

Meetplan 15, Embryonale duinen Ontwikkeling embryonale duinen Zandmotor: DGPS-kartering van proefvakken 2013-2018

Notitie 25 februari 2021, NOT_ZM_15_2020.02, definitieve versie, 2 juni 2021

Bas Arens & Kees Vertegaal

Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek en Vertegaal Ecologisch Advies en Onderzoek



Inhoud

INHOUD	2
1 INLEIDING	3
2 EVALUATIE- EN ONDERZOEKSVRAGEN	5
2.1 Evaluatievragen	5
2.2 Onderzoeksvragen	5
3 AANPAK/OPZET ONDERZOEK	6
3.1 Veldmetingen GPS 2013 t/m 2018	6
3.2 Semi-automatische kartering met laseraltimetrie en luchtfoto's 2018-2020	8
4 RESULTATEN	9
4.1 Overzicht ontwikkeling embryonale duinen	9
4.2 Overzicht ontwikkeling embryonale duinen per proefvlak	11
4.3 Vestiging van duinvormende plantensoorten	13
4.4 Ontwikkeling van individuele planten	19
4.5 Duinvorming: aantal, oppervlak en ontwikkelingsnelheid	21
4.6 Duinvorming: ruimtelijke patronen	26
4.7 Duinvorming: de rol van plantensoorten en successie	28
5 CONCLUSIES	32
5.1 Evaluatievragen	32
5.2 Onderzoeksvragen	33
5.3 Conclusies meetmethode	36
6 AANBEVELINGEN	37
7 LITERATUUR/BRONNEN	38
BIJLAGE 1 VLAKKEN EN PUNTEN PER OPNAME	39
BIJLAGE 2 PUNTEN PER OPNAME	46
BIJLAGE 3 PUNTEN VAN ALLE OPNAMEN PER DEELGEBIED	53
BIJLAGE 4 PUNTEN (MET SOORT) EN VLAKKEN VAN ALLE OPNAMEN PER DEELGEBIED	59
BIJLAGE 5 VLAKKEN EN PUNTEN VAN ALLE OPNAMEN MET PLANTENSOORT	65

1 Inleiding

De Zandmotor is in 2011 aangelegd voor de Delflandse kust, tussen Kijkduin en Ter Heijde, als een pilotproject voor grootschalig kustonderhoud door middel van een ‘megasuppletie’. Rond het project is een groot onderzoeksprogramma opgezet ten einde de ontwikkelingen aan de hand van een groot aantal evaluatievragen te kunnen monitoren en evalueren. Deze evaluatievragen hebben een duidelijke beleidsmatige achtergrond en zijn er op gericht zo veel mogelijk kennis op te doen die van belang is bij verdere toepassing van dergelijke methoden voor kustonderhoud.

Daarnaast biedt de Zandmotor ook unieke mogelijkheden voor onderzoek naar meer wetenschappelijk getinte vragen over de wijze waarop duinen zich ontwikkelen op een groot areaal aangebracht zand waar initieel weinig of geen inrichtingsmaatregelen zijn toegepast. Een voorbeeld van een dergelijke studie is het promotie-onderzoek van Van Puijenbroek (2017).

In 2013 is gestart met een microkartering van embryonale duinen op de Zandmotor ten einde de ontwikkeling van dergelijke duintjes in interactie met de vestiging van vegetatie vanaf de allereerste stadia gedetailleerd in beeld te brengen. De karteringen werden in het veld uitgevoerd door ligging, contouren en hoogte van duintjes in te meten met DGPS en van deze duintjes tevens de vegetatie (aanwezige soorten en bedekkingsgraad) te beschrijven. Om ook het aller vroegste stadium van duinontwikkeling in het onderzoek te kunnen betrekken zijn ook individuele planten van duinvormende grassoorten als helm en biestarwegras gekarteerd.

Doel van het onderzoek is om het proces van duinontwikkeling in detail te kunnen beschrijven en onderliggende processen te begrijpen: hoe snel verlopen de eerste stadia van duinvorming, wat is de rol van verschillende plantensoorten, welke factoren zijn bepalend voor de locatie en snelheid van duinvorming, wat zijn de verschillen in ontwikkeling tussen seizoenen etc.

De resultaten van de eerste onderzoeksperiode (2013 t/m 2015) zijn gerapporteerd als onderdeel van de overall rapportage van monitoring en evaluatie van de Zandmotor, onderdeel duinen, over de periode 2011-2015 (zie Vertegaal e.a., 2016: Bijlage XIII Meetplan 15: Embryonale duinen Zandmotor).

Na de eerste onderzoeksperiode heeft het onderzoek door ontbreken van budget enkele jaren stil gelegen en kon het pas in 2018 worden hervat. Tijdens de hernieuwde opname in het najaar van 2018 bleek dat de ontwikkeling van duintjes en duinen op de Zandmotor inmiddels dermate omvangrijk was geworden dat kartering van alle afzonderlijke duintjes in het veld fysiek niet meer mogelijk was. Omdat inmiddels meer geavanceerde meetmethoden via drones beschikbaar waren is daarom gezocht naar andere methoden om de verdere ontwikkeling van embryonale duintjes op de Zandmotor te kunnen volgen. Dit heeft geleid tot een nieuwe methode: semi-automatische kartering van embryonale duintjes. Deze methode is beschreven door Arens & Vertegaal (2021a).

Hierin is ook onderzocht in hoeverre de methode aansluit bij de veldmetingen met DGPS. Hieruit is gebleken dat hoewel de methode in grote lijnen goed aansluit bij de eerdere metingen er toch te grote verschillen zijn om de data hiermee samen te voegen tot één meetreeks. De analyse van ontwikkelingen in de laatste onderzoeksjaren (2016-2020) wordt daarom apart gerapporteerd (Arens & Vertegaal, 2021b). Tevens zijn deze resultaten gecombineerd met die van de luchtfotokartering van ‘dynamische morfologie’ (meetplan 2) opgenomen in Arens (2021), waarmee een overzicht is gegeven van de ontwikkeling van het oppervlak van embryonale duinen tussen 2011 en 2020 alsmede een beperkt overzicht van de ontwikkeling van vóór aanleg van de Zandmotor.

In het onderhavige rapport worden de resultaten en analyses gepresenteerd op basis van de DGPS-veldmetingen in de periode 2013 t/m 2015 en 2018. In het hoofdstuk conclusies wordt een samenvatting gegeven van de ontwikkeling van embryonale duinen vóór aanleg van de Zandmotor en tussen 2011-2020 op basis van de luchtfotokartering en van de semi-automatische kartering.

2 Evaluatie- en onderzoeksvragen

De monitoring van embryonale duinen op de Zandmotor is in de eerste plaats gericht op meer generieke onderzoeksvragen maar kan ook worden gebruikt om in te gaan op de evaluatievragen die ten grondslag liggen aan het Uitvoeringsprogramma monitoring en evaluatie rond de Zandmotor.

2.1 Evaluatievragen

In de MER Aanleg en Zandwinning Zandmotor Delflandse Kust (DHV, 2010a) is een aantal doelen en subdoelen geformuleerd, waarvan door monitoring en evaluatie moet worden nagegaan in hoeverre deze worden gerealiseerd. Van de evaluatievragen die hieruit zijn afgeleid (zie Taal e.a., 2017) zijn de volgende relevant in relatie tot de monitoring van embryonale duinen:

- In welke mate in ruimte en tijd leidt de Zandmotor tot natuurlijke duinaangroei, in het kustgebied van Hoek van Holland tot Scheveningen?
- Levert de Zandmotor nieuwe fysische kennis op waarmee kustonderhoud en een meerwaarde voor natuur, recreatie en andere functies gezamenlijk te combineren zijn?
- Zorgt de Zandmotor voor toevoeging van een aantrekkelijk natuurgebied op de Zandmotor zelf en in de jonge duinen tegen het bestaand duin?
- In welke mate zijn recreatie- en natuurdoelstellingen op en rond de Zandmotor te verenigen?

2.2 Onderzoeksvragen

In het kader van een EFRO-subsidie is in najaar 2013 gestart met een onderzoek naar de vorming van embryonale duinen op de Zandmotor. De hierbij geformuleerde onderzoeksvragen zijn:

1. Wat is de ontwikkeling van aantal duintjes en totaal oppervlak in de tijd en per deelgebied?
2. Wat is de veranderlijkheid in ontstaan/ontwikkeling van individuele duintjes?
3. Wat is de rol van duinvormende grassen, met name helm en biestarwegras, in het ontstaan van duintjes?
4. Is er een verschil in ontwikkelingssnelheid tussen winter en zomer?
5. Wat is de relatie tussen ontwikkelingssnelheid en factoren als strandbreedte, aangroei/afslag, aanwezigheid binnenmeer en lagune en (recreatief) gebruik van de Zandmotor?
6. Is er verschil in ontwikkeling in de Gemeente Den Haag en de Gemeente Westland als gevolg gebruik van beach cleaners?

3 Aanpak/opzet onderzoek

3.1 Veldmetingen GPS 2013 t/m 2018

Het onderzoek naar de ontwikkeling van embryonale duinen is van oktober 2013 t/m oktober 2018 uitgevoerd met behulp van GPS-metingen in het veld. Op de Zandmotor, zeewaarts van het raster van 2011, worden beginnende duinen en duinvormende grassen ingemeten. Er is een onderscheid gemaakt tussen duinvlakken en plantvlakken. Een plantvlak is een verzameling van losse individuen van tenminste één van de duinvormende grassen (Helm, Biestarwegras, Zandhaver, in een enkele geval Duinzwenkgras), waarbij de individuen minder dan 2m uit elkaar staan. Individuen die meer dan 2m uit elkaar staan worden apart ingemeten als individu, als in een punt meting. Wanneer binnen een plantvlak duinvorming op gang komt en de hoogte toeneemt, dan gaat het plantvlak over in een duinvlak. De grens ligt bij een minimale hoogte van 0.15m. Van plantvlakken en duinvlakken wordt de omgrenzing ingemeten. Daarnaast worden binnen het duinvlak de hoogtes van de binnen het vlak voorkomende toppen opgemeten.

Samenvattend worden met GPS de volgende metingen uitgevoerd:

- Losse plant (duinvormende grassoort) - puntmeting in XYZ
- Verzameling planten (duinvormende grassoort) met onderlinge afstand <2m en hoogte t.o.v. omgeving <0.15m - vlakmeting met omgrenzing in XYZ
- Verzameling planten (duinvormende grassoort) met onderlinge afstand <2m en hoogte t.o.v. omgeving $\geq 0.15m$ - vlakmeting met omgrenzing in XYZ en toppen binnen het vlak in XYZ

Duinen die ontstaan zijn in andere soorten (meestal Zeeraket) worden niet opgemeten, tenzij er inmiddels ook duinvormende grassen in groeien. Zo niet dan zijn dit tijdelijke duinen. De ervaring heeft geleerd dat met het verdwijnen van de eenjarige Zeeraket in de winter het duin ook verdwijnt. Alleen tijdens de eerste opname in najaar 2013 zijn duintjes met Zeeraket ingemeten.

Andere soorten die binnen en duin- of plantvlak voorkomen worden wel opgenomen. Individuen van andere soorten die niet binnen een vlak voorkomen worden niet opgenomen.

Van alle soorten binnen een vlak wordt het soortnummer en de abundantie genoteerd.

De data zijn beschikbaar als shapefiles, één met polygonen (vlakmetingen) en één met punten (individu metingen) en een excel tabel met soortenlijst en abundantie die gelinkt is aan de shapefile met polygonen.

Aanvankelijk was het de bedoeling om twee keer per jaar alle voorkomende vlakken en individuen met duinvormende grassen over de gehele Zandmotor in te meten met één meetploeg. Dit bleek onhaalbaar, waarna de Zandmotor werd opgedeeld in een vijftal deelgebieden van 250m breed en met twee meetploegen werd gemeten. Door de snelle kolonisatie met Helm en Biestarwegras bleek ook dit oppervlak veel te groot om binnen één dag te bemeten en zijn de deelgebieden verkleind tot een breedte van 100m. Het gevolg is dat niet alle opnamen volledig zijn. De eerste en tweede meting is de hele Zandmotor nog integraal ingemeten. De laatste meting zijn de verkleinde deelgebieden allen geheel ingemeten. De derde en vierde meting zijn niet volledig, omdat het niet lukte binnen één dag de gehele proefgebieden in te meten. Er is bij de metingen voor gezorgd dat ieder deelgebied in ieder geval eenmaal per jaar is bezocht. De opnamedatum van de metingen en het ingemeten deel is weergegeven in Tabel 3.1. Deelgebieden 3 en 4 zijn bij iedere meting opgenomen.

Op 20 mei 2014, de tweede meting, is een deel van de metingen met hand-GPS uitgevoerd. Dit geeft een (veel) minder nauwkeurige positiebepaling en geen hoogtebepaling. Het gevolg is dat bij deze

meting geen kleine vlakken ingemeten konden worden. Daarom is voor ieder vlak een punt ingemeten en is een schatting gemaakt van de afmetingen van het vlak. Bij de uitwerking is vervolgens in GIS ieder vlak omgezet in een cirkel met een oppervlakte gelijk aan de veldschatting.



Figuur 3.1. Ligging proefvakken opnamen 2013 t/m 2018 (op luchtfoto 2020)

Tabel 3.1. Opnamedatum en ingemeten gebied voor metingen Embryonale duinen Zandmotor.

Opnamedatum	Opgemeten
15-10-2013	Gehele Zandmotor m.u.v. uiterste noorden
20-05-2014	Gehele Zandmotor
27-10-2014	Grote proefvakken P1 t/m P4, niet P5
29-04-2015	Grote proefvakken P3 t/m P5, niet P1 en P2
12-10-2015	Kleine proefvakken P101 t/m P501
09-10-2018	Kleine proefvakken P101 t/m P501

Door het noodgedwongen toespitsen van het onderzoeksgebied zijn de belangrijkste ruimtelijke eenheden waarmee analyses kunnen worden uitgevoerd de kleine proefvlakken P101 t/m P501 (zie Figuur 3.1).

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de meetronden waarbij elk van deze proefvlakken is opgenomen.

Tabel 3.2. Overzicht meetrondes en opnamedata kleine proefvlakken.

meet-ronde	opnamedatum	proefvlakken							P501
		P101	P201	P202	P301	P302	P303	P401	
2013n	15-10-2013	●	●	●	●	●	●	●	●
2014v	20-05-2014	●	●	●	●	●	●	●	●
2014n	27-10-2014	●	●	●	●	●	●	●	-
2015v	29-04-2015	-	-	-	●	●	●	●	●
2015n	12-10-2015	●	●	●	●	●	●	●	●
2018n	09-10-2018	-	●	●	●	●	●	●	●

3.2 Semi-automatische kartering met laseraltimetrie en luchtfoto's 2018-2020

In 2018 is overgegaan op een andere methode van monitoring. Het aantal duintjes was toen zo groot geworden, dat het niet meer mogelijk was ze allemaal in het veld in te meten. Tegelijk met de laatste veldmeting in 2018 is door Shore een opname met laseraltimetrie en luchtfoto in zeer hoge resolutie gemaakt. Met behulp van deze gegevens is een semi-automatische kartering gemaakt van alle embryonale duintjes op de gehele Zandmotor. Deze kartering is in 2019 en 2020 herhaald (alle opnames hebben in oktober plaatsgevonden). In oktober 2020 heeft een laatste veldbezoek plaatsgevonden, waarbij voor een steekproef van duintjes de vegetatie-inhoud is opgenomen. Daarbij zijn tevens enkele vlakken opgenomen die buiten de kleine proefvakken liggen, maar waarvan wel in 2013 of 2014 een opname beschikbaar was.

De semi-automatische karteringsmethode is uitgebreid beschreven in Arens & Vertegaal (2021a). De ontwikkelingen zoals deze in de periode 2018-2020 met deze methode zijn gekarteerd zijn apart gerapporteerd (Arens & Vertegaal, 2021b).

4 Resultaten

4.1 Overzicht ontwikkeling embryonale duinen

Alvorens in detail in te gaan op de ontwikkelingen per proefgebied volgt hier een algemene beschrijving van de ontwikkelingen in het gebied. Hierbij worden alle metingen betrokken. Voor een overzicht van alle opnamen met gekarteerde en vlakken, zie Bijlage 1.

In najaar 2013 is het onderzochte gebied nog leeg. De meeste vlakken en punten bevinden zich aan de zuidkant, rondom proefgebied 5, in een zone nabij de duinvoet. Naar het noorden toe lijken de punten en vlakken vanaf proefgebied 4 tot proefgebied 2 grofweg de 3m-NAPlijn te volgen. Hierbij valt op dat Helm en Biestarwegras op dezelfde locaties binnen het dwarsprofiel voorkomen, er is geen sprake van een zonering met Biestarwegras laag en Helm hoog in het profiel. Midden op de Zandmotor bevindt zich wel een cluster waar Helm domineert. Dit ligt hoger dan 4.5m NAP. Bij de eerste opname zijn nog vlakken langs de landwaartse zijde van het strandmeer ingemeten. Dit zijn allen duintjes met Zeeraket, die bij de volgende metingen niet meer zijn opgemeten. Zowel in proefgebied 4 als in proefgebied 5 is er een vestiging van Zandhaver, in 5 tegen de zeereep aan, in 4 juist meer aan de zeewaartse zijde. Er zijn redelijk wat vestigingen van met name Biestarwegras, in mindere mate Helm, dicht bij de waterlijn (35m afstand), de meeste in proefgebieden 2 en 3 en tussen 3 en 4.

Voorjaar 2014 is er sprake van een forse uitbreiding van vlakken bij de duinvoet, van proefgebied 4 tot 5, rondom proefgebied 3 en tussen proefgebied 1 en 2. In de oksel van de Zandmotor zijn vlakken rond de 3m NAP ontstaan, midden op de Zandmotor ook een tweetal. Er is een forse toename van punten, waarbij Biestarwegras domineert. Bij proefgebied 4 en 5 heeft de vestiging behoorlijk laag in het profiel plaatsgevonden (tussen 1.5 en 1.8m NAP), richting noorden wordt dat steeds hoger, eerst rond 3m NAP, en dan richting proefgebied 2 rond 4m NAP. In dit laatste deel staat Biestarwegras samen met Helm. In proefgebied 1 en 2 vindt de vestiging uitsluitend plaats in de buurt van de duinvoet. Tussen proefgebied 2 en 1 betreft de vestiging bijna alleen maar Helm. Tussen proefgebied 4 en 3 heeft zich aan de zeewaartse zijde alleen Biestarwegras gevestigd, tegen de zeereep alleen Helm. In proefgebied 5 en tussen 4 en 5 in zijn er vestigingen van Zandhaver, de meeste tegen de zeereep aan. Ook tussen proefgebied 2 en 1 zijn er enkele vestigingen van Zandhaver, ook hier tegen de zeereep aan. Ook zijn er enkele vestigingen van Duinzwenkgras. De punten dicht bij de waterlijn zijn allen verdwenen. Nieuwe vestiging is op grotere afstand van de waterlijn, 80m of meer. Alleen in proefgebied 5, waar het strand veel smaller is, is de afstand tussen nieuwe vestiging en waterlijn kleiner.

In najaar 2014 zijn de vlakken in beperkte mate uitgebreid. Het aantal punten is enorm toegenomen, met een grote toename van Helm in proefgebieden 1, 2, 3 en 4 (5 is dan niet ingemeten). Bij proefgebied 4 domineert Biestarwegras, ook hoog in het profiel (tot 5m NAP). Bij proefgebied 202 zijn punten Biestarwegras ingemeten midden op de landtong, tussen lagune en zee, bij proefgebied 1 ook, maar dan Biestarwegras afgewisseld met Helm. Ook aan de zeewaartse zijde van het strandmeer, in proefgebied 3, zijn nu punten gemeten, afwisselend Helm en Biestarwegras en een enkele Zandhaver. De vestiging is wel op grotere afstand van de waterlijn dan voorheen, nu meer dan 100m. In proefgebied 4 is nog één enkele vestiging van Duinzwenkgras.

In voorjaar 2015 zijn proefgebieden 1 en 2 niet ingemeten. Bij proefgebieden 3 en 4 consolideren de vlakken, er is enige uitbreiding maar weinig nieuwvorming. Bij proefgebied 5 is wel sprake van een forse nieuwvorming van vlakken op het lagere strand, ruim beneden 3m NAP. De vlakken zijn

afkomstig uit de punten met Biestarwegras van de vorige meting. Voor wat betreft de punten is er vooral sprake van een vergroten van de dichtheid, dus overwegend in de buurt van eerdere vestigingen. Opvallend is dat in proefgebieden 3 en 4 Helm nu ook lager in het profiel voorkomt, veel meer afgewisseld met Biestarwegras. In proefgebied 5 betreffen de laagste punten rond de 1.5-1.8m NAP allemaal Biestarwegras. Tussen proefgebieden 1 en 4 is de afstand tussen nieuw gevestigde punten en de waterlijn nu veel groter, 150m of meer.

Najaar 2015 is er in proefgebieden 3, 4 en 5 opnieuw sprake van consolidatie. Bij proefgebieden 1 en 2 zijn veel nieuwe vlakken ontstaan bij de duinvoet. Op het Zandmotorgedeelte binnen de proefgebieden is niets waargenomen (NB bij deze opname zijn alleen nog de kleine proefgebieden ingemeten, waardoor grote delen van de Zandmotor niet meer zijn onderzocht). De dichtheid van punten bij de duinvoet neemt toe, het betreft voornamelijk Helm. In proefgebieden 4 en 5 zijn er wel enkele nieuwe punten op lage delen, ruim onder 3mNAP. In proefgebied 4 betreft het Helm, in proefgebied 5 Biestarwegras.

Najaar 2018 is de verandering groot, omdat er drie jaar tussen de opnames zit. De tussenliggende ontwikkeling is te volgen aan de hand van de handmatige karteringen van meetplan 2. Het aantal vlakken is flink toegenomen en ook de oppervlakte van de vlakken is fors vergroot. Duinvlakken overheersen. Het aantal punten is ook flink toegenomen, maar er zijn opvallende verschillen. In vlak 501 is het oppervlak al redelijk bedekt met vlakken, desondanks is er nog genoeg open ruimte, omdat >60% van het oppervlak nog onbedekt is. Het aantal nieuwe vestigingen is beperkt met 29 punten, waarvan 18 Biestarwegras, 2 Zandhaver en 9 Helm. In vlak 401 zijn maar liefst 175 nieuwe vestigingen, in 302 6, in 301 88 en in 201 226. De grote hoeveelheid in 201 lijkt een inhaalslag, hier was het aantal duin- en plantvlakken beperkt. De vlakken bij de duinvoet hebben de grootste gemiddelde oppervlakte, zijn vaak ook aan elkaar gegroeide kleinere vlakken. Het aantal nieuwe vlakken is op de Zandmotor het grootst, waarbij procentueel gezien de toename in vlakken 201 en 301 het sterkst is.

In zijn algemeenheid is er sprake van een gradiënt in ontwikkeling met een toenemende ontwikkeling van noord naar zuid. Aan de zuidkant waren er bij de eerste meting al vlakken aanwezig, aan de noordkant nog niets.

Deze gradiënt is omgekeerd evenredig met de recreatiedruk, die van noord naar zuid afneemt. Het lijkt waarschijnlijk dat hier een verband tussen bestaat. Overigens wordt binnen het onderzochte gebied het strand niet schoon gemaakt. Dit gebeurt wel binnen het gebied van de gemeente Den Haag, met beach cleaners, maar de gemeentegrens ligt net tegen de noordkant van proefgebied 1 aan.

Grofweg lijkt er ook een gradiënt te bestaan in de vegetatie, met dominerend Biestarwegras aan de zuidkant en langs de waterlijn, en dominerend Helm naar het noorden en hoger in het profiel. Desondanks is het opvallend dat bij verschillende opnamen Helm ook heel laag in het profiel is waargenomen en Biestarwegras hoog.

In pb 45, dus tussen 4 en 5 in, zijn in oktober 2013 punten gemeten in een strook voor de zeereep, tot ca. 105 m voor de zeereep. In voorjaar 2014 zijn hier ook punten gemeten, maar ook veel verder zeewaarts. Dit is opvallend omdat er in najaar 2013 (28 oktober en 5-12) flinke stormen zijn geweest met hoog water. De storm van 28 okt was na de veldopname. Dit deel van het strand is lager. Na deze stormen heeft zich Biestarwegras gevestigd op een lager deel van het strand, tot 225 m voor de zeereep. Het lijkt op de luchtfoto's van 2013 en 2014 dat het strand hier een stuk lager is geworden, maar de verschilkaart 13b14a geeft juist aanzanding aan. De hoogte is slechts 1.6 m NAP. Na oktober 2014 is hier niet meer gekarteerd, maar het

is wel duidelijk dat de punten zijn verdwenen. Er is daar sindsdien (t/m 2020) geen duin ontstaan. In okt 2014 was er opnieuw hoog water en daarna wat erosie in deze zone. Ook de meest zeewaartse punten in 40/401 zijn verdween;; dit kan een effect zijn van hoogwater van 22-10-2014 (5 dagen voor de veldopname). De verschilkaart 14b15a laat daar wat erosie zien.

4.2 Overzicht ontwikkeling embryonale duinen per proefvlak

Voor illustraties bij dit overzicht, zie Bijlages 1 t/m 5.

Proefvak 101

Bij de interpretatie van de gegevens is van belang dat dit proefgebied in voorjaar 2015 en najaar 2018 niet is opgenomen.

Aan de zeezijde is nog geen sprake van enige ontwikkeling.

Aan de landzijde ontstaat een enkel vlak tot najaar 2015. Het aantal punten neemt explosief toe in najaar 2014, met dominant Helm maar wel wat Biestarwegras, zowel lager dan 3m NAP als bij de duinvoet. Vlakken ontstaan vooral uit deze punten.

In dit proefgebied is er sprake van een forse dynamiek bij de punten. Het aantal punten dat sinds de vorige opname is verdwenen bedraagt gemiddeld 38% voor Biestarwegras en 17% voor Helm. Een relatief groot aandeel van 35% blijft punt, zowel voor Helm als voor Biestarwegras. Van de punten met Helm groeit 45% door naar een plant- of duinvlak, voor Biestarwegras is dat 28%.

Proefvakken 201 en 202

Bij de interpretatie van de gegevens is van belang dat dit proefgebied in voorjaar 2015 niet is opgenomen. In deelgebied 2 zijn twee proefvakken onderscheiden, 202 dicht bij de waterlijn en 201 dicht bij de duinvoet.

Random (maar niet in) vak 202 zijn de eerste opnames enkele kleine vlakken rond de 3m NAP lijn waargenomen. Vanaf voorjaar 2015 zijn ze allemaal verdwenen, mogelijk als gevolg van de stormen van najaar 2013 en najaar 2014. Net buiten het vak gebeurt overigens wel wat, vooral een vestiging van zowel Helm als Biestarwegras. In vak 202 is alleen in najaar 2014 een aantal punten met Biestarwegras waargenomen. Daarna zijn deze ook verdwenen.

In vak 201 komen pas met de opname van oktober 2015 de eerste vlakken in beeld, 24 vlakken met een totale oppervlakte van slechts 22m². Een redelijk deel hiervan is al in oktober 2014 als punt (allen Helm) ingemeten. De punten ontstaan in een bredere zone vanaf de duinvoet tot iets zeewaarts van de 3m NAP-lijn, over een zone van circa 140m. De vestiging is niet random, maar lijkt gebonden aan lijnen, die waarschijnlijk met rijsporen samenhangen. In najaar 2018 is het aantal vlakken aanmerkelijk uitgebreid naar 109 vlakken, met een totaal oppervlak van 1191m². In 2018 is er sprake van een record vestiging van punten, voornamelijk Helm, maar ook enkele Biestarwegras. Deze liggen meer random verspreid over het proefvak.

Ook in dit proefgebied is er sprake van een forse dynamiek bij de punten. Het aantal punten dat sinds de vorige opname is verdwenen is relatief weinig met gemiddeld slechts 7%. 28% is in de volgende opname ook als punt ingemeten. Het aantal punten dat doorgroeit naar duinvlak is 46%, er zijn geen waarnemingen van punten die door zijn gegroeid naar plantvlak.

