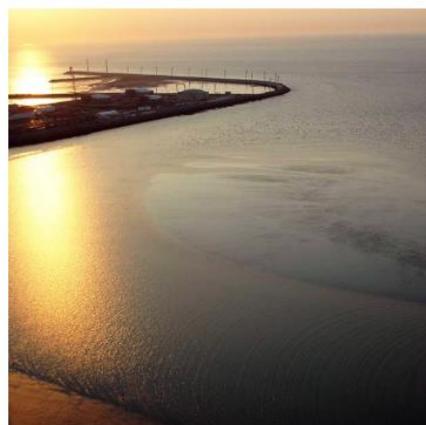
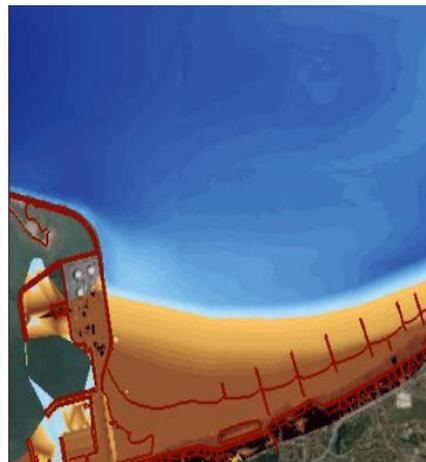


## Beleidsinformerende nota:

# Synthese van het wetenschappelijk onderzoek in de context van Vlaamse Baaien

- Met de Belgische Oostkust als focusgebied -



# Vlaams Instituut voor de Zee

## Beleidsinformerende nota

### Nota voorop

Het Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ) kan op vraag van haar doelgroepen, alsook op eigen initiatief kostenvrij en gericht beleidsrelevante informatie verschaffen. Deze informatie wordt ter beschikking gesteld onder de vorm van beleidsinformerende nota's (BIN).

De inhoud van de beleidsinformerende nota's is gestoeld op de actuele wetenschappelijke inzichten en objectieve informatie, data en gegevens. Het VLIZ steunt hierbij zoveel als mogelijk op de expertise van kust- en zeewetenschappers in het netwerk van mariene onderzoeksgroepen in Vlaanderen/België, en het internationale netwerk.

De beleidsinformerende nota's zijn een reflectie van het neutrale en ongebonden karakter van het VLIZ, en streven naar een maximale vertaling van de basisprincipes van duurzaamheid en een ecosysteemgerichte benadering zoals die onderschreven wordt in het Europese geïntegreerd maritiem beleid en kustzonebeheer.

Meer informatie over de kerntaken, uitgangspunten en randvoorwaarden van het VLIZ: <http://www.vliz.be/nl/missie>

Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Wandelaarkaai 7, B-8400 Oostende ([www.vliz.be](http://www.vliz.be))

### Adviesvraag

**Betreft:** Vanuit de Beleidscommissie Complex Project Kustvisie (voorheen Beleidscommissie Vlaamse Baaien) werd door verschillende leden de nood gesignaleerd om een gedegen overzicht te krijgen van de tot nog toe uitgevoerde wetenschappelijke studies die relevant zijn voor dit traject. Het ligt binnen het mandaat van VLIZ om een dergelijke synthese voor grootschalige projecten op zee op te maken. Het is belangrijk te melden dat deze nota vertrekt vanuit de wetenschap en geen waardeoordeel velt.

**Datum:** 01/06/2018 (versie 2.0)

**Auteurs:**

M.Sc. Rondelez Jelle, Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Jelle.Rondelez@vliz.be

Dr. Hans Pirlet, Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Hans.Pirlet@vliz.be

**Lectoren:**

Prof. dr. ir. Marc Vantorre, Universiteit Gent, Afdeling Maritieme Techniek

Dhr. Daan Delbare, Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO)

Dr. Kris Hostens, Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO)

Dr. ir. Hans Polet, Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO)

Dr. Gert Van Hoey, Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO)

Dr. Eric Stienen, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO)

Prof. dr. ir. Katrien Eloot, Waterbouwkundig Laboratorium (WL)

Ir. Joris Vanlede, Waterbouwkundig Laboratorium (WL)

Ir. Toon Verwaest, Waterbouwkundig Laboratorium (WL)

Dr. Tine Missiaen, Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ)

De versie 2.0 van deze nota bevat bijkomende input met betrekking tot de beleidscontext van Eline Damman, Youri Meersschaut en Frederik Roose (Afdeling Maritieme Toegang) en Nathalie Balcaen (kabinet Vlaams minister van Mobiliteit en Openbare Werken). Voor het deel over de Paardenmarkt werd bijkomende input aangeleverd door Robert Martens (FOD Leefmilieu) en Patrick Roose (KBIN).

**ISBN nummer:** 9789492043542

**ISSN nummer:** 2295-7464

Bron foto cover:

**Linksboven:** De Maerschalk et al. (2017b); **Rechtsboven:** De Maerschalk et al. (2015);

**Linksonder:** Masterplan Vlaamse Baaien; **Rechtsonder:** Van den Eynde et al. (2007b)

**Te citeren als:**

Rondelez, J. & Pirlet, H. (2018). Beleidsinformerende nota: Synthese van het wetenschappelijk onderzoek in de context van Vlaamse Baaien – Met de Belgische Oostkust als focusgebied. VLIZ Beleidsinformerende nota's BIN 2018\_001 versie 2.0. Oostende. 35 pp.

## LEESWIJZER

---

De afgelopen tien jaar werd binnen het traject Vlaamse Baaien en het daaropvolgende Complex Project Kustvisie de ontwikkeling van de Vlaamse kust op lange termijn bestudeerd, met 2100 als tijdshorizon. Kustveiligheid binnen de context van de klimaatwijziging vormt een rode draad in deze visievorming.

Sinds de aanvang van Vlaamse Baaien in 2009 is een significant pakket aan wetenschappelijk onderzoek geproduceerd dat direct of indirect relevant is voor deze kustveiligheid van de Vlaamse kust. Een belangrijk focusgebied hierbij situeert zich ten oosten van de haven van Zeebrugge. Facilitatie van estuaire vaart tussen de haven van Zeebrugge en de Scheldemonding via waterbouwkundige ingrepen kan enkel in deze zone en vormt een extra dimensie voor de lokale kustveiligheid.

Binnen onderhavige beleidsinformerende nota wordt een feitelijk overzicht gegeven van het wetenschappelijk onderzoek dat zich in dit focusgebied afspeelt, en daarmee direct of indirect relevant is voor het traject Vlaamse Baaien en het Complex Project Kustvisie. Deze nota vertrekt vanuit de **wetenschap** en velt **geen waardeoordeel** over de verschillende scenario's die onderzocht worden. Eventuele conclusies en uitspraken uit de opgenomen studies worden steeds duidelijk gerefereerd.

De voorliggende nota is als volgt opgebouwd:

**Hoofdstuk 1 – Inleiding** voorziet de bredere context inzake klimaatwijziging en de gevolgen hiervan voor kustveiligheid. Daarnaast wordt ook kort de historiek van het traject Vlaamse Baaien en het daaropvolgende Complex Project Kustvisie besproken. Hierin worden de verschillende scenario's voor een vooruitgeschoven kustlijn aangehaald die voorlagen tijdens de verschillende stadia van dit traject. Het laatste deel van dit hoofdstuk geeft een aantal publicaties weer die het algemeen juridische kader schetsen met betrekking tot een vooruitgeschoven kustlijn.

**Hoofdstuk 2 – Een vooruitgeschoven kustlijn met eilanden als maatregel voor kustbescherming** gaat dieper in op de rol die een vooruitgeschoven kustlijn met eilanden kan spelen in de bescherming van de Vlaamse Oostkust tegen stormen en de zeespiegelstijging. Hierbij worden eerst een aantal gevalstudies gegeven die verschillende configuraties onderzoeken. Een groot deel van dit hoofdstuk omvat wetenschappelijk werk over wijzigingen in de hydrodynamische en sedimentologische situatie van de Oostkust, bij verschillende configuraties van eilanden. De kern van dit onderzoekspakket wordt gevormd door de modelleerstudies van het Waterbouwkundig Laboratorium.

**Hoofdstuk 3 – Een vooruitgeschoven kustlijn met eilanden als maatregel voor estuaire scheepvaart** synthetiseert onderzoek naar de mogelijkheden voor estuaire scheepvaart tussen een vooruitgeschoven kustlijn en het vasteland. Hierbij wordt eerst een schets gemaakt van de hedendaagse status van de estuaire scheepvaart, aan de hand van verschillende publicaties. Verder worden modelleerstudies over de golf- en stromingscondities belicht. Ten slotte worden ook een aantal werken besproken die focussen op de regelgeving rond estuaire vaart, en aanbevelingen voor de modernisatie van het regelgevend kader.

**Hoofdstuk 4 – De ecologische effecten van een vooruitgeschoven kustlijn met eilanden** geeft een overzicht van wetenschappelijke publicaties rond de ecologische mogelijkheden alsook mogelijke effecten van een vooruitgeschoven kustlijn. Een belangrijke randbemerking bij dit hoofdstuk is dat veel van deze publicaties niet direct gekaderd zijn binnen de context van Vlaamse Baaien of het Complex Project Kustvisie, maar wel een sterke thematische link hebben waardoor deze in de nota worden meegenomen.

**Hoofdstuk 5 – De socio-economische effecten van een vooruitgeschoven kustlijn met eilanden** balt een aantal publicaties samen die zich toespitsen op enkele socio-economische impacten van een vooruitgeschoven kustlijn. Hierin worden onder meer de investeringen en hulpbronnen besproken die nodig zijn voor de waterbouwkundige ingrepen. Daarnaast komen eveneens studies aan bod met betrekking tot de sociale impact op de kustregio, het kusttoerisme, aquacultuur en visserij. Hierbij geldt dezelfde opmerking als in hoofdstuk 4, dat het merendeel van deze publicaties niet direct gekaderd zijn binnen de context van Vlaamse Baaien / het Complex Project Kustvisie, maar wel een duidelijke thematische link hebben met het voorliggend onderwerp.

**Hoofdstuk 6 – De Paardenmarkt** geeft een synthese van de wetenschappelijke kennis met betrekking tot deze munitiestortplaats. Dit hoofdstuk werd aan de nota toegevoegd omdat de munitiestortplaats op de Paardenmarkt zich situeert in het focusgebied van het wetenschappelijk onderzoek dat in deze nota besproken wordt. Daarenboven is de dumpsite een belangrijke factor waarmee rekening dient gehouden bij zowel mogelijke waterbouwkundige ingrepen als de ontwikkeling van de estuaire scheepvaart.

**Hoofdstuk 7 – Onderzoek en innovatie inzake kustbescherming** sluit af met een overzicht van onderzoek- en innovatieprojecten en -initiatieven in Vlaanderen die zich focussen op kustbescherming en zodoende direct relevant zijn voor het Complex Project Kustvisie.

Onderhavige nota omvat een aanzienlijk deel van het recente wetenschappelijke onderzoek naar bovenvermelde materie, maar is in geen geval exhaustief. Deze nota dient dan ook gezien te worden als een **levend document** dat kan geactualiseerd worden als er nieuwe inzichten opduiken.

Daarnaast dient te worden vermeld dat de voorliggende nota zich baseert op wetenschappelijk werk dat publiek beschikbaar is, of beschikbaar werd gemaakt ten behoeve van deze nota.

**Disclaimer Complex Project Kustvisie:**

Om de kustzone en het achterliggend gebied adequaat te kunnen beschermen tegen de veranderende klimaatomstandigheden, startte de Vlaamse Regering in december 2017 het Complex Project Kustvisie op. Volgens de meest recente inzichten is de kans reëel dat de zeespiegel sterker zal stijgen dan tot voor kort werd aangenomen. Met dit project zal de Vlaamse overheid nagaan welke maatregelen nodig zijn om de kustbescherming op peil te houden als dergelijke evolutie zich voltrekt. Daarbij worden verschillende types beschermingsmethodes onder de loep genomen.

De startbeslissing van de Vlaamse Regering op 22 december 2017 luidde het begin van de onderzoeksfase in. In de onderzoeksfase worden de mogelijkheden van de verscheidene types beschermingsmethodes - op de dijk, op het strand en in zee- over de hele kustlijn in beeld gebracht. Reeds tijdens de verkenningsfase werden mogelijke maatregelen onder de loep genomen.

Onderhavige nota geeft een overzicht van het onderzoek dat de voorbije jaren gebeurd is rond de maatregelen op zee, met focus op de toekomstige ontwikkeling van de Oostkust. Ook onderzoek omtrent dit onderwerp dat in andere kaders geïnitieerd werd, wordt in deze nota behandeld.

De reikwijdte van de benoemde onderzoeken is niet gelijk aan die van het Complex Project Kustvisie, dat breder bekijkt op welke manier kan voldaan worden aan de toekomstige veiligheidsnoden, zowel ruimtelijk als qua timing. Het Complex Project Kustvisie focust immers niet uitsluitend op maatregelen in zee. Bovendien richt de kustvisie zich op de hele kustlijn, en blik het project vooruit tot 2100.

De procedure zoals omschreven in het decreet Complexe Projecten is erop gericht om alle redelijke alternatieven te detecteren en te onderzoeken, in transparantie en met mogelijkheid tot openbare inspraak in elke fase van het proces. Onderzoeken omtrent de vooruitgeschoven zeekering die in onderhavige nota wordt beschreven worden in het onderzoekstraject meegenomen indien is voldaan aan de doelstelling van het Complex Project Kustvisie.

De onderzoeken omschreven in deze nota vormen geen voorafname op de uitkomsten van het nog te voeren onderzoek in het kader van dit Complex Project of op het door de Vlaamse Regering te nemen voorkeursbesluit dat ter afronding van de onderzoeksfase zal genomen worden.

## Inhoudstafel

---

Leeswijzer .....	IV
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>1</b>
1.1 Klimaatwijziging en geassocieerde effecten .....	1
1.2 Historiek traject ‘Vlaamse Baaien’ – Complex Project Kustvisie .....	1
1.3 Juridische context .....	3
<b>2 Een vooruitgeschoven kustlijn met eilanden als maatregel voor kustbescherming .....</b>	<b>4</b>
2.1 Effecten op veiligheid tegen overstromingen .....	4
2.1.1 Ophoging zandbank Paardenmarkt .....	4
2.1.2 Ecorem-atol .....	4
2.1.3 Eilandengordel .....	5
2.2 Hydrodynamische effecten .....	6
2.2.1 WL – Project “Vlaamse Baaien Modellerings Kustzone” .....	6
2.3 Sedimentologische effecten .....	9
2.3.1 WL – Project “Vlaamse Baaien Modellerings Kustzone” .....	9
<b>3 Een vooruitgeschoven kustlijn met eilanden als maatregel voor estuaire scheepvaart .....</b>	<b>11</b>
3.1 Hedendaagse status van de estuaire scheepvaart .....	11
3.2 Onderzoek waterbouwkundige ingrepen voor estuaire scheepvaart .....	11
3.3 Regelgeving en risicoanalyses .....	13
<b>4 De ecologische effecten van een vooruitgeschoven kustlijn met eilanden .....</b>	<b>15</b>
4.1 Ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust .....	16
<b>5 De socio-economische effecten van een vooruitgeschoven kustlijn met eilanden ..</b>	<b>18</b>
5.1 Investerings en constructie .....	18
5.2 Verstoring van het zeezicht .....	19
5.3 Recreatie en Toerisme in de Baai van Heist .....	20
5.4 Visserij en aquacultuur .....	20
<b>6 De Paardenmarkt .....</b>	<b>21</b>
6.1 Synthese van het wetenschappelijk onderzoek .....	21
<b>7 Onderzoek en innovatie inzake kustbescherming .....</b>	<b>23</b>
<b>Referenties .....</b>	<b>25</b>

## 1 INLEIDING

---

### 1.1 KLIMAATSWIJZIGING EN GEASSOCIEERDE EFFECTEN

Onze wereld ondergaat al sinds het begin van het Holoceen (10.000 jaar geleden) een klimaatsopwarming, met daaraan gelinkt een zeespiegelstijging (IPCC, 2014). Deze stijging, die 5.000 jaar geleden nog slechts 0,7 à 1 meter per millennium bedroeg, vertoont echter in de laatste decennia progressief snellere toenames. Hiervan vormt de periode tussen 1993 en 2010 het interval met de grootste stijging, met een gemiddelde van 3,2 (+/- 0,4) millimeter per jaar (IPCC, 2014). Deze sterke toename kan rechtstreeks gelinkt worden aan een versterkend effect door menselijke activiteiten, en overtreft ruimschoots de duurzaamheidsdoelstelling van maximum 2 cm stijging per decennium (Brouwers et al., 2015). Naast deze mondiale gemiddeldes kunnen ook de meetwaarden aan de Belgische kust gelinkt worden aan de klimaatopwarming, al is dit minder eenvoudig door de bijkomstige invloed van natuurlijke schommelingen (Verwaest et al., 2015). Toch kan uit de lokale meetreeksen afgeleid worden dat het jaargemiddelde van het zeeniveau in 2015 significant hoger ligt dan bij het begin van de metingen. Zo ligt in 2013 de trendlijn voor Oostende 115 mm hoger dan in 1951.

