uitwisseling over de Nederlands Belgische grens.

Keuze voor de rekenregel

Voor het bepalen van de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035 wordt uitgegaan van een netto zandexport over de staatsgrenzen $V_{exp, staatsgrenzen}$ van $0 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Hoewel deze aanname waarschijnlijk onjuist is, is er nog onvoldoende kennis om deze bij te stellen.

Term in de regenregel	Miljoen m ³ / jaar	Onderbouwing
Oppervlakte Kustfundament x zeespiegelstijging ($A_{kf} \cdot ZSS_{act}$)	6,3 ± 0,4	De vorige kolom geeft de sedimentbehoefte weer van het gehele kustfundament, die voortvloeit uit de term oppervlakte x zeespiegelstijging. Voor de oppervlaktes wordt verwezen naar par. 6.3.3 en voor de actuele (relatieve) zeespiegelstijging naar par. 6.2. De sedimentbehoefte is opgebouwd uit de volgende regionale sedimentbehoeften: <ul style="list-style-type: none"> • Wadden: 2,7 miljoen m³/ jaar • Holland: 1,5 miljoen m³/ jaar • Delta: 2,1 miljoen m³/ jaar
Export over zeewaartse grens ($V_{exp,zeewaartse\ grens}$)	0	Deze keuze is gebaseerd op het feit dat de richting van de transporten wel vertrouwd wordt maar de grootte van de transporten niet. Bij de keuze van 0 m ³ / jaar treedt er waarschijnlijk geen onderschatting van de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035 op.
Export over landwaartse grens ($V_{exp,landwaartse\ grens}$)	0	De sedimentexport over de landwaartse grens van het kustfundament is verwaarloosbaar. Omdat er geen onderzoek is gedaan naar deze term, wordt de huidige aanname gehanteerd van 0 m ³ / jaar zand.
Regionale bodemdaling $V_{bodemdaling}$	0,5 ± 0,3	Deze term is als volgt opgebouwd: <ul style="list-style-type: none"> • Wadden: 0,4 miljoen m³/ jaar zandexport uit het kustfundament als gevolg van regionale bodemdaling • Holland: 0,1 miljoen m³/ jaar zandexport uit het kustfundament • Delta: 0 miljoen m³/ jaar zandexport uit het kustfundament Het gaat hier om bodemdaling door antropogene oorzaken (o.a. delfstoffenwinning). De geologische bodemdaling is meegenomen in het getal voor actuele relatieve zeespiegelstijging.
Export naar de Waddenzee en Eems $V_{exp,Waddenzee\ en\ Eems}$	6,0 ± 1,7	Deze term is als volgt opgebouwd: <ul style="list-style-type: none"> • 4,8 miljoen ± 0,9 m³/ jaar zandexport uit het kustfundament naar de Waddenzee • 1,2 miljoen ± 0,8 m³/ jaar zandexport uit het kustfundament naar de Eems-Dollard
Export naar de Westerschelde $V_{exp,Westerschelde}$	0,5 ± 0,5	Bij het bepalen van de sedimentbehoefte van het kustfundament wordt de export naar de Westerschelde meegenomen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de best mogelijke schatting. Deze waarde is omgeven met grote onzekerheid.
Export over de staatsgrenzen $V_{exp,staatsgrenzen}$	0	De omvang van het netto sedimenttransport over de staatsgrenzen is niet bekend. Daarom wordt de bestaande aanname dat de import van sediment vanuit België gelijk is aan de export naar Duitsland gehandhaafd.
Totaal	13,3 ± 2,9	

Tabel 6-5 Kwantificering van de termen in de rekenregel. Hierbij wordt uitgegaan van een regionale gedifferentieerde zeewaartse begrenzing van het kustfundament, die is gebaseerd op de bodemdynamiek over een periode van 50 jaar plus een onzekerheidsmarge (zie 6.3.1).

6.9 Uitkomsten van de rekenregel volgens de nieuwe inzichten

Voor nadere informatie wordt verwezen naar het 'Technisch Advies Sedimentbehoefte Kustfundament ten behoeve van het beleidsadvies Kustgenese 2.0' (Deltares, 2020a).

6.9.1 Periode tot 2035

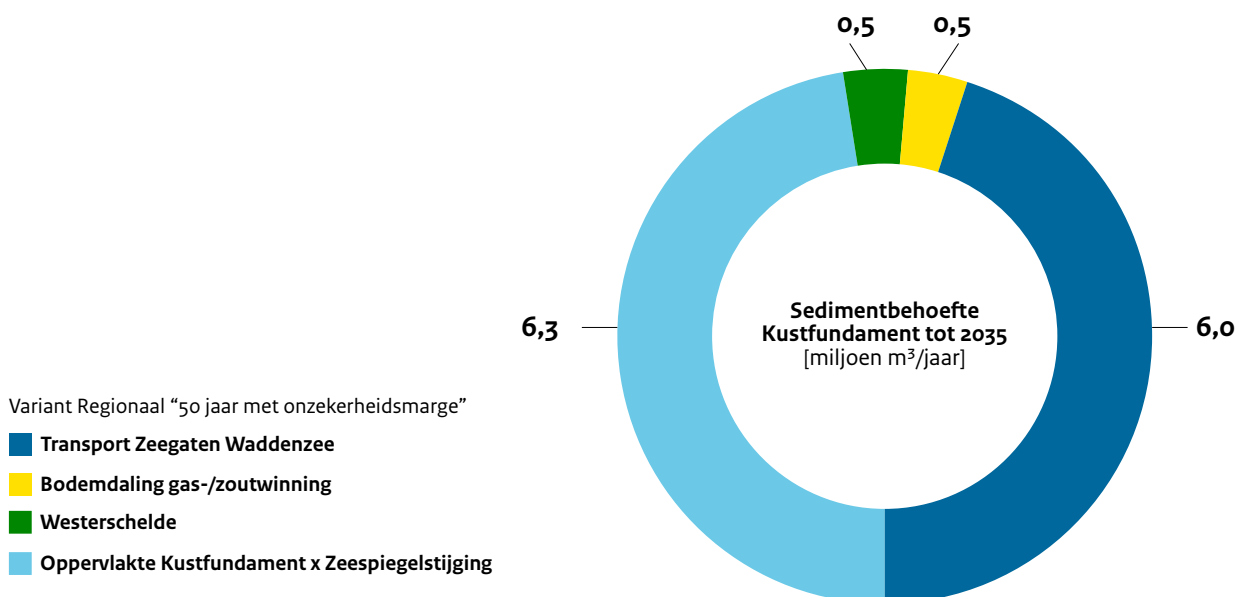
In de vorige paragrafen zijn de termen van de rekenregel onderbouwd en zo goed mogelijk gekwantificeerd. De resultaten zijn samengevat in Tabel 6-5. In Figuur 6.5 is inzichtelijk gemaakt hoe de verschillende termen van de rekenregel bijdragen aan de totale sedimentbehoefte van het kustfundament.

In Tabel 6-5 is zowel de 'meest waarschijnlijke waarde' als een bandbreedte weergegeven. In het vervolg van dit rapport (dus ook voor het ontwikkelen van suppletie strategieën) wordt alleen uitgegaan van de meest waarschijnlijke waarde, dus zonder extra bandbreedte.

Hiervoor zijn drie redenen:

- De bandbreedte is tweezijdig. Er zijn evenveel argumenten om de bandbreedte op te tellen bij als af te trekken van de meest waarschijnlijke waarde.
- Het is aannemelijk dat er – door transport over de zeewaartse grens – zand aan het kustfundament wordt toegevoegd. Vanwege de onzekerheid over de grootte van de bijdrage is ervoor gekozen in de rekenregel een waarde te hanteren van 0 m³/jaar. Door die keuze wordt de kans op onderschatting van de sedimentbehoefte van het kustfundament kleiner, waardoor het optellen van de bandbreedte bij de meest aannemelijke waarde onnodig lijkt.
- De bandbreedtes voor de volumes die zijn gekwantificeerd, zijn relatief klein. Het bijhouden van de kennis over het kuststelsel biedt voldoende garantie om de termen in de rekenregel indien nodig bij te stellen.

Op grond hiervan wordt uitgegaan van een totale sedimentbehoefte van het kustfundament van 13,3 miljoen m³/jaar tot 2035. De regionale verdeling hiervan is weergegeven in Tabel 6-6.



Figuur 6.5 Bijdragen van de verschillende termen van de rekenregel aan de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035 (in miljoen m³/jaar), uitgaande van de in par. 6.3.1 gekozen zeewaartse begrenzing.

Volumes in miljoen m ³ /jaar	
Waddenkust	9,1
Hollandse kust	1,6
Deltakust	2,6
Totaal	13,3

Tabel 6-6 Sedimentbehoefte van het kustfundament (tot 2035), uitgaande van de in par. 6.3.1 gekozen zeewaartse begrenzing

6.9.2 Doorkijk naar de lange termijn (na 2035)

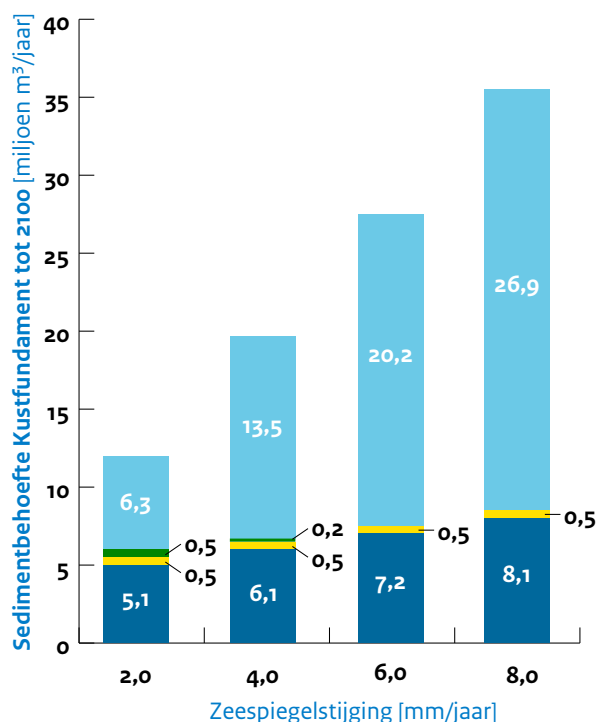
Om een indicatie te krijgen van de sedimentbehoefte na 2035, is gebruik gemaakt van vier verschillende waarden van zeespiegelstijging (2 mm/jaar, 4 mm/jaar, 6 mm/jaar en 8 mm/jaar). In alle gevallen is de rekenregel 2016 ongewijzigd toegepast en is dezelfde zeewaartse begrenzing van het kustfundament aangehouden als bij het berekenen van de huidige sedimentbehoefte (zie par. 6.3.1). Verder is er voor alle onderzochte snelheden van zeespiegelstijging van uitgegaan dat de sedimentexport vanuit het kustfundament naar de Waddenzee tot 2050 eerst (tijdelijk) afneemt (zie par. 6.6.).

Uit de analyse volgt een sedimentbehoefte in het jaar 2100 van het kustfundament van 12,4 miljoen m³/jaar bij een snelheid van zeespiegelstijging van 2 mm/jaar tot 35,5 miljoen m³/jaar bij 8 mm/jaar (zie Tabel 6-7 en Figuur 6.6).

De toekomstige sedimentbehoefte in 2100 bij voortzetting van de huidige snelheid van zeespiegelstijging (12,4 miljoen m³/jaar) is lager dan de huidige berekende sedimentbehoefte in 2035 (13,3 miljoen m³/jaar). Dat heeft te maken met het eerder beschreven uitgangspunt dat de export van sediment naar de Waddenzee eerst afneemt.

Zeespiegelstijging mm/jaar	Sedimentbehoefte miljoen m ³ /jaar
2	12,4
4	20,4
6	27,9
8	35,5

Tabel 6-7 Indicatie van de sedimentbehoefte van het kustfundament, bij hogere snelheden van zeespiegelstijging



Variant Regionaal "50 jaar met onzekerheidsmarge"

- Transport Zeegaten Waddenzee
- Bodemdaling gas-/zoutwinning
- Westerschelde
- Oppervlakte Kustfundament x Zeespiegelstijging

Figuur 6.6 Sedimentbehoefte van het kustfundament in 2100 (in miljoen m³/jaar) voor verschillende zeespiegelstijgingsscenario's. De balken geven de verwachte bijdrage per term.



7 Nieuwe inzichten over suppleren op de buitendelta

Dit hoofdstuk richt zich op de inzichten die Kustgenese 2.0 heeft opgeleverd over de werking van buitendelta's en buitendeltasuppleties in algemene zin en over de pilotsuppletie op de buitendelta in het Amelanders Zeegat in het bijzonder.

7.1 Inleiding

Studies laten zien dat er in de afgelopen decennia een aanzienlijk volume sediment vanuit het kustfundament naar de Waddenzee is getransporteerd (o.a. Elias et al., 2012). Dit sedimenttransport vormt een belangrijke 'verliespost' voor het kustfundament. Veel sediment wordt geleverd door de in het kustfundament liggende buitendelta's. Daardoor is een aantal buitendelta's de afgelopen decennia sterk in volume afgenomen en van vorm veranderd.

Vanwege het belang van buitendelta's voor de sedimenttoevoer naar de eilandkusten en voor de bescherming van de eilandkoppen en getijbekkens tegen golfaanval, ontstond de vraag of suppleren op de buitendelta een kansrijke methode is om het kustfundament van voldoende sediment te kunnen voorzien. Op die manier zouden zandverliezen in het kustfundament al kunnen worden aangevuld voordat ze een probleem vormen voor het kustonderhoud van de eilanden. Hierbij speelt ook mee dat de buitendelta's extra ruimte bieden om suppleties uit te voeren, op de plek waar de sedimentbehoefte het grootst is.

Tegen deze achtergrond vormde onderzoek naar de werking van buitendelta's en het suppleren op de buitendelta een belangrijk thema binnen Kustgenese 2.0. Het onderzoek bestond uit twee delen:

- Een algemeen onderzoek naar de werking van buitendelta's, de mogelijkheden voor suppleties en de meerwaarde voor het kustbeheer (zie par. 7.2);
- Gericht onderzoek naar de uitvoering en effecten van een pilotsuppletie op de buitendelta van het Amelanders Zeegat (zie par. 7.3).

7.2 Werking van buitendelta's en mogelijkheden voor suppleties

Voor nadere informatie wordt verwezen naar het 'Technisch advies Rol en Mogelijkheden Buitendelta's voor het Kustbeheer' (Deltares, 2020c).

In het kader van Kustgenese 2.0 is onderzoek gedaan naar de werking van buitendelta's en de mogelijkheden van buitendeltasuppleties in algemene zin. Het Amelanders Zeegat speelde een prominente rol in dit onderzoek. Hieronder volgen de belangrijkste bevindingen.

De morfologische rol van de buitendelta in het kuststelsel

Het onderzoek bevestigt dat de buitendelta op grote schaal – de schaal van de Waddenzee en de kustzone – een buffer vormt waar grote hoeveelheden zand in opgeslagen zijn en van waaruit zand beschikbaar kan komen. Op de kleinere schaal van de individuele zeegaten beïnvloedt de buitendelta de lokale dynamiek van de kustprocessen.