Proefvakken 301, 302 en 303

In deelgebied 3 zijn drie proefvakken onderscheiden, 303 dichtbij de waterlijn, 302 net zeewaarts van het strandmeer en 301 tussen het strandmeer en de duinvoet. In 2013 is het gehele proefgebied 3 nog leeg, m.u.v. enkele punten aan de zeezijde, met Helm en Biestarwegras, buiten de vakken 301, 302 en 303.

In vak 303 zijn alleen in voorjaar 2014 planten van Biestarwegras waargenomen, daarvoor en daarna niets meer.

In vak 302 worden vanaf najaar 2014 planten waargenomen, overwegend Helm, en voorjaar 2015 is het eerste vlak ingemeten. Zowel punten als vlakken breiden daarna uit. De vlakken zijn erg klein, 0.8m² voorjaar 2015, 5.7m² in het najaar van 2015 en 17 vlakken met in totaal 171m² in najaar 2018. In vak 301 is vanaf 2014 voorjaar bij de duinvoet één langgerekt vlak ontwikkeld, met een oppervlakte van circa 80m², dat zijn vorm dankt aan het feit dat het tussen rijsporen ingeklemd ligt. Dit vlak is met hand GPS ingemeten, waardoor zowel de omtrek als het oppervlak onnauwkeurig is. Najaar 2014 is het aantal vlakken toegenomen tot 9, met een oppervlakte van 79m². In 2014 vestigen zich veel punten vooral tussen de 3m NAP-lijn en het strandmeer, met overwegend Helm. Daar ontstaat dan ook een vlak. Dit herhaalt zich in voorjaar 2015, opnieuw met overwegend Helm. Voorjaar 2015 is het aantal vlakken uitgebreid met één, maar is het oppervlak afgenomen tot 33m³. Najaar 2015 zijn er 29 vlakken in 83m². Er zijn veel kleine vlakken ontstaan net ten oosten van het strandmeer. Ook in 2015 najaar is er weer sprake van veel nieuwe vestiging van Helm. Het aantal vlakken blijft flink achter, met vooral een toename tussen 2015 voorjaar en najaar. Het vlak langs het raster groeit wel enigszins, maar blijft parallel aan de kust (en aan de rijsporen) vooral zeer lang (>40m) en smal (<5m). In 2018 zijn er veel nieuwe planten (88) gevestigd, nu opvallend veel Biestarwegras (43) in vergelijking tot eerdere jaren. Het aantal vlakken is ook fors uitgebreid tot 78 met een totale oppervlakte van 1229m².

Helm domineert in dit proefgebied tot en met najaar 2015. Minder dan 10% van de punten die ontstaan zijn Biestarwegras. In 2018 is dit echter de helft van een groot aantal nieuwe punten (43 van de 88) en daarmee opvallend anders.

Het aantal punten dat sinds de vorige opname is verdwenen is met 18% voor Helm en 22% voor Biestarwegras kleiner dan in de andere vakken. 22% van de Biestarwegras punten en 33% van de helmpunten is in de volgende opname ook als punt ingemeten. Het aantal punten dat doorgroeit naar een plant- of duinvlak is gemiddeld 50%. De getallen voor Biestarwegras zijn gebaseerd op een klein aantal punten, de gemiddelden zijn minder betrouwbaar dan die voor Helm.

Omdat dit proefgebied bij alle opnamen is ingemeten kan vergeleken worden of de overgang van voorjaar naar najaar anders is dan van najaar naar voorjaar. Hiervan blijkt geen sprake; er is een trendmatige ontwikkeling van zowel vlakken als punten die iedere opname in aantal toenemen.

Proefvak 401

In proefgebied 401 is de ontwikkeling minder ver dan in proefgebied 501, maar bij de eerste opname in najaar 2013 wel op gang gekomen met 9 vlakken met een totaal oppervlak van 57m². In de voorjaarsopname van 2014 is het aantal vlakken gelijk gebleven (een paar zijn verdwenen, een paar zijn nieuw), het totale oppervlak toegenomen tot 74m². Het aantal punten is in de najaarsopname van 2014 sterk toegenomen, waarbij Biestarwegras zich meer gevestigd heeft dan Helm. Een belangrijk deel van de punten is in de volgende opname ontwikkeld tot plantvlak en groeit door naar duinvlak. Het aantal vlakken is ook toegenomen tot 18, met een totale oppervlakte van 155m². Tussen najaar 2014 en voorjaar 2015 neemt het aantal vlakken sterk toe tot 50 met een oppervlakte van 203m², in najaar 2015 neemt vooral het oppervlak van de vlakken toe naar 360m², het aantal vermeerdert met 5. In 2018 zijn er maar liefst 166 vlakken, met een totale oppervlakte van 4043m², bijna gelijk aan het oppervlak in vlak 501.

Opvallend in dit proefgebied is dat het grootste deel van de ontwikkeling zich afspeelt in de zone net boven de 3m NAP lijn, ca 100-230 m zeewaarts van de duinvoet, en slechts een zeer beperkt deel nabij de duinvoet.

Omdat dit proefgebied, net als proefgebied 3 alle opnamen is ingemeten kan hier vergeleken worden of de overgang van voorjaar naar najaar anders is dan van najaar naar voorjaar. Dit blijkt niet uit de gegevens. De toename van het aantal groeiplaatsen van Biestarwegras en Helm (en Zandhaver) lijkt

in het voorjaar niet wezenlijk anders dan in het najaar. De ontwikkeling van nieuwe vlakken lijkt vooral een respons op de toename van het aantal groeiplaatsen in de voorgaande opname.

Ook in dit proefgebied is er sprake van een forse dynamiek bij de punten. Het aantal punten dat sinds de vorige opname is verdwenen bedraagt gemiddeld 21% voor Helm, 32% voor Biestarwegras, niet heel anders dan in proefvak 501. De overgang van punt naar vlak gaat voor Biestarwegras en helm vergelijkbaar sneller, in beide gevallen rond de 51%. Een relatief groot deel van de punten, 16% voor Biestarwegras, 28% voor Helm, is in de volgende opname nog punt. Een aanzienlijk deel van de plantvlakken groeit in de opnamen daarna door tot duinvlakken. Een deel van de vlakken ontstaat uit het niets, een deel vanuit punten.

Opvallend is dat de nieuwe vlakken van 2014n niet samenhangen met de punten van 2014v, de vlakken van 2015v echter wel. Van 2015v naar 2015n ontstaan er nauwelijks nieuwe vlakken, maar breiden de bestaande vlakken uit. Er vestigt zich een groot aantal punten, waaronder nu wel een groter aantal nabij het raster. Het grootste deel van de punten is echter waargenomen lager op het strand.

Proefvak 501

Bij de interpretatie van de gegevens is van belang dat dit proefgebied in najaar 2014 niet is opgenomen.

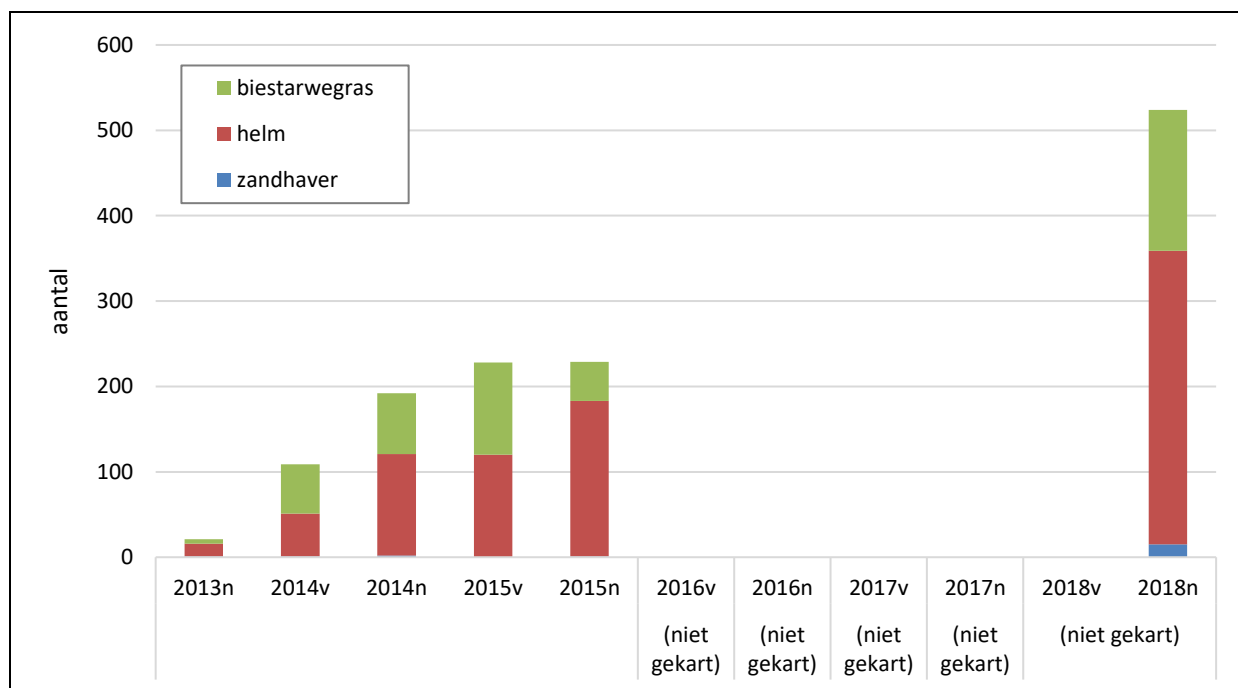
Proefgebied 501 herbergt de grootste oppervlaktes aan embryonale duinen, met een totaal van ruim 670 m² in najaar 2015. In de eerste opname bedraagt dit oppervlak 200 m² in 5 vlakken. Van 2013 najaar naar 2014 voorjaar neemt het totale oppervlak nauwelijks toe, naar 23 vlakken en 219m², doordat enkele grote vlakken verdwijnen, waarschijnlijk als gevolg van de stormen najaar 2013 (oktober en december), maar mogelijk ook door berijden. Deze vlakken lagen midden in de meest intensief bereiden strook. In dezelfde opname zijn een aantal plantvlakken waargenomen hoger op het strand, richting duinvoet. Daarna neemt het oppervlak toe, met zowel een forse toename in voorjaar 2015 (45 vlakken, 402m², geen opname in najaar 2014) als in najaar 2015 (41 vlakken, 527m²). Het aantal vlakken neemt in 2015 af omdat een aantal aaneen groeit tot één groter vlak. Dit vlak ligt voor het raster. De grootste uitbreiding van het oppervlak aan embryoduin tussentwee opeenvolgende opnamen wordt niet veroorzaakt door nieuwvestiging maar door aaneengroeien van een groot aantal kleinere vlakken. In najaar 2018 is de toename groot, door de lengte van de tussentijdse periode. Het aantal vlakken is dan afgenomen naar 21, door aan elkaar groeien van een groot aantal vlakken. Het oppervlak is toegenomen tot 4342m².

Er zit een grote dynamiek in de punten. Bij iedere opname is een substantieel deel, gemiddeld 21% van de punten met Helm, 50% van de punten met Biestarwegras uit de vorige opname verdwenen. Een klein deel van het aantal punten, (12% voor Helm, 4% voor Biestarwegras) is in de volgende opname ook als punt ingemeten. Het aantal punten dat doorgroeit tot vlakken is hoog, gemiddeld 65% voor Helm, 46% voor Biestarwegras. Van de Helmpunten groeit een klein deel door tot plantvlakken, een groter deel tot duinvlakken. Van de Biestarwegraspunten is de verhouding groei naar plant- en duinvlak gelijk. Een deel van de vlakken ontstaat uit het niets, een deel vanuit punten.

4.3 Vestiging van duinvormende plantensoorten

Om de ontwikkeling van nieuwe duintjes in de allereerste stadia te kunnen volgen zijn bij elke opname individuele exemplaren van duinvormende grassoorten (helm, biestarwegras en zandhaver) ingemeten als 'punten'.

In Figuur 4.1 is het totaal aantal 'punten' van de drie duinvormende grassoorten in de periode 2013 t/m 2018 weergegeven. Vak 101 is niet meegenomen omdat dit in twee rondes niet is gekarteerd; vak 201/202 en 501 zijn niet gekarteerd in 2015v resp. 2014n; hiervoor zijn door interpolatie vervangende waarden bepaald.



Figuur 4.1. Aantal individuele planten duinvormende grassen in vak 201 t/m 501, 2013-2018

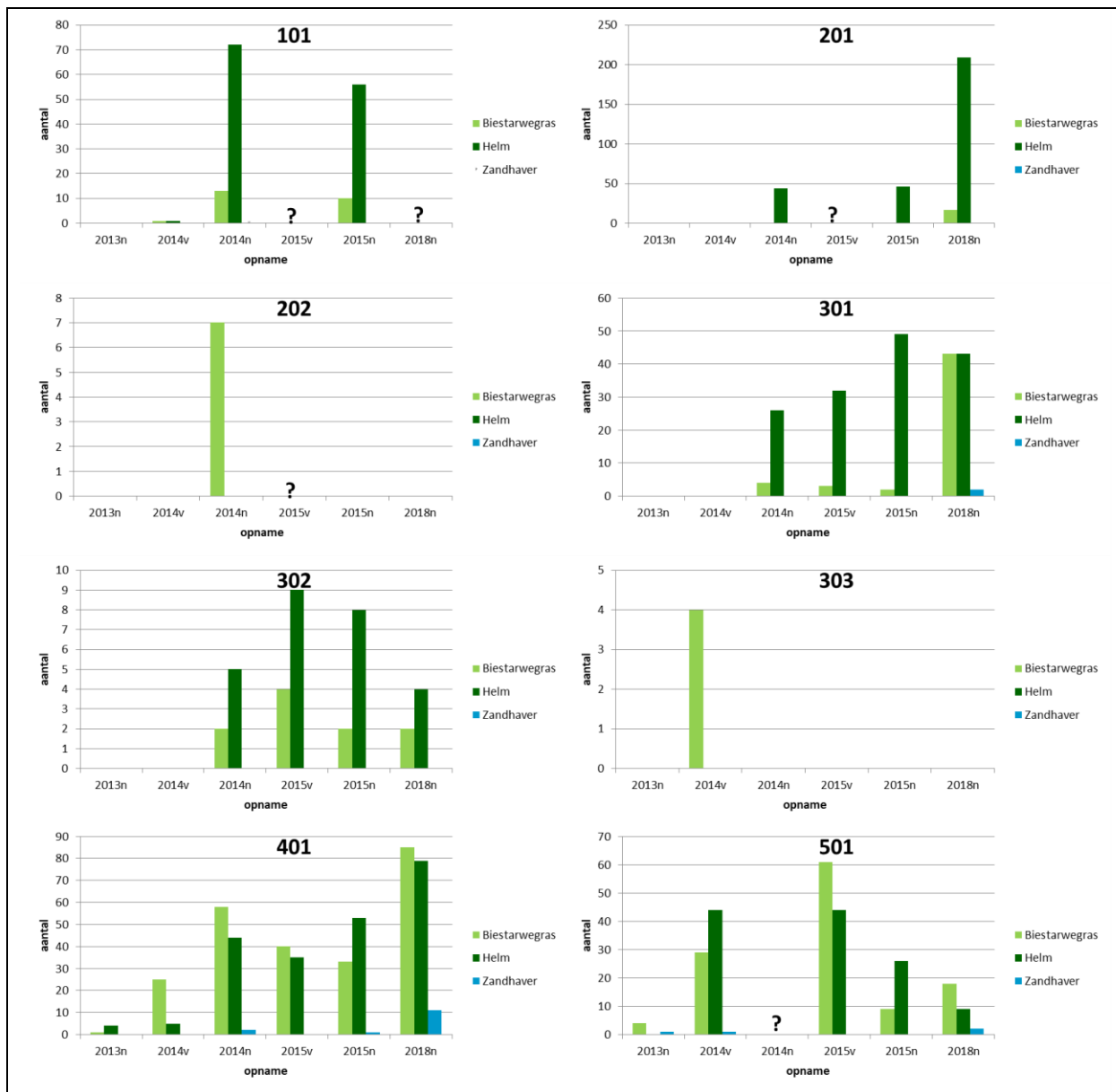
Uit de figuur blijkt dat het aantal individuele planten dat zich in de proefvakken vestigt in 2013 nog zeer gering was (21 planten). Dit nam snel toe in 2014, zowel van najaar 2013 naar voorjaar 2014 als van voorjaar 2014 naar najaar 2014. In 2015 stagneerde deze snelle toename volledig; helm nam nog iets toe, biestarwegras nam met meer dan de helft af.

In 2018 (na twee jaren zonder opnamen) was het aantal puntmetingen van planten weer flink hoger, met in totaal ruim 500 in 5 proefvakken (202 en 303 waren door erosie verdwenen), bijna een verdubbeling ten opzichte van de aantallen in 2015; ook het aandeel biestarwegras was weer toegenomen.

Uit de figuur blijkt dat helm en biestarwegras de belangrijkste soorten zijn bij de vestiging van individuele duinvormende planten. Zandhaver speelt met in totaal ca. 1% van de waargenomen 'punten' een marginale rol. Over het geheel gezien is helm in deze fase de belangrijkste soort, met over de hele periode gezien ca. 64% van alle vestigingen, gevolgd door biestarwegras met ca. 35%.

Figuur 4.2 geeft een overzicht van de puntmetingen in de kleine proefvakken. Per opname en per proefvak is het aantal los staande individuen van Helm, Biestarwegras en Zandhaver weergegeven.

In Figuur 4.2 valt een aantal zaken op. In proefvakken P202 en P303, de meest zeewaartse, is alleen Biestarwegras waargenomen, en in beide gevallen maar bij één opname, hoewel niet dezelfde. In P303 is alleen in voorjaar 2014 Biestarwegras aangetroffen, in P202 alleen in najaar 2014. In proefvakken P101, P201, P301 en P302 domineert Helm. In P301 is echter in 2018 het aantal punten met Biestarwegras grofweg gelijk aan het aantal punten met Helm. In proefvakken P401 en P501 domineert Biestarwegras de waarnemingen van individuele planten.



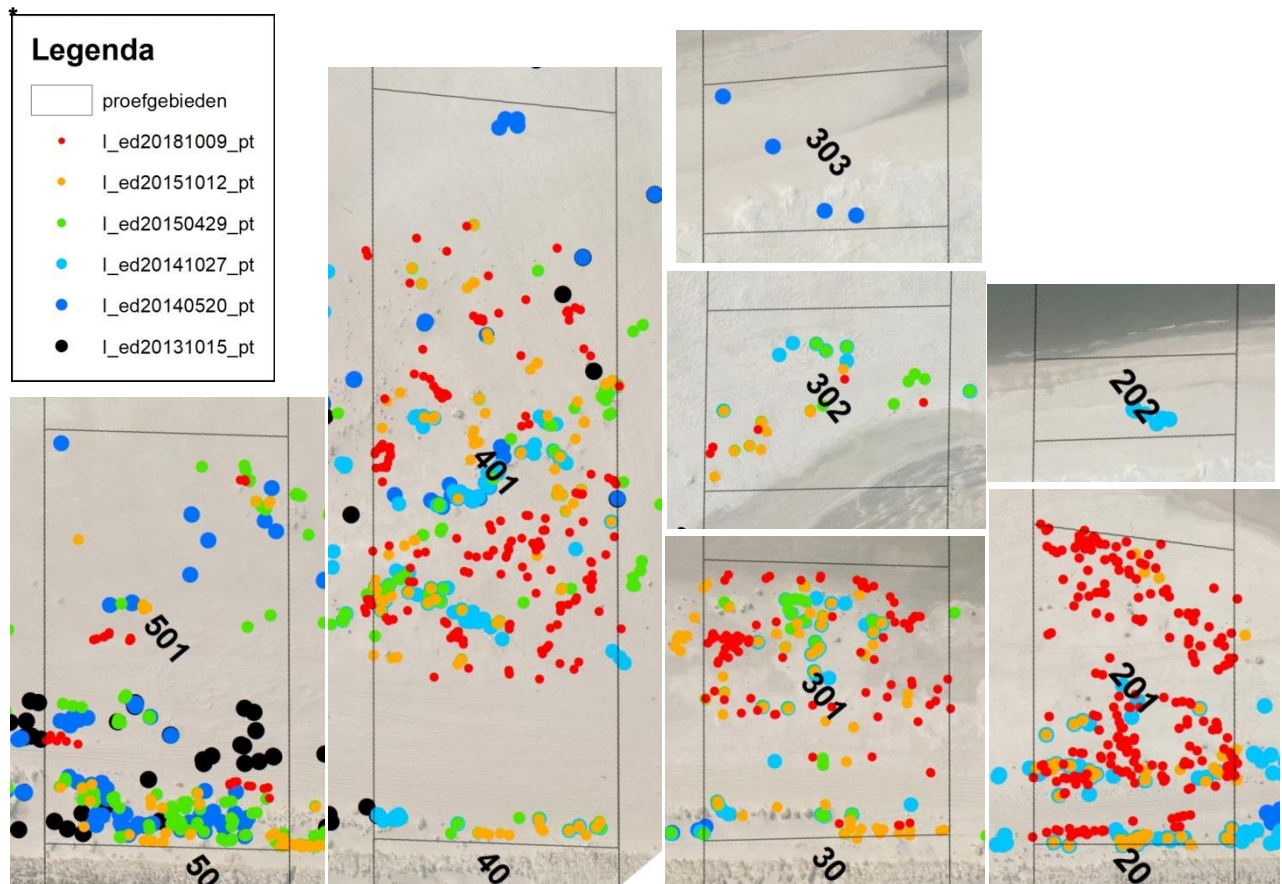
Figuur 4.2. Aantal vestigingen van Helm, Biestarwegras en Zandhaver per proefvlak. ? = geen opname.

In 2018n is de vestiging van individuele planten in vak P201 explosief. Een dergelijke toename van de hoeveelheid punten, overwegend Helm, is niet eerder waargenomen.

Zowel P302 als P501 laten een piek in het aantal waargenomen planten zien in voorjaar 2015, daarna afnemend. In P401 piekt het aantal punten net als in P201 in 2018. Overigens, als Biestarwegras en Helm bij elkaar opgeteld worden, piekt ook in P301 het aantal individuen in 2018. Over de hele linie is Zandhaver de derde duinvormende plant, maar de aantallen vallen in het niet bij Biestarwegras en Helm.

In Figuur 4.3 zijn voor de proefvakken P201 t/m P501 die bij meeste meetrondes (2013-2018) zijn opgenomen de punten per meetronde weergegeven, zonder onderscheid naar plantensoort. Dit geeft een ruimtelijk beeld van de locaties en de dichtheden waarmee duinvorming dankzij vestiging van deze soorten op gang kan komen. Er is hierbij geen onderscheid gemaakt in planten die zich daadwerkelijk tot duintjes hebben ontwikkeld en planten die weer verdwenen zijn. Ook zijn de

duintjes die zich in deze periode hebben ontwikkeld niet afgebeeld; zoals hierboven al vermeld vertroebelt dit het ruimtelijk patroon enigszins omdat ter plaatse van duintjes geen nieuwe vestigingen van individuele planten zijn gekarteerd (voor zover hiervan sprake was, zijn deze planten meegenomen in de hier gekarteerde duintjes).



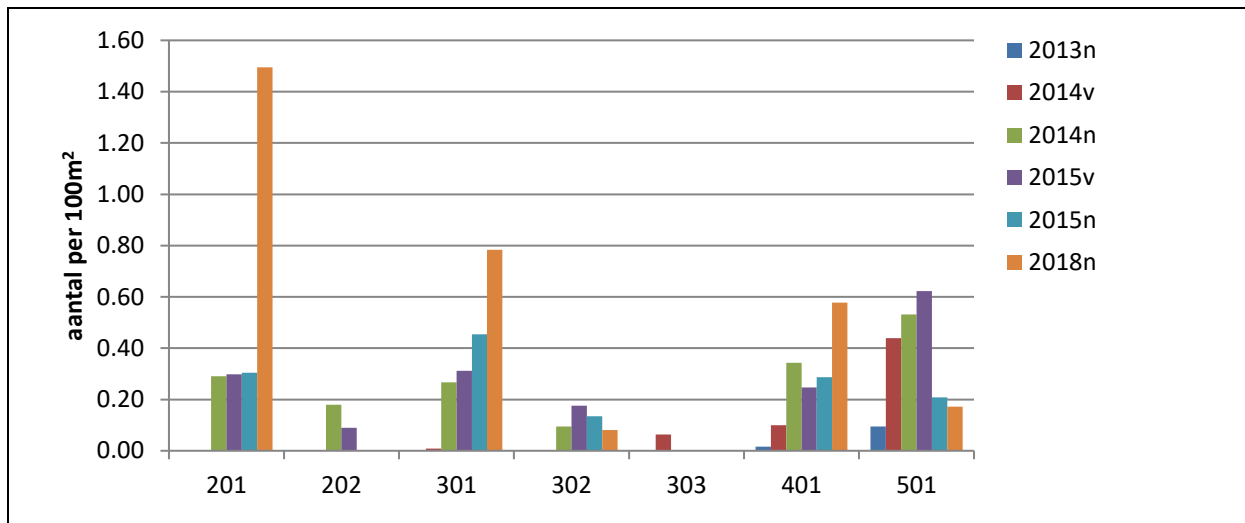
Figuur 4.3. Vestiging individuele planten duinvormende grassen vakken P201 t/m P501, 2013-2018.

Uit Figuur 4.3 blijkt dat in 2013 (zwarte stippen) zich nog weinig planten wisten te vestigen, het meest in vak P501 en enkele in P401, beide aan de zuidkant van de Zandmotor.

In 2014 (donkerblauwe en lichtblauwe stippen: voorjaar/najaar) zijn er duidelijk meer vestigingen, opnieuw het meest in de zuidelijke proefvakken P401 en P501 (NB: in vak P501 ontbreken lichtblauwe stippen omdat dit najaar 2014 niet is opgenomen). In dit jaar is ook meer zeewaarts sprake van vestigingen, zowel in het voorjaar (vakken P303 en P401) als in het najaar (vakken P202 en P302). In voorjaar 2015 (groene stippen) is er vrij veel vestiging in de vakken P301, P302, P401 en P501,. In het najaar (oranje stippen) zijn er vrij veel nieuwe planten in P201 en relatief wat minder in P501; zeewaarts zijn er ook in het najaar geen vestigingen meer. Dit is ongetwijfeld een gevolg van toenemende erosie aan de zeezijde van de Zandmotor; in Figuur 3.1 is te zien dat vakken P202 en P03 inmiddels (2020) in zee zijn verdwenen.

In het najaar van 2018 (rode stippen) is in een groot deel van het gebied sprake van relatief grote aantallen individuele planten, waarvan opvallend veel in vak P201; aan de landzijde van vak P301, P401 en P501 zijn dan nauwelijks meer nieuwe planten gekarteerd, waarschijnlijk als gevolg van het feit dat zich hier dan grotere aaneengesloten duintjes zijn ontstaan waarin geen individuele planten meer worden gekarteerd. Ook elders in 501 zijn (om dezelfde reden) weinig meer gekarteerd.

In Figuur 4.4 is de ontwikkeling in de tijd van de dichtheid van individuele planten (punten) per proefvak voor de drie duinvormende grassen weergegeven in aantallen per 100 m². Voor 201 en 501 zijn ontbrekende waarde geïnterpoleerd, als het gemiddelde van de aantallen in de opname voorafgaand en volgend op de ontbrekende opname.



