



Monitoring en Evaluatie Pilot Zandmotor Fase 2 – Ecotopenkaarten vooroever en getijdenstrand 2010 - 2015

J.W.M. Wijsman¹, Marijn Tangelder¹, Pieter Visser² en Roderik Hoekstra²

¹IMARES

²Deltares

1205045-000

Titel
 Monitoring en Evaluatie Pilot Zandmotor Fase 2

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	Deltares 1205045-000 IMARES 4303103201	Deltares 1205045-000- ZKS-0118 IMARES Rapport C034/16	35

Samenvatting

Dit rapport presenteert een eerste aanzet voor de ontwikkeling van ecotopenkaarten voor de vooroever en het intergetijdenstrand van de Zandmotor over de jaren 2010 tot en met 2015. In de ecotopenclassificatie worden de abiotische parameters droogvalduur, bodemschuifspanning en getijdenstroming gecombineerd tot 11 ecotopen, waarvan 4 in de vooroever, 6 op het natte strand en 1 op het droge strand.

De aanleg van de Zandmotor heeft een duidelijk effect op de arealen en verspreiding van de ecotopen. Vooral de beschutte ecotopen (beschut water en strand) zijn geïntroduceerd/toegenomen door de aanleg van de Zandmotor met zijn beschutte lagune. Dit heeft geleid tot een gebied waar een hoge dichtheid en diversiteit aan bodemdieren worden aangetroffen en waar vogels kunnen foerageren. Aan de noord- en zuidzijde van de Zandmotor waar aanzanding plaatsvindt, is het areaal geëxponeerd strand toegenomen, vooral in het hoge en middengebiet.

De klassegrenzen die in deze ecotopenclassificatie zijn gehanteerd zijn voor een groot deel arbitrair en zouden in een aanvullend onderzoek dienen te worden gevalideerd met bodemdiergegevens, en eventueel worden bijgesteld. Tevens zou sedimentsamenstelling meegenomen kunnen worden in de classificatie.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Augustus 2016	dr. ir. J.W.M. Wijsman (IMARES)		prof. dr. P.M.J. Herman		drs. F.M.J. Hoozemans	
		Ir. R. Hoekstra		dr. ir. M.J. Baptist (IMARES)		drs. J. Asjes (IMARES)	

Status
 definitief

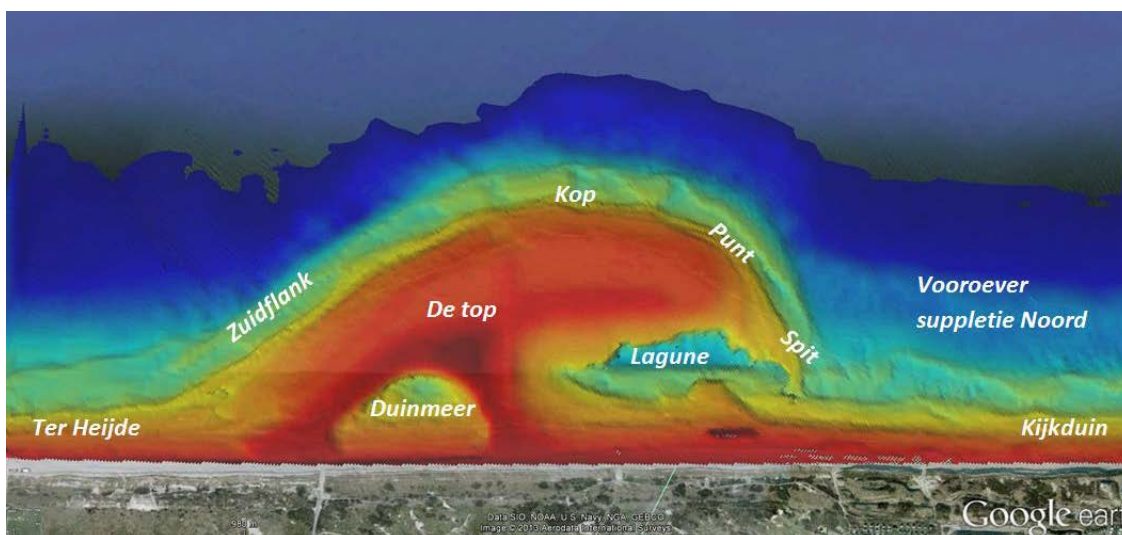
Inhoud

1 Inleiding	4
1.1 Achtergrond	4
1.2 Doelstelling	6
2 Methodologie	7
2.1 Ontwikkeling van een ecotopen classificatie	7
2.2 Weercondities september	8
2.3 Modelberekeningen	9
2.4 Dieptekaarten	13
2.5 Droogvalduur	16
2.6 Ecotopenclassificatie	20
3 Resultaten	22
4 Conclusie en vervolg	25
4.1 Conclusie	25
4.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	25
4.2.1 Parameters in de classificatie	25
4.2.2 Sedimentsamenstelling	27
4.2.3 Hydrodynamica	27
4.2.4 Validatie ecotopenkaarten	28
5 Kwaliteitsborging	29
6 Referenties	30
Bijlage A. Achtergrondkaarten	32
Bijlage B. Detail ecotopenkaarten	34
Bijlage C. Arealen ecotopen	35

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Tussen maart en oktober 2011 is in opdracht van Rijkswaterstaat en de Provincie Zuid-Holland een grootschalige strandsuppletie aangelegd tussen Ter Heijde en Kijkduin, de Zandmotor (Figuur 1). De Zandmotor is een schiereiland in de vorm van een haak. Bij aanleg stak de Zandmotor 1,5 km de zee in en was hij aan het strand 2 km breed. Voor de aanleg is ongeveer 21,5 miljoen m³ (volumes in de beun) zand gebruikt, waarvan 19 miljoen m³ is gebruikt voor de aanleg van de haak en de rest voor additionele vooroeversuppleties ten noorden en ten zuiden van de zandhaak. De Zandmotor is het eerste experiment met een zogenaamde megasuppletie.



Figuur 1: Benaming deelgebieden op de Zandmotor (Shore, 2013).

Op basis van modellen is voorspeld dat de Zandmotor langzaam erodeert door wind, golven en getijdenbeweging en dat het zand de kustlijn ten noorden van de Zandmotor versterkt (Fiselier, 2010; Stive e.a., 2013a; Stive e.a., 2013b). De Zandmotor is een alternatief voor de strand en vooroeversuppleties die iedere 4-5 jaar dienen te worden herhaald binnen een bepaald kustvak. Het eenmalig aanbrengen van een grote hoeveelheid zand is goedkoper (per m³) dan het herhaaldelijk aanbrengen van kleinere hoeveelheden zoals gebeurt bij de reguliere vooroevers- en strandsuppleties. De vorm van de megasuppletie Zandmotor heeft mogelijk ook effect op de verspreiding en diversificatie van de verschillende habitats¹ waarin de soorten leven, zoals de beschutte lagune, de eroderende kop en de aanzandende spit, hetgeen zich kan uiteten in de flora en fauna.

Met het concept van een Zandmotor was nog niet eerder ervaring opgedaan. Het project Monitoring en Evaluatie Zandmotor is opgestart om de ontwikkelingen op en rond de Zandmotor te volgen en hier kennis en ervaring uit op te doen. Uitgangspunt van de monitoring zijn de vier hoofddoelstellingen en de beheerdoelstelling van de Zandmotor zoals geformuleerd in het MER (Fiselier, 2010):

¹ Een habitat is de fysieke leefomgeving van een bepaalde soort of gemeenschap.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

- MER 1: Het stimuleren van natuurlijke duinaangroei in het kustgebied tussen Hoek van Holland en Scheveningen voor veiligheid, natuur en recreatie;
- MER 2: Het ontwikkelen van kennis en innovatie om de vraag te beantwoorden in welke mate kustonderhoud meerwaarde voor recreatie en natuur kan opleveren;
- MER 3: Het toevoegen van aantrekkelijk recreatie- en natuurgebied aan de Delflandse Kust.
- MER 4: Het vergaren van voldoende en adequate informatie om de Zandmotor en omgeving op een goede wijze te kunnen beheren.

De Zandmotor kan op verschillende manieren effect hebben op de natuur van het strand en de vooroever. De verwachting is dat een Zandmotor een levensduur heeft van 20 jaar (Stive e.a., 2013a; Stive e.a., 2013b). Dat betekent dat bij kustsuppleties met een Zandmotor over een relatief klein oppervlak (1 - 2 km²) de zeebodem en de daarin levende bodemdiergemeenschap iedere 20 jaar bedekt zal worden met een dikke laag zand. De bodemdiergemeenschap op de Zandmotor heeft vervolgens 20 jaar de tijd om zich te herstellen. Het ruimere gebied rondom de Zandmotor zal geleidelijk worden voorzien met zand dat erodeert van de Zandmotor. Aangenomen wordt dat het ecosysteem van de dynamische brekerbankzone relatief weinig nadelige effecten ondervindt van deze geleidelijke bedekking met zand. Bij reguliere vooroever- en strandsuppleties wordt de zeebodem en de daarin levende bodembodemdiergemeenschap iedere 4-5 jaar met een meters dikke laag sediment bedekt, en heeft dus minder tijd om zich te herstellen van de suppletie. De verwachting is dat deze innovatieve vorm van kustsuppletie met een lagere frequentie van verstoring betere kansen geeft voor langlevende soorten.

Daarnaast is de verwachting dat de vorm van de Zandmotor leidt tot een grotere diversiteit in habitats (stroomsnelheid, golfenergie en sedimentsamenstelling) dan normaliter voorkomt in het gebied. Dit kan een effect hebben op de ruimtelijke verdeling van de bodemdiergemeenschap en op het aantal soorten in de kustzone rondom de Zandmotor. Bodemdieren langs de kust zijn een belangrijke voedselbron voor hogere trofische niveaus (vogels en voornamelijk juveniele vissen) en daarmee kunnen effecten van de Zandmotor op de bodemdiergemeenschap (samenstelling en biomassa) ook effect hebben op de hogere trofische niveaus.

Om te komen tot een monitoringprogramma, zijn de doelen en beheerdoelstellingen vertaald naar hypothesen en evaluatievragen (Ebbens en Fiselier, 2010). Deze zijn vervolgens omgezet in concrete informatiebehoefte waarbij meetmethodiek, indicatoren, periode, meetfrequentie en afbakening van het studiegebied nader zijn omschreven (Tonnon e.a., 2011). De opzet van het huidige monitoring- en evaluatieprogramma is uitgebreid beschreven in het Uitvoeringsprogramma Monitoring en Evaluatie Pilot Zandmotor (Tonnon e.a., 2011). In dit document is het monitoringsplan en de evaluatiesystematiek beschreven voor de Pilot Zandmotor voor de periode 2011 tot en met 2021. De evaluatiesystematiek is gericht op het evalueren van de MER doelen en de beheerdoelstellingen van de Zandmotor en het kunnen voldoen aan de vergunningsvoorwaarden betreffende het aanleveren van monitoringgegevens.

Globaal is het project monitoring en evaluatie pilot Zandmotor opgesplitst in twee onderdelen: (1) duinen en (2) strand en vooroever. Het consortium onder leiding van Witteveen en Bos richtte zich op de veranderingen in morfologie, vegetatie en fauna van de duinen. Het consortium van Deltares en IMARES richtte zich op het monitoren van het strand en de vooroever van de Zandmotor. Deltares is daarbij verantwoordelijk voor de abiotiek

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

(morfologie, hydrologie) en het databeheer en de integratie. IMARES is verantwoordelijk voor de biotiek (bodemdieren, vissen, vogels en zeezoogdieren).

De relevante hypothesen behorende bij de ecologische MER doelen op het strand en de ondiepe kustzone zijn de volgende (Tonnon e.a., 2011):

MER doel 2:

- Hypothese EF2-2a: De aanleg van de Zandmotor zal leiden tot een verandering in de gradiënten in sedimentsamenstelling.
- Hypothese EF2-2b: Het eenmalig neerleggen van een grote hoeveelheid zand leidt tot een andere bodemdiersamenstelling in de ondiepe kustzone die wordt gekarakteriseerd door langer levende soorten.

MER doel 3:

- Hypothese EF3-1b1: Als gevolg van de aanwezigheid van luwe (lagune) en geëxponeerde gebieden (zeezijde) zal de zandhaak zich karakteriseren door een diversiteit in sedimentsamenstelling.
- Hypothese EF3-1b2: De aanleg van de Zandmotor zal leiden tot hogere natuurwaarden in het intergetijdengebied en de ondiepe kustzone als gevolg van de creatie van nieuwe habitats en toegenomen variatie in habitats.
- Hypothese EF3-1b3: De sterke gradiënten (geëxponeerd strand en luwe lagune) als gevolg van de aanleg van de Zandmotor zullen zich vertalen in een andere en meer diverse bodemdiergemeenschap.

1.2 Doelstelling

Dit rapport richt zich voornamelijk op hypothese EF3-1b2, waarbij uitsluitend wordt gekeken naar de variatie in habitats. Hiertoe is een eerste aanzet voor een ecotopenclassificatie gemaakt die recht doet aan de verschillende gebieden op en rond de Zandmotor. De veranderingen in arealen en ligging van deze ecotopen kunnen worden gebruikt als indicator voor de veranderingen in natuurwaarden als gevolg van de Zandmotor. Vanwege de beperkte middelen die voor dit onderdeel beschikbaar waren is deze studie slechts een eerste verkennende studie. In een vervolgonderzoek zou de ecotopenclassificatie kunnen worden geoptimaliseerd en gevalideerd met gegevens van bodemdiersamenstelling die zijn verzameld in het gebied in het kader van het monitoring- en evaluatieproject (Wijsman en Verduin, 2010; Wijsman e.a., 2015; Wijsman, 2016).

