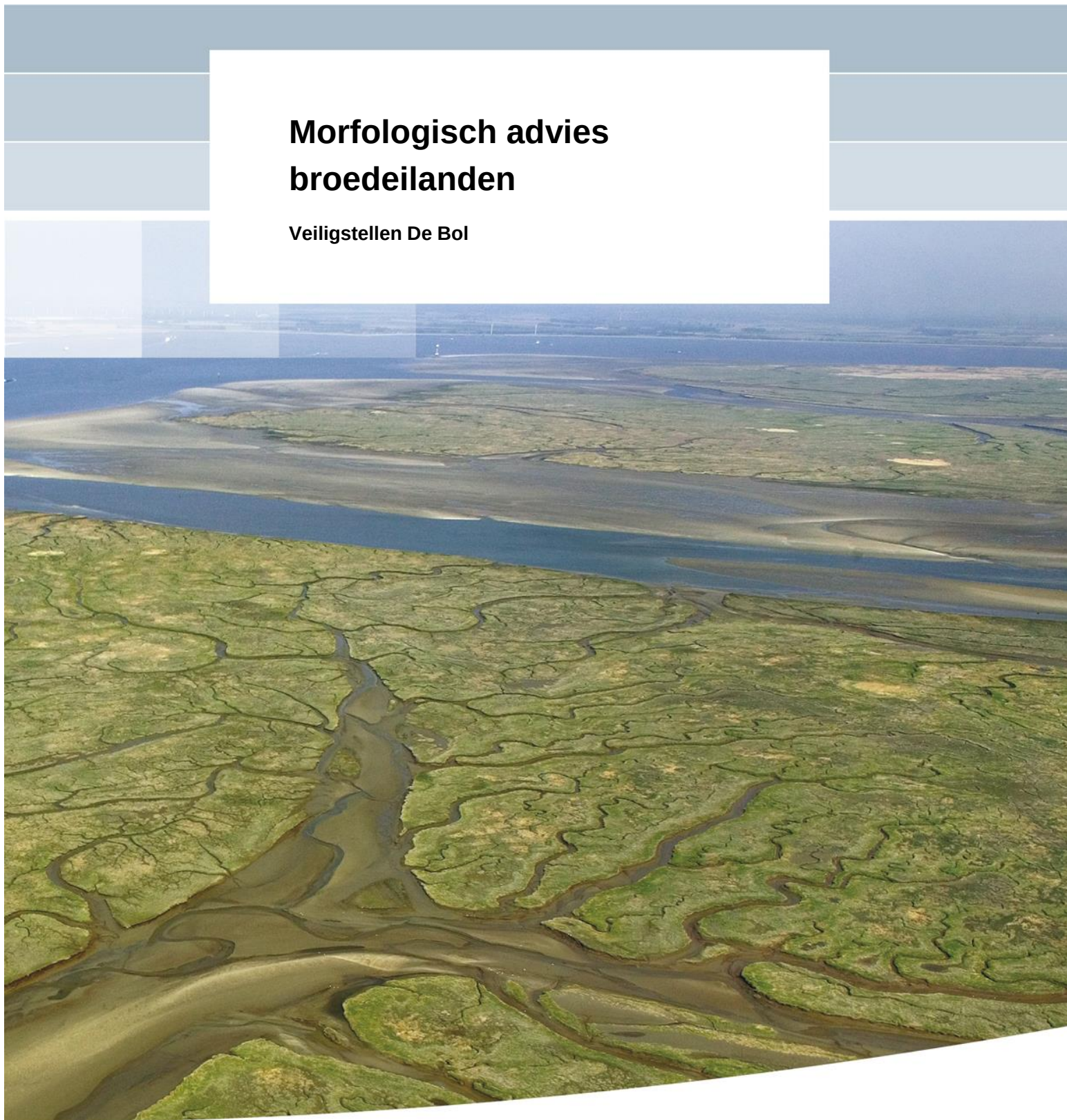


Morfologisch advies broedeilanden

Veiligstellen De Bol



Morfologisch advies broedeilanden

Veiligstellen De Bol

Björn Röbbke
Reinier Schrijvershof

Titel

Morfologisch advies broedeilanden

OpdrachtgeverStichting Het Zeeuwse
Landschap,
WILHELMINADORP**Project**

11200862-002

Kenmerk

11200862-002-ZKS-0002

Pagina's

23

Trefwoorden

Kustbroedvogels, broedeilanden, Westerschelde, morfologie, Delft3D

Samenvatting

Kolonievogels die langs de kusten van de Deltawateren broeden staan onder druk omdat op korte termijn een tekort kan ontstaan aan geschikte broedgebieden. Het 7 eilandenplan beschrijft maatregelen die voorzien in voldoende broedhabitat door permanent droog areaal te creëren op hogere gedeelten van platen in de Deltawateren. Dit rapport beschrijft een verkennende morfologische studie naar de aanleg van een zandsuppletie ter bescherming (versterking) van het bestaande broedeiland De Bol op het plaatcomplex Hooge Platen (Westerschelde). De doelstelling van de suppletie is het broedareaal op De Bol veiligstellen.

Uit deze studie volgt dat het plaatsen van een suppletie aan de zuidwestelijke rand van De Bol (als erosiebuffer) geen structurele oplossing biedt. De erosie aan deze zijde wordt namelijk voornamelijk veroorzaakt door grootschalige processen die niet te beïnvloeden zijn met de aanleg van een suppletie. Een suppletie plaatsen aan de noordelijke kant van De Bol is kansrijker omdat dit gebied morfologisch minder actief is. De modelstudie laat zien dat een suppletie op deze locatie stabiel (i.e. niet sterk eroderend) is en dat er in dit gebied geen groot effect op de (lokale) morfodynamica (onder invloed van stroming en golven) is te verwachten.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	apr. 2019	Björn Rübke Reinier Schrijvershof		Jebbe van der Werf		Dirk Jan Walstra	
1.1	Jul. 2019	Björn Rübke Reinier Schrijvershof		Jebbe van der Werf		Bob Hoogendoorn	
1.2	Okt. 2019	Björn Rübke Reinier Schrijvershof		Jebbe van der Werf		Frank Hoozemans	

Status

definitief

Inhoudsopgave

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen	3
1.3 Aanpak	3
1.4 Leeswijzer	3
2 Historische ontwikkeling De Bol	5
2.1 Morfologische verandering	5
2.2 Areaalontwikkeling	11
3 Modelberekeningen	15
3.1 Methode	15
3.2 Resultaten	17
4 Discussie en conclusies	21
Referenties	23

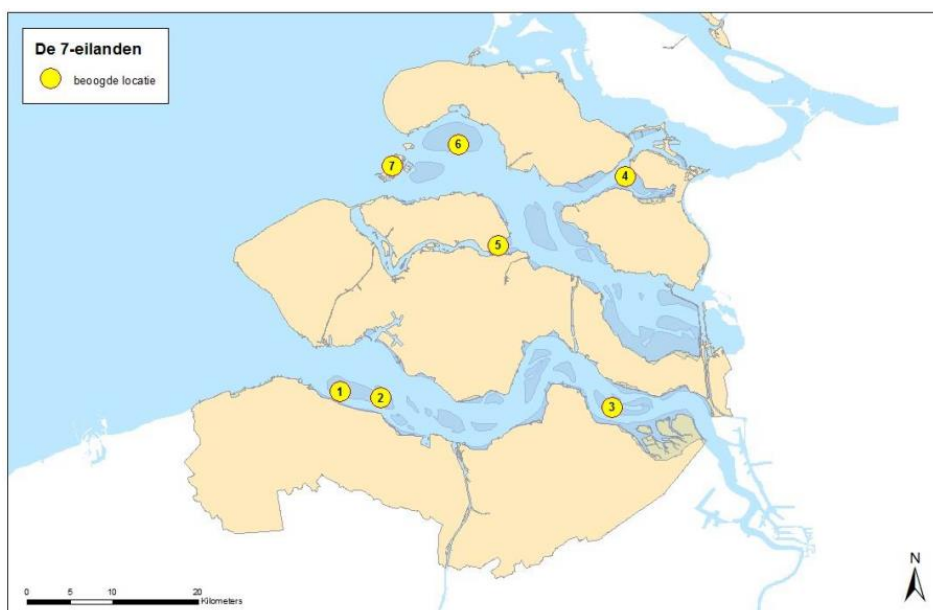
1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Kolonievogels die langs de kusten van de Deltawateren (de Zeeuwse kust) broeden staan onder druk omdat op korte termijn een tekort ontstaat aan geschikte broedgebieden. De oorzaken hiervan zijn een gebrek aan kustdynamiek, het verlies van intergetijdengebied en een gebrek aan rustige nestplaatsen en foerageergebied nabij de broedlocaties. Daarnaast worden de populaties bedreigd door een toename van menselijke verstoring, grondpredatoren en een toegenomen frequentie van overstroming in het voorjaar (Van de Pol et al., 2010).

In het Natura 2000 (N2000) ontwerpbeheerplan Deltawateren is voor kustbroedvogels een regio-doel opgesteld, deze luidt: *“De opgave voor het bereiken van de instandhoudingsdoelstellingen voor kustbroedvogels is zorgen dat er ruim voldoende geschikt broedgebied in de Deltawateren is, zodat de broedvogels de beste gebieden kunnen uitkiezen en voldoende uitwijkmogelijkheden hebben op het moment dat een gebied minder geschikt is”* (Natura 2000 Deltawateren 2015). Om het N2000 instandhoudingsdoel te kunnen waarborgen heeft de Provincie Zeeland besloten om, naar aanleiding van een ‘velddag kustbroedvogels’, maatregelen te nemen die er voor zorgen dat er in de nabije toekomst voldoende geschikt broedgebied aanwezig blijft voor de kustbroedvogels.

De mogelijke maatregelen die bedacht zijn om het broedgebied in de Deltawateren veilig te stellen zijn, in conceptvorm, voorgesteld en beschreven in het 7 eilandenplan (Castelijns et al., 2017). Dit plan beschrijft kleinschalige maatregelen die efficiënt bijdragen aan het veiligstellen van broedareaal op de korte termijn (komende jaren) en daarnaast een plan voor de aanleg en het beheer van broedgebieden voor de middellange termijn (voor het komende decennium). Het blijkt dat voor de middellange termijn het creëren en behouden van eilandsituaties in het intergetijdengebied van de Deltawateren de enige afdoende maatregel is om de kustbroedvogels te behouden voor het Deltagebied. In tegenstelling tot broedvogellocaties op de slikken en schorren die aan het vaste land grenzen, kunnen zulke broedgebieden niet bereikt worden door grondpredatoren. In Figuur 1.1 zijn de voorgestelde locaties weergegeven.



Figuur 1.1: De geselecteerde locaties voor broedeilanden volgens het 7 eilanden plan (Castelijns et al., 2017).

