

Beheerbibliotheek Kust Delfland

Beschrijving van het kustvak ter ondersteuning van het beheer en onderhoud van de kust



Beheerbibliotheek Kust Delfland

Beschrijving van het kustvak ter ondersteuning van het beheer en onderhoud van de kust

Auteur(s)

Ellen Quataert

Stéphanie IJff

Marc Hijma

Beheerbibliotheek Kust Delfland

Beschrijving van het kustvak ter ondersteuning van het beheer en onderhoud van de kust

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Stefan Plus en Niels van Kuik
Referenties	
Trefwoorden	Kustvak, Delfland, Zandmotor, Scheveningen, Spanjaards duin, beheer en onderhoud kust, suppleties, kustindicatoren, natuurbeleid, bodemdaling, duinen, strand, vooroever,

Documentgegevens

Versie	0.2
Datum	22-11-2021
Projectnummer	11206794-002
Document ID	11206794-002-ZKS-0001
Pagina's	96
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Ellen Quataert	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	Ellen Quataert Stephanie IJff Marc Hijma	Bas Huisman	Toon Segeren	

Samenvatting

Om de kennis over het kuststelsel uit te breiden en te verspreiden voert Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat kustonderzoek uit binnen het project KPP-B&O Kust (Kennis Primaire Processen Beheer en Onderhoud Kust) in nauwe samenwerking met andere onderzoeksinstituten en met Rijkswaterstaat. In deze beheerbibliotheek van de kust van Delfland wordt de meest recente kennis vanuit onderzoek en beheer samengebracht en inzichtelijk gemaakt. De beheerbibliotheek biedt onder andere een basis voor het opstellen van het suppletieprogramma, kustadvies en onderzoek. Het omvat een beschrijving van het kustlijnbeleid en -beheer, morfologische systeemwerking, kustverdediging/primaire waterkering en gebruiksfuncties van de kust. De kennis die landt in de beheerbibliotheek is zowel ontwikkeld binnen KPP-B&O Kust als ook andere kust(onderzoek)projecten en wetenschappelijk onderzoek.

De voorliggende beheerbibliotheek van het kustvak Delfland is een actualisatie van de eerste versie door Kuijper, Vergouwen en Nederhoff (2016). Resultaten van nieuwe studies (o.a. Zandmotor evaluatie en onderzoek Spanjaards Duin) zijn opgenomen en tekst, figuren en tabellen zijn aangevuld en geactualiseerd.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	KPP B&O Kust en de beheerbibliotheken	7
1.1	Kustonderhoud en -onderzoek	7
1.2	Waarom een beheerbibliotheek?	7
1.3	Wat staat er in een beheerbibliotheek?	7
1.4	Kustviewer	7
1.5	Kustlijnkaartenboek	8
1.6	Leeswijzer	8
2	Algemene gebiedsbeschrijving	9
3	Beleid t.a.v. kustonderhoud en waterveiligheid	12
3.1	Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven	12
3.2	Basiskustlijn voor Delfland	15
3.3	Waterveiligheidsbeleid	16
4	Gebruiksfuncties kust	18
4.1	Inleiding	18
4.2	Waterveiligheid	18
4.2.1	Kustverdedigingswerken	18
4.2.2	Primaire waterkering	23
4.2.3	Beoordeling van de primaire waterkering	24
4.3	Strandrecreatie	26
4.3.1	Strandtoerisme	26
4.3.2	Zwemveiligheid rondom de Zandmotor	26
4.4	Natuur	28
4.4.1	Beheer duingebieden	29
4.4.2	Bodemdieren in de vooroever	32
4.4.3	Ontwikkeling van de natuur van de lagune en het duinmeer	33
4.4.4	Vegetatie en duingroei op de Zandmotor	34
4.4.5	Vegetatieontwikkeling bij Spanjaardsduin	35
4.5	Drinkwaterwinning	41
5	Langetermijnontwikkelingen	42
5.1	Inleiding	42
5.2	Paleografische ontwikkeling	42
5.3	Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens	44
6	Beschrijving van het morfologisch systeem	49

6.1	Samenvatting van het morfologisch gedrag en kenmerken	49
6.2	Morfologische ontwikkeling brandingszone en strand	51
6.2.1	Bodemontwikkeling Delflandse Kust over de afgelopen 30 jaar	51
6.2.2	Kustuitbreiding bij Scheveningen	52
6.2.3	Kustlangse verspreiding van zand bij de Zandmotor	53
6.2.4	Zandbankdynamiek	55
6.2.5	Ontwikkeling van lagune en duinmeer van de Zandmotor	56
6.2.6	Vorming van kliffen op de haak van de Zandmotor	58
6.2.7	Effecten Zandmotor op natte infrastructuur	59
6.3	Sedimentsamenstelling van de vooroever	60
6.4	Duinen	62
6.4.1	Dynamiek in de zeereep	62
6.4.2	Westduinen (Den Haag) (bron: www.dynamischkustbeheer.nl)	65
6.4.3	Van Dixhoorndriehoek	66
6.4.4	Spanjaards Duin	66
6.4.5	Duinontwikkeling Zandmotor	68
6.5	Zandbalans	70
6.5.1	Zandbalans Delflandse Kust (Hoek van Holland – Kijkduin)	70
6.5.2	Zandbalans Zandmotor	71
6.5.3	Verwachtingen toekomstige ontwikkeling	72
7	Kustlijnontwikkeling	74
7.1	Samenvatting	74
7.2	Zandsuppleties	76
7.3	Ontwikkeling kustindicatoren	79
7.3.1	MKL – BKL	79
7.3.2	Duinvoet	80
7.3.3	Strandbreedte	81
7.3.4	Faalkans eerste duinenrij/zeereep	83
	Referenties	84
A	Kustindicatoren: berekenmethode	87
A.1	Gemiddeld hoog- en laagwater	87
A.2	Duinvoet	87
A.3	Strandbreedte	88
B	Historische kustverdediging Delfland (Van der Valk, n.d.)	89
C	Habitatkaarten Delfland	93

1 KPP B&O Kust en de beheerbibliotheken

1.1 Kustonderhoud en -onderzoek

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het onderhoud van de Nederlandse kust. Hiervoor suppleert Rijkswaterstaat in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat momenteel jaarlijks gemiddeld 12 miljoen m³ zand. Het ontwerp, volume en de uitvoerdatum van de suppletie worden gebaseerd op de kennis van het zandige kuststelsel.

In de loop der jaren zijn er vele studies afgerond en is er veel kennis over het kuststelsel ontwikkeld. Toch komen er voortdurend nieuwe onderzoeksvragen naar voren, bijvoorbeeld of zandsuppleties nog efficiënter en duurzamer kunnen worden uitgevoerd. Tevens is er nog geen eenduidig beeld van de effecten van suppleties op de ecologie van de kust en wordt hiertoe meerjarig onderzoek uitgevoerd. Om de kennis over het kuststelsel uit te breiden en te verspreiden voert Deltares - in opdracht van Rijkswaterstaat - kustonderzoek uit binnen het project KPP-B&O Kust (Kennis Primaire Processen Beheer en Onderhoud Kust) in nauwe samenwerking met andere onderzoeksinstituten en met Rijkswaterstaat. Nieuwe inzichten die uit het onderzoek voortkomen, kunnen ertoe leiden dat de suppletiepraktijk wordt aangepast.

1.2 Waarom een beheerbibliotheek?

Het hoofddoel van de beheerbibliotheek is het samenbrengen en inzichtelijk maken van de meest recente kennis vanuit onderzoek, beheer en onderhoud per kustvak. De maatregelen vinden plaats in een complex (morfologisch) systeem. Het begrijpen van die complexiteit is van belang voor de kustlijnverzorging met zandsuppleties, maar ook voor maatregelen van andere beheerders. Gebruikers van de beheerbibliotheek zijn Rijkswaterstaat, Deltares en andere (kennis)partijen en regionale beheerders. De beheerbibliotheek ondersteunt het opstellen van het suppletieprogramma, kustadvies en de programmering van kustonderzoek.

1.3 Wat staat er in een beheerbibliotheek?

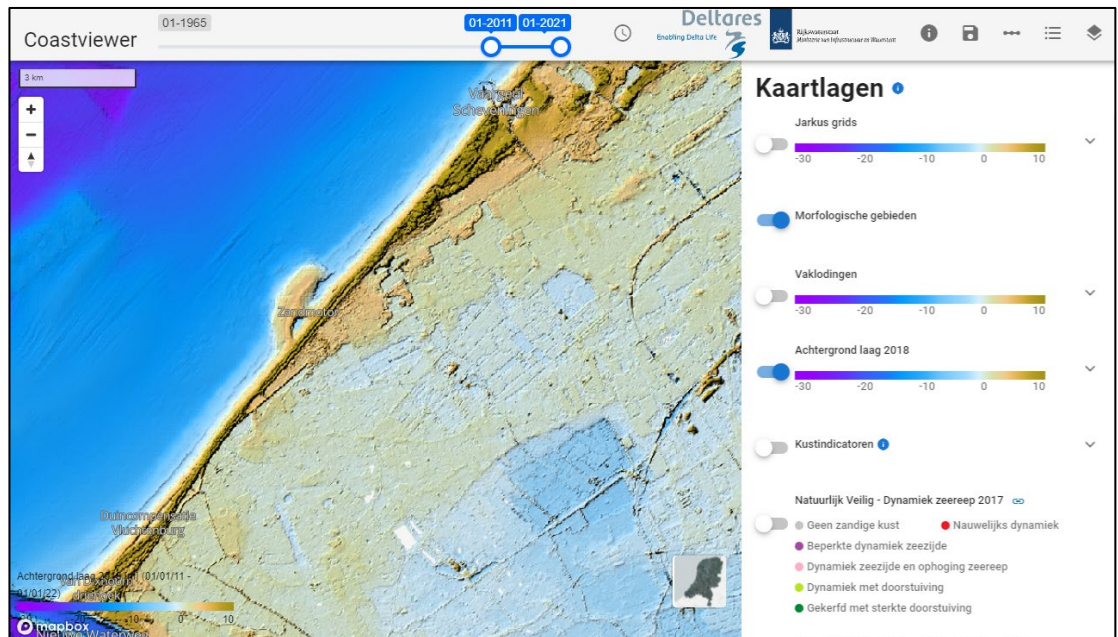
De beheerbibliotheek beschrijft de toestand van het betreffende kustvak en omvat een beschrijving van de morfologische systeemwerking, de kustverdediging en de primaire waterkeringen. Verder bevat de beheerbibliotheek een overzicht van het uitgevoerde kustbeheer, met nadruk op de eerder uitgevoerde suppleties, evenals van de waargenomen effecten van dat beheer. Ten slotte wordt in de beheerbibliotheek de informatie over de gebruiksfuncties van de kust (zoals recreatie en natuur) samengevat, het gaat daarbij om informatie die relevant is voor het vaststellen van het suppletieprogramma. De kennis in de beheerbibliotheek komt voort uit het project KPP-B&O Kust, maar ook uit andere kustprojecten en wetenschappelijk onderzoek. Tevens wordt opgedane ervaring en kennis uit de uitvoering meegenomen in de beheerbibliotheek.

De voorliggende beheerbibliotheek van het kustvak Delfland is een actualisatie van de eerste versie door Kuijper, Vergouwen en Nederhoff (2016). Resultaten van nieuwe studies zijn opgenomen en tekst, figuren en tabellen zijn aangevuld en geactualiseerd.

1.4 Kustviewer

Aanvullend op de beheerbibliotheek heeft Deltares samen met Rijkswaterstaat een Kustviewer ontwikkeld met een achterliggende database van kustdata. Deze biedt op eenvoudige manier inzicht in de ontwikkeling van de kust. In aanvulling op de figuren in de beheerbibliotheek kan

de lezer de ontwikkeling van de Nederlandse Noordzeekust online bekijken via: <https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>



Figuur 1.1 – Een voorbeeld van de Kustviewer. Delfland is weergegeven met de vakloding en AHN data en benaming van morfologische gebieden. Bron: <https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>

1.5 Kustlijkaartenboek

Jaarlijks wordt door Rijkswaterstaat gemeten en berekend hoe de ligging van de kustlijn zich verhoudt tot de basiskustlijn (BKL). Het doel van de BKL is om structurele achteruitgang van de Nederlandse kust te signaleren. Het kustlijkaartenboek wordt jaarlijks opgesteld door Rijkswaterstaat en geeft informatie over de huidige en de verwachte kustlijnligging ten opzichte van de BKL. Ook de trend van de kustlijnontwikkeling wordt weergegeven. De digitale versie van het kustlijkaartenboek is te vinden op: <https://www.rijkswaterstaat.nl/kaarten/kustlijkaart>

1.6 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk (Hoofdstuk 2) wordt een algemene gebiedsbeschrijving gegeven van Delfland, waarin een korte samenvatting wordt gegeven over de inhoud van de daaropvolgende (technisch inhoudelijke) hoofdstukken. In Hoofdstuk 3 wordt de achtergrond van het kustbeleid uitgelegd. Hierin staat een beschrijving van de totstandkoming van de Basiskustlijn, welke landelijke herzieningen hebben plaatsgevonden en welke regionale afspraken er vervolgens zijn gemaakt. Ook het beleid met betrekking tot de waterveiligheid met het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium voor de primaire waterkeringen is hierin opgenomen. In hoofdstuk 4 wordt een kort ingegaan op de gebruiksfuncties van de kust: waterveiligheid; strandrecreatie; natuur en drinkwatervoorziening. Hoofdstuk 5 start met de lange termijn ontwikkelingen bij Delfland, waaronder de paleografische ontwikkeling en bodemdaling. Hoofdstuk 6 gaat in op de het morfologisch systeem van Delfland, waarbij er telkens van grote schaal naar kleinere schaal (kust niveau) wordt gewerkt. Met deze kennis wordt in Hoofdstuk 7 de ontwikkeling van de kustindicatoren in relatie tot het kustbeheer en -onderhoud verklaard. Dit hoofdstuk omvat tevens een overzicht van het uitgevoerde kustonderhoud bij en op Delfland.

2 Algemene gebiedsbeschrijving

Ligging Delflandse kust

Delfland is het zuidelijkste kustvak langs de Hollandse kust. De zuidelijke begrenzing van dit kustvak wordt gevormd door de Noorderdam bij Hoek van Holland. In het noorden grenst Delfland, ter hoogte van Scheveningen-noord, aan Rijnland. Het kustvak Delfland ligt als geheel in de provincie Zuid-Holland en bestaat uit een strand-duin systeem dat alleen wordt onderbroken door de haven van Scheveningen en de Scheveningse boulevard. De JARKUS-raainummers nemen toe van nummer 9750 in het noorden tot nummer 11850 in het zuiden over een afstand van 21,1 km. Figuur 2.1 geeft de ligging van de belangrijkste locaties en enkele raainummers weer.

Omgevingscondities

Het getij langs de Hollandse kust is dubbeldaags met een getijslag variërend tussen 1,3 m tijdens doortij en 1,8 m tijdens springtij en afnemend van Hoek van Holland naar Den Helder. De maximale stroomsnelheid tijdens vloed naar het noorden is ongeveer 0,8 m/s en tijdens eb naar het zuiden 0,7 m/s wat resulteert in een residuele noordwaarts gerichte stroming ter grootte van 0,1 m/s (Van Rijn, 1995). Golven naderen de kust uit zuidwestelijke tot noordnoordwestelijke richting. Het golfklimaat is tamelijk homogeen langs de kust met een maandgemiddelde golfhoogte van 1 m tijdens de zomer en 1,8 m tijdens de winter (Wijnberg, 2002). De sedimentverdeling bij Delfland wordt gekarakteriseerd door een korrelgrootte (D50) van 200 μm op dieper water, 300 tot 400 μm rondom de waterlijn en 150 μm in de duinen (Huisman et al., 2016).

Morfologie en suppleties

De Delflandse kust is over het algemeen erosief, waardoor maatregelen zijn genomen zoals de aanleg van strandhoofden. Harde maatregelen konden de erosie wel vertragen, maar niet stoppen. Sinds 1953 vindt er daarom onderhoud plaats in de vorm van suppleties. In eerste instantie betrof dit duinversterking aan de binnenzijde van de duinen, maar door de tijd heen is steeds meer zand aan de buitenzijde op het strand geplaatst. Vanaf 1990 is het behoud van de kustlijn opgenomen in het landelijk beleid. In de periode 1990 tot 2007 heeft er een opschaling plaatsgevonden van de suppletievolumes, waarbij men ook steeds meer zand op de onderwateroever plaatst middels vooroeversuppleties.

Langs het gehele kustvak is gedurende de periode 1953 t/m 2020 in totaal 87,5 miljoen m^3 zand gesuppleerd. Ongeveer 70% komt voor rekening van een beperkt aantal recente grootschalige suppletie programma's:

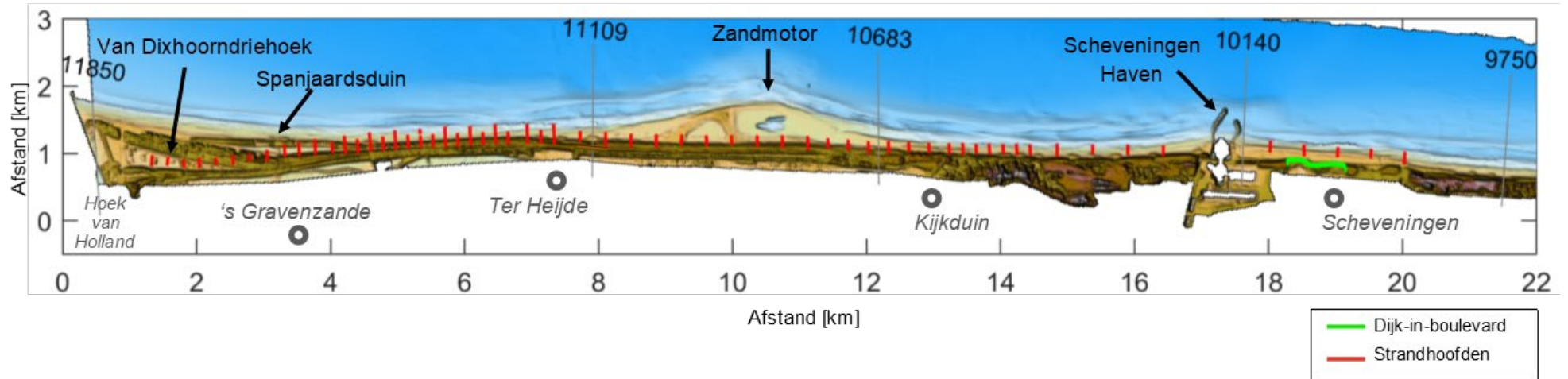
- In 1971 is ten noorden van de Noorderdam bij Hoek van Holland een grootschalige suppletie uitgevoerd met zand afkomstig van de havens van de Maasvlakte, wat resulteerde in de Van Dixhoorndriehoek (18,9 miljoen m^3). Later in 1976 en 1977 is de Van Dixhoorndriehoek van extra zand voorzien (2,4 miljoen m^3) en tussen 1988 en 2005 bijna jaarlijks met 0,2 miljoen m^3 /jaar onderhouden.
- Van 2008 tot 2010 is de 'Zwakke Schakels' duinversterking aangelegd tussen Hoek van Holland en Scheveningen waardoor een nieuwe duinenrij én een breder strand is gerealiseerd. Het totale zandvolume van deze duinversterking was 12,5 miljoen m^3 verspreid over een lengte van 13,1 km. Aanvullend daaraan is tussen 2010 en 2013 de kust bij Scheveningen versterkt door de aanleg van een dijk-in-boulevard en een verbreding van het strand (additionele 2,3 miljoen m^3).

- In 2008 en 2009 ter hoogte van 's-Gravenzande circa 6,1 miljoen m³ zand gesuppleerd als compensatiemaatregel voor het door de aanleg van de 2^e Maasvlakte verloren areaal. Bij 's Gravenzande is een nieuwe duinenrij met natte duinvallei en onderwatersuppletie gerealiseerd, resulterend in Spanjaards Duin.
- Tussen mei en juli 2011 is de Zandmotor suppletie geplaatst tussen Ter Heijde en Kijkduin. In totaal is 21,5 miljoen m³ zand (beunvolume) aangelegd langs de Delflandse kust. Dit is een pilot van een grote suppletie op één plaats, met als doel om de kustlijn over een groter deel van de kust te onderhouden. In tegenstelling tot de versterking, zullen zee en wind het zand van de Zandmotor in de loop der tijd verspreiden langs de kust. Naast het versterken van de aanliggende kust en duinen, is het toevoegen van een aantrekkelijk (tijdelijk) recreatie- en natuurgebied aan de Delflandse kust een belangrijke doelstelling. De aanleg van de Zandmotor heeft een grote invloed op de morfologie van de Delflandse kust. Voor zowel de Zandmotor als Spanjaards Duin zijn er uitgebreide onderzoeksprogramma's opgezet om, naast de morfologische ontwikkeling, ook de vegetatie-, natuur- en duinontwikkeling te evalueren.

Door het via suppleties toevoegen van zand aan het Delflandse kuststelsel is de kust niet alleen zeewaarts uitgebouwd, maar is ook de dynamiek van de zandbanken vergroot. Ook de zeereep van de Delflandse kust is in de periode 2008-2017 dynamischer geworden. Dit geldt vooral voor de Van Dixhoorndriehoek, Spanjaards Duin en de Westduinen waar ook doorstuifkuilen zijn aangelegd.

Natuur en waterwinning in de duinen

Er zijn langs de kust van Delfland twee Natura-2000 gebieden: Solleveld & Kapittelduinen en Westduinpark & Wapendal. Het beheer van deze gebieden is verdeeld over verschillende instanties. In de duinen van Solleveld vindt drinkwaterwinning plaats.



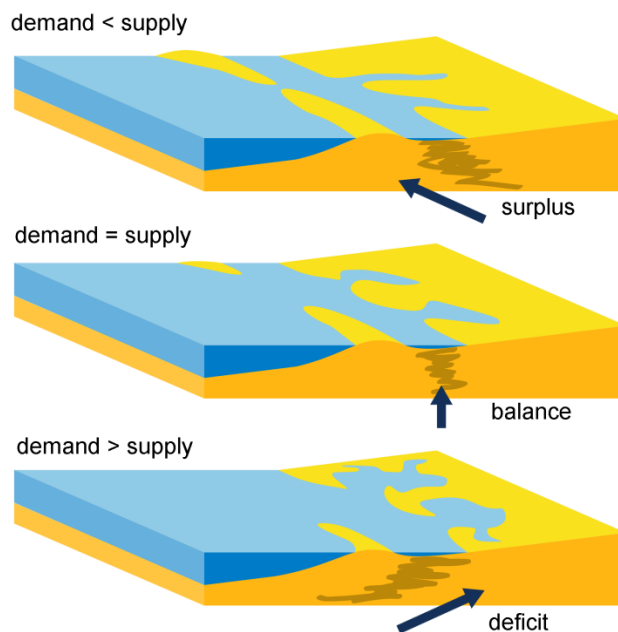
Figuur 2.1 – Overzicht van het kustvak van Delfland

3 Beleid t.a.v. kustonderhoud en waterveiligheid

Sinds 1990 wordt de Nederlandse kust dynamisch gehandhaafd middels zandsuppleties. In paragraaf 3.1 wordt een toelichting gegeven over de achtergrond van dit kustbeleid. In paragraaf 3.2 wordt de ligging en beheerpraktijk toegelicht van de Basiskustlijn voor het kustvak Delfland. In paragraaf 3.3 wordt het beleid met betrekking tot waterveiligheid en boordeling van de primaire waterkering beschreven.

3.1 Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven

Kusterosie - Hoewel er op kleine tijd- en ruimteschaal sprake is van afwisseling tussen kustopbouw en kustafbraak, vertoont de Nederlandse kust gemiddeld genomen al duizenden jaren een eroderende trend. Dit wordt veroorzaakt doordat er sprake is van een grote zandvraag, terwijl er slechts een gering zandaanbod is (Figuur 3.1). De grote zandvraag is het gevolg van een stijgende zeespiegel en van grootschalige ingrepen in de getijbekkens. Het geringe aanbod wordt veroorzaakt doordat de aanvoer van zand vanaf de diepere Noordzee bodem vrijwel tot nul is gereduceerd en de rivieren eveneens al lange tijd nauwelijks meer zand naar de kustzone transporteren.



Dynamische kusthandhaving - In 1990 besloot de Nederlandse regering dat de positie van de kustlijn gehandhaafd moest worden, zodat de veiligheid van het achterland en de aanwezige functies langs de kust (natuur, recreatie, drinkwaterwinning) duurzaam behouden blijven (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 1990). Sindsdien wordt het structurele zandverlies aangevuld met suppleties. Het gesuppleerde zand wordt door stroming, wind en golven over het kuststelsel verspreid. De verliezen worden aangevuld door het zandvolume in de kustzone in stand te houden. Dit principe wordt Dynamische kusthandhaving genoemd.

Basiskustlijn (BKL) - Om te bepalen waar het zand langs de kust gesuppleerd moet worden, is in 1990 de 'Basiskustlijn' ofwel BKL, als referentie gedefinieerd. Het doel van de BKL is het

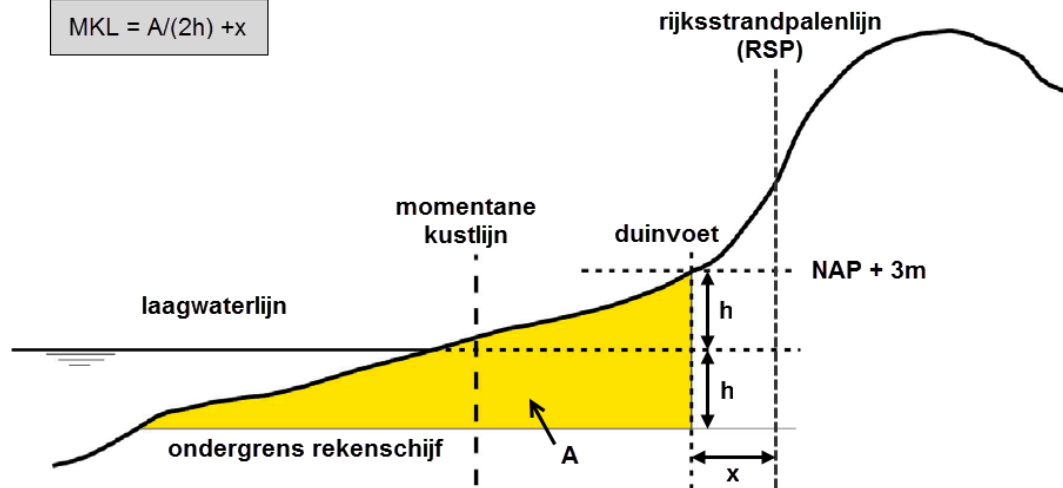
signaleren van structurele erosie. De BKL vertegenwoordigt een zandvolume dat (kustdwars) aanwezig is in het kustprofiel rondom de laagwaterlijn, tussen de duinvoet en de ondiepe vooroever. De positie van de BKL wordt berekend aan hand van dit aanwezige volume zand en uitgedrukt in een positie ten opzichte van de Rijksstrandpalenlijn (RSP). De BKL-positie in 1990 is bepaald op basis van de trend in de kustlijnliggingen tussen 1980 en 1989 (Figuur 3.3, boven). Er wordt jaarlijks een schatting gemaakt van de te verwachten toekomstige in het komende jaar, én waar deze kustlijn zich zal bevinden ten opzichte van de Basiskustlijn. Als de Basiskustlijn structureel overschreden dreigt te worden, wordt het zandverlies met suppleties aangevuld. Het benodigde jaarlijkse suppletievolume om de Basiskustlijn te handhaven werd in 1990 vastgesteld op 6 miljoen kubieke meter zand.

Kustfundament - In de jaren na 1990 groeide het inzicht dat er niet alleen structurele erosie optrad in de ondiepe kustzone rondom de Basiskustlijn, maar ook in dieper water (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000; Mulder, 2000). Het structurele zandverlies in deze zone zou op termijn kunnen leiden tot een toename van de zandverliezen in de ondiepe kustzone. De benodigde inspanning voor het handhaven van de Basiskustlijn zou daardoor in de toekomst aanzienlijk groter worden. Daarom besloot de regering in 2001 dat het voor een duurzame handhaving van veiligheid en functies in het duingebied nodig was om het zandverlies in het gehele kustfundament te compenseren. Het kustfundament loopt van de binnenduinrand tot aan de doorgaande -20m NAP-dieptelijn; het actieve zandvolume in dit hele kustfundament moet meegroeien met de zeespiegel. Het landelijke suppletievolume is daartoe verhoogd van 6 tot 12 miljoen kubieke meter zand per jaar. Bij de verdeling van dit suppletievolume staat het handhaven van de Basiskustlijn voorop.

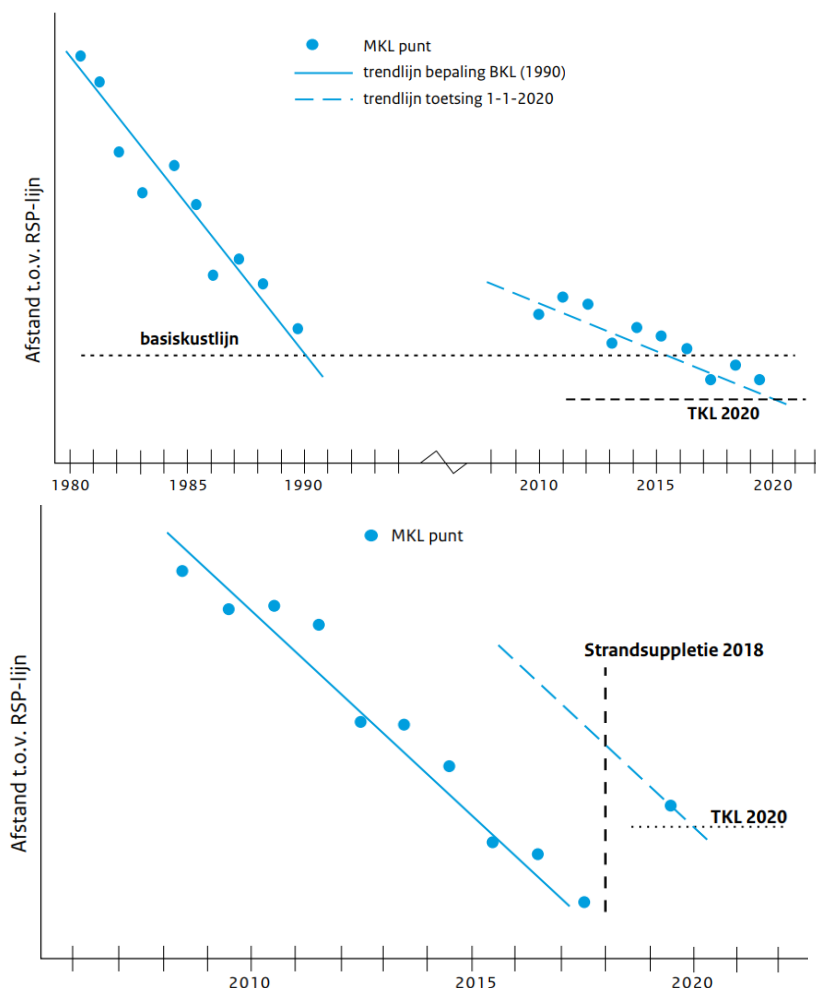
Herziening Basiskustlijn - Om ervoor te zorgen dat de Basiskustlijn overeen blijft komen met de, vanuit de verschillende functies gezien, gewenste kustlijn, is de Basiskustlijn sinds 1990 herzien in 2001, 2012 en 2017 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003), (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012), (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2018). In de nieuwe Waterwet en het Nationaal Waterplan is, net als in de voorgaande Wet op de Waterkering, de noodzaak voor een terugkerende herziening van de Basiskustlijn vastgelegd.

Momentane Kustlijn (MKL) en Toekomstige Kustlijn (TKL) - Sinds 1965 wordt de kustlijn jaarlijks gemeten (i.e. JARKUS: JAarlijkse KUSStmeting). Op basis van deze JARKUS-profielen kan de positie van de Momentane KustLijn (MKL) bepaald worden. De MKL-positie wordt, analoog aan de BKL-positie, berekend op basis van het aanwezige volume zand tussen de duinvoet en de ondiepe vooroever en ook uitgedrukt in meters ten opzichte van RSP (Figuur 3.2). Door middel van de trend in MKL-positie over de laatste jaren wordt de lineaire trend in de kustlijnligging bepaald. Uit deze trend wordt de ligging van de Toekomstige KustLijn (TKL) afgeleid voor 1 januari dat volgende jaar (Figuur 3.3). Ieder jaar wordt beoordeeld of de BKL wordt overschreden, door de TKL-positie met de BKL-positie te vergelijken.

$$MKL = A/(2h) + x$$



Figuur 3.2 - Bepaling Momentane Kustlijn (MKL). Eerst wordt het zandvolume (oppervlak A) bepaald in de zogenaamde rekenschijf tussen duinvoet (doorgaans NAP + 3m NAP) en een ondergrens (even ver beneden gemiddeld laagwater als de duinvoet boven gemiddeld laagwater (h)). Vervolgens wordt de Momentane Kustlijn bepaald door het oppervlak te delen door de hoogte van de rekenschijf (2h). Om de Momentane Kustlijn uit te drukken in meters ten opzichte van Rijksstrandpalenlijn (RSP), moet hier de horizontale afstand van de duinvoet tot RSP (x) nog bij worden opgeteld (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).



Figuur 3.3 - De Basiskustlijn (BKL) en de jaarlijkse Toekomstige KustLijn (TKL) worden afgeleid uit de trend in de Momentane Kustlijn (MKL) uit de voorgaande jaren, inclusief voorbeeld bepaling TKL2020 1 jaar na een strandsuppletie. (Kustlijkaartenboek 2020).

3.2 Basiskustlijn voor Delfland

De ligging van de huidige Basiskustlijn voor Delfland is weergegeven met de rode lijn in Figuur 3.4, samen met de positie van de BKL in voorgaande jaren (1992, 2001 en 2012). De positie van de BKL is ook te zien in de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>). De BKL voor Delfland is in 1993 vastgesteld (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993). Na de vaststelling van de BKL in 1990 is deze voor heel Nederland herzien in 2001 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2003), 2012 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu 2012; Bruens et al., 2012) en 2017 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018).

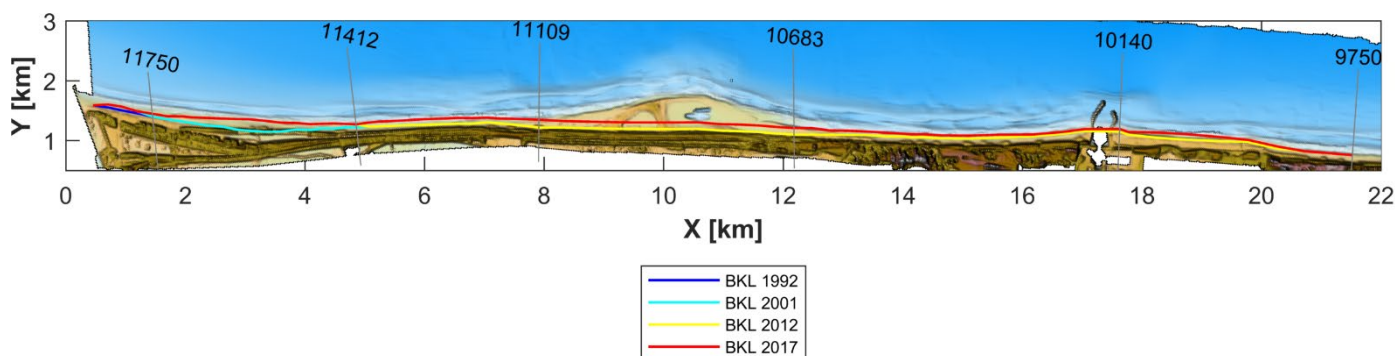
Herziening 2012

De Delflandse kust is tussen 2009 en 2011 versterkt door het strand en de duinen te verbreden. Om de versterking van de Delflandse kust te handhaven, moet de BKL zeewaarts worden verlegd. In 2009 is het zuidelijke deel (van raai 11412 tot raai 11750) van de kustversterking Delfland opgeleverd. Met de versterking is een duingebied aangepakt als compensatiemaatregel voor door de aanleg van de 2^e Maasvlakte verloren areaal. In dit gedeelte is een duinvallei met strandverbreding en onderwatersuppletie aangelegd. Om de duincompensatie en de versterking te handhaven is de BKL in 2012 zeewaarts verplaatst.

Herziening 2017

Voor het noordelijk deel van de Delflandse kust is de BKL in 2017 tussen de raaien 10200 en 11394 met 30 tot 130 meter zeewaarts verlegd. Voor het vaststellen van de herziene BKL speelt de Zandmotor echter geen rol, aangezien de Zandmotor een tijdelijke slijtlaag betreft, van weliswaar grote omvang, die in de loop van de jaren zal verdwijnen. Ter hoogte van de Zandmotor is de BKL slechts zoveel zeewaarts verlegd als nodig is voor het onderhoud van de versterking. Het verder zeewaarts verplaatsen om de Zandmotor te behouden, komt niet overeen met het tijdelijke karakter van de Zandmotor.

In 2011 is de kust bij Scheveningen versterkt, door de aanleg van een dijk-in-boulevard en een verbreding van het strand (zie paragraaf 4.2.1). Om de zandige uitbouw te handhaven, is de BKL zeewaarts verlegd. De BKL is voor de raaien 9875-10140 zeewaarts verplaatst met 35-90 meter.



Figuur 3.4 - De positie van de basiskustlijn (BKL 2017, rode lijn) voor Delfland en enkele JARKUS raaien (grijze lijnen met raainummers). De bodem is representatief voor 2020 JARKUS bodemhoogte.

3.3 Waterveiligheidsbeleid

Beheerders van primaire waterkeringen moeten minimaal eens in de twaalf jaar beoordelen of hun keringen voldoen aan de wettelijke veiligheidseisen. Dat schrijft de Waterwet¹ voor. Sinds 2017 is het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium voor de primaire waterkeringen van kracht, het WBI², voorheen de VTV (Voorschrift Toetsen op Veiligheid). De huidige beoordelingsronde is begin 2017 gestart en duurt tot 1 januari 2023. Deze beoordelingsronde is de eerste ronde op basis van de overstromingskansbenadering en is sinds 2017 vigerend. Deze eerste ronde wordt gebruikt om een eerste veiligheidsbeeld van de keringen te schetsen, ervaring op te doen met de nieuwe systematiek en te leren voor de toekomst. De keringen moeten in 2050 aan de normen in de Waterwet voldoen.

De gegevens over de belasting op de waterkering (bijvoorbeeld golfcondities en waterstanden) die nodig zijn voor de beoordeling, worden aangeleverd in de hydraulische belastingendatabase. De beheerders van de waterkering zijn verantwoordelijk voor gegevens over de actuele fysieke toestand van de waterkering.

De methode van beoordeling hangt in grote mate af van de soort waterkering. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen:

- dijken & dammen,
- duinen (ook wel duinwaterkeringen genoemd)
- waterkerende kunstwerken (bijvoorbeeld sluizen of kademuuren) en
- niet waterkerende objecten (NWO's, zoals kabels en leidingen).

Voor al deze categorieën zijn beoordelingsinstrumenten beschreven in het WBI.

De primaire waterkeringen zijn voor ongeveer 90% bij de waterschappen en voor ongeveer 10% bij Rijkswaterstaat in beheer. Zij zijn verantwoordelijk voor het (laten) uitvoeren van de beoordeling en de beschikbaarheid van de actuele gegevens van de waterkering. In het volgende tekstkader staan begrippen die in het waterveiligheidsbeleid gebruikt worden toegelicht.