Figuur 4.4. Ontwikkeling dichtheid individuele duinvormende grassen 2013-2018 per proefvak (aantal per 100 m²)

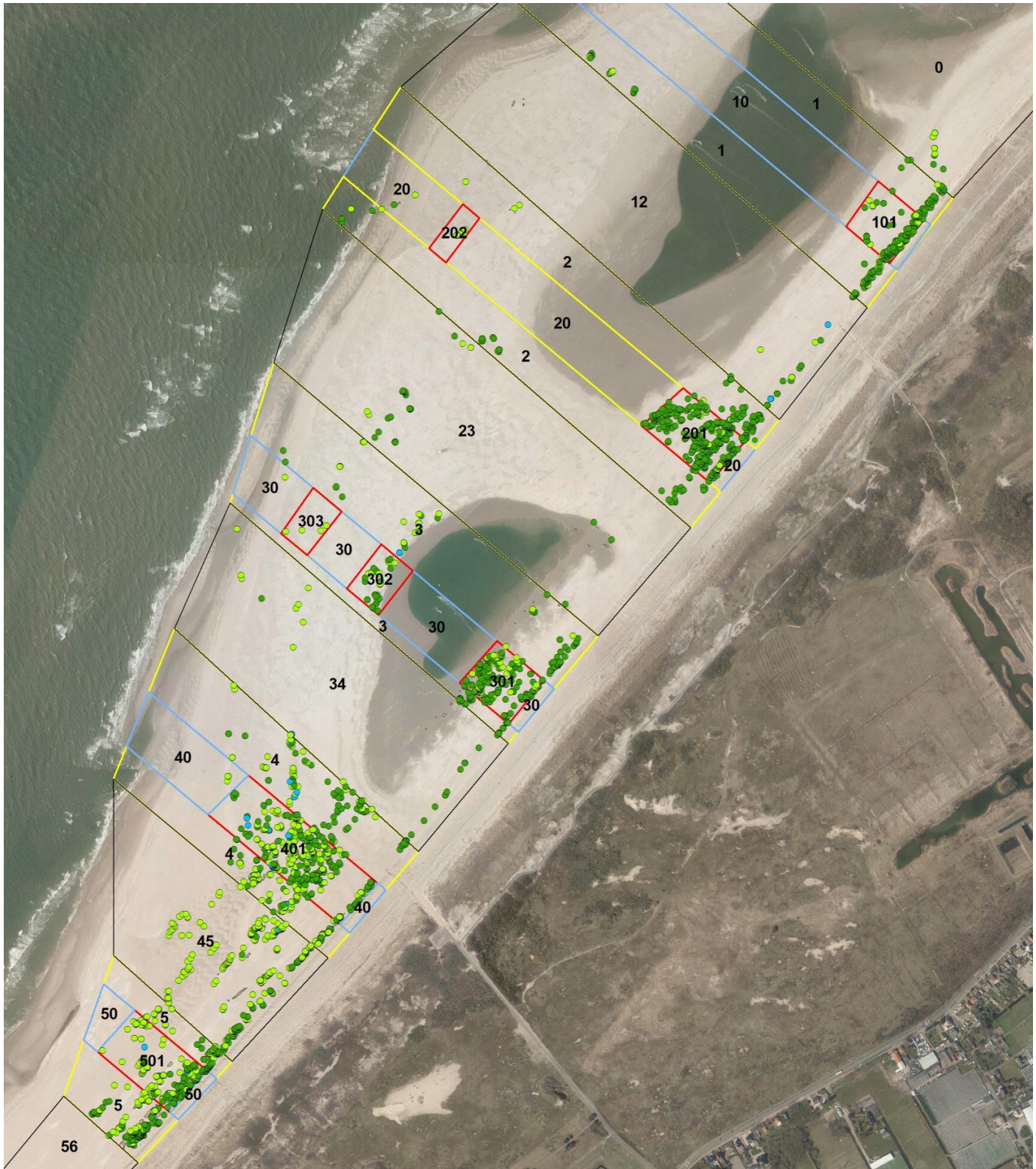
Uit Figuur 4.4 blijkt dat dichtheden in individuele duinvormende grasplanten over de hele onderzoeksperiode absoluut gezien laag zijn: de meeste waarden liggen onder de 0,3/100 m², met enkele uitschieters naar ca. 0,8 en ca. 1,5 planten per 100 m². Bij aanplant van helm (om aangebracht zand vast te leggen) worden vaak dichtheden van 10-15 planten per m² gehanteerd. Bij spontane vestiging liggen de dichtheden dus grofweg een factor 1.000-3.000 lager dan bij helmaanplant.

In de meeste proefgebieden is sprake van een duidelijk toename van de dichtheid in de loop van de onderzoeksperiode. Uitzonderingen zijn de zeewaarts gelegen vakken P202 en P303, die in de laatste jaren door erosie zijn verdwenen, en het eveneens relatief zeewaarts gelegen vak P302. In vak P501 zijn de dichtheden aanvankelijk relatief hoog maar daarna duidelijk afgenomen. Dit is een gevolg van het feit dat een groot deel van dit vak in de latere jaren uit aaneengesloten duintjes bestaat waarbinnen geen individuele planten (voor zover aanwezig) meer zijn gekarteerd. De vestigingsfase is hier, 8 jaar na aanleg, in feite voorbij; in dit terreindeel is een volgend stadium met jonge, min of meer aangesloten duintjes aangebroken.

In vak P201 waren in 2015 nog weinig aaneengesloten duintjes aanwezig waardoor er wel ruimte was voor vestiging van nieuwe planten. De ontwikkeling verloopt hier trager, waarschijnlijk vooral omdat er minder zandaanbod is.

Biestarwegras vs. helm

In Figuur 4.5 zijn alle waarnemingen van individuele biestarwegras- (lichtgroen) en helmplanten (donkergroen) tijdens de 6 onderzoeks rondes (2013n t/m 2015n en 2018n) cumulatief weergegeven. In Figuur 4.5 is het ruimtelijk beeld over de Zandmotor als geheel niet compleet doordat per ronde verschillende vakken zijn onderzocht. Omdat per ronde in alle onderzochte vakken/terreindelen wel zowel biestarwegras als helm is gekarteerd geeft de figuur wel een bruikbaar beeld van de verhouding in de ruimtelijke verspreiding tussen beide soorten.



Figuur 4.5. Vestiging individuele planten biestarwegras en helm, alle waarnemingen 2013-2018

Individuele planten van Biestarwegras hebben zich verhoudingsgewijs het meest gevestigd op de meer zeewaartse stranddelen van de het zuidelijk deel van de Zandmotor (c.q. iets ten zuiden van de oorspronkelijke contour van de Zandmotor). Op landwaarts gelegen delen van de stranden van het midden en noorden van de Zandmotor heeft biestarwegras zich verhoudingsgewijs weinig gevestigd; hier is helm (ook in de vestigingsfase) veruit in de meerderheid. Op de zeewaartse delen van het midden

en noorden van de Zandmotor vestigen beide soorten zich verhoudingsgewijs in lagere aantallen; beide soorten komen hier grofweg ongeveer evenveel voor.

In de proefvakken varieert de verhouding tussen helm en biestarwegras van ca. 50%-50% in 2014v tot 80%-20% in 2015n. In vak P401 heeft zich over de hele periode gezien (iets) meer biestarwegras gevestigd dan helm, terwijl in vak P201 bijna alle vestigingen helm betreft.

4.4 Ontwikkeling van individuele planten

In par. 4.3 is ingegaan op de vraag in welke aantallen en dichtheden individuele duinvormende planten zich tijdens onderzoeksperiode op de Zandmotor hebben gevestigd. De volgende stap is om na te gaan in welke mate deze vestigingen ook daadwerkelijk leiden tot ontwikkeling van embryonale duinen.

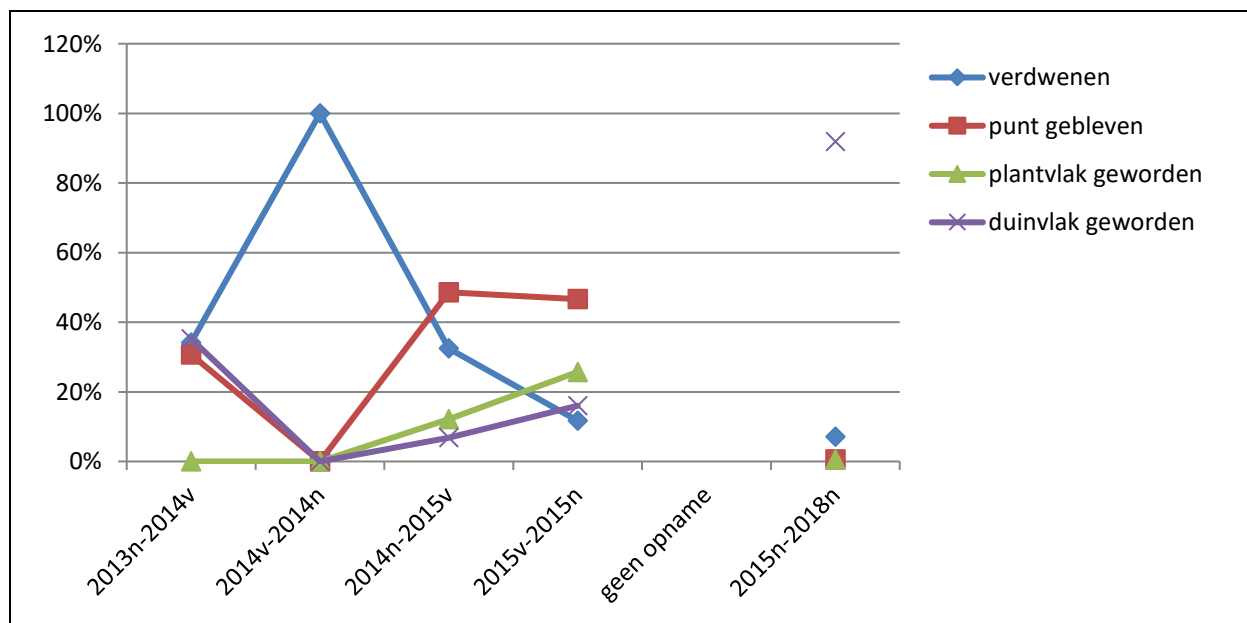
Daartoe is geanalyseerd hoe elke gekarteerde plant zich in de eerstvolgende opname heeft ontwikkeld. Hierbij zijn de volgende mogelijke ontwikkelingen onderscheiden:

- de plant is bij de volgende kartering weer verdwenen;
- de plant is een individuele plant ('punt') gebleven;
- er heeft zich een laag (< 0,15 m) vlak met duinvormende grassen gevormd ('plantvlak');
- er heeft zich een duintje (> 0,15 m) met duinvormende grassen gevormd ('duinvlak').

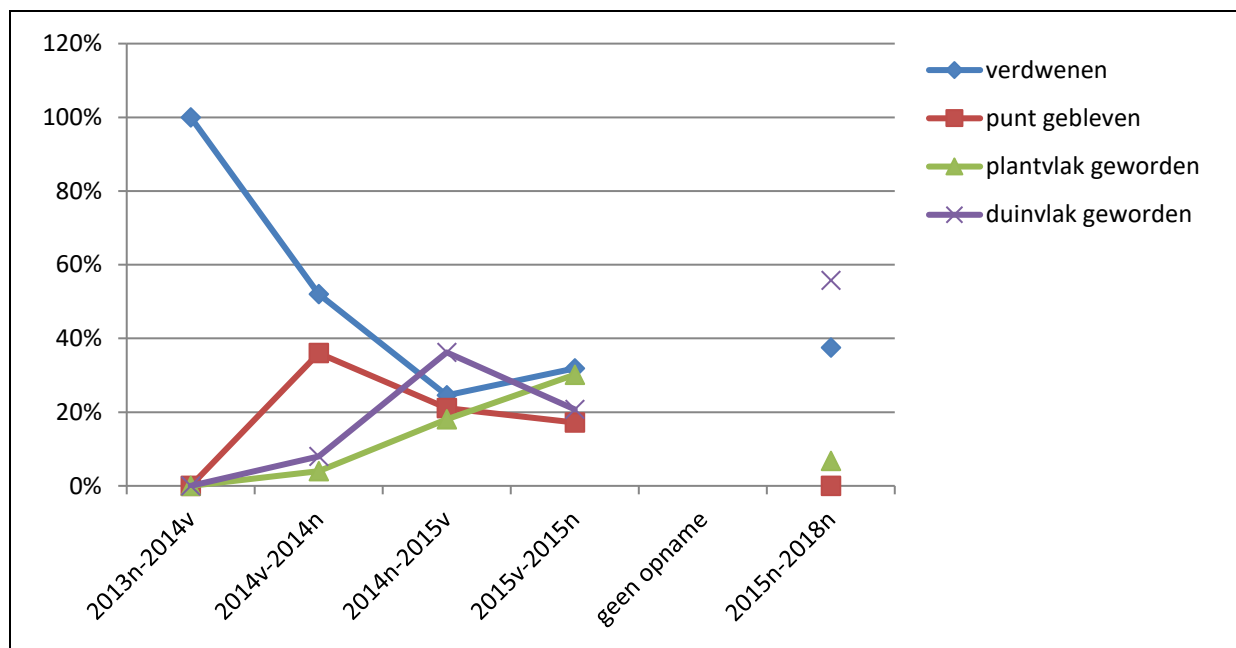
Deze analyse is toegespitst op proefvlakken die regelmatig zijn gekarteerd (201 t/m 501). De tijdstappen bestaan steeds uit een seizoen (van najaar tot voorjaar of van voorjaar tot najaar). De percentages met de vier categorieën van mogelijke ontwikkelingen zijn gemiddeld over de proefvlakken met bruikbare resultaten. Als voor een proefvlak een opname ontbrak zijn de betreffende tijdstappen buiten beschouwing gelaten.

Vanwege het ontbreken van opnamen in de jaren 2016, 2017 en 2018 (voorjaar) is tevens gekeken naar ontwikkelingen in de tijdstap 2015n- 2018n; omdat dit een 6x langere periode is zijn deze waarden niet vergelijkbaar met de andere.

In Figuur 4.6 en Figuur 4.7 zijn voor helm en biestarwegras de ontwikkelingen van individuele planten volgens de vier genoemde categorieën in procenten weergegeven voor de verschillende 'tijdstappen'.



Figuur 4.6. Ontwikkeling individuele helmplanten in volgende opname als percentage per categorie; periode 2013n t/m 2015n en 2015n-2018n



Figuur 4.7. Ontwikkeling individuele biestarwegrasplanten in volgende opname als percentage per categorie; periode 2013n t/m 2015n en 2015n-2018n

Uit de figuren blijkt dat voor beide soorten het percentage planten dat bij de volgende opname verdwenen was in de eerste jaren relatief hoog lag. Overigens zijn de waarden in deze eerste jaren niet erg betrouwbaar omdat het slechts kleine aantallen planten betreft, maar het sluit aan bij het beeld dat de vestiging van duinvormende planten in de eerste jaren traag en ‘met vallen en opstaan’ verliep.

In de periode 2014n t/m 2015n is het percentage planten dat verdwijnt voor beide soorten gedaald tot ca. 30% of minder. Van de biestarwegrasplanten ontwikkelt zich in deze periode ongeveer 50% tot een plant- of duinvlak, voor helm is dit 20 tot ruim 40%. Van de helmplanten handhaaft ongeveer de helft zich als individuele plant (‘punt’); bij biestarwegras is dit ca. 20%. Dit beeld is mogelijk enigszins vertekend doordat individuele helmplanten bij een volgende opname gemakkelijker kunnen worden teruggevonden dan biestarwegras.

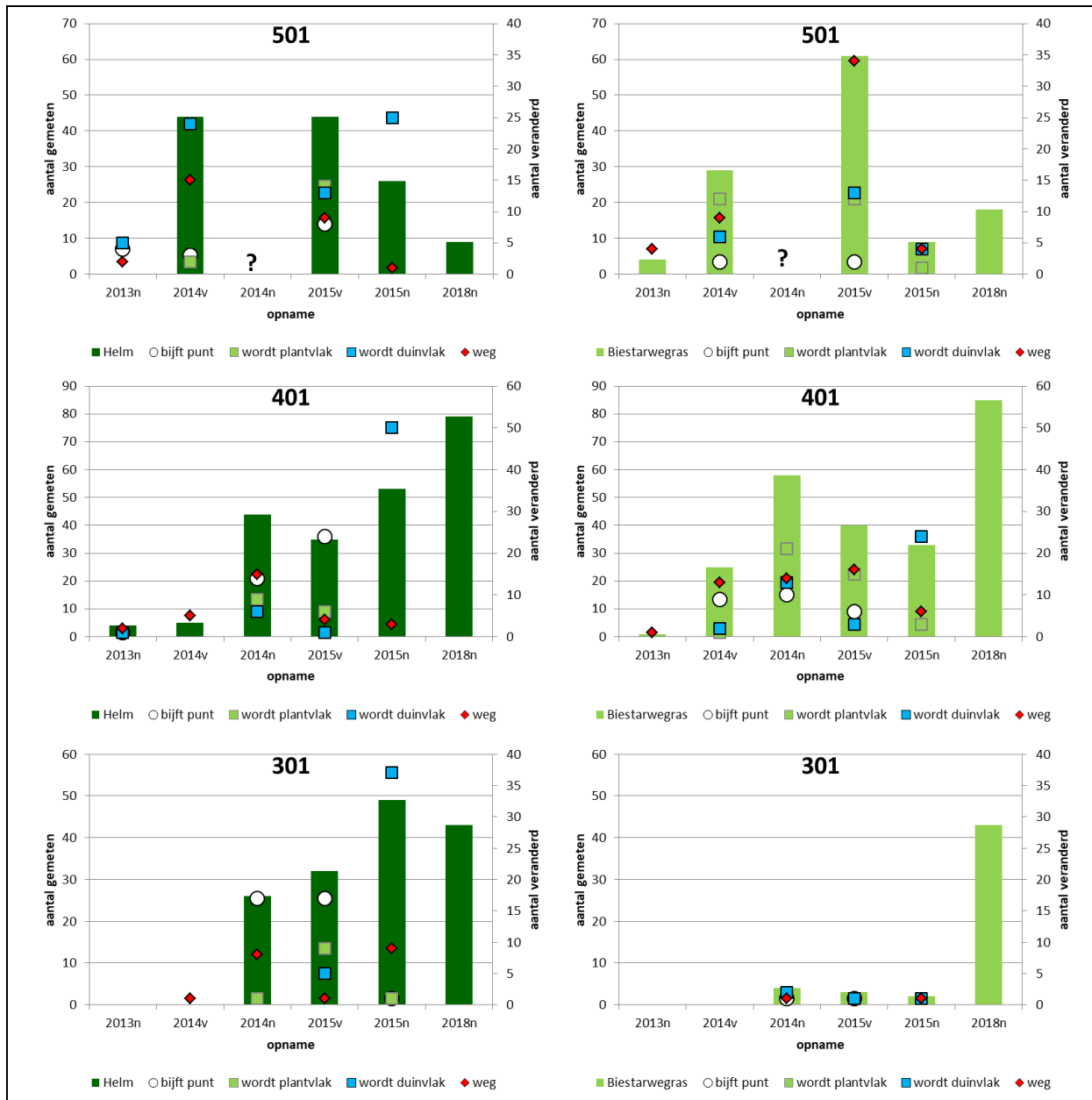
In ieder geval is duidelijk dat de trage ontwikkeling van embryonale duinen in de eerste jaren na aanleg zowel is veroorzaakt doordat zich weinig planten weten te vestigen als doordat de overleving van die planten laag is.

Vanaf eind 2014, begin 2015 ligt de overleving met ca. 70% duidelijk hoger en draagt dit bij aan de versnelde ontwikkeling van jonge duintjes. Er lijkt geen sprake van een hoge ‘turnover’, waarbij groei gepaard gaat met relatief grote sterfte onder jonge planten die wordt gecompenseerd door een nog grotere aanwas van nieuwe kiemplanten.

Voor beide soorten geldt bovendien dat in de drie jaar tussen de laatste opname in 2015 (2015n) en de najaarsopname van 2018 (2018n) een groot deel van de individuele planten blijkt te zijn veranderd in een duintje (duinvlak). Voor helm is dit zelfs ca. 90%, voor biestarwegras ca. 55%. Bijna 40% van de biestarwegrasplanten uit 2015n blijkt drie jaar later weer verdwenen, bij helm is dit slechts 7%.

Ontwikkeling van individuele planten per proefvak

In Figuur 4.8 zijn de ‘lotgevallen’ van individuele planten per vak per soort weergegeven voor de drie proefvakken met de meeste metingen (en de meeste veranderingen): P301, P401 en P501.

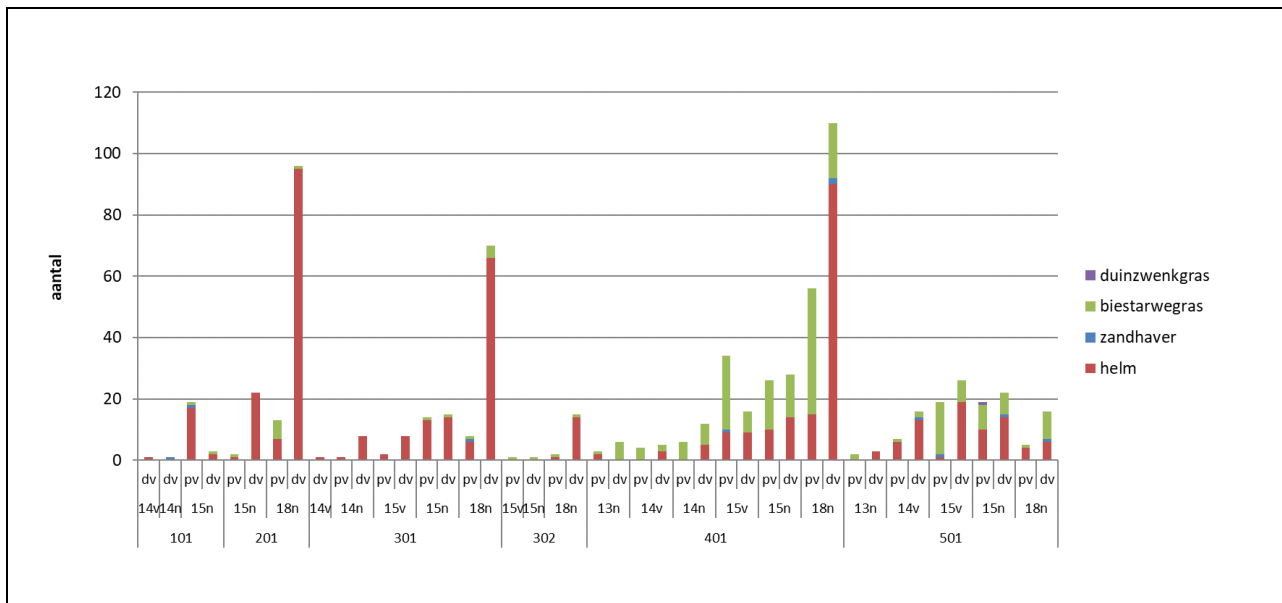


Figuur 4.8. Ontwikkeling van individuele planten Helm en Biestarwegras per proefvlak.

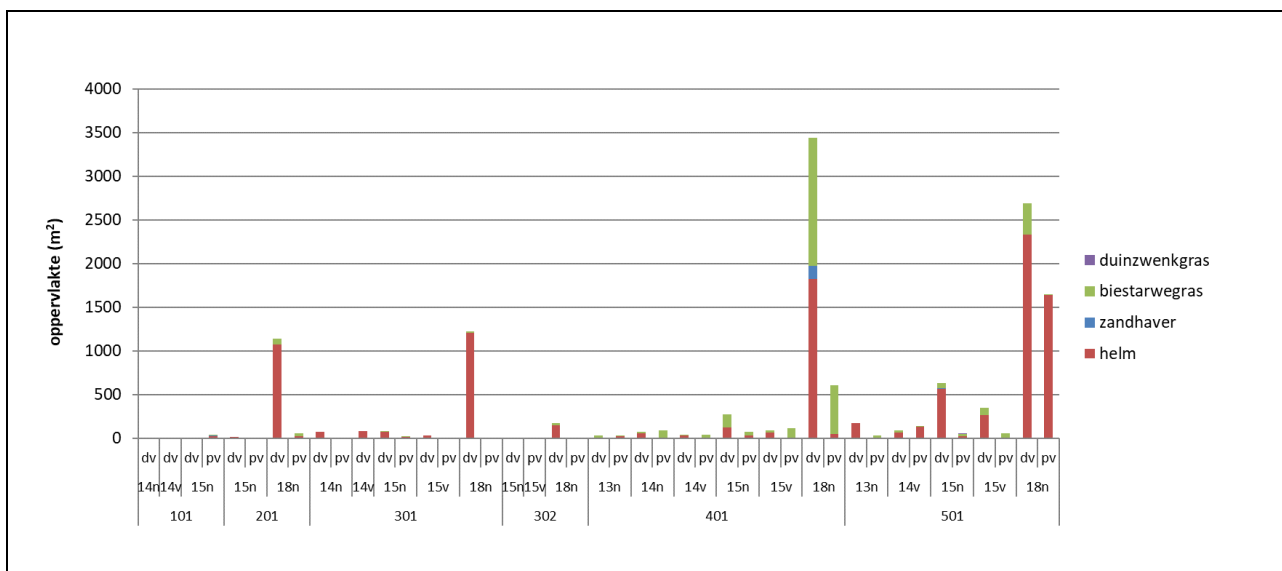
4.5 Duinvorming: aantal, oppervlak en ontwikkelingsnelheid

Duinvorming is in het onderzoek gemeten door de contouren van duintjes in te meten met DGPS. Hierbij is onderscheid gemaakt in 'plantvlakken' - strandgedeelten met een aaneengesloten begroeiing van duinvormende planten (grassen), maar lager van 0,15 m - en 'duinvlakken' - eveneens begroeid met duinvormende planten en hoger dan 0,15 m (zie par. 3.1). Met deze data zijn aantallen plantvlakken/duintjes, oppervlakte en veranderingen hierin in de tijd geanalyseerd.

In Figuur 4.9 en Figuur 4.10 zijn de ontwikkeling van aantal resp. oppervlak van duintjes per proefvlak weergegeven, uitgesplitst naar plant- en duinvlak (aparte staafjes per opname) en dominante plantensoort (kleuren per staafje).



Figuur 4.9. Aantal duintjes per proefvlak per opname 2013-2018, uitgesplitst naar plantvlakken (pv) en duinvlakken (dv) en dominante plantensoort (kleur).



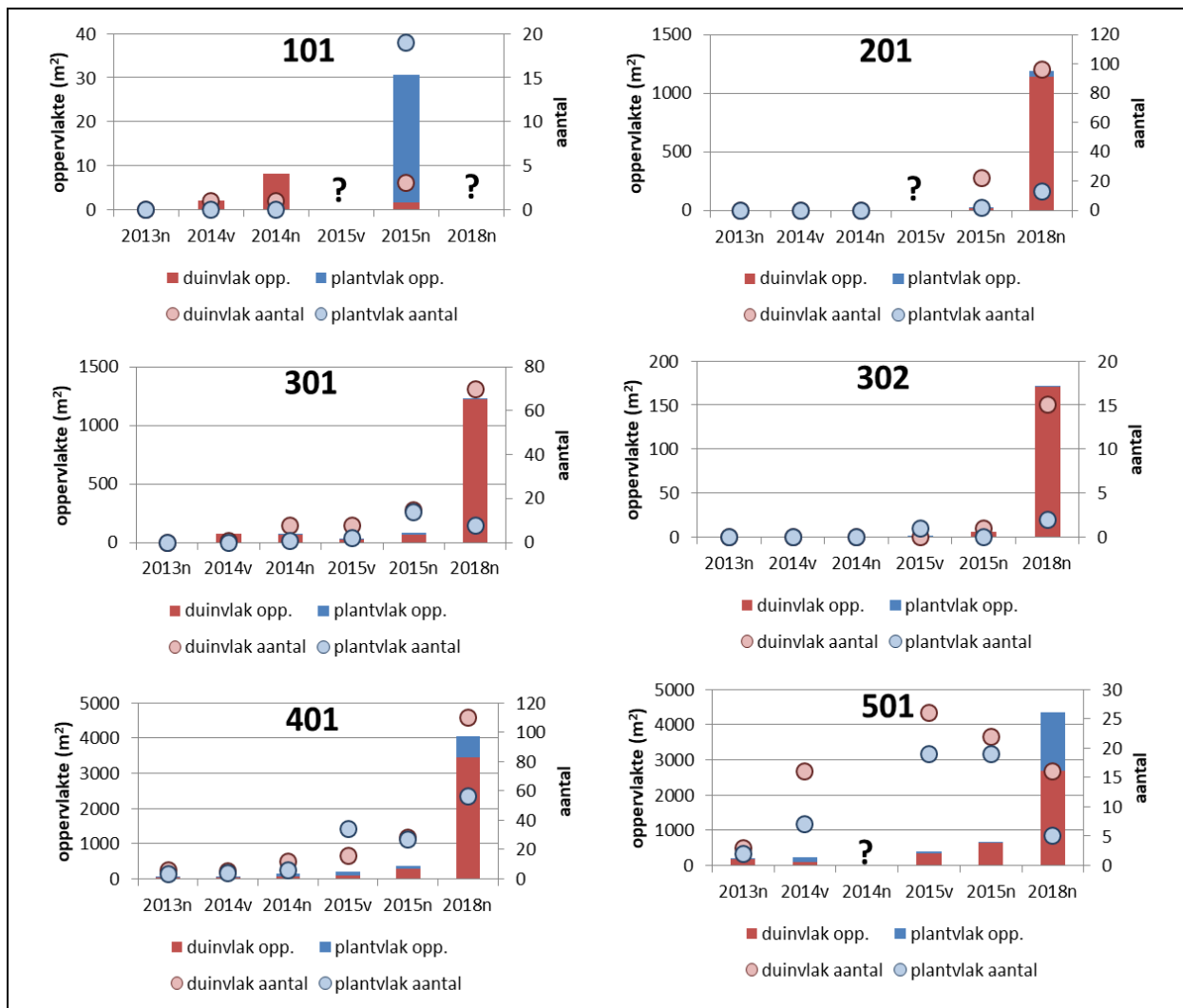
Figuur 4.10. Oppervlakte duintjes per proefvlak per opname 2013-2018, uitgesplitst naar plantvlakken (pv) en duinvlakken (dv) en dominante plantensoort (kleur).