De buitendelta vormt een schakel in de sedimentstroom tussen de eilandkusten en de Waddenzee. Sediment kan direct via de geulen getransporteerd worden en zo rechtstreeks het zeegat passeren, of banken vormen op de buitendelta. Deze banken migreren van west naar oost en uiteindelijk verhelten ze met het benedenstroomse eiland. De bankverheltingen bepalen voor een belangrijk deel, op zowel de korte als langere termijn, de kustontwikkeling van het benedenstrooms gelegen eiland. Daarnaast zorgt golfbreking op de buitendelta ervoor dat Noordzeegolven veel minder doordringen tot in de Waddenzee.

Benodigde omvang

De Waddenzee met zijn huidige karakteristieken kan alleen in stand gehouden worden als er een balans is tussen:

- De – door relatieve zeespiegelstijging toenemende – sedimentbehoefte;
- De hoeveelheid sediment die er door een zeegat kan worden getransporteerd (sedimenttransportcapaciteit);
- Het zandaanbod vanuit de kustzone.

Als er niet voldoende sediment beschikbaar is op de buitendelta, zullen de aanliggende kusten het sediment moeten leveren met kusterosie tot gevolg. Het is daarom gewenst dat de buitendelta's gehandhaafd blijven op een zodanige omvang dat ze hun functies als schakel in de sedimentstroom tussen eilandkusten, sedimentbuffer en kustbeschermer kunnen blijven uitoefenen. Met de huidige kennis is het nog moeilijk te zeggen welke minimale omvang hiervoor nodig is.

Bruikbaarheid voor het kustbeheer

De buitendelta vormt een gebied waarop grote hoeveelheden zand kunnen worden aangebracht, waarna het zand zich onder invloed van natuurlijke processen verder verspreidt. Waar klassieke strand- of vooroeversuppleties vooral gericht zijn op het tegengaan van kustachteruitgang op korte termijn, zijn buitendeltasuppleties primair bedoeld voor het op orde houden van de sedimentbalans ten behoeve van het handhaven van de kustlijn en het waarborgen van de veiligheid op langere termijn. Daarbij grijpen buitendeltasuppleties in op de schaal van een zeegatsysteem.

Uit het onderzoek blijkt dat het gedrag van de buitendelta gestuurd kan worden door in te grijpen op de schaal van individuele banken of geulen. Dit biedt mogelijkheden voor het kustbeheer. Er kan bijvoorbeeld met behulp van buitendeltasuppleties ingespeeld worden op de dynamiek van platen en geulen in de buitendelta, zodat meer zand richting de kust beweegt en kustlijnerosie wordt tegengegaan. Voorwaarde hiervoor is dat de onderliggende processen en mechanismen beter begrepen worden.

Geconcludeerd kan worden dat buitendeltasuppleties bruikbaar zijn om het huidige kustbeheer te optimaliseren. Voor toekomstig beheer zijn ze wellicht essentieel.

7.3 Pilotsuppletie Amelander Zeegat

Voor nadere informatie wordt verwezen naar de 'Tussenrapportage Pilotsuppletie Buitendelta Amelander Zeegat' (Ebbens, 2019).

Eén van de onderdelen van het kennis- en onderzoeksprogramma Kustgenese 2.0 betrof het uitvoeren van een pilotsuppletie op de buitendelta ter hoogte van het Amelander Zeegat (zie Figuur 4.8). Dit zeegat wordt gezien als een relatief onverstoorde systeem, waarvan het gedrag niet wordt gedomineerd door grootschalige menselijke ingrepen zoals inpolderingswerken en de afsluiting van de Zuiderzee.

Voor de pilotsuppletie werd in 2018 – 2019 5 miljoen m³ zand aangebracht op de buitendelta. De pilotsuppletie had/ heeft meerdere doelen:

- Het bijdragen aan de versterking van het kustfundament;
- Het vergroten van de morfologische en ecologische kennis over zeegatsystemen;
- Het verkrijgen van meer inzicht in de haalbaarheid van buitendeltasuppleties.

In samenwerking met Rijkswaterstaat en de universiteiten van Delft, Twente en Utrecht, is een uitgebreide meetcampagne opgezet omtrent de morfologie, hydrodynamica en ecologie (met een focus op benthos, bodemvis, grote sterns en zeehonden) rond het zeegat van Ameland. Deze monitoring loopt tot 2022. Uiteindelijk moet het onderzoek inzicht geven in de beste omvang en locatie van suppleties waarbij de effecten op de ecologie van het Amelander Zeegat zo klein mogelijk worden gehouden.

In 2019 verscheen een tussenrapportage met de eerste bevindingen van de pilotsuppletie, waaronder resultaten van de metingen van de uitgangssituatie (Ebbens, 2019). Deze worden hieronder op hoofdlijnen beschreven.

Het leveren van een bijdrage aan het kustfundament

Het aangebrachte zand is – zoals vooraf voorspeld – redelijk stabiel blijven liggen op de buitendelta. Alle gesuppleerde kubieke meters zand dragen bij aan het in evenwicht houden van het kustfundament.



Het vergroten van de morfologische en ecologische kennis over zeegatsystemen

De pilotsuppletie heeft gezorgd voor nieuwe systeemkennis van zeegatsystemen in het algemeen en van het Amelander Zeegat in het bijzonder.

De metingen van de uitgangssituatie (T_0 -metingen) hebben een zeer uitgebreide en unieke verzameling aan morfologische en ecologische data opgeleverd, die samen met de reeds beschikbare data veel bijdragen aan de kennis over de buitendelta. Tijdens de uitvoering werden 6-wekelijkse voortgangspeilingen uitgevoerd van het suppletiegebied. Na oplevering van de suppletie is de bodemligging van het suppletiegebied en een gebied van 1000 m eromheen elke 3 maanden ingemeten.

Na aanleg van de buitendeltasuppletie zijn T_1 -metingen gedaan om het herstel van de ecologie te monitoren. Deze resultaten zijn eind 2020 gerapporteerd (Eurofins AquaSense, 2020). In 2021 zal nogmaals een meting van het ecologische herstel plaats vinden (T_2 , als onderdeel van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging). De studie naar langdurige ecologische effecten van suppleties is o.a. van belang om na te gaan of er ecologische omslagpunten ('tipping points') bereikt worden bij herhaalde suppleties. Pas dan kan een conclusie worden getrokken over de impact van de buitendeltasuppletie op de ecologie en kunnen de ecologische voorwaarden voor buitendeltasuppleties worden opgesteld. De verkregen kennis zal in het huidige

suppletieprogramma worden meegenomen, zodat de ecologische randvoorwaarden bij het ontwerpen van zandsuppleties beter onderbouwd kunnen worden.

Morfologische bevindingen

- De aangelegde suppletie vertoont voldoende dynamiek om van de suppletie te kunnen leren. Gedurende de aanleg van de suppletie is reeds op een aantal niveaus dynamiek vastgesteld:
 - Na het aanbrengen van het zand stellen zich snel nieuwe kustprofielen in;
 - Door het meer zeewaarts leggen van het ontwerp ontstond er tussen het bestaande eb-schild én de suppletie een geultje. Dit geultje vulde zich al vrij snel met zand vanuit de suppletielocatie;
 - De storm in januari 2019 zorgde voor forse dynamiek: van het gesuppleerde volume zand verplaatste een tiende deel ($0,5$ miljoen m^3) zich naar het nabijgelegen bankengebied.

Ecologische bevindingen uit de T_0 metingen (Bogaart et al., 2019)

- De bodemdierengemeenschap van het Amelander Zeegat is weinig divers. De meeste soorten en de hoogste dichtheden zijn aangetroffen in de dieper gelegen delen in het noordoostelijk deel van het gebied, met een relatief fijnkorrelig sediment en relatief hoog organisch stofgehalte. In het suppletiegebied bestaat het oorspronkelijke sediment voornamelijk uit relatief grof zand met weinig organisch materiaal. Wat betreft de bodemdieren



is het een armer gebied dan het hiervoor genoemde gebied in het noordoosten, maar rijker dan de geulen, geulwanden en ondiepe zandplaten die verder naar het zuiden liggen. Er komen voornamelijk kleine kreeftachtigen en wormen voor die kenmerkend zijn voor ondiepe dynamische kustgebieden. Dit zijn kortlevende opportunistische soorten met een hoge reproductie- en verspreidingscapaciteit. Omdat de samenstelling van het suppletiezand vergelijkbaar is met de samenstelling van het oorspronkelijk aanwezige zand, is het de verwachting dat rekolonisatie tot de huidige soortensamenstelling en dichtheden zich binnen een jaar kan instellen.

- De T_0 -metingen die waren gericht op de ruimtelijke verspreiding en dichtheid van zandspiering, toonden aan dat er drie soorten zandspiering in de buitendelta van het Amelander Zeegat voorkomen. Vanwege de waarneming van jonge zandspierungen in de oosthoek, is de beoogde locatie van de pilotsuppletie iets verschoven. Het is op dit moment nog niet mogelijk om te beoordelen of een suppletie van 5 miljoen m^3 op de buitendelta van het Amelander Zeegat van invloed is op de samenstelling van de zandspierung-gemeenschap in deze buitendelta. De uitkomsten van de lopende monitoring zullen hierover in 2022 uitsluitsel geven.

- Eén van de soorten waarvoor buitendelta's en de kustzone van belang zijn is de grote stern, een beschermde broedvogel van de Waddeneilanden. De eerste resultaten van de studie met gezenderde grote sterns uit de broedkolonies Utopia en Wagejot op Texel geven aan dat er buiten de kuikenperiode een grote flexibiliteit aan keuze voor foerageerlocaties is en dat er voldoende alternatieven lijken te zijn voor een tijdelijk verlies aan foerageerhabitat.
- De gewone zeehond en de grijze zeehond komen massaal voor in het gebied. De dieren gebruiken de geul tussen Terschelling en Ameland om naar hun foerageergebied te trekken.

Meer inzicht krijgen in de haalbaarheid van buitendeltasuppleties

Uit het proces van de suppletie op de buitendelta van het Amelander Zeegat zijn de volgende leerpunten gedestilleerd over de uitvoerbaarheid:

Het uitvoeren van een buitendeltasuppletie is vergunbaar

Het uitvoeren van een buitendeltasuppletie is vergunbaar: alle benodigde vergunningen zijn verkregen. Voor het verkrijgen van de natuurbeschermings-vergunning bleek dat het opgestelde ecologische monitoringsprogramma van grote waarde was. Daarbij moet worden opgemerkt dat er vanaf 2020 voor het beheer en onderhoud van de kust geen natuurvergunning meer nodig is (zie par. 4.3.2).

Voor het verkrijgen van de ontgrondingsvergunning moet worden vermeld dat voor de pilot gebruik kon worden gemaakt van de bestaande ontgrondingsvergunning van het programma Kustlijnzorg. Indien wordt besloten tot de uitvoering van grootschaligere buitendeltasuppleties zal mogelijk apart (los van kustlijnzorg) een ontgrondingsvergunning aangevraagd moeten worden.

Het aanbrengen van een suppletie op de buitendelta is uitvoerbaar

Met de afronding van de suppletie in februari 2019 is aangetoond dat een suppletie op de buitendelta – in de gekozen vorm – inderdaad uitvoerbaar is. Het werken op de buitendelta was echter niet eenvoudig. Zo bleek bijvoorbeeld dat de veiligheid een serieus issue was tijdens de uitvoering, door de samenkomst van verschillende stromingen in combinatie met relatief kleine waterdiepte. Tijdens de voorbereiding op de suppletie is onder andere vanuit veiligheidsperspectief besloten om de suppletielocatie verder naar het noordwesten te verschuiven dan oorspronkelijk gepland. Doordat het water daar bij laagwater dieper was, was het eenvoudiger en veiliger om zand aan te brengen.

Door middel van de juiste communicatie is het mogelijk om draagvlak te genereren voor een buitendeltasuppletie

Het interne – en externe stakeholderproces is voorspoedig verlopen. Door gebruik te maken van de klankbordgroep van interne en externe experts en het gebruik van bestaande gremia rondom de Waddenzee is het gelukt om draagvlak te verwerven voor de buitendeltasuppletie. Het bestuurlijk overleg met aanwezigheid van de Deltacommissaris en relevante bestuurders, waarin de nut- en noodzaak werd omarmd, heeft daarbij geholpen.

7.4 Leerpunten en aanbevelingen

Werking van buitendelta's (Deltares, 2020c)

- De studie naar het Ameland Zeegat heeft veel systeemkennis opgeleverd over de invloed van golven en getij. Deze kennis kan ook goed worden toegepast in andere zeegaten. Omdat de basis voor morfologische analyses bestaat uit het begrijpen van het lokale systeem, wordt echter aanbevolen om voor andere zeegaten eerst een apart conceptueel model op te stellen. Vervolgens kunnen de ontwikkelde modellen en kennis vanuit de pilotsuppletie ingezet worden.
- De toepassing van strategisch geplaatste buitendelta- of systeemsuppleties biedt kansen om de nu onder druk staande zeeweringen (o.a. Helderse Zeewering en bestortingen West-Ameland) op natuurlijke wijze met zand te beschermen. Voordat deze suppleties echt aangebracht kunnen worden, is het zaak de uitwisseling tussen buitendelta, eilandkop en hoofdgeul nog beter te begrijpen.
- De buitendelta's in de oostelijke Waddenzee zijn waarschijnlijk in dynamisch evenwicht met het achterliggende bekken. Het handhaven van de huidige volumes en omvang van de buitendelta's lijkt hier een logische keuze te zijn, hoewel het effect van (versnelde) zeespiegelstijging wel onderzocht moeten worden. Voor de toepassing van buitendeltasuppleties in de westelijke Waddenzee is uitgebreider aanvullend onderzoek nodig, omdat het in dat deel van de Waddenzee op voorhand niet duidelijk is of een handhaafbaar buitendeltavolume kan worden vastgesteld.

Pilotsuppletie (Ebbens, 2019)

- Een interessant aspect betreft de locatie waar de buitendeltasuppletie is aangebracht. Hoewel deze dieper lag dan aanvankelijk gepland, blijkt uit de monitoring dat het zand op natuurlijke wijze op de oorspronkelijk geplande suppletielocatie terecht is gekomen ('vullen van de trog'). Er zijn geen aanwijzingen dat het zand naar het noorden getransporteerd is. Voor eventuele vervolgsuppleties is het daarom interessant om te kijken tot welke diepte het zand aangebracht kan worden om optimaal gebruik te maken van deze natuurlijke processen. De kortere vaarafstand kan de mate van CO₂-uitstoot beperken en de efficiency ten goede komen. Hierbij dient wel naar ecologische aspecten te worden gekeken, aangezien diepere delen over het algemeen ecologisch waardevoller zijn.
- Wat betreft de ecologie wordt aanbevolen om de ecologische kennis over het Ameland Zeegat eerst verder te vergroten. De nog lopende monitoring zal hieraan bijdragen. Pas als de belangrijkste ecologische processen helder zijn kan de kennis worden benut voor andere zeegaten van de Waddenzee en mogelijk ook voor de Zeeuwse delta. Het ecologische model voor het Ameland Zeegat kan dan als basis dienen voor het onderzoeken en voorspellen van effecten van suppleties op de daar aanwezige buitendelta's. Daarnaast is het raadzaam om parallel aan de ontwikkeling van suppletiegebieden ook vergelijkbare niet-gesuppleerde (referentie)gebieden te monitoren en om ook de langetermijneffecten van suppleties op buitendelta's te onderzoeken. Inzicht in fluctuaties tussen seizoenen en over de jaren heen is daarbij noodzakelijk.
- Voordat suppleren op de buitendelta als methode voor het programma Kustlijnzorg gebruikt kan worden, is het belangrijk om een 'risico-gestuurde ecologische handleiding' te hebben, waarin wordt aangegeven onder welke ecologische voorwaarden buitendeltasuppleties uitgevoerd kunnen worden en waar voor vergunningverlening in het kader van de Wet natuurbescherming op gelet moet worden. Het uitvoeren van buitendeltasuppleties biedt mogelijk ook meekoppelkansen voor het behalen van de Natura 2000-instandhoudingsdoelstellingen.