De beoordeling van de Delflandse waterkering is uitgewerkt in paragraaf 4.2.3

¹ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/>

² <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen/>

4 Gebruiksfuncties kust

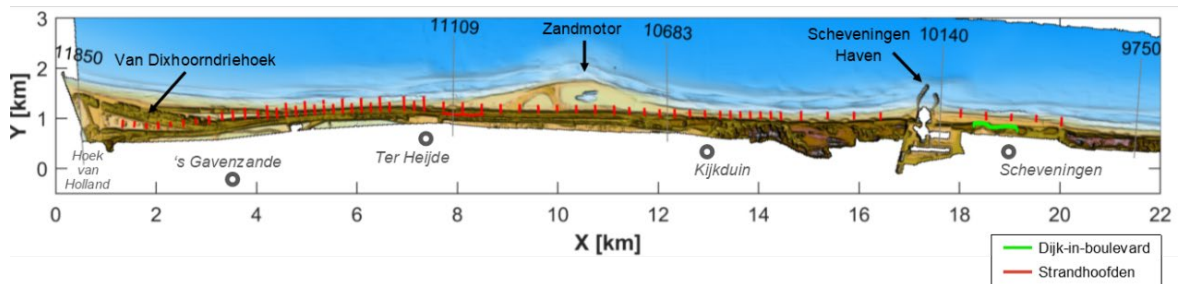
4.1 Inleiding

De kustzone is niet alleen belangrijk voor de waterveiligheid, maar biedt ook ruimte aan vele gebruiksfuncties, zoals natuur, recreatie en drinkwaterwinning. In dit hoofdstuk wordt een overzicht en korte beschrijving gegeven van de waterkeringen (paragraaf 4.2) en de gebruiksfuncties strandrecreatie (paragraaf 4.3), natuur (paragraaf 4.4) en drinkwater (paragraaf 4.5) voor de kust van Delfland.

4.2 Waterveiligheid

4.2.1 Kustverdedigingswerken

De kustverdediging van Delfland wordt gekenmerkt door een aantal harde constructies (havendammen en strandhoofden) en grootschalige kustuitbreidingen (Figuur 4.1). In tabel 4.1 is een overzicht gegeven van de kustverdediging en versterkingen langs de Delflandse kust, welke per onderwerp in deze paragraaf kort worden beschreven. Voor een verdere beschrijving van de historische kustverdediging van Delfland wordt verwezen naar Van der Valk, n.b. en Duijvestijn, 2021.



Figuur 4.1 – Overzicht harde kustverdedigingswerken bij Delfland

Tabel 4-1 Overzicht kustverdediging en versterkingen langs de Delflandse kust

Naam kustverdediging/versterking	Aanleg jaren	Locatie	Kenmerken
Strandhoofden	vanaf 1791	gehele Delflandse kust	
Havendammen van Scheveningen	1920, verlengd tussen 1968 -1972	Scheveningen Haven	
Havendam Rotterdam (Noorderdam)	1967	Hoek van Holland	
Van Dixhoordriehoek	1960-1971	Hoek van Holland	18,9 miljoen m ³ zand
'Zwakke Schakel' kustversterking Delfland	2008-2009	tussen Hoek van Holland en Scheveningen haven	12,5 miljoen m ³ zand
Spanjaardsduin	2008	's-Gravenzande (raai 11400-11700)	6,1 miljoen m ³ zand
'Zwakke Schakel' Scheveningen	2010-2013	Ten noorden van de haven van Scheveningen	Dijk-in-boulevard constructie, met 2,3 miljoen m ³ zand
Zandmotor	2011	tussen Kijkduin en Ter Heijde	21,5 miljoen m ³ zand ³

³ in 2011 is de Zandmotor aangelegd. In totaal is hiervoor 21.5 miljoen m³ zand geplaatst (beunvolume), waarvan 17 miljoen m³ voor het realiseren van de 128 hectare land op de haak. De 'vooroeversuppleties' hadden een op basis

Strandhoofden

De eerste Delflandse strandhoofden, nu grotendeels onder het zand (Figuur 4.1), werden vanaf 1791 aangelegd door Rijkswaterstaat. Toch zette kusterosie door, en de aanleg van de havenhoofden van Hoek van Holland bleek de erosie ook niet tegen te houden. Bij de stormvloed van 1 februari 1953 ontstond een kritieke situatie voor de kust van 's-Gravenzande, waarbij er net geen doorbraak van de waterkering ontstond. Maatregelen die genomen zijn onmiddellijk na de stormvloed omvatten onder meer het landwaarts verlengen van alle strandhoofden en het verwijderen van bunkers die bloot waren komen te liggen.

Havendammen van Scheveningen en Rotterdam

Aan het zuidende van de Delflandse kust bevindt zich de havendam van de Nieuwe Waterweg (de 'Noorderdam') met een lengte van circa 4 km. Dit is aanzienlijk langer dan de havendammen van Scheveningen die een lengte van circa 500 meter hebben. Met name de Noorderdam heeft een grote invloed op de golven en sluit het sediment transport af, waardoor de kust bij Hoek van Holland relatief stabiel is en zeer ondiep. Bij Scheveningen is de invloed op de golven en het zandtransport veel beperkter, en vindt er netto ook bypass plaats van zand richting het noorden.

Van Dixhoorndriehoek

De steeds verder zeewaartse uitbouw van de Rotterdamse haven zorgde voor een aanhoudend overschot aan zandige bagger. Er werd besloten om het Delflandse kustvak ten noorden de havenpier van Hoek van Holland met dit materiaal te versterken. Zo werd in de jaren 1960-begin 1970 een gebied opgespoten wat later de "Van Dixhoorndriehoek" is gaan heten. De invloed van het opbrengen van dit materiaal reikte echter niet tot het noordelijke deel van de Westlandse kust: daar ondervond de kust nog steeds de invloed van de kusterosie. Al in het begin van de 70-er jaren van de vorige eeuw is daar en bij Ter Heijde met enige regelmaat zand opgespoten het strand. De Van Dixhoorndriehoek en deze suppleties waren op deze manier al "kustversterking moderne stijl".

Zwakke Schakel versterkingen

In 2003 is de veiligheid van de zeekeringen door het Rijk geëvalueerd. Op basis van deze evaluatie is besloten om de gehele Nederlandse kust op 10 plaatsen te versterken. Voor deze plaatsen zijn in het kader van het programma "De Zwakke Schakels" versterkingen uitgevoerd. Voor Delfland is er in 2008-2009 een zeewaartse kustversterking aangebracht, die bij Hoek van Holland begon, breder werd ter hoogte van Vlugtenburg en vervolgens smal tegen Kijkduin en Scheveningen uitliep. Hierbij is gekozen voor het zeewaarts versterken en verbreden van de aanwezige duinen, een overzicht van de type versterkingen langs de kust is weergegeven in Figuur 4.2. Met de verbreding van de duinen wordt tevens het strand verbreed zodat het proces van natuurlijke duinvorming wordt gestimuleerd. De kust groeit daardoor met de veiligheidsopgave mee, zodat er minder snel verdere duinversterkingen nodig zijn. Het verbeteringsplan biedt daarmee een echte structurele oplossing. Voor de aanleg van de Duinversterking Delfland was circa 12,5 miljoen m³ zand nodig. Onderhoud van de kust blijft na versterking nodig. Het verbreden van de duinen zorgde er ook voor dat de bestaande voorzieningen zeewaarts verplaatst moesten worden. De strandpaviljoens worden daarbij 1 op 1 zeewaarts verplaatst en in een vergelijkbare positie op het strand teruggezet.

van veldgegevens vastgesteld volume van respectievelijk 0,6 en 1,7 miljoen m³ voor de noordelijke en zuidelijke vooroeversuppleties.



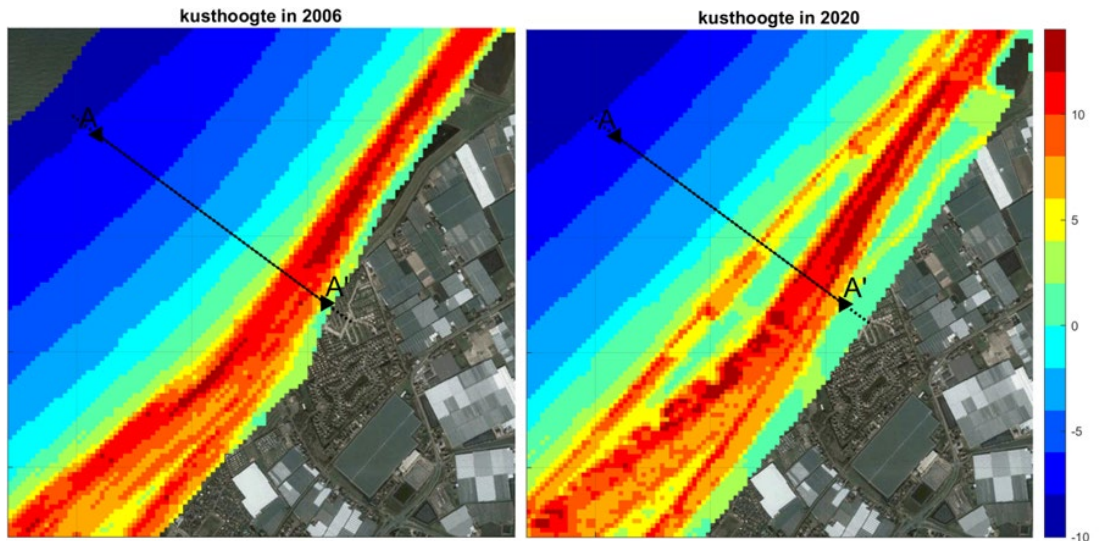
Figuur 4.2 – Overzicht van de uitgevoerde zeewaartse versterking voor de Zwakke Schakel Delflandse Kust. DHV (2007).

Spanjaardsduin

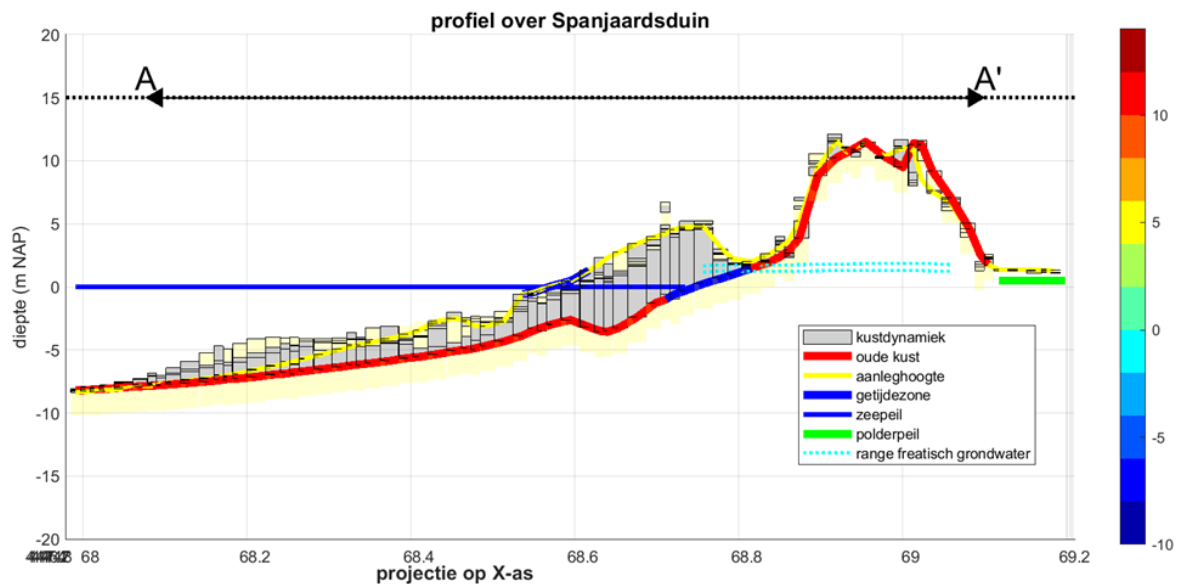
Gedurende deze periode is ook Spanjaards Duin aangelegd als duincompensatie voor de aanleg van Maasvlakte 2. Het Spanjaardsduin is onderdeel van het Zwakke Schakel versterkingsproject 'Delflandse Kust'. Het totale Zwakke Schakel versterkingsproject is gezamenlijk uitgevoerd door RWS en HH-Delfland en omvatte in totaal een hoeveelheid van 18,6 Mm³ zand, waarvan 6,1 Mm³ zand voor de Spanjaardsduin.

Dit gebied ligt voor de kust van Delfland ter hoogte van 's-Gravenzande (raai 11400-11700). De kustversterking bestaat uit een zeewaartse verbreding van de Delflandse kust. Daartoe is aan de zeezijde een extra duinenrij aangelegd en is de kustlijn met zandsuppleties strakker getrokken. Door de Spanjaardsduin is de kust circa 200 meter zeewaarts komen te liggen en de duin/strand-zone verbreed tot 500 meter. Daarmee is een onderhoudsarmere kustboog ontstaan. Het duingebied heeft in feite de vorm van een langgerekte vallei met een zeereep

'basisduin' aan de zeezijde daarvan. De oude en nieuwe kustmorfologie zijn weergegeven in Figuur 4.3. Sinds de aanleg ontwikkelt de duinmorfologie zich dynamisch, onder invloed van wind en beheeringrepen. Deze dynamiek is over het aangegeven dwarsprofiel in Figuur 4.4 schematisch weergegeven.



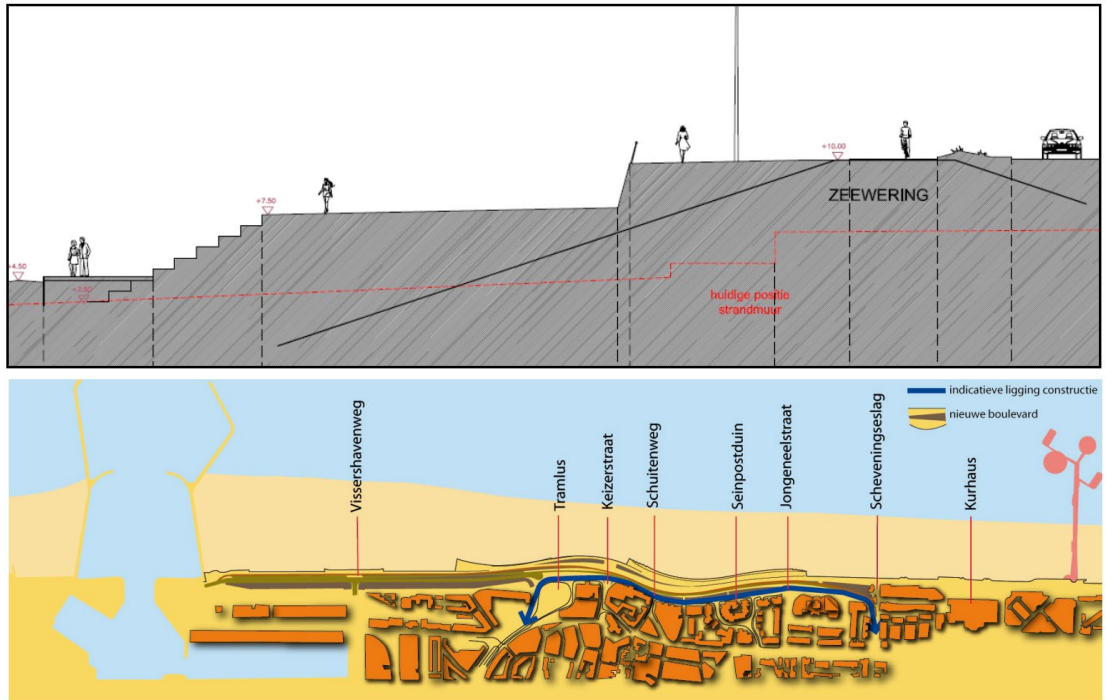
Figuur 4.3 Kustmorfologie vóór en ná de kustversterking



Figuur 4.4: Kustprofiel vóór en na kustversterking en profieldynamiek in verschillende vervolg-jaren

Dijk-in-boulevard Scheveningen

Binnen het programma “De Zwakke Schakels” is ook de Dijk-in-boulevard aangelegd ten noorden van de haven van Scheveningen (Figuur 4.3 en Figuur 4.6). De Dijk-in-boulevard bestaat, zoals de benaming al aangeeft, uit een dijk die onder de boulevard is aangelegd. Om de veiligheid te kunnen garanderen zijn het strand en de vooroever opgehoogd en verbreed. De kruinhoogte van de dijk is maximaal 10 meter boven NAP. Zo blijft het uitzicht op strand en zee vanaf de boulevard behouden. De dijk komt onder de boulevard te liggen en is dus niet zichtbaar. Op het strand voor de dijk wordt extra zand aangebracht. Het zandbanket wordt aangelegd op 4,5 meter boven NAP en wordt 50 meter verbreed in de richting van de zee.



Figuur 4.6 - Kustversterking Zwakke Schakel Scheveningen. Dijk-in-boulevard. Bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Harry van Reeken.

De Zandmotor

Tussen mei en juli 2011 is de 'Zandmotor' suppletie geplaatst op de Delflandse kust. Dit is een grote zandbuffer ter bescherming van de kustlijn. De kust tussen Ter Heijde en Kijkduin is hierdoor over een lengte van twee kilometer aanzienlijk zeewaarts uitgebouwd. In totaal is 21,5 Mm³ zand op de kust geplaatst (beunvolume). Door de tijd heen wordt het zand van de Zandmotor langs de kust verspreid als gevolg van de werking van golven en stromingen, waardoor zowel de aanliggende kust als de duinen versterkt worden. Ook het toevoegen van een aantrekkelijk (tijdelijk) recreatie- en natuurgebied aan de Delflandse kust was een belangrijke doelstelling. Het ontwerp van de Zandmotor bestaat uit een haakvormige zandbuffer die een lagune omsluit (Figuur 4.7). Op de plek waar de Zandmotor aansluit aan het strand is een duinmeer aangelegd. Het grootste deel van de haak van de Zandmotor had bij aanleg een hoogte van ongeveer 3 meter boven zeeniveau. Dit liep in landwaartse richting op naar 4 à 5 meter boven zeeniveau.

De ontwikkeling van de Zandmotor in termen van morfologie, veiligheid, natuur en recreatie is gemonitord sinds 2010 binnen het monitoring en evaluatieprogramma (MEP). De bevindingen van het MEP zijn gerapporteerd in Huisman et al. (2021b), waarin de ontwikkeling van de Zandmotor wordt geëvalueerd over de periode 2010 tot 2021. De informatie over de Zandmotor in deze beheerbibliotheek is grotendeels gebaseerd op dit rapport.

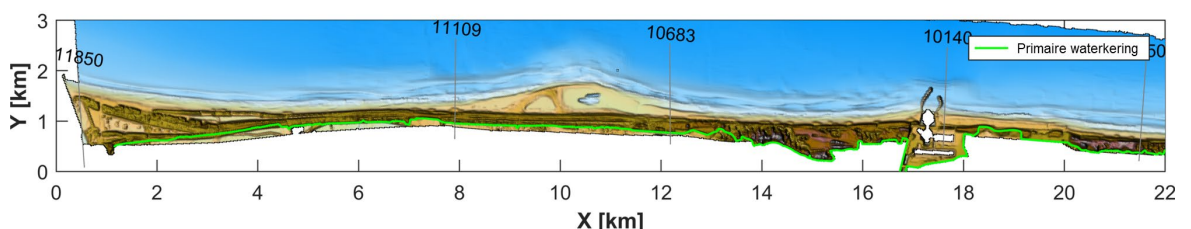


Figuur 4.7 - De Zandmotor relatief kort na aanleg tijdens laag water in 2011 (a) en oktober 2013 (b). (Huisman et al., 2021b)

4.2.2 Primaire waterkering

De landwaartse grens van de primaire waterkering van Delfland is weergegeven in Figuur 4.8, en geeft de overgang tussen een duinwaterkering en het binnendijks duingebied weer. De primaire waterkering is in beheer bij het Hoogheemraadschap van Delfland. De primaire waterkering bestaat uit duinen, dijken, aansluitconstructies en waterkerende kunstwerken en heeft een totale lengte van 23 km. Het gedeelte zeedijk (lengte 2,7 km) loopt om de haven van Scheveningen heen. In de haven van Scheveningen is een waterkerend kunstwerk aanwezig.

In het beheergebied van Delfland bevinden zich op drie locaties aansluitconstructies: één bij Hoek van Holland, waar de Delflandsedijk overgaat in duin en twee bij de haven van Scheveningen, waar het duin (zeewering) overgaat in dijk en vice-versa.



Figuur 4.8 - Overzicht landwaartse grens van de primaire waterkering van dijktraject 14-5 en 14-6.

4.2.3 Beoordeling van de primaire waterkering

In Delfland bevindt zich dijktraject 14-5 en 14-6 (Figuur 4.9), welke samen de primaire waterkering van Delfland vormen. Een dijktraject is een gedeelte van een primaire waterkering dat afzonderlijk genormeerd is. Dijktraject 14-5 heeft een lengte van circa 16 kilometer en loopt van JARKUS raai 10200 (Hoek van Holland) tot en met 11800 (Scheveningen). Het traject bestaat geheel uit duinen. Traject 14-6 ligt aan de kust van Scheveningen, van het Zwarte Pad tot en met de haven van Scheveningen. Het traject is geheel verhard en bebouwd en heeft een lengte van 5,10 km.

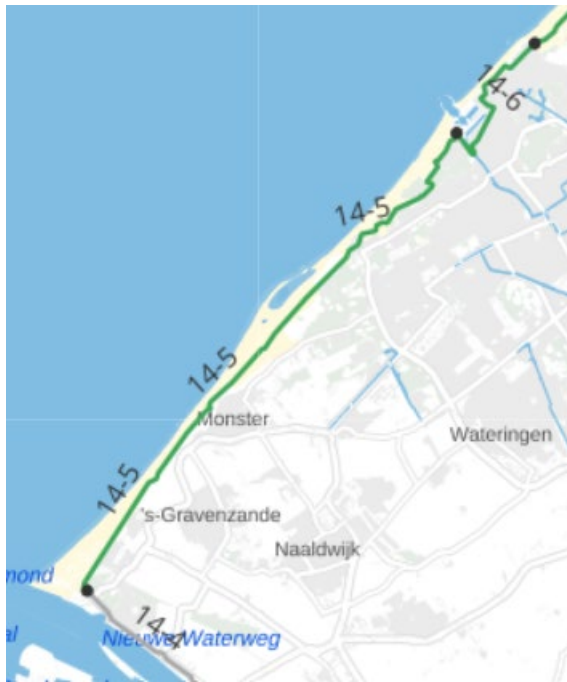


Figuur 4.9 - Dijktrajecten Delfland met de daaraan gekoppelde signaleringswaarde. Bron: <https://waterveiligheidsporaal.nl/#/nss/nss/assessment>

De signaleringswaarde voor een dijktraject is, samen met de ondergrens (de overstromings- of faalkans waarop de waterkering minimaal berekend moet zijn), als norm in de wet opgenomen en betreft een overstromingskans. De signaleringswaarde voor de dijktrajecten van Delfland zijn aangegeven in Figuur 4.9. Beide dijktrajecten van Delfland hebben een signaleringswaarde 1:30.000 per jaar en de ondergrenswaarde 1:10.000 per jaar.

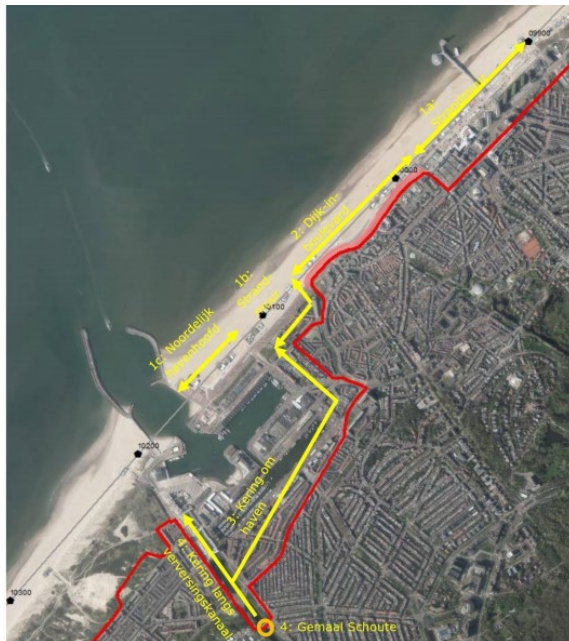
Dijktraject 14-5 is beoordeeld en Hoogheemraadschap van Delfland heeft het oordeel van het traject vastgesteld op Categorie A: voldoet aan de signaleringswaarde (Figuur 4.10).

Dijktraject 14-6 is een divers traject en bevat zowel zandige kering, een hybride kering (combinatie van een zandlichaam en een harde waterkeringsconstructie), een gemaal, een haven, een kering langs het verversingskanaal en vele niet-waterkerende objecten zoals bebouwing (Figuur 4.11). Dijktraject 14-6 is voor vrijwel het gehele traject middels een toets-op-maat beoordeeld (Hoogheemraadschap Delfland, 2021). Ook traject 14-6 krijgt het veiligheidsoordeel categorie A. Het dijktraject voldoet hiermee aan de signaleringswaarde en dus ook ruim aan de ondergrens. Wel moet er aandacht blijven voor de hoeveelheid zand die ter plaatse van de dijk-in-boulevard ligt. Het veiligheidsoordeel is hier nauw gekoppeld aan de BKL-positie. De positie van de momentane kustlijn (MKL) ten opzichte van de BKL wordt hier gemonitord.



- **A+** Dijktraject voldoet ruim aan de signaleringswaarde.
- **A** Dijktraject voldoet aan de signaleringswaarde.
- **B** Dijktraject voldoet aan de ondergrens, maar niet aan de signaleringswaarde.
- **C** Dijktraject voldoet niet aan de signaleringswaarde en ook niet aan de ondergrens.
- **D** Dijktraject voldoet ruim niet aan de signaleringswaarde en aan de ondergrens.
- **Beoordeling niet vrijgegeven** Dijktraject waarvoor het veiligheidsoordeel nog niet vrijgegeven is door keringbeheerder.
- **Geen** Dijktraject zonder veiligheidsoordeel.

<https://waterveiligheidsportaal.nl/#/nss/nss/assessment>, bezocht juni 2021



Figuur 4.11 – Dijktraject 14-6: vakken met vergelijkbare rekenmethode. Bron: Hoogheemraadschap Delfland (2021).

4.3 Strandrecreatie

4.3.1 Strandtoerisme

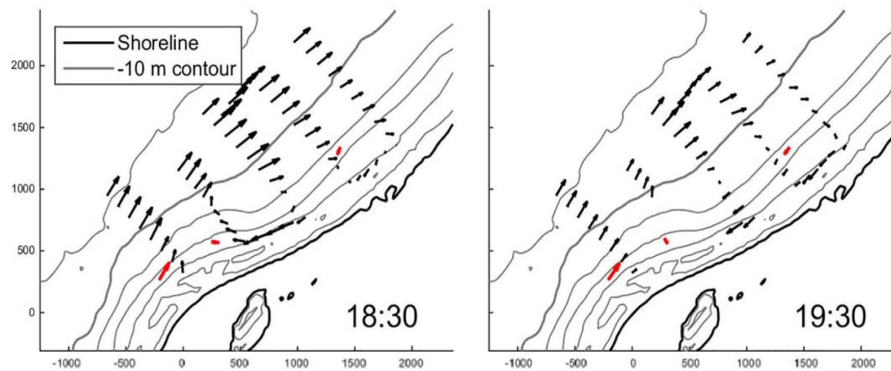
Binnen het kustvak van Delfland liggen verschillende gemeentes (Rotterdam, Westland en Den Haag) met badplaatsen die allen in mindere of meerdere mate gebruikt worden voor strandrecreatie. De gemeente Rotterdam kent vooral strandtoerisme bij Hoek van Holland en heeft strandtenten op het strand (raai 11500 – 11700). De gemeente Westland kent een relatief rustig strand. Het recreatieve strand kent een aantal strandtenten, veel strandhuisjes, een zeilvereniging en meerdere campings en vakantieparken achter de duinen. Bij Ter Heijde is de Zandmotor aangelegd wat zich ontwikkeld tot een aantrekkelijk gebied voor met name wandelaars, badgasten en kitesurfers. De Zandmotor heeft zich ontwikkeld tot een aantrekkelijk gebied voor met name wandelaars, badgasten en kitesurfers. In Huisman et al. (2021b) is de Zandmotor geëvalueerd voor beheervragen die zich richten op recreatieveiligheid. Voor recreatieveiligheid zijn afspraken gemaakt tussen de provincie Zuid-Holland, veiligheidsregio Haaglanden, gemeente Westland, gemeente Den Haag en de vrijwillige reddingsbrigades van 's-Gravenzande, Monster en Den Haag. Deze afspraken zijn opgenomen in de samenwerkingsovereenkomst Strand- en zwemveiligheid pilot Zandmotor. Gedacht kan worden aan strandbewaking (inclusief zoneringen door bijvoorbeeld een zwemverbod). Als de veiligheid dat vereist, dan zouden bepaalde gebieden kunnen worden afgesloten. Indien nodig kunnen er ook bijzondere beheermaatregelen worden getroffen, bijvoorbeeld in het geval van de vorming van steile kliffen of als er drijfzand zou ontstaan.

De gemeente Den Haag kent bijna 10 kilometer kust dat voor strandrecreatie wordt gebruikt. Het gaat hierbij om Kijkduin, het Zuiderstrand, Duindorp en Scheveningen. Het zwaartepunt van het toerisme ligt bij Scheveningen. Campings, hotels, restaurants en strandpaviljoens zijn echter langs de gehele kustlijn verspreid. Doordat Scheveningen waarschijnlijk het drukst bezochte strand is van Nederland, kent de gemeente Den Haag de meeste strandpaviljoens van alle kustgemeenten.

4.3.2 Zwemveiligheid rondom de Zandmotor

Er zijn drie natuurlijke processen die van belang zijn voor de zwemveiligheid bij de Zandmotor, namelijk 1) de grootschalige stromingspatronen (zoals de versnelling van de getijstroming en circulaties), 2) het vullen en ledigen van de lagune; en 3) muistromen door golfopzet.

Door de omvang van de Zandmotor is er een invloed op de stromingscondities langs de kust (Figuur 4.12). Ter plaatse van de Zandmotor ontstaat een versnelling van de getijstroming omdat de Zandmotor een obstructie vormt (Huisman et al., 2016). Hierdoor ontstaat tijdens vloed ook een grootschalige circulatie ('neer') op de noordflank, wat kan zorgen voor complexe stromingscondities op de kop van de Zandmotor (Shore, 2019). Als een recreant hier gaat zwemmen op een moment dat getij maximaal is, dan zou deze circulatie zwemmers richting zee kunnen verplaatsen. In de praktijk wordt het effect hiervan op de zwemveiligheid echter als beperkt bestempeld, aangezien er op deze locatie op grote afstand van de kust maar heel zelden zwemmers zijn. Door de tijd heen is het effect van de Zandmotor bovendien afgenomen als gevolg van het uitvlakken van de kustverstoring van de Zandmotor door natuurlijke processen.



Figuur 4.12 - Waarneming van stroming op de noordflank van de Zandmotor tijdens de vloedfase met een varende ADCP (Radermacher et al., 2017)

De initiële vorm van de Zandmotor had (met name in de eerste twee jaar) als risico dat er relatief grote stroomsnelheden konden voorkomen in de toegangsgeul van de lagune. Hierdoor was er een kans dat badgasten, die de toegangsgeul tijdens vloed overstaken, zich tijdens opkomend tij afgesloten waanden van de kust. Opgemerkt moet worden dat de getijstroming in deze gevallen niet naar zee toe was, waardoor de veiligheidsrisico's ook voor deze situatie beperkt waren. Door de tijd heen zijn de stroomsnelheden in de toegangsgeul afgenomen door verzanding van de lagune en het verlengen van deze geul. Alleen een ontwerp zonder lagune had dit risico volledig weg kunnen nemen, gezien een toegangsgeul een natuurlijke ontwikkeling is die niet gestuurd kan worden.

Zandbanken hebben ook een belangrijke invloed op de stromingen dichtbij de kust in de zone waar ook badgasten komen. Onder bepaalde omstandigheden kunnen er zeewaartse stromingen ('muistromen') ontstaan die zwemmers kunnen meenemen. De zwemveiligheidsrisico's door naar de zee toe gerichte stromingen door golfwerking (ook wel 'muistromen') zijn onderzocht door drijvers met GPS los te laten bij de Zandmotor. De metingen laten zien dat gevaarlijke muistromen kunnen optreden als er middelmatig tot hoge golven zijn (vanaf $H_s = 1$ meter) die relatief loodrecht aankomen op het strand aankomen. Deze omstandigheden gaan echter vaak samen met slecht weer, waardoor er in die situaties maar weinig strandgebruikers zullen zijn. Ook lijken er op basis van metingen met drijvers ('drifters') in de ondiepe kustzone bij de Zandmotor niet meer muistromen te zijn dan op de omliggende kust, waar dit met name bij strandhoofden kan voorkomen (Shore, 2019).

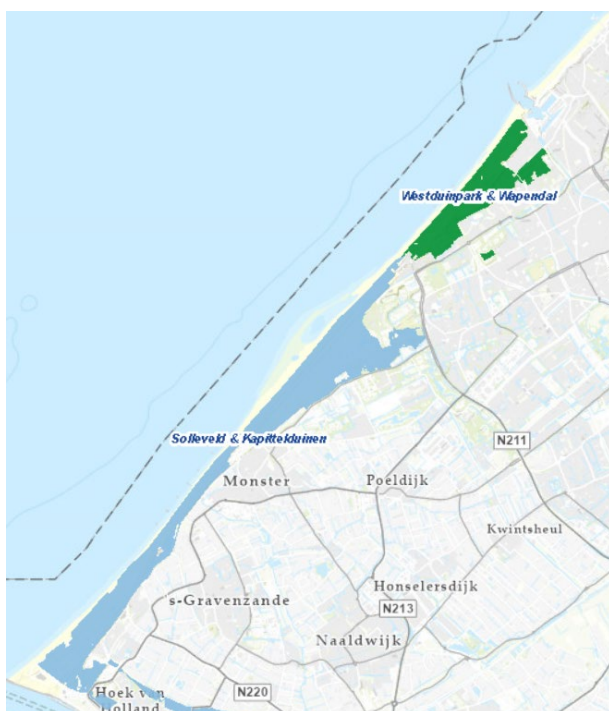
Samenvattend kan gesteld worden dat het zwemveiligheidsrisico beperkt is gebleven omdat strandgebruikers zich vaak op de minder risicovolle flanken van de Zandmotor bevonden. De zwemveiligheid wordt namelijk bepaald door zowel de (potentieel) gevaarlijke situaties als het aantal strandgebruikers (Figuur 4.8). Veel risico's gerelateerd aan zwemveiligheid (o.a. muistromen, versnelling van het getij en circulaties) blijken op te treden op slecht toegankelijke locaties (op de haak) of tijdens extreme weerscondities, en daarmee niet samen te gaan met grote aantallen strandgebruikers. De grote loopafstand tot de haak in het huidige ontwerp heeft bijgedragen aan de zwemveiligheid.



Figuur 4.13 - Overzicht van de locatie van risicovolle stromingen, strandgebruikers en hieruit voortkomend risico voor goede en slechte weersomstandigheden (uit Huisman et al., 2021b, aangepaste versie van Radermacher et al., 2018; vertaald naar het Nederlands)

4.4 Natuur

Er zijn in langs de kust in Delfland twee Natura-2000 gebieden: Solleveld & Kapittelduinen en Westduinpark & Wapendal (Figuur 4.14). Als onderdeel van de Natura-2000 beheerplannen van deze gebieden, zijn habitatkaarten opgesteld, welke te vinden zijn in de bijlage C (Figuur 7.12 t/m Figuur 7.16).



Figuur 4.14 - Ligging van de Natura-2000 gebieden Solleveld & Kapittelduinen (blauw) en Westduinpark & Wapendal (groen).

4.4.1 Beheer duingebieden

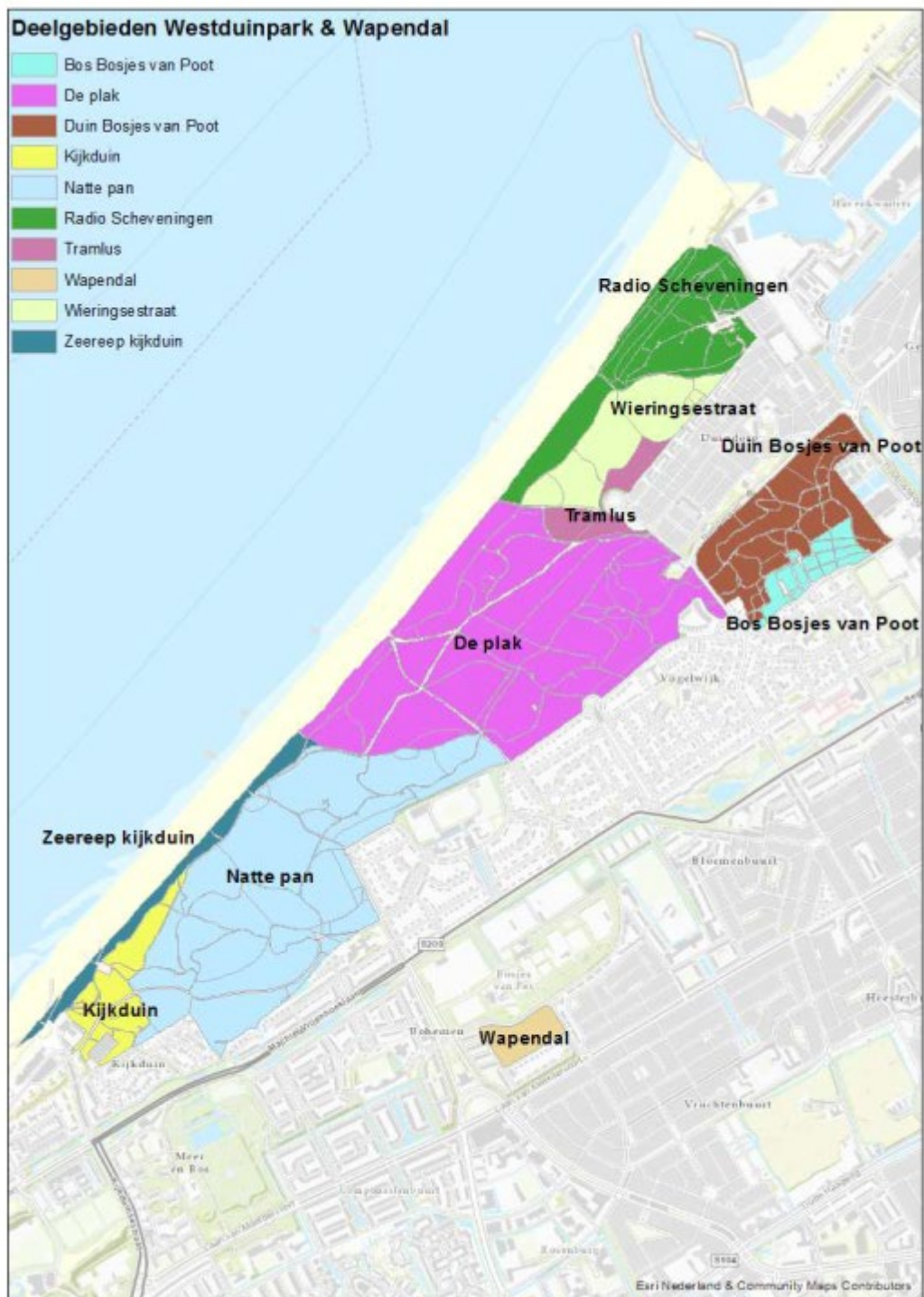
Het eigendom en beheer van de Natura-2000 gebieden Solleveld & Kapittelduinen en Westduinpark & Wapendal is verdeeld over verschillende instanties. Een overzicht van de deelgebieden is weergegeven in Figuur 4.15 en Figuur 4.16, en de verantwoordelijke instanties in Tabel 4-2 en Tabel 4-3.



Figuur 4.15 - Deelgebieden Solleveld en Kapittelduinen (bron: bron: Beheerplan Solleveld en Kapittelduinen 2018-2023).

