Deltares

Data rapport Spanjaardsduin

overzicht van monitoringdata

Data rapport Spanjaardsduin
overzicht van monitoringdata

Partners
Wageningen Marine Research, IJMUIDEN
Shore Monitoring & Research, 'S-GRAVENHAGE
Arens Bureau voor Strand en Duinonderzoek, Soest
ARTESIA BV, SCHOONHOVEN

Data rapport Spanjaardsduin
overzicht van monitoringdata

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	de heer K. Borst

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	14-10-2021
Projectnummer	11205731-003
Document ID	11205731-003-ZKS-0004
Pagina's	21
Status	definitief

Vastgesteld door		
Kees Borst	RWS-WVL	
Mennobart van Eerden	RWS-WVL	
Marieke Eleveld	Deltares	

Doc. Versie	**Auteur**	**Controle**	**Akkoord**	**Publicatie**
0.1	Gerrit Hendriksen	Kees Borst		
1.0	Gerrit Hendriksen	Theo Prins	Toon Segeren	

Samenvatting

Spanjaardsduin is een van de gebieden die zijn ingesteld ter compensatie van de aanleg van de tweede Maasvlakte. Om de ontwikkelingen in het gebied te monitoren is een meetcampagne opgezet waarbij gedurende 10 jaar de veranderingen in het gebied wat betreft morfologie, grondwaterstand, luchtkwaliteit en flora en fauna zijn gevolgd. Deze gegevens zijn gedurende de looptijd beschikbaar gemaakt via het portaal van MEP duinen. De huidige monitoring heeft als einddatum 1 oktober 2021 waarmee de gegevens ook worden overgezet naar het Rijkswaterstaat Project Archief. Dit archief wordt gebruikt voor afgesloten projecten en is voorzien van een data portaal waar gegevens beschikbaar gemaakt en gevisualiseerd worden. Het portaal is te bereiken via https://waterinfo-extra.rws.nl/download-data/.

Inhoud

	Samenvatting	**4**
1	**Inleiding**	**6**
1.1	MEP Duinen Spanjaardsduin	6
1.2	Monitoring	6
1.3	Data verzameling, opslag en beschikbaarheid	6
1.4	Spanjaardsduin – MEP Duinen portaal	7
2	**Monitoringthema's**	**10**
2.1	Inleiding	10
2.2	Morfologie	10
2.3	Flora en Fauna	12
2.4	Vegetatieontwikkeling	12
2.5	Grondwaterkwantiteit en -kwaliteit	13
2.6	Luchtkwaliteit	15
3	**Aanbevelingen**	**17**
3.1	Inleiding	17
3.2	Monitoring in periode 2022-2033	17
A	**Bijlage Monitoringstabel**	**18**
B	**Bijlage Geomorfologie**	**19**
C	**Hydrologische ontwikkeling**	**20**

1 Inleiding

1.1 MEP Duinen Spanjaardsduin

In 2009 is voor de kust van Delfland ter hoogte van 's-Gravenzande Spanjaards Duin aangelegd. Dit gebied dient als compensatie van verwachte verliezen van natuurwaarden, als gevolg van het gebruik van Maasvlakte 2, in Natura 2000-gebieden Voorne's Duin en Solleveld & Kapittelduinen. Deze compensatieplicht is vastgelegd in de EU-Habitatrichtlijn en in de Wet Natuurbescherming.
De aanleg van het Spanjaards Duin als compensatie voor het gebruik van Maasvlakte 2 is vastgelegd in de vergunning in het kader van de Natuurbeschermingswet voor de aanleg, aanwezigheid en gebruik van Maasvlakte 2. De doelstelling is tevens vastgelegd in de toevoeging Spanjaards Duin aan het Natura 2000-gebied Solleveld en Kapittelduinen[1].

Om de compensatie te monitoren is een langjarige monitoring campagne uitgevoerd waarbij veel gegevens beschikbaar zijn gemaakt. Dit document beschrijft in hoofdlijnen welke gegevens zijn verzameld. Indien van toepassing wordt verwezen naar andere documenten, zoals jaarverslagen en veldverslagen. Alle gegevens zijn beschikbaar via de repository (https://repos.deltares.nl/repos/MEP-Duinen/, login is nodig en aan te vragen met toestemming van RWS, Kees.Borst@rws.nl). Vanaf 1 oktober 2021 is een kopie van de gegevens beschikbaar via het Rijkswaterstaat Project archief.

1.2 Monitoring

De monitoring wordt door diverse partijen uitgevoerd. De gevolgde werkwijze en uitvoerders worden gegeven in de monitoringstabel (zie Bijlage 1).
Grofweg kan de monitoring worden onderverdeeld in de volgende thema's:

- Morfologie
- Flora en fauna
- Vegetatieontwikkeling
- Grondwaterkwantiteit en -kwaliteit
- Luchtkwaliteit (is niet opgenomen in de monitoring tabel, edoch is van belang in totale rapportage)

Voor ieder thema is in dit rapport een korte omschrijving gegeven en wordt aangegeven waar de gegevens vindbaar zijn.

1.3 Data verzameling, opslag en beschikbaarheid

De verschillende ruwe data en bewerkte gegevens worden verzameld in een repository. De repository bevat op dit moment nagenoeg alle verzamelde data in Spanjaards Duin inclusief beeldmateriaal. Een deel van de data is voor de eerste monitoringsjaren enkel als PDF beschikbaar. Sinds 2014 worden ook de ruwe data en bewerkte data verzameld, duidelijk gescheiden opgeslagen en beschikbaarheid gesteld via de repository.
In 2016 is de coördinatie van de dataverzameling en oplevering t.b.v. het opstellen van het jaarverslag mede uitgevoerd door RoyalHaskoning/DHV in opdracht van Rijkswaterstaat i.s.m. Stichting het Zuid-Hollands Landschap.

[1] Zie https://www.natura2000.nl/gebieden/zuid-holland/solleveld-kapittelduinen

De projectperiode eindigde op 1 oktober 2021. Vanaf dat moment zijn de gegevens beschikbaar via het Rijkswaterstaat Project Archief (https://rwsprojectarchief.openearth.nl/downloads/Spanjaardsduin) en tevens vindbaar en inzichtelijk via Water Info Extra (https://waterinfo-extra.rws.nl/download-data/).

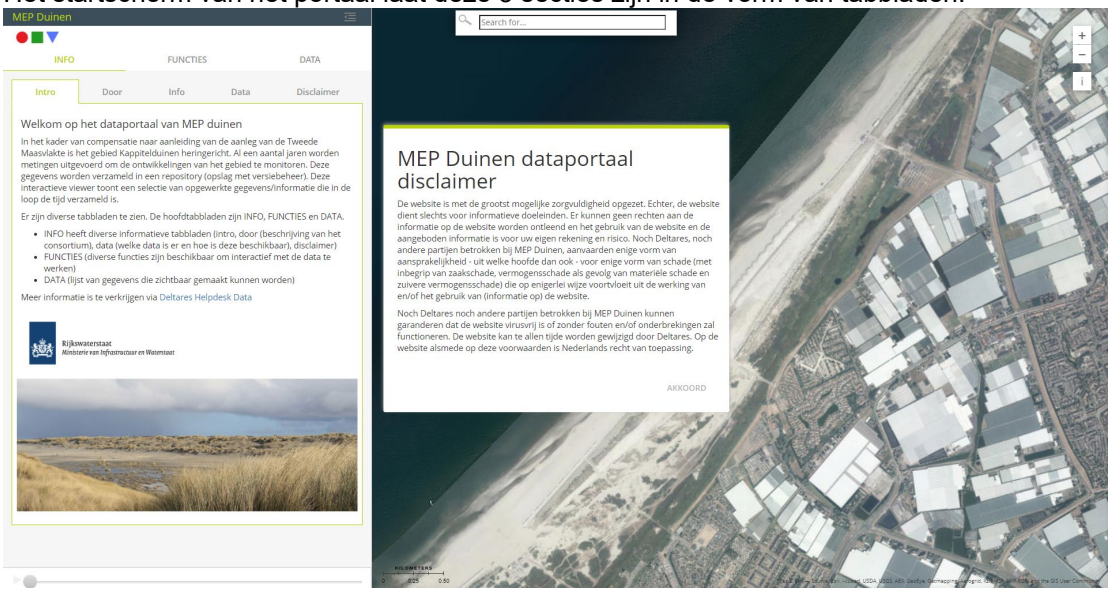
1.4 Spanjaardsduin – MEP Duinen portaal

Betrokken partijen hebben in overleg een set services voorgesteld waarmee gegevens en informatie ontsloten zijn via een data portaal. Kenmerken van dit data portaal zijn dat de gegevens die beschikbaar zijn, omgezet zijn naar een data service in de filosofie van OpenEarth. Dat betekent dat gegevens toegankelijk, interoperable en herbruikbaar gemaakt zijn met behulp van open source oplossingen. Voor Spanjaardsduin portaal geldt dat dit bijna voldoet aan de FAIR principes (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). Vindbaarheid is buiten de rapportages niet gefaciliteerd in een zoekomgeving (dit is een keuze van het project geweest). Het portaal is nog tot 1 januari 2022 beschikbaar via https://mepduinen.openearth.nl/. Dit is vergelijkbaar met de service via eerdergenoemde Water Info Extra. Het verschil zit in de aanwezigheid van extra functionaliteit en de beschikbaarheid van alle rapportages. Het MEP Duinen portaal heeft alle gegevens, rapportages etc. netjes gebundeld en voorzien van extra functionaliteit.
De naam MEP Duinen contrasteert enigszins met de naam Spanjaardsduin. De oorzaak ligt in de historie van het project, initieel heette het project MEP Duinen, vanwege het onderzoek wat in het kader van het Monitoring en Evaluatie Programma Duinen is uitgevoerd.

Het portaal bestaat uit 3 secties:

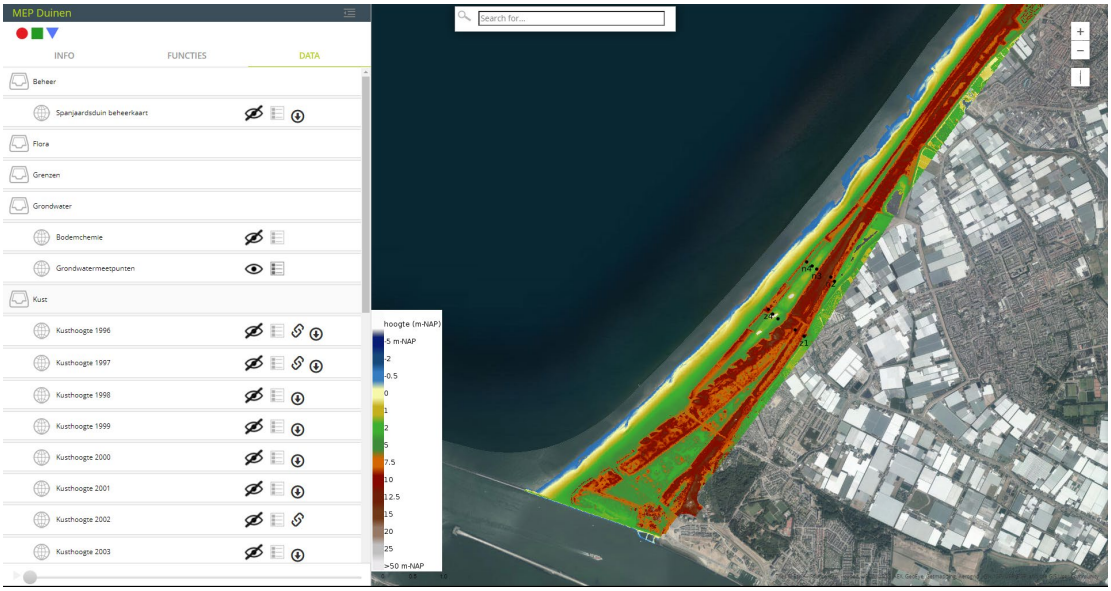
1. Informatieve sectie, met informatie over het project, een plek waar rapportages zijn te vinden en achtergrondinformatie
2. Functies, met een set functies om informatie uit de gegevens te kunnen extraheren, bijvoorbeeld dwarsprofiel of grondwaterstand voor een bepaalde locatie
3. Data, een lijst van gegevens die ter visualisatie beschikbaar zijn

Het startscherm van het portaal laat deze 3 secties zijn in de vorm van tabbladen.



Figuur 1 Startscherm MEP Duinen / Spanjaardsduin data portaal (geraadpleegd op 27-09-2021)

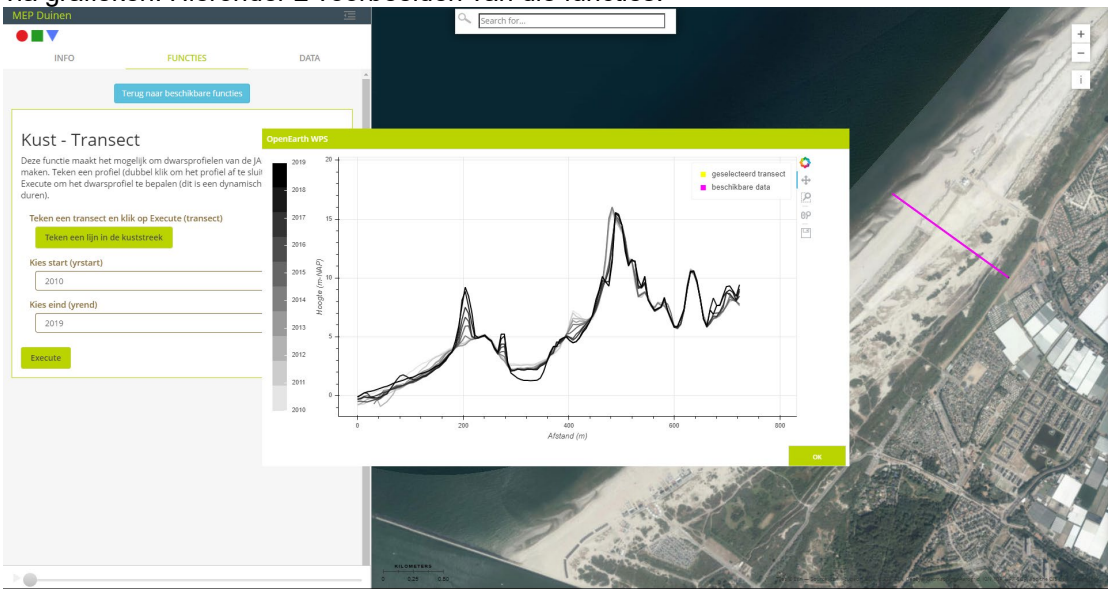
Hieronder een schermafbeelding met visualisatie van kustmorfologie en grondwaterstandslocaties van Spanjaardsduin.



Figuur 2 Schermafbeelding MEP Duinen data portaal (geraadpleegd op 27-09-2021).

De functies zijn in de loop der tijd beschikbaar gemaakt aan eindgebruikers met als doel meer informatie te verschaffen in de ontwikkeling van het gebied.

Extra informatie is beschikbaar gemaakt via het tabblad functies. Naast visualisatie is het ook mogelijk om informatie uit de services (OGC services[2]) op te halen en beschikbaar te maken via grafieken. Hieronder 2 voorbeelden van die functies.

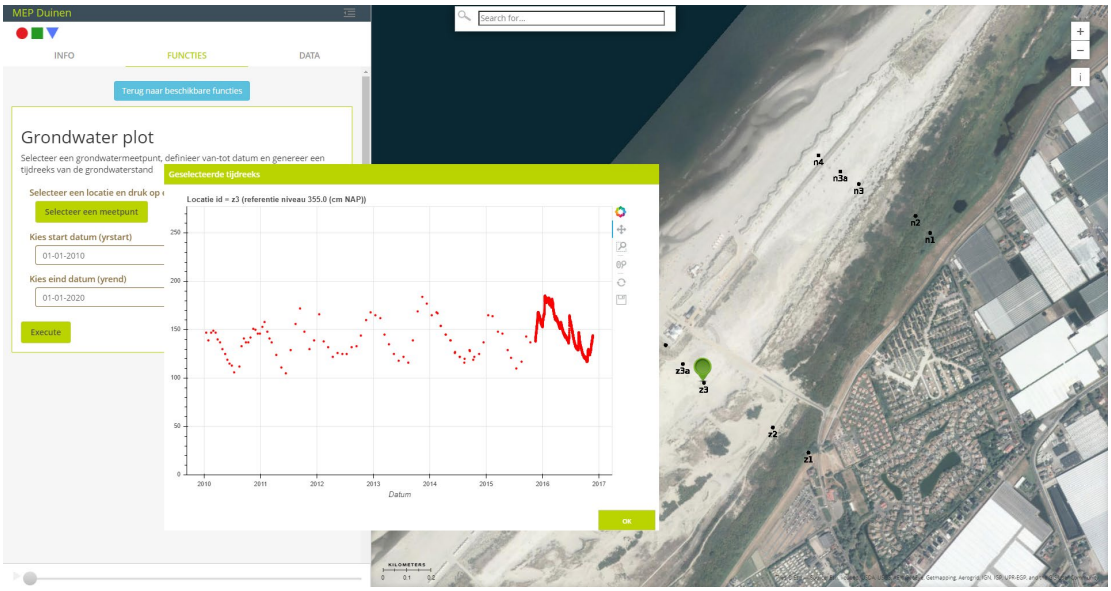


Figuur 3 Schermafbeelding met een profiel van de hoogte van de kust over de jaren 2010-2019. De paarse lijn geeft de plaats van het profiel weer (Geraadpleegd op 27-09-2021).

In het Spanjaardsduin gebied zijn in totaal 10 grondwaterbuizen geplaatst. In totaal zijn ca. 200.000 metingen beschikbaar voor de periode 2008-2020. Niet alle buizen zijn in hetzelfde jaar gestart. In 2009 en 2011 zijn extra buizen bijgeplaatst.

[2] OGC = Open Geo Consortium is een organisatie met als doel het opzetten en onderhouden van services ten behoeve van uitwisseling van (geo) informatie. Het is een internationaal gremium en de beschreven services zijn algemeen geaccepteerd en door diverse software leveranciers geïmplementeerd. De beschreven services zijn te vinden via https://www.ogc.org/.

Dit type gegevens is via het portaal op een laagdrempelige manier beschikbaar via de functie ‘Grondwater plot’.



Figuur 4 Grondwaterstanden voor grondwatermonitoring put Z3 (Geraadpleegd op 27-09-2021).

Portalen en de achterliggende infrastructuur behoeven beheer en onderhoud. Dit is gedurende het project altijd onderdeel geweest. Echter met het aflopen van het project is het niet meer mogelijk om deze services in stand te houden. Een selectie van de gegevens wordt vanaf oktober 2021 beschikbaar gemaakt via de projectpagina van Water Info Extra (WIE). WIE is een initiatief van Rijkswaterstaat om gegevens die vallen buiten de landelijke monitoring meetnetten en vaak uit projecten komen te borgen en beschikbaar te maken. In dit rapport wordt per thema verder in gegaan hoe de gegevens van de monitoring van Spanjaardsduin beschikbaar komen voor hergebruik.