8 Inzichten over de ecologische effecten van suppleties

In dit hoofdstuk staan de ecologische effecten van zandsuppleties centraal. Hoewel hiernaar in de jaren '90 van de vorige eeuw al enig onderzoek werd gedaan, is de aandacht voor dit thema de afgelopen 15 jaar gegroeid en zijn er diverse onderzoeken uitgevoerd. Hieruit vloeien enkele belangrijke nieuwe inzichten voort. Desondanks resteren er nog vragen. Het bepalen van de ecologische effecten van suppleties is complex, mede omdat deze niet los gezien kunnen worden van andere veranderingen die optreden als gevolg van menselijke activiteiten en natuurlijke ontwikkelingen.

Achtergrond

Het inspelen op natuurlijke processen en gebruik maken van 'zand' als belangrijkste middel vormt een speerpunt van het huidige kustbeleid. Toch kunnen zandsuppleties verschillende effecten hebben op de ecologie van het kuststelsel.

Tijdelijke effecten door de aanlegwerkzaamheden

Deze effecten hangen samen met het transporteren en aanbrengen van zand. Tijdens het suppleren kunnen sleephopperschepen en bulldozers die het zand over de vooroever en het strand verdelen de (onderwater)fauna verstoren. Denk daarbij aan tijdelijke geluidsoverlast, waardoor foeragerende vogels en zeezoogdieren worden verstoord.

Directe effecten na aanleg

Een ander effect van een zandsuppletie is dat de aanwezige bodemfauna onder een laag zand wordt bedolven, waardoor de gehele (of een groot deel van de) bodemgemeenschap sterft. Verder kunnen dieren en planten worden beïnvloed door veranderende fysische omstandigheden, waardoor de karakteristieken van hun leefgebieden wijzigen. Dat kan bijvoorbeeld optreden als de samenstelling van het suppletiezand afwijkt van het gebiedseigen materiaal of als de lokale morfologie verandert door het aangebrachte zand (Holzhauer et al., 2014).

Indirecte effecten op langere termijn

Daarnaast kunnen er na de uitvoering van suppleties indirecte (cumulatieve) effecten optreden, die op langere termijn doorwerken. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om een veranderend aanbod van bentisch voedsel voor vogels en vissen (Herman et al., 2016).

Al deze veranderingen kunnen effecten hebben op het ecologisch functioneren van de kustzone en de samenstelling en de populatiedichtheid van soorten. Voor de uitvoering van suppleties is het dan ook belangrijk om voldoende inzicht in deze effecten te hebben, zodat het ecologisch functioneren en de kwaliteit van habitats zo min mogelijk wordt aangetast (of mogelijk wordt verbeterd). Dit is mede vereist vanuit de Wet natuurbescherming.

Onderzoek naar ecologische effecten

Naar dit onderwerp zijn het afgelopen decennium diverse onderzoeken uitgevoerd, die er onder andere toe hebben geleid dat er bij het uitvoeren van suppleties meer rekening wordt gehouden met de ecologie. Zo wordt er standaard rekening gehouden met de aanwezigheid van schelpdierbanken (Heijligers et al., 2018).

Het bepalen van de ecologische effecten van suppleties blijkt echter complex te zijn, omdat deze effecten niet los gezien kunnen worden van de effecten van andere ontwik-



cm 2020

kelingen in de kustzone. Er resteren dan ook nog vragen en onzekerheden, bijvoorbeeld over de effecten van nieuwe (grootschaligere) suppletievormen.

Voor dit synthesesrapport zijn de belangrijkste bevindingen op een rij gezet¹⁵. Hiervoor werd onder andere gebruik gemaakt van (tussen)resultaten van de ecologische monitoring van de Pilotsuppletie Buitendelta Amelander Zeegat, de monitoring van de Zandmotor en het project Natuurlijk Veilig. Deze bevindingen zijn bediscussieerd, gevalideerd en aangevuld tijdens een expertsessie met 12 ecologen van binnen en buiten Rijkswaterstaat. De bevindingen uit de literatuur en het verslag van de expertsessie zijn samengevat in een memo (Rijkswaterstaat, 2020).

8.1 Vooroever

Voor nadere informatie wordt onder andere verwezen naar de volgende rapporten:

- 'Ecologische effecten van kustsuppleties' (Herman et al., 2016)
- 'Ecologische effecten suppletie Ameland 2009-2012' (Holzhauer et al., 2014)

Algemene inzichten

Voor de ecologie van de vooroever is het van belang in hoeverre suppleties effect hebben op de 'klassieke' voedselketen

Suppleties beïnvloeden vooral het plankton (door vertroebeling) en het benthos (door bedekking). Dit kan van invloed zijn op de soorten die hoger in de voedselketen staan, zoals vissen en vogels. Voor zeezoogdieren geldt dat deze mobieler zijn en minder kwetsbaar voor genoemde effecten.

Om de effecten van suppleties op de voedselketen te bepalen, is het belangrijk om meer inzicht te verkrijgen in de rol van de ondiepe kustzone (< 8 m diepte) in de voedselketen van de Noordzee (Holzhauer et al., 2009). Momenteel is er nog geen werkbaar voedselwebmodel voor de kust.

De ondiepe kustmorfologie kan de samenstelling van de bodemfaunagemeenschap verklaren

Wanneer er een goed beeld is van de uitgangssituatie en het ecosysteem, is het mogelijk om de potentiële effecten van een suppletie op de bodemdierengemeenschap in te kunnen schatten (Holzhauer et al., 2020).

Ondiepe en dynamische gebieden zijn doorgaans armer aan soorten

Volgens Baptist en Wiersinga (2012) kan tot een diepte van zo'n 12 m onder NAP als stelregel worden gehanteerd 'hoe verder van de kust hoe hoger de soortdiversiteit'.

¹⁵ Dit rapport richt zich op de ecologische effecten van suppleties op het kustfundament (tot de doorgaande NAP -20m dieptelij). De effecten van zandwinning (zeewaarts van deze grens) worden niet besproken.

Verder blijkt uit de benthosgemeenschap van het Amelanders Zeegat dat de biodiversiteit in dynamische gebieden zoals stroomgeulen en zandplaten armer is dan in de wat rustiger gelegen gebieden (Bogaart et al., 2019).

Na een verstoring van de zeebodem start het proces van kolonisatie en successie van bodemdieren

De met een zandsuppletie bedekte zeebodem wordt als eerste ingenomen door kortlevende, opportunistische soorten. Dit zijn soorten met een zeer hoge reproductie- en verspreidingscapaciteit, die een korte levenscyclus hebben en door lokale reproductie verder kunnen toenemen.

Na de eerste koloniseringsfase worden deze soorten opgevolgd door grotere en minder snel reproducterende soorten, die beter kunnen concurreren met kortlevende soorten. Dit proces verloopt via een aantal overgangsfases en eindigt bij een 'evenwichtsgemeenschap' die gedomineerd wordt door de soorten die het beste kunnen concurreren, binnen de grenzen van de fysieke randvoorwaarden die ter plekke heersen (Herman et al., 2016).

Effecten van suppleties

Op de schaal van het ecologisch functioneren van het kustfundament zijn de effecten van suppleties nog nauwelijks meetbaar

Naast suppleties hebben menselijke activiteiten (zoals visserij, scheepvaart en de aanleg van windparken) en andere ontwikkelingen (zoals variaties in weer en getij) zoveel veranderingen veroorzaakt in de ecologie van het kustfundament dat de specifieke effecten van suppleties nog niet meetbaar zijn.

De effecten van tijdelijke vertroebeling als gevolg van suppleties op het ecosysteem zijn naar verwachting gering

Suppleties dragen niet duidelijk bij aan de verhoging van slibconcentraties langs de Nederlandse kust, zeker niet ten opzichte van de aanvoer van slib via de Rijn en de Maas. Verder is de toename van het zwevend stof bij een suppletie beperkt en van korte duur (Herman et al., 2016). Dat betekent ook dat de mogelijke gevolgen van vertroebeling – onder andere op de lokale primaire productie, de voedselopname van vis en bodemdieren en het vangstsucces van zichtjagende vogelsoorten als sterns – beperkt zullen zijn.

De bodemdiergemeenschap wordt door suppleties bedolven, maar de meeste soorten blijken zich te kunnen herstellen binnen een tijd van 1 tot 5 jaar
Baptist e.a. (2009) bespreken de resultaten van studies naar herstel van bodemfauna bij suppleties, zowel in Nederland als internationaal. Zij concluderen dat herstel van bodemfauna vrij snel verloopt, waarbij voor veel soorten geldt dat de biomassa en de dichtheid in slechts ongeveer 1 jaar weer terug zijn op het niveau van voor de verstoring.

Ook de resultaten van een suppletie op de vooroever van Ameland, met als referentiegebied de vooroever van Schiermonnikoog, tonen aan dat opportunistische soorten binnen 1 tot 2 jaar na suppletie rekoloniseren en in vergelijkbare aantallen en biomassa's aanwezig zijn als voorafgaand aan de suppletie (Vergouwen & Holzhauer, 2016). Het herstel van de biomassa van langer levende soorten zoals tweekleppigen duurt langer, mogelijk 2 tot 5 jaar. Langdurigere effecten worden alleen geobserveerd bij verandering van het fysisch-morfologisch systeem, zoals een significante wijziging van korrelgrootte (Vergouwen & Holzhauer, 2016).

Bovenstaande resultaten gelden ook voor herhaalde suppleties. Bodemdieren kunnen het gesuppleerde gebied naar verwachting koloniseren, mits de suppleties in een beperkt deel van het verspreidingsgebied van deze bodemdieren plaatsvinden én de frequentie van suppleren lager is dan de rekolonisatiesnelheid van de dieren. De meeste soorten zijn veel ruimer verspreid in de Noordzee dan alleen in de smalle kuststrook (Herman et al., 2016).

Door grote suppleties zoals de Zandmotor wordt de bodem diverser van samenstelling. Dit heeft waarschijnlijk tot gevolg dat de diversiteit en biomassa van bodemdieren zullen toenemen

Uit de monitoring van de Zandmotor komt naar voren dat de biomassa en de aantallen bodemdieren 5 jaar na aanleg van de Zandmotor waren toegenomen ten opzichte van het referentiejaar 2010, terwijl er 10 jaar na aanleg vooral sprake bleek te zijn van een verbreding van het aantal soorten. Verondersteld wordt dat dit komt doordat de samenstelling van de bodem na aanleg van de Zandmotor veel diverser is geworden, onder invloed van golven en getijstromingen.

Modelresultaten tonen aan dat hoe groter een suppletie is, hoe sterker de ruimtelijke spreiding in korrelgrootte toeneemt en hoe groter de afstand vanaf de suppletie is waar veranderingen zichtbaar zijn (WUR, 2020).

Er zijn geen negatieve effecten waargenomen op vispopulaties na een zandsuppletie

Er kunnen negatieve effecten op vispopulaties worden verwacht als de vooroever een buitenproportioneel groot belang heeft voor de populatie als geheel of tijdens een bepaald deel van de levenscyclus. Het blijkt echter dat vispopulaties een groot verspreidingsgebied hebben, waarvan de vooroever maar een beperkt deel is. Vooral nog zijn er geen negatieve effecten van een suppletie op vispopulaties waargenomen. De teruggang van kwetsbare soorten zoals haaien en roggen is te wijten aan het verlies aan geschikte habitats. Dit kan meerdere oorzaken hebben, zoals grote infrastructurele werken, zandsuppleties, de bijvangst van visserij en de opwarming van het zeewater.



De verwachting is dat er ook in de toekomst geen effecten van de gangbare suppleties kunnen worden aangetoond op adulte vis op de vooroever (WUR, 2019). Over het effect van zandsuppleties op juveniele vis is echter nog weinig bekend. Er vindt momenteel onderzoek plaats naar de functie van de brandingszone als kinderkamer voor jonge vis (Van der Geest et al., 2019).

De effecten op vogels zijn divers

Vogels kunnen worden verstoord door de vaarbewegingen tussen de zandwin- en de suppletielocatie (Baptist, 2011), maar kunnen ook worden aangetrokken door suppletiewerkzaamheden.

Verder kunnen zandsuppleties indirect effect hebben op het foerageergebied van vogels, zoals de grote stern, doordat dieptes en vormen van banken en geulen kunnen veranderen. Om meer inzicht hierin te krijgen wordt bij de grote stern zenderonderzoek uitgevoerd.

Voor verschillende vogelsoorten kan de bedelving van schelpdierbanken (die soms in hoge dichtheden voorkomen) een negatief effect hebben op hun voedselbron

De vooroever vormt het foerageergebied voor verschillende vogelsoorten, zoals de beschermde zwarte zee-eend die vooral naar schelpdieren zoekt. Deze schelpdieren (*Spisula subtruncata* en *Ensis* sp.) komen in de kustwateren ten

noorden van de Waddeneilanden in zeer hoge dichtheden voor. Als deze schelpenbanken worden bedolven door suppleties kan dit een zeer plaatselijke en tijdelijke negatieve invloed hebben op foeragerende vogels.

Veel van deze mogelijke effecten worden voorkomen door in planning en locatie van suppleties rekening te houden met onder andere het broedseizoen en het foerageergebied (Jonkvorst et al., 2013). Het omgaan met de hoge biomassa van schelpdieren vormt reeds onderdeel van het standaard ecologisch protocol voor suppleties.

Effecten van suppleties op zeehonden

Er zijn geen directe effecten van suppleties op zeehonden aangetoond. De gewone zeehond en de grijze zeehond komen in grote aantallen voor in de Noordzee, Waddenzee en de zeegaten. Uit zenderdata blijkt dat de zeehonden de geulen tussen de Waddeneilanden gebruiken om naar hun foerageergebied te trekken (Bogaart et al., 2019). De data zijn echter niet gedetailleerd genoeg om te kunnen aantonen of de buitendelta's belangrijke foerageergebieden vormen voor zeehonden.

8.2 Strand en duinen

Voor nadere informatie wordt onder andere verwezen naar het rapport 'Effecten van suppleties op duinontwikkeling; rapportage geomorfologie' (Arens et al., 2010).

Algemene inzichten

Suppleties scheppen mogelijkheden voor dynamisch kustbeheer en hebben indirect geleid tot meer dynamiek

Bij de keuze voor het beleid 'Dynamisch handhaven' in 1990 werd er ook voor gekozen om natuurlijke processen meer ruimte te geven. Sindsdien is het 'dynamisch beheer van de zeereep' sterk toegenomen. De uitvoering van zandsuppleties heeft de mogelijkheden hiervan sterk vergroot. Door de suppleties blijft er voldoende zand in het kuststelsel en vormt doorstuiving van zand naar de achter de zeereep gelegen duinen geen bedreiging van de veiligheid.

Effecten van suppleties

Suppleties hebben het netto transport van zand vanuit de vooroever naar strand en duinen doen toenemen

Tussen 1997 en 2008 is er langs de gehele kust 131 miljoen m³ zand gesuppleerd. In diezelfde periode nam de totale hoeveelheid zand in de zeereep toe met circa 34 miljoen m³ zand. Het volume van de aangroei komt daarmee overeen met ongeveer 26% van het volume suppletiezand (Arens et al., 2010). Er is geen verschil gevonden tussen doorstuiving op stranden met strandsuppleties en vooroeverssuppleties (IJff et al., 2019).