Volgens een rapport van het Europese Milieuagentschap (EEA), gepubliceerd in 2013, gaat de klimaatswijziging en geassocieerde zeespiegelstijging gepaard met een toename in erosie van de kustgebieden, alsook een verhoogde stormfrequentie (EEA, 2013). Wat die laatste betreft, is er nog te veel onzekerheid om een dergelijke toename van de stormfrequentie ook te kunnen aantonen in het Belgisch deel van de Noordzee (BNZ) (Van den Eynde et al., 2011; Hossen et al., 2015; van Lipzig et al., 2015). Volgens het Milieurapport (MIRA) Klimaatrapport 2015 is er noch in golfhoogte, noch in gemiddeld en maximaal gemeten windsnelheid een duidelijke trend zichtbaar. Voor de windsnelheid wordt er in deze eeuw zelfs geen significante veranderingen meer verwacht.

Niettegenstaande deze onzekerheden, behoort het typisch laaggelegen Belgische kustgebied wel bij de regio's met het hoogste risico voor overstromingen onder invloed van zeespiegelstijging en stormvloed (EEA, 2013; EEA, 2017). Bovendien behoort de Belgische kustlijn tot de meest bebouwde van Europa en bevinden er zich intense economische activiteiten (Verwaest et al., 2015), waardoor het verlies aan mensenlevens en de economische schade in geval van overstromingen aanzienlijk kan oplopen (Vanpoucke et al., 2009; Balens et al., 2010; Kellens, 2011; Meire, 2011; EEA, 2017).

### 1.2 HISTORIEK TRAJECT 'VLAAMSE BAAIEN' – COMPLEX PROJECT KUSTVISIE

Om te anticiperen op het overstromingsgevaar in geval van een zeer zware stormvloed werd door de Vlaamse Overheid het Masterplan Kustveiligheid (2011) opgesteld, met 2050 als tijdshorizon. In dit plan werden zowel 'zachte' als 'harde' zeeweringsmaatregelen voorzien om de kustlijn in verdere mate te verdedigen. Een groot deel van deze maatregelen werden reeds gerealiseerd (Verwaest et al., 2015).

In aanloop naar dit Masterplan startte de Vlaamse overheid met onderzoek naar een betere beveiliging van de Vlaamse kustzone tegen een zeer zware stormvloed. In een eerste projectstudie werd door Vanpoucke et al. (2009) en Balens et al. (2010) voor 4 stormscenario's de overstromingen gemodelleerd en bijbehorende schade en slachtoffers berekend. Dit werd gedaan op basis van data gemeten anno 2000, welke de toestand beschrijven vóór de aanvang van het Masterplan Kustveiligheid (2011). Pas bij de update van de overstromingsmodellering, uitgevoerd in Ruiz Parrado et al. (2017), om de situatie te beschrijven anno 2015, werd



rekening gehouden met de reeds uitgevoerde maatregelen van het Masterplan. Tenslotte werden deze aangepaste overstromingsmodellen gebruikt in [Vanneste et al. \(2018\)](#) voor een hernieuwde berekening van de economische schade en slachtoffers door stormvloed, op de zeekering en binnen de kustvlakte. Hierbij worden de huidige resultaten ook vergeleken met de eerder gerapporteerde cijfers die gelden vóór aanvang van het Masterplan.

Parallel aan de ontwikkeling van het Masterplan Kustveiligheid werd in 2009 een innovatieve visie naar voor gebracht over de langetermijnontwikkeling van de Vlaamse kust, binnen de context van de klimaatwijziging. Hierbij fungeert 2100 als tijdshorizon. Deze visie heeft zich sindsdien in verschillende stadia ontwikkeld, onder de noemer ‘Vlaamse Baaien’, en meer recent onder de noemer ‘Complex Project Kustvisie’. In deze visievorming vormt de zone ten oosten van Zeebrugge een focusgebied waarbij verschillende verkenningen en haalbaarheidsstudies werden uitgevoerd naar de wijze waarop zeekering, natuur en binnenscheepvaart multifunctioneel op elkaar afgestemd kunnen worden. Hieronder worden verschillende fasen uit het visievormingstraject opgelijst. De bijgevoegde figuren geven een beeld van de voorliggende scenario’s voor de Oostkust weer binnen elke fase.

### ➤ Vlaamse Baaien 2100

[Vlaamse Baaien 2100](#) werd voorgesteld door een consortium van bedrijven uit de maritieme sector. Hierin wordt een flexibele aanpak voorgesteld, met een visie op lange termijn, uitgewerkt in tien deelprojecten. Deze omvatten zowel projecten voor de Vlaamse kust in zijn geheel als specifieke projecten voor de Oostkust, Midden - en Westkust.



*Figuur 1: (Schier-)eiland zoals voorgesteld in [Vlaamse Baaien 2100](#)*

### ➤ Masterplan Vlaamse Baaien 2014

Een aantal deelprojecten uit [Vlaamse Baaien 2100](#) werden in overweging genomen door de Vlaamse overheid in een onafhankelijk traject dat in 2014 uitmondde in het [Masterplan Vlaamse Baaien 2014](#). In dit plan wordt gefocust op adaptieve maatregelen binnen de context van klimaatbestendigheid van de Vlaamse kustregio in 2100. Hierbij vormen veiligheid, aantrekkelijkheid, natuurlijkheid, duurzaamheid en de economische ontwikkeling van de kuststrook de aandachtspunten.



*Figuur 2: Drie aangrenzende eilanden zoals naar voor geschoven in het [Masterplan Vlaamse Baaien 2014](#)*

### ➤ Pilooteiland 2020

In 2016 werd door Vlaams minister van Mobiliteit en Openbare Werken Ben Weyts 8 miljoen euro uitgetrokken voor een vervolgtraject, waar bijkomend onderzoek wordt gedaan naar de haalbaarheid van een pilooteiland voor de kust van Knokke ([Vlaamse Regering, 2016](#)). De ambitie bestaat erin om vanaf 2020 een pilooteiland te creëren van 40 hectare, op een locatie 1,2 kilometer in zee. Een dergelijke constructie kan dienen als proefproject voor onderzoek naar het gedrag van een eiland en de effecten op het hydrodynamisch regime.

### ➤ Complex Project Kustvisie

In 2017 werd het Vlaamse Baaien-initiatief stopgezet en werd een nieuw initiatief opgestart: "Complex Project Kustvisie". Een complex project is een nieuwe procesaanpak die door de Vlaamse overheid ontwikkeld is voor projecten met een grote maatschappelijke en ruimtelijke impact, met als doel het realiseren van deze projecten binnen een aanvaardbare termijn en met een zo groot mogelijk draagvlak. De procesaanpak bestaat uit vier fasen: de verkenningsfase, onderzoeksfase, uitwerkingsfase en uitvoeringsfase. Momenteel heeft het Complex Project Kustvisie het laatste stadium van de verkenning voltooid met de opmaak van een startbeslissing op 22 december 2017, die de start inluide van de onderzoeksfase ([Vlaamse Regering, 2017](#)).

De centrale doelstelling van het Complex Project Kustvisie is het verder opdrijven van de kustbescherming tegen overstromingen na 2050. De Vlaamse Overheid zal onderzoeken welke bijkomende maatregelen genomen moeten worden, bovenop de maatregelen die reeds van kracht zijn en uitgevoerd worden in het kader van het [Masterplan Kustveiligheid \(2011\)](#), om de Vlaamse kustzone voor te bereiden op de gevolgen van een hogere zeespiegel. Hierbij wordt onderzoek gedaan naar beschermingsmethodes op of nabij het strand, op de huidige dijk of in de zee. De centrale doelstelling moet gebeuren met 3 prioritaire functies in het achterhoofd, namelijk de maatschappelijke baten, de natuurlijkheid en de economie. Zo wordt een beschermende kustzone met verschillende functies ontwikkeld.

## 1.3 JURIDISCHE CONTEXT

Eventuele ontwikkelingen die gepland zouden worden in de context van het Complex Project Kustvisie zijn uiteraard onderhevig aan de geldende wet- en regelgeving. De belangrijkste bepalingen zijn opgenomen in 'de wet van 20 januari 1999 ter bescherming van het mariene milieu en ter organisatie van de mariene ruimtelijke planning in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België'. Voor een overzicht van de meest pertinente internationale, Europese en nationale mariene beleidsinstrumenten en wetgeving wordt verwezen naar [Verleye et al. \(2015\)](#).

De jurisdictie over een vooruitgeschoven kustlijn met kunstmatige eilanden wordt besproken in [De Bruyne et al. \(2010\)](#). Naast het definiëren van het begrip "kunstmatig eiland" wordt er binnen dit werk ook nagedacht over de jurisdictie bij de bouw en de exploitatie van het eiland. Daarnaast worden ook verscheidene rechten en beperkingen gegeven voor een kuststaat indien deze een artificieel eiland of constructie aanlegt in de eigen territoriale zee.

Voor deze rechten en beperkingen, alsook het internationaal juridisch kader op zee, steunt [De Bruyne et al. \(2010\)](#) in grote mate op het werk van [Somers \(2010\)](#), dat een inleiding verschaft tot het internationaal zeerecht en het VN Zeerechtenverdrag (1982).

In beide publicaties wordt gesteld dat wanneer het eiland in de territoriale zee gelegen is, de desbetreffende kuststaat volledige soevereiniteit heeft over de bouw en de exploitatie. Voorwaarden zijn wel dat het eiland geen nadelige effecten heeft voor naburige staten en het recht op onschuldige doorvaart gewaarborgd wordt. In het VN Zeerechtenverdrag (1982) worden geen voorwaarden gesteld voor het gebruik van artificiële eilanden of constructies, behalve dat deze dienen afgebroken te worden indien de hoofdfunctie verloren gaat.

Als laatste wordt er ook in [Ecorem \(2013\)](#) aandacht gegeven aan het juridische kader, waarbij o.a. geconcludeerd wordt dat indien de ingrepen een connectie hebben met de havendam van Zeebrugge (zoals bij een schiereiland), deze kunnen beschouwd worden als 'Permanente Havenwerken' en bijgevolg onder de bevoegdheid van het Vlaams Gewest vallen.

## 2 EEN VOORUITGESCHOVEN KUSTLIJN MET EILANDEN ALS MAATREGEL VOOR KUSTBESCHERMING

---

### 2.1 EFFECTEN OP VEILIGHEID TEGEN OVERSTROMINGEN

#### 2.1.1 Ophoging zandbank Paardenmarkt

De ophoging van de zandbank van 'de Paardenmarkt' als maatregel voor kustbescherming werd besproken door [Reyns et al. \(2010\)](#). Deze studie kadert binnen het [CLIMAR – Project](#) ([Van den Eynde et al., 2008, 2011](#); [Van der Biest et al., 2008a, 2008b, 2009a, 2009b](#); [Vanderperren & Polet, 2009](#); [Reyns et al., 2010, 2011](#)), en had als doel het beoordelen van opgehoogde zandbanken voor de Vlaamse kust als adaptatiemaatregel ten voordele van de kustveiligheid. Hierbij werden twee scenario's beschouwd, waarbij de zandbanken opgehoogd worden tot een multifunctioneel eiland (+11 mTAW<sup>[1]</sup>) of tot net onder de laagwaterlijn (0 mTAW).

Bij een verhoging van de Paardenmarkt tot +11 mTAW bedraagt de significante golfreductie ten oosten van Zeebrugge 35%, en 15% bij een ophoging tot 0 mTAW. Er wordt geconcludeerd dat geen enkel scenario een direct positief effect heeft op de kustveiligheid. Het risico-reducerende effect voor een storm bij een gemiddelde klimaatverandering is minder dan 10%, en minder dan 1% bij een 'worst case' klimaatverandering. Een verhoging van de Paardenmarkt heeft ook een indirect effect op de kustveiligheid, via de impact op de evenwichtsmorfologie van de zeebodem die het induceert. Hierbij wordt voor de Paardenmarkt vooral gedacht aan de Appelzak-getijgeul, die van bijzonder belang is voor de kustveiligheid te Knokke-Heist. In [Verwaest et al. \(2014\)](#) wordt gesteld dat de structurele erosie van het strand van Knokke-Zoute verminderd kan worden indien deze geul op een grotere afstand van de kustlijn zou liggen.

De reden waarom in beide scenario's de golfreductie slechts beperkt is, is dat tussen de zandbank en de kust de golfhoogte- en periode terug kunnen toenemen onder invloed van de wind. Dit effect is proportioneel met de afstand van de eilanden tot de kust, en wordt dus in hoge mate bepaald door de configuratie van de waterbouwkundige ingrepen. Tijdens de bespreking van de rapportage van het [CLIMAR – Project](#) binnen de Werkgroep Kust van Vlaamse Baaien, in november 2011, werd wel gesuggereerd dat de windgroei van golven achter langgerekte eilanden, zoals doorgerekend binnen de rapportage, mogelijk werd overschat en dat nader onderzoek hierover aangewezen is<sup>[2]</sup>.

#### 2.1.2 Ecorem-atol

Een beperkte significante golfreductie werd ook geobserveerd in de haalbaarheidsstudie voor het energieatol uitgevoerd door [Ecorem \(2013\)](#). In deze studie, die geen deel uit maakt van het visievormingstraject 'Vlaamse Baaien'/'Complex Project Kustvisie', wordt de haalbaarheid onderzocht van een energieatol ten oosten van de haven van Zeebrugge. Door zijn locatie zou deze constructie mogelijk ook een kustbeschermende functie hebben. Echter, er wordt geconcludeerd dat het effect van deze ingreep, zoals deze binnen dit onderzoek wordt voorgesteld, op de kustlijn nagenoeg nihil zou zijn.

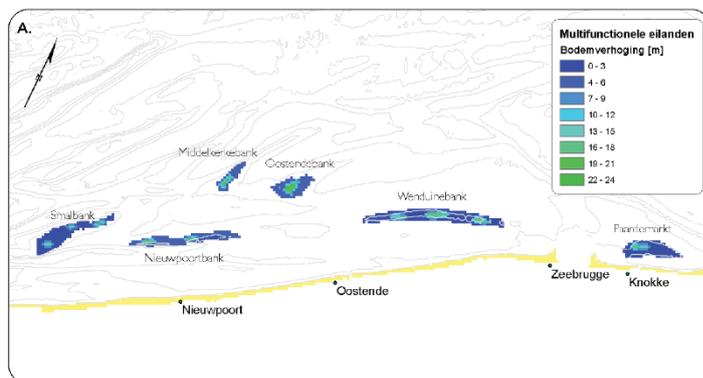
[1] Tweede Algemene Waterpassing is de referentiehoogte waartegenover hoogtemetingen in België worden uitgedrukt, en is gebaseerd op het peilmerk GIKMN in Ukkel met een gedefinieerde hoogte van 100.174 meter.

[2] Persoonlijke communicatie Waterbouwkundig Laboratorium.

Dit komt ook terug in [Zimmerman et al. \(2013\)](#), waar geconcludeerd wordt dat de golfreductie tijdens stormen zich enkel beperkt tot de schaduwzone van de concessie en aan de kustlijn niet significant is. Wel wordt binnen dit onderzoek gesteld dat de plaatsing van dergelijk atol belangrijke effecten kan hebben op de morfologie van de kustlijn, daar de verstoring van het golfklimaat en het zandtransport kan leiden tot erosie of accretie van verschillende stukken van de kustlijn.

### 2.1.3 Eilandengordel

Het potentieel voor kustveiligheid van een volledig nieuwe zeeweringslinie in zee van de Franse grens tot de Nederlandse grens, gecreëerd door ophoging van de bestaande banken of het aanleggen van eilanden, werd onderzocht in het CLIMAR-project (Figuur 3) ([Reyns et al., 2010](#)). Op basis van de resultaten van dit project werd gesteld dat een volledig nieuwe zeeweringslinie langsheen de hele Vlaamse Kust geen volwaardig alternatief is in vergelijking met het versterken en uitbouwen van de bestaande zeeweringslinie. Technisch en financieel is dergelijke ingreep ook niet haalbaar. Er is wel potentieel voor “slimme eilanden” op goed gekozen locaties waardoor deze een significante bijdrage leveren tot de kustveiligheid en andere functies ([Verwaest et al., 2014](#)).



**Figuur 3: Casus uit [Reyns et al., 2010](#) waarbij enkele banken voor de Vlaamse kust worden opgehoogd tot multifunctionele eilanden.**

De studie van [Verwaest et al. \(2014\)](#), uitgevoerd om het potentieel van het ‘Vlaamse Baaien 2100’ – deelproject voor de Vlaamse Oostkust te onderzoeken, splitst de impact van de eilanden op in een direct en een indirect effect:

- Het direct effect is het realiseren van een volledige afscherming tegen superstormen. Hierdoor zal de huidige zeewering enkel nog bestand moeten zijn tegen hoge niveaus van stormvloed en lokaal opgewekte windgolven.
- Het indirecte effect bestaat erin de structurele erosie van het strand achter de eilanden te reduceren door de getijstroomingen weg te leiden en de invallende golven te reduceren. Hierdoor kan de huidige onderhoudskost van de stranden verminderd worden.

