



Innovatieproject Hondsbossche Duinen

Eindrapportage, definitief 0.1



Project	EcoShape HPZ-innovatieproject
Opdrachtgever	EcoShape
Document	Eindrapportage
Status	Definitief 0.1
Datum	6 februari 2019
Referentie	ECOSHAPE def 0.1 / Wageningen Marine Research Rapport nr.C002/19
Auteur(s) in alfabetische volgorde achternaam	Willem Bodde (Witteveen+Bos), Rik Huiskes (WEnR), Stéphanie IJff (Deltares), Henk Kramer (WEnR), Loek Kuiters (WEnR), Georgette Lagendijk (WMR), Jakolien Leenders (HKV), Sonja Ouwerkerk (HKV), Michaela Scholl (WMR), Marije Smit (Witteveen+Bos), Nina Smits WEnR), Roelof Stuurman (Deltares), Bert vd Valk (Deltares), Anne Verheijen (Witteveen+Bos), Daisy de Vries (WEnR), Carolien Wegman (HKV).
Gecontroleerd door	Diverse betrokkenen vanuit het projectteam, de aannemerscombinatie, HHNK, RWS, Staatsbosbeheer
Goedgekeurd door	dr. Marinka van Puijenbroek (WMR) en drs. J. Asjes (WMR-MT)
Paraaf	

SAMENVATTING

Aanleiding

In 2015 is de Hondsbossche en Pettemer Zeewering (HPZ) versterkt met 35 miljoen kubieke meter zand. Dit gebied heet nu de 'Hondsbossche Duinen (HD)'. Het ontwerp bestaat uit een zachte ondiepe vooroever (strand) met verschillende soorten duinhabitats. Deze gekoppelde systemen voorzien in de primaire veiligheid en realiseren tegelijkertijd de gevraagde ruimtelijke kwaliteit.

Afbeelding 1: Zandige versterking van de HD met de ontwerpelementen: helminplant, luwe laagtes (dat zijn de niet-ingeplante vakken), wilgenschermen en in de verte de vochtige duinvallei. (Foto: www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl)



Hiermee is de aanleg van de Hondsbossche Duinen een mooi voorbeeld van 'Bouwen met Natuur'. Deze methode is niet vanzelfsprekend, en het is daarom van belang om te meten of de werking van het ontwerp overeenkomt met de verwachtingen.

Het opzetten van een aan de HPZ gekoppeld innovatieproject heeft ons in staat gesteld om te leren in hoeverre we in staat zijn vooraf geformuleerde (natuurlijke) ontwerpdoelstellingen daadwerkelijk te realiseren. Dit type inzichten is onontbeerlijk voor een snellere, betere en goedkopere uitvoering van volgende versterkingsprojecten en het beheer van gerealiseerde projecten.

Doel van het project

Voor dit innovatieproject zijn – in nauwe samenwerking met HWBP-2 en HHNK - drie thema's voor kennisverdieping (de bottlenecks) geïdentificeerd in lijn met de BwN-filosofie:

- A. (Verbeterde) voorspelbaarheid van de ontwikkeling van aangelegde habitats;
- B. Optimalisatie in het veiligheidsontwerp;
- C. Meewegen beleving.

Verbeterd inzicht in deze thema's is cruciaal voor het verbeteren van een afwegingskader rondom de besluitvorming voor zandige voorlandoplossingen. Tevens verbetert dit het zicht op realistische mogelijkheden in het ontwerp, beheer en onderhoud van deze oplossingen.

Monitoringsprogramma

Het monitoringsprogramma voor de HD betreft alleen metingen boven de waterlijn. De veranderingen die daar optreden worden hoofdzakelijk veroorzaakt door eolisch transport. De volgende metingen zijn uitgevoerd:

- Hoogtemetingen en luchtfoto's
Gedurende een periode van drie jaar zijn 3x per jaar gebiedsdekkende hoogtemetingen door middel van laseraltimetrie (LiDAR) uitgevoerd. Bij het uitvoeren van deze metingen zijn tevens luchtfoto's gemaakt. Daarnaast beschikt het project over de jaarlijkse hoogtemeting van RWS.
- Vegetatiemonitoring
De vegetatie is jaarlijks gemonitord in de eerste of tweede week van september. De volgende monitoring is uitgevoerd:
 - Vegetatieopname: jaarlijks is van ieder proefvlak (50 in totaal) de totale bedekking van de vegetatie geschat, evenals de bedekking van dood materiaal. Vervolgens is een lijst gemaakt van alle soorten die in het proefvlak voorkomen met hun bedekking.
 - Soortenlijsten: jaarlijks is voor ieder transect een soortenlijst gemaakt van de aangetroffen soorten. Daarnaast is een soortenlijst gemaakt van de soorten voorkomend op de oude Hondsbosche en Pettemer zeedijk.
 - Vegetatiestructuurkaarten: op basis van de meest recente en geogerefererde *true color* luchtfoto zijn jaarlijks kaartbeelden van de vegetatiestructuur gemaakt.
- Bodemonderzoek
In 2016 is in elk permanent proefvlak een bodemmonster genomen om zo een beeld te krijgen van de chemische samenstelling van de bodem.
- Overige data-inzameling
 - Korreldiameter bij aanleg;
 - Grondwatermetingen;
 - Grind- en schelpendekking.

Deze metingen zijn ondersteund door de volgende veldonderzoeken

- Expertsessies / veldbezoeken;
- Interviews naar de beleving van stuifhinder.

Afbeelding 2: Expertsessie (foto: Willem Bodde)



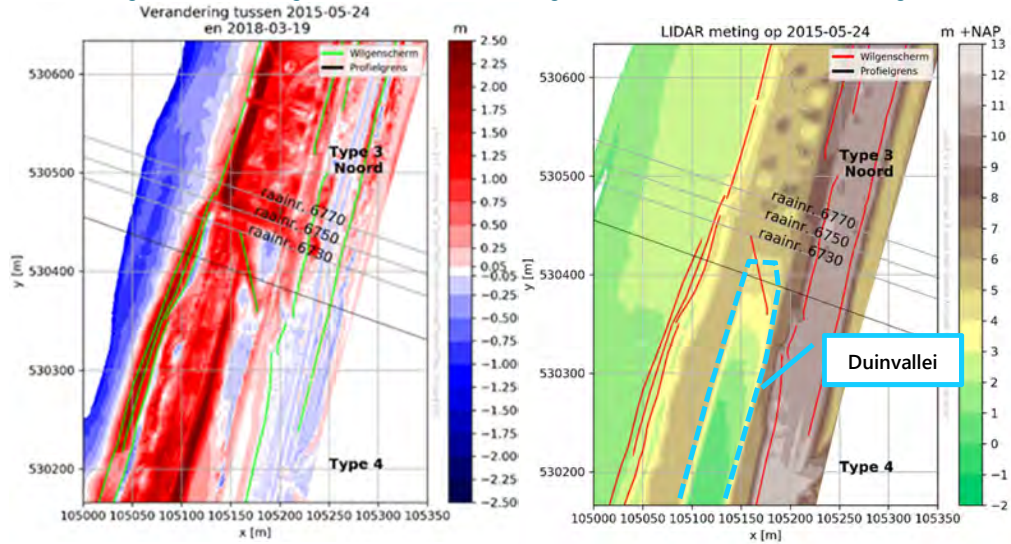
Geometrieontwikkeling

Aan de hand van de volgende drie onderzoeksvragen is gekeken naar de ontwikkeling van de geometrie van het strand en de duinen van het gebied van de HD:

(1) Accumulatie van gemiddeld 33 m³/m/jaar in het duingebied

Over de onderzoeksperiode van ongeveer 3 jaar wordt 530.000 m³ zand het duin ingeblazen, dit is gemiddeld 33 m³/m/jaar. Er is sprake een kustlangse variatie. Deze lijkt vooral bepaald te zijn door variatie in het aanbod en niet zozeer door variatie in de geometrie van het duin. Het aanbod varieert vooral door oriëntatie van de dwarsprofielen ten opzichte van de dominante windrichting en daarmee de transportcapaciteit van de wind.

Afbeelding 3: LiDAR-meting (rechts) en volumeverandering tussen de eerste en laatste LiDAR-meting (links)



(2) 70% van het eolisch transport komt aan de zeewaartse zijde van het duin terecht; 25-30% komt op de kruin

De geometrie van het duin heeft effect op waar -in de dwarsrichting - het zand terecht komt. De observaties tonen dat 70 % van het eolisch transport wat richting duinen waait, aan de zeewaartse zijde van het duin terecht komt. 25-30 % komt boven op de kruin van het duin terecht, bijna volledig binnen 10-30 m vanaf de zeewaartse zijde. Nagenoeg niets waait verder door over het duin. De metingen laten zien dat in de eerste twee periodes relatief het meeste zand doorstuift richting en over de kruin en de HPZ dijk ten opzichte van de periode daarna. De verwachting is dat de hoeveelheid zand die doorstuift richting de kruin verder zal afnemen.

(3) Maatregelen kunnen helpen zand in te vangen en/of de dynamiek lokaal te vergroten

Maatregelen hebben ook effect op waar het zand in de dwarsrichting terecht komt en kunnen lokaal de dynamiek bevorderen. Wilgenschermen, vegetatie en luwe laagtes vangen zand in. Tevens kunnen luwe laagtes zorgen voor verhoging van de lokale dynamiek. Afwezigheid van vegetatie zorgt voor doorstuiven van zand wat dan elders dynamiek of hinder oplevert.

Vegetatieontwikkeling

Het gebied heeft de potentie zich te ontwikkelen in de richting van enkele waardevolle Natura 2000-habitattypen. Vanuit de opdrachtgever van de kustversterking is de eis gesteld dat de Natuurzone na de aanleg de juiste condities dient te bieden voor natuurontwikkeling van de duinvalleihabitattypen H2190A (Vochtige duinvalleien, open water), H2190B (Vochtige duinvalleien, kalkrijk) en H2190D (Vochtige duinvalleien, hoge moerasplanten). Daarnaast kunnen zich delen van het duingebied potentieel ontwikkelen richting een aantal op Europees niveau vastgestelde en goed beschreven droge duingraslanden- en duinstruweeltypen, te weten Embryonale duinen (H2110), Witte duinen (H2120), Grijze duinen (H2130) en Duindoornstruwelen (H2160). Deze vormen de referentie voor de ontwikkelingen op de HD.

Afbeelding 4: Uitbreiding van Riet door middel van vegetatieve uitlopers langs de oever van de duinvallei (foto: Loek Kuiters).



Aan de hand van de volgende drie onderzoeksvragen is gekeken naar de vegetatieontwikkelingen:

(1) Meer tijd nodig om te concluderen of de voorspelde habitattypen ook daadwerkelijk gerealiseerd worden

Ofschoon zich in de HD geleidelijk steeds meer soorten vestigen, is drie jaar nog te kort om een antwoord te kunnen geven op de vraag of bepaalde vegetatietypen in het gebied zich op termijn zullen gaan ontwikkelen tot begroeiingstypen die kwalificeren voor N2000-habitattypen. Zeker een habitatype als Grijze duinen (H2130) heeft tijd nodig – in de orde van decennia - om tot ontwikkeling te komen. Daarvoor moet eerst een bepaalde mate van bodem(humus)ontwikkeling hebben plaatsgevonden.

Ook de ontwikkeling van het habitatype Vochtige duinvalleien (H2190) kost tijd. Momenteel is daar nog steeds sprake van veel dynamiek, waarbij sommige delen overstuiven (vooral de zuidzijde) waardoor de vallei korter en ook minder diep wordt, en zonder ingrijpen op termijn volledig zal dicht stuiven. De oever aan de oostzijde lijkt zich wat oostwaarts te verleggen: een tweetal permanente kwadranten die eerst op de oever lagen, bleken in 2018 in het water terecht te zijn gekomen. Naast deze verstuiwingsdynamiek wordt de vestiging van duinvalleisoorten gehinderd door de geïsoleerde ligging van de vallei. Dit geldt met name voor die soorten die niet worden verspreid door wind en/of (water)vogels.

(2) Het scheppen van fysische randvoorwaarden is nog geen garantie voor het daadwerkelijk ontwikkelen van de beoogde habitats

Behalve rond de fysische randvoorwaarden van de duinvalleihabitats, zijn in 2015 weinig tot geen concrete eisen gesteld aan de habitatkwaliteit van de aan te leggen Natuurzone. De verwachting toen was dat het scheppen van fysische randvoorwaarden nog geen garantie is voor het daadwerkelijk ontwikkelen van de beoogde habitats. Duidelijk was dat biologische processen zoals verspreiding een belangrijke rol spelen bij de (snelheid) van habitatontwikkeling, en dat de voorspelbaarheid van de ontwikkeling van de flora en fauna laag is, wanneer alleen op de abiotiek gestuurd wordt (De Groot et al., 2016). Die verwachting is nog steeds aan de orde, vooral ook vanwege de nog zeer korte ontwikkelingsperiode. (Paradoxaal genoeg laat die lage voorspelbaarheid (op de korte termijn) zich nu wel goed voorspellen.)

Op basis van de documenten die in de ontwerpfasen zijn opgemaakt (inclusief artist impressions) en de habitats en soorten die daarin concreet genoemd staan, was de verwachting dat vier jaar na aanleg de habitats nog in ontwikkeling zouden zijn en nog niet aan alle kwaliteitseisen zouden voldoen, en een deel van de verwachte planten- en diersoorten nog niet aanwezig zou zijn. Ook die

verwachting wordt bevestigd. Daar komt nu de vrees bij dat ingrijpen noodzakelijk kan worden wanneer een plantensoort dominant dreigt te worden, zoals dat misschien met riet gaat gebeuren in de vochtige duinvallei. Dat het toepassen van hooibalen op de helling van de oude dijk als anti-stuifmaatregel een onbedoelde bron van plantenzaad kan zijn, was voorspeld en dat risico heeft zich ook voltrokken. Conform ontwerp is niet in het beheer van natuurwaarden voorzien, maar de vraag is of dat niet toch noodzakelijk zal worden om de vochtige duinvallei ook op de langere termijn te behouden en zich in een gewenste richting te laten ontwikkelen. Terwijl de vegetatieontwikkelingen betrekkelijk langzaam gaan (zoals ook verwacht), gaat het dichtstuiven van de vallei betrekkelijk snel.

Interactie tussen morfologie en vegetatie

Er is gekeken hoe het proces van zandverstuiving, dat nagenoeg volledig kan worden toegeschreven aan eolisch transport, de ontwikkeling van de vegetatie beïnvloedt en welke rol in relatie tot de vegetatieontwikkeling de luwe laagtes, stuifschermen en de vochtige duinvallei daarbij spelen. Uit oogpunt van kostenefficiëntie is het niet onbelangrijk te bepalen of in aanlegprojecten mét deze ontwerpelementen een hogere habitatkwaliteit kan worden bereikt dan met een eenvoudiger profiel zonder deze elementen.

De benadering is vooral empirisch. Er is getracht indicaties voor causale verbanden te vinden om tot generieke uitspraken te kunnen komen over hoe zandige kustversterkingen het beste kunnen worden ontworpen opdat ze aan de gestelde ecologische en veiligheidseisen voldoen.

(1) Dynamiek is bepalend voor ontwikkeling en vestiging van nieuwe soorten

Dynamiek in zandverstuiving is bepalend voor de (verdere) ontwikkeling van met name de helmduinen, maar ook de vestiging van nieuwe soorten. Waar dynamiek heerst zien we vitale helm en een natuurlijker wordend plantenpatroon, wat ook kan betekenen dat op plaatsen met extreem veel aanzanding de bedekking met helm lager is. Waar geen dynamiek is, lijken de processen stil te staan. De ingeplante helm weet zich hier wel te handhaven, maar ziet er duidelijk minder vitaal uit. Het ontstaan van embryonale duinen vóór de zeereep is geheel volgens verwachting. De verdere ontwikkeling hangt af van de stormintensiteit de komende jaren en het strandmorfologie. Als het strand minder breed wordt kunnen de golven hoger oplopen en meer erosie veroorzaken. Als de stormen de komende jaren de embryonale duinen niet verwijderen, kunnen de duinen verder groeien en zorgen ze voor steeds minder doorstuif naar het achtergelegen gebied, dat dan dus minder dynamiek zal kennen. De betekenis van de luwe laagtes voor de vegetatie-ontwikkeling blijft gering, tenzij het uitstuiven tot diepere en grotere kuilen leidt (wat al is waargenomen op enkele plaatsen) waardoor de lokale dynamiek sterker wordt. De dynamiek in de luwe laagtes is wel bepalend voor de ontwikkeling van vegetatie in de luwe laagtes zelf: met veel dynamiek kan zaad van helm niet ontkiemen. De vegetatieontwikkeling in de luwe laagtes zelf ging daardoor in het begin langzamer. Nu de dynamiek lager is, zal er meer vegetatie gaan groeien in de luwe laagtes. In de struweelzone zou bij meer verse aanzanding, bijvoorbeeld als gevolg van storm, ook (meer) helmgroei kunnen ontstaan.

Optimalisatie veiligheidsontwerp

Er is onderzocht of er op het gebied van waterveiligheid optimalisatiemogelijkheden zijn aan te wijzen als met de huidige kennis van zaken gekeken wordt naar het ontwerp en de ontwerpeisen van de inmiddels gerealiseerde kustversterking van de HD. Hiertoe zijn de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

(1) Eolische depositie voldoende om zeespiegelstijging te compenseren

Voor een zichtperiode van 50 jaar is de netto eolische depositie in vrijwel het gehele gebied van de Hondsbossche Duinen groot genoeg om de zeespiegelstijging te compenseren. Voorwaarde daarbij is een gelijkblijvend of meegroeiend profiel onder NAP+3 m (intergetijdengebied, strand). Dit past binnen het huidige suppletiebeleid in Nederland waarbij de BKL wordt gehandhaafd. Onder bovenstaande voorwaarde kan eolische depositie de zeespiegelstijging compenseren tot een snelheid van 1 m/eeuw.

(2) Verwaarloosbaar effect korreldiameter op veiligheidswaarde

Op basis van een kwalitatieve analyse van het effect van een kleinere korreldiameter op het afslagvolume en metingen van de korreldiameter op de HD wordt geconcludeerd dat het effect van de korreldiameter van de eolische deposities op de veiligheidswaarde van een volume zand van ondergeschikt belang is. Het mogelijke verschil in veiligheidswaarde is te verwaarlozen.

Beleving

Een inventariserend onderzoek laat zien dat voorafgaand aan de aanleg van de Hondsbossche Duinen 18 bewoners en betrokkenen in zienswijzen hun zorgen geuit hebben over een toename aan stuifzand. Ook in de interviews is het beeld bevestigd dat de bewoners en betrokkenen vooraf de verwachting hadden dat de hoeveelheid stuifzand zou toenemen. Er is daarom besloten ons – binnen dit onderzoek – alleen te richten op de hoeveelheid stuifzand en de ervaren hinder, waarbij de volgende onderzoeksvraag beantwoord is:

(1) Duidelijke relatie tussen de hoeveelheid stuifzand en de ervaren hinder

De hoeveelheid stuifzand is afgenomen in de tijd: in 2016 is de hoeveelheid gemeten stuifzand beduidend lager dan in 2014 en 2015 (tijdens de aanleg). Dit komt overeen met de resultaten van de hoogtemetingen, die laten zien dat de volumeverandering in het duin veruit het grootst is in 2015, wanneer dus de meeste verstuiving optreedt. Daarna neemt de accumulatie in het duin abrupt af, om vervolgens redelijk constant te blijven. Opvallend resultaat is dat de hoeveelheid stuifzand bij Camperduin al in 2014 een afname laat zien ten opzichte van de nulmeting. Dit komt doordat er vóór de aanleg van de Hondsbossche Duinen al sprake was van substantieel zandtransport, dat door de aanleg van de duinen het de helmaanplant is verminderd.

Afbeelding 5: Ondergestoven fietspad in de Hondsbossche Duinen (foto: HHNK)



De geïnterviewden bevestigen dat stuifhinder vooral tijdens de aanlegfase heeft plaats gevonden en vlak erna (gedurende twee jaar). In de daaropvolgende jaren is de hoeveelheid stuifzand en de hinder daarvan snel afgenomen. Dit komt overeen met de metingen. De afname van stuifzand bij Camperduin direct na aanleg wordt in de gesprekken bevestigd, hoewel verder landinwaarts er ook stuifhinder is ervaren.

Vergelijking en toepassing andere locaties

Het EcoShape-projectteam heeft in een gezamenlijke werksessie besproken welke aanlegprojecten en referentiegebieden zich lenen voor een vergelijkende analyse met betrekking tot morfologie, en interactie met de ecologie en beleving. Dit heeft geresulteerd in een selectie van zes gebieden met zandige versterkingen, waarvan de Hondsbossche Duinen (HD) er één is. Daarnaast worden drie strand-/duingebieden die op natuurlijke wijze zijn ontstaan, in de vergelijking betrokken, met name voor de snelheid van ontwikkelingen in een natuurlijke situatie. Dit is gedaan om onderstaande onderzoeksvraag te beantwoorden.

(1) Lessen voor andere locaties

Voorwaarde voor de ontwikkeling van helmduinen is de aanwezigheid van verstuivingsprocessen. Zonder zanddynamiek is er geen natuurlijke vegetatieontwikkeling. Door een 'grilliger' ontwerp met meer een diepere kerven en meer niet-ingepante delen zou van meet af aan meer dynamiek

geïntroduceerd kunnen worden. Dynamiek is voorwaarde van elke ontwikkeling die alleen in stand kan blijven via aan- en afvoer van (voedings)stoffen, en fysieke opbouw- en afbraakprocessen, of het daarbij om een kwelder gaat, zoals die bij de PHZD is voorzien, of een intergetijdengebied met zilte vegetatie, zoals in de Waterdunen. De aanleg moet qua hoogte en breedte zo gekozen worden dat de processen kunnen spelen. Daarnaast moet er in het oog worden gehouden welke doelen het gebied heeft. Doorgaans prevaleert één doel en moet het ontwerp daarop worden aangepast.

Lessons learned

Het doel van dit monitoringsproject was generieke lessen leren voor volgende soortgelijke projecten. Belangrijke lessen, die we hebben kunnen trekken zijn:

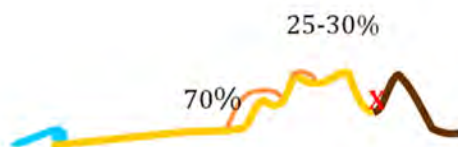
Fysische processen:

- Het totale volume zand dat accumuleert in de duinen wordt voornamelijk bepaald door de beschikbaarheid van zand en minder door de lokale geometrie van het duin. De lokale geometrie heeft alleen invloed op de verdeling van zand over het dwarsprofiel.
- In langsrichting zien we verschillen in de mate van aanzanding. De oriëntatie van de duinvoet laat een correlatie zien met de totale aanzanding in de duinen, waar meer aanzanding wordt gevonden op locaties waar de oriëntatie van de kustlijn meer overeenkomt met de dominante windrichting. De strandbreedte speelt ook een belangrijke rol in de aanvoer van sediment, maar is tot op heden geen limiterende factor. Met andere woorden, de grootschalige configuratie en oriëntatie van het strand / het duingebied bepaalt de aanvoer van zand.
- We zien een gemiddelde netto duinaangroei (gemeten boven het NAP + 3 m-niveau) van $33 \text{ m}^3/\text{m}^1/\text{jaar}$ in de eerste drie jaar na realisatie. De laatste observaties komen goed overeen met de schattingen die werden gedefinieerd tijdens de ontwerpfase van het project. Op basis van de waargenomen duinaangroeihoeveelheden kunnen schattingen voor toekomstige suppleties nu met een hogere betrouwbaarheid worden gemaakt, aangezien deze extra dataset de bevindingen van De Vries et al. (2012) en Van der Wal (2004) bevestigt. Er wordt verwacht dat de aanzanding de komende jaren zal afnemen als gevolg van een vermindering van het aanbod van – met name – fijn sediment.
- Voor dit onderzoeksproject waren geen onderwatermetingen beschikbaar. Het gebied is slechts beperkt geanalyseerd aan de hand van Jarkus-gegevens (hier zijn twee meetpunten van beschikbaar). De analyse laat zien dat tenminste 50% van de totale volumetoename van het duingebied afkomstig is van het gebied onder de gemiddelde hoogwaterlijn (MHW). Daarnaast geldt dat de totale duinaangroei gelijk is aan circa 1/3 van het totale waargenomen volumeverlies van het strand en de vooroever.

Impact van ontwerpmaatregelen:

- Bij een gemiddeld dwarsprofiel wordt het grootste deel van het sediment (70%) afgezet aan de zeezijde van het eerste duin, voornamelijk onder het NAP + 8 m-niveau. De rest (25-30%) van het volume ligt op de top van de duin, voornamelijk op het zeewaartse deel. Er worden slechts kleine hoeveelheden teruggevonden aan de landzijde van het eerste duin. Dit typische depositiepatroon is aanwezig bij verschillende dwarsprofielgeometrieën. Alleen de exacte locatie (hoogte in het profiel) van de '70% aanzanding' aan de zeezijde varieert.

Afbeelding 6: Verdeling zand over het dwarsprofiel



- Kennis over de verdeling van zand over het dwarsprofiel kan in de ontwerpfase gebruikt worden om het ruimtelijke ontwerp van het duin te optimaliseren. Habitats of functies waarvoor een dynamisch systeem vereist is, moeten bij het zeewaartse front worden geplaatst, terwijl functies aan de landzijde die beperk-

te of geen zandtoevoer vereisen, moeten worden geplaatst. In het geval dat de dynamiek verder landinwaarts gewenst is, kunnen ontwerpmaatregelen ervoor zorgen dat transport van zand verder in het duingebied wordt gestimuleerd.

- Kennis over de verdeling van het zand over het dwarsprofiel zorgt er eveneens voor dat de geometrie kan worden geoptimaliseerd. Aangezien het zand met name wordt afgezet in de lagere delen van het profiel, creëert een duin met een laag duin aan de zeezijde een bredere zone met zandafzettingen, waardoor een bredere zone met dynamische ontwikkeling ontstaat. Anderzijds is vanuit veiligheidsoogpunt een smaller, maar hoger duin optimaal, omdat de duinen na opbouw erg weinig in hoogte toenemen, dus het verwachte duinniveau moet vanaf het begin aanwezig zijn. In de loop van de tijd zullen de eolische afzettingen aan de zeezijde van het duin leiden tot een verhoogd veiligheidsniveau.
- Variaties in grootschalige geometrie in combinatie met lokale maatregelen zoals wilgenschermen, luwe laagtes en vegetatie kunnen worden toegepast om:
 - te sturen op eolische depositie;
 - zand te behouden ten behoeve van de kustveiligheid;
 - stuifhinder voor gebruikers en omwonenden zoveel mogelijk te voorkomen;
 - variatie in morfologische ontwikkeling te stimuleren.
- Luwe laagte zijn het meest effectief wanneer ze zich bevinden op het lagere duin of op het zeewaartse deel van de top van de duin, waar de toevoer van zand het grootst is. De oorspronkelijke vorm / patroon van de luwe laagte blijft zichtbaar, tenminste in de eerste jaren na de bouw. Om een natuurlijker uiterlijk verder te stimuleren, moeten het patroon en de vorm van de geconstrueerde luwe laagte zo gevarieerd mogelijk zijn.
- Vegetatie of andere maatregelen, zoals wilgenschermen, zijn erg effectief in het lokaal vasthouden van grote volumes zand. Ze zijn belangrijk om het aangebrachte zand in het duin te behouden en om het zand te vangen dat door eolisch transport wordt aangevoerd. Bij afwezigheid van vegetatie wordt minder zand gevangen en wordt een groter volume verder getransporteerd in de dwars- of langsrichting en komt elders terecht. De luwe laagtes zijn meestal niet begroeid en creëren variabel zandtransport verder het duin in, wat aantoont dat een variabel vegetatiepatroon differentiatie creëert in de morfologische ontwikkeling van het duin.
- Het concept Building with Nature betekent in de eerste plaats: zo veel mogelijk gebruik maken van natuurlijke 'bouwmaterialen' en processen om tot nieuwe natuur te komen. In het ideale geval beheert de nieuwe natuur zich vervolgens zelf; of in termen van waterbouwers en landschapsbeheerders: is onderhoudsvrij. In de praktijk is dit echter sterk afhankelijk van de ruimteschaal waarop processen kunnen spelen en is er regelmatig eerder sprake van onderhoudsarme nieuwe natuur. Als we naar de tijdschaal kijken zal vooral in de beginfase van het ontstaan van een bepaald habitat – soms slechts incidenteel - nog onderhoud nodig kunnen zijn om de ontwikkelingen in de juiste richting te sturen. Denk bij de HD aan de vochtige duinvallei waar riet dominant zou kunnen worden en dan maatregelen nodig zullen zijn, of waar maaisel met plantenzaden van een goed ontwikkelde naburige duinvallei zou moeten worden ingebracht, omdat de duinvallei sterk geïsoleerd is aangelegd ten opzichte van de omgeving, waardoor karakteristieke soorten de groeiplaats niet op eigen kracht kunnen bereiken.

Voorspelbaarheid van habitatontwikkeling:

- Voor de processen ten aanzien van habitat- en natuurontwikkeling geldt dat de processen over het algemeen goed begrepen, maar chaotisch zijn. De bandbreedte waarin (cascade) effecten kunnen optreden, kan groot zijn. Om ongewenste ontwikkelingen tegen te gaan, kunnen natuurlijk maatregelen worden gedefinieerd, maar een dergelijke interventie zou indruisen tegen de algehele natuurlijkheid en het oorspronkelijke idee achter de projecten, d.w.z. Building with Nature.
- Over het algemeen geldt dat - omdat de relevante processen lange tijdschalen (tot tientallen jaren) hebben - het nog niet mogelijk is om conclusies te trekken, dat wil zeggen na slechts een paar jaar te beoordelen (zijnde de duur van dit project), of interventies op grotere schaal nodig zijn, bijvoorbeeld om behoud van de zanddynamiek, de meest relevante factor bij de ontwikkeling van duinen.

- Wat we wel zien is dat er ook met minder dichte beplanting duinvorming plaatsvindt en ook dan zal het zand worden vastgehouden. Bovendien geldt dat er minder doorstuiving is dan verwacht. Dit betekent wel dat er meer doorstuiving naar achteren plaats zal vinden en de duinen mogelijk minder hard groeien.

Optimalisatie van het veiligheidsontwerp:

- De Hondsbossche duinen zijn ontworpen voor het huidige, wettelijk vereiste veiligheidsniveau, inclusief een compensatievolume voor bodemdaling en lokale zeespiegelstijging van 0,3 m in de komende 50 jaar. Dit betekent dat het oorspronkelijke ontwerp een hogere veiligheidswaarde dan strikt noodzakelijk heeft. Op basis van de waargenomen duingroeipercentages in de eerste drie jaar na de aanleg en de verwachte sedimentdepositie in de komende jaren, wordt verwacht dat de natuurlijke duingroeisnelheid gelijke tred houdt met de stijgende zeespiegel en verzakkingen tot 2050, waarbij de aanvankelijke hogere veiligheidswaarde gehandhaafd blijft. Als zodanig had het compensatievolume voor zeespiegelstijging van 0,3 m dat in het ontwerp was toegepast, kunnen worden weggelaten.
- Soortgelijke projecten kunnen in de toekomst mogelijk met een kleiner volume worden gerealiseerd door te anticiperen op de natuurlijke duingroeisnelheid. Aangezien er een grote onzekerheid is in scenario's voor zeespiegelstijging, kan de behoefte aan aanvullende suppleties in het geval van een verhoogde zeespiegelstijging nog steeds worden beoordeeld als onderdeel van het jaarlijkse monitoringprogramma, waarbij gekozen kan worden voor adaptief suppleren.
- Omdat eolisch getransporteerd zand meestal wordt afgezet in de lagere delen van het profiel, is het gunstig om initieel smalle, hoge duinen aan de zeewaartse grens te maken. In de loop van de tijd zullen de eolische afzettingen aan de zeezijde van deze duin leiden tot een geleidelijke verhoging van het veiligheidsniveau.

Beleving van stuifhinder voor omwonenden en bezoekers:

Voor dat de Hondsbossche Duinen werden aangelegd, hebben 18 inwoners en andere belanghebbenden hun zorgen geuit over stuifhinder achter de dijk.

- Uit zowel interviews als monitoringsresultaten blijkt dat de hoeveelheid zand, die terecht komt achter de dijk in de jaren na aanleg is afgenomen. De hoeveelheid zand richting de dijk en over de dijk was het hoogst tijdens de bouwfase (2014 en 2015). Interessant is dat de hoeveelheid geblazen zand bij Camperduin al vanaf 2014 daalde. Dit komt doordat er vóór de daadwerkelijke aanleg van de Hondsbossche Duinen nog veel zandtransport plaatsvond. Het aanleggen van deze duinen en (vooral) het aanplanten van helmgras hielp het zand op te vangen en zo het zandtransport in een vroeg stadium te verminderen. Dit bleek ook uit de interviews met de gemeenten Camperduin en Petten: zowel aan de noord- als de zuidzijde zijn er geen klachten ten aanzien van stuifhinder binnengekomen.
- Er zijn wel lokale effecten geweest, met name op het fietspad in de Hondsbossche Duinen. Vooral in het eerste jaar na de bouw was de hoeveelheid zand op het fietspad aanzienlijk. Vaak gebeurde dit in de buurt van een niet-begroeide luwe laagte in de duinen die zeewaarts van het fietspad lag). Verschillende belanghebbenden noemden de zandophoping op de fietspaden hinderlijk, waardoor het fietspad soms werd afgesloten. Niet alleen het fietspad, maar ook de voetpaden die worden gebruikt om toegang te krijgen tot het strand waren soms bedekt met zand. Dit veroorzaakte hoge kosten voor de gemeenten, die verantwoordelijk zijn voor het onderhoud van deze paden.

Tot slot nog twee meer generieke lessen:

- Adaptiviteit kan mogelijk kosten besparen en daarnaast natuurwaarde leveren. Je kunt er bijvoorbeeld voor kiezen minder helm aan te planten om de dynamiek en daarmee de natuurwaarde te vergroten (als gevolg van doorstuiving en open plekken). Dit is dan mogelijk wel in strijd met andere doelstellingen van dit project, zoals beleving (het duin moet toegankelijk zijn) en draagvlak (stuifhinder moet tot een minimum worden beperkt. Indien nodig kun je dan bijplanten op locaties waar dit nodig blijkt te zijn.

- Het is belangrijk te beseffen dat het gaat om een project waarin verschillende functies worden gecombineerd: te weten hoogwaterveiligheid, recreatie en natuurwaarden. Dit betekent in sommige gevallen, dat er een keuze moet worden gemaakt welke functie op die locatie voorrang heeft.

De geleerde lessen – in de vorm van guidelines – zijn tevens terug te vinden op de Ecoshape Wiki: <https://publicwiki.deltares.nl/display/BTG/Sand+nourishment+-+Hondsbossche+Dunes%2C+NL>.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Er is binnen dit project veel gemonitord en geanalyseerd. Door de monitoring uit te breiden, kan meer worden onderzocht.

- **Hoogtemetingen continueren**
Het wordt aangeraden door te gaan met metingen. Significante conclusies trekken uit een dataset met 9 meetpunten in de tijd is lastig. Daarnaast is uit literatuur (e.g. Van der Wal 2004) en praktijk bekend dat de aanzanding in de eerste jaren na suppletie het hoogst is. Indien de monitoring wordt doorgezet, wordt gezien of de ontwikkelingen in de tijd overeenkomen met de verwachtingen. Over 5 jaar zal een volledig beeld kunnen worden gegeven van de ontwikkeling.

Daarnaast geldt dat de in het voorjaar van 2018 aangebrachte suppletie het verstuiwingsbeeld zeker zal beïnvloeden. Te rekenen valt met twee jaar van intensiever instuiven ter hoogte van de suppletie en een gebied ten noorden daarvan. Mogelijk zal het stuifbezwaar op het fietspad toenemen. Het verdient aanbeveling de zandvangers (en zoutvangers dan ook) nog enkele jaren te handhaven.
- **Vervolg vegetatiemonitoring**
Het verdient aanbeveling om in ieder geval de 50 permanente kwadraten de komende jaren te blijven volgen op dezelfde wijze als dat de afgelopen jaren is gebeurd (vooralsnog jaarlijks). Daarnaast zou het goed zijn om het aantal proefvlakken nog wat uit te breiden tot een totaal van minimaal 80, aangezien het aantal bruikbare proefvlakken de afgelopen jaren wat is afgenomen. Door het aantal plots nog wat uit te breiden kunnen te zijner tijd statistisch goed onderbouwde conclusies worden getrokken over de relevantie van de aanleg van de verschillende elementen voor de ontwikkeling van biodiversiteit in het gebied. Verder verdient het aanbeveling om het hele gebied jaarlijks te inventariseren op (nieuwe) soorten. Dit is nodig vanwege het proces van interesse dat langer duurt dan de huidige meetreeks.
- **Vernieuwen vegetatiekaart**
Aanbevolen wordt de vegetatiekaart met enige regelmaat te vernieuwen op basis van actuele luchtfoto's. Daarbij kan worden volstaan met een frequentie van eens in de drie jaar.
- **Koppeling ontwikkeling onder water en boven water**
Om een totaalbeeld te krijgen van de processen is het van belang de gehele sedimentbalans te kunnen bekijken. Hiertoe dient de ontwikkeling onder water met de ontwikkeling boven water geïntegreerd te worden. Hiermee wordt ook inzicht verkregen in de wederzijdse invloed van mariene en eolische processen op lokale aanzanding en erosie.
- **Modelexercities**
De dataset kan gebruikt worden voor verschillende modelexercities. Zo kan in detail bekeken worden wat lokale windpatronen voor effect hebben op bijvoorbeeld de ontwikkelingen in de luwe laagtes en of dit overeenkomt met de gemeten data. Verder kan de dataset gebruikt worden voor de modellering van eolisch transport en de vegetatieontwikkeling.

ADC-toets

De aanleg van nieuwe natuur kan niet verhinderen dat de zware toetsing aan de ADC-criteria in beeld komt wanneer bestaande beschermde natuur door een project potentieel significant nadelige gevolgen ondervindt (ongeacht de positieve effecten). Dat neemt echter niet weg dat het aspect 'meer zekerheid' nog steeds een grote rol speelt, namelijk bij de natuurcompensatie. Compensatie is een resultaatverplichting, maar daar staat tegenover dat het succes van compensatiemaatregelen nog steeds niet altijd even goed te voorspellen is.

Onderzoek in de HD biedt de kans om door context-gebonden leren tot een verbeterde voorspelbaarheid van de ontwikkeling van verschillende habitattypen te komen, waardoor een compensatieopgave met minder marge voor tegenvallende resultaten kan worden vastgesteld. Er mag worden aangenomen dat juist door de kennis die leidt tot een verbeterde voorspelbaarheid van ontwikkelingen, in de toekomst meer ruimte ontstaat voor een ecologische benadering binnen de huidige juridische kaders.

Evaluatie monitoringsprogramma

De monitoring heeft ons veel geleerd ten aanzien van de ontwikkeling van de geometrie en eerste vegetatieontwikkelingen. Voor het beter begrijpen van de interactieprocessen van aanzanding/erosie en duinvegetatieontwikkeling is aansluiting bij langer lopende onderzoektrajecten echter noodzakelijk: op microschaal, bv. voor onderzoek naar embryonale-duinvorming en op macroschaal via modellering van zandvang en doorstuiving in afhankelijkheid van de bedekking met helm (dat laatste kan overigens ook goed op microschaal). Dit zal ook gebeuren door aansluiting bij Duneforce.

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	3
1 INLEIDING	19
1.1 Achtergrond	19
1.2 Het HPZ-innovatieproject	19
1.3 Doel van dit rapport	20
1.4 Leeswijzer	20
2 BESCHRIJVING GEBIED	22
2.1 Studiegebied	22
2.1.1 Studiegebied kustlangs	22
2.1.2 Studiegebied kustdwars	23
2.1.3 Definities geometrie duin en strand	23
2.2 Gebiedsindeling	24
2.2.1 Profieltypen	24
2.2.2 Definitie raaien	25
2.2.3 Transecten vegetatiemonitoring	26
2.2.4 Permanente proefvlakken vegetatiemonitoring	27
2.3 Aanleg Hondsbossche Duinen in de tijd	27
2.3.1 Maatregelen tijdens aanleg	29
2.3.2 Lokale zandverplaatsing na oplevering	29
2.3.3 Suppletie maart 2018	31
3 MONITORINGSPROGRAMMA	34
3.1 Inleiding	34
3.2 Hoogtemetingen en luchtfoto's	34
3.3 Bodemonderzoek	36
3.4 Overige data-inzameling	37
3.4.1 Korreldiameter bij aanleg	37
3.4.2 Windklimaat	37
3.4.3 Waterstanden	39
3.4.4 Zandvangers	40
3.4.5 Grondwater	41
3.4.6 Saliniteit duinvallei	42
3.4.7 Grind- en schelpenbedekking	43
3.5 Vegetatiemonitoring	43
3.6 Expertsessies en veldbezoeken	44

3.7	Belevingsonderzoek & interviews	45
3.8	Brainstormsessies ('samenwerkdagen')	46
3.9	Dataopslag	46
4	GEOMETRIE-ONTWIKKELING	47
4.1	Inleiding	47
4.2	Totale accumulatie als gevolg van eolisch transport	47
4.2.1	Volumebalans	47
4.2.2	Verdeling kustlangs	49
4.2.3	Verdeling kustdwars	51
4.2.4	Vochtige duinvallei	52
4.3	Effect grootschalige geometrie	53
4.4	Effect maatregelen	54
4.4.1	Luwe laagtes	54
4.4.2	Wilgenschermen	57
4.4.3	Helmvegetatie als zandvanger	58
4.5	Conclusies	60
5	VEGETATIEONTWIKKELING	62
5.1	Inleiding	62
5.2	Abiotiek	62
5.2.1	Bodem	62
5.2.2	Grondwater	62
5.3	Vegetatieontwikkelingen	63
5.3.1	Algemene vegetatieontwikkelingen	63
5.3.2	Vegetatieontwikkeling in permanente proefvlakken	67
5.3.3	Soortenlijst transecten	67
5.3.4	Soortenlijst oude zeedijk	69
5.3.5	Fauna	69
5.4	Data-analyse	70
5.4.1	Multivariate analyse	70
5.4.2	Habitattypen	71
5.4.3	Resultaten data-analyse	72
5.5	Conclusies en aanbevelingen vegetatieonderzoek	72
5.5.1	Conclusies	72
5.5.2	Vergelijking met verwachtingen	74
6	INTERACTIE TUSSEN MORFOLOGIE EN VEGETATIE	75
6.1	Inleiding	75
6.2	Concepten van interactieprocessen	75

6.2.1	Ruimtelijke en temporele relatie tussen geomorfologische dynamiek en vegetatieontwikkeling	75
6.2.2	DUBEVEG-model	76
6.2.3	Vergelijkende analyse op basis van vegetatieopnames in de proefvlakken	77
6.2.4	Vergelijkende analyse op basis van luchtfoto's: vegetatie vs. morfologie	89
6.2.5	Vegetatiesamenstelling en soortenrijkdom	92
6.3	Conclusies interactie morfologie en vegetatie	93
7	OPTIMALISATIE VEILIGHEIDSONTWERP	95
7.1	Inleiding	95
7.2	Waterveiligheid, kustlijnzorg en klimaatscenario's	95
7.2.1	Waterveiligheid in Nederland	95
7.2.2	Beheer en onderhoud van de Nederlandse kust - kustlijnzorg	97
7.2.3	Klimaatscenario's	98
7.3	Ontwerp Hondsbossche Duinen	98
7.3.1	Aanlegvolumes Hondsbossche Duinen	99
7.3.2	Verwachtingen eolisch zandtransport	100
7.3.3	Compensatie zeespiegelstijging, bodemdaling en eolisch transport.	101
7.4	Volumebalans Hondsbossche Duinen	102
7.4.1	Volumetoename duinen periode 2015-2018	102
7.4.2	Verwachting volumetoename duinen vanaf 2018	104
7.4.3	Conclusies volumebalans	105
7.5	Detailanalyse voor twee profieltypen	105
7.5.1	Resultaten	106
7.5.2	Conclusies detailanalyse	107
7.6	Effect korreldiameter op veiligheid duinprofiel	107
7.7	Discussie	108
7.7.1	Onzekerheid klimaatscenario's	108
7.7.2	Profielontwikkeling onder water	108
7.7.3	Toepassing op andere locaties	108
7.8	Conclusies optimalisatie veiligheidsontwerp	109
7.8.1	Conclusies compensatie aangroevolumes	109
7.8.2	Conclusies relatieve veiligheidswaarde korreldiameter eolische deposities	109
8	BELEVING	110
8.1	Inleiding	110
8.2	Inventariserende belevingsonderzoeken	110
8.3	Stuifzand en ervaren hinder	110
8.3.1	Hoeveelheid stuifzand	110
8.3.2	Ervaren hinder	114
8.4	Conclusies en aanbevelingen beleving	116
8.4.1	Conclusies beleving stuifhinder versus gemeten verstuiving	116

8.4.2	Conclusies effectiviteit van maatregelen	117
8.4.3	Aanbevelingen t.a.v. stuifhinder	119
9	VERGELIJKING EN TOEPASSING ANDERE LOCATIES	120
9.1	Inleiding	120
9.2	Vergelijking zandige kustversterkingen	124
9.2.1	Prins Hendrikzanddijk	124
9.2.2	Kennemerstrand en -duinen	125
9.2.3	Zandmotor	126
9.2.4	Spanjaardsduin	127
9.2.5	Waterdunen	128
9.2.6	Bornrif	128
9.2.7	De Hors	129
9.2.8	Groene stranden (generiek)	129
9.2.9	Conclusies vergelijking zandige gebieden	129
10	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	132
10.1	Generieke conclusies	132
10.2	Beantwoording onderzoeksvragen	132
10.3	Lessons learned	134
10.4	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	137
11	ADC-TOETS	139
12	EVALUATIE MONITORINGSPROGRAMMA	141
12.1	Inleiding	141
12.2	Hoogtemetingen	141
12.3	Expertsessies in het veld	141
12.4	Vegetatiemonitoring	142
12.5	Interactieprocessen	142
12.6	Overige metingen	142
12.7	Kennisoverdracht	142
13	REFERENTIES	143
	Laatste pagina	142

Bijlagen

Aantal pagina's

I	Coördinaten van permanente kwadraten	1
II	Overzicht hoogtemetingen en luchtfoto's	1
III	Vegetatie-opnamen en Londo-dekkingsschaal	2
IV	Soortenlijsten	4
V	Vegetatiekaarten 2018	4
VI	Onderscheidende elementen in relatie tot habitattypen	16
VII	Profielen en foto's van alle proefvlakken	51
VIII	Figuren aanzanding en dynamiek per profieltype en element	11
IX	Vergelijking en toepassing andere locaties	12

1

INLEIDING

1.1 Achtergrond

In 2015 is de Hondsbossche en Pettemer Zeewering (HPZ) versterkt met 35 miljoen kubieke meter zand. Dit gebied heet nu de 'Hondsbossche Duinen (HD)' (zie ook afbeelding 1.1). Het ontwerp bestaat uit een zachte ondiepe vooroever (strand) met verschillende soorten duinhabitats. Deze gekoppelde systemen voorzien in de primaire veiligheid en realiseren tegelijkertijd de gevraagde ruimtelijke kwaliteit.

Afbeelding 1.1: Satellietbeeld van de HPZ (December 2013) en de HD enkele maanden na aanleg (juni 2015) en circa 2 jaar na aanleg (juni 2017) Bron: Google Earth Pro



De aanleg van de Hondsbossche Duinen is een mooi voorbeeld van 'Bouwen met Natuur', waarin natuur- en recreatiedoelstellingen worden meegekoppeld met een veiligheidsopgave. Deze methode is niet vanzelfsprekend, en het is daarom van belang om te meten of de werking van het ontwerp overeenkomt met de verwachtingen. Het project biedt dan ook een unieke gelegenheid om te evalueren of maatregelen, die als 'plus' ten opzichte van andere ontwerpen (mede) ten behoeve van het ecosysteem zijn uitgevoerd, inderdaad een positief effect hebben op de ontwikkeling van het ecosysteem. Zo zijn op de HD innovatieve elementen aangelegd om de ecologische kwaliteit van het duingebied te verhogen, zoals luwe laagtes, stuifschermen en een vochtige duinvallei.

1.2 Het HPZ-innovatieproject

Het opzetten van een aan de HPZ gekoppeld innovatieproject stelt ons in staat om te leren in hoeverre we in staat zijn vooraf geformuleerde (natuurlijke) ontwerpdoelstellingen daadwerkelijk te realiseren. Dit type

inzichten is onontbeerlijk voor een snellere, betere en goedkopere uitvoering van volgende versterkingsprojecten en het beheer van gerealiseerde projecten.

Het totale budget voor dit innovatieproject bedroeg M€ 1,4895 (inclusief btw). Het originele budget was M€ 1,425 waarvan k€ 800 afkomstig is uit het HWBP2-innovatiebudget en k€ 625 wordt ingebracht door de EcoShape partners (waarvan k€ 225 in de vorm van data). Daarnaast zijn extra financiële bijdragen voor de ontwikkeling van Guidelines (€45.500,- door EcoShape) en voor vegetatiemonitoring (€6.000,- door de Annemerscombinatie Van Oord-Boskalis en €13.000,- door HHNK).

Voor dit innovatieproject zijn – in nauwe samenwerking met HWBP-2 en HHNK - drie thema's voor kennisverdieping (de bottlenecks) geïdentificeerd in lijn met de BwN-filosofie:

- A. (Verbeterde) voorspelbaarheid van de ontwikkeling van aangelegde habitats;
- B. Optimalisatie in het veiligheidsontwerp;
- C. Meewegen beleving.

Verbeterd inzicht in deze thema's is cruciaal voor het verbeteren van een afwegingskader rondom de besluitvorming voor zandige voorlandoplossingen. Tevens verbetert dit het zicht op realistische mogelijkheden in het ontwerp, beheer en onderhoud van deze oplossingen.

Het project richt zich daarbij specifiek op processen die boven water plaatsvinden in het gebied, direct aansluitend op de oude HPZ-dijk.

1.3 Doel van dit rapport

Het voorliggende rapport is het overkoepelende eindrapport van de themalijnen A, B en C van het EcoShape HD-innovatieproject. De belangrijkste analyses en bevindingen zijn in dit rapport weergegeven. Voor een groot deel zijn deze gebaseerd op de volgende achterliggende inhoudelijke rapporten:

- A1-1: Inventarisatie habitatkwaliteit;
- B1-1: Inventarisatie maatregelen ontwerp HPZ;
- B1-2: Inventarisatie optimalisatiemogelijkheden kustversterking HPZ;
- C1-1: Inventarisatie belevingsonderzoek HPZ;
- B2-1a: Monitoringsrapportage 2016;
- B2-1b: Monitoringsrapportage 2017;
- B2 – 2: Analyse effecten maatregelen;
- B3 - 1: Optimalisatie veiligheidsontwerp Hondsbossche Duinen;
- C3 - 1: Verstuiving;
- Verslagen expertsessies 2015 – 2018.

Daarnaast zijn een korte en lange film over het project gemaakt om de resultaten te delen met een breder publiek. De documenten en de films zijn terug te vinden op de website van EcoShape.

Doel van het project is om bij volgende soortgelijke projecten te komen tot snellere, betere en goedkopere uitvoering van de versterking. De bevindingen zijn daarom vertaald in projectoverkoepelende ontwerprichtlijnen (guidelines), waarin de bevindingen van alle themalijnen samenkomen. Deze ontwerprichtlijnen zijn terug te vinden in de BwN Guidelines die via de website van EcoShape te bereiken zijn.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd: hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het studiegebied. In hoofdstuk 3 wordt de opzet van het monitoringsprogramma beschreven. In hoofdstuk 4 wordt de analyse van de geometrieontwikkeling nader beschreven. De bevindingen van de vegetatiemonitoring zijn te vinden in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 levert de synthese van morfologie en vegetatie, gevolgd door de optimalisatie van het veiligheidsontwerp in hoofdstuk 7. Hoofdstuk 8 gaat in op de beleving van het gebied, waarbij met name gekeken is naar de beleving van stuifhinder. Hoofdstuk 9 is een vergelijkende analyse van verschillende zandige en natuurlijke versterkingen. Hoofdstuk 10 bevat de inhoudelijke conclusies en aanbevelingen. De voorliggende kennisvragen worden beantwoord specifiek voor de HD en voor zandige kustversterkingen in

het algemeen (ook uitgewerkt in *guidelines*). Hoofdstuk 11 gaat beknopt in op de juridische betekenis van de kennis uit het HD-project (de ADC-toets). Hoofdstuk 12 bevat een evaluatie van het monitoringsprogramma zelf, met focus op kennisverwerving.

In de bijlagen I-V is aanvullende informatie te vinden over de diverse monitoring. Bijlage VI zijn per element de opnamen per jaar bij elkaar gezet en zijn deze drie zogenaamde synoptische (samenvattende) tabellen vergeleken met de synoptische tabellen van de plantengemeenschappen van de habitattypen. Bijlage VII geeft een overzicht van alle dwarsprofielen en foto's van alle permanente proefvlakken¹, op basis waarvan de (beschrijvende) analyses in hoofdstuk 5 zijn gemaakt (*dit is een losse bijlage ivm grootte document*). Bijlage VIII bevat figuren die een visueel overzicht geven van de aanzanding en dynamiek per profieltype² wordt dit begrip nader toegelicht). Bijlage IX sluit af met een aantal tabellen die een vergelijking tonen met andere soortgelijke gebieden.

¹ Zie paragraaf 2.2.4 voor een toelichting op dit begrip

² Zie paragraaf 2.2.1 voor een toelichting op dit begrip

2

BESCHRIJVING GEBIED

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van het gebied en een definitie van de verschillende profieltypen en raaien waarlangs het onderzoek heeft plaatsgevonden.

2.1 Studiegebied

Het studiegebied beslaat een deel van het projectgebied van de Kustversterking HPZ. Voor een nadere definitie van het studiegebied is het allereerst van belang onderscheid te maken tussen de Hondsbossche en Pettemer Zeewering (HPZ) en de Hondsbossche Duinen (HD). Met HPZ wordt aan de bestaande, oude zeedijk gerefereerd; HD verwijst naar het droge strand en het duingebied.

2.1.1 Studiegebied kustlangs

Voor deze studie is niet het gehele projectgebied van de HD beschouwd. Alleen de ontwikkeling van het deel van de HD dat grenst aan de bestaande HPZ is geanalyseerd (afbeelding 0). Het gebied dat wordt bemeeten beslaat wel het hele projectgebied met aanvullend ongeveer 1 km ten zuiden en 2 km ten noorden daarvan.

Het gedrag van het gedeelte met de strandlagune in het zuiden (ook wel: profieltype 5) wordt niet geanalyseerd. Dit valt buiten de scope van deze studie. De profieltypen worden in paragraaf 2.2.1 nader toegelicht.

Afbeelding 2.1: Overzicht studiegebied Hondsbossche Duinen



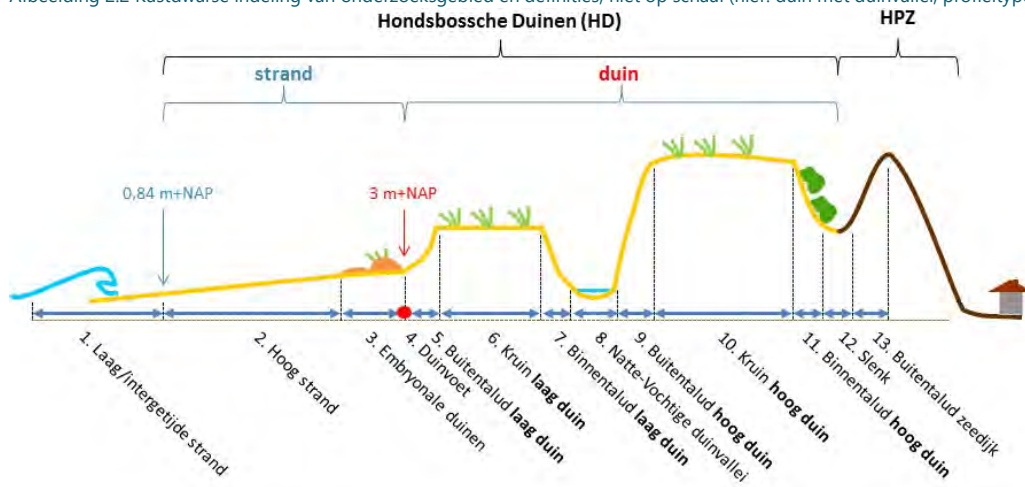
2.1.2 Studiegebied kustdwars

In de dwarse richting wordt het gebied vanaf de gemiddeld hoogwaterlijn (NAP + 0,84 m) geanalyseerd tot de aansluiting op de dijk (afbeelding 2.2). Hierbij kunnen vier zones worden onderscheiden (alleen de blauwe zones zijn onderdeel van het studiegebied):

- duin boven NAP +3 m tot de aansluiting op de HPZ
- strand boven NAP +0,84 m tot NAP + 3 m
- intergetijdengebied/laag strand tussen NAP -0,76 m en + 0,84 m
- (ondiepe) vooroever <NAP -0,76 m

Het intergetijdengebied is inhoudelijk een interessante zone, omdat deze zand aanlevert dat vervolgens verstuift richting het strand en duin. In dit project is echter alleen data ingewonnen boven water. Omdat de ontwikkeling van het intergetijdengebied wel interessante informatie oplevert, is – op basis van gegevens uit de Jarkusraaien - een inschatting gemaakt van de ontwikkeling onder water.

Afbeelding 2.2 Kustdwarse indeling van onderzoeksgebied en definities, niet op schaal (hier: duin met duinvallei, profieltype 4)³



2.1.3 Definities geometrie duin en strand

Voor de eenduidigheid gebruiken we in dit rapport voor de verschillende onderdelen van het duinprofiel zo veel mogelijk dezelfde benamingen (tabel 2.1).

³ Embryonale duinen komen vaak ook voor boven NAP + 3 m, dus voorbij de gedefinieerde duinvoet (persoonlijke mededeling Bas Arens, in review op dit document)

Tabel 2.1 Benamingen van de duinprofiel-elementen

Indeling o.b.v. topografie	Indeling o.b.v. ingeplante vegetatie	Opmerking / alternatieve benamingen (in literatuur)
hoogstrand (boven GHW)	-	droog strand [gelegen boven vooroever en nat strand]
embryonale duinen	-	overgangszone naar helmduinen
duinvoet	-	Beginnend bij NAP +3 m [varieert: HHNK gaat uit van NAP + 3,5 m]
buitentalud laag duin	helmzone	zeereep [eerste duinenrij die direct grenst aan het Noordzeestrand, helmduinen]
kruin laag duin	helmzone	duinrichel
binnentalud laag duin	helmzone	zeereep
natte-vochtige duinvallei	-	natte (duin)vallei, zoet-zout gradiënt
buitentalud hoog duin	helmzone	binnenduinen, helmduinen
kruin hoog duin	helmzone	duinrichel
binnentalud hoog duin	struweelzone	binnenduinen, helmduinen
buitentalud zeedijk	struweelzone	oude zeedijk

2.2 Gebiedsindeling

Er worden verschillende gebiedsindelingen gehanteerd:

- **Profieltypen** - grootschalige duingeometrie;
- **Raaien** - kustdwarse raaien met 1m tussenafstand;
- **Transecten** - gebieden die zijn gedefinieerd voor de analyse van de vegetatie-ontwikkeling.

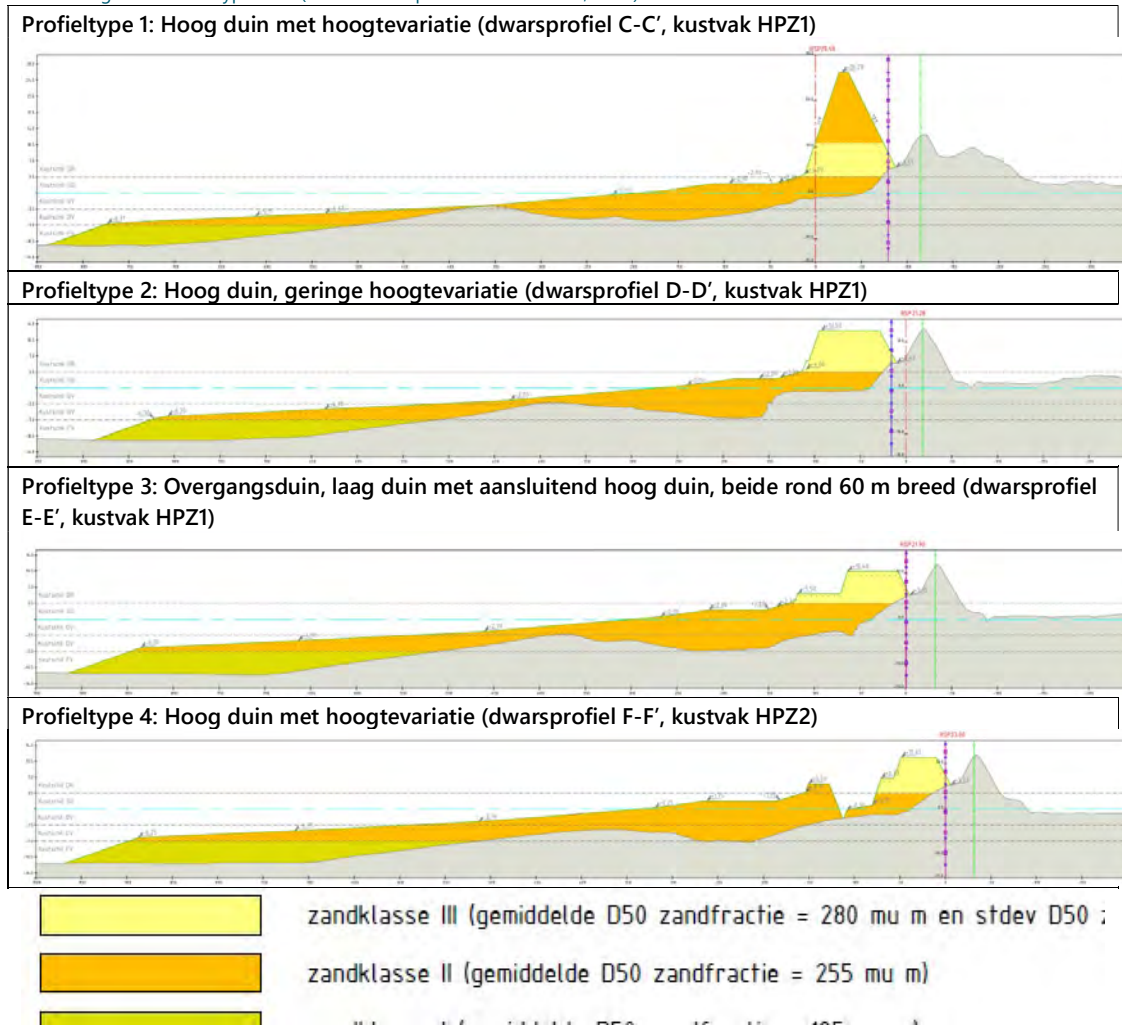
Hieronder worden de verschillende indelingen nader toegelicht.

2.2.1 Profieltypen

In het ontwerp van de HD is gevarieerd met de grootschalige geometrie van het duinprofiel. In het ontwerp van de HD zijn 5 representatieve dwarsprofielen onderscheiden, ook wel profieltypen genoemd:

- profieltype 1: hoog duin met een hoogtevariatie;
- profieltype 2: hoog duin met een geringe hoogtevariatie (hoogte maximaal 11,8 m bij acceptatie van aanleg);
- profieltype 3: overgangsdun: een laag duin met aansluitend hoog duin, beide rond 60 m breed;
- profieltype 4: 2 duinregels met daartussen een vochtige duinvallei;
- profieltype 5: strandlagune (*buiten scope van dit project*).

Afbeelding 2.3 geeft voor elk van deze profielen een dwarsdoorsnede. De ligging van deze profieltypen in het studiegebied is weergegeven in afbeelding 2.4. Profieltype 1 is gelegen in het noorden. De profieltypen 2 en 3 komen beide twee keer voor. In onze analyse benoemen we profieltype 2 en 3 ten noorden van de duinvallei respectievelijk P2N en P3N. Profieltype 2 en 3 ten zuiden van de duinvallei noemen we P2Z en P3Z. De profieltypen beslaan een verschillend oppervlak van de HD.



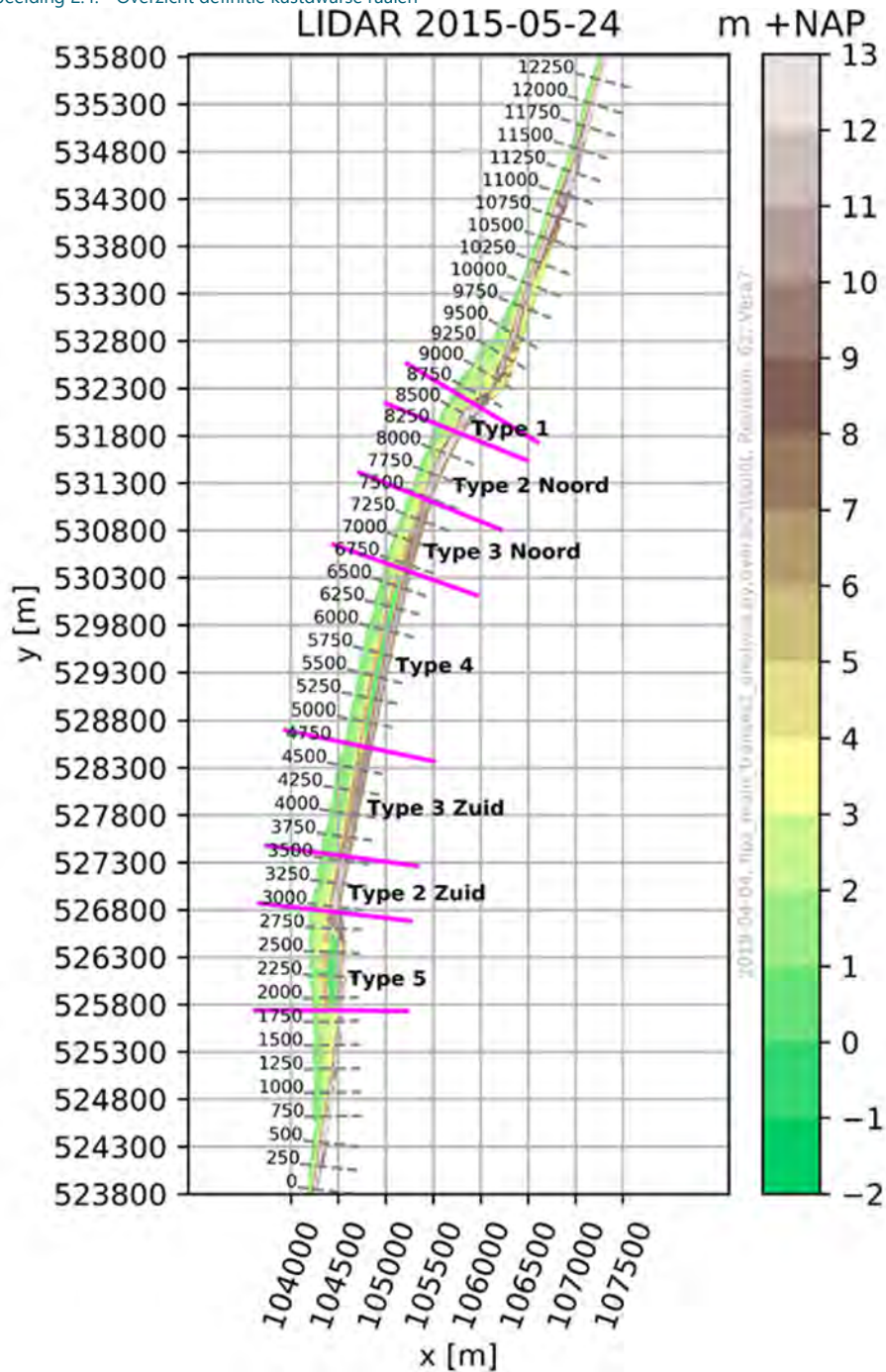
2.2.2 Definitie raaien

Voor een deel van de analyse zijn alle data op raaien in de kustdwarsrichting geprojecteerd. Deze raaien zijn zo haaks mogelijk op de NAP + 3 m -lijn gedefinieerd met zo min mogelijk overlap en liggen in kustlangs richting 1 m uit elkaar. De punten op de raaien zijn in kustdwarsrichting een halve meter uit elkaar geplaatst. De raaien zijn gegeven in afbeelding 2.4. Er zijn raaien gedefinieerd in het hele meetgebied wat neerkomt op 12.000 raaien. Het studiegebied van profieltype 2Z tot en met profieltype 1 loopt van raai 2945 tot raai 8640 en bevat bijna 6.000 raaien (zie ook tabel 2.2).

Tabel 2.1 Raaien per profieltype

Profieltype	van raai	tot raai	Jarkusraai (indicatief)
2Z	2945	3547	Van: 2575
3Z	3548	4743	
4	4744	6690	
3N	6691	7473	
2N	7474	8253	
1	8254	8640	Tot: 2030

Afbeelding 2.4: Overzicht definitie kustdwarse raaien



2.2.3 Transecten vegetatiemonitoring

Voor het op termijn kunnen beantwoorden van de vraag of de beoogde habitattypen zich daadwerkelijk zullen gaan ontwikkelen, zijn in 2015 dwars op de kustlijn vijf transecten uitgezet vanaf het strand, via de lage duinrichel, de vochtige duinvallei naar de hoge duinrichel en struweelzone tot aan de oude Hondsbossche en Pettemer zeedijk. De lengte varieerde van 105 tot 209 m. De ligging van de transecten staat weergegeven in afbeelding 2.5.

De transecten zijn zo gekozen dat ze verschillende typen aanlegprofiel en aangelegde elementen omvatten (tabel 2.3), aansloten bij (eerdere) metingen van de aannemerscombinatie (hierna AC genoemd; hoogte,

grondwater) en metingen in het achterland (grondwaterbuizen, zandvanglers, zoutspray), en voor alle vraagstellingen binnen het project bruikbaar zijn.

Tabel 2.3: Transecten en aangelegde duinprofieltypen; een volledige beschrijving van de profieltypen is te vinden in Leenders en Smit (2016)

Transectnummer	Profieltype	Kenmerken
1	2	hoog duin, geringe hoogtevariatie
2	3	hoog duin met voorliggend laag duin
3	4	2 duinregels met vochtige duinvallei
4	4	2 duinregels met vochtige duinvallei
5	2	hoog duin, geringe hoogtevariatie

2.2.4 Permanente proefvlakken vegetatiemonitoring

In 2016 zijn langs deze transecten in totaal 50 permanente proefvlakken uitgezet. De proefvlakken zijn cirkelvormig, met een straal van 113 cm en een oppervlak van 4 m². Het middelpunt is gemarkeerd met een ingegraven magneetspoeltje, zodat ze eenvoudig zijn terug te vinden met een detector. De precieze locatie van het centrum van ieder proefvlak is in 2016 vastgesteld met een RTK-DGPS (X-, Y- en Z-coördinaat; Bijlage 1).

Transect 1, 2 en 5 bestaan ieder uit acht proefvlakken. Transect 3 en 4, die de duinvallei doorkruisen, bestaan ieder uit twaalf proefvlakken. Aan de noord- en zuidzijde van de duinvallei zijn nog twee permanente proefvlakken toegevoegd om de ontwikkelingen van de valleioevers goed te kunnen volgen (afbeelding 2.5). De locaties van de permanente proefvlakken zijn zodanig gekozen dat alle vegetatiestructuurtypen (elementen) in deze steekproef zijn opgenomen (hoog strand, embryonale duinen, laag duin, vochtige duinvallei, luwe laagtes, hoog duin, inclusief struweelzone).

Afbeelding 2.5: Ligging van de vijf transecten en permanente proefvlakken (rode stippen). De nummers van de proefvlakken lopen steeds op, van het strand richting de oude Hondsbossche en Pettemer zeedijk.



2.3 Aanleg Hondsbossche Duinen in de tijd

De aanleg van de Hondsbossche Duinen is uitgevoerd vanaf begin 2014 tot december 2015 (afbeelding 2.6) laat een foto van het aanlegproces zien). Eerst is het zand opgespoten en in de gewenste vorm gebracht. Gedurende uitvoering is papierpulp op het zandlichaam aangebracht, ter voorkoming van grote stuifhinder

en verliezen gedurende uitvoering. Vervolgens is het gebied ingericht met helminplant, overige vegetatie (struweel, binnentalud hoog duin), diverse stuifwerende maatregelen en recreatievoorzieningen. Een overzicht van de aanlegtopografie en maatregelen is gegeven in 'Inventarisatie maatregelen ontwerp HPZ'.

Afbeelding 2.6: Zandige versterking van de HD met de ontwerpelementen: helminplant, luwe laagtes (dat zijn de niet-ingeplante vakken), wilgenschermen en in de verte de vochtige duinvallei. (Foto: www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl).



Vanwege de aanzienlijke omvang van het project (circa 8,5 km langs de kust, waarvan 5,5 km langs de dijk van de oude HPZ) is de aanleg van de HD over een periode van 2 jaar uitgevoerd. Het meest zuidelijke deel was eind 2014 al (vrijwel) volledig voltooid en ingeplant, terwijl het meest noordelijke deel pas eind 2015 klaar was. Daardoor heeft het zuidelijke deel zich langer kunnen ontwikkelen dan het noordelijke deel.

Globaal wordt na overleg met de AC uitgegaan van het volgende tijdschema:

- maart 2014 start aanleg van de vooroever;
- juli 2014 voor het eerst boven water bij Camperduin;
- okt 2014 start aanplanting helm in het zuiden, bij Camperduin;
- mrt 2015 laatste helm geplant in noorden (niet volledig);
- najaar 2015 resterend deel helm ingeplant in het noorden;
- vanaf 2016 sporadisch bijplanten van helm op verzoek van HHNK.

Meer gedetailleerde informatie is niet beschikbaar. Door aan te nemen dat de voltooiing van het gedeelte boven water geleidelijk/lineair is uitgevoerd in de tijd, kan per zone (profieltype) worden ingeschat wanneer het zandlichaam en de helmbeplanting is voltooid (zie tabel 2.4).

Tabel 2.4: Voltooiing aanleg HPZ per zone

Zone	Voltooiing zandlichaam	Helm ingeplant	Toelichting
profieltype 1	03/2015	03/2015 (deels)	luchtfoto mei 2015: hoog duin niet ingeplant luchtfoto december 2015: volledig ingeplant
profieltype 2 Noord	02/2015	03/2015 (deels)	luchtfoto mei 2015: hoog duin 60% niet ingeplant luchtfoto december 2015: volledig ingeplant
profieltype 3 Noord	01/2015	03/2015 (deels)	luchtfoto mei 2015: laag duin niet ingeplant luchtfoto december 2015: volledig ingeplant
profieltype 4	12/2014	02/2015	
profieltype 3 Zuid	11/2014	12/2014	
profieltype 2 Zuid	10/2014	11/2014	
profieltype 5	09/2014	10/2014	

Er zit ongeveer een half jaar tussen de voltooiing van het zandlichaam boven water in het zuiden en het noorden. Datzelfde geldt min of meer voor de helmaanplant, waarbij een deel van het helm in het noorden nog eens een half jaar later is aangeplant.

2.3.1 Maatregelen tijdens aanleg

Gedurende de aanlegfase is een aantal extra maatregelen getroffen om verstuing van het pas opgespoten zand tegen te gaan. Bovenop de bestaande HPZ is een stuifscherm aangebracht. Dit was bedoeld om zand tegen te gaan wat eventueel richting kruin van HPZ zou stuiven. Verder is papierpulp aangebracht bovenop het opgebrachte zand. Hiermee werd beoogd het verstuing van zand door de wind tegen te gaan in de periode dat er nog geen vegetatie was om het zand vast te houden of het zand wat van het strand kwam in te vangen. Tevens zijn er stobalen op het buitentalud van de HPZ aangebracht, eveneens met het doel verstuing richting het achterland tegen te gaan.

2.3.2 Lokale zandverplaatsing na oplevering

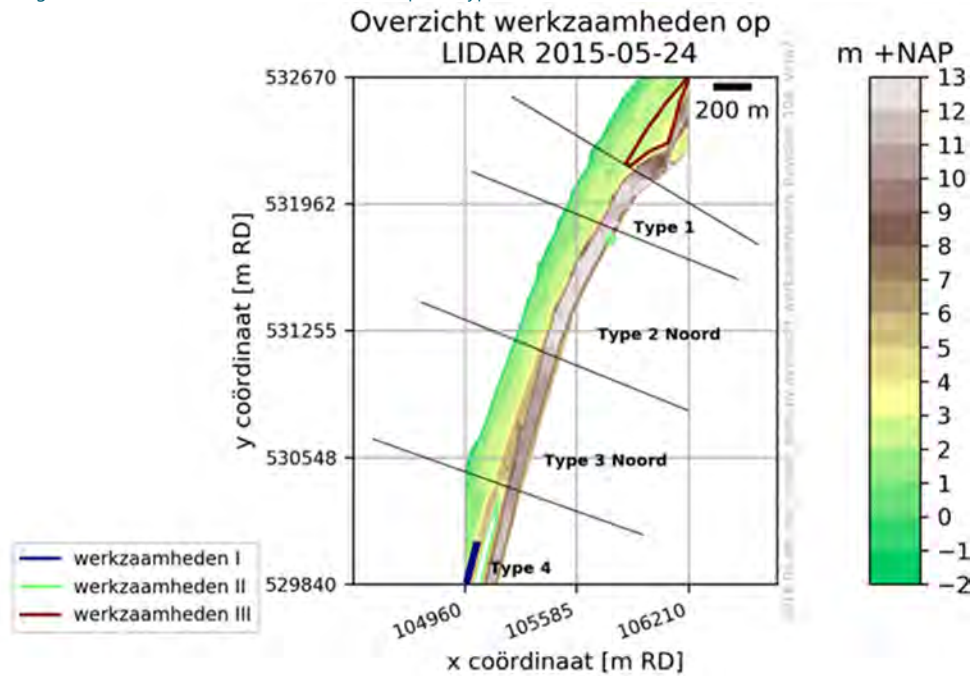
De AC heeft na de 'as-built' meting (24 mei 2015) en voor de tweede LiDAR-meting (28 december 2015) op drie locaties werkzaamheden uitgevoerd. De werkzaamheden bestaan uit zandverplaatsing of -verwijdering binnen een beperkt gebied.

Een overzicht van de werkzaamheden is te zien in afbeelding 2.7, gevolgd door een detailbeeld in de afbeeldingen 2.8, 2.9 en 2.10. De volumeveranderingen en de profieltypen waarin de werkzaamheden gezien worden, zijn getoond in tabel 2.5.

De werkzaamheden III hadden als doel een natuurlijk duinlandschap te creëren. Bij de andere twee werkzaamheden is er zand weggehaald om overlast te beperken. Daarnaast zijn er diverse kleine werkzaamheden uitgevoerd, zoals het bijplanten van helm, het plaatsen van wilgenschermen en het vrijmaken van strandlagen en het fietspad. Deze zijn buiten beschouwing gelaten voor de analyses in dit rapport, omdat hier vaak geen goede informatie van beschikbaar was.

In de periode waarin de werkzaamheden zijn uitgevoerd, zijn de betreffende locaties buiten beschouwing gelaten voor de analyses en volumeberekeningen.

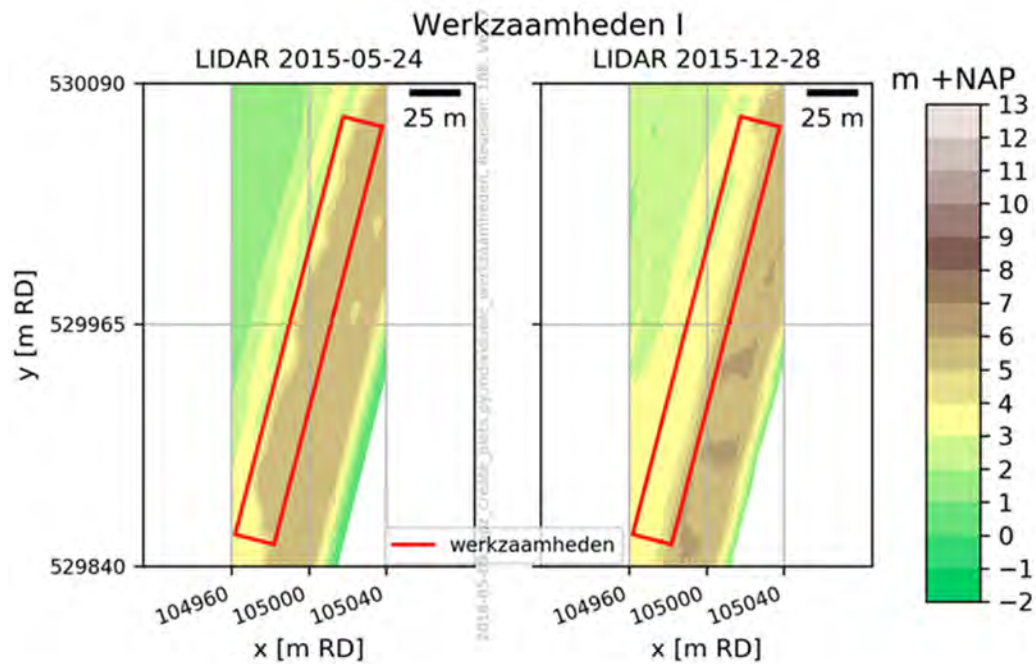
Afbeelding 2.7: Overzicht van de werkzaamheden en profieltypen



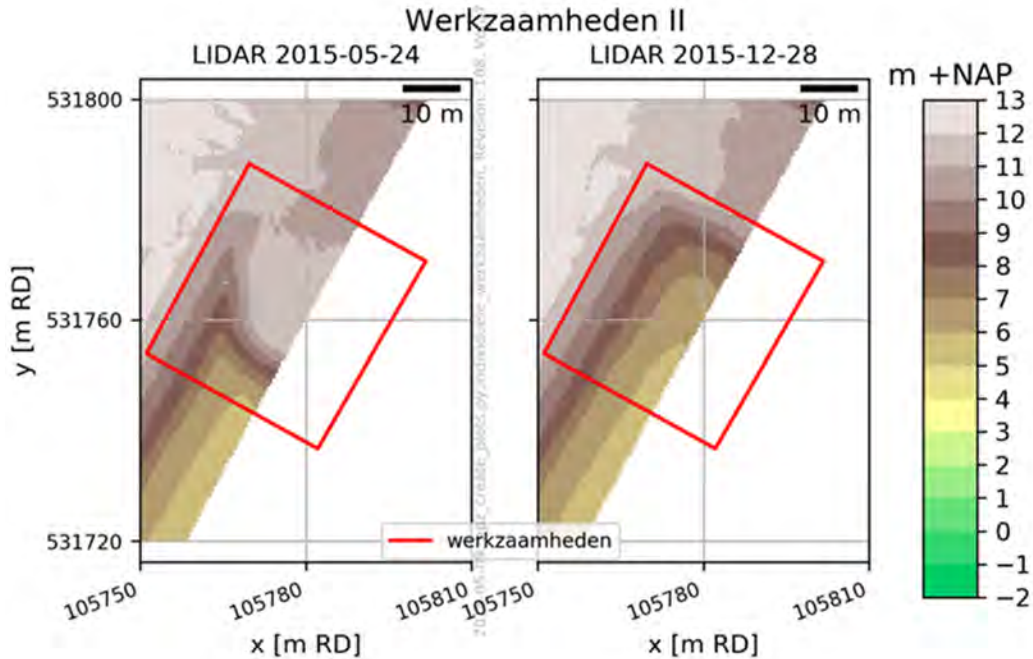
Tabel 2.5: Overzicht van de profieltypen en volumeveranderingen voor de tussentijdse werkzaamheden door AC

Werkzaamheden nummer	Profieltype	Volumeverandering [m ³]
I	4	-4.430
II	2 Noord	-1.400
III	buiten studiegebied (noordzijde)	+10.380

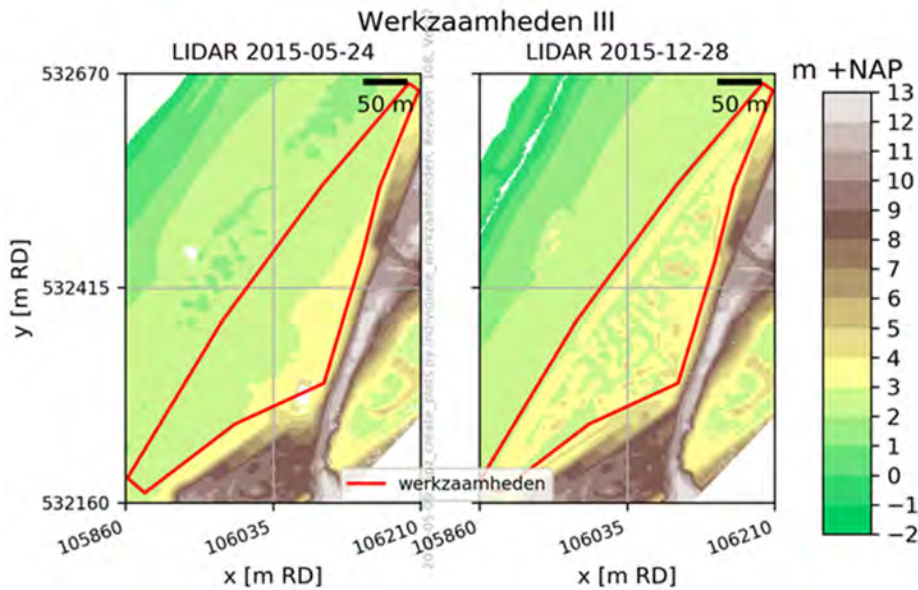
Afbeelding 2.8: Tussentijdse werkzaamheden (I) in profieltype 4: eerste (links) en tweede (rechts) LIDAR metingen



Afbeelding 2.9: Tussentijdse werkzaamheden (II) in profieltype 1: eerste (links) en tweede (rechts) LIDAR metingen



Afbeelding 2.10: Tussentijdse werkzaamheden (III) ten noorden van profieltype 1: eerste (links) en tweede (rechts) LIDAR metingen

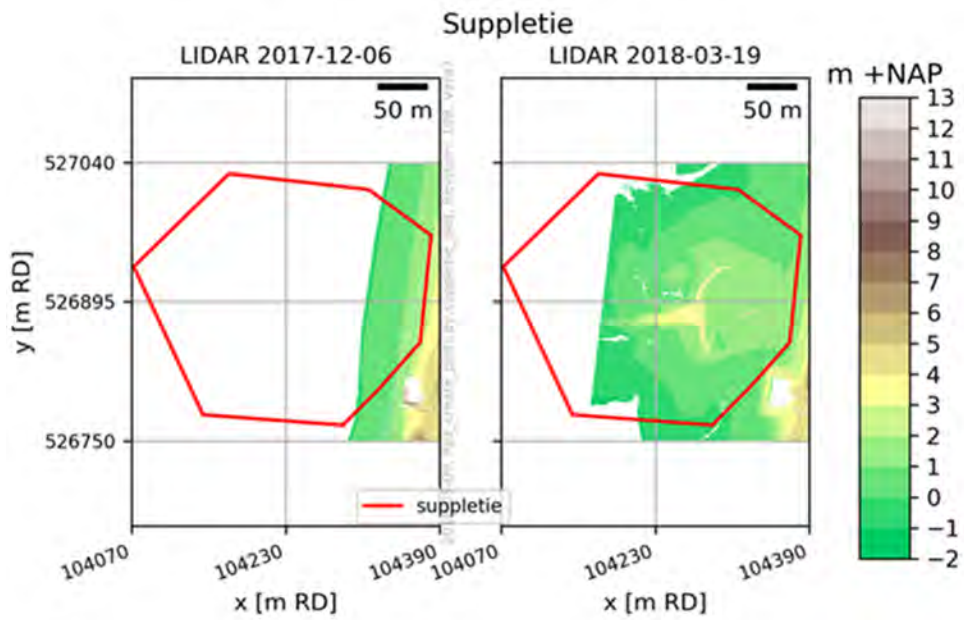


2.3.3 Suppletie maart 2018

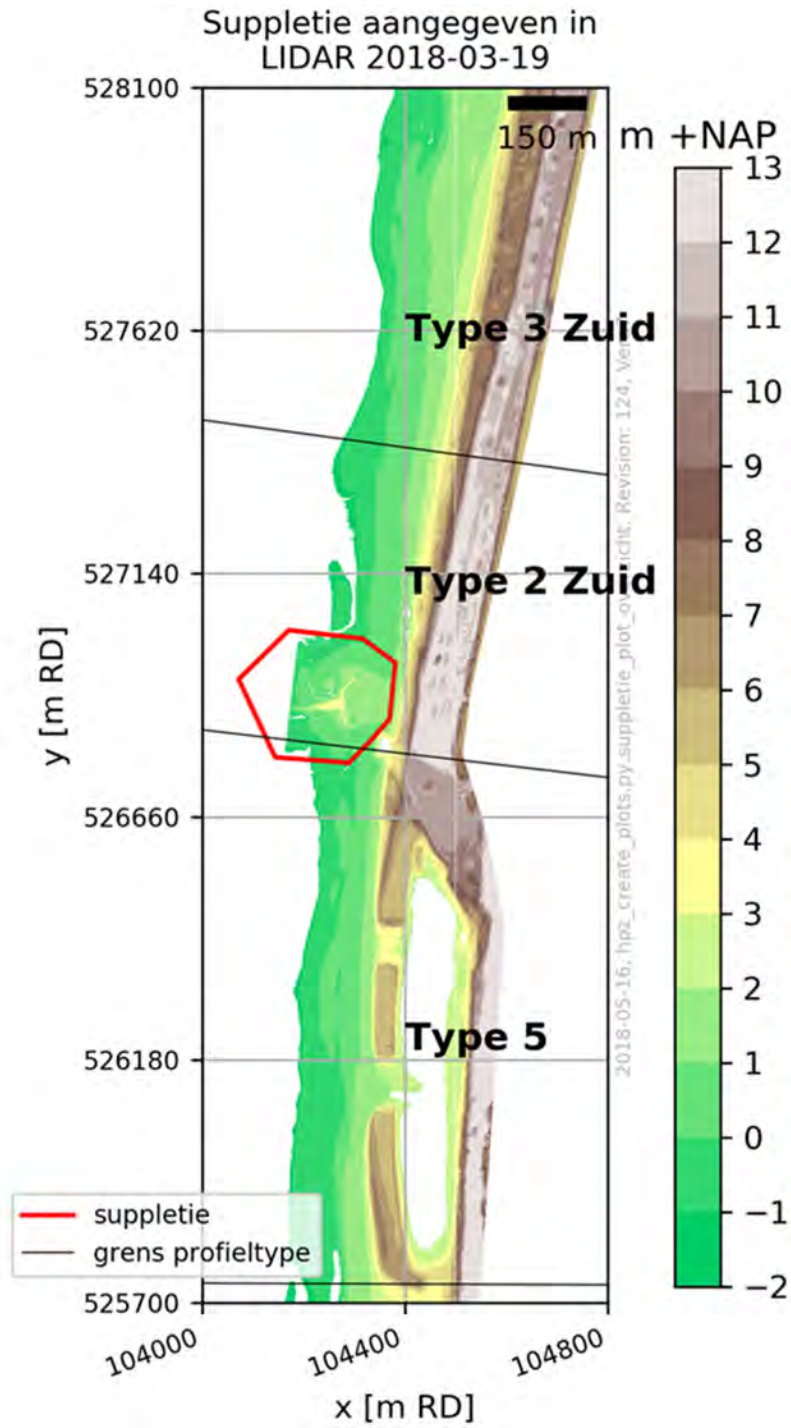
Vanwege erosie van het strand aan de zuidzijde van de Hondsbossche Duinen, heeft de AC in maart 2018 een suppletie uitgevoerd in profieltype 2 Zuid, deels onder water, deels op het strand. De locatie van deze suppletie is weergegeven in afbeelding 2.12. De suppletie is uitgevoerd vlak voor de negende Lidar meting. Afbeelding 2.11 laat de achtste en negende LiDAR-meting zien voor het gebied rond de suppletie. Hierin is de start van de suppletie duidelijk te herkennen.

Het suppletiegebied is buiten beschouwing gelaten in de volumeberekeningen van het strand. De LiDAR-meting is uitgevoerd tijdens de start van de suppletie dus deze heeft naar verwachting de ontwikkelingen in het duingebied nog niet beïnvloed.

Afbeelding 2.11: Achtste en negende LiDAR meting rond het gebied van de suppletie



Afbeelding 2.12: Overzicht locatie suppletie



3

MONITORINGSPROGRAMMA

3.1 Inleiding

De HD beslaat een groot gebied waarbinnen verplaatsing van zand in alle richtingen optreedt. De onderzoeksvragen ten aanzien van dat zandtransport waren daarom gericht op 1) de aanvoer en globale verdeling van zand in het gebied, 2) het effect van kleinschalige variaties in de geometrie en interactie met de aanwezige vegetatie op de lokale verdeling en sturing van zand binnen het gebied, en 3) het effect daarvan op de ontwikkeling van de vegetatie zelf.

Van onder andere de pilotprojecten Zandmotor⁴ en Spanjaardsduin⁵ was bekend dat kort na de aanleg van een grote zandsuppletie het betreffende gebied onder invloed van eolisch en hydraulisch transport van zand snel verandert. Voor meer inzicht in de processen die verantwoordelijk zijn voor optredende veranderingen, was het van cruciaal belang dat de ontwikkeling van de geometrie van de HD al in deze vroege fase frequent werd gemeten.

Het monitoringsprogramma voor de HD betreft alleen metingen boven de laagwaterlijn. De veranderingen die daar optreden worden hoofdzakelijk veroorzaakt door hydraulisch transport en – boven de duinvoet – door eolisch transport. Daarbij is wel sprake van interactie met hydraulisch transport door aanvoer van sediment in het intergetijdengebied en door mogelijke strand- en duinafslag tijdens stormen met verhoogde waterstand. Door gebruik te maken van de data van het droge strand en informatie over het onderwatergedeelte uit de JARKUS-raaien en gemeten waterstanden, is de bijdrage en het effect van het hydraulisch transport aan de ontwikkeling van het studiegebied ingeschat.

Om aan de doelstelling van het monitoringsprogramma te voldoen, werden de volgende ontwerpeisen vastgesteld:

- meetfrequentie die aansluit bij de tijdschaal van de ontwikkeling van het gebied;
- voldoende resolutie om hoogteontwikkelingen rond vegetatie en kleinschalige elementen te kunnen onderscheiden;
- zo groot mogelijk meetgebied om verplaatsingen van zand te kunnen volgen en randeffecten te minimaliseren;
- betrouwbare hoogtemetingen (oppervlak rond vegetatie).

In dit hoofdstuk staat een beschrijving van de verschillende monitoring, die op de HD en HPZ is uitgevoerd.

3.2 Hoogtemetingen en luchtfoto's

In het begin van het project zijn verschillende meetmethoden gebruikt. Dit had er onder andere mee te maken dat de monitoring in 2015 nog moest worden opgezet, terwijl het vanwege de snelle ontwikkeling van het gebied nodig was om direct met de hoogtemetingen te beginnen. Bijlage II geeft een overzicht van de hoogtemetingen die zijn uitgevoerd gedurende de looptijd van dit project.

In mei 2015 is door de Aannemerscombinatie (AC) een zogenaamde 'as-built'-opname van het hele gebied gemaakt door middel van laseraltimetrie (LiDAR) en luchtfoto's, als onderdeel van de oplevering van de aanleg. Het gedeelte van de duinvallei dat onder water ligt, is ingemeten met een bestuurbare boot door

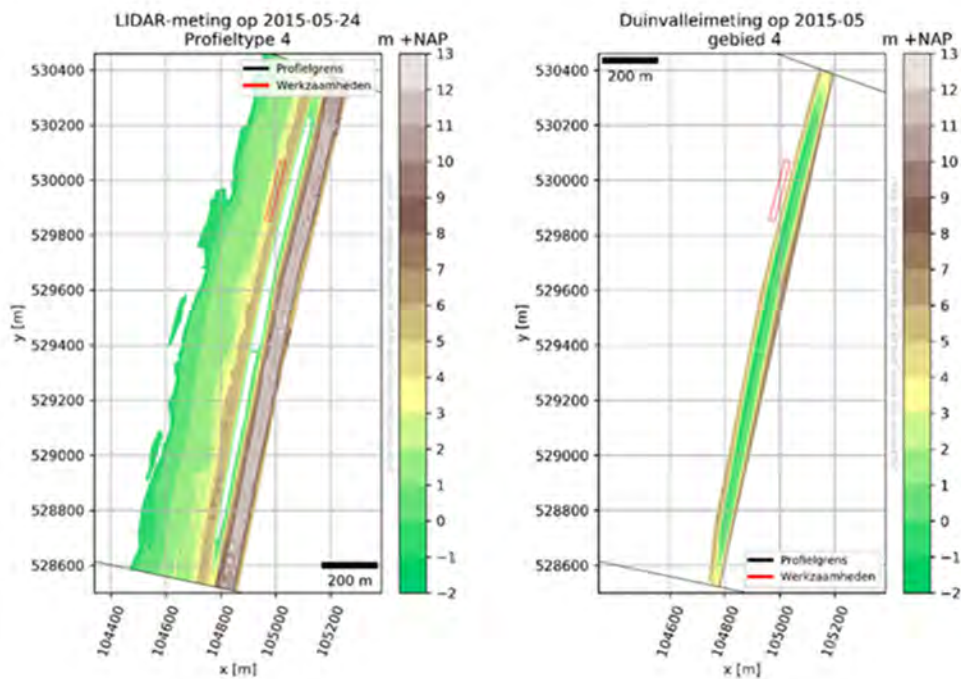
⁴ <http://www.dezandmotor.nl/>

⁵ www.zuidhollandslandschap.nl/spanjaards-duin

middel van single-beam metingen, waarmee een gebiedsdekkend hoogtemodel is gemaakt. Ondanks dat er later in 2015 nog veranderingen in het terrein zijn aangebracht (verplaatsing van zand, helmbeplanting), wordt de as-built opname als nul-situatie gehanteerd. Deze latere werkzaamheden en hun invloed op de metingen en analyses worden beschreven in paragraaf 2.3.

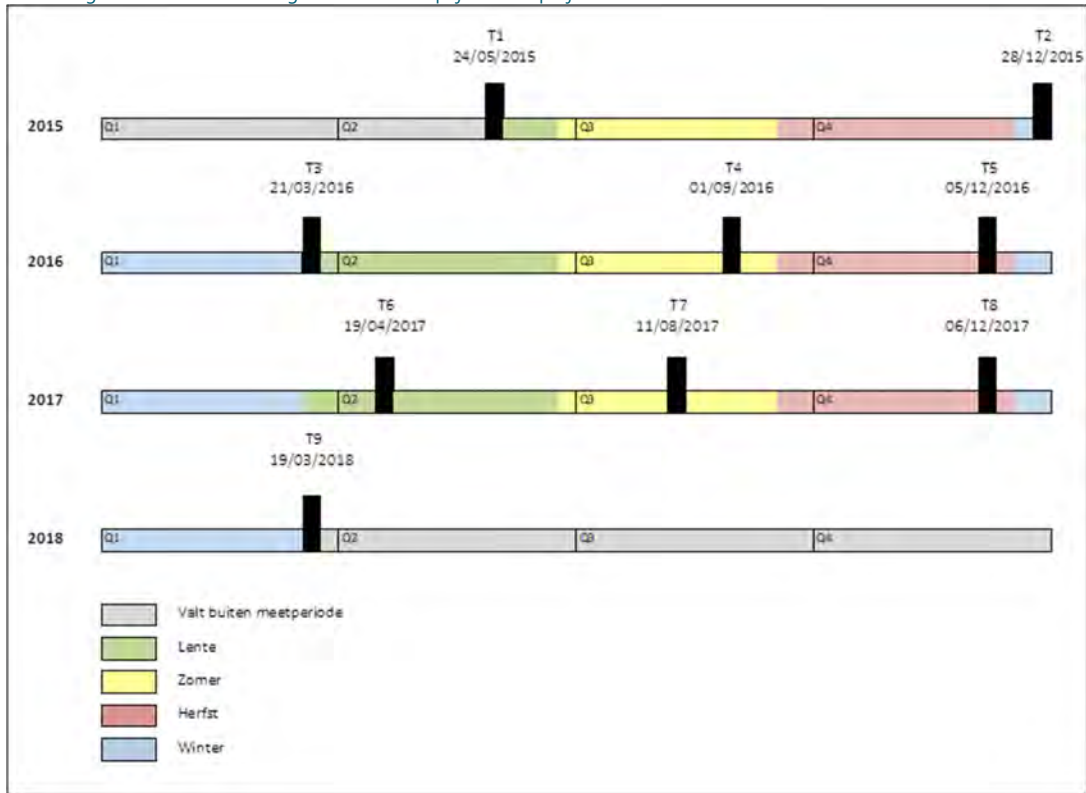
Een voorbeeld van de eerste LiDAR meting voor het gebied met de duinvalei is gegeven in afbeelding 3.1. Op de witte plekken is geen data. Het is te zien dat in de duinvalei geen data beschikbaar is. Dit komt doordat met LiDAR niet onder water gemeten wordt. Daarom zijn de separaat uitgevoerde metingen in de duinvalei gebruikt als aanvulling (toelichting in paragraaf 3.5.2). De eerste, gebiedsdekkende duinvalleimeting is ook getoond in afbeelding 3.1.