Mede door suppleties zijn afslagkusten lokaal veranderd in aangroekusten

Op meerdere locaties vond er een trendbreuk plaats in de zandmassa van de zeereep: waar de trend vóór 1990 negatief was (erosie), bleek deze 20 jaar later op veel plaatsen positief te zijn (aangroei). Uit onderzoek blijkt dat er in de periode 1997-2008 gemiddeld 9,3 m³ zand per meter kust per jaar in de zeereep werd opgeslagen. Hierdoor is incidentele afslag (tijdens stormen) van het buitentalud van de zeereep sterk afgenomen.

Sinds de uitvoering van suppleties is het oppervlak aan embryonale duinen op het strand toegenomen

Door het surplus aan zand zijn op veel plekken embryonale duinen aanwezig, waar deze voordien tientallen jaren (of langer) niet voorkwamen. Dit geldt ook voor locaties waar niet gesuppleerd is (Arens et al., 2012).

Langdurige kustuitbouw door zeer grote suppleties beïnvloeden de grondwaterstand in de duinen.

Bij een uitbouw van de kust door een grote suppletie zal de grondwaterstand in het achterliggende duingebied stijgen

(Pantelli, 2017). Dit kan negatieve effecten hebben op de natuurwaarden van vochtige duinvalleien, die kunnen 'verdrinken' en veranderen in moerassen of meren. Droge valleien zullen juist profiteren van grondwaterstandstijging en kunnen veranderen in vochtige duinvalleien.

De hoeveelheid zand die van het strand naar de achterliggende duinen wordt getransporteerd is primair afhankelijk van de hoeveelheid verstuiving in de zeereep, niet van de omvang van suppleties. Daarbij is het type beheer bepalend.

Uit recent onderzoek volgt een direct verband tussen het zeereepbeheer en de doorstuiving van zand naar het achterland. Sterke doorstuiving van zand lijkt alleen voor te komen op locaties waar sprake is van dynamisch kustbeheer (zie par. 3.3). De sterkte van het verband verschilt per kustvak (Arens e.a., 2012) (IJff et al., 2019).

Geochemisch onderzoek toont aan dat vers ingewaaid zand in de duinen andere kenmerken heeft dan zand dat al langer aanwezig was. Dat kan een effect zijn van suppleties, maar dit is niet bewezen.

Op alle locaties is instuivend zand rijker aan ijzer en fosfor en armer aan organisch koolstof, met een lagere verhouding tussen koolstof en stikstof (C/N-ratio). In het kalkarme Waddendistrict (ten noorden van Bergen) is het ingestoven zand rijker aan kalk dan in de oorspronkelijke situatie. In het kalkrijke Rhenodunale district (ten zuiden van Bergen) geldt het omgekeerde: daar is het ingestoven zand juist kalkarmer. Er zijn weinig aanwijzingen dat deze andere geochemische eigenschappen van instuivend zand invloed heeft op de vegetatiesamenstelling, maar de effecten op langere termijn zijn onbekend (Stuyfzand et al., 2010).

Er is geen directe relatie gevonden tussen suppleties en de dieren die leven in de bodem en op de vegetatie

In het zand van de zeereep wemelt het van de borstelwormen, pissebedden, vliegenlarven, kevers en andere kleine ongewervelde dieren. Voor deze bodemfauna (en voor vegetatiebewonende fauna) geldt dat er geen directe effecten van suppleties zijn gevonden. Het blijkt dat de soortensamenstelling vooral samenhangt met de mate van stuivend zand (Arens et al., 2012).

Er is geen directe relatie gevonden tussen suppleties en de samenstelling van de vegetatie.

Net als voor de fauna geldt voor de duinvegetatie dat er geen directe effecten van suppleties zijn waargenomen, maar wel indirecte effecten als gevolg van de toegenomen verstuiving. Het bleek voor de duinvegetatie bepalender te zijn of deze zich in een kalkrijk of kalkarm deel van de kust bevond en of er verstuiving van zand optrad, dan of er een zandsuppletie langs de betreffende kust werd uitgevoerd (Arens et al., 2012).

8.3 Aanbevelingen

Zet het huidige beleid – door het via suppleties laten meegroeien van de kust – voort.

Uit ecologisch oogpunt is het gewenst om suppleties – als geleidelijke en adaptieve strategie – voort te zetten. De ecologie heeft hierdoor de kans om zich aan te passen. Mochten er eventueel grootschaligere suppleties nodig zijn, dan is het belangrijk dat er meer kennis wordt verkregen over de ecologische effecten.

Maak gebruik van natuurlijke dynamiek om te anticiperen op zeespiegelstijging.

Veel waterkeringbeheerders passen dynamisch kustbeheer toe en maken daarbij gebruik van de aanstuiving van zand om de duinen te laten meegroeien met de stijgende zeespiegel. Dit beheer draagt tegelijkertijd bij aan natuurdoelstellingen. Hiervoor wordt de landwaartse grens van de primaire waterkering vaak verder landwaarts gedefinieerd.

Bij het anticiperen op de stijgende zeespiegel, kan dit dynamisch beheer worden uitgebreid. Het duingebied kan zo meegroeien met de stijgende zeespiegel. Het is belangrijk om dit proces de tijd te gunnen: dynamiek komt soms langzaam op gang. Het is een goed beheersbaar proces en snel lokaal te stoppen als dat nodig is voor de veiligheid of andere belangen, bijvoorbeeld door het inplanten van helm.

Verken het optreden van ‘tipping points’.

Hoewel er op dit moment geen/nauwelijks langdurige ecologische effecten van suppleties bekend zijn, is het aan te bevelen om te verkennen of er mogelijke ecologische omslagpunten (‘tipping points’) bereikt worden waarna deze effecten wel kunnen optreden. Momenteel is het onbekend of er dergelijke omslagpunten zijn, waar deze door gevormd worden en wanneer ze wellicht op kunnen treden.

Ontwikkel ecologische systeemregels om de effecten van nieuwe suppletievormen inzichtelijk te maken.

Naast reguliere strand-, vooroever- en geulwandsuppleties zijn er pilots uitgevoerd met andere vormen van suppleren zoals de Zandmotor, de suppletie op de buitendelta bij Ameland en de suppletie op de diepe vooroever bij Callantsoog.

Daarbij geldt dat er andere delen van het kuststelsel worden verstoord dan bij de gangbare suppleties. Omdat er over de (lange termijn) effecten van dit soort suppleties relatief weinig bekend is, vormen deze een speerpunt van diverse onderzoeken. In het verlengde daarvan kan een leidraad worden ontwikkeld, die de ecologische effecten van zandsuppleties op een grotere tijd- en ruimteschaal inzichtelijk maakt (zowel op het natte als op het droge deel van het kuststelsel). Dit inzicht kan vervolgens gebruikt worden bij het ontwerpen van nieuwe vormen van suppleties.

Houd rekening met regionale verschillen in ecologische effecten (maatwerk)

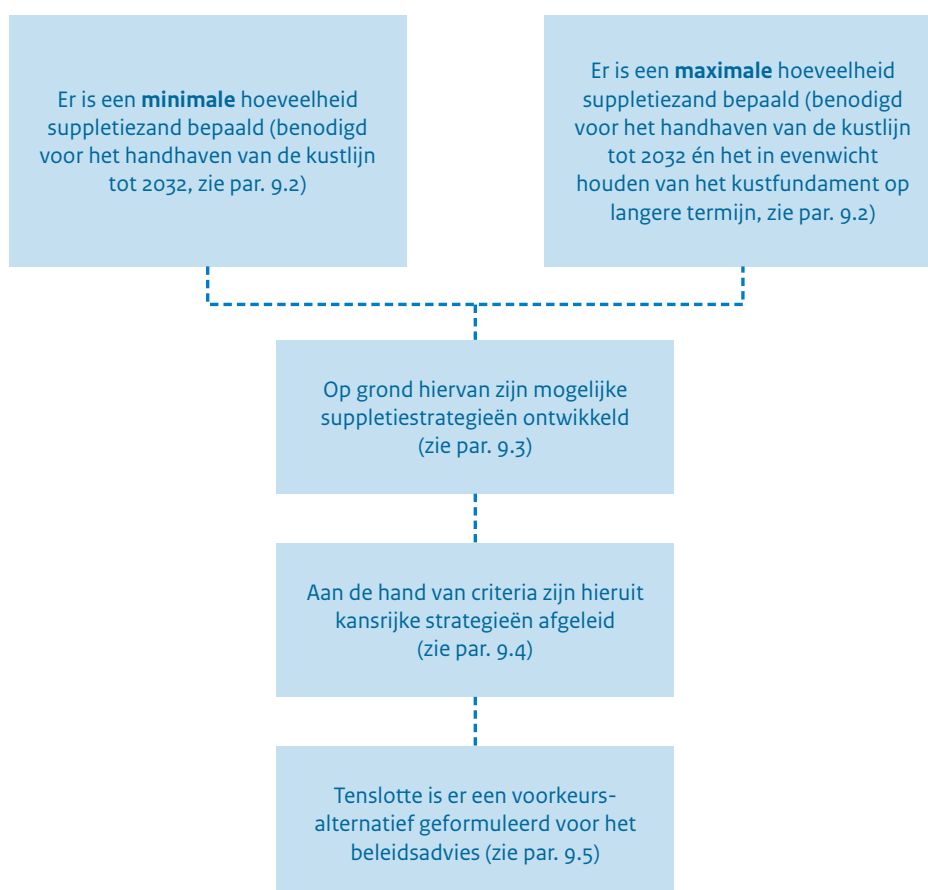
Voor het morfologische onderzoek dat in hoofdstuk 6 is beschreven, is de kust onderverdeeld in de Deltakust, Hollandse kust en Waddenkust. Omdat deze kustdelen een andere morfologie hebben, kunnen er andere habitats voorkomen en kan de impact van suppleties op de ecologie verschillen. Daarom is het gewenst om deze drie kustdelen ook te onderscheiden voor het ecologisch onderzoek. Langs de Deltakust bijvoorbeeld is het naar verwachting lastiger om de ecologische effecten van zandsuppleties te voorspellen dan in andere regio's, omdat hier veel ingrepen en ontwikkelingen door elkaar heen spelen die de ecologie beïnvloeden. Denk daarbij aan zeespiegelstijging, wijzigingen in de afvoer van rivierwater, de gedeeltelijke afsluitingen van zeearmen in het kader van de Deltawerken en de aanleg van de Tweede Maasvlakte. Het is hier lastig om te ontrafelen wanneer welk effect opspeelt en weer is uitgewerkt.

Uitgebreide en goed opgezette ecologische monitoring is onontbeerlijk.

Dit geldt bij voortzetting van de huidige suppleties, maar zeker bij de toepassing van nieuwe (grootschaligere) suppletievormen. Conform de vorige aanbeveling is het daarbij belangrijk om de drie gedefinieerde kustdelen te onderscheiden.

9 Suppletiestrategieën

Dit hoofdstuk beschrijft mogelijke en kansrijke suppletiestrategieën, alsmede een voorkeursstrategie. Daarbij ligt de focus op de periode tot 2032. Deze tijdschaal hangt samen met de herijking van het Deltaprogramma in 2026 en 2032. Bovendien is het op grond van metingen aannemelijk dat de actuele zeespiegelstijging (van 1,86 mm/jaar) de komende 12 jaar niet drastisch zal veranderen. Daarnaast wordt een doorkijk gegeven naar de periode na 2032 bij verschillende snelheden van zeespiegelstijging.



Figuur 9.1 Gevolgde werkwijze bij het ontwikkelen van suppletie strategieën



9.1 Werkwijze

Bij het ontwikkelen van suppletie strategieën vormden de strategische doelen van het kustbeleid (duurzaam behoud van de veiligheid van het achterland en duurzaam behoud van functies en waarden van het duingebied) het uitgangspunt. Verder werd het principe 'zacht waar het kan, hard waar het moet' gehanteerd (zie Hoofdstuk 3).

Figuur 9.1 beschrijft de werkwijze die is gevolgd. De verschillende stappen worden toegelicht in de volgende paragrafen van dit hoofdstuk.

9.2 Minimaal en maximaal benodigde suppletievolumes

Minimaal benodigd volume suppletiezand (voor het handhaven van de kustlijn tot 2032)

Om de strategische doelen te behalen vormt het op korte en middellange termijn handhaven van de kustlijn (0-20 jaar) een absolute randvoorwaarde.

Uit de huidige praktijk van het kustbeheer is afgeleid hoeveel zand hiervoor tot 2032 jaarlijks nodig is. Hiervoor zijn de meerjarenprogramma's van 2012-2023 in beschouwing genomen. Dit is inclusief suppleties voor de slijtlagen van de zwakke schakels en de suppleties ten behoeve van onderhoud van de Tweede Maasvlakte. De keuze voor deze periode heeft als belangrijkste reden dat in 2012 het meerjarenprogramma werd ingevoerd en de geplande suppletieschema's sindsdien goed zijn gedocumenteerd, terwijl in de periode ervoor de jaarlijkse schema's minder goed te herleiden zijn. Bovendien zijn de meerjarenprogramma's op een gelijke manier opgesteld en omvat de periode tussen 2012-2023 meerdere cycli van suppletieprogramma's.

Hieruit volgt een minimaal benodigd volume zand van gemiddeld 10,1 miljoen m³ zand/jaar (volgens de regionale verdeling die is weergegeven in Tabel 9-1).

Voor meer informatie over de gevolgde werkwijze voor het bepalen van benodigde volumes zand wordt verwezen naar de memo 'Historische suppletievolumes voor handhaven kustlijn Delta, Holland en Waddengebied' (Rijkswaterstaat, in prep.).

Volumes in miljoen m ³ /jaar	
Waddenkust	4,8
Hollandse kust	3,1
Deltakust	2,2
Totaal	10,1

Tabel 9-1: Suppletievolumes die minimaal nodig worden geacht voor het behalen van de strategische doelen van het kustbeleid op een tijdschaal van 0-20 jaar. Deze volumes zijn gebaseerd op de jaarlijkse suppletievolumes in de periode 2012-2023¹⁶.

Maximaal benodigd volume suppletiezand (voor het handhaven van de kustlijn tot 2032 én het volledig in evenwicht houden van het kustfundament op langere termijn)

Om de maximaal benodigde hoeveelheden zand te bepalen, is rekening gehouden met:

- De minimale hoeveelheid zand die nodig is om de kustlijn op een tijdschaal van 0-20 jaar te handhaven (zie Tabel 9-1);

- De hoeveelheid zand die nodig is om het kustfundament op lange termijn in evenwicht te houden. Dit komt overeen met de sedimentbehoefte van het kustfundament (zie Tabel 9-2). Voor het ontwikkelen van suppletie-strategieën zijn twee waarden van de sedimentbehoefte beschouwd, die respectievelijk wel/ geen rekening houden met de onzekere export van sediment vanuit het kustfundament naar de Eems en de Westerschelde.

De maximaal benodigde suppletievolumes zijn bepaald door per kustregio de hoogste waarde te nemen uit Tabel 9-1 en Tabel 9-2. Op die manier wordt zowel voldaan aan het handhaven van de kustlijn tot 2032 als het op langere termijn in evenwicht houden van het kustfundament. De maximaal benodigde suppletievolumes worden weergegeven in Tabel 9-3. Het kader op pagina 87 geeft een nadere toelichting.

