



i.s.m.



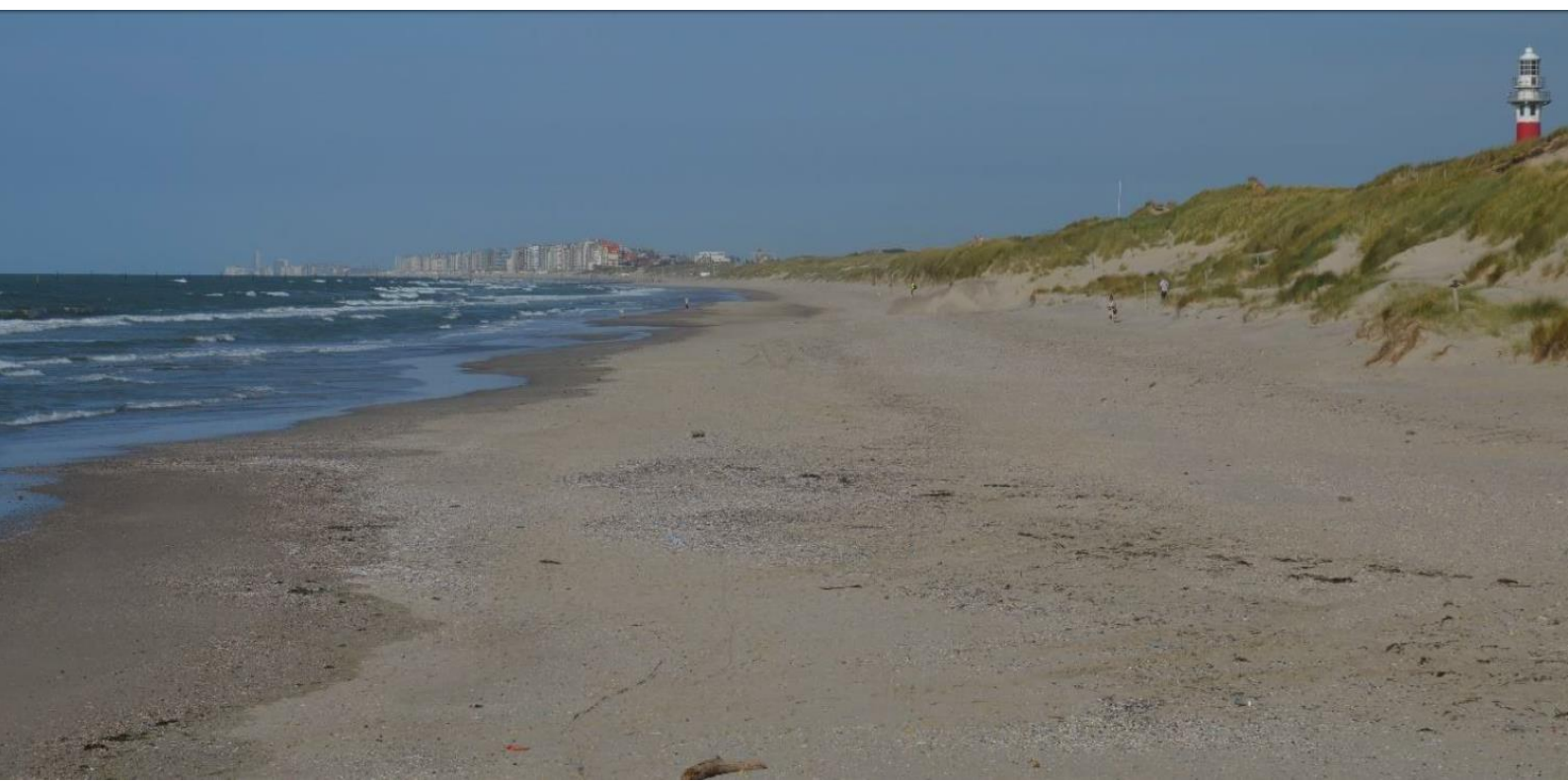
Ecosystem Management
Research Group (Ecobe)
University of Antwerp

In opdracht van:
Interreg 
2 Seas Mers Zeeën
SARCC
European Regional Development Fund

Ecosysteemdiensten en bouwen met de natuur aan onze zandige kust

Departement Omgeving, T.OP Kustzone, GOP/DOMG

RAPPORT 6 augustus 2021 - versie 4.0



Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Van Immerseelstraat 66, 2018 Antwerpen, België

☎: + 32 3 270 92 95

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Document Identificatie

Project	Ecosysteemdiensten en bouwen met de natuur aan onze zandige kust
Opdrachtgever	Departement Omgeving, T.OP Kustzone, GOP/DOMG -
Contactpersoon	Stijn Vanderheiden en Bert Van Severen
Datum	06/08/2021
Rapportref.	I/RA/11621/21.118/ABE,

Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
Annelies Boerema	Zafar Samadov	Annelies Boerema
Adviseur	Product manager	Project Manager

Copyright © IMDC 2021, Alle rechten voorbehouden. Deze publicatie of delen mogen niet worden gekopieerd, gereproduceerd of verzonden in welke vorm of op welke manier dan ook, digitaal of anderszins zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van IMDC. De inhoud van deze publicatie zal door de klant vertrouwelijk worden behandeld, tenzij anders schriftelijk overeengekomen. Verwijzing naar een deel van deze publicatie dat tot verkeerde interpretatie kan leiden, is verboden.

Classificatie

niet geclassificeerd
 intern
 beperkt
 confidentieel

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	16/06/2021	Concept voor review door stuurgroep leden	ABE	ABO	ABE
2.0	23/06/2021	Concept 2 voor review door stuurgroep leden en 10 kustgemeenten, voorafgaand aan stuurgroep overleg van 25 juni 2021	ABE	ABO	ABE
3.0	14/07/2021	Semi finaal voor finaal nazicht door klant	ABE	ABO	ABE
4.0	06/08/2021	Finaal	ABE	ZAS	ABE

Citation : Boerema, A., Pieterse, A., Van der Biest, K., Pandelaers, C., Roder, J., Verheyen, B., Bolle, A., 2021. Ecosysteemdiensten en bouwen met de natuur aan onze zandige kust. RA21118. IMDC nv en UAntwerpen, Antwerpen.

Samenvatting

Doel: Mogelijkheden van Nature-based solutions (NbS) aan onze zandige kust

In deze studie werd de diversiteit aan mogelijkheden voor NbS geïllustreerd als alternatief voor de meest klassieke harde dijk of stormmuur oplossing.

Er is een brede waaier van NbS mogelijk aan onze zandige kust om de zeewering te versterken en tegelijk ook extra voordelen te realiseren voor bijvoorbeeld biodiversiteit, waterzuivering, en een diverse natuurlijke omgeving voor recreatie. Voorbeelden:

- Zachte oplossingen, zoals vooroever- en strandsuppleties, duinsuppleties;
- Soortengerichte oplossingen, zoals aanleg van biogene riffen of helmduinen;
- Hybride oplossingen met zachte en harde elementen, zoals duin voor dijk of dijk in duin.

Methode: Afwegingskader voor zeewering en ecosysteemdiensten

i. De voordelen en eventuele knelpunten van NbS zijn geëvalueerd aan de hand van een modelstudie kustveiligheid, ecosysteemdiensten analyse, en dialoog met lokale besturen. Dit is geïllustreerd aan de hand van 6 scenario's met NbS ten opzichte van een referentie scenario met een harde oplossing (dijkverhoging/stormmuur). Deze studie doet geen uitspraken voor of tegen specifieke maatregelen. Alle maatregelen (en variaties hierop) kunnen hun plaats krijgen in een totaaloplossing.

ii. Voor elk scenario zijn naast de kustveiligheid ook een reeks ecologische en culturele voordelen bekeken (ecosysteemdienstenanalyse). Kennis uit nationale en internationale voorbeeldprojecten (Nederland, UK) werd hierbij geraadpleegd. Deze aanpak biedt een afwegingskader om naast de technische evaluatie (kustveiligheidseis), ook ecologische en sociale aspecten concreet te maken (ecosysteemdienstenanalyse).

iii. Deze resultaten werden voorgesteld aan lokale besturen om hun reacties te peilen.

Resultaten

i. Zeewering:

Een belangrijke vaststelling is dat veel van de zachte maatregelen op zichzelf geen volwaardige zeewering bieden. In de scenario's werd dit gecombineerd met een harde maatregel (dijkverhoging) om te voldoen aan de kustveiligheidseisen. De combinatie van zachte en harde oplossing kan wel resulteren in een reductie van de dijkverhoging die nodig is. De duinoplossingen kunnen wel als volwaardige zeewering gedimensioneerd worden. Opvallend hierbij is dat om bescherming te bieden tegen dezelfde zeespiegelstijging (+1,5m in het scenario), de benodigde duinhoogte lager is dan de benodigde dijkhoogte (in het bestudeerd scenario slechts +1m duinhoogte nodig ten opzichte van +2m dijkverhoging). Deze scenario's zijn echter louter theoretisch van aard en niet bedoeld als een concreet plan van aanpak voor een bepaalde locatie. Deze studie had tot doel de effecten van de maatregelen te bestuderen en illustreren, maar niet om een reële oplossing uit te werken voor specifieke locaties.

ii. Ecosysteemdiensten:

De ecosysteemdienstenanalyse (ES analyse) toont de verschillen tussen zandige NbS (suppleties) en NbS met planten en diersoorten (duinvegetatie, rifsoorten). De suppleties zorgen voor beperkte natuurlijke elementen waardoor de diensten van het ecosysteem die hiermee gestimuleerd worden ook relatief beperkt is. Naast het verhogen van het veiligheidsniveau, kunnen ze vooral culturele diensten stimuleren aangezien het ervoor zorgt dat een breder droogstrand beschikbaar is. De duinscenario's scoren goed voor de meeste ecosysteemdiensten (door de aanwezigheid van vegetatie) en ook de groene dijk scoort redelijk goed in vergelijking met een harde dijk (door de

aanwezigheid van vegetatie). Tot slot bieden rifsoorten ook heel wat voordelen, maar uit recent onderzoek blijkt dat tweekleppigen zoals mosselen en oesters eerder een negatief effect hebben voor klimaat door netto vrijstelling van koolstof^{1,2}.

Op basis van de ES analyse is het niet vanzelfsprekend om eenduidig te stellen dat één NbS beter is of slechter. Met de ecosysteemdiensten analyse kijken we immers naar een breed overzicht van mogelijke voordelen van natuurlijke elementen voor de mens. Sommige voordelen zijn echter voor specifieke sectoren (visserij, drinkwater, recreatie), andere voordelen zijn meer generiek van globaal belang (luchtkwaliteit, waterkwaliteit, biodiversiteit). De bedoeling van deze analyse is dan ook vooral om die veelheid van effecten specifiek te maken, en niet zozeer om een totaal evaluatie te maken voor of tegen een bepaalde NbS.

iii. Reflecties van lokale besturen

Er is bereidheid om de kustlijn van vandaag te herdenken indien dit ingepast wordt in een **totaalconcept** met voldoende integratie met de huidige gebruiksfuncties zoals wandelaars, strandcabines, surfclubs, en horeca. Er kan wel nagedacht worden over creatieve oplossingen (bijvoorbeeld horeca terrassen op daken inrichten). Gemeentes vragen om nieuwe maatregelen **geleidelijk** te kunnen implementeren (in tijd en ruimte te starten op locaties met minder weerstand). Ook is inzicht in de **kostenverdeling (aanleg + onderhoud)** noodzakelijk zodat hieromtrent **goede afspraken** kunnen gemaakt worden tussen overheden (Vlaams versus lokaal).

Verder gaven ze nog heel wat andere **praktische aandachtspunten** met betrekking tot bijvoorbeeld:

- Toegankelijkheid (hulpdiensten, ouderen/rolstoelen/kinderwagens);
- Doorzicht en connectie met de zee;
- Hinder van aangroeiende duinen (zicht op zee, infrastructuur die geregeld moet vrijgemaakt worden van zand);
- Onderhoud van infrastructuur (adaptieve oplossingen nodig die meegroeien).

Naast de meer praktische overwegingen hadden de lokale besturen ook veel aandacht voor de noden rond **communicatie en sensibilisering**. Ze gaven zelf aan dat het vooral belangrijk zal zijn om de **noodzaak voor extra kustveiligheidsmaatregelen** duidelijk te maken en vervolgens om op een correcte manier de alternatieven voor te stellen (toekomstige oplossing met enkel harde maatregelen, of met zachte/hybride maatregelen; niet te vergelijken met de huidige situatie). Er werd aangeraden om vooral te focussen op de directe voordelen waar mensen aandacht voor hebben zoals groene beleving, gezondheid, ontspanning, in plaats van op de beleidsredenen (veiligheid en risicobeheersing) omdat mensen daar minder wakker van liggen. Verder blijkt nog uit enkele praktijkvoorbeelden dat het cruciaal is om **actieve participatie en inspraak** mogelijk te maken voor stakeholders voorafgaand/tijdens de ontwerpfase zodat hun wensen en bezorgdheden volwaardig worden meegenomen in het ontwerp.

iv. Slotbemerkingen:

In het discussie hoofdstuk worden tot slot ook nog wat **aandachtspunten** meegegeven voor vervolgstudies en stappen naar verdere realisatie. De NbS moeten niet individueel beschouwd worden, maar als **onderdeel van een integrale oplossing** voor zeevering (combinatie oplossingen nog verder te bekijken). De ES analyse als afwegingskader is in deze studie geïllustreerd maar dat kan nog **verder verfijnd worden** (detail niveau van analyse, specificeren hoe lusten en lasten verdeeld zijn tussen verschillende stakeholders). In een integrale afweging moeten de **investeringskosten, onderhoudskosten en lange-termijn effecten** nog meegenomen worden.

Het afwegingskader met ecosysteemdiensten is niet alles omvattend maar zorgt voor de belangrijke toevoeging om ecologische/maatschappelijke effecten op te nemen.

English summary

Goal: possibilities of Nature-based solutions (NbS) in our sandy coast

This study illustrated the diversity of possibilities for NbS as an alternative to the most classical hard dyke or storm wall solution.

A wide range of NbS are possible on our sandy coast to reinforce the coastal defences and at the same time realise additional benefits for, for example, biodiversity, water purification and a diverse natural environment for recreation. These include:

- Soft solutions: e.g. foreshore and beach nourishments, dune nourishments;
- Species-oriented solutions: e.g. biogenic reefs or marram grass dunes;
- Hybrid solutions with soft and hard elements: e.g. dune in dike or dike in dune.

Method: Evaluation framework for coastal safety and ecosystem services

i. The advantages and possible bottlenecks of NbS were evaluated with a model study on coastal safety, ecosystem services analysis, and dialogue with local authorities. This is illustrated by 6 scenarios with NbS compared to a reference scenario with a hard solution (dike heightening/storm wall). This study makes no statements for or against specific measures. All measures (and their variations) can be included in a total solution.

ii. For each scenario, a series of ecological and cultural benefits were considered (ecosystem services analysis) besides coastal safety. Knowledge from national and international model projects (Netherlands, UK) was consulted. This approach provides a framework to make ecological and social aspects explicit in addition to the technical evaluation (coastal safety requirement).

iii. These results were presented to local governments to learn their reactions.

Results

i. Coastal defence:

An important observation is that many of the soft measures do not in themselves provide a fully-fledged coastal defence. In the scenarios this was combined with a hard measure (raising the dykes) to meet the coastal safety requirements). The combination of soft and hard solutions can result in a reduction of the required dike height. The dune solutions can be designed as fully-fledged coastal defences. It is noteworthy that in order to protect against the same rise in sea level (+1,5m scenario), the required dune height is lower than the required dike height (in the studied scenario only +1m needed for dunes while +2m is needed for the dike height). However, these scenarios are purely theoretical and not intended as a concrete plan of action for a particular location. The purpose of this study was to study and illustrate the effects of the measures, but not to work out a real solution for specific locations.

ii. Ecosystem services:

The ecosystem services (ES) analysis shows the differences between sandy NbS (nourishments) and NbS with plants and animal species (dune vegetation, reef species). The nourishments provide limited natural elements, so the ecosystem services that are stimulated by them are also relatively limited. Cultural services in particular may benefit as it ensures that a broader dry beach is available. The dune scenarios score well for most ecosystem services (due to the presence of vegetation) and the green dike also scores reasonably well compared to a hard dike (due to the presence of vegetation). Finally, reef species also offer many advantages, but recent research shows that bivalves such as mussels and oysters actually have a rather negative effect on climate due to net release of carbon^{1,2}.

Based on the ES analysis, it is not obvious to say that one NbS is better or worse. After all, the ecosystem services analysis looks at a broad overview of the possible benefits of natural elements for people. Some benefits are for specific sectors (fisheries, drinking water, recreation), while other benefits are of more general importance (air quality, water quality, biodiversity). The purpose of this analysis is therefore primarily to make the multitude of effects specific, rather than to make an overall assessment for or against a particular NbS.

iii. Reflections from local governments

There is a willingness to rethink today's coastline if this is incorporated into a **total concept** with sufficient integration with the current user functions such as hikers, beach cabins, surf clubs and catering establishments. However, creative solutions can be thought of (for example, arranging catering terraces on roofs). Municipalities ask to be able to implement new measures **gradually** (in time and in space at locations with less resistance). Insight into the **distribution of costs (construction + maintenance)** is also necessary so that **good agreements** can be made on this between governments (Flemish vs. local).

Furthermore, they gave a lot of other practical points of attention with regard to, for example,

- Accessibility (emergency services, the elderly/wheelchairs/prams);
- View and connection with the sea;
- Nuisance from growing dunes (view of the sea, infrastructure that regularly has to be cleared of sand);
- Maintenance of infrastructure (adaptive infrastructure required).

In addition to the more practical considerations, the local administrations also paid a great deal of attention to the needs in terms of **communication and sensitisation**. They themselves indicated that it will be particularly important to make the need for additional coastal safety measures clear, and subsequently to correctly present the alternatives (future solution with hard measures only, or with soft/hybrid measures; not in comparison with the current situation. It was also recommended that the focus should be on the direct benefits that people are interested in such as greenery, health, recreation, rather than on the policy reasons (safety and risk management) for which there is in general low attention. Furthermore, some practical examples show that it is crucial to make **active participation** and consultation possible for stakeholders prior to/during the design phase so that their wishes and concerns are fully considered in the design.

iv. Final remarks:

The discussion chapter gives some points for **considerations** for follow-up studies and steps towards further realisation. The NbS must not be considered separately, but as **part of an integral solution** for coastal defence (combination solutions must be looked at further). The ES analysis as an assessment framework was illustrated in this study, but **could be further refined** (detailed level of analysis, specifying how the benefits and burdens are distributed among the various stakeholders). The **investment costs, maintenance costs and long-term effects** must also be included in an integrated assessment.

The evaluation framework with ecosystem services is not all-embracing, but provides the important addition of explicitly including ecological and societal effects.

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
English summary	6
1 Inleiding	11
1.1 SARCC project (EU Interreg 2 Seas project)	11
1.2 Doel van de studie	12
1.3 Verloop van de studie	12
1.4 Leeswijzer	13
2 Deel 1 Zachte oplossingen voor kustveiligheid aan de Vlaamse kust	14
2.1 Via zachte oplossingen naar een ecosysteemaanpak voor kustveiligheid (Nature-based solutions)	14
2.2 Screening Vlaamse kustlijn	20
2.3 Conclusies Deel 1	26
3 Deel 2 Afwegingskader voor de ecologische en maatschappelijke meerwaarde van nature based solutions, geïllustreerd met theoretische voorbeelden	27
3.1 Technische uitwerking dimensies maatregelen zeevering (8 scenario's)	27
3.2 Ecosysteemdiensten analyse	32
4 Deel 3: Naar de praktijk: reflecties van lokale besturen	38
4.1 Globaal	38
4.2 Maatregelen	41
5 Discussie en conclusie	44
5.1 Bevindingen uit deze studie	44
5.2 Aandachtspunten voor vervolgstudies	46
6 Nawoord	48
7 Referenties	49
8 Bijlagen	51

Bijlagen

Bijlage A Zachte oplossingen voor kustveiligheid (Nature Based Solutions)	52
A.1 Biogene riffen aanleggen	53
A.1.1 Locatie selectie criteria en karakteristieken	53
A.1.2 Coastbusters studie ter hoogte van De Haan	54
A.1.3 SARCC pilot Penzance eco reef	56
A.1.4 Oesterwieg, Nederland	56
A.1.5 PRODUS project duurzame schelpdiercultuur, 2006-2012	57
A.1.6 Mosselwad project	58
A.2 Duinoplossingen (zacht of hybride)	60
A.2.1 Prins Hendrik Zanddijk in Texel, Nederland	60
A.2.2 Hondsbossche duinen, Nederland, 2014-2019	64
A.2.3 LIFE+ Flandre project, duinen, Frankrijk-België	65

A.2.4	Crest-project (Climate Resilient Coast)	68
A.2.5	SARCC pilot projecten	69
A.3	Overige maatregelen	75
A.3.1	Eco strandhoofd, ecoconcrete blocks, living breakwaters	75
A.3.2	Mega strandsuppletie	76
A.3.3	Zand netten op het strand	77
A.3.4	Mossel beds op het strand	79
A.3.5	Kustmoerassen (slik en schor)	80
A.3.6	Stilling wave bassin	82
Bijlage B	Criteria voor zachte oplossingen voor kustveiligheid	83
B.1	Badplaatsen	84
B.2	Aandachtszones kustveiligheid	85
B.3	Technische overwegingen per NbS	88
B.4	Socio-economische aspecten	90
Bijlage C	Technische uitwerking dimensies maatregelen zeevering (8 scenario's)	93
C.1	Model	94
C.2	Definitie parameters	96
C.3	Scenario input en resultaten	98
Bijlage D	Ecosysteemdienstenanalyse	103
D.1	Biogene riffen (maatregel: rif aanleggen)	104
D.2	Vooroever (maatregel: vooroeversuppletie)	109
D.3	Strand (maatregel: strandsuppletie)	110
D.4	Duinen (maatregel: duinsuppletie, duin voor dijk, hybride duin-dijk oplossingen)	113
D.5	Referentie harde maatregel: dijk of stormmuur	116
D.6	Tabel overzicht ES data	117

Lijst van Tabellen

Tabel 2-1. Screening Vlaamse kustlijn: 10 locaties die zeker interessant kunnen zijn voor zachte maatregelen	25
Tabel 2-2. Overzicht selectie 6 NbS types en 2 locaties , de mogelijkheden per locatie (donkergroen hoog potentieel, licht groen matig potentieel en grijs geen potentieel), en de verdeling van de NbS types over de twee locaties voor de scenario analyse in hoofdstuk 3 (kruisjes)	26
Tabel 3-1. Overzicht van de 8 scenario's (details in Bijlage C)	28
Tabel 3-2. Oppervlaktes [ha] per habitat type voor elk scenario (gebaseerd op het kustdwarsprofiel uit de simulatie, en veronderstellen dat het over 100 m kustlangs uitstrekt).	30
Tabel 3-3. Lijst ecosysteemdiensten relevant voor de vooroever-rif-strand-duin zone, met de eenheid in onze analyse. Bijlage D: uitleg en data voor de ES analyse	32
Tabel 3-4. Ecosysteemdiensten (ES) analyse per scenario. Voor de twee locaties afzonderlijk, duidt de kleurencode aan per ES welk scenario(s) de hoogste (donker groen), middelste (licht groen) en laagste (geel), of geen (wit), waarde geeft.	37
Tabel 8-1. Simulatie input en output voor de 8 scenario's	98
Tabel 8-2. Overzicht resultaten locatie 1	102

Tabel 8-3. Overzicht resultaten locatie 2	102
Tabel 8-4. Overzicht gehanteerde data voor de ES analyse per habitat type/maatregel type	117

Lijst van Figuren

Figuur 2-1. Ligging van de Natura 2000 gebieden in het Belgisch deel van de Noordzee (bron: BMM)	14
Figuur 2-2. Aanduiding van 22 regio's als primaire zoekzone (badplaatsen, aandachtzones voor kustveiligheid)	22
Figuur 2-3. Aanduiding (geel) van zones met natuurlijke sedimentatie die daardoor extra interessant zijn voor zachte strand en duinmaatregelen	23
Figuur 2-4. Aanduiding (geel) van ondiepe zandbanken nabij de kustlijn die mogelijks interessant zijn voor de aanleg van biogene riffen	24
Figuur 8-1. Habitatgeschiktheidskaart voor <i>Lanice conchilega</i> aggregaties met een dichtheid van meer dan 500 ind./m ² , zoals gegeneerd met MaxEnt. Hoogstwaarschijnlijk afwezig: blauw (0); hoogstwaarschijnlijk aanwezig: rood (1). ⁶	54
Figuur 8-2. Inschattingen van de ecosysteemdiensten van riffen van tweekleppigen ²	55
Figuur 8-3. Coastal safety tool, ontwikkeld in project Complex Project Kustvisie (IMDC, 2020)	94
Figuur 8-4. Representatieve profielen die uitgewerkt zijn in het Complex Project Kustvisie ^{12,13} .	95
Figuur 8-5. Definitie parameters voor een duin (boven) en dijk (onder) oplossing met suppleties.	97
Figuur 8-6. Natuurgebieden in de Noordzee	106

1 Inleiding

1.1 SARCC project (EU Interreg 2 Seas project)

Het Interreg 2zeëen-project SARCC staat voor ‘Sustainable and Resilient Coastal Cities’. In het Nederlands kan dit vertaald worden als ‘Duurzame en Veerkrachtige Kuststeden’. Het project zoekt naar oplossingen om op een duurzame wijze de kuststeden te beschermen tegen de gevolgen van de stijgende zeespiegel. De focus van het project ligt op het gebruik van natuurgerichte oplossingen (NbS, Nature-based solutions) binnen de kustwering, zowel in het beleid als de concrete aanleg van kustweringsprojecten. Een belangrijke poot vormt hierbij het opbouw van kennis over NbS, én kennisverspreiding naar de lokale besturen en bevolking.

Departement Omgeving is een partner in het Europese Interregproject Sustainable and Resilient Coastal Cities (SARCC), met een focus op duurzame zeewering - in bijzonder het gebruik van innovatieve vormen van natuur-gebaseerde infrastructuur (Nature-based solutions ofte NbS) en de kennisopbouw bij kustgerelateerde stakeholders.

Het Departement Omgeving is verantwoordelijk voor het Werkpakket 2 van dit project, namelijk het ‘Urban Decision-Makers Capacity Programme’. Dit werkpakket focust zich op de vraag:

“Hoe kunnen lokale beleidsmakers gewonnen worden om op korte termijn sterker in te zetten op NbS?” We stellen vast dat beleidsmakers met vooroordelen zitten over natuurlijke oplossingen: deze zouden niet hetzelfde veiligheidsniveau bereiken als traditionele harde maatregelen (dijken edm); ze vormen een mogelijke belemmering voor het toeristisch-recreatieve gebruik van stranden; er kan overlast ontstaan na aanleg, bv. door opstuivend zand; potentieel verlies aan zeezicht; ...

De beleidsmakers moeten met andere woorden over de streep getrokken worden om sterker in te zetten op het gebruik van op natuur gebaseerde oplossingen (NbS).

Met deze studie wordt getracht de lokale kennis over NbS te versterken. Een eerste stap hierbij vormt het in kaart brengen van de huidige bezorgdheden van de kustgemeenten ten aanzien van enkele geselecteerde NbS. Op basis van deze opmerkingen kan een aanpak worden bepaald om beleidsmakers en ambtenaren te overtuigen van het nut en meerwaarde van op natuur gebaseerde oplossingen in de kustverdediging van hun gemeente.

Daarnaast wordt aangetoond hoe dergelijke op de natuur gebaseerde oplossing kan inspelen op lokale omstandigheden, via een uitwerking van cases op basis van zogenaamde ecosysteemdiensten. Hiermee zal gewezen worden op de potentiële brede meerwaarde die op natuur gebaseerde oplossingen kunnen genereren.

Met de inzichten die deze studie oplevert, kan binnen het internationale projectpartnerschap verder aan slag worden gegaan om gericht aan kennisverspreiding en kennisopbouw te doen over NbS.

De deelname aan dit Europees project vloeit voort uit het Territoriaal Ontwikkelingsprogramma voor de Kustzone (T.OP Kustzone) van het Departement Omgeving, dat instaat voor het ontwikkelen van een kustbrede visie over diverse thema's (mobiliteit, reconversie, open ruimte, water, kustverdediging, ...).

1.2 Doel van de studie

Stedelijke gebieden langs de kustlijn zijn bijzonder kwetsbaar. Vandaag zetten beleidsplannen wereldwijd vooral in op traditionele grijze infrastructuur en is er globaal gezien nog te weinig aandacht voor oplossingen gebaseerd op de natuur (Nature-based solutions / NbS).

Bij het bouwen met natuur (Building with Nature) wordt de natuur ingezet om gevolgen van klimaatverandering, zoals toename van de golfslag en zeespiegelstijging, het hoofd te bieden. Dit gaat over zachte oplossingen (aanleggen van vooroever- en strandsuppleties, uitvoeren van duinsuppleties), soortengerichte oplossingen (aanleggen van biogene riffen of helmduinen), en hybride oplossingen met zachte en harde elementen gecombineerd (realiseren van duin voor dijk of dijk in duin).

Deze oplossingen kunnen in meer of mindere mate een bijdrage leveren als alternatief op de grijze harde ingrepen voor het realiseren van de beoogde kustveiligheid, en daarnaast nog een bredere waaier aan maatschappelijke baten bieden (bijvoorbeeld met betrekking tot natuurdoelen, diverse recreatie mogelijkheden, natuurlijke bijdrage aan water- en luchtkwaliteitsverbetering).

Deel 1: In deze studie illustreren van de mogelijkheden van deze “bouwen met de natuur” oplossingen in de land-zee interactiezone aan onze Vlaamse kustgemeenten. We beschouwen hierbij verschillende vormen van zachte maatregelen die relevant zijn voor de Vlaamse kustlijn. We hebben een eerste screening gedaan van de Vlaamse kustlijn om na te gaan waar zulke zachte oplossingen wenselijk en mogelijk kunnen zijn.

Deel 2: Na die brede screening hebben we voor twee type locatie enkele meer concrete (doch theoretische) scenario's uitgewerkt waarbij de verzekeren van de vereiste kustveiligheid (volgens de gangbare standaard van de overheid) voorop werd gesteld. Daarnaast werd gekeken naar andere voordelen van dit soort zachte oplossingen ten opzichte van een hard alternatief (stormmuur). Denk hierbij aan voordelen van natuurlijke oplossingen voor ruimtelijke invulling, landschapsbeleving (meer divers, natuurlijker), bijdrage tot biodiversiteitsuitdaging en klimaatuitdaging. Kennis uit internationale voorbeeldprojecten (Nederland, UK) werd hierbij ook geraadpleegd. De resultaten hebben vooral tot doel om de ecosysteemdiensten aanpak te illustreren als integraal afwegingskader. De scenario's zijn louter theoretisch van aard en niet bedoeld als een concreet plan van aanpak voor een bepaalde locatie.

Deel 3: We hebben gesprekken gevoerd met twee gemeenten om lokale ideeën en visie over deze oplossingen van “bouwen met de natuur” beter te leren kennen. Welke oplossingen zijn wel of niet haalbaar vanuit het lokaal perspectief, en waarom. Wat zijn (praktische) knelpunten om deze oplossingen in praktijk te brengen? Het doel hiervan was om inzicht te krijgen in het huidig draagvlak voor zachte oplossingen en de eventuele noodzaak voor weerstandsmanagement. Wat zijn de huidige bezwaren van de kustgemeenten ten aanzien van de geselecteerde NbS en hoe kunnen de burgemeesters en ambtenaren overtuigd worden van het nut van deze NbS?

1.3 Verloop van de studie

Het IMDC team heeft in het kader van dit project een inventarisatie gemaakt van nature-based solutions (NbS) die nuttig en mogelijk kunnen zijn aan de Belgische kustlijn om de kustveiligheid te verbeteren. Vervolgens werden enkel relevante criteria bepaald om na te gaan welke locaties langs de Belgische kustlijn het meest geschikt zijn voor de beschouwde NbS. Door middel van een modelstudie werden 8 scenario's opgebouwd die voldoen aan de veiligheidsstandaarden die de overheid hanteert. Voor elk scenario werden de effecten in termen van ecosysteemdiensten bepaald (literatuurstudie,

experten input). De resultaten werden voorgesteld aan enkele kustgemeentes om te peilen naar hun visie op de NBS. Een verslag hiervan is opgenomen in het rapport.

Experten van Universiteit Antwerpen werden geconsulteerd voor de ecosysteemdiensten analyse. Tijdens vier overlegmomenten werden de eerste resultaten voorgesteld door IMDC en gaf Universiteit Antwerpen input en suggesties voor verbeteringen. Het concept rapport werd op het einde nog nagelezen en voorzien van opmerkingen door Universiteit Antwerpen (met betrekking tot het hoofdstuk en bijlage over ecosysteemdiensten).

Doorheen het project waren er vier overlegmomenten met de stuurgroep. De stuurgroep bestond uit de opdrachtgever departement omgeving, afdeling kust MDK, ANB, VLIZ, provincie West-Vlaanderen, ILVO, VIVES, TU Delft, HZ, Deltares. Tussentijdse resultaten werden voorgesteld door IMDC en besproken in met de stuurgroep leden. De input uit deze overlegmomenten is verwerkt bij de verdere uitwerking tijdens het project en in dit rapport.

Met de twee geselecteerde gemeentes Knokke-Heist en Koksijde werd met elk apart een bespreking gehouden. Tijdens het gesprek werden de tussentijdse resultaten voorgesteld door IMDC (detaillering van scenario's). (Met de lokale ambtenaren werd besproken wat deze maatregelen in de praktijk betekenen, wat de ruimtelijke impact is, wat ze als hinderlijk zien en waar ze mogelijkheden zien.

Tijdens de laatste (vierde) stuurgroep werden ook alle 10 de kustgemeentes uitgenodigd. Vijf gemeentes waren vertegenwoordigd tijdens het overleg (Knokke-Heist, Koksijde, Brugge, Middelkerke, Oostende).

1.4 Leeswijzer

Deze studie kadert in het EU Interreg SARCC project. Dit is toegelicht in de inleiding (hoofdstuk 1).

Deel 1 (hoofdstuk 2) bespreekt de mogelijkheden voor nature-based solutions aan de zandige Vlaamse kustlijn. In bijlage A worden praktijkvoorbeelden besproken, alsook enkele maatregelen die in deze studie verder niet behandeld zijn.

Deel 2 (hoofdstuk 3) bevat een uitwerking en illustratie van een afwegingskader om enerzijds de kustveiligheidsfunctie van nature-based solutions te bekijken (details in bijlage C), maar ook de vele andere ecologische en maatschappelijke voordelen van zulke oplossingen (ecosysteemdiensten, details in bijlage D).

Deel 3 (hoofdstuk 4) bespreekt reflecties van lokale besturen om nature-based solutions te implementeren in hun gemeente.

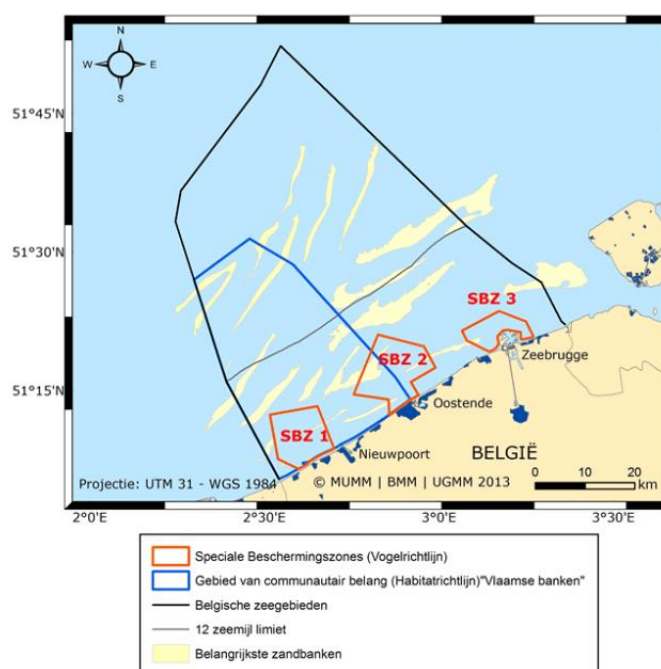
In de discussie en conclusie (hoofdstuk 5) worden de bevindingen uit deze studie besproken alsook aandachtspunten voor vervolgstudies.

In het nawoord wordt kort ingegaan op de toekomstvisie voor onze ganse kust die nog wordt uitgewerkt in het project Kustvisie.

2 Deel 1 Zachte oplossingen voor kustveiligheid aan de Vlaamse kust

2.1 Via zachte oplossingen naar een ecosysteemaanpak voor kustveiligheid (Nature-based solutions)

De ecosysteemaanpak beoogt het ondersteunen/versterken/verbeteren van het ecosysteem opdat het beter functioneert en zodoende functies levert die ons (maatschappij) ten goede komen. Bijvoorbeeld: reliëf op de zeebodem remt golven af dus kan je bewust reliëf aanbrengen (kunstmatig, of bij voorkeur natuurlijk) om meer/sterkere golfafremming aan je kustlijn te creëren en golfbelasting op je stranden/duinen/dijken te verminderen. Zachte oplossingen kunnen in tegenstelling tot harde maatregelen zoals een harde dijk, een bijdrage leveren aan het goed functioneren van het ecosysteem en zodoende ook bijdragen aan de Natura 2000 gebieden (Figuur 2-1) die aan onze kustlijn voorkomen. In de context van de zachte oplossingen die we in deze studie behandelen, kijken we naar volgende ecosystemen en habitats: biogene riffen, vooroever, strand, duinen. Deze ecosystemen staan beschreven in het rapport ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust (Van der Biest *et al.*, 2017).



Figuur 2-1. Ligging van de Natura 2000 gebieden in het Belgisch deel van de Noordzee (bron: BMM)

De op natuur gebaseerd oplossingen (nature-based solutions, Nbs) zijn maatregelen die gebruik maken van de ecosysteemaanpak. Nature-based solutions worden door de Europese commissie als volgt gedefinieerd:

“Solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience. Such solutions bring more, and more diverse, nature and natural features and processes into cities, landscapes and seascapes, through locally adapted, resource-efficient and systemic interventions.”

We kiezen in deze studie voor een brede interpretatie, namelijk alle zachte oplossingen zonder harde infrastructuur uit bijvoorbeeld beton. Maar ook hybride oplossingen met harde en zachte oplossingen nemen we mee. Voor zachte oplossingen kan nog een opdeling gemaakt worden; maatregelen die gebruik maken van zand zoals suppleties (eerder passief met gebruik van natuurlijk materiaal, gebruik maken van natuurlijke processen) of met planten of diersoorten zoals mosselen of helmgras (meer actief met natuurwaarden). De meer passieve vormen van NbS (bijvoorbeeld met zand) zijn zeker geen nieuwe oplossingen en worden reeds lange tijd toegepast aan onze kustlijn (strandsuppleties). Het betrekken van planten en rifsoorten is wel nieuwer en nog voorwerp van wetenschappelijk onderzoek (bijvoorbeeld CREST voor duinen en Coastbusters voor biogene riffen).

In deze studie bekijken we de voordelen van zulke maatregelen primair voor kustveiligheid en daarnaast ook de tal van andere voordelen die ze kunnen bieden. Echter kunnen niet alle onderzochte zachte maatregelen als volwaardige kustveiligheidsmaatregel ingezet worden. In geval van biogene riffen en vooroever- en strandsuppleties moeten deze nog gecombineerd worden andere kustveiligheidsmaatregelen (indien de zeewering in de regio ontoereikend is). In deze studie wordt dit gecombineerd met een dijkverhoging als referentie harde infrastructuur oplossing. Idealiter kan de dijkverhoging wel lager gehouden worden indien ze gecombineerd wordt met zachte maatregelen (maar dat is afhankelijk van de omvang van de maatregelen). In plaats van een dijkverhoging kan ook gedacht worden aan een vaste stormmuur als referentie harde maatregel. Duinoplossingen met voldoende volume en hoogte zijn wel een volwaardige kustveiligheidsmaatregel.