Afbeelding 3.1: Links: eerste LiDAR meting die hoort bij 'as-built' meting van de AC. Rechts: gebiedsdekkende duinvallei meting hoorend bij de 'as-built' meting van de AC. Zwart: gebiedsbegrenzing, Rood: tussentijdse werkzaamheden



Uiteindelijk is gedurende drie jaar met Lidar gemeten. Afbeelding 3.2 geeft een overzicht van alle gebruikte meetmomenten van de LiDAR en de periode tussen deze meetmomenten. Voor de analyses in dit rapport zijn alleen de hoge resolutie Lidar vluchten gebruikt. In tabel 3.1 zijn de meetseizoenen voor de meetperioden samengevat. Vooral de winterperiode is als afzonderlijk seizoen bemeet. Er zijn drie meetperioden beschikbaar van de winterperiode (T2T3, T5T6, T8T9).

Afbeelding 3.2: Meetmomenten gedurende de looptijd van dit project



Tabel 3.1: Meetseizoenen per meetperiode

Meetperiode	Meetseizoen
T1T2	zomer / herfst 2015
T2T3	winter 2016
T3T4	lente en zomer 2016
T4T5	herfst 2016
T5T6	winter 2017
T6T7	lente en deel zomer 2017
T7T8	deel zomer 2017 en herfst 2017
T8T9	winter 2018

3.3 Bodemonderzoek

In 2016 is in elk permanent proefvlak een bodemonster genomen om zo een beeld te krijgen van de chemische samenstelling van de bodem. Met een grondboor zijn tien monsters van de bovenste 10 cm van de bodem – verspreid over het gehele proefvlak – genomen en samengevoegd tot één mengmonster per plot. De monsters zijn vervolgens opgeslagen in gelabelde plastic zakken tot het moment van analyse.

De bodemanalyse is uitgevoerd door het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem in Wageningen. Monsters werden na aanlevering eerst gedroogd op 40°C, gezeefd (2 mm, om schelpfragmenten eruit te halen) en colloïd gemalen (50 µm, om een egaal monster te krijgen). Vervolgens zijn de volgende analyses uitgevoerd: carbonaat, organische stof en droge stofgehalten, pH-H₂O en pH-CaCl₂, destructie HNO₃-HCL (voor bepaling: totaal gehalten van Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na en P), extractie 0,01M CaCl₂ (voor bepaling van de uitwisselbare fractie van Al, Fe, K, Mg, Mn, Na en P, evenals NH₄, NO₃+NO₂ en PO₄), P-Olsen (PO₄) en LECO (C en N elementair).

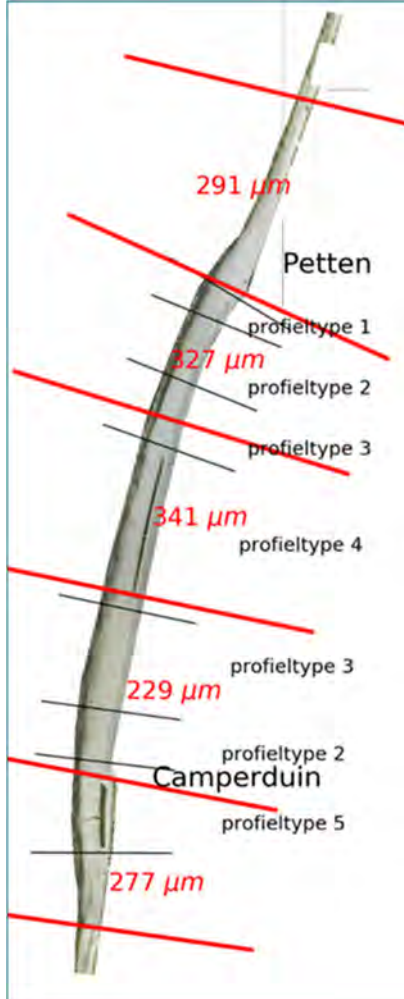
De resultaten van het bodemonderzoek staan beschreven in de monitoringsrapportage van 2016 (EcoShape, 2017).

3.4 Overige data-inzameling

3.4.1 Korreldiameter bij aanleg

De korreldiameter van het zand dat is toegepast voor de aanleg van de kustversterking (afbeelding 3.3) is niet uniform over het hele gebied. Metingen van de korreldiameter op het strand na aanleg laten zien dat de mediane korreldiameter D50 varieert van 229-341 μm . Ten zuiden van de duinvalei is het fijnste zand gebruikt, terwijl ter plaatse van de duinvalei het grofste zand is gevonden.

Afbeelding 3.3: Korreldiameter D50 in μm zoals gebruikt bij aanleg HD



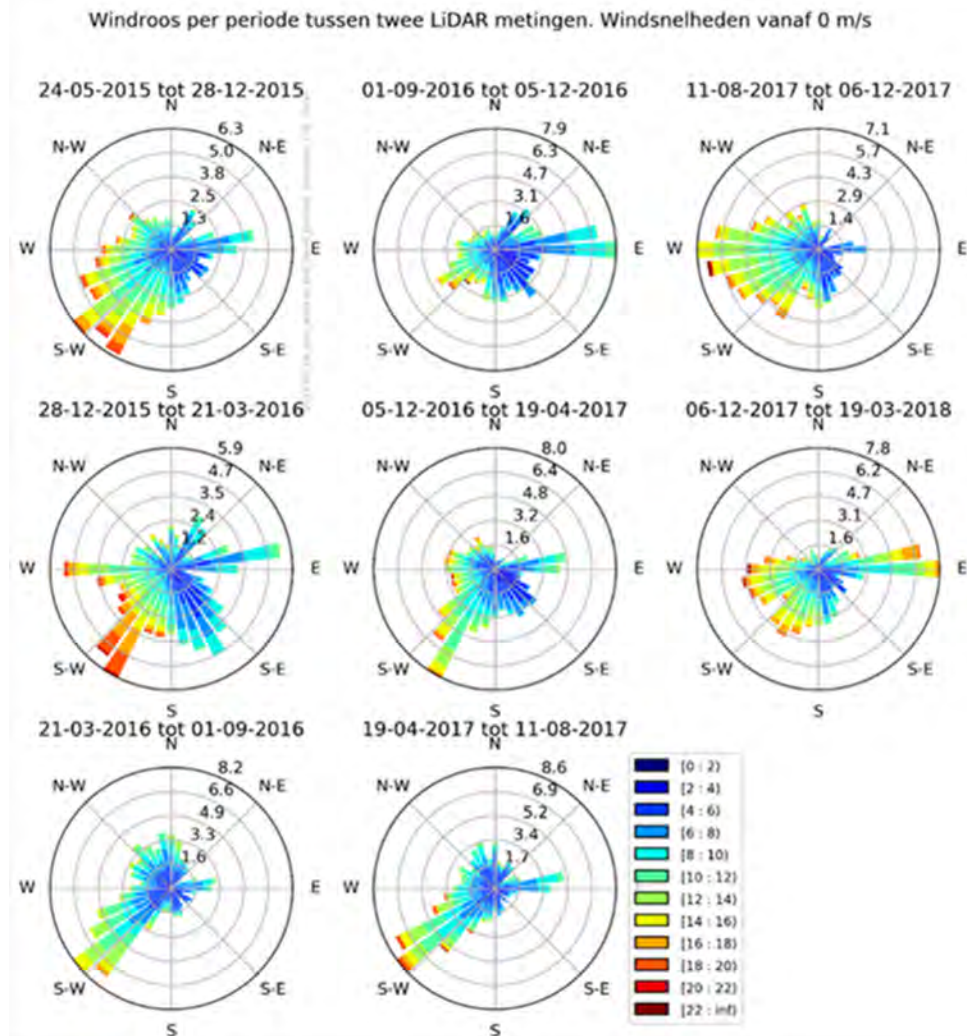
3.4.2 Windklimaat

Wind is de drijvend kracht achter het transport over de droge delen van het strand en de duinen. Voor inzicht in het globale windklimaat worden de metingen van het KNMI bij IJmuiden gebruikt. De windrozen per meetperiode laten zien dat wind uit de zuidwestelijke hoek veruit het meest voorkomt en dat daarin ook de hoogste windsnelheden optreden (afbeelding 3.4). De gemiddelde overheersende windrichting is ongeveer pal zuidwestelijk (225 graden).

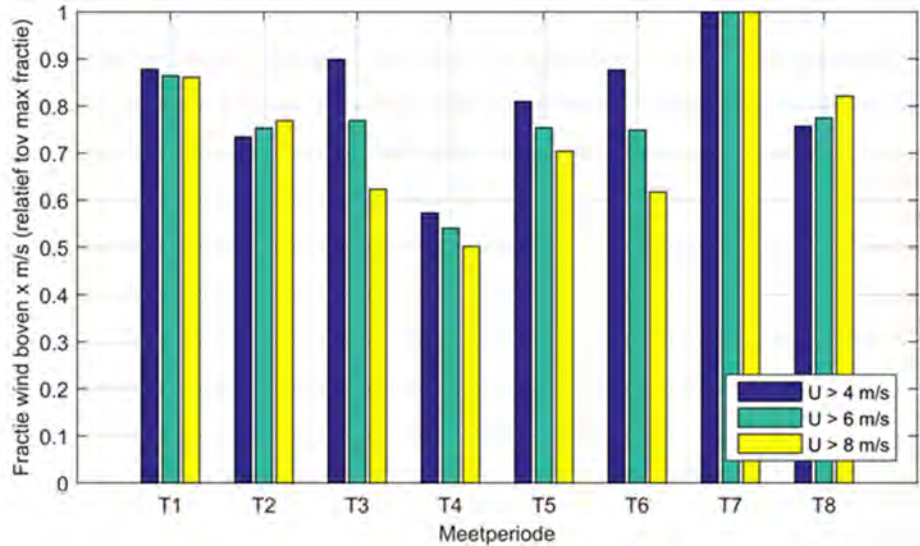
In het globale windklimaat is een seizoenseffect te zien met relatief mildere windcondities in de zomerperiode (afbeelding 3.4): T3 (21 mrt 2016-1 sep 2016), T4 (1 sep 2016-5 dec 2016) en T6 (19 apr 2017-11 aug 2017). Dit effect is ook duidelijk door de wind in de verschillende perioden onderling te vergelijken

(afbeelding 3.5). Met name de windsnelheden boven 8 m/s komen het minst voor in bovengenoemde periodes in vergelijking met de rest van de tijd. 8 m/s wordt in literatuur genoemd als een drempelwaarde voor eolisch transport van zand voor het strand bij Egmond (Hage et al., 2018).

Afbeelding 3.4: Windrozen per meetperiode tussen T1 (05-2015) en T9 (03-2018), op basis van gegevens van IJmuiden



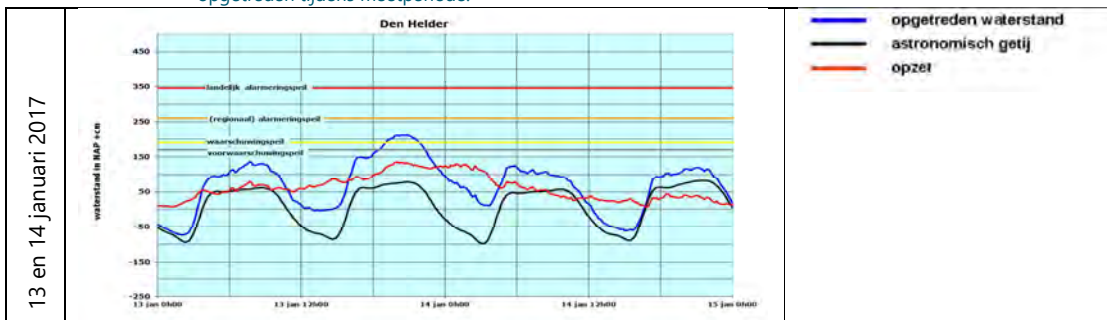
Afbeelding 3.5: Relatieve wind per periode ten opzichte van maximum (T7)



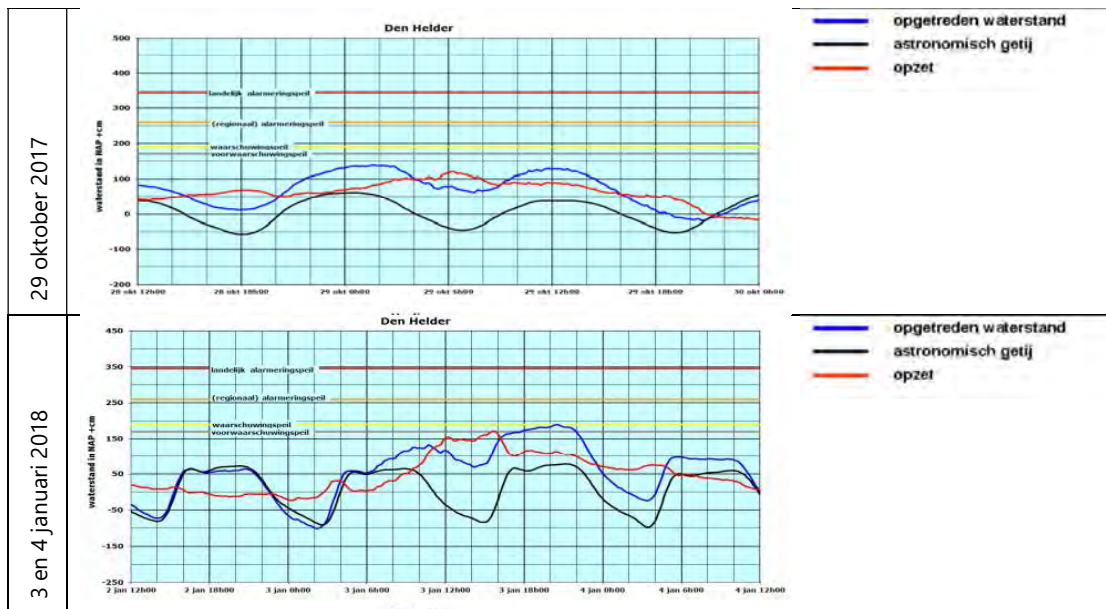
3.4.3 Waterstanden

Mariene processen kunnen de geometrieontwikkeling van het duin beïnvloeden. Dat geldt met name voor duinafslag tijdens stormen met verhoogde waterstanden (stormvloed). In de meetperiode van de HD zijn er 25 gebeurtenissen geweest waarvoor Rijkswaterstaat een stormvloedflits heeft uitgebracht⁶. Van 3 gebeurtenissen is ook een stormvloedrapportage uitgebracht, waarbij op minstens één van de basislocaties van Rijkswaterstaat het grenspeil overschreden is en daarmee sprake was van een stormvloed. Bij de kust van de HD, gelegen tussen meetlocatie Den Helder en IJmuiden heeft bij deze gebeurtenissen geen overschrijding van het grenspeil plaatsgevonden. Het grenspeil bij meetstation Den Helder is 2,30m+NAP. De maximale waterstand tijdens deze gebeurtenissen bij meetlocatie Den Helder waren, 2,11 m+NAP (13/14-01-2017), 1,39 m+NAP (29 oktober 2017)) en 1,90 m+NAP (3/4-01-2018) (afbeelding 3.6).

Afbeelding 3.6: Opgetreden en astronomische waterstanden en opzetten bij Den Helder voor 3 stormvloeden die zijn opgetreden tijdens meetperiode.



⁶ <https://waterberichtgeving.rws.nl/water-en-weer/verwachtingen-water/water-en-weerverwachtingen-waternoordzee/stormvloedrapportages>



3.4.4 Zandvangers

Bas Arens e.a. hebben met behulp van zandvangers de verstuiving en zoutspray in het gebied in kaart gebracht. In 2013 is het meetprogramma met zand- en zoutvangers gestart (Arens et al., 2017). De nulmeting heeft geduurd van 2013 tot maart 2014, toen de werkzaamheden van start gingen. In het gebied achter de HD is in 5 zandvangtransecten zandverstuiving gemeten over de periode 2013-2017 (afbeelding 3.7).

Afbeelding 3.7: Locatie van de zandvangers: transecten 6 (Noord) t/m 10 (zuid) achter de HPZ.



Het is belangrijk op te merken dat de metingen met de zandvangers verschillende hiaten vertonen. Dit hangt mede samen met het feit dat met de zandvangers per locatie maar op één punt wordt gemeten, en de meting makkelijk verstoord kan raken. Er verdwijnen regelmatig zakjes uit de zandvangers, en daarnaast heeft het reservoir een beperkt volume. Een meer gedetailleerde beschrijving van de methode kan worden gevonden in (Arens et al., 2017).

Tabel 3.2: Gegevens over de zandvangers per jaar en per regio (Arens et al. 2017)

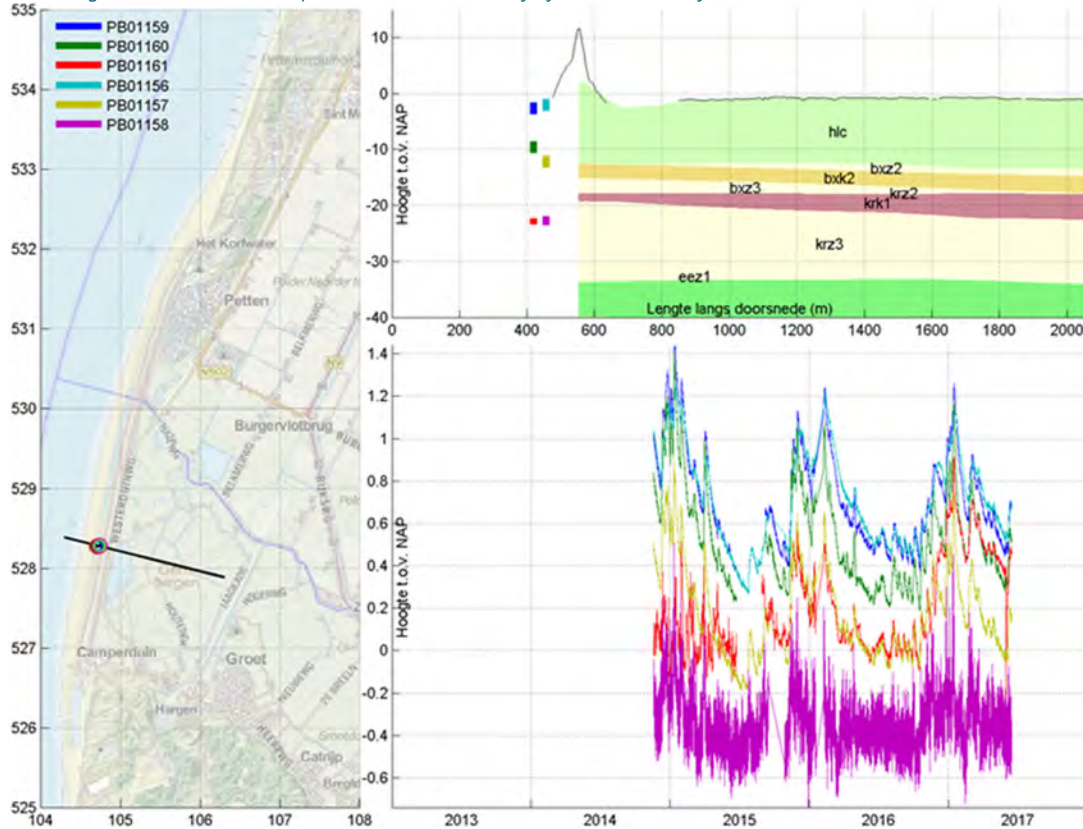
locatie	#	totaal aantal vangers x opnamen			aantal zakjes weg			aantal vangers vol			aantal vangers leeg		
		2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
		23x	26x	26x									
Petten	17	391	442	442	9	29	11	1	7	5	273	207	297
HPZ	22	506	572	572	18	20	18	0	0	0	442	422	517
Schoorl	16	368	416	416	12	36	12	2	3	3	269	179	289

3.4.5 Grondwater

Grondwatermetingen worden in opdracht van HHNK uitgevoerd door Artesia. Caljé en Schaars (2017) toont dat de freatische grondwaterstanden in het nieuwe duin gemiddeld 0,7 m +NAP bedragen. In afbeelding 3.8 is het verloop van deze freatisch grondwaterstand en de stijghoogten in diepere filters zichtbaar. De freatische grondwaterstand was direct na de suppletie ca. 2 m + NAP. Na het "uitzakken" van het

suppletiewater is dat nu gedaald naar een peil tussen 1 en 0,5 m +NAP, afhankelijk van het seizoen. Nieuwe meetdata moeten zichtbaar maken of dit grondwaterregiem nog verder zal dalen.

Afbeelding 3.8: Grondwaterverloop in het nieuwe duin vlakbij bij de duinvallei (Caljé en Schaars, 2017).



3.4.6 Saliniteit duinvallei

Tijdens de veldbezoeken (zie paragraaf 3.6) wordt op twee locaties een monster genomen van het water in de vochtige duinvallei (met uitzondering van december 2015 toen er één monster is genomen). Over het algemeen wordt één monster ongeveer halverwege de duinvallei genomen (dammetje of voet huisje), en één in het meest zuidelijke deel van het waterlichaam. Dezelfde dag worden de watermonsters in het laboratorium van WMR geanalyseerd en het zoutgehalte van de monsters vastgesteld. Zoet water heeft een saliniteitswaarde van < 0,5 promille, terwijl 30-35 promille als zout water wordt gekwalificeerd. Tussentijdse waarden worden aangeduid met brak (0,5-1 promille) en zilt (1-30 promille). Sinds 2015 zijn er ieder jaar twee metingen uitgevoerd, resulterend in elf monsters (zie tabel 3.3). Saliniteitswaarden kunnen tussen seizoenen schommelen onder invloed van het weer: neerslag in het najaar/winter verlaagt de saliniteitswaarden (verlenging), terwijl warme, droge zomers de waarden weer kunnen laten toenemen (indamping). Dit was zichtbaar in de saliniteitswaarden tussen de drie opeenvolgende najaaren en zomers wanneer de waarden relatief constant zijn gebleven. In het volgende najaar was het water telkens weer flink verzoet, waarna de saliniteitswaarde weer constant bleef tot in de navolgende zomer. Gedurende de tijd (2015-2018) is de saliniteit afgenomen en is het water in de duinvallei duidelijk aan het verzoeten.

Tabel 3.3: Saliniteitswaarden water van de vochtige duinvallei Hondsbossche Duinen tussen 2016-2018

Datum bemonstering	Locatie duinvallei					
	Halverwege (voet huisje)		Halverwege (voormalig dammetje)		Zuid	
	Promille	mg/liter	Promille	mg/liter	Promille	mg/liter
7 december 2015	20,91	11581				
8 augustus 2016	20,06	11110	20,03	11094		
14 december 2016	8,54	4730	7,54	4176		
12 juli 2017			8,08	4475	8,05	4459
20 december 2017			2,29	1268	2,27	1257
4 juni 2018			2,02	1119	1,97	1091

3.4.7 Grind- en schelpenbedekking

Om grind- en schelpenbedekking te kunnen bepalen uit de luchtfoto's en deze te kalibreren (*ground truthing*) wordt dit handmatig in proefvlakken gemonitord. Daarbij worden de bedekking van kaal zand, schelpen, stenen en totaal aanwezige vegetatie genoteerd in een gebied van circa 4 m² volgens de schaal van Londo, die ook voor de vegetatie wordt gebruikt (zie bijlage III, Tabel III.2). In 2016 en 2017 zijn de metingen van grind- en schelpenbedekking geïntegreerd met de proefvlakken waarin de vegetatiebedekking per soort wordt gemeten (resultaten niet meegenomen).

3.5 Vegetatiemonitoring

De vegetatie is op verschillende manieren gemonitord (jaarlijks, in de eerste of tweede week van september):

Vegetatieopnamen

Jaarlijks is van ieder proefvlak de totale bedekking van de vegetatie geschat, evenals de bedekking van dood materiaal. Vervolgens is een lijst gemaakt van alle soorten die in het proefvlak voorkomen met hun bedekking (geschat aan de hand van de Londo-schaal; bijlage III).

Soortenlijst transecten en oude zeedijk

Naast de vegetatieopnamen is jaarlijks voor ieder transect een soortenlijst gemaakt van de aangetroffen soorten. Daarnaast is een soortenlijst gemaakt van de soorten voorkomend op de oude Hondsbossche en Pettemer zeedijk (zie bijlage IV). Deze dijk valt weliswaar niet binnen het onderzoeksgebied, maar is floristisch interessant, ook omdat soorten van hier zich eenvoudig kunnen verspreiden naar het aangrenzende jonge duingebied.

Vegetatiestructuurkaart

In het kader van een afzonderlijke opdracht van de AC aan WEnR is jaarlijks een vegetatiestructuurkaart opgeleverd. De kaarten zijn gebaseerd op de meest recente en geogerefererde *true color* luchtfoto en opgedeeld in vier deelgebieden. Afbeelding 3.9 laat een deel van de duinvallei zien. De overige kaarten van 2018 zijn opgenomen in bijlage V.

Afbeelding 3.9: Kaartbeeld van de vegetatiekartering natuurzone HD.



3.6 Expertsessies en veldbezoeken

Om de hoogtemetingen goed te kunnen interpreteren is het noodzakelijk om ook in het veld de ontwikkeling van het gebied te volgen. Daarmee kunnen veranderingen die in de metingen worden vastgesteld, beter worden gerelateerd aan omstandigheden en processen in het veld en vice versa. Ook voor het volgen van de vegetatie-/habitatontwikkeling van het gebied zijn de veldbezoeken essentieel.

Twee keer per jaar (einde zomer en vlak voor de winter) wordt daarom een veldbezoek georganiseerd waarbij de ontwikkeling van het gebied in ogenschouw wordt genomen en besproken. Veldbezoeken hebben plaatsgevonden op:

- 1 juli 2015;
- 9 december 2015;
- 8 augustus 2016;
- 14 december 2016;
- 12 juli 2017;
- 20 december 2017;
- 4 juni 2018.

Aanwezig zijn experts van alle themalijnen, een vertegenwoordiger van HHNK en een externe duinexpert (Bas Arens). Daarnaast worden soms nog andere betrokkenen uitgenodigd, bijvoorbeeld van de AC. Elke keer worden zoveel mogelijk dezelfde locaties in het gebied bezocht. Van elk veldbezoek wordt een verslag gemaakt dat als afzonderlijk product wordt opgeleverd (dat wil zeggen: niet als onderdeel van deze rapportage)⁷. Daarin worden ook de foto's getoond die tijdens de sessies (en eventueel andere veldbezoeken) worden gemaakt om de ontwikkeling van de HPZ in tijd en ruimte vast te leggen.⁸

Afbeelding 3.10: Halfjaarlijks veldbezoek (20/12/2017, foto: Bert van der Valk)



3.7 Belevingsonderzoek & interviews

Er zijn drie inventariserende belevingsonderzoeken uitgevoerd:

1. Omgevingsmanagers van Van Oord, Boskalis, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en provincie Noord-Holland zijn geïnterviewd. De verslagen zijn samengevat en gebundeld.
2. Er is een verkenning uitgevoerd bij andere afgeronde kustversterkingsprojecten waarbij gekeken is of deze projecten ook en zo ja hoe, geëvalueerd zijn op het thema beleving.
3. De ruim 50 zienswijzen op het uiteindelijke plan voor de nieuwe zeewering geanalyseerd.

Daarnaast zijn de gebruikers van het gebied geïnterviewd om data te verzamelen over de ervaren stuifhinder (zie Tabel 3.4).

⁷ De verslagen van alle veldbezoeken zijn te vinden op de data repository van dit project:

https://repos.deltares.nl/repos/hpz/trunk/docs/reports/field_reports

⁸ Het gebruik van een webcam of timelapse-camera is onderzocht maar bleek niet kosteneffectief te zijn. In overleg is besloten om van de inzet van deze techniek af te zien.

Tabel 3.4: Overzicht geïnterviewde gebruikers.

Organisatie	Naam	Functie	Datum
Gemeente Bergen	Willem Taal	Strandcoördinator	08-08-2018
Gemeente Schagen	Gerard Glas	Gebiedsbeheerder kust	08-08-2018
Hoeve Camperduin	Joari Kroon	Eigenaar	20-07-2018
Hoogheemraadschap Hollands Noorder Kwartier	Marjan Duiveman en Martien Witte	Beleidsadviseur Beheerder zandige kust	25-06-2018
Natuurmonumenten	Marcel Groot	Beheerder	08-08-2018
Provincie Noord-Holland	Hans Eikelenboom	Beleidsadviseur waterveiligheid	18-07-2018
Strandpaviljoen Struin	Eva	Eigenaar	07-08-2018
Boskalis	Harmen Toes	Projectleider	13-09-2018
Camperduin	Johan Mekken	Bewoner	17-10-2018

De verslagen van de interviews zijn opgenomen in de rapportage rondom stuifhinder (EcoShape, product C3 - 1, 2018). Hierbij dient te worden opgemerkt dat getracht is om een diverse en relevante groep betrokkenen te spreken. Het was binnen dit onderzoek echter niet mogelijk alle partijen te betrekken. Daarom geven de resultaten wel een indruk van de diversiteit in beleving en de elementen die belangrijk worden geacht, maar is het beeld niet compleet.

3.8 Brainstormsessies ('samenwerkdagen')

Ter bevordering van de synthese tussen de verschillende themalijnen werden gemiddeld twee keer per jaar zogenaamde samenwerkdagen georganiseerd op kantoor van een van de partners. Van deze sessies zijn individuele aantekeningen, actielijsten en in enkele gevallen uitgewerkte verslagen gemaakt.

3.9 Dataopslag

De data zijn opgeslagen op een repository die alleen voor deelnemers van het EcoShape-project toegankelijk is: <https://repos.deltares.nl/repos/hpz/trunk/>. Incidenteel zijn databestanden gedeeld met andere partijen, zoals studenten van HHNK.

Na volledige afronding van het project zullen de data openbaar worden en in te zien zijn via https://data.4tu.nl/repository/collection:hondsbossche_dunes.

4

GEOMETRIE-ONTWIKKELING

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk richt zich op het beschrijven van de ontwikkeling van de geometrie van het strand en de duinen van het gebied van de HD. De analyse is uitgevoerd aan de hand van de volgende drie onderzoeksvragen:

1. *Hoe groot is het totale zandvolume dat accumuleert in het duingebied als gevolg van eolisch transport? (§4.3)*
2. *Wat is het effect van vormgeving van het duin op verstuiving en depositie (voor zover hier generieke conclusies aan te verbinden zijn)? (§4.4)*
3. *Wat is het effect van maatregelen in het duin op verstuiving en depositie (voor zover hier generieke conclusies aan te verbinden zijn)? (§4.5)*

De resultaten van de analyse van de geometrie-ontwikkeling worden uitgebreid toegelicht in de rapportage: 'Analyse effecten maatregelen' (product B2 - 2). In dit hoofdstuk wordt de geometrie-ontwikkeling van het studiegebied beknopt beschreven en worden de belangrijkste en meest relevante bevindingen voor de habitat- en vegetatieontwikkeling besproken.

4.2 Totale accumulatie als gevolg van eolisch transport

In deze paragraaf wordt ingegaan op de vraag hoe groot het totale zandvolume is dat accumuleert in het duingebied als gevolg van eolisch transport. Daarbij wordt eerst gekeken naar de totale volumebalans (§4.2.1), gevolgd door de verdeling kustlangs (§4.2.2) en kustdwars (§4.2.3). Tot slot wordt gekeken naar de aanzanding in de vochtige duinvallei (§4.2.4).

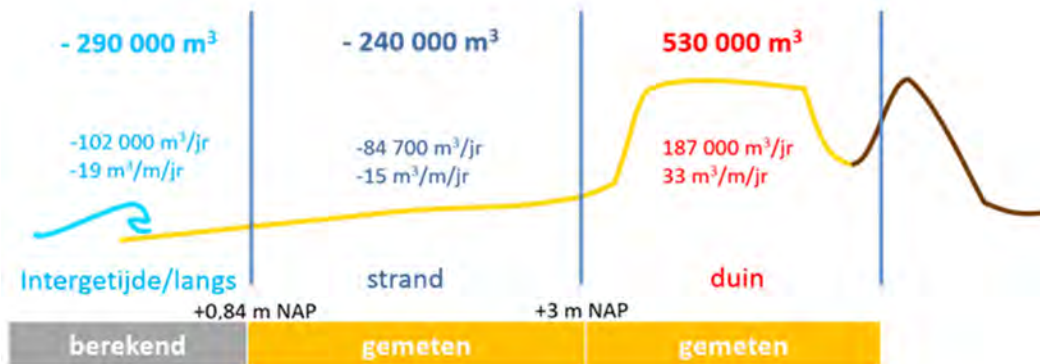
Daarnaast wordt gekeken in welke mate de zandvraag als gevolg van zeespiegelstijging, bodemdaling en eolisch verlies gecompenseerd wordt door eolische depositie.

4.2.1 Volumebalans

Het duin zandt aan, het strand erodeert (netto erosie door mariene en eolische processen). Het valt op dat de strandbreedte sneller afneemt dan dat de duinvoet zich in zeewaartse richting verplaatst. De positie van de duinvoet blijft redelijk constant na de eerste twee LiDAR-metingen, terwijl de strandbreedte geleidelijk blijft afnemen. Het gemiddelde profiel wordt daardoor langzaam steiler.

Het totale volume zand dat het duin inwaait, bedraagt 530.000m^3 over de gehele onderzoeksperiode ofwel $33\text{ m}^3/\text{m}/\text{j}$. Dit komt voor 45% van het strand (afbeelding 4.1). De overige 55% moet van de vooroever en het intergetijdengebied en van buiten het onderzoeksgebied (langsrichting) komen. Een dergelijke verhouding is in overeenstemming met observaties op de Zandmotor, waar ook slechts ongeveer 50% van de eolische depositie kan worden verklaard vanuit de volumeafname op het strand (Hoonhout en De Vries 2017a en 2017b).

Afbeelding 4.1: Totale volumeverandering in een schematische weergave in dwarsdoorsnede van de Hondsbossche duinen.



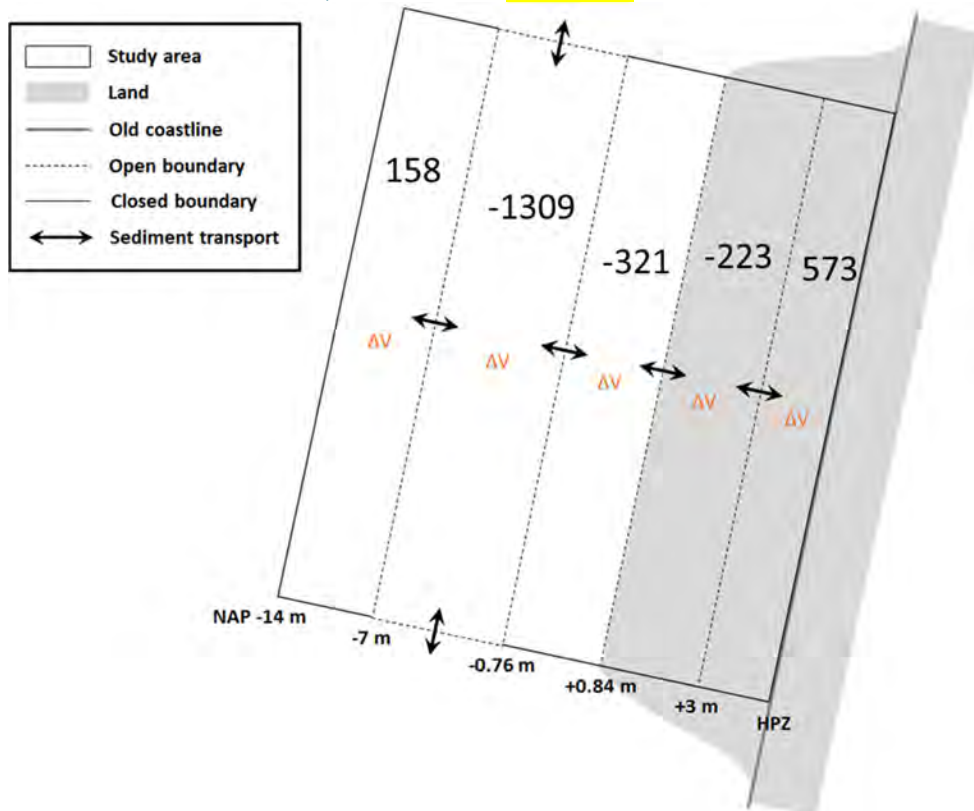
Bovenstaande wordt bevestigd door data onder water op de Jarkusraaien. Op basis van de volumeanalyse op dwarsprofielen van Jarkusraaien is de totale volumebalans voor de HD opgenomen in tabel 4.1 en afbeelding 4.2. De getallen zijn iets anders dan de getallen hierboven doordat onderstaande getallen op andere data gebaseerd zijn en anders zijn berekend.

De volumebalans laat zien dat er onder water inderdaad sediment verdwijnt en dat dit als mogelijke bron dient van het zand dat de duinen inwaait. De balans is niet sluitend en laat zien dat er netto een volumeafname van ongeveer 1,1 Mm³ optreedt uit het gebied tussen de NAP -14 m dieptecontour en de oude zeedijk van de HPZ. Dit verlies treedt op als gevolg van langtransport naar gebieden ten noorden en ten zuiden van het studiegebied. Het totale aangroevolume in de duinen is ongeveer 1/3 van de verliezen onder water en op het strand.

Tabel 4.1: Volumeverandering (afgerond op 1000 m³) per profieltype van ondiepe vooroever, intergetijdengebied, strand en duin op basis van Jarkusraaien over de periode 2015 – 2017 (Bron, Pak, 2018)

Profieltype	Ondiepe vooroever	Intergetijdengebied	Strand	Duin
2N	-130	-49	-47	41
3N	-179	-27	-61	70
4	-496	-81	-29	238
3Z	-226	-104	-13	169
2Z	-200	-46	-72	55
Total	-1,309	-320	-223	573

Afbeelding 4.2: Totaal volumeverandering (in 1000 m³) van ondiepe vooroever, intergetijdengebied, strand en duin op basis van Jarkusraaien over de periode 2015 – 2017 (Bron, Pak, 2018)



4.2.2 Verdeling kustlangs

Er is een duidelijke afnemende trend te zien in de duinaangroei van zuid naar noord (afbeelding 4.2). In het zuiden (P3Z en P4) komen aangroevolumes tot 120 m³/m/jaar voor, terwijl dat in het noorden (P2N en P1) 10 - 50 m³/m/jaar is. Er lijkt een seizoenstrend zichtbaar in de duinaangroeisnelheid: in de zomer is de wind relatief mild en is ook de snelheid van duinaangroei lager. Dit wijst op een verband tussen de windsnelheid, stormen en duinaangroei. De wind is langs het gehele duingebied min of meer gelijk en is op zichzelf geen verklaring voor de geobserveerde noord-zuid verschillen.

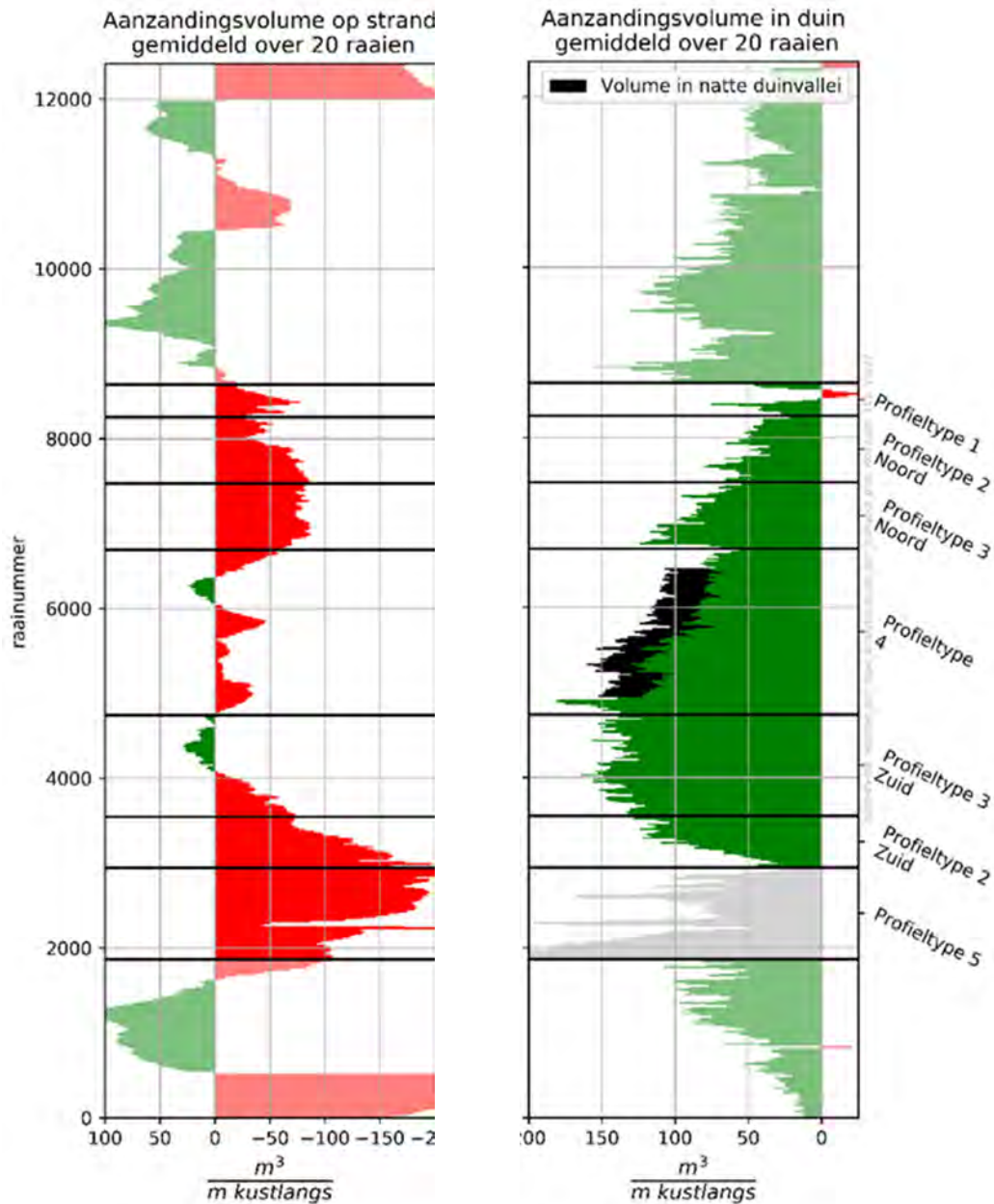
Uit de analyses komt naar voren dat over de meetperiode van deze studie met name kustoriëntatie, en mogelijk de korrel diameter van invloed zijn op (de verschillen in) het aanzandingsvolume in het duingebied. Dit zijn factoren die bepalend zijn voor het aanbod van zand voor duinaangroei. Op basis van de potentiële transportcapaciteit voor zand de duinen in, kan worden gesteld dat de kustoriëntatie ongeveer 1/3-deel van het waargenomen verschil in duinaangroei tussen noord en zuid kan verklaren. De bijdrage van andere factoren kon niet gekwantificeerd worden.

De strandbreedte speelt ook een rol in het aanbod - als het strand breder is, is de oppiklengte groter, waardoor meer sediment wordt opgepikt om richting het duin te transporteren. In de meetperiode is deze variabele nog niet de meest bepalende voor de aanzanding. Ook bij de smallere stranden lijkt de strandbreedte bij de HD nog niet beperkend voor het sedimentaanbod. Mogelijk zal dit in de toekomst veranderen als er zich meer een evenwichtsprofiel heeft ontwikkeld.

Factoren die de invangcapaciteit kunnen beïnvloeden, zoals het type dwarsprofiel, lijken minder van invloed op de geobserveerde kustlangse variatie van de duinaangroei. Over het algemeen zijn de taluds aan de zeewaartse duin vrij flauw, waardoor er weinig lokale afbuiging is van de wind en het zand overal goed de duinen inwaait. De precieze vorm van het profiel speelt dan minder een rol. Mogelijk speelt het moment van helmaanplant wel een rol in de invangcapaciteit van de duinen in het noordelijke deel van de HD.

In dit project constateren we dat het intergetijdengebied een belangrijke bron van zand is, waarbij wordt geconstateerd dat dit zich in het studiegebied niet uit in een relatie tussen de breedte van het intergetijdengebied en de mate van aangroei van de duinen. Op basis van de resultaten kan echter ook niet worden geconcludeerd dat deze relatie er niet is. Daarvoor is de monitoring periode te kort en de gegevens op basis waarvan de analyse is gedaan te grof.

Afbeelding 4.2: Totale accumulatie op het strand (links) en in het duin (rechts). Heldere kleuren: raaien binnen projectgebied.

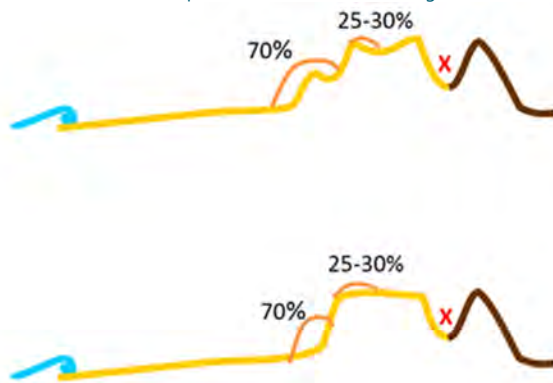


4.2.3 Verdeling kustdwars

In de kustdwarse richting komt het zand vooral terecht op de zeewaartse zijde, op het onderste deel van het duin (tot NAP + 6m, ongeveer 70% van het totale volume). Ongeveer 25% kwam hoger op het talud boven en op de kruin terecht, en dan met name aan de zeewaartse zijde. Er stooft nauwelijks zand door richting de oorspronkelijke HPZ (afbeelding 4.3).

Het feit dat de meeste accumulatie relatief laag en op de zeewaartse delen is geconcentreerd, is fysisch gezien logisch aangezien het meer energie kost om het zand hoger op het duin te krijgen. Daarnaast is een groot deel van de wilgenschermen laag in het profiel geplaatst, rond de duinvoet, waardoor hierin extra gestuurd wordt en het effect wordt versterkt. Verder is tijdens de aanlegfase papierpulp gebruikt om verstuiving te beperken. Mogelijk heeft dit het doorwaaien van zand in de eerste fase – waar nog geen vegetatie was ingeplant – zeer beperkt. Hier zijn geen specifieke metingen naar gedaan.

Afbeelding 4.3: Schematische accumulatieverdeling; deze is gelijk voor profielen met een laag en hoog duin (boven) en voor profielen met alleen een hoog duin (onder)

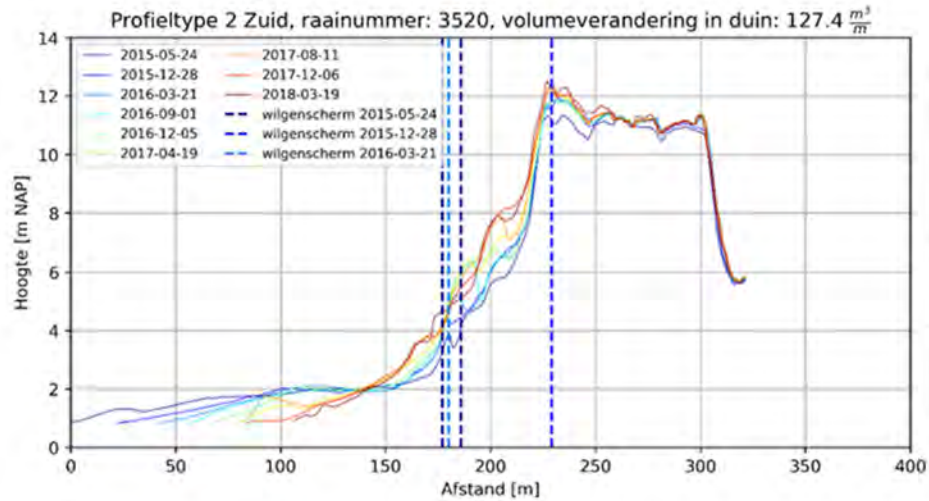


Noord-zuid verschil

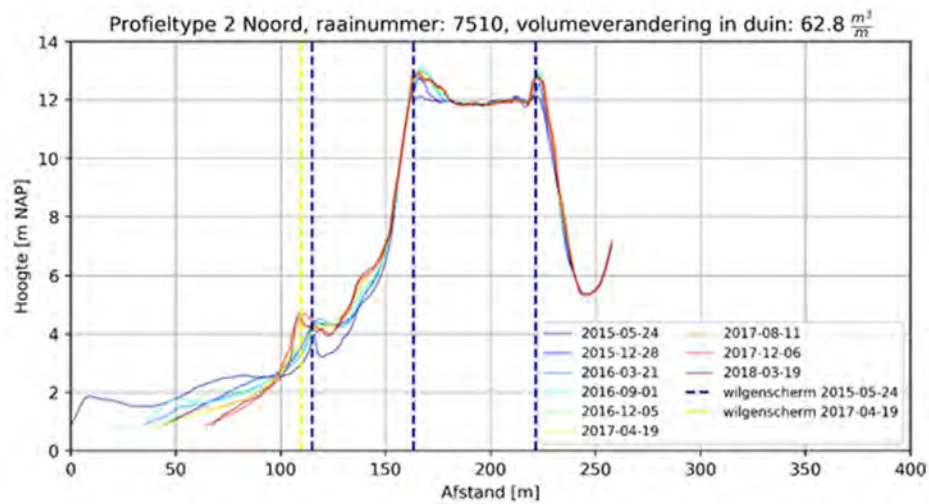
Er zijn twee noord-zuid verschillen onderscheiden. Allereerst is de accumulatie over het algemeen hoger in het zuiden dan in het noorden, zoals eerder beschreven. Daarnaast vindt de accumulatie in het noorden over het algemeen lager in het profiel plaats dan in het zuiden. Dit blijkt uit de vergelijking van P3Z met P3N en P2Z met P2N (afbeelding 4.4 en afbeelding 4.5).

Het verschil in oriëntatie tussen het noorden en het zuiden is ongeveer 10-15 graden. De kustoriëntatie ten opzichte van de dominante windrichting speelt hier een rol doordat zand bij een meer loodrechte windinval op het profiel verder omhoog getransporteerd wordt. Bij schuine inval zal een groter deel van het zand kustlangs worden getransporteerd.

Afbeelding 4.4: Profielontwikkeling profieltype 2 Zuid, raai 3520



Afbeelding 4.5: Profielontwikkeling profieltype 2 Noord, raai 7510



Accumulatieverdeling in de tijd

Accumulatie op de kruin van het hoge duin treedt voornamelijk over de eerste meetperiode op (zie ook afbeelding 4.4 en afbeelding 4.5). Daarna treden er overwegend alleen nog kleine hoogteveranderingen op in dit gebied. Dit lijkt een gevolg van een grotere invangcapaciteit in de lagere delen. Dit kan veroorzaakt zijn door de ontwikkeling van vegetatie en de plaatsing van wilgenschermen (menselijk ingrijpen).

4.2.4 Vochtige duinvallei

De accumulatie in de vochtige duinvallei is bepaald op basis van een aantal raaien waarvoor wel metingen onder water beschikbaar is (afbeelding 4.8; links: data en rechts: de locaties). Naast de as-built meting van het onderwatergedeelte, is een aantal raaien in de duinvallei twee keer gemeten met GPS. Dit geeft twee perioden waarover volumeveranderingen op deze raaien bepaald kunnen worden, die ongeveer overeenkomen met de eerste twee jaren na de eerste meting.

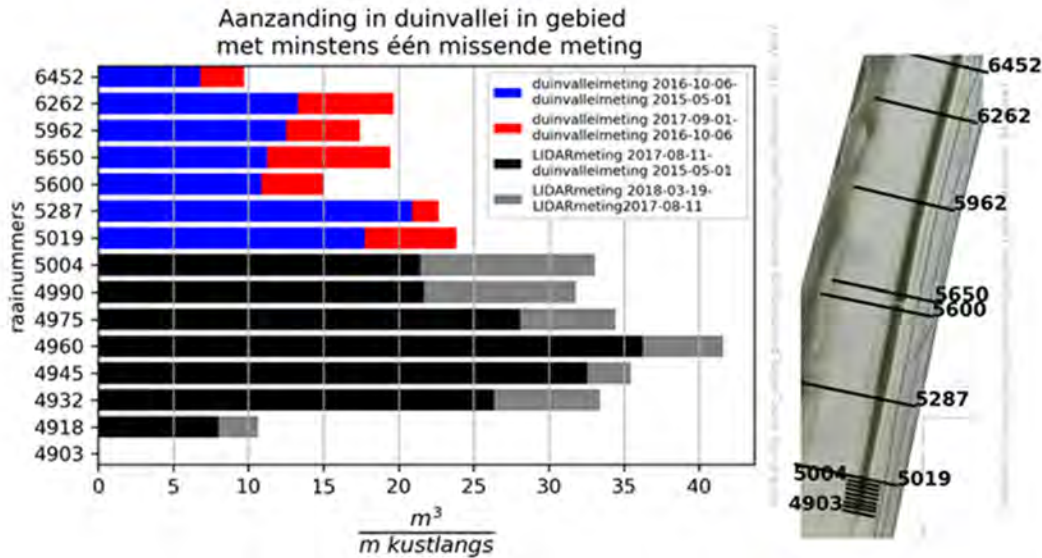
De zevende LiDAR-meting valt ongeveer samen met de laatste GPS-meting. In deze en de negende LiDAR-meting is ook het zuidelijkste stuk van de duinvallei gemeten omdat dit ten tijde van de meting droog was. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om in detail het meest zuidelijke stuk van de duinvallei te bekijken en een

grotere periode te analyseren. In dit meest zuidelijke gedeelte zijn ook raaien gedefinieerd en daarop de volumeveranderingen bepaald. Deze raaien zijn ook aangegeven in afbeelding 4.6.

Het accumulatievolume in de vochtige duinvallei is ongeveer $30 \text{ m}^3/\text{m}$ kustlangs (afbeelding 4.6). De accumulatie is het grootst in het begin, tussen meting 1 en 2 in de duinvallei. Het volume neemt toe richting het zuiden tot raainummer 4960. Daarna neemt de breedte van het natte gebied af. Hierdoor neemt ook het accumulatievolume af. Hetzelfde geldt in het noorden voor raainummer 6452.

Op basis van deze analyses wordt in het vervolg rekening gehouden met ongeveer $30 \text{ m}^3/\text{m}$ accumulatie in de duinvallei tussen raainummers 4932 en 6452.

Afbeelding 4.6: Accumulatie in de duinvallei in gebied met minstens één missende meting



4.3 Effect grootschalige geometrie

Uit deze studie komt naar voren dat over de afgelopen meetperiode de grootschalige geometrie van het duinprofiel (het profieltype) op zichzelf geen verklarende factor voor de mate van aanzanding (accumulatie) is. Op basis van alleen het profieltype zijn de geobserveerde patronen in aanzanding niet te verklaren.

Met name de kustoriëntatie is van invloed op de aanzanding in het gebied van de HD. Als de kust haaks op de dominante windrichting georiënteerd is, is de transportcapaciteit van wind voor sediment in kustdwarse richting groter en kan meer sediment in het duingebied belanden.

Voor de strandbreedte en het intergetijdengebied is een minder duidelijk verband te zien met de aanzanding van de duinen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de aanzanding voornamelijk verklaard wordt door de transportcapaciteit. Ook de relatief smallere delen van het strand vormen nog geen belemmering voor de sedimentbeschikbaarheid en daarmee is een duidelijk verband tussen deze parameters nog niet gevonden. Mogelijk dat dit in de toekomst verandert als er zich meer een evenwichtsprofiel, met een smaller strand, heeft ontwikkeld.

Aan het eind van de meetperiode lijkt in het zuiden van de HD (bij profieltype 2Z) de strandbreedte wel van invloed op de aanzanding. Op basis van alleen de oriëntatie zou bij dit profieltype, bij voldoende sediment beschikbaar namelijk meer aanzanding te verwachten zijn. Mogelijk dat de smallere strandbreedte de sedimentbeschikbaarheid beperkt. In maart 2018 heeft in het zuiden van de HD een suppletie plaatsgevonden. Op basis van de bevindingen in dit rapport is de verwachting dat de aanzanding in profieltype 2Z toeneemt als gevolg van deze suppletie.

Uit de volumeanalyses is geconcludeerd dat het intergetijdengebied bij de HD een belangrijke bron van sediment vormt voor de aanzanding van het duin. Dit komt overeen met bevindingen van Hoonhout en de Vries (2017a en b) bij de Zandmotor. Op basis van de analyses in dit hoofdstuk is er geen eenduidig beeld van de relatie tussen de breedte van intergetijdengebied en aanzanding van het duin. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat zo kort na de aanleg van de HD er nog geen evenwichtsprofiel heeft ingesteld, en dat er sprake is van veel kustlangse mariene processen in het intergetijdengebied. We merken ook op dat het studiegebied mogelijk te klein is en de meetreeks van drie jaren van JARKUS-raaien te kort en grof is om dergelijke trends te ontdekken.

De rol van de korreldiameter en aanleg van helm spelen mogelijk ook een rol spelen bij de aanzanding van het duin. Dit is voornamelijk gebaseerd op observaties. De korreldiameter is kleiner in het zuiden, waar meer aanzanding heeft plaatsgevonden dan in het noorden. Voor wat betreft de helmaanplant geldt dat er minder aanzanding is te zien in de profieltypen met minder vitale helm (profieltype 2N en 3N). Daarbij wordt opgemerkt dat in 3N in delen met veel aanzanding de helm ook vitaler is, terwijl de helm op hetzelfde ongunstige moment is ingeplant als in omliggende gebieden. Mogelijk bepaalt vooral de mate van instuiving de vitaliteit van de helm.

4.4 Effect maatregelen

Er zijn verschillende typen maatregelen toegepast om het zand ofwel vast te houden (doelen: vasthouden voor veiligheid en beperken van hinder) of lokaal te laten verstuiven ten behoeve van ecologische ontwikkeling. Het gaat hierbij om (afbeelding 4.7):

1. luwe laagtes: lokale verdieping om zand in te vangen en lokaal zand te laten verstuiven (§4.4.1);
2. wilgenschermen: om zand in te vangen (§4.4.2);
3. vegetatie: om zand vast te houden en in te vangen, voornamelijk helmgras of vergelijkbare soorten (§4.4.3).

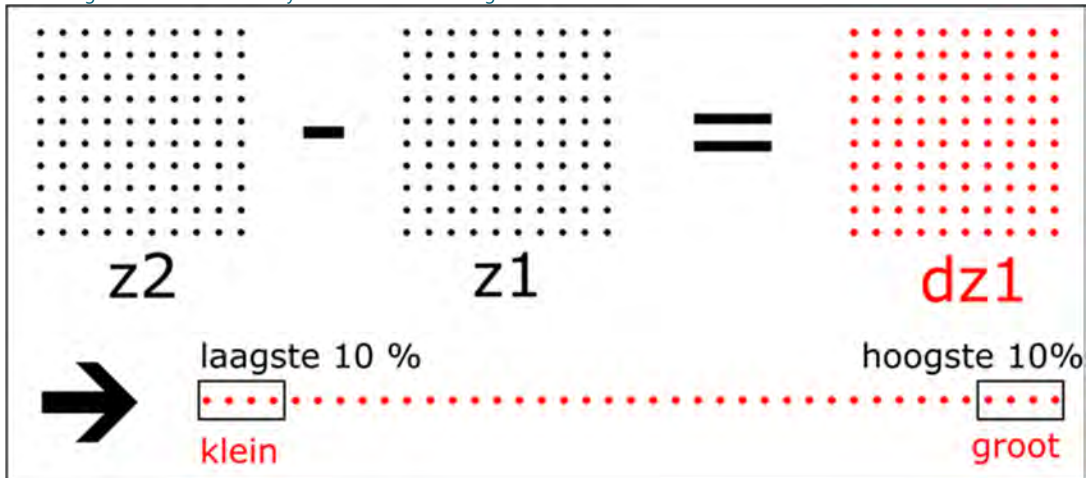
Afbeelding 4.7: links: wilgenschermen; rechts: luwe laagtes. In beide figuren is helmgras zichtbaar.



4.4.1 Luwe laagtes

Op de kruinen van de duinen zijn luwe laagtes toegepast: lokale, onbeplante verdiepingen. De focus van de analyse ligt op de invloed van de luwe laagtes op de lokale dynamiek en gemiddelde aanzanding. Lokale dynamiek is gedefinieerd als het verschil in hoogteverandering binnen een luwe laagte en is bepaald als het verschil tussen het gemiddelde van de kleinste en grootste 10 procent van de veranderingen tussen twee metingen (afbeelding 4.8). Een luwe laagte kan dus veel lokale gemiddelde aanzanding hebben maar weinig lokale dynamiek of andersom. Er zijn ook referentiegebieden gedefinieerd om te kijken of het geobserveerde gedrag wel door de luwe laagtes komt.

Afbeelding 4.8: Definitie lokale dynamiek in een luwe laagte



Luwe laagtes zorgen voor meer dynamiek, zowel bij de onderzochte luwe laagtes bij profieltype 2 Zuid (P2Z) als profieltype 2 Noord (P2N). Dit komt doordat ze het lokale windpatroon beïnvloeden, wat leidt tot aanzanding aan de zeewaartse zijde waar de windsnelheid plotseling afneemt, en erosie aan de landzijde door turbulentie en versnelling van de wind. Als ze dieper zijn aangelegd is dit effect groter. Er is ook meer dynamiek in de laagtes die dicht bij de duinvoet liggen, omdat daar de aanvoer van zand het grootst is.

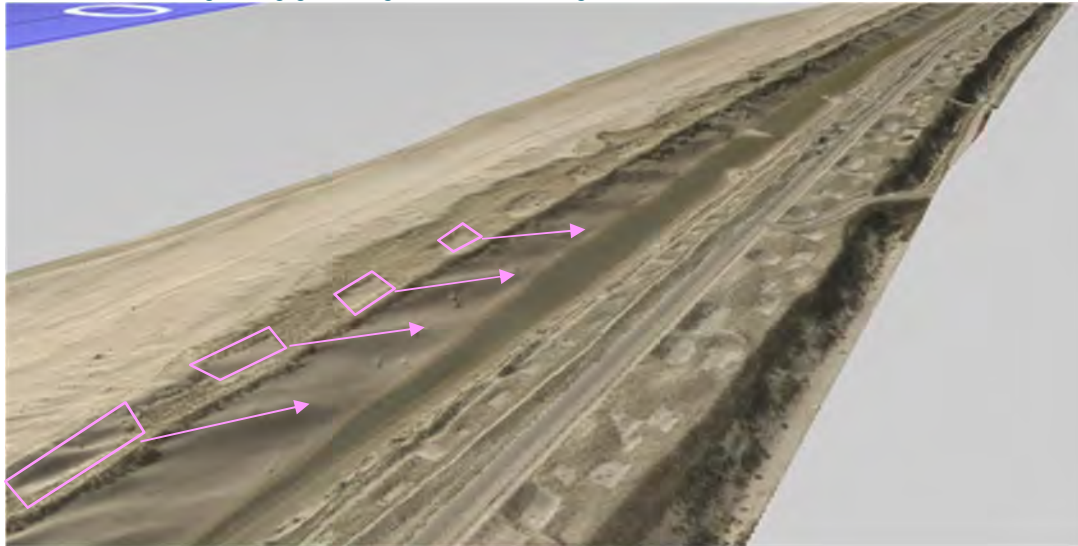
De dynamiek is het grootst tussen de eerste paar LiDAR-metingen. Hierna blijft de dynamiek aanwezig en varieert deze rond een bepaald niveau. Dit niveau is hoger voor initieel diepere luwe laagtes en voor laagtes die dicht bij de duinvoet liggen. De variatie is groter bij profieltype 2 Noord dan bij type 2 Zuid. Het verschil tussen de luwe laagtes en de referentiegebieden is ook minder bij type 2 Noord dan bij type 2 Zuid.

De luwe laagtes in P2Z zorgen voor wat meer gemiddelde aanzanding dan in de referentiegebieden, doordat ze deels opvullen. Dit effect is mogelijk versterkt, doordat in sommige luwe laagtes in P2Z wilgenschermen geplaatst zijn. Dit is gedaan bij de initieel diepere laagtes. In P2N is de aanzanding in de laagtes uiteindelijk ongeveer gelijk aan de aanzanding in de referentiegebieden.

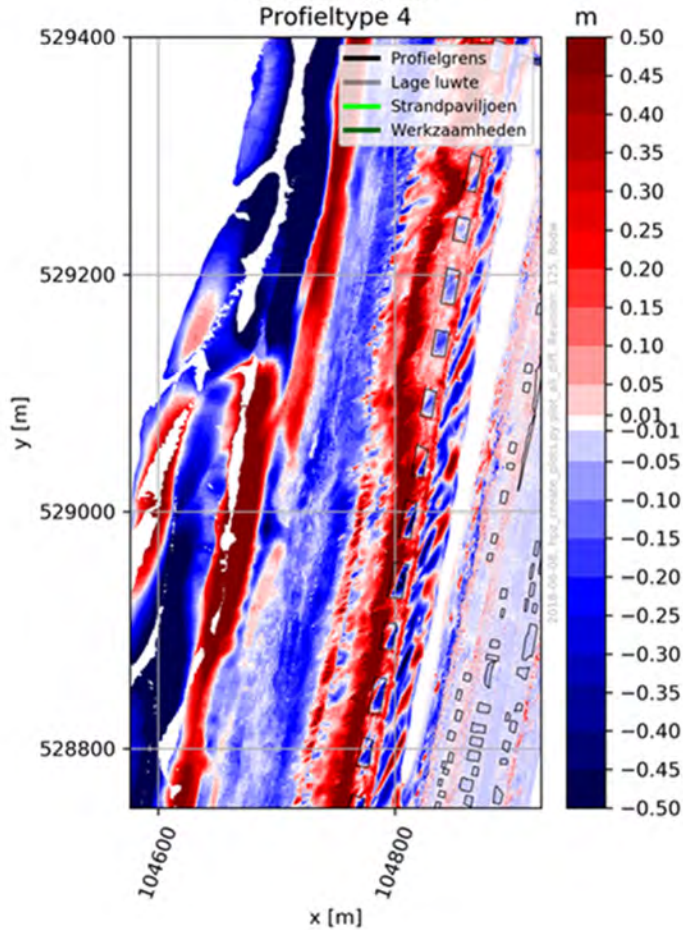
Als de gebieden initieel dieper zijn en als ze dicht bij de duinvoet liggen is de gemiddelde hoogteverandering groter bij P2Z. De invloed van de locatie ten opzichte van de duinvoet is het grootst, vergeleken met de invloed van de aanlegdiepte en het oppervlak. Bij P2N is alleen de locatie van invloed op de mate van aanzanding van de laagtes.

Uit analyse van de luchtfoto's blijkt dat luwe laagtes lokaal het doorstuifpatroon beïnvloeden waardoor lokale dynamiek en differentiatie in hoogteontwikkeling worden gestimuleerd. Dit is zichtbaar bij elke luwe laagte, waarin een lob met zand wordt waargenomen op het binnentalud van het lage duin (zie ook het verschilkaartje). De oriëntatie van de zandlob komt vrij goed overeen met de dominante zuidwestelijke windrichting. Door deze zandlobben is het initieel recht aangelegde binnentalud van de duinvallei inmiddels sterk glooiend geworden.

Afbeelding 4.9 Boven: Luwe laagtes en zandlobben laag duin duinvallei (P4); onder: Vershilkaart luwe laagtes duinvallei, met in geel aangegeven het gebied met de luwe laagtes en de zandlobben aan de benedenwindse kant



Vershil tussen 2017-04-19
en 2017-08-11
Profieltype 4



Samenvattend concluderen wij het volgende ten aanzien van luwe laagtes op de HD:

- 1 Lokale gemiddelde hoogteverandering:
 - o Luwe laagtes vangen in het begin meer zand in dan een "normaal" aangelegd duin;

- Afhankelijk van de zandbeschikbaarheid zorgen diepere luwe laagtes voor meer dan gemiddelde hoogteverandering. Wordt de zandbeschikbaarheid minder dan zal het normaal aangelegde duin inlopen met de hoogteverandering;
 - Dichter bij de duinvoet is er meer gemiddelde hoogteverandering in de luwe laagtes dan verder van de duinvoet af.
- 2 Lokale dynamiek:
- Afhankelijk van de zandbeschikbaarheid zorgen diepere luwe laagtes voor meer dynamiek. Wordt de zandbeschikbaarheid minder dan is de link tussen de initiële diepte en dynamiek minder;
 - Dichter bij de duinvoet treedt meer dynamiek op in de luwe laagtes dan verder daarvandaan;
 - Luwe laagtes beïnvloeden het doorstuifpatroon lokaal wat leidt tot de ontwikkeling van hoogtevariatie rondom de luwe laagtes.
- 3 Aanlegdiepte: Hoogtevariatie in het duin draagt op zichzelf bij aan de lokale dynamiek. Luwe laagtes stimuleren extra lokale dynamiek als ze een grotere hoogtevariatie hebben dan de reeds aanwezige hoogtevariatie in het normaal aangelegde duin. In profieltype 2 Zuid was dit ongeveer 0,8 meter en in profieltype 2 Noord was dit groter, rond 1 m.

4.4.2 Wilgenschermen

Wilgenschermen zijn voor het merendeel op de zeewaartse zijde van het duin en boven op het duin geplaatst. De wilgenschermen zorgen over het gehele profiel voor een snelle hoogteverandering ten opzichte van het omliggende duingebied in het profiel. Op de langere termijn vangen de wilgenschermen meer zand in dan hun omgeving als ze zijn geplaatst op plekken met minder hoogteverandering. Bij veel hoogteverandering in een gebied vangen de wilgenschermen minder of ongeveer evenveel zand in als het omliggende gebied. De schermen werken dus vooral sturend bij weinig zandaanbod. Na invulling van een scherm waait het zand weer door. Om stuifhinder te voorkomen, wordt er dan geregeld een nieuw scherm voor het volle scherm geplaatst, zie bijvoorbeeld afbeelding 4.10.

Afbeelding 4.10: Wilgenschermen op het strand, voor de duinvoet



Samenvattend concluderen wij over de wilgenschermen op de HD:

- Wilgenschermen hebben geleid tot snelle aanzanding tot de hoogte van het scherm (bij voldoende aanvoer van zand). Dit is anders dan bij helmgras, waarbij er een bovengrens bestaat aan de groeisnelheid (max ~1 m/jaar);
- Wilgenschermen werken vooral sturend bij weinig zandaanbod en houden dan duidelijk meer zand vast dan het omliggende gebied;
- Wilgenschermen op het strand bevorderen het laag invangen en vasthouden van zand.

4.4.3 Helmvegetatie als zandvanger

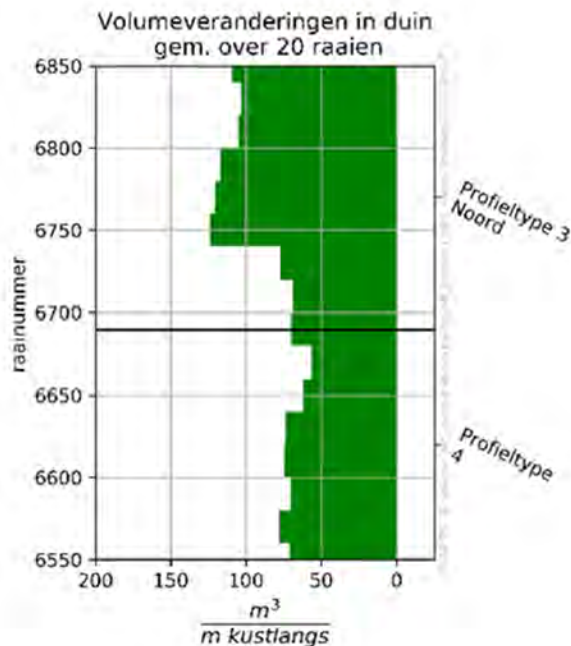
Helmvegetatie heeft op meerdere locaties een belangrijke rol in het invangen van zand en kan gebruikt worden om daarin te sturen.

Effect wel/geen vegetatie

Op de overgang van P4 naar P3N ligt een gebied waar het accumulatievolume lager is dan er direct omheen, gemiddeld over de gehele monitoringsperiode. Dat leidt tot twee 'sprongen' in het kustlangse accumulatievolume (afbeelding 4.2). De zuidelijke sprong wordt veroorzaakt doordat een volume van 30 m³/m voor het natte gedeelte van de duinvallei wordt opgeteld bij de accumulatie volgens de LiDAR-metingen tot en met raainummer 6452. Dit wordt niet geleidelijk afgebouwd, waardoor een kunstmatige sprong in het accumulatievolume ontstaat.

Daarnaast treedt een sprong op in het volume bij de overgang naar profieltype 3, die wel realistisch en daadwerkelijk gemeten is. Deze sprong is gerelateerd aan de vegetatie in dit gebied en wordt hieronder toegelicht en in detail getoond in afbeelding 4.11.

Afbeelding 4.11: Totale volume verandering duin Hondsbossche Duinen met sprong zuiden van Profieltype 4 Noord

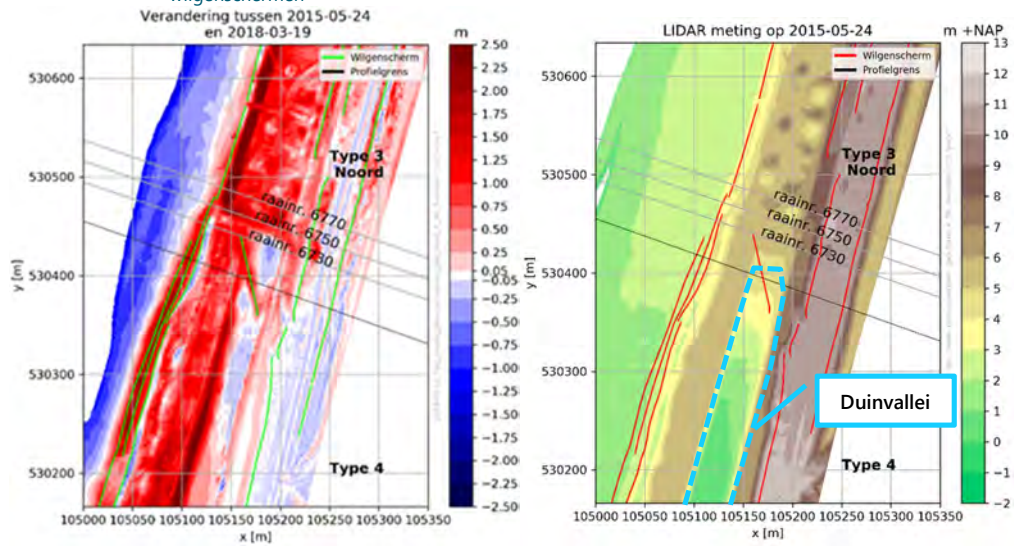


Uit de verschilkaart blijkt dat er erosie optreedt aan de landwaartse zijde van de wilgenschermen zuidelijk van raainummer 6750 en aanzanding bij de wilgenschermen ten noorden hiervan (afbeelding 4.12). Ook is erosie te zien in het noordelijke deel van de duinvallei. Deze erosie treedt op tot net zuidelijk van raainummer 6750. De kustlangse locatie waar deze twee fenomenen niet meer gezien worden is ongeveer gelijk, waardoor de sprong in het accumulatie volume ontstaat.

Het erosieve gebied in de duinvallei valt min of meer samen met het onbegroeide gedeelte, vergelijk afbeelding 4.12 en afbeelding 4.13. De erosie treedt waarschijnlijk op doordat de vegetatie hier ontbreekt. In het gebied met sedimentatie in de verschilkaart zijn de overgangen van beplante naar onbeplante delen duidelijk te herkennen.

Het uitstuiwen van zand is deels tegengegaan door het plaatsen van een wilgenscherm. Het scherm is voor het eerst te zien in de luchtfoto van 21-03-2016, de derde LiDAR-meting. Rond het wilgenscherm is zand ingevangen, maar wat verder daar vandaan komt nog steeds netto erosie voor, gezien over de hele monitoringsperiode.

Afbeelding 4.12: De linker afbeelding geeft de eerste LiDAR-meting voor het gebied rond de overgang van profieltype 4 naar profieltype 3 Noord. De rechter afbeelding geeft de volumeverandering tussen de eerste en laatste LiDAR-meting voor dit zelfde gebied. In beide afbeeldingen staan drie raainummers aangegeven en de wilgenschermen

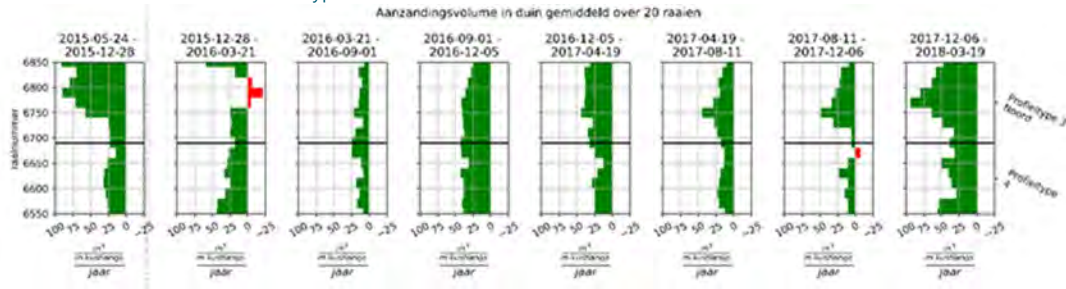


Afbeelding 4.13: Deze afbeelding geeft de luchtfoto van 01-09-2016 rondom de drie 6730, 6750 en 6770. Ook de wilgenschermen zijn aangegeven. Deze luchtfoto is gekozen vanwege het contrast waardoor de vegetatie duidelijk te onderscheiden is



Uit afbeelding 4.14 is op te maken dat de afstand tussen de wilgenschermen en de vegetatie groter is ter hoogte van raai 6730 dan ter hoogte van raai 6750 en 6770. Mogelijk speelt deze afstand een rol in het feit dat er erosie optreedt achter de schermen bij raai 6730 en sedimentatie bij 6750 en 6770.

Afbeelding 4.14: Volumeverandering duin per periode tussen twee LiDAR-metingen voor Hondsbossche Duinen met sprong zuiden van Profieltype 4 Noord



De sprong in accumulatievolume is het grootst in de eerste twee perioden in afbeelding 4.14. Deze afbeelding laat de duinaccumulatie zien per periode tussen twee LiDAR-metingen. Door het plaatsen van het wilgenscherm in het noorden van de duinvallei wordt de sprong in periode 3 en 4 nauwelijks waargenomen. Hierna wordt de sprong wel weer gezien, maar minder in grootte. Dit geeft mogelijk aan dat de effectiviteit van het wilgenscherm in de duinvallei minder wordt en de vegetatie daardoor een belangrijkere rol gaat spelen. Het kan echter ook komen door verschillende perioden van plaatsen van de wilgenschermen.

De vegetatie op het lage duin in P3N is later ingeplant in een relatief ongunstige periode voor helmgras. Het feit dat er toch veel aanzanding optreedt in periode 1, direct na aanplant, suggereert dat ook minder vitale helm geschikt is om zand in te vangen. Door de aanvoer van zand en het meegroeien van de helm, neemt de vitaliteit snel toe.

In paragraaf 4.2.3 werd al beschreven dat het ontbreken van vegetatie tussen de wilgenschermen en het buitentalud van het lage duin in P4 lokaal leidt tot minder aanzanding/erosie, waardoor er minder zand wordt vastgehouden op het buitentalud, ten opzichte van de andere profielen waar de vegetatie dichter tegen de schermen ligt.

Effect inplantpatroon

Uit paragraaf 4.4.1 blijkt dat (de niet-beplante) luwe laagtes lokaal het doorstuifpatroon beïnvloeden waardoor lokale dynamiek en differentiatie in hoogteontwikkeling wordt gestimuleerd. Of de afwezigheid van vegetatie in de luwe laagtes of alleen het verschil in morfologie de doorstuiving bepaalt, is niet vast te stellen.

Effect aangroeisnelheid

Het lage duin en buitentalud zijn maximaal met ongeveer 2-3 m in hoogte toegenomen. Deze waarde komt overeen met een gemiddelde hoogtetoeename van ongeveer 1 m/jaar wat optimaal is voor de groei van helm. Die 1 m/jaar wordt deels bepaald door de groeisnelheid van helm, maar ook door de hoeveelheid zand die helm theoretisch kan invangen door het verstoren van de wind.

Wij concluderen het volgende ten aanzien van helminplant als zandvanger op de HD:

- De morfologie bepaalt het zandtransport; en vegetatie kan zand invangen. Afhankelijk van de plantenbedekking kan zand ook over de begroeiing heen getransporteerd worden;
- Ook minder vitale helm (na groeiseizoen geplant) vangt zand in;
- Ook als de vegetatie niet langer zand invangt omdat ze de aangroei niet kan bijhouden kan een duin nog aangroeien alleen dan niet meer door de invang door de vegetatie, maar op basis van fysische wetten (bijv lift, stromingswetten, wet van Bernoulli,...)

4.5 Conclusies

Het totale volume zand dat het duin inwaait (530.000 m^3 over gehele onderzoeksperiode ofwel $33 \text{ m}^3/\text{jaar}$, exclusief de duinvallei) komt voor 40-45% van het strand zelf. De overige 55-60% moet dus van de vooroever en het intergetijdengebied en van buiten het onderzoeksgebied (langsrichting) komen. Een dergelijke verhouding is in overeenstemming met observaties op de Zandmotor, waar ook slechts ongeveer

50% van de eolische depositie kan worden verklaard vanuit de volume afname op het strand (Hoonhout en De Vries, 2017a en 2017b).

Het intergetijdengebied is een belangrijke bron van het zand dat de duinen inwaait. De volumebalans voor het gehele studiegebied op basis van Jarkusraaien is niet sluitend en laat zien dat er netto een volumeafname van ongeveer $1,1 \text{ Mm}^3$ optreedt uit het gebied tussen de $-14 \text{ m} + \text{NAP}$ dieptecontour en de oude zeedijk van de HPZ. Dit verlies treedt op als gevolg van langtransport naar gebieden ten noorden en ten zuiden van het studiegebied. Het totale aangroevolume in de duinen is ongeveer $1/3$ van de verliezen onder water en op het strand.

Er is een kustlangse variatie, zoals een duidelijke afnemende trend in de duinaangroei van zuid naar noord. Deze lijkt vooral bepaald te zijn door variatie in het aanbod en niet zozeer door variatie in de geometrie van het duin. Het aanbod varieert vooral door oriëntatie van de duinvoet en daarmee de transportcapaciteit van de wind.

De geometrie van het duin heeft effect op waar precies – in de dwarsrichting – het zand terecht komt. De observaties tonen dat 70% van het eolisch transport dat richting duinen waait, aan de zeewaartse zijde van het duin terecht komt. 25-30% komt bovenop de kruin van het duin terecht, met name aan de zeewaartse zijde op de eerste 10-30 m; nagenoeg niets waait over het duin door.

De kustdwarse verdeling van het aanzandingsvolume wordt daarnaast bepaald door de lokale maatregelen en geometrie. Verschillende maatregelen als wilgenschermen, luwe laagtes en vegetatie kunnen worden toegepast om te sturen in locatie van aanzanding, hinder te voorkomen en differentiatie in de morfologische ontwikkeling te stimuleren.

5

VEGETATIEONTWIKKELING

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk richt zich op de habitatontwikkeling van de HD: het gebied heeft de potentie zich te ontwikkelen in de richting van enkele waardevolle Natura 2000-habitattypen. Vanuit de opdrachtgever van de kustversterking is onder andere de eis gesteld dat de natuurzone na de aanleg de juiste condities dient te bieden voor natuurontwikkeling van de duinvalleihabitattypen H2190A (Vochtige duinvalleien, open water), H2190B (Vochtige duinvalleien, kalkrijk) en H2190D (Vochtige duinvalleien, hoge moerasplanten). Daarnaast kunnen zich delen van het duingebied potentieel ontwikkelen richting een aantal op Europees niveau vastgestelde en goed beschreven droge duingraslanden- en duinstruweeltypen, te weten Embryonale duinen (H2110), Witte duinen (H2120), Grijs duinen (H2130) en Duindoornstruwelen (H2160). Deze vormen de referentie voor de ontwikkelingen op de HD.

De analyse is uitgevoerd aan de hand van de volgende onderzoeksvragen:

- *Worden bij de HPZ voorspelde habitattypen ook daadwerkelijk gerealiseerd?*
- *Worden de verwachtingen die er bij aanvang van het project waren, waar gemaakt en waarom?*

5.2 Abiotiek

5.2.1 Bodem

De resultaten van het bodemonderzoek (beschreven in paragraaf 3.3) laten zien dat het kalkgehalte in de bodem (%CaCO₃) sterk varieert tussen de monsterlocaties van 0,2-8,1%. Het gemiddelde bedraagt 2,6%. In kalkrijke duinen bedraagt het kalkgehalte doorgaans 2-10%. De gemeten gehalten lagen voor het merendeel boven de 2% en konden daarmee worden getypeerd als redelijk kalkrijk zand. Er was binnen de meeste transecten sprake van een geleidelijk afnemende gradiënt van zuid naar noord in het kalkgehalte van het zand. Een mogelijke verklaring is dat het opgebrachte zand afkomstig is uit verschillende dieptes binnen een winningsput, waarbij de oppervlakkige lagen van de winningsput (met de meeste schelpfragmenten) in het zuiden zijn opgebracht en richting het noorden zand is opgebracht uit steeds diepere lagen van de winningsput.

In het mineraalarme zand, dat ook nog arm is aan organische stof (<0,3%), was de uitwisselbare concentratie (0,01 M CaCl₂) van veel elementen te laag om betrouwbaar te kunnen meten. Wel goed meetbaar waren uitwisselbaar K, Mg en Na.

5.2.2 Grondwater

Analyse van het verloop van de grondwaterstanden, leert ons het volgende:

- Het waterpeil in de vochtige duinvallei bevond zich de afgelopen 2 jaar tussen 1,2 en 0,4 m +NAP (gemiddeld 0,7 m +NAP). Het is nog niet duidelijk of dit een eindsituatie is. Deze was eerder voorspeld op 0,45 m +NAP (gemiddeld peil). Het waterpeil is nu dus nog hoger dan de voorspelling. Monitoring moet uitwijzen of de eindsituatie al bereikt is. Als het peil niet verder naar een evenwichtssituatie daalt is eventuele "verzanding" van het duinmeer de voornaamste bedreiging voor de watervoerendheid.

- De duinvallei is verzoet en het zoutgehalte is inmiddels (oktober 2018) gedaald tot een elektrische geleidbaarheid (EC) van 3,0 mS/cm. Dit kan geïnclassificeerd worden als licht brak. Het watersysteem is nog niet genoeg bekend om een goed onderbouwde voorspelling naar de toekomst te maken. Verwacht wordt dat het water verder verzoet naar een "regenwater" type dat verrijkt is met calcium door oplossen van schelpen. De EC zal dalen tot < 0,4-0,5 mS/cm. Onbekend is in hoeverre een lokale grondwater component (de uitspoeling van zout tussen de waterscheiding en het meer) mogelijk het verziltings proces kan vertragen. Verwacht wordt dat deze component niet groot is. In de toekomst zal alleen salt spray het chloridegehalte bepalen.
- De duinvallei loopt risico op verzanden en het is nog niet duidelijk wat de stabiele grondwaterstand, c.q. duinvalleipeil zal worden.
- De monitoring rond en in de duinvallei kan beter, met als meetdoelen: (1) het kunnen vaststellen of de stabiele eindsituatie is bereikt en (2) of de situatie verandert door veranderingen in de kustlijn (vloedlijn) en klimatologische variaties (verwachte toename totale jaarlijkse neerslag)
 - Vervolgen monitoring bodemhoogte(verzanding),
 - Waterpeil blijven monitoren,
 - Monitoring waterkwaliteit van de duinvallei vervolgen met naast chloride en macro-parameters (o.a. calcium) ook aandacht voor metalen, i.v.m. met verwachte oxidatie processen (o.a. oxidatie van ijzersulfiden) van het zeezand dat grotendeels is gewonnen uit een zuurstofloze of zuurstofarme omgeving,
 - Een meer gedetailleerde oost-west grondwatermeetraai kan het inzicht over de ligging van de waterscheiding en de kennis over de lokale grondwaterstroming en eventuele invloed op het zoutgehalte verbeteren. Hierbij minimaal een meetpunt naast de westelijke en oostelijke oever. Deze extra metingen kunnen helpen voorspellen of en wanneer een stabiele eindsituatie (chemie, chloride) wordt bereikt. De metingen dienen minimaal 1x per jaar plaats te vinden.
 - Eventueel "salt spray" monitoren omdat deze in de toekomst, naast het chloridegehalte van regen en indamping, de belangrijkste verziltende factor zal zijn.
- Bij eventueel vergelijkbare toekomstige projecten waarbij duinvalleien worden ontworpen is, wat betreft grondwater, de afstand tussen vloedlijn en de eerste ontwatering (sloot, gedraineerd perceel) aan de landzijde, naast de doorlatendheid van het opgespoten zand en van de dijk, de belangrijkste variabele. Bij het ontwerp dient dan ook rekening te worden gehouden met hoe deze afstand zich verder ontwikkelt. Ook moet rekening worden gehouden met verwachte toename van neerslag in de toekomst waardoor de opbolling van de zoetwaterbel zal stijgen.

5.3 Vegetatieontwikkelingen

5.3.1 Algemene vegetatieontwikkelingen

- Op het strand ontwikkelt zich een strook embryonale duintjes met de karakteristieke soorten die daarbij horen, te weten Biestarwegras (*Elytrigia juncea boreoatlantica*), Helm (*Ammophila arenaria*), Zeeraket (*Cakile maritima*) en Stekend loogkruid (*Salsola kali*). Embryonale duinen (H2110) is een habitatype dat zich onder invloed van wind, stuivend zand en zeewater over een grote lengte aan het ontwikkelen is (afbeelding 5.1).

Afbeelding 5.1: Ontwikkeling van embryonale duintjes met Biestarwegras (*Elytrigia juncea boreoatlantica*) op het hoogstrand zeewaarts van de aangeplante wilgenschermen (foto: Daisy de Vries)



- In de helmzone (laag duin/zeereep) vindt veel verjonging van Helm plaats (zowel jonge vegetatieve uitlopers als kiemplanten), waardoor het beplantingspatroon op veel plekken langzaam wat aan het vervaagen is. Dat zien we ook in een aantal (maar niet alle) luwe laagtes, de postzegelvormige plekken waar geen Helm is aangeplant en waar de wind vrij spel heeft op het kale zand.
- Ook in de vochtige duinvallei zijn opvallende ontwikkelingen gaande. Het binnentalud van het lage duin met een vrij steile helling is nog volop in verstuiving. Hier een daar hebben zich pollen met Zeeraket gevestigd. Recentelijk zijn deze ook weer grotendeels verdwenen als gevolg van de sterke verstuiving. Het buitentalud van het hoge duin is minder steil en aangeplant met Helm. Hier is aan de onderzijde veel zand ingestoven en daar vestigen zich aan de duinvoet vitale pollen Helm (afbeelding 5.2).

Afbeelding 5.2: Uitbreiding van Riet door middel van vegetatieve uitlopers langs de oever van de duinvallei (foto: Loek Kuiters)



- Op de vochtige oevers van de duinvallei vestigen zich soorten van zoute tot licht brakke omstandigheden, waaronder Zeekraal (*Salicornia europaea*), Goudknopje (*Cotula coronopifolia*) (afbeelding 5.6), Zeeaster (*Aster tripolium*), Zeebies (*Bolboschoenus maritimus*) en Ruwe bies (*Schoenoplectus tabernaemontani*). De ontwikkeling is nog pril, maar zal de komende jaren zeker doorzetten. De verwachting is wel dat de bodem geleidelijk verder zal ontzilten en er zich soorten van zoete duinvalleien zullen gaan vestigen. Zo heeft inmiddels ook Riet (*Phragmites australis*) zich op meerdere plekken gevestigd en

breidt zich daar vegetatief snel uit (afbeelding 5.2). De vallei ligt geïsoleerd te midden van twee duinrichels waardoor veel andere karakteristieke soorten van vochtige duinvalleien het gebied moeilijk zullen kunnen bereiken, zeker de soorten die zich via water verspreiden. Anders ligt dat voor soorten die zich via wind (zoals veel composieten) of (water)vogels verspreiden.

Afbeelding 5.3: Spaarzame vestiging van plantensoorten (met name Zeeraket) op het volop stuivende binnentalud van het lage duin (links). Aan de voet van het met Helm ingeplante buitentalud van het hoge duin, waar veel zand instuift, breidt Helm zich spontaan uit (rechts) (foto: Daisy de Vries)



- Het aangeplante duindoornstruweel in de struweelzone (binnentalud hoog duin) is in het zuidelijk deel vitaal met veel bessen, maar in het noordelijke deel beduidend minder vitaal of soms zelfs aan het afsterven. Dit verschil in vitaliteit tussen zuid en noord hangt vermoedelijk (deels) samen met de aanwezige kalkgradiënt van het opgebrachte zand, van kalkrijk (zuid) naar kalkarm (noord).
- Uitbreiding van Duindoorn (*Hippophae rhamnoides*) is volop gaande, niet alleen in de struweelzone. Uitlopers kruipen omhoog naar de kruin en het buitentalud van het hoog duin. Ook vindt daar al vestiging plaats vanuit bessen.
- In de struweelzone (binnentalud hoog duin) zijn destijds op het kale zand ook soorten aangeplant als Eenstijlige meidoorn (*Crataegus monogyna*), Wilde liguster (*Ligustrum vulgare*), Wilde kardinaalsmuts (*Rhamnus frangula*), Gewone vlier (*Sambucus nigra*) en rozen (Egelantier *Rosa rubiginosa* en Hondсроos *Rosa canina*). Dat is ecologisch gezien geen logische keuze, omdat deze soorten allemaal afhankelijk zijn van een humeuze bodem waar enige (tot veel) bodemontwikkeling heeft plaatsgevonden. Aanplant van deze soorten is dan ook vrijwel overal aan het afsterven of is al dood. Duindoorn als echte pioniersoort is wel in staat om kaal zand te koloniseren. Deze soort beschikt over wortelknolletjes, waardoor het in staat is om stikstof uit de lucht te binden.
- De struweelzone (binnentalud hoog duin) wordt nog overstoven met zand van de kruin van het hoge duin. Dit zand komt met name aan de voet van de struweelzone terecht waar zich vitale Helm aan het uitbreiden is (afbeelding 5.4).
- Op het buitentalud van de oude Hondsbosche en Pettemer zeedijk (afbeelding 5.5) zijn de afgelopen jaren ruim 90 soorten vaatplanten aangetroffen, waaronder nog steeds een aantal soorten aangepast aan zilte omstandigheden zoals Zeekool, (*Crambe maritima*) Zeevenkel (*Crithmum maritimum*), Moeraszoutgras (*Triglochin palustris*), Hertshoornweegbree (*Plantago coronopus*), Strandbiet (*Beta vulgaris maritima*) en Zeepostelein (*Honckenya peploides*). Ondanks dat de zee op grotere afstand is komen te liggen (al is er nog zeker sprake van saltspray) weten deze soorten zich kennelijk te handhaven.

Afbeelding 5.4: Aan de onderzijde van het aangeplante struweel (binnentalud hoog duin) heeft zich Helm gevestigd op vers ingestoven zand (foto: Daisy de Vries)



Afbeelding 5.5: Buitentalud van de oude Hondsbosche en Pettemer zeedijk (foto: Daisy de Vries)



Afbeelding 5.6: Goudknopje (*Cotula coronopifolia*) aan de noordzijde van de vochtige duinvallei (foto: Daisy de Vries)



Afbeelding 5.7: Zeekool (*Crambe maritima*) heeft zich gevestigd aan de noordzijde van de vochtige duinvallei (foto: Daisy de Vries)



5.3.2 Vegetatieontwikkeling in permanente proefvlakken

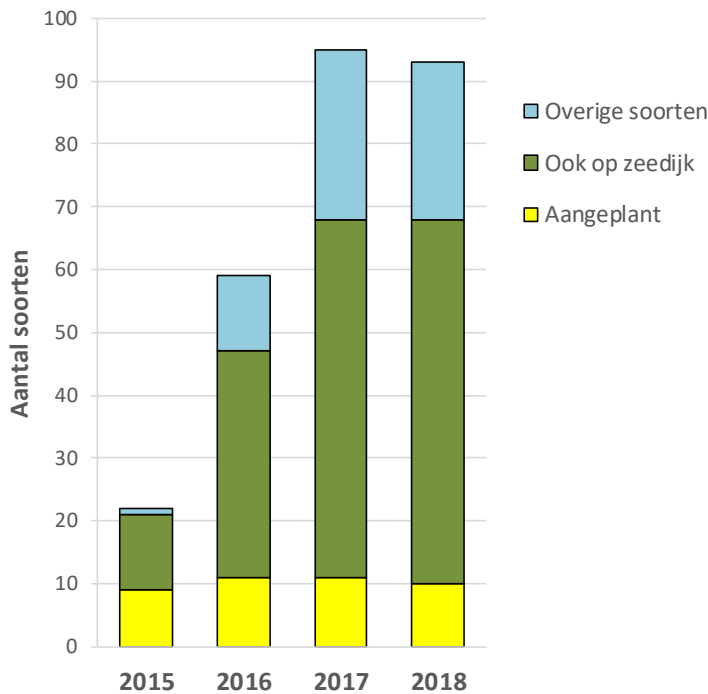
In bijlage III staan de 50 vegetatieopnamen gegroepeerd naar element/structuurtype. De vegetatie in de proefvlakken is het afgelopen jaar soortenrijker geworden. Bedroeg het aantal soorten vaatplanten in 2016 in de 50 proefvlakken in totaal 29 soorten, in 2017 was dit toegenomen naar 39 soorten en in 2018 naar 42 soorten.

5.3.3 Soortenlijst transecten

Het totale aantal soorten aangetroffen op de transecten is toegenomen van 22 in 2015, naar 59 in 2016 en 95 in 2017 (afbeelding 5.8). Het betreft voornamelijk algemene soorten van (duin)grasland en (duin)struweel naast diverse meer ruderaal soorten. De vestiging van soorten is dus volop gaande. In 2018 werden er in totaal 93 soorten aangetroffen op de transecten. 20 soorten uit eerdere jaren waren in 2018 niet waargenomen, terwijl er 18 nieuwe soorten werden aangetroffen (bijlage IV). Mogelijk is vanwege de uitzonderlijk droge en warme zomer het aantal soorten tijdelijk netto niet verder toegenomen in 2018.

Kijken we naar de 'nieuwkomers' in 2016, 2017 en 2018 dan is duidelijk dat een groot deel ook op het buitentalud van de oude zeedijk voorkomt. Het lijkt waarschijnlijk dat een (groot) deel van de nieuwkomers afkomstig is van de oude zeedijk. De overige soorten zijn afkomstig van elders, verspreid met wind of (water)vogels.

