



Natuurrapport - Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen  
TECHNISCH RAPPORT



## Hoofdstuk 23

# Ecosysteemdienst kustbescherming

*Sam Provoost, Sebastian Dan, Sander Jacobs*

**Auteurs:**

Sam Provoost, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek  
Sebastian Dan, MOW, Waterbouwkundig Laboratorium  
Sander Jacobs, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is het Vlaams onderzoeks- en kenniscentrum voor natuur en het duurzame beheer en gebruik ervan. Het INBO verricht onderzoek en levert kennis aan al wie het beleid voorbereidt, uitvoert of erin geïnteresseerd is.

**Vestiging:**

INBO Brussel  
Kliniekstraat 25, 1070  
www.inbo.be

**e-mail:**

sam.provoost@inbo.be

**Wijze van citeren:**

Provoost, S., Dan, S., Jacobs, S. (2014). Hoofdstuk 23 – Ecosysteemdienst kustbescherming (INBO.R.2014.1988082). In Stevens, M. et al. (eds.), Natuurrapport - Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen. Technisch rapport. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, INBO.M.2014. 1988582, Brussel.

**D/2014/3241/154**

**INBO.R.2014.1988082**

**ISSN: 1782-9054**

**Verantwoordelijke uitgever:**

Jurgen Tack

**Druk:**

Managementondersteunende Diensten van de Vlaamse overheid

**Foto cover:**

Noordzeekust in de Panne (Yves Adams/Vildaphoto)

De andere hoofdstukken van het Natuurrapport 'Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen - Technisch rapport' kunt u raadplegen op [www.nara.be](http://www.nara.be).



# **Hoofdstuk 23 – Ecosysteemdienst kustbescherming**

**Sam Provoost, Sebastian Dan, Sander Jacobs**

INBO.R.2014.1988082

## Hoofdpijnen

- Zandbanken, slikken, schorren, stranden en duinen vormen een natuurlijke bescherming tegen stormvloeden en mariene overstromingen.
- Het grootste deel van de kustlijn wordt vandaag in belangrijke mate beschermd door brede of smalle duingordels.
- Vooral in de zeereepduinen draagt een biotische component daar substantieel toe bij, namelijk de vegetatie gedomineerd door helm.
- Er is een rechtstreekse waardering mogelijk van Kustbescherming via het vermijden van slachtoffers en economische schade bij stormvloeden, net als via de vermeden kosten van aanleg en onderhoud van zeewerende infrastructuur.
- Verdere urbanisatie van de kustvlakte en klimaatwijzigingen doen de vraag naar (het belang van) deze dienst toenemen. Het belemmeren van natuurlijke duinvorming en het overmatig vastleggen van duinen hypothekeert de toekomstige levering van de dienst. Duinen afgesneden van de natuurlijke dynamiek hebben een verminderd 'zelfhelend vermogen' na stormen.
- Het inzetten op natuurlijke kustbescherming heeft naast economische voordelen synergiën met recreatie en biodiversiteit.
- Beleidsmatig-planologisch is de zeereep grotendeels geconsolideerd. Er zijn echter lokaal opportuniteiten voor het verbeteren van het gebruik van natuurlijke kustbescherming door het verwijderen van oude dijken en het voorzien van aangepaste recreatieve infrastructuur.

# Inhoudsopgave

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Hoofdpijnen</b> .....                                     | <b>4</b>  |
| <b>Inhoudsopgave</b> .....                                   | <b>5</b>  |
| <b>1. Inleiding</b> .....                                    | <b>6</b>  |
| 1.1. Omschrijving van de ESD Kustbescherming .....           | 6         |
| <b>2. Toestand en trend ESD Kustbescherming</b> .....        | <b>10</b> |
| 2.1. Aanbod van ESD Kustbescherming.....                     | 10        |
| 2.2. Vraag naar ESD Kustbescherming.....                     | 19        |
| 2.3. Gebruik van ESD Kustbescherming .....                   | 21        |
| 2.4. Trend in aanbod ESD Kustbescherming .....               | 21        |
| <b>3. Drivers voor vraag en aanbod van de ESD</b> .....      | <b>23</b> |
| 3.1. Urbanisatie van de kust.....                            | 23        |
| 3.2. Belemmering van de geomorfodynamiek .....               | 24        |
| 3.3. Het beheer van duinen .....                             | 24        |
| 3.4. Klimaatverandering.....                                 | 25        |
| <b>4. Impact op biodiversiteit en milieu</b> .....           | <b>25</b> |
| <b>5. Maatschappelijk welzijn en waardering</b> .....        | <b>26</b> |
| <b>6. Interacties huidig en toekomstig ESD gebruik</b> ..... | <b>26</b> |
| <b>7. Kennislacunes</b> .....                                | <b>28</b> |
| <b>Lectoren</b> .....  | <b>29</b> |
| <b>Referenties</b> .....                                     | <b>30</b> |
| <b>Bijlage 1   Karteerschema</b> .....                       | <b>34</b> |

# 1. Inleiding

Het natuurrapport dat in 2014 wordt uitgebracht, bespreekt de toestand en trends van ecosysteemdiensten in Vlaanderen. Ecosysteemdiensten (ESD) zijn *de bijdragen die ecosysteemstructuren en processen -in combinatie met andere inputs- leveren aan menselijk welzijn* (Burkhard et al 2012). Deze bijdrages kunnen zowel materiële als immateriële goederen en diensten zijn. De maatschappelijke effecten van die stroom van goederen en diensten (voedsel, veiligheid, gezondheid, ...) beïnvloeden de omvang en verdeling van welvaart en welzijn. Een *ecosysteemfunctie* (een deelverzameling van structuren en processen welke mogelijk een dienst leveren) wordt pas een *ecosysteemdienst* wanneer er een menselijke *vraag* aanwezig is. Het *gebruik* van de dienst vereist ook meestal een investering (vb. verbouwen en oogsten gewas), zelfs al is deze soms minimaal (vb. een verplaatsing naar een recreatiegebied). In dit natuurrapport worden de toestand en trend van 16 ecosysteemdiensten in Vlaanderen beschreven: Voedselproductie, Wildbraadproductie, Houtproductie, Productie van energiegewassen, Waterproductie, Bestuiving, Plaagbeheersing, Behoud van de bodemvruchtbaarheid, Regulatie van luchtkwaliteit, Regulatie van geluidsoverlast, Regulatie van erosierisico, Regulatie van overstromingsrisico, Kustbescherming, Regulatie van het globaal klimaat, Regulatie van waterkwaliteit en Groene ruimte voor buitenactiviteiten. De 16 ecosysteemdiensten worden in afzonderlijke hoofdstukken besproken. Al deze diensten worden geanalyseerd op basis van het NARA- analytische kader (Figuur 2). In de thematische hoofdstukken worden onderzoeksvragen over de verschillende ESD-hoofdstukken heen beantwoord.

Dit hoofdstuk bespreekt de ecosysteemdienst *Kustbescherming*

**De regulerende ecosysteemdienst kustbescherming omschrijft de vraag naar, het aanbod en het gebruik van de bescherming tegen overstromingen vanuit de zee door middel van zeeverende natuurlijke structuren.**

## 1.1. Omschrijving van de ESD Kustbescherming

### 1.1.1. Belang van de dienst

Duinen en intergetijdengebieden bieden bescherming tegen erosie van de kust en tegen mariene overstroming van de achterliggende, laag gelegen delen van de kustvlakte. Grote delen van die kustvlakte liggen meer dan twee meter onder het niveau van een gemiddelde jaarlijkse storm (5,5 m TAW) en zijn dus bijzonder kwetsbaar. De belangrijkste bedreiging gaat uit van stormvloeden waarbij een combinatie van hoog water, wind en golven het zeewater sterk opstuwt en de zeevering overstroomt of doorbreekt. Bij de stormvloed van februari 1953 bijvoorbeeld werd een waterstand van 6,66 m TAW genoteerd, een peil dat globaal slechts om de 250 jaar wordt bereikt. Men spreekt van een storm met een retourperiode van 250 jaar (MDK 2011, Sneyers 1953).

Iedereen die woont of werkt in de duinen of de laaggelegen delen van de kustvlakte, er eigendommen heeft of andere belangen, is direct gebaat bij een betrouwbare bescherming van het gebied tegen kustafslag en mariene overstromingen. De hieraan gekoppelde maatschappelijke welvaart en het welzijn, die indirect op de algemene bevolking slaan, zijn evident. In een studie naar de overstromingsrisico's aan de Vlaamse kust ramen Verwaest et al (2013) de kost van een duizendjarige (+7 m TAW) storm voor de duinen en aangrenzende inundeerbare zones op 2 miljard euro (tabel 1). Zonder rekening te houden met evacuatiescenario's wordt geschat dat er bij zo'n storm ook 250 dodelijke slachtoffers zouden vallen. Maar ook minder hevige stormen kunnen slachtoffers veroorzaken en grote materiële schade aanrichten. De februaristorm van 1953 bijvoorbeeld, eiste in Oostende verschillende mensenlevens. In januari 1990 woedde een storm met orkaankracht over de Noordzee die in Nederland het leven kostte aan 17 mensen en ook in ons land grote schade aanrichtte (MDK 2011).

**Tabel 1.** *Overzicht van de overstromingsrisico's aan de Vlaamse kust voor verschillende stormvloedpeilen en retourperiodes.*

| <b>Stormvloedpeil</b> | <b>Retourperiode (jaar)</b> | <b>Dodelijke slachtoffers</b> | <b>Directe economische schade (miljard euro)</b> |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|
| + 6,5m TAW            | 100                         | 41                            | 0,67   |
| + 7m TAW              | 1 000                       | 251                           | 2,1  |
| + 7,5m TAW            | 4 000                       | 885                           | 3,9  |
| + 8m TAW              | 17 000                      | 3297                          | 6,5  |

Voor de kustvlakte biedt het volume zand dat in de loop van vele eeuwen is afgezet op het strand en in de duinen, de belangrijkste bescherming tegen zeedoorbraken en daaraan gerelateerde overstromingen. In de huidige toestand vormen de havens en de badplaatsen de zwakste schakels in de kustbescherming (Meire et al. 2011, Verwaest et al. 2013). Overstromingen veroorzaakt door het falen van structuren in havens zou daarbij de grootste economische schade met zich meebrengen terwijl het merendeel van de dodelijke slachtoffers te verwachten valt door hoge overslaggebieden op de zeedijken in de badplaatsen.

Samen met het toerisme kan de bescherming tegen mariene overstroming als de belangrijkste utilitaire functie of ecosysteemdienst van de kustduinen worden beschouwd (Jones et al. 2011). Deze gebruikswaarde kan worden benaderd door het inschatten van vermeden schade. Voor de Vlaamse kust wordt de directe economische schade bij een duizendjarige storm (stormvloedpeil van 7 m TAW) geschat op 2 miljard euro. Daarnaast is de bescherming tegen mariene overstroming ook direct gelinkt aan mensenlevens. Zonder adequate kustbescherming en zonder evacuatiescenario's zouden bij zo'n storm 250 dodelijke slachtoffers vallen (Verwaest et al. 2013).

### **1.1.2. Ecosysteemfuncties**

De bescherming van de kustvlakte tegen overstroming wordt verzekerd door diverse elementen die gaan van nagenoeg natuurlijk tot volledig kunstmatig. Aan de ene kant van het spectrum bevinden zich stranden, duinen, slikken en schorren en aan de andere kant kaaimuren en dijken. Daar tussenin situeren zich bijvoorbeeld strandhoofden, stranden opgehoogd door zandsuppleties of duinen verstevigd door een duinvoetversterking. In deze laatste gevallen wordt de kustbescherming verzekerd door een specifieke interactie tussen natuurlijke processen en kunstmatige structuren.

Landgebruik en bodembedekking van de landinwaarts gelegen duinenzone is in verband met overstroming van de kustvlakte van ondergeschikt belang. De toestand van delen van het kustgebied die in direct contact staan met de zee (het strand, de zeereep en voorste duinen, slikken en schorren) zijn echter cruciaal voor het functioneren van de natuurlijke kustbescherming. Hoe dichter bij de kustlijn geurbaniseerd werd, hoe groter de nood aan kustbescherming maar hoe meer deze natuurlijke verdediging is aangetast. Urbanisatie betekent hier dus het loskoppelen van de zeewering van de natuurlijke kustprocessen, zowel fysisch (sedimentatie/erosie) als op het vlak van vegetatieontwikkeling, waardoor een technische benadering veelal onvermijdelijk wordt (dijken, strandhoofden, ...). Het vormt een uitdaging om de natuurlijkheid van de zeewering ook in de sterk geurbaniseerde kustdelen te verhogen gezien de lage kost en zelfregulerend vermogen van duinen ten opzichte van bouwwerken en de mogelijke meerwaarden vanuit het oogpunt van biodiversiteit en andere ecosysteemdiensten.

Duinen vormen de meest solide bescherming tegen mariene overstroming. De zwakste schakels in de zeewering langs onze kust situeren zich ter hoogte van de structuren in de havens (zie verder, Figuren 10 en 11). Doorgaans zijn hier enkel technische maatregelen mogelijk om het veiligheidsniveau op te krikken. De duinenrij zelf biedt echter slechts bescherming onder welbepaalde voorwaarden, met name bij minimale afmetingen (hoogte en volume), als er ruimte is voor geomorfodynamiek en bij aanwezigheid van een vitale helmvegetatie. Urbanisatie van duinen gaat ten koste van deze voorwaarden en heeft dus een negatief effect op de zeewering, zeker als dit gebeurt in de meest zeewaartse zones (de zeereep). Op de plaatsen met de hoogste overstromingsrisico's aan onze kust kan de ecosysteemdienst kustbescherming moeilijk ten volle benut worden omdat het ecosysteem er verdwenen is. Toch kan de aanwezigheid van minimale 'voorduin' voor de dijken een significante bescherming vormen van deze technische

infrastructuur, zodat ook hier een bijdrage van natuurlijke bescherming ontstaat. In dit rapport wordt gefocust op de bescherming van het hinterland door de duinreep langs de kust zelf omdat het systeem dat de bescherming verzekert hier een belangrijke biotische component omvat, namelijk de duinvegetatie. Zandbanken en de intertidale delen van het strand spelen weliswaar een cruciale rol in de kustbescherming maar hun bijdrage is voornamelijk fysisch van aard.

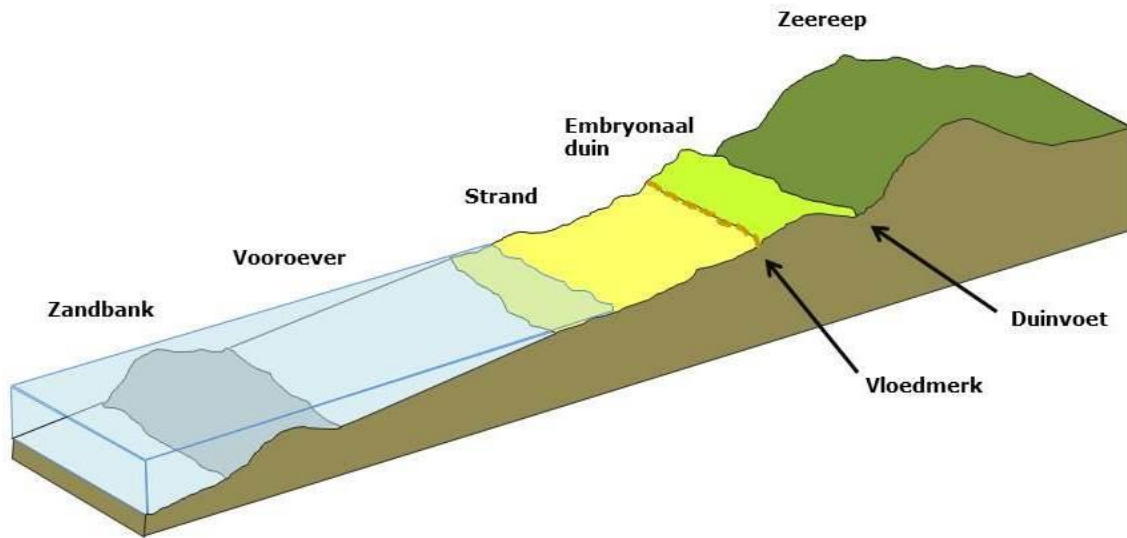
Het natuurlijk systeem dat bijdraagt tot de kustbescherming omvat verschillende landschapscomponenten, gaande van zandbanken in zee tot de duinen (figuur 1).

In het subtidale systeem stuurt de morfologie van de zeebodem het sedimenttransport en stromingspatroon. Deze elementen zijn op hun beurt bepalend voor de sedimentdynamiek ter hoogte van de zandbanken, vooroever, strand en duinvoet. Een belangrijke eigenschap van deze natuurlijke structuren is hun vermogen om de golfenergie te dempen, waardoor erosie van de kustlijn wordt beperkt. Ook de slikken en schorren dragen daar als intergetijdengebieden toe bij. Daarenboven hebben deze gebieden een groot waterbergend vermogen, wat in geval van stormvloed een belangrijk aspect is van de beveiliging tegen overstroming (Jacobs et al. 2010, Van Lancker et al. 2010).

