



Morfologisch advies broedeilanden

Principestudie en pilot Hooge Springer



Morfologisch advies broedeilanden

Principiestudie en pilot Hooge Springer

Reinier Schrijvershof
Björn Rübke
Lodewijk de Vet
Jebbe van der Werf
Bert van der Valk

11200862-000

Titel

Morfologisch advies broedeilanden

Opdrachtgever

Stichting Het Zeeuwse
Landschap

Project

11200862-000

Kenmerk

11200862-000-ZKS-0005

Pagina's

46

Trefwoorden

Broedeiland, Westerschelde, morfologie, Delft3D, kustbroedvogels

Samenvatting

Kolonievogels die langs de kusten van de Deltawateren broeden staan onder druk omdat op korte termijn een tekort ontstaat aan geschikte broedgebieden. Het 7 eilandenplan beschrijft maatregelen die voorzien in voldoende broedhabitat door eilandsituaties op hogere gedeelten van platen in de Deltawateren te creëren. De criteria voor het ontwerp van de locatie, de mogelijke effecten van de aanleg ervan op de omgeving en de morfologische ontwikkeling van het eiland zijn echter niet goed bekend.

Dit rapport beschrijft een morfologische haalbaarheidsstudie voor de aanleg van broedlocaties in de Westerschelde om deze kennisleemten in te vullen. Er is een principiestudie uitgevoerd om de randvoorwaarden voor de realisering van een broedeiland op platen in de Westerschelde vast te stellen. Daarnaast is er, in de vorm van een pilotstudie, een onderzoek gedaan naar de locatiespecifieke randvoorwaarden voor een broedeiland op de Hooge Springer.

De resultaten van de principiestudie geven aan dat het morfologisch haalbaar is om broedlocaties in de Westerschelde te realiseren. De effecten van de getijstroming en golfslag variëren echter sterk per locatie in het estuarium. De effecten dienen daarom op voorhand voor een specifieke broedlocatie onderzocht te worden.

De pilotstudie laat zien dat een broedlocatie op de Hooge Springer vrij bestendig is tegen erosie van stroming en golven onder normale (gemiddelde) condities. Tijdens stormcondities treedt er wel afslag op maar dit is beperkt door de relatief hoge en beschutte ligging van het broedeiland.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2	okt. 2017	Reinier Schrijvershof		Marcel Taal		Frank Hoozemans	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Aanleiding voor dit rapport	2
1.3 Organisatie	2
1.4 Doelstelling en onderzoeksvragen	3
1.5 Aanpak	3
1.6 Leeswijzer	4
2 Principe studie	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Doelstelling en specificaties broedeilanden	5
2.3 Randvoorwaarden voor het ontwerp	6
2.3.1 Aanleglocatie	6
2.3.2 Aanleghoogte	6
2.3.3 Sedimentsamenstelling	7
2.4 De verwachte ontwikkeling	8
2.4.1 Invloed van het getij en golven	9
2.4.2 Invloed van de wind, vegetatie en schelpen	9
3 Pilot Hooge Springer: ontwerp	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Aanleglocatie	13
3.2.1 Morfodynamiek	13
3.2.2 Bodemhoogte en trends	16
3.2.3 Ecotopenkaarten	18
3.2.4 Geschiktheidskaart	19
3.3 Aanleghoogte	20
3.4 Ontwerp	23
4 Pilot Hooge Springer: modellering	25
4.1 Inleiding	25
4.2 Methode	25
4.2.1 Modelkeuzes en rekendomein	25
4.2.2 Bodemschematisatie	27
4.2.3 Simulatieperiode en overige instellingen	29
4.3 Resultaten	31
4.3.1 Hydrodynamica	31
4.3.2 Sediment-transport	37
4.3.3 Morfologie	39
5 Conclusies	43
5.1 Principe studie	43
5.2 Pilotstudie Hooge Springer	45
6 Referenties	46

Bijlage(n)

A Overzichtskaarten

A-1

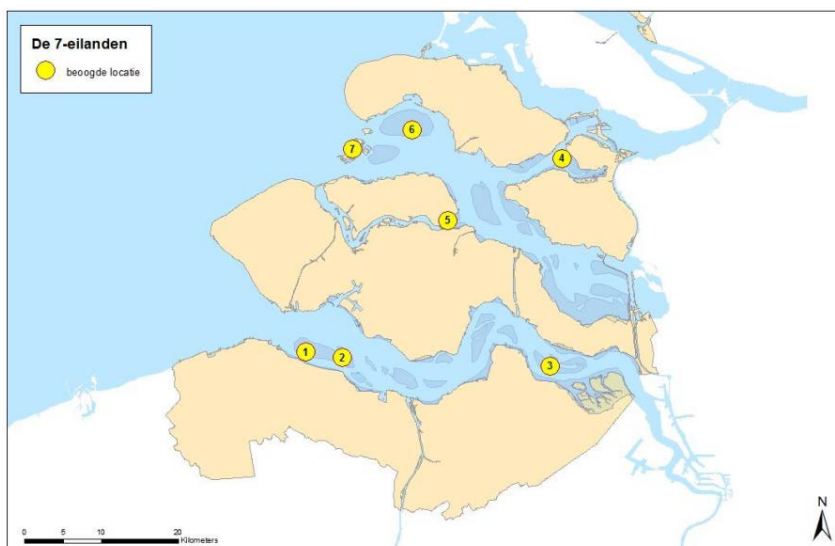
1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Kolonievogels die langs de kusten van de Deltawateren broeden staan onder druk omdat op korte termijn een tekort ontstaat aan geschikte broedgebieden. De oorzaken hiervan zijn een gebrek aan kustdynamiek (verlies van intergetijdengebied), rustige nestplaatsen en een gebrek aan 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., 2012).

In het Natura 2000 (N2000) beheerplan Deltawateren is voor kustbroedvogels een regiodoel 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 efficiënte maatregelen voor de korte termijn en een plan voor de aanleg en het beheer van broedgebieden voor de langere termijn. Het blijkt dat voor de langere termijn het creëren en behouden van eilandsituaties in het intergetijdengebied (litoraal en supralitoraal) 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 het 7 eilanden plan (Castelijns et al., 2017).

1.2 Aanleiding voor dit rapport

Aanleg en beheer van elk van de 7 beoogde eilanden moet worden uitgewerkt tot er een uitvoeringsgereed project is. Het eiland dat beoogd is om als pilot aan te leggen is een broedeiland op de locatie Hooge Springer, in het westen van de Westerschelde (locatie 2 in Figuur 1.1). De criteria voor het ontwerp van de locatie en de mogelijke effecten van de aanleg ervan op de omgeving zijn echter niet goed bekend. Ook over de te verwachten morfologische ontwikkeling ter plaatse is op het moment niet voldoende kennis aanwezig. Stichting Het Zeeuwse Landschap (HZL) heeft Deltares opdracht gegeven een morfologische haalbaarheidsstudie voor de aanleg van broedeilanden in de Westerschelde te doen om deze kennisleemten in te vullen. Het voorliggende rapport is daarvan het resultaat. Er is een 'principestudie' uitgevoerd waarin de randvoorwaarden voor de aanleg van een broedlocatie op een plaat in de Westerschelde zijn onderzocht en vastgesteld. De locatie Hooge Springer is vervolgens gebruikt als pilotlocatie voor het ontwerp.

1.3 Organisatie

De morfologische haalbaarheidsstudie 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'). Vogelbescherming Nederland is betrokken bij het project als partner van HZL. De financiering van het project is afkomstig uit het LIFE programma van de Europese Unie en vanuit Provincie Zeeland.

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.

1.4 Doelstelling en onderzoeksvragen

De doelstelling is *'onderzoeken of de aanleg van broedlocaties op hoog gelegen platen in de Westerschelde mogelijk is vanuit een morfologisch uitgangspunt'*. De pilotlocatie Hooge Springer wordt gebruikt om de aanleg, het afbreukrisico (effect op de omgeving) en de verwachte morfologische ontwikkeling van de aanleg van een broedlocatie te onderzoeken. De onderzoeksvragen van de studie zijn:

1. Wat is de doelstelling voor een broedlocatie op een hoge plaat in de Westerschelde en wat zijn de specificaties in termen van locatie, hoogte, sediment-samenstelling en ontwikkelingsrichting zodat aan de doelstelling van het eiland wordt voldaan?
2. Is het vanuit morfologisch uitgangspunt haalbaar om broedeilanden te creëren op hogere platen in de Westerschelde?
 - a. Welke locaties op de platen in de Westerschelde zijn in principe geschikt voor het creëren van broedeilanden?
 - b. Hoe kan de broedlocatie het beste worden aangelegd met betrekking tot hoogte en oppervlakte?
 - c. Wat is een geschikte sedimentsamenstelling voor de aanleg van de broedlocaties? Is klei geschikt en in welke verhouding ten opzichte van zand?
 - d. Wat is de te verwachten morfologische ontwikkeling van een broedeiland?
 - a. Wat is het effect van getijstrooming, golfslag en eolisch transport?
 - b. Is het benodigd de eilanden vast te leggen met hard substraat (schelpen) of vegetatie (biestarwegras of helmgras) om de eilanden erosiebestendiger te maken?
 - e. Zijn er nadelige effecten te verwachten bij de aanleg van een eiland met betrekking tot scheepvaarttoegankelijkheid en N2000 habitats?
3. Hoe moet een broedeiland op de pilotlocatie Hooge Springer aangelegd worden zodat deze voldoet aan de specificaties gesteld in (1) en wat zijn de locatie-specifieke nuances met betrekking tot (2), de randvoorwaarden voor broedeilanden in de Westerschelde?

1.5 Aanpak

De principiestudie naar het 'creëren van broedeilanden' moet de randvoorwaarden duidelijk krijgen voor de aanleg van broedeilanden op hogere platen in de Westerschelde. De studie is gestoeld op inschatting van ervaringsdeskundigen op het gebied van morfologie en ecologie. Aan de basis van de studie naar de pilotlocatie Hooge Springer staan de uitkomsten van de principiestudie.

Het onderzoek naar de pilot Hooge Springer is tweeledig opgepakt. De aanleg van het eiland wordt bepaald in een ontwerpfase. De verwachte morfologische ontwikkeling en het effect van het eiland op de omgeving wordt bepaald in een modelleerfase.

In de ontwerpfase wordt door middel van data-analyse de mogelijke locaties, hoogte en benodigde sedimentvolumes voor de aanleg inzichtelijk gemaakt. In de modelleerfase wordt een numeriek model (Delft3D) ingezet om het effect op de lokale waterbeweging en het zandtransport te bepalen. De modelberekeningen dragen aldus bij aan een inschatting van de te verwachten morfologische ontwikkeling.

1.6 Leeswijzer

De principiestudie 'creëren van broedeilanden' wordt behandeld in Hoofdstuk 2 en levert de randvoorwaarden voor de aanleg van broedeilanden in de Westerschelde. De ontwerpfase voor de pilotlocatie Hooge Springer wordt vervolgens beschreven in Hoofdstuk 3. Aan de hand van geschiktheidskaarten en een analyse van gemeten waterstanden wordt in dit hoofdstuk een ontwerp gepresenteerd. De modelleerfase (Hoofdstuk 4) beschrijft de opzet en de resultaten van het Delft3D model. Conclusies van de morfologische haalbaarheidsstudie broedeilanden zijn gegeven in Hoofdstuk 5.

2 Principe studie

2.1 Inleiding

Het 7-eilandenplan (Castelijns et al., 2017) voorziet in maatregelen om voldoende broedgelegenheid voor kustbroedvogels te garanderen. Deze maatregelen dienen per maatregel uitgewerkt te worden tot een uitvoeringsgereed project. De uitwerking van een project omvat het ontwerp, een inschatting van het afbreukrisico, de uitvoering, en eventueel aansluitende monitoring en verwachte beheersmaatregelen voor het eiland.

De uitwerking van een project is afhankelijk van de doelstelling voor het broedeiland. Dit hoofdstuk (de principe studie) behandelt daarom eerst de doelstelling van broedeilanden in de Westerschelde en de daar uit volgende specificaties (ontwerpcriteria) voor de aanleg (Paragraaf 2.2). Daarnaast zijn er algemeen geldende principes die, onafhankelijk van locatie, gelden voor de aanleg van een eiland op hogere platen in de gehele Westerschelde. Deze 'randvoorwaarden voor broedeilanden' worden nader onderzocht in Paragraaf 2.3. Paragraaf 2.4 behandelt de te verwachten ontwikkeling van een eiland. Door relevante processen voor de ontwikkeling van een eiland te identificeren kan hier in de uitwerking van een eiland rekening mee gehouden worden.

2.2 Doelstelling en specificaties broedeilanden

De doelstelling is afhankelijk van de doelsoorten waarvoor broedhabitat beoogd is om te ontwikkelen. In het 7 eilandenplan staan de criteria voor de broedbiotoop van de meest kritische kustbroedvogels beschreven. De vogelsoorten dwergstern, grote stern en lepelaar zijn het meest kieskeurig in de keuze van hun broedgebied. Het ontwikkelen van broedgebieden in de Deltawateren is daarom voornamelijk gericht op deze drie doelsoorten.

De ideale broedhabitat voor de dwerg- en grote stern is een kale bodem bestaande uit zand met schelpen en/of grind. De bedekkingsgraad van de vegetatie voor deze habitat moet laag zijn (<30%). Een belangrijke voorwaarde voor de vestiging van lepelaar is de aanwezigheid van hoge vegetatie. Geleidelijke opkomst van vegetatie als gevolg van successie op een broedeiland hoeft daarom niet als ongunstig te worden beschouwd. De opkomst van de vegetatie zorgt er voor dat er in de tijd verschillende soorten broedhabitat aanwezig zijn op het eiland, en aanwezig blijven. Doordat de 7 eilanden in het deltagebied gefaseerd aangelegd worden, wordt er gestreefd om voor de komende jaren voor iedere doelsoort te voorzien in voldoende broedhabitat.

In nader overleg tussen Deltares en Het Zeeuws Landschap is de doelstelling, aan de hand van de criteria voor de broedbiotoop van de meest kritische kustbroedvogels, als volgt gedefinieerd:

“De doelstelling is een broedlocatie te ontwerpen en in te richten die geschikt is voor pionierssoorten (< 30% vegetatie, kale zandbodem met schelpen) en die zich daarna ontwikkelt zodat ook broedgebied ontstaat voor soorten die een habitat verkiezen dat verder in de vegetatiesuccessie zit”.

Aan de hand van de doelstelling (en kennis over het broedhabitat van de doelsoorten en het estuarien systeem Westerschelde) zijn criteria bepaald waar een eiland aan moet voldoen om aan de doelstelling te voldoen:

1. De hoogte van het broedeiland moet bij aanleg:
 - a. Hoog genoeg zijn zodat het eiland gedurende het broedseizoen (april-juli) bij normale omstandigheden niet overstroomt;
 - b. Laag genoeg zijn zodat er wel overstroming buiten het broedseizoen plaats vindt en daarmee de pionierssituatie wordt ondersteund.
2. Het areaal van het broedeiland dat permanent droog is tijdens het broedseizoen moet bij aanleg tussen de 3 en 6 hectare bedragen.
3. Het eiland moet aangelegd worden met behulp van natuurlijk substraat (zand, klei en schelpen).
4. Het eiland moet zo aangelegd worden dat het, ondanks de bedekking van waardevol habitat op de locatie van het eiland, een minimale impact heeft op aanliggende N2000 habitats en het foerageergebied van N2000 vogelsoorten.

2.3 Randvoorwaarden voor het ontwerp

2.3.1 Aanleglocatie

Niet het gehele oppervlak van een plaat is geschikt om een broedlocatie aan te leggen. Gedeelten van de plaat vallen af. Een gebied kan bijvoorbeeld sterk eroderen, te laag gelegen zijn of er kan op die locatie waardevol ecologisch areaal aanwezig zijn dat verloren zou gaan bij de aanleg. De haalbaarheid en het succes van een broedeiland is afhankelijk van dergelijke aspecten die afgewogen moeten worden om tot een geschikte locatie te komen. Voor deze aspecten dienen criteria opgesteld te worden die een gebied als geschikt of ongeschikt classificeren. Het classificeren kan inzichtelijk worden gemaakt door een geschiktheidskaart op te stellen die gebieden uitsluit of aanwijst als mogelijke aanleglocatie. De aspecten waarop geschiktheid gekwalificeerd wordt zijn:

- De morfologische dynamiek van het systeem op de ruimtelijke schaal van individuele platen en geulen;
- De lokale bodemhoogte op de plaat en historische trends en eventueel te verwachten trends in de bodemhoogte;
- De verspreiding van ecotopen op de plaat.

2.3.2 Aanleghoogte

Om aan de specificaties te voldoen dient de broedlocatie op een dergelijke manier aangelegd te worden dat het broedareaal zich boven een bepaalde grenswaarde bevindt, zodat overstroming tijdens het broedseizoen wordt voorkomen. Daarnaast dient het eiland enkele malen per jaar te overstroomden buiten de periode van het broedseizoen zodat vestiging en ontwikkeling van vegetatie gelimiteerd wordt door afvoer van voedingsstoffen en ruigte.

De minimale aanleghoogte van het eiland moet hoog genoeg zijn om overstroming tijdens het broedseizoen (april t/m juli) te voorkomen. De hoogte kan worden bepaald aan de hand van

overschrijdingsfrequenties van de waterstand op de locatie van het broedeiland. De éénjarige overschrijdingsfrequentie (1/1) geeft dan een minimale aanleghoogte voor het eiland. Door de overschrijdingsfrequentie te berekenen over een lange gemeten tijdserie van waterstandshoogte van een nabijgelegen meetstation kan een berekening gemaakt worden van een minimale hoogte waarbij het vrij onwaarschijnlijk is dat het eiland onder gemiddelde condities zal overstromen.

De maximale aanleghoogte van het eiland moet laag genoeg zijn om overstroming buiten het broedseizoen mogelijk te maken. De maximale aanleghoogte kan ook bepaald worden aan de hand van de overschrijdingsfrequenties op de aanleglocatie van het eiland. De bovengrens van de aanleghoogte kan dan bepaald worden door de overschrijdingsfrequentie die 5x per jaar voor komt te berekenen. Deze overschrijdingsfrequentie wordt berekend over het gehele jaar, het is aannemelijk dat de vijf hoogste waterstanden in een jaar niet voorkomen tijdens de maanden april tot en met juli. Voor deze statistiek kunnen de waterstandsnormalen gebruikt worden welke berekend en gerapporteerd worden door Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2013).

2.3.3 Sedimentsamenstelling

De broedeilanden moeten met behulp van natuurlijk (zacht) substraat aangelegd worden. Harde oeverbescherming is namelijk niet gewenst op de platen. Het sediment dat beschikbaar is om de eilanden aan te leggen in de Westerschelde bestaat uit zand en fijner cohesief sediment (klei of slib). In een 'expertsessie sediment-samenstelling' is het gebruik van de beschikbare sedimentfracties besproken en in het bijzonder de mogelijkheid voor het gebruik van klei voor de aanleg van de eilanden (Schrijvershof, 2017).

De vraag 'kan klei gebruikt worden voor de aanleg van broedeilanden' is opgesplitst in twee afzonderlijke vragen: één vraag gericht op het initiële effect van de aanleg en één vraag gericht op de ontwikkeling van het eiland. De vragen zijn hieronder weergegeven, waar na de hoofdvraag van de expertsessie behandeld wordt.

1. *Zijn er (directe) effecten te verwachten op het natuurlijke systeem door gebruik van klei bij aanleg van het eiland?*

De platen in de Westerschelde zijn overwegend zandig met maar weinig fijn sediment. Met fijn sediment wordt hier cohesief sediment aangeduid en niet non-cohesief fijn zand. Grotere hoeveelheden fijn sediment vinden we alleen aan het oppervlakte van de platen op plekken die laagdynamisch zijn en/of waar schorvorming heeft plaatsgevonden. De (veelal laagdynamische) slikken (die aan het vasteland grenzen) bevatten ook fijner materiaal. Grote hoeveelheden klei zijn echter niet van nature aanwezig op de platen in de Westerschelde, wellicht met uitzondering van het schor. Het aanbrengen van klei betekent dat we de platen verrijken met 'vreemd' materiaal waarvan de samenstelling sterk verschilt van het huidige sediment. Dit is een argument om geen klei aan te brengen op de platen.