Deelgebied	Eigendom/erfpacht	Beheerder
Solleveld		
Zeereep Solleveld	Hoogheemraadschap van Delfland	Hoogheemraadschap van Delfland
Nieuwe zeereep	Hoogheemraadschap van Delfland	Hoogheemraadschap van Delfland
Spanjaards Duin	Ministerie van I&W	Zuid-Hollands Landschap t.b.v. Beheercombinatie
Solleveld*	Dunea	Dunea/
Slaperdijk Noord	Dunea	Dunea
Ockenburgh	Gemeente den Haag	Zuid-Hollands Landschap
Ockenrode – Hyacintenbos en van Leydenhof	Zuid-Hollands Landschap	Zuid-Hollands Landschap
Ockenrode –Sollebos	Dunea	Dunea
Ockenrode – overig	Particulier (Stad en Land, Vestia, Parnassia groep, overige particulieren)	Particulier
Kapittelduinen		
Zeereep ter Heijde-Vlugtenburg	Hoogheemraadschap van Delfland	Hoogheemraadschap van Delfland
De Banken	Hoogheemraadschap van Delfland	Hoogheemraadschap van Delfland
Van Dixhoordriehoek	Staat der Nederlanden (RVOB) Hoogheemraadschap Delfland (zeewering)	Zuid-Hollands Landschap Hoogheemraadschap Delfland (zeewering)
Vinetaduin	Zuid-Hollands Landschap Staat der Nederlanden (RVOB)	Zuid-Hollands Landschap Defensie
Roomse duin	Gemeente Rotterdam	Gemeente Rotterdam
Hoekse bosjes	Gemeente Rotterdam	Gemeente Rotterdam
Hillduin	Gemeente Rotterdam	Gemeente Rotterdam
Nieuwlandse duin incl. Nieuwlandse dijk	Gemeente Rotterdam	Gemeente Rotterdam
Staalduinse bos	Gemeente Rotterdam	Particulier
Lange Wei		

* in deelgebied Solleveld ligt vakantiepark Kijkduin voor een klein deel binnen de begrenzing van het Natura 2000-gebied. Hier is Roompot eigenaar en beheerder



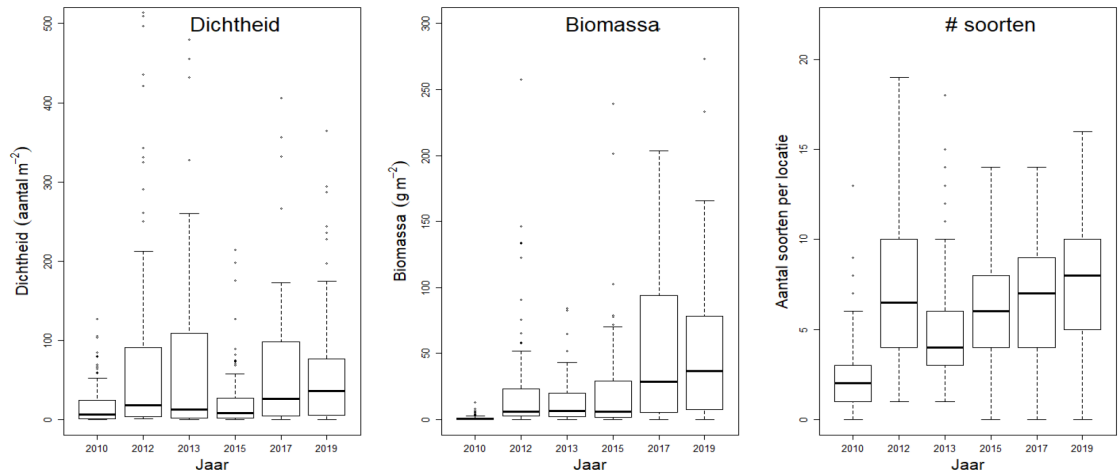
Figuur 4.16 - Deelgebieden Westduinpark & Wapendal (bron: Beheerplan Westduinpark & Wapendal 2018-2023)

Deelgebied	Eigendom	Beheerder
Westduinpark		
Bos Bosjes van Poot	Gemeente Den Haag	Gemeente Den Haag
Duin Bosjes van Poot	Gemeente Den Haag	Gemeente Den Haag
Radio Scheveningen	Staatbosbeheer (in erfpacht uitgegeven aan Gemeente Den Haag) en Gemeente den Haag. Delen van de zeewering: Staat der Nederlanden (RVOB)	Gemeente Den Haag Zeewering: Hoogheemraadschap Delfland
Wieringsestraat	Staatbosbeheer (in erfpacht uitgegeven aan Gemeente Den Haag)	Gemeente Den Haag
Tramlus	Staatsbosbeheer (in erfpacht uitgegeven aan Gemeente Den Haag)	Gemeente Den Haag
De Plak	Staatbosbeheer (in erfpacht uitgegeven aan Gemeente Den Haag) en Gemeente Den Haag	Gemeente Den Haag Zeewering: Hoogheemraadschap Delfland
Natte Pan	Staatbosbeheer (in erfpacht uitgegeven aan Gemeente Den Haag) en Gemeente Den Haag	Gemeente Den Haag
Zeereep Kijkduin	Staatbosbeheer (in erfpacht uitgegeven aan Gemeente Den Haag) en Gemeente Den Haag	Hoogheemraadschap Delfland
Kijkduin	Gemeente Den Haag	Gemeente Den Haag
Wapendal		
Wapendal	Gemeente Den Haag	Gemeente Den Haag

4.4.2 Bodemdieren in de vooroever

De meerwaarde van de Zandmotor voor natuurontwikkeling is onder andere geëvalueerd op basis van de gemeten effecten op bodemdieren in de vooroever van de Delflandse kust (o.a. invloed van eenmalig neerleggen van een suppleties; Huisman et al., 2021b).

Na aanleg van de Zandmotor werden in de vooroever meer soorten bodemdieren waargenomen én ook in grotere aantallen dan voor aanleg (Wijsman et al., 2020; Figuur 4.17). De veranderingen in de omgevingscondities (golven, stromingen, bodemhoogteverandering en sediment) hebben gezorgd voor een vergroting van de diversiteit van leefgebieden (Van Egmond et al., 2018; Van Donk & Wijsman, 2020). Met name de relatief luwere zone net noordelijk van de Zandmotor blijkt in elke meting een gebied te zijn met grote aantallen bodemdieren, wat een sterke indicatie is dat er sprake is van een effect door de Zandmotor wat niet bij een reguliere suppletie te verwachten is.



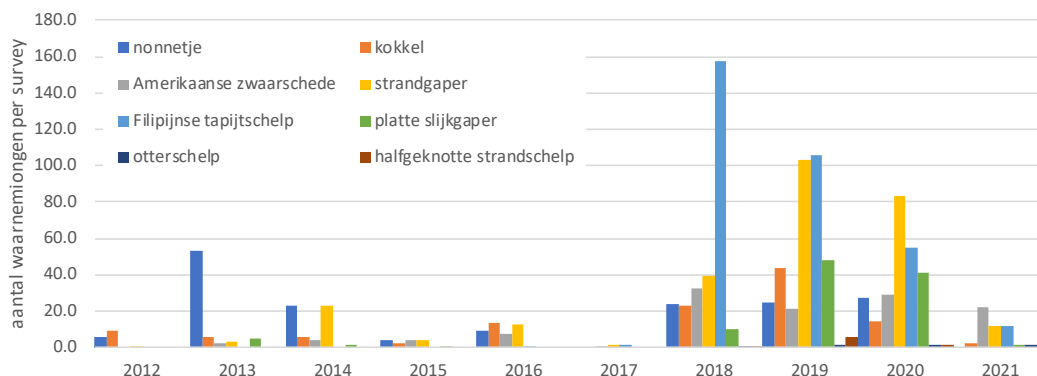
Figuur 4.17 - Verandering in de tijd van de dichtheid, biomassa en aantal soorten bodemdieren, zoals gemeten met de bodemschaaf (Wijsman et al., 2020)

Door, zoals bij de Zandmotor, minder frequent te suppleren is er minder vaak bedekking van de bodemdieren. Het is echter lastig om dit effect goed te scheiden van andere omgevingsaspecten die zijn beïnvloed, zoals de golfforcering, getijstrooming en sedimentsamenstelling. Mogelijk is dit effect klein omdat er op de ondiepe vooroever bodemdieren leven die aangepast zijn aan een hoge mate van sedimentdynamiek en daardoor de gesuppleerde vooroever snel hebben weten te herkoloniseren. Als de Zandmotor volledig is verspreid zal het bodemleven naar verwachting zijn teruggekeerd naar de oorspronkelijk situatie (Huisman et al., 2021b).

4.4.3 Ontwikkeling van de natuur van de lagune en het duinmeer

De aanleg van de Zandmotor, en daarmee samenhangende verandering in golven, stromingen en sedimentsamenstelling, heeft geleid tot een toename van de diversiteit van leefgebieden in de vooroever en de lagune van de Zandmotor (Huisman et al., 2021b). In de relatief afgeschermdede lagune waait fijn zand in aan de westzijde, terwijl er slib en organisch materiaal sedimenteert op de bodem. Sediment in de toegangsgeul is relatief grof.

Op de oevers van de lagune werden door de tijd heen schelpen van steeds meer soorten gevonden. Het aantal soorten nam toe van één naar maximaal 7 soorten (Figuur 4.18). Er werden schelpen gevonden die op de stranden van de Hollandse kust verder niet voorkomen. Daarnaast zijn muggenlarven en kleine wormpjes gevonden in de diepere bodem van de lagune. In 2020 lijkt het aantal gedaald, wat verklaard wordt vanuit de afnemende uitwisseling van water met de zee. De gebrekkige in- en uitstroom van water is een aandachtspunt in de lagune, omdat dit in latere jaren heeft geleid tot een gebrekkige waterkwaliteit (zuurstofarme condities). In het duinmeer is onderwatervegetatie ontstaan (Snavelruppia). Op termijn kunnen de lagune en het duinmeer echter veranderen in waardevolle natte strandvlaktes. Dit is echter nog niet het geval en kan nog de nodige tijd kosten, in verband met de diepte van het water in de lagune en het duinmeer.



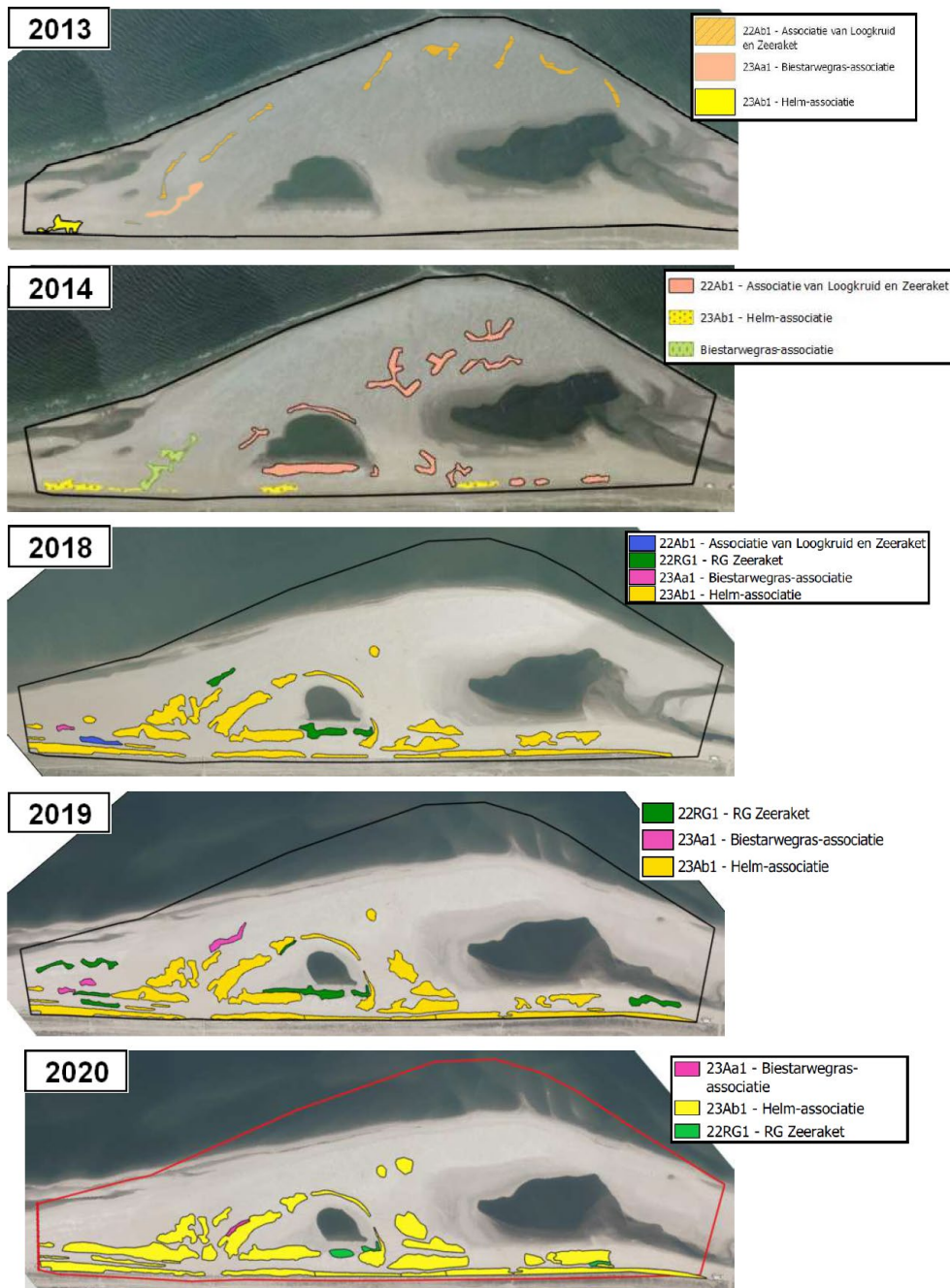
Figuur 4.18 - Gemiddeld aantal aangespoelde schelpen op de oever van de lagune per jaar per meetmoment (Van der Valk, 2021).

Op basis van waarnemingen van vogels op de Zandmotor is vastgesteld dat er grote aantallen niet-broedvogels voorkomen bij de Zandmotor. Dat geldt in het bijzonder voor de zilver- en kokmeeuw die veel werden waargenomen. Vooral de aanwezigheid van de aalscholver, de grote stern, de visdief en de grote mantelmeeuw waren van meerwaarde, omdat deze elders minder voorkomen. Opvallend was wel dat er in 2013 en 2014 meer vogels werden waargenomen dan in latere jaren. Verondersteld wordt dat de teruggang van het aantal vogels in recente jaren samenhangt met de afname van het oppervlak van de haak, waardoor het oppervlak wat slecht bereikbaar is voor recreanten aanzienlijk kleiner is geworden. Voor steltlopers is nog geen duidelijke meerwaarde te zien ten opzichte van andere stranden, alhoewel het aantal steltlopers wel toeneemt in de tijd, wat waarschijnlijk het gevolg is van een toename van bodemleven in het intergetijdengebied. Voor broedvogels was de meerwaarde van de Zandmotor beperkt, omdat het om een klein aantal vogels ging. Kustbroedvogels als de strand- en bontbekplevier, de dwergstern en de scholekster komen tot op heden nauwelijks tot broeden op de Zandmotor, omdat ze erg gevoelig zijn voor verstoring door recreanten (en loslopende honden).

4.4.4 Vegetatie en duingroei op de Zandmotor

Binnen het Zandmotor project is de ontwikkeling van vegetatie in kaart gebracht (Huisman et al., 2021b, zie Figuur 4.19). Op de Zandmotor heeft de groei van vegetatie en embryonale duinen gezorgd voor een landschap met een grote mate van natuurlijkheid, wat elders niet voorkomt langs de Hollandse kust. Op de Zandmotor is een groot areaal embryonale duinen ontstaan (aangeduid als habitatype H2110 in Natura-2000). Op sommige plaatsen zijn al duincomplexen ontstaan die als witte duinen (H2120) aangemerkt kunnen worden. Op de Zandmotor werd ook blauwe zeedistel waargenomen, wat een zeldzame plantensoort is. Andere soorten van de Rode Lijst werden niet gevonden (Arens, 2021).

De dynamische wijze van aanleg pakt vooral ten zuiden van de Zandmotor goed uit op de aansluiting met de kust. Hier vindt aangroei plaats van het strand wat vervolgens, via winddynamiek, tot duinvorming leidt. De vegetatieontwikkeling kwam wel pas na 2016 echt op gang, wat trager is dan verwacht. Daarna was sprake van een snelle groei van vegetatie en duinen (Vertegaal, 2021). In het centrale en noordelijke deel van de Zandmotor hebben het duinmeer en de lagune een remmend effect gehad op de vegetatie en natuurlijke duinaangroei, omdat zand hier werd ingevangen.



Figuur 4.19 - Overzicht van de vegetatie op de Zandmotor en de daarmee samenhangende duingroei in gebieden met helm-vegetatie (Vertegaal, 2021).

4.4.5 Vegetatieontwikkeling bij Spanjaardsduin

De vestiging en ontwikkeling van plantensoorten en vegetatie is een belangrijke indicator voor de ontwikkeling van Spanjaards Duin. Daarom worden deze regelmatig opgenomen. Sinds 2013 worden er kaarten met vegetatietypen en verspreidingskaarten van individuele soorten gemaakt. Deze individuele soorten zijn indicatorsoorten voor abiotische omstandigheden en de doelhabitats. Sinds 2017 wordt jaarlijks de vegetatie gemonitord met permanente kwadraten (pq's). De habitats witte-duinen (H2120) en duindoornstruweel (H2160) zijn vooral op het basisduin en de oude zeereep aanwezig (Figuur 4.20). Vegetatietypen die behoren tot de doelhabitats Vochtige duinvallei (H2190B) en grijs duin (H2130) zijn in 2020 nog maar

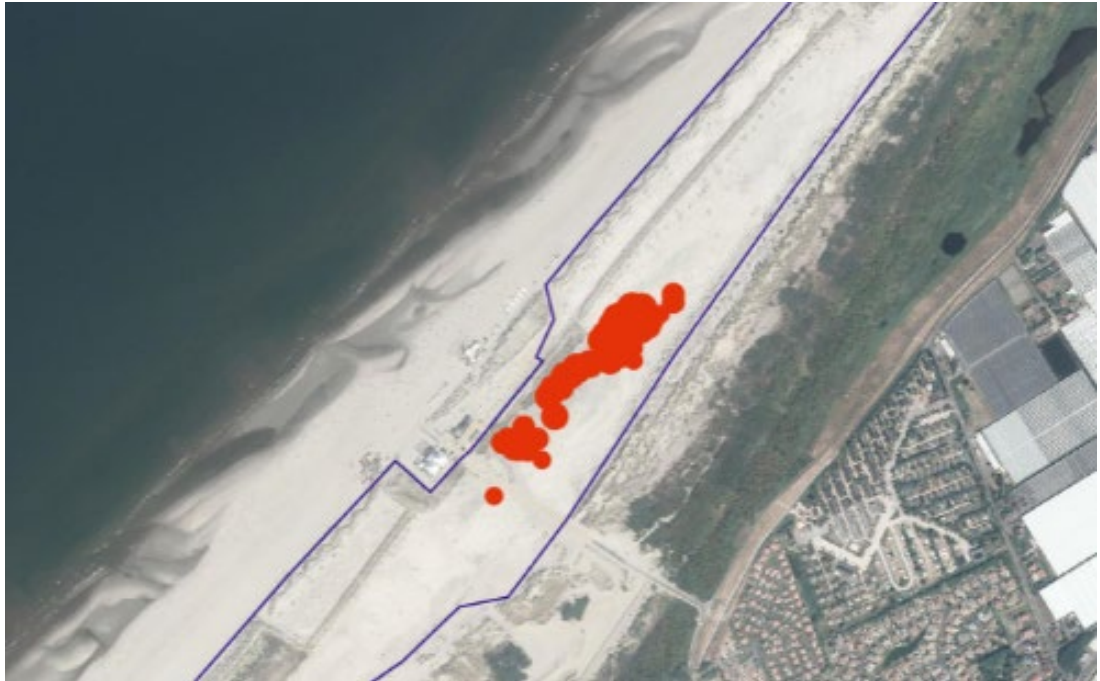
marginaal tot ontwikkeling gekomen. Daarom zijn in 2019 en 2020 ingrepen uitgevoerd, zoals het verdiepen van delen in de vallei en het aanbrengen van maaisel (zie paragraaf 6.5.3).



Figuur 4.20 Kaart met vegetatietypen in Spanjaards Duin in 2020.

Ontwikkeling vegetatie vochtige duinvallei (H2190B)

Er hebben zich sinds 2016 enkele pioniersoorten gevestigd in de lagere delen van de vallei, zoals Lisdodde (*Typha litifolia*), Watermunt (*Mentha aquatica*) en Kruiwilg (*Salix repens*). Ook de Sierlijke vetmuur (*Sagina nodosa*, ook wel Krielparnassia genoemd) heeft zich gevestigd, een indicatorsoort voor H2190B. De plek waar deze soort in hoge dichtheid voorkwam, is bij de maaiveldverlaging ongeroerd gelaten, onder meer om als zaadbank voor de omgeving te kunnen dienen. Nog steeds komt Sierlijke vetmuur hier in grote getale voor (Figuur 4.21). Na de maaiveldverlaging in 2019 (zie paragraaf 6.5.3) zijn 13 nieuwe pq's uitgezet op de oevers van de nieuwe plassen om de gevolgen van de ingreep goed te kunnen volgen. De verwachting was dat binnen 1-2 jaar zich vochtminnende vegetatie zou vestigen in de vochtige en natte delen van de vallei. De resultaten van de pq's en veldbezoek laten zien dat dit nog maar zeer beperkt het geval is. Er zijn twee redenen voor: 1) de plassen en het vochtige substraat daaromheen vangen zand in (dit kan wel 5-10 centimeter per jaar zijn), waardoor het maaiveld instabiel blijft en omhoog komt, en 2) de aanvoer van diasporen blijft mogelijk sterk achter. Uit de pq-opnamen van 2019 en 2020 blijkt dat van de soorten behorend tot habitatype vochtige duinvallei, alleen Zomprus (*Juncus articulatus*), Sierlijke vetmuur (*Sagina nodosa*), Fraai duizendguldenkruid (*Centaureum pulchellum*) en Bleekgele droogbloem (*Gnaphalium luteoalbum*) in de pq's zijn waargenomen.



Figuur 4.21 Verspreiding van Sierlijke vetmuur (*Sagina nodosa*) in 2020. Een stip geeft meerdere individuen aan, het totaal aantal is geschat op 21.227 individuen.

Ontwikkeling vegetatie grijs duin (H2130)

In de hogere delen van de vallei en op het basisduin is de vestiging van soorten die behoren bij de habitat "Grijze duinen kalkrijk" (H2130A) pleksgewijs zichtbaar. De soorten hebben zich nog maar beperkt verspreid. Het gaat hier om o.a. Kleine leeuwentand (*Leontodon saxatilis*, zie Figuur 4.22), Kruidend stalkruid (*Ononis repens*), Muurpeper (*Sedum acre*), en Zanddoddegras (*Phleum arenarium*). Ze treden vooral op in het zuidelijke deel van de zuidelijke vallei van Spanjaards Duin, waar de dynamiek lager is door de geringe breedte van de vallei en de verdergaande ontwikkeling van de nieuwe zeereep. Ook op het basisduin is op plekken met enige luwte (ook tussen de open duindoorn begroeiing) de vestiging zichtbaar van de eerste soorten die behoren bij het habitat Grijze duinen (H2130A). Opvallend is hier wel dat deze plekken door de jaren heen weinig veranderen en dat er nagenoeg geen nieuwe soorten bijkomen. Ook zijn deze en enkele andere soorten aangetroffen direct ten noorden van slag Vlugtenburg in de luwte van het basisduin waarop bebouwing staat (Strandtent, Reddingsbrigade, Catamaranclub). Uit de pq-opnamen blijkt dat de soorten behorend tot habitattypen grijze duinen in een deel van de pq's voorkomen. Het gaat hierbij vooral om een paar soorten behorend tot de Duinsterretjes-associatie (Phleo-Tortuletum) zoals Zandhoornbloem (*Cerastium semidecandrum*), Kleine leeuwentand (*Leontodon saxatilis*), Muurpeper (*Sedum acre*) en Zanddoddegras (*Phleum arenarium*).



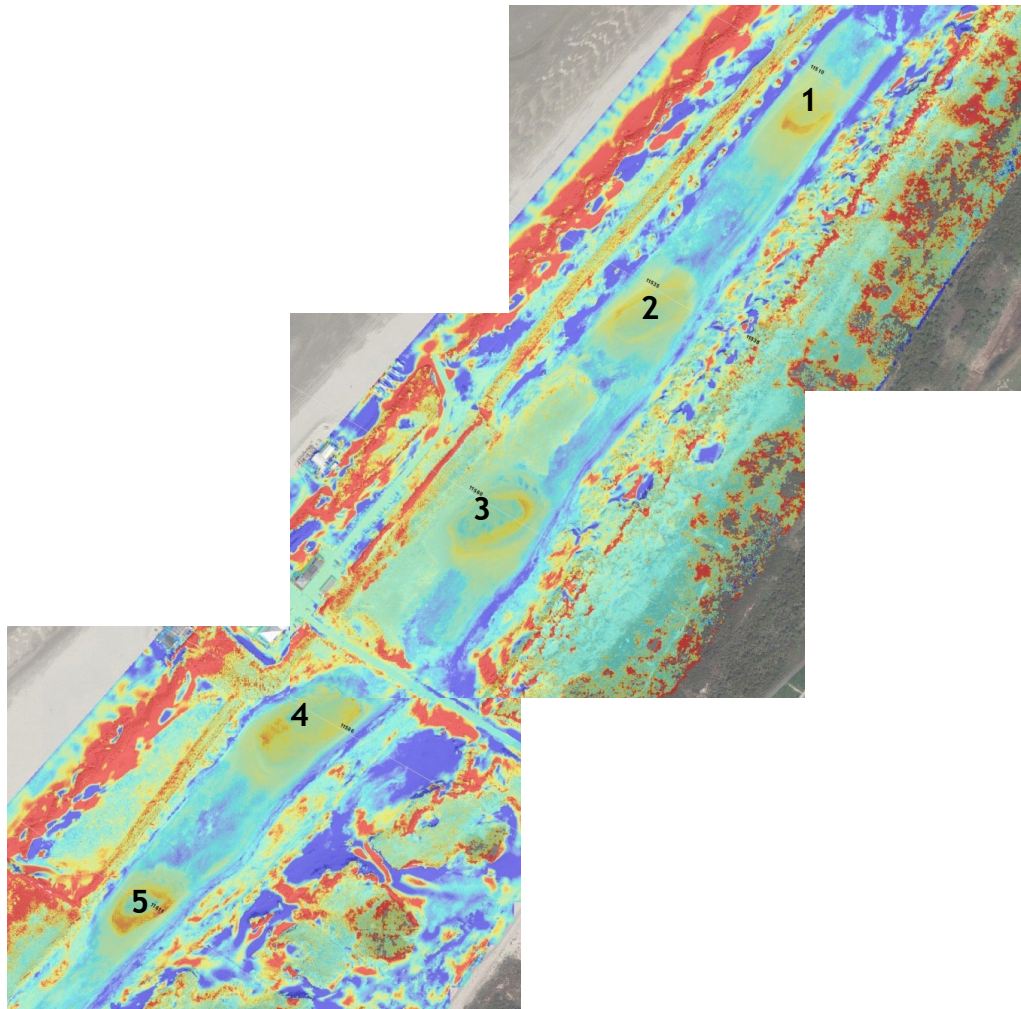
Figuur 4.22 Verspreiding Kleine leeuwentand (*Leontodon saxatilis*) in 2020. Een stip geeft meerdere individuen aan, het totaal aantal is geschat op 10.025 individuen.

Beheer van Spanjaards Duin

In 2010 is het gebied overgedragen aan het Zuid-Hollands Landschap en het wordt sindsdien Spanjaards Duin genoemd. Het Zuid-Hollands Landschap heeft tot taak het terrein op de juiste manier te beheren: d.w.z. gericht op de realisatie van de compensatieopgave, hierin bijgestaan door de Commissie Dagelijks Beheer Duincompensatie (CDBD) en de Begeleidingscommissie Duincompensatie Delfland (BDD).

Als onderdeel van het beheer worden regelmatig duindoornstruiken gerooid uit de vallei en gemaaid in het basisduin. Daarnaast worden eventuele 'stuifgaten' in het basisduin dichtgezet, om de mate van zanddynamiek in de vallei te beperken. Er zijn in 2019 en 2020 twee grootschalige maatregelen uitgevoerd, gebaseerd op de analyse van monitoringsresultaten: het verlagen van delen in de vallei in 2019, en het inbrengen van hooi in (voornamelijk) de hoge delen van de vallei in 2020.

De hoogteligging van de vallei ten opzichte van het grondwater bleek niet geschikt te zijn voor de ontwikkeling van een vochtige duinvallei. De grondwaterstand steeg minder dan de verwachting volgens het ontwerprijl. Aanvankelijk erodeerde de vallei, maar dit ging te langzaam om de vochtige omstandigheden te bereiken die een randvoorwaarde zijn voor de ontwikkeling van het habitat Vochtige duinvallei. Daarom is in 2019 een grote ingreep uitgevoerd, waarbij vijf verdiepingen zijn aangebracht (Figuur 4.23).



Figuur 4.23 Detail van de hoogteveranderingen in de vallei tussen april 2019 en juni 2020. De kleuren lopen van -0.3 tot +0.3m om de hoogteverschillen in de vallei te benadrukken. De verdiepte schotels zijn aangeduid met 1 t/m 5. [Bron: Laseraltimetrie Shore]

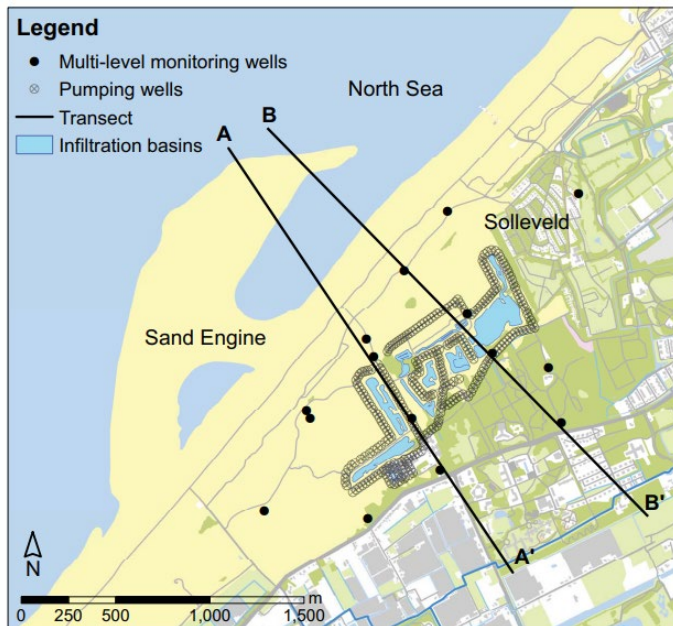
Eind 2020 zijn de hoge delen van de vallei ingezaaid met een graanmengsel, om de dynamiek te beperken en kieming van planten mogelijk te maken (Figuur 4.24). Daarbij is maaisel aangebracht dat afkomstig was van Solleveld en Meijendel. Een klein deel van de vallei (nabij slag Vluchtenburg) is maaisel ingebracht afkomstig van de vochtige duinvallei van het Kennemerstrand.



Figuur 4.24 Kaart met maatregelen uitgevoerd in 2020, waaronder het inbrengen van grijs duin maaisel in de hoge delen van de vallei (paars), vochtige duinvallei maaisel op één locatie in het lage deel van de vallei (groen), maaien van duindoorn (blauw) en het dichtzetten van stuifgaten in het basisduin (geel). Bewerkt naar: Stefan Poot, ZHL.

4.5 Drinkwaterwinning

Figuur 4.25). Het grondwater wordt onttrokken door middel van ~300 waterwinputten die zich rondom de infiltratiebekkens bevinden.



Figuur 4.25 – kaart van het Solleveld duingebied landwaarts van de Zandmotor, met het drinkwaterwingebied achter de duinenrij. Bron: Huizer et al. (2016)

De provincie Zuid-Holland en Dunea hebben een convenant ondertekend waarin is vastgelegd welke maatregelen uitgevoerd worden om eventuele negatieve effecten van de Zandmotor op de natuur en drinkwaterwinning in Solleveld te compenseren.

Het aanleggen van de Zandmotor heeft in potentie een invloed op het grondwater (Huizer et al., 2016; Pantelli, 2017). Het niveau hiervan zou kunnen stijgen, omdat het water minder snel kan afvloeien naar de zee. Een dergelijke verhoging van de grondwaterstand werd alleen niet heel wenselijk geacht vanwege de drinkwaterwinning in het gebied. Begin 20e eeuw is er mogelijk puin in de zeewaartse duinen gestort, wat bij een verhoogde grondwaterstand verontreinigingen zou kunnen afgeven aan het grondwater. Het zou onwenselijk zijn als dit puin invloed heeft op de kwaliteit van het grondwater in de waterwinputten in de duinen. Om er voor te zorgen dat het grondwater niet te hoog komt te staan is daarom het duinmeer aangelegd. Het was de bedoeling om eerst te kijken wat er met de waterstand zou gebeuren, maar door zorgen over de situatie werd er al snel voor gekozen om een extra maatregel te nemen. Dit betrof het slaan van extra drainage putten op het strand direct zeewaartse van de eerste duinenrij (Figuur 4.25). Door de onttrekkingen werd er actief voor gezorgd dat de waterstand niet kon stijgen waardoor er uiteindelijk geen verhoging van de waterstand waar te nemen was. Eventueel grondwater dat door de puinduinen stroomt wordt op deze wijze afgevoerd richting zee.

Overigens is het gebruik maken van het duinmeer om de grondwaterstand te verlagen heel specifiek voor de Zandmotor. Op andere locaties kan een verhoging van de grondwaterstand juist heel gunstig zijn. Hierdoor kan verdroging van duingebieden worden verminderd of juist een vergroting van de zoetwatervoorraad in de duinen mogelijk gemaakt worden.

5 Langetermijnontwikkelingen

5.1 Inleiding

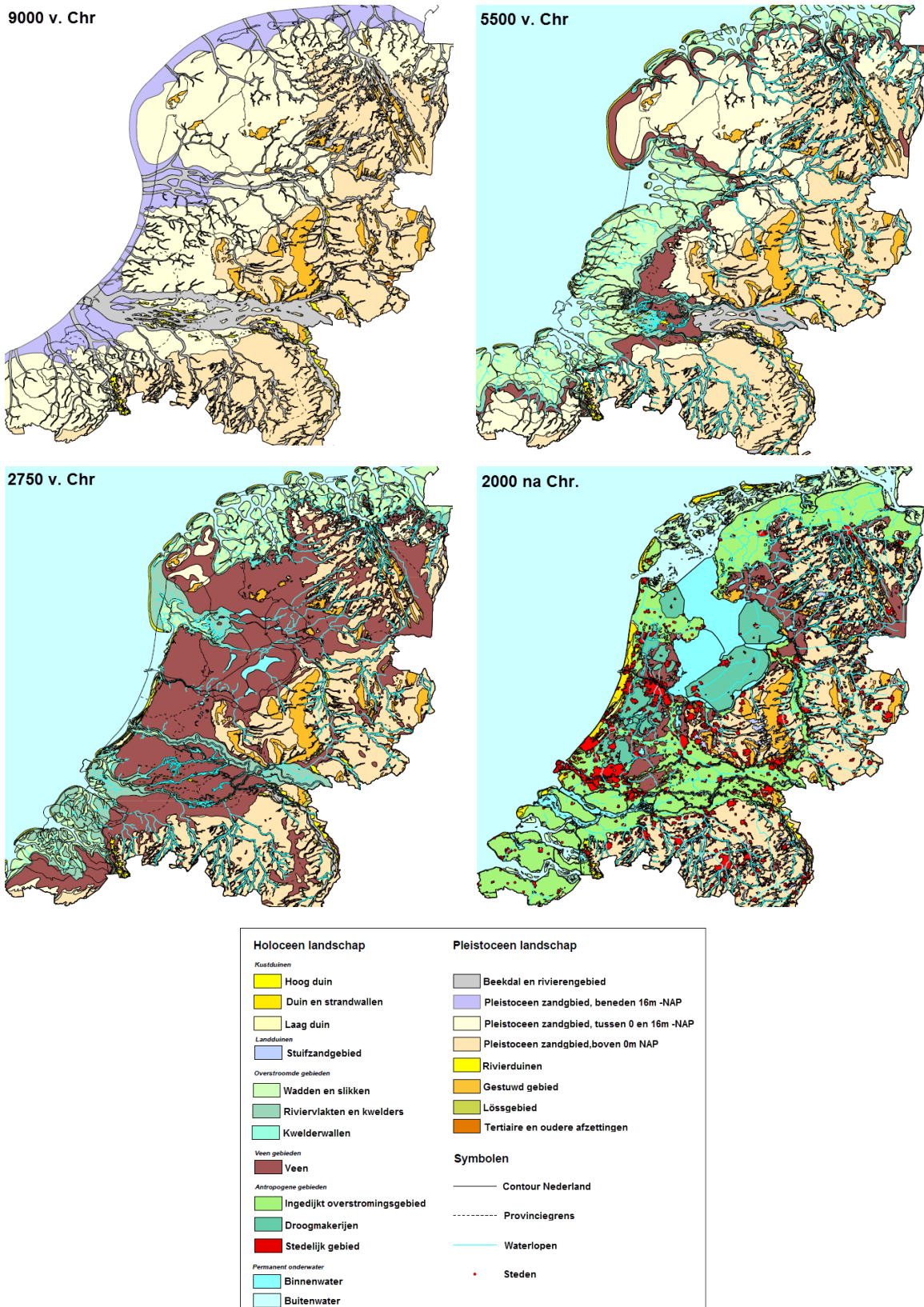
De kennis over de langetermijnontwikkelingen van Delfland bevat relevante informatie voor het beheer van de kust. De paragraaf over de paleografische ontwikkeling (5.2) schetst hoe het landschap van Delfland er gedurende de afgelopen duizenden jaren heeft uitgezien en hoe het de huidige vorm heeft gekregen. Paragraaf 5.3 behandelt de bodemdaling en de invloed ervan aan de relatieve zeespiegelstijging en de sedimentbehoefte van het kustfundament.

5.2 Paleografische ontwikkeling

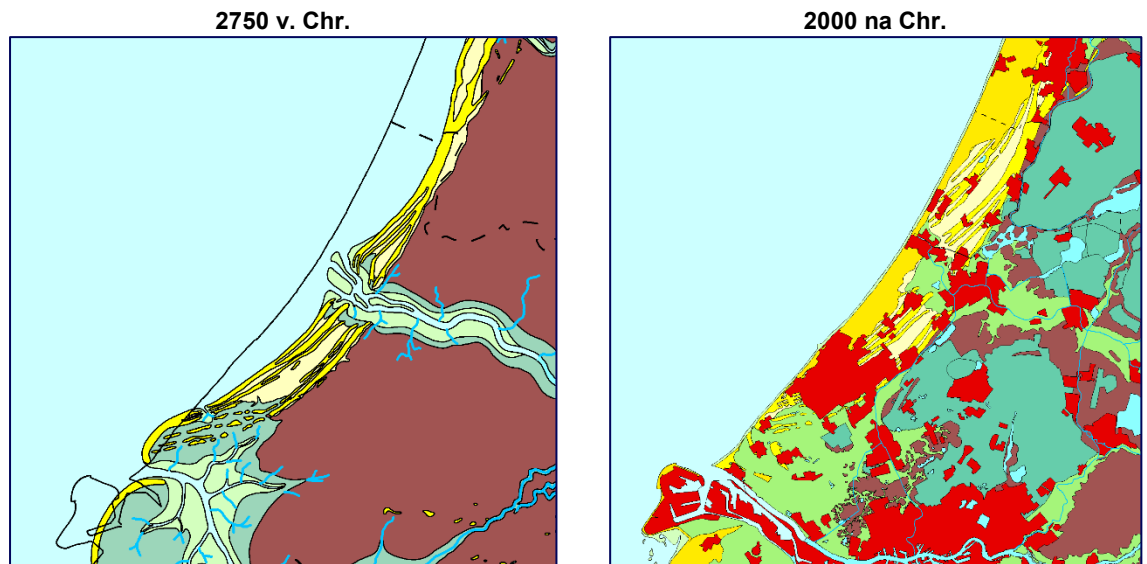
Aan het eind van de laatste ijstijd, ongeveer 12.000 jaar geleden, bestond het huidige Zuid-Holland uit een steppe-achtige vlakte, doorsneden door de Rijn en de Maas. Uit periodiek droogvallende rivierbeddingen blies zand op dat op de begroeide oevers vastgehouden werd en rivierduinen (donken) vormde. In de daarop volgende warmere periode, het Holoceen, steeg de zeespiegel en veranderde het Rijn-Maas riviersysteem van vlechtend (ondiep, veel takken, veel zand en grind) naar meanderend (enkele diepe hoofdgeulen, duidelijke oevers, meer afzetting van fijner materiaal). Tussen de rivieren was een natte laagvlakte aanwezig, met langs de rivieren afzetting van klei; verderaf van de rivier groeide veen, het Basisveen. Door de continue en snelle zeespiegelstijging veranderde het gebied rond 8500 jaar geleden in een estuarium, met toenemende invloed van het getij. Ten noorden en ten zuiden van de monding lagen uitgestrekte waddegebieden en het eerder gevormde veen raakte bedekt met klei of werd opgeruimd door geulen. De zone met veenvorming schoof hierbij snel naar het oosten.