In deze studie bekijken we voorbeelden uit binnen- en buitenland om de voordelen en eventuele knelpunten van zulke maatregelen te bespreken. In het kader van dit project zijn geen nieuwe pilootprojecten uitgevoerd en werden geen metingen gedaan. Het veiligheidsniveau van de scenario's (deel 2 van de studie) werd wel gemodelleerd.

We bespreken hier achtereenvolgens volgende NbS:

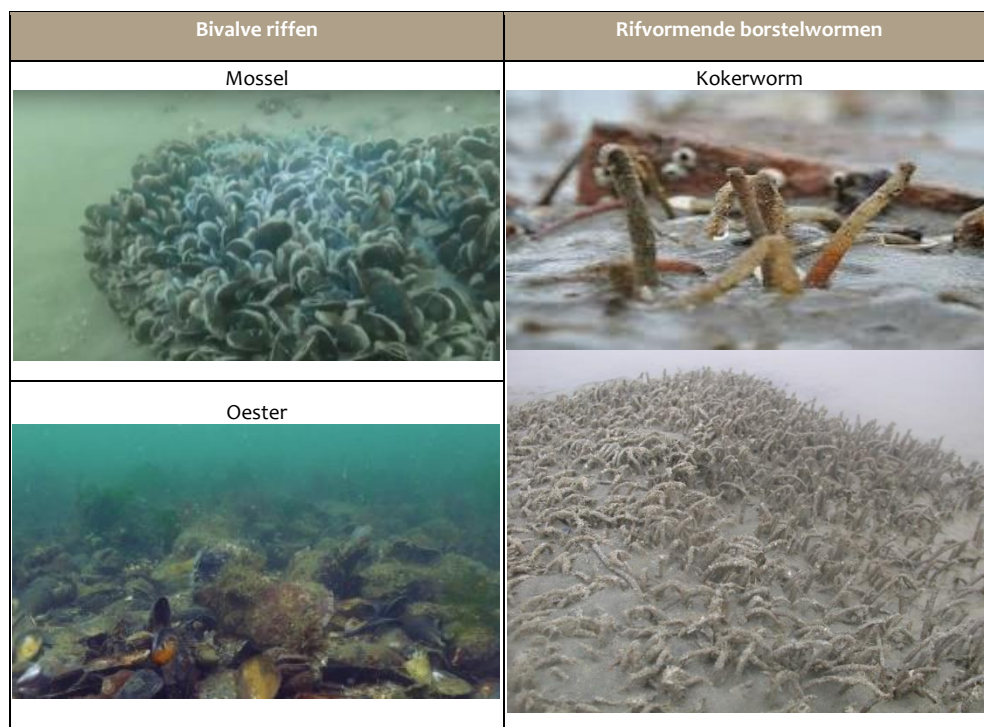
- i. Biogene riffen aanleggen in de vooroever (onder de laagwaterlijn)
- ii. Zandsuppleties (vooroever, strand)
- iii. Duinoplossingen (gradaties zacht en hybride): duinsuppletie, duin-voor-dijk, dijk-in-duin of groene grasdijk oplossing
- iv. Referentie harde oplossing (dijk, stormmuur)
- v. Overige maatregelen

i. Biogene riffen aanleggen in de vooroever (onder de laagwaterlijn)

Biogene riffen kunnen aangelegd onder water en kunnen bestaan uit bivalves (tweekleppigen zoals mosselen, oesters en kokkels), of rifvormende borstelwormen zoals schelpkokerwormen (*Lanice conchilega*) en zandkokerwormen (*Sabellaria alveolata*). Riffen bieden belangrijke functies om golfenergie af te remmen, zandvang, en versterking van biodiversiteit. Riffen kunnen nuttig zijn op erosiegevoelige locaties omdat ze zandvang stimuleren en zo erosie beperken. Daarom kunnen ze ook nuttig zijn bij havens als zandvang. In bijlage A worden locatie selectie criteria en karakteristieken van riffen weergegeven, en worden volgende studies over biogene riffen toegelicht:

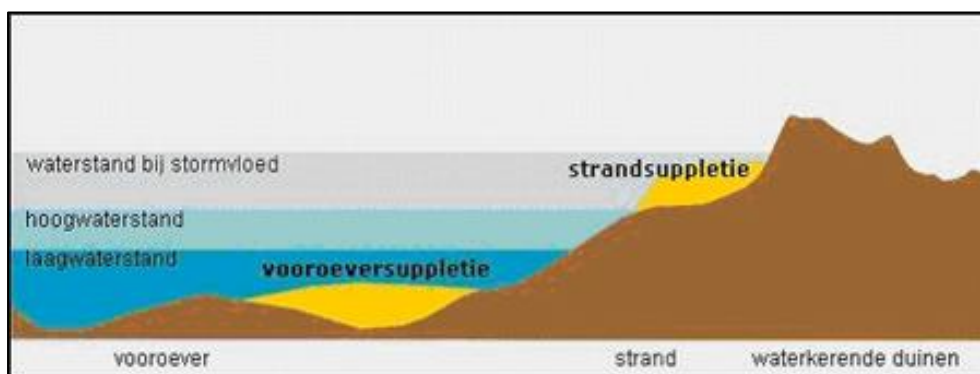
- ✓ Coastbusters studie ter hoogte van de Haan
- ✓ SARCC pilot project: Penzance eco reef
- ✓ Oesterwieg, Nederland

- ✓ PRODUS project duurzame schelpdiercultuur, 2006-2012
- ✓ Mosselwad project



ii. Zandsuppleties (vooroever, strand)

Via suppleties kan een extra volume zand worden aangelegd om de kustlijn te verstevigen en het extra volume zorgt ervoor dat stormgolven hierop hun kracht verliezen waardoor het een onderdeel is van de zeewering. Een suppletie kan uitgevoerd worden onder water (vooroeversuppletie, onder de laagwaterlijn), of op het strand (strandsuppletie), of een combinatie van beide. Een strandsuppletie ligt hoger en dicht bij de dijk en heeft daardoor een direct meetbaar effect op het afremmen van stormgolven en de stabiliteit van het strand. Een vooroeversuppletie ligt veel lager en verder van de dijk en heeft daardoor een minder sterk direct effect. Dit heeft echter wel een belangrijk indirect effect op kustveiligheid omdat het volume zand over een langere termijn geleidelijk met de stroming richting het strand kan getransporteerd worden waar het wel een meer direct effect heeft op golfafremming en stabiliteit van het strand.



Bron: Ecomare

Het agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust (MDK) voert al 10 jaar deze maatregelen uit om onze kustlijn te beschermen tegen een 1000-jarige stormvloed (daar gaat het Masterplan Kustveiligheid van uit). Bij de uitvoering van de maatregelen gaat MDK uit van het principe “zacht waar het kan, hard waar het moet”. Dat betekent dat we waar het aangewezen is, extra zand aanbrengen op het strand (strandsuppletie) om een hoger en breder strand te creëren. Stormgolven verliezen hierop hun kracht en energie vóór ze schade kunnen toebrengen aan de dijken of de bebouwing. Hoewel er na elke winterstorm hier en daar kliffen ontstaan op het strand toonde onderzoek ook aan dat na een storm het strand deels spontaan herstelt in de daaropvolgende maanden. Suppleties zorgen er ook voor dat we een stevig kustfundament in stand kunnen houden op een natuurlijke en zo kost-efficiënt mogelijke manier.

www.agentschapmdk.be/

iii. Duinoplossingen (zacht of hybride)

Duinachtige maatregelen zijn er in veel variaties en worden reeds geruime tijd onderzocht als natuurlijke oplossing voor klimaatverandering aan de kust. We behandelen drie varianten met een verschillende gradatie van volledig zacht tot hybride dijk-duin oplossing. We bespreken in bijlage A diverse voorbeeldprojecten:

- ✓ Prins Hendrik Zanddijk in Texel, Nederland
- ✓ Hondsbossche duinen, Nederland, 2014-2019
- ✓ LIFE+ Flandre project, duinen, Frankrijk-België
- ✓ Crest-project (Climate Resilient Coast)
- ✓ Europees SARCC project: Sustainable And Resilient Coastal Cities met diverse piloot projecten in binnen- en buitenland
 - Testduin met helmaanplant in Raversijde, 2021
 - Grasdijk Middelkerke
 - Duin Blankenberge
 - Boulevard Bankert, Vlissingen, Nederland
 - Strand Gravelines



	<p>Duin voor dijk, bvb. Hondsbossche Duinen</p>	
<p>Hybride dijk- duin maatregelen</p>	<p>Dijk in duin, groene gras dijk, bvb. Groene dijk Middelkerke</p>	

Zachte duin maatregelen (duinsuppletie, duin-voor-dijk)

Bij duinsuppleties gaat het in de eerste plaats over het versterken of uitbreiden van bestaande duinsegmenten. Deze maatregel is dus vooral om uit te voeren aan bestaande (eventueel verzwakte) duinen of om de ruimte tussen bestaande duinen ook als duinen in te richten.

Een duin voor dijk maatregel wordt uitgevoerd op het strand langs een bestaande dijk. Hiervoor is geen aansluiting met bestaande duinen nodig. Indien er een breed strand aanwezig is kan hierop een duin aangelegd worden. Dit kan ook als hybride maatregel beschouwd worden indien het integraal met een dijk aanpassing gepaard gaat.

Voor beide maatregelen kan het gaan om de aanleg van embryonale duinen met een kleine duinsuppletie, of grote duinsuppletie om sneller helmduinen te kunnen realiseren. Dit kan gecombineerd worden met helmgras aanplanten; op het hoog strand om embryonale duinvorming te stimuleren of in combinatie met een kleine of grote duinsuppletie.

In de eerste plaats moet hiervoor eigenlijk gekeken worden naar locaties waar spontane duinontwikkeling plaatsvindt zoals in Zeebrugge. Dit is immers een natuurlijke ontwikkelingsstap van het strand-duin complex. Echter wordt dit aan onze intensief gebruikte stranden verstoord door beheersactiviteiten zoals machinale strandreiniging. Tijdens de eerste lockdown van de Covid pandemie in de zomer 2020 werden plots

“groene stranden” zichtbaar waar pioniervegetatie spontaan tevoorschijn kwam. Dit zal moeten bekeken worden in het globale pakket van maatregelen en beheer. In voorliggend rapport willen we specifiek focussen op actieve NbS maatregelen.

Hybride dijk-in-duin of groene grasdijk oplossing

Deze maatregelen bestaan uit een harde dijk met een zachte duin afwerking (zandlaag, helmgras begroeiing). De ecologische functies van deze maatregelen hangt af van de samenstelling van de harde kern (bijvoorbeeld asfalt zonder infiltratie en zonder koolstofopslag in de bodem, of klei zonder infiltratie maar met mogelijkheid van koolstofopslag), en de zachte afwerking (dikte van de zandlaag, met of zonder vegetatie).

Er kunnen voorwaarden gesteld worden aan de zandbedekking en begroeiing om de stabiliteit van de harde dijk erin te kunnen garanderen. Onderhoud om duinaangroei terug af te graven kan dan noodzakelijk zijn. Dit is afhankelijk van de samenstelling van de harde kern en eventuele gebruiksfuncties in het intern volume (bijvoorbeeld sanitaire voorzieningen in de dijk).

iv. Referentie harde oplossing (dijk, stormmuur)

Als referentie harde oplossing beschouwen we een dijkverhoging of de constructie van een stormmuur. De zeedijk van Wenduine werd in 2015 vernieuwd met onder andere een nieuwe stormmuur in de vorm van een zitbank. De ruime openingen ter hoogte van de straten kunnen bij stormtij gesloten worden door elektrisch bediende schuifpoorten.



Zeedijk Wenduine

v. Overige maatregelen

Diverse andere zachte maatregelen zijn toepasbaar aan de kust, maar zijn in deze studie niet verder behandeld aangezien ze minder eenvoudig breed inzetbaar bevonden werden na een uitvoerige bespreking met betrokken partijen (Departement Omgeving, MDK, VLIZ, provincie West Vlaanderen). Deze worden wel kort toegelicht met enkele voorbeelden in bijlage A.

- ✓ Ecologische strandhoofden, ecoconcrete blokken voor harde infrastructuur, living breakwaters
- ✓ Mega strandsuppletie (type Zandmotor)
- ✓ Zandnetten op het strand
- ✓ Mosselbedden op het strand
- ✓ Slikken en schorren en begroeide vooroever langs dijken
- ✓ Stilling wave bassin

2.2 Screening Vlaamse kustlijn

We hebben voor deze studie een snelle screening gedaan van de mogelijkheden voor de zachte oplossingen aan onze Vlaamse kustlijn. Deze screening had vooral tot doel om twee interessante regio's te selecteren en een beperkte lijst van NbS types voor de analyse van scenario's in deel 2 van deze studie.

We hebben achtereenvolgens volgende aspecten bekeken:

Stap 1: primaire zoekzones op basis van twee criteria (Figuur 2-2):

- Badplaatsen (het SARCC project focust op de stedelijke context) (details in bijlage B.1)
- Aandachtzones voor kustveiligheid op basis van Masterplan Kustveiligheid en Veiligheidstoetsing 2015 (details in bijlage B.2)

Stap 2: natuurlijk potentieel voor zachte maatregelen (technische overwegingen, details in bijlage B.3)

- Voor strand en duin maatregelen: in de eerste plaats kijken we naar locaties met sedimentatie omdat dit natuurlijke aangroei van stranden en duinen ondersteunt. Hiervoor hebben we beschikbare informatie over sedimentatie en erosie langs onze kustlijn bekeken (Figuur 2-3). Voor sedimentatie en erosie patronen hebben we trends bekeken zoals bepaald tijdens het CREST project en gecorrigeerd voor suppleties. Dit is dus de "natuurlijke" trend die getoond wordt (laatste resultaten, zoals verwerkt begin 2020; bijlage B3).

Hierbij willen we opmerken dat erosiegevoelige zones niet uitgesloten zijn voor NbS maatregelen, maar het is minder vanzelfsprekend (extra stabilisatie nodig, eventueel meer onderhoud). De toepasbaarheid van NbS in erosiegevoelige gebieden moet nog verder onderzocht worden. We nemen deze zones daarom niet mee in onze kustlijnscreening om de meest gunstige locaties te identificeren voor onze theoretische analyse.

- Voor biogene riffen: aanwezige profiel met ondiepe vooroever dicht bij de kustlijn (zandbank, grootte orde vanaf -4mTAW) (Figuur 2-4). Hoe dicht bij de kustlijn, hoe effectiever het effect op golfdemping. Een geul tussen de bank en kustlijn maakt het minder efficiënt.

Stap 3: socio-economische overwegingen (ecosysteemdiensten):

- Kustveiligheid: relevant in alle geselecteerde locaties aangezien we als uitgangspunt de aandachtzones voor kustveiligheid hebben genomen.
- Waterkwaliteit: nutriëntenvracht in oppervlakte water voldoet op veel locaties niet aan de Europese doelstellingen (kaderrichtlijn water en kaderrichtlijn mariene strategie). Een kaart met de N-aanvoer in kg per ha per jaar is weergegeven in bijlage B.4. Hierop is te zien dat met name in het oostelijk deel van de kustlijn er een grotere aanvoer is van organisch materiaal en fijner sediment waardoor er hier een grotere nut is als natuurlijke ecosystemen kunnen bijdragen aan het zuiveren van water. Het is echter niet zo eenvoudig om heel locatie specifiek vast te leggen wat de noodzaak is voor natuurlijke zuivering van waterkwaliteit. Daarom nemen we aan dat dit nuttig is langs de ganse kustlijn.
- Waterretentie en drinkwater: In het westelijke en oostelijke deel van onze kustlijn zijn er nog vergunde grondwateronttrekkingen, voornamelijk in grote natuurlijke duinzones (kaart in bijlage B.4). Duinen zorgen voor veel infiltratie

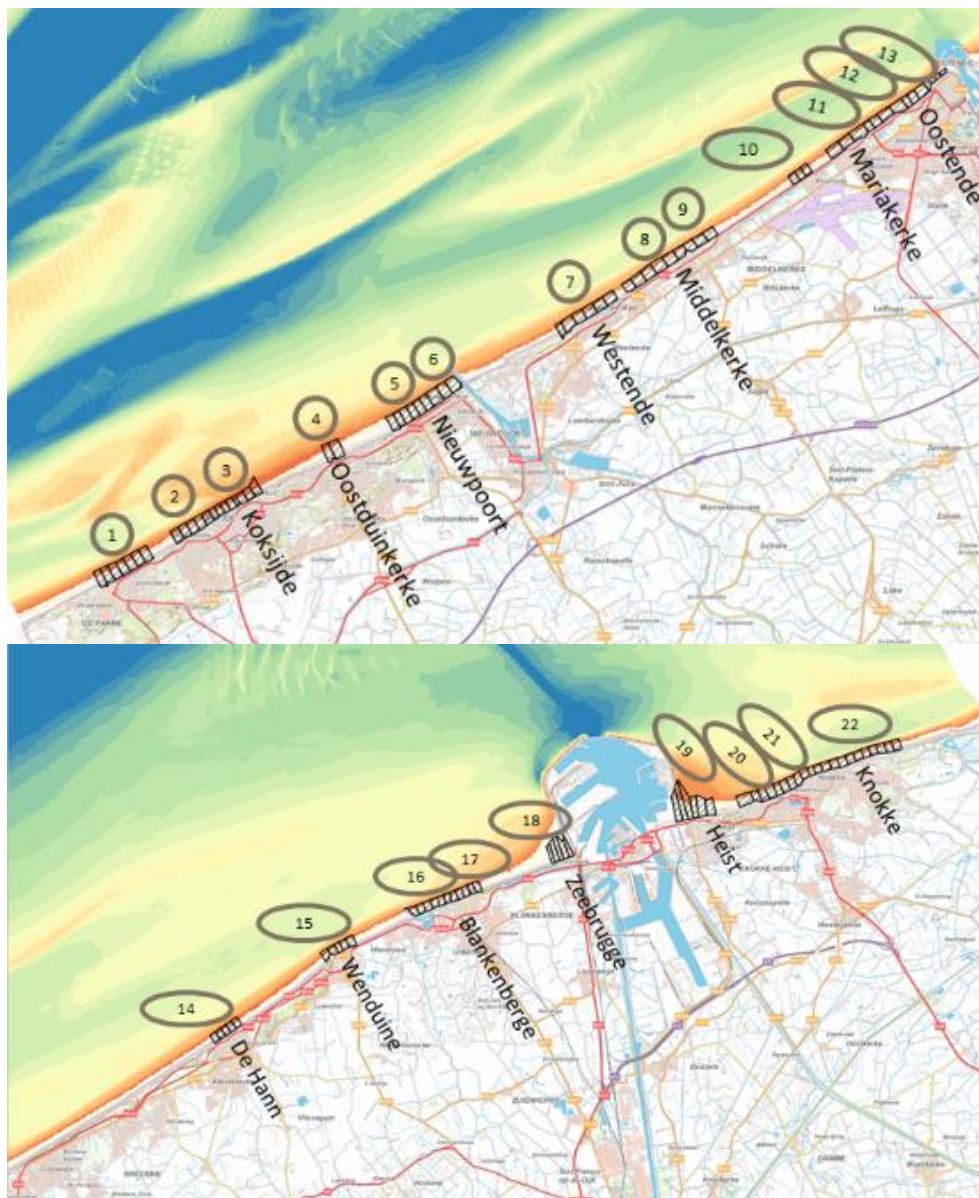
en hebben een zoetwaterlens wat uitermate nuttig is voor drinkwaterwinning. Dit legt extra een grote druk op de grondwaterhuishouding en er is een evolutie naar de afbouw van grondwateronttrekkingen. Daarom bekijken we dit verder niet.

- **Natuur:** Het natura2000 duinengebied wordt getoond op kaart in bijlage B.4. Dit bestaat uit vele kleine gebieden langsheen de hele kustlijn.
- **Recreatie:** In de studie ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust werd een kaart getoond (bijlage B.4) die de sightseeing populariteit weergeeft langs onze kustlijn op basis van aantal geuploade foto's sinds 2012 op sightsmat.com³. Dit geeft een kwalitatieve indicator voor het aantal bezoekers (geen onderscheid in type bezoekers of type locatie). Op de kaarten in bijlage B.4 is te zien dat de typische kuststeden- en gemeenten grote aantallen bezoekers ontvangen, alsook jachthavens, attractieparken, campings etc.. Anderzijds komt duidelijk de aantrekkingswaarde van de natuurgebieden naar voren (het Zwin, duingebieden in De Panne en duinbossen tussen De Haan en Wenduine en de Uitkerkse polder).

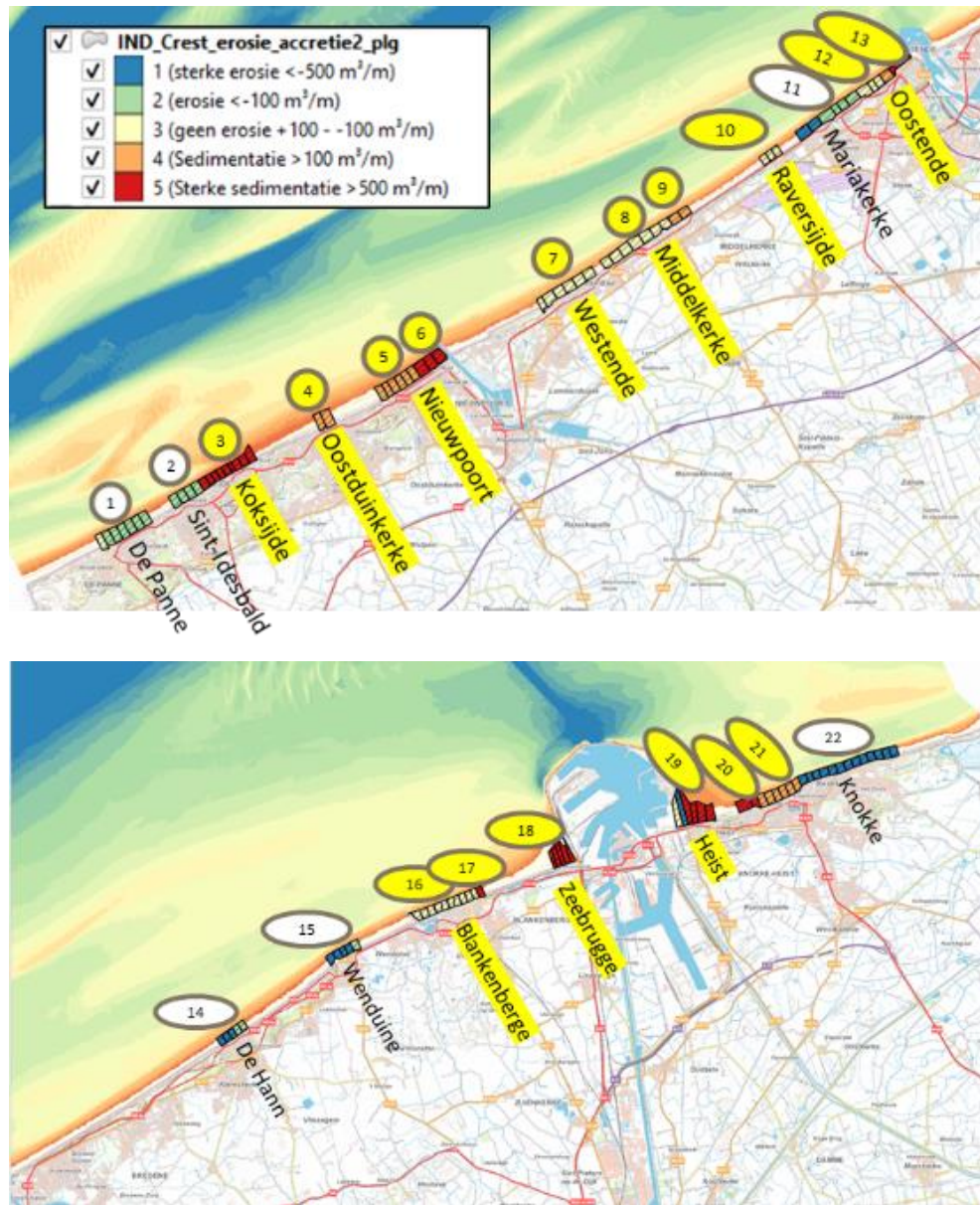
De mogelijke toegevoegde waarde van NbS voor recreatie is een complex en subjectief gegeven aangezien er diverse recreatie vormen zijn waarvoor andere ecosysteemkarakteristieken een bijdrage leveren (bijvoorbeeld groot vlak strand, of groene duinen). Als uitgangspunt nemen we daarom aan dat de grootste toegevoegde waarde van NbS kan gevonden worden in gebieden waar recreatie mogelijkheden momenteel beperkter of eenzijdiger zijn.

Deze screening heeft geleid tot de aanduiding van 10 locaties die op basis van deze snelle screening het meest interessant lijken voor de onderzochte NbS types (Tabel 2-1). Dit sluit echter in geen geval uit dat de NbS ook interessant kunnen zijn op andere locaties langs onze kustlijn.

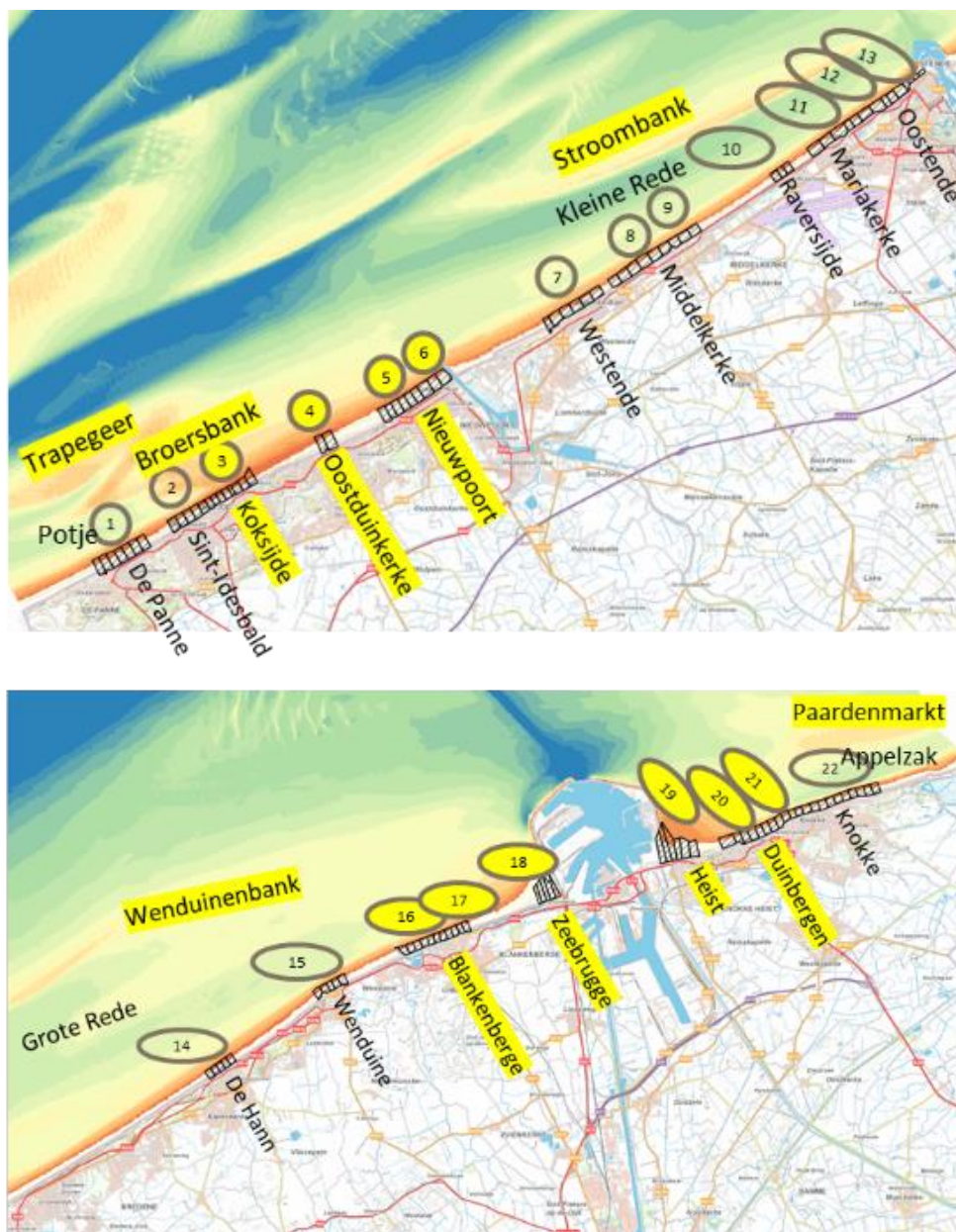
Figuur 2-2. Aanduiding van 22 regio's als primaire zoekzone (badplaatsen, aandachtzones voor kustveiligheid)



Figuur 2-3. Aanduiding (geel) van zones met natuurlijke sedimentatie die daardoor extra interessant zijn voor zachte strand en duinmaatregelen



Figuur 2-4. Aanduiding (geel) van ondiepe zandbanken nabij de kustlijn die mogelijk interessant zijn voor de aanleg van biogene riffen



Tabel 2-1. Screening Vlaamse kustlijn: 10 locaties die zeker interessant kunnen zijn voor zachte maatregelen

Zones	Hoog potentieel	3 Koksijde	4 Oostduinkerke	5+6 Nieuwpoort	7 Westende	8+9 Middelkerke	10 Raversijde	12+13 Oostende	16+17 Blankenberge	18 Zeebrugge	19 Heist	20+21 Duinbergen
	Beperkt potentieel											
Stedelijk, overgangszone natuurlijk		Overgang	Overgang	Overgang	Stedelijk	Stedelijk	Stedelijk	Stedelijk	Stedelijk	Overgang	Stedelijk	Stedelijk
Vooroever riffen	-ondiepe vooroever			(haven niet afgeschermd)								
Eco strandhoofden	-aan te leggen strandhoofden											
Strand	-intensiteit sedimentatie -strand			(haven niet afgeschermd)								
Duin	-intensiteit sedimentatie -strand			(haven niet afgeschermd)								
	-intensiteit sedimentatie -duin											
Harde ingrepen, hybride	-dijk		(straat)	(straat, duin)								
Kustveiligheid												
Waterkwaliteit regulering												
Waterretentie, drinkwater												
Natuur												
Recreatie												

2.3 Conclusies Deel 1

Op basis van het overzicht van mogelijke NbS oplossingen en de kustlijnscreening zijn tijdens stuurgroep 2 twee locaties (stedelijk en stedelijk-overgangszone gebied) geselecteerd en 6 NbS types om te vergelijken met een harde dijkverhoging of stormmuur als referentie oplossing (Tabel 2-2).

In de analyse in deel 2 worden geen concrete inrichtingsplannen voor deze NbS uitgewerkt, maar wordt een theoretische oefening gedaan om vast te stellen welke dimensies voor de verschillende NbS nodig zijn (hiervoor werd een gemiddeld type profiel van beide locaties gebruikt, niet een profiel van één specifieke plek).

Voor deel 3 van deze studie, zijn de resultaten van deze theoretische oefening gebruikt om in dialoog te gaan met lokale gemeentebesturen om hun visie op zulke zachte oplossingen te leren kennen (wat zien ze zitten in hun gemeente, wat zien ze als knelpunten).

Tabel 2-2. Overzicht selectie 6 NbS types en 2 locaties, de mogelijkheden per locatie (donkergroen hoog potentieel, licht groen matig potentieel en grijs geen potentieel), en de verdeling van de NbS types over de twee locaties voor de scenario analyse in hoofdstuk 3 (kruisjes)

NBS type	Locatie 1 “Stedelijk-overgangszone” geïnspireerd op Koksijde	Locatie 2 “Stedelijk” geïnspireerd op Heist-Duinbergen
Biogene riffen		X
Vooroeversuppletie		X
Strandsuppletie	X	
Duinsuppletie	X	
Duin voor dijk	X	
Dijk in duin, groene dijk		X

3 Deel 2 Afwegingskader voor de ecologische en maatschappelijke meerwaarde van nature based solutions, geïllustreerd met theoretische voorbeelden

3.1 Technische uitwerking dimensies maatregelen zeekering (8 scenario's)

Methode: scenario's, modelsimulatie

Voor de 6 geselecteerde NbS maatregelen en de harde referentie is een eerste inschatting gemaakt van de grootteorde van de ontwerpdimensies om te voldoen aan de kustveiligheidseisen. Hiervoor is gebruikt gemaakt van de methodiek kustveiligheidsbeoordeling en de Coastal Safety Tool (CST). Deze tool werd door IMDC in-house ontwikkeld en hanteert de voorgeschreven modellen (XBeach & Swash) i.k.v. de veiligheidstoetsing (voor details zie Bijlage C).

Er zijn 8 scenario's opgebouwd voor deze analyse (Tabel 3-1). Hierbij zijn de zes geselecteerde maatregelen verdeeld over de twee type locaties (selectie zie deel 2.2), alsook een harde referentie maatregel (dijkverhoging of stormmuur) per locatie. Het uitgangspunt voor elk scenario is dat het voldoet aan de veiligheidsdoelstelling van de overheid (namelijk bescherming tegen een T1000 storm), rekening houdend met een matige zeespiegelstijging van +1,5 meter¹.

Sommige zachte maatregelen zijn echter op zichzelf niet toereikend om aan de veiligheidsdoelstelling te voldoen en moeten dan gecombineerd worden met andere maatregelen. In onze scenario's wordt dit telkens gecombineerd met een dijkverhoging om aan de veiligheidsdoelstelling te voldoen. In sommige scenario's leidt dit tot een minder hoge dijk die nodig is in vergelijking met het referentie scenario zonder combinatie met zachte oplossing. Een dijkverhoging is aan de onze reeds sterk verstedelijkte kustlijn moeilijk te realiseren. Daarom kan ook gedacht worden aan de installatie van een nieuwe vaste stormmuur bovenop de bestaande dijk, met enkele mobiele delen om doorgang richting zee mogelijk te maken. De benodigde hoogte voor een stormmuur zal iets lager zijn dan de hoogte die gesimuleerd is voor een dijkverhoging.

Voor de duinmaatregelen is de hoogte gedimensioneerd om te voldoen aan de veiligheidsdoelstelling waardoor een combinatie met een harde oplossing niet nodig is.

In de simulaties is voor de dijken en duinen gewerkt met hoogte-stappen van 0.5 m.

¹ Voor de modelsimulatie moest een specifieke zeespiegelstijging gekozen worden. In samenspraak met MDK werd geopteerd voor een matige stijging van +1,5 meter. Voor een stijging van +1.5 meter zijn de hydraulische randvoorwaarden recent bepaald (Waterbouwkundig laboratorium). Tevens is dit een sterkere stijging dan waarmee het huidige beleid met het Masterplan kustveiligheid rekening houdt, maar niet zo extreem als de 3 m stijging waarmee rekening zal gehouden worden in de volgende visie die momenteel nog wordt ontwikkeld (Kustvisie).

Tabel 3-1. Overzicht van de 8 scenario's (details in Bijlage C)

Maatregelen	Locatie 1	Locatie 2
Referentie: grijze ingreep (dijk, stormmuurtje)	1.1	2.1
Biogene riffen + dijk		2.2
Vooroeversuppletie + dijk		2.3
Strandsuppletie + dijk	1.2	
Duinsuppletie + strandsuppletie	1.3	
Duin voor dijk + strandsuppletie	1.4	
Dijk in duin, groene dijk		2.4

Resultaten

De simulatie resultaten voor elk scenario zijn te vinden in Bijlage C. Dit bevat dimensies (hoogte dijk of duin, volume suppletie), veiligheidstest (maximale golfoverslag voor dijken/stormmuur en minimale duinratio voor duinoplossingen), en het bodemprofiel voor elk scenario (verschuiving van de hoog- en laagwaterlijn als gevolg van de zeespiegelstijging en de maatregel, breedte van droog strand).

We bespreken hier enkel de globale conclusies (detail resultaten in Bijlage C).

Effect op kustveiligheid bij stormen:

- **Biogene riffen:** Resultaten met biogene riffen zijn vrijwel gelijk aan de referentie case. Er is dus geen duidelijk effect van het biogene rif scenario op de benodigde dijkhoogte voor kustveiligheid bij stormen. De simulatie geeft een kleine toename van de overslag maar dit valt binnen de foutenmarge van het model. Voor de simulatie werd een redelijk smalle strook rif bekeken. Biogene riffen hebben bewezen effect op golfhoogte en -intensiteit maar dat is beperkt tot niet storm condities⁴. Tijdens storm condities zijn de golven te hoog en de relatieve bijdrage van het rif op die golven eerder verwaarloosbaar. Het effect tijdens niet storm condities is desondanks wel positief voor de globale kustveiligheid omdat het de voortdurende belasting van de zeekering helpt beperken (beperken van onderhoudskosten).
- **Vooroeversuppletie:** dit scenario zorgt niet voor een verlaging van de benodigde dijk, maar wel tot een duidelijke vermindering van de overslag. Een vooroeversuppletie draagt dus wel direct bij aan veiligheid bij stormen, maar het verschil is te klein om de dijkverhoging te kunnen verlagen met 0.5 meter. Het effect van de vooroeversuppletie speelt meer over een lange termijn waarbij het aangebrachte zand in de vooroever via natuurlijke processen richting het strand kan verplaatst worden en zo het strand versterkt. Dit lange termijn effect is niet meegenomen in de simulatie. Het effect op kustveiligheid is dus groter dan wat hier gesimuleerd werd (zie effect strandsuppletie scenario).
- **Strandsuppleties** zorgen voor een duidelijk effect op de vereiste dijkhoogte (0.5 m lager dan de referentie).
- **Duinsuppleties en duin voor dijk:** Duinen kunnen toegepast worden op locaties waar geen dijk aanwezig is, of voor de dijk in plaats van een dijkverhoging. Het is mogelijk om duinen te creëren met voldoende duinvolume (duinratio>1) en een beperkte benodigde duinhoogte (verdere verlaging zou tot te veel golfoverslag leiden bij storm). Veelal moet dit wel gecombineerd worden met

een strandsuppletie om een stabiele duinvoet te creëren en een droogstrand te voorzien.

Duinen leveren een grotere bijdrage aan de stabiliteit van de kustverdedigingslinie in vergelijking met stranden. Duinen verhogen de duurzaamheid van de suppleties omdat zand dat gekoloniseerd is door vegetatie minder snel zal eroderen. Duinen zijn meer bestand tegen zeespiegelstijging (als ze in een sedimentatie zone liggen) omdat ze mee kunnen groeien door de grote capaciteit van helm om zand in te vangen.

- **Groene dijk (dijk afgewerkt met begroeiing):** dit scenario zorgt niet voor een verlaging van de benodigde dijk, maar wel tot een duidelijke vermindering van de overslag. Het draagt dus wel direct bij aan veiligheid bij stormen, maar het verschil is te klein om de dijk te kunnen verlagen met 0.5 meter.

Effect op strandprofiel:

Als gevolg van de zeespiegelstijging (simulaties met +1,5 meter) verschuiven de laag- en hoogwaterlijn sterk landwaarts, waardoor de breedte van het droogstrand ongeveer halveert. Het profiel van elk scenario is toegevoegd in Bijlage C.

- **Biogene riffen:** geen effect op het strandprofiel ten opzichte van de referentie.
- **Vooroever-suppletie:** geen direct effect op het strandprofiel ten opzichte van de referentie. Het indirecte lange termijn effect op het strand is niet gesimuleerd.
- **Strandsuppleties:** zorgt ervoor dat de huidige strandbreedte kan behouden blijven (dus geen vermindering door ZSS zoals in het referentiescenario).
- **Duinsuppleties en duin voor dijk:** duin aanleg in combinatie met een strandsuppletie zorgt ervoor dat de huidige strandbreedte kan behouden blijven, maar waarvan (in het geteste scenario) ongeveer de helft wordt ingenomen door het duin. Dit resulteert dus ook in een halvering van het droogstrand zoals in het referentiescenario, maar het droogstrand is meer naar zee geschoven en is steiler.
- **Groene dijk:** geen effect op het strandprofiel ten opzichte van de referentie.