2 Monitoringthema’s

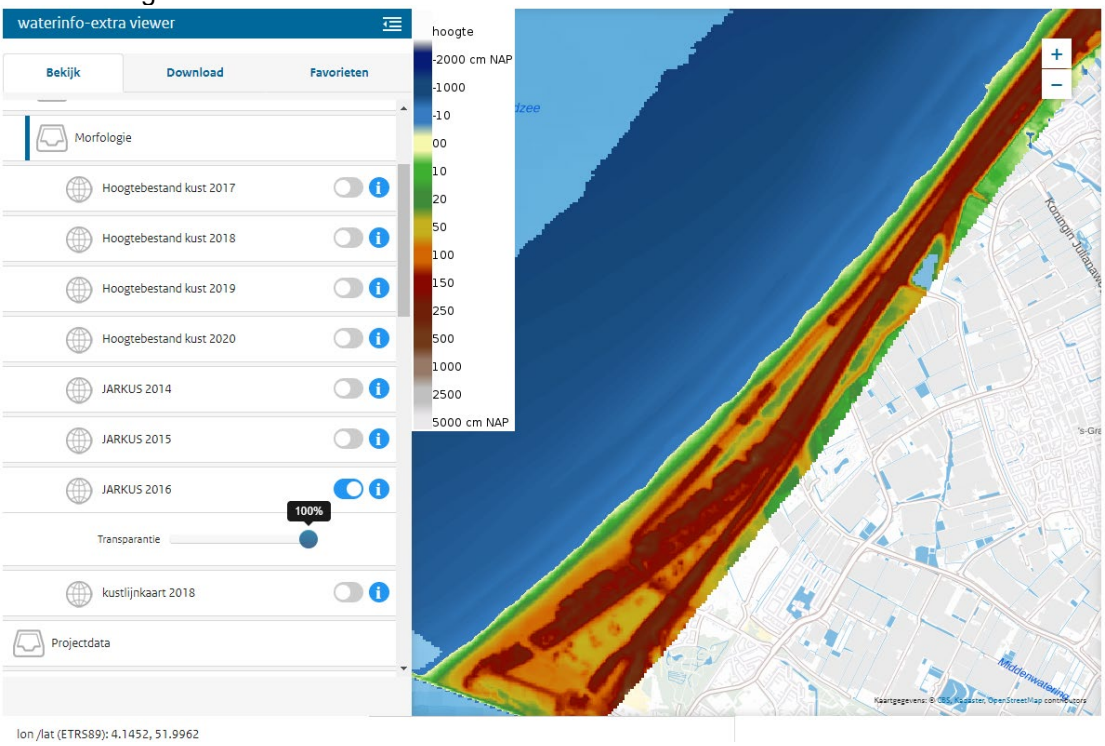
2.1 Inleiding

Voor alle in hoofdstuk 1.2 genoemde thema’s is de ruwe data verzameld in een Subversion repository. De verwerkte gegevens zijn ook verzameld in deze repository. Veelal zijn hierbij ook documenten met een beschrijving van de verwerking opgenomen. Echter niet in alle gevallen is dat even goed gegaan en soms ontbreken opgewerkte data. Verder zijn gedurende de looptijd van het project de gegevens voor zover mogelijk (binnen beschikbare middelen en naar prioriteit) ook omgezet naar services voor hergebruik en visualisatie. Die visualisatie heeft via het in hoofdstuk 1.4 beschreven dataportaal MEP Duinen plaats gevonden.

Dit hoofdstuk zal verder ingaan op de gegevens per thema waarbij per thema de beschikbaarheid in de WIE (Water Info Extra) en visualisatie is beschreven, alsmede de beschikbaarheid van data. Voor ieder perceel is aangegeven waar de data nu vindbaar is en welke lagen beschikbaar zijn gemaakt voor visualisatie in Water Info Extra.

2.2 Morfologie

Het merendeel (wat betreft volume) van de data is afkomstig uit dit thema. De monitoring tabel geeft inzicht in de morfologische ontwikkeling van Spanjaardsduin en omgeving. Het thema morfologie heeft in grote mate gebruik gemaakt van de gegevens afkomstig van de jaarlijkse hoogtemetingen van RWS. Deze hoogtemetingen zijn bekend onder de datasetnaam JARKUS en al beschikbaar via het Rijkswaterstaat projectarchief onder reguliere monitoring RWS en dan morfologie.



Figuur 5 voorbeeld van JARKUS data zoals ook gebruikt in project MEP Spanjaardsduin (bron: waterinfo-extra.rws.nl, geraadpleegd op 15-09-2021)

Unieke data voor Spanjaardsduin is ingewonnen in de vorm van hoge resolutie LIDAR DTM en luchtfoto's. Voor bijvoorbeeld 2019 ziet deze dataset er als volgt uit.

Figuur 6 Schermafbeelding van Spanjaardsduin hoogtebestand 2019 (bron: waterinfo-extra.rws.nl, geraadpleegd op 28-09-2021)

Deze gegevens zijn inmiddels beschikbaar gemaakt via het RWS projectarchief. Op 15-09-2021 is dit archief te raadplegen via https://rwsprojectarchief.openearth.nl/downloads/Spanjaardsduin/repos/02M_MorfologieDuingebied/001M_Hoogteligging/0001M_Vlakdekkend/ wat betreft de hoogte metingen zoals hierboven getoond.
Er zijn diverse resoluties beschikbaar voor verschillende jaren. Echter niet ieder jaar heeft alle resoluties beschikbaar. In alle gevallen zijn er bestanden met een resolutie van 50cm. Verder zijn in sommige gevallen resoluties van 2 cm en 10 cm beschikbaar.

Bij iedere meting is ook een uitgebreide data- of veldrapportage beschikbaar met daarin alle gegevens omtrent gehanteerde meetmethoden en apparatuur.

Figuur 7 Een van de instrumenten om hoogte gegevens op te nemen (bron: T0 veldrapportage SHORE).

Uit deze gegevens zijn diverse producten zoals opgenomen in de monitoring tabel afgeleid. Deze zijn verspreid terug te vinden over de directories 01P_Profielvooroeverstrand en 02M_MorfologieDuingebied van de download pagina van Spanjaardsduin (https://rwsprojectarchief.openearth.nl/downloads/Spanjaardsduin/repos/).

2.3 Flora en Fauna

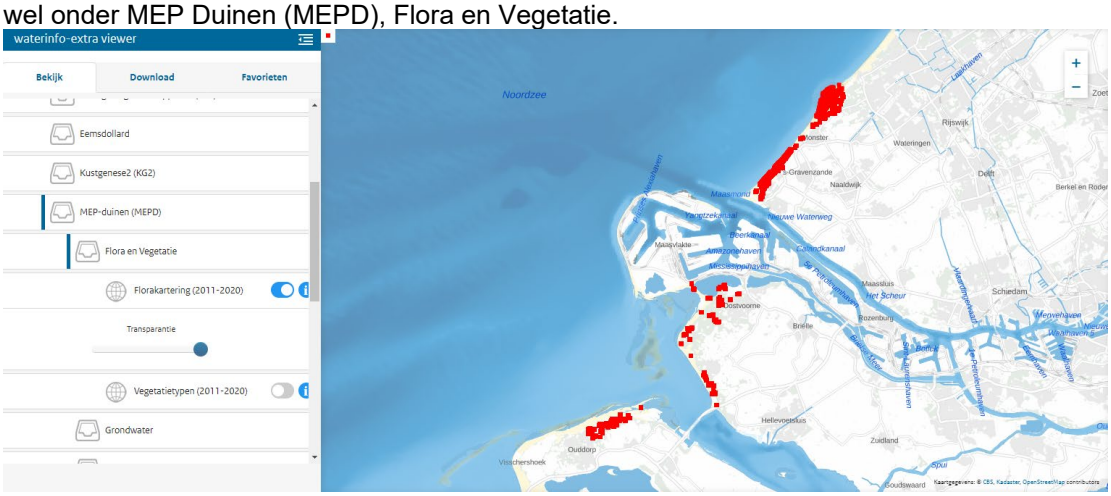
Flora en Fauna gegevens zijn beschikbaar gekomen via gerichte flora- en faunakartering in het gebied. Naast ‘professionele’ karteringen is tevens gebruik gemaakt van door vrijwilligers uitgevoerde karteringen. De gegevens zijn via diverse protocollen verzameld, waaronder het Broedvogel Monitoring Project (BMP) van SOVON.

De gegevens zijn ondergebracht in het RWS Projectarchief op de download site https://rwsprojectarchief.openearth.nl/downloads/Spanjaardsduin/repos/ en dan in de volgende sub directories:

Thema	Subdirectorie
Flora	04V_Vegetatieflora
Broedvogels	05BV_Broedvogels
Fauna	07Z_Zoogdieren (opgenomen in de vogel datasets)

In bovenstaande tabel is ook vegetatie opgenomen. Gezien het grote verschil in protocol tussen een kartering en vegetatieopname is dit onderdeel opgenomen in een aparte paragraaf. Zie daarvoor 2.4 Vegetatieontwikkeling. Wat betreft het protocol, flora en fauna kartering (kartering in het algemeen) wordt uitgevoerd via waarnemingen op locaties die niet zijn vastgesteld. Kartering is gericht op het vaststellen van het voorkomen van soorten per locatie. Iedere locatie en soort combinatie is hier uniek. Dat in tegenstelling tot vegetatieopnamen, waarbij voor een vastgestelde locatie de opbouw van de vegetatie wordt beschreven in de vorm van het voorkomen groepen planten (meerdere gegevens per locatie).

De gegevens met betrekking tot Flora kartering is beschikbaar gemaakt via het WIE portaal en wel onder MEP Duinen (MEPD), Flora en Vegetatie.



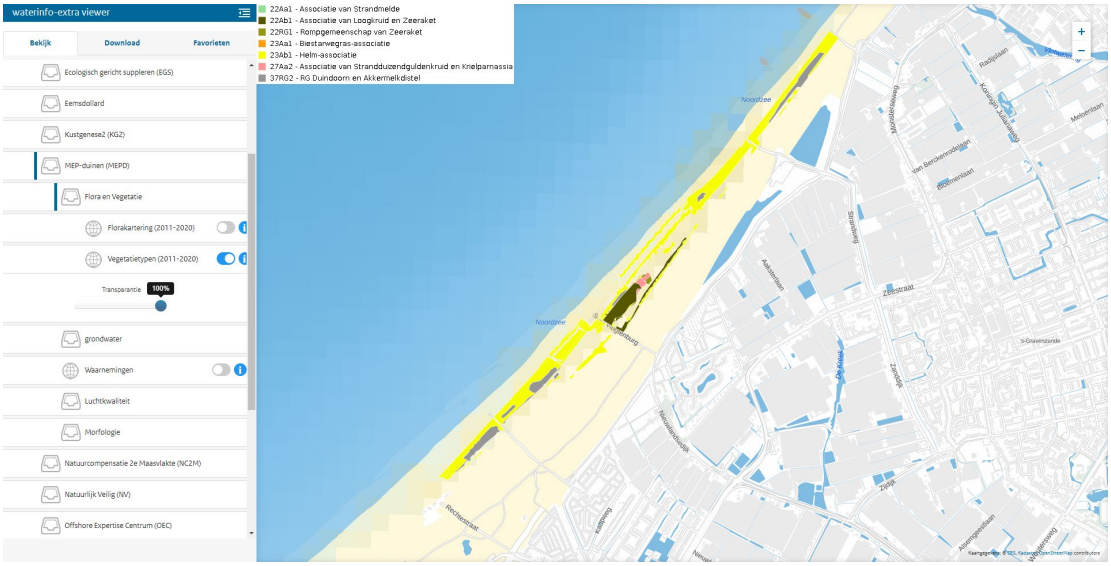
Figuur 8 De rode stippen geven aan waar gegevens beschikbaar zijn over waargenomen soorten planten.

De dataset Fauna (Zoogdieren en Broedvogels) is via een protocol als BMP (Broedvogel Monitoring Protocol) opgenomen. Deze gegevens zijn via telmee.nl (invoerportaal voor soorten) beschikbaar gemaakt. Omdat het eindstation voor dit type data via bijvoorbeeld telmee.nl of waarneming.nl uiteindelijk in de NDFF (Nationale Database Flora en Fauna) terecht gaan komen zijn de gegevens dan ook beschikbaar via dit portaal.
Het portaal verspreidingsatlas.nl geeft bij voldoende rechten (inlog) inzicht in de beschikbare gegevens.

2.4 Vegetatieontwikkeling

Vegetatieontwikkeling is te volgen door het volgen van de ontwikkeling van vegetatie op vaste punten en via interpretatie van luchtfoto’s.

De ontwikkeling via vaste punten wordt in de vegetatiekunde met PQ's aangeduid (Permanente Quadraten). De gegevens bestaan uit soortenlijsten met schattingen van het oppervlak wat die soorten innemen volgens de Braun-Blanquet methode. De gegevens zijn beschikbaar gemaakt in het formaat van TURBOVEG en in de meeste gevallen ook in de vorm van spreadsheets. Deze gegevens zijn beschikbaar via https://rwsprojectarchief.openearth.nl/downloads/Spanjaardsduin/repos/04V_Vegetatieflora.



Figuur 9 Vegetatietypen 2020 als resultaat van luchtfoto interpretatie (bron: https://mepduinen.openearth.nl, geraadpleegd op 15-09-2021).

Uitvoerige rapportage over dit onderdeel is te vinden in diverse jaarrapportages die ook via de site https://rwsprojectarchief.openearth.nl/downloads/Spanjaardsduin/repos/ beschikbaar zijn. Zie daartoe 12X_Documenten\001X_Jaarverslag_Beheer_Spanjaards_Duin.

2.5 Grondwaterkwantiteit en -kwaliteit

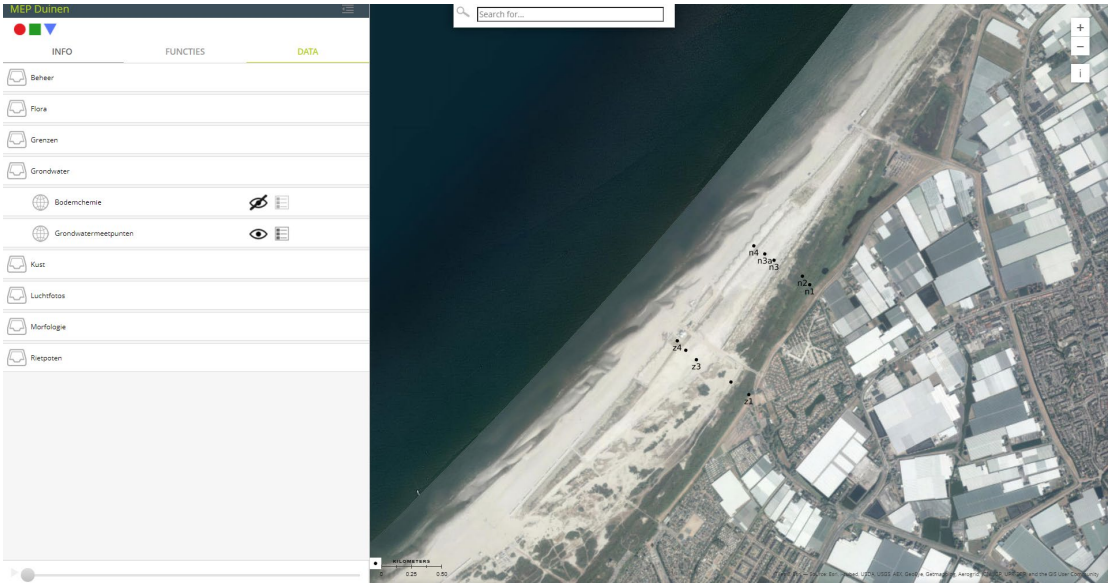
De bulk aan gegevens met betrekking tot Grondwaterkwantiteit is merendeels via automatische drukopnemers gerealiseerd. Echter de gegevens zijn niet altijd even compleet.
Onderstaande tabel geeft een grof overzicht van het aantal gegevens per jaar.

Tabel 1 Schatting van aantal observaties grondwaterstand per jaar.

peilbuis	2013	2014	2015	2016	2017	2018 d	2019	2020	2021
N1	12	11	10	12	12	4147	533	6384	4497
N2	12	11	10	12	12	4147	533	6384	4497
N3	12	11	10	12	12	4147	533	4382	2249
N3a	12	11	10	12	12	4147	2981	8764	4497
N4	12	11	10	12	12	4147	533	3111	2249
Z1	12	11	10	12	12	4147	533	8766	4497
Z2	12	11	10	12	12	4147	533	8766	4497

Z3	12	11	10	12	12	4147	533	8765	4497
Z3a	12	11	10	12	12	4147	533	8764	4497
Z4	12	11	10	12	12	4147	533	8765	4497

De ligging van de grondwatermeetpunten is in onderstaande figuur opgenomen.

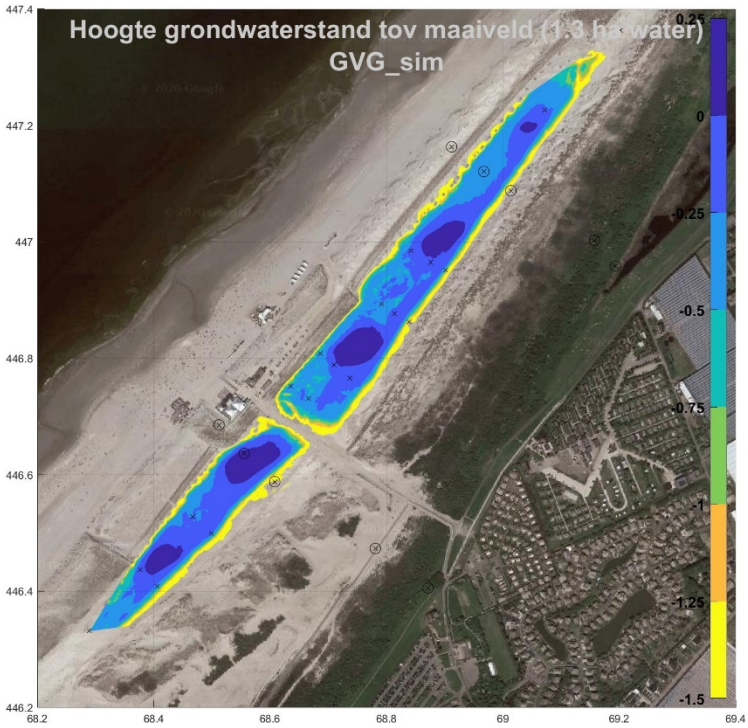


Figuur 10 Ligging grondwatermeetpunten (bron: https://mep-duinen.openearth.nl, geraadpleegd op 15-09-2021).

De gegevens zijn geordend beschikbaar gemaakt via https://rwsprojectarchief.openearth.nl/downloads/Spanjaardsduin/repos/03G_Grondwater/001G_Grondwaterstanden/0001G_HandmetingenMaandelijks/RuweData_level1/Spanjaardsduin/ .

Grondwaterstanden en grondwatermeetnetinformatie is beschikbaar via de BRO (Basis Registratie Ondergrond). Hier geld dat de gegevens niet nogmaals ook via WIE beschikbaar worden gemaakt. Voor het raadplegen van deze gegevens wordt dan ook verwezen naar de BRO.

De grondwaterstanden zijn gebruikt om gemiddelde grondwaterstandskaarten (Artesia bv) in te schatten. Deze zijn opgenomen in de jaarrapportage en dan met name in bijlage 3.



Figuur 11 Geïnterpoleerde GVG, Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (Bron: Artesia, bijlage 3 bij jaarraportage 2019-2020)

De grondwaterkwaliteit is op zeer onregelmatige momenten bepaald en is beschikbaar via https://rwsprojectarchief.openearth.nl/downloads/Spanjaardsduin/repos/03G_Grondwater/004G_Grondwaterkwaliteit/BewerkteData_level2/

Een speciaal onderdeel zijn de monstername campagnes gericht op bodemkwaliteitsgegevens. Deze zijn beschikbaar via de https://rwsprojectarchief.openearth.nl/downloads/Spanjaardsduin/repos/08B_Bodem/. Deze data is verder niet opgewerkt tot een service.

2.6 Luchtkwaliteit

Gedurende de periode 2010-2016 is het onderzoek Stikstofdepositie in de bestaande duinen en het bronnenonderzoek Maasvlakte 2 uitgevoerd door ECN. De gegevens van dit bredere onderzoek zijn ondergebracht bij het project MEP Duinen en Spanjaardsduin. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het ontwikkelen van een meetstrategie voor het volgen van effecten van stikstofuitstoot vanaf een groeiend in bedrijf komende Maasvlakte 2 op het omliggend habitat van het bestaande duingebied. Het betreft enerzijds voortzetting van concentratiemetingen met het oog op trendanalyse in de concentraties en depositieniveaus van verschillende stikstofcomponenten en anderzijds additionele ammoniakconcentratiemetingen ter verklaring van de hoogte van de stikstofdepositie op het meetpunt Hoek van Holland.

