Rapportage meetplan 15
Semi-automatische kartering embryonale duinen Zandmotor, Resultaten 2018-2020

Notitie 21 januari 2021, NOT_ZM_15_2020.01, definitieve versie, 24 februari 2021
Bas Arens & Kees Vertegaal
Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek en Vertegaal Ecologisch Advies en Onderzoek

ARENS
BUREAU VOOR STRAND- EN DUINONDERZOEK

VERTEGAAL
ECOLOGISCH ADVIES EN ONDERZOEK

Inhoud

INHOUD 2

0 SAMENVATTING 3

1 INLEIDING 9

2 METHODE 11

3 RESULTATEN 15

3.1 Veranderingen tussen 2018 en 2020 15

3.2 Patronen van duinontwikkeling 15

3.3 Ontwikkeling van aantallen en oppervlaktes 22

3.4 Bepaling hoogte van de duintjes voor 2018-2020 en verandering 30

3.5 Bepaling volume van de duintjes voor 2018 en 2019 en verandering 32

3.6 Handmatig versus semi-automatische kartering 33

4 CONCLUSIES 34

5 AANBEVELINGEN 38

6 LITERATUUR 39

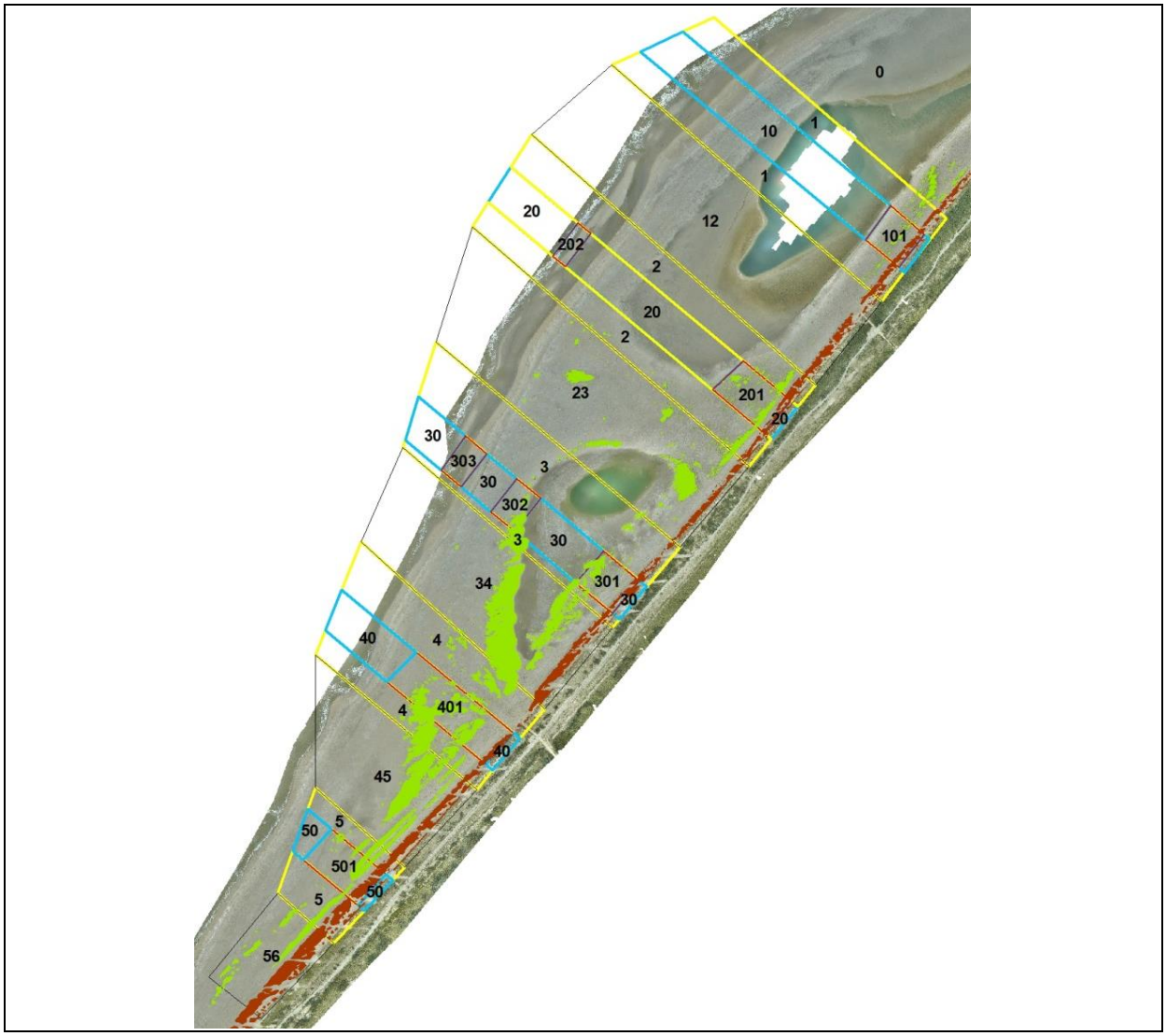
BIJLAGE 1 KARTERING EMBRYONALE DUINEN 40

BIJLAGE 2 BESTANDEN 47

0 Samenvatting

Dit meetplan onderzoekt de ontwikkeling van embryonale duinen op de Zandmotor. In deze rapportage worden de resultaten van een semi-automatische kartering besproken. Deze kartering is uitgevoerd voor 2018, 2019 en 2020. In de rapportage bij meetplan 2 wordt de ontwikkeling van embryonale duinen sinds 2011, dus over de gehele onderzoeksperiode, besproken, waarbij gebruik gemaakt wordt van handmatige karteringen voor 2011 t/m 2017. Behalve deze rapportage bij meetplan 15 is er een tweede rapportage waarin meer theoretische vragen over de ontwikkeling van embryonale duinen (rol van Helm versus Biestarwegras, verschil in ontwikkeling in voorjaar en najaar, etc) aan bod komen.

De resultaten van de semi-automatische kartering zijn bevredigend, hoewel niet alle vlakken die als embryonaal duin worden gekarteerd daadwerkelijk embryonale duinen zijn, en hoewel ook niet alle vlakken die wel embryonaal duin zijn als zodanig worden herkend. Door middel van handmatige aanpassing is dit gecorrigeerd. Alle karteringen zijn gebaseerd op luchtfoto's die in oktober zijn genomen.



Figuur 0.1. Embryonale duinen 2020 en nummering proefgebieden. De bruinen vlakken geven de embryonale duinen tegen de Duinversterking weer, de groene vlakken de embryonale duinen op de Zandmotor, die los van de zeereep liggen.

Vergelijking van de karteringen van 2018, 2019 en 2020 geven een goed beeld van de ontwikkeling van embryonale duinen op de Zandmotor. De duincomplexen groeien, ze nemen zowel in omvang als in hoogte toe. De ligging van embryonale duinen in 2020 en de ligging van de hieronder genoemde proefgebieden zijn weergegeven in Figuur 0.1.

Er is een overduidelijk effect van rijsporen op de ontwikkeling. Direct tegen de zeereep aan ligt een ongestoorde strook embryonale duinen. Zeewaarts daarvan valt parallel aan de zeereep de band op zonder enig duin, het gevolg van berijden. Dit resulteert in een aantal onnatuurlijk begrensde, langgerekte duinvlakken. Het patroon is hardnekkig en ieder jaar prominent aanwezig. Het is duidelijk dat in dit spoor geen duinen tot ontwikkeling komen. Alleen een rijverbod zal hier verandering in kunnen brengen. Betreding heeft ook een duidelijk effect bij de strandopgang van het Schelpenpad. In 2018 en 2019 is dit effect nog niet zo duidelijk zichtbaar. De zone is dan wel grotendeels kaal, maar een directe relatie met de strandslag lijkt er nog niet. In 2020 is die wel zichtbaar. Er loopt een waaier van sporen vanuit de strandslag richting zee, met een prominent spoor dat rechtstreeks van de slag naar zee loopt, en minder duidelijke sporen die vanaf de strandslag uitwaaieren. Ook hier is duidelijk dat duinen zich niet ongestoord kunnen ontwikkelen.

De voormalige rand van het strandmeer is een andere belangrijke locatie van duinontwikkeling. Langs deze rand is veel zand ingestoven en met name aan de zuidwestkant heeft dit tot flinke duinontwikkeling geleid.

Ook het zuidelijk oksel, waar een flinke aanwas van het strand heeft plaatsgevonden, is een belangrijke plaats voor de ontwikkeling van embryonale duinen. Samen met de zone rondom het strandmeer vormt dit het grootste oppervlak aan duinen.

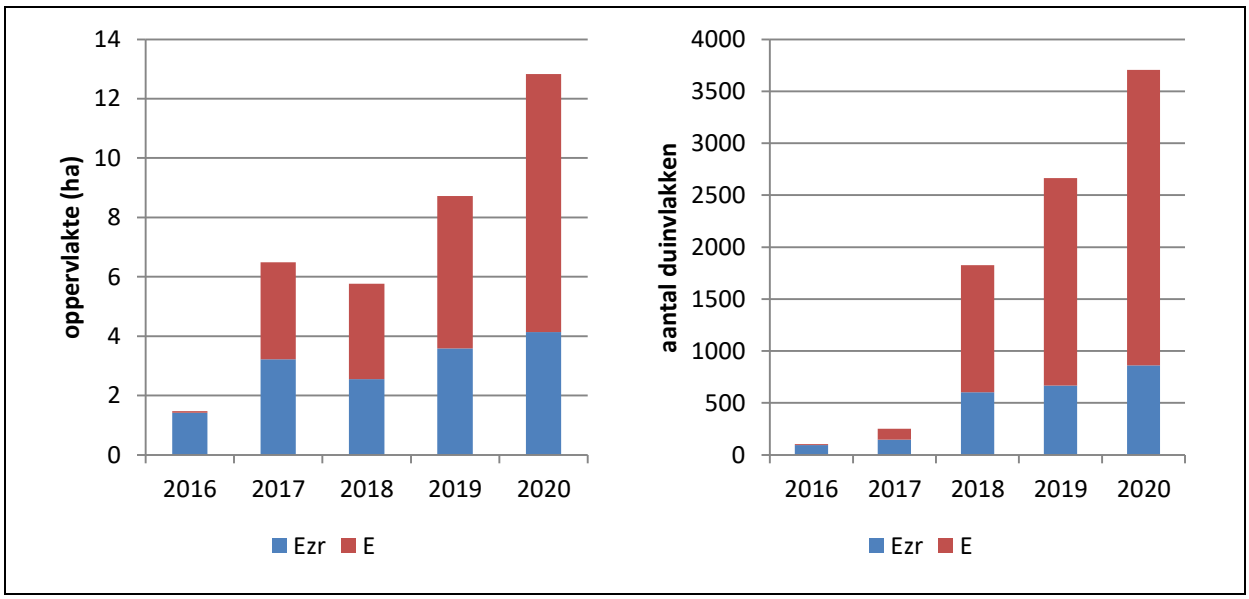
Het is aannemelijk dat zonder de betreding vanaf de strandslag beide zones één geheel zouden hebben gevormd. Het is overigens ook aannemelijk dat beide zones verbonden zouden zijn met de embryonale duinen tegen de zeereep aan, wanneer het strand niet bereden zou worden. Het areaal aan embryonale duinen zou zonder betreden en berijden aanmerkelijk groter zijn geweest.

Er is een duidelijk verschil tussen de oppervlaktes van embryonale duinen vóór de zeereep en op de rest van de Zandmotor. De embryonale duinen vóór de zeereep (van de rest van de Zandmotor afgescheiden door een breed rijspoor) nemen vanaf proefgebied 3 sterk toe, met verreweg het grootste oppervlak in proefgebied 56, dus aan de uiterste zuidkant. Ten zuiden hiervan neemt het oppervlak overigens weer af, tot 0 net ten noorden van slag Molenslag. In proefgebieden 45, 5 en 56 is de toename van 2018 naar 2019 groter dan die van 2019 naar 2020. De embryonale duinen op de rest van de Zandmotor hebben in proefgebied 43 hun grootste oppervlak, met ook in proefgebieden 4 en 45 forse oppervlaktes. Even ten zuiden van proefgebied 56 komen ze niet meer voor. Hier is de toename van 2019-2020 over het algemeen groter dan van 2018-2019. Het is te verwachten dat naarmate de embryonale duinen op de rest van de Zandmotor grotere oppervlakken gaan bedekken, de groei van de embryonale duinen vóór de zeereep gaat afnemen, omdat er minder zand voor hun groei beschikbaar is.

Figuur 0.2 geeft de ontwikkeling van het totale oppervlak en het aantal aan embryonale duinen, met een onderscheid in duinen op de Zandmotor en duinen tegen de Duinversterking. Het oppervlak aan duintjes tegen de zeereep is voor het gehele gekarteerde gebied toegenomen van 2.6 ha in 2018 naar 3.6 ha in 2019 tot 4.1ha in 2020. Het oppervlakte aan duintjes op de rest van de Zandmotor is toegenomen van 3.2ha in 2018 naar 5.1 ha in 2019 tot 8.7ha in 2020. Totaal is het oppervlak aan embryonale duinen van 2018 tot 2020 meer dan verdubbeld. In 2017 en 2018 zijn

beide oppervlaktes grofweg gelijk, vanaf 2019 wordt het areaal aan duintjes op de Zandmotor groter. Het totale areaal bedraagt in 2020 bijna 13 ha.

De grootste oppervlaktes met embryonale duinen zijn ontstaan ten zuiden van het Strandmeer, op oppervlaktes met goed gesorteerd zand, hetzij door overstuiving (rondom het strandmeer), hetzij door een gecombineerde werking van golven en wind (in het zuidelijke oksel), weinig of geen betreding en geen strandschoonmaak activiteiten.

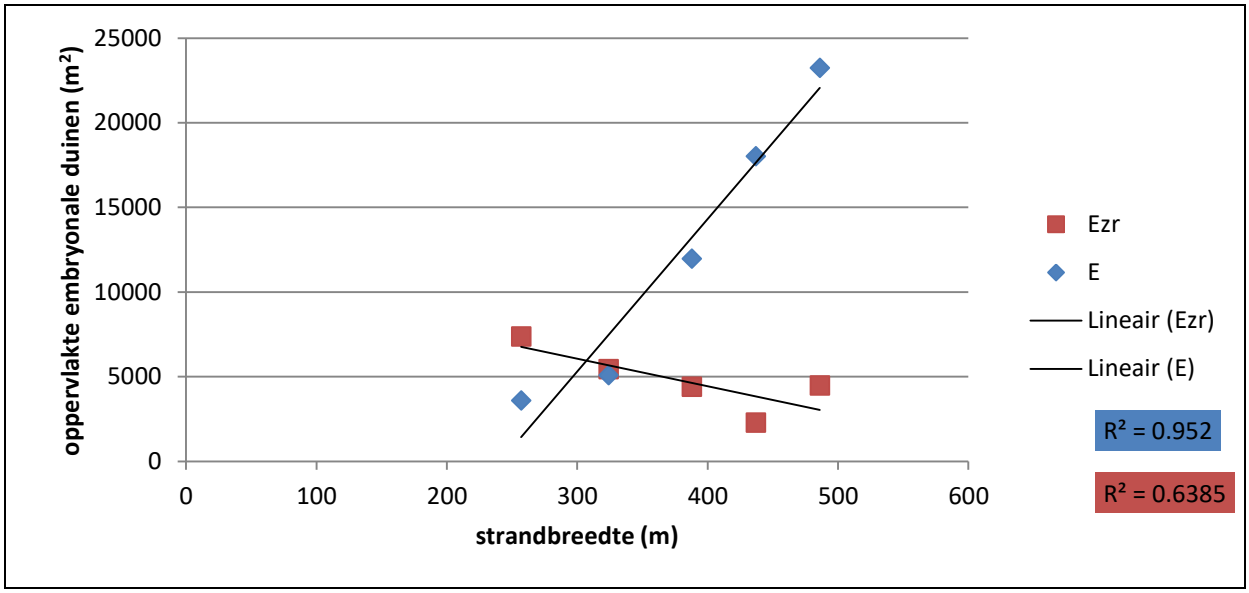


Figuur 0.2. Totaal oppervlak en aantal embryonale duinen vóór de zeereep (Ezr) en embryonale duinen op de Zandmotor (E), voor de gehele zandmotor.

Tussen de lagune en de zeereep begint een duinenveld begint te ontstaan, overigens ook hier gescheiden van de zeereep door een rijspoor. O op de hoogste delen van de Zandmotor zijn geen of vrijwel geen duintjesontstaan. In 2020 lijkt dit voorzichtig op gang te komen. Deze duintjes liggen hoog, over het algemeen boven 4m NAP, omdat het oppervlak waarop ze gevormd worden ook hoog ligt. Het oppervlak is anders dan een echt strand, zowel door de hoge ligging, als door een bobbelige morfologie en een grote hoeveelheid schelpen. Mogelijk dat deze karakteristieken van invloed zijn op het ontstaan van embryonale duinen.

De embryonale duinen ontstaan op het strand op een hoogte van tenminste 2m NAP. De meest zeewaartse ligging is in deelgebied 56, waar de afstand tussen de waterlijn en de eerste embryonale duinen 83m bedraagt. Overigens neemt het oppervlak aan embryonale duin vóór de zeereep en op het strand tussen proefgebied 56 en camping Molenslag af naar 0. Mogelijk is dit een recreatie-effect. Dit was ook zichtbaar op dit stuk strand voordat de Zandmotor werd aangelegd. Embryonale duinen bevonden zich vóór aanleg uitstuitend dicht tegen de zeereep en namen af richting strandslag Molenslag (zie ook notitie meetplan 3).

De maximale bedekking met embryonale duinen is in 2020 in proefgebied 56, waar dan iets meer dan 25% van het totale oppervlak van het proefgebied bedekt is met embryonale duinen. Voor proefgebieden 34 t/m 56 schommelt het oppervlak rond de15-25%. Voor proefgebieden 23 en 3 bedraagt het oppervlak in 2020 iets meer dan 5%, voor de overige proefgebieden (dus alle die hier ten noorden van liggen) is het oppervlak aan embryonale duinen minder dan 4% van het totale oppervlak van het betreffende proefgebied.



Figuur 0.3. Relatie tussen strandbreedte en oppervlakte embryonale duinen.

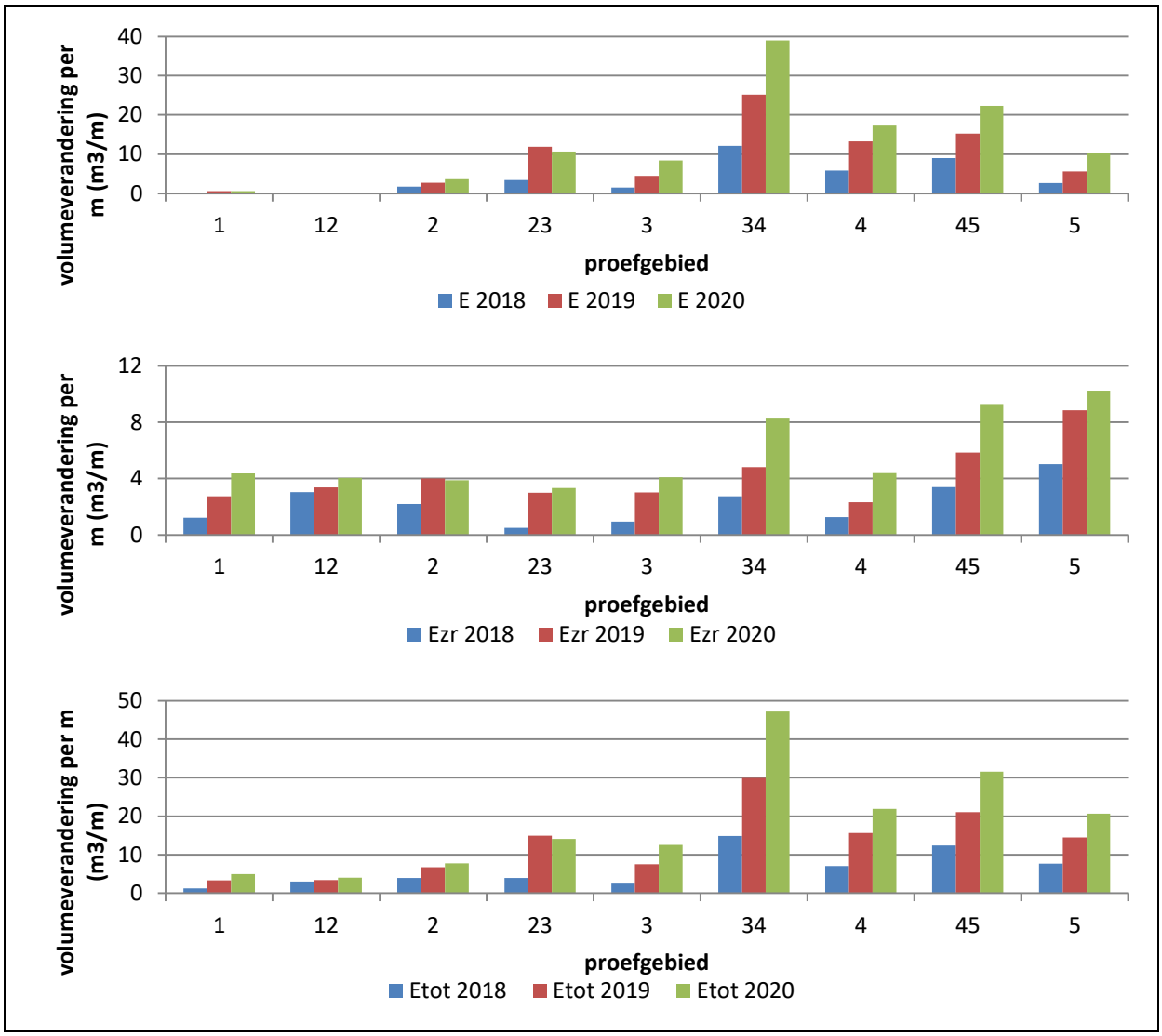
Er lijkt voor het zuidelijk deel van de Zandmotor een relatie met de strandbreedte te zijn (Figuur 0.3). Van proefgebied 34 (ten zuiden van het strandmeer) naar 56 neemt zowel de strandbreedte als het oppervlak aan embryonale duinen op het strand af. Beide afnames zijn sterk gecorreleerd, met een R^2 van 0.95. Vanaf proefgebied 34 naar het zuiden neemt ook de hoeveelheid goed gesorteerd sediment toe, omdat dit eolisch dan wel hydrodynamisch is aangevoerd. De meeste embryonale duinen liggen daar waar de hoogte van het oppervlak fors is toegenomen. Waarschijnlijk wordt de relatie bepaald door de grote van de zandbron en niet zozeer door de beschikbare ruimte. Blijkbaar is ook in proefgebied 56, met een strandbreedte van gemiddeld 257m, de ruimte voldoende voor het ontwikkelen van embryonale duinen los van de zeereep.