Bovenstaande figuren laten zien dat zowel de aantallen als het oppervlak van de jonge duintjes tijdens de onderzoeksperiode in alle proefvlakken sterk zijn toegenomen, het sterkst aan de zuidzijde van het onderzoeksgebied, in proefvlak P401 en P501. Ook is te zien dat helm en biestarwegras verreweg de belangrijkste soorten zijn. Helm komt het meest voor; alleen in vak P401 is het aandeel biestarwegras groot, zowel in aantal als oppervlak, maar afnemend in de laatste opname (2018n).

In onderstaande paragrafen wordt verder ingegaan op ontwikkeling van de aantallen resp. het oppervlak van de embryonale duintjes. In par. 4.7 wordt verder ingegaan op de rol van de verschillende plantensoorten.

Aantal duintjes (plant- + duinvlak) 2013-2018

Figuur 4.11 geeft de ontwikkeling van het aantal 'plantvlakken' en 'duinvlakken' per proefvak weer.



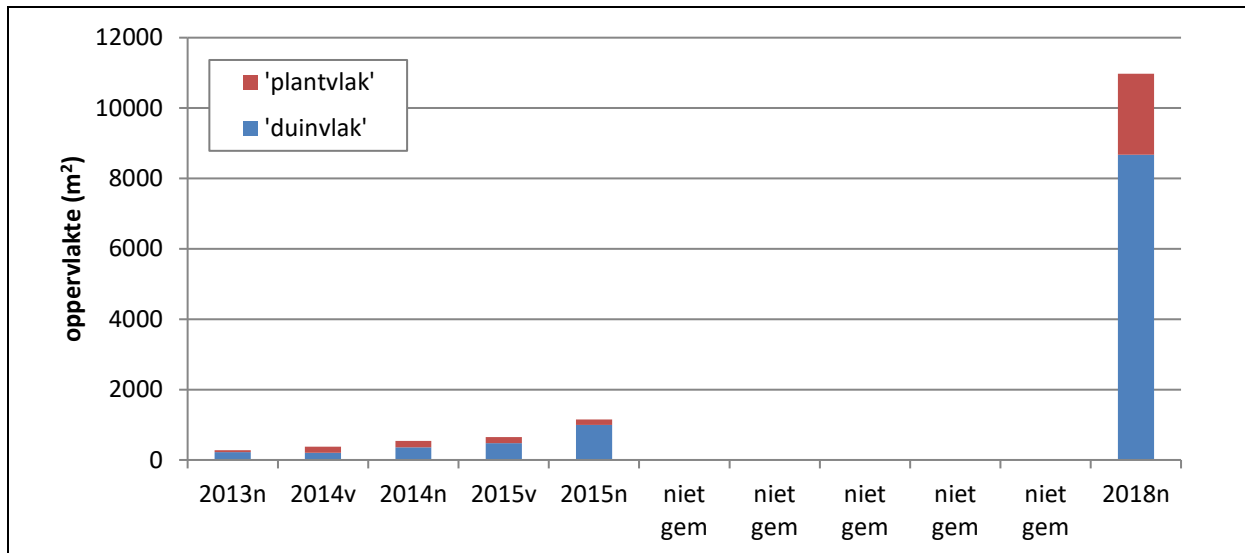
Figuur 4.11. Oppervlak en aantal van duin- en plantvlakken per proefvak.

Figuur 4.11 laat zien dat in de meeste proefvakken de aantallen en oppervlakken van duintjes (plant- en duinvlakken) gedurende de hele onderzoeksperiode (sterk) zijn toegenomen. Er lijkt nog nauwelijks sprake van 'verzadiging', die verwacht zou kunnen worden doordat het oppervlak van eerder gevestigde duintjes is toegenomen en er daardoor minder is voor vestiging van nieuwe duintjes. Alleen in vak P501 is sprake van een afname van de aantallen die waarschijnlijk duidt op 'verzadiging'. Dit is inderdaad een vak waar de duinvorming het snelst op gang kwam zodat in 2018 al een vrij groot deel van het beschikbare areaal bedekt was met aaneengesloten duintjes.

Figuur 4.11 laat ook zien dat het aantal duinvlakken verhoudingsgewijs meer is toegenomen dan het aantal plantvlakken. Dit is bij voortgaande duinvorming een voor de hand liggende ontwikkeling. Alleen in vak P101, waar de duinontwikkeling traag op gang gekomen is en ook in 2015n aantallen en oppervlak nog gering waren, kwamen plantvlakken (lager dan 0,15m) in 2015n verhoudingsgewijs nog het meest voor.

Totaal oppervlak duintjes (plant- + duinvlak) 2013-2018

In Figuur 4.12 is de ontwikkeling van het totaal oppervlak duintjes in de proefvlakken P201 t/m P501 in de onderzoeksperiode weergegeven. Plant- en duinvlakken zijn gesommeerd en er is geen onderscheid gemaakt in dominante soorten. Ten behoeve van deze figuur zijn enkele ontbrekende waarden voor vakken P201 en P501 door interpolatie aangevuld. Vak P101 is hier buiten beschouwing gelaten omdat metingen in dit vak drie keer zijn uitgevallen; overigens zijn de arealen in dit proefvak gering in vergelijking met de andere proefvakken.

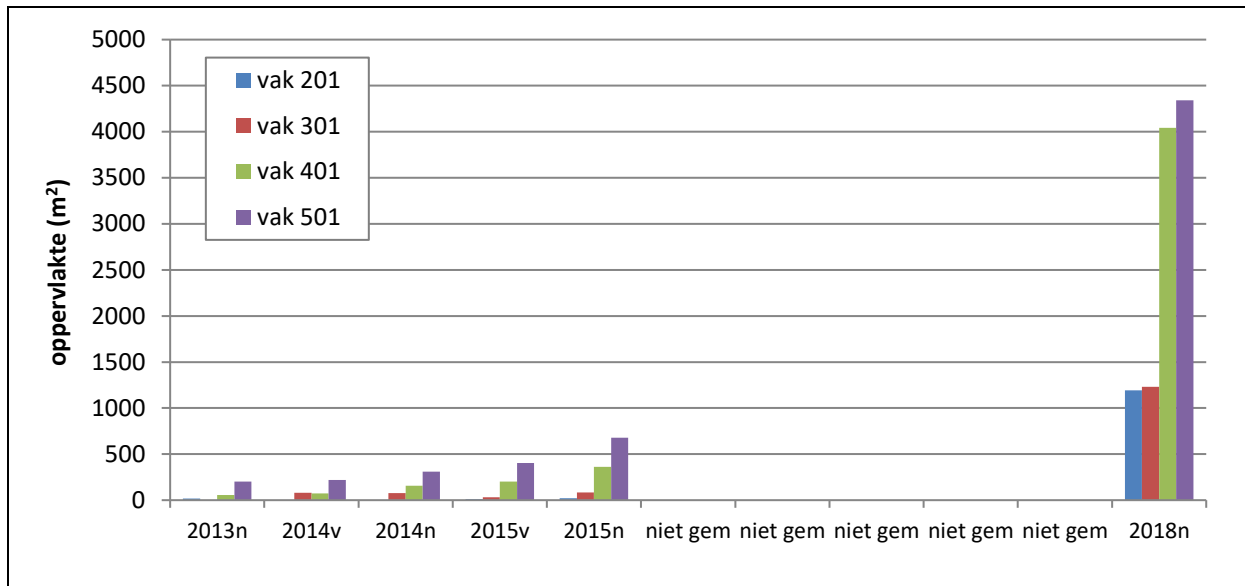


Figuur 4.12. Oppervlak duintjes (plantvlak + duinvlak) in vakken P201 t/m P501 gesommeerd 2013n t/m 2018n (in m²).

Uit Figuur 4.12 blijkt dat het oppervlak duintjes tijdens de eerste opnamen gering was, vervolgens toenam in de beide opnamen in 2015 en - na drie jaar zonder metingen - sterk toegenomen bleek in het najaar van 2018. In totaal was in het najaar van 2018 in de proefvakken ca. 11.000 m² duintjes aanwezig. Hiervan bestond ca. 8.700 m² (79%) uit 'duinvlakken' en 2.300 m² (21%) uit 'plantvlakken'. De proefvakken zijn zo gekozen dat ze loodrecht op de kust een vrijwel compleet geven van proefstroken van ca. 100 m breed (zie Figuur 3.1: vakken 20, 30, 40 en 50). Dit betekent dat de genoemde arealen kustlangs corresponderen met een kustlengte van in totaal 400 m. De ontwikkeling van nieuwe duintjes bedroeg in de periode 2011-2018 in de vier proefvakken dus ca. 27,5 m² per m kustlijn. Indien wordt aangenomen dat de 5 oorspronkelijke proefstroken (dus inclusief 10/101) samen een representatief beeld geven van de duinontwikkeling op de Zandmotor en dat deze in proefvak 101 nihil was komt dit uit 22 m² duinontwikkeling per m kustlijn.

In Figuur 4.13 is de oppervlakteontwikkeling (uit Figuur 4.12) uitgesplitst naar de vakken P201, P301, P401 en P501. In deze figuur zijn naast vak P101 ook vakken P202, P302 en P303 buiten beschouwing gelaten; de oppervlakken duintjes in deze vakken zijn - voor zover aanwezig - (zeer) klein ten opzichte van de wel afgebeelde vakken.

Uit Figuur 4.13 blijkt dat de oppervlakteontwikkeling per vak in grote lijnen vergelijkbaar is met die van de gesommeerde arealen in Figuur 4.12. De ontwikkelingen gaan het snelst in vak P501 en P401. In 2018n is er een duidelijke 'inhaalslag' van P401 ten opzichte van P501 en lijken ook P201 en P301 relatief wat meer toe te nemen ten opzichte van de eerste jaren.



Figuur 4.13. Oppervlak duintjes (plantvlak+duinvlak) in vakken P201, P301, P401 en P501 2013n t/m 2018n (in m²)

Groeisnelheid duinvorming

De jaarlijkse groeisnelheid van het areaal duintjes (plant- + duinvlak) is bepaald door per najaarsopname het oppervlak te delen door dat van de najaarsopname van het jaar daarvoor. Omdat in de jaren 2016 en 2017 geen metingen zijn gedaan is de jaarlijkse groeisnelheid de periode 2015n - 2018n (3 jaar) bepaald door van de groeifactor over deze periode de 3^{de} machtswortel te berekenen. In Tabel 4.1 zijn de resulterende jaarlijks groeifactoren weergegeven.

Tabel 4.1. Jaarlijkse groeifactor embryonale duinen (duinvlak+plantvlak) per vak en totaal

	2013n-2014n	2014n-2015n	2015n-2018n per jaar ²
vak 201	nvt ¹	nvt ¹	3,75
vak 301	nvt ¹	1,07	2,44
vak 401	2,71	2,32	2,24
vak 501	1,55	2,18	1,86
alle vakken ³	1,98	2,11	2,12

¹ oppervlak in een van de jaren 0 m²: groeifactor niet te berekenen

² gemiddelde per jaar over periode van 3 jaar

³ exclusief vak P101

De berekende groei varieert van 1,07 tot 3,75 in vak P301 over het tweede meetjaar, resp. vak P201 in periode 2015n-2018n. Over de som van de vakken P201 t/m P501 is de groei met een factor 2,0 à 2,1 verrassend constant en in feite jaarlijks dus een verdubbeling.

Dit betekent dat de oppervlakteontwikkeling van duintjes ('plantvlak' en 'duinvlak' samen) op de Zandmotor als geheel, zoals weergegeven in Figuur 4.13 tijdens in de periode 2013 t/m 2018 vrijwel exponentieel verliep, met een groeifactor van 2,0 à 2,1. Onderliggende factoren voor de duinontwikkeling zijn waarschijnlijk het aantal gevestigde planten dat door ondergrondse uitlopers voor verdere groei zorgt en de luwte die gevestigde duintjes bieden voor verdere vestiging en uitgroei. Toenemende productie van zaad, dat in klassieke populatie-dynamische modellen een belangrijke

factor is, is vermoedelijk van minder groot belang omdat zowel helm als biestarwegras in de eerste jaren relatief weinig tot bloei leek te komen. Omdat dit aspect in de metingen niet is meegenomen kunnen hierover echter geen harde uitspraken worden gedaan.

Exponentiële groei is uiteraard alleen mogelijk als er nog geen sprake is van beperkende factoren zoals voedsel of - in dit geval - ruimte. In Tabel 4.1 is te zien dat de groeifactoren per vak in de periode 2015n-2018n duidelijke verschillen vertoont. In vak P401 en P501 is de groeifactor gedaald, logischerwijs doordat de beschikbare ruimte hier inmiddels voor een substantieel deel is bezet door jonge duintjes waardoor er relatief weinig ruimte meer beschikbaar is voor verdere groei in oppervlakte. In vak P201 en vak P301 kwam de ontwikkeling van duintjes trager op gang en was er in de laatste periode nog relatief veel ruimte voor verder groei, in vak P201 zelfs met een groeifactor ruim boven het gemiddelde.

4.6 Duinvorming: ruimtelijke patronen

In Figuur 4.9, Figuur 4.10, Figuur 4.11 en Figuur 4.13 zijn de verschillen in ontwikkeling tussen de proefvlakken goed zichtbaar. Er is een duidelijke gradiënt van noordoost naar zuidwest van (sterk) toenemende schaal en snelheid van duinvorming.

Waarschijnlijk spelen hiermee meerdere factoren een rol die op basis van de uitgevoerde metingen niet goed van elkaar te scheiden zijn:

- De Lagune en het Duinmeer functioneren als barrière c.q. ‘zandvang’ voor zandtransporten van de zeezijde en het midden van de Zandmotor naar de zone direct voor de duinvoet (waar per raai de meeste aangroei plaats vindt); dit geldt vooral het transport richting de vakken P101, P201 en P301. Dit effect is ook goed te zien aan de hand van kaarten met hoogteveranderingen (Arens, 2021b) waarin aan de lijzijde van de ruggen zeewaarts van de Lagune en het Duinmeer vrij veel zand sedimenteert; de duinvorming in proefvak 302 is hiervan ook een afspiegeling. Ook (b)lijkt vrij veel zand te bezinken in het Duinmeer en de Lagune zelf (Huisman et al., 2021).
- Direct ten zuidwesten van de initiële contour van de Zandmotor was al kort na aanleg sprake van aangroei van het strand van zand dat van de breedste delen van de Zandmotor naar die hier aanwezige baai/bocht werd getransporteerd. Hier ontstond een breed strand met goed gesorteerd zand en een geleidelijk olopend strandprofiel dat daardoor een gunstige uitgangssituatie vormde voor duinvorming op het hoge strand landwaarts hiervan, in de proefvakken P401 en P501.
- De aanwezigheid van zich (mede of vooral hierdoor) relatief snel ontwikkelende duinen in het zuidelijk deel vormde vanaf 2016 tevens een barrière/zandvang voor noordoostgericht eolisch zandtransport langs de duinvoet. Hierdoor kan ook zand dat vanuit zuidwestelijke richtingen wordt aangevoerd de noordoostelijke delen van de Zandmotor minder goed bereiken. Voor 2016 waren de dichtheden nog dermate laag dat dit geen effect op het zandtransport gehad zal hebben.

Binnen de onderzoeksraaien loodrecht op de kust zijn in de meeste gevallen ook enkele patronen herkenbaar. In Figuur 4.14 zijn de embryonale duinen (plant- + duinvlakken) in 2018n in de proefvlakken P201, P301, P401 en P501 weergegeven.

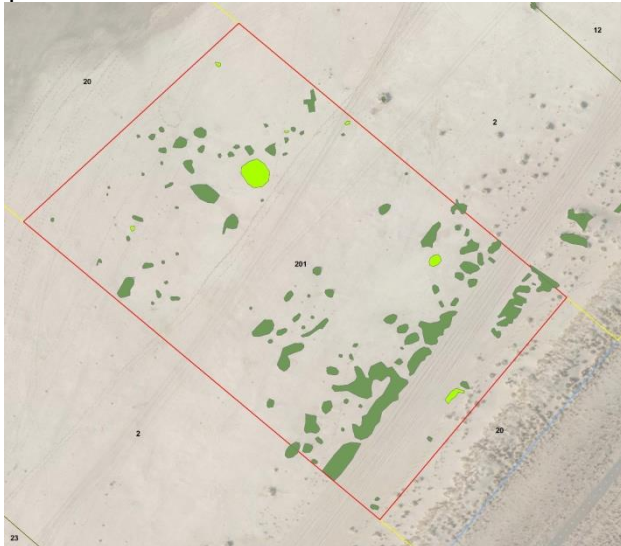
In Figuur 4.14 zijn in de verschillende vakken loodrecht op de kust de volgende zones herkenbaar:

- Een min of meer aaneengesloten vlak met duintjes direct voor de duinvoet (kustversterking 2010); alleen in P201 ontbreekt deze vrijwel geheel; in P501 is deze het breedst.
- Een strook van 20-50 m breed zonder duintjes; deze strook is het breedst in P401.
- Een zone met meer of minder aaneengesloten duintjes direct zeewaarts van deze onbegroeide strook; deze zone ontbreekt vrijwel grotendeels in P301; in P401 bestaat deze uit drie grote

aaneengesloten vlakken, echter alleen in het midden en noordoostelijk deel van het proefvlak.

- Een zone verder zeewaarts met wat grotere, enigszins verspreid liggende duintjes. Deze zone is het duidelijkst aanwezig in P301 en P401.

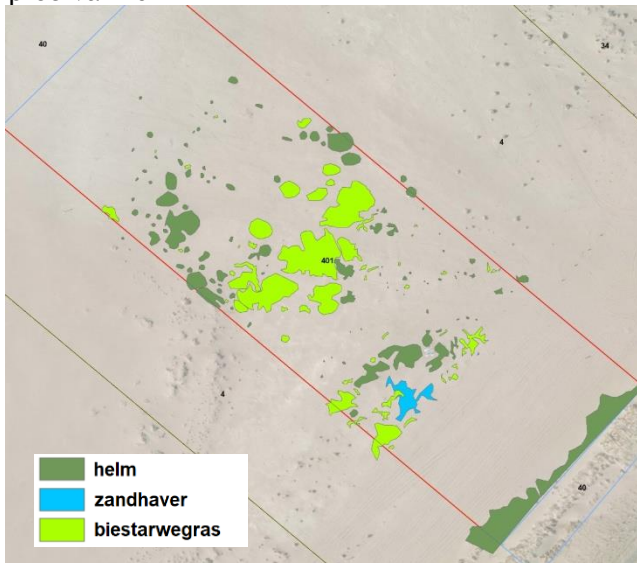
proefvak 201



proefvak 301



proefvak 401



proefvak 501



Figuur 4.14. Embryonale duinen (plant- + duinvlak) in proefvakken P201 t/m P501 in opname 2018n

Deze zones/patronen zijn waarschijnlijk veroorzaakt door de volgende processen:

- Duinvorming voor de duinvoet: zand dat wordt aangevoerd door landwaartse wind wordt voor de duinvoet afgezet doordat de wind hier tegen het buitentalud van de buitenste duinenrij weerstand ondervindt en daardoor snelheid en transporterend vermogen verliest. Dit is een bekend proces dat ook over vrijwel de hele lengte van de Zandmotor voor de voet van de buitenste duinenrij tot duinvorming leidt.
- Berijden van het strand en motorvoertuigen. De zone met duintjes voor de duinvoet wordt meer zeewaarts 'afgesneden' door een strook die vrij intensief wordt bereden waardoor hier geen duinvorming mogelijk is. Deze strook is over vrijwel de hele lengte aanwezig. Dit proces

is eerder geïdentificeerd (Vertegaal et al., 2016) doordat rijsporen op luchtfoto's goed herkenbaar bleken. De strook is in de loop van de jaren strakker begrensd geraakt doordat langs de minder druk bereden randen duintjes ontstonden die vervolgens verder berijden belemmerden. Zonder verkeer op dit deel van de Zandmotor zouden hier vrijwel zeker grotere aangesloten duintjes zijn ontstaan.

- De derde zone, met duintjes zeewaarts van de kaal bereden strook, sluit geomorfologisch gezien aan bij de zone voor de duinvoet en is waarschijnlijk op vergelijkbare wijze ontstaan. Zonder de rijstrook zou dit deel uitmaken van één, veel bredere zone met vrijwel aaneengesloten duintjes voor de duinvoet. In proefvlak P401 bestaat deze zone uit enkele verschillende stroken, van elkaar gescheiden door parallel gelegen rijstroken.
- De factoren die de aanwezigheid en locatie van de vierde, meest zeewaartse zones bepalen zijn minder evident. Mogelijk zijn deze duintjes ontstaan door een combinatie van landwaarts zandtransport in combinatie met een hoogtegradiënt waardoor de windsnelheid wordt afgeremd. De duintjes aan de zeezijde van P301 liggen op een helling die vanuit de oostoever van het Duinmeer oploopt in het (vroegere) strandprofiel; zand wordt hier aangevoerd langs de brede, vlakke, inmiddels met zand opgevulde zuidoever van het Duinmeer. De duintjes aan de zeezijde van P401 liggen in een zone waar het vrij lage aangroestrand overgaat in de hogere rug van de zuidrand van de Zandmotor zoals deze initieel is aangelegd; het lage en vrij brede aangroestrand fungeert hier mogelijk als zandbron.

4.7 Duinvorming: de rol van plantensoorten en successie

Uit par. 4.3 (Figuur 4.1 en Figuur 4.2) is al gebleken dat helm en biestarwegras in de vestigingsfase de belangrijkste soorten zijn. Zandhaver speelt een marginale rol. Over het geheel gezien is helm in deze fase de belangrijkste soort, gevolgd door biestarwegras. Wel is sprake van variatie in de tijd en in de ruimte.

In Figuur 4.10 hierboven was de oppervlakteontwikkeling van embryonale duintjes per proefvlak weergegeven (uitgesplitst in plant- en duinvlakken) met het aandeel daarin per dominante plantensoort. Uit Figuur 4.10 komt naar voren dat - naast de sterke toename van het totaal areaal duintjes - helm ook in de fase van duinontwikkeling de meest voorkomende dominante soort is, gevolgd door biestarwegras. Andere soorten komen alleen op zeer kleine schaal als dominante soort voor. Alleen in proefgebied 401 domineert helm niet.

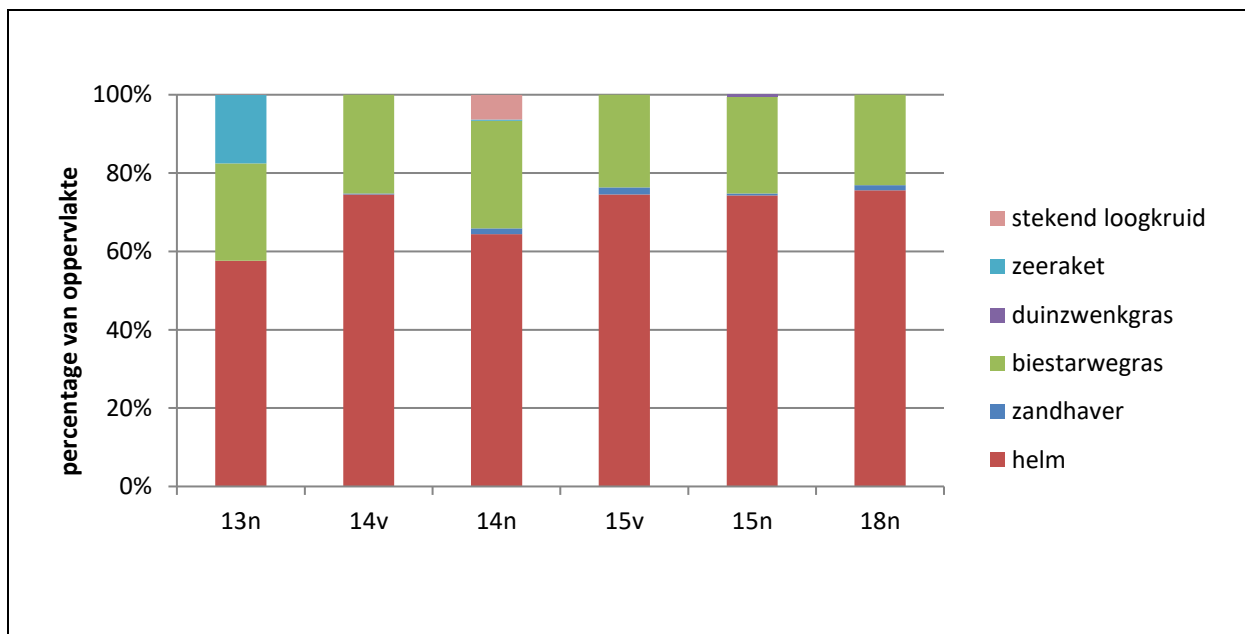


Figuur 4.15. Ontwikkeling oppervlakteaandeel (percentage) dominante plantensoorten per proefvlak 2013-2018

In Figuur 4.15 zijn per proefvak de oppervlakteaandelen van de dominante plantensoorten weergegeven; plant- en duinvlakken zijn gesommeerd.

Hieruit blijkt dat in de laatste opname (2018n) het oppervlaktaandeel van helm in de meeste vakken is gestegen tot boven de 90%. In vak P302 is dit 87%. In 2015 was het aandeel helm hier nog 0%, biestarwegras 100%. Vak P401 vormt een opvallende uitzondering; hier is het percentage biestarwegras gedomineerde duintjes iets groter dan waar helm dominant is (50% om 46%). Het oppervlaktaandeel van biestarwegras is hier tijdens de onderzoeksperiode wel iets afgenomen maar in vergelijking met de andere proefvakken steeds opvallend hoog gebleven.

In Figuur 4.16 is de ontwikkeling van het oppervlaktaandeel van de dominante plantensoorten voor alle proefvakken samen weergegeven; plant- en duinvlakken zijn gesommeerd.



Figuur 4.16. Ontwikkeling oppervlaktaandeel (percentage) dominante plantensoorten alle proefvakken 2013-2018

Uit Figuur 4.16 blijkt dat het percentage door helm gedomineerde duintjes in de laatste opname (2018n) voor alle proefvakken samen ruim 75% bedraagt; het aandeel biestarwegras gedomineerde duintjes is in dat jaar ca. 23%. Ook is te zien dat het oppervlaktaandeel van helm gedomineerde duintjes tijdens de onderzoeksperiode wel iets is gestegen (van 58% resp. 74,5% in 2013n resp. 2014v tot 75,5% in 2018n) maar zeker de laatste onderzoeksjaren met 74-75% redelijk constant is (dit ondanks de forse toename van het totale areaal).