2 Methodologie

2.1 Ontwikkeling van een ecotopen classificatie

Ecotopen zijn ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden, waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse. Een ecotoop is een herkenbare, min of meer homogene landschappelijke eenheid. Een ecotopenstelsel is een classificatiesysteem van ecotopen waarin de van belang zijnde ecotopen in een gebied (watersysteem) op overzichtelijke wijze gerangschikt zijn. Kenmerkend voor een ecotopenstelsel is dat de indelingskenmerken van het stelsel zijn gekoppeld aan beleids- en beheermaatregelen (Bouma e.a., 2005).

Voor de zoute wateren in Nederland is het ZES (Zoute wateren Ecotopen Stelsel) (Wijsman en Verhage, 2004; Bouma e.a., 2005) een veelgebruikte ecotopenclassificatie. De ZES ecotopenclassificatie is gebaseerd op parameters als zoutgehalte, diepte, overspoelingsduur, hydrodynamiek en sedimentsamenstelling. Dit zijn parameters die vooral in gebieden als de bekkens in de Zuidwestelijke Delta en in de Waddenzee sterk variëren. Voor het gebied op en rond de Zandmotor is het ZES ecotopenstelsel niet geschikt omdat er te weinig variatie is in de meeste parameters binnen het onderzoeksgebied.

Om de effecten van de Zandmotor in kaart te kunnen brengen zou er een ecotopenclassificatie dienen te worden opgesteld op basis van parameters die ruimtelijk variëren en worden beïnvloed door de ligging van de Zandmotor. Tevens zouden er gebiedsdekkende kaarten van deze parameters beschikbaar moeten zijn.

In deze studie is een eerste aanzet tot een ecotopenclassificatie gemaakt die is gebaseerd op de volgende parameters:

1. Droogvalduur
2. Gemiddelde bodemschuifspanning
3. Gemiddelde stroomsnelheid

De eerste parameter is berekend uit de dieptekaart, gebruikmakend van de modelberekeningen van de waterstanden. De gemiddelde bodemschuifspanning en stroomsnelheid zijn uitvoer van hydrodynamische modelberekeningen. Sedimentsamenstelling (slibfractie, mediane korrelgrootte) is een parameter die ook vaak gebruikt wordt in ecotopenkaarten en waarschijnlijk ook een rol speelt bij de Zandmotor. Er zijn een groot aantal sedimentmonsters bij de Zandmotor genomen over de jaren heen (Sirks, 2013; Wijsman, 2016), maar voor veel jaren deze dienen nog te worden opgewerkt tot gebiedsdekkende kaarten (Van der Zwaag, 2014a; b). Zodra de gebiedsdekkende kaarten voor alle jaren beschikbaar zijn zouden deze ook kunnen worden opgenomen in de ecotopenindeling van de Zandmotor.

Er zijn ecotopenkaarten gemaakt voor de jaren 2010 tot en met 2015. Om de ecotopenkaarten voor de verschillende jaren (2010 tot en met 2015) te construeren is er gebruik gemaakt van dieptemetingen en gemodelleerde stroomsnelheden en bodemschuifspanning uitgevoerd met Delft-3D. Modelberekeningen zijn sterk afhankelijk van de weerscondities die van jaar tot jaar en door het seizoen heen sterk variëren. Om het effect van de vorm van de Zandmotor, en niet van de jaarlijks verschillende weerscondities op de ecotopen te onderzoeken, is het van belang dat er bij de modelberekeningen voor ieder jaar gebruik wordt gemaakt van dezelfde weercondities.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

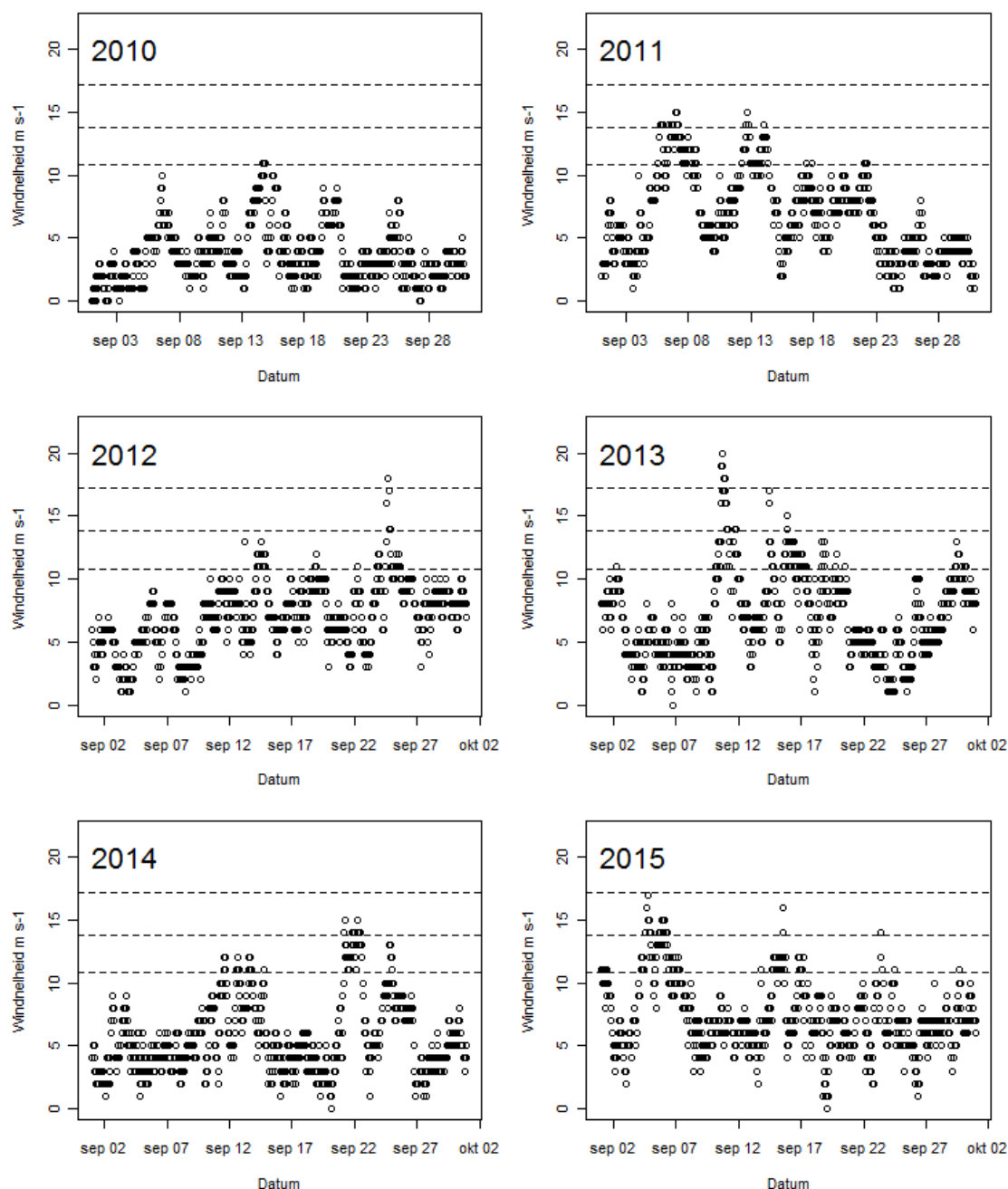
Bij het maken van een ecotopenindeling worden continue variabelen omgezet in discrete variabelen (e.g. laag, middel, hoog). Het is van belang dat de grenswaarden die hierbij worden gebruikt ook een ecologische relevantie hebben. Hiertoe zouden bijvoorbeeld de gegevens over de bodemdiersamenstelling kunnen worden gerelateerd aan de biotische variabelen (e.g. Ysebaert e.a., 2016). Voor nu is gekozen voor een pragmatische benadering waarbij de grenswaarden zo zijn gekozen dat er duidelijke ruimtelijke patronen ontstaan in de ecotopenkaarten die worden beïnvloed door de Zandmotor. In een vervolg is het van belang dat de grenswaarden worden bepaald aan de hand van literatuur en gerichte data-analyse.

2.2 Weercondities september

Omdat de bemonstering van bodemdieren bij de Zandmotor (Wijsman, 2016) in het kader van het monitoring en evaluatieprogramma steeds in het vroege najaar is uitgevoerd is ervoor gekozen de modelberekeningen uit te voeren met kenmerkende weerscondities in de maand september. De uurgemiddelde windgegevens van het KNMI (www.knmi.nl) locatie Hoek van Holland zijn gebruikt om uit de jaren 2010 tot en met 2015 een kenmerkende tijdreeks voor de maand september te selecteren (Figuur 2).

De maand september in 2011 is gekozen als modelmaand. Deze maand is gekenmerkt door twee perioden met harde wind (windkracht 6-7 Beaufort) waarna het relatief kalm is geworden. De weerscondities van september 2011 zijn opgelegd als sturing voor alle modelberekeningen.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief



Figuur 2: Uurgemiddelde windsnelheden (m s^{-1}) bij Hoek van Holland in de maand september. De horizontale stippellijnen zijn getekend bij 10.8, 13.8 en 17.2 m s^{-1} en geven de grenzen voor windkracht 6 (tussen 10.8 en 13.8 m s^{-1}), windkracht 7 (tussen 13.8 en 17.2 m s^{-1}) en windkracht 8

2.3 Modelberekeningen

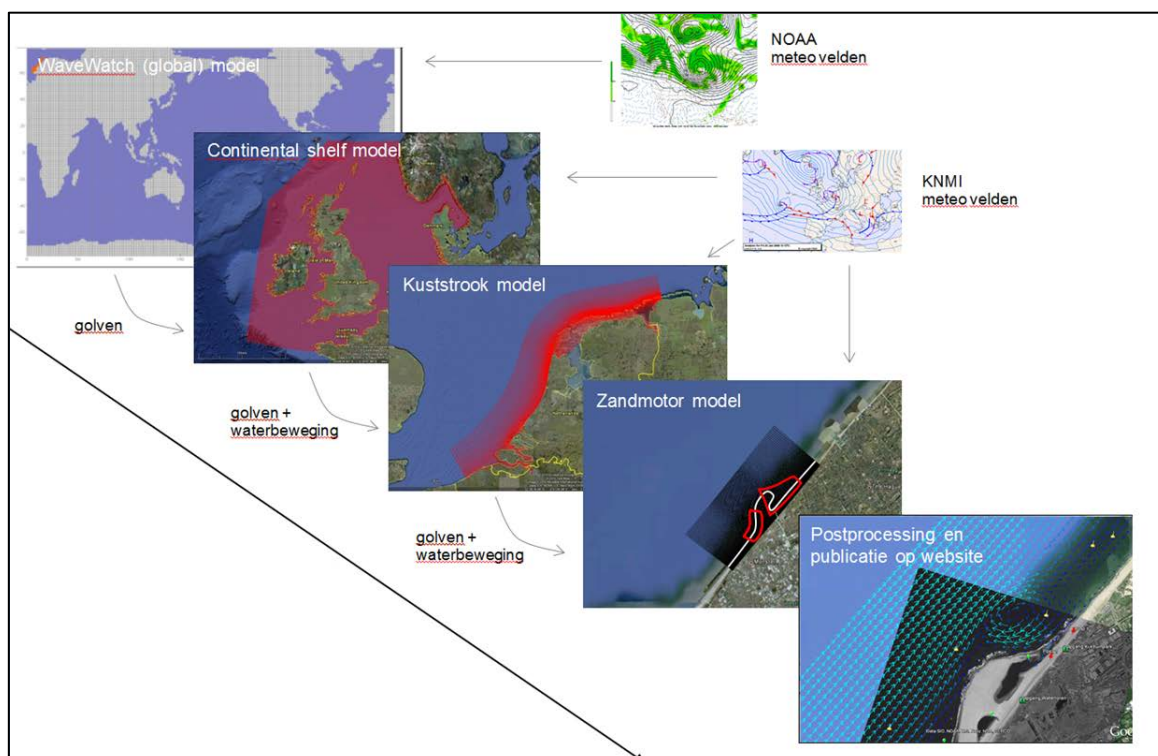
In 2011 is een pilotproject opgestart ter ondersteuning van de beheersbaarheid van de zwemveiligheid rondom de zandmotor. Hiertoe is een modelsysteem ontwikkeld dat op dagelijkse basis voor twee dagen vooruit droogval en stroomsnelheden rondom de zandmotor voorspelt. Deze informatie is door de reddingsbrigades gebruikt ter ondersteuning van hun operationele werkzaamheden tijdens het badseizoen. Het voorspelsysteem zal in elk

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

geval tijdens het badseizoen van 2016 en 2017 worden gehandhaafd en beschikbaar zijn voor de reddingsbrigades. Dit modelsysteem is tevens ingezet voor de ecotopenclassificatie die in dit rapport wordt behandeld. Hieronder volgt een korte beschrijving van het modelsysteem, voor nadere details wordt verwezen naar het validatierapport (Deltares, 2014).

De voorspellingen voor het gebied rondom de Zandmotor worden gemaakt op basis van de Delft3D software (Lesser e.a., 2004). Delft3D is een geavanceerd numeriek pakket voor het modelleren van hydrodynamica, sediment transport en morfologie in kusten, rivieren en meren. Voor de Zandmotor modellering worden twee modules van Delft3D gebruikt; de FLOW module berekent het getij en de wind-gedreven waterstanden en stromingen, de WAVE module berekent de wind-gedreven opwekking en propagatie van golven. Deze twee modules worden tijdens de berekening gekoppeld om de interactie tussen golven, stromingen en waterstanden mee te nemen.

Grootschalige processen zoals het getij en golfopwekking en -voortplanting dienen in eerste instantie op grote schaal te worden gemodelleerd, alvorens de effecten op kleinere schaal maar met hogere resolutie - en dus hogere nauwkeurigheid - kunnen worden bepaald. De modelresultaten worden daarom doorgegeven van domein op domein (zie Figuur 3), waarbij de ruimtelijke dekking geleidelijk afneemt, maar de resolutie toeneemt.