De aanleg en het beheer van elk van de 7 beoogde broedlocaties moet worden uitgewerkt tot er een uitvoeringsgereed project is. Een eerste stap in een dergelijk project is een morfologische haalbaarheidsstudie voor een mogelijke broedlocatie om de (locatiespecifieke) randvoorwaarden voor het concept te onderzoeken. Er zijn binnen het project al twee van deze morfologische haalbaarheidsstudies uitgevoerd naar de aanleg van broedlocaties; aan de oostelijke kant van de Hooge Springer (Schrijvershof et al. (2017); locatie 2 in Figuur 1.1), en op de Plaat van Walsoorden (Schrijvershof & Rübke (2017); locatie 3 in Figuur 1.1).

Dit rapport beschrijft een morfologische haalbaarheidsstudie naar de aanleg van een zandsuppletie ter bescherming (versterking) van het bestaande broedeiland De Bol. Dit broedeiland ligt op de plaat Hooge Platen in het westelijke gedeelte van de Westerschelde, (locatie 1 in Figuur 1.1). De Bol is al meerdere decennia een succesvolle broedlocatie voor diverse kustbroedvogels (e.g. grote stern, dwergstern, kokmeeuw en zwartkopmeeuw) (Castelijns et al., 2017). Dit komt onder andere doordat deze locatie goed gesitueerd is ten opzichte van de foerageerlocaties in de monding van de Westerschelde en de Voordelta. Echter, het oppervlak geschikt broedhabitat op De Bol is over de afgelopen jaren afgenomen. Wanneer deze afname doorzet is het mogelijk dat De Bol in de (nabije) toekomst niet meer geschikt is als broedlocatie. Het Zeeuwse Landschap wil daarom onderzoeken of het mogelijk is om met een suppletie het areaal broedhabitat op De Bol veilig te stellen.

De studie die in dit rapport is beschreven is uitgevoerd door Deltares, in opdracht van Stichting Het Zeeuwse Landschap (HZL; zie ook het door HZL aangeleverde kader 'Verantwoording Stichting Het Zeeuwse Landschap').

Verantwoording Stichting Het Zeeuwse Landschap

Stichting Het Zeeuwse Landschap maakt zich sterk voor het behoud en de versterking van natuurwaarden van de Westerschelde, zoals geformuleerd in het Aanwijzingsbesluit Natura2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe en het Natura2000-beheerplan Deltawateren. Van belang is om verdere achteruitgang van het ecosysteem tegen te gaan én knelpunten voor de doelsoorten op te lossen. Een oplossing voor integraal systeemherstel is echter zodanig complex en gevoelig dat hier op korte termijn nog geen oplossing voor te verwachten valt.

Een belangrijk en actueel knelpunt voor diverse doelsoorten (met name sterns en strandplevieren) is een tekort aan geschikt broedgebied. De aanleg van broedeilanden én het beheer hiervan wordt door Het Zeeuwse Landschap dan ook gezien als een noodmaatregel om de populaties kustbroedvogels in stand te houden*, ook als dit (tijdelijk) ten koste gaat van een klein oppervlak ander kwalificerend habitat. Voorwaarde hierbij blijft dat er wordt gestreefd naar een zo klein mogelijke impact op zowel het oppervlak kwalificerend habitat als de invloed op de hydromorfologie van de Westerschelde.

Het Zeeuwse Landschap zet zich op andere sporen in voor een systeemgerichte aanpak van de Westerschelde, hierbij strevend naar gezond, zelfregulerend systeem waarbij geen kunstmatige ingrepen nodig zijn voor een gezonde vogelstand.

**Meer achtergrondinformatie staat in het 7-Eilandenplan, op te vragen via info@hetzeeuwselandschap.nl.*

1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

De doelstelling van deze studie is om een eerste inschatting te geven over de morfologische haalbaarheid van een suppletie die als doel heeft het areaal broedhabitat van de Bol veilig te stellen. Onder morfologisch haalbaar wordt verstaan dat de suppletie niet binnen korte termijn (~1 jaar) volledig verdwenen is als gevolg van eroderende processen (getij, golven, wind) en daarmee niet kan voldoen in de doelstelling. De onderzoeksvragen van de studie zijn:

1. Wat zijn de mogelijkheden voor de aanleg van een suppletie uit morfologisch oogpunt?
 - a. Wat zijn geschikte locaties, rekening houdend met de recente autonome morfologische ontwikkelingen?
 - b. Wat is het benodigde volume voor een suppletie op deze locaties?
 - c. Welk soort sediment is geschikt voor de aanleg?
2. Wat is de verwachte morfologische ontwikkeling en invloed van een suppletie?
 - a. Hoe zal de suppletie zich morfologisch ontwikkelen en hoe kan de keuze van de locatie dit beïnvloeden?
 - b. Zijn er te verwachten nadelige neveneffecten, met betrekking tot scheepvaarttoegankelijkheid en N2000 habitats?

1.3 Aanpak

De basis van een morfologische haalbaarheidsstudie is begrip van de morfologische ontwikkelingen die van belang zijn in het onderzoeksgebied. Hiervoor wordt in dit rapport de historische ontwikkeling van het broedeiland De Bol onderzocht en beschreven aan de hand van LiDAR hoogtegegevens, ecotopenkaarten en droogvalduurkaarten. Deze zijn voor de periode 2011–2016 beschikbaar. Op basis van het morfologische gedrag over de afgelopen jaren wordt een inschatting gemaakt welke locaties potentieel geschikt zijn om een suppletie aan te leggen. Met behulp van de beschikbare recente hoogtegegevens wordt een indicatief suppletieontwerp geconstrueerd (onderzoeksvraag 1). Het numeriek model dat in een eerdere fase van het project is opgezet (Schrijvershof et al., 2017) wordt gebruikt om verkennende berekeningen uit te voeren om de impact van het suppletieontwerp op de hydrodynamica en de morfodynamica te onderzoeken. Deze simulaties dienen als basis voor een inschatting over de verwachte morfologische ontwikkeling onder de invloed van het getij en golven (onderzoeksvraag 2). Morfologische ontwikkeling onder de invloed van wind is niet onderzocht.

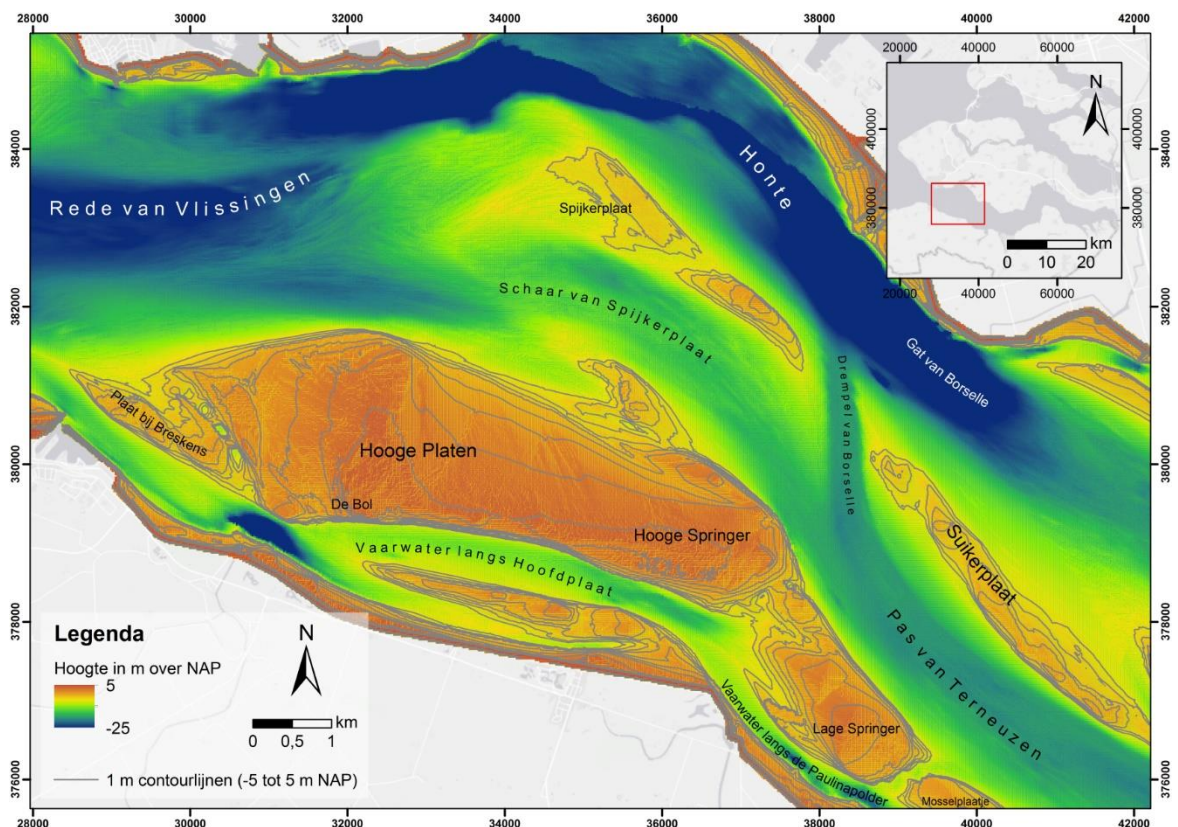
1.4 Leeswijzer

De historische morfologische ontwikkeling van De Bol wordt kort beschreven in Hoofdstuk 2. Dit hoofdstuk richt zich op de morfologische ontwikkelingen die van belang zijn voor de aanleg van een suppletie (e.g. geulvorming en geulmigratie) en daarnaast wordt de afname in broedareaal gekwantificeerd. Hoofdstuk 3 beschrijft de opzet en resultaten van een relatief eenvoudige modelleringsexercitie. In Hoofdstuk 4 worden de resultaten bediscussieerd en de conclusies gegeven.