Er is ook een redelijke correlatie tussen de strandbreedte en de oppervlakte van embryonale duinen tegen de zeereep aan (Figuur 0.3), maar deze relatie is echter omgekeerd en de correlatie is minder. Het is aannemelijk dat deze relatie het gevolg is van het naar het noorden toe steeds grotere oppervlak aan embryonale duinen los van de zeereep die zand wegvangen voor de zeereep. Hoe kleiner het oppervlak aan embryonale duinen op het strand, hoe meer zand beschikbaar is voor de ontwikkeling van embryonale duinen tegen de zeereep. Ook hier zal de relatie dan bepaald worden door de grote van de zandbron.

Voor wat betreft de hoogte van de verschillende duintjes blijkt dat duinen met een hoogte van 3-3.5m NAP domineren, gevolgd door duintjes met een hoogte van 6-6.5m. De laatste zijn de duintjes die tegen de zeereep ontwikkelen. De laagst gelegen duintjes hebben in 2018 een hoogte van 2.01m NAP, in 2019 reikt de top van het laagst gelegen duintje to 1.73m NAP. Dat is erg laag in het profiel.

Het overgrote deel van de duintjes heeft een (gemiddelde) hoogteverandering ondergaan van 0.4-0.5m, zowel tussen 2017-2018 als tussen 2018-2019. Veranderingen van 0.3-0.4 en 0.5-0.6 komen ook veel voor, maar kleinere en grotere veranderingen maar weinig. Overigens komen binnen vlakken wel grotere hoogteverschillen voor. In de embryonale duinen tegen de zeereep zijn van 2017-2018 plaatselijk hoogteverschillen van meer dan 1 tot 1.6m berekend, voor 2018-2019 zelfs van 2-2.3m.

Met het gemiddelde hoogteverschil per duintje en de oppervlakte van ieder polygoon (duinvlak) is simpel de volumeverandering te bepalen. Uit de berekening volgt dat tussen 2017 en 2018 het volume in de duintjes is toegenomen met 19110 m^3, tussen 2018 en 2019 met 31425 m^3. En van 2019-2020 met 44000 m^3. Per meter kust berekend, betekent dit met een kustlangse lengte van 2250m een volumeverandering van respectievelijk 8.5, 14.0 en 19.8 m^3/m.jaar. In 2018 is zowel in de embryonale duinen op de Zandmotor als in de embryonale duinen tegen de Duinversterking aan 4.3m^3 opgeslagen. In 2019 is dat respectievelijk 9.1 en 5.5m^3, in 2020 is dat 13.2 en 6.5. De hoeveelheid zand die in de embryonale duinen op de Zandmotor wordt opgeslagen is in 2020 dus twee keer zo hoog als de hoeveelheid in de embryonale duinen tegen de duinversterking.



Figuur 0.4. Volumeverandering per jaar en per deelgebied in de embryonale duinen op de Zandmotor (boven), tegen de duinversterking (midden) en totaal (onder).

Voor wat betreft de voor- en nadelen van de automatische kartering ten opzichte van de handmatige kartering is een belangrijk voordeel de snelheid van karteren. Een nadeel is dat de kartering niet 100% betrouwbaar is en daarom een edit-slag behoeft, vooral om ten onrechte als duin geclassificeerde vlakken te verwijderen en ten onrechte niet gekarteerde vlakken handmatig toe te voegen. Een ander belangrijk voordeel is dat de omgrenzing van alle juist geclassificeerde vlakken nauwkeurige is dan voor de handmatige kartering. Ook de omgrenzing van individuele duintjes is veel nauwkeuriger dan voor de handmatige kartering. Een nadeel is dat zeer

gedetailleerde data nodig zijn, die niet standaard voorhanden zijn en die dus apart moeten worden ingewonnen.

Er zijn aanbevelingen gedaan voor ontwerpcriteria ten behoeve van een optimale ontwikkeling van embryonale duinen. Deze hebben betrekking op zonering van rijden en betreden en op de aanleghoogte. Door goede zonering direct bij aanvang kan voorkomen worden dat rijsporen en/of padvorming door betreding de ligging en/of begrenzing van duinvelden bepalen. Door een aanleghoogte te kiezen die incidentele overstroming door de zee garandeert, wordt bewerkstelligd dat het zand aan het oppervlak incidenteel gesorteerd wordt, er geen schelpenvloertje ontstaat en er steeds voldoende verstuifbaar zand beschikbaar is. Bij een juiste aanleghoogte zal een veel groter areaal beschikbaar zijn voor de ontwikkeling van embryonale duinen.

Evaluatievraag
Met dit meetplan is de ontwikkeling van embryonale duinen onderzocht, ten behoeve van de evaluatievraag en bijbehorende hypothesen:

EF3-1a Toevoegen natuurwaarden nieuw duingebied
Evaluatievraag: Zorgt de Zandmotor voor toevoeging van een aantrekkelijk natuurgebied op de Zandmotor zelf en in de jonge duinen tegen het bestaand duin?

Aanvankelijk ging de ontwikkeling van embryonale duinen op de Zandmotor zelf langzaam. In 2015 werd geconcludeerd dat er daardoor nog geen meerwaarde was ontstaan ten opzichte van de oorspronkelijke situatie. In de jaren vóór aanleg van de Zandmotor waren ook al embryonale duinen aanwezig, en de ontwikkeling daarvan ging sneller dan de ontwikkeling op de Zandmotor tussen 2011 en 2015. Een mogelijk oorzaak van de tragere ontwikkeling van embryonale duinen werd gezien in het veelvuldig berijden van het strand, waardoor beginnende duintjes geen kans kregen. Een dergelijke intensiteit van rijbewegingen was vóór aanleg van de Zandmotor niet aanwezig.

Na 2015 is de ontwikkeling van embryonale duinen in een stroomversnelling gekomen. Vanaf 2016 is het oppervlak aan embryonale duinen explosief toegenomen. In 2020 is er 13.3 ha aanwezig. Het grootste deel van de embryonale duinen ligt aan de voorzijde van de Duinversterking en rondom het strandmeer, in deelgebieden Centraal en Zuid. In Kijkduin en de noordkant van deelgebied Noord komen ze nauwelijks voor. Hier wordt het strand actief schoongemaakt en daarmee de ontwikkeling van embryonale duinen op het strand onmogelijk gemaakt.

Het antwoord op de evaluatievraag *"Zorgt de Zandmotor voor toevoeging van een aantrekkelijk natuurgebied op de Zandmotor zelf en in de jonge duinen tegen het bestaand duin"* kan nu met ja beantwoord worden. Een groot deel van de duintjes heeft een natuurlijke morfologie, hoewel sommige vlakken duidelijk begrensd zijn door rijsporen. Het merendeel van de begroeiing bestaat uit Helm en Biestarwegras, maar er zijn ook verschillende andere kenmerkende soorten gevonden. De huidige oppervlakte is groter dan de oppervlakte voor aanleg. De diversiteit is ook groter, omdat de embryonale duinen over een groter oppervlak verspreid zijn. In 2009, net vóór aanleg, lagen de embryonale duinen allemaal in een zone direct vóór de zeereep, terwijl in de huidige situatie naast de zeereepzone er ook meerdere duinenvelden op de Zandmotor zelf zijn ontstaan. Kanttekening is dat de ontwikkeling waarschijnlijk vertraagd is door het vele rijden over de Zandmotor. Daarnaast is een deel van de omgrenzing van de duinenvelden bepaald door de rijsporen, waardoor op enkele plaatsen langgerekte duinenvelden zijn ontstaan, wat de natuurlijkheid (en aantrekkelijkheid?) niet ten goede komt.

1 Inleiding

In de MER Aanleg en Zandwinning Zandmotor Delflandse Kust (DHV, 2010a) is een drietal doelen geformuleerd, waarbij door middel van monitoring en evaluatie moet worden bepaald of deze doelen worden gehaald:

- MER-doel 1: Stimuleren van natuurlijke duinaangroei in het kustgebied van Hoek van Holland en Scheveningen voor veiligheid, natuur en recreatie.
    - *Subdoelen MER-doel 1- Stimuleren van natuurlijke duinaangroei in het kustgebied van Hoek van Holland en Scheveningen voor veiligheid, natuur en recreatie:* Het op natuurlijke wijze ontwikkelen van bredere en robuustere duinen, zodat er meer ruimte is voor dynamisch beheer, waardoor hogere natuurwaarden zich kunnen ontwikkelen.
- MER-doel 2: Het genereren van kennisontwikkeling en innovatie om de vraag te beantwoorden in welke mate kustonderhoud, meerwaarde voor recreatie en natuur gezamenlijk te realiseren zijn.
- MER-doel 3: Het toevoegen van een aantrekkelijk recreatie- en natuurgebied aan de Delflandse kust.
    - *Subdoelen MER-doel 3 - Het toevoegen van een aantrekkelijk recreatie- en natuurgebied aan de Delflandse kust*. Het ontwikkelen van natuurwaarden voor vooroever, strand, intergetijdegebied en duinen.

Vanuit beheeroogpunt zijn in het MEP uit 2010 de volgende doelen voor de Zandmotor geformuleerd waarop de monitoring mede zou moeten worden gericht:

- Beheerdoel 1: Het beheersen van de risico's van de Zandmotor voor recreanten.
- Beheerdoel 2: Het beheer zo inrichten dat tegemoet wordt gekomen aan zowel de doelstellingen voor recreatie als voor natuur.
- Beheerdoel 3: Het mitigeren van mogelijk negatieve effecten van de Zandmotor.
- Beheerdoel 4: Het beheersen van de externe risico's door de aanleg van de Zandmotor.

Net als voor de doelen vanuit de MER zijn ook bovenstaande doelstellingen onderverdeeld in subdoelen. Ook hier worden alleen de subdoelen genoemd die voor het onderdeel 'duinen' van belang zijn.

Subdoelen Beheerdoel 2: Het beheer zo inrichten dat tegemoet wordt gekomen aan zowel de doelstellingen voor recreatie als voor natuur:

- Het volgen van de ontwikkeling van habitats, flora en fauna op de Zandmotor.
- Het, waar nodig, faciliteren van ontwikkeling van natuurwaarden.
- Het toepassen en handhaven van dynamische zonering, zodat natuur en recreatie optimaal samengaan.

In het kader van een EFRO-subsidie is in najaar 2013 gestart met een onderzoek naar de vorming van embryonale duinen op de Zandmotor. Het onderzoek naar de ontwikkeling van embryonale duinen past binnen MER-doel 1 en 3 en Beheerdoel 2.

De 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 (aantal/oppervlak) tussen winter (= voorjaarsmeting minus najaarsmeting) en zomer (= najaarsmeting minus voorjaarsmeting)?

5. Wat is de (mogelijke) relatie tussen ontwikkelingssnelheid en (bijv.) strandbreedte, aangroei/afslagkust, aanwezigheid binnenmeer en lagune, aanwezigheid rijsporen/auto's e.d. op basis van regressies of vergelijking van deelgebieden?
6. Is er een verschil in ontwikkeling in de Gemeente Den Haag en de Gemeente Westland als gevolg van actief beheer door de Gemeente Den Haag van het schoonhouden van het strand met beach cleaners?

Het onderzoek naar ontwikkeling van embryonale duinen op de Zandmotor is relevant voor de volgende evalutievragen:

- EF 3-1a Toevoegen natuurwaarden nieuw duingebied (op de Zandmotor);

Evaluatiefactsheet EF 3-1a heeft betrekking op de volgende doelen uit het MEP uit 2010:

- MER-doel 1' stimuleren natuurlijke duinaangroei', subdoel 'op natuurlijke wijze ontwikkelen duinen, met waardoor zich hogere natuurwaarden ontwikkelen';
- MER-doel 3 'toevoegen aantrekkelijk recreatie- en natuurgebied', subdoel 'ontwikkelen van natuurwaarden strand en duinen'
- Beheerdoel 2 'beheer richten op doelen recreatie en natuur', subdoelen 'volgen ontwikkeling van habitats, flora en fauna op de Zandmotor', 'faciliteren ontwikkeling natuurwaarden' en 'dynamische zonering, waardoor natuur en recreatie samengaan'.

EF 3-1a heeft tevens betrekking op de monitoring van Nbw-aspect 1 'habitats in nieuwe duinen', dat een sterk overlap heeft met bovenstaande MEP-doelen.

EF3-1a Toevoegen natuurwaarden nieuw duingebied
Evaluatievraag: Zorgt de Zandmotor voor toevoeging van een aantrekkelijk natuurgebied op de Zandmotor zelf en in de jonge duinen tegen het bestaand duin?

Subvragen:

- ND1-01: in hoeverre ontwikkelen zich bredere, meer natuurlijke en dynamische duinen?
- ND1-02: wat is de invloed van dynamische wijze van aanleg en beheer op de kwaliteit?
- ND1-03: wat is de invloed van het recreatiebeheer ('flexibel zoneren')?

Bijbehorende hypothesen:

- ND1-01: tussen Hoek van Holland en Scheveningen ontwikkelen zich bredere, meer natuurlijke en dynamische duinen;
- ND1-02: er ontwikkelen zich hogere natuurwaarden dan in kunstmatig aangelegde duinen (in vergelijking met Spanjaardsduin);
- ND1-03: er is geen negatieve invloed van recreatie op de ontwikkeling van natuurwaarden.

Om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van embryonale duinen zijn verschillende inventarisaties uitgevoerd. Vanwege de explosieve ontwikkeling van embryonale duinen is in 2018 overgegaan op een meer automatische kartering. In oktober 2018, 2019 en 2020 zijn daarvoor speciale, zeer gedetailleerde opnames gemaakt van de hoogte van het gebied. In een eerdere notitie (Arens & Vertegaal, 2020) is een methode uitgewerkt om op basis van deze gegevens de embryonale duinen op de Zandmotor (semi-) automatisch te karteren. De resultaten voor 2018 en 2019 zijn besproken in die notitie. In deze notitie zijn de resultaten van 2020 daaraan toegevoegd. De resultaten van het onderzoek naar de ontwikkeling van embryonale duinen tussen 2011 en 2020 worden besproken in een derde rapportage (Arens & Vertegaal, 2021).

2 Methode

De kartering voor 2020 is op dezelfde wijze uitgevoerd als die voor 2018 en 2019. Voor de methode van karteren wordt verwezen naar Arens & Vertegaal, 2020.

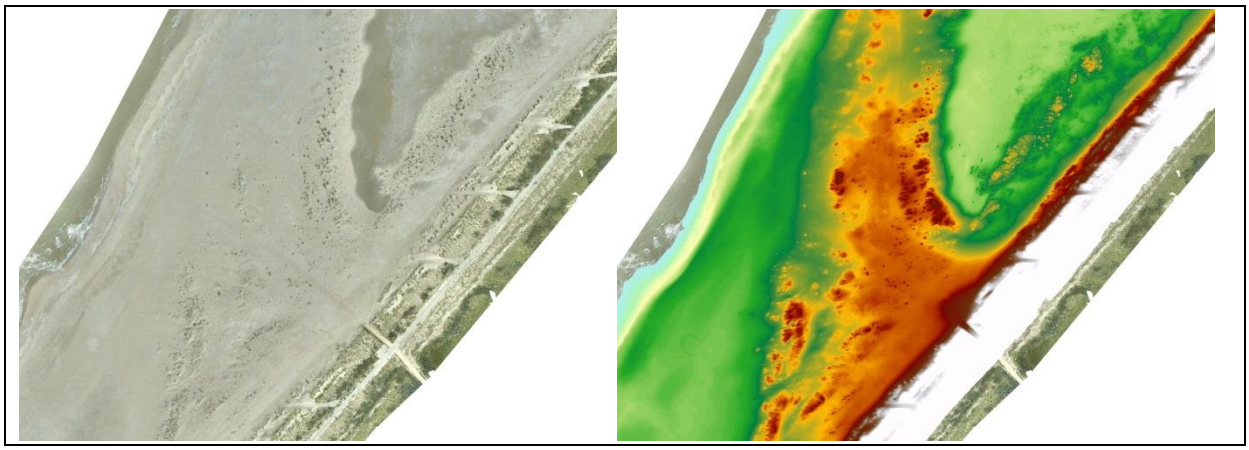
Figuur 2.1. Ligging proefgebieden. Ondergrond luchtfoto Shore 2019.

De Zandmotor is opgedeeld in een aantal proefgebieden, evenwijdige stroken van noord naar zuid. Bij de veldkartering moest een selectie van deelgebieden worden gemaakt, omdat het niet mogelijk was het gehele gebied in de beschikbare tijd te karteren. Noodgedwongen door de explosiviteit van de ontwikkeling van embryonale duinen werden de proefgebieden van 2013 tot 2018 steeds kleiner. De ligging en nummering van de proefgebieden is weergegeven in Figuur 2.1. De oorspronkelijke proefgebieden zijn aangegeven met nummers 1 t/m 5 en geel omgrensd. De eerste reductie was een versmalling, en resulteerde in de proefgebieden met nummer 10 t/m 50, omgrensd met blauw. De laatste reductie resulteerde in de proefgebieden 101, 201, 202, 301, 302, 303, 401 en 501 en zijn omgrensd met rood. De tussen de proefgebieden gelegen stroken zijn genummerd als 12 (tussen 1

en 2) t/m 45 (tussen 4 en 5). Voor de volledigheid worden in de inventarisatie hieronder eerst de resultaten voor alle proefgebieden, dus ook de steeds kleinere delen besproken. Daarna volgt een bespreking voor de oorspronkelijke proefgebieden (1 t/m 5) en de tussenliggende stroken.

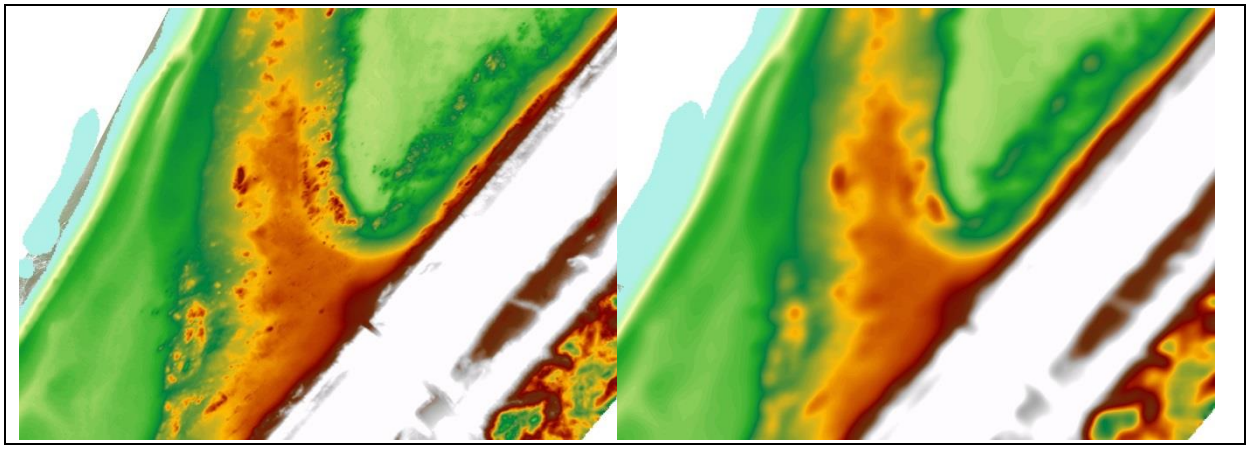
De opnames van 2019 en 2018 dateren allebei van oktober. In oktober 2020 is door Shore een nieuwe opname gemaakt. Hierbij is de hoogte, net als in de opnames van 2018 en 2019 opgenomen met Lidar. Het resultaat is een DSM (Digital Surface Model, met de bovenlaag van de vegetatie) en een DTM (Digital Terrain Model, met het daadwerkelijke oppervlak) in een resolutie van $0.25x0.25m^2$. Daarnaast is, ook net als in 2018 en 2019 een orthofoto gemaakt met resolutie van $0.02x0.02m^2$. De foto van 2018 is beperkt tot een strook direct grenzend aan de zeereep. De foto's van 2019 en 2020 bedekken de gehele Zandmotor.

