

## Kustgenese 2.0 - Integrale synthese

Belangrijkste conclusies uit drie jaar onderzoek naar de langetermijnkustontwikkeling (2017 - 2020)



## **Kustgenese 2.0 - Integrale synthese**

Belangrijkste conclusies uit drie jaar onderzoek naar de langetermijnkustontwikkeling

### **Auteur(s)**

Claire van Oeveren - Theeuwes

Albert Oost

Arno Nolte

Jebbe van der Werf

Pieter Koen Tonnon

Bart Grasmeyer

Edwin Elias

Zheng Wang

Ad van der Spek

## Kustgenese 2.0 - Integrale synthese

Belangrijkste conclusies uit drie jaar onderzoek naar de langetermijnkustontwikkeling




<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	Carola van Gelder – Maas
<b>Referenties</b>	Kustgenese 2.0 met zaaknummer 31123135
<b>Trefwoorden</b>	Kustgenese 2.0, Sedimentbehoefte, Kustfundament, Diepe vooroever, Buitendelta's, Buitendeltasuppleties

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	2.0
<b>Datum</b>	29-04-2020
<b>Projectnummer</b>	1220339-009
<b>Document ID</b>	1220339-009-ZKS-0008
<b>Pagina's</b>	41
<b>Status</b>	Definitief

### Auteur

	Claire van Oeveren - Theeuwes	
	Albert Oost	
	Arno Nolte	
	Jebbe van der Werf	
	Ad van der Spek	
	Bart Grasmeijer	
	Pieter Koen Tonnon	
	Edwin Elias	
	Zheng Bing Wang	

Doc. Versie	Primaire Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
2.0	Claire van Oeveren - Theeuwes 	Marcel Taal  Jelmer Cleveringa (Arcadis)	Toon Segeren 	

# Samenvatting

Het kennisprogramma Kustgenese 2.0 heeft tot doel om kennis en onderbouwing te leveren, om in een volgend Nationaal Waterplan besluiten te kunnen nemen over de toekomstige suppletiebehoefte en het uitvoeren van grootschalige pilots op buitendelta's.

Richtinggevend voor het kennisprogramma zijn drie beleidsvragen. Voor elk van deze vragen heeft Deltares een Technisch Advies opgesteld, waarin alle beschikbare en nieuw ontwikkelde kennis wordt samengevat en geïnterpreteerd tot adviezen voor het kustbeleid. Aanvullend aan het onderzoek binnen Kustgenese 2.0 is er, parallel en in afstemming, onderzoek verricht in andere projecten, in het bijzonder het reguliere kustonderzoek en het NWO-STW project SEAWAD (met een uitgebreide en waardevolle meetcampagne). Bovendien heeft Kustgenese 2.0 op twee cruciale punten, namelijk de diepe vooroever en de zeegaten, de morfologische systeemkennis van het Nederlands kuststelsel verdiept.

Dit synthesrapport bundelt de drie Technische Adviezen. De belangrijkste conclusies per beleidsvraag zijn:

## Beleidsvraag 1 **Is er een andere zeewaartse begrenzing mogelijk voor het kustfundament?**

Ja. Het onderzoek onderbouwt dat vanuit morfologisch oogpunt een andere zeewaartse begrenzing mogelijk is. Voor de bepaling van die ligging zijn drie verschillende methoden onderzocht. De variatie in de bodemligging bleek daarvan de meest bruikbare methode voor het bepalen van de zeewaartse grens. In de beschikbare data zijn twee knikpunten aan te wijzen in deze variatie, die bruikbaar zijn als een morfologische basis voor de zeewaartse grens. Het advies is om de waterdiepte die hoort bij het ondiepste knikpunt te gebruiken als grens voor een tijdschaal van het kustfundament tot 50 jaar. De onzekerheden in de gevonden dieptewaarden blijven echter groot. Het advies laat de keuze open voor een uniforme diepte voor heel Nederland of een regionale variatie, en het al dan niet toepassen van een onzekerheidsmarge. Afhankelijk van deze keuzes, ligt de geadviseerde diepteligging van de grens tussen de NAP -15 m en -16,5 m (uniform voor heel Nederland) en tussen de NAP -10 m en -18 m als de grens per regio varieert.

## Beleidsvraag 2 **Wat is de sedimentbehoefte van het kustfundament, om het kustfundament te laten meegroeien met de zeespiegelstijging?**

Het huidige beleid gaat uit van een sedimentbehoefte voor het kustfundament van 12 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. De sedimentbehoefte van het kustfundament bij een stijgende zeespiegel is bepaald voor de periode van 2021 tot 2035. De berekende totale sedimentbehoefte ligt tussen de (ongeveer) 11 en 17 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Deze variatie af van de keuze omtrent de zeewaartse begrenzing (zie beleidsvraag 1), en de keuze hoe omgegaan wordt met de bandbreedte rond de gemiddelde waarden (het hanteren van de bovengrens, middenwaarde of ondergrens). Circa de helft van de berekende sedimentbehoefte bestaat uit transport naar Waddenzee en Eems-Dollard. Het andere deel is vooral het sedimentvolume wat nodig is om het gehele oppervlak van het kustfundament te laten meestijgen met de verwachte zeespiegelstijging.

Voor de langere termijn (tot 2100 en verder) kan alleen een voorzichtige doorkijk op de sedimentbehoefte worden gegeven, omdat de toegepaste rekenregel niet is gevalideerd voor versnelde zeespiegelstijging. Die langetermijn doorkijk laat zien dat de sedimentbehoefte door

transporten naar de Waddenzee tot 2100 slechts beperkt toenemen en dat het sedimentvolume om het kustfundament mee te laten groeien met zeespiegelstijging lineair stijgt met de snelheid daarvan.

**Beleidsvraag 3** **Wat zijn de mogelijkheden voor suppleties bij buitendelta's en welke meerwaarde kan dit bieden voor het kustbeheer?**

Het onderzoek heeft laten zien dat de buitendelta een zandbuffer is voor het kuststelsel. De buitendelta is tevens een doorgeefluik in de sedimentstroom langs de eilandkusten. Ook dempen buitendelta's de golven bij de Waddeneilanden en in de Waddenzee, wat van belang is voor de waterveiligheid. Het is daarom gewenst de buitendelta's te behouden, zodat ze hun functies van sedimentbuffer, doorgeefluik en kustbescherming, kunnen blijven uitoefenen.

Uit het onderzoek blijkt dat het gedrag van de buitendelta te beïnvloeden is met ingrepen op de schaal van individuele banken of geulen. Dit biedt kansen voor het beheer, door bijvoorbeeld de buitendelta zo te beïnvloeden dat er meer zand richting de kust beweegt. Voorwaarde voor deze suppleties is een goed inzicht in de onderliggende processen en mechanismen bij het zeegat. Dit is voor elk zeegat verschillend. Alleen voor het Zeegat van Ameland komt de kennis momenteel in de buurt van de benodigde kennis voor het inzetten van buitendeltasuppleties voor kustbeheer.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1	Dit document	8
1.2	Achtergrond en aanleiding	8
1.3	Vraagarticulatie voor Kustgenese 2.0	9
1.3.1	<i>Beleidsvraag 1, ruimtelijke begrenzing van het Kustfundament</i>	10
1.3.2	<i>Beleidsvraag 2, de sedimentbehoefte voor structureel evenwicht in het kustfundament</i>	11
1.3.3	<i>Beleidsvraag 3, de mogelijkheden van buitendeltasuppleties voor toekomstig beheer</i>	12
1.4	Algemene werkwijze	12
1.4.1	<i>Samenhang tussen metingen, modellen en proces- en systeemkennis</i>	12
1.4.2	<i>Samenwerking met partners</i>	13
1.4.3	<i>Samenwerking met andere onderzoeksprogramma's binnen Deltares</i>	13
<b>2</b>	<b>Adviezen voor het beleid</b>	<b>15</b>
2.1	Advies m.b.t. de zeewaartse grens van het kustfundament	15
2.1.1	<i>Criteria voor de keuze van een zeewaartse grens</i>	15
2.1.2	<i>Voorgestelde opties voor de zeewaartse grens van het kustfundament</i>	16
2.1.3	<i>Omgaan met resterende onzekerheden</i>	17
2.2	Advies m.b.t. de sedimentbehoefte van het kustfundament	17
2.2.1	<i>Bepaling van de termen in de rekenregel</i>	18
2.2.2	<i>Invullen van de rekenregel</i>	19
2.2.3	<i>Omgaan met resterende onzekerheden</i>	20
2.3	Advies m.b.t. mogelijkheden voor ingrepen (suppleties) bij buitendelta's	21
<b>3</b>	<b>Belangrijkste conclusies en aanbevelingen voor vervolg</b>	<b>23</b>
3.1	Belangrijkste conclusies voor de beleidsadviezen	23
3.1.1	<i>Belangrijkste conclusies m.b.t. de zeewaartse grens van het kustfundament</i>	23
3.1.2	<i>Belangrijkste conclusie m.b.t. de sedimentbehoefte van het kustfundament</i>	23
3.1.3	<i>Belangrijkste conclusies m.b.t. de mogelijkheden van buitendelta's voor kustbeheer</i>	23
3.2	Belangrijkste aanbevelingen	24
3.3	Tot slot	26
<b>A</b>	<b>Beantwoording van de onderzoeksvragen</b>	<b>29</b>
A.1	Onderzoeksvragen behorend bij Beleidsvraag 1, over de mogelijkheden voor een andere zeewaartse grens van het kustfundament	29
A.2	Onderzoeksvragen behorend bij Beleidsvraag 2, over de sedimentbehoefte van het kustfundament	30
A.3	Onderzoeksvragen behorend bij Beleidsvraag 3, over de mogelijkheden van buitendelta's voor toekomstig kustbeheer	32
<b>B</b>	<b>Overzicht van uitgevoerd onderzoek</b>	<b>35</b>
B.1	Rapportages uit het Kustgenese 2.0 onderzoek	37
B.1.1	<i>Rapportages omtrent kennisontwikkeling diepe vooroever</i>	37
B.1.2	<i>Rapportages omtrent kennisontwikkeling zeegaten</i>	38
B.1.3	<i>Integrale rapportages</i>	39
B.1.4	<i>Rapportages omtrent datamanagement</i>	39
B.1.5	<i>Rapportages uit projecten met raakvlakken</i>	40



# 1 Inleiding

Het kennisprogramma Kustgenese 2.0 heeft tot doel om kennis en onderbouwing te leveren, om in een volgend Nationaal Waterplan besluiten te kunnen nemen over de toekomstige suppletiebehoefte en het uitvoeren van grootschalige pilots op buitendelta's. Het programma vult leemten in die nog niet zijn ingevuld door huidige kennis of lopend onderzoek. Hiermee volgt het een 'traditie' van beleid- en beheerondersteunend onderzoek naar het kuststelsel, die begon in 1985 met Kustgenese en daarna is voortgezet in programma's als Kust2005 en Beheer en Onderhoud Kust.

## 1.1 Dit document

Het voorliggende document, de Integrale Synthese, vat het gehele Kustgenese 2.0 onderzoek samen, dat door Deltares is uitgevoerd over de periode februari 2017 tot maart 2020.

Dit rapport is als volgt opgebouwd: het eerste hoofdstuk bespreekt kort de achtergrond van het kustbeleid en van de drie beleidsvragen, die de focus waren van Kustgenese 2.0. Ook reflecteert dit hoofdstuk op de algemene werkwijze en de samenwerking met partners.

Voor elke beleidsvraag heeft Deltares een Technisch Advies opgesteld, waarin alle beschikbare en nieuw ontwikkelde kennis is samengevat en geïnterpreteerd tot adviezen voor het kustbeleid. Hoofdstuk 2 van dit syntheserapport is de integrale samenvatting van deze drie adviezen.

Het derde en laatste hoofdstuk stipt de belangrijkste conclusies aan die het onderzoek heeft opgeleverd, en geeft aanbevelingen voor een verdere verbetering van de kennis van het kuststelsel, nodig voor toekomstig kustbeleid en -beheer.

De bijlagen A en B geven overzichten van alle kennis- en onderzoeksvragen die Kustgenese 2.0 heeft beantwoord (bijlage A), en al het onderzoek wat daarvoor is uitgevoerd, met verwijzingen naar bijbehorende rapportages (bijlage B).

## 1.2 Achtergrond en aanleiding

Sediment (zand en slib) vormt het fundament van de Nederlandse kust. Het dynamische kuststelsel is de basis voor de langetermijnveiligheid tegen overstroming en is de drager van alle functies in het gebied.

De sedimentbalans van het kustfundament is echter niet in evenwicht. Er wordt door natuurlijke processen te weinig sediment aangevoerd om de relatieve zeespiegelstijging te compenseren en sedimentverliezen aan te vullen. Hierdoor is de kust onderhevig aan erosie. Zonder maatregelen zou de kustlijn in Nederland zich gemiddeld één meter per jaar landwaarts verplaatsen. Waar de natuurlijke processen te weinig sediment aanvoeren of beschikbaar maken om de kust op lange en korte termijn haar functies te doen vervullen, worden zandsuppleties ingezet.

De basis voor dit beleid werd gelegd door het onderzoeksprogramma Kustgenese (1). Dit leidde in 1990 tot het besluit om de kustlijn dynamisch te handhaven met de Basiskustlijn als referentie. Begin deze eeuw werd 'dynamisch handhaven' uitgebreid naar het hele kustfundament. Dat betekende dat jaarlijks meer zand gesuppleerd moest worden, om het kustfundament in evenwicht te houden met de stijgende zeespiegel. Het doel hiervan is de veiligheid van het achterland en andere functies en waarden van het kustgebied ook op de lange termijn te waarborgen.