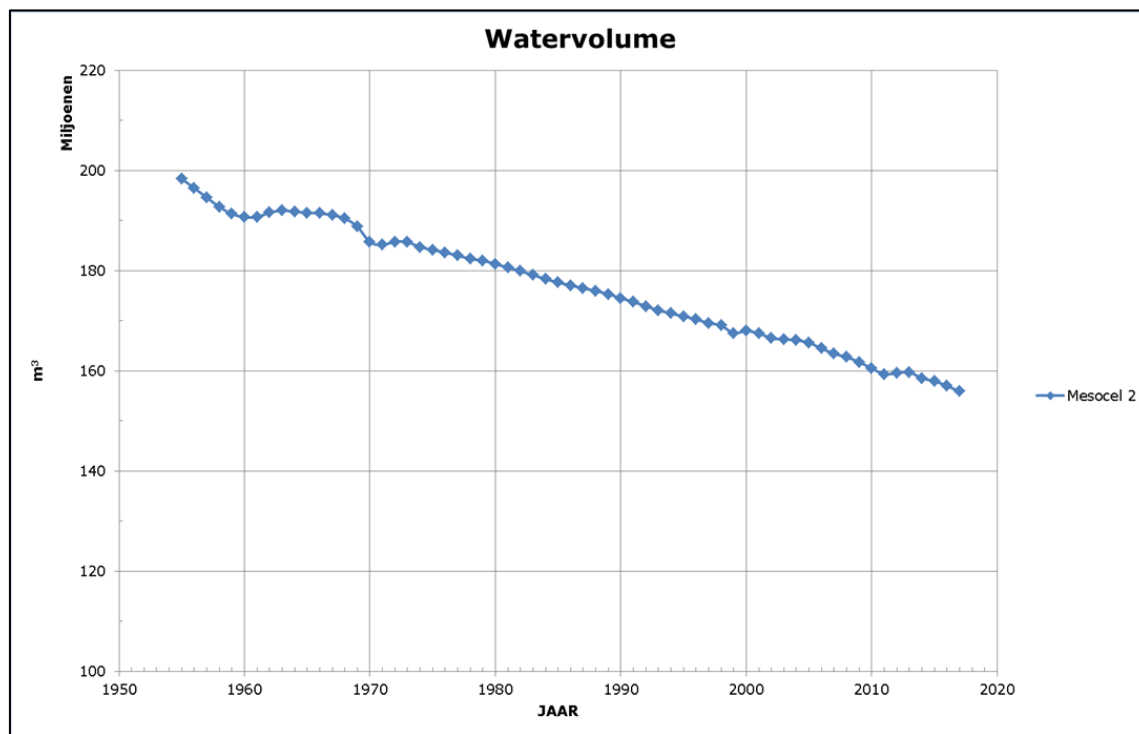
2 Historische ontwikkeling De Bol

2.1 Morfologische verandering

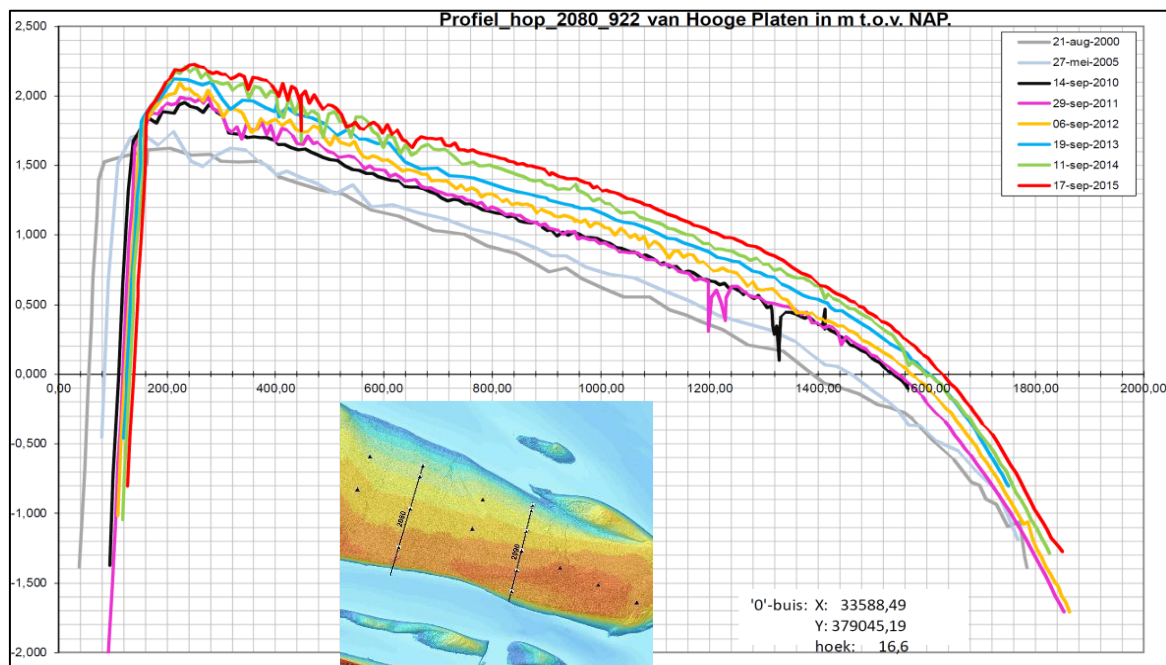
Het broedeiland De Bol is deel van het platencomplex Hooge Platen in het westen van het Westerschelde-estuarium (locatie 1 in Figuur 1.1 en Figuur 2.1). Het eiland is 50 jaar geleden gecreëerd (gestimuleerd) door verstuiwend zand in te vangen en op deze manier het gebied op te hogen. Het platencomplex Hooge Platen en dus ook De Bol zijn morfodynamisch zeer actief. De lokale morfodynamica wordt vooral bepaald door het getij (vloed en eb), golven en eolische processen (wind) maar daarnaast moet de morfologische ontwikkeling van De Bol geplaatst worden in een bredere context van de ontwikkelingen die spelen in mesocel 2. Sinds de afsluiting van de Braakman in 1952 is het kombergingsgebied van deze zeearm aanzienlijk afgenomen en is het getijvolume door het Vaarwater langs Hoofdplaat (zie Figuur 2.1) verminderd. Een gevolg hiervan is dat het Vaarwater is gaan sedimenteren (orde 0,6 Mm³ per jaar, zie Figuur 2.2) en dat de erosie langs de oevers van de Hoofdplaatpolder (ten zuiden van het Vaarwater) is veranderd in sedimentatie. Een andere ontwikkeling die gelijktijdig optreedt en belangrijk is voor het morfologische gedrag van De Bol is de afkalving van de steile zuidrand van de Hooge Platen. Deze ontwikkeling is geïllustreerd in Figuur 2.3 met een dwarsprofiel dat de bodemligging laat zien over de periode 2000-2015. De zeer steile oever die aan de zuidelijke rand van de Hooge Platen ontstaat door erosie blijft behouden (stort niet in) doordat de ondergrond bestaat uit compacte klei- en schelpenlagen. Het erosieproces is daarom ook onomkeerbaar (Taal et al., 2018).



Figuur 2.1: Overzichtskaat van de topo-bathymetrie nabij het platencomplex Hooge Platen in het westen van de Westerschelde met de naamgeving van de belangrijkste geulen en platen.

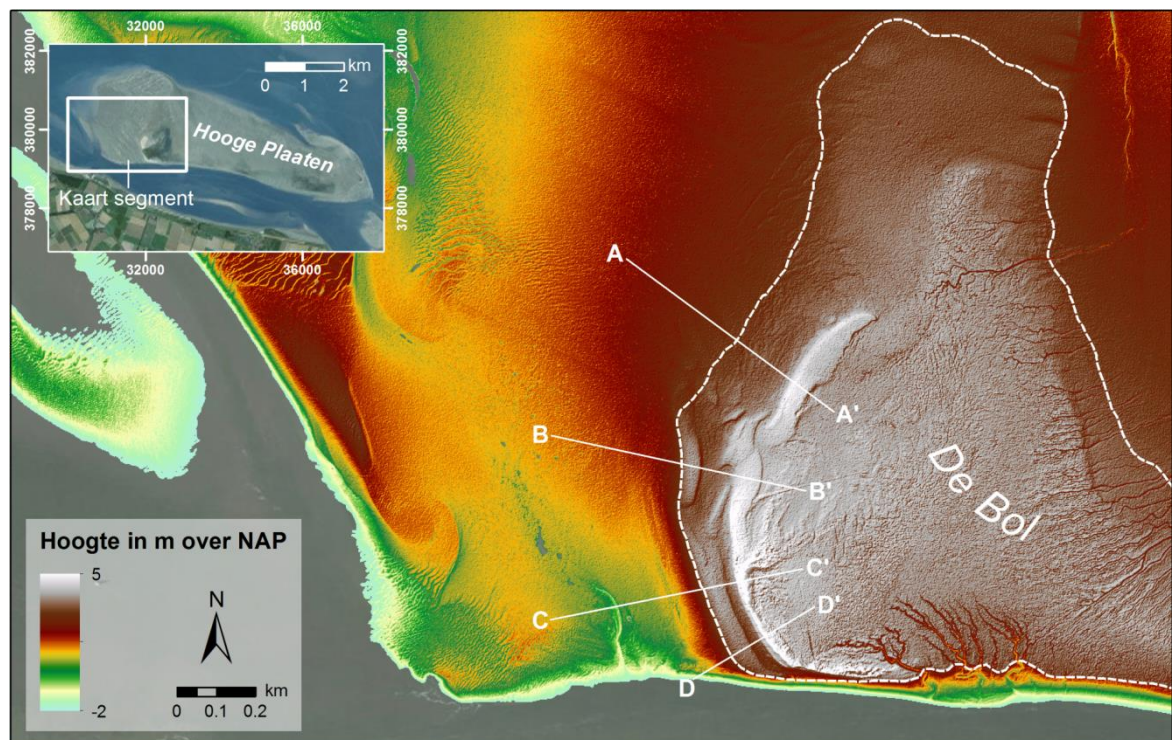


Figuur 2.2: Natte volume van het Vaarwater langs Hoofdplaat vanaf 1950 (Schrijver, 2018, uit: Taal et al., 2018).



Figuur 2.3 Dwarsprofiel over de Hooge Platen in de periode 2000-2015. Getoond dwarsprofiel is het linkerprofiel (2080) getoond in de inzet (Goossens et al, 2017, uit: Taal et al., 2018).