Binnen het morfologisch beheer van de Westerschelde is nog niet eerder gesproken over (grote) hoeveelheden fijn sediment op de platen aanbrengen. Het slib dat gebaggerd wordt in de havens wordt onder water op relatief dynamische locaties gestort, en zo verspreid in het estuarium. Het effect van grote hoeveelheden fijn sediment op de platen aanbrengen is dus onbekend omdat dit nooit eerder is uitgevoerd. Een dergelijke ingreep komt aldus niet overeen met de huidige praktijk van morfologisch beheer in de Westerschelde.

In de Westerschelde wordt er momenteel wel sediment op de platen aangebracht. Deze stortingen vinden plaats op de plaatranden, in het sublitoraal. De ontwikkeling wordt gemonitord, geanalyseerd en geëvalueerd binnen 'Flexibel Storten'. De morfologische beheerders van de Westerschelde (Rijkswaterstaat en de Vlaamse overheid: MOW-AMT) willen voorkomen dat te veel sediment op de hogere delen van de platen komt. Vooral nog wordt de verhoging, en de daarbij mogelijk gepaarde schorontwikkeling, van de platen als een ongewenste ontwikkeling gezien. De aanleg van een broedeiland heeft juist wel tot doel hogere delen van een plaat verder op te hogen, zij het met relatief kleine volumes sediment in vergelijking tot de plaatrandstortingen ($\sim 0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per storting). Daarnaast wordt er gestreefd om de broedlocaties te realiseren door middel van minimale ophoging (tot de éénjarige overstromingsfrequentie binnen het broedseizoen) zodat er geen ingrijpende veranderingen worden aangebracht aan de morfologie van de plaat.

2. *Kan het gebruik van klei bij de aanleg van een broedeiland de ontwikkeling beïnvloeden?*

Het gebruik van klei bij de aanleg van een broedeiland kan een positief effect hebben op de ontwikkeling van de biotoop. Het eiland wordt op een dergelijke manier aangelegd (ontworpen) opdat 3 – 6 hectare permanent droog broedareaal gerealiseerd wordt. Het doel is dat het eiland de eerste jaren uit kale zandige grond bestaat. Verstuiving (eolisch transport) zal vervolgens een rol gaan spelen. Inmenging van klei in het substraat kan de verstuiving remmen en daarmee de vorming van embryonale duinen limiteren. Daarnaast kan inmenging van klei of slib de erosiebestendigheid ten aanzien van de hydraulische belasting vergroten. Het effect van het gebruik van klei is wel sterk afhankelijk van de aard (samenstelling) van het materiaal, het transport, en de wijze van aanbrengen.

3. *Kan klei gebruikt worden voor de aanleg van broedeilanden?*

Bovenstaande overwegingen resulteren erin dat het ongunstig is om klei te gebruiken bij de aanleg van broedeilanden in de Westerschelde. Een belangrijke argumentatie hiervoor is dat de platen van nature overwegend zandig zijn (maar wel slibrijk kunnen zijn aan het oppervlak). De effecten van aanbrengen van klei lijken op voorhand negatief, maar zijn feitelijk niet goed gekend. Omdat een dergelijke ingreep niet eerder is toegepast en niet past binnen het huidige morfologisch beheer van de Westerschelde is het af te raden om klei te gebruiken bij de aanleg van een broedeiland op platen in de Westerschelde.

2.4 De verwachte ontwikkeling

Een aangelegd broedeiland zal in de loop van de tijd veranderen als gevolg van natuurlijke processen. In de Westerschelde zijn de volgende processen actief, met variërende invloed langs het estuarium:

- Getij: de getijslag neemt toe van west naar oost.
- Golven: de golfenergie neemt af van west naar oost. In het oostelijke gedeelte zijn er alleen lokaal wind-gegenereerde golven en golven gegenereerd door de scheepvaart.
- Zoutgradiënt: het zoutgehalte neemt af van west naar oost en is daarmee van invloed op de soort vegetatie die zich kan vestigen.
- De windrichting: geen gradiënt in de Westerschelde, overal is een overheersende zuidwestelijke richting met een korte of iets langere strijklengte.
- De windsterkte: geen sterke gradiënt in de Westerschelde.

2.4.1 Invloed van het getij en golven

De waterstand, variërend door de getijdenwerking, zal voornamelijk onder de top van het broedeiland blijven, hier wordt het broedeiland immers op ontworpen. Het is daarom niet te verwachten dat getijstroming en golfwerking van sterke invloed zal zijn op het droge areaal van het broedeiland. Het talud van een eiland staat wel bloot aan stroming en golfwerking. Het eiland wordt aangelegd op relatief hoge gedeelten van de platen en het is daarom niet te verwachten dat het eiland onder normale (gemiddelde) condities onderhevig is aan sterke stroming en hoge golven. Tijdens stormcondities is de waterstand hoger en spelen stroming en golfslag wel een belangrijke rol voor de hoog gelegen delen van de platen. Er is tijdens zulke condities afslag te verwachten. Omdat het effect van het getij, stroming en golfslag sterk afhankelijk is van de locatie in het estuarium, lokale omgevingsfactoren, aanleghoogte en sedimentsamenstelling van het materiaal waaruit het eiland wordt opgebouwd, en van de getijdynamiek is het van belang die effecten in kaart te brengen. Een numeriek computermodel kan dan uitkomst bieden om op voorhand de invloed van bovengenoemde processen op een broedlocatie te verkennen.

2.4.2 Invloed van de wind, vegetatie en schelpen

Het droge areaal van een broedeiland (de top) zal bestaan uit zand met een zeker schelpaandeel. De broedeilanden zullen onderhevig zijn aan de werking van de wind wat betekent dat verwaaiing van het opgespoten zand aan de oppervlakte reëel is. Aan de andere kant zullen de opgespoten eilanden niet zeer hoog boven het gemiddeld hoogwater niveau (GHW) liggen. Het zand op de top van het eiland zal daarom overwegend vochtig zijn wat een limiterende factor is voor verwaaiing van het zand. Relatieve aanrijking met schelpen en schelpfragmenten aan de oppervlakte van het opgespoten zandlichaam zal eveneens een beperkend effect hebben op de eroderende werking van de wind.

Naar verwachting zal na de aanleg van het eiland een licht opgebolde grondwaterspiegel vormen in het centrum van het eiland als gevolg van de morfologie van het broedeiland, tevens gevoed door regenval. De grondwaterspiegel zal in het centrum niet ver onder de oppervlakte liggen, aan de randen van het eiland ligt deze dieper. Dit betekent dat om het centrum heen een ring van relatief droog (maar altijd nog vochtig) zand zal bevinden. Alleen deze buitenste ring is lokaal mogelijk onderhevig aan kleinschalige verstuiwing, aangedreven door de overheersende windrichting uit het zuidwesten.

De vragen die gesteld kunnen worden over de ontwikkeling van het eiland onder de invloed van de wind zijn:

1. Hoe heeft de wind invloed op de ontwikkeling van een broedeiland?
2. Hoe lang duurt het voordat er een zekere stabilisatie van het zandoppervlak optreedt?
3. Zijn er beheersmaatregelen nodig om de ontwikkelingsrichting van het eiland te sturen?

De invloed van de wind kan het beste beschouwd worden aan de hand van de historische ontwikkeling van het bestaande broedeiland 'De Bol', op de Hooge Platen, verder westelijk in de Westerschelde. Op dit broedeiland wordt getracht het door golven en wind opgeworpen strandwallekje (of chenier, maximaal 50 m breed) midden op de Hooge Platen met maatregelen te stabiliseren. Tot de maatregelen behoren het insteken van schermen van wilgentenen en het inplanten van strandkweek en biestarwegras (BTG). Als gevolg van deze maatregelen is op het zuidelijke deel van het strandwallekje een smal en maximaal drie meter hoog, vooral met grassen begroeid, reliëfrijk duinlichaam ontstaan. Dit gebied wordt met succes door vogels gebruikt als broedgebied. De aanwas van het duin is zeer beperkt door

het zeer smalle strandje dat het duin aan de westzijde begrenst. Vanaf het aangrenzende laaggelegen en bijgevolg natte plaatdeel ten westen van het strandwallekje waait nauwelijks zand op. De vorming van het duintje is dus aanbod-gelimiteerd. Er bestaan eigenlijk geen beter vergelijkbare locaties; deze situatie op een vrij liggende plaat is uniek.

De door wind gestuurde ontwikkeling van een aangelegde broedlocatie zal mutatis mutandis vergelijkbaar zijn met de ontwikkeling op De Bol, maar dan mogelijk zonder de effecten van aanplant van biestarwegras en of helm. Duinvorming zal op de broedlocatie ook aanbod-gelimiteerd zijn doordat er geen of nauwelijks aanvoer is van de lagere (en nattere) gedeelten van de plaat westelijk van het aan te leggen broedeiland. De drogere geëxposeerde randen van de broedlocatie kunnen wel lokaal en tijdelijk eroderen door de wind. Het is echter de verwachting dat eolisch transport vanaf het broedeiland hier gelimiteerd is door de relatief lage ligging van de top van de broedlocatie ten opzichte van het gemiddeld hoog water (lees: vochtig zand verwaait maar moeizaam).

Na aanleg van een broedlocatie zullen relatief snel (binnen een jaar) plantenzaden in het veek tegen de randen aanspoelen. De plantenzaden kunnen kiemen waardoor een beschermende rand van vegetatie rondom het eiland kan ontstaan. Naar verwachting zal eenmaal ontkiemde vegetatie snel groeien en uitbundig zaad zetten waardoor snel een zaadbank in de bodem van het broedeiland zal ontstaan. Ontlasting en braakballen van de broedende vogels zullen mest vormen voor de zich vestigende vegetatie. De vegetatie zal het zandoppervlak enigszins stabiliseren en verwaaiing door de wind verder inperken. Aan de andere kant kan een dicht bezette vogelkolonie de nodige beschadiging van de vegetatie betekenen. Er zal een evenwicht ontstaan tussen aanvoer en ontkieming van plantenzaden, bemesting door vogeluitwerpselen en aantasting van de vegetatie door intensieve betreding door vogels en verzuring van de bovenste grondlaag door mest en braakbalinhoud.

Eventuele snelle en uitbundige vegetatie ontwikkeling kan gelimiteerd worden door de top van een broedeiland relatief laag aan te leggen. De kans op overstroming tijdens het broedseizoen neemt dan wel toe. Het is te verwachten dat vegetatiesuccessie onstuitbaar is, tenzij er veel afslag is tijdens stormen. Om een aangelegde broedlocatie de eerste jaren als geschikt broedbiotoop voor pionierssoorten te behouden, zijn beheersmaatregelen waarschijnlijk benodigd tijdens de eerste jaren (of in een later stadium) na aanleg van de broedlocatie. Te denken valt aan kleinschalig onderhoud door vrijwilligers, bijvoorbeeld uittrekken zaadplanten na de broedtijd, vooral in het midden van het broedeiland.

Uit bovenstaande redeneringen over de verwachte ontwikkeling volgen enkele aanbevelingen voor de aanleg van een broedeiland:

- Gebruik relatief grof zand voor de aanleg. De gemiddelde korrelgrootte mag wel wat grover zijn dan het plaatszand waarop het wordt opgespoten. Schelphoudendheid van enkele procenten is geen bezwaar, dit lijkt namelijk eerder een voordeel dan wat anders.
- Het is raadzaam de aanleg voor de winter uit te voeren, na de broedtijd. Hoe korter de periode tussen aanleg en ingebruikname door de van de trek terugkerende broedvogels, des te beter. Dat betekent dat de aanleg ca. 1 maart van het jaar volgend op het vorige broedseizoen klaar moet zijn. Voeg desnoods wat extra zand toe om het eerste stormseizoen te doorstaan; de ervaring leert dat in het eerste jaar de meeste zandbeweging optreedt.
- Monitor de morfologische ontwikkeling gedurende het eerste jaar intensief om de vigerende processen in kaart te brengen, om de gedachten te bepalen 4 x per jaar

- dmv een dronevlucht. Kan dan snel teruggezet worden naar de minimum frequentie van 2 x per jaar wanneer toepasselijk.
- Wees bereid aanvullend beheer te doen met behulp van vrijwilligers. Stel een jaarlijks rapport op, en vraag daarvoor vrijwilligers om dat te doen onder begeleiding van bijvoorbeeld HZL.

3 Pilot Hooge Springer: ontwerp

3.1 Inleiding

De locatie Hooge Springer (locatie 2 in Figuur 1.1) is uitgekozen als eerste locatie om een broedlocatie te realiseren. Daarmee dient deze locatie ook als pilotstudie voor het ontwerp en de aanleg van broedeilanden. De doelstelling, specificaties, randvoorwaarden en dominante natuurlijke processen voor de ontwikkeling van een eiland zijn behandeld in de principiestudie (Hoofdstuk 2). De studie naar de pilotlocatie Hooge Springer past deze principes toe door ze te nuanceren afhankelijk van locatie-specifieke aspecten.

Het plaatgedeelte Hooge Springer is onderdeel van het platen complex Hooge Platen. Een topo-bathymetrische overzichtskaart van de Hooge Platen en de omliggende geulen is weergegeven in Figuur A.1, een gedetailleerde hoogtekaart van de Hooge Platen is weergegeven in Figuur A.2.

De locatie voor de aanleg van het broedeiland wordt bepaald aan de hand van een geschiktheidskaart, welke gekwalificeerd wordt aan de hand van de aspecten beschreven in de principiestudie. De totstandkoming van de geschiktheidskaart voor de locatie Hooge Springer wordt in de volgende paragraaf beschreven.

De gewenste hoogteligging van een broedeiland is afhankelijk van de specificaties van het eiland (Hoofdstuk 2.2). Het eiland moet hoog genoeg zijn zodat deze tijdens het broedseizoen niet overstroomt, en laag genoeg zodat er wel overstroming plaatsvindt buiten het broedseizoen. Gegeven deze specificaties voor het eiland wordt de aanleghoogte van het eiland bepaald door middel van overstromingsfrequenties in Paragraaf 3.4.

Een schetsontwerp voor een broedeiland kan opgesteld worden wanneer aanleglocatie en aanleghoogte bekend zijn. In Paragraaf 3.4 wordt een ontwerp gemaakt. Gegeven de geschikte aanleglocatie en bandbreedte in aanleghoogte kan met het ontwerp het benodigde volume sediment voor de aanleg berekend worden. Daarnaast dient dit ontwerp als startpunt voor de numerieke modellering waarmee het effect van stroming en golven op het eiland wordt onderzocht (Hoofdstuk 4).

3.2 Aanleglocatie

3.2.1 Morfodynamiek

De Westerschelde is op basis van morfologische karakteristieken en berekend sedimenttransport opgedeeld in een systeem van aaneengesloten macro- en mesocellen (Winterwerp et al., 2001). De macrocellen bestaan over het algemeen uit een hoofdgeul en nevengeul die gescheiden worden door één of meerdere platen. Het platencomplex Hooge Platen is gelegen in macrocel 1, in het westelijke gedeelte van de Westerschelde. Het Vaarwater langs Hoofdplaat (de geul ten zuiden van de Hooge Platen) wordt niet tot macrocel 1 gerekend maar valt binnen mesocel 2, hier is geen onderscheid te maken tussen een hoofd- en nevengeul. De morfologische ontwikkeling van macrocel 1 en mesocel 2 staat beschreven in Cleveringa (2013) voor de afgelopen decennia. De belangrijkste aspecten van de historische morfologische ontwikkeling die relevant zijn voor de aanleglocatie van een broedeiland op de Hooge Springer zullen in deze paragraaf besproken worden.

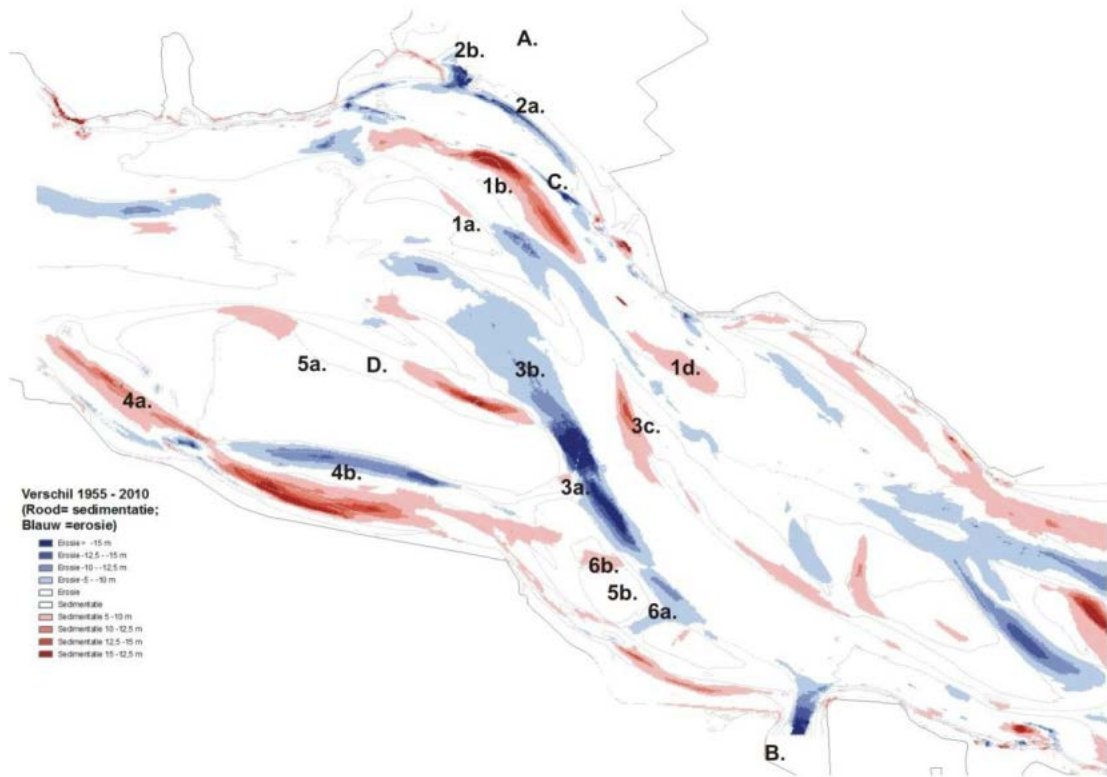
De Honte is de geul die aan de noordelijke kant van macrocel 1 is gelegen, nabij de Sloehaven (zie Figuur A.1). Deze geul is in de afgelopen eeuw naar het noorden gemigreerd met als gevolg dat er ruimte aan de zuidzijde is vrij gekomen. De vrijgekomen ruimte heeft de ontwikkeling van de Schaar van Spijkerplaat beïnvloed; deze is namelijk meegeschoven naar het noorden. De Spijkerplaat is smaller geworden doordat deze aan de zuidkant is geërodeerd maar minder is uitgebouwd aan de noordkant. De noordelijke oever van de Hooge Platen is in de afgelopen tien jaar redelijk stabiel gebleven.

In Figuur 3.1 is een sedimentatie-erosiekaart weergegeven, welke de bodemveranderingen weergeeft tussen bathymetrische opnamen in 1955 en 2010. Een belangrijke ontwikkeling die waar te nemen is uit deze kaart is dat de Pas van Borssele (3a en 3c in Figuur 3.1) in de afgelopen decennia naar het westen gemigreerd is. De Pas van Terneuzen is door deze ontwikkeling meer in het verlengde van de Schaar van de Spijkerplaat komen te liggen en het is onzeker of dat deze geulen in de toekomst in elkaar overgaan. De migratie van de geul is goed te volgen in een dwarsdoorsnede door de Pas van Borssele (Figuur 3.2). De oostelijke rand van de Hooge Platen (Hooge Springer) is in de periode 1955 – 2010 geërodeerd en daardoor steeds westelijker te komen liggen. De dwarsdoorsneden tonen niet aan dat de migrerende trend van de Pas van Borssele afneemt gedurende de periode 1990 – 2010 ten opzichte van de perioden daarvoor.