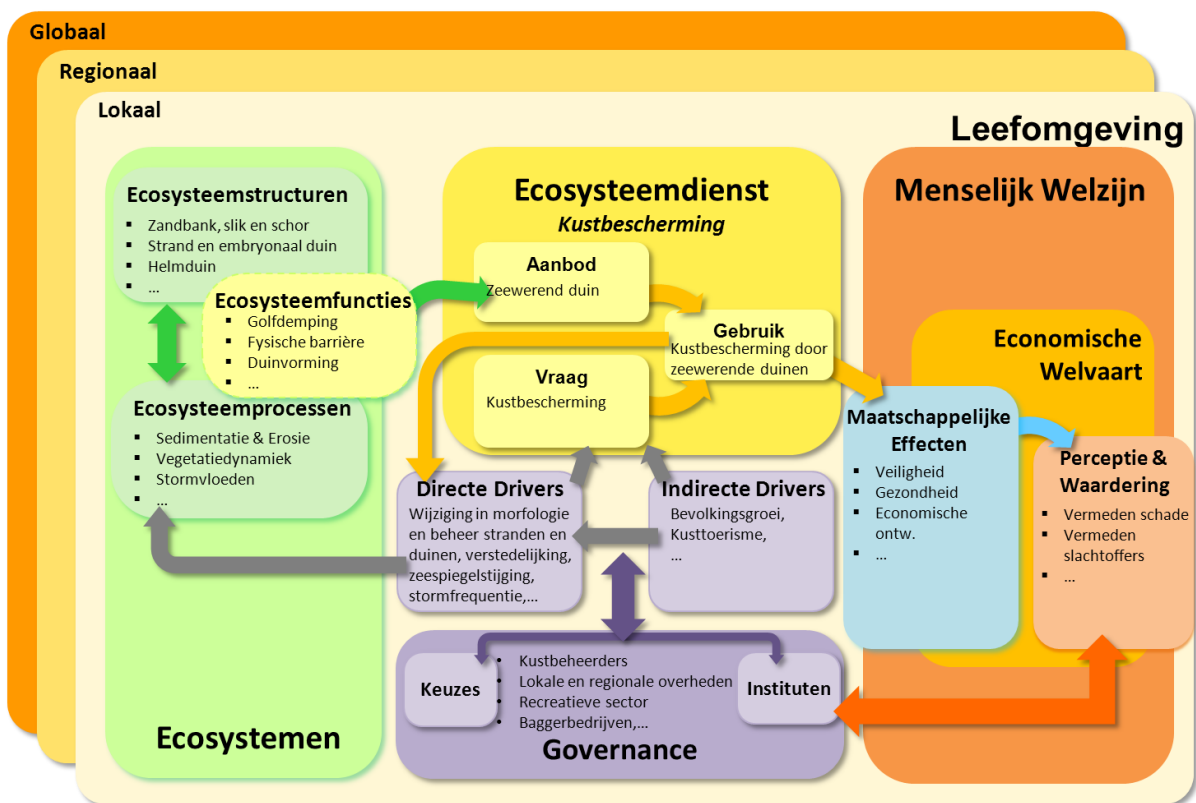
De duinen zijn voor de bescherming tegen overstroming van belang als zandvolume dat bestand is tegen de erosieve werking van golven en stormvloed. Hoogte en vooral breedte van het duin dragen dus sterk bij tot de ecosysteemdienst. Maar ook vegetatie is van belang als stabilisator van het zandvolume. Een beperkt aantal soorten speelt daarbij een cruciale rol. Embryonale duintjes op het hoogstrand worden in hoofdzaak gevormd door zandophoping rond biestarwegras. Deze soort is sterk zouttolerant en vormt daarmee de overgang tussen de vloedmerken op het strand en de eigenlijke duinen. De belangrijkste zandfixerende soort van de duinen is helm. Dit gras is in staat om zowel horizontaal als verticaal snel mee te groeien bij overstuiving. Bij minder sterke dynamiek zijn ook duinzwenkgras (*Festuca juncifolia*), zandzegge en kruipwilg belangrijke zandfixeerders. Bij het ontbreken van helm of andere zandfixeerders is de vegetatie kwetsbaar omdat de mogelijkheid tot meegroeien met het sediment zeer beperkt is. Lichte overstuiving kan daarbij al leiden tot een volledige vernietiging van het plantendek waardoor de wind vrij spel krijgt op het sediment. Dynamische helmduinen hebben door de eigenschappen van de kenmerkende soorten een zelfhelend vermogen bij duinerosie en dragen dan ook in belangrijke mate bij tot de ecosysteemdienst. Gefixeerde, niet meer stuivende duinen dragen indirect bij tot de bescherming tegen overstroming doordat zij een sedimentreserve vastleggen. Het specifieke type begroeiing is daarbij van relatief weinig belang.

De druk op het kustsysteem omvat natuurlijke en antropogene elementen (figuur 2). De kust is van nature een dynamisch systeem waarin sedimentatie en erosie elkaar in tijd en ruimte kunnen opvolgen. Op langere termijn (eeuwen) kent de westkust van de Franse grens tot Nieuwpoort globaal een relatief grote stabiliteit, terwijl de midden- en de oostkust ten oosten van Blankenberge onderhevig was aan structurele erosie (Mathys 2009). Momenteel is de hypothese dat de volledige kustlijn een van nature netto structurele erosie ondervindt ten gevolge van de geleidelijke stijging van de zeespiegel, vermits er relatief weinig natuurlijke aanvoer van sediment vanuit de kustnabije zeebodem naar het strand aangetoond is. Een natuurlijk kustsysteem reageert op dergelijke erosie door geleidelijke landwaartse verschuiving van de kustlijn. In de huidige, sterk geürbaniseerde context is dergelijke beweging niet meer mogelijk en dient de kustbescherming door de mens te worden bijgestuurd door middel van zandsuppleties en zeeverende infrastructuur. Hierbij kan gekozen worden voor minder of meer natuurlijke oplossingen. Deze laatste benadering heeft verschillende voordelen zoals de grote kostenefficiëntie ten opzichte van allerhande bouwwerken, het 'zelfhelend karakter' van duinen (helmduinen groeien aan bij voldoende sedimentaanbod) en de meerwaarde voor de biodiversiteit en recreatie.





**Figuur 1.** Schema van de verschillende natuurlijke structuren die bijdragen tot de bescherming tegen kustafslag en overstroming.



**Figuur 2.** Conceptueel raamwerk van NARA-T voor de ecosysteemdienst 'Kustbescherming' met de voornaamste relaties tussen ecosystemen, ecosysteemdiensten en hun invloed op menselijk welzijn en economische welvaart. Het raamwerk benadrukt het cyclisch karakter van deze relaties, de invloed van drivers op deze cyclus, de rol van instituties en menselijke keuzen en het belang van verschillende schaalniveaus.

## 2. Toestand en trend ESD Kustbescherming

### 2.1. Aanbod van ESD Kustbescherming

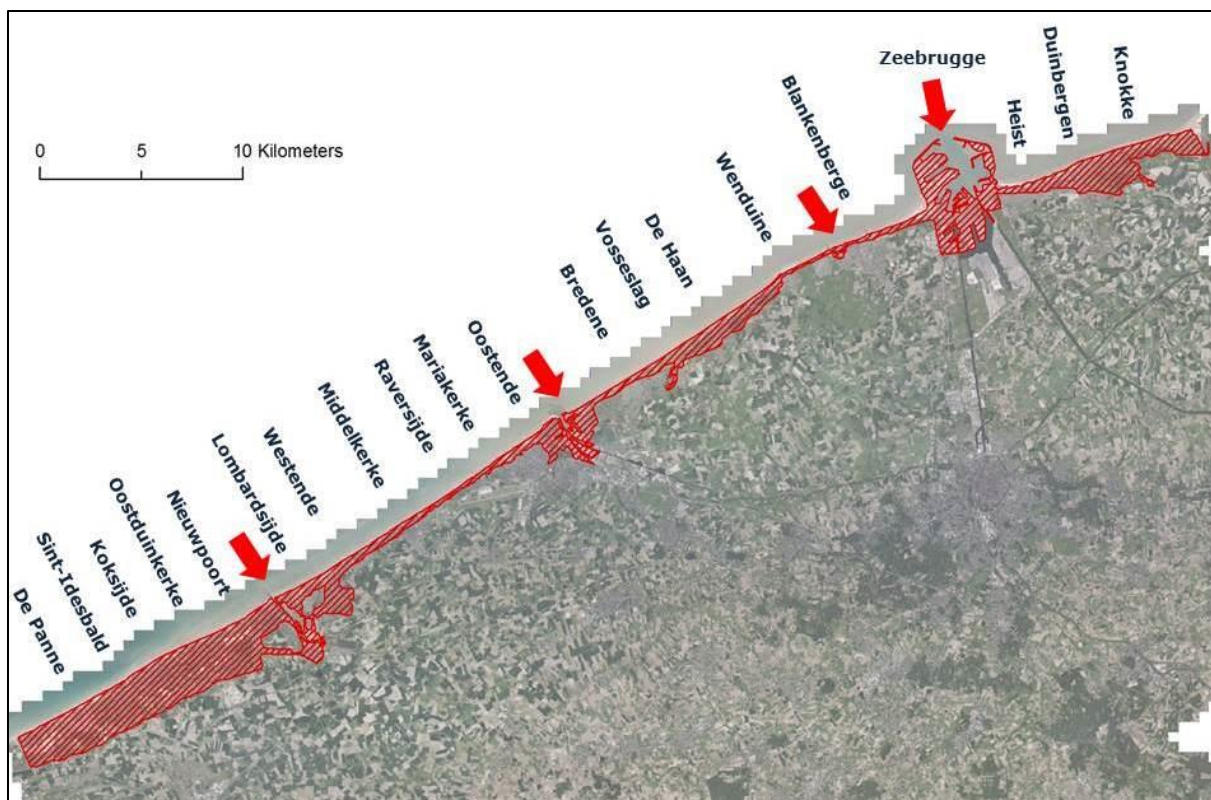
#### 2.1.1. Fysische geschiktheid

Verskillende ecosysteemelementen dragen bij tot de bescherming van het kustgebied tegen mariene overstromingen (figuur 1). Daarbij spelen de geomorfologische processen en patronen een cruciale rol. Globaal genomen stijgt de potentie voor kustbescherming met de hoeveelheid sediment. Dit geldt zowel voor mariene sedimenten in zandbanken, slikken- en schorregebieden als eolisch afgezet zand in duinen. Een brede duinengordel vormt zoals gezegd een robuuste zeewering.

In het hoogdynamische kustmilieu is deze statische benadering echter ontoereikend. De losse sedimenten zijn voortdurend in beweging onder invloed van golven, zeestromingen en wind waardoor op relatief korte termijn zwakke plekken kunnen ontstaan in de natuurlijke zeewering. De fysische onderbouw van de ecosysteemdienst kustbescherming moet dus niet enkel in de ruimte maar ook in de tijd worden bekeken. Ook de bewegingen van het sediment en de sedimentaire en erosieve zones binnen het kustgebied moeten in rekening worden gebracht. In opdracht van het Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust (MDK) van de Vlaamse overheid worden op regelmatige basis hoogtekarten opgemaakt van vooroever, strand en voorste duinen. Tegenwoordig gebeurt dit voor de landcomponent op basis van LiDAR hoogtemetingen (Houthuys 2012).

De kaart in figuur 3 geeft de terreindelen weer gelegen boven 5 m TAW (DHM Vlaanderen). Zij omvatten de eolisch afgezette duinen (ruwweg boven de hoogwaterlijn) maar ook de kunstmatig opgehoogde gronden, bijvoorbeeld ter hoogte van de haven van Zeebrugge. De duinen aan de Vlaamse kust zijn het breedst aan de westkust (ca. 2 km) en het smalst tussen Wenduine en Blankenberge (amper 100 m). Ook ter hoogte van Middelkerke-Oostende is de duinengordel hooguit 200 m breed (Figuur 3). Toch biedt de volledige duinengordel een goede bescherming tegen overstroming van de achtergelegen kustvlakte en vormen vooral de havens en de badplaatsen de zwakke plekken in de verdediging hiertegen (Meire et al. 2011, Verwaest et al. 2013).

In het kader van het kustveiligheidsplan werd de sterkte van de zeewering getest bij verschillende gemodelleerde stormvloedhoogtes, namelijk 6,5 – 7 – 7,5 en 8 m TAW (Vanpoucke et al. 2009a&b; Balens et al. 2011; IMDC 2008). Voor de duinen werd een erosiemodel gebruikt. Zones waarbij na simulatie van een bepaalde storm nog een voldoende groot zandvolume overblijft (> 10 m<sup>3</sup> per strekkende meter duin), worden daarbij als voldoende robuust beschouwd (Verwaest et al. 2008b). Hieruit blijkt dat de geurbaniseerde gebieden de zwakste schakels vormen in de kustbescherming. In deze zones is de nood aan bescherming hoog maar is het aanbod aan natuurlijke zeewering grotendeels teniet gedaan door die urbanisatie. Het potentieel aanbod hangt dus samen met het volume van de voorste duinenrij dat in contact staat met de zee.



**Figuur 3.** Fysische geschiktheid voor de ESD kustbescherming: zeeverende duinen hoger dan 5m TAW aan de Vlaamse kust (DTM-Vlaanderen) en locaties waar die worden onderbroken door havens (rode pijlen).

### 2.1.2. Potentieel aanbod

De biotische bijdrage tot de ESD kustbescherming bestaat eveneens uit een mariene en een terrestrische component. De belangrijkste bijdrage wordt hierbij geleverd door de vegetatie van enerzijds slikken en schorren en anderzijds duinen.

#### Stranden, slikken en schorren

Het areaal van slikken en schorren is aan onze kust zeer sterk gereduceerd door stelselmatige inpoldering sedert de middeleeuwen. Hierdoor is de kustvlakte nagenoeg volledig onttrokken aan de invloed van de zee. Door het afdammen van de belangrijkste geulen werd het direct gevaar voor overstroming afgewend maar tegelijk gaf dit aanleiding tot een reeks processen die de overstromingsrisico's en vooral de impact van eventuele overstromingen verhogen. Door drainage van landbouwgronden in de polder gaan veen- en kleilagen inklinken waardoor het maaiveld lager komt te liggen en het waterbergend vermogen van de kustvlakte vergroot. Doordat er geen sedimentatie meer plaatsvindt kan het niveau van dit maaiveld niet meer meebewegen met het stijgend zeeniveau zoals in actieve waddensystemen het geval is. Op de hoogtekaarten van de kustvlakte is bijgevolg een duidelijk onderscheid te zien tussen de vroeger en meer recent ingepolderde gebieden. Het verschil in maaiveldhoogte tussen het intertidale Zwin en de aangrenzende, maar 140 jaar geleden ingepolderde Willem-Leopoldpolder bijvoorbeeld, bedraagt globaal ongeveer een halve meter. Dit komt overeen met een jaarlijkse sedimentatie van 3 à 4 mm.

Begroeiing van intertidale slikken en schorren bevordert de opslibbing. In de laagste zones die dagelijks door zeewater worden overspoeld, spelen vooral Engels slijkgras, klein schorrenkruid en zeekraal-soorten daarbij een rol. Ook benthische fauna zoals de zandkokerworm *Janice conchilega* kan bijdragen tot de stabiliteit van de slikken doordat rifvormende kolonies van deze soorten de erosieweerstand verhogen (Rabaut et al. 2007). Op de hoger gelegen schorre is de vegetatie rijker aan plantensoorten maar is overstromingsfrequentie en bijgevolg de aanvoer van sediment veel geringer. Gezien de zeer beperkte bijdrage van schorrevegetatie tot de kustbescherming in

Vlaanderen wordt hier niet verder op ingegaan. In het Schelde-estuarium spelen slikken en schorren wel een belangrijke rol, maar in dit rapport wordt gefocust op de kustzone.

## **Duinen**

In de duinen wordt de biotische bijdrage tot de zeewering geleverd door de vegetatie van de zeereep, de meest zeewaarts gelegen duinstrook (figuur 1). Het zijn meer bepaald de vegetaties met snelgroeiende rhizoomvormende grassen, kenmerkend voor deze zone, die de elasticiteit en het 'zelfhelend vermogen' van de duinen voor hun rekening nemen. Ook de opgaande vegetatie van gefixeerde duinen (duinstruweel en bos) kan verstuiving afremmen maar deze vegetatie is niet aangepast aan de extreme milieu-omstandigheden van de zeereep. Ook tegen grootschalige geomorfodynamiek is deze begroeiing niet opgewassen.

Uit een analyse van 419 vegetatieopnames van helmduinen aan onze kust blijken er 5 duidelijke vegetatietypes naar voor te komen (Kissiyar 2005). Zij vertonen een duidelijke rangschikking op de gradiënt van pioniervegetatie op het strand naar volledig gefixeerd helmduin. De verandering in soortensamenstelling (tabel 2) en vegetatiestructuur (figuren 4 en 5) geeft dus een goed inzicht in het duinfixatieproces. Tabel 2 geeft een synoptisch overzicht van de soortensamenstelling van de 5 types.