Door [Verwaest et al. \(2014\)](#) worden ook nog belangrijke randbemerkingen geplaatst bij deze effecten:

- De waterbouwkundige ingrepen op zich dienen ook beschermd te worden. De norm van bescherming, en de daarbij horende kosten, zijn afhankelijk van de inrichting en het gebruik van de eilanden.
- Een structurele verbreding van het strand aan land zoals voorzien is in het [Masterplan Vlaamse Baaien 2014](#) (zie Hoofdstuk 1.2 [Historiek traject ‘Vlaamse Baaien’ – Complex Project Kustvisie](#)) zal de onderhoudsbehoefte van het strand doen toenemen.

## 2.2 HYDRODYNAMISCHE EFFECTEN

In navolging van het [Masterplan Vlaamse Baaien 2014](#) werden de effecten op de stroming van de beoogde configuratie – drie onoverstroombare eilanden ten oosten van de haven van Zeebrugge (zie Figuur 2; Hoofdstuk 1.2 [Historiek traject ‘Vlaamse Baaien’ – Complex Project Kustvisie](#)) – een eerste keer onderzocht in het deelrapport van [Delecluyse et al. \(2014\)](#). Er werd gemodelleerd dat de stroming in de kustzone gereduceerd wordt ten gevolge van de inplanting van de eilanden, behalve in de doorgangen tussen de eilanden waar een sterke stroming ontstaat. Ook kan het zijn dat er, indien er een opening wordt gemaakt in de oostelijke havendam van Zeebrugge, grote stroomsnelheden worden veroorzaakt in zowel de haven als de opening zelf. Mogelijks kunnen er zelfs tijdelijk neren<sup>[3]</sup> ontstaan in de haven.

De locatie van de hierboven genoemde nieuwe haventoeegang werd door [Willems et al. \(2016\)](#) verplaatst naar het noordoostelijke gedeelte van de haven, op de locatie waar vandaag het sternenschiereiland ligt. Door gebruik te maken van een fysisch schaalmodel stelde [Willems et al. \(2016\)](#) vast dat de stroomsnelheid in deze nieuwe opening kan oplopen tot een kortstondige piek. Opmerkelijk is ook dat de instromende ‘jet’<sup>[4]</sup> in het Centrale Deel van de Nieuwe Buitenhaven (CDNB<sup>[5]</sup>) nabij de kop van de oostelijke havendam langer lijkt op te treden bij deze configuratie.

Om de effecten van dergelijke waterbouwkundige ingrepen rond de haven van Zeebrugge te kunnen inschatten, werd in 2008 een onderzoeksprogramma opgestart door afdeling Maritieme Toegang (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Vlaamse Overheid) inclusief de ontwikkeling van een gedetailleerd numeriek model van de kustzone en de haven. In het syntheserapport van [IMDC \(2015\)](#) wordt dit numeriek model gebruikt om 54 scenario’s te modelleren, en hun impact op de navigatiecondities en onderhoudsbaggerwerkzaamheden in de haven van Zeebrugge te onderzoeken. Hierbij werden ook verscheidene elementen uit het [Masterplan Vlaamse Baaien 2014](#) bestudeerd ([IMDC, 2015](#)):

- Een uitbreiding van de haven van Zeebrugge;
- Aanpassingen aan de bestaande haven;
- Een stromingsverlammende put;
- Een energie-atol;
- Eilandontwikkelingen aan de oostzijde van de haven;
- Eilandontwikkelingen aan de westzijde van de haven;
- Voorbereiding voor een beschermd tracé voor scheepvaart met beperkte diepgang langs de kust;
- Aanpassingen aan de Schelde-monding;
- De verontdieping van Scheur-Wielingen en de aanleg van een geul door de Walvischstaart.

Daarbovenop werden ook een aantal integrale ‘Vlaamse Baaien’ scenario’s doorgerekend, waarin verschillende van de bovenstaande elementen samengevoegd werden. Wel dient hierbij genoteerd te worden dat dit rapport geen rekening houdt met de invloed van de scenario’s op het kustbeheer, noch met de technische, economische of politieke wensbaarheid ([IMDC, 2015](#)).

### 2.2.1 WL – Project “Vlaamse Baaien Modelleren Kustzone”

Het meest recente scenario-onderzoek naar de hydrologische impact van de eilanden werd uitgevoerd in het kader van het ‘[Vlaamse Baaien Modelleren Kustzone](#)’ – project van het Waterbouwkundig Laboratorium ([Hassan et al., 2017](#); [De Maerschallck et al., 2017a, 2017b, 2017c](#)). In het eerste deelrapport van [De Maerschallck et al. \(2017a\)](#) werd door middel van

[3] Rondgaande waterbeweging, waarbij de snelheid van de waterdeeltjes nabij de rand groter is dan in het midden.

[4] Smalle, snelstromende waterbeweging die wordt gecreëerd wanneer een grote hoeveelheid gas of vloeistof door een versmalde opening wordt geduwd.

[5] Benaming voor de voorhaven van de Zeebrugse haven.

modellering de impact van de eilanden op de stroming in de omgeving van Zeebrugge en langs het traject voor de estuaire vaart onderzocht. Hierbij werden 13 verschillende configuraties van eilanden besproken, alsook casussen zoals een aaneengesloten duinengordel in zee, een gladde kustboog, de configuratie in 1970 en de hedendaagse configuratie. Om deze configuraties te toetsen werden volgende criteria gehanteerd (De Maerschallck et al., 2017a):

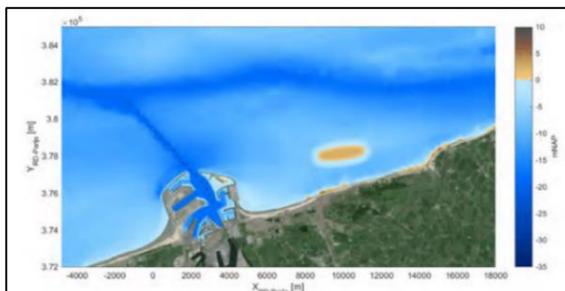
- De configuratie mag geen negatief en bij voorkeur zelfs een positief effect hebben op de toegankelijkheid voor de zeevaart langs het huidige tracé.
- De stroming tussen de eilanden en de oostelijke havendam moet door de configuratie zo laag mogelijk gehouden worden.
- Dwars- en langsstromingen langsheen het traject voor estuaire vaart moeten door de configuratie zo laag mogelijk gehouden worden

Op basis van de simulaties en de bovengenoemde principes werden twee scenario's (E3 en E4) door De Maerschallck et al. (2017a) als meest gunstige weerhouden. De resultaten voor deze scenario's worden weergegeven in onderstaande Tabel 1. Het scenario voor het pilooteiland (H1; De Maerschallck et al., 2017a) werd ook meegenomen in deze tabel.



LINKSBOVEN - *Figuur 4: Scenario E3 uit De Maerschallck et al. (2017a).*

RECHTSBOVEN - *Figuur 5: Scenario E4 uit De Maerschallck et al. (2017a).*



RECHTSONDER - *Figuur 6: Scenario H1 uit De Maerschallck et al. (2017a).*

Scenario E3 (Figuur 4) bestaat uit twee eilanden die ongeveer 450 meter uit elkaar liggen. Het westelijke eiland is 2 kilometer lang, 180 meter breed, en zou een beoogde hoogte hebben van 5,5 mNAP<sup>[6]</sup>. Het oostelijke eiland, van gelijke hoogte, zou 7 kilometer lang en 880 meter breed zijn. Naast de waterbouwkundige ingrepen op zee zou er ook een verbreding van het strand zijn aan land, met landwinning tussen het Zwin en de Baai van Heist. Om de toegang van de estuaire vaart tot de haven van Zeebrugge te verbeteren, wordt er ook een doorgangskanaal voorzien in de oostelijke havendam.

In scenario E4 (Figuur 5) zijn de vorm en de omvang van de eilanden gelijkend aan scenario E3. De hoogte van de eilanden is echter verschillend, waarbij de eilanden in scenario E4 opgehoogd worden tot net onder de laagwaterlijn (0 mLAT<sup>[7]</sup>). De landwinning tussen Het Zwin en de Baai van Heist, alsook het doorgangskanaal in de oostelijke havendam zijn behouden in dit scenario. Voor scenario H1 (Figuur 6) wordt een enkel eiland voorzien, ter hoogte van het strand van Knokke. Het beoogde doel is het creëren van een eiland van 40 hectare, 1,2 kilometer in zee. De kruinhoogte van het pilooteiland zou 2,5 mNAP bedragen.

[6] Normaal Amsterdams Peil is de referentiehoogte waaraan hoogtemetingen in Nederland worden gerelateerd.

[7] Lowest Astronomical Tide is het laagste getijdenniveau dat voorspeld kan worden onder gemiddelde meteorologische omstandigheden en onder elke combinatie van astronomische omstandigheden.

**Tabel 1: Samenvatting van de gemodelleerde impact van de waterbouwkundige ingrepen (aangepast van *De Maerschallck et al. (2017a)*).**

	Scenario 'E3'	Scenario 'E4'	Scenario 'H1'
<b>Stroming- en golfreductie</b>	<p>De stroomsnelheden tussen de havendam en het eerste eiland zijn gereduceerd. Dit komt door een lager volume van de komberging, veroorzaakt door het aanpassen van de breedte van de eilanden alsook de oriëntatie van de openingen tussen de eilanden. Ook de landwinning tussen het Zwin en de Baai van Heist draagt hieraan bij.</p> <p>Op sommige plaatsen tussen de eilanden en het vasteland komen dwars- en langsstromingen voor die pieken boven de vooropgestelde maximumwaarden <sup>[8]</sup>.</p> <p>Zowel in het CDNB als de oostelijke haveningang kunnen bij springtij lokaal en kortstondige dwarsstromingen voorkomen, die de maximumwaarden overschrijden. Deze worden ook waargenomen in andere scenario's, maar zijn versterkt door de ligging van het tracé in scenario E3.</p>	<p>Daar de vorm en oriëntatie van de eilanden gelijkend is aan scenario E3, zijn ook in dit scenario de stroomsnelheden tussen de havendam en het eerste eiland gereduceerd. Ook hier draagt de verbreding van het strand aan land bij.</p> <p>Door de verlaging van de kruin van beide eilanden is het eiland permanent overstroombaar. Hierdoor ontstaat er een reductie van de piekstromingen langsheen het tracé van de estuaire die waargenomen worden in scenario E3.</p> <p>Ook de storende stromingen in het CDNB en de oostelijke haveningang verminderen bij deze configuratie ten opzichte van scenario E3.</p> <p>Onderzoek moet wel uitwijzen of de golfreductie van de verlaagde eilanden nog voldoende zal zijn om estuaire vaart toe te laten.</p>	<p>Verhoogde stroomsnelheden worden waargenomen ten noorden en ten zuiden van het pilooteiland, met maximale snelheden gemeten voor de kust van Knokke.</p> <p>Ter hoogte van de vaargeul Pas van het Zand en Scheur West zijn geen verschillen waargenomen, terwijl er ter hoogte van Scheur Oost een lichte toename van de maximale stroming waargenomen is.</p>
<b>Toegankelijkheid haven van Zeebrugge</b>	<p>Of de hierboven beschreven stromingen een negatief effect hebben op de toegankelijkheid is afhankelijk waar en wanneer in de getijdencyclus deze optreden.</p> <p>Het scenario heeft een positief effect op het spervenster <sup>[9]</sup> van de haven van Zeebrugge voor 1.5 knoop. Dit effect is gereduceerd voor het spervenster voor 2 knoop.</p>	<p>Het effect van dit scenario op het spervenster bij 2 knoop is gelijkend aan scenario E3. Voor het spervenster bij 1.5 knoop heeft dit scenario wel een veel positiever effect.</p>	<p>Noch voor het spervenster bij 1.5 knoop als voor 2 knoop is er een merkbaar positief effect te zien in deze configuratie.</p>

[8] Binnen het onderzoek lagen de vooropgestelde richtwaarden op 0.5 en 1 knoop. Deze grenswaarden worden beschreven in [Eloot et al. \(2009\)](#).

[9] Periode waarin er niet door de opening van de haven van Zeebrugge mag gevaren worden, door de aanwezigheid van sterke dwarsstroming. Het bovengenoemde 'positief effect' bekennt in dit geval dat deze periode korter wordt.

## 2.3 SEDIMENTOLOGISCHE EFFECTEN

Een recente kwantificatie van het sedimenttransport voor en langsheen de Belgische kust werd uitgevoerd door [Dan et al. \(2017\)](#). Hieruit blijkt dat het langtransport dominant is in noordoostelijke richting, en tot 260.000 m<sup>3</sup> per jaar kan bedragen. Dit transport neemt toe in richting van de Oostkust tot voorbij de haven van Blankenberge, waarna het bijna stilvalt bij de haven van Zeebrugge. Daarna neemt het langtransport weer toe richting de Nederlandse grens. Wat het sedimentbudget van de kustlijn betreft, lijkt deze gebalanceerd. De meeste delen van de kustlijn kennen een toename van het budget, door een aanvoer van sediment uit offshore richting. Uitzonderingen hierop zijn de kustlijn tussen De Panne en Nieuwpoort, ten westen van Wenduine, en de zone ten westen van de haven van Zeebrugge. Voor deze laatste zone wordt dit toebedeeld aan een significant volume sediment dat offshore beweegt nadat het zich tegen de westelijke havenmuur van Zeebrugge heeft opgebouwd.

In de literatuurstudie van [Trouw et al. \(2015\)](#) is te lezen dat, ondanks de rechte kustlijn, vrij complexe sedimentologische processen spelen in het gebied tussen Zeebrugge en het Zwin. Dit komt o.a. door de aanwezigheid van de haven van Zeebrugge en de nabijheid van de Westerscheldemonding. Er zijn in dit gebied vier zones te onderscheiden met verschillende sedimentatie/erosiepatronen ([Janssens et al., 2008](#); [Janssens et al., 2013](#)):

- De zone net voor de ingang van de buitenhaven van Zeebrugge, waar een duidelijke erosietrend waar te nemen is.
- De Baai van Heist waar een uitgesproken sedimentatietrend optreedt ([Waterbouwkundig Laboratorium, 2006](#); [Van den Eynde et al., 2007a, 2007b](#); [Van Lancker, 2007](#); [Verwaest, 2007](#)).
- De geul van Appelzak, die voornamelijk wordt gedomineerd door erosieve ebstromingen.
- De Paardenmarkt, die door sedimentatie wordt gedomineerd (zie Hoofdstuk 6. [De Paardenmarkt](#)).

Deze complexe sedimentologische patronen bepalen in grote mate de evolutie van de kuststrook ten oosten van de haven van Zeebrugge. Sinds de grote zandopspuiting van 1986 is het strand boven de laagwaterlijn ter hoogte van Heist onderhevig aan een continue erosie met een snelheid van 23m<sup>3</sup>/m/jaar ([Houthuys et al., 2013](#)). Voor de strandsecties ten oosten van Heist is deze erosietrend omstreeks 1994 omgeslagen in een continue aangroei, wat in verband wordt gebracht met de gelijktijdige aangroei van een zandbank op de vooroever ([Houthuys, 2012](#)).

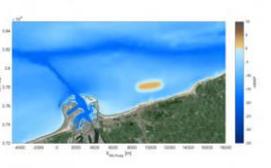
### 2.3.1 WL – Project “Vlaamse Baaien Modellerings Kustzone”

In het tweede deelrapport van het ‘[Vlaamse Baaien Modellerings Kustzone](#)’ – project ([De Maerschalck et al., 2017b](#)) wordt de stabiliteit van de eilanden en geulen, de morfologische impact van de ingrepen op de omgeving en de slibhuishouding onderzocht. Hierbij ging men uit van de scenario’s die in het eerste deelrapport ([De Maerschalck et al., 2017a](#)) als meest gunstig beschouwd werden (zie Hoofdstuk 2.2 [Hydrodynamische effecten](#); Tabel 1; E3, E4 & H1). Deze resultaten worden weergegeven in Tabel 2.

Algemeen tonen de modellen in [De Maerschalck et al. \(2017b\)](#) aan dat in verschillende scenario’s de eilanden zich richting de kust verplaatsen. Ook zijn de eilanden, na 10 jaar rekenen, significant veranderd in vorm door de sedimentatie/erosiepatronen die al na 3 jaar zichtbaar worden. De link tussen het hydrodynamische klimaat van een kust en de vorm van een barrière eiland werd reeds uitvoerig onderzocht in de internationale literatuur ([Gierloff-Emden, 1961](#); [Davies, 1964, 1973](#); [Hayes, 1973, 1979](#); [Ray et al., 1973](#); [Nummedal et al., 1977](#); [Leatherman, 1979](#); [Davis, 1994](#); [McBride et al., 2013](#); [Mulhern et al., 2017](#)).