Op basis van de dwarsprofielen die gebruikt zijn voor de modelsimulatie (bijlage C), zijn per scenario ook oppervlaktes berekend voor de verschillende zones vooroever, strand, duin (Tabel 3-2). Hierbij veronderstellen we dat het scenario zich uitstrekt over 100 meter langs de kustlijn. Hierbij wordt enkel rekening gehouden met het direct effect op het kustprofiel als gevolg van de zeespiegelstijging en de maatregel (simulaties in bijlage C). Langetermijn ontwikkelingen zoals verbeterde stabiliteit van het strand of natuurlijke duinontwikkeling als gevolg van betere zandaanvoer zijn niet beschouwd. In deze studie willen we immers enkel focussen op de directe ruimte-inname van de zachte maatregelen en de effecten hiervan voor het ecosysteem en de maatschappij. Andere aspecten zoals lange termijn effecten, kosten en onderhoud zijn ook relevant voor een totale evaluatie, maar dat valt buiten de scope van deze studie.

Tabel 3-2. Oppervlaktes [ha] per habitat type voor elk scenario (gebaseerd op het kustdwarsprofiel uit de simulatie, en veronderstellen dat het over 100 m kustlangs uitstrekt).

Hectare	Locatie 1				Locatie 2			
	S1.1 Ref	S1.2 strand-suppletie	S1.3 duin-suppletie	S1.4 duin voor dijk	S2.1 Ref	S2.2 rif	S2.3 vooroeversuppletie	S2.4 groene dijk
Vooroever (<LW)	11	11	11	11	12	11	12	12
Biogeen rif	0	0	0	0	0	1	0	0
Nat strand (LW-HW)	2,3	1,7	1,6	1,6	3	3	3	3
Droog strand (>HW)	0,7	1,2	0,7	0,7	1	1	1	1
Duin	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0
Dijk, stormmuur, duin hoogte (mTAW)	12	11,5	11 (duin)	11 (duin)	10,5	10,5	10,5	10,5

Conclusie van de theoretische scenario analyse

Alle scenario's zijn opgesteld om te voldoen aan de kustveiligheidseis. De resultaten tonen wel duidelijk verschillen naar ruimtelijke impact. Vooral de verschillen in de benodigde hoogte van de zeewering en het effect op de omvang van droogstrand vallen op en kunnen de acceptatie voor de ene of andere NbS beïnvloeden.

Hoogte van de nodige zeewering (dijk/stormmuur, of duin):

- Scenario's met duin: Er is een duin tot 11mTAW nodig in het scenario (s1.3 en s1.4), terwijl de referentie een dijkverhoging tot 12m TAW nodig heeft (s1.1). Dus met de duinoplossing is minder hoogte vereist en blijft het zicht naar zee meer open.
- Scenario's met dijkverhoging of stormmuur: De andere NbS scenario's zijn steeds in combinatie met een dijkverhoging of stormmuur. Voor het scenario met de strandsuppletie, is de vereiste dijkverhoging 0.5m lager. Het direct effect is dus zichtbaar. Voor de overige scenario's is het direct effect beperkter en niet zichtbaar in de berekende dijkverhoging (omdat enkel stappen van 0.5m zijn bekeken). Naast het direct effect op kustveiligheid, bieden ze nog effecten op lange termijn als onderhoudsbeperkende maatregelen. Dit is niet gesimuleerd met het model.

Strandprofiel:

- Strandsuppletie scenario: veel breder droogstrand
- Duinoplossingen: zelfde breedte droogstrand als referentie, maar meer naar zee opgeschoven. In deze scenario's zijn ook strandsuppleties toegevoegd om voldoende ruimte te creëren om een duin aan te leggen en nog strand over te hebben. Deze gecombineerde oplossing geeft veel mogelijkheden om een gewenst profiel te realiseren.
- Rif en vooroeversuppletie scenario: geen invloed op het strand (zelfde als de referentie)
- Groene dijk: geen invloed op het strand (zelfde als de referentie)

Om te concluderen:

- De vooroever- en strandmaatregelen bieden in de uitgewerkte cases geen volwaardige zeewering. In de scenario's is dit daarom gecombineerd met een harde dijkverhoging/stormmuur. De combinatie van NbS met een

dijkverhoging/stormmuur leidt tot minder water dat over de dijk komt tijdens een storm (overslag). Daarom kan de combinatie ook leiden tot lagere vereiste hoogte voor de dijk/muur. Dit is echter niet in alle scenario's waarneembaar omdat enkel gewerkt is met hoogte-stappen van 0.5 m in de scenario's.

- De duinhoogte in de duinoplossingen valt lager uit dan de benodigde dijkhoogte waardoor een meer open landschap kan behouden blijven.
- Strandsuppleties zijn een belangrijke toevoeging in een totaaloplossing om tegemoet te komen aan de vraag naar voldoende strandruimte. Vooroeversuppleties kunnen hier ook toe bijdragen op langere termijn, maar dat effect is niet onmiddellijk zichtbaar. Er is meer onderzoek nodig om dit effect van vooroeversuppleties mee in rekening te kunnen brengen.

3.2 Ecosysteemdiensten analyse

Het doel van de analyse is bijkomende voordelen van zachte maatregelen te vergelijken met de harde referentie oplossing. Naast kustveiligheid die we hier als primair doel vooropstellen, kunnen zachte maatregelen immers nog bijdragen aan het versterken van het ecosysteem en daardoor ook de maatschappelijke baten die we krijgen uit ecosystemen, zijnde ecosysteemdiensten zoals visproductie, natuurlijke waterkwaliteitsverbetering en klimaatregulering, en recreatie functie van natuur (zie Tabel 3-3 en bijlage D).

Methode

Voor de ES analyse werd kennis verzameld per ecosysteem over de diensten die het kan leveren. De ecosystemen en ecosysteemdiensten aan de Vlaamse kust staan beschreven in het rapport ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust³. Dit is verder aangevuld met recentere studies voor bijvoorbeeld biogene riffen⁴ en duinen⁵. Specifiek voor kustveiligheid bij stormen werd het effect gesimuleerd (paragraaf 3.1) en de scenario's werden vormgegeven opdat ze voldoen aan de veiligheidstest die de overheid in België hanteert. Voor de ondersteunende dienst leefomgeving voor biodiversiteit werden aparte scores gegeven voor diverse soortgroepen (plankton, benthos, vissen, vogels, zeezoogdieren, terrestrische soorten), maar voor de globale bespreking werd dit samen gevoegd in een totale score (som).

Bepaalde ecosysteemdiensten kunnen becijferd worden (bijvoorbeeld x ton koolstof vastlegging per hectare mosselrif), maar voor andere diensten is dit minder voor de hand liggend en werd een score gegeven door experts (het project team) om een indicatie te geven dat het ecosysteem geen/beperkt/grote bijdrage levert tot een bepaalde dienst (score 0 - 0,5 - 1). Deze score (per ES, per habitat type) is voor elk scenario vermenigvuldigd met de oppervlakte van de relevante habitats (vooroever, rif, strand, duin) om een weging te krijgen van de omvang (bijvoorbeeld scenario met groot versus klein strand; score voor het strand is hetzelfde maar afhankelijk van de omvang van het strand kan een bepaald scenario een hogere/lagere bijdrage leveren). De gebruikte data en scores staan beschreven in bijlage D (inclusief een overzichtstabel van de data, bijlage D.6).

Tabel 3-3. Lijst ecosysteemdiensten relevant voor de vooroever-rif-strand-duin zone, met de eenheid in onze analyse. Bijlage D: uitleg en data voor de ES analyse

ES data	Ecosysteemdiensten	Eenheid
Producterende diensten	Visserijproductie	score*ha
	Drinkwater	score*ha
Regulerende diensten	Luchtkwaliteit regulatie	Ton fijn stof/ha/jaar
	Vasthouden sediment	score
	Kustveiligheid, overstromingsbescherming	score
	Klimaatregulatie: koolstof opslag (bodem)	kgC/ha/y
	Waterretentie	m ³ /ha
	Waterkwaliteit regulatie: N-retentie	kg N/ha/jaar
	Waterkwaliteit regulatie: P-retentie	kg P/ha/jaar
	Waterkwaliteit regulatie: denitrificatie	kg N/ha/jaar
Culturele diensten	Recreatie (ecotourisme, outdoor sportactiviteiten, ...)	score*ha
	Cultureel en natuurlijk erfgoed (archeologie, paleontologie)	score*ha
	Landschapsbeleving (inclusief psycho-sociale waarde)- natuur/groen/duinen	score*ha
	Landschapsbeleving (inclusief psycho- sociale waarde) - Zeezicht	score*ha
	Ontwikkeling en overdracht van kennis en onderzoek	score*ha
Ondersteunende diensten	Hydrodynamische wijzigingen (golfslag)	score*ha
	Leefomgeving biodiversiteit	score*ha

Resultaten van de ES analyse per scenario

We beschrijven hier de resultaten van de ecosysteemdiensten analyse voor de verschillende scenario's op hoofdlijn op basis van de overzichtstabel tabel 3-4. Elk scenario is gedimensioneerd om te voldoen aan de kustveiligheidstest (zie sectie 3.1). Maatregelen die op zichzelf onvoldoende effect hebben op kustveiligheid zijn aangevuld met een dijkverhoging om een scenario te creëren dat de kustveiligheidstest doorstaat. Daarom krijgt elk scenario score 1 voor kustveiligheid. We focussen hier op alle andere mogelijke effecten. We maken steeds de vergelijking van een zachte (of hybride) oplossing ten opzichte van de referentie (dijkverhoging). De resultaten van de effecten dienen slechts als indicatie en grootte orde aanduiding om in grote lijnen de verschillen tussen de types oplossingen te kunnen bespreken (we focussen niet op de exacte getallen).

De specifieke scenario's zijn theoretisch voor een type profiel en hypothetisch beschouwd over een lengte van 100 m langs de kustlijn om oppervlaktes te kunnen berekenen. In realiteit zullen dergelijke maatregelen over een grotere afstand geïmplementeerd worden. De meeste effecten nemen evenredig toe met de oppervlakte, maar niet alle effecten.

i. Scenario met biogene riffen

In scenario s2.2 wordt de aanleg van biogene riffen gecombineerd met een dijkverhoging vanwege het kustveiligheids criterium (sectie 3.1). De simulatie toont geen direct effect op kustveiligheid, maar dit heeft wellicht ook te maken met de gekozen dimensies van het rif. We hebben niet gevarieerd met andere dimensies. De focus in deze studie ligt op de extra voordelen van zachte oplossingen (los van de prioriteit kustveiligheid bij stormen). De aanleg van biogene riffen resulteert in verschillende extra voordelen, maar ook nadelen:

- Hydrodynamische wijzigingen (golfslag) en vasthouden van sediment; beide resulteren indirect in meer kustveiligheid en beperken het onderhoud van het strand/zeewering
- Aanleg van biogene riffen zorgt voor nieuwe soorten, ondersteuning van biodiversiteit en visserijproductie. Dit moet echter genuanceerd worden; het effect is niet voor alle soorten positief en er is een risico dat exoten worden aangetrokken.
- Beperkte culturele voordelen
- Negatief effect voor klimaatregulering. Recente studies geven aan dat riffen van tweekleppigen zoals mosselen en oesters netto koolstof vrijstellen (carbon source)^{1,2}. Er zijn verschillende processen in een rif die enerzijds koolstof opnemen en anderzijds koolstof vrijstellen. Het netto effect is locatie specifiek. Op basis van recente studies zou het netto effect eerder negatief zijn, al zijn er nog heel wat kennishiaten.

ii. Scenario's met suppleties (strand, vooroever)

In beide suppletie scenario's (s1.2 en s2.3) is er een combinatie met een dijkverhoging vanwege het kustveiligheids criterium (sectie 3.1). In het scenario met de strandsuppletie is de directe bijdrage van de suppletie groter waardoor de dijkverhoging kan verminderen met 0.5 meter (in vergelijking met de referentie). In het scenario met de vooroeversuppletie is er ook een direct effect op de veiligheid (lagere overslag), maar dit is onvoldoende om de dijkverhoging met 0.5 meter te verminderen (indirecte lange termijn effecten zijn hierbij niet beschouwd). Louter vanuit het perspectief van het ecosysteem zorgen suppleties niet echt voor extra directe voordelen. De referentie

scenario's hebben immers ook vergelijkbare zone met vooroever en strand. Wel kan het ervoor zorgen dat de ecosysteem kwaliteit behouden blijft of verbeterd (zonder suppletie kan het strand en vooroever eroderen in erosie gevoelige regio's). Lange termijn effecten van zandtransport zijn hier niet expliciet behandeld (suppleties kunnen een grotere regio beïnvloeden als gevolg van zandtransport).

- De strandsuppletie zorgt voor een substantieel breder droogstrand met bijhorende recreatieve/economische voordelen. In geval van een vooroeversuppletie is dit direct voordeel er niet aangezien er geen extra strook strand bijkomt. Echter zorgt een vooroeversuppletie wel voor aanvoer van zand naar het strand wat ook de stabiliteit en omvang van het strand ten goede komt en daarmee de voordelen van het strand (dit indirecte lange termijn effect zit niet mee in de simulatie).
- Er is weinig ecosysteem kennis over het verschil tussen stranden/vooroevers met en zonder suppletie. Enkel voor biodiversiteit is wel onderzoek gedaan en wordt aangenomen dat het bodemleven herstelt in een periode van 1 à 2 jaar na de suppletie. Afhankelijk van hoe frequent de suppletie wordt herhaald, kan er een bijna continue bodem verstoring zijn of is er wel voldoende tijd tussentijds voor bodemherstel. Minder frequent suppleren is gunstiger voor de bodem ecologie.
- Het belang van de suppleties voor het onderhoud van de stranden en zeewering in het algemeen is een louter menselijk infrastructuur/onderhoud aspect en komt als zodanig niet aan bod als dienst geleverd door het ecosysteem.

iii.a Scenario's met zachte duinoplossingen

Beide scenario's s1.3 (duinsuppletie) en s1.4 (duin-voor-dijk) resulteren in exact dezelfde evaluatie voor kustveiligheid en profiel strand/duin. Dit kan locatie specifiek echter verschillen. Voor het scenario duin-voor-dijk hangt dit ook af van de aanwezige dijk om te bepalen welk volume/hogte duin noodzakelijk is. In onze scenario's is hetzelfde duin nodig rekening houdend met de aanwezige dijk (duin-voor-dijk) of in de veronderstelling dat de aanwezige dijk er niet zou zijn en enkel een duin wordt aangelegd (duinsuppletie). In de referentie zijn geen duinen aanwezig, dus de duinoplossingen zorgen voor een nieuw element in het profiel die heel wat extra voordelen leveren.

- Duinen leveren een beperkte bijdrage voor klimaatregulering (koolstofopslag).
- Duinen houden water vast in het ecosysteem wat gunstig is in het steeds droger wordende klimaat.
- Vegetatie op de dijk helpt om meer overwaaiend zand vast te houden.
- Duinen bieden een leefomgeving voor vogels en landsorten. Voor een substantiële bijdrage voor biodiversiteit zijn ongestoorde zones nodig.
- Duinen bieden mogelijkheden voor culturele diensten. Het biedt minder mogelijkheden voor de traditionele strandrecreatie, maar het biedt alternatieve groene regio's voor een meer divers aanbod van recreatiemogelijkheden en een ander ook gewaardeerd typisch duinlandschap. Duinen kunnen in een toekomst visie ook nog meer geïntegreerd worden in het globale kustlijn gebruik (met wandelpaden, eventueel horeca).
- Duinen zuiveren water dat er door/langs stroomt. Duinen dragen bij aan een zoetwater voorraad (zoetwaterlens) die potentieel kan gebruikt worden voor drinkwaterwinning. Grondwaterwinningen worden echter afgebouwd in de praktijk. Maar dat neemt niet weg dat duinen een rol spelen in de waterhuishouding in de regio (water vasthouden, water zuiveren).

- Duinvegetatie draagt bij aan het zuiveren van de lucht, alhoewel dit beperkt is met lage vegetatie.

iii.b Scenario's met hydride duin-dijk oplossing

Het scenario groene dijk met bijvoorbeeld helmgrasbegroeiing (s2.4) draagt extra bij aan kustveiligheid (lagere overslag), maar dit is beperkt en onvoldoende om de dijkhoogte met 0.5 meter te verlagen (in vergelijking met de referentie). De vegetatie op de dijk geeft wel heel wat extra voordelen in vergelijking met een verharde dijk/muur (weliswaar zijn de voordelen afhankelijk van het type vegetatie).

- Vegetatie draagt bij aan het zuiveren van de lucht, alhoewel dit beperkt is met lage vegetatie.
- Vegetatie op de dijk helpt om meer overwaaierend zand vast te houden.
- Leefomgeving voor biodiversiteit op een groene gras dijk is wat gunstiger voor vogels en landsorten (afhankelijk van de vegetatie soort), maar op de drukke Vlaamse kuststroken is de verstoring wellicht van die aard dat het naar biodiversiteit niet fundamenteel zal bijdragen.
- Een groene dijk inrichting kan een culturele bijdrage leveren ten opzichte van een grijze stormmuur op locaties waar een volledig zachte oplossing niet mogelijk is.

iv. Referentie harde oplossing (dijk, stormmuur)

Als referentie harde oplossing beschouwen we een dijkverhoging of de constructie van een stormmuur. Dijken en stormmuren hebben geen ecosysteemelementen en leveren in die zin geen ecosysteemdiensten. Voor culturele diensten is het zelfs als hinderlijk te beschouwen dat er een muur wordt opgetrokken (maar dat hangt af van de hoogte die lokaal noodzakelijk is).

Conclusie:

Let op dat de berekende effecten enkel per locatie tussen de scenario's mogen vergeleken worden. De berekeningen houden rekening met de oppervlakte van de verschillende habitat types (tabel 3-2), maar dit is niet vergelijkbaar tussen beide locaties (aanvangsprofiel van beide locaties is verschillend). Enkel op hoofdlijn kunnen alle scenario's vergeleken worden.

Globale evaluatie per scenario:

- Strandsuppletie scenario: vooral gunstig voor culturele diensten (omdat het resulteert in het breedste strand) en behoud van ecosystemen en benthos (initieel verstoord met de suppletie, maar kan herstellen indien het niet continue verstoord wordt).
- Duin scenario's: scoort erg goed voor de meeste ecosysteemdiensten (door de aanwezigheid van vegetatie)
- Biogene rif scenario: scoort erg goed voor een reeks ecosysteemdiensten (door de aanwezigheid van rifsoorten), maar helaas blijkt uit recent onderzoek dat tweekleppigen zoals mosselen en oesters eigenlijk een negatief effect hebben voor klimaat door de netto uitstoot van koolstof^{1,2}.
- Vooroeveroppletie scenario biedt in ecosysteemdiensten termen niets extra ten opzichte van de referentie
- Groene dijk scenario: biedt meer voordelen in vergelijking met een harde dijk (door de aanwezigheid van vegetatie; de mate van voordelen hangt wel af van het type vegetatie)

Het is niet vanzelfsprekend om eenduidig te stellen dat één NbS beter is of slechter. Met de ecosysteemdiensten analyse kijken we immers naar een breed overzicht van mogelijke voordelen van natuurlijke elementen voor de mens. Sommige voordelen zijn echter voor specifieke sectoren (visserij, drinkwater, recreatie), andere voordelen zijn meer generiek van globaal belang (luchtkwaliteit, waterkwaliteit, biodiversiteit). De bedoeling van deze analyse is dan ook vooral om die veelheid van effecten specifiek te maken, en niet zozeer om een totaal evaluatie te maken voor of tegen een bepaalde NbS. Idealiter worden de resultaten van een ecosysteemdiensten analyse verder besproken met de diverse stakeholders om voeling te krijgen waar iedereen meer of minder belang aan hecht. In deel 3 van deze studie werd dit dialoog opgestart met lokale besturen.

Tabel 3-4. Ecosysteemdiensten (ES) analyse per scenario. Voor de twee locaties afzonderlijk, duidt de kleurencode aan per ES welk scenario(s) de hoogste (donker groen), middelste (licht groen) en laagste (geel), of geen (wit), waarde geeft.

Categorie	Ecosysteemdiensten	Eenheid	S L1 Ref	S L1 Strandsuppl	S L1 Duinsuppl	S L1 Duin v dijk	S L2 Ref	S L2 Rif	S L2 Vooroeversuppl	S L2 Groene dijk
Producterende diensten	Visserijproductie	score*ha	6,7	6,4	6,4	6,4	7,7	8,3	7,7	7,7
	Drinkwater	score*ha	0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Regulerende diensten	Luchtkwaliteit regulatie	Ton fijn stof/ha/jaar	0,0	0,0	7,4	7,4	0,0	0,0	0,0	2,7
	Vasthouden sediment	score	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	4,2	3,0	3,8
	Kustveiligheid/overstromingsbescherming	score	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Klimaatregulatie: koolstof opslag (bodem)	kgC/ha/y	17,2	17,2	206,0	206,0	18,9	-203,5	18,9	111,6
	Waterretentie	m ³ /ha	0,9	1,6	2,3	2,3	1,2	1,2	1,2	1,2
	Waterkwaliteit regulatie: N-retentie	kg N/ha/jaar	8,3	8,3	17,4	17,4	9,2	8,7	9,2	10,6
	Waterkwaliteit regulatie: P-retentie	kg P/ha/jaar	0,6	0,6	3,6	3,6	0,6	0,6	0,6	1,1
Waterkwaliteit regulatie: denitrificatie	kg N/ha/jaar	292,8	281,2	294,2	294,2	336,4	588,3	336,4	339,1	
Culturele diensten	Recreatie (ecotourisme, outdoor sportactiviteiten, ...)	score*ha	0,6	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,1
	Cultureel en natuurlijk erfgoed (archeologie, paleontologie)	score*ha	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
	Landschapsbeleving - natuur/groen/duinen	score*ha	0,2	0,5	0,8	0,8	0,4	0,4	0,4	0,6
	Landschapsbeleving - Zeezicht	score*ha	0,6	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	Ontwikkeling en overdracht van kennis en onderzoek	score*ha	0,0	0,0	0,6	0,6	0,0	1,2	0,0	0,1
Ondersteunende diensten	Hydrodynamische wijzigingen (golflslag)	score*ha	7,0	7,0	7,2	7,2	8,2	8,4	8,2	8,2
	Leefomgeving biodiversiteit	score*ha	21,9	21,3	21,8	21,8	25,6	28,4	25,6	25,7

4 Deel 3: Naar de praktijk: reflecties van lokale besturen

In de laatste fase van het project zijn gesprekken georganiseerd met gemeentelijke ambtenaren. Eerst zijn twee gesprekken gevoerd met vertegenwoordigers van de lokale besturen (departement ruimtelijke ordening, milieu) van de twee Vlaamse kustgemeenten waarvoor de scenario's zijn uitgewerkt (Knokke-Heist en Koksijde). De verschillende zachte oplossingen werden gepresenteerd. De model simulaties werden ook toegelicht om aan te geven dat de diverse oplossingen zo kunnen uitgewerkt worden dat voldaan wordt aan de kustveiligheidsdoelstelling van de overheid. Aan de gemeentes werd gevraagd welke oplossingen zij zien zitten in hun gemeentes, op welke locaties, welke potenties ze zien en wat aandachtspunten zijn om deze oplossingen te kunnen realiseren in hun gemeente. We bespreken hier de input die we kregen van beide gemeentes.

Nadien werd nog een ruim overleg georganiseerd waarvoor alle 10 de kustgemeentes werden uitgenodigd. Vijf gemeentes hebben deelgenomen aan het overleg. Tijdens dit overleg werden de resultaten van deze studie gepresenteerd inclusief de reflecties uit de gesprekken met Knokke en Koksijde. Hieruit volgde een gesprek waarbij ook de andere gemeentes hun reflectie konden geven. Deze informatie is mee verwerkt in dit hoofdstuk.

4.1 Globaal

Totaal oplossing

Vanuit lokale besturen wordt aangegeven dat er kan worden nagedacht over een integraal herdenken van de zeedijk/strand zone met aandacht voor esthetiek en groene natuurlijke elementen. Dus inclusief nature-based solutions. Dit moet dan onderdeel worden van een nieuw totaalconcept dat in lijn is met de lange termijn vereisten voor kustveiligheid (adaptieve oplossingen is hierbij een belangrijk aandachtspunt), de ruimtelijke plannen van de kustgemeentes, maar ook geïntegreerd met alle huidige gebruiksfuncties om tot een gedragen plan te kunnen komen (wandelaars, fietsers, badkarhouders, strandcabines, surfers, horeca terrassen, (vakantie)woonfunctie).

In het voorbeeld van de grasdijk in Middelkerke werd vooraf een afweging gemaakt van de hoeveelheid strand die nodig was voor recreatie en is op die manier een acceptabel voorstel uitgewerkt.

In het Prins Hendrik zanddijk project (Texel, Nederland) werd een omgevingsambtenaar ingezet door de uitvoerder Jan de Nul om actief met buurtmensen te gaan praten. Er was een uitgebreide communicatie campagne met bewonersvergaderingen, krantje, en werfkeet. Hierdoor kon uitvoerig input verzameld worden die ook is meegenomen in het ontwerp. Het design is aangepast om tegemoet te komen aan vragen met betrekking tot recreatie en beleving (bijvoorbeeld doorzicht punten om connectie te hebben met de zee). Dit traject met een sterke communicatie voorafgaand/tijdens de ontwerp fase blijkt goed te werken.

Verdeling van lusten en lasten

Er wordt aangegeven dat de ecosysteemdiensten benadering een interessante methode is om een holistisch beeld te krijgen van voor- en nadelen van alternatieven. Naast de verschillende meerwaardes voor de omgeving speelt de kostprijs een belangrijke rol. Hierbij moet zowel de aanlegkost als de lange-termijn onderhoudskost in rekening gebracht worden en afgewogen aan de meerwaarde die de gekozen oplossing biedt. Als de investering duurder is, maar wel nuttig omwille van maatschappelijke voordelen, dan

wordt gekeken naar medefinanciering. Hiervoor is echter een meer gedetailleerde afweging nodig van lusten en lasten voor de betrokken partijen. De maatschappelijke baten zijn veelal lokaal en kunnen hier voor voordelen zorgen.

Kustveiligheidsinvesteringen zijn vooral ten laste van MDK afdeling Kust, maar NbS maatregelen worden meestal geassocieerd met hogere onderhoudskosten die ten laste komen van de gemeente. Gemeentes krijgen hierdoor het gevoel dat ze opgezadeld worden met extra lasten, terwijl ze beperkte voordelen ervan krijgen. Vanuit de gemeentes wordt daarom gevraagd naar concrete afspraken met de overheid (MDK) over het geheel van de investeringskosten inclusief onderhoudskosten. Anderzijds kunnen NbS er net voor zorgen dat bepaalde onderhoudskosten net kunnen verminderen (bijvoorbeeld minder overwaaiend zand op tramsporen en straten als zand beter wordt vastgehouden door bijvoorbeeld duinen of een groene dijk).

Veiligheidsstandaarden voor zachte zeekering: grondig toetsingstraject

In het voorbeeld van de grasdijk in Middelkerke is er een lang traject doorlopen met de gemeente Middelkerke en MDK om de grasdijk als integraal onderdeel van de zeekering te toetsen via uitgebreide numerieke modellering en experts beoordeling.

Zowel vanuit MDK als de gemeentes wordt aangegeven dat sowieso altijd maatwerk nodig is. De effectiviteit van die maatregelen hangt af van locatie specifieke karakteristieken zoals strandbreedte en -helling. Er werd ook aangehaald dat er al heel wat kennis is over zandsuppleties, maar dat er nog studiewerk nodig is over bijvoorbeeld de stabiliteit van duinen en het effect van duinbegroeiing om hier ook standaarden voor uit te werken en te bekijken wat waar kan toegepast worden. Over deze thema's lopen momenteel nog heel wat onderzoeksprojecten.

Geleidelijke implementatie, met eenduidige lange termijn visie

Voor de implementatie van nieuwe maatregelen verkiezen lokale besturen een geleidelijke aanpak om niet te plots grote veranderingen te doen en iedereen geleidelijk mee te laten wennen. In geval van duinoplossingen kan bijvoorbeeld gestart worden met het faciliteren van duin aangroei in plaats van ineens een groot duinvolume kunstmatig aan te leggen. Een geleidelijke en adaptieve aanpak is ook beter als klimaat aanpak (klimaatverandering gaat immers ook gradueel maar kan op termijn wel sneller of trager evolueren dan verwacht).

Er werd een oproep gedaan aan de betrokken overheidsdiensten om duidelijkheid te brengen over de keuzes inzake de lange termijn kustveiligheid zodat lokale besturen hun lange termijns- beleid en -beheer op deze keuzes kunnen afstemmen.

Geleidelijke geografische implementatie

Lokale besturen zouden liever starten met natuurlijke ingrepen aan de randen van de kern van de stedelijke zone omdat het contrast daar minder groot is en mensen kunnen dan geleidelijk wennen. Hierbij is het belangrijk dat de maatregel toegankelijk is zodat mensen het kunnen bezoeken en beleven. Dat zal de acceptatie vergemakkelijken. Daarna kan dit verder uitgebreid worden richting de kern. Voor een structurele kustveiligheidsaanpak is dit echter minder wenselijk. Uit het Masterplan Kustveiligheid bleek dat ingrepen vooral nog nodig zijn ter hoogte van de badplaatsen en havens en niet zozeer aan natuurgebieden. Bovenal moet de aanpak robuust zijn over de hele kustboog en mag het geen gefragmenteerde oplossing worden. Daarnaast zijn er wel al diverse pilootprojecten en moeten er stappen gezet worden richting structurele implementatie van dergelijke projecten.

Communicatie

Veranderingen roept bij veel mensen weerstand op (bijvoorbeeld angst om hun vertrouwde en geliefde zicht op zee te verliezen). Voorbeeldprojecten met goede

visualisaties zijn belangrijk om te gebruiken in de communicatie zodat het zichtbaar/tastbaar wordt voor mensen.

Als je een zachte maatregel voorstelt en vraagt wat ze er van vinden, gaan ze dat vergelijken met de huidige toestand. Maar dat is een foute vergelijking. Sensibilisering zal cruciaal zijn om duidelijk te maken dat kustbescherming een topprioriteit is. Hierbij moet voldoende aandacht besteedt worden aan wat het (hard) alternatief zou zijn; bijvoorbeeld een hogere stormmuur op de zeedijk/promenade. Hiertegenover kunnen dan zachte alternatieve oplossingen geschetst worden zodat er een correcte vergelijking wordt gemaakt (niet vergelijken met de huidige situatie, maar met de toekomstsituatie als je geen maatregelen neemt of als je enkele harde maatregelen neemt). Als de alternatieven voldoende worden geschetst (bijvoorbeeld muur of duinen) kan je je ingrepen beter uitleggen en draagvlak voor creëren. In de scenario's in deze studie bleek bijvoorbeeld dat je in geval van een zeespiegelstijging van 1,5m ofwel een dijkverhoging van 2 meter nodig hebt, ofwel duinen met een hoogte van 1m boven de aanwezige dijk. Dit is natuurlijk locatie specifiek, maar het illustreert wel duidelijk hoe je alternatieven naast elkaar moet zetten (niet ten opzichte van de huidige situatie).

De gemeentes gaven zelf de belangrijke doelgroepen aan voor extra communicatie: commerciële doelgroepen, oudere generatie, en ook nog (sommige) lokale besturen. Voor commerciële doelgroepen zal het er vooral op aan komen om voldoende goede alternatieven te voorzien in een integrale oplossing. De oudere generatie heeft geen interesse in toekomstscenario's. Zij willen vandaag genieten en hebben er niets aan dat dat verstoord wordt omdat van toekomstige problemen.

Een grote uitdaging in de communicatie is dat mensen het veiligheidsrisico niet zien en niet kunnen bevatten. Het overheidsbeleid richt zich op veiligheid tegen een "1000 jarige storm", of een "storm die 1 keer per 1000 jaar voorkomt". Dat is moeilijk om voor te stellen en klinkt als iets dat maar over 1000 jaar misschien zal voorkomen. Daarom is er weinig bereidheid om daar vandaag maatregelen voor te treffen die als extreem ervaren worden. Mensen beseffen niet dat zo'n 1000 jarige storm elk jaar kan voorkomen (kans 0.1% per jaar). Als vergelijking kan verwezen worden naar de storm van 1953 wat bekend staat als de ergste storm in de recente geschiedenis van België. Dat was een 250 jarige storm waarbij in Oostende 8 doden vielen. Dit zal door veel mensen als niet zo erg indrukwekkend ervaren worden.

Er is daarom sterke communicatie nodig die gericht is op aspecten waar mensen wel aandacht voor hebben. Communicatie over de impact van zeespiegelstijging en T1000 storm en de urgentie voor nieuwe maatregelen gaat niet werken. De meeste mensen liggen daar niet van wakker. Mensen beschouwen dat als zorgen voor over enkele generaties. Met argumenten over beleving voor de mensen vandaag ga je wel animo krijgen. Voorbeeld: de grasdijk in Middelkerke is in de communicatie gepromoot voor meer groen, meer beleving, meer zon. De bijdrage voor meer zeevering is weinig in de verf gezet aangezien mensen daar toch niet wakker van liggen. Dat kan je als toekomstigheid wel vermelden. Maar je moet vooral nadruk leggen op aspecten die mensen vandaag aanspreken.

Dit vereist ook meer actieve samenwerking met alle stakeholders om hun visie te kennen en te kunnen incorporeren. Ook vanuit de wetenschap moet men hier actief in mee gaan om de argumentatie naar verschillende stakeholders te specificeren. Veel partijen zijn dit traject ingeslagen en er is al wel een mentaliteitswijziging merkbaar. Mensen die groene maatregelen wel goed vinden, beginnen wel meer publiek ook positieve reacties te geven als tegenwicht op de negatieve bezwaren die doorgaans meestal te horen zijn.

- In het voorbeeld van de grasdijk in Middelkerke is heel sterk ingezet op communicatie om positieve aspecten te belichten en daar werden negatieve reacties gecounterd door bewoners zelf. Het draagvlak is hierdoor sterk toegenomen.

- In het duin voor dijk project te Oostende-Raversijde beseft men ook dat je vooral negatieve bezwaren ontvangt maar eigenlijk te weinig positieve reacties hoort. Als je enkel negatieve bezwaren ontvangt ben je als gemeente bijna gedwongen om dat te milderen, terwijl een groot ander deel van de bevolking misschien wel enthousiast is (maar die mensen laten dat niet zo snel horen). Daarom wordt een actieve bevraging opgezet in Raversijde om reacties te peilen van bewoners en voorbijgangers. Hiermee wil men achterhalen wat de globale perceptie is.

Wat vaak onderbelicht wordt is de waardering van uitgevoerde projecten. In het Seascape project (TU Delft) is onderzoek opgestart rond de maatschappelijke baten van werken met zand (bvb. duin voor dijk, Hondbossche en Pettemer zeedijk). Ook zal men de waardering evalueren enkele jaren na de realisatie van zulke projecten.

Het is belangrijk om een onderscheid te maken tussen acties die kunnen genomen worden op korte termijn om meer te vergroenen (focus van het SARCC project), en acties die nodig zullen zijn om de kustveiligheid voor over 50-100 jaar te verbeteren (kustvisie project). Voor de veiligheid op lange termijn zullen veel grootschaligere oplossingen nodig zijn. Het goede is wel dat hier gradueel aan kan gewerkt worden als we er snel genoeg mee starten. Dan kan iedereen daar mee in evolueren. Die lange termijn aspecten worden in het kustvisie project behandeld.

4.2 Maatregelen

Waterzone

Als het gaat over maatregelen in de waterzone (bijvoorbeeld aanleg van biogene riffen), gaat vooral aandacht uit naar eventuele hinder (of voordelen) voor watersportactiviteiten zoals surfen.

Biogene riffen remmen de golven waardoor dit door golfsurfers en kite surfers als negatief kan ervaren worden. Anderzijds kan dit voor zwemmers in de branding meer veiligheid bieden. De biogene riffen als biodiversiteit hotspots kunnen indirect voor verhoogde activiteit zorgen voor strandvisserij zoals paardenvissers. De potentiële zandvang functie in de riffen zorgt voor minder erosie van het strand en een verhoogde beschikbaarheid van zand in het systeem wat ook ten goede komt van de stabiliteit van het strand. Dit is op termijn ook gunstig voor strandactiviteiten.

Vooroeversuppleties zorgen voor hoger reliëf op de zeebodem waarmee golven worden afgeremd. Het biedt ook een hogere zandvoorraad in het systeem wat gunstig is voor de stabiliteit van het strand. De aanwezigheid van natuurlijke zandbanken biedt ook deze functies. Dit kan nog versterkt worden met vooroeversuppleties en/of biogene riffen.

Strekdammen hebben we in deze studie niet nader onderzocht, maar lokale besturen geven aan dat deze als visuele hinder worden beschouwd. Dit is een aandachtspunt waar men wel iets mee wil doen om die aantrekkelijker te maken en dat kan dan ook eventueel natuurlijker en meer biodivers.

Strandzone

Recreatie en uitbating: Door de lokale besturen wordt aangegeven dat het cruciaal is om op zijn minst een minimale breedte droog strand te voorzien in een integrale oplossing. De huidige activiteiten (bijvoorbeeld strandcabines, surfclubs) moeten kunnen behouden blijven (eventueel op een alternatieve locatie), alhoewel er ook bereidheid is om bijvoorbeeld het aantal strandcabines af te bouwen. Hierbij moet rekening gehouden worden met officiële concessie termijnen (per 6 jaar). De populariteit van surfclubs

neemt sterk toe waardoor het noodzakelijk wordt geacht om een volwaardig alternatief te voordien voor deze clubs (ingeval er bijvoorbeeld duinen worden aangelegd op het strand). Dit lijkt echter niet voor de hand liggend en zal goed moeten bekeken worden in een integrale aanpak.

Strandsuppleties kunnen een deel van de oplossing zijn om een ruim droog strand te behouden, maar hierover bestaat een negatieve perceptie. Mensen zien dat er veel van dat zand verdwijnt na een storm. Dit is erg goed zichtbaar in geval van klifvorming. Dit krijgt de perceptie dat de maatregel zinloos is; het verdwijnt en moet weer opnieuw gedaan worden. Echter betekent dit net dat de maatregel werkt en dat er meer veiligheid is. Zonder de suppletie kwam het water tijdens een storm tot aan de dijk en verdween veel meer van het onderliggende strand waardoor het verder verlaagd werd. De suppletie laag heeft net de ergste energie weggenomen om het strand en de dijk te beschermen. Dit is ook een element voor de sensibilisering.

Een ander aspect van de strandsuppleties is dat ze overlast geven van doorwaaiend zand. In een duinsysteem kan dit zand wel meer vastgelegd worden, maar er wordt aangegeven dat de perceptie van duinen ook negatief is (angst om zicht op zee te verliezen en angst dat de duinen tot aan de huizen gaan verplaatsen en daar hinder geven).

In Zeebrugge zijn er locaties op het strand met spontane duinontwikkeling. De gemeente ontvangt hierover soms wel klachten van mensen met een strandkabine, maar het bestuur kiest ervoor om de duinontwikkeling te laten gebeuren. In die zones wordt daarom het strand manueel gereinigd. Dat is veel intensiever dan machinaal reinigen maar machinaal reinigen verstoort de duinontwikkeling. De gemeente houdt er wel rekening mee dat indien het aantal klachten sterk toeneemt, ze misschien toch gaan moeten ingrijpen. Anderzijds zijn ze zich ervan bewust dat je doorgaans enkel negatieve klachten ontvangt en geen idee hebt van mensen die de spontane duinontwikkeling wel goed vinden. Dit maakt het voor gemeentes moeilijk om gepast te reageren want je bent geneigd om te reageren op de (negatieve) klachten die je ontvangt wat echter een vertekend beeld kan geven van wat je bevolking wenst.