### *A. Strandvegetatie met zeeraket*

De meest zeewaartse groeiplaatsen van helm behoren tot de prille embryonale duintjes op het hoogstrand waarin zeeraket een constante soort is. Het zijn zeer soortenarme, open en efemere vegetaties waarin helm hoogstens een paar procenten van de bedekking uitmaakt.

### *B. Embryonaal biestarwegrasduin*

Vanuit de pioniersituaties met zeeraket ontwikkelen zich meer stabiele embryonale duintjes waarin biestarwegras een prominente rol speelt. Deze duintjes vormen een belangrijke vestigingsplaats voor helm in de zeereep en zijn van cruciaal belang voor de ontwikkeling van nieuwe duinen. De structuur is nog zeer open (gemiddeld 50% zand) en gemiddeld worden slechts 4 plantensoorten aangetroffen in een proefvlak van 75 m<sup>2</sup>.

### *C. Vitaal helmduin*

De vegetatie waarin helm een optimale vitaliteit vertoont is nog vrij open (gemiddeld 20% kaal zand) en relatief soortenarm (gemiddeld 7 soorten per proefvlak). Helm is constant en bedekt gemiddeld ca. 40% van de vegetatie. Karakteristiek is daarenboven de abundantie van afgestorven helm (gemiddeld 23% bedekkend). Dit gaat gepaard met een aantal nitrofiële soorten zoals akkerdistel en akkermelkdistel. Duinzwenkgras is een nagenoeg constante begeleider in het type, de overige soorten behalen met uitzondering van jacobskruiskruid en akkerdistel geen presentie hoger dan 30%.

### *D. Half-gefixeerd helmduin*

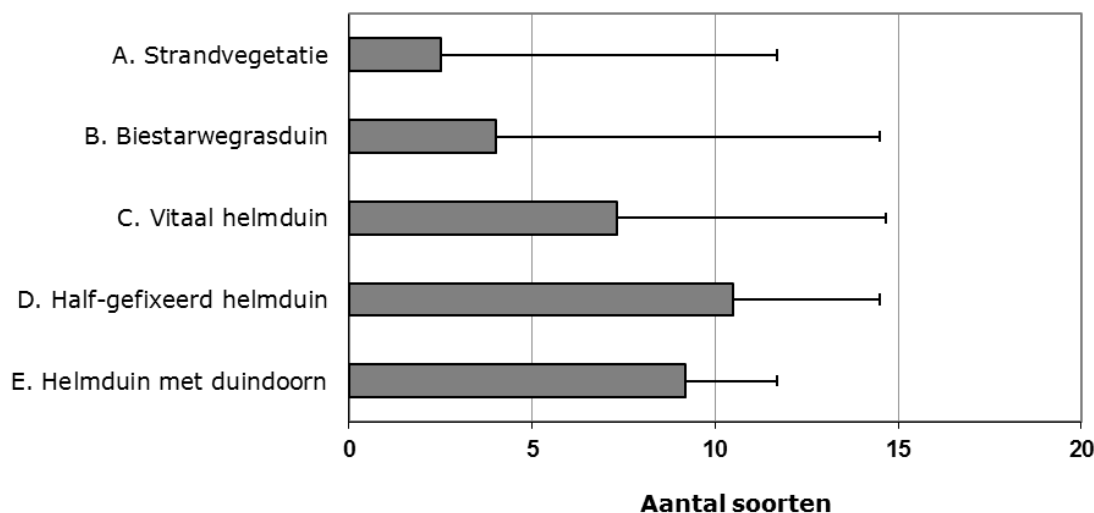
In de eerste stadia van fixatie wordt de vegetatiestructuur in vergelijking met de vitale helmduinen paradoxaal genoeg niet gekenmerkt door een afname van het aandeel kaal zand maar in een toename van de mosbedekking (tot gemiddeld 15%). Dit gaat vooral ten koste van de bedekking van helm, zowel levende planten als afgestorven materiaal. De soortenrijkdom neemt toe tot gemiddeld 10,5 soorten per proefvlak. Differentiërende soorten ten opzichte van de andere types helmduinen zijn mosduinsoorten zoals groot duinsterretje, bleek dikkopmos, zandmuur en zandhoornbloem.

### *E. Gefixeerd helmduin met duindoorn*

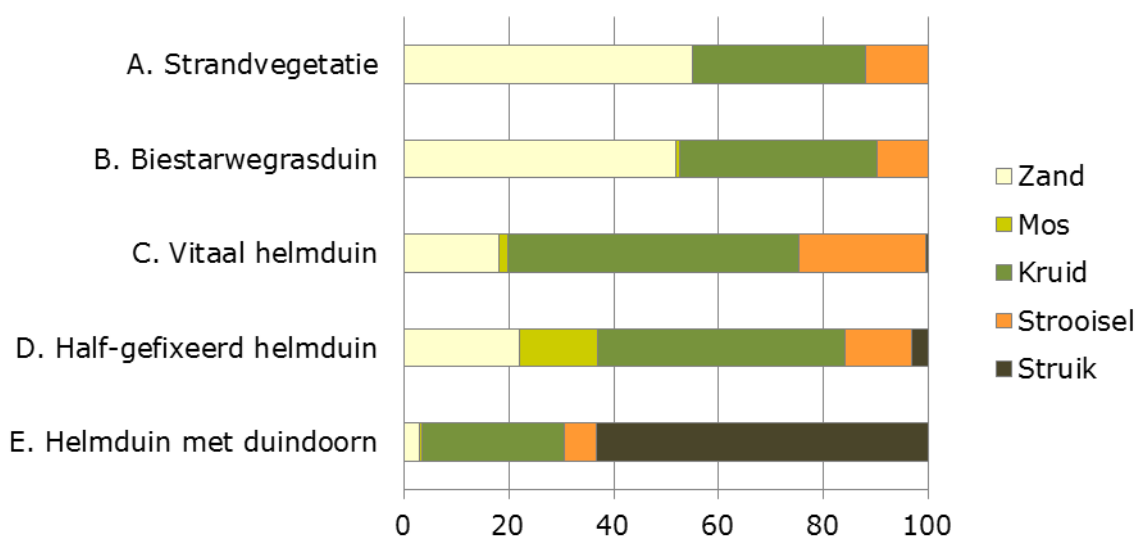
Het laatste type behoort wat betreft structuur al duidelijk tot de struwelen; duindoorn bedekt er gemiddeld ongeveer 60%. De soortensamenstelling is echter nog grotendeels gelijkaardig aan de helmduinen. Enkel kleefkruid, fijne kervel en duinriet verraden het opduiken van een struweelkarakter.

**Tabel 2.** *Synoptische tabel van vijf types helmduinen aan onze kust (Kissiyar et al. 2005). De grote cijfers slaan op de procentuele presentie van elke soort binnen de opnames van het type; de kleine cijfertjes slaan op de gemiddelde bedekking (in %) in de opnames waarin de soort voorkomt.*

| Aantal proefvlakken               | A   |   | B   |    | C   |    | D   |    | E  |    |                      |
|-----------------------------------|-----|---|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|----------------------|
|                                   | 6   |   | 15  |    | 228 |    | 148 |    | 22 |    |                      |
| Ammophila arenaria                | 50  | 4 | 13  | 6  | 99  | 38 | 86  | 17 | 60 | 6  | Helm                 |
| Ammophila arenaria (dood)         |     |   | 13  | 2  | 94  | 23 | 82  | 13 | 50 | 5  | Helm (dood)          |
| Festuca juncifolia                | 17  | 2 | 7   | 2  | 74  | 1  | 60  | 6  | 77 | 12 | Duinzwenkgras        |
| Cakile maritima                   | 100 | 3 | 47  | 2  | 11  | 3  | 2   | 2  |    |    | Zeeraket             |
| Elymus farctus                    | 67  | 4 | 100 | 32 | 8   | 5  | 7   | 12 | 10 | 2  | Biestarwegras        |
| Honckenya peploides               |     |   | 20  | 4  | 1   | 2  | 5   | 2  |    |    | Zeepostelein         |
| Aster tripolium                   |     |   | 20  | 2  | 0   | 2  | 1   | 2  |    |    | Zeeaster             |
| Cirsium arvense                   |     |   |     |    | 38  | 3  | 18  | 3  | 10 | 2  | Akkerdistel          |
| Tortula ruralis var. ruraliformis |     |   |     |    | 14  | 3  | 68  | 16 | 14 | 4  | Groot duinsterretje  |
| Brachythecium albicans            |     |   |     |    | 15  | 9  | 47  | 13 | 14 | 2  | Bleek dikkopmos      |
| Arenaria serpyllifolia            |     |   | 7   | 2  | 4   | 2  | 24  | 2  |    |    | Zandmuur             |
| Cerastium semidecandrum           |     |   |     |    | 8   | 2  | 22  | 2  |    |    | Zandhoornbloem       |
| Hippophae rhamnoides              |     |   |     |    | 2   | 8  | 20  | 19 | 95 | 58 | Duindoorn            |
| Galium aparine                    |     |   |     |    | 1   | 2  |     |    | 27 | 2  | Kleefkruid           |
| Anthriscus caucalis               |     |   |     |    | 4   | 2  | 3   | 2  | 23 | 2  | Fijne kervel         |
| Calamagrostis epigejos            |     |   |     |    | 0   | 1  | 3   | 4  | 23 | 10 | Duinriet             |
| Arrhenatherum elatius             |     |   |     |    | 1   | 5  | 3   | 4  | 14 | 2  | Glanshaver           |
| Brachythecium rutabulum           |     |   |     |    | 7   | 4  | 17  | 6  | 18 | 2  | Groot dikkopmos      |
| Bromus hordeaceus                 |     |   |     |    | 5   | 8  | 7   | 2  | 14 | 2  | Zachte dravik        |
| Bryon dioica                      |     |   |     |    | 1   | 2  | 1   | 2  | 14 | 2  | Heggerank            |
| Bryum argenteum                   |     |   |     |    |     |    | 7   | 2  |    |    | Zilvermos            |
| Bryum capillare s.l.              |     |   | 7   | 1  | 5   | 5  | 20  | 10 |    |    | Gedraaid knikmos     |
| Carex arenaria                    |     |   |     |    | 18  | 4  | 67  | 7  | 50 | 4  | Zandzegge            |
| Senecio jacobaea                  |     |   |     |    | 51  | 3  | 68  | 4  | 55 | 2  | Jacobskruiskruid     |
| Calystegia soldanella             |     |   |     |    | 12  | 6  | 3   | 4  |    |    | Zeewinde             |
| Cerastium diffusum                |     |   |     |    | 2   | 2  | 3   | 2  |    |    | Scheve hoornbloem    |
| Cerastium fontanum                |     |   |     |    | 4   | 3  | 22  | 2  | 10 | 2  | Gewone hoornbloem    |
| Ceratodon purpureus               |     |   |     |    | 4   | 2  | 11  | 2  | 5  | 2  | Purpersteeltje       |
| Cirsium vulgare                   |     |   | 7   | 2  | 12  | 2  | 10  | 5  | 18 | 2  | Speerdistel          |
| Crepis capillaris                 |     |   | 7   | 2  | 22  | 2  | 45  | 2  | 36 | 2  | Klein streepzaad     |
| Cynoglossum officinale            |     |   |     |    | 16  | 2  | 28  | 2  | 55 | 2  | Hondstong            |
| Diplotaxis tenuifolia             |     |   |     |    | 18  | 4  | 23  | 3  | 14 | 2  | Zandkool             |
| Elymus athericus                  |     |   | 7   | 2  | 18  | 7  | 16  | 6  |    |    | Strandkweek          |
| Erigeron canadensis               |     |   | 13  | 2  | 7   | 2  | 21  | 3  | 5  | 2  | Canadese fijnstraal  |
| Erodium glutinosum                |     |   |     |    | 4   | 2  | 16  | 3  | 18 | 2  | Kleverige reigersbek |
| Eryngium maritimum                |     |   |     |    | 4   | 2  | 2   | 2  |    |    | Blauwe zeedistel     |
| Euphorbia paralias                |     |   | 7   | 2  | 10  | 3  | 12  | 2  | 10 | 2  | Zeewolfsmelk         |
| Galium verum                      |     |   |     |    | 1   | 2  | 20  | 4  | 5  | 2  | Geel walstro         |
| Hieracium umbellatum              |     |   |     |    | 9   | 2  | 9   | 2  | 10 | 2  | Schermhavikskruid    |
| Hypochaeris radicata              |     |   | 7   | 2  | 31  | 3  | 51  | 3  | 41 | 2  | Biggenkruid          |
| Leontodon saxatilis               |     |   | 13  | 2  | 26  | 2  | 55  | 3  | 18 | 2  | Kleine leeuwentand   |
| Leymus arenarius                  |     |   | 13  | 6  | 6   | 5  | 2   | 2  |    |    | Zandhaver            |
| Ononis repens                     |     |   |     |    | 4   | 6  | 8   | 10 | 10 | 2  | Kruipend stalkruid   |
| Phleum arenarium                  |     |   |     |    | 9   | 2  | 32  | 2  | 10 | 2  | Zanddodengras        |
| Plantago coronopus                |     |   | 7   | 2  | 0   | 1  | 5   | 5  |    |    | Hertshoornweegbree   |
| Rhynchosyrium megapolitanum       |     |   |     |    | 10  | 21 | 14  | 2  | 14 | 3  | Duinsnavelmos        |
| Rubus caesius                     |     |   |     |    | 25  | 7  | 36  | 9  | 55 | 16 | Dauwbraam            |
| Salsola kali ssp. kali            |     |   | 7   | 2  | 2   | 2  | 1   | 1  |    |    | Stekend loogkruid    |
| Sedum acre                        |     |   | 7   | 2  | 6   | 2  | 58  | 3  | 23 | 2  | Muurpeper            |
| Solanum dulcamara                 |     |   | 7   | 2  | 19  | 3  | 8   | 2  | 14 | 2  | Bitterzoet           |
| Sonchus arvensis                  |     |   | 20  | 2  | 29  | 3  | 23  | 3  | 5  | 2  | Akkermelkdistel      |
| Sonchus asper                     |     |   | 13  | 6  | 9   | 4  | 7   | 5  | 10 | 2  | Gekroesde melkdistel |
| Stellaria pallida                 |     |   |     |    |     |    |     |    | 5  | 2  | Bleke vogelmuur      |
| Taraxacum laevigatum              |     |   | 7   | 2  | 10  | 2  | 14  | 2  | 5  | 2  | Duinpaardenbloem     |
| Taraxacum sectie vulgaria         |     |   |     |    | 18  | 2  | 23  | 2  | 27 | 2  | Gewone paardenbloem  |
| Tortula calcicolens               |     |   |     |    | 1   | 2  | 7   | 5  |    |    | Klein duinsterretje  |
| Tragopogon dubius                 | 17  | 2 | 7   | 2  | 14  | 2  | 5   | 2  | 5  | 2  | Bleke morgenster     |
| Veronica arvensis                 |     |   |     |    | 2   | 2  | 11  | 2  | 5  | 2  | Veldereprijs         |
| Viola curtisii                    |     |   |     |    | 2   | 2  | 5   | 2  |    |    | Duinviooltje         |



**Figuur 4.** Gemiddeld aantal plantensoorten in een proefvlak van 75m<sup>2</sup> in 5 types helmvegetatie binnen een gradiënt van pionierend naar gefixeerd



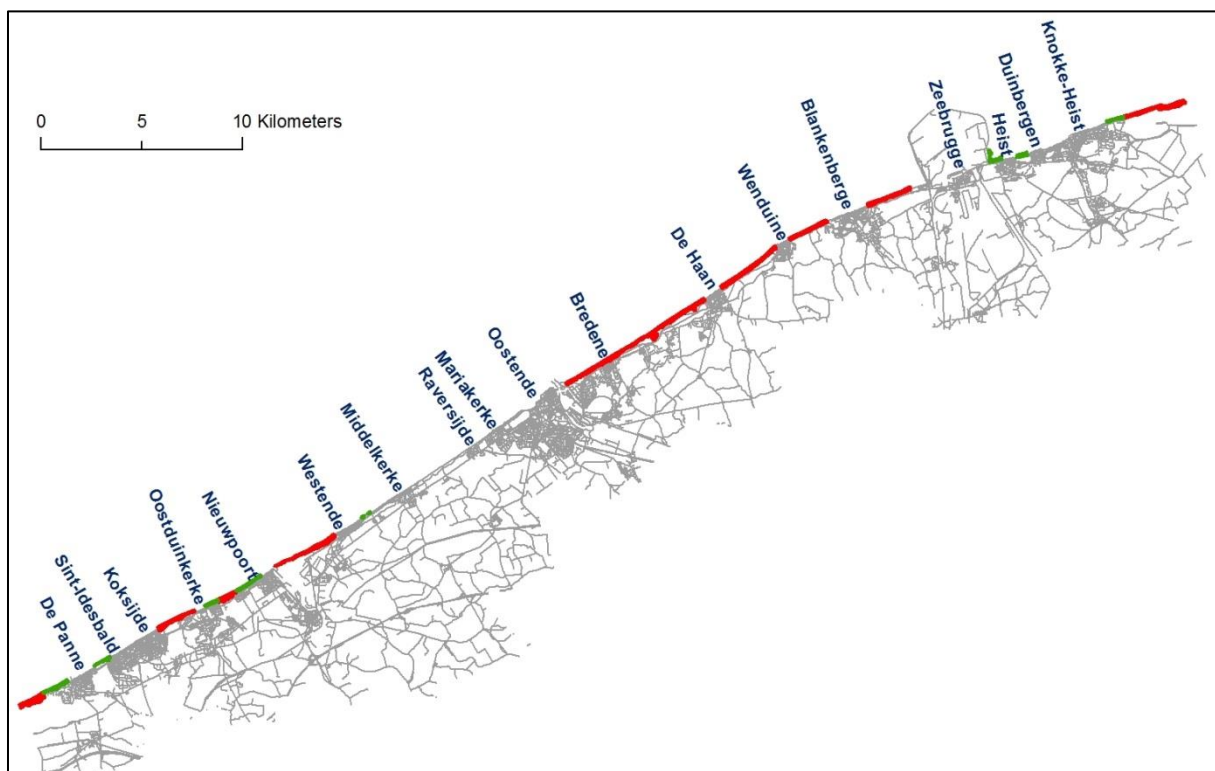
**Figuur 5.** Vegetatiestructuur van 5 types helmvegetatie binnen een gradiënt van pionierend naar gefixeerd.