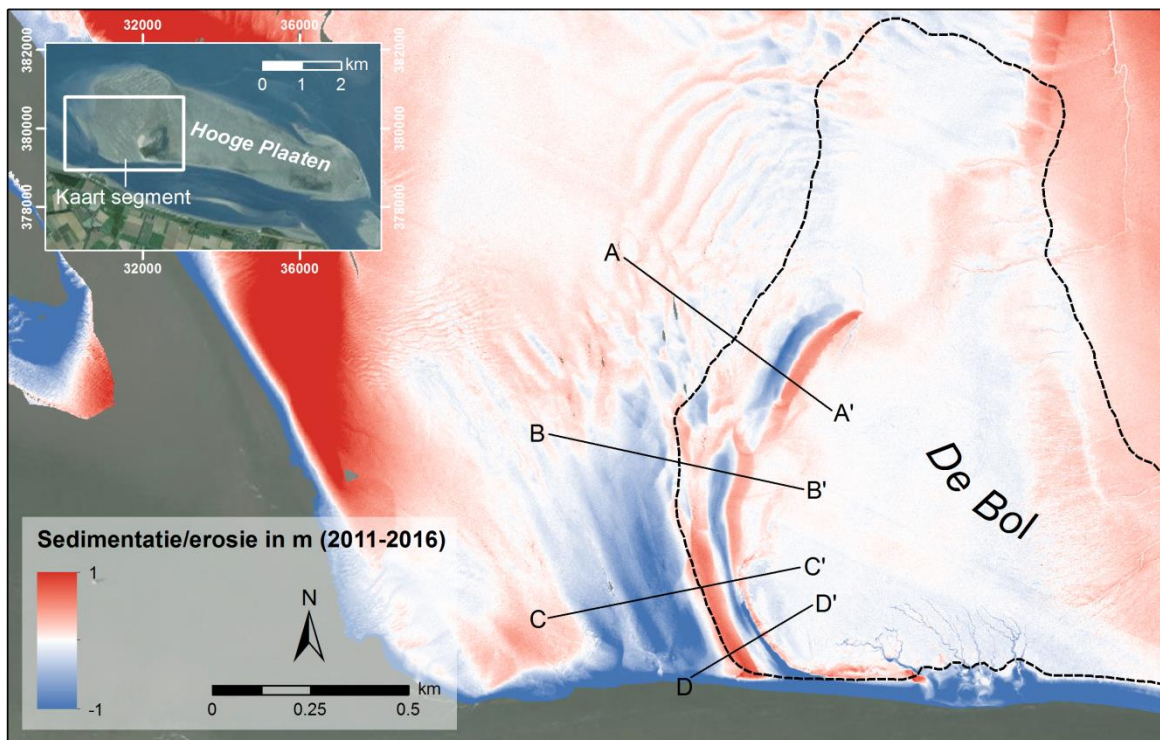
Inzoomend op het gebied rondom De Bol kunnen we verschillende morfologische eenheden onderscheiden. In het westelijke gedeelte is het eiland gedomineerd door strandwallen en sikkelduinen met maximale hoogtes van ca. NAP 5 m (Figuur 2.4). Naar het oosten toe verlaagd het reliëf tot NAP 1,80 m en zijn er meerdere prieltjes die zorgen voor de afwatering van het gebied. Satellietbeelden uit de jaren 2005, 2013, 2015 en 2017 (Figuur 2.5) laten zien dat de vorm van De Bol (inclusief de sikkelduinen en het lagere reliëf aan de oostelijke zijde) continu veranderen. De verschilkaart in Figuur 2.6 kwantificeert de morfologische veranderingen voor de periode 2011–2016: de cumulatieve erosie en sedimentatie zijn in de orde grootte van ongeveer 1 m. Het duidelijkste en sterkste erosiepatroon (tot ca. -1 m) treedt op aan de zuidwestzijde van het broedeiland, maar ook het afkalven van de zuidelijke rand van de gehele plaat is zeer duidelijk waar te nemen als een sterk eroderende strook. Oostelijk, in het gebied van de strandwallen en sikkelduinen, zijn twee smalle stroken van sedimentatie (tot ca. 1 m) waar te nemen, die door een smalle erosiestrook (tot ca. -1 m) zijn gescheiden. Het gebied oostelijk van de duinen is relatief stabiel, en wordt door lichte sedimentatie (≤ 0.5 m) gekarakteriseerd.



Figuur 2.4: Hoogtemodel (2016) van het westelijke gedeelte van de Hooge Platen met het broedeiland De Bol (witte stippellijn). De witte lijnen AA', BB', CC' en DD' geven de ligging van vier hoogteprofielen in Figuur 2.7 aan.

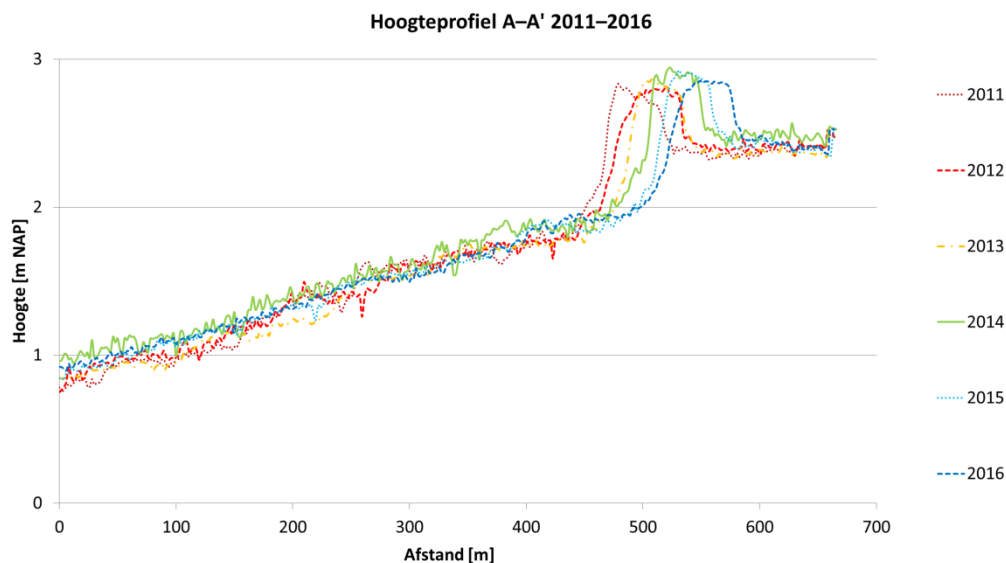


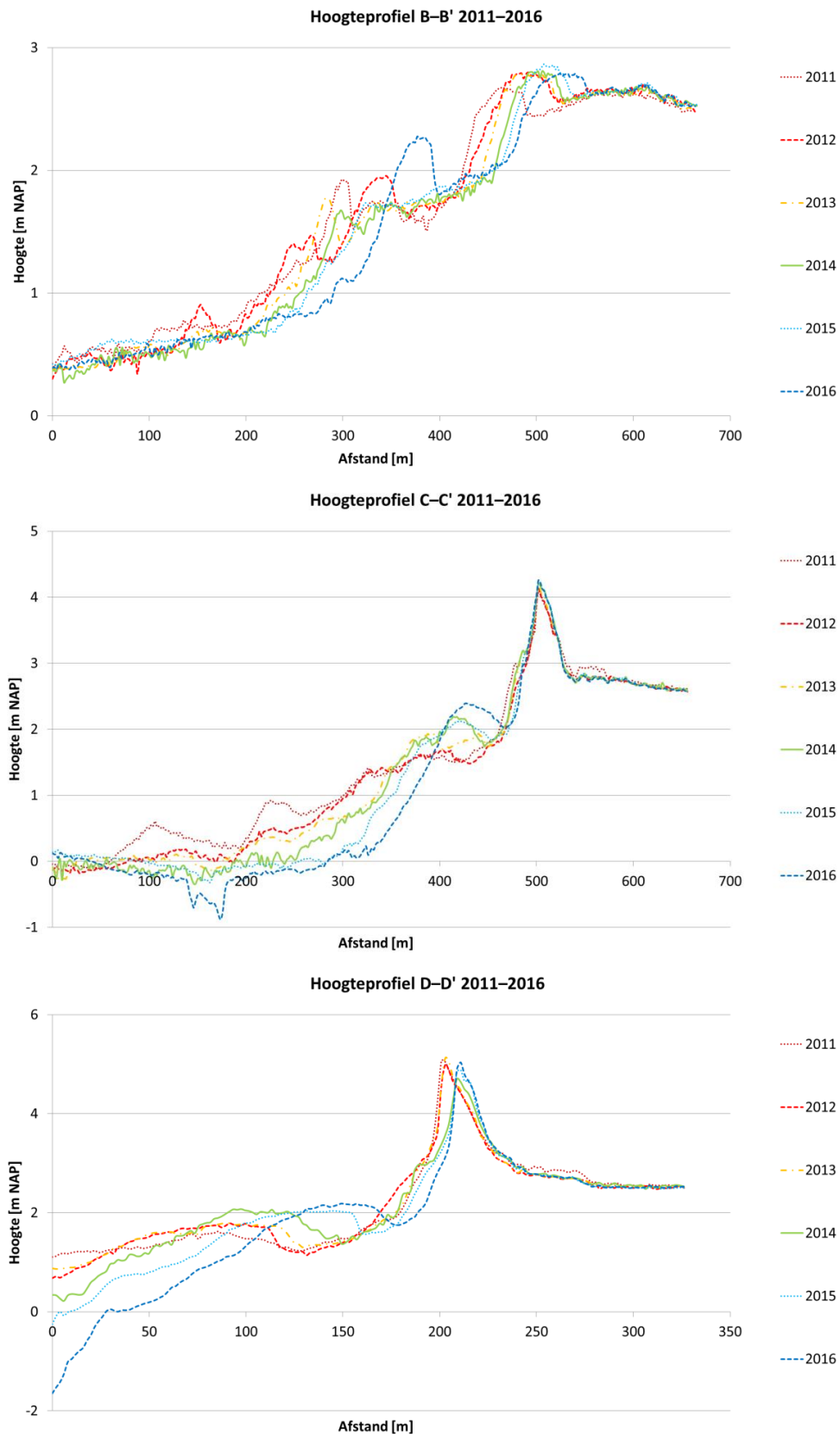
Figuur 2.5: Satellietbeelden van De Bol uit 2005, 2013, 2015 en 2017.



Figuur 2.6: Verschilkaart over de periode 2011–2016 met de gebieden onderhevig aan erosie (blauw) en sedimentatie (rood) aangegeven. De witte lijnen AA', BB', CC' en DD' geven de ligging van vier hoogte profielen in Figuur 2.7 aan.

De hoogteprofielen in Figuur 2.7 geven verdere inzichten in de recente morfologische veranderingen van het zuidwestelijke gedeelte van het broedeiland. In de profielen is duidelijk te zien dat de strandwallen en sikkelduinen naar het oosten migreren. Dit proces is sterker in de noordelijke helft (profielen A–A' en B–B'; ca. 60 m in 5 jaar) dan in het zuiden (profiel D–D'; maximaal 10 m in 5 jaar). Ongeacht de migratie zijn de breedte en hoogte van de strandwallen (behalve in profiel B–B') en duinen ongeveer stabiel. De erosie- en sedimentatiestroken zoals beschreven voor Figuur 2.7 duiden dus op de migratie van de strandwallen en duinen in oostelijke richting. Erosie (sedimentverlies) is waar te nemen aan de meest westelijke rand van het eiland, westelijk van de strandwallen (onder NAP 2 m in profielen B–B', C–C' en D–D'). Hier is het bodemniveau in de periode 2011–2016 duidelijk verlaagd en is de helling steiler geworden. Tegelijkertijd is er een nieuwe priel ontstaan (profiel C–C'). De bufferzone tussen de hoofdgeul zuidelijk van De Bol (*Vaarwater langs Hoofdplaat*) en de strandwallen is dus kleiner geworden. De erosie langs de zuidwest- en zuidzijde van De Bol zijn deel van de grootschalige morfodynamica in mesocel 2. De voortzettende afkalving (erosie) vindt plaats langs de hele zuidrand van de Hoge Platen (Taal et al., 2018), dus ook langs de zuidrand van De Bol (zie Figuur 3.1 in Schrijvershof et al. 2017). Figuur 2.6 maakt duidelijk dat door het afkalven van de zuidzijde ook het gebied van De Bol zal gaan eroderen.