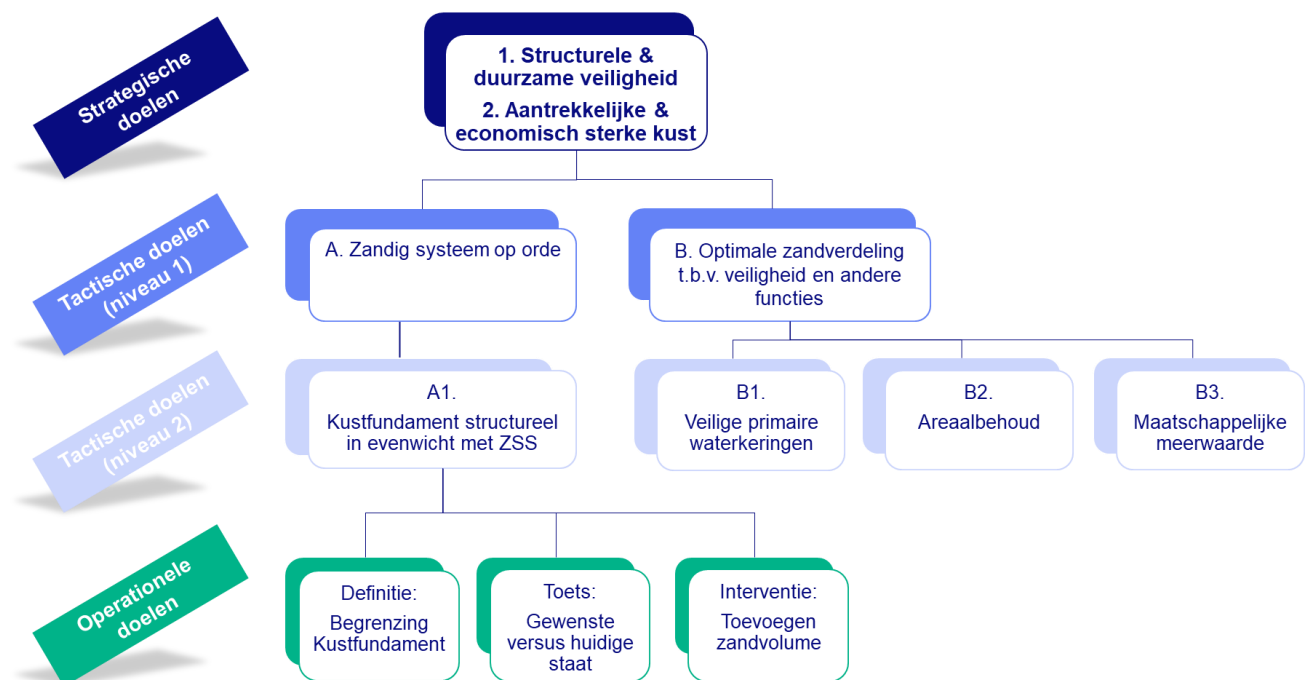


Het Deltaprogramma 2015 heeft in aanvulling hierop voorstellen gedaan om het volume aan zandsuppleties periodiek aan te passen aan de actuele zeespiegelstijging. Deze voorstellen zijn in 2014 verankerd in het rijksbeleid. Uitgangspunt van de beslissing Zand is dat de zandbalans langs de kust op orde blijft en dat het kustfundament duurzaam in evenwicht blijft met de zeespiegelstijging. Zo nodig nemen de zandsuppleties daarvoor in omvang toe. Het is wenselijk dat zandsuppleties niet alleen bijdragen aan het handhaven van de kustlijn (het eerste doel), maar ook zoveel mogelijk aan lokale en regionale doelen voor een economisch sterke en aantrekkelijke kust.

Er is meer kennis nodig om de zandsuppleties effectiever en kostenefficiënter in te kunnen zetten. Daarom is 'lerend werken' een belangrijk onderdeel van de beslissing Zand: pilots uitvoeren, monitoren en onderzoek doen en de resultaten benutten voor nieuwe besluiten. Dit gebeurt in het onderzoeksprogramma Kunstgenese 2.0. In 2020 zal het Ministerie van IenW een beleidsadvies geven over het benodigde suppletievolume en het eventueel uitvoeren van grootschalige suppleties op buitendelta's.

### 1.3 Vraagarticulatie voor Kustgenese 2.0

In de aanloop naar Kustgenese 2.0 zijn veel kennisvragen geïdentificeerd die van belang zijn voor een integraal kustbeleid, waaronder kennisvragen die voortvloeiden uit het Deltaprogramma. Deze vraagstukken waren divers en van verschillend detailniveau. Als kapstok voor deze bredere scope van Kustgenese 2.0 is daarom het 'Kenniskompas Kustgenese 2.0' opgesteld <sup>(1)</sup>. Via de referentiekadermethodiek <sup>(2)</sup> zijn alle vraagstukken uit het Deltaprogramma gekoppeld aan de verschillende niveaus van de beleidsdoelstellingen (strategisch, tactisch, operationeel), die in beleidsdocumenten werden genoemd. Figuur 1.1 geeft een impressie van deze structuur in beleidsdoelstellingen, en de uitwerking op verschillende niveaus.



Figuur 1.1 Kenniskompas Kustgenese 2.0. Met behulp van de referentiekadermethodiek is structuur aangebracht in de verschillende beleidsdoelstellingen. Voor de tactische doelstelling

<sup>1</sup> Van Oeveren en Mulder, 2015. Kenniskompas Kustgenese 2 en het NKWK. PowerPoint presentatie.

<sup>2</sup> Van Koningsveld, 2003. The Frame of Reference method.

*“kustfundament structureel in evenwicht met ZSS” zijn ook doelstellingen op het operationele niveau weergegeven. Op elk niveau en aan elke doelstelling zijn kennisvragen te koppelen.*

De prioriteit voor Kustgenese 2.0 kwam te liggen op het onderzoek dat nodig is voor het onderbouwen van beleidskeuzes voor het volgende Nationaal Waterplan, over de toekomstige suppletiebehoefte en het uitvoeren van grootschalige pilots op buitendelta's. Dit leidde ook tot de formulering van de drie beleidsvragen, die in de volgende subparagrafen worden toegelicht:

<b>Beleidsvraag 1</b>	<b>Is er een andere zeewaartse begrenzing mogelijk voor het kustfundament?</b>
<b>Beleidsvraag 2</b>	<b>Wat is de sedimentbehoefte van het kustfundament, om het kustfundament te laten meegroeien met de zeespiegelstijging?</b>
<b>Beleidsvraag 3</b>	<b>Wat zijn de mogelijkheden voor suppleties bij buitendelta's, en welke meerwaarde kan dit bieden voor het kustbeheer?</b>

Het verdere proces van vraagarticulatie was erop gericht om vanuit deze drie beleidsvragen de relevante kennis- en onderzoeksvragen te identificeren, en aan te vullen waar nodig. Rijkswaterstaat heeft Deltares al in een vroeg stadium betrokken in dit proces. Via meerdere workshops, waarbij ook experts van andere organisaties aanwezig waren, is een goed afgebakende en gedragen scope tot stand gekomen, wat vorm gaf aan het drie jaar durende onderzoeksprogramma. Al deze kennis- en onderzoeksvragen zijn weergegeven in bijlage A.

Het tweede doel van Kustgenese 2.0 was het verdiepen van de morfologische systeemkennis van de diepe vooroever en van de zeegaten. Dit is gedaan door gebruik te maken van beschikbare data en kennis, en dit te combineren met analyses van nieuwe data uit monitoring en modelontwikkeling. Op deze manier levert Kustgenese 2.0 ook op de langere termijn een belangrijke bijdrage toekomstige beleidsvraagstukken over de kust.

### 1.3.1 **Beleidsvraag 1, ruimtelijke begrenzing van het Kustfundament**

Het kustfundament is in de Nota Ruimte gedefinieerd als het gebied dat wordt begrensd door:

- de doorgetrokken NAP -20 m dieptecontour aan de zeezijde
- de binnenduinrand inclusief alle daarop gelegen harde zeeweringen aan de landzijde
- een lijn over de keel van het zeegat tussen de eilanden
- de staatsgrenzen met België en Duitsland aan de zuidkant en de noordoostkant

De doorgetrokken NAP -20 m als zeewaartse grens van het kustfundament was feitelijk een overname vanuit het Noordzeebeleid, gericht op beperken van zandwinning. Deze is daarna nooit ter discussie gesteld. Deze keuze was tot nu toe inhoudelijk niet of nauwelijks te onderbouwen, mede vanwege schaarse meetgegevens. Gezien de grote doorwerking van de oppervlakte van het kustfundament op de sedimentbehoefte, in het bijzonder bij snellere zeespiegelstijging, werd het belangrijk geacht de zeewaartse grens vanuit morfologisch oogpunt beter te onderzoeken en opnieuw te bepalen. De eerste beleidsvraag luidt daarom:

<b>Beleidsvraag 1</b>	<b>Is er een andere zeewaartse begrenzing mogelijk voor het kustfundament?</b>
-----------------------	--

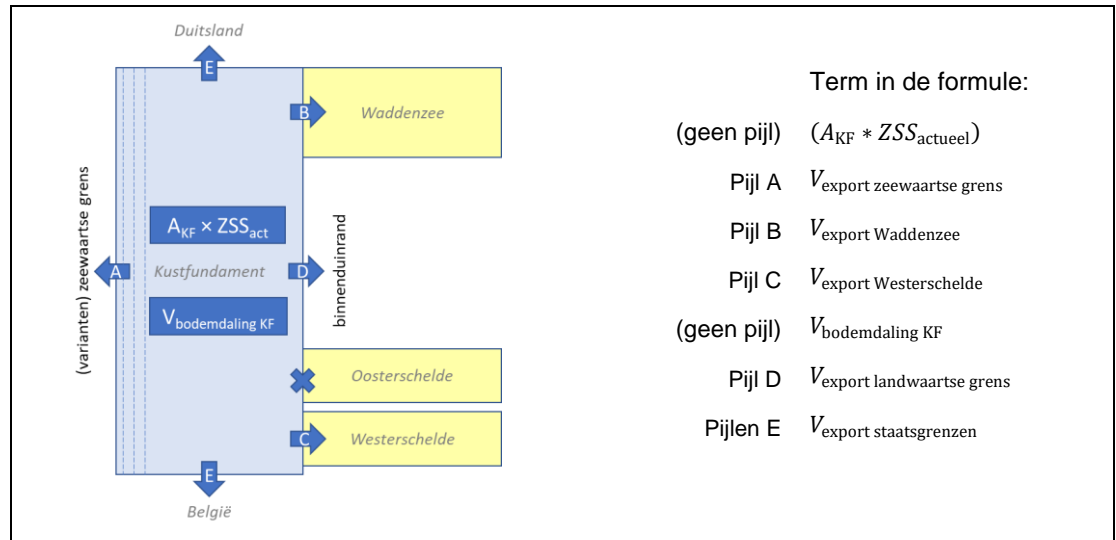
### 1.3.2

#### Beleidsvraag 2, de sedimentbehoefte voor structureel evenwicht in het kustfundament

Voorafgaand aan Kustgenese 2.0 is door Rijkswaterstaat<sup>3</sup> een nieuwe rekenwijze voorgesteld om de sedimentbehoefte van het Kustfundament te berekenen. Ten behoeve van Kustgenese 2.0 is deze formulering volledig uitgeschreven, waardoor alle componenten als eigen term herkenbaar zijn, en waarbij ook het mogelijke sedimenttransport over de zeewaartse grens als term is toegevoegd:

$$V_{\text{sedimentbehoefte}} = (A_{\text{KF}} * ZSS_{\text{actueel}}) + V_{\text{export zeewaartse grens}} + V_{\text{export Waddenzee}} + V_{\text{export Westerschelde}} + V_{\text{bodemdaling KF}} + V_{\text{export landwaartse grens}} + V_{\text{export staatsgrenzen}}$$

Figuur 1.2 geeft een schematische weergave van deze rekenregel.



Figuur 1.2 Schematische weergave van de rekenregel voor de sedimentbehoefte van het kustfundament. Het kustfundament is hierin voorgesteld als een balansgebied, met oppervlak  $A_{\text{KF}}$ , wat sediment uitwisselt over de grenzen van het gebied, zie de pijlen. Binnen in het balansgebied kan sedimentbehoefte ontstaan door zeespiegelstijging (ZSS) en bodemdaling.

De opdracht voor Kustgenese 2.0 is om de sedimentbehoefte voor het Kustfundament te bepalen aan de hand van deze rekenregel. Hiervoor is onderzoek gedaan naar drie termen: export naar de Waddenzee, export over de zeewaartse grens en sedimentbehoefte door regionale bodemdaling. Voor alle andere termen zijn bestaande aannamen overgenomen of is afgetapt van andere onderzoekstrajecten. De volledige beleidsvraag, behorend bij deze opdracht is:

**Beleidsvraag 2** **Wat is de sedimentbehoefte van het kustfundament, om het kustfundament te laten meegroeien met de zeespiegelstijging?**

Hierbij moet worden opgemerkt dat, wanneer gesproken wordt over de sedimentbehoefte van het Kustfundament, daarmee vooral de zandbehoefte wordt bedoeld. Deze behoefte zou met zandsuppleties kunnen worden aangevuld. Slib is nog in voldoende mate beschikbaar in het natuurlijke systeem.

<sup>3</sup> Rijkswaterstaat (2016). Memo Rekenregel suppletievolumen, versie 1.0, 11 december 2016

### 1.3.3 **Beleidsvraag 3, de mogelijkheden van buitendeltasuppleties voor toekomstig beheer**

Analyse van bodemmetingen<sup>(4)</sup> laten al heel lang zien dat veel sediment de Waddenzee in transporteert. Een groot deel is zand dat netto is geleverd door de buitendelta's. Een aantal buitendelta's is dan ook sterk in volume afgenomen. Deze buitendelta's spelen een belangrijke rol in de sedimenttoevoer naar de eilandkusten. Daarom is de vraag ontstaan of suppleren op de buitendelta kansen biedt om het kustfundament bij de eilanden in de toekomst van voldoende sediment te voorzien.

Vanwege de complexiteit van zeegaten en buitendelta's zijn de onzekerheden over de effecten van buitendeltasuppleties groter dan bij de (reguliere) strand- en onderwatersuppleties die al sinds 1990 worden uitgevoerd. Ook was er nog geen ervaring met suppleren op buitendelta's. De derde beleidsvraag voor de kennisontwikkeling is daarom:

<b>Beleidsvraag 3</b>	<b>Wat zijn de mogelijkheden voor suppleties bij buitendelta's, en welke meerwaarde kan dit bieden voor het kustbeheer?</b>
-----------------------	---

## 1.4 **Algemene werkwijze**

### 1.4.1 **Samenhang tussen metingen, modellen en proces- en systeemkennis**

Voor kennisontwikkeling zijn gegevens nodig. Dit kunnen gegevens zijn uit metingen of van berekeningen met modellen. De samenhang tussen meten, modelleren en de ontwikkeling van proces- en systeemkennis wordt weergegeven in Figuur 1.3.

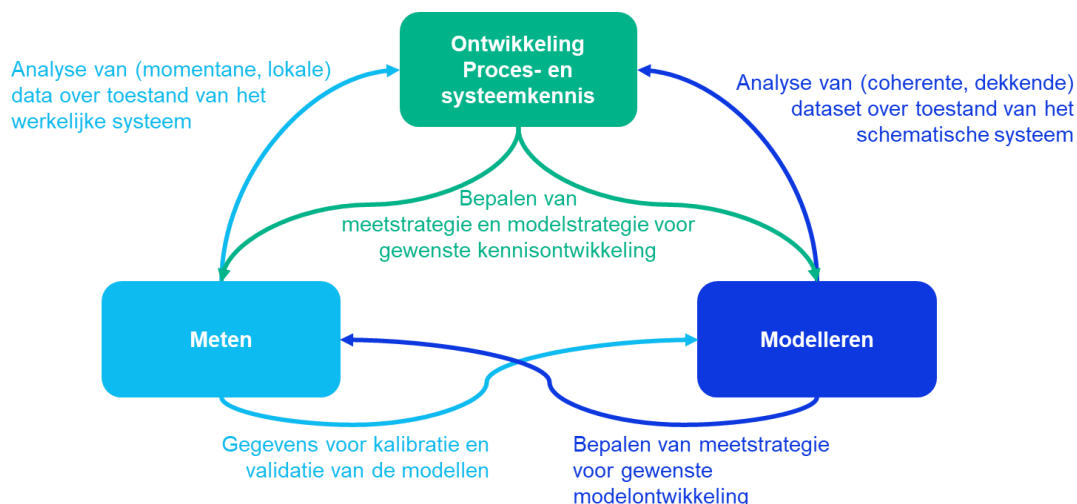
Metingen leveren kwantitatieve gegevens op van de toestand van het systeem, en zijn nodig om het systeem beter te kunnen begrijpen. De beperking is dat ze alleen (momentane) data geven over datgene wat gemeten wordt, op de ruimtelijke schaal en tijdschaal van de meting. Daar komt bij dat meetcampagnes vaak kostbaar zijn.

