

## Memo

<b>Datum</b> 20 april 2023	<b>Ons kenmerk</b> 11207047-005-HYE-0003	<b>Aantal pagina's</b> 1 van 31
<b>Contactpersoon</b> Stéphanie IJff	<b>Doorkiesnummer</b> +31(0)88 335 8325	<b>E-mail</b> Stephanie.IJff@deltares.nl

**Onderwerp**  
Resultaten TKI-DCC Werkpakket 5: Waardering van alternatieven toekomstig kustonderhoud

## 1 Inleiding

### 1.1 Dutch Coastline Challenge

Het voortzetten van het Nederlandse kustonderhoud kent uitdagingen. Versnelde stijging van de zeespiegel gaat leiden tot een groter suppletievolume als we de kustlijn willen handhaven. Ten tweede is er, al in de komende jaren, de opgave de uitstoot van broeikasgassen en andere milieubelastende stoffen (zoals stikstofoxiden) te verminderen. Ook ligt er de opdracht bij suppleties rekening te houden met de effecten op de ecosystemen van de kust.

Deze problematiek kan niet door één actor worden opgepakt. Mede daarom is er al geruime tijd strategisch overleg over het zandige kustonderhoud tussen overheid, marktpartijen en kennisinstututen binnen de zogenaamde coalitietafel Dutch Coastline Challenge (DCC). De noodzaak tot gezamenlijk onderzoek om de problemen beter te lijf te gaan was een belangrijke uitkomst van dit overleg. Daarom is in 2021 het TKI-project 'Dutch Coastline Challenge' gestart.

***Het doel van dit project is om 'bouwstenen aan te leveren voor klimaatneutraal, natuurinclusief & opschaalbaar kustonderhoud'.***

Er zijn drie typen bouwstenen onderzocht:

- 1) **suppletieconcepten**: strand-, vooroever-, mega- en continue suppleties en varianten erop;
- 2) **uitvoeringsmethoden**, bijvoorbeeld conventionele baggerschepen versus alternatieve brandstoffen, pijpleidingen en transportmethoden; en
- 3) **samenwerkings- en contractvormen** zoals verdeling van verantwoordelijkheden en risico's tussen overheid, bedrijfsleven en kennisinstellingen, duur van een contract en aanbestedingssystematiek.

Het project richt zich in het bijzonder op nieuwe combinaties van suppletieconcepten, uitvoeringsmethoden en passende contract- en samenwerkingsvormen. Het beoogt daarmee verbeteringen c.q. innovaties in het kustonderhoud in kaart te brengen en te beoordelen op haalbaarheid en opschaalbaarheid bij grotere suppletievolumes. Dit gebeurt in een samenwerkingsverband tussen alle partijen in de 'keten' (overheid, marktpartijen en kennisinstututen) en met een concreet stuk Nederlandse kust (IJmuiden-Texel) als casus. Er is ook een concreet tijdvak gekozen: tot 2035. Dit tijdvak past bij de termijn waarop de duurzaamheidsambities verwezenlijkt moeten worden.

## 1.2 Werkpakket 5

Deze memo beschrijft de resultaten en methode van werkpakket (WP) 5 van het TKI-Dutch Coastline Challenge project. Dit WP richtte zich op de samenwerking, integratie, afweging en advies. De afspraak is dat WP 5 zorgt voor:

- 1) Ontwikkelen van het afwegingskader om alternatieven te vergelijken met de benchmark (uitgewerkt in WP1, Deltares (2021)).
- 2) Waarborgen van de integratie en optimalisatie van onderhoudsconcepten (WP2, Technische Universiteit Delft (2023a t/m 2023e)), uitvoeringsmethoden (WP3, Vereniging van Waterbouwers, 2023) en samenwerkings- en contractvormen (WP4, Hombergen & De Koning (2022)), in het bijzonder bij het komen tot de concrete vormgeving van alternatieven voor het onderhoud van het kustvak. WP1 onderzocht tevens voor welke delen van de Nederlandse kust deze alternatieven relevant/toepasbaar kunnen zijn (Röbke et al., 2023).
- 3) Opleveren van het syntheserapport (Taal et al., 2023), met voor- en nadelen van de bouwstenen voor duurzaam en opschaalbaar kustonderhoud in het licht van mogelijke prioriteiten van beleid en lessen/aanbevelingen over de samenwerking in de driehoek. Er is specifiek aandacht nodig voor de opschaalbaarheid van onderhoudsconcepten, uitvoeringsmethoden en contract- en samenwerkingsvormen bij eventueel grotere sedimentbehoefte in de toekomst.

De activiteiten binnen Werkpakket 5 zijn uitgevoerd door Deltares (Marcel Taal, Sien Kok en Stéphanie IJff).

## 1.3 Leeswijzer

**Hoofdstuk 2** geeft een toelichting op de bouwstenen (suppletieconcepten, uitvoeringsmethoden en samenwerkings- en contractvormen) zoals ze zijn gebruikt in het project.

In **Hoofdstuk 3** zijn de criteria beschreven waarmee de alternatieve suppletieconcepten, uitvoeringsmethoden en samenwerkingsvormen zijn gewaardeerd. Per criterium worden de aanpak en de resultaten beschreven.

**Hoofdstuk 4** bevat de conclusies in de vorm van redeneerlijnen. In de redeneerlijnen worden de resultaten samengevat m.b.t. de projectdoelen klimaatneutraal, natuurinclusief en opschaalbaar kustonderhoud.

Ten slotte wordt in **Hoofdstuk 5** een reflectie gegeven op de methode en het onderzoeksproces van WP 5, en de lessen die we hebben geleerd over de toepassing van multicriteria-analyse als methode voor het waarderen van alternatieve suppletieconcepten en uitvoeringsmethoden.

De resultaten in dit rapport zijn gebaseerd op onderzoek van werkpakket 1 Systeemkennis & Benchmark (Deltares 2021 en Röbke et al. 2023), werkpakket 2 Onderhoudsconcepten (Technische Universiteit Delft 2023a t/m 2023e), werkpakket 3 Uitvoeringsmethoden (Vereniging van Waterbouwers 2023) en werkpakket 4 Samenwerkings- en contractvormen (Arcadis 2022 en Hombergen & De Koning 2022). In de onderliggende rapporten van deze werkpakketten is meer informatie te vinden over de methoden en resultaten van de desbetreffende onderwerpen.

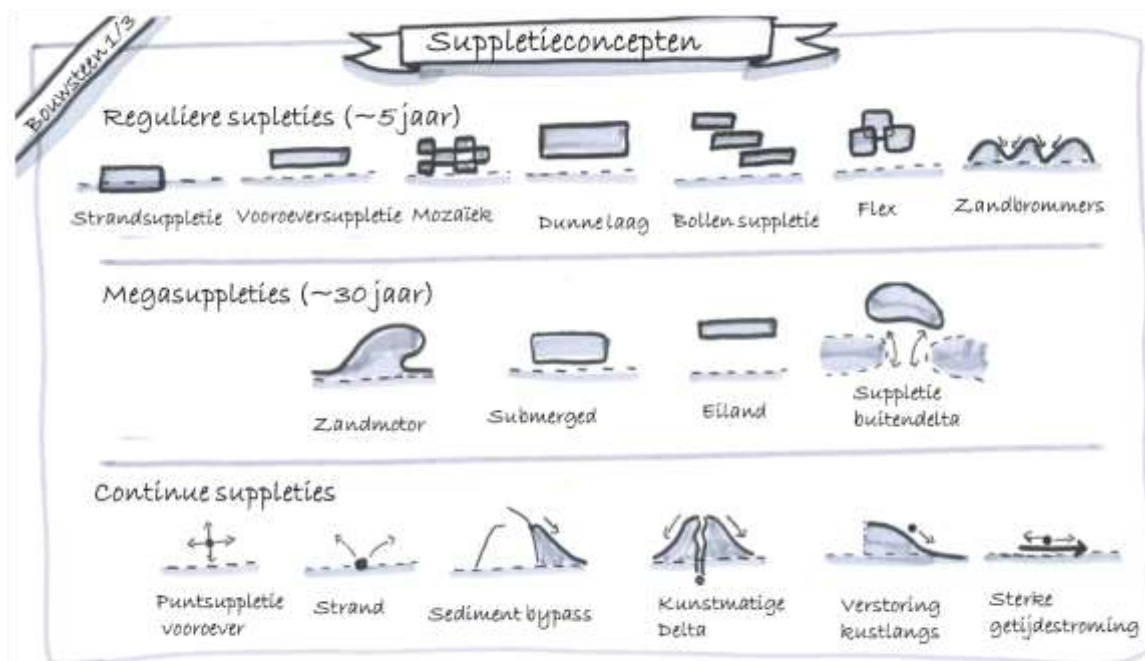
## 2 Overzicht bouwstenen

Het TKI-DCC project onderzoekt drie typen bouwstenen: suppletieconcepten, uitvoeringsmethoden en samenwerkings- en contractvormen. Om de resultaten in dit memo beter te kunnen begrijpen, zijn de alternatieven binnen deze bouwstenen hieronder samengevat.

### 2.1 Bouwsteen 1: Suppletieconcepten

In het onderzoek zijn suppletieconcepten onderzocht die horen bij drie groepen: reguliere suppleties, megasuppleties en continue suppleties, die op de vooroever en/of op het strand kunnen worden aangelegd (Figuur 2-1). Deze concepten zijn geïdentificeerd en geclassificeerd op basis van literatuurstudie, praktijkervaringen en brainstormsessies. In de tweede fase is een selectie gemaakt voor verdiepend modelonderzoek naar verspreiding van suppletiezand. Het betrof twee typen reguliere suppleties (vooroever- en strandsuppleties) drie typen megasuppleties (onderwater megasuppletie, eiland en schiereiland) en één type continue suppletie (onderwater).

Er is sprake van 'reguliere onderhoudssuppleties' als ze passen binnen de huidige wijze van handhaving van de kustlijn. Ze hebben een volume van 0,1-5 Mm<sup>3</sup> miljoen m<sup>3</sup> en een terugkeertijd van 1-10 jaar. Met 'megasuppleties' wordt bedoeld op ingrepen met een groter volume, gericht op meer dan alleen handhaving van de kustlijn in de komende jaren. Ze hebben een terugkeertijd van orde 20-30 jaar. Nieuw is het concept van de 'continue suppletie'. Die vindt plaats op één punt, met een (semi)continue voeding van de kust. De suppletie is beperkt in volume per tijdseenheid, maar de hoeveelheid suppletiezand heeft dezelfde orde grootte over een langere periode. Deze laatste groep concepten heeft daarmee een grote gelijkenis met zogenaamde bypass-systemen die in het buitenland worden toegepast.



Figuur 2-1 Schematische bovenaanzichten van verschillende suppletieconcepten. De stippellijn representeert de waterlijn. De indeling van de concepten is gebaseerd op de drie suppletietypen (regulier, mega en continu) en de locatie in het dwarsprofiel (vooroever, strand, buitendelta of geulwand).

## 2.2 Bouwsteen 2: Uitvoeringsmethoden

Deze bouwsteen betreft het materieel voor winning, transport en aanbrengen van het zand. Momenteel zijn sleephopperzuigers die worden aangedreven door diesel (Marine Diesel Oil of MDO) het voornaamste materieel dat wordt ingezet voor het kustonderhoud. Uit lopende innovatietrajecten zijn alternatieve uitvoeringsmethoden geïdentificeerd. De trajecten waarmee is samengewerkt hiervoor zijn het Innovatiepartnerschap Innovaties in de Kustlijnzorg (IKZ), het Maritiem Masterplan en de Zero Emission Dredging Hub (ZED Hub). Hieruit volgden zes alternatieve uitvoeringsmethoden (Figuur 2-2):

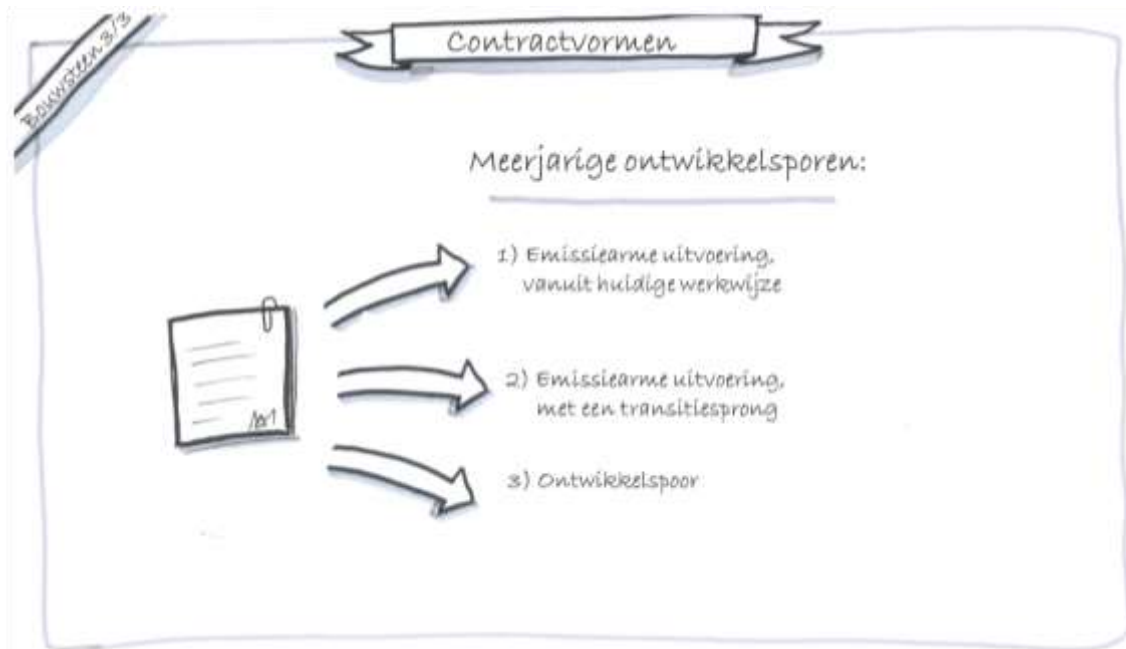
- 1) sleephopperzuiger op bestaande brandstoffen (o.a. MDO, HVO, LNG),
- 2) "Hopper van de Toekomst" op alternatieve brandstoffen (bijv. waterstof, methanol),
- 3) Zandwindmolen,
- 4) Groene Leiding,
- 5) Cablehopper en
- 6) AUMD 2.0 (een onderwaterdrone).