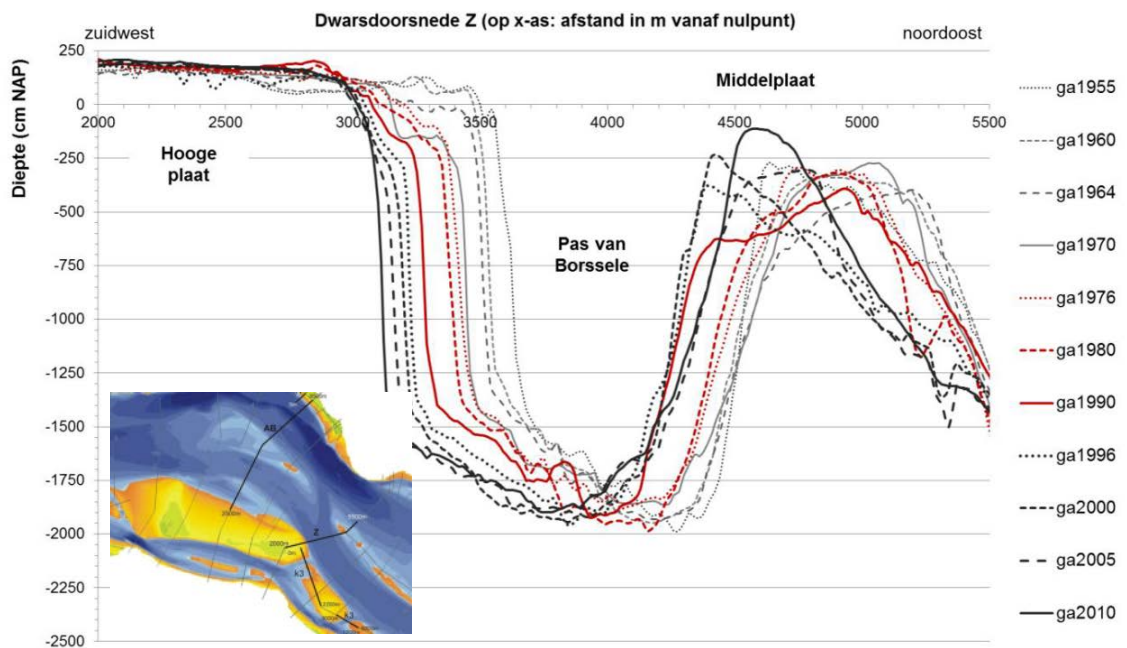
Figuur 3.3 toont een dwarsdoorsnede op ongeveer dezelfde locatie als Figuur 3.2, maar voor data vanaf 2005 tot en met 2014. De figuur toont dat de westwaartse migratie van de plaatrand (-2 m NAP) ongeveer 25 meter was gedurende de periode 2005 – 2009. In de daaropvolgende jaren (2009 – 2014) is de afslag iets minder maar lijkt niet sterk in trend af te nemen. Het is te verwachten dat in de toekomst de westwaartse migratie van de Pas van Terneuzen onverminderd doorzet. Bij de aanleg van een broedeiland op de Hooge Springer moet er dus rekening mee gehouden worden dat de oostelijke oever een dynamisch gebied is dat mogelijk naar het westen zal migreren.

Aan de zuidoostelijke kant van de Hooge Springer ligt de plaat Lage Springer (Figuur A.1). De Lage Springer migreert richting het noordwesten en als gevolg is de geul die de Hooge en Lage Springer scheidt in het afgelopen decennium afgenomen in diepte. Hooge en Lage Springer groeien hierdoor naar elkaar toe en zullen waarschijnlijk op een zeker moment met elkaar 'versmelten' en niet meer te onderscheiden zijn als twee afzonderlijke platen.

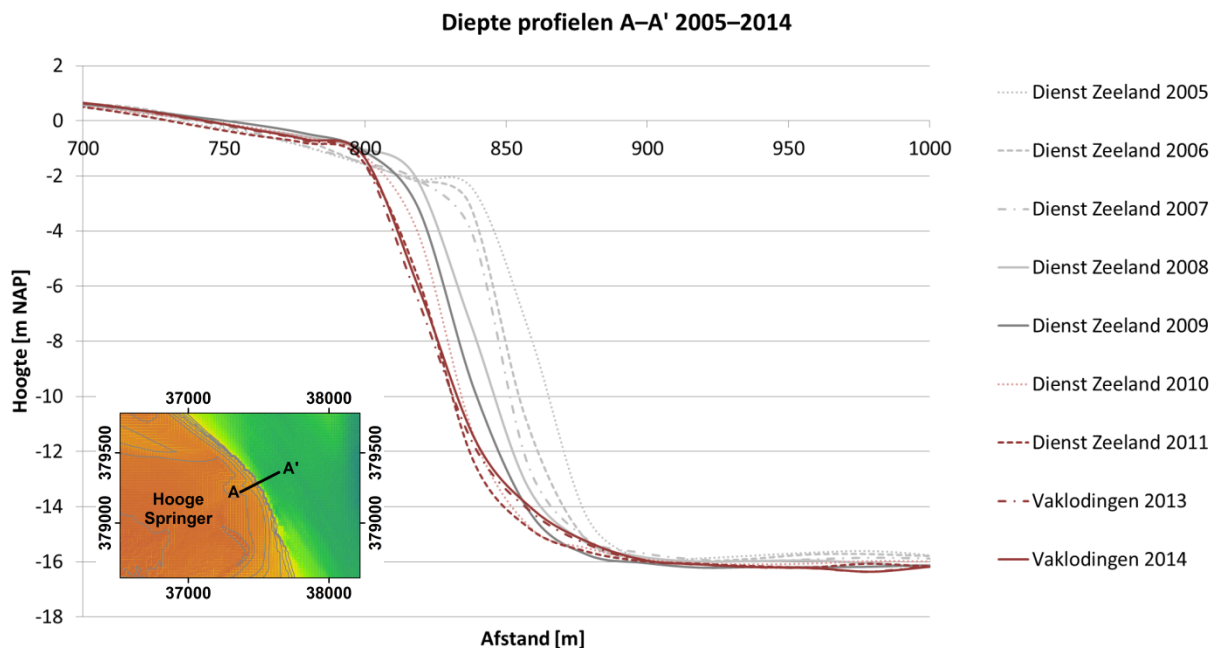
De geul langs de zuidelijke oever (Vaarwater langs Hoofdplaat) vertoont een langzame maar gestage trend van verondieping, als gevolg van sedimentatie. Deze trend is ontstaan na de afsluiting van de Braakman halverwege de 20^e eeuw. De locatie van de geul is sinds de afsluiting redelijk stabiel gebleven. De geul verplaatst zich echter nog wel richting het noorden. Deze noordwaartse migratie veroorzaakt erosie aan de zuidelijke oever van de Hooge Platen (Figuur 3.3), ter plaatse van het broedeiland De Bol.



Figuur 3.1 Erosie-sedimentatiekaart voor de periode 1955 - 2010 (Cleveringa, 2013).



Figuur 3.2 Dwarsdoorsnede Z over de Pas van Borssele, de inzet geeft de ligging van de dwarsdoorsnede (Cleveringa, 2013).



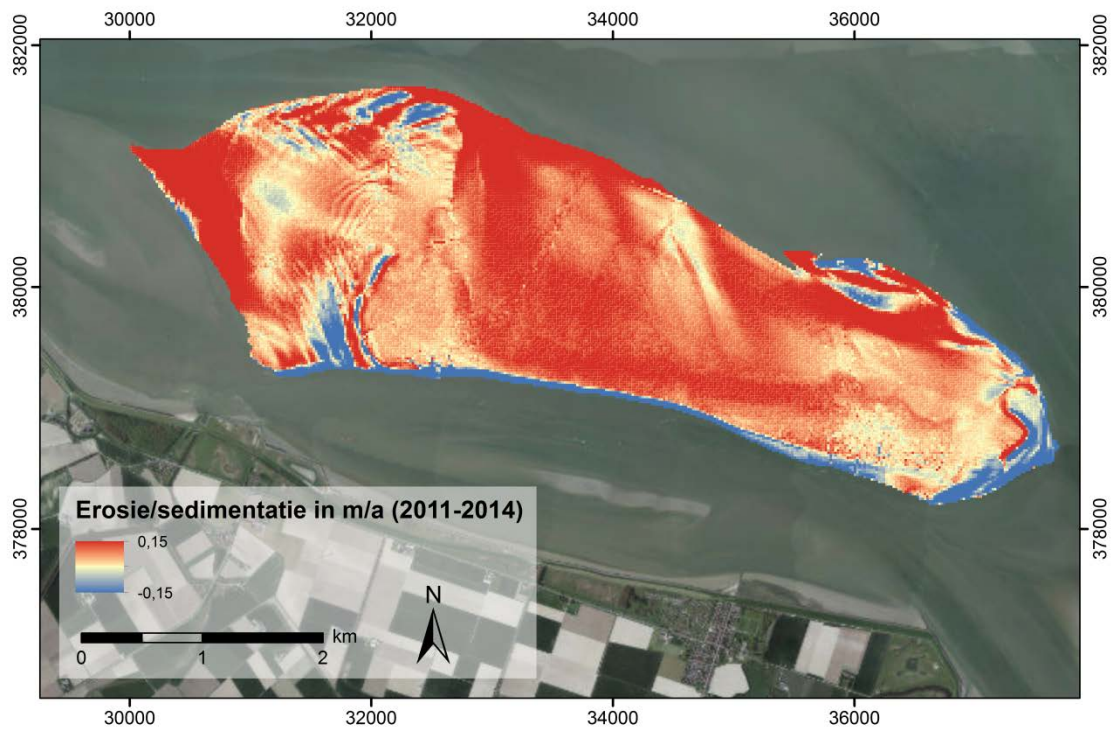
Figuur 3.3 Dwarsdoorsnede A-A' over de noordoostelijke over van de Hooge Springer, zie inzet voor de ligging van de dwarsdoorsnede.

3.2.2 Bodemhoogte en trends

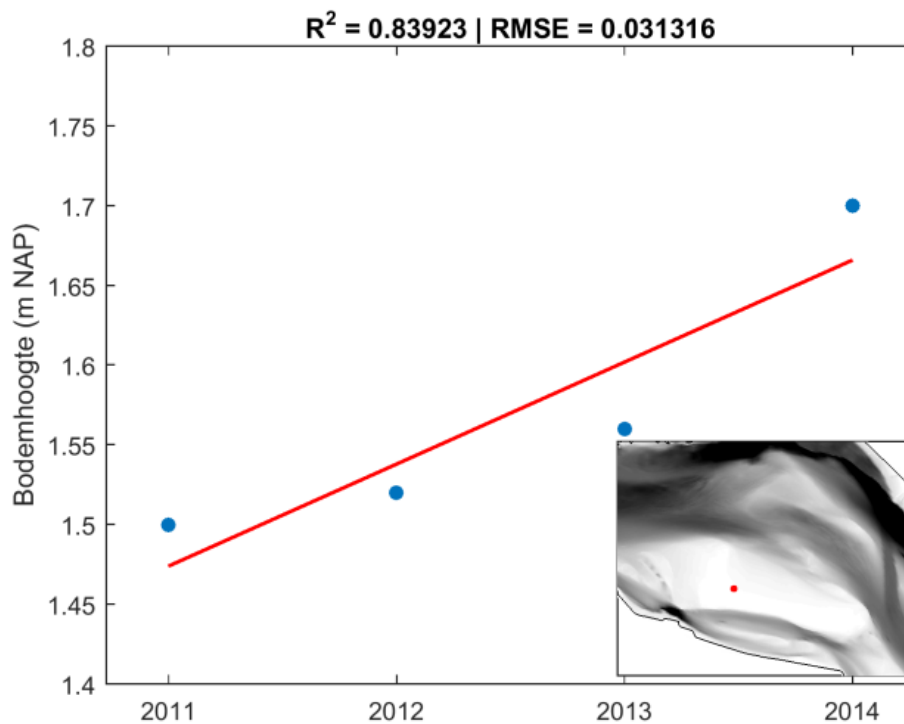
De hoogteverdeling van de Hooge Platen is weergegeven in Figuur A.2. De aanleg van een bredeiland op platen in de Westerschelde dient te gebeuren op delen die relatief hoog gelegen zijn zodat een relatief klein volume sediment nodig is om het eiland tot een hoogte aan te leggen die voldoet aan de criteria. Er is hiervoor een grenswaarde van 1,5 m NAP gehanteerd.

De recente ontwikkelingen in bodemhoogte zijn weergegeven in Figuur 3.4, in meter per jaar. Deze trends zijn bepaald door middel van een lineaire trendanalyse, met behulp van bodemhoogtegegevens van 2011 tot en met 2014. Figuur 3.5 geeft een voorbeeld van de berekening van een trend voor een punt dat vlakbij de Bol gelegen is. Een dergelijke trend is voor de gehele Hooge Platen berekend en de richtingscoëfficiënt (trend in bodemhoogte) is ruimtelijk weergegeven in het kaartbeeld.

De kaart (Figuur 3.4) laat de gebieden zien die over de afgelopen vier jaar zijn geërodeerd, gesedimenteerd of juist stabiel zijn (i.e.: weinig verandering in bodemhoogte). Sterk eroderende gebieden worden geclassificeerd als ongeschikt om een bredeiland aan te leggen omdat het waarschijnlijker is dat een eiland in stabiele en sedimenterende gebieden langer zal kunnen blijven bestaan. De kaart toont dat het centrale gedeelte van de Hooge Platen zeer sterk sedimenteert. Het oostelijke gedeelte is vrij stabiel of toont een kleine trend van sedimentatie. Op basis van trends in de bodemhoogte over de afgelopen vier jaar wordt daarom het centrale en het oostelijke gedeelte van de plaat als kansrijk gebied beschouwd om een bredeiland aan te leggen. Voor de bepaling van een voorkeurslocatie wordt uitgegaan van de een gebied dat gekenmerkt wordt door een sedimenterende trend.



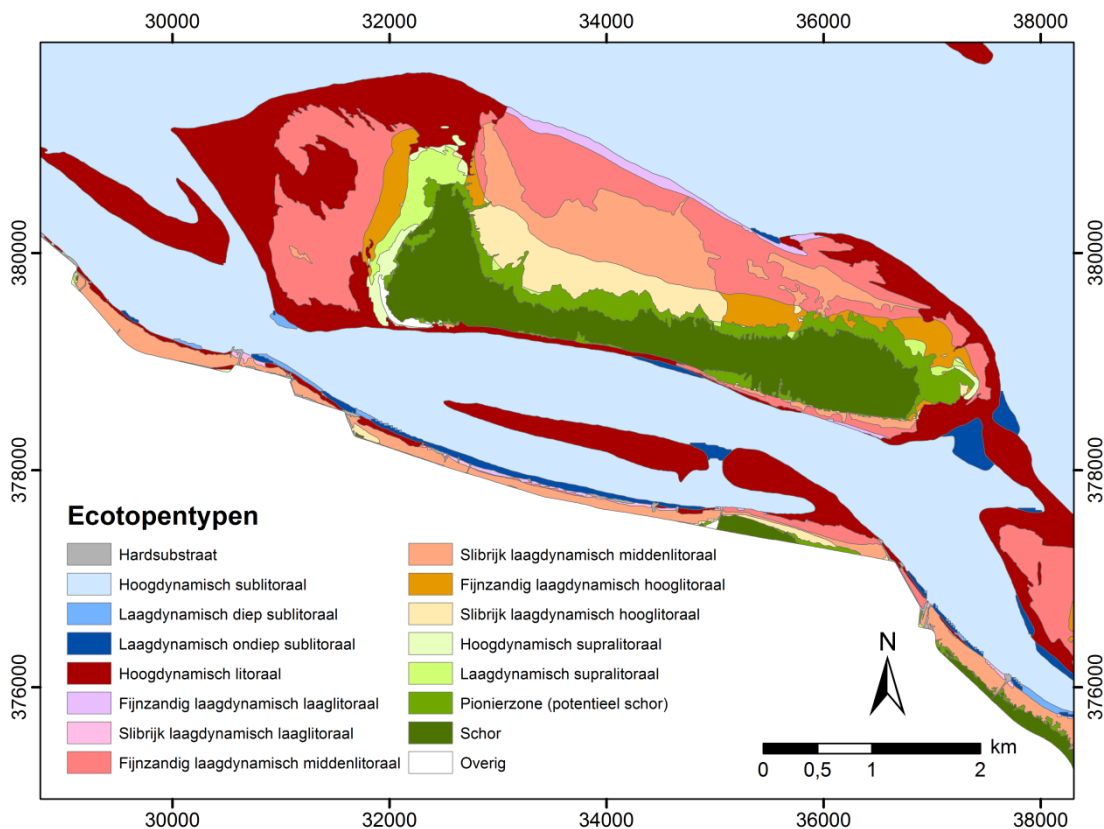
Figuur 3.4 Overzichtskaart van de regressiecoëfficiënt van de lineaire trendanalyse over de periode 2011-2014.



Figuur 3.5 Voorbeeld van een berekende lineaire trend voor een punt aan centraal op de Hooge Platen.

3.2.3 Ecotopenkaarten

In Figuur 3.6 is de verspreiding van ecotopen op de Hooge Platen in 2015 weergegeven. Deze kaart is een uitsnede van de zoute ecotopenkaart Westerschelde 2015 (Rijkswaterstaat, 2016), dit is op het moment de meest actuele en beschikbare ecotopenkaart voor de Westerschelde. De locatie voor de aanleg van een broedeiland is, naast morfologische overwegingen, afhankelijk van ecologische aspecten. De verschillende ecotopen worden hieronder afgewogen en geclassificeerd als geschikt of ongeschikt.



Figuur 3.6 Ecotopenkaart van de Hooge Platen in 2015 (Rijkswaterstaat, 2016).

Ecotopen die gelegen zijn in het sublitoraal en het laaglitoraal worden niet als geschikte locaties beschouwd. Hoewel deze ecotopen vanuit ecologisch perspectief minder interessant zijn (en daarom wel geschikt als aanleglocatie) is de invloed van het getij en getijstroming in deze gebieden hoger. Dit geldt ook voor het gebied van de plaat die geclassificeerd is als hoogdynamisch litoraal. Een locatie aanleggen binnen de contouren van deze ecotopen geeft een grotere onzekerheid over de ontwikkeling van het broedeiland onder de invloed van het getij en de stroming. Deze ecotopen worden dus aan de hand van morfologische overwegingen geclassificeerd als ongeschikt.

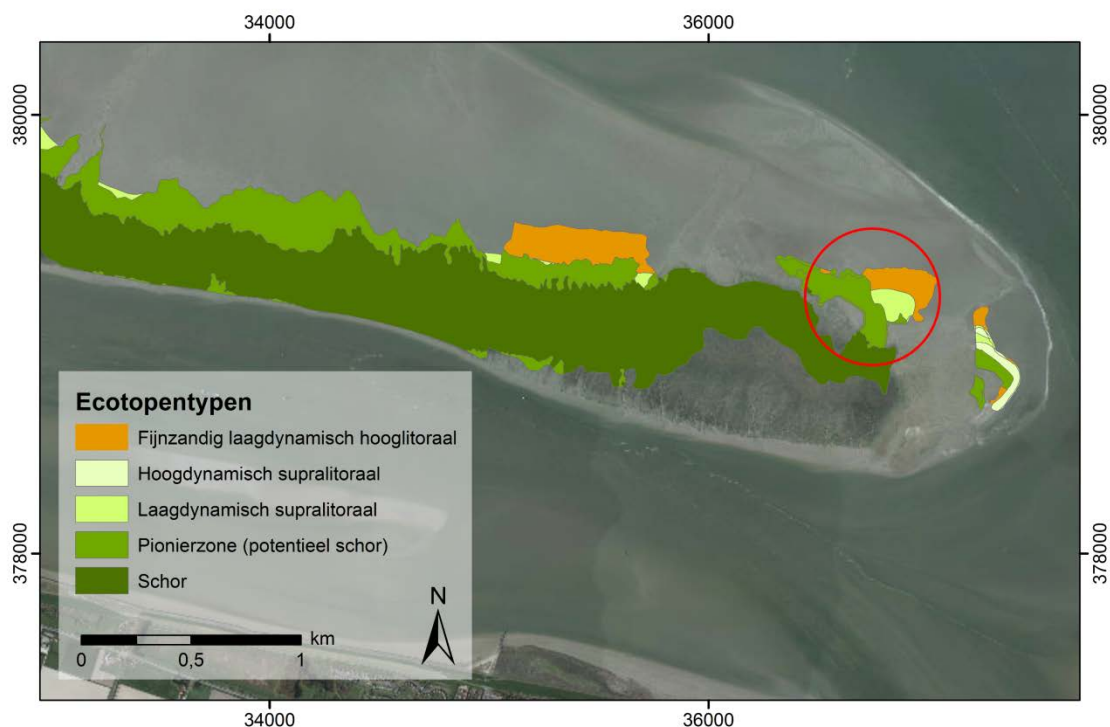
Slibrijke laagdynamische gebieden zijn zeer belangrijk als foerageergebied voor vogels. Het is daarom niet gunstig zand aan te brengen op deze gebieden omdat waardevol ecologisch areaal (foerageergebied) verloren zou gaan. De slibrijke laagdynamische ecotopen worden daarom geclassificeerd als ongeschikt om een broedeiland aan te leggen.