Hieronder zijn in een aantal figuren de basisgegevens, de tussenproducten en het uiteindelijke resultaat voor een deel van het gebied afgebeeld. Voor de precieze stappen zie Arens & Vertegaal, 2020a.

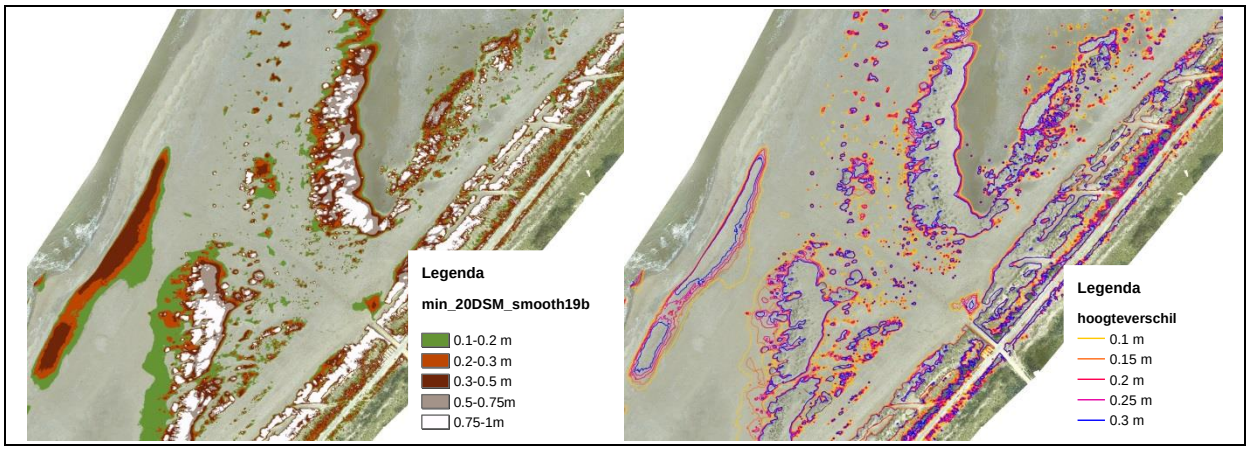


Figuur 2.2. Links de orthofoto 2000, rechtsboven het DSM 2020. Opname Shore, oktober 2020.

Zowel op luchtfoto als op het DSM uit Figuur 2.2 zijn de embryonale duinen al herkenbaar. Het DSM van 2020 (rechts in Figuur 2.2) wordt vergeleken met het gladgestreken DTM van 2019 (rechts in Figuur 2.3). Embryonale duinen steken uit boven het "gemiddelde" oppervlak en kunnen dus gedetecteerd worden a.h.v. het hoogteverschil tussen DSM2020 en gladgestreken DTM2019.

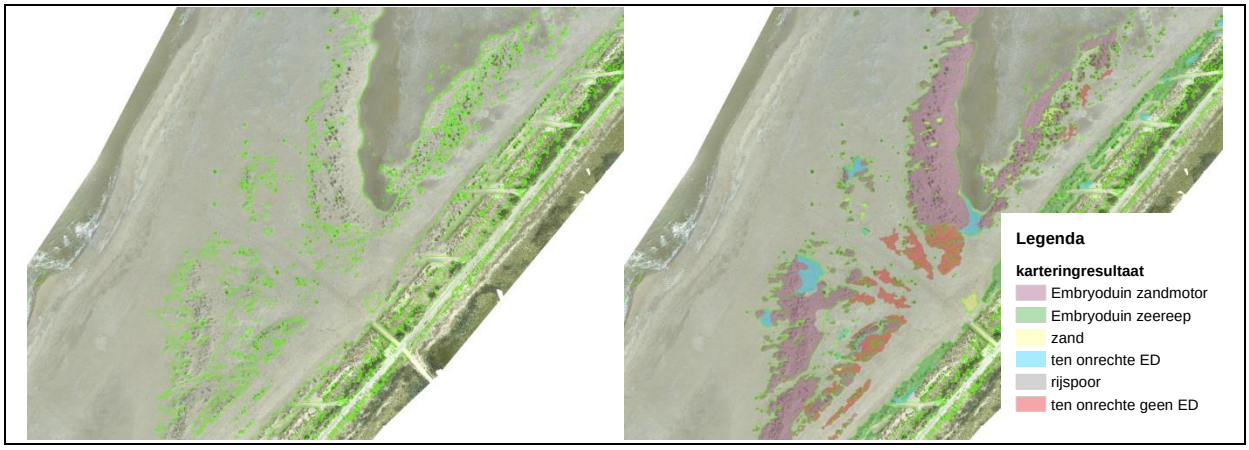


Figuur 2.3. Links het grovere DTM van RWS 2019, rechts het gesmoothde DTM van RWS 2019. Opname RWS, oktober 2019.



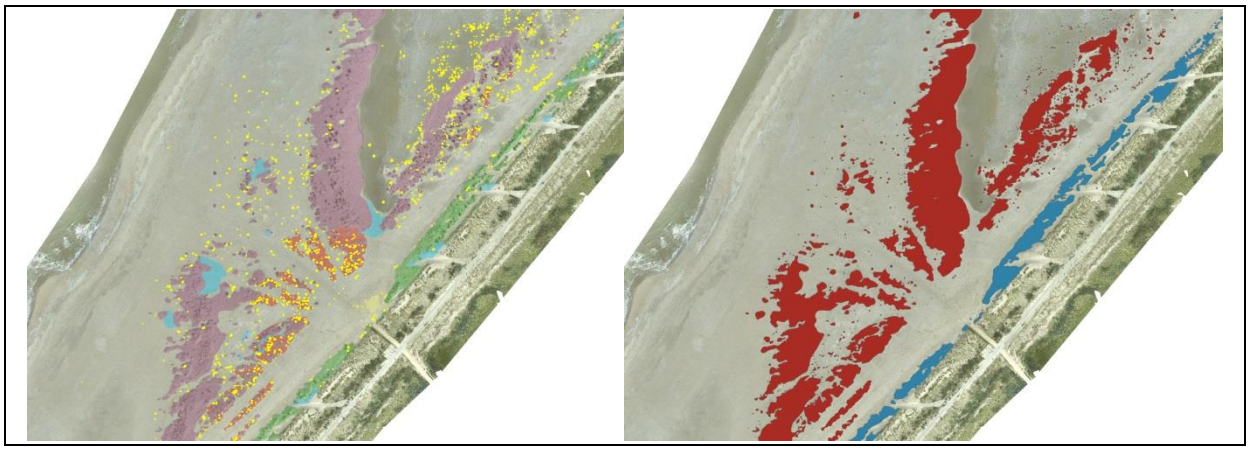
Figuur 2.4. Links de verschilkaart tussen DSM2020 en smoothDTM2019. Rechts de contourlijnen voor de verschilkaart met contourlijn van 0.1 (geel) tot 0.3 (paars) met afstand 0.05m.

Op de kaart met hoogteverschillen tussen DSM van 2020 en het gesmoothde DTM van 2019 zijn de complexen van embryonale duinen goed zichtbaar (links in Figuur 2.4). De contourlijn van 0.2m hoogteverschil geeft het best de omgrenzing van de embryonale duinen weer (rechts in Figuur 2.4).



Figuur 2.5. Links de contourlijn voor een hoogteverschil van 0.2m die gebruikt wordt voor de omgrenzing van embryonale duinen. Rechts de uiteindelijke classificatie met ten onrechte wel en niet als embryoduin geclassificeerde vlakken.

De classificatie is niet 100% juist. Vlakken worden ten onrechte als embryonaal duin herkend, en andere vlakken met (kleine) embryonale duinen worden ten onrechte niet als embryonaal duin herkend (Figuur 2.5, rechts). Kleine, geïsoleerde duintjes worden via een tweede procedure bepaald. Deze kleine duintjes zijn in Figuur 2.6, links met geel gemarkeerd. Het geheel wordt samengevoegd en na een edit-slag geeft Figuur 2.6 het uiteindelijke resultaat, met een onderverdeling van embryonale duinen op de Zandmotor, en embryonale duinen tegen de Duinversterking zijn ontstaan.



Figuur 2.6. Links in geel de contouren van kleine vlakken die bij de eerste ronde buiten de classificatie vallen. Rechts de uiteindelijke kaart met embryonale duinen. Blauw zijn de embryonale duinen die tegen de zeereep zijn gevormd, bruin de embryonale duinen die op de Zandmotor zijn gevormd.

In vergelijking tot de resultaten voor 2018 en 2019 is er meer handmatig ge-edit aan de kaart. Er zijn verschillende vlakken die ten onrechte geclassificeerd worden als embryonaal duin. Dit zijn vlakken waar de hoogte wel flink is toegenomen, maar waar geen vegetatie op staat en die daarom dus niet als embryonaal duin worden aangemerkt. Er zijn in 2020 ook enkele vlakken die in de automatische classificatie juist over het hoofd worden gezien. Dit zijn met name vlakken met verspreid zeer kleine duintjes, soms nog geen 10cm hoog, die door het beperkte hoogteverschil niet meegenomen worden, maar die wel duidelijk als beginnende embryonale duinen herkenbaar zijn, met duidelijke begroeiing, en daarom wel omgrensd zijn. In de oorspronkelijke veldkartering zouden deze waarschijnlijk als plantvlak zijn geclassificeerd. In het volgende hoofdstuk (paragraaf 3.6) worden de voor- en nadelen van de automatische ten opzichte van de handmatige kartering besproken.

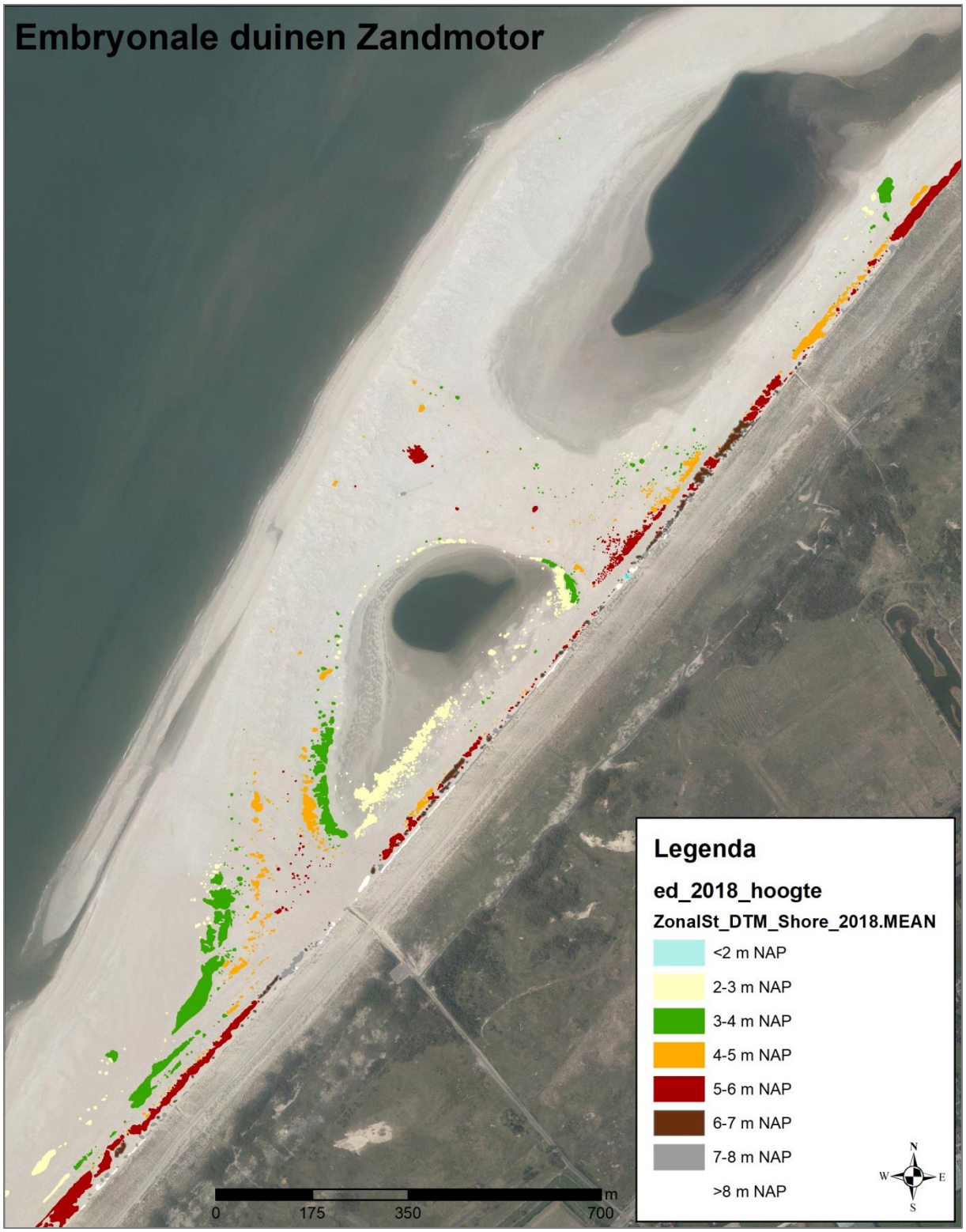
3 Resultaten

3.1 Veranderingen tussen 2018 en 2020

Met de kartering is het mogelijk allerlei variabelen voor de verschillende jaren te vergelijken. De volledige karteringen voor 2018-2020 zijn opgenomen in Bijlage 1 met een onderverdeling in noord en zuid. Er is een onderscheid gemaakt tussen embryonale duinen die tegen de zeereep aan groeien (Ezr) en de embryonale duinen op de rest van de Zandmotor, los van de zeereep (E).

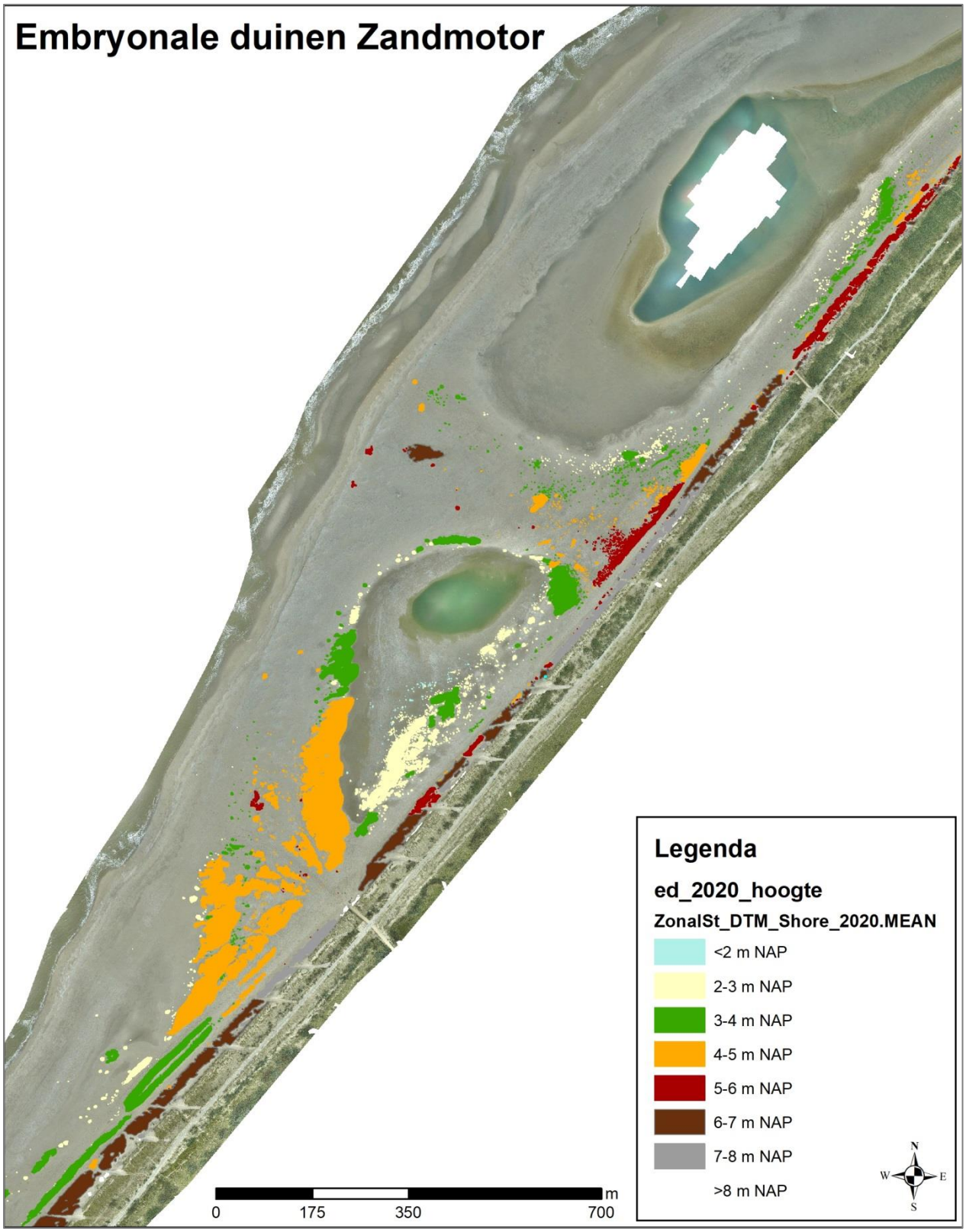
3.2 Patronen van duinontwikkeling

Voor de gekarteerde duinvlakken kunnen bijvoorbeeld per jaar de gemiddelde hoogte en het gemiddelde hoogteverschil worden weergegeven. Vervolgens zijn hier allerlei kwantitatieve vergelijkingen mee te maken. Figuur 3.1 t/m Figuur 3.3 maakt in één oogopslag de ontwikkeling van embryonale duinen op de Zandmotor duidelijk. Behalve dat de complexen uitbreiden neemt ook de gemiddelde hoogte per complex (grotendeels) toe. Dit betekent dat er veel zand in de embryonale duinen wordt opgeslagen. Dit wordt hieronder verder uitgewerkt. Figuur 3.4 t/m Figuur 3.6 geeft voor de duinvlakken de gemiddelde hoogteverandering over het voorgaande jaar. Hiermee wordt duidelijk welke complexen het hardst groeien.

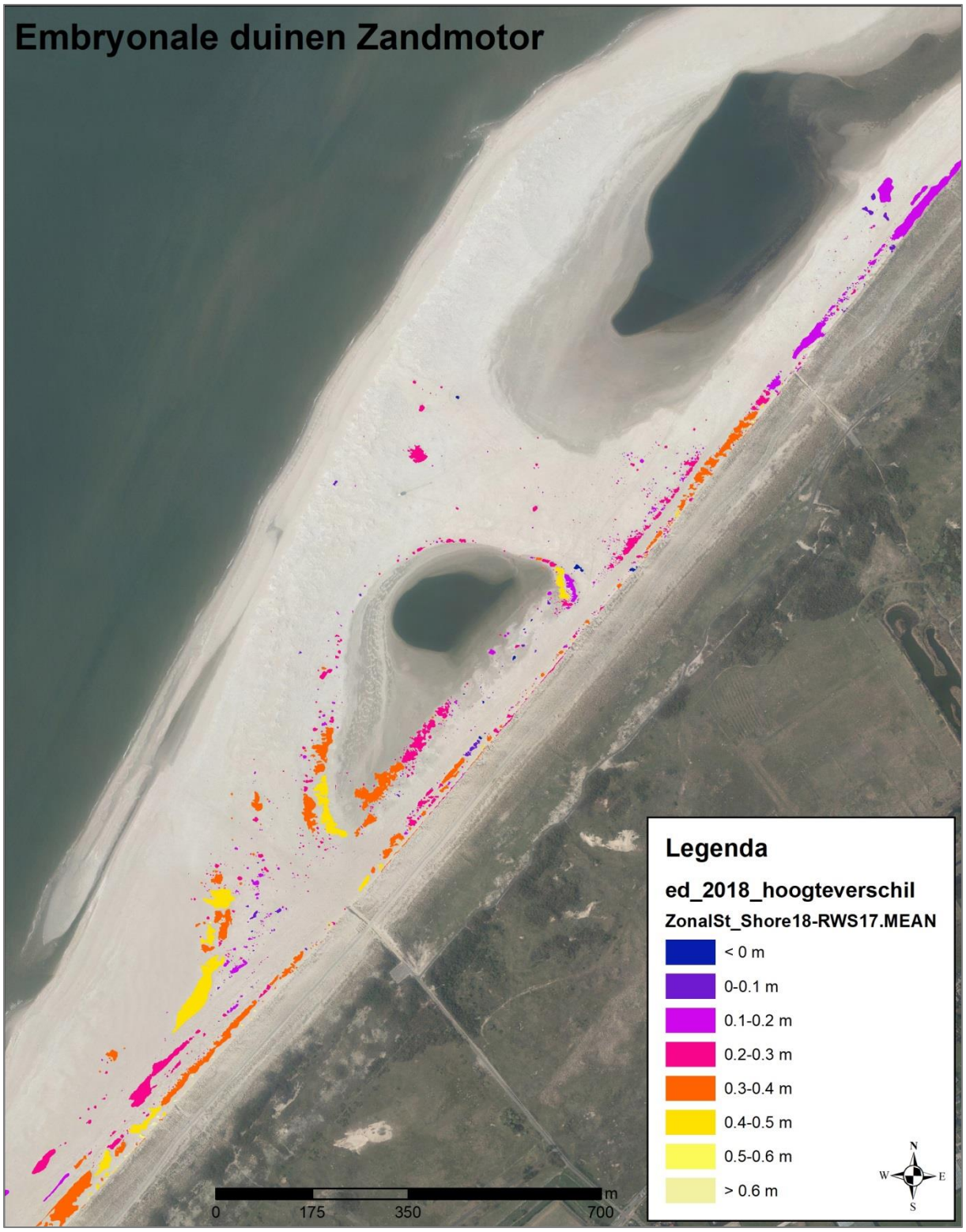


Figuur 3.1. Gemiddelde hoogte per duinvlak in 2018.