De opbouw van nieuwe duinen in de zeereep gebeurt vanuit embryonale duinen op het strand. Vloedmerken afgezet tijdens springtij spelen daarin een cruciale rol. Zij verhinderen tijdelijk het wegstuiven van het strandzand waardoor een aantal gespecialiseerde plantensoorten zoals zeeraket en stekend loogkruid tot kieming kunnen komen (type A). Kenmerkend voor deze soorten is hun tolerantie voor zout en de grote drijfkracht van de zaden waardoor zij door de zee worden verspreid. Het ontbindend organisch materiaal (zoals bruinwieren) in de vloedmerken levert de nodige voedingsstoffen voor de ontwikkeling van de planten. Dit is belangrijk gezien het fysiologisch mechanisme dat de zouttolerantie verzekert een relatief grote stikstofbehoefte heeft.

Het zandfixerend vermogen van de zeereep is afhankelijk van de vitaliteit van helm. Deze soort kan verticaal snel meegroeien met overstuivend zand en kan zich ook horizontaal uitbreiden via wortelstokken. Helm is hierdoor uitstekend aangepast aan het dynamische stuifduinmilieu. De vestiging van helm is echter niet zo vanzelfsprekend. Huiskes stelde in de jaren '70 dat de vestiging van helm uit zaad, althans in het Verenigd Koninkrijk, een zeldzaam fenomeen is: "seedlings have occasionally been found in nature but generally in low numbers...". Veel kiemplanten sterven af door droogte, overstuiving of erosie (Huiskes 1977, 1979).

Kieming vereist een open maar voldoende stabiel milieu en een minimale bodemvochtigheid. De embryonale biestarwegrasduintjes op het hoogstrand voldoen aan deze vereisten (vegetatietype B). Eens uitgegroeid tot boven de invloedssfeer van de zee vormen zij een ideale vestigingsplaats voor helm. Meer landinwaarts zijn geschikte kiemingsmilieus minder algemeen. Onder meer in de rand van vochtige duinvalleien of in blootgestoven fossiele bodemlagen dienen zich geschikte kiemingsomstandigheden aan. In kleine, laagdynamische stuifplekken kan helm zich in natte perioden vestigen maar bij grootschalige verstuiving heeft de soort het bijzonder moeilijk om voet aan wal te krijgen. Zo was het loopduin van het natuurreservaat De Westhoek in De Panne, een stuifduin met een oppervlakte van ca. 100 ha, gedurende meer dan een eeuw nagenoeg vrij van helm. Een belangrijke trigger voor de recente massale vestiging van helm op het duin was hoogstwaarschijnlijk de uitzonderlijk hoge neerslag (meer dan dubbel zo hoog als gemiddeld) tijdens de jaren 2000-2001 (Provoost et al. 2011). Het is nog onduidelijk of klimaatveranderingen een invloed hebben op de kieming van helm maar een verhoogde variabiliteit in de neerslag – met meerbepaald perioden met zeer hoge neerslag - en een globaal hogere temperatuur wijzen in ieder geval op een toegenomen kiemingspotentie.

Na de vestiging van helm is het voor de ESD kustbescherming van groot belang dat de vitaliteit van de soort niet afneemt. Vooral parasitaire bodemaaltjes kunnen de gezondheid van helm aantasten (van der Putten et al. 1989, 1990). In de losse minerale bodems van stuifduinen kunnen deze organismen amper gedijen maar bij fixatie van helmduinen komt de bodemontwikkeling op gang en neemt het bodemleven toe. Gezonde helmvegetaties (vegetatietype C) vereisen dus een constante dynamiek. Zeker in onze kalkrijke duinen zien we de vitaliteit van helm na fixatie snel afnemen. In ontcalcite duinen zoals bijvoorbeeld op de Nederlandse Waddeneilanden, lijkt helm ook bij fixatie weinig last te ondervinden van bodemparasieten en draagt de soort zelfs bij tot de vergrassing van grijze duinen. De overgang van vegetatietype C naar D geeft de veranderingen in de vegetatiesamenstelling weer bij beginnende fixatie van helmduinen. De verdere vegetatieontwikkeling hangt af van verschillende factoren zoals expositie en inclinatie en de aanwezigheid van diasporen van soorten uit latere successiestadia. Op zuid-geëxponeerde hellingen leidt droogtestress tot de ontwikkeling van mosduinen. Op termijn zien we op de meeste plaatsen, zelfs in de voorste delen van de zeereep, ontwikkeling van duindoornstruweel optreden (type E).



**Figuur 6.** Potentieel aanbod van de ESD kustbescherming: brede (rood) en smalle (groen) zeereepduinen aan de Vlaamse kust.

Potenties voor de (terrestrisch-)biotische component van de ESD kustbescherming zijn er vooral in die kuststroken met een voldoende breed zeereepduin. Voor het optimaal ecologisch functioneren

van een zeereepduin is een breedte van enkele tientallen meters onontbeerlijk. Deze ruimte is in de eerste plaats vereist voor de kenmerkende geomorfologische processen in de overgang van strand naar duin. Deze processen hebben veelal een uitgesproken cyclisch karakter met enerzijds een seizoenaal en anderzijds een meerjarige component (De Moor 2006). Tijdens maanden met een hoge stormvloedfrequentie treedt er veelal kustafslag op waarbij duinkliffen worden gevormd. Tijdens de zomermaanden met geringere stormactiviteit wordt deze schade in principe door eolische duinvorming weer hersteld. Daarbovenop kunnen stranden een structurele (over meerdere jaren) erosie of aanwas kennen die de seizoenale duinafslag kan versterken of net afremmen.

De geselecteerde 'brede zeerepen' in figuur 6 hebben ofwel een breedte van minstens 80 m of, indien smaller, sluiten zij aan bij een breder duingebied (ter hoogte van de IJzermonding bijvoorbeeld). Binnen deze zones werd de vegetatie verder onder de loep genomen (zie paragraaf 2.3). Dit betekent niet dat de smallere duinen die voor de bebouwde kustplaatsen gelegen zijn, niet van belang zijn, integendeel. In deze zones is de nood aan bescherming zeer groot en leveren duintjes, hoe smal ook, een cruciale bijdrage tot de bescherming van deze zones. Alleen betreft het hier duinen die de band met een achterliggend breder duingebied missen en daarom niet ten volle ecologisch kunnen functioneren. De ruimte voor erosie en eolisch zandtransport is hier immers niet aanwezig. Deze zones zijn aangeduid als 'smalle zeerepen' in figuur 6.

### **2.1.3. Actueel aanbod**

Enkel in de IJzermonding, de Baai van Heist en het Zwin zijn momenteel nog slikken en schorren te vinden die in contact staan met de zee. De gezamenlijke oppervlakte bedraagt ca. 170 ha. Gezien zij door zeewerende dijken gescheiden zijn van de ingepolderde kustvlakte, is hun betekenis voor de zeewering relatief beperkt. Zij vormen wel een extra bescherming voor de dijken. Uitbreiding van het slikken en schorrenareaal is mogelijk door ontpoldering. Daarbij worden de gebieden al dan niet rechtstreeks weer periodiek door zeewater overspoeld en kan er opnieuw sedimentatie plaatsvinden. In de Zeeschelde is het belang van slikken en schorren veel groter omdat de beschermende duingordel er ontbreekt. Daarenboven is het overstromingsgevaar lokaal groot door de aanzienlijke amplitude van het getij en de grote stroomsnelheden (Jacobs et al. 2010).

De bijdrage van duinvegetatie aan de ESD kustbescherming vergt een vitale helmvegetatie. In onze kalkrijke duinen is hiervoor zoals hoger aangehaald een dynamisch milieu noodzakelijk. De geomorfodynamiek in onze duinen is echter sterk afgenomen. Ongeveer de helft van het duinenareaal is bebouwd waardoor de duinen sterk zijn vernippered en in veel gevallen fysisch zijn afgesneden van de zee. Van de 67 km kustlijn is 60% nagenoeg tot tegen het hoogstrand bebouwd. Doorgaans zijn in deze zones dan ook zeewerende dijken aanwezig. Over ongeveer 5 km zijn smalle duintjes aanwezig voor de urbane zones. In de overige zones zijn zeewerende duinen aanwezig (figuur 6). In een kwart van die gevallen wordt het contact tussen duin en zee verhinderd door een verharde duinvoet (10% van de totale kustlijn). Zeewerende duinen in rechtstreeks contact met de zee resteren dus nog over ongeveer een derde van onze kustlijn.

De geomorfologische processen vereisen een minimale oppervlakte aaneengesloten duin. Zeer smalle duinstroken zoals tussen Blankenberge en Wenduine worden vastgelegd, alleen al omdat verstuiving hinderlijk is voor wegen of aanpalende urbane zones. Maar ook bredere duinstroken worden vaak gefixeerd door de aanplanting van rijshouthagen, helm, abelen of andere planten. Vooral de aanleg van een duinvoetversteving zoals in de Westhoek veroorzaakt sterke fixatie van de zeereep met achteruitgang van de helmduinen als gevolg.

De oppervlakteverdeling van verschillende vegetatietypes in de zeereepgebieden aan onze kust wordt weergegeven in figuur 7. De vegetatiekaarten die aan de basis liggen van deze cijfers, werden via beeldclassificatie afgeleid uit digitale luchtopnames (Provoost et al. 2008, zie bijlage) en hebben dus beperkingen op vlak van typologie. Zoals hoger aangehaald, worden de eerste stadia van de fixatie van helm vooral gekenmerkt door een toename van de mosbedekking en van het aandeel van typische mosduinsoorten. Deze eerder subtiele gradaties zijn moeilijk af te leiden uit de remote sensing beelden. Daarom wordt het aandeel aan kaal zand en pioniervegetatie (i.e. vegetatie met een belangrijk aandeel aan kaal zand) samen als een goede maat beschouwd voor de dynamiek in de zeereep. De zeereepzones werden daarom in figuur 7 voorgesteld volgens dalend aandeel aan deze bedekkingstypes, wat overeen komt met een gradiënt van open en dynamisch (Westende) naar meer gesloten en stabiel (De Westhoek).

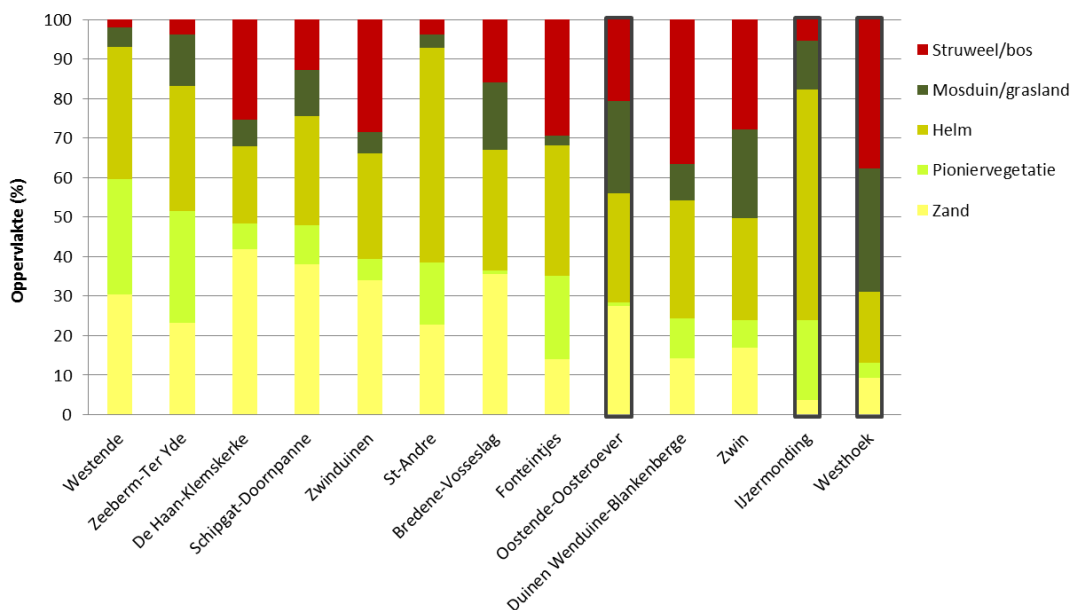
In figuur 8 wordt de gemiddelde oppervlakteverdeling van vegetatietypes voor drie types van gebieden weergegeven. Een vitaal, dynamisch zeereepduin bestaat voor ca. vier vijfden uit helmduin, pionierduinvegetaties en kaal zand. Deze laatste twee categorieën nemen gezamenlijk 50% van de bedekking voor hun rekening en bestaan dus ook voor een belangrijk deel uit open, dynamische en vitale helmvegetatie. We vinden dit type in verschillende bredere duingebieden



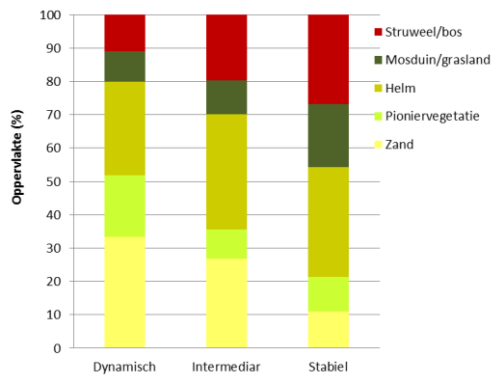
zoals Ter Yde en het Schipgat maar ook in smallere zeereepzones zoals in Westende (figuur 9). Binnen de categorie stabiele zeerepen is de oppervlakteverdeling van de verschillende vegetatietypes nagenoeg het spiegelbeeld van de dynamische situatie. Open zand en pioniervegetatie maken hier slechts 20% van de bedekking uit en de stabiele types mosduin, grasland en struweel bedekken samen bijna de helft. Twee bedijkte gebieden, IJzermonding en De Westhoek behoren duidelijk tot deze stabiele zones. Ook voor Oostende Oosteroever is een dijk aanwezig hoewel de vegetatie er minder gestabiliseerd lijkt. Het relatief hoge aandeel aan zand valt te verklaren door de sterke recreatiedruk van het jeugdcentrum 'Zon en Zee' in deze zone. Uit het aandeel aan mosduin, grasland en struweel valt duidelijk af te leiden dat het eigenlijk een sterk gestabiliseerde zeereep betreft. In de zeereep tussen Wenduine en Blankenberge is de sterke stabilisatie gerelateerd aan kunstmatige fixatie. Het relatief stabiele karakter van de zeereep ter hoogte van het Zwin is vermoedelijk te verklaren doordat deze zone een stuk meer landwaarts van de globale kustlijn ligt en daardoor minder directe dynamiek vanuit zee ervaart.

Opvallend in figuren 4 en 5 is dat de oppervlakte helm een zekere variabiliteit vertoont tussen de verschillende gebieden maar binnen de drie categorieën van stabiliteit gemiddeld constant ca. 30% bedraagt. Dit geeft aan dat via de remote sensing karteermethode de oppervlakte (gesloten) helmvegetatie geen goede indicator is voor de dynamiek en dus voor de vitaliteit van de helmduinen. De tegenovergestelde trend in enerzijds zand en pioniervegetatie en anderzijds mosduin, grasland en struweel tonen dan weer aan dat de indeling in de drie categorieën een behoorlijke consistentie vertoont.