Ergens rond 7000 jaar geleden schoof de kustlijn voorbij de huidige kustlijn. Het oostwaarts opschuiven stopte ongeveer 6000-5500 jaar geleden en toen gevormde duintjes zijn bewaard gebleven nabij Ypenburg en Nootdorp en weerspiegelen de meest oostelijke kustlijn van het Holoceen. Vanaf dat moment verplaatste de kustlijn zich weer westwaarts waarbij een serie strandwallen gevormd werd waarop Den Haag en dorpen als Rijswijk, Voorburg, Leidschendam en Voorschoten liggen. Deze strandwalafzettingen worden de Oude Duinen genoemd. Tijdens de uitbouw ontstond een vrijwel geheel gesloten kust, met alleen openingen ter plaatse van de huidige Rijn-Maasmonding. Achter het gesloten strandwallensysteem was een zeer groot moeras aanwezig waarin het Hollandveen gevormd werd. Na deze periode van kustuitbouw ontstonden in de vroege middeleeuwen de zogenaamde Jonge Duinen onder invloed van het sterker wordende zandtekort langs de kust wat tevens gepaard ging met forse kusterosie. Het duinvormingsproces ging door tot in de twaalfde eeuw en lokaal een paar eeuwen later. Daarna trad een stabielere fase in de kustvorming in en raakte het duin meer begroeid. In de tussentijd had de Rijn zijn hoofdtak verlegd richting Rotterdam en vormde samen met de Maas een groot estuarium (Hijma en Cohen, 2011; Vos en de Vries, 2013).

Figuur 5.1 laat de paleogeografische ontwikkeling van Nederland zien, aan de hand van kaarten uit Vos en De Vries (2013). Figuur 5.2 laat dit voor de laatste twee perioden zien, maar dan uitvergroot op de Hollandse kust.



Figuur 5.1 - Paleogeografische kaarten van Nederland (Vos en De Vries, 2013).



Figuur 5.2 - Paleogeografische kaarten van de Hollandse kust. Gebaseerd op (Vos en De Vries, 2013). Voor de legenda zie Figuur 5.1.

5.3 Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens

Baart et al., 2018).

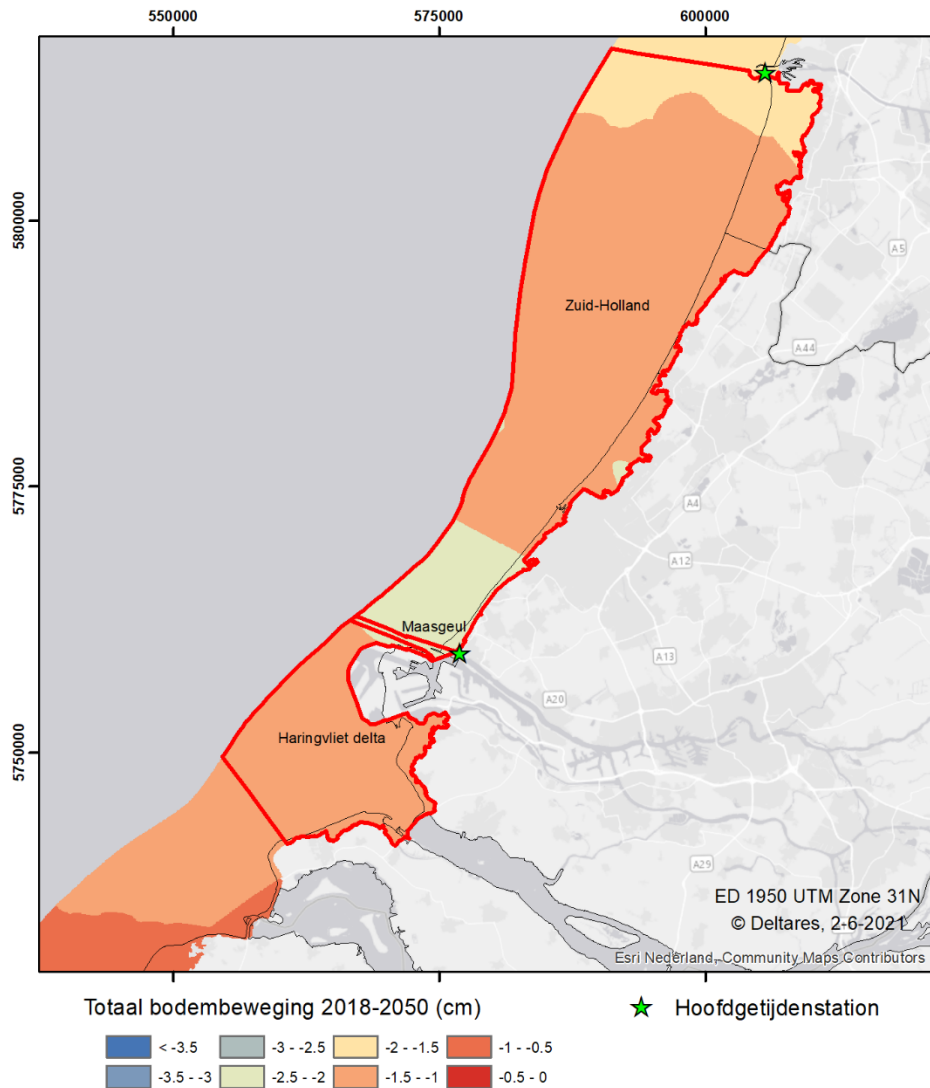
Metingen laten zien dat dat Nederland in beweging is, waarbij sommige delen omhoog komen en andere delen juist dalen. De laatste jaren zijn in verschillende rapporten overzichtskaarten voor bodemweging langs de Nederlandse kust gepresenteerd (Hijma & Kooi, 2018a; 2018b; Hijma & Van Onselen, 2019; 2020). De kaarten zijn vooral gemaakt met het oog op het vaststellen van de bijdrage van bodembewegingen aan relatieve zeespiegelstijging in Nederland en maken het ook mogelijk om bodembewegingsvolumes uit te rekenen. Deze volumes geven inzicht in hoeveel sedimentbehoefte er potentieel is als gevolg van bodembewegingen. De kaarten maken onderscheid in geologische bodembeweging en antropogene bodemdaling (Tabel 5-1), uitgesplitst naar de laatste 100, laatste 30 en komende 30 jaar⁴. Voor Delfland zijn geologische bodembeweging en bodemdaling door gaswinning van belang. De kaarten zijn vooral gebaseerd op modelberekeningen en kennen daardoor een relatief grote mate van onzekerheid, al worden de resultaten wel vergeleken met gemeten bodembewegingen. Er wordt momenteel gewerkt aan de verbetering van de monitoring van bodembeweging langs de Nederlandse kust om de bestaande onzekerheden te verkleinen (zie bijlage in Hijma & Van Onselen, 2019), waarbij ook Global Navigation Satellite System (GNSS)-data een steeds grotere rol gaat spelen (Hijma & Van Onselen, 2020).

⁴ De kaarten worden gemaakt binnen het Bodemdalingsmonitor-programma van KPP B&O Kust en zullen om de zoveel jaar geactualiseerd worden. Actualisaties zullen nodig zijn als bijvoorbeeld modellen voor het berekenen van geologische bodembeweging of winningsplannen veranderen.

Tabel 5-1 Componenten van de belangrijkste componenten van bodembeweging in Nederland.

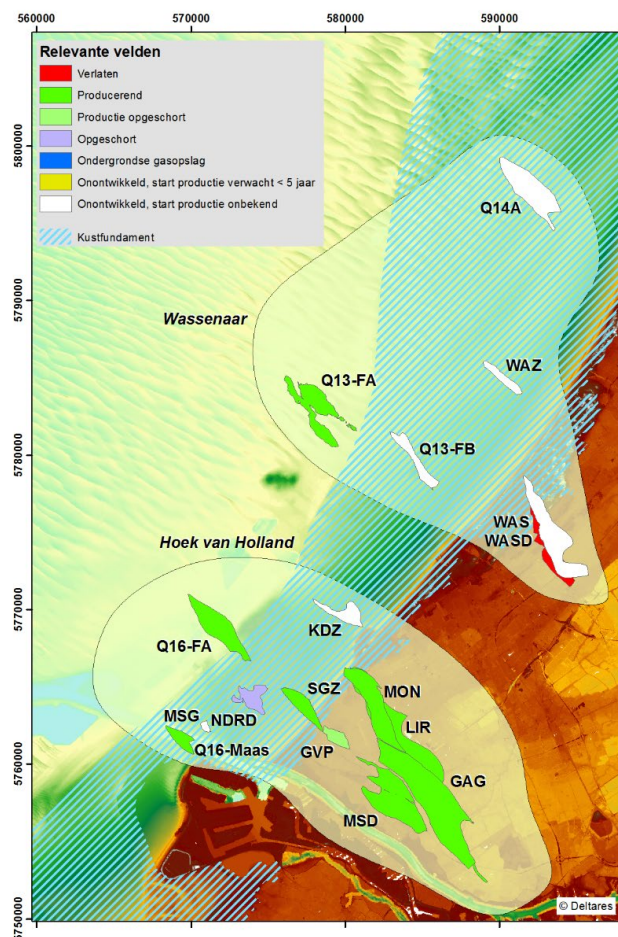
Hoofdoorzaak	Oorzaak	Beschrijving
Geologische bodembeweging	Tektoniek	Daling of opheffing die wordt veroorzaakt door spanningen in de ca. 100 km dikke Euraziatische aardplaat waar Nederland deel van uitmaakt. De spanningen hangen samen met het naar elkaar toe bewegen van de Afrikaanse en Euraziatische aardplaat en het uit elkaar drijven van Europa en Noord-Amerika.
	Isostasie	Daling die samenhangt met het terugbuigen van de aardplaat in Noord-West Europa door het afsmelten van de grote ijskappen die in de laatste glaciële periode op Groot-Brittannië en Scandinavië rusten. Bij het ontstaan van de ijskappen was de aardplaat onder het gewicht van het vele ijs doorgelopen. Het proces van herstel (terugbuigen) is nog gaande.
	Elastische respons	Opheffing als gevolg een elastische reactie van de aardkorst op de recente ijs afsmelting op Groenland. Door deze massa verdwijnt gewicht op Groenland en de vrijwel instantane aanpassing van de aardkorst hierop zorgt voor opheffing in Nederland.
Antropogene bodemdaling	Olie-/gaswinning	Daling aan het maaiveld die wordt veroorzaakt door de drukverlaging in olie- of gasvelden en die zorgt voor samendrukking van de betreffende lagen.
	Zoutwinning	Daling die wordt veroorzaakt door de lage druk in de cavernes die ontstaan door het winnen van zout. De cavernes worden langzaam dichtgedrukt en zorgen voor inzinking van bovenliggende lagen.
	Grondwaterwinning	Daling die wordt veroorzaakt door de waterdrukverlaging in de bodemlagen in de omgeving van de winning waardoor de laag waaruit wordt gewonnen, maar ook boven en/of onderliggende lagen, worden samengedrukt.
	Peilbeheer	Daling die samenhangt met periodische aanpassing/verlaging (t.o.v. NAP) van het waterpeil in sloten en vaarten in gebieden met maaiveld daling om een gewenste drooglegging (verschil tussen maaiveld en waterpeil) te handhaven.
	Zetting	Daling onder invloed van extra gewicht dat op het maaiveld (of waterbodembodem) wordt aangebracht door de mens en waardoor lagen in de ondergrond worden samengedrukt.

De kaart in Figuur 5.3 is afgeleid van de landelijke kaarten voor bodembeweging langs de Nederlandse kust en toont de verwachte bodemdaling tot 2050, waarbij is ingezoomd op de omgeving van Delfland. De kaart laat zien dat de omgeving van Delfland vrij gelijkmatig aan het dalen is, met name onder de invloed van geologische bodemdaling die richting het noorden toeneemt. Vandaar dat rond Schouwen de bodemdaling gemiddeld lager is (-1.0 tot -0.5 cm over de periode 2018-2050) dan nabij IJmuiden (-2 tot -1.5 cm over de periode 2018-2050). Ten noorden van de Maasgeul ligt een strook met meer bodemdaling (2.5 tot -2 cm over de periode 2018-2050) als gevolg van gaswinning in verschillende kleine velden. Een deel van deze velden ligt op het land, maar de bodemdalingsschotel van deze velden reikt tot in het kustfundament (Figuur 5.4). Omdat de velden relatief weinig gas produceren, is de invloed van de gaswinning op bodemdaling vele malen kleiner dan bijvoorbeeld in de Waddenzee, nabij Ameland of bij het Groninger gasveld. Tabel 5-2 geeft de bodembewegingsgetallen en volumes voor de deelgebieden voor kustonderhoud die relevant zijn voor Delfland.



Figuur 5.3 – Totale verwachte bodembeweging (winning van gas en olie; geologische bodemdaling) in de periode 2018-2050 met de relevante deelgebieden (naar Hijma & Kooi, 2018b).

Tabel 5-2 laat zien dat de meeste bodemdaling door gaswinning al heeft plaatsgevonden in de afgelopen 30 jaar. De komende 30 jaar wordt deze invloed steeds minder en zal overal de geologische bodemdaling weer dominant worden. De totale bodemdalingsvolumes per jaar zijn niet goed vergelijkbaar voor de verschillende gebieden, omdat de gebieden sterk verschillen in oppervlak. Voor Haringvliet delta gaat het om circa 0.08 miljoen m³ bodemdalingsvolume per jaar, terwijl dit voor Zuid-Holland oploopt tot ongeveer 0.4 miljoen m³ bodemdalingsvolume per jaar. Voor de drie gebieden samen wordt de komende 30 jaar een bodemdalingsvolume van rond de 16-17 miljoen m³ berekend.



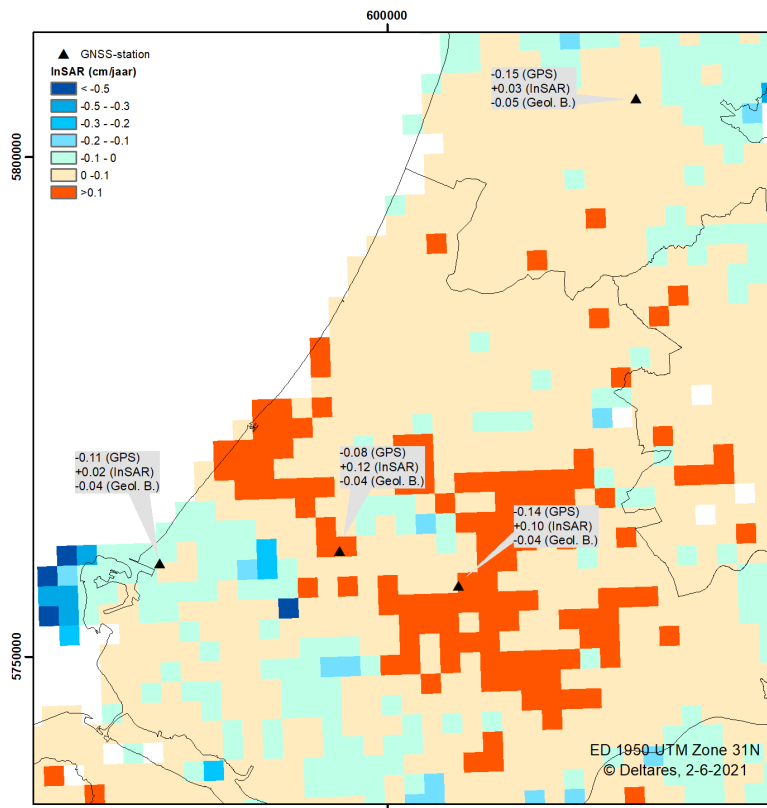
Figuur 5.4 Overzichtkaart (status 2018) van de velden bij Hoek van Holland en Wassenaar (uit Hijma & Kooi, 2018a).

Tabel 5-2 Bodembewegingsgetallen voor de deelgebieden in Figuur 5.3 (deze zijn aangepast ten opzichte van Hijma & Kooi (2018b); zie dat rapport voor onderbouwing van de berekende onzekerheden).

Periode	Gemiddelde geologische bodembeweging (cm)	Gemiddelde bodembeweging door winning (cm)	Gemiddelde bodembewegings-snelheid (cm/yr)	Totale bodemdalingsvolume ± onzekerheid (Mm ³)	Totale bodemdalingsvolume ± onzekerheid (Mm ³ , gem. per jaar)
1917-2017					
Haringvliet Delta	-3.37	0.00	-0.034	8.1 ± 3.9	0.081 ± 0.039
Maasgeul	-3.68	-0.95	-0.046	0.3 ± 0.1	0.003 ± 0.001
Zuid-Holland	-4.27	-0.17	-0.044	39.9 ± 17.8	0.399 ± 0.178
1987-2017					
Haringvliet Delta	-1.01	-0.03	-0.035	2.5 ± 1.2	0.083 ± 0.039
Maasgeul	-1.10	-1.91	-0.100	0.2 ± 0.0	0.007 ± 0.002
Zuid-Holland	-1.28	-0.28	-0.052	14 ± 5.4	0.467 ± 0.179
2018-2050					
Haringvliet Delta	-1.11	-0.02	-0.034	2.7 ± 1.3	0.082 ± 0.039
Maasgeul	-1.21	-0.95	-0.065	0.2 ± 0.1	0.005 ± 0.002
Zuid-Holland	-1.41	-0.11	-0.046	13.7 ± 5.9	0.414 ± 0.178

In het gebied van Delfland staan ook GNSS-stations die nauwkeurige hoogtemetingen geven. Belangrijke vraag daarbij is altijd wel hoe diep de stations gefundeerd staan en welke bodemdaling ze dus feitelijk meten. Daarnaast worden op www.bodemdalingskaart.nl kaarten gepresenteerd die op basis van radarsatellieten (InSAR) vervaardigd zijn. Figuur 5.5 laat de resultaten zien voor Delfland en de wijdere omgeving. De achterliggende kleurenkaart is gemaakt op basis van InSAR en laat een wisselend en niet eenduidig beeld zien: de meeste vierkantjes zijn licht positief (bodemstijging!) en sommige vierkantjes licht negatief. Aan deze kaart wordt nog volop gewerkt en de vierkantjes zijn 2x2 km en daarmee vrij grof. De InSAR-data op deze schaal is nog niet voldoende robuust om duidelijke uitspraken te doen over bodembeweging in Delfland. De gegevens van de GNSS-stations laten allemaal een fors dalende trend zien, waarbij de waarden tussen 0.08 en 0.15 cm daling per jaar liggen, fors hoger dan de gemodelleerde geologische bodemdaling. Deze verschillen worden nader onderzocht in het lopende *Bodemdalingsmonitor* programma. De meest voor de hand liggende verklaring is dat de GNSS-stations ook beïnvloed worden door bodemdaling in de bovenste 10-20 m, terwijl deze daling niet meegenomen wordt in de geologische bodemdaling.

Samengevat: zeer waarschijnlijk daalt Delfland 3-4 cm/eeuw als gevolg van geologische bodemdaling. De gaswinning heeft in de laatste decennia gezorgd voor enkele centimeters extra bodemdaling ten noorden van de Maasvlakte. De invloed van de gaswinning neemt de komende decennia naar verwachting af.



Figuur 5.5 – Kaart met de diepere bodemdaling volgens www.bodemdalingskaart.nl (grotendeels middels InSAR-data). Verder staat bij ieder GNSS-station de bodemdaling in cm/jaar volgend uit respectievelijk de GPS-data, de InSAR-kaart en de gemodelleerde geologische bodemdaling. De GPS-data is verkregen via <http://geodesy.unr.edu/NGLStationPages/gpsnetmap/GPSNetMap.html>, de gemodelleerde geologische bodemdaling volgt uit Hijma & Kooi (2018b).

6 Beschrijving van het morfologisch systeem

6.1 Samenvatting van het morfologisch gedrag en kenmerken

Dit hoofdstuk beschrijft het morfologische systeem in het kustvak Delfland, in Figuur 6.1 wordt een overzicht van de kenmerken en morfologische trends weergegeven. In het kustvak Delfland wordt de morfologische ontwikkeling voornamelijk bepaald door de vele (en grootschalige) ingrepen. Het betreft (i) de suppleties in het kader van het reguliere suppletieprogramma voor kustlijnhandhaving, (ii) de kustversterking in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (de Zwakke Schakels Scheveningen en Delflandse Kust), (iii) de aanleg van Spanjaards Duin bij 's-Gravenzande als duincompensatie voor Maasvlakte 2 en (iv) de aanleg van de Zandmotor als pilot voor het op innovatieve wijze beschermen en onderhouden van de kust.

Door de Zandmotor is de kust bij Ter Heijde in 2011 over een lengte van ruim 2 kilometer lokaal tot 1 km zeewaarts uitgebouwd. Dit zand dient als voeding voor de omliggende kust, en waarborgt zo de lange-termijn veiligheid van de Delflandse kust. Bij de Zandmotor vindt deze herverdeling langs de kust met name plaats als gevolg van golfgedreven langstransport. Door de tijd heen neemt de breedte van de Zandmotor af. De kop van de Zandmotor is in de eerste 10 jaar na aanleg circa 500 meter teruggetrokken, waarbij de snelheid van het terugtrekken afneemt.

Het Spanjaardsduin bestaat uit een zeewaartse verbreding waarbij aan de zeezijde een extra duinenrij is aangelegd. De kust is circa 200 meter zeewaarts komen te liggen en de duin/strandzone verbreed tot 500 meter. Sinds de aanleg ontwikkelt de duinmorfologie zich dynamisch, onder invloed van de wind en beheeringrepen.

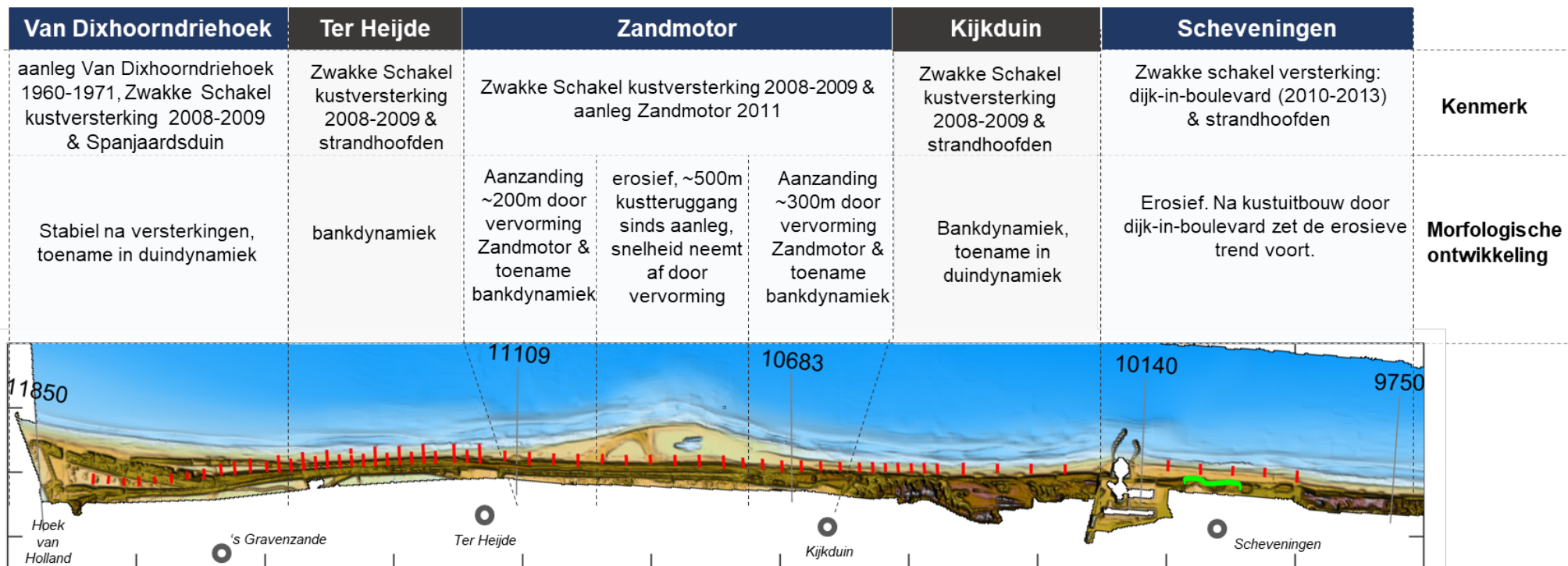
Door het via suppleties toevoegen van zand aan het Delflandse kustsysteem is de kust niet alleen zeewaarts uitgebouwd, maar is ook de dynamiek van de zandbanken vergroot. Ook de zeereep van de Delflandse kust is in de periode 2008-2017 dynamischer geworden. Dit geldt vooral voor de Van Dixhoorndriehoek, Spanjaards Duin en de Westduinen waar ook doorstuifkuilen zijn aangelegd.

De duinen zijn over de hele Delflandse kust versterkt door de aanvoer van zand vanaf de Zandmotor en als gevolg van de strandverbredingen in het kader van de Duinversterking Delfland. Zand uit de brandingszone zorgt voor een snelle groei van de duinen met circa 200,000 m³/jaar.

Dankzij de Zandmotor is de sedimentsamenstelling van de vooroever meer divers geworden, en bieden lagune en duinmeer een heel andere omgevingseigenschappen dan de rest van de Delflandse kust.

Sediment dat wordt toegevoegd aan het systeem blijft grotendeels aanwezig binnen de brandingszone, strand en duinen van de Delflandse kust. Er wordt circa 150,000 m³/jaar noordwaarts getransporteerd richting Rijnland. Er vindt verspreiding van zand plaats binnen het kustfundament.

In dit hoofdstuk wordt het morfologisch systeem beschreven voor de verschillende onderdelen van de kustzone; brandingszone en strand (paragraaf 6.2), sedimentsamenstelling vooroever (paragraaf 6.3), duinen (paragraaf 6.4) en ten slotte een zandbalans van het gebied (paragraaf 6.5). Hierin wordt voor de verschillende deelgebieden de morfodynamiek beschreven.



Figuur 6.1 – Overzicht morfologische ontwikkelingen bij Delfland

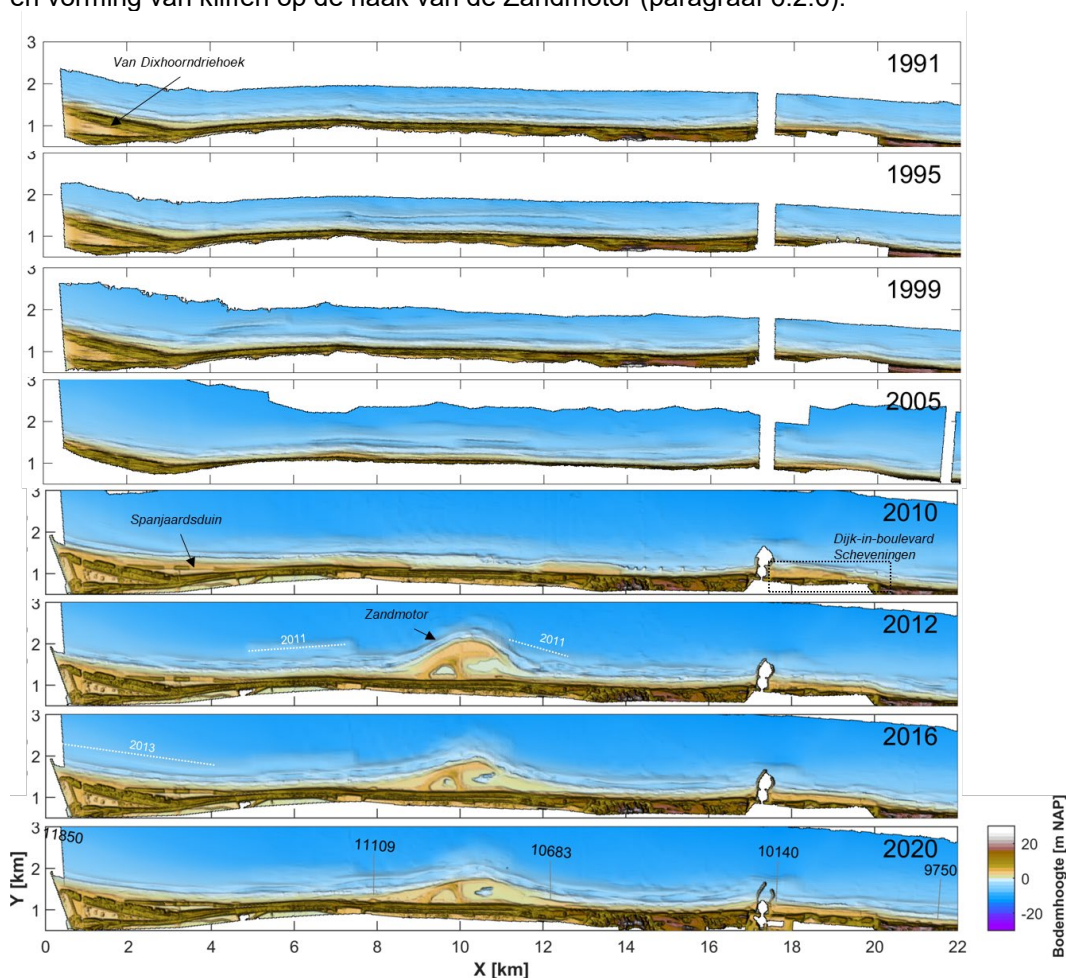
6.2 Morfologische ontwikkeling brandingszone en strand

6.2.1 Bodemontwikkeling Delflandse Kust over de afgelopen 30 jaar

De bodemontwikkeling van de Delflandse Kust is weergegeven in Figuur 6.2 voor de periode 1991-2020. De vele suppleties in het kustvak Delfland over het afgelopen decennium bepalen sterk de morfologische ontwikkeling van de kustzone. Naast de suppleties in het kader van het reguliere suppletieprogramma voor kustlijnhandhaving, hebben de grotere ingrepen in de afgelopen 30 jaar een significante invloed gehad op de ontwikkeling van de kust (Figuur 6.2):

- de aanleg van Spanjaards Duin bij 's-Gravenzande als duincompensatie voor Maasvlakte2 (2008);
- de kustversterking in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma; de Zwakke Schakels Scheveningen (2013) en Delflandse Kust (2008-2010);
- de aanleg van de Zandmotor als pilot voor het op innovatieve wijze beschermen en onderhouden van de kust (2011).

Meer informatie over deze ingrepen zijn te vinden bij de kustverdedigingswerken in paragraaf 4.2.1 en een overzicht van alle zandsuppleties in paragraaf 7.2. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de morfologische ontwikkeling van de specifieke onderdelen van de Delflandse brandingszone en strand; kustuitbreiding bij Scheveningen (paragraaf 6.2.2), kustlangse verspreiding van zand bij de Zandmotor (paragraaf 6.2.3), zandbankdynamiek (paragraaf 6.2.4), ontwikkeling van lagune en duinmeer van de Zandmotor (paragraaf 6.2.5) en vorming van kliffen op de haak van de Zandmotor (paragraaf 6.2.6).

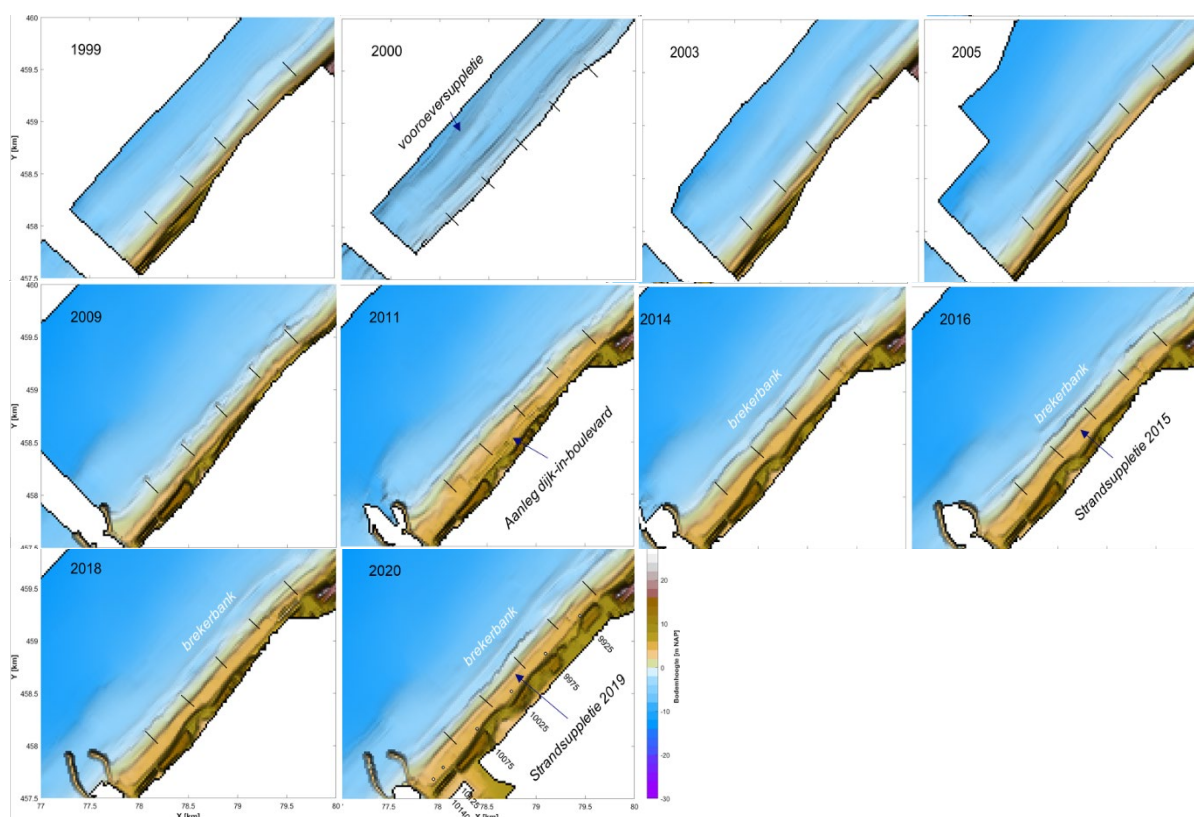


Figuur 6.2 - Bodemligging Delflandse Kust op basis van de Vaklodingen-metingen, voor jaren 1991, 1995, 1999, 2005, 2010, 2012, 2016 en 2020. De witte stippellijn geeft vooroever-suppleties weer.

6.2.2 Kustuitbreiding bij Scheveningen

Een overzicht van de morfologische ontwikkeling van de kustzone bij Scheveningen tussen raai 9925 en 10140 wordt weergegeven in Figuur 6.3. De bodem van 2009, vóór aanleg van de dijk-in-boulevard versterking, laat het smalle strand bij Scheveningen zien. Ook het effect van de strandhoofden op de kustlängse variatie in bodemhoogte is te zien. Tussen 2009 en 2011 is de dijk-in-boulevard versterking aangelegd, en in de bodem van 2011 is de sterke uitbouw van de kust te zien. Het strand is aanzienlijk verbreed, en de strandhoofden zijn bedekt met zand. In de bodem van 2014 is een afname van de bodemhoogte te zien voor een deel van het strand tussen de strandhoofden, en een deel van het aangebrachte zand voor de versterking is geërodeerd. Vervolgens is er in 2015 en 2019 een strandsuppletie uitgevoerd (te zien in de bodems van 2016 en 2020), waarna weer hetzelfde erosieve proces optreedt (zie bodem 2018 t.o.v. 2016).

Op de voorover is er vóór aanleg van de dijk-in-boulevard versterking geen duidelijke brekerbank aanwezig bij Scheveningen. Na aanleg van de versterking vormt er een brekerbank met een relatief kustlängs-uniforme positie (Figuur 6.3 vanaf bodem 2014).



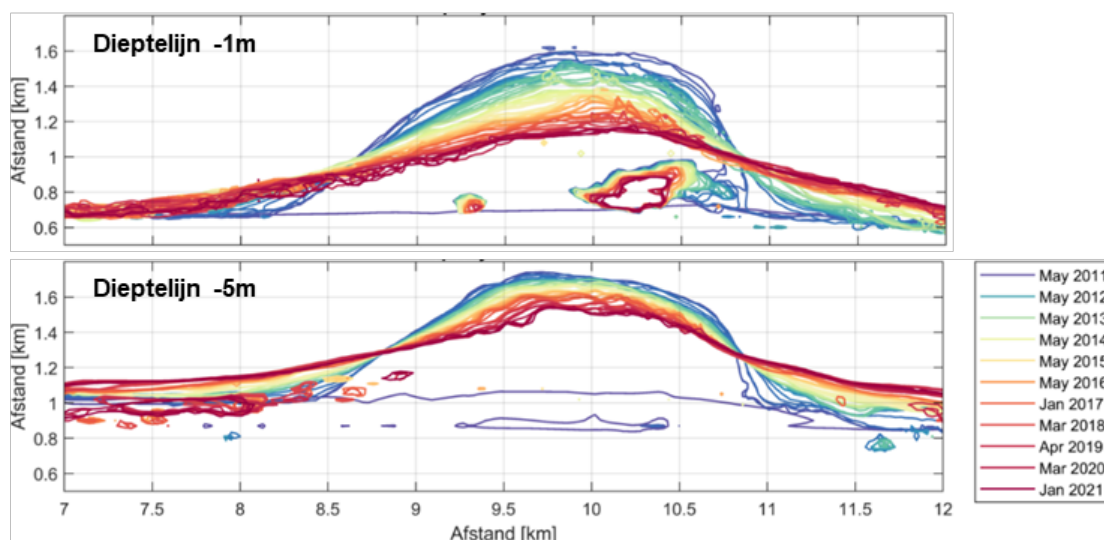
Figuur 6.3: Ontwikkeling van de kustzone tussen raai 9925 en 10140 aan de hand van de JARKUS-grids voor de jaren 2009, 2011, 2014, 2016, 2018 en 2020.

6.2.3 Kustlangse verspreiding van zand bij de Zandmotor

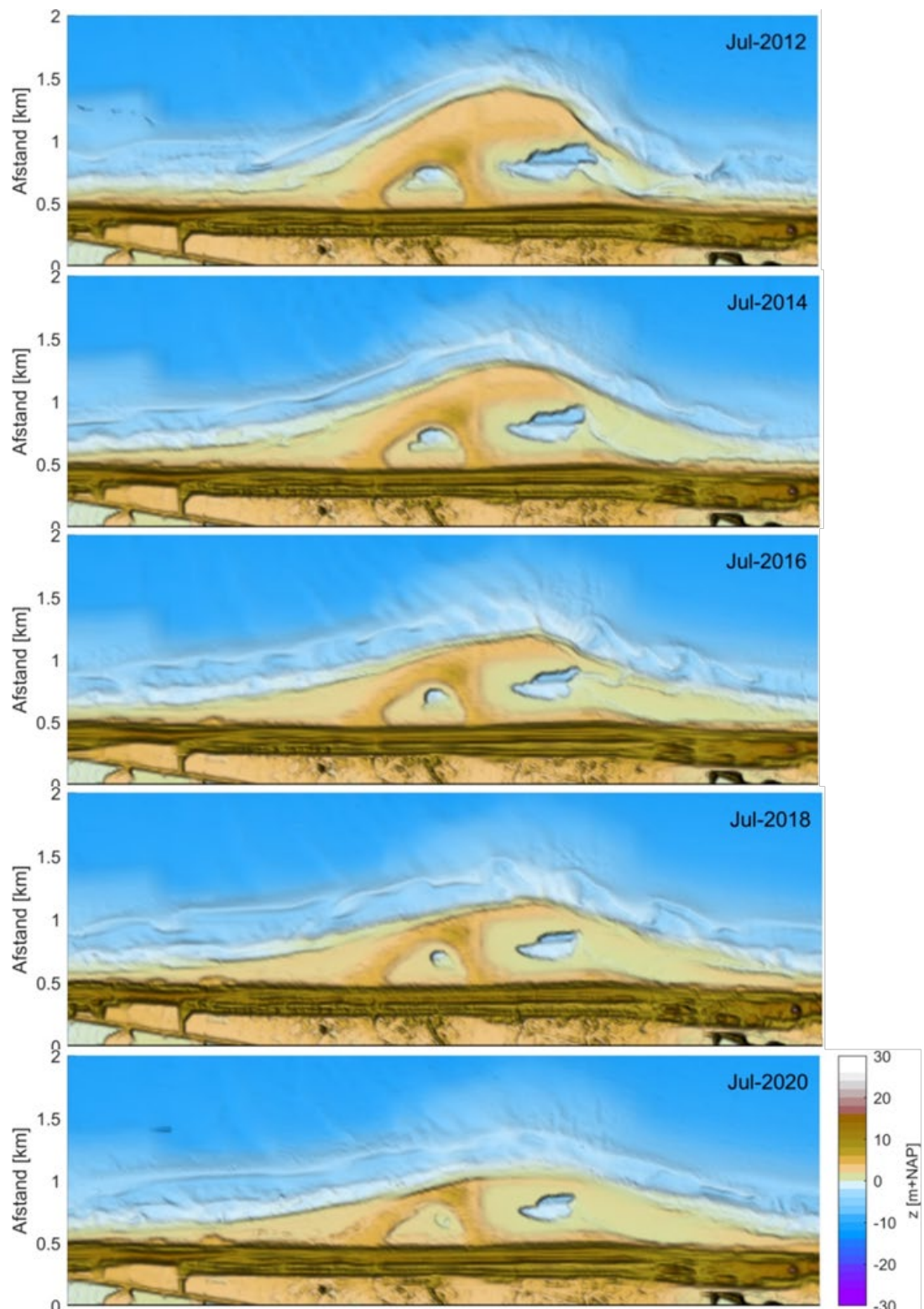
De ontwikkelingen in de afgelopen 10 jaar laten zien dat het sediment van de Zandmotor zich onder invloed van golven en getij voornamelijk kustlangs verspreidt (Figuur 6.4 en Figuur 6.5), waardoor kustteruggang plaats vindt op de kop van de Zandmotor en aanzanding op de aanliggende kust (De Schipper et al., 2016). Vanaf de aanleg in 2011 tot januari 2021 heeft ongeveer 500 meter kustteruggang plaats gevonden op het meest zeewaartse punt van de Zandmotor (Huisman et al., 2021; Figuur 6.4). Met name in de eerste 3 jaar na aanleg van de Zandmotor was sprake van sterke erosie van tientallen meters per jaar die vooral in het winterseizoen plaatsvond tijdens stormen. Door de afnemende kustdwarse breedte van de Zandmotor, in combinatie met een flauwer wordend profiel, neemt de snelheid van de kustteruggang van de Zandmotor én het transport naar de omliggende kust langzaam af.