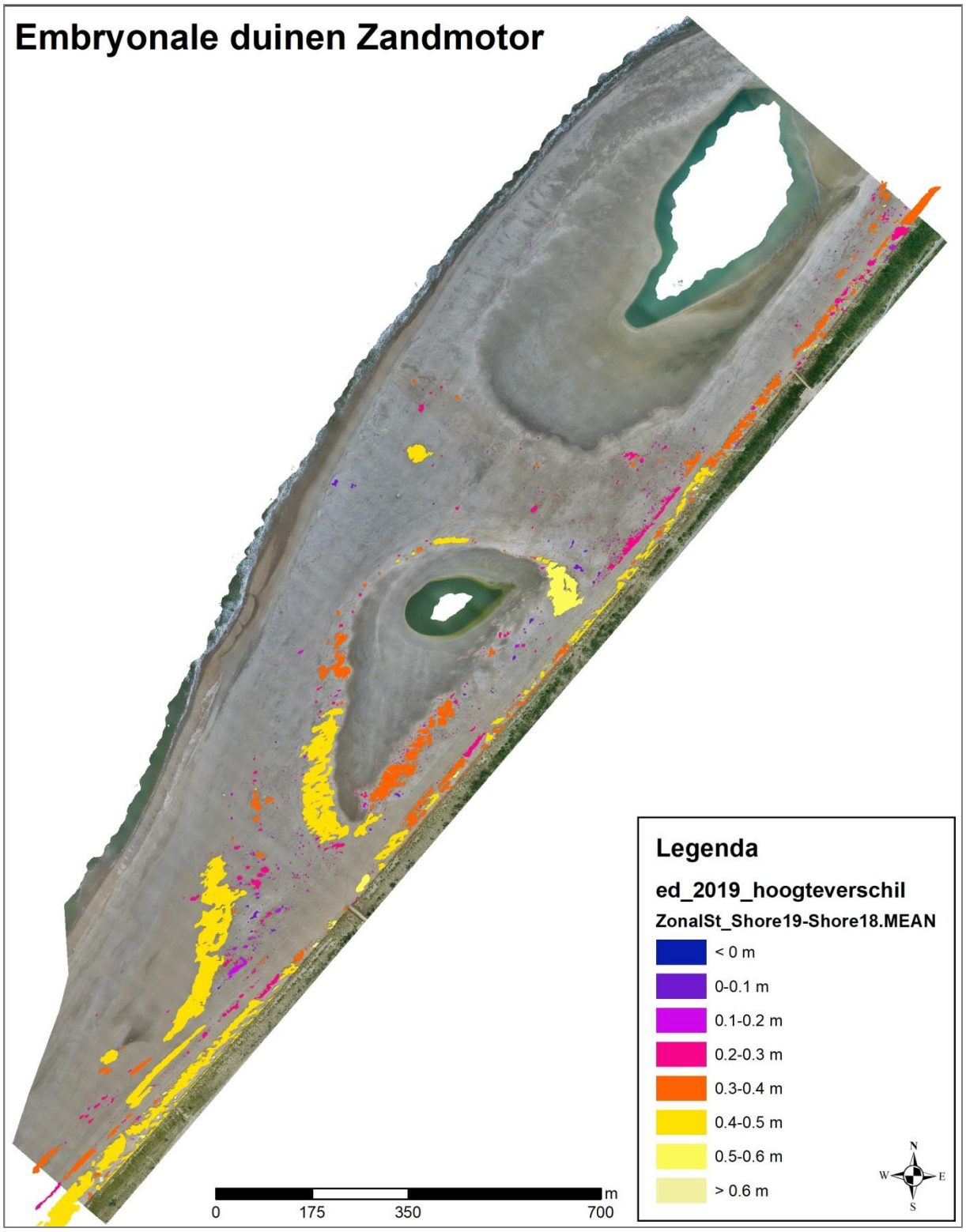
Figuur 3.2. Gemiddelde hoogte per duinvlak in 2019.



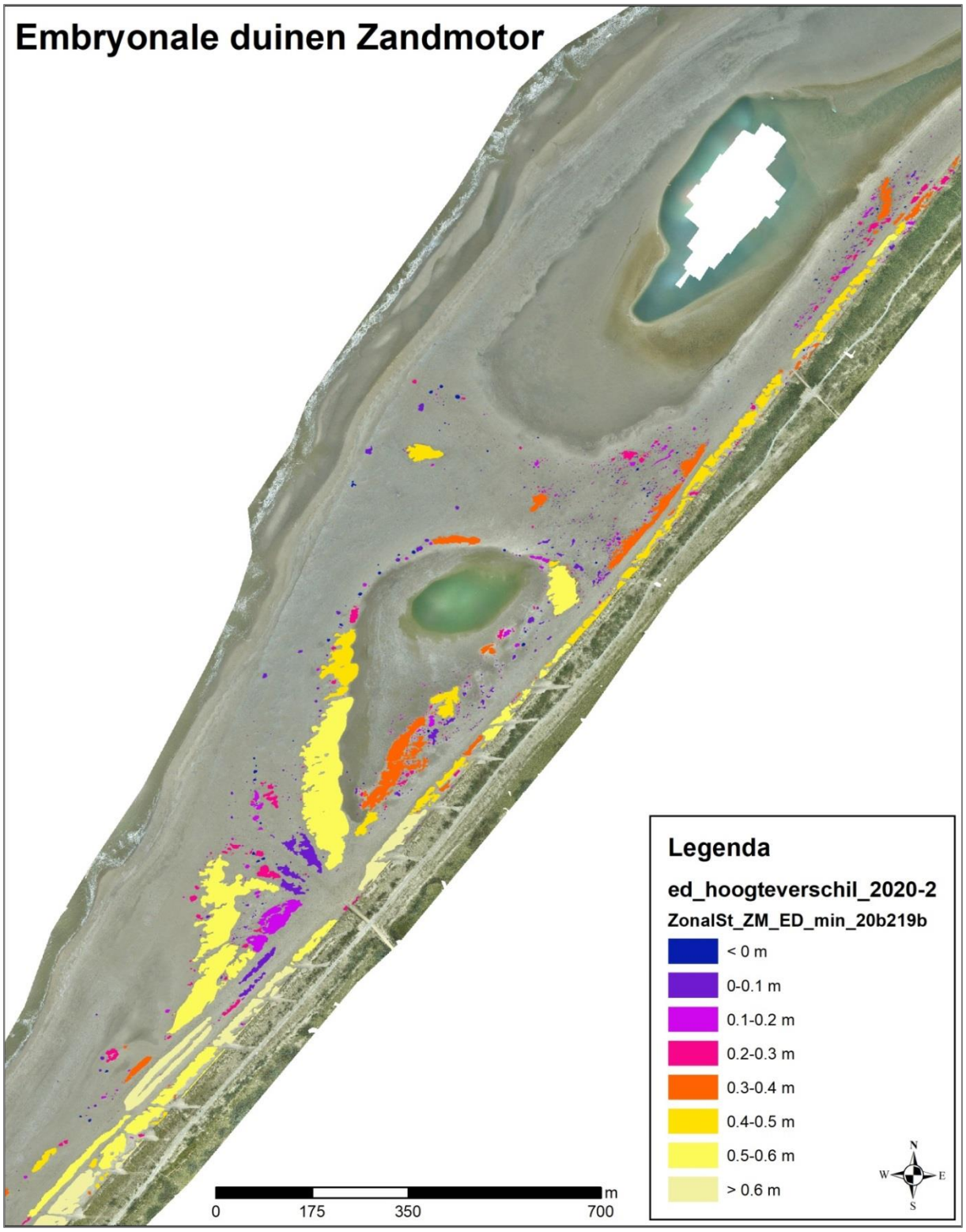
Figuur 3.3. Gemiddelde hoogte per duinvlak in 2020.



Figuur 3.4. Gemiddeld hoogteverschil per duinvlak tussen 2017 (RWS opname Zandmotor)-2018 (Shore).



Figuur 3.5. Gemiddeld hoogteverschil per duinvlak tussen 2018 (Shore)-2019 (Shore).



Figuur 3.6. Gemiddeld hoogteverschil per duinvlak tussen 2019 (RWS)-2020(Shore).

Uit de patronen van de duinvlakken is het een en ander af te leiden. Ten eerste is er een overduidelijk effect van rijsporen op de ontwikkeling van de duinen. Direct tegen de zeereep aan ligt een ongestoorde strook embryonale duinen. Zeewaarts daarvan valt parallel aan de zeereep de band op zonder enig duin, het gevolg van berijden. Dit resulteert in een aantal onnatuurlijk begrensde, langgerekte duinvlakken. Het patroon is hardnekkig en ieder jaar prominent aanwezig. Het is duidelijk dat in dit spoor geen duinen tot ontwikkeling komen. Alleen een rijverbod zal hier

verandering in kunnen brengen. Betreding heeft ook een duidelijk effect bij de strandopgang van het Schelpenpad. In 2018 en 2019 is dit effect nog niet zo duidelijk zichtbaar. De zone is dan wel grotendeels kaal, maar een directe relatie met de strandslag lijkt er nog niet. In 2020 is die wel zichtbaar. Er loopt een waaier van sporen vanuit de strandslag richting zee, met een prominent spoor dat rechtstreeks van de slag naar zee loopt, en minder duidelijke sporen die vanaf de strandslag uitwaaieren. Ook hier is duidelijk dat duinen zich niet ongestoord kunnen ontwikkelen. De verschilkaart van Figuur 3.6 laat ook zien dat de ophoging hier veel minder sterk is dan elders.

De voormalige rand van het strandmeer is een andere belangrijke locatie van duinontwikkeling. Langs deze rand is veel zand ingestoven en met name aan de zuidwestkant heeft dit tot flinke duinontwikkeling geleid.

Ook het zuidelijk oksel, waar een flinke aanwas van het strand heeft plaatsgevonden, is een belangrijke plaats voor de ontwikkeling van embryonale duinen. Samen met de zone rondom het strandmeer vormt dit het grootste oppervlak aan duinen. Het is aannemelijk dat zonder de betreding vanaf de strandslag beide zones één geheel zouden hebben gevormd. Het is overigens ook aannemelijk dat beide zones verbonden zouden zijn met de embryonale duinen tegen de zeereep aan, wanneer het strand niet bereden zou worden. Het areaal aan embryonale duinen zou zonder betreden en berijden aanmerkelijk groter zijn geweest.

Verder valt op dat ook meer naar het noorden, tussen de lagune en de zeereep, een duinenveld begint te ontstaan, overigens ook hier gescheiden van de zeereep door een rijspoor. Verder ontstaan er nu ook op het meest zeewaartse deel kleine, nog geïsoleerde duintjes. Dit soort kleine duintjes zijn overigens op de kaarten niet goed zichtbaar.

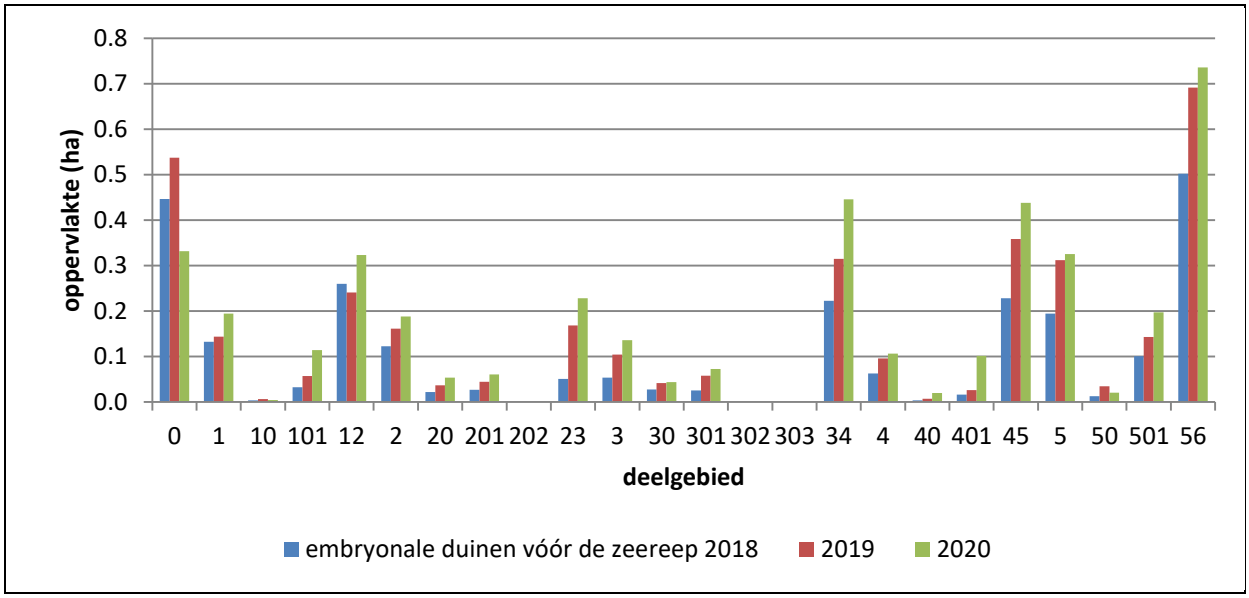
Opvallend is dat op de hoogste delen van de Zandmotor geen of vrijwel geen duintjes zijn ontstaan. In 2020 lijkt dit voorzichtig op gang te komen. Deze duintjes liggen hoog, over het algemeen boven 4m NAP, omdat het oppervlak waarop ze gevormd worden ook hoog ligt. Het oppervlak is anders dan een echt strand, zowel door de hoge ligging, als door een bobbelige morfologie en een grote hoeveelheid schelpen. Mogelijk dat deze karakteristieken van invloed zijn op het ontstaan van embryonale duinen. De grootste oppervlaktes met embryonale duinen zijn ontstaan op oppervlaktes met goed gesorteerd zand, hetzij door overstuiving (rondom het strandmeer), hetzij door een gecombineerde werking van golven en wind (in het zuidelijke oksel), weinig of geen betreding en geen strandschoonmaak activiteiten.

De embryonale duinen ontstaan op het strand op een hoogte van tenminste 2m NAP. De meest zeewaartse ligging is in deelgebied 56, waar de afstand tussen de waterlijn en de eerste embryonale duinen 83m bedraagt. Overigens neemt het oppervlak aan embryonale duin vóór de zeereep en op het strand tussen proefgebied 56 en camping Molenslag af naar 0. Mogelijk is dit een recreatie-effect. Dit was ook zichtbaar op dit stuk strand voordat de Zandmotor werd aangelegd. Embryonale duinen bevonden zich vóór aanleg uitstuitend dicht tegen de zeereep en namen af richting strandslag Molenslag (zie ook notitie meetplan 3).

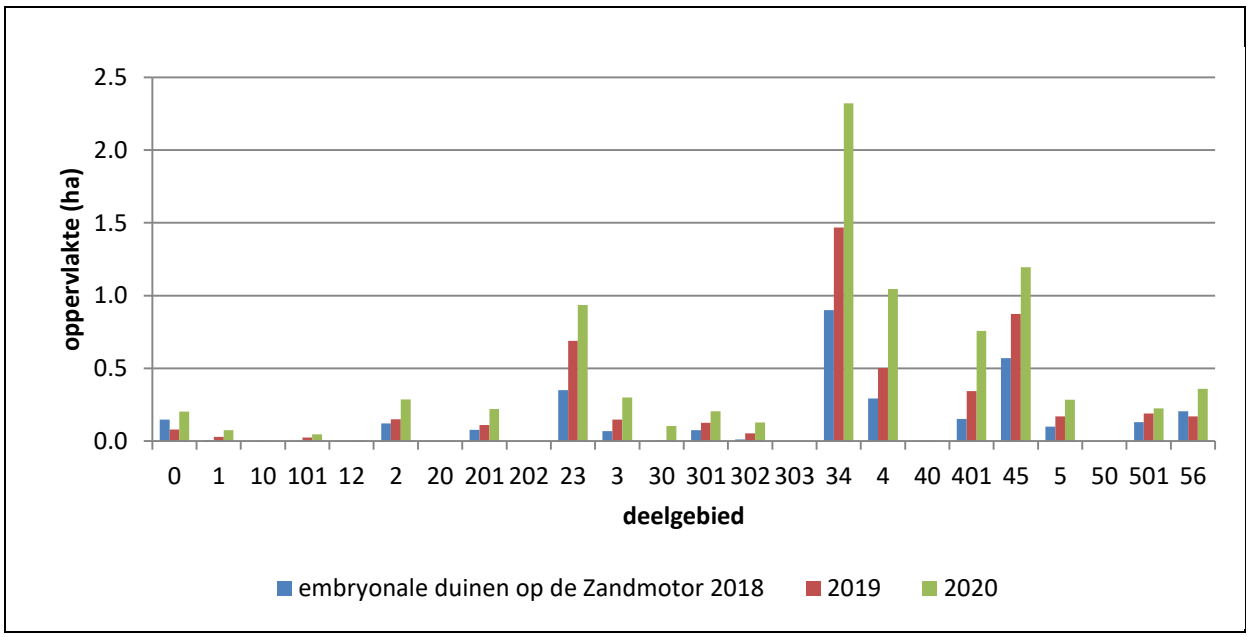
3.3 Ontwikkeling van aantallen en oppervlaktes

In Figuur 3.7 en Figuur 3.8 is de ontwikkeling van de oppervlaktes van 2018-2020 per proefgebied uitgezet. Er is een onderscheid gemaakt tussen embryonale duinen tegen de zeereep aan en op de rest van de Zandmotor. Beide oppervlaktes zijn toegenomen. Het oppervlak aan duintjes tegen de zeereep is voor het gehele gekarteerde gebied toegenomen van 2.6 ha in 2018 naar 3.6 ha in 2019 tot 4.1Ha in 2020. Het oppervlakte aan duintjes op de rest van de Zandmotor is toegenomen van 3.2ha in 2018 naar 5.1 ha in 2019 tot 8.7ha in 2020. Totaal is het oppervlak aan embryonale duinen

van 2018 tot 2020 meer dan verdubbeld. De kustlangse lengte van het onderzochte gebied is 2250m. Gemiddeld betekent dit dat er per strekkende meter kust dwars op de kust nu een zone van 60m met embryonale duinen ligt, in 2019 was dat nog 40m.

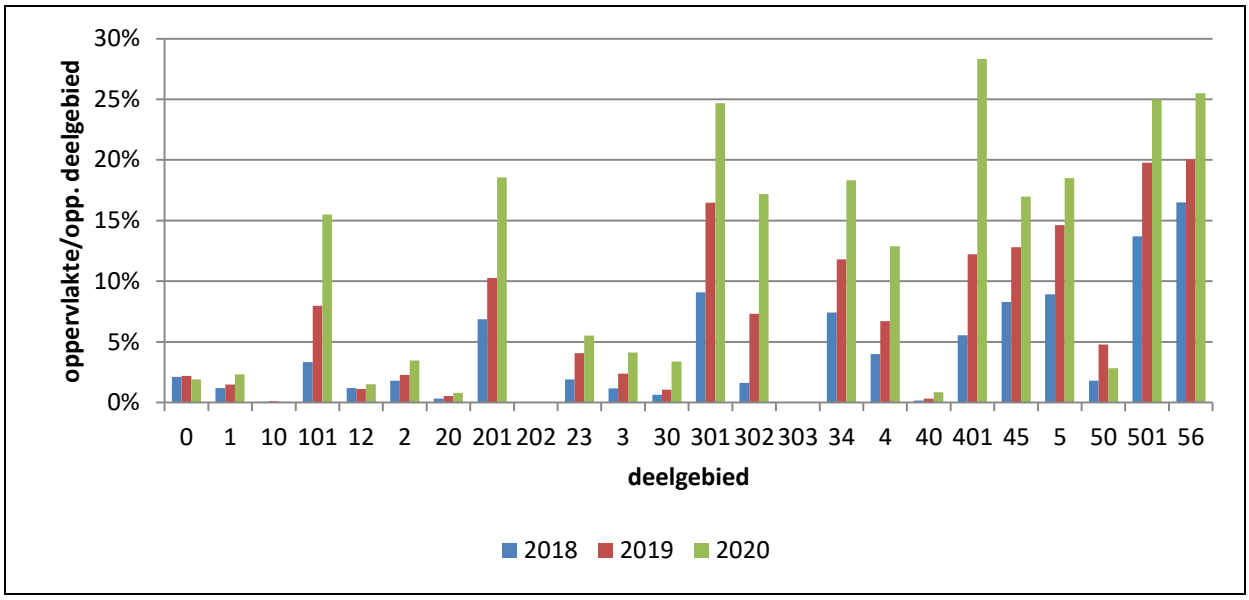


Figuur 3.7. Vergelijking van oppervlaktes van embryonale duinen tegen de zeereep voor 2018-2020.



Figuur 3.8. Vergelijking van oppervlaktes van embryonale duinen op de Zandmotor voor 2018-2020.