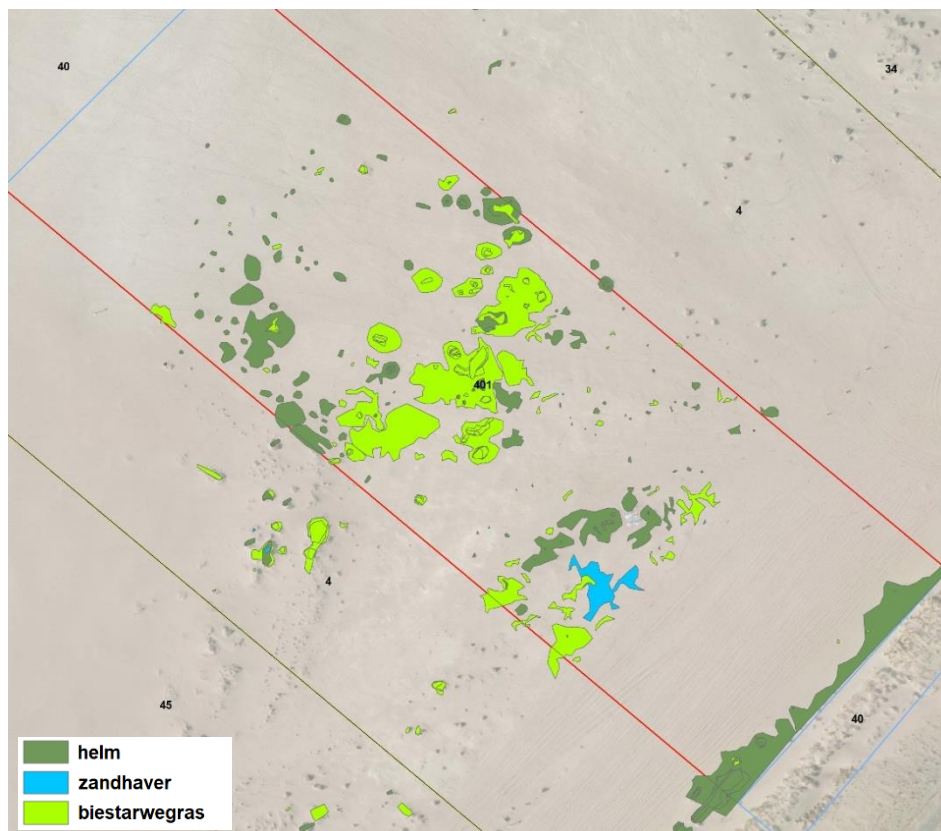
Als de ontwikkeling van duintjes in relatie tot de dominante duinvormende plantensoorten wordt vergeleken met de vestigingsfase (zie par. 4.3) blijkt dat het verhouding tussen helm en biestarwegras ten opzichte van de fase van vestiging van individuele planten verschoven is richting helmdominantie. Over de hele periode is de verhouding tussen aantallen individuele planten ca. 65% helm vs. 34% biestarwegras; in de eerste jaren (2013n, 2014v en 2014n) was dit zelfs 55% helm vs. 43% biestarwegras. Tegelijk is duidelijk dat ondanks deze verschuiving de door biestarwegras gedomineerde duintjes zich voor een groot deel weten te handhaven, en bij de laatste opname in absolute zin sterk in oppervlak zijn toegenomen.

Successie

Uit par. 4.4 is gebleken dat er vooral in de eerste jaren geen grote verschillen tussen helm en biestarwegras zijn in de overleving c.q. ontwikkeling van individuele planten. Alleen in de periode 2015n-2018n is het percentage helmplanten dat zich ontwikkelt tot een duintje veel groter dan bij biestarwegras en verdwijnen verhoudingsgewijs meer biestarwegrasplanten. Deze verschillen lijken echter geen grote invloed te hebben op de verhouding in de arealen door helm resp. biestarwegras gedomineerde duintjes aangezien deze juist in deze laatste jaren weinig meer is veranderd.

Een andere verklaring voor de veranderde verhouding zou gelegen kunnen zijn in successie: het proces waarbij pionierplanten (zoals biestarwegras) na de vestigingsfase geleidelijk plaats maken voor soorten van een volgende, meer stabiel stadium, waarbij veranderende milieuomstandigheden en concurrentiekracht een rol spelen. Helm zou daarbij biestarwegras geleidelijk verdringen en na een aantal jaren de dominantie overnemen. Een dergelijke vegetatieontwikkeling/successie is voor het ontstaan van embryonale duinen bij natuurlijke kustaan groei beschreven door Van Dieren (1934), Westhoff (1970) en Schaminée e.a. (1998).

Er zijn geen gedetailleerde analyses uitgevoerd om na te gaan in welke mate sprake is van verdringing/vervanging van biestarwegras door helm. Uit de ruimtelijke ontwikkeling van duintjes in proefvakken blijkt dat - op kleine schaal - inderdaad sprake is van plaats van maken van (kleine) biestarwegrasduintjes door (grotere) helm gedomineerde duintjes. In Figuur 4.17 zijn de opnamen van proefvak P401 in verschillende jaren over elkaar geprojecteerd en is tevens de dominante soort aangegeven.



Figuur 4.17. Ontwikkeling embryonale duintjes (plant- + duinvlak) in proefvak P401: opnamen 2013-2018 (met dominante soorten in kleur) over elkaar geprojecteerd

Als in de kaarten per jaar wordt nagegaan welke transitie zijn opgetreden blijken enkele van de grotere zeewaartse helm-gedomineerde vlakken te zijn ontstaan uit kleine biestarwegrasduintjes.

Het omgekeerde blijkt echter ook voor te komen, en in een enkel geval blijkt een biestarwegrasduintje dat is veranderd in een helmduintje vervolgens weer terug te zijn veranderd in een (groter) biestarwegrasduintje. Over het geheel gezien lijkt echter geen sprake van grootschalige verandering van biestarwegrasduintjes in helmduintjes. De meeste helmduintjes groeien verder uit vanuit helmduintjes, hetzelfde geldt voor biestarwegras. De verschoven verhouding in oppervlak is waarschijnlijk vooral een gevolg van een iets snellere oppervlakteontwikkeling van helmduintjes.

Ruimtelijke patronen

In Figuur 4.14 is in de kaartjes met ruimtelijke patronen van gekarteerde duintjes in vier proefvakken ook de dominante soort weergegeven. Hieruit blijkt dat bij de ontwikkeling van duintjes - evenals bij vestiging van individuele planten: zie Figuur 4.5 - biestarwegras in het algemeen dicht bij zee voorkomt dan helm; vooral in vak P401 is dit opvallend. Van strikte wetmatigheid is echter geen sprake: ook door helm gedomineerde duintjes kunnen dicht bij zee voorkomen (en laag in het profiel), terwijl biestarwegrasduintjes - een enkele keer - ook dicht bij de duinvoet kunnen liggen.

5 Conclusies

5.1 Evaluatievragen

Hoewel niet primair gericht op het beantwoorden van de formele evaluatievragen uit het MEP en Uitvoeringsprogramma Zandmotor leiden de resultaten van het onderzoek naar de ontwikkeling van embryonale duinen voor een aantal evaluatievragen tot extra inzicht.

In welke mate in ruimte en tijd leidt de Zandmotor tot natuurlijke duinaangroei, in het kustgebied van Hoek van Holland tot Scheveningen?

In het onderzoeksgebied - globaal van ruim 1,5 km ten zuiden van Kijkduin tot ruim 1 km ten noorden van Ter Heijde - heeft de aanleg van de Zandmotor geleid tot substantiële spontane (natuurlijke) aangroei van duinen geleid:

- in totaal is t/m 2020 ruim 13 ha embryonale duinen ontstaan (Arens, 2021a); dit exclusief duinontwikkeling op het buitentalud van de kustversterking 2010; het via deze methode gemeten areaal komt iets lager dan de 16 ha duinvegetatie die via vegetatiekartering in 2020 is bepaald (zie Vertegaal, 2021);
- dit is ca. 11-14% van de droge terreindelen van de Zandmotor (zoals deze in 2020 [nog] aanwezig waren);
- het proces van spontane aangroei verliep in de eerste jaren (2011-2014) relatief traag; in 2014 was nog slechts 0,9-1,0 hectare aanwezig (Vertegaal e.a, 2016); daarna was sprake van een duidelijke versnelling, in 2020 resulterend in een substantieel areaal embryonale duinen
- per meter strekkende kustlijn bedroeg de duinontwikkeling in de periode 2011-2018 ca. 20-30 m²;
- de meeste duinen zijn ontstaan in het zuidwestelijk deel van de Zandmotor, deels ten zuiden van de oorspronkelijke contour, de minste in het noordoostelijk deel, ter hoogte van de Lagune;
- loodrecht op de kustlijn ontstaan de meeste duinen direct voor de voet van de buitenste duinenrij (de in 2010 aangelegde duinversterking Delflandse kust); de zone met duinvorming wordt onderbroken door een 20-50m brede strook waar als gevolg van te intensief gebruik van voertuigen geen vegetatie en duintjes aanwezig zijn; verder zeewaarts zijn meer lokaal duintjes ontstaan op terreindelen met een oplopend profiel in combinatie van aanvoer van zand vanuit het (zuid)westen.

Levert de Zandmotor nieuwe fysische kennis op waarmee kustonderhoud en een meerwaarde voor natuur, recreatie en andere functies gezamenlijk te combineren zijn?

De resultaten van de kartering van embryonale duinen wijzen erop dat:

- het onderzoek laat zien dat kustonderhoud door middel van een megasuppletie duidelijke meerwaarde heeft voor natuur door het spontaan ontstaan van een substantieel areaal embryonale duinen;
- het (zeer) geleidelijk opgang komen van de spontane ontwikkeling van duintjes suggereert dat zeer waarschijnlijk sneller meerwaarde kan worden bereikt door toepassen van initiële inrichtingsmaatregelen als aanplant van helm.

Zorgt de Zandmotor voor toevoeging van een aantrekkelijk natuurgebied op de Zandmotor zelf en in de jonge duinen tegen het bestaand duin?

De kartering laat zien dat de aanleg van de Zandmotor na ca. 9 jaar heeft geleid tot toevoegen van een substantieel areaal jonge duinen tegen het bestaande duinen. Verwacht kan worden dat dit gebied zich in de komende jaren verder zal ontwikkelen, zowel wat betreft oppervlak als via verdere differentiatie van duinvormen en -vegetaties.

In hoeverre dit gebied aantrekkelijk is was geen onderwerp van (dit deel van) het onderzoek.

In welke mate zijn recreatie- en natuurdoelstellingen op en rond de Zandmotor te verenigen?

Er is een duidelijke negatieve invloed van het rijden over de Zandmotor met gemotoriseerde voertuigen. In een brede druk bereden strook parallel aan de duinvoet is de vestiging en ontwikkeling van nieuwe duinen aantoonbaar minder dan op niet bereden stukken. Het grootste deel van deze rijbewegingen betreft toezichthouders, onderzoekers en andere bevoegde personen/ instanties en is dus niet direct gerelateerd aan recreatie.

Daarnaast worden duintjes op kleine schaal aangetast door betreding; dit is het best zichtbaar aan de 'waaier' van elkaar afwisselende kale looproutes en duintjes ter hoogte van het Schelpenpad. Bij het veldonderzoek was daarnaast ook aantasting van duintjes zichtbaar door betreding en graafoctiviteiten van honden.

Effecten van schoonmaken van het strand met beach cleaners is in dit onderzoek niet aangetoond omdat dit alleen plaats vindt in terreindelen die niet goed zijn onderzocht.

In welke mate recreatie en natuur op de Zandmotor kunnen worden verenigd is mede afhankelijk van inrichting en beheer. Waarschijnlijk kunnen geconstateerde negatieve effecten in belangrijke mate worden voorkomen door inrichtings- en beheermaatregelen, zoals creëren van een duidelijke zonering, aanleg van routes/paden, beperken van de toegang in bepaalde terreindelen en toezicht.

5.2 Onderzoeksvragen

In deze paragraaf zijn de conclusies vermeld met betrekking tot de onderzoeksvragen uit par. 2.2.

Wat is de ontwikkeling van aantal duintjes en totaal oppervlak in de tijd en per deelgebied?

Zoals reeds vermeld in par. 5.1 onder de eerste evaluatievraag:

- t/m 2020 is ruim 13 (tot 16) ha embryonale duinen ontstaan;
- dit is ca. 11 (tot 14) % van de droge terreindelen van de Zandmotor;
- de aangroei verliep in de jaren 2011-2014 traag; daarna was sprake van een duidelijke versnelling;
- per meter kustlijn bedroeg de duinontwikkeling in de periode 2011-2018 ca. 20-30 m²;
- de meeste duinen zijn ontstaan in het zuidwestelijk deel van de Zandmotor het minst in het noordoostelijk deel;
- loodrecht op de kustlijn zijn de meeste duinen voor de voet van de buitenste duinenrij ontstaan; nieuwe duinen ontbreken in 20-50 m brede strook die (te) intensief wordt bereden; verder zeewaarts zijn duintjes ontstaan op terreindelen met een oplopend profiel en aanvoer van zand vanuit het (zuid)westen.

Daarnaast is in relatie tot deze vraagstelling het volgende gebleken:

- over de periode 2013 t/m 2018 is op de Zandmotor als geheel sprake van exponentiële groei van het oppervlak embryonale duintjes met een vrijwel constante groeifactor van 2,0-2,1,
- tijdens de periode met exponentiële groei neemt zowel het aantal duintjes als het totaal areaal aan duintjes toe; dit wijst erop dat de exponentiële groei zowel wordt veroorzaakt door vegetatieve uitbreiding (wortelstokken) als door vestiging van nieuwe duintjes (waarschijnlijk door een combinatie van extra luwte rond zich ontwikkelende duintjes en toename van zaadbeschikbaarheid);
- de exponentiële groei is in ieder geval deels een gevolg van het feit zich: a) na 3-4 jaar meer duinvormende grassen weten te vestigen, b) meer gevestigde planten overleven en c) meer planten zich door ontwikkelen tot duintjes;

- in terreindelen (proefvakken) met relatief veel duinontwikkeling nam de groeisnelheid na ca. 7 jaar af ten opzichte van terreindelen met weinig duinontwikkeling; ook het aantal duintjes nam hier af; dit wijst er op dat de beschikbare ruimte in deze terreindelen inmiddels in enige mate limiterend is voor verdere groei en dat verwacht kan worden dat de groeisnelheid in de komende tijd zal afnemen;
- de ontwikkeling van embryonale duintjes is volledig spontaan verlopen; lokaal is de duinvorming belemmerd door menselijke invloeden (m.n. berijden met voertuigen) zodat kan worden aangenomen dat de spontane ontwikkeling embryonale duinen in een geheel onbeïnvloede situatie significant sneller zou zijn verlopen.

Wat is de veranderlijkheid in ontstaan/ontwikkeling van individuele duintjes?

In grote lijnen verloopt de ontwikkeling van embryonale duinen op de Zandmotor tamelijk 'progressief': overwegend is sprake van een tamelijk gestaag proces van vestiging en uitgroei van duintjes dat slechts in beperkte mate wordt onderbroken door perioden van erosie c.q. verdwijnen van individuele planten of duintjes. Alleen in de eerste jaren verloopt de vestiging van individuele planten relatief moeizaam en verdwijnt een groot deel van de waargenomen planten bij een volgende opname. Zodra de individuele planten zijn uitgegroeid tot vegetaties op het strand ('plantvlakken') of kleine duintjes ('duinvlakken') blijven deze grotendeels intact; alleen op beperkte schaal is sprake van weer verdwijnen van plant- of duinvlakken. Kleinere plant- of duinvlakken groeien vervolgens in veel gevallen aan elkaar tot grotere eenheden:

- de eerste jaren van duinvorming verliepen traag, mede door geringe overleving van vestigingen van individuele duinvormende planten; ook duintjes verdwenen in de eerste jaren vaker, mogelijk als gevolg van stormen (eind 2013 tweemaal, oktober 2014);
- bij zowel helm als biestarwegras lag het aandeel individuele planten dat bij een volgende opname verdwenen was in de eerste jaren tussen 35% en 100%; vanaf 2015 nam dit af tot 25-40% (biestarwegras) resp. 5-15% (helm);
- van de plant- en duinvlakken verdwijnt een ca. 18 % bij de volgende opname; 36% van de vlakken groeit, 12% van de vlakken krimpt.

Wat is de rol van duinvormende grassen, met name helm en biestarwegras, in het ontstaan van duintjes?

Ontwikkeling van embryonale duinen wordt vrijwel volledig bepaald door aanwezigheid van helm en biestarwegras als duinvormende planten. De rol van zandhaver en duinzwenkgras is in de eerste fasen van duinontwikkeling marginaal. Zeeraket kan in jaren met gunstig weer op grote schaal aanwezig zijn en dan ook tot ontwikkeling van lage (enkele dm's) duintjes leiden maar deze ontwikkeling zet niet door als in de winter de (eenjarige) planten weer afsterven. Slechts op enkele plekken veranderenden zeeraketduintjes na een aantal jaren in helmduintjes. Aangezien op veel meer plekken duintjes ontstonden uit kiemplanten van helm en biestarwegras en eveneens op veel plekken zeeraketduintjes zich niet ontwikkelden tot persistente duintjes is ook de rol van zeeraket op de Zandmotor in de ontwikkeling embryonale duinen marginaal te noemen. Zeepostelein kan - als zeer lage overblijvende plant - soms wat grotere aaneengesloten vegetaties vormen op grotere helm- of biestarwegrasduintjes. In 2020 is op één locatie een wat groter, vrij laag (enkele dm's), zeeposteleinduintje aangetroffen waar alleen deze soort als duinvormende plant aanwezig was. Op grond van de detailkarteringen in de periode 2013-2018 kunnen de volgende conclusies worden getrokken over de rol van biestarwegras en helm in de ontwikkeling van embryonale duinen op de Zandmotor:

- biestarwegras is de belangrijkste pioniersoort in de meer zeewaartse delen van de Zandmotor, vooral in het zuidelijk deel c.q. direct ten zuiden van de de Zandmotor; helm is de belangrijkste pionier in de meer landwaartse delen;

- de dichtheden van duinvormende planten (biestarwegras + helm) waaruit zich spontaan duinen ontwikkelen liggen overwegend onder de 0,3/100 m², met enkele uitschieters naar ca. 1,5 planten per 100 m²; dit is een factor 1.000 - 3.000 lager dan de dichtheid bij van helmaanplant op kunstmatig aangelegde duinen;
- ontwikkeling van embryonale duinen treedt zowel op vanuit biestarwegras als eerste gevestigde pionierplant als vanuit helm als eerste plant; dit resultaat wijkt af van de gangbare theorie waarbij biestarwegras als eerste pionier optreedt, daarna gevolgd door vestiging (en uitgroei) van helm; incidenteel kan duinvorming ook optreden vanuit zandhaver als eerste plantensoort;
- helm is de belangrijkste soort bij de ontwikkeling van embryonale duinen in de fase na vestiging van pionierplanten: duintjes die starten met helm ontwikkelen zich vaker tot een duintje en groeien iets sneller dan wanneer biestarwegras de pioniersoort is;
- over het geheel gezien is echter geen sprake van grootschalige verandering/successie van biestarwegrasduintjes naar helmduintjes; de meeste helmduintjes groeien uit vanuit helmduintjes en hetzelfde geldt voor biestarwegras.

Is er een verschil in ontwikkelingssnelheid tussen winter en zomer?

Vanwege de onderbreking van het onderzoek in de jaren 2016, 2017 en eerste helft 2018 zijn te weinig data beschikbaar om de ontwikkelingen van najaar tot voorjaar en van voorjaar tot najaar op zinnige wijze met elkaar te vergelijken.

Wat is de relatie tussen ontwikkelingssnelheid en factoren als strandbreedte, aangroei/afslag, aanwezigheid binnenmeer en lagune en (recreatief) gebruik van de Zandmotor?

- spontane duinontwikkeling verloopt het snelst in het zuidelijk deel van de Zandmotor (c.q. direct ten zuiden van de oorspronkelijk aangelegde contour van de Zandmotor); hier lijken de omstandigheden het meest op die waarbij van nature duinvorming optreedt:
 - aangroei van het strand door transport van zand door getij en golven van het breedste deel van de Zandmotor naar het strand direct ten zuiden ervan;
 - aanwezigheid (als gevolg hiervan) van goed gesorteerd zand in het lage strand;
 - voldoende breed strand (200-300 m);
 - 'normaal', geleidelijk oplopend strandprofiel;
- de ontwikkeling van embryonale duinen verloopt het traagst in het noordelijk deel van de Zandmotor; waarschijnlijke oorzaken hiervan zijn met name:
 - het Duinmeer en de Lagune vormen een barrière en 'zandvang' voor zandtransport richting zich ontwikkelende duintjes voor de duinvoet;
 - de hoge centrale rug zeewaarts van het Duinmeer belemmert het zandtransport vanaf de (eroderende) zeezijde landinwaarts;
 - de zich relatief snel ontwikkelende duinen aan de zuidzijde vormen een barrière c.q. 'zandvang' voor zand dat zich met zuidwestenwind kustparallel naar het noordoosten verplaatst;
- loodrecht op de kust gezien verloopt duinvorming het snelst in een zone van enkele tientallen meters breedte voor de buitenste duinenrij en op het lage deel van het buitentalud van deze buitenste duinenrij; dit is een normaal patroon dat ook elders onder meer natuurlijke omstandigheden optreedt en wordt veroorzaakt doordat landwaartse, zand transporterende wind snelheid verliest tegen het buitentalud van de buitenste duinenrij;
- dit proces zou waarschijnlijk sneller verlopen als de embryonale duintjes worden beschermd tegen berijden met voertuigen en (over)betreding; hierdoor is de ontwikkeling van naar schatting 4-6 hectare embryonale duinen belemmerd;
- verder zeewaarts zijn meer lokaal duintjes ontstaan op terreindelen met een oplopend profiel in combinatie van aanvoer van zand vanuit het (zuid)westen.

Is er verschil in ontwikkeling in de Gemeente Den Haag en de Gemeente Westland als gevolg gebruik van beach cleaners?

Zie par. 5.1: effecten van schoonmaken van het strand met beach cleaners in in dit onderzoek niet aangetoond omdat dit alleen plaats vindt in terreindelen die niet goed zijn onderzocht.

5.3 Conclusies meetmethode

De methode in de periode 2013-2018 gebruikte meetmethode bleek zeer bewerkelijk. Proefvakken moesten daarom worden verkleind toen door de vestiging van nieuwe groeiplaatsen de meetinspanning iedere opname bijna exponentieel toenam. Ook het verwerken van de metingen tot punten en vlakkenkaarten is bewerkelijk. Sommige punten en vlakken zijn dubbel gemeten en dienen 'handmatig' te worden verwijderd.

Er is geen goede automatische methode gevonden om de ontwikkeling van punt naar vlak te kunnen analyseren, zodat dit vrijwel geheel handmatig is gebeurd.

Ondanks dat de metingen, verwerking en analyse erg arbeidsintensief zijn, geven ze wel een uniek beeld in de ontwikkeling van embryonale duinen op een kaal strand. De metingen geven duidelijke resultaten en daarmee een goed inzicht in de snelheid en mechanismen van ontwikkeling van embryonale duinen en de rol van duinvormende grassen hier in.

6 Aanbevelingen

Een megasuppletie zoals de Zandmotor lijkt in principe een bruikbare methode om substantiële arealen embryonale duinen te ontwikkelen, zowel ten behoeve van ontwikkeling van natuur- en recreatiegebied als ten behoeve van versterking van het profiel (buitentalud) van de kernzone van de primaire waterkering. Na een trage start blijken zich in toenemend tempo duinen te ontwikkelen en uit te breiden die voldoende oppervlak hebben om een wezenlijke bijdrage aan deze doelen te kunnen leveren.

Het onderzoek levert een aantal aanknopingspunten op om vormgeving, inrichting en beheer van een dergelijke megasuppletie te optimaliseren:

- ‘zandvangende’ structuren als een duinmeer of lagune of een hoge zeewaartse rug moeten worden vermeden;
- (intensief) recreatief medegebruik (betreding) en berijden met voertuigen dient te worden vermeden op locaties waar duinaangroei gewenst is;
- duinaangroei kan worden versneld door een megasuppletie zo vorm te geven dat via erosie en verplaatsing van zand door golven en stroming semispontane kustaangroei ontstaat in het kustgedeelte waar duinontwikkeling gewenst is (zoals bij de Zandmotor direct ten zuiden van de aangelegde contour);
- de ontwikkeling kan sterk worden versneld door initieel helm (en/of biestarwegras) aan te planten; gezien het exponentiële karakter van de spontane ontwikkeling kan veel tijd worden gewonnen door vanuit een meer substantieel areaal duinvormende grassen te starten;
- het natuurlijk karakter van de duinontwikkeling kan desgewenst voor een groot deel worden gehandhaafd door geen duinvormen aan te leggen (dus het vlakke strand te beplanten), in lage, variërende dichtheden aan te planten en zowel biestarwegras als helm te gebruiken;
- afhankelijk van de doelstelling kan door aanplant de duinontwikkeling worden gestuurd; zo kan versterking van de kernzone van de waterkering worden gestimuleerd door aanplant in een zone voor de duinvoet (zoals op de Zandmotor deels spontaan is gebeurd in de zone voor de kustversterking en deels kunstmatig op het met helm beplante buitentalud van de kustversterking); natuurontwikkeling kan worden gestimuleerd door meer zeewaarts een duinrug tot ontwikkeling te brengen rond een daarachter gelegen laagte waar een vochtige duinvallei wordt ontwikkeld; recreatieve zonering kan (mede) worden gerealiseerd door zones waar betreding niet gewenst is te beplanten (zodat hier opgaande duinen ontstaan) en zones met paden niet te beplanten (zodat deze laag en begaanbaar blijven).

Verder onderzoek naar de ontwikkeling van embryonale duinen op de Zandmotor is wenselijk ten einde de temporele aspecten van duinontwikkeling beter in beeld te brengen. Dit kan (groten)deels door met meer geavanceerde (GIS)methoden de reeds beschikbare data verder te analyseren.

Ontwikkelings-’paden’ zijn nu alleen voor enkele deelgebieden handmatig verkend waardoor het niet mogelijk bleek onderliggende processen te kwantificeren.

7 Literatuur/bronnen

Adriani, M.J. & J.H.J. Terwindt, 1974. Sand stabilization and dune building. Government Publishing Office, The Hague.

Arens, S.M., 2021a. Rapportage meetplan 02, Dynamische geomorfologie. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, Soest.

Arens, S.M., 2021b. Rapportage meetplan 03, Hoogteveranderingen. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, Soest.

Arens, S.M. & K. Vertegaal, 2021a. Rapportage meetplan 15. Procedure semi-automatische kartering embryonale duinen Zandmotor. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, Soest.

Arens, S.M. & K. Vertegaal, 2021b. Rapportage meetplan 15. Semi-automatische kartering embryonale duinen Zandmotor. Resultaten 2018-2020 Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, Soest.

Dieren, W. van, 1934. Organogene Dünenbildung. Proefschrift.

DHV, 2010. Monitoring/ en evaluatieplan Zandmotor. Rapport DHV in opdracht van Provincie Zuid-Holland i.s.m. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Gemeente Den Haag, Gemeente Westland, Hoogheemraadschap van Delfland en Milieufederatie Zuid-Holland.

Huisman, B.J.A., J.W.M. Wijsman, S.M. Arens, C.T.M. Vertegaal, L. van der Valk, S.C. van Donk, J.S.I. Vreugdenhil & M.D. Taal, 2021. Zandmotor in perspectief. Samenvattende rapportage van het Monitorings- en Evaluatie Programma (MEP). Rapport Deltares.

Puijenbroek, M.E.B. van, 2017. Dunes above and beyond. The interactions between ecological and geomorphological processes during early dune development. Thesis. Wageningen University.

Schaminée, J.H.J., E.J. Weeda & V. Westhoff, 1998. De vegetatie van Nederland 4. Kust en binnenlandse pioniermilieus. Opulus Press, Uppsala/Leiden.