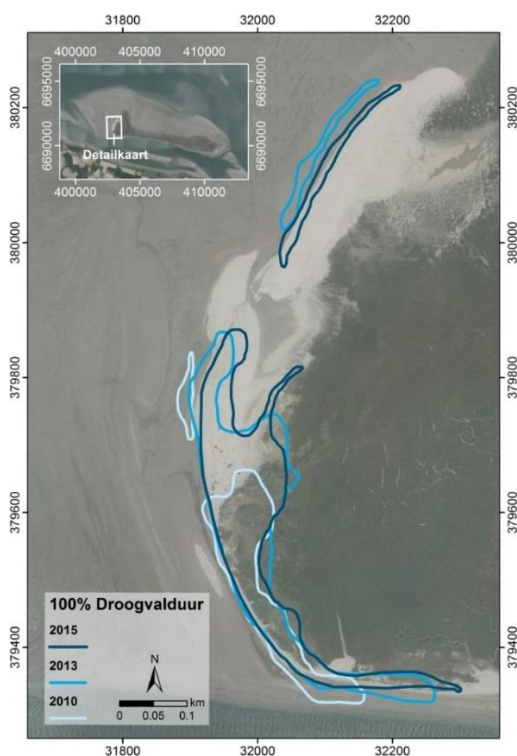


Figuur 2.7: Hoogteprofielen van het zuidwestelijke broedeiland De Bol over de periode 2011-2016. Zie Figuur 2.4 voor de ligging van de hoogteprofielen A-D.

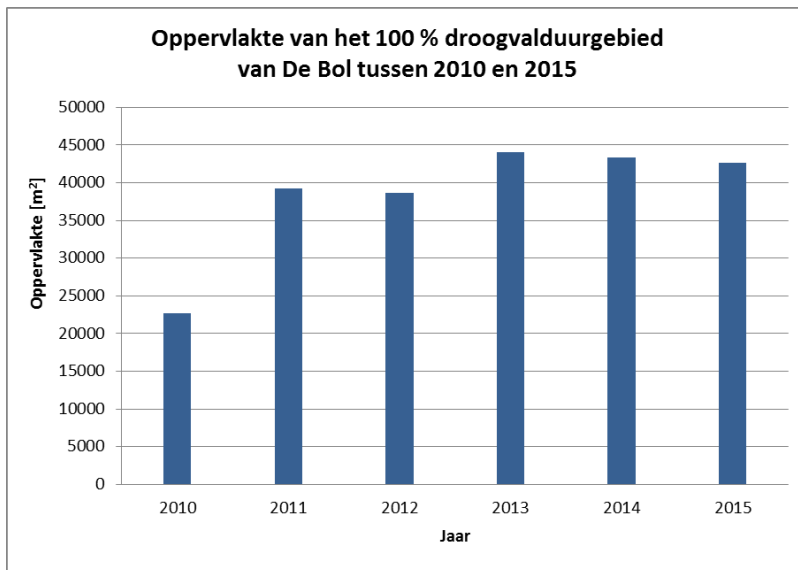
2.2 Areaalontwikkeling

De morfologische veranderingen in het gebied van De Bol (Hoofdstuk 2.1) zijn gekoppeld aan de lokale hydrodynamica (zoals het overstromen bijvoorbeeld) en de eolische processen. Deze zijn wederom gerelateerd aan de areaalontwikkeling en dus belangrijk voor de geschiktheid van het eiland voor broedvogels. Omdat een broedlocatie tijdens het broedseizoen (april–juli) niet mag overstromen, maar wel enkele malen tijdens de rest van de jaar (Schrijvershof et al., 2017) is de *droogvalduur* een belangrijke parameter bij de areaalontwikkeling van een broedeiland. De droogvalduur geeft aan hoe frequent een bepaald gebied droog ligt (i.e. niet overstroomd wordt). Het is dus een resultaat van de hoogte van het land boven NAP en de optredende waterstanden. De droogvalduur verandert dus tegelijk met morfologische veranderingen en veranderingen van het getij en de frequentie/intensiteit van stormvloed.

Figuur 2.8 toont het 100 % droogvalduurgebied (het gebied dat nooit zal worden overstroomd tijdens één kalenderjaar) van De Bol voor de jaren 2010, 2013 en 2015. De bijbehorende oppervlaktes van dit gebied zijn voor alle jaren tussen 2010 en 2015 geïllustreerd in Figuur 2.9. De kaart (Figuur 2.8) laat zien dat het 100% droogvalduurgebied continu in oostelijke richting migreert en in omvang toeneemt. Verder ontstaat een nieuw smal drooggebied in het noordelijke gedeelte van de strandwallen/duinen. De toename in oppervlakte is bijzonder sterk tussen 2010 en 2011 (ca. 73 %; Figuur 2.9). Tussen 2012 en 2013 bedraagt de toename alleen nog ca. 14 %. Daarna (tot 2015) neemt de oppervlakte weer iets maar niet significant af. Zowel de migratie in oostelijke richting alsook de relatief constante oppervlakte van het 100 % droogvalduurgebied tussen 2011 en 2015 zijn in overeenstemming met de oostelijke migratie en de relatief constante breedte/hoogte van de strandwallen en sikkelduinen van De Bol in deze periode (zie Hoofdstuk 2.1).



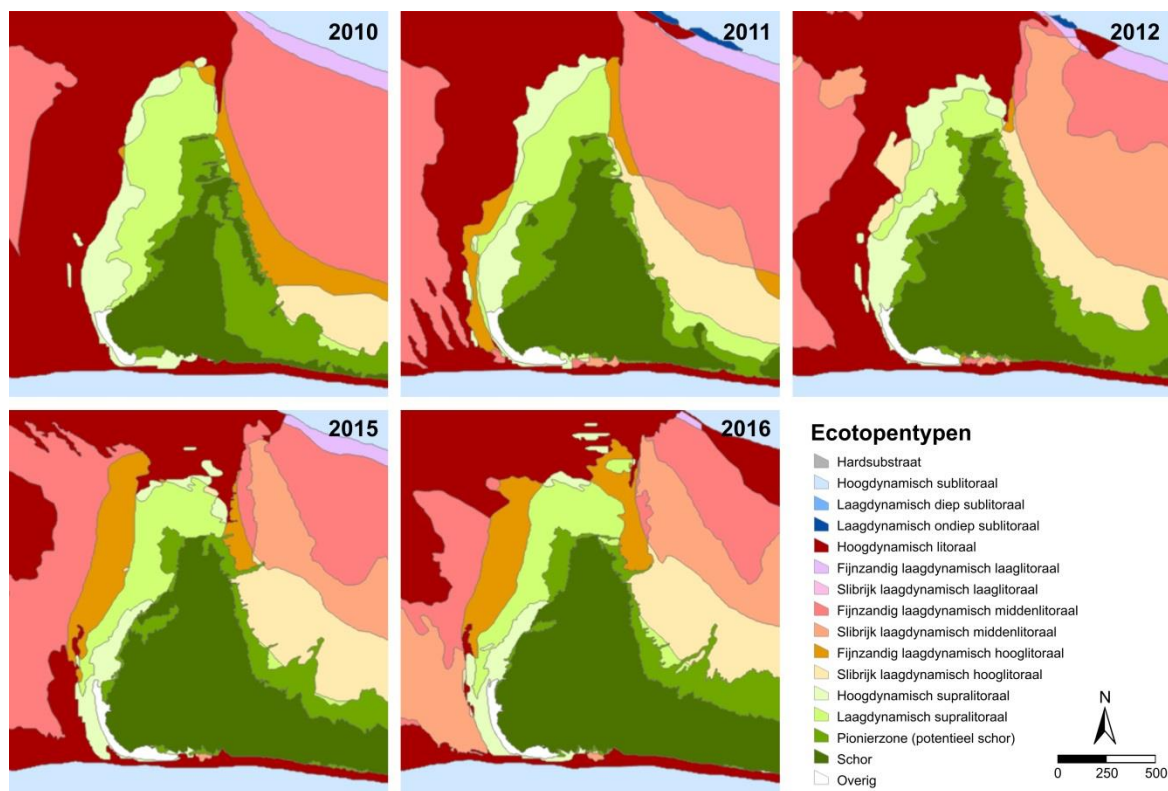
Figuur 2.8: Ontwikkeling van het 100 % droogvalduurgebied (het gebied dat nooit zal worden overstroomd tijdens één kalenderjaar) van De Bol in de periode 2010–2015. Voor de duidelijkheid wordt het 100 % droogvalduurgebied hier alleen voor de jaren 2010, 2013 en 2015 geïllustreerd. Tabel 2.1 toont de bijbehorende oppervlaktes van het gebied voor alle beschikbare jaren in deze periode. De satellietfoto is uit jaar 2017.



Figuur 2.9: Jaarlijkse oppervlakte van het 100 % droogvalduurgebied (het gebied dat nooit zal worden overstroomd tijdens één kalenderjaar) van De Bol in de periode 2010–2015.

De veranderingen in de morfologie en de droogvalduur op het broedeiland De Bol zijn nauw gekoppeld aan de ontwikkeling van de lokale verspreiding van ecotopentypen. De verspreiding van ecotopentypen en de aanwezigheid van specifieke ecotopen zijn belangrijk voor de geschiktheid van een gebied als broedlocatie. Vooral het ecotopentype *pionierzone* (potentieel *schor*) is een potentieel geschikt broedareaal voor kustbroedvogels (Schrijvershof et al., 2017). In Figuur 2.10 is de verspreiding van de ecotopentypen op De Bol voor alle jaren tussen 2010 en 2016 weergegeven.

Het is duidelijk te zien dat de pionierzone (groen) continu afneemt in omvang terwijl het schor (donkergroen) zichtbaar groeit. De sterkste afname treedt tussen 2010 en 2012 op. In deze periode verdwijnt de pionierzone vooral in het oosten van De Bol. Tussen 2012 en 2016 verdwijnt de pionierzone bijna compleet in het (zuid)westen van De Bol als gevolg van de duinmigratie in oostelijke richting (Hoofdstuk 2.1). Het is interessant dat het hoogdynamische litoraal (donkerrood) westelijk van De Bol tussen 2010 en 2016 steeds kleiner wordt en naar laagdynamisch middenlittoraal (zalmkleurig) is veranderd (vooral aan de zuidwestzijde van De Bol). Deze ontwikkeling is niet helemaal in overeenstemming met de hierboven beschreven morfologische veranderingen voor dit gebied (zie Hoofdstuk 2.1). Er vindt hier namelijk erosie plaats, het bodemniveau is verlaagd en er is een priel gevormd. De overstromingsfrequentie moet dus zijn toegenomen en het is te verwachten dat er een trend richting hoogdynamisch litoraal zou plaatsvinden.