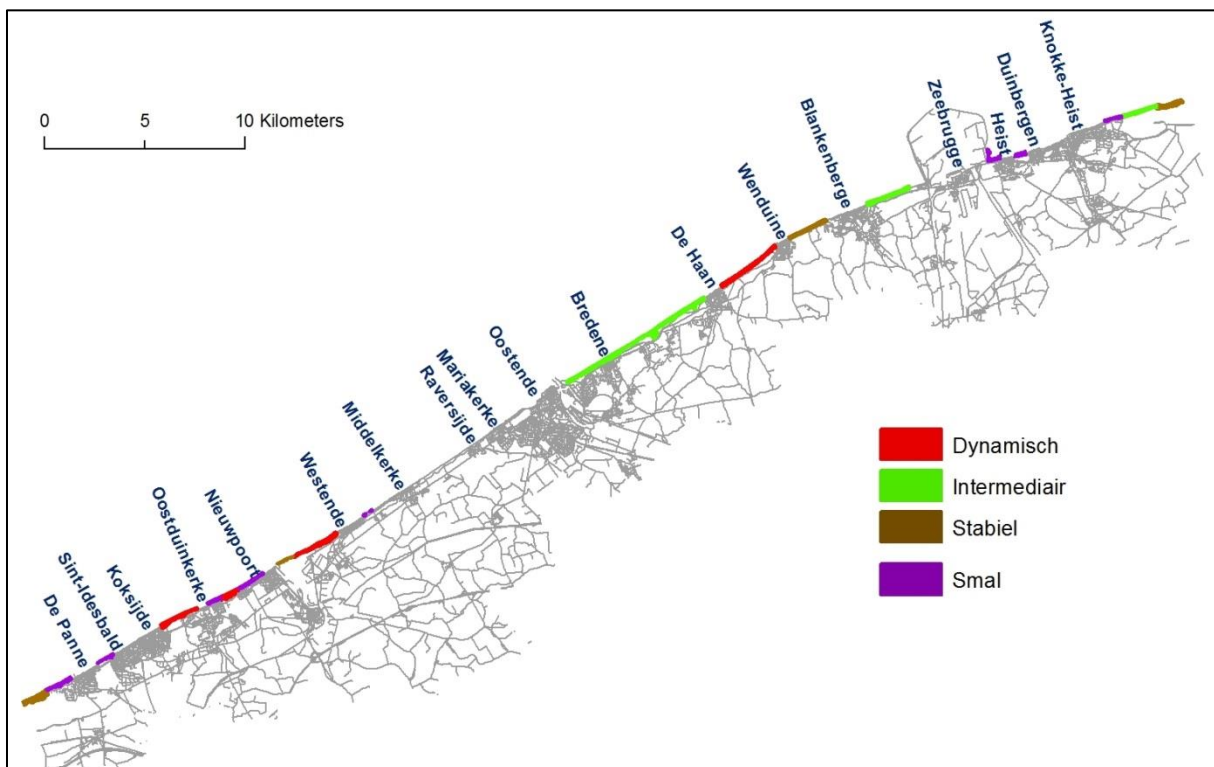
Voor de kartering van het actueel aanbod van de ESD kustbescherming werden dus deze drie types zeereep gebruikt, aangevuld met een categorie 'smalle zeereep' (figuur 9). Voor deze laatste categorie werden de vegetatiekenmerken verder niet in rekening gebracht (zie paragraaf 2.2.).



**Figuur 7.** Oppervlakteverdeling van de vegetatietypes in de zeereepgebieden uit figuur 6. De gebieden worden weergegeven volgens toenemende fixatie. Bedijkte zones zijn grijs omkaderd



**Figuur 8.** Gemiddelde oppervlaktes van verschillende vegetatietypes in drie types zerepen



**Figuur 9.** Actueel aanbod van de ESD kustbescherming: verschillende types zerepen aan de Vlaamse kust

Ook het beheer van zereepduinen heeft een invloed op het actueel aanbod van de ESD kustbescherming. Het beheer van de niet bebouwde kustgebieden is grotendeels in handen van de Vlaamse Gemeenschap, meer bepaald het Agentschap voor Natuur en Bos en specifiek voor de zeeerende delen van de kust het Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust. Het beheer van deze zones omvat enerzijds de regulering van betreding en anderzijds de actieve stimulatie van zandaccumulatie, vooral door de aanplant van rijshouthagen. Overbetreding van het hoogstrand verhindert de vorming van embryonale duintjes doordat kwetsbare kiemplanten worden vertrappeld. In nagenoeg de hele kuststrook is het hoogstrand vrij toegankelijk voor recreanten, wat een nagenoeg permanente druk op dit deel van het ecosysteem teweegbrengt. Enkel ter hoogte van de Baai van Heist en de IJzermonding is het strand periodiek ontoegankelijk, waardoor embryonale duinvorming meer optimaal kan verlopen.

In de praktijk is het zeer moeilijk om de recreatieve druk op het hoogstrand te verminderen. De aanplant van rijshouthagen, in functie van het invangen van zand, kan bijdragen tot een lokaal stabiel milieu waardoor pioniersoorten zich kunnen vestigen. Dit is ook gebleken uit gedetailleerde karteringen van hoogstrandflora (Speybroeck et al. 2007). Uit de analyse van

sedimentatietrends aan de kust is trouwens gebleken dat rijnshout de zandaanwas op het hoogstrand sterk bevordert (Janssens et al. 2013).

## 2.2. Vraag naar ESD Kustbescherming

De vraag naar de ecosysteemdienst hangt samen met de potenties voor overstroming (laaggelegen delen van de kustvlakte) of kustafslag. Op basis van de overstromingsrisico's en potentiële schade of aantallen slachtoffers bij overstromingen werd een risico-analyse uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium in opdracht van het Vlaams Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust (MDK). Daarbij gaat men uit van een reeks van vier superstormen die gepaard gaan met een opstuwning van het zeeniveau tot respectievelijk 6,5m TAW, 7m TAW, 7,5 m TAW en 8m TAW. Dergelijke stormvloedden hebben ingeschatte retourperioden van respectievelijk 100 jaar, 1000 jaar, 4000 jaar en 17000 jaar (Verwaest et al 2013). In een scenario met 60cm stijging van het gemiddeld zeeniveau zou die laatste retourperiode dalen tot 1000 jaar. De methodiek voor de schadeberekening wordt uitgewerkt in Verwaest et al. (2008b). Schaderisico en slachtofferrisico worden weergegeven in figuren 10 en 11 (zie ook Tabel 1). Deze cijfers geven de toestand weer vóór de uitvoering van de meest recente kustbeschermingswerken in het kader van het Masterplan Kustveiligheid en het OW-plan Oostende. Na de uitvoering van deze plannen worden de risico's bij een +8m superstorm verwaarloosbaar.

Uit de analyse blijkt dat de havens van Nieuwpoort, Oostende, Blankenberge en Zeebrugge de zwakste schakels in de zeewering vormen (figuur 3). Vooral falingen van de structuren (bressen) en in mindere mate overstromingen van de kaaimuren zouden er leiden tot schade.

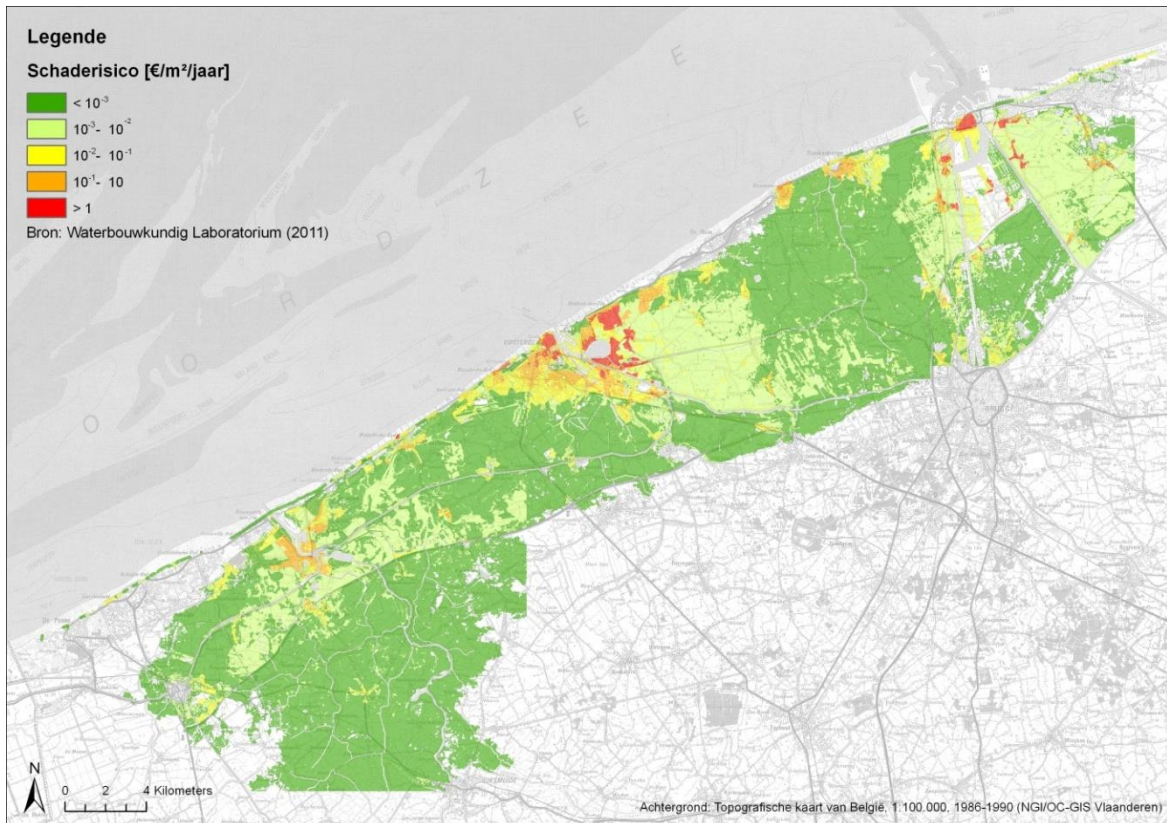
Ter hoogte van de kuststroken zonder havens nemen twee kuststroken een substantieel aandeel van de schade en slachtoffers voor hun rekening. De strook vanaf Raversijde tot Oostende vormt het zwakste deel van de kustbescherming. Hier is ruim 80% van de schade aan de zeewering te verwachten. Een tweede zwak punt is Wenduine, waar 11% van de schade zou optreden.

Aan de hele westkust, van de Franse grens tot en met Lombardsijde, zijn de zeewerende duinen meer dan een kilometer breed en is er geen reëel gevaar voor doorbraken tot in de kustvlakte. De schade is dan ook enkel te verwachten nabij het strand. Concreet betreft het overtopping van de zeewering met lokale overstromingen voor gevolg (vooral in Sint-Idesbald) of het ontstaan van beperkte bressen, zoals in het westen van Oostduinkerke-Bad.

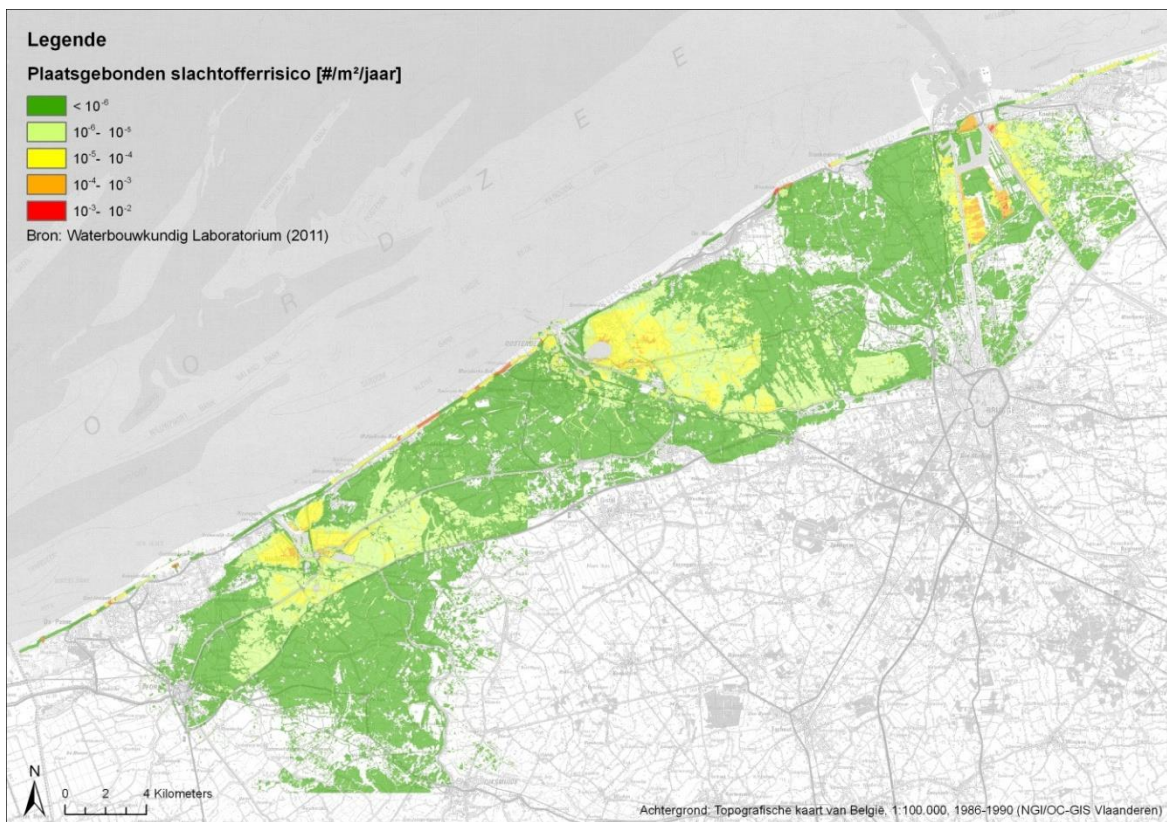
Aan de middenkust tussen Westende en Oostende is de duinengordel smal (120-300 m breed) en grotendeels volgebouwd. Hier bevinden zich dan ook de zwakste plekken in de duinen. Naast mogelijke schade door overslag van zeewater en vernieling van zeewerende infrastructuur is bresvorming waarschijnlijk in de badplaatsen Middelkerke, Raversijde en Mariakerke en in de bedijkte duinen ten westen van Raversijde. Hierdoor zou een groot gedeelte van de achterliggende polder tot ca. 3 km landinwaarts kunnen overstromen, wat de grote potentiële schade verklaart.

Ook in het oostelijk deel van Oostende en in Bredene is de duinengordel smal. Ter hoogte van het vakantiecentrum 'Duin en Zee' is dan ook bresvorming mogelijk bij een superstorm wat overstroming van grote delen van de Vuurtorenwijk zou veroorzaken. Verder wordt ter hoogte van Bredene en De Haan enkel lokale bresvorming voorspeld ter hoogte van Bredene-Hippodroom en de golf van De Haan waardoor de schade er relatief beperkt blijft.

De badplaats Wenduine vormt een tweede zwak punt in de duinengordel. Hier zouden zich bij een +8 m superstorm verschillende bressen voordoen in de zeewerende dijk voor de bebouwing. Dit zou een overstroming tot diep in de polder met zich meebrengen (Uitkerkse polder). Ten oosten van Wenduine zijn de zeewerende duinen relatief veilig, al is ter hoogte van ongeveer alle badplaatsen van Wenduine tot Knokke schade te verwachten als gevolg van zeewater dat periodiek over de zeewerende dijken stroomt (overslag).



**Figuur 10.** *Vraag naar de ESD kustbescherming: inschatting van het schaderisico bij stormvloeden in de kustvlakte (uit Meire et al. 2011)*



**Figuur 11.** *Vraag naar de ESD kustbescherming: inschatting van het plaatsgebonden slachtofferisico bij stormvloeden in de kustvlakte (uit Meire et al. 2011)*

## 2.3. Gebruik van ESD Kustbescherming

De vraag naar zeewering is ruimtelijk grotendeels gescheiden van de zones met het hoogste aanbod. Zoals hoger reeds aangehaald bieden duinen een uitstekende bescherming tegen mariene overstroming als zij voldoende breed zijn, als er ruimte is voor geomorfologische processen en als er een vitale helmvegetatie aanwezig is. Urbanisatie van duinen gaat steevast ten koste van deze voorwaarden. Tabel 3 illustreert dat de ingeschatte economische schade die zou worden aangericht door de hoger aangehaalde stormvloed en zich nagenoeg volledig (99%) zou concentreren in de urbane gebieden. Ook het merendeel van de slachtoffers zou in urbane gebieden vallen (93%). Zelfs bij een geringe aanwezigheid van duinen (categorie 'smal duin') wordt de potentiële schade onmiddellijk sterk gereduceerd. Het hoger aandeel potentiële slachtoffers in deze categorie is gerelateerd aan de nabijheid van urbane zones. Bij bredere duinen is de afstand tot bewoonde gebieden logischerwijs ook groter.