Figuur 2-2 Schematische weergave van verschillende uitvoeringsmethoden voor kustonderhoud.

## 2.3 Bouwsteen 3: Samenwerkings- en contractvormen

Deze bouwsteen betreft de vraag hoe een transitie naar klimaatneutraal, natuurinclusief en opschaalbaar kustonderhoud plaats kan vinden onder de voorwaarde dat een gezonde markt behouden blijft. Met 'gezonde markt' wordt bedoeld dat er voldoende spelers actief zijn voor onderlinge concurrentie. De werkhypothese is dat bij 'tenminste 5 spelers' er voldoende bedrijven actief zijn hiervoor. In WP 4 is dit uitgewerkt tot drie sporen, waarbij binnen ieder spoor concurrentie plaatsvindt. Elk van de sporen past bij een ander ontwikkelstadium, met bijbehorende marktrijpheid van innovaties (Figuur 2-3).



Figuur 2-3 De drie ontwikkelsporen voor de transitie naar klimaatneutraal kustonderhoud.






### 3 Resultaten: Criteria




De bouwstenen ‘suppletieconcepten’, ‘uitvoeringsmethoden’ en ‘samenwerkingsvormen’ zijn onderzocht op hun bijdrage aan de projectdoelstellingen: klimaatneutraal, natuurinclusief en opschaalbaar kustonderhoud. Er zijn echter meer criteria die spelen bij ontwerp en uitvoering van een zandsuppletie. Daarom bekeek dit project ook randvoorwaarden aan het kustonderhoud en ‘overige criteria voor afweging’. De mogelijkheden van zandig kustonderhoud zijn in totaal onderzocht op acht criteria (Tabel 3-1).

De doelstellingen zijn vertaald in de criteria 1) milieu-impact (MKI), 2) ecologische impact en 3) opschaalbaarheid en toepasbaarheid. De randvoorwaarden zijn 4) de te behalen beleidsdoelen (handhaven kustlijn en voldoende volume toevoegen aan het kustfundament), 5) de technische uitvoerbaarheid en vergunbaarheid en 6) het behoud van een ‘gezonde markt’ (voldoende spelers in onderlinge concurrentie). De ‘overige criteria’ zijn 7) de kosten en 8) de bredere bijdrage aan welvaart en welzijn (inclusief recreatie en gezondheid). Een aantal van deze criteria zijn (tot op zekere hoogte) te kwantificeren (handhaving kustlijn, milieu-impact, kosten en ecologische impact). Anderen kunnen alleen kwalitatief worden vergeleken (opschaalbaarheid en toepasbaarheid, uitvoerbaarheid, gezonde markt, en recreatie).

Dit hoofdstuk beschrijft per criterium waarom het belangrijk is voor dit project, wat we eronder verstaan, hoe we de impact op dit criterium kunnen meten en hoe dit is onderzocht. Vervolgens zijn de alternatieve bouwstenen (suppletieconcepten, uitvoeringsmethoden en samenwerkings- en contractstrategieën) gewaardeerd op de criteria. Hiervoor worden resultaten uit WP 2 (suppletieconcepten), WP 3 (uitvoeringsmethoden) en WP4 (samenwerkings- en contractvormen) gebruikt.

Tabel 3-1 Overzicht van de criteria en randvoorwaarden die zijn gebruikt voor de afweging tussen suppletieconcepten en uitvoeringsmethoden. Per criterium is toegelicht hoe het is toegepast binnen het project, en welk werkpakket de informatie heeft aangedragen voor de waardering van de alternatieven voor dit criterium.

	Criteria / randvoorwaarden	Toelichting	Werkpakket
Doelstellingen KIA-DCC	<b>1. Milieu-impact</b> 	MilieuKostenIndicator (MKI), indicator voor de mate van milieubelastende emissies (en dus duurzaamheid) tijdens de uitvoering	<b>WP 3</b> Uitvoeringsmethoden
	<b>2. Ecologische impact</b> 	De mate waarin een alternatief tijdens en na de aanleg de ecologie beïnvloedt (door verstoring, bedelving en verandering in ecotopen)	<b>WP 2</b> Suppletieconcepten
	<b>3. Opschaalbaarheid en toepasbaarheid</b> 	Uitvoerbaarheid en flexibiliteit bij grotere suppletievolumes en verschillende locaties	<b>WP 1</b> Systeemkennis & Benchmark <b>WP2</b> Suppletieconcepten
Randvoorwaarden	<b>4. Voldoen aan beleid kustonderhoud</b> 	Bijdrage aan behoud van Momentane Kustlijn (MKL) ten opzichte van de Basiskustlijn (BKL) en het volume van het kustfundament	<b>WP 2</b> Suppletieconcepten
	<b>5. Uitvoerbaarheid</b> 	De mate waarin een alternatief praktisch uitvoerbaar en vergunbaar is c.q. de inspanning/moeite die daarvoor nodig is	<b>WP 3</b> Uitvoeringsmethoden

	Criteria / randvoorwaarden	Toelichting	Werkpakket
	<p>6. Gezonde markt</p> 	De mate waarin het ruimte en ondersteuning geeft aan de mogelijkheid om te innoveren in de kustlijn­zorg, waarbij de wijze van uitvragen toegankelijk is voor voldoende aanbieders op de Nederlandse markt	<p><b>WP 4</b> Samenwerkings- en contractvormen</p>
Overige criteria	<p>7. Kosten</p> 	De kosten van de aanleg van het alternatief exclusief investeringen in materieel, ondersteunende energie­infrastructuur en monitoring	<p><b>WP 3</b> Uitvoeringsmethoden</p>
	<p>8. Recreatie</p> 	Leidt het tot een extra bijdrage voor gebruiksfuncties, bovenop hetgeen volgt uit handhaven kustlijn	<p><b>WP 2</b> Suppletieconcepten <b>WP 3</b> Uitvoeringsmethoden</p>

### 3.1 Milieu-impact

#### Beschrijving

Het kustonderhoud heeft invloed op het milieu door de uitstoot van schadelijke stoffen bij het winnen, vervoeren en aanbrengen van sediment voor suppleties. Om stappen te zetten richting 'klimaatneutraal' kustonderhoud, moet de uitstoot van deze stoffen worden verminderd en uiteindelijk tot nul worden gereduceerd (zero emission).

#### Aanpak

Bij het bepalen van de kosten en de milieu-impact zijn in WP 3 meerdere factoren in de analyse meegenomen, waaronder de geometrie van het suppletieconcept, de zandwinlocatie, het in te zetten materieel, de productie, het brandstofverbruik en type brandstof en mobilisatie en demobilisatie van het materieel (zie Vereniging van Waterbouwers, 2023). De impact van uitvoeringsmethoden op het milieu is onderzocht met de 'MilieuKostenIndicator' (MKI). Deze indicator voegt alle milieueffecten samen in één score en drukt deze uit in euro's. Deze schaduwprijs hoeft niet daadwerkelijk te worden betaald, maar is een manier om de negatieve milieu-impact van producten of projecten te kunnen vergelijken en communiceren.

De milieu-impact van reguliere suppleties (strand- en vooroeversuppletie) en megasuppleties (schiereiland en eiland) zijn berekend bij uitvoering van suppleties met een kleine of grote hopper (grote alleen voor de megasuppleties) en aantal alternatieve brandstoffen: MDO (Marine Diesel Oil), HVO 100% (Hydrotreated Vegetable Oil) en 'Alternatieve brandstof' (een samengepakte waarde voor zowel waterstof of methanol). Om de vergelijking tussen reguliere en megasuppleties, op strand of vooroever, te maken is het suppletievolume van de reguliere suppletie verondersteld op 1,5 mln. m<sup>3</sup> en uitgevoerd door het kleine type hopper. De overige variabelen, zoals locatie en vaarafstand, zijn gelijk gehouden. De uitkomsten van de reguliere suppletie zijn in onderstaande tabellen vergeleken met de uitkomsten van de megasuppletie.

#### Resultaten

Uit de resultaten blijkt dat de 'alternatieve brandstof' (waarin de waarden voor methanol en waterstof zijn gecombineerd) voor alle varianten tot de laagste MKI-waarde leidt. Bij gelijk brandstoftype heeft suppleren op de vooroever (voor reguliere én megasuppleties) een lagere MKI-waarde dan bovenwater-varianten. Dit is te verklaren doordat het aanbrengen van het zand op de vooroever minder energie vraagt. De MKI-waarden per m<sup>3</sup> verschillen niet zoveel tussen reguliere- en megasuppleties. De strandsuppletie met kleine hopper heeft vergelijkbare resultaten als de megasuppletie 'schiereiland' en 'eiland' (met kleine hopper). De MKI van een



reguliere vooroeversuppletie is vergelijkbaar met de mega vooroeversuppletie (met kleine hopper). Uitvoering van een megasuppletie met een grote hopper leidt tot iets hogere MKI-waarden dan de uitvoering met de kleine hopper.

Tabel 3-2 MKI waarden van reguliere strand- en vooroeversuppletie, uitgevoerd met een kleine hopper met alternatieve brandstoftypen (MDO, HVO of alternatief) (op basis van Vereniging van Waterbouwers 2023).

MKI (€/m <sup>3</sup> )	Strandsuppletie	Vooroeversuppletie
Brandstoftype	Kleine hopper	
MDO	0,60	0,50
HVO 100%	0,30	0,25
Alternatieve brandstof	0,06	0,05

Tabel 3-3 MKI waarden van megasuppleties schiereiland, eiland en vooroever. Uitgevoerd met grote of kleine hopper met alternatieve brandstoftypen (MDO, HVO of alternatief) (op basis van Vereniging van Waterbouwers 2023)

MKI (€/m <sup>3</sup> )	Megasuppletie schiereiland		Megasuppletie eiland		Megasuppletie vooroever
Brandstoftype	Grote hopper	Kleine hopper	Grote hopper	Kleine hopper	Kleine hopper
MDO	0,67	0,60	0,57	0,53	0,44
HVO 100%	0,36	0,33	0,31	0,29	0,24
Alternatieve brandstof	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04

## 3.2 Ecologische impact

### Beschrijving

De Nederlandse kust is ecologisch waardevol. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen ecosystemen op de zeebodem, in de waterkolom, op het strand en in de duinen. Suppleties grijpen in op dit systeem tijdens de zandwinning, tijdens de aanleg en na de aanleg. We maken onderscheid tussen directe en indirecte ecologische effecten, in de omvang van het gebied, de sterkte van het effect en in de natuurwaarde van het beïnvloede gebied.

De directe effecten gaan over de bedelving tijdens de suppletie. De omvang van de bedelving, de dikte van de laag en de frequentie hebben effect op de sterfte en het herstel van de bodemdiergemeenschap. Bij indirecte effecten ten aanzien van de uitstraling op de omgeving speelt vertroebeling een rol. Dit is vooral belangrijk in het gebied van de zandwinning. Een tweede indirect effect is eolisch transport van zand richting de zeereep dat bepalend is voor veranderingen in duinvolume en voor dynamiek in de duinen. Het eolisch transport wordt mede bepaald door de strandbreedte.

Een belangrijk hulpmiddel bij het bepalen van de invloed van suppleties op ecologie is de indeling van het gebied in ecotopen. Die onderscheiden zich van elkaar door sedimentamenstelling, diepte en stroomsnelheid. Suppleties beïnvloeden de omvang en kwaliteit van ecotopen, door directe en indirecte effecten tijdens de zandwinning en de aanleg.