**Tabel 2: Samenvatting van de sedimentologische impact van de waterbouwkundige ingrepen (aangepast uit [De Maerschallck et al. \(2017b\)](#)).**

	Scenario 'E3'	Scenario 'E4'	Scenario 'H1'
			
<b>1) Stabiliteit van de ingrepen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosie van de westelijke tip van het eiland</li> <li>Noordzijde eiland is onderhevig aan golfwerking, met verandering profiel tot gevolg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sedimentatie aan zuidzijde eiland en afvlakking aan noordzijde</li> <li>Migratie van het eiland richting kust</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sterk onderhevig aan erosie</li> <li>Migratie in oost, noordoostelijke richting</li> </ul>
<b>2) Impact op de omgeving</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosie tussen eiland en oostelijke havendam (<a href="#">Delecluyse et al., 2014</a>)</li> <li>Sedimentatie ten oosten en noordoosten van het eiland</li> <li>Lokaal sterke erosie tussen eiland en kust</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosie-/sedimentatietrends gelijkend aan E3, maar minder uitgesproken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosie tussen eiland en strand</li> <li>Sedimentatie ten westen en vooral ten zuidoosten van eiland</li> </ul>
<b>3) Impact op de stranden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Litoraal transport neemt af door golfwerende werking</li> <li>Stranden worden minder gevoelig voor erosie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beperkte afscherpende werking heeft weinig effect op erosietrend kust</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Door toenemende getijdestroming tussen eiland en kust neemt langstransport lokaal sterk toe</li> <li>Zeer lokaal effect van zones met erosie en sedimentatie</li> </ul>
<b>4) Impact op toegangsgeul Zwin</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Afname litoraal transport zorgt voor positief effect in Zwingeel</li> <li>Sedimentatie offshore Zwin kan mogelijks invloed hebben op het Zwin zelf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beperkte impact op langstransport en op het Zwin</li> <li>Sedimentatie offshore Zwin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Onzekerheid over effect van toenemende getijdestroming op stabiliteit Zwin</li> </ul>
<b>5) Impact op slib</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas van het Zand en omgeving slibrijker</li> <li>Sterke erosie slib aan zeezijde eiland en in geul direct landwaarts van het eiland</li> <li>Depositie mogelijk van slib op strand/vooroever tussen Knokke en Lekkerbek</li> <li>Forse depositie slib in de Appelzak ter hoogte van Zwin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas van het Zand en omgeving slibrijker</li> <li>Erosie slib aan zeezijde eiland en in geul direct achter eiland</li> <li>Depositie mogelijk van slib op strand/vooroever tussen Knokke en Lekkerbek</li> <li>Mindere depositie slib in de Appelzak ter hoogte van Zwin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minder effect op Pas van het Zand en omgeving</li> <li>Sterke erosie slib aan zeezijde en direct achter eiland</li> <li>Erosie slib op vooroever achter eiland</li> <li>Depositie slib voor Albertstrand</li> </ul>

Bepaalde resultaten van dit onderzoek kwamen ook aan bod in andere studies. Zo werd de erosie van de westelijke tip van het oostelijke eiland eveneens voorspeld door de modellering van [Kolokythas et al. \(2017\)](#). [Delecluyse et al. \(2014\)](#) spreekt ook over sterke stroming in de openingen tussen de eilanden, en stelt dat deze openingen groot genoeg dienen te zijn om te voorkomen dat de stabiliteit van de eilanden wordt ondermijnd door erosie en geulmigratie. Een gelijklopende conclusie werd naar voor gebracht in [Zimmerman et al. \(2013\)](#), die stelde dat door de verhoogde erosie langsheen de havendam de stabiliteit van de dam een aandachtspunt zou kunnen worden.

### 3 EEN VOORUITGESCHOVEN KUSTLIJN MET EILANDEN ALS MAATREGEL VOOR ESTUAIRE SCHEEPVAART

---

#### 3.1 HEDENDAAGSE STATUS VAN DE ESTUAIRE SCHEEPVAART<sup>[10]</sup>

De studie van [Vantorre et al. \(2012\)](#) geeft aan dat het toenemende verkeer op de autowegen en in de havens ervoor zorgt dat binnenvaart een uitgelezen alternatief vormt om goederen te transporteren. Binnenvaart is milieuvriendelijker dan andere transportmodi, daar het geen vervuilende files, geluidshinder of bodemverontreiniging veroorzaakt, en energiebesparender is. De haven van Zeebrugge is echter enkel toegankelijk voor binnenschepen met een maximale capaciteit van 1.350 ton en een maximale lengte van 90 meter ([De Beck, 2007](#); [Vercruyssen et al., 2011](#); [De Landsheer, 2013](#)). Dergelijke schepen zijn anderhalve dag onderweg op de binnenwateren tussen Zeebrugge en Antwerpen, met de ringvaart van Brugge als grootste knelpunt.

[De Landsheer \(2013\)](#) stelt dat estuaire scheepvaart een oplossing kan bieden voor dit probleem, omdat het traject dat over de Noordzee moet worden afgelegd slechts 16 nautische mijl bedraagt, wat kan worden afgelegd in ongeveer 2 uur. Het grote voordeel van estuaire schepen volgens [Vercruyssen et al. \(2011\)](#) en [De Landsheer \(2013\)](#) is dat de deze niet meer belemmerd worden door de smalle kanalen, en dus beduidend meer containers kunnen vervoeren dan traditionele binnenschepen. De schepen mogen, ondanks hun versterking, echter niet uitvaren van zodra de significante golfhoogte een bepaalde waarde overschrijdt. Bij het ontstaan van de estuaire vaart in 1962 werd de praktische grens op windkracht 5 Beaufort gezet, of een significante golfhoogte van 1,20 meter ([De Beck, 2007](#)).

De huidige regelgeving werd geformaliseerd op 8 maart 2007 door het 'Koninklijk besluit betreffende binnenschepen die ook voor niet-internationale zeereizen worden gebruikt' ([Belgisch Staatsblad, 2007](#)), dat werd samengesteld op basis van onder meer een haalbaarheidsstudie door [Vantorre et al., \(2005a; 2005b; 2005c\)](#). Sedertdien werd een certificaat<sup>[11]</sup> toegekend aan vier containerschepen en drie tankers die aan de eisen van het KB voldoen, en kunnen opereren in significante golfhoogtes tussen 1,70 m en 2,0 m tussen twee havens of terminals op Belgisch grondgebied ([Vantorre et al., 2015](#)). Voor de uitvaardiging van dit KB werden ook reeds certificaten uitgedeeld aan drie tankers en drie Roll-on/Roll-off schepen, om te opereren tot 1,75 m golfhoogte ([Vantorre et al., 2015](#)).

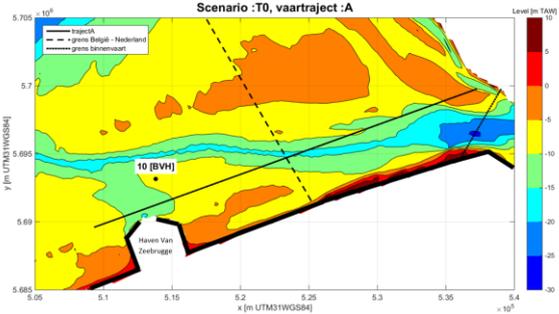
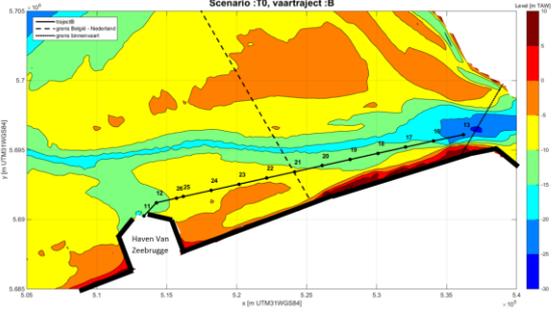
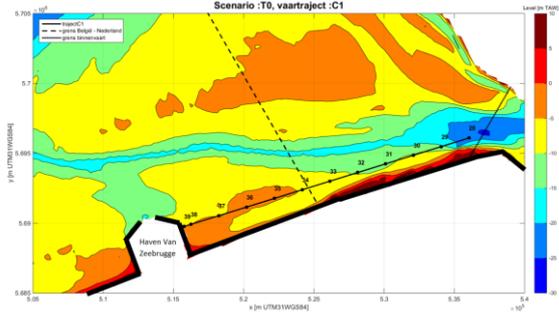
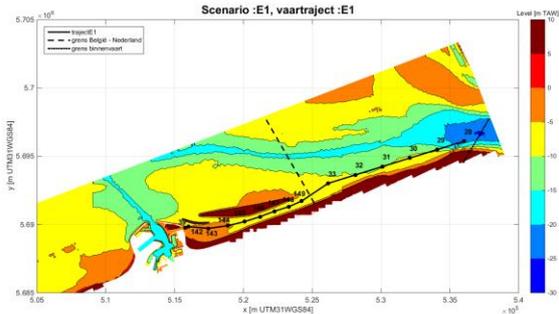
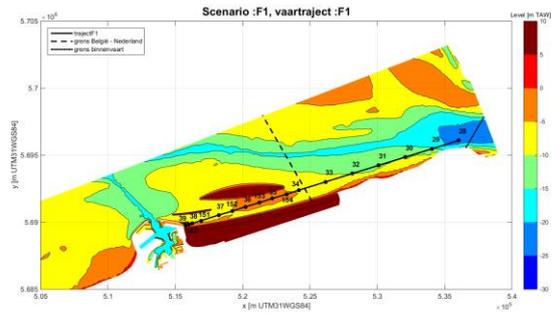
#### 3.2 ONDERZOEK WATERBOUWKUNDIGE INGREPEN VOOR ESTUAIRE SCHEEPVAART

[Vantorre et al. \(2015, 2016\)](#) onderzochten hoe waterbouwkundige ingrepen in verschillende scenario's de zeewaartse estuaire vaartverbinding verder kunnen verbeteren. Een verbetering betekent in [Vantorre et al. \(2016\)](#) dat binnenschepen die tot een lage certificaatklasse behoren gedurende een voldoende groot aantal dagen per jaar het zeetraject kunnen bevaren. Ook kunnen de ingrepen ervoor zorgen dat de schepen die heden ten dage reeds het zeetraject bevaren gedurende een groter aantal dagen per jaar kunnen varen. Dit zal in grote mate bepaald worden door het wijzigend stromingspatroon dat wordt veroorzaakt door de waterbouwkundige ingrepen. Er worden in dit onderzoek 9 scenario's toegepast. Enkel de resultaten van 5 van deze scenario's zijn verder besproken in [Vantorre et al. \(2016\)](#), en deze worden weergegeven in Tabel 3 en 4.

[10] Estuaire scheepvaart in België omvat het varen met versterkte binnenschepen over de Noordzee en de Schelde, over een traject tussen twee havens of terminals op Belgisch grondgebied. Het traject waarover desbetreffende estuaire schepen mogen varen wordt individueel vastgelegd.

[11] Om te voldoen aan het KB van 2007 dienen binnenschepen ingeschreven te zijn bij een erkende classificatiemaatschappij. Bij de ontwikkeling van het KB van 2007 heeft de classificatiemaatschappij Lloyd's Register EMEA een belangrijke adviserende rol gespeeld, hoewel de meeste recente estuaire schepen onder Belgische vlag ingeschreven zijn bij Bureau Veritas.

Tabel 3: Beschrijving van de vaartrajecten gebruikt in [Vantorre et al. \(2016\)](#). De trajecten worden aangegeven door een zwarte lijn, en zijn gesuperponeerd op een bathymetrische kaart.

Vaartraject	Beschrijving	
A	Vaarroute die gebruikt werd bij de berekeningen uit <a href="#">Vantorre et al. (2005c)</a> .	
B	Huidige traject dat door de schepen wordt gevolgd en waarbij, in tegenstelling tot traject A, rekening wordt gehouden met het lokale golfklimaat.	
C1	Traject dat gevolgd wordt bij een opening door de oostelijke havendam.	
E1	Vaartraject bij een scenario met twee eilanden dat werd voorgesteld in <a href="#">De Maerschalcck et al. (2017a)</a> en <a href="#">De Maerschalcck et al. (2017b)</a> .	
F1	Scenario gemaakt in <a href="#">Hassan et al. (2017)</a> met gelijken constructies als bij traject 'E1', maar met het verschil dat de eilanden noordelijker gelegd worden om de Paardenmarkt te ontwijken.	

Tabel 4: Gemodelleerde resultaten van de bevaarbaarheid van de trajecten door [Vantorre et al. \(2016\)](#). De toegankelijkheid is uitgedrukt in een percentage van de totale tijd.

Vaartraject / IN(x)	A	B	C1	E1	F1
IN(0,6)	46%	52%	58%	77%	76%
IN(1,2)	86%	90%	92%	97%	96%
IN(1,7)	95%	97%	98%	99%	99%

Op basis van Tabel 4 concludeert [Vantorre et al. \(2016\)](#) dat schepen met een IN(0,6)<sup>[12]</sup> – certificaat geen of slechts zeer beperkte toegankelijkheid hebben, zelfs indien een opening wordt gemaakt in de oostelijke dam en/of het Belgisch deel van de route wordt afgeschermd door golfwerende constructies. Schepen met klassennotatie IN(1,2) kunnen het huidige traject bevaren in 90% van de tijd, en 92% voor route C1. In het geval eilanden worden geconstrueerd wordt dit zelfs 97% en 96% voor respectievelijk vaartraject E1 en F1.

Naast bovenstaand onderzoek van [Vantorre et al. \(2016\)](#) werd ook in het synthesrapport van [IMDC \(2015\)](#) door middel van een numeriek model getest of het mogelijk was om, mits bepaalde waterbouwkundige ingrepen, een beschermd scheepvaarttracé aan te leggen tussen de haven van Zeebrugge en de Westerschelde. Hiervoor werden verschillende ingrepen gesimuleerd, waaronder een serie eilanden alsook een overstroombare dam verbonden met een eiland. In deze modellen zouden de schepen via een sluis of opening in de havendam de bestaande haven in en uit kunnen varen ([IMDC, 2015](#)).

Uit deze simulaties werd geconcludeerd dat het aanleggen van dergelijk tracé technisch haalbaar is, mits een doorgang door de oostelijke havendam met een sluis wordt voorzien ([IMDC, 2015](#)). Dit enerzijds omdat in- en uitvaren via de bestaande havenmond onvoldoende bescherming geeft, en anderzijds omdat een opening zonder sluis leidt tot een toename van de snelheden in de haven én in de nieuwe havenmond. Ook dient er te allen tijde rekening gehouden te worden met de onregelmatige kustlijn, waar door ingrepen mogelijk lokale verhogingen in stroomsnelheden kunnen ontstaan ([IMDC, 2015](#)).

### 3.3 REGELGEVING EN RISICOANALYSES

Niet enkel het aanpassen van het golfklimaat, maar ook het aanpassen van de huidige regelgeving kan leiden tot een optimalisatie van de estuaire vaart ([De Beck, 2007](#); [Vantorre et al., 2012, 2013](#); [De Landsheer, 2013](#)). In het KB van 2007 werd gesteld dat een risicoanalyse ingediend moet worden bij Dienst Scheepvaartcontrole voor elk schip dat estuaire vaart wil uitvoeren, zodat kan gecertificeerd worden onder welke condities het schip mag uitvaren. [De Beck \(2007\)](#) en [Vantorre et al. \(2016\)](#) sommen de criteria van de risicoanalyse op:

- Uittrede van de boeg uit het water
- Overnemen van water over boeg/hek/zij
- Slingerbeweging van het schip
- Horizontale versnelling van het schip
- Langsbuigend moment en torsiemoment van het schip

[Vantorre et al. \(2012\)](#) stelt dat, om de efficiëntie van de estuaire vaart te verhogen, het optimaliseren van deze risicoanalyse belangrijk is. Daarom werden een aantal topics aanbevolen voor verder onderzoek:

[12] Een groot deel van de estuaire vloot is ingeschreven bij Bureau Veritas, dat gebruik maakt van de notatie IN(x). 'X' stelt hierbij de significante golfhoogte voor waarin het desbetreffende schip kan opereren.

➤ **Golfklimaat**

In de huidige analyses wordt het golfklimaat gebruikt dat wordt gemeten door de golfboei “Bol van Heist”, en wordt er geen rekening gehouden met de variabiliteit langsheen het traject. Uit [Verelst \(2006\)](#) blijkt dat de golfhoogte op meer oostelijke locaties kleiner is dan deze op hetzelfde ogenblik heersend in de Baai van Heist. In zowel [De Beck \(2007\)](#) als [Vantorre et al. \(2016\)](#) wordt daarom geopperd voor het gebruik van lokale golfcondities over het ganse traject. Binnen [Vantorre et al. \(2016\)](#) wordt het gebruik van lokale golfcondities reeds toegepast bij de modellering van een vaartraject (zie hoofdstuk 3.2. [Onderzoek waterbouwkundige ingrepen voor estuaire scheepvaart](#); Tabel 3; Traject B).

➤ **Wind-geïnduceerde lasten**

In de voorgeschreven regels voor estuaire schepen wordt de invloed van de wind opgenomen. In een gevalstudie door [Backalov \(2010\)](#) werd bepaald dat deze veiligheidsvoorschriften genoeg marge inbouwen om te compenseren voor de effecten van de wind. Ook door [De Landsheer \(2013\)](#) wordt geconcludeerd dat het windcriterium dat werd opgenomen in de regelgeving als te streng kan worden beschouwd.