Naast de havens zijn de zones met de hoogste risico's voor overstroming tot op het strand volgebouwd waardoor de natuurlijke zeewering geen erosie meer kan opvangen. Het betreft kuststroken ter hoogte van verschillende badplaatsen met als hoogste risicogebieden Middelkerke, Raversijde, Mariakerke, het westen van Oostende en Wenduine. In de zones met een voldoende breed zeereepduin is het overstromingsrisico klein tot onbestaand. Zeer lokaal zijn enkele zwakke plekken ontstaan door paadjes in de duinen en de daarmee geassocieerde recreatiedruk. Te sterke betreding schaadt de vegetatie wat het mechanisme van de ecosysteemdienst kustbescherming ondermijnt.

**Tabel 3.** *Gebruik van de ESD kustbescherming: verdeling van de ingeschatte economische schade en aantallen slachtoffers over de verschillende types kust (gegevens Waterbouwkundig Laboratorium). Waar duin aanwezig is, reduceert de potentiële schade en het aantal slachtoffers*

|            | Lengte (km) | Lengte (%) | Economische schade (%) | Slachtoffers (%) | Schade (% per km) | Slachtoffers (% per km) |
|------------|-------------|------------|------------------------|------------------|-------------------|-------------------------|
| Breed duin | 26,7        | 38,2       | 0,54                   | 1,78             | 0,02              | 0,07                    |
| Smal duin  | 17,6        | 25,2       | 0,41                   | 5,11             | 0,02              | 0,20                    |
| Urbane     | 25,7        | 36,7       | 99,04                  | 93,10            | 5,62              | 5,28                    |

## 2.4. Trend in aanbod ESD Kustbescherming

### 2.4.1. Ontwikkeling van het kustgebied

De trend in de vraag naar kustbescherming hangt samen met de urbanisatie, bewoning en economische ontwikkeling van de kust. Verschillende indicatoren wijzen op een verdere toename van de totale waarde van de kustregio in termen van sociaal en economisch kapitaal. Tussen 2004 en 2012 steeg de bevolking van 408.194 naar 418.788 inwoners, een toename met gemiddeld 0,3% per jaar (Provincie West-Vlaanderen 2012). Dit ging onder meer gepaard met een stijging van de welvaartsindex (Maelfait & Belpaeme 2007) en een groei van de havens en ondernemingen (Maelfait et al. 2012).

### 2.4.2. Sedimentbudget

Aan de aanbodzijde hangt de sterkte van de natuurlijke zeewering in grote lijnen samen met het aanwezige volume zand voor de urbane zones. Het zandbudget in deze zones vormt dan ook het belangrijkste element in de trend die de ecosysteemdienst kustbescherming vertoont. Onderstaande bespreking is gebaseerd op recente studies van de morfologische trends aan onze kust (Houthuys 2012; Janssens et al. 2013).

De trends vertonen sterke verschillen tussen de diverse compartimenten van het kustprofiel: zeebodem, vooroever, nat strand, droog strand en duin (figuur 1). Lokaal gedragen die compartimenten zich relatief onafhankelijk van elkaar. Enkel tussen vooroever en nat strand en tussen droog strand en duin is er een redelijk duidelijke correlatie in de sedimentatietrends. Voor de meeste kuststroken is over de voorbije drie decennia amper een trend te bespeuren. De meest

in het oog springende volumeveranderingen zijn er beperkt in de tijd en vaak aan kunstmatige zandaanvoer gerelateerd.

De vooroever kreeg de voorbije decennia langsheen bijna de gehele kustlijn in toenemende mate een erosief karakter. De erosie situeert zich voornamelijk aan de vooroevervoet, met name in de zone waarin de steilere vooroever overgaat in de vlakkere zeebodem. De erosieve zone bevindt zich hierbij nog wel op de vooroever en niet op de zeebodem. Mogelijk is deze erosietrend geassocieerd met het steiler worden van de vooroeverzone. Belangrijke uitzonderingen zijn de havens van Zeebrugge en Oostende, waar sterke sedimentaccumulatie optreedt ter hoogte van de strekdammen (o.m. de Baai van Heist). Ook ter hoogte van de lange strandhoofden in Koksijde (Ster Der Zee) groeit de vooroever sterk aan.

Het droog strand vertoont vaak een zeer significante en sterke sedimentatietrend, voornamelijk gesitueerd aan de dijk- of duinvoet, afhankelijk van welke van de twee aanwezig is. Deze trends treden op zowel in gebieden waar regelmatig strandophogingen plaatsvinden als gebieden waar geen menselijke invloed aanwezig is. Stranden waar rijshouthagen zijn aangeplant, blijken onderhevig te zijn aan een zeer sterke sedimentatietrend. Op het nat strand is op zo goed als geen enkele locatie een significante trend waar te nemen. De trend voor duin en strand loopt meestal in dezelfde richting, tenzij grootschalige suppletie plaatsvond, zoals tussen Bredene en Wenduine.

Uit de meetgegevens van het Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust, gepubliceerd in Houthuys (2012), blijkt de totale hoeveelheid sediment in de kustzone vanaf -20 m TAW tot de voorste duinenrij tijdens de voorbije twee decennia te zijn toegenomen met ruim 20 miljoen m<sup>3</sup>. Ongeveer drie kwart van dit volume is afkomstig van zandsuppletie op het strand of – in mindere mate – de vooroever. Bijna de helft van de sedimenttoename deed zich voor in de vooroever. Zonder suppleties zijn het strand en de duinen actueel netto erosief.

### **2.4.3. Duinlandschap**

De sterke achteruitgang van de natuurlijke landschappen tijdens de voorbije eeuwen wat betreft de gehele kustvlakte en van de voorbije 150 jaar wat betreft de kustduinen werden behandeld onder 'Actuele toestand'. De gewestplannen van de jaren '70, aangevuld met de duinendecreten uit de jaren '90 hebben geleid tot een stabilisatie van de urbane uitbreiding binnen de duinstreek. Onder meer de versnipperde toestand van de duinen aan onze kust maar ook veranderingen in grondgebruik en wellicht klimaatwijzigingen hebben geleid tot een sterke fixatie van het landschap en daarmee gepaard gaande voortschrijdende successie. Deze trend stellen we vast in geheel Noordwest-Europa (Provoost et al. 2011, Rhind & Jones 2009, Arens et al 2007).

Op korte termijn kunnen we de trend in de vegetatie bekijken door het vergelijken van twee karteringen via remote sensing. In 2007 werd zoals hoger vermeld een kartering uitgevoerd in het kader van het project Digikart. Een gelijkaardige kartering maar dan op basis van hyperspectraalbeelden werd uitgevoerd in 2004. De vergelijking tussen deze twee karteringen leert ons dat er globaal een fixatie optreedt van de zeerepen (figuur 12). Kaal zand en pioniervegetatie nemen af en evolueren naar helm, struweel en in mindere mate, mosduin en duingrasland. Zoals hoger aangehaald omvat de categorie 'helm' in de automatisch geclassificeerde beelden ook de gefixeerde helmduinen. Het is dus hoofdzakelijk de achteruitgang van zand en pioniervegetatie (waaronder ook biestarwegrasduinen en ijle helmvegetatie) in combinatie met de toename van struweel en mosduin/duingrasland die indicatief is voor de fixatietrend.



**Figuur 12.** Gemiddelde trend in de oppervlakte van de verschillende vegetatietypes in de zeerepen aan de Vlaamse kust (naar gegevens uit Kissiyar et al. 2005 en Provoost et al. 2008).

## 3. Drivers voor vraag en aanbod van de ESD

### 3.1. Urbanisatie van de kust

De noodzaak voor kustbescherming hangt samen met de bewoningsgeschiedenis van het gebied. De eerste kustbewoners schikten zich grotendeels naar de heersende dynamiek en vestigden zich aan de rand van de kustvlakte of in de duingebieden. Vanaf de middeleeuwen begon de mens het kustlandschap naar zijn hand te zetten en door de bedijking van schorren en het afdammen van kreken. In de twaalfde eeuw werden op de twee laatste belangrijke geulen, namelijk de IJzer en de Sincval, het latere Zwin, sluizen gebouwd zodat nagenoeg de volledige kustvlakte aan de invloed van de zee werd onttrokken (Verhulst 1995; Deckers et al. 2013). Hiermee stond de deur open voor verdere ontwikkeling van landbouw en de uitbreiding van bewoningskernen. Ook werd de kustbescherming daarmee volledig zeewaarts verschoven, naar de duinen en vooral die stroken waar de duinengordel door geulen of estuaria was onderbroken.

De duinen zelf waren in het Ancien Regime van groot belang als grafelijk jachtterrein (Van Acker 2012, Termote 1992). De privatisering van de duinen na de Franse Revolutie maakte bewoning mogelijk maar dit bleef aanvankelijk beperkt tot kleine dorpen aan de binnenduintrand. Het was vooral de opkomst van het toerisme die aanleiding gaf tot de sterke urbanisatie van de kust (Constandt 1986). Het kusttoerisme kwam eind 18<sup>de</sup> eeuw uit Groot-Brittannië overgewaaid maar bleef aanvankelijk een verschijnsel voor de mondaine elite. De democratisering kwam er pas in het interbellum, onder meer door de goedkeuring van de wet op betaald verlof in 1936. Dit gaf aanleiding tot het massatoerisme en de daaraan gekoppelde versnelde toeristische uitbouw van de kust (Vermeersch 1986). Aanvankelijk werd de bewoning en ontwikkeling van het kustgebied dus gedreven door bevolkingstoename en uitbreiding van het machtsgebied van de heersende klasse. De toeristische expansie daarentegen heeft andere drijfveren, zoals de economische groei en een daarmee nauw samenhangend veranderend cultuurpatroon.

De urbanisatie en economische ontwikkeling van onze kust ging gepaard met een sterke areaalreductie en versnippering van het (half-)natuurlijke landschap. Dit reduceerde ook het aanbod van de globale ecosystemedienst kustbescherming en in het bijzonder de biotische component ervan. Omgekeerd ging de urbane ontwikkeling gepaard met een spectaculaire verhoging van de potentiële schade bij stormvloed en dus een sterk stijgende vraag voor kustbescherming.

De eerste systematische bescherming van duingebieden kwam met de goedkeuring van de gewestplannen in de jaren '70. Daarvoor bleef de bescherming beperkt tot specifieke gebieden zoals de in 1957 als staatsnatuurreservaat aangeduide Westhoekduinen. De duinendecreten uit de jaren '90 beschermden de laatste open duinen en verankerden grotendeels de verhouding tussen urbane gebieden en duinen (Provoost et al. 2003). Bijkomende urbanisatie vormt dus actueel nog amper een driver voor het verminderde aanbod van de ecosysteemdienst kustbescherming. Wel kan verdichting en vernieuwing van het urbane gebied de vraag naar kustbescherming nog doen toenemen.

### **3.2. Belemmering van de geomorfodynamiek**

De sedimentstromen in het kuststelsel worden beïnvloed door het baggeren van vaargeulen subtidaal en de aanleg van strandhoofden, dijken en haveninfrastructuur intertidaal en supralitoraal. De gevolgen hiervan zijn niet eenduidig positief of negatief maar verschillen sterk in de ruimte. Gezien de residuele zeestroming aan onze kust van zuidwest naar noordoost verloopt, is er globaal accumulatie van sediment aan de westelijke kant van infrastructuur terwijl er erosie is aan de oostelijke zijde. In de luwte van grote structuren, zoals aan de haven van Zeebrugge, is er ook aan de oostkant sedimentatie mogelijk maar dit gaat dan gepaard met extra erosie verder van de structuur verwijderd. Zo treedt sterke sedimentatie op aan de westelijke strekdijk van de haven van Zeebrugge terwijl Knokke-Heist een sterk negatief sedimentbudget heeft. De compensatie van de erosie gebeurt meestal door zandsuppletie, wat een hoge kost met zich meebrengt.

Ter hoogte van de zeereep zijn de (bio)geomorfologische processen het meest verstoord. Slechts over een derde van onze kustlijn is er nog voldoende contact tussen land en zee om sedimentatie- en erosieprocessen op min of meer natuurlijke wijze te laten plaatsvinden. In deze zone voltrekken de processen zich grotendeels cyclisch. Enerzijds is er een seizoenspatroon van duinafslag tijdens stormachtige perioden en heropbouw tijdens meer windluwe perioden. Bij de heropbouw is de vegetatie als zandvangster van vitaal belang. In bedijkte kuststroken is de duinvoet weliswaar beschermd maar kan er wel stranderosie optreden. Gezien de zandbuffer uit de duinen niet meer kan worden aangesproken, is de erosie vaak sterker dan in natuurlijke systemen. In periodes van aanwas kan het zand niet meer geaccumuleerd worden in de duinen omdat het contact tussen strand en duin verbroken is. Het samenspel van deze processen resulteert in een globaal sterkere erosie en dus een hogere kost voor kustbescherming.

Ook over langere perioden worden er fasen van kustafslag en kustaanwas vastgesteld. De natuurlijke compensatie hiervoor vergt ruimte om de duinen landinwaarts of zeewaarts te laten verschuiven, zo niet moet worden ingegrepen. Ook hier betekent urbanisatie dus een hogere kost voor kustbescherming.

### **3.3. Het beheer van duinen**

Een belangrijk element is het beheer van de zeeverende duinen. Een optimale levering van de ESD kustbescherming vergt een vitale helmvegetatie en de mogelijkheid voor embryonale duinvorming. Kunstmatige fixatie van de duinen, onder meer door aanplant van bomen geeft een perceptie van stabiliteit maar betekent, zoals hoger geschetst, net een vermindering van de veerkracht van het systeem.

De sterke recreatieve druk op de duinen vormt een andere uitdaging voor de beheerder. Op het hoogstrand wordt de vorming van embryonale duinen belemmerd door overbetreding. Ook de helmduinen hebben een tolerantiegrens voor betreding. Het regelen van de toegankelijkheid van stuivende duinen is in de praktijk niet evident. Op het hoogstrand wordt de ontwikkeling van een vloedmerkvegetatie daarenboven vaak belemmerd door niet selectieve, machinale strandreiniging. Daarbij wordt ook het organisch materiaal verwijderd dat essentieel is voor de vestiging van de pioniersoorten van embryonale duinvorming.

Op verschillende plaatsen aan onze kust hebben de duinen onvoldoende ruimte of sedimenttoevoer om zich op natuurlijke wijze te kunnen ontwikkelen en vormen zij zwakke schakels in de kustbescherming. In het kader van het masterplan kustveiligheid werden daarom een aantal duinsuppleties gepland of reeds uitgevoerd om de veiligheid in deze zones te verzekeren.



### 3.4. Klimaatverandering

De zeespiegelstijging als gevolg van de globale opwarming van de aarde betekent een extra druk op de kust. Het systeem zit daarmee geprangd tussen de toenemende erosie aan zeezijde en het door urbanisatie en andere infrastructuur vastgelegde landschap aan landzijde, een fenomeen bekend als 'coastal squeeze' (Nicholls & Mimura 1998, Doody 2004). Het Kustveiligheidsplan (2011) gaat uit van een stijging van de stormvloedniveaus van 30 cm tussen 2000 en 2050 d.w.z. gemiddeld 6 mm per jaar. Dit is een sterke verhoging ten opzichte van de actuele trend die ca. 2 mm per jaar bedraagt (Verwaest et al. 2005). Een steeds sterkere zeespiegelstijging betekent een steeds hogere kost voor kustbescherming zoals voor de Belgische kust aangetoond wordt door de resultaten van het CLIMAR-project (Van den Eynde et al. 2011).

Naast de stijging van het zeeniveau is de impact van klimaatverandering op het functioneren van de ecosysteemdienst kustbescherming relatief onduidelijk. Deze onduidelijkheid heeft te maken met de onzekerheid op de voorspelde klimaatvariabelen (zeker als het windregime of neerslag betreft) maar ook door de complexe relatie tussen verstuiving en meteorologische factoren en interactie met de factor zandtoevoer. Los van dit laatste element bestaat er globaal een verband tussen droogte en toename van verstuivingsdynamiek dat vooral voor qua sedimentbudget gesloten woestijnsystemen werd aangetoond (Lancaster & Helm 2000; Arens et al. 2007). Een toenemende neerslag zou dus de fixatie van stuifduinen in de hand kunnen werken (zie ook Provoost et al. 2011 voor een case study over het loopduin in de Westhoek). Anderzijds kan een verhoogde stormfrequentie de verstuiving net stimuleren (Clarke & Rendell 2009).

## 4. Impact op biodiversiteit en milieu

In de relatie met biodiversiteit nemen we vooral de duinen onder de loep gezien de bijdrage van het strand tot de ESD kustbescherming voornamelijk van fysieke aard is. Omgekeerd kunnen maatregelen ten gunste van de kustbescherming wel belangrijke negatieve effecten hebben op het strandecosysteem. Daarbij denken we vooral aan de zandsuppleties, die in het Masterplan Kustveiligheid een belangrijke plaats innemen. De impact van de suppleties is gerelateerd aan verschillende factoren zoals onder meer de hoeveelheid zand, de oppervlakte en locatie van de suppletie binnen de tidale gradiënt, de kwaliteit van het gesupplieerde materiaal (korrelgrootte), timing, enz ... (Speybroeck et al. 2006, Vanden Eede 2013). Mits rekening te houden met een aantal randvoorwaarden vormt strandsuppletie zowel vanuit ecologisch als economisch oogpunt de best beschikbare techniek voor kustbescherming.