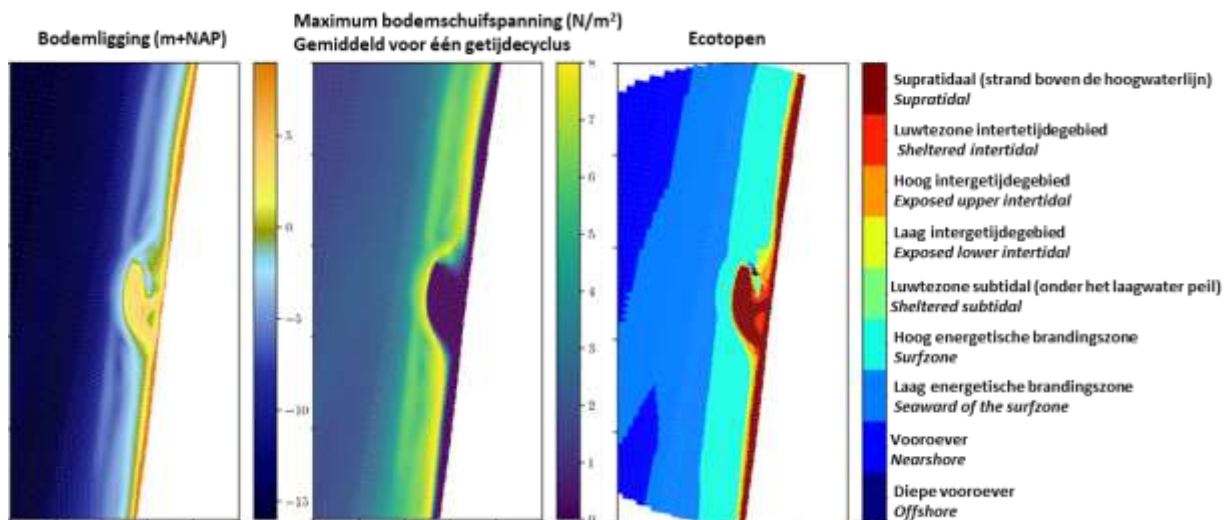
## Aanpak

In het project is de verandering van ecotopen onderzocht in WP 2. Met de methode van Van Zanten (2016) is berekend hoe het oppervlak van de ecotopen verandert bij de aanleg van verschillende suppletieconcepten. Daarnaast is ook de bedelving van bodemdieren onderzocht met behulp van een bedelvingsequivalent (de 'Bentimeter'). Hiermee wordt het oppervlak met ecologische schade door bedelving (in ha) over de tijd berekend. De methode is toegelicht in Technische Universiteit Delft (2023d) en de resultaten in Technische Universiteit Delft (2023e)

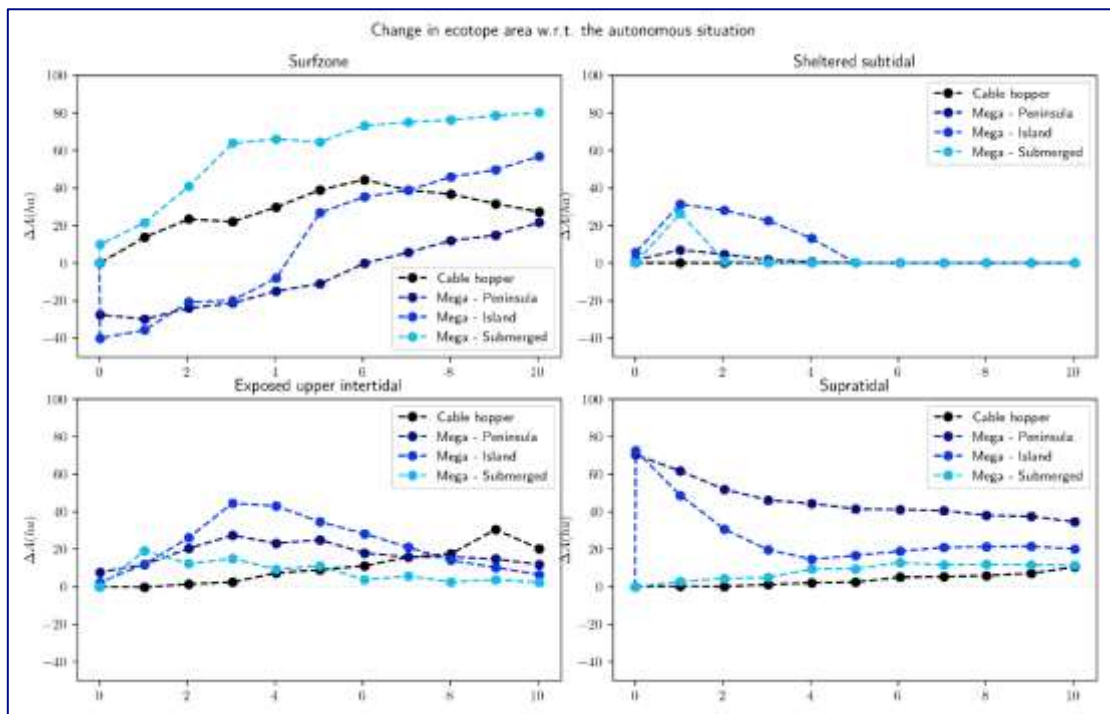
## Resultaten

Uit de resultaten van het ecotopen-onderzoek blijkt dat megasuppleties de grootste impact hebben op het oppervlak ecotopen (Figuur 3-1 en Figuur 3-2). Al bij de aanleg is er een grote verandering, en gedurende de ontwikkeling van de suppletie veranderen de oppervlakten van ecotopen mee. Vooral het oppervlak aan hoger gelegen ecotopen neemt toe. Ook blijkt dat beschutte subtidale ecotopen (zoals de lagune op de Zandmotor) alleen voorkomen bij megasuppleties met een beschutte zone, en ze bestaan dan alleen tijdelijk. Oppervlakten van ecotopen in de brandingszone variëren sterk met het suppletieconcept. Reguliere suppleties (niet getoond hier) hebben weinig impact op de oppervlakten van ecotopen. Er zijn weinig veranderingen in diepte en bodemschuifspanning. Na 4 jaar is de diepte en bodemschuifspanning vergelijkbaar met de situatie vóór de suppletie.

In het algemeen is bodemleven in ondiep water met veel golven beter aangepast aan dynamische condities dan soorten op dieper water en herstelt daarom sneller na een suppletie. De resultaten van de 'Bentimeter' laten dan ook zien dat reguliere suppleties op de ondiepe vooroever en op het strand leiden tot minder negatieve impact op de ecologie dan suppleties op de diepe vooroever. De schaal en terugkeertijd van suppleties speelt een rol in de waardering van de schade door bedelving. Voor kleine suppleties is de benthos bijna hersteld na een suppletiecyclus. Op lange termijn kunnen er wel negatieve effecten zijn (bijv. door verandering van sedimentsamenstelling). Megasuppleties hebben een lage frequentie, maar wel een grootschalige bedelving. De ecotopen veranderen dusdanig dat een herstel naar het systeem zoals het er was voor de aanleg van de suppletie niet wordt verwacht. Continue suppleties zijn een interessant alternatief vanuit het perspectief van bedelving, dat maar op een klein oppervlak plaats vindt. Continue suppleties hebben daardoor de laagste waarde voor ecologische schade gedurende de levensduur van de suppletie voor het aspect bedelving.



Figuur 3-1 Overzicht van bodemligging, bodemschuifspanning en de ecotopen van een megasuppletie, als illustratie bij de klassen ecotopen die worden onderscheiden (met Engelse benaming in *italic*)



Figuur 3-2 Verandering in oppervlak van vier ecotopen (brandingzone (sufzone), Luwtezone subtidaal (sheltered subtidal), Hoog intergetijd gebied (exposed upper intertidal) en supratidaal (supratidal)) bij de aanleg van een megasuppletie (kabelhopper, schiereiland, eiland en onderwater megasuppletie). De horizontale as toont de jaren na aanleg. (uit Technische Universiteit Delft 2023e)

### 3.3 Opschaalbaarheid en toepasbaarheid

#### Beschrijving

Een versnelde zeespiegelstijging zal op termijn (waarschijnlijk pas 2050 of later) leiden tot grotere jaarlijkse hoeveelheden zand voor kustonderhoud. De vraag is welke alternatieve suppletieconcepten en uitvoeringmethoden geschikt zijn wanneer de suppletievolumes en/of de suppletiefrequentie toenemen. Dit is onderzocht onder 'opschaalbaarheid'. Toepasbaarheid gaat over de vraag of de onderzochte alternatieven op meerdere locaties langs de Nederlandse kust toe te passen zijn, zowel gezien de fysische eigenschappen van de kustvakken als de contractuele en organisatorische aspecten.

#### Aanpak

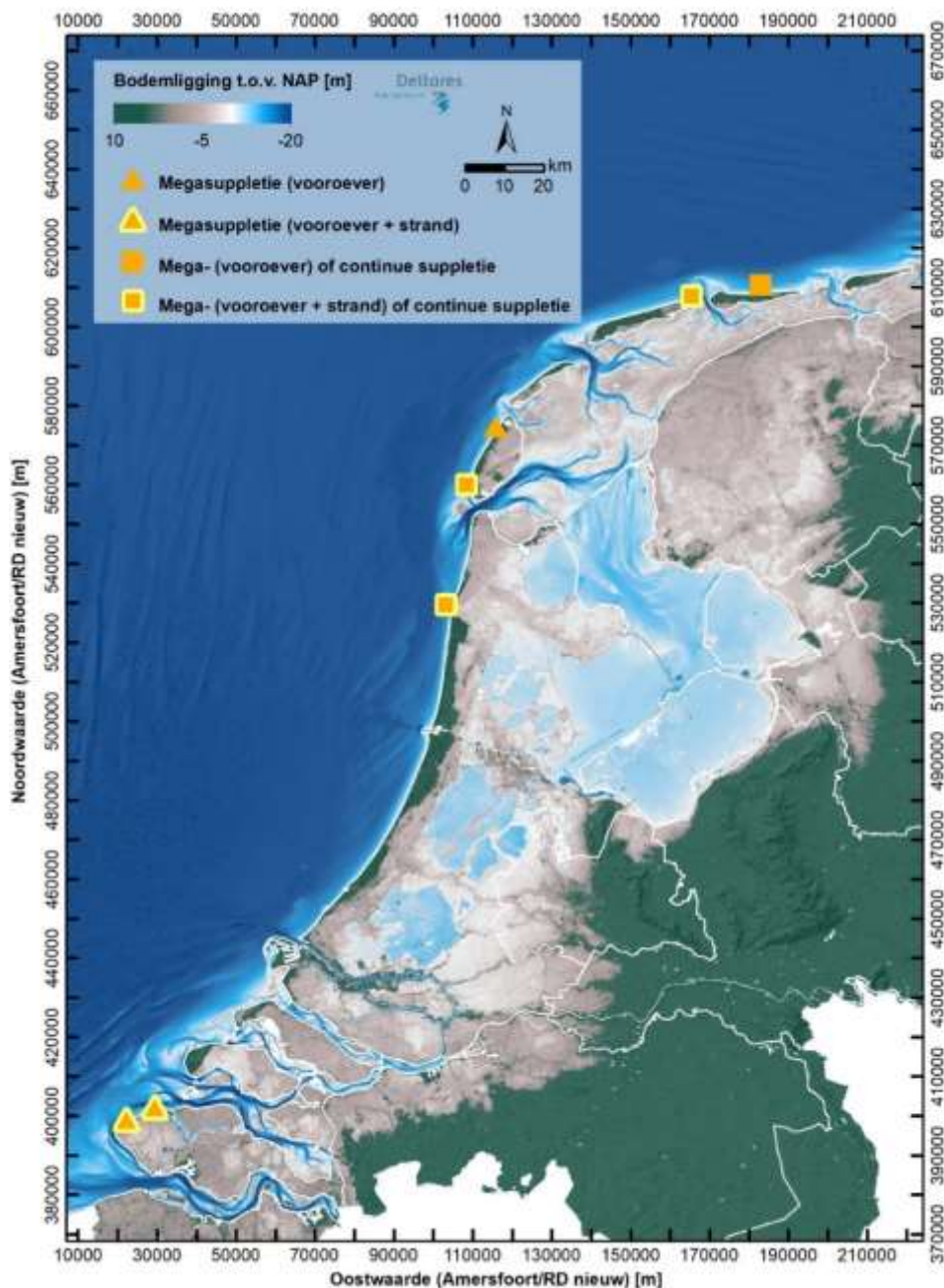
Opschaalbaarheid is onderzocht door met het model dat in WP 2 is ontwikkeld combinaties van suppletieconcepten en uitvoeringmethoden door te rekenen, voor drie verschillende volumes: 0,125 mln. m<sup>3</sup>/jaar, 0,625 mln. m<sup>3</sup>/jaar en 0,75 mln. m<sup>3</sup>/jaar (Technische Universiteit Delft 2023e). De toepasbaarheid langs de Nederlandse kust is in WP 1 onderzocht op basis van expert judgement, op basis van lokale morfodynamiek, kustfuncties, technische aspecten, vergunbaarheid en, waar van toepassing, andere beleidsaspecten (Röbke et al. 2023).

#### Resultaten

Met zowel de reguliere vooroeversuppleties als verschillende vormen van megasuppleties is het mogelijk grotere volumes zand aan te brengen. Echter, omdat de verspreidingssnelheid van het zand in kustlansgse richting gelimiteerd is, vraagt verspreiding via natuurlijke processen meer tijd dan wanneer het zand via reguliere suppleties direct naar de locaties met suppletiebehoefte wordt gebracht. Ter illustratie, de gesimuleerde megasuppleties (eiland, schiereiland en onderwater megasuppletie) en continue suppleties laten een significante aanzanding zien in ca 5 km rondom het aanleggebied in 10 jaar. Suppletiebehoefte verder weg moet op andere wijze worden ingevuld. Dit is een beperking in de opschaalbaarheid. Bij grotere

volumes zal de Cablehopper beperkingen hebben in de uitvoering van continue suppleties, vanwege de diepgang die nodig is.

Uit de evaluatie over toepasbaarheid langs de Nederlandse kust komt dat er zeven gebieden zijn waar megasuppleties en/of continue suppleties een mogelijk alternatief zijn voor de reguliere vooroever- en strandsuppleties (Figuur 3-3). Voor al deze locaties is alternatief kustonderhoud via een megasuppleties voldoende kansrijk voor verdere verkenning. Op vier daarvan is een continue suppletie een mogelijkheid. Uiteraard moet, voordat er grote stappen worden genomen, een meer gedetailleerde analyse van de lokale omstandigheden worden uitgevoerd.