Modellen vormen een krachtig hulpmiddel. Proces-gebaseerde modellen maken het mogelijk om specifieke processen en hun interactie in detail te bestuderen. Ook kunnen modellen worden gebruikt voor een kwantitatieve inschatting van het toekomstige systeem, bijvoorbeeld om de effecten van ingrepen te voorspellen. Een beperking van modellen is dat ze de werkelijkheid vereenvoudigen. Om vast te stellen of de gekozen schematisatie de juiste is, gegeven een bepaald doel, is kalibratie en validatie aan de hand van meetgegevens nodig.

De gecombineerde inzet van modellen en metingen heeft daarom een grote meerwaarde voor kennisontwikkeling. De gegevens uit metingen helpen bij het afregelen en valideren van de modellen, en de gegevens uit modellen zijn een waardevolle aanvulling op de analyse van de meetgegevens. Nieuwe kennis van processen kan vervolgens weer gebruikt worden om proces-gebaseerde modellen verder te verbeteren.

---

<sup>4</sup> Recente cijfers staan o.a. in: Wang, Z.B., Elias, E.P.L., Van der Spek, A.J.F., Lodder, Q.L., 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, p. 183-214.



Figuur 1.3 Samenhang en interactie tussen metingen, modellen en proces- en systeemkennis.

Binnen Kustgenese 2.0 is gericht gebruik gemaakt van modellen en metingen. De behoefte aan metingen en modelontwikkeling is daarbij vooraf door Rijkswaterstaat en Deltares in kaart gebracht, waarbij de bestaande kennis is gebruikt voor het opzetten van de meet- en modelstrategie.

#### 1.4.2 Samenwerking met partners

##### *Samenwerking tussen Rijkswaterstaat en Deltares*

De relatie tussen Rijkswaterstaat en Deltares was enerzijds die van opdrachtgever-opdrachtnemer en anderzijds die van samenwerkende partners. Deze werkwijze bood een goede balans tussen strakke afspraken, versus voldoende flexibiliteit om in te spelen op ontwikkelingen en voortschrijdend inzicht in zowel het onderzoek als in de beleidsadvisering. Het regelmatig uitwisselen van denklijnen en voorlopige resultaten heeft geholpen bij het gezamenlijk vinden (en bijstellen) van de beste weg vooruit.

##### *Samenwerking met Universiteiten*

Gelijktijdig met (en deels gefinancierd uit) Kustgenese 2.0, ging het NWO project SEAWAD van start, waar vier promovendi van de TU Delft, Universiteit Utrecht en Universiteit Twente fundamenteel onderzoek verrichten, geconcentreerd rond het zeevat van Ameland. In samenwerking met SEAWAD en Rijkswaterstaat is een zeer uitgebreide meetcampagne uitgevoerd en is hiervan een datarapport samengesteld. Dit levert een zeer grote meerwaarde voor het langetermijnkustonderzoek, ook nog lang na de afronding van Kustgenese 2.0.

In samenwerking met de Waddenacademie is een gezamenlijk position paper gepubliceerd<sup>(5)</sup>.

Ten slotte hebben ook bachelor en master studenten (afstudeerders) van de Universiteit Twente en de TU Delft bijdragen geleverd aan het onderzoek.

#### 1.4.3 Samenwerking met andere onderzoeksprogramma's binnen Deltares

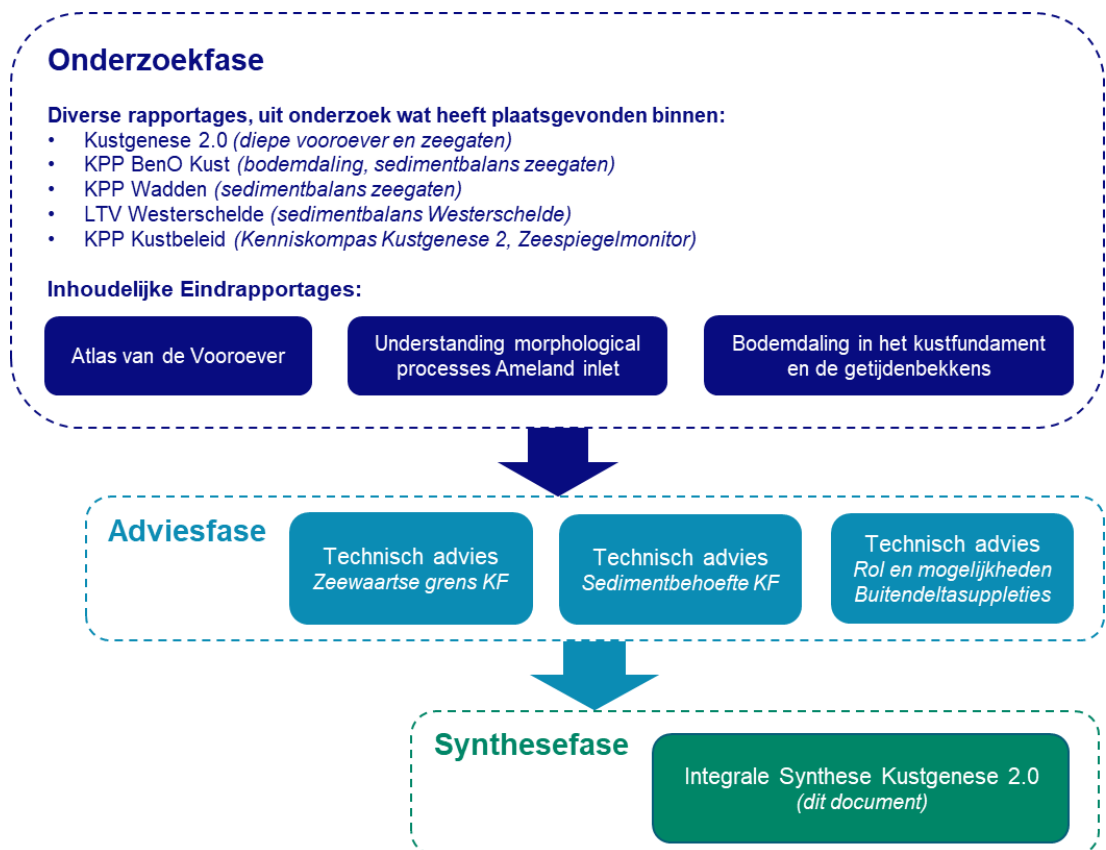
Intensieve samenwerking met andere onderzoeksprogramma's binnen Deltares was noodzakelijk omdat voor de beantwoording van verschillende onderzoeksvragen directe input nodig was vanuit

<sup>5</sup> Zheng Bing Wang, Edwin P.L. Elias, Ad J.F. van der Spek & Quirijn J. Lodder, 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 - Geologie en Mijnbouw |97 - 3 | 183-214 | 2018

deze programma's. Met name rondom het onderzoek naar bodemdaling, en de sedimentbalansen van de Waddenzee en van de Westerschelde, is de ontwikkeling en kennisbehoefte nauw afgestemd. De belangrijkste projecten met raakvlakken binnen Deltares waren:

- KPP Beheer en Onderhoud Kust (onderzoek bodemdaling, sedimentbalans zeegaten)
- KPP Wadden (onderzoek sedimentbalans zeegaten)
- LTV Westerschelde (onderzoek sedimentbalans Westerschelde)
- KPP Kustbeleid (Zeespiegelmonitor)

Het schema in Figuur 1.4 laat zien hoe verschillende bronnen hebben bijgedragen aan het beantwoorden van de drie beleidsvragen van Kustgenese 2.0, en de inhoud van deze Integrale Synthese.



**Figuur 1.4** Schema met samenhang van verschillende rapportages uit het Kustgenese 2.0 onderzoek, en het onderzoek binnen projecten met raakvlakken, die hebben bijgedragen aan de Integrale Synthese Kustgenese 2.0, zoals gepresenteerd in voorliggend document.

## 2 Adviezen voor het beleid

Dit hoofdstuk geeft een integrale samenvatting van de (technische) beantwoording van de drie beleidsvragen. Voor een uitgebreide onderbouwing van de hier genoemde adviezen wordt verwezen naar:

- Technisch Advies Mogelijkheid voor een Alternatieve Zeewaartse Grens van het kustfundament
- Technisch Advies Sedimentbehoefte Kustfundament
- Technisch Advies Rol en Mogelijkheden Buitendelta's voor het Kustbeheer

Alle gedetailleerde onderzoeksvragen, behorend bij de beleidsvragen, zijn beknopt beantwoord in bijlage A.

### 2.1 Advies m.b.t. de zeewaartse grens van het kustfundament

In paragraaf 1.3.1 staat de achtergrond van deze beleidsvraag beschreven. De gestelde vraag is:

<b>Beleidsvraag 1</b>	<b>Is er een andere zeewaartse begrenzing mogelijk voor het kustfundament?</b>
-----------------------	--

Voor de beantwoording van deze vraag is door Deltares onderzoek uitgevoerd om kennis te ontwikkelen van de morfologische processen en dynamiek op de diepe vooroever, tussen NAP -8 m en -20 m. De resultaten en het antwoord op Beleidsvraag 1 zijn hieronder samengevat.

Het onderzoek heeft zich alleen gericht op morfologische indicatoren voor de zeewaartse grens. Niet-morfologische aspecten zoals de grens voor zeezandwinning en de Natura2000 begrenzing (beide nu de doorgetrokken NAP -20 m lijn) zijn niet meegenomen in dit advies. Een verkenning hiervan is gegeven in de memo "Niet-morfologische aspecten Zeewaartse grens Kustfundament"<sup>6</sup>.

#### 2.1.1 Criteria voor de keuze van een zeewaartse grens

Morfologisch uitgangspunt voor het vaststellen van de zeewaartse grens van het kustfundament is het (theoretisch) principe dat er een dieptecontour is te bepalen zeewaarts waarvan de bodemligging niet significant verandert. Deze morfologische grens is afhankelijk van een gekozen tijdschaal. Bij de beantwoording van de beleidsvraag zijn twee tijdschalen gehanteerd: 50 jaar en 200 jaar. De tijdschaal van 50 jaar komt overeen met de periode waarover (voldoende) morfologische gegevens beschikbaar zijn van de diepe vooroever. Bij de beleidsmatige definitie van het kustfundament wordt een tijdschaal van 200 jaar gehanteerd, al heeft die tijdschaal met name betrekking op de landwaartse grens.

Hiervan uitgaand zijn er drie criteria mogelijk om de zeewaartse grens van het kustfundament op te baseren:

- de vorm van het kustprofiel,
- netto zandtransport over een dieptecontour, en
- de variatie in bodemligging over het kustprofiel.

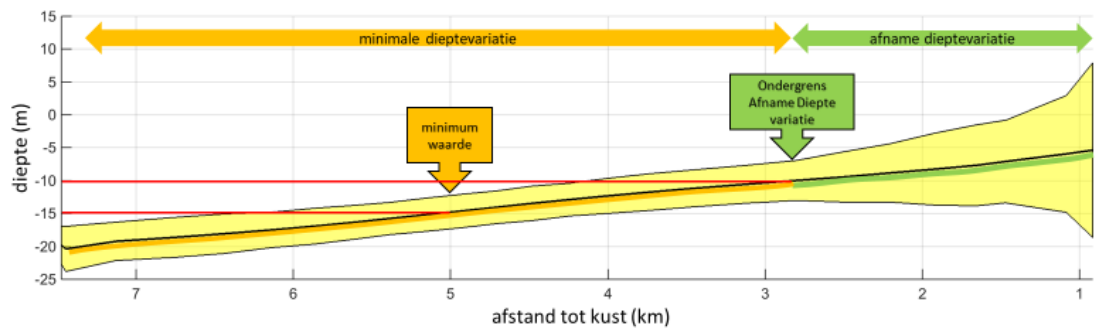
De overgang van de diepe vooroever naar de vlakke zeebodem is vaak niet eenduidig te bepalen, waardoor de vorm van het kustprofiel niet geschikt is als criterium. Het berekende netto zandtransport op de diepe vooroever is niet verwaarloosbaar en bovendien nog niet voldoende

---

<sup>6</sup> Van der Valk, Bert, Van Oeveren, Claire, 2019. Niet-morfologische Aspecten Zeewaartse Grens Kustfundament, Deltares memo 1220339-000-ZKS-0063, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, 4 pg.

zeker. Dit maakt het netto zandtransport evenmin geschikt als criterium voor de zeewaartse grens van het kustfundament.

De variatie in de bodemligging van het kustprofiel blijkt wel een geschikt criterium voor de zeewaartse grens. Deze variatie neemt in zeewaartse richting af tot een diepte tussen NAP -10 m en -15 m. Zie Figuur 2.1. Bij verder toenemende waterdiepte blijft de variatie vrijwel constant. Een tweede (knik)punt op het profiel is de diepte waarop de bodemvariatie in de metingen minimaal is. De diepte waarop de variabiliteit in bodemligging stabiliseert kan gebruikt worden als zeewaartse grens van het kustfundament op een tijdschaal van 50 jaar. Voor een tijdschaal van 200 jaar moet een grens op dieper water aangehouden worden. Hiervoor wordt de waterdiepte waarop de minimale bodemvariatie in de metingen voorkomt, als maat genomen.



Figuur 2.1 Dieptevariatie van de zeebodem rond een gemiddeld profiel, gebaseerd op vaklodings-data die over een periode van maximaal 50 jaar verzameld zijn. De standaarddeviatie van de dieptevariatie is weergegeven als een geel gekleurde band rond het gemiddeld profiel (de verticale schaal van de bandbreedte is 10x overdreven weergegeven).

### 2.1.2 Voorgestelde opties voor de zeewaartse grens van het kustfundament

De keuze van een zeewaartse grens voor het kustfundament omvat twee aspecten: 1) de keuze tussen een grens met één uniforme dieptewaarde voor de hele Nederlandse kust of een regionaal gedifferentieerde dieptewaarde, en 2) het wel of niet toepassen van een onzekerheidsmarge.

De variatie in de bodemligging van de diepe vooroever vertoont regionale verschillen. Het is daarom mogelijk om te kiezen voor een regionaal gedifferentieerde zeewaartse grens van het kustfundament. Daarbij kan onderscheid worden gemaakt in vijf regio's: Delta, Holland, Texel, de overige Waddeneilanden en de buitendelta's in het Waddengebied.