Taal, M.D., M.A.M. Löffler, C.T.M. Vertegaal, J.W.M. Wijsman, L. van der Valk en P.K. Tonnon, 2016. Ontwikkeling van de Zandmotor. Samenvattende rapportage over de eerste vier jaar van het Monitorings- en Evaluatieprogramma MEP. Rapport Deltares.

Vertegaal C.T.M., S.M. Arens & J.M. Reitsma, 2016. Monitoring Pilot Zandmotor, onderdeel duinen. Eindevaluatie 2011-2015. Hoofrapport. Witteveen+Bos, Deventer.

Westhoff, V., P.A. Bakker, C.G. van Leeuwen & E.E. van der Voo, 1970. Wilde planten. Flora en vegetatie in onze natuurgebieden. Deel 1. Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland, 's-Graveland.

Bijlage 1 Vlakken en punten per opname

Code plantensoorten zoals gebruikt in onderstaande kaarten:






code BR	wetenschappelijke naam	Nederlandse naam
50	<i>Ammophila arenaria</i>	helm
172	<i>Cakile maritima</i>	zeeraket
443	<i>Leymus arenarius</i>	zandhaver
444	<i>Elytrigia juncea</i>	biestarwegras
486	<i>Eryngium maritimum</i>	blauwe zeedistel
517	<i>Festuca arenaria</i>	duinzwenkgras
634	<i>Honckenya peploides</i>	zeepostelein
1127	<i>Salsola kali kali</i>	stekend loogkruid



Project Zandmotor - monitoring duinen Solleveld
 Meetplan 15 - Embryonale duinen
 Opname 15-10-2013



Legenda

vlak	basiscode	172	444
 Duinvlak	 50	 443	 634
 Plantvlak			

Oprichtgever: Rijkswaterstaat
 Projectaannemer: Deltares
 Uitvoering: Bas Arens en Kees Vertegaal
 Status: Concept
 Datum: 1 november 2018
 Projectleiding: Bas Huisman
 Ondergrond: luchtfoto 2017











Project Zandmotor - monitoring duinen Solleveld
 Meetplan 15 - Embryonale duinen
 Opname 20-05-2014



Legenda

vlak	basiscode	172	444
 Duinvlak	 50	 443	 634
 Plantvlak			

Oprichtgever: Rijkswaterstaat
 Projectaannemer: Deltares
 Uitvoering: Bas Arens en Kees Vertegaal
 Status: Concept
 Datum: 1 november 2018
 Projectleiding: Bas Huisman
 Ondergrond: luchtfoto 2017











Project Zandmotor - monitoring duinen Solleveld
 Meetplan 15 - Embryonale duinen
 Opname 27-10-2014



Legenda

Layer	basiscode	172	444
 Duinvlak	 50	 443	 634
 Plantvlak			

Oprichtgever: Rijkswaterstaat
 Projectaannemer: Deltares
 Uitvoering: Bas Arens en Kees Vertegaal
 Status: Concept
 Datum: 1 november 2018
 Projectleiding: Bas Huisman
 Ondergrond: luchtfoto 2017











Project Zandmotor - monitoring duinen Solleveld
 Meetplan 15 - Embryonale duinen
 Opname 29-04-2015



Legenda

vlak	basiscode	172	444
 Duinvlak	 50	 443	 634
 Plantvlak			

Oprichtgever: Rijkswaterstaat
 Projectaannemer: Deltares
 Uitvoering: Bas Arens en Kees Vertegaal
 Status: Concept
 Datum: 1 november 2018
 Projectleiding: Bas Huisman
 Ondergrond: luchtfoto 2017












Project Zandmotor - monitoring duinen Solleveld
 Meetplan 15 - Embryonale duinen
 Opname 12-10-2015



Legenda

vlak	basiscode	172	444
 Duinvlak	 50	 443	 634
 Plantvlak			

Oprichtgever: Rijkswaterstaat
 Projectaannemer: Deltares
 Uitvoering: Bas Arens en Kees Vertegaal
 Status: Concept
 Datum: 1 november 2018
 Projectleiding: Bas Huisman
 Ondergrond: luchtfoto 2017











Project Zandmotor - monitoring duinen Solleveld
 Meetplan 15 - Embryonale duinen
 Opname 09-10-2018



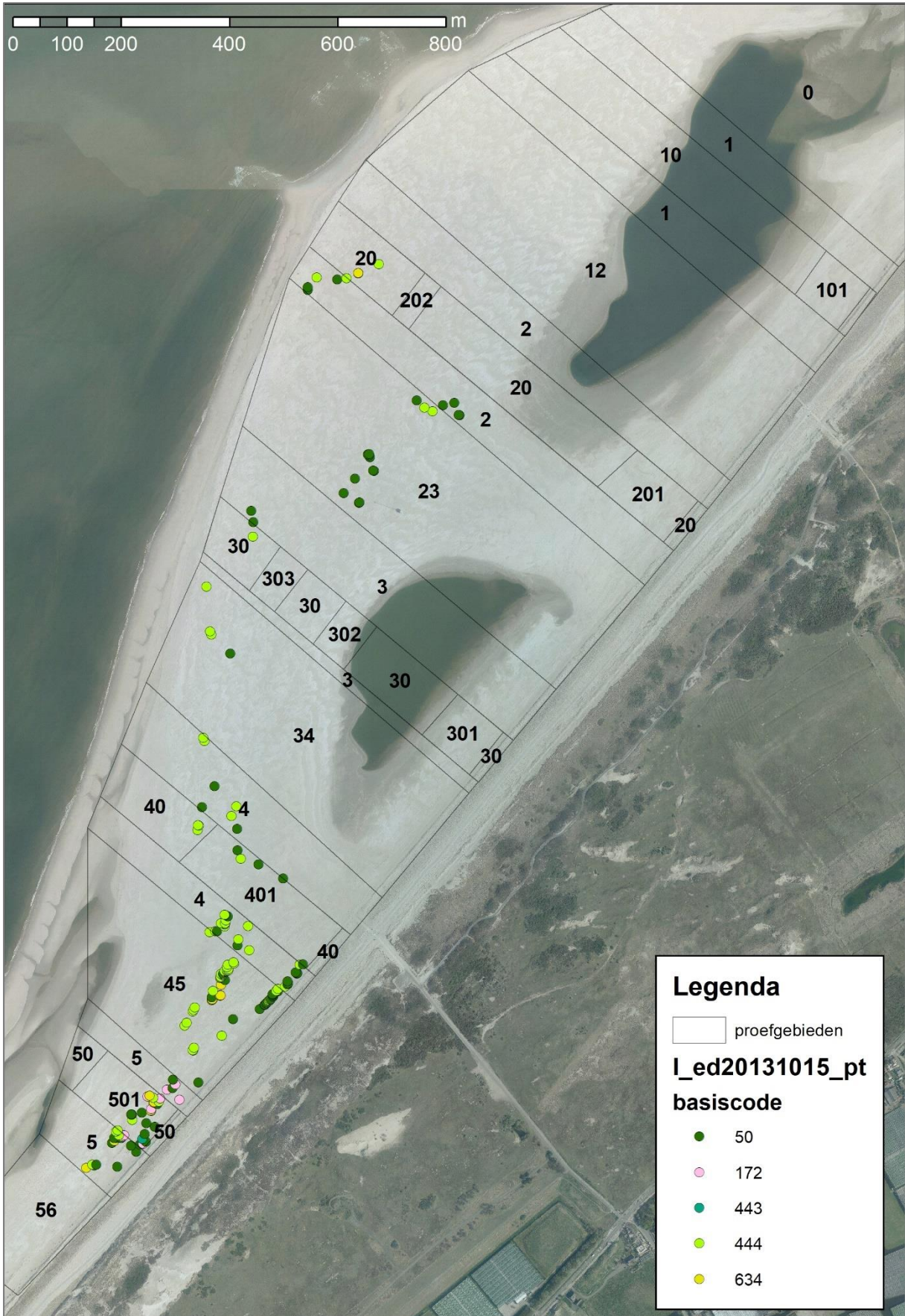
Legenda

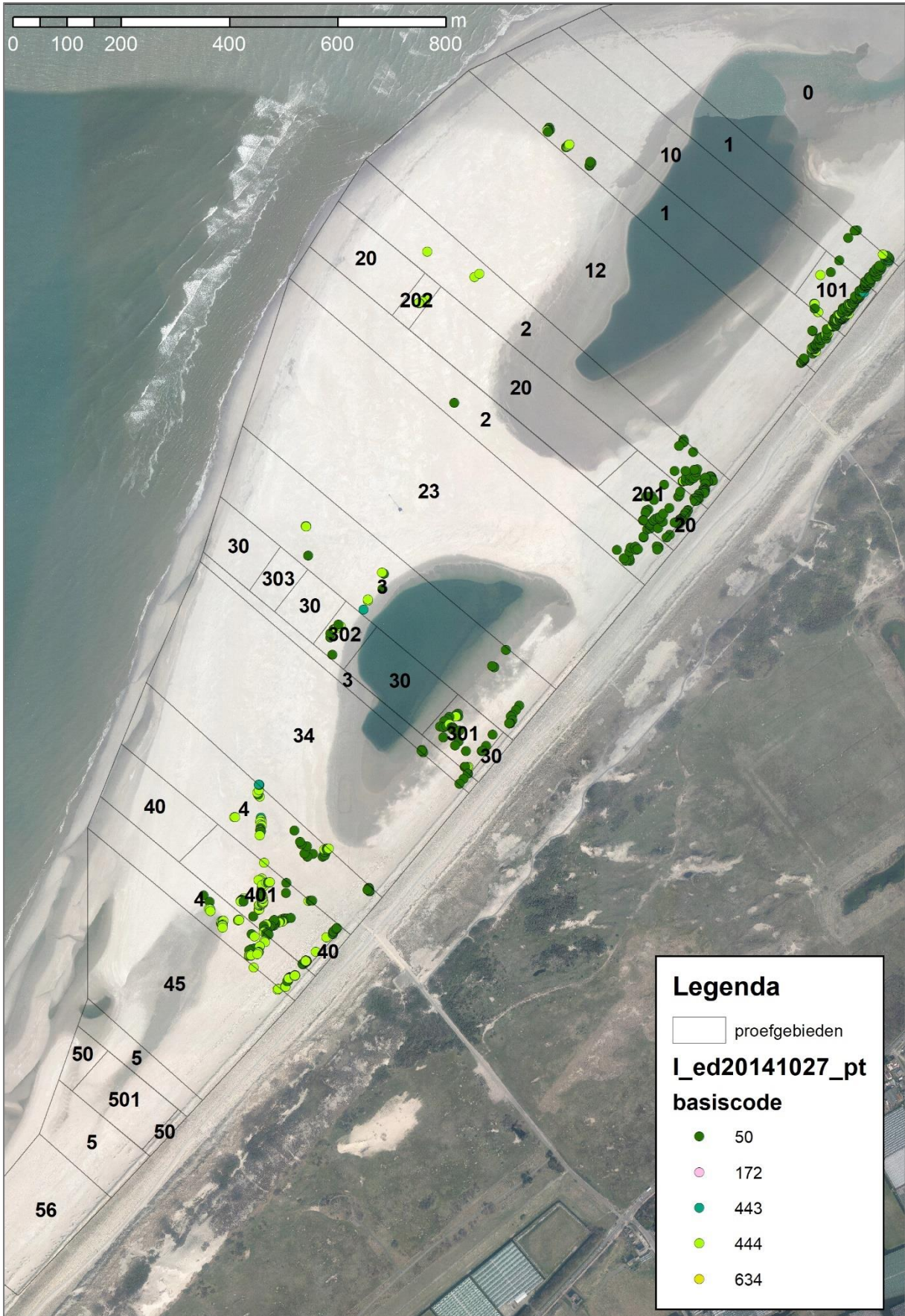
vlak	basiscode	172	444
 Duinvlak	 50	 443	 634
 Plantvlak			

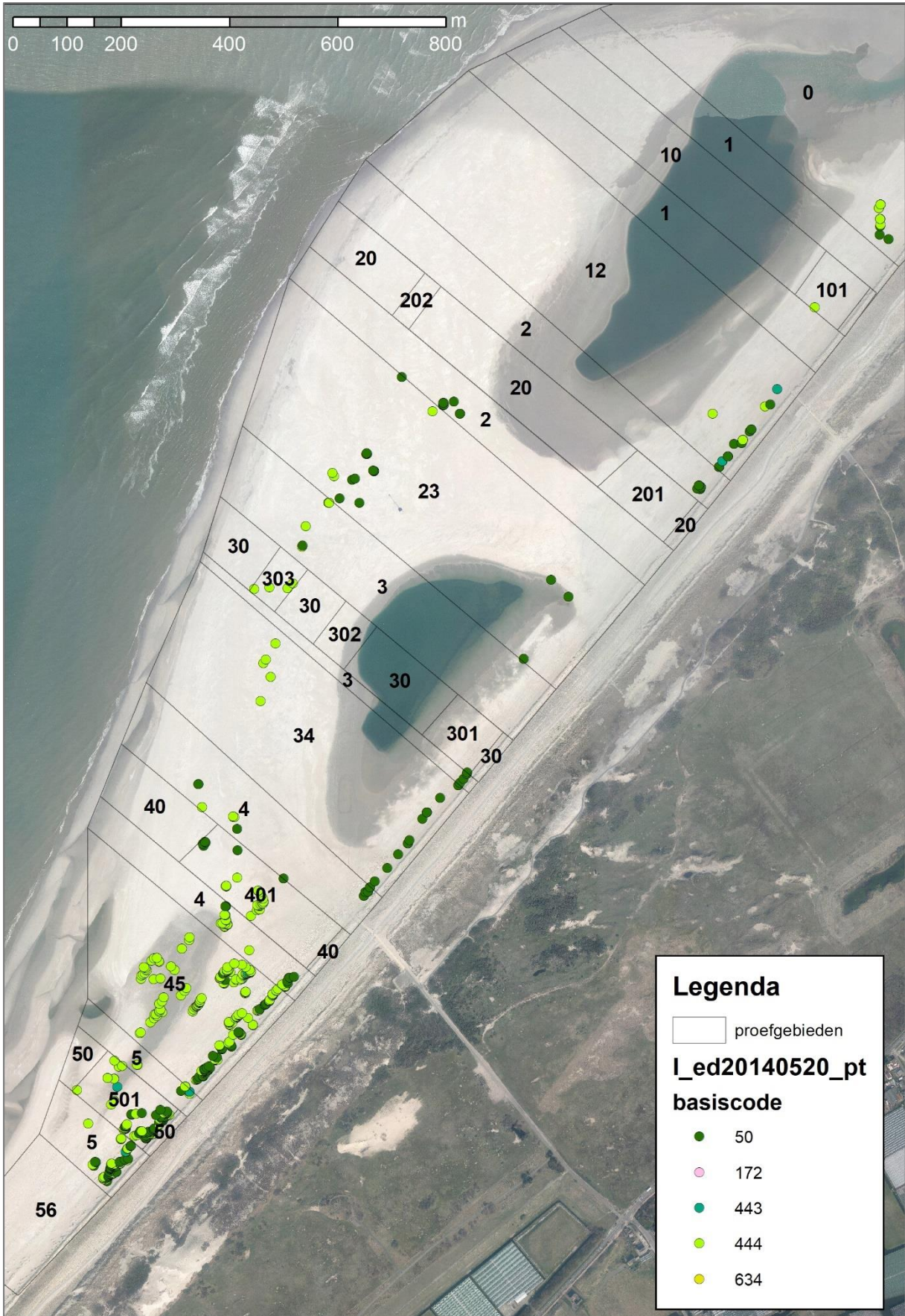
Oprichtgever: Rijkswaterstaat
 Projectaannemer: Deltares
 Uitvoering: Bas Arens en Kees Vertegaal
 Status: Concept
 Datum: 1 november 2018
 Projectleiding: Bas Huisman
 Ondergrond: luchtfoto 2017