De ecotopen die als geschikt geclassificeerd kunnen worden zijn het fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal, de ecotopen in het supralitoraal, de (pre-)pionierszone en het schor.

3.2.4 Geschiktheidskaart

Verscheidene aspecten zijn beschouwd om een gebied op de Hooge Platen te classificeren als geschikt of ongeschikt. Wanneer deze aspecten gekwalificeerd worden aan de hand van criteria kunnen gebieden uitgesloten worden voor de aanleg van een broedeiland. Wanneer de afwegingen uit de vorige paragrafen worden samengevoegd ontstaat een geschiktheidskaart die locaties toont die kansrijk kunnen zijn voor de aanleg van een broedeiland. Deze kaart is weergegeven in Figuur 3.7, met een onderverdeling in geschikte ecotopen.

De morfologische dynamiek van het systeem op de ruimtelijke schaal van individuele platen en geulen is niet direct aangegeven in deze kaart. Aan de hand van de morfologische ontwikkelingen (Paragraaf 3.2.1) kan geconcludeerd worden dat de meest oostelijk gelegen locatie, de schelpenbank niet geschikt is. De oostelijke oever van de Hooge Springer zal in de toekomst naar alle waarschijnlijkheid verder eroderen en migreren naar het westen waardoor het eiland sterk kan eroderen aan oostelijke zijde. Het broedeiland aanleggen op deze locatie zorgt dus voor een grotere mate van onzekerheid over de ontwikkeling. De meest westelijk gelegen locaties, op het centrale gedeelte van de Hooge Platen, zijn dicht gelegen tegen het bestaande broedeiland De Bol. Daarnaast zijn deze locaties verder verwijderd van het potentiële voedselgebied van de dwergstern; de ondiepe geul tussen de Lage en de Hooge Springer (Castelijns, 2017). Deze locaties worden daarom niet als voorkeurslocatie beschouwd. De centrale geschikte locatie, aan de noordoostzijde van het schor op de Hooge Springer, wordt als meest geschikte locatie beschouwd voor de aanleg van een broedeiland op de Hooge Springer. De voorkeurlocatie is in Figuur 3.7 aangegeven door middel van een rode cirkel.



Figuur 3.7 Geschiktheidskaart voor de locatie Hooge Platen met onderscheid in ecotopentypen.

3.3 Aanleghoogte

De aanleghoogte van het broedeiland moet binnen een specifieke bandbreedte van hoogtes (hoogte-interval) vallen zodat het eiland voldoet aan de specificaties en de doelstelling behaald wordt (Hoofdstuk 2.2). Het eiland moet hoog genoeg zijn om er voor te zorgen dat er 5 hectare droog broedareaal gerealiseerd wordt (tijdens de periode van het broedseizoen). Daarnaast is incidentele overstroming buiten het broedseizoen wel gewenst om ontwikkeling van vegetatie enigszins te limiteren en het broedgebied daarmee langer geschikt te houden voor de primaire doelsoorten (o.a. dwergstern).

Een bandbreedte voor de aanleghoogte wordt bepaald voor het eiland aan de hand van historische waterstanden. De onderkant (minimale aanleghoogte, $z_{b,min}$) van deze bandbreedte wordt gegeven door de eenmalige overstromingsfrequentie tijdens het broedseizoen. Op deze manier wordt een hoogtewaarde berekend die niet waarschijnlijk is om overschreden te worden in de nabije toekomst en wordt de 5 hectare permanent droog areaal gewaarborgd. De bovenkant (maximale aanleghoogte, $z_{b,max}$) van de bandbreedte wordt gegeven door de vijfjarige overstromingsfrequentie gedurende het gehele jaar. Hiervoor wordt er van uitgegaan dat de vijf hoogste waterstandpieken buiten het broedseizoen optreden.

De grenswaarden worden bepaald aan de hand van de gemeten waterstand van een getijmeetstation dat in de buurt gelegen is. Het dichtstbijzijnde station waarvoor bij Rijkswaterstaat waterstandstatistieken beschikbaar zijn, zijn de meetstations Vlissingen en Terneuzen. Het interessegebied Hooge Springer ligt ongeveer halverwege tussen deze twee meetstations, er is daarom voor gekozen om de karakteristieke waarden van beide meetstations te beschouwen en een waarde voor de locatie van het broedeiland te berekenen door de waarden van de meetstations te middelen. Het getijmeetstation nabij Borssele is niet gekozen voor de berekening omdat er voor dit station geen Rijkswaterstaat waterstandstatistieken beschikbaar zijn.

De waterstandsnormalen voor de twee meetstations zijn weergegeven in Tabel 3.1 (Rijkswaterstaat, 2013). Uit de Tabel is te berekenen dat de gemiddeld laagste en hoogste waterstand tijdens springtij bij de Hooge Springer ongeveer -2,07 en 2,56 m NAP is. De overschrijdingsfrequenties van de twee getijmeetstations zijn weergegeven in Tabel 3.2. Uit de waarden is te berekenen dat de overschrijdingsfrequentie van 5 keer per jaar voor de Hooge Springer op 3,18 m NAP ligt. De maximale aanleghoogte ($z_{b,max}$) van het broedeiland wordt daarmee 3,18 m NAP.

Tabel 3.1 Waterstandnormalen voor de meetstations Vlissingen en Terneuzen (Rijkswaterstaat, 2013).

Getijtype	Gemiddelde waterstand Vlissingen			Gemiddelde waterstand Terneuzen		
	HW-stand (m NAP)	LW-stand (m NAP)	Vershil (m)	HW-stand (m NAP)	LW-stand (m NAP)	Vershil (m)
Gem. tij	2,07	-1,76	3,83	2,29	-1,89	4,18
Gem. springtij	2,44	-2,01	4,45	2,67	-2,13	4,80
Gem. doodtij	1,55	-1,44	2,99	1,76	-1,56	3,32
Gem. waterstand		0,10			0,09	

Tabel 3.2 Waterstandhoogte voor gemiddelde overschrijdingsfrequenties voor de meetstations Vlissingen en Terneuzen (Rijkswaterstaat, 2013).

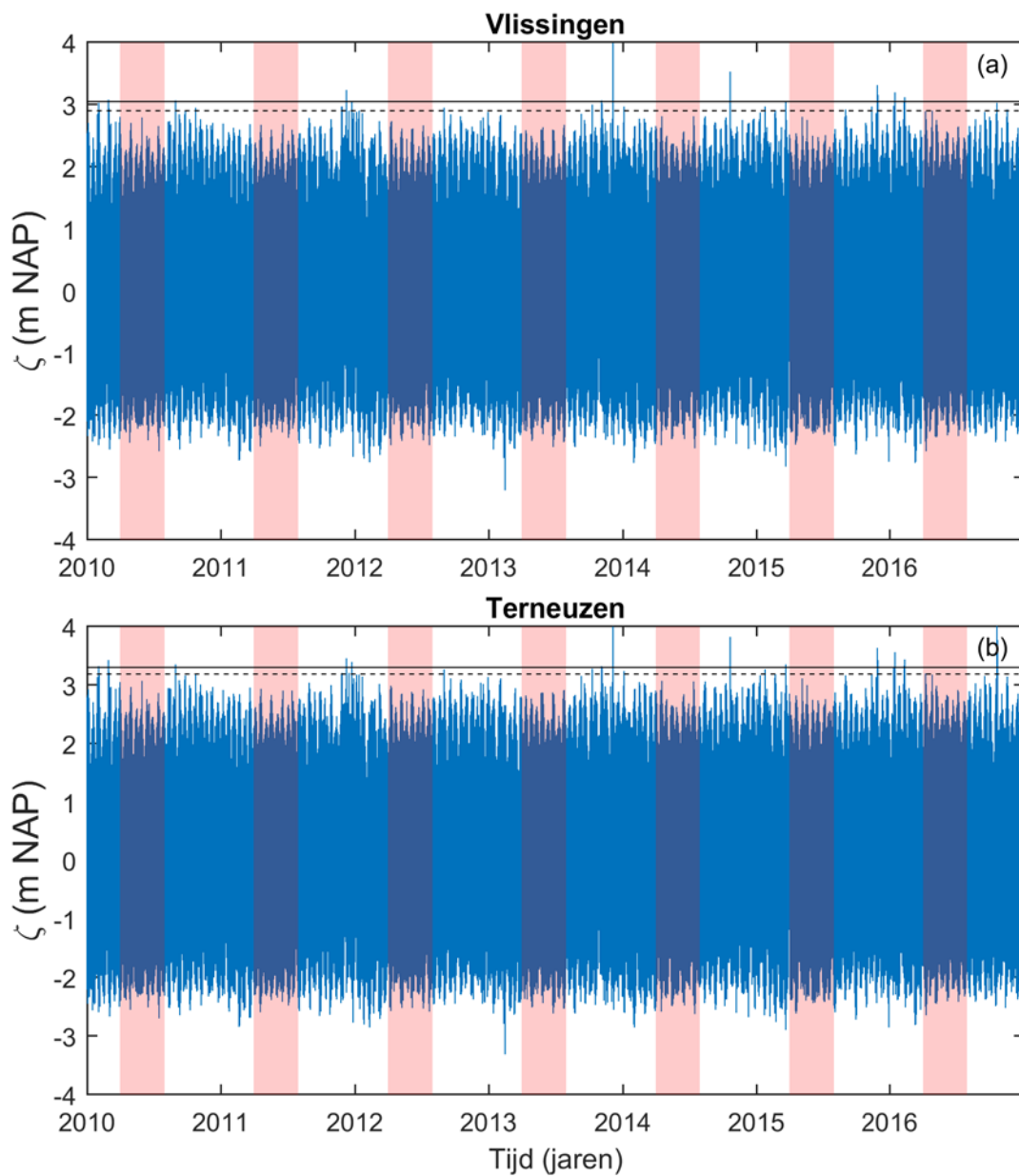
Frequentie	Overschrijdingshoogte (m NAP)	
	Vlissingen	Terneuzen
1x per jaar	3,35	3,65
2x per jaar	3,20	3,50
5x per jaar	3,05	3,30

De overschrijdingsfrequenties tijdens het broedseizoen (april – juli) zijn bepaald voor dezelfde twee meetstations. De overschrijdingsfrequenties zijn berekend over een gemeten tijdserie van 19 jaar (1997 – 2016). Voor de berekeningen zijn alleen de data gebruikt welke tussen 1 april en 31 juli gelegen is. Figuur 3.8 toont een visualisatie van de methode, vanwege de zichtbaarheid is er alleen data 2010 tot en met 2016 getoond, de berekening is echter over de periode 1997 – 2016 uitgevoerd. Het resultaat voor de twee meetstations staat weergegeven in Tabel 3.3. Uit de berekende overstromingsfrequenties tijdens het broedseizoen is te berekenen dat de minimale aanleghoogte van het broedeiland ($z_{b,min}$) 3,05 m NAP is.

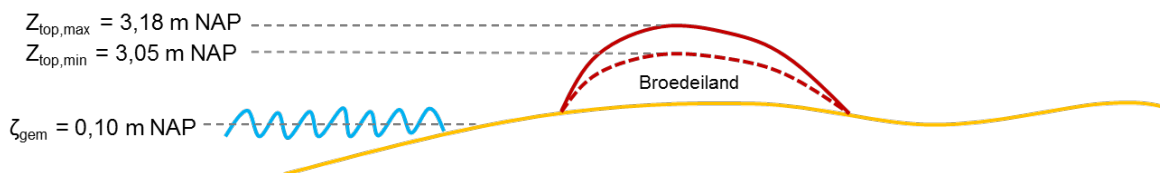
Tabel 3.3 Gemiddelde over- en onderschrijdingsfrequenties voor het meetstation Terneuzen, berekend voor het broedseizoen (april - juli).

Frequentie	Overschrijdingshoogte (april – juli) (m NAP)	
	Vlissingen	Terneuzen
1x per jaar	2,9	3,19
2x per jaar	2,89	3,18
5x per jaar	2,75	2,99

Het broedeiland op de locatie Hooge Springer dient aangelegd te worden zodanig dat 5 ha van het eiland zich in het hoogte-interval 3,05 tot 3,18 m NAP bevindt, een schematische weergave van de aanleghoogtes is weergegeven in Figuur 3.9.



Figuur 3.8 Waterstandscurve voor meetstation Vlissingen (a) en Terneuzen (b). De zwarte continue lijn geeft de hoogte van de hoogte die volgt uit de overstromingsfrequentie die vijf keer per jaar voorkomt en de doorbroken lijn geeft de éénmalige overstromingsfrequentie tijdens het broedseizoen. Het broedseizoen is weergegeven door middel van de lichtrode arceringen.



Figuur 3.9 Schematische weergave van de berekende aanleghoogtes voor broedeiland Hooge Springer.

3.4 Ontwerp

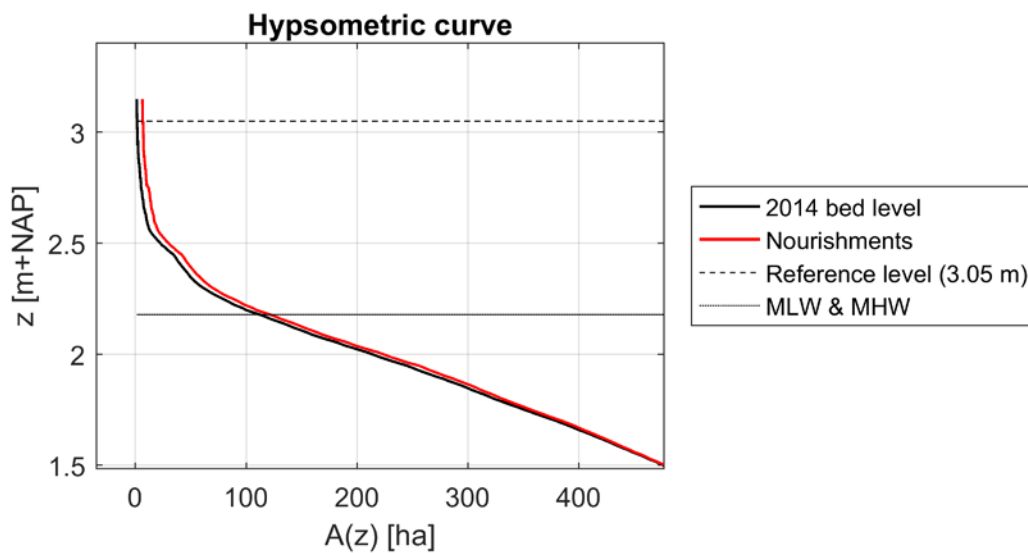
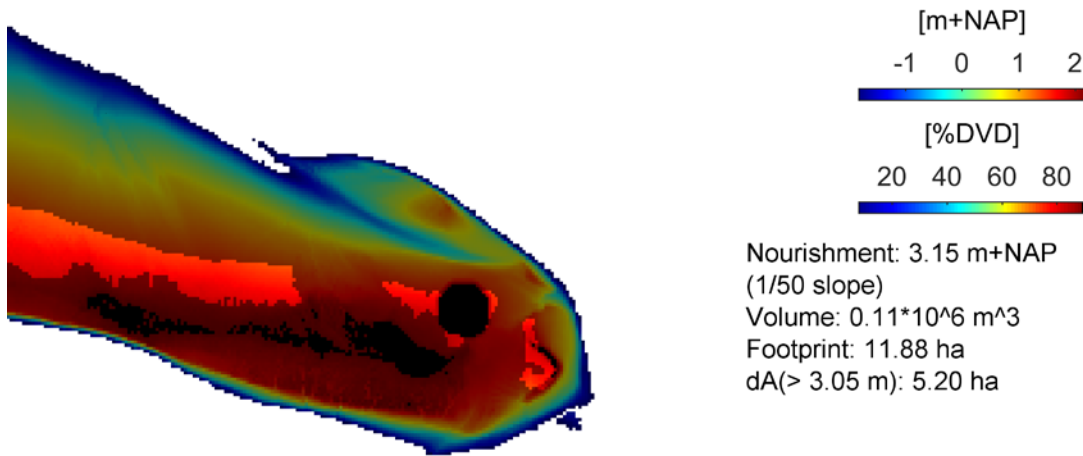
Het broedeiland kan ontworpen worden aan de hand van de geschikte locatie die bekend is uit de totstandkoming van de geschiktheidskaart en de aanleghoogte welke berekend is aan de hand van de overschrijdingsfrequenties.

Figuur 3.10 toont de uitwerking van een ontwerp van een broedeiland op de locatie Hooge Springer, De huidige bodemhoogte van de plaat op de locatie voor het ontwerp is ongeveer 1,6 m NAP. Er is voor gekozen de broedlocatie aan te leggen tot een hoogte van 3,15 m NAP. Deze (afgeronde) hoogte is gekozen zodat de aanleghoogte dicht tegen de bovengrens van de bandbreedte ligt. Een aanleghoogte van 3,15 m NAP op de huidige locatie betekent dat de suppletie een maximale dikte van ongeveer 1,5 m heeft. De hypsometrische curve geeft de verandering van de areaalverdeling over de hoogte voor de Hooge Platen door de aanleg van het broedeiland (rode lijn). Aan de hand van de hypsometrische curve kan het toegevoegde areaal boven de grenswaarde van 3,05 m NAP berekend worden, dit is 5,20 hectare en daarmee voldoet het ontwerp dus aan de gestelde specificatie om 5 hectare permanent droog broedareaal te realiseren.

Het ontwerp van het eiland heeft de vorm van een cirkel. Het effect van verschillende suppletievormen wordt in deze studie niet onderzocht maar er wordt aangenomen dat een cirkelvorm de beste keuze is om een broedlocatie aan te leggen die het minst erodeert. In Witteveen + Bos (2015) is het effect van verschillende suppletievarianten getest voor de aanleg van een broedlocatie nabij Den Oever in de Waddenzee. Een optimalisatie van de suppletie hield in dat het ontwerp is aangepast van een hoekige naar een meer ronde vorm.

Het eiland is ontworpen met een zeer flauwe helling van 1/50 (1,15°). Doordat de top van het eiland (5,20 ha) ongeveer 1,5 m boven de plaat gelegen is, is de helling van het eiland ongeveer 35 – 40 m lang. De footprint van het broedeiland is daarom groter dan de top, deze is 11,88 hectare. Dit is het areaal van de plaat wat bedekt zal worden door middel van zandsuppletie. Het volume zand dat benodigd is om het eiland volgens deze configuraties aan te leggen is 110,000 m³.

De berekening van de hoogte van het broedeiland, en daarmee het benodigde volume van het eiland, houdt geen rekening met initiële zetting na aanleg van het eiland. Wanneer een broedeiland uitgewerkt wordt tot een uitvoeringsgereed ontwerp dient er wel rekening gehouden te worden met het hoogteverlies als gevolg van zetting van zandpakket.



Figuur 3.10 Uitwerking van een ontwerp van een broedeiland op de locatie Hooge Springer.

4 Pilot Hooge Springer: modellering

4.1 Inleiding

Het effect van het aan te leggen eiland op de hydrodynamica op de plaat (en vice versa) wordt onderzocht met behulp van een proces-gebaseerd rekenmodel (Delft3D). Het model simuleert golven, stroming (gedreven door het getij, de wind en golven) en het daar uit volgende zandtransport. Door gebruik te maken van een model kan een goed ruimtelijk beeld verkregen worden van de verandering van de patronen als gevolg van de aanleg van het eiland. De resultaten van de modelsimulaties kunnen daar mee aangeven of er een afbreukrisico is voor het eiland doordat er eventuele nadelige effecten te verwachten zijn op de nabije omgeving van het eiland. In een aparte set simulaties is de korte termijn morfologische ontwikkeling van het eiland gesimuleerd waarmee, met enige voorzichtigheid, een voorspelling gedaan kan worden over de ontwikkeling van het eiland als gevolg van erosie door (getij)stroming en golven.