Figuur 3-3 Locaties waarvoor implementatie van kansrijke alternatief kustonderhoud mogelijk lijkt. Van noord naar zuid zijn de volgende locaties kansrijk bevonden: 1) de centrale eilandkust van Ameland, 2) de eilandstaart van Terschelling, 3) Texel Noord, 4) Texel Zuidwest, 5) de Hondsbossche Duinen, 6) de Vrouwenpolder (Zeeland) en 7) de kust bij Domburg (Zeeland). (Röbke et al. 2023)

## 3.4 Voldoen aan beleid kustonderhoud

### Beschrijving

Het beleid waaraan moet worden voldaan is sinds 1990: 'dynamisch handhaven van de kustlijn door middel van zandsuppleties, met de BasisKustLijn (BKL) als referentie'. Het handhaven van de kustlijn is gericht op duurzaam handhaven van de veiligheid en het behouden van de functies en waarden in duingebieden (de strategische doelen), door veilige primaire waterkeringen, het op orde houden van de sedimentbalans en waar mogelijk gebruik te maken van natuurlijke dynamiek (de tactische doelen). Dit is uitgewerkt in twee operationele doelen: handhaven van de kustlijn en meegroeien van het kustfundament met de zeespiegel. Hoe effectief de alternatieve concepten hieraan bijdragen, kan worden bepaald met veranderingen in de momentane kustlijn (MKL) ten opzichte van de BKL als referentiekader, het volume van het kustfundament. Door ook naar het duinvolume te kijken kan geëvalueerd worden hoe de veiligheid tegen overstroming zich ontwikkelt.

### Aanpak

In het project is in WP 2 voor het criterium 'voldoen aan beleid' met het ontwikkelde model onderzoek gedaan naar de effecten van suppletieconcepten op de positie van de kustlijn ten opzichte van de BKL en op het volume van het kustfundament. Veranderingen in het duinvolume zijn niet berekend.

### Resultaten

De berekeningen bevestigen dat strandsuppleties direct bijdragen aan kustlijnonderhoud, want al het zand wordt direct in de BKL-zone aangebracht. Het zand dat bij vooroever-suppleties wordt aangebracht heeft tijd nodig om in die zone terecht te komen. De huidige werkwijze van kustlijn-zorg is op deze vertraagde reactie ingespeeld en maakt het mogelijk zo veel als mogelijk onder water te suppleren. Uit de modelsimulaties van megasuppleties blijkt dat, bij een ontwerplevensduur van 10 jaar, de voeding van de omliggende kust op lange termijn vergelijkbaar is voor alle drie de varianten van een megasuppletie (schiereiland, eiland of onderwater megasuppletie). Uit de simulaties blijkt dat na de levensduur van 10 jaar nog niet de hele kuststrook van 10 km is gevoed door de megasuppleties (bij alle drie de varianten). Langs kustgebieden waar de BKL (op termijn) overschreden kan gaan worden, kan het daarom nodig zijn om megasuppleties op meerdere verspreidingslocaties uit te voeren en/of te combineren met andere suppletievormen. Ook continue suppleties (zowel op het strand als op de vooroever) hebben een beperkte kustlangs verspreiding. Zonder aanvullende maatregelen zal dit op termijn een knelpunt vormen voor de aanvoer van voldoende zand (zowel bij de Cable hopper als pijpleiding). Dit onderstreept dat er lokaal versterking kan worden uitgevoerd met continue suppleties, maar dat voor grotere delen van de kust met een sedimentvraag wellicht naar andere alternatieven gekeken moet worden.

## 3.5 Uitvoerbaarheid

### Beschrijving

Uitvoerbaarheid verwijst naar de mate waarin de alternatieven technisch ontwikkeld zijn, of ze praktisch uitvoerbaar zijn en wat de complexiteit van de vergunningverlening is. Technology Readiness Levels (TRLs) geven aan in hoeverre de uitvoeringsmethode al ontwikkeld is en op welke termijn de techniek toegepast kan worden in de praktijk. De praktische uitvoerbaarheid gaat over technische beperkingen van combinaties tussen uitvoeringsmethoden en suppletieconcepten. Grote hoppers hebben bijvoorbeeld beperkingen in de diepgang, waardoor ze niet voor alle suppletieconcepten kunnen worden toegepast. Vergunbaarheid is een kwalitatieve indicator die gaat over de moeite die het kost om een vergunning te verkrijgen voor een bepaald onderhoudsconcept in combinatie met de uitvoeringsmethode. Er zijn vergunningen nodig, waarvan die onder de Wet natuurbescherming (Wnb) de meeste complexiteit met zich meebrengen. Het bevoegd gezag beoordeelt een aanvraag vooral op de directe ecologische gevolgen van een suppletie en op de impact van de uitvoeringsmethode.



## Aanpak

In het project zijn in WP 3 voor de uitvoeringsmethoden de TRL-niveaus in kaart gebracht. Daarnaast is in samenspraak met WP 2 een selectie gemaakt van combinaties van suppletieconcepten en uitvoeringsmethoden die praktisch uitvoerbaar zijn. Voor de vergunbaarheid is met behulp van de kennis over de Wnb en de ecologische effecten van de alternatieven in kaart gebracht wat de gevolgen zijn voor het vergunningsgemak van de suppletieconcepten en de uitvoeringsmethoden. Verstoring tijdens de uitvoering en effecten op zeestroming en veiligheid van zwemmers zijn in dit project niet onderzocht.

## Resultaten

De uitvoeringsmethoden die zijn onderzocht in het TKI-DCC project, zijn niet allemaal bewezen technieken en bevinden zich niet op hetzelfde niveau in technologische ontwikkeling. De methode van TRL bepaalt de volwassenheid van een technologie. TRL maakt gebruik van negen verschillende niveaus die de fase van ontwikkeling weergeven, dit maakt het mogelijk om verschillende type technologieën met elkaar te vergelijken. De resultaten staan weergegeven in Tabel 3-4.

Tabel 3-4 TRL-niveaus van de onderzochte uitvoeringsmethoden (Vereniging van Waterbouwers 2023)

Uitvoeringsmethode	TRL-niveau	Redenering
Sleephopperzuiger (MDO)	9	Vrijwel alle zandsuppleties worden momenteel uitgevoerd door de sleephopperzuiger met Marine Diesel Olie.
Sleephopperzuiger (Groene brandstof)	9	In West-Europa wordt biobrandstof op basis van Hydrotreated Vegetable Oil veelvuldig toegepast om de milieu impact te verkleinen.
Hopper van de Toekomst	6/4	Het toepassen van Waterstof/Methanol voor het vaarbedrijf van een schip wordt op kleine schaal al toegepast. Het toepassen van de brandstoffen van de toekomst op het baggerbedrijf wordt momenteel enkel getest op prototype schaal.
AUMD 2.0	2	Afzonderlijk zijn de technieken getest onder operationele omstandigheden maar het concept van een onderwater hopperzuiger is enkel geformuleerd. Binnen het IKZ traject is de uitvoeringsmethode niet verder ontwikkeld.
Cablehopper	4	Afzonderlijk zijn de technieken getest onder operationele omstandigheden maar het concept van een autonome hopper is enkel geformuleerd. Omdat de uitvoeringsmethode binnen het IKZ traject wel verder wordt ontwikkeld, wordt de uitvoeringsmethode wel meegenomen in de resultaten.
Groene Leiding	3	Op kleinere lengte/schaal is het uitvoeringsconcept van transport van zand/water door een leiding een beproeft concept. Echter de extreme transportafstand en het stationaire karakter bevindt zich nog in experimentele fase.
Zandwindmolen	3	Op kleinere lengte/schaal is het uitvoeringsconcept van transport van zand/water door een leiding een beproeft concept. Echter de extreme transportafstand en het stationaire karakter bevindt zich nog in experimentele fase.

De huidige werkwijze (reguliere zandsuppleties met conventionele hoppers) is, onder voorwaarden, vrijgesteld van de vergunningsplicht. Voor alternatieve suppletieconcepten en uitvoeringsmethoden is een extra toets nodig op de ecologische effecten. Tabel 3-5 t/m Tabel 3-7 vat de relevante factoren m.b.t. vergunningverlening van de suppletieconcepten en de uitvoeringsmethoden samen. De vergunbaarheid van reguliere suppleties uitgevoerd met conventionele methoden (sleephopperzuiger), of met innovatieve methoden die daar sterk op

lijken (hopper van de toekomst en onderwaterwaterdrone AUMD2.0), wordt als minst complex ingeschat. Het verkrijgen van vergunningen voor een megasuppletie is complexer door de omvang van de ingreep. Continue suppleties hebben complexere vergunningverlening vanwege de nieuwe uitvoeringsmethoden, in het bijzonder de permanente aanwezigheid van materieel tussen zandwinlocatie en het punt waar de suppletie plaatsvindt.

Tabel 3-5 Duur en schaal per onderhoudsconcept (Arcadis, 2022)

Suppletieconcepten	Verstoringstijd	Oppervlakte bedekking	Terugkeertijd
Reguliere suppleties	Tijdens uitvoeren van suppleties	Oppervlakte tussen andere concepten in	Orde 5 jaar
Megasuppletie	Tijdens uitvoeren van suppleties	Grootste oppervlakte	Orde tiental(len) jaren
Puntsuppletie	Continu	Kleinste oppervlakte	(Semi-)Continu

Tabel 3-6 Verstoringen en stormcondities per uitvoeringsmethode, X betekent aanwezig (Arcadis, 2022)

Uitvoeringsmethode	Habitataantasting	Vertroebeling en sedimentatie	Bovenwaterverstoring	Onderwaterverstoring	Stikstofdepositie	Gevolgen door stormen
Sleephopperzuiger	X	X	X	X	X	
Hopper vd toekomst	X	X	X	X		
Zandwindmolen	X	X	X	X		X
Groene leiding	X	X	X	X		X
Cablehopper	X	X	X	X		X
AUMD 2.0	X	X		X		

Tabel 3-7 Permanente/tijdelijke effecten per uitvoeringsmethode (Arcadis, 2022)

Uitvoeringsmethode	Habitataantasting	Vertroebeling en sedimentatie	Bovenwaterverstoring	Onderwaterverstoring	Stikstofdepositie	Gevolgen door stormen
Sleephopperzuiger	Tijdelijk	Tijdelijk	Tijdelijk	Tijdelijk	Tijdelijk	
Hopper vd toekomst	Tijdelijk	Tijdelijk	Tijdelijk	Tijdelijk		
Zandwindmolen	Permanent	Tijdelijk	Tijdelijk	Permanent		Permanent
Groene leiding	Permanent	Tijdelijk	Tijdelijk	Permanent		Permanent
Cablehopper	Permanent	Tijdelijk	Tijdelijk	Permanent		Permanent
AUMD 2.0	Tijdelijk	Tijdelijk		Tijdelijk		

## 3.6 Gezonde markt

### Beschrijving

Met 'gezonde markt' wordt bedoeld dat er voldoende spelers actief zijn voor onderlinge concurrentie m.b.t. de uitvoering van het Nederlands kustonderhoud. De werkhypothese is dat bij 'tenminste 5 spelers' er voldoende bedrijven actief zijn hiervoor. Een belangrijke vraag voor dit project was hoe ruimte en ondersteuning kan worden gegeven aan de markt om te innoveren in de kustlijnzorg en de transitie richting klimaatneutraal kustonderhoud te realiseren, waarbij de wijze van uitvragen toegankelijk is voor voldoende aanbieders op de Nederlandse markt (en er dus een 'gezonde markt' in stand blijft).

### Aanpak

In WP 4 zijn drie sporen uitgewerkt over marktbenadering en contractstrategie, die kunnen worden toegepast om de transitie naar klimaatneutraal kustonderhoud. Elk van de sporen past bij een ander ontwikkelstadium met bijbehorende marktrijpheid van innovaties. Daarnaast zijn contractspecificaties uitgewerkt die kunnen worden toegepast om de markt te stimuleren om duurzame innovaties te ontwikkelen.

### Resultaten

Voor de transitie naar klimaatneutraal kustonderhoud is een marktbenadering langs 3 sporen uitgewerkt. Binnen ieder spoor vindt concurrentie plaats. Elk van de sporen past bij een ander ontwikkelstadium met bijbehorende marktrijpheid van innovaties. **Spoor 1** is een 'Emissiearme uitvoering, ontwikkeld vanuit de huidige werkwijze'. Het richt zich op het structureren en versnellen van innovaties die al op de markt zijn ("het laaghangende fruit"). Dit zijn vooral innovaties met een hoog Technical Readiness Level (TRL) die emissies van bestaand materieel reduceren. **Spoor 2** is een '(Nagenoeg) Emissievrije uitvoering, met transitieprong'. Het richt zich op het maken van een transitieprong naar klimaatneutraal kustonderhoud. Het betreft innovaties die nog investeringen in ombouw van bestaand of aanschaf van nieuw materieel vergen en een gemiddeld TRL hebben. **Spoor 3** is een 'Ontwikkel (innovatie) spoor' en richt zich op ontwikkelingen voor de langere termijn. Dit zijn innovaties die in een vroegtijdig ontwikkelstadium (laag TRL) zijn en op korte termijn nog beperkt kunnen bijdragen aan het kustonderhoud. Ze kunnen mogelijk op de lange termijn een groot effect hebben.