Tabel 2 Aantal metingen luchtkwaliteit over de verschillende meetjaren over alle locaties

Jaar	Aantal metingen
2011	4314
2012	4160
2013	5082

2014	5153
2015	4110
2016	2808

Figuur 12Locaties van de luchtkwaliteitsmeetstations

Rijkswaterstaat heeft voor het Monitoring- en Evaluatie Programma (MEP) Duinen in de periode 2011-2014 de nulmeting (T=0) stikstofdepositie uit laten voeren in het kader van de evaluatieplicht voor het besluit Bestemmingsplan Maasvlakte 2 (MV2). Daarin is gekeken wat de uitgangssituatie is zonder gebruik MV2. Dit om in een latere fase te kunnen evalueren of de effecten zijn zoals voorspeld in MER en PB op bestaande duinen in de 'Natura 2000'-gebieden.

Het uitgevoerde T0-onderzoek en vervolgonderzoek laat de complexe werkelijkheid in deze regio zien. De combinatie van continue en maandmetingen, windrichtingen en chemische samenstelling zijn gebruikt om te kijken naar de ruimtelijke verdeling en het relatief belang van verschillende herkomstgebieden van de verschillende stikstofcomponenten met een nadruk op ammoniak. Het 6-jarig onderzoek heeft daarmee veel nieuwe inzichten opgeleverd over de depositie in deze regio, maar we hebben nog niet een volledige en sluitende verklaring voor de bronnen en oorzaken van de (hoge) depositie.

Meer informatie is te vinden in het document Stikstofdepositie en bronnenonderzoek Maasvlakte 2; ECN- 2017; A. Hensen e.a. Dit document is ook te vinden in https://rwsprojectarchief.openearth.nl/downloads/Spanjaardsduin/repos/15_Luchtkwaliteit/doc/.

3 Aanbevelingen

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden een aantal aanbevelingen gedaan voor toekomstig datamanagement van Spanjaardsduin. Op het moment van schrijven wordt onderzocht wat er in de periode 2020-2033 nodig is aan informatie, data en dus datamanagement ten behoeve van vervolgonderzoek van het effect van de genomen maatregelen. Nog niet duidelijk is welke gegevensverzamelingen zullen worden aangelegd. Voor die onderdelen waarvoor het wel duidelijk is, wordt een aanbeveling gegeven.

3.2 Monitoring in periode 2022-2033

Een deel van de monitoring van 2009-2019 zal worden gecontinueerd. Dat geld in ieder geval voor de vegetatieontwikkeling, de grondwaterstanden en de morfologie ontwikkeling. Wat er precies wanneer en hoe vaak zal worden gemonitord is ten tijde van het schrijven van dit rapport (september 2021) nog in onderhandeling. Aanbevolen wordt om in ieder geval te zorgen dat de gegevens geborgd worden bij een aantal nationale initiatieven. Hier o.a. te noemen:

- BRO, Basis Registratie Ondergrond voor grondwaterstandsgegevens. Het wordt hier aanbevolen aan te sluiten bij een organisatie die de gegevens direct doorlevert aan het BRO Bronhouderportaal, zie https://basisregistratieondergrond.nl/werken-bro/bro-per-rol/gegevensleverancier/ voor instructies
- NDFF, Nationale Database Flora en Fauna voor eenmalige karteringen. Gegevens ingevoerd via https://telmee.nl, https://waarneming.nl en https://ndff.nl komen direct in deze databank terecht. Overigens geld dit ook voor gegevens opgenomen via de apps ObsMap, iOBS en NOVA.
- Vegetatiekartering via PQ's. Het is aan te bevelen deze op te nemen in de Landelijke Vegetatie Databank (LVD, https://www.synbiosys.alterra.nl/lvd2)

A Bijlage Monitoringstabel

Monitoringstabel met toelichting (uit beheersplan 2013)

Aanpassing op monitoringstabel uit Beheerovereenkomst “Overeenkomst inzake natuurontwikkeling in het duincompensatiegebied Delflandse Kust”

Er is besloten om de parameters te nummeren per (Duin)element en niet zoals nu in oplopende volgorde. Dus Morfologie duingebied wordt M1, M2, M3 etc.
Hierdoor hoeft niet meteen de hele nummering te worden aangepast als je wat wilt toevoegen of afhalen (in Open Earth).

Profiel vooroever en strand (P)

(Duin)element	Parameter	Deel van het gebied	Methode	Gemeten sinds, frequentie	Verantwoordelijke instantie	Reden voor aanpassing
Profiel vooroever en strand	P1.diepte	vooroever	Sonar	2009, 1x/jr	RWS	
	P2.ligging GHW	strand	Sonar	2009, 1x/jr		
	P3.hoogte strand	strand	Laseraltermetrie	2009, 2x/jr		
	P4.zandvolume strand	strand	Berekenen			

Profiel vooroever en strand (P)

- De parameters Diepte, Ligging GHW, Hoogte strand en Zandvolume zijn de verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat.
- De monitoring van kustlijn en vooroever wordt door Rijkswaterstaat uitgevoerd door de Jaarlijkse Kustmeting (Jarkus: http://opendap.deltares.nl/thredds/catalog/opendap/rijkswaterstaat/kustlidar/catalog.html). Met een vliegtuig wordt jaarlijks van de Nederlandse kustlijn de maaiveldhoogte vastgelegd door laseraltemetrie metingen. Ten behoeve van het project Zandmotor wordt een extra laseraltemetrie meting uitgevoerd in oktober. Spanjaard Duin wordt ook meegenomen in deze vlucht: Parameters P1 t/m P3. In het kader van Building with Nature Zandmotor zijn tussen 2009 en 2013 maandelijkse metingen uitgevoerd op strand en vooroever van -9 tot +5 meter NAP over een kuststrook van 1750 meter ter hoogte van strand Vlugtenburg en wordt de sedimentuitwisseling tussen de verschillende compartimenten bestudeerd. De resultaten zijn door Sierd de Vries (TU Delft) gepubliceerd. In het kader van NEMO wordt via een iets andere opzet de sedimentuitwisseling doorgemeten: Parameter P4.
- Het onderdeel Morfologie duingebied (M) wordt op dezelfde manier opgenomen als het onderdeel Profiel vooroever en strand (P). Beide onderdelen liggen geografisch gezien in elkaars verlengde.

Morfologie duingebied (M)

(Duin)element	Parameter	Deel van het gebied	Methode	Gemeten sinds, frequentie	Verantwoordelijke instantie	Reden voor aanpassing
Morfologie duingebied	M1.hoogteligging -vlakdekkend -transecten (n=16)	totaal totaal	Laseraltimetrie Drone opname DGPS	2009, 1x/jr 2016, 1x/jr 2010, 3x/jr 2015, 2x/jr	RWS ZHL	Naar aanleiding van rietpotenexperiment wordt 1 keer per jaar heel Spanjaards Duin opgenomen.
	M2.accumulatie en deflatie	totaal	verschillen van M1	2009, 1x/jr	RWS	
	M3.patroon maatregelen	totaal	op kaart zetten	bij uitvoering	ZHL	
	M4. Zandvolume, zandflux per tijdeenheid		Vergelijk laseraltimetrie kaarten: zgn. verschilkaarten.	2009, minimaal 1x/jr	RWS	Verschaft inzicht in hoeveel zand (m^3) die werkelijk geërodeerd/afgezet.
Morfologie rietpoten experiment	M5. Hoogtemodel	Gebied rond rietpoten experiment	Remotely Piloted Aerial System (RPAS)	2016 en 2017 2x/jr Daarna 1x/jr	RWS	

Morfologie duingebied (M) inclusief nieuwe en oude zeereep, plus een strook achter de oude zeereep

- Het onderdeel Morfologie duingebied (M) wordt op dezelfde manier opgenomen als het onderdeel Profiel vooroever en strand (P). Beide onderdelen liggen geografisch gezien in elkaars verlengde.
- De parameter Hoogteligging duin is de verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat (RWS) en het Zuid-Hollands Landschap (ZHL). Bij de Jaarlijkse Kustmeting door RWS wordt het aangrenzende achterland vlakdekkend meegenomen (Zie parameter P). Daarnaast laat ZHL veldmetingen uitvoeren door met DGPS apparatuur profielopnames te maken langs raaien vanaf de RijksStrandPalen tot in de oude zeereep. De profielmetingen zijn nodig om het maaiveldniveau onder de vegetatie (o.a. Duindoorn) te bepalen. In de afgelopen jaren zijn 3x/jr transecten opgenomen. Vanaf 2015 worden 2x/jr transecten opgenomen. De morfologische veranderingen lopen langzamer dan in de eerste vijf jaar: Parameter M1.
- De beide genoemde metingen bij M1 gecombineerd met luchtfoto's van RWS geven informatie voor het patroon van de verstuivingen. Tot op heden is deze analyse beperkter uitgevoerd, omdat de benodigde luchtfoto´s ontbreken. Parameter M2.
- Het patroon van maatregelen (zoals bijvoorbeeld in 2013 en 2015 het verwijderen van duindoorn) zet ZHL voor het hele gebied op kaart: Parameter M3.
- Vergelijking van de laseraltermetrie kaarten geeft inzicht in het verschil tussen zomer- en winterstuiven t.b.v. verbetering inzicht seizoensstuiven. Deze analyse gebeurd in het kader van het jaarverslag. Parameter M4.
- Ten behoeve van het rietpoten experiment wordt een hoogtemodel opgenomen met een Drone (Remotely Piloted Aerial System (RPAS)) door Shore Monitoring. In 2016 zijn voor het gebied rond het rietpoten experiment 2 maal metingen uitgevoerd (X 2016 en Y 2016). Eenmaal voor het starten van het experiment en eenmaal voor het inplanten van het tweede plot met rietpoten. In X 2016 is gelijktijdig met de opname ten behoeve van het rietpotenexperiment ook een hoogtemodel opgenomen voor het hele duingebied Spanjaards Duin. Parameter M5.

Grondwater (G)

(Duin)element	Parameter	Deel van het gebied	Methode	Gemeten sinds, frequentie	Verantwoordelijke instantie	Reden voor aanpassing
Grondwater	G1. grondwaterstanden	G1a. 7 peilbuizen in 2 raaien, N-raai en Z-raai	opnemen	alles 1x/mnd	RWS	
		G1b. Va. aug 2012 16 extra tijdelijke peilbuizen in de vallei	peilbuizen (her)plaatsen en opnemen	aug 2012, mei en september 2013, januari en augustus/september 2014 en januari 2015	RWS	Gestopt na januari 2015 n.a.v. constatering van Artesia, zie toelichting punt 3
Vervanging voor G1a tot G1b.		G1d. 10 peilbuizen in 2 raaien, N-raai en Z-raai	Automatische drukopnemers	vanaf december 2015, vaker dan 2* per dag, uitlezen begin januari	RWS	Opmerkingen AC en Artesia. Om betrouwbaardere metingen te verzamelen worden handmetingen in raaien en tijdelijke meetnet vervangen door 10 automatische drukopnemers.
	G2. zoet-zout grensvlak	Duinvallei	CVES-metingen	2014, 2015, 2017 minimaal eens in de 2 jaar tot 2019		Om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de zoetwaterbel.
Voorlopig niet uitvoeren, wel als optie behouden in tabel.	G3. grondwatermodellering	Geheel Spanjaards Duin en omgeving incl. De Banken	Grondwatermodel	nvt	Vastleggen wie de verantwoordelijke instanties zijn voor opname, verwerking en synthese	Opmerkingen AC en Artesia. Zie toelichting punt 5
	G4. grondwaterkwaliteit	8 peilbuizen in 2 raaien	Lab analyse	2x/jr	RWS	Zie toelichting punt 6
Voorlopig niet uitvoeren, wel als optie behouden in tabel.	G5. Dynamiek zoet zout grensvlak	1 locatie (diepe peilbuis zie parameter B2)	elektromagnetische metingen met een EM39)		RWS	Hiermee kan op efficiënte wijze de dynamiek van de ontwikkeling van het grensvlak worden gevolgd.

Grondwater (G)

1. De maandelijkse handmetingen in de 10 peilbuizen worden vervangen door het installeren van 10 automatische drukopnemers. Deze drukopnemers worden minimaal elk jaar in januari uitgelezen door onderaannemer van RWS WNZ. Parameter G1d.

2. Tot en met 2014 zijn maandelijks grondwaterstanden gemeten door het Hoogheemraadschap van Delfland aan de hand van 10 meetpunten. Per 2014 heeft Rijkswaterstaat deze verplichting overgenomen. Parameter G1a en G1c.
3. Vanaf 2012 tot januari 2015 zijn in ca. 16 meetpunten 2 keer per jaar in de duinvallei grondwaterstanden opgenomen. Hierdoor is voldoende inzicht verkregen in de verdeling van de grondwaterstand in de vallei in een droge en natte situatie. De metingen zijn zeer waardevol gebleken voor het vaststellen van de ruimtelijke variatie van het grondwaterpeil in de vallei. Die blijkt minimaal: eigenlijk is bij alle opnamen een vrijwel horizontale grondwaterstand in de vallei vastgesteld evenwijdig aan de kust [Artesia, 2014]. Daarom zijn deze metingen na januari 2014 beëindigd. Parameter G1b.
4. In januari 2014 en 2015 is er een CVES-meting gedaan door de VU en Artesia om de zoet-zoutverdeling in de ondergrond te bepalen. Dit geeft een beeld over de opbolling van de zoetwaterlens onder het maaiveld van de duinvallei. De volgende CVES-meting wordt voorzien voor 2017. Parameter G2.
5. Voor het jaarverslag 2013 is door Artesia een grondwatermodel door middel van enkele dwarsdoorsneden gebouw. Om een bruikbaar grondwatermodel te kunnen bouwen is het cruciaal om meer gegevens over het gebied te hebben [Artesia, 2014]. Daarom heeft het opstellen van een grondwatermodel een sterke relatie met parameter G1, G2, G5 en B2. Opstellen van een grondwatermodel wordt niet eerder uitgevoerd, dan dat er noodzaak is inzicht rond interactie Spanjaards Duin en De Banken te vergroten. Parameter G3.
6. De grondwaterkwaliteit is gemeten aan de hand van een grondwaterbemonstering in de peilbuizen in het voor- en najaar; behalve pH en geleidingswaarden zijn relevante nutriëntengehaltes in het laboratorium geanalyseerd. Wens: Beschrijven chemie-gegevens van het grondwater en de ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit in relatie tot de trofie-graad van de bodem (in de vallei). Waterkwaliteit meten van het grondwater op enkele meters diepte is niet zinvol voor de beoordeling van standplaatscondities: als je dat wil moet je bodemmonsters nemen. Deze aanbeveling is ook al eerder gegeven in samenhang met het uitdunnen van de huidige meetcampagne: Parameter G4.
7. De ontwikkeling van een zoetwaterbel onder Spanjaards Duin leidt tot een secundaire stijging van de grondwaterstand. Begin 2014 en 2015 is in enkele CVES-raaien de diepte van de zoet-zout grensvlak bepaald. Het bleek dat dit grensvlak zich in grote lijnen horizontaal heeft ontwikkeld. Uiteindelijk komt dit proces tot evenwicht en dus tot stilstand, alleen de vraag is nog waar dit evenwicht ligt. Omdat de ontwikkeling zich voorlopig horizontaal manifesteert, is het in aanvulling op de CVES-metingen bijzonder zinvol om een extra grondwaterbuis te plaatsen tot grotere diepte (30 meter, liefst tot onder de verwachte kleilaag op circa 20 m-mv), met een grotere diameter (5 cm), waarin elektromagnetische metingen kunnen worden uitgevoerd (bv. met een EM39). Hiermee kan op efficiënte wijze de dynamiek van de ontwikkeling van het grensvlak worden gevolgd. [Artesia, 2014] Parameter G5.

Vegetatie en flora (V)

(Duin)element	**Parameter**	**Deel van het gebied**	**Methode**	**Gemeten sinds, frequentie**	**Verantwoordelijke instantie**	**Reden voor aanpassing**
Vegetatie en flora	V1. structuur	totaal	Lufo analyse	2-3x/jr	ZHL	
Aangepast	V2. lokale ruigtes	totaal	Veldwerk. Ook ruigtesoorten opnemen en evt. verwijderen	1x/jr, vanaf 2013		Verruiging in de kiem smoren

(Duin)element	Parameter	Deel van het gebied	Methode	Gemeten sinds, frequentie	Verantwoordelijke instantie	Reden voor aanpassing
Aangepast	V3. vegetatietypen	totaal	Karteren met lufo-interpretatie en vegetatie-opnames.	1x/2jr in fase 2, m.i.v. 201?		Moment komt naderbij dat de zanddynamiek gaat afnemen en de doeltypen zich gaan vestigen. Ook algenmatten signaleren en mossen opnemen. Extra aandacht voor pioniersoorten van Vochtige duinvalleien; Grijze duinen ontwikkelt zich later
	V4. aandachtssoorten hogere planten en GK-orchis (in vallei)	totaal	Micro-kartering	1x/5jr in fase 2		
Toegevoegd	V5. PQ's	35 PQ's	Tansley of de Braun-Blanquet schaal	Vanaf 2017 1x/jaar	ZHL	

Vegetatie en flora (V)

- De vegetatiestructuur is door luchtfoto's en terreinbezoeken bepaald. Ook de lokale ruigten zijn hierbij vastgesteld (ZHL): Parameters V1 en V2. In 2013 is de vegetatiestructuur niet bepaald en heeft geen luchtfoto-analyse plaatsgevonden.
- De vegetaties en habitattypen zijn nu nog niet vast te stellen; er is een voorlopige 'pre-habitattypenkaart' opgesteld. In fase twee (vanaf 2014) worden deze gemonitord. Parameters V3 en V4.
- Opname van PQ's vanaf 2017. Zolang er weinig vegetatie is op te nemen zijn de 35 PQ's in een paar uur te doen. Later wordt dit bewerkelijker. Gestreefd zou moeten worden naar max 1-2 dag werk per keer. Parameter V5.

Broedvogels (BV)

(Duin)element	Parameter	Deel van het gebied	Methode	Gemeten sinds, frequentie	Verantwoordelijke instantie	Reden voor aanpassing
Broedvogels (optioneel)	BV1. aantal territoria / broedparen	totaal	BMP	2010, 1x/jr	ZHL	

Broedvogels (BV)

- Het aantal territoria broedvogels wordt jaarlijks door vrijwillige vogelaars in het hele gebied vastgesteld: Parameter BV1.

Recreatie (R)

(Duin)element	Parameter	Deel van het	Methode	Gemeten sinds, frequentie	Verantwoordelijke	Reden voor

		gebied			instantie	aanpassing
Recreatie	R1.recreatiedruk / betreding	totaal	Vastleggen overtredingen	permanent	ZHL	

Recreatie (R)

- De recreatiedruk en betreding wordt door ZHL zeer regelmatig gevolgd; hierbij is rekening gehouden met een intensiever toezicht tijdens ‘strand’dagen: Parameter R1.

Zoogdieren (Z)

(Duin)element	Parameter	Deel van het gebied	Methode	Gemeten sinds, frequentie	Verantwoordelijke instantie	Reden voor aanpassing
Zoogdieren	Z1. Voorkomen van zoogdieren	totaal	Vrijwillige waarnemingen	2010, jaarlijks	Stichting Duinbehoud	
Toevoegen gezamenlijk met PQ vegetatie opname	Z2. Hoeveelheid konijnenkeutels	Per PQ	Kwantitatieve beschrijving van aantal	Start PQ opname	RWS	Konijnen hebben een rol bij de begrazing

Zoogdieren (Z)

- Vrijwillige opname door Stichting Duinbehoud. Parameter Z1.