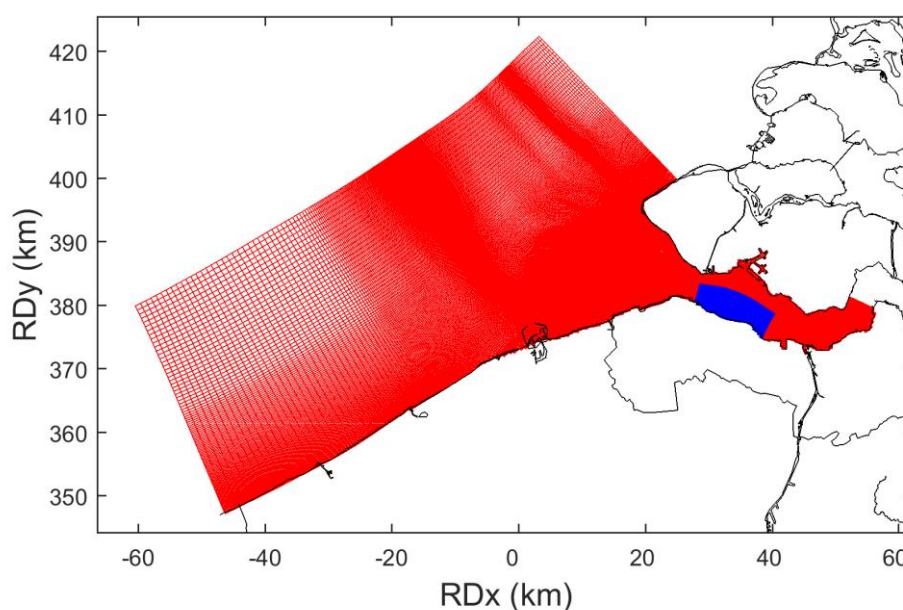
Figuur 2.10: Ecotopentypenkaarten voor het westelijke gedeelte van de Hooge Springer inclusief De Bol voor de jaren 2010 tot en met 2016 (Rijkswaterstaat, 2016).

3 Modelberekeningen

3.1 Methode

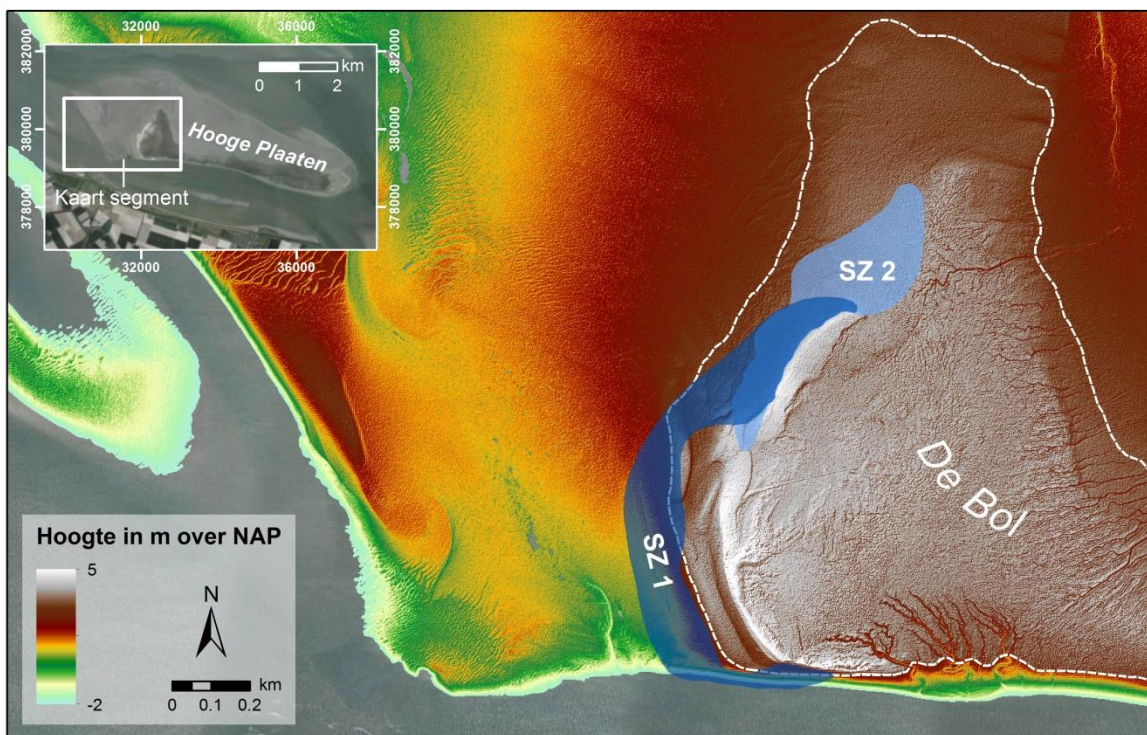
Met hulp van een numeriek morfodynamisch model (inclusief bodemveranderingen) wordt in deze studie een inschatting gemaakt over de hydrodynamische effecten en de morfologische ontwikkeling van twee verschillende suppleties aan de westzijde van De Bol (onderzoeksvraag 2). Hiervoor wordt gebruik gemaakt van hetzelfde model als in een eerdere fase van het project (Schrijvershof et al., 2017, zie Figuur 3.1). Het model is dieptegemiddeld (2DH) en opgezet met de software Delft3D van Deltares. Er wordt gebruik gemaakt van de domeindecompositiemethode. Dit betekent dat het model bestaat uit twee afzonderlijke modellen (domeinen) die gelijktijdig de berekeningen uitvoeren door middel van een online-koppeling over de interne modelranden. Door gebruik te maken van een domeindecompositiemodel kan er op een efficiënte manier een model opgezet worden met een hoge roosterresolutie (ca. 30 m x 30 m) ter plaatse van de Hooge Platen/De Bol.

De randvoorwaarden voor het buitenste modeldomein bestaan uit tijdseries van waterstanden, stroomsnelheden, zoutgehalte, wind, golfhoogte, golfpiekperiode en golfrichting voor het jaar 2013, het jaar waarvoor het model uitvoerig is gekalibreerd en gevalideerd. De opzet, kalibratie en validatie van dit model (ZWeM-model) staat beschreven in Vroom et al. (2016). In de huidige toepassing wordt het model gebruikt om stroming en golven op een intergetijdengebied te simuleren. Hoewel er geen vergelijking is uitgevoerd om het model te valideren voor deze intergetijdecondities wordt er aangenomen dat het model (dat wel uitvoerig gevalideerd is in het sublitoraal) de hydrodynamica (stroming en golven) en het zandtransport (korrelgrootte: 0,2 mm) in het gebied van De Bol voldoende nauwkeurig simuleert om het relatieve effect van de aangelegde suppleties te onderzoeken. Verdere details over de modelopzet en afbeeldingen van de modeldomeinen zijn te vinden in Schrijvershof et al. (2017).



Figuur 3.1 Kromlijnige rekenroosters van het ZWeM model (rood) en het gedetailleerde model voor Hooge Platen (blauw).

Figuur 3.2 toont de ligging van de twee verschillende suppleties (SUP 1 en SUP 2) aan de westzijde van De Bol, die met het numeriek model worden onderzocht. De locaties van de suppleties zijn bepaald door een afweging te maken van de bodemhoogte (Figuur 2.4), de erosie/sedimentatie kaart voor de periode 2011–2016 (Figuur 2.6) en de algemene historische ontwikkeling beschreven in Hoofdstuk 2. SUP 1 is gesitueerd aan de zuidwestzijde van De Bol. De intentie van deze suppletie is om vooral een bufferzone voor het broedareaal aan te leggen. In tegenstelling tot SUP 1, is SUP 2 gebaseerd op het idee om het eiland in het morfologisch minder actieve noorden van De Bol uit te breiden om ook in het geval van voortdurende erosie aan de zuidwestzijde voldoende broedareaal op langere termijn te garanderen.



Figuur 3.2: Ligging van de twee suppleties SZ 1 en SZ 2 aan de westzijde van De Bol. Met hulp van een numeriek morfodynamisch model (inclusief bodemveranderingen) wordt een inschatting gemaakt over de hydrodynamica en de verwachte morfologische ontwikkeling in het gebied van de twee suppleties. Het hoogtemodel is uit jaar 2016.

Om de twee suppleties met het numeriek model te onderzoeken, zijn in totaal drie modelberekeningen gemaakt, één referentiesom met de huidige bathymetrie (2016) en twee scenariosommen op basis van aangepaste bathymetrieën volgens de twee suppleties (Figuur 3.2). De aangepaste bathymetrieën voor de scenariosommen zijn opgesteld door het bodemniveau binnen de suppletiepolygonen op te hogen tot NAP +2.5 m (het niveau van het huidige broedgebied). Het omliggende gebied is vervolgens aangepast totdat de suppletieranden een hellingshoek van ongeveer 1:50 hebben. Dit resulteert in een oppervlak van ~33 hectare en een volume van ~300,000 m³ voor SUP 1 en een oppervlak van ~10 hectare van ongeveer 30,000 m³ voor SUP 2.

Alle drie de modelberekeningen worden gemaakt voor de periode 12-11-2013 tot 26-11-2013. Deze periode is uitgefilterd als representatief voor het hele jaar 2013 ten opzichte van getij- en golfcondities (golfhoogtes en -richtingen) in het gebied van De Bol. Representatief betekent hier dat de condities te vergelijken zijn met de jaargemiddelde condities. De gekozen periode

bevat dan ook geen extreme stormcondities omdat deze in combinatie met een morfologische schaalfactor een onrealistisch (overdreven) beeld geven van de morfologische ontwikkeling.