Geadviseerd wordt om de dieptewaarde te gebruiken die hoort bij de tijdschaal van 50 jaar. De gevonden dieptewaarden bevatten een onzekerheid. Om dit te ondervangen kan er voor gekozen worden om een onzekerheidsmarge aan te houden, door een grotere diepte te kiezen. De dieptewaarden voor de 200 jaar variant worden door Deltares als een ruime marge gezien. Daarom wordt aanvullend een variant voorgesteld, waarbij een onzekerheidsmarge bovenop de 50 jaar variant wordt gehanteerd. Deze variant is niet op morfologische gronden gebaseerd.

De volgende tabel vat alle voorgestelde opties voor de keuze van een zeewaartse grens voor het kustfundament samen. Het advies laat de keuze open voor een uniforme diepte voor heel Nederland of een regionale variatie, en het al dan niet toepassen van een onzekerheidsmarge.



Tabel 2.1 Voorgestelde opties voor de keuze van een zeewaartse grens van het kustfundament. Weergegeven is de bodemligging ten opzichte van NAP.

		Variant: 50 jaar	Variant: 50 jaar met onzekerheidsmarge	Variant: 200 jaar
<b>Uniform</b>		-15	-16,5	-18
<b>Regionaal</b>	Delta	-15	-16,5	-18
	Holland	-15	-16,5	-18
	Texel	-13	-15	-17
	Waddeneilanden	-10	-12,5	-15
	Buitendelta's	-18	-19	-20

### 2.1.3 Omgaan met resterende onzekerheden

Bij het onderzoek zijn cruciale keuzes gemaakt:

1. De keuze voor de variabiliteit in de diepteligging van het gemiddeld kustprofiel als geschikt criterium voor de zeewaartse grens en de afwijzing van de criteria morfologie van het kustprofiel en netto zandtransport over de zeewaartse grens.
2. De keuze om de berekende zandtransporten over de zeewaartse grens als niet zeker genoeg te beoordelen om ze mee te nemen in de rekenregel voor de sedimentbehoefte. Dit is gebaseerd op het feit dat de *richting* van de transporten wel vertrouwd wordt maar de *grootte* van de transporten niet voldoende.

Ook is een aantal aannames gedaan die de resultaten beïnvloeden:

1. De aanname dat de Ondergrens Afname Dieptevariatie OAD en de zeewaarts daarvan gelegen Minimum Waarde MW bruikbare dieptewaarden zijn die iets zeggen over het morfologisch gedrag van het kustprofiel in de tijd, en vervolgens dat beide waarden gekoppeld kunnen worden aan tijdschalen van respectievelijk 50 en 200 jaar. Met name de koppeling van MW aan een tijdschaal van 200 jaar is onzeker.
2. De aanname dat de gekozen dieptewaarden ten opzichte van NAP/MSL gehandhaafd kunnen blijven bij zeespiegelstijging. De gegeven grensdieptes kunnen in principe meegroeien met een stijgende zeespiegel. Voor het bepalen van de sedimentbehoefte tot 2035 speelt dit geen rol van betekenis. Uitgaande van de huidige zeespiegelstijging van 1,86 mm/jaar betreft het 2,8 cm stijging tot 2035, wat verwaarloosbaar is gezien de andere onzekerheden. De 2,8 cm zal ook qua morfodynamiek op de diepe vooroever niet meetbaar of onderscheidbaar zal zijn.

Voor toepassing van het huidige advies voor het bepalen van de sedimentbehoefte tot 2035 zijn dit geen risicovolle factoren.

## 2.2 Advies m.b.t. de sedimentbehoefte van het kustfundament

In paragraaf 1.3.2 staat de achtergrond van de tweede beleidsvraag beschreven. De vraag luidt:

<b>Beleidsvraag 2</b>	<b>Wat is de sedimentbehoefte van het kustfundament, om het kustfundament te laten meegroeien met de zeespiegelstijging?</b>
-----------------------	--

De sedimentbehoefte van het kustfundament is gedefinieerd als de hoeveelheid zand die nodig is om het kustfundament te laten meegroeien met zeespiegelstijging. Daarvoor moeten ook zandverliezen uit het kustfundament worden gecompenseerd. De sedimentbehoefte kan worden bepaald aan de hand van een rekenregel, zoals geïntroduceerd in paragraaf 1.3.2.

Het onderzoek binnen Kustgenese 2.0 richtte zich op vier termen uit deze rekenregel: (i) de mogelijke positie van de zeewaartse grens van het kustfundament (bepalend voor het oppervlakte van het kustfundament); (ii) het netto zandtransport over de zeewaartse grens; (iii) het netto zandtransport van kustfundament naar de Waddenzee; en (iv) de bodemdaling in het kustfundament door winning van delfstoffen en grondwater. Voor de overige termen is gebruik gemaakt van bestaande kennis, of is afgetapt uit ander onderzoek.

De beleidsvraag wordt beantwoord voor de tijdsperiode tot 2035 en voor de periode 2035-2100. Voor de periode tot 2035 wordt de huidige snelheid van zeespiegelstijging ( $1,86 \pm 0,12$  mm/j) aangehouden. Voor de periode 2035-2100 wordt met verschillende scenario's voor de snelheid van zeespiegelstijging gerekend.

De resultaten en het advies voor Beleidsvraag 2 zijn hieronder samengevat.

## 2.2.1 Bepaling van de termen in de rekenregel

### Oppervlak van het kustfundament

De mogelijkheid voor een alternatieve positie van de zeewaartse grens van het kustfundament maakt deel uit van het antwoord op de eerste beleidsvraag (zie paragraaf 2.1). Hierdoor kan de oppervlakte van het kustfundament veranderen. Dat heeft direct invloed op het sedimentvolume dat nodig is om dit oppervlak mee te laten groeien met zeespiegelstijging. Afhankelijk van de gekozen variant van de zeewaartse grens, kan dit volume variëren van ca 5,6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar tot ca. 8,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (huidige grens), voor de sedimentbehoefte tot 2035. Alle waarden staan weergegeven in Tabel 2.2.

### Transport over de zeewaartse grens

Het transport over de zeewaartse grens is bepaald met het *Dutch Lower Shoreface Model*. Dit model is speciaal ontwikkeld om inzicht te krijgen in de zandtransporten op de diepe vooroever. De berekeningen geven aan dat het zandtransport over de zeewaartse grens landwaarts is gericht. De onzekerheid over landwaartse richting van het zandtransport is gering. Over de grootte van dit transport wordt vanwege de grote onzekerheden geen uitspraak gedaan, onder andere door het niet volledig in beeld hebben van het effect van stormen. Daarom wordt geadviseerd om in de rekenregel geen rekening te houden met een netto landwaarts zandtransport over de zeewaartse grens.

### Transport naar de Waddenzee en Eems-Dollard

Voor de periode tot 2035 is het zandtransport naar de Waddenzee afgeleid uit de bodemdata en daaruit afgeleide sedimentbalansen. De aanname is dat het zandtransport representatief is tot 2035. Het bepaalde netto zandtransport naar de Waddenzee is 4,8 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Voor het netto zandtransport naar het Eems-Dollard estuarium volgt uit een literatuuranalyse een transport van 1,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar .

Voor de periode 2035-2100 is een modelvoorspelling gedaan voor meerdere zeespiegelstijgings-scenario's. Bij zeespiegelstijging gelijk aan de huidige snelheid daalt het netto zandtransport naar de Waddenzee in 2100 licht. Bij een snelheid van 8 mm/jaar wordt een toename van het netto zandtransport naar de Waddenzee (exclusief Eems-Dollard) van 40% berekend in 2100. Voor het bepalen van het zandtransport naar de Eems-Dollard is aanvullend onderzoek nodig.

### Bodemdaling door winning van delfstoffen en grondwater

De bodemdaling is bepaald op basis van literatuur, per component ervan (natuurlijke, geologische componenten en menselijke bijdragen). Voor de bodemdaling door winningen is gebruik gemaakt

van projecties over de periode 2018-2050. Het totaalresultaat is een verwachte sedimentbehoefte door bodemdaling van 0,5 miljoen m<sup>3</sup>/per jaar.

### Overige termen uit de rekenregel

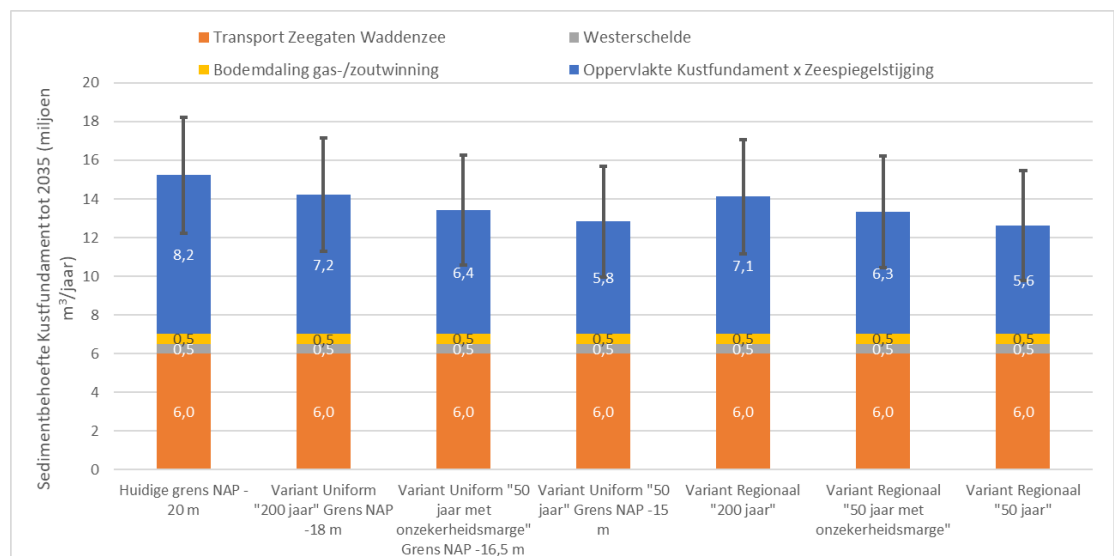
Het transport naar de Westerschelde wordt afgeleid uit trends in het sedimentvolume van de Westerschelde. De huidige trend volgt uit consistente observaties sinds 2000. Of de huidige trend representatief is voor de periode tot 2035 is onzeker. Ten behoeve van het gebruik in de rekenregel wordt aanbevolen om voor de periode tot 2035 uit te gaan van een zandverlies uit het kustfundament naar de Westerschelde van 0,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. In de periode 2035-2100 neemt bij versnelde zeespiegelstijging het zandverlies mogelijk af.

Voor het transport over de staatsgrenzen wordt momenteel met de bestaande aanname 'geen zandtransport' gerekend. Het is bekend dat er wel degelijk sedimenttransport is over de staatsgrenzen, maar wat deze waarde wel moet zijn, is niet bekend. Ook voor het transport over de landwaartse grens is met de bestaande aanname 'geen zandtransport' gerekend. Dit volume is beperkt en daarmee is het effect van deze aanname zeer beperkt op de uitkomst.

## 2.2.2 Invullen van de rekenregel

### Sedimentbehoefte kustfundament tot 2035

Met de resultaten van het onderzoek geeft de rekenregel de sedimentbehoefte van het kustfundament. Voor de periode tot 2035 is dit gedaan in verschillende varianten. De uitkomsten hiervan variëren van 12,6 ± 2,8 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (variant "Regionaal 50 jaar") tot 14,2 ± 2,9 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (variant "Uniform 200 jaar"). Zie Figuur 2.2 en Tabel 2.2, waarin de berekende totale sedimentbehoefte, afhankelijk van de verschillende opties voor de zeewaartse grens, zijn weergegeven.



Figuur 2.2 Sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035 (in miljoen m<sup>3</sup>/jaar), voor de verschillende varianten van een zeewaartse grens. De gestapelde balken geven de verwachte bijdrage per term. De zwarte lijn geeft de tweezijdige bandbreedte aan voor de vier termen gecombineerd.

Tabel 2.2 Verwachte sedimentbehoefte tot 2035, bij de diverse varianten voor de ligging van de zeewaartse grens van het kustfundament.

Sedimentbehoefte tot 2035 (in miljoen m <sup>3</sup> /jaar), uitgesplitst per term							
	Varianten voor zeewaartse grens kustfundament						
	Huidige grens (NAP -20 m)	Uniform NL Kust			Regionaal gedifferentieerd		
		200 jaar (NAP -18 m)	50 jaar met onzekerheidsmarge (NAP -16,5 m)	50 jaar (NAP -15 m)	200 jaar	50 jaar met onzekerheidsmarge	50 jaar
<b>Oppervlakte kustfundament x Zeespiegelstijging</b>	8,2 ± 0,5	7,2 ± 0,5	6,4 ± 0,4	5,8 ± 0,4	7,1 ± 0,5	6,3 ± 0,4	5,6 ± 0,4
<b>Transport Zeegaten Waddenzee</b>	6,0 ± 1,7 (waarvan 1,2 ± 0,8 voor Eems-Dollard)						
<b>Bodemdaling delfstoffen / grondwater</b>	0,5 ± 0,3						
<b>Transport zeewaartse grens</b>	0						
<b>Transport Westerschelde</b>	0,5 ± 0,5						
<b>Transport staatsgrenzen België en Duitsland</b>	0						
<b>Transport landwaartse grens</b>	0						
<b>TOTAAL</b>	15,2 ± 3,0	14,2 ± 2,9	13,4 ± 2,9	12,8 ± 2,9	14,1 ± 3,0	13,3 ± 2,9	12,6 ± 2,8

### Sedimentbehoefte kustfundament, doorkijk tot 2100

Bij ongewijzigde toepassing van de rekenregel neemt de sedimentbehoefte toe tot maximaal 40 miljoen m<sup>3</sup>/jaar in de variant "Uniform 200 jaar" bij een zeespiegelstijging van 8 mm/jaar. De toename wordt vrijwel geheel bepaald door de lineaire relatie in de rekenregel tussen het oppervlakte van het kustfundament en de relatieve zeespiegelstijging. Het transport naar de Waddenzee neemt tot 2100 slechts beperkt toe bij versnelde zeespiegelstijging, omdat de zeegatsystemen vertraagd reageren op de verandering van zeespiegelstijging.

De validiteit van ongewijzigde toepassing van de rekenregel voor sedimentbehoefte van het kustfundament bij versnelde relatieve zeespiegelstijging is niet getoetst. Het wordt aanbevolen de validiteit van de rekenregel te toetsten voor gebruik bij versnelde zeespiegelstijgingsscenario's.