Bodem (diep en ondiep) (B)

(Duin)element	Parameter	Deel van het gebied	Methode	Gemeten sinds, frequentie	Verantwoordelijke instantie	Reden voor aanpassing
Bodem **Overwegen in relatie tot PQ's**	B1 onderzoek naar initiële bodemvorming	Raai door het gebied of in enkele PQ's	Slijpplaten of steek-kernen	Kan eenmalig gedaan worden en over 5 jaar nog eens.	RWS als OG	Verschaft inzicht in de juiste condities voor vestiging van de habitattypen
Voorlopig niet uitvoeren, gekoppeld aan G3.	B2a. Bodemopbouw (geohydrologische opbouw) en doorlatendheid, boorbeschrijving	1 locatie (diepe peilbuis zie parameter G5)	Boorbeschrijving tijdens plaatsen diepe peilbuis tot minimaal 5 m onder scheidende laag. Waarbij korrelgrootte verdeling van relevante lagen wordt bepaald.	Eenmalig	RWS als OG	Bodemopbouw is o.a. benodigd voor grondwatermodellering
Voorlopig niet uitvoeren, gekoppeld aan G3.	B2b. Bodemopbouw, sonderingen	raai van 3 sonderingen tussen oude duinvoet en nieuwe duinvoet; 1 sondering onder het oude duin en 1 sondering tussen De Banken en de polder	geleidbaarheidssonderingen, inclusief dissipatie testen	Eenmalig	RWS als opdrachtgever	Onzekerheid bestaat over de bodemopbouw aan zee-zijde en onder het nieuwe basisduin [Artesia, 2014].
Voorlopig niet uitvoeren, gekoppeld aan G3.	B3. Doorlatendheid, Bodemopbouw ondiep	in 10 peilbuizen (zie parameter G1a)	doorlatendheidsmetingen d.m.v. fallling head methode	Eenmalig	RWS als opdrachtgever	Bodemopbouw is o.a. benodigd voor grondwatermodellering [Artesia, 2014].

Bodem (diep en ondiep) (B)

- De beschikbare boringen geven een voldoende beeld van de situatie aan de binnenduinrand en verder landinwaarts. Onzekerheid bestaat er echter over de bodemopbouw aan zee-zijde en onder het nieuwe basisduin. T.b.v. een bruikbaar grondwatermodel is meer inzicht in de huidige bodemopbouw noodzakelijk. Door het uitvoeren van 3 sonderingen in een raai tussen oude duinvoet en nieuwe duinvoet (1 sondering onder het oude duin en 1 sondering tussen De Banken en de polder) [Artesia, 2014]. Parameter B2b.

Dataopslag (D)

(Duin)element	Parameter	Deel van het gebied	Methode	Gemeten sinds, frequentie	Verantwoordelijke instantie	Reden voor aanpassing
Data opslag, versiebeheer-analyse en -evaluatie	D1. Data opslag	totaal		vanaf 2014, jaarlijks	ZHL RWS, Borgen in Open Earth / repository en bij de instanties die data opnemen en verzamelen	Een gestroomlijnde procedure voor productie van geïntegreerd jaarverslag
	D2. Data verwerking en -synthese					

Dataopslag (D)

- In dit monitoringsprocotol staat aangegeven welke gegevens worden verzameld. Deze gegevens worden met regelmaat (afhankelijk van de parameter) op een vergelijkbare wijze verzameld. Het is geen homogene set van gegevens. Rijkswaterstaat is eigenaar van alle monitoringsgegevens. Een deel van de data wordt verzameld met behulp van excel-tabellen (bijvoorbeeld: Grondwaterstand), die per organisatie op een gestructureerde, maar van elkaar afwijkende manier zijn opgebouwd. Ter bevordering van het eenvoudiger centraliseren en harmoniseren van de gegevens is het mogelijk gewenst om voor de verschillende parameters een uniform verzamelbestand te gebruiken wat voldoet aan de wensen voor het invoeren in het databeheersysteem. De gegevens zijn sinds de invoer van een repository in Open Earth beschikbaar voor alle leden van de CDBD. Parameter D1.

Aanvullend op de te monitoren parameters zijn regelmatig door Deltares veldbezoeken afgelegd (met verslaglegging) om een (aanvullend) kwalitatief beeld van de ontwikkeling te krijgen en eventueel ongewenste ontwikkelingen tijdig te signaleren, maar ook om goede ontwikkelingen snel te registreren. Deze verslagen zijn ook beschikbaar via Open Earth.

Literatuurlijst:

- [Artesia, 2014]: Spanjaards Duin, begroting onderdelen hydrologische monitoring, Artesia, concept, april 2014.

B Bijlage Geomorfologie

BIJLAGE 2 GEOMORFOLOGIE

INHOUD

1 INLEIDING 1

2 METHODEN 3
- 2.1 Laseraltimetrie en overige hoogtebepalingen 3
  - 2.1.1 Contourlijnen 5
  - 2.1.2 verschilkaarten 5
  - 2.1.3 Hoogte ten opzichte van het grondwater 6
- 2.2 Potentiële habitatkaart 6

3 ONTWIKKELING 2019 9
- 3.1 Hoogteontwikkeling 16
- 3.2 Verschilkaarten; erosie en depositie 20
  - 3.2.1 Noordelijk deel beplant (raaien 114.225 t/m 114.875): 26
  - 3.2.2 Noordelijk deel half beplant (114.975 t/m 115.475): 28
  - 3.2.3 Middendeel beplant (raaien 115.575 t/m 115.875): 30
  - 3.2.4 Zuidelijk deel half beplant (raaien 115.975 t/m 116.075): 30
  - 3.2.5 Zuidelijk deel beplant (raaien 116.175 t/m 116.475): 31
  - 3.2.6 Seizoensverschillen 32
- 3.3 Ontwikkeling vallei 38
- 3.4 Kuberingen 44
- 3.5 Overige waarnemingen 47

4 EVALUATIE ONTWIKKELING 2009-2019/2020 49
- 4.1 De morfologische ontwikkeling van het Spanjaardsduin in grote lijnen 49
- 4.2 De ontwikkeling van het Spanjaardsduin van jaar tot jaar 55
- 4.3 Volume- en hoogteveranderingen voor een aantal deelvlakken 59
- 4.4 Verwachtingen versus ontwikkeling en lessen 62
  - 4.4.1 Het basisduin 63
  - 4.4.2 De duinvallei 65
  - 4.4.3 De oude zeereep 67

5 POTENTIËLE HABITATTYPEN 69

6 VERWACHTINGEN, KNELPUNTEN EN LESSEN 75
- 6.1 Urgente knelpunten 75
- 6.2 Samenvatting van knelpunten en lessen n.a.v. de ontwikkeling sinds 2009 76

7 CONCLUSIES 77

8 AANBEVELINGEN 81
- 8.1 Aanbevelingen voor het Spanjaardsduin 81
- 8.2 Aanbevelingen voor toekomstige projecten 81

9 REFERENTIES 83

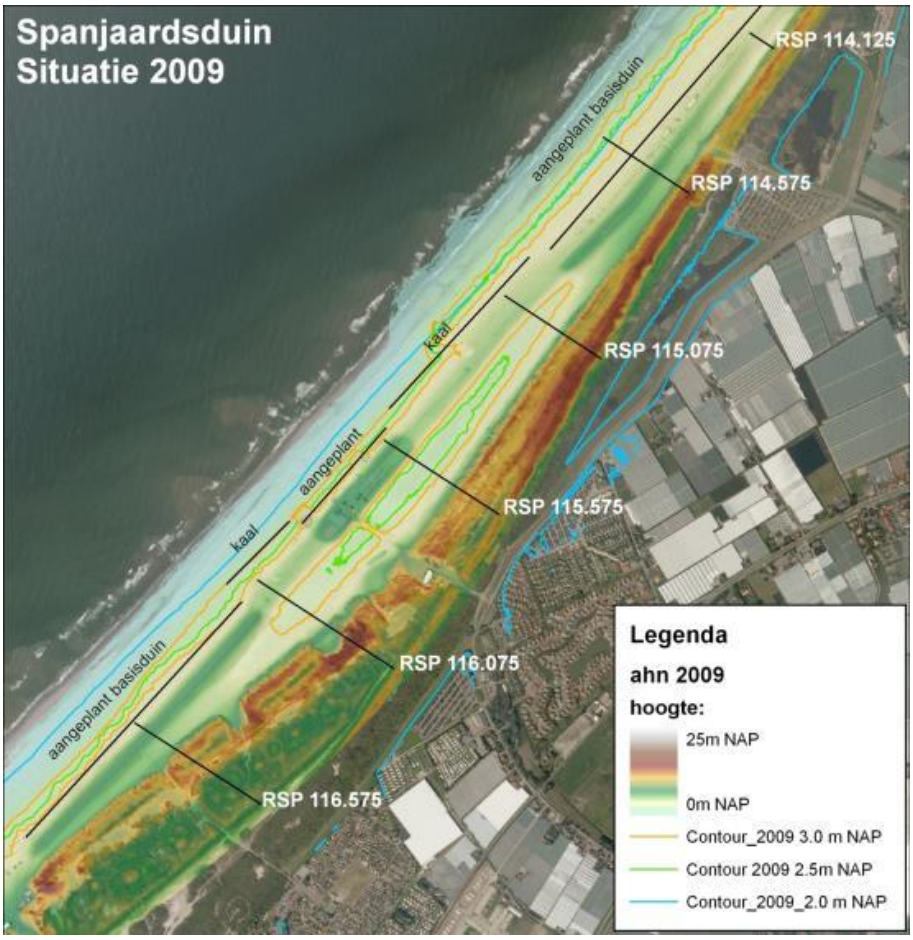
10 LIJST VAN FIGUREN, FOTO'S EN TABELLEN 85
10.1 Lijst van Figuren 85
10.2 Lijst van Foto's 86
10.3 Lijst van Tabellen 86

11 BIJLAGE 89

Bas Arens, Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek RAP2020.03
Concept versie 2, 31 augustus 2020

1 INLEIDING

De abiotische ontwikkeling van het Spanjaardsduin wordt onderzocht met als doel een goed (en kwantitatief onderbouwd) inzicht in de geomorfologische ontwikkeling van het gebied te krijgen. Uiteindelijk moet deze ontwikkeling leiden tot de juiste randvoorwaarden voor de gewenste biotische ontwikkeling. Dit onderzoek dient a) om een vinger aan de pols te houden, b) goed onderbouwde beslissingen te kunnen nemen om bij te sturen indien nodig en c) om effecten van tussentijdse ingrepen te kunnen beoordelen. Daarnaast is er dit jaar aandacht voor de ontwikkeling van het gebied van het moment van aanleg tot de huidige situatie.



Figuur 1.1. Overzicht van de uitgangssituatie van het Spanjaards Duin na aanleg in 2009. De 2.0 m contour is in 2009 nog niet bereikt binnen de vallei. [Bron: luchtfoto's en laseraltimetrie RWS].

Figuur 1.1 geeft een overzicht van de uitgangssituatie in 2009, direct na aanleg, met de ligging van kaal en aangeplant basisduin. Het kale basisduin is in 2013 voorzien van twee stroken helm en wordt daarom verder aangeduid als het half beplante of voorheen niet beplante basisduin. In 2019 is een

nieuwe uitgangssituatie ontstaan omdat toen is ingegrepen in de vallei om het oppervlak zodanig te verlagen dat delen van de vallei onder invloed van het grondwater zijn komen te staan.

Tussen 2009 en 2017 zijn veldmetingen in de vorm van profielmetingen met GPS uitgevoerd om op korte termijn belangrijke veranderingen te kunnen signaleren zo nodig snel bij te kunnen sturen. De eerste jaren zijn de profielmetingen drie keer per jaar uitgevoerd, daarna is dit teruggebracht tot twee keer per jaar vanwege een afname in de snelheid van (geomorfologische) ontwikkeling. Sinds 2017 worden de metingen niet meer uitgevoerd, omdat de beschikbare laseraltimetrie gegevens voldoende detail bevatten en tegenwoordig met RPAS monitoring deze gegevens ook zeer snel beschikbaar zijn. De gebiedsdekkende monitoring wordt aan de hand van luchtfoto´s en laseraltimetrie uitgevoerd. Er is geen luchtfoto-interpretatie van de ontwikkeling van het gebied uitgevoerd, met uitzondering van een interpretatie voor het in kaart brengen van de potentiële habitattypen (Hoofdstuk 5). De kaart met potentiële habitattypen is conform nieuwe criteria, die in 2017 zijn vastgesteld, afgeleid.

In deze rapportage wordt het eerste jaar van de ontwikkeling na de verdieping besproken. In 2019 is het tien jaar geleden dat het gebied is aangelegd. Reden voor een terugblik. Wat zijn de belangrijkste veranderingen geweest in de ontwikkeling tot nu toe? Hoe verhoudt dit zich tot de verwachtingen destijds? Wat zijn de lessen die zijn geleerd, en wat betekent dit voor het beheer van dit gebied in de komende jaren en voor de aanleg van nieuwe projecten in de toekomst?

Dit rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 beschrijft de gebruikte methoden. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de morfologische ontwikkelingen in het gebied van 2019-2020, eigenlijk de reguliere jaar-rapportage. In Hoofdstuk 4 wordt teruggeblikt op de periode 2009-2019/2020, met aandacht voor de grote lijnen in morfologische ontwikkeling, de verwachtingen aan het begin van het project, hoeverre deze uit zijn gekomen en wat we hiervan hebben geleerd. Hoofdstuk 5 geeft een interpretatie van de potentiele habitattypen, waarbij wordt onderzocht in hoeverre de oppervlaktes aan potentiele habitattypen in lijn zijn met de compensatieopgave. In Hoofdstuk 6 wordt vervolgens een verwachting geschetst van toekomstige ontwikkelingen en wordt aangegeven wat mogelijke problemen en onzekerheden zijn en hoe daar eventueel mee om te gaan. Hoofdstuk 7 geeft een overzicht van de conclusies. Tot slot wordt een aantal aanbevelingen gegeven in Hoofdstuk 8.

2 METHODEN

Deze rapportage is gebaseerd op verschillende aangeleverde gegevens: bestaande gegevens van Rijkswaterstaat, speciaal voor dit project ingewonnen gegevens van Shore en modelresultaten van Artesia met betrekking tot de grondwaterstand. Hoogtegegevens worden zowel in het veld ingewonnen als via laseraltimetrie en sinds kort ook met RPAS (drones). Verder wordt gebruik gemaakt van veldnotities van Deltares (van der Valk & van der Meulen, 2020a en 2020b).

2.1 Laseraltimetrie en overige hoogtebepalingen

Voor het berekenen van hoogteverschillen is gebruik gemaakt van laseraltimetriedata van Rijkswaterstaat die ten behoeve van de jaarlijkse kustmetingen (Jarkus) en de monitoring van de zandmotor worden ingewonnen (Tabel 2.1) en laseraltimetrieopnames door Shore. Vanwege de monitoring van de zandmotor, waarvoor extra laseraltimetrievluchten worden uitgevoerd, zijn sinds 2011 twee opnamen per jaar beschikbaar, waardoor een vergelijking mogelijk is tussen (grofweg) het winterseizoen en het zomerseizoen. De laseraltimetriegegevens van RWS zijn over het algemeen niet binnen een half jaar na inwinning beschikbaar. De gegevens van Shore zijn over het algemeen zeer snel beschikbaar

Tabel 2.1. Beschikbare laseraltimetrie Rijkswaterstaat.

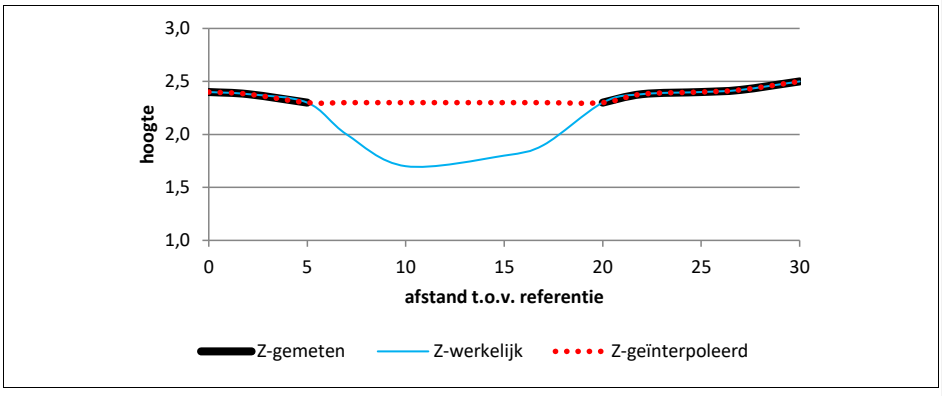
Opname	Datum	Bestand	Detail	Bron
2008a	21-05-2008	De_2008	1x1 m^2	Jarkus
2009a	18-03-2009	De_2009_1	1x1 m^2	Jarkus
2010a	10-03, 12-03, 12-04 en 13-04-2010	De_2010_1	1x1 m^2	Jarkus
2011a	20-02-2011	Zm_2011a	1x1 m^2	Jarkus
2011b	11-07-2011	Zm_2011b	1x1 m^2	Zandmotor
2012a	31-1 en 20-2-2012	Zm_2012a	1x1 m^2	Jarkus
2012b	08-10-2012	Zm_2012b	2x2 m^2	Zandmotor
2013a	04-03-2013	Zm_2013a	2x2 m^2	Jarkus
2013b	01-10-2013	Zm_2013b	2x2 m^2	Zandmotor
2014a	18-01-2014	Zm_2014a	2x2 m^2	Jarkus
2014b	03-10-2014	Zm_2014b	2x2 m^2	Zandmotor
2015a	10-03-2015	Zm_2015a	2x2 m^2	Jarkus
2015b	01-10-2015	Zm_2015b	2x2 m^2	Zandmotor
2016a	15-02-2016	Zm_2016a	2x2 m^2	Jarkus
2016b	05-10-2016	Zm_2016b	2x2 m^2	Zandmotor
2017a	21-01-2017	Zm_2017a	2x2 m^2	Jarkus
2017b	15-10-2017	Zm_2017b	2x2 m^2	Zandmotor
2018a	24-03-2018	Zm_2018a	2x2 m^2	Jarkus
T4	aug 2018	grid zelf niet aanwezig, wel verschil T5-T4		
2018b	09-10-2018	Zm_2018b	2x2 m^2	Zandmotor
T5/2019a2	april 2019	DTM_0.50x0.50m_Spanjaardsduin_T5	0.5x0.5 m^2	Shore
2019a	27-2-2019	Zm_2019a	2x2 m^2	Jarkus
2019b	30-10-2019	Zm_2019b	2x2 m^2	Zandmotor
2020a	13-1-2020	nog niet beschikbaar		Jarkus
T6/2020a2	3-6-2020	2020a_Spanjaardsduin-T6-DTM-RDNAP-010m.tif	0.1x0.1m^2	Shore

Door Shore zijn verschillende hoogteopnames gemaakt (De Weger, 2017; Verkerk, 2019). Metingen van 2016 en 2017 zijn gebaseerd op een fotogrammetrische methode en blijven hier verder buiten beschouwing. In zomer 2018, voorjaar 2019 en zomer 2020 is de hoogte van het gebied m.b.v. laseraltimetrie bepaald. De meting van voorjaar 2019 geeft een nieuwe nulsituatie voor de toestand van de vallei, kort na de ingreep t.b.v. het vernatten van de vallei. Inmiddels zijn ook de reguliere data van RWS in het kader van de Jaarlijkse Kustmetingen (2019a) en de monitoring Zandmotor (2019b) beschikbaar en verwerkt. De Rijkswaterstaat data van 2019a zijn gevlogen op het moment dat de ingreep voor verdieping nog niet helemaal gereed was. De opname van Shore 2019a2 is wel na de ingreep gevlogen.

Voorjaarsgegevens worden hier standaard aangeduid met een “a”, najaargegevens met een “b”. De extra opnames van Shore van 2019 en 2020 zijn beide gevlogen na de reguliere Jarkusopnames, en worden daarom aangeduid met “a2” met als toevoeging het opnamenummer dat Shore hanteert (T5 en T6). Voor 2018 is indirect ook een opname van Shore beschikbaar (T4), hiervan zijn alleen niet de data van T4 zelf beschikbaar, maar een verschilkaart T5 min T4.

De laseraltimetriegegevens geven inzicht in de hoogteligging en oppervlakte van de vallei. Voor zinnige analyses aan de laseraltimetriegegevens, worden verschillende bewerkingen uitgevoerd.