Figuur 3.7 en Figuur 3.8 geven inzicht in de absolute oppervlaktes aan embryonale duinen. Figuur 3.9 plaatst dat iets meer in perspectief, hier zijn de oppervlaktes per proefgebied uitgezet als percentage van het proefgebied. Daarmee wordt duidelijk welke proefgebieden de grootste concentratie aan embryonale duinen herbergen. Dat zijn, niet toevallig natuurlijk, de kleine detailgebieden waar de veldmetingen het langst zijn volgehouden. Deze laten allen een forse stijging van het oppervlak zien tussen zowel 2018-2019 als 2019-2020. De stijging van 2019-2020 is het sterkst, soms een verdubbeling van het oppervlak.

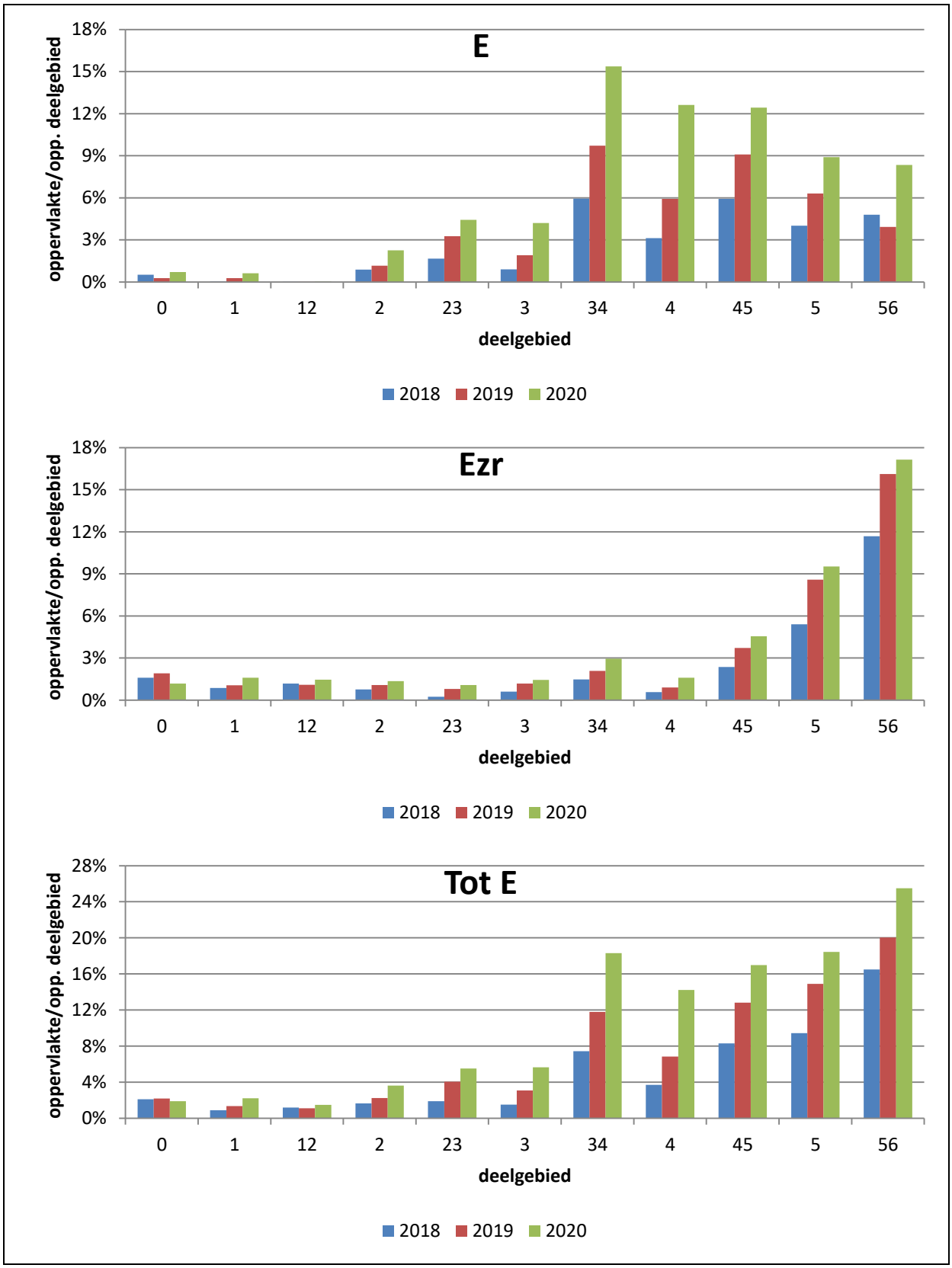


Figuur 3.9. Totale oppervlakte aan embryonale duinen per proefgebied, uitgedrukt als percentage van de oppervlakte van dat proefgebied.

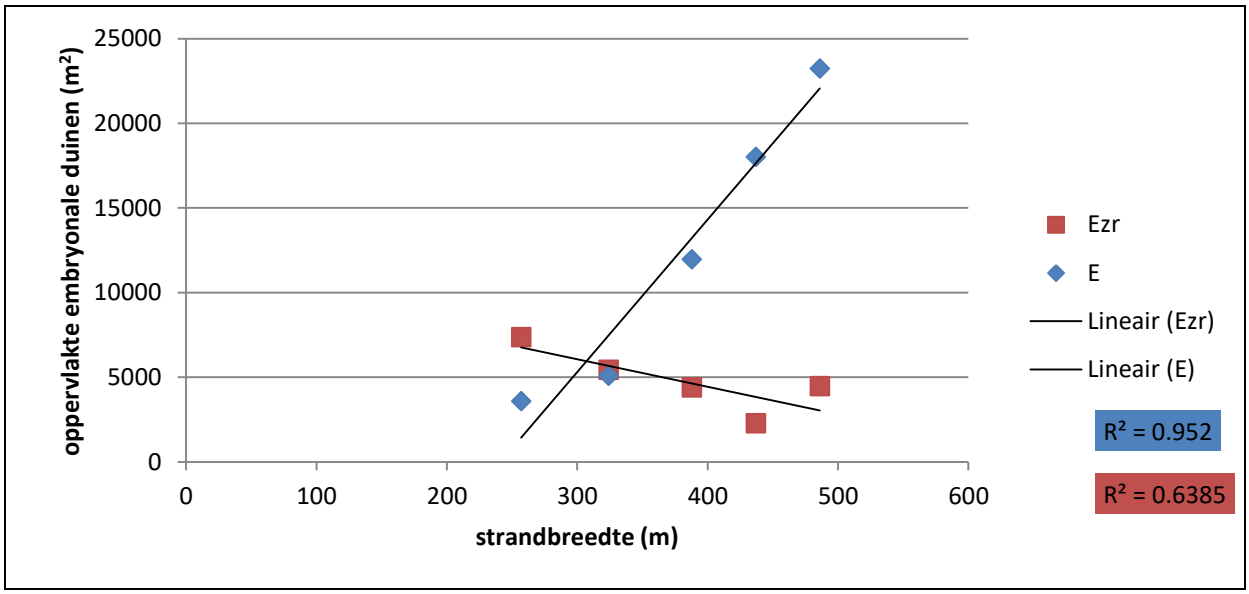
De maximale bedekking met embryonale duinen is in 2020 in proefgebied 56, waar dan iets meer dan 25% van het totale oppervlak van het proefgebied bedekt is met embryonale duinen. Voor proefgebieden 34 t/m 56 schommelt het oppervlak rond de15-25%. Voor proefgebieden 23 en 3 bedraagt het oppervlak in 2020 iets meer dan 5%, voor de overige proefgebieden (dus alle die hier ten noorden van liggen) is het oppervlak aan embryonale duinen minder dan 4% van het totale oppervlak van het betreffende proefgebied.

De proefgebieden zijn gesommeerd naar grotere eenheden (de oorspronkelijke proefgebieden van de veldkartering) 1=[1+10+101], 2=[2+20+201+202], 3=[3+30+301+302+302], 4=[4+40+401, 5=[5+50+501]. Proefgebieden 12, 23, 34, 45 zijn de tussen de oorspronkelijke proefgebieden liggende delen. Vlakken 0 en 56 liggen respectievelijk aan de uiterste noord- en uiterste zuidkant, zie Figuur 2.1.

Voor de oorspronkelijke proefgebieden en de tussenliggende stroken geven de resultaten meer overzicht in de ontwikkeling van noord naar zuid, dus eventuele gradiënten langs de kust. Figuur 3.10 geeft de oppervlaktes als percentage van de oppervlaktes per proefgebied. Er is een duidelijk verschil tussen de oppervlaktes van embryonale duinen vóór de zeereep en op de rest van de Zandmotor. De embryonale duinen vóór de zeereep (van de rest van de Zandmotor afgescheiden door een breed rijspoor) nemen vanaf proefgebied 3 sterk toe, met verreweg het grootste oppervlak in proefgebied 56, dus aan de uiterste zuidkant. Ten zuiden hiervan neemt het oppervlak overigens weer af, tot 0 net ten noorden van slag Molenslag. In proefgebieden 45, 5 en 56 is de toename van 2018 naar 2019 groter dan die van 2019 naar 2020. De embryonale duinen op de rest van de Zandmotor hebben in proefgebied 43 hun grootste oppervlak, met ook in proefgebieden 4 en 45 forse oppervlaktes. Even ten zuiden van proefgebied 56 komen ze niet meer voor. Hier is de toename van 2019-2020 over het algemeen groter dan van 2018-2019. Het is te verwachten dat naarmate de embryonale duinen op de rest van de Zandmotor grotere oppervlakken gaan bedekken, de groei van de embryonale duinen vóór de zeereep gaat afnemen, omdat er minder zand voor hun groei beschikbaar is.



Figuur 3.10. Oppervlaktes embryonale duinen op de Zandmotor (boven),vóór de zeereep (midden) en totaal (onder) voor de oorspronkelijke proefgebieden.



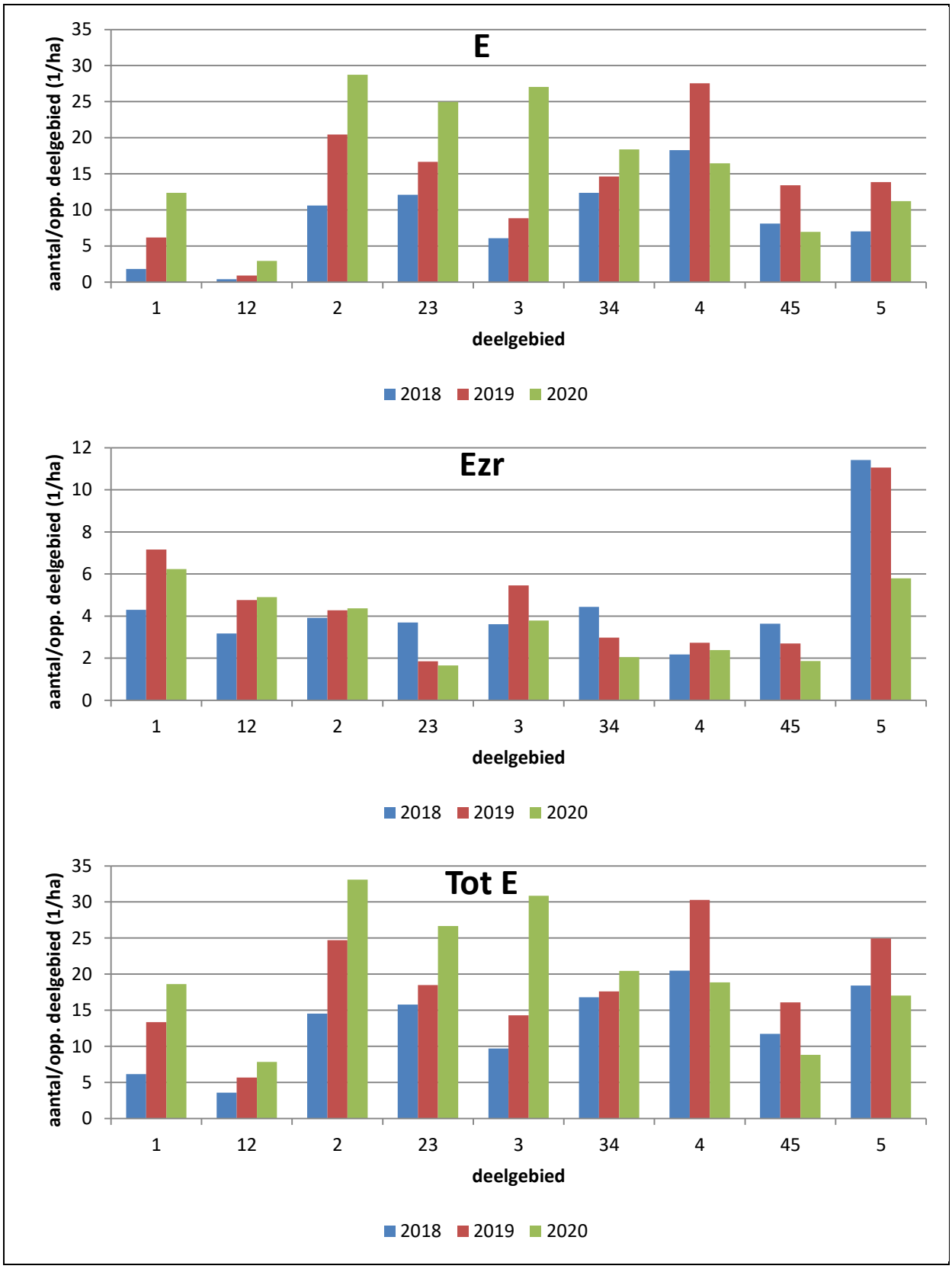
Figuur 3.11. Relatie tussen strandbreedte en oppervlakte embryonale duinen.

Er lijkt voor het zuidelijk deel van de Zandmotor een relatie met de strandbreedte te zijn (Figuur 3.11). Van proefgebied 34 (ten zuiden van het strandmeer) naar 56 neemt zowel de strandbreedte als het oppervlak aan embryonale duinen op het strand af. Beide afnames zijn sterk gecorreleerd, met een R^2 van 0.95. Vanaf proefgebied 34 naar het zuiden neemt ook de hoeveelheid goed gesorteerd sediment toe, omdat dit eolisch dan wel hydrodynamisch is aangevoerd. Op de hoogteverschilkaart 2012-2020 is goed te zien dat de meeste embryonale duinen daar liggen waar de hoogte van het oppervlak fors is toegenomen. Waarschijnlijk wordt de relatie bepaald door de grote van de zandbron en niet zozeer door de beschikbare ruimte. Blijkbaar is ook in proefgebied 56, met een strandbreedte van gemiddeld 257m, de ruimte voldoende voor het ontwikkelen van embryonale duinen los van de zeereep.

Overigens is er ook een redelijke correlatie tussen de strandbreedte en de oppervlakte van embryonale duinen tegen de zeereep aan (Figuur 3.11). Deze relatie is echter omgekeerd en de correlatie is minder. Het is aannemelijk dat deze relatie het gevolg is van het naar het noorden toe steeds grotere oppervlak aan embryonale duinen los van de zeereep die zand wegvangen voor de zeereep. Hoe kleiner het oppervlak aan embryonale duinen op het strand, hoe meer zand beschikbaar is voor de ontwikkeling van embryonale duinen tegen de zeereep. Ook hier zal de relatie dan bepaald worden door de grote van de zandbron.

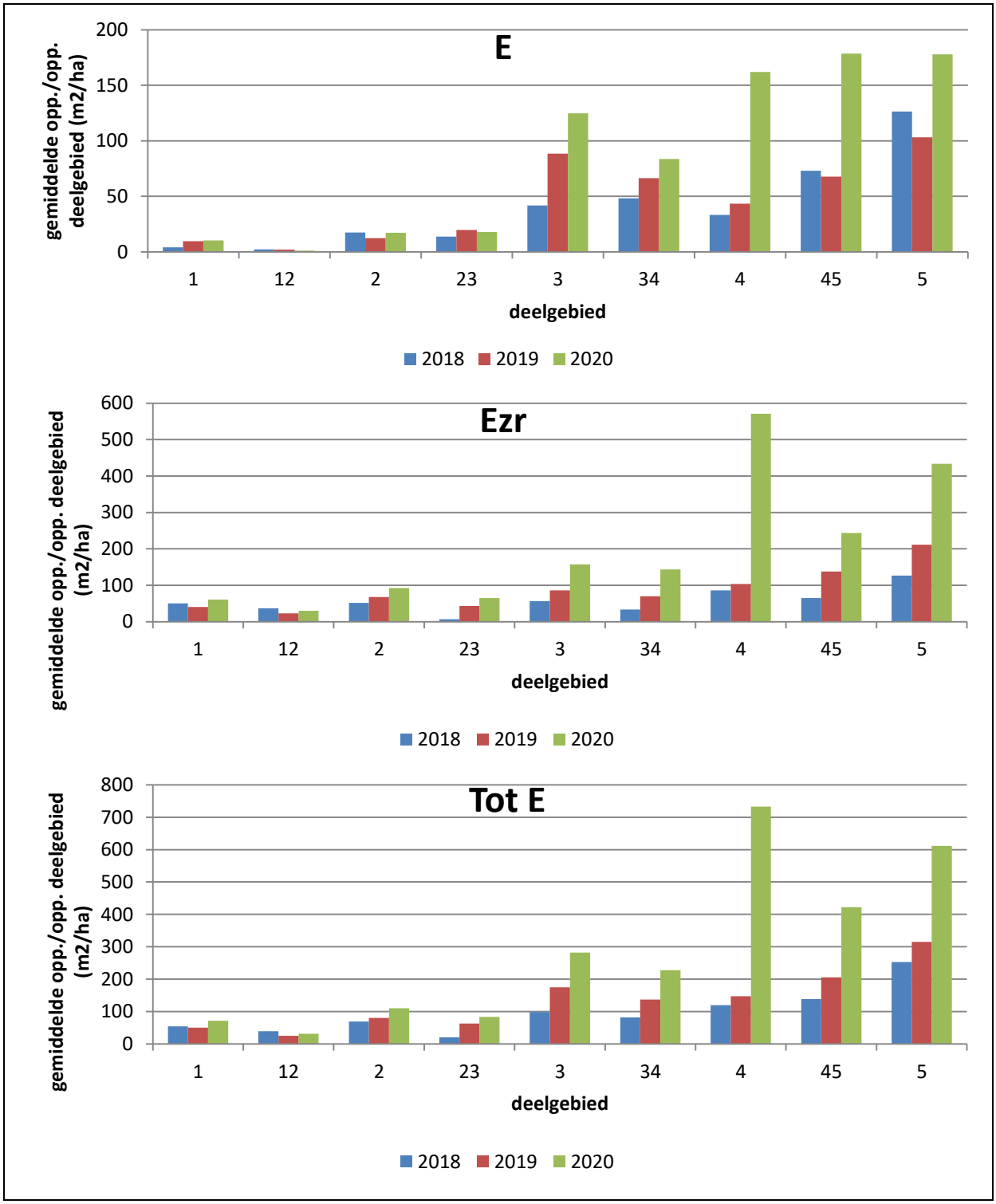
Het is de vraag of er een relatie is tussen het oppervlak aan embryonale duinen vóór de Duinversterking en de mate van doorstuiving erachter. Voor transect 1 (ten zuiden van proefgebied 5) liggen nauwelijks embryonale duinen, voor transect 2 (proefgebied 5) ligt een klein oppervlak, voor transect 3 (proefgebied 4) een groot oppervlak, voor transect 4 (net ten zuiden van proefgebied 2) weer een kleiner oppervlak en voor transect 5 (proefgebied 1) een heel klein oppervlak. Als er een effect is van de ontwikkeling van embryonale duinen op de zandaanvoer richting Duinversterking en vervolgens op de doorstuiving, zou dat effect er in de beginjaren (voor 2017, toen er nog geen noemenswaardige oppervlakken met embryonale duinen voorkwamen) niet moeten zijn. Dan zouden de zandvangresultaten voor transecten 1, 2 en 3 niet zo veel moeten verschillen in het begin, en vanaf 2017 in steeds toenemende mate moeten verschillen. Dit is inderdaad in de data van de zandvangers terug te zien. In 2020 is de hoeveelheid die door de vangers op de duinversterking wordt ingevangen in transect 1min of meer gelijk aan dat in 2019, in

transecten 4 en 5 is het toegenomen, en in transecten 2 en 3 is dat afgenomen, overigens het sterkst in transect 2.



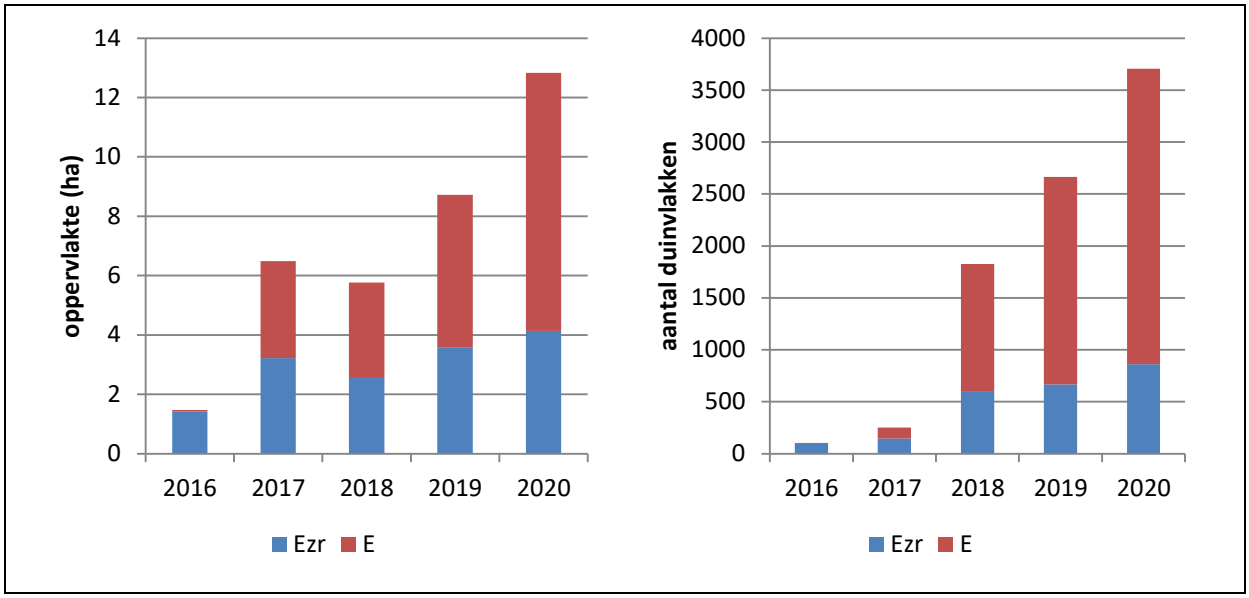
Figuur 3.12. Aantallen embryonale duinen op de Zandmotor (boven), vóór de zeereep (midden) en totaal (onder).