#### 2.2.3 Omgaan met resterende onzekerheden

De totale sedimentbehoefte van het kustfundament bevat de volgende onzekerheden:

- De oppervlakte van het kustfundament is afhankelijk van de keuze voor de positie van de zeewaartse grens, en die bevat nog onzekerheden. Zie ook paragraaf 2.1.3.
- De zandtransporten naar de estuaria Westerschelde en Eems-Dollard zijn onzeker. Voor de Westerschelde gaven eerdere studies zandtransport van Westerschelde naar

kustfundament aan. De meest recente studie <sup>(7)</sup> wijst op een trendbreuk en dus zandtransport van kustfundament naar Westerschelde. Voor de Eems-Dollard is het zandtransport gebaseerd op beperkte gegevens en grote aannames (verhouding zand / slib, verhouding Nederland / Duitsland). In beide gevallen is het opgenomen zandtransport de best mogelijke schatting op basis van de huidige inzichten, maar beide zijn met onzekerheid omgeven. Dit geldt in sterkere mate voor de Eems-Dollard dan voor de Westerschelde.

- Andere onzekerheden zijn de grootte van het transport over de zeewaartse grens, en de netto uitwisseling over de staatsgrenzen, die nu allebei bij invullen van de rekenregel op 0 m<sup>3</sup>/jaar zijn gesteld. Voor het transport over de zeewaartse grens wordt het aannemelijk geacht dat dit transport landwaarts gericht is. Door voor deze term een uitwisseling van 0 m<sup>3</sup>/jaar aan te houden in de balans, wordt de sedimentbehoefte van het kustfundament mogelijk overschat. De netto uitwisseling over de staatsgrenzen met België en Duitsland is door Deltares niet onderzocht. De vigerende aanname dat dit 0 m<sup>3</sup>/jaar is, is vrijwel zeker onjuist (het netto transport vanuit België zal niet gelijk zijn aan het netto transport richting Duitsland). Dit zou modelmatig en in samenwerking met de aangrenzende landen onderzocht kunnen worden.

Samenvattend is beoordeeld dat, voor het bepalen van de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035, zowel de meest waarschijnlijke waarde als de bandbreedte voldoende zeker zijn.

## 2.3 Advies m.b.t. mogelijkheden voor ingrepen (suppleties) bij buitendelta's

In paragraaf 1.3.3 staat de achtergrond van de derde beleidsvraag, die luidt:

<b>Beleidsvraag 3</b>	<b>Wat zijn de mogelijkheden voor suppleties bij buitendelta's, en welke meerwaarde kan dit bieden voor het kustbeheer?</b>
-----------------------	---

Voor de beantwoording is onderzoek gedaan naar de morfologische veranderingen en onderliggende processen van het Amelander Zeegat. Het Amelander Zeegat speelt een prominente rol in Kustgenese 2.0. Zo is door Rijkswaterstaat en het SEAWAD onderzoeksprogramma een groot meetprogramma uitgevoerd en is door Rijkswaterstaat een pilotsuppletie op de buitendelta geplaatst. De inzichten uit het onderzoek zijn in het licht geplaatst van het kustbeheer in het algemeen, en beheer van buitendelta's in het bijzonder. De resultaten en het advies zijn hieronder samengevat.

Drie (sub)vragen zijn beantwoord:

### **Wat is de rol van de buitendelta in het kuststelsel?**

Op de grote schaal, de schaal van de Waddenzee en kustzone, is de buitendelta een zandbuffer, waar grote hoeveelheden zand in opgeslagen zijn of van waaruit zand beschikbaar kan komen. Op de kleinere schaal van individuele zeegaten beïnvloedt de buitendelta de lokale dynamiek van de kustprocessen en vormt een doorgeefluik in de sedimentstroom langs de eilandkusten.

---

<sup>7</sup> Elias, E.P.L.; J. Cleveringa; A.J.F. van der Spek (2020, in voorbereiding). Sediment Budget Westerschelde - Memo met voorlopige resultaten. Deltares memo.

### **Moeten buitendelta's gehandhaafd blijven?**

De Waddenzee met zijn huidige karakteristieken kan alleen in stand gehouden worden als er een balans is tussen (i) de vergroting door relatieve zeespiegelstijging van de ruimte die in de Waddenzee beschikbaar is voor de afzetting van sediment (de accommodatieruimte); (ii) de sedimenttransportcapaciteit door de keel van het zeegat; en (iii) het zandaanbod vanuit de kustzone. Als er niet voldoende zand beschikbaar is op de buitendelta, zullen de aanliggende kusten het zand 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 doorgeefluik, zandbuffer en kustbeschermer kunnen blijven uitoefenen. Met de huidige kennis is het nog niet te zeggen welke minimale omvang hiervoor nodig is.

### **Kunnen de (morfologische processen op de) buitendelta's gebruikt worden voor kustbeheer (zandbuffer, kustlijnhandhaving, suppletielocatie)?**

De buitendelta vormt een gebied waarop grote hoeveelheden zand kunnen worden aangebracht, bijvoorbeeld in de vorm van een buitendeltasuppletie zoals uitgevoerd bij Ameland. Op grote schaal dragen suppleties altijd bij tot instandhouding van het zandvolume van de buitendelta. Na aanbrengen verspreiden de natuurlijke processen dit zand. De bevinding dat het gedrag van de buitendelta gestuurd kan worden door ingrepen op de schaal van individuele banken of geulen, biedt mogelijkheden voor het kustbeheer. Dan moeten de onderliggende processen en mechanismen wel voldoende begrepen worden. Met behulp van buitendeltasuppleties kan ingespeeld worden op de dynamiek van platen en geulen in de buitendelta, zodat meer zand richting de kust beweegt, waar het kustlijnerosie mitigeert, voordat er kustlijnhandhaving nodig is via reguliere suppleties.

Om de processen van het zeegatsysteem te behouden bij zeespiegelstijging is meewerken met de natuurlijke processen de beste manier. Dat pleit voor de keuze voor toepassing van buitendeltasuppleties, die bij versnelde zeespiegelstijging mogelijk zelfs een onmisbaar onderdeel van de suppletiestrategie kunnen worden.

# 3 Belangrijkste conclusies en aanbevelingen voor vervolg

## 3.1 Belangrijkste conclusies voor de beleidsadviezen

In deze paragraaf staan de belangrijkste conclusies die het Kustgenese 2.0 onderzoek heeft opgeleverd. Een uitgebreide toelichting op elk van deze conclusies is terug te vinden in de drie Technische Adviezen.

### 3.1.1 Belangrijkste conclusies m.b.t. de zeewaartse grens van het kustfundament

- De variatie in bodemligging over het kustprofiel is de (enige) geschikte indicator voor het bepalen van de zeewaartse grens van het kustfundament.
- Een netto landwaarts zandtransport op de diepe vooroever is aannemelijk.
- Het is mogelijk om – uniform langs de Nederlandse kust – de zeewaartse grens landwaarts te verplaatsen voor een tijdschaal van zowel 50 jaar als 200 jaar.
- Bij een keuze voor een regionaal gedifferentieerde zeewaartse grens kan de diepe vooroever worden ingedeeld in 5 regio's: Delta, Holland, Texel, overige Waddeneilanden en buitendelta's Waddengebied.
- Ga tot 2035 uit van de 50 jaar variant, eventueel met een onzekerheidsmarge.

### 3.1.2 Belangrijkste conclusie m.b.t. de sedimentbehoefte van het kustfundament

- Tot 2035 is de sedimentbehoefte van het kustfundament met voldoende zekerheid vast te stellen.
- Voor de sedimentbehoefte van het kustfundament tot 2035 kan van de meest waarschijnlijke waarde uitgegaan worden.
- Het is mogelijk om – uniform langs de Nederlandse kust of regionaal gedifferentieerd – de zeewaartse grens van het kustfundament landwaarts te verplaatsen voor een tijdschaal van zowel 50 jaar als 200 jaar.
- Ga tot 2035 voor de zeewaartse grens van het kustfundament uit van de 50 jaar variant, eventueel met een onzekerheidsmarge.
- Tot 2050 hoeft voor het zandtransport naar de Waddenzee geen rekening te worden gehouden met zeespiegelstijgingsscenario's.
- Een snellere zeespiegelstijging vraagt om toetsing van aannamen van de rekenregel.

### 3.1.3 Belangrijkste conclusies m.b.t. de mogelijkheden van buitendelta's voor kustbeheer

- Buitendeltasuppleties kunnen gebruikt worden om het huidige beheer te optimaliseren. Voor toekomstig beheer zijn ze wellicht essentieel.
- Het is gewenst dat de buitendelta's gehandhaafd blijven op een zodanige omvang dat ze hun functies als doorgeefluik, sedimentbuffer en kustbeschermer kunnen blijven uitoefenen.

- De ontwikkeling van de buitendelta kan aangedreven worden vanuit de kleinste schaal, de individuele banken.
- De buitendelta is op te delen in verschillende zones, waarin het gedrag of de processen verschillen. Dit kan helpen om te bepalen waar een suppletie het beste geplaatst kan worden om zo optimaal mogelijk bij te dragen aan de beheerdoelstellingen.

## 3.2 Belangrijkste aanbevelingen

Uit het Kustgenese 2.0 onderzoek komen verschillende aanbevelingen voort. Dit zijn aanbevelingen om resterende onzekerheden in het kustbeleid te verkleinen en kennisleemtes te vullen die in het huidige onderzoek nog niet zijn opgepakt. Daarnaast worden aanbevelingen gedaan om nieuw geïdentificeerde kennisleemtes in te vullen, die relevant worden geacht voor toekomstig kustbeleid en -beheer.

### Aanbeveling 1

**Onderzoek hoe de (met de rekenregel) berekende sedimentbehoefte zich in de toekomst gaat verhouden tot de suppletiebehoefte**

Op langere termijn gaan versnelde zeespiegelstijging en de hiertegen te nemen maatregelen de ontwikkeling van het kustprofiel bepalen. Op dit moment is er weinig inzicht in deze ontwikkelingen. Afhankelijk van de suppletie strategie en aannemende dat de basiskustlijn onderhouden wordt en dus op dezelfde positie blijft, zal het kustprofiel op termijn waarschijnlijk steiler worden. Wat dit betekent, is op dit moment niet bekend. Gezien deze onzekerheden op langere termijn, raden wij aan om het concept van een meegroeiend kustfundament, in samenhang met het handhaven van de kustlijn door middel van zandsuppleties, opnieuw te bezien. Ook moet verder getoetst worden of (ongewijzigde toepassing van) de huidige rekenregel voor de sedimentbehoefte geëxtrapoleerd kan worden voor scenario's met versnelde zeespiegelstijging.

### Aanbeveling 2

**Onderzoek de uitwisseling tussen het kustfundament en de Westerschelde, inclusief de uitwisseling over de Nederlands-Belgische staatsgrens.**

De afgelopen twee eeuwen ruimde de Westerschelde uit. Recente data leren dat die trend sinds 2000 is veranderd in een gemiddeld zandtransport van 0 - 1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar van het kustfundament naar de Westerschelde. Ten behoeve van de term in de rekenregel wordt aanbevolen om voor de periode tot 2035 uit te gaan van een zandverlies uit het kustfundament naar de Westerschelde van 0,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. De aanname dat de huidige trend het meest representatief is voor de periode tot 2035 kan niet verder onderbouwd worden en is daarmee onzeker. Er zijn hypothesen voor de veranderde trend sinds 2000, maar deze moeten nog worden onderzocht en getoetst.

Een tweede issue rondom de Westerscheldemonding is de onbekende uitwisseling over de Nederlands-Belgische staatsgrens. Samen met de Vlaamse overheden kan hier een beter beeld van gekregen worden. Voor gezamenlijk onderzoek naar de ontwikkeling van de kustzone is samenwerking opgezet. Geadviseerd wordt om deze samenwerking uit te bouwen



Voor het Eems-Dollard estuarium geldt een vergelijkbare aanbeveling als voor de Westerschelde. Het zandtransport van het kustfundament naar de Eems-Dollard is erg onzeker en de sedimentbalans van het estuarium is erg complex. Ook hier speelt het issue dat de uitwisseling over de Nederlands-Duitse staatsgrens onbekend is. Deze staatsgrens loopt in de lengte door het estuarium heen en is bovendien omstreden, net als de (eveneens omstreden) Nederlands-Duitse grens in zee. Deltares heeft geen onderzoek gedaan naar deze uitwisselingen. Aanbevolen wordt om samen met het Duitse bevoegd gezag 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 lijn in de Noordzee.

Samenhangend met voorgaande aanbevelingen, is een beter inzicht in de processen op de diepe vooroever nodig. Het is nu nog onbekend hoe de ontwikkeling van het kustprofiel op dieper water doorwerkt in de ontwikkeling van de kustfuncties.

Uit het onderzoek voortkomende onderzoeksvragen voor vervolg zijn:

1. Wat is de verklaring voor de toename van het landwaarts zandtransport in landwaartse richting in het gebruikte model en waar komt dit sediment terecht? Maak een update van de sedimentbalans van de Nederlandse kust.
2. Wat is de invloed van de stormstatistiek op het sedimenttransport over de zeewaartse grens van het kustfundament en op de diepe vooroever? Wat zijn de onzekerheden in de berekening van zandtransport op diep water en hoe kunnen die verkleind worden?
3. Onderzoek het voorkomen van zeewaarts gerichte zandtransporten over de diepe vooroever tijdens storm, met name grootte en frequentie, en de daaropvolgende verspreiding van het zand.
4. Wat is de rol van de shoreface-connected ridges voor de centrale Hollandse kust in de ontwikkeling van de diepe vooroever?
5. Zoek uit hoe NAP peilen in relatie tot geologische bodemdaling in de gemeten (dus relatieve) zeespiegelstijging zijn opgenomen.

Het onderzoek heeft zich gericht op het Amelanders Zeegat. Dezelfde processen van sediment-bypassing spelen in principe op alle buitendelta's, maar de exacte uitwerking op de schaal van het zeegat is voor ieder zeegat verschillend. Voor de inpassing van buitendeltasuppleties in een sediment-bypassing cyclus is gedetailleerd inzicht in en voorspelling van de dynamiek van platen en geulen nodig. Dit vraagt om een gedetailleerde uitwerking van het sediment-bypassing mechanisme voor elk zeegat.

Ook is er een belangrijk verschil tussen de buitendelta's van de oostelijke en westelijke Waddenzee. De buitendelta's in de oostelijke Waddenzee zijn waarschijnlijk in dynamisch evenwicht met het achterliggende bekken. Hier lijkt handhaving van de huidige buitendeltavolumes en -omvang een logische keuze, hoewel het effect van (versnelde) zeespiegelstijging wel onderzocht moet worden. In de Westelijke Waddenzee is er nog veel sediment nodig voor het hervinden van evenwicht na de afsluiting van de Zuiderzee. Het is de vraag of dit volume met buitendeltasuppleties voldoende aangevuld kan worden. Voor de toepassing van buitendeltasuppleties in de Westelijke Waddenzee is daarom uitgebreider aanvullend onderzoek nodig

Aanvullende kennis kan ook worden verkregen uit de analyses binnen het SEAWAD programma, uit de doorgaande monitoring en analyse van de pilot suppletie, en door de toetsing van de concepten en hypothesen met behulp van aanvullende morfologische modellering. Aanbevolen wordt om na 2021, als het SEAWAD programma en de monitoring van de pilot suppletie zijn afgerond, de kennis opnieuw te integreren ter aanvulling en ondersteuning van het beleidsadvies omtrent suppleties bij buitendelta's en de meerwaarde hiervan voor kustbeheer.