Zand van de kop van de Zandmotor wordt langs de kust verplaatst in noordelijke en zuidelijke richting, waardoor zich aan de noordzijde een landtong ('spit') heeft ontwikkeld die al binnen vijf maanden na aanleg is vergroeid met de kust (Figuur 6.5). Aan de zuidzijde ontstond een breed aanzandingsgebied met ondiepe geultjes ('zwinnen') wat tijdens hoogwater onderloopt. De aanzandingsgebieden aan beide zijden van de Zandmotor bleven zich in de jaren erna uitbreiden. Direct ten noorden van de Zandmotor is de kust lokaal tot 300 meter verder zeewaarts gelegen tien jaar na aanleg in 2021. Bij Kijkduin heeft de kustlijn zich in de periode 2011 tot 2019 enigszins landwaarts verplaatst (2 m/jaar), maar sinds 2020 is er een aangroei van de kust (~10 m/jaar) als gevolg van toevoer van zand vanaf de Zandmotor. De aanzanding aan de zuidzijde van de Zandmotor van ongeveer 200 meter vond voornamelijk plaats in de eerste 2 jaar na aanleg van de Zandmotor. Voor de zuidelijke deelgebieden (Van Dixhoorndriehoek, 's Gravenzande en Ter Heijde) wordt ook in de komende jaren slechts een beperkte invloed verwacht van de Zandmotor op de kustlijn, aangezien het sediment zich met name noordwaarts verplaatst.

Ook in dieper water treedt erosie op, maar dit gaat langzamer dan in ondiep water (ongeveer half zo snel op 5 tot 8 meter waterdiepte). Het gevolg is dat er op circa 5 meter waterdiepte een vlakker deel van het kustprofiel aanwezig is. Boven deze 5 meter dieptelijn is de kust namelijk sneller teruggegaan. Op circa 10 meter waterdiepte ter hoogte van de teen van de Zandmotor is de erosie klein. Zeewaarts van de Zandmotor is de verticale erosie enkele centimeters per jaar. Dit zand op dieper water komt op langere termijn zeer geleidelijk beschikbaar voor de kust. In feite ligt er een zandbuffer op dieper water voor de Zandmotor.



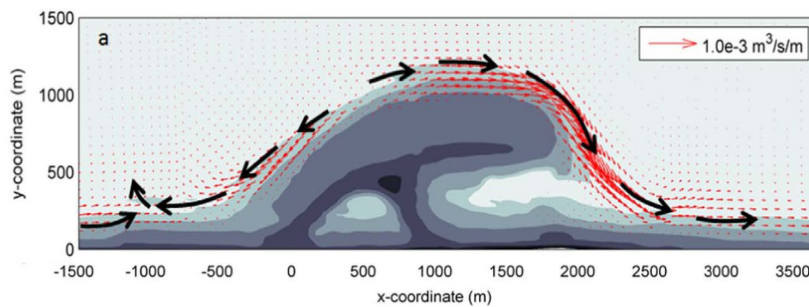
Figuur 6.4 Verandering van de kustlijn van de Zandmotor op -1 en -5 meter ten opzichte van NAP (Huisman et al., 2021).



Figuur 6.5 Bodemligging Zandmotor tussen 2012 en 2020 in juli (Huisman et al., 2021).

De vormveranderingen van de Zandmotor werd vooral bepaald door kustlangse stromingen en golfbreking in de brandingszone. Uit berekeningen van de ontwikkeling van de Zandmotor blijkt dat de golven de dominante factor zijn voor de verspreiding van het zand in de brandingszone. Ongeveer 74% van het zandtransport werd veroorzaakt door de golven (Luijendijk et al., 2017). Als de golven schuin aankomen op de kustlijn (niet loodrecht) dan zorgen ze voor een sterke

brandingstransport die zand verplaatst naar een rustiger locatie langs de kust. Die rustige locaties zijn bij de Zandmotor met name aanwezig op de flanken (Figuur 6.6), waar dus aanzanding optreedt.



Figuur 6.6 - Jaargemiddelde verspreiding van zand bij de Zandmotor als gevolg van golven volgens een numeriek model (Luijendijk et al., 2017).

Ook stormen hebben een significante bijdrage aan het verspreiden van het zand langs de kust. Tijdens een storm in december 2013 werd net zoveel zand verplaatst als in de vier maanden ervoor (Luijendijk et al., 2017). Tijdens vrijwel alle stormen in de winterperiode is zo'n sterke verandering van de Zandmotor te zien. De precieze richting van waaruit de golven binnenkomen maakt bijna niets uit voor de levensduur van de Zandmotor (Tonnon et al., 2018). Dat is opvallend omdat schuiner invallende golven wel leiden tot een groter zandtransport. Het transport naar het noorden zal toenemen als golven meer uit het zuidwesten komen, wat betekent dat er meer zand afgevoerd wordt vanaf de haak naar het noorden. Er zal in dat geval echter ook meer zand worden aangevoerd vanuit de richting waar de golven vandaan komen, waardoor er netto een beperkte invloed is op de erosiesnelheid van de Zandmotor. Op basis van de ervaring over de golven en sedimenttransporten bij de Zandmotor kan nu slimmer worden gestuurd op het ontwerp van toekomstige grootschalige kustversterkingen.

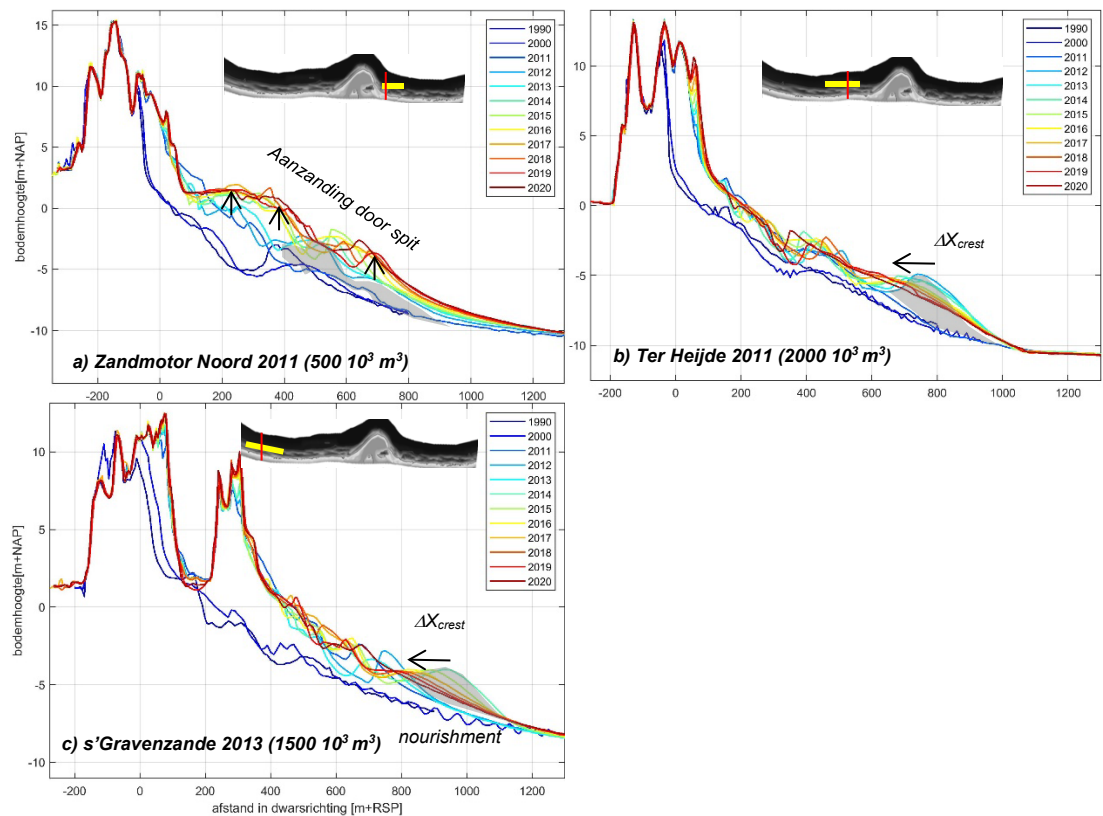
6.2.4 Zandbankdynamiek

Langs de gehele Delflandse kust zijn in de ondiepe kustzone (-1 tot -8 m NAP) verschillende bankpatronen te zien. Radermacher et al. (2018) laat zien dat er voor het suppletieprogramma (periode tussen 1965 en 1986) één zandbank aanwezig was, voor slechts een deel van het kustvak. Deze zandbank was kustlangs uniform en vertoonde een langzame netto zeewaartse migratie. Als gevolg van zandsuppleties sinds 1990 zijn steeds meer zandbanken op de Delflandse kust ontstaan. In eerste instantie ontstond een enkele zandbank ten gevolge van de suppleties op het strand. Later werd dit door de vooroeversuppleties een dubbele zandbank. De vooroeversuppleties werden tegen de reeds bestaande bank geplaatst, migreerde vervolgens met een relatief hoge snelheid (60 m/jaar) landwaarts, waardoor de reeds bestaande bank richting het strand werd geduwd. Radermacher et al. (2018) laat ook zien dat de kustlangse variabiliteit van de zandbanken deels afhankelijk is van de diepte van de bank. Zandbanken in ondiep water vertonen meer kustlangse variabiliteit dan banken in dieper water.

Ook de Zandmotor heeft bijgedragen aan het versterken van de dynamiek van de zandbanken, na aanleg van de Zandmotor zijn complexere zandbanken te onderscheiden op circa -4 meter NAP (Figuur 6.5). Door de tijd heen veranderde het type zandbank een aantal keer van een langgerekte kustlangse zandbank naar meer onregelmatige vormen met kustlangse variatie. Op de zuidelijke flank van de Zandmotor is in de eerste jaren na aanleg van de Zandmotor (2012 tot 2014) bijvoorbeeld een langgerekte kustlangse bank te zien, terwijl het bankpatroon aan de noordflank in de eerste twee jaren kustlangs variabel is (Figuur 6.5). Ook daarna wisselen de langgerekte banken en meer onregelmatige banken elkaar af. Met name de invalshoek van de golven tijdens een storm blijkt bepalend te zijn voor de variatie van de banken (vorm, diepte en afstand tot de kustlijn) (Rutten et al., 2018). De kustlangse variabiliteit

van banken aan de noordflank nam toe gedurende een langere periode met vanuit het noorden komende golven in de zomer (i.e. loodrecht op de noordelijke flank), terwijl aan de zuidflank de variabiliteit toenam na enkele kortdurende zuidwestelijke stormen. Bij zijdelings invallende golven (ten opzichte van de kustlijn oriëntatie van de flank) nam de kustlangse variabiliteit aan beide flanken af.

Aan weerszijden van de Zandmotor zijn twee minder zichtbare ‘vooroeversuppleties’ aangelegd in 2011 (zie Figuur 6.7). De vooroeversuppleties hebben zich verschillend ontwikkeld. De noordelijke vooroeversuppletie (aangelegd in 2011) werd al in het eerste jaar aangevuld met sediment dat vanaf de kop van de Zandmotor aangevoerd werd (Figuur 6.7a). Feitelijk was de suppletie een ondiepe zone waardoor de landtong van de Zandmotor zich sneller heeft kunnen ontwikkelen. De zuidelijke vooroeversuppletie (ook aangelegd in 2011) kon zich vrij ontwikkelen, waarbij opvalt dat zowel de kruin van de suppletie als de bestaande banken richting de kust worden geduwd (zie ΔX_{crest} in Figuur 6.7b). Dit komt overeen met de ervaring bij andere vooroeversuppleties langs de Nederlandse kust (Huisman, 2019).



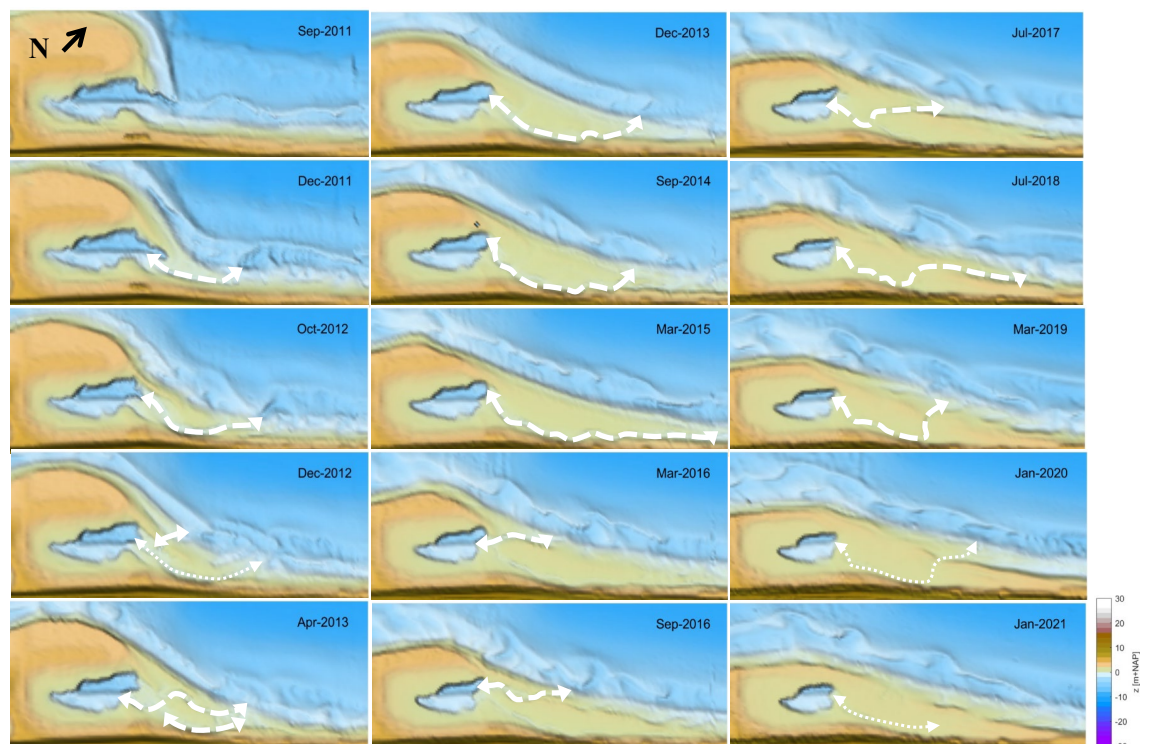
Figuur 6.7 Gemeten dwarsprofielen ter hoogte van de uitgevoerde vooroeversuppleties. Grijs gearceerde gebied geeft het toegevoegde sediment van de suppletie aan (Huisman et al., 2021b).

6.2.5 Ontwikkeling van lagune en duinmeer van de Zandmotor

Landwaarts van de haak van de Zandmotor bevindt zich de lagune (Figuur 6.8). Na aanleg stond de lagune in open verbinding met de zee, waardoor het getij dagelijks twee keer in- en uitstroomde. Een grote verandering trad op toen de landtong op de haak zover groeide dat de lagune afgesloten werd (Figuur 6.8). Er bleef toen slechts een smalle geul over als verbinding tussen de lagune en de zee. Elk getij verloopt het vullen en ledigen van de lagune via deze geul waardoor hier aanzienlijke stromingen kunnen ontstaan. Door deze stromingen kon de verbinding open blijven. In de eerste jaren is overigens eenmaal tevergeefs gepoogd de

stroomsnelheden te beïnvloeden door stortsteen in de toegangseul te plaatsen. Kort na aanleg vond het water een weg om de stortsteen heen.

In het eerste jaar na aanleg is de geul smal, diep en relatief kort, maar na verloop van tijd verplaatst de toegangseul zich steeds dichters langs het reeds bestaande strand noordelijk van de Zandmotor (Figuur 6.8). Met het uitspreiden van het sediment van de Zandmotor wordt de geul langer (1200m in oktober 2012, 1500m in maart 2015 en 2000m in juli 2018) en steeds ondieper, waarna een kortsluitgeul ontstaat. Op twee momenten in de afgelopen zeven jaar is te zien dat er een tweede (kortere) geul ontstaat die de lagune met de zee verbindt (zie december 2012 en maart 2016 in Figuur 6.8). Zo'n omslag vindt vaak plaats tijdens een storm, waarbij het over de landtong stromende water (ook wel 'overwash' genoemd) een nieuwe toegang (kortsluitgeul) kan creëren. In beide gevallen migreert de tweede geul vervolgens noordwaarts richting het strand en verdwijnt tenslotte wanneer deze te dicht bij de hoofdgeul komt.



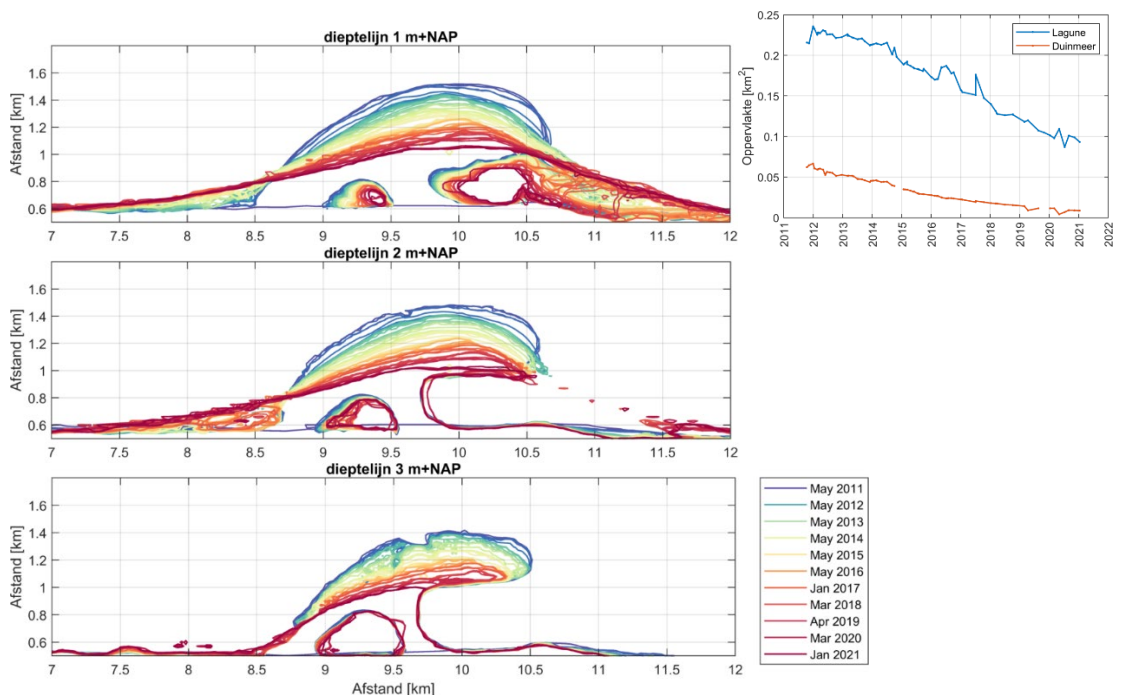
Figuur 6.8 Ontwikkeling van de geul aan de noordflank van de Zandmotor in de afgelopen 10 jaar.

De stroming door de geul en het getij in de lagune nemen af door de tijd heen. De voortdurende noordwaartse uitbreiding van de landtong zorgt er namelijk voor dat de geulmonding verzandt en steeds meer noordwaarts opschuift, waardoor de geul steeds lastiger af kan wateren naar zee (Figuur 6.8). Door de langere geullengte en het ondieper worden van de geul zijn de waterstandsvariaties in de lagune ook sterk afgenomen. De waterstand wordt inmiddels niet alleen bepaald door het getij maar ook (in mindere mate) door de neerslag. Vanaf 2020 is de lagune zelfs helemaal verstoken van uitwisseling van water met de zee, en vindt er alleen nog maar overwash plaats bij hoogwater. Dat heeft een grote invloed op de omstandigheden in de lagune die van belang zijn voor de daar levende bodemdieren (zie Paragraaf 4.4.2).

Binnen de haak is, op de aansluiting met het bestaande strand, een laagte open gelaten die later het duinmeer werd (Figuur 6.5). Het duinmeer en de lagune worden aan de zuidwestzijde door de tijd heen steeds ondieper (Figuur 6.9): zand stuift in onder de invloed van de heersende zuidwesten winden en wordt weggeblazen vanaf het strand zuidelijk van de Zandmotor en de

haak. Hierdoor neemt het oppervlak van het duinmeer en van de lagune inmiddels flink af (Arens, 2021), alhoewel er soms ook een vergroting van het oppervlak kan zijn onder invloed van stormopzet van het zeewater of bij veel neerslag. Het meeste ingestoven zand komt vanaf het natte deel van het strand dat tijdens eb droogvalt (Hoonhout & De Vries, 2017). Veel zand komt ook vanaf het strand dat aangroeit aan de zuidwestzijde van de Zandmotor. Zand dat hier beschikbaar komt wordt door de wind richting de lagune en het duinmeer geblazen. Aanvankelijk werd ook zand vanaf het oppervlak van de haak meegenomen door de wind, maar na enkele jaren nam de verstuing hiervan af omdat er een schelpenvloer ontstond nadat het fijnste zand was weggestoven.

Het effect van het instuiven is dat het oppervlak van het duinmeer en de lagune sterk afneemt (Figuur 6.9). Het oppervlak is ruwweg gehalveerd in de 10 jaar na aanleg. Hierdoor hoeft er per getijdencyclus minder water in en uit de lagune te stromen, waardoor de stroomsnelheden in de geul afnemen.



Figuur 6.9 Ontwikkeling van de 1, 2 en 3m NAP dieptelijn over de 10 jaar na aanleg van de Zandmotor. Voor de 1m NAP dieptelijn is ook de ontwikkeling van het lagune (blauwe lijn) en duinmeer (rode lijn) oppervlakte weergegeven.

6.2.6 Vorming van kliffen op de haak van de Zandmotor

Tijdens stormen slaat er zand af van de haak van de Zandmotor, wat daarna meegenomen wordt door de golven en stromingen langs de kust. In veel gevallen trekt de kust zich gelijkmatig terug waardoor het strand 'lager' wordt. Een bijzondere situatie doet zich voor wanneer een storm optreedt tijdens laagwater. In zo'n geval kan er erosie ontstaan op het lagere deel van het strand, terwijl het hogere deel van het strand ongemoeid blijft (De Schipper et al., 2017; Van Bemmelen et al., 2020). Er kunnen dan 'kliffen' (of steilranden) ontstaan op de zeezijde van de haak van de Zandmotor (Figuur 6.10). De hoogte daarvan kan variëren tussen enkele decimeters en anderhalve meter. Incidenteel zijn deze steilranden tot twee à drie meter hoog.

Deze steilranden ontstaan met name tijdens zomerstormen, waarbij de golven niet voldoende oploophoogte hebben om ook het bovenste deel van het zandprofiel te eroderen. In veel gevallen worden de kliffen weer geërodeerd door een storm tijdens hoogwater, zeker als deze

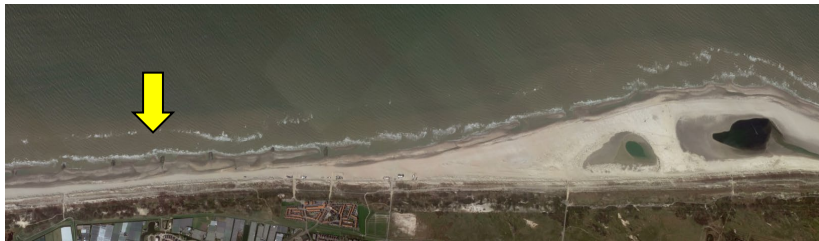
samengaat met een hoge waterstand, of juist door het uitdrogen en inzakken van het zand in droge periodes.



Figuur 6.10 Kliffen op de Zandmotor (De Schipper et al., 2017; Luchtfoto : Rijkswaterstaat - Joop van Houdt)

6.2.7 Effecten Zandmotor op natte infrastructuur

Voor aanleg van de Zandmotor was niet bekend of er een invloed kon zijn op het baggerwerk in de toegangsheuvelen van de havens van Rotterdam en Scheveningen en het uitlaatpunt van het spuigemaal van Delfland (J.J.J.M. van den Burg gemaal; Figuur 6.11).



Figuur 6.11 - Locatie van het J.J.J.M. van den Burg gemaal ten opzichte van de Zandmotor.

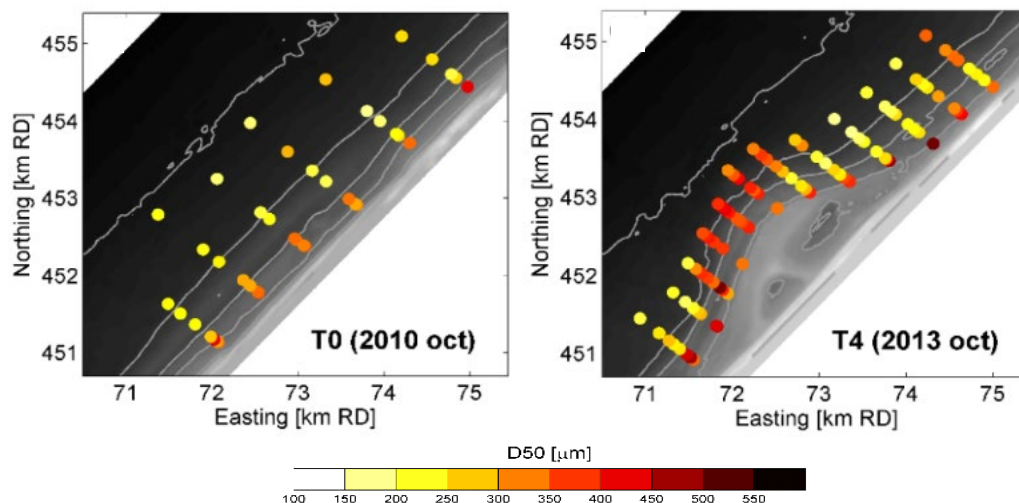
Een invloed van de Zandmotor op de verzanding van de havengeul van Rotterdam is niet waarschijnlijk, aangezien de geul wordt afgeschermd door een zeer lange golfbreker en het transport overwegend in noordelijke richting staat (Leijnse & Huisman, 2019).

Bij de vaargeul van Scheveningen wordt op basis van berekeningen wel een invloed ingeschat op de aanzanding, maar deze is veel kleiner dan het effect van de duinversterking Zwakke-schakels uit 2009 (Leijnse & Huisman, 2019). De jaarlijkse variaties in golfcondities heeft echter een grotere invloed op de aanzanding van de vaargeul. Zo kunnen er jaren zijn met relatief veel wind en stormen uit het westen en zuidwesten, wat zorgt voor veel aanzanding bij de vaargeul van Scheveningen.

Bij de uitlaat van het J.J.J.M. van der Burg gemaal blijkt de Zandmotor nog weinig effect te hebben (Leijnse & Huisman, 2019). De kust is hier wel uitgebouwd, maar dat komt met name door de duinversterking Zwakke-schakels uit 2009 en door de vooroeveraanplanten zuidelijk van het gemaal (bij Hoek van Holland, 's Gravenzande of Ter Heijde). Het wordt niet verwacht dat de Zandmotor voor veel extra uitbouw van de kust zal zorgen ter plaatse van het gemaal, maar dat dit eerder dan zal komen door eventuele toekomstige aanplanten bij Hoek van Holland, 's Gravenzande of Ter Heijde.

6.3 Sedimentsamenstelling van de vooroever

Het waarnemen van veranderingen in de bodemsamenstelling geeft daarom inzicht in de invloed van de Zandmotor op het leefgebied van bodemdieren. Het sediment van de Zandmotor bestaat niet uit één soort zandige ronde korrels, maar uit een variatie van zandkorrels van verschillende grootte met verschillende vormen. Typisch is de hoofdmoot van de korrels ergens tussen 100µm en 500µm groot in diameter, maar er kan soms ook nog heel fijnkorrelig materiaal (slib) met een korreldiameter kleiner dan 60 µm doorheen gemengd zijn. Het fijne materiaal kan de poriën van het zand opvullen waardoor een modderige bodem (met zand en slib) ontstaat, maar het fijne slib heeft in kleine hoeveelheden geen weerstand tegen de wind of stromingen.



Figuur 6.12 Gemeten mediane korreldiameter voor de situatie voor en na aanleg van de Zandmotor.

Voor aanleg bestond er een verfijning van het sediment in zeewaartse richting met grover zand rond de waterlijn (van ongeveer 400 µm) en fijn zand in dieper water (100 tot 200 µm; zie Figuur 6.12). Na aanleg van de Zandmotor is dit echter veranderd (Huisman et al., 2016), waarbij het volgende te zien is:

- 1 Gemiddeld is er net wat grover zand neergelegd dan er natuurlijk al in het gebied aanwezig was, namelijk een korrelgrootte van ongeveer 280 µm. Dit is in feite een directe invloed van de aanleg, omdat het gesuppleerde zand vanuit het wingebied hiervoor bepalend is.
- 2 Er is een grotere variatie van de korrelgrootte om de suppletie heen, wat veroorzaakt is door de invloed van de Zandmotor op de getijstrooming. Deze invloed is met name te zien op dieper water zeewaarts van de Zandmotor. De korreldiameter (D50) is hier lokaal zelfs twee keer zo grof geworden (ongeveer +200 µm grover). Aan de noord- en zuidzijde van de Zandmotor is het sediment juist iets fijner geworden.
- 3 In de lagune bij de Zandmotor is fijn slibbig sediment en organisch materiaal afgezet. Dit komt door de relatief kalme omstandigheden op deze plaats. In de geul die de lagune verbindt met de zee is juist relatief grof sediment aanwezig omdat de stroomsnelheden daar groot kunnen zijn vanwege het in en uitstromen van het getij.

Met behulp van numerieke modellen kon worden vastgesteld dat vooral de beïnvloeding van de getijstrooming zorgt voor het uitsorteren van het sediment op de diepere vooroever (Huisman et al., 2018). Opvallend genoeg waren het niet de stormen die het sediment in de vooroever uitsorteren wat vooraf de verwachting was. Het onderliggende mechanisme is dat de getijstrooming genoeg kracht heeft om de fijnere korrels mee te nemen, maar de grote korrels moeilijk kan mobiliseren.

Als gevolg van de Zandmotor ontstaan er onderwater een aantal deelgebieden met verschillend sediment en/of andere golf- en stromingscondities. Verwacht wordt dat dit invloed heeft op bodemdieren (zie paragraaf 4.4.2). In het ontwerp is vooral de kustdwarse breedte van de Zandmotor van belang voor sedimentsoortering, omdat hierdoor de getijstroming wordt beïnvloed. Die breedte neemt af in de tijd, maar het zal het nog veel jaren duren voordat de bodemsamenstelling weer vergelijkbaar zal zijn met de situatie voor aanleg van de Zandmotor.

6.4 Duinen

In deze paragraaf wordt de ontwikkeling van de duinen bij Delfland. Eerst wordt een overzicht van de dynamiek van de gehele Delflandse zeereep gegeven (paragraaf 6.4.1). Vervolgens wordt er voor specifieke duingebieden een overzicht gegeven van de beschikbare kennis en informatie; de Westduinen (paragraaf 6.4.2), Van Dixhoordriehoek (paragraaf 6.4.3), Spanjaardsduin (paragraaf 6.4.4) en Zandmotor (paragraaf 6.4.5).

6.4.1 Dynamiek in de zeereep

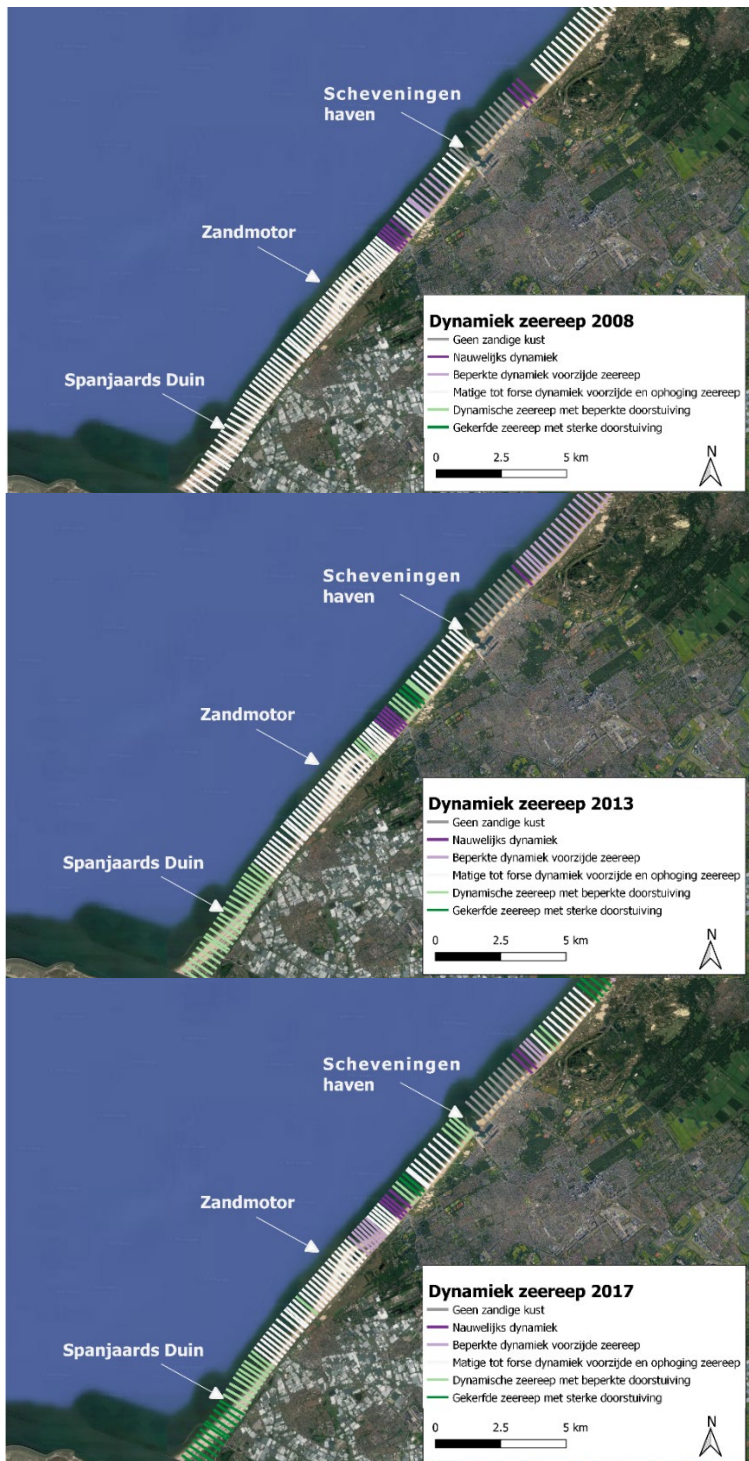
Binnen het KPP Beheer en Onderhoud Kust programma is het onderdeel “Natuurlijk Veilig” opgenomen. Dit onderdeel van het programma onderzoekt onder andere of, en hoe, de ruimtelijke planning en uitvoering van suppleties (locatie/frequentie) kan bijdragen aan het maximaliseren van biodiversiteit van duinlandschappen op Nederlandse schaal, door gedifferentieerd landschapsbeheer toe te laten zonder andere functies in het gedrang te brengen (zie ook www.natuurlijkveilig.nl). Op de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>) wordt ook overzicht van de beheer strategieën en dynamiek van de zeereep voor het meest recente jaar (2017) weergegeven.

In Natuurlijk Veilig wordt de dynamiek en doorstuiving van de zeereep gecategoriseerd in zogenoemde ‘responstypen’ (Tabel 6-1). Binnen deze responstypen wordt de overstuivingsgradiënt van Type 1 naar Type 5 steeds uitgestrekter in de kustdwarse richting, met een steeds grotere beïnvloeding van de achter de zeereep liggende duinen. De responstypen zijn voor de Nederlandse kust geïdentificeerd m.b.v. luchtfoto’s, hoogtekaarten en hoogteverschilkaarten (o.b.v. laseraltimetriegegevens). Op basis van de criteria is per JARKUSJARKUS raai het responstype bepaald. Met de hoogteverschilkaarten is het aantal centimeter sedimentatie en erosie bepaald, en met een combinatie van de hoogtekaart en de luchtfoto zijn embryonale duinen, kerven en stuifkuilen geïdentificeerd. Er is zowel gekeken naar het gebied direct achter de raai en het gebied aan weerszijden van de raai.

Tabel 6-1 - Responstypen met criteria hoe de responstypen zijn bepaald per JARKUS raai. Lichte sedimentatie: minimaal 10cm aanstuiving in een periode van 5 jaar voor 10% van het oppervlak waar naar gekeken is (gebied voor de zeereep, de kruin, of achter de zeereep, behorend tot een bepaalde JARKUS raai).