Figuur 3.12 geeft de aantallen afzonderlijk omgrensde duinvlakken. Deze verdeling is totaal anders. Naarmate de duinvlakken groeien, nemen de aantallen af, omdat verschillende vlakken aan elkaar groeien. Dit is goed te zien voor proefgebieden 4, 45 en 5 waar het aantal duinvlakken van 2019-2020 flink is afgenomen.

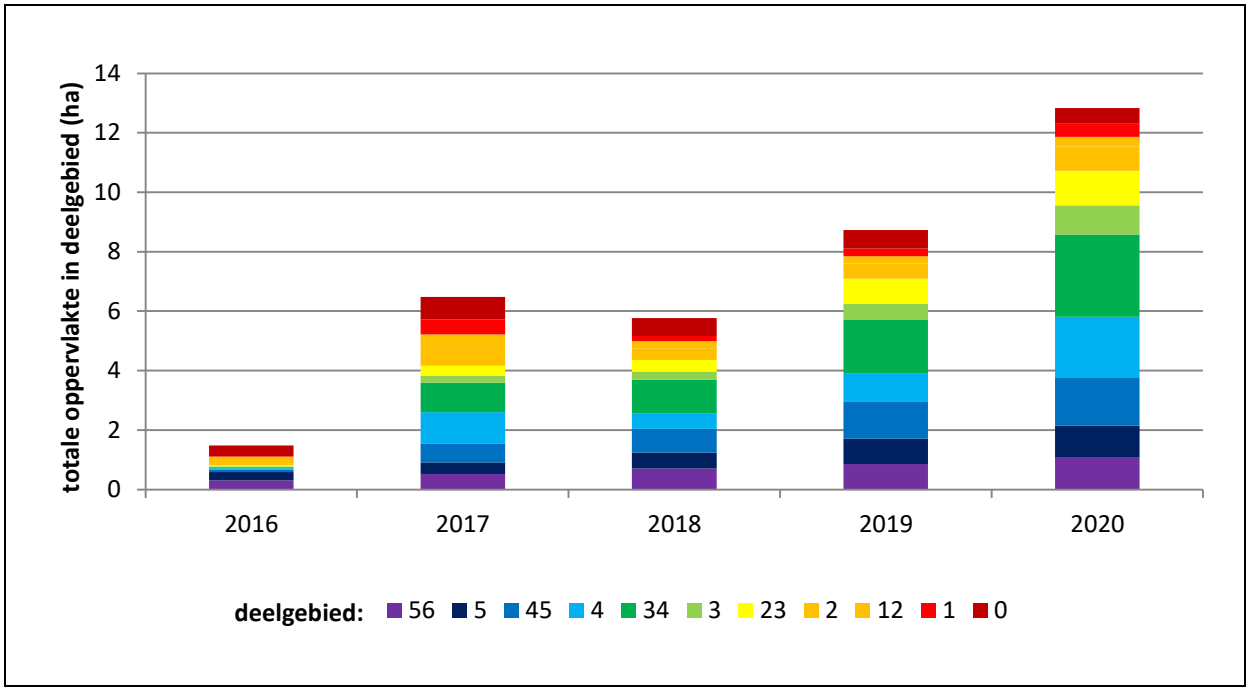


Figuur 3.13. Gemiddelde oppervlaktes van de duinvlakken per proefgebied (dus totaal oppervlakte/aantal vlakken).

Door oppervlakte van de duinvlakken te delen door de aantallen is de gemiddelde oppervlakte van de duinvlakken te bepalen. Deze gemiddelden zijn weergegeven in Figuur 3.13. Door aan elkaar groeien van verschillende complexen is het gemiddelde oppervlak in 2020 sterk toegenomen.



Figuur 3.14. Totaal oppervlak en aantal embryonale duinen vóór de zeereep (Ezr) en embryonale duinen op de Zandmotor (E), voor de gehele zandmotor.

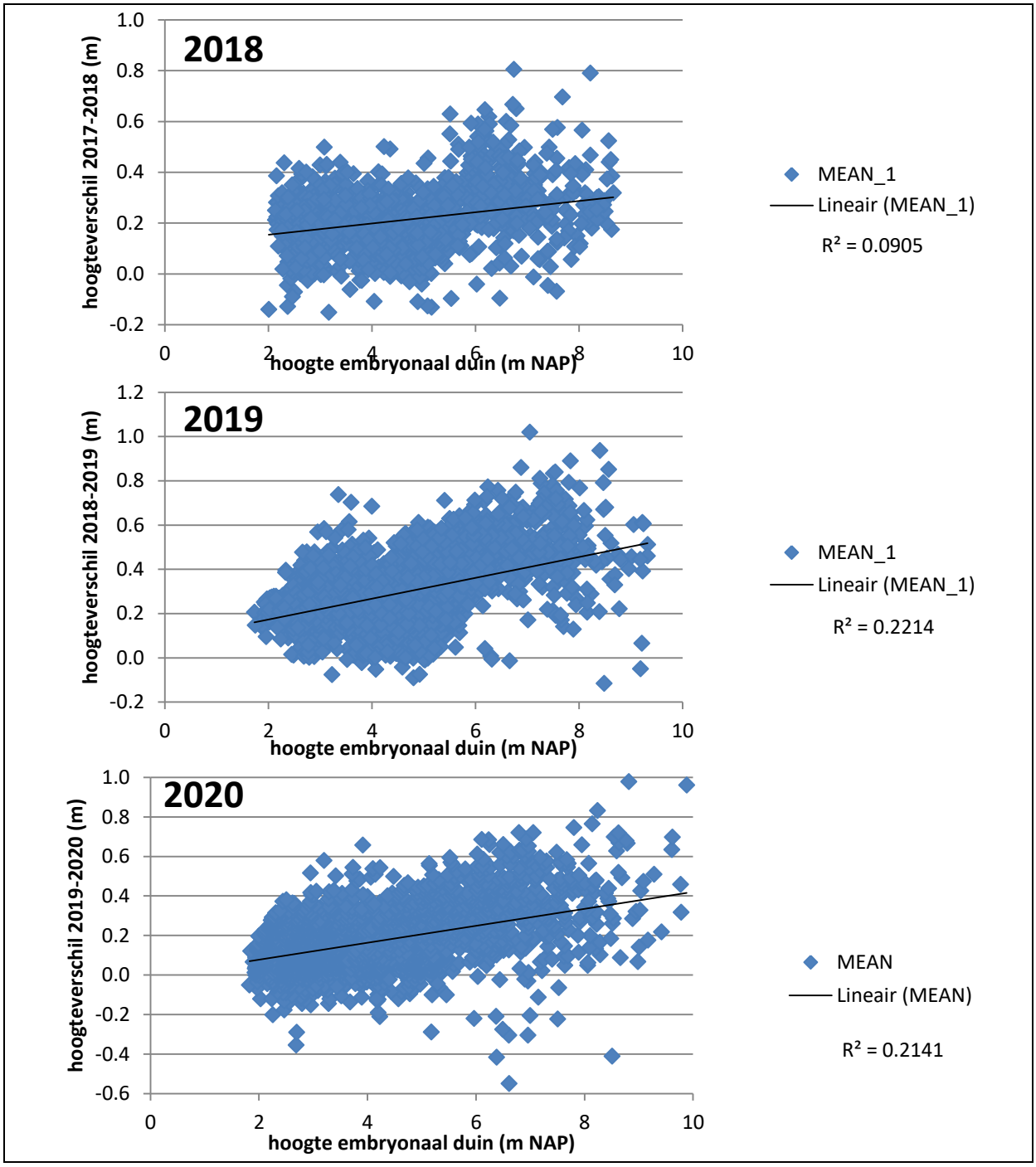


Figuur 3.15. Totale oppervlakte aan embryonale duinen per deelgebied.

Tot slot vatten Figuur 3.14 en Figuur 3.15 het geheel samen met oppervlakte en aantal van het geheel aan embryonale duinen op de gehele Zandmotor en het totale oppervlak per deelgebied. Het areaal in 2020 bedraagt bijna 13 ha, met het grootste oppervlak in deelgebied 34.

3.4 Bepaling hoogte van de duintjes voor 2018-2020 en verandering

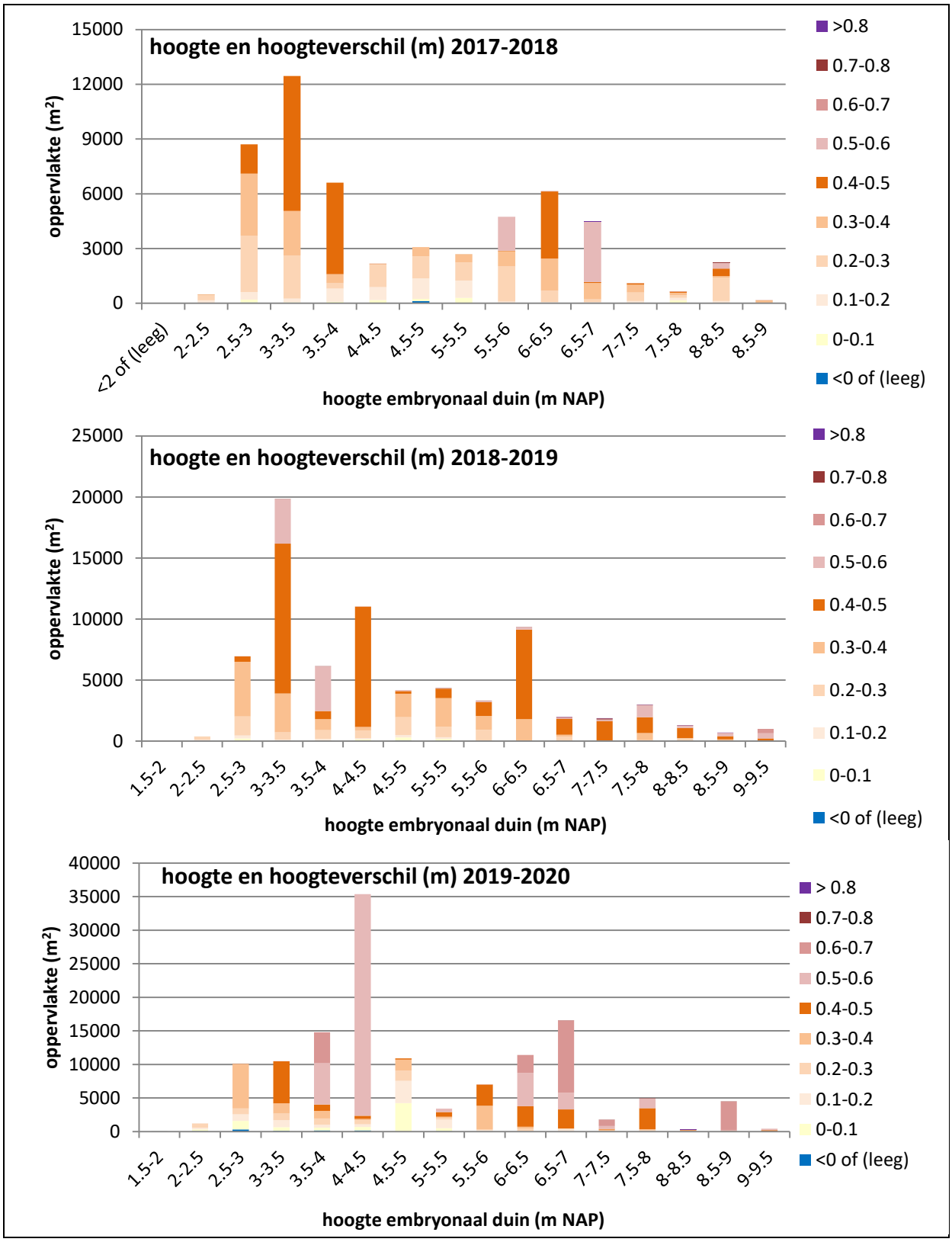
Voor ieder op zichzelf staand duinvlak is de hoogte per jaar berekend en vervolgens van jaar tot jaar het hoogteverschil. Het hoogteverschil is steeds bepaald tussen de RWS opname van de Zandmotor en de Shore opname van het jaar daarna.



Figuur 3.16. Correlatie tussen hoogte van de embryonale duinen (in m NAP) en hoogteverschil tussen respectievelijk 2017-2018 (boven) en 2018-2019 (onder).

Figuur 3.16 illustreert de correlatie tussen de hoogte van de duintjes en de mate van hoogtetoename. Er lijkt sprake van een vage relatie, van grotere hoogteverschillen bij hogere duintjes. Figuur 3.17 laat de hoogteverschillen zien per hoogteklasse. Duintjes van 3-3.5m NAP domineren. Er is een tweede piek bij duintjes van 6-6.5m. Dit zijn de duintjes die tegen de zeereep

ontwikkelen. De laagst gelegen duintjes hebben in 2018 een hoogte van 2.01m NAP, in 2019 reikt de top van het laagst gelegen duintje op 1.73m NAP. Dat is erg laag in het profiel.

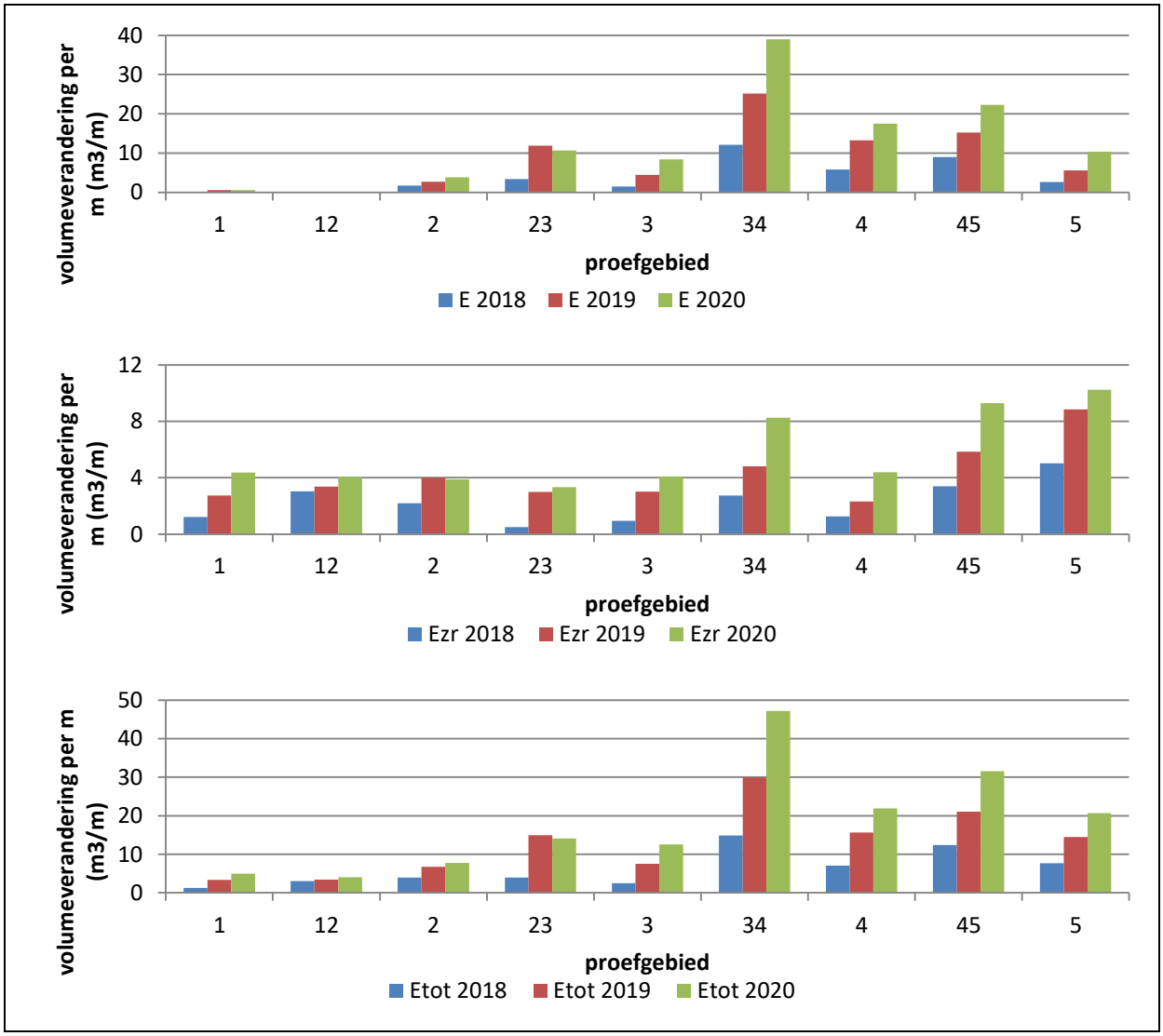


Figuur 3.17. Oppervlakte en waargenomen hoogteverschil (boven 2017-2018, onder 2018-2019) per hoogteklasse. Het hoogteverschil is steeds bepaald tussen de RWS opname van de Zandmotor en de Shore opname van het jaar daarna.

Uit Figuur 3.17 blijkt verder dat het overgrote deel van de duintjes een (gemiddelde) hoogteverandering van 0.4-0.5m heeft ondergaan, zowel tussen 2017-2018 als tussen 2018-2019. Veranderingen van 0.3-0.4 en 0.5-0.6 komen ook veel voor, maar kleinere en grotere veranderingen maar weinig. Overigens komen binnen vlakken wel grotere hoogteverschillen voor. In de embryonale duinen tegen de zeereep zijn van 2017-2018 plaatselijk hoogteverschillen van meer dan 1 tot 1.6m berekend, voor 2018-2019 zelfs van 2-2.3m.

3.5 Bepaling volume van de duintjes voor 2018 en 2019 en verandering

Met het gemiddelde hoogteverschil per duintje en de oppervlakte van ieder polygoon (duinvlak) is simpel de volumeverandering te bepalen. Uit de berekening volgt dat tussen 2017 en 2018 het volume in de duintjes is toegenomen met 19110 m^3, tussen 2018 en 2019 met 31425 m^3. En van 2019-2020 met 44000 m^3. Per meter kust berekend, betekent dit met een kustlangse lengte van 2250m een volumeverandering van respectievelijk 8.5, 14.0 en 19.8 m^3/m.jaar. In 2018 is zowel in de embryonale duinen op de Zandmotor als in de embryonale duinen tegen de Duinversterking aan 4.3m^3 opgeslagen. In 2019 is dat respectievelijk 9.1 en 5.5m^3, in 2020 is dat 13.2 en 6.5. De hoeveelheid zand die in de embryonale duinen op de Zandmotor wordt opgeslagen is in 2020 dus twee keer zo hoog als de hoeveelheid in de embryonale duinen tegen de duinversterking.



Figuur 3.18. Volumeverandering per jaar en per deelgebied in de embryonale duinen op de Zandmotor (boven), tegen de duinversterking (midden) en totaal (onder).

3.6 Handmatig versus semi-automatische kartering

Wat zijn de voor- en nadelen van de semi-automatische kartering ten opzichte van de handmatige kartering die vanaf 2011 is uitgevoerd?

Voordelen

- De automatische kartering verloopt vele malen sneller dan de handmatige kartering.
- De automatische kartering volgt vastgestelde regels en is daarmee minder gevoelig voor interpretatieverschillen.
- Bij complexen van kleine duintjes is de automatische kartering nauwkeuriger, omdat individuele duintjes en tussen liggend areaal zonder duintjes beter gescheiden worden dan bij de handmatige kartering.
- Het enorme aantal zeer kleine duintjes wordt gekarteerd, waarbij ieder individueel duintjes apart omgrensd wordt. Dit is handmatig zeer arbeidsintensief en daarmee niet te doen.

Nadelen

- De kartering is niet volledig automatisch, waardoor nog een edit-slag nodig is. Dit vergt tijd en brengt het risico mee dat vlakken die ge-edit moeten worden over het hoofd gezien worden. Over het hoofd zien van duintjes is overigens ook een risico bij handmatig karteren.
- Vlakjes die hoger zijn dan de direct omgeving, maar waar geen vegetatie op staat worden ten onrechte geclassificeerd als duin. Ook hier is een handmatige correctie nodig.
- Voor de automatische kartering zijn zeer gedetailleerde gegevens (luchtfoto en laseraltimetrie) nodig. Dit soort gegevens is niet standaard voorhanden. Hiermee zijn extra kosten gemoeid.