Kustdeel	Volumes in miljoen m ³ /jaar (Rekening houdend met onzekere export naar Eems en Westerschelde)	Volumes in miljoen m ³ /jaar (Exclusief onzekere export naar Eems en Westerschelde)
Waddenkust	9,1	7,9
Hollandse kust	1,6	1,6
Deltakust	2,6	2,2
Totaal	13,3	11,7

Tabel 9-2 Sedimentbehoefte van het kustfundament (tot 2032), inclusief de onzekere export naar Eems en Westerschelde (links) en zonder die exportposten (rechts)

Kustdeel	Volumes in miljoen m ³ /jaar (Rekening houdend met onzekere export naar Eems en Westerschelde)	Volumes in miljoen m ³ /jaar (Exclusief onzekere export naar Eems en Westerschelde)
Waddenkust	9,1	7,9
Hollandse kust	3,1	3,1
Deltakust	2,6	2,2
Totaal	14,8	13,2

Tabel 9-3 Maximaal benodigd suppletievolume tot 2032 (links rekening houdend met onzekere exportposten naar Eems en Westerschelde, rechts zonder die posten)

¹⁶ Dit rapport richt zich op de ecologische effecten van suppleties op het kustfundament (tot de doorgetrokken NAP -20m dieptelijn). De effecten van zandwinning (zeewaarts van deze grens) worden niet besproken.

Sedimentbehoefte versus benodigd suppletievolume

Om tabellen 9-2 en 9-3 te begrijpen, is het belangrijk om onderscheid te maken tussen de sedimentbehoefte van het kustfundament en het benodigde suppletievolume. Langs de Hollandse kust zijn deze getallen niet aan elkaar gelijk. De sedimentbehoefte is hier met 1,6 miljoen m³/jaar relatief laag. De praktijk wijst echter uit dat er meer zand nodig is om de positie van de kustlijn langs de Hollandse kust op een tijdschaal van 0-20 jaar te handhaven, namelijk 3,1 miljoen m³/jaar. Daarom is het benodigde suppletievolume hier groter dan de sedimentbehoefte.

Voor de Waddenkust en de Deltakust geldt dat het maximaal benodigde suppletievolume overeenkomt met de sedimentbehoefte. Hiermee wordt zowel voldaan aan het handhaven van de kustlijn tot 2032 als het in evenwicht houden van het kustfundament op langere termijn.

9.3 Mogelijke suppletie strategieën

Uitgaande van de in de vorige paragraaf beschreven minimale en maximale benodigde volumes suppletiezand zijn vier mogelijke suppletie strategieën ontwikkeld (zie Tabel 9-4). Deze voldoen tot 2032 allemaal aan de strategische doelen van het kustbeleid. Er wordt vooral gevarieerd in de mate waarin het kustfundament tot 2032 in evenwicht wordt gehouden met de stijgende zeespiegel en in het al dan niet mee nemen van onzekere exportposten.

A. Noodzakelijke kustbescherming (huidige praktijk)

Met deze strategie wordt de kustlijn op een termijn van 0-20 jaar gehandhaafd, maar er wordt niet voldaan aan de volledige sedimentbehoefte van het kustfundament. Met name in het Waddengebied wordt daarvoor te weinig zand gesuppleerd.

Totaal gaat het in deze strategie om 10,1 miljoen m³ zand/jaar (zie minimaal benodigd volume suppletiezand, par. 9.2).

B. Ruim voortzetten van de huidige praktijk

Net als in de vorige strategie, wordt er voldoende zand gesuppleerd voor het handhaven van de kustlijn op een termijn van 0 - 20 jaar. Daarbovenop wordt er in het Waddengebied aanvullend zand gesuppleerd dat (meer dan bij strategie A) bijdraagt aan de zekere sedimentbehoefte van dat deel van het kustfundament op langere termijn.

Daarbij wordt ervoor gekozen om in het Waddengebied ruim 50% van de export naar de Waddenzee te compenseren, resulterende in een extra volume van 0,9 miljoen m³. Dit is een arbitraire waarde, die is gekozen op basis van ervaringen met de huidige uitvoeringspraktijk en de huidige kennis. In deze strategie wordt geen rekening gehouden met de onzekere export naar de Eems en Westerschelde.

Totaal gaat het in deze strategie om 11 miljoen m³ zand/jaar.

C. Robuust

In deze strategie wordt er voldoende zand gesuppleerd voor het handhaven van de kustlijn op een termijn van 0-20 jaar en wordt er geheel voldaan aan de zekere sedimentbehoefte van het kustfundament. De (onzekere) export naar Eems en Westerschelde wordt niet meegenomen.

Totaal gaat het in deze strategie om 13,2 miljoen m³ zand/jaar (zie par. 9.2).

D. Maximale bescherming

In deze strategie wordt er voldoende zand gesuppleerd voor het handhaven van de kustlijn op een termijn van 0-20 jaar en wordt er geheel voldaan aan de volledige sedimentbehoefte van het kustfundament, inclusief de compensatie van de onzekere export naar Eems en Westerschelde.

Totaal gaat het in deze strategie om 14,8 miljoen m³ zand/jaar (zie par. 9.2).

Kustdeel	A Noodzakelijke kustbescherming (Huidige praktijk)	B Ruim voortzetten huidige praktijk	C. Robuust	D. Maximale bescherming
Waddenkust	4,8	5,7	7,9	9,1
Hollandse kust	3,1	3,1	3,1	3,1
Deltakust	2,2	2,2	2,2	2,6
Totaal	10,1	11,0	13,2	14,8

Tabel 9-4 Mogelijke suppletie strategieën tot 2032 en te suppleren volumes zand (miljoen m³/jaar)



9.4 Kansrijke strategieën

Bij beschouwing van de vier mogelijke strategieën, is beredeneerd dat strategie D om inhoudelijke redenen afvalt. De reden hiervoor is dat de sedimentbehoefte in deze strategie is gebaseerd op 'best mogelijke schattingen' voor de export van zand vanuit het kustfundament naar de Eems en naar de Westerschelde. Omdat deze waarden onzeker zijn, wordt het niet verstandig geacht om dit onzekere deel van de sedimentbehoefte nu al te compenseren met suppleties. Aanbevolen wordt hiernaar eerst nader onderzoek te doen.

Criteria voor beoordeling

Voor de drie resterende strategieën geldt dat deze voor de Delta en de Hollandse kust overeenkomen, maar verschillen voor het Waddengebied (zie Tabel 9-4).

Om te beoordelen hoe kansrijk deze drie strategieën zijn, zijn ze beoordeeld aan de hand van de volgende tien criteria:

1. Robuustheid

Een klimaatrobuust systeem is een systeem dat het vermogen heeft om ook bij een sneller stijgende zeespiegel dezelfde 'diensten' te leveren als nu, in dit geval duurzaam behoud van de veiligheid van het achterland en duurzaam behoud van functies en waarden van het duingebied.

Een robuust systeem wordt beschouwd als een systeem waarin de sedimentbalans op orde is en het kustfundament op langere termijn in evenwicht is met de stijgende zeespiegel. Als maatstaf geldt daarbij: hoe meer er met suppleties wordt voldaan aan de sedimentbehoefte van het kuststelsel, hoe robuuster dat systeem is voor het behalen van de strategische doelen op langere termijn.

2. Emissies

Bij het winnen van het zand, het vervoer, het opspuiten en (bij strandsuppleties) het uitrijden van zand wordt materieel ingezet waarvan de verbrandingsmotoren meerdere bestanddelen uitstoten die schadelijk kunnen zijn voor natuur en milieu. Het gaat hierbij hoofdzakelijk om CO₂ (koolstofdioxide), NO_x (stikstofverbindingen), SO_x (zwavelverbindingen) en PM (Particulate Matter of fijnstof).

Een strategie waarbij relatief veel CO₂ vrijkomt zal ook relatief veel van de andere bestanddelen uitstoten en vice versa. Daarom is als indicator voor het beoordelen van de strategieën gekozen voor de CO₂-uitstoot. Deze is gebaseerd op de hoeveelheid brandstof of Marine Diesel Oil (MDO) die wordt verstoekt bij het vervoeren en suppleren van zand. Aangezien de uitstoot verschilt per suppletietechniek wordt gebruik gemaakt van kentallen van het aantal kg per kuub gesuppleerd zand. In deze kentallen zitten de gemiddelde vaarafstanden van zandtransport voor suppleties over de hele Nederlandse kust verdisconteerd (Arcadis, 2020).



3. Suppletiekosten (miljoen euro/jaar)

De kosten voor zandsuppleties worden voornamelijk bepaald door de kosten van brandstof voor het transport, de drukte op de internationale baggermarkt en het type suppletie. Hiervoor is informatie gebruikt over de kosten voor de verschillende suppletievormen en de verdeling tussen deze vormen (in dit geval strand, versus vooroever/geulwand en buitendelta). Voor vergelijking van mogelijke strategieën, zijn de kosten bepaald voor de verschillende regio's en de totale kust (Arcadis, 2020).

4. Kortetermijneffecten op bodemdieren op het strand (bedolven oppervlak/jaar)

Deze indicator is gebaseerd op het door suppleties bedekte strandoppervlak. Daarbij werd ervan uitgegaan dat 1 m³ suppletiezand leidde tot de bedelving en verstikking van bodemdieren op 1 m² strand. Omdat de meeste soorten zich snel kunnen herstellen, is dit effect alleen op korte termijn merkbaar (zie Hoofdstuk 8).

5. Kortetermijneffecten op bodemdieren op de vooroever (bedolven oppervlak/jaar)

Deze indicator is gebaseerd op het door suppleties bedekte oppervlak van de vooroever. Daarbij werd ervan uitgegaan dat 1 m³ suppletiezand leidde tot de bedelving en verstikking van bodemdieren op 0,5 m² vooroever. Omdat de meeste soorten zich snel kunnen herstellen, is dit effect alleen op korte termijn merkbaar (zie Hoofdstuk 8).

6. Langetermijneffecten op bodemdieren, rekening houdend met rekolonisatie

Dit is een indicator voor de langetermijneffecten van suppleties door de bedelving van bodemdieren. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat de aantallen, dichtheden en diversiteit van soorten toenemen met de diepte van de vooroever. Ook wordt aangenomen dat alle bodemdieren na bedelving sterven, maar dat de bodemgemeenschap zich binnen een periode van 1 tot 5 jaar herstelt (zie par. 8.1).

7. Doorstuiving van zand naar de duinen (miljoen m³/jaar)

Bij deze indicator is ervan uitgegaan dat gemiddeld 30% van het suppletiezand doorstuift naar de achterliggende duinen. Deze hoeveelheid verschilt per locatie en is afhankelijk van het (dynamisch) beheer van de zeereep. Voor vergelijking van de doorstuiving, is het volume zand bepaald voor de verschillende regio's en de totale kust.

8. Beschikbaarheid van zand

Deze indicator maakt inzichtelijk of er tot 2032 voldoende zand beschikbaar is voor de betreffende strategie.

9. Beschikbare locaties voor suppleties

Deze indicator geeft inzicht in de beschikbaarheid van geschikte locaties voor suppleties die nodig zijn voor het op lange termijn in evenwicht houden van het kustfundament (zie par. 4.3.2).

10. Vergunbaarheid

Deze indicator geeft inzicht in de verwachte vergunbaarheid van de suppleties bij de verschillende strategieën. Dit is relevant voor de uitvoerbaarheid.

Resultaten beoordeling

Uit analyse van de resultaten van de beoordeling (zie Tabel 9-5) blijkt dat kortetermijneffecten op bodemdieren op het strand (4), langetermijneffecten op bodemdieren (6), doorstuiving van zand naar de duinen (7) en beschikbaarheid van zand (8) geen onderscheidende criteria zijn. De resterende zes criteria worden als volgt beoordeeld:

Robuustheid (1)

Conform het uitgangspunt, voldoen strategie A t/m C allemaal aan de strategische doelen van het kustbeleid tot 2032. De robuustheid van de strategieën voor het behalen van de doelen op de langere termijn neemt echter toe van A t/m C.

Hoewel het handhaven van de kustlijn tot 2032 volstaat voor het behalen van de strategische doelen, wordt voor de langere termijn verwacht dat het in evenwicht houden van het kustfundament steeds belangrijker zal worden. Het is immers duidelijk dat de sedimentbalans op lange termijn sturend is voor de ontwikkeling van de kust (zie verder par. 4.3.1). Dat betekent dat het suppletievolume op de lange termijn dichterbij de buurt moet komen van de sedimentbehoefte van het kustfundament. Wanneer dit precies nodig is, is niet aan te geven, omdat de relatie tussen de beleidsdoelen en de sedimentbehoefte van het kustfundament nog niet helemaal scherp is.

CO₂ uitstoot en kosten (2 en 3)

Zowel de uitstoot van CO₂ als de kosten nemen toe van strategie A t/m C.

Kortetermijneffecten op bodemdieren op de vooroever (5)

Door grotere volumes te suppleren zand treedt meer bedelving van bodemdieren op de vooroever op. De langetermijneffecten van deze extra bedelving zijn echter beperkt (zie indicator 6).

Beschikbare locaties (9)

Voor grotere volumes te suppleren zand (vooral bij strategie C), kan er een tekort ontstaan aan geschikte suppletie locaties (zie par. 4.3.2). Hierdoor kan het noodzakelijk worden om tot 2032 te suppleren op locaties waar dit op korte termijn niet gewenst is vanuit andere belangen.

Vergunbaarheid (10)

Voor het uitvoeren van zandsuppleties die bedoeld zijn voor het reguliere beheer en onderhoud van de kust geldt dat deze zijn vrijgesteld van de vergunningplicht (zie par. 4.3.2).

Voor (grotere) suppleties die primair worden neergelegd voor het in evenwicht houden van het kustfundament op langere termijn, is het mogelijk dat er wel een vergunningplicht geldt (vooral bij strategie C). Het is niet zeker of de benodigde vergunningen altijd verleend zullen worden binnen de huidige wet- en regelgeving, omdat de koppeling naar waterveiligheid en het handhaven van de kustlijn op de korte termijn beperkt is. Bovendien is de kennis over de ecologische effecten van nieuwe vormen van suppleties op dit moment nog in ontwikkeling, onder andere in het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Indicator	A	B	C
Totale hoeveelheid zand	10,1	11,0	13,2
1. Robuustheid voor lange termijn veiligheid	0	0/+	+
2. Emissie (CO ₂ -uitstoot in kton /jaar)	35,6	37,9	43,4
3. Kosten (miljoen euro/jaar)	42,9	46,2	53,8
4. Kortetermijneffecten op bodemdieren op strand door bedelving (ha/jaar)	378	378	378
5. Kortetermijneffecten op bodemdieren op de vooroever door bedelving (ha/jaar)	316	341	461
6. Langetermijneffecten op bodemdieren door bedelving	Beperkt	Beperkt	Beperkt
7. Doorstuiving van zand naar de duinen (miljoen m ³ /jaar)	3,0	3,3	3,3
8. Beschikbaarheid zand tot 2032	+	+	+
9. Beschikbare locaties voor suppleties	+	+	?
10. Vergunbaarheid	+	?	-

Tabel 9-5 Kwantitatieve vergelijking van mogelijke suppletie strategieën

9.5 Voorkeursstrategie

Kansrijkheid van strategieën

Op grond van de in de vorige paragraaf beschreven criteria is de kansrijkheid van de strategieën beoordeeld:

Strategie A - Noodzakelijke kustbescherming (huidige praktijk)

Deze strategie wordt op grond van het criterium robuustheid als 'marginaal' beoordeeld. In deze strategie wordt er geen aanvullend sediment toegevoegd voor het in evenwicht houden van het kustfundament voor de langere termijn.