In de laseraltimetriegegevens komen soms hiaten voor, die in de hoogtekaarten als gaten zichtbaar zijn. Om deze gaten op te vullen worden de gegevens geïnterpoleerd. Dit is met name belangrijk wanneer volumeberekeningen worden uitgevoerd, omdat ontbrekende data hierbij een grote invloed op het resultaat van de volumeberekening kunnen hebben. Open water geeft in de laseraltimetrie ook vlakken met NoData, omdat water het lasersignaal niet reflecteert (zwarte lijn in Figuur 2.1). Door de interpolatie worden deze vlakken zonder gegevens dichtgetrokken (rode stippellijn), dat wil zeggen, door de interpolatie wordt een berekening gemaakt van de hoogte in de watervlakken die gebaseerd is op de dichtstbijzijnde beschikbare hoogte, dus de rand van het wateroppervlak. Hierdoor krijgen deze vlakken een te grote hoogte. Bij het berekenen van een verschilkaart geven deze interpolaties foute resultaten. In de hoogtekaart van februari 2019 komen in de vallei enkele wateroppervlakken voor. In dit geval moet voor het berekenen van de hoogteverschillen dan ook geen gebruik gemaakt worden van de geïnterpoleerde hoogtegegevens maar van de oorspronkelijke hoogtegegevens. In de gegevens van Shore komen deze hiaten niet voor, omdat zij de waterpartijen apart in het veld met GPS hebben ingemeten.



Figuur 2.1. Voorbeeld van fout in de hoogte van wateroppervlakken, ontstaan door interpolatie bij ontbrekende data

Commented [BA1]: ShoreT6-zm_2019b_i geeft onjuiste resultaten rondom de watertjes. Door het interpoleren om lege cellen op te vullen van zm_2019b komt er rondom de watertjes een strook waarbij de hoogte van de laatste data waar net geen water staat naar binnen wordt geinterpoleerd, het lijkt dus of er een hogere strook ligt, maar dat is puur een interpolatie effect. De NoData van de watertjes wordt vanaf de rand opgevuld. Daarom verschilkaart ook berekend met oorspronkelijke bestand zm_2019b en T6, die wel is geresampled naar 2x2m^2 om het grid gelijk te maken.
Voor de verschilkaart in de vallei dus zm_2019b gebruiken, niet de geinterpoleerde versie. Voor T5 en T6 van shore geldt dit niet omdat beide zijn opgenomen zonder watertjes, alleen in T5 (2019a) liggen randjes met water, de waterpartijen zelfs zijn handmatig aangevuld dacht ik, met gps data in het veld opgenomen.

2.1.1 Contourlijnen

Om de ontwikkeling van de valleibodem te kunnen volgen worden jaarlijks contourlijnen gemaakt, met behulp van een standaard tool in ArcGis. Na de afgraving in 2019 zijn lagere hoogtelijnen toegevoegd, zowel voor de nieuwe hoogtegegevens van 2020 als voor die van 2019. Voor oudere gegevens heeft dit geen zin, omdat vóór de ingreep van 2019 in de vallei de hoogte nergens lager was dan 1.5m NAP. De volgende contourlijnen zijn bepaald:

- 1.0 m NAP
- 1.25m NAP
- 1.5 m NAP
- 1.75 m NAP
- 2.0 m NAP
- 2.5 m NAP
- 3.0 m NAP
- 4.0 m NAP

Met de contourlijnen is een kaart gemaakt, waarmee vervolgens de oppervlaktes van de valleidelen tussen bepaalde contouren kan worden bepaald. Omdat deze informatie van jaar tot jaar beschikbaar is, ontstaat een goed inzicht in eventuele trendmatige ontwikkelingen in bijvoorbeeld de verdieping van de vallei.

Hoogtelijnen zijn gemaakt aan de hand van de laseraltimetrieopname van voorjaar 2019 en 2020 van Shore en van de Rijkswaterstaat data van voor- en najaar 2019.

2.1.2 verschilkaarten

Door hoogte-informatie van verschillende momenten van elkaar af te trekken worden hoogte-verschilkaarten gemaakt. De verschilkaart geeft een vlakdekkend inzicht in de hoogteveranderingen en geeft daarmee in ruimtelijk opzicht meer detail dan de profielmetingen. Omdat per jaar voor twee tijdstippen laseraltimetriegegevens beschikbaar zijn (grofweg eind winter en eind zomer), zijn ook binnen een jaar hoogteveranderingen te bepalen. Voor begroeide delen wordt hierbij echter een forse fout gemaakt, omdat de begroeiing na de zomer dichter is dan in de winter of in het blad zit. Omdat de laseraltimetriegegevens van Rijkswaterstaat niet steeds door dezelfde partij worden ingewonnen, is de manier waarop vegetatie uit de hoogte gefilterd wordt ook niet constant. Ook hierdoor ontstaan soms grote afwijkingen in de hoogte. Het blijkt dat met name in oppervlakken met Duindoorn de fout groot is, maar ook in met Helm begroeide delen is de fout niet verwaarloosbaar. Dit uit zich in een forse hoogtetoename in de zomer en een even forse afname in de winter. Hoogteverschillen binnen het jaar zijn daarom alleen betrouwbaar op kale delen, zoals in de vallei, op het strand en op het nog deels kale basisduin. Aan de textuur van de verschilkaart is meestal goed te zien of de hoogteverschillen echt zijn of het gevolg van vegetatie.

Voor de hoogteverschilkaart is het verschil tussen de rasters van voorjaar 2018 en voorjaar 2019 van de reguliere Jarkusopnames berekend en voor augustus 2018, april 2019 en juni 2020 voor de Shore opname. Daarnaast zijn verschilkaarten van voorjaar 2018-voorjaar 2019 en voorjaar 2019-zomer 2020 berekend. Omdat de resolutie van de Rijkswaterstaat data (2x2m^2) niet gelijk is aan die van de Shore data (0.5x0.5m^2) worden eerst resamples uitgevoerd, waarbij de RWS-data zijn geïnterpoleerd naar een 0.5x0.5m^2 grid (in ArcGis Data Management Tools > Raster > Raster Processing > Resample met optie resampling technique: Cubic) en vervolgens een verschilkaart is berekend.

De ontwikkeling van de vallei tussen 2017 en het tijdstip van de ingreep in 2019 is niet meer relevant, omdat met de ingreep de situatie in één keer is aangepast aan de wensen en eventuele uit- of instuiving in de vallei vóór de ingreep geen gevolgen meer heeft op de huidige toestand van

de vallei. De ontwikkeling van de zeereep en omringende duinen tussen 2017 en het tijdstip van de ingreep is nog wel relevant omdat dit inzicht geeft in de mate van verstuiving naar en over de zeereep, wat weer van belang is voor eventuele instuiving in de vallei na de ingreep.

Voor de evaluatie van de ontwikkeling tussen 2009 en 2019 is een extra hoogteverschilkaart gemaakt die de totale hoogteverandering tussen 2009 en 2019 aangeeft. Hiervoor is gebruik gemaakt van de rijkswaterstaatdata van 2009 en de opname van Shore van april 2019 (T5), waarbij de shoredata geresampled zijn naar 1m, de resolutie waarop de RWS-data van 2009 beschikbaar zijn.

2.1.3 Hoogte ten opzichte van het grondwater

Met behulp van de hoogtekaart en de door Artesia aangeleverde grondwaterkaarten zijn kaarten vervaardigd van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld. Hiermee zijn uiteindelijk de arealen vochtig oppervlak bepaald (afhankelijk van de gekozen criteria), die weer gebruikt zijn voor het produceren van de potentiële habitattypenkaart. De grondwaterkaarten zijn afgeleid voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG).

2.2 Potentiële habitatkaart

Op grond van een discussie tijdens een workshop over het handelingsperspectief Spanjaardsduin (IJff et al., 2017) zijn de criteria voor het onderscheiden van potentiële habitattypen ten opzichte van de rapportages vóór 2019 aangepast. Criteria, weergegeven in Tabel 2.2, zijn uitgewerkt door Kees Vertegaal in samenspraak met Stéphanie IJff en Frank van der Meulen en met behulp van een webapplicatie voor ecologische vereisten van habitattypen in Solleveld en Kapittelduinen. Wat de betekenis hiervan is voor de onderscheiden oppervlaktes van Grijze duinen en Natte duinvalleien in eerdere situaties is onderzocht (zie de vorige rapportage).

Tabel 2.2. Ecologische criteria voor onderscheid habitattypen 2130A (Grijze Duinen kalkrijk) en 2190B (Natte duinvalleien).

Habitattype	Vochtklasse(n)	GVG	GLG
H2130A	10 (droog)	>40 cm –MV	>130 cm –MV
tussenzone		>40 cm –MV	<130 cm –MV
H2190B	5 t/m 7 (zeer nat tot zeer vochtig)	5 cm + mv tot 40 cm –MV	nvt

MV=maaiveld

Voor het onderscheid van Natte duinvalleien wordt uitgegaan van de GVG. De zone waar de GVG voldoet aan de voorwaarde +5cm > GVG > -40cm maaiveld wordt gerekend tot potentieel habitat 2190B. Daarbij wordt nog een onderscheid gemaakt tussen zeer vochtig, met een GVG tussen -40cm en -25cm MV, nat met een GVG tussen -25cm en -10cm en zeer nat, met een GVG ondieper dan -10cm MV, om ook de verschillende vochtklassen te kunnen volgen. Voor het onderscheid van Grijze duinen wordt gebruik gemaakt van de GLG. De zone met GLG > -130cm MV wordt gerekend tot potentieel habitat 2130A, overigens afhankelijk van de positie. Voor de zeereep wordt geen potentieel habitat 2130A onderscheiden, hoewel dat hier wel zou kunnen ontwikkelen. Er bestaat dan een tussenzone waar GLG ondieper ligt dan 130cm –MV en GVG dieper dan 40cm –MV. Deze zone zal wisselend tot H2190B en H2130A kunnen behoren, en wordt apart aangegeven in de analyses. Ook deze wordt weer onderverdeeld in een drogere zone waar de GVG dieper ligt dan -75 cm MV maar de GLG ondieper dan -130 cm MV en een vochtigere zone waar de GVG tussen -45 cm en -75 cm MV ligt. De laatste zone zal eerder tot habitat 2190 behoren, de eerste tot habitat 2130.

Blijkens de grondwaterkaarten van Artesia bedraagt in het Spanjaardsduin het verschil tussen GLG en GVG voor de situatie van 2017 circa 35cm, voor 2019 32cm, voor 2020 28-30cm. Dat is iets minder dan in 2016 werd bepaald (toen 41 cm). De overige potentiële habitattypen worden onderscheiden op grond van luchtfoto´s van 2018. De verschillende eenheden zijn weergegeven in Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Legendaeenheden potentiële habitatkaart.

code	**omschrijving**
0000	bebouwing, strandslag
2110/2120	vers ingestoven, natuurlijk ogend reliëf, geen aanplant patroon herkenbaar
2120 a	oorspronkelijk patroon van aanplant herkenbaar
2120 p	oorspronkelijk patroon van aanplant niet meer herkenbaar
2120/60 a	lijzijde zeereep, aanplant patroon herkenbaar
2120/60 p	lijzijde zeereep, aanplant patroon niet meer herkenbaar
2130 l	potentieel Grijs duin, GLG lager dan 1.30m –mv, hoogte lager dan 4.0m NAP
2130 p	potentieel Grijs duin, GLG lager dan 1.30m –mv, hoogte hoger dan 4.0m NAP
2130 rietpoten	Potentieel Grijs duin met rietpoten om de ontwikkeling te versnellen
tussenzone droog	tussen zone met grondwater GLG ondieper dan 1.30m –mv en GVG dieper dan 0.75m –MV
tussenzone vochtig	tussen zone met grondwater GLG tussen 0.40m en 0.75m –MV
2190 zeer vochtig	potentieel natte duinvallei met GVG tussen 0.25 en 0.40m –MV
2190 nat	potentieel natte duinvallei met GVG tussen 0.25 en 0.10m –MV
2190 zeer nat	potentieel natte duinvallei met GVG ondieper dan 0.10 –MV
2190 A/D	duinmeer, grondwater boven het oppervlak

De toedeling van de tussenzone aan een van beide habitattypen is een discussiepunt. In werkelijkheid zal hier een mengvorm van vegetaties uit habitattype H2130 en H2190 bestaan, zal de vochtige kant vaker tot H2190 behoren, de droge kant tot H2130 en zal in droge jaren de zone meer richting H2130 ontwikkelen en in natte jaren meer richting H2190. Waarschijnlijk wordt in de praktijk de zone voor 50% aan H2130 en voor 50% aan H2190 toebedeeld, er zijn immers geen habitatkaarten waar Grijze duinen en Duinvalleien van elkaar gescheiden zijn door een witte strook waar geen habitattype aan is toegekend. Omdat het in het geval van deze rapportage gaat over het al dan niet bereiken van een bepaald doel (een oppervlakte Grijze duinen van 9.8 ha en een oppervlakte Duinvalleien van 6.1 ha) zou conservatief gerekend moeten worden. Als beide habitattypen in hun zuiverste vorm aanwezig zijn, dan is in ieder geval aan de doelstelling voldaan.

Potentiële habitattypen 2110 en 2120 worden onderscheiden op grond van positie en mate van dynamiek. Dit betreft vlakken op de grens van strand en zeereep, met verse overstuiving en overstoven begroeiing, hoogstwaarschijnlijk Helm en/of Biestarwegras. Er is geen aanplant patroon in herkenbaar. Eenheden 2120a en 2120p zijn respectievelijk potentiële habitattypen 2120, waarbij bij 2120a nog een duidelijk patroon van helmaanplant herkenbaar is, en bij 2120p dit patroon door overstuiving niet meer herkenbaar is en de begroeiing zodanig is begraven dat deze niet meer herkenbaar is, of waarbij geheel geen vegetatie aanwezig is. Eenheden 2120/60 a en p komen aan de lijzijde van de zeereep voor, potentieel de locatie waar Duindoorn zich vestigt (en in een aantal gevallen al heeft gevestigd), al (a) dan niet (p) met een nog herkenbaar patroon van helmaanplant. Overigens kan op de zeereep ook habitattype 2130 tot ontwikkeling komen, op plaatsen waar de dynamiek stagneert en waar geen duindoornstruweel tot ontwikkeling komt. Hier is geen rekening

mee gehouden. Tot slot is er voor wat betreft potentieel Grijze duinen in de vallei nog onderscheid gemaakt tussen laaggelegen zones, beneden 4m NAP en hoger gelegen zones, boven 4m NAP.

Voor het afleiden van de GVG wordt verwezen naar de bijlage over hydrologie (deelrapport Artesia). Hier is van belang dat de GVG beschouwd wordt als een gemiddelde. Voor deze rapportage is de ontwikkeling van de vallei onderzocht door de meest recente en nauwkeurige GVG te gebruiken in combinatie met de bodemligging in 2014-2017. De GVG wordt daarmee dus als een constante beschouwd.

3 ONTWIKKELING 2019

In 2020 hebben er verschillende veldbezoeken plaatsgevonden. Het jaar begon zeer nat, waardoor aan het eind van de winter de waterstand zeer hoog stond en grote delen van de vallei onder water stonden. Foto's van Kees Vertegaal van 11 maart 2020 geven een goed beeld van de hoeveelheid water op verschillende plaatsen. Vanaf eind maart brak een droge periode aan. In juni was het beeld daardoor compleet anders, met zeer kleine oppervlakken met water, iets grotere met nog een vochtige bodem. Aan de hand van een aantal foto's wordt hier een impressie gegeven van de ontwikkelingen in het gebied.

Foto 3.1. Blik naar het noorden. Het niet afgegraven vlak met vegetatie staat ook deels onder water. Foto Kees Vertegaal, 11-03-2020.

Foto 3.2. Dichte begroeiing op het niet afgegraven vlak, nu overstoven. Opname 25-06-2020.

Aan de noordkant van Slag Vlugtenburg is een deel van de vallei niet afgegraven, omdat hier al een vegetatie tot ontwikkeling is gekomen die kenmerkend is voor natte duinvalleien. Dit vlak is al redelijk dicht begroeid. In maart 2020 stond het deels onderwater (Foto 3.1), in juni 2020 geheel droog (Foto 3.2) en leek het ook overstoven. Door instuiving zou dit vlak kunnen verhogen, waardoor de nu aanwezige vegetatie, met daaronder Krielparnassia (Foto 3.3) zou kunnen verdrogen. Dit zou een probleem kunnen zijn, omdat door instuiving delen van de vallei zodanig op zouden kunnen hogen dat ze toch weer te hoog boven het grondwater komen te liggen. Zolang er genoeg oppervlak binnen bereik van het grondwater ligt hoeft dit geen probleem te zijn.

Foto 3.3. Krielparnassia, een doelsoort voor Natte duinvalleivegetatie. Opname 25-06-2020.

Foto 3.4. Slag Vlugtenburg, blik naar de noordkant, met op de achtergrond het gespaarde vlak. Opname 04-06-2020.

Foto 3.5. Water ten noorden van Slag Vlugtenburg. Op de grens van het water staan enkele beginnende helmpollen. Foto Kees Vertegaal, 11-03-2020.

Foto 3.6. Opname 25-06-2020.

Foto 3.7. Foto Kees Vertegaal, 11-03-2020.

Foto 3.4 t/m Foto 3.7 tonen het contrast in de vochttoestand tussen maart en juni. Terwijl in maart grote delen van de vallei onder water staan, zijn de echt natte plekken in juni sterk gereduceerd. Er zijn nog grote vlakken vochtig (Foto 3.8, Foto 3.9), maar de oppervlakken waar echt water aan het oppervlak staat zijn klein (Foto 3.10). In de watervlakken stuift zand, zowel vanuit het noorden als vanuit het zuiden. Lokaal is er al minstens 10cm afgezet, waardoor de bodemhoogte in de laagste delen weer toeneemt. Hieronder wordt aan de hand van de hoogteverschilkaarten verder onderzocht wat dit betekent voor de verandering van oppervlaktes die onder invloed van het grondwater staan.

Foto 3.8. 4-6-2020 bij slag Vlugtenburg, blik naar het zuiden, de eerste uitgegraven plas direct ten zuiden van de slag. Opname 04-06-2020.

Foto 3.9. Vochtige vlak met stukje water, vanaf de zeereep ten noorden van slag Vlugtenburg. Opname 04-06-2020.

Foto 3.10. Uitgegraven plas, weer instuivend, vooral aan de zuidkant door doorstuivend zand wat door de vallei aan komt stuiven. Opname 25-06-2020.

Foto 3.11. Eerste en tweede helmstrook, verschil in dynamiek, ten nootfrn van slag Vlugtenburg. Opname 04-06-2020.

Foto 3.11 maakt duidelijk hoe verschillende de twee aangeplante helmstroken op het voorheen onbeplante basisduin zijn ontwikkeld. De meest zeewaartse strook is zeer dynamisch, bedekt met zeer vitale helm en een min of meer natuurlijk reliëf. De meest landwaartse strook is veel minder dynamisch, ziet er nog grotendeels aangeplant uit. De helmbedekking is veel egaler en ook het reliëf is nauwelijks ontwikkeld.

Foto 3.12 toont een ander effect van de aanplant. Aan de noordkant zijn op de grens van basisduin en vallei hopen helm blijven liggen, die zijn aangeslagen, zand in hebben gevangen en nu veranderd zijn in kopjesduinen met een vrij uitgesproken reliëf.

Foto 3.12. Aan de noordkant, blik naar het zuiden. De vallei staat hier grotendeels onder water. Goed zichtbaar zijn hier de bulten op de grens van de vallei die zijn ontstaan door achtergebleven hopen helm. Foto Kees Vertegaal, 11-03-2020.

Foto 3.13 laat weer een ander effect van aanplant zien. Direct ten zuiden van Slag Vlugtenburg bevond zich een nog kaal oppervlak wat niet stabiliseerde en van waaruit nog zand de vallei in kon stuiven. Hierop is helm aangebracht die in de vallei was verwijderd. Ook deze Helm is aangeslagen en heeft het oppervlak nu grotendeels gestabiliseerd. Er is hier nog sprake van een lichte dynamiek, een beperkte overstuiving vanaf het strand en de voorliggende, dynamische duinen. Maar de dynamiek is hier zodanig dat op dit oppervlak Grijze duinen tot ontwikkeling zouden kunnen komen. Qua beheer wordt aanbevolen om eventueel opkomende Duindoorn te verwijderen.