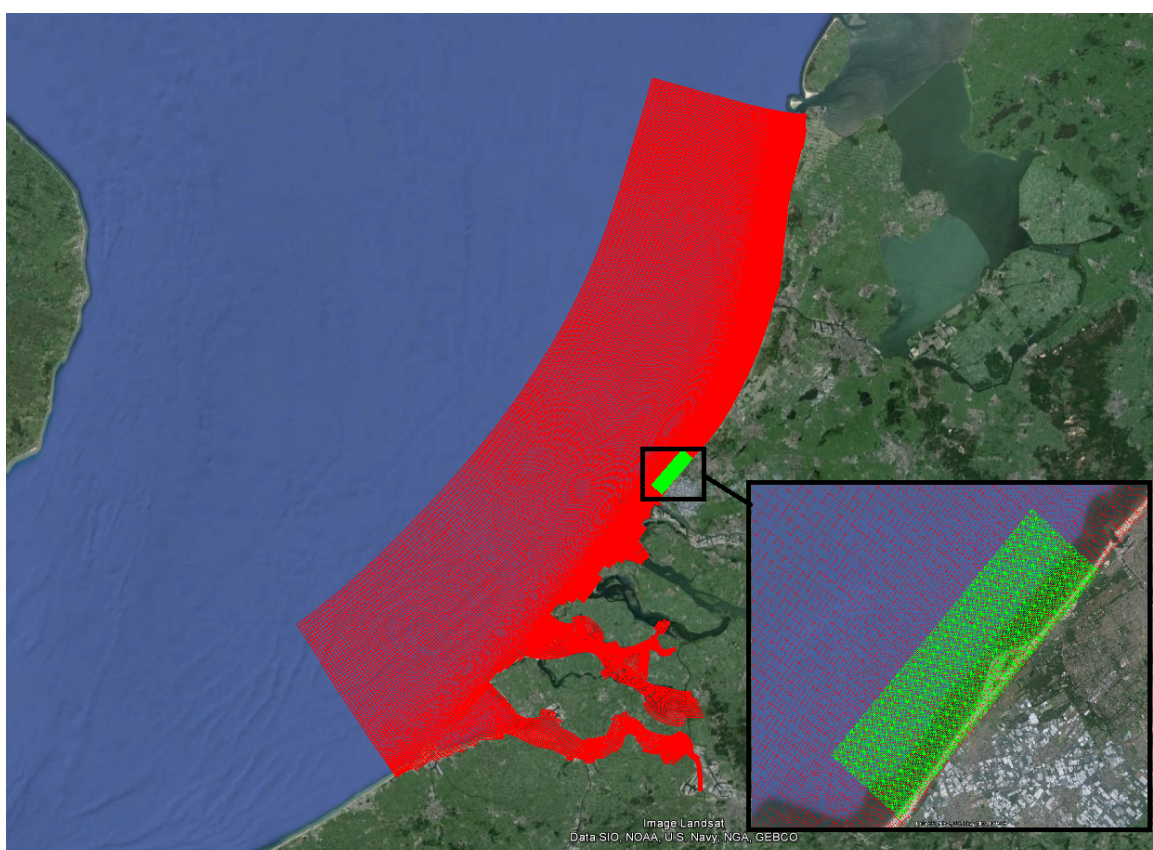
Figuur 3: Schematisch overzicht van de verschillende (model)stappen om tot voorspellingen rond de Zandmotor te komen.

De ruimtelijke dekking van de verschillende modeldomeinen is weergegeven in Figuur 4. Het rode domein is het Gereduceerde Kuststrook Model en bestrijkt een gebied vanaf de provincie Zeeland tot aan Den Helder en tot ongeveer 50 km uit de kust. De randvoorwaarden voor dit model worden afgeleid vanuit het CSM (Continental Shelf Model), die de hele Noordzee bestrijkt, en het globale WaveWatch III model. Het Kuststrook Model simuleert wind- en getij gedreven waterstanden en stroomsnelheden en golven op basis van

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

randvoorwaarden verkregen uit het CSM model en windforcering afgeleid van de HiRLAM voorspellingen (KNMI).

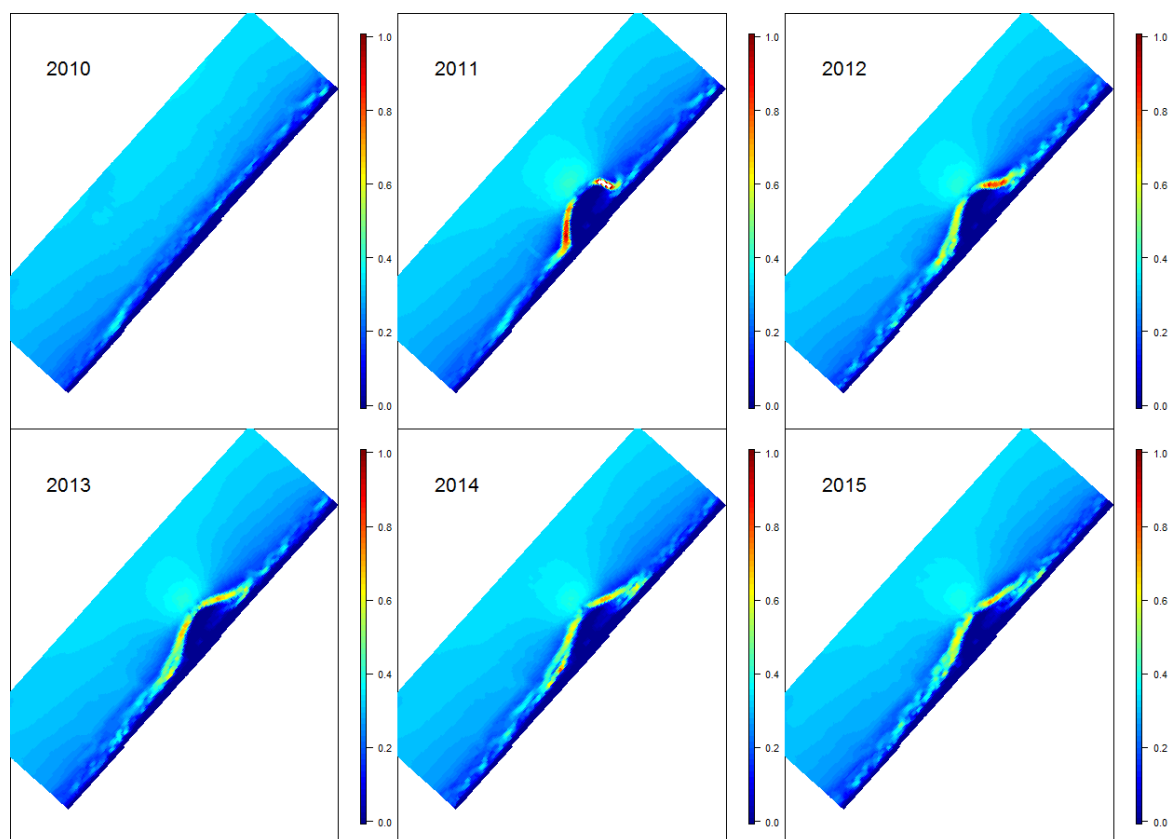
Het groene domein is het Zandmotor Model en bestrijkt een gebied van ongeveer 10 km rondom de Zandmotor met een grid resolutie van 50x50 m. Ook in het Zandmotor Model wordt de interactie van waterstanden, stromingen en golfvoortplanting meegenomen. De randvoorwaarden (waterstanden en golven) worden afgeleid uit het Kuststrook Model en de wind forcering is wederom gebaseerd op de HiRLAM voorspellingen. De modelresultaten die zijn gebruikt voor de ecotopenkaarten komen uit het Zandmotor Model. De validatie van het model is beschreven in Deltares (2014).



Figuur 4: Overzicht van het modelgrid van het gereduceerde Kuststrook Model (rood) en het Zandmotor Model (groen)

Voor iedere simulatie is per gridcel de gemiddelde stroomsnelheid (m.s^{-1}) berekend over de simulatieperiode (27 augustus tot en met 1 oktober). De aanleg van de Zandmotor heeft duidelijk geleid tot een verandering in de stromingspatronen (Figuur 5). In 2010, voor de aanleg nam de gemiddelde stroomsnelheid over het algemeen toe met de waterdiepte. Door de aanleg van de Zandmotor zijn de stroomsnelheden op de kop van de Zandmotor aanzienlijk toegenomen. Ook is er een zeer grote toename in gemiddelde stroomsnelheden in de ondiepe brekerzone aan de noordrand en de zuidrand van de Zandmotor. De gemiddelde stroomsnelheden in de lagune zijn zeer laag.

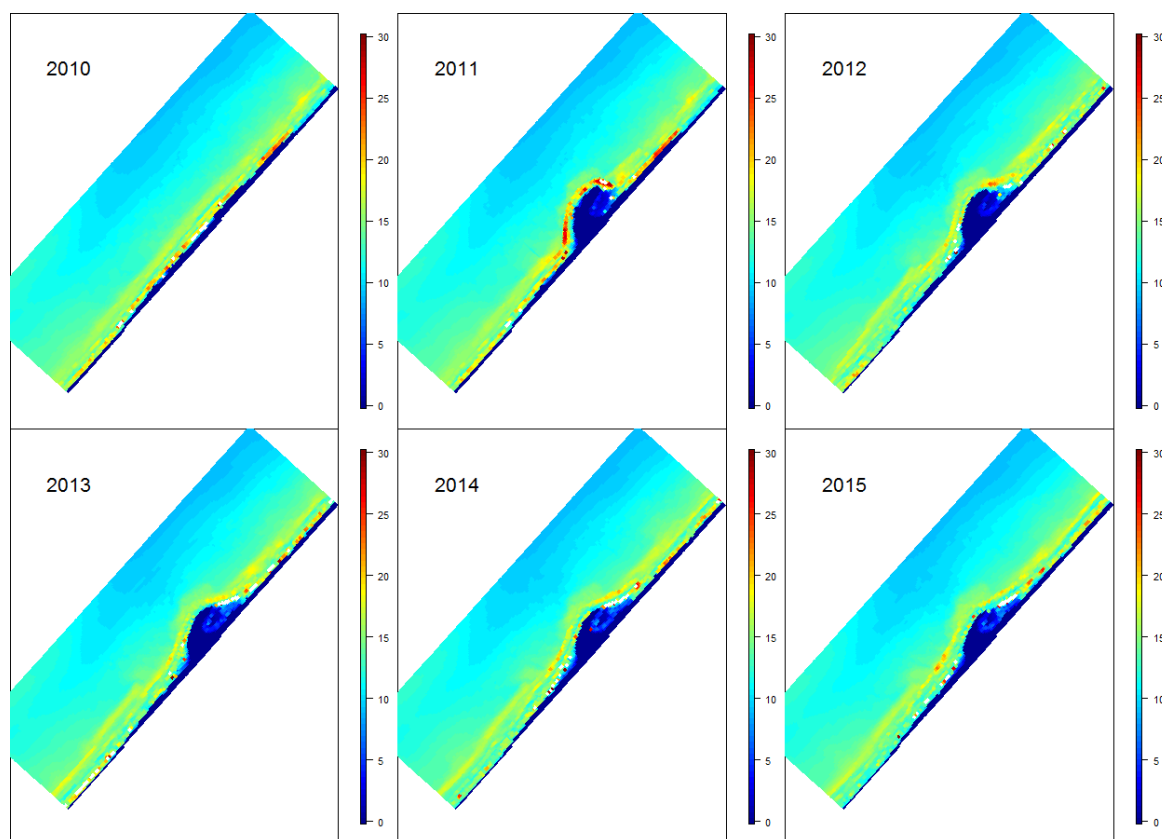
1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief



Figuur 5: Door het model berekende gemiddelde stroomsnelheid ($m s^{-1}$) voor de verschillende jaren.

Net als de stroomsnelheid is ook voor iedere modelsimulatie per gridcel de gemiddelde bodemschuifspanning ($N.m^{-2}$) door golven en stroming over de hele simulatieperiode (27 augustus tot en met 1 oktober) berekend (Figuur 6). In 2010 is te zien dat de gemiddelde bodemschuifspanning over het algemeen afneemt met de waterdiepte. Dit wordt veroorzaakt doordat de golven minder effect hebben op de bodem bij grotere diepte. De hoogste bodemschuifspanning wordt berekend voor de toppen van de brekerbanken. In het diepere deel tussen de brekerbanken is goed te zien dat daar een relatief luwe zone zit. De aanleg van de Zandmotor heeft ook weer een duidelijk effect gehad op de bodemschuifspanning in het gebied. Vooral in 2011 was de bodemschuifspanning rond de kop van de Zandmotor heel hoog, en het lijkt dat dit verder in de tijd is afgevlakt doordat de morfologie zich heeft aangepast.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

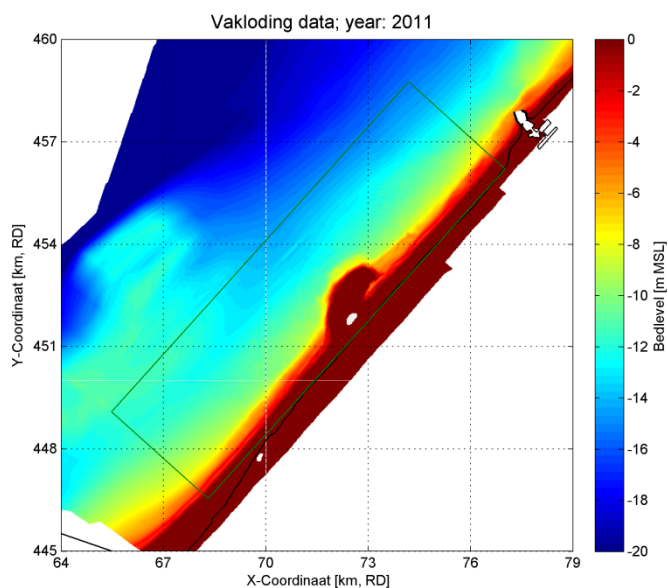


Figuur 6: Door het model berekende gemiddelde bodemschuifspanning ($N.m^{-2}$) voor de verschillende jaren.