Om de markt te stimuleren om duurzame innovaties te ontwikkelen en in te zetten, is daarnaast gewerkt aan manieren om de duurzaamheidseisen in de contractspecificaties (incrementeel) op te schroeven en hier passende contractprofielen bij te definiëren. De duurzaamheidseisen kunnen worden uitgewerkt in de contractspecificaties op 6 thema's: 1) Scope van de opdracht (type suppletie, omvang, alleen aanleg of ook onderhoud), 2) Looptijd (contractduur en eventuele verlengingsoptie), 3) Vraagspecificatie (de mate van detail en variatie in de werkzaamheden), 4) Risicoprofiel (risico's in geld, tijd en kwaliteit voor opdrachtnemer en opdrachtgever), 5) Type prestatie (kubieke meters, verbeteren van duurzaamheid), en 6) Betalingsregime (tussentijds of achteraf, basis van verrekening).

## 3.7 Kosten

### Beschrijving

Bij het uitvoeren van een zandsuppletie zijn de belangrijkste kostenposten in het algemeen verbonden aan het winnen, transporteren of verwerken van een bepaalde hoeveelheid zand. Bij het inschatten van de kosten kan onderscheid worden gemaakt tussen indirecte en directe kosten. Indirecte kosten hebben een vast karakter en zijn niet rechtstreeks verbonden aan de duur van de werkzaamheden, zoals bijvoorbeeld aan- en afvoerkosten materieel en personeelskosten voor de voorbereiding en uitvoering van het project. Directe kosten zijn gebaseerd op de exploitatie van het materieel en op het productieproces en zijn als gevolg daarvan variabel, zoals bijvoorbeeld: afschrijving en rente, onderhoud, brandstof, kosten voor de bemanning en havengelden. Daarnaast zijn de kosten ook afhankelijk van bijv. brandstofprijzen en vaarafstanden.

### Aanpak

Net zoals bij het bepalen van de milieu-impact, zijn door WP 3 ook voor het berekenen van de kosten meerdere factoren meegewogen, waaronder de geometrie van het suppletieconcept, de zandwinlocatie, het in te zetten materieel, de productie, het brandstofverbruik en type brandstof en mobilisatie en demobilisatie van het materieel (zie voor toelichting Vereniging van Waterbouwers, 2023). De uiteindelijke kostprijs van een suppletie is de optelling van: productiekosten (uitvoeringsduur x wekkosten van al het materieel en personeel dat is ingezet), de eenmalige kosten, uitvoeringskosten, onvoorziene kosten en de opslag voor



algemene kosten, winst en risico. Het delen van deze kostprijs door het volume in profiel resulteert in de indicatieve kosten per eenheid (EUR per m<sup>3</sup>). Voor een realistische prijsweergave worden ook de marktomstandigheden meegewogen, waarbij is gewerkt met een gemiddeld opslagpercentage.

## Resultaten

Bij de vergelijking tussen de reguliere en megasuppleties is het suppletievolume van de reguliere suppletie vastgesteld op 1,5 Mm<sup>3</sup>, enkel uitgevoerd door het kleine hopper type. De overige variabelen, zoals locatie en vaarafstand, zijn gelijk aan de megasuppletie. De uitkomsten van de reguliere suppletie zijn in onderstaande tabellen vergeleken met een megasuppletie. Uit de resultaten blijkt dat de kosten voor MDO het laagst zijn, gevolgd door HVO 100% en alternatieve brandstof (waarin de waarden voor methanol en waterstof zijn gecombineerd). Bij gelijk brandstoftype, is suppleren op de vooroever (voor regulier én megasuppleties) goedkoper dan de bovenwater-varianten. Dit is te verklaren doordat het aanbrengen van het zand op de vooroever minder energie vraagt. Een vergelijking tussen reguliere suppleties en megasuppleties op kosten per kuub suppletiezand leert dat deze voor megasuppleties gemiddeld lager zijn dan voor reguliere suppleties. Dit komt doordat de eenmalige kosten van een reguliere suppletie en een megasuppletie grotendeels gelijk zijn, maar bij een megasuppletie gedeeld worden door een groter volume. Hierdoor zijn de kosten per m<sup>3</sup> relatief lager. Uitvoering van een megasuppletie met een grote hopper leidt tot lagere kosten dan de uitvoering met de kleine hopper.

Tabel 3-8 Kosten (€/m<sup>3</sup>) van reguliere strand- en vooroeversuppletie, uitgevoerd met een kleine hopper met alternatieve brandstoftypen (MDO, HVO of alternatief) (op basis van Vereniging van Waterbouwers 2023).

Kosten (€/m <sup>3</sup> )	Strandsuppletie	Vooroeversuppletie
Brandstoftype	Kleine hopper	
MDO	4,70	3,40
HVO 100%	6,50	4,70
Alternatieve brandstof	6,80	5,00

Tabel 3-9 Kosten (€/m<sup>3</sup>) van megasuppleties schiereiland, eiland en vooroever. Uitgevoerd met grote of kleine hopper met alternatieve brandstoftypen (MDO, HVO of alternatief) (op basis van Vereniging van Waterbouwers 2023).

Kosten (€/m <sup>3</sup> )	Megasuppletie schiereiland		Megasuppletie eiland		Megasuppletie vooroever
	Grote hopper	Kleine hopper	Grote hopper	Kleine hopper	Kleine hopper
MDO	4,00	4,50	3,75	4,10	3,00
HVO 100%	5,70	6,10	5,30	5,50	4,20
Alternatieve brandstof	6,00	6,50	5,55	5,80	4,50

## 3.8 Recreatie

### Beschrijving

Handhaving van de kustlijn is ook gericht op de functie recreatie, maar de wijze van suppleren heeft ook gevolgen voor de mogelijkheden voor strandrecreatie en watersporten. Suppleties hebben invloed door (mogelijke) veranderingen in de breedte van het strand en door verstoring op het strand en in het water tijdens de uitvoering. Verschillende soorten strandgebruik hebben verschillende behoeften wat betreft strandbreedte (Decisio 2011). Recreatie aan de kust vertegenwoordigt een economisch belang, lokaal, maar ook voor het imago van Nederland als vakantieland (Decisio 2011).

### Aanpak

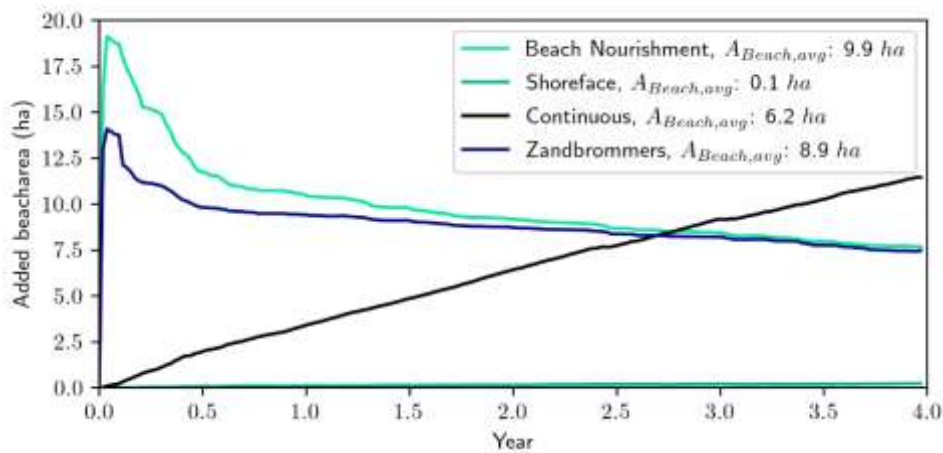
In het project is voor het criterium 'Recreatie' door WP 2 voor de verschillende suppletieconcepten bepaald hoe de strandbreedte zich na aanleg over de tijd ontwikkeld. Hierbij is strandbreedte gebruikt als indicator voor recreatiemogelijkheden. Daarnaast zijn ook mogelijkheden voor watersporten bepaald waarbij beschut en ondiep water is gebruikt als indicator, aangezien dit geliefde omstandigheden zijn voor (beginnende) kitesurfers. Effecten van verstoring op recreatie is alleen kwalitatief onderzocht. Door beperkingen in het model kan geen uitspraak worden gedaan over de gevolgen van suppletieconcepten op stromingen en de veiligheid van zwemmers.

### Resultaten

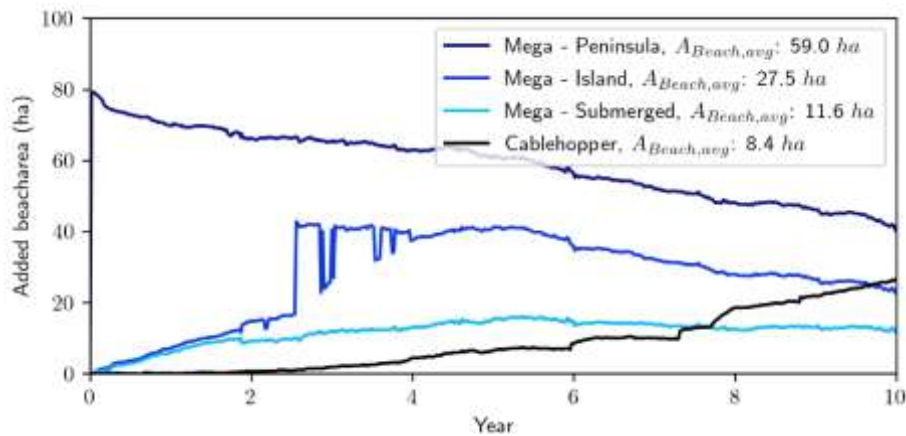
Uit de modelsimulaties blijkt dat reguliere suppleties met een levensduur van vier jaar een minimaal effect (<10 ha) hebben op de strandbreedte. Van de reguliere suppleties leiden strandsuppleties (9,9 ha) en 'zandbrommers' (8,9 ha) tot de grootste toename in het strandoppervlak. Bij megasuppleties heeft een schiereiland de grootste toename in strandoppervlak: over ene periode van 10 jaar gemiddeld 59 ha. Een eiland leidt ook tot een toename van strandoppervlak, maar alleen vanaf het moment dat de suppletie door zandtransport ook aansluiting heeft met het strand. Onderwater megasuppleties en continue suppleties leiden tot een lagere toevoeging aan de strandbreedte.

Megasuppleties bieden kansen voor watersporters, vooral wanneer er een lagune ontstaat die beschutte omstandigheden biedt (ideaal voor beginnende kitesurfers). Een schiereiland is hiervoor het meeste geschikt. Een eiland kan ook tot dergelijke omstandigheden leiden, maar dat is minder goed voorspelbaar. Reguliere suppleties dragen bij aan het in stand houden van de al aanwezige recreatiemogelijkheden, maar zullen geen nieuwe kansen creëren voor andere kustactiviteiten.

Als het gaat om verstoring van recreanten, leiden suppleties op het strand (regulier en megasuppleties) tot meer verstoring van de recreatie doordat een deel van het strand moet worden afgezet tijdens de werkzaamheden. Suppleties op de vooroever (reguliere- en megasuppleties) zorgen ervoor dat het water tijdens de uitvoering niet toegankelijk is voor watersporters of (recreatieve) vaaractiviteiten. Het areaal waarop continue suppleties zorgen voor verstoring van recreatie is kleiner, maar wel gedurende lange of zelfs onbepaalde tijd.



Figuur 3-4 Verandering in strandoppervlak in ha over een periode van 4 jaar. Vier soorten suppleties zijn weergegeven: strandsuppletie (lichtgroen), vooroeversuppletie (donkergroen), continue strandsuppletie (zwart) en 'zandbrommers' (donkerblauw) (Technische Universiteit Delft 2023e)



Figuur 3-5 Verandering in strandoppervlak in ha over een periode van 10 jaar. Vier soorten megasuppleties zijn onderzocht: schiereiland (donkerblauw), eiland (blauw), onderwater megasuppletie (lichtblauw) en een continue suppletie met Cablehopper (zwart) (Technische Universiteit Delft 2023e)

## 4 Conclusies: Redeneerlijnen

Om de bijdrage van de resultaten op de drie projectdoelen (klimaatneutraal, natuurinclusief en opschaalbaar kustonderhoud) te beschrijven, zijn 'redeneerlijnen' opgesteld. In deze redeneerlijnen wordt samengevat 1) wat we verstaan onder klimaatneutraal, natuurinclusief of opschaalbaar kustonderhoud; 2) hoe we deze doelstelling met de bouwstenen kunnen realiseren; en 3) Wat dit zou betekenen voor de andere criteria (zowel de doelstellingen, als de randvoorwaarden en overige criteria uit Tabel 3-1.

### 4.1.1 Klimaatneutraal kustonderhoud

De cruciale factor om te komen tot klimaatneutraal kustonderhoud is het energieverbruik en het type energiedrager van het materieel. Voor de komende jaren lijken met name oplossingen voor het terugdringen van emissies van huidig materieel of inzet van duurzame energiedragers in omgebouwd of nieuw materieel kansrijk voor een transitie naar klimaatneutraal kustonderhoud. De suppleties die het minste energie per m<sup>3</sup> zand vragen zijn onderwatersuppleties waarbij het zand via 'klappen' kan worden aangebracht (voldoende diepgang nodig). De vaarafstanden tot de winlocaties kunnen dan zo kort mogelijk worden gehouden en het 'klappen' vraagt minder energie dan wanneer het zand via 'rainbowen' of persen richting ondieper water of het strand moet worden gebracht. De inzet van grotere baggerschepen kan het energieverbruik per m<sup>3</sup> verder terugdringen, maar stelt wel verdere beperkingen aan de aanleghoogte van de onderwatersuppleties (i.v.m. grotere diepgang schip).