Tegen deze achtergrond valt optie A alsnog af. Het is raadzaam om een suppletievolume te kiezen dat dichterbij de sedimentbehoefte van het kuststelsel ligt.

Strategie C - Robuust

Zoals de naam al zegt, is deze strategie het meest robuust van de drie kansrijke strategieën, omdat hierbij de volledige (zekere) sedimentbehoefte van het kuststelsel gecompenseerd wordt door suppleties.

Daar staat tegenover dat hogere suppletievolumes (bij C) leiden tot een hogere CO₂ uitstoot, hogere kosten op korte termijn en grotere kortetermijneffecten op bodemdieren op de voorover door bedelving.

Bovendien kan de uitvoering van strategie C worden belemmerd doordat er te weinig locaties beschikbaar zijn voor suppleties die primair bedoeld zijn voor het in evenwicht houden van het kustfundament. Ook kan de vergunbaarheid een knelpunt vormen. Tegen deze achtergrond valt optie C af.

Strategie B - Ruim voortzetten van de huidige praktijk

Deze strategie voegt meer robuustheid toe dan A, doordat er in het Waddengebied jaarlijks 0,9 miljoen m³ extra zand wordt toegevoegd ten behoeve van het in evenwicht houden van het kustfundament. De uitvoerbaarheid wordt hoger ingeschat dan van strategie C. Ook veroorzaakt deze strategie tot 2032 minder CO₂ uitstoot dan strategie C.

Op grond van deze analyse wordt strategie B geadviseerd als voorkeursstrategie.

Voorkeursstrategie (strategie B)

De voorkeursstrategie bestaat uit het 'ruim voortzetten van de huidige praktijk'. Hiermee wordt tot 2032 voldaan aan de strategische doelen van het kustbeleid en wordt er tevens geanticipeerd op de langere termijn. De uitvoering tot 2032 wordt haalbaar geacht.

In totaal wordt er jaarlijks 11,0 miljoen m³ zand gesuppleerd. Het gaat hierbij om het totale volume 'vrij bewegend' zand dat wordt gesuppleerd, dus inclusief het zand dat gesuppleerd

wordt voor Maasvlakte 2 en voor de erosielaag bij de Hondsbossche Duinen.

De regionale verdeling van het zand, de kosten en de CO₂ uitstoot die gepaard gaan met de uitvoering van deze strategie zijn weergegeven in Tabel 9-6.

Ruim doorzetten huidige praktijk	
Suppletievolume totaal (miljoen m ³ zand/jaar)	11,0
Regionale verdeling suppletievolume (miljoen m ³ zand/jaar)	Waddenkust: 5,7 Hollandse kust: 3,1 Deltakust: 2,2
Emissie (CO ₂ -uitstoot in kton/jaar)	37,9
Kosten (miljoen euro/jaar)	46,2

Tabel 9-6 Samenvatting kenmerken voorkeursstrategie

Dit jaarlijkse volume zand is opgebouwd uit 10,1 miljoen m³ zand dat primair bedoeld is voor het handhaven van de kustlijn op een termijn van 0 - 20 jaar en aanvullend 0,9 miljoen m³ zand voor de Wadden dat primair wordt gesuppleerd voor het in evenwicht houden van het kustfundament voor de langere termijn (> 20 jaar). Daarbij geldt uiteraard dat ook de 10,1 miljoen m³ zand bijdraagt aan het in evenwicht houden van het kustfundament.

Het aanvullende suppletievolume van 0,9 miljoen m³ zand/jaar hoeft niet jaarlijks uitgevoerd te worden maar kan ook gespreid in de tijd worden aangebracht, bijvoorbeeld in de vorm van een grote buitendeltasuppletie. Verwacht wordt dat er voldoende locaties in het Waddengebied zijn waar de aanvullende 0,9 miljoen m³ zand/jaar kan bijdragen aan aanwezige kustfuncties.

In hoeverre het verkrijgen van een mogelijk benodigde vergunning voor deze hoeveelheid zand de uitvoering kan belemmeren, hangt af van de verwachte effecten op de ecologie en is op voorhand niet aan te geven. Zeker is wel dat de uitvoerbaarheid van deze strategie kansrijker is dan strategieën waarbij volledig aan de sedimentbehoefte wordt voldaan.

De kosten voor de realisatie van deze strategie worden ingeschat op 46,2 miljoen euro per jaar, en de uitstoot van CO₂ op 37,9 miljoen kg/jaar. Dit komt grofweg overeen met de jaarlijkse uitstoot van 1.600 huishoudens.

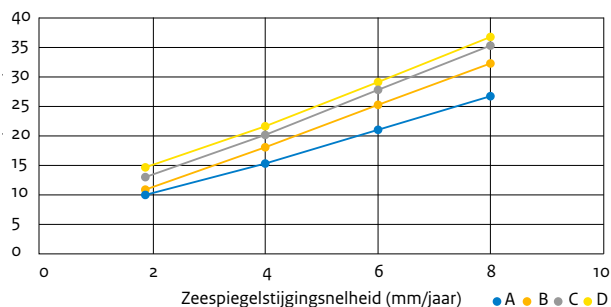
Tot 2032 kan er kennis en ervaring worden opgedaan met nieuwe suppletietechnieken (die voor minder CO₂-uitstoot zorgen) en met nieuwe suppletievormen (die het ecosy-

steem zo min mogelijk aantasten of juist versterken), voor de periode erna.

Mochten de ontwikkelingen anders verlopen dan verwacht – bijvoorbeeld doordat de zeespiegel sneller gaat stijgen en de kusterosie toeneemt – dan kan hierop eenvoudig worden geanticipeerd door het suppletievolume te verhogen. De grote kracht van suppleties is immers dat deze flexibel zijn en eenvoudig kunnen worden opgeschaald.

Bij de herijking van het Deltaprogramma in 2026 kan het benodigde suppletievolume worden bijgesteld, op grond van de dan optredende ontwikkelingen en de dan beschikbare nieuwe inzichten (bijvoorbeeld voortvloeiend uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging).

Uitgaande van de huidige strategieën, volgt daaruit een benodigd suppletievolume dat varieert tussen afgerond 10 en 37 miljoen m³ zand/jaar (zie Tabel 9-7 en Figuur 9.2)



Figuur 9.2 Inschatting van benodigde suppletievolumes na 2032, bij een stijging van de zeespiegel met 2, 4, 6 en 8 mm/jaar.

9.6 Doorkijk naar de langere termijn (na 2032)

Deze paragraaf geeft voor de vier mogelijke suppletie strategieën een inschatting weer van de suppletievolumes die na 2032 nodig zijn bij een stijging van de zeespiegel met resp. 2¹⁷, 4, 6 en 8 mm/jaar (zie ook par. 6.2).

De benodigde suppletievolumes zijn gebaseerd op de verwachte sedimentbehoefte van het kustfundament (berekend met de rekenregel 2016) en de suppletievolumes die nodig zijn voor het handhaven van de kustlijn. Voor deze laatste term is ingeschat hoe de toename van de sedimentbehoefte zich verhoudt tot de toename van het benodigde suppletievolume. Daarbij is ervan uitgegaan dat 70% van de toename van de sedimentbehoefte in het Waddengebied en de Delta nodig is voor het handhaven van de kustlijn. Voor de Hollandse kust is dat 90%.

9.7 Beschikbaarheid van zand

Om te bepalen of er voldoende zand beschikbaar is voor de suppletie strategieën tot 2032 en voor de langere termijn is gebruik gemaakt van het Delfstoffeninformatiesysteem (DIS). Dit systeem geeft inzicht in hoeveelheden winbaar zand, met verschillende eisen aan de zandkwaliteit en voor verschillende winddiepten (Deltares, 2018).

Bij deze bepaling is rekening gehouden met:

- De winning van zand tussen de 12-mijlsgrens en de doorgaande NAP -20 m dieptelijn.
- Zand dat beschikbaar is tot ca. 2050 (waarbij rekening wordt gehouden met 'uitsluitingsgebieden' vanwege bv windparken en kabels) en zand dat eventueel op langere termijn (2100) beschikbaar zou kunnen komen, waarbij geen rekening wordt gehouden met de uitsluitingsgebieden en nieuwe ontwikkelingen die ruimte opeisen.
- De diepte van de winning.

Relatieve zeespiegelstijging (mm/jaar)	Benodigd suppletievolume (miljoen m ³ /jaar)			
	Strategie A	Strategie B	Strategie C	Strategie D
2	10,1	11,0	13,2	14,8
4	15,4	18,1	20,4	21,8
6	21,1	25,3	28,0	29,2
8	26,8	32,4	35,5	36,7

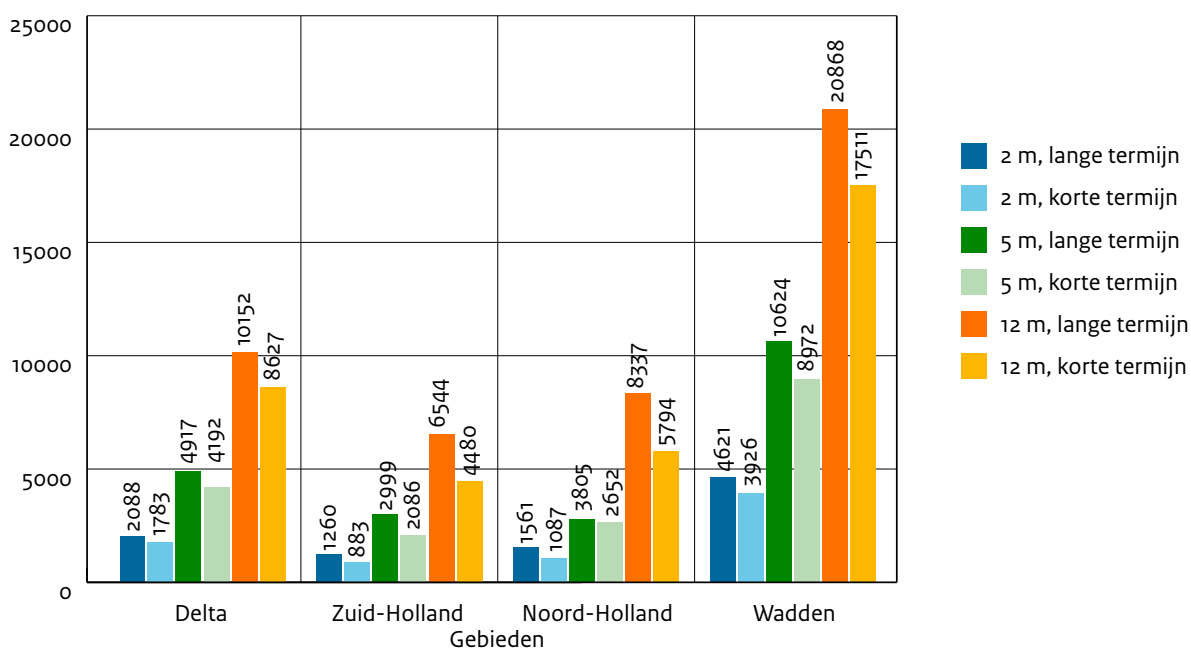
Tabel 9-7: Suppletievolumes die nodig worden geacht voor het behalen van de strategische doelen van het kustbeleid op langere termijn, bij verschillende snelheden van zeespiegelstijging (uitgaande van de voortzetting van de vier mogelijke suppletie strategieën)

¹⁷ Voor een doorkijk naar de langetermijn, is de huidige snelheid van zeespiegelstijging van 1,86 mm/jaar afgerond naar 2 mm/jaar.



Korte en lange termijn zandvoorraad: deelgebieden

Scenario B2, stoorlaag 0,5 m, klei/leem/veen



Figuur 9.3 Winbare hoeveelheid zand (totaal zand) voor verschillende deelgebieden voor scenario B2 op korte termijn en lange termijn, voor verschillende winddieptes. Bron: (Deltares, 2018).

- De winbaarheid van zand in combinatie met de aanwezigheid van 'stoorlagen' (bestaande uit klei, leem of veen). Bij het meest realistische winbaarheidsscenario (B2) wordt er daarbij vanuit gegaan dat er alleen zand kan worden gewonnen als de stoorlaag niet dikker is dan 0,5 m.
- De kwaliteit van het winbare zand. Het DIS maakt onderscheid tussen zand met verschillende kwaliteitsnormen, waarbij de categorie 0-1 zand geschikt is voor suppletiedoeleinden.

Uit het DIS blijkt dat op de korte termijn (tot 2050) tot een diepte van 2 meter ca. 6 miljard m³ zand kan worden gewonnen voor suppleties en ophogen van het land (bij het meest realistische scenario B2). Tot 2100 kan tot een diepte van 2 meter ca. 6,5 miljard m³ zand worden gewonnen voor deze doeleinden. Bij winning tot 5 meter is ca. 16 miljard m³ zand beschikbaar en tot 12 meter 32 miljard m³.

Beschikbaarheid zand versus benodigd suppletievolume

Omdat de begrenzingen van de in dit syntheserapport gehanteerde deelgebieden Wadden en Hollandse kust afwijken van de in het rapport Update Delfstoffen Informatie Systeem (Deltares, 2018) gehanteerde grenzen, is er een nieuwe berekening gemaakt met het DIS2.1. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 9-8.

Afgerond winbaar zandvolume (miljoen m³)

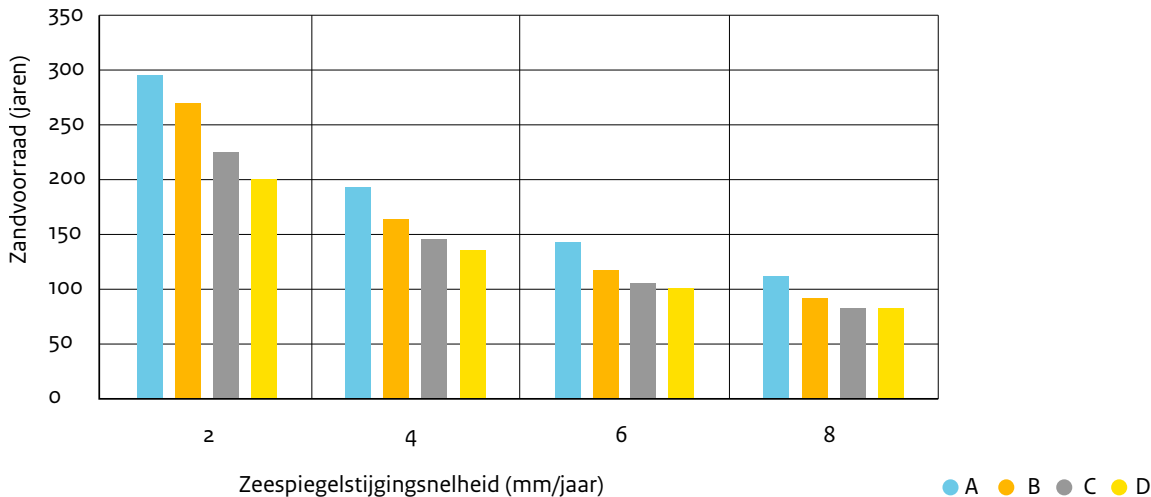
Deltakust	1.500
Hollandse kust	1.000
Waddenkust	3.500
Totaal	6.000

Tabel 9-8 Beschikbare hoeveelheid 0-1 zand per kustregio tot 2050, voor het meest realistische winscenario B2 en een winddiepte tot 2 meter.