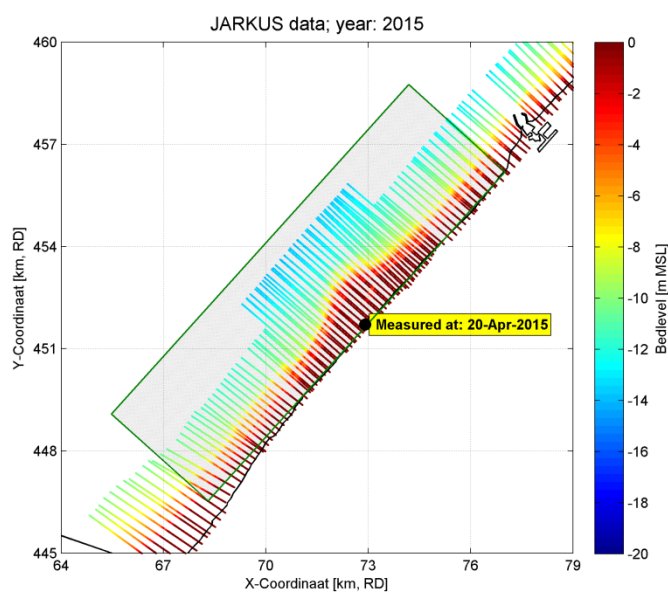
2.4 Dieptekaarten

Er zijn verschillende bronnen gebruikt om de dieptekaarten te construeren (vaklodingen, Jarkus metingen, NEMO Delflandse Kust en de Jetski metingen op de Zandmotor uitgevoerd door Shore). Deze bronnen verschillen in het moment waarop de meting is uitgevoerd en het gebied dat de meting beslaat. De vakloding (Figuur 7) beslaat een groot gebied rond de Zandmotor. Deze meting is alleen in 2011 uitgevoerd en kan alleen worden gebruikt voor de diepere delen, waar weinig veranderingen in diepteligging plaatsvinden als gevolg van de Zandmotor. De Jarkus metingen zijn jaarlijks uitgevoerd, waarbij er op raaien loodrecht op de kust wordt gemeten vanaf de duinen tot een diepte van ongeveer -12 m t.o.v. NAP (Figuur 8). De NEMO metingen Delflandse kust (Figuur 9) geven een gedetailleerd beeld van het strand en de ondiepe kustzone buiten het gebied van de Zandmotor dat met de Shore metingen wordt meegenomen. Door Shore worden zeer regelmatig, in groot detail, metingen uitgevoerd op en rond de Zandmotor (Figuur 10). Deze metingen worden uitgevoerd met een jetski, quad en te voet (Shore, 2013).

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

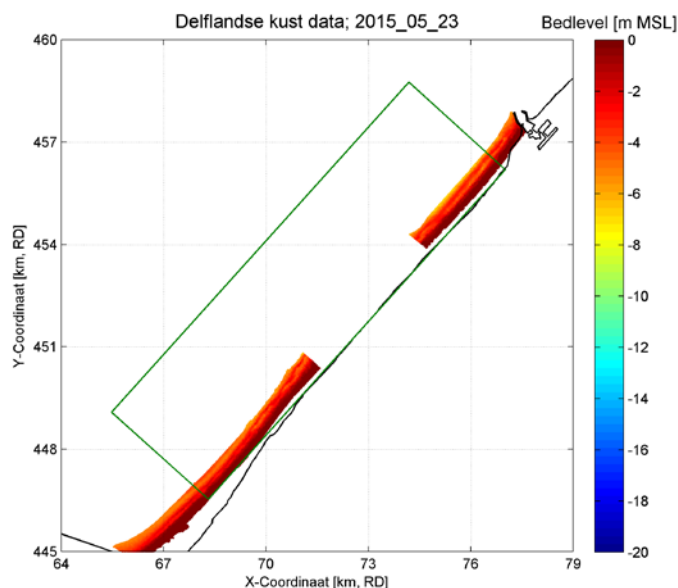


Figuur 7: Gebruikte kaart met vakloding 2011. Het groene kader geeft de contouren van het modelgrid.

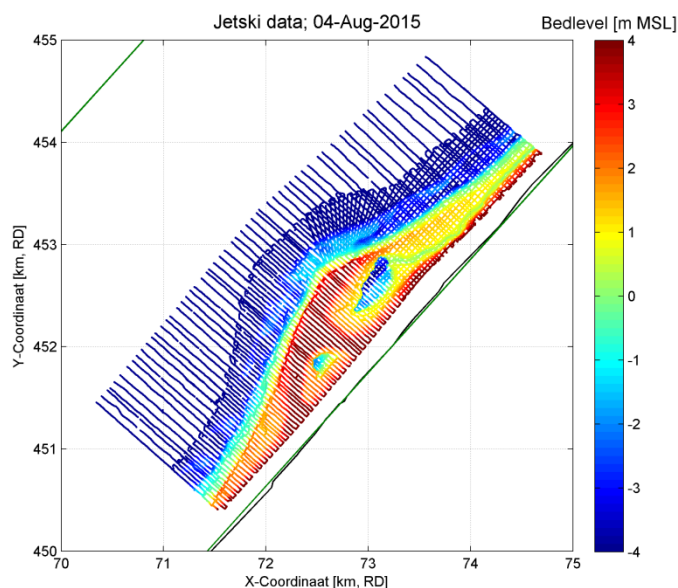


Figuur 8: Voorbeeld van de Jarkusmetingen in het gebied van de Zandmotor (20 april 2015). Het groene kader geeft de contouren van het modelgrid.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief



Figuur 9: Voorbeeld van NEMO metingen Delflandse kust (23 mei 2015). Het groene kader geeft de contouren van het modelgrid.



Figuur 10: Voorbeeld van de Jetski metingen op en rond de Zandmotor (4 augustus 2015). Het groene kader geeft de contouren van het modelgrid.

Voor de gebiedsdekkende kaarten zijn deze verschillende bronnen met elkaar gecombineerd, waarbij er een prioritering is toegepast van Shore (hoogste prioriteit), NEMO, Jarkus en vaklodging (laagste prioriteit) (Tabel 1). In ieder deelgebied zijn alleen de data met de hoogste prioriteit gebruikt. De individuele metingen zijn vervolgens geïnterpoleerd tot een rasterkaart met een gridgrootte van 10x10 meter in Matlab(R2010b) met de functie griddata.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

Tabel 1: Gebruikte bronnen om de dieptekaarten te construeren voor de verschillende jaren

Jaar	Vakloding	Jarkus	NEMO	Shore
2010	2011	15-2-2011	-	-
2011	2011	15-2-2011	-	4-9-2011
2012	2011	4-3-2012	25-2-2012	11-10-2012
2013	2011	24-4-2013	8-8-2013	26-8-2013
2014	2011	6-3-2014	3-9-2014	6-8-2014
2015	2011	20-4-2015	23-5-2015	4-8-2015

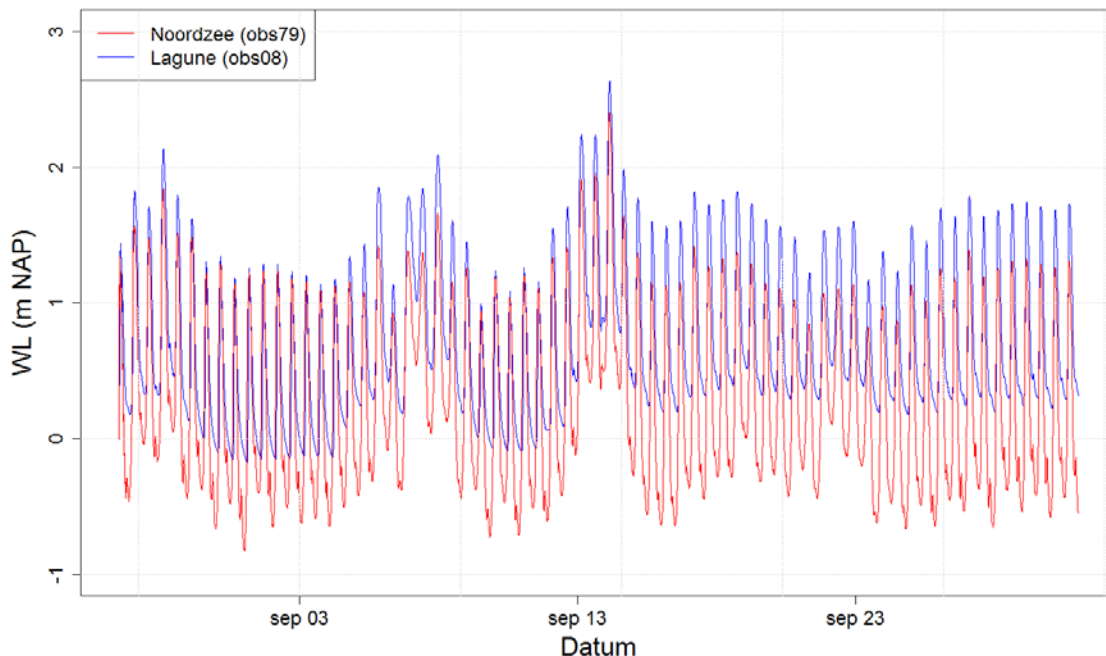
De dieptekaarten voor de jaren 2010 tot en met 2015 binnen het modelgebied zijn weergegeven in Figuur 17, Bijlage A.

2.5 Droogvalduur

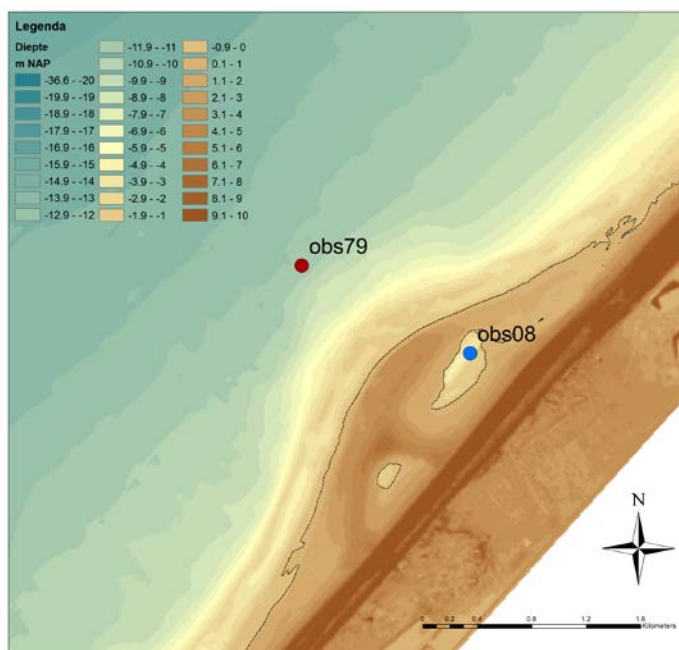
Droogvalduur kan met het model worden berekend op schaal van een gridcel. Omdat de dieptekaart een fijnere resolutie heeft van 10x10 meter is ervoor gekozen de droogvalduur te herberekenen uit de dieptekaarten en de door het model berekende waterstanden.

De waterstanden zijn niet over het gehele modelgebied hetzelfde. Vooral de waterstanden in de lagune verschillen van de waterstanden op de Noordzee. Figuur 11 geeft de door het model berekende waterstanden voor een locatie in de Lagune (obs08) en een locatie op de Noordzee (obs79). De ligging van deze locaties is weergegeven in Figuur 12. In Figuur 11 is goed te zien dat de waterstand tijdens de vloed in de lagune snel toeneemt als het water over de spit heen komt. Tijdens de eb neemt de waterstand in de lagune minder snel af dan op de Noordzee. Dit komt omdat het water de lagune moet verlaten via de geul. In de figuur is ook goed te zien dat het verschil tussen hoog en laag water in de lagune minder groot is dan op de Noordzee. De gemodelleerde waterstanden in de lagune zijn sterk afhankelijk van de dimensies van de afwaterende geul. Omdat de resolutie van het model te grof is om de geul er goed in te krijgen zal dit leiden tot onnauwkeurigheden van de waterstanden in de lagune. Uit Figuur 11 blijkt tevens dat de waterstanden tijdens hoogwater in de lagune hoger zijn dan de waterstanden tijdens hoogwater op de Noordzee. Dit is niet direct verklaarbaar en dient verder te worden onderzocht.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief



Figuur 11: Berekende waterstanden in de Lagune (blauw) en op de Noordzee (rood) voor een drietal getijdencycli in de maand september 2014.