➤ **Scheepsrespons**

De huidige theorie is volgens [Vantorre et al. \(2012\)](#) vooral gebaseerd op een serie van responsfuncties, die op numerieke wijze berekend worden. Alhoewel dit voldoende is voor de meeste parameters, dient er extra onderzoek te zijn naar aspecten waarvoor een non-lineaire respons geldt.

➤ **Flexibele toelaatbaarheidscondities**

Verschillende reders willen graag de maximaal toegelaten diepgang afhankelijk zien van de golfcondities heersend op de desbetreffende dag. Dit wordt toegelaten door de huidige regelgeving, waardoor reeds verschillende estuaire schepen over een certificaat beschikken waarbij de toegelaten diepgang afhankelijk is van de golfcondities. In [Vercruysse et al. \(2011\)](#) wordt nagegaan welke combinaties van golfhoogte en diepgang gekozen moeten worden, zodat de veiligheid van het schip gegarandeerd blijft, terwijl er globaal meer vracht kan vervoerd worden.

## 4 DE ECOLOGISCHE EFFECTEN VAN EEN VOORUITGESCHOVEN KUSTLIJN MET EILANDEN

De aanleg van een vooruitgeschoven kustlijn met eilanden heeft een impact op het bestaande ecosysteem en is dan ook onderhevig aan de milieueffectenrapportage (MER)-plicht (Wet van 20 januari 1999 ter bescherming van het mariene milieu en ter organisatie van de mariene ruimtelijke planning in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België).

In het 'Vlaamse Baaien 2100'-concept van de industrie (THV Noordzee en Kust, 2009) staat vermeld dat het schiereiland kan uitgebouwd worden tot natuurontwikkelingsgebied. Dit wordt versterkt in het 'Masterplan Vlaamse Baaien 2014', waarin men stelt dat "in een integrale langetermijnvisie voor de ontwikkeling van de kustzone de eilanden in hoofdzaak een natuurfunctie krijgen" (Masterplan Vlaamse Baaien 2014). Werken waarin de natuurfunctie van een eiland voor onze kust wordt besproken, zijn opgelijst in Tabel 5. Het gaat hierbij zowel om studies over het Sternenschiereiland als toekomstige artificiële eilanden of het energie-atol.

*Tabel 5: Samenvatting van onderzoek met een thematische link naar de ecologische functies van artificiële eilanden voor de oostkust.*

Doelgroep	Onderzoek	Toelichting
Avifauna	<a href="#">Delta Project Management (2016)</a>	Studie over eilanden in de Nederlandse provincie Zeeland als duurzame en kortetermijnmaatregelen voor het behoud van kustbroedvogels. Dit werk valt wel buiten het focusgebied van deze nota.
	<a href="#">Meiniger et al. (2002)</a>	Studie van een aantal mogelijke manieren waarop de vestiging van de avifauna kan worden bevorderd.
	<a href="#">Stienen et al. (2002)</a>	Studie over de toenemende verstoringsdruk voor broedvogels, alsook de mogelijke rollen die het eiland voor de avifauna kan vervullen.
	<a href="#">Stienen et al. (2007)</a>	Studie over de voor- en nadelen van een natuurgebied ten oosten van de haven van Zeebrugge.
	<a href="#">van Schijndel (2004)</a>	Studie over de functie als broedplaats, alsook de voorwaarden en technische specificaties die nodig zijn om deze functie uit te voeren.
	<a href="#">Van Waeyenberge et al. (2002)</a>	Studie over de nodige omvang van het eiland om dienst te doen als broed-, rust- en foerageergebied voor alle avifauna in de streek rond Zeebrugge.
	<a href="#">Veen et al. (1997)</a>	Studie waarin een aantal voorwaarden worden gegeven waaraan een gebied moet voldoen om als broedplaats te dienen.
Zeehonden	<a href="#">Haelters (2007)</a>	Studie over de huidige invulling van voorwaarden waaraan moet worden voldaan om de vestiging van zeehonden te bekomen.
	<a href="#">Van den Eynde (2007b)</a>	Studie over de voorwaarden waaraan moet worden voldaan om de vestiging van zeehonden te bekomen.
	<a href="#">van Schijndel (2004)</a>	Studie over hoe het eiland ontworpen dient te worden om de vestiging van zeehonden toe te staan.

---

<b>Mariene flora en fauna</b>	<a href="#">Ecorem (2013)</a>	Studie met aandacht voor de invloed van verhoogde turbiditeit door constructiewerken op de ecologie in het gebied.
	<a href="#">Engledow et al. (2001)</a>	Studie met aanbevelingen om de habitats voor mariene flora en fauna te bevorderen.
	<a href="#">Lauwaert et al. (2016)</a>	Studie over de effecten van baggeractiviteiten aan de Vlaamse kust op het mariene ecosysteem.
	<a href="#">van Schijndel (2004)</a>	Studie met aandacht voor de impact van de bouw van een eiland op de mariene flora en fauna.

---

#### 4.1 ECOSYSTEEMVISIE VOOR DE VLAAMSE KUST

Recentelijk werd in opdracht van het departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) en het agentschap Natuur en Bos (ANB) een ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust opgesteld ([Van der Biest et al. 2017a](#) en [Van der Biest et al. 2017b](#)). De doelstellingen van deze studies waren het ontwikkelen van een geïntegreerd streefbeeld voor het Vlaamse kustgebied en de ontwikkeling van een beleidsondersteunend instrument om toekomstige ontwikkelingen te beoordelen op de impact die deze kunnen hebben op de haalbaarheid van dit streefbeeld.

Binnen het uitgevoerde studiewerk zijn er een aantal resultaten die specifiek relevant zijn voor het traject Vlaamse Baaien:

- Een functionele beschrijving van de huidige toestand aan de hand van ecosysteemdiensten ([Van der Biest et al. 2017a](#)).
- De ecosysteemvisie van de Vlaamse Kust met benoeming en beschrijving van de kernelementen van de ecosysteemvisie ([Van der Biest et al. 2017b](#)).
- Een beoordelingstool ([Van der Biest et al. 2017b](#)). Om de basisprincipes van deze tool te testen, werd deze toegepast op de casus van de aanleg van een artificieel eiland voor de kust van Knokke-Heist, zoals opgenomen in de beslissing van de Vlaamse regering inzake 'Vlaamse Baaien'.

In [Van der Biest et al. \(2017b\)](#) wordt, in een intermezzo, ook aandacht gegeven aan de bescherming tegen overstromingen, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen een verankerde kustlijn, een teruggetrokken kustlijn en een vooruitgeschoven kustlijn. Bij deze laatste, waar een gordel van eilanden voor de huidige kustlijn wordt beschouwd, worden een aantal aanbevelingen gedaan waar de configuratie van eilanden aan moet voldoen.

Verder worden in [Van der Biest et al. \(2017b\)](#) verschillende ecologische impacten besproken van eilanden voor de huidige kustlijn. Deze worden gegeven in Tabel 6.

**Tabel 6: Ecologische impacten die worden besproken binnen Van der Biest et al. (2017b).**

---

<b>Riffen</b>	Zowel aan zeezijde als aan landzijde van de eilanden kunnen veelzijdige riffen zich ontwikkelen. In de buitendelta, relatief beschut tussen eiland en kust, eenvoudig bereikbaar en nutriëntenrijk, zouden ideale condities aanwezig zijn voor biogene rifbouwers die nu nog niet of weinig voorkomen aan de Vlaamse kust.
<b>Bestaande duinen</b>	Bestaande duingebieden zouden aan dynamiek, in de vorm van het inwaaien van zand, verliezen. Omwille van deze gereduceerde dynamiek kunnen deze allemaal evolueren naar 'diverse duinen'.
<b>Wijzigingen in habitats</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Er zou een sterke vooruitgang zijn van dynamische duinen op het eiland.</li><li>• Een deel ondiepe kustzone zou een buitendelta worden, met een meer slibrijke bodem als gevolg.</li><li>• Een deel van de huidige zandstrandkust zou evolueren tot slikken en schorren.</li><li>• Ook aan de luwe zijde van de eilanden zou er slikken en schorren ontstaan.</li><li>• Er zou een verlies optreden van ondiepe zandbanken wanneer deze opgehoogd worden om het eiland te kunnen vormen.</li><li>• De hoeveelheid natuurlijk strand zou toenemen op de eilandengordel.</li><li>• Een nieuwe zeewaartse vooroever zou zich moeten ontwikkelen.</li></ul>
<b>Verstoring bij opbouw van het eiland</b>	De aanleg van het eiland zou een zeer grote milieu-impact hebben, omwille van de grootschalige zandextracties, het grote volume zandtransport en het neerleggen van het zand. Dit kan leiden tot o.a. afdekking van de zeebodem, slibpluimen en geluidsverstoring.
<b>Waterkwaliteit</b>	Indien er te weinig waterbeweging in de buitendelta is, bestaat het risico dat de waterkwaliteit seizoenal achteruit gaat en er eutrofiëring optreedt, met mogelijke schadelijke algenbloei als gevolg. Wel kan het water in deze buitendelta mogelijk ook helderder worden.

---



## 5 DE SOCIO-ECONOMISCHE EFFECTEN VAN EEN VOORUITGESCHOVEN KUSTLIJN MET EILANDEN

---

### 5.1 INVESTERINGEN EN CONSTRUCTIE

In [Reyns et al. \(2011\)](#) wordt een inschatting gemaakt van de investeringen en operationele kosten die nodig zijn om artificiële eilanden te creëren. [Reyns et al. \(2010\)](#) en [Reyns et al. \(2011\)](#) stellen dat investeringen door de overheid alleen niet zullen volstaan om het project aan de Oostkust volledig te financieren. Investeerders uit de private sector dienen aangetrokken te worden om hiermee te helpen, mogelijks door een economische functie aan de eilanden toe te delen. Ook in [Van der Biest et al. \(2017b\)](#) wordt gesteld dat “voor de financierbaarheid van het geheel, het evident lijkt dat eilanden ook een economische functie zullen krijgen, in de vorm van bijvoorbeeld havenontwikkeling en energiewinning”. Het is echter aan de beleidsmakers om te bepalen welke (gebruikers)functies zullen worden toegelaten.

Richtlijnen voor de constructie van artificiële eilanden worden gegeven in het werk van [Zwemmer \(1998\)](#), waarin een literatuuronderzoek werd uitgevoerd leidend tot het vergelijken van een verzameling van 200 aangelegde of nog aan te leggen artificiële eilanden. Hierin wordt de algemene reductie van de kosten aangehaald als een belangrijk aspect bij de constructie van de eilanden. Volgens [Zwemmer \(1998\)](#) zijn er verschillende kostcomponenten:

- **De opbouw van de eilanden**  
Dit wordt door [Reyns et al. \(2011\)](#) ook als grote kostcomponent beschouwd. In [Zwemmer \(1998\)](#) wordt deze kost verder verdeeld tussen de verschillende stadia van het baggerproces (sediment opgraven, vervoeren en storten), en wordt er ook aandacht gegeven aan kosten die gerelateerd zijn aan de omvang van het eiland. Hierbij worden verschillende factoren opgelijst die doorheen het bouwproces de kosten beïnvloeden. In [Reyns et al. \(2011\)](#) wordt ook aandacht besteed aan de blijvende constructiekosten na de initiële bouw van de eilanden, waarbij onderhoud van het eiland zal moeten plaatsvinden om erosie en vervorming tegen te gaan, en waardoor de bovenstaande constructiekosten ook van toepassing zullen zijn.
- **Het plaatsen van zeewering op het eiland**  
[Zwemmer \(1998\)](#) stelt dat wanneer verharde zeewering op het eiland wordt geplaatst om de erosie van het eiland tegen te gaan, deze ook een belangrijke kostcomponent vormt. Dit hangt samen met de grootte van het eiland, alsook het type gebruik dat op het eiland plaatsvindt. Ook in [Verwaest et al. \(2014\)](#) wordt gesteld dat de norm van bescherming, en dus de kosten, afhankelijk zal zijn van de inrichting en het gebruik van de eilanden.
- **De wijzigende accretie- en erosiepatronen**  
In [Zwemmer \(1998\)](#) wordt vermeld dat er additionele uitgaven zullen nodig zijn om de wijzigende sedimenthuishouding tussen het eiland en de kustlijn te overkomen. Bij de sedimentologische modellering van [De Maerschallck et al. \(2017b\)](#) wordt getracht om te achterhalen in hoeverre de plaatsing van eilanden ten oosten van Zeebrugge een effect zal hebben op de nabijgelegen vaargeulen, het tracé voor de estuaire vaart en de toegankelijkheid van de haven, en meer bepaald op de onderhoudswerken die nodig zijn om deze te vrijwaren.

De constructiekost van de eilanden zal volgens [Van Schijndel \(2004\)](#) samenhangen met het type sediment waarmee het wordt opgebouwd. Er worden drie verschillende mogelijke types

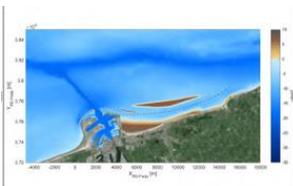
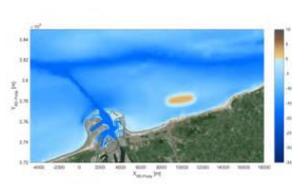
sediment voorgesteld, en de voor en nadelen van elk type alsook de mogelijkheid tot gebruik voor de opbouw van de eilanden wordt verder besproken:

- Zeezand dat uit de omgeving kan gewonnen worden
- Baggerspecie afkomstig uit de voorhaven van Zeebrugge
- Vervuilde baggerspecie
- het hergebruik van historisch gestort sediment <sup>[13]</sup>.

Indien sediment uit de zandvoorraad van het Belgisch Continentaal Plat zal gewonnen worden, dient er rekening gehouden te worden met de impact van deze winning op de voorraad. Om te anticiperen op deze nood, en de groeiende nood aan mariene aggregaten vanuit andere sectoren, richt het [TILES-Project](#) (Transnational and Integrated Long-term marine Exploitation Strategies) zich op het samenstellen van voorspellingen en een adaptieve beheerstrategie op lange termijn, voor de exploitatie van geologische bronnen in de Noordzee. Het project loopt tot eind 2017. De methodologie is uitgewerkt in [van Heteren \(2015\)](#), [Van Lancker et al. \(2017\)](#), en [De Tré et al. \(2017\)](#). Een overzicht van het project wordt gegeven in [Van Lancker et al. \(2017\)](#).

De hoeveelheid sediment nodig voor de verschillende scenario's uit [De Maerschallck et al. \(2017a\)](#) (zie Hoofdstuk 2.2 [Hydrodynamische effecten](#) en Hoofdstuk 2.3. [Sedimentologische effecten](#)) wordt gegeven in Tabel 7. Voor de strandverbreding die wordt voorgesteld binnen deze scenario's wordt door [De Maerschallck et al. \(2015\)](#) een alternatief naar voor geschoven, waarbij de verbreding over een kortere afstand kan uitgevoerd worden om naast een lagere kost ook een verminderd effect op het Zwin en de Nederlandse kust te verkrijgen.

*Tabel 7: Hoeveelheid sediment dat nodig is voor de opbouw van de waterbouwkundige ingrepen in de scenario's uit [De Maerschallck et al. \(2017b\)](#)*

	Scenario 'E3'	Scenario 'E4'	Scenario 'H1'
			
<b>Vereiste hoeveelheid sediment</b>	Strandverbreding = 39,3 Mm <sup>3</sup> Klein eiland = 2 Mm <sup>3</sup> Groot eiland = 34,6 Mm <sup>3</sup>	Strandverbreding = 39,3 Mm <sup>3</sup> Klein eiland = < 2 Mm <sup>3</sup> Groot eiland = 26,5 Mm <sup>3</sup>	Pilooteiland = 16 Mm <sup>3</sup>

## 5.2 VERSTORING VAN HET ZEEZICHT

De mogelijke verstoring van het zeezicht en de beleving van de zee-omgeving door de plaatsing van de eilanden is een mogelijk effect dat wordt vermeld in de werken van [Reyns et al. \(2011\)](#) en [Ecorem \(2013\)](#). Vooral tijdens de constructiefase zorgt de aan- en afvaart van schepen met materiaal en bouwwerkzaamheden op zee voor een verhoogde intensiteit van verstoring. Na voltooiing van de bouwwerken wordt de impact op het zeezicht bepaald door:

- Afstand van de eilanden tot de kustlijn;
- De kromming van de aarde;
- De mate waarin installaties en constructies op het eiland worden geplaatst;
- De hoogte en omvang van de desbetreffende constructies;
- De hoogte van de waarnemer (het eiland zal beter te zien zijn voor iemand bovenop een gebouw dan vanop het strand).

[13] Persoonlijke communicatie Waterbouwkundig Laboratorium.

Volgens [Ecorem \(2013\)](#) kan de verstoring resulteren in sociale tegenkating. Er wordt echter gesteld dat in het studiegebied de haven van Zeebrugge reeds een dominante factor in het landschapskarakter vormt. Hierdoor is er op deze locatie grotere mogelijkheid tot een zekere gewenning aan een gewijzigd zeezicht ([Ecorem, 2013](#)).