4 Conclusies

Met een semi-automatische procedure zijn karteringen gemaakt van de embryonale duinen op de Zandmotor in 2018, 2019 en 2020. Vergelijking van de karteringen van 2018, 2019 en 2020 geven een goed beeld van de ontwikkeling van embryonale duinen op de Zandmotor. De duincomplexen groeien, ze nemen zowel in omvang als in hoogte toe.

Er is een overduidelijk effect van rijsporen op de ontwikkeling. Direct tegen de zeereep aan ligt een ongestoorde strook embryonale duinen. Zeewaarts daarvan valt parallel aan de zeereep de band op zonder enig duin, het gevolg van berijden. Dit resulteert in een aantal onnatuurlijk begrensde, langgerekte duinvlakken. Het patroon is hardnekkig en ieder jaar prominent aanwezig. Het is duidelijk dat in dit spoor geen duinen tot ontwikkeling komen.

Betreding heeft ook een duidelijk effect bij de strandopgang van het Schelpenpad. In 2018 en 2019 is dit effect nog niet zo duidelijk zichtbaar. De zone is dan wel grotendeels kaal, maar een directe relatie met de strandslag lijkt er nog niet. In 2020 is die wel zichtbaar. Er loopt een waaier van sporen vanuit de strandslag richting zee, met een prominent spoor dat rechtstreeks van de slag naar zee loopt, en minder duidelijke sporen die vanaf de strandslag uitwaaieren.

De voormalige rand van het strandmeer is een andere belangrijke locatie van duinontwikkeling. Langs deze rand is veel zand ingestoven en met name aan de zuidwestkant heeft dit tot flinke duinontwikkeling geleid.

Ook het zuidelijk oksel, waar een flinke aanwas van het strand heeft plaatsgevonden, is een belangrijke plaats voor de ontwikkeling van embryonale duinen. Samen met de zone rondom het strandmeer vormt dit het grootste oppervlak aan duinen.

Het is aannemelijk dat zonder de betreding vanaf de strandslag beide zones één geheel zouden hebben gevormd. Het is overigens ook aannemelijk dat beide zones verbonden zouden zijn met de embryonale duinen tegen de zeereep aan, wanneer het strand niet bereden zou worden. Het areaal aan embryonale duinen zou zonder betreden en berijden aanmerkelijk groter zijn geweest.

Er is een duidelijk verschil tussen de oppervlaktes van embryonale duinen vóór de zeereep en op de rest van de Zandmotor. De embryonale duinen vóór de zeereep (van de rest van de Zandmotor afgescheiden door een breed rijspoor) nemen vanaf proefgebied 3 sterk toe, met verreweg het grootste oppervlak in proefgebied 56, dus aan de uiterste zuidkant. Ten zuiden hiervan neemt het oppervlak overigens weer af, tot 0 net ten noorden van slag Molenslag. In proefgebieden 45, 5 en 56 is de toename van 2018 naar 2019 groter dan die van 2019 naar 2020. De embryonale duinen op de rest van de Zandmotor hebben in proefgebied 43 hun grootste oppervlak, met ook in proefgebieden 4 en 45 forse oppervlaktes. Even ten zuiden van proefgebied 56 komen ze niet meer voor. Hier is de toename van 2019-2020 over het algemeen groter dan van 2018-2019. Het is te verwachten dat naarmate de embryonale duinen op de rest van de Zandmotor grotere oppervlakken gaan bedekken, de groei van de embryonale duinen vóór de zeereep gaat afnemen, omdat er minder zand voor hun groei beschikbaar is.

Het oppervlak aan duintjes tegen de zeereep is voor het gehele gekarteerde gebied toegenomen van 2.6 ha in 2018 naar 3.6 ha in 2019 tot 4.1ha in 2020. Het oppervlakte aan duintjes op de rest van de Zandmotor is toegenomen van 3.2ha in 2018 naar 5.1 ha in 2019 tot 8.7ha in 2020. Totaal is het

oppervlak aan embryonale duinen van 2018 tot 2020 meer dan verdubbeld. Het totale areaal bedraagt in 2020 bijna 13 ha.

De grootste oppervlaktes met embryonale duinen zijn ontstaan ten zuiden van het Strandmeer, op oppervlaktes met goed gesorteerd zand, hetzij door overstuiving (rondom het strandmeer), hetzij door een gecombineerde werking van golven en wind (in het zuidelijke oksel), weinig of geen betreding en geen strandschoonmaak activiteiten.

Tussen de lagune en de zeereep begint een duinenveld begint te ontstaan, overigens ook hier gescheiden van de zeereep door een rijspoor. O op de hoogste delen van de Zandmotor zijn geen of vrijwel geen duintjesontstaan. In 2020 lijkt dit voorzichtig op gang te komen. Deze duintjes liggen hoog, over het algemeen boven 4m NAP, omdat het oppervlak waarop ze gevormd worden ook hoog ligt. Het oppervlak is anders dan een echt strand, zowel door de hoge ligging, als door een bobbelige morfologie en een grote hoeveelheid schelpen. Mogelijk dat deze karakteristieken van invloed zijn op het ontstaan van embryonale duinen.

De embryonale duinen ontstaan op het strand op een hoogte van tenminste 2m NAP. De meest zeewaartse ligging is in deelgebied 56, waar de afstand tussen de waterlijn en de eerste embryonale duinen 83m bedraagt. Overigens neemt het oppervlak aan embryonale duin vóór de zeereep en op het strand tussen proefgebied 56 en camping Molenslag af naar 0. Mogelijk is dit een recreatie-effect. Dit was ook zichtbaar op dit stuk strand voordat de Zandmotor werd aangelegd. Embryonale duinen bevonden zich vóór aanleg uitstuitend dicht tegen de zeereep en namen af richting strandslag Molenslag (zie ook notitie meetplan 3).

De maximale bedekking met embryonale duinen is in 2020 in proefgebied 56, waar dan iets meer dan 25% van het totale oppervlak van het proefgebied bedekt is met embryonale duinen. Voor proefgebieden 34 t/m 56 schommelt het oppervlak rond de15-25%. Voor proefgebieden 23 en 3 bedraagt het oppervlak in 2020 iets meer dan 5%, voor de overige proefgebieden (dus alle die hier ten noorden van liggen) is het oppervlak aan embryonale duinen minder dan 4% van het totale oppervlak van het betreffende proefgebied.

Er lijkt voor het zuidelijk deel van de Zandmotor een relatie met de strandbreedte te zijn. Van proefgebied 34 (ten zuiden van het strandmeer) naar 56 neemt zowel de strandbreedte als het oppervlak aan embryonale duinen op het strand af. Beide afnames zijn sterk gecorreleerd, met een R^2 van 0.95. Vanaf proefgebied 34 naar het zuiden neemt ook de hoeveelheid goed gesorteerd sediment toe, omdat dit eolisch dan wel hydrodynamisch is aangevoerd. De meeste embryonale duinen liggen daar waar de hoogte van het oppervlak fors is toegenomen. Waarschijnlijk wordt de relatie bepaald door de grote van de zandbron en niet zozeer door de beschikbare ruimte. Blijkbaar is ook in proefgebied 56, met een strandbreedte van gemiddeld 257m, de ruimte voldoende voor het ontwikkelen van embryonale duinen los van de zeereep.

Er is ook een redelijke correlatie tussen de strandbreedte en de oppervlakte van embryonale duinen tegen de zeereep aan, maar deze relatie is echter omgekeerd en de correlatie is minder. Het is aannemelijk dat deze relatie het gevolg is van het naar het noorden toe steeds grotere oppervlak aan embryonale duinen los van de zeereep die zand wegvangen voor de zeereep. Hoe kleiner het oppervlak aan embryonale duinen op het strand, hoe meer zand beschikbaar is voor de ontwikkeling van embryonale duinen tegen de zeereep. Ook hier zal de relatie dan bepaald worden door de grote van de zandbron.

Voor wat betreft de hoogte van de verschillende duintjes blijkt dat duinen met een hoogte van 3-3.5m NAP domineren, gevolgd door duintjes met een hoogte van 6-6.5m. De laatste zijn de duintjes die tegen de zeereep ontwikkelen. De laagst gelegen duintjes hebben in 2018 een hoogte van 2.01m NAP, in 2019 reikt de top van het laagst gelegen duintje to 1.73m NAP. Dat is erg laag in het profiel.

Het overgrote deel van de duintjes heeft een (gemiddelde) hoogteverandering ondergaan van 0.4-0.5m, zowel tussen 2017-2018 als tussen 2018-2019. Veranderingen van 0.3-0.4 en 0.5-0.6 komen ook veel voor, maar kleinere en grotere veranderingen maar weinig. Overigens komen binnen vlakken wel grotere hoogteverschillen voor. In de embryonale duinen tegen de zeereep zijn van 2017-2018 plaatselijk hoogteverschillen van meer dan 1 tot 1.6m berekend, voor 2018-2019 zelfs van 2-2.3m.

Met het gemiddelde hoogteverschil per duintje en de oppervlakte van ieder polygoon (duinvlak) is simpel de volumeverandering te bepalen. Uit de berekening volgt dat tussen 2017 en 2018 het volume in de duintjes is toegenomen met 19110 m^3, tussen 2018 en 2019 met 31425 m^3. En van 2019-2020 met 44000 m^3. Per meter kust berekend, betekent dit met een kustlangse lengte van 2250m een volumeverandering van respectievelijk 8.5, 14.0 en 19.8 m^3/m.jaar. In 2018 is zowel in de embryonale duinen op de Zandmotor als in de embryonale duinen tegen de Duinversterking aan 4.3m^3 opgeslagen. In 2019 is dat respectievelijk 9.1 en 5.5m^3, in 2020 is dat 13.2 en 6.5. De hoeveelheid zand die in de embryonale duinen op de Zandmotor wordt opgeslagen is in 2020 dus twee keer zo hoog als de hoeveelheid in de embryonale duinen tegen de duinversterking.

Voor wat betreft de voor- en nadelen van de automatische kartering ten opzichte van de handmatige kartering is een belangrijk voordeel de snelheid van karteren. Een nadeel is dat de kartering niet 100% betrouwbaar is en daarom een edit-slag behoeft, vooral om ten onrechte als duin geclassificeerde vlakken te verwijderen en ten onrechte niet gekarteerde vlakken handmatig toe te voegen. Een ander belangrijk voordeel is dat de omgrenzing van alle juist geclassificeerde vlakken nauwkeurige is dan voor de handmatige kartering. Ook de omgrenzing van individuele duintjes is veel nauwkeuriger dan voor de handmatige kartering. Een nadeel is dat zeer gedetailleerde data nodig zijn, die niet standaard voorhanden zijn en die dus apart moeten worden ingewonnen.

Evaluatievraag
Met dit meetplan is de ontwikkeling van embryonale duinen onderzocht, ten behoeve van de evaluatievraag en bijbehorende hypothesen:

EF3-1a Toevoegen natuurwaarden nieuw duingebied
Evaluatievraag: Zorgt de Zandmotor voor toevoeging van een aantrekkelijk natuurgebied op de Zandmotor zelf en in de jonge duinen tegen het bestaand duin?

Aanvankelijk ging de ontwikkeling van embryonale duinen op de Zandmotor zelf langzaam. In 2015 werd geconcludeerd dat er daardoor nog geen meerwaarde was ontstaan ten opzichte van de oorspronkelijke situatie. In de jaren vóór aanleg van de Zandmotor waren ook al embryonale duinen aanwezig, en de ontwikkeling daarvan ging sneller dan de ontwikkeling op de Zandmotor tussen 2011 en 2015. Een mogelijk oorzaak van de tragere ontwikkeling van embryonale duinen werd gezien in het veelvuldig berijden van het strand, waardoor beginnende duintjes geen kans kregen. Een dergelijke intensiteit van rijbewegingen was vóór aanleg van de Zandmotor niet aanwezig.

Na 2015 is de ontwikkeling van embryonale duinen in een stroomversnelling gekomen. Vanaf 2016 is het oppervlak aan embryonale duinen explosief toegenomen. In 2020 is er 13.3 ha aanwezig. Het

grootste deel van de embryonale duinen ligt aan de voorzijde van de Duinversterking en rondom het strandmeer, in deelgebieden Centraal en Zuid. In Kijkduin en de noordkant van deelgebied Noord komen ze nauwelijks voor. Hier wordt het strand actief schoongemaakt en daarmee de ontwikkeling van embryonale duinen op het strand onmogelijk gemaakt.

Het antwoord op de evaluatievraag *"Zorgt de Zandmotor voor toevoeging van een aantrekkelijk natuurgebied op de Zandmotor zelf en in de jonge duinen tegen het bestaand duin"* kan nu met ja beantwoord worden. Een groot deel van de duintjes heeft een natuurlijke morfologie, hoewel sommige vlakken duidelijk begrensd zijn door rijsporen. Het merendeel van de begroeiing bestaat uit Helm en Biestarwegras, maar er zijn ook verschillende andere kenmerkende soorten gevonden. De huidige oppervlakte is groter dan de oppervlakte voor aanleg. De diversiteit is ook groter, omdat de embryonale duinen over een groter oppervlak verspreid zijn. In 2009, net vóór aanleg, lagen de embryonale duinen allemaal in een zone direct vóór de zeereep, terwijl in de huidige situatie naast de zeereepzone er ook meerdere duinenvelden op de Zandmotor zelf zijn ontstaan. Kanttekening is dat de ontwikkeling waarschijnlijk vertraagd is door het vele rijden over de Zandmotor. Daarnaast is een deel van de omgrenzing van de duinenvelden bepaald door de rijsporen, waardoor op enkele plaatsen langgerekte duinenvelden zijn ontstaan, wat de natuurlijkheid (en aantrekkelijkheid?) niet ten goede komt.

5 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten van dit onderzoek zijn er aanbevelingen voor ontwerp van een toekomstige Zandmotor, gericht op het optimaliseren van een ontwerp met als doel de ontwikkeling van embryonale duinen.

Een belangrijk aspect in de ontwikkeling is de vorming van rijsporen, die vestiging van vegetatie, en daarmee ontwikkeling van embryonale duinen, tegen gaan. Direct na aanleg zou er een zonering aangewezen moeten worden waar rijden wel en waar rijden niet is toegestaan. Hiermee kan voorkomen worden dat zich een rijspoor ontwikkeld, waar geen duinen tot ontwikkeling komen en dat deze rijsporen uiteindelijk (deels) de begrenzing bepalen van de duinenvelden die tot ontwikkeling komen. Een ander effect van de rijsporen, die zich concentreren in een strook dicht langs de Duinversterking, is dat de embryonale duinen die tegen de Duinversterking aan groeien en de duintjes die op de Zandmotor zelf ontstaan niet verbonden zijn. Zonder rij-activiteiten is het zeer waarschijnlijk dat beide complexen één geheel zouden vormen. De sporen kunnen ook een hydrologisch effect hebben. De sporen vormen een verlaging in het landschap. De zee heeft bij hoog water via deze sporen sneller toegang tot de zeereep (ook een veiligheidsaspect), de overstromingskans van de embryonale duinen vergroot. Eventuele kwel zal via de sporen sneller afvloeien, waardoor de kans op de ontwikkeling van een waardevolle zone onder invloed van kwel verkleind of in ieder geval niet optimaal is.

Ook betreding door recreanten is van invloed. Bij strandslag Schelpenpad is goed te zien dat vanuit de slag een waaier van sporen de Zandmotor op loopt, waar langs embryonale niet, of niet optimaal tot ontwikkeling komen. Ook hier zou zonering van de betreding de verstoring kunnen beperken, bijvoorbeeld door één smalle strook aan te geven waar langs men verzocht wordt zich richting waterlijn te begeven.

Een ander aspect dat belangrijk is, is de aanleghoogte van de Zandmotor. Het centrale deel ligt nu dermate hoog dat de zee hier het zand aan het oppervlak niet kan overspoelen en dus niet kan sorteren. Hierdoor is een schelpenvloer ontstaan en is de beschikbare hoeveelheid goed verstuifbaar zand beperkt. Op dit deel is nog vrijwel geen ontwikkeling van embryonale duinen waargenomen. De meest duintjes zijn ontstaan aan de zuidkant, waar het strand onder invloed van de Zandmotor sterk is verbreed met aangespoeld zand, en het sediment veel verstuifbaar zand bevat. Een lagere aanleghoogte, die in ieder geval incidenteel overspoeld (een hoogte van circa 3m NAP lijkt voldoende, gezien de opgetreden waterstanden in de afgelopen tien jaar) zal meer kansen bieden voor de grootschalige ontwikkeling van embryonale duinen.

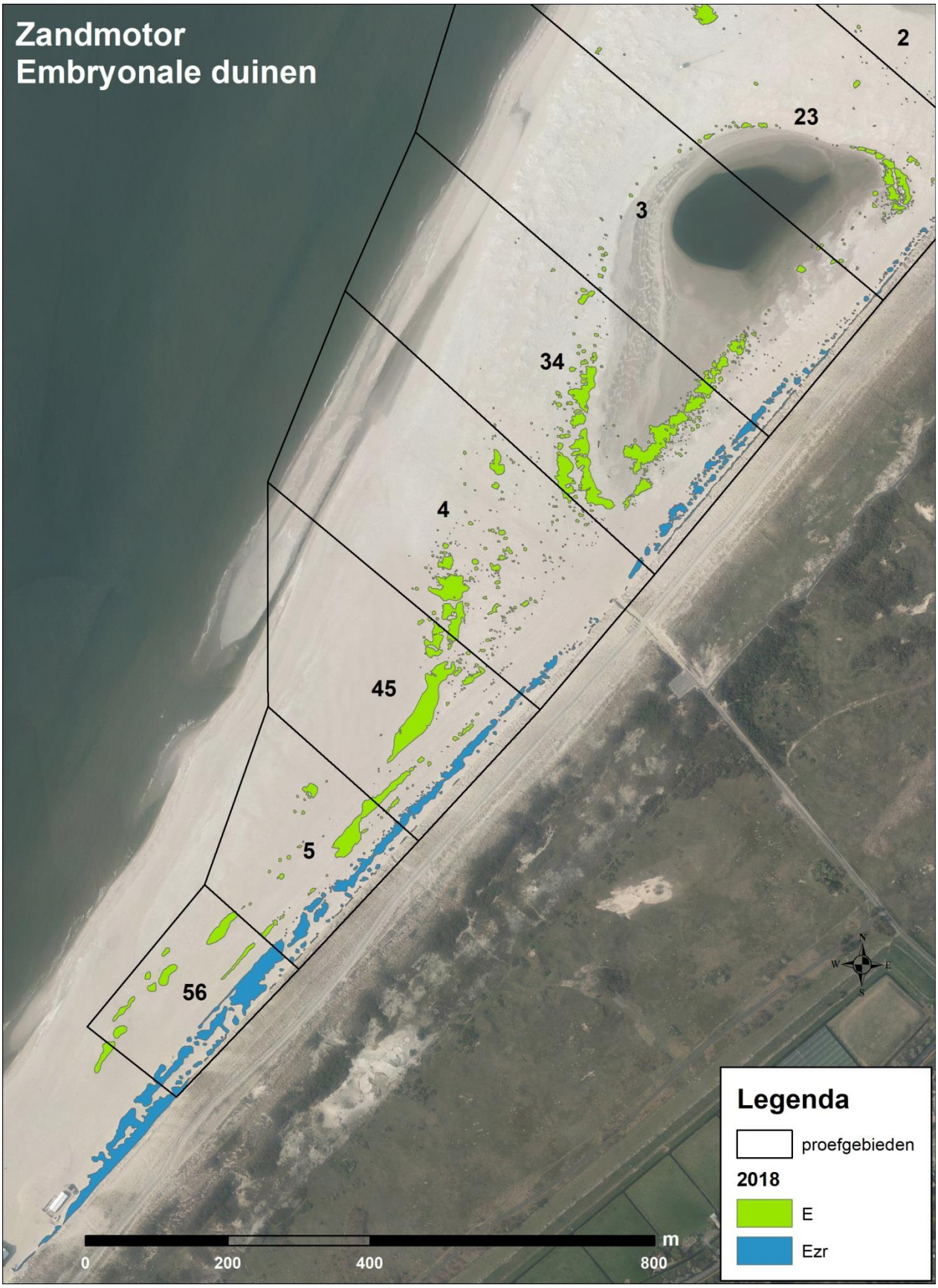
Andere ontwerpaspecten zijn de lagune en het strandmeer. Beide blijken een belangrijke belemmering op te leveren voor zandtransport naar de Duinversterking, maar ook voor de ontwikkeling van embryonale duinen. Aan de landwaartse zijde van zowel strandmeer als lagune komen nauwelijks duintjes voor. Overigens is het opvallend dat langs de contouren van het strandmeer in zijn oorspronkelijke vorm de belangrijkste duinenvelden tot ontwikkeling zijn gekomen.