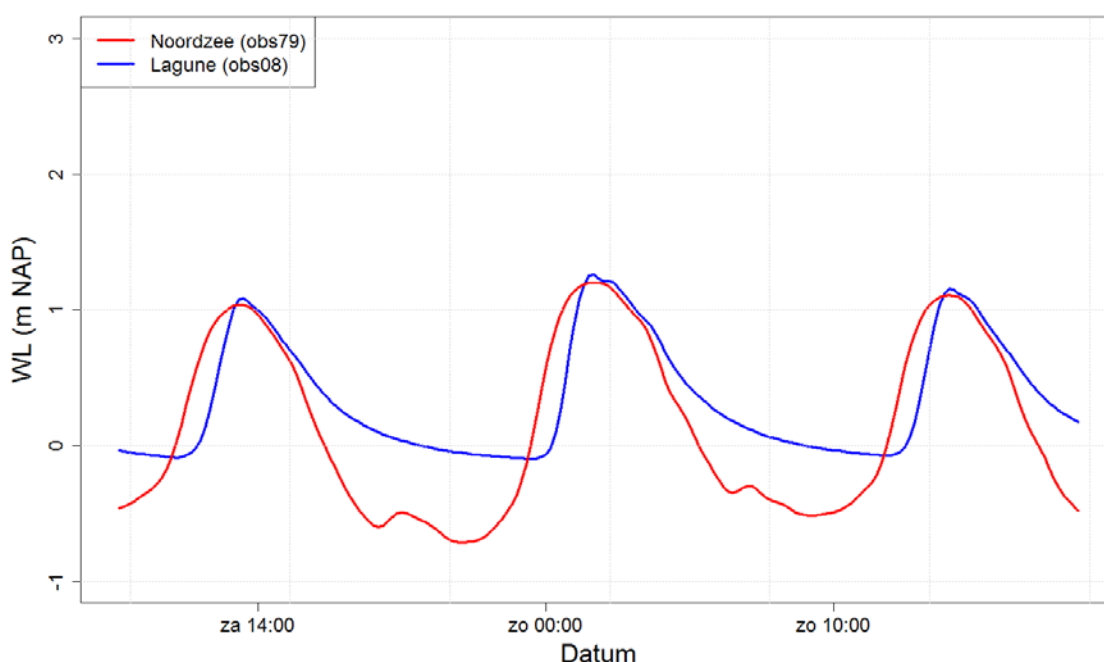


Figuur 12: Ligging van de locaties op de Noordzee (obs79) en in de lagune (obs08) waarvoor de waterstanden zijn berekend met het model.

In Figuur 13 zijn de berekende waterstanden voor de locaties in de lagune en de Noordzee weergegeven voor de gemodelleerde periode, 27 augustus 2014 tot en met 1 oktober 2014. In deze figuur is te zien dat de getijslag in de lagune beperkter is dan op de Noordzee. Ook is het gemiddelde waterniveau in de lagune hoger dan op de Noordzee. Dit heeft gevolgen voor

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

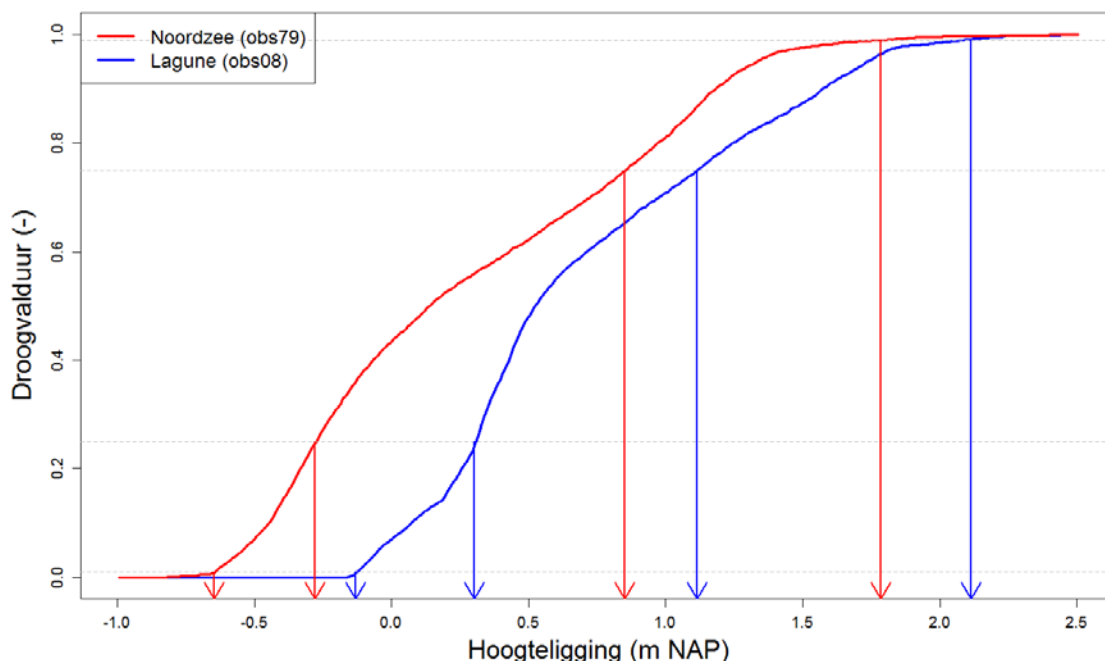
de droogvalduren. Voor het berekenen van de droogvalduren in de gebieden rond de lagune (tot de spit) is gebruikt gemaakt van de waterstanden die zijn berekend voor locatie obs08. Voor de overige gebieden is gebruik gemaakt van de berekende waterstanden voor de locatie obs79.



Figuur 13: Berekende waterstanden (m t.o.v. NAP) over de periode 27 augustus 2014 tot en met 1 oktober 2014 voor een locatie aan de Noordzee zijde van de zandmotor (rood) en een locatie in de lagune (blauw). De posities van de locaties zijn weergegeven in Figuur 12

In Figuur 14 zijn de cumulatieve frequenties van de waterstanden uitgezet voor de locatie in de lagune (obs08) en op de Noordzee (obs79). Uit deze curves zijn de 1, 25, 75 en 99 percentielen berekend. Deze percentielen geven de hoogteligging weer die respectievelijk 1%, 25%, 75% en 99% van de tijd droogvalt. De grenzen van 25% en 75% droogval komen overeen met de grenzen die ook zijn gebruikt in het Zoute wateren Ecotopen Stelsel (ZES Bouma e.a., 2005) en zijn bepalend voor het uiteindelijke kaartbeeld met de begrenzing van ecotopen. De berekende dieptes op basis van de waterstanden in de lagune zijn gebruikt voor het berekenen van de droogvalduur rond de lagune, terwijl de berekende waterstanden op de Noordzee zijn gebruikt voor de rest van het gebied.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief



Figuur 14: Droogvalduur (-) als functie van de hoogteligging (m NAP) Berekende waterstanden (m NAP) voor de locatie op de Noordzee (rood) en de locatie in de lagune (blauw), berekend met het model over de periode 27 augustus 2014 tot en met 1 oktober 2014. De verticale pijlen geven de 1, 25, 75 en 99 percentielen weer.

Tabel 2: Berekende hoogteligging (m NAP) behorende bij de verschillende droogvalklassen voor de locaties obs79 (Noordzee) en obs08 (lagune).

Droogval	obs79 (m NAP)	obs08 (m NAP)
1%	-0.65	-0.13
25%	-0.28	0.30
75%	0.85	1.11
99%	1.78	2.11

Op basis van deze droogvalduren zijn vijf klassen gedefinieerd, waarvan drie klassen tot het intergetijdengebied van het strand kunnen worden gerekend:

- Vooroever: droogvalduur < 1%
- Laag nat strand: droogvalduur 1% - 25%
- Midden nat strand: droogvalduur 25% - 75%
- Hoog nat strand: droogvalduur 75% - 99%
- Droog strand: > 99%

In Figuur 17 (Bijlage A) zijn de verschillende droogvalklassen weergegeven. In de figuur is al duidelijk te zien dat de aanleg van de Zandmotor heeft geleid tot een toename van het intergetijdengebied, voornamelijk rond de lagune, maar ook net ten noorden en ten zuiden van de Zandmotor.

2.6 Ecotopenclassificatie

Tabel 3: Overzicht van de gedefinieerde ecotopen als functie van droogvalduur, bodemschuifspanning en stroomsnelheid. De klasse-indeling van droogvalduur is gebaseerd op Tabel 2. Bodemschuifspanning is onderverdeeld in twee klassen: laag en hoog. Voor de stroomsnelheid zijn er drie klassen gedefinieerd: laag, midden en hoog.

Ecotoop	Droogvalduur (-)	Bodemschuif- spanning (N m ⁻²)	Stroomsnelheid (m s ⁻¹)
1: Diep water	≤0.01	laag	hoog
2: Overgangszone	≤0.01	laag	midden
3: Hoogdynamische zone	≤0.01	hoog	-
4: Beschut water	≤0.01	laag	laag
5: Beschut laag strand	0.01 – 0.25	laag	-
6: Geëxponeerd laag strand	0.01 – 0.25	hoog	-
7 Beschut strand midden	0.25 – 0.75	laag	-
8: Geëxponeerd midden strand	0.25 – 0.75	hoog	-
9: Beschut hoog strand	0.75 – 0.99	laag	-
10: Geëxponeerd hoog strand	0.75 – 0.99	hoog	-
11: Droog strand	>0.99	-	-

De ecotopenclassificatie is opgesteld op basis van de parameters droogvalduur, bodemschuifspanning en stroomsnelheid. Allereerst is er een indeling gemaakt op basis van droogvalduur in 5 klassen.

Vervolgens is er een verdere indeling gemaakt voor de vooroever en het intergetijdenstrand (laag/midden/hoog) op basis van de gemiddelde bodemschuifspanning. Er zijn twee klassen gedefinieerd: laag en hoog. Voorlopig is de grens tussen laag en hoog gezet bij een bodemschuifspanning van 12,5 N.m⁻². Echter, voor een vervolgonderzoek zou deze grens beter dienen te worden onderbouwd op basis van bijvoorbeeld gegevens over bodemdiergemeenschap. Hierbij zou een methode kunnen worden gebruikt zoals die is toegepast door Ysebaert e.a. (2016). In het intergetijdenstrand maakt deze parameter het onderscheid tussen beschut intergetijdenstrand en geëxponeerd intergetijdenstrand. In de sublitorale vooroever is deze parameter van belang voor het identificeren van de brekerzone (lage bodemschuifspanning) en de diepere vooroever (lage bodemschuifspanning).

De gemiddelde stroomsnelheid (m.s⁻¹) is gebruikt om de sublitorale gebieden met een lage bodemschuifspanning onder te verdelen in drie gebieden: diep water, overgangswater en beschut water. Het beschut water betreft de lagune met lage stroomsnelheden vanwege de beperkte uitwisseling met de Noordzee. In de vooroever neemt de gemiddelde stroomsnelheid toe met de waterdiepte. Het type diep water is gedefinieerd als het gebied met een relatief hoge gemiddelde stroomsnelheid en een overgangszone waar de stroomsnelheden lager zijn (maar hoger dan in de lagune). De klassegrenzen zijn om pragmatische redenen gezet op 0,12 cm s⁻¹ en 0,31 cm s⁻¹. De gemiddelde stroomsnelheden in de lagune zijn lager dan 0,12 cm.s⁻¹. In de vooroever zou verder dienen te worden

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

onderzocht aan de hand van de bodemdieren of de waarde van $0,31 \text{ cm.s}^{-1}$ een goede grens is of dat deze zou dienen te worden aangepast.

De keuze voor de klassegrenzen in deze ecotopenclassificatie is al snel arbitrair. Temeer omdat bodemschuifspanning en stroomsnelheid continue variabelen zijn. Om toch tot de klasseindeling te komen is er door de oogharen gekeken naar de ruimtelijke patronen die er te zien zijn in de gemiddelde stroomsnelheid en bodemschuifspanning.

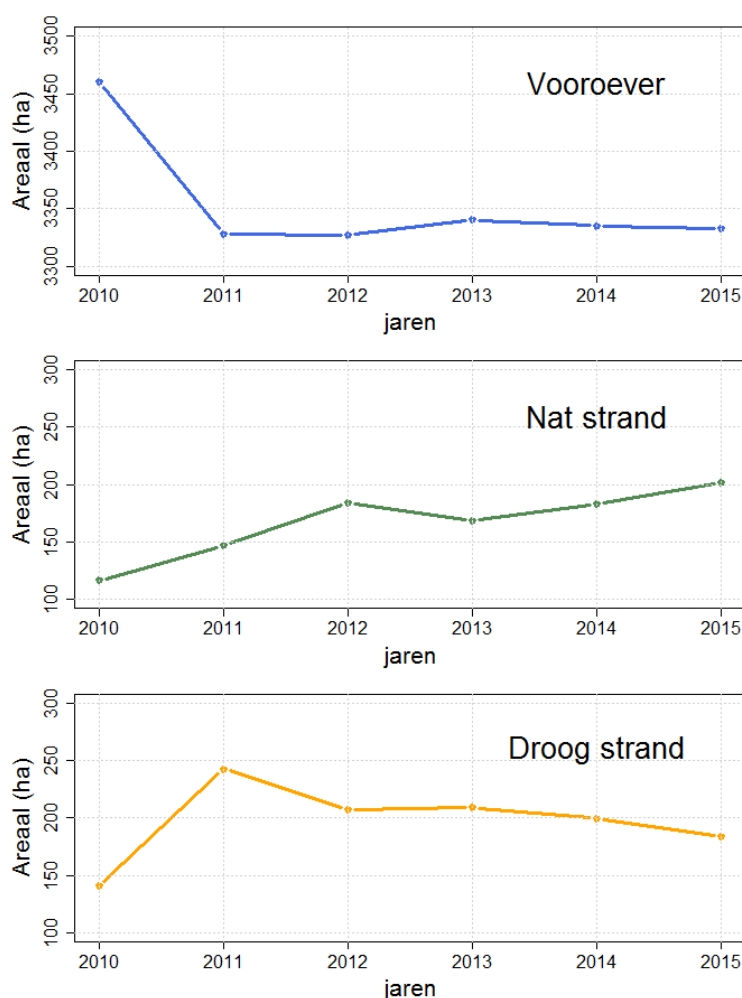
De figuren van de gemiddelde stroomsnelheid (Figuur 5) laten een duidelijk patroon met de diepte zien en een toename van de stroomsnelheid langs de kop van de Zandmotor. De bodemschuifspanning (Figuur 6) laat vooral hoge waarden zien in de brekerbankenzone. De bovengenoemde grenswaarden zijn zo gesteld dat deze patronen ook zijn te herkennen in de ecotopenkaarten. In een vervolgstudie zou er kritisch dienen te worden gekeken naar deze grenswaarden en zouden deze kunnen worden gebaseerd op het voorkomen van bodemdieren.