### 5.3 RECREATIE EN TOERISME IN DE BAAI VAN HEIST

De wijzigende sedimentatie-/erosiepatronen die veroorzaakt worden door de eilanden kunnen de reeds bestaande sedimentatie in de Baai van Heist versterken ([De Maerschallck et al., 2017a, 2017b](#); [Delecluyse et al., 2014](#); zie Hoofdstuk 2.3 *Sedimentologische effecten*). De nieuwe zandbank die zich in dit gebied heeft gevormd, en is beschreven door [Van den Eynde et al. \(2007a, 2007b\)](#), zal zich mogelijks door de versterkte sedimentatie nog meer profileren. Door de vorming van een stroomgeul tussen de zandbank en het strand ([Dresselaers et al., 2011](#)), is een situatie ontstaan die gevaarlijk kan zijn voor watersporters, baders en wandelaars.

In het rapport van [Dresselaers et al. \(2011\)](#) wordt onderzocht welke socio-economische verandering deze verzanding van de Baai van Heist met zich meebrengt. De aanzanding kon hierbij niet causaal gerelateerd worden aan een socio-economische achteruitgang. Wat het sociaal-organisatorische aspect van het strand en de dijken betreft is het wel duidelijk dat de vorming van de zandbank een effect heeft. Enerzijds is de toenemende afstand tot aan de waterlijn voor de plaatselijke, en verouderende, bevolking een probleem. Anderzijds is er de prognose dat de verzanding in de toekomst watersport als activiteit onmogelijk zal maken.

### 5.4 VISSERIJ EN AQUACULTUUR

De plaatsing van de eilanden kan een belangrijke impact hebben op de visserij aan de Vlaamse kust. Het rapport van [Pecceu et al. \(2014\)](#) geeft aan dat het focusgebied van deze nota een gegeerde visgrond is voor zowel Belgische als Nederlandse vissers, waarbij voornamelijk garnaal, tong en bot worden gevangen (o.a. [De Clerck et al., 1973](#); [Wegner et al., 2003](#)). Metingen uit [Lauwaert et al. \(2016\)](#) tonen de soortenrijkdom en diversiteit van het epibenthos en de visfauna in dit gebied aan. Daarnaast gaat dit rapport ook in op de impact van baggerwerken (die eveneens zouden plaatsvinden bij de opbouw van de eilanden) op de mariene fauna in het Belgisch deel van de Noordzee.

In [Van der Biest et al. \(2017b\)](#) wordt vermeld dat de aanleg van eilanden een positief effect kan hebben op de ontwikkeling van aquacultuuractiviteiten in het gebied. Er wordt aangegeven dat zowel aan de zee- als de landzijde van de eilanden riffen kunnen gevormd worden (zie Hoofdstuk 4.1. *Ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust*). Vooral de buitendelta, gevormd tussen de eilanden en de kustlijn, zou de ideale condities herbergen om mariene aquacultuur toe te laten. Zo'n vorm van aquacultuur is volgens [Van der Biest et al. \(2017b\)](#) reeds prominent aanwezig in gelijkaardige situaties voor de Amerikaanse kust, waar dergelijke activiteiten plaatsvinden in de beschutte stukken zee tussen de eilandengordel en het vaste land.

## 6 DE PAARDENMARKT

---

Na de Eerste Wereldoorlog dumpte het Belgische leger massaal Duitse oorlogsmunitie enkele kilometer voor de kust van Knokke-Heist op een ondiepe zandplaat genaamd 'de Paardenmarkt' (Wouters et al., 2015). Er ligt minstens 35.000 ton munitie waarbij tot nu toe werd aangenomen dat één derde bestaat uit gifgasgranaten, al zijn er aanwijzingen dat dit aandeel veel groter zou kunnen zijn (Missiaen, 2013). Bijkomende duiding over het ontstaan en de historische achtergrond van de Paardenmarkt munitiestortplaats wordt verschaft in Vandeweyer (2013).

### 6.1 SYNTHESE VAN HET WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK

Een synthese van het wetenschappelijk onderzoek dat gevoerd werd naar de impact van de munitieopslag op de Paardenmarktsite is beschikbaar in Missiaen & Henriët (2010). Hierin wordt een samenvatting gegeven van de studies met betrekking tot topografie, lokalisatie van de munitie, karakterisatie van de ondergrond, staalname en chemische monitoring, veiligheid, verspreiding van toxische strijdmiddelen, biomonitoring en mogelijke technische oplossingen. Een overzicht is weergegeven in Tabel 8. Naast dit syntheseonderzoek worden bij elk van de onderzoeksgebieden aanbevelingen geformuleerd, voor mogelijk onderzoek en/of acties die in de toekomst dienen ondernomen te worden. Als laatste wordt er binnen dit werk een link gelegd met het **MERCW - Project** ("Modelling van Ecological Risks Related to Sea-Dumped Chemical Weapons"). Dit Europese project had als doel het bestuderen van een grote chemische munitiedumpsite vlakbij het eiland Bornholm in de Baltische Zee. De conclusies en gebruikte methoden die voortkomen uit dit project zijn volgens Missiaen & Henriët (2010) voor een groot deel van toepassing op de Paardenmarkt.

Vóór de synthese van Missiaen & Henriët (2010) werden reeds twee evaluatiestudies rond de Paardenmarkt volbracht. Missiaen et al. (2002) voerde een evaluatie van de stortplaats uit via een geïntegreerde aanpak gebaseerd op geofysische, geochemische, sediment-dynamische, biologische, bouwtechnische en ecologische expertise. Martens (2005) gaf daarna ook nog een overzicht van de studies die zijn uitgevoerd op de munitiestortplaats en de maatregelen die reeds werden genomen.

Momenteel wordt binnen de Vlaamse overheid nagedacht over een (proef-)ruiming van de Paardenmarkt. In deze context werd een **Innovatieve overheidsopdracht** opgezet door het Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW), in samenwerking met het Departement Economie Wetenschappen en Innovatie (EWI), om met een kleinschalige proefsetting methodes te testen om dit munitiekerkhof veilig op te ruimen. Volgende facetten zouden aan bod komen:

- Precisiedetectie van de positie van de munitie;
- Opdieping van de munitie en veilig vervoer naar het vasteland met robottechnologie;
- Verwijdering van de bovenliggende sedimenten;
- Verkenning van de ingezette (robot)technologie voor bruikbaarheid op droge stranden.

**Tabel 8: Synthèse van het wetenschappelijk onderzoek omtrent de Paardenmarkt, gebaseerd op de synthese in *Missiaen & Henriët (2010)*.**

Onderzoeksgebied	Samenvatting	Onderzoeken
<b>Topografie van de dumpplaats</b>	Uit onderzoek blijkt dat tussen 1996 en 2013 de Paardenmarkt een sedimenttoename van 850.000 m <sup>3</sup> heeft gekend. Vooral het zuidelijke deel is sterk onderhevig aan sedimentophoging. Dit wordt waarschijnlijk gestuurd door de wijzigende stroming na de uitbreiding van de Haven van Zeebrugge en mogelijk versterkt door de beschikbaarheid aan sediment uit de baggervakken. Side-scan studies en onderzoek duiden op 4 verschillende sedimenttypes. <sup>14</sup>	- <b>MAGELAS</b> (1996, 2003, 2005, 2008)
<b>Lokalisatie van de munitie</b>	Met magnetische metingen uit 1996 kon nog geen precies beeld van de gestorte munitie worden gemaakt. Gradiometrische metingen in 2005 tonen aan dat geavanceerde apparatuur de resolutie en detectiegrens in grote mate kan verbeteren.	- <b>ULiège</b> (1998) - <b>G-TEC</b> (1996, 2000, 2005)
<b>Karakterisatie van de ondergrond</b>	Van alle resistiviteitsmethodes leverde de geo-electrische methode de beste mogelijkheden. Drie lagen konden onderscheiden worden. Laterale variaties zijn zeer beperkt en bevestigen de homogene opbouw van de ondergrond. Seismische beeldvorming wordt verstoord door de aanwezigheid van ondiep biogeen gas in de bodem. Er konden enkel een aantal recente sedimentafzettingen in kaart worden gebracht.	- <b>RCMG</b> (1988, 1996) - <b>RCMG &amp; G-TEC</b> (2004, 2007) - <b>RCMG, G-TEC &amp; DEMCO</b> (2005)
<b>Staalname en chemische monitoring</b>	In 14 staalnamecampagnes werd nooit onomstotelijk de aanwezigheid van Yperiet noch enig ander chemische "oorlogsverbinding" op kwantitatieve wijze aangetoond <sup>15</sup> . Wel dient het trekken van conclusies met enige voorzichtigheid te gebeuren.  DG Leefmilieu organiseert op regelmatige tijdstippen staalnamecampagnes waarbij de stalen worden genomen door de duikers van de marine en de nodige analyses worden uitgevoerd door DLD en ODNature.	- <b>BIORGAN</b> (1995) - <b>BIORGAN &amp; DLD</b> (1996, 1997) - <b>DLD</b> (2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2008) - <b>BMM</b> (2005)
<b>Veiligheid</b>	Fosgeen zou de meest schadelijke stof zijn in geval van inhalatie, al is het aandeel dat vrij kan komen in de atmosfeer zeer laag. Kustvaarders vormen de grootste kans op incidenten met een schip. Gezien hun grootte en diepgang wordt de impact hiervan echter klein geacht. Er is ook een draaiboek opgesteld voor een noodplan, bestaande uit 6 stappen.	- <b>Deloitte &amp; Touche Tx &amp; Legal NV</b> (2003, 2004)
<b>Verspreiding van toxische strijdmiddelen</b>	De dispersie van Clark-verbindingen uit één obus kan leiden tot verontreiniging met een radius van 0,5 m over een periode van 10 jaar. De kans op acute verontreiniging is zo goed als uitgesloten. De dispersie van Yperiet kan leiden tot een verontreiniging van een volume kleiner dan het volume van de obus. De verontreiniging kan wel tientallen jaren aanhouden. Door de lage oplosbaarheid en trage diffusie, kan TNT enkele honderden jaren uit een obus komen. Ook hier kan acute verontreiniging uitgesloten worden.	- <b>BIORGAN</b> (1995) - <b>BMM</b> (2003a, 2003b, 2007)
<b>Biomonitoring</b>	De structurele kenmerken van de benthos-gemeenschap op de Paardenmarkt komen overeen met de kenmerken van de gemeenschappen op andere plaatsen langs de oostelijke ondiepe kustzone. Tot hiertoe kon er geen effect van de aanwezige munitie aangetoond worden.	- <b>UGent</b> (2007) - <b>Biomar</b> (2003)
<b>Mogelijke technische oplossingen</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Ophoging met sediment</li> <li>(2) Overkapping met een granulaire filter</li> <li>(3) Aanzanding door middel van een golfbreker ten noordoosten van de munitiestortplaats</li> <li>(4) Eiland op de Paardenmarkt aanleggen</li> <li>(5) Nulscenario<sup>[16]</sup></li> <li>(6) Berging met vernietiging<sup>[17]</sup></li> </ol>	- <b>Van der Veen</b> (1999) - <b>van Schijndel</b> (2004) - <b>UGent</b> (2009)

[14] Er is ook een erosiezone in het noordoostelijke deel van het stortgebied. Het overgrote deel van de munitie bevindt zich in de overgang tussen beide zones (Persoonlijke communicatie FOD Leefmilieu).

[15] Persoonlijke communicatie FOD Leefmilieu.

[16] De term 'Nulscenario' representeert een verderzetting van de hedendaagse situatie, waarbij gekozen wordt voor monitoring van de Paardenmarkt zonder enige structurele ingreep om de dreiging te verwijderen.

[17] Veiligheidsstudie DG5/INSPA/RMA/23.138: Sertius 2009 Multicriteria Analyse.

## 7 ONDERZOEK EN INNOVATIE INZAKE KUSTBESCHERMING

Waar het studietraject binnen Vlaamse Baaien zich in de eerste plaats gefocust heeft op het samen vrijwaren van kustveiligheid en toegankelijkheid (vooral van Zeebrugge) en synergiën op het vlak van multifunctionaliteit, wordt er eveneens onderzoek gevoerd naar alternatieve vormen van zeewering. Hierbij worden innovatieve concepten zoals ‘Duin voor dijk’, ‘Dijk in duin’, ‘Kunstriffen’ en ‘Zandmotor’ naar voren gebracht (Stronkhorst et al., 2012; Stive et al., 2013; Gracia et al., 2017). Ook de mogelijkheden van een energie-atol als alternatief voor, of in combinatie met, de eilanden is een piste die reeds werd onderzocht (Ecorem, 2013; Zimmerman et al., 2013) (zie Hoofdstuk 2.1. *Effecten op veiligheid tegen overstromingen*).

In onderstaande tabel wordt een oplistings gegeven van Belgische en Vlaamse projecten en initiatieven die hebben bijgedragen aan de kennisopbouw, innovatiecapaciteit en/of visievorming met betrekking tot kustbescherming.

*Tabel 9: Een overzicht van studies, projecten en initiatieven met betrekking tot zeewering (samengesteld op basis van Verwaest et al. (2015))*

PROJECTEN EN INITIATIEVEN		TOELICHTING	REFERENTIE
Het BELSPO-project CLIMAR	2006 - 2011	De doelstelling van het project is de ontwikkeling van een kader waarin de aanpassingsmaatregelen, die worden genomen om de impact ten gevolge van de klimaatsveranderingen te beheersen, kunnen geëvalueerd worden, en dit voor zowel de ecologische, de sociale als de economische aspecten van het Noordzeemilieu.	(Van den Eynde et al., 2011)
Het BELSPO-project QUEST4D	2007 - 2011	Het project beoogt het kwantificeren van erosie/sedimentatieprocessen op het Belgische Continentaal Plat, om zo wetenschappelijke ondersteuning te bieden voor een duurzame exploitatie van de exclusief economische zone waarbij de nood aan een strategisch sedimentgericht beleidskader reëel wordt.	(Van Lancker et al., 2012)
CcASPAR (Climate change and changes in spatial structures in Flanders) project	2009 - 2012	De maatschappelijke meerwaarde van dit onderzoeksproject bestaat erin de vraag te beantwoorden hoe historisch gegroeide ruimtelijke structuren in de Vlaamse samenleving aangepast moeten worden in relatie tot de toenemende effecten van klimaatverandering.	(Allaert et al., 2012)
Kappa-plan	2010	Natuurpunt pleit voor een geïntegreerd plan dat klimaatadaptatie met de natuur voor onze kust uitwerkt, waarbij “werken met de natuur” en natuurlijke klimaatbuffers worden gebruikt als antwoord op de mogelijke gevolgen van de zeespiegelstijging.	(Kustwerkgroep Natuurpunt, 2010)
Coastal communities 2150	2011 - 2014	Dit project is erop gericht om het effect van kustveranderingen op kwetsbare gemeenschappen in te perken. Het belangrijkste middel hiervoor is kennisuitwisseling in het kader van geïntegreerd beheer van kustgebieden, waarbij over de nationale grenzen heen wordt gekeken.	(Stratton, 2012)
Metropolitaan Kustlandschap 2100	2012 - 2014	Onderzoekstraject dat werd gelanceerd met als doel het onderzoeken voor welke uitdagingen de kust staat en hoe die kunnen leiden tot bouwstenen voor een gedeelde ontwikkelingsvisie voor het gehele kustlandschap.	(Geldof & De Bock, 2014)

<b>4Shore project</b>	2013 - 2016	Dit project beantwoordt over een periode van 3 jaar (2013 - 2016) de vraag wat de ecologische effecten zijn op het mariene ecosysteem aan onze Belgische kust, wanneer men in de ondiepe branding een vooroeversuppletie aanlegt.	(Colson et al., 2016)
<b>Meetnet Vlaamse Kust - project Broersbank</b>	2013 - 2016	Om de impact van zandbanken op de reductie van golfenergie in detail te onderzoeken werd een meetnet opgestart dat bestaat uit zeven boeien voor onze kust.	(Thoon, 2016)
<b>ARGONAUTS (Argus and in-situ monitoring of beach and shoreface nourishment for sustainable coastal safety)</b>	2013 - 2018	Het project evalueert een vooroeversuppletie in Mariakerke als mogelijk alternatief om gesuppleerde stranden te kunnen onderhouden over een periode van 5 jaar.	
<b>4Shore Bis project</b>	2014 - 2016	Dit deelproject is gekaderd binnen het <b>4Shore project</b> , en evalueert het macrobenthos en de fysio-chemische eigenschappen van het bodemsediment ter hoogte van het strand van Middelkerke na een suppletie activiteit.	
<b>CREST-project</b>	2015 - 2019	Dit project, dat kadert binnen het SBO-programma van het Agentschap Innoveren & Ondernemen, wenst de kennis met betrekking tot kustprocessen nabij de kust en op land te verhogen.	(Monbaliu et al., 2017)
<b>Territoriaal Ontwikkelingsprogramma (T.OP) Kustzone</b>	2017 - lopende	T.OP Kustzone werd opgestart door het Departement Omgeving in samenwerking met de provincie West-Vlaanderen om een actiegericht programma op te stellen voor de ruimtelijke ontwikkeling van de kustzone op korte en middellange termijn.	
<b>De Blauwe Cluster</b>	2018 - lopende	In de aanvraag van de speerpuntcluster 'De Blauwe Cluster' wordt een uitgebreid innovatieproces voorgesteld voor het ontwerpen, ontwikkelen, testen en valideren van de bouwstenen voor toekomstige kustbeschermingsprojecten.  Dit proces behandelt verschillende aspecten van kustbescherming en klimaataanpassing die allemaal met elkaar verbonden zijn, gaande van de evaluatie van nieuwe technologieën en concepten tot het vergroten van de veerkracht, duurzaamheid en economische levensvatbaarheid van kustbeschermingsmaatregelen.	<a href="https://www.blauwecluster.be/">https://www.blauwecluster.be/</a>
<b>Het BELSPO RS4MoDy - project</b>	2017 - 2020	Dit project heeft tot doel de morfodynamica van een getijdestrand te onderzoeken van korte (stormgebeurtenis) tot lange termijn (> 25 jaar). Dit project zal een beter inzicht toelaten in de morfodynamiek van het strand en zal enkele implicaties voor kustbeheer met zich meebrengen.	
<b>Het InterReg 2 zeeën project ENDURE</b>	2018 - 2020	Dit project richt zich op duinbeheer om het 2 Zeeën-gebied weerbaar te maken tegen klimaatverandering. Om de voordelen van verschillende benaderingen van duinbeheer te visualiseren werd een aanbesteding gelanceerd voor de ontwikkeling van nieuwe cartografische oplossingen.	