In de duinen lopen de kracht van de ESD en de noden vanuit biodiversiteitsoogpunt sterk parallel. De dynamische milieus vormen het meest specifieke biotooptype van de duinen (Provoost & Bonte 2004) en herbergen dan ook het grootste aandeel aan kustspecifieke soorten. In de kustduinen van Wales werd hier uitgebreid onderzoek naar verricht. Howe et al. (2010) vonden er 462 min of meer kustduin-gebonden soorten invertebraten waarvan 63% gebonden is aan open zand in pioniermilieus en stuivende duinen. Zoals hoger aangehaald is die dynamiek ook wenselijk om de vitaliteit van de voor kustbescherming essentiële helmduinen in stand te houden. Zowel biodiversiteit als kustbescherming zijn gebaat bij een breed duin waarin de hele gradiënt van strand tot gefixeerde duinen goed ontwikkeld is. De breedte is noodzakelijk om het hoofd te kunnen bieden aan natuurlijke fasen van kusterosie en -aanwas maar ook om die gradiënt aan ecotooptypes op een natuurlijke manier te kunnen handhaven.

Actueel is die ruimte op de meeste plaatsen aan onze kust niet meer voorhanden en zijn hoogstens compacte duinen aanwezig. Maar zelfs de smalle duinengordels van amper 100 m breed blijken een afdoende bescherming te bieden tegen gemodelleerde superstormen met een stormvloedpeil van +8 m TAW (Kustveiligheidsplan 2011). Ook in heel smalle duinstroken valt relatief belangrijke natuurwinst te boeken, hoewel de vanuit ecologie gewenste dynamiek er veelal onvoldoende ruimte heeft vanwege aanpalende urbane zones of andere infrastructuur. Hierdoor worden dergelijke smalle duinstroken veelal kunstmatig gefixeerd door aanplant van helm of abelen. Vooral dit laatste veroorzaakt een sterke afname van de biodiversiteit en is dus absoluut te vermijden.

Een punt van discussie is de aanplant van rijshout als zandvang op het hoogstrand. Vanuit kustbescherming kan op die manier snel en relatief goedkoop zand worden gevangen, althans als er voldoende zandaanbod is. In een natuurlijke situatie zou dergelijke infrastructuur een aanslag betekenen op het open karakter van het hoogstrandmilieu, met een mogelijk negatieve impact op bijvoorbeeld karakteristieke broedvogels als dwergstern en strandplevier. Door de huidige bijzonder grote recreatieve druk op het hoogstrand broeden deze vogels er sowieso niet en vormen de rijshouthagen net een veilige haven voor kiemplanten van hoogstrandplanten als zeeraket,

stekend loogkruid, strandmelde en biestarwegras (Speybroeck et al. 2006). Vooral de vestiging van deze laatste soort is noodzakelijk om de embryonale duinvorming op gang te zetten.

Ten slotte is het belangrijk om er op te wijzen dat een belangrijk deel van de biodiversiteit van de kustduinen amper een relatie heeft met de ecosysteemdienst kustbescherming. Enkel de voorste tientallen tot honderden meters spelen effectief een rol bij de bescherming tegen stormvloed en enkel in die zone is de kwaliteit van de vegetatie (dynamische helmduinen) van belang voor deze ecosysteemdienst. Op verschillende plaatsen zijn de duinen echter meer dan een kilometer breed en herbergen zij verschillende biotooptypes van het gefixeerde landschap zoals duingraslanden, duinvalleien, struwelen en bossen met een bijzonder rijke fauna en flora. Deze duinen omvatten, naast de voor kustbescherming belangrijke dynamische types 2110 en 2120 nog zes Natura 2000 habitattypes (2130, 2150, 2160, 2170, 2180 en 2190). Zij vallen volledig binnen de speciale beschermingszone afgebakend in het kader van de Europese habitatrichtlijn wat hun bovenregionaal belang voor natuurbehoud onderstreept. Het is dus van belang om het begrip 'duinen' in de context van kustbescherming binnen beperkte proporties te hanteren, zowel geografisch als op het vlak van ecotooptypes.

## 5. Maatschappelijk welzijn en waardering

Welzijns- en welvaartscomponenten

De ecosysteemdienst kustbescherming vormt een beveiliging tegen natuurrampen veroorzaakt door kustafslag en overstroming door de zee. De veiligheid die hiermee geboden wordt, vormt een basisvoorwaarde voor de meeste andere welzijns- en welvaartscomponenten die in het gebied van toepassing zijn.

Belanghebbenden

De dienst komt ten goede van een zeer ruim deel van de maatschappij. Het betreft de beveiliging van alle voor de maatschappij waardevolle elementen in het potentieel door mariene overstroming aangetaste deel van de duinen en de kustvlakte.

Belang van het effect

De kustbescherming vormt een essentiële voorwaarde om bewoning en andere menselijke activiteiten aan de kust en zeker in de laaggelegen kustvlakte mogelijk te maken. Het leveren van veiligheid door kustbescherming is een evident welzijnseffect dat in verschillende publicaties wordt omschreven (zie bv. Barbier et al. 2011 voor een recent overzicht).

Empirische gegevens

De maatschappelijke waarde van de kustbescherming kan ingeschat worden aan de hand van de vermeden schade bij overstroming. In het kader van het Geïntegreerd Kustveiligheidsplan en het OW-plan Oostende werden overstromingsrisicokaarten voor het kustgebied opgemaakt waarbij het effect van stormen met een bepaalde retourperiode werden gemodelleerd. Samen met een waardering voor de verschillende bodembedekking en landgebruiktypes kan hiermee in principe een inschatting van de schade gebeuren in monetaire termen. Zoals hoger aangehaald wordt de directe economische schade bij een duizendjarige storm (stormvloedpeil van 7 m TAW) geschat op 2 miljard euro. Daarnaast zouden zonder adequate kustbescherming en zonder evacuatiescenario's ook 250 dodelijke slachtoffers vallen (Verwaest et al. 2013).

## 6. Interacties huidig en toekomstig ESD gebruik

Impact op toekomstige levering van ESD kustbescherming

De ecosysteemdienst kustbescherming resulteert in vermeden schade en vermeden slachtoffers. Dit is eigenlijk een passief gebruik van de ESD waardoor er geen consumptie of verbruik is. Er is dus ook geen sprake van een effect van huidig gebruik op de toekomstige levering van de dienst. De bron van de vraag, namelijk de bewoning en economische ontwikkeling van het kustgebied, is wel rechtstreeks verantwoordelijk voor een verminderd aanbod gezien de urbanisatie ten koste gaat van het kustecosysteem. Omgekeerd heeft een versterking van de natuurlijkheid van de zeevering een afname van de noodzaak voor kustbescherming tot gevolg.

Impact op toekomstige levering van overige ESD

De overige ecosysteemdiensten in de duinen zijn in de eerste plaats recreatie en waterproductie. Vooral het recreatief gebruik van de duinen conflicteert met kustbescherming. Recreatie kan een

belangrijke impact hebben op de stabiliteit van de duinen en daarmee de zeeverende functie ervan (zie hoger onder Vraag en Gebruik). Globaal genomen zijn beide functies gebaat bij min of meer natuurlijke stranden en duinen omdat zij voor de recreant een gevarieerd landschap bieden en vanuit kustbescherming de beste garantie bieden op een robuust, veerkrachtig systeem. Het behoud van alle componenten van dergelijk landschap vergt echter een beperking van de betreding van hoogstrand en duingebieden.

#### Impact op ESD elders in de wereld

De ecosysteemdienst kustbescherming heeft vooral een lokale werking en heeft een geringe impact op andere delen van de wereld. Grootschalige ingrepen in het sedimentair systeem kunnen echter wel een geografisch ruimere impact hebben. Gezien aan onze kust onder invloed van een asymmetrische getijdenstroming en een dominante westelijke wind- en golfrichting een residueel sedimenttransport plaatsvindt in noordoostelijke richting, wordt de Nederlandse kust en in het bijzonder de Westerscheldemonding beïnvloed door ingrepen in die sedimentstroom.

#### De gradiënt natuurlijk-technologisch

De natuurlijke en technische aanpak van de kustbescherming zijn fundamenteel verschillend op het vlak van duurzaamheid. Een natuurlijke zeevering onder de vorm van duinen, slikken of schorren heeft het vermogen om sediment te accumuleren en daarmee de zeeverende functie te versterken. Dit is echter enkel van toepassing bij een positief zandbudget. Bij een erosieve kust heeft een natuurlijke zeevering weliswaar enige veerkracht maar eens de sedimentreserve is uitgeput, biedt zij geen enkel verweer meer. Harde kustbeschermingsinfrastructuur zoals zeedijken en havenmuren blijven hun werking behouden en kunnen eventueel aangepast worden in functie van veranderende milieumomstandigheden zoals een stijgend zeepeil. Daartegenover staan echter enorm hoge kosten.

Zachte kustbescherming vormt daarbij een tussenweg. Hier wordt getracht om het ecosysteem waar nodig bij te springen door het voorzien van extra sediment (suppletie) of bijkomende capaciteit voor zandaccumulatie (rijshout bijvoorbeeld).

#### Limieten en voorwaarden voor gebruik

Gezien het hoger vermeld passief gebruik van de ESD en de sterke parallel tussen ESD en biodiversiteit, zijn er vanuit het ecosysteem weinig limieten op het gebruik af te leiden. Onder biodiversiteit werd reeds aangehaald dat smalle duinengordels vaak kunstmatig gefixeerd worden door aanplant van helm en houtachtige planten zoals abelen of rimpelroos. Zeker de aanplant van niet inheemse soorten in de duinen wordt vanuit biodiversiteitsoogpunt sterk afgeraden. Indien aanplant noodzakelijk is, valt het gebruik van helm te verkiezen.

#### Positieve impact vergroten, negatieve verkleinen

Het uitbreiden van ecosysteemdiensten in functie van kustbescherming vergt een verandering in de fysische geschiktheid, met name een toename van het sedimentaanbod. Hiervoor zijn zandsuppleties noodzakelijk. Zij kunnen gebeuren onder de vorm van kleinschalige zandaanvulling op het (hoog)strand en grootschalige suppleties op laagstrand, vooroever of zelfs dieper in zee. Zandsuppleties vormen een van de belangrijke pijlers van het Masterplan Kustveiligheid (MDK 2011).

In het kader van het project Vlaamse Baaier 2100 wordt ook nagedacht over alternatieve mogelijkheden van zandtoevoer zoals zandmotoren te Westende-Middelkerke en een ophoging van zandbanken tot eilanden voor de kust van Knokke-Heist en voorbij Cadzand (toespraak van minister Hilde Crevits op het 2e Superstormcongres op 26 november 2013 te Blankenberge). Het aanvullen van de sedimentreserves in het systeem schept mogelijkheden voor duinvorming en vormt daarmee een relatief milieuvriendelijk antwoord op de uitdagingen voor kustveiligheid bij stijgend zeeniveau (Speybrouck et al. 2006, Baptist & Wiersinga 2012).

In een ecologisch optimaal scenario kunnen die duinen vervolgens op een natuurlijke manier op het hoogstrand ontstaan. De recente suppletie van het strand van Lombardsijde bijvoorbeeld, vormt een goed voorbeeld van dergelijk mechanisme. Actueel is hier volop embryonale duinvorming aan de gang, wat een versterking vormt van de zeeverende functie van dit kustdeel. De relatie tussen zandsuppletie en duinvorming is echter niet zo rechtlijnig. De conclusies uit recent onderzoek aan de Nederlandse kust zijn dat het 'zeer aannemelijk maar niet 100% bewezen' is dat suppletie de aanzanding in de zeebodem verhoogt (Arens et al. 2010). Wel is duidelijk dat zandsuppletie een toename van de dynamiek in de zeebodem bewerkstelligt, wat een positief effect heeft op de Europese habitattypen 2120 'blonde duinen' en 2130 'grijze duinen'. Tegen de verwachting in

vonden de onderzoekers geen relatie tussen de gesupplieerde zandvolumes en de oppervlakte embryonaal duin (habitattypen 2110).

Het strand van Lombardsijde werd aangeduid als strandreservaat en vormt door de beperkte toegankelijkheid een uitzondering op het vlak van recreatief medegebruik. Op de meeste stranden is de recreatiedruk zeer groot waardoor embryonale duinvorming wordt belemmerd of zelfs geheel onmogelijk is. Reguleren van de recreatiedruk ter bevordering van embryonale duinvorming vormt dus een belangrijke uitdaging bij de uitbreiding van de ESD door inbreng van sediment in het systeem.

Ontpolderen als strategie voor kustbescherming moet gezien worden op langere termijn. De belangrijkste doelstelling daarbij is de aanvoer en afzetting van sediment in delen van de kustvlakte. Daardoor komen deze terreinen hoger te liggen en zijn zij minder kwetsbaar bij inundatie. De afname van de komberging heeft als gevolg dat de toevloei van overstromingswater en daarmee gepaard gaande uitschuring van kreken beperkt blijft.

## 7. Kennislacunes

### Sedimentdynamiek

De sedimentdynamiek vormt een cruciaal element in de kustbescherming. Rond het actueel functioneren van het sedimentair systeem aan onze kust zijn nog veel vragen onopgelost maar zeker hoe dit systeem zal reageren op een stijging van het zeeniveau is nog grotendeels onbekend (Van Lancker et al. 2012).

### Ecologie van helm

Ondanks de grote economische waarde van de soort is er relatief weinig onderzoek verricht naar de kiemingsecologie van helm. De vestiging en ontwikkeling van deze soort vormt een sleutelement in het begrijpen van de actuele fixatietrends van kustduinen in Noordwest Europa. Ook omtrent het versterkend effect van de vegetatie tijdens duinafslag is relatief weinig bekend (med. Annelies Bolle).

### Vegetatiekartering

Voor het inschatten van de sterkte van de zeewering zijn niet alleen accurate en actuele hoogtekarten van cruciaal belang maar ook vegetatiekaarten. Een min of meer natuurlijk zandduin met een vitale helmvegetatie heeft de eigenschap te kunnen aangroeien bij voldoende zandaanwas en biedt dus een zeer kostenefficiënte bescherming tegen mariene overstroming. Om een beeld te krijgen van de kwaliteit van deze duinen in functie van zeewering, zijn kwalitatieve vegetatiegegevens noodzakelijk waarbij een aantal vegetatieklassen ruimtelijk gedetailleerd en met een relatief hoge frequentie (om de 3 à 5 jaar) in kaart worden gebracht. De frequente herhaling van de kartering is noodzakelijk gezien het sterk dynamisch karakter van de zeereepvegetatie. De ervaring opgedaan tijdens twee remote sensing projecten, namelijk HYPERKART (Kissiyar et al. 2005) en DIGIKART (Provoost et al. 2008) leert dat dergelijke kartering mogelijk is aan de hand van automatische beeldverwerking van digitale luchtopnames. Deze projecten werden uitgevoerd door VITO, INBO, AGIV en NGI in nauwe samenwerking met MDK. Zeker in combinatie met gedetailleerde LiDAR hoogtemetingen kan met een minimale inspanning voor het verzamelen van referentiegegevens op een grotendeels geautomatiseerde manier een betrouwbare vegetatiekaart worden geproduceerd. De automatisatie werd verder geoptimaliseerd in het project AUTOKART.

Het is aangewezen dat dergelijk type vegetatiekartering in een operationeel kader wordt opgenomen zodat op een gestandaardiseerde manier een tijdsreeks kan worden opgebouwd. Tijdens de proefprojecten werden verschillende beeldtypes gebruikt, was het studiegebied niet geheel overlappend en waren er ook verschillen in de referentiegegevens. Verder is een uitbreiding van de kartering naar de kleinere duintjes voor de dijken belangrijk omdat de bijdrage hiervan tot de zeewering relatief groot is.