Op basis van deze ecotopenindeling zijn er 11 ecotopen gedefinieerd (Tabel 3). In de brekerzone en op het intergetijdenstrand is geen verder onderscheid gemaakt op basis van gemiddelde stroomsnelheid. Het duinmeer is niet in de berekeningen meegenomen als apart ecotoop en is gerekend onder droog strand.

De berekeningen zijn uitgevoerd met PCRaster (PCRasterTeam, 2011). Hiertoe zijn ASCII-gridbestanden gemaakt van de modelberekeningen en dieptekaarten met een resolutie van 10x10 meter. Het totale gebied dat is geclassificeerd in ecotooptypes had een oppervlakte van 3718 ha.

3 Resultaten

De meest duidelijke en uitgesproken verandering als gevolg van de aanleg van de Zandmotor is een toename van het intergetijdenstrand (beschut en geëxponeerd laag, midden en hoog strand) ten koste van de ecotopen in het sublitoraal (diep water, overgangszone, brekerzone en beschut water), in het bijzonder het ecotooptype diep water en de brekerzone (Tabel 4, Figuur 15). In 2011 is het areaal water afgenomen met 133 ha van 3460 ha in 2010 naar 3328 ha in 2011. Deze afname komt voornamelijk door een toename in het areaal droog strand (+102 ha) en voor een deel ook door een toename in areaal nat strand (+31 ha) (Figuur 15). In de loop van de tijd is het duidelijk te zien dat het areaal droog strand weer afneemt doordat de Zandmotor erodeert. Dit komt echter voornamelijk ten goede van het areaal nat strand dat gestaag toeneemt na de aanleg van de Zandmotor. Deze toename van nat strand zit voornamelijk ten noorden van de Zandmotor waar de meeste aanzanding plaatsvindt (Figuur 16).



Figuur 15: Verloop van de arealen vooroever (ecotooptypen diep water, overgangszone, brekerzone en beschut water), nat strand (beschut en geëxponeerd, laag, midden en hoog) en droog strand door de tijd.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

Opvallend is dat de afname in de vooroever door de aanleg van de Zandmotor in 2011 alleen te zien is in de ecotooptypes “diep water” en “brekerzone”, en dat er in de overgangszone juist een toename is opgetreden. Dit is voornamelijk veroorzaakt door de afname in stroomsnelheden in de diepere vooroever ten noorden van de Zandmotor (Figuur 16). Verder valt op dat de overgangszone kustlangs is onderbroken in vergelijking met de oorspronkelijke situatie in 2010. Het ecotooptype “beschut water” was vrijwel niet aanwezig in 2010, maar door de aanleg van de lagune is er ruim 15 ha van dit ecotooptype ontstaan. In de loop van de tijd wordt dit areaal echter steeds minder door de invang van zand in de lagune. In 2015 was er van het ecotooptype beschut water nog een kleine 10 ha over (Figuur 19).

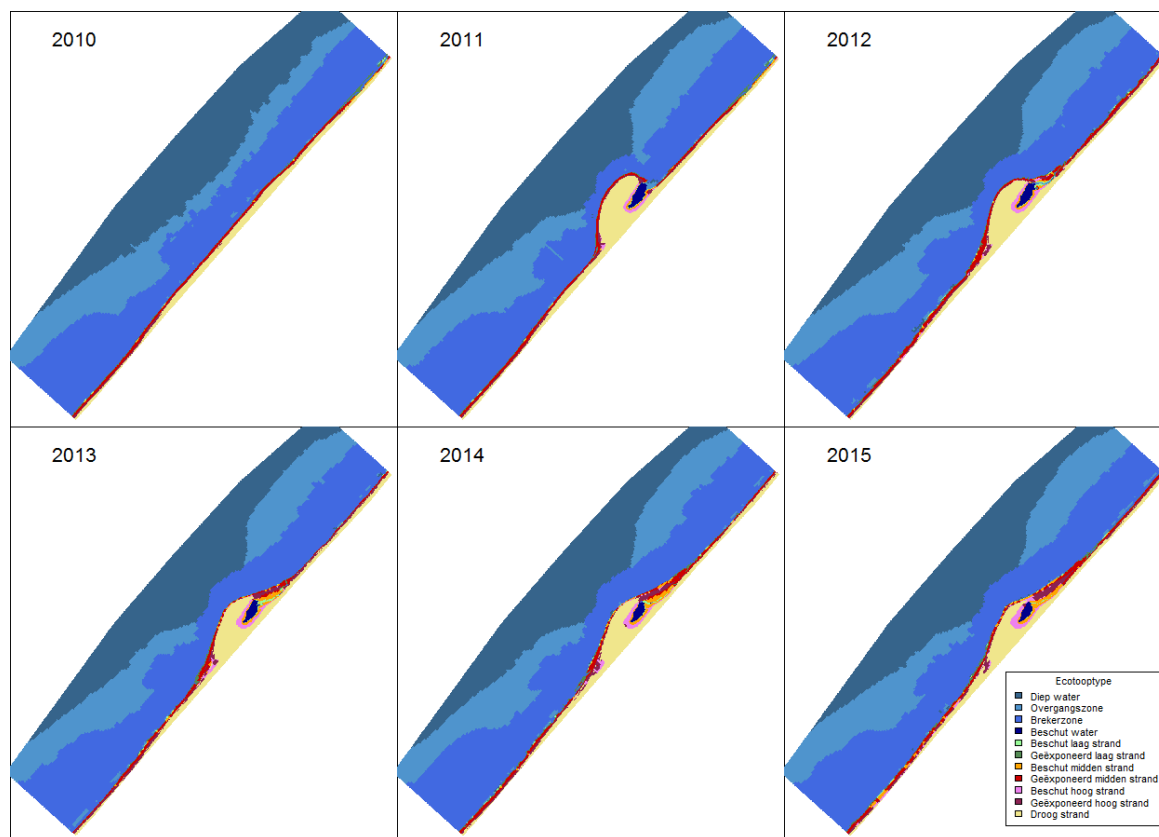
Tabel 4: Arealen (ha) ecotooptypen voor de verschillende jaren. Tussen haakjes staat de procentuele toename (positief) of afname (negatief) ten opzichte van 2010. Het totaal areaal van het onderzoeksgebied is in ieder jaar hetzelfde (3718 ha).

Ecotooptype	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Diep water	1234.4	1037.3 (-16%)	1075.2 (-12.9%)	1091.5 (-11.6%)	1091.4 (-11.6%)	1076.7 (-12.8%)
Overgangszone	804.8	924.5 (14.9%)	899 (11.7%)	844.9 (5%)	827.8 (2.9%)	869.3 (8%)
Brekerzone	1421.1	1350.8 (-5%)	1339 (-5.8%)	1391.8 (-2.1%)	1405.5 (-1.1%)	1376.9 (-3.1%)
Beschut water	0	15.3 (152800%)	13.8 (138300%)	12.1 (121200%)	10.4 (103700%)	9.6 (95600%)
Beschut laag strand	1.9	4 (107.3%)	5.8 (202.6%)	6.6 (243.5%)	6.6 (242.5%)	5.4 (180.8%)
Geëxponeerd laag strand	22.7	23.3 (2.7%)	24.2 (6.8%)	16.3 (-28.1%)	21.6 (-4.5%)	21.8 (-3.8%)
Beschut strand midden	4.2	10.6 (153.1%)	12.7 (202.1%)	21.3 (406.2%)	25.4 (505.2%)	31.1 (641%)
Geëxponeerd midden strand	60.4	61.9 (2.5%)	79.6 (31.8%)	54 (-10.7%)	63.7 (5.5%)	63.4 (5%)
Beschut hoog strand	0.5	13.1 (2458.8%)	20.2 (3862.7%)	20.4 (3894.1%)	21.2 (4056.9%)	28.4 (5458.8%)
Geëxponeerd hoog strand	26.8	34.4 (28.1%)	41.3 (53.8%)	50.1 (86.8%)	44.5 (66%)	51.6 (92.2%)
Droog strand	140.8	242.7 (72.4%)	206.9 (46.9%)	208.8 (48.3%)	199.5 (41.7%)	183.6 (30.4%)

Het areaal nat strand is door de aanleg van de Zandmotor gestaag toegenomen van 117 ha in 2010 tot 201 ha in 2015. Deze toename is voornamelijk veroorzaakt door de toename van beschutte strand-ecotopen rond de lagune (30 ha) en de arealen hoog strand.

Aan de noord- en zuidzijde van de Zandmotor waar aanzanding plaatsvindt, is ook het areaal geëxponeerd strand, vooral in het hoge en middengebied toegenomen.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief



Figuur 16: Ligging van de verschillende ecotopen in het onderzoeksgebied voor de jaren 2010 tot en met 2015.

4 Conclusie en vervolg

4.1 Conclusie

Op basis van deze inventariserende studie kan worden gesteld dat de aanleg van de Zandmotor heeft geleid tot een verschuiving aan ecotooptypen in het gebied. Door de aanleg van de Zandmotor is er binnen het onderzoeksgebied 130 ha vooroever verdwenen, waar in eerste instantie droog strand, maar geleidelijk ook meer en meer intergetijdenstrand voor in de plaats is gekomen. Vooral de beschutte ecotopen van het intergetijdenstrand zijn door de aanleg van de Zandmotor toegenomen met ca. 60 ha, voornamelijk rond de lagune. Deze ecotooptypen kwamen voor de aanleg van de Zandmotor vrijwel niet voor. Ook het ecotooptype beschut water kwam voor de aanleg van de Zandmotor niet voor in het gebied en is door de aanleg van de lagune (10 – 15 ha) geïntroduceerd. De vraag is nu of de verandering in ecotooptypen de natuurwaarde van het gebied heeft vergroot. Het is bekend dat de diepere vooroever (> 7 meter diepte) een relatief grote diversiteit en biomassa heeft aan bodemdieren (Wijsman e.a., 2015; Wijsman, 2016), maar dit type vooroever is niet uniek voor de Hollandse kust. De beschutte vooroever rond de lagune kenmerkt zich echter ook door een specifieke bodemdiergemeenschap die niet veel voorkomt langs de dynamische Hollandse kust (Wijsman, 2016). Uit de bodemdierbemonstering is gebleken dat de waterkwaliteit in de diepe delen van de lagune slecht is als gevolg van de geringe verversing met het Noordzeewater. Dit ecotooptype (10-15 ha) zal daarom niet veel bijdragen aan de natuurwaarden van het gebied.

Er kan dus worden geconcludeerd dat door de aanleg van de Zandmotor nieuwe habitats zijn gecreëerd, en dat de variatie in habitats in het gebied is toegenomen. Of dit heeft geleid tot hogere natuurwaarden in het intergetijdengebied en de ondiepe kustzone is nog de vraag. Hiervoor dienen de natuurwaarden van de verschillende ecotooptypen te worden bepaald. Dit kan op basis van verschillende criteria zoals biomassa bodemdieren, diversiteit, voorkomen van zeldzame soorten, gebruik door vogels/vis.

4.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

In deze studie is er een eerste aanzet gegeven voor een ecotopenclassificatie voor het natte strand en de ondiepe vooroever op en rond de Zandmotor. De grote verschillen in omgevingscondities worden in deze indeling in grote lijnen weergegeven, maar mogelijk worden de details niet in voldoende mate meegenomen. In een vervolgstudie kan de ecotopenindeling mogelijk worden verbeterd door kritisch te kijken naar de parameters die zijn meegenomen en de modellen waarmee deze parameters berekend worden. Tevens zou er kritisch gekeken kunnen worden naar de klassegrenzen die in de huidige studie redelijk arbitrair zijn gekozen. Door het toepassen van regressietechnieken op de bodemdiergegevens (e.g. Ysebaert e.a., 2016) zou er een betere inschatting kunnen worden gemaakt van de waarden van de klassegrenzen. Ten slotte zouden de ecotopenkaarten kunnen worden gevalideerd met de resultaten van bijvoorbeeld de bodemdierbemonsteringen in het gebied.

4.2.1 Parameters in de classificatie

Ecotopenkaarten zijn een goed middel om omgevingsvariabelen die van invloed zijn op het ecosysteem, in het bijzonder bodemdieren, maar ook vissen en vogels, samen te vatten. Van

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

belang voor een goede ecotopenclassificatie is dat parameters worden gebruikt die van invloed zijn op de kwaliteit van de leefomgeving voor de organismen en dat de klassegrenzen zo zijn gekozen dat deze onderscheidend zijn binnen het gebied en dat ze ecologische relevantie hebben.

Voor het dynamische gebied op en rond de Zandmotor is er nog geen bruikbare ecotopenclassificatie beschikbaar. Als bestaande ecotopenclassificaties zouden worden toegepast op de Zandmotor zoals het ZES-ecotopenstelsel (Bouma e.a., 2005), zouden er hoogstens 2 à 3 ecotopen kunnen worden onderscheiden in het gebied. In de ondiepe Noordzeekustzone zijn golven sturend voor de dynamiek ter plaatse van de ondiepe vooroever, terwijl volgens het ZES stelsel getijdenstroming sturend is. Ook zijn er in het gebied van de Zandmotor geen grote verschillen in zoutgehalte. Daarom is ervoor gekozen een specifieke classificatie te ontwikkelen voor het strand en de ondiepe vooroever.

De parameters die in deze studie zijn gebruikt zijn droogvalduur, bodemschuifspanning en stroomsnelheid.