## REFERENTIES

- Allaert, G., Bouwer, L., De Sutter, R., Gulinck, H., Meire, P., Van Damme, S.** (2012). *Klimaat in Vlaanderen als ruimtelijke uitdaging*. (Eds.) Gent: Academia Press. Vancouver.
- Backalov, I.** (2010). Probabilistic safety of estuary vessels based on nonlinear rolling in wind and waves, *Transactions RINA, Vol 152, Part A1, International Journal of Maritime Engineering, Jan-Mar 2010*.
- Balens, N.; Valls, X.; Meire, E.; Reynolds, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2010). *Veiligheid Vlaamse kust Risicoreductie aandachtszones: Synthese. Versie 2\_0. WL Rapporten, 718\_2L. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België*
- Belgisch Staatsblad** (2007) "Koninklijk besluit betreffende binnenschepen die ook voor niet-internationale zeereizen worden gebruikt". BS, 16.03.2007, N. 2007 - 1187, p. 14699-14711.
- Brouwers J., Peeters B., Van Steertegem M., van Lipzig N., Wouters H., Beullens J., Demuzere M., Willems P., De Ridder K., Maiheu B., De Troch R., Termonia P., Vansteenkiste Th., Craninx M., Maetens W., Defloor W., Cauwenberghs K.** (2015) *MIRA Klimaatrapport 2015, over waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen. Vlaamse Milieumaatschappij i.s.m. KU Leuven, VITO en KMI. Aalst, Belgium, 147 p.*
- Colson, L.; Pecceu, E.; Steenkamer, M.; Wittoeck, J.; Van Colen, C.; Hostens, K.; Van Hoey, G.** (2016). *Ecologische monitoring strand- en vooroever in functie van suppletie activiteiten: Eindrapport. ILVO Mededeling, 219. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek: Mellebeke. 109 pp.*
- De Beck, V.** (2007) "Invloed van het lokale golfklimaat op de resultaten van de risicoanalyse van estuaire schepen". *Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van Burgerlijk Werktuigkundig-Elektrotechnisch Ingenieur - optie Maritieme Techniek. Universiteit Gent, 2007.*
- Dan, D.; Vandebroek, E.** (2017). *A sediment budget for a highly developed coast - Belgian case, in: Proceedings of Coastal Dynamics 2017, 12-16 June 2017, Helsingør, Denmark. pp. 1376-1385*
- De Beck, V.** (2007) "Invloed van het lokale golfklimaat op de resultaten van de risicoanalyse van estuaire schepen". *Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van Burgerlijk Werktuigkundig-Elektrotechnisch Ingenieur - optie Maritieme Techniek. Universiteit Gent, 2007.*
- De Bruyne, W., Somers, E.** (2010). *Juridisch kader voor Kunstmatige Eilanden. MSc Thesis. Universiteit Antwerpen - Faculteit Toegepaste economische wetenschappen. Universiteit Gent - Faculteit Rechtsgeleerdheid. 81 pp.*
- De Clerck R, Van de Velde J** (1973) *A study of the spawning and nursery areas of soles along the Belgian coast. ICES report of Demersal Fish Committee.*
- De Landsheer, T.** (2013). *Optimalisatie van de estuaire scheepvaart. MSc Thesis. Universiteit Gent. Vakgroep Civiele Techniek: Gent. IV, 95 pp.*
- De Maerschalck, B.; Renders, D.; Vanlede, J.; Gourgue, O.; Willems, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2017a). *Modellering Vlaamse Baaien: deelrapport 1. Hydrodynamische modellering scenario's Oostkust. Versie 6.0. WL Rapporten, 15\_068\_1. Waterbouwkundig Laboratorium/Afdeling Maritieme Toegang: Antwerpen. VII, 41 + 26 appendices pp.*
- De Maerschalck, B.; van der Werf, J.; Dijkstra, J.; Kolokythas, G. K.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2015). *Strandverbreding Zeebrugge tot Cadzand: morfologische effecten. Versie 4.0. WL Rapporten, 15\_102. Waterbouwkundig Laboratorium/Deltares: Antwerpen. VII, 61 + 22 p. bijlagen pp.*
- De Maerschalck, B.; van der Werf, J.; Kolokythas, G. K.; Quataert, E.; van Oyen, T.; Vroom, J.; Dijkstra, J.; Wang, Z.B.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2017b). *Modellering Belgische kustzone en Scheldemonding: deelrapport 2. Morfologische analyse scenario's Vlaamse Baaien. Versie 3.0. WL Rapporten, 15\_068\_2. Waterbouwkundig Laboratorium/Deltares: Antwerpen. XIII, 107 + 36 p.appendices pp.,*
- De Tre, G., De Mol, R., Van Lancker, V., van Heteren S., Missiaen, T.** (2017). *Data Quality Assessment in Geographic Decision Support. pp.1-20. In: Bordogna, G. & Carrara, P. (eds.). Mobile information systems leveraging volunteered geographic information for earth observation'. Springer series 'Earth systems data and models'.*
- Davies, J.** (1964). *A morphogenic approach to world shorelines. Z. Geomorphol. 8, 127-142.*
- Davies, J.** (1973). *Geographical Variation in Coastal Development. Oliver and Boyd, Edinburgh (204 pp).*
- Davis, Jr.** (1994). *Barrier island systems- a geologic overview. In: Davis Jr. (Ed.), Geology of Holocene Barrier Island Systems. Springer-Verlag, Berlin, pp. 1-46.*
- Delecluyse, K.; Vanlede, J.; De Maerschalck, B.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2014). *Eilanden Oostkust: deelrapport 1. Effecten van de eilanden op de stroming. Versie 4.0. WL Rapporten, 14\_006. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. III, 31 pp.*
- Delta Project Management; Het Zeeuwse Landschap** (2016) *7 - Eilandenplan: Duurzame en korte termijn maatregelen voor het behoud van kustbroedvogels in de Zuidwestelijke Delta. Provincie Zeeland. Wilhelminadorp 2016. 53 pp.*
- Dresselaers, P.; Adolphy, R.; Van Causbroeck, S.; Van Den Kerckhove, O.** (2011). *Socio-economische studie van toerisme en recreatie te Knokke-Heist: impactanalyse van de verzanding door de zandbank ter hoogte van Heist: Eindrapport. International Marine and Dredging Consultants/Tritel: Antwerpen. 161 pp.*



- Ecorem** (2013). Milieu- en energietechnologie Innovatie Platform MIP3 haalbaarheidsstudie "Het Energieatol - Energieopslag in de Noordzee" April 2013. Eindrapport. Ecorem: Aartselaar. 117 pp.
- Eloot, K., Vantorre, M., Richter, J., Verwilligen, J.** (2009). Development of decision supporting tools for determining tidal windows for deep-drafted vessels. Weintrit, A. (2009). Marine navigation and safety of sea transportation. TransNav 2009, 227-234.
- Engledow, H.; Spanoghe, G.; Volckaert, A.; Coppejans, E.; Degraer, S.; Hoffmann M.** (2001) Onderzoek naar de fysische karakterisatie en de biodiversiteit van strandhoofden en andere harde constructies langs de Belgische kust. Universiteit Gent & Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- European Environment Agency** (2013). Balancing the future of Europe's coasts - knowledge base for integrated management. EEA Report, 12. European Environment Agency (EEA): Copenhagen. ISBN 978-92-9213-414-3. 64 pp.
- European Environment Agency** (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report. EEA Report, 1. European Environment Agency: Copenhagen. ISBN 978-92-9213-835-6. 419 pp.
- Geldof, C.; De Bock, K.** (2014). Metropolaan kustlandschap: een tussenopname. Ruimte 6(22): 26-31.
- Gierloff-Emden, H.** (1961). Nehrungen und Lagunen. Petermanns Geogr. Mitt. 81-92.
- Gracia, A.** (2017) Use of ecosystems in coastal erosion management, Ocean & Coastal Management.
- Haelters, J.** (2007). De bank van Heist en zeehonden, in: "De zandbank te Heist, een boeiend fenomeen", Seminarie Scharpoord Knokke-Heist, 19 oktober 2007: abstracts en powerpoint presentations. pp. 1-24
- Hassan, W.; Suzuki, T.; De Maerschalck, B.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2017). Modelling Belgische kustzone en Scheldemonding: rekennota - berekeningen golfklimaat Vlaamse Baaien scenario's E4 en F1. Versie 5.0. WL Rapporten, 15\_068\_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. VII, 10 + 2 p. bijlagen pp.,
- Hayes, M.; Owens, E.; Hubbard, D.; Abele, R.** (1973). The investigation of form and processes in the coastal zone. Coastal Geomorphology, Part 1, Coastal Processes. Publ. Geomorphol. State Univ., New York, Binghamton, New York, pp. 11-41.
- Hayes, M.** (1979). Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime, in: Leatherman, S.P. (Ed.) Barrier islands from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico: The proceedings of a Coastal Research Symposium held on march 9, 1978 in Boston, Massachusetts for the Geological Society of America, Northeast Section and the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Eastern Section. pp. 1-27
- Hossen, M.; Akhter, F.** (2015). Study of the wind speed, rainfall and storm surges for the Scheldt estuary in Belgium. International Journal of Scientific & Technology Research 4(1): 130-134.
- Houthuys, R.** (2012). Morfologische trend van de Vlaamse kust in 2011. Agentschap Maritieme dienstverlening en Kust. Afdeling Kust: Oostende. 150 pp.
- Houthuys, R.; Trouw, K.; De Maerschalck, B.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2013). Inschatting van de morfologische impact van strandsuppleties te Knokke op het Zwin en de Baai van Heist. Versie 4.0. WL Rapporten, 12\_107. Waterbouwkundig Laboratorium & IMDC: Antwerpen, België.
- IMDC** (2015). Analyse impact havenuitbreiding Zeebrugge op onderhoudsbaggerwerken vaargeulen Noordzee en voorhaven Zeebrugge: leveren van ondersteunend numeriek scenario-onderzoek. Versie 2.0. Vlaamse Overheid. Afdeling Maritieme Toegang: Antwerpen. xviii, 369 pp.
- IPCC** (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Janssens, J.; Delgado, R.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2013). Morfologische trends op middellange termijn van strand, vooroever en kustnabije zone langs de Belgische kust: Deelrapport in het kader van het Quest4D-project. Versie WL2011R814\_02\_rev3\_0. WL Rapporten. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Janssens J.; Verwaest T.; De Mulder T.; Mostaert F.** (2008). Prognose van de evenwichtsligging van de kustlijn ter hoogte van de baai van Heist. WL Rapporten, 765\_29. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Kellens, W.** (2011). Analysis, perception and communication of coastal flood risks: Examining objective and subjective risk assessment = Analyse, perceptie en communicatie van overstromingsrisico's in kustgebieden: onderzoek naar objectieve en subjectieve risicobeoordeling. PhD Thesis. Universiteit Gent: Gent. ISBN 978-94-90695-82-8. 224 pp.
- Kustwerkgroep Natuurpunt** (2010). Syllabus het KAPPA-Plan: hoog tij(d) voor een veilige, natuurlijke en aantrekkelijke kust. Natuurpunt: Bredene. 20 pp.
- Lauwaert, B.; De Witte, B.; Devriese, L.; Fettweis, M.; Martens, C.; Timmermans, S.; Van Hoey, G.; Vanlede, J.** (2016). Synthesis report on the effects of dredged material dumping on the marine environment (licensing period 2012-2016). RBINS-OD Nature/ILVO/AMT - Afdeling Maritieme Toegang/AMCS/FHR: Brussels. 107 pp.
- Leatherman, S.** (1979). Barrier Islands from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico. (Eds.) Academic Press, New York (325 pp).
- Martens, R.** (2005). Monitoring van de Paardenmarkt, een munitiestortplaats uit W.O.-I voor onze kust. MSc Thesis. Vrije Universiteit Brussel: Brussel. 128 + annexes pp.

- Masterplan Kustveiligheid** (2011). Kustveiligheidsplan. Masterplan Kustveiligheid beschermt al wat jij liefhebt tegen de zee. Maritieme Dienstverlening en Kust. Afdeling Kust/Waterbouwkundig Laboratorium: Oostende. 89 pp.
- Masterplan Vlaamse Baaien** (2014). Masterplan Vlaamse Baaien: toekomst van het kuststelsel in Vlaanderen. Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Afdeling Maritieme Toegang: Antwerpen. 76 pp.
- McBride, R.; Anderson, J.; Buynevich, I.; Cleary, W.; Fenster, M.; FitzGerald, D.; Harris, M.; Hein, C.; Klein, A.; Liu, B.; de Menezes, J.; Pejrup, M.; Riggs, S.; Short, A.; Stone, G.; Wallace, D.; Wang, P.** (2013). Morphodynamics of barrier systems: a synthesis. In: Shroder, J.F. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. 10. Academic Press, San Diego, CA: pp. 166-244.
- Meininger P.; Gravenland J.** (2002) Leidraad ecologische herstelmaatregelen voor kustbroedvogels balanceren tussen natuurlijke processen en ingrijpen. Rapport RIKZ/2001.046. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg Nederland.
- Meire, E.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2011). Veiligheid Vlaamse kust: slachtoffer- en schaderisico bij stormvloed in de kustzone: synthese. Versie 2.0. WL Adviezen, 718\_02j. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. II, 5 + 8 p. Figures pp.
- Missiaen, T.; De Batist, M.; Vanninen, P.; Soderstrom, M.; Koskela, H.; Kiljunen, H.** (2013). Onderzoeksopdracht DG5/INSPA/RMa23.160 met betrekking tot de Paardenmarkt, een stortplaats voor munitie uit W.O.-I: Aanbevelingen betreffende chemische monitoring. Eindrapport. University of Gent/VERIFIN, Department of Chemistry, University of Helsinki: Gent, Helsinki. 40 pp.
- Missiaen, T.; Henriët, J.-P.; Paardenmarkt Project Team** (2002). Paardenmarkt site evaluation. Scientific Support Plan for a Sustainable Development Policy (SPSD I): Programme "Sustainable Management of the North Sea" = Plan voor wetenschappelijke ondersteuning van een beleid gericht op duurzame ontwikkeling (PODO I): Programma "Duurzaam beheer van de Noordzee". Federaal Wetenschapsbeleid = Belgian Science Policy = Politique Scientifique Fédérale: Brussel. 184 pp. Missiaen, T.; Henriët, J.P. (2010). Synthese van het wetenschappelijk onderzoek dat werd uitgevoerd op de Paardenmarktsite en formuleren van aanbevelingen met betrekking tot de verdere aanpak: eindrapport. Onderzoeksopdracht DG5/INSPA/RMa/23.132. RCMG: Gent. 112 pp.
- Missiaen, T.; Henriët, J.P.** (2010). Synthese van het wetenschappelijk onderzoek dat werd uitgevoerd op de Paardenmarktsite en formuleren van aanbevelingen met betrekking tot de verdere aanpak: eindrapport. Onderzoeksopdracht DG5/INSPA/RMa/23.132. RCMG: Gent. 112 pp.
- Monbaliu, J.; Mertens, T.; Toorman, E.; Troch, P.; Verwaest, T.; De Hauwere, N.; Van den Eynde, D.** (2017). Status CREST onderzoek: beleidsinformerend mid term rapport. KULeuven/VLIZ: België. 19 pp.
- Mulhern, J.; Johnson, C.; Martin, J.** (2017). Is barrier island morphology a function of tidal and wave regime? In *Marine Geology*, Volume 387, 2017, Pages 74-84, ISSN 0025-3227.
- Nummedal, D.; Oertel, G.; Hubbard, D.; Hine, A.** (1977). Tidal inlet variability- Cape Hatteras to Cape Canaveral. *Coastal Sediments '77*, Proc. 5th Symp. WPCO Div. of ASCE, Charleston, South Carolina, pp. 543-562.
- Pecceu, E.; Vanelslander, B.; Vandendriessche, S.; Van Hoey, G.; Hostens, K.; Torreele, E.; Polet, H.** (2014). Beschrijving van de visserijactiviteiten in het Belgisch deel van de Noordzee in functie van de aanvraag bij de Europese Commissie voor visserijmaatregelen in de Vlaamse Banken (Habitatrichtlijngebied). *ILVO Mededeling*, 156. ILVO: Merelbeke. 92 + Bijlagen pp.
- Ray, P.; Hayes, M.; Stephen, M.; Ray, K.** (1973). Multi-level cusped features on microtidal barrier beaches. Abstracts with Programs - Geological Society of America. Dallas, TX, pp. 776-777.
- Reyns, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2010). CLIMAR: Deelrapport 4 - Effect van het ophogen van de zandbanken voor de Belgische kust op de kustveiligheid bij een superstorm. Versie 2\_0. WL Rapporten, 814\_01. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Reyns, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2011). CLIMAR: Subreport 5 - Evaluation of adaptation strategies for coastal protection towards 2100. Version 2\_0. WL Rapporten, 814\_01. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.
- Ruiz Parrado, I.; Vanneste, D.; Vanderkimpfen P.; Verwaest, T.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2017). Update Flood Risk Coastal Plain 2015. Flood modeling report. *WL Rapporten*, 14\_150\_1. Flanders Hydraulics Research.
- Somers, E.** (2010). Inleiding tot het Internationaal Zeerecht, Mechelen. (Eds.) Kluwer, 2010, 491 p.
- Stienen, E.; Courtens, W.** (2007). De betekenis van een zandbank voor Heist voor de avifauna, in: "De zandbank te Heist, een boeiend fenomeen", Seminarie Scharpoord Knokke-Heist, 19 oktober 2007: abstracts en powerpoint presentations. pp. 1-18.
- Stienen, E.; Van Waeyenberge, J.** (2002). Verstoken van verstoring: het belang van de Baai van Heist als rust- en broedgebied voor vogels, in: Mees, J. et al. (Ed.) Academische studiedag: 5 Jaar strand-natuurreservaat 'De Baai van Heist' - De Vlaamse stranden: steriele zandbakken of natuurpatrimonium? Zeebrugge, 14 juni 2002. VLIZ Special Publication, 9: pp. 1-9.
- Stive, M.; de Schipper, M.; Luijendijk, A.; Aarninkhof, S.; van Gelder-Maas, C.; van Thiel, J.; de Vries, S.; Henriquez, M.; Marx, S.; Ranasinghe, R.** (2013). A new alternative to saving our beaches from sea-level rise: The sand engine, *Journal of Coastal Research* 29, 1001.
- Stratton, M.** (2012). Coastal Communities 2150: building resilience & reducing vulnerability through community engagement, in: Belpaeme, K. et al. (Ed.) Book of Abstracts. International Conference Littoral 2012: Coasts of Tomorrow. Kursaal, Oostende, 27-29 November 2012. VLIZ Special Publication, 61: pp. 153-155.