4.2 Methode

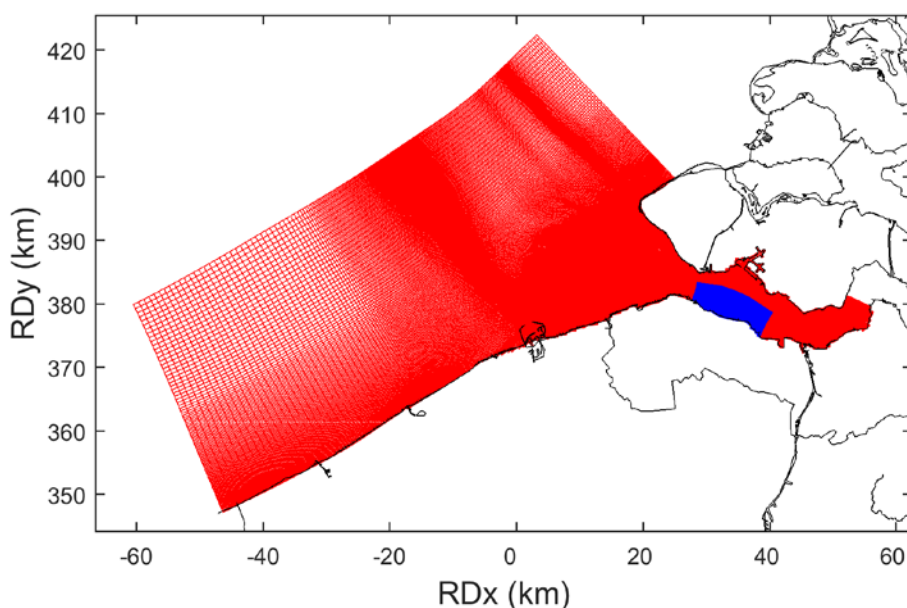
4.2.1 Modelkeuzes en rekendomein

Het Delft3D model dat is opgezet om de waterbeweging en het zandtransport op de Hooge Platen te simuleren is een dieptegemiddeld (2DH) model. Variatie van de stroming over de verticaal wordt hierdoor enkel geparametriseerd meegenomen maar voor transport van zand is deze parametrisatie voldoende nauwkeurig. Het model is opgezet als domeindecompositiemodel. 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 eenvoudige manier een model opgezet worden met een hoge roosterresolutie ter plaatse van de Hooge Platen, zonder dat dit de opzet, kalibratie en validatie van een apart model vereist.

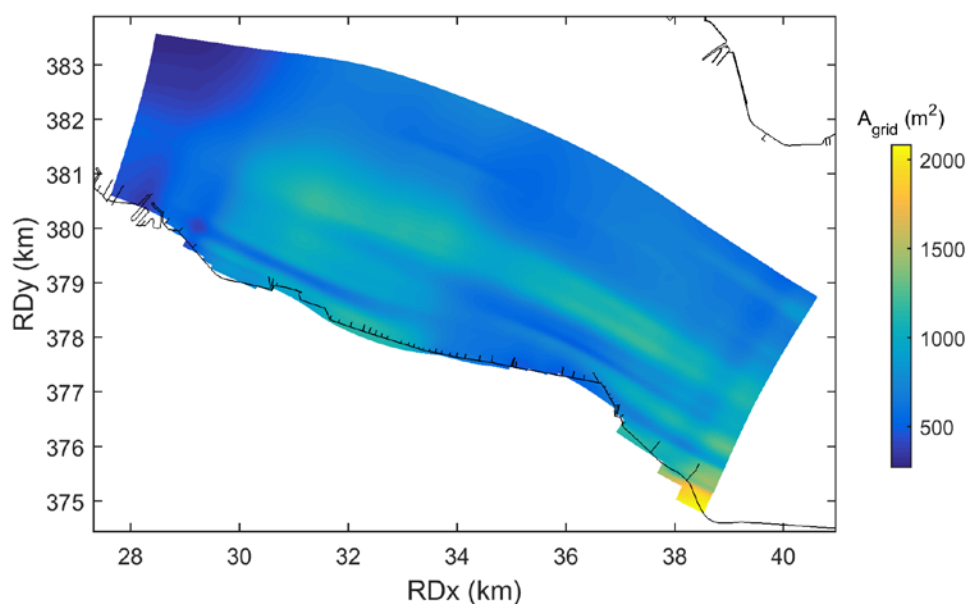
Het Delft3D model bestaat uit een bestaand en gevalideerd model dat aangestuurd wordt door randvoorwaarden op de Noordzee en in het centrale gedeelte van de Westerschelde. De randvoorwaarden bestaan uit tijdseries van waterstanden, stroomsnelheden, zoutgehalte, en wind, golfhoogte, golfpiekperiode en golfrichting voor het jaar 2013. De opzet, kalibratie en validatie van dit model (ZWeM-model) staat beschreven in Vroom et al. (2016). De kalibratie-exercities die zijn doorlopen voor de opzet van het model zijn gericht op waterstanden, stroming en golven in diep water. In de huidige toepassing wordt het model gebruikt om stroming en golven op een intergetijdengebied te simuleren. Er is geen vergelijking uitgevoerd om het model te valideren voor deze condities maar er wordt aangenomen dat het model de hydrodynamica (stroming en golven) op de plaat voldoende nauwkeurig simuleert om het effect van een aangelegde broedlocatie te onderzoeken.

De instellingen van het golfmodel zijn gelijk aan de instellingen zoals deze in Van der Werf et al (2016) zijn toegepast. In deze studie is een Delft3D model ingezet om het effect van stroming en golven op verschillende suppletieconfiguraties op de Roggenplaat in de Oosterschelde te onderzoeken. Gesimuleerde golfhoogte en periode gaf in deze studie een redelijk goed overeenkomst met gemeten waarden (in de geul en op de plaat).

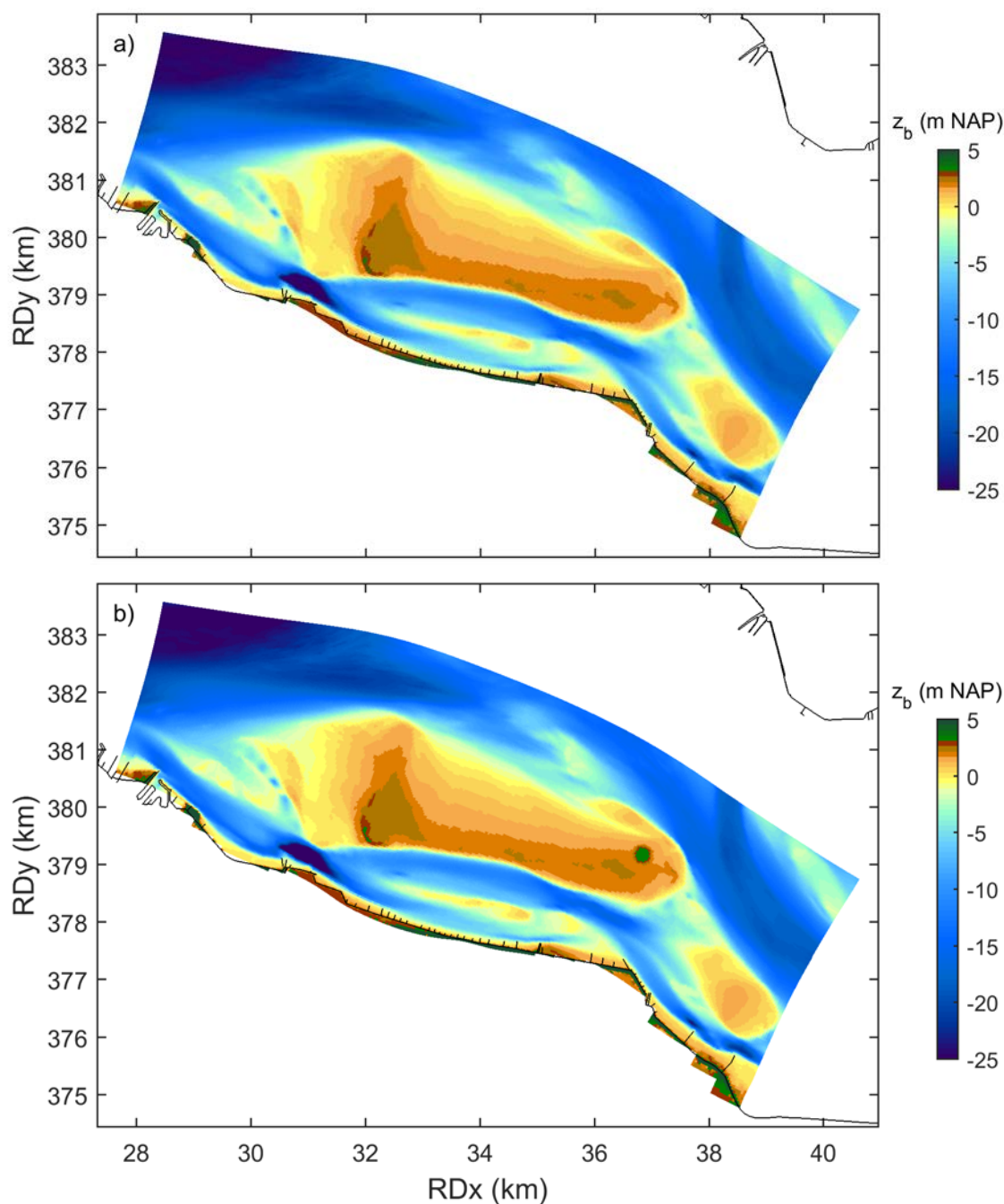
Ter plaatse van de Hooge Platen is er een uitsnede van het rekenrooster van het ZWeM model gemaakt. De uitsnede van het rekenrooster is opgezet als apart model en wordt door middel van domeindecompositie aangestuurd door het ZWeM model. Een overzicht van de ligging van de kromlijnige rekenroosters is weergegeven in Figuur 4.1. Het rekenrooster van het Hooge Platen model is verfijnd in beide richtingen zodat het rekenrooster een resolutie van ongeveer 30x30 meter in het interessegebied heeft. Een afbeelding van de roosterresolutie is weergegeven in Figuur 4.2. De golfberekeningen worden uitgevoerd op een rekenrooster dat twee maal grover is dan het rekenrooster van de stromingsberekeningen.



Figuur 4.1 Kromlijnige rekenroosters van het ZWeM model (rood) en het gedetailleerde model voor Hooge Platen (blauw).



Figuur 4.2 Oppervlakte van de roostercellen van het Hooge Platen model (in m^2).

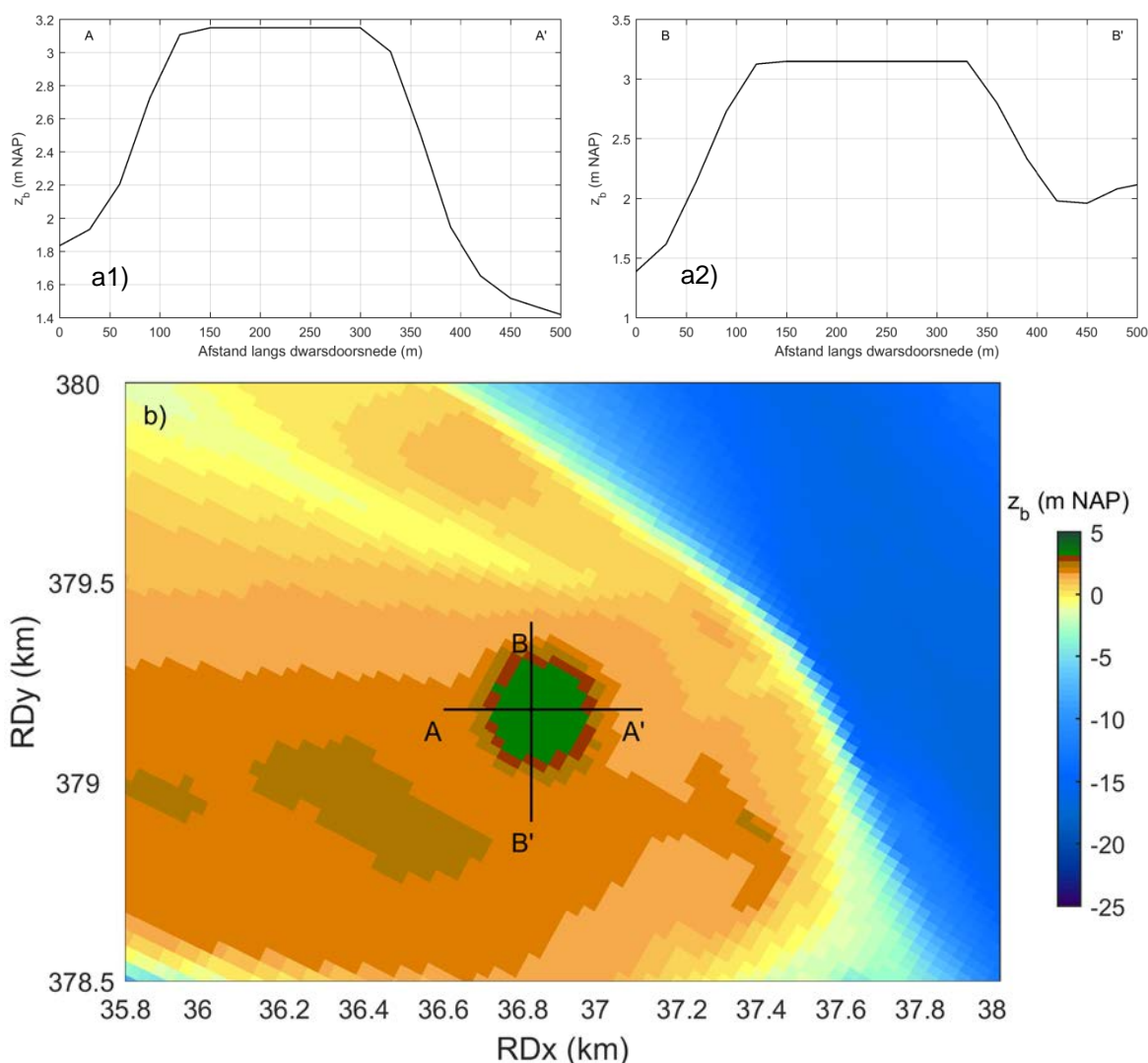


Figuur 4.3 Bodemschematisaties van het Hooge Platen model in de referentiesituatie (a) en met het ontwerp van het broedeiland (b).

4.2.2 Bodemschematisatie

De bathymetrie ter plaatse van de Hooge Platen is geschematiseerd naar het rekenrooster van het Hooge Platen model door middel van lineaire interpolatie. Er is een bodemschematisatie gemaakt voor het referentiescenario (Figuur 4.3a) aan de hand van de Rijkswaterstaat vaklodningen en kusthoogte (LiDAR) datasets welke beschikbaar zijn voor het jaar 2014. De datasets voor recentere jaren waren niet beschikbaar maar een

bodemschematisatie van het jaar 2014 wordt als voldoende nauwkeurig beschouwd om de waterbeweging en het zandtransport op de plaat te modelleren voor de huidige situatie. De netto bodemveranderingen tussen 2014 en 2016 zullen niet groot zijn geweest (zie Figuur 3.4) en de lokale morfologie van de plaat zal niet wezenlijk zijn veranderd. De bodemschematisatie van de scenariosimulatie met het broedeiland (Figuur 4.3b) is gemaakt op eenzelfde wijze en aan de hand van dezelfde bodemhoogtegegevens, hier zijn echter de bodemhoogtegegevens van het ontwerp aan toegevoegd. Figuur 4.4 toont twee dwarsdoorsneden welke over het het geschematiseerde broedeiland zijn gelegen.



Figuur 4.4 Dwarsdoorsneden (a1 en a2) van de bodemschematisatie met het ontwerp van het broedeiland, op de raaien A-A' en B-B' (b);

4.2.3 Simulatieperiode en overige instellingen

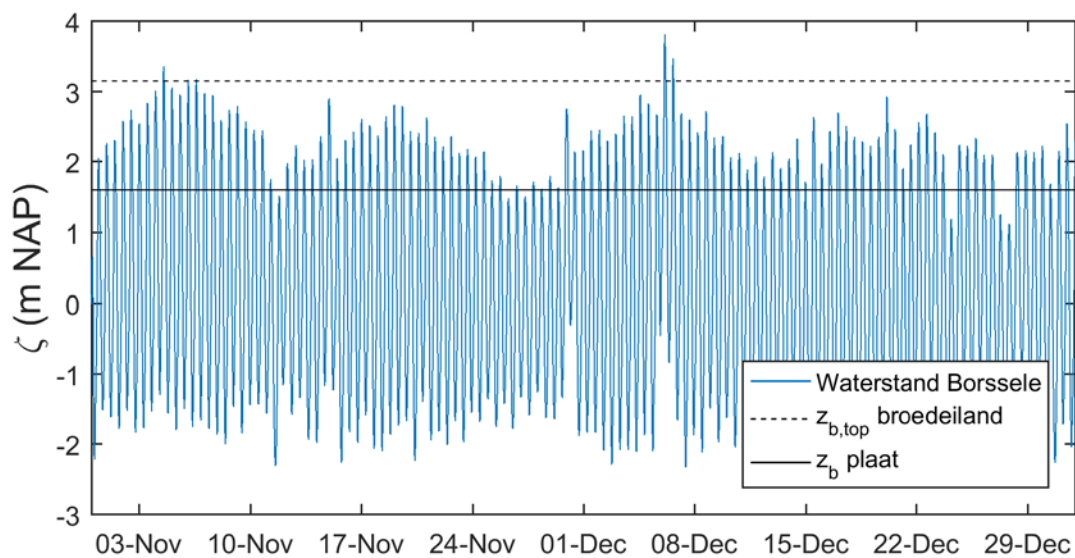
Het morfostatische model (geen gesimuleerde bodemveranderingen) is gesimuleerd voor een periode van twee maanden, van 29 oktober 2013 tot 1 januari 2014. De twee maanden zijn gekozen als simulatieperiode omdat deze periode zowel een lange periode van normale waterstand, als een korte periode van stormcondities met verhoogde waterstand omvat. De stormcondities komen voor op 5 en 6 december 2013 (Sinterklaasstorm). De Sinterklaasstorm ging gepaard met hoge waterstanden en zeer harde windcondities (Bft 10-11) variërend in richting van van zuidwest tot noordwest. Het morfodynamische model is gesimuleerd voor dezelfde periode, bodemveranderingen worden echter pas meegenomen in de simulatie na twee dagen. De morfologische simulatie wordt dus pas gestart zodra het model hydrodynamisch is ingespeeld.

De waterstand die gesimuleerd wordt door het model bij de locatie van het meetstation Borssele is weergegeven in Figuur 4.5. De figuur toont eveneens de bodemhoogte van de plaat bij de Hooge Springer en de top van het aangelegde broedeiland. Uit de figuur valt op te maken dat tijdens de twee gesimuleerde maanden de plaat regelmatig inundeert, alleen tijdens doodtij stroomt er geen water over de plaat. De top van het broedeiland (~5 ha) blijft bijna altijd geheel droog en inundeert alleen tijdens hoge waterstand op 4 november en tijdens de stormcondities op 5 en 6 december.