Het gebruik van "duurzame hoppers" (hoppers op duurzame energiedragers) geeft een grote milieuwinst (ca. 90% reductie ten opzichte van conventionele hoppers op diesel). Qua operatie zijn de duurzame hoppers in grote mate vergelijkbaar met conventionele hoppers. Daarom zijn de uitvoerbaarheid (waaronder vergunningen), ecologische impacts (van de suppleties zelf) en opschaalbaarheid & toepasbaarheid vergelijkbaar met de huidige werkwijze. Hiervoor worden geen grote problemen voorzien. De belangrijkste uitdaging is het opschalen van de 'innamepunten' van de duurzame energie. Momenteel zijn de kosten per m<sup>3</sup> zand ca. 40-50% hoger dan bij conventionele hoppers. Dit is exclusief de kosten voor de ombouw van het materieel en de aanleg van energie-infrastructuur voor nieuwe energiedragers. Er is dus nog een innovatie- of transitieprong nodig. In theorie kan deze sprong gemaakt worden door een groot deel van het kustonderhoud bij één of enkele partijen te beleggen, zodat zij voldoende volume en zekerheid hebben om hun investeringen in ombouw of nieuwbouw van materieel terug te verdienen. Aandachtspunt hierbij is de marktsituatie. Deze moet voor voldoende aanbieders toegankelijk blijven. Vanuit het onderzoek in werkpakket 4 leidt dit tot een voorstel om het duurzame materieel geleidelijk in het kustonderhoud te introduceren (met ca. 30% van het opdrachtvolume bij aanvang), met de overheid als "launching customer", waarbij het aantal aanbieders geleidelijk kan groeien.

### 4.1.2 Natuurinclusief kustonderhoud

Natuurinclusief kustonderhoud wordt behandeld door bespreken van drie aspecten: (a) behoud (zo min mogelijk verstoring van de bestaande ecosystemen, cf. Wet natuurbescherming), (b) ontwikkeling (vorming van nieuwe ecotopen) en (c) sedimenttransport en invloed op duindynamiek.

#### a. Natuurbehoud (bestaande natuur)

Kustonderhoud kan conflicteren met natuurbehoud door:

- (i) sterfte van bodemdiergemeenschappen bij de aanleg van suppleties (bedelving, al dan niet tijdelijk verlies van habitat);
- (ii) vertroebeling die leidt tot minder doorzicht en minder primaire productie, treedt voornamelijk op tijdens de zandwinning (suppletielocaties hebben vaak al beperkt doorzicht door de golfdynamiek);
- (iii) verstoring (geluid en/of zicht, zowel boven als onderwater);

(iv) eutrofiering, met name door stikstofdepositie, alleen bij de reguliere sleeppopperzuiger.

De belangrijkste verschillen tussen bouwstenen liggen in de factoren (i) bedelving en (iii) verstoring. De bodemdieren die in de diepere delen van de vooroever (onder -6m NAP) leven zijn in het bijzonder gevoelig. Op dit punt zijn ondieper gelegen vooroeversuppleties en strandsuppleties gunstiger. Bij megasuppleties (groot oppervlak, maar lange tijd daarna geen nieuwe ingreep) is het gebied waar bedelving plaatsvindt groter, maar is er veel tijd voor herstel. Bovendien kunnen ze gebruikt worden om (tijdelijk) nieuwe / andere ecotopen doen ontstaan (zie aspect b.). Continue suppleties zijn interessant als alternatief omdat het tot de minste ecologische schade door bedelving leidt (kleiner oppervlak en geleidelijke aanvoer van sediment). Ze scoren echter slechter qua verstoring. Ze zijn immers permanent aanwezig, wat bovendien hinder of beperkingen aan andere gebruiksfuncties kan veroorzaken. Het verkrijgen van vergunningen (o.m. Wet natuurbescherming) is veel minder vanzelfsprekend.

#### **b. Natuurontwikkeling (nieuwe c.q. versterkte natuur)**

Er is verschil in leefgebieden in de kustzone door gradiënten in diepte en stroomsnelheid (en mede als gevolg daarvan in sedimentsamenstelling / korrelgrootte). Suppleties kunnen deze veranderen en ook tot verrijkingen leiden. Bij megasuppleties, die voor langere tijd het lokale gedrag en profiel beïnvloeden, is dit het meest evident. De Zandmotor bijvoorbeeld, leidde direct na aanleg tot een nieuw hoogteprofiel, waarbij hoger gelegen ecotopen zoals strand en embryonale duinen in oppervlak toenemen. Het ontwerp van de Zandmotor leidde ook tot luwere, meer slibrijkere plekken. Hiervoor verdwenen uiteraard oppervlakten van andere ecotopen. Bij continue en reguliere vooroever- en strandsuppleties is de verandering in oppervlakten van de ecotopen beperkt

#### **c. Invloed op sedimenttransport**

Suppleties kunnen het zandtransport richting de duinen beïnvloeden, met gevolgen voor duinvorming. De belangrijkste factoren zijn de effectieve strandbreedte (het droge strand waar zandtransport plaats vindt) en aanwezigheid grovere zandkorrels en/of schelpen die het zandtransport bemoeilijken. Bij (mega)strandsuppleties kunnen beide factoren meespelen, zoals bleek bij de Zandmotor. Het zandtransport richting duinen was minder dan verwacht en duinvorming kwam later op gang kwam. De ontwikkeling van rijroutes langs de 'oude duinen' en een mechanische manier van schoonmaken van het strand speelden hierbij ook een rol. Dit toont de invloed van het ontwerp en het beheer op het ontwikkelen van strand- of duinnatuur.

#### **Afweging tussen suppletieconcepten en uitvoeringsmethoden**

Welke combinatie van bouwstenen het meest natuur-inclusieve kustonderhoud geeft is in de eerste plaats afhankelijk van de natuurdoelen van het gebied. Hoe waardevol is de bestaande natuur en behoud ervan of is de wens of noodzaak tot creëren van nieuwe ecotopen van groter gewicht? Vanuit het oogpunt 'beperken bedelving' zijn strandsuppleties en ondiep gelegen vooroeversuppleties het meest gunstig. Strandsuppleties hebben voor de ecologie als nadeel dat er meer verstoring is en het risico dat de korrelgrootteverdeling anders is, met invloed op het zandtransport richting de duinen. Of de natuurwinst door minder bedelving bij continue suppleties opweegt tegen de continue verstoring die ze geven is niet op voorhand te zeggen. Voor het creëren van nieuwe ecotopen zijn megasuppleties het meest geschikt: met het aanbrengen van grote volumes zand worden de omstandigheden zodanig veranderd dat er grotere oppervlakten aan droge en ondiepe ecotopen ontstaan. Ze veranderen ook lokale stroming en zandtransport richting duinen. Hierop kan met ontwerp en beheer worden gestuurd.

#### 4.1.3 Opschaalbaar kustonderhoud

Een versnelde zeespiegelstijging zal op termijn (waarschijnlijk pas 2050 of later) leiden tot grotere jaarlijkse hoeveelheden zand voor kustonderhoud. De vraag is welke alternatieven dan meer geschikt zijn / worden. Toepasbaarheid, zijn de alternatieven op meerdere locaties te gebruiken, is een onderdeel van deze vraag. Alle suppleties die met grote hoeveelheden tegelijk kunnen worden aangebracht (lees: hoppers) zijn geschikt voor grotere volumes, zo lang als de lokale morfologische situatie dit toelaat (vergelijk kusten waar een geul nabij het strand ligt en er nu al weinig ruimte is voor een suppletie). Suppleties onder water kunnen meestal makkelijker worden opgeschaald dan die op het strand en ze scoren gunstiger op verstoring, kosten en MKI. Bij de aanleg van Hondsbossche Duinen, Maasvlakte en Zandmotor is gebleken dat ontwerpen kunnen worden aangepast aan de lokale eisen (functies) en grote hoeveelheden aanbrengen per tijdseenheid mogelijk is.

Continue suppleties zijn minder goed opschaalbaar, want er zijn beperkingen aan de volumes die aangebracht kunnen gegeven de afhankelijkheid van verspreiding in kustlangs richting. Bij opschaling van materieel vergroten de voor- en nadelen zich uit ten opzichte van elkaar. Zo zal de Cablehopper meer problemen met uitvoerbaarheid en ecologische effecten hebben.

De inzet van duurzame hoppers scoort nu goed op "klimaatneutraal", maar lager op "opschaalbaar". Dit vraagt een volgende stap, want de duurzame hoppers zijn nog relatief klein. Als vaarafstanden naar winlocaties toenemen is groter materieel nodig. Om de opschaalbaarheid van deze en andere innovaties te vergroten zou inzet van het, in werkpakket 4 gepresenteerde, experimentele spoor van uitvragen (pilots) voor ontwikkeling hulp kunnen bieden.

## 5 Reflectie: De methode multicriteria-analyse

Gedurende het TKI-DCC project is door WP 5 gewerkt met multicriteria-analyse. Er zijn een aantal iteraties doorlopen, waarbij de vergelijking tussen alternatieve suppletieconcepten en uitvoeringsmethoden steeds is verfijnd. Ook zijn er stappen gezet in de selectie van de meest relevante criteria c.q. indicatoren. Dat zijn die indicatoren die onderscheidend zijn tussen alternatieven én waar voldoende informatie voor beschikbaar is. Hieronder worden per fase van het DCC-project de aanpak en tussentijdse resultaten toegelicht. Dit geeft inzicht in het proces dat leidde tot de definitieve resultaten in het syntheserapport. De resultaten die hieronder worden getoond kunnen daarom afwijken van de definitieve resultaten zoals beschreven in Hoofdstuk 4 en in het syntheserapport.

### 5.1 Fase 1

#### Aanpak

Voor een vergelijking tussen de alternatieven op basis van de acht criteria, is een multicriteria-analyse uitgevoerd ten opzichte van de benchmark (de huidige praktijk van het kustonderhoud), zowel kwalitatief als kwantitatief. Dit is eerst gedaan voor een kleine selectie van suppletieconcepten en uitvoeringsmethoden. Tabel 5-1 toont een vingeroefening uit fase 1. Dergelijke resultaten zijn gebruikt voor een eerste inzicht in de verschillen tussen de concepten. De getallen voor bijv. de kosten zijn gedurende het project veranderd door het toevoegen van nieuwe informatie en berekeningen.

#### Tussentijdse resultaten

De eerste vergelijkingen leidden tot meerdere conclusies. De impact op milieu en ecologie leek niet onderscheidend tussen een reguliere strandsuppletie en een puntsuppletie (op het strand). Ook leek de puntsuppletie te leiden tot minder verstoring van recreatie, omdat het gebied dat hiervoor moet worden afgezet kleiner is dan bij reguliere suppleties. Er kwamen wel vragen op in hoeverre continue suppleties lastig zouden worden voor vergunbaarheid, vanwege de continue aard van verstoring voor toerisme en natuur.

#### Lessen voor de volgende stap

De evaluatie van criteria milieu-impact, voldoen beleid, uitvoerbaarheid, kosten en gezonde markt leken na fase 1 haalbaar om in dit project uit te werken. Ecologische impact en recreatie hadden meer aandacht nodig. Daarom zou in de volgende fasen door WP 2 de effecten op deze criteria met het morfologisch model verder worden onderzocht.

Tabel 5-1 Vingeroefening kwalitatieve multicriteria-analyse, toegepast op drie suppletieconcepten

Type kustonderhoud	Voldoen beleid	CO2	Ecologisch effect KT	Kosten	Andere aspecten		
					Kennis en Innovatie	Gezonde NL markt	Brede welvaart
Huidig	0	0	0	0	0	0	0
Zandwinmolen continu	0	+	+?	-	+	+	0/+
Elektrische hopper (frequenter met kleiner schip?)	0	+	0?	-	+	0/+	?
	Aanname	kwantif	kwal.	kwantif	kwal.	kwal.	kwal.



## 5.2 Fase 2

### Aanpak

In de tweede fase is de lijst criteria en indicatoren uitgebreid en gespecificeerd (Tabel 5-2). Er is invulling gegeven aan de kwalitatieve criteria Kennis en innovatie (later toegevoegd aan uitvoerbaarheid), gezonde Nederlandse markt en Recreatie. Door WP 2 en 3 is bovendien voor een selectie van kansrijke combinaties van suppletieconcepten en uitvoeringsmethoden in meer detail gerekend aan effecten op voldoen aan beleid, impact op ecologie en milieu en kosten.

### Tussentijdse resultaten

Op basis van de tussentijdse getallen van WP 2 en 3 is een nieuwe kwalitatieve vergelijking gemaakt tussen de reguliere vooroeversuppletie en een puntsuppletie op de vooroever, met verschillende uitvoeringsmethoden (Figuur 5-1). Dit is gedaan voor de criteria uitvoerbaarheid, milieu-impact, kosten en innovatie.