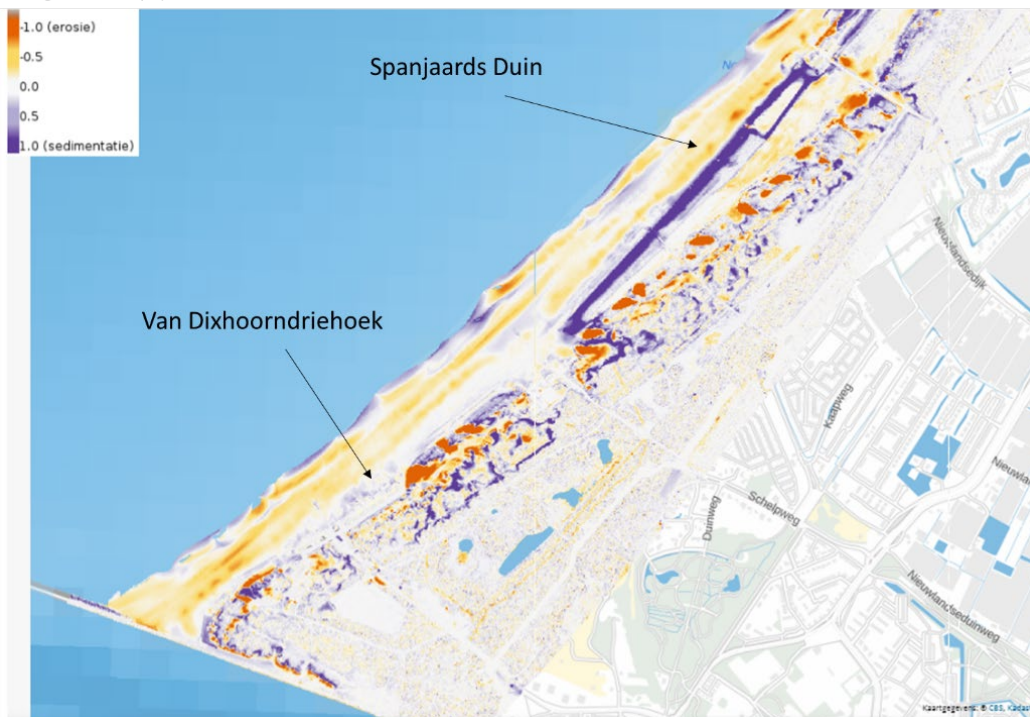
Responstype	Criteria
0 Geen zandige kust	<ul style="list-style-type: none">Bijvoorbeeld een dijk of boulevard
1 Nauwelijks dynamiek	<ul style="list-style-type: none">Geen sedimentatie op de kruin of achter de zeereepGeen embryonale duinenEvt. lichte sedimentatie aan duinvoet
2 Beperkte dynamiek voorzijde zeereep	<ul style="list-style-type: none">Sedimentatie vóór de zeereepEvt. aanwezigheid en/of ontwikkeling van embryonale duinenGeen sedimentatie op of achter de zeereep
3 Matig tot forse dynamiek voorzijde en ophoging zeeereep	<ul style="list-style-type: none">Sedimentatie vóór de zeereepSedimentatie op de kruin van de zeereepEvt. aanwezigheid en/of ontwikkeling van embryonale duinenGeen sedimentatie achter de zeereep
4 Dynamische zeereep met beperkte doorstuiving	<ul style="list-style-type: none">Sedimentatie vóór en op de kruin van de zeereepAanwezigheid van stuifkuilen en/of kerven in en/of achter de zeereepLichte Sedimentatie achter de zeereep
5 Gekerfde zeereep met sterke doorstuiving	<ul style="list-style-type: none">Sterke sedimentatie vóór en op de kruin van de zeereep (>50 cm in 5 jaar voor 10% van het oppervlak tussen twee JARKUS-raaien in)Aanwezigheid van kerven die de zeereep helemaal doorklievenEvt. aanwezigheid van stuifkuilen achter de zeereepSterke sedimentatie achter de zeereep (>50 cm in 5 jaar voor 10% van het oppervlak)

De zeeoep van de Delflandse kust is in de periode 2008-2017 dynamischer geworden (Figuur 6.13). Hierbij valt de toename van dynamiek op in de gebieden Van Dixhoorndriehoek, Spanjaards Duin en de Westduinen. In Figuur 6.14 en Figuur 6.15 zijn de stuifkuilen goed te zien als oranje vlekken.



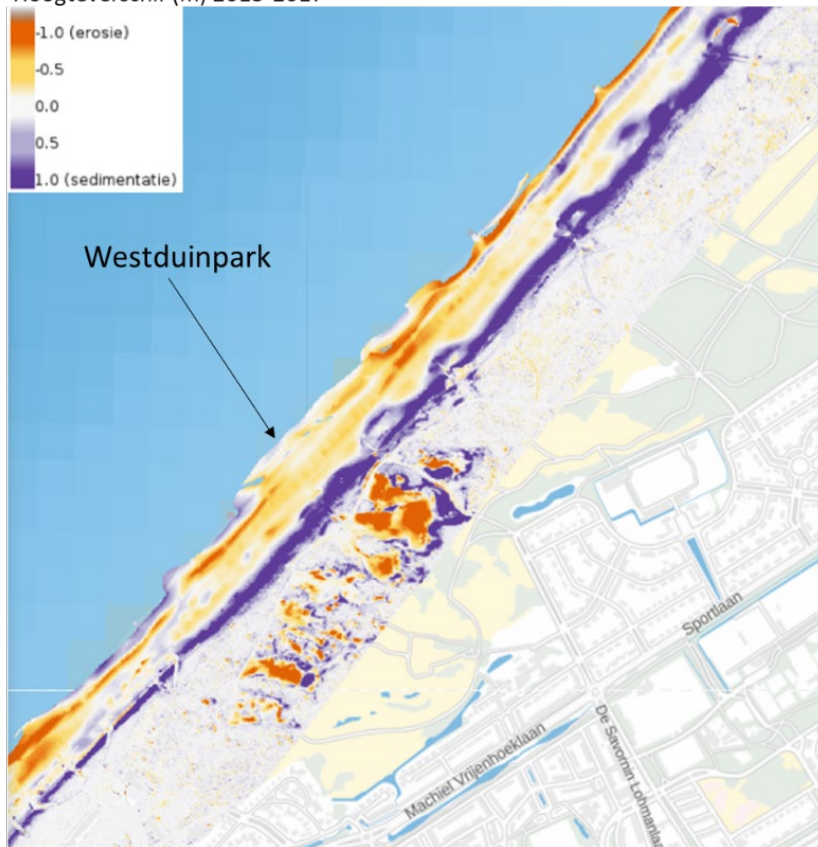
Figuur 6.13 - Dynamiek van de zeeoep in Delfland, in 2008 (boven), 2013 (midden) en 2017 (onder).

Hoogteverschil (m) 2013-2017



Figuur 6.14 - Hoogteverschilkaart Van Dixhoorndriehoek en Spanjaards Duin, periode 2013-2017. Rood is erosie, paars is sedimentatie

Hoogteverschil (m) 2013-2017



Figuur 6.15 - Hoogteverschilkaart Westduinen (Den Haag), periode 2013-2017. Rood is erosie, paars is sedimentatie.

Hoogheemraadschap Delfland heeft in de Tussennotitie Kust (2014) opgesteld in welke gebieden dynamisch beheer van de zeereep mogelijk is. Bij de meeste kustvakken is een stuivende zeereep mogelijk, en waarbij de kustveiligheid volgens geldende normen (ook op lange termijn) gewaarborgd is. Daarmee kan voldaan worden aan de in 2012 overeengekomen Natura 2000 maatregelplannen voor “Westduinpark & Wapenveld” en “Solleveld & Kapittelduinen”. In deze maatregelplannen is overeengekomen dat Delfland over gaat tot dynamisch zeereepbeheer onder voorwaarde dat de kustveiligheid niet in het geding is. In een aantal kustvakken is ook een kervende en of een paraboliserende zeereep mogelijk.

Tabel 6-2 - Toegestane vormen van dynamisch zeereepbeheer (Tussennotitie Kust, Hoogheemraadschap van Delfland, 2014).

<i>Deelgebied beheerplan Kustvak Delfland</i>	<i>Stuivende zeereep</i>	<i>Kervende zeereep</i>	<i>Paraboliserende zeereep</i>	<i>Dynamiserende zeereep niet mogelijk</i>
Deelgebied Zeereep Solleveld				
<i>Boulevard van Kijkduin</i>	-	-	-	x
<i>Solleveld – Kijkduin</i>	+	+	+	
<i>Solleveld</i>	+	-	-	
<i>Ter Heijde</i>				x
Deelgebied Zeereep Ter Heijde - Vlughtenburg				
<i>Arendsduin</i>	+	-	-	
<i>Kapittelduinen</i>	+	+	+	
Deelgebied Zeereep Spanjaards Duin				
<i>De Banken en Spanjaards Duin</i>	+	-	-	
Deelgebied van Dixhoorndriehoek				
<i>Van Dixhoorndriehoek</i>	+	+	+	

6.4.2 Westduinen (Den Haag) (bron: www.dynamischkustbeheer.nl)

Begin 2013 ronden de provincie Zuid-Holland en gemeente Den Haag werkzaamheden af om de 'blanke toppen der duinen' terug te krijgen in het Westduinpark. Graafmachines groeven het zand af, soms tot wel vijf meter diep. Duintoppen werden ontdaan van begroeiing en asfaltpaden werden vervangen door schelpenpaden. Vier Schotse Hooglanders gaan het gebied in de winter begrazen. Doel is de doorstuiving van zand en zout vanaf het strand naar de duinen en verbetering van de kwaliteit van de beschermde Natura2000 habitattypen witte en grijze duinen.

Hoogheemraadschap Delfland verleende vergunning voor de werkzaamheden, onder voorwaarde dat de er voldoende zand in de buitenste duinen blijft liggen (in het grensprofiel) om de zee buiten te houden. Om een vinger aan de pols te houden, is een monitoringprogramma opgesteld. Behalve het volume zand worden ook de ecologische ontwikkelingen in kaart gebracht om vast te stellen of de Natura 2000 doelstellingen van het gebied gehaald worden: verbetering van de kwaliteit. Verder landinwaarts blijft de vegetatie behouden om het zand binnen de waterkerende zone te behouden en overlast van stuivend zand voor de omliggende bebouwing te beperken.



Figuur 6.16 - Grootschalige natuurherstelmaatregelen Natte Pan. Links de uitgangssituatie volgens de habitattypenkaart, rechts de uitgevoerde maatregelen in 2012. (Bron: Beheerplan Westduinpark & Wapendal 2018-2023)

6.4.3 Van Dixhoorndriehoek

De Van Dixhoorndriehoek is in eigendom van het Zuid-Hollands Landschap en onderdeel van Natura 2000-gebied Solleveld & Kapittelduinen. In het project Herinrichting Van Dixhoorndriehoek zijn maatregelen uitgevoerd om het oppervlak grijsduin sterk te vergroten, ten koste van het oppervlak duindoornstruweel. Bij grootschalige herstelmaatregelen over een oppervlakte van 20 ha is duindoornstruweel verwijderd. Door begroeiing van het kale zand zal op termijn nieuw kalkrijk grijs duin ontstaan.

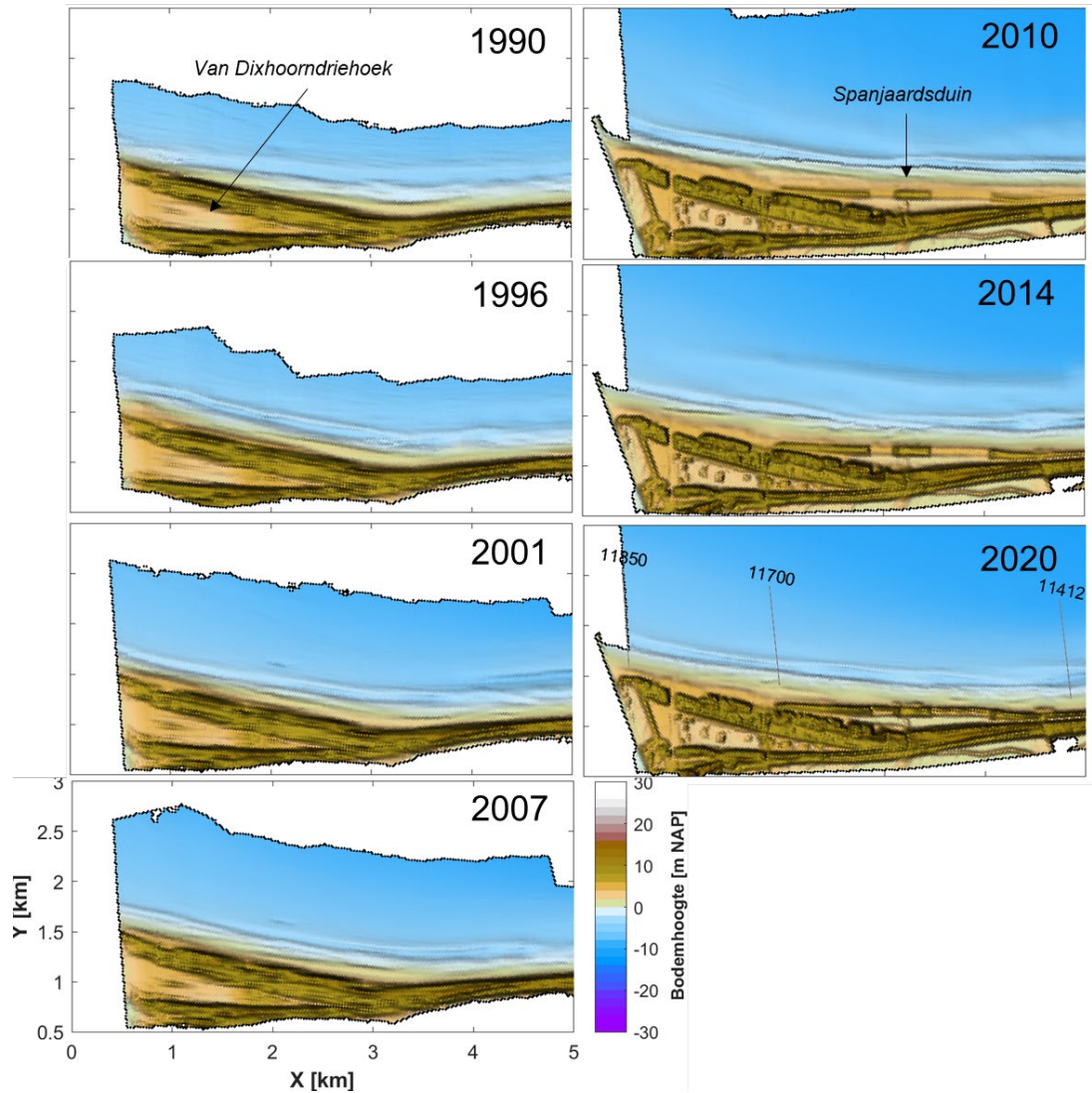
6.4.4 Spanjaards Duin

In 2009 is voor de kust van Delfland ter hoogte van 's-Gravenzande een nieuw duingebied aangelegd (Figuur 6.17) als compensatie voor de toegenomen stikstofdepositie die na in gebruik name van Maasvlakte 2 worden verwacht in de Natura 2000-gebieden Voorne's Duin en Solleveld & Kapittelduinen. Het Spanjaardsduin is onderdeel van het Zwakke Schakel kustversterkingsproject 'Delflandse Kust'. Als compensatie dient hier 9,8 hectare van het habitattype 'Grijze duinen' (H2130), 6,1 hectare 'Vochtige duinvalleien' (H2190) en één groeiplaats van de groenknolorchis te worden ontwikkeld. Deze compensatie moet zijn gerealiseerd voor 2033, wanneer de Maasvlakte 2 wordt geacht volledig in bedrijf te zijn. Uit onderstaande tabel blijkt het potentieel oppervlak H2190 in 2020 7.18 ha bedraagt (inclusief natte overgangszone 8.89 ha). Het oppervlak H2130 is afgenomen van 2014 tot 2020, maar nog steeds groter dan de compensatieopgave.

De informatie in deze paragraaf is afkomstig uit het (concept) Jaarverslag Beheer Spanjaards Duin 2019-2020, en concept-documenten die zijn opgesteld als input voor het Evaluatierapport Spanjaards Duin 2010-2020 (van der Valk et al., 2021).

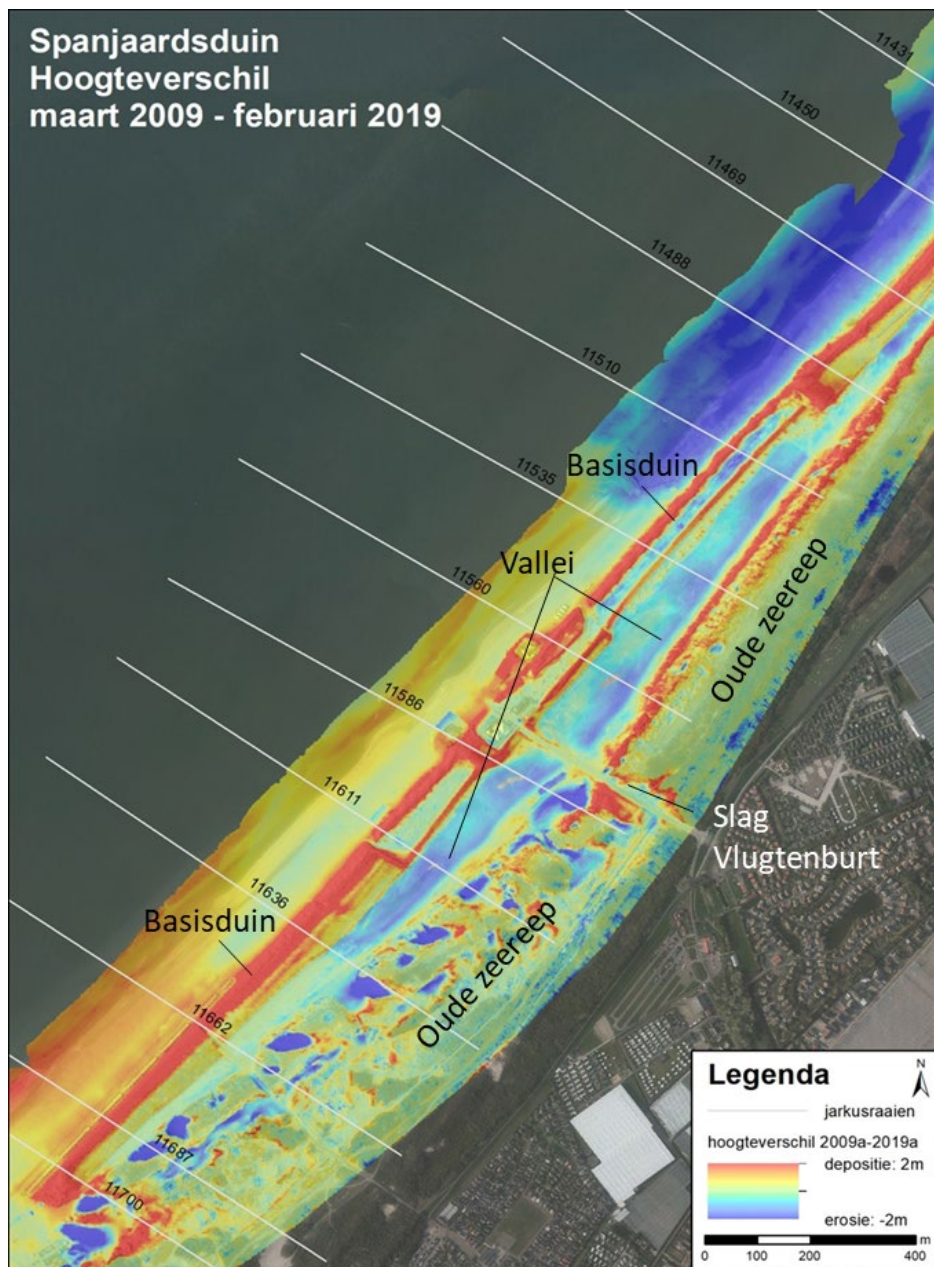
Tabel 6-3 Samenvatting oppervlaktes potentieel H2130, H2190 en tussenzone (bron: Jaarverslag Beheer Spanjaards Duin 2019-2020).

	2014	2015	2016	2017	2019	2020	Compensatie opgave
pot. H2130	13.68	13.21	12.63	12.60	10.40	10.18	9.8
overgang droog	1.62	1.45	1.38	1.83	0.61	0.63	
overgang nat	2.43	2.86	3.18	3.52	2.32	1.71	
pot. H2190	1.63	1.84	2.11	1.48	6.21	7.18	6.1



Figuur 6.17 – Bodemhoogtekaarten Van Dixhoordriehoek en Spanjaards Duin op basis van JARKUS metingen.

Met hoogteverschilkaarten kan in meer detail de morfologische ontwikkeling van Spanjaards Duin worden onderzocht (Figuur 6.18). Op het basisduin is sedimentatie het dominante proces, met op kleine schaal verschijnselen van winderosie. Op de oude zeereep ten zuiden van Slag Vlugtenburg is er meer afwisseling van erosie en sedimentatie. De verstuwingen zijn redelijk grootschalig, maar niet spontaan, ze zijn het gevolg van dynamiseringsingrepen in 2014-2016. De hoogteverschilkaarten geven inzicht in de patronen van erosie en depositie, maar geen uitsluitsel over hoe het transport plaatsvindt (Oude Vrielink, 2020).



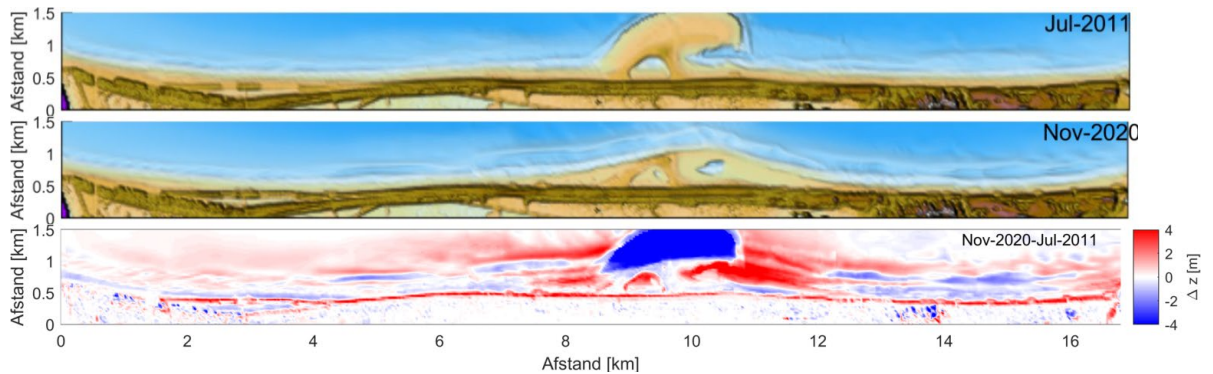
Figuur 6.18 Hoogteverschillen periode maart 2009 tot februari 2019. [Bron: laseraltimetrie RWS]

6.4.5 Duinontwikkeling Zandmotor

De wind neemt niet alleen zand mee naar de lagune en het duinmeer, maar bouwt ook de duinen op. De wind pikt het zand op van de haak en het natte strand en transporteert het dan landwaarts. Het meeste van dit wegblazen zand wordt ingevangen door de eerste duinenrij, dat is gevormd door de kustversterking Delfland die in het kader van het 'zwakke schakels' programma tussen 2007 en 2010 is gerealiseerd. De eerste duinenrij is hierdoor sterk gegroeid in zowel de hoogte als breedte, zie Figuur 6.19 (Huisman et al., 2021). In de achterliggende duinen kwam relatief weinig zand terecht.

De eerste duinenrij landwaarts van de Zandmotor (i.e. over een lengte van 5 km landwaarts van de Zandmotor) is over de periode tussen 2011 en 2021 aangegroeid met circa 700.000 m³ (Huisman et al., 2021). Dit komt overeen met een gemiddelde groei van 14 m³/m/jaar. Deze groei vond zeer geleidelijk plaats als gevolg van het inwaaien van zand dat vanaf het strand en intergetijdengebied komt. De effecten op de veiligheid zijn echter niet direct merkbaar,

omdat er voor aanleg van de Zandmotor al een groot veiligheidsbuffer was toegevoegd door de duinversterking in 2010 (circa 40 tot 80 meter duinbreedte). De Zandmotor zorgt echter wel voor een zandbuffer waardoor de duinveiligheid bij de Zandmotor en op de omliggende kust voor langere tijd is gewaarborgd.



Figuur 6.19 Verschil in bodemligging van het duingebied tussen 2021 en 2011

De aangroei van de duinen bij de Zandmotor is niet wezenlijk anders dan elders langs de Delflandse kust, waar de duinen gemiddeld ongeveer $13 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ groeiden. De reden hiervoor is dat een deel van het windtransport wordt ingevangen het duinmeer en in de lagune (Van Weerd & Wijnberg, 2016). Als dit ingevangen zand wordt meegenomen in de balans dan blijkt het windtransport bij de Zandmotor groter dan voor de rest van de Delflandse kust ($\sim 27 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$; Hoonhout & De Vries, 2017). Overigens wordt verwacht dat dit relatief fijne zand in de lagune en het duinmeer in de toekomst (in 10 tot 20 jaar) weer beschikbaar komt voor transport naar de duinen, zodra de haak van de Zandmotor is geërodeerd en het sediment door getijden en golven weer beschikbaar komt in het intergetijdengebied.



Figuur 6.20 Opbouw van duinen in de zeereep (links) en nieuwe 'embryonale duinen' op de Zandmotor (rechts).

In de eerste jaren na aanleg van de Zandmotor groeide met name de eerste duinenrij in de hoogte, maar in later jaren is er ook sprake van opbouw van nieuwe duintjes op de Zandmotor, de embryonale duinen (Figuur 6.20; Arens, 2021). Al in 2013 waren er enkele kleine duintjes, maar pas vanaf 2016 was er sprake van grootschalige duingroei op de Zandmotor. Deze duintjes ontstaan met name doordat zandkorrels ingevangen worden in opkomende begroeiing (meestal helm- of biestwegras). Deze planten hebben er vaak baat bij dat het zand blijft liggen, waardoor hun groei wordt versterkt. De groeisnelheid van de nieuwe duintjes was initieel niet erg hoog, maar inmiddels zijn sommige nieuwe duinen in hoogte vergelijkbaar met de zeereep. In de tussentijd zijn deze duintjes waardevol als schuilgebied voor broedvogels (zie paragraaf 4.4.2).

6.5 Zandbalans

6.5.1 Zandbalans Delflandse Kust (Hoek van Holland – Kijkduin)

Om inzicht te krijgen in de veranderingen langs de kust van Delfland, na aanleg van de Zandmotor, is een berekening gedaan van de zandvolumes in Huisman et al. (2021). De zandbalans in deze paragraaf omvat alleen het gebied tussen Hoek van Holland en de haven van Scheveningen tussen 2011 en 2021. Het gebied tussen de haven van Scheveningen en Scheveningen-Noord en de periode voor aanleg van de Zandmotor is niet meegenomen in deze analyse; de zandbalans is dus opgesteld voor het kustvak tussen Hoek van Holland en Kijkduin

Na aanleg van de Zandmotor is er in 10 jaar ongeveer 1,2 miljoen m³ zand bijgekomen, maar dit is voornamelijk het gevolg van suppleties die in het najaar van 2011 en 2013 tussen Ter Heijde en Hoek van Holland zijn uitgevoerd. Als de suppleties worden verdisconteerd, dan wordt er tussen 2011 en 2021 een verlies gevonden van 1,6 miljoen m³ voor de hele Delflandse kust (zie Tabel 6-4). Dit zand is door golfgedreven stromingen noordwaarts vervoerd naar de kustzone van Rijnland. De meeste volumeveranderingen vonden dus plaats binnen de deelgebieden van de Delflandse kust.

Tabel 6-4 - Volumeverandering binnen het Delflandse kustvak tussen 2011 en 2021.

volumebalans 2021-2011	<i>Volumeverandering [10³ m³]</i>	<i>Volumeverandering [10³ m³/jaar] *2</i>
duinen	2000	+210
strand	-4100	-430
brandingszone	1400 *1	+150
Diepe vooroever	-900	-95
alle dieptezones	-1600 (+/-500)	-170 (+/- 50)

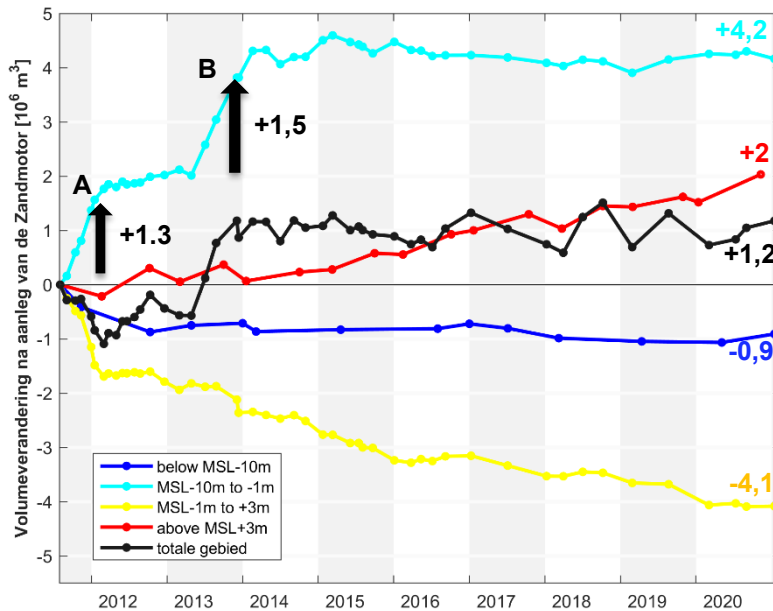
*1 deze volumeverandering is gecompenseerd voor een suppletievolume van 2,8 miljoen m³ dat na 3 augustus 2011 is aangebracht op de Delflandse kust

*2 uitgaande van een periode van 9.5 jaar (i.e. van begin augustus 2011 tot eind januari 2021)

De duinen en de brandingszone zijn sterk in volume toegenomen (zie rode en lichtblauwe lijnen in Figuur 6.21), terwijl het strand (van met name de Zandmotor) juist sterk afnam in volume (gele lijn in Figuur 6.21). De veranderingen op de diepere vooroever waren niet zo groot (donkerblauwe lijn in Figuur 6.21). Verondersteld wordt dat er een klein transport is van sediment vanaf de diepe vooroever naar de brandingszone én dat er ook op de diepe vooroever zand naar het noorden wordt getransporteerd door het getij.

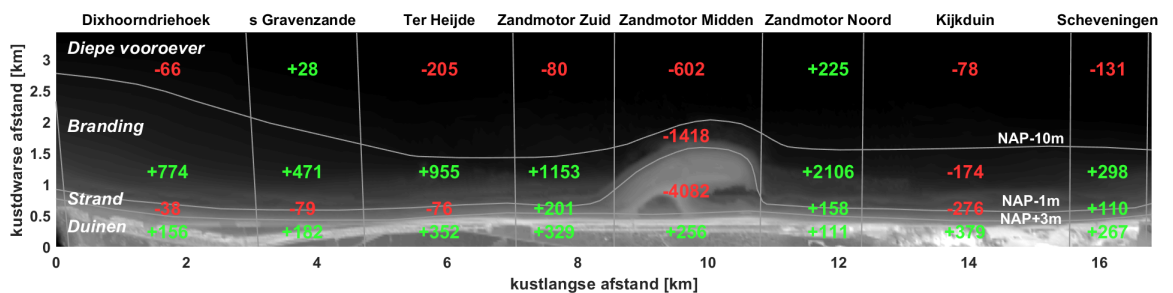
Jaarlijkse variatie

Berekeningen van de zandtransporten op de Delflandse kust laten zien dat er een netto noordwaarts transport is richting Scheveningen, maar dit transport varieert aanzienlijk per jaar (Huisman et al., 2021). In sommige jaren was het transport in de regio Ter Heijde tussen de 200.000 en 300.000 m³/jaar, terwijl dat andere jaren enkele tienduizenden m³/jaar was. Ter plaatse van de havendammen van Scheveningen wordt een transport geschat van ongeveer 150.000 m³/jaar. Dit komt ook overeen met het berekende verlies aan zand van ongeveer 1,6 miljoen m³ over de beschouwde periode van 10 jaar.



Figuur 6.21 Volumeverandering binnen het Delflandse kustvak sinds 2011. A: Suppletie +1,3 miljoen m³ (deel van vooroeversuppleties na aug-2011) B : Suppletie +1,5 miljoen m³ (Hoek van Holland – 's Gravendeel)

Een overzicht van de volumeveranderingen per deelregio van de Delflandse kust wordt in Figuur 6.22 gegeven.



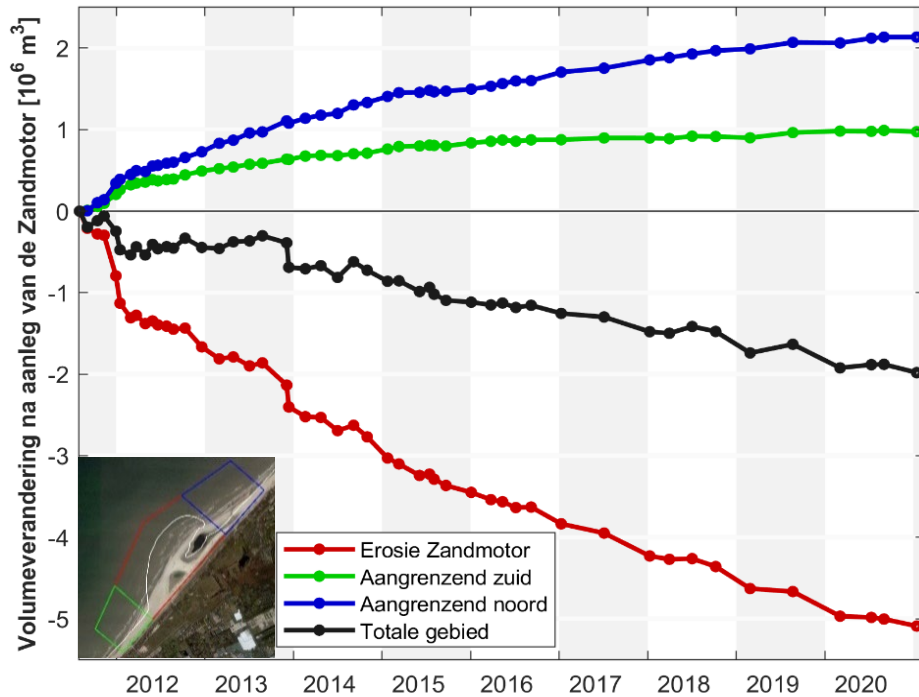
Figuur 6.22 - Volumeverandering tussen augustus 2011 en januari 2021 voor elk deelgebied en per dieptezone (in 10³ m³). Toename in volume in groen en afname in rood.

6.5.2 Zandbalans Zandmotor

Om inzicht te geven in de lokale veranderingen is in Huisman et al. (2021) een berekening gedaan van de zandvolumes op de Zandmotor en net noordelijk en zuidelijk van de Zandmotor (Figuur 6.23). Uit de metingen van de bodemhoogte kan de afname van de hoeveelheid zand op de Zandmotor berekend worden (rode lijn) en de toename van de zandvoorraad op de aangrenzende kustsecties (groene en blauwe lijn). In totaal is er ongeveer 5 miljoen m³ zand geërodeerd van de Zandmotor, terwijl er ongeveer 3 miljoen m³ is gesedimenteerd in de aangrenzende vakken. Netto werd er in het gebied rond de Zandmotor dus ongeveer 60% van het op de haak geërodeerde zand teruggevonden. Het resterende sediment is (hoofdzakelijk) noordwaarts getransporteerd richting Kijkduin en Scheveningen (ten zuiden van de havendammen) waar het ten goede kwam aan de kustzone en duinen. Dit is anders dan na de eerste 5 jaar, toen nog 95% van het zand werd teruggevonden in het relatief kleine gebied met een lengte van 5 km.

De snelheid van erosie en sedimentatie op de kop van de Zandmotor is door de tijd heen afgenomen. Dit komt omdat de Zandmotor relatief gezien steeds minder ver uitsteekt ten opzichte van de normale kustlijn en dus een minder groot effect heeft op de stroomsnelheden

en daaraan gekoppelde sedimenttransporten. Door de tijd heen zal de snelheid van verandering alleen nog maar verder afnemen. Circa 10% van het zand is naar de duinen vervoerd door de wind. Over het beschouwde stuk kust landwaarts van de Zandmotor is dat ongeveer 75.000 m³/jaar (14 m³/m/jaar). Daarnaast zal er ook zand nog verder weg langs de Delflandse kust zijn vervoerd en op die kustvakken naar de duinen zijn getransporteerd.



Figuur 6.23 Verandering in het gemeten volume van zand in de eerste 10 jaar na aanleg van de Zandmotor (Huisman et al., 2021a).

6.5.3 Verwachtingen toekomstige ontwikkeling

Op de langere termijn zal het zand van de Zandmotor zich steeds verder langs de kust verspreiden (Luijendijk et al., 2019). Hierdoor zal de Zandmotor steeds kleiner worden, terwijl de stranden bij Ter Heijde en Kijkduin juist breder zullen worden.

De zandbuffer zal steeds langzamer eroderen omdat de relatieve grootte van de uitbouw (en verdraaiing van de kustoriëntatie) steeds kleiner wordt. Ondanks deze terugtrekking van de kust zal de Zandmotor nog enkele tientallen jaren herkenbaar zijn als zeewaartse uitbouw op de Delflandse kust. In 2040 ligt er naar verwachting nog een strand dat ongeveer 400 meter breed zal zijn.

De duinen op de Delflandse kust zullen de komende decennia verder groeien met zand dat afkomstig is van de Zandmotor. Zeker als kusterosie er voor gaat zorgen dat relatief fijn zand uit de lagune weer beschikbaar komt, en dit een bijdrage kan leveren aan duingroei. De Zandmotor levert daarmee een lange termijn bijdrage aan de veiligheid van de hele Delflandse kust. Op dit moment levert de Zandmotor echter nog vooral een bijdrage aan de ontwikkeling van de kustlijn van het deel van de Delflandse kust tussen Ter Heijde en Kijkduin.

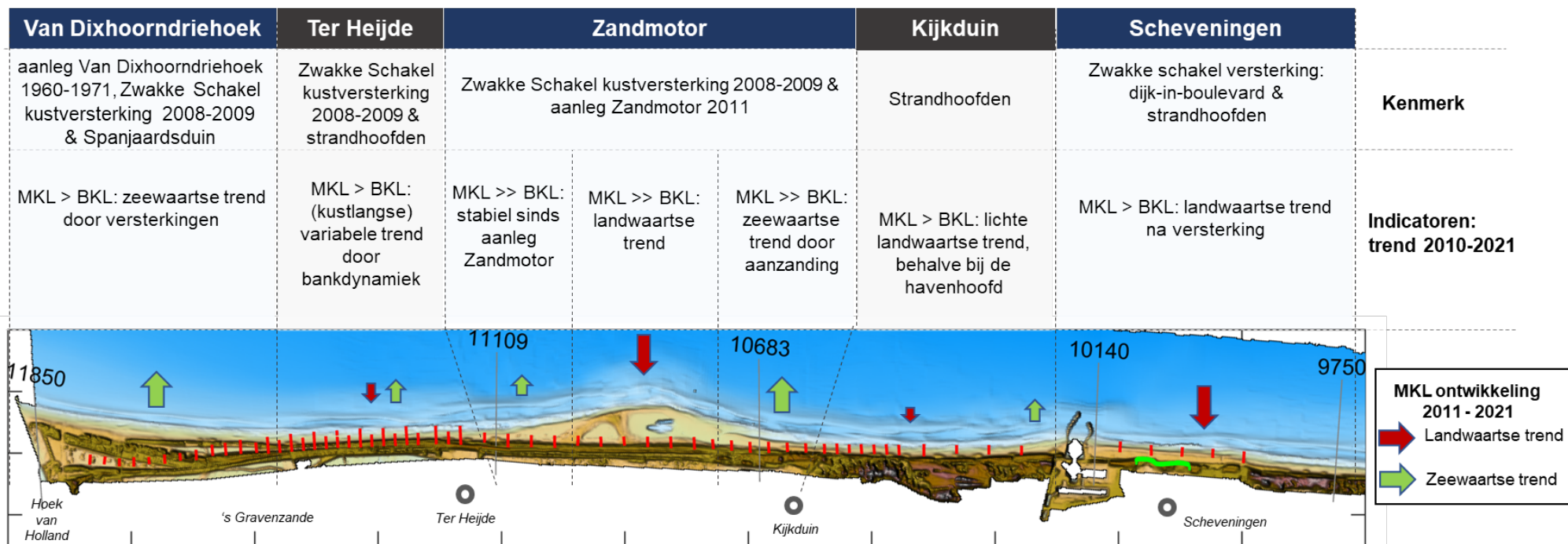
Over enkele jaren zal een nieuwe toegang ontstaan naar de lagune toe (Luijendijk et al., 2019). Dat zal vrij abrupt zijn tijdens een storm die samenvalt met hoogwater, waarbij zand van de haak naar binnen zal worden gespoeld. In feite wordt de Zandmotor dan weer gesplitst in een noordelijk en zuidelijk deel. Pas op een termijn van 10 tot 20 jaar zal er ook aanzanding optreden voorbij Kijkduin en bij Scheveningen-Zuid.

De nieuwe duintjes op de Zandmotor zullen verder groeien door toenemende vegetatie en instuiven van zand, waardoor het landschap minder gelijkmatig en ruiger wordt. Er zal zand in de lagune en het duinmeer blijven inwaaien, waardoor het oppervlak met relatief nat strand zal toenemen. Mogelijk zal zich daar nog vegetatie vestigen en kan dit zich ontwikkelen tot natte duinvallei.

7 Kustlijnontwikkeling

7.1 Samenvatting

In Figuur 7.1 wordt een samenvatting gegeven van de trends in de Momentane KustLijn (MKL) t.o.v. de Basis KustLijn (BKL), voor de laatste 10 jaar. In het algemeen ligt de MKL landwaarts van de BKL voor het hele kustvak, op een individuele raai na. Ná 1990, en vooral als gevolg van de suppleties die sinds 2008 zijn uitgevoerd, is de kust in het kustvak Delfland uitgebouwd, waarbij de MKL 100 tot 200 meter zeewaarts is verschoven en bij de Zandmotor zelfs 800 meter. Bij de Zandmotor vindt een geleidelijke verspreiding van zand plaats naar de aangrenzende kusttrajecten, vooral naar het noorden. Bij Scheveningen treedt na de Zwakke Schakel versterking (dijk-in-boulevard) weer erosie op.