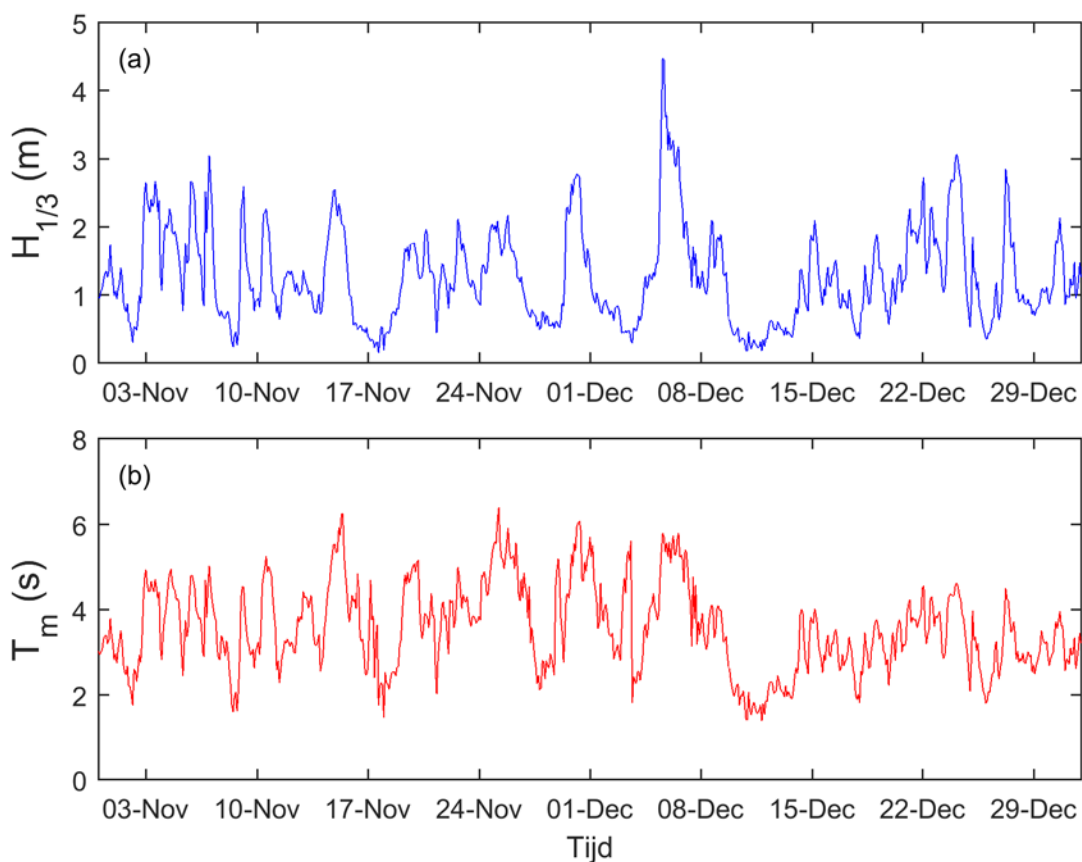
De gesimuleerde offshore significante golfhoogte (H_{13}) en gemiddelde periode (T_m) zijn weergegeven in Figuur 4.6 voor een roosterpunt met de Rijksdriehoek coördinaten (-7.235; 396.348). Tijdens de Sinterklaasstorm van 5-6 december werd er op dit punt een offshore significante golfhoogte van ongeveer 4,5 m bereikt.

Het originele ZWeM-model (Vroom et al., 2016) maakt gebruik van een zand- en een slibfractie voor de sediment-transportberekeningen. Voor de huidige simulaties wordt er alleen een zandfractie toegepast. Het zandtransport wordt berekend aan de hand van de Van Rijn (2007a, b) sediment-transportformule. Deze sediment-transportformulering neemt het effect van golven mee in de berekeningen. Er wordt voor de berekeningen een ruimtelijk uniforme korrelgrootte van van 200 μm toegepast.

De analyse van de modelresultaten van het morfostatische model wordt uitgevoerd over de periode 1 november 2013 tot 1 januari 2014. De eerste twee dagen van de simulatie worden niet beschouwd in de analyse zodat de hydrodynamische inspeeltijd van het model geen invloed heeft op de resultaten. De analyse van de modelresultaten van het morfodynamische model wordt over de gehele gesimuleerde periode uitgevoerd. Er is bij de berekening een morfologische vertragingstijd van één dag gehanteerd. Bodemverandering onder invloed van de hydrodynamische forcering worden dus pas uitgerekend wanneer het model hydrodynamisch is ingespeeld.



Figuur 4.5 Gemodelleerde waterstand bij meetstation Borsselse met indicatie van de hoogte van de Hooge Springer (plaat) en de top van het aangelegde broedeiland.



Figuur 4.6 Gemodelleerde offshore significante golfhoogte (a) en gemiddelde golfperiode (b) op een roosterpunt met de coördinaten (-7.235; 396.348).

4.3 Resultaten

4.3.1 Hydrodynamica

Figuur 4.7 toont de stroombeelden ter plaatse van de Hooge Springer in de referentiesituatie (linker kolommen) en tijdens het scenario met broedeiland (rechter kolommen). De getoonde curve onderaan de figuur geeft de waterstand in de geul Pas van Terneuzen aan, net ten oosten van de Hooge Springer. De getoonde stroombeelden geven de situatie weer voor een getij waarbij het aangelegde eiland niet inundeert, er zal daarom geen stroming over het eiland plaatsvinden.

De figuur toont dat het opstromen van de plaat vanuit westelijke richting gebeurt op locaties waar de plaat is overstroomd. Tijdens hoog water (HW) is de gehele Hooge Springer geïnundeerd en is de stroming hoofdzakelijk ZW-NO georiënteerd. De stroming over de plaat wordt op dit moment gedreven door waterstandverschillen tussen de zuidelijke geul (Vaarwater langs Hoofdplaat) en de noordelijke geul (Schaar van Spijkerplaat) doordat het getij met verschillende snelheden door deze geulen stroomt. De stroming op de plaat is tijdens hoog water dan ook niet parallel aan de stroming in de omliggende geulen. Het afstromen gebeurt zowel via het Vaarwater (in zuidelijke richting) als via de Schaar (in noordelijke richting). De scheidslijn tussen noordelijke en zuidelijke afwatering is zichtbaar als een witte band die ongeveer een west-oost oriëntatie heeft. Deze witte band lijkt ongeveer samen te vallen met de noordelijke begrenzing van het schor op de Hooge Springer en het krekenspatroon in het schor. Het effect van het schor op de stroming (grotere ruwheid, obstructie) is niet geïmplementeerd in de modellering maar de bodemhoogte zal ter plaatse van het schor iets hoger zijn; dit is wel meegenomen in de schematisatie van de bathymetrie. De krekens in het schor hebben dimensies van enkele meters breed, de huidige modelopzet met een roosterresolutie van ongeveer 30 meter kan de krekens niet representeren.

De stroombeelden voor de situatie met broedeiland (Figuur 4.7, rechter kolommen) tonen dat het eiland een beperkt effect heeft op de stroming tijdens hoog water en de afstroomfase op de plaat. Het eiland wordt niet geïnundeerd, er is daarom geen stroming over het eiland zelf. Aan de randen van het eiland vindt er een zeer lokale verhoging van de stroomsnelheid plaats en een rotatie van de richting. Het water stroomt om het eiland heen en hierdoor vindt er ook een kleine toename van de stroomsnelheid plaats aan de oostelijke rand van het eiland. De toename is ongeveer 0,1 – 0,2 m/s.

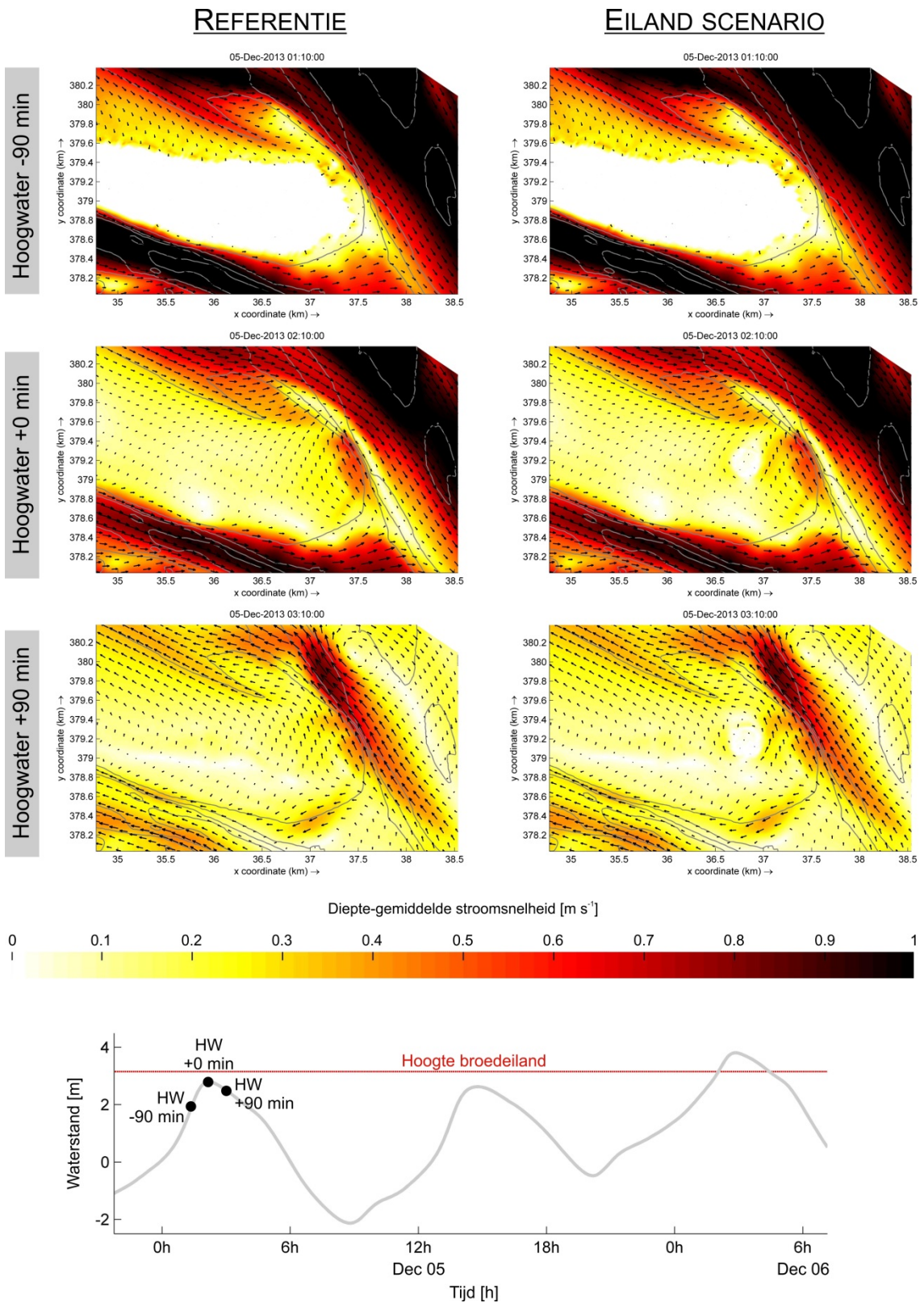
Figuur 4.8 toont stromingsbeelden op dezelfde momenten ten opzichte van hoog water als Figuur 4.7 maar dan voor het getij op 6 december, wanneer het eiland wel wordt geïnundeerd. De figuur toont dat tijdens de referentiesituatie (linker kolommen) de op- en afstroming van de plaat niet wezenlijk anders verloopt. De plaat is op HW-1,5 uur al wel volledig geïnundeerd. Tijdens hoog water is de stromingsrichting wel aanzienlijk anders dan tijdens het getij met de lagere maximale waterstand. De richting van de stroming over de plaat is nu wel parallel aan de stroming in de geul georiënteerd. De stroming over de plaat wordt nu niet geforceerd door waterstandverschillen tussen de twee aangrenzende geulen. De verhoogde waterstand zorgt ervoor dat de stroming in de geulen minder sterk gestuurd wordt door de geuldimensies

De situatie met het broedeiland (rechter kolommen) tonen voor de op- en afstroomfase ongeveer dezelfde observaties als met het normale getij: het water stroomt om het eilandje heen en neemt lokaal licht toe in stroomsnelheid. Tijdens hoog water wordt het eiland overstroomd en neemt de stroomsnelheid hier sterker toe. De maximale stroomsnelheid is

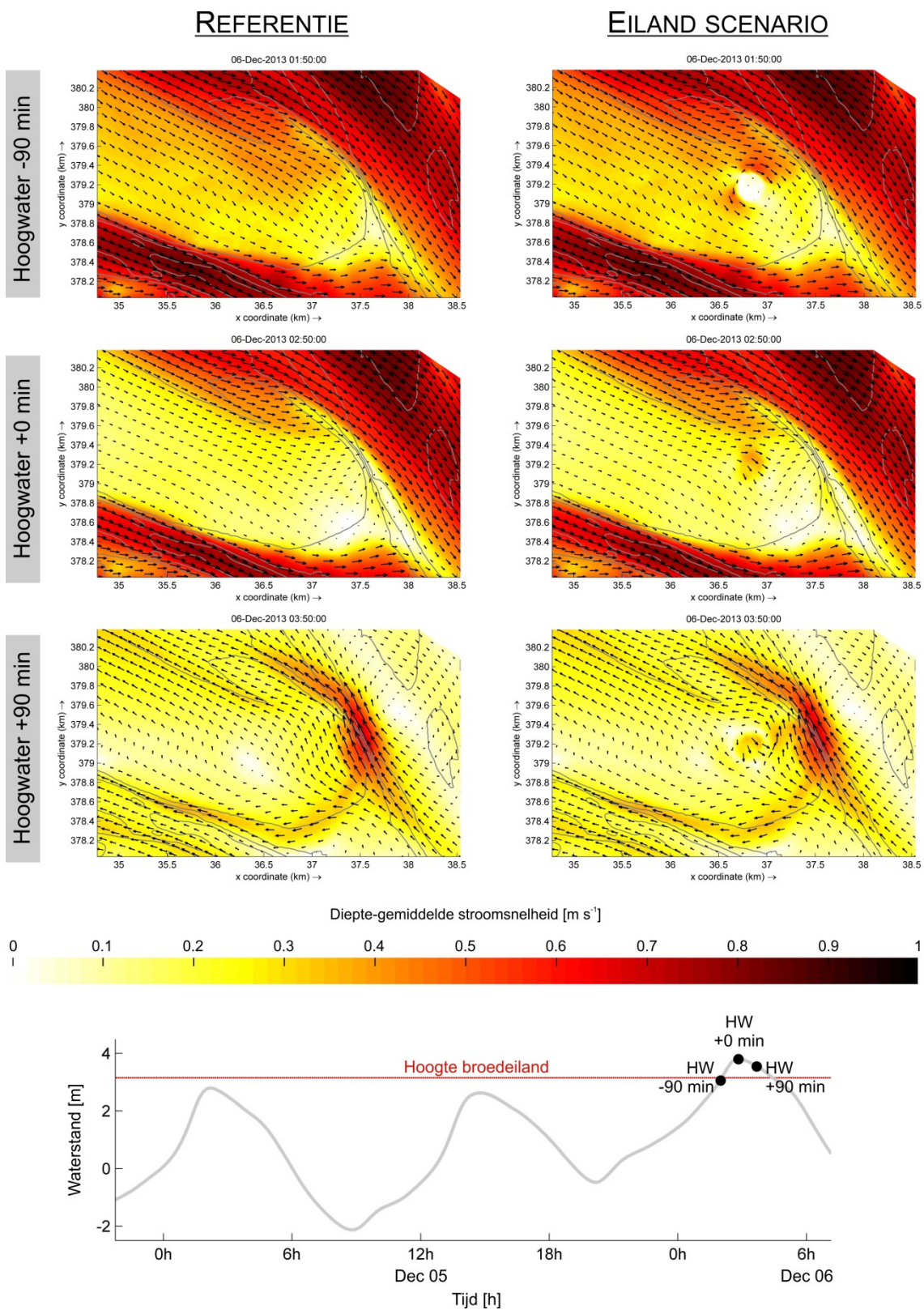
0,4 – 0,5 m/s, het is daarom te verwachten dat er enig zandtransport zal optreden op de top van het eiland tijdens stormcondities waarbij een waterstand bereikt wordt waarbij het eiland inundeert.

De verschillen tussen de referentiesituatie en het scenario met broedeiland worden beter zichtbaar wanneer er naar stromingsmaxima wordt gekeken. Figuur 4.9a en b tonen het maximum in stroomsnelheid voor iedere rekencel in een periode waarin het broedeiland niet inundeert (8 november tot 4 december 2013). Figuur 4.9c toont het verschil in stromingsmaxima voor de referentiesituatie en het scenario met broedeiland. De figuren verduidelijken het beeld dat er tijdens normale getijcondities alleen een lokale verhoging van de stroomsnelheid rondom het eiland plaatsvindt, met een verhoging van 0,1 – 0,2 m/s. De maximale stroomsnelheid die bereikt wordt in de situatie met broedeiland is ongeveer 0,3 – 0,4 m/s.

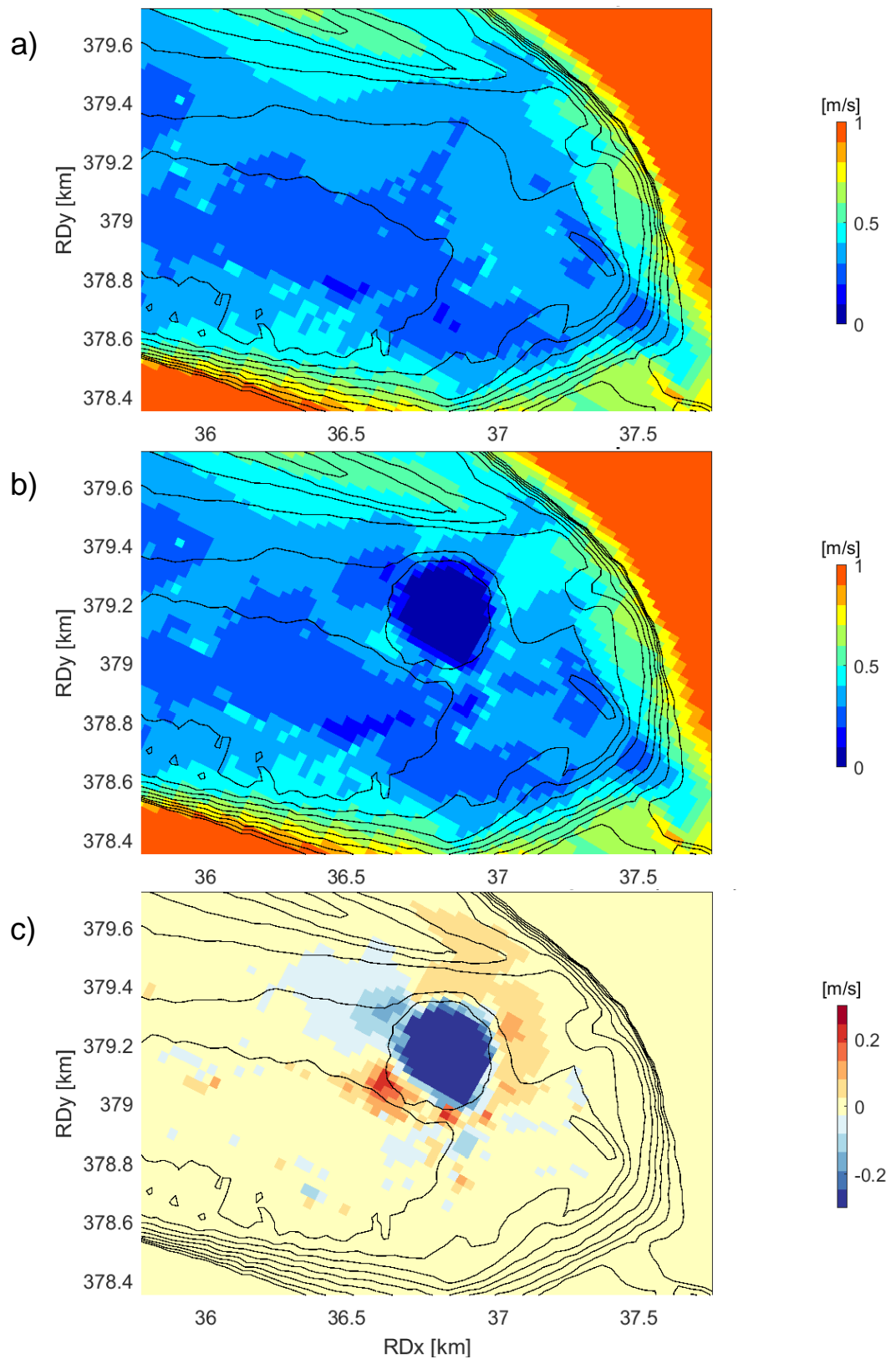
Figuur 4.10a, b en c tonen eveneens het maximum in stroomsnelheid en het verschil daarin, maar nu voor een korte periode dat het eiland wel overstroomt (5 en 6 december 2013). De figuren tonen dat de maximale stroomsnelheid over het eiland tijdens de gesimuleerde periode 0,2 – 0,3 meter per seconde bedraagt. Bij dergelijk lage stroomsnelheden is het niet te verwachten dat er veel netto zandtransport op de top van het eiland op zal treden. Toegenomen golfslag kan tijdens zulke condities wel veel sediment in suspensie brengen maar de netto verplaatsing van het sediment zal klein zijn.