#### Aanbeveling 6

#### Verdere modelverbetering om het gedrag van buitendeltasuppleties te voorspellen in de toekomst

De ontwikkeling van (proces-gebaseerde) modellen binnen Kustgenese 2.0, was onder andere gericht op het beter (morfologisch) kunnen voorspellen van het gedrag van buitendeltasuppleties. Voor dit doel is voorafgaand aan Kustgenese 2.0 een driestappenplan opgesteld. Bij aanvang van Kustgenese 2 werd al voorzien dat het niet haalbaar zou zijn om alle drie de stappen binnen de termijn van het Kustgenese 2.0 project te kunnen zetten. Wel was Kustgenese 2.0 er op gericht om belangrijke voortgang te boeken in de eerste twee stappen.

Daartoe is een dieptegemiddeld model van het Amelandse Zeegat opgezet en gevalideerd. Door problemen met onder andere zeer lange rekentijden, was de beoogde opschaling naar middellangetermijn-voorspellingen praktisch nog niet uitvoerbaar. In de afgelopen twee jaar is de functionaliteit om morfologische voorspellingen te doen ook beschikbaar gekomen in Delft3D-FM (Flexible Mesh). Dit kan een aanzienlijke reductie in rekentijd opleveren. Deze ontwikkeling biedt nieuwe mogelijkheden, en daarom wordt aangeraden om de verdere ontwikkeling van het model in Delft3D-FM uit te voeren.

Voor een beter begrip van de uitwisseling tussen bekken en buitendelta, is een model van de gehele Waddenzee noodzakelijk. Met behulp van lokale verfijning of uitsnedes zijn dan morfologische voorspellingen voor een enkel zeegat mogelijk.

Als algemene aanbeveling geldt dat het eerdere 'driestappenplan voor de modelontwikkeling' bijgewerkt zou moeten worden, met de nieuwe inzichten en de nieuwe mogelijkheden.

### 3.3 Tot slot

Met deze integrale synthese sluit Deltares een driejarig onderzoekstraject af. Een traject dat begon met uitgebreide vraagarticulatie en eindigde met de beantwoording van deze vragen en het identificeren van resterende vragen. Dit is een mooi voorbeeld van de cyclus van kennisontwikkeling.

Niet alleen inzicht in de kennis die beschikbaar is, maar ook inzicht in de kennis die nog ontbreekt, is van belang voor de toepassing in beheer en beleid. Dat stuurt een volgende fase van de

kenniscyclus aan. Het benadrukt ook de meerwaarde en noodzaak van cyclisch werken door de Rijksoverheid met partners, van kennispartijen als universiteiten en instituten (zoals Deltares) tot marktpartijen en NGO's.

Kenniscycli hebben verschillende termijnen. Bij universiteiten is vier jaar gebruikelijk, zoals voor AIO-onderzoeken. Bij Deltares is voor de programmering van toegepast onderzoek voor het Ministerie van IenW een termijn van één jaar het meest gebruikelijk. Een programma als Kustgenese 2.0, dat hier tussenin zit, biedt meerwaarde voor verbinding. De samenwerking tussen partijen die gezamenlijk aan een reeks kennisvragen werken, versterkt ook op lange termijn de kennisinfrastructuur en de kennisborging. Dit is een moeilijk kwantificeerbare, maar zeer waardevolle opbrengst van Kustgenese 2.0.



# A Beantwoording van de onderzoeksvragen

Rijkswaterstaat heeft Deltares al in een vroeg stadium betrokken bij de vraagarticulatie van Kustgenese 2.0. Het doel was om de drie beleidsvragen door te vertalen naar een reeks aan concrete en relevante kennis- en onderzoeksvragen. Al deze vraagstukken, en de beknopte antwoorden hierop, zijn weergegeven in onderstaande tabellen.

## A.1 Onderzoeksvragen behorend bij Beleidsvraag 1, over de mogelijkheden voor een andere zeewaartse grens van het kustfundament

Kennisvragen	Onderzoeksvragen	Resultaat / voortgang
<b>Welk deel van het kustprofiel onder water draagt actief bij aan de stabiliteit van de kust (en daarmee de instandhouding van de functies daarbinnen)?</b>		
	<i>Wat is de opbouw van de kust in termen van bodemvormen, sedimentaire structuren, bodemopbouw en korrelgrootteverdelingen?</i>	Er is een duidelijk onderscheid tussen de zeebodem en de diepe vooroever. De zeebodem heeft een relatief geringe spreiding in korrelgroottes en regelmatige patronen van megaribbels. De diepe vooroever is meer gevarieerd. Bodemvormen en korrelgrootteverdelingen zijn afhankelijk van de geologische opbouw en actuele processen. De korrelgroottes op de diepe vooroever zijn fijner dan op de zeebodem.
	<i>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?</i>	Golven spelen een belangrijke rol in deze uitwisseling. De bijdrage van dichtheid- en windgedreven stromingen kan aanzienlijk zijn.
	<i>Hoe groot zijn, met focus op de huidige toestand van het systeem, de dwars- en langstransporten (bruto/netto) en hoe variëren deze over het kustprofiel, per deelgebied?</i>	De gemodelleerde landwaartse netto zandtransporten bedragen ca. 3 miljoen kubieke meter per jaar over de -20 m contour en ca. 7 miljoen kubieke meter per jaar over de -16 m contour. De gemodelleerde kustlangse zandtransporten zijn één tot twee grootteordes groter.
	<i>In welke deelgebieden (of zones) kan het kustprofiel opgedeeld worden, waarbij sprake is van een vergelijkbaar (stabiel) profiel, opbouw en dynamiek?</i>	Het kustprofiel kan worden opgedeeld in een golfgedomineerde ondiepe vooroever (de brandingszone) en een diepe vooroever waar meesttijds stroming domineert en soms, tijdens storm, golfwerking. De grens tussen beide zones varieert met de golfwerking, langere en hogere golven dringen dieper door waardoor deze grens zeewaarts verschuift.
	<i>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, GZN, GLW)?</i>	De langjarige variatie in de diepteligging van het gemiddelde kustprofiel neemt in zeewaartse richting af. De ondergrens van de afname van deze dieptevariatie geeft voor een kustvak de beste indicatie voor een zeewaartse grens. Hieraan kan een marge toegevoegd worden om onzekerheden af te dekken. Het huidige referentievlak is NAP. Aangezien dit vlak vrijwel identiek is aan GZN, kan ook dit laatste vlak gebruikt worden. Hiermee kunnen gekozen grenzen meegroeien met zeespiegelstijging.
<b>Zijn er (niet-morfologische) gevolgen of consequenties die van (groot) belang zijn voor de keuze van een andere zeewaartse begrenzing?</b>		
	<i>Wat zijn niet-morfologische overwegingen die kunnen meespelen bij de keuze voor een zeewaartse begrenzing?</i>	<p>Momenteel valt de landwaartse grens van de zandwinning op de Noordzee samen met de zeewaartse grens van het kustfundament. Het is mogelijk dat een alternatieve keuze voor de zeewaartse grens van het kustfundament, de discussie zal opwerpen over het meeverschuiven van de landwaartse grens van het zandwingegebied.</p> <p>Een landwaartse verplaatsing van de grens van het kustfundament betekent een kleiner zandvolume om het kustfundament te laten meegroeien met zeespiegelstijging. Dit draagt bij aan het reduceren van de CO<sub>2</sub> uitstoot en het behalen van de klimaatdoelstellingen.</p>

De overige niet-morfologische aspecten betreffen het gebruik door bijvoorbeeld kustvisserij in het gebied tot aan de doorgaande NAP -20 m dieptecontour en de functie "natuur" op delen van de kust. Hier is nog geen onderzoek naar gedaan.

## A.2 Onderzoeksvragen behorend bij Beleidsvraag 2, over de sedimentbehoefte van het kustfundament

Kennisvragen	Onderzoeksvragen	Toelichting
<b>Hoe groot is de netto uitwisseling van zand over de zeewaartse grens van het kustfundament, ook in acht nemende de opties voor een andere zeewaartse begrenzing?</b>		
	<i>Hoe groot is de totale netto uitwisseling van zand over de zeewaartse begrenzing van het kustfundament?</i>	Modelberekeningen maken aannemelijk dat het netto sedimenttransport over de zeewaartse grens landwaarts gericht is. Dit zou in de orde van enkele miljoenen m <sup>3</sup> /jaar kunnen zijn, en neemt toe naarmate de zeewaartse begrenzing ondieper gekozen wordt. De onzekerheden in de berekeningen zijn nog te groot om er vooralsnog een getalswaarde aan te geven. Maar dat het netto sedimenttransport landwaarts gericht is, is vrij zeker.
	<i>Hoe groot is de onzekerheid in deze netto uitwisseling, als gevolg van de (on)nauwkeurigheid in de dwarstransporten over de zeewaartse grens?</i>	Omdat de transporten langs de kust veel groter zijn dan de transporten dwars op de kust, kan een kleine onzekerheid over de kusthoek resulteren in vrij grote onzekerheden over de transporten. Daarnaast is er ook nog onzekerheid over de rol van stormen, die zich nu nog niet laat kwantificeren.
	<i>Is het nodig, en is het mogelijk, om deze uitwisseling mee te nemen bij het bepalen van de sedimentbehoefte?</i>	Er zal een getal moeten worden gehanteerd ten behoeve van de bepaling. Gezien de onzekerheden en de relatief beperkte positieve bijdrage wordt geadviseerd om hiervoor 0 miljoen m <sup>3</sup> /jaar aan te nemen.
<b>Hoe groot is de netto uitwisseling van zand richting de getijdebekken van de Waddenzee?</b>		
	<i>Wat zijn de drijvende (dominante) sedimenttransportprocessen en – mechanismen en welke bijdrage leveren ze aan de netto import of export van het bekken?</i>	De drijvende sedimenttransportprocessen zijn getij- en golfgedreven stromingen, waarbij het sedimenttransport versterkt wordt door golfwerking die het sediment in suspensie houdt. Uit sedimentatiemetingen blijkt dat de bekkens importerend zijn. Daarbij spelen diverse mechanismen, zoals getij-asymmetrie, de jaarlijkse "gang" in het weer, estuariene circulatie en de morfologie (plaat-geul interactie, wantij transport) een rol. Deze zijn echter nog onvoldoende bestudeerd om de afzonderlijke netto bijdragen te kunnen kwantificeren.
	<i>Hoe beïnvloeden de morfologische veranderingen in het bekken en op de buitendelta de processen en mechanismen die het netto transport door een zeegat bepalen?</i>	Het wordt steeds duidelijker dat er een sterke wisselwerking is tussen de ontwikkeling in het bekken en de ontwikkelingen op de buitendelta's (zie ook hoofdstuk buitendelta's). Daarnaast is er netto transport over de wantijen die mede bepalend is voor de sedimentatie. De kennisontwikkeling hierover verdient nadere aandacht.
	<i>Wordt de grootte van de netto import of export beïnvloed door het aanbod van extra sediment in de kustzone of de buitendelta?</i>	Er is geen reden om aan te nemen dat op dit moment extra sediment in de kustzone ook de grootte van de import of export van sediment door het zeegat beïnvloedt. In principe kunnen de transporten door de zeegaten gelimiteerd worden door de vraag van sediment in het bekken, het aanbod vanuit de kustzone en de transportcapaciteit door de zeegaten. In het huidige systeem lijkt er nog voldoende sediment in de kustzone aanwezig te zijn zodat dit niet als de limiterende factor wordt gezien. Het aanbrengen van extra sediment zal in dat geval niet leiden tot extra uitwisseling met de Waddenzee, maar draagt wel bij tot instandhouding van het kustsysteem.  De buitendelta's zijn (sterk) in volume afgenomen en doen dit met name in de Westelijke Waddenzee nog steeds. Op termijn kan dit de uitwisseling tussen buitendelta en Waddenzee wel beïnvloeden. Hoe dat precies uitwerkt is nu niet te voorspellen. Door het aanbrengen van extra sediment is het mogelijk om het huidige systeem in stand te houden. Dit lijkt voorlopig een robuuste en veilige aanpak.

<i>Wat zijn de afzonderlijke bijdragen van zand en slib aan de sedimentatie in de Waddenzee, als gevolg van de ingrepen en zeespiegelstijging? En wat betekent dat voor de sedimentbehoefte?</i>	De volumebijdrage van slib wordt ingeschat te liggen tussen de 5-10% (Waddengemiddeld, exclusief de Eems-Dollard). De bijdrage van slib in de Eems-Dollard is veel hoger. In de berekeningen is 8% aangenomen voor het Waddengebied tot en met het Groninger Wad en 60% voor de Eems-Dollard.
<i>Hoe zal de netto uitwisseling zich naar verwachting ontwikkelen op een tijdschaal van 50 met doorkijk naar 200 jaar, en rekening houdend met verschillende scenario's voor ZSS?</i>	Tot 2035 wordt de netto uitwisseling geacht vergelijkbaar te zijn met de huidige sedimentatie. Voor de periode 2035-2100 neemt de sedimentatie als reactie op de afsluiting van de Zuiderzee geleidelijk af. Het zal dan aan de snelheid van zeespiegelstijging liggen of richting 2100 de sedimentatie afneemt (geen versnelling), of toeneemt (bij een eindsnelheid in 2100 van 4 mm/jaar of hoger). Voor 200 jaar is de uitwisseling nog niet onderzocht.
<b>Hoeveel sediment is nodig om het KF (volgens huidige en nieuwe begrenzing) op peil te houden in relatie tot bodemdaling?</b>	
<i>Welke natuurlijke &amp; antropogene oorzaken van bodemdaling zijn belangrijk bij het creëren van accommodatieruimte / sedimentvraag in het kustfundament (in verleden, heden en verwachte toekomst)?</i>	De beschouwde natuurlijke, geologische componenten zijn tektoniek en glacio-isostasie. Deze 4,5 cm/eeuw mag constant worden verondersteld in de tijd (dus over de komende eeuw) en is onderdeel van de gemeten relatieve zeespiegelstijging van $18,6 \pm 1,2$ cm/eeuw.  De antropogene bijdrage bestaat uit grootschalige winning van delfstoffen (gas, olie en zout) en van grondwater. Naar de accommodatieruimte / sedimentvraag in het verleden is geen onderzoek gedaan.
<i>Wat is de consequentie van het hanteren van een landelijk gemiddelde ten opzichte van regionale waarden voor bodemdaling, voor het bepalen van de sedimentbehoefte?</i>	De getallen voor de natuurlijke bodemdaling zijn opgenomen in het landelijk gemiddelde van de zeespiegelstijging, maar vertonen regionale variatie van 2,4 cm/eeuw in Vlissingen tot 6,0 cm/eeuw in Harlingen. Het beperkt aantal hoofdgetijdenstations is redelijk evenredig verspreid, maar niet zodanig dat het de voorspelde ruimtelijke spreiding van de bodemdaling geheel recht doet. Dit is nog niet onderzocht, maar zal voor de volumina leiden tot slechts kleine afwijkingen. De antropogene bodemdaling laat ook regionale verschillen zien, maar dat is meegenomen in de regionale sedimentbehoefte en heeft daarom geen consequenties.
<i>Waar treden deze bodemdalingscomponenten op, en in welke mate?</i>	De natuurlijke bodemdaling is een kantelende beweging die naar het NW het sterkst is (zie verder vorige vraag). De antropogene bodemdaling bestaat uit een reeks bodemdalingsschotels langs de Hollandse kust en vooral de kust van het Pinkegat / Friesche Zeegat.
<i>Wat is de accommodatieruimte / sedimentvraag die wordt gecreëerd door bodemdaling in het KF?</i>	Voor 2018-2050 is voor het kustfundament $0,51 \pm 0,26$ miljoen m <sup>3</sup> /jaar aangehouden op basis van voorziene winningen. Richting 2050 en erna is het aannemelijk dat olie- en gaswinning sterk zullen zijn afgenomen. Van winning van andere grondstoffen is nu nog niet bekend hoe deze bijdrage in de toekomst zal veranderen. Algemeen wordt verwacht dat de antropogene bodemdaling af zal nemen.