Foto 3.13. In het later ingeplante vlak met helm uit de vallei, niet al te regelmatig, lichte dynamiek nog, weinig instuiving, alleen aan de zuidkant door een gat. Opname 25-06-2020.

Foto 3.14. Het duindoornoerwoud. Opname 25-06-2020.

Foto 3.14 maakt duidelijk wat er gebeurt wanneer de dynamiek geheel stil valt. Binnen enkele jaren is hier een oerwoud van Duindoorn ontstaan. Dit is al een keer gemaaid, maar desondanks weer razendsnel terug gegroeid. Een ontwikkeling naar Grijze duinen is hier kansloos, tenzij Duindoorn verwijderd en intensief beheerd wordt.

3.1 Hoogteontwikkeling

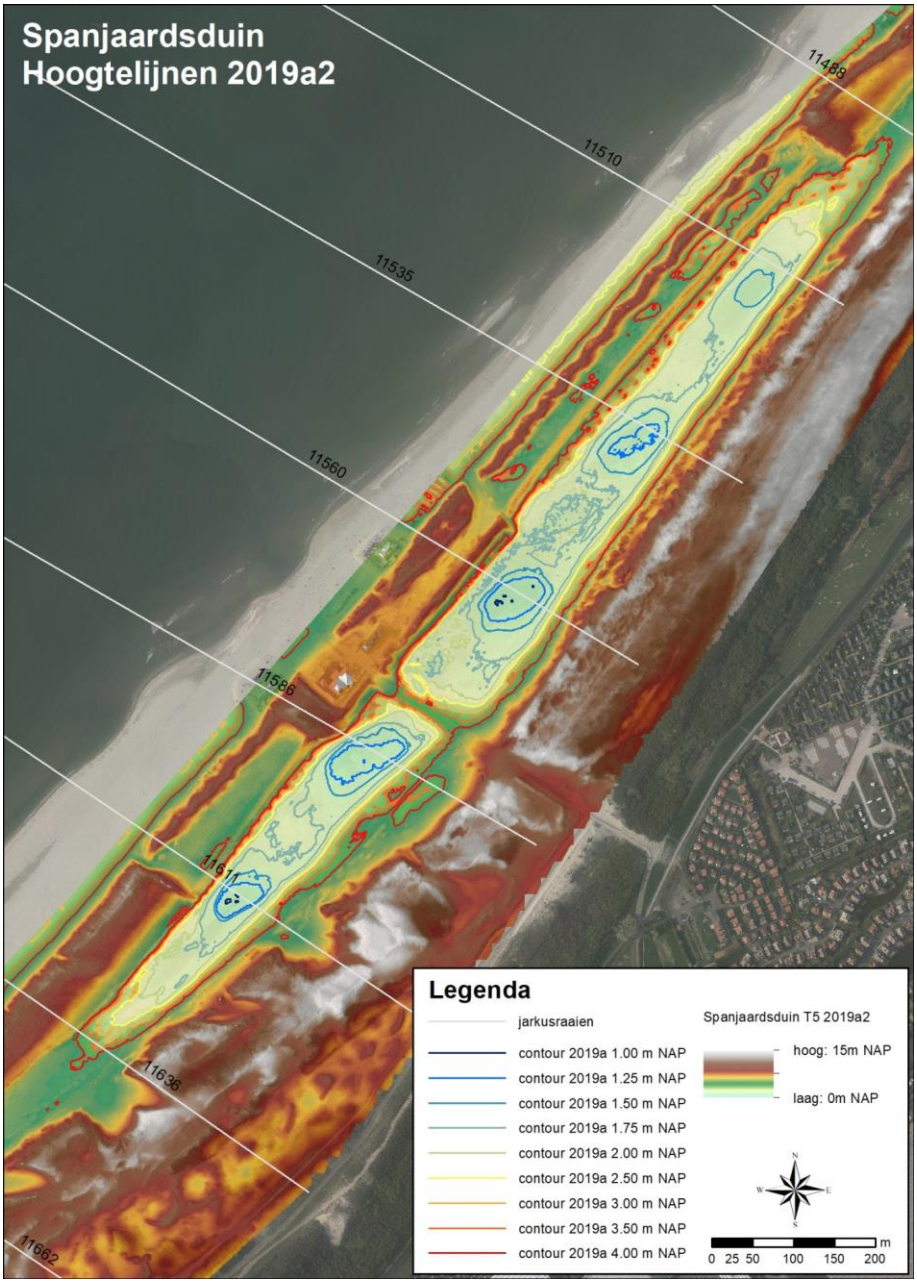
Figuur 3.1 geeft de hoogteligging van het gebied met de relevante hoogtelijnen voor april 2019 (2019a2), Figuur 3.2 geeft de meest recente situatie van juni 2020 (2020a2). Om de verschillen tussen de lijnen duidelijker te maken, zijn in Figuur 3.4 de vlakken tussen de hoogtelijnen gegeven. De vlakken tussen 2.50 en 3.00m NAP, en 2.00 en 2.50m NAP lijken niet veel te veranderen. Er is echter wel sprake van een kleine verschuiving, doordat de vallei in zijn geheel toch nog iets uitstuift en daarbij zowel aan de noord- als aan de zuidkant verlengd wordt. Het gaat om maximaal 5m aan de noordkant, 1-2m aan de zuidkant. Ook aan de oostkant is sprake van enige verbreding met 0-2m.

Beneden 2m NAP zijn er grotere verschillen, die uit een vergelijking van de vlakken kaarten van 2019 en 2020 uit Figuur 3.4 al duidelijk worden. Het groene vlak, met hoogte tussen 1.75m en 2.00m NAP is in 2020 duidelijk in omvang afgenomen en het blauwe vlak, met hoogte tussen 1.50m en 1.75m NAP is gegroeid. Ook de vlakken tussen 1.25 en 1.50m NAP zijn iets groter geworden. De vlakken tussen 1.00 en 1.25m NAP zijn gekrompen, maar opvallend genoeg zijn hierbinnen in drie van de vijf vlakken laagtes beneden 1.00m NAP ontstaan. Het is niet duidelijk hoe dit kan, aangezien deze vlakken permanent onder invloed van grondwater hebben gestaan en dus niet uitgestoven kunnen zijn. De toename van de vlakken tussen 1.50 en 1.75m NAP ten koste van een afname van de vlakken tussen 1.75 en 2.00m NAP zou goed het gevolg kunnen zijn van de graafactiviteiten, waarbij over grote delen van het valleioppervlak schelpenvloertjes zijn verwijderd. Hierdoor bestaat het oppervlak weer uit erodeerbaar zand, waardoor uitstuiving hier weer mogelijk is. Op grond van de hoogteverschillen in de volgende paragraaf zal dit verder uitgezocht worden.

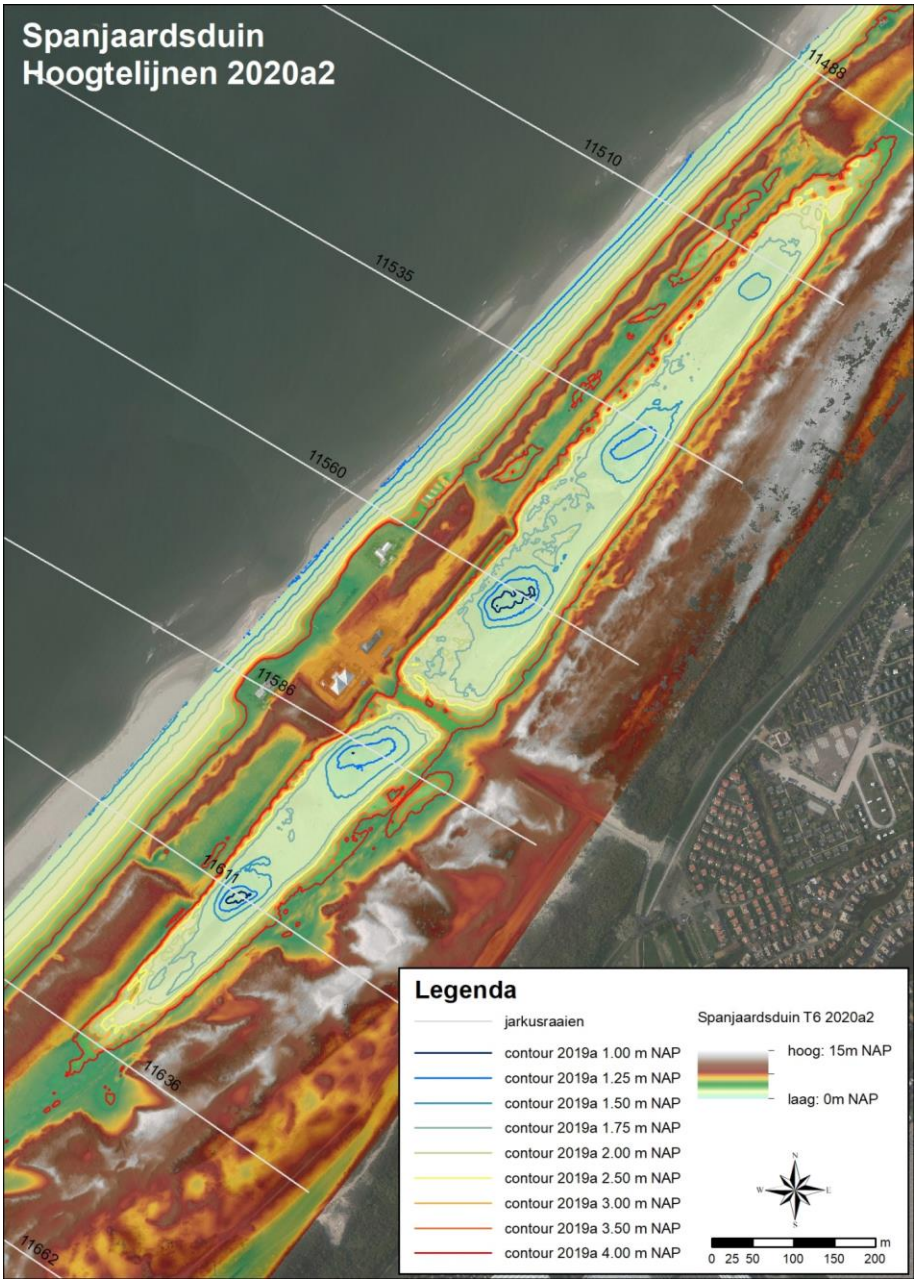
Voor de hogere delen zijn de verschillen niet direct uit de hoogtekaarten te halen. Hoogteverschillen die hier zijn opgetreden worden wel duidelijk op de verschilkaarten en worden hieronder behandeld.

Een vergelijking tussen de hoogtekaart van 2020 en die van 2009 (Figuur 3.3) maakt wel in één oogopslag duidelijk hoezeer het gebied veranderd is. Zowel de contouren binnen de vallei, als de hoogte van het basisduin en van de oude zeereep zijn sterk veranderd. In Hoofdstuk 4 zal verder worden ingegaan op de veranderingen tussen 2009 en 2019/2020.

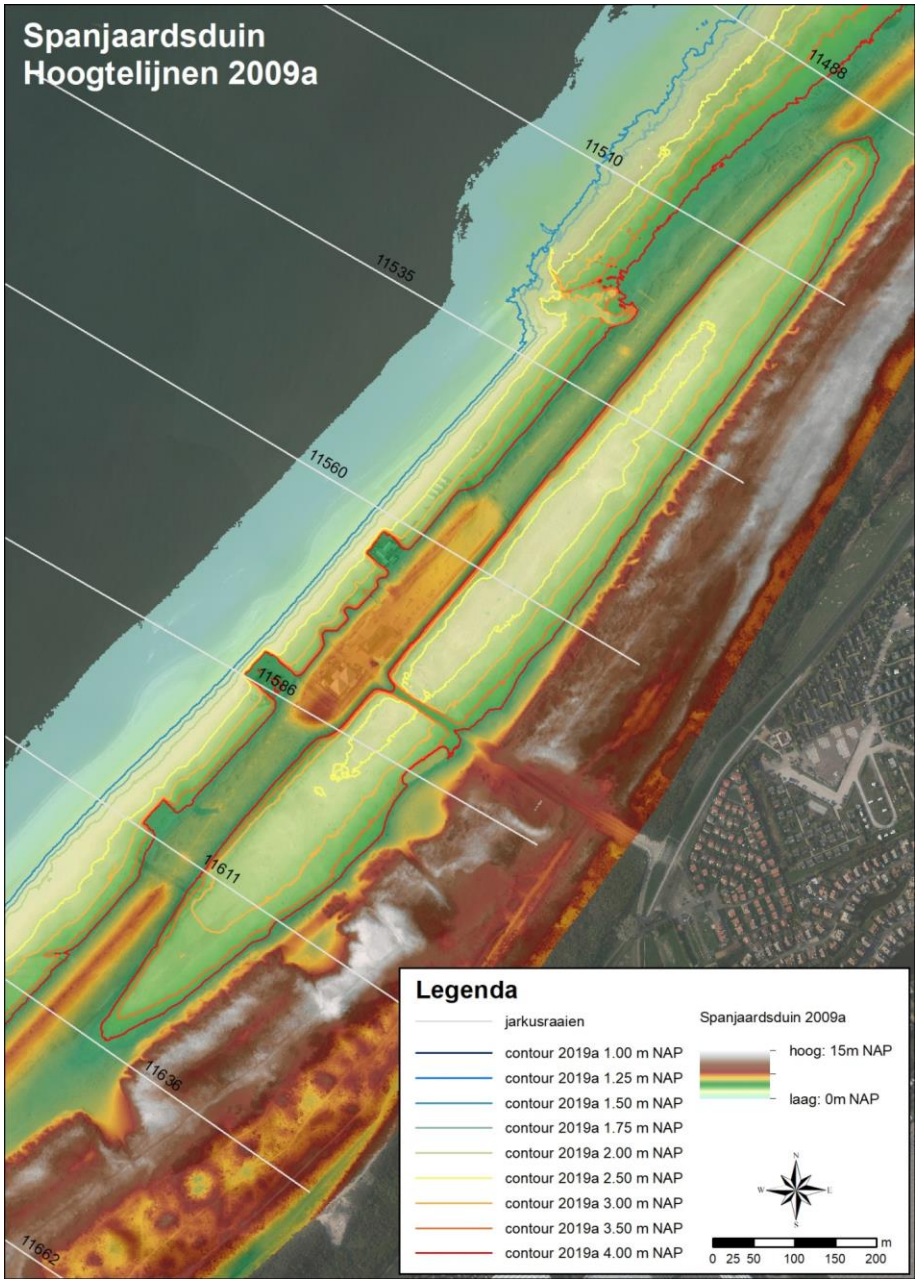
Op grond van de hoogteverschillen die zichtbaar zijn in de verschilkaarten zijn wel erosie- en depositiepatronen af te leiden, maar de transportrichting van het zand is hiermee niet te bepalen. Ook is aan de hand van de patronen niet te bepalen waar het zand dat in de vallei wordt afgezet precies vandaan komt. Er is discussie of er nog zand vanaf strand/basisduin binnen komt, of dat het vooral binnen de vallei wordt opgenomen en circuleert. Hieronder wordt aan de hand van de verschilkaarten en kuberingen voor deelgebieden geprobeerd hier meer inzicht in te krijgen.



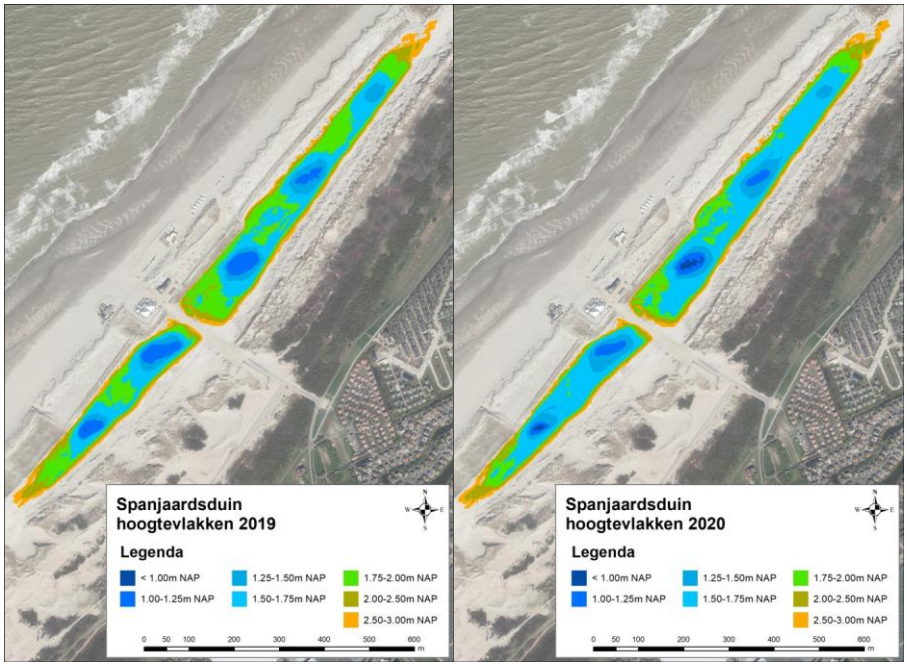
Figuur 3.1. Contourlijnen binnen de vallei over AHN, 2019a2. [Bron: Laseraltimetrie Shore T5]



Figuur 3.2. Contourlijnen binnen de vallei over AHN, 2020a2. [Bron: Laseraltimetrie Shore T6]



Figuur 3.3. Contourlijnen binnen de vallei over AHN, 2009a. [Bron: Laseraltimetrie RWS]



Figuur 3.4. Vlakken tussen de hoogtelijnen voor 2019 en 2020. [Bron: Laseraltimetrie Shore]