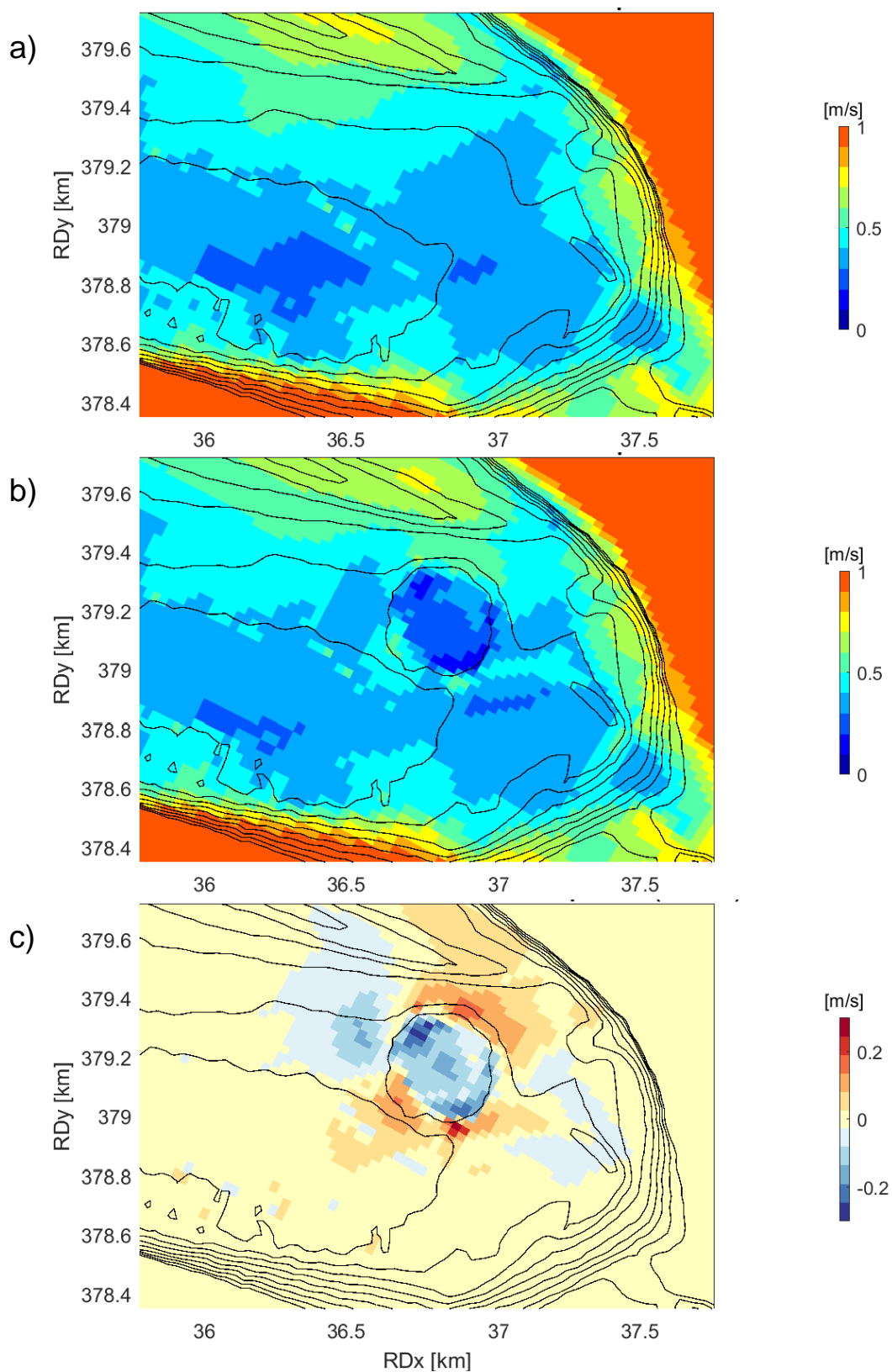
Figuur 4.7 Stromingsbeelden tijdens het getij op 5 december op tijdstipmomenten HW - 1,5 uur, HW en HW + 1,5 uur.



Figuur 4.8 Stromingsbeelden tijdens het (storm-)getij op 6 december op tijdsmomenten HW - 1,5 uur, HW en HW + 1,5 uur.



Figuur 4.9 Gemiddelde van de stromingsmaxima voor een periode waarbij het broedeiland niet overstroomt (8 november – 4 december 2013) voor de referentiesituatie (a), het scenario met broedeiland (b) en het verschil in grootte van de stromingsmaxima tussen het scenario en de referentie (c).



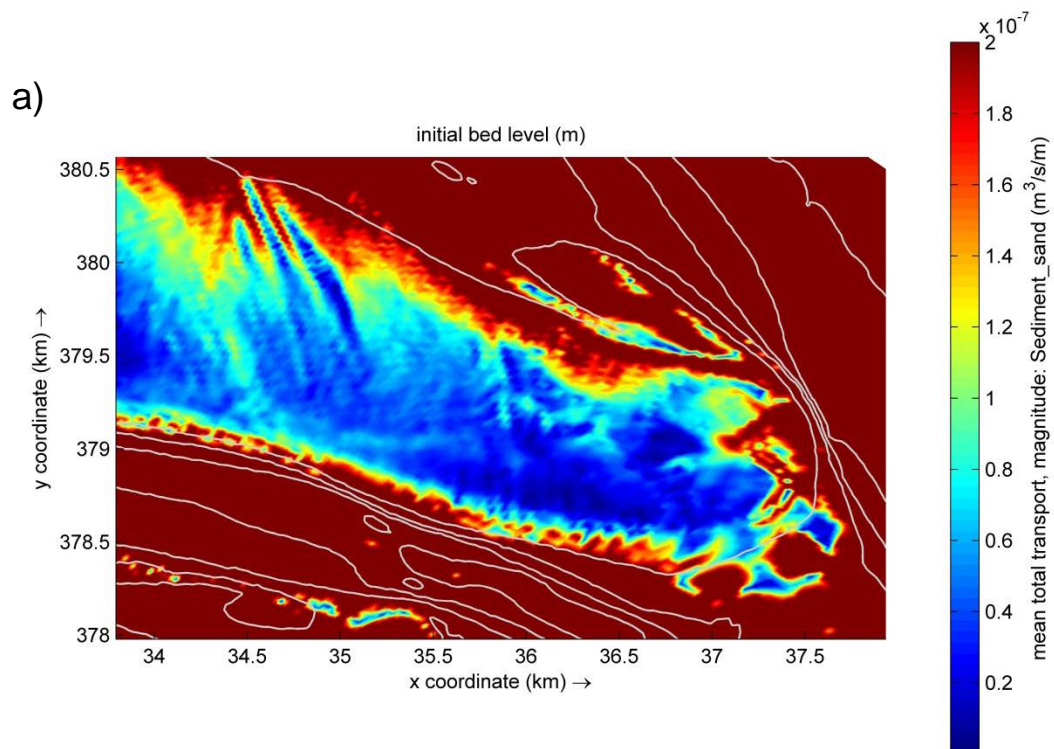
Figuur 4.10 Gemiddelde van de stromingsmaxima voor een periode waarbij het broedeiland wel overstroomt (5-7 december 2013) voor de referentiesituatie (a), het scenario met broedeiland (b) en het verschil in grootte van de stromingsmaxima tussen het scenario en de referentie (c).

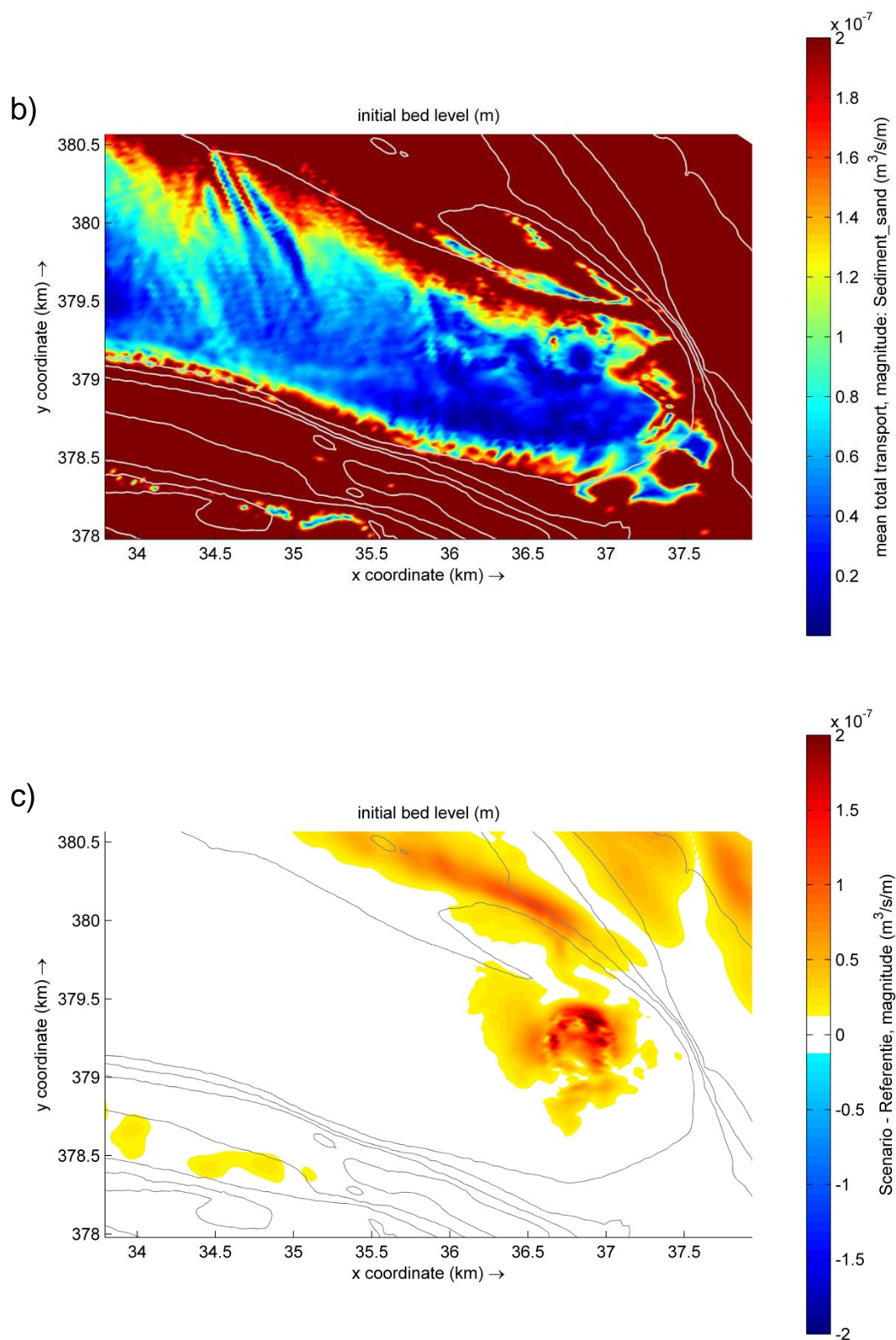
4.3.2 Sediment-transport

In Figuur 4.11a en b wordt het berekende residueel (netto) zandtransport weergegeven dat is opgetreden gedurende de gehele simulatie van twee maanden, de stormcondities tijdens 5 en 6 december zijn dus meegenomen in deze berekening. Het getoonde zandtransport is het totaal transport; de som van zandtransport dat over de bodem en in suspensie. Het berekende zandtransport is een gevolg van stroming en golfwerking (verhoogde bodemschuifspanning als gevolg van golven).

De figuren laten zien dat het zandtransport op de Hooge Springer klein is, in de orde van $0,1 - 0,2 * 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Dit komt overeen met ongeveer $0,4 - 0,8 \text{ dm}^3/\text{getij}/\text{m}$ maar zal door terugkoppelingsmechanismen door de bodemontwikkeling niet altijd dezelfde richting op bewegen.

Het verschil in zandtransport tussen het scenario en de referentiesituatie (Figuur 4.11c) laat zien dat de aanleg van het eiland een toename van zandtransport veroorzaakt rondom het eiland. De oorzaak hiervan is de toename in stroomsnelheid rondom het eiland. Aan de noordelijke rand van het eiland is de toename in zandtransport iets groter, tot $2 * 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Deze toename is waarschijnlijk te wijten aan de toegenomen stroming en golfslag tijdens de stormcondities gedurende 5 en 6 december 2013. Het zandtransport zal in de loop van de tijd verminderen doordat de morfologie zich aanpast naar een situatie die beter in overeenstemming is met de heersende hydrodynamische condities (evenwichtssituatie).





Figuur 4.11 Residueel totaal (bodem en suspensief) zandtransport op de Hooge Springer voor de referentiesituatie (a), het scenario met broedeiland (b) en het verschil (c).

4.3.3 Morfologie

In Figuur 4.12 zijn de bodemveranderingen weergegeven die zijn opgetreden gedurende de aparte set met simulaties waar bij morfologische ontwikkeling (bodemverandering) als gevolg van het opgetreden zandtransport zijn gesimuleerd. Terugkoppelingsmechanismen tussen waterbeweging, sediment-transport en bodemverandering wordt in deze set aan simulaties dus wel meegenomen. Een rode kleur in de figuur geeft netto sedimentatie (bodemverhoging) weer, een blauwe kleur netto erosie (bodemverlaging). De figuur laat zien dat de noordoostelijke rand van de Hooge Springer erodeert, een ontwikkeling die al enkele decennia bezig is (zie Hoofdstuk 3.2.1). De voortzetting van deze trend door het morfologische model versterkt het vertrouwen dat het model de juist morfologische ontwikkeling kan nabootsen.

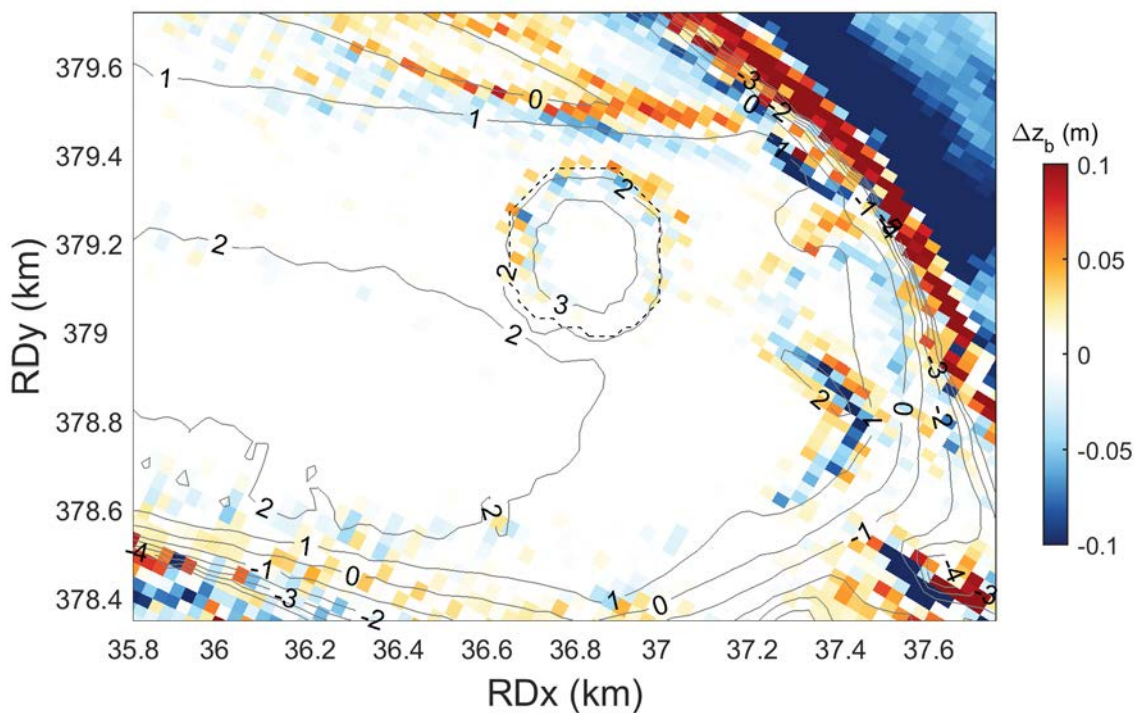
Ter plaatse van de aangelegde broedlocatie zijn er hoofdzakelijk bodemveranderingen op te merken aan de noordelijke rand. De veranderingen in bodemhoogte zijn klein en het betreft voornamelijk sedimentatie. Bodemveranderingen die kleiner zijn dan ~3 cm vallen weg binnen de witte arcering van de kleurenbalk.

Een duidelijker beeld van de morfologische ontwikkeling wordt verkregen wanneer de volumeontwikkeling van de broedlocatie wordt beschouwd. De volume afname van de broedlocatie is berekend door de volumeontwikkeling van de rekencellen te beschouwen die binnen de gestippelde polygoon in Figuur 4.12 vallen. De polygoon omsluit de footprint van de broedlocatie en is dus 11,88 ha groot.

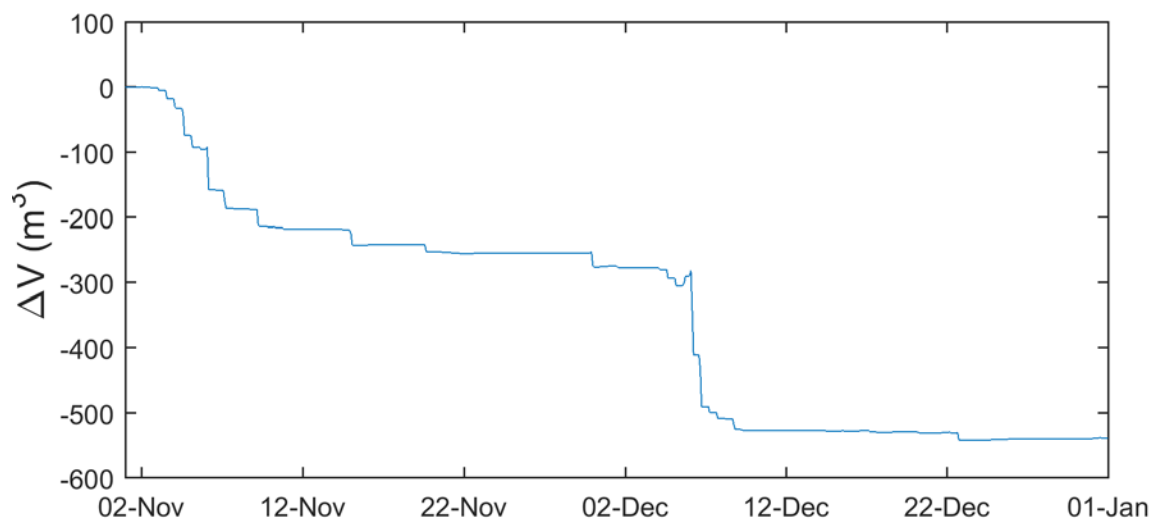
De volume-afname van de broedlocatie onder de invloed van het getij en golven (Figuur 4.13) is duidelijk 'event-driven'. Er treedt weinig erosie op voor langere perioden van dagen tot twee weken. Er vindt voornamelijk erosie plaats rond 4-5 november en tijdens de storm op 5-6 december. Vergelijking met Figuur 4.5 leert dat deze perioden overeen komen met verhoogde waterstand, als gevolg van springtijcondities of wind gedreven opzet (in combinatie met springtij). De grootste afname in volume vindt plaats tijdens de storm van 5 en 6 december, deze is ongeveer 250 m³. De volumetoename voorafgaand aan deze periode is toe te schrijven aan de sedimentatie aan de noordrand van het eiland (Figuur 4.12). De totale afname in volume is ongeveer 550 m³ (~0,5%) in een periode van twee maanden.

De functie van het broedeiland is echter voornamelijk afhankelijk van het de hoogte van het broedeiland, en de ontwikkeling van de hoogte. Dit is weergegeven in Figuur 4.14 als de ontwikkeling van de gemiddelde hoogte van alle rekencellen die binnen de polygoon van de top van het broedeiland vallen. De figuur toont duidelijk dat er geen noemenswaardige verlaging van de broedlocatie optreedt tijdens de twee gesimuleerde maanden. Ook tijdens de Sinterklaasstorm op 5-6 december is de verlaging marginaal. Erosie vindt dus in deze twee maanden alleen aan de randen (talud) van het eiland plaats.