Afbeelding 5.8: Aantal soorten vaatplanten aangetroffen langs de transecten in de afzonderlijke opnamejaren. Onderscheiden zijn soorten die zijn aangeplant, soorten die ook op het buitentalud van de oude zeedijk voorkomen en overige soorten



Vooral de duinvalleioever maakt een interessante ontwikkeling door. Werd hier in 2015 nog maar een enkele soort gevonden, in 2018 waren dat er 20 (bijlage III). Verschillende brakke (deels duinvallei)soorten hebben hun plekje gevonden aan de oever, zoals Zeeraket, Gerande schijnspurrie (*Spergularia media*), Kortarige zeekraal (*Salicornia europaea*), Stekend loogkruid, Goudknopje, Blaartrekkende boterbloem (*Ranunculus scellaratus*), Heen (*Bolboschoenus maritimus*), Ruwe bies (*Juncus tabernaemontani*), Zeewolfsmelk (*Euphorbia paralias*) en Spiesmelde (*Atriplex prostrata*). Zelfs kleine exemplaren van Blauwe zeedistel (*Eryngium maritimum*) zijn gevonden, maar deze lijken gezaaid (afbeelding 5.9). Op enkele plekken elders langs de oever van de duinvallei heeft zich inmiddels ook Riet (*Phragmites australis*) gevestigd, waar het zich vooral vegetatief snel uitbreidt (afbeelding 5.2).

Afbeelding 5.9: Jonge exemplaren van Blauwe zeedistel (*Eryngium maritimum*) aan de noordzijde van de vochtige duinvallei (foto: Daisy de Vries)



5.3.4 Soortenlijst oude zeedijk

Er is ieder jaar ook een soortenlijst gemaakt van de oude zeedijk. Tussen 2015 en 2018 werden op het buitentalud in totaal ruim 90 soorten vaatplanten aangetroffen (bijlage IV), waaronder een aantal opvallende soorten als Zeekool (*Crambe maritima*), Zeepostelein (*Honckenia peplodes*), Moeraszoutgras (*Triglochin palustris*) en Zeevenkel (*Crithmum maritimum*; afbeelding 5.10).

Afbeelding 5.10: Zeevenkel (*Crithmum maritimum*) op het buitentalud van de oude zeedijk (foto: Daisy de Vries)



5.3.5 Fauna

Bewijs van de aanwezigheid van hazen en vos(sen) is inmiddels ook tijdens een veldbezoek aangetroffen in de HD. Tijdens de vegetatiemonitoring in september 2018 zijn er op het buitentalud van de zeedijk hazen gezien, die nadat ze waren opgeschrikt naar de duinen vluchtten in plaats van landinwaarts. Daarnaast groeit er langs de oeverrand in de duinvallei op verschillende plekken Ruwe bies die systematisch is begraasd (zie afbeelding 5.11). Van iedere plant zijn bijna alle scheuten scherp afgebeten. In het noorden van de duinvallei is ook Riet aangetroffen dat is begraasd, maar relatief minder dan Ruwe bies. Het is zeer aannemelijk dat deze plant door hazen wordt begraasd. In de duinvallei zijn ook de botten (en schedel) van een vos gevonden (afbeelding 5.11). Deze observaties worden gestaafd door waarnemingen gemeld op de website waarneming.nl gedurende 2018.

Deze waarnemingen geven aan dat fauna de HD begint te ontdekken en er langzaam een ecosysteem begint te ontwikkelen met zowel flora als bijbehorende fauna.

Afbeelding 5.11: Sporen van fauna in de HD: a) afgegraasd Ruwe bies, waarschijnlijk door hazen, b) schedel vos en c) bijbehorende onderkaak vos (foto: Georgete Lagendijk)



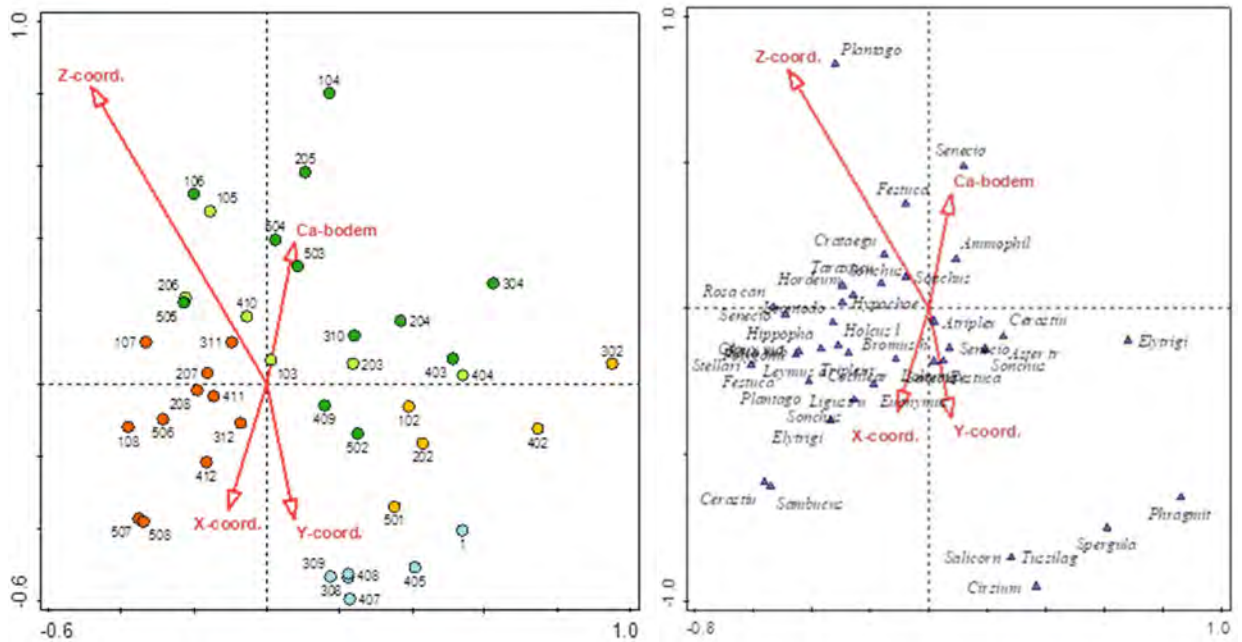
5.4 Data-analyse

5.4.1 Multivariate analyse

Om te achterhalen in welke mate verschillende milieufactoren de variatie in soortensamenstelling van de permanente kwadraten kunnen verklaren is er een multivariate analyse uitgevoerd op de vegetatiegegevens van de permanente proefvlakken van 2018. Met behulp van gradiëntanalyse (CCA) zijn de 50 vegetatieopnamen op basis van hun floristische samenstelling geordend in een multidimensionale ruimte, waarbij de assen abiotische gradiënten vertegenwoordigen. Daarbij is gebruik gemaakt van het programma CANOCO vs. 5 (Ter Braak & Šmilauer 2002). Als verklarende variabelen zijn de X-, Y- en Z-coördinaat en het carbonaatgehalte van het zand gebruikt. De X-coördinaat is een maat voor de afstand tot de zeereep, de Y-coördinaat de ligging in het gebied van zuid naar noord en de Z-coördinaat is een maat voor de hoogte van een proefvlak ten opzichte van NAP.

Uit de analyse komt naar voren dat de variatie in soortensamenstelling in de permanente proefvlakken vooral bepaald wordt door de hoogteligging (Z-coördinaat; afbeelding 5.12; tabel 5.3). De lengte van de pijlen van de afzonderlijke factoren in afbeelding 5.12 is een maat voor de hoeveelheid variatie die door iedere factor wordt verklaard. De laagst gelegen proefvlakken van de duinvallei-oeveren en de embryonale duinen wijken duidelijk af van de hoger gelegen proefvlakken op de aangeplante kruinen en de aangeplante struweelzone, waarbij er slechts een kleine overlap zit in de soortensamenstelling van beide laatste groepen van proefvlakken (afbeelding 5.12). Het verschil in kalkgehalte tussen met name de zuidelijk gelegen kalkrijkere proefvlakken en de noordelijk gelegen kalkarmere proefvlakken is (nog) niet zichtbaar in de soortensamenstelling van de proefvlakken (verklaarde variantie is niet significant; tabel 5.3).

Afbeelding 5.12: CCA-plot van de 50 permanente proefvlakken (soortensamenstelling 2018) met de belangrijkste milieuv variabelen. Links het 'soortenplot', rechts de ordening van de proefvlakken (biplot): embryonaal duin: oker; duinvallei-oever: blauw; (ingeplante) helm: groen; luwe laagte: lichtgroen; struweel: oranje. Door loodlijnen naar te laten vanaf een proefvlak richting een van de pijlen kan de positie van dat proefvlak ten opzichte van die milieufactor worden afgelezen



Tabel 5.3: Resultaten van voorwaartse selectie van de omgevingsvariabelen in CCA. De totale verklaarde variantie bedraagt 14%

Omgevingsvariabele	Verklaarde variantie	P-waarde	Significantie
Hoogte t.o.v. NAP (Z-coördinaat)	8.1%	0.002	**
Kalkgehalte (Ca_bodem)	4.0%	0.306	n.s.
Afstand tot zeereep (X-coördinaat)	1.9%	0.958	n.s.

5.4.2 Habitattypen

Voor de vegetatieontwikkeling richting habitattypen (Natura 2000) zijn de monitoringsdata (proefvlakken) ook vergeleken met de samenvattende tabellen van de onderliggende plantengemeenschappen middels het informatiesysteem SynBioSys. Hierbij zijn de toegekende elementen (Strand, Embryonaal Duin, Luwe laagte, Spontane helm, Oever, Ingeplante helm en Ingeplant struweel) vergeleken met de plantengemeenschappen die de (doel)habitattypen karakteriseren. De Landelijke Vegetatie Databank is hierbij ingezet als referentie voor de betreffende plantengemeenschappen.

Tabel 5.4: Overzicht elementen in relatie tot de doelhabitattypen

Onderscheiden element	Doeltype (Habitatype)	Geselecteerde plantengemeenschap(pen)*
Strand, Embryonaal duin,	Embryonale duinen	23Aa01
Luwe laagte, Spontane helm, Ingeplante helm	Witte duinen	23Ab01
Oever	Vochtige duinvalleien (kalkrijk)	27Aa02b, 27Aa2c, 28Aa1
Ingeplant struweel	Duindoornstruwelen	37Ac02, 37Ac03

* NB De habitattypen worden in sommige gevallen door een bredere set aan plantengemeenschappen gekarakteriseerd. Er is bij deze analyse gekozen voor een selectie van de meest kenmerkende plantengemeenschappen.

In bijlage VI zijn per element de opnamen per jaar bij elkaar gezet en zijn deze drie zogenaamde synoptische (samenvattende) tabellen vergeleken met de synoptische tabellen van de plantengemeenschappen van de habitattypen. Hiermee wordt een vergelijking van de soortensamenstelling mogelijk gemaakt. Daarnaast is ook naar de andere kwaliteitseisen van het habitatype gekeken.

5.4.3 Resultaten data-analyse

Uit deze analyse blijkt dat hoewel de plantengroei van de HD zich voorspoedig ontwikkelt, het nog (veel) te vroeg is om van habitattypen te spreken. Voor de pioniergemeenschappen (Embryonale duinen en Witte duinen) zullen de begroeiingen op relatief korte termijn (5-10 jr.) wel in beeld komen als habitatype, maar om te kwalificeren als Duindoornstruwelen of Vochtige duinvalleien is een veel langere spontane ontwikkeling nodig. In de oorspronkelijke plannen was ook sprake van H2130 (Grijze duinen). Ook een dergelijk habitatype heeft veel meer tijd nodig om eventueel tot ontwikkeling te komen.

5.5 Conclusies en aanbevelingen vegetatieonderzoek

5.5.1 Conclusies

Ofschoon er zich geleidelijk steeds meer soorten vestigen in de HD, is drie jaar nog te kort om een antwoord te kunnen geven op de vraag of bepaalde delen van het gebied zich op termijn zullen gaan ontwikkelen tot begroeiingstypen die kwalificeren voor habitattypen. Zeker een habitatype als Grijze duinen (H2130) heeft tijd nodig om tot ontwikkeling te komen. Daarvoor moet eerst een bepaalde mate van bodem(humus)ontwikkeling hebben plaatsgevonden.

Ook de ontwikkeling van het habitatype Vochtige duinvalleien (H2190B) kost tijd. Momenteel is daar nog steeds sprake van veel dynamiek, waarbij sommige delen overstuiven (vooral de zuidzijde) waardoor de vallei korter en ook minder diep wordt. De oever aan de oostzijde lijkt zich wat oostwaarts te verleggen: een tweetal permanente proefvlakken die eerst op de oever lagen, bleken in 2018 in het water terecht te zijn gekomen. Naast deze verstuuivingsdynamiek wordt de vestiging van duinvalleisoorten gehinderd door de geïsoleerde ligging van de vallei. Dit geldt met name voor die soorten die niet worden verspreid door watervogels.

Tabel 5.5 geeft een overzicht van de ontwikkeling van de verschillende habitattypen en hoe deze zich verhouden tot de verwachtingen.

Habitattypen	Huidige ontwikkeling	Verwachting
Embryonale duinen (H2110)	Op het strand ontwikkelt zich een strook embryonale duintjes met de karakteristieke soorten die daarbij horen, te weten Biestarwegras, Helm Zeeraket en Stekend loogkruid.	De komende jaren zullen deze primaire duintjes zich verder uitbreiden. Bij sterke (najaars en winter)stormen kunnen ze deels ook weer verdwijnen, maar dat hoort bij de hoge dynamiek van dit habitatype.
Witte duinen (H2120)	<p>Vooraf in de lage duinrichel in de zeereep vindt veel op- en uitstoving plaats wat gunstig is voor de vitaliteit van Helm en voor de spontane kieming en vestiging van nieuwe helpollen. Er hebben zich al meerdere plantensoorten van dit habitatype gevestigd.</p> <p>In de hoge duinrichel, meer landinwaarts is de geomorfologische dynamiek aanmerkelijk lager en groeien de Luwe laagtes op veel plaatsen geleidelijk dicht met Helm.</p>	<p>In de lage duinrichel zal de komende jaren (5-10 jaar) het plantverband van Helm snel minder zichtbaar worden. Dit is een belangrijke voorwaarde om dit begroeiingstype te kwalificeren als habitatype H2120.</p> <p>In de hoge duinrichel zal het plantverband van Helm nog vele jaren zichtbaar blijven, waardoor deze begroeiingen voorlopig niet zullen kwalificeren als type H2120.</p>
Grijze duinen (H2130)	Momenteel zijn er nog niet echt ontwikkelingen die gaan in de richting van type H2130. Daarvoor is het gebied nog veel te jong.	Pas op een termijn van tientallen jaren, nadat er op windluwe plekken bodemontwikkeling heeft plaatsgevonden, zal dit type H2130 tot ontwikkeling kunnen komen mits de karakteristieke soorten het gebied weten te bereiken.
Vochtige duinvalleien (H2190A, H2190B, H2190D)	<p>In de aangelegde vallei vestigen zich geleidelijk steeds meer soorten die bij het type H2190B (kalkrijk) en H2190D (met moerasplanten) horen. Er komen nu nog diverse zouttolerante soorten voor in de oevervegetatie, maar die zullen vanwege de voortschrijdende ontzilting geleidelijk plaatsmaken voor zout-intolerante soorten.</p> <p>Instuiving van zand maakt dat de vallei steeds minder diep wordt, waarbij niet kan worden uitgesloten dat het open water op den duur uit de vallei verdwijnt.</p>	<p>De oevervegetatie komt geleidelijk tot ontwikkeling, waarbij de vraag is hoe snel Riet zich zal uitbreiden. Als dit snel gebeurt, voordat veel karakteristieke soorten zich vestigen, kan dit op termijn leiden tot een soortenarme variant van H2190D. Een alternatief kan zijn om maaisel van naburige duinvalleien uit te leggen, waarmee de kans om de ontwikkeling van een soortenrijke type H2190B wordt vergroot.</p> <p>Mocht de duinvallei op termijn helemaal dicht stuiven dan zal H2190A (Vochtige duinvalleien/open water) niet langer tot ontwikkeling kunnen komen.</p>
Duindoornstruwelen (H2160)	Met name in het zuidelijke deel van het gebied ontwikkelen vooral de aangeplante duindoornstruiken zich tot een vitaal struweel.	Duindoorn brengt via wortelknolletjes stikstof in de bodem en via strooisel zal er humusontwikkeling gaan plaatsvinden. Dit schept geleidelijk gunstige bodemcondities voor andere struweelsoorten zoals Eenstijlige meidoorn, Wegedoorn en

		rozensoorten. Dit proces zal geruime tijd in beslag nemen (10-25 jaar).
Witte duinen (H2120)	<p>Vooraf in de lage duinrichel in de zeereep vindt veel op- en uitsterving plaats wat gunstig is voor de vitaliteit van Helm en voor de spontane kieming en vestiging van nieuwe helpollen. Er hebben zich al meerdere plantensoorten van dit habitatype gevestigd.</p> <p>In de hoge duinrichel, meer landinwaarts is de geomorfologische dynamiek aanmerkelijk lager en groeien de Luwe laagtes op veel plaatsen geleidelijk dicht met Helm.</p>	<p>In de lage duinrichel zal de komende jaren (5-10 jaar) het plantverband van Helm snel minder zichtbaar worden. Dit is een belangrijke voorwaarde om dit begroeiingstype te kwalificeren als habitatype H2120.</p> <p>In de hoge duinrichel zal het plantverband van Helm nog vele jaren zichtbaar blijven, waardoor deze begroeiingen voorlopig niet zullen kwalificeren als type H2120.</p>

5.5.2 Vergelijking met verwachtingen

Behalve rond de fysische randvoorwaarden van de duinvalleihabitats, zijn in 2015 weinig tot geen concrete eisen gesteld aan de habitatkwaliteit van de aan te leggen Natuurzone. De verwachting toen was dat het scheppen van fysische randvoorwaarden nog geen garantie is voor het daadwerkelijk ontwikkelen van de beoogde habitats. Duidelijk was dat biologische processen zoals verspreiding een belangrijke rol spelen bij de (snelheid) van habitatontwikkeling, en dat de voorspelbaarheid van de ontwikkeling van de flora en fauna laag is, wanneer alleen op de abiotiek gestuurd wordt (De Groot et al., 2016). Die verwachting is nog steeds aan de orde, vooral ook vanwege de nog zeer korte ontwikkelingsperiode. Paradoxaal genoeg laat die lage voorspelbaarheid (op de korte termijn) zich nu wel goed voorspellen.

Op basis van de documenten die in de ontwerpfasen zijn opgemaakt (inclusief artist impressions) en de habitats en soorten die daarin concreet genoemd staan, was de verwachting dat vier jaar na aanleg de habitats nog in ontwikkeling zijn en nog niet aan de belangrijkste kwaliteitseisen zullen voldoen, en een deel van de verwachte planten- en diersoorten nog niet aanwezig zal zijn. Ook die verwachting wordt bevestigd. Daar komt nu de vrees bij dat ingrijpen noodzakelijk kan worden wanneer een plantensoort dominant dreigt te worden, zoals dat misschien met Riet gaat gebeuren in de vochtige duinvallei. Dat het toepassen van hooibalen op de helling van de oude dijk als anti-stuifmaatregel een onbedoelde bron van plantenzaad kan zijn, was voorspeld en dat proces heeft zich ook voltrokken. Conform ontwerp is niet in het beheer van natuurwaarden voorzien, maar de vraag is of dat niet toch noodzakelijk zal worden om de vochtige duinvallei ook op de langere termijn te behouden en zich in een gewenste richting te laten ontwikkelen. De vegetatieontwikkelingen verlopen betrekkelijk langzaam (zoals ook verwacht; De Groot et al., 2016), omdat er geen zaadbank in de bodem aanwezig is en alle soorten zich door spontane verspreiding moeten vestigen (behalve dan de soorten die zijn aangeplant).

6

INTERACTIE TUSSEN MORFOLOGIE EN VEGETATIE

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de interactie tussen de morfologische en de ecologische processen bij de HD nader in beeld gebracht om antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag:

- *Wat is de relatie tussen eolisch transport, vegetatieontwikkeling en aangroei van duinen bij de HPZ?*

De input daarvoor zijn de analyse van de geometrie-ontwikkeling (hoofdstuk 4), waarin al op basis van de verschilkaarten conclusies over de invloed van de (aangeplante) vegetatie op de geometrieontwikkeling zijn getrokken (zie paragraaf 4.9.3), de resultaten van de vegetatiemonitoring (hoofdstuk 5), en enkele aanvullende analyses gericht op deelaspecten (dit hoofdstuk).

Het voornaamste geomorfologische proces is dat van zandinvang en -verlies. De vegetatie(ontwikkeling) wordt op een beperkt aantal plaatsen (de permanente proefvlakken) gevolgd en her en der een aanzet tot verklaring geleverd door naar de morfologische toestand in de nabije omgeving te kijken. In dit hoofdstuk wordt sterker ingezoomd op hoe dit proces van zandverstuiving, dat nagenoeg volledig kan worden toegeschreven aan eolisch transport, de ontwikkeling van de vegetatie beïnvloedt en welke rol in relatie tot de vegetatieontwikkeling de luwe laagtes, stuifschermen en de vochtige duinvallei daarbij spelen. Uit oogpunt van kostenefficiëntie is het niet onbelangrijk te bepalen of in aanlegprojecten mét deze ontwerpelementen een hogere habitatkwaliteit kan worden bereikt dan met een eenvoudiger profiel zonder deze elementen.

De benadering in dit hoofdstuk is vooral empirisch. Er is getracht indicaties voor causale verbanden te vinden om tot generieke uitspraken te kunnen komen over hoe zandige kustversterkingen het beste kunnen worden ontworpen opdat ze aan de gestelde ecologische en veiligheidseisen voldoen.

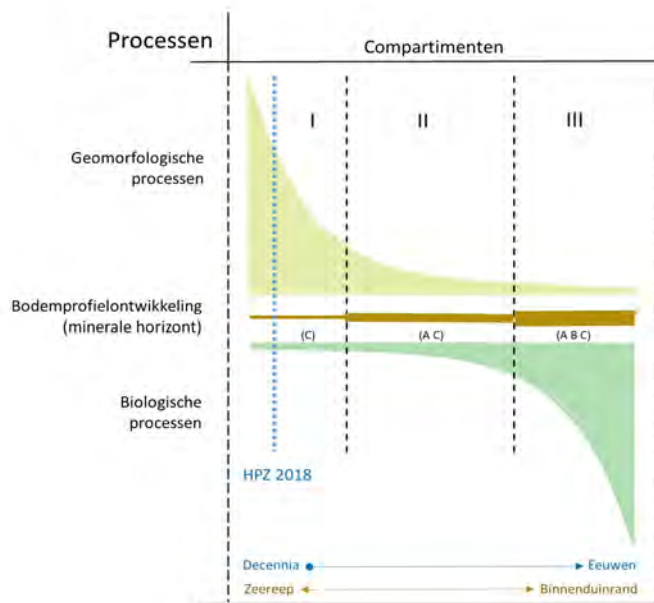
6.2 Concepten van interactieprocessen

6.2.1 Ruimtelijke en temporele relatie tussen geomorfologische dynamiek en vegetatieontwikkeling

Drie jaar monitoring aansluitend op de aanleg van de HD is gezien het onderwerp een extreem korte periode om inzicht te krijgen in de processen die sturend zijn voor de vegetatie-/habitatontwikkeling bij deze zandige versterking, en om te achterhalen hoe de ruimtelijke en temporele relatie tussen de geomorfologische dynamiek en de vegetatieontwikkeling er precies uitziet. Afbeelding 6.1 illustreert waar we eind 2018 staan. De markering in de tijd is uiteraard slechts indicatief, maar feit is dat de morfologische dynamiek bij de HD momenteel nog relatief groot is terwijl de vegetatieontwikkeling nog in het beginstadium is. Dat de ontwikkelingen die we willen bestuderen, langzaam gaan mag op zichzelf geen reden zijn om de gelegenheid niet aan te grijpen om ze te bestuderen wanneer zich daar zoals bij de HD de gelegenheid voor aandient. Wanneer over een tijd bepaalde ontwikkelingen worden waargenomen, is het waardevol dat er harde en minder harde data beschikbaar zijn die het begin ervan schetsen.

Zo zien we dat de eerste plantensoorten, zoals goudknopje en lamsoor, de duinvallei inmiddels hebben gevonden, en zijn er ook nieuwe (niet-aangeplante) soorten zoals roodzwenkgras en zeedistel aangetroffen in de duinen.

Afbeelding 6.1 Conceptueel model van de ruimtelijke en temporele relatie tussen geomorfologische en biologische processen in het kust- en duingebied die gezamenlijk de habitattypen vormen (naar: Bakker et al. 1979). Het model is te lezen op een ruimteschaal (zonering van zeereep naar binnenduinrand; de compartimenten zijn in overeenstemming met de bodemprofielontwikkeling, ingedeeld naar horizont C, AC of ABC) en in de tijd (voortschrijden van de vegetatiesuccessie). De blauwe verticale stippellijn markeert bij wijze van indicatie de situatie in de tijd bij de HD najaar 2018



Het in afbeelding 6.1 getoonde model is te lezen op een ruimteschaal (zonering van zeereep naar binnenduinrand) en in de tijd (voortschrijden van de vegetatiesuccessie; tijdschaal: decennia tot eeuwen). Voor de situatie van de HD in de ruimte is geen indicatie ingetekend. Gezien de topografie van het gebied met een harde begrenzing aan de landwaartse zijde van het gebied (het buitentalud van de oude zeedijk) en de relatief geringe afstand van het hoge duin tot de zee is niet te verwachten dat de ontwikkeling tot in compartiment III (horizont ABC) zal reiken. De horizonten ABC zijn minerale horizonten, dat wil zeggen bodemprofiellagen, waarbij C het moedermateriaal is, B de bovenliggende horizont waarin bodemvormende processen hebben plaatsgevonden die de eigenschappen van het moedermateriaal hebben doen verdwijnen, en A de laag die is gevormd aan of nabij het oppervlak met veelal een accumulatie van gehumificeerd organisch materiaal in de minerale fractie. 'Grijze duinen' (compartiment II; horizont AC) kunnen op het hoge duin en daarachter in landwaartse richting in potentie wel ontstaan.

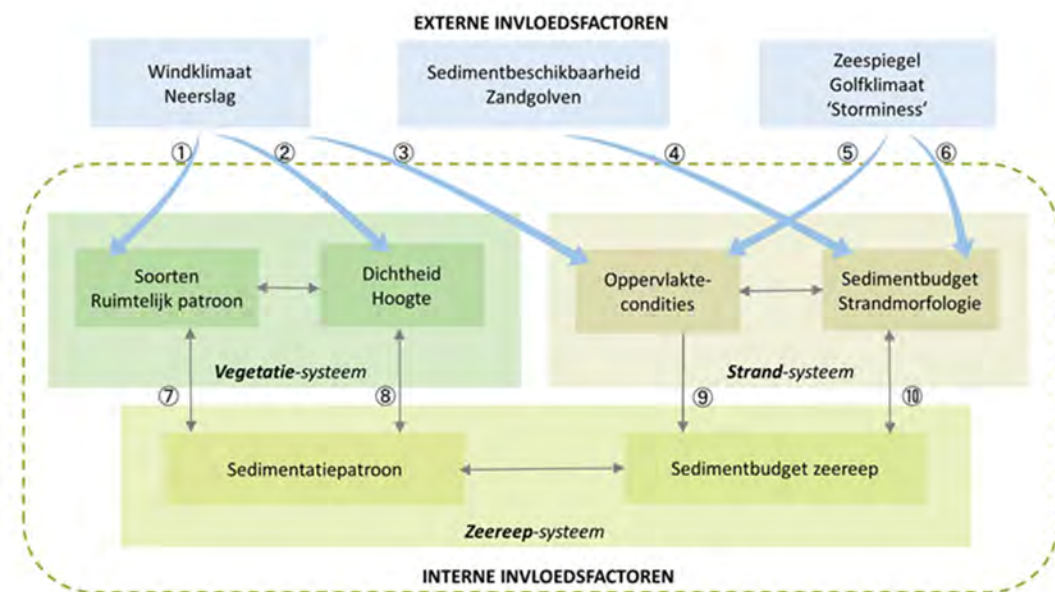
6.2.2 DUBEVEG-model

Hoewel de doorontwikkeling van het DUBEVEG-model (De Groot et al, 2012, Keijsers, 2015), die oorspronkelijk in de optionele scope van het EcoShape-project was opgenomen, binnen het HD-project niet meer aan de orde is, presenteren we in afbeelding 6.2 de lay-out van het onderzoek dat ten grondslag ligt aan de doorontwikkeling van het model (Keijsers, 2015); dit voor een beter begrip van de plaats van de interactieprocessen die we bij de HD hebben bestudeerd. De onderdelen van de beide subsystemen van het model (vegetatie en zeereep) zijn gedekt door wat in het EcoShape-project wordt gemonitord. De bij de HD verzamelde data zijn daardoor in principe zeer geschikt om te gebruiken bij de eventuele verdere doorontwikkeling van het model, waarvoor inmiddels door andere onderzoeksgroepen initiatieven zijn genomen.⁹

⁹ Gedoeld wordt op het NWO-voorstel (in voorber.) 'Duneforce' van S. de Vries (TU Delft) e.a.

Zoals afbeelding 6.2 laat zien zijn er diverse externe factoren die invloed hebben op het strand-duin-vegetatiesysteem. De EcoShape-monitoring laat deze klimatologische factoren en mariene processen buiten beschouwing. Omdat de stranden bij de HD echter relatief breed zijn¹⁰, zal de invloed van mariene factoren op de duinontwikkeling in het onderhavige studiegebied vooralsnog beperkt zijn, en zich vooral doen gelden onder omstandigheden met een hoge golfoploop. Voor de toepassing van het DUBEVEG-model is de HD dus een minder complexe casus vergeleken bij gebieden met smallere strandzones¹¹.

Afbeelding 6.2: Overzicht van de dominante externe en interne factoren die betrokken zijn bij de ontwikkeling van de zeereep (de duinenrij die direct grenst aan het Noordzeestrand) op mesoschaal. Externe invloedsfactoren zijn factoren die zich niet beperken tot het strand-zeereep-vegetatie-systeem: meestal zijn deze gerelateerd aan klimaat, geologie en zeespiegel. Interne invloedsfactoren doen zich gelden binnen de strand-zeereep-zone. Pijlen geven de interacties tussen de componenten aan: (1) klimatologische omstandigheden bepalen welke plantensoorten in staat zijn zich te vestigen en (2) in welk tempo plantengroei plaatsvindt. (3) Het windklimaat regelt de beschikbare windenergie voor het eolische transport van zand naar de duinen. (5) Neerslag, golfcondities en het getij beïnvloeden de conditie van het strandoppervlak: bv. de ruwheid en het vochtgehalte. (4 en 6) Sedimentuitwisseling tussen het droge en natte strand wordt beheerst door golfklimaat, 'storminess' en gedrag van zandbanken en zandgolven. (7 en 8) De plantensoorten en -dichtheid beïnvloeden de windstroming en daarmee het sedimentatiepatroon. Op haar beurt beïnvloedt sedimentatie de groeisnelheid van vegetatie met verschillende effecten per soort. (9) De conditie van het strandoppervlak bepaalt de hoeveelheid zand die beschikbaar is voor het eolische transport naar de duinen: vocht, schelpen en andere ruwe elementen beperken die beschikbaarheid. (10) Er is interactie tussen strand- en zeereep-sedimentbudget. Een negatief strand-sedimentbudget leidt bijvoorbeeld tot frequentere duinerosie. Zand dat uit het duin is geërodeerd wordt dan meestal op het strand afgezet, waardoor het strandvolume wordt vergroot en er een tijdelijke buffer tegen de golven ontstaat (aangepast van Keijsers (2015))



6.2.3 Vergelijkende analyse op basis van vegetatieopnames in de proefvlakken

Hieronder presenteren we vergelijkende analyses met betrekking tot de morfologie en vegetatie in de proefvlakken en hun interactie. Qua morfologie komen de termen hoogteontwikkeling of aanzanding, en dynamiek veelvuldig voor. Hoogteontwikkeling is het verschil in hoogte tussen de eerste (mei 2015) en de laatste (maart 2018) LiDAR-meting. Bij dynamiek wordt er gekeken naar het verschil tussen de minimale en de maximale hoogte die gedurende deze periode in een proefvlak is gemeten.

¹⁰ Afhankelijk van het profieltype is de geschatte strandbreedte bij aanleg, gemeten vanaf NAP + 0 M tot de duinvoet (op NAP + 3 m), ca. 175 m voor type 1, 155 m voor type 2 of 160 m voor de typen 3, 4 en 5 (Leenders en Smit 2016).

¹¹ Voor de invloed van de strandbreedte op het sedimentbudget in het strandstelsel verwijzen wij naar Keijsers (2015).

We beginnen met een overzicht in welke profieltypen en elementen de proefvlakken liggen. Daarna geven we een kort algemeen beeld van de interactie tussen morfologie en vegetatie binnen de verschillende profieltypen. Vervolgens kijken we meer specifiek naar de interactie tussen morfologie en vegetatie voor elk van de elementen 'oever', 'luwe laagtes', 'ingeplante duinen', 'strand' en 'struweel'. Daarbij hanteren we (waar mogelijk) de volgende structuur:

- Eerst wordt een algemeen beeld gepresenteerd van het element en de daarin gelegen proefvlakken;
- Er wordt besproken of de ligging van het element op het lage duin (zeewaartse (eerste) duin/zeereep) of hoge duin (landwaartse duin) een effect heeft op (de interactie tussen) morfologie en vegetatie;
- We kijken of er patronen te vinden zijn in de aanzanding of dynamiek gedurende verschillende seizoenen (winter, voorjaar/zomer, najaar);
- Ten slotte kijken we of voor het betreffende element patronen per profieltype zijn vast te stellen.

De gevonden patronen worden - waar mogelijk - ook gekoppeld aan andere factoren, zoals kustoriëntatie, strandbreedte, windinvloed en overstromingen. We eindigen iedere beschouwing met de belangrijkste resultaten. Voor sommige vergelijkingen zijn te weinig of geen proefvlakken voorhanden. Dit wordt dan in de tekst aangegeven. De nu volgende resultaten zijn dus uitsluitend gebaseerd op de data van de vijftig proefvlakken en niet op vlakdekkende data. Bijlage VII laat voor alle proefvlakken de bijbehorende profielfiguren (hoogteontwikkeling tussen mei 2015 en maart 2018) zien, alsmede foto's van de proefvlakken gemaakt tijdens de vegetatieopnames in 2016, 2017 en 2018. Bijlage VIII bevat figuren met daarin de hoogteontwikkeling en dynamiek voor de verschillende elementen, profielen en seizoenen.

Door de relatief korte doorlooptijd van het project (kort voor vegetatieontwikkeling) zijn concrete generieke uitspraken met betrekking tot de ontwikkelingen in de verschillende proefvlakken slechts onder voorbehoud mogelijk. Wel is het mogelijk om voor de vroege ontwikkelingsfase, de eerste drie jaar direct na de aanleg van het duingebied, vast te stellen wat zich in de proefvlakken heeft afgespeeld qua vegetatieontwikkeling en dat in relatie tot al dan niet opgetreden c.q. gemeten verschuivingen in hoogte door natuurlijke zandverplaatsing te bespreken. Dit is vooral mogelijk voor de proefvlakken met ingeplant(e) helm/biestarwegras en struweel, aangezien hier door de initiële aanplant vanaf het begin een relatief hoge dichtheid van planten is geweest, waarbij dus niet eerst nog natuurlijke kolonisatie of vestiging op kaal zand heeft moeten plaatsvinden om een rol te spelen bij de aanzanding.

In drie van de vijf bij de HD aangelegde duinprofieltypen (zie afbeelding 2.2) liggen transecten met permanente proefvlakken. Deze transecten bevinden zich in de profieltypen 2, 3 en 4, dat wil zeggen enkel in 'hoog duin met geringe hoogtevariatie', 'hoog duin met voorliggend laag duin' en 'twee duinregels met daartussen een vochtige duinvallei'. Er liggen dus geen proefvlakken in profieltype 1 en 5. Behalve in het element 'struweel' liggen bijna alle proefvlakken op een vlak deel en niet op een talud.

Het totaal aantal permanente proefvlakken per profieltype is te vinden in tabel 6.1. Om de ontwikkeling van de duinvallei gerichter te kunnen volgen, zijn in profieltype 4 extra proefvlakken opgenomen.

Tabel 6.1: Aantal proefvlakken per duinprofieltype per element

Profiel-type	Kenmerken	Aantal proefvlakken van element					
		Strand	Ingeplant duin	Luwe Laagte	Oever	Struweel	Totaal
1	Hoog duin, uitkijkheuvel (gebied noordelijk van strandpaal 21)	-	-	-	-	-	-
2	Hoog duin, geringe hoogtevariatie	4	6	1	-	5	16
3	Hoog duin met voorliggend laag duin	2	2	2	-	2	8
4	Twee duinregels met vochtige duinvallei	4	4	3	10	4	25*
5	Lagune (gebied zuidelijk van strandpaal 25)		-	-	-	-	-
	*) In profieltype 4 bevindt zich ook nog één proefvlak van het element 'kale duinvoet' waarmee het totaal aantal van alle proefvlakken op 50 komt.						

Voor de vergelijkende analyse worden de volgende profielementen onderscheiden: strand, ingeplante duinen, luwe laagte, oever en struweel. Omdat het element 'kale duinvoet' slechts éénmaal voorkomt kunnen daarvoor geen patronen worden vastgesteld en dus geen generaliserende uitspraken worden gedaan.

Gebaseerd op de data van de proefvlakken kan in het algemeen het volgende worden opgemerkt over de interactie tussen morfologie en vegetatie in de verschillende profielen:

- *Profieltype 2; hoog duin met geringe hoogtevariatie:* in dit profiel vindt in zes van de 16 proefvlakken een afname in hoogte plaats. Deze afname is niet specifiek voor een bepaald element, en dus niet direct te linken aan vegetatie. Wel komt deze afname vaker voor in het noordelijke transect (vier van de acht proefvlakken ten opzichte van twee van de acht proefvlakken in het zuiden), waar twee van de drie proefvlakken met struweel, maar ook die met ingeplante helm (twee van de drie), een geringe afname laten zien.
- *Profieltype 3; hoog duin met voorliggend laag duin:* dit profiel lijkt een gunstige invloed op de hoogteontwikkeling te hebben: alle proefvlakken zijn in hoogte toegenomen, variërend van slechts 0,1 m tot wel 1,6 m. Op basis van de vlakdekkende data, is geconstateerd dat het profieltype geen verklarende factor is voor aanzanding. Op de veel kleinere schaal van acht proefvlakken zou geconcludeerd kunnen worden dat profieltype 3 wel een positieve invloed heeft. Dit illustreert alleen het belang van de schaalgrootte waarop wordt gekeken. Inhoudelijk zijn hier geen conclusies uit te trekken, daarvoor is het aantal proefvlakken en het aantal opnames (de keren dat de proefvlakken zijn opgenomen) te gering.
- *Profieltype 4; twee duinregels met vochtige duinvallei:* in het noordelijke transect neemt de hoogte in de proefvlakken veel minder vaak toe (toename in zeven van de dertien proefvlakken) dan in het zuidelijke transect (toename in elf van de dertien proefvlakken). In beide transecten is er een afname in hoogte in alle proefvlakken met struweel.

De proefvlakken in de lage duinen binnen deze profielen laten een grotere toename in hoogte (gemiddeld 1,4 m: acht proefvlakken) en meer dynamiek zien dan de hoge duinen (gemiddelde toename 0,18 m: elf proefvlakken). Voor zowel de proefvlakken met ingeplante helm (en/of biestarwegras) en de luwe laagtes geldt hetzelfde patroon.

Doordat de LiDAR-vluchten (i.e. hoogtemetingen) viermaal per jaar in min of meer dezelfde periode zijn uitgevoerd, kan ook grofweg naar de invloed van verschillende seizoenen op de zandverplaatsing/dynamiek in de proefvlakken gekeken worden. Onderscheiden worden: het najaar (augustus/september-december), winter (december-maart/april) en het voorjaar/zomer seizoen (maart/april-augustus/september). De meting van RWS en de AC waren beiden in het voorjaar. De invloed van de seizoenen op de hoogteontwikkeling in de proefvlakken in de verschillende profielen is echter niet eenduidig. Wel is het hoogteniveau in de

proefvlakken in profieltype 3 tijdens het najaar tot nu toe constant gebleven of toegenomen. Dit is niet het geval in de andere twee profieltypen.

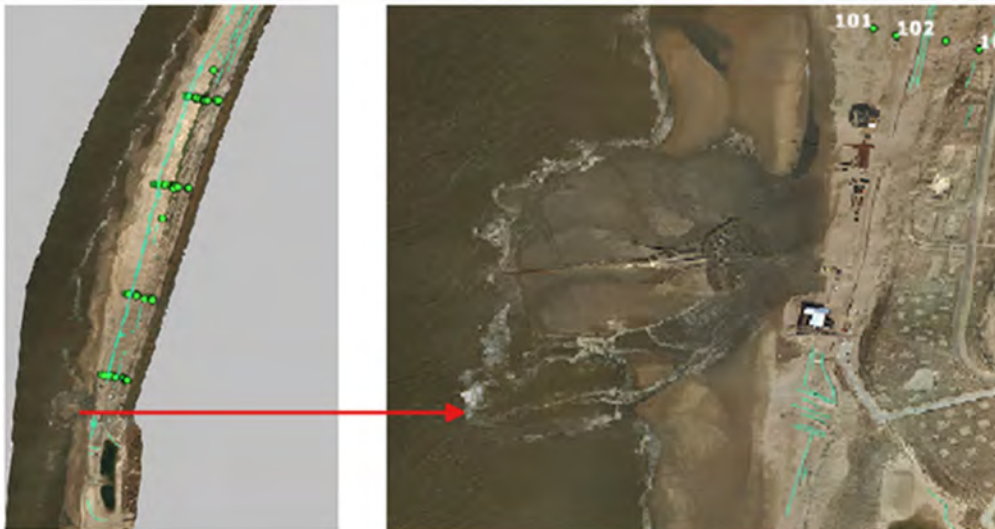
Wanneer we gericht per element naar de interactie **in de proefvlakken** kijken, stellen we het volgende vast:

Strand

De verschillende profieltypen hebben op het oog geen tot weinig invloed op de tien proefvlakken van het element strand. Soorten die in de monitoringperiode op het strand zijn aangetroffen zijn: biestarwegras, helm, zeeraket, en zeepostelein. De twee laatstgenoemde soorten zijn typische soorten die in het vloedmerk vestigen en dus op het strand groeien. Zeeraket en zeepostelein zijn echter in 2018 niet meer op het strand aangetroffen.

In negen van de tien proefvlakken is in de periode van mei 2015 tot maart 2018 een netto-hoogtetoename te zien, die varieert tussen de 0,2 en 1,6 m. Van de vier proefvlakken die in 2018 nog duidelijk onder de NAP + 3 m -lijn liggen, vertoont één proefvlak (nr. 101) een relatief grote netto-hoogteafname van 0,6 m, die grotendeels in één winter (2017/18) is opgetreden. Door de oriëntatie van de kust en de zeestroming heeft hier meer zanderosie plaatsgevonden dan op andere plekken. Een mogelijke verklaring daarvoor is dat dit proefvlak vlakbij de plek ligt waar in de eerste maanden van 2018 strandsuppletie heeft plaatsgevonden (afbeelding 6.3).

Afbeelding 6.3 Links: Overzicht locatie strandsuppletie in begin 2018, en duidelijke verandering van oriëntatie van de kust in noordelijke richting. Rechts: Strandsuppletie relatief ten opzichte van proefvlak 101, dat van de proefvlakken op het strand als enige in hoogte was afgenomen van mei 2015 tot maart 2018. Groene stippen zijn proefvlakken, turquoise lijnen zijn wilgenschermen. Luchtfoto is van maart 2018.



De metingen in de eerste proefvlakken in ieder transect (dus de meest zeewaarts gelegen) laten de minste aanzanding en minste dynamiek zien, en er is weinig vegetatieontwikkeling. Deze proefvlakken waren in 2017 en 2018 veelal onbegroeid. In één van de vijf proefvlakken groeide in 2016 en 2017 een enkele plant zeepostelein, en in één ander proefvlak is in 2016 het eerste biestarwegras en helm verschenen. Dit laatste proefvlak ligt dan ook bijzonder hoog op het strand en relatief beschermt bij een strandovergang. In 2018 is de bedekking van biestarwegras toegenomen en hier vormen zich inmiddels embryonale duinen. Biestarwegras is doorgaans de eerste soort die zich op het strand vestigt, gevolgd door helm. Beide soorten kunnen stuivend zand invangen en vasthouden. Wanneer geen verstoring optreedt en de aanzanding doorzet, kunnen zich op deze manier embryonale duinen vormen.

De hoogteontwikkeling als gevolg van de vroege aanwezigheid (al in 2016) van biestarwegras en/of helm is goed te zien in de figuren en foto's van de proefvlakken 102, 202, 302, 402 en 501 (zie bijlage VII en

afbeelding 6.3 ontstaan embryonale duinen). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat deze proefvlakken binnen 20 m zeewaarts van een wilgenscherm liggen. Het vasthouden van zand door de vegetatie wordt hier door het scherm gefaciliteerd. Elk tweede proefvlak in ieder transect heeft inmiddels de transitie van strand naar embryonale duinen doorgemaakt. De begroeide proefvlakken op het strand hebben een hoogtetoename van 0,8 tot 1,6 m ondergaan, terwijl dit voor de onbegroeide vlakken -0,6 tot 0,7 m is geweest.

Twee proefvlakken liggen landwaarts van een geplaatst wilgenscherm. Proefvlak 502 wordt weliswaar tot het type strand gerekend maar lijkt inmiddels meer onderdeel van de duinvoet. Proefvlak 402, een echt strandvlak, lijkt niet te profiteren van het scherm; de hoogteontwikkeling is aan de lage kant vergeleken met de meeste andere, zeewaarts van een wilgenscherm gelegen strand-proefvlakken met een positieve hoogteontwikkeling.

De invloed van menselijke activiteiten is duidelijk te zien bij de proefvlakken 301 en 401. Hier verhindert naast de invloed van mariene processen waarschijnlijk ook het berijden van het strand met voertuigen (zie de bandensporen in de foto's van 2016 in bijlage VII) de vestiging van vegetatie. In 2018 zijn bandensporen ook nog zichtbaar in proefvlak 301. Het zand is hier in de bandensporen samengedrukt; tussen de sporen ligt het zand hoger. Op deze hogere delen vindt meer verstuiving plaats. Dit is af te leiden uit de schelpen die hier duidelijk zichtbaar aan het oppervlak liggen (zie bijlage VII).

Er is geen eenduidig patroon te zien van een effect van de verschillende seizoenen op de hoogteveranderingen in de proefvlakken: over het algemeen is er aanzanding, en de sporadische zandafname tussen de hoogtemetingen is niet te koppelen aan een bepaald seizoen. In de proefvlakken op het strand in het noorden lijken iets vaker planten te groeien dan in het zuiden. Hier is de afstand tot de vloedlijn over het algemeen ook iets groter (dus minder verstoring door mariene processen) en zijn door de aanwezigheid van afrasteringen en wilgenschermen meer proefvlakken beschermd tegen verstoring door wandelaars en voertuigen.

Belangrijkste resultaten voor de HD (op basis van de proefvlakken) voor het element 'strand':

- Laag op het strand kan vegetatie zich niet blijvend vestigen
- Hoger op het strand is er meer beschutting tegen de invloed van mariene processen
- Wilgenschermen en afrasteringen (paaltjes) beschermen tegen verstoring door wandelaars en voertuigen en bevorderen de aanzanding wat duinontwikkeling kan bevorderen;
- Hoog op het strand faciliteren beide maatregelen de vorming van embryonale duinen; de embryonale duinen zijn binnen drie jaar ontstaan.

Ingeplante duinen

Grote oppervlakten duin zijn direct na de aanleg van het zandlichaam ingeplant met helm of een combinatie van helm en biestarwegras. De dichtheid was negen planten/m² met minstens zeven wortelstokken per plant. De aanplant is gestart in oktober 2014 en grotendeels afgerond in april 2015 (pers. meded. Peter Brandenburg tijdens veld-expertsessie in december 2017) met uitzondering van profiel 1 en 2 in het noorden. Hier is de aanplant tussen mei en december 2015 afgerond, wat afgeleid wordt uit de luchtfoto van december 2015, waarop de aanplant voor het eerst zichtbaar is. Op drie proefvlakken na is het aantal plantensoorten in alle proefvlakken toegenomen van 2016 naar 2018. In 2016 bedroeg het aantal soorten in de proefvlakken één tot vier soorten en in 2018 één tot acht soorten.

De meeste proefvlakken met ingeplant helm-/biestarwegras laten tussen 2015 en 2018 een toename in hoogte zien. Een uitzondering vormen twee uit drie proefvlakken in het meest noordelijke transect (transect 5, profiel 2; hoog duin met geringe hoogtevariatie). Over het algemeen hebben de proefvlakken met ingeplant helm op het lage duin (profiel 3) of meest zeewaartse duin (profiel 4) meer aanzanding dan de proefvlakken die op het hoge of meest landwaartse duin liggen. Op het lage/zeewaartse duin ziet de helm er over het algemeen dan ook vitaler uit dan op het hoge duin. In profiel 2 (hoog duin met geringe hoogtevariatie) is de meeste aanwas te zien in de proefvlakken die het dichtst bij zee liggen en dus naar verwachting de grootste windinvloed ervaren. Er is meer ophoging en dynamiek in de proefvlakken die in het zuiden liggen dan in het noorden.

De vier proefvlakken waar de helm er bijzonder vitaal uitziet, allemaal gesitueerd in de zeereep, hebben een hoogtetoename van 1,3 tot 2 m ondergaan, en hier vond ook relatief veel dynamiek plaats. Daarnaast zijn er vier proefvlakken waar de helm er matig uitziet. Deze bevinden zich aan de zeewaartse kant van het hoge duin. Hier was de hoogtetoename 0,1 tot 1,3 m, en de dynamiek minder dan in de proefvlakken met vitale helm. De vier proefvlakken met ronduit slecht uitzijnde helm bevinden zich allemaal op het hoge duin (twee zeewaarts, twee aan de landzijde van het hoge duin). Hier was er een hoogtetoename of afname van 0,1 m met zeer weinig dynamiek. Enkel in de proefvlakken met vitale helm vond er tijdens de verschillende seizoenen veel dynamiek plaats. Seizoensdynamiek was nagenoeg afwezig in de andere proefvlakken.

Er is geen eenduidig patroon te zien van een effect van de verschillende seizoenen op de hoogteverschillen binnen de proefvlakken. In de zomer/het najaar van 2015 is er wel enige dynamiek te zien, maar die is nagenoeg afwezig in 2016. Daarna neemt die weer wat toe. In profiel 3 en 4 neemt het hoogteverschil in de proefvlakken die op het lage of zeewaartse duin liggen, vooral in het najaar van 2017 toe, maar in het laatste winterseizoen (begin 2018) ook weer af.

Het effect van het aanplantseizoen is wel overal duidelijk te zien: de in het warmere en drogere seizoen (voorjaar/zomer) geplante helm is aanzienlijk minder vitaal dan de helm die in het koelere en nattere seizoen (najaar/winter) is geplant. Het is zeer de vraag of deze slechtere 'start' kan worden ingelopen. Niet alleen de zanddynamiek is in het noorden geringer maar ook de kwaliteit van het zand: het heeft een grotere korrel, bevat meer grof gesteente en is minder kalkrijk. Dat laatste is voor helm echter ondergeschikt vergeleken bij de ontbrekende zanddynamiek. Dat de helmplanten er minder vitaal uitzien, neemt overigens niet weg dat zij hun functie vervullen en het zand vasthouden.

Bijzondere waarnemingen met betrekking tot 'ingeplante duinen' per profieltype:

- *Profieltype 2: hoog duin met geringe hoogtevariatie (zes proefvlakken):* In dit profiel laten de proefvlakken op het buitentalud en meest zeewaarts gelegen op het hoge duin de meeste dynamiek zien. Er ligt één proefvlak (103) op het buitentalud van het duin, waarop zich over de jaren een klein voorduin heeft gevormd. Hier hebben de meeste hoogteverandering en dynamiek plaatsgevonden. Dit is ook goed te zien aan de vegetatie. De helm is hier overstoven (zie afbeelding 6.4). Het is de vraag of de helmplanten die hier in 2017 zijn aangetroffen, overblijfselen zijn van de ingeplante helm uit 2015 of uitlopers van deze initiële helm. De kans dat dit spontane helmgroei is, is onwaarschijnlijk. In afbeelding 6.4 is de helmbegroeiing bij proefvlak 103 in 2016 duidelijk zichtbaar. De hoogte van het proefvlak was toen 6,6 m. In april 2017 was deze helm overstoven, waarbij de hoogte was toegenomen tot 7,3 m. In de luchtfoto van augustus 2017 is te zien dat de helm weer boven de verstuiving uitgroeit (rode vierkanten). De hoogte van het proefvlak bedraagt hier 7,8 m en heeft dus sinds december 2016 een overstuiving van 1,2 m ondergaan. Inmiddels ziet de helm er weer vitaal uit (afbeelding 6.4). Het is niet aan te geven wanneer precies de overstuiving van de helm heeft plaatsgevonden. Duidelijk is wel dat sommige helmplanten een overstuiving van 0,7 m en zelfs 1,2 m kan overleven. Het is bekend dat helm vitaal blijft bij enige dynamiek en een overstuiving van 1 m kan overleven zolang dit proces geleidelijk verloopt. Proefvlak 103 laat zien dat zelfs een overstuiving van 1,2 m niet voor iedere helmplant een probleem vormt. Toch is het aannemelijk dat de overstuiving daar te snel is gegaan omdat niet alle helmplanten deze gebeurtenis hebben overleefd. Minder vitale helm zien we ook in de proefvlakken die meer landwaarts op de kruin van het duin liggen, waar de lokale zanddynamiek gering is. De bedekking met helmplanten neemt op deze plaatsen wel iets toe, vooral door groei van de aangeplante helm, dit in tegenstelling tot groei door uitlopers. De ontwikkelingen op de genoemde locaties met veel en weinig dynamiek illustreren duidelijk dat er een minimum en maximum aan aanzanding nodig is voor de overleving en vitaliteit van helmgras.

Afbeelding 6.4: Temporeel overzicht van proefvlak 103 (transect profiel 2, dichtbij Camperduin) van december 2016 tot augustus 2017 (luchtfoto's) en tijdens de vegetatie-opnames. Op de luchtfoto's is de helmbegroeiing bij proefvlak 103 in 2016 duidelijk zichtbaar. In april 2017 was deze helm overstoven, terwijl in augustus 2017 de helm weer boven de verstuiving uitgroeit (rode vierkanten; gele lijnen zijn wilgenschermen). Tijdens de vegetatie-opnames was de helm goed aanwezig in 2016, en deels overstoven in 2017 (foto's: Daisy de Vries en Loek Kuiters)



- *Profieltype 3: hoog duin met voorliggend laag duin (twee proefvlakken):* Op het lage duin is de helmbedekking tussen 2016 en 2018 afgenomen ondanks dat hier meer hoogteontwikkeling (+1,3 m) heeft plaatsgevonden. Hier is dus een negatieve relatie tussen ophoging en bedekking met helm aangetroffen. Op het hoge duin waar de helmbedekking tussen 2016 en 2018 ook is afgenomen was de hoogte-ontwikkeling minder groot (+0,3 m). De helm ziet er vitaal uit vooral op het lage duin.
- *Profieltype 4: twee duinregels met vochtige duinvallei (vier proefvlakken):* Op het zeewaartse (lage) duin vindt meer dynamiek en ophoging plaats dan op het landwaartse duin. In de twee proefvlakken was er een aanzienlijke toename van zand. In één proefvlak was er een ophoging van 1,6 m waarbij eerst een toename in helmbedekking plaatsvond maar deze is in 2018 weer afgenomen (maar wel evenveel bedekking in 2016 en 2018), en het andere proefvlak een ophoging van 2,1 m waarbij de helmbedekking geleidelijk is afgenomen. De bedekking met helm is op het landwaartse duin gelijk gebleven tussen 2016 en 2017, maar tussen 2017 en 2018 toegenomen in één proefvlak en afgenomen in het andere. Op het lage zeewaartse duin, waar meer verstuiving plaatsvindt, ziet de helm er vitaler uit.

Wanneer natuurlijkheid wordt gedefinieerd als de mate en intensiteit waarin biotische en abiotische processen plaatsvinden en in het landschap tot uitdrukking komen (zoals ook in hoofdstuk 9 voor de vergelijkende analyse is gedaan), dan is vast te stellen dat een duingebied niet per se natuurlijker oogt wanneer er veel bedekking met helm is. Het hoge duin heeft relatief veel bedekking, maar als gevolg van de geringe zanddynamiek ziet de helm hier niet echt vitaal uit, en ook het inplantpatroon is nog steeds duidelijk zichtbaar. Daarentegen zijn er plekken in de zeereep waar de bedekking met helm door de sterke zandaanvoer weliswaar lager is geworden, maar de helm die dat proces heeft overleefd, oogt nu wel veel vitaler en natuurlijker. Overstuiving bevordert dus de natuurlijke uitstraling van het duingebied.

Belangrijkste resultaten voor de HD (op basis van de proefvlakken) voor het element 'ingeplant duin':

- Ingeplante delen bevorderen zandinvang;
- Helm heeft een vitalere uitstraling daar waar zanddynamiek heerst (in zeereep/op lage duin);
- Helm overleeft een relatief hoge ophoping tot 1,2 m.

Luwe Laagtes

De luwe laagtes zijn onbeplante verdiepingen die op de kruinen zijn aangebracht om lokaal de zanddynamiek te vergroten. In de rechter afbeelding van proefvlak 404 in bijlage VII is duidelijk zichtbaar hoeveel zanddynamiek er plaats kan vinden in een luwe laagte. De gekleurde lijnen geven de hoogten aan zoals gemeten tijdens de verschillende LiDAR-vluchten binnen het proefvlak, waarvan de begrenzing is aangegeven met roze verticale lijnen. De donkerblauwe hoogtelijn laat de eerste meting in mei 2015 zien en

de volgende metingen worden weergegeven in de volgorde van de regenboogkleuren: blauw, lichtblauw, turquoise, groen, geel, oranje, rood met roodbruin als laatste meting in maart 2018 (zie ook de leeswijzer bij bijlage VI). Wanneer opeenvolgende lijnen dicht bij elkaar liggen is er weinig ophoging en dynamiek en vice versa. Ook in bijlage VII zijn de schommelingen in hoogte goed te zien in deel 3 van afbeelding VII, waarbij rood een afname tussen twee metingen betekent en blauw een toename. In totaal zijn er zo'n 430 luwe laagtes (zie ook de monitoringsrapportage van 2017). In het noorden is een aantal daarvan toch met helm ingeplant, vaak op instructie van HHNK en/of omdat er veel stuifhinder op het fietspad was.

Er zijn zes proefvlakken in de luwe laagtes. In twee proefvlakken is in 2016 en 2017 vegetatie aangetroffen, in één daarvan in beide jaren (helm). De twee proefvlakken, die in 2017 beide begroeid waren, liggen op de kruin, aan de landwaartse zijde van hoog duin. In proefvlak nr. 206, dat in 2016 nog niet begroeid was, lijkt verjonging op te treden vanuit de omliggende ingeplante helm (afbeelding 6.5). Hoe dan ook, de helm komt in deze proefvlakken slechts in zeer lage bedekking voor. In beide proefvakken is weinig dynamiek en hoogteverandering te zien (netto 0 m en 0,1 m ophoging) terwijl de andere proefvlakken 1-1,8 m zandaanwas lieten zien (met uitzondering van één proefvlak waarbij de hoogte met 0,2 m is afgenomen). Zaad van helm ontkiemt vooral op plaatsen waar weinig dynamiek is (Huiskes et al, 1979). Het verjongingspatroon in proefvlak nr. 206 duidt hier ook op. In 2018 is nog maar één proefvlak onbegroeid. In vier proefvlakken is er begroeiing van helm en/of biestarwegras. In één proefvlak is in zowel 2017 als ook in 2018 zeemelkdistel aangetroffen, een plant die voorkomt op voedselarm zand. Andere soorten die in 2018 in lage bedekking zijn aangetroffen in de luwe laagte proefvlakken zijn duinzwenkgras, spiesmelde en klein kruiskruid.

Afbeelding 6.5: Luchtfoto's (boven) van de luwe laagte op de kruin van het hoge duin met daarin proefvlak 206 (profiel 3) in mei 2015 (links) en maart 2018 (rechts), en foto's gemaakt tijdens de vegetatieopname in september 2016 (links) en 2017 (rechts). In 2015 was de luwe laagte nog kaal. In 2017 is er in het proefvlak al helm aanwezig. De grenzen van het proefvlak zijn aangeduid met blauwe stokken met rode tape (foto's: Daisy de Vries en Loek Kuiters)



De luwe laagtes op het lage of meest zeewaarts gelegen duin ondergaan meer dynamiek dan die op de hoge duinen en duinen aan de landzijde.

Over het algemeen is er een hoogteafname in de luwe laagtes in het voorjaar/zomerseizoen in alle profielen (2016 en 2017), en is er een hoogteafname tijdens de winter van 2018. Tijdens het herfstseizoen vindt er aanzanding plaats op het lage duin, maar niet op het hoge duin.

N.B. Er zijn te weinig proefvlakken van het element 'luwe laagte' (zie tabel 6.1) om iets te kunnen zeggen over mogelijke patronen per profieltype of een noord-zuid gradiënt.

Belangrijkste resultaten voor de HD (op basis van de proefvlakken) voor het element 'luwe laagte'

- Luwe laagtes zorgen voor dynamiek (in- en uitstuiven van zand) in de zeereep (zie ook afbeelding 6.5);
- Waar dynamiek in of onder invloed van de luwe laagte te groot is kan vegetatie zich niet vestigen;
- Hoe dichter bij zee hoe meer dynamiek in de luwe laagtes.

Oever

De proefvlakken van het element 'oever' liggen allemaal in profiel 4 (twee duinregels met vochtige duinvallei). Naast de in totaal acht proefvlakken op transect 3 en 4 zijn in 2016 ook twee proefvlakken uitgezet bij het destijds meest noordelijke en zuidelijke punt van het open water. Over de jaren is de vochtige vallei echter door zandinstuif steeds minder lang geworden en begint er vooral vegetatie te verschijnen op het meest noordelijke punt bij het open water (afbeelding 6.6). De noordwaartse verschuiving van de zuidelijke oever is groter geweest dan de zuidwaartse verplaatsing van de noordelijke oever. In de monitoringsrapportage van 2017 wordt ook gerapporteerd dat het volume (aanzanding/accumulatie) in het zuiden groter is dan in het noorden van de duinvallei.

In afbeelding 6.7 is goed te zien dat de oever van de vochtige vallei zich tussen 2015 en 2018 naar het oosten heeft 'verplaatst'. Dit geldt voor beide oevers maar is vooral duidelijk zichtbaar aan de zeewaartse (westelijke) oever. Er vindt dus meer zandverstuiving op de westelijke oever plaats wat te verklaren is door een combinatie van wind, die vaak uit (zuid)westelijke richting waait, en de geometrie, i.e. het voorliggende duin. Hierdoor zal stuivend zand zich sneller op de westelijke oever ophogen, waardoor de oeverlijn verder naar het oosten komt te liggen. Doordat het buitentalud van het hoge duin een barrière vormt voor verdere uitbreiding van het waterlichaam naar het oosten toe, wordt het waterlichaam steeds minder breed (afbeelding 6.7 en 6.8). Dit komt overeen met de monitoringsrapportage van 2017 die laat zien dat er veel zandinvang of sedimentatie plaatsvindt in de duinvallei, specifiek aan de zeewaartse zijde van de duinvallei. Het zand komt terecht op het binnentalud van het lage duin en in de duinvallei. Dit is ook goed te zien in afbeelding 6.8. In mei 2015 werd de oever aan de zeewaartse zijde begrensd door een relatief steil binnentalud van het lage duin (tevens ingeplant met helm). In maart 2018 is te zien dat dit talud en de vallei (zowel de oever als het water) behoorlijk zijn ingestoven. De helm op het talud is tussen mei en december 2015 volledig ondergestoven en heeft dit niet overleefd. Uitzondering hierop is wellicht de helm op de overgang van de kruin naar het binnentalud (zie ook element 'ingeplante duinen'). Tijdens deze periode is de oeverlijn ook al deels overstoven, maar de grootste aanzanding van de oever en het water vond plaats tussen december 2015 en mei 2016.

Daarnaast is tijdens het veldbezoek in juni 2018 ook waargenomen dat er met hevige regenval watererosie plaatsvindt op de taluds. Aangezien ook de lengte van het waterlichaam kleiner wordt, is de verwachting dat de duinvallei uiteindelijk volledig dicht zal stuiven.

Afbeelding 6.6: Vegetatie noordelijke punt waterlichaam in de vochtige duinvallei in september 2018 (foto: Georgette Legendijk)



Afbeelding 6.7: Het waterlichaam in de vochtige duinvallei. In mei 2015 (luchtfoto links) was het meer langer en breder dan in maart 2018 (luchtfoto rechts). Vooral in het zuiden is zichtbaar dat de oeverlijn naar het noorden is opgeschoven. Op de foto van mei 2015 is ook de dam, die begin 2017 is doorgestoken, nog volledig zichtbaar in het midden van het waterlichaam. De rode en turquoise lijnen geven de positie van de wilgenschermen weer



Slechts twee proefvlakken liggen op de westelijke oever en zes op de oostelijke oever. Het lijkt erop dat er meer plantensoorten voorkomen op de oostelijke oever. Dit is onder andere te verklaren door de grote hoeveelheid zandinvang op de westelijke oever, zoals hierboven besproken is, waardoor planten overstoven raken die dit niet kunnen verdragen. De proefvlakken op deze oever zijn in drie jaar met 0,6 en 1,1 m in hoogte toegenomen. Tussen 2016 en 2017 was dat 0,3 en 0,5 m. De hoogte van de kruidlaag was slechts 5 cm in 2016, waardoor het aannemelijk is dat er te veel sedimentatie in korte periode heeft plaatsgevonden voor de vegetatie om dit proces te kunnen overleven. Helmvegetatie, die aanwezig was als relatief kleine plant in één van de proefvlakken, kan tot ca. 1 m overstuiving per jaar verdragen zolang dit geleidelijk plaatsvindt, maar hangt dus ook af van de grootte van de plant. Beide oevers zijn erg dynamisch, waardoor zaden en kiemplanten veel omgevingsstress ondervinden, vooral in de proefvlakken die dichtbij de oeverlijn liggen. Stressfactoren aan de westelijke oever zijn zandinvang, oeverafslag (klifvorming) en overstroming. De

oostelijke oever heeft te maken met onregelmatige overstrooming en klifvorming en dus oeverafslag door het water. Het is duidelijk te zien dat de proefvlakken die relatief ver van de waterkant en dicht bij de voet van het buitentalud van het hoge duin liggen (landwaartse zijde) relatief meer soorten herbergen (onder andere helmgras en biestarwegras). Dit zijn voornamelijk soorten die standhouden bij zoute tot brakke omstandigheden. Er hebben zich al enkele soorten van (zilte) duinvalleien gevestigd, zoals Heen, Ruwe bie, Kortarige Zeekraal, Zeeaster, Gerande Schijnspurrie, Zeewolfsmelk en Spiesmelde. Ook Riet is zich volop aan het vestigen.

Afbeelding 6.8: Luchtfoto's van de duinvallei en foto's van proefvlakken 306 (op de westelijke oever) en 308 (oostelijke oever). Proefvlak 307 (oostelijke oever) lag tijdens de vegetatiemonitoring in 2018 in het water. Het waterlichaam in de vochtige duinvallei was in mei 2015 breder dan in maart 2018. Tevens is de oostelijke oever naar het oosten toe 'opgeschoven'. Op de luchtfoto van mei 2015 is ook de dam die begin 2017 is doorgestoken¹², nog volledig zichtbaar in het midden van het waterlichaam (foto's: Daisy de Vries en Loek Kuiters)



Voor de oever-proefvlakken spelen de seizoenen vooral een rol in verband met de waterhuishouding van de vochtige duinvallei. Bij veel neerslag in de herfst of winter stijgt het waterniveau, terwijl het waterniveau in de zomer daalt door verdamping met terugtrekkende oeverlijnen. Over de daadwerkelijke invloed van de seizoenen op de hoogteontwikkeling van de proefvlakken kunnen bij gebrek aan voldoende data daarvoor geen uitspraken worden gedaan. Een aantal proefvlakken heeft tijdens de LiDAR-vluchten onder water gestaan waardoor ze niet konden worden opgenomen omdat LiDAR niet kan doordringen in water.

Belangrijkste resultaten voor de HD (op basis van de proefvlakken) met betrekking tot het element 'oever':

- De oever en daarmee de duinvallei dreigen dicht te stuiven;
- Door de grote dynamiek aan de oevers (zandinvang, overstrooming en afslag) zijn de omstandigheden daar (nog) niet gunstig voor een goede vestiging van planten, al zijn al enkele (zilte) duinvalleisoorten hier aangetroffen, en begint riet zich te vestigen;
- Vestiging van planten is een langetermijnproces, aangezien plantenzaden tijd nodig hebben om de vallei te bereiken (momenteel vindt verspreiding plaats door wind en fauna).

¹² De dam is doorgestoken door de AC, omdat er veel gebruik van werd gemaakt door recreanten

Struweel

Het struweel is aangeplant op het binnentalud van het hoge duin tot aan NAP +10 m. Er is een plantendichtheid aangehouden van 1,5 plant m⁻² boven NAP + 7 m en 3 planten m⁻² beneden NAP + 7 m. Aanplant bestond uit houtige plantensoorten, waaronder duindoorn, eenstijlige meidoorn, gewone vlier, wilde liguster, wilde kardinaalsmuts, egelantier, wegedoorn en hondsroos. In ieder transect (1-4) liggen twee proefvlakken in het struweelgebied, en in transect 5 (profiel 2) drie. Er zijn in totaal dus elf proefvlakken met struweel. Over het algemeen verloopt de vegetatieontwikkeling hier langzaam. Duindoorn slaat doorgaans goed aan, maar dit geldt niet voor de andere soorten (zie voorbeeld afbeelding 6.9). Dit komt doordat deze een voedselrijke en ontwikkelde bodem nodig hebben om zich goed te kunnen vestigen. Die is momenteel (nog) niet aanwezig. De vegetatiebedekking neemt tussen 2016 en 2018 wel toe (in acht van de elf proefvlakken), met name de duindoorn doet het goed. Over het algemeen geldt: hoe lager op het binnentalud van het hoge duin, hoe meer plantensoorten (dit omvat struweelsoorten maar ook kruiden en grassen). Er is meer zanddynamiek in het zuiden dan in het noorden. In het zuiden neemt de zandaanwas toe, terwijl in het noorden erosie heeft plaatsgevonden in de proefvlakken met struweel. Op de laatste twee winters na, waarin erosie is opgetreden, zijn er geen andere duidelijk effecten van de seizoenen waargenomen. Aangezien helm zand invangt en dus zandtransport richting het struweel kan temperen is er ook gekeken of afstand van het proefvlak tot de helmplant een rol speelt in aanzanding en dynamiek binnen struweelproefvlakken. Dit lijkt niet het geval te zijn. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat tijdens veldbezoeken de indruk bestond dat er 'lawines' plaatsvonden in de struweelzone, maar bewijs hiervoor wordt dus niet gevonden in de twaalf proefvlakken die in het struweel liggen. De aanwezigheid en bedekking met helm neemt over het algemeen toe in de struweel-proefvlakken vanwege de zanddepositie die daar kennelijk plaatsvindt.

Afbeelding 6.9: Foto's ontwikkeling duindoorn in proefvlak (boven) en andere soorten in proefvlak (beneden) in 2016, 2017 en 2018 (foto's: Daisy de Vries en Loek Kuiters)



Bijzondere waarnemingen met betrekking tot 'struweel' per profieltype:

Profieltype 2; hoog duin met geringe hoogtevariatie (vijf proefvlakken): In de zuidelijke proefvlakken (transect nr. 1) is het aantal soorten en de bedekking toegenomen, met name de bedekking met duindoorn. In het noorden (transect nr. 5) is het aantal soorten in twee van de drie proefvlakken tussen 2016 en 2017 toegenomen en in 2018 weer afgenomen. Het andere proefvlak liet een toename zien van 2017 naar 2018 van zes naar negen soorten. Terwijl de proefvlakken in het zuiden in hoogte zijn toegenomen en iets dynamischer zijn dan de proefvlakken in het noorden, waar de hoogte gelijk is gebleven of is afgenomen, is het aantal soorten in de noordelijke en zuidelijke transecten vergelijkbaar.

Profieltype 3; hoog duin met voorliggend laag duin (tweeproefvlakken): In beide proefvlakken heeft een toename in plantensoorten plaatsgevonden alsmede in de bedekking van vegetatie. Duindoorn doet het hier goed en ziet er vitaal uit. In dit profieltype hebben zich grotere veranderingen in hoogte voorgedaan dan in profieltype 2. Hier vond meer dynamiek plaats en is er meer accumulatie dan in profieltype 2 (toename van 0,9 en 1,0 m tegenover een hoogteverandering van -0,2 tot 0,3 m in profieltype 2).

Profieltype 4; twee duinregels met vochtige duinvallei (vier proefvlakken): In het noordelijke transect (nr. 4) is het aantal soorten in de twee proefvlakken met struweel met ieder vier soorten toegenomen. In het zuidelijke transect (nr. 3) is het aantal soorten met twee en zes soorten toegenomen. De proefvlakken laten op beide transecten relatief weinig dynamiek zien en zijn tussen 2015 en 2018 allemaal in hoogte afgenomen (range afname/erosie van 0,1 tot 0,5 m).

Belangrijkste resultaten voor de HD (op basis van de proefvlakken) voor het element 'struweel':

- Struweel slaat slecht aan, vermoedelijk door de voedselarme bodem;
- Duindoorn (dat wel goed gedijt in voedselarme bodem) is over het algemeen redelijk vitaal;
- Helm neemt toe in de struweelzone waar aanzanding plaatsvindt.

6.2.4 Vergelijkende analyse op basis van luchtfoto's: vegetatie vs. morfologie

In paragraaf 6.2.3 zijn de meest opvallende patronen per proefvlak besproken. Hieronder zoomen we iets uit. De luchtfoto's zijn hiervoor bestudeerd en hierbij is er gekeken naar de transecten waarin de proefvlakken liggen en op kleinere schaal naar de directe omgeving per proefvlak. Enkel de meest interessante of opvallende bevindingen worden hieronder geïllustreerd en besproken.

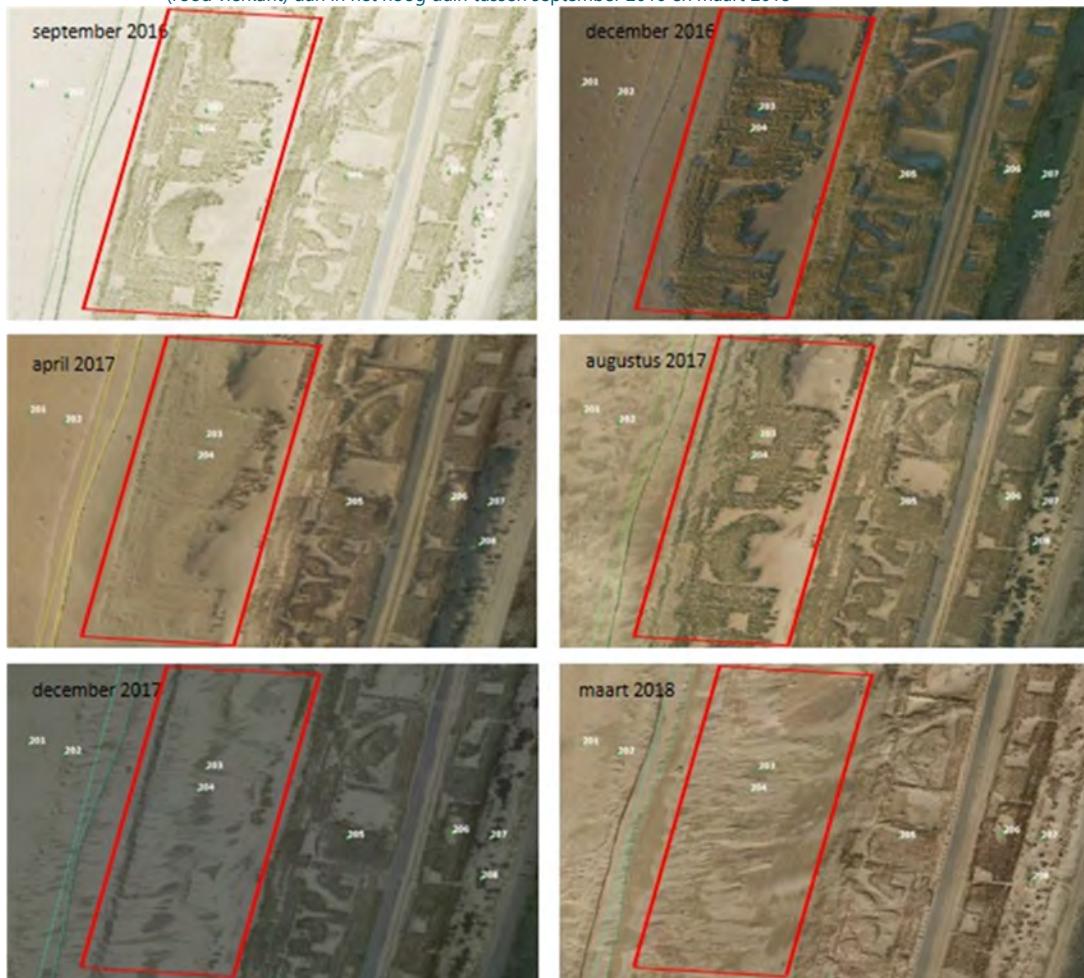
- *Ontstaan embryonale duinen:* Afbeelding 6.10 laat zien hoe snel embryonale duinen kunnen ontstaan. De afbeelding toont het gebied rond proefvlak 102 in transect 1 profiel 2 'hoog duin, geringe hoogtevariatie'. De eerste foto gemaakt in december 2015 laat een nog kaal hoog strand zien, met rechts een wilgenscherm. In september 2016 is de eerste vegetatie zichtbaar en in december 2016 zijn er al kleine embryonale duinen.

Afbeelding 6.10: Ontwikkeling van embryonale duinen in profieltype 2 'hoog duin, geringe hoogtevariatie' tussen december 2015 en december 2016



- *Dynamiek voorliggende duin (zeereep of laag duin)*: In afbeelding 6.11 is duidelijk zichtbaar dat er meer zandverstuiving en dus dynamiek is in het laag duin dan in het hoog duin. De afbeelding toont een laag (in het rode kader) en hoog duin binnen profiel 3 'hoog duin met voorliggend laag duin' met de ontwikkeling van september 2015 tot maart 2018. In september en december 2016 is de vegetatie nog duidelijk te zien in het rode kader, maar in april 2017 is de vegetatie grotendeels overstoven. In augustus is de vegetatie hier weer bovenuit gegroeid, maar is in december 2017 en maart 2018 wederom overstoven. In al deze tijd is het hoge duin nauwelijks overstoven en is de vegetatie goed zichtbaar gebleven. Slechts in maart 2018 lijkt er ook op het hoge duin wat meer verstuiving plaats te hebben gevonden.

Afbeelding 6.11: Dynamiek in profieltype 3 'hoog duin met voorliggend laag duin'. Er is meer zandverstuiving in het laag duin (rood vierkant) dan in het hoog duin tussen september 2016 en maart 2018



- *Zandtransport vanuit luwe laagtes*: Afbeelding 6.12 laat een aantal luwe laagtes (rode kader) zien op het lage duin in profiel 4 'twee duinregels met vochtige duinvallei'. De pijlen illustreren het zandtransport vanuit de luwe laagtes over het binnentalud van het lage duin. Hierdoor vindt er veel sedimentatie plaats op de westelijke oever van het waterlichaam in de duinvallei (zie hiervoor ook 5.2.2. oever).

Afbeelding 6.12: Zandtransport vanuit de luwe laagtes naar het binnentalud van het lage duin in transect 3 in profiel 4 'twee duinregels met vochtige duinvallei'. Rode kaders zijn de luwe laagtes, pijlen laten zien waar het zand terecht komt. Luchtfoto: 19 april 2017



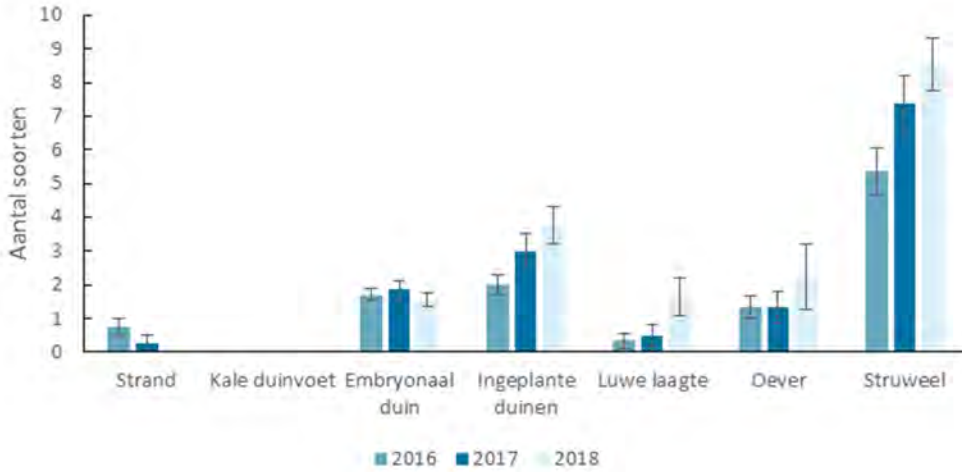
6.2.5 Vegetatiesamenstelling en soortenrijkdom

Op de transecten worden inmiddels meer soorten waargenomen dan in het begin in 2015 (zie bijlage III). De proefvlakken volgen dit patroon met ieder jaar een grotere toename: van 29 soorten in 2017, naar 40 soorten in 2017 en 46 in 2018.

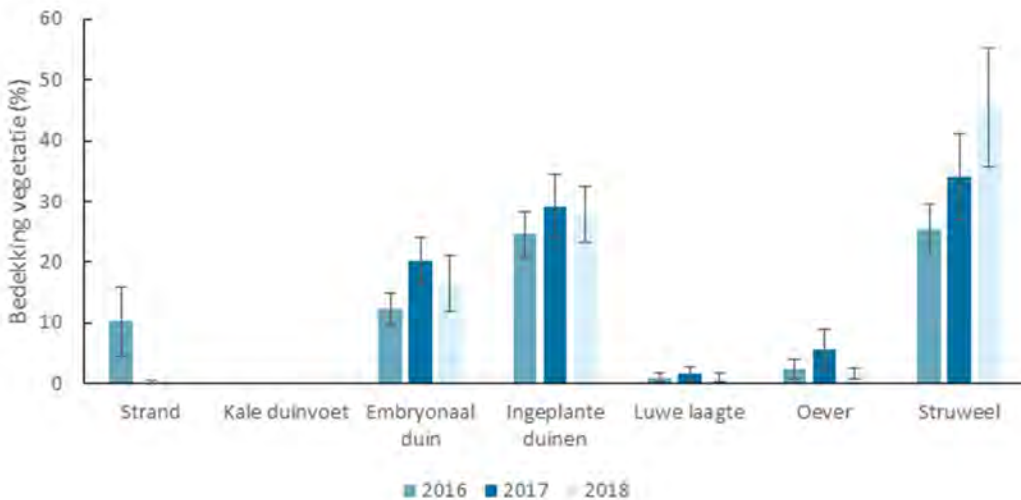
In afbeelding 6.13 en 6.14 zijn respectievelijk het gemiddeld aantal soorten en de vegetatiebedekking per ontwerpelement, dat wil zeggen de bij aanleg voorziene elementen, uitgezet voor zowel 2016, 2017 en 2018. Zes proefvlakken die hoog op het strand liggen, hebben zich inmiddels ontwikkeld naar embryonale duinen. Ook één oever-proefvlak is nu embryonaal duin. In afbeelding 6.13 en 6.14 is daarom nu naast de oorspronkelijke ontwerpelementen het element 'embryonale duinen' toegevoegd.

Net als in 2016 en 2017 zijn er ook in 2018 geen plantensoorten aangetroffen op de kale duinvoet. Er groeien ook geen soorten meer in de proefvlakken die laag op het strand liggen. Het aantal soorten in de proefvlakken embryonaal duin zijn nagenoeg gelijk gebleven over de jaren. In de elementen luwe laagtes, oever en struweel zijn de aantallen soorten toegenomen. Waar geen plantensoorten zijn waargenomen (strand-proefvlakken en de kale duinvoet) kan ook geen vegetatiebedekking worden weergegeven. In de andere elementen (embryonaal duin, ingeplante duinen, luwe laagtes en oever) lijkt de vegetatiebedekking licht te zijn afgenomen. Er is enkel een toename in bedekking in het struweel.

Afbeelding 6.13: Gemiddeld aantal plantensoorten in de proefvlakken in de verschillende ontwerpelementen in 2016-2018 (error bars: gemiddelde \pm 1 SE). De soortenrijkdom is in elk element toegenomen met uitzondering van het element strand en embryonale duinen



Afbeelding 6.14: Gemiddelde bedekking van de proefvlakken in de verschillende ontwerpelementen in 2016-2018 (error bars: gemiddelde \pm 1 SE). De vegetatiebedekking is enkel toegenomen in het struweel



6.3 Conclusies interactie morfologie en vegetatie

De belangrijkste conclusie is dat dynamiek in zandaanstuiving bepalend is voor de (verdere) ontwikkeling van met name (de aangeplante) helm, maar ook de vestiging van nieuwe soorten. Na drie jaar tekent zich duidelijk een tweedeling af: waar dynamiek heerst, zien we de aangeplante helm veranderen in vitale begroeiing. Bij extreme overstuiving (> 1 m) kan de helm de aanzanding niet (altijd) bijhouden en is er een lagere bedekking, maar de helm die er is, oogt vitaal. Door de wisselende bedekking is het aanplantpatroon in de relatief hoog-dynamische delen niet meer zichtbaar en oogt de vegetatie natuurlijker. Waar geen dynamiek is, lijken de processen stil te staan. De ingeplante helm weet zich hier wel te handhaven, maar ziet er niet, of in ieder geval minder, vitaal uit. Op het lage strand waar de wind vrij spel heeft (en ook menselijke verstoring zal zijn opgetreden), vestigt zich hooguit sporadisch en tijdelijk een enkele plant. Waarschijnlijk verdwijnen de planten door stormerosie. Hoger op het strand, zeewaarts én landwaarts van geplaatste wilgenschermen, zijn embryonale duinen ontstaan, wat conform verwachting is. De aanwezigheid van de wilgenschermen heeft een positief effect op de duinontwikkeling doordat deze de overstuiving bevorderen.

De luwe laagtes doen waarvoor ze zijn aangelegd: ze geven zand door, en dragen zo bij aan de lokaal aanwezige dynamiek. Dat is duidelijk zichtbaar in de zeereep. De dynamiek was daar waarschijnlijk in het begin te hoog voor helm om te kiemen, waardoor de vegetatieontwikkeling daar meer tijd vergt. In de landwaarts gelegen luwe laagtes is er veel minder dynamiek door de afwezigheid van zandtransport. Daar zijn de omstandigheden voor het ontkiemen van de vegetatie wel beter, maar door de lage aanzanding neemt vooral helm niet veel toe in oppervlakte. Daarnaast is er bij de landwaartse luwe laagtes ook verstoring geweest door het vegen van het fietspad en het plaatsen van stuifschermen, maar het is onduidelijk wat het effect hiervan is op de luwe laagtes. Het aangeplante struweel in de zone tegen de oude dijk aan doet het matig tot slecht vanwege de voedselarme bodem, alleen duindoorn kan zich goed vestigen. In het noorden is de situatie wat dat betreft slechter dan in het zuiden. Op kleine schaal is te zien dat (ook in de minder dynamische delen, en zelfs de struweelzone) een zeer geringe aanstuiving van zand voldoende is om helmgroei te laten ontstaan, vooral bij locaties waar het zand de mogelijkheid heeft om meer landwaarts te worden getransporteerd (als we ook buiten de proefvlakken kijken, zien we dit bijvoorbeeld bij strandopgangen).

De vochtige duinvallei is een geval apart. De ligging tussen twee duinenrijen met een dynamisch lokaal windklimaat zorgt ervoor dat de vallei geleidelijk vanuit het zuiden zal dicht stuiven. Veranderlijke waterstanden in combinatie met wind bepalen de grote dynamiek in de oeverzone. Het gekozen ontwerp van de vallei (een lange rechte laagte) leidt ertoe dat dit dicht stuiven versneld zal optreden.

Zie ook paragraaf 5.6.1 en de aanbevelingen in hoofdstuk 10.

7

OPTIMALISATIE VEILIGHEIDSONTWERP

7.1 Inleiding

Dit hoofdstuk richt zich op de vraag of er op het gebied van waterveiligheid optimalisatiemogelijkheden zijn aan te wijzen als met de huidige kennis van zaken gekeken wordt naar het ontwerp en de ontwerpeisen van de inmiddels gerealiseerde kustversterking van de HD. Dit hoofdstuk richt zich alleen op het duingebied (vanaf 3,0m+NAP).

De onderzoeksvragen die in dit hoofdstuk behandeld worden zijn:

1. *In welke mate wordt zandvraag als gevolg van zeespiegelstijging, bodemdaling en eolisch verlies gecompenseerd door eolische depositie? (§7.4 en 7.5)*
2. *Wat is de relatieve veiligheidswaarde van eolische deposities van zand in relatie tot het aangelegde zand met betrekking tot de korreldiameter? (§7.6)*

Doel is om de opgedane kennis in te kunnen zetten in andere toekomstige projecten waar een kustversterking en/of dynamische duinontwikkeling speelt. De onderzoeksvragen zijn in detail uitgewerkt in het EcoShape product B3P1, 2018. Dit hoofdstuk betreft een samenvatting van dit product en beschrijft de resultaten van de analyse in hoofdlijnen.

7.2 Waterveiligheid, kustlijnzorg en klimaatscenario's

7.2.1 Waterveiligheid in Nederland

Nederland kent ongeveer 3500 km primaire waterkeringen, waarvan circa 350 km uit duinen bestaat (afbeelding 7.1). De primaire waterkeringen houden het buitenwater (zee, meren en grote rivieren) tegen en beschermen daarmee het achterliggende gebied tegen overstromingen. De primaire waterkeringen zijn ingedeeld in normtrajecten. De waterveiligheid van de duinen is onderhevig aan verschillende processen. Zeespiegelstijging beïnvloedt de toekomstige hydraulische belastingen en vergroot daarmee de kans op overstromen. Anderzijds vindt er door eolische processen aangroei van duinen plaats waardoor er meer volume zand in de duinen komt.

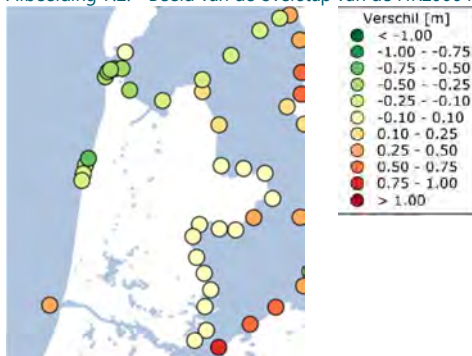
Afbeelding 7.1: Ligging, primaire keringen, duinen, dijken en kunstwerken in Nederland



In de Waterwet zijn aan de primaire keringen normen toegekend. Periodiek wordt getoetst of de keringen aan deze norm voldoen. Zo is in de tweede toetsronde gebleken dat de HPZ niet aan de wettelijke norm voldeed en is deze versterkt. De kustversterking van de HPZ is ontworpen en aangelegd voor de op dat moment vigerende veiligheidsnormen. Sinds 1 januari 2017 gelden er nieuwe veiligheidsnormen.

Specifiek voor de HD betekent de normverandering dat de HD ontworpen en aangelegd is op hydraulische belastingen die groter zijn dan de nu vigerende hydraulische belastingen voor dit traject (afbeelding 7.2). Dit betekent in zekere zin dat de HD 'overgedimensioneerd' zijn voor de huidige inzichten van hydraulische belastingen. Een aanpassing van de randvoorwaarden vanwege verandering van norm, en/of veranderende inzichten in rekenmethoden en onzekerheden beschouwen we niet als mogelijkheid voor optimalisatie. Dit laatste geldt wel voor de mate waarin, bij een dergelijke zandige versterking, al in het ontwerp rekening wordt gehouden met bijvoorbeeld de effecten van zeespiegelstijging.

Afbeelding 7.2: Beeld van de overstap van de HR2006 naar het WBI2017 voor de Noord Hollandse kust (Uit: RWS, 2016)



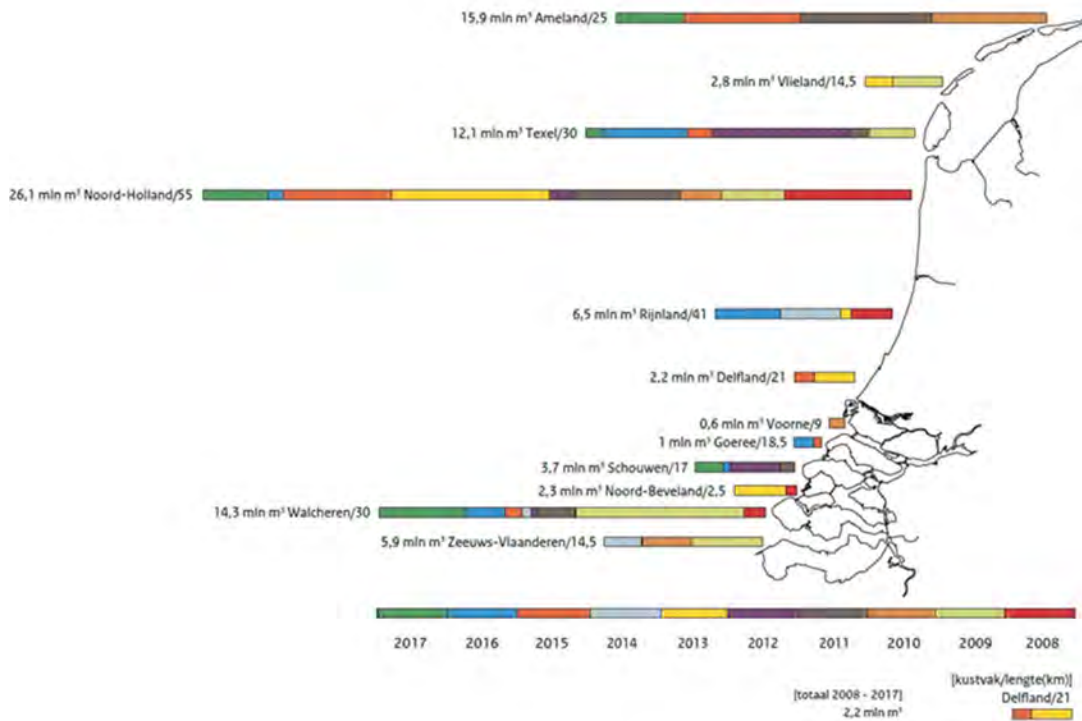
7.2.2 Beheer en onderhoud van de Nederlandse kust - kustlijnzorg

Nederland heeft van nature een eroderende kust; er verdwijnt meer zand dan dat er wordt aangevoerd. In 1990 is gekozen voor het dynamisch handhaven van de kustlijn. De structurele kustachteruitgang langs de gehele Nederlandse kust wordt daarmee gecompenseerd met zandsuppleties. Hiervoor is de ligging van de basiskustlijn (BKL) maatgevend. Dit is over het algemeen de positie van de 'gemiddelde' kustlijn op 1 januari 1990. Afbeelding 7.3 geeft een overzicht van de totale volumes aan zandsuppleties die in de periode 2008-2017 zijn uitgevoerd voor handhaving van de BKL. De afbeelding laat zien dat het volume aan zandsuppleties voor de Noord-Hollandse kust het grootst is.

De kustlijn wordt jaarlijks gemeten en met de BKL vergeleken. De BKL geeft de minimale positie aan van de ligging van de kust. Naast het zand voor de BKL wordt ook zand aangebracht om het kustfundament (eerste duinenrij tot NAP -20 m) mee te laten groeien met de stijging van de zeespiegel. De afgelopen jaren was het volume zand voor onderhoud van de kust ca. 12 miljoen m³ zand per jaar. Over een kustlijn van 350 km duinen is dit ca. 34 m³/m/jaar. Het suppletiebeleid is in 2007 geëvalueerd. Daaruit blijkt dat betrokken partijen het suppletiebeleid succesvol vinden, voor wat betreft het bereiken van de doelen voor kustveiligheid. De komende jaren wordt voor de BKL en het kustfundament samen gemiddeld 7 miljoen m³ zand per jaar gesuppleerd. (www.helpdeskwater.nl). Over een kustlijn van 350 km duinen is dit ca. 20 m³/m/jaar.

Op het traject van de Hondsbossche Duinen is geen basiskustlijn (BKL) bepaald. Het onderhoud van de versterking is voor 20 jaar, dus tot eind 2035, bij de aannemerscombinatie (Van Oord & Boskalis) belegd. Dit betekent dat de aannemerscombinatie zand zal suppleren indien nodig. Zo is in maart 2018 een suppletie in het zuiden van de HD uitgevoerd. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het suppletiebeleid ten behoeve van onderhoud op kustveiligheid en strandbreedte anders is dan op kustlijnpositie. Bij onderhoud op kustveiligheid en strandbreedte is relatief meer onderhoud nodig dan bij onderhoud op alleen kustlijnpositie. Aan het einde van deze onderhoudsperiode zal ook op dit traject een basiskustlijn worden gedefinieerd. Na oplevering wordt deze kustlijn opgenomen in het onderhoudsprogramma Kustlijnzorg van Rijkswaterstaat.

Afbeelding 7.3: Totale hoeveelheid uitgevoerde zandsuppleties (in m³) voor onderhoud van de kustlijn in de periode 2008 – 2017, per kustvak (Bron: RWS MinlenM, 2017)



7.2.3 Klimaatscenario's

Er zijn verschillende klimaatscenario's in omloop. Er zijn recente inzichten en signalen over mogelijke extra versnelde zeespiegelstijging als gevolg van het versneld afbreken en afsmelten van het ijs van Antarctica. De verwachting is dat in 2021 er officieel nieuwe verwachtingen over klimaatscenario's zullen worden afgegeven door KNMI, op basis van nieuwe scenario's van IPCC. Vooruitlopend daarop heeft KNMI projecties gemaakt tot het jaar 2100 waarin deze inzichten (die uiteraard nog onzeker zijn) zijn verwerkt. Tot 2050 verschillen deze projecties nauwelijks van de bovenwaarde van de Deltascenario's (Warm / Stoom). Dat wil zeggen een zeespiegelstijging van 40 cm in 2050 en 100 cm in 2100 (ten opzichte van zichtjaar 1995). Na 2050 is er wel een sterke afwijking en neemt de onzekerheidsmarge toe. In de nieuwe projecties wordt een zeespiegelstijging van 0,3 tot 2,0 m mogelijk geacht (bij het halen van de Parijs doelen van maximaal 2°C opwarming in 2100. Bij een sterkere opwarming van de aarde (4°C) kan dit oplopen tot 2,0 m (middenwaarde) tot 3,0 m (bovenwaarde) in 2100 (Deltares, 2018).

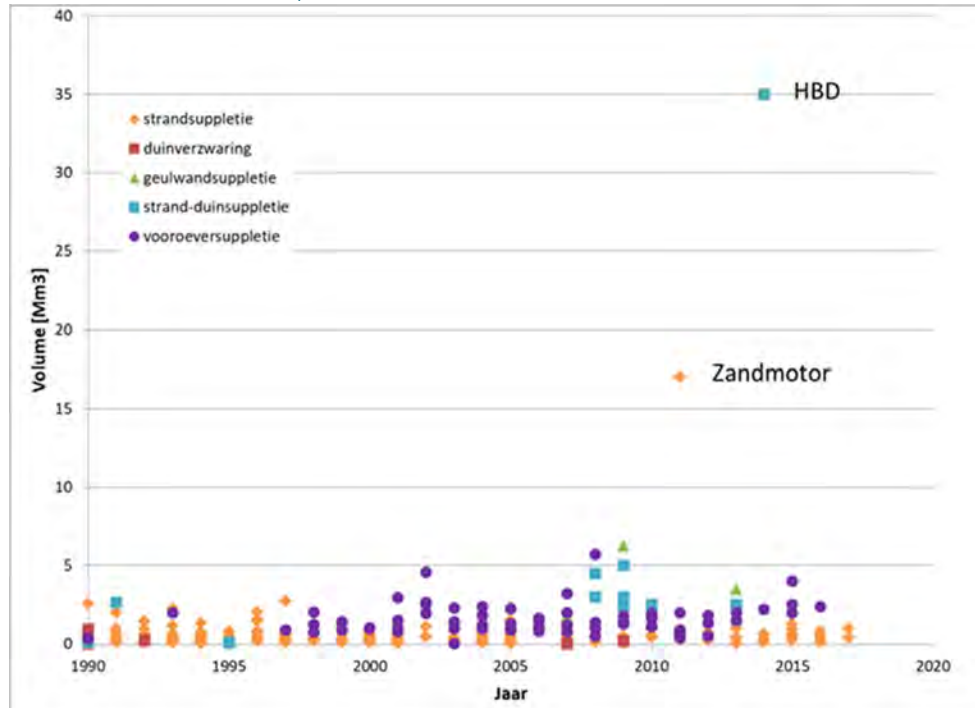
De zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust bedraagt momenteel circa 2 mm/jaar. In de Deltascenario's loopt deze op tot 10 mm/jaar rond 2050 tot maximaal 14 mm/jaar in 2100. Bij de extra versnelde zeespiegelstijging kan de snelheid van 14 mm/jaar al bereikt worden rond 2050 en loopt deze daarna op tot ± 20 – 35 mm/jaar rond 2070 en tot mogelijk zelfs 60 mm/jaar of meer aan het einde van deze eeuw (Uit: Deltares, 2018).

7.3 Ontwerp Hondsbossche Duinen

De eisen die voor het ontwerp van de kustversterking van de HPZ golden zijn opgenomen in een vraagspecificatie producteisen (VSE, 2013). In het document inventarisatie 'Inventarisatie maatregelen ontwerp HPZ' (EcoShape, Product B1P1, 2016) is een samenvatting van deze eisen opgenomen.

De Hondsbossche Duinen is veruit de grootste suppletie die in Nederland is gedaan sinds 1990 (Afbeelding 7.4). Het suppletievolume van de zandmotor, aangelegd in 2011 voor de kust van Delfland bedraagt circa de helft van het suppletievolume van de HD.

Afbeelding 7.4: Suppleties die zijn aangebracht in kader van kustlijnzorg sinds 1990 (Bron: database suppleties uit Morphan versie 1.6.1.39872)



7.3.1 Aanlegvolumes Hondsbossche Duinen

Tabel 7.1 geeft een overzicht van de volumes die zijn aangebracht bij de aanleg van de Hondsbossche Duinen. Bij het ontwerp is rekening gehouden met een verhoogde zandaccumulatie in de duinen gedurende de eerste 3 jaar na aanleg van de HD. Bij het ontwerp is voor de eerste 3 jaar een aanvoer van zand naar de duinen van jaarlijks gemiddeld $30 \text{ m}^3/\text{m}$ verwacht en voor de daaropvolgende jaren jaarlijks $10 \text{ m}^3/\text{m}$. Het volume van $10 \text{ m}^3/\text{m}$ is gebaseerd op Jarkusraaimetingen bij Castricum¹³ (ZSNH, 2013). Van der Wal (2004) en ervaringen bij de Maasvlakte 2 en Vlugtenburg hebben laten zien dat in de eerste drie jaren na aanleg er doorgaans meer eolisch transport is (ZSNH, 2013).

¹³ Deze locatie is reeds tijdens de ontwerpfase gekozen; aandachtspunt is echter wel dat de situatie zowel onder water als boven water (aanwezigheid paviljoens) anders is dan aan de noordelijke zijde.

Tabel 7.1: Aanlegvolumes kustversterking HPZ (Bron: E-mail Paul Olijslager dd 26 juni 2015)

Aanlegvolume Ontwerp	Volume inschatting ontwerp [Mm ³]
Volume voor Kustveiligheid [Mm ³]	26,1
Volume ter compensatie van eolische verliezen [Mm ³]	0,2
Volume ter compensatie van zetting [Mm ³]	2,0
Volume ter compensatie van hydraulische verliezen [Mm ³]	7,0
Volume t.b.v. ruimtelijke kwaliteit [Mm ³]	0,3
Totaal Initieel aanlegvolume	35,6

In het volume dat is aangebracht voor kustveiligheid is het volume opgenomen om te voldoen aan de randvoorwaarden HR2006 (tot 20 jaar na acceptatie van aanleg) rekening houdend met het klimaat en bodemdaling over 50 jaar. Het suppletievolume dat gedurende de onderhoudsperiode zal worden aangebracht is niet in de tabel opgenomen. De aannemerscombinatie zal indien nodig, suppleren om de kustlijn te handhaven zoals ook bij handhaven van de BKL gebeurt.

Voor het klimaat is conform de Vraagspecificatie Eisen (VSE,2013) uitgegaan van het middenscenario met een zeespiegelstijging van 0,3 m. Er is daarbij geen rekening gehouden met veranderingen in golfhoogte en piekperiode van golven. In het VSE (2013) is opgenomen een gevoeligheidsberekening te doen voor het maximum scenario van zeespiegelstijging van 0,45 m.

HKV heeft recent onderzoek gedaan naar het effect van 1 m zeespiegelstijging op de golfkarakteristieken (Wegman en Nicolai, 2018). Resultaat van de studie is dat de golfkarakteristieken (golfhoogte en piekperiode) niet noemenswaardig veranderen bij een zeespiegelstijging van 1 meter. Dit betekent dat het aanhouden van golfstatistiek die onafhankelijk is van zeespiegelstijging terecht is voor het bepalen van de hydraulische belasting op de kust. Voor het berekenen van het afslagvolume bij een klimaatscenario houden we daarom in deze studie ook alleen rekening met een verandering in zeespiegelstijging.

Voor bodemdaling is uitgegaan van 0,1 m over de periode 2016 – 2066, zoals beschreven in de vraagspecificatie eisen(VSE, 2013). Er is in het ontwerp echter niet vanuit gegaan dat de zeebodem met de gemiddelde zeespiegelstijging meegroeit, zoals beschreven in het VSE. Er is bij aanleg voor gekozen om deze 0,1 m bij aanleg reeds aan te brengen.

7.3.2 Verwachtingen eolisch zandtransport

In het ontwerp document 'Initieel Aanlegprofiel, Prognose van eolisch zandverlies' (ZSNH, 2012) is aangegeven dat de **potentiële** groei van duinen door alleen wind $30 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ is. Hierbij is geen rekening gehouden met eroderende processen als kustafslag. De gemiddelde netto groei van duin (inclusief effect van duinafslag) voor de Nederlandse kust bedraagt $8,7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ bedraagt. Hierbij is de duinvoet gekozen op NAP + 3,0 m. Dit is gebaseerd op analyses van De Vries et al. (2012) en Van der Wal (2004).

In het document over de prognoses van eolisch zandtransport (ZSNH, 2012) is aangegeven dat bij het ontwerp van de kustversterking van de HPZ wordt uitgegaan van een aanzanding van de Hondsbossche Duinen van $35 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ in de eerste 3 jaar na aanleg en $10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ voor de daaropvolgende jaren tot 2040. Deze waarden zijn gebaseerd op basis van literatuur (De Vries et al. 2012 en Van der Wal, 2004) en ervaringen met stuifzand na aanleg van nieuw strand bij Maasvlakte 2 en Vlugtenburg en op basis van een analyse van 17 Jarkusraaien nabij Castricum over de periode 1981-2000. Zie tabel 7.2.

Tabel 7.2: Jaarlijkse groei van duinen bij Castricum, gemiddeld en standaarddeviatie voor 17 JarKusraaien (bron: ZSNH, 2012)

Periode	Groei duin [m ³ /m/jaar]	
	Gemiddeld	Standaarddeviatie
1981 - 1985	9,1	14,7
1986 - 1990	10,3	7,4
1991 - 1995	2,0	9,9
1996 - 2000	14,9	6,8

7.3.3 Compensatie zeespiegelstijging, bodemdaling en eolisch transport.

Deze paragraaf geeft een overzicht van de volumes die bij aanleg zijn aangebracht ter compensatie van zeespiegelstijging, bodemdaling en eolisch transport. De volumes zijn berekend in gemiddelde volumes per jaar. In de analyse van de volgende paragraaf worden deze volumes worden vergeleken met de gemeten duinaangroei over de eerste 3 jaar na aanleg van de HD en de verwachting van duinaangroei in de komende jaren.

Volumecompensatie voor zeespiegelstijging

Zoals in paragraaf 7.3.1 genoemd, is bij de HD bij aanleg een compensatievolume aangebracht van 0,3 m voor zeespiegelstijging en 0,1 m voor bodemdaling. Dit is een relatieve zeespiegelstijging van 0,4 m. Uitgaande van een uniforme zeespiegelstijging en bodemdaling over de komende 50 jaar en een droog profiel van 600 m breed, betekent dit een volume van 4,8 m³/m/jaar (0,4 m * 600 m * 50 jaar). Hierbij hoort een totaalvolume van 1,6 Mm³ (6.750 m * 50 jaar * 4,8 m³/m/jaar).

De breedte van 600 m komt overeen met de breedte van de transecten en dit is gelijk genomen met de breedte van het duin (dit is een conservatieve aanname). Dit betekent dat de inschatting van het volume van 4,8 m³/m/jaar conservatief is. De inschatting van het totaalvolume van 1,6 Mm³ geeft een conservatieve (hoge) schatting van het aangebrachte compensatievolume, bedoeld om een veilig oordeel te geven over de vraag of dit aangebrachte volume niet had hoeven worden aangebracht, als rekening wordt gehouden met natuurlijke duinaangroei.

Volumecompensatie voor eolisch verlies

Bij aanleg van de kustversterking is ook het totaal eolisch verlies dat over de periode van aanleg tot 20 jaar na acceptatie wordt verwacht, gecompenseerd door dit volume direct aan te brengen. Het totale eolische verlies over 20 jaar na acceptatie van de aanleg is geschat op: 0,18 Mm³. Gemiddeld over 20 jaar betekent dit een gemiddeld volume van 1,35 m³/m/jaar (0,2Mm³ / 6750 m (lengte) / 20 jaar=1,35 m³/m/jaar).

Beschouwde scenario's in analyse

In de analyse van dit memo onderzoeken we of het bij aanleg aangebrachte volume ter compensatie van zeespiegelstijging, bodemdaling en eolisch verlies mogelijk ook door natuurlijk aangroei van duinen plaatsvindt. Dit zou betekenen dat dit volume bij aanleg niet aangebracht had hoeven worden.

Daarnaast beschouwen we de vraag breder en onderzoeken we of de natuurlijke duinaangroei eventueel ook groot genoeg is om extremere verwachtingen ten aanzien van zeespiegelstijging te compenseren. We beschouwen twee scenario's (zie ook Tabel 7.3):

Tabel 7.3: Benodigde compensatievolumes in de te beschouwen scenario's in dit memo

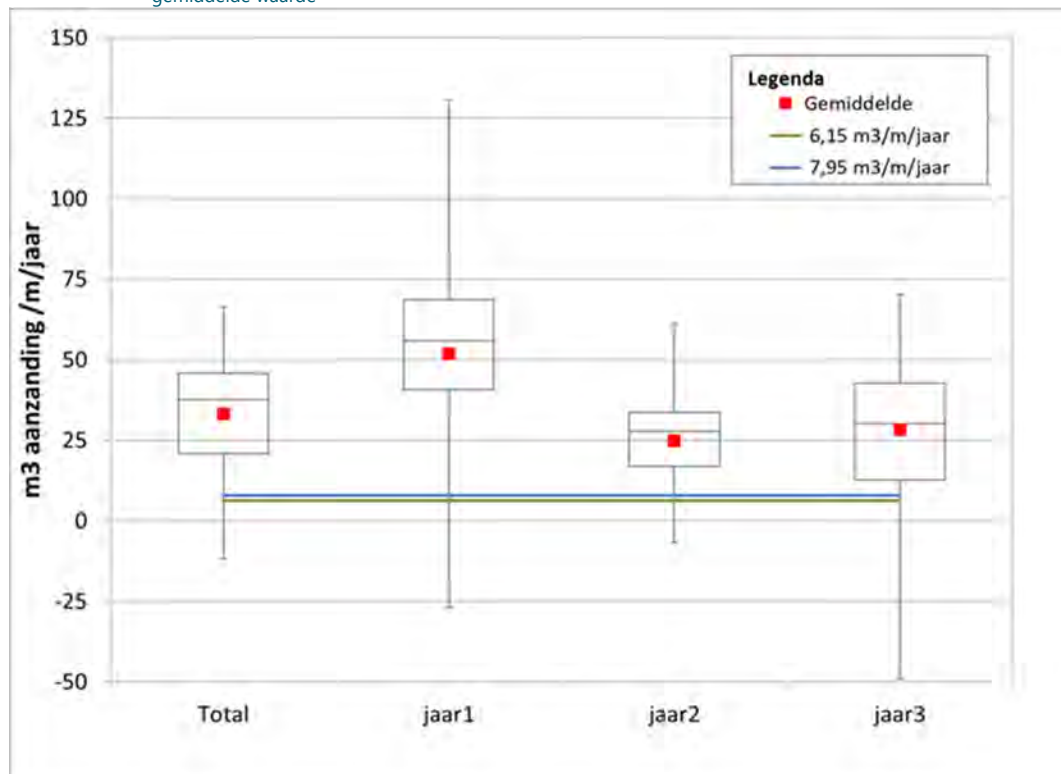
Periode	Relatieve Zeespiegelstijging	Breedte profiel	Compensatie volume rel. zeespiegelstijging	Compensatie volume eolisch verlies	Totaal
	[m]	[m]	[m ³ /m/jaar]	[m ³ /m/jaar]	[m ³ /m/jaar]
Scenario 1	0,4	600	4,8	1,35	6,15
Scenario 2	0,55	600	6,6	1,35	7,95

7.4 Volumebalans Hondsbossche Duinen

7.4.1 Volumetoename duinen periode 2015-2018

Voor de aangroei van de duinen wordt de aanzanding boven de duinvoet op NAP + 3 m beschouwd (EcoShape, Product B2P2, 2018). De HD zijn de eerste 3 jaar na aanleg gemiddeld met 33 m³/m/jaar aangezand. De mediane waarde (50% waarde) van de aanzanding van de HD is 37 m³/m/jaar (zie afbeelding 7.4). Deze waarden komen overeen met de inschatting die bij het ontwerp is gemaakt voor de eerste 3 jaar na aanleg. In afbeelding 7.5 is te zien dat de aanzanding in het eerste jaar na aanleg het sterkst was. De gemiddelde en mediane waarde van aanzanding in jaar 2 en jaar 3 zijn vergelijkbaar.

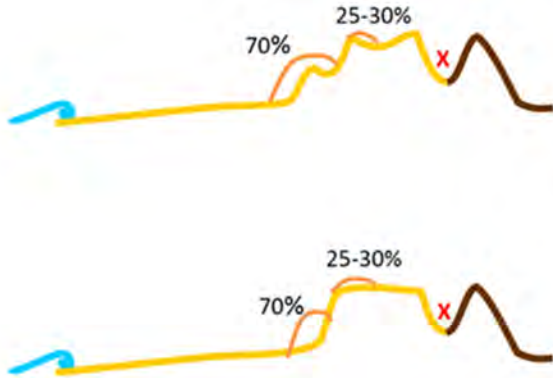
Afbeelding 7.5: Boxplot van aanzanding in m³/m/jaar over de HD over de eerste 3 jaar na aanleg. In de boxplot is weergegeven de minimale waarde, 25% waarde, mediaan (50% waarde), 75% waarde en maximum waarde. De rode stip is de gemiddelde waarde



De gemeten volumes van aanzanding zijn beduidend grotere waarden dan de compensatievolumes die bij aanleg zijn aangebracht voor zeespiegelstijging, bodemdaling en eolisch verlies. (zie paragraaf 7.3.3). Deze volumes zijn 6,15 m³/m/jaar of 7,95 m³/m/jaar (uitgaande van een compensatie van 0,3 of 0,45 m zeespiegelstijging over 50 jaar, 0,1 m bodemdaling over 50 jaar en eolisch verlies over 20 jaar). De gemiddelde aanzanding in de eerste 3 jaar na aanleg is een factor 5 hoger ten opzichte van de benodigde compensatie voor 0,3 m zeespiegelstijging (en bodemdaling en eolisch verlies) (compensatie volume van 6,15 m³/m/jaar). Voor een zeespiegelstijging van 0,45 m is de gemiddelde aanzanding (compensatie volume van 7,95 m³/m/jaar) in de eerste 3 jaar na aanleg een factor 4 hoger.

Uit de analyse van de aanzanding in de duinen (EcoShape, Product B2P2, 2018) blijkt dat in de kustdwarse richting het zand vooral (ongeveer 70%) op de zeewaartse zijde, op het onderste deel van het duin terecht is gekomen (tot NAP + 6m). Een klein deel kwam boven op het duin en dan met name aan de zeewaartse zijde (zie afbeelding 7.6). Er stooft nauwelijks zand door richting de oorspronkelijke HPZ. Dit betekent dat het verstuivende zand beschikbaar blijft binnen het veiligheidsprofiel en dus de veiligheid niet minder wordt door eolische verliezen. Zo bezien is compensatie van dit volume voor eolisch verlies dus niet nodig, aangezien dit niet is opgetreden.

Afbeelding 7.6: Schematische accumulatieverdeling - deze is gelijk voor profielen met een laag en hoog duin (boven) en voor profielen met alleen een hoog duin (onder) (EcoShape, Product B2P2, 2018)

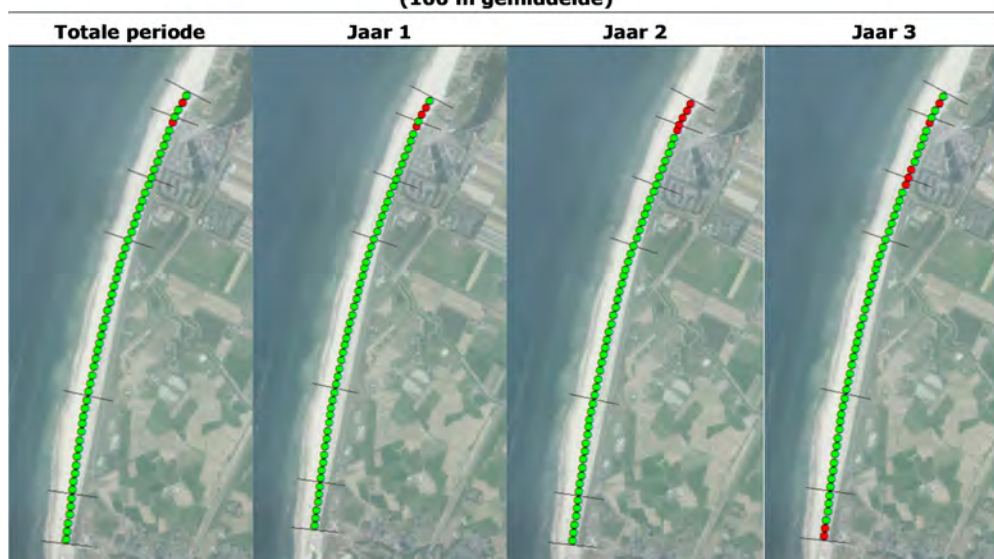


De minimumwaarde van aanzanding is lager dan 6,15 of 7,95 m³/m/jaar (afbeelding 7.7 en afbeelding 7.8). Dit betekent dat er locaties zijn waarop de aanzanding minder is dan de benodigde aanzanding ter compensatie van zeespiegelstijging, bodemverlies en eolisch verlies.

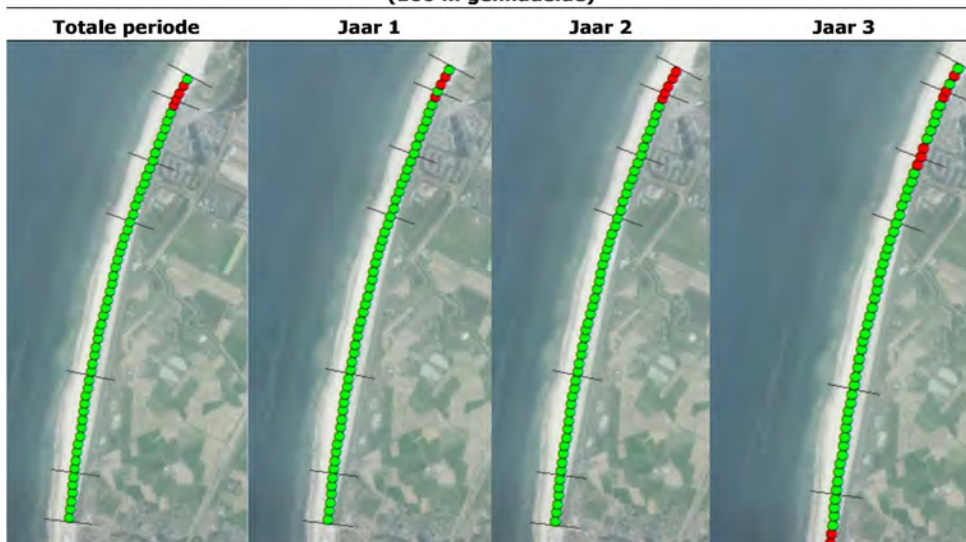
In afbeelding 7.7 zijn de locaties waarop de aanzanding in de eerste 3 jaar minder is dan 6,15 m³/m/jaar ruimtelijk weergegeven. Dit zijn de rode bolletjes in de figuur. De locaties verschillen tussen de jaren. In het 3^e jaar na aanleg is in het zuiden de aanzanding minder dan 6,15 m³/m jaar. Dit wordt mogelijk verklaard doordat hier de strandbreedte sterk afgenomen is. In maart 2018 is hier een suppletie uitgevoerd, het effect hiervan op de duinen zit nog niet in deze meetreeks.

In afbeelding 7.8 zijn de locaties waarop de aanzanding in de eerste 3 jaar lager is dan 7,95 m³/m/jaar ruimtelijk weergegeven. Dit zijn de rode bolletjes in de figuur. De locaties waar de aanzanding minder is dan de benodigde aanzanding ter compensatie van zeespiegelstijging, bodemverlies en eolisch verlies zijn iets toegenomen, maar het patroon is vergelijkbaar met afbeelding 7.6.

Afbeelding 7.7: Overzicht van locaties langs de HD waarbij de aanzanding meer (groen) en minder (rood) is dan 6,15 m³/m/jaar
Duinaangroei eerste 3 jaar na aanleg < 6.15 m³/m/jaar
(100 m gemiddelde)



Afbeelding 7.8: Overzicht van locaties langs de HD waarbij de aanzanding meer (groen) en minder is dan $7,95 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$
Duinaangroei eerste 3 jaar na aanleg < $7,95 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$
(100 m gemiddelde)



7.4.2 Verwachting volumetoename duinen vanaf 2018

In het ontwerp van de HD is aangenomen dat 3 jaar na aanleg de aanzanding vermindert ten opzichte van de eerste 3 jaar na aanleg. De aanzanding na 3 jaar is ingeschat op $10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ op basis van een analyse van een aantal jaren bij Castricum.

Afbeelding 7.9 geeft een impressie van de strandbreedte bij Castricum en de Hondsbossche Duinen. Het strand bij de Hondsbossche Duinen is breder dan bij Castricum (zelfde schaal is toegepast). De gemiddelde strandbreedte over een periode van 10 jaar bij Castricum is 48 m (Decisio, 2011). Bij de Hondsbossche Duinen was de mediane waarde van de strandbreedte bij aanleg in 2015 130 m en aan het eind van de meetperiode in 2018 was deze 70 m (op basis van meetresultaten uit het EcoShape monitoringsproject). Met name in het zuiden van het gebied is de strandbreedte sterk afgenomen. Hier is in maart 2018 een suppletie uitgevoerd.

Afbeelding 7.9: Screenshot google maps van strandbreedte bij Hondsbossche Duinen en Castricum aan Zee (zelfde resolutie toegepast). Bron: Google Earth Pro



De Vries et al. (2012) en Van der Wal (2004) vinden een lineair verband tussen de strandbreedte en de aanzanding van een duin (uit: Ontwerp document 'Initieel Aanlegprofiel, Prognose van eolisch zandverlies' (ZSNH, 2012)). Hierbij is ook aangegeven dat volgens De Vries et al. niet alleen de breedte van het strand, maar ook de breedte van de vooroever effect heeft op de hoeveelheid verstuiving en groei van het duin. In relatief steile kustprofielen is relatief weinig groei van duinen waargenomen (Bron ZSNH, 2012, mondelinge conversatie De Vries). Op basis van analyse van de breedte van het intergetijdengebied, ondiepe vooroever en strand bij de HD (Van Maanen, 2018 en product B2P2, 2018) is er geen eenduidige relatie tussen de aanzanding van het duin en de breedte van strand, intergetijdengebied en vooroever gevonden bij de HD. Mogelijke verklaring hiervoor is dat er zo kort na de aanleg zoveel zand beschikbaar is voor aanzanding van het duin, dat deze niet limiterend is voor de aangroei van het duin waardoor een relatie tussen deze parameters niet zichtbaar wordt. We merken ook op dat het studiegebied mogelijk te klein is en de meetreeks te kort om dergelijke trends te ontdekken. Indicatie dat deze relatie mogelijk wel bestaat is dat bij afnemende strandbreedte in het zuiden van de HD de aanzanding ook sterk afneemt.

Als we ervan uitgaan dat het brede strand bij de HD de komende jaren gehandhaafd blijft, is het strand bij de HD breder dan op veel plekken langs de Noord-Hollandse kust. Uitgaande van een relatie tussen strandbreedte en duinen (De Vries et al. (2012) en Van der Wal (2004)) en een gemiddelde duinaangroeisnelheid van $10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ voor de Hollandse kust, is een duinaangroeisnelheid van $10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ voor de komende jaren bij de HD een realistische verwachting en waarschijnlijk aan de lage kant. Daar komt bij dat er ook nog relatief veel sediment in de vooroever aanwezig is, wat in potentie voor extra duinaangroei kan zorgen.

7.4.3 Conclusies volumebalans

Op basis van de metingen over de aanzanding de eerste 3 jaar na aanleg van de HD (paragraaf 7.4.2) en verwachting voor de komende jaren van aanzanding (paragraaf 7.4.2) concluderen wij:

- Eolisch verlies uit het veiligheidsprofiel treedt eigenlijk niet op, dus had bij de huidige eisen niet hoeven worden aangebracht bij aanleg, dit had in het aanlegvolume $0,2 \text{ Mm}^3$ zand gescheeld op het totaal van $35,6 \text{ m}^3$ zand wat initieel is aangebracht.
- De aanzanding van het duin kan een zeespiegelstijging van 0,3 m of 0,45 m, met een bodemdaling van 10 cm voor de komende 50 jaar compenseren. Op slechts enkele locaties zal de aanzanding de zeespiegelstijging (en bodemdaling en eolische verliezen) niet compenseren. Dit had in het aanlegvolume $1,6 \text{ Mm}^3$ zand gescheeld op het totaal van $35,6 \text{ m}^3$ zand wat initieel is aangebracht.
- In totaal had $1,8 \text{ Mm}^3$ kunnen worden bespaard. Dit is ongeveer 5% van het totale aanlegvolume van $35,6 \text{ Mm}^3$. We merken op dat de aangebrachte compensatie voor bodemdaling en zeespiegelstijging van $1,6 \text{ Mm}^3$ is gebaseerd op een droog profiel van 600 m breed. Dit geeft een conservatieve (hoge) schatting van het aangebrachte compensatievolume, bedoeld om een veilig oordeel te geven over de vraag of dit aangebrachte volume niet had hoeven worden aangebracht, als rekening wordt gehouden met natuurlijke duinaangroei. Het werkelijk aangebrachte compensatievolume voor bodemdaling en zeespiegelstijging is mogelijk lager, omdat dit over een kleinere breedte is aangebracht, en gaat meer richting de helft ($0,8 \text{ Mm}^3$). Hiermee rekening houdend was er een besparing mogelijk van ongeveer 1 Mm^3 ($0,2 \text{ Mm}^3 + 0,8 \text{ Mm}^3$). Dit is ongeveer 3% van het totale volume van $35,6 \text{ Mm}^3$.

7.5 Detailanalyse voor twee profieltypen

Om nader te onderzoeken of de duinaangroei door eolische deposities bij de Hondsbossche Duinen inderdaad opweegt tegen de zeespiegelstijging en bodemdaling op het gebied van kustveiligheid, is de ontwikkeling van de kustveiligheid als gevolg van verschillende toekomstscenario's in meer detail voor 2 profielen geanalyseerd en gekwantificeerd. Dit is gekwantificeerd door middel van afslagberekeningen met DUROS+ en XBeach. De afname van veiligheid die volgt uit de zeespiegelstijging en bodemdaling, is afgewogen tegen de toename van de veiligheid door de eolische duinaangroei.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor twee profielen:

- JarKusraai 7002123: profieltype 2 Noord (P2N) - hoog, smal duin;
- JarKusraai 7002454: profieltype 3 Zuid (P3Z) - breed duin inclusief laag voorduin.

Door twee profielen te beschouwen, wordt de eventuele gevoeligheid van de resultaten voor de vorm van het profiel in beeld gebracht. Daarnaast heeft in profieltype 2 Noord minder duinaangroei ($45 \text{ m}^3/\text{m}$) en meer erosie van de lageregelegen delen (strand, intergetijdengebied, vooroever) plaatsgevonden dan in profieltype 3 Zuid (duinaangroei $190 \text{ m}^3/\text{m}$) in de 3 jaar na aanleg. P2N betreft daardoor een slanker profiel, met minder volumeoverschot dan P3Z. Hierbij zijn de scenario's uit tabel 7.4 beschouwd.

Tabel 7.4: Randvoorwaarden afslagberekeningen volgens VSE (2013)

Scenario	Basisjaar profiel	Zichtperiode	Zeespiegelstijging	Bodemdaling/zetting	BKL handhaven?
1	2015	-	-	-	nee
2	2018	-	-	-	nee
3	2018	+50jr	middenscenario: 0.3 m	0.1 m	nee
4	2018	+50jr	maximumscenario: 0.45 m	0.1 m	nee
5	2018	+50jr	maximumscenario: 0.45 m	0.1 m	ja

Voor beide profielen is een berekening uitgevoerd met en zonder handhaving van de BKL. Het effect van het handhaven van de BKL is meegenomen door het gemeten profiel beneden de NAP + 3 m te verhogen met de zeespiegelstijging. Voor de berekeningen zonder handhaving van de BKL is aangenomen dat het profiel onder NAP + 3 m gelijk blijft.

In de volgende paragraaf worden de conclusies van deze detailanalyse op hoofdlijnen beschreven. In EcoShape Product B3P1 (2018) is de detailanalyse uitgebreid toegelicht.

7.5.1 Resultaten

De afslagberekeningen laten zien dat tussen 2015 en 2018 de veiligheid voor een deel van de Hondsbossche Duinen is toegenomen, en voor een ander deel juist afgenomen (Tabel 7.5 en Tabel 7.6). Dit is een gevolg van de totale volumebalans per profiel, waarbij in het profiel 3 Zuid veel duinaangroei is door eolische depositie en relatief weinig erosie op de lagere delen, terwijl in het profiel 2 Noord weinig duinaangroei plaatsvindt en relatief veel erosie op de lagere delen.

Voor een zichtperiode van 50 jaar met een zeespiegelstijging van 0,45 m blijkt dat het duin fors meer wordt afgeslagen tijdens een maatgevende storm bij beide profielen. Er is een extra volume van 200-300 m^3/m benodigd, bij een gelijkblijvend profiel onder NAP + 3 m, om hetzelfde veiligheidsniveau te behouden. Dat komt neer op een gemiddelde duinaangroeisnelheid van 4-6 $\text{m}^3/\text{m}/\text{jaar}$.

Tabel 7.5: Vergelijking afslagvolume en afslaglengte ten opzichte van 2015 en ten opzichte van 2018 voor JarKusraai 7002123 (profiel 2N)

		Verschil t.o.v. 2015		Verschil t.o.v. 2018		
		2015	2018	+50jr (midden: +0.3m)	+50jr (maximum: +0.45m)	+50jr (maximum: +0.45m; BKL)
Afslagvolume [m^3/m]	DUROS-	-	115	67	93	15
	XBeach	-	86	35	52	9
Afslaglengte [m]	DUROS-	-	12	9	13	2
	XBeach	-	6	7	13	5

Tabel 7.6: Vergelijking afslagvolume en afslaglengte ten opzichte van 2015 en ten opzichte van 2018 voor JarKusraai 7002454 (profiel 3Z)

		Verschil t.o.v. 2015		Verschil t.o.v. 2018		
		2015	2018	+50jr (midden: +0.3m)	+50jr (maximum: +0.45m)	+50jr (maximum: +0.45m; BKL)
Afslagvolume [m^3/m]	DUROS+	-	44	26	34	3
	XBeach	-	20	52	46	26
Afslaglengte [m]	DUROS+	-	-7	14	19	2
	XBeach	-	-22	21	27	16

In de eerste drie jaar na aanleg wordt een dergelijke duinaangroei snelheid vrijwel overal gehaald op de Hondsbossche Duinen. Gemiddeld wordt meer dan een vijfvoud van deze snelheid behaald (33 m³/m/jaar paragraaf 7.4.1). Na verloop van tijd zal deze afnemen richting de waarde van ongeveer 10 m³/m/jaar die in de literatuur staat beschreven voor de Noord-Hollandse kust. De verwachting is dat dit ruimschoots voldoende is om de extra afslag als gevolg van de zeespiegelstijging van 0,45 m te compenseren.

Als de BKL wordt gehandhaafd en het profiel door suppleties meegroeit met de zeespiegelstijging, gaat de veiligheid veel minder achteruit. Door duinaangroei door eolische depositie zal de veiligheid dan fors toenemen.

7.5.2 Conclusies detailanalyse

Tussen 2015 en 2018 is de veiligheid voor een deel van de Hondsbossche Duinen toegenomen, en voor een ander deel juist afgenomen. Dit is een gevolg van de totale volumebalans per profiel, waarbij in het ene profiel veel duinaangroei is door eolische depositie en relatief weinig erosie op de lagere delen, terwijl in het andere profiel weinig duinaangroei plaatsvindt en relatief veel erosie op de lagere delen.

Bij een gelijkblijvend profiel onder NAP + 3 m compenseert de eolische depositie de zeespiegelstijging en neemt de veiligheid mogelijk zelfs toe. Als de BKL wordt gehandhaafd en het profiel door suppleties meegroeit met de zeespiegelstijging, gaat de veiligheid veel minder achteruit. Door eolische depositieduinaangroei door eolische depositie zal de veiligheid dan fors toenemen.

7.6 Effect korreldiameter op veiligheid duinprofiel

Over het algemeen wordt fijner zand, met een kleinere korreldiameter makkelijker getransporteerd door de wind. Het mogelijke resultaat daarvan is dat de eolische deposities in het duin bestaan uit fijner zand dan wat initieel is aangelegd. Dit geldt niet alleen bij de HD, maar geldt voor alle duinen. Fijner zand leidt tot meer duinafslag tijdens storm, met name volgens DUROS+ (WL, 1992). XBeach is minder gevoelig voor de korreldiameter van het duinzand. De veiligheidswaarde van een kubieke meter eolische depositie is daardoor mogelijk lager dan van een kubieke meter van het zand dat al aanwezig was in het duin.

Om dit effect te beoordelen wordt het volgende kwalitatief beschouwd:

1. zijn de eolische deposities in het duin (significant) fijner dan het reeds aanwezige duinzand?
2. leidt duinaangroei met fijner zand tot meer duinafslag in het aangegroeide deel?

In het empirische duinafslagmodel DUROS+ bepaalt de korreldiameter van het afgeslagen duinzand de eigenschappen van het afslagprofiel (helling e.d.). Echter, als gevolg van het afslagproces komt het gedeelte van het duin waar eolische depositie heeft plaatsgevonden onder het uit de kern van het duin afgeslagen materiaal te liggen. Dit materiaal uit de kern dat bovenop ligt, bepaalt dan uiteindelijk de eigenschappen van het afslagprofiel. De invloed van de korreldiameter van de eolische deposities op de mate van afslag is daardoor ondergeschikt.

Daarbij dient de kanttekening te worden geplaatst dat wanneer er eenmaal voldoende depositie heeft plaatsgevonden, de afslag uiteindelijk nog plaatsvindt in het gedeelte van het duin dat is aangegroeid door eolische deposities. Indien dit fijner materiaal betreft, is het afslagvolume mogelijk groter dan indien dit materiaal zou zijn met dezelfde korreldiameter als het kernmateriaal van het duin. In deze situatie ligt het oude duin nog wel achter het nieuwe duin. Dit betekent dus niet direct een veiligheidsafname.

Uit een vergelijking van metingen van de korreldiameter direct na aanleg en na drie jaar komt echter niet duidelijk naar voren dat de korreldiameter van de eolische deposities in het duin fijner is dan de korreldiameter van het aangelegde duin.

Op basis van bovenstaande wordt geconcludeerd dat de korreldiameter van eolische deposities niet significant anders zijn dan de korreldiameter van de duinen. Het effect van de korreldiameter van de eolische deposities op de veiligheidswaarde van een volume zand van ondergeschikt belang is. Het mogelijke verschil in veiligheidswaarde is te verwaarlozen.

7.7 Discussie

7.7.1 Onzekerheid klimaatscenario's

Tot 2050 verschillen de klimaatscenario's niet enorm in voorspellingen over zeespiegelstijging. De zeespiegelstijging is ingeschat op 0,3 – 0,5 m voor de komende 50 jaar. De verschillen tussen de klimaatscenario's treden met name op in de periode daarna. In de huidige stand van zaken over klimaatscenario's voorspelt 50% van de klimaatscenario's een zeespiegelstijging van 2 meter of meer voor het zichtjaar 2100 (Deltares, 2018). Het is de vraag of de aanzanding van duinen dan voldoende is om zeespiegelstijging te compenseren.

De analyses in dit memo tonen aan dat 'bij een relatieve zeespiegelstijging van 0,4 en 0,55 m met een zichtperiode van 50 jaar de duinaangroei opweegt tegen de achteruitgang van veiligheid als gevolg van zeespiegelstijging en dat de veiligheid mogelijk zelfs toeneemt. Dit betekent dat het droge profiel van vergelijkbare versterkingen als de HD die in de nabije toekomst worden aangelegd, slanker kunnen worden ontworpen, terwijl de veiligheid voor een zichtperiode van 50 jaar wel is gegarandeerd.

Daarbuiten is de onzekerheid in de scenario's groot en kan er wellicht niet meer op worden gerekend dat natuurlijke duinaangroei voldoende is om de veiligheid te handhaven. Dit zal afhangen van de uiteindelijk optredende zeespiegelstijging en de mate waarin de huidige basiskustlijn gehandhaafd wordt.

Hiermee kan rekening gehouden worden in nieuwe projecten door de meest actuele voorspellingen te gebruiken en ook de tot dan toe opgetreden zeespiegelstijging te beschouwen en vervolgens af te wegen of een extra compensatie voor zeespiegelstijging noodzakelijk is. Voor reeds aangelegde versterkingen kan worden gekozen voor een adaptief beleid en kan te zijner tijd worden besloten om meer te suppleren. Ook zou op een toenemende zeespiegelstijging kunnen worden geanticipeerd door de BKL zeewaarts te verleggen.

7.7.2 Profielontwikkeling onder water

Aan de conclusie dat de eolische duinaangroei aan de kust het effect van zeespiegelstijging kan compenseren, ligt een belangrijk uitgangspunt ten grondslag, namelijk dat het profiel onder water wordt gehandhaafd of zelfs meegroeit met de zeespiegelstijging. Dat gaat om de vooroever en het intergetijdengebied.

Gezien het Nederlandse kustbeleid van handhaving van de BKL is dit een redelijk uitgangspunt, hoewel er ook enkele kanttekeningen bij te plaatsen zijn. Recentelijk is de keuze gemaakt om het suppletievolume voor het onderhouden van de BKL per jaar te verminderen van 12 Mm³ naar 7 Mm³. Bij langdurig handhaven van een minder volume voor handhaving van de BKL is de verwachting dat dit tot een afname zal leiden van de netto duinaangroei die eerder is geobserveerd en in literatuur is beschreven.

De analyses zijn uitgevoerd voor de Hondsbossche Duinen waar is afgesproken dat de BKL wordt vastgelegd na 20 jaar onderhoud door de aannemer. Het profiel onder water zal de komende jaren nog eroderen als gevolg van hydraulische verliezen. Het handhaven van het profiel onder water is daarom wellicht een te optimistisch uitgangspunt voor dit specifieke geval.

De precieze afspraken die hierover worden gemaakt, zouden onderdeel moeten zijn van de discussie of en in hoeverre zeespiegelstijging reeds bij aanleg moet worden gecompenseerd.

7.7.3 Toepassing op andere locaties

De conclusies in dit hoofdstuk zijn bepaald voor de situatie van de Hondsbossche Duinen. Voor vergelijkbare projecten en kustgebieden zijn deze resultaten in kwantitatieve zin niet direct toepasbaar. Zo zijn de gemeten volumes van aanzanding niet direct te kopiëren naar andere gebieden. In kwalitatieve zin zijn deze conclusies wel geldig voor vele andere kustgebieden en suppleties. Per locatie dient daarbij afgewogen te worden welke specifieke factoren daar bepalend zijn voor de mate van duinaangroei. Ook het eisenpakket en de afspraken over het kustbeleid spelen dan een belangrijke rol.

7.8 Conclusies optimalisatie veiligheidsontwerp

7.8.1 Conclusies compensatie aangroevolumes

Op basis van een volumebalans met behulp van de metingen van de aanzanding de eerste 3 jaar na aanleg van de HD en verwachting voor de komende jaren van aanzanding wordt geconcludeerd dat de gemiddelde aanzanding van het duin een zeespiegelstijging van 0,3 m of 0,45 m, met een bodemdaling van 0,1 m voor de komende 50 jaar kan compenseren. Op enkele kustlangse locaties zal de aanzanding de zeespiegelstijging (en bodemdaling en netto eolische verliezen) niet compenseren. In totaal had 1,8 Mm³ kunnen worden bespaard. Dit is ongeveer 5% van het totale aanlegvolume van 35,6 Mm³.

Een nadere analyse van de kustveiligheid door middel van afslagberekeringen laat zien dat voor een zichtperiode van 50 jaar de netto eolische depositie in vrijwel het gehele gebied van de Hondsbosche Duinen groot genoeg is om de zeespiegelstijging te compenseren. Voorwaarde daarbij is een gelijkblijvend of meegroeïend profiel onder NAP + 3 m (intergetijdengebied, strand). Dit past binnen het huidige suppletiebeleid in Nederland waarbij de BKL wordt gehandhaafd. Onder bovenstaande voorwaarde kan eolische depositie de zeespiegelstijging compenseren tot een snelheid van 1 m/eeuw.

Tot 2050 verschillen de klimaatscenario's niet enorm in voorspellingen over zeespiegelstijging. De zeespiegelstijging is ingeschat op 0,3 – 0,5 m voor de komende 50 jaar. De verschillen treden met name op in de periode daarna. In de huidige stand van zaken over klimaatscenario's voorspelt 50% van de klimaatscenario's een zeespiegelstijging van 2 meter per eeuw of meer voor 2100. (Deltares, 2018).

Hiermee kan rekening gehouden worden in nieuwe projecten door de meest actuele voorspellingen te gebruiken en ook de tot dan toe opgetreden zeespiegelstijging te beschouwen en vervolgens af te wegen of een (gedeeltelijke) extra compensatie voor zeespiegelstijging noodzakelijk is. Voor reeds aangelegde versterkingen kan worden gekozen voor een adaptief beleid en kan te zijner tijd worden besloten om meer te suppleren. Ook kan op een toenemende zeespiegelstijging worden geanticipeerd door de BKL zeewaarts te verleggen.

Aan de conclusie dat de eolische duinaangroei aan de kust het effect van meer extreme zeespiegelstijging kan compenseren, ligt een belangrijk uitgangspunt ten grondslag, namelijk dat het profiel onder water wordt gehandhaafd of zelfs meegroeit met de zeespiegelstijging. Dat gaat om de vooroever, intergetijdengebied en het strand. De precieze afspraken die hierover worden gemaakt, vormen de basis van de discussie of en in hoeverre zeespiegelstijging reeds bij aanleg moet worden gecompenseerd. De resultaten in dit hoofdstuk wijzen erop dat in het geval van de HD een relatieve zeespiegelstijging van 0,4 m kan worden gecompenseerd door eolische duinaangroei.

7.8.2 Conclusies relatieve veiligheidswaarde korreldiameter eolische deposities

Op basis van een kwalitatieve analyse van het effect van een kleinere korreldiameter op het afslagvolume en metingen van de korreldiameter op de HD wordt geconcludeerd dat het effect van de korreldiameter van de eolische deposities op de veiligheidswaarde van een volume zand van ondergeschikt belang is. Het mogelijke verschil in veiligheidswaarde is te verwaarlozen.

8

BELEVING

8.1 Inleiding

Het meewegen van beleving is één van de drie themalijnen in dit innovatieproject. Initieel zou dit onderzoek plaatsvinden op verschillende facetten: 1.) landschapswaarden, 2) kansen voor recreatie, 3.) de hoeveelheid stuifzand en de ervaren hinder en 4.) de invloed van zoetwaterbellen en de ervaren hinder. Daarnaast zou gekeken worden hoe belevingsaspecten kunnen worden meegenomen in de waardering van de ontwikkelde oplossing.

Na een inventariserend onderzoek is besloten ons – binnen dit onderzoek - alleen te richten op de hoeveelheid stuifzand en de ervaren hinder, waarbij de volgende onderzoeksvraag beantwoord wordt:

- *Wat is de relatie tussen de hoeveelheid stuifzand en de ervaren hinder?* (§8.3)

8.2 Inventariserende belevingsonderzoeken

De resultaten van deze inventariserende onderzoeken zijn uitgebreid beschreven in het EcoShape product C1-1 (inventarisatie belevingsonderzoek). De onderzoeken laten zien dat voorafgaand aan de aanleg van de Hondsbossche Duinen 18 bewoners en betrokkenen in zienswijzen hun zorgen geuit hebben over een toename aan stuifzand. Ook in de interviews is het beeld bevestigd dat de bewoners en betrokkenen vooraf de verwachting hadden dat de hoeveelheid stuifzand zou toenemen. Dit hoofdstuk richt zich daarom verder op de beleving van stuifhinder en de effectiviteit van maatregelen om stuifhinder te voorkomen.

8.3 Stuifzand en ervaren hinder

Voor de aanvang van het project was stuifhinder een belangrijke zorg van stakeholders in het gebied, geuit in diverse zienswijzen. Als reactie hierop is het ontwerp van de Hondsbossche Duinen erop gericht stuifhinder tot een minimum te beperken. Er zijn diverse maatregelen getroffen zoals een 'bufferzone' tussen het achterste duin en de dijk, met op sommige plekken aanvullende elementen (zoals hooibalen) om eventueel overstuivend zand alsnog in te vangen.

Bekend is dat suppleties langs de kust verstuiven in de tijd (ca. 1,5 jaar volgend op de aanleg) (van der Wal, 1999). De manier waarop en de snelheid waarmee suppletiezand wordt verspreid, is minder goed bekend. Daarnaast is het niet bekend hoe daadwerkelijke verstuiving verband houdt met stuifhinder.

Het onderzoek richt zich op de daadwerkelijk gemeten hoeveelheden stuifzand (8.3.1) en de ervaren hinder van stuifzand door betrokken partijen (8.3.2). Dit onderzoek gaat het uitdrukkelijk om hinder áchter de dijk, het fietspad bovenop de dijk en de strandslagen worden eveneens meegenomen.

8.3.1 Hoeveelheid stuifzand

Om de hoeveelheid stuifzand in kaart te brengen is gebruik gemaakt van zandvangers, de expertsessies en veldbezoeken en de geometrie-ontwikkeling (hoofdstuk 3 en 4).

Zandvangers

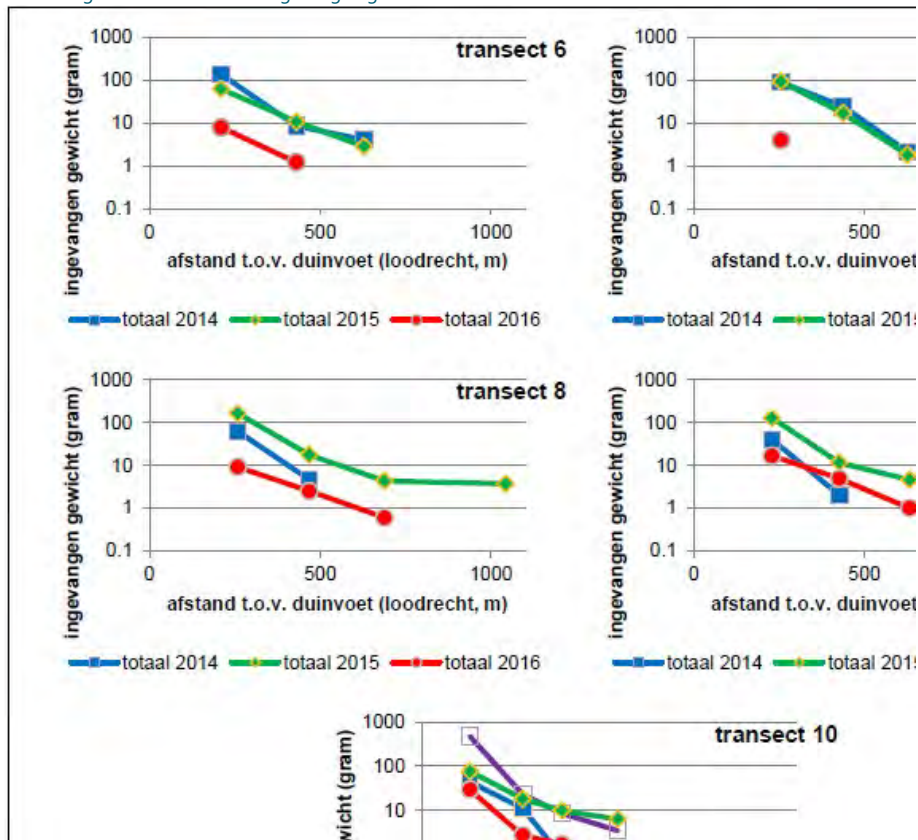
Uit de metingen van de zandvangers blijkt dat de verstuiving achter de zandige HD (transecten 6 t/m 10) zeer beperkt is (afbeelding 8.1). Tijdens de nulmetingen is hier, met uitzondering van transect 10, geheel geen zand ingevangen, tijdens de vervolgmetingen incidenteel. Er is sprake van enige verstuiving achter de HPZ in transecten waar voorheen geen zand kwam. Dit gaat om kleine hoeveelheden en neemt bovendien in

de loop van de tijd af, mogelijk door het aanslaan van vegetatie op de zandige kering. Alleen in transect 10 was voor aanleg wel sprake van substantieel transport. De verstuiving die in 2014-2016 is gemeten, is beduidend lager dan wat in 2013 tijdens de nulmetingen is gemeten.

De hoeveelheden en gradiënten zijn voor alle transecten vergelijkbaar met een totaal gewicht van tussen de 149 en 232 gram in de vangers direct achter de dijk, 18 tot 40 gram in de volgende vanger en enkele grammen in de meest landwaartse vangers. De meest landwaartse vangers vangen zelden of nooit zand in. Er zijn duidelijke gradiënten in transport met een exponentiële afname en een landwaarts transport op 400m afstand dat gemiddeld honderd keer lager is dan op de (achterzijde van de) zeereep. In de eerste honderd meter neemt het transport met een factor tien af, in de volgende tweehonderd meter met nog een factor tien.

Terwijl de verstuiving in de duinen in 2014 lager is dan in 2015 en soms ook 2016, is de verstuiving achter de HPZ juist in 2016 structureel lager dan in de andere jaren. Dit zou er op kunnen wijzen dat de vegetatie op de aangelegde duinen zich inmiddels zo heeft ontwikkeld dat er nog maar nauwelijks zand door stuift. In het begin (tijdens en kort na de aanleg) was de situatie het meest gevoelig voor verstuiving omdat toen nog geen vegetatie aanwezig was en verstuiving op andere manieren beperkt moest worden.

Afbeelding 8.1: Relatie tussen ingevangen gewicht en afstand t.o.v. duinvoet voor transecten achter de HPZ



Expert sessies in het veld

In het zuiden (ten zuiden van transect 2) tijdens de expertsessies in het veld is in 2015 overstuiving aan de achterzijde van de dijk geconstateerd (afbeelding 7.4). Aan de zeezijde van de dijk is een verstuivingsgradiënt zichtbaar, van zeer weinig zand op de dijk tot een aanzienlijke hoeveelheid aan de voet van de dijk (afbeelding 7.4). Deze locatie ligt tussen de zandvangtransecten 8 en 9. Verstuiving landwaarts van de dijk treedt dus wel op, maar lijkt niet zodanig dat dit tot overlast leidt. Ook bij toegangspaden vanaf de oude dijk naar het hoge duin waait enig zand de oude dijk op, maar dat is zeer lokaal. De algemene indruk is dat in het zuiden meer winddynamiek zorgt voor groter zandtransport dan middenop en in het noorden van de Hondsbossche Duinen.

Afbeelding 8.2: Lichte overstuiving aan achterzijde van de dijk – dun strooilaagje op de bladeren (foto Bas Arens)



Afbeelding 8.3: Verstuivingsgradient met weinig overstuiving aan de bovenkant (links) en snel toenemend naar onder toe (rechts)



Ter hoogte van de vallei (midden) is niet al te veel overstuiving tegen de dijk aan. Veel zand komt in het water van de duinvallei terecht. De voorkant (zeezijde) van het hoge duin laat een haarscherp plantpatroon zien. Dat betekent dat er vrijwel geen aanvoer van windgeblazen zand doorkomt over het duinmeer heen. De duinvallei wordt door het inwaaien van zand vooral in het zuiden sterk versmald, verondiept en verkort. Daardoor kan steeds meer zand de duinvallei al "oversteken" en aan de voet van het hoge duin terecht komen.

De noordkant van de vallei fungeert als aanloopvlakte voor veel uitstuiwend zand. Landwaarts van deze zone begint aanplant met goed aangeslagen helm en veel instuiving (natuurlijk reliëf). Relatieve grofkorreligheid aan noordkant dient echter als rem op verstuiving. Dit is zichtbaar bij het uitstuiwen van luwe laagtes, waar een laag fijn grind zich verzamelt aan het oppervlak.

Er is sprake van overstuiving van het fietspad, met name daar waar de luwe laagtes dicht langs het fietspad liggen.

Afbeelding 8.4: Overstuivingsgradiënt van hoog duin richting oude HPZ. Matig tot slechte aanslag van geplante struiken bij transect 2 (juli 2017). Spontane helm-opslag neemt de plaats hier en daar in. (foto Bert van der Valk)



Afbeelding 8.5: Een Luwe Laagte (LL) tegen het fietspad aan fungeert als springplank voor zand wat vervolgens op het fietspad terecht komt (juli 2017). (foto Bert van der Valk)



- **Bufferzone tussen dijk en duin:** de vallei tussen de oude HPZ en de landwaartse duinrug vormt een zone waar stuifzand kan worden ingevangen. In het zuiden ontstaat aan de zee kant tussen duin en oude dijk door overstuiving een storthelling van zand. Deel van de aangeplante struiken sterven af, alleen de

resistente duindoorn doet het goed (afbeelding 8.4). In het noorden is het struweel minder goed aangeslagen dan in het zuiden, wat veroorzaakt zou kunnen zijn door het aanplantmoment.

Inwaaiing van zand in de vakken van de oude HPZ (zeezijde) is niet groot en neemt af naar het noorden. In het zuiden zanden de vakken op de dijk langzaam in. Richting het noorden is er slechts lichte aanzanding in de vakken op de dijk. Er ontstaat verruiging van de begroeiing op de bekleding van de oude dijk (zeezijde), mogelijk door bescherming tegen salt spray.

Er is slechts incidenteel (lichte) overstuiving bovenop en landwaarts van de oude dijk zichtbaar.

- **Strobalen:** de strobalen hebben nauwelijks gefunctioneerd als zandvang. Ze hebben wel als windbreak gefunctioneerd en creëren luwte voor vegetatie. Veel zaden in de strobalen lopen uit en de balen raken begroeid met diverse soorten kruiden. De strobalen vergaan langzaam.
- **Helm inplant:** de helm ziet er in het zuiden vitaler uit dan in het noorden. Aan zeereep is helm aangetast door stormvloed en zandstralen. De meest vitale helm is steeds op meest overstoven delen te vinden. Helm aan zeezijde moet veel moeite doen om boven overvloedige aanbod zand uit te komen, waardoor er meer zand richting de dijk kan stuiven.
- **Papierpulp:** na aanleg waren de resten van papierpulp nog te zien in het noorden van de Hondsbossche Duinen en aan de landzijde van het hoge duin (tussen het struweel). Er bewoog maar heel weinig zand.
- **Luwe laagtes:** luwe laagtes tonen vaak combinatie van accumulatie en erosie en zorgen voor overstuiving landinwaarts van de luwe laagte. Daar waar de luwe laagte dicht bij het fietspad licht, zorgt deze overstuiving voor zandoverlast op het fietspad (afbeelding 8.5). Stuifoverlast op het fietspad wordt effectief bestreden door hier en daar in luwe laagtes helm aan te planten, het plaatsen van stuifschermen en door opvegen/verwijderen van opgestoven zand. Er lijkt geen verschil te zijn in erosie en uitstuiven van de luwe laagte tussen laag en hoog duin. Sommige luwe laagtes ontwikkelen zich tot stuifkuil, maar uitstuiving wordt geremd door schelpenpakket. Een aantal luwe laagtes bovenop het hoge duin raken langzaam begroeid met uitzaaiende helm, en zijn met laagje algen begroeid (begin van stabilisatie).
- **Stuifschermen:** de stuifschermen zijn zeer effectief voor het invangen van zand. De schermen worden geplaatst vóór de zeereep, maar ook in luwe laagtes (om stuifhinder te voorkomen). Op het hoge strand worden wilgenschermen tot hun maximale zandvangcapaciteit volgestoven, en dragen daarna niet meer bij aan invangen van zand. Vóór de stuifschermen op het strand ontstaan veel embryonale duinen vanaf 2016.

8.3.2 Ervaren hinder

De ervaringen van stuifhinder zijn verzameld door middel van interviews (paragraaf 3.6).

Verwachtingen voorafgaand aan het ontwerp

In 18 van de 50 zienswijzen wordt stuifzand genoemd als zorgpunt. Met is bang dat de Hondsbossche Voorafgaand aan de aanleg van de Hondsbossche Duinen hebben 18 bewoners en betrokkenen in zienswijzen hun zorgen geuit over een toename aan stuifzand. Ook in de interviews is het beeld bevestigd dat de bewoners en betrokkenen vooraf de verwachting hadden dat de hoeveelheid stuifzand zou toenemen. Het was ook de verwachting dat de aanvoer van zand mogelijk negatieve gevolgen zou hebben voor het natuurgebied Harger- en Pettemerpolder.

Beleving van stuifzand/voorkomen van stuifhinder

Het algemene beeld dat uit de interviews naar voren komt is dat stuifhinder heeft plaats genomen tijdens de aanlegfase, maar dat in de daaropvolgende jaren snel is afgenomen. Achter de dijk is alleen de eerste twee jaar na aanleg sprake geweest van overlast door stuiwend zand achter de dijk. Vooral achter de HPZ waren de bewoners dat niet gewend.

De hoeveelheid stuivend zand en de effecten ervan verschillen per locatie. In het zuiden (bij Camperduin) verschillen de meningen. Rondom strandpaviljoen Struin is de ervaring dat de hinder door stuivend zand sinds het inplanten van helm enorm is afgenomen (met ca. 80%). Dat komt overeen met de resultaten uit de zandvangers. Echter hebben andere bewoners achter de strandopgang bij Camperduin (Hoeve Camperduin) last gehad van een toename aan stuifhinder. Men had last van zand in het rieten dak en bij de zomerhuisjes. Ook kreeg men te maken met storingen in het parkeersysteem door zand en ondervonden de paarden er last van (ontstoken ogen en zandkoliek). Gemeente Bergen heeft geen klachten ontvangen van bewoners.

Het fietspad is meerdere malen niet beschikbaar geweest doordat er te veel zand op lag (afbeelding 8.6). Dit kwam regelmatig voor tijdens de aanlegfase, en is in de jaren erna ook nog wel eens gebeurd. Het kwam voor dat er een halve meter zand op het fietspad lag, dat er met een kraan vanaf moest worden gehaald. In de aanlegfase heeft de aannemer ook een paar keer de dijk moeten schoonmaken, die ondergestoven was. Zand is (vooral tijdens de aanlegfase) terecht gekomen op de trappen aan de landzijde van de dijk en op de onderhoudswegen achter de dijk.

Afbeelding 8.6: Ondergestoven fietspad in de Hondsbossche Duinen (foto: HHNK)



Naast het fietspad is ook sprake geweest van zandoverlast op de strandslagen. Zowel voor de bezoekers als voor de nooddiensten is het van belang dat de strandslagen toegankelijk blijven en zoveel mogelijk vrij van zand. Vooral de gemeenten (zowel Schagen als Bergen) ondervinden hier hinder van, omdat zij verantwoordelijk zijn voor het vrij houden en de veiligheid van de strandopgangen. Het is kostbaar om de strandopgangen in het seizoen open te houden. De aannemer houdt de strandafgangen open. Bij Hargen aan Zee is de aannemer niet verantwoordelijk voor de bestrijding van stuifhinder, maar daar is de overlast door stuifzand wel toegenomen door het project. Het valt de gemeenten op dat afhankelijk van de oriëntatie van de strandopgangen de aanzanding hoger of lager kan zijn. Zo lijken horizontaal gelegen delen van de strandopgang minder zand te vangen, net zoals strandopgangen die van zuid (strand) naar noord (duin) lopen.

Stuifzand wordt niet altijd als negatief ervaren. Bij St Maartenszee waait er meer zand het duingebied in. Dit is een positieve ontwikkeling voor het duingebied. De duinen groeien aan door de extra aanvoer van zand. In het natuurgebied Harger- en Pettemerpolder heeft de beheerder geen last gehad van stuivend zand dat over de dijk heen kwam. Dit geldt zowel voor de fase tijdens de aanleg als in de periode erna. Dit wordt bevestigd door de zandvangers.

Beleving effectiviteit maatregelen om stuifzand te verminderen

- **Bufferzone:** er zijn verschillende meningen over de effectiviteit van de vallei. Het merendeel van de respondenten zeggen dat door de luwte de wind het zand hier achterlaat, terwijl anderen menen dat de wind met het zand over het dal heen waait.
- **Strobalen:** er komt vrijwel geen zand in de strobalen terecht, en deze worden als overbodig gezien.
- **Helm inplant:** door alle geïnterviewde partijen wordt helm plant gezien als effectieve maatregel om stuivend zand in te vangen. Al direct na het planten merkte men effect. Echter worden er door sommige

partijen vraagtekens gezet bij de vitaliteit van de geplante helm in het noordelijk deel. Hierdoor stuift volgens de bevrageden in het noorden meer zand door de duinen en is er meer last van stuifhinder.

- **Papierpulp:** dit wordt op zich gezien als goede maatregel, maar toch was hij niet helemaal effectief. Doordat met materieel de papierpulp kapot werd gereden, kon er alsnog zandverstuiving ontstaan.
- **Luwe laagtes:** men heeft de indruk dat luwe laagtes helpen om zand in te vangen. Ze veroorzaken in ieder geval geen zandoverlast en daarnaast ziet het er natuurlijk uit (N.B. dit komt niet overeen met de expertsessies, waar een link is gelegd tussen de luwe laagtes en het zandoverlast op het fietspad).
- **Wilgenschermen:** wilgenschermen werken goed om zand vast te houden in het gebied. Ze zouden nog effectiever ingezet kunnen worden door ze direct na aanleg op strategische plekken te plaatsen (daar waar je overlast verwacht, zoals bij paviljoens en strandafgangen). Ook kan de effectiviteit worden verbeterd door nieuwe stuifschermen te plaatsen zodra ze zijn ondergestoven.
- **Afrastering en geotextiel:** tijdens aanleg was op de dijk geotextiel op afrastering aangebracht om stuifzand over de dijk tegen te gaan. Dit hield een deel van het zand tegen, maar niet alles.
- **Zandvangers (monitoring):** de zandvangers worden genoemd als tegemoetkoming aan de zorgen van de bewoners om de hoeveelheid stuifzand te meten. Bij hoeve Camperduin zijn nog extra zandvangers geplaatst. Door een van de respondenten worden de zandvangers bestempeld als 'niet nuttig' ('er komt bijna geen zand in terecht').
- **Ontwerp fiets- en wandelpaden:** Bij het ontwerp heeft men fietspad en wandelpad zó proberen aan te leggen dat het zand zoveel mogelijk vanzelf weer weg waait. Tevens zijn duinovergangen zó ontworpen om overstuiving te minimaliseren.
- **Zand afvoeren:** zand dat tijdens de aanlegfase achter de dijk op de weg terecht kwam, werd door de aannemer verwijderd, net als het zand op het fietspad. Het zand werd weggehaald en naar het strand verplaatst. Een alternatieve optie die werd geopperd is het lokaal opslaan van zand door de aanplant van helm of het plaatsen van rietschermen (N.B. Deze maatregel is wel uitgevoerd maar blijktbaar onvoldoende toegepast of niet als zodanig herkend worden door de geïnterviewden).

8.4 Conclusies en aanbevelingen beleving

8.4.1 Conclusies beleving stuifhinder versus gemeten verstuiving

Trends in de tijd

De hoeveelheid stuifzand is afgenomen in de tijd. Dit wordt ondersteund door de resultaten van de zandvangers, de hoogtemetingen en de expertsessies. In 2016 is de hoeveelheid gemeten stuifzand beduidend lager dan in 2014 en 2015 (tijdens de aanleg). Dit komt overeen met de resultaten van de hoogtemetingen, die laten zien dat de volumeverandering in het duin veruit het grootst is in 2015, wanneer dus de meeste verstuiving optreedt. Daarna neemt de accumulatie in het duin abrupt af, om vervolgens redelijk constant te blijven. Opvallend resultaat is dat de hoeveelheid stuifzand bij Camperduin al in 2014 een afname laat zien ten opzichte van de nulmeting. Dit komt doordat er vóór de aanleg van de Hondsbossche Duinen al sprake was van substantieel zandtransport, dat door de aanleg van de duinen het de helmaanplant is verminderd.

De geïnterviewden bevestigen dat stuifhinder vooral tijdens de aanlegfase heeft plaats gevonden en vlak erna (gedurende twee jaar). In de daaropvolgende jaren is de hoeveelheid stuifzand en de hinder daarvan snel afgenomen. Dit komt overeen met de metingen. De afname van stuifzand bij Camperduin direct na aanleg wordt in de gesprekken bevestigd, hoewel verder landinwaarts er ook stuifhinder is ervaren.

Gradiënten van zee naar land

In het duingebied is de verstuiving veruit het grootst aan de zeewaartse zijde van het duin en neemt sterk af richting de bestaande HPZ, waar nauwelijks accumulatie wordt waargenomen (hoogtemetingen). In de tijd neemt de accumulatie op de kruin van het duin af, wat betekent dat het zand minder ver het duin instuift. Uit de metingen komt naar voren dat er nauwelijks sprake is geweest van stuifzand op en aan de landzijde van de oude HPZ (zandvangens, hoogtemetingen en veldbezoeken). Er is een exponentiële afname in de landwaartse stuifzandgradiënt. Direct achter de dijk is een totaal gewicht van 149-232 gram zand in de zandvangens gemeten.

De betrokkenen beamen dat verstuiving door zand vooral plaatsvindt op het strand en rondom de eerste duinenrij. Hier kan het overlast geven, bijvoorbeeld voor de strandtenten. Richting de oude HPZ neemt de hoeveelheid stuifzand af. Zo heeft de beheerder van het gebied Harger- en Pettemerpolder geen last ondervonden van zand dat over de dijk heen waaide, terwijl dat vooraf wel een zorgpunt was.

Gradiënten van zuid naar noord

Tijdens veldbezoeken is geconstateerd dat de hoeveelheid zand dat richting, en soms ook over de dijk stuift in het zuidelijk deel hoger is dan in het noordelijk deel van het gebied. De indruk is dat meer winddynamiek zorgt voor een groter zandtransport in het zuiden. Op basis van hoogtemetingen wordt geconstateerd dat ook de duinaangroei in het zuiden hoger is dan in het noorden. In het midden (ter hoogte van de vallei) zorgt het water in de vallei ervoor dat zand niet of nauwelijks op het achterliggend (hoge) duin of de oude HPZ terecht komt. De noordkant van de vallei fungeert als aanloopvlakte voor veel uitstuivend zand. Ook is de helm hier minder goed aangeslagen dan in het zuiden, waardoor het meer zand doorlaat. Hier zorgt een relatieve grofkorreligheid van het sediment er echter voor dat de hoeveelheid stuifzand toch beperkt blijft. Zowel in het zuiden als het noorden hebben gemeenten nauwelijks klachten ontvangen van bewoners over stuifzand. Zoals hierboven genoemd is er tijdens de aanlegfase sprake geweest van stuifzand, maar nam dit vervolgens snel af. Er is in de interviews dus geen onderscheid te maken tussen effecten voor de bewoners in het noorden en het zuiden van het gebied. Ten noorden van de HPZ, ter hoogte van St Maartenszee, heeft de aanleg van de Hondsbossche Duinen geleid tot meer zandverplaatsing richting het duingebied. Dit wordt gezien als een positieve ontwikkeling voor het duingebied.

Fietspaden en strandlagen

Er is op diverse plaatsen sprake (geweest) van overstuiving van het fietspad. Vooral in het eerste jaar na aanleg was dit substantieel. Meestal kwam dit voor op plekken waar een luwe laagte zeewaarts van het fietspad was aangelegd.

Meerdere partijen hebben het onderstuiven van het fietspad benoemd als hinderlijk. Vooral tijdens de aanlegfase is het fietspad meerdere malen niet beschikbaar geweest. Daarnaast is er sprake van zandoverlast op de strandlagen. Vooral de gemeenten ondervinden hier hinder van, omdat zij verantwoordelijk zijn voor het vrij houden van de strandopgangen.

8.4.2 Conclusies effectiviteit van maatregelen

Bufferzone tussen dijk en duin

De vallei tussen de oude HPZ en het hoge duin vormt een bufferzone waar stuifzand kan worden ingevangen (veldbezoeken). Hoewel er veel zand terecht komt op de duinrug (vormt op een gegeven moment zelfs een storthelling), komt maar een klein deel in de bekleding van de oude dijk terecht. Er is slechts incidenteel (lichte) overstuiving zichtbaar bovenop de dijk en landwaarts van de dijk. In het zuiden is er meer aanzanding op de dijk dan in het noorden. Deze 'bufferzone' lijkt dus effectief te zijn voor het invangen van zand.

Er zijn verschillende meningen over de effectiviteit van de vallei. Het merendeel van de respondenten zeggen dat door de luwte de wind het zand hier achterlaat, terwijl anderen menen dat de wind met het zand over het dal heen waait.

Strobalen

Doordat er maar weinig zand in de bufferzone tussen dijk en duin terecht kwam, hebben de strobalen niet kunnen functioneren als zandvang. Het is daarom niet mogelijk om een uitspraak te doen over de effectiviteit waarmee strobalen zand kunnen invangen. Ze hebben wel als windbreak gefunctioneerd en creëren luwte voor vegetatie. Veel zaden in de strobalen lopen uit en de balen raken begroeid met diverse soorten kruiden en vergaan langzaam.

Helminplant

Vegetatie is essentieel voor het invangen van zand (hoogtemetingen). De afwezigheid van vegetatie lokaal leidt tot doorstuiven van zand. Ook minder vitale helm vangt zand in. De helm ziet er in het zuiden vitaler uit dan in het noorden (veldbezoeken). De meest vitale helm is steeds op meest overstoven delen te vinden. Helm aan zeezijde moet veel moeite doen om boven overvloedige aanbod zand uit te komen, waardoor er meer zand richting de dijk kan stuiven.

Door alle geïnterviewde partijen wordt helm plant gezien als effectieve maatregel om stuivend zand in te vangen. Al direct na het planten merkte men effect. Echter worden er door sommige partijen vraagtekens gezet bij de vitaliteit van de geplante helm in het noordelijk deel. Hierdoor stuift volgens de bevrageden in het noorden meer zand door de duinen en is er meer last van stuifhinder.

Struweelinplant

De meeste soorten struiken die zijn aangeplant op de landwaartse zijde van het hoge duin zijn afgestorven (veldbezoeken). Alleen de vitale duindoorn heeft het overleefd, en deze is in het zuiden vitaler dan in het noorden.

Betrokkenen hebben de indruk dat het struweel helpt om het zand in te vangen.

Papierpulp

Na de aanleg waren de resten van papierpulp nog te zien in het noorden van de Hondsbossche Duinen en aan de landzijde van het hoge duin (tussen het struweel). Er bewoog toen nog maar heel weinig zand. Tijdens de aanlegfase is papierpulp gebruikt om verstuiving tegen te gaan. Dit wordt op zich gezien als goede maatregel, maar toch was hij niet helemaal effectief. Doordat met materieel de papierpulp kapot werd gereden, kon er alsnog zandverstuiving ontstaan.

Luwe laagtes

Luwe laagtes vangen na aanleg meer zand in dan een 'normaal' aangelegd duin. Ze dragen bij aan lokale dynamiek en beïnvloeden lokaal het doorstuifpatroon (hoogtemetingen). Luwe laagtes tonen vaak combinatie van accumulatie en erosie en zorgen voor overstuiving landinwaarts van de luwe laagte (veldbezoeken). Daar waar de luwe laagte dicht bij het fietspad licht, zorgt deze overstuiving voor zandoverlast op het fietspad. Stuifoverlast op het fietspad wordt effectief bestreden door hier en daar in luwe laagtes helm aan te planten, het plaatsen van stuifschermen en door opvegen/verwijderen van opgestoven zand.

Men heeft de indruk dat luwe laagtes helpen om zand in te vangen. Ze veroorzaken in ieder geval geen zandoverlast en daarnaast ziet het er natuurlijk uit. Er is door de respondenten niets genoemd over de relatie tussen luwe laagtes en stuifoverlast op het fietspad.

Stuifschermen

Het plaatsen van wilgenschermen leidt tot snelle aanzanding, maximaal tot de hoogte van het scherm (hoogtemetingen, veldbezoeken). Ze werken vooral sturend bij weinig zandaanbod en houden dan meer zand vast dan het omliggende gebied. Op het hoge strand worden wilgenschermen tot hun maximale zandvangcapaciteit vol gestoven, en dragen daarna niet meer bij aan invangen van zand (veldbezoeken). Wilgenschermen werken volgens de betrokkenen goed om zand vast te houden in het gebied. Ze zouden nog effectiever ingezet kunnen worden door ze direct na aanleg op strategische plekken te plaatsen (daar waar je overlast verwacht, zoals bij paviljoens en strandafgangen). Ook kan de effectiviteit worden verbeterd door nieuwe stuifschermen te plaatsen zodra ze zijn ondergestoven.

8.4.3 Aanbevelingen t.a.v. stuifhinder

Bovengenoemde resultaten zijn vertaald naar aanbevelingen, die kunnen worden meegenomen in het ontwerp van een toekomstig soortgelijk project:

Aanbevelingen voor ontwerp

- Een bufferzone lijkt goed te werken als zandinvang. De kleine hoeveelheid zand die op de bekleding van de dijk terecht kwam, geeft de indruk dat de vallei qua breedte en diepte (achteraf gezien) is over gedimensioneerd. Ook een kleinere vallei was voldoende geweest om het zand in te vangen.
- De hooibalen zijn niet effectief gebleken in het invangen van zand en hoeven voor die functie niet meegenomen te worden in een toekomstig ontwerp.
- Helm is effectief als het zandinvang betreft. Wel wordt aanbevolen om goed te onderzoeken wat het juiste seizoen is om helm te planten. Betrokkenen hebben de indruk dat het verschil in moment van planten een oorzaak kan zijn van de mindere vitaliteit van de helm in het noorden.
- Papierpulp is effectief in het tegengaan van verstuiving tijdens de aanlegfase. Let er wel op dat het papierpulp zo min mogelijk wordt bereiden, om het positief effect te waarborgen.
- Luwe laagtes hebben in hun directe omgeving invloed op de mate van verstuiving. Het wordt aanbevolen om geen luwe laagtes aan te leggen in de (benedenwindse) nabijheid (5-10 meter) van een fietspad of andere elementen waarbij stuifzand niet gewenst is. Stuifoverlast kan beperkt worden door een dichtere helminplant tussen de luwe laagte en het fietspad of het plaatsen van een wilgenscherm.
- Stuifschermen zijn erg effectief in het invangen van zand, zowel op het hoge strand als elders in het duin. Om hun capaciteit maximaal te benutten, wordt aanbevolen om direct een nieuw scherm te plaatsen wanneer het voorgaande scherm is vol gestoven. Ook wordt aanbevolen om direct bij de aanleg stuifschermen te plaatsen op plekken waar je overlast verwacht (zoals bij paviljoens en strandafgangen).
- Zandvangers worden genoemd als tegemoetkoming aan de zorgen van de bewoners. Ook zijn ze een middel om de daadwerkelijke verstuiving in kaart te brengen. In de praktijk heeft de methode echter haar beperkingen (bijv. door vandalisme). Het wordt daarom aanbevolen om bij het monitoringsplan deze beperkingen mee te nemen en een plan te maken om de risico's ervan te beperken of aanvullende maatregelen te nemen.
- Fiets – en wandelpaden en strandslagen kunnen zó worden ontworpen dat door hun oriëntatie en helling zo min mogelijk zand invangen. Hierbij dient wel rekening te worden gehouden met de maximale hellingshoek volgens de CROW regelgeving, om toegankelijkheid voor mindervaliden te garanderen. Ook kunnen wilgenschermen en helm ervoor zorgen dat het zand in de nabijheid wordt vastgehouden en niet de kans krijgt om op het pad te waaien.

Aanbeveling voor het proces

- Het proces van aanleg en beheer kan nog verder verbeterd worden. Het helpt als er geen tussenpartij is (in dit geval is dat RWS) tussen de aannemer en de lokale betrokken partijen. Daarnaast zouden ook details in het ontwerp en het onderhoud met lokale betrokkenen besproken kunnen worden om de verwachtingen af te stemmen en het ontwerp en beheer te optimaliseren.

9

VERGELIJKING EN TOEPASSING ANDERE LOCATIES

9.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de volgende onderzoeksvraag:

- *Wat leren we van de monitoring van de HD voor toekomstige zandige versterkingen?*

Om in kaart te brengen wat de resultaten van de monitoring bij de HD kunnen betekenen voor andere (toekomstige) zandige versterkingen, heeft het EcoShape-projectteam in een gezamenlijke werksessie besproken welke aanlegprojecten en referentiegebieden zich lenen voor een vergelijkende analyse met betrekking tot morfologie, en interactie met de ecologie en beleving. Dit heeft geresulteerd in een selectie van zes gebieden met zandige versterkingen, waarvan de Hondsbossche Duinen (HD) er één is. Daarnaast worden drie strand-/duingebieden die op natuurlijke wijze zijn ontstaan, als referentie in de vergelijking betrokken, met name voor de snelheid van ontwikkelingen in een natuurlijke situatie.

Voor de vergelijking is een structuur (in tabelvorm) opgezet, waarin de uiterlijke fysieke kenmerken en enkele kengetallen van de geselecteerde gebieden staan weergegeven, zodat er een overzicht is van de overeenkomsten en verschillen (tabel 9.1). Gescheiden voor de drie onderzoekthema's A (habitatontwikkeling; interactie tussen vegetatie en morfologie), B (morfologie) en C (beleving) is vervolgens voor verschillende facetten geïnventariseerd hoe de situatie in het betreffende gebied is (bijlage IX) is. Per thema zijn er twee tabellen: één gericht op de 'voorspelbaarheid' en één op de 'stuurbaarheid' van ontwikkelingen.

Thema A (habitatontwikkeling) en B (morfologie):

Snelheid:	De snelheid waarmee de morfologische en ecologische ontwikkelingen plaatsvinden/hebben plaatsgevonden. Bij thema A wordt hier vooral gekeken naar de toenemende invloed van de biologische processen op de morfologische processen, en de interactie tussen beide.
Dynamiek:	De verandering door erosie, transport (in kustgebieden met name door wind en water) en depositie van zand. De dynamiek kan hoog zijn, met veel en/of grote veranderingen, of laag met weinig en/of kleine veranderingen in zandvolume. Bij thema A wordt hier vooral gekeken naar de interactie tussen morfologie en vegetatie.
Natuurlijkheid:	De mate en intensiteit waarmee biotische en abiotische processen plaatsvinden en in het landschap tot uitdrukking komen. [https://www.nev.nl/thijsse/woordenlijst.html] In morfologisch opzicht (thema B) wordt natuurlijkheid bereikt door het profielontwerp. In thema A is sprake van natuurlijkheid wanneer vegetaties en habitats een natuurlijk verloop (successie: opvolgingsproces) laten zien.

Specifiek thema B:

Duurzaamheid ontwerp:	De geschiktheid van het ontwerp om het beoogde functionele doel (met name veiligheid) blijvend te kunnen uitoefenen, al dan niet met in het ontwerp voorziene beheersmaatregelen.
-----------------------	---

Specifiek thema A:

Natura 2000-waarden:	Conform de invulling van de Wet natuurbescherming. Hier: niet alleen de gerealiseerde maar ook potentieel haalbare habitattypen.
Duurzaamheid waarden:	De (verwachte) robuustheid van de gerealiseerde of potentieel haalbare Natura 2000-waarden en andere ecologische waarden.

Specifiek thema C (beleving):

Veiligheid:	Met name kustveiligheid; de mate waarin de zandige versterking (annex natuurgebied) subjectief voldoet aan de behoefte aan (kust)veiligheid van het publiek. (N.B. Het veiligheidsbegrip is geobjectiveerd in de ontwerpeisen van Rijkswaterstaat.)
Hinder:	Hinder die uitgaat van de versterking of het natuurgebied, met name stuifzand, drijfzand en veranderingen in het grondwater.
Recreatieve waarde:	Waarde van de recreatieve mogelijkheden in het gebied zoals die tot uitdrukking komen in de diversiteit van het aanbod en het aantal gebruikers van het gebied.
Landschappelijke waarde:	Waarde van het ruimtelijke beeld, dat wil zeggen het niet-verstedelijkte gebied. Tot de waarden behoren: rust, stilte, donkerte, weidsheid, maar ook hoe uniek het landschap is.
Kunstwaarde (ook: 'ingenuity'):	Waarde van het civiele ontwerp (vindingrijkheid/oplossingsvermogen) en mogelijke meerwaarde van de zandige versterking.

Tabel 9.1: Kenmerken zandige versterkingen en natuurlijke gebieden in Nederland. Legenda: ● aanwezig; ○ voorzien; ✕ afwezig; ? onbekend

Gebied	Jaar	Doel	Uitvoering	Ca. volume (M m ³)	Ca. oppervlakte (ha)	Suppletiezand (µm)	Voorreever/overstroomde zandbank	Strandmeer/lagune	Kwelder/wad	Droog strand	Duinprofiel	Duinmeer/vochtige duinvallei	Stuifschermen	Luwe laagtes	Inplant vegetatie	Recreatiedruk
Zandige versterking																
Prins Hendrik-zanddijk	2018 (gestart; in aanbouw)	Waterveiligheid, natuur	Langs bestaande dijk; duin/kwelder; haak	4,5	200	250-350*	●	○	○	○	○	✕	○	✕	○	Laag
Hondsbossche Duinen (alleen deel boven water)	2014/15	Waterveiligheid, natuur, beleving/kennis	Langs bestaande dijk; duin	35	100	variërend	●	●	✕	●	●	●	●	●	●	Gemiddeld
Kennemerstrand en -duinen	1993	Waterveiligheid, natuur, compensatie	Slufter, duinen en duinmeer (= voormalige winput)	nvt	49	nvt	●	✕	✕	●	●	●	●	✕	●	Hoog
Zandmotor (incl. eerdere kustversterking)	2011	Recreatie, waterveiligheid, kennis	Schiereiland: strandhaak; voorreeversuppletie	18,7 (17,6)	128	317	●	●	✕	●	●	✕	✕	✕	●	Hoog
Spanjaardsduin	2009	Natuur (N2000-compensatie)	Kustlangs	6	15,9**	uniform: 150-700	●	✕	✕	●	●	●	✕	✕	●	Laag
Waterduinen	2012 (gestart); 2018 (getijdenwerking; in aanbouw)	Waterveiligheid, recreatie, natuur(compensatie), kustlaboratorium: zilte aquacultuur	Landwaarts van bestaande zeedijk; invloed getij via duikers	0,4 zand; 1,5 grond	350 (250 natuur)	?	●	✕	●	●	●	✕	●	✕	●	Hoog

* ook 700 µm (extra grof zand) opgespoten om het afslagvolume te beperken (pers. meded. Martin Baptist); ** compensatieopgave van 9,8 ha (H2130) respectievelijk ha 6,1 (H2190).

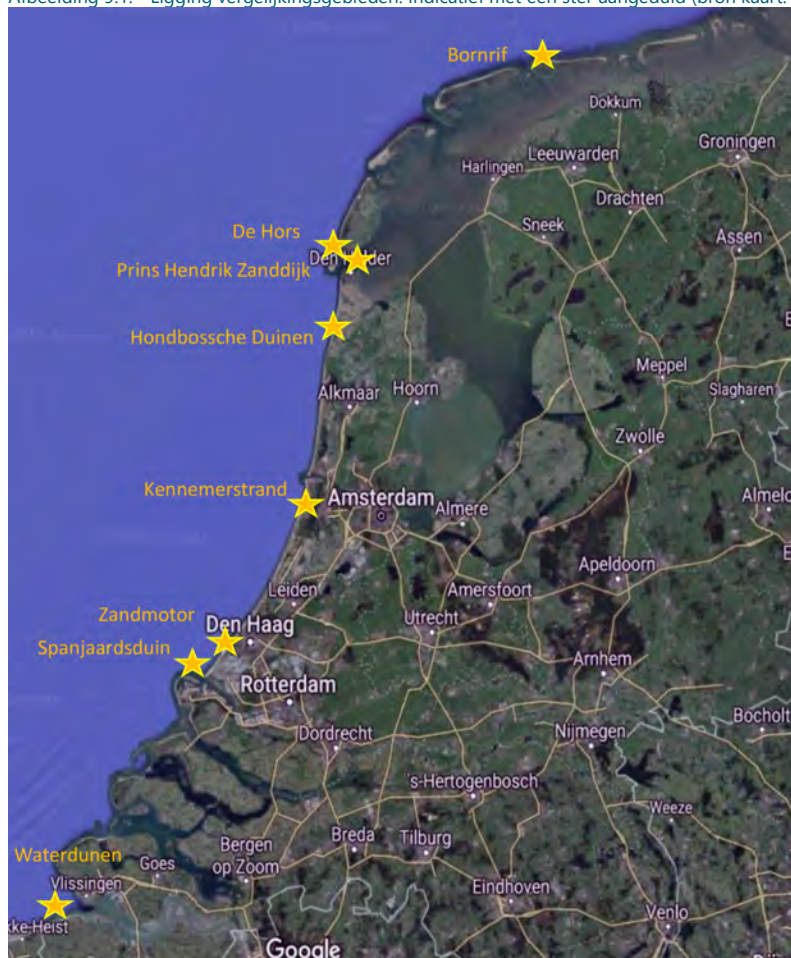
Vervolg tabel 9.1

Gebied	Jaar	Doel	Uitvoering	Ca. volume (M m3)	Ca. oppervlak (ha)	Suppletiezand (µm)	Vooroe- ver/overstroomde zandbank	Strandmeer/lagune	Kwelder/wad	Droog strand	Duinprofiel	Duinmeer/vochtige duinvallei	Stuifschermen	Luwe laagtes	Inplant vegetatie	Recreatiedruk
Natuurgebied																
Bornrif, Ameland	Medio 1986	Natura2000	Nvt	Nvt	264	x	●	●	●	●	●	●	x	x	x	Laag
De Hors, Texel	1749 (na- tuurlijke aanlanding); 1980 (veel natuurlijke ontwikkeling)	Natuur	Nvt	Nvt	396	x	●	x	●	●	●	●	x	x	x	Laag
Groene stranden (generiek)	Vanaf 2000	Natuur	Nvt	Nvt	ca. 416	x	●	x	●	●	●	●	x	x	x	Laag
Referenties zie referentielijst.																

9.2 Vergelijking zandige kustversterkingen

In de volgende paragrafen geven we per gebied de meest pregnante bevindingen uit de tabellen in bijlage IX en maken we aan de hand van de onderscheiden facetten de vergelijking met ten minste één ander gebied dat zich daarvoor leent. Voor zover dat zinvol kan wordt daarbij steeds naar de ontwikkelingen in de HD gekeken. Voor de ligging van al deze gebieden zie afbeelding 9.1. De gebieden worden in dezelfde volgorde als in de tabellen in bijlage IX gepresenteerd. Om overlap met de andere hoofdstukken te voorkomen, worden de HD hier echter niet meer apart besproken.

Afbeelding 9.1: Ligging vergelijkingsgebieden. Indicatief met een ster aangeduid (bron kaart: Google)



9.2.1 Prins Hendrikzanddijk

De aanleg van de Prins Hendrikzanddijk (hierna: PHZD) is in juni 2018 gestart voor de zuidoostelijke kust van Texel. Hier wordt zand gesuppleerd ter versterking van de kust, waardoor een gebied met onder andere duinen, kwelders en een strandhaak wordt gerealiseerd. Aanwezige habitattypen zijn permanent Overstroomde zandbanken (H1110) en Slik- en zandplaten (H1140). De beoogde habitattypen zijn Embryonale duinen (H2110), Witte duinen (H2120), Grijs duinen (H2130), Duindoornstruweel (H2160), Zilte pionierbegroeiing (H1310), Slijkgrasvelden (H1320), Schorren en zilte graslanden (H1330). De verwachting is dat de natuur in het gebied zich langzaam tot gestaag gaat ontwikkelen. Dit komt voornamelijk doordat er zand wordt opgespoten en de vestiging van soorten dus op kaal, nutriëntarm zand zal moeten plaatsvinden. Voor de nieuw aan te leggen kwelder is een stuk bestaande kwelder in de buurt afgeplagd. Deze wordt als het ware in het PHZD gebied getransplanteerd en moet als bronmateriaal dienen voor verdere verspreiding van planten.

De dynamiek in de duinen zal naar verwachting erg laag zijn na de initiële invang van zand door helmaanplant. Op de aangelegde kwelder wordt ook weinig dynamiek verwacht aangezien deze te hoog wordt opgeleverd (NAP + 1.5 m), waardoor deze niet overstroomd wordt tijdens gemiddeld hoogwater. Kwelders ontstaan door sedimentatie van kleideeltjes (slibafzettingen) tijdens overstromingen. Planten die op de kwelder groeien zijn onder andere geadapteerd aan een relatief vochtige en zoute omgeving. Zonder regelmatige getijdenoverstromingen wordt niet aan deze abiotische voorwaarden voor kwelderontwikkeling voldaan. Door de ligging van de strandhaak wordt de kwelder beschermd tegen eventuele afslag tijdens stormen. Wanneer de vegetatie op duin en kwelder aanslaat heeft de PHZD de potentie zich te ontwikkelen tot een duurzaam en robuust gebied.

De PHZD laat zich moeilijk vergelijken met een van de andere gebieden al zijn er wel wat overeenkomsten met Bornrif. Beide gebieden hebben een strandhaak die een luwe zone creëert waar groene strand of kweldervegetatie zich kan vestigen. De eerste vegetatie bij Bornrif verscheen binnen tien jaar, wat sneller is dan verwacht wordt voor de PHZD. Als de kwelder lager zou worden aangelegd, zou hij zich op een meer natuurlijke wijze kunnen ontwikkelen. Het opbrengen van slib en plaatsen van rijshoutdammen voor het invangen van sediment zou dit kunnen bevorderen en de ontwikkeling mogelijk versnellen. Omdat de oriëntatie van de PHZD tegengesteld is aan die van de HD, is de verwachting van de ontwikkeling van het duin ook anders, namelijk (naar verwachting) minder snel. Het nieuwe duin wordt zo aangelegd dat (naar verwachting) geen grote eolische verliezen ontstaan.

Net als bij de HPZ is er bij de aanleg van de PHZD het risico op overlast door stuifzand en verzilting van de achtergelegen polder. Via media en bijeenkomsten worden deze risico's en de meetresultaten (van het grondwater) met de bewoners besproken. Er zijn bezwaren van de bewoners tegen het ontwerp omdat men met name gehecht is aan de vrije toegankelijkheid van het gebied. Tevens vreest men voor zandtransport naar de haven van Oudeschild. Het ontwerp biedt naast veiligheid ook elementen voor recreatie en natuurontwikkeling. Het wordt gepresenteerd als 'natuurlijk', met een overgang van duinen naar waddennatuur van schorren, slikken en zandplaten. Het is echter de vraag of de dynamiek van de duinen en kwelderontwikkeling met dit ontwerp wel mogelijk is (zie hierboven).

9.2.2 Kennemerstrand en -duinen

Het natuurgebied Kennemerstrand (ca. 50 ha inclusief duinen en gebied rondom het duinmeer) is ontstaan als compensatie voor gebied dat door de aanleg van recreatieve voorzieningen zoals een jachthaven, parkeerplaatsen en een boulevard bij IJmuiden verloren is gegaan. In 1993 zijn een slufteer en een duinenrij aangelegd. Het daarvoor benodigde zand werd lokaal gewonnen. Uit de winput is het huidige duinmeer ontstaan. Naast de natuurcompensatiefunctie verhogen de duinen de kustveiligheid. Het gebied biedt kansen voor Embryonale duinen (H2110), Witte duinen (H2120), Vochtige duinvallei (H2190), Groenknolorchis (H1903), Duindoornstruwelen (H2160), Kruiwilgstruwelen (H2170) en in potentie Grijze duinen (H2130). De ontwikkeling in het gebied verloopt gestaag. Door de volgorde van aanleg ligt het noordelijke deel vóór op het zuidelijke deel. Door de slufteer en daardoor de aanvoer van zout water was er in eerste instantie veel dynamiek in het gebied. Na het ontstaan van de lage zeereep is de slufteer echter dicht gestoven en is een belangrijke factor voor dynamiek verdwenen. Het openen van de slufteer zou de dynamiek weer terug in het systeem kunnen brengen, met lokale erosie- en sedimentatieprocessen en een veranderende vegetatie. Voor het duurzame behoud van de duinvallei moet ervoor gewaakt worden dat riet niet dominant wordt.

Het Kennemerstrand laat zich qua ecologie goed vergelijken met profiel 4 van de HD dat bestaat uit twee duinregels met daartussen een vochtige duinvallei. De HD hebben dezelfde habitatdoelen als het Kennemerstrand, op groenknolorchis en kruiwilgstruwelen na. Beide gebieden zijn gefaseerd aangelegd, wat bij beide doorwerkt in de vegetatieontwikkeling: het eerste aanlegtraject (Kennemerstrand noord; HD zuid) ontwikkelt zich voorspoediger dan het laatste aanlegtraject (Kennemerstrand zuid; HD noord). De ontwikkeling van het duinmeer in de HD verloopt langzamer dan die van het duinmeer van het Kennemerstrand. Om de duinvallei van het Kennemerstrand te behouden is de drinkwaterwinning stopgezet en wordt er gemaaid en struweel verwijderd. Dit zouden ook beheersmaatregelen kunnen zijn in de HD

wanneer de vegetatie zich daar voldoende heeft ontwikkeld en zolang de duinvallei nog niet helemaal is dicht gestoven. Dat proces is wel gaande.

Door zijn grote recreatieve en landschappelijke waarden (incl. de ontstane natuurwaarden) en het kwalitatief hoogstaande onderhoud (hier: door een deskundige vrijwilligersorganisatie) is het Kennemerstrand annex duinen een geslaagd voorbeeld voor andere, gelijksoortige ontwikkelingen. De ruimtelijke verdeling die van tevoren bedacht was voor het gebied (natuurontwikkeling in het zuiden en recreatie in het midden bij het duinmeer) pakte anders uit. Toch is er grote waardering voor het resultaat. Dit laat zien dat verwachtingen vooraf soms moeten worden losgelaten om een gebied optimaal te laten ontwikkelen.

9.2.3 Zandmotor

In 2011 is een kunstmatig schiereiland (128 ha) in de vorm van een haak aangelegd tegen de Delflandse kust aan, tussen Ter Heijde en Kijkduin. Het doel was dat het aangebrachte zand zich vanzelf verspreidt tussen Hoek van Holland en Scheveningen – vandaar de naam Zandmotor - en zo bijdraagt aan de kustveiligheid. Andere doelen zijn het vergroten van kennis met betrekking tot zandtransport en recreatiemogelijkheden aan de kust. Beoogde habitattypen voor de Zandmotor zijn permanent overstromde zandbanken (H1110), embryonale duinen (H2110) en witte duinen (H2120). De ecologische ontwikkeling (hier: vegetatieontwikkeling, inclusief het ontstaan van embryonale duinen) verliep de eerste vier jaar erg langzaam, aangezien het stuivende zand vooral in het duinmeer en de lagune terecht kwam. Vanaf 2015 is de morfologische ontwikkeling bij de Zandmotor wel snel verlopen, zelfs sneller dan normaal bij een natuurlijke kust. De dynamiek in de branding is zodanig hoog dat zich hier geen vegetatie kan vestigen. Die vestigingsmogelijkheid is er wel in het duinmeer omdat het dicht stuift. Inmiddels zijn ook de eerste embryonale duintjes op geheel natuurlijke wijze gevormd. Wanneer dit gewenst zou zijn, is de vestiging van vegetatie en de natuurlijkheid van het gebied te sturen door vegetatie actief in te planten. Het zandtransport zou kunnen worden bevorderd door het verwijderen van de 'beach armour' (i.e. schelpen en aangekoekt zand), waardoor gunstigere omstandigheden voor vegetatieontwikkeling worden geschapen. De huidige relatief lage zanddynamiek is wel gunstig voor de vorming van embryonale duinen doordat stormen een minder groot effect hebben en de erosie van de embryonale duinen laag is. De Zandmotor is niet op duurzaamheid ontworpen maar heeft een tijdelijk karakter. Door de zandverplaatsingen zal de Zandmotor opgaan in de kustlijn, een proces dat misschien gerekt zou kunnen worden door extra zandsuppleties.

Door de unieke functie van de Zandmotor (zandtransport) is het gebied niet goed te vergelijken met een van de andere zandige versterkingen maar komt qua vorm wel overeen met de strandhaak Bornrif op Ameland (zie paragraaf 9.2.6). De snelheid van de vegetatieontwikkeling is voor beide gebieden redelijk goed te voorspellen. De eerste vegetatie verscheen in beide gebieden relatief snel na hun ontstaan, al ontwikkelt de vegetatie op de Zandmotor zich wel veel sneller dan bij Bornrif. Wellicht dat de oriëntatie van de kustlijn hier een rol in speelt. Bij de Zandmotor kan de ontwikkeling van het boven de duinvoet gelegen deel vergeleken worden met de HD. Beide zijn kunstmatig aangelegd, al is het met een verschillend onderhoudsdoel. Bij de Zandmotor zijn de recht aangelegde 'duinen' volledig ingeplant. Deze tonen weinig dynamiek op het bovenste deel en hooguit wat overstuiving. Op het lagere, kustwaartse deel ontstond na verloop van tijd enige variatie door aangroei en vegetatieontwikkeling. Deze ontwikkeling kan juist worden gebruikt als vergelijking met een gebied waar initieel kustlangse variatie is aangebracht zoals bij de HD. Hier zien we een snelle ontwikkeling van kustlangse variatie aan de gehele zeewaartse zijde van het duin waardoor het er veel sneller 'natuurlijk' uitziet dan bij de Zandmotor het geval was.

De Zandmotor wordt gepresenteerd als een uniek staaltje waterbouw en een innovatieve toepassing van Bouwen met Natuur. Er komen belangstellenden van over de hele wereld op bezoek om het project van dichtbij te zien. Doordat de nadruk sterk op positieve publiciteit ligt, is er echter minder ruimte om ook de tegenvallers te bespreken, waardoor niet optimaal van de monitoringsresultaten geleerd kan worden.

Bewoners en gebruikers van het gebied waren eerst onwennig met de nieuwe situatie, maar zijn nu enthousiast over de recreatieve mogelijkheden. Vooral bij kitesurfers is het gebied zeer populair (de lagune). Men ziet het liefst dat het gebied blijft zoals het nu is, wat niet overeenkomt met het tijdelijke karakter ervan. Op (mogelijk) onveilige situaties zoals drijfzand en gevaarlijke stromingen is door provincie Zuid-Holland en

de Reddingsbrigade in samenwerking met Deltares ingesprongen door een zwemveiligheidsapplicatie te ontwikkelen voor het publiek.

9.2.4 Spanjaardsduin

Het Spanjaardsduin (ca. 16 ha) is in de winter van 2008/09 aangelegd vóór de Delflandse kust bij Ter Heijde als natuurcompensatie voor de Tweede Maasvlakte. De compensatie moet bestaan uit Grijze duinen (H2130) en een vochtige duinvallei (H2190). Bijkomende doelen zijn het habitattype witte duinen (H2120) en het voorkomen van de groenknolorchis (H1903). Spanjaardsduin ontwikkelt zich gestaag maar langzamer dan verwacht doordat het gebied te hoog is aangelegd. Er is wel dynamiek in de duinen maar de uitstuiving van de duinvallei is niet voldoende om aan de randvoorwaarden voor het ontstaan van een vochtige duinvallei te voldoen, en inmiddels groeit er op deze plek ook helm. Het maaiveld van de duinvallei zou kunnen worden afgegraven om dichterbij de grondwaterspiegel te komen, waardoor de bodemvochtigheid zou toenemen en duinvalleiplanten zich zouden kunnen vestigen, al dan niet extra gefaciliteerd door de inbreng van zaden van allerlei duinvalleisoorten. Door het inplanten van helm op het duin kan de verstuing van zand naar de duinvallei worden verminderd. Wanneer het gebied zich eenmaal volledig heeft ontwikkeld, zal het zeer robuust zijn. Wel moet ervoor worden gezorgd dat riet niet de overhand krijgt in de vochtige duinvallei.

Net als het Kennemerstrand (zie paragraaf 9.2.2) laat het Spanjaardsduin zich goed vergelijken met profiel 4 (met de duinvallei) van de Hondsbosche Duinen (HD). Ook in de HD behoren Witte duinen (H2120), Grijze duinen (H2130) en Vochtige duinvallei (H2190) tot de beoogde habitattypen. Hoewel het Spanjaardsduin zich inmiddels langer heeft kunnen ontwikkelen dan de HD (respectievelijk negen en drie jaar) lijken de HD met de ontwikkelingen in de vochtige duinvallei nu vóór te liggen op Spanjaardsduin, waar het sediment vrij hoog is opgespoten. In de HD is de vochtige duinvallei een vallei met open water (duinmeertje) terwijl dat bij het Spanjaardsduin niet het geval is. In beide valleien zijn al diverse plantensoorten aangetroffen, ook karakteristieke soorten zoals Riet (HD) en Sierlijke vetmuur (Spanjaardsduin). In beide gevallen zou deze vegetatieontwikkeling kunnen worden versneld door de inbreng van zaden mits de vallei voldoet aan de noodzakelijke abiotische randvoorwaarden. Spanjaardsduin kent voldoende dynamiek voor het ontstaan van embryonale duinen, net als de HD. De vereiste dynamiek is door de hoge ligging van het duin echter lager dan in de rest van Spanjaardsduin. In de HD is de dynamiek daarentegen vrij hoog, vooral op het lage of eerste duin. Voor beide gebieden geldt dat zandvang/-uitstuf stuurbaar is door de aanplant van helm en/of biestarwegras. In Spanjaardsduin breidt de helm zich op natuurlijke wijze uit (zelfs tot in de duinvallei, waar dat niet gewenst is). In de HD is ook te zien dat helmplanten inmiddels spontaan opkomen en het gebied soortenrijker wordt. De natuurlijkheid van Spanjaardsduin zou gestimuleerd kunnen worden door het inbrengen van zaden van duinvalleisoorten. Bij de HD verwachten we dat relatief veel soorten op een natuurlijke manier (bv. door wind of dieren) in de duinvallei terecht komen. Hier moet dan wel weer gewaakt worden voor de dominantie van riet, waarvan de eerste planten al zijn waargenomen. Als de duinvallei in Spanjaardsduin zich verder ontwikkelt en beheersmaatregelen ter bescherming van dit habitattype worden doorgevoerd (bv. verwijderen van riet, voorkomen van doorstuiven van zand) zou de duinvallei wel eens duurzaam behouden kunnen blijven. In de HD stuift de vochtige duinvallei dicht, tenzij ook hier zand wordt afgegraven. Dat kan beste in mozaïekpatroon, zodat een deel van de aanwezige planten beschikbaar blijven als zaadbron voor de nieuw afgegraven stukken. Qua morfologie groeide bij Spanjaardsduin de eerste initieel lage duinregel enkele meters in hoogte. Bij Spanjaardsduin is aan de zeewaartse zijde helm beplanting aangebracht en na enige jaren is dit ook gedaan in variabele inplantingspatronen. Het zand wordt hier snel ingevangen, vegetatie start en het groeit verder in hoogte. Eenzelfde aangroei is ook gezien aan de zeewaartse zijde bij HD.

Vergeleken met de andere gebieden, is er relatief weinig publiciteit over het Spanjaardsduin als innovatief duincompensatiegebied. Het project diende als voorbeeld voor onder andere de HD hoe met opgespoten zand een nieuw duingebied (met duinvallei) kan worden aangelegd. Hoewel de ontwikkeling van de vochtige duinvallei maar traag op gang komt, wordt het gebied al gewaardeerd voor zijn weidse karakter. Ook heeft de aanvoer van zand gezorgd voor een 'verjonging' van de oude zeereep. Sinds de aanleg van Spanjaardsduin is de recreatie in het gebied toegenomen, wat gefaciliteerd wordt door strandtenten en strandhuisjes.

9.2.5 Waterdunen

In 2012 is begonnen met de aanleg van de Waterdunen (350 ha). Het project zal in 2018 afgerond zijn. Het beoogt nadrukkelijk de combinatie van meerdere functies middels toepassing van een innovatieve constructie in de waterkering. Via een zogenaamde getijdenduiker kan het water uit de Westerschelde straks tweemaal per dag het gebied in- en uitstromen. Naast het veiligheidsaspect is er in dit project nagenoeg evenveel aandacht voor natuur (ter compensatie van het uitdiepen van de Westerschelde), recreatie en zilte aquacultuur. Het gebied bestaat uit een zeedijk die landinwaarts is versterkt met een zogenaamd klimaatduin van 300 m breed en 18 m hoog, en een binnendijks intergetijdengebied dat wordt gestuurd door de getijdenduiker. Het natuurgebied beslaat 250 ha en voorziet in de habitats: Embryonale duinen (H2110), Witte duinen (H2120), (potentieel) Grijze duinen (H2130), Zilte pionierbegroeiing (H1310) en Schorren en zilte graslanden (H1330). De ecologische ontwikkeling in het geplande kweldergebied zal naar verwachting relatief snel verlopen vanwege de getijdenwerking; in de duinen wellicht iets langzamer omdat de dynamiek daar afhankelijk is van eolisch zandtransport, dat gestuurd zou kunnen worden door de inplant van vegetatie en het plaatsen van stuifschermen. De natuurlijkheid is vooral hoog in het intergetijdengebied, waar de vegetatie zich ontwikkelt onder invloed van het binnendringen van zout water. Een natuurlijke ontwikkeling van duin en kwelder kan echter enkel plaatsvinden binnen bepaalde grenzen afhankelijk van de recreatiedruk in het gebied. Het natuurgebied is duurzaam aangelegd en behoeft naar verwachting weinig beheer. Geëigende maatregelen (voor zover nodig) zijn: beperken van het doorstuiven van zand naar achterliggend gebied en, in de beginfase, openhouden van de geulen. Frequente overstroming en afwatering zijn immers essentieel voor een goede kwelderontwikkeling en biodiversiteit.

De Waterdunen laten zich het beste vergelijken met de PHZD (zie paragraaf 9.2.1). Ook hier zijn duinen en een kwelder voorzien, en staat de combinatie van functies voorop. Dat zijn wederom kustveiligheid, natuur en, in mindere mate, recreatie. In beide gebieden zal onderhoud aan de kwelders noodzakelijk zijn om deze duurzaam te kunnen behouden. De kwelders in de Waterdunen zijn wel verzekerd van de werking van de getijden door de aanwezigheid van de getijdenduiker; bij de PHZD is het door de hoge aanleg nog onzeker of er een (dynamische) kwelder zal ontstaan. Beide projecten zijn innovatief: er is nog weinig ervaring opgedaan met de aanleg van een binnendijks kweldergebied (Waterdunen) en geen ervaring met het creëren van een duin-/kweldergebied aan de zuidzijde van een Waddeneiland, waardoor de ontwikkelingen zich nog niet goed laten voorspellen.

De Waterdunen worden gepromoot als uniek project dat veiligheid, natuur en recreatie combineert. Omdat het gebied nog in aanleg is, is recreatie nu nog niet mogelijk. Er worden wel al excursies georganiseerd en een open dag (steeds onder begeleiding). De verwachting is dat het gebied veel recreanten zal trekken, vooral wanneer het natuurgebied verder ontwikkeld is.

9.2.6 Bornrif

Strandhaak Bornrif (ca. 264 ha) is een natuurlijke zandige versterking aan de Noordzeekust van Ameland. Medio 1986 is de zandbank Bornrif aangeland. Vervolgens is door stroming en zandtransport een strandhaak ontstaan. Het gehele gebied bestaat inmiddels uit Embryonale duinen (H2110), Witte duinen (H2120), Grijze duinen (H2130), Vochtige duinvallei (H2190), Zilte pionierbegroeiing (H1310) en Schorren en zilte graslanden (H1330), en is een belangrijk Natura 2000-gebied. Het strand, inclusief de haak, vormen een dynamisch gebied met veel aanzanding en afslag, die ook werd gefaciliteerd door de aanwezigheid van de geul tussen de zandbank (nu strand van het 'vasteland' van Ameland) en de strandhaak. Specifieke duin- en/of groene-strandvegetatie (zie ook paragraaf 9.2.7) ontwikkelde zich daar na ongeveer tien jaar. Onder invloed van stormen vertonen de duinen veel variatie in oppervlak. Het gebied is vooraansnog behoorlijk robuust, en zal dat ook blijven zolang de verstuiving beperkt blijft tot maximaal ca. 2,5 cm per jaar.

Strandhaak Bornrif vertoont qua vorm enige overeenkomst met de Zandmotor. Zie voor de vergelijking daarmee paragraaf 9.2.3.

De strandhaak is een waardevol natuurlijk fenomeen, dat als voorbeeld kan dienen hoe de kust zich natuurlijk kan ontwikkelen na een 'megasuppletie' (zoals de Zandmotor). Hoewel het gebied belangrijke

natuurwaarden heeft, zijn niet alle bewoners van Ameland er blij mee. Voor hen was de aanwezigheid van een badstrand waardevol, en dat is door het ontstaan van Bornrif verloren gegaan. Als reactie daarop creëren de inwoners van Ballum jaarlijks een tijdelijk 'zandstrand' door zelf zand vanaf het strand te verplaatsen en hier de lokale sliblaag mee te bedekken.

9.2.7 De Hors

De Hors is een grote strandvlakte (ca. 396 ha) aan de zuidwestpunt van Texel. Naast strand bestaat dit gebied uit Embryonale duinen (H2110), Witte duinen (H2120), Grijs duinen (H2130), en een Vochtige duinvallei (H2190). De Hors staat bekend als een gebied waar natuurlijke duinvorming goed te volgen is. Deze ontwikkeling verloopt hier snel. In amper vijf jaar tijd hebben er 7 m hoge duinen kunnen ontstaan nadat het beheer (inpolderingen) is gestaakt. Door de hoeveelheid beschikbaar zand op het brede strand is de dynamiek in het gebied zeer hoog. De Hors is een robuust gebied waar kustuitbreiding sinds de 18^e eeuw een continu natuurlijk proces is.

De Hors is een uniek natuurgebied en vertoont weinig overeenkomsten met de andere gebieden uit de vergelijkingstabel, maar laat duidelijk zien hoe snel embryonale en hoge duinen gevormd kunnen worden onder ideale omstandigheden.

De Hors laat goed zien hoe een natuurlijk uitbreidende kust zich ontwikkelt en kan als voorbeeld dienen voor kustversterkingsprojecten elders in Nederland. Het gebied wordt gebruikt voor natuurrecreatie, maar de aantallen recreanten zijn relatief laag. Dit zou gestuurd kunnen worden door het gebied meer te promoten. De vraag is echter of dat gewenst is omdat een toename aan recreatie ook tot verstoring kan leiden en dan een risico vormt voor de natuurlijke ontwikkeling.

9.2.8 Groene stranden (generiek)

Nederland heeft ca. 416 ha aan groene stranden. Deze stranden met vegetatie zijn tamelijk uniek en kunnen pas ontstaan wanneer het strand breed genoeg is, wat in Nederland slechts op weinig plekken voorkomt (bv. Rottumerplaat, Schiermonnikoog, Oostvoorne en in het gebied van strandhaak Bornrif). De vegetatieontwikkeling verloopt gestaag, waarbij de specifieke groene-strandvegetatie meestal pas na tien jaar verschijnt. Dit zijn soorten van het habitatype vochtige duinvallei (H2190), zilte pionierbegroeiing (H1310) en schorren en zilte graslanden (H1330). Embryonale duinen beschermen de groene stranden tegen overstroming en verstuiving, maar tegelijkertijd vormen embryonale duinen bij erosie ook de zandbron voor verstuivingen. Groene stranden kunnen maximaal 2,5 cm aan overstuiving per jaar ondergaan zonder dat er een nadelig effect optreedt. Ze zijn redelijk robuust, maar het voortbestaan is afhankelijk van de successie van soorten, en van de morfologische ontwikkelingen van de kust. Voor het behoud van de groene stranden is het van belang dat erosie van de kust wordt tegengegaan.

De vergelijking met de natuurlijke gebieden is lastiger, aangezien de dynamiek in die gebieden groter is, en bij de zandige versterkingen vaak wordt gekozen voor een voorspelbaar resultaat. De natuurlijke gebieden laten zien dat door de stuurbaarheid los te laten er ook de gewenste habitatypen kunnen worden bereikt, alleen is er een grotere onzekerheid waar en wanneer die habitatypen zullen ontwikkelen.

Daarnaast geldt dat groene stranden een belangrijk ontwikkelingsmodel bieden dat ook voor kustversterkingsprojecten kan worden gebruikt. Een groen strand is een uniek type natuur in Nederland, dat zeer aantrekkelijk is voor veel wadvogels zoals Kluut, Bontbekplevier (en Lepelaars). De stranden hebben een hoge landschappelijke waarde en zijn in potentie zeer aantrekkelijk voor natuurrecreanten. Het is daarom erg belangrijk een goed afgewogen keuze te maken tussen verstoring door recreatie en vogelbroedgebied.

9.2.9 Conclusies vergelijking zandige gebieden

De hiervoor besproken en vergeleken zandige versterkingen zijn ieder voor zich om een andere reden aangelegd. Toch voorziet bijna elk ontwerp in een combinatie van functies. Daarbij gaat het om de componenten kustveiligheid, natuur en recreatie, die in een ontwerp een verschillend accent (kunnen) hebben gekre-

gen. In een enkel geval (Zandmotor) is ook in het leeraspect voorzien ('learning by doing'). De voorspelbaarheid van de morfologische ontwikkelingen is over het algemeen goed wat betreft de richting. Waar die matig is, heeft dit vooral te maken met de snelheid ervan. Ook de (theoretische) stuurbaarheid van morfologische processen wordt gunstig ingeschat. (NB. Niet voor alle gebieden kon die inschatting worden gemaakt.)

Voor de ecologie geldt dat de processen over het algemeen goed begrepen worden, maar chaotisch kunnen verlopen, dat wil zeggen dat de bandbreedte waarin effecten zich (cascaderend) kunnen doen gelden, groot kan zijn. Er zijn wel maatregelen te bedenken die een ongewenste ontwikkeling tegen kunnen gaan, maar toepassing ervan druist niet alleen in tegen wat natuurlijkheid an sich behelst, maar ook tegen het oorspronkelijke idee achter de projecten, nl. Building with Nature.

De voorspelbaarheid van de beleving van de aangelegde gebieden is over het algemeen eerder laag. Of er waren vooraf meer zorgen over zaken die zich in de praktijk niet of in mindere mate voordeden of de beleving ervan veranderde, en soms was er ook een belevingseffect dat niet voorzien was. Het beeld is dus dat reserves vooraf bijna altijd groter zijn dan de daadwerkelijke beleving na realisatie, waarbij in acht moet worden genomen dat, wanneer die gegrond waren er tussentijds ook sturend is opgetreden. De stuurbaarheid van de beleving wordt overigens niet beproefd wanneer de beleving vanzelf in een gunstige richting gaat.

De vergelijking tussen gebieden is ook gemaakt om antwoord te kunnen geven op twee concrete vragen:

- Wat hebben de HD geleerd van andere gebieden?
- Wat kunnen andere gebieden leren van de HD?

Beide vragen zouden eigenlijk hypothetisch geformuleerd moeten worden omdat enerzijds niet bekend is in hoeverre lessen uit eerdere projecten, die dus toegepast hadden kunnen worden op het ontwerp van de HD, ook bewust overwogen zijn, en anderzijds omdat inzichten slechts nog beperkt kunnen worden toegepast wanneer een aanlegproject al in een gevorderd stadium is, zoals de PHZD.

Voor het inschatten van de gemiddelde duinaangroei is wel bewust gebruik gemaakt van gegevens uit JarKus-metingen (Van der Wal, 2004) en ervaringen in andere gebieden dan de hier vergeleken, zoals het ten zuidwesten van de Zandmotor gelegen Vlughtenburg en de Maasvlakte 2. De geschatte duinaangroei komt goed overeen met de gemeten duinaangroei in de eerste drie jaar na aanleg. De lessen en kennis uit die eerdere projecten zijn in dit opzicht succesvol toegepast voor de aanleg van de HD.

Van Spanjaardsduin weten we dat een duinvallei niet (veel) dieper wordt door het wegstuiven van zand. De duinvallei bij de HD is relatief diep aangelegd. Als dat een bewuste keuze is geweest op basis van de ervaringen bij het Spanjaardsduin, weegt het nemen van marge zelfs tijdelijk niet op tegen de snelheid waarmee de vallei van de HD nu dicht stuift.

Op het strand van de Zandmotor heeft zich een zgn. armour layer gevormd waardoor er minder zandtransport is, met als gevolg minder duinaangroei. Door een strand zo te ontwerpen dat het blijft overstromen, kan het ontstaan van zo'n laag worden voorkomen. Het is niet bekend of dat gegeven een rol heeft gespeeld (of zou kunnen hebben gespeeld) bij het vaststellen van de ontwerpvereisten van de HD. De invloed van overstroming op eolisch zandtransport is een van de onderdelen die meer aandacht verdienen in eventueel vervolgonderzoek (zie 10.4).

Een project als de PHZD zou van de volgende bij de HD opgedane inzichten kunnen profiteren; hier ging ook het interesse van de aannemers naar uit:

- zandverstuiving in de aanlegperiode kan worden tegengehouden door middel van papierpulp;
- helminplant kan het beste plaatsvinden in neerslagrijke perioden (dus beter in najaar/ winter dan in het voorjaar);
- door de toepassing van zand met een grotere korrelgrootte zal naar verwachting minder zandtransport optreden met als gevolg dat achterin gelegen gebiedsdelen minder dynamiek zullen vertonen; op dat punt zou een afweging kunnen plaatsvinden: tijdelijke overlast versus gewenste dynamiek op de langere termijn;

- van de struweelsoorten kan alleen duindoorn goed worden aangeplant. Een aandachtspunt hierbij is dat het makkelijk kan gaan overwoekeren, vooral als het ontwerp voorziet in het ontwikkelen van het habitatype duingrasland.

10

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

10.1 Generieke conclusies

Het innovatieproject heeft ons vele lessen geleerd (zie 10.3) over de aanleg en ontwikkeling van duinen, inclusief natuur (zie ook de paragrafen met conclusies aan het einde van de hoofdstukken 5 tot en met 9). In z'n algemeenheid kan – op dit moment, na bijna vier jaar monitoring - gesteld worden dat de aannames die gemaakt zijn tijdens de ontwerpfase goed hebben uitgedaan en dat de ontwikkelingen redelijk in lijn liggen met de verwachtingen tijdens het ontwerp.

In paragraaf 10.2 staan de vooraf gestelde onderzoeksvragen beknopt beantwoord, gevolgd door aanbevelingen voor soortgelijke projecten in paragraaf 10.3.

10.2 Beantwoording onderzoeksvragen

(4.1) Hoe groot is het totale zandvolume dat accumuleert in het duingebied als gevolg van eolisch transport?

Over de onderzoeksperiode van ongeveer drie jaar wordt 530.000 m³ zand het duin ingeblazen, dit is gemiddeld 33 m³/m/jaar. Er is sprake van een kustlangse variatie, die vooral bepaald lijkt te zijn door variatie in het aanbod en niet zozeer door variatie in de geometrie van het duin. Het aanbod varieert vooral door oriëntatie van de dwarsprofielen ten opzichte van de dominante windrichting en daarmee de transportcapaciteit van de wind.

(4.2) Wat is het effect van vormgeving van het duin op verstuiving en depositie (voor zover hier generieke conclusies aan te verbinden zijn)?

De geometrie van het duin heeft effect op waar -in de dwarsrichting - het zand terecht komt. De observaties tonen dat 70 % van het eolisch transport wat richting duinen waait, aan de zeewaartse zijde van het duin terecht komt. 25-30 % komt boven op de kruin van het duin terecht, bijna volledig binnen 10-30 m vanaf de zeewaartse zijde. Nagenoeg niets waait verder door over het duin. De metingen laten zien dat in de eerste twee periodes relatief het meeste zand doorstuift richting en over de kruin en de HPZ dijk ten opzichte van de periode daarna. De verwachting is dat de hoeveelheid zand die doorstuift richting de kruin verder zal afnemen.

(4.3) Wat is het effect van maatregelen in het duin op verstuiving en depositie (voor zover hier generieke conclusies aan te verbinden zijn)?

Maatregelen hebben ook effect op waar het zand in de dwarsrichting terecht komt en kunnen lokaal de dynamiek bevorderen. Wilgenschermen, vegetatie en luwe laagtes vangen zand in. Tevens kunnen luwe laagtes zorgen voor verhoging van de lokale dynamiek. Afwezigheid van vegetatie zorgt voor doorstuiven van zand wat dan elders dynamiek of hinder oplevert.

(5.1) Worden de bij de HPZ voorspelde habitattypen ook daadwerkelijk gerealiseerd?

Ofschoon zich in de HD geleidelijk steeds meer soorten vestigen, is drie jaar nog te kort om een antwoord te kunnen geven op de vraag of bepaalde vegetatietypen in het gebied zich op termijn zullen gaan ontwikkelen tot begroeiingstypen die kwalificeren voor N2000-habitattypen. Zeker een habitatype als Grijs duinen (H2130) heeft tijd nodig om tot ontwikkeling te komen. Daarvoor moet eerst een bepaalde mate van bodem(humus)ontwikkeling hebben plaatsgevonden. We verwachten dat na de onderhoudsperiode van 20 jaar de habitattypen voor een groot deel gerealiseerd zijn (zie ook het EcoShape rapport 'Inventarisatie habitatkwaliteit').

Ook de ontwikkeling van het habitatype Vochtige duinvalleien (H2190) kost tijd. Momenteel is daar nog steeds sprake van veel dynamiek, waarbij sommige delen overstuiven (vooral de zuidzijde) waardoor de vallei korter en ook minder diep wordt, en zonder ingrijpen op termijn volledig zal dicht stuiven. De oever aan de oostzijde lijkt zich wat oostwaarts te verleggen: een tweetal permanente kwadranten die eerst op de oever lagen, bleken in 2018 in het water terecht te zijn gekomen. Naast deze verstuiwingsdynamiek wordt de vestiging van duinvalleisoorten gehinderd door de geïsoleerde ligging van de vallei. Dit geldt met name voor die soorten die niet worden verspreid door wind en/of (water)vogels. Voor de realisatie van het habitatype Vochtige duinvallei verwachten wij dat een periode tussen de 10 en 25 jaar nodig zal zijn.

(5.2) Worden de verwachtingen die er bij aanvang van het project waren, waar gemaakt en waarom?

Behalve rond de fysische randvoorwaarden van de duinvalleihabitats, zijn in 2015 weinig tot geen concrete eisen gesteld aan de habitatkwaliteit van de aan te leggen Natuurzone. De verwachting toen was dat het scheppen van fysische randvoorwaarden nog geen garantie is voor het daadwerkelijk ontwikkelen van de beoogde habitats. Duidelijk was dat biologische processen zoals verspreiding een belangrijke rol spelen bij de (snelheid) van habitatontwikkeling, en dat de voorspelbaarheid van de ontwikkeling van de flora en fauna laag is, wanneer alleen op de abiotiek gestuurd wordt (De Groot et al., 2016). Die verwachting is nog steeds aan de orde, vooral ook vanwege de nog zeer korte ontwikkelingsperiode. (Paradoxaal genoeg laat die lage voorspelbaarheid (op de korte termijn) zich nu wel goed voorspellen.)

Op basis van de documenten die in de ontwerpfase zijn opgemaakt (inclusief artist impressions) en de habitats en soorten die daarin concreet genoemd staan, was de verwachting dat vier jaar na aanleg de habitats nog in ontwikkeling zijn en nog niet aan alle kwaliteitseisen zullen voldoen, en een deel van de verwachte planten- en diersoorten nog niet aanwezig zal zijn. Ook die verwachting wordt bevestigd. Daar komt nu de vrees bij dat ingrijpen noodzakelijk kan worden wanneer een plantensoort dominant dreigt te worden, zoals dat misschien met riet gaat gebeuren in de vochtige duinvallei. Dat het toepassen van hooibalen op de helling van de oude dijk als anti-stuifmaatregel een onbedoelde bron van plantenzaad kan zijn, was voorspeld en dat risico heeft zich ook voltrokken. Conform ontwerp is niet in het beheer van natuurwaarden voorzien, maar de vraag is of dat niet toch noodzakelijk zal worden om de vochtige duinvallei ook op de langere termijn te behouden en zich in een gewenste richting te laten ontwikkelen. Terwijl de vegetatieontwikkelingen betrekkelijk langzaam gaan (zoals ook verwacht) gaat het dichtstuiven van de vallei snel.

(6.1) Wat is de relatie tussen eolisch transport, vegetatieontwikkeling en aangroei van duinen bij de HPZ?

Dynamiek in zandverstuiving is bepalend voor de (verdere) ontwikkeling van met name de helmduinen, maar ook de vestiging van nieuwe soorten. Waar dynamiek heerst zien we vitale helm en een natuurlijker wordend plantenpatroon, wat ook kan betekenen dat op plaatsen met extreem veel aanzanding de bedekking met helm lager is. Waar geen dynamiek is, lijken de processen stil te staan. De ingeplante helm weet zich hier wel te handhaven, maar ziet er duidelijk minder vitaal uit. Het ontstaan van embryonale duinen vóór de zeereep is geheel volgens verwachting. De verdere ontwikkeling hangt af van de stormintensiteit de komende jaren en het strandmorfologie. Als het strand minder breed wordt kunnen de golven hoger oplopen en meer erosie veroorzaken. Als de stormen de komende jaren de embryonale duinen niet verwijderen, kunnen de duinen verder groeien, waardoor ze voor steeds minder doorstuif naar het achtergelegen gebied zorgen, dat dan dus minder dynamiek zal kennen. De betekenis van de luwe laagtes voor de vegetatie-ontwikkeling blijft gering, tenzij het uitstuiven tot diepere en grotere kuilen leidt (wat al is waargenomen op enkele plaatsen) waardoor de lokale dynamiek sterker wordt. De dynamiek in de luwe laagtes is wel bepalend voor de ontwikkeling van vegetatie in de luwe laagtes zelf: met veel dynamiek kan zaad van helm niet ontkiemen. De vegetatieontwikkeling in de luwe laagtes zelf ging daardoor in het begin langzamer. Nu de dynamiek is afgenomen, zal er naar verwachting meer vegetatie gaan groeien in de luwe laagtes. In de struweelzone zou bij (regelmatige) verse aanzanding, bijvoorbeeld als gevolg van storm, ook (meer) helmontwikkeling kunnen plaatsvinden.

(7.1) In welke mate wordt zandvraag als gevolg van zeespiegelstijging, bodemdaling en eolisch verlies gecompenseerd door eolische depositie?

Voor een zichtperiode van 50 jaar is de netto eolische depositie in vrijwel het gehele gebied van de HD groot genoeg om de zeespiegelstijging te compenseren. Voorwaarde daarbij is een gelijkblijvend of meegroeiend profiel onder NAP + 3 m (intergetijdengebied, strand). Dit past binnen het huidige suppletiebeleid in Nederland waarbij de BKL wordt gehandhaafd. Onder bovenstaande voorwaarde kan eolische depositie de zeespiegelstijging op het grootste deel van de HD compenseren tot een snelheid van 1 m/eeuw.

(7.2) Wat is de relatieve veiligheidswaarde van eolische deposities van zand in relatie tot het aangelegde zand met betrekking tot de korreldiameter?

Op basis van een kwalitatieve analyse van het effect van een kleinere korreldiameter op het afslagvolume en metingen van de korreldiameter op de HD wordt geconcludeerd dat het effect van de korreldiameter van de eolische deposities op de veiligheidswaarde van een volume zand van ondergeschikt belang is. Het mogelijke verschil in veiligheidswaarde is te verwaarlozen.

(8.1) Wat is de relatie tussen de hoeveelheid stuifzand en de ervaren hinder?

De hoeveelheid stuifzand is vrij snel afgenomen: in 2016 is de hoeveelheid gemeten stuifzand beduidend lager dan in 2014 en 2015 (tijdens de aanleg). Dit komt overeen met de resultaten van de hoogtemetingen, die laten zien dat de volumeverandering in het duin veruit het grootst is in 2015, wanneer dus de meeste verstuiving optreedt. Daarna neemt de accumulatie in het duin abrupt af, om vervolgens redelijk constant te blijven. Opvallend resultaat is dat de hoeveelheid stuifzand bij Camperduin al in 2014 een afname laat zien ten opzichte van de nulmeting in 2013. Dit komt doordat er vóór de aanleg van de HD al sprake was van substantieel zandtransport, dat door de aanleg van de duinen het de helmaanplant is verminderd.

De geïnterviewden bevestigen dat stuifhinder vooral tijdens de aanlegfase heeft plaatsgevonden en vlak erna (gedurende twee jaar). In de daaropvolgende jaren is de hoeveelheid stuifzand en de hinder daarvan snel afgenomen. Dit komt overeen met de metingen. De afname van stuifzand bij Camperduin direct na aanleg wordt in de gesprekken bevestigd, hoewel verder landinwaarts er ook stuifhinder is ervaren.

(9.1) Wat leren we hiervan voor andere locaties?

Voorwaarde voor de ontwikkeling van helmduinen is de aanwezigheid van verstuivingsprocessen. Zonder zanddynamiek is er geen natuurlijke vegetatieontwikkeling. Door een 'grilliger' ontwerp met meer diepere kerven en meer niet-ingeplante delen zou van meet af aan meer dynamiek geïntroduceerd kunnen worden. Dynamiek is voorwaarde van elke ontwikkeling die alleen in stand kan blijven via aan- en afvoer van (voedings)stoffen, en fysieke opbouw- en afbraakprocessen, of het daarbij om een kwelder gaat, zoals die bij de PHZD is voorzien, of een intergetijdengebied met zilte vegetatie, zoals in de Waterduinen. De aanleg moet qua hoogte en breedte zo gekozen worden dat deze processen kunnen spelen. Daarnaast moet er in het oog worden gehouden welke doelen het gebied heeft. Doorgaans prevaleert één doel en moet het ontwerp daarop worden aangepast.

10.3 Lessons learned

Het doel van dit monitoringsproject was generieke lessen leren voor volgende soortgelijke projecten. Hieronder volgt een opsomming van de belangrijkste lessen, die toepasbaar zijn op soortgelijke projecten:

- De geobserveerde duinaangroei van 33 m³/m/jaar komt in gemiddelde zin goed overeen met de verwachtingen tijdens de ontwerpfase voor de eerste jaren na aanleg. Daarmee wordt bewezen dat de bestaande literatuur en theorie over duinaangroei in Nederland toegepast kan worden in vergelijkbare projecten. De literatuurwaarden kunnen daarom met meer zekerheid worden gehanteerd in de ontwerpfase.
- In de verwachtingen werd rekening gehouden met meer overstuiving over het duin (richting harde HPZ-constructie), tot 40 % in profieltype 2. Dit blijkt niet het geval en het percentage dat over het duin stuift - en daarmee geen veiligheidswaarde meer heeft en mogelijk tot hinder leidt - blijkt verwaarloosbaar.

- De wijze waarop een suppletie moet worden aangelegd is afhankelijk van het doel van de suppleties. Zo wil een waterschap zo min mogelijk dynamiek, terwijl een provincie wellicht inzet op veel dynamiek. Bij de HD wordt ervoor gekozen om de strandbreedte bij Camperduin op orde te houden om zo de transportcapaciteit te maximaliseren. Daarnaast is het strand van de HD wat hoger gelegd om stuifhinder te minimaliseren: strand waar geen water overheen komt, is meer winderosiebestendig.
- Hoewel de gemiddelde volumes goed overeenkomen met de literatuur, is er ook behoorlijk veel variatie binnen het gebied. De strandbreedte, kustoriëntatie en mogelijk ook de korreldiameter zijn daarin bepalend. De variatie die optreedt binnen het gebied van de HD kan als bandbreedte worden gehanteerd in toekomstige projecten, eventueel aangepast aan de lokale omstandigheden.
- Geometrie en maatregelen, zoals stuifschermen, vegetatie en luwe laagtes, sturen waar het zand wordt ingevangen in een dwarsprofiel. Tevens zorgen lokale maatregelen voor lokale dynamiek, waarmee de ecologische ontwikkeling beïnvloed kan worden. Geometrie en maatregelen kunnen dusdanig worden toegepast dat zand, naar wens juist laag of hoog op het profiel wordt afgezet of ingevangen door de vegetatie, of juist nabij het strand, of meer in landwaartse richting.
- Luwe laagtes zijn het meest effectief wanneer ze in een meer natuurlijk patroon zijn aangelegd, meer op een natuurlijke stuifkuil lijkend. De aanlegvorm blijft redelijk herkenbaar na drie jaren, dus voor een natuurlijk beeld is het ook aan te bevelen deze in een meer natuurlijk patroon aan te leggen.
- Het aanbod van zand wordt mede bepaald door de aanwezigheid van fijne fracties in het intergetijdengebied en op het strand. Door opwoeling en overspoeling kan nieuw fijn zand worden aangevoerd en naar het oppervlak worden verplaatst. Hiermee kan rekening worden gehouden door het strand laag/flauw aan te leggen zodat een groter gebied regelmatig overspoelt.
- Een bufferzone lijkt goed te werken als zandinvang. De kleine hoeveelheid zand die op de bekleding van de dijk terecht kwam, geeft de indruk dat de vallei qua breedte en diepte (achteraf gezien) is overgedimensioneerd. Als het puur om zandinvang gaat, was een kleinere vallei voldoende geweest. De duinvallei is echter aangelegd ten behoeve van de functie natuur.
- Helm is effectief als het zandinvang betreft. Wel wordt aanbevolen om goed te onderzoeken wat het juiste seizoen is om helm te planten. Betrokkenen hebben de indruk dat het verschil in moment van planten een oorzaak kan zijn van de mindere vitaliteit van de helm in het noorden.
- Papierpulp is effectief in het tegengaan van verstuiwing tijdens de aanlegfase. Let er wel op dat het papierpulp zo min mogelijk wordt bereden, om het positieve effect te waarborgen.
- Luwe laagtes hebben in hun directe omgeving invloed op de mate van verstuiwing. Het wordt aanbevolen om geen luwe laagtes aan te leggen in de (benedenwindse) nabijheid (5-10 meter) van een fietspad of andere elementen waarbij stuifzand niet gewenst is. Stuifoverlast kan beperkt worden door een dichtere helminplant tussen de luwe laagte en het fietspad of het plaatsen van een wilgenscherm.
- Stuifschermen zijn erg effectief in het invangen van zand, zowel op het hoge strand als elders in het duin. Om hun capaciteit maximaal te benutten, wordt aanbevolen om direct een nieuw scherm te plaatsen wanneer het voorgaande scherm is vol gestoven. Ook wordt aanbevolen om direct bij de aanleg stuifschermen te plaatsen op plekken waar je overlast verwacht (zoals bij paviljoens en strandafgangen).
- Zandvangers worden genoemd als tegemoetkoming aan de zorgen van de bewoners. Ook zijn ze een middel om de daadwerkelijke verstuiwing in kaart te brengen. In de praktijk heeft de methode echter haar beperkingen (bijv. door vandalisme). Het wordt daarom aanbevolen om bij een monitoringsplan deze beperkingen mee te nemen en een plan te maken om de risico's van vandalisme te beperken of aanvullende maatregelen te nemen.

- Fiets – en wandelpaden en strandslagen kunnen zó worden ontworpen dat ze door hun oriëntatie en helling zo min mogelijk zand invangen. Hierbij dient wel rekening te worden gehouden met de maximale hellingshoek volgens de CROW regelgeving, om toegankelijkheid voor mindervaliden te garanderen. Wilgenschermen en helmaanplant kunnen ervoor zorgen dat het zand in de nabijheid wordt vastgehouden en niet de kans krijgt om op het pad te waaien.
- Door de juiste abiotische condities te scheppen kunnen in principe ontwikkelingen in gang worden gezet, waarbij onder invloed van zanddynamiek karakteristieke habitattypen kunnen ontstaan: embryonale duinen in de zeereep, helmduinen (witte duinen), en/of duinstruwelen aan de windluwe zijde. De ontwikkeling van soortenrijk duingrasland (Grijze duinen) vergt een langere tijdshorizon en een afname in zanddynamiek en zal mede gestuurd worden door een kleine grazer als het konijn.
- Het bij de HD gekozen ontwerp voor de duinvallei (een lange rechte laagte) leidt tot het versneld optreden van het proces van dichtstuiven. Als de vallei minder recht was aangelegd, was dit in (veel) mindere mate gebeurd. Bij de HD zal de vallei ook in snel tempo verzoeten, met het risico dat riet (zonder ingrijpen) de overhand krijgt. Als er teveel Riet of struweel komt is maaien een optie. Het uitleggen van maaisel van goed ontwikkelde duinvalleien uit de buurt had dit risico bovendien kunnen verkleinen. Als de duinvallei een andere oriëntatie had gehad (parallel aan de windrichting) had meer zand naar het hoge duin erachter kunnen waaien, waardoor de helm daar vitaler zou zijn. Een primaire duinvallei ligt echter vaak parallel aan de kust (als strandvlakte wordt afgesnoerd door nieuwe zeereep). Een secundaire duinvallei is wel anders georiënteerd: iets meer gedraaid en niet zo langwerpig (meer ovaal). Een alternatief voor de gesloten duinvallei was een open verbinding met het strand geweest, met de mogelijkheid van intredend zeewater.
- Het inbrengen van maaisel uit naburige duingraslanden en duinvalleien kan een geschikt middel zijn ter bevordering van een snelle ontwikkeling van natuurlijke duinvegetaties. Het neerleggen van hooibalen van grasland (zoals bij de HD In 2014 is gebeurd) is zeker geen goed idee. Daardoor zijn in het geval van de HD allerlei minder gewenste soorten in het gebied gebracht.
- Er is wat voor te zeggen om bij natuurontwikkeling, de natuur zoveel mogelijk haar gang te laten gaan, nadat de abiotische omstandigheden (standplaatscondities) zodanig zijn gecreëerd dat op termijn een gevarieerd duinlandschap tot ontwikkeling kan komen. Dat proces neemt doorgaans geruime tijd in beslag, waarbij men vooral geduld moet hebben om natuurwaarden tot ontwikkeling te laten komen. Veel soorten kunnen zich vroeg of laat spontaan vestigen, doordat ze worden verspreid met de wind, vogels, de vacht van dieren en soms ook via het schoeisel van bezoekers. Een beleid van laissez faire sluit ook beter aan bij het concept 'building with nature' en biedt tegelijkertijd de gelegenheid om te leren.
- De vraag is wanneer het zinvol of nodig kan zijn om stimulerend in te grijpen met het inbrengen van zaden uit naburige duingraslanden en duinvalleien. In het geval van de HD zouden vooral soorten van vochtige duinvalleien, met name soorten die via water worden verspreid, het lastig kunnen hebben om het gebied te bereiken. Daarvoor ligt de duinvallei te geïsoleerd: er is geen verbinding met de omgeving, er kan geen zeewater met vloedmerk instromen. Tegelijkertijd zien we dat een soort als Riet (windverspreid) razend snel bezig is de vochtige oevers van de duinvallei te koloniseren). De kans bestaat dat de oevers van de duinvallei vrij snel over grote oppervlakten zullen dichtgroeien met Riet. Dat is een natuurlijk proces, maar als er weinig aanbod is van andere soorten (vanwege het ontbreken van zaadbronnen) kan dit op termijn leiden tot een soortenarme vegetatie. Wie zich het eerst vestigt (zeker een competitieve soort als Riet) heeft de beste kansen. Daarbij is het tegelijkertijd zo, dat als er eenmaal Riet op een plek staat, het daar niet meer zo makkelijk weg zal gaan (alleen met veeluldig maaien). In een situatie als deze zou het goed zijn om op meerdere plekken in de duinvallei maaisel van een naburige soortenrijke duinvallei uit te leggen. Mocht daartoe worden besloten, dan zou ook de bodem moeten worden geënt met bodemmonsters van natuurlijke duinvalleien omdat inmiddels uit andere natuurontwikkelingsprojecten gebleken is dat voor de ontwikkeling van natuurlijke vegetaties niet alleen zaden van allerlei plantensoorten nodig zijn, maar ook een gevarieerde bodemfauna, omdat deze vaak een hele beperkte dispersiecapaciteit heeft. Waar geen monocultuur van een of enkele

soorten dreigt is inbrengen van zaden (via maaisel) niet nodig. Hiervan is zeker af te raden wanneer habitattypen afhankelijk zijn van de opbouw van een humusprofiel zoals de Grijs duinen.

- Door de meest actuele voorspellingen voor zeespiegelstijging te gebruiken en ook de tot dan toe opgetreden zeespiegelstijging te beschouwen, kan worden afgewogen of een (gedeeltelijke) extra compensatie voor zeespiegelstijging noodzakelijk is. Voor reeds aangelegde versterkingen kan worden gekozen voor een adaptief beleid en kan te zijner tijd worden besloten om meer te suppleren. Ook kan op een toenemende zeespiegelstijging worden geanticipeerd door de basiskustlijn (BKL) zeewaarts te verleggen.

De geleerde lessen – in de vorm van guidelines – zijn tevens terug te vinden op de Ecoshape Wiki: <https://publicwiki.deltares.nl/display/BTG/Sand+nourishment+-+Hondsbosche+Dunes%2C+NL>.

10.4 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

De drie tot vier jaar monitoring van het HD innovatieproject hebben veel data en inzichten opgeleverd, maar laten ook zien dat deze periode te kort is om alle ontwikkelingen op de langere termijn adequaat te kunnen voorspellen. Hieronder volgen enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek die relevant zijn voor het beheer van de HD en meer algemeen een bijdrage kunnen leveren aan kennisvermeerdering:

- Hoogtemetingen continueren
Het wordt aangeraden door te gaan met metingen. Significante conclusies trekken uit een dataset met negen meetpunten in de tijd is lastig. Daarnaast is uit literatuur (e.g. Van der Wal 2004) en praktijk bekend dat de aanzanding in de eerste jaren na suppletie het hoogst is. Indien de monitoring wordt doorgezet, wordt gezien of de ontwikkelingen in de tijd overeenkomen met de verwachtingen. Over 5 jaar zal een vollediger beeld kunnen worden gegeven van de ontwikkeling.

Daarnaast geldt dat de in het voorjaar van 2018 aangebrachte suppletie het verstuiwingsbeeld zeker zal beïnvloeden. Te rekenen valt met twee jaar van intensiever instuiven ter hoogte van de suppletie en een gebied ten noorden daarvan. Mogelijk zal de stuifhinder op het fietspad toenemen. Het verdient dan ook aanbeveling de zandvangers (en zoutvangers) nog enkele jaren te handhaven.

- Vervolg vegetatiemonitoring
Het verdient aanbeveling om in ieder geval de 50 permanente kwadraten de komende jaren te blijven volgen op dezelfde wijze als dat de afgelopen jaren is gebeurd (vooralsnog jaarlijks). Daarnaast zou het goed zijn om het aantal proefvlakken nog wat uit te breiden tot een totaal van minimaal 80. Het aantal bruikbare proefvlakken is de afgelopen jaren wat afgenomen: vier proefvlakken¹ op het strand kennen veel verstoring door voertuigen die op het strand rijden en in de duinvallei zijn twee proefvlakken² in het water komen te liggen. Bij de uitbreiding van de proefvlakken kan gekozen worden voor een gestratificeerde steekproef. Daarbij wordt binnen de onderscheiden elementen een bepaald aantal proefvlakken toegevoegd (circa 10 per element), verdeeld over het gebied van zuid naar noord, en verdeeld over zowel de eerste (dynamische) lage duinrichel, de tussenliggende duinvallei als de meer stabiele hoge duinrichel. Door het aantal uit te breiden kunnen te zijner tijd beter (bv statistisch) onderbouwde conclusies worden getrokken over de relevantie van de aanleg van de verschillende elementen voor de ontwikkeling van biodiversiteit in het gebied. Verder verdient het aanbeveling om het hele gebied jaarlijks te inventariseren op (nieuwe) soorten, en mogelijk ook de bodemontwikkeling via monsternamen te volgen. Dit is nodig vanwege het proces van successie dat langer duurt dan de huidige meetreeks.
- Vernieuwen vegetatiekaart
Aanbevolen wordt de vegetatiekaart met enige regelmaat te vernieuwen op basis van actuele luchtfoto's om zo de vegetatieontwikkeling te kunnen blijven volgen. Daarbij kan worden volstaan met een frequentie van eens in de drie jaar.

¹ 101, 201, 301, 401

² 307, 406

- **Koppeling ontwikkeling onder water en boven water**
Om inzicht te krijgen in de interactie tussen mariene en eolische processen op de lokale aanzanding en erosie, dient zowel de ontwikkeling onder water als de ontwikkeling boven water te worden bestudeerd. In de huidige studie is slechts beperkt gekeken naar de ontwikkelingen onder water, door de twee beschikbare Jarkusmetingen te analyseren. Ten tijde van het opstellen van dit rapport, doet een afstudeerder aan de TUDelft (Tom Pak) onderzoek naar de relatie tussen mariene processen en de ontwikkeling van de strand en de Hondsbossche Duinen.
- **In kaart brengen impact storm op morfologie en vegetatie**
Tijdens de monitoringperiode zijn er nauwelijks zware stormen voorgekomen. De waterstand heeft geen enkele keer de duinvoet bereikt, dus er is geen data beschikbaar over de impact van stormen op morfologie/vegetatie. Wel geldt dat een nat strand minder erosiebestendig is dan een droog strand en de verwachting is dan ook dat stormen ervoor kunnen zorgen dat het instuiven van vers zand en het kiemen van helm zeer snel kan gaan.
- **Modelexercities**
De dataset kan gebruikt worden voor verschillende modelexercities. Zo kan in detail bekeken worden wat lokale windpatronen voor effect hebben op bijvoorbeeld de ontwikkelingen in de luwe laagtes en of dit overeenkomt met de gemeten data. Verder kan de dataset gebruikt worden voor de modellering van eolisch transport en de vegetatieontwikkeling.

ADC-TOETS

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de vraag welke inzichten uit de drie themalijnen de juridische onzekerheden rond zandige kustversterkingen kunnen reduceren. Die onzekerheden spelen onder andere rond de vraag hoe voorkomen kan worden dat een initiatiefnemer bij een vergelijkbaar project als de HD in het vergunningverleningsproces op grond van de Nb-wet³ te maken krijgt met de ADC-toets.

Het antwoord op deze vraag is gegeven in de monitoringsrapportage van 2017: wil men de ADC-toets vóór blijven, mag het project geen significant negatieve gevolgen hebben voor de instandhoudingsdoelstellingen van het beschermde gebied. De beoordeling van de schadelijkheid van de gevolgen (op grond van art. 6 lid 3 Habitatrichtlijn; HR) is dus doorslaggevend. In die beoordeling mogen echter alleen mitigerende natuurmaatregelen worden betrokken; compenserende maatregelen tellen niet mee.

Met betrekking tot het onderscheid tussen mitigatie en compensatie, dat dus cruciaal is, zijn twee prejudiciële beslissingen van het Hof van Justitie (HvJ) van belang: het Briels-arrest (HvJ EU 15 mei 2014, C-521/12) en het Orleans-arrest (HvJ EU 21 juli 2016, C 387/15 en C 388/15), en uiteraard de met toepassing daarvan gewezen uitspraken van de afdeling Bestuursrecht van de Raad van State (ABRvS). Bij deze uitspraken gaat het bijvoorbeeld om: Noordwijkse Golfclub, Kustversterking Renesse en Hoogwatergeul Kampen. Deze maken duidelijk dat de ABRvS de uitlegging van het HvJ strikt toepast. Positieve gevolgen van natuurmaatregelen in een plan of project die zijn gericht op het voorkomen of verminderen van de negatieve gevolgen ervan (beoogd is dus mitigatie), moeten betrekking hebben op dezelfde locatie als waar de negatieve effecten optreden en hun positieve uitwerking hebben gehad op het moment dat het negatieve effect van het plan of project optreedt. Er mag dus niet worden vooruitgelopen op een eventueel positief effect omdat immers ook niet zeker is dat dit effect daadwerkelijk zal optreden.

Wat is dan de betekenis van meer zekerheid over natuur- en habitatontwikkeling?

Ook al kan de aanleg van nieuwe natuur niet verhinderen dat de zware toetsing aan de ADC-criteria in beeld komt wanneer bestaande beschermde natuur door een project potentieel significant nadelige gevolgen ondervindt (ongeacht de positieve effecten), neemt dat niet weg dat het aspect 'meer zekerheid' nog steeds een grote rol speelt, namelijk bij de natuurcompensatie. Die moet immers gepaste invulling krijgen om de ADC-toets, die niet meer ontlopen kan worden, met succes te kunnen doorlopen. De verplicht te nemen natuurmaatregelen kwalificeren alleen als compenserend wanneer ze in potentie geëigend zijn "*de bescherming van de algehele samenhang van het Natura 2000-netwerk te verzekeren*"⁴ [onderstreping toegevoegd; red.]. Het is dus zaak om claims over het bereiken van natuurdoelstellingen in compensatiegebieden te kunnen onderbouwen. Deze gebieden dienen tenslotte de Natura 2000-status te krijgen (art 2.8 lid 8). Overigens bevestigt de uitspraak van de Raad van State over de wijziging van het tracébesluit 'Blankenburgverbinding' van juli 2018⁵ de conclusies van het Briels- en Orleans-arrest wat betreft het onderscheid tussen mitigatie en compensatie. Tegelijk maakt de uitspraak duidelijk dat de eisen die deze arresten aan mitigerende maatregelen stellen, niet voor compenserende maatregelen gelden. Daarvoor geldt wat hierboven is aangehaald (cursief).

³ Maakt sinds januari 2017 onderdeel uit van de Wet natuurbescherming (Wnb).

⁴ <http://studylibnl.com/doc/1008341/richtsnoeren-voor-de-toepassing-van-artikel-6--lid-4>

⁵ <https://www.raadvanstate.nl/uitspraken/zoeken-in-uitspraken/tekst-uitspraak.html?id=95988>

Compensatie is een resultaatverplichting, maar daar staat tegenover dat het succes van compensatiemaatregelen nog steeds niet altijd even goed te voorspellen is. In het hiervoor genoemde project Blankenburgverbinding is daar rekening mee gehouden door de compensatieopgave extra ruim te stellen – wat bij meer zekerheid wellicht niet had gehoeven.

De ontwikkeling van bijvoorbeeld het natuurdoeltype vochtige duinvallei vergt naar schatting 10-25 jaar, en de kans op succes wordt vanwege de vereiste abiotische randvoorwaarden, die nauw steken, klein geacht (Prins et al. 2004). Onderzoek in de HD, waar dit natuurdoeltype is aangelegd, biedt de kans om door context-gebonden leren tot een verbeterde voorspelbaarheid van de ontwikkeling van dat habitatype te komen, waardoor een compensatieopgave met minder marge voor tegenvallende resultaten kan worden vastgesteld – voor zover dat met het oog op allerlei andere randvoorwaarden voor de aanleg van het betreffende compensatiegebied gewenst en/of mogelijk is.

Er mag worden aangenomen dat juist door de kennis die leidt tot een verbeterde voorspelbaarheid van natuurontwikkelingen, in de toekomst meer ruimte ontstaat voor een ecologische benadering binnen de huidige juridische kaders.

12

EVALUATIE MONITORINGSPROGRAMMA

12.1 Inleiding

Binnen dit monitoringsproject is intensief gemonitord om de ontwikkeling van de HD zo goed mogelijk te kunnen volgen. In dit hoofdstuk volgt een evaluatie van de uitgevoerde monitoring.

12.2 Hoogtemetingen

Kwaliteit LiDAR / luchtfoto's

De hoogtemetingen zijn uitgevoerd met een resolutie van 0,5 m. Uit de analyse van de verschilkaarten en dwarsprofielen is gebleken dat deze resolutie voldoende is om de morfologische veranderingen van het gebied te analyseren. De sedimentatie- en erosiepatronen zijn duidelijk te onderscheiden en hebben een zodanig detailniveau dat de effecten van kleinschalige maatregelen zoals wilgenschermen en luwe laagtes zichtbaar zijn in de metingen.

Het feit dat de LiDAR metingen gebiedsdekkend zijn, biedt de mogelijkheid om het gebied als geheel te analyseren en de verplaatsing van zand door eolisch transport te volgen. Dit is noodzakelijk om een volumebalans bij te kunnen houden en om het effect van de kustlangse locatie en variaties in het profiel op erosie en sedimentatie te analyseren.

Het hoogtemodel dat uit de LiDAR meting wordt opgebouwd is ook betrouwbaar rond vegetatie doordat een deel van de laserstralen door de vegetatie heen gaat, zodat altijd het onderliggende bodemniveau wordt verkregen. De aanwezigheid van vegetatie kan goed worden beoordeeld met behulp van de luchtfoto.

Het enige nadeel van de huidige meetmethode is dat er geen metingen onder water beschikbaar zijn. Dit betekent dat de bodem van de duinvallei niet in kaart wordt gebracht. Betere metingen in de duinvallei zouden een waardevolle toevoeging zijn aan het monitoringsprogramma, vooral wanneer deze metingen min of meer gelijktijdig met de LiDAR metingen worden uitgevoerd.

Meetfrequentie LiDAR

Vanaf mei 2015 wordt er drie keer per jaar een LiDAR hoogtemeting uitgevoerd door de AC, waarvan twee keer in opdracht van EcoShape. Daarnaast beschikt het project over de LiDAR kustmeting van RWS als extra meting.

Aangezien met name aan het begin van het project er sprake was van veel variatie in de ontwikkelingen in de tijd en dat per periode andere ontwikkelingen plaatsvinden, was het goed om deze jaren te beschikken over vier hoogtemetingen om trends waar te nemen en seizoenseffecten te onderscheiden. Op dit moment is de ontwikkeling van het gebied zich in morfologisch inzicht aan het stabiliseren en zou een lagere meetfrequentie voldoende zijn om ontwikkelingen te kunnen volgen en relaties tussen vegetatie en morfologie te evalueren.

12.3 Expertsessies in het veld

Om de hoogtemetingen goed te kunnen interpreteren was het zeer nuttig om ook in het veld de ontwikkeling van het gebied te volgen. Daarmee konden de ontwikkelingen die in de metingen werden geobserveerd beter worden gerelateerd aan omstandigheden en processen in het veld en vice versa. Ook

voor het volgen van de ecologische ontwikkeling van het gebied waren veldbezoeken essentieel, omdat dan verschijnselen kunnen worden waargenomen die niet – althans niet op grote schaal - uit de metingen naar voren komen, zoals bv. de vitaliteit van helmplanten.

12.4 Vegetatiemonitoring

De vegetatiemonitoring in de proefvlakken is in 2016 gestart in plaats van 2015 omdat de vegetatie in 2015 nog onvoldoende ontwikkeld was. De ruimtelijke opzet van de proefvlakken is volgens planning uitgevoerd. Met de kennis van nu zou een groter aantal proefvlakken wenselijk geweest zijn (bv. tachtig in plaats van vijftig wat ook wordt aanbevolen voor het geval de vegetatiemonitoring een vervolg krijgt). Ook in 2016 is de vegetatie nog gedomineerd door de aanplant, waardoor verdere identificatie (Associa, Twinspan, Canoco) voor de huidige pionierfase nog weinig toegevoegde waarde heeft. Dit zal in latere jaren plaatsvinden. Als aparte opdracht wordt jaarlijks een vegetatiekaart gemaakt. Gezien het jonge karakter van de vegetatie is rechtstreekse beeldklassificatie via ArcGis nog geen werkbare optie. De inzet van Ecognition levert goed werkbare kaarten op.

12.5 Interactieprocessen

De monitoring heeft vooral de betekenis van overstuiving voor de helmontwikkeling onderstreept. Voor het beter begrijpen van de interactieprocessen van aanzanding/erosie en duinvegetatie-ontwikkeling is aansluiting bij langer lopende onderzoekstrajecten echter noodzakelijk: op microschaal, bv. voor onderzoek naar embryonale-duinvorming en op macroschaal via modellering van zandvang en doorstuiving in afhankelijkheid van de bedekking met helm (dat laatste kan overigens ook goed op microschaal). Voor het bestuderen van de interactieprocessen is het essentieel dat er zo min mogelijk invloedfactoren zijn naast de natuurlijke die men wil bestuderen. Het had geholpen wanneer de onderhoudswerkzaamheden in het gebied preciezer waren gedocumenteerd qua omvang en in de tijd. Mogelijk dat ook preciezere data van de aanplant en de veegwerkzaamheden tot interessante inzichten hadden geleid, bv. met betrekking tot de gemengde inplant met biestarwegras (in plaats van enkel Helm).

12.6 Overige metingen

De eenmalige meting van bodemparameters heeft een duidelijk beeld opgeleverd van de abiotische variatie van nutriënten en kalkgehalte over het onderzoeksgebied (en levert daarmee de zgn nulmeting).

Voor de grondwatermetingen geldt dat ook de permeabiliteit van het opgespoten zand beter bekend zou moeten zijn. Het zou de voorspellingen enorm verbeteren als niet na de aanleg werd gestart met grondwatermonitoring (inclusief het vastleggen van de ondergrondse zoet-zout verdeling in het grondwater) maar al vooraf (een raai tussen strand en binnendijks gebied).

Tot slot geldt dat het waardevol had kunnen zijn om een timelapse-camera o.i.d. te installeren. De beelden hadden gebruikt kunnen worden in de analyses en zijn daarnaast waardevol om aan een breed publiek te laten zien hoe de ontwikkelingen gaan.

12.7 Kennisoverdracht

In het najaar van 2018 is een team van experts uit dit HD-innovatieproject op bezoek geweest bij een breed team van betrokkenen bij de Prins Hendrik Zanddijk. Tijdens deze sessie zijn de lessons learned vanuit de HD gedeeld en zijn openstaande kennisvragen – voor zover mogelijk – beantwoord met de ervaringen uit het monitoringsproject.

In het voorjaar van 2019 zal tevens een gebruikersbijeenkomst worden georganiseerd, waarbij we onze lessons learned zullen delen met beheerders en andere betrokkenen.

Tot slot zal de kennis die is opgedaan in het monitoringsproject worden overgedragen aan het recent gehonoreerde NWO-project Duneforce. Duneforce richt zich op het ontwikkelen van state-of-the art kennis op het gebied van de gecombineerde impact van managementstrategieën voor kustverdediging en habitatontwikkeling. Het doel is een kwantitatief model te ontwikkelen dat de ontwikkeling van duinhabitats en kustveiligheid voorspelt. Dit gebeurt aan de hand van zes casestudies, waaronder de HD.

REFERENTIES

- Arens, B., Stins, K., Rotteveel, J., & Knol, L., 2017. **Zwakke Schakels Noord-Holland Metingen zand- en zoutspray rondom HPZ**. Tussenrapportage 2017.
- Caljé, R. en F. Schaars, 2018. **Monitoring Hondsbossche zeewering**. Concept rapport Artesia (21-07-2017).
- Decisio, 2011, **Ruimte voor recreatie op het strand; onderzoek naar een recreatiebasiskustlijn** – Bijlagenrapport, 104 pp.
- De Groot, A.V., Vries de, S., Keijsers, J.G.S., Riksen, M.J.P.M., Ye, Q., Poortinga, A., Arens, S.M., Bochev-Van der Burgh, L.M., Wijnberg, K.M., Schretlen, J.L. & J.S.M. Thiel de Vries, 2012. **Measuring and modeling coastal dune development in the Netherlands**. In: NCK-days 2012 : Crossing borders in coastal research., 13 March 2012 - 16 March 2012, Enschede, The Netherlands.
<http://proceedings.utwente.nl/178/1/Groot12measuring.pdf> or <http://dx.doi.org/10.3990/2.178>.
- De Groot, A., Scholl, M. & L. Kuiters, 2016. **HPZ: verwachting 2015 over ontwikkeling vegetatie, duinen en habitats na 4 en 20 jaar**. IMARES rapport C045/16; EcoShape rapport HPZ-A-01.
- De Vries, S., Stive, M. J. F., van Rijn, L. & Ranasinghe, R. W. M. R. J. B. 2012. **A new conceptual model for aeolian transport rates on beaches**. Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering 2012 (ICCE 2012). Lynett, P. & McKee Smith, J. (eds.). Reston: Coastal Engineering Research Council, p. 1-7 7 p. (Coastal Engineering Proceedings; vol. 33).
- De Vries, S., 2013. **Physics of blown sand and coastal dunes**, PhD Thesis TU Delft.
- Hage, P.M., Ruessink, B.G. and J.J.A. Donker, 2018. **Determining sand strip characteristics using Argus video monitoring**. Aeolian Research, 33, 1-11.
- Hoonhout, B, De Vries, S., 2017a. **Field measurements on spatial variations in aeolian sediment availability at the Sand Motor mega nourishment**, Aeolian research 24, 93-104.
- Hoonhout, B, De Vries, S., 2017b. **Aeolian sediment supply at a mega nourishment**. Coastal Engineering 123, 11-20.
- Huiskes, A.H.L., 1979. **Ammophila arenaria (L.) Link (Psamma arenaria (L.) Roem. et Schult.; Calamagrostis arenaria (L.) Roth)**. Journal of Ecology 67(1): 363-382.
- Keijsers, J.G.S., 2015. **Modelling foredune dynamics in response to climate change**. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen; 191 p.
- Ontwerpnota eolische verliezen, 2013.
- Pak, T.S., 2018. **Marine and aeolian sediment transport at the Hondsbossche Dunes**. MSc thesis, Delft University of Technology
- Prins A.H., J.J.C. Gijsen & P.F.M. Opdam, 2004. **Ruimte voor natuurcompensatie**. Landschap 21(2): 104-112.

RWS, Min IenM 2017, **Kustlijkaarten 2018**, december 2017 125 pp.

Ter Braak, C.J.F. & P. Šmilauer, 2002. **CANOCO reference manual and CANODRAW for Windows users' guide: software for canonical community ordination**. Microcomputer Power, Ithaca. 500 p.

Van der Wal, D., 2004. **Beach-Dune interactions in Nourishment areas along the Dutch coast**, Journal of Coastal Research, vol 20, pp 317-325.

Van Maanen, R. 2018. **De samenhang van het intergetijdengebied op de duinaangroei van de Hondsbossche Duinen**. Stagerapport, CIE4040-09, 47 pp.

VSE, 2013. **Vraagspecificatie eisen, Beschrijving van producteisen**. Registratienummer 13.0001492, Versie C, 25 april 2013, 34 pp.

ZSNH, 2013. **Versterking en onderhoud**, Kustdeel RSP17.00 – RSP28.32, Initieel Aanlegprofiel, Prognose van eolisch zandverlies, VB-ZSNH-76-MS-ONO-01, versie3.0. 18 pp.

Aanvullende referenties

Voor het opstellen van de tabellen in hoofdstuk 9 en bijlage IX is een hele reeks aan referenties gebruikt. Hieronder volgt een overzicht:

Bakker, T.W.M., Klijn, J.A. & F.J. van Zadelhoff, 1979. **Nederlandse kustduinen**. Landschapsecologie, Pudoc, Wageningen.

Bakker, J.P., Veeneklaas, R.M., Jansen, A. & Samwel, A., 2005. **Een nieuw groen strand op Schiermonnikoog**. De Levende Natuur 106: 151 – 155.

Baptist, M.J., 2015. **Projectgebonden monitoring voor de Prins Hendrik Zand Dijk**

Ballarini, M., Wallinga, J., Murray, A.S., van Heteren, S., Oost, A.P., Bos, A.J.J. & van Eijk, C.W.E., 2003. **Optical dating of young coastal dunes on a decadal time scale**. Quaternary Science Reviews 22, 1011-1017

Buitenkamp, M., Van den Brink, C. & A. van Mastrigt, 2016. **De Zandmotor is van iedereen**: Beleidsevaluatie 2016. 32 p.

Groot, H., 2006. **Broedvogels van het Kennemerstrand en de duinen van Velsen**. Fitis 42(2): 62-73.

Groot, A.E., C.J. van Leeuwen, M. Tangelder, J.G. Timmerman, S.E Werners en J.M. van Loon-Steensma, 2014. **Governance van innovatieve dijkconcepten in de Zuidwestelijke Delta**; Handreiking voor projecten die veiligheid, economie en ecologie van een dijkzone combineren. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2506. 66p.

Grootjans, A.P., Geelen, H.W.T., Jansen, A.J.M. & Lammerts, E.J., 2002. **Restoration of coastal dune slacks in the Netherlands**. Hydrobiologia 478: 181-203.

HHNK, 2018. **Realisatie Prins Hendrikzanddijk Texel**. Nieuwsflits (1) mei 2018.

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier & Witteveen+Bos, 2017. **Prins Hendrikzanddijk Projectplan**. EDM70-19/17-004.091.

IJff, S., Van der Valk, B. & Van der Meulen, F., 2017. **Leidraad beheer Spanjaards Duin**. Deltares. 45 p.

Jaspers, H., Kwadijk, F., Van der Kolk, L. & De Swart, E., 2017. **Beheerplan bijzondere natuurwaarden Solleveld en Kapittelduinen**. Sweco Nederland B.V. 162 p.

- Jonker, S.J. & Janssen, G.M., 2003. **Strandlopers: Inventarisatie van strandgebruik aan de Noordzeekust en de relatie met natuurwetgeving**. Rapport RIKZ/2007.001. 121 p.
- Mourik, J., 2011. **Kennemerstrand wordt duinvallei**. *Natura* 108(5): 8-9.
- Provincie Zeeland, 2017. **Waterdunen** (Brochure). 20 p.
- Roos, R., 2009. **Duinen en mensen: Kennemerland**. Samenwerkende Uitgevers Vof. 212 p.
- Stive, M.J.F., De Schipper, M.A., Luijendijk, A.P., Aarninkhof, S.G.J., Van Gelder-Maas, C., Van Thiel de Vries, J.S.M., De Vries, S., Henriquez, M., Marx, S. & Ranasinghe, R., 2013. **A new alternative to saving our beaches from sea-level rise: the sand Engine**. *Journal of Coastal Research*, 1001-1008.
- Taal, M.D., Löffler, M.A.M., Vertegaal, C.T.M., Wijsman, J.W.M., Van der Valk, L. & Tonnon, P.K., 2016. **Ontwikkeling van de Zandmotor: samenvattende rapportage over de eerste vier jaar van het Monitoring- en Evaluatie Programma (MEP)**. 62 p.
- Van der Meulen, F. & Van der Valk, B., 2015. **Spanjaards Duin - De eerste vijf jaar van nieuw aangelegde natuur**. *Duin* 2:16-17.
- Van der Weij, A.J., 1998. **Rapport Strandhaak Ameland**. Stagerapport Rijkswaterstaat. 121 p.
- Van der Wilk, S., & Van Veen, J., 2015. **Gebieden met jonge kustaanwas; een vergelijkend onderzoek in het kader van ontwikkeling van Spanjaards Duin**. Studentenonderzoek Deltares. 81 p.
- Van Duin, W.E., Slim, P.A., Kuypers, V. & Fiselier, J., 2011. **De Zandmotor: slib en natuurontwikkeling**. EcoShape BWN HK 3.1c
- Van Puijenbroek, M.E.B., Limpens, J., Groot, A.V., Riksen, M.J.P.M., Gleichman, M., Slim, P.A., Dobben, H.F., Berendse, F., 2017a. **Embryo dune development drivers: beach morphology, growing season precipitation, and storms**. *Earth Surface Processes and Landforms* 42, 1733-1744.
- Van Puijenbroek, M.E.B., Nolat, C., De Groot, A.V., Suomalainen, J.M., Riksen, M.J.P.M., Berendse, F. & Limpens, J. 2017b. **Exploring the contributions of vegetation and dune size to early dune building using unmanned aerial vehicle (UAV)-imaging**. *Biogeoscience* 14: 5533-5549.
- Van Puijenbroek, M.E.B., Van den Dool, R., Koppelaar, E.C., Smit, C., Berendse, F., Limpens, J. & Bakker, J.P. 2017c. **Can beach morphology explain green beach vegetation and species turn-over? In: Dunes, above and beyond: the interactions between ecological and geomorphological processes during early dune development**. PhD Thesis. p.190
- Van Tooren, B. & Krol, J., 2005. **Een groen strand op Ameland**. *De Levende natuur* 106: 156-158.
- Veel, P., Arens, A., Beekman, W., Caljé R. & Van der Heuvel, A., 2016. **Jaarverslag Beheer Spanjaards Duin 2016**. 121 p.
- Wijsman, J.W.M., 2014. **Monitoring en evaluatie pilot zandmotor fase 2: Datarapport benthos bemonstering vooroever en natte strand najaar 2012**. Deltares 1205045-000-ZKS-0100 IMARES C149/14. 50 p.

Bijlage I: Coördinaten van permanente kwadraten

Tabel I.1: Coördinaten X, Y en Z van de permanente kwadraten. Bij het unieke nummer van het proefvlak verwijst het honderdtal naar het betreffende transect. De hoogte is eenmalig vastgesteld (2016). 'Element' staat voor landschapselement.

Code PQ	Oost (RD X in m)	Noord (RD Y in m)	Hoogte (m+NAP)	Element
101	104414.466	527181.259	2.22	Strand
102	104432.559	527171.068	2.90	Embryonaal duin
103	104471.854	527163.583	6.58	Spontane helm
104	104498.191	527152.574	12.85	Ingeplant helm
105	104542.900	527147.697	11.31	Luwe laagte
106	104552.431	527136.805	12.01	Ingeplant helm
107	104565.586	527128.353	8.72	Aangeplant struweel
108	104571.134	527126.991	6.58	Aangeplant struweel
201	104575.775	527998.046	1.92	Strand
202	104588.146	527992.575	2.53	Embryonaal duin
203	104637.627	527984.001	5.69	Luwe laagte
204	104634.522	527972.276	5.98	Ingeplant helm
205	104686.699	527946.264	11.50	Ingeplant helm
206	104723.410	527948.709	10.04	Luwe laagte
207	104736.664	527945.838	7.38	Aangeplant struweel
208	104733.305	527923.966	7.08	Aangeplant struweel
301	104758.246	529096.117	1.97	Strand
302	104772.376	529093.505	2.48	Embryonaal duin
303	104791.479	529092.484	4.22	Embryonaal duin
304	104819.891	529087.083	6.69	Ingeplant helm
305	104826.018	529088.534	5.87	Luwe laagte
306	104859.342	529076.470	0.67	Oever duinvallei
307	104875.057	529073.302	0.50	Oever duinvallei
308	104879.501	529072.634	0.75	Oever duinvallei
309	104875.725	529050.669	1.07	Spontane helm
310	104901.257	529064.595	7.22	Ingeplant helm
311	104961.493	529056.942	8.90	Aangeplant struweel
312	104967.829	529055.194	6.39	Aangeplant struweel
401	104960.483	529981.548	2.29	Strand
402	104977.825	529978.952	2.79	Embryonaal duin
403	105018.454	529956.294	6.05	Ingeplant helm
404	105021.907	529967.545	5.36	Luwe laagte
405	105046.551	529953.733	0.72	Oever duinvallei
406	105065.884	529948.762	0.56	Oever duinvallei
407	105072.670	529947.367	0.86	Oever duinvallei
408	105073.735	529938.846	1.57	Oever duinvallei
409	105094.156	529939.674	6.59	Ingeplant helm
410	105142.692	529943.816	10.21	Luwe laagte
411	105152.843	529925.757	8.50	Aangeplant struweel
412	105159.999	529940.656	6.78	Aangeplant struweel
Oever Zuid	104803.126	528750.045	0.80	Oever duinvallei
Oever Noord	105133.404	530241.723	0.86	Oever duinvallei
501	105506.775	531520.740	3.25	Embryonaal duin
502	105524.195	531511.247	5.86	Spontane helm
503	105546.704	531493.351	11.46	Ingeplant helm
504	105555.012	531490.649	12.58	Ingeplant helm
505	105596.054	531474.430	12.23	Ingeplant helm
506	105605.571	531469.672	9.29	Aangeplant struweel
507	105611.587	531465.645	6.92	Aangeplant struweel
508	105602.074	531445.790	6.78	Aangeplant struweel

Bijlage II: Overzicht hoogtemetingen en luchtfoto's

Nummer	Datum	Meting	Uitvoerende partij ^a	Gebied	Data	Type	Punt dichtheid	Horizontale resolutie
2015-1	24/05/2015	2015-mei	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m ²	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2015-2	--/05-2015	2015-mei	AC	gebiedsdekkend in duinvallei	hoogtemeting	single-beam	variabel	0,5 m
2015-3	12/08/2015	2015-aug	WMR	midden van elk EcoShape transect	RTK	RTK-DGPS	5 m (lijn)	< 0.02 m verticaal
2015-4	09/09/2015	2015-sep	Shore Monitoring i.o.v. EcoShape	5 EcoShape transecten	foto, hoogtemeting	fotogrammetrie	-	foto: 0,01 m; hoogtemodel: 0,1 m
2015-5	28/12/2015	2015-dec	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m ²	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2016-1	16/2 + 13/3/2016	2016-feb	RWS	gebiedsdekkend	hoogtemeting	laseraltimetrie	>1 pts/m ²	2 m
2016-2	21/03/2016	2016-mrt	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m ²	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2016-3	01/09/2016	2016-sep	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m ²	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2016-4	06/10/2016	2016-okt	HHNK	dwarsprofielen duinvallei	RTK	RTK-DGPS	5 m (lijn)	< 0.02 m (verticaal)
2016-5	05/12/2016	2016-dec	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m ²	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2017-1	11/03/2017	2017-mrt	RWS	gebiedsdekkend	hoogtemeting	laseraltimetrie	>1 pts/m ²	2 m
2017-2	19/04/2017	2017-apr	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m ²	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2017-3	11/08/2017	2017-aug	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m ²	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2017-4	--/09/2017	2017-sep	HHNK	dwarsprofielen duinvallei	RTK	RTK-DGPS	5 m (lijn)	< 0.02 m (verticaal)
2017-5	06/12/2017	2017-dec	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m ²	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2018-1	19/03/2018	2018-mrt	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m ²	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m

Bijlage III: Vegetatieopnamen en Londo-schaal

Tabel III.2 Gehanteerde Londo bedekkingsschaal (bedekkingspercentage en aantal individuen) bij de vegetatieopnamen in de permanente kwadraten.

Londo	Bedekking (%)	Aantal individuen
1r	<1	(raro) = sporadisch
1p	<1	(paupulum) = niet talrijk
1a	<1	(amplius) = talrijk
1m	<1	(multum) = zeer talrijk
2r	1 - 3	(raro) = sporadisch
2p	1 - 3	(paupulum) = niet talrijk
2a	1 - 3	(amplius) = talrijk
2m	1 - 3	(multum) = zeer talrijk
4r	3 - 5	(raro) = sporadisch
4p	3 - 5	(paupulum) = niet talrijk
4a	3 - 5	(amplius) = talrijk
4m	3 - 5	(multum) = zeer talrijk
1	5 - 15	-
2	15 - 25	-
3	25 - 35	-
4	35 - 45	-
5	45 - 55	-
6	55 - 65	-
7	65 - 75	-
8	75 - 85	-
9	85 - 95	-
10	95 - 100	-

Bijlage IV: Soortenlijsten

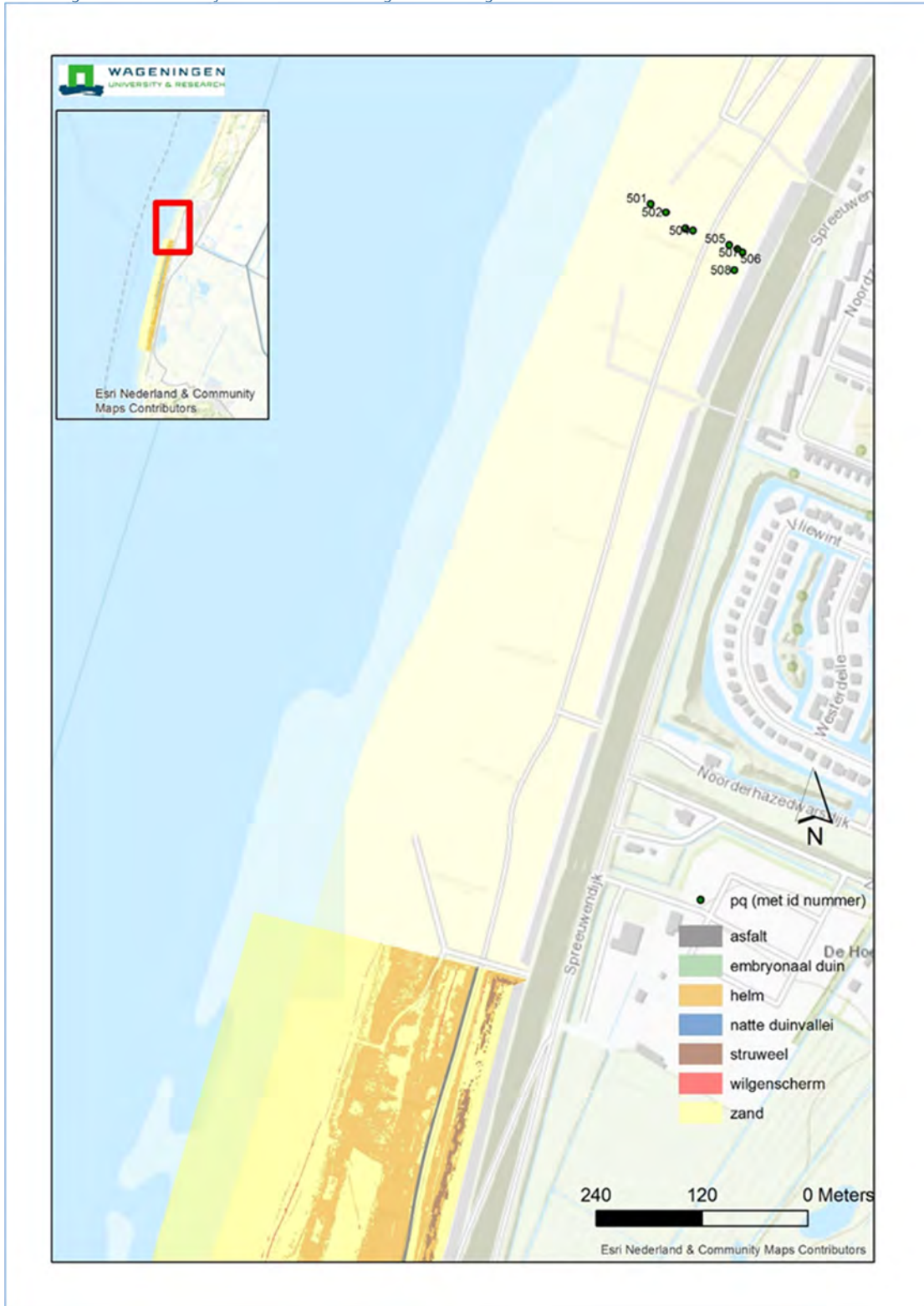
Tabel IV.1 Soortenlijst van de afzonderlijke transecten en op het buitentalud van de oude zeedijk in de achtereenvolgende opnamejaren. Dichte rondjes: de betreffende soort is aangetroffen in proefvlakken binnen het transect. Open rondjes: de betreffende soort is aangetroffen buiten de proefvlakken binnen het transect.

Transect	TRANSECT 1	TRANSECT 1	TRANSECT 1	TRANSECT 1	TRANSECT 2	TRANSECT 2	TRANSECT 2	TRANSECT 2	TRANSECT 3	TRANSECT 3	TRANSECT 3	TRANSECT 3	TRANSECT 4	TRANSECT 4	TRANSECT 4	TRANSECT 4	TRANSECT 5	TRANSECT 5	TRANSECT 5	TRANSECT 5	DV 0EV 001	DV 0EV 001	DV 0EV 001	DV 0EV 001	DV 0EV 002	DV 0EV 002	DV 0EV 002	DV 0EV 002	TRANSECT tot	TRANSECT tot	TRANSECT tot	TRANSECT tot	ZEEDIJK tot	ZEEDIJK tot	ZEEDIJK tot	ZEEDIJK tot	Soort								
Jaar	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	o=buiten PQs
#soorten in transect	16	10	44	37	13	27	36	21	13	24	51	63	13	30	50	36	8	25	46	32	1	18	26	20	1	2	6	4	22	59	95	93	38	64	80	91	●=in PQs								
#soorten in PQs		9	12	15		10	16	14			12	19	26			11	17	20			13	20	19		3	4	5		1	2	0		29	39	42										
<i>Ammophila arenaria</i>	o	●	●	●	o	●	●	●	o	●	●	●	o	●	●	●	o	●	●	●	o	o	●	●	o	●	●	o	o	●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Helm				
<i>Cakile maritima</i>	o	●	o		o	●	o		o	o	●	o	o	o	●	o	o	o	●	o		o	●	o		o	●	o	o	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Zeeraket				
<i>Festuca arenaria</i>	o	●	●	●	o	●	●	●	o	●	●	●	o	o	o	●	o	o	●	●									o	●	●	●					o	o	o	o	Duinzwenkgras				
<i>Elytrigia juncea subsp. boreoatlantica</i>		●	●	●		●	●	●		●	●	●		●	●	●		●	●	●		o	o	●			o	o		●	●	●	o		o	o	o	o	o	o	Biestarwegras				
<i>Taraxacum officinale</i>	o	●	●	●		o	●	●	o	●	o	●	o	●	●	o	o	●	●	o		o	o						o	●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Gewone paardenbloem				
<i>Hippophae rhamnoides</i>	o	●	●	●	o	●	●	●	o	●	●	●	o	●	●	●	o	●	●	●									o	●	●	●					o	o	o	o	Duindoorn				
<i>Holcus lanatus</i>	o	●	●	●	o	o	●	●	o	●	●	●			o	●				o									o	●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Gestreepte witbol				
<i>Senecio vulgaris</i>	o		●	o	o	●	o	●			●	o		●	●	●	o	●	●	●				●					o	●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Klein kruiskruid				
<i>Rosa canina s.l.</i>	o	●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o									o	●	●	●					o	o	o	o	o	o	o	o	Hondsroos
<i>Tripleurospermum maritimum</i>		o	o			●	●	●		●	●	●		●	●	●		●	●	●				o						●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Reukloze kamille				
<i>Plantago coronopus</i>		o	o			o	o	●			o	o		●	●	●		●	●	●				o						●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Hertshoornweegbree				
<i>Agrostis stolonifera</i>		o	o			o	o				●	o		o	o	o		o	o	o				o						●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Fioringras				
<i>Atriplex prostrata</i>		o	●			o				o	●			●	o	o		●	o	o		●	o	o			o			●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Spiesmelde				
<i>Sonchus arvensis var. maritimus</i>	o		o	o	o	o	●	●				●		o	o			o	o					o					o	o	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Zeemelkdistel				
<i>Polygonum aviculare</i>		o	o			o	●			o	o	o		o	o	o		o	o	o				o						o	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Gewoon varkensgras				
<i>Sambucus nigra</i>	o	●	o		o	o			o	o	o	o	o	o	o	o		●	●	●									o	●	●	●					o	o	o	o	Gewone vlier				
<i>Plantago major</i>		o	●			o	o				o	o		o	o	o		o	o	o				o						o	o	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Grote weegbree				
<i>Senecio inaequidens</i>						o			o	o	●	●	o	o	●	●		●	●	●									o	●	●	●					o	o	o	o	Bezemkruiskruid				
<i>Sonchus arvensis</i>			o			●	o		o	o	o	●	o	o	●	●		●	●	●									o	●	o	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Akkermelkdistel				
<i>Rosa rubiginosa s.l.</i>	o		●			o	●	●	o	●	●	●	o	●	●	●	o	o	●	●									o	●	●	●					o	o	o	o	Egelantier				
<i>Tussilago farfara</i>						o		o			●			o	o	o		o	o	o				o						o	o	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Klein hoefblad				
<i>Euonymus europaeus</i>		o			o	o	o		o	o	●	●	o	o	o	●		o	o	●									o	o	●	●					o	o	o	o	Wilde kardinaalsmuts				
<i>Hanckeya peplodes</i>		o			o	o					o			o	o	●		o	●					o						●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Zeepostelein				
<i>Hypochaeris radicata</i>						●	●	●			o			o	o	●			●	●										●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Biggenkruid				
<i>Ligustrum vulgare</i>	o				o					o	●	o	o	●		●	o	o	o										o	●	o	●					o	o	o	o	Wilde liguster				
<i>Lolium perenne</i>		o				o	●	●	o	●	●	●	o	o		o													o	●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Engels raigras				
<i>Salsola kali</i>		o				o				o	o	o		o		o				o		o	o	o		o				o	o	o	o				o	o	o	o	Stekend loogkruid				
<i>Sonchus oleraceus</i>		o	o							o	●			●		●		●	●	●										●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Gewone melkdistel				
<i>Cirsium arvense</i>		o							o	o			o	o				o												o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Akkerdistel				
<i>Festuca rubra</i>		●	o			o				●	●			●	●			o												●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Rood zwenkgras				
<i>Rumex crispus</i>	o					o				o	o			o	o			o	o					o					o		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Krulzuring				
<i>Cerastium semidecandrum</i>			o	o			o			●				o	●			o	●											●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Zandhoornbloem				
<i>Cirsium vulgare</i>			o				o		o	o	o		o	●	●				●											●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Speerdistel				
<i>Crataegus monogyna</i>					o	o	o		o	●	●	●	o				o												o	●	●	●					o	o	o	o	Eenstijlige meidoorn				
<i>Phragmites australis</i>										o	o			●						o		o	●	●						o	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Riet				
<i>Plantago lanceolata</i>		o	o							o	o			o	o					o										o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Smalle weegbree				
<i>Spergularia media</i>			o								●			●								●	●	●						●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Gerande schijnspurrie				
<i>Anagallis arvensis</i>						o	●				o	o		o	o					o										o	●	o					o	o	o	o	Rood guichelheil				
<i>Elytrigia repens</i>									●	●	●						o	o	●											●	●	●	o	o	o	o	o	o	o	o	Kweek				
<i>Leymus arenarius</i>	o		o	o									o					o	o					o					o	o	●	●					o	o	o	o	Zandhaver				
<i>Sonchus spec.</i>			●	●			●	●			●	●			●				●	●				o							●	●									Melkdistel spec.				

Transect	TRANSECT 1	TRANSECT 1	TRANSECT 1	TRANSECT 1	TRANSECT 2	TRANSECT 2	TRANSECT 2	TRANSECT 2	TRANSECT 3	TRANSECT 3	TRANSECT 3	TRANSECT 3	TRANSECT 4	TRANSECT 4	TRANSECT 4	TRANSECT 4	TRANSECT 5	TRANSECT 5	TRANSECT 5	DV OEV 001	DV OEV 001	DV OEV 001	DV OEV 001	DV OEV 002	DV OEV 002	DV OEV 002	DV OEV 002	TRANSECT tot	TRANSECT tot	TRANSECT tot	TRANSECT tot	ZEEDIJK tot	ZEEDIJK tot	ZEEDIJK tot	ZEEDIJK tot	Soort			
<i>Elytrigia atherica</i>																																					Zeekweek		
<i>Galium aparine</i>																																					Kleefkruid		
<i>Juncus ambiguus</i>																																					Zilte greppelrus		
<i>Juncus spec.</i>																																					Rus spec.		
<i>Limonium vulgare</i>																																					Lamsoor		
<i>Rhamnus cathartica</i>																																					Wegedoorn		
<i>Rorippa c.f. sylvestris</i>																																					Akkerkers		
<i>Rosa rugosa</i>																																					Rimpelroos		
<i>Rumex obtusifolius</i>																																						Ridderzuring	
<i>Ruppia maritima</i>																																						Snavelruppia	
<i>Solanum nigrum</i>																																						Zwarte nachtschade	
<i>Arrhenaterum elatius</i>																																						Glanshaver	
<i>Atriplex portucaloides</i>																																						Gewone zoutmelde	
<i>Cardamine hirsuta</i>																																						Kleine veldkers	
<i>Chamerion angustifolium</i>																																						Wilgenroosje	
<i>Chenopodium rubrum</i>																																						Rode ganzenvoet	
<i>Dactylis glomerata</i>																																						Kropaar	
<i>Juncus gerardii</i>																																						Zilte rus	
<i>Medicago arabica</i>																																						Gevlekte rupsklaver	
<i>Ranunculus repens</i>																																						Kruipende boterbloem	
<i>Rubus caesius</i>																																						Dauwbraam	
<i>Setaria spec.</i>																																						Naalbaar spec.	
<i>Sueda maritima</i>																																							Klein schorrenkruid
<i>Urtica dioica</i>																																							Grote brandnetel
<i>Vicia spec.</i>																																							Wikke spec.
<i>Achillea millefolium</i>																																							Duizendblad
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>																																							Alsemambrosia
<i>Angelica sylvestris</i>																																							Gewone engelwortel
<i>Aquilegia vulgaris</i>																																							Wilde akelei
<i>Calamagrostis epigejos</i>																																							Duinriet
<i>Carex spec.</i>																																							Zegge spec.
<i>Convolvulus soldanella</i>																																							Zeewinde
<i>Coronopus didymus</i>																																							Kleine varkenskers
<i>Corynephorus canescens</i>																																							Buntgras
<i>Crithmum maritimum</i>																																							Zeevenkel
<i>Glaux maritima</i>																																							Melkkruid
<i>Hieracium umbellatum</i>																																							Schermhavikskruid
<i>Holcus mollis</i>																																							Glade witbol
<i>Juncus bufonius</i>																																							Greppelrus
<i>Lupinus spp.</i>																																							Lupine
<i>Lycopus europaeus</i>																																							Wolfspoot

Bijlage V: Vegetatiekaarten 2018

Afbeelding V.1 Meest noordelijke kaartbeeld van de vegetatiekartering natuurzone HD



Afbeelding V.2 Tweede kaartbeeld van de vegetatiekartering natuurzone HD



Afbeelding V.3 Derde kaartbeeld van de vegetatiekartering natuurzone HD



Afbeelding V.4 Meest zuidelijke kaartbeeld van de vegetatiekartering natuurzone HD



Bijlage VI: Onderscheidende elementen in relatie tot habitattypen

Data van Strand en Embryonaal Duin in relatie tot Habitatype H2110 (Embryonaal duin)

Kenschets (uit Profieldocument Habitatype H2110)

Het habitatype betreft soortenarme pionierduintjes met begroeiingen van vooral Biestarwegras (*Elytrigia juncea* ssp. *boreo-atlantica*). De begroeiingen kunnen variëren in dichtheid. Embryonale duinen komen met name voor op het strand aan de voet van de zeereep, maar ook wel langs de randen van sluffers, 'wash-overs' (laagten waar incidenteel zeewater overheen spoelt) en op achterduinse strandvlakten. Dit is de overgangszone van zout naar zoet milieu: overstroming met zeewater vindt incidenteel tot regelmatig plaats (maar niet zo vaak dat de duintjes volledig wegspoelen). Door de hoge dynamiek kunnen de begroeiingen een fluctuerende oppervlakte en deels wisselende locatie innemen. Waar de Embryonale duinen voorkomen in afwisseling met kaal zand en/of vloedmerkbegroeiingen (met bijvoorbeeld Strandmelde en Zeeraket), wordt daarom het gehele mozaïek tot het habitatype gerekend. Embryonale duinen komen vaak in combinatie met habitatype H2120 (Witte duinen) voor, die de Embryonale duinen in de tijd opvolgen, zodra er zodanig veel zand is ingevangen dat er helmvegetaties gaan ontstaan. Het embryonaal duin betreft soortenarme pionierduintjes met begroeiingen van vooral Biestarwegras (*Elytrigia juncea* ssp. *boreo-atlantica*). De begroeiingen kunnen variëren in dichtheid.

Soortensamenstelling

Voor de soortensamenstelling is gemeenschap 23Aa01 (Biestarwegras-associatie) geselecteerd (zie tabel VI.1). Gezien het dynamisch en variabel karakter van deze pioniergemeenschap is het logisch dat de opnamen uit 2016-2018 zeer soortenarm zijn. Bovendien zijn Helm en Biestarwegras ook aangeplant, dus het is ook verklaarbaar dat deze soorten relatief stabiel en met hoge presentie zijn gevonden vanaf de aanleg van de HPZ.

Andere relevante kwaliteitseisen

In het huidige strand/Embryonaal duin zijn verder geen beperkende kwaliteitseisen van het bijbehorende habitatype van toepassing.

Data van Luwe laagte, Ingeplante helm en Spontane helm in relatie tot Habitatype H2120 (Witte duinen)

Kenschets (uit Profieldocument Habitatype H2120)

Dit habitatype betreft door Helm (*Ammophila arenaria*), Noordse helm (*x Calammophila baltica*) of Duinzwenkgras (*Festuca arenaria*) gedomineerde delen van de buitenduinen. De naam 'witte duinen' slaat op de kleur van het zand: omdat er nog geen bodemontwikkeling heeft plaatsgevonden, is de kleur nog wit in plaats van grijs (als in H2130). Witte duinen met helmbegroeiingen ontstaan van nature daar waar embryonale duinen (H2110) zo ver aanstuiven dat de plantengroei buiten het bereik van zout grondwater en overstromend zeewater komt. Dit proces vindt plaats in de zeereep (de duinenrij die aan het strand grenst), Ook al overstromen ze niet, de invloed van zeewater is nog steeds groot door de inwaai van fijne zoutdruppeltjes, ontstaan bij de verneveling van opspattend golfwater ('salt spray'). Witte duinen kunnen echter ook ontstaan door uitstuiving of overstuiving van eerder vastgelegde grijze duinen of door opstuiving van door mensen aangelegde windbarrières (rijshout en helmaanplanten). De Witte duinen komen dan ook niet alleen voor in de zeereep, maar ook op (nog of weer) actief stuivende (macro)parabolen in het zeeduin (dat deel van de buitenduinen dat ligt tussen de zeereep en de middenduinen).

Zoutinwaai en stuivend zand zorgen voor een extreem milieu waarin slechts weinig plantensoorten kunnen overleven. Helm is daarvan de belangrijkste: door de door deze plant gevormde vegetatiestructuur wordt het zand vastgelegd, waarbij Helm tot wel een meter mee kan blijven groeien tijdens het opstuiven van het zand. Voor de meeste soorten van dit habitatype is het belangrijk dat de Helm vitaal is. Daarvoor is verstuing noodzakelijk. Als de verstuing vermindert, gaat de helm verouderen. Plekken met onbegroeid verstufbaar zand maken dan ook onderdeel uit van het habitatype. De mooiste voorbeelden van het habitatype komen daar voor waar de helmduinen vrij kunnen stuiven en de kust niet kunstmatig is vastgelegd. Aanplantingen van Helm en Noordse helm worden alleen tot het habitatype gerekend indien er geen regelmatig patroon van aangeplante pollen meer herkenbaar is.

Soortensamenstelling

Voor de vergelijking met de soortensamenstelling is de Helm-associatie (23Ab01) geselecteerd. Naast de aangeplante soorten Helm en Biestarwegras komen er al diverse andere soorten voor die zich blijkbaar spontaan

wisten te vestigen. Dit betreft ruderaal soorten (onderaan in de tabel VI.2), maar ook al enkele karakteristieke soorten van de Witte duinen.

Andere relevante kwaliteitseisen

In de definitie is sprake van 'buitenduinen'. Deze bestaan uit de zeereep (de buitenste duinregel) en het, door macroparabolen gekarakteriseerde, zeeduin. Landinwaarts worden de buitenduinen begrensd door de middenduinen. Deze zone kan soms wel 2 km breed zijn, maar is gemiddeld 500 tot 1000 m breed. Het omvat niet alleen het door H. Doing omschreven 'Helmlandschap', maar vooral het 'Dauwbraamlandschap', waarbinnen alleen de stuivende (macro)parabolen tot het habitatype behoren (te midden van bijvoorbeeld droge duingraslanden en natte duinvalleien). De zone kan, als gevolg van het verschuiven van loopduinen, in de tijd wisselend van omvang zijn. Helmbegroeiingen van de midden- en binnenduinen en van stuifzanden van het binnenland worden niet tot het habitatype gerekend. Tot de Helm-associatie worden geen begroeiingen gerekend die bestaan uit aangeplante Helm. Helmbegroeiingen die ontstaan zijn uit aanplant, maar actueel een natuurlijke vegetatiestructuur hebben, behoren echter wél tot deze associatie.

Overige kenmerken van een goede structuur en functie:

- Verstuivende zeereep;
- Onregelmatige vegetatiestructuur;
- Plekken met kaal zand tussen de vegetatie;
- Onregelmatig reliëf;
- Optimale functionele omvang: vanaf tientallen hectares.

Data van Oever-opnamen in relatie tot Habitatype H2190 (Vochtige Duinvalleien)

Kenschets (uit Profieldocument Habitatype H2190)

Het habitatype Vochtige duinvalleien is veelomvattend: het betreft open water, vochtige graslanden, lage moerasvegetaties en rietlanden, alle voor zover voorkomend in (min of meer natuurlijke) laagten in de duinen. Buiten de duinen worden alleen de in het overige kustgebied voorkomende min of meer grazige vormen tot het habitatype gerekend. Mede door de grote ecologische variatie is het aantal kenmerkende soorten zeer groot. Het gaat om relatief jonge successiestadia. Begroeiingen van oudere (al of niet verdroogde) successiestadia in duinvalleien behoren tot andere habitatypen, bijvoorbeeld Vochtige duinheide met Kraahei (H2140), Duinstruwelen (H2160 of H2170), Duinbossen (H2180) en vochtige Heischrale graslanden (H6230). Ook in cultuur gebrachte valleien (bijvoorbeeld begroeid met Blauwgraslanden, H6410) worden niet tot het habitatype gerekend.

Vochtige duinvalleien kunnen van nature op twee manieren ontstaan. Primaire duinvalleien ontstaan doordat strandvlakten door duinen worden afgesnoerd van zee. Secundaire duinvalleien ontstaan in het kielzog van mobiele duinen, maar tegenwoordig alleen nog doordat stuifkuilen uitstuiwen tot op het grondwaterniveau. Daarnaast kunnen Vochtige duinvalleien worden ontwikkeld door inrichtingsmaatregelen. Door de vertraagde reactie van de zoetwaterbel op de neerslag wijkt de grondwaterdynamiek in duinen nogal af van die in het binnenland. Er kunnen jaren achtereenvolgend optreden waarin (grond)waterstanden ver boven, of juist onder het gemiddelde niveau liggen. Deze dynamiek is op zich gunstig voor de instandhouding van open vegetaties waarin ook ruimte is voor concurrentiegevoelige pioniersoorten. Het vormt echter een risico voor het voortbestaan van soorten die slechts in een kleine populatie voorkomen. Voorwaarde voor de instandhouding van de soortenrijkdom is daarom dat er voldoende ruimte is voor soorten om te 'pendelen'. Daarvoor moet binnen de valleien zelf en binnen het duingebied als geheel voldoende variatie aanwezig zijn, met gradiënten die idealiter lopen van open water tot droog duin. Binnen vochtige duinvalleien bestaat een grote variatie aan standplaatscondities, afhankelijk van ontstaansgeschiedenis, leeftijd, waterregime en kalkgehalte van de bodem of het kwelwater. Om die reden zijn de vochtige duinvalleien in een aantal subtypen opgesplitst. Waterdiepte, vegetatiestructuur en kalkgehalte zijn bepalend voor de verschillen tussen de subtypen.

Gezien de gemeten pH waarden (pH-demi >9, pH_CaCl >7) vallen alle oevers van de duinvalleien in subtype B (kalkrijk):

H2190B Vochtige duinvalleien (kalkrijk)

Dit subtype komt voor in geheel of vrijwel geheel verzoete primaire duinvalleien en in secundaire duinvalleien die zijn ontstaan door uitstuiving. Kenmerkend zijn vooral de natte omstandigheden, waarbij de standplaatsen in de winter onder water staan en in voorjaar droogvallen. Vanwege de afwijkende dynamiek van het duinwatersysteem kunnen echter ook jaren optreden waarin valleien vrijwel permanent onder water staan, en jaren waarin de valleien ook in de winter droog staan. Dit kan leiden tot schijnbaar dramatische verschuivingen in de vegetatiesamenstelling, maar in een natuurlijke duinsysteem met voldoende natte valleien en veel variatie in maaiveldhoogte is de veerkracht van de populaties voldoende om dit soort extremen te overleven. Ten opzichte van vochtige kalkarme duinvalleien (subtype C) onderscheiden de kalkrijke duinvalleien zich door een grotere basenrijkdom en een hogere pH. In de kalkrijke duinen is het vooral het kalkgehalte van de bodem, dat zorgt voor de neutrale tot basische condities. In de kalkarme duinen is aanvoer van basenrijk grondwater nodig voor instandhouding van kalkrijke duinvalleivegetaties. In jonge primaire duinvalleien en in verzoetende strandvlaktes kan ook incidentele overstroming met brak water of nog in de bodem aanwezig brak grondwater zorgen voor zuurbuffering.

Soortensamenstelling

Voor de soortensamenstelling zijn drie gemeenschappen geselecteerd (zie tabel X.2):

- 27Aa02b (Associatie van Strandduizendguldenkruid en Krielparnassia (subassociatie met Waterpunge)
- 27Aa2c Associatie van Strandduizendguldenkruid en Krielparnassia (subassociatie met Basterdwederik)
- 28Aa1 Draadgentiaan-associatie

Gezien het pionierkarakter van de HPZ is het logisch dat de opnamen uit 2016-2018 zeer soortenarm zijn. Wel is nu al duidelijk dat soorten die gebonden zijn aan oevervegetatie, deels ook aan duinvalleien, zich gaan vestigen. Dit is in de opnamen nog beperkt te zien (tabel VI.3), maar wel duidelijk als de hele soortenlijst van de transecten wordt meegenomen.

Andere relevante kwaliteitseisen

Zoutgehalte: Het zoutgehalte van het habitatype is gedefinieerd als zoet tot licht brak. Gezien de uitgangssituatie (geheel kunstmatig aangelegd vanuit een zoute uitgangssituatie) is het logisch dat het water en de oevervegetatie nog in het proces van verzoeting zit. Overstroming met zout water is niet mogelijk, maar er is gestart vanuit zeewater condities.

Voedselrijkdom: De voedselrijkdom van het habitatype is gedefinieerd als matig voedselarm tot matig voedselrijk. Gezien de uitgangssituatie (geheel kunstmatig aangelegd met zand uit de diepzee) is het logisch dat de bodem zeer voedselarm is. Langzaam zal een bodemopbouw plaatsvinden met humeus materiaal (afgestorven plantenresten, feces van watervogels e.a.).

Data van Ingeplant struweel in relatie tot Habitatype H2160 (Duindoornstruwelen)

Kenschets (uit Profieldocument Habitatype H2160)

Het habitatype betreft door Duindoorn (*Hippophae rhamnoides*) gedomineerde duinen (en vergelijkbare plaatsen elders in het kustgebied). Naast Duindoorn kunnen ook andere struiken met hoge bedekkingen voorkomen, waaronder Gewone vlier (*Sambucus nigra*), Wilde liguster (*Ligustrum vulgare*) en Eenstijlige meidoorn (*Crataegus monogyna*). Duindoorn is voor kieming en vestiging gebonden aan humusarm, kalkrijk zand met een lage indringingsweerstand. Goed ontwikkelde jonge duindoornstruwelen komen dan ook vooral voor na een sterk stuivende fase met Helm (habitatype Witte duinen, H2120), waarbij de relatief kalkrijke bodem ontsloten is. Duindoorn vormt wortelknolletjes met stikstofbindende actinomyceten (*Frankia*) en heeft een goed verteerbaar bladstrooisel. Op de relatief kalkrijke bodems leidt dit tot trage humusvorming en een verhoogde beschikbaarheid van stikstof. In zeer kalkrijke duinen kunnen deze struwelen enkele eeuwen oud worden. Voor de biodiversiteit zijn met name de struwelen belangrijk die ontstaan als gevolg van voortgaande successie op meer beschutte plekken (vooral op plekken waar door hellingprocessen organisch materiaal ophoopt). Naast Duindoorn nemen dan de bovengenoemde andere struiken een belangrijke plaats in. Wanneer deze struiken echter te hoog worden, wordt Duindoorn door beschaduwing verdrongen.

Op minder beschutte delen kan de successie richting gemengde struwelen echter stagneren. Daarbij ontstaan soortenarme begroeiingen. Zolang de bodem, door overstuiving met kalkrijk zand voldoende kalkrijk blijft, kan Duindoorn zich handhaven. Als de bodem ontkalkt raakt en gaat verzuren, kwijnt hij echter weg.

Soortensamenstelling

De 33 opnamen uit het aangeplante struweel zijn vergeleken met de Associatie van Duindoorn en Liguster (37Ac02) en de Associatie van Wegedoorn en Eenstijlige meidoorn (37Ac03). Naast de aangeplante soorten Duindoorn, Wilde liguster en komen er al diverse andere soorten voor die zich blijkbaar spontaan hebben weten te vestigen. Dit betreft ruderaal soorten (onderaan in de tabel VI.3), maar ook al enkele karakteristieke soorten van de Witte duinen.

Andere relevante kwaliteitseisen

In de huidige aangeplante struwelen zijn verder geen beperkende kwaliteitseisen van het bijbehorende habitatype van toepassing.

Tabel VI.1. Vergelijking soortensamenstelling Biestarwegras-associatie (23Aa01, grijs gearceerd) als karakteristiek voor H2110 (Embryonale duinen) met de opnamen in de HPZ in de drie onderzoeksjaren (2016-2017-2018). Soorten die minder dan 5% voorkomen, zijn niet opgenomen in de tabel. De presentie geeft het percentage opnamen met de betreffende soort weer, de karakteristieke bedekking is de bedekking (uitgedrukt als percentage bedekking) in die opnamen waar de soort voorkomt.

	H2110 (gemeenschap 23Aa01)		2016 (13)		2017 (11)		2018 (10)		
	presentie	kar. bed.	presentie	kar. bed.	presentie	kar. bed.	presentie	kar. bed.	
<i>Elytrigia juncea</i> s. boreoatlantica	99	21	62	13	55	13	50	13	Biestarwegras
<i>Cakile maritima</i>	34	2	15	13					Zeeraket
<i>Leymus arenarius</i>	32	22							Zandhaver
<i>Ammophila arenaria</i>	32	2	46	2	36	13	30	2	Helm
<i>Honckenya peploides</i>	20	12	8	1	9	1			Zeepostelein
<i>Sonchus arvensis</i> s.l.	15	5							Akkermelkdistel (groep)
<i>Salsola kali</i> s.str.	13	3							Stekend loogkruid
<i>Sonchus arvensis</i> v. maritimus	9	4							Zeemelkdistel
<i>Atriplex prostrata</i>	6	2							Spiesmelde
<i>Senecio vulgaris</i>	6	3							Klein kruiskruid
<i>Atriplex littoralis</i>	5	2							Strandmelde
<i>Chenopodium album</i>	5	4							Melganzenvoet
<i>Elytrigia atherica</i> /maritima	5	4							Zeekweek / Strandkweek
<i>Eryngium maritimum</i>	5	1							Blauwe zeedistel
<i>Festuca rubra</i> /arenaria	5	2							Rood zwenkgras (groep)

Tabel VI.2. Vergelijking soortensamenstelling Helm-associatie (23Ab01, grijs gearceerd) als karakteristiek voor H2120 (Witte duinen) met de opnamen in de HPZ in de drie onderzoeksjaren (2016-2017-2018). Soorten die minder dan 5% voorkomen, zijn niet opgenomen in de tabel. De presentie geeft het percentage opnamen met de betreffende soort weer, de karakteristieke bedekking is de bedekking (uitgedrukt als percentage bedekking) in die opnamen waar de soort voorkomt.

soortnaam	23Ab01		2016 (18)		2017 (19)		2018 (20)	
	presentie	kar. bed.	presentie	kar. bed.	presentie	kar. bed.	presentie	kar. bed.
<i>Ammophila arenaria</i>	97	28	78	13	84	13	80	13
<i>Festuca arenaria</i>	38	11	17	2	21	13	40	2
<i>Sonchus arvensis</i> s.l.	34	3	6	2			10	1
<i>Elytrigia juncea</i> s. boreoatlantica	31	4	22	13	37	13	40	2
<i>Calammophila baltica</i> (x)	27	14			11	1		
<i>Leymus arenarius</i>	27	10						
<i>Sonchus arvensis</i> v. maritimus	27	4			11	1	15	1
<i>Eryngium maritimum</i>	24	4						
<i>Festuca rubra</i>	22	11			11	1	5	13
<i>Carex arenaria</i>	21	4						
<i>Festuca rubra/arenaria</i>	19	14						
<i>Cakile maritima</i>	16	2			11	1		
<i>Hieracium umbellatum</i> s.l.	16	5						
<i>Hippophae rhamnoides</i>	14	4						
<i>Sedum acre</i>	13	5						
<i>Cerastium semidecandrum</i>	12	2					5	1
<i>Senecio vulgaris</i>	11	2	11	1	5	1	30	1
<i>Leontodon saxatilis</i>	10	3					5	1
<i>Cerastium diffusum</i>	9	3						
<i>Elytrigia atherica/maritima</i>	9	4						
<i>Honckenya peploides</i>	8	9						
<i>Rubus caesius</i>	8	3						
<i>Corynephorus canescens</i>	7	4						
<i>Hypochaeris radicata</i>	7	2					5	1
<i>Phleum arenarium</i>	7	3						
<i>Cirsium arvense</i>	6	2						
<i>Convolvulus soldanella</i>	6	19						
<i>Poa pratensis</i>	6	3						
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Erythrosperma</i>	6	2						
<i>Taraxacum</i> spec.	6	1	6	1	5	2	15	1
<i>Atriplex prostrata</i>	5	2	6	1			5	1
<i>Brachythecium albicans</i>	5	9						
<i>Cynoglossum officinale</i>	5	2						
<i>Jacobaea vulgaris</i> s.l.	5	2						
<i>Picris hieracioides</i>	5	3						
<i>Aster tripolium</i>							5	1
<i>Limonium vulgare</i>					5	1		
<i>Plantago major</i>							5	1
<i>Senecio inaequidens</i>					5	1	5	1
<i>Senecio</i> species							10	1
<i>Sonchus asper</i>					5	1		
<i>Sonchus oleraceus</i>					5	1	5	1
<i>Sonchus</i> species					21	1	5	1

Tabel VI.3. Vergelijking soortensamenstelling Associatie van Strandduizendguldenkruid en Krielparnassia (27Aa02b, 27Aa2c, grijs gearceerd) en Draadgentiaanassociatie (28Aa1, grijs gearceerd) als karakteristiek voor H2190B (Vochtige duinvalleien_kalkrijk) met de opnamen in de HPZ in de drie onderzoeksjaren (2016-2017-2018). Soorten die minder dan 5% voorkomen, zijn niet opgenomen in de tabel. De presentie geeft het percentage opnamen met de betreffende soort weer, de karakteristieke bedekking is de bedekking (uitgedrukt als percentage bedekking) in die opnamen waar de soort voorkomt.

Plantengemeenschap	H2190 B (drie gemeenschappen: 27Aa02b 27Aa02c 28Aa01)						2016 (8)		2017 (8)		2019 (9)	
	presentie	kar. bed.	presentie	kar. bed.	presentie	kar. bed.	presentie	kar. bed.	presentie	kar. bed.	presentie	kar. bed.
<i>Achillea millefolium</i>				6 ₂		1 ₁						
<i>Agrostis canina</i>	1 ₈					20 ₄						
<i>Agrostis capillaris</i>				2 ₄		12 ₄						
<i>Agrostis stolonifera</i>	98 ₁₆			68 ₁₃		55 ₅			12 ₂			
<i>Aira praecox</i>	3 ₁₈			6 ₃								
<i>Amblystegium serpens</i>	5 ₁₅											
<i>Ammophila arenaria</i>	11 ₃			2 ₂			50 ₁		50 ₁		22 ₁	
<i>Anagallis arvensis s. arvensis</i>				5 ₂								
<i>Aneura pinguis</i>	14 ₃			3 ₃		4 ₂						
<i>Angelica sylvestris</i>				5 ₂								
<i>Anthoxanthum odoratum</i>						9 ₃						
<i>Armeria maritima</i>	10 ₄											
<i>Aster tripolium</i>	1 ₁			32 ₂								
<i>Atriplex prostrata</i>	3 ₃			5 ₂		2 ₁	12 ₁				11 ₁	
<i>Barbula convoluta</i>	3 ₁₃			6 ₁₀								
<i>Bellis perennis</i>	3 ₂			49 ₃		7 ₄						
<i>Bidens tripartita</i>						6 ₂						
<i>Blackstonia perfoliata s. serotina</i>	11 ₃			2 ₄								
<i>Blackstonia perfoliata s.l.</i>	14 ₅											
<i>Bolboschoenus maritimus</i>				9 ₉								
<i>Brachythecium albicans</i>	9 ₂			8 ₁₂		2 ₂						
<i>Brachythecium rutabulum</i>	3 ₄			5 ₂		5 ₂						
<i>Brachythecium spec.</i>	9 ₉			2 ₂								
<i>Bromus hordeaceus s. hordeaceus</i>				5 ₁								
<i>Bryum algovicum</i>	32 ₁₉			6 ₁₅								

Bryum capillare	5 ₇			4 ₂						
Bryum dichotomum	9 ₆									
Bryum knowltonii	5 ₅									
Bryum marratii	6 ₂			2 ₂						
Bryum pseudotriquetrum	11 ₃			3 ₃						
Bryum rubens/microerythrocarpum/bornholmense	2 ₂		2 ₂	7 ₂						
Bryum spec.	18 ₂₆		5 ₁₀	18 ₅						
Bryum warneum	11 ₁₀									
Cakile maritima							25 ₁₃			
Calamagrostis epigejos	13 ₂		63 ₆	9 ₂						
Calliergonella cuspidata	18 ₄		5 ₃₃	32 ₇						
Callitriche spec.				5 ₂						
Calluna vulgaris				8 ₂						
Campylium s.l. spec. (voor c. 2000)	14 ₂₅			3 ₆						
Capsella bursa-pastoris			5 ₁							
Cardamine pratensis	5 ₁		2 ₂	6 ₃						
Carex arenaria	30 ₃		15 ₄	13 ₂						
Carex distans	9 ₄		3 ₃	3 ₃						
Carex extensa	9 ₂									
Carex flacca	14 ₂		5 ₅	15 ₃						
Carex nigra			2 ₃	7 ₄						
Carex oederi s. oederi	51 ₄		2 ₈	44 ₃						
Carex oederi s.l.	2 ₂			12 ₅						
Carex otrubae			22 ₂							
Carex panicea	2 ₅			13 ₃						
Carex trinervis	3 ₂		2 ₃₈	18 ₃						
Centaurium littorale	94 ₃		91 ₃	10 ₂						
Centaurium pulchellum	55 ₃		59 ₃	8 ₃						
Centunculus minimus	15 ₃			48 ₅						
Cerastium diffusum	7 ₃		3 ₂							
Cerastium fontanum s. vulgare	18 ₂		60 ₃	4 ₂						

Cerastium semidecandrum	2 ₄	6 ₂							
Ceratodon purpureus	5 ₂	8 ₄	7 ₇						
Chamerion angustifolium	1 ₂	34 ₃							
Cicendia filiformis			37 ₃						
Cirsium arvense	16 ₂	69 ₃	2 ₂						
Cirsium palustre	6 ₂		14 ₂						
Cirsium vulgare	7 ₂	69 ₂		12 ₁				11 ₁	
Convolvulus sepium		5 ₂							
Conyza canadensis	2 ₂	48 ₃	2 ₂						
Cotula coronopifolia				12 ₁					
Crataegus monogyna		6 ₁							
Crepis capillaris		46 ₂							
Dactylis glomerata		12 ₁							
Dactylorhiza incarnata	10 ₂								
Dactylorhiza majalis s. praetermissa		6 ₂							
Danthonia decumbens			9 ₂						
Didymodon tophaceus	18 ₃₄	2 ₆₈							
Drepanocladus aduncus	3 ₂		8 ₅						
Drepanocladus polygamus	9 ₅		11 ₃						
Drepanocladus spec.	14 ₂₀								
Drosera intermedia			9 ₂						
Eleocharis palustris s.str.	1 ₂	2 ₄	11 ₇						
Eleocharis palustris/uniglumis	16 ₂		4 ₃						
Eleocharis quinqueflora	8 ₂		18 ₄						
Eleocharis uniglumis	5 ₂	5 ₅	5 ₃						
Elytrigia atherica/maritima	13 ₄	2 ₂							
Elytrigia juncea s. boreoatlantica	6 ₈							22 ₁₃	
Empetrum nigrum	2 ₂		6 ₂						
Epilobium ciliatum		37 ₇							
Epilobium hirsutum		39 ₂							
Epilobium palustre	10 ₂	2 ₂	2 ₂						

Epilobium parviflorum	15 ₂	57 ₄							
Epilobium spec.	1 ₂	19 ₆	1 ₂						
Epilobium tetragonum		34 ₂							
Epipactis palustris	17 ₂								
Equisetum arvense		8 ₅	1 ₂						
Equisetum palustre			5 ₄						
Erica tetralix			14 ₂						
Erigeron acer	2 ₁	5 ₁							
Eupatorium cannabinum	26 ₂	9 ₃	4 ₂						
Euphrasia stricta	19 ₃		12 ₂						
Festuca arenaria	8 ₁₅	2 ₃						11 ₁	
Festuca arundinacea	1 ₁	6 ₁							
Festuca rubra	11 ₁₈	19 ₁₆						11 ₁	
Festuca rubra/arenaria	22 ₁₃	17 ₆	7 ₅						
Fossombronia foveolata			12 ₆						
Fossombronia spec.			7 ₂						
Fragaria vesca	1 ₁	20 ₁							
Funaria hygrometrica	6 ₉	3 ₃	1 ₂						
Galium palustre s.l.	11 ₂		25 ₃						
Galium uliginosum	6 ₅		3 ₂						
Geranium dissectum		14 ₁							
Glaux maritima	66 ₄	9 ₁₅	8 ₂						
Glechoma hederacea		5 ₂							
Gnaphalium luteo-album	16 ₄	39 ₂							
Gnaphalium uliginosum	3 ₂	2 ₁	40 ₃						
Henediella heimii	5 ₃								
Hippophae rhamnoides	36 ₂	15 ₂	1 ₂						
Holcus lanatus	17 ₄	23 ₅	36 ₃						
Hydrocotyle vulgaris	34 ₆	2 ₄	51 ₄						
Hypericum tetrapterum		5 ₂	1 ₂						
Hypnum cupressiforme/andoi	2 ₁₆		8 ₃						

Hypochaeris radicata		14 ₂	6 ₃						
Illecebrum verticillatum			7 ₄						
Isolepis setacea	2 ₂	5 ₄	43 ₄						
Jacobaea erucifolia		9 ₁							
Jacobaea vulgaris s. vulgaris		6 ₂							
Jacobaea vulgaris s.l.	10 ₂	5 ₂	1 ₂						
Jasione montana		5 ₁							
Juncus alpinoarticulatus s. atricapillus	8 ₂	5 ₄	8 ₃						
Juncus ambiguus	14 ₂	8 ₂	5 ₂						
Juncus articulatus	69 ₉	59 ₅	75 ₄						
Juncus bufonius	27 ₃	26 ₄	76 ₆						
Juncus bufonius/ambiguus		26 ₃							
Juncus bulbosus s.l.			33 ₆						
Juncus compressus		5 ₂							
Juncus conglomeratus			8 ₃						
Juncus effusus			11 ₃						
Juncus gerardii	25 ₈	37 ₆	8 ₃						
Juncus pygmaeus	3 ₆		24 ₇						
Juncus subnodulosus		5 ₂							
Juncus tenageia			23 ₇						
Juncus tenuis			7 ₃						
Jungermannia gracillima			5 ₃						
Kindbergia praelonga	1 ₂		5 ₃						
Leontodon autumnalis	5 ₂	11 ₃	28 ₂						
Leontodon saxatilis	43 ₅	11 ₁₄	20 ₄						
Leptobryum pyriforme	2 ₂		6 ₂						
Limonium vulgare	7 ₂	2 ₁							
Linum catharticum	35 ₃	8 ₃	14 ₂						
Littorella uniflora	1 ₁		9 ₈						
Lolium perenne	1 ₁	29 ₂	4 ₂						
Lotus corniculatus s.str.	5 ₃	9 ₄	7 ₄						

Lotus pedunculatus	1 ₂	5 ₂	21 ₃					
Luzula campestris		5 ₁	5 ₂					
Lycopus europaeus	9 ₂	23 ₂	11 ₃					
Lythrum portula			18 ₃					
Lythrum salicaria		2 ₂	17 ₂					
Matricaria chamomilla (= recutita)		9 ₁						
Matricaria/Tripleurospermum spec.		11 ₃						
Medicago lupulina		6 ₄						
Mentha aquatica	49 ₅	14 ₅	16 ₃					
Mentha arvensis		5 ₂	6 ₄					
Molinia caerulea			15 ₂					
Musci (indet.)	2 ₄	15 ₁₅						
Myosotis laxa s. cespitosa	3 ₁	6 ₂	4 ₂					
Nostoc spec.	11 ₃		2 ₄					
Odontites vernus s. serotinus	17 ₅	6 ₃	1 ₃					
Odontites vernus s.l.	23 ₂		5 ₃					
Parapholis strigosa	13 ₄	2 ₁						
Parnassia palustris	51 ₅		4 ₂					
Pellia endiviifolia	17 ₉	2 ₂	5 ₃					
Pellia epiphylla			7 ₃					
Phragmites australis	16 ₃	23 ₄	7 ₂		12 ₂		11 ₁	
Plantago coronopus	63 ₄	59 ₆	5 ₄					
Plantago lanceolata	1 ₂	8 ₁	8 ₂					
Plantago major s. intermedia	33 ₄	8 ₆	19 ₃					
Plantago major s. major		6 ₂	3 ₂					
Plantago major s.l.	13 ₂	52 ₃	11 ₄					
Plantago maritima	21 ₂	2 ₁	3 ₂					
Poa annua	14 ₂	71 ₆	23 ₃					
Poa pratensis	7 ₂	71 ₆	10 ₂					
Poa trivialis	1 ₁	51 ₁₀	3 ₂					
Pohlia annotina			7 ₃					

Polygonum aviculare	1 ₂	9 ₂	4 ₂						
Polytrichum juniperinum			5 ₃						
Potentilla anserina	27 ₅	17 ₃	33 ₃						
Potentilla erecta	1 ₂		27 ₃						
Prunella vulgaris	7 ₂	5 ₂	21 ₃						
Pseudoscleropodium purum			7 ₂						
Puccinellia distans s.l.		5 ₁							
Pulicaria dysenterica	17 ₂	11 ₁							
Radiola linoides	1 ₁		58 ₄						
Ranunculus acris		6 ₂	1 ₂						
Ranunculus flammula	2 ₂		50 ₃						
Ranunculus repens	2 ₃	19 ₂	16 ₂						
Ranunculus sardous		14 ₁							
Ranunculus sceleratus		8 ₂							
Rhytidadelphus squarrosus	2 ₂		9 ₃						
Riccardia chamedryfolia	3 ₈	3 ₂	7 ₅						
Riccardia incurvata	3 ₃		8 ₆						
Riccardia spec.	9 ₇		1 ₂						
Rubus caesius	7 ₁	12 ₂							
Rubus spec.	3 ₂	5 ₁	1 ₂						
Rumex crispus		12 ₁							
Sagina maritima	19 ₄	54 ₃							
Sagina nodosa	99 ₆	45 ₁₂	5 ₃						
Sagina procumbens	18 ₃	48 ₇	54 ₄						
Salicornia europea									11 ₁
Salix aurita		5 ₂							
Salix cinerea	8 ₂	2 ₂	9 ₂						
Salix repens	57 ₄	32 ₂	37 ₃						
Salix spec.	1 ₂	8 ₁	3 ₅						
Samolus valerandi	43 ₄	9 ₁	7 ₂						
Scapania irrigua			6 ₃						

Sedum acre	11 ₅	6 ₅							
Senecio vulgaris		19 ₁							33 ₁
Sonchus arvensis s.l.	34 ₂	51 ₁							
Sonchus arvensis v. arvensis		9 ₃							11 ₁
Sonchus arvensis v. maritimus	11 ₂	3 ₂							11 ₁
Sonchus asper	1 ₁	29 ₁							
Sonchus oleraceus									11 ₁
Sonchus spec.		6 ₂	1 ₂						
Spergularia media + S. salina					12 ₁	12 ₂			22 ₁
Stachys palustris		5 ₁							
Taraxacum sect. Erythrosperma		5 ₁							
Taraxacum sect. Ruderalia	5 ₂	6 ₂	3 ₂						
Taraxacum spec.	13 ₂	57 ₂	6 ₁		12 ₁				11 ₁
Trifolium arvense	3 ₂	5 ₃							
Trifolium campestre		5 ₂							
Trifolium dubium		15 ₂	10 ₂						
Trifolium fragiferum	7 ₂	3 ₂	5 ₂						
Trifolium pratense	1 ₂	5 ₂	3 ₃						
Trifolium repens	17 ₅	57 ₆	45 ₅						
Triglochin maritima	3 ₁	23 ₂	3 ₂						
Tripleurospermum maritimum	16 ₂	48 ₃			12 ₁				
Tussilago farfara	2 ₂	26 ₂							11 ₁
Urtica dioica		9 ₁							
Vaccinium macrocarpon			5 ₂						
Veronica arvensis		9 ₃							
Veronica scutellata				7 ₂					

Pseudoscleropodium purum	23 ₈	34 ₆					
Rosa canina s.l.	23 ₃	65 ₈	18 ₂	9 ₁₃	18 ₁		
Holcus lanatus	22 ₄	22 ₄	18 ₁	36 ₁	45 ₁		
Cerastium semidecandrum	21 ₂	8 ₂		9 ₁			
Galium aparine	21 ₂	22 ₃					
Veronica officinalis	20 ₄	22 ₂					
Luzula campestris	19 ₂	22 ₂					
Senecio sylvaticus	19 ₃	42 ₃		36 ₁	27 ₁		
Stellaria media	19 ₂	18 ₃			9 ₁		
Euonymus europaeus	18 ₁₈	41 ₄		9 ₂	18 ₁		
Eupatorium cannabinum	18 ₅	20 ₇					
Helictotrichon pubescens	18 ₃	7 ₂					
Hypnum cupressiforme/andoi	18 ₁₂	16 ₄					
Ammophila arenaria	17 ₄	3 ₂	73 ₂	73 ₂	91 ₂		
Cirsium arvense	17 ₃	9 ₂					
Fragaria vesca	17 ₄	19 ₅					
Geranium robertianum	17 ₉	27 ₆					
Agrostis stolonifera	16 ₃	7 ₂	9 ₁	9 ₁			
Festuca rubra/arenaria	16 ₅	13 ₄					
Kindbergia praelonga	16 ₃	42 ₉					
Plagiomnium affine	16 ₆	38 ₅					
Dicranum scoparium	15 ₃	31 ₃					
Myosotis ramosissima	15 ₂	12 ₂					
Viola hirta	15 ₂	17 ₃					
Festuca arenaria	14 ₇	3 ₂		9 ₁	36 ₂		
Potentilla reptans	14 ₂	9 ₃					
Veronica arvensis	14 ₂	12 ₂					
Geranium molle	13 ₂	2 ₃					
Glechoma hederacea	13 ₁₀	25 ₁₁					
Hieracium umbellatum s.l.	12 ₂	6 ₂					
Poa trivialis	12 ₅	19 ₃					

Rhamnus cathartica	12 ₃	69 ₁₂						
Veronica chamaedrys	12 ₄	18 ₃						
Festuca rubra	11 ₃	10 ₄			18 ₁		18 ₁	
Lophocolea bidentata	11 ₄	24 ₃						
Taraxacum sect. Erythrosperma	11 ₂	9 ₂						
Valeriana officinalis	11 ₃	7 ₃						
Anthriscus caucalis	10 ₃	3 ₃						
Asparagus officinalis s. officinalis	10 ₂	7 ₂						
Homalothecium lutescens	10 ₆	14 ₅						
Hypnum cupressiforme v. lacunosum	10 ₁₂	20 ₃						
Inula conyzae	10 ₂	7 ₂						
Jacobaea vulgaris s. dunensis	10 ₂	8 ₂						
Mentha aquatica	10 ₄	6 ₃						
Phragmites australis	10 ₃	7 ₃						
Plantago lanceolata	10 ₂	10 ₂						
Pyrola rotundifolia	10 ₄	3 ₁₂						
Agrostis capillaris	9 ₃	10 ₈						
Arenaria serpyllifolia	9 ₃	3 ₂						
Cirsium palustre	9 ₂	12 ₂						
Elytrigia atherica/maritima	9 ₄	2 ₂						
Fallopia convolvulus	9 ₂	18 ₂						
Lophocolea heterophylla	9 ₂	25 ₃						
Lotus corniculatus s.str.	9 ₃	7 ₂						
Myosotis arvensis	9 ₂	7 ₂						
Ononis repens s. repens	9 ₂	9 ₂						
Rosa spinosissima	9 ₈	7 ₃						
Sedum acre	9 ₂	9 ₂						
Brachythecium albicans	8 ₄	5 ₃						
Cerastium arvense	8 ₄	13 ₂						
Cerastium fontanum s. vulgare	8 ₂	9 ₂						
Ceratodon purpureus	8 ₂	12 ₂						

Dryopteris filix-mas	8 ₂	25 ₂					
Festuca arundinacea	8 ₄	3 ₃					
Geum urbanum	8 ₁	22 ₂					
Koeleria macrantha	8 ₂	2 ₂					
Picris hieracioides	8 ₂	8 ₂					
Plagiomnium undulatum	8 ₆	12 ₃					
Sonchus arvensis s.l.	8 ₃	6 ₁	18 ₁			9 ₁	
Thymus pulegioides	8 ₂	12 ₂					
Aira praecox	7 ₃	7 ₂					
Festuca filiformis	7 ₅	7 ₃					
Silene nutans	7 ₂	3 ₂					
Stellaria pallida	7 ₃	8 ₃					
Taraxacum sect. Ruderalia	7 ₂	11 ₂					
Betula pendula	6 ₇	16 ₁₁					
Bryum capillare	6 ₃	7 ₂					
Erodium cicutarium s. dunense	6 ₃	2 ₁					
Linaria vulgaris	6 ₂	2 ₃					
Lithospermum officinale	6 ₂	9 ₂					
Polygala vulgaris	6 ₂	3 ₂					
Salix cinerea	6 ₁₃	4 ₁₂					
Syntrichia ruralis v. arenicola	6 ₆	2 ₁					
Taraxacum spec.	6 ₂	8 ₂	18 ₁	36 ₁		45 ₁	
Vicia sativa s. nigra/segetalis	6 ₂						
Viola curtisii	6 ₂	3 ₂					
Aulacomnium androgynum	5 ₂	28 ₃					
Betula pubescens	5 ₃	17 ₁₃					
Conyza canadensis	5 ₂	3 ₂					
Dactylis glomerata	5 ₃	4 ₂					
Elytrigia repens	5 ₅	4 ₃	9 ₂	9 ₁₃		18 ₁	
Hieracium pilosella	5 ₂	3 ₂					
Hypericum perforatum	5 ₃	3 ₅					

Pulicaria dysenterica	5 ₃	6 ₂							
Quercus robur	5 ₃	46 ₁₆							
Ranunculus repens	5 ₂	4 ₂							
Ribes uva-crispa	5 ₃	8 ₂							
Viburnum opulus	5 ₂	22 ₃							
Achillea millefolium	4 ₂	10 ₂							
Agrimonia eupatoria	4 ₂	6 ₂							
Ajuga reptans	4 ₃	13 ₃							
Amblystegium serpens	4 ₃	9 ₂							
Anthoxanthum odoratum	4 ₅	6 ₂							
Claytonia perfoliata	4 ₄	10 ₄							
Epilobium montanum	4 ₃	6 ₂							
Prunella vulgaris	4 ₂	7 ₂							
Rosa spec.	4 ₂	12 ₃							
Rumex acetosella	4 ₂	7 ₂							
Berberis vulgaris	3 ₂	39 ₁₅							
Cladonia furcata	3 ₃	7 ₂							
Dryopteris dilatata	3 ₄	12 ₂							
Epilobium parviflorum	3 ₃	7 ₃							
Sorbus aucuparia	3 ₂	16 ₃							
Teucrium scorodonia	3 ₃	9 ₅							
Vicia cracca	3 ₁	6 ₂							
Acer pseudoplatanus	2 ₁	10 ₆							
Cladonia chlorophaea	2 ₂	7 ₂							
Cladonia foliacea	2 ₂	6 ₂							
Dryopteris carthusiana	2 ₂	7 ₂							
Fallopia dumetorum	2 ₂	5 ₂							
Pimpinella saxifraga	2 ₃	11 ₂							
Plagiomnium cuspidatum	2 ₂	8 ₃							
Poa annua	2 ₃	7 ₂							
Populus tremula	2 ₅₉	12 ₇							

Ribes rubrum	2 ₁	8 ₂					
Silene dioica	2 ₂	7 ₃					
Viola riviniana	2 ₂	12 ₂					
Anthriscus sylvestris	1 ₂	5 ₂					
Cladonia pyxidata/monomorpha/pocillum	1 ₂	5 ₂					
Lysimachia vulgaris	1 ₂	6 ₃					
Viola odorata	1 ₂	8 ₃					
Alliaria petiolata		7 ₅					
Anagallis arvensis					9 ₁		
Atrichum undulatum		7 ₃					
Atriplex portulacoides		9 _r					
Bromus hordeaceus				9 ₁	9 ₁	9 ₁	
Calammophila baltica (x) species					9 ₁₃		
Campylopus introflexus		5 ₃					
Cerastium species						9 ₁	
Cirsium species				9 ₁			
Cladonia fimbriata		5 ₂					
Cochlearia danica						9 ₁	
Elytrigia juncea s. boreoatlantica					9 ₁	9 ₁	
Glaux maritima						9 ₁	
Honckenya peploides					9 ₁		
Hordeum murinum					9 ₁	9 ₁	
Humulus lupulus		7 ₁₁					
Hypochaeris radicata				9 ₁	27 ₁	18 ₁	
Leontodon saxatilis						27 ₁	
Leymus arenarius						9 ₁	
Lolium perenne				18 ₁	9 ₁	9 ₁	
Lophocolea spec.		5 ₄					
Mnium hornum		10 ₅					
Plantago coronopus				27 ₁	36 ₂	36 ₁	
Polygonum aviculare					9 ₁	9 ₁	

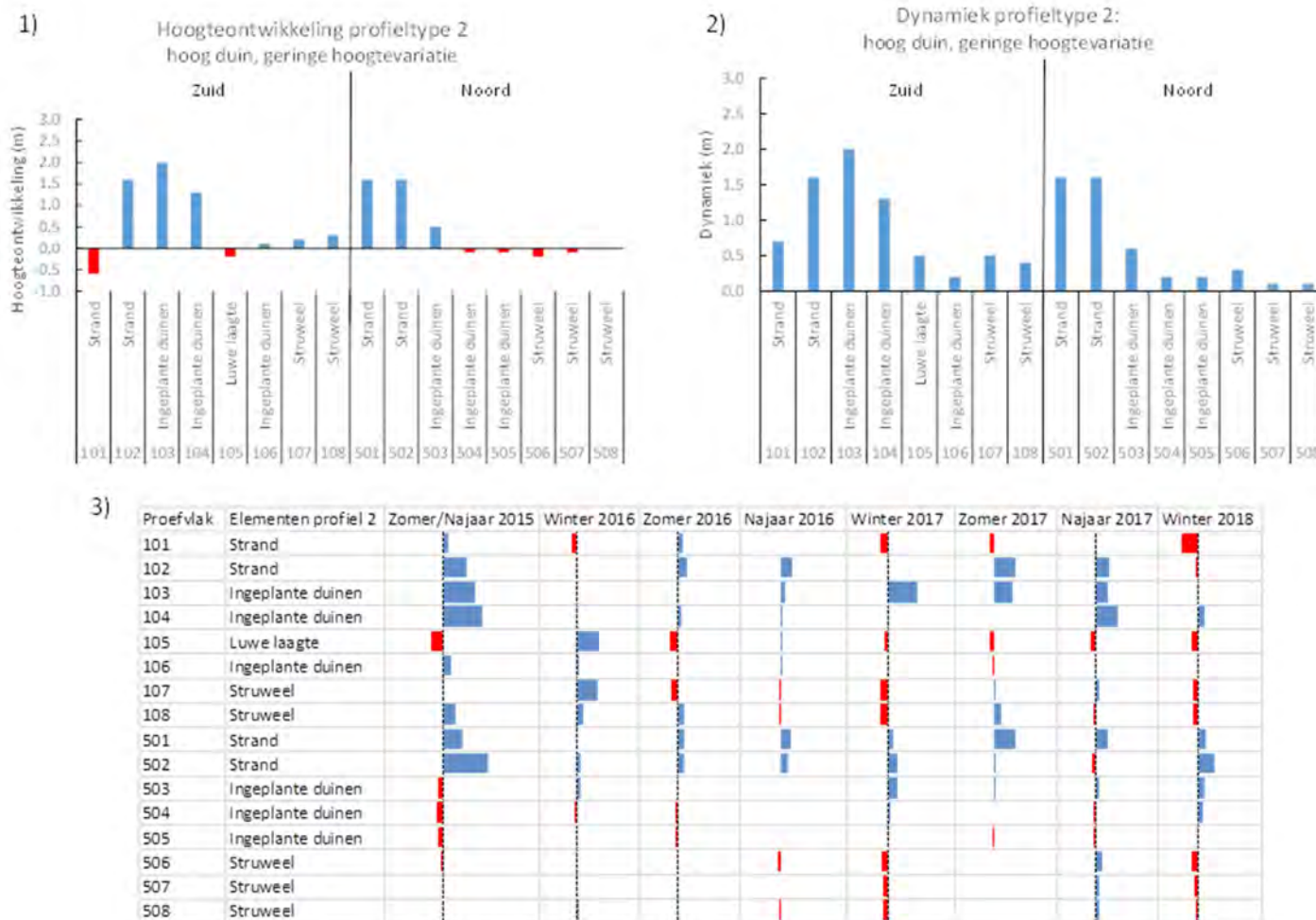
Populus nigra			7	30					
Populus x canescens			5	11					
Prunus padus			7	2					
Prunus serotina			8	4					
Rhamnus frangula			7	3					
Rumex acetosa							9	1	
Sagina procumbens			6	1					
Senecio inaequidens					9	1	27	1	9
Senecio species							9	1	9
Senecio vulgaris					36	1	9	1	27
Sonchus arvensis v. maritimus							18	2	9
Sonchus oleraceus					27	1	36	1	18
Sonchus species							36	1	45
Tripleurospermum maritimum					45	1	55	1	45

Bijlage VII: Profielen en foto's van alle proefvlakken

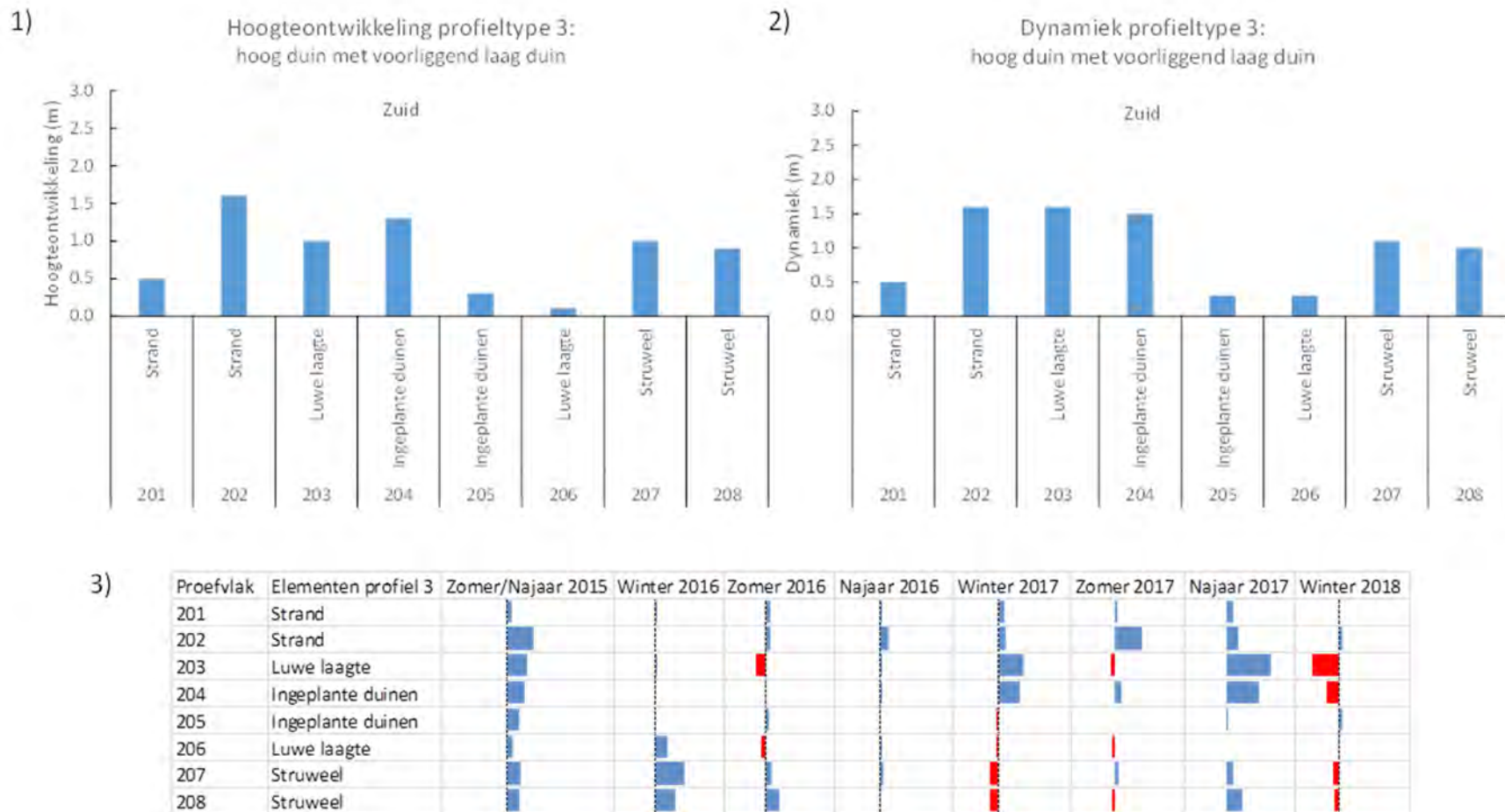
Los document

Bijlage VIII: Figuren aanzanding en dynamiek per profieltype en element

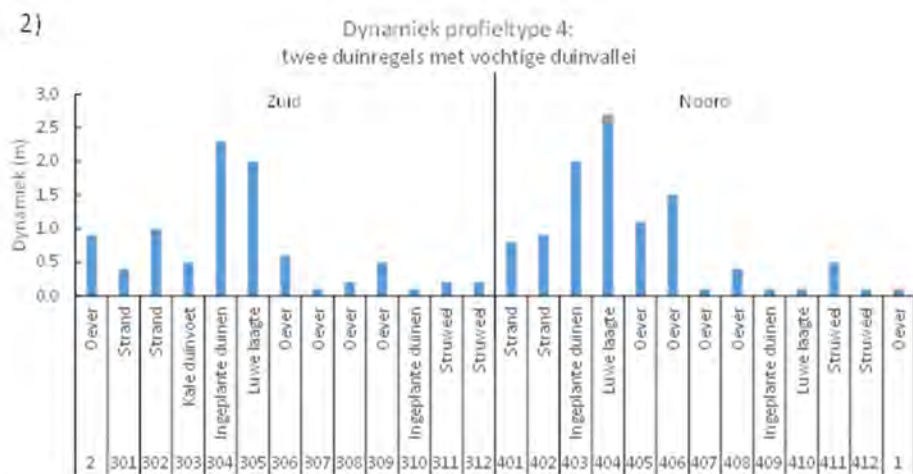
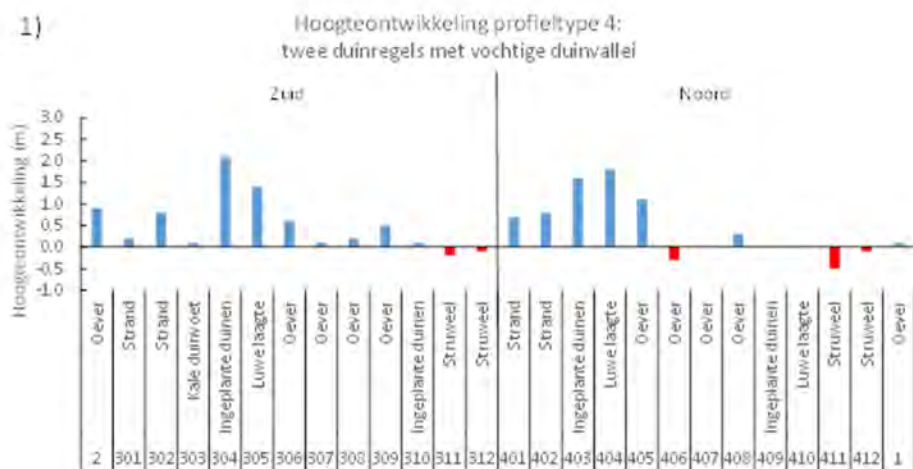
Afbeelding VII.1 Hoogteontwikkeling en dynamiek van mei 2015 tot maart 2018 in profiel 2 (hoog duin, geringe hoogtevariatie): 1) hoogteontwikkeling; 2) dynamiek; 3) zandwinst (blauw) en -verlies (rood) gedurende de seizoenen. Zomer/najaar: mei-december; winter (december-maart/april); voorjaar/zomer seizoen (maart/april-augustus/september); najaar (augustus/september-december). In afbeelding 1 en 2 staan de bijbehorende proefvlaknummers onderaan elk element.



Afbeelding VII.2 Hoogteontwikkeling en dynamiek van mei 2015 tot maart 2018 in profiel 3 (hoog duin met voorliggend laag duin): 1) hoogteontwikkeling; 2) dynamiek; 3) zandwinst (blauw) en –verlies (rood) gedurende de seizoenen. Zomer/najaar: mei-december; winter (december-maart/april); voorjaar/zomer seizoen (maart/april-augustus/september); najaar (augustus/september-december). In afbeelding 1 en 2 staan de bijbehorende proefvlaknummers onderaan elk element.

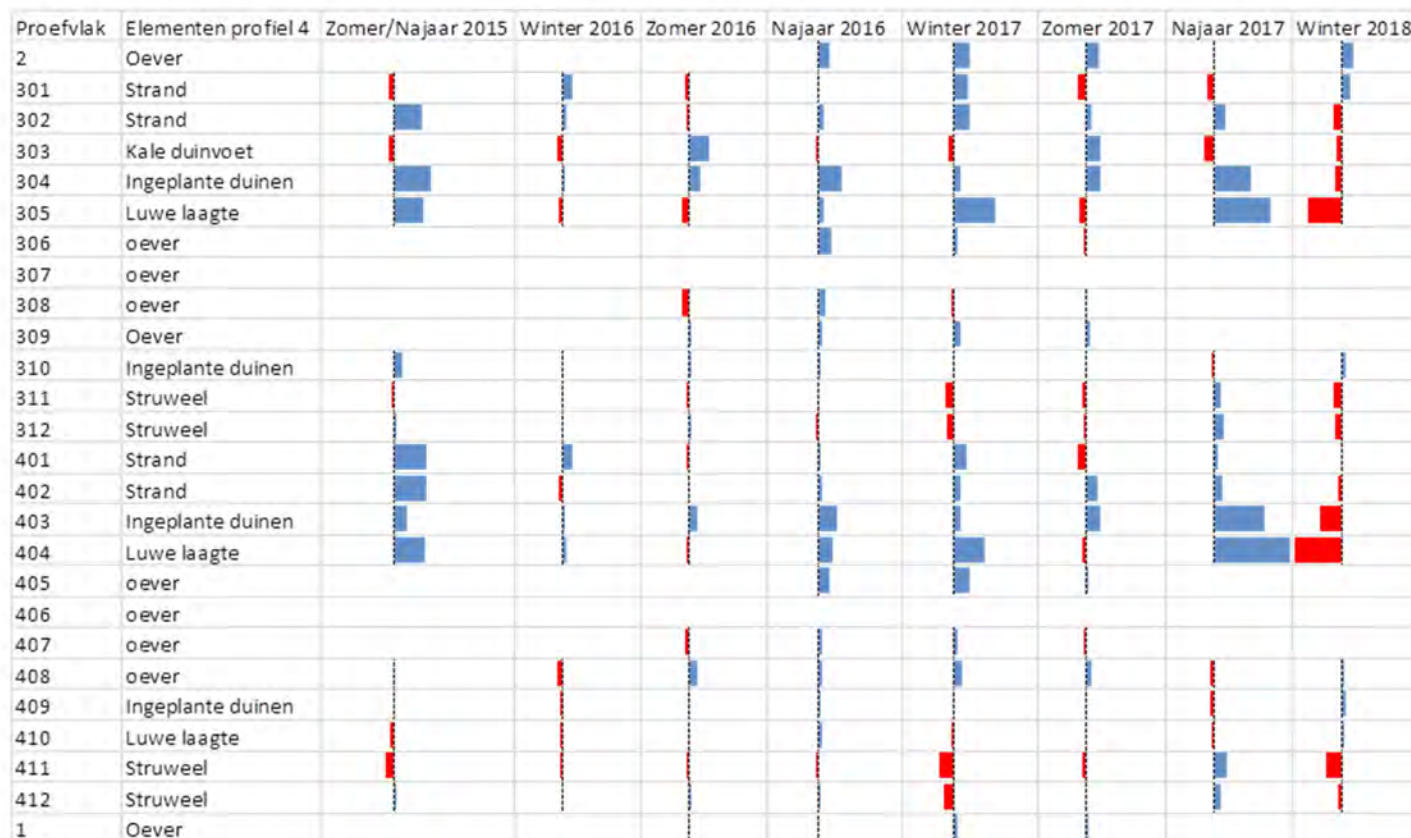


Afbeelding VII.3 Hoogteontwikkeling en dynamiek van mei 2015 tot maart 2018 in profiel 4 (twee duinregels met vochtige duinvallei): 1) hoogteontwikkeling; 2) dynamiek. Onderaan ieder element staan de bijbehorende proefvlaknummers.

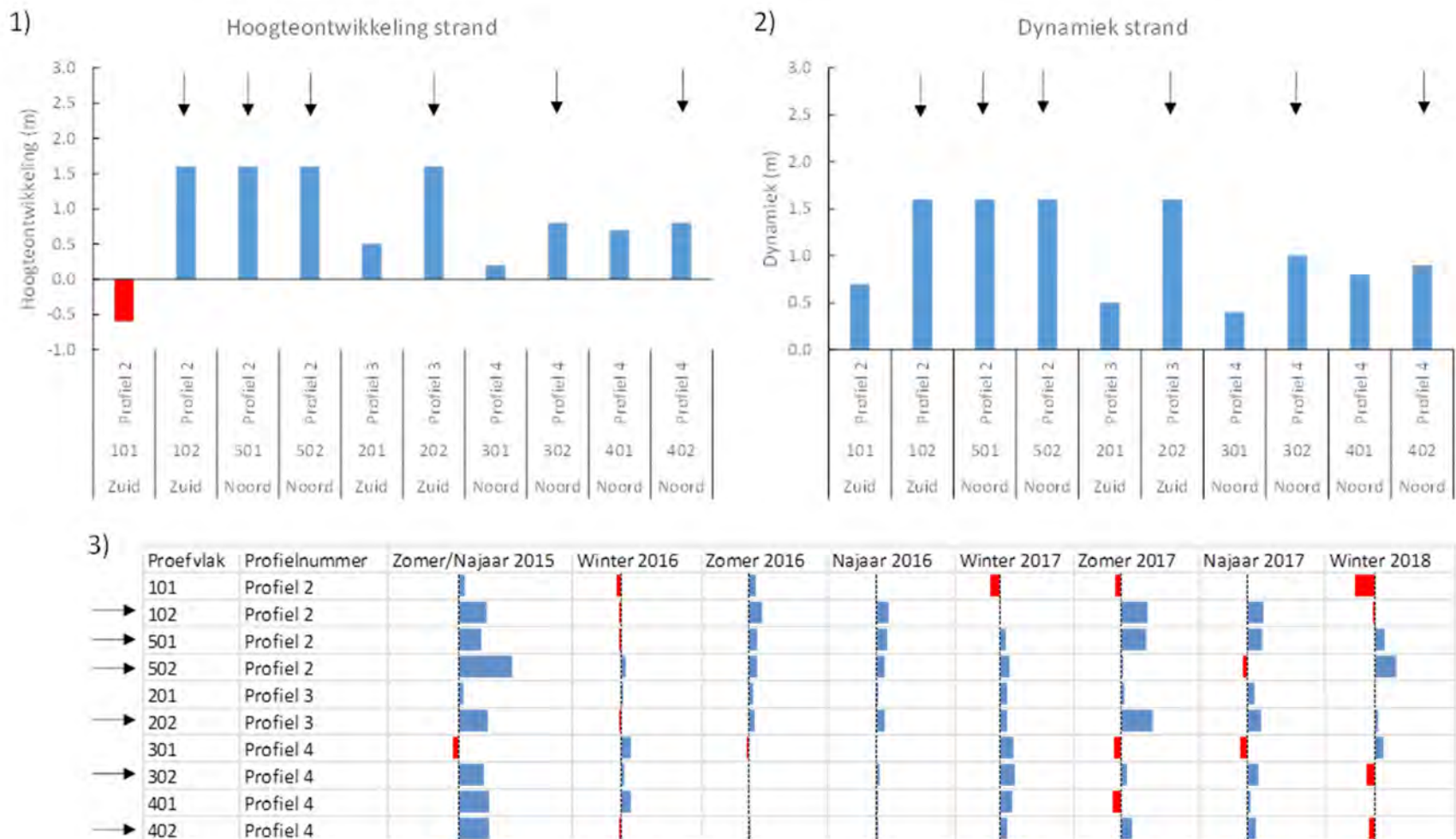


Afbeelding VII.3 (vervolg) Hoogteontwikkeling en dynamiek van mei 2015 tot maart 2018 in profiel 4 (twee duinregels met vochtige duinvallei): 3) zandwinst (blauw) en -verlies (rood) gedurende de seizoenen. Zomer/najaar: mei-december; winter (december-maart/april); voorjaar/zomer seizoen (maart/april-augustus/september); najaar (augustus/september-december).

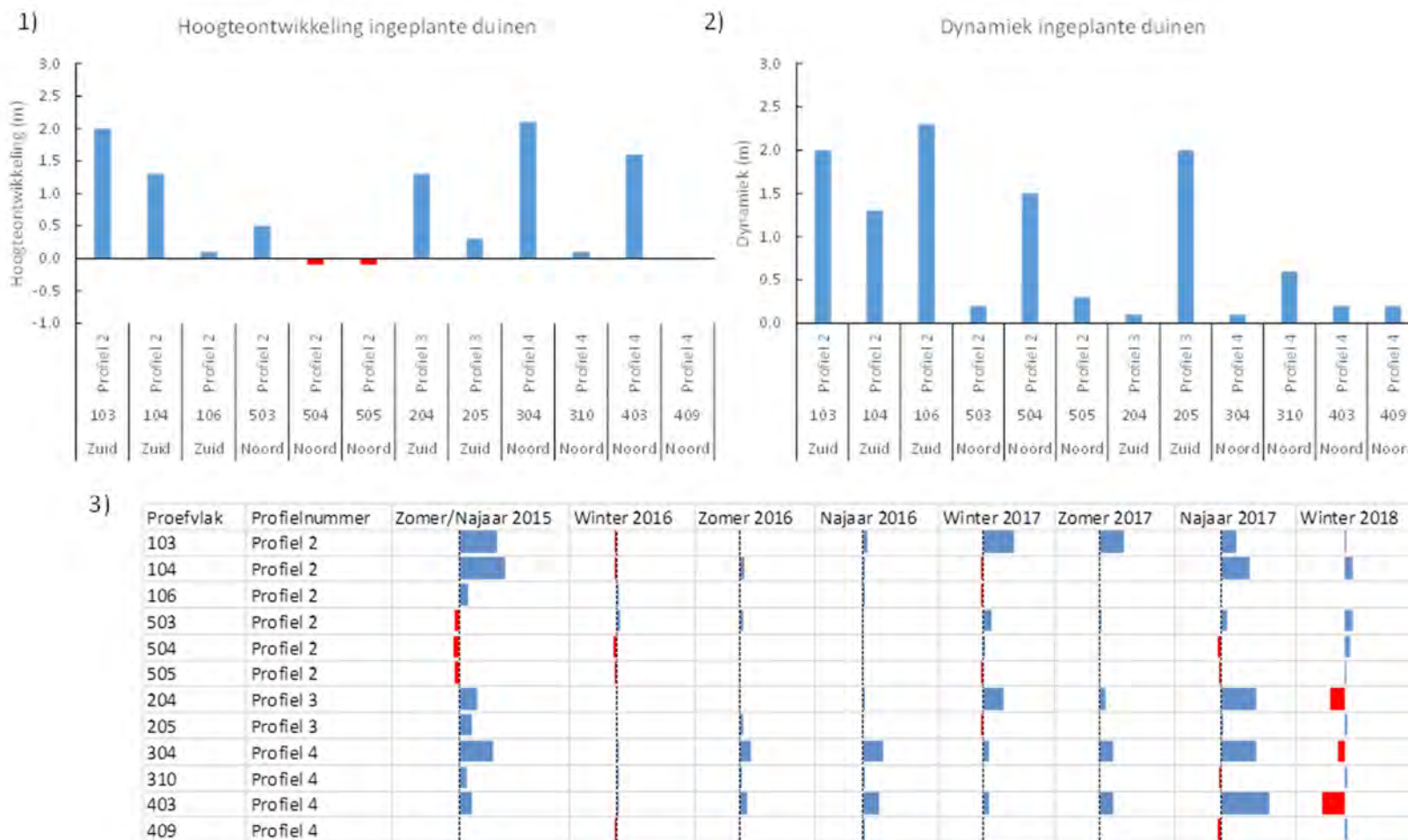
3)



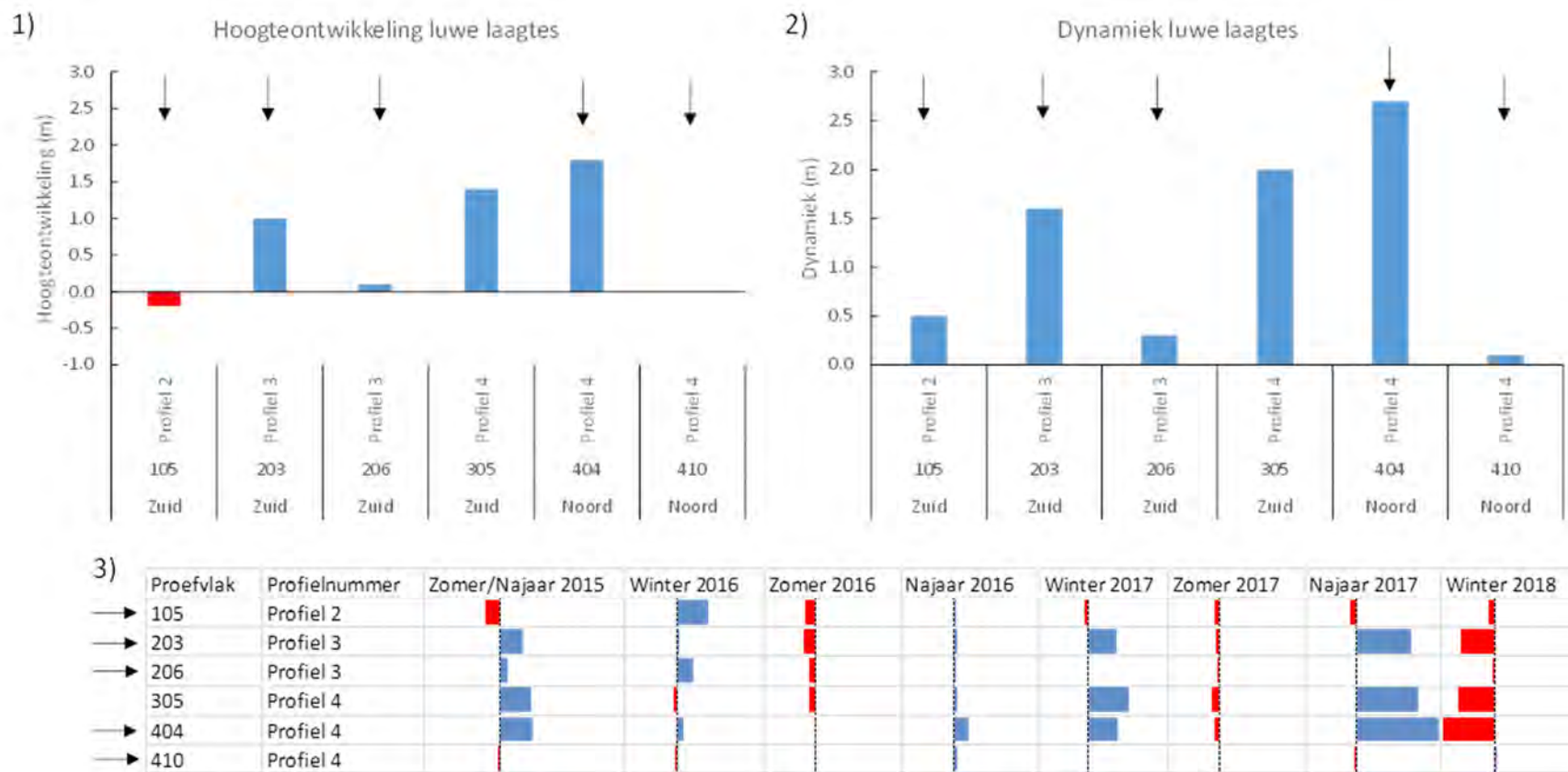
Afbeelding VII.4 Hoogteontwikkeling en dynamiek van mei 2015 tot maart 2018 in het element strand: 1) hoogteontwikkeling; 2) dynamiek; 3) zandwinst (blauw) en -verlies (rood) gedurende de seizoenen. Zomer/najaar: mei-december; winter (december-maart/april); voorjaar/zomer seizoen (maart/april-augustus/september); najaar (augustus/september-december). In afbeelding 1 en 2 staan de bijbehorende proefvlaknummers en geografische locatie binnen de HD onderaan elk profiel. Proefvlakken waarin vegetatie groeit zijn aangeduid met de zwarte pijlen.



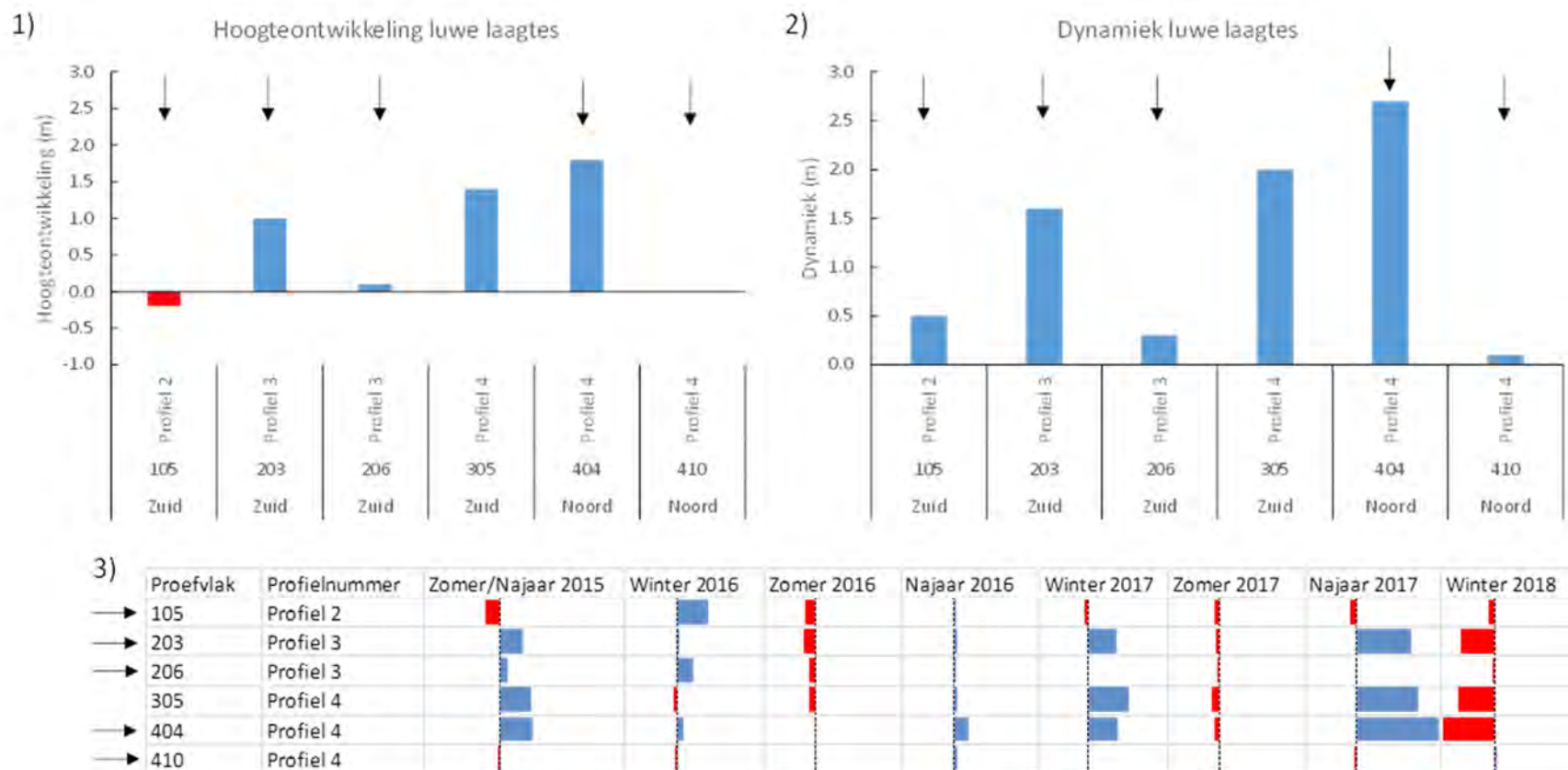
Afbeelding VII.5 Hoogteontwikkeling en dynamiek van mei 2015 tot maart 2018 in het element ingeplante duinen: 1) hoogteontwikkeling; 2) dynamiek; 3) zandwinst (blauw) en -verlies (rood) gedurende de seizoenen. Zomer/najaar: mei-december; winter (december-maart/april); voorjaar/zomer seizoen (maart/april-augustus/september); najaar (augustus/september-december). In afbeelding 1 en 2 staan de bijbehorende proefvlaknummers en geografische locatie binnen de HD onderaan elk profiel.



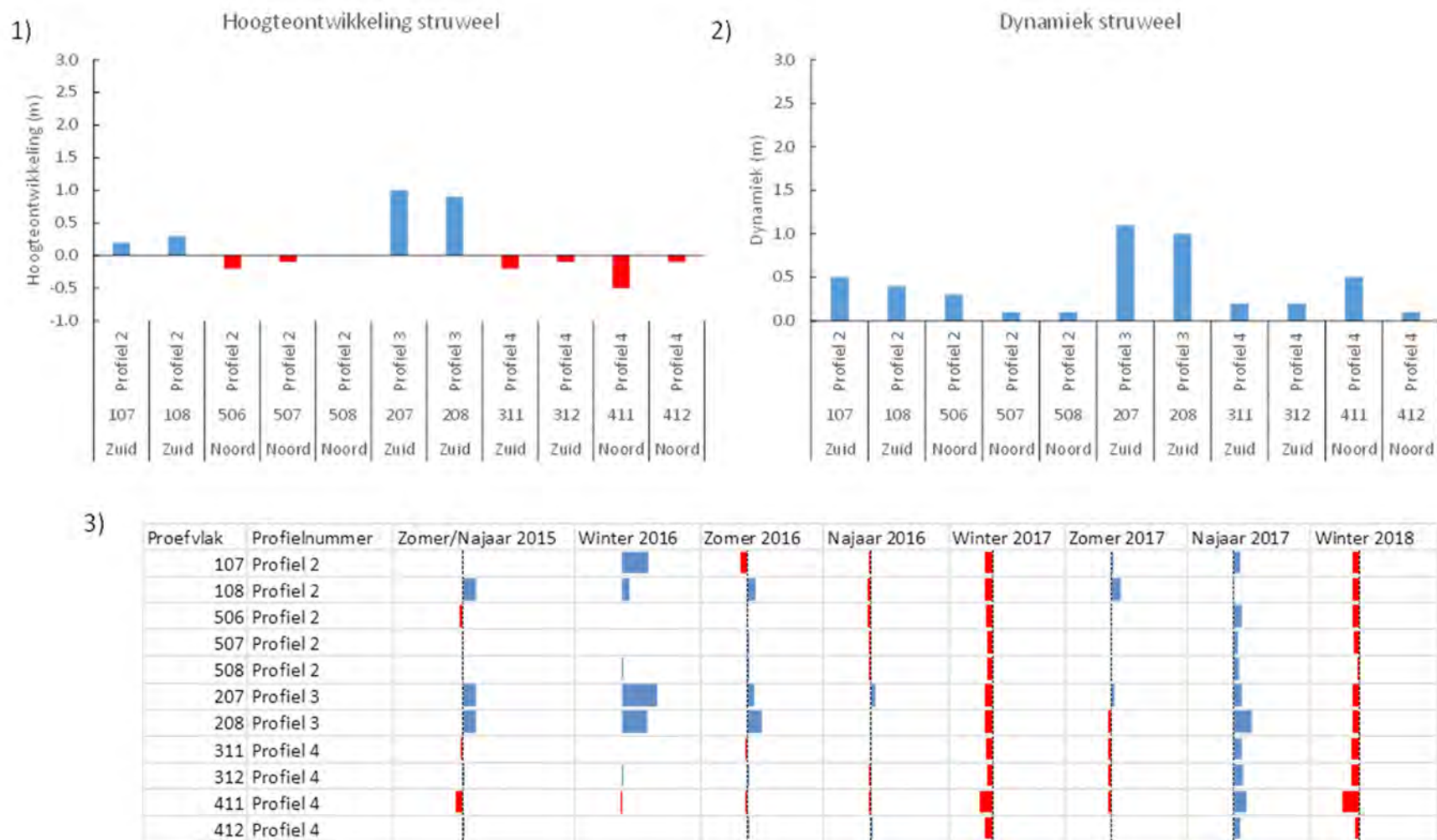
Afbeelding VII.6 Hoogteontwikkeling en dynamiek van mei 2015 tot maart 2018 in het element luwe laagtes: 1) hoogteontwikkeling; 2) dynamiek; 3) zandwinst (blauw) en -verlies (rood) gedurende de seizoenen. Zomer/najaar: mei-december; winter (december-maart/april); voorjaar/zomer seizoen (maart/april-augustus/september); najaar (augustus/september-december). In afbeelding 1 en 2 staan de bijbehorende proefvlaknummers en geografische locatie binnen de HD onderaan elk profiel. Proefvlakken waarin vegetatie groeit zijn aangeduid met de zwarte pijlen.



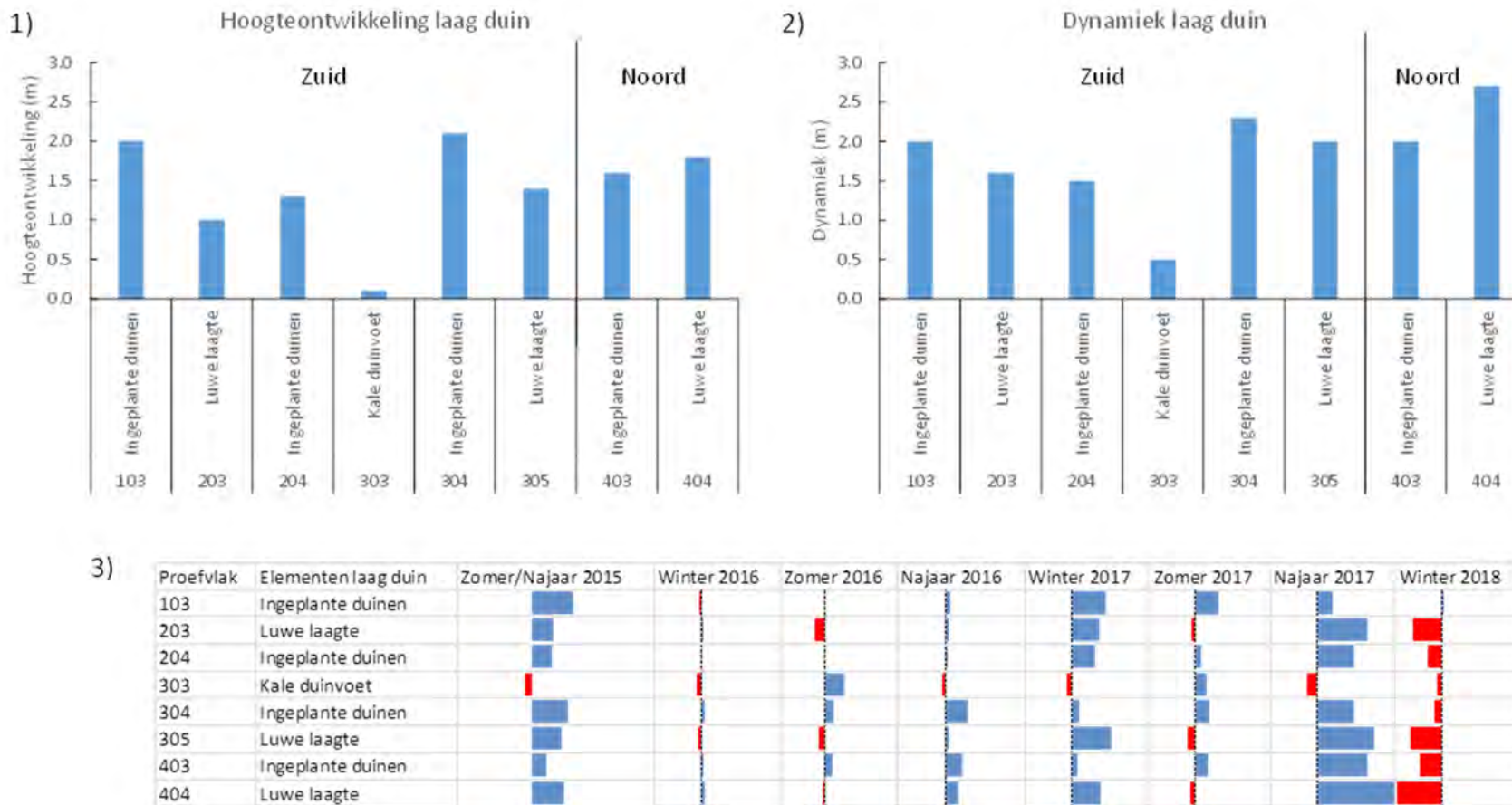
Afbeelding VII.7 Hoogteontwikkeling en dynamiek van mei 2015 tot maart 2018 in het element oever: 1) hoogteontwikkeling; 2) dynamiek; 3) zandwinst (blauw) en -verlies (rood) gedurende de seizoenen. Zomer/najaar: mei-december; winter (december-maart/april); voorjaar/zomer seizoen (maart/april-augustus/september); najaar (augustus/september-december). In afbeelding 1 en 2 staan de bijbehorende proefvlaknummers en geografische locatie binnen de HD onderaan elk profiel.



Afbeelding VII.8 Hoogteontwikkeling en dynamiek van mei 2015 tot maart 2018 in het element struweel): 1) hoogteontwikkeling; 2) dynamiek; 3) zandwinst (blauw) en -verlies (rood) gedurende de seizoenen. Zomer/najaar: mei-december; winter (december-maart/april); voorjaar/zomer seizoen (maart/april-augustus/september); najaar (augustus/september-december). In afbeelding 1 en 2 staan de bijbehorende proefvlaknummers en geografische locatie binnen de HD onderaan elk profiel.

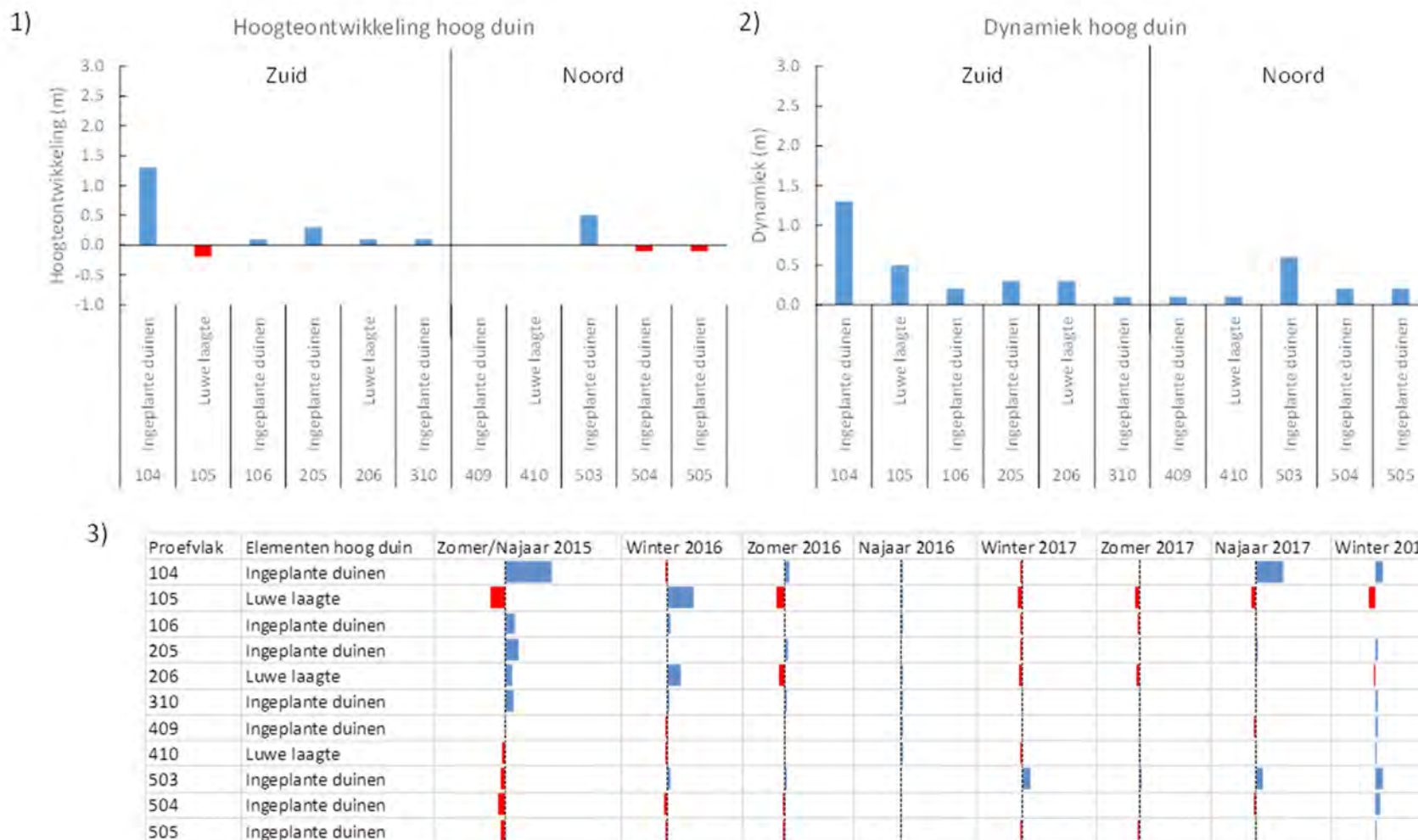


Afbeelding VII.9 Hoogteontwikkeling en dynamiek van mei 2015 tot maart 2018 op het lage duin: 1) hoogteontwikkeling; 2) dynamiek; 3) zandwinst (blauw) en -verlies (rood) gedurende de seizoenen. Zomer/najaar: mei-december; winter (december-maart/april); voorjaar/zomer seizoen (maart/april-augustus/september); najaar (augustus/september-december). In afbeelding 1 en 2 staan de bijbehorende proefvlaknummers en geografische locatie binnen de HD onderaan elk profiel.



Afbeelding VII.10 Hoogteontwikkeling en dynamiek van mei 2015 tot maart 2018 op het hoge duin: 1) hoogteontwikkeling; 2) dynamiek; 3) zandwinst (blauw) en -verlies (rood) gedurende de seizoenen.

Zomer/najaar: mei-december; winter (december-maart/april); voorjaar/zomer seizoen (maart/april-augustus/september); najaar (augustus/september-december). In deelfiguren 1 en 2 staan de bijbehorende proefvlaknummers en geografische locatie binnen de HD onderaan elk profiel.



Bijlage IX: Vergelijking en toepassing andere locaties

Het EcoShape-projectteam heeft in een gezamenlijke werksessie besproken welke aanlegprojecten en referentiegebieden zich lenen voor een vergelijkende analyse met betrekking tot morfologie, en interactie met de ecologie en beleving. Dit heeft geresulteerd in een selectie van zes gebieden met zandige versterkingen, waarvan de Hondsbossche Duinen (HD) er één is. Daarnaast worden drie strand-/duingebieden die op natuurlijke wijze zijn ontstaan, als referentie in de vergelijking betrokken, met name voor de snelheid van ontwikkelingen in een natuurlijke situatie.

Voor de vergelijking is een structuur (in tabelvorm) opgezet, waarin de uiterlijke fysieke kenmerken en enkele kengetallen van de geselecteerde gebieden staan weergegeven, zodat er een overzicht is van de overeenkomsten en verschillen (tabel 9.1 in hoofdrapport). Gescheiden voor de drie onderzoekthema's is vervolgens voor verschillende facetten geïnventariseerd hoe de situatie in het betreffende gebied is. Per thema zijn er twee tabellen (IX.1 – IX.6): één gericht op de 'voorspelbaarheid' en één op de 'stuurbaarheid' van ontwikkelingen.

Voor thema's rondom morfologie en vegetatieontwikkeling zijn de gekozen facetten: snelheid, dynamiek, natuurlijkheid en duurzaamheid. Bij dat laatste gaat het voor de morfologie om het behoud van het zandige lichaam, voor de ecologie om de robuustheid van de gecreëerde ecologische waarden en meer specifiek – voor zover gerealiseerd of in potentie haalbaar – de Natura 2000-waarden. De facetten, die bij het thema beleving worden onderzocht, zijn: veiligheid, hinder, recreatieve en landschappelijke waarden, en de kunstwaarde van het gebied, waartoe ook de vindingrijkheid van het ontwerp ('ingenuity') behoort. De invulling is gebaseerd op de resultaten van het HD-innovatieproject en relevante publicaties over de andere gebieden.

Door aan de cellen van onderstaande tabellen – zo veel mogelijk – een bepaalde achtergrondkleur toe te kennen wordt aangegeven hoe een project/gebied scoort op de verschillende aspecten (zie de kolomtitels); dit gescheiden voor de vrij abstracte criteria 'voorspelbaarheid' en 'stuurbaarheid'. Die toekenning is op basis van 'expert judgement' gedaan. Voor wat betreft voorspelbaarheid spelen bij morfologie en vegetatieontwikkeling de begrippen systeemgedrag en systeembekendheid een cruciale rol. Bij het thema beleving staat de vraag centraal of de subjectieve beleving en waardering overeenkomt met het doel van het gebied (inclusief eventueel genomen maatregelen). Vanwege de verschillende vraagstelling is voor de thema's morfologie en vegetatieontwikkeling een andere legenda gebruikt dan voor het thema beleving. Voor wat betreft stuurbaarheid gaat het bij alle drie de thema's om de vraag of er geëigende maatregelen zijn om de ontwikkeling en beleving van het gebied in de gewenste richting te kunnen sturen, nog ongeacht of dat wenselijk of nodig is.

De tabellen zijn op zichzelf te lezen. Voor de precieze invulling van de vergelijkingscriteria zie onderstaand kader. Ter verduidelijking, dus aanvullend op de tabellen, worden de gebieden in paragraaf 9.2 verder beschreven en wordt ieder aangelegd gebied met minstens één ander gebied vergeleken.

Tabel IX.1 **Voorspelbaarheid** morfologische ontwikkelingen (thema B; morfologie)

Gebied	Snelheid	Dynamiek	Natuurlijkheid	Duurzaamheid ontwerp
Zandige versterking				
Prins Hendrikzanddijk	Nvt (nog in aanbouw)	Nvt (nog in aanbouw)	Nvt (nog in aanbouw)	Nvt (nog in aanbouw)
Hondsbossche Duinen	530.000 m3 in 2 jaar 10 maanden in duin gewaaid; 33 m3/m/jaar; ongeveer gelijk aan verwachting initiële ontwikkeling.	Aan duinvoet en zeewaartse zijde van duin is de meeste dynamiek, tot zeewaarts deel bovenop kruin.	Bij aanleg: natuurlijk beeld door variatie; ontwikkeling: natuurlijk door wind-gedreven processen; versterkt door menselijk ingrijpen (bv. plaatsen wilgenschermen); gelijk aan verwachting; ontstaan duinregel aan zeezijde gaat sneller dan verwacht. Harde begrenzing aan landzijde (oude zeedijk) is niet natuurlijk.	Profiel blijft bestaan/zand behouden. Vóór aangelegd duin ontstaat nieuwe duinregel. Zandverlies landwaarts door eolisch transport minder dan verwacht; minder doorstuif over duin heen.
Kennemerstrand en -duinen	Langzame aanlanding van door <i>longshore</i> getransporteerd zand vanuit het zuiden als gevolg van aanleg havenpielen IJmuiden, fase 1: 1872, fase 2: 1962-67	Langzame aanzanding.	Semi-natuurlijk (alleen in het zuiden is de zeereep natuurlijk)	Ontwerp ligt vast. De zeereep zal langzaam aanzanden.
Zandmotor (incl. eerdere versterking)	Vormverandering aanvankelijk sneller dan gedacht, daarna langzamer; wel volgens verwacht patroon. Oorzaak versnelling: waarschijnlijk twee uitzonderlijke winterstormen; boven water: langzame veranderingen.	Onder water zeer groot; erosieve kop in brandingszone; veranderende zandbanken; dichtstuiwend meer en lagune; klifvorming aan de zeezijde; duinaangroei vertraagd (door opvang van eolisch mobiel zand in duinmeer en lagune); er vormt zich een nieuwe zeereep op de voet van de kustversterking 2008/09. Rest van aangelegd duin is in eerste jaren weinig dynamisch.	Aanleiding voor aanleg is compleet niet natuurlijk; natuurlijke processen creëren een gevarieerde kustlijn; eroderend hoogoplopend strandprofiel, een spit, een uitbouwende strandvlakte.	Na vier jaar nog 80% gesuppleerd zand binnen aanlegcontouren; als geheel zal de ZM tweemaal langer meegaan dan verwacht.
Spanjaardsduin	[wens is om ontwerp aan te passen: verlagen bodem en de hellingen van de vallei etc.; aanleg is te hoog geweest]	Dynamiek van het strand: doorgaande erosie als gebruikelijk op dit kustgedeelte. Eolisch transport vanaf eerste dag van de aanleg; duurt voort en wordt inmiddels door helmaanplant op niet eerder beplante gebieden verder beteugeld.	Natuurlijkheid van de zeereep wordt groter over de tijd. De oude zeereep zal na de ingreep natuurlijker eruit zien.	Na beoogde ingrepen op lange termijn naar verwachting duurzaam.
Waterdunen	Vanaf 2018 getijdewerking; eb en vloed bepalen dan de morfologie	Omdat het debiet van de doorstroomopening relatief klein is, zal er weinig erosie optreden. Wellicht treedt beperkte golferosie op onder invloed van windgolven.	Lokaal aanwezig; maar beperkt door veelheid aan functies.	Robuust: plantermijn waterkering 200 jaar; rekening houdend met zeespiegelstijging

Vervolg tabel IX.1

Gebied	Snelheid	Dynamiek	Natuurlijkheid	Duurzaamheid ontwerp
Natuurgebied				
Bornrif	Aanlanding is cyclisch proces: tientallen jaren; initieel geeft de aanlanding een grote, bijna instantane, zeewaartse sprong van de kustlijn		Volledig natuurlijk	Nvt (natuurlijk proces); toekomst afhankelijk van onderhoud Basiskustlijn (BKL)
De Hors	natuurlijke aanlanding; vanaf 1749	Toplaag is zeer dynamisch, komt met stormvloed onder water te staan, waardoor duintjes geplaneerd worden. Embryonale duintjes herstellen zich daarna snel. Aan de zeezijde onderhevig door geulerosie van het Molengat	Volledig natuurlijk	Nvt (natuurlijk proces); is robuust
'Groene stranden' (generiek)				
Legenda (vanaf aanleg tot 2018)				
	geen informatie			
	waarnemingen zijn goed verklaarbaar op basis van de kenmerken en bekende invloedfactoren; systeembegrip (van relevant onderdeel) is groot en/of systeem gedraagt zich eerder deterministisch => goede voorspelbaarheid			
	waarnemingen zijn (enigszins) verklaarbaar op basis van de kenmerken en bekende invloedfactoren; systeembegrip (van relevant onderdeel) is aanwezig en/of systeem gedraagt zich eerder chaotisch => matige voorspelbaarheid			
	waarnemingen zijn niet verklaarbaar op basis van de kenmerken en/of bekende invloedfactoren; systeembegrip (van relevant onderdeel) is gebrekkig en/of systeem gedraagt zich stochastisch => slechte voorspelbaarheid			
	naar verwachting; aanleg nog niet (helemaal) gerealiseerd			

Tabel IX.2 **Stuurbaarheid** morfologische ontwikkelingen (thema B; morfologie)

Gebied	Snelheid	Dynamiek	Natuurlijkheid	Duurzaamheid ontwerp
Zandige versterking				
Prins Hendrikzanddijk	Natuurlijke morfologische ontwikkelingen naar verwachting zeewaarts van de zanddijk beperkt (noodzaak vanuit veiligheidsopgave en polderbemaling); Snelheid van erosie langs de onderwateroever nog onbekend.	Boven water naar verwachting tamelijk laag.	???	Maatregelen als helminplant zijn genomen om zand vast te houden. Resultaten vooralsnog onbekend
Hondsbossche Duinen (alleen boven water)	Initiële verstuiving is af te remmen middels papierpulp, doorstuiving af te remmen middels vegetatie, wilgenschermen en steil/hoog duinprofiel. NB Bij de HD is gestuurd op veiligheid en beperken van hinder (ontwerpeis); de hiervoor genoemde maatregelen zijn genomen.	Te sturen middels wilgenschermen/-takken; aanplant van helm/struweel; luwe laagtes (onbeplante delen). Op kruin van hoog duin is zanddynamiek moeilijk te stimuleren.	Door initiële morfologische variatie aan te brengen, ziet het duin er enigszins natuurlijk uit, vooral aan zeezijde. Op kruin van hoog duin en plekken met geringere dynamiek is natuurlijkheid moeilijk te creëren.	Is af te wachten. Erosie door wind en golfoploop kan worden tegengegaan middels wilgenschermen vóór duinvoet, en na verdwijnen of volstuiven nieuwe wilgenschermen zeewaarts erbij te plaatsen.
Kennemerstrand en -duinen	Substantiële morfologische ontwikkeling is inmiddels tot stilstand gekomen.	Beperkt aanwezig; Alleen zeereep vangt nog zand, waarvan een klein deel in suspensie doorstuift.	Vóór de zeereep beperkte natuurlijkheid door hoge recreatedruk. De oude zeereep vertoont kalkrijke kwel in de richting van het oude strand, waardoor zeer waardevolle vochtige duinvallei-vegetaties zijn ontstaan.	
Zandmotor (incl. eerdere versterking)			Gekozen ontwerp ZM ("neus") is niet natuurlijk voor de locatie; maar: de natuur werkt zelf in de richting van meer natuurlijkheid	?
Spanjaardsduin	Aanpassen ontwerp. Zie verder bij dynamiek	Aanpassen ontwerp. Eolisch zandtransport is tegen te gaan (en gebeurt ook) door helmaanplant.		
Waterdunen		afhankelijk van gebruik getijdenduikers met schuiven		groot: door getijdenduikers met schuiven
Natuurgebied				
Bornrif				
De Hors				
'Groene stranden' (generiek)				
Legenda: (vanaf aanleg tot 2018)	geen informatie maatregelen werken (naar verwachting) goed; in lijn met natuurlijke omstandigheden maatregelen werken (naar verwachting) matig; ondergeschikt aan natuurlijke omstandigheden geen maatregelen mogelijk; genomen maatregelen werken (naar verwachting) niet naar verwachting; aanleg nog niet gerealiseerd			

Tabel IX.3 **Voorspelbaarheid** ecologische ontwikkelingen (thema A; interactie morfologie met vegetatie)

Gebied	Snelheid	Dynamiek	Natuurlijkheid	Natura 2000-waarden	Duurzaamheid waarden
Zandige versterking					
Prins Hendrikzanddijk	Gestaag (0-15 jaar); kwelders langzaam aanleg op zand; monitoring is voorzien tot 2024 (6 jaar vanaf aanleg).	In duinen laag (na aanvankelijk invang van zand door helm; afhankelijk van beschikbaarheid zand); in kwelders laag doordat deze relatief hoog worden aangelegd.	Momenteel onduidelijk, afhankelijk hoe het gebied zich ontwikkelt (duin vs. kwelder).	Aanwezig permanent overstromde zandbanken (H1110), slik- en zandplaten (H1140); potentie voor embryonale duinen (H2110), witte duinen (H2120), grijze duinen (H2130), duindoornstruweel (H2160), zilte pionier-begroeiingen (H1310), slijkgrasvelden (H1320), schorren en zilte graslanden (H1330).	Verwachting: als de vegetatie aanslaat redelijk robuust door de oriëntatie van het gebied.
Hondsbosse Duinen (alleen deel boven water)	Lokaal verschillend en langzamer dan verwacht; nieuwe soorten beginnen in gebied te verschijnen; de verstreken tijd sinds aanleg is te kort om uitspraken te doen over lange-termijn processen.	In eerste instantie hoog door invangen zand in ingeplante duinen, m.n. lage duinen; in embryonale-duinzone hoger dan verwacht door zandinvang; hoog duin en in struweelzone minder dynamiek dan verwacht. Vitaliteit helm is afhankelijk van dynamiek.	Overgang van ingeplant duin naar duingebied met helm zonder aanplantpatroon is in 3e jaar zichtbaar in de toegenomen bedekking. Vitaliteit planten is afhankelijk van dynamiek/nabijheid zandbron. Langzame ontwikkeling naar meer diversiteit.	Embryonale duinen (H2110) en duindoornstruwelen (H2160) aanwezig; potentie voor witte duinen (H2120), vochtige duinvallei (H2190), en op de lange termijn grijze duinen (H2130).	Lokaal verschillend en afhankelijk van beheers- ingrepen; lagune en duinvallei stuiven dicht; kans op vestiging van riet in duinvallei en dominantie van die soort.
Kennemerstrand en -duinen	Gestaag, 10-20 jaar, noorden (aangelegd) sneller dan zuiden (natuur eigen gang). Eerste embryonale duinen in zuiden na 7 jaar.	In eerste instantie hoog door aanwezigheid slufster (inbreng van zout water), door ontstaan lage zeereep (via embryonale duinen) is dynamiek lager geworden doordat de slufster is ingestoven en verdwenen.	Lokaal aanwezig; in ieder geval in 1e duinenrij en duinvallei.	Embryonale duinen (H2110) ontwikkelen naar lage zeereep, witte duinen (H2120), vochtige duinvallei (H2190), groenknolorchis (H1903), duindoornstruwelen (H2160), kruipwilgstruwelen (H2170); potentie voor grijze duinen (H2130).	Beheer nodig voor behoud vochtige duinvallei; kans op vestiging van riet in duinvallei en dominantie van die soort.
Zandmotor (incl. eerdere versterking)	Eerste vier jaar langzaam, snel vanaf 2015 (sneller dan natuurlijke kust). Aan de randen van de lagune en op de flood tidal delta heeft zich een waddenmilieu gevestigd.	Te hoog in branding (structurele erosie dus geen vestiging van planten); hoog doordat het duinmeer dichtstuift (gunstige omstandigheden vegetatie-ontwikkeling) en aan de rand van eerste duinenrij.	Hoog: ontstaan van duinvegetatie geheel op eigen kracht (embryonale duinen). Hoger op Westlandse deel door niet schoon maken van strand.	Permanent overstromde zandbanken (H1110), embryonale duinen (H2110) en witte duinen (H2120).	Aanwezig, maar uiteindelijk gering vanwege tijdelijk karakter van Zandmotor en door berijden strand.
Spanjaardsduin	Gestaag, 10-20 jaar; langzamer dan verwacht aangezien abiotische situatie nog niet optimaal is; geldt m.n. voor duinvallei, mede door initiële aanleghoogte van de valleibodem die hoger was dan ontworpen: helm kwam op.	Stuivend zand vanaf het strand, maar dynamiek neemt af door maatregelen om stuivend zand naar vallei te beperken.	Eerste jaren laag, en natuurlijke ontwikkeling verloopt langzamer dan verwacht (wel embryonale duinen), maar randvoorwaarden voor de ontwikkeling van een vochtige duinvallei zijn nog niet aanwezig.	Doel: vochtige duinvallei (H2190), groenknolorchis (H1903), witte duinen (H2120) en grijze duinen (H2130).	Enkeel ontwikkeld zeer robuust. Beheer noodzakelijk om duinvallei te behouden; kans op vestiging van riet in duinvallei en dominantie van die soort.
Waterduinen	Lokaal verschillend: verwachting relatief snel voor kweldervegetatie, langzamer in duinen.	In kwelder gebied hoog door invloed getijden via getijdenduiker.	Zie 'dynamiek'; beperkt door recreatievoorzieningen.	Embryonale duinen (H2110), witte duinen (H2120), potentieel grijze duinen (H2130), zilte pionier-begroeiing (H1310) en schorren en zilte graslanden (H1330).	Beheer nodig voor behoud kwelders; duinen robuust.

Vervolg tabel IX.3

Gebied	Snelheid	Dynamiek	Natuurlijkheid	Natura 2000-waarden	Duurzaamheid waarden
Natuurgebied					
Bornrif, Ameland	Gestaag, specifieke duin en/of groene-strandvegetatie verschijnt binnen 10 jaar.	Voor groene-stranddynamiek zie 'groene stranden'; duinen vertonen veel variatie in oppervlakte (invloed stormen).	(Van nature) hoog	Embryonale duinen (H2110), witte duinen (H2120), grijze duinen (H2130), vochtige duinvallei (H2190), zilte pionierbegroeiing (H1310) en schorren en zilte graslanden (H1330).	Robuust, maar hangt af van successie (meer successie is afname biodiversiteit); bij morfologische ontwikkeling van de kust door erosie kan overstuiving negatief werken.
De Hors, Texel	Snel, vanaf 1980 duinontwikkeling waarbij binnen 5 jaar 7 m hoge duinen zijn ontstaan.	Hoog. Dit hangt ervan af of embryonale duinen standhouden na stormen (erosie afhankelijk van stormintensiteit).	(van nature) hoog	Embryonale duinen (H2110), witte duinen (H2120), grijze duinen (H2130) en vochtige duinvallei (H2190).	Robuust: kustuitbreiding is continu proces sinds 18e eeuw (ruimte is aanwezig).
Groene stranden (generiek)	Gestaag, specifieke groene-strandvegetatie verschijnt binnen 10 jaar.	Groene stranden kunnen max. 2,5 cm overstuiving per jaar ondergaan, zanddepositie (van o.a. eroderende embryonale duinen) heeft dus een negatief effect, maar embryonale duinen beschermen ook tegen overstroming en overstuiving van de vegetatie.	(Van nature) hoog	Vochtige duinvallei (H2190) en zilte pionierbegroeiing (H1310) en schorren en zilte graslanden (H1330).	Robuust, maar hangt af van successie (meer successie is afname biodiversiteit); bij morfologische ontwikkeling van de kust door erosie kan overstuiving negatief werken.
Legenda (vanaf aanleg tot 2018)	<p>geen informatie</p> <p>waarnemingen zijn goed verklaarbaar op basis van de kenmerken en bekende invloedfactoren; systeembegrip (van relevant onderdeel) is groot en/of systeem gedraagt zich eerder deterministisch => goede voorspelbaarheid</p> <p>waarnemingen zijn (enigszins) verklaarbaar op basis van de kenmerken en bekende invloedfactoren; systeembegrip (van relevant onderdeel) is aanwezig en/of systeem gedraagt zich eerder chaotisch => matige voorspelbaarheid</p> <p>waarnemingen zijn niet verklaarbaar op basis van de kenmerken en/of bekende invloedfactoren; systeembegrip (van relevant onderdeel) is gebrekkig en/of systeem gedraagt zich stochastisch => slechte voorspelbaarheid</p> <p>naar verwachting; aanleg nog niet (helemaal) gerealiseerd</p>				

Tabel IX.4 **Stuurbaarheid** ecologische ontwikkelingen (thema A; interactie morfologie met vegetatie)

Gebied	Snelheid	Dynamiek	Natuurlijkheid	Natura 2000-waarden	Duurzaamheid waarden
Zandige versterking					
Prins Hendrikzanddijk	Hoogte-afhankelijk (bij aanleg); uit projectplan blijkt dat kwelders relatief hoog liggen voor ontwikkeling van alle kwelderzones. Aanbrengen van slib faciliteert kwelderontwikkeling in tegenstelling tot kaal zand.	Verminderen dynamiek door aanplant helmgras, en plaatsen rietschermen tegen verstuing ; rijshoutendammen voor bescherming (invang sedimentatie) kwelders.	Lager opspuiten zand en aanleg rijshouten dammen voor betere kwelderontwikkeling (toename biodiversiteit).	Lager opspuiten zand en aanleg rijshouten dammen voor betere kwelderontwikkeling (toename biodiversiteit); inplanten vegetatie.	Onderhoud aan rijshouten dammen.
Hondsbossche Duinen (alleen deel boven water)	Inplant helm/biestarwegras (BTG)/struweel; wilgenschermen; inbreng zaden duinvallei.	Variëren met (de bedekking van) soorten, zoals helm en BTG waarmee zandinvang en erosie worden gestuurd; mogelijk duinprofiel.	Beheer ter voorkoming van riet in duinvallei.	Gebaseerd op aanwezigheid typische soorten is het stuurbaar, duindoorn verwijderen buiten struweelzone, structurele maatregelen gericht op de toename van zoetwaterbel in duinvallei.	Ter bescherming van het instuiven van de duinvallei in mozaiekpatroon vallei afgraven. Witte en grijze duinen natuur haar gang laten gaan (laissez faire management).
Kennemerstrand en -duinen	Vochtige duinvallei: inbreng van zaden.	Verstard gebied; openen slufteer zorgt voor aanvoer zout en lokale erosie en sedimentatie met veranderende vegetatie.	In vochtige duinvallei drinkwaterwinning stoppen (uitgevoerd).	In vochtige duinvallei drinkwaterwinning stoppen (huidig beleid) en maaien (huidig beleid).	Struweel in duinvallei verwijderen en maaien (huidig beleid).
Zandmotor; (incl. eerdere versterking)	Voor vegetatie toename zand transport bevorderen door beach armour (i.e. schelpen en vastgekoekt zand) verwijderen, inplanten vegetatie.	Door de hogere ligging is er minder dynamiek welke goed voor vorming van embryonale duinen (minder effect van stormen). Geen maatregelen nodig.	Inplanten vegetatie.	Geen maatregelen nodig en niet stuurbaar.	Als erosie de overhand krijgt: suppleren (na bijv. 20 jaar).
Spanjaardsduin	De initiële aanleg had lager moeten zijn, nu afgraven om ontwikkeling duinvallei te faciliteren. Eventueel inbrengen van zaden in duinvallei.	Tegengaan instuif in duinvallei via helmaanplant en wilgenschermen; afgraven maaiveld duinvallei voor toename bodemvochtigheid duinvallei.	Inplanten vegetatie (helm, BTG) duin; zaden inbrengen duinvallei.	Duindoorn verwijderen (buiten struweel-zone); niet te veel sediment opspuiten (grondwaterstand voor duinvallei); uitsteken helmgras (in duinvallei).	Zonder maatregelen geen behoud van duinvallei (op lange termijn), voorkomen erosie (zeereep) en doorstuiving van zand.
Waterduinen	Geholpen door inplant duinen (uitgevoerd).	Gebruik duikers getijdenwerking (uitgevoerd); stuifschermen strand en duin.	Inplanten vegetatie; zaden inbrengen kwelder materiaal (zaden).	Geulen onderhouden voor getijdenwerking (tegengaan overmatige sedimentatie).	Onderhoud geulen en duiker, voorkomen doorstuiving van zand in achterliggend gebied (kwelders).

Vervolg tabel IX.4

Gebied	Snelheid	Dynamiek	Natuurlijkheid	Natura 2000-waarden	Duurzaamheid waarden
Natuurgebied					
Bornrif	Nvt	Nvt	Noodzakelijk beheer (extensief)	Eventueel: suppleties van westkust noodzakelijk voor zandaanbod, maaien duinvalleien.	Afhankelijk van beheer
De Hors	Nvt	Nvt	Noodzakelijk beheer (extensief)	Huidig beleid: maaien duinvalleien.	Afhankelijk van beheer
Groene stranden (generiek)	Nvt	Nvt	Noodzakelijk beheer (extensief)	Eventueel: erosie tegengaan door suppleties, maaien.	Afhankelijk van beheer
Legenda: (vanaf aanleg tot 2018)		geen informatie			
		maatregelen werken (naar verwachting) goed; in lijn met natuurlijke omstandigheden			
		maatregelen werken (naar verwachting) matig; ondergeschikt aan natuurlijke omstandigheden			
		geen maatregelen mogelijk; genomen maatregelen werken (naar verwachting) niet			

Tabel IX.5 **Voorspelbaarheid** beleving (thema C; beleving)

Gebied	Veiligheid	Hinder	Recreatieve waarde	Landschappelijke waarde	Kunstwaarde (ook: Ingenuity)
Zandige versterking Prins Hendrikzanddijk	Onbekend	Er wordt geen of minimale zandverstuiving verwacht; toch zijn hier zorgen over. Ook zijn er zorgen dat er zoute kwel optreedt; daartegen worden maatregelen genomen.	Met de geplande voorzieningen (bv. waarnemingshut) wordt ingezet op de verhoging van de recreatieve waarde, De gebruikers zijn echter gehecht aan de huidige situatie (strandje en bovenal vrije toegankelijkheid).	Onbekend; de discussie of de voorziene aanleg past op deze plaats, de grens met de Waddenzee, is in de openbaarheid gevoerd.	Hoewel het ontwerp wordt gepresenteerd als innovatieve 'Building with Nature' oplossing, wordt het ervaren als niet effectief voor het bewerkstelligen van 'Waddenzeenatuur'.
Hondsbosche Duinen (alleen deel boven water)	Minder vertrouwen in kustveiligheid doordat reeds snel na aanleg (in 2018) een extra zandsuppletie moest worden uitgevoerd.	Tijdens de aanlegfase was er lichte hinder door stuivend zand over de dijk. Die is door de aannemer bestreden middels papierpulp. . Natuurbeheerders en bewoners hebben zorgen over veranderingen in saliniteit van het grondwater.	Sinds de aanleg komen meer verschillende typen recreanten op het gebied af (fietsers, wandelaars, paardrijdersetc.) Door de aanleg is het niet meer mogelijk om met de auto naar de dijk te rijden en vanaf de dijk van de zee te genieten. Een deel van de inwoners vindt dit jammer.	Er is een compleet nieuw landschap ontstaan. De weidsheid van het gebied wordt gewaardeerd, al vinden de omwonenden het jammer dat het uitzicht vanaf de dijk op de zee verloren is gegaan.	Het project wordt gewaardeerd als innovatieve methode van kustversterking (nieuw duingebied i.p.v. dijkverzwaring). Buitenlandse gasten betrokken bij kustbeheer zijn onder de indruk en bezoeken het gebied graag.
Kennemerstrand en -duinen	Onbekend	Niet aanwezig [er waren ook geen zorgen vooraf.? Zo ja, onbekend van maken?]	Populair recreatiegebied. Een aantal recreatieve voorzieningen zijn tegengehouden om de natuur te beschermen. De voorziene ruimtelijke verdeling (natuurontwikkeling in het zuiden en recreatie in het midden bij het duinmeer) pakte andersom uit. [geografisch ????]	Gebied wordt door natuurliefhebbers gewaardeerd vanwege die soortenrijke en bijzondere H2190 vegetaties die zijn ontstaan sinds het op gang komen van kalkrijke kwel uit de bestaande duinen. [ik heb gelezen dat dit een onverwacht, dus niet voorspeld, effect is geweest] dus eigenlijk geel, net als cel re hiernaast	Omdat de hoge landschappelijke en natuurwaarden pas in een later stadium bleken, wordt dit gebied door onderzoekers gezien als een belangrijke referentie voor andere, mogelijk gelijksoortige ontwikkelingen, zoals bijvoorbeeld de Zandmotor.
Zandmotor (ZM); (incl. eerdere versterking)	Tijdelijk drijfzand na stormen bij het duinmeer en de lagune zorgden voor onveilige situaties. De stroming zorgde voor vrees voor gevaarlijke zwemsituaties.	Sporadisch zand op fietspad (op de kustversterking van 2008-09) [Daarover waren ook zorgen?]	Recreatie is toegenomen door aanleg zandmotor. Toename hondenuitlaters, wandelaars en surfers. Hotspot voor kitesurfers. Afnome badgasten door grote afstand vanaf het parkeerterrein.	Na veel weerstand wil men nu niet meer zonder. Men waardeert dus het nieuwe landschap (dat uniek is langs de Hollandse kust), maar is onwennig tegenover het tijdelijke karakter ervan. Er wordt gevraagd naar uitdiepen lagune en suppletie van de Zandmotor.	Er komen veel binnenlandse en buitenlandse gasten naar de Zandmotor om dit unieke project te bekijken. Internationaal zijn kustbeheerders geïnteresseerd om ook een zandmotor aan te leggen.
Spanjaardsduin	Onbekend.	Er is de nodige stuifhinder geweest tot 1-2 jaar na aanleg. Er is stuifoverlast geweest op de achterliggende campings, en de strandopgangen stuiven onder.	Het Spanjaardsduin zelf is niet toegankelijk voor publiek. De recreant beleeft het terrein hierdoor uitsluitend vanaf de strandopgangen en het strand. Deze toegang heeft zich ontwikkeld tot een veel bezochte strandslag.	Het publiek en de betrokken partijen (o.a. horeca) waarderen de weidsheid van het gebied sinds de aanleg van SD. De ontwikkeling van de vochtige duinvallei komt echter maar traag op gang.	Onbekend

Vervolg tabel IX.5

Gebied	Veiligheid	Hinder	Recreatieve waarde	Landschappelijke waarde	Kunstwaarde (ook: Ingenuity)
Natuurgebied					
Waterdunen	Onbekend	Ontoegankelijkheid dijk en achterliggend gebied tijdens aanleg.	Recreatieve waarde wordt naar verwachting hoog als het ontwikkelde gebied "rijper" wordt.	Landschappelijke waarde is toegenomen door grotere variatie. Ook buitendijks duingebiedje (Zwarte Polder) is tegelijk onderhanden genomen en opgeknapt.	Project wordt niet door iedereen ervaren als zeer bijzonder of innoverend, recreatie lijkt de overhand te hebben in het ontwerp.
Bornrif	Onbekend	Natuurlijke ontwikkeling van zand- en waterpartijen zorgt voor stankoverlast door blubber en gevaarlijke situaties door drijfzand.	De inwoners van Ballum vinden het jammer dat hun badstrand verloren is gegaan.	De strandhaak biedt een uniek landschap.	De Strandhaak toont enige overeenkomsten met de Zandmotor. Het wordt als voorbeeld gezien hoe een gebied zich natuurlijk ontwikkeld na een megasuppletie.
De Hors	Er zijn voor zover bekend geen zorgen over de veiligheid. Het gebied biedt juist extra bescherming tegen overstroming door golven te dempen.	Onbekend	De Hors is een N2000 gebied en wordt gebruikt voor natuurrecreatie. Desalniettemin zijn de aantallen recreanten laag voor zo'n mooi gebied.	De Hors is een weids natuurgebied waar je ziet hoe nieuwe duinen op natuurlijke wijze ontstaan, en heeft daardoor - en mede door de schaal - grote landschappelijke waarde.	Belangrijk ontwikkelingsmodel voor aanlandende zandplaten: van groot academisch belang.
Groene stranden (generiek)	Er zijn voor zover bekend geen zorgen over de veiligheid. Groene stranden bieden juist extra bescherming tegen overstroming door golven te dempen.	Onbekend	Groene stranden zijn zeer waardevolle N2000 gebieden en worden gepromoot voor wandelrecreatie. Desalniettemin zijn de aantallen recreanten laag voor zo'n mooi gebied.	Hoge landschappelijke waarde. Een groen strand ontstaat op een zich zeewaarts natuurlijk uitbreidende strandvlakte. Dat gebeurt op slechts enkele plekken op de NL kust.	Belangrijk ontwikkelingsmodel voor aanlandende zandplaten: van groot academisch belang.
Legenda (vanaf aanleg tot 2018)					
					goed; waardering komt overeen met doel van gebied/getroffen maatregelen; bv. recreatie wordt hoger gewaardeerd als een gebied ook toegankelijk is voor recreanten.
					matig; waardering komt deels overeen met doel van gebied/getroffen maatregelen.
					slecht; waardering komt niet overeen met doel gebied/getroffen maatregelen; positief: hoge waardering zonder maatregelen; negatief: geen waardering ondanks maatregelen.

Tabel IX.6 **Stuurbaarheid** beleving (thema C; beleving)

Gebied	Veiligheid	Hinder	Recreatieve waarde	Landschappelijke waarde	Kunstwaarde (ook: Ingenuity)
Zandige versterking Prins Hendrikzanddijk	Nvt (nog in aanbouw)	Inplant met helm om verstuiwing te voorkomen. Monitoring van grondwater voor, tijdens en na realisatie om risico op zoute kwel in kaart te brengen (metingen ieder kwartaal bespreken met grondeigenaren. Op de site van de Prins Hendrikzanddijk worden mogelijke risico's toegelicht.	In het ontwerp is een fietspad opgenomen om recreatie in het gebied te faciliteren. Ook wordt er een uitzichtpunt gerealiseerd, om o.a. de aanleg te kunnen bekijken. [Is waar, maar punt hier is dat de mensen het strandje meer missen dan het nw fietspad hen kan geven. Het is natuurlijk nog te vroeg om te zien of dat straks verandert.]	Als onderdeel van de ruimtelijke inpassing van de zandige dijk zullen natuurlijke elementen van de Waddenzee worden meegenomen in het ontwerp. Echter wordt door de helminplant in het duin en de te hoge aanleg van de kwelder niet de natuurlijke dynamiek van het waddengebied verwacht. [korter maken: de beleving is: je kunt dit wel bedenken maar het hoort niet hier, het wordt niks – even sterk uitgedrukt; kun je dit sturen? Alleen de realiteit zal straks kunnen overtuigen, en die kennen we nog niet]	De Prins Hendrikzanddijk wordt gepresenteerd als een 'Building with Nature' oplossing, om het natuurlijke karakter te benadrukken. [wordt veelal als té kunstmatig project ervaren in negatieve zin; hoort hier niet.]
Hondsbossche Duinen (alleen deel boven water)	Informeren van bewoners en bezoekers hoe zandsuppleties helpen tegen erosie en overstroming (via folder, site of in bezoekerscentrum). Nu denkt men 'het aangebrachte zand spoelt weer weg, dus het ontwerp is niet effectief en een verspilling van geld'.	Door inplant van helm en wilgenschermen is de hinder door stuifzand in de jaren na aanleg voorkomen. De meeste hinder van stuifzand is op de fietspaden en de strandslagen, waar het zand (zeker de eerste twee jaar) regelmatig moest worden verwijderd.	In het ontwerp is rekening gehouden met recreatiemogelijkheden. Zo zijn er nieuwe fiets- en wandelroutes aangelegd, is er een uitkijlduin gemaakt en is er een nieuwe tentoonstelling gekomen in het bezoekerscentrum Zand tegen Zee.	Ontwikkeling van natuur en verschillende habitats waren onderdeel van het ontwerp. Maatregelen zoals planten van helm en plaatsen wilgenschermen dragen bij aan de ontwikkeling van de duinen. Door de oude HPZ te behouden is de culturele waarde van de zeedijk niet verloren gegaan.	De Hondsbossche Duinen worden via diverse media (o.a. film) gepresenteerd als innovatieve 'Building with Nature' oplossing.
Kennemerstrand en -duinen	Onbekend	Onbekend	Om recreatie te faciliteren zijn drie rijen strandhuisjes geplaatst. Daarnaast wordt de jachthaven Marina veel gebruikt.	Goed onderhoud. Onderhoud is in handen van een vrijwilligersorganisatie, welke goed onderlegd bezig is.	Onbekend
Zandmotor (ZM); (incl. eerdere versterking)	Gevaarlijke zwemsituaties: voorkomen door meer surveillance en training van zwembrigades, plus een zwemveiligheidsapp (ontwikkeld door Deltares).		Afstand van parkeerterrein tot de zee mag voor badgasten niet te groot zijn. Dit is echter moeilijk te sturen, en de afstand zal vanzelf minder worden als het zand zich langs de Hollandse kust verspreidt.	Landschappelijke waarde is hoog, en kan nog hoger worden. Stoppen met intensief strandschoonmaken door gemeente Den Haag, en geen ingrepen plegen in de lagune en/of duinmeer.	De Zandmotor wordt gepresenteerd als uniek staaltje innovatieve kustwaterbouw, dit wordt binnen en buiten NL actief gepromoot. Hierdoor is echter weinig ruimte om tegenvallers te bespreken en te leren van het project.

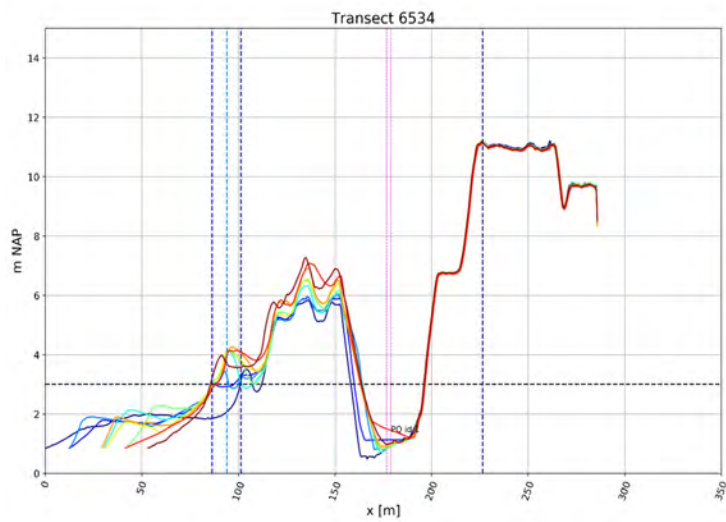
Vervolg tabel IX.6

Gebied	Veiligheid	Hinder	Recreatieve waarde	Landschappelijke waarde	Kunstwaarde (ook: Ingenuity)
Natuurgebied					
Spanjaardsduin	Spanjaards Duin is buitendijks gebied. De veiligheid wordt nog steeds gegarandeerd door de oude zeereep. Er zijn dus geen aanvullende maatregelen nodig.	De gemeenten Westland en Rotterdam dragen zorg voor het zandvrij houden van de strandopgangen.	Langs de strandopgangen staan informatiepanelen over de bijzondere status van het gebied en men krijgt een indruk van de toekomstige ontwikkeling. Het gebied zelf is niet toegankelijk voor recreanten. Er zijn strandhuisjes en diverse horecagelegenheden.	Er wordt bijgestuurd op landschappelijke (habitat)ontwikkeling door het uitdiepen van de vallei, het weghalen/verplaatsen van helm en andere beheermaatregelen. Ontwikkelingen worden gemonitord. Eindresultaat is vooralsnog onbekend.	Vergeleken met de andere projecten is er weinig publiciteit over de aanleg van Spanjaardsduin als voorbeeld van een innovatief BwN project.
Waterdunen	Onbekend	Werkzaamheden worden gecommuniceerd via digitale media en bijeenkomsten. Na aanleg valt er niet veel meer te sturen op hinder.	Provincie Zeeland entameert recreatieve ontwikkelingen op intensieve wijze, vaak in combinatie met veiligheidsprojecten (maak werk met werk). Veel bereidheid bij investeerders om onderontwikkelde stukken kust te ontwikkelen.	Kan hoger worden als het ontwikkelde gebied "rijper" wordt. Dan moet er wel op gestuurd worden met beheer.	Er wordt gestuurd op waardering van het project als innovatieve combinatie veiligheid, natuur en recreatie. Geïnvesteed in goede communicatiemiddelen om publiek en betrokkenen op de hoogte te stellen.
Bornrif			Inwoners van Ballum verplaatsen zand om toch een 'strand' bij het dorp te creëren.		Nvt
De Hors	Men zou de positieve bijdrage van De Hors op de veiligheid (door golfdemping) meer kunnen communiceren naar de bewoners en bezoekers, om de waardering voor het gebied te verhogen.		Recreatieve waarde is hoog, maar recreanten weten het gebied (nog) niet te vinden. Dit zou veranderd kunnen worden door het gebied meer te promoten (als dat de natuurlijke ontwikkeling niet te veel verstoort).		Nvt
Groene stranden (generiek)	Men zou de positieve bijdrage van groene stranden op de veiligheid (door golfdemping) meer kunnen communiceren naar bewoners en bezoekers.		Recreatieve waarde is hoog, maar lage aantallen recreanten. Dit zou gestuurd kunnen worden door de gebieden meer te promoten (als dit gewenst is qua verstoring).	Voortbestaan groene stranden (en dus landschappelijke waarde) afhankelijk van successie en morfologische successie kust. Kan op gestuurd worden door kusterosie tegen te gaan.	Nvt
Legenda (vanaf aanleg tot 2018)	<p>maatregelen werken (naar verwachting) goed; in lijn met natuurlijke omstandigheden</p> <p>maatregelen werken (naar verwachting) matig; ondergeschikt aan natuurlijke omstandigheden</p> <p>geen maatregelen mogelijk; genomen maatregelen werken (naar verwachting) niet</p>				

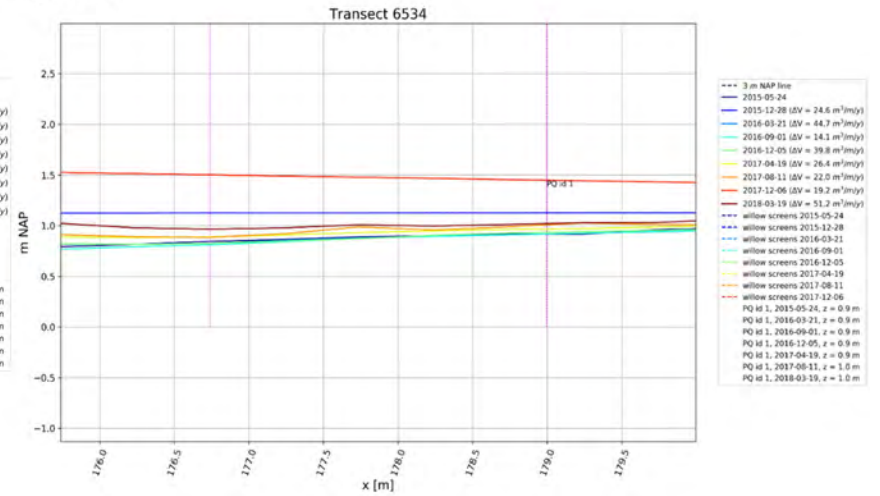
BIJLAGE VII: PROFIELEN EN FOTO'S VAN ALLE PROEFVLAKKEN

De volgende 50 pagina's geven een overzicht van de profielafbeeldingen en foto's van alle 50 proefvlakken. Aan de linkerkant van de pagina staat een afbeelding van het duinprofiel (dwarsdoorsnede) met daarin het betreffende proefvlak. De grenzen van dit proefvlak zijn hierin aangegeven met roze verticale stippellijnen. De rechter afbeelding laat een uitvergroting van dit proefvlak zien waarvan de grenzen wederom zijn aangegeven met roze verticale stippellijnen. De andere gekleurde verticale lijnen geven de op het moment van de betreffende vlucht nog zichtbare wilgenschermen aan; ondergestoven schermen zijn dan niet meer afgebeeld. Alle andere lijnen in beide figuren laten de verandering in hoogte in het profiel en proefvlak zien. Iedere lijn representeert een nieuwe LiDAR-hoogtemeting in de tijd. De donkerblauwe lijn geeft de eerste meting in mei 2015 aan. De opvolgende metingen worden weergegeven in de volgorde van regenboogkleuren: blauw (december 2015), lichtblauw (maart 2016), turquoise (september 2016), groen (december 2016), geel (april 2017), oranje (augustus 2017), rood (december 2017), en roodbruin (maart 2018: laatst uitgevoerde meting). De kleuren van de verticale lijnen die de wilgenschermen laten zien, zijn in dezelfde volgorde: bijvoorbeeld een lichtblauw wilgenscherm was zichtbaar op de LiDAR-meting van maart 2016.

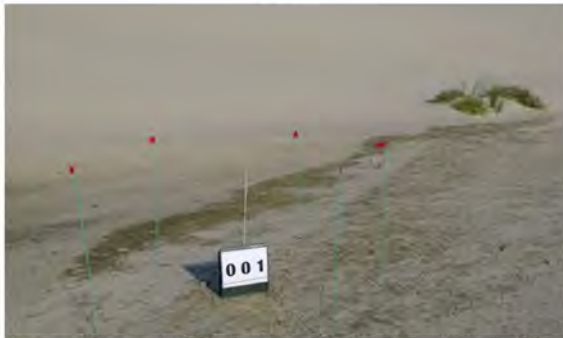
Onder de twee profielafbeeldingen staan foto's die tijdens iedere vegetatieopname zijn gemaakt (september 2016, 2017 en 2018).



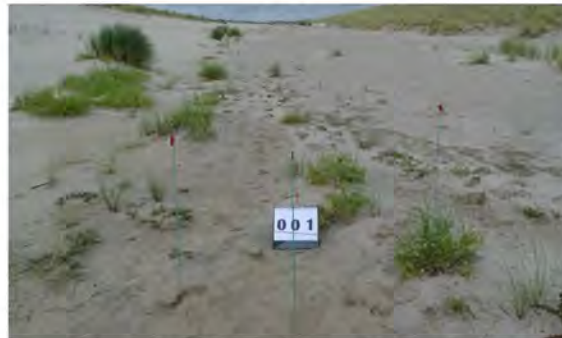
Proefvlak 001, Oever



2016



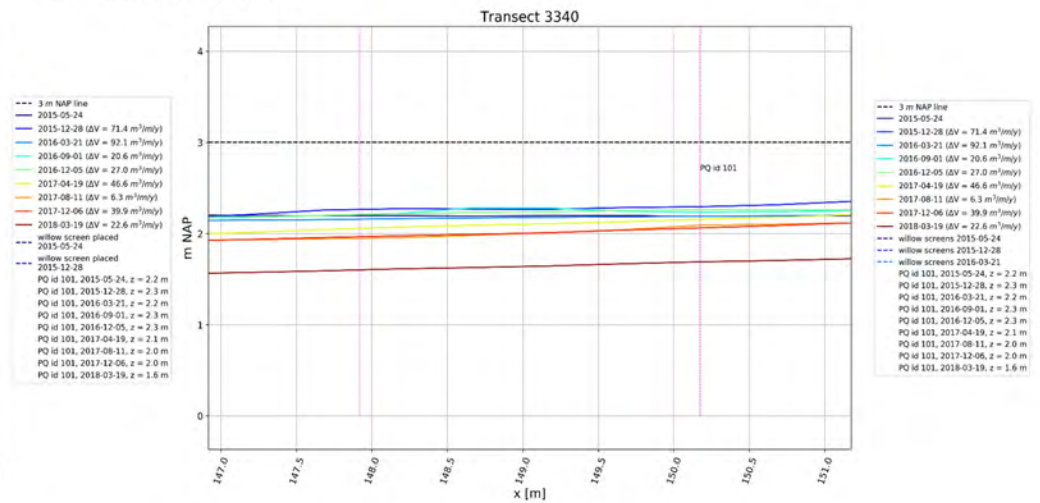
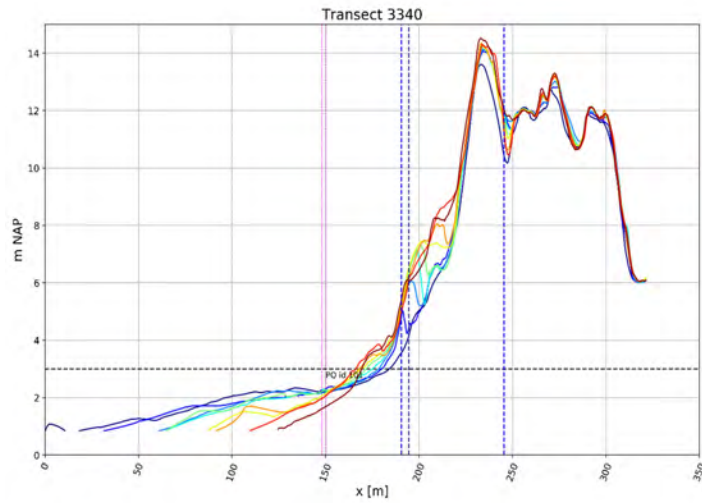
2017



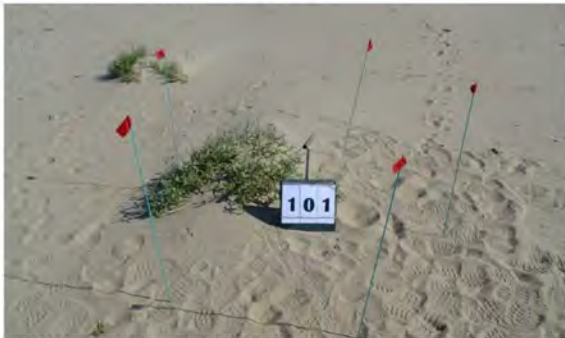
2018



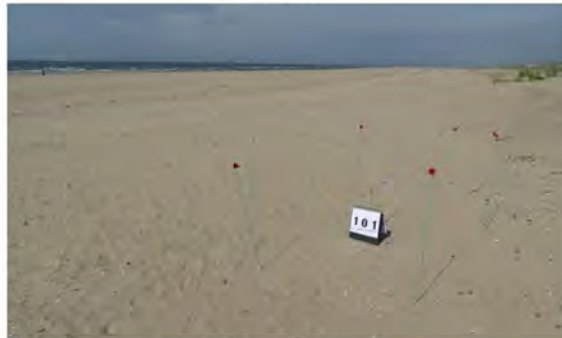
Proefvlak 101, Strand



2016



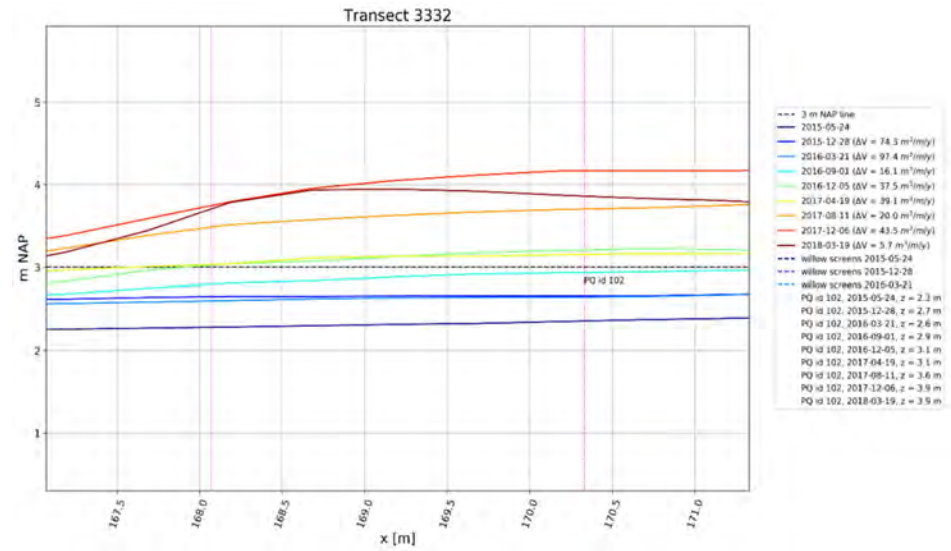
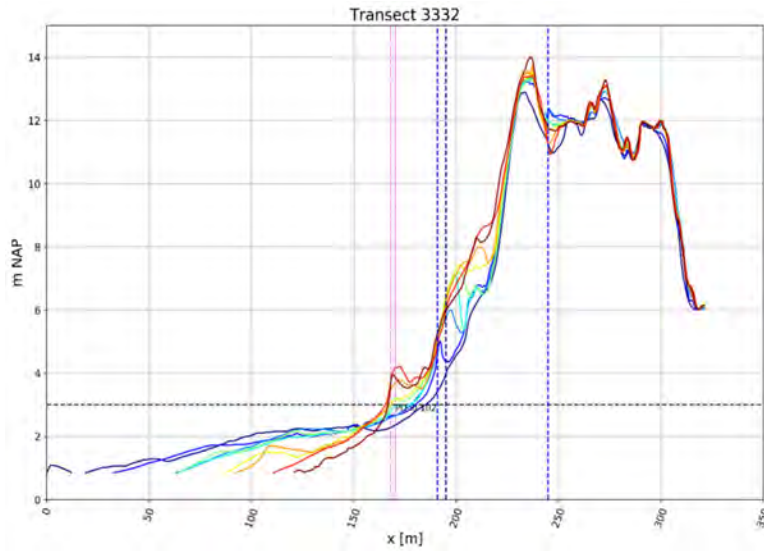
2017



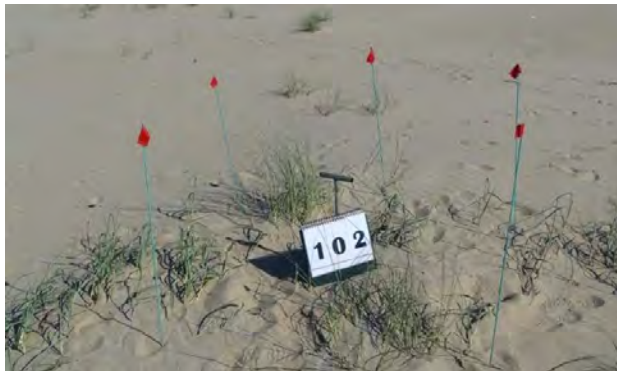
2018



Proefvlak 102, Strand



2016



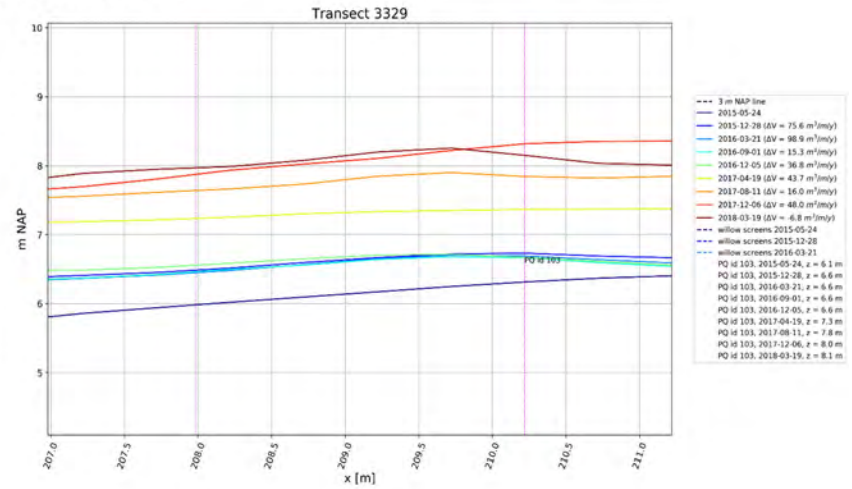
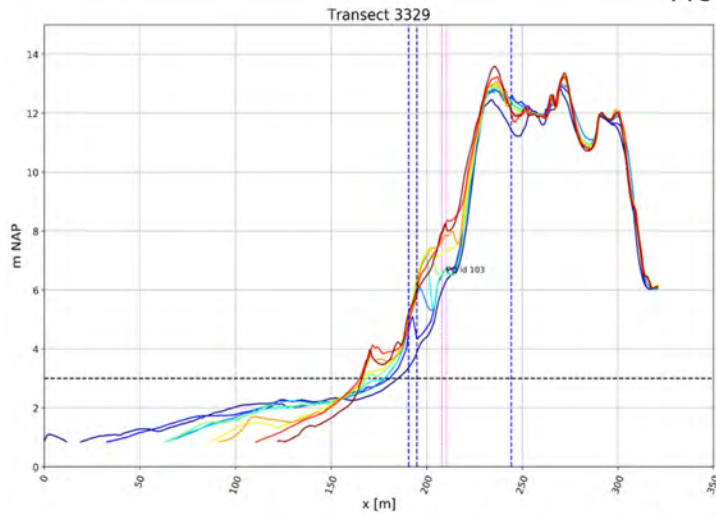
2017



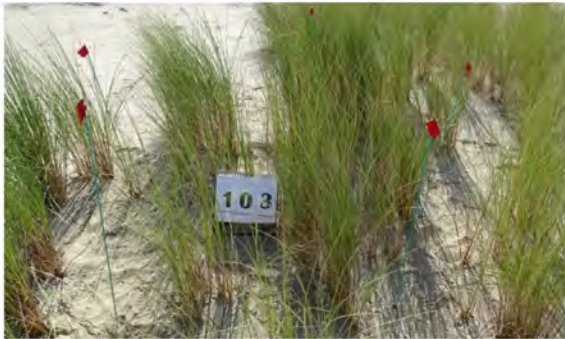
2018



Proefvlak 103, Ingeplante duinen



2016



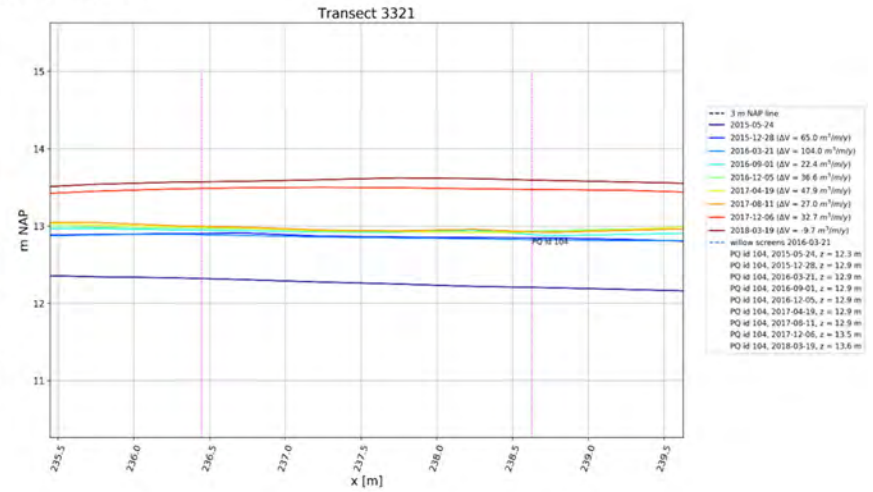
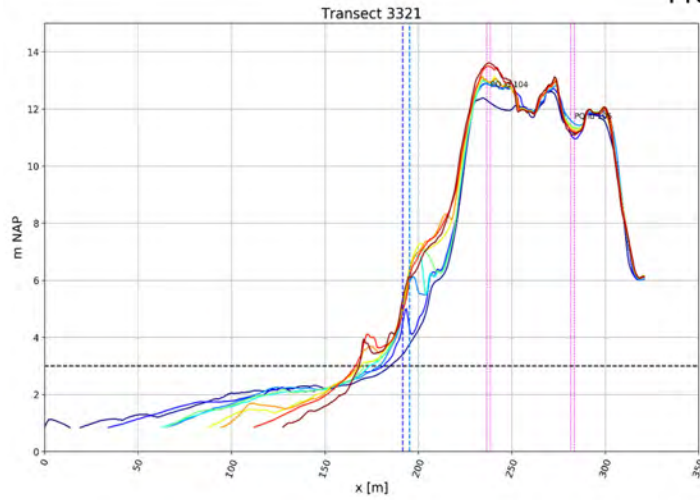
2017



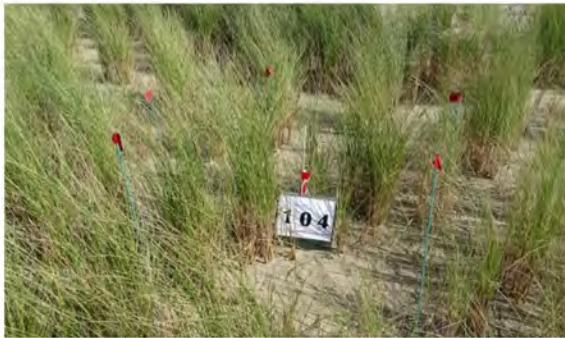
2018



Proefvlak 104, Ingeplante duinen



2016



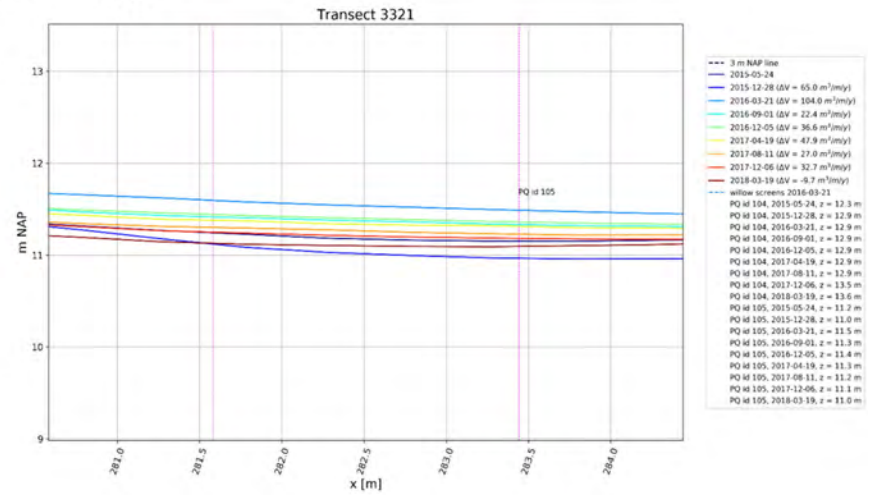
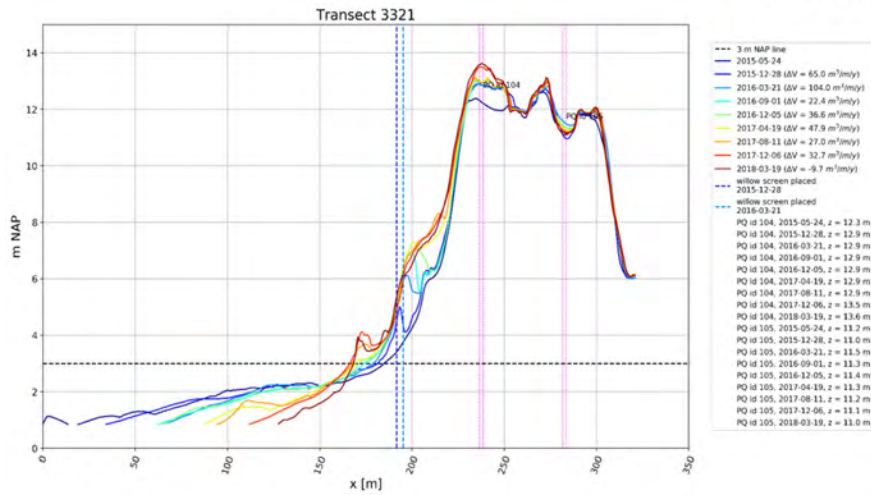
2017



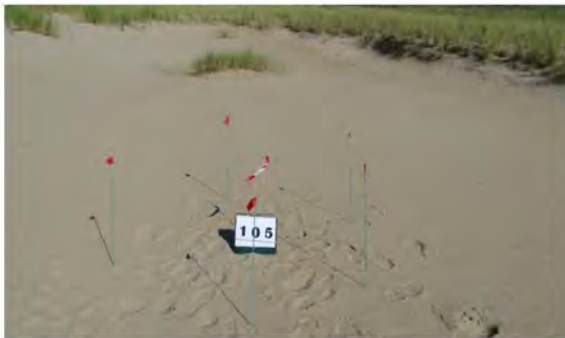
2018



Proefvlak 105, Luwe laagte



2016



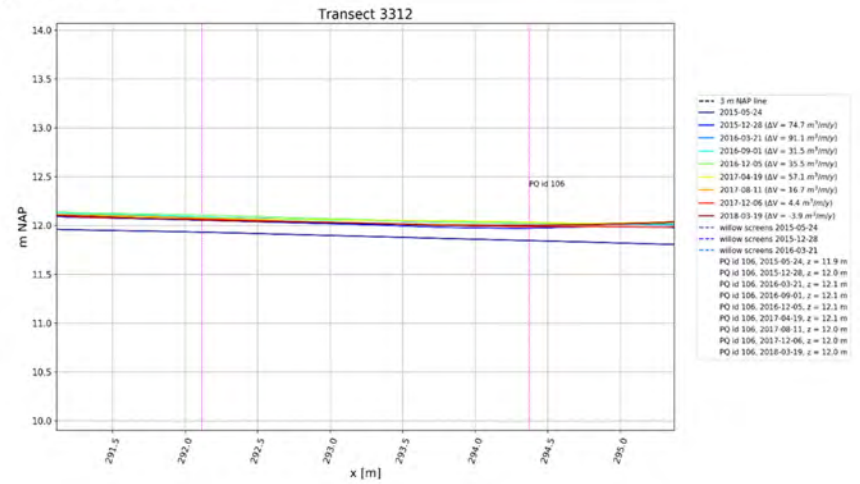
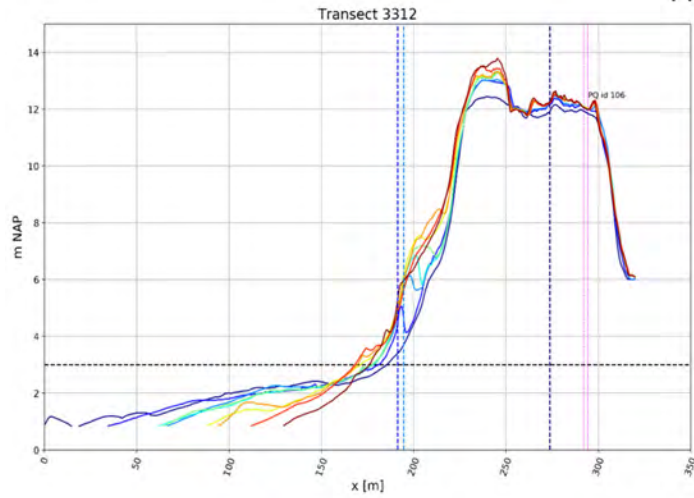
2017



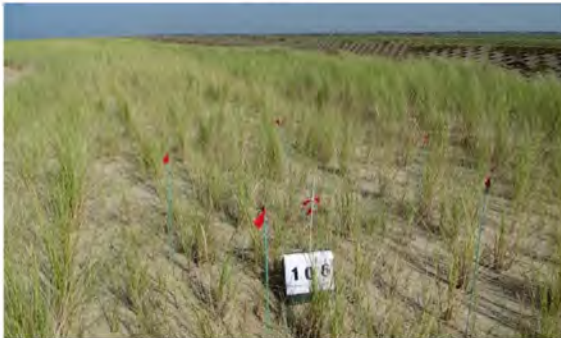
2018



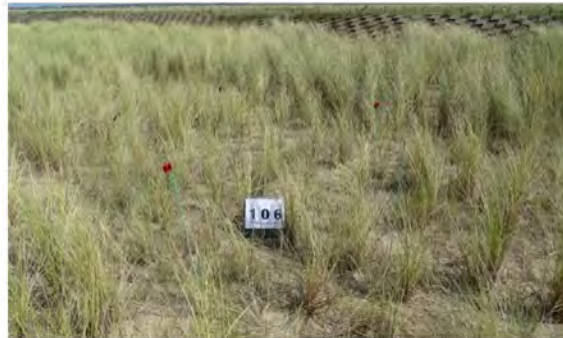
Proefvlak 106, Ingeplante duinen



2016



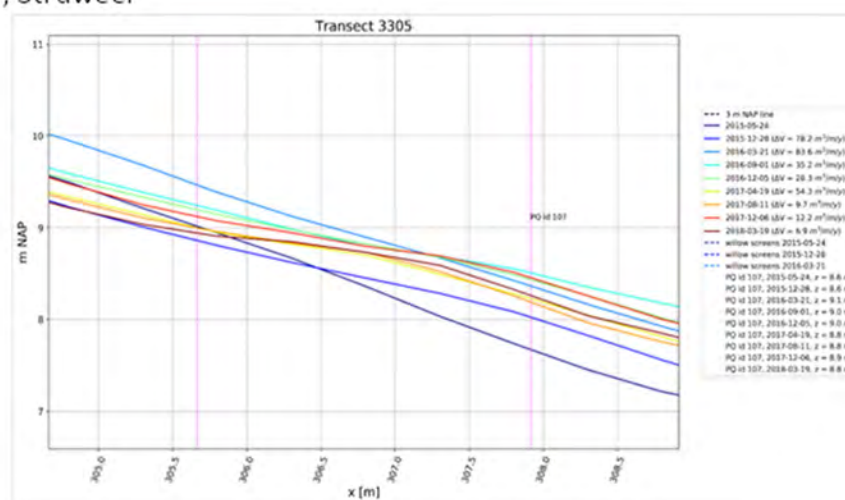
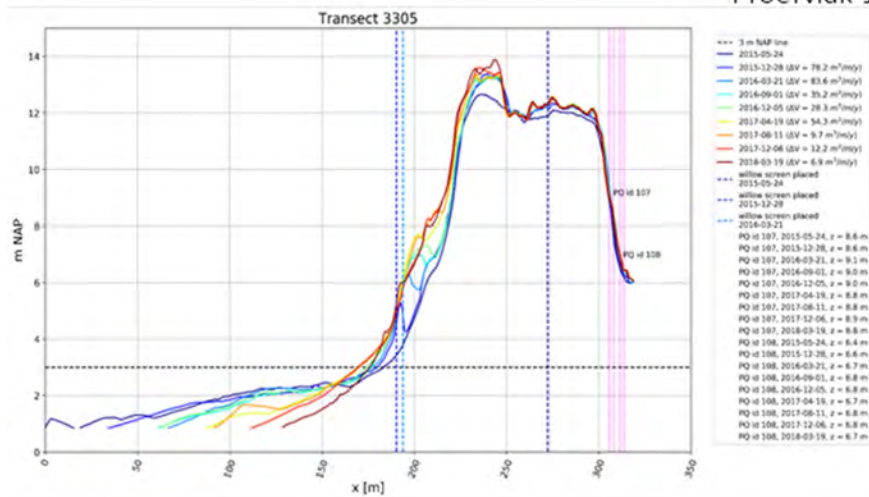
2017



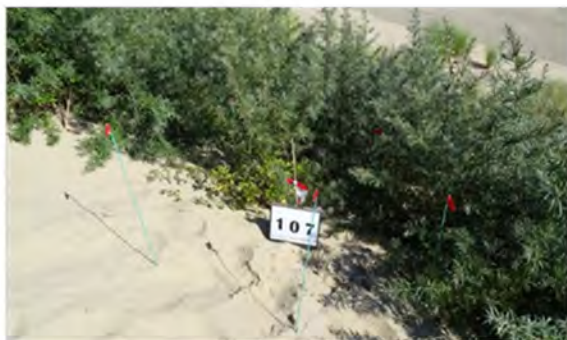
2018



Proefvlak 107, Struweel



2016



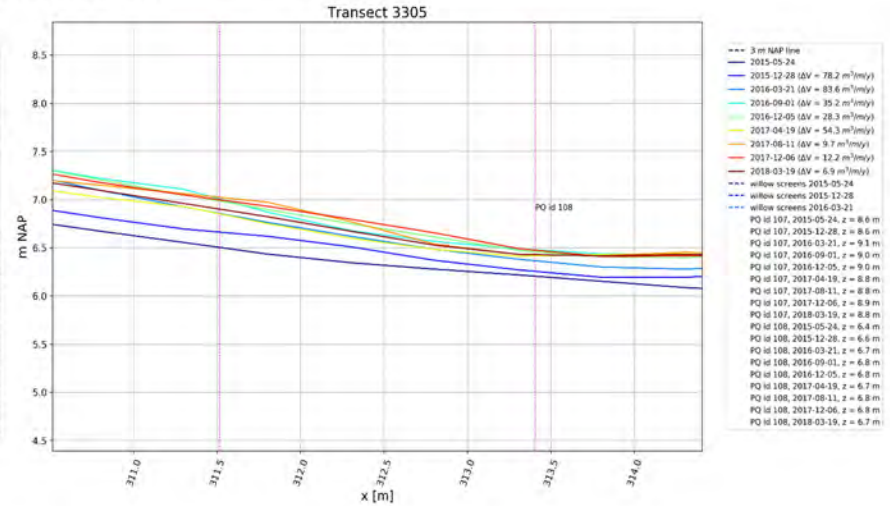
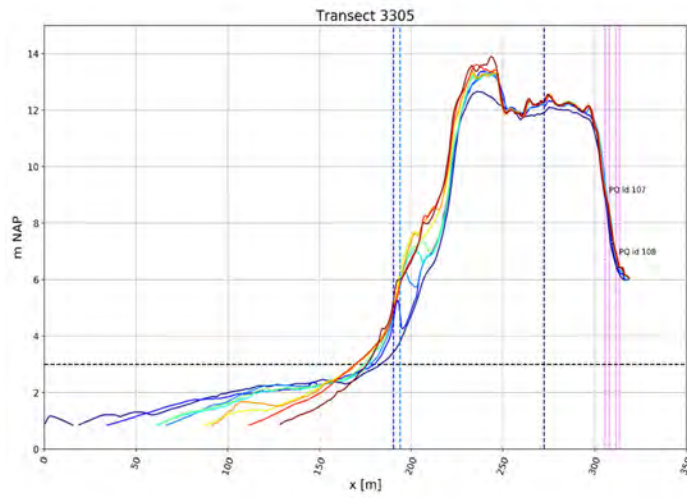
2017



2018



Proefvlak 108, Struweel



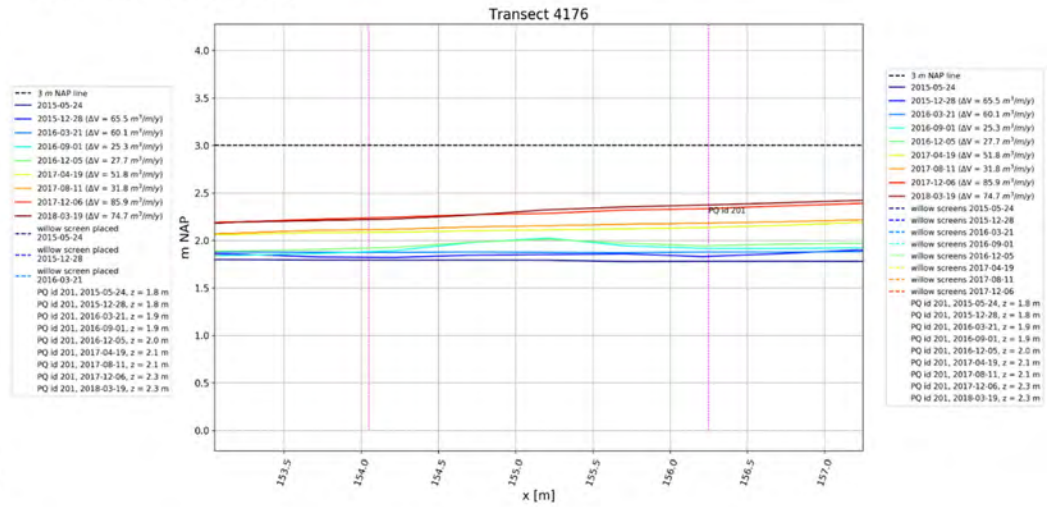
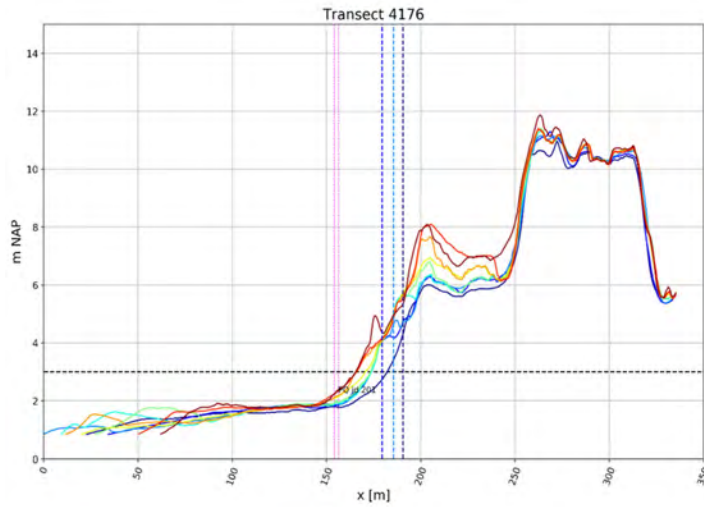
2016

2017

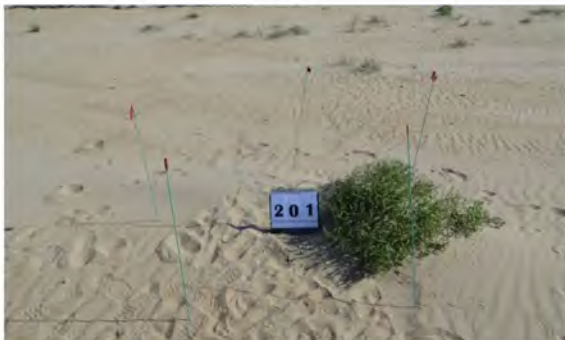
2018



Proefvlak 201, Strand



2016



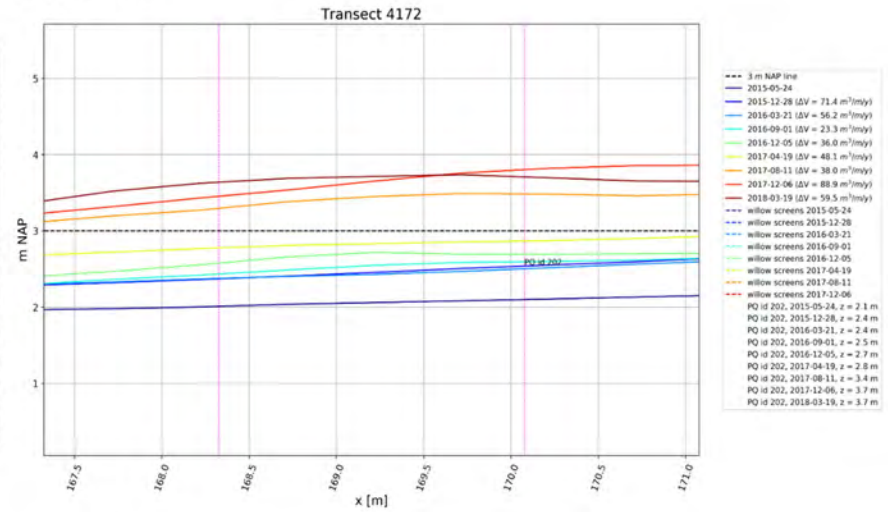
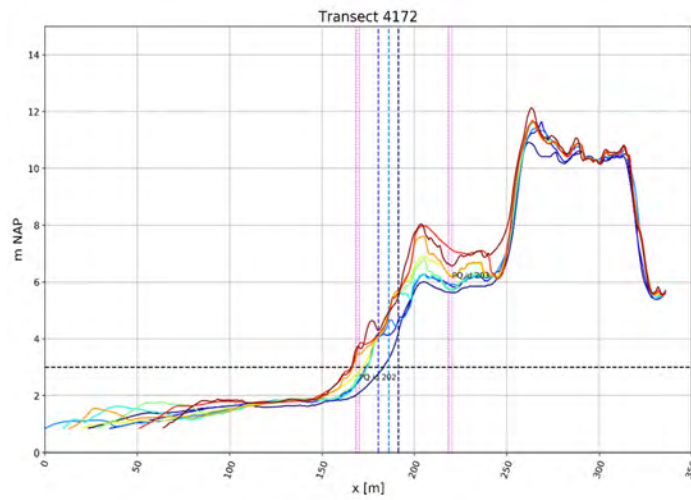
2017



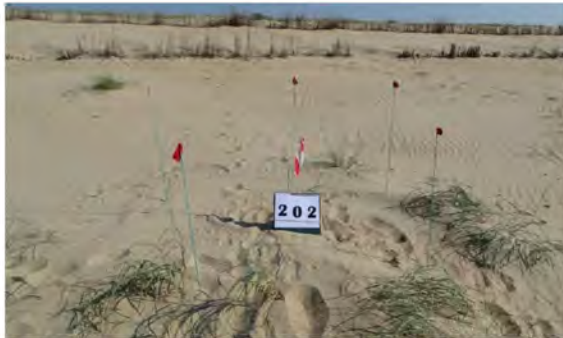
2018



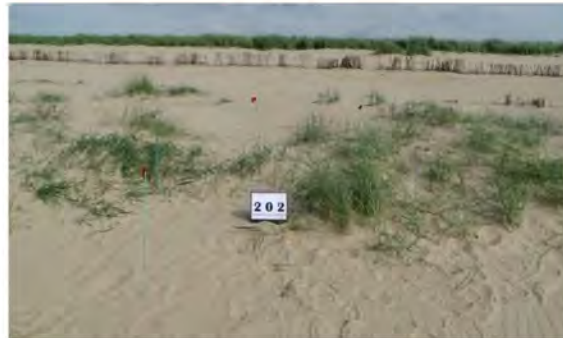
Proefvlak 202, Strand



2016



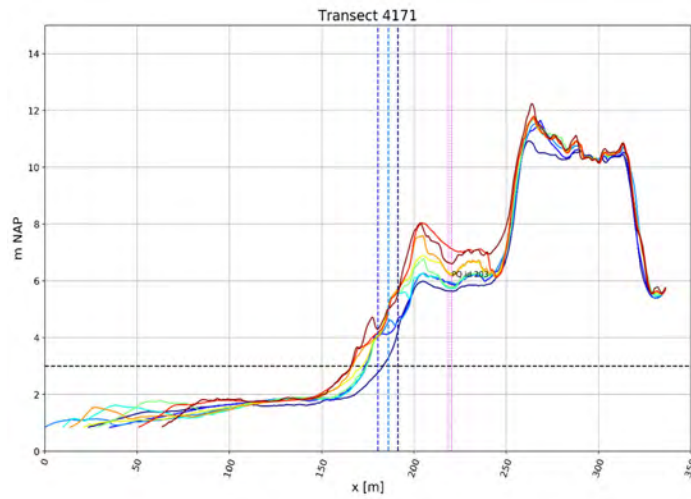
2017



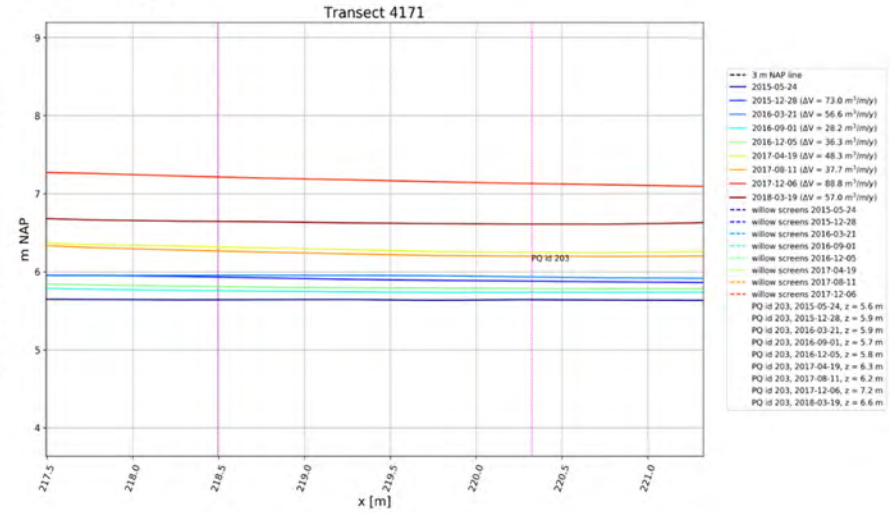
2018



Proefvlak 203, Luwe laagte

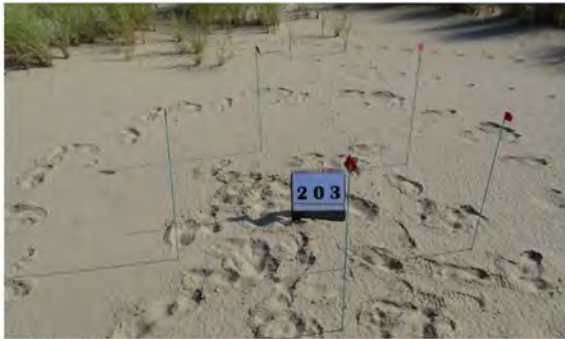


- 3 m NAP line
- 2015-05-24
- 2015-12-28 ($\Delta V = 73.0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2016-03-21 ($\Delta V = 56.6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2016-09-01 ($\Delta V = 28.2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2016-12-05 ($\Delta V = 36.3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2017-04-19 ($\Delta V = 48.3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2017-08-11 ($\Delta V = 37.7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2017-12-06 ($\Delta V = 88.8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2018-03-19 ($\Delta V = 57.0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- willow screen placed 2015-05-24
- willow screen placed 2016-03-21
- PO id 203, 2015-05-24, z = 5.6 m
- PO id 203, 2015-12-28, z = 5.9 m
- PO id 203, 2016-03-21, z = 5.9 m
- PO id 203, 2016-09-01, z = 5.7 m
- PO id 203, 2016-12-05, z = 5.8 m
- PO id 203, 2017-04-19, z = 6.3 m
- PO id 203, 2017-08-11, z = 6.2 m
- PO id 203, 2017-12-06, z = 7.2 m
- PO id 203, 2018-03-19, z = 6.6 m



- 3 m NAP line
- 2015-05-24
- 2015-12-28 ($\Delta V = 73.0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2016-03-21 ($\Delta V = 56.6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2016-09-01 ($\Delta V = 28.2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2016-12-05 ($\Delta V = 36.3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2017-04-19 ($\Delta V = 48.3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2017-08-11 ($\Delta V = 37.7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2017-12-06 ($\Delta V = 88.8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- 2018-03-19 ($\Delta V = 57.0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{y}$)
- willow screens 2015-05-24
- willow screens 2015-12-28
- willow screens 2016-03-21
- willow screens 2016-09-01
- willow screens 2016-12-05
- willow screens 2017-04-19
- willow screens 2017-08-11
- willow screens 2017-12-06
- PO id 203, 2015-05-24, z = 5.6 m
- PO id 203, 2015-12-28, z = 5.9 m
- PO id 203, 2016-03-21, z = 5.9 m
- PO id 203, 2016-09-01, z = 5.7 m
- PO id 203, 2016-12-05, z = 5.8 m
- PO id 203, 2017-04-19, z = 6.3 m
- PO id 203, 2017-08-11, z = 6.2 m
- PO id 203, 2017-12-06, z = 7.2 m
- PO id 203, 2018-03-19, z = 6.6 m

2016



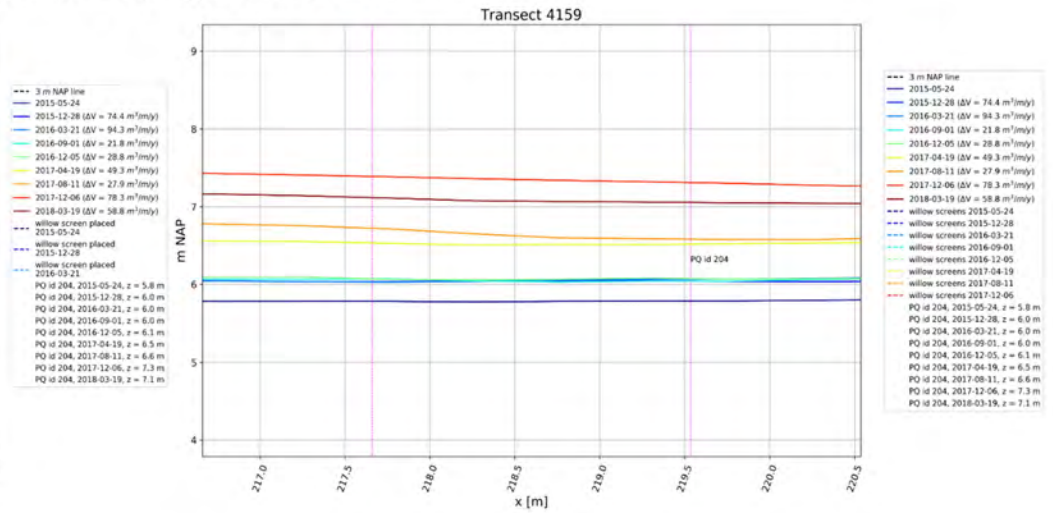
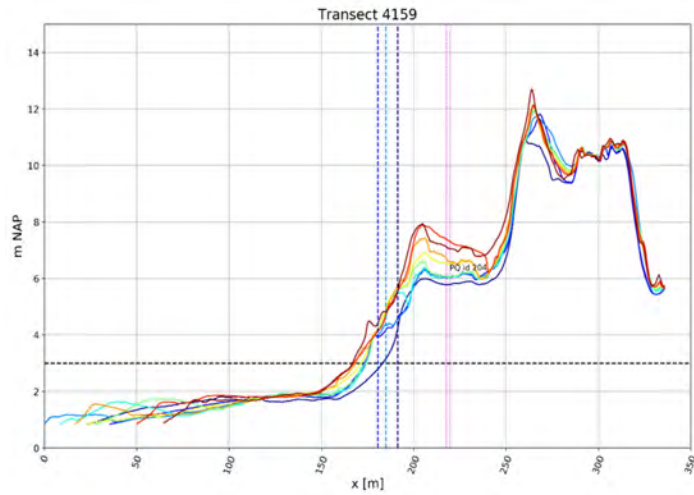
2017



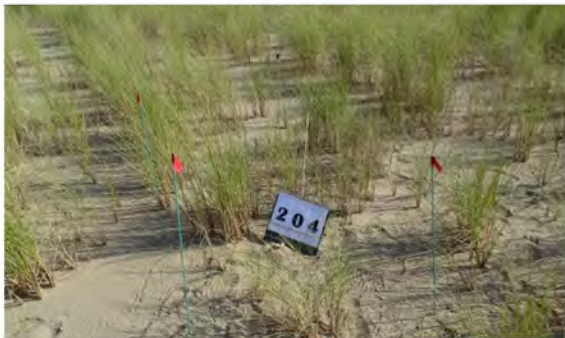
2018



Proefvlak 204, Ingeplante duinen



2016



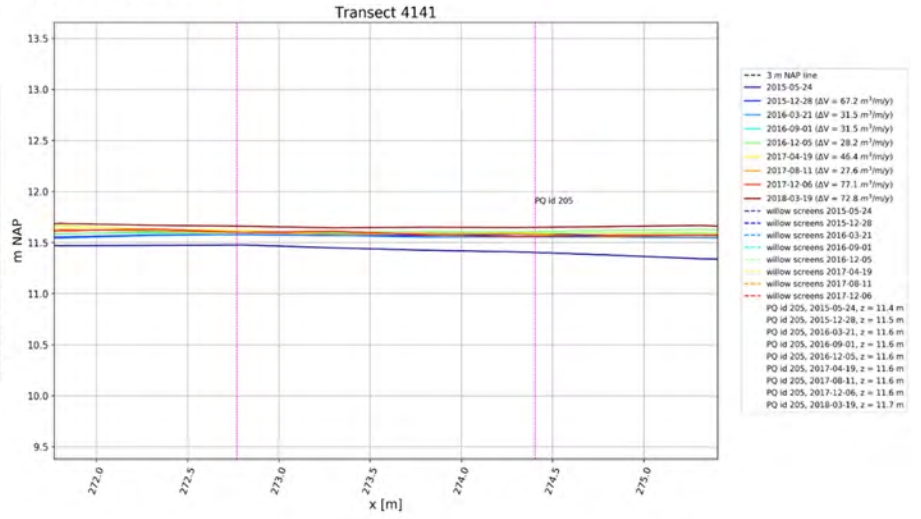
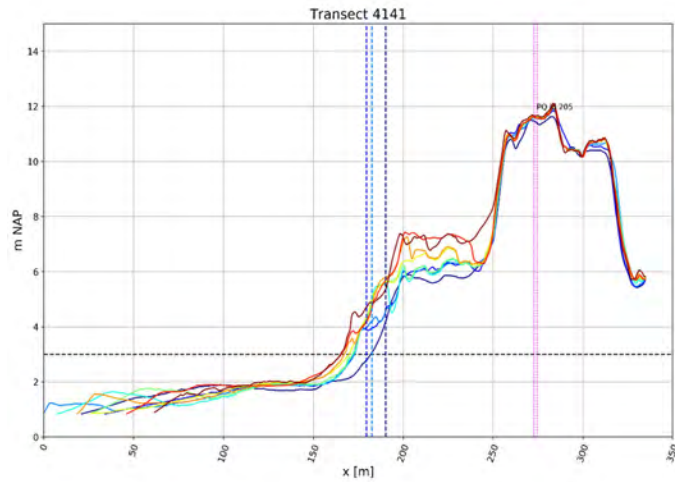
2017



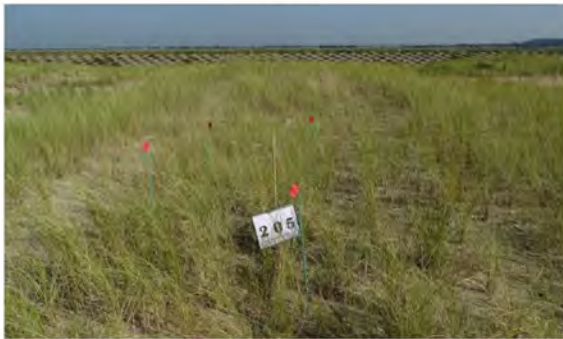
2018



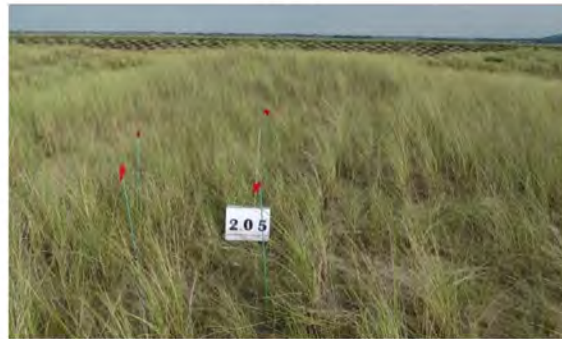
Proefvlak 205, Ingeplante duinen



2016



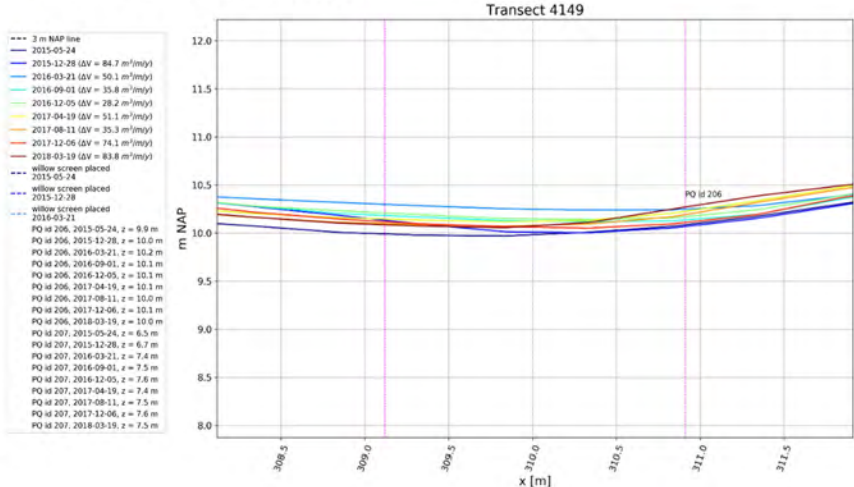
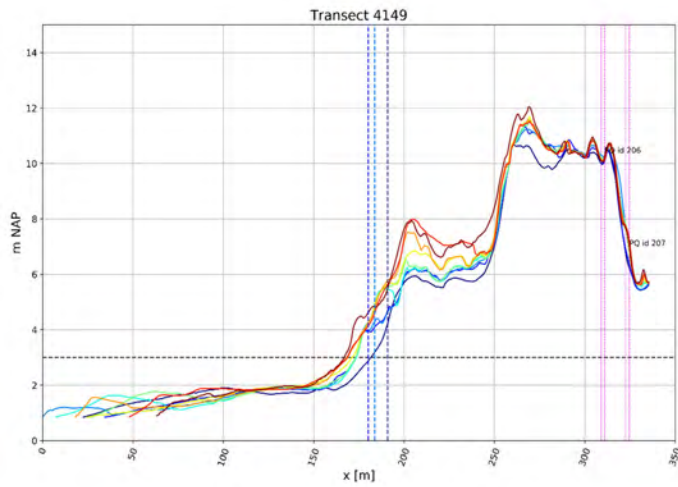
2017



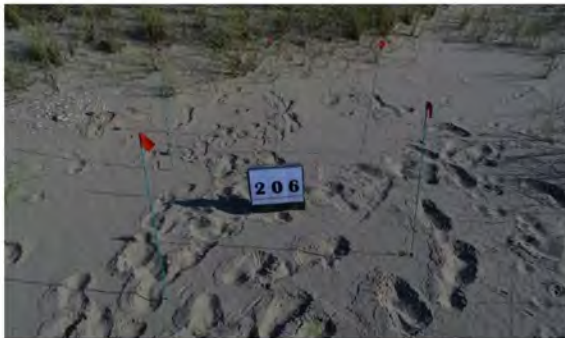
2018



Proefvlak 206, Luwe laagte



2016



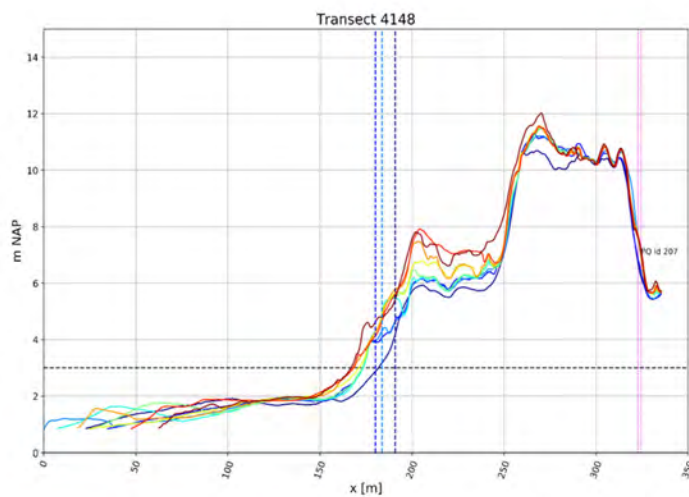
2017



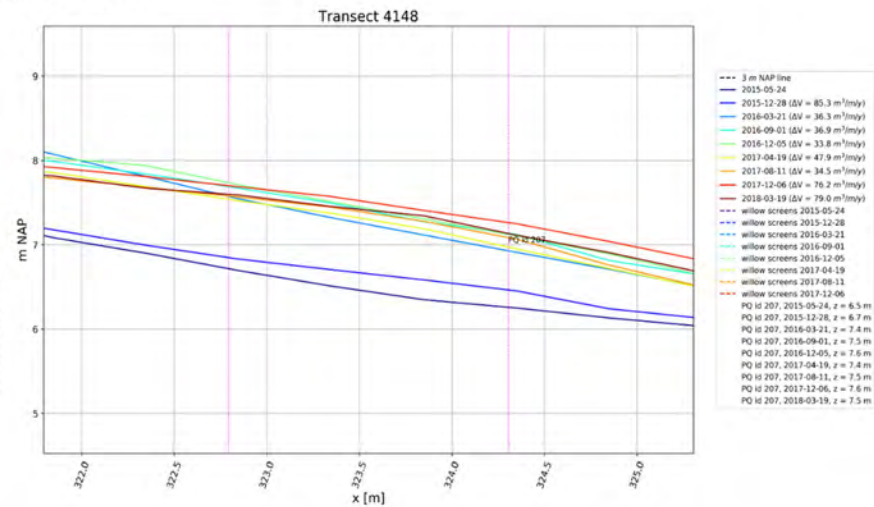
2018



Proefvlak 207, Struweel



- 3 m NAP line
- 2015-05-24
- 2015-12-28 (ΔV = 85.3 m³/mly)
- 2016-03-21 (ΔV = 36.3 m³/mly)
- 2016-09-01 (ΔV = 36.9 m³/mly)
- 2016-12-05 (ΔV = 33.8 m³/mly)
- 2017-04-19 (ΔV = 47.9 m³/mly)
- 2017-08-11 (ΔV = 34.5 m³/mly)
- 2017-12-06 (ΔV = 76.2 m³/mly)
- 2018-03-19 (ΔV = 79.0 m³/mly)
- - - willow screen placed 2015-05-24
- - - willow screen placed 2015-12-20
- - - willow screen placed 2016-03-21
- PO id 207, 2015-05-24, z = 6.5 m
- PO id 207, 2015-12-28, z = 6.7 m
- PO id 207, 2016-03-21, z = 7.4 m
- PO id 207, 2016-09-01, z = 7.5 m
- PO id 207, 2016-12-05, z = 7.6 m
- PO id 207, 2017-04-19, z = 7.4 m
- PO id 207, 2017-08-11, z = 7.5 m
- PO id 207, 2017-12-06, z = 7.6 m
- PO id 207, 2018-03-19, z = 7.5 m



- 3 m NAP line
- 2015-05-24
- 2015-12-28 (ΔV = 85.3 m³/mly)
- 2016-03-21 (ΔV = 36.3 m³/mly)
- 2016-09-01 (ΔV = 36.9 m³/mly)
- 2016-12-05 (ΔV = 33.8 m³/mly)
- 2017-04-19 (ΔV = 47.9 m³/mly)
- 2017-08-11 (ΔV = 34.5 m³/mly)
- 2017-12-06 (ΔV = 76.2 m³/mly)
- 2018-03-19 (ΔV = 79.0 m³/mly)
- - - willow screens 2015-05-24
- - - willow screens 2015-12-20
- - - willow screens 2016-03-21
- - - willow screens 2016-09-01
- - - willow screens 2016-12-05
- - - willow screens 2017-04-19
- - - willow screens 2017-08-11
- - - willow screens 2017-12-06
- PO id 207, 2015-05-24, z = 6.5 m
- PO id 207, 2015-12-28, z = 6.7 m
- PO id 207, 2016-03-21, z = 7.4 m
- PO id 207, 2016-09-01, z = 7.5 m
- PO id 207, 2016-12-05, z = 7.6 m
- PO id 207, 2017-04-19, z = 7.4 m
- PO id 207, 2017-08-11, z = 7.5 m
- PO id 207, 2017-12-06, z = 7.6 m
- PO id 207, 2018-03-19, z = 7.5 m

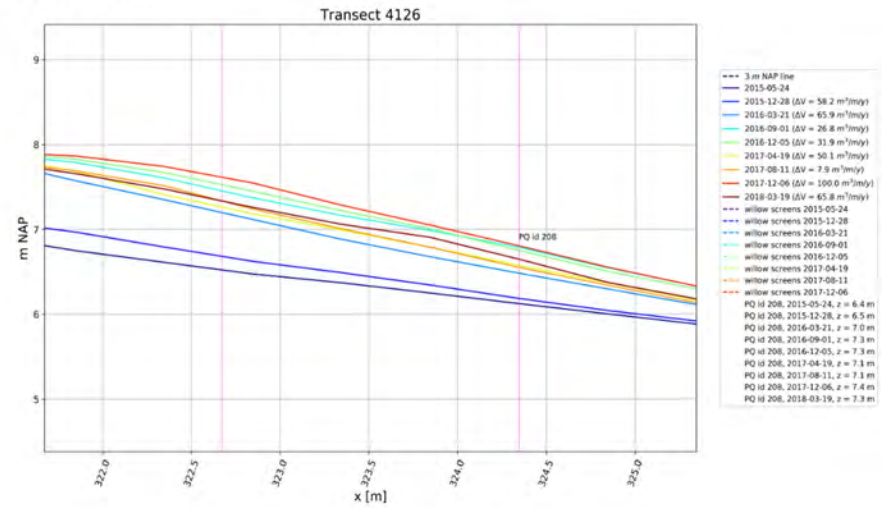
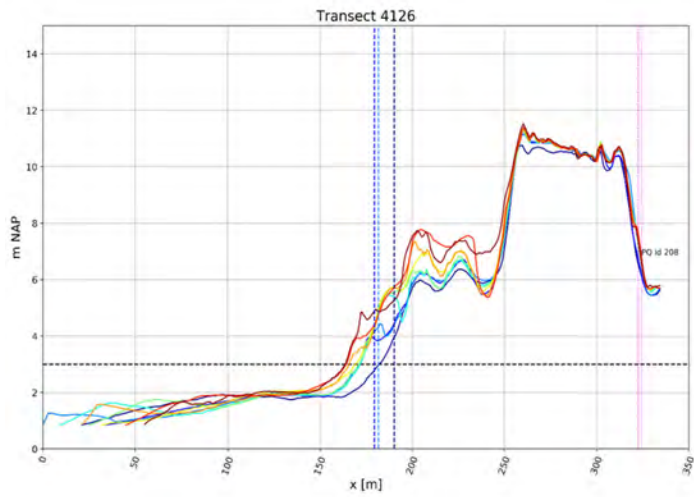
2016

2017

2018



Proefvlak 208, Struweel



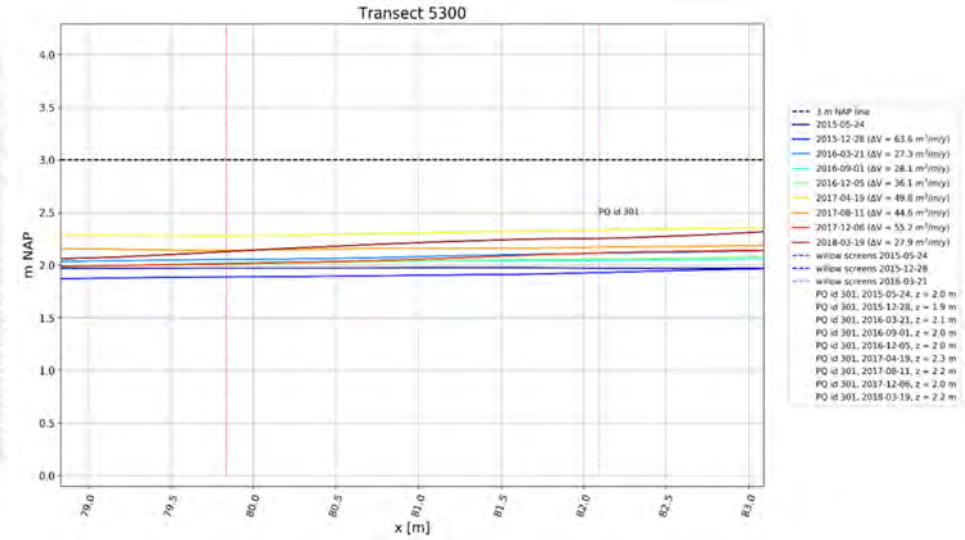
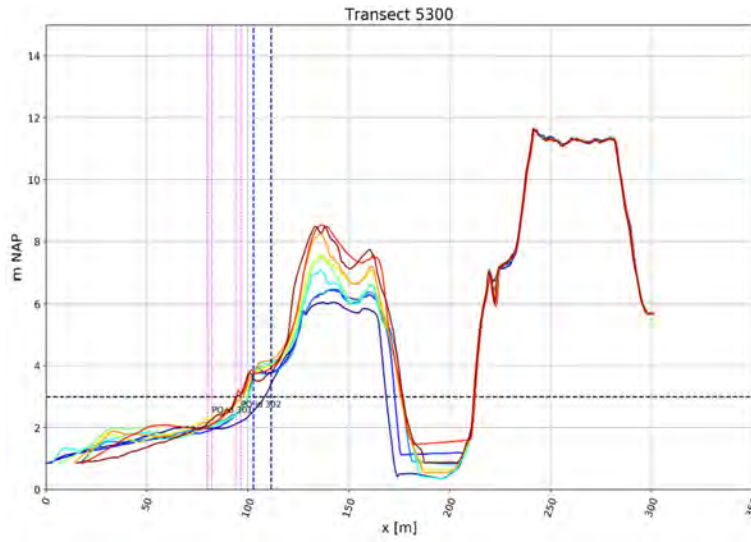
2016

2017

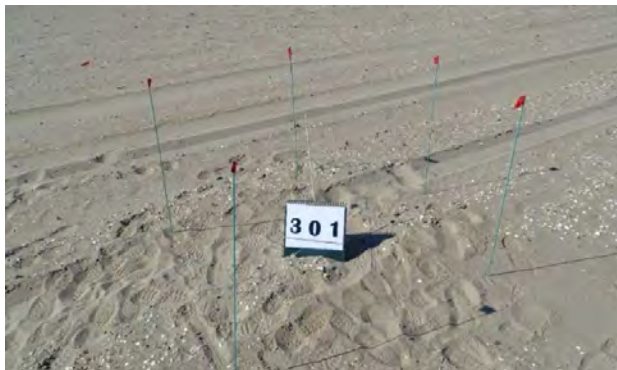
2018



Proefvlak 301 Strand



2016



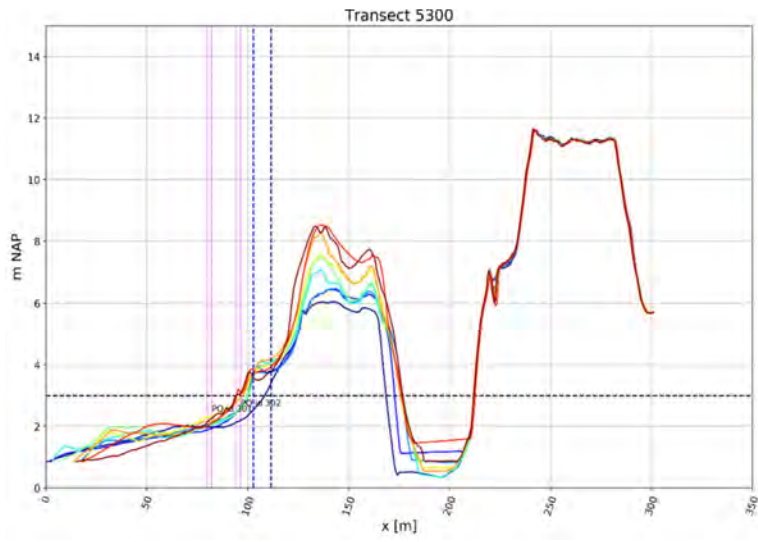
2017



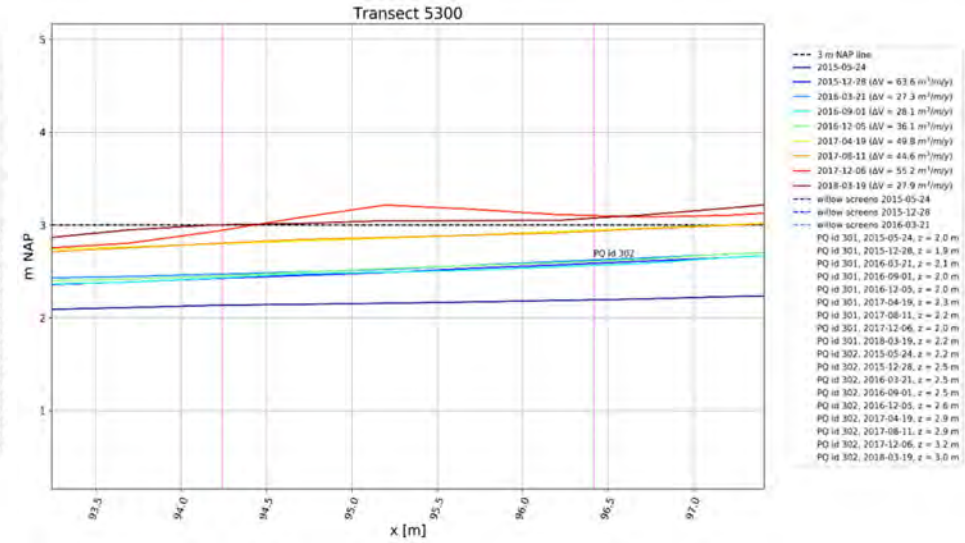
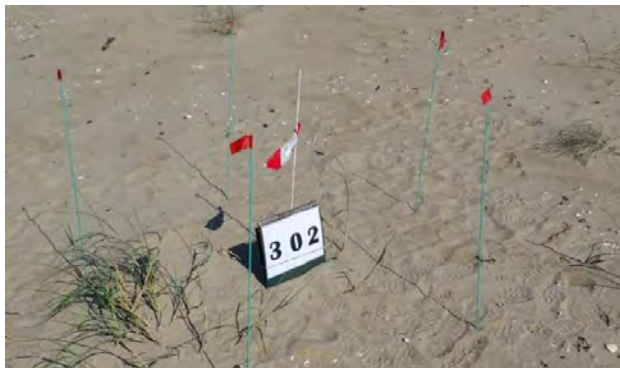
2018



Proefvlak 302 Strand



2016



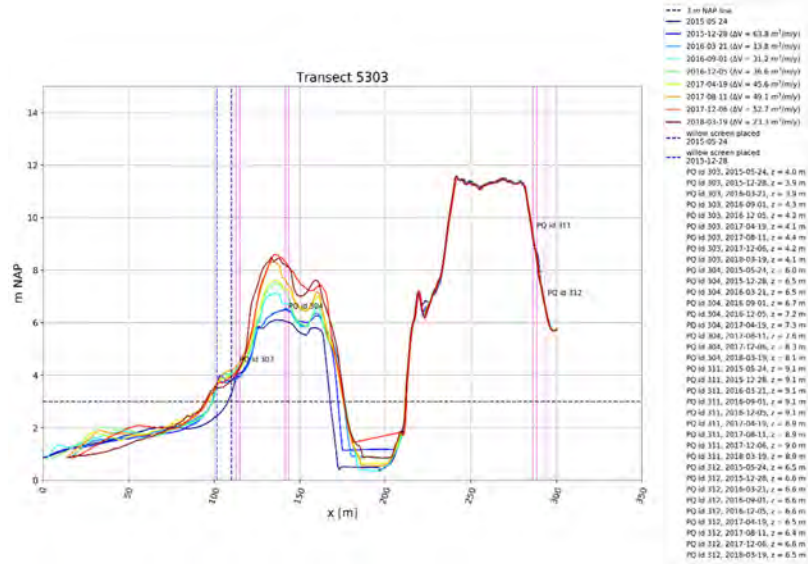
2017



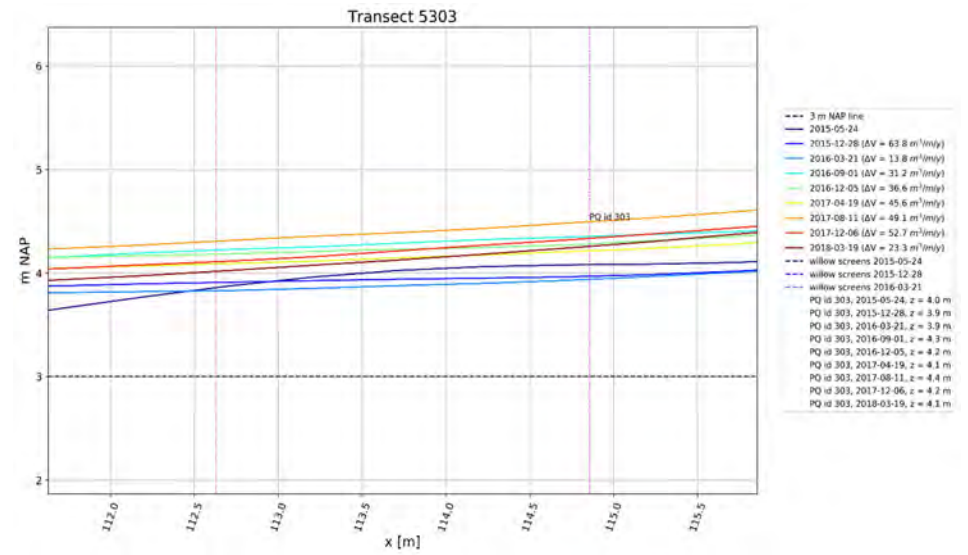
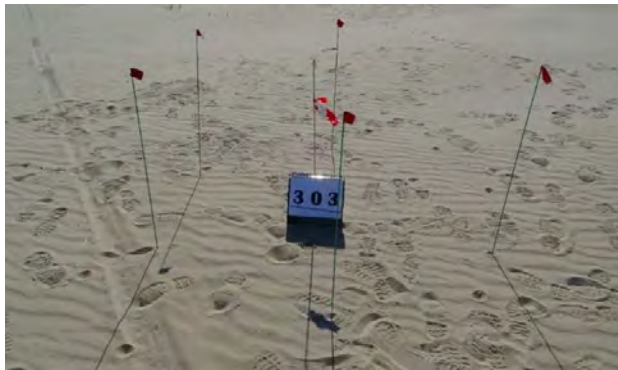
2018



Proefvlak 303, Kale duinvoet



2016



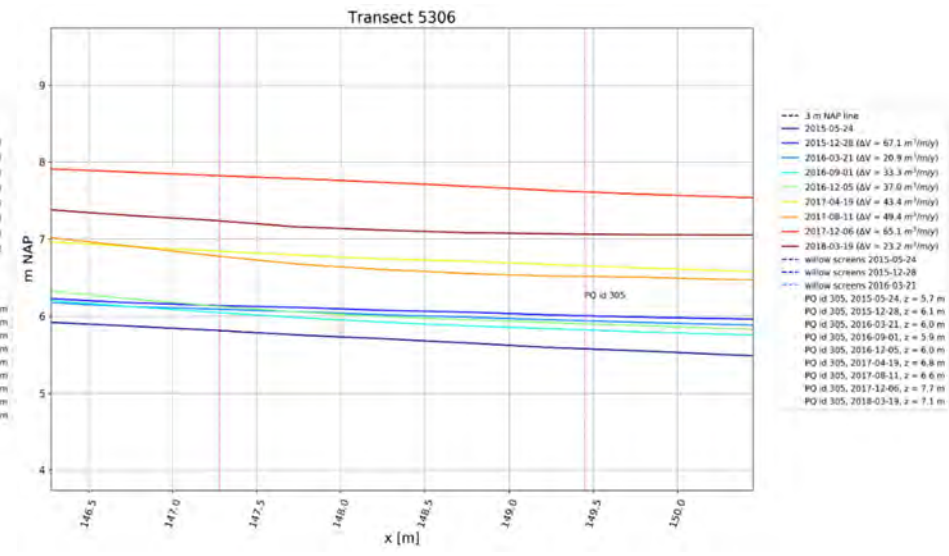
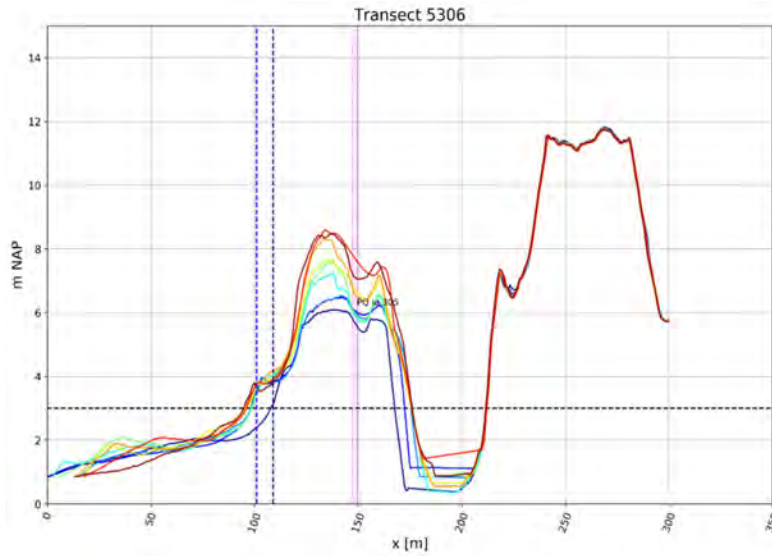
2017



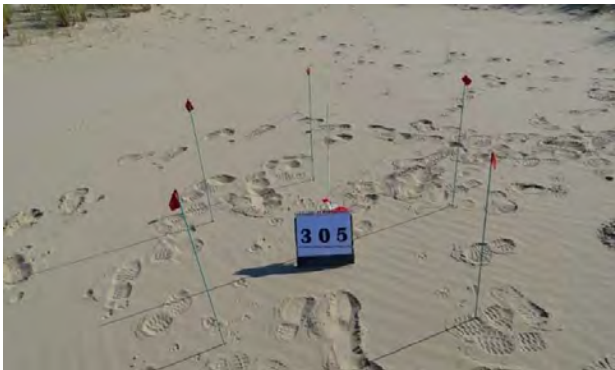
2018



Proefvlak 305, Luwe laagte



2016



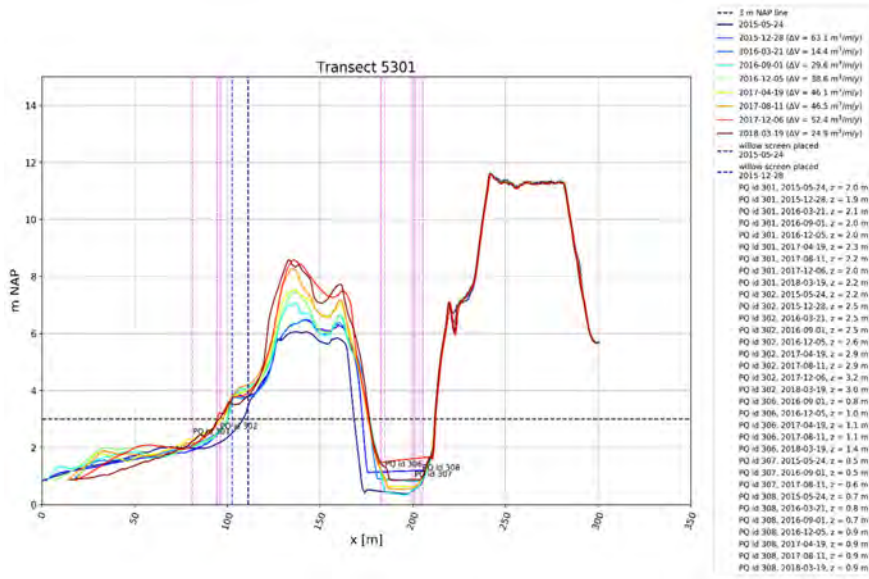
2017



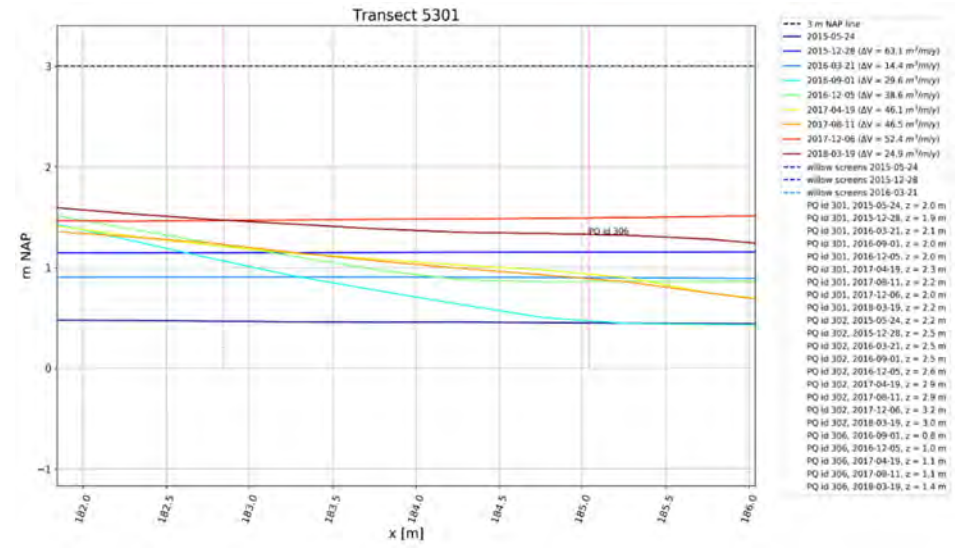
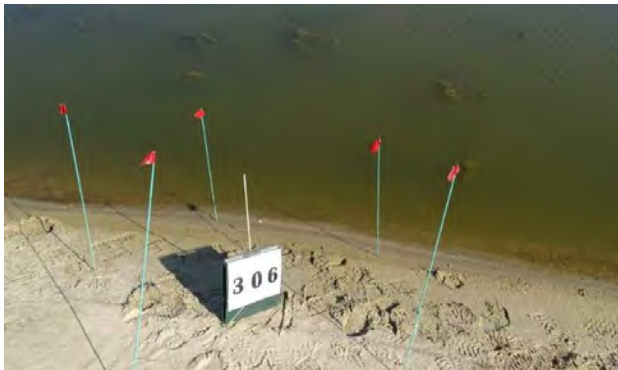
2018



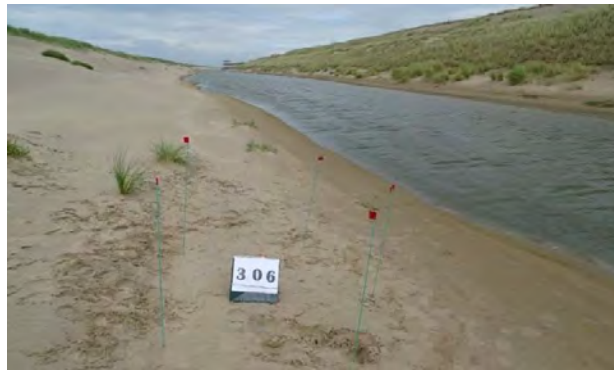
Proefvlak 306, Oever



2016



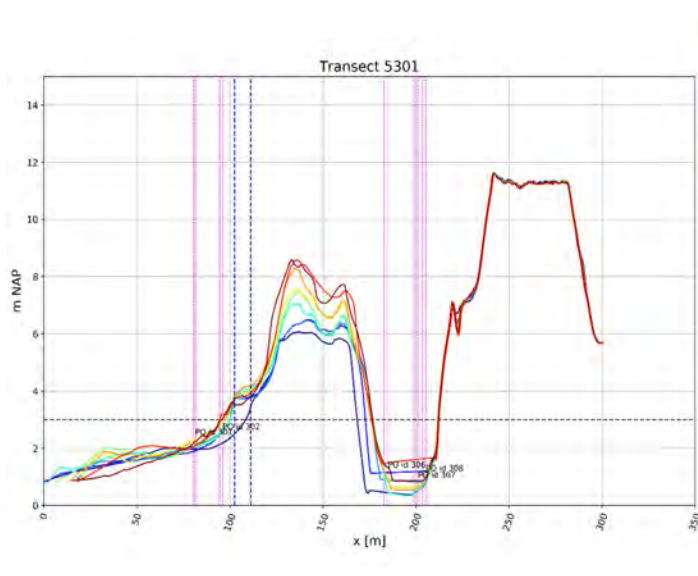
2017



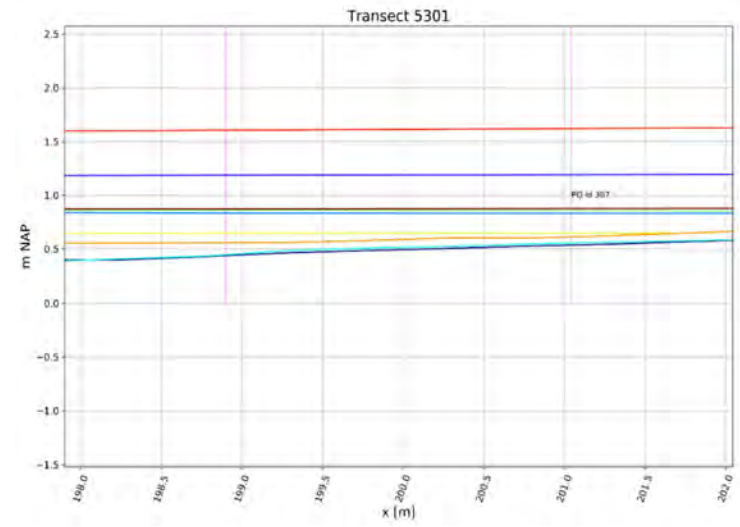
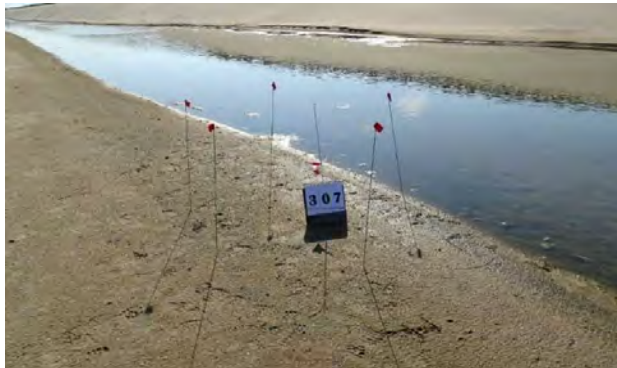
2018



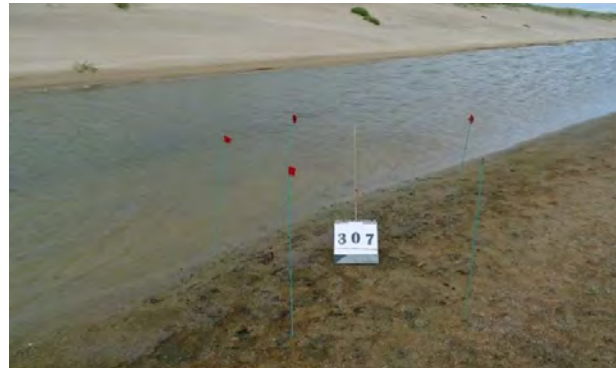
Proefvlak 307, Oever



2016



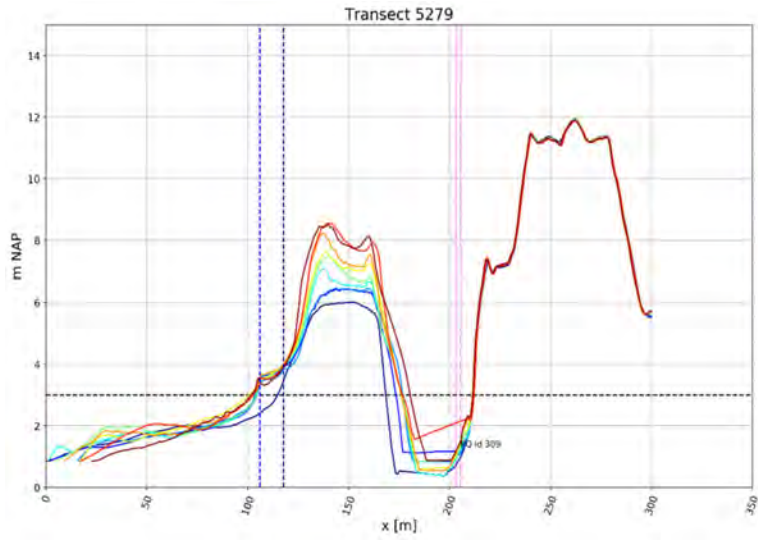
2017



2018



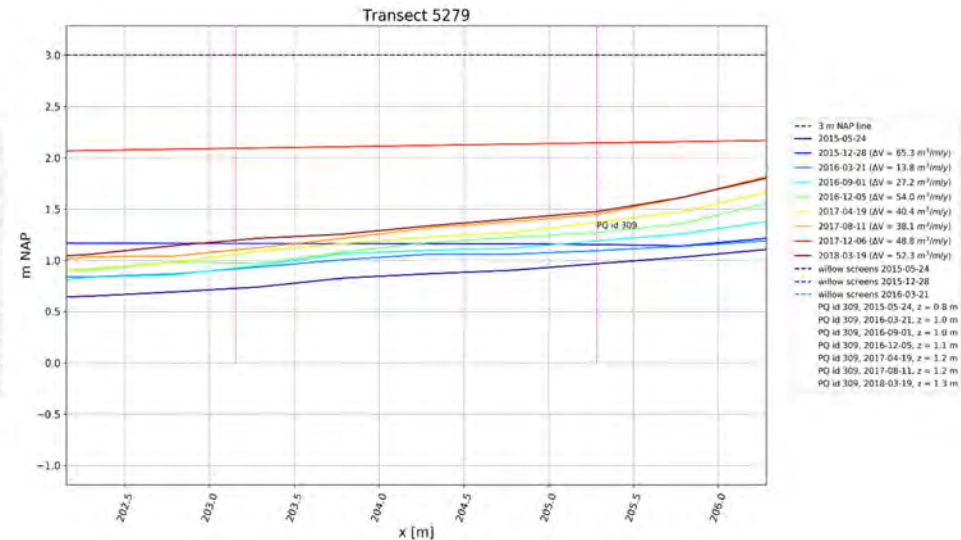
Proefvlak 309, Oever



2016



- 3 m NAP line
- willow screen placed 2015-05-24
- willow screen placed 2015-12-28
- 2015-05-24 (ΔV = 65.3 m³/m³)
- 2015-12-28 (ΔV = 13.8 m³/m³)
- 2016-03-21 (ΔV = 31.2 m³/m³)
- 2016-09-01 (ΔV = 54.0 m³/m³)
- 2016-12-05 (ΔV = 40.4 m³/m³)
- 2017-04-19 (ΔV = 38.1 m³/m³)
- 2017-08-11 (ΔV = 48.8 m³/m³)
- 2017-12-06 (ΔV = 52.3 m³/m³)
- 2018-03-19 (ΔV = 52.3 m³/m³)
- PQ id 309, 2015-05-24, z = 0.8 m
- PQ id 309, 2016-03-21, z = 1.0 m
- PQ id 309, 2016-09-01, z = 1.0 m
- PQ id 309, 2016-12-05, z = 1.1 m
- PQ id 309, 2017-04-19, z = 1.2 m
- PQ id 309, 2017-08-11, z = 1.2 m
- PQ id 309, 2018-03-19, z = 1.3 m



2017

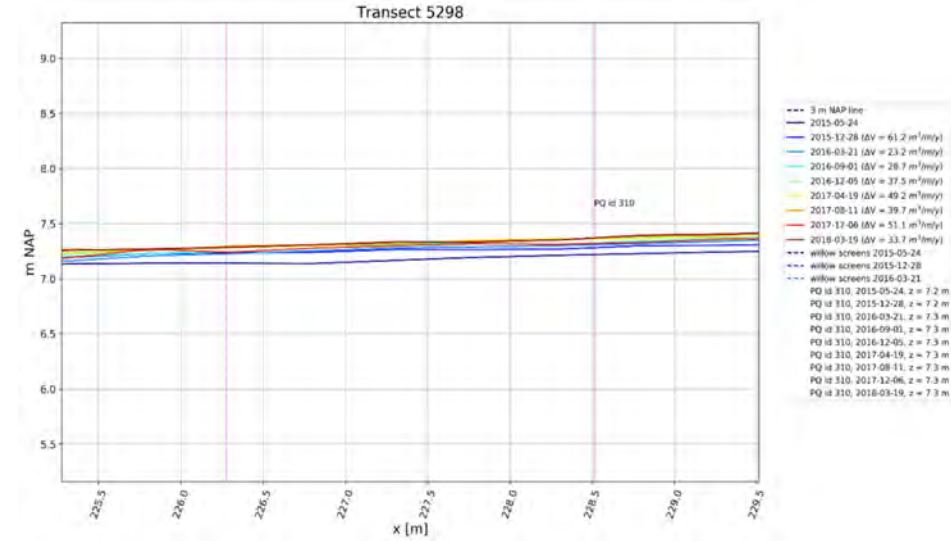
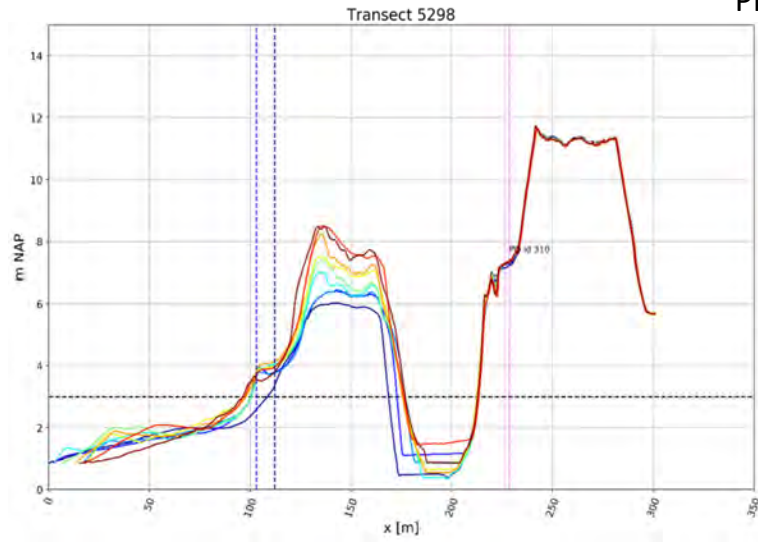


- 3 m NAP line
- willow screen placed 2015-05-24
- willow screen placed 2015-12-28
- willow screen placed 2016-03-21
- 2015-05-24 (ΔV = 65.3 m³/m³)
- 2015-12-28 (ΔV = 13.8 m³/m³)
- 2016-03-21 (ΔV = 31.2 m³/m³)
- 2016-09-01 (ΔV = 54.0 m³/m³)
- 2016-12-05 (ΔV = 40.4 m³/m³)
- 2017-04-19 (ΔV = 38.1 m³/m³)
- 2017-08-11 (ΔV = 48.8 m³/m³)
- 2017-12-06 (ΔV = 52.3 m³/m³)
- 2018-03-19 (ΔV = 52.3 m³/m³)
- PQ id 309, 2015-05-24, z = 0.8 m
- PQ id 309, 2016-03-21, z = 1.0 m
- PQ id 309, 2016-09-01, z = 1.0 m
- PQ id 309, 2016-12-05, z = 1.1 m
- PQ id 309, 2017-04-19, z = 1.2 m
- PQ id 309, 2017-08-11, z = 1.2 m
- PQ id 309, 2018-03-19, z = 1.3 m

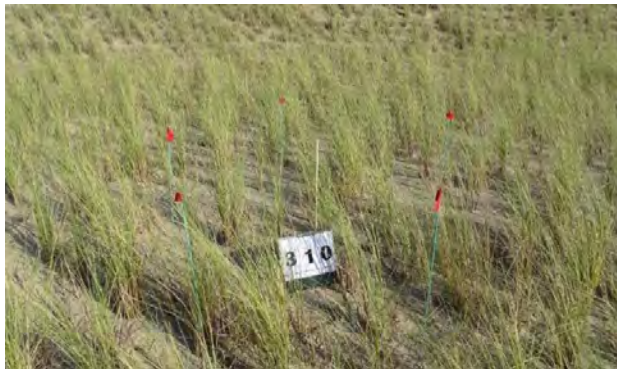
2018



Proefvlak 310 Ingeplante duinen



2016



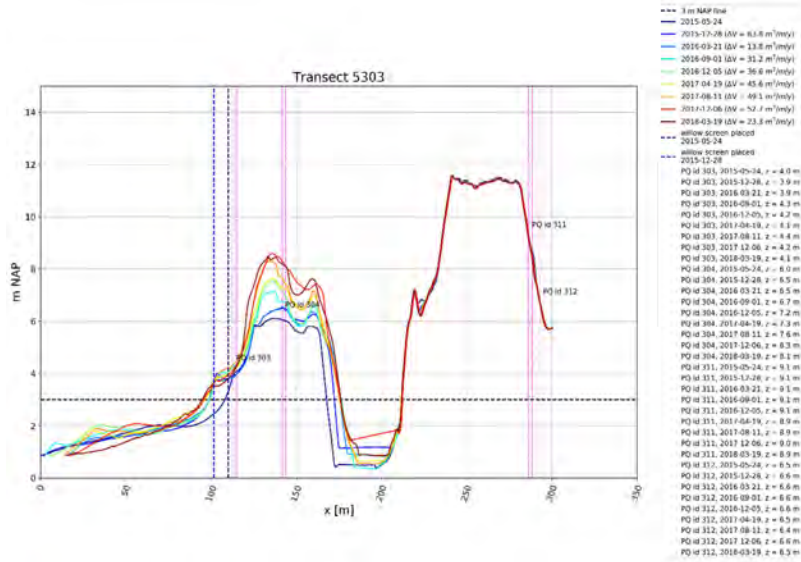
2017



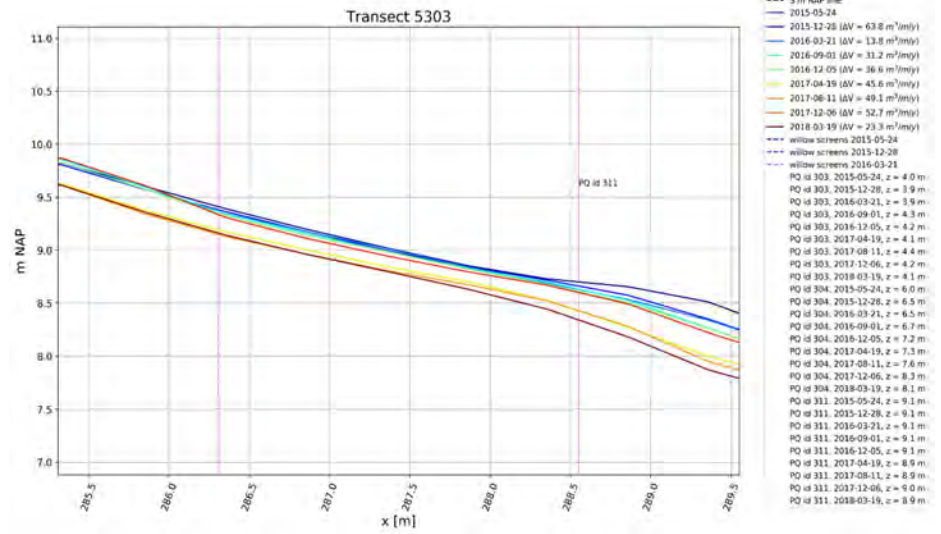
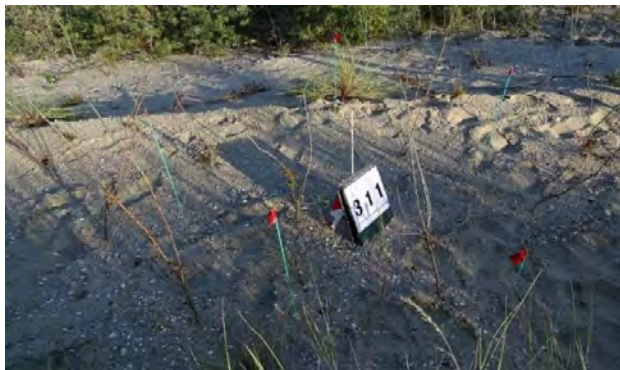
2018



Proefvlak 311 Struweel



2016



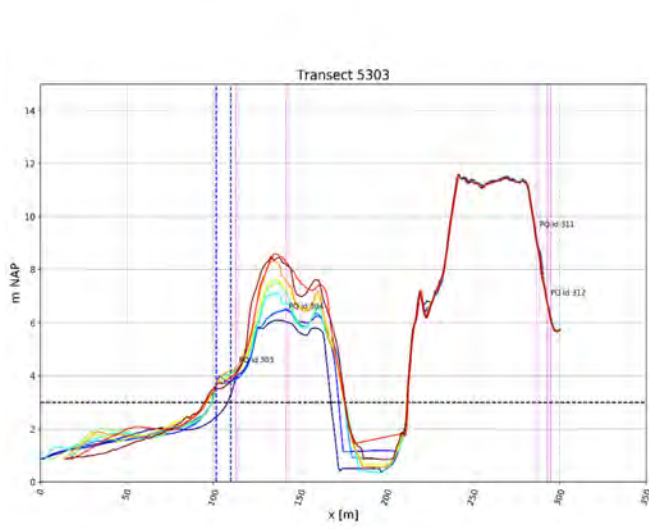
2017



2018

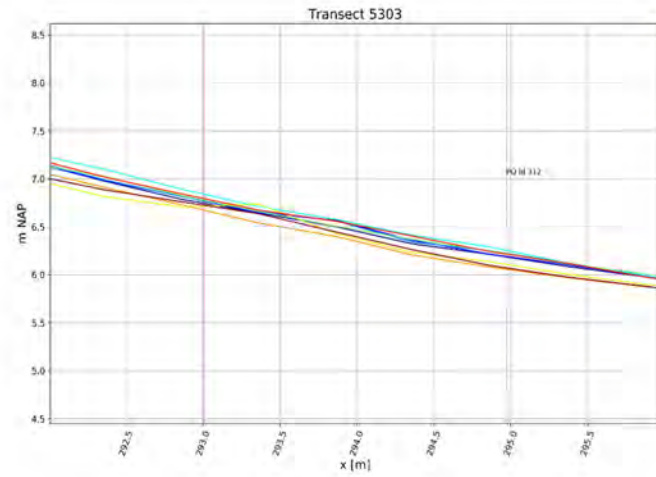


Proefvlak 312 Struweel



- 3 m NAP line
- 2015-05-24
- 2015-12-28 (GV = 63.8 m³/mjy)
- 2016-03-21 (GV = 13.8 m³/mjy)
- 2016-09-01 (GV = 31.2 m³/mjy)
- 2016-12-05 (GV = 26.6 m³/mjy)
- 2017-04-19 (GV = 45.6 m³/mjy)
- 2017-06-11 (GV = 49.1 m³/mjy)
- 2017-12-06 (GV = 52.7 m³/mjy)
- 2018-03-19 (GV = 23.3 m³/mjy)
- without screen placed 2015-05-24
- without screens placed 2015-12-28
- PQ nr 303, 2015-05-24, z = 4.0 m
- PQ nr 303, 2015-12-28, z = 3.9 m
- PQ nr 303, 2016-03-21, z = 3.9 m
- PQ nr 303, 2016-09-01, z = 4.3 m
- PQ nr 303, 2016-12-05, z = 4.2 m
- PQ nr 303, 2017-04-19, z = 4.1 m
- PQ nr 303, 2017-06-11, z = 4.4 m
- PQ nr 303, 2017-12-06, z = 4.2 m
- PQ nr 303, 2018-03-19, z = 4.1 m
- PQ nr 304, 2015-05-24, z = 6.0 m
- PQ nr 304, 2015-12-28, z = 6.5 m
- PQ nr 304, 2016-03-21, z = 6.5 m
- PQ nr 304, 2016-09-01, z = 6.7 m
- PQ nr 304, 2016-12-05, z = 7.2 m
- PQ nr 304, 2017-04-19, z = 7.8 m
- PQ nr 304, 2017-06-11, z = 7.6 m
- PQ nr 304, 2017-12-06, z = 8.3 m
- PQ nr 304, 2018-03-19, z = 8.1 m
- PQ nr 311, 2015-05-24, z = 9.1 m
- PQ nr 311, 2015-12-28, z = 9.1 m
- PQ nr 311, 2016-03-21, z = 9.1 m
- PQ nr 311, 2016-09-01, z = 9.1 m
- PQ nr 311, 2016-12-05, z = 9.1 m
- PQ nr 311, 2017-04-19, z = 8.9 m
- PQ nr 311, 2017-06-11, z = 8.9 m
- PQ nr 311, 2017-12-06, z = 8.6 m
- PQ nr 311, 2018-03-19, z = 8.9 m
- PQ nr 312, 2015-05-24, z = 6.5 m
- PQ nr 312, 2015-12-28, z = 6.6 m
- PQ nr 312, 2016-03-21, z = 6.6 m
- PQ nr 312, 2016-09-01, z = 6.6 m
- PQ nr 312, 2016-12-05, z = 6.6 m
- PQ nr 312, 2017-04-19, z = 6.5 m
- PQ nr 312, 2017-06-11, z = 6.4 m
- PQ nr 312, 2017-12-06, z = 6.6 m
- PQ nr 312, 2018-03-19, z = 6.5 m

2016



- 3 m NAP line
- 2015-05-24
- 2015-12-28 (GV = 63.8 m³/mjy)
- 2016-03-21 (GV = 13.8 m³/mjy)
- 2016-09-01 (GV = 31.2 m³/mjy)
- 2016-12-05 (GV = 26.6 m³/mjy)
- 2017-04-19 (GV = 45.6 m³/mjy)
- 2017-06-11 (GV = 49.1 m³/mjy)
- 2017-12-06 (GV = 52.7 m³/mjy)
- 2018-03-19 (GV = 23.3 m³/mjy)
- without screens 2015-05-24
- without screens 2015-12-28
- without screens 2016-03-21
- PQ nr 303, 2015-05-24, z = 4.0 m
- PQ nr 303, 2015-12-28, z = 3.9 m
- PQ nr 303, 2016-03-21, z = 3.9 m
- PQ nr 303, 2016-09-01, z = 4.3 m
- PQ nr 303, 2016-12-05, z = 4.2 m
- PQ nr 303, 2017-04-19, z = 4.1 m
- PQ nr 303, 2017-06-11, z = 4.4 m
- PQ nr 303, 2017-12-06, z = 4.2 m
- PQ nr 303, 2018-03-19, z = 4.1 m
- PQ nr 304, 2015-05-24, z = 6.0 m
- PQ nr 304, 2015-12-28, z = 6.5 m
- PQ nr 304, 2016-03-21, z = 6.5 m
- PQ nr 304, 2016-09-01, z = 6.7 m
- PQ nr 304, 2016-12-05, z = 7.2 m
- PQ nr 304, 2017-04-19, z = 7.8 m
- PQ nr 304, 2017-06-11, z = 7.6 m
- PQ nr 304, 2017-12-06, z = 8.3 m
- PQ nr 304, 2018-03-19, z = 8.1 m
- PQ nr 311, 2015-05-24, z = 9.1 m
- PQ nr 311, 2015-12-28, z = 9.1 m
- PQ nr 311, 2016-03-21, z = 9.1 m
- PQ nr 311, 2016-09-01, z = 9.1 m
- PQ nr 311, 2016-12-05, z = 9.1 m
- PQ nr 311, 2017-04-19, z = 8.9 m
- PQ nr 311, 2017-06-11, z = 8.9 m
- PQ nr 311, 2017-12-06, z = 8.6 m
- PQ nr 311, 2018-03-19, z = 8.9 m
- PQ nr 312, 2015-05-24, z = 6.5 m
- PQ nr 312, 2015-12-28, z = 6.6 m
- PQ nr 312, 2016-03-21, z = 6.6 m
- PQ nr 312, 2016-09-01, z = 6.6 m
- PQ nr 312, 2016-12-05, z = 6.6 m
- PQ nr 312, 2017-04-19, z = 6.5 m
- PQ nr 312, 2017-06-11, z = 6.4 m
- PQ nr 312, 2017-12-06, z = 6.6 m
- PQ nr 312, 2018-03-19, z = 6.5 m

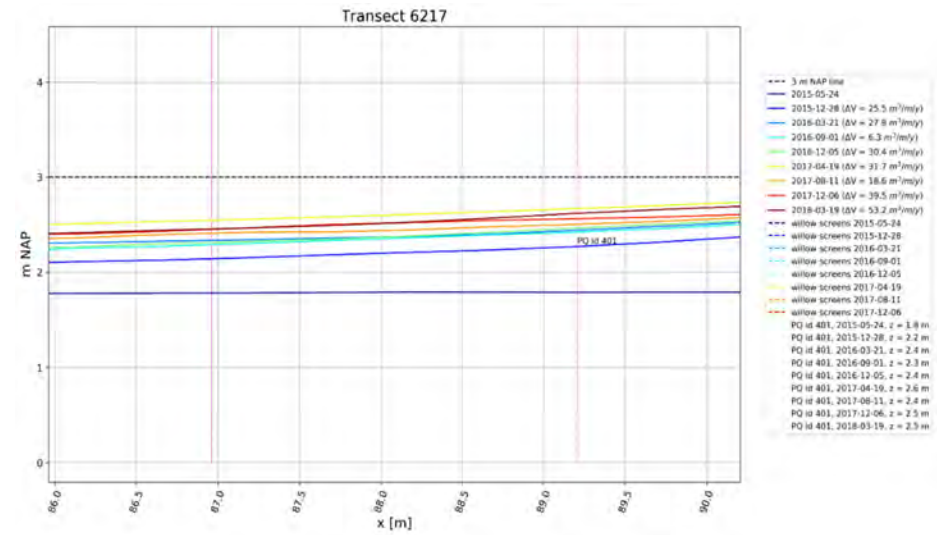
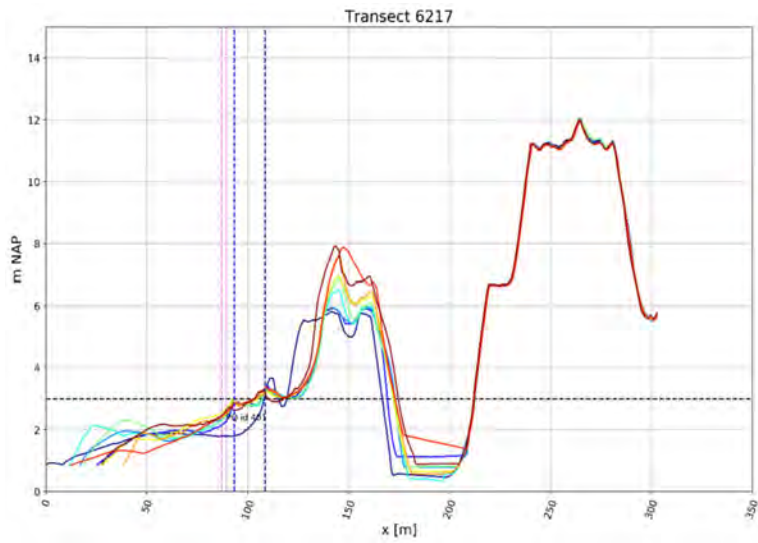
2017



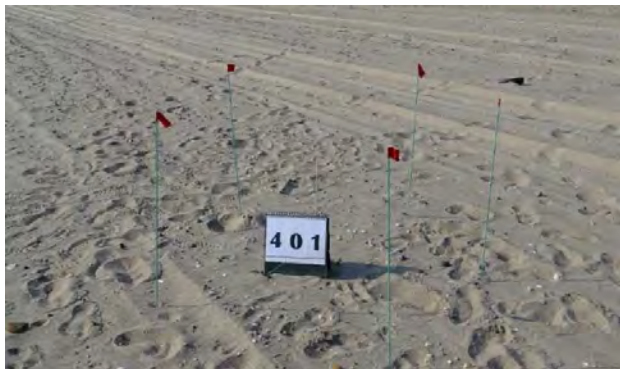
2018



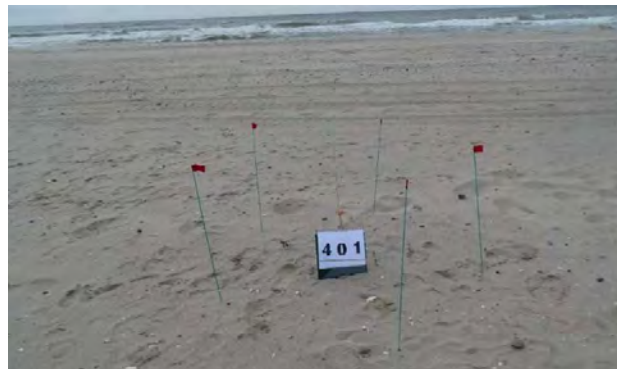
Proefvlak 401, Strand



2016



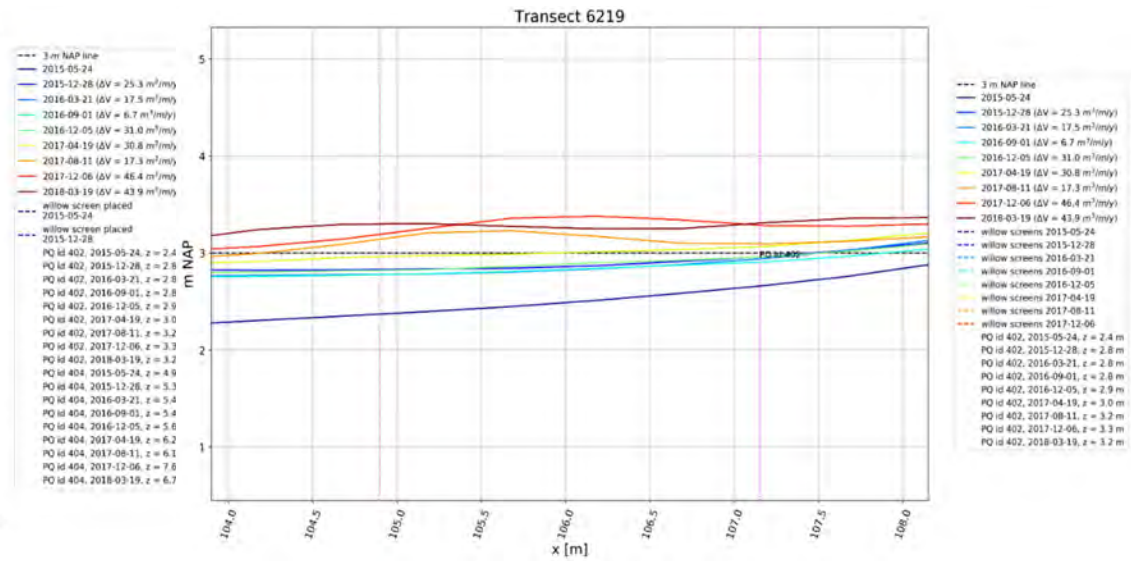
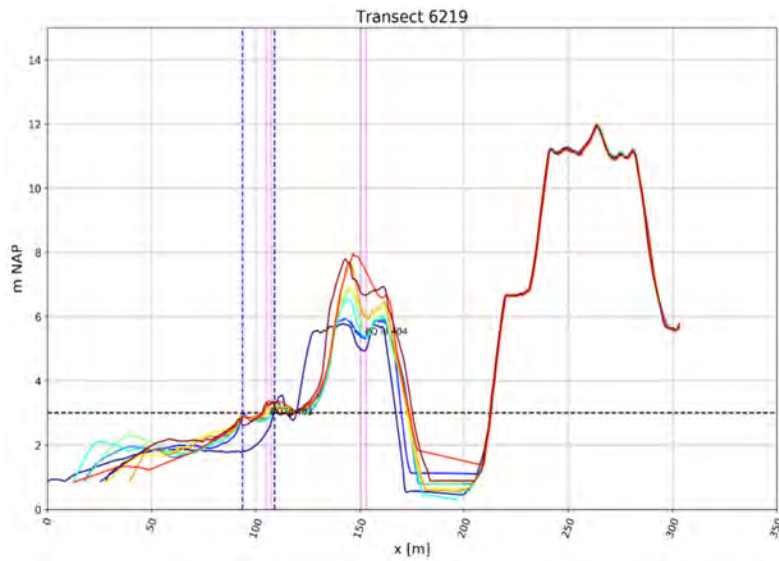
2017



2018



Proefvlak 402, Strand



2016



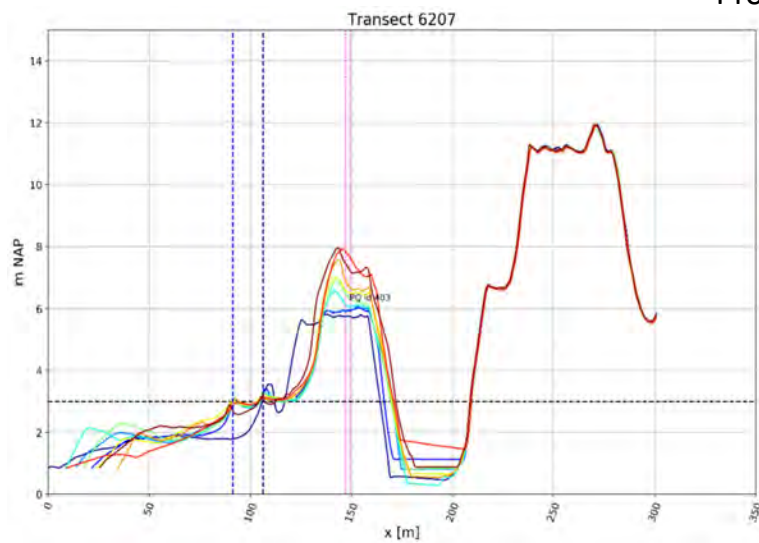
2017



2018



Proefvlak 403, Ingeplante duinen



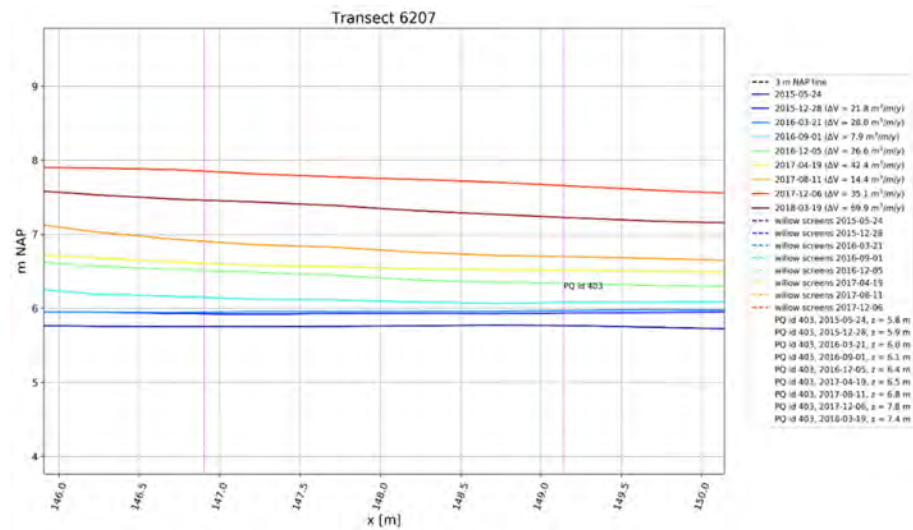
2016



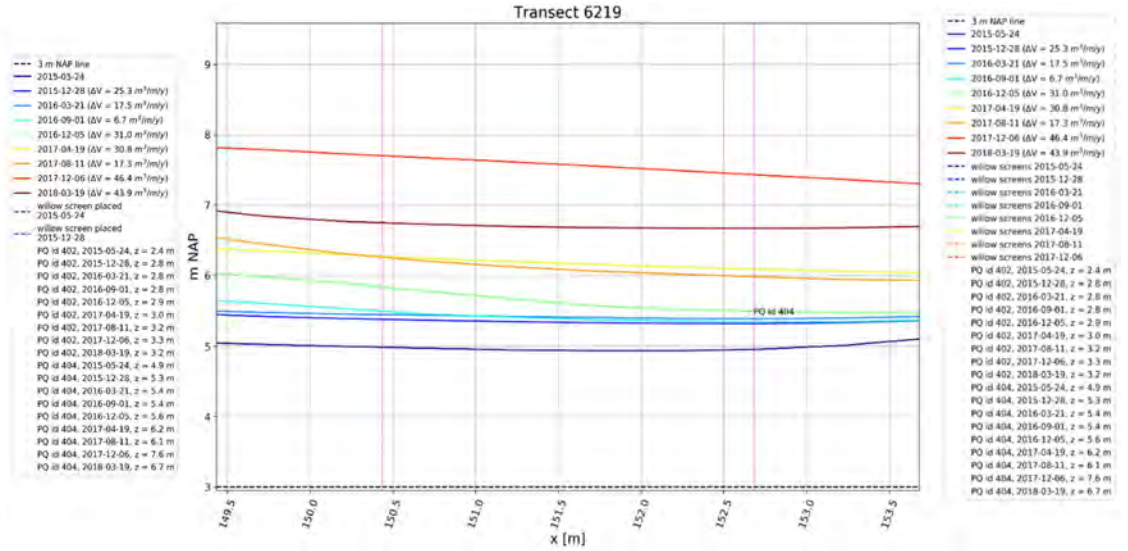
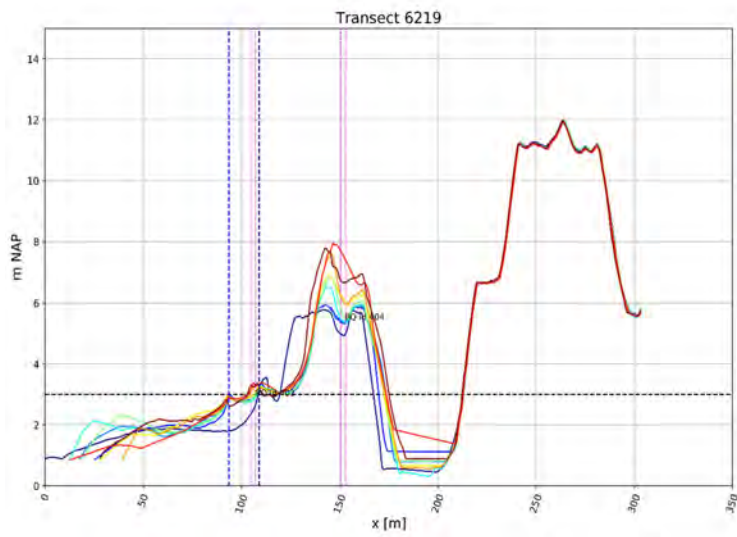
2017



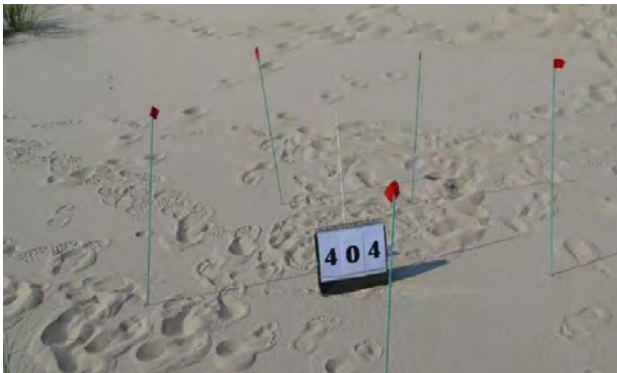
2018



Proefvlak 404, Luwe laagte



2016



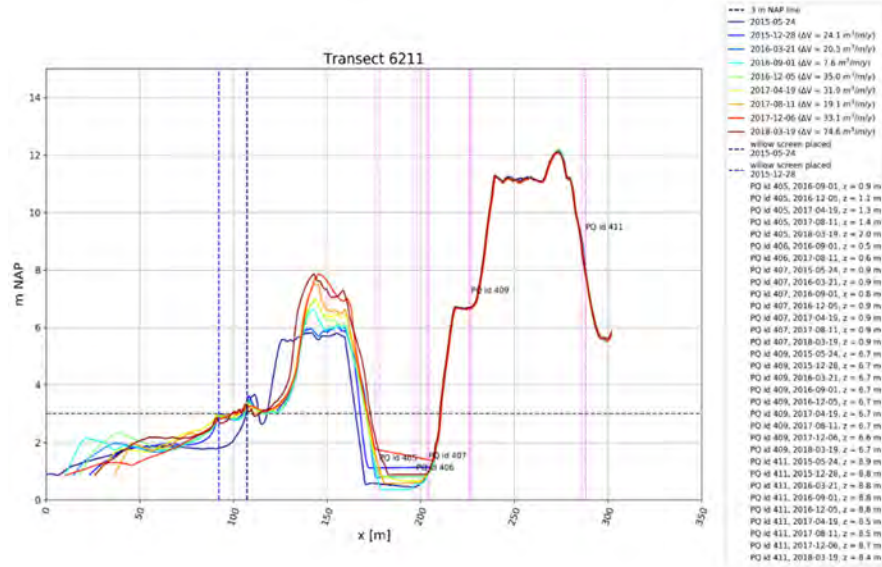
2017



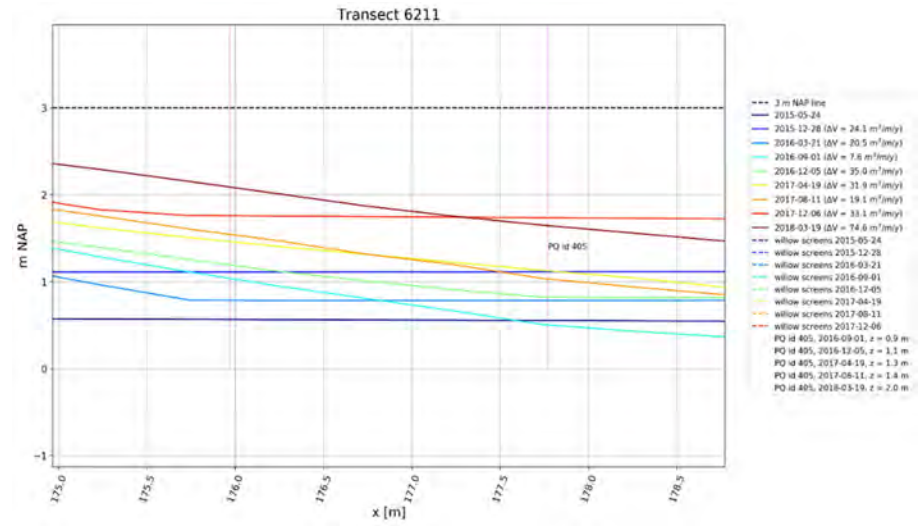
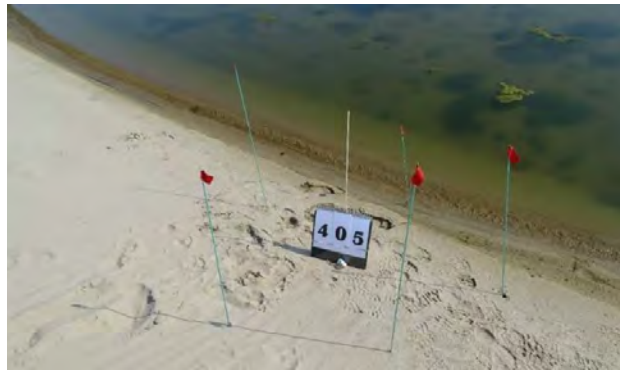
2018



Proefvlak 405 Oever



2016



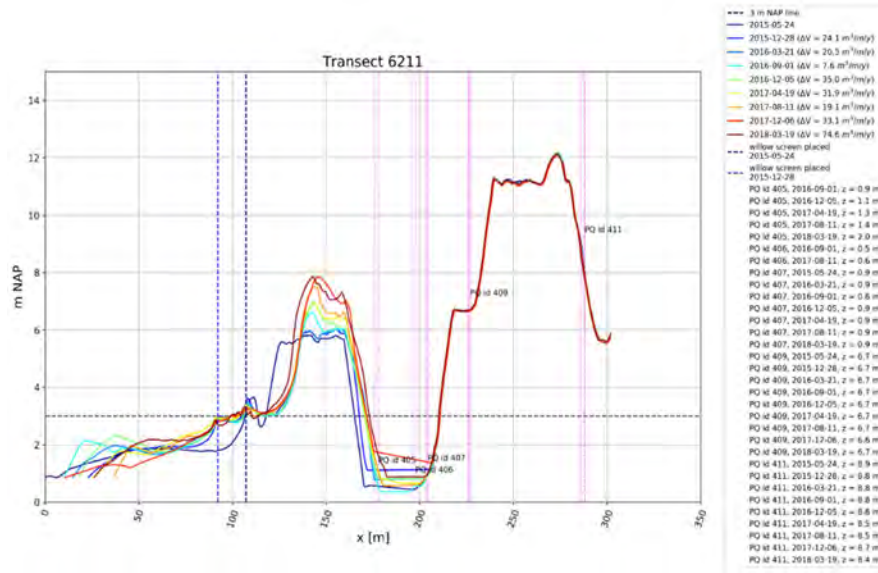
2017



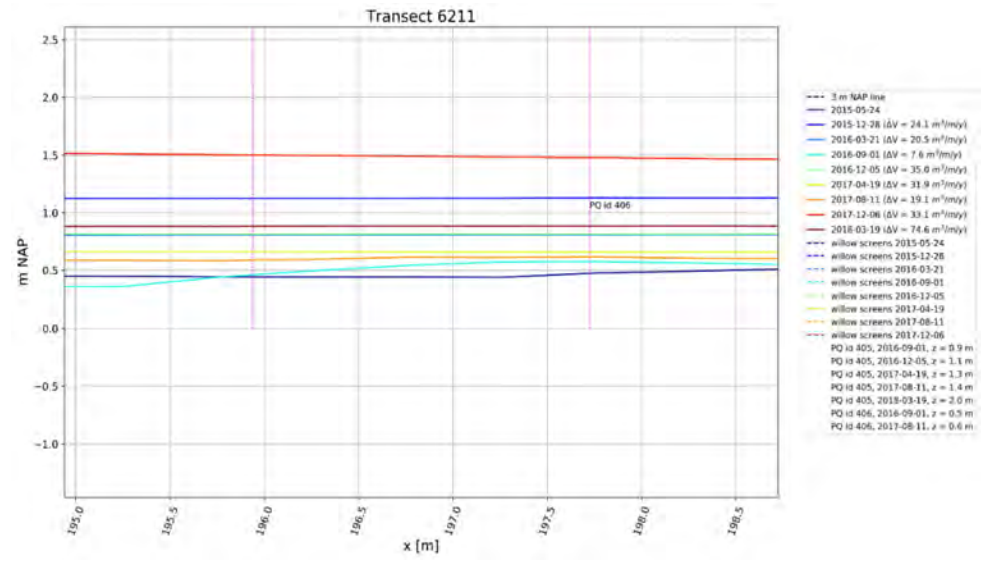
2018



Proefvlak 406, Oever



2016



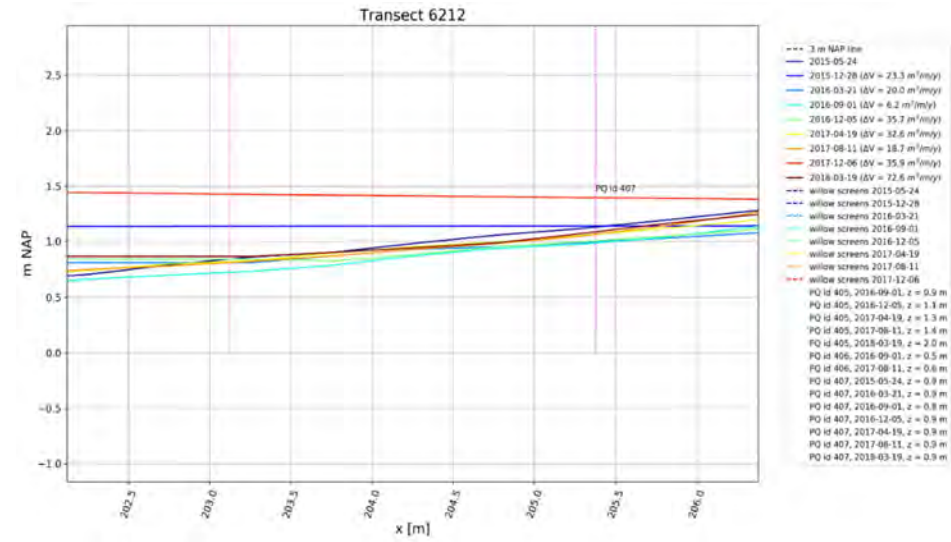
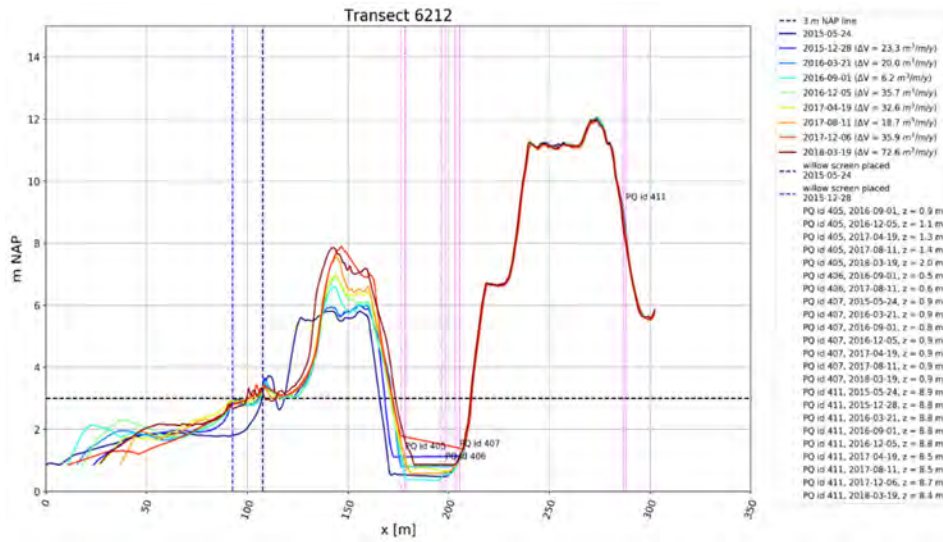
2017



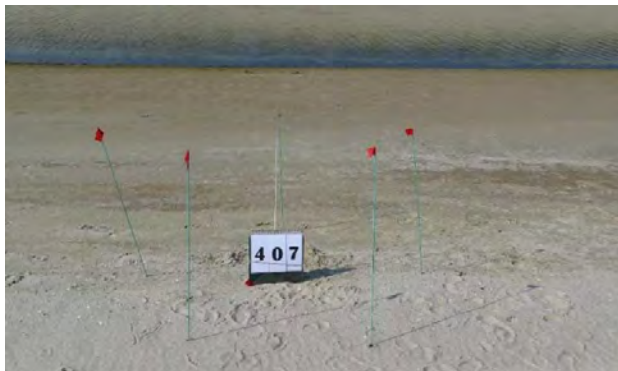
2018



Proefvlak 407, Oever



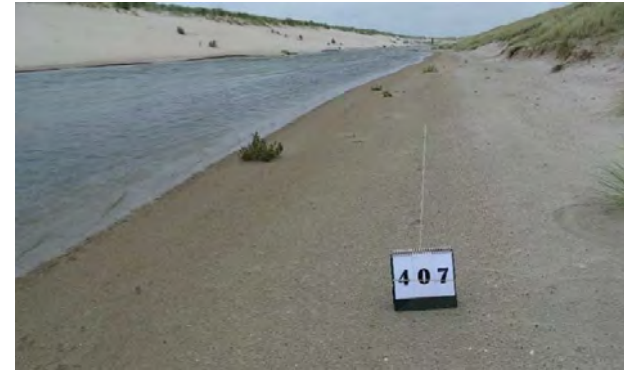
2016



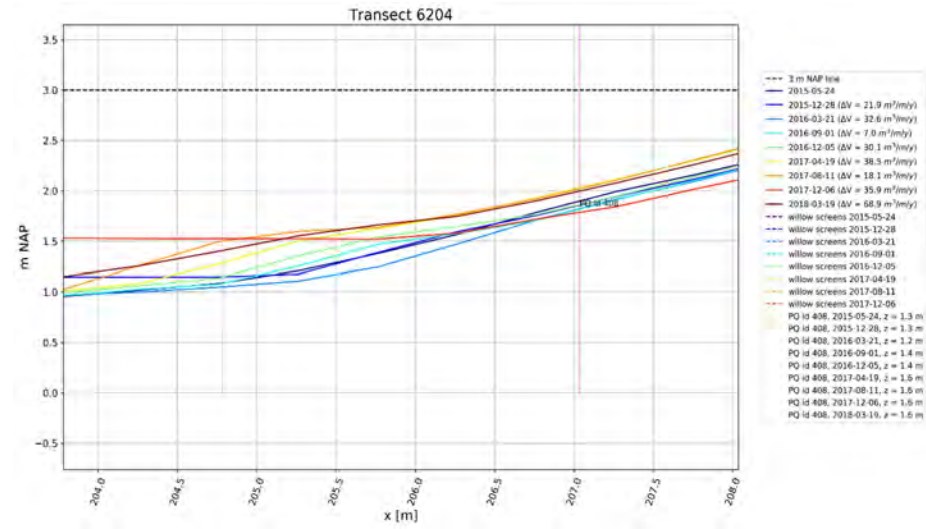
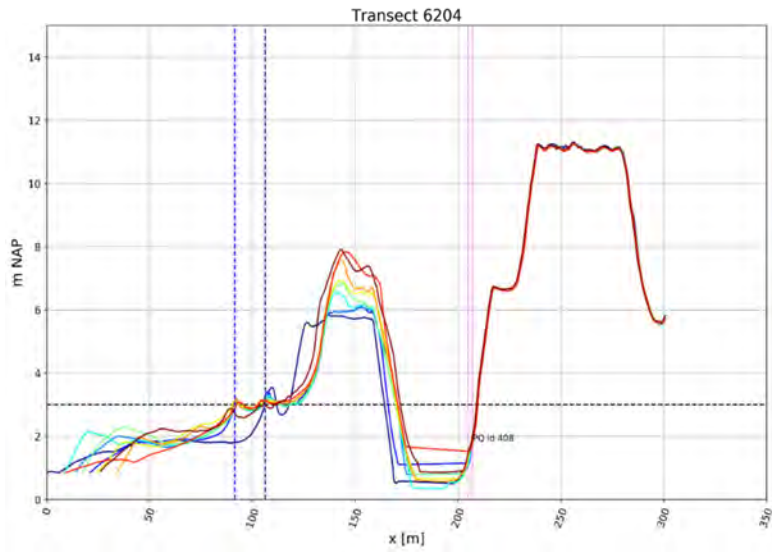
2017



2018



Proefvlak 408, Oever



2016



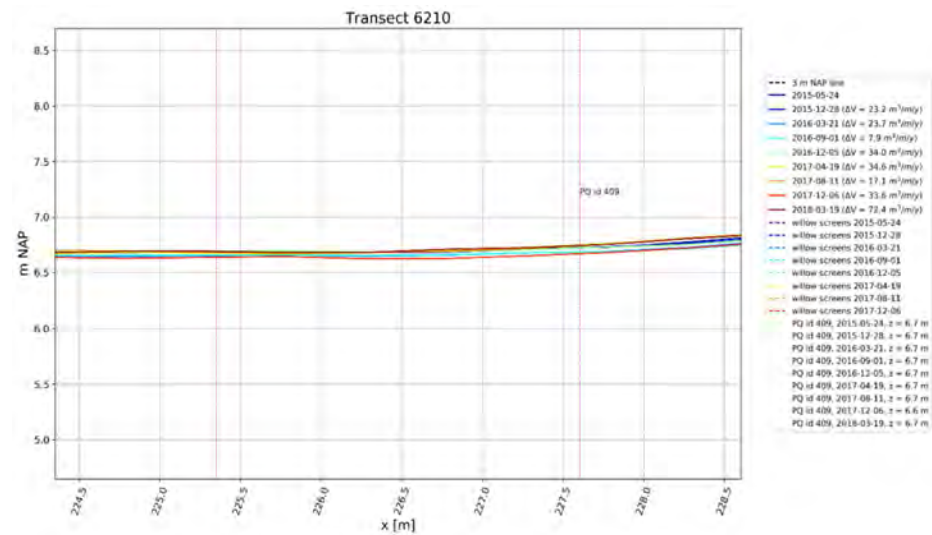
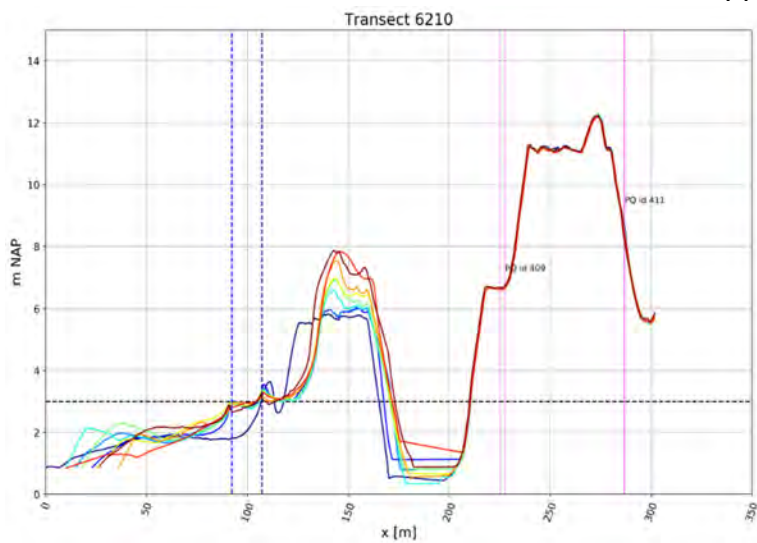
2017



2018



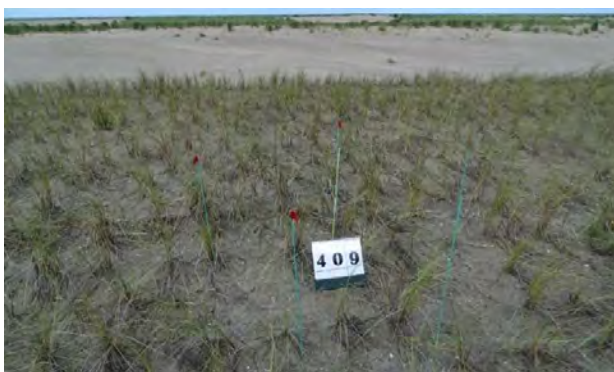
Proefvlak 409, Ingeplante duinen



2016



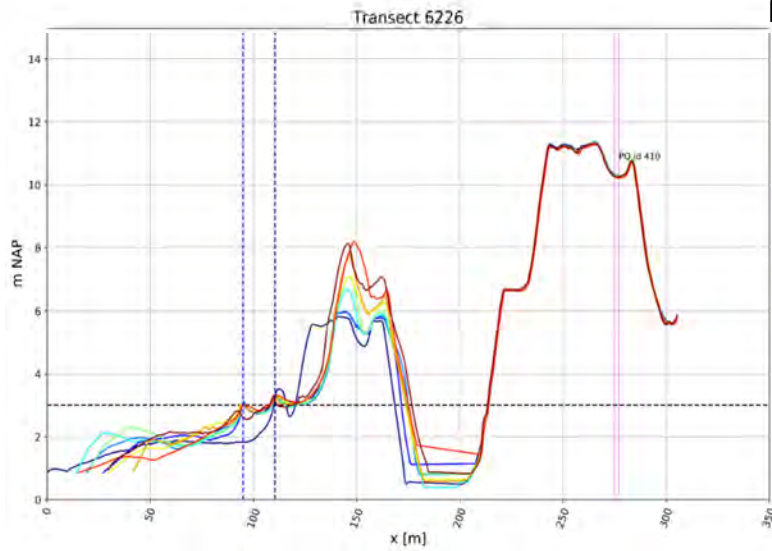
2017



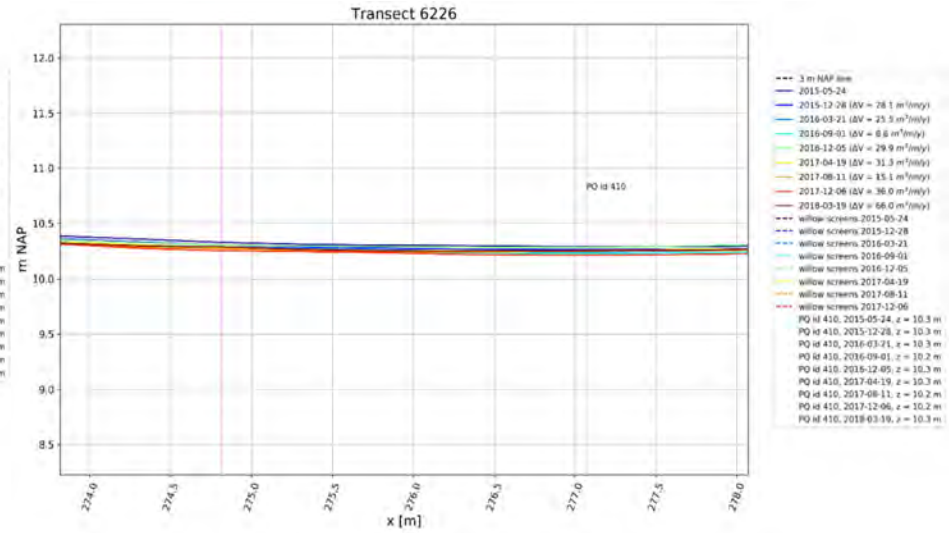
2018



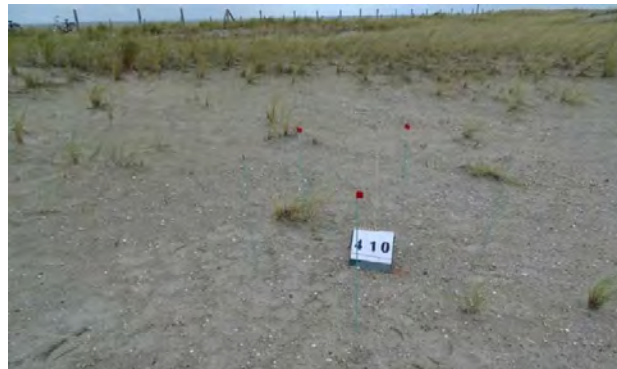
Proefvlak 410, Luwe laagte



2016



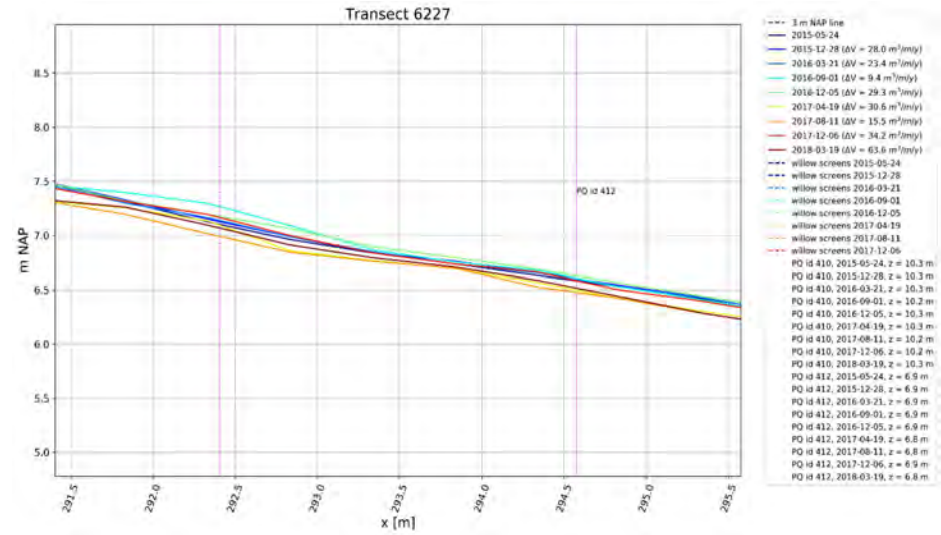
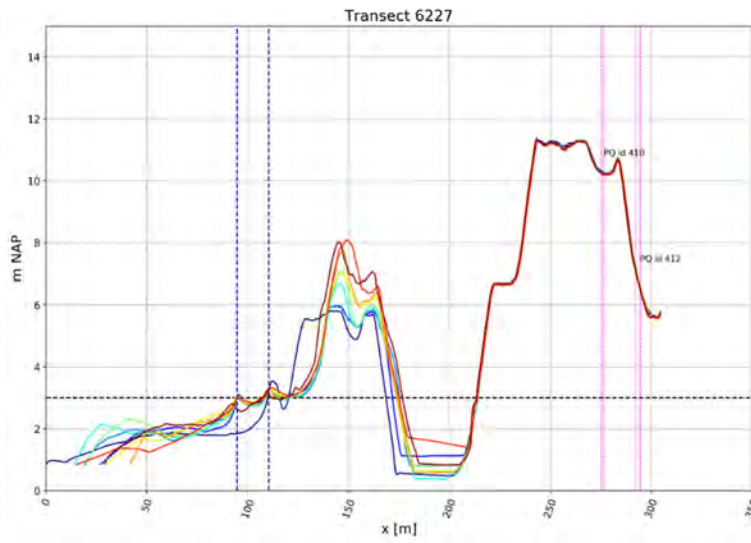
2017



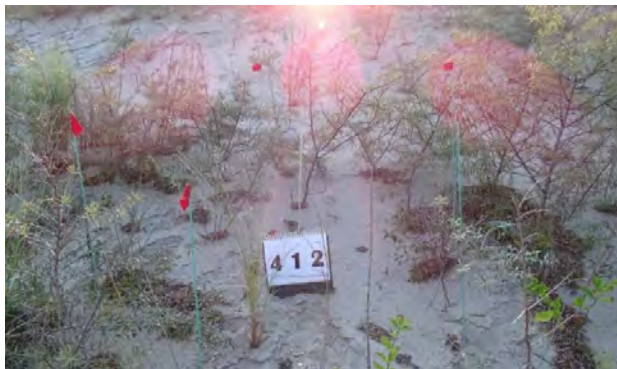
2018



Proefvlak 412, Struweel



2016



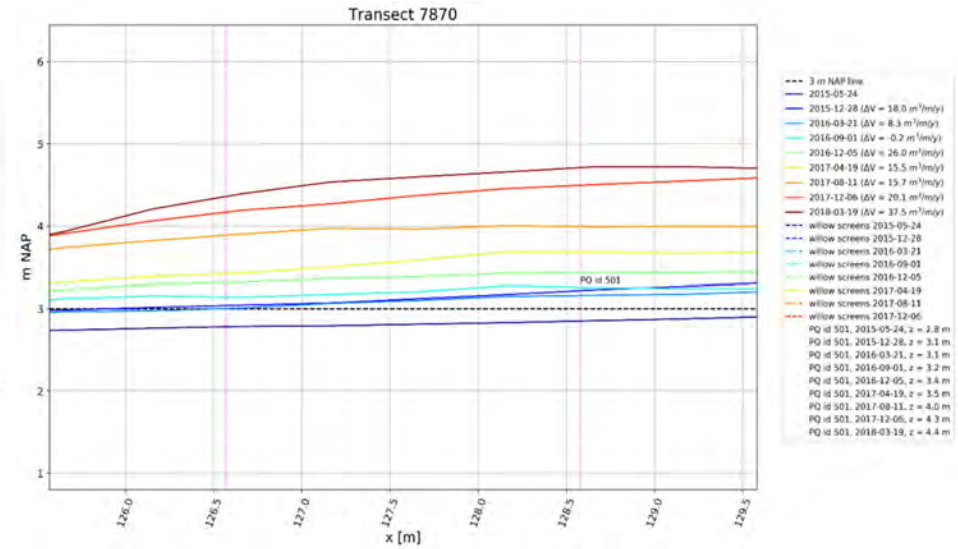
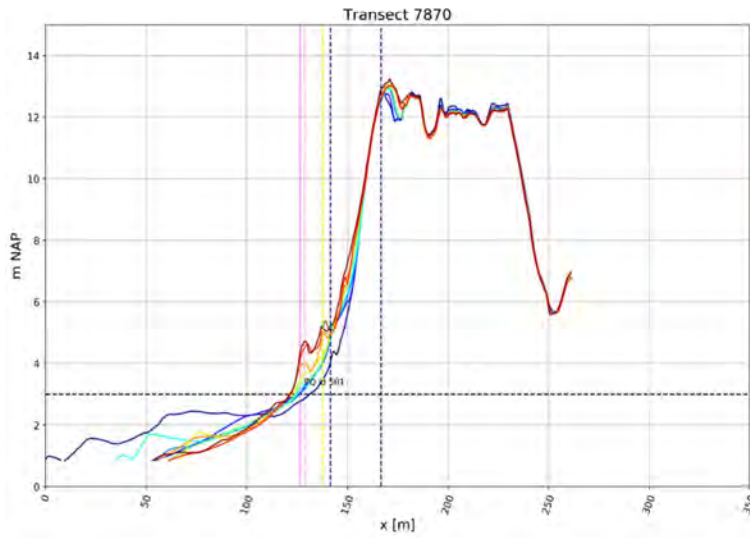
2017



2018



Proefvlak 501, Strand



2016



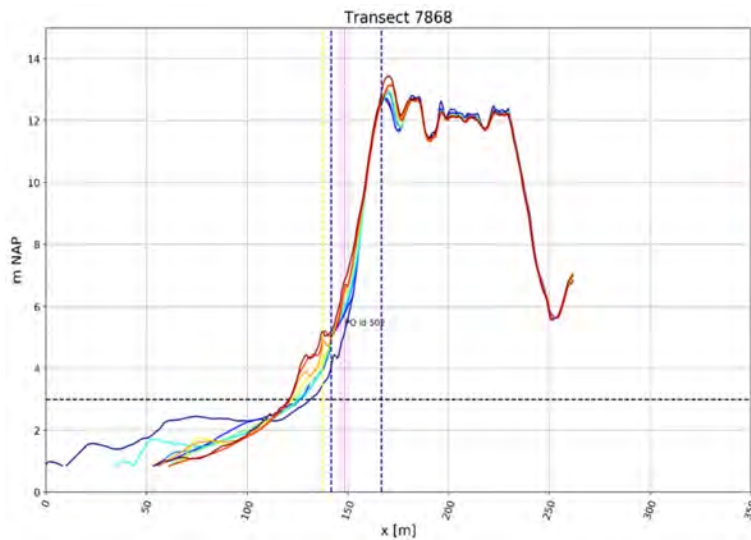
2017



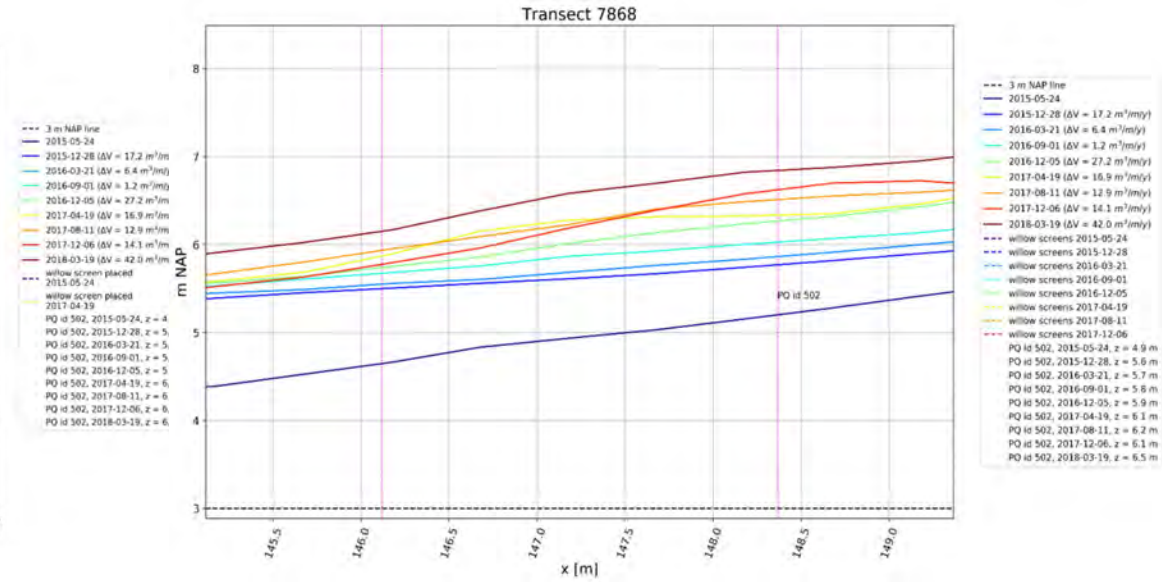
2018



Proefvlak 502, Strand



2016



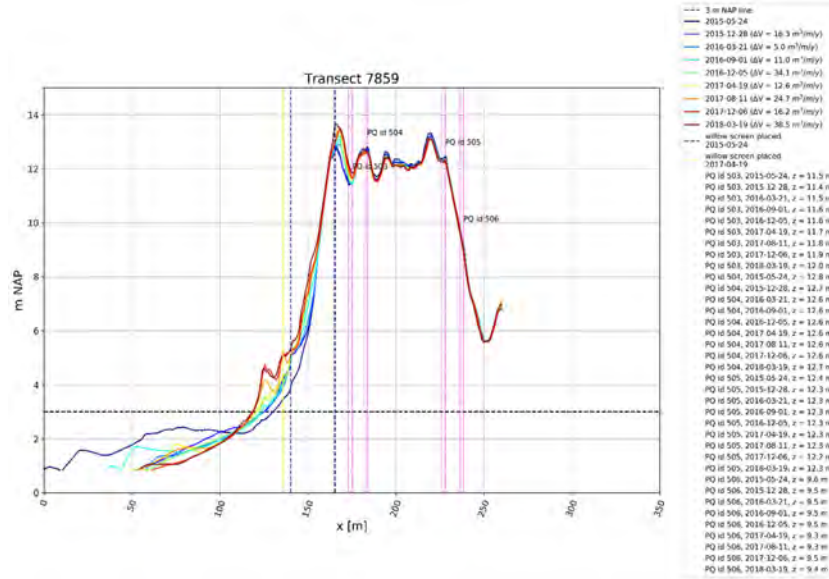
2017



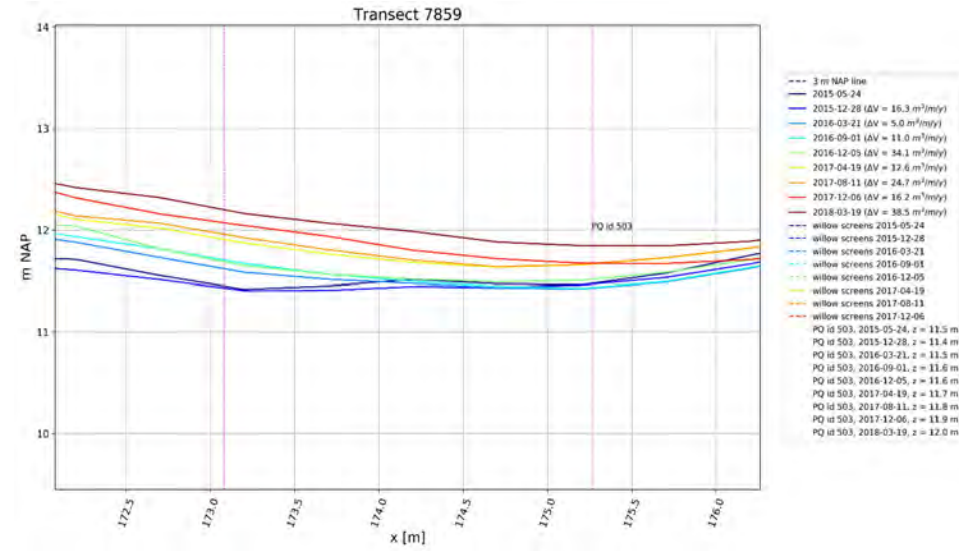
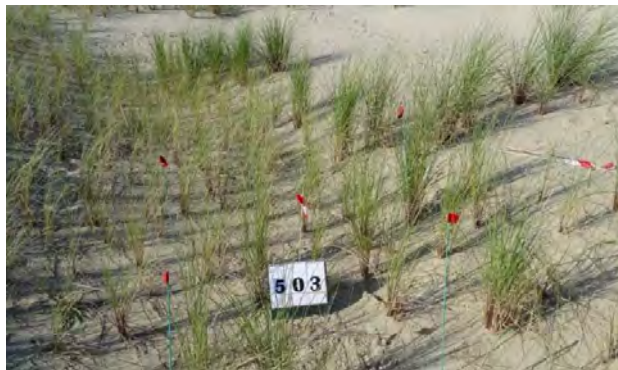
2018



Proefvlak 503, Ingeplante duinen



2016



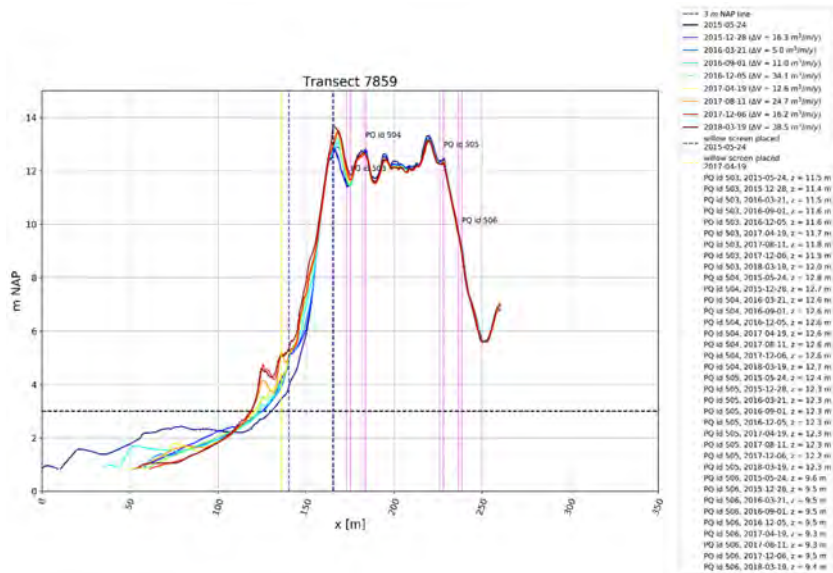
2017



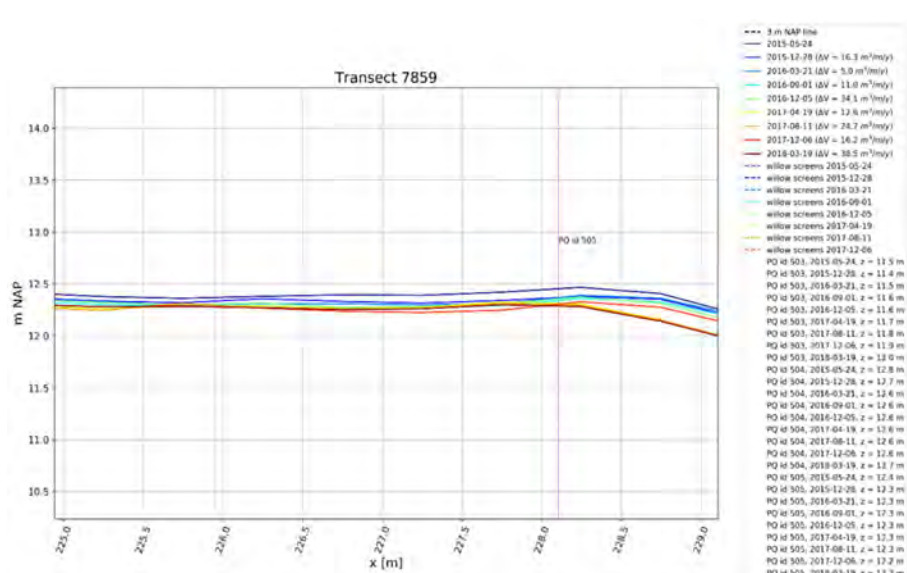
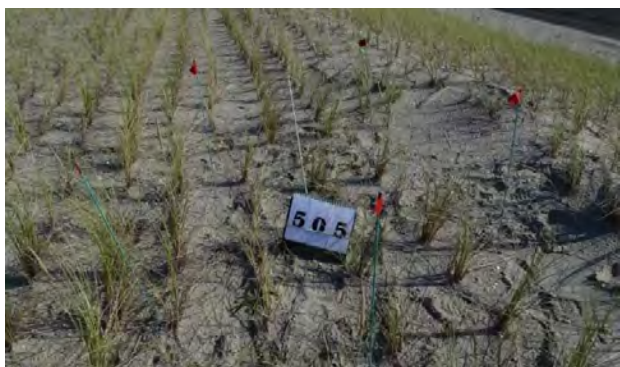
2018



Proefvlak 505, Ingeplante duinen



2016



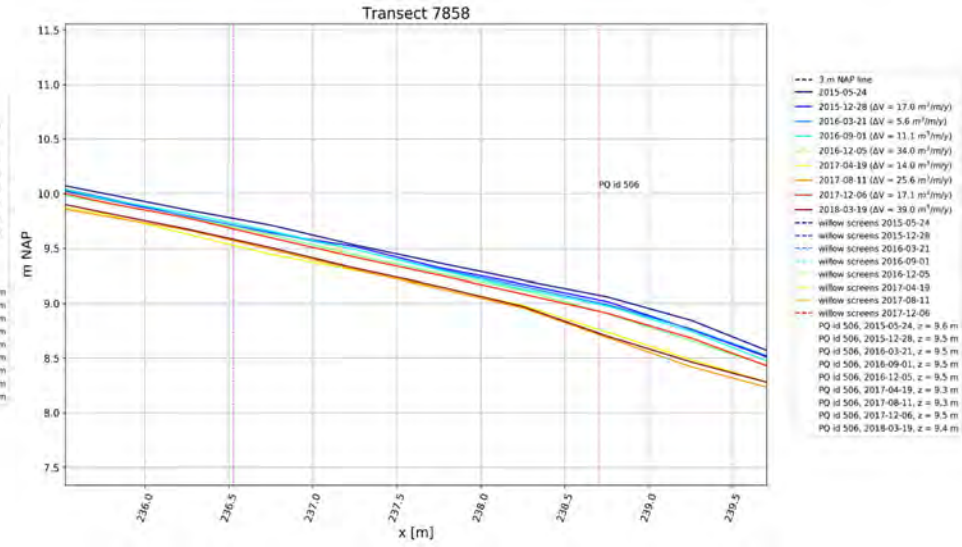
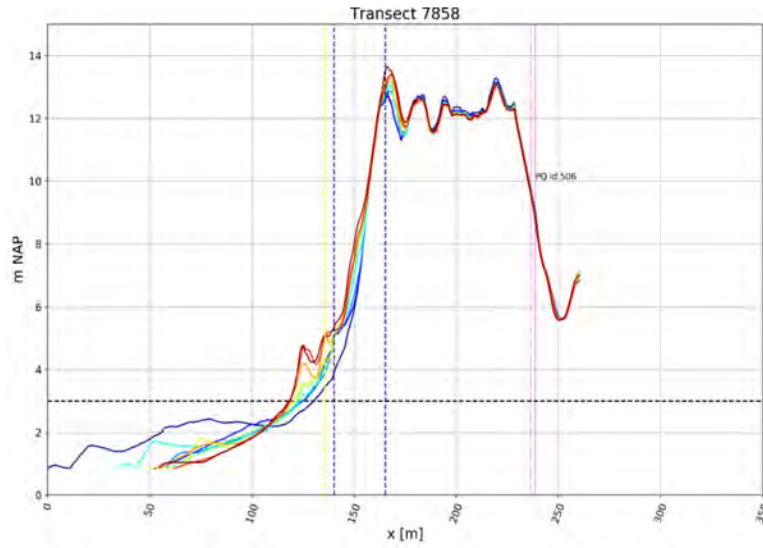
2017



2018



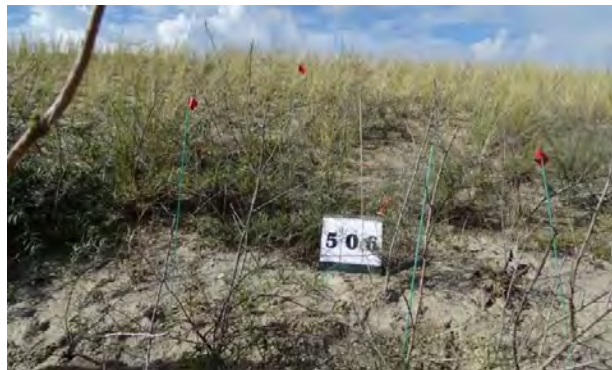
Proefvlak 506, Struweel



2016



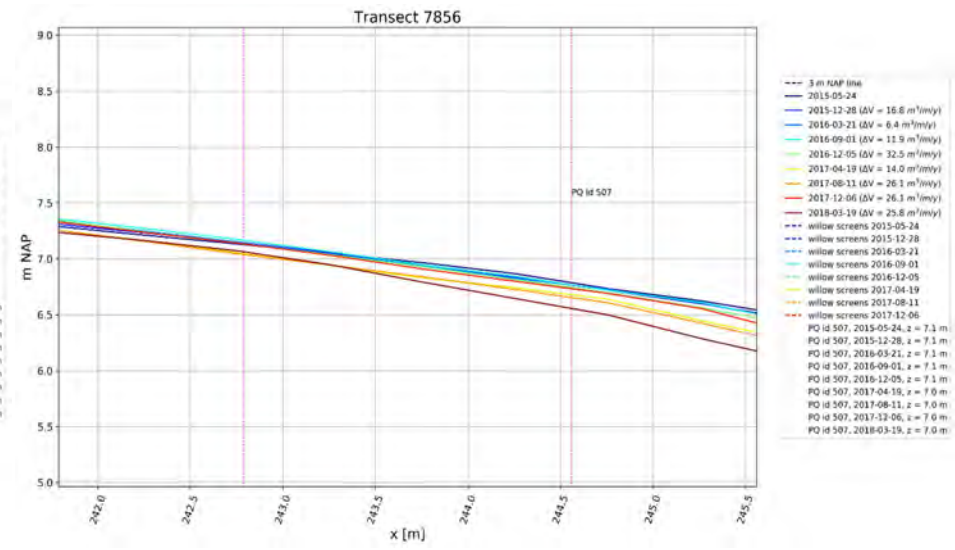
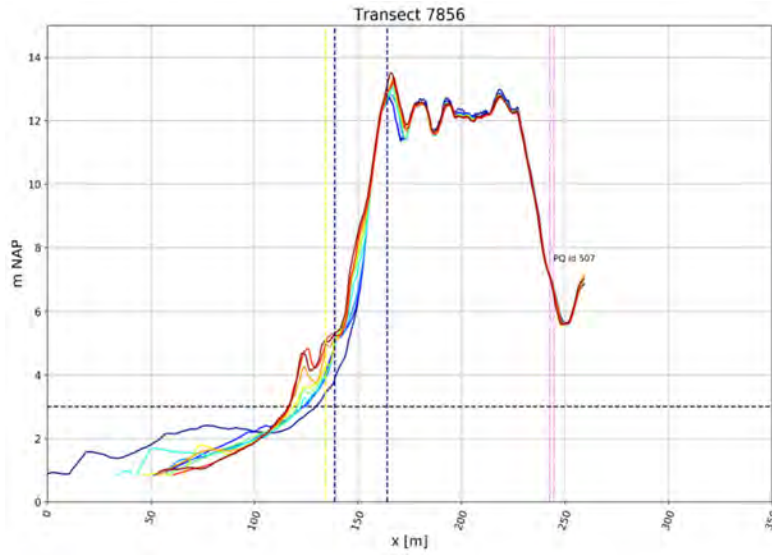
2017



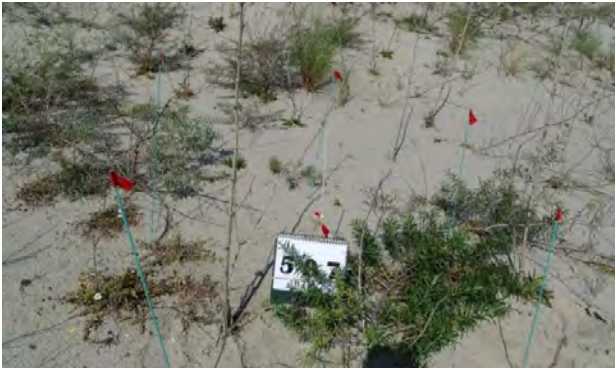
2018



Proefvlak 507, Struweel



2016



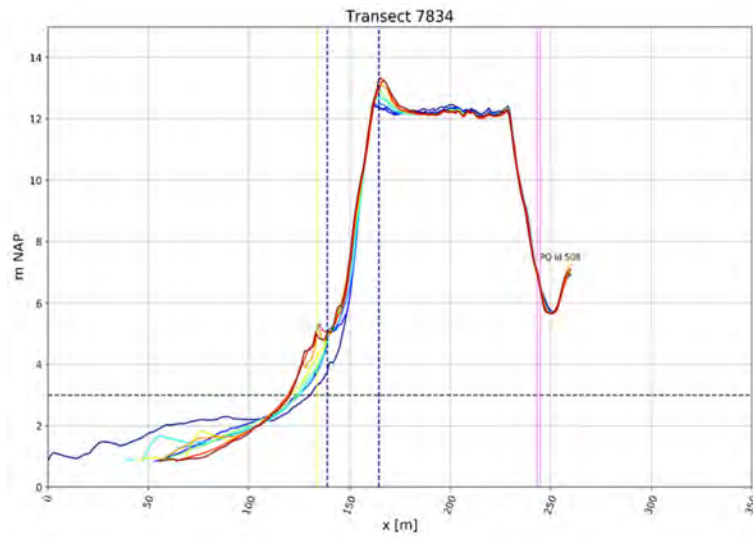
2017



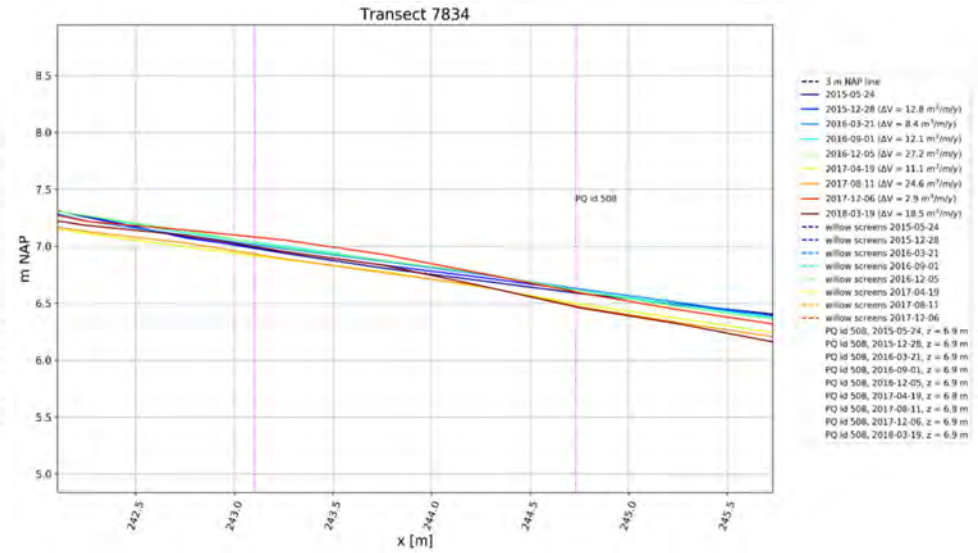
2018



Proefvlak 508, Struweel



2016



2017



2018