Droogvalduur is een belangrijke parameter voor het voorkomen van bodemdieren, maar ook voor foeragerende vogels op het droogvallende strand. Droogval leidt tot stress bij mariene bodemdieren. Sommige soorten kunnen niet tegen uitdroging of kunnen niet eten tijdens droogval. Ook is het gevaar van predatie, voornamelijk op de adulte exemplaren, door vogels groter. Grotere temperatuursveranderingen tijdens droogval kunnen ook leiden tot stress. Het effect van droogvalduur is ook te zien aan de toename van bodemdieren, zowel in biodiversiteit als totale biomassa van de hoogwaterlijn naar de laagwaterlijn (Janssen en Mulder, 2005; Wijsman e.a., 2015). In deze studie is de droogvalduur berekend uit de bathymetrische kaart en door berekende waterstanden in de lagune en aan de buitenkant van de Zandmotor. Vooral in de lagune is het niet eenvoudig om de waterstanden te berekenen. Deze waterstanden zijn sterk afhankelijk van de lengte en doorsnede van de afvoerende geul. Om dit goed te kunnen berekenen is er een zeer gedetailleerd model van de geul nodig.

De droogvalduren in het model zijn berekend uit de waterstanden op slechts twee locaties: een op de Noordzee en een in de lagune. Aanname hierbij is dat deze locaties representatief zijn voor respectievelijk de buitenkant van de Zandmotor en de lagune. Echter, door de wind is het mogelijk dat er opzet is aan een zijde van de Zandmotor ten opzichte van de andere zijde. In een vervolgstudie zou het beter zijn om de 1, 25, 75 en 99 percentielen te berekenen voor iedere gridcel van het model en hieruit de droogvalduren te berekenen.

In de dynamische kustzone is de dynamiek als gevolg van golven en getijdenstroming een belangrijke parameter. Deze dynamiek kan worden uitgedrukt in bodemschuifspanning (N.m^{-2}). In de ondiepe brekerzone is het effect van golven op de bodemschuifspanning dominant ten opzichte van het effect van de getijdenstroming. Bodemschuifspanning is van invloed op de erosie en sedimentatieprocessen en daarmee op de dynamiek van het sediment. Vooral de ondiepe brandingszone is zeer dynamisch omdat de golven vrijwel constant effect uitoefenen op de bodem. In de diepere delen is het effect van de golven op de bodem alleen merkbaar tijdens storm, en wordt de bodemschuifspanning als gevolg van de getijdenstroming belangrijker. Bodemschuifspanning beïnvloedt de leefomgeving van de bodemdiergemeenschap direct door de sedimentdynamiek (opwerveling), maar ook indirect doordat het kan leiden tot een herverdeling van de sedimentsamenstelling (korrelgrootteverdeling en organisch stofgehalte). De dynamiek als gevolg van de golven heeft niet alleen invloed op het sediment, maar ook op organismen die in en boven de bodem leven. Deze moeten goed in staat zijn om te kunnen omgaan met deze omstandigheden.

De getijdenstroming leidt niet alleen tot sedimentdynamiek, maar zorgt er ook voor dat het water wordt verversd. Deze verversing kan ervoor zorgen dat als voedsel of zuurstof uitgeput raakt dit weer wordt verversd. In de lagune, waar slechts een beperkte uitwisseling is met het water van de Noordzee, zijn de stroomsnelheden zeer laag. Dit leidt tot zuurstofdepletie en dus tot een drastische afname in de waterkwaliteit, wat direct effect heeft op de bodemdieren. In de diepere vooroever neemt de stroomsnelheid toe met de waterdiepte. Mogelijk kan dit een effect hebben op de aanvoer van voedsel voor bodemdieren.

4.2.2 Sedimentsamenstelling

Een parameter die niet is meegenomen in deze ecotopenclassificatie is de sedimentsamenstelling. Het is bekend dat sedimentsamenstelling een sterk effect heeft op het voorkomen van bodemdieren. De korrelgrootte is bepalend voor de stabiliteit van de gangen in het sediment, de doorgraafbaarheid en de permeabiliteit. De sedimentsamenstelling is deels het gevolg van de fysische omstandigheden (getijdenstroming en golfwerking) maar wordt ook beïnvloed door suppleties van zand uit een ander gebied. Er zijn sedimentgegevens beschikbaar voor het gebied van de Zandmotor. Tijdens de bodemdierbemonsteringen zijn sedimentmonsters genomen en ook zijn er nog aanvullende monsters genomen (Sirks, 2013; Van der Zwaag, 2014a). Deze monsters zijn nog niet voor alle jaren uitgewerkt tot gebiedsdekkende kaarten. Zodra deze kaarten zijn opgewerkt zouden deze zeker dienen te worden meegenomen in de ecotopenclassificatie, waardoor er ook een onderscheid kan worden gemaakt op basis van sedimentsamenstelling.

4.2.3 Hydrodynamica

Voor de studie is gebruik gemaakt van een modelsysteem dat oorspronkelijk is opgezet ter ondersteuning van de beheersbaarheid van zwemveiligheid rondom de Zandmotor. In deze studie is het model gebruikt om een eerste inschatting te kunnen maken van enkele bepalende parameters voor ecotopen, te weten droogval, bodemschuifspanning en stroomsnelheden. Indien in de toekomst een meer gedetailleerde ecotopenclassificatie dient te worden gemaakt, zal de bruikbaarheid van het huidige modelsysteem moeten worden beoordeeld en waar nodig aangepast of uitgebreid. Een bruikbaar model zal enkel tot stand kunnen komen in nauw overleg tussen experts op het gebied van ecologie en hydrodynamiek/morfologie om de behoefte en modelcapaciteit goed op elkaar te kunnen afstemmen.

De volgende aspecten met betrekking tot het model worden ter heroverweging aanbevolen indien er een gedetailleerde ecotopenclassificatie wordt gevraagd:

- De modelresultaten van de huidige 50x50m grid resolutie zijn voldoende om een inschatting te kunnen maken van de algemene getijpropagatie op zee, maar niet toereikend voor een nauwkeurige voorspelling van de getijpropagatie in de lagune. Daarnaast kunnen in de directe nabijheid van de zandmotor op bepaalde momenten van het getij complexe stroompatronen ontstaan, vooral ten noorden van de zandmotor. Om deze patronen te kunnen representeren in het model, zal de resolutie lokaal ook moeten worden heroverwogen.
- De huidige opzet van het model is dieptegemiddeld. Dat betekent dat de invloed van verticale stratificatie op de stroomsnelheid niet door het model wordt voorspeld. Verticale stratificatie kan worden beïnvloed door bijvoorbeeld de zoetwaterpluim vanuit de Nieuwe Waterweg en/of golf- en wind gedreven stromingen.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

- Verschillen in temperatuur en zoutgehalte van het water zijn mogelijk ook van invloed op de ecotopen, bijvoorbeeld in de lagune waar de temperatuur van het water en het zoutwatergehalte gemiddeld hoger is dan daarbuiten. De temperatuur wordt op dit moment nog niet meegenomen in het model, maar als het voor de ecotopenclassificatie nodig is, dient het model te worden uitgebreid in functionaliteit.

Voor langlevende soorten zou het wellicht beter zijn om te rekenen met de maximale waarde (of 90-percentiel van de waarden), maar dit is zeer afhankelijk van het al of niet optreden van stormen. De ruimtelijke patronen van de gemiddelde waarden en de maximale waarden zijn echter niet zo heel erg verschillend

4.2.4 Validatie ecotopenkaarten

Het doel van de ecotopenkaarten is om de effecten van de Zandmotor op de “natte” natuurwaarden in beeld te brengen. De ecotopen worden daarmee verondersteld een indicator te zijn van de natuurwaarden. Of dit ook werkelijk zo is dient nog te worden uitgezocht. De bodemdiergegevens die zijn verzameld binnen het monitoring en evaluatieprogramma Zandmotor (Wijsman e.a., 2015; Wijsman, 2016) zouden kunnen worden gecombineerd met de ecotopenkaarten. Per ecotooptype zou kunnen worden gekeken wat de gemiddelde biomassa, diversiteit of levensgemeenschap is. Op deze manier zou de ecotopenkaart kunnen worden gevalideerd (Wijsman, 2003) en indien nodig zouden de klassegrenzen kunnen worden bijgesteld.

5 Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 187378-2015-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 september 2018. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Vis over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2017 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Het project Monitoring en evaluatie pilot Zandmotor is een project dat wordt uitgevoerd door een consortium van Deltares en IMARES. In het kader van de kwaliteitsborging worden alle producten gereviewed door onafhankelijke deskundigen van beide instituten.

6 Referenties

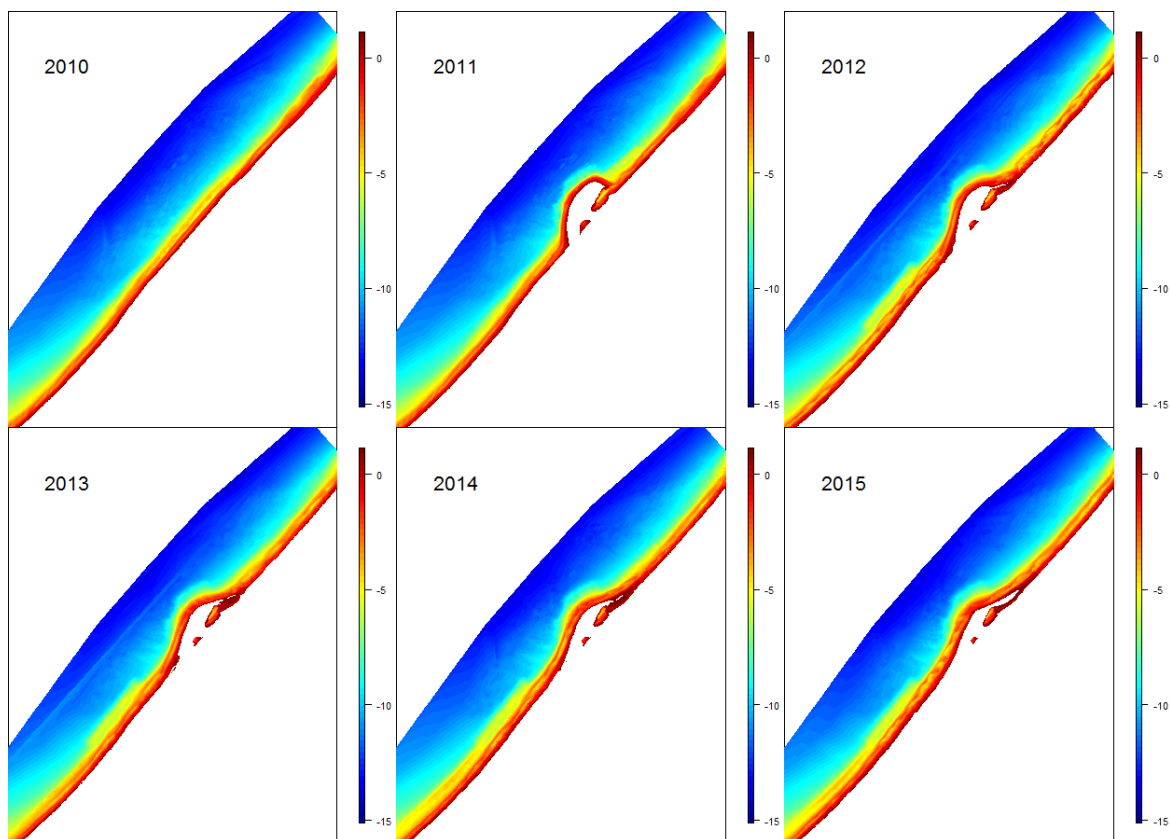
- Bouma, H., D. J. De Jong, F. Twisk en K. Wolfstein (2005) Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES. 1) Voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren. RIKZ, Rapport nummer: RIKZ/2005.024, 156 pagina's.
- Deltares (2014) Evaluatie Pilot Zwemveiligheid Zandmotor, Rapport nummer: 1205045-000-ZKS-0106, 46 pagina's.
- Ebbens, E. en J. Fiselier (2010) Monitoring- en evaluatieplan Zandmotor. DHV, Rapport, 38 pagina's.
- Fiselier, J. (2010) Projectnota/ MER. Aanleg en zandwinning Zandmotor Delflandse kust. DHV, Rapport nummer: C6158-01.001, 303 pagina's.
- Janssen, G. en S. Mulder (2005) Zonation of macrofauna across sandy beaches and surf zones along the Dutch coast. *Oceanologia* 47: 265-282.
- Lesser, G. R., J. A. Roelvink, J. A. T. M. Van Kester en G. S. Stelling (2004) Development and validation of a three dimensional morphological model. *Journal of Coastal Engineering* 51: 883-915.
- PCRasterTeam (2011) PCRaster Documentation Release 3.0.1, Rapport, 330 pagina's.
- Shore (2013) Morfologische ontwikkeling van de Zandmotor pilot in de eerste 2 jaar na aanleg. Presentatie en analyse van 18 gebiedsdekkende surveys van de bodemligging van de Zandmotor en observaties uit het veld, Rapport, 142 pagina's.
- Sirks, E. E. (2013) Sediment sorting at a large scale nourishment A comparison of field data of the Sand Motor area and a model study of sediment sorting in the cross-shore direction, Delft University of Technology.
- Stive, M., M. De Schipper, A. Luijendijk, S. Aarninkhof, C. Van Gelder-Maas, J. Van Thiel de Vries, S. De Vries, M. Henriquez, S. Marx en R. Ranasinghe (2013a) A New Alternative to Saving Our Beaches from Sea-Level Rise: The Sand Engine. *Journal of Coastal Research* 29: 1001-1008.
- Stive, M., M. De Schipper, A. Luijendijk, R. Ranasinghe, J. Van Thiel de Vries, S. Aarninkhof, C. Van Gelder-Maas, S. De Vries, M. Henriquez en S. Marx (2013b) The sand engine: a solution for vulnerable deltas in the 21st century? *Coastal Dynamics*: 1537-1546.
- Tonnon, P. K., L. Van der Valk, H. Holzhauer, M. J. Baptist, J. W. M. Wijsman, C. T. M. Vertegaal en S. M. Arens (2011) Uitvoeringsprogramma Monitoring en Evaluatie pilot Zandmotor. Deltares/Wageningen IMARES, Rapport, 154 pagina's.
- Van der Zwaag, J. (2014a) Development of sediment sorting near the large scale nourishment 'The SandMotor'. Executing and analysing new measurements in relation to previous campaigns, Delft University of Technology.
- Van der Zwaag, J. (2014b) Modelling sediment sorting near the large scale nourishment 'The SandMotor'. Understanding cause and impact of sediment sorting processes, Delft University of Technology.
- Wijsman, J. W. M. (2003) Verkennende studie voor de validatie van het Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES) aan de hand van bodemdiergegevens. WL | Delft Hydraulics, Rapport nummer: Z3670.
- Wijsman, J. W. M. en L. Verhage (2004) Toepassing van het Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES) voor de Waddenzee met behulp van HABITAT. WL | Delft Hydraulics, Rapport nummer: Z3891, 27 pagina's.
- Wijsman, J. W. M. en E. Verduin (2010) T₀ monitoring Zandmotor Delflandse kust: Vaarrapport bemonstering benthos ondiepe kustzone en natte strand. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C166/10, 31 pagina's.
- Wijsman, J. W. M., R. Van Hal en R. H. Jongbloed (2015) Monitoring en Evaluatie Pilot Zandmotor - Fase 2 Evaluatie benthos, vis, vogels en zeezoogdieren 2010 - 2014, Rapport nummer: C125/15, 109 pagina's.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

- Wijsman, J. W. M. (2016) Monitoring en Evaluatie Pilot Zandmotor Fase 2 Datarapport benthos bemonstering vooroever en strand najaar 2015. IMARES, Rapport nummer: C006/16, 67 pagina's.
- Ysebaert, T., J. Craeymeersch en D. Van Der Wal (2016) De relatie tussen bodemdieren en hydro- en morfodynamiek in het sublitoraal en litoraal van de Westerschelde. IMARES, Rapport.