Bij uitvoerbaarheid (in Figuur 5-1) geven het aantal rode balkjes weer hoe complex de vergunbaarheid is ingeschat. Concepten die nu al worden uitgevoerd of daar sterk op lijken (vooroeversuppletie met hopper of duurzame hopper) zijn makkelijker uitvoerbaar (4 rode balkjes). Vergunningen voor uitvoeringsmethoden met een permanent karakter en waarbij kabels gebruikt worden, zijn daarentegen erg complex (1 rood balkje). Dit geldt voor de puntsuppletie en ook voor de vooroeversuppletie als die wordt uitgevoerd met een Cablehopper. Voor de indicator milieu-impact geeft het aantal groene blaadjes aan of een techniek duurzaam is (drie groene blaadjes) of niet (één blaadje). De groene leiding en zandwindmolen hebben één groen blaadje omdat deze methoden erg veel energie vragen en dit ook met duurzame brandstoffen niet wenselijk is. Door deze hoge energievraag zijn de kosten van de groene leiding en de zandwindmolen ook erg hoog (€€) in vergelijking met de andere alternatieven. De duurzame hopper en de zandwindmolen gebruiken technieken die al bestaan en hebben daarom minder innovatie nodig (twee gloeilampen) dan de andere nieuwe technieken (drie gloeilampen) voordat ze kunnen worden toegepast in de praktijk.

Ook voor de criteria Gezonde NL markt en Recreatie zijn in fase 2 tussentijdse conclusies getrokken. Deze zijn samengevat in Figuur 5-2 en Figuur 5-3. Vooral alternatieven die voor een deel vernieuwend zijn, internationaal toepasbaar en flexibel toe te passen zijn, worden een gunstig effect toegeschreven op de gezonde NL markt. Aandachtspunt is dat sommige innovaties snel achterhaald kunnen zijn, terwijl er wel grote investeringen voor zijn gemaakt. Eigendom van de innovaties geeft mogelijk problemen (wie heeft eigendomsrechten) en er is een grote afhankelijkheid van de infrastructuur voor duurzame brandstoffen. Voor Recreatie zijn vooral de voorspelbaarheid, een breder strand en een 'unieke trekpleister' (zoals de Zandmotor) kenmerken die een positief effect hebben op dit criterium. Verstoring tijdens de uitvoering, permanente aanwezigheid van constructies en horizonvervuiling zijn aangemerkt als kenmerken met een negatief effect op Recreatie.

### Lessen voor de volgende stap

In deze fase bleek dat inzicht in de morfologische ontwikkeling cruciaal was om een afweging te kunnen maken tussen suppletieconcepten m.b.t. voldoen aan beleid en ecologische impact. Omdat de ontwikkeling van het modelinstrumentarium langer duurde dan verwacht, waren er in deze fase nog onvoldoende resultaten voor goed onderbouwde uitspraken. In de eerste schattingen leek prijs niet onderscheidend te zijn tussen de alternatieve uitvoeringsmethoden (m.u.v. de groene leiding en de zandwindmolen). Later in het project kwamen betere getallen beschikbaar m.b.t. de kosten, waaruit bleek dat er wel degelijk verschillen zijn. Een belangrijk resultaat, dat ook later stand zou houden, is dat er al een enorme milieuwinst wordt geboekt wanneer klassieke stookolie wordt vervangen door duurzame brandstoffen.

Het gebruik van TRL (Technology Readiness Level) als indicator voor innovatie en toepasbaarheid bleek minder geschikt voor een afweging tussen de alternatieven. Het was in deze fase niet duidelijk hoe deze indicator het beste geïnterpreteerd kon worden: is innovatie iets positiefs (geeft een unieke positie op de markt) of iets negatiefs (duurt lang voordat een methode kan worden toegepast). Daarom is in de volgende fase innovatie niet meer meegenomen als criterium. Wel zijn de TRL-niveaus gebruikt om een selectie te maken van alternatieven die binnen 10-15 jaar toegepast kunnen worden, en daarom in WP 2 en 3 verder zijn doorberekend. De AUMD2, Groene Leiding en Zandwindmolen vielen af omdat ze nog maar in het begin van de ontwikkeling staan.

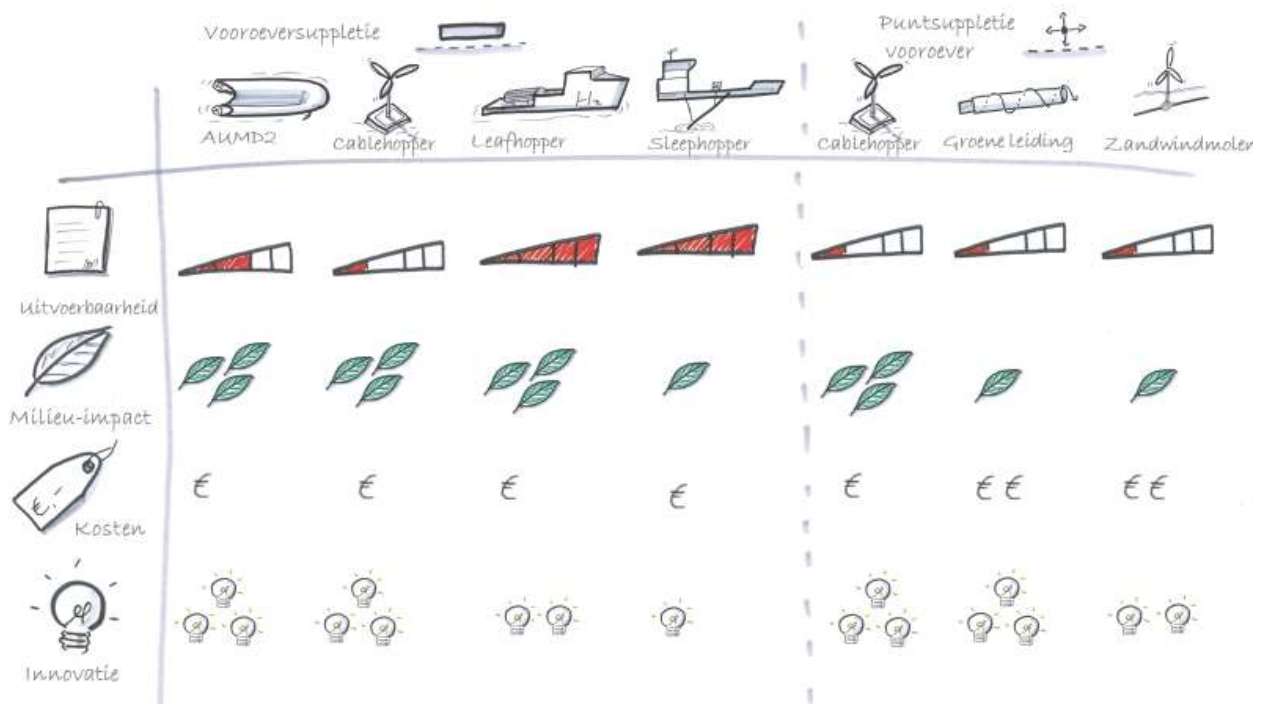
Tabel 5-2 Criteria en bijhorende indicatoren (naam, eenheid en toelichting) zoals uitgewerkt in fase 2.

Criterium	Indicator		
	Naam	Eenheid	Toelichting
Voldoen beleid (WP2)	positie MKL	m/jaar	gemiddelde verandering positie MKL in meters
	Erosie MKL	%	deel binnen het evaluatiegebied met een terugtrekkende MKL (D-MKL < - 10 m / jaar)
	volumekustfundament	m3/m/jaar	verandering volume kustfundament in m3/m kustlijn
	duinvolume	m3/m	verandering duinvolume in m3/m kustlijn
Uitvoerbaarheid (WP4)	Vergunbaarheid*	1-5	1 = niet vergunbaar, 5 = makkelijk vergunbaar
	Contracteerbaarheid*	1-5	1 = niet contracteerbaar, 5 = makkelijk contracteerbaar
Milieu impact (WP3)	MKI	€ /m3	Milieu kosten indicator (totale impact van gebruiksfase b1)
	CO2eq**	kg CO2eq /m3	CO2 equivalent
Kosten (WP3)	kosten per m3 suppletiezand	€ /m3	
	kosten voor het hele kustvak**	€M kustvak	hele per jaar?
Ecologische effecten (WP2)	Bedelving equivalent	ha	indicator o.b.v. frequentie en bedelving t.b.v. sterfte en herstel van bodemdiergemeenschap.
	ecotoop		verandering ecotopen door suppletie
	eolisch transport zeereep**	m3/m/jaar	t.b.v. dynamiek zeereep
Kennis en innovatie (WP3)	Technology readiness level *	TRL (1-9)	
Gezonde NL markt (WP4)	Concurrentiepositie*	1-5	1 = slecht voor de concurrentiepositie, 5 = goed voor de concurrentiepositie
	afhankelijkheid infra*	1-5	1=erg afhankelijk van infra, 5 = niet afhankelijk van infra
	samenwerking driehoek*	1-5	1 = slecht voor de samenwerking in de driehoek, 5 = goed voor de samenwerking in de driehoek
Recreatie (WP2)	verstoring watersporten*	1-5	verstoring/mogelijk maken van watersporten, o.b.v. stroming, golven etc. 1=veel verstoring, 5= geen verstoring
	Strandbreedte	m	Gemiddelde strandbreedte over ruimte en tijd
	verstoring strandrecreatie*	1-5	verstoring/mogelijk maken van strandrecreatie o.b.v. frequentie suppleren 1=veel verstoring, 5= geen verstoring
Opschaalbaarheid (WP2)	in ruimte*	1-5	kan het ontwerp op een groot deel van de NL kust worden uitgevoerd? 1= kan nergens worden uitgevoerd, 5 = kan overal worden uitgevoerd
	in volume*	1-5	kan het ontwerp in volume worden vergroot? 1 = niet mogelijk, 5 = zeer makkelijk
	in tijd*	1-5	hoe opschaalbaar is het ontwerp in ruimte? 1= niet, 5 = zeer goed

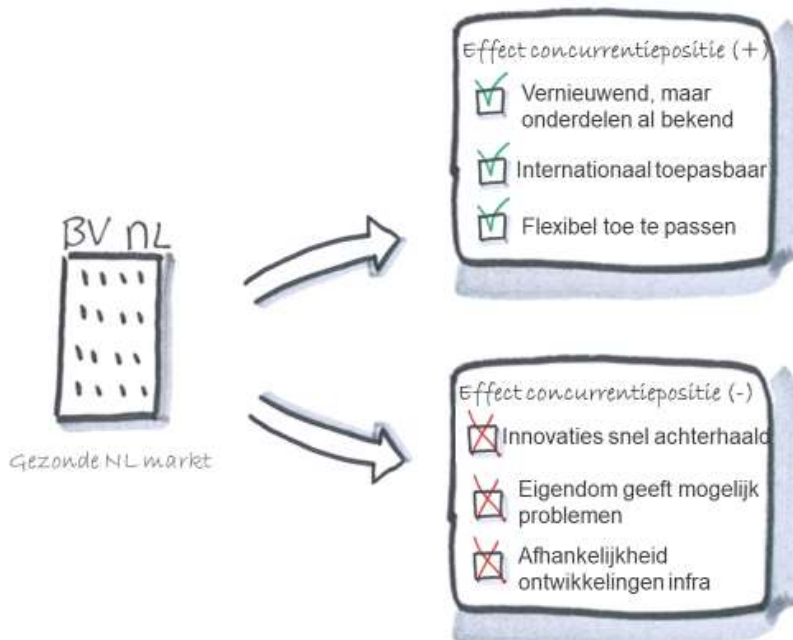
Toelichting:

\*Deze indicatoren zijn in fase 3 niet in cijfers uitgedrukt, maar geven alleen beschrijvend de aandachtspunten bij verschillende alternatieven.

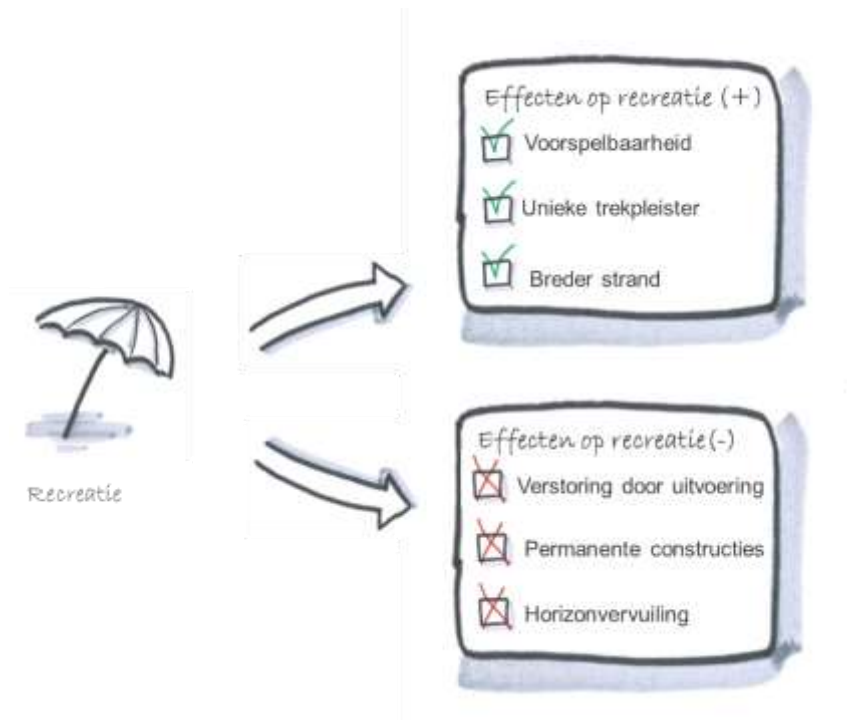
\*\* Deze criteria en indicatoren zijn in fase 3 vervallen.