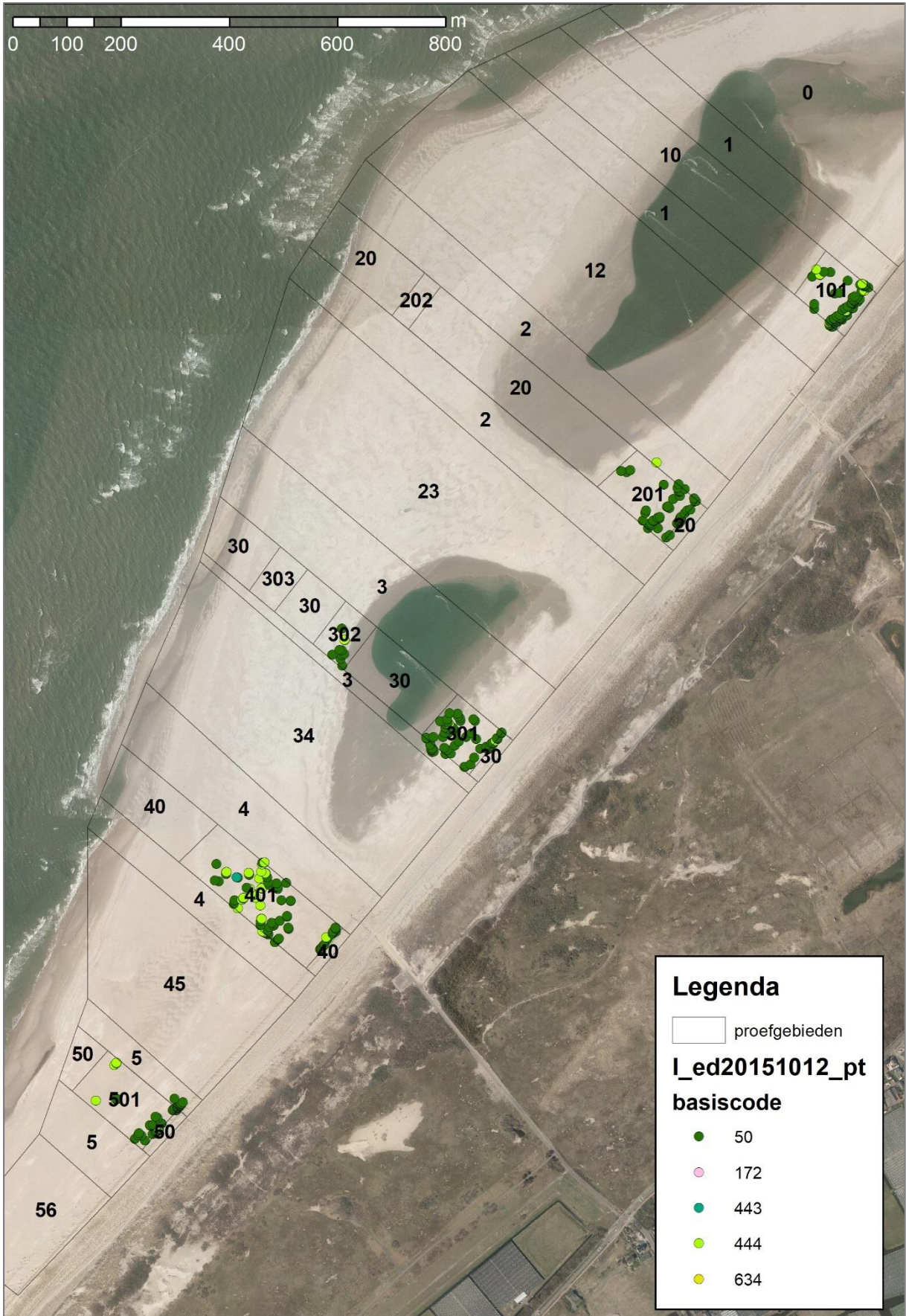


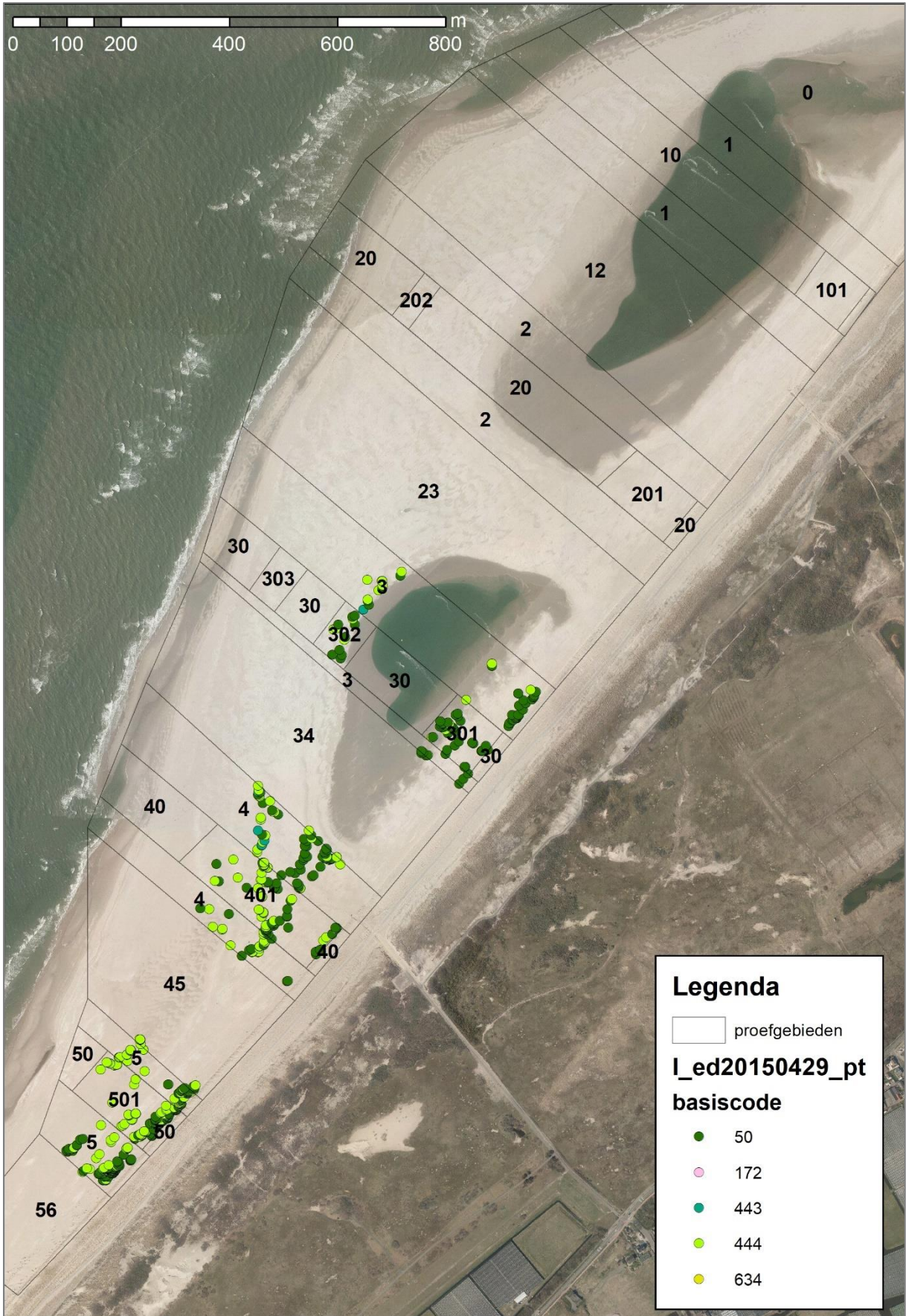

Bijlage 2 Punten per opname

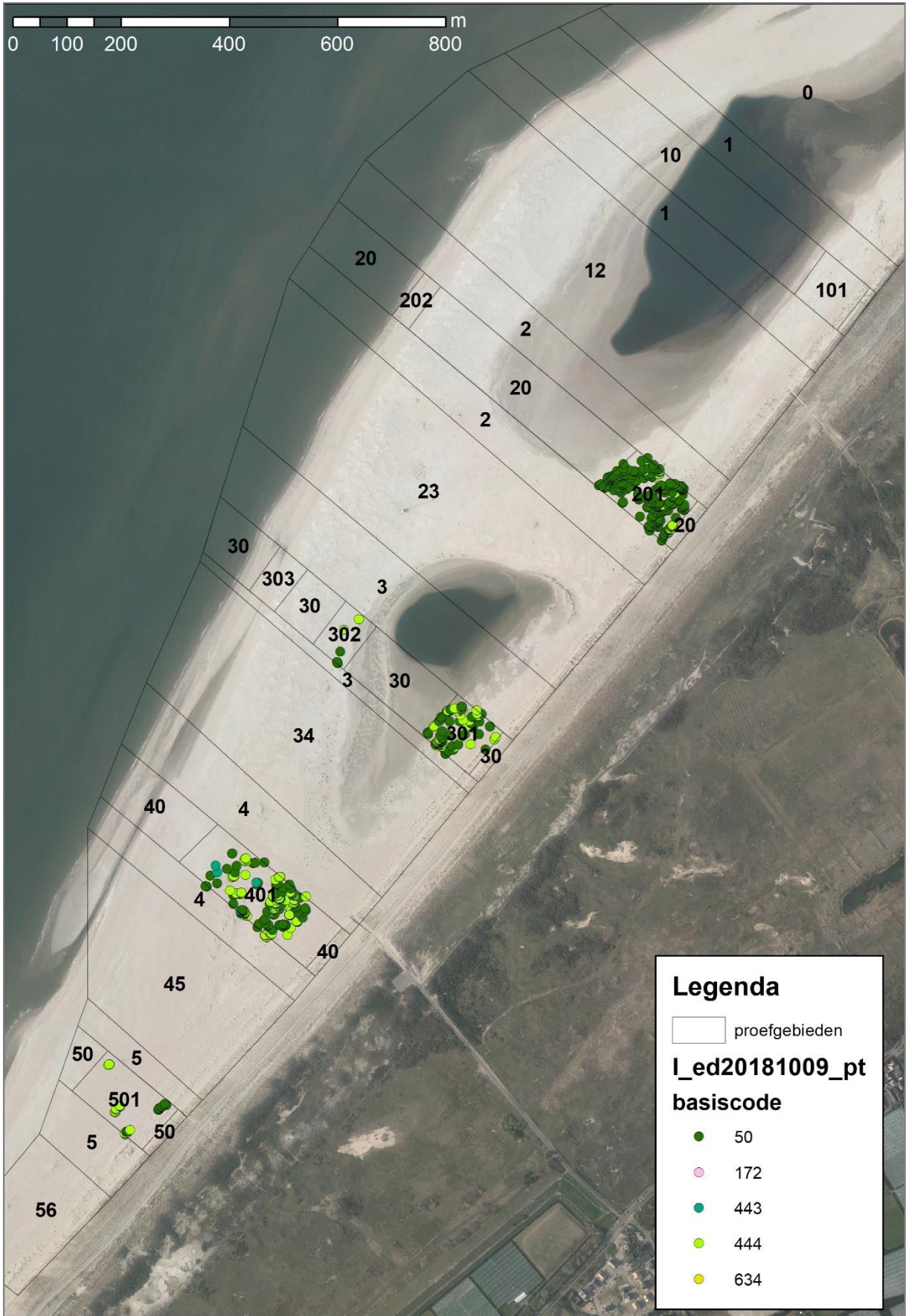




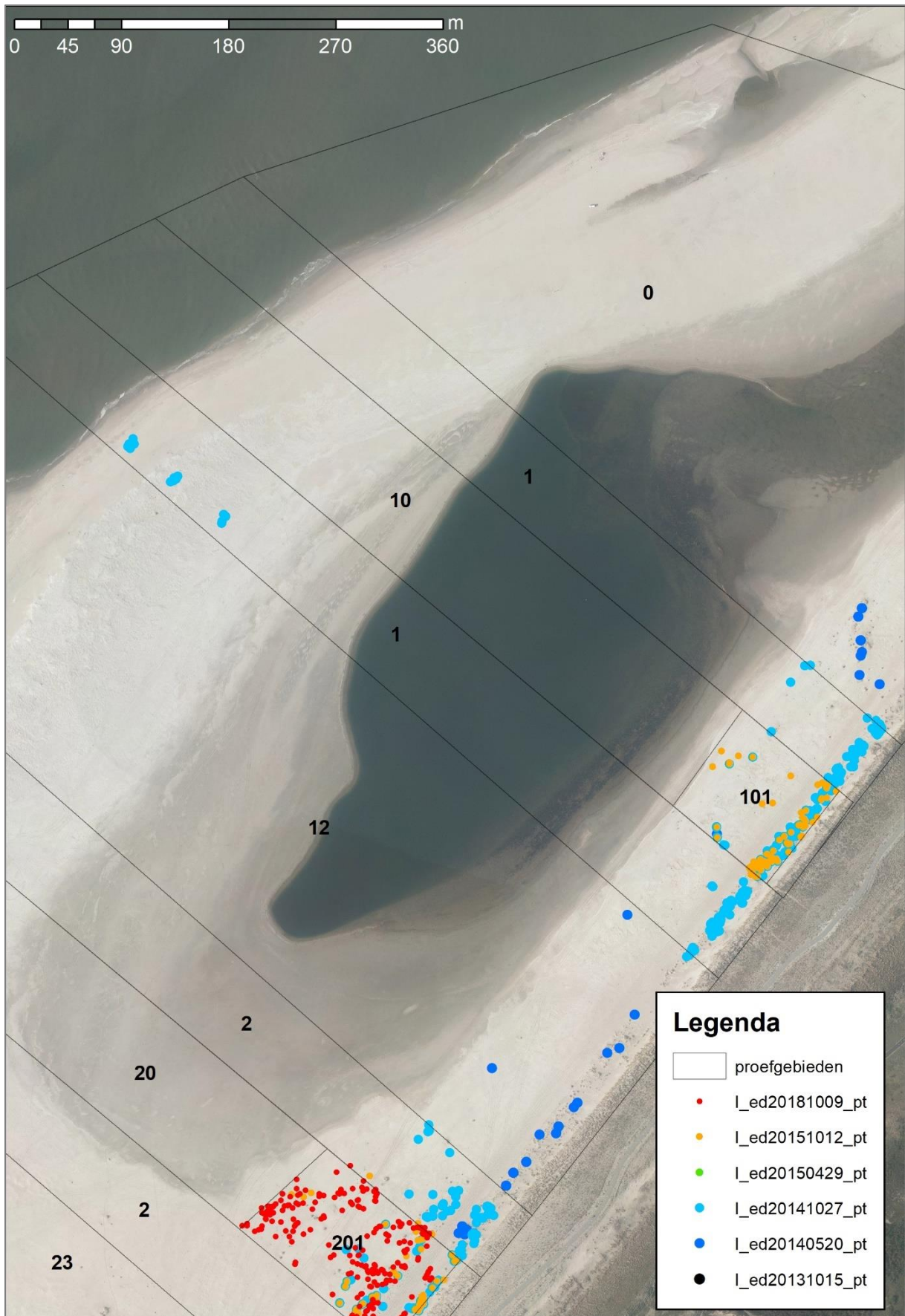


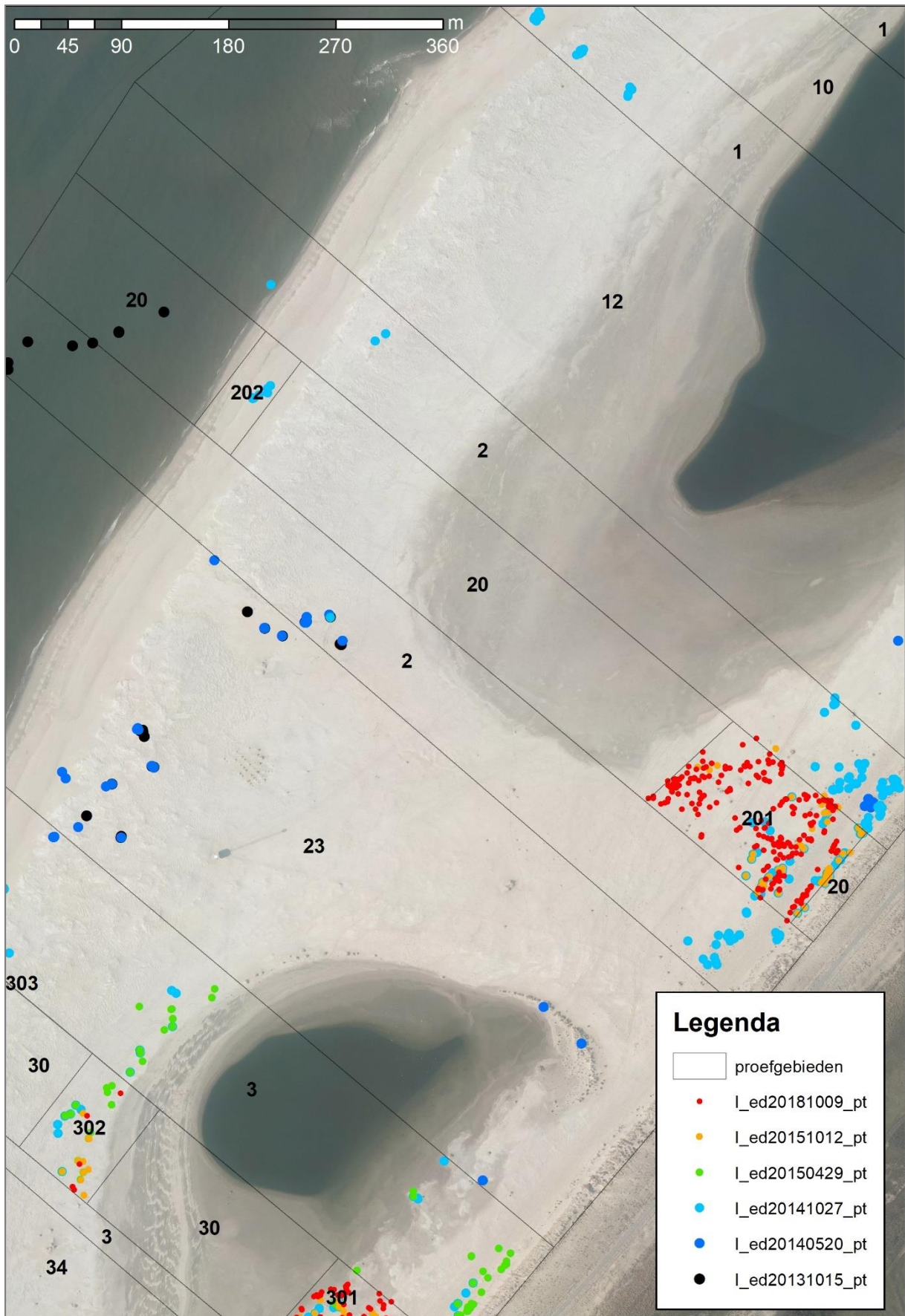


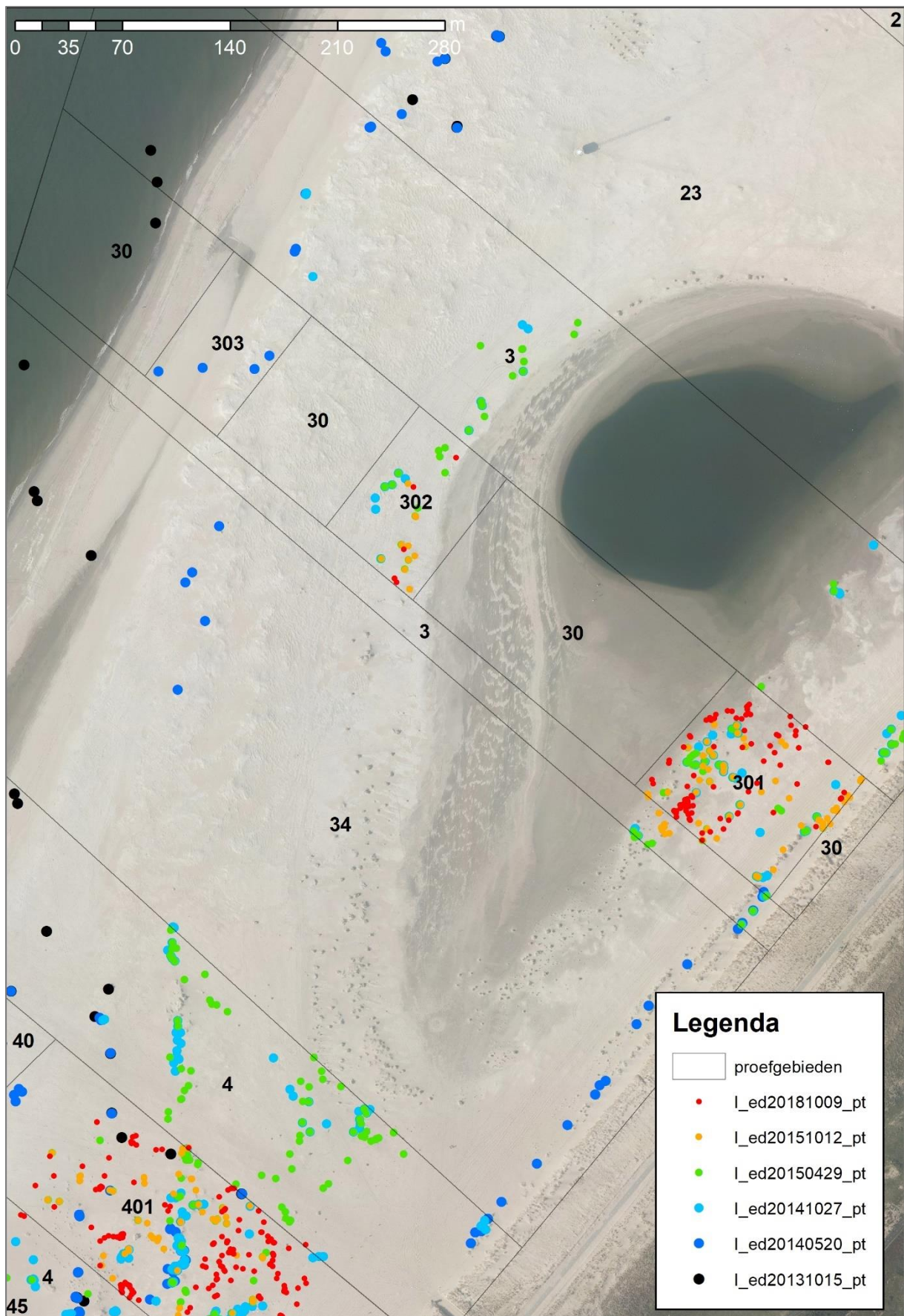


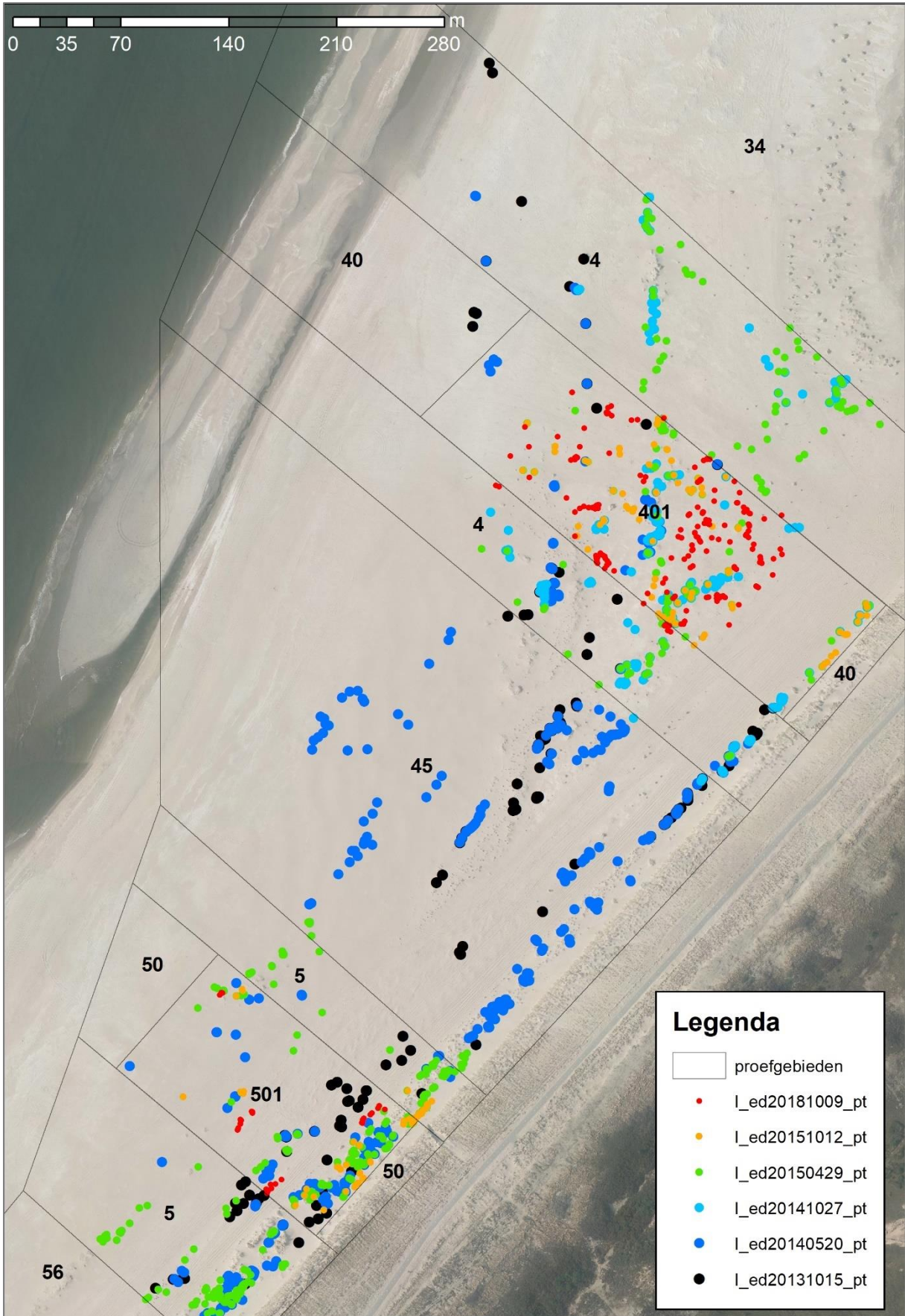


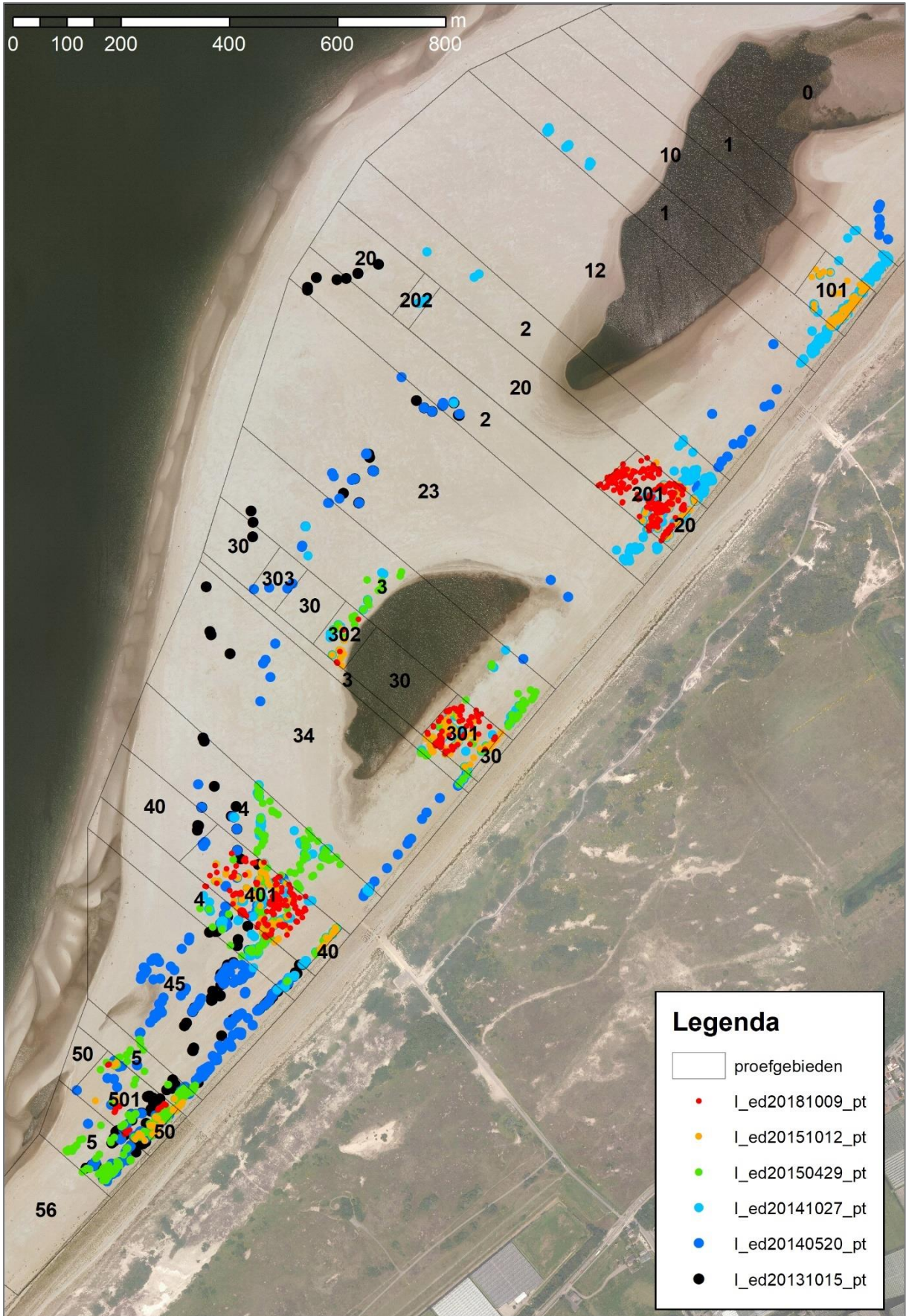
Bijlage 3 Punten van alle opnamen per deelgebied







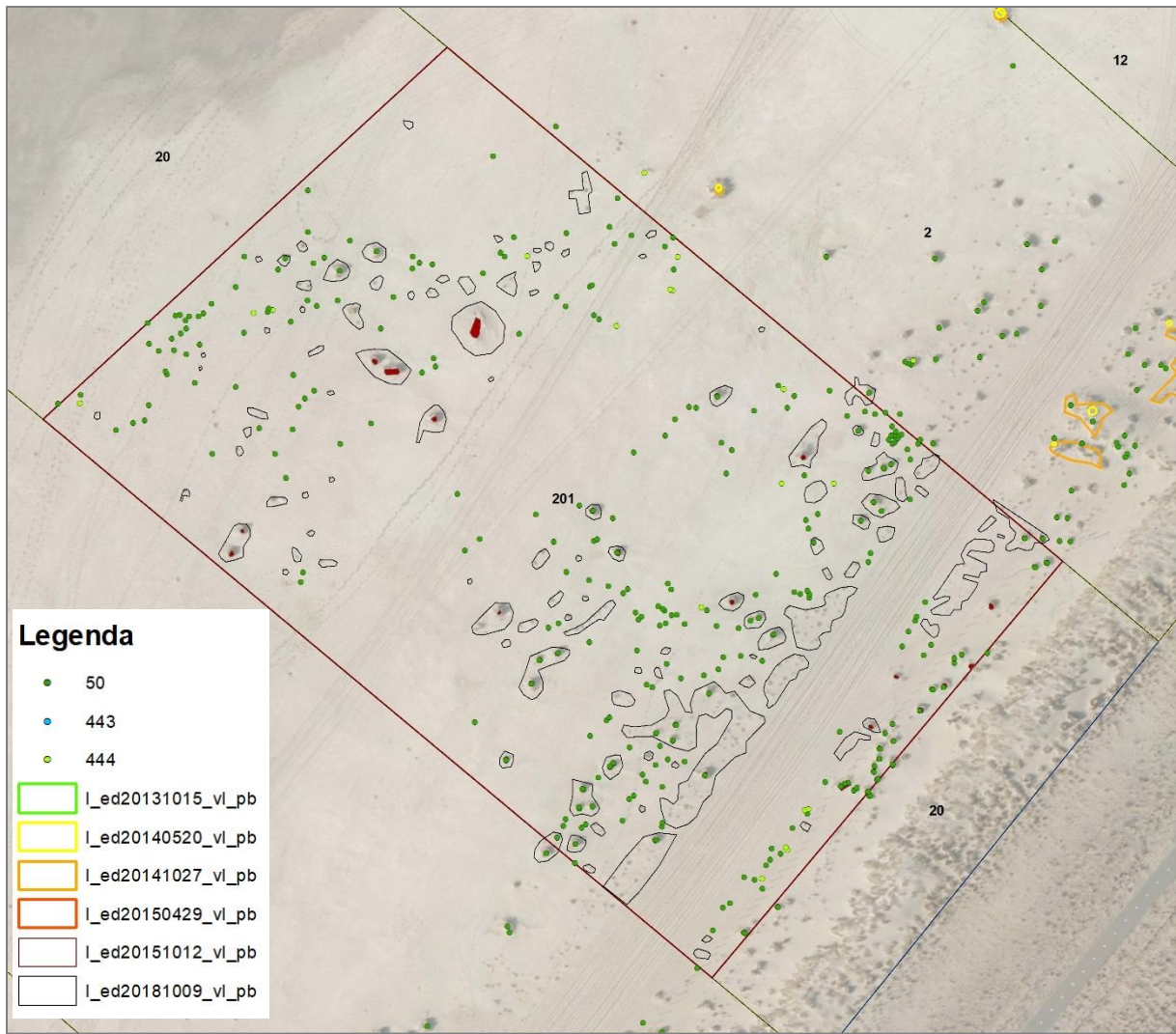




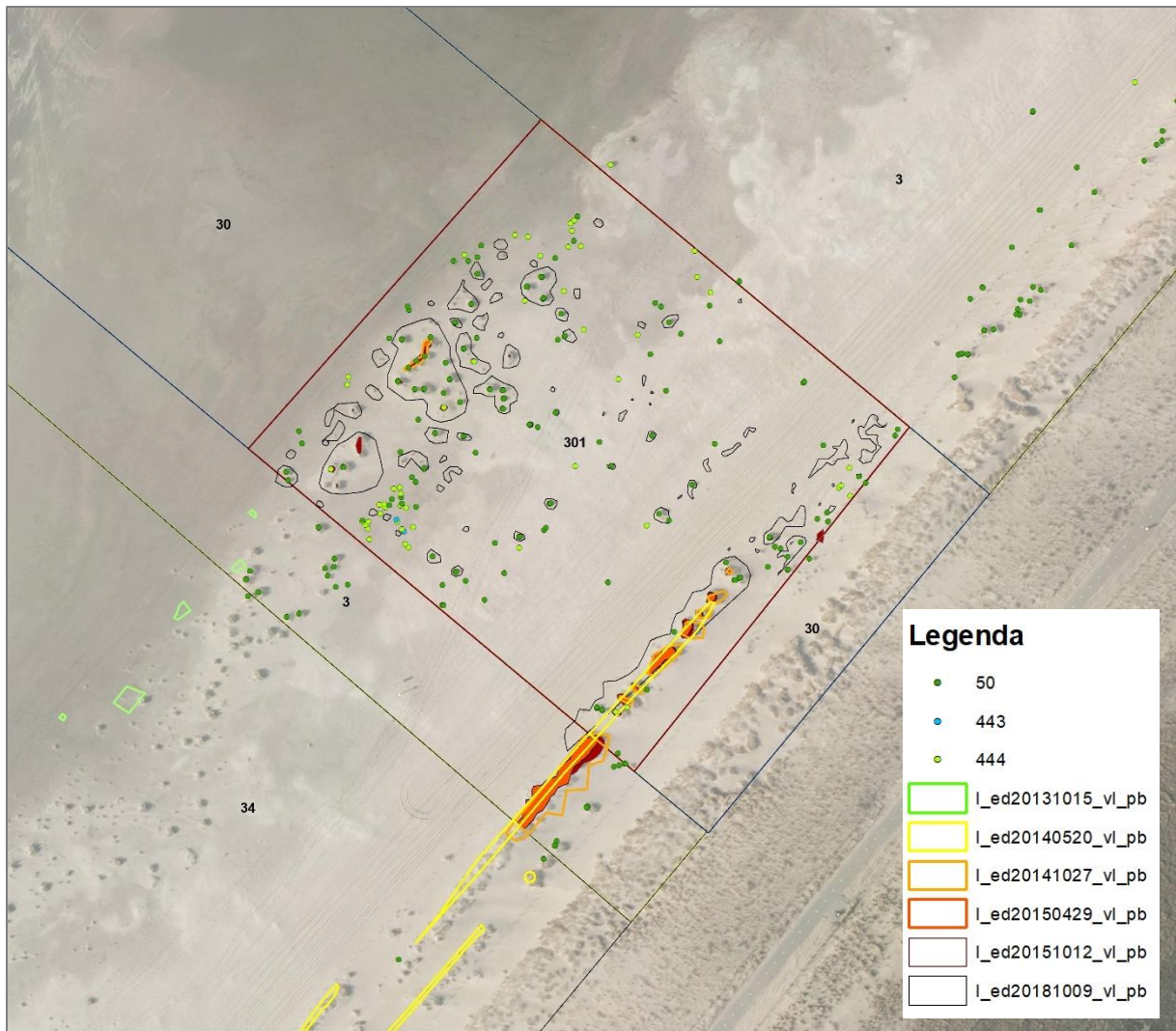
Bijlage 4 Punten (met soort) en vlakken van alle opnamen per deelgebied



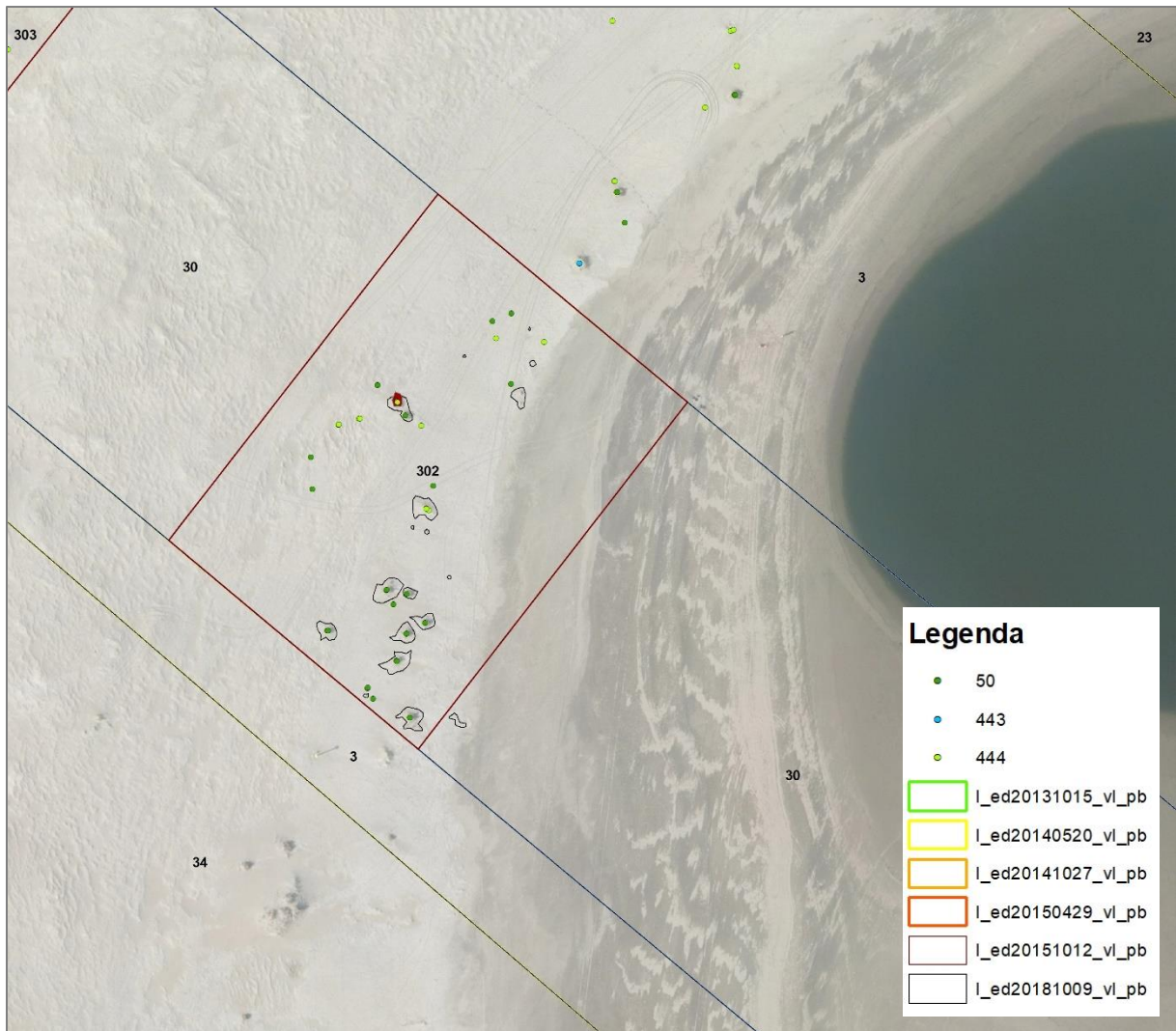
Deelgebied 101. Alle punten en vlakken. NB geen opname in 2015v en 2018n