Duinen

De voordelen van duinen zijn bekend; duinaangroei is een goede zeewering en helm vegetatie in duinen is gunstig als zandvang. Op plaatsen waar reeds duinen aanwezig zijn wordt aangegeven dat de waarde van immobiëlen hier even goed hoog is (er zijn mensen die de voorkeur geven aan een groene duin omgeving), en dat er geen direct zeezicht is op deze plaatsen wordt ook niet als een probleem ervaren (mensen zijn dat daar gewoon). De aanleg van nieuwe duinen op plaatsen die nu open strand zijn stuit echter wel op weerstand (lokale besturen zijn onzeker of dit door bewoners, bezoekers, uitbaters zal geaccepteerd worden). Lokale besturen geven verschillende aandachtspunten die mogelijk kunnen helpen bij de acceptatie:

-Het op natuurlijke wijze laten aangroeien van duinen gaat geleidelijk en geeft tijd aan mensen om er aan te wennen. Dit zal meer kans geven op acceptatie. Anderzijds geeft duinaangroei ook klachten omdat ze dan steeds hoger worden (belemmering zicht op zee, zandhinder aan achterliggende bewoning als het dichterbij groeit). Voor de grasdijk in Middelkerke zijn hierover regels afgesproken. Als je door de duinaangroei de zee niet meer kan zien, wordt een stuk afgegraven. Momenteel kan de duin nog wel 1 m verder aangroeien alvorens dit een invloed zal hebben op het zeezicht. Er is ook een wandelpad in de duinen van waar je wel zeezicht hebt, en dat groeit mee met de duin. Dit helpt ook om het zeezicht te bewaren en de connectie met de zee voor mensen te behouden. Op die manier zijn de duinen wel acceptabel en een meerwaarde.

-In geval van aanplant van helm moet rekening worden gehouden met het natuurdecreet.

-Voldoende vrije buffer ruimte voorzien rond de nieuwe duinen zodat de duinen ruimte hebben om aan te groeien en te migreren zonder dat dit onmiddellijk hinder veroorzaakt. Het is ook aan te raden om te bekijken of infrastructuur in de onmiddellijk omgeving van de duinen adaptief te maken.

-Er moet aandacht zijn voor de toegankelijkheid van duinen en passage mogelijkheden om de connectie tussen de steden en de zee te behouden. Dit kan door kijkpunten te voorzien, paden over de duin, of eventueel er onderdoor met een tunnel maar dat moet dan afsluitbaar zijn voor storm veiligheid. Een belangrijke zorg hierbij is het onderhoud (verzanden van de paden). Er moet verder gezocht worden naar adaptieve oplossing (bijvoorbeeld vlonders op palen of met planken die misschien jaarlijks op het nieuwe zand moeten verlegd worden). Recent zijn hier wel enkele onderzoeken naar gedaan (bijvoorbeeld oplossing met kunststof platen in Nederland, en magisch tapijt voor op het strand in Oostende). Een extra aandachtspunt hierbij is de toegankelijkheid van het strand voor minder mobiele mensen, maar ook voor redders, hulpdiensten en onderhoudsdiensten.

-Het is erg belangrijk om alle gebruikers een plaats te geven in een nieuwe duinomgeving. Hierbij kan erg breed gedacht worden; horeca terrassen bijvoorbeeld als dakterras in de hoogte brengen, en strandhuizen op palen.

-Er kan ook gedacht worden aan hybride dijk-duin oplossingen waarbij een harde infrastructuur kan voorzien worden in de duin voor bijvoorbeeld sanitair, catering, reddingspost. Dit heeft echter sterke consequenties voor de duin. Het duin volume boven de infrastructuur moet ook beperkt blijven om de stabiliteit van de infrastructuur niet in het gedrang te brengen. De duin zal dus niet als volwaardige natuurlijke duin kunnen functioneren en zal onderhoud vragen om het zandvolume regelmatig terug te verlagen.

-Duinoplossingen kunnen gecombineerd worden met een strandsuppletie om de omvang van droogstrand voldoende groot te houden (verschuiven richting zee). Immers verwachten lokale besturen dat alle gebruikers hun plaats moeten kunnen krijgen in een integrale oplossing en dat er dus ruim voldoende droog strand moet kunnen blijven naast de aanleg van duinen. Dit zou zeker ook een win-win oplossing bieden voor locaties waar het water nu tot aan de zeebermduinen komt wat als hinderlijk ervaren wordt want mensen verwachten dat ze ten alle tijden langs het strand kunnen passeren. In het voorbeeld van de grasdijk in Middelkerke werd vooraf een afweging gemaakt van de hoeveelheid strand die nodig was voor recreatie en is op die manier een acceptabel voorstel uitgewerkt. Vanuit de gemeentes kijkt men ook naar zones waar strand kan 'opgeofferd' worden. Dit is dan eerder buiten de centrum zones omdat daar meestal wel meer ruimte is. Als je kan aangeven dat er nog voldoende strand overblijft, zal het eenvoudiger zijn om mensen te overtuigen. Voor een structurele kustveiligheidsaanpak is dit echter niet ideaal. Uit het Masterplan Kustveiligheid bleek dat ingrepen vooral nog nodig zijn ter hoogte van de badplaatsen en havens en niet zozeer aan natuurgebieden. Bovenal moet de aanpak robuust zijn over de hele kustboog en mag het geen gefragmenteerde oplossing worden.

-Er moet voldoende aandacht zijn van de implicaties voor de woonfunctie in bestaande gebouwen. Dit is vooral aan de orde voor de bouwlaag op maaiveld, maar dit is echter meestal geen woonfunctie maar eerder horeca of winkels. Er wordt bekeken of de woonfunctie op maaiveld moet gesupprimeerd worden (via verordening, RUP...) opdat een grondige ruimtelijke hervorming met oog op een robuust kustveiligheidsbeleid mogelijk is.

5 Discussie en conclusie

Er is een brede waaier van zachte maatregelen mogelijk aan onze zandige kust om de zeewering te versterken en tegelijk ook extra voordelen te realiseren voor bijvoorbeeld biodiversiteit, waterzuivering, en een diverse natuurlijke omgeving voor recreatie. In deze studie werd de diversiteit aan mogelijkheden voor zachte oplossingen geïllustreerd als alternatief voor de meest klassieke harde dijk of stormmuur oplossing. De voordelen en eventuele knelpunten zijn geëvalueerd (model studie kustveiligheid, ecosysteemdiensten analyse, dialoog met lokale besturen).

Deze studie doet geen uitspraken voor of tegen specifieke maatregelen. Alle maatregelen (en variaties hierop) kunnen hun plaats krijgen in een totaal oplossing. Deze studie presenteert een afwegingskader om ook ecologische en sociale aspecten in rekening te brengen. Dit is geïllustreerd aan de hand van 6 scenario's met NbS ten opzichte van een referentie scenario met een harde oplossing (dijkverhoging/stormmuur). In dit conclusie hoofdstuk worden de globale bevindingen besproken die niet enkel relevant zijn voor onze Vlaamse kustlijn, maar ook voor andere zandige kustlijnen.

In deze studie werd specifiek gekeken naar de toepassingsmogelijkheden aan centrum gebieden. Dit kadert in het Europese Interreg project Sustainable and Resilient Coastal Cities (SARCC). Dit project focust op duurzame zeewering - in bijzonder het gebruik van innovatieve vormen van natuur-gebaseerde infrastructuur (Nature Based Solutions ofte NbS) en de kennisopbouw bij kustgerelateerde stakeholders.

5.1 Bevindingen uit deze studie

Deel 1

In het eerste deel hebben we de mogelijke NbS maatregelen verkend. In bijlage A bespreken we een heel aantal recente praktijkvoorbeelden, inclusief enkele NbS types die we niet actief behandeld hebben in de studie (bijvoorbeeld ecologische living breakwaters en mega strandsuppletie zoals de zandmotor). Het overzicht van voorbeeld projecten van de diverse maatregelen (bijlage A) toont de internationale aandacht voor deze maatregelen.

Een snelle screening van de Vlaamse kustlijn leert dat de meeste centrumgebieden nog aandacht nodig hebben met betrekking tot kustveiligheid. Er zijn weinig technische restricties om zachte maatregelen uit te voeren aan deze centrumgebieden. Deze screening had vooral tot doel om twee locaties te selecteren voor de scenario analyse in deel 2.

Deel 2

Het tweede deel bestaat uit twee aspecten. Eerst zijn scenario's met NbS opgebouwd op basis van een technische evaluatie (elk scenario voldoet aan de kustveiligheidseisen, rekening houdend met een matige zeespiegelstijging). Een belangrijke vaststelling is dat veel van de zachte maatregelen op zich zelf geen volwaardige zeewering bieden. In de scenario's werd dit gecombineerd met een harde maatregel (dijkverhoging) om te voldoen aan de kustveiligheidseisen. De combinatie van zachte en harde oplossing kan wel resulteren in een reductie van de dijkverhoging die nodig is. Alleen de duinoplossingen kunnen als volwaardige zeewering gedimensioneerd worden. Opvallend hierbij is dat de benodigde duinhoogte lager is dan de benodigde dijkhoogte; in het bestudeerd scenario slechts +1m nodig voor duinen terwijl voor de dijkverhoging +2m nodig is om te voldoen aan de veiligheidseisen bij een zeespiegelstijging van +1.5m.

Voor elk scenario zijn vervolgens een reeks ecologische en culturele voordelen bekeken (ecosysteemdienstenanalyse). Deze aanpak biedt een afwegingskader om naast de technische evaluatie (kustveiligheidseis), ook ecologische en sociale aspecten concreet te maken (ecosysteemdienstenanalyse). Deze aanpak maakt het mogelijk om deze aspecten expliciet in rekening te kunnen brengen als hulp om een geïntegreerd en gedragen strategie uit te werken.

De ecosysteemdienstenanalyse toont de verschillen tussen zandige NbS (suppleties) en NbS met planten en diersoorten (duinvegetatie, rif soorten). De suppleties zorgen voor beperkte natuurlijke elementen waardoor de diensten van het ecosysteem die hiermee gestimuleerd worden ook beperkt is (het gaat vooral over het behoud van de ecosysteemkwaliteit). Vooral culturele diensten kunnen er voordeel van krijgen aangezien het ervoor zorgt dat een breder droogstrand beschikbaar is. De duinscenario's scoren goed voor de meeste ecosysteemdiensten (door de aanwezigheid van vegetatie) en ook de groene dijk scoort redelijk goed in vergelijking met een harde dijk (door de aanwezigheid van vegetatie). Tot slot bieden rif soorten ook heel wat voordelen, maar helaas blijkt uit recent onderzoek dat tweekleppigen zoals mosselen en oesters eigenlijk eerder een negatief effect hebben voor klimaat door de netto vrijstelling van koolstof^{1,2}.

Op basis van de ES analyse is het niet vanzelfsprekend om eenduidig te stellen dat één NbS beter is of slechter. Met de ecosysteemdiensten analyse kijken we immers naar een breed overzicht van mogelijke voordelen van natuurlijke elementen voor de mens. Sommige voordelen zijn echter voor specifieke sectoren (visserij, drinkwater, recreatie), andere voordelen zijn meer generiek van globaal belang (luchtkwaliteit, waterkwaliteit, biodiversiteit). De bedoeling van deze analyse is dan ook vooral om die veelheid van effecten specifiek te maken, en niet zozeer om een totaal evaluatie te maken voor of tegen een bepaalde NbS.

Deel 3

In deel 3 van deze studie werd dit dialoog opgestart met lokale besturen. Tijdens twee gesprekken met lokale besturen werd verkend hoe zij aankijken tegen deze zachte maatregelen. De meeste aandacht ging naar praktische bedenken om duinoplossingen te implementeren aangezien dit voor hen het meest ingrijpende is ten opzichte van de huidige kustlijn. Er is bereidheid om de kustlijn van vandaag te herdenken indien dit ingepast wordt in een totaalconcept met voldoende integratie met de huidige gebruiksfuncties zoals wandelaars, strandcabines, surfclubs, en horeca. Er kan wel nagedacht worden over creatieve oplossingen (bijvoorbeeld horeca terrassen op daken inrichten). Verder gaven ze nog heel wat andere praktische aandachtspunten met betrekking tot bijvoorbeeld toegankelijkheid (hulpdiensten, ouderen/rolstoelen/kinderwagens), doorzicht en connectie met de zee, hinder van aangroeiende duinen (zicht op zee, infrastructuur die geregeld moet vrijgemaakt worden van zand), adaptieve infrastructuur.

Ze gaven zelf aan dat veel aandacht zal moeten gaan naar communicatie en sensibilisering waarbij het vooral belangrijk zal zijn om de noodzaak voor extra kustveiligheidsmaatregelen duidelijk te maken en vervolgens om op een correcte manier de alternatieven voor te stellen (toekomstige oplossing met enkel harde maatregelen, of met zachte/hybride maatregelen). Een vergelijking met de huidige situatie is een valse vergelijking (voldoet niet aan de kustveiligheidseisen voor de toekomst).

Tijdens de laatste stuurgroep waarbij ook vijf kustgemeenten hadden aangesloten, kwamen nog meer aandachtspunten aan bod. Ervaringen en lessen uit de realisatie van de groene grasdijk in Middelkerke werd meermaals aangehaald. Gemeentes vragen om nieuwe maatregelen geleidelijk te kunnen implementeren (in tijd en ruimte te starten op locaties met minder weerstand). Ook is inzicht in de kostenverdeling (aanleg + onderhoud) noodzakelijk zodat hieromtrent goede afspraken kunnen gemaakt worden tussen overheden (Vlaams vs lokaal).

Met betrekking tot communicatie en sensibilisering werd vanuit de gemeentes aangeraden om vooral te focussen op de aspecten waar mensen aandacht voor hebben (directe voordelen zoals groene beleving, gezondheid, ontspanning), in plaats van op de beleidsredenen (veiligheid en risico beheersing) omdat mensen daar niet wakker van liggen. Verder blijkt nog uit enkele praktijkvoorbeelden dat het cruciaal is om actieve participatie en inspraak mogelijk te maken voor stakeholders voorafgaand/tijdens de ontwerpfase zodat hun wensen en bezorgdheden volwaardig worden meegenomen in het ontwerp (en achteraf geen onhandige compensaties nodig zijn).

5.2 Aandachtspunten voor vervolgstudies

Ecosysteemdienstenanalyse als afwegingskader

De ecosysteemdienstenanalyse zou in een vervolg studie nog verder gedetailleerd kunnen worden. In deze studie werd gebruik gemaakt van gemiddelde waardes per habitat type (duin, strand). Echter, een duin op de ene of andere plaats is niet identiek en de effecten kunnen sterk variëren door heel wat lokale factoren en processen (zandaanvoer, grondwatertafel, lokale stikstof vracht in het grondwater...). Om alternatieven af te wegen die ook geografisch verschillen (bijvoorbeeld duinmaatregel op verschillende locaties) zou nog verder moeten gedetailleerd worden welke lokale factoren bepalend zijn voor de levering van de verschillende ecosysteemdiensten. In de studie Ecosysteemvisie van de Vlaamse Kust werd hiertoe al een aanzet gegeven³. Idealiter moet dit modelmatig worden aangepakt waarbij ruimtelijke datalagen gebruikt worden om locatie specifieke effecten te berekenen.

Idealiter worden de resultaten van een ecosysteemdiensten analyse verder besproken met de diverse stakeholders om voeling te krijgen waar iedereen meer of minder belang aan hecht. Dit is ook een relevante oefening om zicht te krijgen op de verdeling van lusten en lasten tussen verschillende partijen. Dit kan kwalitatief bekeken worden (evaluatie per stakeholder groep of ze baten of negatieve effecten krijgen), of in economische waarden. Daarvoor is nog een extra stap nodig waarbij een economische waarde wordt toegekend aan de ecosysteemdiensten (bijvoorbeeld de economische waarde van commerciële vis, of de vermeden maatschappelijke kost van koolstofemissies ingeval van koolstofvastlegging in het ecosysteem). De ES waarden kunnen dan toegevoegd worden aan de globale kosten-baten analyse van de maatregelen om een meer volledig beeld te krijgen van alle kosten en baten. Het totale effect kan positief zijn (meer baten dan kosten), maar dat neemt niet weg dat er een ongelijke verdeling kan zijn van partijen die de kosten moeten dragen en andere partijen die van de baten kunnen genieten. Indien een bepaalde partij zwaar belast wordt met lasten, kan gedacht worden aan compensaties (aanpassingen in design, of financiële compensaties). Echter moet opgemerkt worden dat niet voor alle ES een economische waarde kan toegekend worden. In dat geval blijft de economische balans onvolledig.

Internationale kennisuitwisseling

Vlaanderen staat niet alleen op vlak van kustveiligheid en de zoektocht naar meer holistische oplossingen. In Vlaanderen zijn er verschillende pilootprojecten die al heel wat kennis hebben opgeleverd, maar er werd ook kennis uit internationale voorbeeldprojecten gebruikt. In bijlage A wordt een overzicht gegeven van heel wat nationale en internationale praktijkvoorbeelden van biogene riffen en duinoplossingen. Niet elke kustlijn is echter hetzelfde. De Vlaamse zacht kust vraagt een andere aanpak en biedt andere mogelijkheden dan bijvoorbeeld een rotsige kustlijn. De aanpak om actief samen met lokale besturen en stakeholders het traject aan te gaan om een geschikte holistische oplossing uit te werken is wel universeel.

Integrale oplossing voor zeewering

Aangezien niet alle types oplossingen overal mogelijk zijn en er rekening moet gehouden worden met locatie specifieke aspecten, zal een totaal oplossing altijd een combinatie pakket zijn van diverse zachte, hybride en harde oplossingen voor het volledig systeem (vooroever-strand-duin). De scenario's tonen dat een combinatie van zachte en harde oplossingen resulteert in een lagere benodigde verhoging van de zeewering. Zachte oplossingen zijn misschien geen totaal oplossing maar bewijzen dus wel hun nut. Het is daarom belangrijk om een breed pakket aan mogelijke maatregelen in het visier te houden om het best mogelijk pakket aan maatregelen samen te stellen (rekening houdend met zeewering, maar ook andere aspecten zoals biodiversiteit, recreatie, waterkwaliteit, economische belangen...).

Voor een robuuste zeewering is het noodzakelijk om gefragmenteerde oplossingen te vermijden. Het is daarom noodzakelijk dat ook over gemeentes heen wordt gekeken om een globale oplossing uit te werken (niet elke gemeente apart een oplossing op maat).

In een totaal oplossing moeten bijvoorbeeld ook passieve maatregelen en onderhoudsaspecten nog verder in rekening worden gebracht (bijvoorbeeld delen van het strand niet meer machinaal onderhouden om natuurlijke duinvorming te laten ontwikkelen).

Lange termijn perspectief en ruimer afwegingskader

In deze studie kijken we naar de directe ruimtelijke effecten van de maatregelen. Lange termijn effecten van bijvoorbeeld de stimulatie van zandtransport en stabiliseren van erosiegevoelige stranden zijn niet expliciet meegenomen. Hierdoor komen de voordelen van een vooroeversuppletie, ten opzichte van een strandsuppletie, minder duidelijk tot uiting omdat we met het model enkel de directe effecten bekijken (onmiddellijke reductie op golfoverslag is minder groot) en niet de indirecte lange termijn effecten (zand van vooroeversuppleties zal op termijn richting het strand verplaatst worden en zodoende het strand versterken en zodoende ook zeewering versterken). Dit wordt beschouwd als een meer duurzame en lange termijn oplossing aangezien het systeem er, na de eenmalige aanleg van de vooroeversuppletie, zelf nog geruime tijd zorgt voor het versterken van het strand. Een strandsuppletie zorgt daarentegen niet voor zulke lange termijn effecten en er zullen vaker onderhoudsuppleties nodig zijn.

Deze studie gaat niet in op de kostprijs van maatregelen (investering + onderhoud). Het aspect dat sommige maatregelen geen eenmalige ingreep zijn, maar herhaaldelijke vernieuwing en onderhoud nodig hebben (bijvoorbeeld zandsuppleties) is dus niet meegenomen. Anderzijds biedt het ook de mogelijkheid om het ecosysteem zelf te laten helpen waardoor de investering en onderhoud wellicht sterk beperkt kan worden (duinvolume ineens aanleggen, of enkel duinaangroei faciliteren en verder natuurlijk laten aangroeien). Bij een globale evaluatie om tot een totaal kustplan voor de toekomst te komen moeten de investeringskosten en lange termijn onderhoudskosten uiteraard meegenomen worden.

Sensibilisering en communicatie

Gemeentes beseffen dat meer sensibilisering nodig is om een groter besef te krijgen over de impact van klimaatveranderingen de noodzaak van drastische kustveiligheidsmaatregelen. Echter lijkt het op het terrein veel efficiënter om vooral te focussen op aspecten die mensen vandaag aanbelangen zoals een gezonde en mooie omgeving (in plaats van de moeilijk te bevatten en lange termijn klimaatproblematiek). Hierbij hoort ook een actieve participatie en inspraak met alle stakeholders reeds in een vroege fase van het ontwerp zodat hun wensen en bezorgdheden nog kunnen worden meegenomen in het ontwerp (en niet nadien moeten opgelost worden wat meestal veel minder efficiënt en effectief is).

6 Nawoord

De Vlaamse kust is door haar laaggelegen niveaus kwetsbaar voor stormvloed en uit zee. Sinds eeuwen worden dijken gebouwd om ons te beschermen tegen overstromingen. Eerst dwars op de kust om overstroming vanuit de polderwaterlopen te vermijden, daarna werd meer en meer land ingepolderd en ontstond de kustlangse Graaf Jansdijk. Door de intense kustbebouwing sinds de 19e eeuw ontstond de nood aan een sterkere kustbescherming. Die werd voornamelijk uitgebouwd door de dijken te versterken en harde infrastructuur zoals stenen glooiingen en strandhoofden (golfbrekers) te bouwen. Tijdens stormen beukten de golven in op deze infrastructuur die op verschillende locaties niet bestand was tegen de impact van de stormvloed van 1953.

Stilaan groeide het besef dat een versterkte kustbescherming om de waardevolle kustregio te beschermen, aangewezen was. Met het Masterplan Kustveiligheid werd deze stap gezet waarbij slachtoffers door stormvloed en uit zee vermeden worden en schade aan achterliggende infrastructuur gereduceerd wordt. Een basisuitgangspunt van het Masterplan is “zacht waar het kan, hard waar het moet”. De extra kustbescherming werd uitgebouwd door de stranden te verhogen, aangevuld met stormmuren waar dit niet voldoende is. Deze aanpak zorgde voor meer recreatiemogelijkheden, maar voornamelijk voor meer natuur en een versterking van de ecosysteemdiensten van de strand-duinzone.

Vanuit de ambitie voor een aantrekkelijke en veilige kust, samen met de problematiek van de zandoverlast bij stormwinden, ontstond het verhaal voor nieuw aangeplante duinen zeewaarts van de bestaande zeedijken. Dit duin-voor-dijk verhaal werd samen met pioniers als Middelkerke en Oostende uitgewerkt. Deze grasdijk of duin-voor-dijk zorgt voor extra natuur en levert een nog grotere bijdrage in de ecosysteemdiensten, zoals geduid door deze nota. Wetenschappelijk en beheersmatig zijn er nog vragen omtrent de bijdrage voor extra kustveiligheid, onderhoudsaanpak, aangroei en snelheid, vegetatieontwikkeling van deze duinen. Hiertoe werd de pilootprojecten Oostende-Raversijde en Grasdijk Middelkerke binnen het Interreg 2 zeeën project SARCC uitgewerkt, waarbij de universiteiten van Gent en Leuven samen met Xperta de morfologie en ecologie verder bestuderen en modellen ontwikkelen om dit in de toekomst gerichter te kunnen voorspellen. Dit moet ons toelaten om, naast de ecologische meerwaarde die duidelijk gemaakt wordt in dit rapport, correct in te schatten wat de randvoorwaarden en evoluties zijn en af te wegen hoe en waar deze Nature-based solution een meerwaarde kan bieden in andere zones langsheen onze kust.

Het is alom gekend dat een versnelling van de zeespiegelstijging (haast) onvermijdbaar is, wat een nieuwe reeks maatregelen zal nodig maken. De toekomstvisie voor onze ganse kust wordt uitgewerkt in het project Kustvisie. De ervaring die intussen opgedaan wordt met deze pilootprojecten en deze Nature-based solutions in het algemeen zal vast en zeker een positieve invulling geven aan deze toekomstvisie!

7 Referenties

1. Jansen, H. & van den Bogaart, L. Blue carbon by marine bivalves. Perspective of Carbon sequestration by cultured and wild bivalve stocks in the Dutch coastal areas. WUR report C116/20. (2020).
2. ILVO, DEME, eCoast, Jan De Nul & Sioen. Coastbusters, ecosystem based coastal defense. A journey up to nature inspired solutions. (2020).
3. Van der Biest, K. et al. Ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust. Deel I - Functionele beschrijving kustecosysteem en ecosysteemdiensten. (2017).
4. Smal, A. *Goods and services of marine bivalves*. (Springer Berlin Heidelberg, 2019).
5. Van der Biest, K. et al. Dune dynamics safeguard ecosystem services. *Ocean Coast. Manag.* **149**, 148–158 (2017).
6. Degraer, S. et al. Studie betreffende het opstellen van een lijst met potentiële Habitatrictlijn gebieden in het Belgische deel van de Noordzee. *Eindrapport Opdr. Van Fed. Overheidsdienst Volksgezond. Veiligh. Van Voedselketen En Leefmilieu Dir.- Generaal Leefmilieu Brussel Belg.* (2009).
7. Rabaut, M., Guilini, K., Van Hoey, G., Vincx, M. & Degraer, S. A bio-engineered soft-bottom environment: The impact of *Lanice conchilega* on the benthic species-specific densities and community structure. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **75**, 525–536 (2007).
8. Rabaut, M., Vincx, M. & Degraer, S. Do *Lanice conchilega* (sandmason) aggregations classify as reefs? Quantifying habitat modifying effects. *Helgol. Mar. Res.* (2008).
9. Fordeyn, J., Van der Biest, K., Lemey, E., Boerema, A. & Meire, P. An Ecosystem services assessment of the Prins Hendrik zanddijk. **157**, (2019).
10. Boerema, A., Van der Biest, K. & Meire, P. Ecosystem services: towards integrated maritime infrastructure project assessments. ECOBE report 016-R190. <https://www.iadc-dredging.com/ul/cms/fck-uploaded/documents/report-ecosystem-services-low-res.pdf>. (2016).
11. Ecoshape. Innovatieproject Hondsbossche Duinen, Eindrapportage, definitief 0.1. (2019).
12. IMDC. *Complex Project Kustvisie. Do7 Veiligheidsbeoordeling. Startnota kustveiligheidsbeoordeling.* (2019).
13. IMDC. *Complex Project Kustvisie. Do6 Bouwtechnische ondersteuning. Huidige kustmorfologie en representatieve kustprofielen Vlaamse kust.* (2019).
14. Cranford, P., Ward, J. & Shumway, S. Bivalve Filter Feeding: Variability and Limits of the Aquaculture Biofilter. in *Shellfish Aquaculture and the Environment* 81–124 (2011). doi:10.1002/9780470960967.ch4.
15. Holmer, M., Thorsen, S. W., Carlsson, M. S. & Petersen, J. K. Pelagic and benthic nutrient regeneration processes in mussel cultures (*Mytilus edulis*) in a eutrophic coastal area (Skive Fjord, Denmark). *Estuaries Coasts* **38**, 1629–1641 (2015).
16. Rabaut, M. *Lanice conchilega, fisheries and marine conservation: Towards an ecosystem approach to marine management.* (2009).
17. Braeckman, U. et al. Role of macrofauna functional traits and density in biogeochemical fluxes and bioturbation, in: Braeckman U. (2011). Macrobenthos structuring the sea floor: importance of its functional biodiversity for the benthic ecosystem = De structurerende rol van macrobenthos in de zeebodem: belang van de functionele biodiversiteit voor het benthische ecosysteem. (2011).

18. Piehler, M. F. & Smyth, A. R. Habitat-specific distinctions in estuarine denitrification affect both ecosystem function and services. *Ecosphere* **2**, art12 (2011).
19. Smyth, A. R. *et al.* Assessing nitrogen dynamics throughout the estuarine landscape. *Estuaries Coasts* **36**, 44–55 (2013).
20. Kellogg, L. M., Cornwell, J. C., Owens, M. S. & Paynter, K. T. Denitrification and nutrient assimilation on a restored oyster reef. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **480**, 1–19 (2013).
21. Kellogg, M. L., Smyth, A. R., Luckenback, M. W., Carmichael, R. H. & *et al.* Use of oysters to mitigate eutrophication in coastal waters. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **151**, 156–168 (2014).
22. Schellekens, T. & Vanagt, T. *Ecologische validatie plaatrandstortingen - Technisch rapport.* (2018).
23. Brion, N., Baeyens, W., De Galan, S., Elskens, M. & Laane, R. The North Sea: source or sink for nitrogen and phosphorus to the Atlantic Ocean? *Biogeochemistry* **68**, 277–296 (2004).
24. Lancelot, C. *et al.* Modelling diatom and Phaeocystis blooms and nutrient cycles in the Southern Bight of the North Sea: the MIRO model. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **289**, 63–78 (2005).
25. Rauch, M. & Denis, L. Spatio-temporal variability in benthic mineralization processes in the eastern English Channel. *Biogeochemistry* **89**, 163–180 (2008).
26. Charbonier, C., Anschutz, P., Poirier, D., Bujan, S. & Lecroart, P. Aerobic respiration in a high-energy sandy beach. *Mar. Chem.* **155**, 10–21 (2013).
27. Beaumont, N. J., Jones, L., Garbutt, A., Hansom, J. D. & Toberman, M. The value of carbon sequestration and storage in coastal habitats. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **137**, 32–40 (2014).
28. Broekx, S., Smets, S., Liekens, I., Bulckaen, D. & Nocker, L. D. Designing a long-term flood risk management plan for the Scheldt estuary using a risk-based approach. *Nat. Hazards* **57**, 245–266 (2010).

8 Bijlagen

Bijlage A **Zachte oplossingen voor kustveiligheid (Nature Based Solutions)**

A.1 Biogene riffen aanleggen

A.1.1 Locatie selectie criteria en karakteristieken

In het Belgische deel van de Noordzee komen twee habitattypes voor die als riffen kunnen worden beschouwd: de grindbedden en de plaatsen waar schelpkokerwormen in hoge concentraties voorkomen. Beide biotopen worden in de Noordzee als “hotspots” voor biodiversiteit beschouwd⁶. Grindbedden niet voor aan de kustlijn, maar verder in de zee. Daarom wordt dit verder niet beschouwd. Schelpkokerwormen (*Lanice conchilega*) vormen biogene rifstructuren. Hierdoor ontstaat een structuur van zandkokers die ongeveer 4 cm boven de bodem uitsteken. Dit verandert de lokale stroming en als gevolg de sedimentsamenstelling. De schelpkokerwormen worden daarom ook “ecosystem engineers (biobouwers)” genoemd. De aanwezigheid van de zandkokers en de verandering van het sediment hebben een positieve invloed op de biodiversiteit⁷. De natuurlijke riffen die door schelpkokerwormen worden gevormd, komen doorgaans dicht bij de kust voor.

We bespreken hier kort enkele praktische factoren waarmee rekening moet gehouden worden bij het aanleggen van biogene riffen.

Biogene riffen kunnen potentieel op veel plaatsen voor de zandige Vlaamse kustlijn voorkomen. De geschiktheidskaart voor zandkokerwormen (*Lanice*) toont dat deze soort bijna overal langs onze zandige kustlijn kan voorkomen (Figuur 8-1). Dit toont ook dat *Lanice* tot grote **diepte** kunnen voorkomen. De Blauwe mossel kan in intertidaal gebied tot een diepte van +/- 15 meter diepte voorkomen (<https://animaldiversity.org>). Europese oesters tot ongeveer 40m diepte (<https://www.marlin.ac.uk/species/>). Mossel en oesterriffen kunnen ook op steile en zelfs verticale structuren voorkomen. De helling van de ondergrond lijkt dus geen beperking te geven.

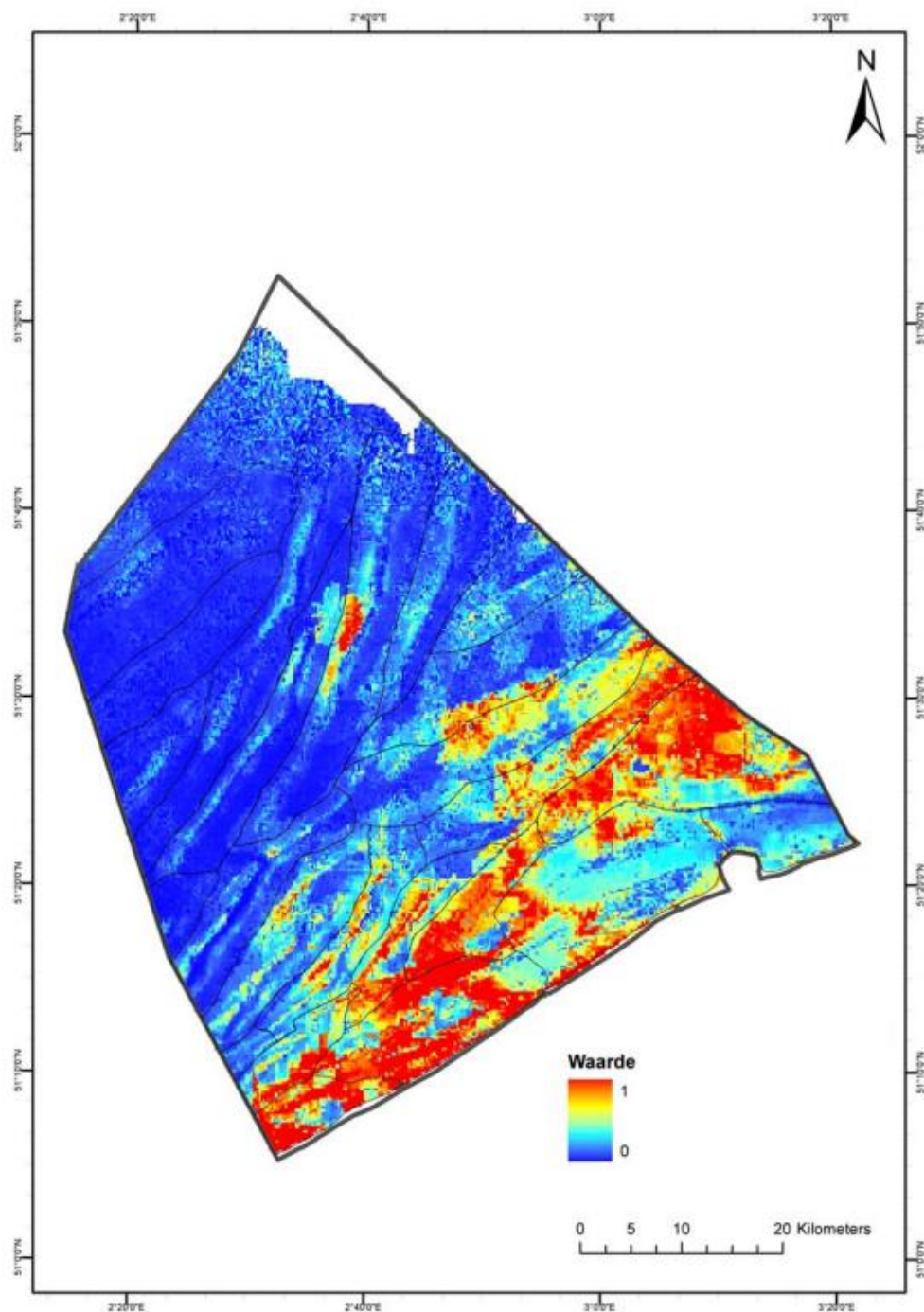
Voor het effect op golfenergie en -hoogte speelt vooral **rugositeit** een rol. Dit is een maat voor kleinschalige variaties van amplitude in de hoogte van een oppervlak.

De **hoogte** van riffen is afhankelijk van de soort. Riffen van borstelwormen (*Lanice*, *Sabellaria*) zijn maar enkele centimeters hoog aangezien de wormen in het zand groeien⁸. Natuurlijke mossel en oester riffen zijn een beetje dikker tot 10-15 cm. Bij de aanleg van zulke riffen kunnen **artificiële structuren** gebruikt worden om het rif een snelle start te geven. De hoogte is dan afhankelijk van het design.

Voor de **minimale omvang** van een rif lijkt geen duidelijke informatie voorhanden. Grotere riffen hebben waarschijnlijk een grotere ecologische waarde, maar ook kleine structuren kunnen snel gekoloniseerd geraken en kunnen hun rol spelen in het ecosysteem.

Voor de oesterriffen wordt best gewerkt met lege oesterschelpen om broed op te laten groeien. In Nederland werd recent ‘s werelds eerste oesterwiegbasis voor meer Noordzeenatuur gerealiseerd door ARK en ecologisch adviesbureau Bureau Waardenburg. Voor de aanleg van *Lanice* riffen voor de Vlaamse kust worden experimenten gedaan met substraat matten in het Coastbustersproject.

Als biogene riffen worden aangelegd in de vooroever (onder de laagwaterlijn) behoort dit tot de federale bevoegdheid en niet tot de gemeentelijke bevoegdheid. Dit kan het lastiger maken voor gemeentes om het op te nemen in hun integraal plan.

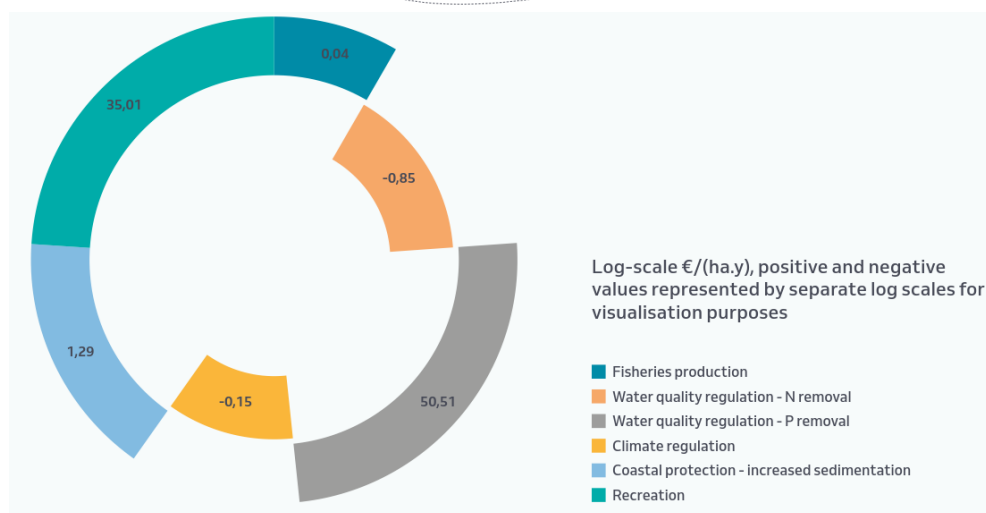
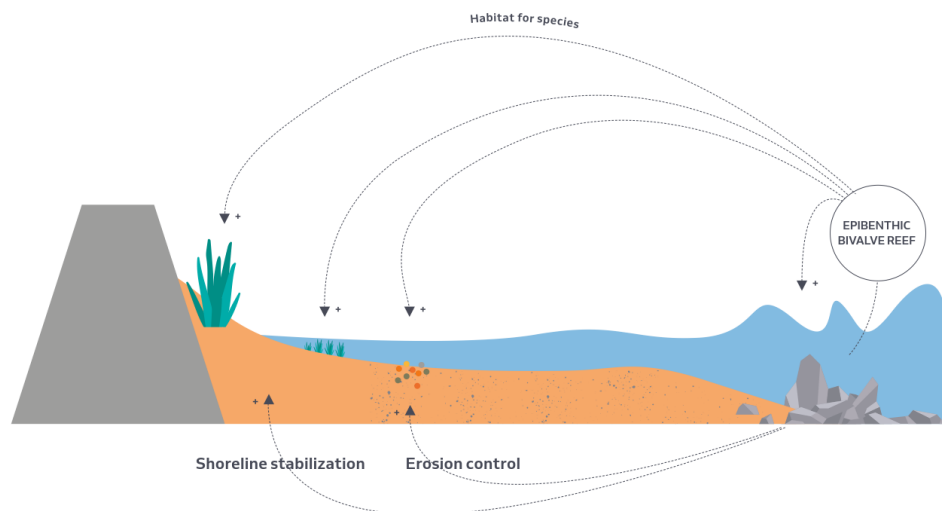
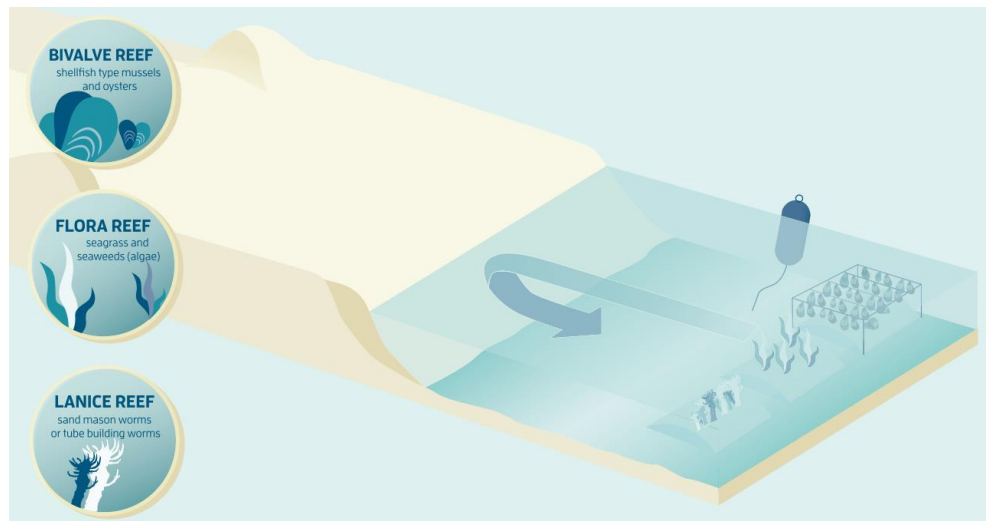


Figuur 8-1. Habitatgeschiktheidskaart voor *Lanice conchilega* aggregaties met een dichtheid van meer dan 500 ind./m², zoals gegeneerd met MaxEnt. Hoogstwaarschijnlijk afwezig: blauw (0); hoogstwaarschijnlijk aanwezig: rood (1).⁶

A.1.2 Coastbusters studie ter hoogte van De Haan

Er loopt een proefproject “Coastbusters” met biogene riffen ter hoogte van De Haan, met steun van VLAIO. Het coastbusters project liep van 2017 tot 2020. Momenteel loopt het vervolproject Coastbusters 2.0. In dit project zijn proefopstellingen onderzocht, werden ecologische aspecten gemeten en is een inschatting gemaakt van de ecosystemendiensten met zowel positieve effecten zoals een bijdrage tot

visserijproductie, maar ook negatieve effecten extra verrijking van het zeewater met stikstof en vrijstelling van koolstof (Figuur 8-2).