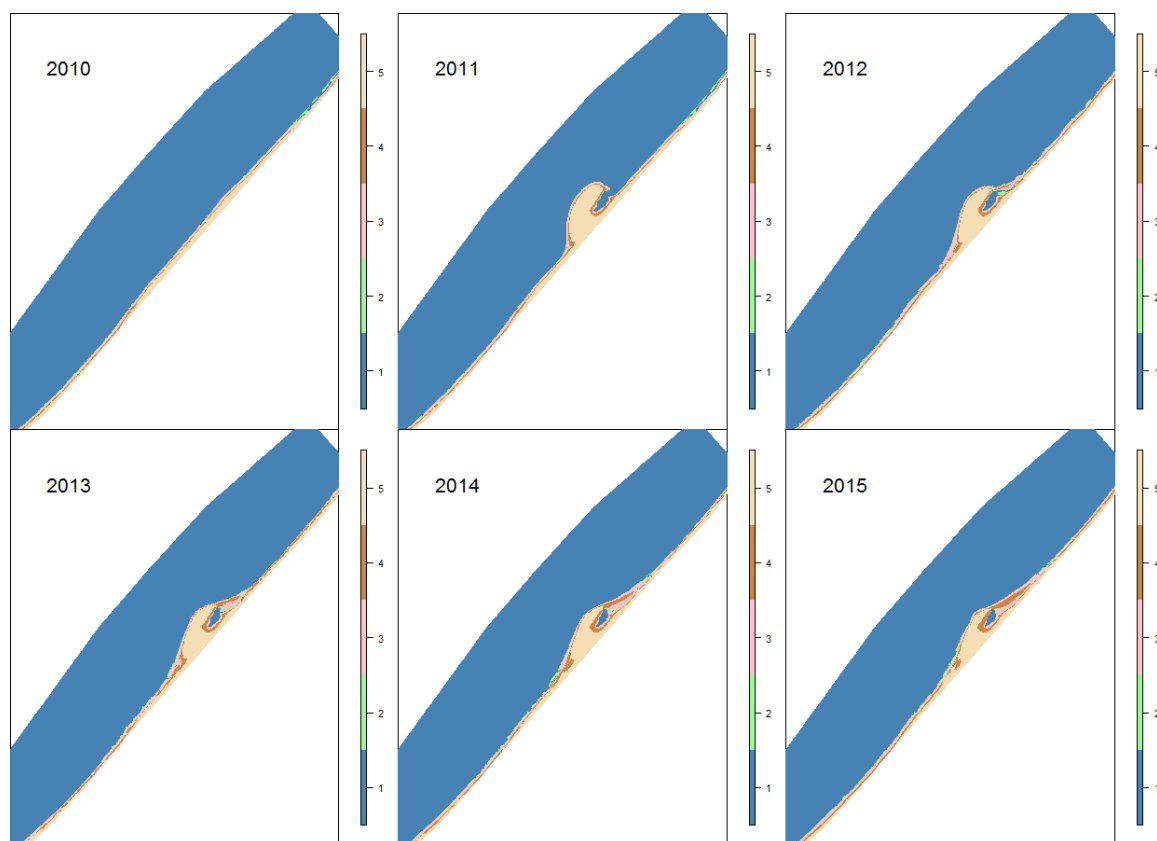
1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

Bijlage A. Achtergrondkaarten



Figuur 17: Diepteligging in het modelgebied rond de Zandmotor onder + 1 m NAP.

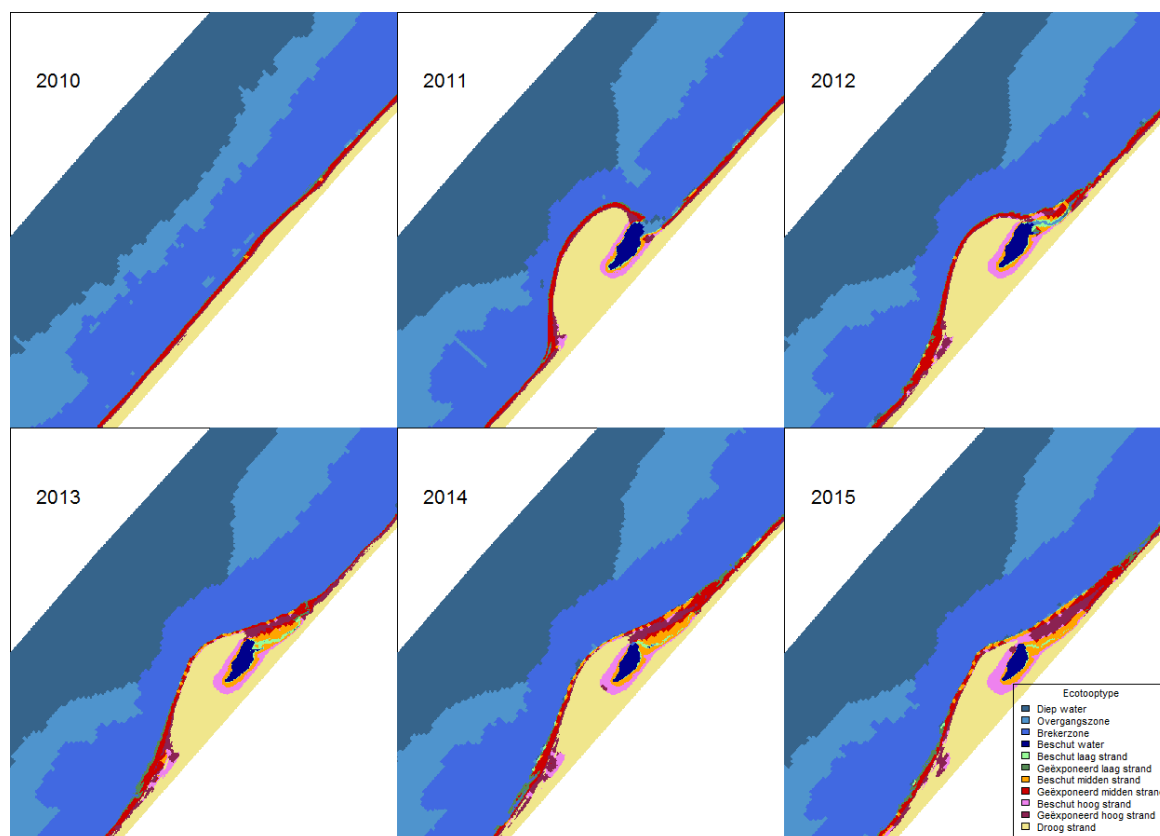
1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief



Figuur 18: Droogvalduurklassen in het modelgebied rond de Zandmotor onder. Klasse 1 is vooroever (droogvalduur < 1%), klasse 2 is laag strand (droogvalduur 1% – 25%), klasse 3 is midden strand (droogvalduur 25% - 75%), klasse 4 is hoog strand (droogvalduur 75% - 99%) en klasse 5 is droog strand (droogvalduur > 99%).

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

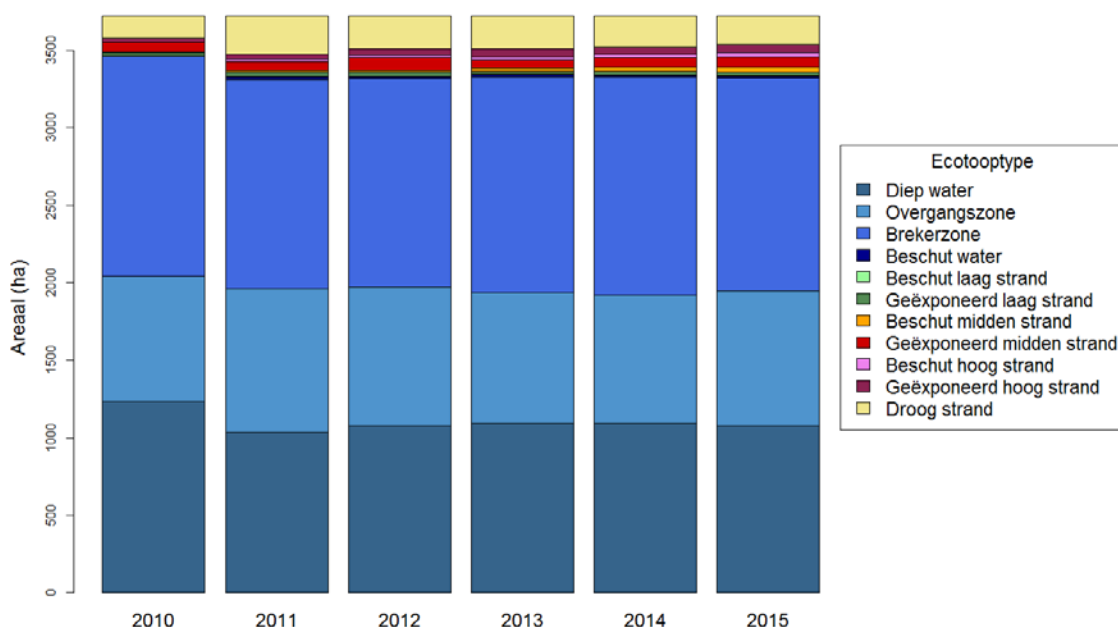
Bijlage B. Detail ecotopenkaarten



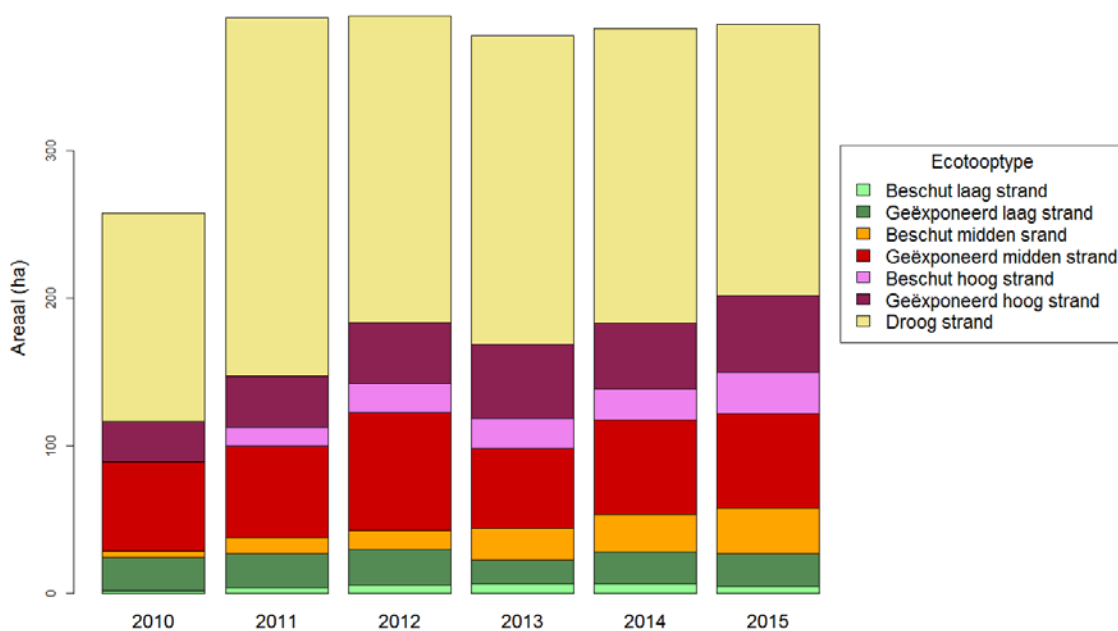
Figuur 19: Detailopname van de ligging van de verschillende ecotopen in het onderzoeksgebied voor de jaren 2010 tot en met 2015.

1205045-000-ZKS-0123, 17 augustus 2016, definitief

Bijlage C. Arealen ecotopen



Figuur 20: Arealen (ha) van het voorkomen van de verschillende typen ecotopen binnen het onderzoeksgebied.



Figuur 21: Arealen (ha) van het voorkomen van de verschillende typen ecotopen op het strand binnen het onderzoeksgebied.