3.2 Verschilkaarten; erosie en depositie

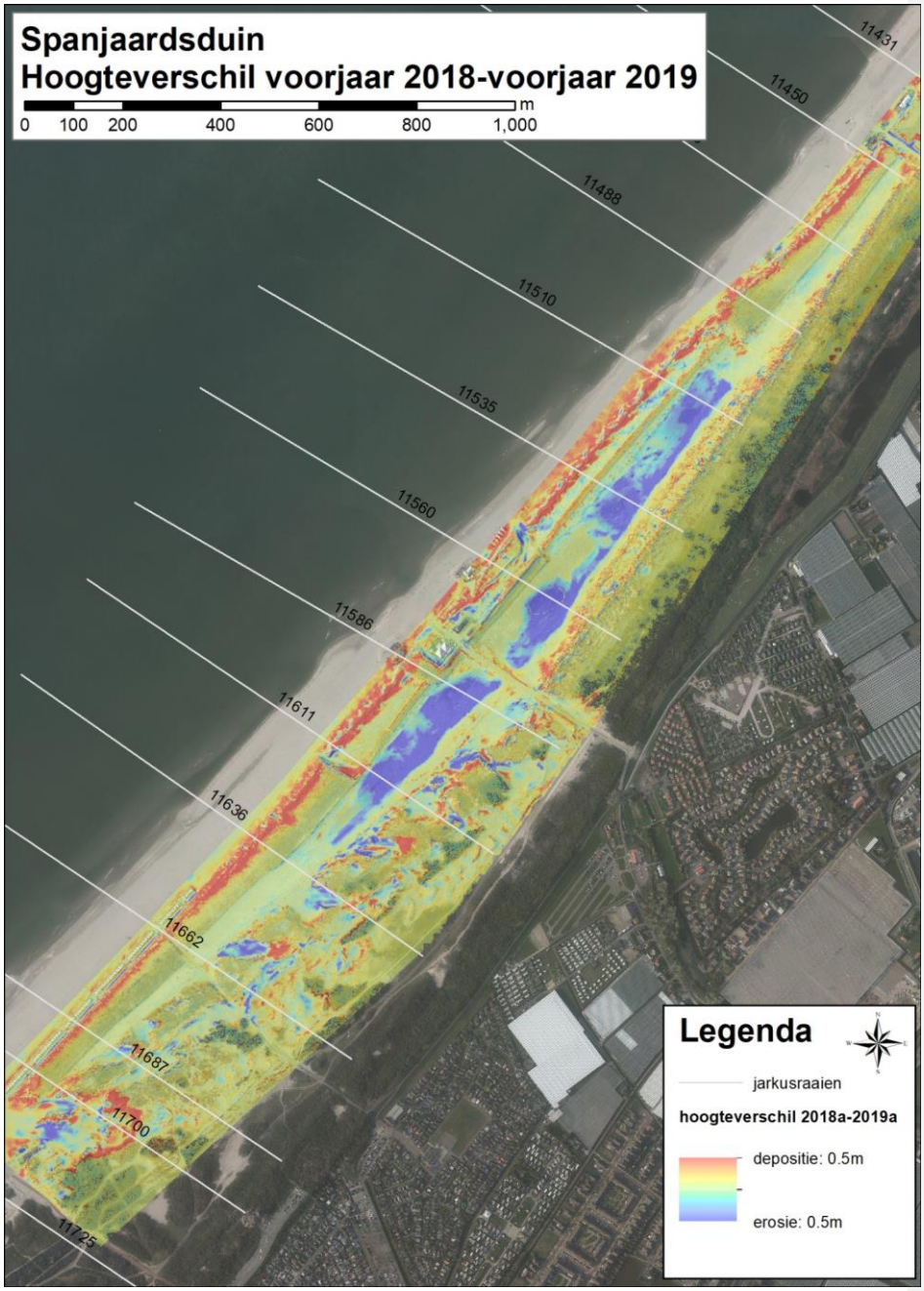
Met behulp van de laseraltimetrie gegevens is een aantal hoogteverschilkaarten berekend. Figuur 3.5 en Figuur 3.6 geven de jaarlijkse hoogteverschillen die zijn ontstaan tussen voorjaar 2018-2019 en voorjaar 2019-2020, voor eerdere periodes wordt verwezen naar de vorige jaarverslagen. Globale inspectie van de kaarten leert dat in de kaart van 2018-2019 de "neutrale" delen (de delen waar geen hoogteverandering verwacht wordt, bijvoorbeeld omdat ze stabiel zijn) lichtgeel (geen of vrijwel geen hoogteverandering) zijn, terwijl deze in de kaart van 2019-2020 lichtblauw (lichte erosie) zijn. Dit duidt meestal op een kleine afwijking in de hoogte, in dit geval zou dat betekenen dat de kaart van juni 2020 iets te laag ligt ten opzichte van de andere kaarten. In de verschilkaart van 2018-2019 (Figuur 3.5) domineren verder de donkerblauwe vlakken, veroorzaakt door de afgravingen, maar ook op de zeereep en de oude zeereep aan de landwaartse zijde ten zuiden van Slag Vlugtenburg zijn de verschillen groot. Op het basisduin overheersen de rode kleuren, en is sedimentatie dus het dominante proces. Op kleine schaal zijn er wel verschijnselen van winderosie. Op de oude zeereep ten zuiden van Slag Vlugtenburg is er meer afwisseling van erosie en sedimentatie. De verstuivingen zijn redelijk grootschalig, maar niet spontaan, ze zijn het gevolg van dynamiseringsingrepen in 2014-2016. In de verschilkaart van 2019-2020 (Figuur 3.6) zijn de veranderingen in de vallei klein, op het basisduin en de oude zeereep van eenzelfde orde als van 2018-2019. Hieronder worden de verschillen in meer detail besproken per deelgebied. Hier wordt benadrukt dat de hoogteverschilkaarten wel inzicht geven in de patronen van erosie en depositie, maar geen uitsluitsel geven over hoe het transport plaatsvindt. In sommige gevallen is het evident dat depositie in één vlak direct het gevolg is van erosie in een aangrenzend vlak. Dit is alleen duidelijk voor geïsoleerde verstuivingen. In het Spanjaardsduin zijn de meeste verstuivingen met elkaar verbonden en is in de meeste gevallen geen direct verband tussen erosie en depositie te leggen. Bovendien is het systeem niet gesloten, er komt zand vanaf het strand en mogelijk vanuit

het zuiden het gebied binnen, en er stuift ook zand uit, in ieder geval aan de zuidoostkant, ten zuiden van Slag Vlugtenburg, waardoor ook op basis van zandbudgetten geen direct bewijs voor transportbanen is af te leiden. Alles wat hieronder gezegd wordt over transportrichtingen is dus interpretatie. Dit is een belangrijk punt, met name omdat voor het risico van opvullen van de vochtige laagtes met instuivend zand het cruciaal is om te weten waar dit instuivende zand dan vandaan komt. Alleen als dat duidelijk is kunnen gepaste maatregelen genomen worden om instuiven te beperken, want alleen dan is duidelijk welke delen van het omringende gebied als bron fungeren en dus gestabiliseerd zouden moeten worden.

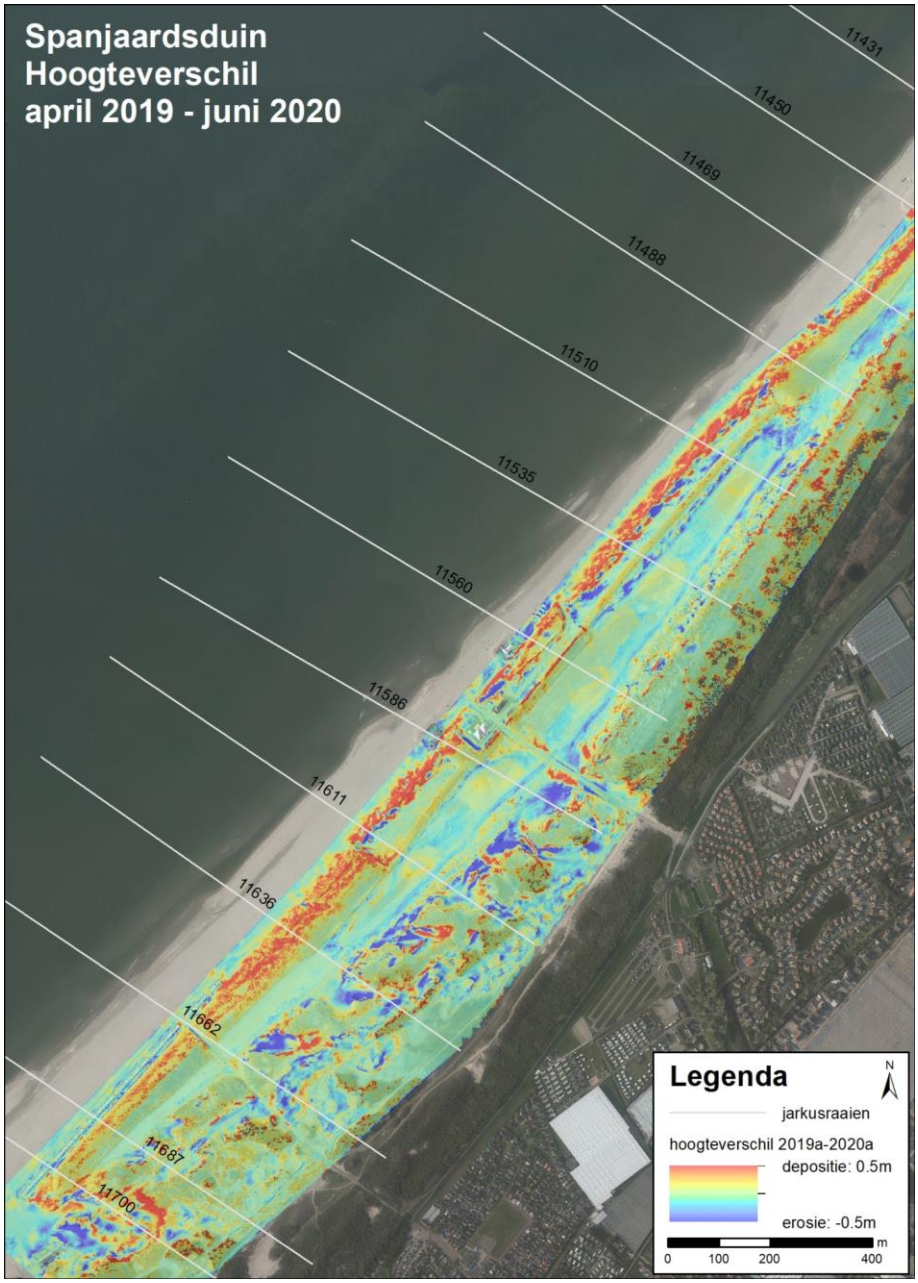
Figuur 3.7 en Figuur 3.8 geven de totale hoogteverschillen tussen 2009 en 2019. De eerste figuur maakt gebruik van de hoogtegegevens van Rijkswaterstaat (februari 2019a), de tweede van Shore (april 2019a2). De verschillen tussen beide kaarten zijn verwaarloosbaar. In Hoofdstuk 4 wordt verder ingegaan op de hoogteverschillen die over de gehele periode 2009-2019/2020 zijn ontstaan.

Commented [BA2]: Één van beide kaarten kan achterwege blijven

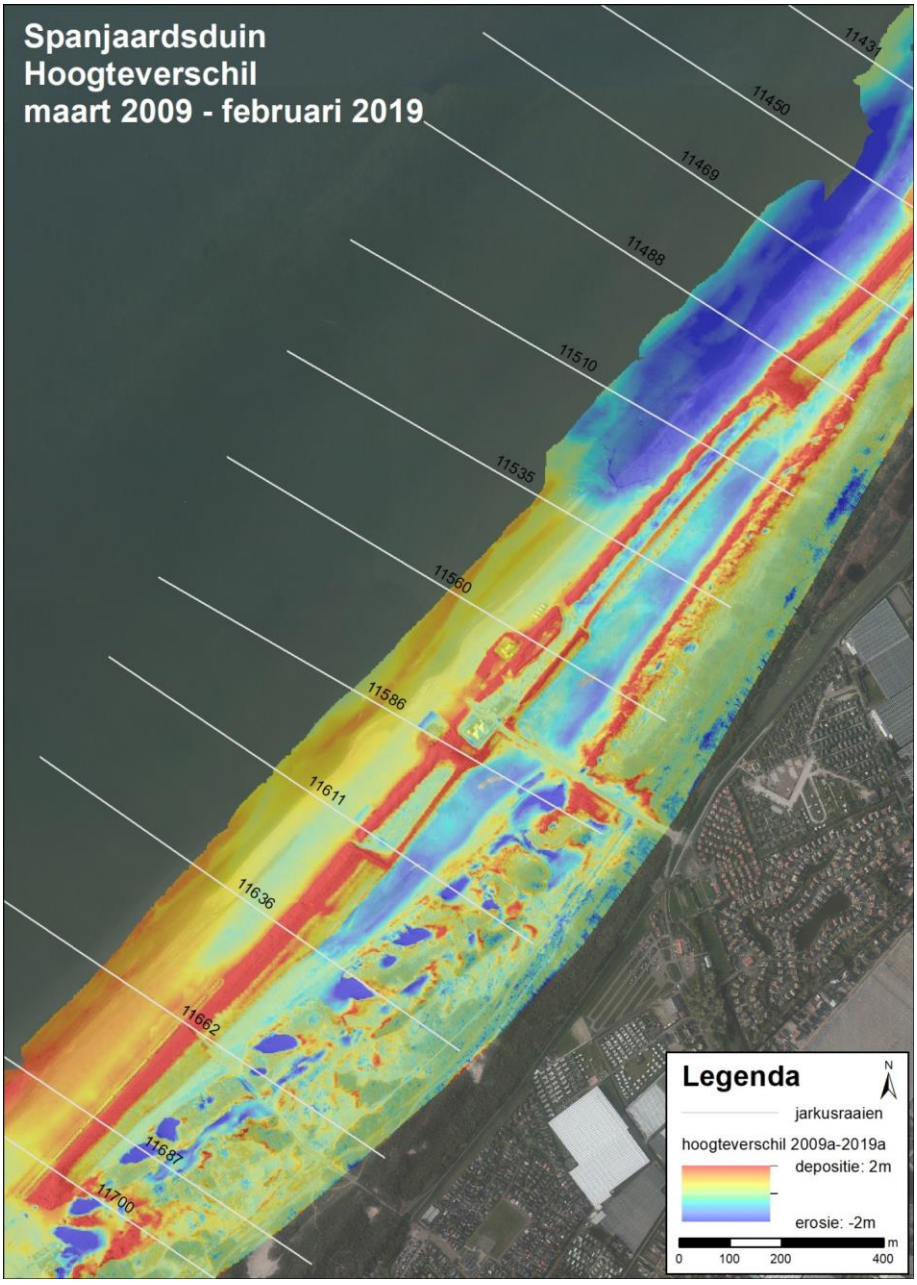
~~Aan de landwaartse kant, op de oude zeereep, is het verschil in dynamiek tussen noord- en zuidkant inmiddels groot. Aan de noordkant is sprake van een geleidelijke afname, terwijl aan de zuidkant door de dynamiseringsingrepen bij de van Dixhoorndriehoek de dynamiek juist sterk is toegenomen. Opvallend is dat de oude zeereep achter de gegraven duinmeren tussen 2017-2018 nog enigszins erosief is, maar tussen 2018-2019 juist enigszins accumulatief. Dit zou kunnen samenhangen met de verwijderde schelpenvloertjes, waardoor verstuiving vanuit de vallei richting oude zeereep weer toegenomen zou kunnen zijn. Het is echter ook mogelijk dat dit samenhangt met een meetfout (hoogte van 2018 iets te laag bepaald, of hoogte van 2017 te hoog, zie Arens, 2019), wat gezien de overwegend gele kleuren in de verschilkaart van 2018-2019 (Figuur 3.5) het meest waarschijnlijk lijkt.~~



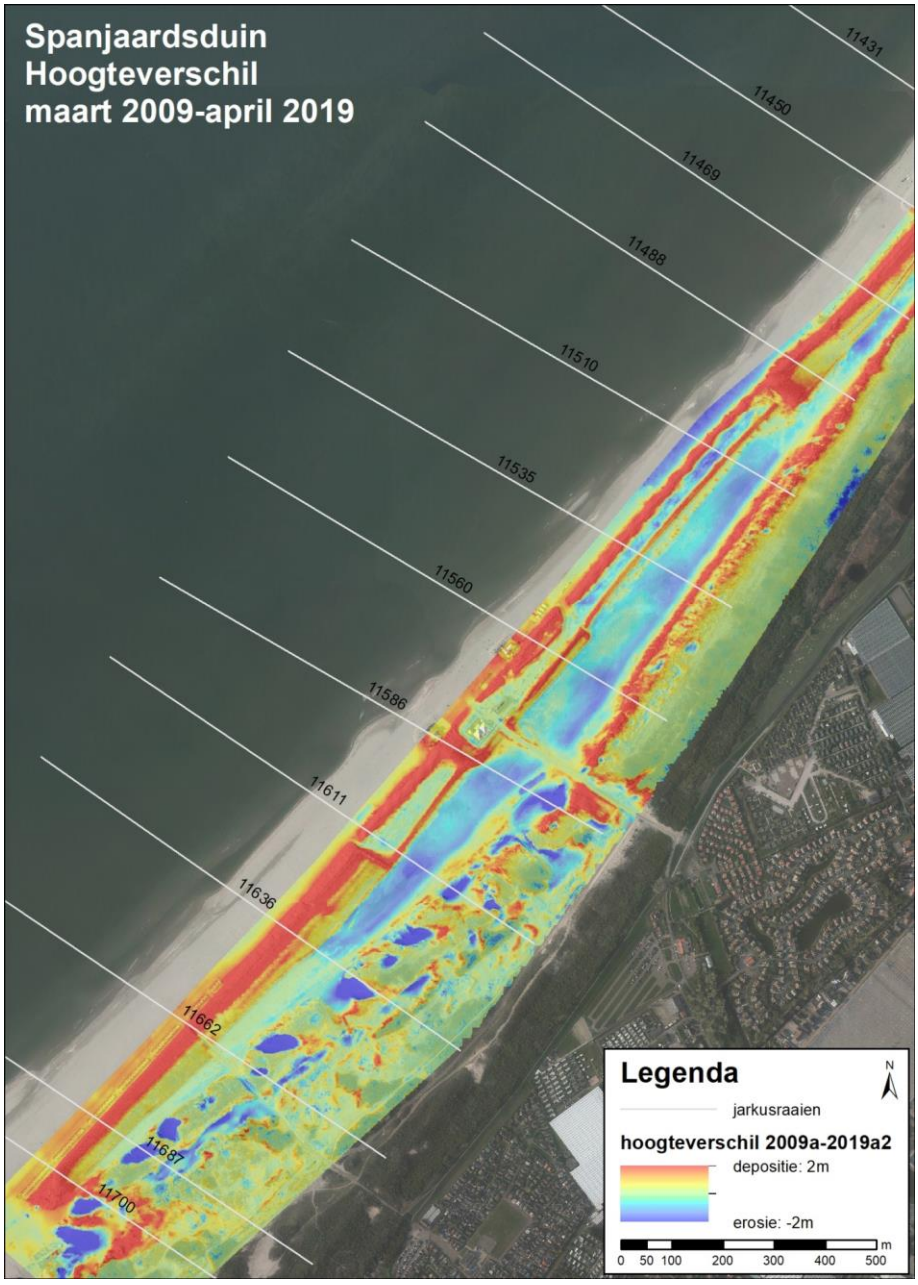
Figuur 3.5. Hoogteverschillen periode 2018a tot 2019a2. [Bron: Laseraltimetrie RWS en Shore]



Figuur 3.6. Hoogteverschillen periode april 2019a2 tot juni 2020a2. [Bron: Laseraltimetrie Shore]



Figuur 3.7. Hoogteverschillen periode maart 2009a tot februari 2019a. [Bron: Laseraltimetrie RWS]



Figuur 3.8. Hoogteverschillen periode maart 2009 tot april 2019a2. [Bron: Laseraltimetrie RWS en Shore]

Hieronder worden per deelgebied de resultaten nader besproken.

3.2.1 Noordelijk deel beplant (raaien 114.225 t/m 114.875):

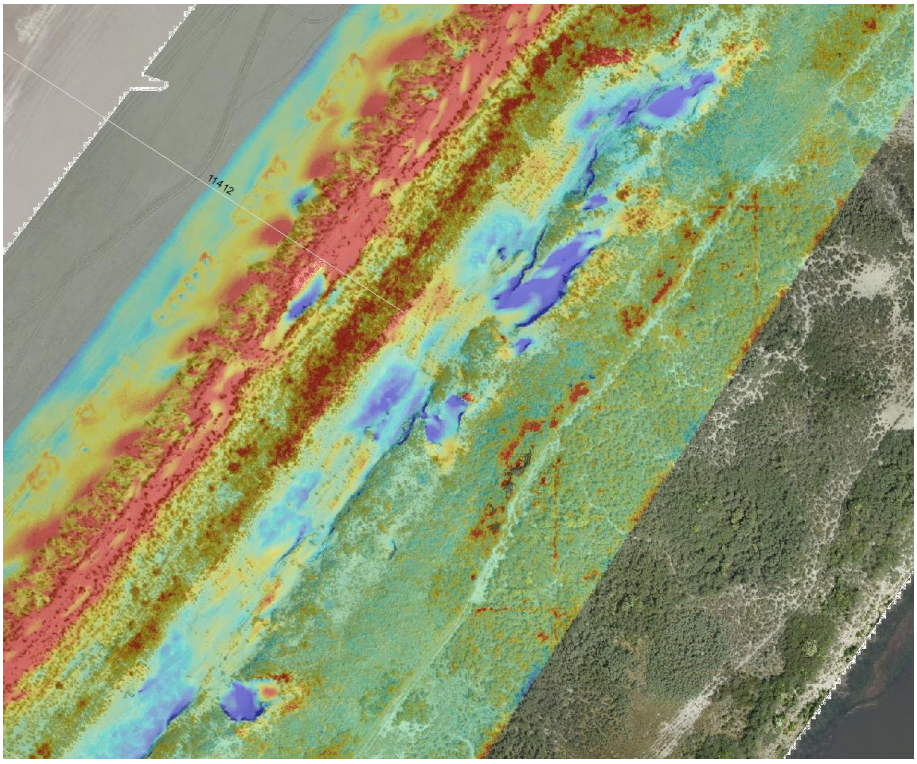
De verschilkaart 2017-2018 toont sterke aanstuiving op de zeereep over een 35-45m brede aanstuivingszone. De ophoging bedraagt 0.8-1.0m, plaatselijk bedraagt de hoogte van de zeereep al ruim 11m NAP. De overstuivingszone is op de overgang naar het half beplante deel smaller en de mate van overstuiving ook geringer. In het meest noordelijke deel vindt ook het rietpotenexperiment plaats aan de hand van vier plots waarin rietpoten in verschillende dichtheden zijn gezet (Eleveld & van der Valk, 2019). Binnen deze plots overheerst overstuiving, met een hoogtetoename van enkele cm's, maar plaatselijk wel een bedekking van 20-30cm. Tussen de plots overheerst erosie tot circa 20cm.