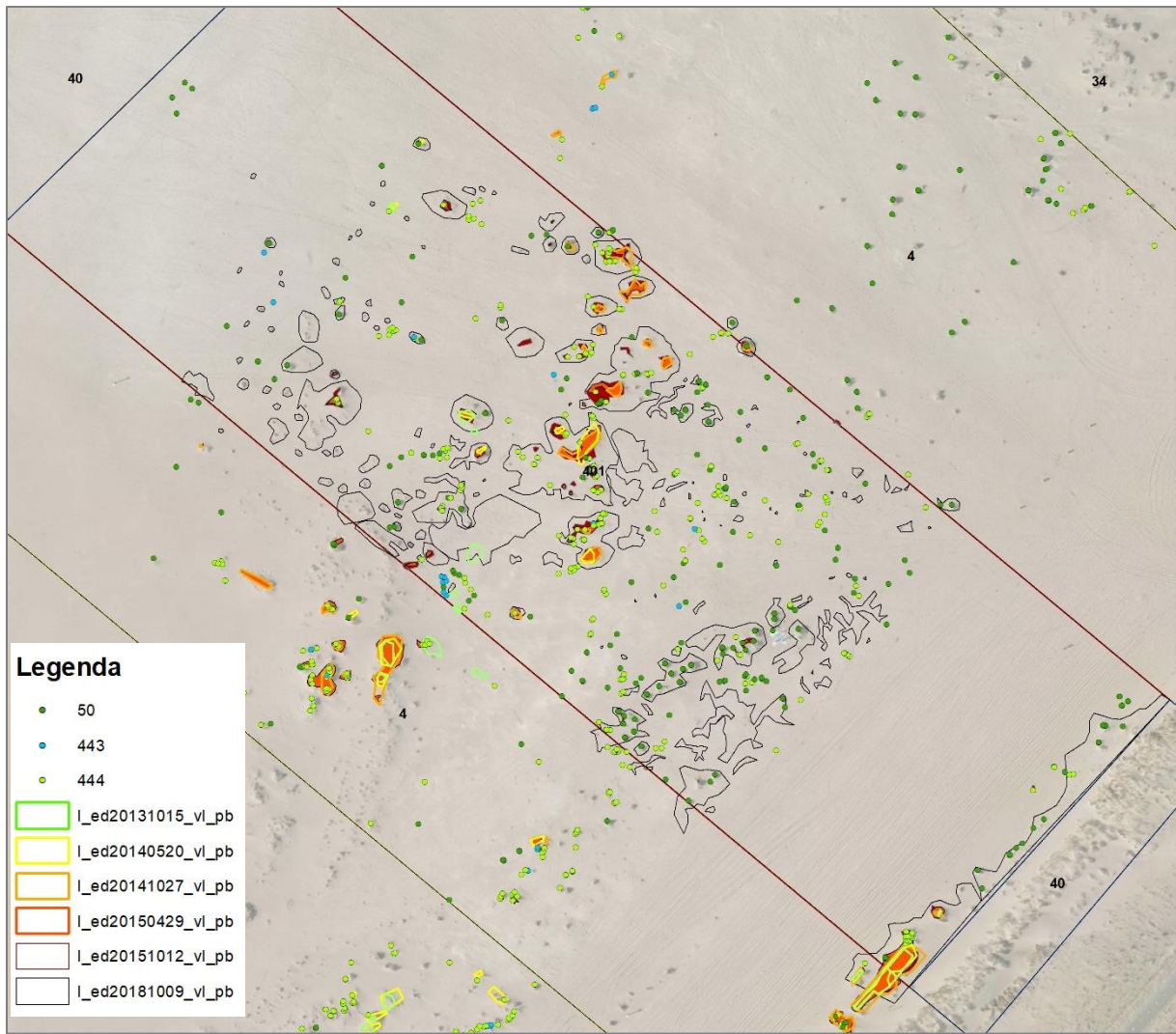
Deelgebied 201. Alle punten en vlakken. NB geen opname in 2015v



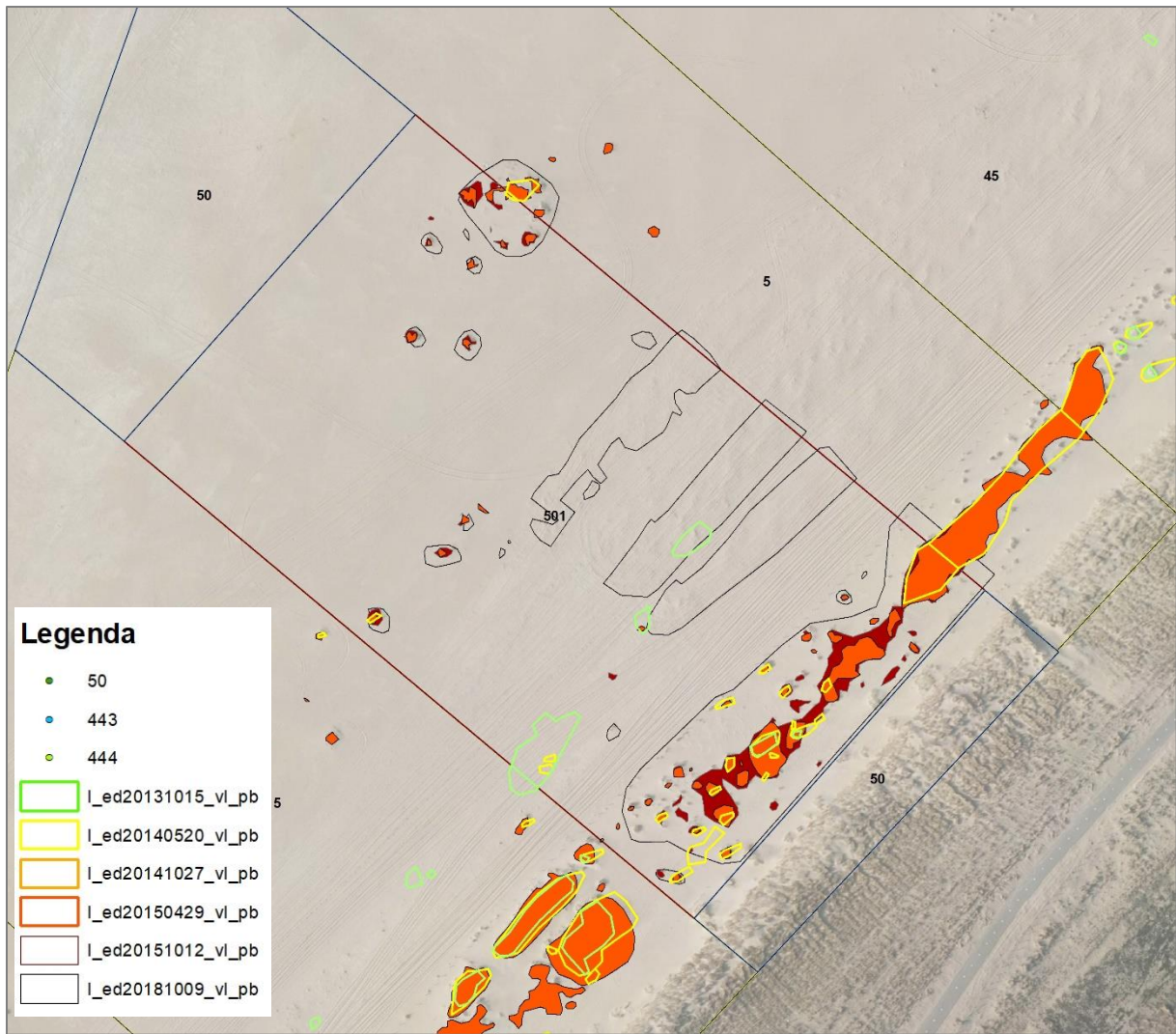
Deelgebied 301. Alle punten en vlakken.



Deelgebied 302. Alle punten en vlakken.



Deelgebied 401. Alle punten en vlakken.

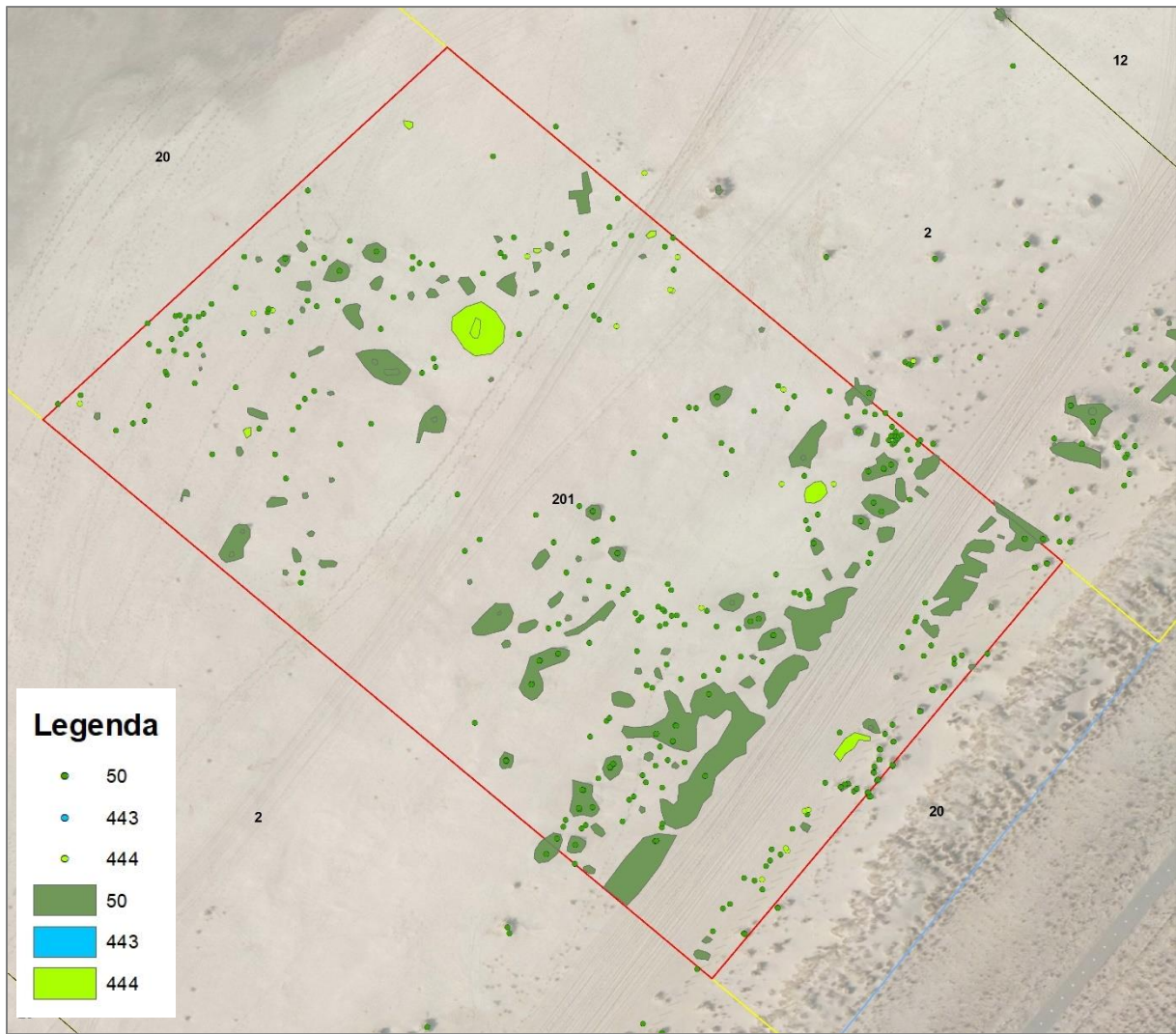


Deelgebied 501. Alle punten en vlakken. NB geen opname in 2014n.

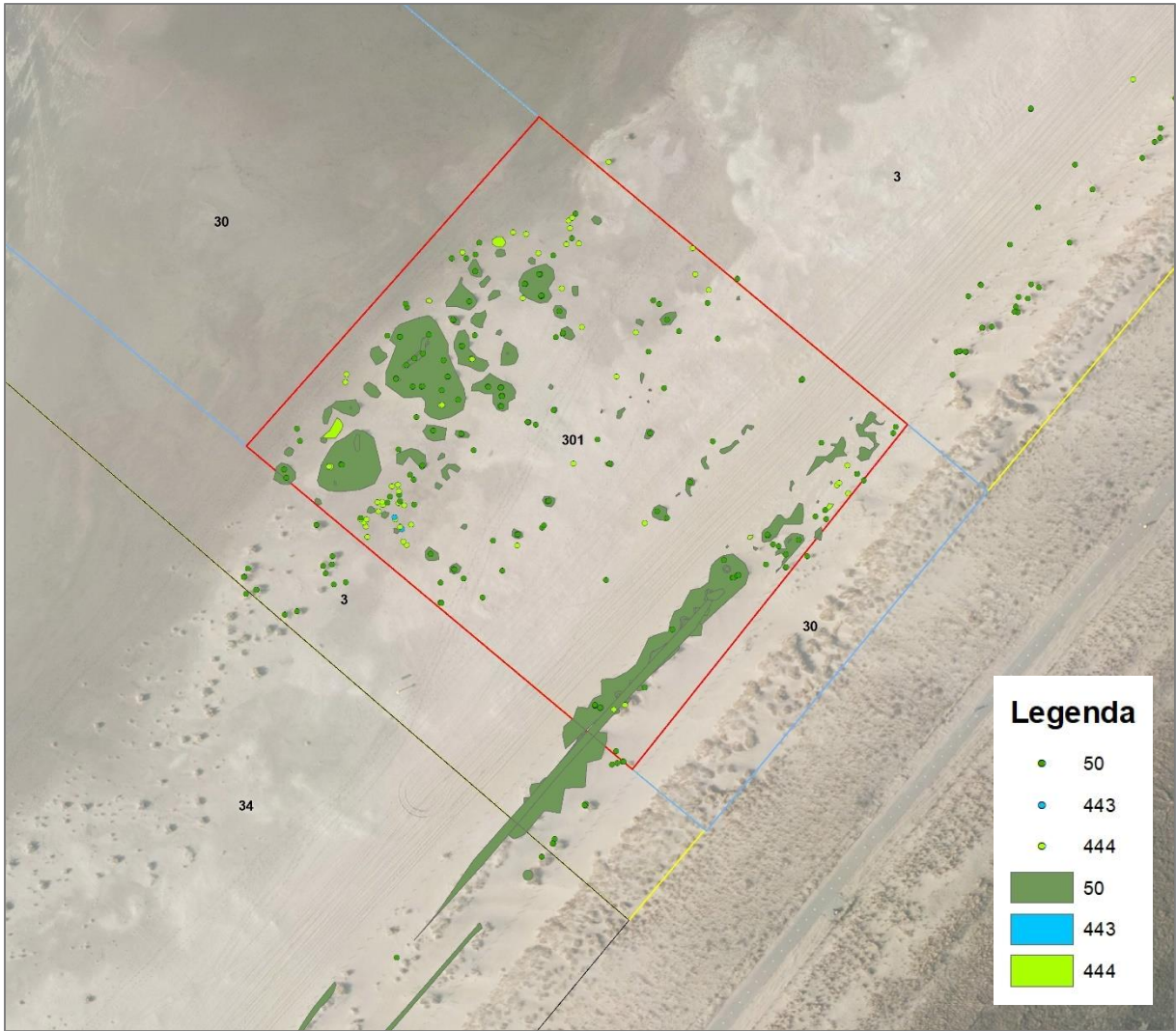
Bijlage 5 Vlakken en punten van alle opnamen met plantensoort



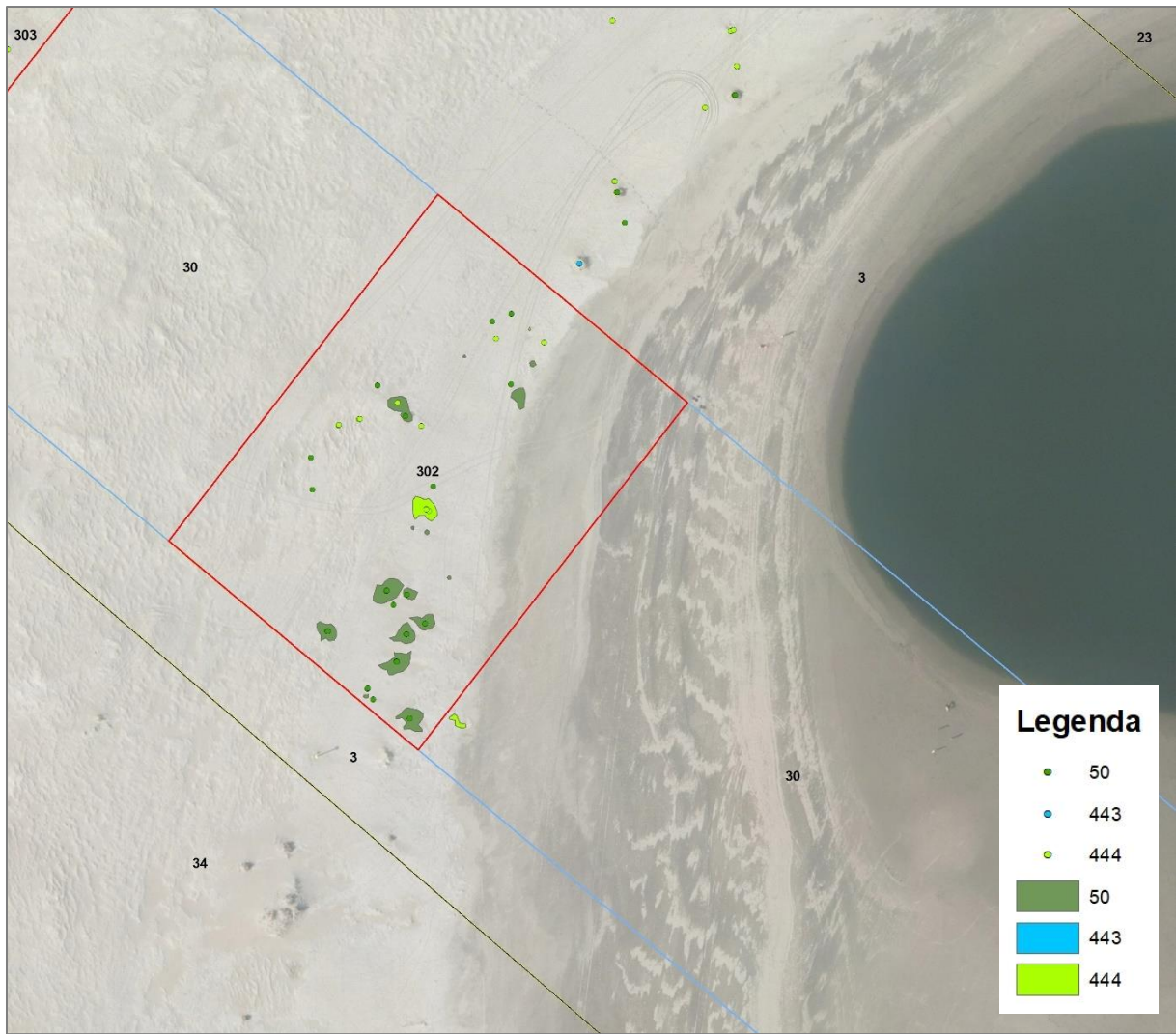
Deelgebied 101. Alle punten en vlakken. NB geen opname in 2015v en 2018n



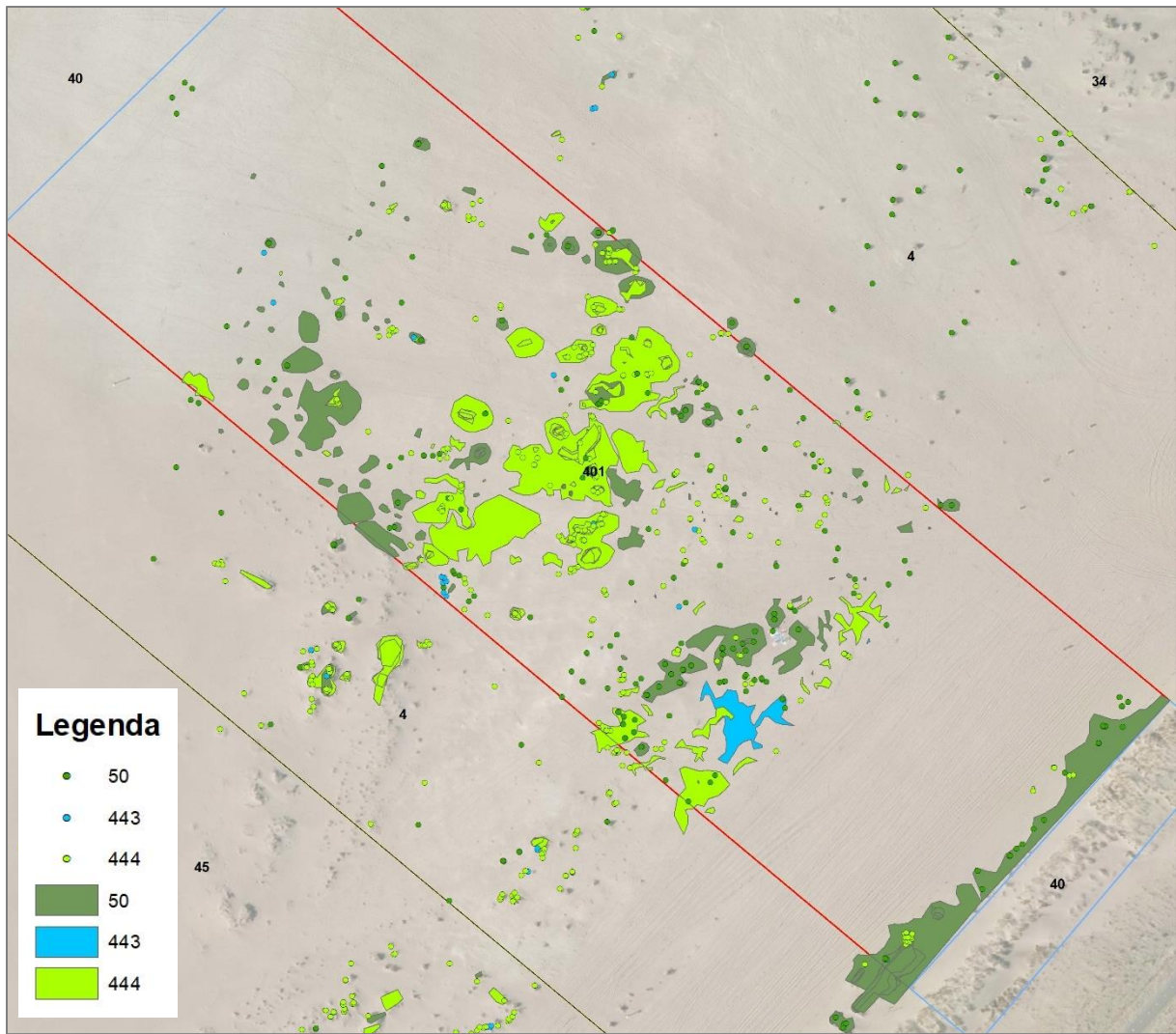
Deelgebied 201. Alle punten en vlakken. NB geen opname in 2015v



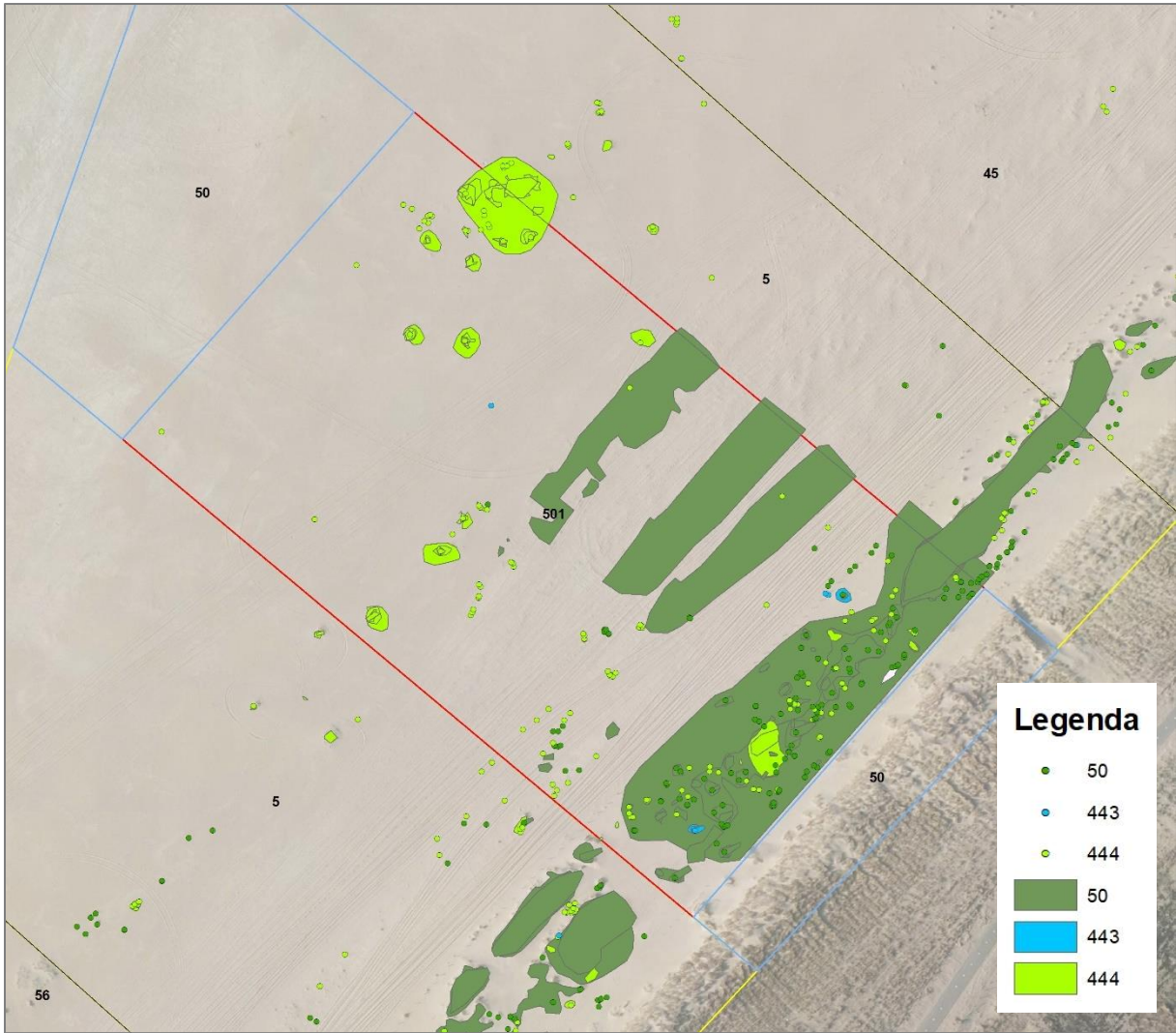
Deelgebied 301. Alle punten en vlakken.



Deelgebied 302. Alle punten en vlakken.



Deelgebied 401. Alle punten en vlakken.



Deelgebied 501. Alle punten en vlakken. NB geen opname in 2014n.