Om te bepalen hoeveel zand er per kustregio gewonnen kan worden, is uitgegaan van de (conservatieve) aanname dat 50% van de hoeveelheid zand uit Tabel 9-8 wordt gewonnen ten behoeve van suppleties.

Daaruit kan worden afgeleid dat er bij het voortzetten van strategie B voldoende zand beschikbaar is voor circa 100-250 jaar (bij een zeespiegelstijging van 2-8 mm/jaar). Voor strategie D is dat krap 100 jaar tot 200 jaar (zie Figuur 9.4).

Bij grotere winddieptes kan er meer zand worden gewonnen. Hetzelfde is het geval als er in de toekomst wellicht – tijdelijk – zand kan worden gewonnen in de huidige uitsluitingsgebieden. Het omgekeerde kan echter ook optreden: als er in de toekomst meer ruimte in beslag wordt genomen door bv windparken (er meer uitsluitingsgebieden komen), nemen de mogelijkheden voor zandwinning af.



Figuur 9.4 Inschatting van het aantal jaar dat er suppletiezand kan worden gewonnen voor de verschillende strategieën. Dit is gebaseerd op de conservatieve aanname dat 50% van het zand wordt gewonnen voor suppletiedoelinden. Er wordt hierbij rekening gehouden met 'uitsluitingsgebieden' en met een winddiepte van 2 meter.

Uitgaande van het huidige ruimteverbruik op de Noordzee, kan worden aangenomen dat de beschikbaarheid van suppletiezand geen beperkende factor is voor de uitvoering van de vier beschreven suppletie strategieën, ook niet op de langere termijn.

9.8 Aanbevelingen beleid en uitvoering

Eenduidig verwoorden van beleid

Omdat blijkt dat de beleidsdoelen 'versnipperd' worden weergegeven in verschillende nota's en omdat de regels over het bouwbeleid uit de Beleidslijn Kust 2007 zijn gewijzigd, wordt aanbevolen om de vigerende doelen van het kustbeleid eenduidig opnieuw te verwoorden, bijvoorbeeld in een nieuwe beleidslijn voor de kust.

Bijstellen van operationele doelen

Aanbevolen wordt om twee operationele doelen van het kustbeleid bij te stellen door een tijdshorizon te introduceren. Deze doelen sluiten beter aan bij de huidige praktijk en voorgestelde suppletie strategieën. De aangepaste doelen kunnen als volgt worden geformuleerd (zie verder par. 4.3.1):

- Dynamisch handhaven van de kustlijn op een tijdschaal van 0-20 jaar.
- Het voldoende in evenwicht houden van het kustfundament op langere termijn (>20 jaar)

Aanbeveling: verdeling van zand beter afstemmen op de regionale sedimentbehoefte

Op dit moment wordt het kustfundament beschouwd als één geheel. Om het kustfundament op langere termijn in evenwicht te houden, wordt aanbevolen om de suppleties beter af te stemmen op de regionale sedimentbehoefte van het kustfundament (zie par. 4.3.3).

Instrument voor suppleties voor de lange termijn

Bij het programmeren van de suppleties die nodig zijn om het kustfundament op lange termijn in evenwicht te houden, is er behoefte aan scherpe criteria waarmee kan worden bepaald wanneer en waar deze suppleties nodig geacht worden. Aanbevolen wordt om ter ondersteuning daarvoor een instrument te ontwikkelen, zoals de basiskustlijn dat is voor het handhaven van de kustlijn (zie par. 4.3.2).

10 Vervolgonderzoek (hoge urgentie)

Kustgenese 2.0 wordt vervolgd binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. In dit programma, dat loopt van 2020 tot en met 2026, zal een onderzoekslijn naar het zandige systeem opgezet worden. Hierin zullen geprioriteerde aanbevelingen voor vervolgonderzoek vanuit Kustgenese 2.0 een plek krijgen. In dit hoofdstuk zijn de aanbevelingen voor vervolgonderzoek gerangschikt op urgentie.

Urgent

Zandexport naar de Eems-Dollard

De hoeveelheid zand die vanuit het kustfundament naar de Eems Dollard geëxporteerd wordt is van grote invloed op de sedimentbehoefte van het kustfundament en daarmee op de suppletie strategieën.

Er is grote onzekerheid over deze exportterm ($\pm 1 - 3$ miljoen m^3 /jaar). Hoewel binnen het Kennisprogramma Wadden en het onderzoeksprogramma Beheer en Onderhoud Kust al onderzoek naar dit thema wordt gedaan, levert dit niet voldoende kennis op om de onzekerheid te verkleinen. Aanbevolen wordt om meer onderzoek te doen naar zandexport naar de Eems Dollard. Essentieel onderdeel van dit onderzoek is de bijdrage aan slib in de sedimentbalans.

Zandexport naar Westerschelde

De hoeveelheid zand die geëxporteerd wordt vanuit het kustfundament naar de Westerschelde is van grote invloed op de sedimentbehoefte van het kustfundament en daarmee op de suppletie strategieën. Er is grote onzekerheid over deze exportterm ($\pm 0,5$ miljoen m^3 /jaar). Aanbevolen wordt om meer onderzoek te doen naar zandtransport naar en uit de Westerschelde.

Uitwisseling van sediment over de staatsgrenzen

Er is onvoldoende kennis over de hoeveelheid zand die geïmporteerd wordt vanuit België en geëxporteerd wordt naar Duitsland. Omdat het netto zandtransport over de staatsgrenzen van invloed is op de sedimentbehoefte van het kustfundament, wordt aanbevolen nader onderzoek te doen naar de zandimport en zandexport over de staatsgrenzen.

Verdieping van de diepe vooroever en sedimentbalans van de Hollandse kust en Wadden

Er is veel kennis ontwikkeld om de sedimentbalans van de Hollandse kust en het Waddengebied beter in kaart te brengen. Het is echter onduidelijk wat de evenwichtstoestand van beide systemen is en hoe deze zich ontwikkelt bij een (versneld) stijgende zeespiegel. Een belangrijk onderdeel van deze evenwichtstoestand is de onzekerheid over de omvang van het zandtransport over de zeewaartse grens van het kustfundament. Dit is van grote invloed op toekomstige suppletie strategieën. Aanbevolen wordt onderzoek te doen naar de evenwichtstoestand van beide systemen en het zandtransport over de zeewaartse grens.

Onzekerheden in zeespiegelstijging (o.a. snelheid en referentie)

De omvang en snelheid van de toekomstige zeespiegelstijging is van grote invloed op de sedimentbehoefte van het kustfundament en daarmee op de toekomstige suppletie strategieën. In Spoor 1 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zal het KNMI hier nadrukkelijk onderzoek

naar doen. Onderzoek naar de referentie van de absolute zeespiegelstijging versus de relatieve zeespiegelstijging zal hier niet opgepakt worden. Aanbevolen wordt dit in het vervolg van Kustgenese 2.0 op te pakken.

Zandwinning binnen het kustfundament en op andere dieptes

Het huidige beleid staat niet toe dat er binnen de contouren van het kustfundament zand gewonnen mag worden. Nu nieuwe kennis over de zeewaartse begrenzing van het kustfundament opgeleverd is en deze grens rekentechnisch landwaarts verplaatst kan worden, rijst de vraag of het in de nabije toekomst mogelijk is om zand te winnen in het gebied direct landwaarts van de NAP-20 m dieptelijn. Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar de langetermijneffecten van zandwinning tussen de NAP -20 en NAP -16 m lijn op onder andere de hydrodynamica, morfologie (inclusief kusterosie) en ecologie. Voor het winnen van zand op grotere dieptes op de huidige zandwinlocaties wordt onderzoek gedaan binnen het Delfstoffeninformatiesysteem. Met het Delfstoffeninformatiesysteem wordt de zandvoorraad in kaart gebracht. Hieruit zal ook blijken of er op de huidige en nieuwe zandwinlocaties dieper gewonnen kan worden.

Ecologisch functioneren buitendelta's en zeegaten

Eén van de doelstellingen van de pilotsuppletie Amelander Zeegat was om te monitoren wat het effect is van deze suppletie op de ecologie. Zonder effectanalyse is de vergunbaarheid van dergelijke suppleties een risico voor de uitvoering. De monitoring van de pilotsuppletie is gestart in 2017 maar dient voortgezet te worden inclusief het uitvoeren van effectanalyses. Aanbevolen wordt het monitoringsprogramma van de pilotsuppletie Amelander Zeegat voort te zetten.

Aanbevelingen om door te zetten/ uit te voeren

Tools voor ontwerp en uitvoering

Gedurende de looptijd van Kustgenese 2.0 zijn meerdere ontwerpmodellen en handleidingen opgesteld. Voorbeelden zijn sediment tracking module Sedtrails, habitatmodellen, Xband radar, ecologische impact vergelijken en ecologische handleiding voorwaarden suppleren. Voor de uitvoering van het kustbeleid is het gebruiken en ontwikkelen van dit type tools van groot belang. Aanbevolen wordt het gebruik van deze tools door te zetten en mee te nemen in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging als wel in andere kustgerelateerde onderzoeksprogramma's.

Vervolg datamanagementsysteem (beheer en onderhoud), inclusief data op WaterInfoExtra

Gedurende de looptijd van Kustgenese 2.0 zijn veel data beschikbaar gekomen. Om te zorgen dat alle data beschikbaar zijn op één plek en voor iedereen te downloaden, is een datamanagementsysteem opgezet en openbaar

gemaakt via www.waterinfoextra.nl. Alle data is in het systeem opgenomen en honderden datasets zijn op een consistente wijze beschikbaar gemaakt. Wetenschappers en onderzoekers uit binnen- en buitenland kunnen beschikken over een schat aan mariene gegevens die weer tot nieuwe inzichten en innovaties kunnen leiden. Vanwege het grote belang hiervan vraagt het beheer en onderhoud van dit systeem om continuïteit.

In Bijlage B zijn de minder urgente aanbevelingen weer gegeven die voortkomen uit het Kustgenese 2.0 onderzoek.

11 Literatuur

- Arcadis (2020). Beoordelingsmatrix Suppletie strategieën, Kustgenese 2.0.
- Arens, S., Everts, F., Kooijman, A., Leek, S., Nijssen, M., Valk, B. van der, & Vries, N. de (2012). Geomorfologische en ecologische effecten van zandsuppleties op de duinen. *Levende Natuur*, jaargang 114.
- Arens, S., Puijvelde, S. van, & Brière, C. (2010). Effecten van suppleties op duinontwikkeling; rapportage geomorfologie.
- Baart, F., Rongen, G., Hijma, M., Kooi, H., Winter, R. de, & Nicolai, R. (2019). Zeespiegelmonitor 2018. Deltares.
- Baptist, M. (2011). Zachte kustverdediging in Nederland; scenario's voor 2040; achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011.
- Baptist, M. & Wiersinga, W., (2012). Zand erover; vier scenario's voor zachte kustverdediging. *De Levende Natuur*.
- Bruun, P. (1962). Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. *American Society of Civil Engineers Journal of the Waterways and Harbours Division*, 88: 117-130.
- Deltaprogramma (2015a). Geen zand, geen land! Voorstel 'Beslissing Zand'.
- Deltaprogramma (2015b). Werk aan de Delta.
- Deltares (2016). Ecologisch Gericht Suppleren; bevindingen van het onderzoek naar effecten van suppleren op het kustecosysteem 2009-2016.
- Deltares (2018). Update Delfstoffen Informatie Systeem DIS 2.1.
- Deltares (2020a). Technisch Advies Sedimentbehoefte Kustfundament ten behoeve van het beleidsadvies Kustgenese 2.0. Deltares.

- Deltares (2020b). Technisch Advies Mogelijkheid voor een Alternatieve Zeewaartse Grens van het kustfundament; ten behoeve van het beleidsadvies Kustgenese 2.0. Deltares.
- Deltares (2020c). Technisch advies Rol en Mogelijkheden Buitendelta's voor het Kustbeheer. Deltares rapport 1220339-009-ZKS-0006, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL.
- Deltares (2020d). Kustgenese 2.0 - integrale analyse. Deltares rapport 1220339-009-ZKS-0008.
- DHV (2005). Beleidsevaluatie Dynamisch Handhaven.
- Ebbens, E. (2019). Tussenrapportage Pilotsuppletie Buitendelta Amelanders Zeegat. Rijkswaterstaat.
- Elias, E. (2019). Een actuele sedimentbalans van de Waddenzee. Deltares.
- Elias, E., Oost, A., Bruens, A., Mulder, J., Spek, A. van der, Ronde, J. de, Wang, Z., & Stronkhorst, J. (2012). Buitendelta's: samenvatting bestaande kennis en opties voor zandsuppletie-pilots. Deltares rapport 1206188-000.
- Elias, E., Spek, A. van der, Wang, Z., & Ronde, J. de (2012). Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over the last century. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, 91 – 3 | 293 - 310.
- ENW (2017). Advies rekenregel suppletievolumen. ENW.
- Eurofins AquaSense (2020) T-1 monitoring Amelanders Zeegat, Rapportage Benthos boxcorer
- Geest, M. van der, Tulp, I., & Hal, R. van (2019). Ecologisch Gericht Suppleren: Meetplan strandsurvey 2019. WUR.
- Heijligers, Nijf, van, & Schipper, C. (2018). Werkwijze ecologie bij zandsuppleties. RWS Zee en Delta.
- Herman, P., Meijer-Holzhauer, H., Vergouwen, S., Wijsman, J., & Baptist, M. (2016). Ecologische effecten van kustsuppleties, EGS II. Deltares.
- Hijma, M., & Kooi, H. (2018a). Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (deel 1). Deltares.
- Hijma, M., & Kooi, H. (2018b). Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (deel 2). Deltares.
- Holzhauer, H., Borsje, B., Dalfsen, J. van, & Wijnberg, K. (2020). Benthic species distribution linked to morphological features of a barred coast. *Marine Science and Engineering*, 1-25.
- Holzhauer, H., Valk, B. van der, Dalfsen, J. van, Baptist, M., & Janssen, G. (2009). Ecologisch gericht suppleren, nu en in de toekomst. Deltares.
- Holzhauer, H., Vanagt, T., Lock, K., Oeveren, M. van, Backer, A. de, Hostens, K., Dalfsen, J. van, & Reinders, J. (2014). Ecologische effecten suppletie Ameland 2009-2012. Deltares.
- Hoogland, R. (2014). Memo Toelichting kaart 'Kustlijnzorg in relatie tot kustfuncties'. Rijkswaterstaat.
- Ijff, S., Smits, B., Zelst, V. van, & Arens, B. (2019). Natuurlijk Veilig - landschapsvormende processen. Deltares.
- IPCC (2019). The Ocean and Cryosphere in a changing climate.
- Le Bars, D., Hurk, B. van den, & Haasnoot, M. (2019). KNMI-special. 03 jaargang 3.
- Lenstra et al. (2019). Cyclic channel-shoal dynamics at the Ameland inlet: the impact on waves, tides, and sediment transport. <https://doi.org/10.1007/s10236-019-01249-3>: *Ocean Dynamics*.