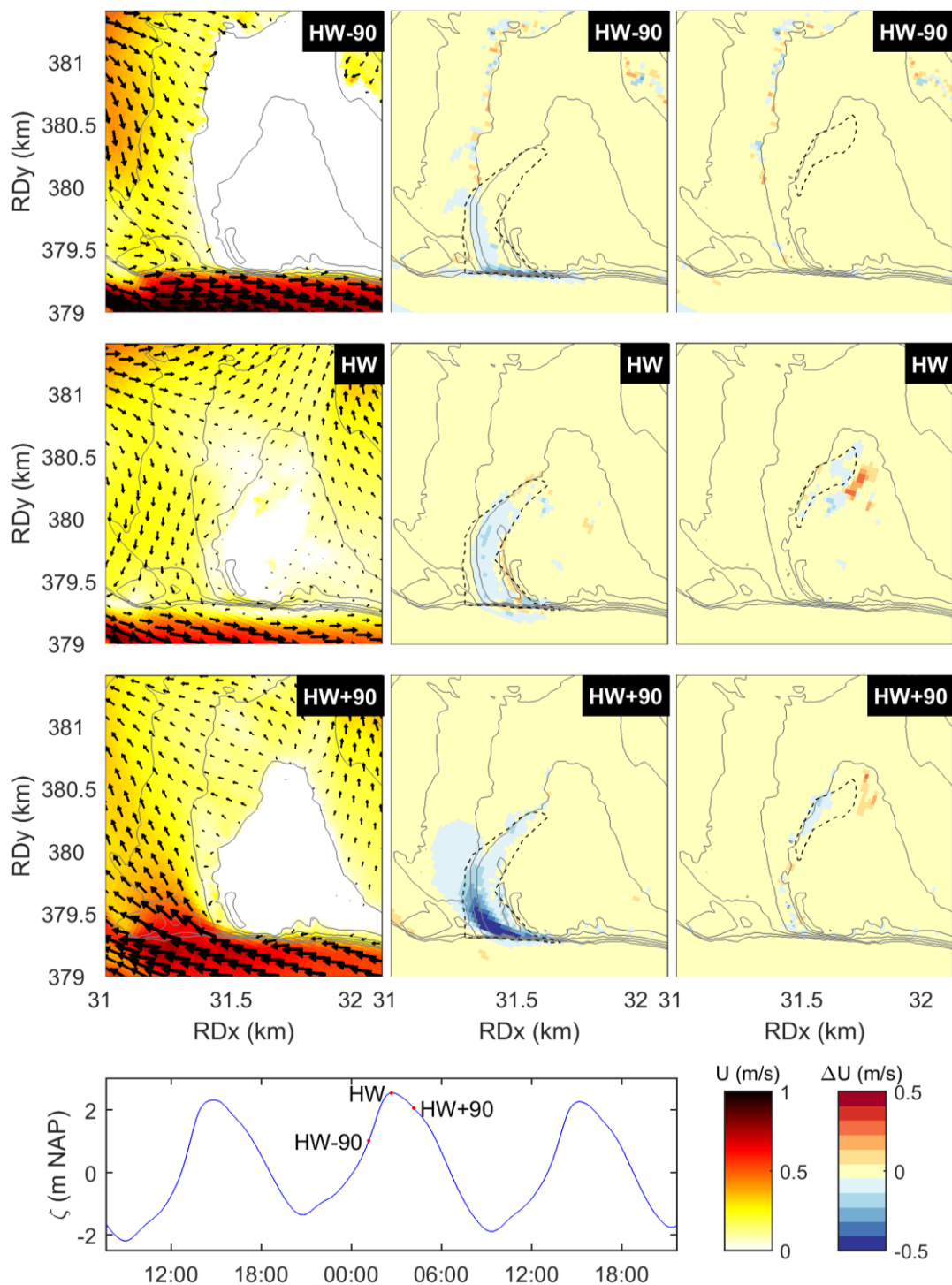
De representatieve periode wordt gebruikt om de morfologische ontwikkeling in de simulaties op te schalen met een morfologische schaalfactor van 13,5. Dit betekent dat de hydrodynamische rekentijd van 14 dagen (12-11-2013 tot 26-11-2013 → 13,5 dagen met 1,5 dag spin-up tijd van het model uitgezonderd) wordt opgeschaald in de morfologische berekeningen zodat de verandering in bodemhoogte gelijk staat aan de verandering die optreedt in een halfjaar. Door middel van deze morfologische opschalingsmethode worden trends in de morfodynamica in het gebied van de suppleties beter zichtbaar dan over een kortere periode.

3.2 Resultaten

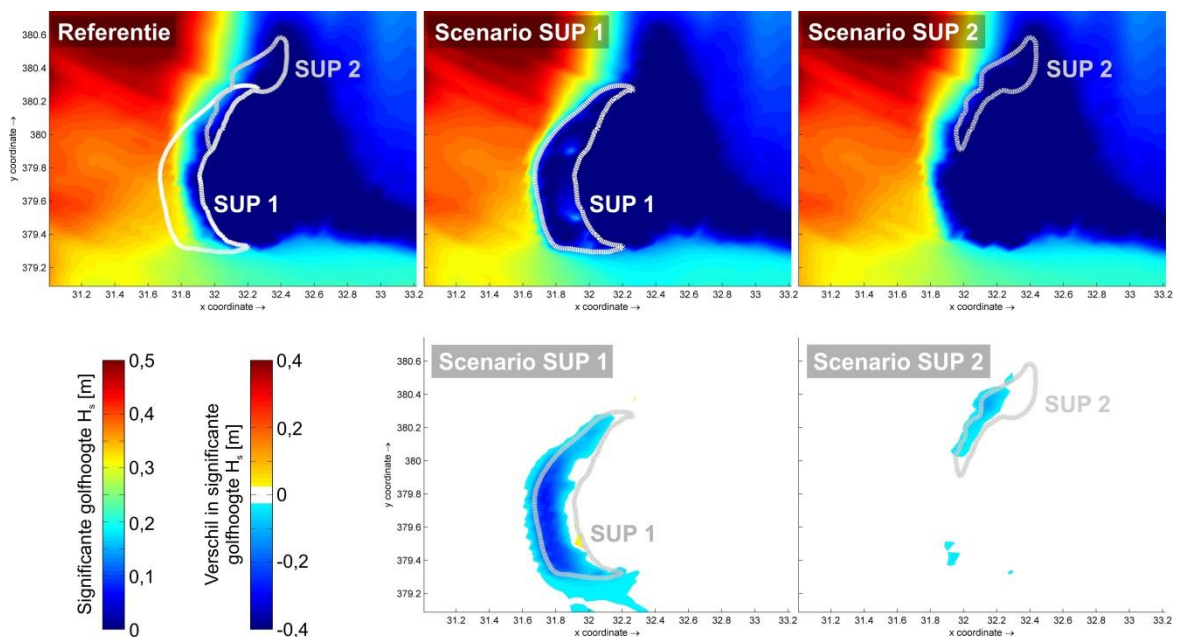
Om de invloed van de twee suppleties op de lokale hydrodynamica te bepalen, wordt het stromingspatroon in het gebied van De Bol rond om het moment van hoogwater geanalyseerd. Op deze momenten zijn de stroomsnelheden en het verwachte zandtransport het grootst omdat de afgeleide van de waterstandscurve hier maximaal is (in ieder geval voor opgaand tij). In de linker kolom van Figuur 3.3 zijn stromingsbeelden (stroomsnelheden inclusief stromingsvectoren) voor de tijd 90 min voor hoogwater, exact tijdens hoogwater en 90 min na hoogwater op 21 november 2013 voor de referentie (geen suppletie) te zien. De maximale stroomsnelheden (ca. 0,5 m/s) treden aan de zuid(west)zijde van De Bol kort voor en na hoogwater op. Kort voor hoogwater is de stroming sterk west-oost georiënteerd langs de zuidkant van De Bol. Kort na hoogwater stroomt het water in richting noordwest/westnoordwest langs de zuidwestzijde van De Bol. In het noordelijke gedeelte van De Bol zijn de stroomsnelheden duidelijk kleiner en bereiken maximaal ca. 0.25 m/s tijdens hoogwater en kort na hoogwater.

De verschilbeelden in de tweede kolom van Figuur 3.3 tonen de snelheidsverschillen voor suppletiescenario SUP 1 in vergelijking met de referentie (geen suppletie). De invloed van de suppletie op de stroomsnelheden is beperkt op de suppletiezone zelf en de directe omgeving. Algemeen neemt de stroming in de hele suppletiezone duidelijk af omdat het gebied door de suppletie nu goeddeels boven het hoogwaterniveau ligt. De sterkste afname in de stroming (ca. -0,5 m/s) is waar te nemen op het moment kort na het hoogwater als het water langs de zuidwestzijde van De Bol in richting noordwest/westnoordwest stroomt.

Zoals te zien in de verschilbeelden in de derde kolom van Figuur 3.3 is het effect van suppletie SUP 2 op de stroming duidelijk minder dan voor SUP 1 omdat SUP 2 geplaatst wordt op hogere reliëf waar de stroming minder sterk is. De grootste verschillen met de referentie treden tijdens het hoogwater op. Op dit moment zijn de stroomsnelheden binnen de suppletiezone iets kleiner (< -0.15 m/s) en oostelijk van de suppletie tot maximaal 0.25 m/s groter.



Figuur 3.3: Stromingsbeelden van De Bol en omgeving rondom (van 90 min voor tot 90 min na) het hoog water van 21 november 2013 voor de referentiesom (eerste kolom). De verschilbeelden in de tweede en derde kolom tonen de snelheidsverschillen (magnitude) voor suppletiescenario SUP 1 en suppletiescenario SUP 2 (zwarte stippellijnen) in vergelijking met de referentie (geen suppletie). Rood betekent een snelheidstoename als gevolg van de suppletie, blauw een afname.



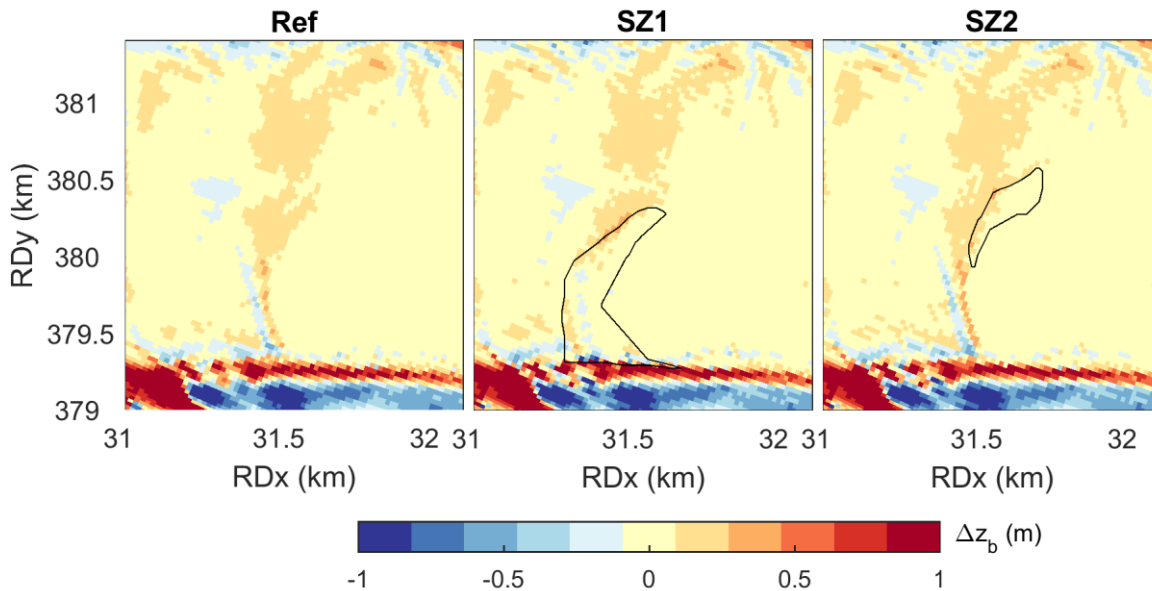
Figuur 3.4: Significante golfhoogte (boven) in het gebied van De Bol rond om het hoog water van 21 november 2013 om circa 2 uur in de referentie, in suppletiescenario SUP 1 en in suppletiescenario SUP 2. De verschilbeelden (beneden) tonen het verschil in de significante golfhoogte tussen de suppletiescenario's en de referentie.