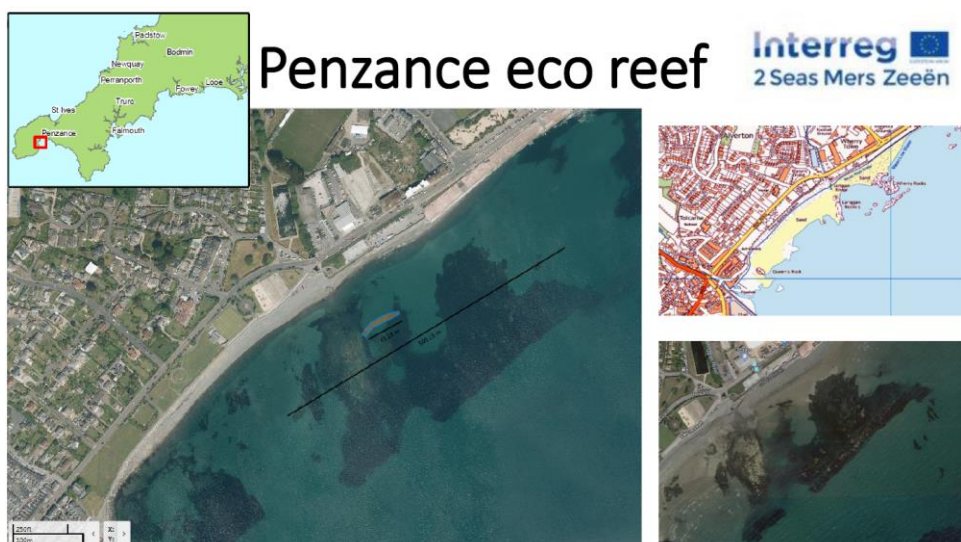


Figuur 8-2. Inschattingen van de ecosystemendiensten van riffen van tweekleppigen ²

A.1.3 SARCC pilot Penzance eco reef

The Newlyn Eco-Reef pilot is located adjacent to Newlyn Harbour, Mount's Bay in Cornwall, UK. The pilot project involves the design and construction of an intertidal structure which will hybridise an existing smaller breakwater to provide a more nature-based solution, delivering multiple benefits. It is anticipated that the new structure will measure roughly 60m long and will assist in managing climate change-induced risks from coastal erosion and flooding. It is proposed that the eco-reef will primarily consist of custom-designed blocks of locally-sourced material, which will aim to provide a bespoke substrate for marine organisms to colonise and develop a living structure.

The pilot is being lead by the Environment Agency as part of a wider project called Sustainable and Resilient Coastal Cities (SARCC), part of the European-funded Interreg 2 Seas programme.



A.1.4 Oesterwieg, Nederland

In Nederland werd recent 's werelds eerste oesterwieg basis voor meer Noordzeenatuur gerealiseerd door ARK en ecologisch adviesbureau Bureau Waardenburg.

De bodem van onze Noordzee bestond ooit voor zo'n 30 procent uit schelpdierriffen, maar door overbevissing en ziektes zijn ze inmiddels bijna allemaal verdwenen. Omdat de riffen onmisbaar zijn voor de Noordzee-natuur, zetten ARK en WWF zich sinds 2015 in voor het terugbrengen ervan. Dit doen we onder meer door gekweekte oesterlarfjes op lege oesterschelpen te laten hechten. De schelpen met daarop de larfjes – spatjes genoemd – plaatsen we vervolgens in zee. Hiermee bootsen we een natuurlijk proces na: ook de in zee rondzwevende oesterlarfjes vinden in bestaande oesterschelpen de stevige, vaste ondergrond die ze nodig hebben om zich aan te hechten. Zo vormen oesterschelpen de basis voor de volgende generatie oesters. De oesterlarfjes ontwikkelen op den duur zelf een schelp. Zo ontstaat uiteindelijk een groot, zichzelf in stand houdend schelpdierrif waar vissen en andere dieren als krabben, inktvissen, anemonen en sponzen van profiteren. Bovendien filteren de riffen het zeewater en zorgen ze voor bodemstabiliteit. Ze dragen zo bij aan een gezonde en rijke Noordzee.

Deze manier van schelpdierriffen 'kickstarten' vraagt om behoorlijk wat handelingen: we zamelen lege oesterschelpen in bij restaurants, laten ze een tijdlang buiten om schoon

te worden, bieden ze daarna in de kwekerij aan de oesterlarfjes aan, plaatsen ze in de Noordzee en monitoren vervolgens jarenlang het groeiproces. In hun zoektocht naar het vergemakkelijken van dit proces kwamen ARK en ecologisch adviesbureau Bureau Waardenburg tot het idee van de oesterwieg. De wieg dient als vervoersmiddel en biedt in ieder van deze stadia de juiste voorwaarden.

Door de open constructie van het gaas krijgen de zon en de wind bijvoorbeeld goed vat op de lege schelpen, waardoor ze op een natuurlijke manier schoon worden. Later, in de oesterkwekerij, kan de wieg in zijn geheel in de bak met oesterlarfjes, zodat deze zich aan de lege schelpen kunnen hechten. Eenmaal in zee biedt het de jonge schelpdierpjes bescherming tegen predatoren. Ook voorkomt de constructie dat de schelpen wegspoelen, waardoor ze beschadigd raken of onvindbaar worden voor monitoring.

Bij de productie van de oesterwiegen wordt bovendien rekening gehouden met materialen. Deze moeten natuurlijk geen negatieve impact hebben op de natuur. Daarom werd gekozen voor materialen die vanzelf vergaan als hout en afbreekbaar kippengaas.



<https://www.wwf.nl/wat-we-doen/resultaten/updates/eerste-oesterwieg-noordzeenatuur>

A.1.5 **PRODUS project duurzame schelpdiercultuur, 2006-2012**

PRODUS draagt bij aan een duurzame schelpdiercultuur door het in kaart brengen van de ecologische draagkracht van de Nederlandse kustzone en de effecten van de schelpdiervisserij op het sublitorale mosselbestand en natuurwaarden.

Onderzoeksthema's:

- Analyse/Verminderen milieu effecten
- Stabiliteit zaadbanken

- Ontwikkelen nieuwe technieken zaadwinning
- Verbeteren kweekrendement

Overzichtspresentatie:

<file:///C:/Users/FR6029/Downloads/produs%20project%20onderzoek%20schelpdiercultuur.pdf>



A.1.6 Mosselwad project

www.mosselwad.nl

Het project Mosselwad volgt de ontwikkeling van zich herstellende mosselbanken gedurende vier jaar. Wetenschappers gaan op Texel bekijken hoe een mosselbank groeit door voortplanting, en hoe die weer kleiner wordt door storm en stroming of doordat vogels de mossel opvreten. Het project heeft als uiteindelijk doel om met ingrijpen van de mens de mosselbanken weer op gang te helpen. En met deze kennis kunnen er in de toekomst wellicht nieuwe experimentele mosselbanken worden aangelegd. Mosselbanken hebben een zeer belangrijke rol in het ecosysteem van de Wadden, onder andere voor de waterkwaliteit, als habitatvormende structuur en voor het voedselweb.

Het project omvatte een aantal onderzoeken die elkaar aanvullen:

- Op mosselbanken op Balgzand, Den Helder, bij De Cocksdorp (Texel) en op het Brakzand (tussen Lauwersoog en Schiermonnikoog) worden dag en nacht met camerapalen opnames gemaakt van de mosselbank, de waterbewegingen over de bank en de vogels die daar naar voedsel zoeken.
- Op een twintigtal mosselbanken verspreid over de Waddenzee worden mossel- en vogelpopulaties op systematische wijze gevolgd.
- Vanaf boten worden tellingen uitgevoerd van vogels die zich ophouden in de permanent droogblijvende delen van de Waddenzee en daar mossels eten of afhankelijk zijn van organismen die op of rond mosselbanken leven.

Het project is een samenwerking van vereniging Kust & Zee, IMARES Wageningen UR, Koninklijk Nederlands Instituut voor Zeeonderzoek (NIOZ), Sovon Vogelonderzoek Nederland en de Faculteit Geowetenschappen van Universiteit Utrecht.



Mosselwad project

A.2 Duinoplossingen (zacht of hybride)

A.2.1 Prins Hendrik Zanddijk in Texel, Nederland

This study examines which and, if possible, how much more ecosystem services are provided by the most recent nature inspired coastal protection project Prins Hendrik Zanddijk ⁹. This article quantifies the benefits of the realised soft coastal protection design for the Prins Hendrik Zanddijk project (PHZD) and compares this result against the alternative of upgrading the existing dyke. The quantification in terms of ecosystem services is based on the assessment framework developed by Boerema et al. ¹⁰. First, the type and size of habitats and associated ecosystem services are identified. and subsequently, the relevance of each ecosystem service is described and quantified.

The creation of the Prins Hendrik Zanddijk generates both positive and negative effects on the ecosystem services as the soft coastal protection project replaces shallow sand bank areas with both beach and tidal marsh area. The positive effects outweigh the negatives, with additional benefits created by the Prins Hendrik Zanddijk quantified at 0.4 –1.07 million €/yr, mainly due to enhanced fish production, climate regulation, water quality regulation and erosion prevention (Table 1, Table 2).

The design of the PHZD focuses on nature development and recreational appeal in addition to its function as primary coastal protection. While the current ecosystem services methodology allows for a quantitative comparison of nature development, the differences in cultural ecosystem services between the designs (e.g. dune relief to create sea view from the bicycle path) could not be taken into account in the quantification. This leads to an underestimation of the benefits of the final design in comparison with the tender design and the dyke restoration alternative.



FIGURE 5

Overview of expected changes in habitats and ecosystem services within the boundaries of the Prins Hendrik Zanddijk (comparison of final sand dyke design with scenario restoration of asphalt dyke).

TABLE 1

Summary of potential effects of the 3 scenarios on the yearly provisioning of ecosystem services.

	Ecosystem Service	Indicator	Unit	Dyke restoration	Tender design	Final design
Provisioning	Agricultural production	expected agricultural production polders	k€/y	0	26.8	26.8
	Fish production	fish production supported by nursery function	k€/y	0.6	4.5	4.9
	Drinking water production	-	-	0	0	0
Regulating	Climate regulation	C sequestration/burial rate	k€/y	6–7	211–53	19.9–52.5
	Water quality regulation	N removal/retention/burial rate	k€/y	190.1–215.5	659.9–1255.8	743.2–1384.2
		P retention/burial rate	k€/y	0.3–5.9	75–154.8	9.2–167.2
	Salinisation prevention	-	-	0	0	0
	Air quality regulation	-	-	0	0	0
	Flood protection	avoided damage costs	mio €	60	60	60
		avoided casualties	# people	0–5	0–5	0–5
	Erosion prevention	reduced dyke maintenance costs by wave attenuation	k€/y	0	37.6	37.6
Sedimentation regulation	-	-	0	0	0	
Cultural	Recreation	landscape quality, infrastructure	score	+	++	+++
	Heritage	heritage values	score	+	-	-
	Cognitive development	expertise, know-how	score	0	+	+
Sum Additional Monetary Benefits (excluding flood protection)			mio €/y	0.2–0.23	0.75–1.53	0.84–1.67

TABLE 2

Evaluation of the cost efficiency of the sand dyke

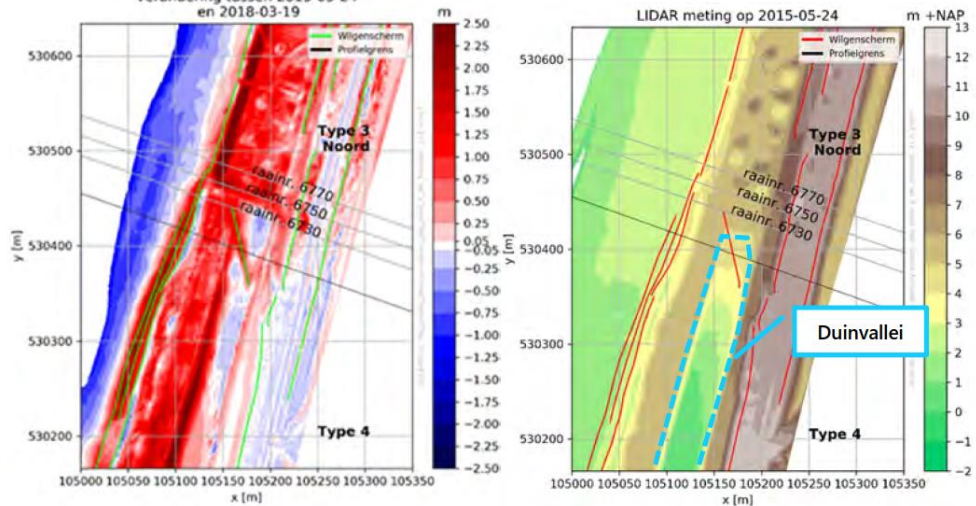
	Dyke restoration	Tender design	Final design
Construction cost	18.80 mio €	23.90 mio €	23.90 mio €
Management and maintenance costs per year	18.80 mio € x 0.2% per year = 0.04 mio €/y	20000 m ³ /y x 6 €/m ³ = 0.12 mio €/y	20000 m ³ /y x 6 €/m ³ = 0.12 mio €/y
Ecosystems services benefits per year (min–max estimate)	0.2–0.23 mio €/y	0.75–1.53 mio €/y	0.84–1.67 mio €/y
Total costs vs. benefits per year (min–max estimate)	0.16–0.19 mio €/y	0.63–1.41 mio €/y	0.72–1.55 mio €/y

A.2.2 Hondsbossche duinen, Nederland, 2014-2019

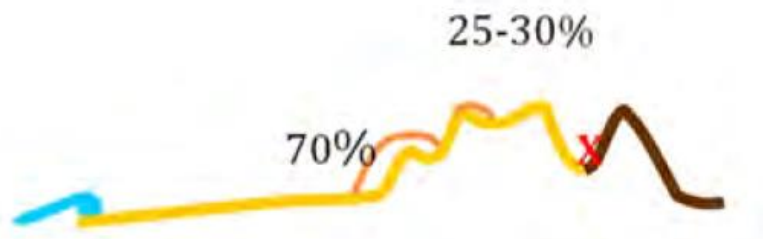
Het doel van dit innovatieproject is kennis ontwikkelen over snelle en efficiënte aanleg van zandige voorlanden met meerwaarde voor natuur en recreatie. Het ontwerp bestaat uit een zachte ondiepe vooroever (strand) met verschillende soorten duinhabitats. De constructie vond plaats in 2014-2015 en werd opgevolgd met monitoring en innovatief wetenschappelijk onderzoek van 2015 tot 2018. Er werd onderzoek gedaan naar habitatkwaliteit, zandvolume en beleving. Er was veel aandacht voor volumeveranderingen van de duinen in de jaren na de aanleg (meting van de natuurlijke aangroei van duinen), en voor belevingsaspecten (bijvoorbeeld hinder doorwaaiend zand en ondergestoven infrastructuur). Het synthese eindrapport is gepubliceerd in 2019¹¹.



Afbeelding 3: LiDAR-meting (rechts) en volumeverandering tussen de eerste en laatste LiDAR-meting (links)
Verandering tussen 2015-05-24 en 2018-03-19



Afbeelding 6: Verdeling zand over het dwarsprofiel



Afbeelding 5: Ondergestoven fietspad in de Hondsbossche Duinen (foto: HHNK)



A.2.3 LIFE+ Flandre project, duinen, Frankrijk-België

Flemish And North French Dunes Restoration (afkorting FLANDRE) is een door de Europese Unie meegefinancierd gezamenlijk natuurherstelproject van het Agentschap voor Natuur en Bos, het Conservatoire du Littoral et des Rivages lacustres en het Département du Nord voor de kustduinen tussen Dunkerque (Frankrijk) en Westende (België).

Van Duinkerke tot Westende
één van de merkwaardigste duingebieden van Europa



Het doel van het project is de kwalitatieve consolidatie van het Natura 2000-netwerk in beide landen. Daarvoor worden de habitattypes hersteld die typisch zijn voor de

sedimentaire kusten van de Atlantische biogeografische regio. Ook de populaties van soorten die van communautair belang zijn, worden hersteld door verwerving van de kustduinen, beheerplanning, natuurherstelwerken en door het verhogen van het bewustzijn van een zo breed mogelijk publiek. Om dat te bereiken zullen de Belgische en Franse overheden, bevoegd voor deze beschermde gebieden, nauw samenwerken.

Met de oprichting van een LIFE+ FLANDRE adviserend comité, de opmaak van een transnationaal richtinggevend beheerplan en een juridisch kader voor transnationale samenwerking voor het beheer van de grensoverschrijdende duinstreek, zet het project een eerste stap naar de creatie van een grensoverschrijdend 'Europees' natuurpark. Dat kan als voorbeeld dienen voor de samenwerking tussen andere Europese lidstaten voor de bescherming en het beheer van grensoverschrijdende Natura 2000-gebieden. Het adviserend comité zal na de beëindiging van het project worden voortgezet onder de vorm van een transnationale beheercommissie.

In het kader van dit project werd ook een ecosysteemdiensten studie uitgevoerd. Hierbij ging bijzonder aandacht naar het verschil tussen een vastgelegd en een dynamisch duinsysteem. De resultaten van deze ecosysteemdiensten studie werden gepubliceerd in het wetenschappelijk tijdschrift *Ocean & Coastal Management* ⁵.

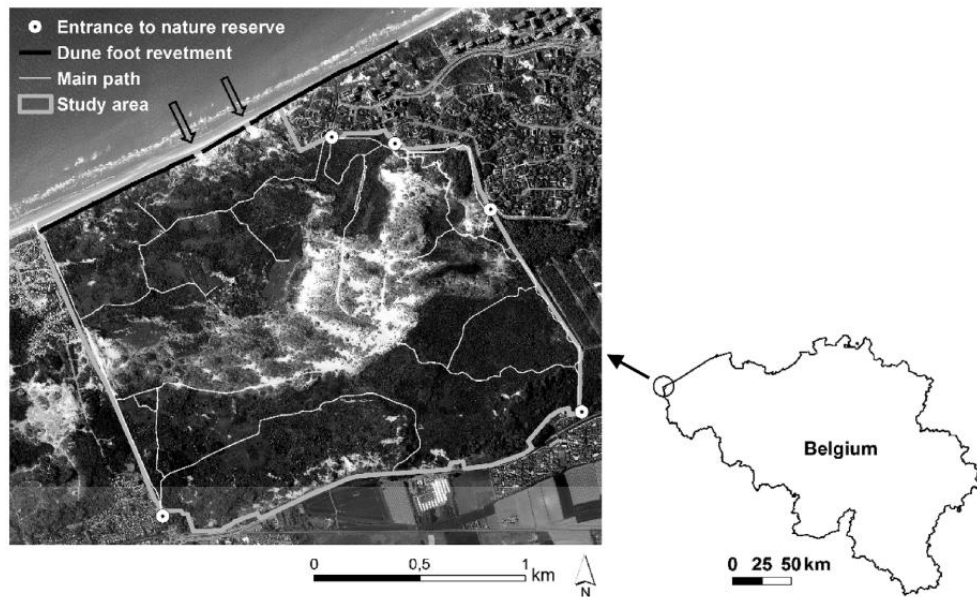


Fig. 1. Location and aerial photograph of the study area with indication of the breaches (arrows) (AGIV, 2012).

5

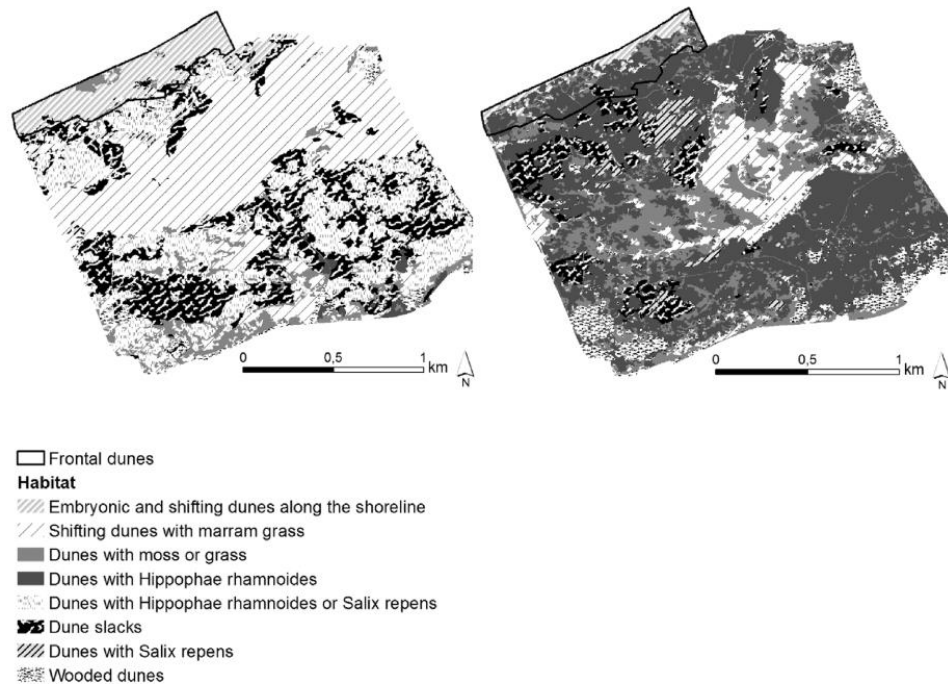


Fig. 2. Left: dynamic scenario (situation ~1953). Right: fixed scenario (situation ~2016).

5

Abstract: Intensively used coastal zones often know a history of hard defense structures to prevent erosion and protect infrastructure against floods. The interruption of sand transport between sea, beach and dunes however causes a domination of late successional stages such as dune shrub. With the decline of young, dynamic vegetation types, a change occurs in the provision of ecosystem services. In spite of the growing awareness on the role of dune dynamics to support human well-being and biodiversity, redynamisation of dunes is rarely implemented in coastal zone management. It has been argued in research documents that this may be caused by a failure to make those benefits tangible and specific. This study aims to underpin the added value of dynamic versus fixed dunes. Five different ecosystem services in a case-study in Belgium were quantified based on (compound) indicators and expressed in monetary units. The value of a natural, dynamic dune system covering the entire gradient of dune succession and dominated by young successional stages was compared with the value of a fixed dune system dominated by late successional stages. The results indicate that a dynamic dune complex may create up to ~50% higher economic benefits, and that the main benefits are on account of recreation and coastal safety maintenance. The results underpin the statement that we can only continue benefitting from the services dunes provide if we accept their mobile nature, but that redynamisation requires a site-specific feasibility analysis.⁵

Conclusions: Dunes create substantially more ecosystem services when sand transport between sea, beach and dunes is not hampered by artificial hard structures such as dikes and groins. Especially coastal safety maintenance and recreation depend on the constant supply and movement of sand and decline when dune vegetation evolves into shrub. The higher value of young dune vegetation compared to older successional stages is related to the capacity of plants of early stages to withstand sand burial and accumulate sand, and, for recreation, to the visitor appraisal of habitat types characteristic of dynamic dunes (shifting dunes and wet dune habitats). Climate regulation by carbon sequestration becomes more important as dunes get stabilized when sand transport diminishes, resulting from soil development under dense vegetation cover. The ecosystem service nevertheless remains relatively low in comparison with inland habitats

due to the coarse texture of dune sand. This research underpins earlier descriptive studies on the ecosystem services and their societal benefits of dynamic dunes with quantitative information. Such information may help to convince decision-makers to restore natural dune dynamics wherever possible.⁵

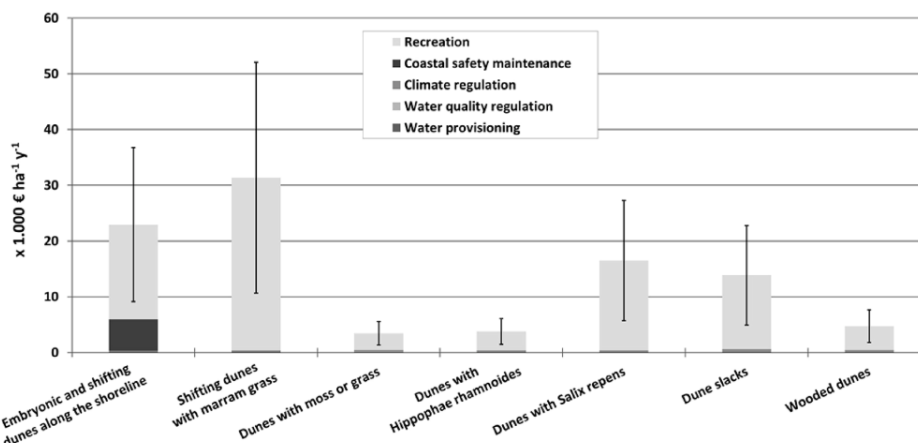


Fig. 3. Sum of the average economic value ($\times 1000 \text{ € ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) of each dune habitat for 5 different ES. Error bars represent the sum of the minimum and the sum of the maximum estimates of the different ecosystem services per habitat type. Values for recreation do not include the correction factor on the increase in surface area of a particular habitat.

5

A.2.4 Crest-project (Climate Resilient Coast)

Tien partnerinstituten afkomstig uit de academische wereld, de Vlaamse overheid en de private sector hebben gedurende vier jaar onderzoek verricht naar kustprocessen. Zij delen de resultaten van het CREST-project aan de hand van negen kernboodschappen die verder verfijnd worden in een uitgebreide lijst van onderzoeksresultaten.

<http://www.crestproject.be/nl>

KERNBOODSCHAPPEN

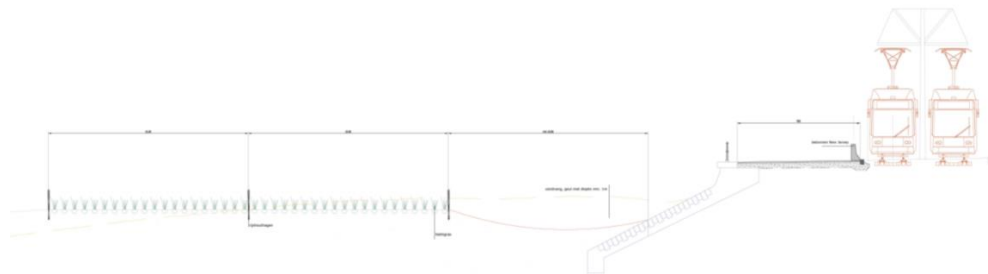
- Omgaan met klimaatverandering op lange termijn omvat veel onzekerheden. Verschillende klimaatscenario's zijn geüpdatet ter ondersteuning van het beleid.
- De afgelopen dertig jaar blijkt een netto natuurlijke voeding van sediment vanuit zee naar de Belgische west- en oostkust te hebben plaatsgevonden die bijgedragen heeft aan de zachte zeewering;
- De technologie om evoluties in strandmorfologie op te volgen is voor handen.
- Voldoende zand voorzien op de stranden versterkt niet enkel het strand zelf, maar draagt ook bij aan een versteviging van de duinen.
- Na een storm herstellen onze stranden zich minstens gedeeltelijk, en dit binnen een periode van nauwelijks enkele maanden.
- Het beter in rekening brengen van meer fundamentele processen vormt een goede basis om de patronen van het sedimenttransport aan onze kust te begrijpen en te simuleren.
- Het onder CREST ontwikkelde FLIAT-model vormt een stevige basis voor overstromingsrisicoberekeningen van het hinterland.
- Breder stranden reduceren de impact van golven op de dijken.
- Fysische proeven in de testfaciliteiten van de Universiteit Gent, het Waterbouwkundig Laboratorium en Deltares hebben in grote mate bijgedragen tot het inschatten van de kracht van golven op harde structuren.

A.2.5 SARCC pilot projecten



Testduin met helmaanplant in Raversijde, 2021

In Oostende-Raversijde wordt een duin voor dijk aangelegd doormiddel van helmgras en rijshouthagen aangeplant op het strand langs de dijk. Deze duin moet in de toekomst verhinderen dat bij zwaar stormweer extreem veel zand op de kustbaan en de tramsporen waait. Vooral in Raversijde kost het jaarlijks heel wat inspanningen om de kustbaan en de tramsporen vrij te maken van overgewaaid zand. De betonnen muurtjes die nu al op de zeedijk staan, houden een deel van het opwaaiend zand tegen maar zijn onvoldoende bij hevige storm. Een duin voor de dijk moet er in de toekomst meer zand vasthouden op het strand bij stormweer en hevige wind. Tegelijk zal de groeiende duin hier zorgen voor meer gevarieerde natuur en betere bescherming tegen overstromingen. Over een lengte van ongeveer 700 meter planten we voor de dijk verschillende vakken van tien maal tien meter aan met rijshouthagen en helmgras. De vakken zullen door de wind natuurlijk aangroeien met zand waardoor op termijn een duinstrook ontstaat. Dit zorgt ervoor dat het zand op het strand blijft, wat een goede zaak is voor de kustbescherming.



De zone met de duin voor dijk is voor het agentschap MDK en stad Oostende tegelijkertijd ook een proefproject. De aangeplante vakken zullen nog niet meteen hun volledige zandvangende capaciteit hebben. Tussen de dijk en de vakken met helmgras zal daarom een geul van ongeveer één meter diep dienen als eerste zandvang.

Het project gaat gepaard met wetenschappelijk onderzoek om meer te leren over de effecten van verschillende helmaanplant configuraties.



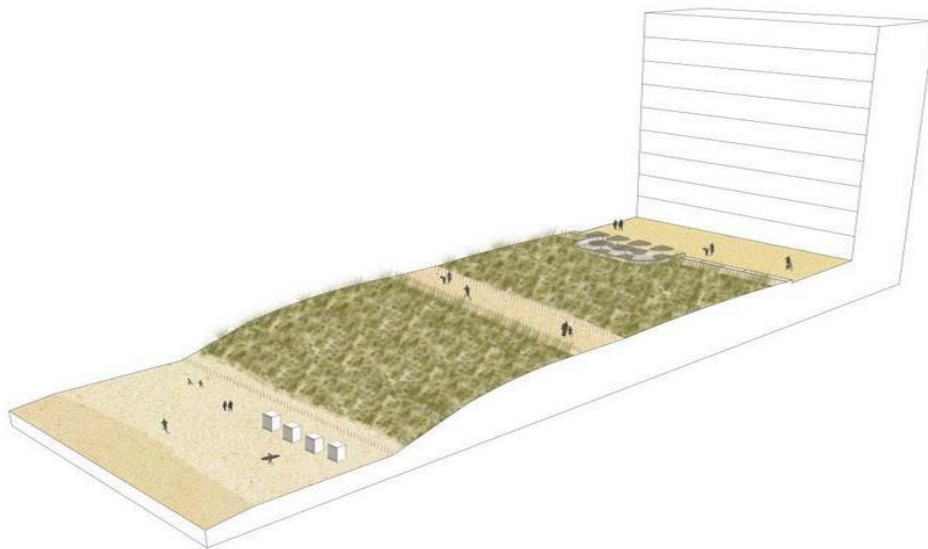
© Foto JVK - Ter hoogte van Oostende-Ravelingen stapelde het zand zich zowat een meter hoog op.



Grasdijk Middelkerke

Het Gemeentebestuur van Middelkerke kiest voluit voor een nieuwe, innovatieve vorm van kustverdediging én kustbeleving: een groene promenade voor Westende. Om de bescherming van de kust en het hinterland tegen stormvloed en te verzekeren, wordt de traditionele piste van beton en zandsuppleties verlaten en geopteerd voor een zachte, meer natuurlijke vorm van kustbescherming. Streefdoel daarbij is een veilige, toegankelijke en aantrekkelijke promenade tot stand te brengen.

Het komt er in feite op neer dat er in twee van de drie projectzones een helmgraszone wordt aangelegd voor de dijk. In de toeristische centrumzone wordt dan weer geopteerd voor een golfdempende uitbouw. Dat is een zeedijk in twee niveaus, waarbij het lagere niveau de kracht van eventuele zware golven grotendeels opvangt.



Blankenberge

Ten oosten van Blankenberge wordt een straat uitgebroken om meer ruimte te geven aan de duin om naar achter (landinwaarts) te kunnen ontwikkelen. Specifiek wordt een deel van de A. Ruzettelaan, tussen de Gadeynehelling en de Korenbloem, onthard.



Boulevard Bankert, Vlissingen, Nederland

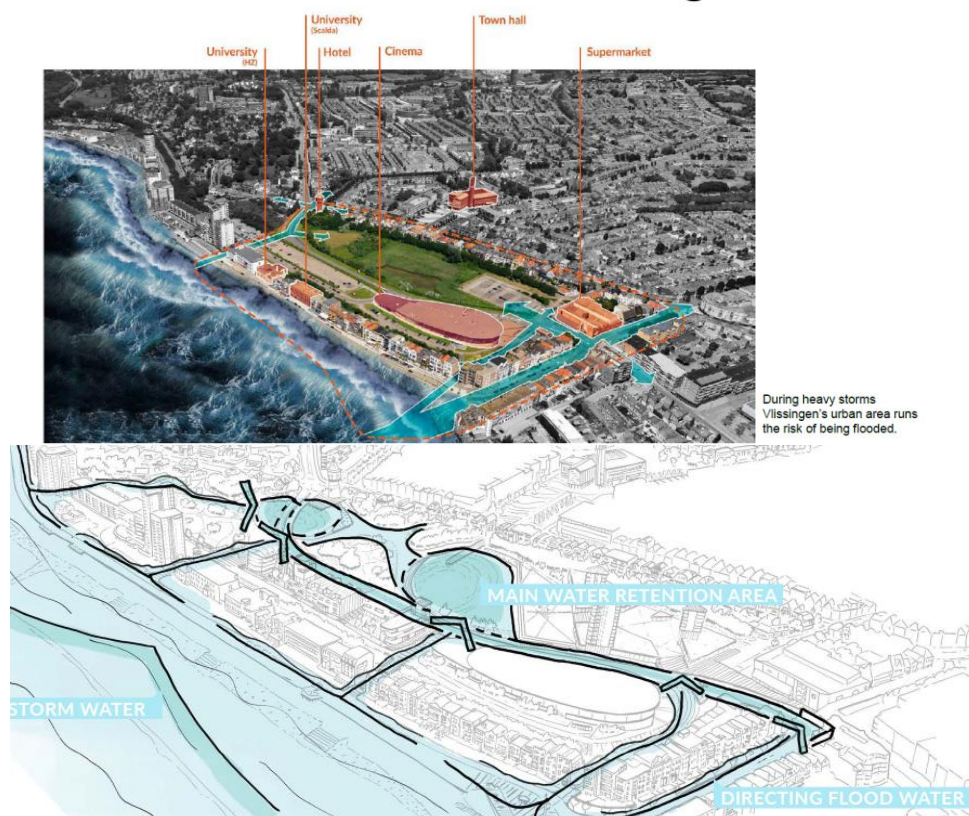
The pilot project in Vlissingen is in an urban area at the mouth of the Westerschelde where the river arm and the North Sea come together. The project provides the design and implementation for a new way of thinking about climate-adaptive public spaces in urban areas by the sea. The objective is to focus on natural and green sustainable measures, which in the long term will protect the urban area against flooding during storms. In addition, research is being conducted into the implementation of nature-based solutions (Nbs) in the foreshore and in the primary sea defences. The measures in the pilot are implemented in a street and as part of an area development in "De SpuiKom". The implemented measures must contribute to the natural appearance of the urban area.

The design of the public space protects the inner city of Vlissingen from damage caused by flooding and wave overtopping. Green barriers absorb seawater and carry it off naturally to the urban water system. This limits the chance of damage to property and people. As part of an area development, 'De SpuiKom' is being made suitable for

responding to sea level rise in the long term. Innovative concepts of urban development (climate adaptation and spatial adaptation) are elaborated here. Green, quality, urban development and adaptive coastal defence are combined in a coastal city.

Project Pilot Boulevard Bankert, Vlissingen

Interreg 
2 Seas Mers Zeeën



Gravelines

Op het strand van 'Petit-Fort-Philippe' werkt de gemeente Gravelines aan een versterking van de duingordel. Die is er op sommige plaatsen zeer nauw en in slechte toestand door bebouwing en overbetreding.

Het toeristisch droog strand is er zeer beperkt doordat de zee bij vloed tot tegen de duinenrij spoelt, waardoor er op heden weinig uitbreidingsmogelijkheden bestaan voor deze duingordel. Door het aanbrengen van trappen over de duinen ifv de toeristische toegangen en het aanbrengen van afrastering wil de gemeente de duinen op een natuurlijke manier laten aangroeien. Op deze manier moet de kwaliteiten en oppervlakte van de duingordel toenemen, en wordt de aangrenzende wijk beter beschermd tegen het zeewater.

Daarnaast wenst Gravelines met deze piloot aantonen dat duinen een volwaardige rol als zeeverende maatregel kunnen opnemen zonder dat er harde infrastructuur bij te pas komt, iets wat door de hogere overheid in Frankrijk nog niet steeds onderkend wordt.