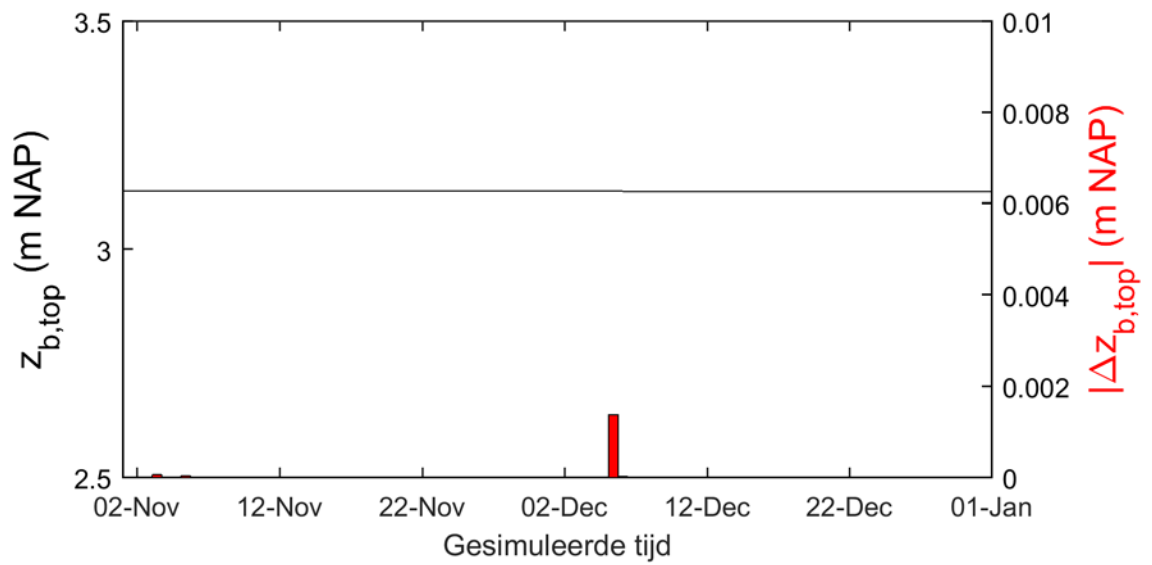
Hoewel een dergelijke korte termijn morfologische simulatie niet direct geëxtrapoleerd mag worden naar de lange termijn kan er wel gesteld worden dat het eiland vrij stabiel is tijdens normale condities. Enige afslag van het talud van de broedlocatie kan wel verwacht worden tijdens springtijcondities maar voornamelijk tijdens verhoogde waterstand als gevolg van windopzet (stormcondities).



Figuur 4.12 Erosie-sedimentatie van de morfologische simulatie. Gestippelde lijn geeft de contour van het eiland weer.



Figuur 4.13 Volume-ontwikkeling binnen de polygoon van de footprint van het broedeiland.



Figuur 4.14 Ontwikkeling van de gemiddelde hoogte van alle rekencellen die binnen de polygoon van de top van het eiland vallen.

5 Conclusies

Op korte termijn ontstaat er een tekort aan geschikte broedgebieden in het Deltagebied. Er zijn daarom plannen om maatregelen te nemen die voorzien in voldoende broedgelegenheid voor de komende jaren. Deze plannen omvatten het creëren van eilandsituaties op hogere platen in de Deltawateren. In deze morfologische haalbaarheidsstudie is het creëren van zulke eilandsituaties op hogere gedeelten van platen in de Westerschelde onderzocht.

De doelstelling van de studie is: *‘onderzoeken of de aanleg van broedlocaties op hoog gelegen platen in de Westerschelde mogelijk is vanuit een morfologisch uitgangspunt’*. De pilotlocatie Hooge Springer wordt daarbij gebruikt om de aanleg, het afbreukrisico (effect op de omgeving) en de verwachte morfologische ontwikkeling van de aanleg van een eiland te onderzoeken.

De conclusies van de studie zullen hieronder apart behandeld worden voor de principiestudie en de pilotstudie op de locatie Hooge Springer.

5.1 Principiestudie

1. *Wat is de doelstelling voor een broedlocatie op een hoge plaat in de Westerschelde en wat zijn de specificaties in termen van locatie, hoogte, sediment-samenstelling en ontwikkelingsrichting zodat aan de doelstelling van het eiland wordt voldaan?*

De doelstelling voor een broedlocatie op een hoge plaat in de Westerschelde is: *‘een broedlocatie te ontwerpen en in te richten die geschikt is voor pionierssoorten (< 30% vegetatie, kale zandbodem met schelpen) en die zich daarna ontwikkelt zodat ook broedgebied ontstaat voor soorten die een habitat verkiezen dat verder in de vegetatiesuccessie zit’*.

De specificaties voor de aanleg van een broedlocatie zijn:

1. De hoogte van het broedeiland moet bij aanleg:
 - a. Hoog genoeg zijn zodat het eiland gedurende het broedseizoen (april-juli) bij normale omstandigheden niet overstroomt;
 - b. Laag genoeg zijn zodat er wel overstroming buiten het broedseizoen plaats vindt en daarmee de pionierssituatie voor een periode van ongeveer zes jaar wordt ondersteund.
2. Het areaal permanent droog broedeiland moet bij aanleg tussen de 3 en 6 hectare bedragen.
3. Het eiland moet aangelegd worden met behulp van natuurlijk substraat (zand en schelpen).
4. Het eiland moet zo aangelegd worden dat het, ondanks de bedekking van waardevol habitat op de locatie van het eiland, een minimale impact heeft op aanliggende N2000 habitats en het foerageergebied van N2000 vogelsoorten.

2. *Is het vanuit morfologisch uitgangspunt haalbaar om broedeilanden te creëren op hogere platen in de Westerschelde?*

a. *Welke locaties op de platen in de Westerschelde zijn in principe geschikt voor het creëren van broedeilanden?*

De hoog gelegen delen van de platen in de Westerschelde lijken kansrijk om broedlocaties te creëren. De exacte locatie is echter sterk afhankelijk van lokale omgevingsfactoren en moet voor een aan te leggen broedlocatie onderzocht worden. De aspecten om rekening mee te houden zijn:

- De morfologische dynamiek op de schaal van individuele platen en geulen;
- De bodemhoogte en historische trends daarin;
- De verspreiding van ecotopen over de plaat.

b. *Hoe kan de broedlocatie het beste worden aangelegd met betrekking tot hoogte en oppervlakte?*

De aanleghoogte wordt gedefinieerd door de specificaties. Deze moet zich in een hoogte-interval bevinden dat overstroming tijdens het broedseizoen voorkomt, maar voorziet in overstroming buiten het broedseizoen. De broedlocatie moet zo ontworpen worden dat er 3-6 ha permanent droog broedareaal gerealiseerd wordt.

c. *Wat is een geschikte sedimentsamenstelling voor de aanleg van de broedlocaties? Is klei geschikt en in welke verhouding ten opzichte van zand?*

Een broedeiland dient aangelegd te worden met zand. Klei opspuiten op de platen past niet binnen het huidige morfologische beheer van de Westerschelde en lijkt daarom ongunstig. De effecten van een dergelijke ingreep zijn echter niet bekend.

d. *Wat is de te verwachten morfologische ontwikkeling van een broedeiland?*

- i. *Wat is het effect van getijstrooming, golfslag en eolisch transport?*
- ii. *Is het benodigd de eilanden vast te leggen met hard substraat (schelpen) of vegetatie (biestarwegras of helmgras) om de eilanden erosiebestendiger te maken?*

Tijdens stormcondities is er afslag van de randen van het broedeiland te verwachten als gevolg van getijstrooming en golfslag. Het effect varieert echter sterk in het estuarium en dient daarom voor een individuele broedlocatie onderzocht te worden. Een numeriek model kan hierbij helpen. De wind zal voornamelijk vat hebben op de drogere randen van de broedlocatie. Het is echter de verwachting dat eolisch transport beperkt is vanwege de relatief lage ligging van de broedlocatie ten opzichte van het waterniveau.

Het aanbrengen van schelpen kan de eolische ontwikkeling limiteren in de periode na aanleg. Ontwikkeling van vegetatie zal vrij snel voor verdere stabilisatie van het broedeiland zorgen.

- e. *Zijn er nadelige effecten te verwachten bij de aanleg van een eiland met betrekking tot scheepvaarttoegankelijkheid en N2000 habitats?*

Eventuele nadelige effecten zijn afhankelijk van het effect van het broedeiland op de hydrodynamica. Omdat de dominante hydrodynamische processen sterk variëren in het estuarium dient dit per aan te leggen broedlocatie onderzocht te worden.

5.2 Pilotstudie Hooge Springer

De pilotstudie Hooge Springer is uitgevoerd om uit te zoeken hoe de 'randvoorwaarden voor de aanleg van broedeilanden' zijn toe te passen op een locatie specifieke studie. Onderzoeksvraag drie wordt behandeld door de antwoorden op vraag 2 specifiek toe te spitsen op de locatie Hooge Springer. Onderzoeksvragen die niet locatie specifiek zijn, worden niet behandeld.

1. *Welke locaties op de Hooge Springer zijn het meest geschikt om een broedeiland aan te leggen gegeven de doelstelling?*

De geschiktheidskaart die is opgesteld (Figuur 3.7) geeft aan welke locaties in principe geschikt zijn voor de aanleg. De oostelijke kant is de voorkeurslocatie omdat deze dicht gelegen is bij het potentiële foerageergebied van de kleine dwergstern.

2. *Hoe kan de broedlocatie het beste worden aangelegd met betrekking tot hoogte en oppervlakte?*

De locatie moet zo ontworpen worden dat de top van het eiland binnen het hoogte-interval 3,05 – 3,18 m NAP ligt. Er wordt voor de locatie Hooge Springer ~5 ha droog broedareaal beoogd.

3. *Wat is de te verwachten morfologische ontwikkeling van een broedeiland?*

Het broedeiland zal als gevolg van getijstroming en golfslag aan de randen (het talud) eroderen tijdens perioden van verhoogde waterstand (door springtij gecombineerd met windopzet). De modelsimulaties geven aan dat de broedlocatie stabiel is tijdens normale condities en er lichte erosie optreedt tijdens een hevige storm. Op basis van de modelresultaten is het te verwachten dat het eiland tot zeker enkele jaren in zijn functie kan voldoen.

4. *Zijn er nadelige effecten te verwachten bij de aanleg van een eiland met betrekking tot scheepvaarttoegankelijkheid en N2000 habitats?*

De aanleg van het broedeiland op de gekozen locatie zorgt voor een zeer lokale toename van de maximale stroomsnelheid (0,1 – 0,2 m/s). Er is dus geen effect van het eiland in de geulen te verwachten en daarmee geen afbreukrisico met betrekking tot de scheepvaarttoegankelijkheid. De piekstroming rond het eiland neemt door de toename in maximale stroomsnelheid toe tot maximaal 0,4 m/s. Het criterium voor hoog- of laagdynamisch wordt niet overschreven, het afbreukrisico op aanliggende kwalificerende N2000 habitats is daarom klein.

6 Referenties

Castelijns, W., Jacobusse, C., Arts, F., Hoekstein, M., Liliplay, S., Straalen, D. van, & Wijnants, L. (2017). 7 Eilandenplan.

Cleveringa, J. (2013). LTV - Veiligheid en Toegankelijkheid. Ontwikkeling mesoschaal Westerschelde (factsheets). Basisrapport kleinschalige ontwikkeling K-16.

Natura 2000 Deltawateren, ontwerpbeheerplan 2015-2021. 2015. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat, 2013. Kenmerkende waarden. Getijgebied 2011.0. Rijkswaterstaat – Centrale Informatievoorziening.

Rijkswaterstaat, 2016. Toelichting op de zoute ecotopenkaart Westerschelde 2015. Biologische monitoring zoute rijkswateren. Rijkswaterstaat – Centrale Informatievoorziening.

Van Rijn, L.C., 2007a. Unified view of sediment transport by currents and waves, I: Initiation of motion, bed roughness, and bed-load transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6): 649-667.

Van Rijn, L.C., 2007b. Unified view of sediment transport by currents and waves, II: Suspended transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6): 668-389.

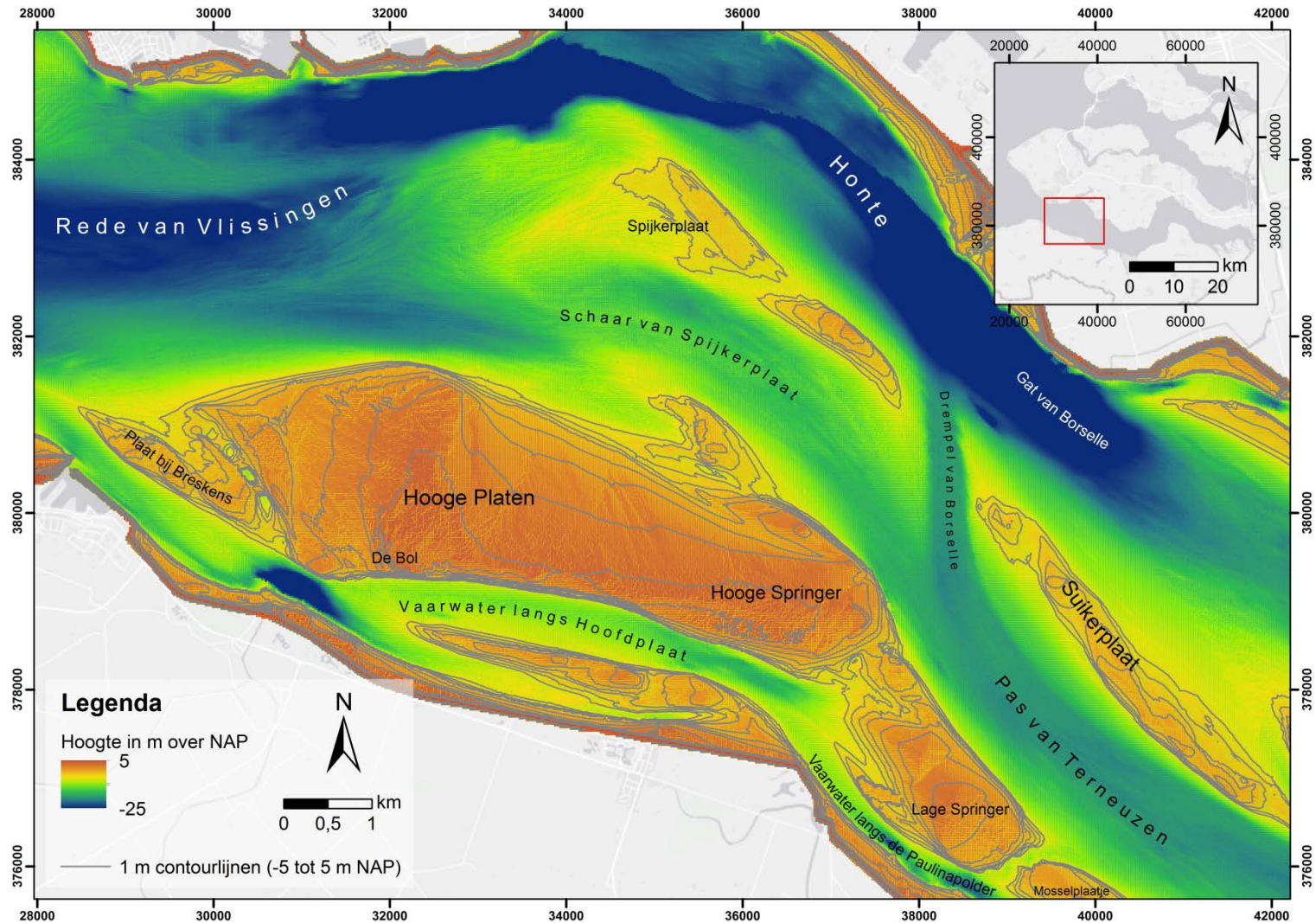
Van der Werf, J., Boersema, M. Bouma, T., Schrijvershof, R.A., Stronkhorst, J., De Vet, L., Ysebaert, T., 2016. Definitief ontwerp Roggenplaatsuppletie. Centre of Expertise Delta Technology.

Schrijvershof, R.A., 2017. Aanbeveling sedimentsamenstelling broedvogeleilanden. Deltares memo 11200862-000.

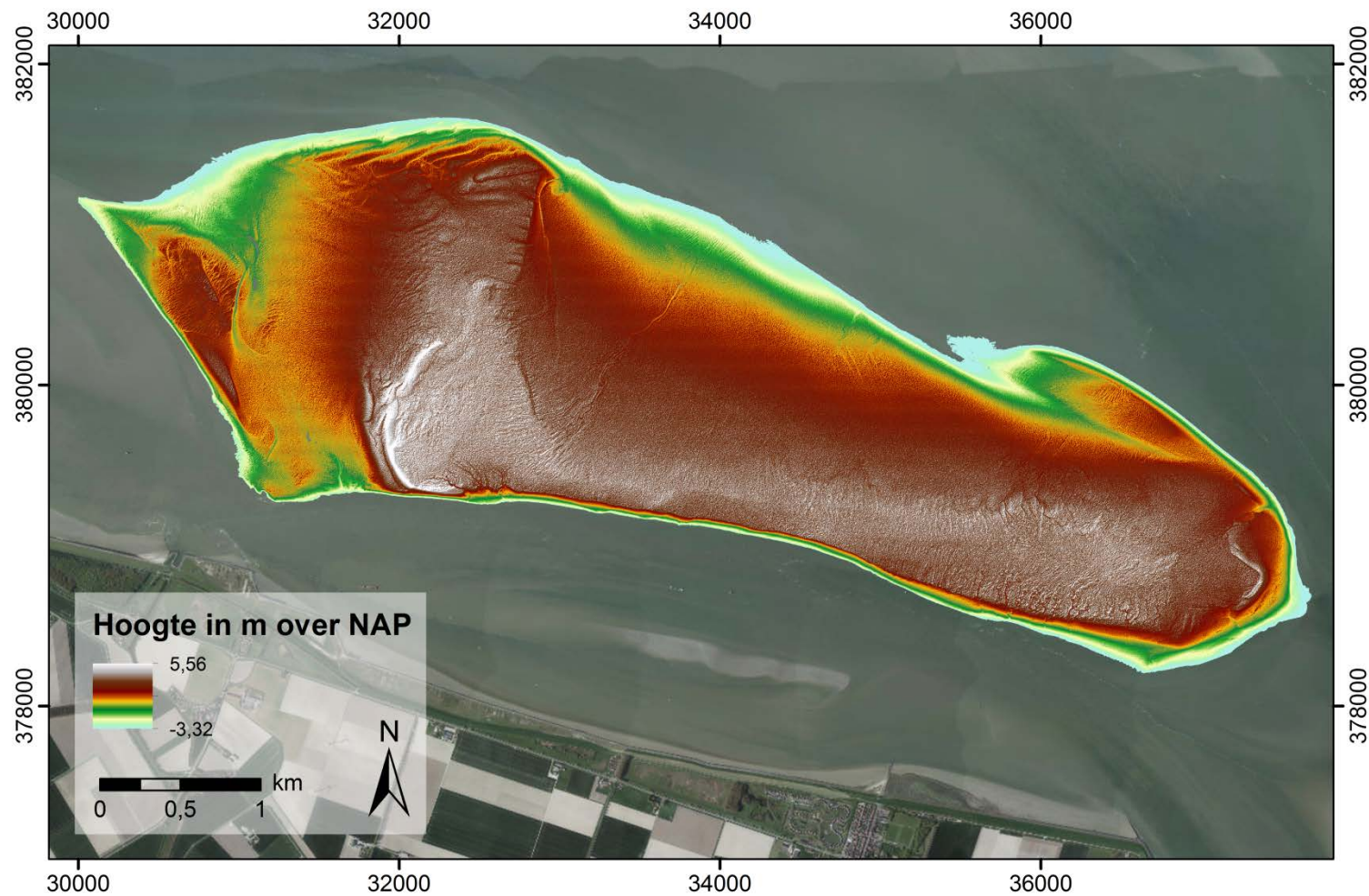
Vroom, J., van Maren, B., van der Werf, J., & van Rooijen, A. (2016). Zand-slib modellering voor het mondingsgebied van het Schelde-estuarium.

Winterwerp, J. C., Wang, Z. B., Stive, M. J. F., Arends, A., Jeuken, C., Kuijper, C., & Thoolen, P. M. C. (2001). A new morphological schematization of the Western Scheldt estuary, *The Netherlands*, 6, 1–10.

A Overzichtskaarten



Figuur A.1 Overzichtsk kaart van de topo-bathymetrische situering in 2014 nabij het platen complex Hooge Platen in het westen van de Westerschelde.



Figuur A.2 Hoogtekaart van de Hooge Platen.