In Figuur 3.4 is het effect van de suppleties op de significante golfhoogte in het gebied van De Bol weergegeven. De figuur laat zien dat voor suppletie SUP1 het bodemniveau zo veel is opgehoogd dat de top van de suppletiezone goeddeels boven het hoog water niveau en dus buiten het bereik van golven ligt. De significante golfhoogte verlaagt dus tot ongeveer 0 m in het gebied van de suppletiezone. Aan de westrand van de suppletie neemt de golfhoogte af al gevolg van golfbreking. Aan deze rand zal dus opwoeling van sediment plaats vinden en erosie is hier dan ook te verwachten. In tegenstelling tot suppletie SUP1 is het effect van suppletie SUP 2 of de afname in significante golfhoogte vrij beperkt, wat voornamelijk komt doordat deze suppletie aangelegd is in een gebied met een minder energetische golfcondities (zie de referentie). Alleen in het westen van de suppletiezone is een lichte afname van de golfhoogte waar te nemen. Verder wordt duidelijk dat langs de westzijde van SUP 1 golven met een significante golfhoogte tot 0,4 m optreden terwijl de significante golfhoogte langs de westzijde van SUP 2 veel kleiner is. Op basis hiervan is het te verwachten dat een suppletie aan zuidwestzijde (SUP1) sneller zal eroderen dan aan de noordelijke zijde (SUP2).

Figuur 3.5 toont de gesimuleerde morfologische ontwikkeling (erosie/sedimentatie) van De Bol na een half jaar op basis van het numeriek model. Zoals te zien is in de kaart voor de referentie (links in Figuur 3.5), voorspelt het model de oostelijke migratie van de strandwallen langs de zuidwestzijde van het broedeiland in lijn met de observaties. Daartegen staat de gesimuleerde sedimentatie langs de zuidzijde van De Bol in contrast met de gemeten erosie in dit gebied in de periode 2011–2016 (Hoofdstuk 2.1).

In overeenstemming met de hydrodynamische effecten zijn ook de morfologische effecten van de twee suppleties op de suppletiezones en de directe omgeving beperkt (Figuur 3.5, midden en rechts). Suppletie SZ1 wordt vooral langs de zuidwestzijde geërodeerd als gevolg van de hoge stroomsnelheden en golven in dit gebied (zie boven). In het noordwesten van de suppletie vindt echter sedimentatie plaats. In totaal is het volume van suppletie SZ1 na een half jaar ongeveer stabiel. Suppletie SZ2 is alleen door sedimentatie gekarakteriseerd. De meeste sedimentatie is langs de westzijde van de suppletie waar te nemen. In totaal neemt het volume

van SZ 2 na een half jaar toe licht toe. De suppletie heeft dus geen tot weinig effect op de autonome trend van sedimentatie (zie de referentie) die hier al gaande is.



Figuur 3.5: Morfologische ontwikkeling (erosie en sedimentatie) na een half jaar voorspeld door het model voor de referentie (Ref) en de situatie met suppletie (SZ1 en SZ2).

4 Discussie en conclusies

Als gevolg van getijstroming, golven en eolische processen zijn het platencomplex Hooge Platen en het broedeiland De Bol morfodynamisch zeer actief. Sterke stroming en golven treden vooral aan de zuidwest- en westzijde van De Bol op. In dit gebied zijn de morfologische veranderingen in de laatste jaren (2011–2016) dus het sterkst. Naast migratie van de strandwallen en sikkelduinen is er toenemende erosie aan de zuidwestzijde van De Bol waar te nemen. Het algemene stromings- en golvenpatroon rond om De Bol en de voortdurende noordelijke migratie van het *Vaarwater langs Hoofdplaat* (hoofdgeul zuidelijk van de Bol; Hoofdstuk 2.1 en Figuur 3.1 in Schrijvershof et al. 2017) suggereren dat de erosie aan de zuidwestzijde van De Bol ook in de toekomst verder zal gaan. Tegelijkertijd is er een toenemende trend van het ecotoop schor waar te nemen, het dus te verwachten dat het gebied potentieel geschikt broedareaal op De Bol in de toekomst verder gaat afnemen.

Er zijn twee verschillende strategieën denkbaar om met behulp van een suppletie het areaal broedhabitat op De Bol veilig te stellen: (i) een suppletie langs de zuidwestzijde van De Bol, met de intentie een actieve bufferzone tegen de erosie aan te leggen; (ii) een suppletie in het morfologisch minder actieve noorden van De Bol om ook in het geval van voortdurende erosie aan de zuidwestzijde voldoende broedareaal op de langere termijn te garanderen.

De modelresultaten in deze studie suggereren dat een suppletie langs de zuidwestzijde het broedeiland tijdelijk beschermt. Op middellange termijn zal dit echter geen geschikte maatregel zijn. Het migreren van het *Vaarwater langs Hoofdplaat* is onderdeel van de grootschalige morfologische ontwikkelingen van het estuarium (Hoofdstuk 2). Het plaatsen van een suppletie op de plaat heeft geen effect op deze grootschalige ontwikkelingen.

In tegenstelling tot een suppletie langs de zuidwestzijde van De Bol lijkt een suppletie in het noordelijke gedeelte van het broedeiland veelbelovender. Dit gebied was in de periode 2011–2016 morfologisch duidelijk minder actief (vooral lichte sedimentatie) en is gekarakteriseerd door lage stroomsnelheden en kleinere golven. De modelresultaten suggereren dat een suppletie in dit gebied stabiel is/eventueel zelfs toeneemt in volume. De suppletie biedt dus een mogelijkheid om voldoende broedareaal op De Bol op middellange termijn veilig te stellen, ongeacht de erosie aan de zuidwestzijde en de afname van de pionierzone in andere gebieden van het broedeiland. Het is te verwachten dat het doel (broedareaal veilig stellen) met een suppletie in het noorden te realiseren is met een kleiner volume dan met een suppletie aan de zuidwestzijde. Ten opzichte van scheepvaarttoegankelijkheid en N2000 habitats zullen allebei de suppleties geen nadelige effecten hebben omdat de invloed op de hydro- en morfodynamica zich beperken tot de nabije omgeving van de suppleties.

Het sediment dat geschikt is om aan te brengen op de platen is vastgesteld in Schrijvershof et al. (2017). Hier uit volgt dat een suppletie aangelegd moet worden met behulp van natuurlijk substraat. Het meest geschikt hiervoor is zand. Klei opspuiten op de platen past niet binnen het huidige morfologische beheer van de Westerschelde en lijkt daarom ongunstig. De effecten van klei opbrengen zijn echter niet bekend (zie Schrijvershof et al. 2017 voor meer details).

Tenslotte moet worden opgemerkt dat de inschatting van de stabiliteit en de hydro- en morfodynamische effecten van de twee verschillende suppleties op De Bol zijn gebaseerd op de recente historische morfologische ontwikkeling van het onderzoeksgebied en op de lokale morfodynamische processen welke gesimuleerd zijn met een numeriek (morfologisch) model.

Het gebruikte modelinstrument is gevalideerd voor de grootschalige waterbeweging in het estuarium maar niet voor de lokale stromingspatronen op de plaat. De inschatting van de stabiliteit van de suppleties is daardoor onzeker. Daarnaast worden eolische processen en vegetatie niet in aanmerking genomen maar zullen wel invloed hebben op de erosie van de suppleties en de areaalontwikkeling. Er moet van worden uitgegaan dat het eolische transport zal leiden tot een migratie van de suppleties naar het oosten. Tegelijk zal vegetatie een stabiliserend effect op de suppleties hebben.

Referenties

- Castelijns, W., Jacobusse, C., Arts, F., Hoekstein, M., Liliplay, S., Straalen, D. van, & Wijnants, L. (2017). 7 Eilandenplan.
- Geotron, 2016. Geotechnisch draagkracht onderzoek Roggenplaat Oosterschelde. projectnummer P15109, Geotron B.V. Onderzoeksburo voor grond en water.
- Goossens, M., Lanckriet, T., Pandelaers, C. & D. Depreiter (2017a) Monitoringsprogramma flexibel storten, Voortgangsrapportage 2014-2015: Syntheserapport, RA16117, 28-04-2017, IMDC, Universiteit Antwerpen en HWE
- Natura 2000 Deltawateren, ontwerpbeheerplan 2015-2021. 2015. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat, 2016. Toelichting op de zoute ecotopenkaart Westerschelde 2015. Biologische monitoring zoute rijkswateren. Rijkswaterstaat – Centrale Informatievoorziening.
- Schrijver, M. (2018), Monitoring meergeulensysteem Westerschelde, Toetsing nevengeulen op criterium watervolume, Rijkswaterstaat Zee en Delta, Rapportnr. 7210A/MMGW-2018-01, maart 2018
- Schrijvershof, R.A., Röbbke, B., de Vet, P.L.M., van der Werf, J.J., van der Valk, B., 2017. Morfologisch advies broedeilanden. Principe studie en pilot Hooze Springer. Deltares rapport 11200862-000.
- Schrijvershof, R.A., Röbbke, B., 2017. Morfologisch advies broedeilanden. Broedeiland Plaat van Walsoorden. Deltares rapport 11200862-000.
- Schrijvershof, R.A., Röbbke, B., de Vet, P.L.M., van der Werf, J.J., van der Valk, B., 2017. Morfologisch advies broedeilanden. Principe studie en pilot Hooze Springer. Deltares rapport 11200862-000.
- Taal, M., Cleveringa, J., Mastbergen, D., van der Werf, J., Plancke, Y., Schrijvershof, R., Wang, Z., Meire, D., 2018: Mesoschaal Westerschelde, Integratierapport 2014–2018. Deltares rapport (concept).
- Van de Pol, M. Vindenes, Y. , Sæther, B. , Engen, S. , Ens, B. J., Oosterbeek, K. and Tinbergen, J. M. (2010), Effects of climate change and variability on population dynamics in a long-lived shorebird. Ecology, 91: 1192-1204. doi:10.1890/09-0410.1
- Van der Werf, J., Boersema, M., Bouma, T., Schrijvershof, R., Stronkhorst, J., De Vet, L., & Ysebaert, T. (2016). Definitief ontwerp Roggenplaat suppletie.
- Vroom, J., van Maren, B., van der Werf, J., & van Rooijen, A. (2016). Zand-slib modellering voor het mondingsgebied van het Schelde-estuarium. Deltares rapport 1210301-002-ZKS-0002.
- Vroom, J., en Schrijvershof, R.A. 2015. Overzicht van menselijke ingrepen in de Westerschelde en haar mondingsgebied in de periode 1985-2014. Deltares memo 1210301-001-ZKS-005.