Locatie van het strand van 'Petit-Fort-Philippe', de gemeente Gravelines

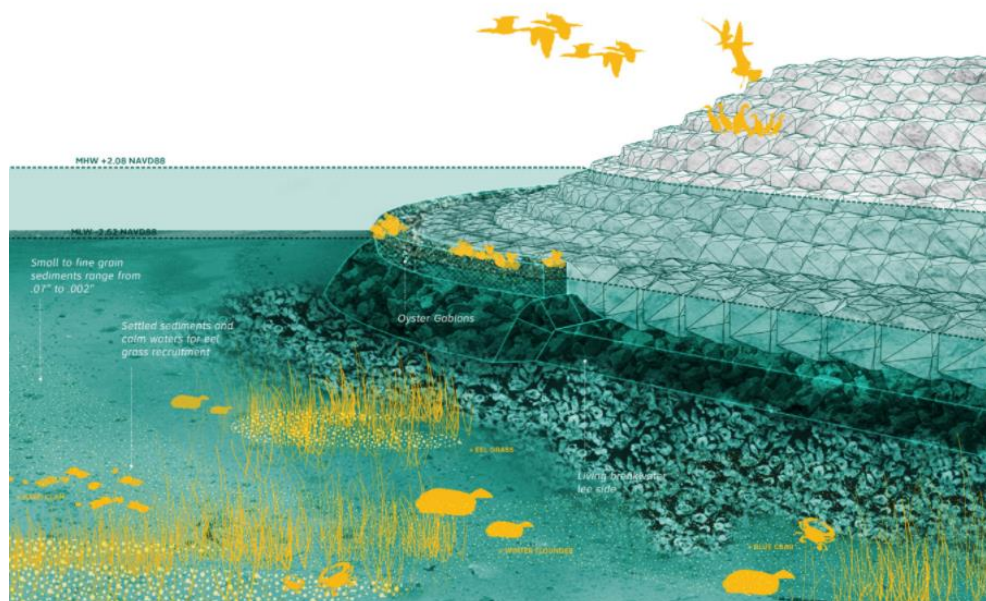
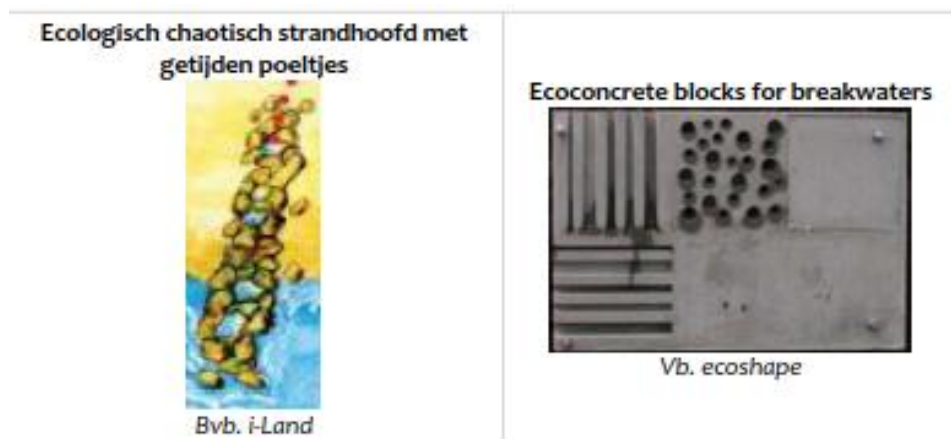
A.3 Overige maatregelen

A.3.1 Eco strandhoofd, ecoconcrete blocks, living breakwaters

Harde structuren worden beschouwd als biodiversiteit hotspots wat ook ten gunste is van vispopulaties. Echter worden harde artificiële structuren ook gekenmerkt door negatieve effecten: verhoogd risico op introductie van invasieve soorten in een regio, lichtpollutie en schaduweffecten door de structuur, chemische pollutie. Eco design geeft gewin voor een aantal soortengroepen ten opzichte van klassieke infrastructuur.

Indien nieuwe strandhoofden nog worden aangelegd, of bestaande strandhoofden vernieuwd, kan gedacht worden aan het aanbrengen van extra structuur elementen om meer micro habitats te creëren. Dit verhoogd de ecologische waarde van de structuur. Er zijn recent diverse projecten over het creëren van “living breakwaters”, bijvoorbeeld:

- <https://www.scapestudio.com/projects/living-breakwaters-design-implementation/>
- <https://www.wsp.com/en-US/projects/living-breakwaters-coastal-resilience>



A.3.2 Mega strandsuppletie

In 2011 is voor de kust van Ter Heijde en Kijkduin de Zandmotor aangelegd: een grote kunstmatige zandbank in de vorm van een schiereiland. Zeestroming, wind en golven kregen vrij spel om het zand langs de Delflandse kust tussen Hoek van Holland en Scheveningen te verspreiden. De Zandmotor is een uniek experiment, omdat we mét het water werken in plaats van er tegen. Door in een keer een grote hoeveelheid zand te storten, voorkomen we herhaaldelijke verstoring van de zeebodem. De natuur legt het zand voor ons op de juiste plek. Zo biedt de Zandmotor voor zowel mens als dier een plek van rust en ruimte. Daardoor is er internationaal ook veel aandacht. Het icoon voor innovatie heeft zichzelf bewezen: het zorgt daadwerkelijk voor een bredere kustzone.

<https://dezandmotor.nl/>

De Zandmotor is belangrijk als aanjager voor innovatief kustonderhoud. Sinds de aanleg volgen tientallen onderzoekers van verschillende universiteiten en kennisinstellingen de ontwikkeling van de Zandmotor op de voet. We onderzoeken of en hoe de natuur het zand voor ons langs de kust kan verspreiden. Het zand verspreidt zich onder invloed van wind, golven en stroming geleidelijk noord- en zuidwaarts. Hierdoor is het gebied steeds meer gaan lijken op de dynamische kustnatuur zoals we die kennen van de Waddeneilanden. Diverse planten, vogels en andere dieren hebben zich in het nieuwe, aantrekkelijke kustlandschap genesteld. Het gebied heeft ook grote recreatieve waarde voor natuurliefhebbers en actieve sporters.

Onderzoeksthema's: Sand, Sea Life: Ecology and Morphology; An attractive area: Socioeconomic effects; Management and planning: Effective management.

In een ecosysteemdienstenstudie voor de International Association of Dredging Companies (IADC) werd de zandmotor als één van de case studies geëvalueerd ¹⁰.

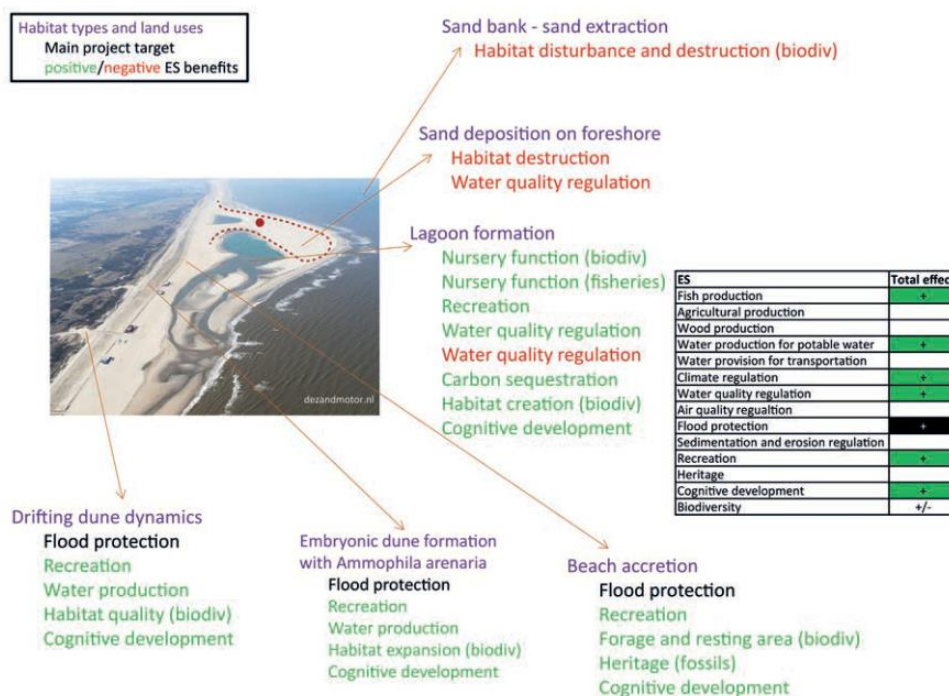
Discussion and conclusion: The largest benefits are created by water quality regulation, flood protection and recreation. The benefits from flood protection are relatively small compared to the investment costs of €60 million. One of the main goals of the sand engine is cognitive development, and the sand engine is to be considered a pilot project. In case a similar project would be developed in a more densely populated area, it can be expected that the benefits from flood protection would become much more important. The benefits from water quality regulation are relatively high compared to the small area where they are generated (the lagoon). This is related to the high economic value for nutrient removal. Although different features of the sand engine are important in delivering ecosystem services, it can be stated that the lagoon is a hot spot for service delivery (water quality regulation, nursery function for fish production, habitat and biodiversity, recreation).

The sand engine is expected to gradually reduce in size. After 20 years the remaining beach area is 200 ha, and the lagoon has shrunk to 9 ha. The greatest benefits generated by the sand engine thus have to be regarded as temporary, although some benefits might still be delivered after 20 years.

The EIA in 2010 indicated that the benefits are expected to be less than 10% of the investment costs. Our research shows different results. This may be related to the inclusion of additional ecosystem services such as water quality regulation. The sum of the benefits does not include the effects of cognitive development due to the uncertainty on the valuation method. The investment costs however neither include investment costs in research and monitoring that allow knowledge gathering.

FIGURE 31.

Summary of the ES effects of the Sand Engine project. Flood protection (indicated in black) is the main project benefit considered in the initial project evaluation. All additional ecosystem services effects are indicated in green (if positive).



10

A.3.3 Zand netten op het strand

In het Endure project loopt een experiment met zand netten die op het strand geïnstalleerd zijn. Tevens werd een tool ontwikkeld om de ecosystemendiensten voordelen van deze maatregel te visualiseren.

- pilot projecten <https://www.endure.eu.com/1-new-solutions-for-dune-resilience/>
- Ecosystemendiensten visualisatie tool <https://endure-tool.eu/#slide-1>

At Authie bay in France, 302 hectares of sand dunes form a natural sea defence protecting the town of Berck-sur-Mer (population 25k and situated below sea level). Much like other parts of the 2 Seas programme area, dune erosion is occurring via storm events and tidal currents. The last severe erosion was 2011. In prevention of future such events, sand bags have been installed to prevent flooding but there is no effort to address dune erosion or improve the long term sustainable resilience for future protection. If dunes are lost through erosion, efforts to halt flooding will have been in vain.

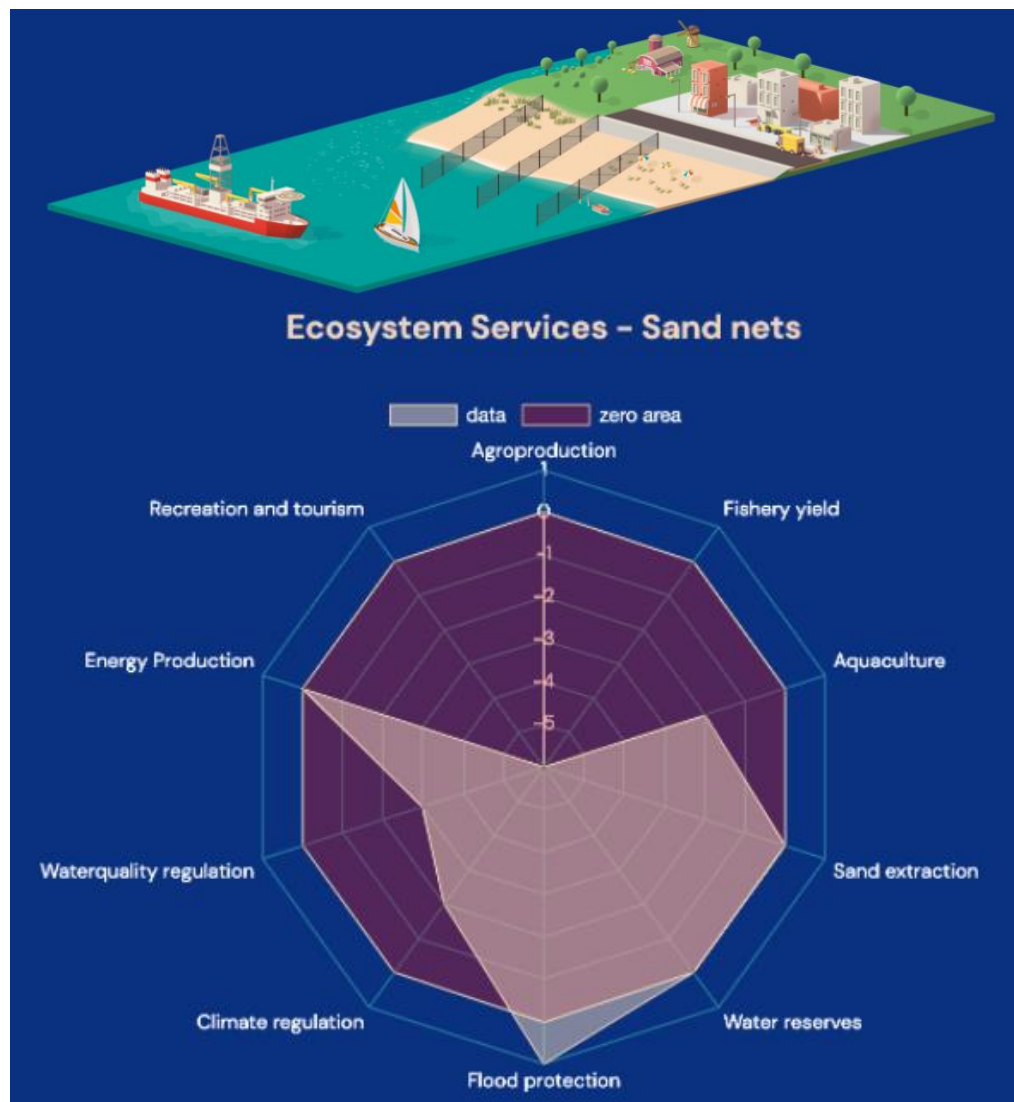
A new tool has been designed to reduce erosion by trapping sand inside layers of netting near the sea bed, creating sand deposits which will build up the beach and protect or nourish the dunes. This sand net has not been applied to dunes yet and this pilot study aims to use this innovative technology as a value-for-money and durable way of increasing natural dune resilience. The project will be able to measure the tangible effects of erosion and flooding reduction at the site in square metres.



French pilot site for installation of the sand net (left) and the previous small scale test (right)

De ecosysteemdiensten visualisatie tool:

Impacts: Sand netting stimulates sediment accretion at the upper beach, and therefore indirectly contributes to coastal dune development and resilience after erosion events. It therefore aids nature-based solutions by fueling the development of natural barriers, but also by decreasing wave impact on the coastline. Its major service is therefore flood protection. The measure provides some disservice to recreation and fisheries by restricting accessibility of the beach.



A.3.4 Mossel beds op het strand

In het Endure project loopt een experiment met mossel bedden die op het strand geïnstalleerd zijn. Tevens werd een tool ontwikkeld om de ecosysteemdiensten voordelen van deze maatregel te visualiseren.

- pilot projecten <https://www.endure.eu.com/1-new-solutions-for-dune-resilience/>
- Ecosysteemdiensten visualisatie tool <https://endure-tool.eu/#slide-1>

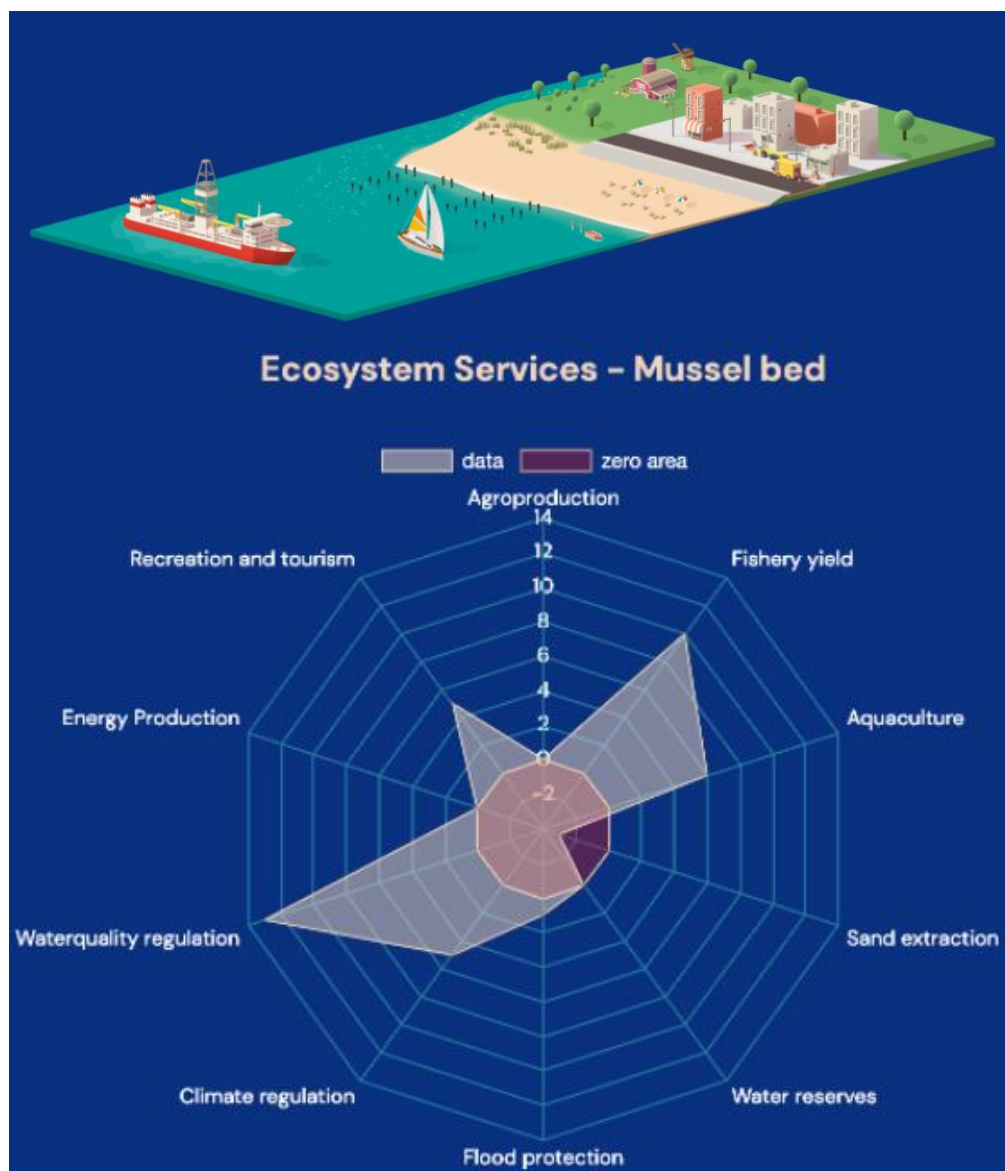
Wooden posts (bouchots) are driven into the shore in lines to farm mussels. They are widely used in France but not in other Member States. Casual observations suggest the posts trap sand aiding dune nourishment & reducing erosion. It may be possible to harness these posts for dual function: mussel farming & coastal dune resilience. However, these potential benefits have never been investigated or quantified.

Pre-existing posts at Sangatte & Authie will be studied to document tangible benefits to dunes (2150ha). We will track & measure sedimentation/reduced erosion caused by these posts (in m²). This is an exciting new ecosystem-based tool offering both environmental & economic sustainability. EU aquaculture is valued at €400 million. France is the 2nd largest mussel producer (80000 tonnes/yr). Joint working will embed & share knowledge across Member States, bringing multiple benefits to 2 Seas coastal communities & supporting EU blue growth.



De ecosysteemdiensten visualisatie tool:

Impacts: Implanting mussel beds allows sediment accretion at the upper beach, and therefore indirectly contributes to coastal dune development and resilience after erosion events. The mussel beds also decrease the wave impact on land and provide especially services in terms of aquaculture and fisheries, and water regulation. As with artificial reefs, this is a direct consequence of the keystone species and their facilitating nursery function for economically important species such as flatfish and shrimps.

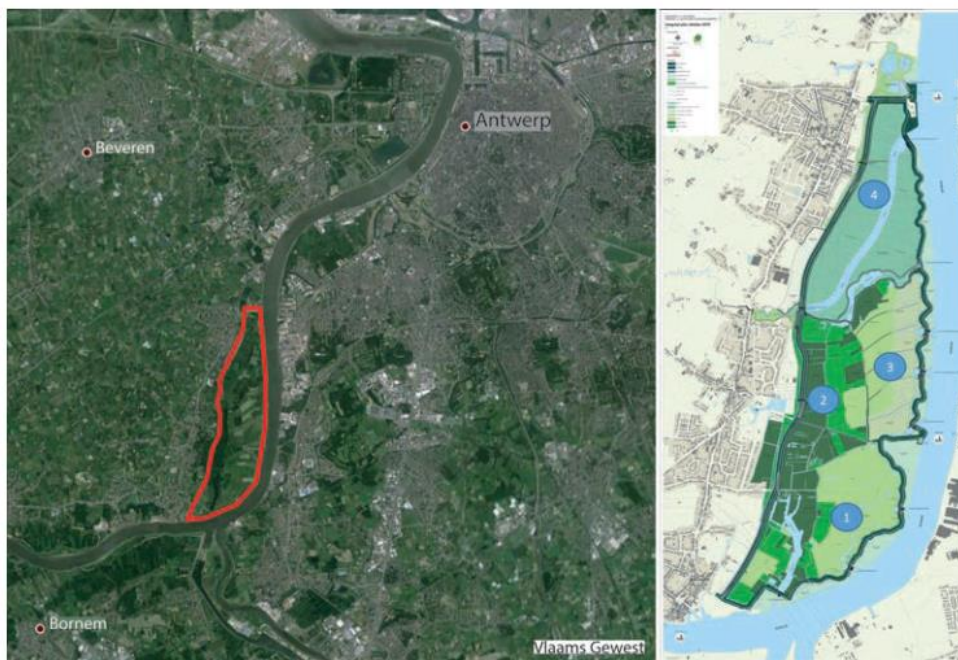


A.3.5 Kustmoerassen (slik en schor)

In een ecosystemedienstenstudie voor de International Association of Dredging Companies (IADC) werd het project Kruibeke polders als één van de case studies geëvalueerd¹⁰. De Kruibeke polders zijn een onderdeel van het grootschalige Vlaamse veiligheidsplan Sigmaplan dat zich uitstrekt langs het Schelde estuarium en de zijlopen in Vlaanderen.

FIGURE 32.

- A) Study area Polders of Kruibeke in the Sea Scheldt(Belgian part of the tidal Scheldt river).
 B) Integrated Plan for the Polders of Kruibeke Flood Control Area (FCA) with four different zones:
 zones:
 (1) Wet meadows, (2) Alder brook forest, (3) tidal wetland combined with wet meadows (FCA-CRT), (4) tidal wetland (FCA-CRT).



Discussion and conclusion: When comparing the investment and maintenance cost with the ES benefits between the different construction scenarios, all scenarios give a positive net results. Without counting for the additional ES benefits (only flood prevention benefit), most scenarios are only slightly beneficial due to the high investment cost. The ecosystem services assessment of the Polders of Kruibeke project shows that the project is much more beneficial for society than otherwise would have been concluded (when only looking to the flood safety benefit).

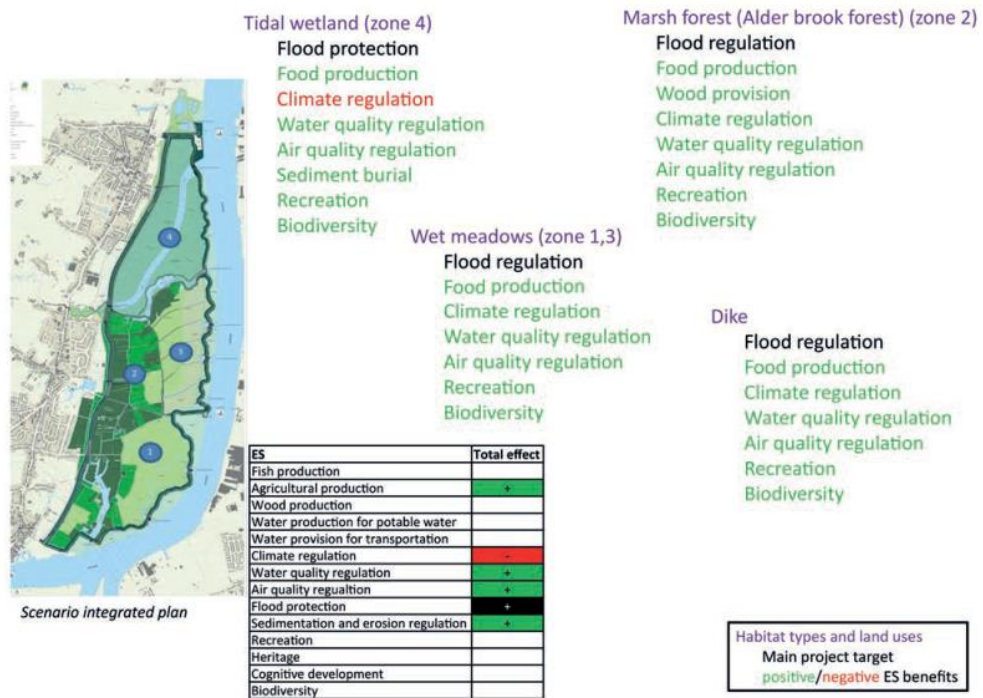
Furthermore the development of the project (different scenarios) does make a difference in which ES will be delivered. The scenario where the full project area is developed as a FCA-CRT to create a tidal wetland shows the highest added value.

The results of the economic benefits are on its own not sufficient to make final decisions on which development alternative to choose. It is important to put this result in the wider context and to check for which ES are actually needed in the area (which ES could also be delivered elsewhere and which ES are really depending on the project) and which habitats and species are needed in the area according to European legislation and local plans.

Furthermore, the ES assessment that we presented is not complete since not all ES are included (e.g. contribution to the silica cycling, turbidity reduction in the Scheldt river (linked to primary production), nursery function, ...).

FIGURE 45.

Summary of the ES effects of the Kruikebe project. Flood protection (indicated in black) is the main project benefit considered in the initial project evaluation. All additional ecosystem services effects are indicated in green (if positive) or red (if negative).



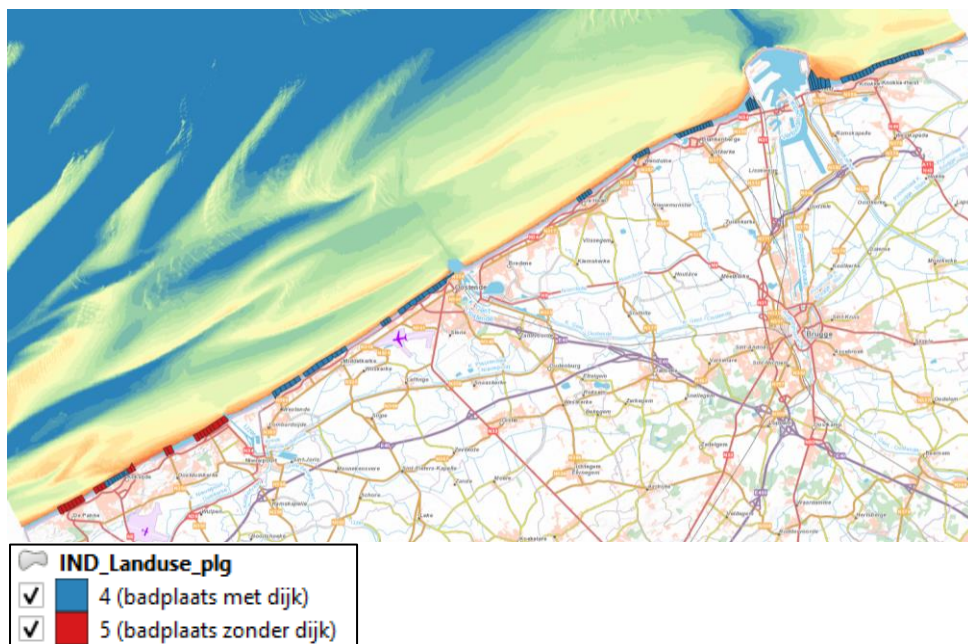
A.3.6 Stilling wave bassin

Zeedijk Wenduine

Sinds 15 juni 2015 heeft Wenduine (De Haan) een gloednieuwe zeedijk. Uit de studie die leidde tot het Masterplan Kustveiligheid bleek Wenduine een van de zwakste schakels in onze zeevering. Daarom was er naast de zandsuppletie van 2012 ook nood aan harde maatregelen om de beveiliging te vervolledigen. Het hoofddoel van de nieuwe zeedijk is Wenduine te beschermen tegen superstormen. Op het nieuwe en gestabiliseerde dijklichaam zijn twee stormmuren gebouwd. De zeewaartse stormmuur heeft de vorm van een parapet. De neus die boven het strand uitsteekt moet de stormgolven keren. Deze muur is met palen van zes meter lang verankerd in de bodem. De landwaartse muur kreeg de vorm van een zitbank, hier en daar met hout bekleed. De ruime openingen ter hoogte van de straten kunnen bij stormtij gesloten worden door elektrisch bediende schuifpoorten. De twee muren vormen samen een **stilling wave basin**, een kuip waar overslaande stormgolven hun energie verliezen en dus ook hun kracht om de bebouwing te bedreigen.

Bijlage B **Criteria voor zachte oplossingen voor kustveiligheid**

B.1 Badplaatsen



We maken een onderscheid tussen badplaatsen die sterk verstedelikt zijn (voorbeeld Heist) en badplaatsen die richting overgangszone gaan met natuurlijke elementen (voorbeeld Koksijde).

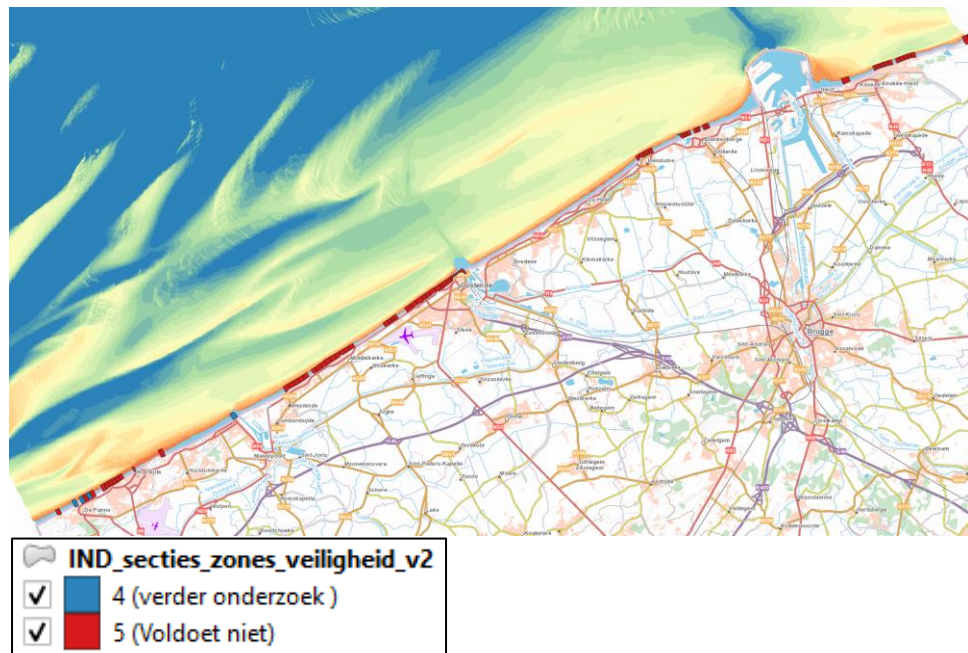


Heist

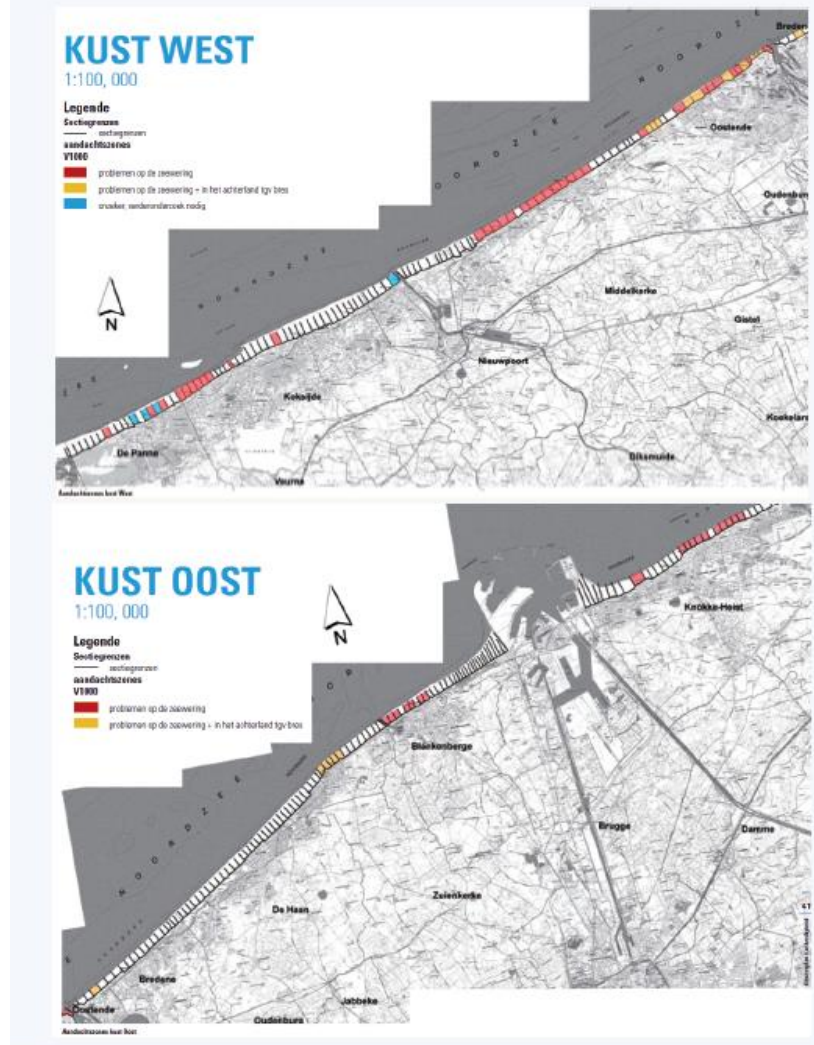


Koksijde

B.2 Aandachtszones kustveiligheid

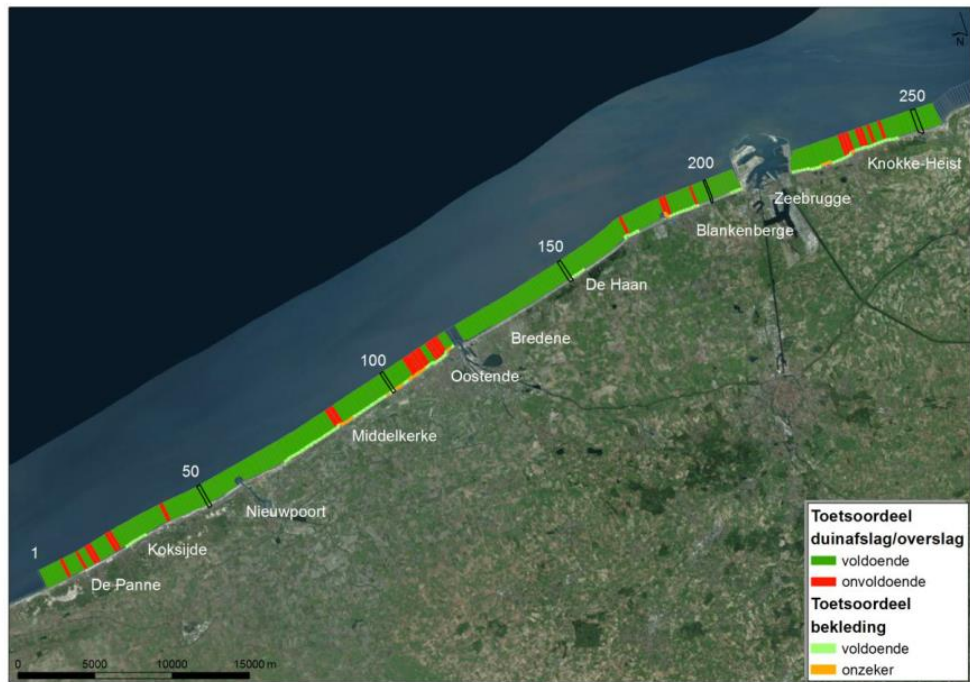


AANDACHTSZONES VOOR KUSTVEILIGHEID LANGS DE OOST- EN WESTKUST



. Aandachtszones voor kustveiligheid langs de oost- en westkust (*Masterplan Kustveiligheid* 200919).

Afbeelding 2.1 Resultaten veiligheidstoetsing 2015



B.3 Technische overwegingen per NbS

Zone	Specificaties systeem, processen	NbS locatie specificaties
Vooroever riffen	Zacht substraat aanwezig, eventueel schelpkokerworm aggregaat aanwezig Zandbank (ondiepe vooroever tegen de kustlijn), geen geul	<u>Vooroever suppletie</u> : Kan in principe overal langs de kust <u>Kunstmatige riffen</u> niet geschikt in de buurt van havens (tenzij afgeschermd). Functie om zand te vangen, daarom interessant op erosie plaatsen (bijv. Wenduine, Knokke). Beperkte bodemmobiliteit en afwezigheid van bodemberoering zijn belangrijk.
Vooroever strandhoofden	Strandhoofden	<u>Eco-design</u> : voor nieuw te bouwen strandhoofden. Langere termijn: vernieuwen/verhogen van bestaande strandhoofden
Strand	Sedimentatie Brede strook strand	<u>Brede (lage) strandsuppleties</u> kan in principe overal langs de kust waar strand aanwezig is. Niet ten westen van havens (tenzij afgeschermd). Geen opzichzelfstaande maatregel voor locaties met een te lage dijk (Mariakerke - Oostende en Wenduine). <u>Hoge strandsuppleties</u> kan overal waar strand aanwezig is. Niet ten westen van havens. Geen opzichzelfstaande maatregel voor locaties met een te lage dijk (Mariakerke - Oostende en Wenduine). <u>Zandmotor</u> kan in principe bij alle stranden . Combinatie van vooroever- en strandsuppletie. Grootschalig. Effecten gaan ruimer, indirect op naburige zones (op strand, duinvorming). Niet dicht bij havens (tenzij afgeschermd). Niet ideaal dicht bij badplaats (wel redelijk dichtbij).
Duin	Sedimentatie Brede strook strand+duin, duin	<u>Duinsuppleties</u> toepasbaar in duingebieden . Breed strand, vooroever is gewenst. Op plaatsen met zwakke duindoorgangen (bvb Oostduinkerke). In badplaatsen nuttig wanneer de bestaande zeewering (dijk of wandeldijk) versterkt moet worden. <u>Duingordel</u> duingebieden versterken, aanleggen. Biedt voldoende veiligheid indien voldoende groot/hoog. In badplaatsen nuttig wanneer de bestaande zeewering (dijk of wandeldijk) versterkt moet worden. Breed strand, vooroever gewenst.
Overige	Met dijk aanwezig	<u>Duin voor dijk</u> : Toepasbaar in meeste badplaatsen met of zonder dijk. Bij voorkeur voldoende breed strand (anders in combinatie met strandsuppletie om meer strand 'ruimte' te creëren). <u>Dijk in duin</u> toepasbaar in meeste badplaatsen met of zonder dijk. Bij voorkeur voldoende breed strand , anders in combinatie met strandsuppletie.

Sedimentatie en erosie data

Voor sedimentatie en erosie patronen hebben we trends bekeken zoals bepaald tijdens het CREST project en gecorrigeerd voor suppleties. Dit is dus de “natuurlijke” trend die getoond wordt (laatste resultaten, zoals verwerkt begin 2020).