Figuur 5-1 Kwalitatieve vergelijking tussen een reguliere vooroeversubsidie en een puntsubsidie op de vooroever met verschillende uitvoeringsmethoden, op basis van tussentijdse getallen van WP 2 en 3 in fase 2 van het DCC project.



Figuur 5-2 Kenmerken van alternatieve kustonderhoud die een positief of negatief effect kunnen hebben op het criterium Gezonde Nederlandse Markt



Figuur 5-3 Kenmerken van alternatieven kustonderhoud die een positief of negatief effect kunnen hebben op het criterium Recreatie

## 5.3 Fase 3

### Aanpak

In de derde fase waren de meeste resultaten van WP 2 en 3 over de morfologische effecten, ecologische effecten, milieu-impact en kosten bekend. Dit was berekend voor zes alternatieven: reguliere strand- en vooroeversuppleties, drie typen megasuppleties (schiereiland, eiland en onderwater megasuppletie) en continue suppleties (op het strand of op de vooroever). De resultaten zijn samengevat in Tabel 5-3 t/m Tabel 5-5, met kleurcodes die aangeven of een alternatief een positieve, neutrale of negatieve impact heeft op de verschillende indicators.

### Tussentijdse resultaten

De reguliere suppleties scoren goed op 'voldoen aan beleid', wat logisch volgt uit het feit dat deze suppleties de afgelopen 30 jaar daarop zijn aangepast. De ecologische schade door bedelving wordt voor deze suppleties geschat op laag of medium. Vooroeversuppleties vragen de minste energie en scoren daarom het beste op milieu-impact. De megasuppleties verspreiden zich in het model kustlangs niet zo snel dat ze de reguliere suppleties zonder meer kunnen vervangen. Ze scoren daardoor in principe minder goed op 'voldoen aan beleid'. Hierbij moet worden opgemerkt dat het afhangt van de locatie, of kustlangs transport inderdaad nodig is voor het voldoen aan beleid. Soms is er bovenstrooms van de suppletie geen BKL probleem, en leidt een afname aan kustlangs transport niet tot problemen ten aanzien van het kustbeleid. Dit is in het project niet verder uitgezocht, maar zou in de toepassing van de resultaten in een vervolproject wel moeten worden meegewogen.

Megasuppleties hebben qua oppervlakte een grotere ecologische impact door bedelving. Aan de andere kant worden er grote oppervlakten aan nieuwe ecotopen gecreëerd en is er de verwachting dat bedelving in lange perioden erna kan worden vermeden. Ook hier heeft de onderwater megasuppletie de beste score op milieu-impact. Continue suppleties hebben net als megasuppleties een beperkte kustlangs verspreiding. Een continue suppletie op het strand heeft een kleine negatieve impact op bedelving, maar wel een hoge milieu-impact door de hoge energievraag van zandtransport via (permanente) pijpleidingen. Continue vooroeversuppleties

daarentegen hebben een grotere negatieve impact op ecologie door bedelving (omdat de ecologie daar kwetsbaarder en meer divers is dan op het strand), maar een kleine milieu-impact door de lage energievraag.

Tabel 5-3 Samenvatting van tussentijdse resultaten in fase 3 m.b.t. reguliere suppleties en de criteria voldoen aan beleid, ecologische impact en milieu-impact. Kleuren geven een indicatie voor positieve (groen) of negatieve impact (oranje), neutraal (wit) of geen data (grijs).

\*: De legenda van Figuur 3-1 geeft een indruk van de verschillende klassen ecotopen.

Reguliere suppleties				
		Strand		Vooroever
		Strandsuppletie	Zandbrommers	Vooroeversuppletie
Voldoen aan beleid	MKL	toename MKL >4km afstand	toename MKL >4km afstand	Beperkt effect / moeilijk te bepalen
	Erosie			
	Kustlangs transport	Snelle kustlangs verspreiding, boven- en benedenstreams	Kustlangs verspreiding na 4 jaar vergelijkbaar met strandsuppletie	Kustlangs verspreiding vanaf de randen, vooral benedenstreams
Ecologische impact	Bedelving	Ecologische impact door bedelving medium (geschat gebied 5.4-7.9 ha/jr)	Ecologische impact door bedelving laag (geschat gebied 6.3-12.2 ha/jr)	Ecologische impact door bedelving laag (geschat gebied 9.9-26.3 ha/jr)
	Ecotopen*	Kleine toename hoog en luw intergetijdengebied ten koste van de brandingszone (~13ha)	Kleine toename hoog en luw intergetijdengebied ten koste van de brandingszone (~13ha)	Weinig verandering in ecotopen
Milieu impact	Milieu kosten indicator (MKI)	Door rainbowen en persen een hogere energievraag en dus hogere milieu impact dan vooroeversuppletie, maar lager dan continue strandsuppletie.	Door rainbowen en persen een hogere energievraag en dus hogere milieu impact dan vooroeversuppletie, maar lager dan continue strandsuppletie.	Vooroeversuppleties vragen minder energie en hebben dus een lagere milieu impact dan strandsuppleties, zandbrommers of continue strandsuppleties.

### Lessen voor de volgende stap

Uit de bespreking van deze tabel met de projectleden van WP 2 en WP 3 volgde dat het belangrijk is dat de resultaten alleen binnen een groep van suppletietypen kunnen worden vergeleken (reguliere suppleties, megasuppleties en continue suppleties) en niet tussen de groepen. De berekeningen van de resultaten verschillen namelijk tussen de groepen qua doorlooptijd van het model (4 of 10 jaar) en het totale gebruikte suppletievolume. Daarnaast is de waardering van sommige indicatoren niet mogelijk, omdat dit afhangt van de doelen van de suppletie. Deze hebben in de tabel de kleur wit gekregen. De effecten op de MKL-positie konden niet voor alle suppletietypen worden bepaald, omdat het morfologisch model beperkt is in het berekenen van kustdwars zandtransport. De kustdwarse locatie van megasuppleties en continue suppleties kan variëren en is bepalend is voor het directe effect op de MKL.

Tabel 5-4 Samenvatting van tussentijdse resultaten in fase 3 m.b.t. megasuppleties en de criteria voldoen aan beleid, ecologische impact en milieu-impact. Kleuren geven een indicatie voor positieve (groen) of negatieve impact (oranje), neutraal (wit) of geen data (grijs).

\*: De legenda van Figuur 3-1 geeft een indruk van de verschillende klassen ecotopen.

Megasuppleties			
	Strand		Vooroever
	Schiereiland	Eiland	Onderwater megasuppletie
Voldoen aan beleid	<b>MKL</b>	Niet bepaald, afhankelijk van kustdwarse positie	Niet bepaald, afhankelijk van kustdwarse positie
	<b>Erosie</b>	Kans op tijdelijke kusterosie	Kans op tijdelijke kusterosie
	<b>Kustlangs transport</b>	Na 10 jaar invloedzone van 4 km, is te klein om grotere delen kust te voeden	Na 10 jaar invloedzone van 4 km, is te klein om grotere delen kust te voeden
Ecologische impact	<b>Bedelving</b>	Ecologische impact door bedelving zeer groot (geschat gebied 72.6-198.8 ha/jr)	Ecologische impact door bedelving zeer groot (geschat gebied 81.1-215.7 ha/jr)
	<b>Ecotopen*</b>	Grote toename supratidaal (strand boven hoogwaterlijn) (42 ha) en intergetijdengebied (42 ha) ten koste van de luwtezone subtidaal (onder het laagwaterpeil) (1 ha) brandingszone (6 ha) en (77 ha)	Grote toename supratidaal (strand boven hoogwaterlijn) (26 ha), intergetijdengebied (59 ha), luwtezone subtidaal (onder het laagwaterpeil) (8 ha) en de hoog energetische brandingszone (11 ha) ten koste van de laag energetische brandingszone (91 ha) en de vooroever (3 ha)
<b>Milieu impact</b>	<b>Milieu kosten indicator (MKI)</b>	Hoogste milieu impact van mega suppleties (MDO 5,0 M€; HVO100% 2,7 M€; alternatief 0,5 M€)	Gemiddelde milieu impact van megasuppleties (MDO 4,0 M€; HVO100% 2,2 M€; alternatief 0,4 M€)
			Lagere milieu impact dan schiereiland of eiland (MDO 3,3 M€; HVO100% 1,8 M€; alternatief 0,3 M€)



Tabel 5-5 Samenvatting van tussentijdse resultaten in fase 3 m.b.t. continue suppleties en de criteria voldoen aan beleid, ecologische impact en milieu-impact. Kleuren geven een indicatie voor positieve (groen) of negatieve impact (oranje), neutraal (wit) of geen data (grijs).

\*: De legenda van Figuur 3-1 geeft een indruk van de verschillende klassen ecotopen.

Continue suppleties		
	Strand	Vooroever
	Continue strandsuppletie	Continue vooroeversuppletie (kabelhopper)
Voldoen aan beleid	MKL	Lokale toename MKL tot 3 km afstand
	Erosie	Niet bepaald, afhankelijk van kustdwarse positie
	Kustlangs transport	Beperkte kustlangs verspreiding
Ecologische impact	Bedelving	Ecologische impact door bedelving laag (geschat gebied 2.5-3.0 ha/jr)
	Ecotopen*	Ecologische impact door bedelving groot (geschat gebied 41.5-84.8 ha/jr)
Milieu impact	Milieu kosten indicator (MKI)	Kleine toename luwtezone intergetijdengebied, hoog intergetijdengebied en supratidaal (strand boven de hoogwaterlijn) ten koste van de hoog energetische brandingszone (~10 ha)
		Grote toename hoog energetische brandingszone (26 ha) intergetijdengebied (30 ha) en supratidaal (strand boven de hoogwaterlijn) (3 ha) ten koste van de laag energetische brandingszone
		Door de pijpleiding vraagt een continue strandsuppletie heel veel energie heeft daarmee ook een hoge milieu impact.
		Lage energievraag, vergelijkbaar met vooroeversuppleties

## 5.4 Conclusie multicriteria-analyse

Hierboven staan de stappen beschreven die in het TKI-DCC project zijn gemaakt om met een multicriteria-analyse een vergelijking te maken tussen alternatieve suppletieconcepten en uitvoeringsmethoden. Uiteindelijk bleek dat er te grote verschillen zijn tussen de berekeningen van de groepen suppleties (reguliere, mega- en continue suppleties) om een volledige vergelijking te kunnen maken tussen deze groepen. Ook zijn de resultaten van ieder criterium vaak contextafhankelijk en kunnen ze zonder toelichting verkeerd worden geïnterpreteerd. De waardering van de criteria is ook nog afhankelijk van de doelen van suppleties, die per locatie kunnen verschillen. Hierdoor konden uiteindelijk de resultaten van het TKI-DCC project niet via een multicriteria-analyse worden samengevat, om alternatieven te vergelijken. Daarom is ervoor gekozen om per criterium de belangrijkste conclusies te beschrijven (zie Hoofdstuk 3 Resultaten: Criteria) en redeneerlijnen op te stellen waarin de resultaten m.b.t. de projectdoelen klimaatneutraal, natuurinclusief en opschaalbaar kustonderhoud zijn samengevat (Hoofdstuk 5 Redeneerlijnen).

## 6 Referenties

Arcadis (2022). TKI Dutch Coastline Challenge. Vergunbaarheid suppletieconcepten en uitvoeringsmethoden kustonderhoud. Arcadis rapport D10046428:173, pp. 67

Decisio (2011). Ruimte voor recreatie op het strand; onderzoek naar een recreatiebasiskustlijn. 39 pp.

Deltares (2021). TKI Dutch Coastline Challenge – Werkpakket 1. Systemkennis morfologie en toekomstprojectie suppletieopgave voor de kustvakken Noord-Holland en Texel. Deltares rapport 11207047-001-HYE-0001, pp. 55

Hombergen, L. & De Koning, J. (2022). TKI-DCC Notitie WP 4. Samenwerkings- en contractvormen. pp. 23

Röbke, B., Van der Spek, A. en Santinelli, G. (2023) TKI Dutch Coastline Challenge project – Toepasbaarheid van alternatieve onderhoudsconcepten/-methoden langs de Nederlandse kust. Deltares rapport. pp. 25

Taal et al. (2023). Duurzaam kustonderhoud in nabije en verre toekomst. Synthesedocument onderzoek Dutch Coastline Challenge. Deltares rapport.

Technische Universiteit Delft (2023a). Inventarisatie kustonderhoudsconcepten voor de Dutch Coastline Challenge. Memo TU Delft

Technische Universiteit Delft (2023b). TKI Dutch Coastline Challenge: Description of the setup of the Delft3d Flexible Mesh model and validation of the hydrodynamics. Memo TU Delft

Technische Universiteit Delft (2023c). TKI Dutch Coastline Challenge: Evaluation of the morphological predictive skills of FM based on simulations of the Sand Engine. Memo TU Delft.

Technische Universiteit Delft (2023d). Morphological and ecological indicators for the Dutch Coastline Challenge. Memo TU Delft.

Technische Universiteit Delft (2023e). TKI Dutch Coastline Challenge: morphological and ecological evaluation of nourishment concepts. Memo TU Delft.

van Zanten, S. C. (2016). Towards engineering the ecosystem services of a mega-nourishment A forecast of the ecosystem service dynamics of the Sand Motor.

Vereniging van Waterbouwers (2023). Dutch Coastline Challenge. Uitvoeringsmethoden (werkpakket 3). Vereniging van Waterbouwers rapport.