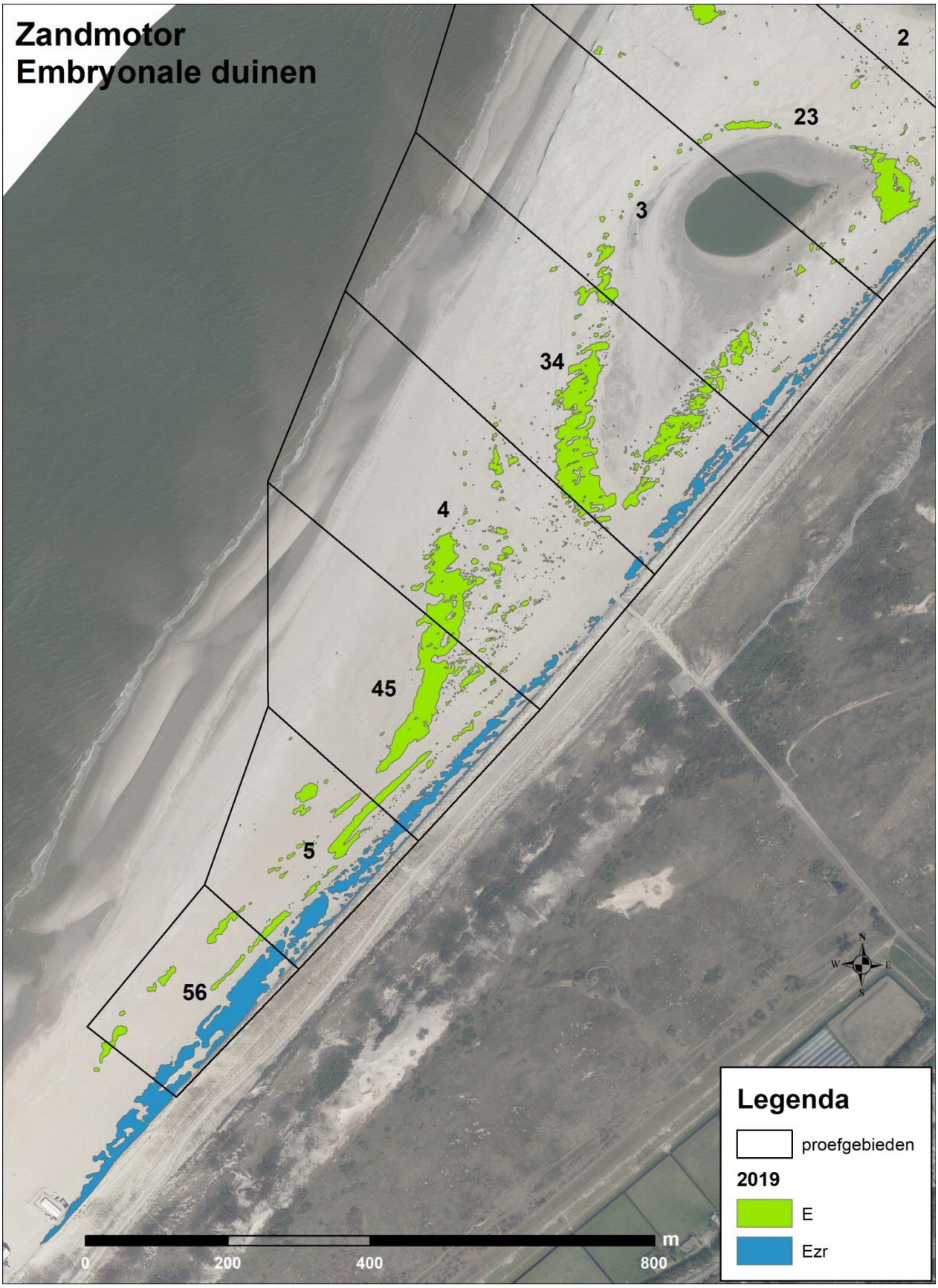
6 Literatuur

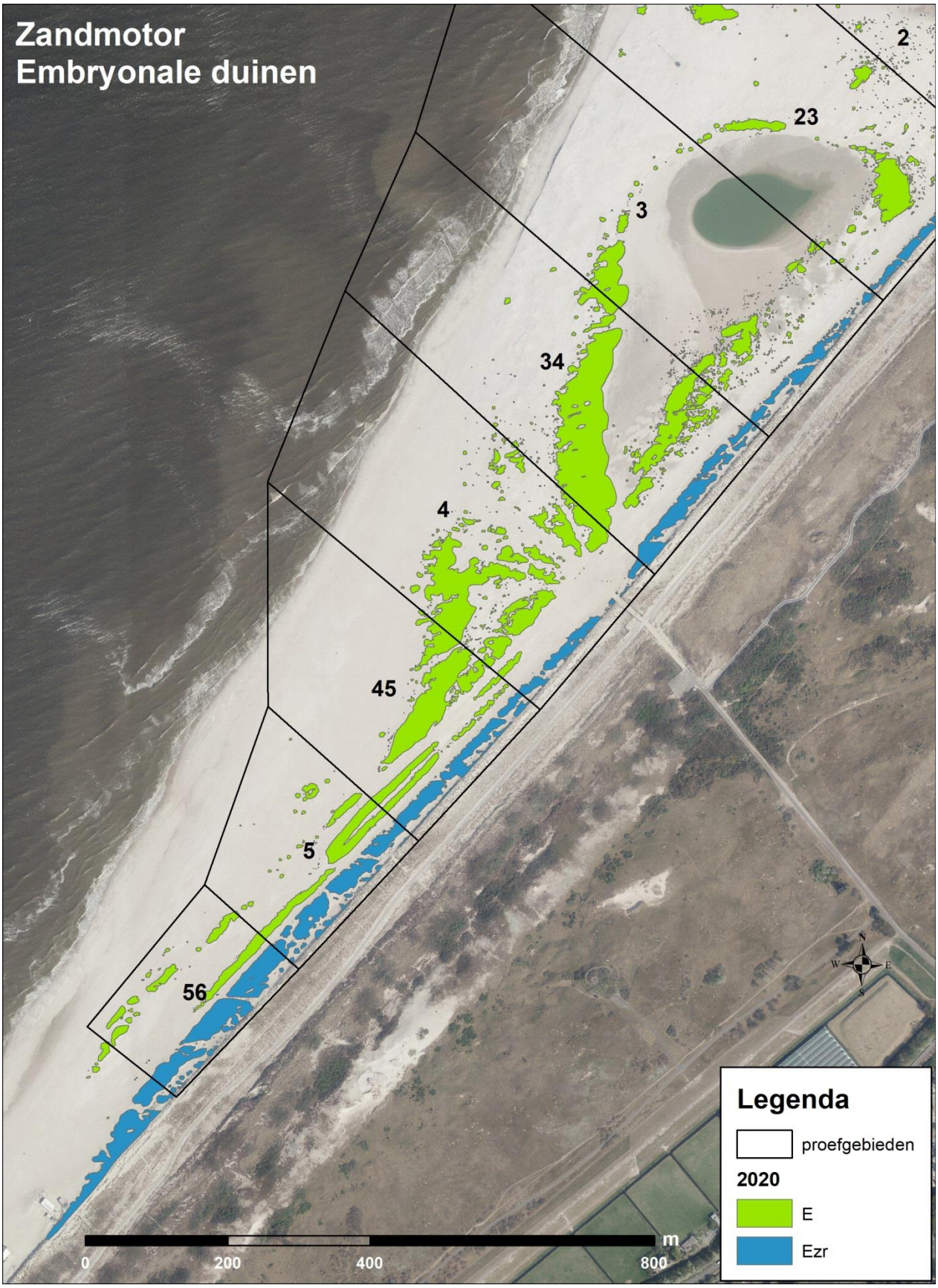
Arens & Vertegaal, 2020. Procedure analyse embryonale duinen. Notitie NOT2020.02.13. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek en Vertegaal Ecologisch Advies en Onderzoek

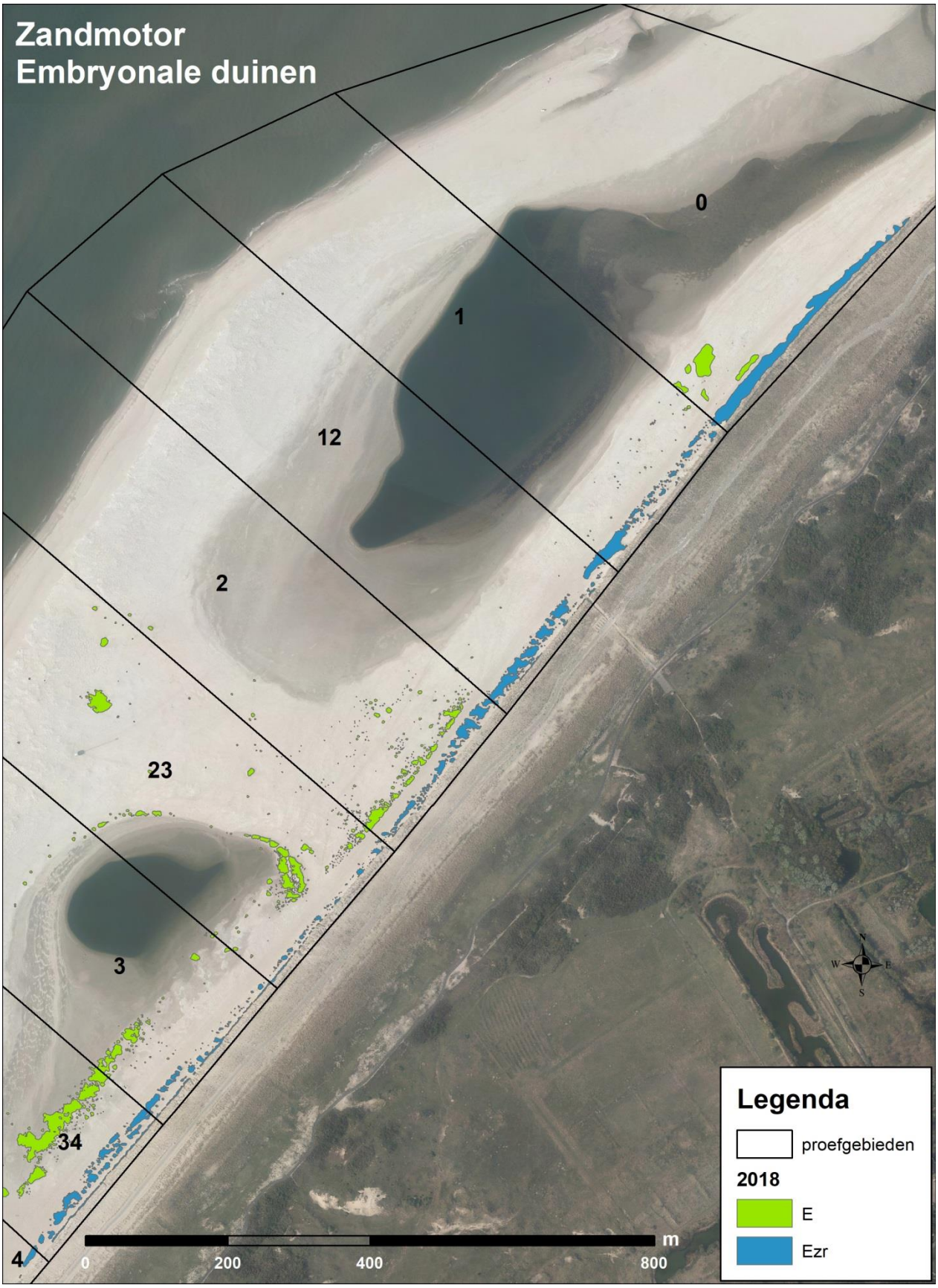
Arens & Vertegaal, 2021. Ontwikkeling embryonale duinen Zandmotor, 2013-2020. Notitie NOT_ZM_15_2020.02. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek en Vertegaal Ecologisch Advies en Onderzoek

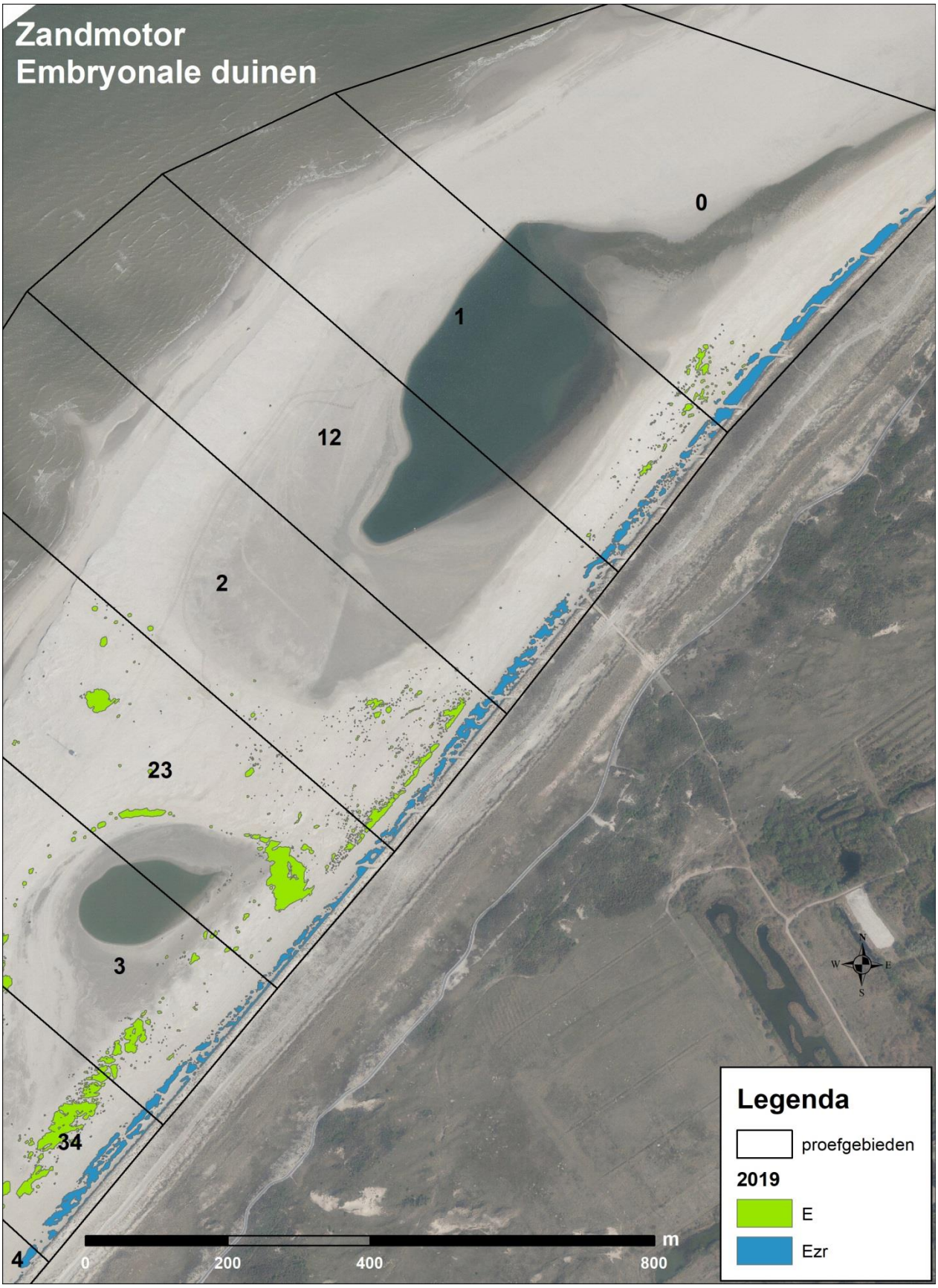
Bijlage 1 Kartering embryonale duinen

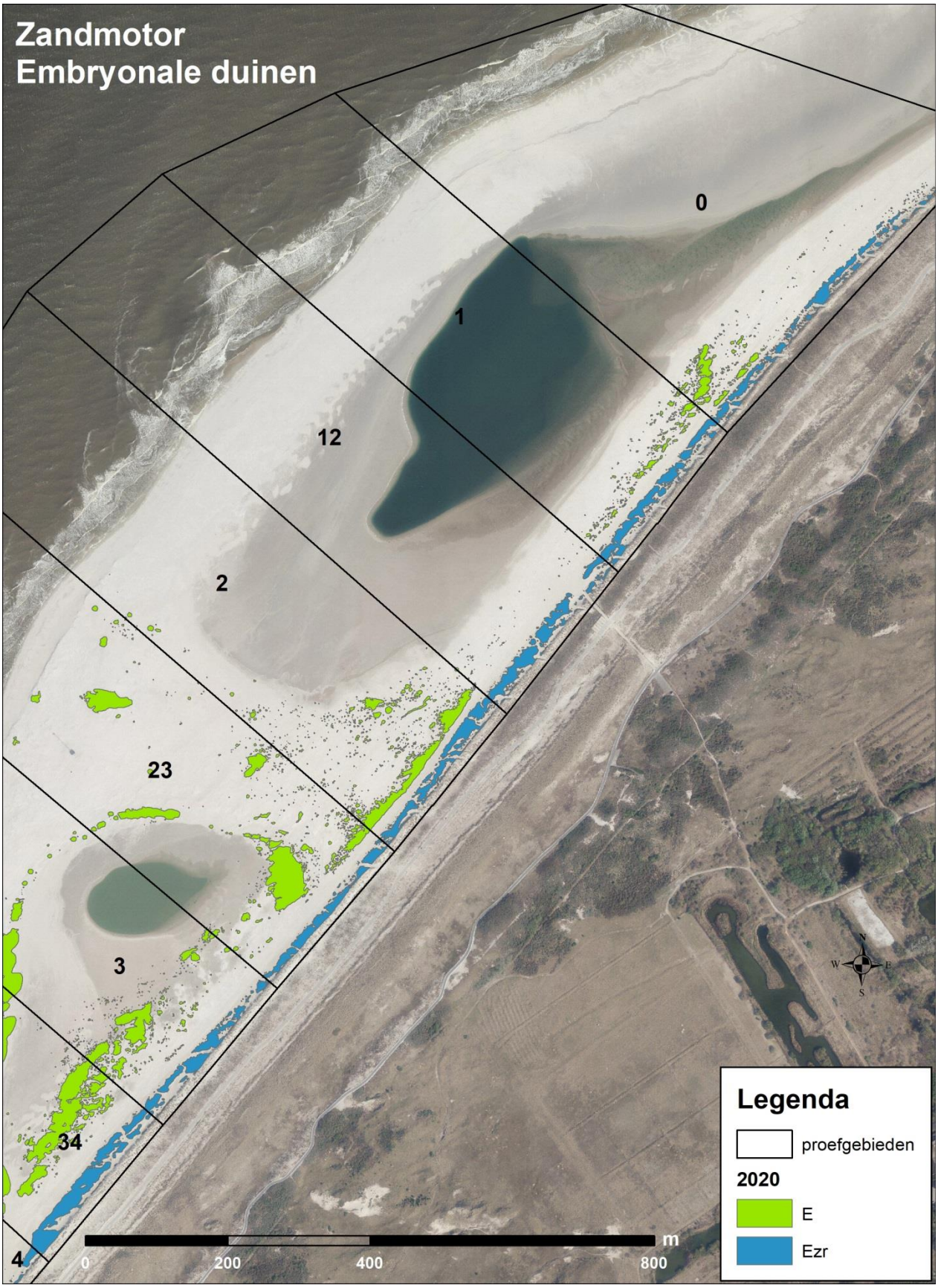

Zandmotor
Embryonale duinen
2
23
3
34
4
45
5
56
N
W
E
S
Legenda
proefgebieden
2018
E
Ezr
m
0
200
400
800


Zandmotor
Embryonale duinen
2
23
3
34
4
45
5
56
N
W
E
S
Legenda
proefgebieden
2019
E
Ezr
m
0
200
400
800


Zandmotor
Embryonale duinen
2
23
3
34
4
45
5
56
N
W
E
S
Legenda
proefgebieden
2020
E
Ezr
m
0
200
400
800


Zandmotor
Embryonale duinen
0
1
12
2
23
3
34
4
0
200
400
800
m
N
W
E
S
Legenda
proefgebieden
2018
E
Ezr


Zandmotor
Embryonale duinen
0
1
12
2
23
3
34
4
0
200
400
800
m
N
W
E
S
Legenda
proefgebieden
2019
E
Ezr


Zandmotor
Embryonale duinen
0
1
12
2
23
3
34
4
0
200
400
800
m
N
W
E
S
Legenda
proefgebieden
2020
E
Ezr

Bijlage 2 Bestanden

Map: F:\Bas\Projecten\Zandmotor\Zandmotor Data\ZM_15 Embryonale duinen\berekeningen 2018-2019-2020
ed_hoogte_hoogteverschil_2018-2019-2020.xlsx

ed_karteringen_2018-2019-2020.xlsx

- sheet zm_ed_2018_pb
- sheet zm_ed_2019_pb
- sheet zm_ed_2020_pb

zijn de data uitvoer van de attribute tables van de karteringen embryonale duinen (via kaart geomorfologie, dus van gehele gebied)
daarin kruistabel met som van shape area en aantal per proefgebied (niet de grote deelgebieden, maar de proefgebieden van de veldkartering embryonale duinen).

- Ed_veld_2018 zijn de resultaten van de veldkartering 2018
- Ed_auto_2018
- Ed_auto_2019

zijn de resultaten van de auto kartering 2019, deze zijn nu vervangen door de nieuwe resultaten in sheet_zm_ed_2019_pb

- vergelijking

is de vergelijking die gemaakt is voor de notitie van feb 2020, met vergelijking van veld en autokartering en met grafieken van embryonale duinen zeereep, zandmotor en totaal en dan oppervlakte per proefgebied, aantal per proefgebied en gemiddelde oppervlakte per duinvlak per proefgebied

- vergelijking per oppervlak
- vergelijking per aantal
- vergelijking per gemiddelde oppervlak

is de nieuwe vergelijking met de resultaten 2020 toegevoegd

map: F:\Bas\Projecten\Zandmotor\Zandmotor Data\ZM_15 Embryonale duinen\uitwerking 2020
ED_2020_ZSt_min20b219b_hoogte2020.xlsx

ED_2020_ZSt_min20b219b2.xlsx