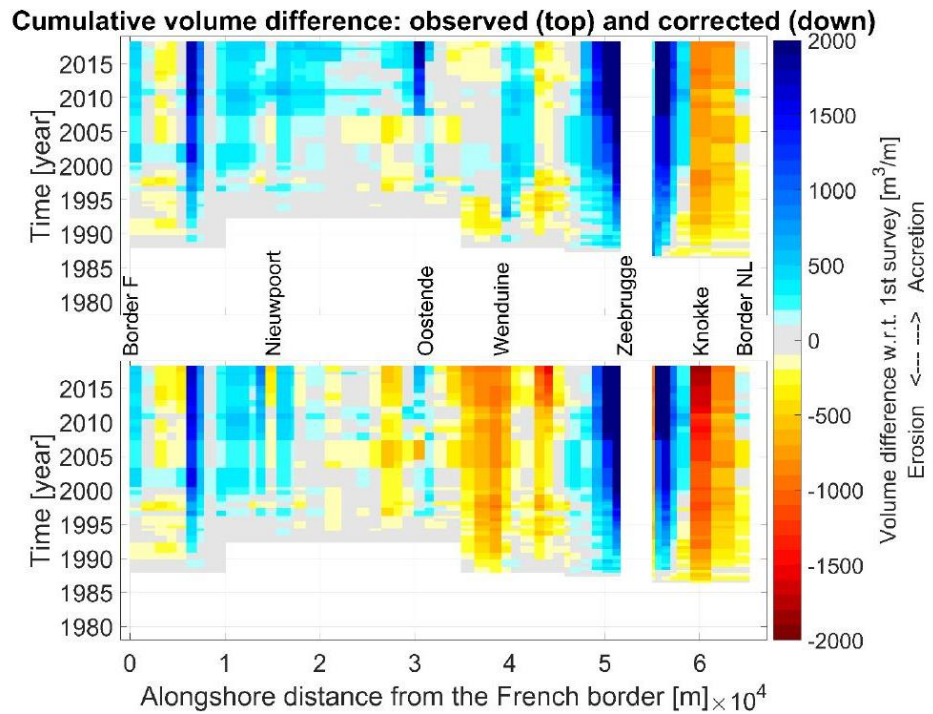
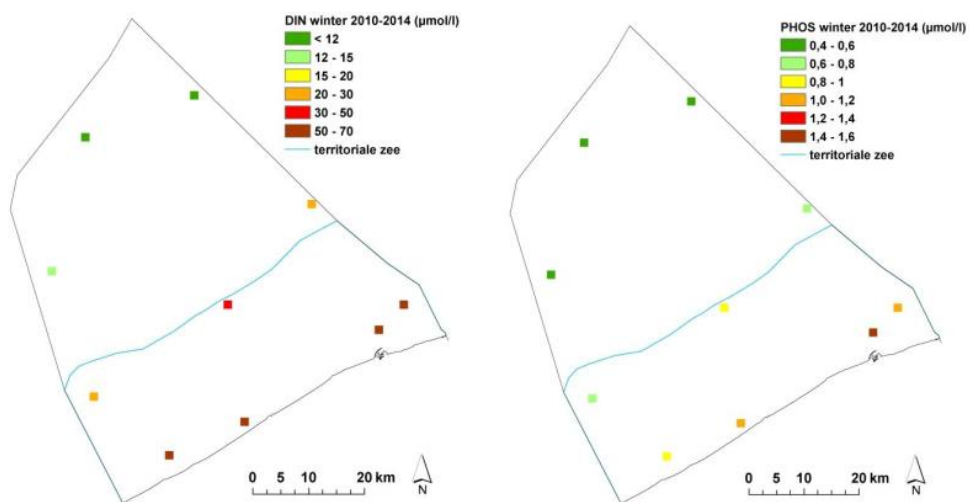


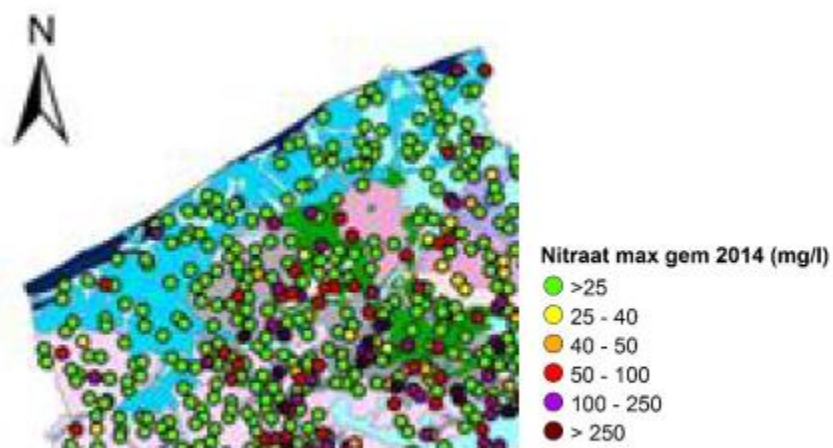
Figure 71 Time-stack of volume changes along the Belgian coast. Volumes with respect to the first survey. Upper panel: observed changes, lower panel: volume changes after correction for nourishments.

B.4 Socio-economische aspecten

Waterkwaliteit



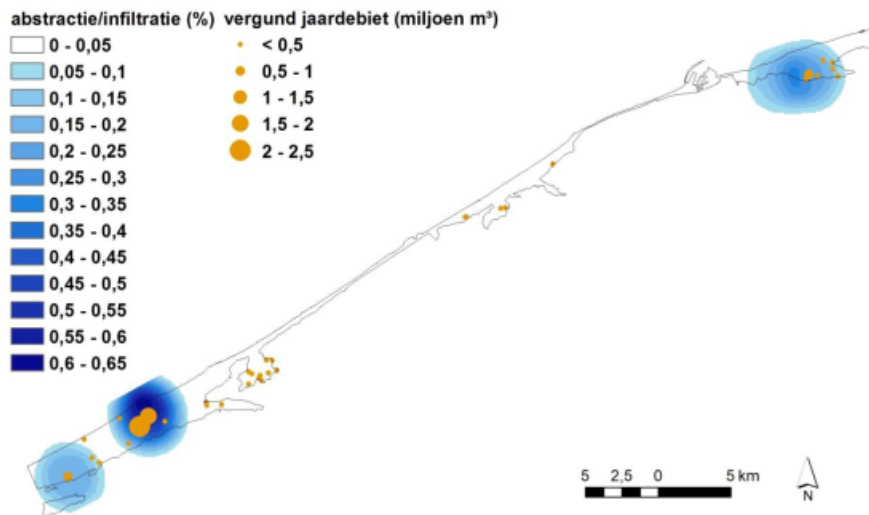
Figuur 55 - Gemiddelde winternutriëntenconcentraties ($\mu\text{mol/l}$) in het BNZ 2010 –2014 op basis van metingen IDOD database (MUMM 2016)



Figuur 56 – Normoverschrijdingen nitraat grondwater (VMM, 2014). Donkerblauwe achtergrond = duinen; lichtblauw = polders

3

Drinkwateronttrekking



Figuur 49 – Druk op freatische grondwater in % onttrekking van de infiltratie en vergunde jaardebieten (inclusief winning van kunstmatige infiltratie te St-André)

3

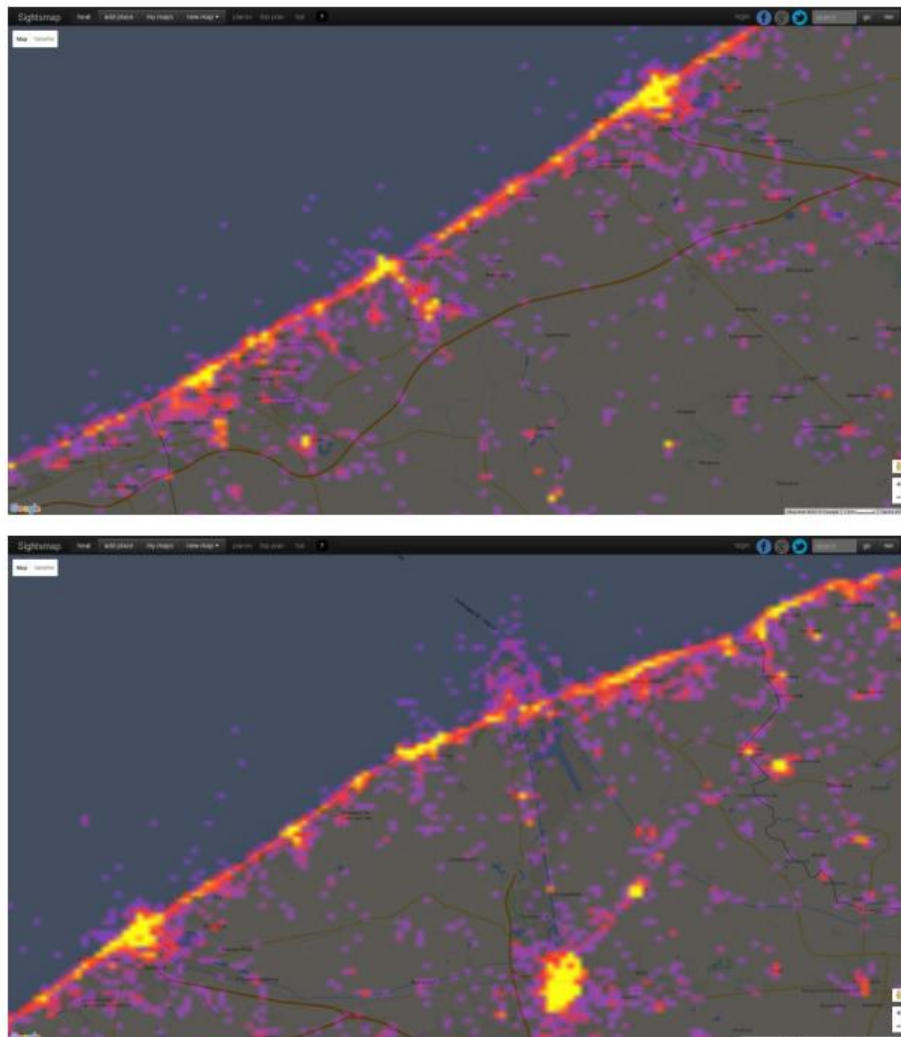
Natura2000 duingebied



Sightseeing hotspots

Er zijn recent een aantal websites verschenen die gebruik maken van ‘crowdsourcing’ om de populariteit van een bepaalde plek voor bepaalde activiteiten aan te tonen (vb.: Strava, Flickr, Sightsmap). Meestal wordt daarbij gewerkt met een kleurencode voor de intensiteit van gebruik voor een activiteit. De ‘heatmap’ van Sightsmap (www.sightsmap.com) geeft het aantal geuploade foto’s op een bepaalde plaats weer in een kleurencode gaande van paars (weinig populair) tot geel (zeer populair), en kan gebruikt worden als kwalitatieve indicator voor het aantal bezoekers. Op onderstaande kaarten is te zien dat de typische kuststeden- en gemeenten (Oostende, Nieuwpoort,

Blankenberge, Knokke-Heist, De Panne) grote aantallen bezoekers ontvangen. Jachthavens (Nieuwpoort, Blankenberge, Zeebrugge), attractieparken, campings etc. springen eveneens in het oog. Anderzijds komt duidelijk de aantrekkingswaarde van de natuurgebieden naar voren. De meest bezochte zijn het Zwin en de duingebieden in De Panne (West- en Oosthoek). Daarnaast trekken ook de Duinbossen tussen De Haan en Wenduine en de Uitkerkse polder veel bezoekers. Hoewel deze figuren geen exacte aantallen van bezoekers geven, wordt wel een beeld geschept van het belang van de verschillende gebieden voor recreatie.

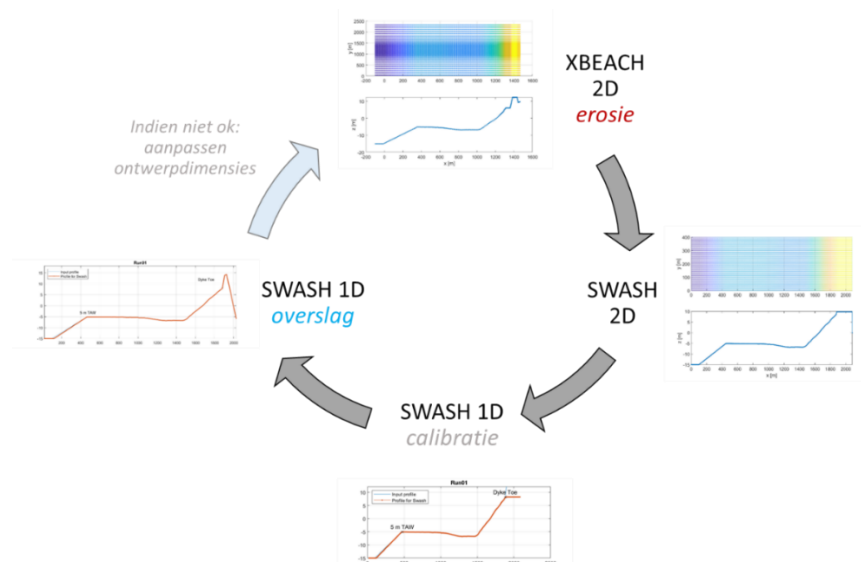


Figuur 58 – Sightseeing populariteit op basis van aantal geuploade foto's sinds 2012 (Sightsmap.com, 28/01/2016). Achtergrond = Googlemaps stratenkaart. Toenemende populariteit van paars naar geel. Boven: De Panne - Oostende, onder: Oostende - Zwin

Bijlage C Technische uitwerking dimensies maatregelen
zeewering (8 scenario's)

C.1 Model

De Coastal Safety Tool is ingezet om de nodige dimensies te bepalen van de voorgestelde maatregelen voor een veilige kust. Deze tool werd door IMDC in-house ontwikkeld en hanteert de voorgeschreven modellen (XBeach & Swash) i.k.v. de veiligheidstoetsing.



Figuur 8-3. Coastal safety tool, ontwikkeld in project Complex Project Kustvisie (IMDC, 2020)

Er is gekeken wat de benodigde grootteorde van dimensies is voor de maatregelen om bestand te zijn tegen een 1000-jarige storm bij +1,5 m zeespiegelstijging. De resultaten van deze oefening geven inzicht in vereiste ontwerpdimensies voor verschillende types maatregelen voor verschillende locaties langsheen de kust bij een matige² zeespiegelstijging van +1,5 m. De benodigde verhoging van de zeewering (dijken, duinen) kan groter zijn dan de 1,5 m toename in stormwaterstand door grotere waterdiepte aan de zeewering, waardoor grotere golven de zeewering bereiken, die leiden tot grotere golfoverslag of duinerosie. Anderzijds kan de benodigde verhoging van de zeewering beperkt worden door meerdere maatregelen te combineren (bijv. dijk en strandsuppletie).

Aannames:

-Hydraulische randvoorwaarden zijn gekozen op basis van het Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2020 (WL), golfcondities en waterstanden bij 1.5 m zeespiegelstijging.

-Veiligheidstest:

- Dijk: het overslagdebiet over de dijk tijdens de storm moet kleiner zijn dan 1 l/m/s.
- Duin: na de gesimuleerde storm (in XBeach), moet nog een minimum duinvolume boven het stormwaterpeil aanwezig zijn. Dit minimum duinvolume is afhankelijk van de golfcondities van de beschouwde storm. Op basis hiervan wordt een duinratio bepaald (resterend volume / minimum volume). Wanneer duinratio > 1 wordt de duin als veilig beschouwd.

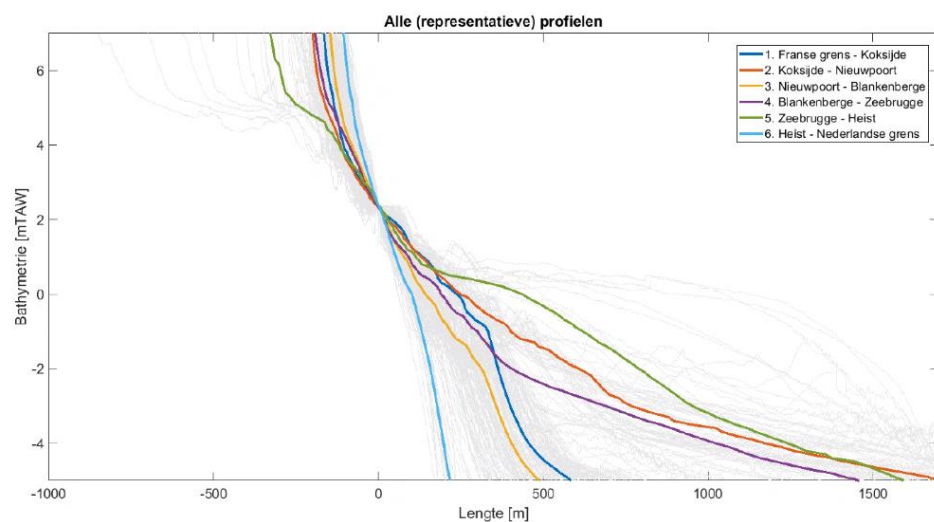
² Matige zeespiegelstijging tussen de huidige kustveiligheid voor +30 cm tegen 2050, en de hoge ambitie +3 m die voor de langere termijn wordt bekeken

Locaties:

Locatie 1 is een badplaats met reeds een dijk. Het hoge strand boven de +7 m TAW heeft een helling van 1:10 tot de +8 m TAW, en vervolgens een minder steil strand van 45 m breed tot de +9 m TAW, waar de dijkteen gesitueerd is.

Locatie 2 is ook een badplaats met reeds een dijk. Het hoge strand heeft een helling van 1:10 van de +7 m TAW tot de +8 m TAW, en vervolgens een helling van 1:50 tot de +9 m TAW, waar de harde lijn begint.

Voor beide locaties hebben we gebruik gemaakt van het “representatief profiel” dat reeds opgemaakt werd voor het Complex Project Kustvisie^{12,13}. Figuur 8-3 toont deze 6 representatieve profielen. Onze locatie 1 komt overeen met profiel 2 en locatie 2 met profiel 5. Deze gemiddelde profielen zijn gebruikt om de simulatie te kunnen uitvoeren en een concreet idee te krijgen van grootteorde dimensies (dijk, duin, strand), maar de scenario's zijn dus theoretisch en niet specifiek uitgewerkt voor een welbepaalde reële locatie.



Figuur 8-4. Representatieve profielen die uitgewerkt zijn in het Complex Project Kustvisie^{12,13}.

C.2 Definitie parameters

Enkele parameters die in het rapport worden gebruikt en in de tabellen terugkomen, worden hier nader toegelicht. De parameters zijn gevisualiseerd voor duinen en dijken in Figuur 8-5.

Daarbij worden de volgende afkortingen gebruikt:

- SWP: stormwaterpeil
- ZSS: zeespiegelstijging
- LW: laagwaterlijn
- HW: hoogwaterlijn

De huidige (originele) hoog- en laagwaterlijn zijn bepaald op basis van de huidige hoog- en laagwaterstanden in combinatie met het huidige strandprofiel. De nieuwe hoog- en laagwaterlijn zijn een combinatie van de nieuwe hoog- en laagwaterstanden bij +1,5 m zeespiegelstijging, en het nieuwe strandprofiel inclusief een maatregel (zoals een suppletie).

Kenmerken profiel:

- Breedte droog strand:
 - Huidig: breedte van het droog strand zonder de maatregel en zonder zeespiegelstijging, vanaf de huidige HW lijn tot de teen van de dijk/duin.
 - Nieuw: de nieuwe breedte van het droog strand inclusief maatregel en zeespiegelstijging, vanaf de nieuwe HW lijn tot de teen van de dijk/duin.
- Breedte nat strand:
 - Huidig: afstand van de huidige LW tot HW lijn van het huidige profiel zonder de maatregel en zeespiegelstijging.
 - Nieuw: afstand van de nieuwe LW tot HW lijn van het profiel inclusief maatregel en zeespiegelstijging.

Hydrodynamische condities:

- H_s : significante golfhoogte van de piek van de T1000 storm
- h: maximale stormwaterstand bij +1,5 m zeespiegelstijging

Suppletievolume: volume van toegepaste (strand)suppletie in het profiel.

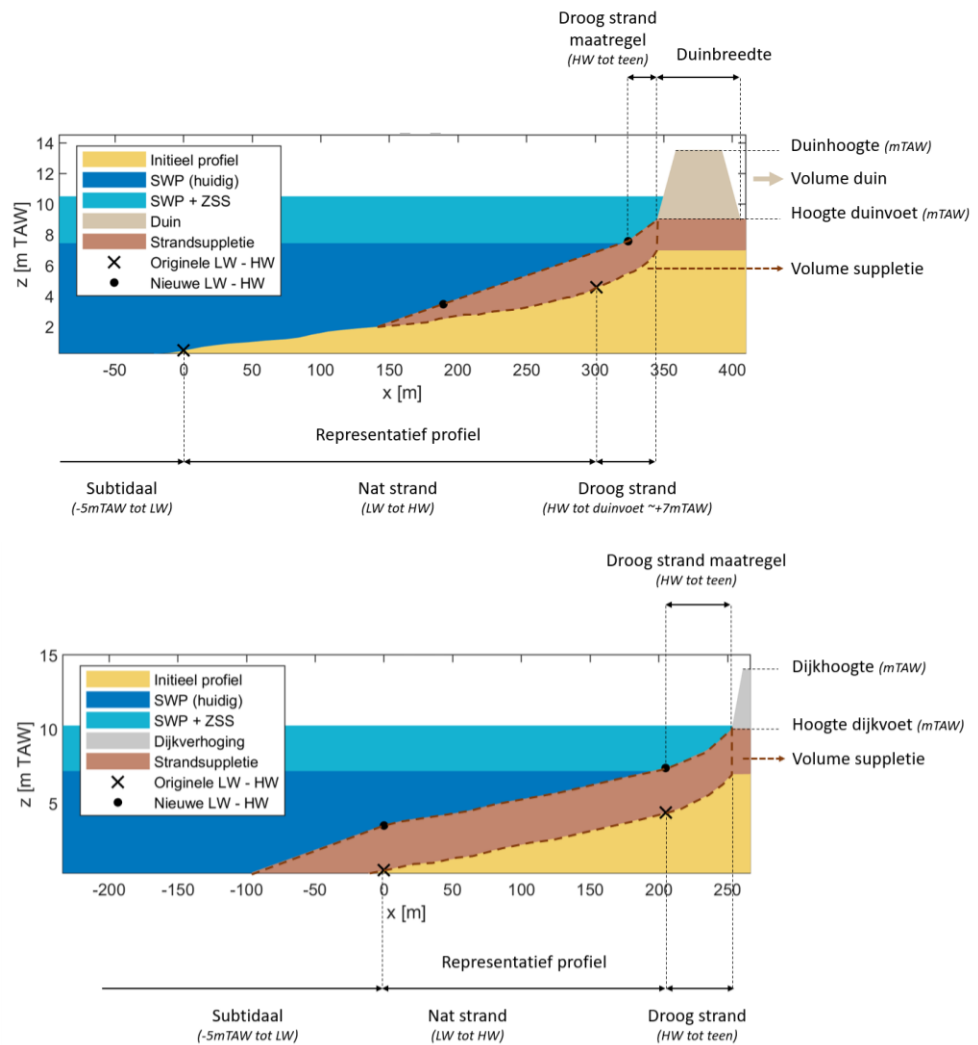
Maatregel met duin:

- Duinvolume: volume van de duin in m^3/m
- Duinhoogte: hoogte van de duin in m TAW
- Duinratio: ratio van resterend volume duin na storm t.o.v. minimum vereist volume duin (criterium > 1).

Maatregel met dijk:

- Dijkhoogte: hoogte van de dijk in m TAW
- Overslagdebiet: overslag over de dijk in $l/s/m$ (criterium $< 1 l/s/m$).

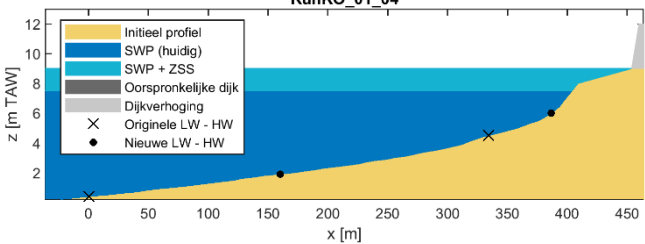
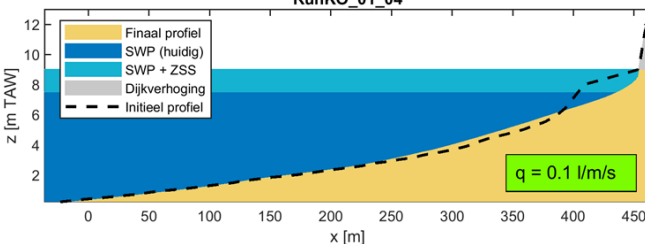
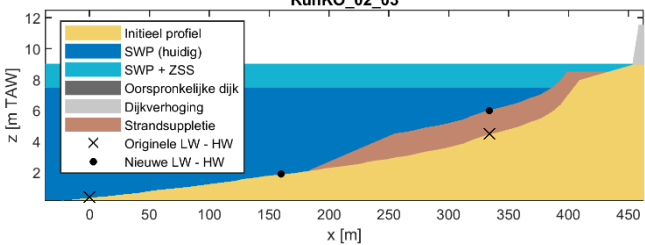
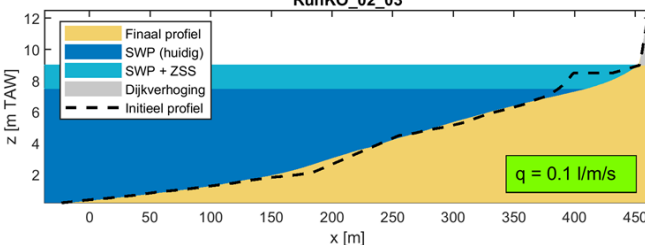
Een inschatting van het totaal benodigde suppletievolume van een duinmaatregel kan worden bekomen door het suppletievolume voor het strand te combineren met het duinvolume.

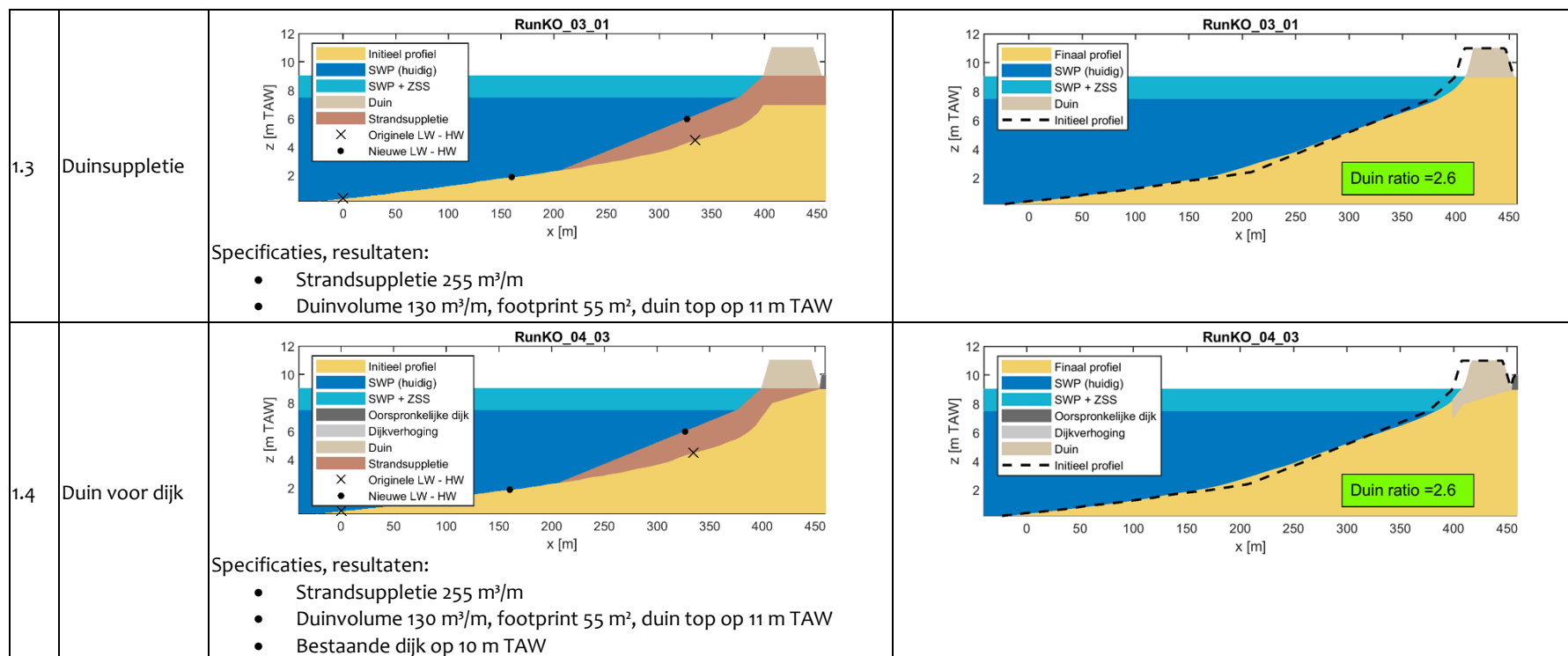


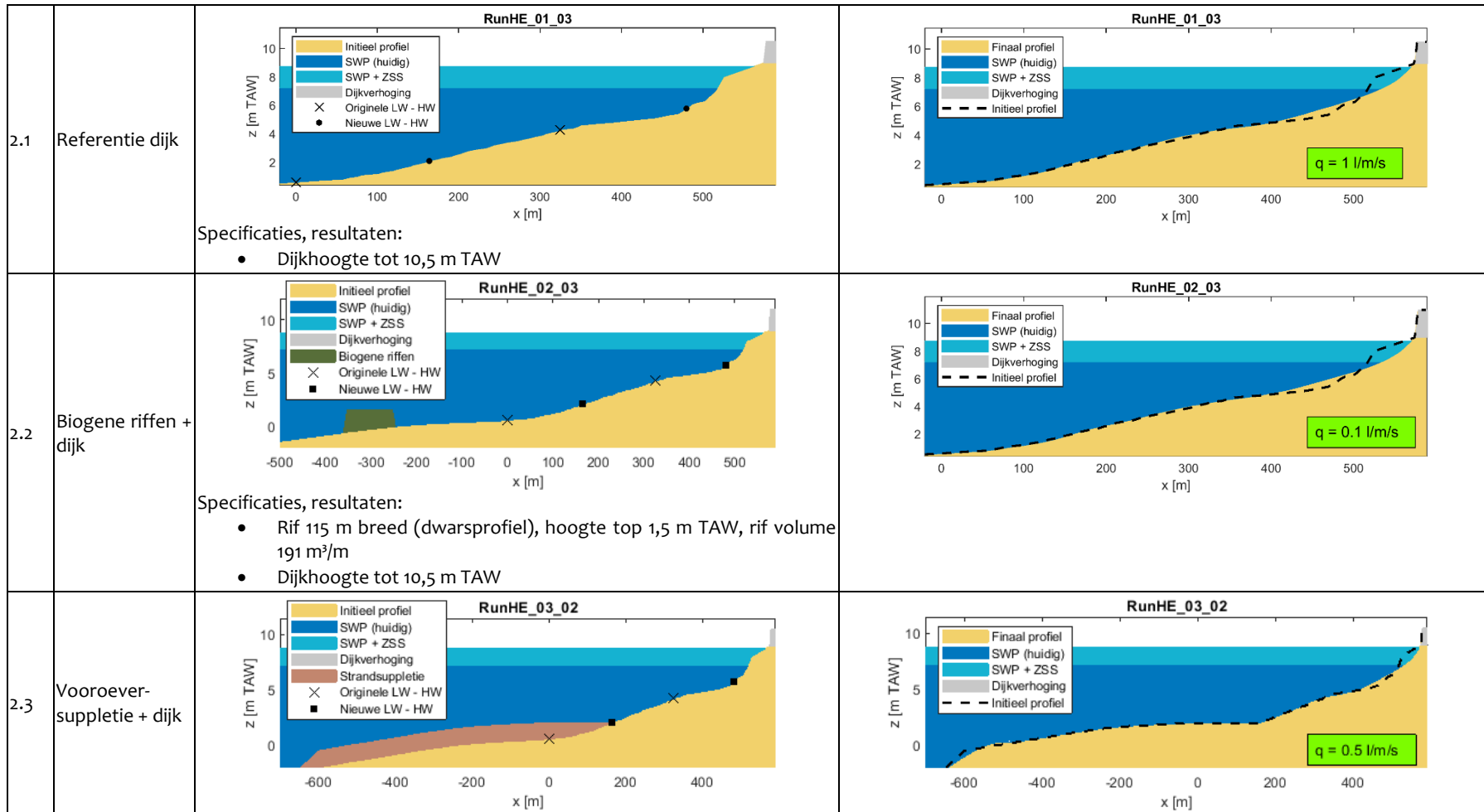
Figuur 8-5. Definitie parameters voor een duin (boven) en dijk (onder) oplossing met suppleties.

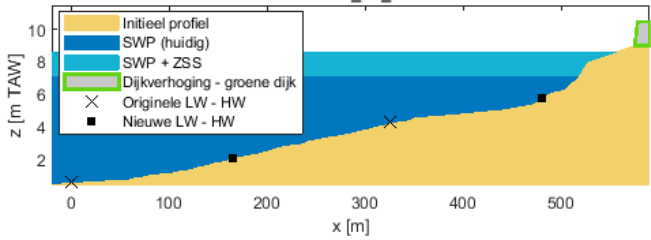
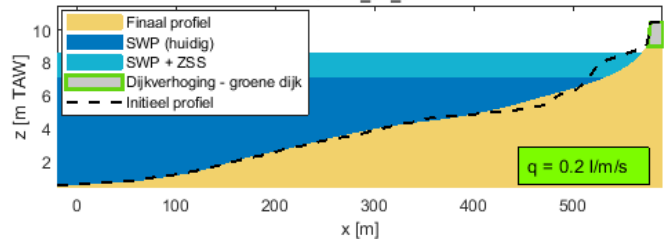
C.3 Scenario input en resultaten

Tabel 8-1. Simulatie input en output voor de 8 scenario's

Nr	Scenario	Onderzochte case	Resultaat
1.1	Referentie dijk	<p style="text-align: center;">RunKO_01_04</p>  <p>Specificaties, resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dijkhoogte tot 12 m TAW 	<p style="text-align: center;">RunKO_01_04</p>  <p style="text-align: right;">$q = 0.1 \text{ l/m/s}$</p>
1.2	Strandsuppletie + dijk	<p style="text-align: center;">RunKO_02_03</p>  <p>Specificaties, resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Strandsuppletie volume 290 m³/m • Dijkhoogte tot 11,5 m TAW 	<p style="text-align: center;">RunKO_02_03</p>  <p style="text-align: right;">$q = 0.1 \text{ l/m/s}$</p>





		<p>Specificaties, resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vooroeveroppletie volume 1082 m³/m, breedte 816 m (dwarsprofiel) • Dijkhoogte tot 10,5 m TAW 	
2.4	Groene dijk	<p>RunHE_04_02</p>  <p>Specificaties, resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Groene dijk: hoogte tot 10,5 m TAW • Dijk met vegetatie 	<p>RunHE_04_02</p> 

Tabel 8-2. Overzicht resultaten locatie 1

Case	Dijkhoogte [m TAW]	Duinhoogte [m TAW]	Suppletievolume [m ³ /m]	Duinvolume [m ³ /m]	Duinratio [-]	Overslag [l/m/s]	Nat strand		Droog strand	
							Huidig	Nieuw	Huidig	Nieuw
1. Referentie	12	-	-	-	-	0.15	334	227	120	67
2. Strandsuppletie	11.5	-	290	-	-	0.06	334	174	120	120
3. Duinsuppletie	-	11	255	130	2.6	4.9	334	166	120	72
4. Duin voor dijk	10	11	255	130	2.6	4.7	334	166	120	72

Tabel 8-3. Overzicht resultaten locatie 2

Case	Dijkhoogte [m TAW]	Suppletievolume [m ³ /m]	Volume rif [m ³ /m]	Overslag [l/m/s]	Nat strand		Droog strand	
					Huidig	Nieuw	Huidig	Nieuw
1. Referentie	10.5	-	-	0.96	325	315	250	95
2. Biogene riffen	10.5	-	191	1.02	325	315	250	95
3. Vooroeversuppletie	10.5	1082	-	0.53	325	315	250	95
4. Groene dijk	10.5	-	-	0.23	325	315	250	95

Bijlage D Ecosysteemdienstenanalyse

D.1 Biogene riffen (maatregel: rif aanleggen)

Voor het biogene rif scenario maken we geen specifieke keuze voor schelpkokerwormen, mosselen, oesters of nog iets anders. Al deze soorten zijn engineering species met substantiële effecten op het functioneren van het ecosysteem. Weliswaar zijn ze niet identiek en hebben ze verschillende effecten, maar voor de ecosysteemdiensten analyse gaan we uit van gemiddelde effecten voor dit soort riffen. Voor de vergelijking ten opzichte van de andere onderzochte maatregelen volstaat dit om de meerwaarden te identificeren (waardes zijn louter indicatief en geven een grootte orde idee).

We bespreken hier kort de beschikbare data om de ecosysteemdiensten te berekenen (gespecificeerd voor zandkokerwormen, mosselen en oesters indien data specifiek voorhanden is). De ecosysteemdiensten van deze riffen worden besproken in het rapport ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust (Van der Biest *et al.*, 2017). Recenter is er nog een belangrijk naslagwerk verschenen over de ecosysteemdiensten van mariene biogene riffen (tweekleppige schelpdieren) ⁴. De auteurs behandelen ecologische, economische en sociale aspecten van de tweekleppige schelpdieren (mosselen, oesters, kokkels). In Vlaanderen loopt sinds 2017 het proefproject Coastbusters ², en sinds 2021 Coastbusters 2.0, waarbij proefopstellingen voor de aanleg van biogene riffen uitgebreid worden bestudeerd inclusief een inschatting van de ecosysteemdiensten (zie Figuur 8-2).

ES kustveiligheid en kustonderhoud: De simulatie (paragraaf 3.1 scenario 2.2) toont aan dat het scenario met een biogeen rif in de vooroever niet resulteert in een directe veiligheid bij stormen. Het water en golven bij extreme stormen komt immers te hoog waardoor het aandeel van het rif op de bodem op het afremmen van de golven te verwaarlozen is. Hierbij kan opgemerkt worden dat met een grotere omvang van het rif, een locatie dicht bij de laag water lijn en eventueel aangelegd op een hogere structuur, er misschien wel een iets groter waarneembaar effect zou kunnen gevonden worden. Uit literatuur over biogene riffen kunnen we echter afleiden dat de aanleg van biogene riffen inderdaad niet kan aanzien worden als een veiligheidsmaatregel tegen storm, maar dat ze anderzijds wel voor tal van indirecte effecten zorgen die in het geheel van kustveiligheid en kustonderhoud wel een relevante bijdrage kunnen leveren (golven worden afgeremd, voorkomen van erosie van het strand, sediment opslag in het rif) ⁴. Riffen houden zand vast in het kustsysteem en stimuleren zo ook de aanvoer van zand naar het strandsysteem en verminderen het risico van stranderosie.

ES visserijproductie: De aanleg van biogene riffen levert geen directe visserijopbrengst (geen oogst in de riffen), maar kan wel commerciële soorten in de omgeving versterken (score 1) ⁴. Biomassa op de zeebodem draagt in belangrijke mate bij tot de vispopulaties (voedsel, schuilplaats). Dit is echter afhankelijk van de soorten in het rif.

ES klimaatregulering: Specifiek voor schelpdieren is er weinig data beschikbaar over koolstof vastleggen. Er bestaat wel een vermoeden dat schelpdierriffen een koolstof opslag (C-sink) vormen ³. Dit is echter niet bevestigd door recente studies. In een vervolg studie van de Ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust ³ werden recentere studies over tweekleppigen bekeken ². Het gemiddelde van de geconsulteerde studies bedraagt ongeveer -385 kgC/ha/j (range -2410 tot +1030 kgC/ha/j) ^{1,2}. Gemiddeld genomen wordt er dus een negatieve waarde gevonden; wat betekent dat er netto meer koolstof vrijkomt uit het rif (carbon source). Hierbij werden echter zeer uiteenlopende waarden gevonden in diverse studies die soms positief (opslag) en soms negatief (vrijstelling) zijn afhankelijk van het rif dat werd onderzocht (verschillende locaties, verschillende soorten mosselen, oesters, kokkels). Dit heeft ook te maken met de verschillende processen in het rif waarbij soms koolstof wordt opgenomen en vastgelegd maar soms ook koolstof wordt vrijgesteld (schelpvorming/ biocalcification, sedimentvang in het rif, afbraak van organisch materiaal in rif zoals resten van gestorven mosselen en (pseudo)feces. De

netto balans van de verschillende processen is locatie specifiek en het globaal effect is daardoor niet eenduidig. Ook zijn er nog kennishiaten over de diverse processen en de koolstof cyclering hierin.