## Lectoren

**Annelies Bolle**, IMDC

**Hannelore Maelfait**, Provincie West-Vlaanderen – Coördinatiepunt Duurzaam Kustbeheer

**Sarah Vanden Eede**, IMDC

**Toon Verwaest**, WL

**Lieve Vriens**, INBO

**Dirk Libbrecht**, ARCADIS

## Referenties

- Arens S.M., Geelen L., van der Hagen H. & Slings R. 2007. Duurzame verstuiving in de Hollandse duinen: kans, droom of nachtmerrie, Amsterdam.
- Arens S.M., van Puijvelde S.P. & Brière C. 2010. Effecten van suppleties op duinontwikkeling; geomorfologie. Rapportage fase 2. Arens Bureau voor Strand en Duin en Deltares RAP2010.03 i.o.v. LNV, Amsterdam, 141 p.
- Balens N., Valls X., Meire E., Reyns J., Verwaest T. & Mostaert, F. 2011. Veiligheid Vlaamse kust: Overstromingsrisico's Oostende-centrum incl. haven van Oostende. Versie 2\_0. WL Rapporten 627\_11b. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen.
- Baptist M.J. 2011. Zachte kustbescherming in Nederland; scenario's voor 2040. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 260, 60p.
- Baptist M. & Wiersinga W. 2012. Zand erover; vier scenario's voor zachte kustbescherming. De Levende Natuur 2: 56-61.
- Barbier E.B., Hacker S.D, Kennedy C., Koch E.W., Stier A.C. & Silliman B.R. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. Ecological Monographs 81(2): 169-193.
- Clarke M.L. & Rendell H.M. 2009. The impact of North Atlantic storminess on western European coasts: a review. Quaternary International 195: 31-41.
- Constandt M. 1986. Een eeuw vakantie: 100 jaar toerisme in West-Vlaanderen, Lannoo, Tielt, 159 p.
- Deckers P., Eryvynck A. & Tys D. 2013. De vroegmiddeleeuwse bewoning van de kustvlakte: de terpsite Leffinge-Oude Werf. De grote rede 35: 10-16.
- De Moor G. 2006. Het Vlaamse strand, geomorfologie en dynamiek. VLIZ, Oostende, 155p.
- Doody J.P. 2004. 'Coastal squeeze' – an historical perspective. Journal of Coastal Conservation 10: 129-138.
- Haines-Young R., Potschin M. (2008). England's Terrestrial Ecosystem Services and the Rationale for an Ecosystem Approach. Full technical report CEM, School of Geography, University of Nottingham. Defra Project Code NR0107. 89 p.
- Haines-Young R., Potschin M. (2013). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. Report to the European Environment Agency. Centre for Environmental Management, University of Nottingham. EEA Framework Contract number EEA/IEA/09/003. 34 p.
- Houthuys R. 2012. Morfologische trend van de Vlaamse kust in 2011. Agentschap Maritieme dienstverlening en Kust, Afdeling Kust, Oostende, 150 p.
- Howe M.A., Knight G.T. & Clee C. 2010. The importance of coastal sand dunes for terrestrial invertebrates in Wales and the UK, with particular reference to aculeate Hymenoptera (bees, wasps & ants). Journal of Coastal Conservation 14: 91-102.
- Huiskes A.H.L. 1977. The natural establishment of *ammophila arenaria* from seed. Oikos 29: 133-138.
- Huiskes A.H.L. 1979. Biological flora of the British Isles: *Ammophila arenaria* (L.) Link (*Psamma arenaria* (L.) Roem. et Schult; *Calamagrostis arenaria* (L.) Roth). Journal of Ecology 67: 363-382.
- IMDC 2008. Veiligheid Vlaamse kust. Deel 1-toetsing. Rapport in opdracht van MDK-afdeling Kust. IMDC, Antwerpen
- Janssens J., Delgado R., Verwaest T. & Mostaert F. 2013. Morfologische trends op middellange termijn van strand, vooroever en kustnabije zone langsheen de Belgische kust: Deelrapport in het kader van het Quest4D-project. Versie WL2011R814\_02\_2rev3\_0. WL Rapporten. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen,
- Jacobs S., Van Der Biest K. & Temmerman S. 2010. Hoofdstuk XI Vermijden van overstromingen. In: Jacobs S., Staes J., De Meulenaer B., Schneiders A., Vrebos D., Stragier F., Vandevenne F., Simoens I., Van Der Biest K., Lettens S., De Vos B., Van der Aa B., Turkelboom F., Van Daele T. ,

- Genar O., Van Ballaer B., Temmerman S. & Meire P. 2010. Ecosysteemdiensten in Vlaanderen: een verkennende inventarisatie van ecosysteemdiensten en potentiële ecosysteemwinsten. University of Antwerp, Ecosystem Management Research Group, ECOBE 010-R127: 193-204.
- Jones L., Angus S., Cooper A., Doody P., Everard M., Garbutt A., Gilchrist P., Hansom J., Nicholls R., Pye K., Ravenscroft N., Rees S., Rhind P. & Whitehouse A. 2011. Coastal margins. In: The UK National Ecosystem Assessment. UNEP-WCMC, Cambridge, 47 p.
- Kissiyar O., Van Valckenborgh J., Deronde B., Provoost S., Kempeneers P., Houthuys R. & Tortelboom, E. 2005. Airborne hyperspectral remote sensing of the dynamic dunes along the Belgian coast (Hyperkart). Stereo research project SR/00/23, OC-GIS-Vlaanderen, VITO & Instituut voor Natuurbehoud, Gent, 200p. + kaarten
- Lancaster N. & Helm P. 2000. A test of a climatic index of dune mobility using measurements from the southwestern united states. *Earth Surface Processes and Landforms* 25: 197 -207.
- Maelfait H. & Belpaeme K. (Eds.) 2007. Het kustkompas, indicatoren als wegwijzers voor een duurzaam kustbeheer. Coördinatiepunt Duurzaam Kustbeheer, Oostende, 80p.
- Maelfait H., Debergh, H., Lescauwat, A.-K. & Belpaeme K. (Eds.) 2012. Het kustkompas, indicatoren als wegwijzers voor een duurzaam kustbeheer. Coördinatiepunt Duurzaam Kustbeheer, Oostende, 80p.
- Mathys M. 2009. The Quaternary geological evolution of the Belgian Continental Shelf, southern North Sea. Doctoraatsthesis Universiteit Gent, 382p. + bijl.
- MDK 2011. Masterplan Kustveiligheid, beschermt al wat jij liefhebt tegen de zee. Maritieme Dienstverlening en Kust, Afdeling Kust & Waterbouwkundig Laboratorium, Oostende, 89p.
- Meire E., Verwaest T. & Mostaert F. 2011. Veiligheid Vlaamse kust. Slachtoffer- en schaderisico bij stormvloed in de kustzone: synthese. WL Adviezen 718\_02j. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, 5p. + kaarten.
- Nelson G.C., Bennett E., Asefaw Berhe A., Cassman K.G., DeFries R., Dietz T., Dobson A., Dobermann A., Janetos A., Levy M., Marco D., Nakic´enovic´ N., O'Neill B., Norgaard R., Petschel-Held G., Ojima D., Pingali P., Watson R., Zurek M. (2005). Drivers of Change in Ecosystem Condition and Services. In: Ecosystems and human well-being: scenarios v2: findings of the Scenarios Working Group, Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, DC.
- Nicholls R.J. & Mimura N. 1998. Regional issues raised by sea-level rise and their policy implications. *Climate Research* 11: 5-18.
- Provincie West-Vlaanderen 2012. Demografische fiche Kustzone SEPT 2012. Steunpunt Sociale Planning.
- Provoost S., Stienen E., De Bruyn L. & Herrier J.-L. 2003. Kust. In: Dumortier M. et al. (Eds). *Natuurrapport 2003: status van de Natuur in Vlaanderen: cijfers voor het beleid*. Mededeling van het Instituut voor Natuurbehoud 21: 117-121.
- Provoost S. & Bonte D. (red.) 2004. Levende duinen: een overzicht van de biodiversiteit aan de Vlaamse kust. Mededelingen van het Instituut voor Natuurbehoud 22, Brussel, 416p.
- Provoost S., Kempeneers P., Houthuys R., Vanommeslaeghe J. & Deronde B. 2008. Vegetatiekartering d.m.v. digitale luchtopnamen, toegepast op dynamische duingebieden, slikken en schorren (DIGIKART). NGI, VITO & INBO, Brussel, 108p.
- Provoost S., Feys S., Van Gompel W. & Vercruyssen W. 2011. Evaluatie van het gevoerde beheer en opmaak van een beheerplan voor het VNR De Duinen en Bossen van De panne, deel I: evaluatie van het gevoerde beheer in de deelgebieden Houtsaegerduinen en de westhoek. Rapport Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2011.53, Brussel, 123p.
- Rabaut M., Guilini K., Van Hoey G., Vincx M. & Degraer S. 2007. A bio-engineered soft-bottom environment: the impact of *Lanice conchilega* on the benthic species-specific densities and community structure. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 75(4): 525-536.
- Rhind P. & Jones R. 2009. A framework for the management of sand dune systems in Wales. *Journal of Coastal Conservation* 13: 15-23.
- Sneyers R. 1953. La temp te et le débordement de la mer du 1er février 1953. Institut Royal Météorologique, Contributions, N 11, 12 p.

- Speybroeck J., Bonte D., Courtens W., Gheschiere T., Grootaert P., Maelfait J.-P., Mathys M., Provoost S., Sabbe K., Stienen E.W.M., Van Lancker V., Vincx M. & Degraer S. 2006. Beach nourishment : an ecologically sound coastal defence alternative? A review. *Aquat. Conserv.* 16(4): 419-435.
- Speybroeck J., Bonte D., De Grootte D., Denayer S., Maelfait J.-P., Provoost S., Sabbe K., Vandomme V., Vercruysse E., Vincx M. & Degraer S. 2007. Studie over de impact van zandsuppleties op het ecosysteem - Fase 3: Eindrapport. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek/Universiteit Gent, 117 p.
- Termote J. 1992. Wonen op het duin: de bewoningsgeschiedenis van de westduinen vanaf het Neolithicum tot de Franse Revolutie. In: Termote J. (red.) *Tussen land en zee*, Lannoo, Tielt: 46-87.
- Van Acker J. 2012. De Westhoekduinen van de middeleeuwen tot 1800. In: Berquin H. (Ed.). *In het zand geschreven. De duinen van de Westhoek: een geschiedenis*: 13-73.
- Van der Putten W.H., van der Werf-Klein Breteler J.T. & van Dijk C. 1989. Colonization of the root zone of *Ammophila arenaria* by harmful soil organisms. *Plant and Soil* 120: 213-223.
- Van Der Putten W.H., Maas P.W.T., van Gulik W.J.M. & Brinkman H. 1990. Characterization of soil organisms involved in the degeneration of *Ammophila arenaria*. *Soil biology and biochemistry* 22: 845-852.
- Van der Putten W.H. 1990. Establishment of *Ammophila arenaria* (marram grass) from culms, seeds, and rhizomes. *Journal of Applied Ecology* 27: 188-199.
- Vanden Eede S. 2013. Impact of beach nourishment on coastal ecosystems with recommendations for coastal policy in Belgium. Universiteit Gent, 301 p.
- Van den Eynde D., De Smet L., De Sutter R., Francken F., Haelters J., Maes F., Ozer J., Polet H., Ponsar S., Reyns J., Van der Biest K., Vanderperren E., Verwaest T., Volckaert A. & Willekens M. 2011. Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities. Final Report. Brussels, Belgian Science Policy, Research Programme Science for a Sustainable Development, 100 p.
- Van Lancker V., Baeye M., Du Four I., Janssens R., Degraer S., Fettweis M., Francken F., Houziaux J.S., Luyten P., Van den Eynde D., Devolder M., De Cauwer K., Monbaliu J., Toorman E., Portilla J., Ullman A., Liste Muñoz M., Fernandez L., Komijani H., Verwaest T., Delgado R., De Schutter J., Janssens J., Levy Y., Vanlede J., Vincx M., Rabaut M., Vandenberghe H, Zeelmaekers E. & Goffin A. 2012. QUantification of Erosion/Sedimentation patterns to Trace the natural versus anthropogenic sediment dynamics (QUEST4D), Final Report. Science for Sustainable Development, Brussels; Belgian Science Policy, 97 p.
- Van Lancker V.R.M., Bonne W., Bellec V., Degrendele K., Garel E., Brière C., Van den Eynde D., Collins M.B. & Velegrakis A.F. 2010. Recommendations for the sustainable exploitation of tidal sandbanks. *Journal of Coastal Research* 51: 151-164.
- Vanpoucke P., Vanderkimpen P., Van der Biest K., Reyns J., Verwaest T., Peeters P., Holvoet K. & Mostaert F. 2009a. Veiligheid Vlaamse kust - Deel 2: overstromingsrisico's aan de Vlaamse kust; evaluatie van de zeekering: resultaten quick scan. WL Rapporten 718\_2c. Waterbouwkundig Laboratorium, Universiteit Gent & Soresma-Haecon, Antwerpen, 734 p.
- Vanpoucke P., Reyns J., Van der Biest K., Verwaest T. & Mostaert F. 2009b. Veiligheid Vlaamse Kust. Overstromingsrisico's in de aandachtszones. Versie 1\_1.WL Rapporten 718\_2j. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen.
- Verhulst A. 1995. Landschap en landbouw in middeleeuws Vlaanderen, Gemeentekrediet, Brussel, 191 p.
- Vermeersch C. 1986. De teloorgang van de Belgische kust. *Ruimtelijke planning* 15: 1-37.
- Verwaest T., Viaene P., Verstraeten J. & Mostaert F. 2005. De zeespiegelstijging meten, begrijpen en afblokken. *Grote Rede* 15: 15-25
- Verwaest T., Van der Biest K., Vanpoucke P., Reyns J., Vanderkimpen P., De Vos L., De Rouck J. & Mertens T. 2008a. Coastal flooding risk calculations for the Belgian coast. Proceedings of 31st International Conference on Coastal Engineering, Hamburg.
- Verwaest T., Van Poucke Ph., Vanderkimpen P., Van der Biest K., Reyns J., Peeters P., Kellens W., Vanneuville W. & Mostaert F. 2008b. Overstromingsrisico's aan de Vlaamse kust. Evaluatie van de



zeewering. Deel 1: Methodologie. WL Rapporten 718/2A. Waterbouwkundig Laboratorium & Universiteit Gent & Soresma-Haecon, Borgerhout.

Verwaest T., De Wolf P., Mertens T., Mostaert F. & Pirlet H. 2013. Veiligheid tegen overstromingen. In: Lescauwae A.K., Pirlet H., Verleye T. Mees, J. & Herman, R. (Eds.) Compendium voor Kust en Zee 2013: Een geïntegreerd kennisdocument over de socio-economische, ecologische en institutionele aspecten van de kust en zee in Vlaanderen en België. VLIZ, Oostende: 231-242.

Winn J., Tierney M., Heathwaite L., Jones L., Patterson J., Simpson L., Thompson A. & Turley C. 2011. The drivers of change in UK ecosystems and ecosystem services. In: The UK National Ecosystem Assessment Technical Report. UK National Ecosystem Assessment. UNEP-WCMC, Cambridge, 34 p.

## Bijlage 1 Karteerschema

### 1. Fysische geschiktheid

Voor de fysische geschiktheid wordt enkel een kaart gepresenteerd van de duinen die hoger gelegen zijn dan 5m TAW. Die is afgeleid van het Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen dat voor het kustgebied gebaseerd is op hoogtemetingen uit 2004.

### 2. Potentieel aanbod

Hiervoor werden de niet bebouwde zeereepduinen geselecteerd op basis van de recente AGIV-orthofoto. De zeewaartse begrenzing van de duinen volgt de kaart van de fysische geschiktheid (5m TAW contour), de landwaartse begrenzing is een visuele interpretatie van de morfologie van het zeereepduin op basis van DHM-Vlaanderen. Er wordt een onderscheid gemaakt in brede zeereepduinen die ofwel breder zijn dan 80m ofwel aansluiten bij een breder duinenmassief. De overige en ook de morfologisch geïsoleerde voorste duinengordels rekenen we tot de 'smalle zeereepduinen'.

### 3. Actueel aanbod

In het actueel aanbod wordt ook de vegetatiesamenstelling van de bredere zeereepduinen gebruikt. Daarbij gaan we er van uit dat een dynamische zeereep met vitale helmvegetatie een hogere veerkracht vertoont dan stabiele zeereepduinen waar helm zich in een aftakelingsfase bevindt. We maken hiervoor gebruik van vegetatiekaarten opgemaakt in het kader van het project DIGIKART. Daarbij werden op basis van beeldverwerking van digitale luchtopnamen vegetatiekaarten gemaakt van de dynamische duinen, slikken en schorren aan de Vlaamse kust (Provoost et al. 2008). De voor deze studie relevante vegetatietypes kunnen op basis van hun spectrale eigenschappen vrij goed gescheiden worden. Voor zand bedraagt de nauwkeurigheid 98%, voor de kruidachtige types geldt een producer's accuracy van ca. 80% en een user's accuracy van ca. 60%.

### 4. Vraag

De vraag naar de ESD kustbescherming situeert zich enerzijds in de kustvlakte en anderzijds in de meest zeewaarts gelegen bebouwde delen van de duinen. We kunnen de vraag vertalen naar de potentiële schade bij een (bepaald type van) stormvloed. Modelleren hiervan werd uitgevoerd in voorbereiding van het Masterplan Kustveiligheid (Van den Eynde et al. 2011, Vanpoucke et al. 2009a en b, Balens et al. 2011; IMDC 2008). De methodiek wordt uiteengezet in Verwaest et al. (2008b). Synthesekaarten worden gepresenteerd in Meire et al. (2011). Voor de kustvlakte werd een risico-inschatting gemaakt voor mariene overstromingen in het kader van de Flood Directive.