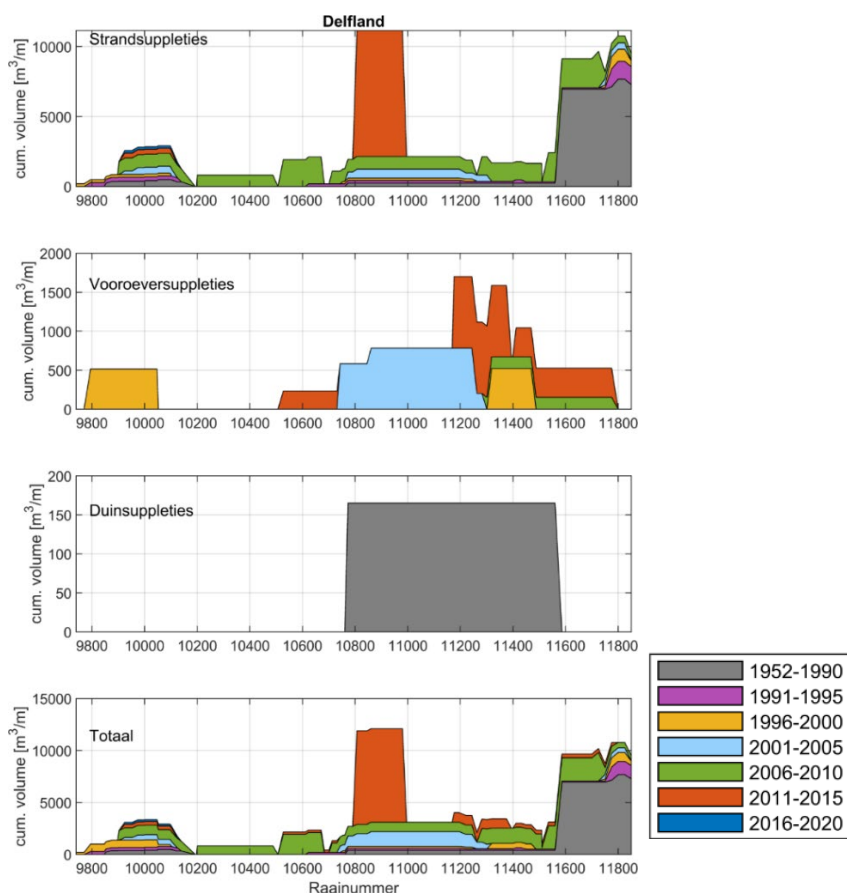
Figuur 7.1 – Overzicht trends in MKL-positie over de laatste 10 jaar voor het kustvak Delfland. De rode lijnen geven strandhoofden aan, de groene lijn de dijk-in-boulevard bij Scheveningen.

7.2 Zandsuppleties

In Delfland treedt in het algemeen erosie op waardoor onderhoud in de vorm van suppleties noodzakelijk is sinds 1953. Figuur 7.2 laat zien op welke locaties langs de Delflandse kust suppleties zijn uitgevoerd. De gehele kust van Delfland is wel eens met zand gesuppleerd. Een compleet overzicht van alle uitgevoerde suppleties bij de kust van Delfland zijn gegeven in Tabel 7-1. Een compleet landelijk overzicht van uitgevoerde zandsuppleties is te vinden op de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>).

Langs het gehele kustvak is gedurende de periode 1953 t/m 2020 in totaal 87,5 miljoen m³ zand gesuppleerd. Ongeveer 70% komt voor rekening van een beperkt aantal recente grootschalige suppletie programma's, een overzicht van de grootschalige programma's is gegeven in Hoofdstuk 2 en paragraaf 4.2.1. In Tabel 7-1 zijn de grootschalige ingrepen met kleuren aangegeven.

Figuur 7.3 toont het cumulatieve suppletievolume sinds 1953 en laat zien dat tijdens de periode tussen beide megasuppleties (1972 t/m 2010) het jaarlijkse suppletievolume geleidelijk is toegenomen. In het geval met megasuppleties is gedurende de periode 1956 t/m 1990 26,1 miljoen m³ gesuppleerd (gemiddeld 0,7 miljoen m³/jaar). Tussen 1991 en 2019 is het totale suppletievolume 60,6 miljoen m³ (gemiddeld 2,4 miljoen m³/jaar). Het jaarlijks-gemiddelde suppletievolume is tussen 1991 en 2015 (25 jaar) dus ruim 3 keer groter geweest dan tijdens de voorafgaande periode van 35 jaar. Als de megasuppleties van 1971 en 2011 buiten beschouwing worden gelaten, bedragen de suppletievolumes voor de perioden 1956 t/m 1990 en 1991 t/m 2015 respectievelijk 7,2 miljoen m³ (gemiddeld 0,2 miljoen m³/jaar) en 43,6 miljoen m³ (gemiddeld 1,7 miljoen m³/jaar).



Figuur 7.2 - Overzicht van alle aangebrachte suppleties bij Delfland, tot 2020: kustlangse verdeling van de suppletiehoeveelheden (m³/m).

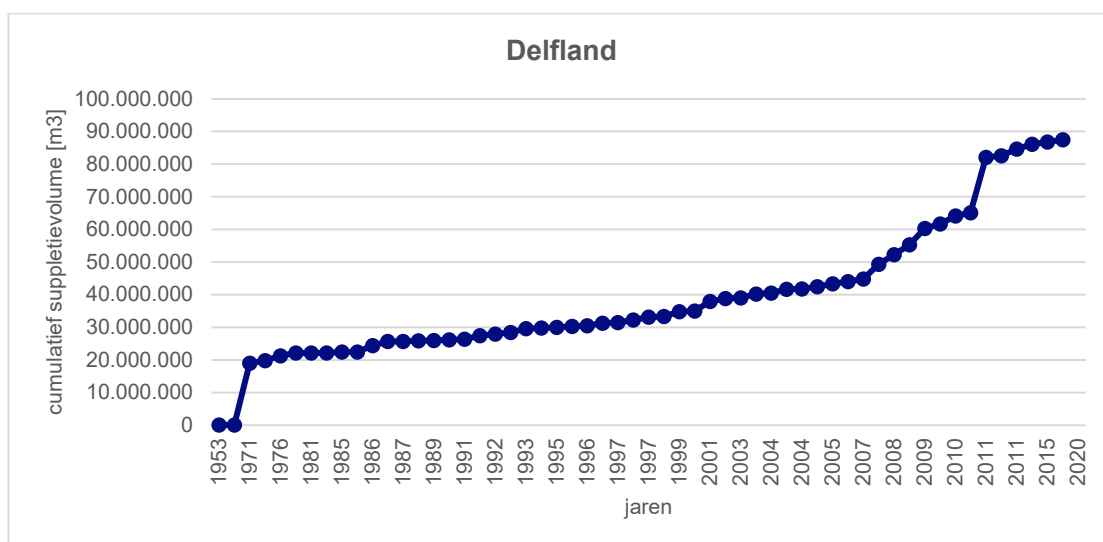
Tabel 7-1 - Uitgevoerde suppleties Delfland. Periode 1953 t/m 2021 De volumes zijn gegeven als in-situ kubieke meters. De grootschalige ingrepen zijn weergegeven in groen (Dixhoorndriehoek), oranje (Spanjaardsduin), blauw (Zwake Schakel versterking Delfland) en rood (Zandmotor).

Locatie	Jaar (start)	Begin raai	Eind raai	Type	Volume [1000 m3]	Volume [m3/m]
Scheveningen	1953	10050	10150	strandsuppletie	70	70
Scheveningen	1969	10000	10150	strandsuppletie	45	30
Hoek van Holland	1971	11570	11875	strandsuppletie	18940	6210
Scheveningen	1975	9850	10150	strandsuppletie	700	233
Hoek van Holland	1976	11570	11900	strandsuppletie	1500	455
Hoek van Holland	1977	11570	11875	strandsuppletie	870	285
Scheveningen	1981	9900	10100	strandsuppletie	10	5
Scheveningen	1982	9900	10100	strandsuppletie	15	8
Scheveningen	1985	9875	10125	strandsuppletie	250	100
Scheveningen	1985	9875	10125	strandsuppletie	80	32
Ter Heijde	1986	10773	11561	strandsuppletie	1900	241
Ter Heijde	1986	10773	11561	duinverzwaring	1300	165
Scheveningen	1987	9900	10100	strandsuppletie	8	4
Hoek van Holland	1988	11800	11850	strandsuppletie	200	400
Hoek van Holland	1989	11800	11875	strandsuppletie	100	133
Hoek van Holland	1990	11775	11875	strandsuppletie	183	183
Hoek van Holland	1991	11775	11875	strandsuppletie	223	223
Scheveningen	1991	9781	10139	strandsuppletie	1006	281
Hoek van Holland	1992	11775	11875	strandsuppletie	560	560
Hoek van Holland/s Gravenzande	1993	11400	11875	strandsuppletie	463	97
Ter Heijde	1993	10623	11221	strandsuppletie	1143	191
Hoek van Holland	1994	11775	11875	strandsuppletie	200	200
Hoek van Holland	1995	11775	11875	strandsuppletie	200	200
Ter Heijde	1995	11221	11450	strandsuppletie	300	131
Hoek van Holland	1996	11775	11875	strandsuppletie	200	200
Scheveningen	1996	9700	10100	strandsuppletie	800	200
Hoek van Holland	1997	11775	11875	strandsuppletie	200	200
Ter Heijde	1997	10750	11250	strandsuppletie	834	167
Ter Heijde	1997	11315	11485	onderwatersuppletie	883	519
Hoek van Holland	1999	11775	11850	strandsuppletie	201	268
Scheveningen	1999	9773	10050	onderwatersuppletie	1426	515
Hoek van Holland	2000	11750	11850	strandsuppletie	200	200
Kijkduin-Ter Heijde	2001	10740	11250	onderwatersuppletie	2971	583
Kijkduin-Ter Heijde	2001	10800	11200	strandsuppletie	801	200
Hoek van Holland	2003	11750	11850	strandsuppletie	214	214
Ter Heijde	2003	10773	11319	strandsuppletie	1253	229
Hoek van Holland	2004	11750	11850	strandsuppletie	231	231
Ter Heijde Verdedigd- en onverdedigd duin	2004	10773	11319	strandsuppletie	1156	212

Scheveningen	2004	9925	9965	strandsuppletie	100	250
Scheveningen (Keizerstraat)	2004	9970	10110	strandsuppletie	683	488
Monster	2005	10860	11300	onderwatersuppletie	882	200
Hoek van Holland	2007	11725	11870	strandsuppletie	744	513
's Gravenzande-Hoek van Holland	2007	11300	11800	onderwatersuppletie	753	151
s Gravenzande	2008	11535	11750	strand-duinsuppletie	6100	2093
Ter Heijde-'s Gravenzande	2008	11282	11510	strand-duinsuppletie	3000	1316
Kijkduin	2009	10527	10683	strand-duinsuppletie	3000	1923
Kijkduin-Ter Heijde	2009	10713	11263	strand-duinsuppletie	5000	909
Scheveningen fase 1	2009	9900	10150	strandsuppletie	1364	546
Kijkduin-Scheveningen	2010	10200	10507	strand-duinsuppletie	2500	814
Scheveningen fase 2	2010	9900	10150	strandsuppletie	959	384
Kijkduin-Ter Heijde	2011	10807	10996	strandsuppletie	17000	8995
Kijkduin-Ter Heijde	2011	10527	10743	onderwatersuppletie	500	231
Kijkduin-Ter Heijde	2011	11176	11394	onderwatersuppletie	2000	917
Hoek van Holland	2013	11400	11800	onderwatersuppletie	1500	375
Scheveningen	2015	9925	10125	strandsuppletie	700	350
Scheveningen	2019	9925	10140	strandsuppletie	700	186

TOTAAL

87521



Figuur 7.3 - Cumulatief suppletievolumen Noordzeekust Delfland

7.3 Ontwikkeling kustindicatoren

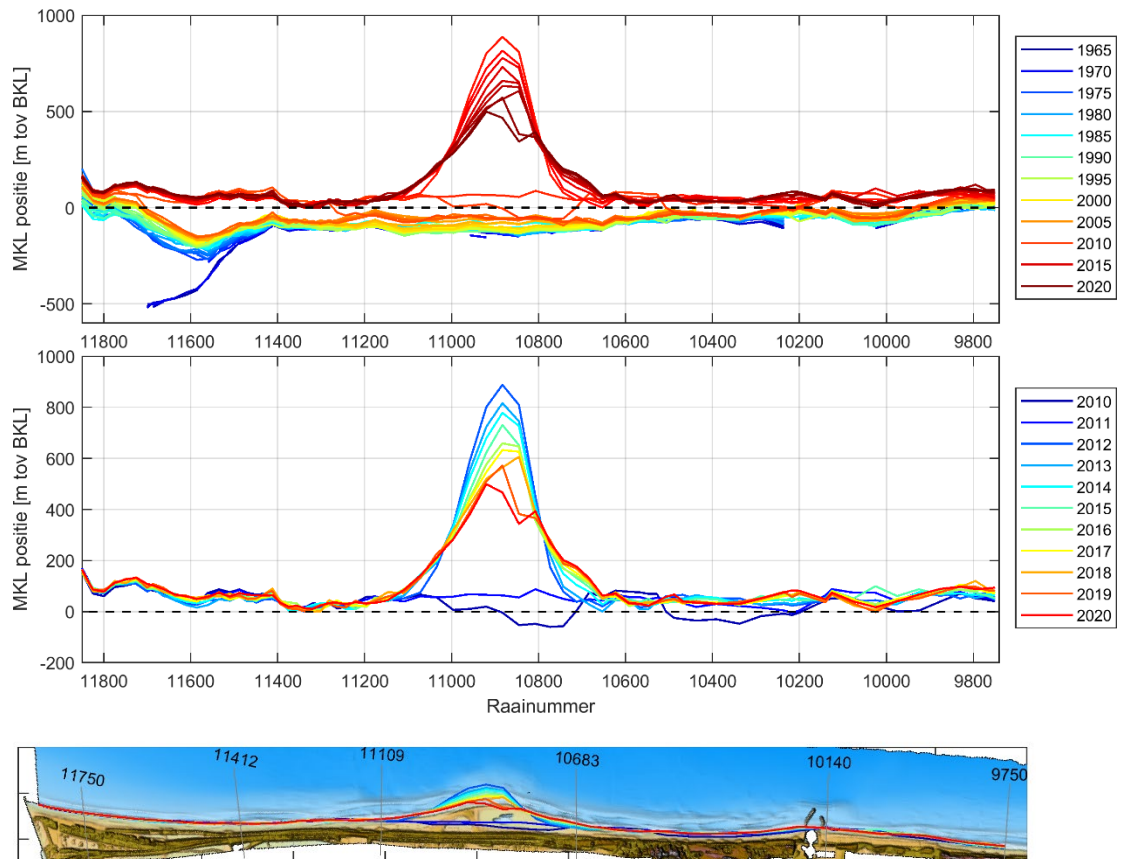
In deze paragraaf wordt de ontwikkeling van de kustzone bij Delfland beschreven met behulp van kustindicatoren. De trends en veranderingen in deze kustindicatoren over de tijd kunnen aan de hand van de morfologische ontwikkelingen uit Hoofdstuk 6 worden verklaard. Kustindicatoren die hier worden uitgelicht zijn de Momentane KustLijn (MKL), duinvoet, strandbreedte en faalkans van de eerste duinenrij. Een overzicht van de historische en ook de meest recente informatie over de kustindicatoren zijn te vinden op de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>). Daarnaast is de meest recente informatie over de huidige en de verwachte kustlijnligging ten opzichte van de BKL te vinden in de (jaarlijks opgestelde) kustlijnkaartenboek van Rijkswaterstaat (<https://www.rijkswaterstaat.nl/kaarten/kustlijnkaart>).

7.3.1 MKL – BKL

De MKL-positie ten opzichte van de BKL-positie is weergegeven in Figuur 7.4 over de periode 1965-2020 en 2010-2020. Over de periode 1965 tot 2007 sprake is van een geleidelijk aangroeiende of stabiele MKL-positie als gevolg van suppleties. De MKL ligt grotendeels landwaarts van de BKL tot 2017, dit wordt veroorzaakt door de (zeewaartse) verplaatsing van de BKL bij de herziening in 2017. In dit figuur is de vigerende BKL (2017) gebruikt als referentie.

Tussen 2007 en 2010 is vervolgens een sterke zeewaartse verplaatsing van de MKL-positie van 100-150 meter te zien als gevolg van de duinversterking Delfland in kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (de zwakke schakels Scheveningen en Delflandse Kust). Vanaf 2010 lijkt de MKL stabiel voor het gebied ten zuiden van de Zandmotor tot Hoek van Holland. Ten noorden van de Zandmotor tot de haven van Scheveningen vertoont de MKL wat meer variabiliteit over de periode 2010-2020.

In 2011 is wederom een duidelijke toename van de MKL-positie te zien bij de Zandmotor (raaien 11200 tot 10600) van gemiddeld 642 meter. De MKL-positie schrijdt daarna bij de haak van de Zandmotor met 400 meter terug over de periode 2012 tot 2021 (~45 m/jaar). Aan de zuidzijde van de Zandmotor heeft de MKL zich zeewaarts verplaatst na de initiële vervorming van de Zandmotor, maar is sindsdien stabiel. Aan de noordzijde verplaatst de MKL zich nog steeds zeewaarts, al lijkt de snelheid af te nemen. Dit komt overeen met de observeerde vervorming van de Zandmotor (paragraaf 6.3.1) en de verschillende trends voor de zuid- en noordzijde van de Zandmotor zijn ook terug te vinden in de zandbalans (paragraaf 6.2.2).



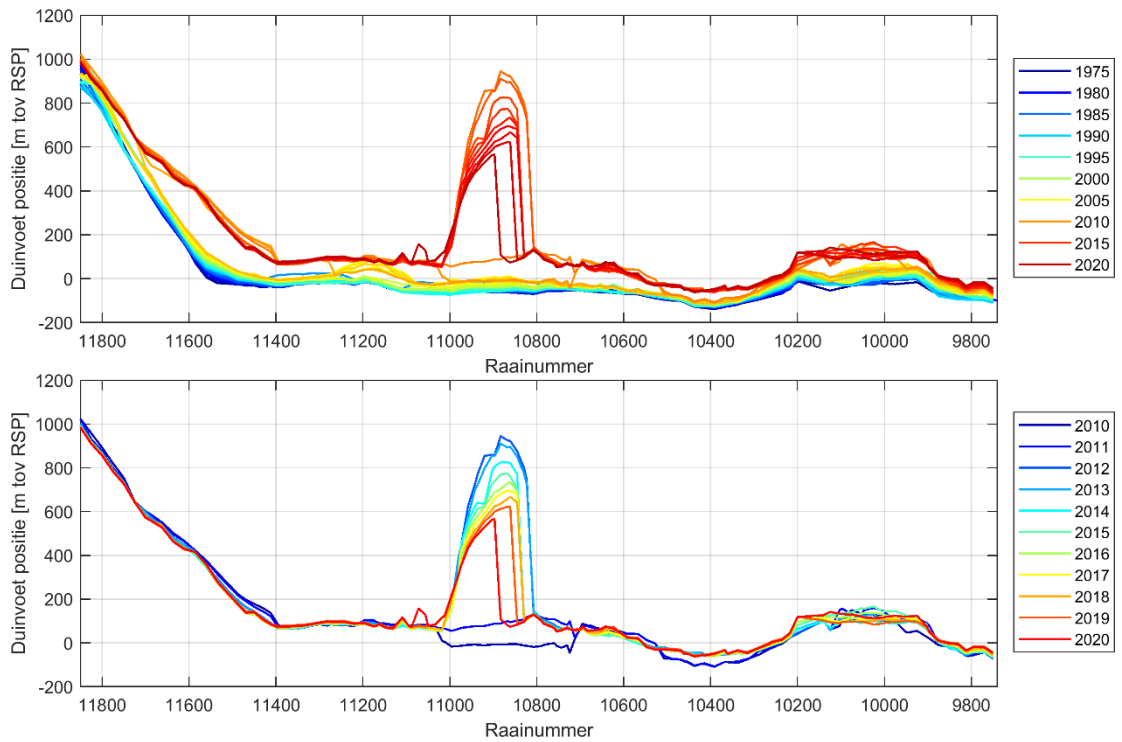
Figuur 7.4 – ontwikkeling MKL-positie t.o.v. de BKL tussen 1965 en 2020 (boven) en tussen 2010 en 2020 (onder).

7.3.2 Duinvoet

De ontwikkeling van de positie van de duinvoet langs de Delflandse kust is gedefinieerd als de doorsnede van het profiel met de NAP +3 meter-lijn en is weergegeven in Figuur 7.5. In het verleden is de duinvoet sterk landwaarts verplaatst in de periode 1850 tot 1970 (gemiddeld 0.4 tot 0.8 m/jaar). Sinds de jaren '70 is er echter sprake van een stabiele duinvoet positie, terwijl de duinvoet sinds het handhaven van de basiskustlijn zeewaarts verplaatst.

Tussen 2000 en 2011 is er een sprong in de ligging van de duinvoet als gevolg van de aanleg van de kustversterking Delfland die (in het kader van het 'zwakke schakels' programma) tussen 2007 en 2010 is gerealiseerd. Sinds de versterking lijkt de duinvoet-positie zeer stabiel te blijven. De toename in het duinvolume (paragraaf 6.3.5) resulteert niet in een toename van de duinvoet positie ten opzichte van RSP. Dit kan worden verklaard doordat de aanzanding van de duinen plaatsvindt bovenop en net landwaarts van de kruin van de eerste duinenrij, terwijl er erosie plaatsvindt aan de zeewaartse zijde van het duin (en duinvoet). Zand wordt door eolische processen blijkbaar van de duinvoet naar de kruin van de duinen verplaatst.

Ter hoogte van de Zandmotor is een sterke zeewaartse verplaatsing van de duinvoet te zien, maar dit geeft een vertekend beeld omdat hier de meest zeewaartse positie van de +3 meter contour wordt weergegeven. Voor de Zandmotor ligt dit punt op de haak van de Zandmotor, zie ook Figuur 6.9.

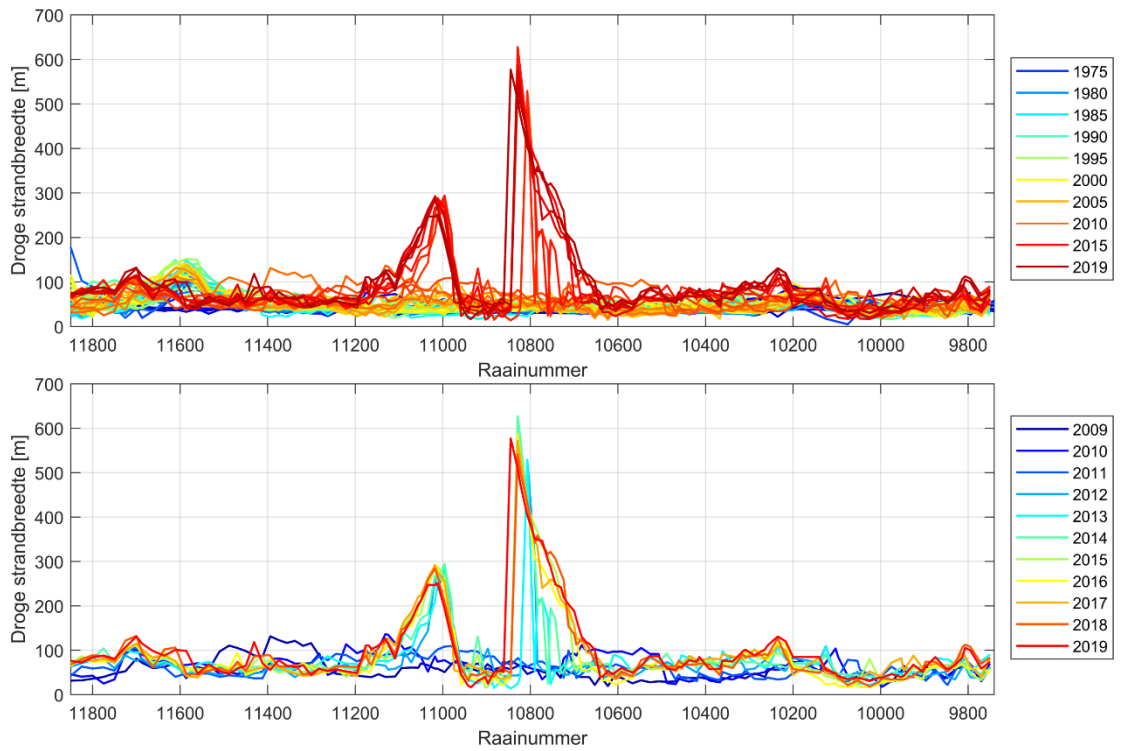


Figuur 7.5 – Ontwikkeling van de duinvoet (+3m NAP) tussen 1975 en 2020 (boven) en tussen 2010 en 2020 (onder).

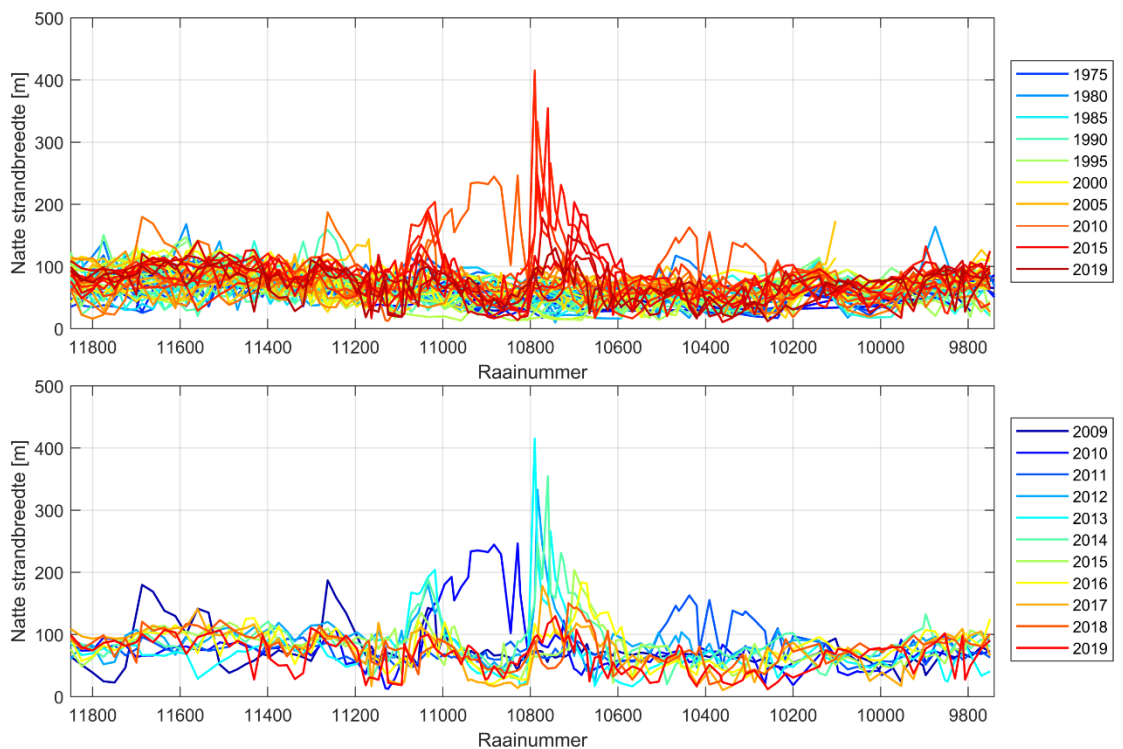
7.3.3 Strandbreedte

De strandbreedte is geen indicator in het beleid van Rijkswaterstaat, maar wel van belang voor bijvoorbeeld recreatie. Er wordt onderscheid gemaakt tussen het natte strand en het droge strand. De natte strandbreedte is de horizontale afstand tussen het snijpunt van het strandprofiel met de gemiddeld laag water (GLW) en gemiddeld hoog water (GHW). De droge strandbreedte is de afstand tussen de snijpunten van het strandprofiel met de GHW en de duinvoet (zie Appendix A voor de berekenmethode).

De ontwikkeling van de positie van de droge en natte strandbreedte langs de Delflandse kust is weergegeven in Figuur 7.6 en Figuur 7.7. De ontwikkeling van de strandbreedte varieert sterk kustlangs, maar lijkt stabiel sinds de Zwakke Schakel versterkingen. De pieken in de strandbreedte ter hoogte van de Zandmotor hangen samen met de trends in de duinvoetpositie. Op de Zandmotor ligt de Duinvoet relatief ver zeewaarts doordat de doorkruising van het profiel op +3m NAP op de Zandmotor ligt, zoals bijvoorbeeld bij raai 10920. Dit geeft dit een smalle droge strandbreedte.



Figuur 7.6 – Ontwikkeling van het droge strandbreedte (tussen de duinvoet en Hoogwaterlijn) tussen 1975 en 2020 (boven) en tussen 2010 en 2020 (onder).



Figuur 7.7 – Ontwikkeling van het natte strandbreedte (tussen de Hoogwaterlijn en Laagwaterlijn) tussen 1975 en 2020 (boven) en tussen 2010 en 2020 (onder).

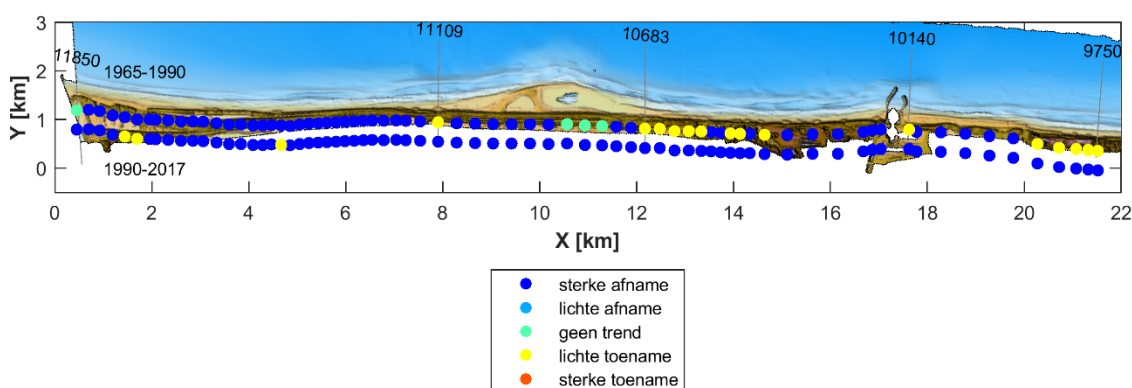
7.3.4 Faalkans eerste duinenrij/zeereep

De wettelijke beoordeling (paragraaf 3.3 en 4.2.3) van de duinen (als primaire waterkering) is gebaseerd op het bepalen van de hoeveelheid duinafslag onder maatgevende condities. Bij deze beoordeling komt geen informatie beschikbaar over het effect van suppleties op de ontwikkeling van de veiligheid. Om dit effect in beeld te kunnen brengen is in 2011 is een database samengesteld met faalkansen van alle JARKUS raaien langs de Nederlandse duinenkust, voor de jaren 1965-2010 (HKV, 2011). Op basis van deze database zijn analyses uitgevoerd van de effecten van veranderingen in suppletiebeleid door de jaren heen op de faalkansen van de duinen (HKV, 2012). In 2017 is deze database geactualiseerd voor de periode tot en met 2017 (HKV, 2017). De berekende faalkansen hebben in absolute zin geen betekenis voor de officiële faalkansen van de duinwaterkering. Het ontwikkelde probabilistische duinafslagmodel heeft daarnaast geen officiële status binnen het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI).

Trends in de ontwikkeling van de faalkansen zijn bepaald voor twee perioden: 1965-1990 en 1990-2017. Figuur 7.8 toont de trend in de faalkansen van de eerste duinenrij van Delfland voor elke periode. Er is een onderverdeling aangebracht in vijf klassen:

- 1 De faalkansen zijn sterk afgenomen in deze periode: de trend is zodanig dat een afname van de faalkansen met een factor 10 minder dan 10 jaar heeft geduurd (donkerblauw).
- 2 De faalkansen zijn licht afgenomen in deze periode: de trend is zodanig dat een afname van de faalkansen met een factor 10 meer dan 10 jaar heeft geduurd (lichtblauw).
- 3 Er zijn slechts 4 of minder faalkansen berekend in de beschouwde periode (vanwege een gebrek aan JARKUS-data of bruikbare resultaten van PC-Ring), op basis waarvan geen trend wordt weergegeven (groen).
- 4 De faalkansen zijn licht toegenomen in deze periode: de trend is zodanig dat een toename van de faalkansen met een factor 10 meer dan 10 jaar heeft geduurd (geel).
- 5 De faalkansen zijn sterk toegenomen in deze periode: de trend is zodanig dat een toename van de faalkansen met een factor 10 minder dan 10 jaar heeft geduurd (oranje).

Voor Delfland is voor een groot deel van de kust in de periode 1965 tot 1990 er een sterke afname van de faalkansen berekend (donker blauwe kleur in Figuur 7.8). Er zijn enkele raaien waar een lichte toename van de faalkansen is berekend. Voor de periode 1990 tot 2017 blijft de trend in de faalkansen sterk afnemen, waarschijnlijk speelt de kustversterkingen m.b.t. het Zwakke Schakel programma hier een belangrijke rol. Voor Delfland lijkt het er dus op dat de faalkansen van de zeereep is afgenomen door het suppletiebeleid.



Figuur 7.8 - Trend in de faalkansen van de eerste duinenrij van Delfland voor de perioden 1965-1990 (bovenste rij) en 1990-2017 (onderste rij).

Referenties

- Arens, S.M. (2021). Rapportages meetplannen 01 t/m 15, met betrekking tot strand- en duindynamiek, dynamische geomorfologie, hoogteveranderingen, fijne overstuiving, saltspray, embryonale duinen.
- Baart, F. et al., 2018. Zeespiegemonitor 2018 - De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust, Deltares report 11202193-000-ZKS-0004.
- Bruens, A. et al., 2012. Achtergrondrapport Basiskustlijn 2012 – feiten & cijfers ter onderbouwing van de herziening van de Basiskustlijn
- De Schipper, M. A., De Vries, S., Ruessink, G., De Zeeuw, R. C., Rutten, J., Van Gelder-Maas, C., Stive, M. J. F. (2016). Initial spreading of a mega feeder nourishment: Observations of the Sand Engine pilot project. *Coastal Engineering*, 111:23–38.
- De Schipper, M.A., Darnall, J., De Vries, S., Reniers, A.J.H.M. (2017). Beach scarp evolution and prediction. *Proceedings of the Coastal Dynamics conference 2017*.
- DHV (2007). Waterbouwrapport Versterking Delflandse kust, Technische analyse t.b.v. versterking Delflandse kust. Rapport WG-SE20061125,19 Februari 2007, versie definitief. Door DHV, H+N+S landschapsarchitecten en Alterra.
- Duijvestijn, (2021). Streekhistorie: De kustverdediging bij Ter Heijde. Historische Vereniging Monster - Ter Heijde.
- Hijma, M.P., Cohen, K.M., 2011. Holocene transgression of the Rhine river mouth area, The Netherlands/Southern North Sea: palaeogeography and sequence stratigraphy. *Sedimentology*, 58 (6), 1453-1485.
- Hijma, M.P., Kooi, H., 2018a. Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens, Deltares report 11200538-008-ZKS-0001.
- Hijma, M.P., Kooi, H., 2018b. Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (deel 2) - Een update, case IJmuiden en kwantificering onzekerheden, Deltares report 11202190-001-ZKS-0001_v1.0.
- Hijma, M.P., Van Onselen, E., 2019. Bodemdalingsmonitor 2019 - Kustfundament en de getijdenbekkens, Deltares report 11203683-002-ZKS-0017.
- Hijma, M.P., Van Onselen, E., 2020. Bodemdalingsmonitor 2020 - Kustfundament en de getijdenbekkens - Vergelijk met GNSS-data, Deltares report 11205236-002-ZKS-0004.
- HKV (2011). Indicatoren voor kustlijn­zorg. Analyse van indicatoren voor veiligheid en recreatie. HKV rapport pr2063.20. Wim van Balen, Vincent Vuik en Saskia van Vuren, 29 oktober 2011.
- HKV (2012). Indicatoren voor kustlijn­zorg. Analyse van stormen, suppleties en kust­veiligheid. HKV rapport pr2063.30. Vincent Vuik, Wim van Balen en Andries Paarlberg, 29 oktober 2012.
- HKV (2017). Faalkansendatabase duinen. Update voor de periode 1965-2017. HKV rapport PR2063.70. Vincent Vuik en Guy Dupuits, december 2017

- Hoogheemraadschap Delfland (2021). Beoordeling waterveiligheid Traject 14-6 Scheveningen. Hoofdrapport. 8 februari 2021 | DMS 1496202
- Hoonhout, B., De Vries, S. (2017). Aeolian sediment supply at a mega nourishment. *Coastal Engineering* 123, pp. 11–20.
- Huisman, B.J.A., De Schipper, M.A., Ruessink, B.G. (2016). Sediment sorting at the Sand Motor at storm and annual time scales. *Marine Geology*, 381: 209–226.
- Huisman, B.J.A., Ruessink, B.G., De Schipper, M.A., Luijendijk, A.P., Stive, M.J.F. (2018). Modelling of bed sediment composition changes at the lower shoreface of the Sand Motor. *Coastal Engineering*, Vol. 132, pp. 33-49
- Huisman B.J.A., Walstra D.J.R., Radermacher M, de Schipper M.A., Ruessink B.G., (2019). Observations and Modelling of Shoreface Nourishment Behaviour. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2019; 7(3):59.
- Huisman, B.J.A., Quataert, E., Alvarez Antolinez, J.A. (2021a). Sedimentbalans Delflandse kust 2011-2021. Analyse van morfologische verandering en sedimenttransport rond de Zandmotor in de periode 2011 tot 2021. Deltares rapport 11201431-001-ZKS-0008.
- Huisman, B.J.A., Wijsman J.W.M., Arens S.M., Vertegaal C.T.M., van der Valk, L., van Donk S.C., Vreugdenhil, H.S.I., Taal M.D., (2021b). Zandmotor in perspectief. Samenvattende rapportage van het Monitoring- en Evaluatie Programma (MEP). Deltares rapport 11201431-003-ZKS-0010
- Huizer, S., Oude Essink, G. H. P., Bierkens, M. F. P. (2016). Fresh groundwater resources in a large sand replenishment, *Hydrological Earth Systems Science*, 20, 3149–3166.
- Ijff, S., Arens, S.M., Vertegaal, C.T.M., Huisman, B.J.A. (2021). Monitoring natuur- en duinontwikkeling op de Zandmotor. Zandmotor evaluatie periode 2012-2020. Deltares rapport 11201431-003-ZKS-0012.
- Leijnse, T.W.B., Huisman, B.J.A. (2019). Morfologie vaargeul van Scheveningen. Sedimentatie in relatie tot suppleties en natuurlijke condities. Deltares rapport 11201431-001-ZKS-0019.
- Luijendijk, A.P., Ranasinghe, R., De Schipper, M.A., Huisman, B.J.A., Swinkels, C.M., Walstra, D.J.R., Stive, M.J.F. (2017). The initial morphological response of the Sand Engine: A process-based modelling study. *Coastal Engineering* 119, pp. 1-14.
- Luijendijk, A.P., Van Oudenhoven, A. (2019). The Sand Motor: A Nature-Based Response to Climate Change: Findings and Reflections of the Interdisciplinary Research Program NatureCoast. Delft: Delft University Publishers - TU Delft Library.
- Luijendijk, A.P., De Schipper, M.A., Ranasinghe, R. (2019). Morphodynamic Acceleration Techniques for Multi-Timescale Predictions of Complex Sandy Interventions. *Journal of Marine Science and Engineering* 7(3):78.
- Oude Vrielink, J.J. (2020). The impact of aeolian sediment transport on vegetation development in engineered coastal dunes and dune valleys. Master thesis University of Twente
- Pantelli, N-M (2017). Global assessment of the potential effect of large sand replenishment on fresh groundwater resources. Additional thesis project.
- Radermacher, M., De Schipper, M.A., Swinkels, C., MacMahan, J.H., Reniers, A.J.H.M. (2017). Tidal flow separation at protruding beach nourishments, *Journal of Geophysical Research : Oceans*, 122.