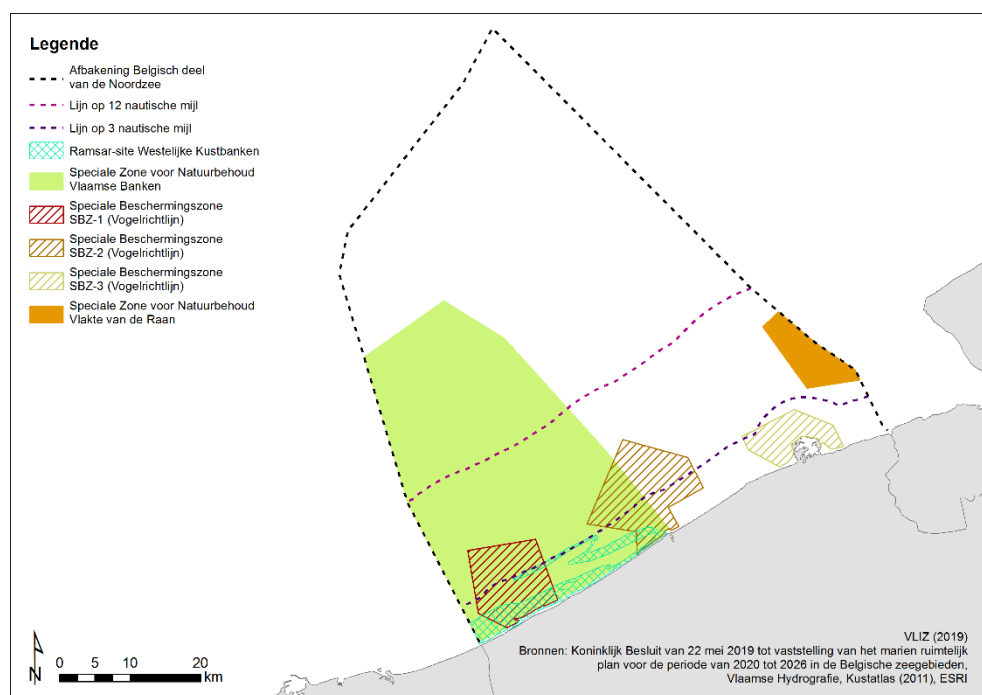
ES waterkwaliteit reguleren: Er is weinig data beschikbaar over de nutriënten cyclering in biogene riffen. Tweekleppigen worden aanzien als belangrijke filterfeeders. In een vervolgstudie van de Ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust³ werden recentere studies bekeken² en blijkt echter dat riffen (mosselen) voor een verrijking zorgen van het zeewater door een snellere vrijstelling van inorganisch N (gemiddelde van -38 kgN/ha/j, range -73 tot -2,5)^{14,15}. Dit is negatief aangezien de meeste oppervlakte wateren reeds een te grote nutriënten vracht kennen (mede als gevolg van het mest gebruik in landbouw dat afstroomt naar de oppervlakte wateren). Echter gaat het hier over natuurlijke circulatie van stikstof in het systeem en niet over de vrijstelling van nieuwe stikstof. Het effect van de tweekleppigen op stikstof retentie wordt daarom op nul gehouden en niet als negatief beschouwd. De eutrofiëringsproblematiek wordt immers veroorzaakt door antropogene toevoer van stikstof (bijv. landbouwmeststoffen) en niet omdat tweekleppigen dat snel recycleren.

Voor de functie denitrificatie is wel meer data beschikbaar voor schelpkokerwormen, oester- en mosselriffen. Voor denitrificatie in schelpkokerworm riffen geeft de literatuur een range van 37 tot 260 kgN/ha/j afhankelijk van de densiteit van het aantal wormen (respectievelijk 300 en 5000 individuen/m²)¹⁶. De studie van Braeckman et al.¹⁷ toont aan dat denitrificatie in sediment met schelpkokerwormen afhankelijk is van aantal individuen per m² (densiteit), waarbij de denitrificatie een logaritmische functie is van de densiteit (afname van denitrificatie met concentraties hoger dan ~550 ind/m²). Aangezien we niet in detail gaan over de densiteit van wormen in het aangelegd rif, rekenen we met het gemiddelde van 150 kgN/ha/j (gemiddelde van de range 37-260 kgN/ha/j). Voor oester- en mosselriffen is de beschikbare informatie over denitrificatie sterk uiteenlopend, gaande van 57 kg N/ha/jaar¹⁸, 114 kg N/ha/jaar¹⁹ tot 610 kg N/ha/jaar²⁰. Recent onderzoek heeft aangetoond dat denitrificatie in riffen hoofdzakelijk verhoogt indien de riffen niet voor aquacultuurproductie bestemd zijn²¹. We hanteren het gemiddelde 330 kgN/ha/j van de verschillende studies³. Dit betekent dat tweekleppige riffen via denitrificatie wel netto stikstof uit het watersysteem verwijderen wat gunstig is voor de waterkwaliteit.

ES culturele diensten: Biogene riffen in de vooroever hebben geen duidelijk voordeel voor **recreatie** (score 0). Eventueel kan snorkelen en duiken een positieve mogelijkheid geven. Anderzijds bestaat de zorg dat de aanwezigheid van riffen nadelig kan zijn voor watersport (indien het als exclusieve zone wordt ingericht). Indirect kunnen riffen golven afremmen wat positief is voor zwemmers (veiliger), maar wat golf surfers als negatief zullen ervaren. Schelkokerwormen komen van nature voor langs de Vlaamse kust waardoor ze als **natuurlijk erfgoed** kunnen beschouwd worden (score 0,5) en het versterken hiervan ook positief is. Biogene riffen liggen volledig onder water (onder de laagwaterlijn) en zijn dus niet zichtbaar. Ze dragen daarom niet bij aan **landschapsbeleving** (score 0). Biogene riffen bieden geen economische potenties (score 0), tenzij de optie verkend wordt op snorkel en duiktrips te organiseren. Biogene riffen zijn voorwerp van heel wat recent onderzoek en deze maatregel zal op die manier een bijdrage leveren aan **ontwikkeling en overdracht van kennis en onderzoek** (score 1).

ES ondersteunende diensten (leefgemeenschap voor soorten): Biogene riffen resulteren in een duidelijke aanrijking van soorten ten opzichte van kale of gemiddelde zeebodem. Dit is door literatuur reeds bevestigd. Er werd een score (0 – 0,5 – 1) toegekend voor de diverse soortengroepen op basis van expert judgement van het projectteam en met input van Gert Van Hoey (ILVO) tijdens de stuurgroep. Biogene riffen bieden de grootste voordelen (score 1) voor bodemleven (benthos), vissen en vogels. Voor vogels is dit weliswaar enkel een voordeel tijdens laagwater of voor duikende vogels en schelpetende vogels. Voor plankton en zeezoogdieren is het positieve effect van

biogene riffen beperkter (score 0,5). Voor terrestrische soorten is er geen effect (score 0). De aanleg van biogene riffen langs de Belgische kustlijn kan een meerwaarde geven voor de verschillende natuurgebieden langs onze kust (Figuur 8-6).



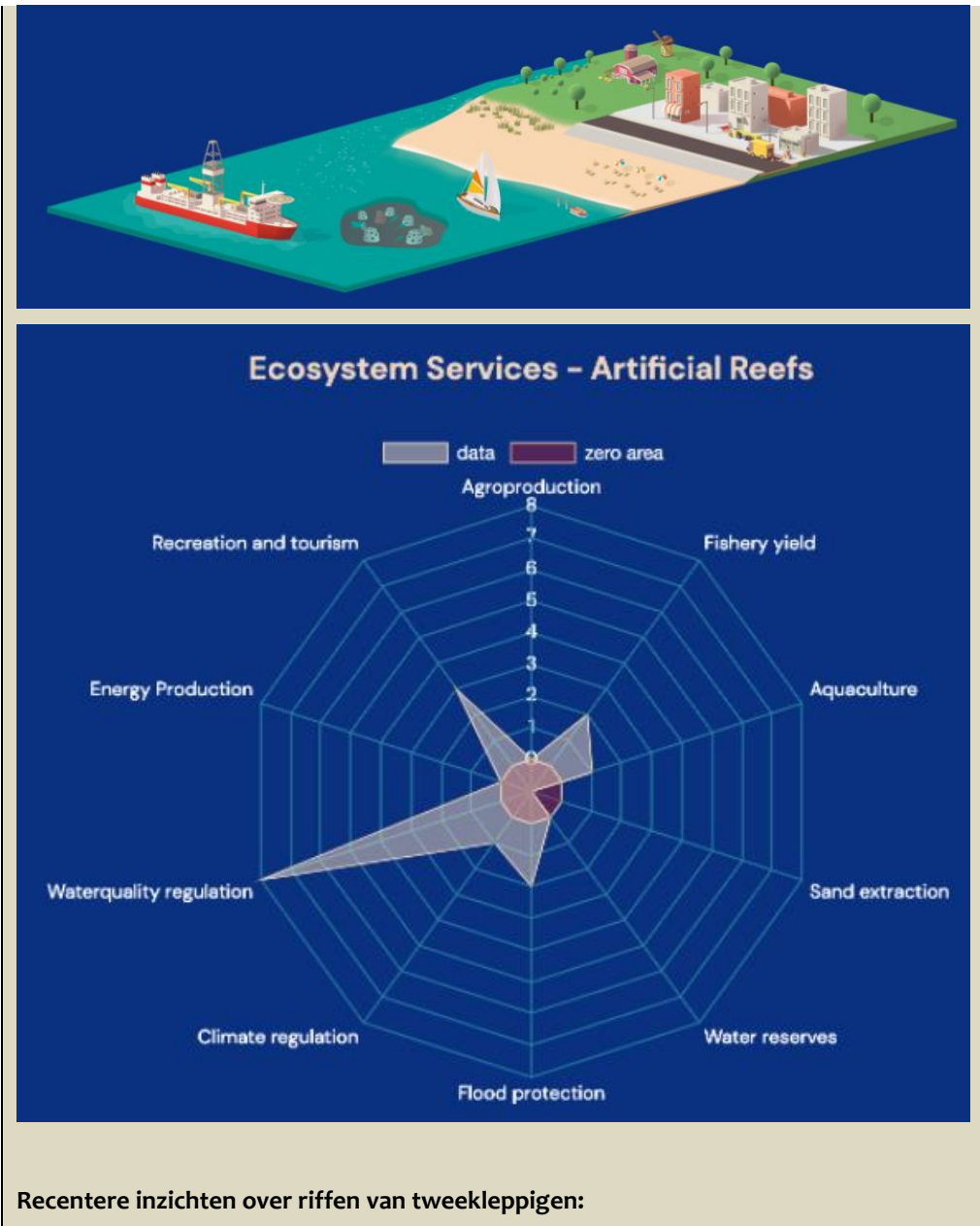
Figuur 8-6. Natuurgebieden in de Noordzee

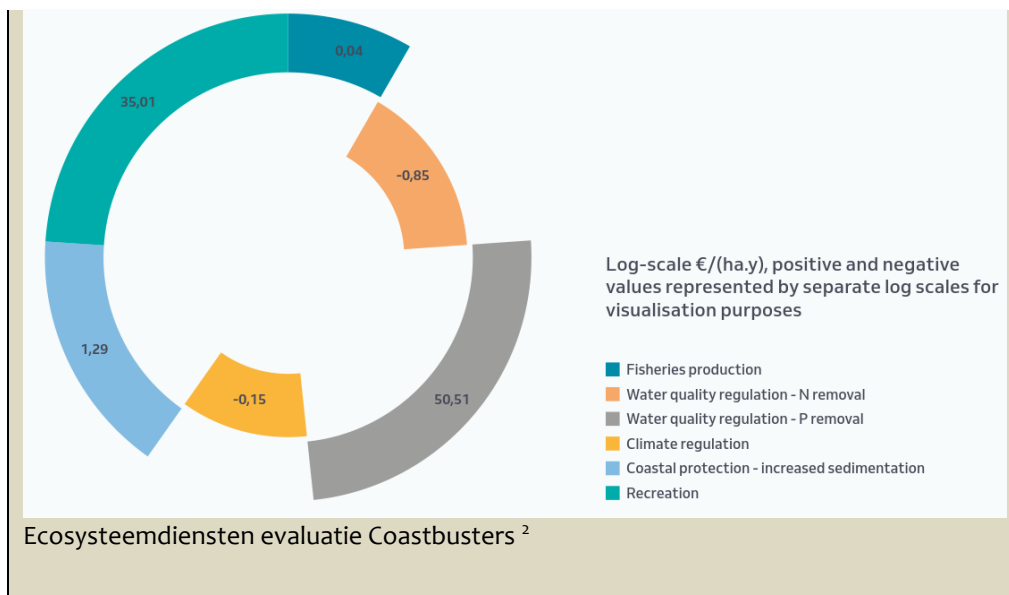
Visualisatie tool van het ENDURE project (gebaseerd op de semi-quantitatieve matrix tool van Ecosysteemvisie voor de Vlaamse Kust) <https://endure-tool.eu/#slide-1>

Scenario: artificiële riffen

Effecten: Riffen breken de golven en zullen naar verwachting het effect van golven tijdens stormvloed op de bestaande kustlijn verminderen. Naast een matig effect op de bescherming tegen overstromingen, verschaffen riffen vooral een kraamkamerfunctie voor commercieel belangrijke soorten. Op die manier kunnen ze de visbestanden van commerciële soorten versterken wat de visserijproductie ten goede komt. De functie van de natuurlijke filters die in de riffen leven om de waterkwaliteit te reguleren is groot.

!! Opmerking: De Endure tool baseert zich op de studie Ecosysteemvisie van de Vlaamse Kust van 2017 (Van der Biest et al., 2017). In een vervolg studie van Van der Biest werden recentere studies bekeken met nieuwe inzichten waardoor sommige conclusies uit de Ecosysteemvisie studie niet meer kloppen. Recent werd vastgesteld dat riffen van tweekleppigen eerder koolstof vrijstellen (carbon source) en ook zorgen voor een verrijking van het zeewater met stikstof. Onderstaande resultaten zijn op dat vlak dus achterhaald. In het eindrapport van Coastbusters zijn de recentere inzichten wel opgenomen ².





D.2 Vooroever (maatregel: vooroeverstapeling)

We bespreken hier kort de beschikbare data om de ecosysteemdiensten te berekenen van de vooroever. Er is nauwelijks onderzoek gedaan naar het verschil tussen de natuurlijke zeebodem/vooroeversstrand en stand- of vooroeverstapelingen behalve specifiek voor bodemleven (benthos). Het uitgangspunt is dat een stapeling de kwaliteit van het systeem verbetert. Het bodemleven geraakt echter wel bedreigd door een stapeling, maar onderzoek wijst op relatieve snelle herstelperiode van 1 à 2 jaar²². Indien een stapeling slechts sporadisch, bijvoorbeeld ten vroegste elke 5 jaar herhaald wordt, is er dus wel enige tijd voor herstel van het bodemleven. Behalve de frequentie speelt ook de zandsamenstelling (korrelgrootte) een rol. Grover zand zorgt voor meer stabiliteit (minder erosie), maar is minder gunstig voor bodemleven. Dit heeft wellicht ook een effect op nutriënten cyclering. Echter, de dynamiek in dit systeem is zo groot dat het verschil in korrelgrootte verdeling tussen een natuurlijke vooroever en een vooroever na stapeling relatief onbelangrijk is.

ES kustveiligheid en kustonderhoud: Stapelingen zorgen voor een extra zandvoorraad in het systeem wat zorgt voor een natuurlijke afremming van golven richting de zeeoever. Zandvolume aanbrengen in de vooroever (vooroeversstapelingen) zorgt voor een beperkt direct effect op kustveiligheid bij extreme stormen (zie paragraaf 3.1), maar zorgen wel voor meer natuurlijke en graduele aanvoer van zand naar de kustlijn wat het lange termijn onderhoud van stranden en zeeoever ten goede komt. De indirecte effecten zijn niet meegenomen in de technische uitwerking van dimensies (paragraaf 3.1). Het effect op kustveiligheid is dus groter dan wat hier gesimuleerd werd (zie effect strandstapeling scenario).

ES visserijproductie: Er is geen concrete informatie beschikbaar over het effect van de vooroever en vooroeversstapelingen op visserijproductie. Stapelingen verstoren het bodemleven (tijdelijk), maar stapelingen zorgen ook voor stabiliteit van de vooroever en laagstrand. Bodemleven (benthos) draagt in belangrijke mate bij tot vispopulaties. De invloed van vooroeversstapelingen op bodemleven en vissen wordt beide als matig positief ingeschat (score 0,5; zie ES ondersteunende diensten).

ES klimaatregulering: Uit verschillende studies blijkt dat de sedimentering van koolstof in zandbanken en vooroevers zonder vegetatie varieert tussen 1,2 en 1,9 kgC/ha/j^{9,23,24}.

ES waterkwaliteit reguleren: Er is geen specifieke data voorhanden van stikstof en fosfor vastlegging in de vooroever. Daarom wordt het gemiddelde voor de Noordzeebodem hier gehanteerd: 0,7 à 0,8 kg N/ha/j en 0,03 à 0,07 kg P/ha/j²³. De gemiddelde jaarlijkse denitrificatie in mariene sedimenten in het zuidelijke deel van de Noordzee bedraagt 21,9 kgN/ha/j²³.

Culturele diensten: Vooroeversstapelingen bieden geen directe culturele voordelen (score 0).

ES ondersteunende diensten (leefgemeenschap voor soorten): Vooroeversstapelingen zijn matig positief doordat het voedsel biedt voor benthos, vissen en bepaalde soorten vogels (score 0,5).

D.3 Strand (maatregel: strandsuppletie)

We bespreken hier kort de beschikbare data om de ecosysteemdiensten te berekenen van het strand (met onderscheid tussen laag natstrand en hoog droogstrand). Net zoals de vooroever-suppletie is het verschil tussen strand met en zonder suppletie ook niet uitvoerig bestudeerd behalve voor het herstel van bodemleven. Voor het strand geldt tevens dat er op het droogstrand langs de Vlaamse kust sowieso in de zomer erg veel verstoring is door recreatie en onderhoud waardoor het strand zonder suppletie ook niet erg 'natuurlijk' kan functioneren.

ES kustveiligheid en kustonderhoud: Suppleties zorgen voor een extra zandvoorraad in het systeem wat zorgt voor een natuurlijke afremming van golven richting de zeeoever. Zandvolume aanbrengen op het strand (strandsuppleties) zorgt voor een meetbaar direct effect op kustveiligheid bij extreme stormen waardoor een minder hoge dijkverhoging volstaat (zie paragraaf 3.1) en er minder onderhoudskosten zullen zijn (minder schade door verminderde golfenergie). Bij een extreme storm zal de suppletie (gedeeltelijk) afslaan en gedeeltelijk terug verdwijnen en moet de suppletie mogelijk herhaald worden. De indirecte effecten op bijvoorbeeld lange termijn onderhoud (herhaling van de suppletie, onderhoudsuppleties) zijn niet meegenomen in de technische uitwerking van dimensies (paragraaf 3.1).

ES visserijproductie: Er is geen concrete informatie beschikbaar over het effect van strandsuppleties op visserijproductie. Suppleties verstoren het bodemleven (tijdelijk), maar suppleties zorgen ook voor stabiliteit van het strand. Bodemleven (benthos) draagt in belangrijke mate bij tot vispopulaties en sommige vogelsoorten. De invloed van strandsuppleties op bodemleven en vissen wordt als matig positief ingeschat voor het lage natte strand, maar geen effect van het hoge droge strand (scores 0,5; zie ES ondersteunende diensten). Dus het zijn eerder lage strandsuppleties en vooroever-suppleties die een mogelijk gunstig effect hebben op biodiversiteit en visserijproductie, maar niet de hoge strandsuppleties.

ES klimaatregulering: Zandige stranden rijk aan schelp fragmenten hebben een eigen biogeochemie. Dit is gedetailleerd bestudeerd in twee studies van stranden in Frankrijk en English channel ⁹. Rauch en Denis ²⁵ toont een vrijstelling van 226 kgC/(ha.y) van het zandige strand naar de zee berekend op basis van metingen in het oosten van het Engels Kanaal. Charbonnier et al. ²⁶ vond een waarde van 1041 kg C/(ha.y) langs de kust van Aquitaine. De sterke oxygenatie van het poreuze sediment (veel openingen in het zand waar veel zuurstof kan komen) in een zeer dynamische omgeving zorgt voor een snelle mineralisatie van C en dus voor het vrijkomen van C naar de zee. Er is dus geen sprake van netto koolstofopslag in stranden (effect 0).

ES waterkwaliteit reguleren: Stikstof (N) mineralisatie in het droog strand kan stikstof vrijstellen ⁹. De studie van Rauch en Denis ²⁵, over de zandige kust van Noord Frankrijk, vond dat N mineralisatie in het strand zorgde voor een vrijstelling van gemiddeld 24 kg N/ha/j naar het oostelijke Engels Kanaal. Voor fosfor bedraagt de vrijstelling 2,77 kgP/ha/j; dit is afgeleid uit de consistente Redfield nutrient ratio van mariene fytoplankton (ratio C:N:P = 106:16:1) en de waarde van N mineralisatie van het strand (44.24 kg N/ha/j) ⁹. Stikstof en fosfor vrijstelling is negatief omdat er te hoge stikstof- en fosforwaardes zijn in veel watersystemen (door afstroom van meststoffen gebruikt voor landbouw). Aangezien dit locatie specifiek is, gaan we uit van geen netto stikstof vastlegging (effect 0).

Hoog-energetische stranden zoals die langs de Belgische kust, hebben over het algemeen een lage graad van denitrificatie als gevolg van het hoge zuurstofgehalte en de continue verstoring van het sediment ³. Voor het lage natstrand gaan we uit van dezelfde denitrificatie van de vooroever; hiervoor gebruiken we de jaarlijkse

denitrificatie van 21,9 kg N/ha/jaar in mariene sedimenten in het zuidelijke deel van de Noordzee ²³.

Culturele diensten: Specifiek het droogstrand wordt als erg belangrijke zone beschouwd voor strandrecreatie (score 1). Stranden dragen bij aan de landschapsbeleving aan zee en bieden economische potenties (uitbating in functie van strandrecreatie).

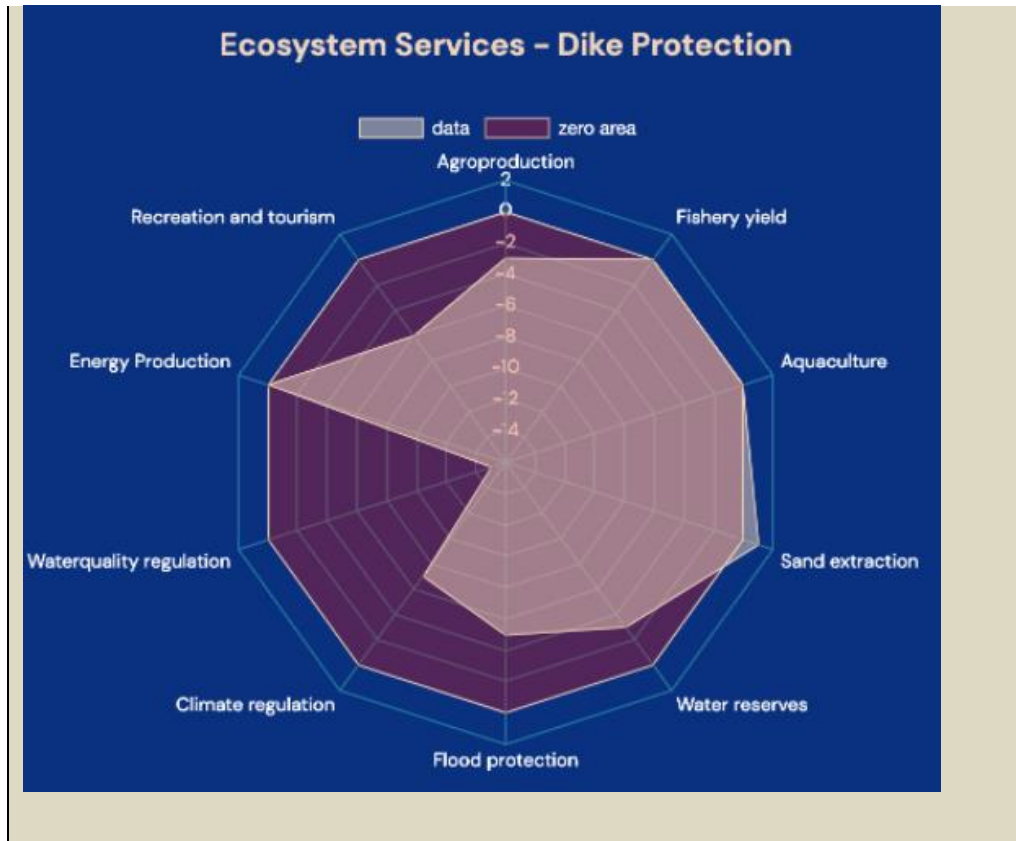
ES ondersteunende diensten (leefgemeenschap voor soorten): Strandsuppleties zijn matig positief doordat het voedsel en nestmogelijkheden (droog strand) biedt. Een nat strand opspuiten heeft beperkte ecologische voordelen voor bodemleven, vissen, bepaalde vogels en zeehonden (scores 0,5). Het droogstrand opspuiten heeft enkel voor bepaalde vogels en terrestrische soorten een beperkt voordeel (scores 0,5).

Visualisatie tool van het ENDURE project (gebaseerd op de semi-quantitatieve matrix tool van Ecosysteemvisie voor de Vlaamse Kust) <https://endure-tool.eu/#slide-1>

Scenario: dijk en strandsuppletie

- By continuing hard protection measures that constitute building dikes in front of the coastal cities and existing dune areas, and raising beaches by sand nourishment, no ecosystem services benefit.
- In fact, continuous disturbance of the intertidal for nourishments and the removal of existing foredunes decrease connections between beach and dune for sand transport, and results in a substantial decrease of climate regulating services, since less organic material becomes trapped.
- Water quality regulation decreases on land and sea due to the reduced filtering capacity of marine organisms and a reduction of lime content in dune sands due to the lack of sand dynamics.
- A reduction of dune area, together with an increase in hard surfaces, decreases the possibility of precipitation infiltration and hence the capacity for drinking water provision.





D.4 Duinen (maatregel: duinsuppletie, duin voor dijk, hybride duin-dijk oplossingen)

Duinmaatregelen kunnen verschillende vormen aannemen en verschillende duintypes bevatten (embryonale duinen, helmduinen, grijze duinen, struweelduinen, zie paragraaf 2.1). Embryonale duinen kunnen aangelegd worden doormiddel van een kleine duinsuppletie of met helmgras aanplant op het hoog strand om duinvorming te stimuleren. Er kan ook een grotere duinsuppletie, eventueel met helmgras aanplant, toegepast worden om sneller helmduinen te realiseren. We gaan niet verder in op de verschillende methoden. In de scenario's komen duinsuppleties en duin voor dijk aan bod zonder verder in detail te gaan. Voor de ecosysteemdiensten analyse beschouwen we daarom de gemiddelde effecten van de verschillende duintypes. Het doel van de studie is immers de duinoplossingen te vergelijken met een harde oplossing, of andere zachte oplossingen. In een meer detail uitwerking is het wel aan te raden om te ecosysteemdiensten analyse verder te specificeren en rekening te houden met de verhouding van verschillende duintypes op basis van het inrichtingsplan. Voor voorbeelden, zie de publicatie over ecosysteemdiensten van duinen ⁵ en de toepassing voor de Prins Hendrik zanddijk in Texel ⁹.

Voor de hybride oplossingen (dijk in duin, groene grasdijk) zijn de functionaliteiten sterk afhankelijk van de manier waarop deze maatregelen worden uitgevoerd. Wordt de dijk eerst met asfalt aangelegd, of met klei, en dan een laag zand er over, zal dat een verschil maken voor sommige functies. In beide gevallen zal geen infiltratie kunnen plaatsvinden, maar met een dijk uit klei kan koolstofopslag eventueel wel (niet in geval van dijk uit asfalt). De groene grasdijk is vergelijkbaar met dijk in duin, eventueel met minder zand, maar wel begroeid met vegetatie (bijvoorbeeld helmgras, zoals in Middelkerke).

ES kustveiligheid en kustonderhoud: Duinoplossingen kunnen zodanig gedimensioneerd worden dat ze als volwaardige zeekering kunnen functioneren (zie hoofdstuk 3.1: scenario's 1.3, 1.4, 2.4). Hierbij valt op te merken dat de vereiste duinhoogte lager uitvalt dan de vereiste dijkhoogte voor het beschouwde scenario (T1000 storm en +1,5m zeespiegelstijging). Voor de groene dijk toont de simulatie een betere veiligheid bij extreme storm in vergelijking met de referentie harde dijk of stormmuur (lagere overslag bij een extreme storm). Dit effect is eerder beperkt en bleek onvoldoende om de dijk 0,5m lager te kunnen maken (in de simulatie is de dijkhoogte in stappen van 0,5 meter onderzocht).

Duinen leveren een grotere bijdrage aan de stabiliteit van de kustverdedigingslinie in vergelijking met stranden. Duinen verhogen de duurzaamheid van de suppleties omdat zand dat gekoloniseerd is door vegetatie minder snel zal eroderen. Duinen zijn meer bestand tegen zeespiegelstijging omdat ze mee kunnen groeien door de grote capaciteit van helm om zand in te vangen.

ES drinkwatervoorziening: Duinen dragen bij tot de natuurlijke aanvulling van grondwater en worden gekenmerkt door een zoetwaterlens onder de duinen. Daarom zijn duinen interessante locaties voor drinkwateronttrekking. Echter wordt in de praktijk grondwateronttrekkingen eerder teruggeschroefd omdat het de grondwaterhuishouding in de omliggende regio sterk negatief beïnvloed. Hybride duin/dijk oplossingen (dijk in duin of groene dijk) dragen niet bij aan grondwateraanvulling aangezien de natuurlijke infiltratie hier niet kan plaatsvinden.

ES luchtkwaliteitsregulering: Vegetatie kan een bijdrage leveren tot het afvangen van fijn stof partikels zoals PM₁₀. De bijdrage van bomen is het grootste. De bijdrage van gras is beperkt. Dit is enkel te beschouwen als meerwaarde van de natuur in geval van fijn stof problematiek (anders heeft het geen directe toegevoegde waarde).

ES klimaatregulering: Kennis over koolstofopslag in embryonale duinen is niet onmiddellijk voorhanden, aangezien dit een overgangstoestand is tussen droog strand (vrijstelling van koolstof uit het strand naar zee) en witte duinen (opslag van koolstof). We veronderstellen daarom geen netto bijdrage tot koolstofopslag (effect 0). Voor helmduinen is data over koolstof opslag beschikbaar van een studie in het Verenigd Koninkrijk. Deze studie vond een koolstofopslag tussen 320 en 844 kgC/ha/j in droge duingraslanden ²⁷. Voor hybride duinoplossingen nemen we aan dat er geen bijdrage is aan klimaatregulering (als gevolg van verstoring en kunstmatige ondergrond). In geval van een dijk uit klei die als duin is afgewerkt zou koolstofvastlegging eventueel wel mogelijk zijn, maar dat moet nog verder onderzocht worden.

De bijdrage van duinen aan klimaatregulering is eerder beperkt. De gemiddelde opslagcapaciteit van duinbodems ligt onder het gemiddelde van alle natuurtypes in Vlaanderen ⁵. Koolstofopslag door gras of struweel is beperkt in vergelijking met bijvoorbeeld bomen. De koolstofopslag in de bodem zelf is ook eerder beperkt gezien de lage capaciteit van zand om water vast te houden en zo koolstof vastlegging te bevorderen.

ES waterkwaliteitsregulering: Voor embryonale duinen nemen we aan dat er geen netto impact is op stikstof en fosfor opslag aangezien dit een toestand is tussen strand (eerder N vrijstelling) en duinen (N opslag). Voor denitrificatie is er ook geen specifieke informatie voorhanden. We nemen hiervoor de informatie zoals voor droog strand (effect 0).

Voor helmduinen bedraagt de opslag ongeveer 4,2-6,3 kgN/ha/j ⁹; dit is berekend op basis van N-leaching experimenten in duinen nabij Den Haag (70% leaching in calcium rijke duinen), en huidige atmosferische depositie. Deze studie onderzocht de Prins Hendrik zanddijk in Texel. Omdat andere informatie ontbreekt, hanteren we deze waarde als ruwe inschatting voor helmduinen. Voor fosfor opslag en denitrificatie is er geen data voorhanden. We hanteren daarom de waarde voor begroeide schorren als ruwe inschatting; P opslag 18 kg P/ha/j ³ en denitrificatie 107 kgN/ha/j ²⁸.

Voor hybride duinoplossingen nemen we aan dat er geen bijdrage is aan waterkwaliteitsregulering (als gevolg van verstoring en kunstmatige ondergrond).

Culturele diensten: Duinen leveren culturele diensten en zorgen voor diversiteit aan mogelijke **recreatievormen** aan zee (meer groene ruimte in plaats van enkel open strand). Voor **zeezicht** kunnen duinen als hinderlijk worden ervaren als ze nieuw worden aangelegd (score -0.5), maar op locaties waar reeds lange tijd duinen zijn wordt het niet als hinderlijk ervaren dat er op die plaatsen geen direct zeezicht is (men is dat daar gewoon). Voor nieuw aan te leggen duinen kan geopteerd worden om die over een langere tijd van nature te laten aangroeien zodat het geleidelijk is, of bij de inrichting van de duinen kunnen wandel en doorkijk mogelijkheden worden voorzien zodat er wel een connectie tussen de woonwijk/promenade en de zee. Duinen kunnen ook mee geïntegreerd worden in de economische activiteiten. Duinen aanleggen en de functionaliteiten van duinen maakt voorwerp uit van lopend onderzoek waardoor deze maatregelen ook verdere mogelijkheden voor **kennisontwikkeling** bieden (score 1).

ES ondersteunende diensten (leefgemeenschap voor soorten): Duinen dragen bij vogels/vleermuizen en terrestrische soorten voor voedsel en nestmogelijkheden (score 1). Hybride duinoplossingen zijn artificieel en leveren daardoor mogelijks niet hetzelfde voordeel als volwaardige duinen (score 0,5).

Visualisatie tool van het ENDURE project (gebaseerd op de semi-quantitatieve matrix tool van Ecosysteemvisie voor de Vlaamse Kust) <https://endure-tool.eu/#slide-1>

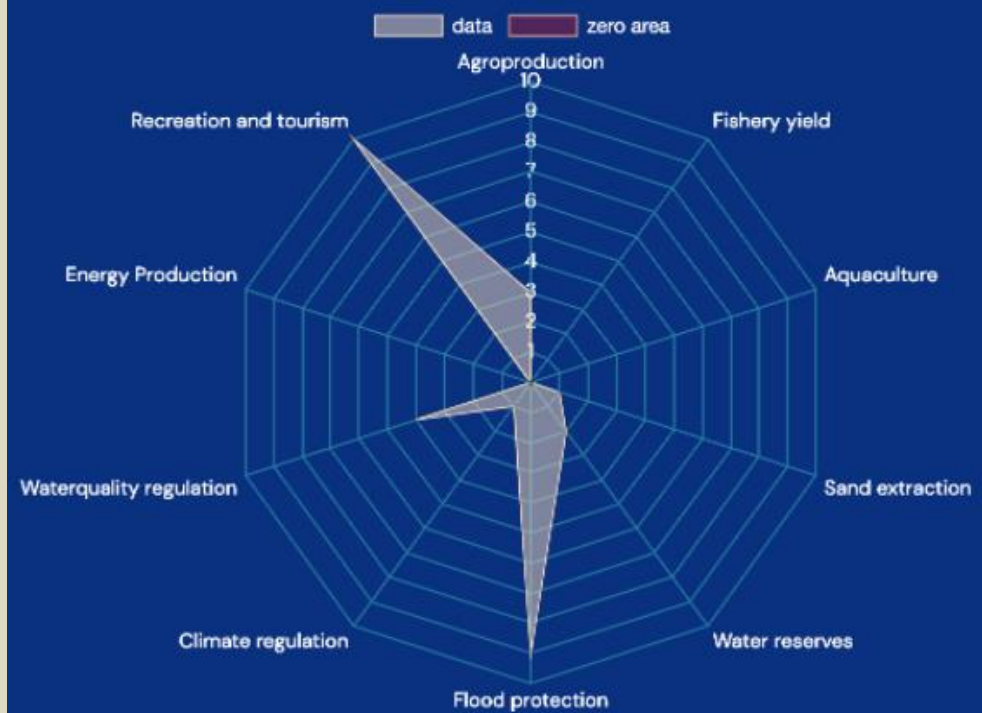
Scenario: duin voor dijk

Effects:

- Allowing the development of, and even building, dunes in front of dikes extends the dune area considerably, and therefore also the potential for water quality regulation.
- Highest gains are achieved for flood protection as these new dune barriers will decrease the immediate wave impact on the existing coastline.
- Moreover, dunes with healthy marram vegetation will be able to recover quickly from erosion events and to grow further with the sea level rise.
- As one of the principle tourist attractants, dunes in front of dikes will increase nature's recreational services – even outside of the traditional tourist season.



Ecosystem Services – Dune before Dike



D.5 Referentie harde maatregel: dijk of stormmuur

Als referentie harde oplossing beschouwen we een dijkverhoging of de constructie van een stormmuur. Dijken en stormmuren hebben geen ecosysteemelementen en leveren in die zin geen ecosysteemdiensten. Voor culturele diensten is het zelfs als hinderlijk te beschouwen dat er een muur wordt opgetrokken (maar dat hangt af van de hoogte die lokaal noodzakelijk is).

D.6 Tabel overzicht ES data

Tabel 8-4. Overzicht gehanteerde data voor de ES analyse per habitat type/maatregel type

ES data			VOOROEVER			STRAND		DUINEN		HYBRIDE DUIN-DIJK			REFERENTIE
	ECOSYSTEEMDIENSTEN	Eenheid	Riffen schelpkokerwormen	Riffen mosselen	Vooroever (suppletie)	Nat strand	Droog strand	Embryonale duinen	Helmduinen	Duin voor dijk	Artificiële helmduinen (dijk in duin)	Groene gras dijk	Dijk, stormmuur
Producterende diensten	Visserijproductie	score	1	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0
	Drinkwater	score	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Regulerende diensten	Luchtkwaliteit regulatie	Ton fijn stof/ha/jaar	0	0	0	0	0	0	27	27	27	27	0
	Vasthouden sediment	score	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0
	Kustveiligheid/overstromingsbescherming	score	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	1	1	1	1	1
	Klimaatregulatie: koolstof opslag (bodem)	kgC/ha/y	1,2	-385	1,55	0	0	0	686,5	686,5	686,5	1167	0
	Waterretentie	m³/ha	0	0	0	0	1,3	0,9	3,9	3,9	0	0	0
	Waterkwaliteit regulatie: N-retentie	kg N/ha/jaar	0,75	0	0,75	0	0	23,5	9,6	9,6	9,6	19	0
	Waterkwaliteit regulatie: P-retentie	kg P/ha/jaar	0,05	0,05	0,05	0	0	1,57	9,5	9,5	9,5	1,27	0
Waterkwaliteit regulatie: denitrificatie	kg N/ha/jaar	148,5	333,5	21,9	21,9	0	0	53,5	53,5	53,5	0	0	
Culturele diensten	Recreatie (ecotourisme, outdoor sportactiviteiten, ...)	score	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	-1
	Cultureel en natuurlijk erfgoed (archeologie, paleontologie)	score	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Landschapsbeleving -natuur/groen/duinen	score	0	0	0	0	0,5	0,5	1	1	1	0,5	-1
	Landschapsbeleving - Zeezicht	score	0	0	0	0	1	1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-1
	Ontwikkeling en overdracht van kennis en onderzoek	Score	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Ondersteunende diensten	Hydrodynamische wijzigingen (golfslag)	Score	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0
	Wijziging leefomgeving plankton (fyto- en zoöplankton)	Score	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Wijziging leefomgeving benthos (endo-, epi- en hyperbenthos)	Score	1	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0
	Wijziging leefomgeving vogels, vleermuizen	Score	1	1	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0,5	0
	Wijziging leefomgeving vissen	Score	1	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0
	Wijziging leefomgeving zeezoogdieren	Score	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
	Wijziging leefomgeving terrestrische ongewervelden (insecten, etc.)	Score	0	0	0	0	0,5	1	1	1	0,5	0,5	0