- Lodder, Q. (2016). Memo Rekenregel suppletievolumen. Rijkswaterstaat, WVL.
- Lodder, Quirijn J.; Slinger, Jill H.; Wang, Zheng Bing; Gelder, Carola van (2019). Decision making in Dutch coastal research based on coastal management policy assumptions. Conference Coastal Management, 2019.
- Löffler, M., Spek, A. van der, & Gelder-Maas, C. v. (2011). Mogelijkheden voor dynamisch kustbeheer; een handreiking voor beheerders. Deltares, Bureau Landwijzer, Rijkswaterstaat Waterdienst.
- Ministerie van Economische Zaken (2014). Natuurlijk verder; Rijkvisie 2014.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken (2015). Beleidsnota Noordzee 2016-2021.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2018a). Basiskustlijn 2017; herziening van de ligging van de basiskustlijn.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2018b). CO₂-managementplan 2018-2019.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019). Kennisprogramma Zeespiegelstijging, brochure.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1988). Zandsysteem kust, technisch rapport 1.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1989). Kustverdediging na 1990; discussienota.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1990). Kustverdediging na 1990.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1995). Kustbalans 1995.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2000). 3e Kustnota, Traditie, Trends en Toekomst.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2002). Naar integraal kustzonebeleid, beleidsagenda voor de kust.
- Mulder, J. (2000). Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel. Rijkswaterstaat RIKZ.
- Mulder, J., & Lodder, Q. (2012). Memo verdeling suppletiezand. Rijkswaterstaat en Deltares.
- Nederbragt, G. (2005). Zandvoorraden van het kuststelsel: onderbouwing van een conceptueel model met behulp van trends van de winst- en verliesposten over de periode 1973-1997. RIKZ.
- Oost, A., Lelij, A. van der, Bel, M. de, Oude Essink, G., Löffler, M., Bruens, A., Taal, M., Valk, B. van der, Boers, M., Boer, W. de & Lammerts, E. (2016). De bruikbaarheid van het concept Zandmotor. Deltares rapport 1221025-000.
- Oost, A., Spek, A. v., Oeveren-Theeuwes, C. van, & Tonnon, P. (2018). The contribution of mud to the net yearly sedimentation volume in the Dutch Wadden Sea; a review based on literature. Deltares, 1220339-006.
- Pantelli, M. (2017). Global assessment of the potential effect of large sand replenishment on fresh ground-water resources. Deltares, TUDelft.
- Prooijen, B. v., Tissier, M., Wit, F. d., Pearson, S., Brakenhoff, L., Maarseveen, M. v., . . . Loeff, H. d. (2020). Measurements of Hydrodynamics, Sediment, Morphology and Benthos on Ameland Ebb-Tidal Delta and Lower Shoreface. Earth Syst. Sci. Data Discuss.
- Rijksoverheid (2005). Nota Ruimte.

- Rijksoverheid (2007). Beleidslijn Kust.
- Rijksoverheid (2009). Nationaal Waterplan 2009-2015.
- Rijksoverheid (2012). Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (SVIR).
- Rijksoverheid (2016). Nationaal Waterplan 2016-2021. Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Ministerie van Economische Zaken.
- Rijksoverheid (2019a). Ontwerp Nationale omgevingsvisie; duurzaam perspectief voor onze leefomgeving. Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- Rijksoverheid (2019b). Klimaatakkoord.
- Rijksoverheid, kustprovincies, & kustgemeenten (2017). Landelijk Kustpact.
- Rijkswaterstaat. (1992-heden). Jaarlijkse Kustlijnkaarten. <https://publicaties.minienm.nl/documenten/kustlijnkaarten-seriebeschrijving>
- Rijkswaterstaat (2016). Beheer- en ontwikkelplan voor de rijkswateren 2016 - 2021.
- Rijkswaterstaat (2019a). Suppletieprogramma Kustlijnzorg; uitgangpunten totstandkoming programma.
- Rijkswaterstaat (2019b). Datarapport Kustgenese 2.0.
- Rijkswaterstaat (2020). Memo 'Ecologische effecten van zandsuppleties'.
- Rijkswaterstaat (in prep.). Memo Doelen en uitgangspunten van het historische en huidige kustbeleid.
- Rijkswaterstaat (in prep.). Memo Historische suppletievolumes voor handhaven kustlijn Delta, Holland en Waddengebied.
- Roelse, P. (2002). Water en zand in balans; evaluatie zandsuppleties na 1990, een morfologische beschouwing. RIKZ.
- Ronde, J. de, & Oeveren-Theeuwes, van M. (2013). QuickScan Pilot Megasuppletie Zeegatsysteem (MESUZ). Deltares.
- Rosati, J., Dean, R., & Walton, T. (2013). The modified Bruun Rule extended for landward transport. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.04.018>: Marine Geology volume 340.
- Schipper, C., & van Dalflen. (2017). Meetstrategie en Meetplan T-nulmetingen Amelander Zeegat. Rijkswaterstaat.
- Schuilting, T. (2019). Suppletiebehoefte van de Nederlandse kust. BSC-eindopdracht, Universiteit Twente.
- Spek, A. van der, & Lodder, Q. (2014). A new sediment budget for the Netherlands: the effects of 15 years of nourishing (1991-2005). doi: 10.1142/9789814689977_0074.
- Spek, A. van der, Elias, E., Lodder, Q., & Hoogland, R. (2015). Toekomstige Suppletievolumes - eindrapport. Deltares, 1208140-005.
- Spek, A. van der, Werf, J. van der, Grasmeijer, B., Oost, A., Schrijvershof, R., & Vermaas, T. (2020). The Kustgenese 2.0 Atlas of the Dutch Lower Shoreface, final version. Deltares Rapport 1220339-000-ZKS-0068.

- Steezel, H., & Wang, Z. (2003). Development and application of a large-scale morphological model of the Dutch coast - phase 2: Formulation and application of the PONTOS model version 1.4. WL|Delft Hydraulics, project Z3334.
- Stronkhorst, J. (2012). Kustlijnen voor dijkringen. Deltares.
- Stuyfzand, P., Arens, S., & Oost, A. (2010). Geochemische effecten van zandsuppleties langs de Hollandse kust. Bosschap.
- Sweco (2017). Winning suppletiezand Noordzee 2018 t/m 2027.
- Taal, M., Löffler, M., Vertegaal, C., Wijsman, J., Valk, L. van der, & Tonnon, P. (2016). Ontwikkeling van de Zandmotor; Samenvattende rapportage over de eerste vier jaar van het Monitoring- en Evaluatieprogramma (MEP). Deltares.
- TAW (2002). Leidraad Zandige Kust. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.
- Vellinga (1986). Beach and Dune Erosion during Storm Surges. TUDelft.
- Vergouwen, S., & Holzhauer, H. (2016). Ontwikkeling van het bodemleven in de vooroever na aanleg van een onderwatersuppletie. Casestudie Ameland en Schiermonnikoog 2009-2014. Deltares.
- Vermaas, T., Dijk, van T., & Hijma, M. (2015). Bodemdynamiek van de diepe onderwateroever met oog op de -20 m NAP lijn. Deltares.
- Vermeersen, B., Slangen, A., Gerkema, T., Baart, F., Cohen, K., Dangendorf, S., . . . Van der Wegen, M. (2018). Sea-level change in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Geosciences*, 97(3), 79-127. doi:10.1017/njg.2018.7
- Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie. (2018). Sedimentbehoud Westerschelde. *Scheldemagazine* editie 4.
- Wang, Z., Elias, E., Van der Spek, A., & 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(3), 183-214. doi:10.1017/njg.2018.8
- Wang, Z., & Lodder, Q. (2019). Sediment exchange between the Wadden Sea and North Sea Coast. Modelling based on ASMITA. Rapport 1220339-008-ZKS-006, Deltares, Delft.
- Werf, J. van der (2017). Literature study Dutch lower shoreface. Deltares.
- Witteveen en Bos (2020). Basiskustlijn en kustveiligheid. 17168/20-006.716.
- WUR (2019). De ecologie van het Amelander Zeegat; een inventarisatie naar kennis over het ecologische functioneren van het Amelander Zeegat.
- Ysebaert, T., & Herman, P. (2002). Spatial and temporal variation in benthic macrofauna and relationships with environmental variables in an estuarine, intertidal soft-sediment environment. *Marine Ecology Progress Series*, 244, 105-124.



Bijlage A

Onderzoeksvragen

Kustgenese 2.0

Begrenzing kustfundament

1. Welk deel van het kustprofiel onder water draagt actief bij aan de stabiliteit van de kust (en daarmee de instandhouding van de functies daarbinnen).

Deze kennisvraag richt zich op de onderbouwing van de zeewaartse grens vanuit het morfologische systeem.

Onderzoeksvragen zijn:

- a. Wat zijn de maatgevende processen voor de uitwisseling van sediment tussen de vooroever en de diepere vooroever, en wat is hun frequentie van optreden en hun bijdrage?
 - b. Hoe groot zijn, met de focus op de huidige toestand van het systeem, de dwars- en langstransporten (bruto/netto), en hoe variëren deze over het kustprofiel en per deelgebied?
 - c. In welke deelgebieden (of zones) kan het kustprofiel opgedeeld worden, waarbij sprake is van een vergelijkbaar (stabiel) profiel, opbouw en dynamiek?
 - d. Wat is een goed criterium of wat zijn goede criteria voor een zeewaartse begrenzing, en ten opzichte van welk referentievlak zou deze moeten worden uitgedrukt (NAP, MSL, GLW?)
2. Wat zijn de eventuele (niet morfologische) gevolgen van een andere zeewaartse begrenzing, die van belang kunnen zijn voor de keuze van een zeewaartse begrenzing?

Deze kennisvraag heeft betrekking op de praktische overwegingen die een rol kunnen spelen bij de keuze

voor een nieuwe zeewaartse grens, zoals consequenties voor zandwinning. De onderzoeksvraag luidt als volgt:

- a. Wat zijn niet-morfologische criteria die meewegen bij de keuze voor een zeewaartse begrenzing?

In evenwicht houden van het kustfundament

Zoals beschreven in Par. 4.2.1, wordt de export van zand naar de zanddelende bekkens op dit moment bepaald door het gehele oppervlak van de bekkens te vermenigvuldigen met de zeespiegelstijging. Het is goed mogelijk dat het volume dat daadwerkelijk jaarlijks door de zeegaten naar binnen getransporteerd wordt hiervan afwijkt. Dit is uitgewerkt in de volgende kennisvragen:

1. Hoe groot is de netto uitwisseling van zand richting de getijdenbekkens van de Waddenzee?

Onderzoeksvragen die binnen Kustgenese 2.0 worden opgepakt zijn:

- a. Wat zijn de drijvende (dominante) sedimenttransportprocessen en -mechanismen en welke bijdrage leveren ze aan de netto import of export van het bekken?
- b. Hoe beïnvloeden de morfologische veranderingen in het bekken en op de buitendelta de processen en mechanismen die het netto transport door een zeegat bepalen?
- c. Wordt de grootte van de netto import of export beïnvloed door het aanbod van extra sediment in de kustzone of de buitendelta?

- d. Wat zijn de afzonderlijke bijdragen van zand en slib aan de sedimentatie in de Waddenzee, als gevolg van de ingrepen en ZSS? En wat betekent dat voor het suppletievolume?
2. *Hoe groot is de netto uitwisseling van zand richting het Westerschelde estuarium?*
Deze vraag wordt opgepakt binnen het onderzoek voor de Vlaams-Nederlandse Schelde Commissie (VNSC). Bij de integrale beantwoording van de vraag wordt hieruit afgetapt.
- Zijn er vogelsoorten waarvoor de buitendelta van het Amelander Zeegat een belangrijk rust- en of foerageergebied vormt en zo ja, is er een relatie tussen de verspreiding over en het gebruik door vogels van deze buitendelta en specifieke onderdelen van de buitendelta en is een suppletie van 5 tot 6 miljoen m³ hierop van invloed?
 - Vormen de buitendelta's belangrijke foerageergebieden voor de grijze zeehond, de gewone zeehond en de bruinvis en zo ja, is er dan een relatie tussen het gebruik als foerageergebied en specifieke onderdelen van de buitendelta en is een suppletie van 5 tot 6 miljoen m³ hierop van invloed?

Pilotsuppletie Buitendelta

In de Pilotsuppletie Buitendelta Amelander Zeegat staan de volgende doelen en vragen centraal:

1. *Verder ontwikkelen van de morfologische kennis over zeegatsystemen:*
 - a. Op welke wijze kan volumebehoud binnen de buitendelta verwezenlijkt worden?
 - b. Kan het sediment importerend vermogen (positief) beïnvloed worden?
2. *Vergroten van de kennis over effecten van buitendeltasuppleties op natuurwaarden van het ecosysteem*
3. *Inzicht verkrijgen in ontwerp en haalbaarheid van buitendeltasuppleties*
 - a. Leren van uitvoerbaarheid en vergunbaarheid van buitendelta suppleties;
 - b. Inzicht in kansen en bedreigingen van buitendelta-suppleties voor gebruiksfuncties;
 - c. Inzicht in draagvlak voor buitendeltasuppleties bij betrokken stakeholders;
4. *Bijdragen aan versterken van het kustfundament*

Voor de ecologische monitoring zijn de hoofdonderzoeksvragen als volgt:

1. Wat zijn de kenmerken en natuurwaarden van het (eco) systeem van de buitendelta's van de waddenkust en wat zijn mogelijke effecten van suppleties op dit ecosysteem?
2. Wat zijn de eventuele effecten van suppleties in het gebied van de buitendelta op het ecologisch functioneren?

Om antwoord te kunnen geven op deze vragen zijn voor de benthische gemeenschap, vissen, vogels en zeezoogdieren T₀ en T₁ (deel)onderzoeksvragen opgesteld inclusief een aantal bijpassende hypothesen (Rijkswaterstaat, 2017) die betrekking hebben op specifieke soortgroepen:

- In hoeverre is de verspreiding van benthische habitats en de soortensamenstelling over het Amelander Zeegat vergelijkbaar met die in de ondiepe kustzone van de Waddeneilanden, en is een suppletie van 5 tot 6 miljoen m³ hierop van invloed?
- Wat is de samenstelling van de visgemeenschap in tijd en ruimte in het gebied van de buitendelta van het Amelander Zeegat en is een suppletie van 5 tot 6 miljoen m³ hierop van invloed?

Bijlage B

Vervolgonderzoek (gemiddelde en lage urgentie)

Ecologische omslagpunten van suppletie strategie

Aanbevolen wordt onderzoek te doen naar de ecologische omslagpunten en het effect hiervan op de houdbaarheid van suppletie strategieën.

Inpassing toename suppletievolumes in wet en regelgeving

Aanbevolen wordt na te gaan hoe de toename van (toekomstige) suppletievolumes in wet- en regelgeving opgenomen kan worden. Dit is van essentieel belang voor de houdbaarheid van zandige strategieën in de toekomst, bij hogere suppletievolumes.

Modelontwikkeling andere zeegaten (Wadden en Westerschelde)

Aanbevolen wordt om de kennis uit Kustgenese 2.0 over het Amelanders Zeegat ook uit te werken voor andere zeegaten.

Onderzoek naar opdringende geulen

Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar het effect van opdringende geulen in het kuststelsel op de morfologie en vervolgens op de suppletie strategieën.

Positie landwaartse grens kustfundament

Aanbevolen wordt om te onderzoeken of de landwaartse grens van het kustfundament zeewaarts kan worden verplaatst en welke criteria daarbij kunnen worden gehanteerd. Hierbij moet rekening worden gehouden met eventuele toekomstige versterkingen en met het verder landwaarts definiëren van de grens van de waterkering, uit oogpunt van dynamisch kustbeheer.

Dit is een uitgave van

Rijkswaterstaat

www.rijkswaterstaat.nl
0800 - 8002

30 december 2020 | WVL1220ZB001