- Stronkhorst, J.; Legendijk, O.** (2012). Toekomstbestendige verharde zeeeringen. Verkenning naar adaptieve oplossingen in een zandige kust Eindrapport ten behoeve van het Deltaprogramma Kust. Deltares: Delft. ii, 81 + bijlagen pp.
- THV Noordzee en Kust** (2009). Vlaamse Baaien 2100 – Veilig, natuurlijk, aantrekkelijk, duurzaam, ontwikkelend: Van een smalle, harde naar een brede, zachte kust. Eds. 96 pp.
- Thoon, D.** (2016). Meetnet Vlaamse Kust – Broersbank: Belang voor het Masterplan Kustveiligheid. Presentatie 19 september 2016. MDK Afdeling Kust.
- Trouw, K.; Zimmermann, N.; Wang, Li.; De Maerschack, B.; Delgado, R.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2015). Scientific support regarding hydrodynamics and sand transport in the coastal zone: Literature and data review coastal zone Zeebrugge - Zwin. Version 4\_0. WL Rapporten, 12\_107. Flanders Hydraulics Research. Antwerp, Belgium.
- Van den Eynde, D.; De Sutter, R.; De Smet, L.; Francken, F.; Haelters, J.; Maes, F.; Malfait, E.; 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 CLIMAR: final report. Belgian Science Policy Office: Brussels. 121 pp.
- Van den Eynde, D.; De Sutter, R.; Maes, F.; Ozer, J.; Polet, H.; Ponsar, S.; Van der Biest, K.; Vanderperren, E.; Verwaest, T.; Volckaert, A.** (2009). CLIMAR - Evaluatie van de impacts van klimaatverandering en aanpassingsmaatregelen voor mariene activiteiten, in: Congres Water en Klimaatverandering, 14 en 15 oktober 2008: abstracts van lezingen en posters = Conférence eau et changement climatique 14 et 15 octobre 2008: résumés des présentations et des posters. pp. 28-29.
- Van den Eynde, D.; Francken, F.; Lauwaert, B.** (2007a). Modellenstudie van de ontwikkeling van de zandbank te Heist, in: "De zandbank te Heist, een boeiend fenomeen", Seminarie Scharpoord Knokke-Heist, 19 oktober 2007: abstracts en powerpoint presentations. pp. 1-34.
- Van den Eynde, D.; Kerckhof, F.; Lauwaert, B.; Pichot, G.** (2007b). Ontwikkeling van de zandbank ter hoogte van Heist: eindrapport. Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (BMM): Brussel. 102 pp.
- Van der Biest, K.; D'Hondt, B.; Schellekens, T.; Vanagt, T.; Kamermans, P.; Bonte, D.; Ysebaert, T.; Meire, P.** (2017a). Ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust. Deel I - Functionele beschrijving kustecosysteem en ecosysteemdiensten. eCOAST Rapport. Oostende. 81 pp.
- Van der Biest, K.; Vanagt, T.; D'Hondt, B.; Schellekens, T.; Bonte, D.; Ysebaert, T.; Meire, P.** (2017b). Ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust. Deel II - Visie en beoordelingsmethodiek. eCOAST Rapport: Oostende. 81 pp.
- Van der Biest, K.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2009b). CLIMAR. Section report 3: adaptation measures to climate change impacts along the Belgian coastline. Version 2.0. WL Rapporten, 814\_01. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. III, 20 + 8 p. appendices pp.
- Van der Biest, K.; Verwaest, T.; Reyns, J.** (2008a). Evalueren van de gevolgen van klimaatsveranderingen op overstromingsrisico's langs de Belgische kust, in: Congres Water en Klimaatverandering, 14 en 15 oktober 2008: abstracts van lezingen en posters = Conférence eau et changement climatique 14 et 15 octobre 2008: résumés des présentations et des posters. pp. 31.
- Van der Biest, K.; Verwaest, T.; Reyns, J.; Mostaert, F.** (2009a). CLIMAR: deelrapport 2. Kwantificatie van de secundaire gevolgen van de klimaatsverandering in de Belgische kustvlakte. Versie 2.0. WL Rapporten, 814\_01. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. IV, 46 + 22 p. appendices pp.
- Van der Biest, K.; Verwaest, T.; Vanneuville, W.; Reyns, J.; Mostaert, F.** (2008b). CLIMAR: evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities. Subdocument coastal flooding. Version 2.0. WL Rapporten, 814\_01. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. vi, 64 pp.
- van Heteren, S.; Van Lancker, V.** (2015). Collaborative seabed-habitat mapping: uncertainty in sediment data as an obstacle in harmonization, pp. 154-176. In: P. Diviacco, P. Fox, C. Pshenichny & A. Leadbetter (Eds.). Collaborative knowledge in scientific research networks. Advances in Knowledge Acquisition, Transfer and Management (AKATM) Book Series, IGI Global, Hershey, PA, USA.
- Van Lancker, V.** (2007). Morfologische en sedimentologische context van de Baai van Heist, in: "De zandbank te Heist, een boeiend fenomeen", Seminarie Scharpoord Knokke-Heist, 19 oktober 2007: abstracts en powerpoint presentations. pp. 1-10.
- Van Lancker, V.; Baeye, M.; Du Four, I.; Janssens, R.; Degraer, S.; Fettweis, M.; Francken, F.; Houziaux, J.; 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 pp. + Annexes.
- Van Lancker, V.; Francken, F.; Kint, L.; Terseleer, N.; Van den Eynde, D.; De Mol, L.; De Tre, G.; De Mol, R.; Missiaen, T.; Chademenos, V.; Bakker, M.; Maljers, D.; Stafleu, J.; van Heteren, S.** (2017). Building a 4D Voxel-Based Decision Support System for a Sustainable Management of Marine Geological Resources. pp. 224-252. In: Diviacco, P., Leadbetter, A. & Glaves, H. (eds.). Oceanographic and Marine Cross-Domain Data Management for Sustainable Development. Book Series, IGI Global, Hershey, PA, USA.
- van Lipzig N.; Willems P.** (2015). Actualisatie en verfijning klimaatscenario's tot 2100 voor Vlaanderen, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2015/01, KU Leuven i.s.m. KMI.

- van Schijndel, R.** (2004). De voorhaven van Zeebrugge vogelvrij? Haalbaarheidsstudie naar de mogelijkheden voor de bouw van een eiland op de munitiestortplaats "De Paardenmarkt", als alternatieve broedplaats voor kustbroedvogels uit de voorhaven van Zeebrugge. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Afdeling Maritieme Toegang: Belgium. 98 pp.
- Van Waeyenberge, J.; Stienen, E.; Kuijken, E.** (2002) Toekomstperspectieven voor kustbroedvogels in de voorhaven van Zeebrugge: Adviesnota in het kader van de instandhouding van de populaties van kustbroedvogels Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- Vanderperren, E.; Polet, H.** (2009). CLIMAR Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities. Subdocument Belgian fisheries: sector analysis. Institute for Agricultural and Fisheries Research (ILVO). Animal Sciences Unit - Fisheries: Ostend. 44 pp.
- Vandeweyer, L.** (2013). Het ontstaan van het gasgranatenstort op de Paardenmarkt. Bijkomende toelichting, opgenomen in de persmap studiedag "De Grote Oorlog en de Zee", 8 november 2013. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ): Bredene. 17 pp.
- Vanneste, D.; Beullens, J.; Ruiz-Parrado, I.; Broidioi, S.; Mostaert, F.** (2018). Update overstromingsrisico kustvlakte - 2015: Rapportering schade- en slachtofferrisico. Versie 4.0. WL Rapporten, 14\_150\_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.
- Vanpoucke, Ph.; Reyns, J.; Van der Biest, K.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2009). Veiligheid Vlaamse Kust Overstromingsrisico's in de aandachtszones. Versie 2\_0. WL Rapporten, 718\_02j. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Vanpoucke, Ph.; Vanderkimpfen, P.; Van der Biest, K.; Reyns, J.; Verwaest, T.; Peeters, P.; Holvoet, K.; Mostaert, F.** (2008). Overstromingsrisico's aan de Vlaamse kust. Evaluatie van de zeewering. Deel 2: Resultaten. WL Rapporten, 718/2C, Waterbouwkundig Laboratorium & Universiteit Gent & Soresma-Haecon, Borgerhout, België.
- Vantorre M.** (2005a) "Haalbaarheidsstudie Estuair Containervervoer als hinterlandverbinding voor de Haven Van Zeebrugge; Eindverslag - Hoofdstuk I: Overzicht van de activiteiten, Universiteit Gent, November 2005.
- Vantorre M.** (2005b) "Haalbaarheidsstudie Estuair Containervervoer als hinterlandverbinding voor de Haven Van Zeebrugge; Eindverslag - Hoofdstuk II - Verband tussen maximaal toelaatbare significante golfhoogte en inzetbaarheid", Universiteit Gent, November 2005.
- Vantorre M.** (2015) "Zeewaartse binnenvaartverbinding Zeebrugge", Universiteit Gent.
- Vantorre M.; Eloot K.; Defortrie G.** (2012) "Probabilistic regulation for inland vessels operating at sea as an alternative hinterland connection for coastal harbours", EJTIR, TU Delft, 2012.
- Vantorre, M.; Eloot, K.; Geerts, S.** (2013). Inland vessels at sea: a useful contradiction to solve missing links in waterway systems, in: Rigo, P. et al. (Ed.) PIANC - SMART Rivers Conference 2013, 23 - 27 September 2013 - Maastricht / Liège: Abstract booklet. pp. 49.
- Vantorre, M.; Van Zwijnsvoorde, T.** (2016). Zeewaartse binnenvaartverbinding voor Zeebrugge: Berekening van de scheepsreponsies voor scenario T0, E1 en F1: Vaarroute doorheen opening in de oostelijke dam en aanleg golfwerende constructies. Universiteit Gent, Civiele Techniek afdeling. Maritieme Toegang.
- Vantorre, M.; Vandevoorde, B.; van der Werff, T.** (2005c) "Haalbaarheidsstudie Estuair Containervervoer als hinterlandverbinding voor de Haven Van Zeebrugge: Eindverslag - Hoofdstuk III - Vereenvoudigde risicoanalyse voor geselecteerde scheepsconfiguraties", Universiteit Gent, November 2005.
- Veen, J.; Stienen, E.; Brenninkmeijer, A.; Offringa, H.; Meire, P.; Van Waeyenberghe, J.** (1997). Ecologische randvoorwaarden voor de aanleg van een broedplaats voor sterns in de voorhaven van Zeebrugge. Rapport IN 97.15, 37p. Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (ffIN-DLO) Wageningen & Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- Vercruyssen, T.; De Couvreur, L.** (2011). Optimalisatie van estuaire containervaart voor Zeebrugge. MSc Thesis. Universiteit Gent. Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur: Gent. xii, 142 pp.
- Verelst, K.** (2006) Bepaling van een directionele correlatie voor golfhoogte en golfrichting t.b.v. estuaire vaart, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, Antwerpen, april 2006.
- Verleye, T.; Pirlet, H.; Lescrauwaet, A.-K.; Maes, F.; Mees, J.** (2015). Vademecum: Mariene beleidsinstrumenten en wetgeving voor het Belgisch deel van de Noordzee. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ): Oostende. ISBN 978-94-920431-6-0. 128 pp.
- Verwaest, T.** (2007). Zandbank ter hoogte van de Baai van Heist - langjarige sedimentatie, in: "De zandbank te Heist, een boeiend fenomeen", Seminarie Scharpoord Knokke-Heist, 19 oktober 2007: abstracts en powerpoint presentations. pp. 1-9
- Verwaest, T.; De Maerschack, B.; Mostaert, F.** (2014). Vlaamse Baaien 2100: potentie Kustveiligheid eilanden. Versie 4.0. WL Adviezen, 14\_047. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. 8 pp.
- Verwaest, T.; DeWolf, P.; Mertens, T.; Mostaert, F.; Pirlet, H.** (2015). Veiligheid tegen overstromingen. In: Pirlet, H., Verleye, T., Lescrauwaet, A.K., Mees, J. (Eds.), Compendium voor Kust en Zee 2015: Een geïntegreerd

kennisdocument over de socioeconomische, ecologische en institutionele aspecten van de kust en zee in Vlaanderen en België. Oostende, Belgium, p. 217-228.

**Vlaamse Regering** (2017) Nota aan de Vlaamse Regering – Betreft: Startbeslissing Complex Project Kustvisie. 22 december 2017. VR 2017 2212 DOC. 1384/1

**Waterbouwkundig Laboratorium** (2006). Oostkust - Baai van Heist: langjarige sedimentatie (Model 765/14): Eindrapport. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. 72 + 1 cd-rom pp.

**Wegner G, Damm U, Purps M** (2003) Physical influences on the stock dynamics of plaice and sole in the North Sea. *Scientia Marina*, 67, 219-234.

**Willems, M.; Heyvaert, G.; Hassan, W.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016). Haven van Zeebrugge: scenario met een extra opening in de oostelijke havendam: deelrapport 1. Schaalmodelonderzoek getijstroming. Versie 4.0. WL Rapporten, 15\_092\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. V, 18 + 20 p. bijlagen pp.

**Wouters, B.; Depoorter, P.; Pâris, T.; Pirlet, H.** (2015). Militair gebruik, in: Pirlet, H. et al. (Ed.) Compendium voor Kust en Zee 2015: Een geïntegreerd kennisdocument over de socio-economische, ecologische en institutionele aspecten van de kust en zee in Vlaanderen en België. pp. 229-238

**Zimmermann, N.; Wang, L.; Delecluyse, K.; Suzuki, T.; Trouw, K.; De Maerschalck, B.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2013). Energy atolls along the Belgian coast: Effects on currents, coastal morphology and coastal protection. Version 5.0. WL Rapporten, 13\_105. Flanders Hydraulics Research & IMDC: Antwerp, Belgium.

**Zwemmer, D.** (1998). Guidelines for design and construction of artificial islands.