- Radermacher, M. (2018). Impact of sand nourishments on hydrodynamics and swimmer safety. PhD thesis. Delft University of Technology.
- Radermacher, M., De Schipper, M.A., Price, T.D., Huisman, B.J.A., Aarninkhof, S.G.J., Reniers, A.J.H.M. (2018). Behaviour of subtidal sandbars in response to nourishments. *Geomorphology* 313, pp. 1–12.
- Radermacher, M., De Schipper, M.A., Reniers, A.J.H.M. (2018b). Sensitivity of rip current forecasts to errors in remotely-sensed bathymetry. *Coastal Engineering*, Volume 135, pp. 66–76.
- Rutten, J., Ruessink, B. G., Price, T. D. (2018). Observations on sandbar behaviour along a man-made curved coast. *Earth Surface Processes and Landforms*, Volume 43, pp. 134-149.
- Shore, 2019. Veldrapport Drifter Stromingsmetingen Zandmotor. Shore rapport N201905-02. Auteurs M. Verkerk en R.C. de Zeeuw. Oktober 2019.
- Tonnon, P.K., Huisman, B.J.A., Stam, G.N., Van Rijn, L.C., 2018. Numerical modelling of erosion rates, life span and maintenance volumes of mega nourishments. *Coastal Engineering*, Vol. 131, pp. 51-69.
- Van Bemmelen, C.W.T., De Schipper, M.A., Darnalla, J., Aarninkhof, S.G.J. (2020). Beach scarp dynamics at nourished beaches. *Coastal Engineering*, in review.
- Van der Valk, L. (2019). Schelpdierfauna in de lagune van de Zandmotor 2012-2019. Deltares memo 11201431-003-ZKS-0002.
- Valk, L. Van der. (n.d.) Westlandse kust van 1220 tot 1850. In: *Historische Atlas van het Westland*.
- van der Valk, L, 2021. F. van der Meulen, M.R. van Eerden & P. Veel (red.). Spanjaards Duin 2009-2021: natuurcompensatie Delflandse kust in het kader van het gebruik van Maasvlakte 2. Rijkswaterstaat en Deltares, Lelystad/Delft, 88 pagina's inclusief bijlagen.
- Van der Weerd, A.J., Wijnberg, K.M. (2016). Aeolian Sediment Flux Derived from a Natural Sand Trap. *Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia)*. *Journal of Coastal Research (SI)* 75, pp. 338-342.
- Van Donk, S. C. & J. W. M. Wijsman (2020) Veranderingen in ecotopen over 10 jaar na aanleg van de Zandmotor. Monitoring en evaluatie 2010-2020. Wageningen Marine Research, Report number: C100/20, 38 pages.
- Van Egmond, E. M., van Bodegom, P. M., Berg, M. P., Wijsman, J. W. M., Leewis, L., Janssen, G. M., Aerts, R. (2018). A mega-nourishment creates novel habitat for intertidal macroinvertebrates by enhancing habitat relief of the sandy beach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 207, 232-241.
- Vertegaal, C.T.M. (2021). Evaluatie Pilot Zandmotor 2012-2020. Onderdeel natuur/duin en strand. Zandmotor rapport. In opdracht van Deltares/ Rijkswaterstaat.
- Wijsman, J. W. M., D. Van den Ende en E. Brummelhuis (2020) Bodemdiergemeenschap van de vooroever en het natte strand van de Zandmotor in het najaar van 2019. Wageningen Marine Research, Report number: C084/20, 107 pages.

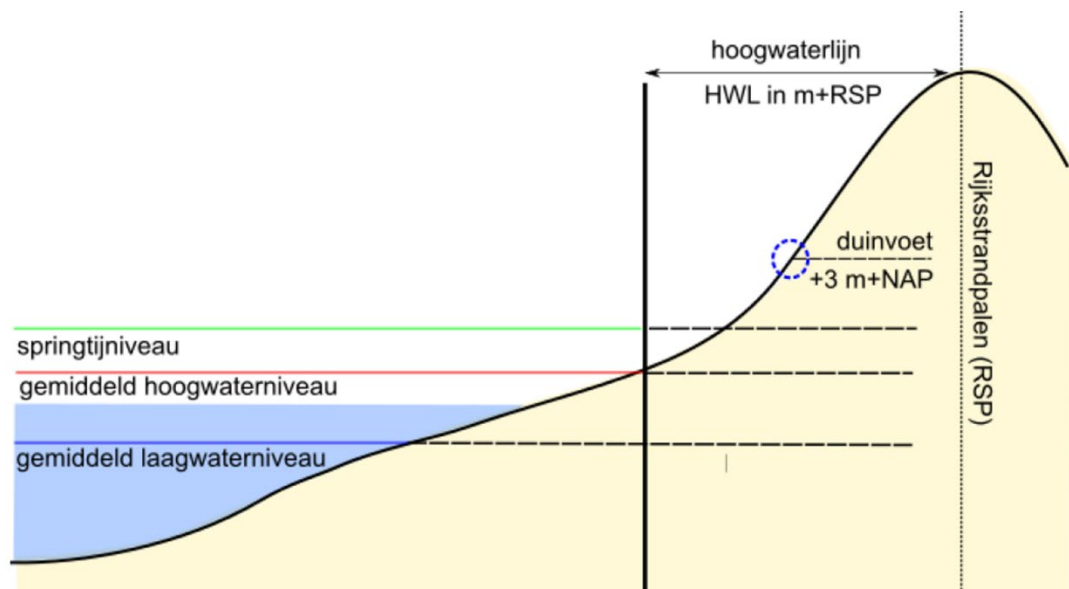
A Kustindicatoren: berekenmethode

A.1 Gemiddeld hoog- en laagwater

Het gemiddeld hoogwater niveau (GHW) is het verticale niveau ten opzichte van NAP (rode lijn in Figuur 7.9). De doorkruising van GHW met het JARKUS-profiel geeft dan de horizontale positie ten opzichte van RSP, de hoogwaterlijn (HWL). Dezelfde methode wordt gebruikt voor het gemiddeld laagwater niveau (GLW, blauwe lijn in Figuur 7.9) en de laagwaterlijn (LWL).

Het gemiddeld hoog- en laagwater niveau (GHW en GLW) zijn berekend op basis van het astronomisch getij van het jaar 2018, en is gebaseerd op de harmonische componenten vanuit TPXO 8.0 (Egbert en Erofeeva, 2002⁵). TPXO is een wereldwijd model van de getijbewegingen gebaseerd op de TOPEX/Poseidon en JOSEN satelliet data en bevat de 13 harmonische componenten: M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, MF, MM, M4, MS4, MN4.

Van het getij-sigitaal wordt het gemiddelde van alle maxima (alle hoogwater-niveaus) en minima (alle laagwater-niveaus) bepaald, dit geeft dan het GHW en GLW. De GHW en GLW is dus bepaald inclusief het springtij. Het GHW en GLW dat nu op de server staat, wordt momenteel niet jaarlijks geüpdatet. Dit is voornamelijk omdat het GHW en GLW op jaarlijkse basis nauwelijks zullen variëren. Ook is het voor de bepaling van de overige kustindicatoren vaak beter om een vast referentiepunt te hebben, zodat het effect van veranderingen in het JARKUS-profiel op de indicatoren niet wordt beïnvloed door variaties in GHW en GLW.



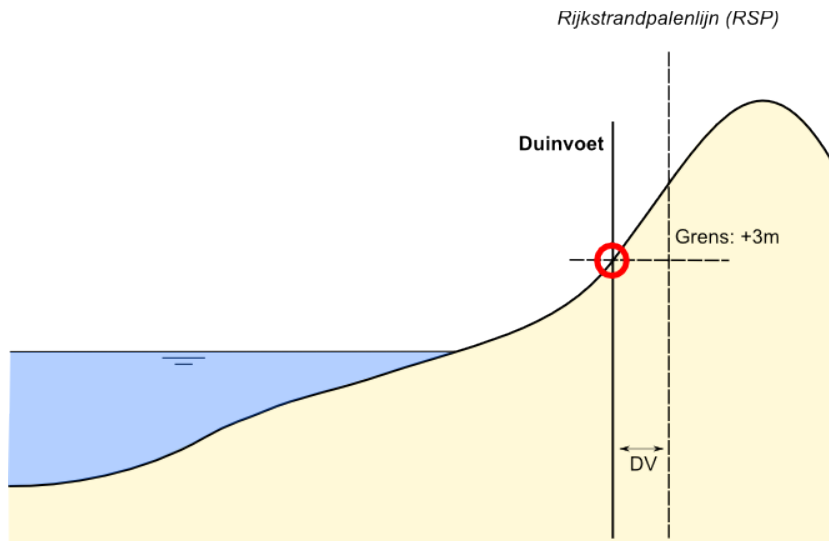
Figuur 7.9 - Rekenmethodiek voor de bepaling van gemiddeld hoogwater niveau (GHW), gemiddeld laagwater niveau (GLW), hoogwaterlijn (HWL) en laagwaterlijn (LWL).

A.2 Duinvoet

De duinvoet (DV in Figuur 7.10) is de overgang van het droge strand naar de eerste duinenrij. Deze wordt bepaald als de positie van het snijpunt van het profiel met de +3 m NAP lijn, ten

⁵ Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19(2), 183–204. [http://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2)

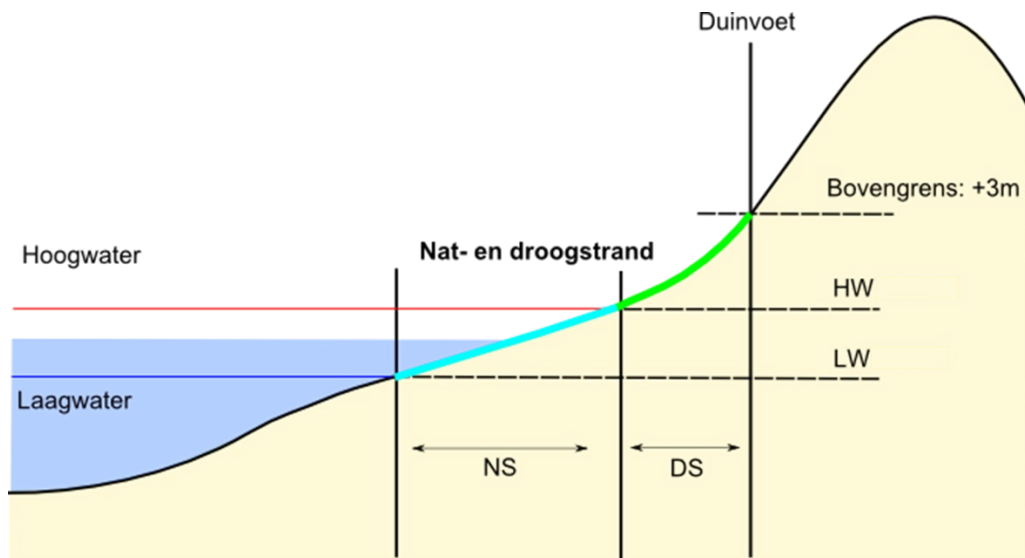
opzichte van RSP. Dit snijpunt hoeft in de realiteit niet altijd overeen te komen met de daadwerkelijke overgang van strand naar duinen (i.e. knikpunt in het profiel).



Figuur 7.10 - Rekenmethodiek voor de bepaling van de duinvoet

A.3 Strandbreedte

De strandbreedte is geen indicator in het beleid van Rijkswaterstaat, maar wel van belang voor bijvoorbeeld recreatie. Er wordt onderscheid gemaakt tussen het natte strand en het droge strand. Het natte strand is de horizontale afstand tussen het snijpunt van het strandprofiel met de laagwaterlijn (LW) en hoogwaterlijn (HW). Het droge strand is de afstand tussen de snijpunten van het strandprofiel met de hoogwaterlijn (HW) en de duinvoet (+3m). Deze definities zijn weergegeven in Figuur 7.11.



Figuur 7.11 - Rekenmethodiek voor de bepaling van de strandbreedte, natte strandbreedte (NS) in blauw en droge strandbreedte (DS) in groen.

B Historische kustverdediging Delfland (Van der Valk, n.d.)

De Westlandse kust van 1200 tot 1850

Hoe de kust eruit ziet in de vroege middeleeuwen weten we wel ongeveer maar niet erg goed. We nemen aan dat de toenmalige kustlijn in zijn geheel flink zeewaarts van de huidige lag, tot ongeveer ter hoogte van Monster. Daar boog de Noordzee-kust scherp om naar het zuidoosten, en bestond daar uit een zgn lage haakwal met een aan het estuarium grenzende duingebied (het Copierduin). Dat Copierduin is in de 19^e eeuw afgegraven, zoals ook met zoveel andere duintjes in het Maas-estuarium gebeurd is. Hier wordt meteen het probleem duidelijk wat we aan de Westlandse kust hebben: doordat er kusterosie heeft plaatsgevonden en doordat er tot op recente datum veel vergraven is, missen we voor een bepaalde periode het nodige geologische en archeologische bewijsmateriaal en moeten we noodzakelijkerwijs reconstrueren.

In de voorafgaande eeuwen, van 800 tot 1100, bestaat er een min of meer rustige periode. De noordoever van het Maas-estuarium is relatief stabiel, maar zal zeker af en toe met een stormvloed vanuit het zuidwesten het nodige te lijden hebben gehad. Er vond oevererosie plaats en aan die op de wind blootgestelde oever woei een laag duingebied op waarop gewoond werd, de Naaldwijkse Geest. Archeologisch is aangetoond dat dit duingebied al in de Romeinse tijd bewoond werd, en die bewoning ging met wat horten en stoten door in de vroege middeleeuwen. Het duin stooft niet verder op en dat zegt iets over een relatief grote stabiliteit van deze oever. De naam van dit kustdorp is niet bewaard gebleven. Namen van door erosie verdwenen kustplaatsjes kennen we eigenlijk alleen van de zuidoever van het Maas estuarium en nauwelijks van de noordoever. Dat wijst erop dat de erosieve kant in de middeleeuwen van het estuarium van de noordoever naar de zuidoever verschoof. Het zal ongetwijfeld samenhangen met de vorming van de hierboven al genoemde haakwal. Deze haakwal ontstond als gevolg van zuidwestwaarts gericht zandtransport langs de ondiepe Noordzee-kust, geheel in tegenstelling tot het overwegend noordoost gerichte zandtransport langs de rest van de Hollandse kust. Het zuidwestgerichte transport van zand zal in de volgende 10 eeuwen de kustvorm bepalen, en doet dat ook nu nog. De haakwal ging de noordoever van het estuarium beschermen tegen de zuidwester stormen.

Vanaf de 11^e tot in de 12^e eeuw komt er echter meer beweging in het verloop van de kustlijn. Stormvloedden zorgen voor overstromingen van de toen nog lage dijkjes aan de noordkant van het Maasestuarium, en slepen de beddingen van de Gantel en de Lier uit. De erosie aan de zuidkant was echter naar verhouding veel heftiger, waarschijnlijk omdat het gebied veel meer veen in de ondergrond had dan in de ondergrond van het Westland aan de noordkant: daar lag de nodige klei van eerdere overstromingen. Veen erodeert snel als het in de stootoevers van geulen wordt aangesneden door de schurende werking van het water. Het overstroomde land wordt vanaf ca. 1160 opnieuw ingedijkt, althans de eerste delen ervan. Dijken gingen de oevers beschermen en langs de geulen werden ook dijken aangelegd, op enige afstand van de (lage) dijken. Ten zuiden van Monster ontstond een nieuwe zandige haakwal aan de zuidpunt van het Hollandse kust. Achter die haakwal ontstond een beschermt gebied, een soort groen strand, ontwaterd door een getijdengeul. Op die haakwal is voor 1164 's-Gravenzande gesticht, een logische naam voor zo'n stuk nieuw land want het recht in die tijd kende nieuw ontstaan land aan het gezag van de machthebber toe, de graaf van Holland.

De erosieve ontwikkelingen in de Oude Maasmond riepen een zandvraag op. Het dichtstbijzijnde kustvak wat dat kon leveren was de Westlandse kust. In de hierop volgende

eeuwen zorgde de aanvoer van zand zuidwaarts langs de Westlandse kust voor een uitbouw van de zandige punt van Holland naar het zuidwesten. Periodiek vormde zich een haakwal in? het estuarium van de Maas, en in toenemende mate van de Rijn. De opeenvolgende versies van die naar het zuidwesten verschuivende landpunt met de daaraan verbonden haakwallen zijn fraai gedocumenteerd door de kaarten die we vanaf 1550 van het mondingsgebied van de Oude Maas kennen. Door die kaarten op eenzelfde schaal te projecteren, wat met enige ervaring goed lukt, zijn in de loop van de 20^e eeuw diverse auteurs erin geslaagd dit beeld op te roepen. Voortgaand zuidwaarts transport van zand langs de Westlandse kust bracht voldoende materiaal aan om de punt steeds verder zuidwaarts uit te bouwen, om de haakwallen te voeden en de ruimtes tussen de haakwallen, die ook steeds zuidelijker kwamen te liggen, op te vullen. Ondertussen ging de kusterosie van de Westlandse kust gestaag door. Het noordelijke startpunt van die erosie verschoof naar alle waarschijnlijkheid steeds verder naar het noorden op. In 1570 verdwenen met een stormvloed drie straten met huizen van het dorp Scheveningen. Tussen 1600 en 1950 is zo een enorme taartpunt zand van de Westlandse kust door de zee geërodeerd, voor Kijkduin 700 m, voor Ter Heijde 1200 m, en voor 's-Gravenzande wel 1400 m. Het zand kwam in ieder geval niet in de vorm van duinen op de Westlandse kust; van deze duinkust is bekend dat deze tot voor kort een zeer smalle basis heeft gehad, hoogstens tientallen meters, en ze waren ook niet hoog. Het beetje duin wat gevormd werd, het Polanenduin, bestaat voornamelijk uit kalkarm zand, want vers aangevoerd kustzand bevat veel kalk in de vorm van schelpfragmenten. Het betekent dat al het geërodeerde zand 'om de hoek' naar het zuiden verdween via het langtransport. Toch was dit duinsysteem in de vorm van een grote parabool rond 1600 in staat een belangrijke verbindingsweg tussen Den Haag en de Maasmond te overstuiven.

Na 1600 wordt het steeds weer geprobeerd de Westlandse kust te stabiliseren en verder landverlies te beperken. De eerste Delflandse hoofden, nu onder het zand, werden aan het eind van de 18^e eeuw aangelegd door de toen nieuwe, centraal georiënteerde organisatie van Rijkswaterstaat. In de volgende eeuwen werden er steeds meer aangelegd, totdat een aantal van 68 was bereikt. Toch zette kusterosie door, en in de 19^e eeuw is de smalle duinenrij nog doorbroken bij een stormvloed. De Banken zijn een restant van een binnengedijkte voormalige strandvlakte, waar tot in de 18^e eeuw zeewater kon binnendringen met stormvloeden. Misschien is zelfs het oude dijkje achter De Banken in de 18^e eeuw doorgegaan, in 1712 tekende Cruquius een 'waal', een erosiegat wat ontstaat bij een dijkdoorbraak. Op diverse plaatsen, ook achter De Banken, zijn slaperdijken aangelegd ter zekering van het achterland. De strandvlakte is daarna sterk vernat omdat regenwater niet meer naar zee kon aflopen.

De Westlandse kust van 1850 tot heden

Door de voortgaande kusterosie vergde het onderhoud van de zeewering aan de zeezijde van de Westlandse kust voortdurend aandacht en middelen. In de 19^e eeuw vonden versterkingen en verhoging plaats van de smalle duinenrij tot een zanddijk: ontbrekende gedeeltes werden aangevuld en lage delen opgehoogd. Aan het eind van de 19^e eeuw lag de top van de zeewering op 6,6 m NAP met een breedte van 25 m. Experimenten met paalhoofden bleken niet erg duurzaam, zodat men vanaf 1791 stenen hoofden ging aanleggen. Men startte in het zuiden, en trok steeds verder naar het noorden. De aanleg van de havenhoofden van Hoek van Holland bleken de erosie ook niet tegen te houden. De kust bleef dus nog steeds de gevolgen ondervinden van de afvoer van zand langs de kust en had bij stormvloeden keer op keer te lijden van duinafslag. Nog bij de stormvloed van 1 februari 1953 ontstond een kritieke situatie voor de kust van 's-Gravenzande, waarbij er net geen doorbrak ontstond. Duinafslag van meer dan 20 m was daar de oorzaak. Maatregelen genomen onmiddellijk na de stormvloed omvatten onder meer het landwaarts verlengen van alle strandhoofden en de aanleg van een 650 m lange asfaltdijk over een zandopvulling in het gat bij 's-Gravenzande en reparatie van de steenhelling voor Ter Heijde. Er werden ook veel bunkers gesloopt, die bloot waren komen te liggen. Als gevolg van deze situatie en de voortdurende zandverliezen werd ook de Delflandse kust opgenomen in het Deltawet (1957).

In de jaren vanaf 1960 werd zand gewonnen uit de Europoort en op de wal van Hoek van Holland ontzilt. Na ontzilting werd het zand per smalspoor aan de achterzijde van de bestaande zeewering opgebracht tot op een hoogte van +11 m NAP (de hoogte van het zgn. Deltaprofiel van een dijk). Deze operatie duurde tot ca. 1983. Het resultaat was een binnenwaarts versterkte zeewering in de vorm van een min of meer natuurlijk duinmassief, dat een op de toenmalige veiligheidseisen afgestemd afslagprofiel kon verdragen. Het fietspad tussen 's-Gravenzande en Vlugtenburg loopt er vlak achter.

De steeds meer zeewaarts trekkende havenontwikkeling van de Rotterdam haven bracht gedurig overschot aan zandige bagger met zich mee. De beslissing werd genomen om het Delflandse kustvak benoorden de havenpier van Hoek van Holland met dit materiaal te versterken. Zo werd in de jaren 1960-begin 1970 een gebied opgespoten wat later de "Van Dixhoorn driehoek" is gaan heten. Hoek van Holland-strand ligt daar nu voor. De invloed van het opbrengen van dit materiaal reikte echter niet tot het noordelijke deel van de Westlandse kust: daar ondervond de kust nog steeds de invloed van de kusterosie in de vorm van afvoer van zand. Het blootspoelen van de strandvlakte-veenlagen net even ten zuiden van Kijkduin was daar het beste bewijs van. Al in het begin van de 70-er jaren van de vorige eeuw is daar en bij Ter Heijde met enige regelmaat zand op het strand gebracht door middel van opspuiten. De Van Dixhoorn driehoek en deze suppleties waren op deze manier al "kustversterking moderne stijl".

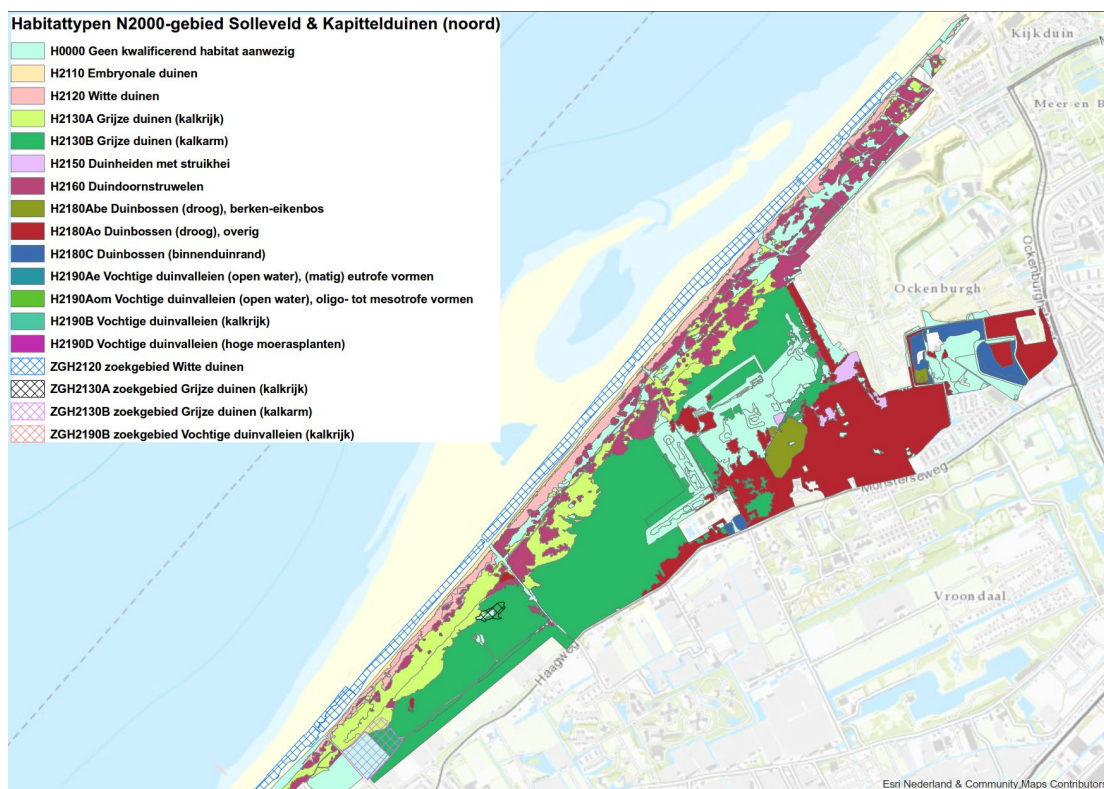
Het verdedigen van de kust kreeg een nieuwe dimensie in de jaren 1990-1995. Een onderzoeksprogramma "Kustgenese" had eerder aangetoond dat er structurele zandtekorten waren op delen van de kust, waaronder de Westlandse. Om die zandtekorten te compenseren werden vanaf 1995 geregeld zandsuppleties op de kust aangebracht, eerst als strandsuppletie en later als vooroeversuppletie onder het programma Kustlijn zorg (RWS). Sinds die tijd is er geen sprake meer van landverlies, en kon de Westlandse kust zelfs enkele tientallen meters uitbouwen omdat een deel van het suppletiezand in de goed onderhouden zeereep ingevangen werd door het uitbundig aangeplante en snel groeiende helm.

Bezorgdheid over de eventuele effecten van klimaatveranderingen zouden zich voor Nederland kunnen uiten in zeespiegelrijzing (in ons geval hebben we ook door andere oorzaken dan klimaat verandering al langere tijd te maken met versterkte zeespiegelrijzing: in de 20^e eeuw 20 cm), en in heviger stormen die ook uit een andere richting zouden kunnen komen. Zo werd de gehele Nederlandse kust opnieuw doorgelicht, en weer bleek de Westlandse kust voor versterking in aanmerking te komen. Zo werd "Zwakke Schakel Delfland" geboren. Daartoe werd in 2008-09 een zeewaartse kustversterking aangebracht, die bij Hoek van Holland begon, breder werd ter hoogte van Vlugtenburg en vervolgens smal tegen Kijkduin en Scheveningen uitliep. Dit door RWS en HHDelfland gezamenlijk uitgevoerde project waarborgt de Westlandse kust tegen de gevolgen van klimaatveranderingen in de komende 100 jaar. Een hoeveelheid van 18,6 Mm³ zand is erin verwerkt.

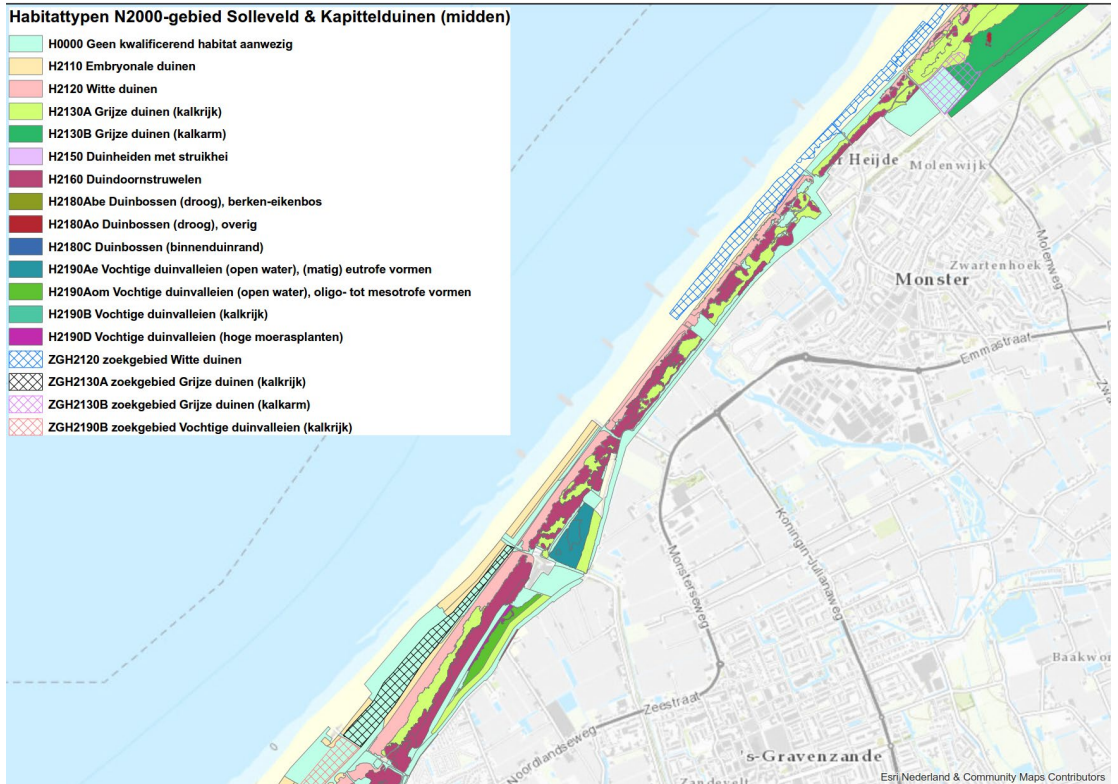
Nog is de saga van de Westlandse kust niet af. Op initiatief van de Provincie Zuid-Holland is in 2006-2007 een plan gelanceerd voor een meervoudig bruikbare kustuitbreiding in de vorm van de Zandmotor. Na een kort bestuurlijk traject is in nauwe samenwerking met het Rijk het plan verder ontwikkeld. Het drievoudige doel van de zandmotor is: kustonderhoud van 20-30 jaar? in één keer aanleggen, ontwikkeling van natuur- en recreatiegebied, en gebruik maken van de principes van 'bouwen met de natuur'. Er is in 2010-2011 een hoeveelheid van 21,5 Mm³ zand aangebracht in de vorm van een schiereiland tussen Kijkduin en Ter Heijde, waarbij de natuur zijn gang mag gaan. Naar verwachting wordt ca. 70% van het zand uiteindelijk in noordelijke richting verplaatst, en 30% in zuidelijke richting. Ook zal een deel van het zand in de duinen terecht komen, waardoor duinaangroei en dus kustversterking gerealiseerd zal worden. Provincie Zuid-Holland en Zuid-Hollands Landschap voeren samen het beheer. De

wetenschap kijkt actief mee via het programma “Nature Coast” waarin vele aio’s hun acties ontplooiën. En op geschikte dagen is het een vrolijke wirwar van kite-surfers.

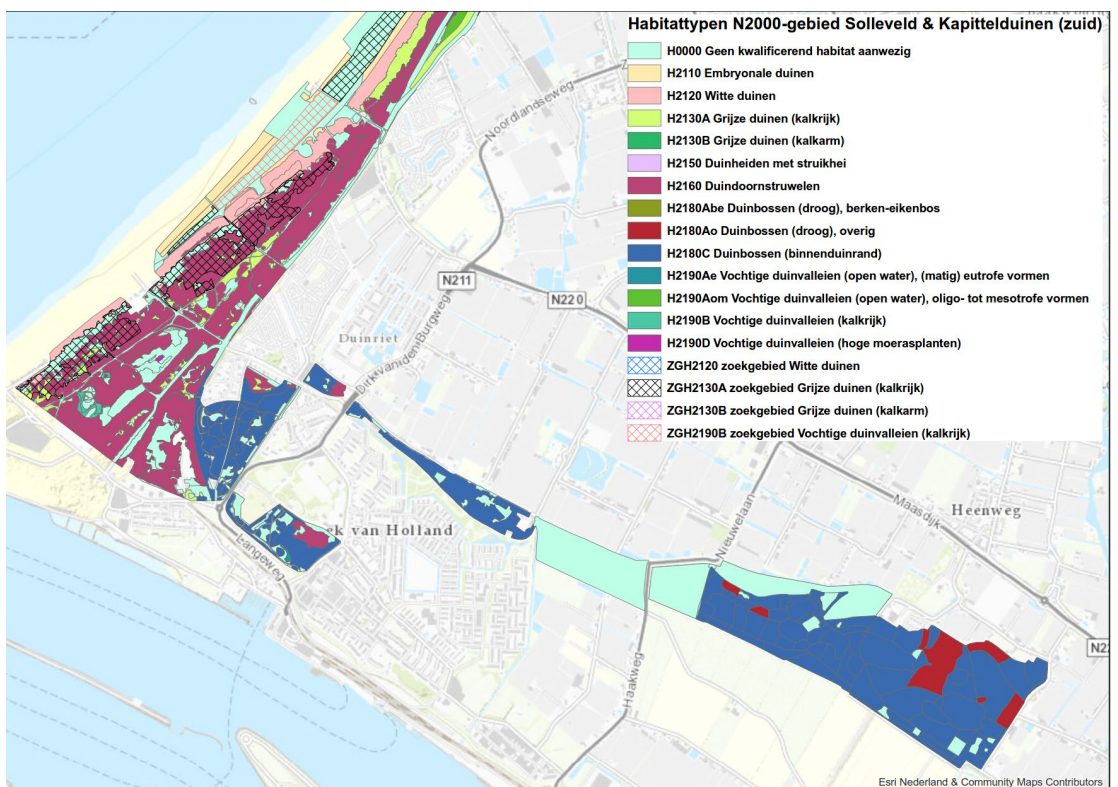
C Habitatkaarten Delfland



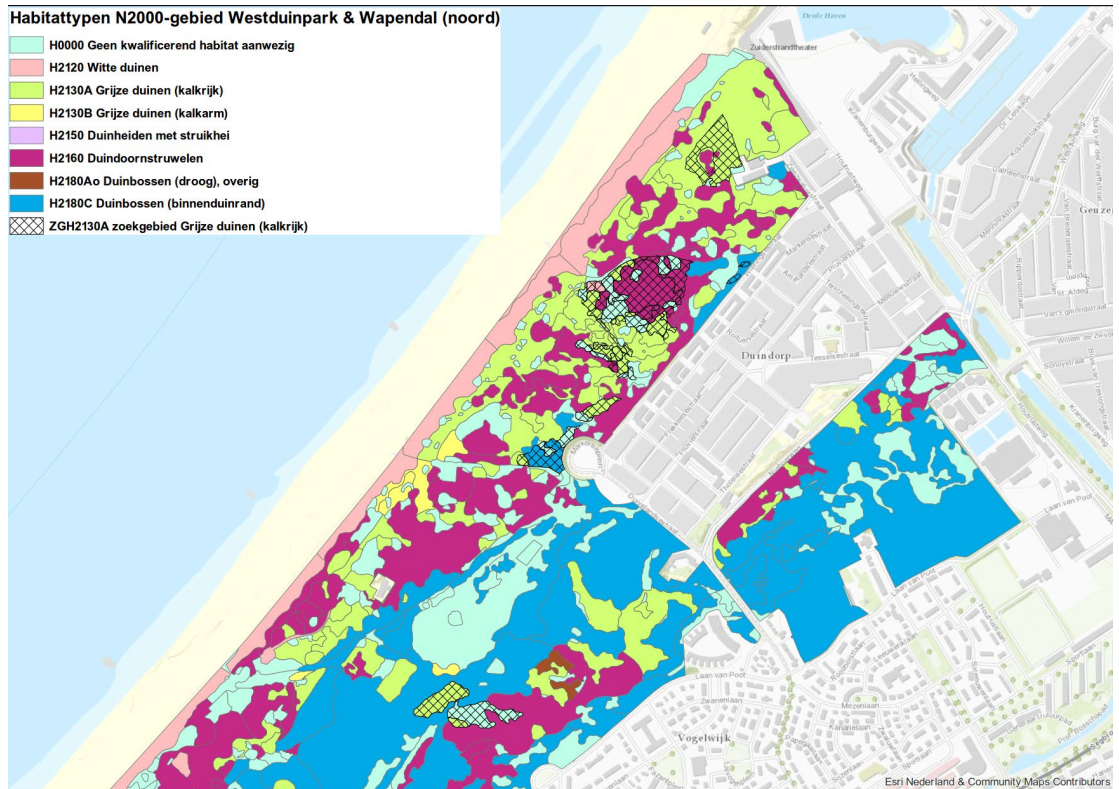
Figuur 7.12 - Habitattypen Solleveld & Kapittelduinen Noord (bron: Ontwerpbeheerplan bijzondere natuurwaarden Solleveld en Kapittelduinen, Bijlagenrapport. 2018-2023)



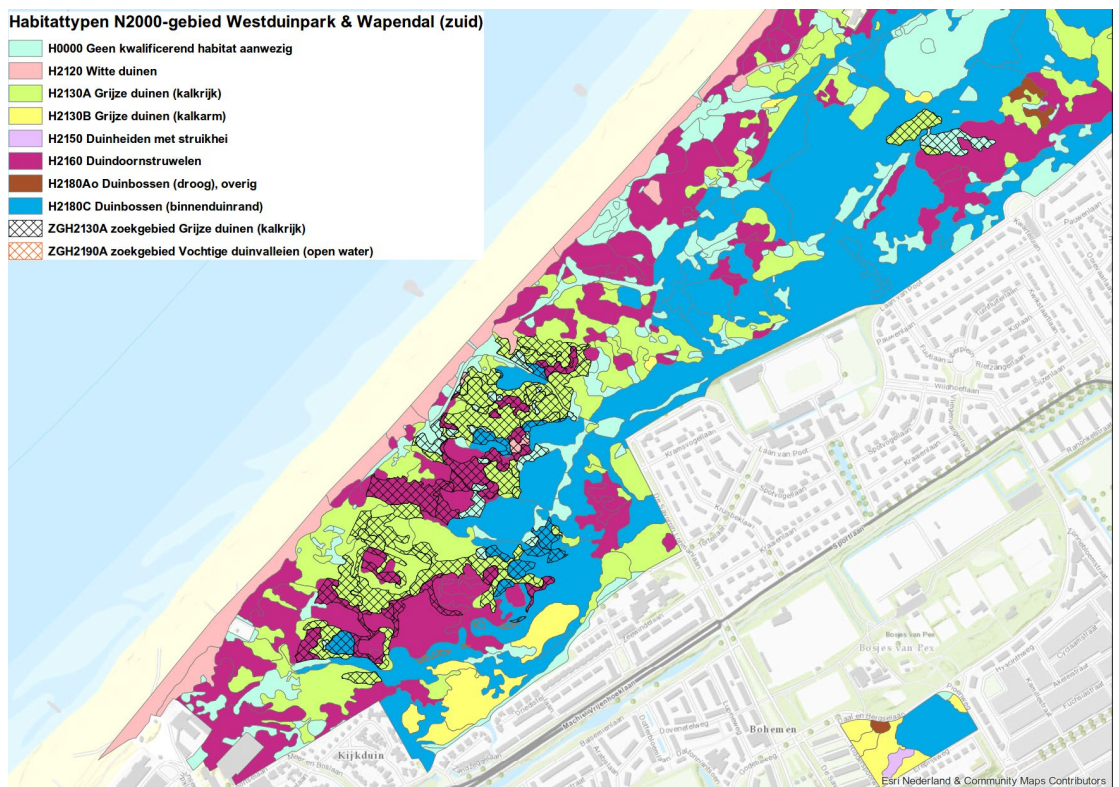
Figuur 7.13 - Habitattypen Solleveld & Kapittelduinen Midden (bron: Ontwerpbeheerplan bijzondere natuurwaarden Solleveld en Kapittelduinen, Bijlagenrapport. 2018-2023)



Figuur 7.14 - Habitattypen Solleveld & Kapittelduinen Zuid (bron: Ontwerpbeheerplan bijzondere natuurwaarden Solleveld en Kapittelduinen, Bijlagenrapport. 2018-2023)



Figuur 7.15 - Habitattypen Westduinpark & Wapendal Noord (bron: Ontwerpbeheerplan bijzondere natuurwaarden Westduinpark en Wapendal, Bijlagenrapport. 2018-2023)



Figuur 7.16 - Habitattypen Westduinpark & Wapendal Zuid (bron: Ontwerpbeheerplan bijzondere natuurwaarden Westduinpark en Wapendal, Bijlagenrapport. 2018-2023)

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl