



# Monitoringsrapportage 2017

## HPZ innovatieproject, document v0.1



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



hoogheemraadschap  
Hollands  
Noorderkwartier



Project	Ecoshape HPZ-innovatieproject
Opdrachtgever	Ecoshape
Document	[Witteveen+Bos rapport nr. DDT169-113-18-000.148; Wageningen Marine Research rapport nr. C111/17]
Status	Concept 01
Datum	8 januari 2018
Referentie	DDT169-13/18-000.148
Auteur(s)	Willem Bodde, Maarten Jansen, Marije Smit (Witteveen+Bos) Michaela Scholl, Georgette Lagendijk (Wageningen Marine Research) Loek Kuiters, Daisy de Vries, Henk Kramer, Nina Smits (Wageningen Environmental Research) Jakolien Leenders (HKV)
Gecontroleerd door	-
Goedgekeurd door	Maarten Jansen (Witteveen+Bos); Martin Baptist (Wageningen Marine Research)
Paraaf	

Dit project ontving cofinanciering van het ministerie van Economische Zaken, het kennisbasisproject KB-24-001-002, voor het gedeelte uitgevoerd door Wageningen Marine Research en KB-24-001-010 voor het gedeelte uitgevoerd door Wageningen Environmental Research.

## INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>7</b>
1.1	Achtergrond	7
1.2	HPZ-gebied	8
1.3	Doel van dit rapport	8
1.4	Leeswijzer	9
<b>2</b>	<b>MONITORINGSPROGRAMMA</b>	<b>10</b>
2.1	Doel monitoringsprogramma	10
2.2	Studiegebied	11
2.2.1	Gehanteerde benamingen	11
2.2.2	Definitie transecten	11
2.2.3	Variatie in korreldiameter bij aanleg	12
2.3	Hoogtemetingen en luchtfoto's	13
2.3.1	Eenmalige initiële hoogtemetingen en luchtfoto's	15
2.3.2	Reguliere hoogtemetingen	15
2.3.3	Aanvullende hoogtemetingen	16
2.4	Overige data-inzameling	16
2.4.1	Grondwater	16
2.4.2	Saliniteit	16
2.4.3	Grind- en schelpenbedekking	16
2.5	Vegetatieontwikkeling	16
2.6	Expertsessies en veldbezoeken	16
2.7	Brainstormsessies ('samenwerkdagen')	17
2.8	Dataopslag	17
<b>3</b>	<b>THEMALIJN B: ANALYSE EFFECTEN MAATREGELEN (2)</b>	<b>18</b>
3.1	Inleiding	18
3.2	Methode	19
3.2.1	LiDAR metingen en luchtfoto's	19
3.2.2	Data analyse GIS	20
3.2.3	Data analyse dwarsprofielen	20
3.2.4	Statistische analyse dwarsprofielen	21
3.2.5	Aanleg duingebied in de tijd en werkzaamheden	21

3.3	Resultaten	21
3.3.1	Windklimaat	21
3.3.2	Totale accumulatie	23
3.3.3	Effect vormgeving duin	29
3.3.4	Effecten maatregelen	29
3.4	Conclusies	32
<b>4</b>	<b>VEGETATIEONTWIKKELING</b>	<b>34</b>
4.1	Inleiding	34
4.1.1	Achtergrond	34
4.1.2	Doel van de vegetatiemonitoring	34
4.2	Methoden	35
4.2.1	Vegetatie	35
4.2.2	Bodem	36
4.2.3	Data-analyse	36
4.2.4	Vegetatiestructuurkaart	37
4.3	Resultaten	37
4.3.1	Vegetatieontwikkelingen	37
4.3.2	Data-analyse	50
4.3.3	Vegetatiestructuurkaart	51
<b>5</b>	<b>INTERACTIE TUSSEN MORFOLOGIE EN VEGETATIE</b>	<b>56</b>
5.1	Achtergrond	56
5.2	Ruimtelijke en temporele relatie tussen geomorfologische dynamiek en vegetatieontwikkeling	56
5.2.1	DUBEVEG-model	57
5.2.2	Additionele analyses en aanzetten voor (semi-)kwantitatieve analyses	58
5.2.3	Fauna	64
5.3	Toepassing andere locaties	65
5.3.1	Generalisaties	65
5.3.2	Vergelijking met andere zandige kustversterkingen	65
5.3.3	ADC-toets	66
<b>6</b>	<b>TUSSENTIJDSE BEVINDINGEN EN AANBEVELINGEN</b>	<b>67</b>
6.1	Evaluatie monitoringsprogramma	67
6.2	Aandachtspunten en aanbevelingen voor beheer	68
<b>7</b>	<b>REFERENTIES</b>	<b>69</b>
	Laatste pagina	69

	<b>Bijlage(n)</b>	<b>Aantal pagina's</b>
I	Coördinaten van permanente kwadraten	1
II	Londo dekkingschaal	1
III	Werkwijze vegetatiestructuurkaart	3
IV	Kalkgehalten zand	1



# 1

## INLEIDING

### 1.1 Achtergrond

In de periode van eind 2013 tot december 2015 is de Hondsbossche en Pettemer Zeewering (HPZ) versterkt met een volledig zandige oplossing. Het toegepaste ontwerp bestaat uit een zachte ondiepe vooroever (strand) en verschillende onderdelen van een duinlandschap en had als dubbele ontwerpdoelstelling: primaire kustveiligheid en ruimtelijke kwaliteit. Voor een overzicht van de aanlegtopografie en maatregelen zoals helminplant en stuifschermen zie 'Inventarisatie maatregelen ontwerp HPZ' (Leenders en Smit 2016).

Bij de HPZ wordt in lijn met de *Building with Nature (BwN)*-aanpak gebruik gemaakt van natuurlijke processen. De verwachting is dat daarmee betere en – over de gehele levensduur van een project gerekend – (kosten)effectievere ontwerp oplossingen kunnen worden bereikt dan met een traditionele aanpak. De praktische kennis die daarvoor nodig is, kan echter alleen worden verkregen en gevalideerd in grote uitvoeringsprojecten zoals het HPZ-project.

De centrale vraag is in hoeverre vooraf geformuleerde (op natuur gebaseerde) ontwerpdoelstellingen daadwerkelijk te realiseren zijn. Om een bijdrage te leveren aan de beantwoording van die vraag is het Ecoshape HPZ-innovatieproject gestart. In dat project wordt onderzocht welke verbeteringen mogelijk zijn in de aanleg van zandige kustversterkingen met de focus op kustveiligheid, ecologie en beleving. Het project richt zich daarbij specifiek op processen die boven water plaatsvinden in het gebied, direct aansluitend op de oude HPZ-dijk. Het kent drie themalijnen: ecologische habitatontwikkeling (thema A); geometrieontwikkeling en optimalisatie ontwerp (thema B); en beleving (thema C), die onderverdeeld zijn naar meerdere sub-thema's (tabel 1.1).

Tabel 1.1 Hoofd- en subthema's Ecoshape HPZ-innovatieproject

Themalijn	Sub-thema	Onderwerp
habitatontwikkeling	A.0	werkplan thema A, thema-trekkerschap en afstemming
	A.1	vegetatiemonitoring
	A.2	morfologie en vegetatie
	A.3	toepassing andere locaties
ontwerptimalisatie	B0 en B0.1	werkplan thema B, thema-trekkerschap en afstemming
	B1	optimalisatieruimte
	B2	geometrieontwikkeling
	B3	inpassing in veiligheidsontwerp
meewegen beleving	C3	verstuiving

Begin 2017 is de eerste monitoringsrapportage (over de metingen tot en met 2016) opgeleverd (Bodde et al. 2017). Deze is hoofdzakelijk gewijd aan thema B2 (geometrieontwikkeling). Voor sub-thema A2 (morfologie en vegetatie) is vanwege de toen nog geringe analysemogelijkheden na slechts één monitoringjaar geen eigen rapport opgesteld maar op onderdelen bij het B2-rapport aangesloten. Over de vegetatiemonitoring

in 2016 (sub-thema A1) is wel afzonderlijk gerapporteerd (Smits et al. 2016). Dat rapport is als bijlage aan Bodde et al. (2017) toegevoegd.

## 1.2 HPZ-gebied

De zandige versterking bij de HPZ is uitgevoerd vanaf eind 2013 tot december 2015. Eerst is het zand opgespoten en in de gewenste vorm gebracht. Vervolgens is het gebied ingericht met helminplant, diverse stuifwerende maatregelen en recreatievoorzieningen. Een overzicht van de aanlegtopografie en maatregelen is gegeven in 'Inventarisatie maatregelen ontwerp HPZ' (Leenders en Smit 2016). Het gebied wordt getoond in afbeelding 1.1.

Vanwege de aanzienlijke omvang van het project (circa 8,5 km langs de kust, waarvan 5,5 km langs de oude dijk) is het gebied geleidelijk gereedgekomen. 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.

Afbeelding 1.1 Zandige versterking van de HPZ met de ontwerpelementen: helminplant, luwe laagtes (dat zijn de niet-ingeplante vakken), wilgenschermen en in de verte de vochtige duinvallei. (Foto: [www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl](http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl))



## 1.3 Doel van dit rapport

Het voorliggende rapport is een gezamenlijk jaarrapport 2017 van de themalijnen A (ecologische habitatontwikkeling) en B (geometrieontwikkeling en optimalisatie ontwerp) van het Ecoshape HPZ-innovatieproject; thema C (Beleving) is aangesloten via de deelname aan de expertsessies. Het rapport bevat de monitoring van 2017 en grijpt waar zinvol terug op de monitoring van 2016 (Bodde et al. 2017; Smits et al. 2016). Het is een groeidocument dat moet leiden tot de eindrapportage in 2018. Het beschrijft de monitoring van het Ecoshape-consortium en de aanvullende monitoring van andere partijen [de aannemerscombinatie (AC) en HHNK voor zover daar binnen het HPZ-innovatieproject gebruik van wordt gemaakt], dat wil zeggen:



- de technische uitwerking van het monitoringsprogramma;
- de ingewonnen data (stand: december 2017);
- eerste globale analyses;
- de evaluatie van de monitoring in relatie tot de monitoringsdoelstellingen, inclusief aanbevelingen voor bijsturing van het programma en beheeradviezen.

N.B. Tot het verschijnen van de eindrapportage in 2018 zijn de jaarlijkse monitoringsrapporten slechts bestemd voor intern gebruik binnen het HPZ-innovatieproject.

## 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de opzet van het monitoringsprogramma beschreven en wat de stand van zaken is met betrekking tot de activiteiten. In hoofdstuk 3 en 4 worden de eerste resultaten gepresenteerd van respectievelijk thema B2 (geometrieontwikkeling) en A1 (vegetatiemonitoring). Hoofdstuk 5 is een uitbreiding en verdieping op onderdelen van thema A1 en levert een eerste aanzet voor de synthese van morfologie en vegetatie (thema A2). Een beknopte evaluatie van het monitoringsprogramma tot nu toe, en enkele aandachtspunten en aanbevelingen zijn te vinden in hoofdstuk 6.

Bijlagen I-IV geven aanvullende informatie over de vegetatiemonitoring.

# 2

## MONITORINGSPROGRAMMA

### 2.1 Doel monitoringsprogramma

Het doel van het monitoringsprogramma voor de HPZ is het volgen van de ontwikkeling in de tijd van het gesuppleerde gebied boven water om antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvragen van de verschillende themalijnen binnen dit innovatieproject.

Van onder andere de pilotprojecten Zandmotor<sup>1</sup> en Spanjaardsduin<sup>2</sup> is bekend dat kort na de aanleg van een grote zandsuppletie het betreffende gebied onder invloed van eolisch en hydraulisch transport van zand snel verandert. Het is daarom van belang dat de ontwikkeling van de geometrie in deze fase frequent wordt gemeten.

De HPZ beslaat een groot gebied waarbinnen verplaatsing van zand optreedt in alle richtingen. De onderzoeksvragen ten aanzien van dat zandtransport richten zich zowel op de aanvoer en globale verdeling van zand in het gebied als op 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.

Het monitoringsprogramma voor dit project betreft alleen metingen boven de waterlijn. De veranderingen die daar optreden worden hoofdzakelijk veroorzaakt 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. Doordat binnen dit project niet 'onder water' wordt gekeken, is de bijdrage en het effect van het hydraulisch transport niet altijd goed te kwantificeren.

Om te voldoen aan de doelstelling is het monitoringsprogramma ontworpen met de volgende eisen:

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

Het monitoringsplan staat beschreven in het werkplan van themalijn A en B (De Groot et al. 2015, Smit, 2016). Hieronder volgt een korte beschrijving die, voor zover nodig, als naslagwerk kan fungeren. Voor een uitgebreidere onderbouwing wordt naar de werkplannen zelf verwezen.

---

<sup>1</sup> <http://www.dezandmotor.nl/>

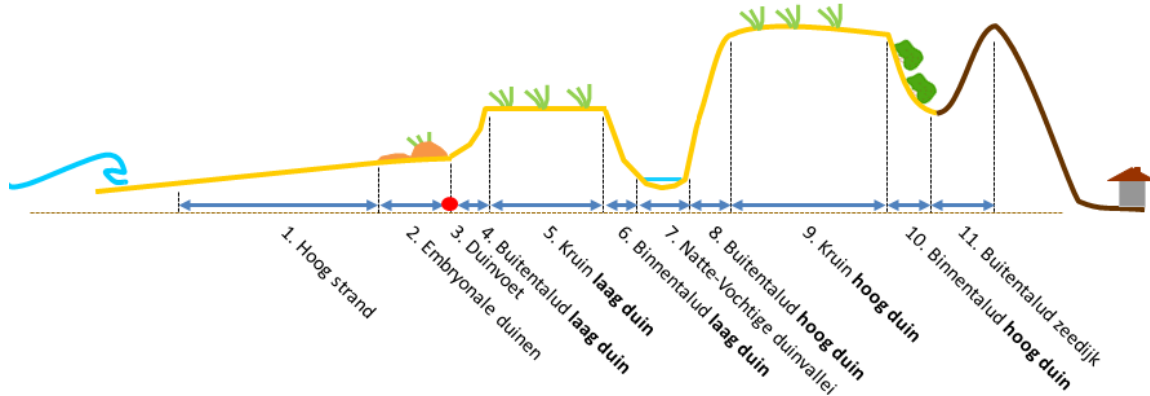
<sup>2</sup> [www.zuidhollandslandschap.nl/spanjaards-duin](http://www.zuidhollandslandschap.nl/spanjaards-duin)

## 2.2 Studiegebied

### 2.2.1 Gehanteerde benamingen

Een voorbeeld van een aanlegprofiel van de HPZ met kenmerkende opbouw voor het middendeel is schematisch weergegeven in afbeelding 2.1. Voor de eenduidigheid gebruiken we in dit rapport voor de verschillende onderdelen van het duinprofiel zo veel mogelijk dezelfde benamingen (tabel 2.1). In de meer beschrijvende delen en waar dit niet relevant is voor een goed begrip, komen ook andere benamingen voor.

Afbeelding 2.1 Schematische weergave van het HPZ-duinprofiel, niet op schaal (hier: type 4)



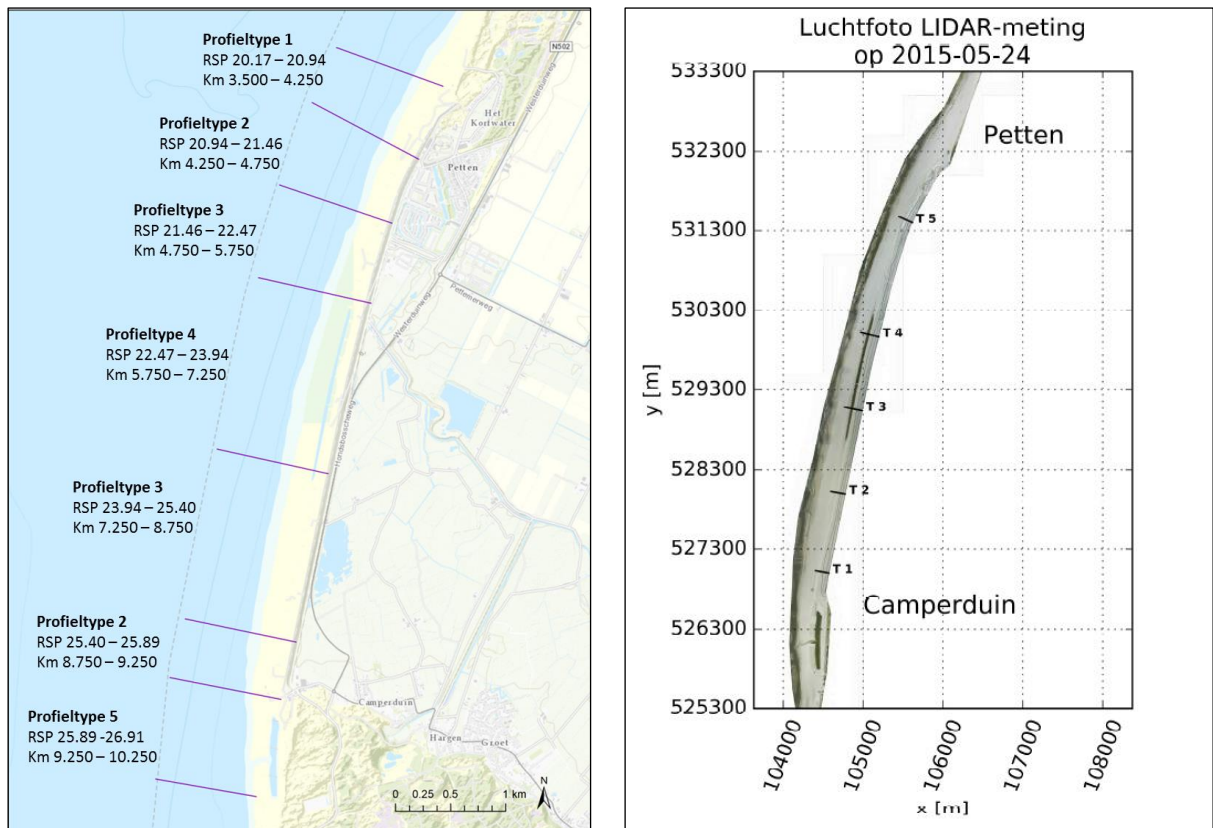
Tabel 2.1 Benamingen van de duinprofiel-elementen

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 3 m+NAP [varieert: HHNK gaat uit van 3,5 m+NAP]
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

### 2.2.2 Definitie transecten

De monitoring is gericht op de Hondsbossche en Pettemer Duinen zeewaarts van de oude kering, met een aantal puntmetingen in het gebied en eromheen, waar dat voor de vraagstellingen nodig is. Waar mogelijk wordt vlakdekkend gewerkt, maar gezien de beschikbare tijd en het beschikbare budget is dat niet overal haalbaar. Daarom zijn vijf kustdwarse transecten uitgezet die als focusgebieden fungeren, met name voor de vegetatiemonitoring; de middens staan aangegeven in afbeelding 2.2. Deze lopen van het hoogstrand tot aan de oude zeedijk.

Afbeelding 2.2 Links: Ligging van de vijf toegepaste profieltypen (zie ook tabel 2.1). Rechts: Ligging van de middens van de transecten die de focus van de monitoring / gezamenlijke analyse van morfologie en vegetatie vormen



De transecten zijn zo gekozen dat ze verschillende typen aanlegprofiel en aangelegde elementen omvatten (tabel 2.2), aansluiten bij (eerdere) metingen van de aannemerscombinatie (hierna AC genoemd; hoogte, grondwater) en metingen in het achterland (grondwaterbuizen, zandvangers, zoutspray), en voor alle vraagstellingen binnen het project bruikbaar zijn.

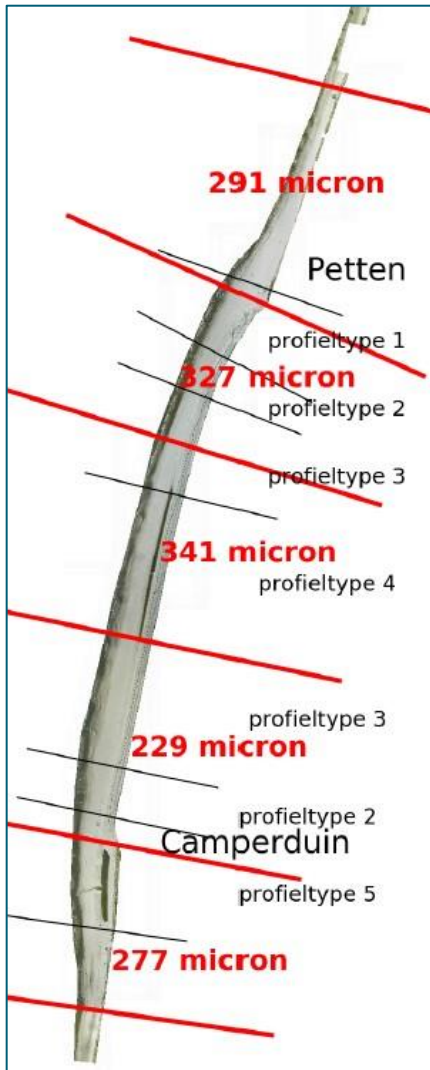
Tabel 2.2 Transecten en aangelegde duinprofieltypen; een volledige beschrijving van de profieltypen is te vinden in Leenders en Smit (2016)

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

### 2.2.3 Variatie in korreldiameter bij aanleg

De korreldiameter van het zand dat is toegepast voor de aanleg van de kustversterking (afbeelding 2.3) 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 micron. Ten zuiden van de duinvallei is het fijnste zand gevonden, terwijl ter plaatse van de duinvallei het grofste zand is gevonden.

Afbeelding 2.3 Korreldiameter D50 in micrometer zoals gemeten op het strand na aanleg van de HD



### 2.3 Hoogtemetingen en luchtfoto's

In het begin van het project zijn verschillende meetmethoden gebruikt. Dit had er onder andere mee te maken dat het innovatieproject in 2015 nog in ontwerp was, terwijl het vanwege de snelle ontwikkeling van het gebied nodig was om direct met de hoogtemetingen te beginnen. Zo zijn in de aanlegperiode, dus voorafgaand aan het Ecoshape-innovatieproject, hoogtemetingen gedaan door de AC, vooral in de vorm van transectmetingen. Deze worden hier niet gerapporteerd maar worden waar zinvol wel voor het project gebruikt.

In mei 2015 is door de 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. Ondanks dat er later in 2015 nog veranderingen in het terrein zijn aangebracht (verplaatsing van zand), wordt deze opname als nul-situatie gehanteerd. Deze latere werkzaamheden worden weergegeven in afbeelding 3.1 en waar relevant ook in andere afbeeldingen getoond zodat er in de analyses van de metingen rekening mee kan worden gehouden.

Tabel 2.3 geeft een overzicht van de hoogtemetingen die zijn uitgevoerd en gepland gedurende de looptijd van dit project.

Tabel 2.3 Hoogtemetingen en luchtfoto's HPZ. De cursieve metingen staan gepland en zijn nog niet uitgevoerd. Resolutie staat voor horizontale resolutie

Nummer	Datum	Meting	Uitvoerende partij <sup>a</sup>	Gebied	Data	Type	punt dichtheid	resolutie
2015-1	24/05/2015	2015-mei	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m <sup>2</sup>	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2015-2	12/08/2015	2015-aug	WMR	midden van elk Ecoshape transect	RTK	RTK-DGPS	5 m (lijn)	< 0.02 m verticaal
2015-3	09/09/2015	2015-sep	Shore Monitoring ioV Ecoshape	5 Ecoshape transecten	foto, hoogtemeting	fotogrammetrie	-	foto: 0,01 m; hoogtemodel: 0,1 m
2015-4	28/12/2015	2015-dec	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m <sup>2</sup>	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2016-1	16/2 + 13/3/2016	2016-feb	RWS	gebiedsdekkend	hoogtemeting	laseraltimetrie	>1 pts/m <sup>2</sup>	2 m
2016-2	21/03/2016	2016-mrt	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m <sup>2</sup>	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2016-3	01/09/2016	2016-sep	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m <sup>2</sup>	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2016-4	**/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 <sup>2</sup>	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2017-1	19/04/2017	2017-apr	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m <sup>2</sup>	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2017-2	nnb		RWS	gebiedsdekkend	hoogtemeting	laseraltimetrie	>1 pts/m <sup>2</sup>	2 m
2017-3	11/08/2017	2017-aug	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m <sup>2</sup>	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2017-4	06/12/2017	2017-dec	AC	gebiedsdekkend	foto, hoogtemeting	laseraltimetrie	>8,2 pts/m <sup>2</sup>	foto: 0,05 m; hoogtemodel: 0,5 m
2018-1	<i>(planning)</i>							
2018-2	<i>(planning)</i>							
2018-3	<i>(planning)</i>							

<sup>a)</sup> AC = annemerscombinatie, HHNK = Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, RWS = Rijkswaterstaat, WMR = Wageningen Marine Research (voormalig IMARES).

## 2.3.1 Eenmalige initiële hoogtemetingen en luchtfoto's

### Meting met RTK-DGPS

De metingen binnen dit project zijn in augustus 2015 begonnen met behulp van een RTK-DGPS op het midden van de transecten, uitgevoerd door WMR (voorheen: IMARES). Deze metingen hadden mede tot doel de transecten te verkennen en hun bruikbaarheid voor het project te evalueren.

Van alle 50 proefvlakken is door WMR/WEnR op 13/14 september 2016 de hoogte gemeten met RTK-DGPS.

### Pilotmeting met drone (luchtfoto's en RTK-GNSS)

In september 2015 is in het kader van het Ecoshape-project een hoogtemeting uitgevoerd met fotogrammetrie met behulp van een drone (De Zeeuw 2015). Dit was een pilot om te bepalen of dit type metingen een verbetering ten opzichte van de handmatige metingen zou betekenen. Deze meting was niet gebiedsdekkend, maar is uitgevoerd voor vijf gebieden van ongeveer 250 x 500 m rond de transecten. Het strand is ten dele meegenomen. De horizontale resolutie van het hoogtemodel voor deze hoogtemetingen is 0,1 m. De verticale onzekerheid is enkele centimeters met een standaardafwijking van ongeveer 20 cm. Op basis van de luchtfoto's is het gebied geclassificeerd in begroeid en niet-begroeid terrein. Naast de luchtfoto's zijn in het veld grondcontrolepunten ingemeten met een RTK-GNSS, die zijn gebruikt om het hoogtemodel en de orthofoto's te refereren aan het RD NAP referentiestelsel. Een vergelijking van de controlemetingen en het hoogtemodel laat zien dat er grotere verschillen zijn op begroeid terrein dan op niet-begroeid terrein.

## 2.3.2 Reguliere hoogtemetingen

### LiDAR-metingen (inclusief luchtfoto's)

Er worden drie keer per jaar hoogtemetingen met LiDAR uitgevoerd door het Ecoshape-consortium. Deze reguliere hoogtemetingen worden ingevlogen met een vliegtuig. Daarnaast is er een extra hoogtemeting beschikbaar vanuit de jaarlijkse inmeting van de kust door RWS<sup>1</sup>. Daarbij wordt de gehele HPZ gebiedsdekkend ingemeten. Er wordt gestreefd naar een punt dichtheid van 8,2 punten/m<sup>2</sup> maar deze is voor meer dan 90 % van het gebied hoger. Het voordeel van een hoge punt dichtheid is dat een deel van de laser reflecteert op de vegetatie en een deel op het zand. Door de laagste punten te beschouwen wordt dan altijd het niveau van het zand verkregen. Op basis hiervan wordt een hoogtemodel gecreëerd met een horizontale resolutie van 0,5 m.

Naast de LiDAR-metingen komen ook luchtfoto's beschikbaar met een horizontale resolutie van 0,05 m. Deze dienen voor de analyse van de vegetatie. Voor LiDAR geldt als richtlijn een maximale, gemiddelde fout van 5 cm en een standaardafwijking van 5 cm. In de praktijk blijken beide waarden vaak lager te liggen, waardoor de verticale onzekerheid van de LiDAR-metingen in de orde van enkele centimeters ligt (Kwaliteitsdocument AHN2, Van der Zon 2013).

Zoals in de monitoringrapportage over 2016 (Bodde et al. 2017) in de evaluatie van het monitoring-sprogramma is geconcludeerd, is de meetfrequentie en de resolutie van de AC-metingen voldoende 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. Omdat de LiDAR-metingen gebiedsdekkend zijn, is er de mogelijkheid om het gebied als geheel te analyseren en een volumebalans op te stellen voor de verplaatsing van zand door eolisch transport.

NB. In 2018 zijn nog twee vluchten gepland: één door RWS en één door de AC (stand: december 2017).

---

<sup>1</sup> Het betreft een reguliere meting met geringere resolutie dan de Ecoshape/AC-vluchten.

### 2.3.3 Aanvullende hoogtemetingen

De LiDAR- en dronemetingen zijn niet geschikt om daarmee de bodemligging onder water te bepalen. Dat is een probleem in de vochtige duinvallei, waar veel aanzanding onder water verwacht werd (en intussen ook waargenomen wordt). In de evaluatie van de vorige rapportage is vastgesteld dat profielmetingen in de duinvallei een waardevolle toevoeging aan het monitoringsprogramma zouden zijn, vooral wanneer deze metingen min of meer gelijktijdig met de LiDAR-metingen worden uitgevoerd. Metingen in de duinvallei zijn tot nu echter pas één keer uitgevoerd (door HHNK in oktober 2016) op een aantal raaien over de duinvallei met behulp van een RTK-DGPS. Daarbij is zo veel mogelijk van het profiel onder water gemeten, maar omdat de bodem in het aanzandende stuk erg zacht is en diep ligt, zijn de metingen in het diepste deel met enige onzekerheid omgeven. NB. De profieldata waren in december 2017 nog niet beschikbaar voor deze rapportage.

## 2.4 Overige data-inzameling

### 2.4.1 Grondwater

Grondwatermetingen worden door HHNK uitgevoerd. Hiervoor worden de grondwaterbuizen gebruikt die door de AC/HHNK worden uitgelezen. De data komen na afronding van de momenteel lopende kwaliteitscontrole beschikbaar (naar verwachting begin 2018).

### 2.4.2 Saliniteit

Tijdens de expertsessies (ieder jaar aan het einde van de zomer en vlak voor de winter) worden in de vochtige duinvallei watermonsters genomen en in het lab van WMR op het saliniteitsgehalte geanalyseerd.

### 2.4.3 Grind- en schelpenbedekking

Om grind- en schelpenbedekking te kunnen bepalen uit de luchtfoto's en deze te kalibreren (*ground truthing*) worden minimaal éénmaal per jaar handmatig proefvlakken gemeten. Daarbij worden de bedekking van kaal zand, schelpen, stenen en totaal aanwezige vegetatie genoteerd in een gebied van circa 4 m<sup>2</sup> volgens de schaal van Londo, die ook voor de vegetatie wordt gebruikt. Locatie en hoogte worden vastgelegd met behulp van een RTK-DGPS. In 2015 zijn deze metingen afzonderlijk uitgevoerd. Er zijn 112 punten gemeten, die zo over de transecten verdeeld zijn dat ze de ruimtelijke variatie in bedekkingen en aangelegde elementen goed beslaan. In 2016 en 2017 zijn de metingen geïntegreerd met de proefvlakken waarin de vegetatiebedekking per soort wordt gemeten.

## 2.5 Vegetatieontwikkeling

De vegetatie wordt gemonitord door middel van het inventariseren van 50 permanente proefvlakken en het opstellen van soortenlijsten van de transecten. In 2016 zijn éénmalig ook bodemmonsters genomen en geanalyseerd. Daarnaast wordt elk jaar een vegetatiestructuurkaart toegeleverd aan dit project die door WEnR in opdracht van aannemingsbedrijf Van Oord wordt gemaakt op basis van de luchtfoto van het voorjaar/de zomer (afbeelding 4.12a-d).

## 2.6 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.

Aanwezig zijn experts van alle themalijnen, een vertegenwoordiger van HHNK en een externe duinexpert (Bas Arens). Daarnaast worden soms nog andere betrokkenen uitgenodigd, bv. van de AC. Elke keer worden er 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 monitoringsrapportage). 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.<sup>1</sup>

Eind 2017/begin 2018 wordt de inhoud van alle verslagen gestructureerd in een tabel opgenomen (Excel-bestand) om de verzamelde informatie toegankelijker te maken voor verdere bewerking.

## 2.7 Brainstormsessies ('samenwerkdagen')

Ter bevordering van de synthese tussen de verschillende themalijnen worden 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.

## 2.8 Dataopslag

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

Op de repository staan de ruwe data en enkele afgeleide producten die naar verwachting door meerdere partijen zullen worden gebruikt. Bij de verwerking van elke meting wordt een aantal standaardafbeeldingen gegenereerd, waarmee de betreffende meting wordt gevisualiseerd en een eerste globale analyse kan worden gedaan.

---

<sup>1</sup> 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.

# 3

## THEMALIJN B: ANALYSE EFFECTEN MAATREGELEN (2)

### 3.1 Inleiding

Binnen het Ecoshape innovatieproject HPZ richt themalijn B zich op kansen die eolisch transport van zand biedt voor ontwerp-optimalisaties aan (nieuwe) duingebieden. Themalijn B is medio 2015 gestart en loopt door tot en met 2018. Themalijn B heeft een raakvlak met Themalijn A (Voorspelbaarheid habitatontwikkeling) waar het de invloed van vegetatie op duinontwikkeling betreft en met Themalijn C (Beleving) waar het verstuivingshinder betreft (werkpakket C3).

In 2015 en in 2016 lag de nadruk binnen Themalijn B voornamelijk op het inwinnen van data en de eerste interpretatie daarvan. Parallel aan voortzetting van het meetprogramma is in 2017 gestart met de analyse van de data. Om ontwerp-optimalisaties te kunnen onderzoeken, dient eerst de geometrie-ontwikkeling van het duingebied als gevolg van eolisch transport in kaart te worden gebracht. Dat gebeurt in het werkpakket B2 met analyse van de totale accumulatie van zand in het duingebied boven de duinvoet en de verdeling van het zand binnen het gebied. Deze verdeling is afhankelijk van de interactie met de grootschalige geometrie van de profieltypen en de kleinschalige maatregelen zoals wilgenschermen, luwe laagtes en vegetatie.

De resultaten van de analyse van de geometrie-ontwikkeling worden uitgebreid beschreven in de rapportage *B2P2 - Analyse effecten maatregelen*. Mogelijke ontwerp-optimalisaties worden beschreven in rapportage *B3P1 - Optimalisatiemogelijkheden*. Beide rapporten worden medio 2018 opgeleverd.

Vanwege het belangrijke raakvlak van geometrie-ontwikkeling en vegetatie zoekt Themalijn B nadrukkelijk afstemming en samenwerking met Themalijn A. Resultaten van Themalijn B zijn dan ook grotendeels input voor Themalijn A.

Voorliggende rapportage wordt voornamelijk opgezet vanuit Themalijn A. Het doel van dit hoofdstuk is om een overzicht te geven van de analyse binnen werkpakket B2 op het gebied van de geometrie-ontwikkeling en de effecten van de maatregelen in het duingebied tot en met de laatste LiDAR meting van 11 augustus 2018. De belangrijkste bevindingen worden beschreven als achtergrond bij het onderzoek van Themalijn A naar de vegetatieontwikkeling.

Het gaat daarbij om:

- volume accumulatie in duingebied:
  - globale verdeling;
  - ruimtelijke verdeling;
  - tijdsafhankelijkheid;
- effect grootschalige geometrie:
  - vormgeving duin:
- effecten maatregelen:
  - wilgenschermen;
  - luwe laagtes;
  - vegetatie.

In paragraaf 3.2 wordt de methodiek van werkpakket B2 beschreven en in paragraaf 3.3 de resultaten. Voorlopige conclusies volgen in paragraaf 3.4.

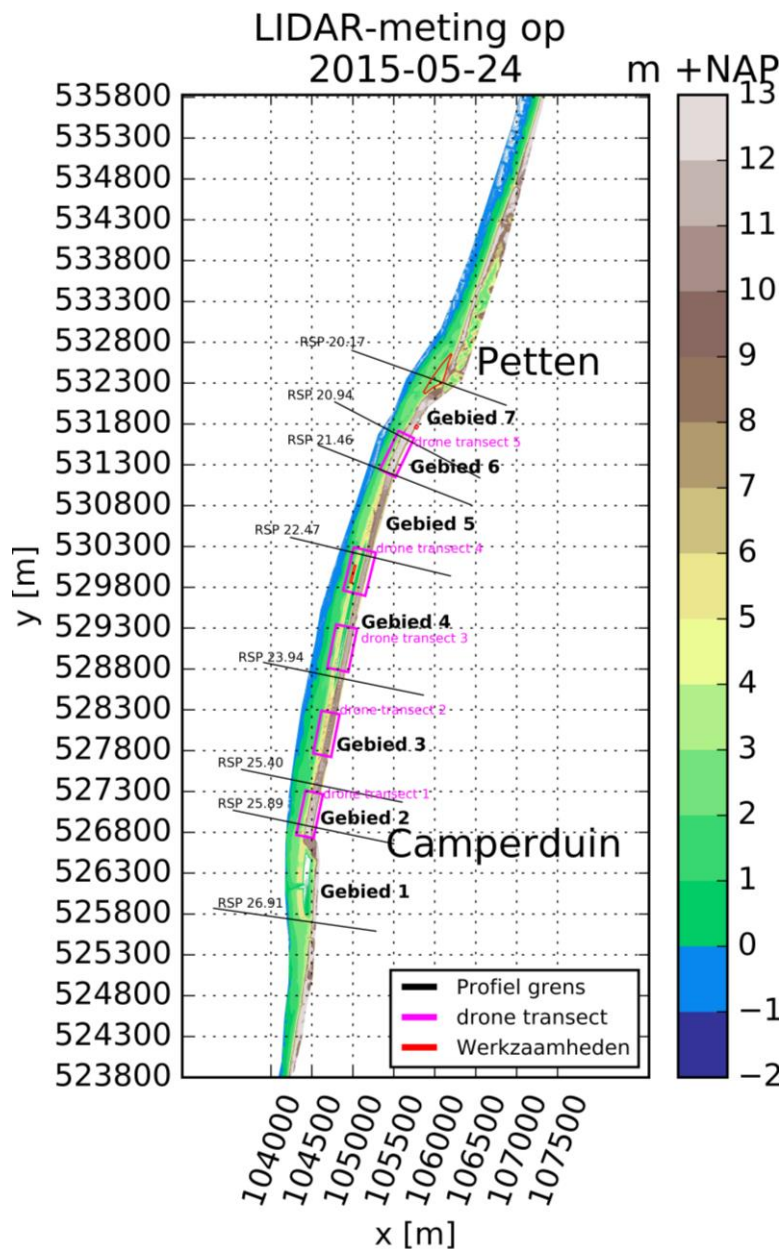
## 3.2 Methode

### 3.2.1 LiDAR metingen en luchtfoto's

Afbeelding 3.1 toont het resultaat van de eerste LiDAR-hoogtemeting van 24 mei 2015. Het gebied buiten het projectgebied en het gebied landwaarts van de oude zeedijk is niet weergegeven. Met de profielgrens wordt de grens aangeduid tussen de verschillende typen aanlegprofielen.

De meting is volledig gebiedsdekkend. In kustdwarse richting is ruwweg gemeten van de kustlijn op gemiddeld zeeniveau (0 m+NAP) tot een stuk landinwaarts van de oude zeedijk. In de kustlangse richting loopt het gemeten gebied enkele kilometers door ten zuiden en ten noorden van het nieuw aangelegde gebied.

Afbeelding 3.1 Overzichtsfiguur hoogtemeting LiDAR 2015-mei



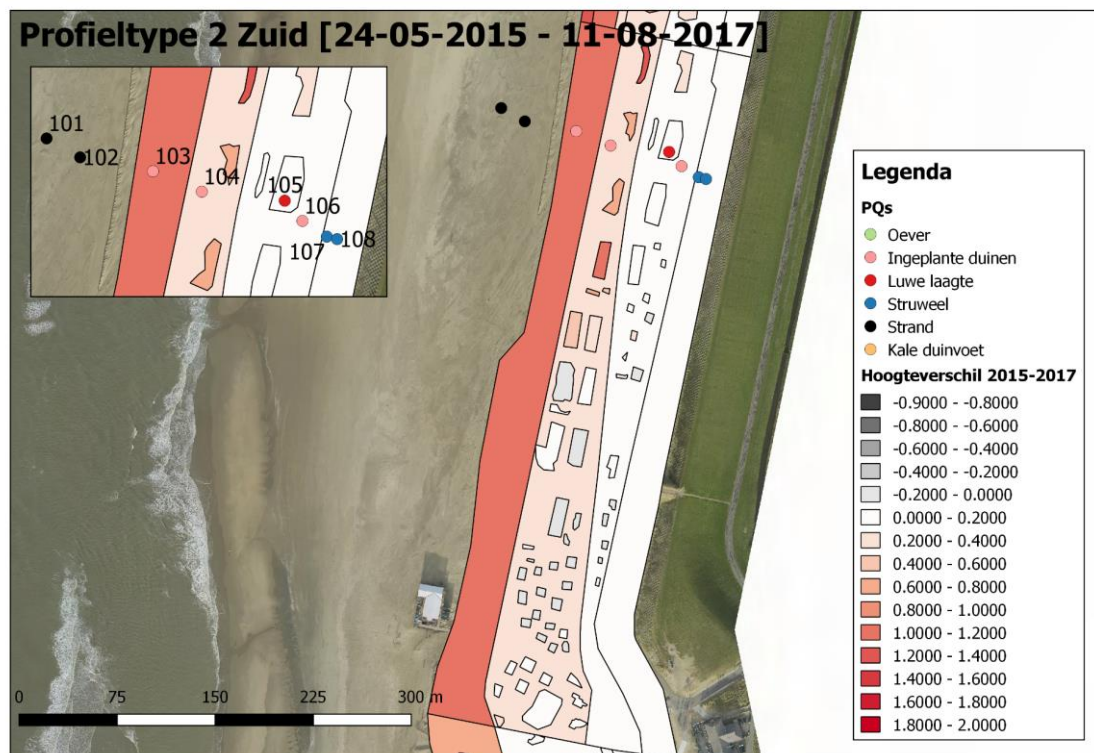
### 3.2.2 Data analyse GIS

De data uit de monitoring, zoals beschreven in hoofdstuk 2 wordt vervolgens in GIS per deelgebied geanalyseerd. Hierbij worden de volgende analyses uitgevoerd:

- verschilplots;
- ontwikkeling in tijd;
- volume analyse;
- gebruikte data;
- PQ's.

In de analyses worden verschillende deelgebieden gedefinieerd (zie afbeelding 3.2).

Afbeelding 3.2 Definitie van de verschillende deelgebieden



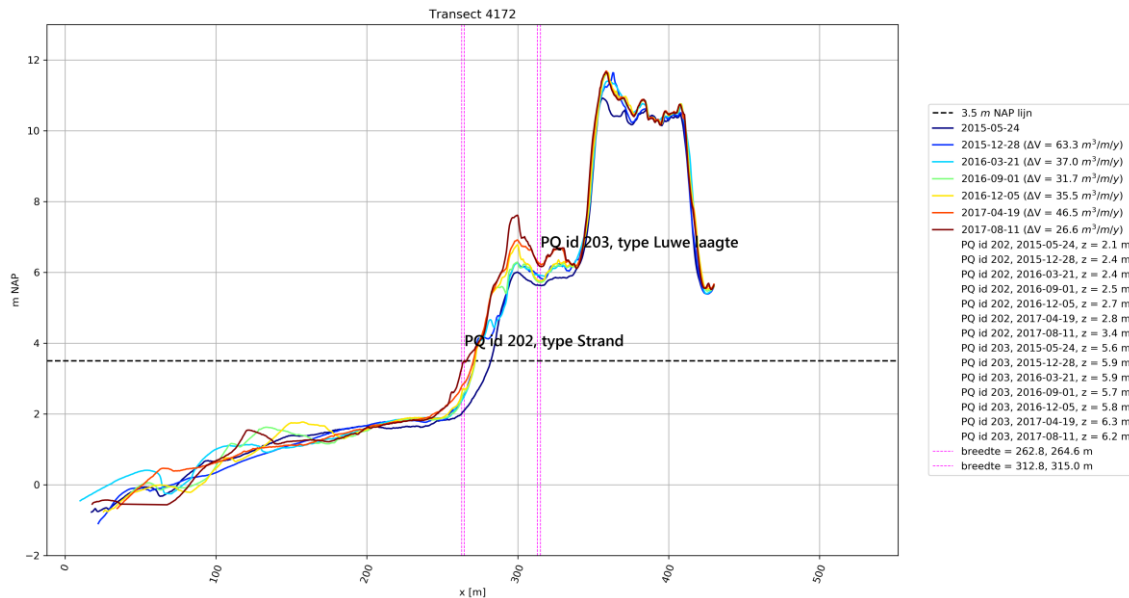
### 3.2.3 Data analyse dwarsprofielen

Naast de ruimtelijke GIS-analyses worden ook analyses per dwarsprofiel uitgevoerd. Het gehele nieuw aangelegde gebied is onderverdeeld in dwarsprofielen om de meter. Per dwarsprofiel zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- volume analyse (per profiel, gemiddeld per profieltype);
- ontwikkeling in de tijd;
- kustdwarse verdeling sediment (indien bekend);
- PQ's.

Een voorbeeld van een geanalyseerd dwars profiel is gegeven in afbeelding 3.3.

Afbeelding 3.3 Voorbeeld dwarsprofiel (4172)



### 3.2.4 Statistische analyse dwarsprofielen

Op basis van de gegevens die verkregen zijn uit de analyses van dwarsprofielen, is ook geprobeerd om correlatie tussen parameters zoals windsnelheid, windrichting, waterstanden, korreldiameters, vegetatie en duinaangroei te bepalen.

### 3.2.5 Aanleg duingebied in de tijd en werkzaamheden

De kustversterking is aangelegd van maart 2014 tot en met april 2015. In de zomer van 2014 kwam de versterking boven water waarna in oktober 2014 is begonnen met het inplanten van helm in het duingebied. Er is gewerkt van zuid naar noord. Het aanlegmoment of T0 van het duingebied varieert daarmee van zuid naar noord van oktober 2014 tot april 2015.

Na de eerste LiDAR meting in mei 2015 zijn er op enkele locaties nog werkzaamheden uitgevoerd, die worden aangegeven in afbeelding 3.1. Daarnaast worden er continu kleine werkzaamheden uitgevoerd, zoals het bijplanten van helm, het plaatsen van wilgenschermen en het vrijmaken van strandslagen en het fietspad.

Bij het analyseren van de ontwikkeling van het duingebied wordt het verschil in aanlegmoment meegenomen, met name omdat in de eerste 1-1,5 jaar na aanleg de ontwikkeling als gevolg van eolisch transport het sterkst is. Ook eventuele effecten van werkzaamheden in de metingen worden vastgesteld en buiten beschouwing gelaten in de analyses.

## 3.3 Resultaten

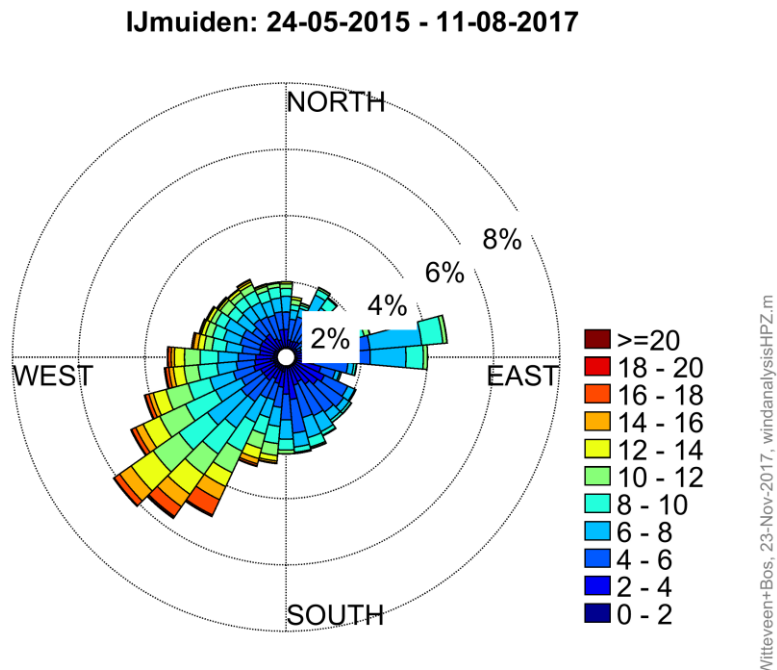
### 3.3.1 Windklimaat

Aanvoer van zand naar het duingebied en verplaatsing daarbinnen vindt plaats als gevolg van wind. Inzicht in de wind over de meetperiode is daarom van belang. Het dichtstbijzijnde weerstation met winddata is het

weerstation van IJmuiden op ongeveer 30 km van de Hondsbossche Duinen. Hoewel de wind lokaal iets kan verschillen van de metingen in IJmuiden, bieden deze metingen een realistisch beeld van het windklimaat bij de HD.

Het windklimaat in de periode 24 mei 2015 tot 11 augustus 2018 is samengevat in een windroos (afbeelding 3.4) en een spreidingstabel (tabel 3.1). Wind uit een zuidwestelijke hoek (195°N-255°N) komt bijna 30 % van de tijd voor en is daarmee veruit de meest voorkomende windrichting. Daarbij is de wind uit deze richtingen gemiddeld ook harder dan uit andere richtingen. Stormen hebben vrijwel altijd een westelijke component, waarbij de richting meestal niet pal westelijk, maar zuidwestelijk of noordwestelijk is.

Afbeelding 3.4 Windroos IJmuiden over de periode 24 mei 2015 - 11 augustus 2018 (bron data: KNMI)



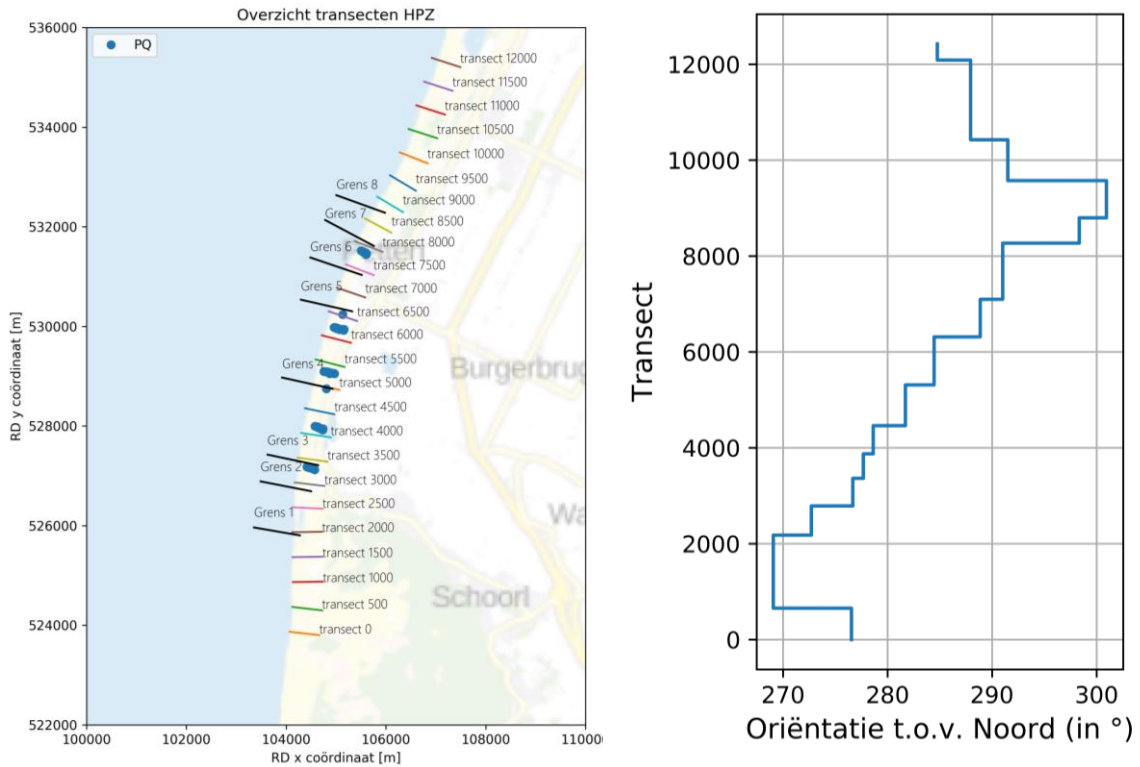
Tabel 3.1 Scattertabel met percentage van voorkomen van windrichting en -snelheid over de periode 24 mei 2015 - 11 augustus 2018 op basis van winddata IJmuiden (bron data: KNMI)

		Wind direction (°N)												sum :um sum		
		15.00-	15.00	45.00	75.00	105.00	135.00	165.00	195.00	225.00	255.00	285.00	315.00			
Wind speed U (10) (m/s)	lower	upper	15.00	45.00	75.00	105.00	135.00	165.00	195.00	225.00	255.00	285.00	315.00			
	0	2	0.20	0.05	0.05	0.11	0.20	0.15	0.30	0.41	0.40	0.43	0.24	0.10	2.64	2.64
	2	4	1.35	0.74	0.36	1.69	2.55	1.75	2.23	1.20	1.51	1.44	1.46	1.13	17.41	20.04
	4	6	1.71	2.38	0.99	4.40	2.21	3.20	2.42	1.95	2.12	1.64	1.66	2.04	26.72	46.77
	6	8	1.19	1.47	1.49	2.84	0.57	1.47	1.59	2.36	2.85	1.70	1.68	1.41	20.63	67.39
	8	10	0.73	0.62	1.10	1.25	0.17	0.50	1.02	2.44	2.75	1.54	1.02	1.04	14.19	81.58
	10	12	0.42	0.16	0.46	0.27	0.02	0.07	0.50	1.93	2.52	1.15	0.66	0.53	8.70	90.27
	12	14	0.16	0.02	0.04	0.01	-	0.02	0.19	1.52	1.78	0.82	0.30	0.24	5.09	95.36
	14	16	0.03	0.01	-	-	-	0.01	0.06	1.06	0.81	0.37	0.11	0.10	2.56	97.92
	16	18	0.01	-	-	-	-	-	0.02	0.93	0.45	0.25	0.04	0.04	1.72	99.64
	18	20	-	-	-	-	-	-	0.01	0.11	0.08	0.05	0.02	-	0.26	99.91
	20	22	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.07	99.98
22	24	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	0.01	-	0.02	100.00	
24	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00	
sum			5.78	5.46	4.50	10.58	5.72	7.15	8.32	13.96	15.28	9.42	7.20	6.64	100.00	

De oriëntatie van de duinen ten opzichte van de windrichting kan een rol spelen bij het invangen van zand; zand dat recht richting het duin wordt getransporteerd, zal eerder het duin inwaaien dan zand dat schuin of parallel wordt getransporteerd. De gemiddelde oriëntatie van de kustlijn in de originele situatie was bijna pal

west (~280 °N). De oriëntatie van de nieuwe HD varieert licht van zuid naar noord, zie afbeelding 3.5. Het zuidelijk deel van het gebied heeft een meer westelijke oriëntatie (~270 °N). Richting het noord is er een lichte kromming, waardoor het noordelijk gebied een oriëntatie heeft met een noordwestelijke component (~300 °N). De afwijking van de oriëntatie ten opzichte van voor de aanleg is het sterkst aan de zuidelijke en noordelijke kop van het gebied.

Afbeelding 3.5 Locatie en oriëntatie dwarsprofielen HD



### 3.3.2 Totale accumulatie

#### Globale verdeling

Op basis van de vlakkenanalyse in GIS is het volumeverschil bepaald tussen de laatste LiDAR meting van 11 augustus 2017 en de eerste van 24 mei 2015. Daaruit blijkt dat het totale duinvolume in dit gebied is toegenomen met 354.000 m<sup>3</sup>. De lengte in kustlangse richting is ongeveer 6.750 m waarmee de gemiddelde accumulatie uitkomt op 23,6 m<sup>3</sup>/m/jaar over de volledige meetperiode van 810 dagen, zie tabel 3.2.

In het ontwerp is rekening gehouden met 35 m<sup>3</sup>/m/jaar in het eerste jaar en 30 m<sup>3</sup>/m/jaar in het tweede jaar. Gemiddeld over het gehele gebied is deze voorspelling te hoog. Binnen het gebied is er echter variatie in de accumulatievolumes tussen 1,9 en 36,9 m<sup>3</sup>/m/jaar (tabel 3.3 en tabel 3.4).

De variatie is significant en kan te maken hebben met meerdere factoren:

- grootschalige geometrie (profieltype);
- kleinschalige geometrie (maatregelen/vegetatie);
- locatie-afhankelijke factoren:
  - korreldiameter zand;
  - oriëntatie ten opzichte van de windrichting;
  - strandbreedte;
- overig:
  - duinafslag (bijvoorbeeld in profieltype 5);
  - ontbreken data, bijvoorbeeld onder water in de lagune en de duinvallei (profieltype 4 en 5).

Dit wordt verder onderzocht in het vervolg van dit hoofdstuk.

Tabel 3.2 Transecten en aangelegde duinprofieltypen; een volledige beschrijving van de profieltypen is te vinden in Leenders en Smit (2016)

Totale volumetoename [m <sup>3</sup> ]	Lengte beschouwd gebied [m]	Gemiddelde accumulatie [m <sup>3</sup> /m/jaar]
354.000	6.750	23,6

Tabel 3.3 Accumulatie per profieltype en per periode in m<sup>3</sup>/m/jaar

Profiel	mei'15- dec'15	dec'15- mrt'16	mrt'16- sep'16	sep'16- dec'16	dec'16- apr'17	apr'17- aug'17	gemiddeld (gewogen)
Profieltype 1	2.1	2.2	-0.5	15.9	-5.3	1.8	<b>1.9</b>
Profieltype 2 - Noord	23.8	39.4	7.9	23.9	7.4	-3.4	<b>15.5</b>
Profieltype 3 - Noord	34.7	30.8	8.0	21.8	16.4	8.7	<b>20.5</b>
Profieltype 4	34.8	31.5	16.0	41.8	37.9	26.0	<b>29.0</b>
Profieltype 3 - Zuid	50.5	53.2	16.4	37.2	42.9	23.7	<b>36.9</b>
Profieltype 2 - Zuid	45.7	32.8	15.4	24.4	26.8	10.0	<b>26.9</b>
Profieltype 5	47.9	1.7	13.7	18.9	-33.8	16.2	<b>17.8</b>
<b>gemiddeld (gewogen)</b>	<b>36.6</b>	<b>29.2</b>	<b>12.1</b>	<b>28.9</b>	<b>17.3</b>	<b>15.4</b>	<b>23.6</b>

Tabel 3.4 Accumulatie jaar 1 en jaar 2 per profieltype; gemeten en voorspelde waardes

Profiel	Voorspelling jaar 1 [m <sup>3</sup> /m/jaar]	Accumulatie jaar 1 [m <sup>3</sup> /m/jaar]	Voorspelling jaar 2 [m <sup>3</sup> /m/jaar]	Accumulatie jaar 2 [m <sup>3</sup> /m/jaar]
profieltype 1	35	1.66	30	2.19
profieltype 2 - noord	35	24.47	30	10.80
profieltype 3 - noord	35	28.96	30	14.75
profieltype 4	35	30.58	30	31.73
profieltype 3 - zuid	35	44.90	30	32.32
profieltype 2 - zuid	35	37.19	30	21.43
profieltype 5	-	31.09	-	-2.30

## Ruimtelijke verdeling

### Variatie in kustlangse richting

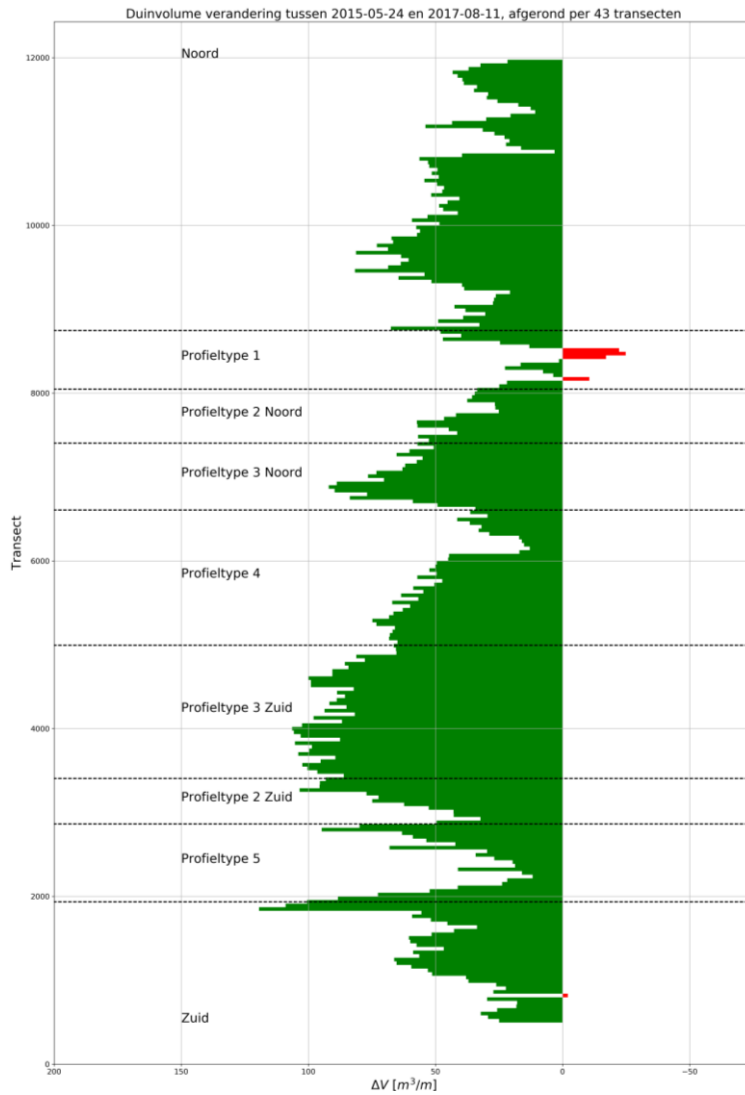
De kustlangse variatie van de accumulatie over de gehele meetperiode is te zien in afbeelding 3.6. De accumulatie in het duingebied is niet uniform verdeeld. Over het algemeen is er overall accumulatie, behalve zeer lokaal in het noorden ter plaatse van profieltype 1. In het zuiden, ter plaatse van profieltype 2 en 3 is de accumulatie het grootst, terwijl deze naar het noorden toe gemiddeld licht afneemt. Gemiddeld is er meer accumulatie in het zuiden dan in het noorden.

De accumulatie is het grootst in profieltype 3 in het zuiden dat bestaat uit een laag duin met daarachter een hoog duin. Dit profieltype ligt ook in het noorden en ook daar vindt meer accumulatie plaats dan in de gebieden eromheen.

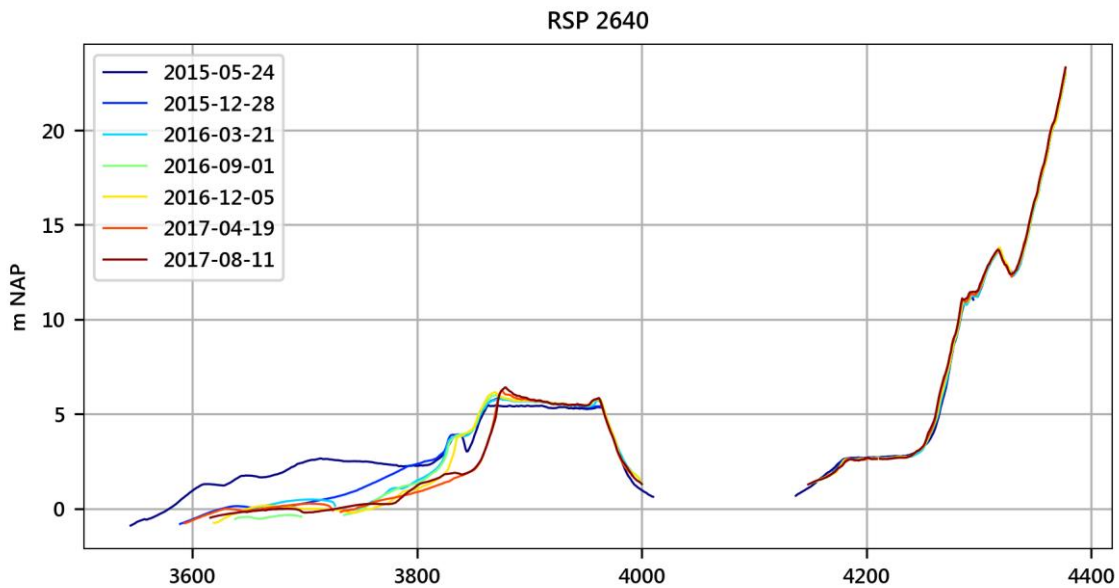


Profieltype 5 vertoont tussen dec 2016 en april 2017 erosie. Dit komt omdat in deze periode een deel van het lage duin is weggeslagen (zie afbeelding 3.7).

Afbeelding 3.6 Duinvolume verandering tussen 24 mei 2015 en 11 augustus 2017



Afbeelding 3.7 Ontwikkeling profiel RSP 2640 (profieltype 5)



*Variatie in kustdwarse richting*

Tabel 3.5 en tabel 3.6 geven de accumulatie per segment voor het eerste en tweede jaar weer. Hierin is te zien dat het zand vooral op eerste duin en buitentalud (laag duin of hoog duin afhankelijk van profieltype) belandt. Ook is te zien dat de kruin en binnentalud vooral in het eerste jaar is gegroeid en in het tweede jaar stabiel is gebleven.

Tabel 3.5 Accumulatie jaar 1 per profieltype met verdeling over het profiel

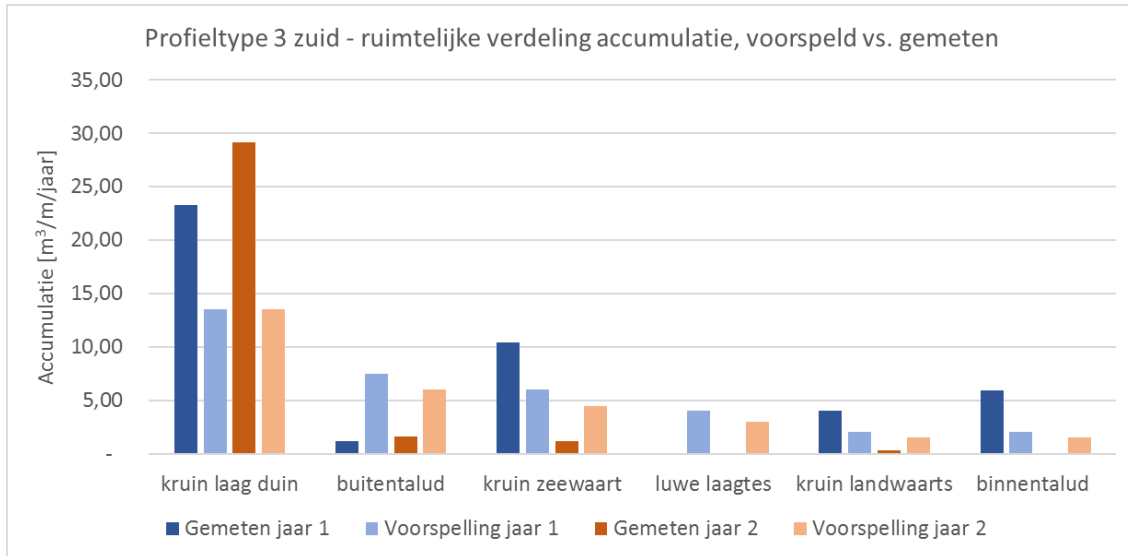
Profiel	Oppervlakte [ha]	Accumulatie van stuifzand [m3/m/ jaar] Jaar 1							
		Totaal	buitentaludlaag	kruinlaagduin	buitentalud	duinvallei	kruinzee	kruinland	binnentalud
Profieltype 1	9,0	1,66			6,28		-3,94	-0,33	-0,35
Profieltype 2 - Noord	8,2	24,47			15,09		5,88	0,40	3,10
Profieltype 3 - Noord	11,9	28,96	6,01	11,56	0,53	4,15	1,59	5,12	
Profieltype 4	24,8	30,58		11,63	1,93	20,30	-0,93	-2,11	-0,24
Profieltype 3 - Zuid	23,2	44,90	1,91	21,39	1,18	10,43	4,04	5,94	
Profieltype 2 - Zuid	7,5	37,19			16,81		10,17	6,37	3,84
Profieltype 5	12,8	31,09		3,80	2,54	12,74		4,45	0,32

Tabel 3.6 Accumulatie jaar 2 per profieltype met verdeling over het profiel

Profiel	Oppervlakte [ha]	Accumulatie van stuifzand [m3/m/ jaar] Jaar 2							
		Totaal	buitentaludlaag	kruinlaagduin	buitentalud	duinvallei	kruinzee	kruinland	binnentalud
Profieltype 1	9,0	2,19			3,42		-0,80	-0,35	-0,08
Profieltype 2 - Noord	8,2	10,80			6,14		3,95	-0,27	0,97
Profieltype 3 - Noord	11,9	14,75	4,89	7,50	0,30	0,99	0,11	0,96	
Profieltype 4	24,8	31,73		21,81	3,26	4,94	0,60	0,58	0,53
Profieltype 3 - Zuid	23,2	32,32	4,41	24,74	1,60		1,20	0,31	0,07
Profieltype 2 - Zuid	7,5	21,43			18,53		2,25	0,44	0,21
Profieltype 5	12,9	-2,30		1,95	-2,68	-0,48		1,66	0,19

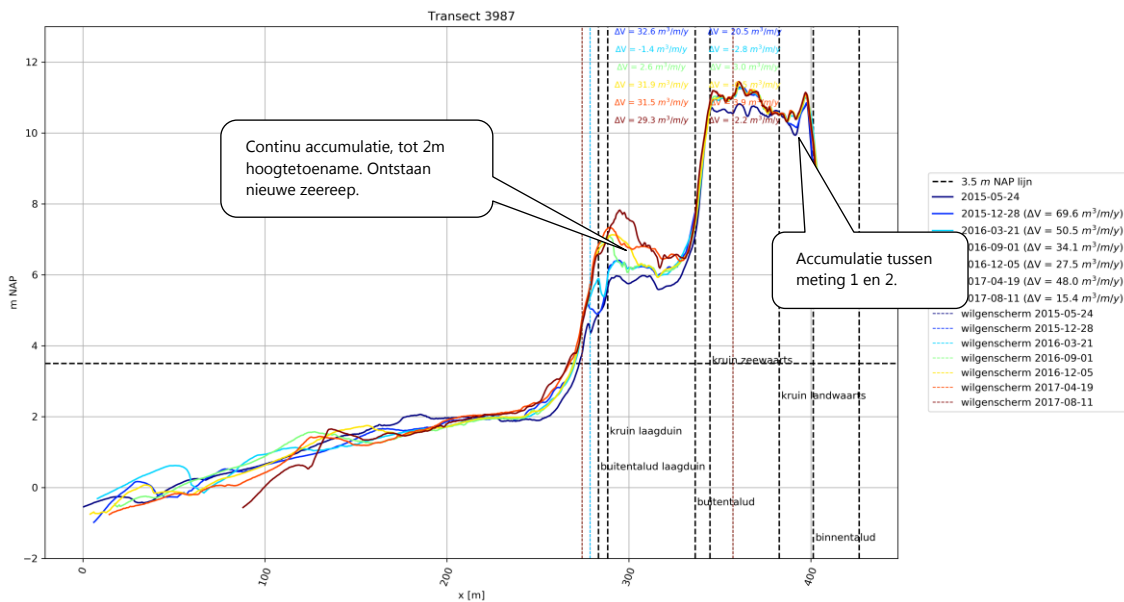
In het ontwerp zijn per profieltype voorspellingen gedaan voor de toename van het duinvolume en voor de verdeling over het dwarsprofiel. Deze voorspellingen kunnen worden vergeleken met de gemeten waarden. Afbeelding 3.8 toont voor profieltype 3 de voorspelde en de gemeten verdeling. De verdeling komt redelijk overeen met de meeste accumulatie op het lage duin en op het zeewaartse deel van de kruin van het hoge duin. Let op dat de benaming van de gebieden nog niet overeenkomen met de voorgestelde definities (afbeelding 2.1). Dit wordt nog aangepast.

Afbeelding 3.8 Ruimtelijke verdeling van gemeten accumulatie vergeleken met de voorspelde waarden



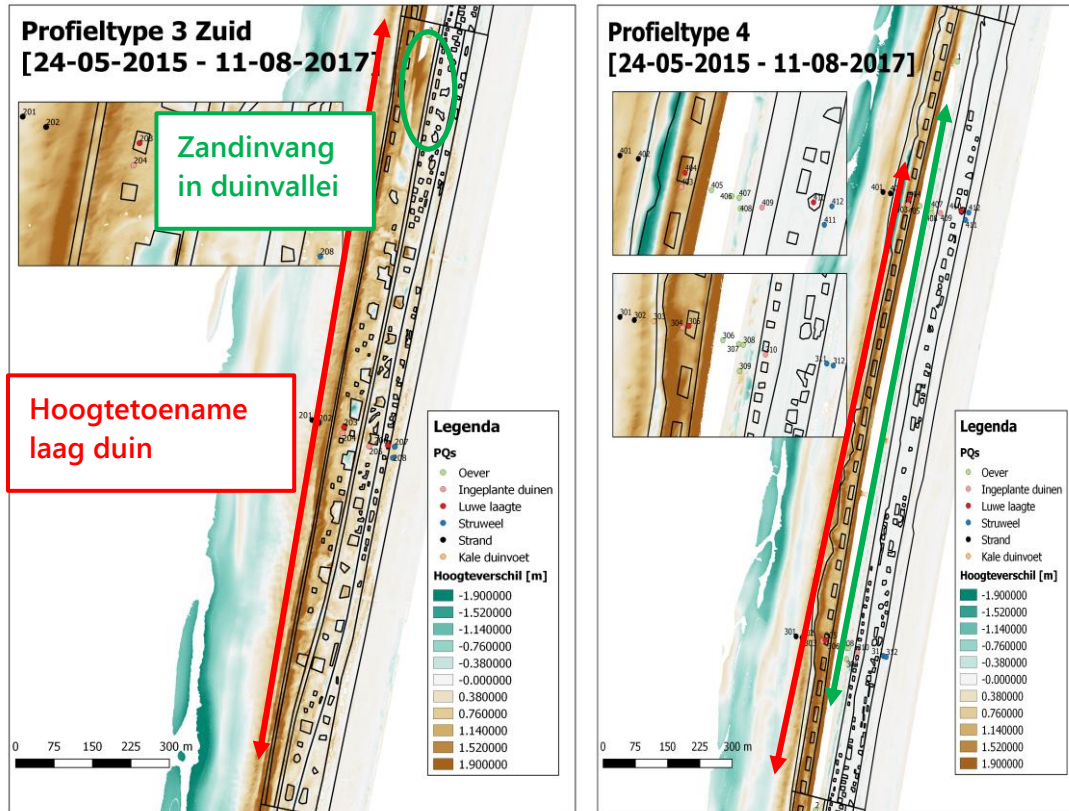
Een dwarsprofiel in profieltype 3 in het zuiden laat zien dat tussen de 1<sup>e</sup> en de 2<sup>e</sup> meting relatief veel accumulatie plaatsvindt op het hoge duin, maar dat in alle metingen daarna vrijwel alleen nog accumulatie plaatsvindt op het lage duin (afbeelding 3.9). Op het lage duin is een hoogtetoename te zien van ongeveer 2 m, waardoor feitelijk een nieuwe zeereep ontstaat. Het buitentalud van het lage duin verschuift door de accumulatie in zeewaartse richting. Waarschijnlijk door de toename in hoogte van het lage duin en het hoge duin, vindt er nauwelijks nog accumulatie plaats verder landwaarts in het dwarsprofiel.

Afbeelding 3.9 Ontwikkeling dwarsprofiel 3987 (profieltype 3) in de tijd



De forse toename in hoogte op het lage duin vindt overal langs het duingebied plaats. Afbeelding 3.10 toont de hoogteveranderingen voor profieltype 3 in het zuiden en voor profieltype 4 met de duinvallei als een sedimentatie-/erosiekaart. Op beide afbeeldingen is langs het gehele gebied een brede band zichtbaar van sedimentatie (bruine tint) op het lage duin. Daarnaast vindt veel sedimentatie plaats in de duinvallei. Deze is zeer effectief voor het invangen van stuivend zand zodat er nauwelijks zand doorstuift naar het achtergelegen gebied.

Afbeelding 3.10 Erosie-/sedimentatiekaart voor profieltype 3 zuid (links en profieltype 4 (rechts)



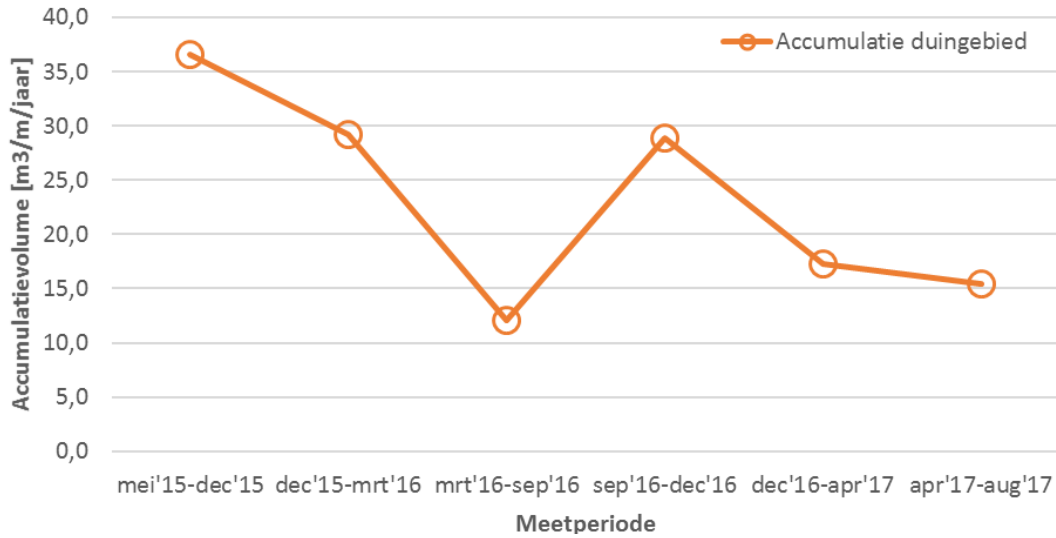
### Tijdsafhankelijkheid

De gemiddelde accumulatie in het dungebied neemt af in de tijd (afbeelding 3.11). In de periode september-december 2016 is een lichte toename zichtbaar wat mogelijk een seizoenseffect is als gevolg van het stormseizoen in deze maanden.

Het is conform verwachting dat er een afname is. Van jaar 1 naar jaar 2 neemt het volume in de voorspelling af van 35 naar 30 m<sup>3</sup>/m/jaar, of 14 %. De afname is echter voor bijna alle profieltypen significant meer met ongeveer 20-60 % van jaar 1 naar jaar 2, zie tabel 3.4.

Wat daarbij opvalt is dat de accumulatie in het noorden structureel lager is dan in het zuiden, terwijl het noordelijk deel later is voltooid en in de periode direct na aanleg juist meer accumulatie zou worden verwacht.

Afbeelding 3.11 Afname van het accumulatievolume voor de verschillende meetperiodes gemiddeld over het gehele duingebied



### 3.3.3 Effect vormgeving duin

Uit de voorgaande analyses en resultaten lijkt het profieltype een rol te spelen in de geometrie ontwikkeling als gevolg van eolisch transport. Profielen met een laag duin (type 3 en 4) laten gemiddeld de meeste accumulatie zien. Met name op het lage duin vindt veel accumulatie plaats, waardoor dit snel toeneemt in hoogte. Mogelijk stimuleert een laag duin het invangen van zand ten opzichte van een hoog duin doordat het zand minder hoogte hoeft te overwinnen.

Om hieraan harde conclusies te verbinden moet dit verder worden geanalyseerd in 2018. Naast profieltype spelen mogelijk andere variabelen een rol zoals de variatie van de korreldiameter binnen het gebied, de strandbreedte en/of strijklengte van de wind en de oriëntatie ten opzichte van de dominante windrichting.

### 3.3.4 Effecten maatregelen

Bij de aanleg van het nieuwe duin en later zijn er extra maatregelen genomen om de totale verstuing af te laten nemen (zoals wilgenschermen), maar ook om de dynamiek te stimuleren (zoals kuilen).

Het gaat om de volgende maatregelen:

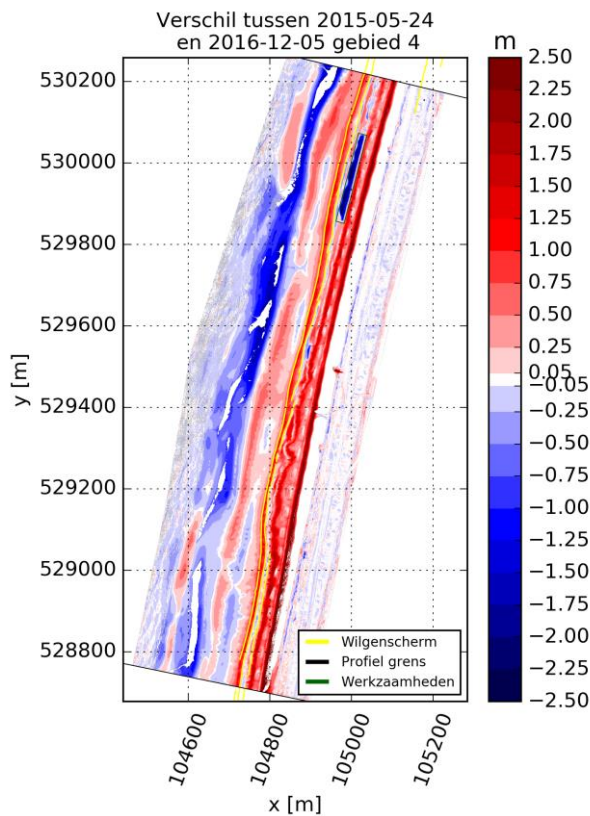
- wilgenschermen;
- luwe laagtes/kuilen;
- vegetatie.

#### Wilgenschermen

Wilgenschermen worden van oudsher gebruikt om verstuing tegen te gaan. Ze zijn vrijwel in alle dwarsprofielen aanwezig en vaak met meerdere rijen. Het plaatsen van nieuwe schermen als bestaande zijn opgevuld is een belangrijk onderdeel van de beheer- en onderhoudsstrategie van de AC.

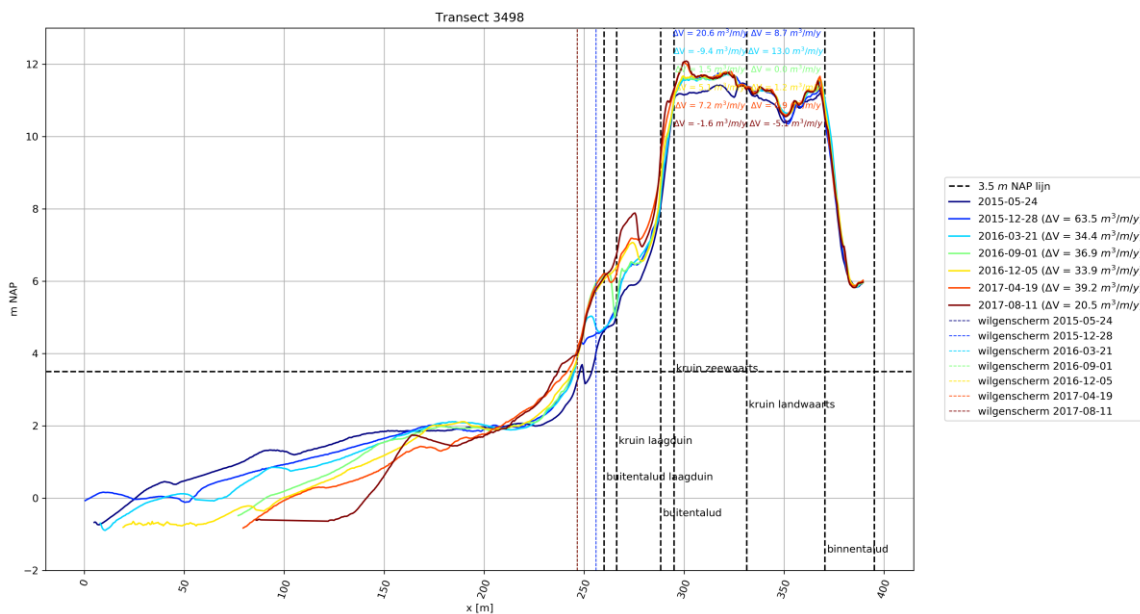
Ook op de HD zijn de schermen zeer effectief (zoals bijvoorbeeld afbeelding 3.12). Dit is weinig verrassend en conform verwachtingen. Het effect van wilgenschermen is soms moeilijk te bepalen omdat inmiddels langs de gehele kust wilgenschermen zijn geplaatst.

Afbeelding 3.12 Sedimentatie-/erosie in het gebied rond de duinvallei

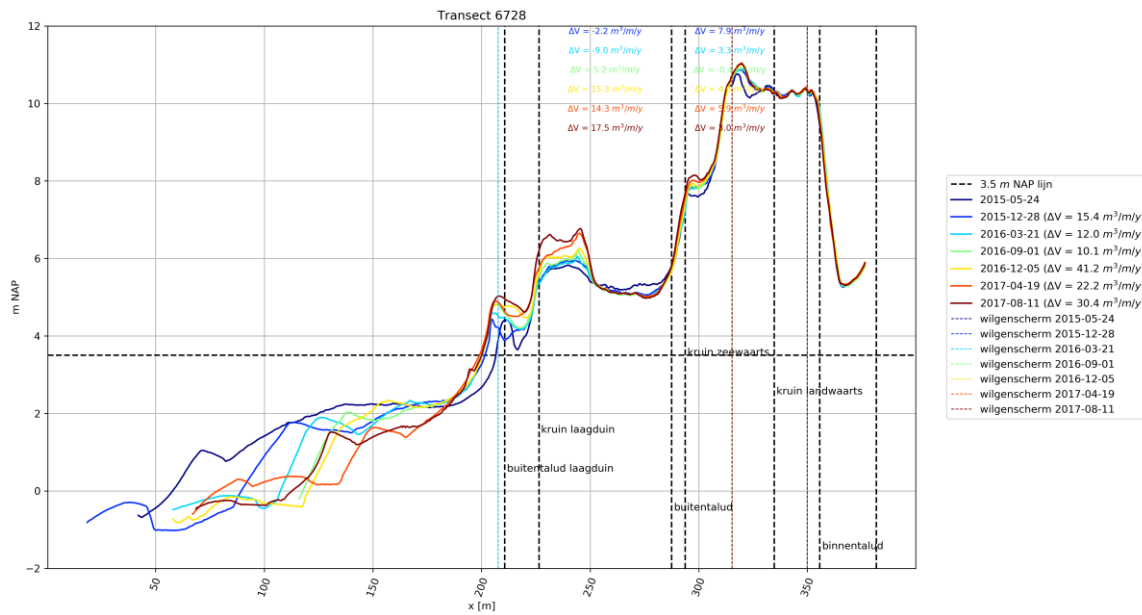


Afbeelding 3.13 en afbeelding 3.14 geven twee dwarsdoorsneden waarin het effect van wilgenschermen zichtbaar is. Wilgenschermen zorgen vooral voor flinke aanzanding aan de benedenwindse zijde. De wilgenschermen blijven effectief totdat ze geheel aangestuift/opgevuld zijn (hoogte tussen 0,5 m en 1 m).

Afbeelding 3.13 Transect met wilgenschermen



Afbeelding 3.14 Transect met wilgenschermen



### Luwe laagtes

Luwe laagtes zijn glooiingen of kuilen die bij de aanleg speciaal gemaakt zijn om de dynamiek te bevorderen. In het gehele gebied zijn laagtes aangebracht op de kruin van het lage en hoge duin. De oppervlakte en diepte van de laagtes varieert sterk over het gebied.

Een interessante observatie uit het laatste veldbezoek is dat het lage duin in een groot gebied volledig is bedekt met zand doordat er sterke accumulatie is opgetreden in de afgelopen periode. Het helm heeft de accumulatie niet bijgehouden, zodat er geen onderscheid meer is in hoogte en tussen beplante en niet beplante delen en de laagtes effectief zijn verdwenen. In het volgende veldbezoek kan worden bekeken of de laagtes nog terug te vinden zijn in het nieuwe vegetatiepatroon.

Over het algemeen ontstaat door de vorm van de laagtes ontstaat een luw gebied, waar zand kan accumuleren. Zand aan de rand van de kuil kan weer opgepakt worden en verder getransporteerd worden. Er zijn twee mechanismen die kunnen optreden:

- 1 de kuil is een luwe zone en vult zich langzaam op => de kuil wordt langzaam ondieper;
- 2 aan bovenwindse zijde vindt sedimentatie plaats en aan benedenwindse zijde erosie => de kuil migreert.

Mechanisme 1 zorgt voor weinig dynamiek en dat de kuil langzaam verdwijnt. Mechanisme 2 zorgt voor veel dynamiek en de kuil blijft langer bestaan. Om de mechanismen te bepalen is een methode bedacht om de kuilen te monitoren op beide mechanismen (vulsnelheid en dynamiek). Tevens zijn er referentielocaties geselecteerd om het effect van kuilen te kunnen onderscheiden van de natuurlijke processen.

De kuilen zijn onderscheiden door:

- diepte van de kuil (tot 2 m diep);
- oppervlakte van de kuil (tot 450 m<sup>2</sup> groot);
- afstand vanaf de dijk (hoogteligging van de kuil) (tot 90 m van de dijk).

Enkele conclusies zijn:

- de kuil dynamiek en opvulling neemt af in de tijd;
- alle kuilen vullen zich op (nog onduidelijk of dit vooral initieel of doorgaand is);
- diepe en/of brede kuilen hebben de meeste dynamiek;
- kuilen tot een diepte van 1 m gedragen zich zoals de omgeving;
- er is een zwakke correlatie tussen hoogteligging en dynamiek (moet verder onderzocht worden);

- door extra maatregelen (wilgenschermen) groeien kuilen veel sneller aan (belangrijker dan kuilafmetingen).

### 3.4 Conclusies

#### Totale accumulatie

De totale accumulatie van zand in het duingebied boven de duinvoet is ongeveer 354.000 m<sup>3</sup> in de periode van 24 mei 2015 tot en met 11 augustus 2017. Gemiddeld over het gebied komt dat neer op 23,6 m<sup>3</sup>/m/jaar, wat lager is dan de verwachte accumulatie van 35 en 30 m<sup>3</sup>/m/jaar in jaar 1 en 2 respectievelijk. Gemiddeld is er meer accumulatie in het zuiden dan in het noorden van het gebied. Met name ter plaatse van profieltype 2 en 3 vindt de meeste accumulatie plaats. Profieltype 3 (laag duin met daarachter hoog duin) ligt ook in het noorden en ook daar vindt meer accumulatie plaats dan in de gebieden eromheen. In de kustdwarse richting treedt de meeste accumulatie op het lage duin en het buitentalud.

Ook is te zien dat de kruin en binnentalud vooral in het eerste jaar is gegroeid en in het tweede jaar stabiel is gebleven. Dit komt door de hoogtetoename verder zeewaarts wat de doorvoer van zand door eolisch transport (deels) blokkeert. De verdeling van zand in het dwarsprofiel komt redelijk overeen met de voorspelde waarden in de ontwerpfase (voor profieltype 3 zuid).

De gemiddelde accumulatie in het duingebied neemt af in de tijd, conform verwachting. Van jaar 1 naar jaar 2 neemt het volume in de voorspelling in de ontwerpfase af van 35 naar 30 m<sup>3</sup>/m/jaar, of 14 %. De afname is echter voor bijna alle profieltypen significant meer met ongeveer 20-60 % van jaar 1 naar jaar 2.

#### Effect vormgeving duin

Het profieltype lijkt een rol te spelen in de geometrie ontwikkeling als gevolg van eolisch transport. Profielen met een laag duin (type 3 en 4) laten gemiddeld de meeste accumulatie zien. Met name op het lage duin vindt veel accumulatie plaats, waardoor dit snel toeneemt in hoogte. Mogelijk stimuleert een laag duin het invangen van zand ten opzichte van een hoog duin doordat het zand minder hoogte hoeft te overwinnen.

Om hieraan harde conclusies te verbinden moet dit verder worden geanalyseerd in 2018. Naast profieltype spelen mogelijk andere variabelen een rol zoals de variatie van de korreldiameter binnen het gebied, de strandbreedte en/of strijklengte van de wind en de oriëntatie ten opzichte van de dominante windrichting.

#### Effecten maatregelen

Wilgenschermen zijn vrijwel over het gehele gebied aanwezig en zijn zeer effectief om verstuiving te beperken en zand vast te houden, conform verwachting. Doordat de schermen overal aanwezig zijn, kan geen vergelijking worden gemaakt tussen profielen met en zonder schermen om de effecten te kwantificeren.

Luwe laagtes zijn glooiingen of kuilen die bij de aanleg speciaal gemaakt zijn om de dynamiek te bevorderen. In het gehele gebied zijn laagtes aangebracht op de kruin van het lage en hoge duin. De oppervlakte en diepte van de laagtes varieert sterk over het gebied.

Enkele conclusies zijn:

- de kuil dynamiek en opvulling neemt af in de tijd;
- alle kuilen vullen zich op (nog onduidelijk of dit vooral initieel of doorgaand is);
- diepe en/of brede kuilen hebben de meeste dynamiek;
- kuilen tot een diepte van 1 m gedragen zich zoals de omgeving;
- er is een zwakke correlatie tussen hoogteligging en dynamiek (moet verder onderzocht worden);
- door extra maatregelen (wilgenschermen) groeien kuilen veel sneller aan (belangrijker dan kuilafmetingen).

Luwe laagtes kunnen een effectief middel zijn om dynamiek in een duingebied te stimuleren, mits ze juist zijn aangelegd. De laagtes waar geen aanvoer is van zand, bijvoorbeeld landwaarts van de duinvallei, zijn niet actief en hebben daarom weinig toegevoegde waarde op dit moment.



Een interessante observatie uit het laatste veldbezoek is dat het lage duin in een groot gebied volledig is bedekt met zand doordat er sterke accumulatie is opgetreden in de afgelopen periode. Het helm heeft de accumulatie niet bijgehouden, zodat er geen onderscheid meer is in hoogte en tussen beplante en niet beplante delen en de laagtes effectief zijn verdwenen. In het volgende veldbezoek kan worden bekeken of de laagtes nog terug te vinden zijn in het nieuwe vegetatiepatroon.

# 4

## VEGETATIEONTWIKKELING

### 4.1 Inleiding

#### 4.1.1 Achtergrond

Dit hoofdstuk beschrijft de activiteiten van Wageningen Environmental Research (Alterra) met betrekking tot de vegetatiemonitoring als onderdeel van themalijn A: Voorspelbaarheid habitatontwikkeling. Bij habitatontwikkeling op een zandige versterking gaat het in de scope van het EcoShape HPZ-project voornamelijk over het geomorfologische proces van zandinvang en -verlies, de ontwikkeling van de vegetatie en de relatie daartussen.

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 maximale 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 duingraslanden- en duinstruweeltypen. In de zonering van strand richting de oude zeedijk zijn dat: Embryonale duinen (H2110), Witte duinen (H2120), Grijs duinen (H2130), Vochtige duinvalleien (H2190) en Duindoornstruwelen (H2160). Deze vormen de referentie voor de ontwikkelingen op de HPZ.

#### 4.1.2 Doel van de vegetatiemonitoring

Het project biedt een unieke gelegenheid om te evalueren of de 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 HPZ innovatieve elementen aangelegd om de ecologische kwaliteit van het duingebied te verhogen, zoals luwe laagtes, stuifschermen en een vochtige duinvallei (met bij aanleg en nu nog open water). In dit hoofdstuk worden de resultaten van de vegetatiemonitoring in 2017 weergegeven, alsmede een vegetatiestructuurkaart van de natuurzone in 2017. De belangrijkste ontwikkelingen ten opzichte van 2015 en 2016 worden beschreven.

## 4.2 Methoden

### 4.2.1 Vegetatie

#### Transecten en permanente proefvlakken

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 het lage duin, de vochtige duinvallei naar het hoge duin en de struweelzone tot aan de oude Hondsbossche en Pettemer zeedijk. De lengte varieerde van 105 tot 209 m. 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 m<sup>2</sup>. 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).

Afbeelding 4.1 Ligging van de vijf transecten en 50 proefvlakken (rode stippen). De nummers van de proefvlakken lopen steeds op, van het strand richting de oude Hondsbossche en Pettemer zeedijk



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 (afbeelding 4.1) zijn nog twee permanente kwadraten uitgezet om de ontwikkelingen van de valleioevers goed te kunnen volgen. De locaties van de permanente proefvlakken zijn zodanig gekozen dat alle vegetatiestructuurtypen (elementen) in deze steekproef zijn opgenomen (hoogstrand, embryonale duinen, laag duin, vochtige duinvallei, luwe laagtes, hoog duin, inclusief struweelzone). De X- en Y-coördinaten van de proefvlakken staan weergegeven in bijlage I.

#### Vegetatieopnamen

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

#### Soortenlijst transecten en oude zeedijk

Naast de vegetatieopnamen wordt 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. Deze dijk valt weliswaar niet binnen het onderzoeksgebied, maar is floristisch interessant, omdat soorten van hier zich eenvoudig kunnen verspreiden naar het aangrenzende duingebied.

De vegetatie wordt jaarlijks in de eerste of tweede week van september opgenomen.

## 4.2.2 Bodem

In 2016 is in elk permanent kwadraat een bodemmonster 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-H<sub>2</sub>O en pH-CaCl<sub>2</sub>, destructie HNO<sub>3</sub>-HCL (voor bepaling: totaal gehalten van Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na en P), extractie 0,01M CaCl<sub>2</sub> (voor bepaling van de uitwisselbare fractie van Al, Fe, K, Mg, Mn, Na en P, evenals NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub> en PO<sub>4</sub>), P-Olsen (PO<sub>4</sub>) en LECO (C en N elementair). Voor de resultaten van de bodemanalyses wordt verwezen naar de jaarrapportage 2016 (Bodde et al. 2017).

## 4.2.3 Data-analyse

De vegetatiegegevens zijn ingevoerd in Turboveg (Hennekens & Schamineé 2001). Met behulp van het programma ASSOCIA is voor iedere vegetatieopname bekeken met welke plantengemeenschap deze de meeste overeenkomst vertoont (Tongeren et al. 2008). Met een vertaaltabel, gebaseerd op de habitatprofielen van de Europese habitattypen, is vervolgens vastgesteld of de vegetatieopnamen op basis van de soortensamenstelling al kunnen worden toegerekend aan een bepaald habitatype.

Dat wil overigens niet zeggen dat de betreffende locatie ook daadwerkelijk kwalificeert voor een bepaald habitatype. Daarvoor moeten ook andere kenmerken aanwezig zijn, gerelateerd aan een goede 'structuur en functie' en de aanwezigheid van 'typische soorten' (flora of fauna). Zo geldt bijvoorbeeld voor het habitatype Witte duinen (H2120) dat aanplantingen van Helm en Noordse helm alleen tot het habitatype worden gerekend indien er geen regelmatig patroon van aangeplante pollen meer herkenbaar is.

Om de variatie in soortensamenstelling van de permanente kwadraten te analyseren en vast te stellen door welke milieufactoren deze variatie vooral wordt verklaard is een multivariate analyse uitgevoerd (Canonische Correspondentie Analyse, CCA) met behulp van CANOCO vs. 5 (Ter Braak & Šmilauer 2002). Als verklarende milieuv variabelen zijn meegenomen de hoogteligging van het permanent kwadraat ten opzichte van NAP (Z-coördinaat), afstand tot de zeereep (X-coördinaat), kalkgehalte van het zand (Ca-bodem) en de ligging N-Z (Y-coördinaat). In deze analyse wordt stapsgewijze steeds die milieuv variabele toegevoegd die leidt tot de grootste toename in verklaarde variantie (gesommeerd over alle soorten). De significantie van het effect van elke variabele is getoetst door middel van een permutatietoets. De effecten van de milieuv variabelen op de vegetatiesamenstelling van een proefvlak zijn gevisualiseerd door de correlatie van de afzonderlijke variabelen met elke as te bepalen en op grond daarvan een plot te maken met behulp van het programma CANODRAW (Ter Braak & Šmilauer 2002).

Als de vegetatieontwikkeling nog wat verder is voortgeschreden (in 2018?) zullen met het informatiesysteem SynBioSys de abiotische randvoorwaarden voor afzonderlijke habitattypen (H2110, H2120, H2130, H2160 en H2190) worden vergeleken met de huidige vegetatie. Hierbij zal de Landelijke Vegetatie Databank worden ingezet als referentie voor de betreffende plantengemeenschappen.

## 4.2.4 Vegetatiestructuurkaart

In het kader van een afzonderlijke opdracht van aannemingsbedrijf Van Oord aan WEnR wordt jaarlijks in oktober een vegetatiestructuurkaart opgeleverd; deze behoort dus niet tot het Ecoshape-projectplan. De kaart is gebaseerd op de meest recente en geogerefererde luchtfoto die op dat moment voor handen is, en voor de volledigheid in deze rapportage opgenomen. In bijlage III staan de werkwijze en technische data voor deze vegetatiestructuurkaart toegelicht.

Voor de vegetatiestructuurkaart van 2017 is gebruik gemaakt van de *true color* luchtfoto van augustus 2017.

## 4.3 Resultaten

### 4.3.1 Vegetatieontwikkelingen

Hieronder worden eerst de belangrijkste vegetatieontwikkelingen beschreven. Vervolgens wordt ingegaan op de veranderingen in de permanente kwadraten en langs de transecten als geheel.

#### Belangrijkste vegetatieontwikkelingen

Op het strand ontwikkelt zich een strook van 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 4.2).

Afbeelding 4.2 Ontwikkeling van embryonale duintjes met Biestarwegras (*Elytrigia juncea boreoatlantica*) op het hoogstrand zeewaarts van de aangeplante wilgenschermen (foto: Daisy de Vries)



Afbeelding 4.3 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)



- 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 vervagen 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.
- Het totale aantal soorten aangetroffen op de transecten is toegenomen van 22 in 2015, naar 59 in 2016 en 95 in 2017. De vestiging van soorten is dus volop gaande.
- Ook in de vochtige duinvallei zijn opvallende ontwikkelingen gaande: als gevolg van wind, overstuiving, uitstuiving en erosie worden de rechte lijnen van de oevers geleidelijk wat natuurlijker. 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, een soort die goed bestand is tegen de extreme milieuomstandigheden van kaal, bewegend zand. 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 vitale pollen Helm (afbeelding 4.3).

Afbeelding 4.4 Aan de onderzijde van het aangeplante struweel (binnentalud hoog duin) heeft zich Helm gevestigd op vers ingestoven zand (foto: Daisy de Vries)



- Op de vochtige oevers van de duinvallei vinden we de vestiging van soorten van zoute tot licht brakke omstandigheden waaronder Zeekraal, Goudknopje (*Cotula coronopifolia*) (afbeelding 4.5), Lamsoor (*Limonium vulgare*), Zeeaster (*Aster tripolium*) en Zeebies (*Bolboschoenus maritimus*). De ontwikkeling is nog pril, maar zal de komende jaren zeker doorzetten. De verwachting is wel dat de bodem geleidelijk zal ontzilten en dat er zich soorten van zoete duinvalleien zullen gaan vestigen. Probleem daarbij is wel dat de vallei geïsoleerd gelegen is en veel karakteristieke soorten het gebied moeilijk zullen kunnen bereiken, zeker de soorten die zich via water verspreiden. Anders ligt dat voor soorten die zich via wind of (water)vogels verspreiden (zie ook hoofdstuk 6).
- 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 samen met de aanwezige kalkgradiënt van het opgebrachte zand, van kalkrijk (zuid) naar kalkarm (noord) (bijlage IV).
- Vestiging van Duindoorn (*Hippophae rhamnoides*) uit bessen begint op gang te komen, niet alleen in de struweelzone, maar ook, zij het nog mondjesmaat op de kruin en het binnentalud van het hoog duin.
- De struweelzone (binnentalud hoog duin) wordt nog overstoven met zand van het 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 4.4).
- Op het buitentalud van de oude Hondsbossche en Pettemer zeedijk (afbeelding 4.5) zijn de afgelopen jaren 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*) 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 4.5 Buitentalud van de oude Hondsbossche en Pettemer zeedijk (foto: Daisy de Vries)



Afbeelding 4.6 Goudknopje (*Cotula coronopifolia*) aan de noordzijde van de vochtige duinvallei (foto: Daisy de Vries)



Afbeelding 4.7 Zeekool (*Crambe maritima*) heeft zich gevestigd aan de noordzijde van de vochtige duinvallei (foto: Daisy de Vries)





Afbeelding 4.8 Jonge exemplaren van Blauwe zeedistel (*Eryngium maritimum*) aan de noordzijde van de vochtige duinvallei (foto: Daisy de Vries)



### Permanente proefvlakken

In tabel 4.1 staan de 50 vegetatieopnamen van 2017 gegroepeerd naar structuurtype. Het aantal soorten in de proefvlakken in de duintypen was gering (2-6 soorten), in het aangeplante struweel wat hoger (5-11 soorten).

De vegetatie in de proefvlakken is het afgelopen jaar soortenrijker geworden (tabel 4.2). Bedroeg het aantal soorten vaatplanten in 2016 in de 50 proefvlakken in totaal 29 soorten, in 2017 was dit toegenomen naar 39 soorten.

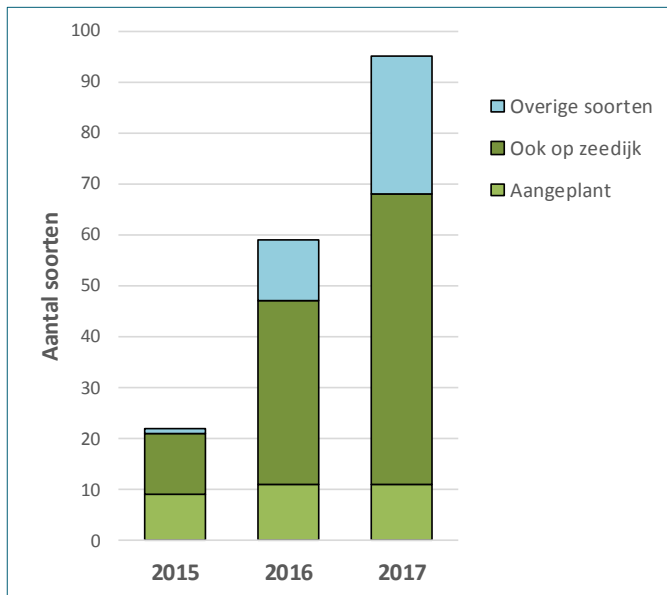
Tabel 4.1 De vegetatieopnamen van 2017 geordend naar structuurtype. Strand, ED = Embryonaal duin, LL = Luwe laagte, SP (Helm) = spontane helm, Oever = oever vochtige duinvallei, IP (Helm) is ingeplant helm, IP (STR) = ingeplant struweel

PQ nummer	101	201	301	401	303	102	202	302	402	501	105	203	305	404	410	206	103	309	502	306	307	308	405	406	407	408	001	002	104	106	204	205	304	310	403	503	504	505	409	107	108	207	208	311	312	411	412	506	507	508
Expositie ('NWZOVX')	W	W	V	NW	W	V	NW	ZW	V	W	V	NOO	O	O	V	NNO	W	W	W	O	W	W	ZO	W	W	NW	ZW	NW	V	V	V	V	O	V	O	ZOO	V	V	V	NOO	NOO	ZO	ZO	O	O	O	O	O	O	ZOO
Inclinatorie (graden)	5	2	2	5	5	10	5	5	5	5	10	7	15	10	10	10	5	10	18	10	5	10	15	10	5	35	5	7	40	40	10	70	25	50	20	30	25	15	10	20	15	20	25	20	25	35	15	20	20	10
Bedekking totaal (%)	0	0	0	1	0	30	15	20	30	2	0	0	0	0	5	5	15	30	25	0	2	1	1	0	0	20	10	7	40	40	10	70	25	50	20	30	25	15	10	30	70	65	60	5	50	5	20	20	30	20
Gem. hoogte lage kruidl. (cm)	15	0	0	4	0	30	40	20	10	10	0	0	0	0	40	10	80	25	30	0	1	5	5	0	0	50	15	15	100	40	80	60	80	60	120	100	40	40	30	100	120	80	100	5	100	10	30	30	30	80
Maximale hoogte kruidlaag (cm)	0	0	0	4	0	50	80	60	30	30	0	0	0	0	20	30	80	50	150	0	1	5	5	0	0	100	30	40	100	60	110	100	120	80	120	120	70	70	70	190	150	150	150	15	150	15	80	60	50	120
Structuurtype	STRAND	STRAND	STRAND	STRAND	ED	ED	ED	ED	ED	ED	LL	LL	LL	LL	LL	LL	sp (HE)	sp (HE)	sp (HE)	OEVER	OEVER	OEVER	OEVER	OEVER	OEVER	OEVER	OEVER	OEVER	IP (HE)	IP (HE)	IP (HE)	IP (HE)	IP (HE)	IP (HE)	IP (HE)	IP (HE)	IP (HE)	IP (HE)	IP (HE)	IP (STR)	IP (STR)	IP (STR)	IP (STR)	IP (STR)	IP (STR)	IP (STR)	IP (STR)	IP (STR)	IP (STR)	IP (STR)
Wet-naam																																																		
Ammophila arenaria	.	.	.	.	.	1	1	.	.	p2	.	.	.	.	1	a2	1	r1	2	.	r1	p1	.	.	2	a2	r2	2	3	1	4	2	4	2	3	2	1	1	p4	1	.	.	p1	r1	p2	a4	p2	.	2	
Elytrigia juncea s. boreoatlantica	.	.	.	.	.	3	1	.	.	3	p2	.	.	.	.	.	r2	2	a4	.	.	.	.	.	p2	.	.	.	.	p2	.	p2	.	p4	p4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r1	
Sonchus arvensis v. maritimus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	p2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	p2	
Cakile maritima	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r1	r1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Honckenya peploides	.	.	.	r1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r1	
Sonchus asper	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Festuca arenaria	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Calammophila baltica (x) species	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Sonchus species	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Sonchus oleraceus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Senecio inaequidens	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Senecio vulgaris	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Festuca rubra	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Taraxacum species	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Spergularia media	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Phragmites australis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Agrostis stolonifera	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Hippophae rhamnoides	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Tripleurospermum maritimum	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Plantago coronopus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Senecio sylvaticus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Holcus lanatus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Rosa rubiginosa s.l.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Hypochaeris radicata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Anagallis arvensis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Atriplex portulacoides	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Bromus hordeaceus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Cerastium semidecandrum	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Crataegus monogyna	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Elytrigia atherica	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Elytrigia repens	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Euonymus europaeus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Hordeum murinum	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Lolium perenne	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Polygonum aviculare	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Rosa canina s.l.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Rumex acetosa	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Sambucus nigra	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Senecio species	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	

### Soortenlijst transecten

De soortenlijsten met vaatplanten die in de periode 2015-2017 langs ieder transect (binnen en vooral ook buiten de proefvlakken) zijn aangetroffen staan in tabel 4.2. Duidelijk is dat het totale aantal soorten in de transecten gestaag is toegenomen van 22 in 2015, naar 59 in 2016 en 95 in 2017 (afbeelding 4.9). Het betreft voornamelijk algemene soorten van (duin)grasland en (duin)struweel naast diverse meer ruderaal soorten. Kijken we naar de 'nieuwkomers' in 2016 en 2017 dan is duidelijk dat een groot deel ook op het buitentalud van de oude zeedijk voorkomt. De overige soorten zijn afkomstig van elders, verspreid met wind of (water)vogels. Het proces van kolonisatie is dus in volle gang.

Afbeelding 4.9 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



Voor de duinvalleioever aan de noordkant maakt een interessante ontwikkeling door. Werd hier in 2015 nog maar één soort gevonden, in 2017 zijn dat er 26. Verschillende brakke (deels duinvallei-) soorten hebben hun plekje gevonden aan deze kant van de oever, zoals Zeeraket, Gerande schijnspurrie (*Spergularia media*), Kortarige zeekraal (*Salicornia europaea*), Stekend loogkruid, Lamsoor, Goudknopje, Blaartrekkende boterbloem (*Ranunculus scellaratus*) en Spijesmelde (*Atriplex prostrata*). Zelfs kleine exemplaren van Blauwe zeedistel (*Eryngium maritimum*) zijn gevonden, maar deze lijken gezaaid (afbeelding 4.7). Op enkele plekken elders langs de oever van de duinvallei heeft zich inmiddels ook Riet (*Phragmites australis*) gevestigd.

### Soortenlijst oude zeedijk

Er is ieder jaar ook een soortenlijst gemaakt van de oude zeedijk. Tussen 2015 en 2017 werden op het buitentalud in totaal 90 soorten aangetroffen (tabel 4.2), waaronder een aantal opvallende soorten als Zeekool (*Crambe maritima*), Zeepostelein (*Honckenya peploides*), Moeraszoutgras (*Triglochin palustris*) en Zeevenkel (*Crithmum maritimum*) (afbeelding 4.10).

Afbeelding 4.10 Zeevenkel (*Crithmum maritimum*) op het buitentalud van de oude zeedijk (foto: Daisy de Vries)



**Tabel 4.2** 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 een of meerdere proefvlakken. Open rondjes: de betreffende soort is aangetroffen buiten de proefvlakken; a = aangeplant, z = spontaan gevestigd, maar ook op zeedijk voorkomend, o = spontaan gevestigd, niet op zeedijk voorkomend

Transect	TRANSECT 1			TRANSECT 2			TRANSECT 3			TRANSECT 4			TRANSECT 5			DV OEV 001			DV OEV 002			TRANSECT tot			ZEEDIJK tot									
Aantal soorten	16	10	44	13	27	36	13	24	51	13	30	50	8	25	46	1	18	26	1	2	5	22	59	95	38	64	80							
Jaar	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17							
<i>Cotula coronopifolia</i>																	•	o													Goudknopje			
<i>Salicornia europaea</i>																	o	o																Kortarige zeekraal
<i>Spergularia media</i>												•					•	•																Gerande schijnspurrie
<i>Juncus ambiguus</i>																	o	o																Zilte greppelrus
<i>Juncus spec.</i>																	o	o																Rus spec.
<i>Limonium vulgare</i>												•					o	o																Lamsoor
<i>Ranunculus sceleratus</i>																	o	o																Blaartrekkende boterbloem
<i>Ammophila arenaria</i>	o	•	•	o	•	•	o	•	•	o	•	•	o	•	•	o	o	•	o	•	•	a	a	a	o	o	o							Helm
<i>Cakile maritima</i>	o	•	o	o	•	o	o	o	•	o	o	•					o	•		o	•	z	z	z	o	o								Zeeraket
<i>Hippophae rhamnoides</i>	o	•	•	o	•	•	o	•	•	o	•	•	o	•	•	o	•	•				a	a	a										Duindoorn
<i>Rosa canina s.l.</i>	o	•	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	•	o							a	a	a										Hondsroos
<i>Festuca arenaria</i>	o	•	•	o	•	•	o	•	•	o	o	o	o	o	•							z	z	z					o	o				Duinzwengras
<i>Elytrigia juncea subsp. boreoatlantica</i>		•	•	•	•		•	•		•	•		•	•			o	o							a	a		o	o					Biestarwegras
<i>Sambucus nigra</i>	o	•	o	o	o		o	o	o	o	o	o		•	•							a	a	a									o	Gewone vlier
<i>Taraxacum officinale</i>	o		•			o	o	•	o		o	•		•	•		o	o				z	z	z	o	o	o							Gewone paardenbloem
<i>Holcus lanatus</i>	o	•	•	o	o	•	o	•	•			o			o							z	z	z	o	o	o							Gestreepte witbol
<i>Atriplex prostrata</i>			o		o				o		•	o		•	•		•	o							o	o	o							Spiesmelde
<i>Tripleurospermum maritimum</i>			o		•	•		•	•		•	•		•	•			o							z	z		o	o	o				Reukloze kamille
<i>Euonymus europaeus</i>		o		o	o	o	o	o	•	o	o	o										a	a	a										Wilde kardinaalsmuts
<i>Salsola kali</i>			o			o		o	o		o	o			o		o	o							z	z	o							Stekend loogkruid
<i>Plantago coronopus</i>			o		o	o			o		•	•		•	•			o							z	z	o	o	o	o				Hertshoornweegbree
<i>Rosa rubiginosa s.l.</i>	o						o	•	•		•	•	o	o	•							a	a	a										Egelantier
<i>Agrostis stolonifera</i>			o		•	o			•		o	o		o	o			o							z	z	o	o	o	o				Fioringras
<i>Senecio inaequidens</i>					o		o	o	•	o	o	•		•	•							z	z	z					o	o				Bezemkruid

Transect	TRANSECT 1			TRANSECT 2			TRANSECT 3			TRANSECT 4			TRANSECT 5			DV OEV 001			DV OEV 002			TRANSECT tot			ZEEDIJK tot						
Aantal soorten	16	10	44	13	27	36	13	24	51	13	30	50	8	25	46	1	18	26	1	2	5	22	59	95	38	64	80				
Jaar	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17				
<i>Polygonum aviculare</i>			o			•			o			o			o			o						z			o			o	Gewoon varkensgras
<i>Honckenya peploides</i>			o			o			o			•			•			o			o			z			o			o	Zeepostelein
<i>Senecio vulgaris</i>	o			o		•			•			•			o			•			•			z			o			o	Klein kruiskruid
<i>Sonchus arvensis</i>			o			•			o			o			•			•						z			o			o	Akkermelkdistel
<i>Crataegus monogyna</i>				o		o			•			•			o			o						a			a				Eenstijlige meidoorn
<i>Ligustrum vulgare</i>	o			o					o			•			o			o			o			a			a			o	Wilde liguster
<i>Sonchus arvensis var. maritimus</i>	o		o	o		•						o			•			•						z			o			o	Zeemelkdistel
<i>Hypochaeris radicata</i>						•			•			o			o			o									z			o	Biggenkruid
<i>Lolium perenne</i>			o				o		•			•			o			o						z			o			o	Engels raaigras
<i>Tussilago farfara</i>						o						o			o			o			o						z			o	Klein hoefblad
<i>Cirsium arvense</i>			o						o			o			o			o			o						z			o	Akkerdistel
<i>Sonchus oleraceus</i>			o						o			•			•			•									z			o	Gewone melkdistel
<i>Plantago major</i>			o			o			o			o			o			o									z			o	Grote weegbree
<i>Anagallis arvensis</i>						o			•			o			o			o									z			o	Rood guichelheil
<i>Rumex crispus</i>	o					o			o			o			o			o			o						z			o	Krulzuring
<i>Leymus arenarius</i>	o		o						o			o			o			o									z			o	Zandhaver
<i>xCalammophila baltica</i>		o	•			•			o			o			o									a			a				Noordse helm
<i>Eryngium maritimum</i>			o			o												o			o						a				Blauwe zeedistel
<i>Bromus hordeaceus</i>			o			o			•			•															z			o	Zachte dravik
<i>Calystegia sepium</i>			o						o			o			o			o									z			o	Haagwinde
<i>Cirsium spec.</i>		•	o			o																		o			o				Distel spec.
<i>Elytrigia repens</i>									•			•			o			o									z			o	Kweek
<i>Phragmites australis</i>									o			•						o			•						z			o	Riet
<i>Rubus spec.</i>						o									o			o									z			o	Braam spec.
<i>Epilobium hirsutum</i>									o			o			o												z			o	Harig wilgenroosje
<i>Poa pratensis</i>			o									o			o												z			o	Veldbeemdgras
<i>Salix repens</i>									o									o									o				Kruipwilg
<i>Sisymbrium officinale</i>															o			o									z			o	Gewone raket
<i>Polygonum persicaria</i>									o						o												o				Perzikkruid

Transect	TRANSECT 1	TRANSECT 1	TRANSECT 1	TRANSECT 2	TRANSECT 2	TRANSECT 2	TRANSECT 3	TRANSECT 3	TRANSECT 3	TRANSECT 4	TRANSECT 4	TRANSECT 4	TRANSECT 5	TRANSECT 5	TRANSECT 5	DV OEV 001	DV OEV 001	DV OEV 001	DV OEV 002	DV OEV 002	DV OEV 002	TRANSECT tot	TRANSECT tot	TRANSECT tot	ZEEDIJK tot	ZEEDIJK tot	ZEEDIJK tot		
Aantal soorten	16	10	44	13	27	36	13	24	51	13	30	50	8	25	46	1	18	26	1	2	5	22	59	95	38	64	80		
Jaar	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17		
<i>Medicago lupulina</i>											o	o											z	z		o	o	Hopklaver	
<i>Cirsium palustre</i>												o		o									z	z		o	o	Kale jonker	
<i>Jacobaea vulgaris subsp. dunensis</i>										o					o								z		z		o	o	Duinkruiskruid
<i>Prunus spec.</i>	o			o																			a				o	Kers spec.	
<i>Convolvulus soldanella</i>	o																						o					Zeewinde	
<i>Cirsium vulgare</i>								o			•				o								z		o	o	o	Speerdistel	
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>														o									o					Alsemambrosia	
<i>Solanum nigrum</i>					o																		o					Zwarte nachtschade	
<i>Artemisia vulgaris</i>								o															z				o	Bijvoet	
<i>Lotus corniculatus</i>					o																		o					Gewone rolklaver	
<i>Artemisia maritima</i>										o													z			o	o	Zeealsem	
<i>Artemisia campestris subsp. campestris</i>												o													o			Wilde averuit	
<i>Aster tripolium</i>												o												z	o	o	o	Zulte	
<i>Atriplex portucaloides</i>																		o						z			o	Gewone zoutmelde	
<i>Bolboschoenus maritimus</i>									o																o			Heen	
<i>Carex arenaria</i>									o																o			Zandzegge	
<i>Carex spec.</i>																		o							o			Zegge spec.	
<i>Cerastium semidecandrum</i>			o			o			•			o			o									z	o	o	o	Zandhoornbloem	
<i>Chamerion angustifolium</i>												o												z			o	Wilgenroosje	
<i>Chenopodium album</i>												o												z			o	Melganzenvoet	
<i>Corispermum intermedium</i>												o			o									o				Smal vlieszaad	
<i>Corynephorus canescens</i>										o														o				Buntgras	
<i>Crambe maritima</i>																		o						z	o	o	o	Zeekool	
<i>Daucus carota</i>															o									z		o	o	Wilde peen	
<i>Diplotaxis muralis</i>			o																					o				Kleine zandkool	
<i>Echinocloa crus-galli</i>						o																		o				Europese hanenpoot	
<i>Epilobium spec.</i>			o									o												z			o	Basterdwederik spec.	

Transect	TRANSECT 1			TRANSECT 2			TRANSECT 3			TRANSECT 4			TRANSECT 5			DV OEV 001			DV OEV 002			TRANSECT tot			ZEEDIJK tot			
Aantal soorten	16	10	44	13	27	36	13	24	51	13	30	50	8	25	46	1	18	26	1	2	5	22	59	95	38	64	80	
Jaar	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	
<i>Festuca rubra</i>			•			o			•			•			o									z	o	o	o	Rood zwenkgras
<i>Geranium molle</i>												o												z	o	o	o	Zachte ooievaarsbek
<i>Geranium pusillum</i>									o															z			o	Kleine ooievaarsbek
<i>Hieracium umbellatum</i>												o												o				Schermhavikskruid
<i>Holcus mollis</i>			o																					o				Gladde witbol
<i>Iris pseudacorus</i>															o									z			o	Gele lis
<i>Leontodon saxatilis</i>			o						o															z	o	o	o	Kleine leeuwentand
<i>Medicago spec.</i>						o																		o				Rupsklaver spec.
<i>Plantago lanceolata</i>			o						o			o			o									z	o	o	o	Smalle weegbree
<i>Poa annua</i>						o						o												z		o	o	Straatgras
<i>Puccinellia maritima</i>									o															o				Gewoon kweldergras
<i>Raphanus raphanistrum</i>															o									o				Knopherik
<i>Rhamnus cathartica</i>															o									o				Wegedoorn
<i>Rorippa c.f. sylvestris</i>									o			o												z			o	Akkerkers
<i>Rumex acetosa</i>			o			•			o			o			o									z	o	o	o	Veldzuring
<i>Rumex acetosella</i>			o																					o				Schapenzuring
<i>Senecio sylvaticus</i>			•			•			•			o			•									o				Boskruiskruid
<i>Setaria spec.</i>						o									o									o				Naalbaar spec.
<i>Sonchus asper</i>			•																									Gekroesde melkdistel
<i>Sonchus spec.</i>			•			•			•			•			•									o				Melkdistel spec.
<i>Trifolium pratense</i>			o			o																		z	o		o	Rode klaver
<i>Trifolium repens</i>			o						o															z		o	o	Witte klaver
<i>Achillea millefolium</i>																											o	Duizendblad
<i>Angelica sylvestris</i>																											o	Gewone engelwortel
<i>Arrhenaterum elatius</i>																											o	Glanshaver
<i>Bellis perennis</i>																											o	Madeliefje
<i>Calamagrostis epigejos</i>																											o	Duinriet
<i>Cardamine hirsuta</i>																									o	o	o	Kleine veldkers
<i>Cochlearia danica</i>																										o		Deens lepelblad



Transect	TRANSECT 1	TRANSECT 1	TRANSECT 1	TRANSECT 2	TRANSECT 2	TRANSECT 2	TRANSECT 3	TRANSECT 3	TRANSECT 3	TRANSECT 4	TRANSECT 4	TRANSECT 4	TRANSECT 5	TRANSECT 5	TRANSECT 5	DV OEV 001	DV OEV 001	DV OEV 001	DV OEV 002	DV OEV 002	DV OEV 002	TRANSECT tot	TRANSECT tot	TRANSECT tot	ZEEDIJK tot	ZEEDIJK tot	ZEEDIJK tot		
Aantal soorten	16	10	44	13	27	36	13	24	51	13	30	50	8	25	46	1	18	26	1	2	5	22	59	95	38	64	80		
Jaar	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17	'15	'16	'17		
<i>Conyza canadensis</i>																												o	Canadese fijnstraal
<i>Coronopus squamatus</i>																												o	Grote varkenskers
<i>Crithmum maritimum</i>																												o	Zeevenkel
<i>Elytrigia atherica</i>																												z	Zeekweek
<i>Eschscholzia californica</i>																												o	Slaapmutsje
<i>Galium aparine</i>																											o	Kleefkruid	
<i>Hordeum spec.</i>						•																					z	Gerst sp.	
<i>Lupinus spp.</i>																												o	Lupine
<i>Medicago arabica</i>																												o	Gevlekte rupsklaver
<i>Potentilla anserina</i>																												o	Zilverschoon
<i>Potentilla reptans</i>																												o	Vijfvingerkruid
<i>Ranunculus acris</i>																												o	Scherpe boterbloem
<i>Ranunculus repens</i>																												o	Kruipende boterbloem
<i>Rosa rugosa</i>																											o	Rimpelroos	
<i>Rubus caesius</i>																												o	Dauwbraam
<i>Sedum acre</i>																											o	Muurpeper	
<i>Silene dioica</i>																												o	Dagkoekoeksbloem
<i>Stellaria media</i>																												o	Vogelmuur
<i>Triglochin palustris</i>																												o	Moeraszoutgras
<i>Vicia spec.</i>																												o	Wikke spec.

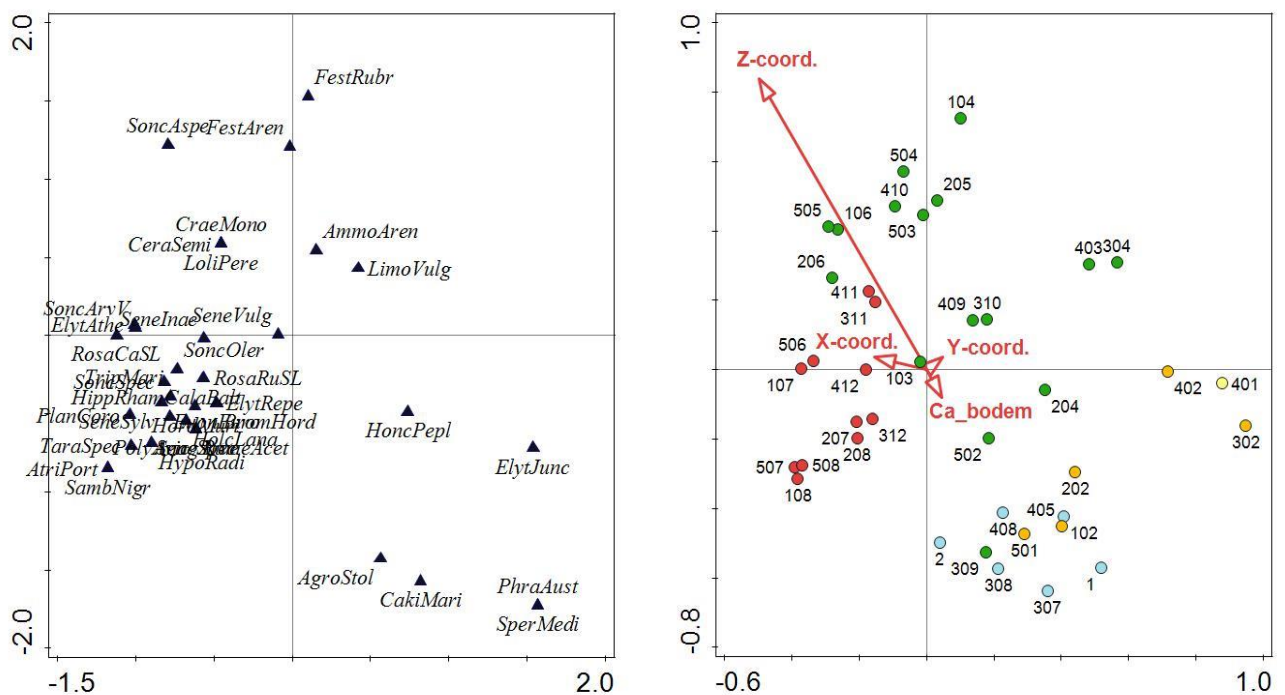
## 4.3.2 Data-analyse

### Multivariate analyse

Er is een multivariate analyse uitgevoerd op de vegetatiegegevens van de permanente kwadraten. 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.

Uit de analyse komt naar voren dat de variatie in soortensamenstelling in de permanente kwadraten vooral bepaald wordt door de hoogteligging (Z-coördinaat; afbeelding 4.11; tabel 4.3). 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 4.11). 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.

Afbeelding 4.11 CCA-plot van de 50 permanente proefvlakken (soortensamenstelling 2017) met de belangrijkste milieuvariabelen. Links het 'soortenplot', rechts de ordening van de proefvlakken (biplot). Strand: licht geel; embryonaal duin: oker; duinvallei-oever: blauw; ingeplante helm: groen; struweel: rood



Tabel 4.3 Resultaten van voorwaartse selectie van de omgevingsvariabelen in CCA. De totale verklaarde variantie bedraagt 13 %

Omgevingsvariabele	Verklaarde variantie	P-waarde	Significantie
hoogte t.o.v. NAP (Z-coördinaat)	8.7%	0.002	**
kalkgehalte (Ca_bodem)	2.9%	0.242	n.s.
afstand tot zeereep (X-coördinaat)	1.4%	0.900	n.s.

## Habitattypen

Hieronder staat weergegeven welke permanente kwadraten op basis van de soortensamenstelling konden worden toegerekend aan een bepaald vegetatietype. Dat wil overigens niet zeggen dat deze locaties ook daadwerkelijk kwalificeren voor een bepaald habitatype. Daarvoor moeten ook andere kenmerken aanwezig zijn, gerelateerd aan een goede 'structuur en functie' en de aanwezigheid van 'typische soorten' (flora of fauna). Het zegt wel dat er ontwikkelingen gaande zijn die op termijn kunnen leiden tot het betreffende habitatype.

Vijftien proefvlakken konden op basis van soortensamenstelling niet worden toegerekend aan een bepaald habitatype.

### H2110 Embryonale duinen

22AB01 Associatie van Loogkruid en Zeeraket (*Salsolo-Cakiletum maritimae*): 001, 002

23AA01 Biestarwegras-associatie (*Honckenyo-Agropyretum juncei*): 102, 202, 302, 309, 402, 405, 501

### H2120 Witte duinen

23AB01 Helm-associatie (*Elymo-Ammophiletum*)

103, 104, 106, 204, 205, 304, 310, 403, 408, 409, 410, 502, 503, 504, 505, 507, 508

### H2160 Duindoornstruwelen

37AC01: Associatie van Duindoorn en Vlier (*Hippophao-Sambucetum*): 312

37AC02: Associatie van Duindoorn en Liguster (*Hippophao-Ligustretum*): 107, 412, 506

37RG01: Rompgemeenschap met Duindoorn en Akkermelkdistel (RG *Hippophae rhamnoides-Sonchus arvensis*-[*Berberidion vulgare*/*Ammophilon arenariae*]): 108, 207

37RG02: Rompgemeenschap met Duindoorn en Cladonia (RG *Hippophae rhamnoides-Cladonia*-[*Berberidion vulgare*/*Tortulo-Koelerion*]): 208

### H2190 Vochtige duinvalleien

09BA03: Associatie van Duinrus en Parnassia (*Parnassio-Juncetum atricapilli*): 206

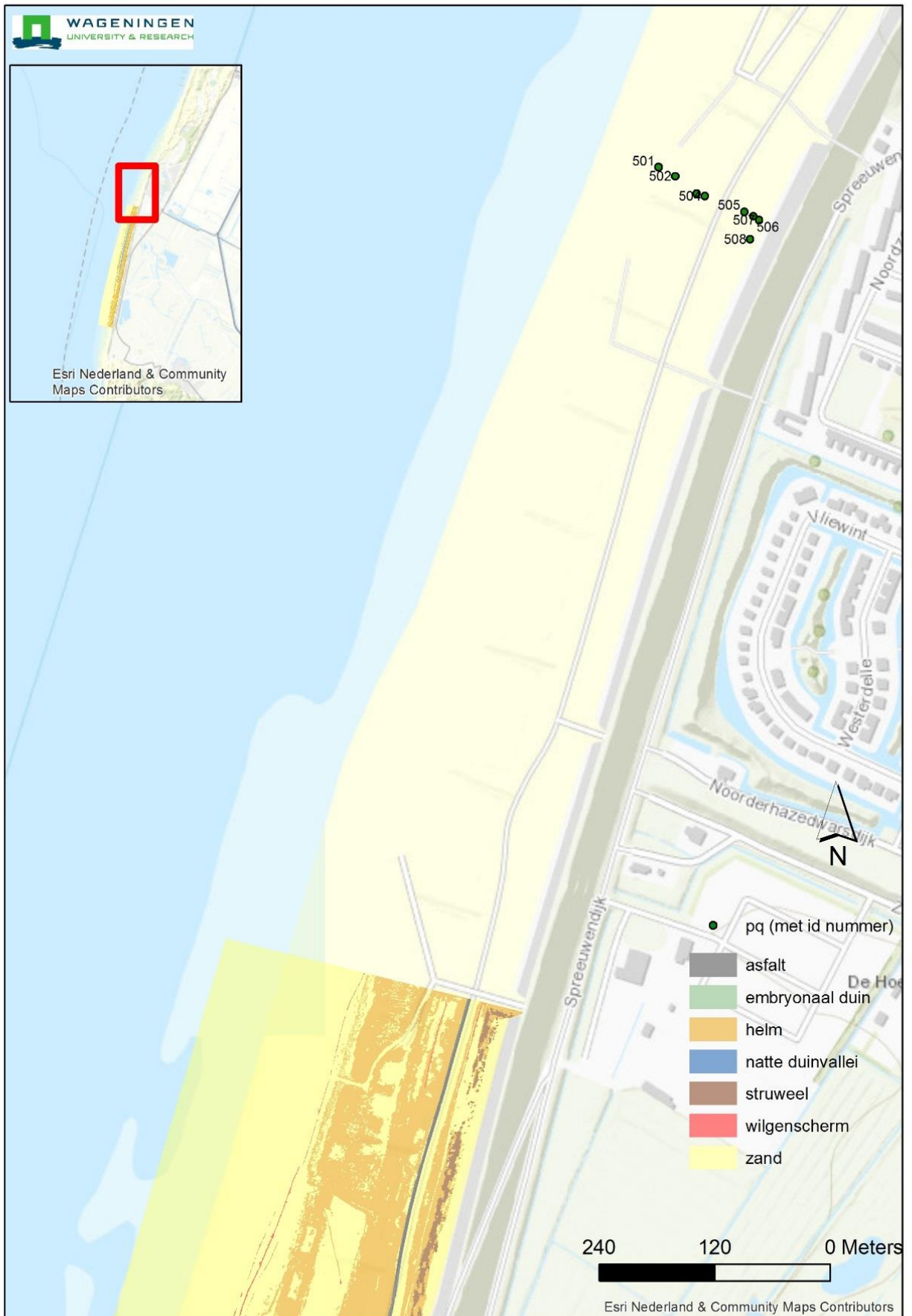
09BA04: Knopbies-associatie (*Junco baltici-Schoenetum nigricantis*): 411

Geen habitatype: 101, 105, 201, 203, 301, 303, 305, 306, 307, 308, 311, 401, 404, 406, 407.

## 4.3.3 Vegetatiestructuurkaart

De vegetatiestructuurkaart van de natuurzone, gebaseerd op de luchtfoto van augustus 2017, is weergegeven in vier deelgebieden (afbeelding 4.12a tot en met 4.12d). In bijlage III is de werkwijze en technische verantwoording van de kaart opgenomen.

Afbeelding 4.12a Meest noordelijke kaartbeeld van de vegetatiekartering natuurzone HPZ



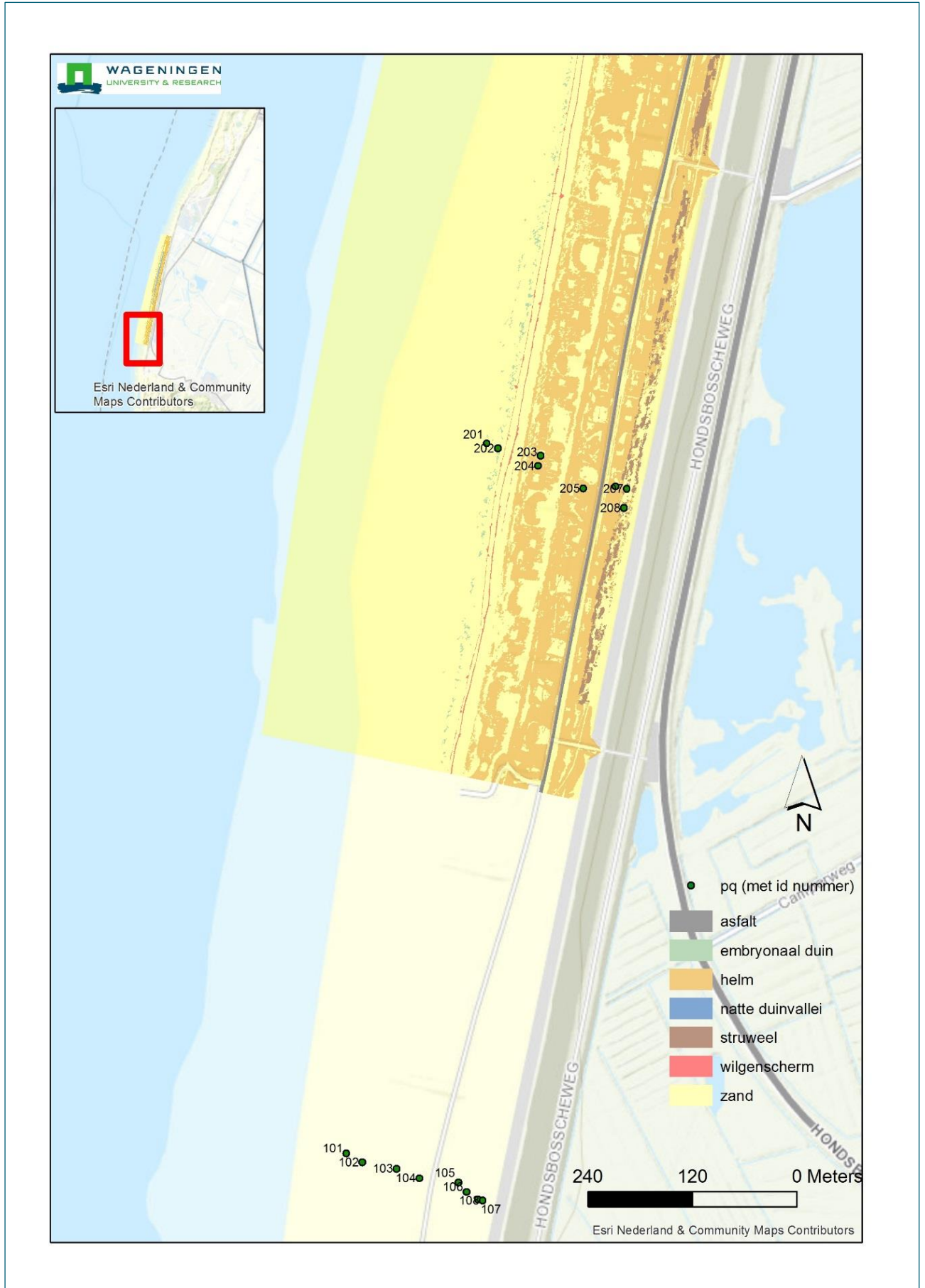
Afbeelding 4.12b Tweede kaartbeeld van de vegetatiekartering natuurzone HPZ



Afbeelding 4.12c Derde kaartbeeld van de vegetatiekartering natuurzone HPZ



Afbeelding 4.12d Meest zuidelijke kaartbeeld van de vegetatiekartering natuurzone HPZ



# 5

## INTERACTIE TUSSEN MORFOLOGIE EN VEGETATIE

### 5.1 Achtergrond

In dit hoofdstuk wordt een aanzet gegeven voor het in beeld brengen van de interactie tussen de morfologische en ecologische processen bij de HPZ. De input daarvoor zijn de resultaten van thema B (hoofdstuk 3) en A1 (hoofdstuk 4), en enkele aanvullende analyses gericht op deelaspecten (dit hoofdstuk). Op het moment van schrijven van dit jaarrapport zijn de verslagen van de expertsessies in het veld al wel beschikbaar maar nog niet omgezet in gecodeerde Excel-bestanden zodat een semi-kwantitatieve analyse pas in 2018 kan worden uitgevoerd.

Kennis van de interactieprocessen bij de HPZ is nodig om de centrale vraag van het integrerende thema A2 van het Ecoshape-project te kunnen beantwoorden, namelijk welke natuurwaarden met zandige kustversterkingen zoals de HPZ gecreëerd kunnen worden, en of meer in het algemeen met enige zekerheid te voorspellen is of een kunstmatig, volgens een bepaald 'ecologisch' ontwerp aangelegd duingebied zich kan ontwikkelen in de richting van enkele waardevolle Natura 2000-habitattypen.

Het voornaamste geomorfologische proces dat in thema B wordt bestudeerd, is dat van zandvang en –verlies. In sub-thema A2 wordt onderzocht hoe dit proces, 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 niet onbelangrijk te bepalen of mét deze ontwerpelementen een hogere habitatkwaliteit kan worden bereikt dan met een eenvoudiger profiel zonder deze elementen.

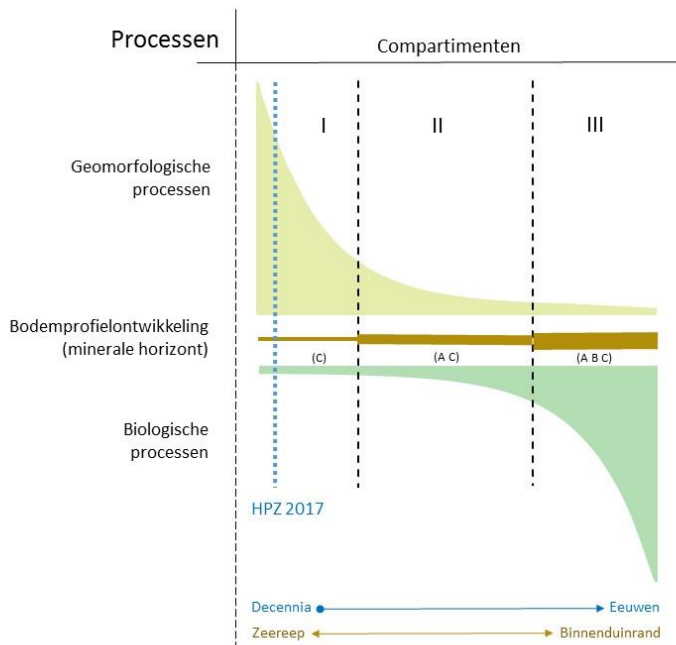
De benadering in A2 is vooral empirisch. Op basis van de hiervoor genoemde input wordt getracht indicaties voor causale verbanden te vinden (die dan nader onderzocht moeten worden) om zo tot generieke uitspraken te kunnen komen over hoe zandige kustversterkingen het beste kunnen worden ontworpen opdat ze aan de gestelde ecologische en veiligheidseisen voldoen.

### 5.2 Ruimtelijke en temporele relatie tussen geomorfologische dynamiek en vegetatieontwikkeling

Twee jaar monitoring is een extreem korte periode om zicht te krijgen op de processen die sturend zijn voor de vegetatie-/habitatontwikkeling bij de HPZ, en om te achterhalen hoe de ruimtelijke en temporele relatie tussen de geomorfologische dynamiek en de vegetatieontwikkeling er precies uit ziet. Afbeelding 5.1 illustreert waar we na twee jaar monitoring van de HPZ staan. De markering in de tijd is uiteraard slechts indicatief, maar feit is dat de morfologische dynamiek bij de HPZ momenteel nog relatief groot is terwijl de vegetatieontwikkeling nog amper op gang is gekomen. Dat betekent dat we het bij thema A2 op dit moment nog moeten doen met aanzetten voor analyses. Wanneer de datareeksen in 2018 zijn uitgebreid met nog één jaar, zal blijken welke analyses nog meer mogelijk zijn.



Afbeelding 5.1 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 binnenduintrand; 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 HPZ eind 2017



Het in afbeelding 5.1 getoonde model is te lezen op een ruimteschaal (zonering van zeereep naar binnenduintrand) en in de tijd (voortschrijden van de vegetatiesuccessie; tijdschaal: decennia tot eeuwen). Voor de situatie van de HPZ 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. 'Grijze duinen' (compartiment II; horizont AC) kunnen op het hoge duin en daarachter in landwaartse richting in potentie wel ontstaan.

### 5.2.1 DUBEVEG-model

Hoewel de doorontwikkeling van het DUBEVEG-model (De Groot 2012, Keijsers 2015), die oorspronkelijk in de optionele scope van het Ecoshape-project was opgenomen, inmiddels niet meer aan de orde is, presenteren we in afbeelding 5.2 de lay-out van het onderzoek dat ten grondslag ligt aan de doorontwikkeling van het model (Keijsers 2015); dit om de interactieprocessen die wij bij de HPZ bestuderen, een plaats te geven in het grotere geheel. De onderdelen van de beide subsystemen van het model (vegetatie en zeereep) zijn gecoverd door wat in het Ecoshape-project wordt gemonitord. De bij de HPZ verzamelde data zijn daardoor in principe zeer geschikt om te gebruiken bij de eventuele verdere doorontwikkeling van het model<sup>1</sup>.

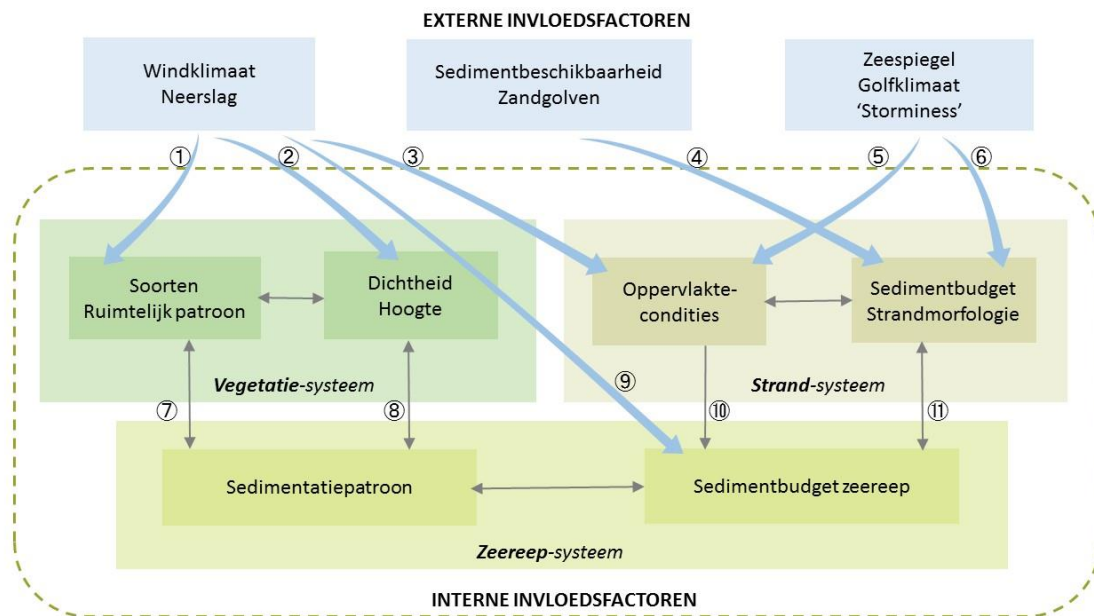
Zoals afbeelding 5.2 laat zien zijn er diverse externe factoren die invloed hebben op het strand-duin-vegetatie-systeem. De Ecoshape-monitoring laat deze klimatologische factoren en mariene processen buiten beschouwing. Omdat de stranden bij de HPZ echter relatief breed zijn<sup>2</sup>, zal de invloed van mariene factoren

<sup>1</sup> Gedoeld wordt op het voornemen van S. de Vries (TU Delft) om een NWO-voorstel in te dienen.

<sup>2</sup> Afhankelijk van het profieltype is de geschatte strandbreedte, gemeten vanaf NAP 0 tot de duinvoet (op 3 m+NAP), ca. 175 m voor type 1, 155 m voor type 2 of 160 m voor de types 3, 4 en 5 (Leenders en Smit 2016).

op de duinontwikkeling vooralsnog ondergeschikt zijn. Voor de toepassing van het DUBEVEG-model is de HPZ dus een minder complexe casus vergeleken bij gebieden met smallere strandzones<sup>1</sup>.

Afbeelding 5.2 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. (4 en 5) Neerslag, golfcondities en het getij beïnvloeden de conditie van het strandoppervlak: bv. de ruwheid en het vochtgehalte. (6 en 7) Sedimentuitwisseling tussen het droge en natte strand wordt beheerst door golfklimaat, 'storminess' en gedrag van zandbanken en zandgolven. (8 en 9) 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. (10) 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. (11) 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 (naar Keijsers 2015).



## 5.2.2 Additionele analyses en aanzetten voor (semi-)kwantitatieve analyses

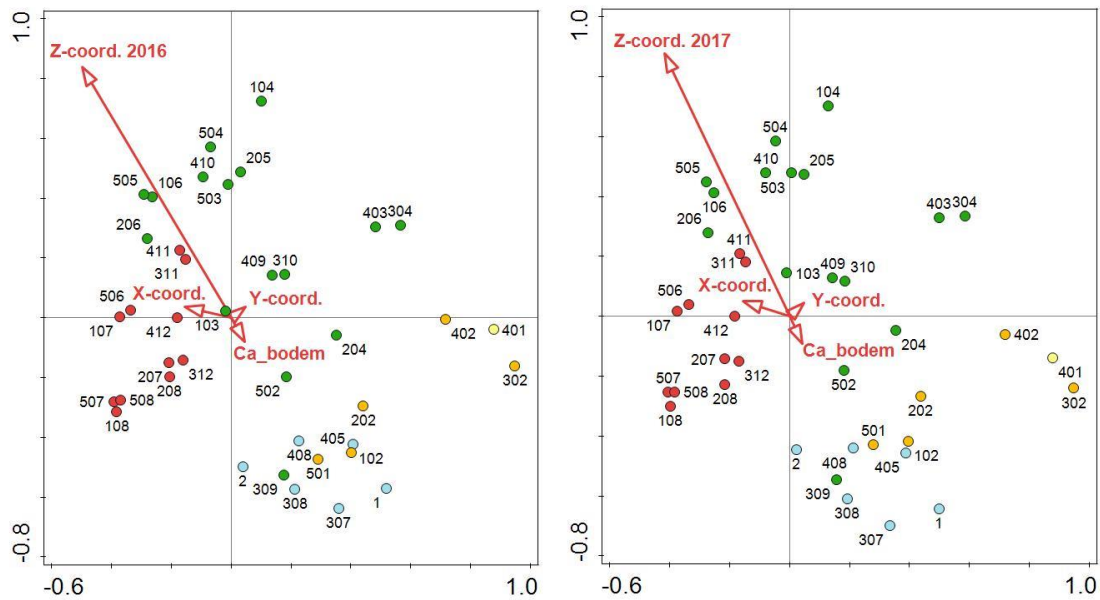
### Aanvullende multivariate analyse soortensamenstelling vegetatie 2017 versus hoogteligging 2017

De multivariate analyse zoals gerapporteerd in paragraaf 4.3.2 is opnieuw uitgevoerd waarbij ditmaal de hoogtegegevens van de LiDAR-meting van 11 augustus 2017 zijn gebruikt (afbeelding 5.3). Hierdoor kan het effect van de meest recente hoogteligging op de soortensamenstelling worden bepaald; zowel de data van de plantensoorten en de hoogteligging zijn verzameld in 2017. De verkregen resultaten zijn vergelijkbaar met de resultaten zoals gepresenteerd in afbeelding 4.11. Het effect van de hoogteligging van de proefvlakken in 2017 laat geen grote verschuivingen zien in de variatie in soortensamenstelling in de proefvlakken vergeleken met de analyse waarbij de hoogteligging van 2016 is gebruikt. De variantie in soortensamenstelling in de proefvlakken wordt ook nu vooral verklaard door de Z-coördinaat (afbeelding 5.3, tabel 5.2). De separatie tussen de laag gelegen proefvlakken (duinvallei-oeveren en embryonale duinen) en de hoger gelegen proefvlakken (aangeplante kruinen van het lage en hoge duin en struweelzone) is ook weer duidelijk zichtbaar. Wel lijkt zich nu een scheiding tussen de duinvallei-oeveren en embryonale duinen af

<sup>1</sup> Voor de invloed van de strandbreedte op het sedimentbudget in het strandsysteem verwijzen wij naar Keijsers (2015).

te tekenen doordat er minder overlap is in soortensamenstelling tussen de duinvallei-oevers en embryonale duinen.

Afbeelding 5.3 CCA-biplot van de 50 permanente proefvlakken met de belangrijkste abiotische variabelen (vergelijking tussen hoogteligging proefvlakken in 2016 en 2017). Strand: licht geel; embryonaal duin: oker; duinvallei-oever: blauw; ingeplante helm: groen; struweel: rood



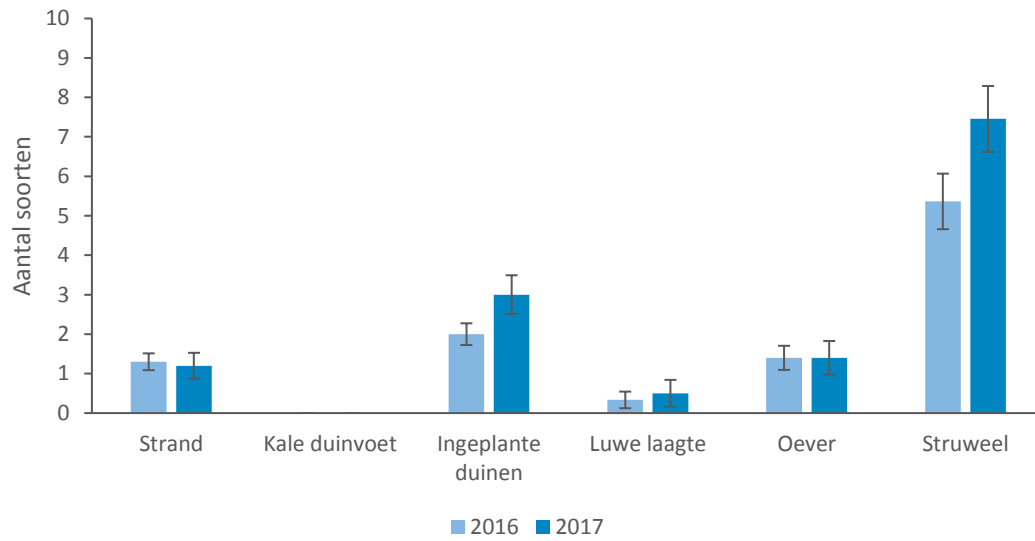
**Tabel 5.2** Resultaten van voorwaartse selectie van de omgevingsvariabelen in CCA. De totale verklaarde variantie bedraagt 12,9 %.

Omgevingsvariabele	Verklaarde variantie	P-waarde	Significantie
hoogte t.o.v. NAP (Z-coördinaat)	8.6 %	0.002	**
kalkgehalte (Ca_bodem)	2.9 %	0.242	n.s.
afstand tot zeereep (X-coördinaat)	1.4 %	0.882	n.s.

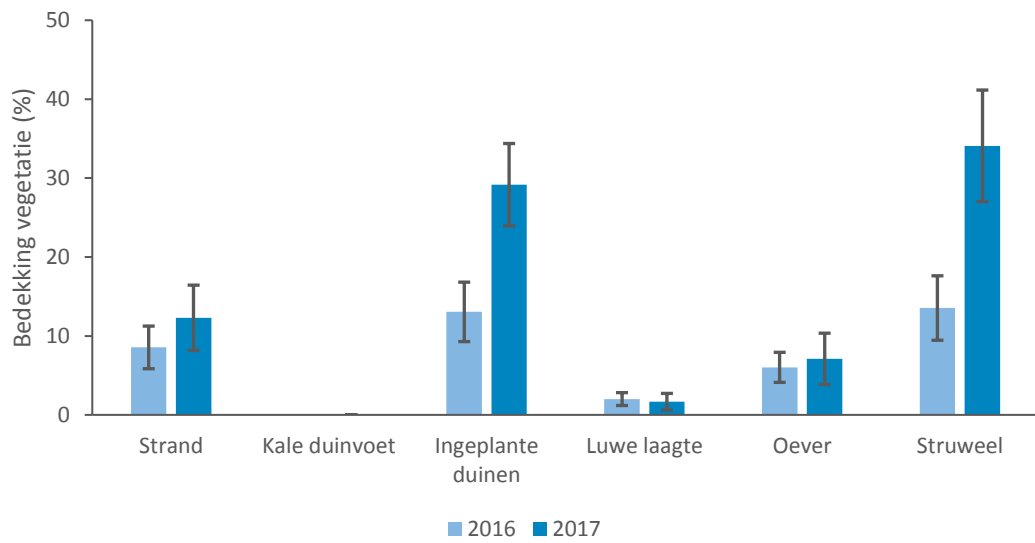
### Analyse van de soortenrijkdom en vegetatiebedekking tussen 2016 en 2017

In afbeelding 5.4 is het gemiddeld aantal soorten per proefvlak uitgezet per ontwerpelement voor zowel 2016 en 2017. De definiëring van de ontwerpelementen reflecteert de status van het ontwerpelement ten tijde van de voltooide aanleg van het project in 2015. Vooral in de ingeplante duinen en het struweel is er kleine toename zichtbaar in het aantal soorten van 2016 naar 2017. In deze twee ontwerpelementen is ook de relatief grootste toename in vegetatiebedekking tussen 2016 en 2017 (afbeelding 5.4). Er is ook een toename in bedekking te zien in het ontwerpelement 'strand'. Doordat er op het strand inmiddels embryonale duintjes zijn gevormd met soorten zoals Biestarwegras (*Elytrigia juncea boreoatlantica*) en Helm (*Ammophila arenaria*) is hier de bedekking toegenomen.

Afbeelding 5.4 Gemiddeld aantal plantensoorten in de proefvlakken in de verschillende ontwerpelementen in 2016 en 2017 (error bars: gemiddelde  $\pm$  1 SE). Benaming ontwerpelementen aangehouden zoals in 2015 bij aanleg aangeduid. De soortenrijkdom is toegenomen in de ingeplante duinen en het struweel



Afbeelding 5.5 Gemiddelde bedekking van de proefvlakken in de verschillende ontwerpelementen in 2016 en 2017 (error bars: gemiddelde  $\pm$  1 SE). Benaming ontwerpelementen aangehouden zoals in 2015 bij aanleg aangeduid. Er is een toename in vegetatiebedekking van 2016 naar 2017

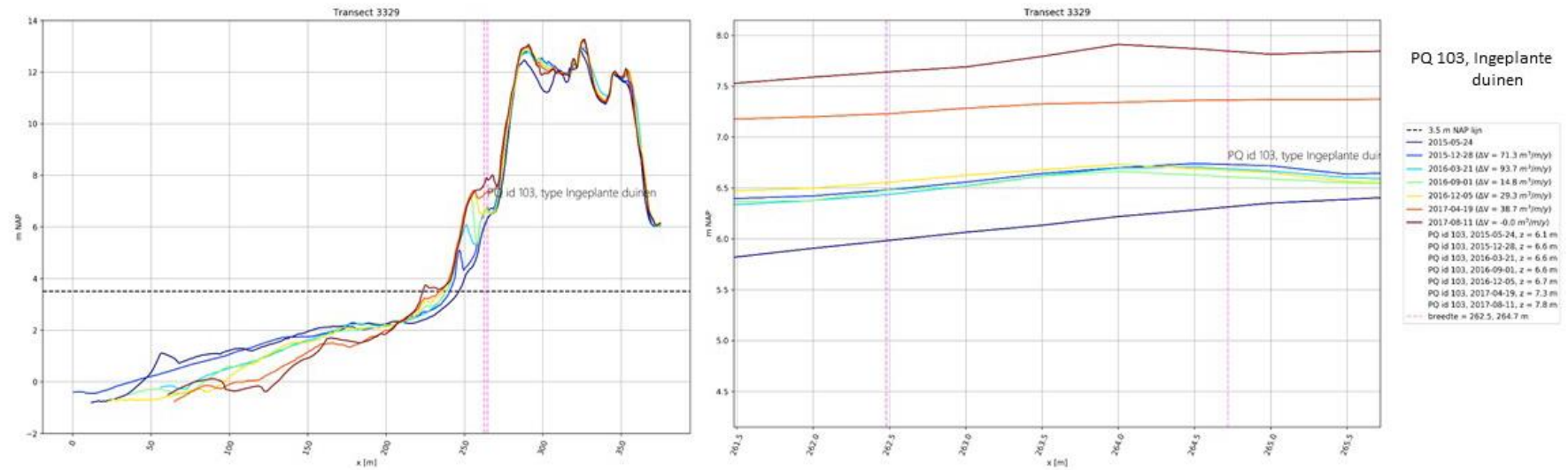


### Illustratie geplande analyse zandpatronen in relatie tot vegetatiepatronen en ontwerpelementen

Vanuit thema B2 zijn de LiDAR-hoogteprofielen geselecteerd die samenvallen met de 50 proefvlakken die in de vegetatiemonitoring worden gevolgd. De selectie is op de repository geplaatst. De tijd tot aan oplevering van deze rapportage was echter te kort om, op zoek naar (interactie)patronen, alle profielen te bekijken. In de resterende projecttijd (tot en met de volgende vegetatieopname in september 2018) zullen wel al deze profielen aan de hand van beschikbare foto's in samenhang met de (straks gecodeerde) expertsessie-verslagen worden geanalyseerd. Speciale aandacht gaat daarbij uit naar de ontwerpelementen, mits aanwezig in of nabij het betreffende proefvlak. Afbeelding 5.6 en 5.7 geven hiervan een illustratie. Gepresenteerd is proefvlak nr. 103 (type: ingeplant duin). De gekleurde lijnen van de LiDAR-hoogteprofielmetingen laten de verandering in hoogteligging zien telkens voor een periode van wisselend 3-5 maanden. Het exacte tijdsinterval wordt bepaald door het moment waarop twee opeenvolgende LiDAR-vluchten zijn uitgevoerd. Zie de legenda van afbeelding 5.6. In de periode 24 mei 2015 (eerste meting na aanleg) tot 11 augustus 2017 (laatste meting in 2017) bedroeg het hoogteverschil voor proefvlak nr. 103 in totaal +1,70 m. Gemiddeld is dat ca. +7 cm per maand; de hoogste 'sprong' tussen twee opeenvolgende metingen bedroeg van +0,60 m. Vooral in de stormachtigere winterperiode (de eerste maanden van het jaar) is meer afzetting van sediment te verwachten. Dat is hier ook het geval.

In afbeelding 5.7 is het verschil in vegetatiebedekking en soortensamenstelling tussen de opname van 2016 en 2017 redelijk goed te zien. In tabel 4.1 is de helmvegetatie in 2017 als spontaan opgekomen gekwalificeerd. Het kan echter ook zo zijn dat de oorspronkelijk aangeplante helm de aanzienlijke overstuiving [verschil hoogte nazomer 2016 (6,60 m) en nazomer 2017 (7,80 m): 1,20 m] voor een deel heeft weten te overleven. Van Helm is bekend dat de soort overstuiving met 1 m per jaar kan verdragen, zeker wanneer het proces geleidelijk verloopt. Dat is hier het geval. In afbeelding 5.6 (links) is dit goed te herkennen in het patroon van de hoogtelijnen voor het gebied zeewaarts van het proefvlak. Het onderscheid tussen spontaan opgekomen en mogelijk weer doorgegroeid eerder ingeplante Helm is in de praktijk echter niet te maken (pers. meded. deelnemende experts tijdens veldbezoek december 2017). Na te gaan is of zich wat we hier in proefvlak 103 zien, zich in meer proefvlakken heeft voorgedaan.

Afbeelding 5.6 Illustratie van de hoogteprofielen gebaseerd op LiDAR metingen. Weergegeven is een van de hoogteprofielmetingen die een proefvlak doorsnijden (hier: transect 3329, en proefvlak nr. 103, type: ingeplant duin). Links: dwarsdoorsnede van het betreffende duingebied. Rechts: uitvergroting van het proefvlak (de roze stippellijnen geven de grenzen van het proefvlak aan



Afbeelding 5.7 Twee foto's van proefvlak nr. 103 van het type 'ingeplant duin', genomen tijdens de vegetatieopname in 2016 (links) en 2017 (rechts). De toename in hoogte in 2017 door overstuiving van de helm is goed zichtbaar. Op de achtergrond wilgenschermen en daarachter richting zee een smalle reep met embryonale duintjes (foto's: Daisy de Vries)



Afbeelding 5.8 Open water van de vochtige duinvallei nabij locatie II waar tijdens iedere expertsessie in het veld een van de twee saliniteitsmonsters wordt genomen. De klifvorming door watererosie is goed zichtbaar (foto: M. Scholl)



Op sommige locaties van het type 'ingeplante helm' is door de AC niet alleen Helm aangeplant, maar ook Biestarwegras (pers. meded. Peter Brandenburg). Exacte informatie over de locaties en hoeveelheden/aantallen planten is niet beschikbaar, maar op het oog lijkt een gemengde aanplant te hebben plaatsgevonden op het buitentalud van het lage duin zuidelijk van de vochtige duinvallei. Een interessante veldwaarneming is dat op het betreffende deel van het lage duin een reeks 'kerfjes' is ontstaan. Na te gaan is of die ook al in de profielen van de LiDAR-hoogtemetingen te detecteren zijn. Ook deze analyse moet wachten tot 2018. De kerfjes zouden een sterkere zanddynamiek teweeg kunnen brengen in het gebied, wat dan aan de hand van toekomstige profieldata zou moeten kunnen worden vastgesteld. Het effect van de gemengde inplant op kerfvorming betreft een hypothese; andere oorzaken voor het ontstaan van kerven mogen niet bij voorbaat worden uitgesloten.

#### Analyse saliniteitsgehalte water vochtige duinvallei

Tijdens de expertsessies in de zomer en aan het begin van de winter worden iedere keer min of meer op dezelfde locaties (onder andere afhankelijk van de waterstand) twee monsters genomen van het water in de vochtige duinvallei. Eén monsterpunt is gelegen op het meest zuidelijke punt van het open water in de duinvallei (I); één op de plek waar voorheen het zanddammetje lag (II). In het laboratorium van WMR wordt het zoutgehalte van dit water nog dezelfde dag gemeten om het verzoetingsproces nauwlettend te volgen<sup>1</sup>.

De saliniteitswaarden van de in 2017 op locatie I en II genomen monsters waren respectievelijk 8,05 en 8,08 promille (juli), en 2,27 en 2,29 promille (december). De waarden gemeten in juli 2017 zijn vergelijkbaar met de waarden van 7,54 en 8,54 promille die in december 2016 zijn gemeten. Het water in de duinvallei is dus tussen december 2016 en juli 2017 niet zoeter geworden. Tussen juli en december 2017 heeft er wel verzoeting van het water plaatsgevonden. Dit kan echter ook een effect zijn van recente neerslag. De waterstand in de duinvallei bedroeg tijdens de meting in december 2017 ongeveer 1,15 m +NAP tegenover 0,55 m +NAP in juli. Tijdens de expertsessie in december 2017 was de waterstand in de duinvallei dus relatief

<sup>1</sup> Een saliniteitswaarde van <0.5 promille geldt als zoet, en van 30-35 promille als zout; tussenvallende waarden worden aangeduid met brak (0,5-1 promille) en zilt (1-30 promille).

hoog, althans niet eerder zo hoog waargenomen tijdens een van de veldbezoeken. Getuige de klifvorming onderaan het buitentalud van het hoge duin (afbeelding 5.8) moet een dergelijke hoge waterstand in het afgelopen halfjaar vaker zijn voorgekomen. Lagere gemeten saliniteitswaarden hoeven dus niet per se op het zoeter worden van het grondwater in de duinvallei te wijzen, maar kunnen ook het gevolg zijn van neerslag en gelaagdheid van het water. Omgekeerd kan een hogere saliniteitswaarde samenhangen met verdamping, die optreedt in warme zomermaanden.

### 5.2.3 Fauna

In het 'verwachtingen-document' (De Groot et al. 2016) is een aantal soorten benoemd die mogelijk in het gebied voor kunnen komen. Monitoring van de fauna maakt geen onderdeel uit van het Ecoshape-project. Met gebruik van de website waarneming.nl (laatst geraadpleegd op 3 november 2017) kon echter eenvoudig achterhaald worden of deze soorten<sup>1</sup> in 2017 in of rond het HPZ-gebied zijn waargenomen. Fauna die in 2017 in de HPZ zelf is aangetroffen is te vinden in tabel 5.3. Tabel 5.4 geeft de fauna die in de buurt (< 10 km) van de HPZ is gezien. De verwachting is dat fauna die in de buurt van de HPZ is waargenomen, ook in de HPZ terecht kan komen om zich daar te vestigen.

Tabel 5.3 Fauna aangetroffen in de HPZ in 2017

Soort	Rode Lijst	Plaats
Rugstreeppad	gevoelig	roepend (niet gezien); aan de zeedijk
Zandhagedis	kwetsbaar	aan de zeedijk
Bergeend	-	aan de zeedijk en oever
Bontbekplevier	kwetsbaar	strand, oever (hut) en duinen
Braamsluiper	-	tussen zeedijk en fietspad
Dwergstern	kwetsbaar	strand en ten zuiden oever
Graspieper	gevoelig	zuid en noord tussen zeedijk en fietspad, noord duinen
Grote stern	bedreigd	strand, zuiden tussen fietspad en strand en tussen fietspad en zeedijk, noorden duinen
Kneu	gevoelig	zuid tussen strand en fietspad, en fietspad en dijk, noord tussen dijk en fietspad, duinen
Kuifeend	-	oever bij vogelhut
Nachttegaal	kwetsbaar	zuiden tussen dijk en fietspad
Strandplevier	bedreigd	zuid strand
Zwarte zee-eend	-	duinen zuid, tussen oever en fietspad

<sup>1</sup> Vogelsoorten die vliegend boven de Noordzee zijn waargenomen, zijn hier niet genoemd.



Tabel 5.3 Fauna aangetroffen in de buurt (< 10 km) van de HPZ in 2017

Soort	Rode Lijst	Plaats
Blauwvleugelsprinkhaan	kwetsbaar	Schoorlse duinen en Pettemerduinen
Duinparelmoervlinder	bedreigd	Noord-Hollands duinreservaat en Pettemerduinen
Heivlinder	gevoelig	Schoorlse duinen (o.a. net ten zuiden van paviljoen Struin) en Pettemerduinen
Rugstreeppad	gevoelig	Leipolder
Dodaars	-	landkant van de zeedijk
Slobeend	kwetsbaar	landkant van de zeedijk
Spotvogel	gevoelig	Vereenigde Harger- en Pettemerpolder
Zomertaling	kwetsbaar	Schoorlse duinen
Zomertortel	kwetsbaar	Sint Maartenszee

De enige soort die niet in of in de omgeving van de HPZ is aangetroffen, maar wel als mogelijk voorkomend is genoemd in het 'verwachtingen-document' (De Groot et al. 2016), is de Junikever.

## 5.3 Toepassing andere locaties

### 5.3.1 Generalisaties

De doorvertaling van de resultaten naar 'algemeen geldende regels' voor zandige kustversterkingen en het ontwikkelen van richtlijnen (*guidelines*) is voorzien in 2018 en komt pas in de eindrapportage aan bod.

### 5.3.2 Vergelijking met andere zandige kustversterkingen

Begin 2018 zal het projectteam in een gezamenlijke sessie bespreken welke locaties zich lenen voor een vergelijkende analyse; denk aan: Spanjaardsduin (bestaand) en eventueel de Zandmotor met betrekking tot de vegetatie (embryonale duinen), en de Prins Hendrikzanddijk (gepland). Er zal een lijst met criteria worden samengesteld aan de hand waarvan de vergelijking wordt gemaakt.

### 5.3.3 ADC-toets

#### Relatie met thema A

In het werkplan van themalijn A (De Groot et al. 2016) is de vraag opgenomen 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 HPZ in het vergunningverleningsproces ex. Nb-wet<sup>1</sup> te maken krijgt met de ADC-toets. Het antwoord is inmiddels helder te geven: 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 (ex art. 6 lid 3 Habitatrichtlijn; HR) is dus doorslaggevend. In die beoordeling mogen echter alleen mitigerende natuurmaatregelen worden betrokken; compenserende maatregelen tellen niet mee. Cruciaal is dus of de in een project genomen natuurmaatregelen als mitigerend kunnen worden aangemerkt.

Een uitgebreidere juridische analyse van het onderwerp ADC-toets in combinatie met de bevindingen uit de monitoring is niet aan de orde. Wel is vanuit thema A aangegeven dat het onderwerp ook binnen de basis-scope in de jaarrapportage kort geadresseerd zal worden wanneer nieuwe rechtspraak daartoe aanleiding geeft.

#### Actuele jurisprudentie

Met betrekking tot het onderscheid tussen mitigatie en compensatie zijn twee prejudiciële beslissingen van het Hof van Justitie betreffende de uitlegging van artikel 6, lid 3 en 4 HR van belang: het Briels-arrest (HvJ EU 15 mei 2014, C-521/12)<sup>2</sup> en het Orleans-arrest (HvJ EU 21 juli 2016, C-387/15 en C-388/15)<sup>3</sup>, 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<sup>4</sup>. 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.

Met het Orleans-arrest en de daarop gebaseerde uitspraken is nu helemaal duidelijk geworden wat ook het Briels-arrest al aangaf, namelijk dat natuurmaatregelen die pas in de toekomst hun beoogde positieve effecten hebben, niet als mitigerend kunnen gelden en - in geval van potentieel significant-schadelijke effecten van het project of plan – daarom niet kunnen voorkomen dat de ADC-toets moet worden doorlopen.

Het aspect 'meer zekerheid' speelt wel nog steeds een grote rol bij compensatie. Natuurmaatregelen kwalificeren immers alleen als compenserend wanneer ze in potentie geëigend zijn "*de bescherming van de algehele samenhang van het Natura 2000-netwerk te verzekeren*"<sup>5</sup> [onderstreping toegevoegd; red.].

---

<sup>1</sup> Maakt sinds januari 2017 onderdeel uit van de Wet natuurbescherming.

<sup>2</sup> <http://curia.europa.eu/juris/document/document.jsf?docid=152343&doclang=NL>

<sup>3</sup> <http://curia.europa.eu/juris/document/document.jsf?text=&docid=181944&pageIndex=0&doclang=NL&mode=lst&dir=&occ=first&part=1&cid=130206>

<sup>4</sup> ABRvS 24 december 2014, No. 201309655/1/R2 (Bedrijventerrein De Kolk en rondweg Nunspeet); ABRvS 24 december 2014, No. 201202327/1/R2 (Noordwijkse Golfclub); ABRvS 24 december 2014, No. 201300125/1/R2 (Kustversterking Noorderstrand Renesse); ABRvS 11 februari 2015, No. 201401736/1/R6, r.o. 3 (Hoogwatergeul Kampen).

<sup>5</sup> <http://studylibnl.com/doc/1008341/richtsnoeren-voor-de-toepassing-van-artikel-6--lid-4>

# 6

## TUSSENTIJDSE BEVINDINGEN EN AANBEVELINGEN

### 6.1 Evaluatie monitoringsprogramma

De opdracht aan het Ecoshape-projectteam houdt ook de evaluatie van het monitoringsprogramma zelf in, dit in relatie tot de monitoringsdoelstellingen, inclusief aanbevelingen voor bijsturing van het programma.

In de monitoring bij de HPZ zijn we op zoek naar patronen die ons iets kunnen 'vertellen' over (de) onderliggende interactieprocessen tussen morfologie en ecologie. Wanneer gedurende de monitoringsperiode nog veel veranderingen aan de HPZ worden aangebracht, maakt dat een vergelijkende kwantitatieve analyse niet makkelijker. Bij de HPZ is op relatief grote schaal later nog Helm aangeplant waar die oorspronkelijk niet was voorzien. Onduidelijk is waar dat is gebeurd en op welk moment. Met betrekking tot de luwe laagtes, bijvoorbeeld, kan dat betekenen dat elke luwe laagte waarin een proefvlak gelegen is – en dat zijn de enige luwe laagtes die we in relatie tot de vegetatieontwikkeling kwantitatief kunnen analyseren – een unieke casus is. Het zou dus goed zijn om in de resterende monitoringsperiode geen veranderingen meer in de beplanting aan te brengen, en wanneer dat toch om bepaalde redenen gewenst is (vanwege stuifhinder) of verplicht is (op basis van het onderhoudscontract), de genomen maatregelen in detail te documenteren.

Kunnen we de kennisvragen van sub-thema A1 en A2 al beantwoorden? Hieronder geven wij vrij beknopt enkele tussentijdse bevindingen met betrekking tot die vragen.

#### Voorspelbaarheid

Voor wat betreft de voorspelbaarheid van de ontwikkelingen geldt dat er niet echt onverwachte verschuivingen plaatsvinden, behalve dat de ontwikkeling naar meer natuurlijkheid van het gebied waarschijnlijk veel meer tijd in beslag zal nemen dan eerder werd gedacht. Dat geldt vooral voor het noordelijke deel waar de ingeplante vegetatie (vooral wat betreft het struweel) slecht is aangeslagen.

#### Stuurbaarheid

Op het hoogstrand waar de zanddynamiek het grootst is, valt die dynamiek te sturen. De wilgenschermen doen wat ze geacht worden te doen, nl. het in de richting van het lage duin stuwende zand vasthouden. De luwe laagtes (LL) 'presteren' verschillend als doorstuiflocatie, wat verband kan houden met a) het naderhand nog inplanten van sommige LL (pers. meded. Peter Brandenburg; waar precies, alleen in het noorden?), en/of b) met de kwaliteit van het sediment. Daar waar het zand meer schelpen, kiezels en gesteente bevat, en de zanddynamiek in het HPZ-profiel toch al lager is, nl. bij het hoge duin, lijkt er zo goed als geen zanddynamiek in de LL te zijn.

#### Waardevolle habitats

Zien we waardevolle habitats ontstaan? Uitgezonderd met betrekking tot het ontstaan en recente uitbreiding van Embryonale duinen kan het antwoord op die vraag nog niet gegeven worden. Daarvoor is de ontwikkeling bij de HPZ nog te pril. De potentie is er echter nog steeds, dat wil zeggen dat er ontwikkelingen gaande zijn die op termijn kunnen leiden tot het betreffende habitatype (zie hoofdstuk 4).

Gezien het bovenstaande: Een belangrijke aanbeveling met betrekking tot het monitoringsprogramma lijkt ons dat dit waardevolle monitoringsprogramma ook na 2018 zou moeten worden voortgezet om zoveel mogelijk te leren van deze casus. Drie jaar monitoring is veel te kort om de belangrijkste ontwikkelingen, aansluitend bij de potentie van het gebied, goed in beeld te krijgen.

## 6.2 Aandachtspunten en aanbevelingen voor beheer

De data-inzameling en de analyses omvatten nog maar twee jaar zodat we nog geen volledige lijst met aanbevelingen kunnen geven omtrent het beheer. In deze jaarrapportage benoemen we wel al enkele onderwerpen die tijdens de veldbezoeken onze aandacht hebben getrokken. We zullen ze in de komende maanden blijven volgen en er in de eindrapportage op terugkomen.

### Initiële aanplant

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 Hondsgroen *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 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. Beter zou het zijn geweest om alleen Duindoorn aan te planten en het struweel de tijd te geven voor de spontane vestiging van andere (besdragende en door vogels verspreide) struweelsoorten, als het proces van bodemvorming op gang is.

### Noord-zuid- gradiënt

Tijdens de veldbezoeken is geconstateerd dat de ontwikkeling van de vegetatie in het noorden van de HPZ achterblijft bij die in het zuiden. Dat geldt zowel voor de aangeplante Helm als de aangeplante struiken. Meerdere factoren, afzonderlijk of in combinatie, kunnen daarvoor verantwoordelijk zijn: 1) Het sediment, dat in het noorden minder kalkrijk is dan dat in het zuiden (zie bijlage IV 'kalkgehalten zand'), mogelijk omdat het suppletiezand afkomstig is uit een dieper deel van de zandwininput of van een andere winlocatie; 2) De grotere korrelgrootte van het zand en het feit dat het zand in het noorden naast schelpen ook kiezels en ander grof (mineraal) gesteente bevat (zie afbeelding 2.3); en 3) De wijze van aanleg van de HPZ van zuid naar noord, die met zich meebracht dat de Helm in het noorden in het voorjaar is aangeplant (pers. meded. Peter Brandenburg; AC). In het zuiden is de Helm al in het najaar/ winter ingeplant, doorgaans het geschiktere seizoen voor inplanten. Af te wachten is wat dit betekent op de middellange en langere termijn.

### Gebruik maaisel

De vochtige duinvallei is geïsoleerd gelegen en veel karakteristieke plantensoorten zullen het gebied moeilijk kunnen bereiken. Dat geldt zeker voor de soorten die zich via water verspreiden. Anders ligt dat voor soorten die zich via wind of (water)vogels verspreiden. Het inbrengen van maaisel van bestaande (natuurlijke) duinvallei(en) uit de naaste omgeving zou een maatregel kunnen zijn om de ontwikkeling van het habitattype Vochtige duinvalleien (H2190) verder te stimuleren. Echter, hoe meer factoren er zijn die de natuurlijke HPZ-ontwikkeling kunnen beïnvloeden, des te moeilijker het is om de waarnemingen te - analyseren. Vanuit onderzoeksperspectief verdient het daarom aanbeveling om deze maatregel pas na afronding van de Ecoshape-monitoring uit te voeren (zie paragraaf 6.1). En: als Riet - dat hier en daar al wel aanwezig is op de valleioever - kans ziet zich snel uit te breiden, legt dat wel beperkingen op aan de verdere potentiële ontwikkelingen in de duinvallei.

### Gebruik hooibalen

Het effect van hooibalen is goed te zien aan het binnentalud van het hoog duin tegenover de zeedijk: daar zijn veel ruderales en algemene graslandsoorten van rijkere bodem aan te treffen. Voor zover bij de stimuleringsmaatregel voor de vochtige duinvallei gedacht wordt aan het inbrengen van hooibalen, dan moet dat sterk worden ontraden omdat ruderales en algemene graslandsoorten van rijkere bodem niets te maken hebben met natuurlijke duinbegroeiingen (zie punt hiervoor).

## REFERENTIES

- 1 Bakker, T.W.M, Klijn, J.A. & F.J. van Zadelhoff 1979. Nederlandse kustduinen. Landschapsecologie, Pudoc, Wageningen.
- 2 Bodde et al. 2017. Monitoringsrapportage 2016. HPZ innovatieproject, groeidocument v0.1. Rapport nr. DDT169-13/17-001.798
- 3 De Groot, A., Scholl, M., Smits, N., 2015. Werkplan HPZ Themalijn A: Voorspelbaarheid habitatontwikkeling. Definitieve versie - 15 maart 2015.
- 4 De Groot, A., Scholl, M., Kuiters, L. 2016. HPZ: verwachting 2015 over ontwikkeling vegetatie, duinen en habitats na 4 en 20 jaar. IMARES rapport C045/16; Ecoshape rapport HPZ-A-01.
- 5 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., Thiel de Vries van, J.S.M., 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>
- 6 De Zeeuw, R., 2015. Veldrapportage 9 september 2015 RPAS hoogtemetingen HPZ Monitoring. Shore Monitoring & Research.
- 7 Keijsers, J.G.S. 2015. Modelling foredune dynamics in response to climate change. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen; 191 p.
- 8 [Hennekens, S.M. & J.H.J. Schaminée \(2001\). Turboveg, a comprehensive database management system for vegetation data. Journal of Vegetation Science 12: 589-591.](#)
- 9 Leenders, J. & M. Smit (2016). Inventarisatie maatregelen ontwerp HPZ. Ecoshape. 51p.
- 10 Schaminée, J.H.J., E.J. Weeda & V. Westhoff (1998). De Vegetatie van Nederland. Deel 4: Plantengemeenschappen van de kust en van binnenlandse pioniermilieus. Opulus Press. 346 p.
- 11 Smit, M., 2016. Werkplan Themalijn B: Optimalisatie Ontwerp en Werkpakket C3 Verstuiving. Versie 10, 7 april 2016
- 12 Smits, N.A.C., H.P.J. Huiskes, D. de Vries & A.T. Kuiters 2016 Innovatieproject Hondsbossche en Pettemer Zeewering (HPZ). Monitoringsrapportage 2016. Intern rapport Wageningen Environmental Research.
- 13 Tichy, L. 2002. Juice, Software for Vegetation Classification. Journal of Vegetation Science 13: 451-453.
- 14 Tongeren, O. van, N. Gremmen & S.M. Hennekens 2008. Assignment of relevés to pre-defined classes by supervised clustering of plant communities using a new composite index. Journal of Vegetation Science 19: 525-536.
- 15 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.
- 16 Van der Zon, N., 2013, Kwaliteitsdocument AHN2, Actueel Hoogtebestand Nederland



Bijlage(n)





I

**BIJLAGE: COORDINATEN VAN PERMANENTE KWADRATEN**

**Tabel B.7 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

# II

## BIJLAGE: LONDO DEKKINGSSCHAAL

**Tabel B.8 Gehanteerde Londo bedekkingschaal (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	-

# III

## BIJLAGE: WERKWIJZE VEGETATIESTRUCTUURKAART

Om de gehanteerde typenindeling van de vegetatiestructuurkaart te onderbouwen is de set van 50 opnamen gebruikt die in 5 raaien dwars over het gebied liggen (van zee, via beide duinenrichels naar de oude zeedijk). Bij de onderscheiden legenda eenheden is zowel rekening gehouden met de landschappelijke ligging/landschapselementen als de vegetatiekundig inhoud van de typen. Deze volgt grotendeels de indeling van de kaart uit 2016. De categorie 'asfalt' is toegevoegd en de categorieën natte duinvallei en oever (zone met vochtig zand om het open water) zijn bijeengevoegd, omdat de breedte van de oever sterk afhankelijk is van de (seizoensafhankelijke) waterhoogte in de duinvallei op moment dat de luchtfoto werd gemaakt.

#### Waargenomen eenheden en vegetatie

Het onderzoeksgebied beslaat strand, de zone met embryonale duinen, vastgelegd (helm) duin en duinstruweel. Daarnaast zijn er natte elementen aanwezig (duinvallei), waaronder momenteel open water met aangrenzende oever.

#### Strand

Deze zone bestaat grotendeels uit open, kaal zand en zeer spaarzame begroeiing op eventuele vloedmerken. Deze begroeiing is gezien het recreatief medegebruik van het strand van tijdelijke aard. Mocht er vloedmerk voorkomen, dan is dit niet apart gekarteerd. Op de kaart valt het strand onder de categorie 'zand'.

#### Embryonaal duin

De spontane begroeiing van Biestarwegras en soms ook Helm of Zeeraket op kleine duintjes zijn vooral te vinden tussen de zee en het eerste wilgenscherm, vooral in de laatste 20 à 30 meter strand tot het wilgenscherm. Een deel van deze duintjes is tijdelijk en worden door winterstormen weer verstoven.

#### Helm

Deze grote oppervlakken zijn allemaal ingeplant met Helm. Betreft zowel de eerste lage duinrichel als de tweede hoge duinrichel. Incidenteel zijn er soorten meegekomen met het gestoken plantgoed zoals Biestarwegras en Noordse helm. Op termijn zal het plantverband verdwijnen door het uitgroeien van de helmplanten en de vestiging van nieuwe individuen. Op vers opgestoven of overstoven plekken komt spontane helmvegetatie tot ontwikkeling. In dit laatste type is de Helm herkenbaar als grote robuuste pollen veelal meegroeiend met het ingewaaid zand. Op beide duinrichels komen rechthoekige stukken open zand voor die niet zijn ingeplant (de zogenaamde luwe laagtes). In deze vlakken liggen soms ook permanente kwadraten.

#### Duinvallei

Tussen de eerste en twee duinrichel is een duinvallei aangelegd. Er is sprake van instuivend zand vanaf de eerste duinrichel, waardoor het open water steeds minder diep wordt en op termijn mogelijk grotendeels al dichtstuiven. De vochtige oevers zijn op veel plaatsen nog overwogen kaal al begint er wel hier en daar wel vegetatieontwikkeling op gang. Oever en open water zijn op de kaart samengevoegd, omdat de waterhoogte en daarmee de breedte van de vochtige oever sterk afhankelijk is van het moment dat de luchtfoto is gevlogen.

#### Struweel

Binnen de HPZ is een menging van meerdere struikvormers aangeplant, te weten Duindoorn, Gewone vlier, Eenstijlige meidoorn, Wilde liguster, Wilde kardinaalsmuts, Wegedoorn en Rozen (Hondsroos en Egelantier). Momenteel lijkt Duindoorn zich goed te ontwikkelen, vooral aan de zuidzijde. Richting het noorden wordt het duindoornstruweel duidelijk minder vitaal. De overige struweelsoorten sterven op de meeste plaatsen af.

Toebedeling eenheden aan Vegetatie van Nederland (Schamineé et al. 1998)

#### Strand

Kaal (geen vegetatie aanwezig)

#### Embryonaal duin

22AB01: Associatie van Loogkruid en Zeeraket (*Salsolo-Cakiletum maritimae*)

23AA01: Biestarwegras-associatie (*Honckenyo-Agropyretum juncei*)

22RG01: Rompgemeenschap met Zeeraket (*RG Cakile maritima-[Cakiletea maritimae]*)

#### Ingeplante helm

23AB01: Helm-associatie (*Elymo-Ammophiletum*)

#### Ingeplant struweel

37AC01: Associatie van Duindoorn en Vlier (*Hippophao-Sambucetum*)

37AC02: Associatie van Duindoorn en Liguster (*Hippophao-Ligustretum*)

37RG01: Rompgemeenschap met Duindoorn en Akkermelkdistel (*RG Hippophae rhamnoides-Sonchus arvensis-[Berberidion vulgaris/Ammophilon arenariae]*)

37RG02: Rompgemeenschap met Duindoorn en Cladonia (*RG Hippophae rhamnoides-Cladonia-[Berberidion vulgaris/Tortulo-Koelerion]*)

#### Oever duinvallei

09BA03: Associatie van Duinrus en Parnassia (*Parnassio-Juncetum atricapilli*)

09BA04: Knopbies-associatie (*Junco baltici-Schoenetum nigricantis*)

22RG01: Rompgemeenschap met Zeeraket (*RG Cakile maritima-[Cakiletea maritimae]*)

26RG01: Rompgemeenschap met Heen (*RG Scirpus maritimus-[Asteretea tripoliij]*)

#### Technische verantwoording vegetatiestructuurkaart

Gebruikte true color luchtfoto is van augustus 2017. De vegetatieopnamen zijn in 2017 gemaakt door Wageningen Environmental Research (Alterra), op 4-6 september 2017, door Loek Kuiters en Daisy de Vries. De kaart is gemaakt door Wageningen Environmental Research (Alterra), Henk Kramer i.s.m. Daisy de Vries.

Segmentatie is uitgevoerd met behulp van Ecognition. Basis voor de klassenindeling is GLCM contrast.

De luchtfoto is ruim begrensd rondom de natuurzone waarbij zee en blokkenverharding, grasdijk en achterland buiten beschouwing gelaten zijn.

De basissegmentatie uit Ecognition is met behulp van ArcGis 10.2.1 voorzien van een legenda en zijn polygonen <0.5 m<sup>2</sup> samengevoegd met de dichtstbijzijnde polygoon. De gemaakte vegetatieopnamen zijn gebruikt als groundtruthing.

Nauwkeurigheid gebruikte legenda eenheden:

- *zand (inclusief strand)*: goed. Door overzanding van betonplaten en asfalt kan er een oppervlak overschatting zijn;
- *embryonaal duin*: redelijk goed. Niet ieder afzonderlijk duintje is als zodanig aangemerkt;
- *helm (overgrote deel ingeplant)*: goed;
- *struweel*: redelijk goed. Veel struweel bleek afgestorven (vooral Gewone vlier en Eenstijlige meidoorn) en de aanwezige duindoornstruwelen waren zeer open van structuur. Dit maakt ook het onderscheid op de luchtfoto soms lastig;
- *natte duinvallei*: goed;
- dit is inclusief oever: doordat de oeverzone grotendeels onbegroeid is, bepaald de waterstand van het open water en de vochtigheid van de oeverzone op de dag van het vliegen van de luchtfoto de onderscheidbaarheid van deze zone. Daarom is ervoor gekozen om open water en vochtig zand samen te nemen.

Tabel B3.1 Oppervlakteverdeling in kaartbeeld 2017 (augustus). Ter vergelijking staan ook de oppervlakten van de legenda-eenheden in 2016.

Legenda- eenheden	2016 m2	2016 ha	2017 m2	2017 ha	Vershil ha
asfalt	12200	1.22	12495	1.25	0.03
embryonaal duin	36	0.004	1327	0.13	0.126
helm	245749	24.58	274479	27.45	2.87
natte duinvallei	36484	3.65	37962	3.80	0.15
struweel	18304	1.83	19819	1.98	0.15
verharding	51	0.005	49	0.00	-0.00
wilgenscherm	3151	0.32	3051	0.3	-0.02
zand	814603	81.46	781161	78.12	-3.34
<b>totaal</b>	<b>1130578</b>	<b>113.06</b>	<b>1130344</b>	<b>113.03</b>	<b>-0.04</b>

Gezien het jonge karakter van de duinbegroeiing is rechtstreekse beeldclassificatie via ArcGis nog geen werkbare optie. De inzet van Ecognition levert goed werkbare kaarten op.

De segmentatie wordt als shapefile aangeleverd aan personen die het veldwerk uitvoeren. De schaal voor veldkaarten is 1:5.000 tot 1:2.500. Vlakken van minder dan 0.5 m<sup>2</sup> worden niet apart onderscheiden.

Op basis van het aanvullende veldwerk en interpretatie/beoordeling van de grenzen op de luchtfoto en de basisbestanden van de situatie bij aanleg\* (ingeplante vakken, ligging wegen etc.) worden vlakgrenzen opnieuw vastgesteld en worden vlakken van een legenda eenheid voorzien.

\* vlakkenbestanden van de aanleg HPZ die de ligging van plantvakken struweel, helm, wegen/verharding (autocadestanden \*asbuild)

Tabel B3.2 Attribuut tabel

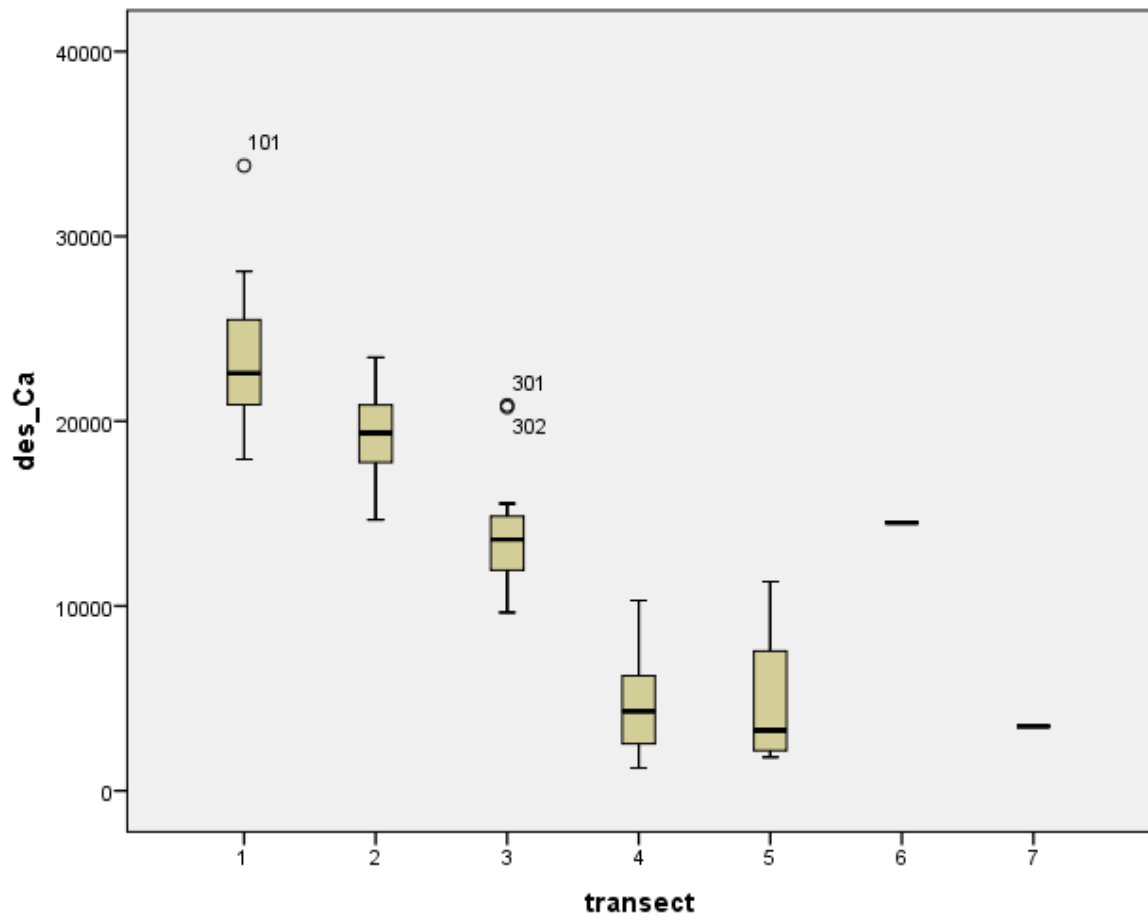
Tabel 9

Kolom	Inhoud
OBJECTID	Uniek polygoonnummer in deze kaart, dit nummer is niet uniek voor dat specifieke polygoon over alle versies van de kaart
klasse5	De initiële toedeling van het polygoon door Ecognition
legendaRH	Duiding van de polygoon inhoud na veldwerk en analyse
FID_asfalt	1 of 0 verharding, -1 geen verharding op basis van de cadbestanden
FID_aanpla	-1 niet ingeplant 6,7,8,9,10 initieel ingeplant met struweel op basis van de cad bestanden
Shape_Area	Oppervlakte polygoon
Shape_Le_1	Omtrek polygoon



# IV

## BIJLAGE: KALKGEHALTEN ZAND



**Figuur B.4.** Boxplots van de Calcium concentratie (totaal-gehalten) in de afzonderlijke meetpunten in de vijf transecten, alsmede de twee losse meetpunten aan de noord- en zuidzijde van de 'duinvallei'.

Voor de overige bodemchemische eigenschappen wordt verwezen naar de jaarrapportage van 2016.



**Contact**

Spuiboulevard 210  
3311 GR Dordrecht  
+31 78 6111 099  
[info@ecoshape.nl](mailto:info@ecoshape.nl)  
[www.ecoshape.nl](http://www.ecoshape.nl)