Onderstaande tabel behandelt de kennisvragen die niet tot het geprioriteerde onderzoek van Kustgenese 2.0 behoorden, maar waarvoor het antwoord is afgetapt van ander onderzoek, of waarvoor aannames zijn gedaan. Bij deze kennisvragen zijn geen aparte onderzoeksvragen geformuleerd.

Kennisvragen	Toelichting
<b>Hoe groot is de netto uitwisseling van zand met het Westerschelde estuarium?</b>	De netto sedimentatie van 1,5 miljoen m <sup>3</sup> /jaar vanaf 2000 laat een consistent andere ontwikkeling zien dan daarvoor, toen het bekken nog verdiepte. De meest plausibele aanname, dat de huidige trend het meest representatief is voor de periode tot 2035, kan niet verder onderbouwd worden en is daarmee onzeker. Door de onzekerheid in de bijdrage van slib (0,5-1,5 miljoen m <sup>3</sup> /jaar) aan de sedimentatie wordt het zandverlies uit het kustfundament berekend op $0,5 \pm 0,5$ miljoen m <sup>3</sup> /jaar. Ten behoeve van de term in de rekenregel wordt aanbevolen om voor de periode tot 2035 uit te gaan van een zandverlies uit het kustfundament naar de Westerschelde van 0,5 miljoen m <sup>3</sup> /jaar.
<b>Hoe groot is de netto uitwisseling van zand over de landwaartse grens van het KF?</b>	De huidige aanname is dat er geen netto uitwisseling is over de landwaartse grens. Gezien de positie van de landwaartse grens (de binnenduintrand), lijkt deze aanname plausibel. De aanname wordt daarom ongewijzigd overgenomen.

**Hoe groot is de netto uitwisseling van zand over de staatsgrenzen van het KF?**

De huidige aanname dat het netto transport over de staatsgrenzen met België en Duitsland elkaar opheffen, wordt daarom ongewijzigd overgenomen. Het is zeer waarschijnlijk dat deze aanname onjuist is, maar er is nog onvoldoende kennis om een getalswaarde te noemen.

### A.3 Onderzoeksvragen behorend bij Beleidsvraag 3, over de mogelijkheden van buitendelta's voor toekomstig kustbeheer

Kennisvragen	Onderzoeksvragen	Antwoorden
<b>Is het, morfologisch gezien, zinvol om suppleties op buitendelta's te overwegen?</b>		
	<i>Wat is de rol van de buitendelta in het kuststelsel?</i>	<p>Op de grote schaal, de schaal van de Waddenzee en de kustzone, is de buitendelta een zandbuffer, waar grote hoeveelheden zand in opgeslagen zijn of van waaruit zand beschikbaar kan komen. Op de kleinere schaal van de individuele zeegaten beïnvloedt de buitendelta de lokale dynamiek van de kustprocessen. De voorliggende geulen en banken bepalen in grote mate de kustlijnontwikkeling van de naastliggende eilanden. Daarnaast zorgt golfbreking op de buitendelta ervoor dat Noordzeegolven vrijwel niet doordringen tot in de Waddenzee.</p> <p>De buitendelta vormt een doorgeefluik in de kustzandstroom. Zand kan direct via de geulen getransporteerd worden en zo rechtstreeks het zeegat passeren, of het zand vormt banken op de buitendelta. Deze banken migreren van west naar oost en uiteindelijk verhelen ze met het benedenstroomse eiland. De bankverhelings bepalen voor een belangrijk deel, op zowel de korte als langere termijn, de kustlijnontwikkeling van het benedenstrooms gelegen eiland.</p>
	<i>Moeten buitendelta's gehandhaafd blijven?</i>	<p>Het is wenselijk dat de buitendelta's gehandhaafd worden op een zodanige omvang dat ze hun functie als doorgeefluik, zandbuffer en kustbeschermer kunnen blijven uitoefenen. De Waddenzee met zijn huidige karakteristieken kan alleen in stand gehouden worden als er een balans is tussen de vergroting van de accommodatieruimte in het bekken door (relatieve) zeespiegelstijging, de zandtransportcapaciteit door de keel van het zeegat en het zandaanbod vanuit de kustzone. Vanuit dit oogpunt is handhaving van de bufferwerking van de buitendelta essentieel. Echter, met de huidige kennis is het nog niet te zeggen welk minimale omvang hiervoor per zeegat nodig is. Als er niet voldoende zand beschikbaar is op de buitendelta dan zullen de aanliggende kusten het zand moeten leveren met aanzienlijke kusterosie tot gevolg. De buitendelta's van de oostelijke Waddenzee lijken in dynamisch evenwicht en meegroeien van het zandvolume met zeespiegelstijging zou kunnen volstaan. De buitendelta's van de westelijke Waddenzee zijn nog niet in dynamisch evenwicht. Wat daarbij de minimaal te handhaven omvang van de buitendelta's is, kan nog niet aangegeven worden.</p>
	<i>Kunnen de (morfologische processen op de) buitendelta's gebruikt worden voor kustbeheer (zandbuffer, kustlijnhandhaving, suppletielocatie)?</i>	<p>Buitendeltasuppleties kunnen gebruikt worden om het huidige beheer te optimaliseren. Voor toekomstig beheer zijn ze wellicht essentieel. Door zeespiegelstijging is meewerken met de natuurlijke processen de beste manier om het natuurlijke zeegatsysteem te behouden. Dat pleit voor de keuze voor buitendeltasuppleties, die in de toekomst (bij versnelde zeespiegelstijging) mogelijk zelfs een onmisbaar onderdeel van de suppletiestrategie kunnen worden. Met behulp van klassieke strand- of vooroever-suppleties kunnen negatieve effecten van de natuurlijke processen, kustachteruitgang, lokaal worden gemitigeerd. Buitendeltasuppleties zijn niet primair gericht op het direct tegengaan van kustachteruitgang, maar gebruiken de natuurlijke processen om het kuststelsel van zand te voorzien.</p> <p>De buitendelta vormt een gebied waarop grote hoeveelheden zand kunnen worden aangebracht, bijvoorbeeld in de vorm van een buitendeltasuppletie zoals recent uitgevoerd bij Ameland. Op de grote schaal dragen suppleties altijd bij tot het vergroten van het zandvolume van de buitendelta. Na aanbrengen kunnen de natuurlijke processen dit zand dan verspreiden, waardoor voldoende</p>



	<p>zandaanbod ter compensatie van de zandvraag van de Waddenzee, op lange termijn, kan worden gewaarborgd.</p> <p>Suppleties op de buitendelta vergroten ook de zandvolumes binnen de sediment-bypassing cyclus. Het feit dat het gedrag van de buitendelta gestuurd kan worden door ingrepen op de schaal van individuele banken of geulen, biedt mogelijkheden voor het kustbeheer. Dan moeten de onderliggende processen en mechanismen wel voldoende begrepen worden. Met behulp van buitendeltasuppleties kan ingespeeld worden op de dynamiek van platen en geulen in de buitendelta, zodat meer zand richting de kust beweegt. Op die manier kan het de kustlijnhandhaving van de eilanden ondersteunen.</p> <p>De effecten van een buitendeltasuppletie spelen op een langere tijdschaal dan van een reguliere suppletie, die na circa vijf jaar weer verdwenen is. De aanvoer van zand vanaf de buitendelta en de verspreiding langs de eilandkust verloopt relatief langzaam. Hiermee is het mogelijk om het eiland op de grote tijd- en ruimteschaal min of meer in stand te houden. Daarnaast kunnen wel altijd nog lokale tekorten optreden, die met reguliere suppleties bestreden moeten worden.</p>
<p><b>Hoe zouden deze grootschalige suppleties er uit kunnen zien, en welk vervolgonderzoek is er nodig om voorspellingen te doen over de effecten hiervan?</b></p>	
<p><i>Welke consequenties en/of randvoorwaarden voor een suppletieontwerp kunnen we afleiden uit de wijze waarop de buitendelta de sedimentuitwisselingen tussen buitendelta, bekken en aangrenzende kusten beïnvloedt?</i></p>	<p>Door de buitendeltasuppleties af te stemmen op de sediment-bypassing cyclus kan er gericht bijgedragen worden aan directe kustlijnhandhaving. Het is dan wel van belang dat de sediment-bypassing cyclus goed begrepen wordt. Deze cyclus vertoont voor elk zeegat unieke kenmerken. In het "Technisch Advies Rol en Mogelijkheden Buitendelta's voor het Kustbeheer" worden concrete voorbeelden genoemd hoe verschillende soorten systeemsuppleties op de buitendelta kunnen bijdragen aan verschillende doelstellingen vanuit het beheer.</p>



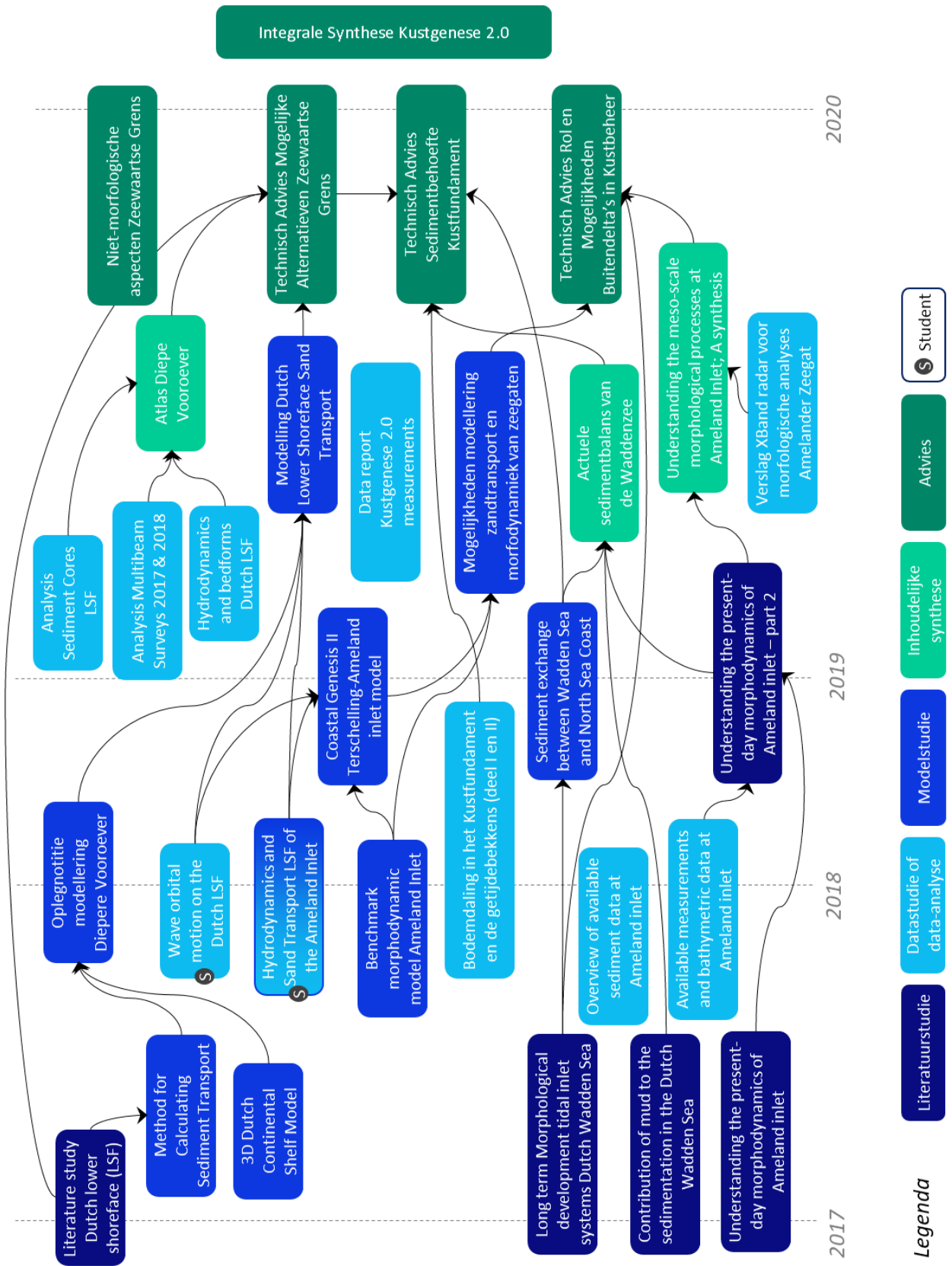
## B Overzicht van uitgevoerd onderzoek

Het Kustgenese 2.0 onderzoek heeft op twee cruciale punten, namelijk de diepe vooroever en de zeegaten, de morfologische systeemkennis de kennis van het Nederlands kuststelsysteem verdiept. Deze bijlage reflecteert kort op het onderzoek wat hiervoor is uitgevoerd.

Het onderzoek naar de diepe vooroever begon met het maken van een overzicht van de bestaande kennis van de Nederlandse diepe vooroever (tussen NAP - 8 m en NAP - 20 m). Op basis van dit overzicht is een drietal studiegebieden gekozen, waarbij één studiegebied direct aansluit op het onderzoeksgebied rond het Zeegat van Ameland. De andere gebieden lagen voor de kust van Terschelling en van Noordwijk aan Zee. In ieder gebied is bodemsediment bemonsterd met vibro- en boxcores. Hiermee zijn onder meer de geologische opbouw van de vooroever en sedimentaire structuren en de korrelgrootteverdeling van het oppervlakesediment vastgesteld. Bathymetrische opnamen met multibeamsonar toonden in grote mate van detail de fenomenen op de vooroever. Veldmetingen van stroming, golven, sedimentconcentraties en kleinschalige morfodynamiek verdiepten het inzicht in de processen op de diepe vooroever. Met name lokale erosiefenomenen die mogelijk duiden op zeewaarts zandtransport en ringvormige structuren ontstaan door uitredend gas waren niet eerder waargenomen. Kustdwarse netto zandtransporten zijn berekend met een voor dit onderzoek gebouwd numeriek model. De resultaten suggereren grote landwaartse zandtransporten.

Ten behoeve van het verdiepen van de kennis van zeegaten en buitendelta's is in samenwerking met Rijkswaterstaat, en de universiteiten van Delft, Twente en Utrecht, een uitgebreide meetcampagne opgezet omtrent de morfologie, hydrodynamica en ecologie rond het zeegat van Ameland. Dit overlapt deels ook met de metingen ten behoeve van de diepere vooroever. Dit leverde een zeer uitgebreide en unieke verzameling aan data op, die in eerste instantie was gericht op het onderzoek binnen de projecten Kustgenese 2.0, het NWO-STW programma SEAWAD, en het volgen van de pilotsuppletie die door RWS op de buitendelta bij Ameland is uitgevoerd. De verwachting is dat deze datasets nog lange tijd zullen blijven bijdragen aan een beter begrip van buitendelta's en zeegatsystemen. De grote hoeveelheid aan beschikbare data (zowel oudere data als de nieuwe data uit de meetcampagne) hebben bijgedragen aan verschillende analyses omtrent het morfologisch gedrag van buitendelta's, en aan de verdere ontwikkeling van de morfologische rekenmodellen.

Figuur B.1 geeft een schematisch overzicht op welke manier al het Kustgenese 2.0 onderzoek heeft bijgedragen aan de onderbouwing van de adviezen. Een volledige referentielijst van het uitgevoerde onderzoek wordt gegeven in de volgende paragraaf.



Figuur B.1 Schematisch overzicht van het uitgevoerde onderzoek binnen Kustgenese 2.0

## B.1 Rapportages uit het Kustgenese 2.0 onderzoek

### B.1.1 Rapportages omtrent kennisontwikkeling diepe vooroever

- Cleveringa, Jelmer, 2016. Kennisvraagspecificatie zeevaartse grens kustfundament, Arcadis, Zwolle, 27 september 2016
- Gawehn, Matthijs, Grasmeyer, B.T., Van der Spek, A., Vermaas T., Van der Werf, J.J., 2017. Lower Shoreface, Coastal Genesis 2.0 Modelling approach, PowerPoint presentatie.
- Grasmeyer, B.T., 2018. Method for Calculating Sediment Transport on the Dutch Lower Shoreface, Deltares rapport 1220339-000-ZKS-0041, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, juli 2018, 25 pg.
- Grasmeyer, B.T., Schrijvershof, R.A., Van der Werf, J.J., 2019. Modelling Dutch Lower Shoreface Sand Transport, Deltares rapport 1220339-005-ZKS-0005, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, september 2019, 74 pg.
- Grasmeyer, B.T., Van Rijn, L.C., Van der Werf, J.J., Zijl, F., Huisman, B.J.A., Luijendijk, A.P., Wilmink, R.J.A., De Looft, A.P., 2019. Method for calculating annual sand transports on the Dutch lower shoreface to assess the offshore boundary of the Dutch coastal foundation, Coastal Sediments 2019, 14 pg.
- Leummens, M., December 2018. Hydrodynamics and sand transport on the lower shoreface of the Ameland tidal inlet Master Thesis, 115 pg.
- Nederhoff, C.M., Schrijvershof, R., Tonnon, P.K., Van der Werf, J.J., 2019. The Coastal Genesis II Terschelling - Ameland inlet (CGII-TA) model Model setup, calibration and validation of a hydrodynamic-wave model, Deltares rapport 1220339-008-ZKS-0004, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, januari 2019, 88 pg..
- Oost, A., Forzoni, A., Van der Spek, A., Vermaas, T., Kustgenese-2 'diepe vooroever' Core analysis Noordwijk, Terschelling, Ameland Inlet, Deltares rapport 1220339-004-ZKS-0008, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, juli 2019, 82 pg.
- Oost, A., Marges, V., Vermaas T., Van Dijk, Th., Karaoulis, M., 2019. Kustgenese-2 'diepe vooroever' A description of the multibeam surveys 2017 & 2018, Deltares rapport 1220339-000-ZKS-0062, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, december 2019, 52 pg.
- Schrijvershof, R.A., Laura Brakenhoff, Grasmeyer, B.T., 2019. Hydrodynamics and bedforms on the Dutch lower shoreface Analysis of ADCP, ADV, and SONAR observations, Deltares rapport 1220339-007-ZKS-0009, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, juli 2019, 58 pg.
- Treurniet, B.A., 2018. Wave orbital motion on the Dutch lower shoreface: observations, parameterizations and effect on bedload sediment transport Bachelor Thesis, 58 pg.
- Van der Spek, A., van der Werf, J., Grasmeyer, B., Oost, A., Schrijvershof R., Vermaas, T. (2020): The Kustgenese 2.0 Atlas of the Dutch Lower Shoreface, Deltares Rapport 1220339-000-ZKS-0068, in opdracht van Rijkswaterstaat als onderdeel van Kustgenese 2.0, februari 2020.
- Van der Werf, J.J., 2018. Oplegnotitie modellering Diepere Vooroever, Kustgenese 2.0, Deltares memo 1220339-005-ZKS-0004, 8 pg.

Van der Werf, J.J., Grasmeyer B.T., Hendriks, E., Van der Spek, A., Vermaas, T., 2017. Literature study Dutch lower shoreface, Deltares rapport 1220339-004-ZKS-0001, in opdracht van Rijkswaterstaat WVl, oktober 2017, 97 pg.

Zijl, Firmijn, Jelmer Veenstra, Julien Groenenboom, 2018. The 3D Dutch Continental Shelf Model - Flexible Mesh (3D DCSM-FM) Setup and validation, Deltares rapport 1220339-000-ZKS-0042, in opdracht van Rijkswaterstaat WVl, juli 2018, 41 pg.

### **B.1.2 Rapportages omtrent kennisontwikkeling zeegaten**

Elias, E.P.L., 2018a Understanding the present day morphodynamics of Ameland Inlet - part 2 Kustgenese 2.0, product ZG-B04, Deltares rapport 1220339-007-ZKS-0007, in opdracht van Rijkswaterstaat WVl, december 2018, 60 pg.

Elias, E.P.L., 2018b. Bench-mark morphodynamic model Ameland Inlet -Kustgenese 2.0 (ZG-C2), Deltares rapport 1220339-008-ZKS-0002, in opdracht van Rijkswaterstaat WVl, mei 2018, 70 pg.

Elias, E.P.L., Pearson, S., 2020. Understanding the meso-scale morphological processes at Ameland Inlet; a synthesis, Deltares rapport 1220339-008-ZKS-0008, in opdracht van Rijkswaterstaat WVl, maart 2020, 70 pg.

Elias, E.P.L., Van der Spek, A.J.F., Pearson, S., Cleveringa, J. (2019). Understanding sediment bypassing processes through analysis of highfrequency observations of Ameland Inlet, the Netherlands. *Marine Geology*, 415. (In samenwerking met BenO Kust)

Elias, Edwin en Zheng Wang, 2019. Sedimentbalans Waddenzee, Synthese ten behoeve van Technisch Advies Kustgenese 2.0, Deltares rapport 1220339-007-ZKS-0010, in opdracht van Rijkswaterstaat WVl, december 2019, 23 pg.

Elias, Edwin, 2017a. Understanding the present day morphodynamics of Ameland inlet Kustgenese 2.0, product ZG-A02, Deltares rapport 1220339-007-ZKS-0002, in opdracht van Rijkswaterstaat WVl, december 2017, 44 pg.

Elias, Edwin, 2017b. Kustgenese 2.0; available measurements and bathymetric data at Ameland inlet, The Netherlands, Deltares rapport 1220339-007-ZKS-0002, in opdracht van Rijkswaterstaat WVl, december 2017, 51 pg.

Gawehn, Matthijs, 2017. Estimating ebb-tidal delta bathymetries using X-band radar, Presentatie op Hydro 2017, Rotterdam.

Gawehn, Matthijs, 2017. Tussenrapportage Kustgenese 2.0 ZG-B03 Radar: bodemschattingen uit radarbeelden Amelander Zeegat, Deltares memo 220339-007-ZKS-0002, december 2017, 4 pg.

Gawehn, Matthijs, 2020. Verslag ontwikkeling en toepassing X-Band radar voor morfologische analyse van het Amelander Zeegat Eindrapportage ten behoeve van Kustgenese 2.0, Deltares rapport 1220339-007-ZKS-0005, in opdracht van Rijkswaterstaat WVl, februari 2020, 27 pg.

Nederhoff, C.M., Schrijvershof, R., Tonnon, P.K., Van der Werf, J.J., 2019. The Coastal Genesis II Terschelling - Ameland inlet (CGII-TA) model Model setup, calibration and validation of a hydrodynamic-wave model, Deltares rapport 1220339-008-ZKS-0004, in opdracht van Rijkswaterstaat WVl, januari 2019, 88 pg.

Nederhoff, C.M., Schrijvershof, R.A., Tonnon, P.K., Van der Werf, J.J., Elias, E.P.L., 2019. Modelling hydrodynamics in the Ameland inlet as a basis for studying sand transport, *Coastal Sediments 2019*, 13 pg.

- Oost, Albert, Van der Spek, Ad, Van Oeveren- Theeuwes, Claire, Tonnon, P.K., 2018. The contribution of mud to the net yearly sedimentation volume in the Dutch Wadden Sea a review based on literature, Deltares rapport 1220339-006-ZKS-0009, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, mei 2018, 46 pg.
- Pearson, Stuart, 2018. Kustgenese 2.0; overview of available sediment data at Ameland inlet, The Netherlands, Deltares rapport 1220339-007-ZKS-0003, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, april 2018, 11 pg. (CONCEPT)
- Tonnon, Pieter Koen, 2020. Reflectie op Ameland modellering 2017-2019, Deltares memo 220339-008-ZKS-0009, maart 2019, 5 pg.
- Wang, Z.B., 2018. Long term morphological development of the tidal inlet systems in the Dutch Wadden Sea, Deltares rapport 1220339-006-ZKS-0008, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, februari 2018, 36 pg.
- Wang, Z.B., Lodder Q.J., 2019. Sediment exchange between the Wadden Sea and North Sea Coast Modelling based on ASMITA, Deltares rapport 1220339-008-ZKS-0006, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, oktober 2019, 53 pg.
- Weerdenburg, R.J.A., 2019. Exploring the relative importance of wind for exchange processes around a tidal inlet system: the case of Ameland Inlet. MSC Thesis Delft University of Technology. (In samenwerking met BenO Kust)

### **B.1.3 Integrale rapportages**

- Deltares, 2020a. Technisch Advies mogelijkheid voor een alternatieve zeewaartse grens van het kustfundament; ten behoeve van het beleidsadvies voor Kustgenese 2.0, auteurs Ad van der Spek, Jebbe van der Werf, Bart Grasmeyer, Heleen Vreugdenhil, Claire van Oeveren en Arno Nolte, Deltares rapport 1220339-009-ZKS-00013, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, maart 2020, 32 pg.
- Deltares, 2020b. Technisch Advies sedimentbehoefte kustfundament; ten behoeve van het beleidsadvies voor Kustgenese 2.0, auteurs Arno Nolte, Claire van Oeveren, Jebbe van der Werf, Pieter Koen Tonnon, Bart Grasmeyer, Ad van der Spek, Edwin Elias en Zheng Wang, Deltares rapport 1220339-009-ZKS-00014, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, maart 2020, 49 pg.
- Deltares, 2020c. Technisch Advies rol en mogelijkheden van buitendelta's voor het kustbeheer; ten behoeve van het beleidsadvies voor Kustgenese 2.0, auteurs Edwin Elias, Ad van der Spek, Zheng Bing Wang en Stuart Pearson; Deltares rapport 1220339-009-ZKS-0006, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, maart 2020, 32 pg.
- Deltares, 2020d. Kustgenese 2.0 - Integrale Synthese; Belangrijkste conclusies uit drie jaar onderzoek naar de langetermijnkustontwikkeling, auteurs Claire van Oeveren, Albert Oost, Arno Nolte, Jebbe van der Werf, Pieter Koen Tonnon, Bart Grasmeyer, Ad van der Spek, Edwin Elias en Zheng Wang; Deltares rapport 1220339-009-ZKS-0008, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, april 2020, 58 pg.
- Van der Valk, Bert, Van Oeveren, Claire, 2019. Niet-morfologische Aspecten Zeewaartse Grens Kustfundament, Deltares memo 1220339-000-ZKS-0063, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, 4 pg.

### **B.1.4 Rapportages omtrent datamanagement**

- Den Heijer, Kees, en Giorgio Santinelli, 2018, Datamanagementplan Kustgenese 2.0, Met medewerking van ir. C.H. Clemens (Witteveen+Bos), Deltares rapport 1220339-015-ZKS-0001, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL, maart 2018, 25 pg.

Rijkswaterstaat, SEAWAD en Deltares, 2019. Data report Kustgenese 2.0 measurements, 85 pg, auteurs Van der Werf, J.J., Antolínez, J.A.A., Laura Brakenhoff, Matthijs Gawehn, Kees den Heijer, Harry de Looff, Marcel van Maarsseveen, Henriëtte Meijer – Holzhauer, Jan-Willem Mol, Stuart Pearson, Bram van Prooijen, Giorgio Santinelli, Cor Schipper, Marion Tissier, Pieter Koen Tonnon, Lodewijk de Vet, Tommer Vermaas, Rinse Wilmink en Floris de Wit; Rijkswaterstaat, Utrecht.

### **B.1.5 Rapportages uit projecten met raakvlakken**

Daarnaast is voor het opstellen van de sedimentbalans van het kustfundament ook afgetapt uit andere onderzoeken. De belangrijkste worden hieronder genoemd:

#### Voor wat betreft Bodemdaling in het kustfundament:

Hijma, M.P., Kooi, H., 2018. Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (deel 1). Deltares report 11200538-008-ZKS-0001, 63 pp

Hijma, M. en H. Kooi (2018). Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (deel 2); Een update, case IJmuiden en kwantificering onzekerheden. Deltares rapport 11202190-001-ZKS-0001, in opdracht van Rijkswaterstaat, December 2018.

#### Voor wat betreft zeespiegelstijging:

Baart, F., Rongen, G., Hijma, M. Kooi, H., De Winter, R., Nicolai, R. (2018). Zeespiegelmonitor 2018. De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Rapport 11202193-000-ZKS-0004, Deltares & HKV.

#### Voor wat betreft de sedimentbalans van de Westerschelde:

Dam, G. (2017). Lange-termijn sedimentbalans van de Westerschelde. Rapport 1778/U16516/D/GD, Svašek Hydraulics.

Röbke B. en Taal M.D. (in prep). Presentatie 'LT evolutie Westerschelde, Modelonderzoek naar reactie op zeespiegelstijging', samenwerkingsdag BenO Kust 4 maart 2020.

Elias, E.P.L.; J. Cleveringa; A.J.F. van der Spek (2020, in voorbereiding). Sediment Budget Westerschelde - Memo met voorlopige resultaten. Deltares memo.



Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)