De verschilkaart 2018-2019 laat een minder gelijkmatige aanstuivingszone zien, waarbij de grootste ophoging aan de landwaartse kant plaats vindt, lokaal meer dan 1.2m, maar overwegend rond 1m, naar het zuiden afnemend naar 0.8m.

De vallei in dit deel stuift gemiddeld genomen nog uit, met plaatselijk een erosie van 20-30cm. In 2019 neemt de hoogte slechts op enkele plekken af.

Op de oude zeereep is de grootste dynamiek te zien in een viertal stuifkuiltjes, waarbij de tweede kuil vanaf het noorden gerekend maar liefst 1.7m is uitgestoven. De andere kuilen hebben een uitstuiving van 60-70cm.

Op de luchtfoto's van 2019 (april) en 2020 (juni) is niet veel verschil te zien, behalve dat in juni 2020 vanwege het zomerseizoen de vegetatie verder ontwikkeld is. Bij de rietpoten is er op de foto van 2020 meer dynamiek te zien. De verdiepte schotels staan in 2020 veel minder onder invloed van grondwater dan in 2019.



Figuur 3.9. Detail van de verschilkaart 2019a2-2020a2 (T6-T5) van de vlakken met rietpoten en tussenliggende vlakken. Voor kleuren zie legenda Figuur 3.6, hoogteverschillen van -0.5 tot +0.5m. [Bron: laseraltimetrie Shore]

De verschilkaart 2019-2020 geeft inderdaad in de zone met rietpoten grote verschillen (zie voor een detail van de verschilkaart Figuur 3.9). In de vier vlakken met rietpoten vindt overwegend depositie plaats, waarbij een toename is te zien van zuid (5-15cm) naar noord (15-25cm). De tussenliggende vlakken zijn erosief met verlagingen die variëren van 10 tot 50cm. Opvallend is dat aan de oostkant van deze erosieve vlakken grote, dynamische structuren zijn ontstaan, waar veel erosie plaatsvindt, met erosie tot 1m. De depositie om deze structuren heen lijkt niet in verhouding te staan tot de mate van erosie. Het zou kunnen dat met noordoosten wind zand vanuit deze structuren naar de vlakken met rietpoten wordt getransporteerd, in ieder geval in de drie noordelijkste vlakken lijkt dat het geval. Van 2018-2019 was de dynamiek in de structuren veel kleinschaliger. Ook opvallend is dat er toen vrijwel geen erosie in de tussen de rietpootvlakken gelegen vlakken is gemeten. Het is duidelijk dat het plaatsen van rietpoten effect heeft op de instuiving en uitstuiving van de tussenliggende delen. Dit is een belangrijke les die toegepast kan worden bij het stabiliseren van delen van de vallei om te voorkomen dat door instuiving de natste delen weer ophogen en daarmee verdrogen.

In de rest van de vallei is de erosie hoger dan vorig jaar, met een maximum rondom Jarkusraai 114.69 van 20 tot 50cm. Vorig jaar was er sprake van een maximale verlaging van 15cm lokaal, overwegend zelfs enige depositie. Hierbij is het overigens de vraag of de meting van T5 niet iets te

grote hoogten aangeeft. T5-2018a geeft wel enige depositie, 2019a-2018a niet. Ook verschillen in de oude zeereep lijken niet helemaal te kloppen, met een flinke erosie tussen 2018-2019 die weer geheel gecompenseerd wordt van 2019-2020, terwijl er op de luchtfoto's nauwelijks verschillen zichtbaar zijn.

Op het basisduin overheerst een forse depositie aan de voorzijde, die plaatselijk oploopt tot bijna 1m en zich uitstrekt over een zone van circa 30m vanaf de duinvoet. Direct ten noorden van Slag Beukel ontbreekt overigens de overstuivingszone grotendeels, over een traject van 85m. In de overstuivingszone komen kleinschalige, erosieve structuren voor, in een zone direct achter de duinvoet, die grotendeels kaal is (en smal, 2-10m). Gezien de depositie in de overstuivingszone en de gradiënt in depositie lijkt het niet waarschijnlijk dat er vanaf het basisduin veel zand de vallei instuift. Sowieso is er in dit deel van de vallei voornamelijk sprake van erosie tussen 2019-2020.

Op de oude zeereep lijkt T5 niet helemaal de juiste informatie te geven, waardoor de verschilkaart T6-T5 veranderingen aangeeft die er waarschijnlijk niet zijn. Voor de oude zeereep wordt daarom vooral het verschil van T6-2019a beschouwd. Hieruit blijkt dat er enkele plekken zijn met een matige aanzanding en enkele kleinschalige plekken met enige winderosie.
Aan de noord- en zuidkant van Slag Beukel, waar deze de vallei doorsnijdt, zijn forse ophopingen van zand met hoogtetoenamen van 60-80cm, aan de zuidkant groter dan aan de noordkant. Deze zijn begroeid met Helm en lijken het instuiven van zand vanaf de slag de vallei in te beperken.

3.2.2 Noordelijk deel half beplant (114.975 t/m 115.475):

~~Ook hier is van 2017-2018 sprake van een forse aanstuivingszone, maar met een maximale breedte van 35m in de eerste helmstrook en ook nog enige aanstuiving in de tweede helmstrook. In de eerste strook is de opstuiving in de orde van 1m, maar lokaal is dit wel 1.2m. De hoogte is inmiddels toegenomen tot ruim 8m NAP (was net geen 5 ten tijde van het plaatsen van de helmstroken).Tussen de helmstroken is het oppervlak vrijwel kaal en is er sprake van erosie, aan de noordkant het meest extreem, 0.7m. De kale zone tussen de eerste en tweede helmstrook is begin 2019 bedekt met plagsel uit de vallei.~~

~~De verschilkaart 2018-2019 toont een minder gelijkmatige aanstuivingszone, maar met een vergelijkbare ophoging. In de aanstuiving zijn kleinschalige erosieve vormen herkenbaar, die de contouren van de oorspronkelijk golvende aanplant volgen. Waar de sinusvormige golven op zuidwest tot west geëxponeerd zijn is sprake van erosie. Dit is langs de zeewaartse begrenzing van de helmbegroeiing.~~

~~Ook in de vallei hierachter is tussen 2017-2018 sprake van erosie, met langs de zeewaartse rand een erosie van soms 50-60cm. Plaatselijk is er in de vallei ook ophoging waar Helm zich gevestigd heeft. De ophoging is maximaal 30cm.~~

~~Voor 2018-2019 worden de verschillen in de vallei bepaald door de vernattingsingrepen. Enkele zones waar al een interessante vegetatieontwikkeling op gang is gekomen zijn hierbij gespaard. Door het afgraven zijn de schelpenvloertjes over grote oppervlakken verwijderd. Mogelijk gaat dit een effect hebben op (vernieuwde) uitstuiving van het oppervlak, omdat nu weer origineel opgespoten zand aan het oppervlak ligt.~~

~~In de oude zeereep liggen enkele actieve verstuivingen, soms in de vorm van stuifkuilen. De meest actieve ondergaat een uitstuiving van maximaal 1.7m en aangrenzend een opstuiving tot circa 0.7m.~~
Dit is het lagere deel van de vallei, waarvoor de contourvlakken in kaart zijn gebracht (Figuur 3.4). Wat al duidelijk bleek uit de contourvlakken, is dat er in een groot deel van de vallei een verlaging

heeft plaatsgevonden, waardoor het vlak tussen 1.75-2.00m NAP is gekrompen en het vlak tussen 1.50-1.75m NAP is gegroeid. De verschilkaart geeft duidelijk de erosieve vlakken weer, met een verlaging van 5-20cm. De erosieve vlakken liggen hoofdzakelijk in de iets hogere delen van de vallei, want de echte vochtige delen hebben juist enkele cm's zand ingevangen. De sterkste depositie, tot 36cm, is gemeten direct rondom de waterpartijen, wat logisch is, want het water is een perfecte zandvanger. Zand wat met zuidwestenwind door de vallei stuift zal aan de randen van het water worden ingevangen, en de bodem daar over een smalle strook verhogen. In het meest noordelijke watervlak is de depositie het sterkst en de krimp van het vochtige oppervlak het grootste. Dit heeft ook een verschuiving van 1.50-1.75 naar 1.75-2.00m NAP tot gevolg gehad. In de meest noordelijke vochtige plek is de depositie het sterkst aan de zuid en zuidoostrand. In de tweede plek vanaf het noorden gerekend is de depositie het sterkst aan de west en noordwestrand. In beide gevallen is het tussenliggende stuk waarschijnlijk de bron waar het zand vandaan komt, maar zou er ook enig zand vanaf het basisduin afkomstig kunnen zijn.

Tussen het tweede en derde watervlak ligt het deel van de vallei waar al een duinvalleivegetatie in ontwikkeling was, en wat gespaard is. Hier zien we enige depositie, op enkele plaatsen in de orde van 5-15cm. Dit is een risico, want door de instuiving kan het oppervlak zodanig verhogen dat de al aanwezige valleivegetatie verdroogt.

Rondom de vallei valt op dat er een erosieve band aanwezig is, op de overgang van vallei naar hogere duinen. Blijkbaar dijt de vallei dus nog steeds uit, wat overigens ook te zien was aan de 4m NAP-hoogtelijn die van 2019 naar 2020 een groter oppervlak omsluit. De erosie bedraagt lokaal meer dan 70cm, vaak rond de 20-50cm. Aan de landwaartse zijde van de vallei is hier een toenemende gradiënt van zuid naar noord, aan de zeewaartse zijde is er wel variatie maar niet zozeer in een gradiënt van zuid naar noord. Zo een erosieve band kwam in 2017-2018 ook al voor aan de zeewaartse zijde, daarvoor niet. Het zou kunnen dat erosie langs de randen van de vallei het gevolg is van de aanwezigheid van een grote hoeveelheid water in de winter (zie bijvoorbeeld Foto 3.5. Water ten noorden van Slag Vlugtenburg. Op de grens van het water staan enkele beginnende helmpollen. Foto Kees Vertegaal, 11-03-2020.Foto 3.5). De wind die over de vallei blaast is dan onverzadigd en kan alleen langs de droge randen zand opnemen.

Het basisduin bestaat uit drie zones. 1) De ingeplante en golvende helmstrook aan de zeewaartse zijde die nog steeds veel zand invangt en een steeds natuurlijker morfologie krijgt. De invang is behoorlijk variabel, met hoogteverschillen van 0.5-1.5m. 2) Een tussenliggende, niet ingeplante zone, die overwegend erodeert, maar waar ook enkele structuren in voorkomen die juist sterk zand invangen. In de invangende structuren lijkt een golflengte te zitten van 50-60m, die de golflengte van de golvende aanplant volgt. De ophogingen liggen steeds direct ten oosten waar de golf in de helm uitsteekt richting zee. (Illustratie toevoegen?, zie Figuur 4.5) 3) Een aangeplante strook helm in een rechte baan. Deze vangt nog enig zand in, maar bij lange na niet in de zelfde hoeveelheden als de eerste helmstrook, op de meeste plaatsen met een hoogtetoename van 15-20cm, met uitschieters tot 50cm. De strook, en ook de depositiezone, is circa 13m breed. De meeste depositie vindt in het midden of aan de landwaartse zijde plaats. Het is waarschijnlijk dat er nog enig zand verder doorstuift. De aangrenzende zone naar de vallei is echter overwegend erosief, met uitzondering van de helmpollen, inmiddels forse kopjesduinen (zie Foto 3.12), die steeds verder uitgroeien. Doorstuivend zand zou wel in de vallei afgezet kunnen worden in de vochtige delen.

In de oude zeereep is aan de voorzijde nog sprake van enige dynamiek, maar veel minder dan in het verleden. De dynamiek is al vanaf 2013 aan het afnemen. De voorkant van de oude zeereep is grillig, vergelijkbaar met een zeereep met embryonale duinen, waarbinnen nog op kleine schaal erosie en depositie optreedt.

3.2.3 Middendeel beplant (raaien 115.575 t/m 115.875):

~~Hier wordt aan de strandkant en rondom de bebouwing zeer veel geschoven. Het patroon van erosie en depositie is daardoor chaotisch. Via de strandslag stuift zand de vallei in, wat opgevangen wordt in aangeplante helmstroken, waardoor de hoogte hier en daar met meer dan 0.8m is toegenomen. In de vallei is het belangrijkste proces het invangen van zand in de inmiddels gevestigde helm, plaatselijk met een ophoging van rond de 0.2m.~~

~~In 2019 zijn de vernattingsingrepen uitgevoerd en is de vallei ten noorden en ten zuiden van slag Vlugtenburg sterk verlaagd.~~

~~Op de oude zeereep is ten noorden van slag Vlugtenburg nog wel enige dynamiek aanwezig. Ten zuiden van slag Vlugtenburg is de dynamiek groot door de herinrichtingsingrepen in de van Dixhoorndriehoek.~~

In dit deel ligt vanaf het noorden gerekend het derde en de helft van het vierde watervlak. Beide vlakken zijn flink gekrompen. De begroeiing breidt uit, en kruipt vanaf het basisduin de vallei in. Rondom de watervlakken bevindt zich een duidelijke depositiezone. Rond het derde watervlak is die het grootst aan de zuid en zuidoostkant, met een depositie tot 10-15cm, over een strook van maximaal 40m. Ten zuiden van het derde vlak, net ten noorden van Slag Vlugtenburg, bevindt zich nog een kaal en erosief vlak, wat nu weer kan eroderen, waarschijnlijk omdat er een schelpenlaag is verwijderd. Rondom Slag Vlugtenburg hoopt met name aan de noordkant zand op, als gevolg van de stabiliserende maatregelen in het verleden. Dit vormt een barrière voor instuivend zand naar de vallei toe, maar deze barrière is niet gesloten. Aan de zuidoostkant van de slag ligt een groot erosief vlak. Het is waarschijnlijk dat via dit deel veel zand de vallei instuift. Aan de zuidkant sluit de ophoping ook niet de hele vallei af. Het is waarschijnlijk dat via beide openingen bij de slag veel zand van zuid naar noord beweegt en waarschijnlijk bij noordoostelijke wind ook van noord naar zuid. De depositiezone rondom het vierde vlak is redelijk uniform aan alle kanten, met ook hier een depositie van maximaal 10-15cm. De erosie op de overgang naar de oude zeereep is hier weer sterker en ook in een duidelijke band, met een verlaging orde 40-60cm.

Op het basisduin is de menselijke invloed zo groot dat er geen sprake is van een duidelijke veranderingen door natuurlijke processen. Schuiven van zand overheerst hier, met als gevolg kunstmatige structuren, maar ook veel dynamiek. Het is waarschijnlijk dat dit een belangrijke bron voor zand is dat de vallei in stuift. De voortdurende depositie in de vallei direct ten oosten hiervan wijst hier ook op.

Op de oude zeereep neemt de dynamiek hier toe vanwege de overgang naar het gebied van de van Dixhoorndriehoek, waar in 2014 uitgebreid is ingegrepen om de dynamiek te vergroten. Daardoor grenzen er enkele grote erosieve vlakken aan de vallei, waaruit bij noordoosten of oosten wind zand richting vallei kan waaien. Opvallend is wel dat langs de meeste grote erosieve vlakken een depositiezone voorkomt op de overgang naar de vallei. Vergelijking van luchtfoto's van 2018 en 2020 leert ook dat de vegetatie hier is toegenomen. Dit zou er op kunnen wijzen dat het transport vanuit deze stuifketels richting vallei beperkt is, omdat deze vegetatie anders gezandstraald zou zijn en niet zo zijn toegenomen.

3.2.4 Zuidelijk deel half beplant (raaien 115.975 t/m 116.075):

~~De helmstroken in het voormalig onbeplante basisduin vangen nog steeds veel zand in, maar kunnen niet al het zand bergen. De aanstuivingszone heeft een breedte van 35m, en bedekt de gehele eerste helmstrook. De hoogtetoename is circa 1m, maar kan lokaal wel 1.2m bedragen. De tweede strook vangt ook nog steeds zand in, zij het veel minder dan de eerste. De eerste strook is zeer~~

~~dynamisch, in 2018 is zelfs een groot deel van de Helm onder het zand verdwenen en is er van het voormalige aanplantpatroon niets meer herkenbaar. In 2019 is de helm door de zandbedekking heen gegroeid. In de tweede strook is de aanplant nog wel goed herkenbaar. Op de overgang van het zuidelijk deel beplant bevindt zich een kerf, waardoor veel zand naar binnen stuift, waardoor een forse depositiepluim is ontstaan, die aansluit op de tweede helmstrook. Het diepste punt in de kerf ligt rond 4.6m NAP. Net als bij het noordelijk deel is de aanstuivingszone tussen 2018-2019 minder gelijkmatig, is de hoogteverandering vergelijkbaar en bevinden zich ook hier de erosieve structuren die het oorspronkelijke golfpatroon van de helmaanplant volgen.~~

~~De vallei is tussen 2017-2018 over een groot oppervlak erosief, met een verlaging van plaatselijk meer dan 0.3m. Er zijn betrekkelijk weinig plekken met ophoging in aanwezige vegetatie, met een hoogtetoename van 0.2-0.3m.~~

~~In 2019 is de vallei afgegraven. Vrijwel alle veranderingen in de vallei zijn hier het gevolg van.~~

~~De oude zeereep toont een sterke dynamiek in grote kerven en stuifgaten en overstuivingen. Erosie bedraagt op sommige plekken meer dan 1.3m, de ophoging maximaal zelfs 1.6m, maar over het algemeen tussen 0.5 en 1.0m.~~

Hierin liggen de zuidelijke helft van het vierde watervlak en het vijfde watervlak. Ook deze zijn aanzienlijk gekrompen. Het tussenliggende vlak is erosief, wat het in het verleden ook was. Rondom het meest zuidelijke watervlak bevindt zich een circa 30m brede depositiezone, met maximaal 20cm verhoging aan de zuid- en oostkant, 10cm aan de noord- en westkant. Zowel om het vierde als om het vijfde watervlak is de zone met maximale depositie smal, orde 2-5m. Om het hogere deel van de vallei ligt weer een erosieve band, op de overgang naar aangrenzend basisduin en oude zeereep. De band is het duidelijkst aan de zijde van de oude zeereep. De erosieve structuren in de oude zeereep die zijn aangelegd in het kader van herdynamisering, zijn van de vallei gescheiden door een zone met depositie. In dit stuk zal er weinig of geen zand vanuit deze structuren de vallei in stuiven.

Op het basisduin is in de tussen de twee ingeplante helmstroken liggende zone ook helm ingeplant. Dit is in 2017 uitgevoerd, met helm die uit de vallei was verwijderd. De helm is niet in een strak patroon aangelegd en vangt enig zand in, maar de bedekking is niet meer dan enkele cm's. Het is niet waarschijnlijk dat in dit deel van het voorheen onbeplante basisduin zand doorstuift naar de vallei. Alleen aan de zuidkant, op de overgang naar het beplante basisduin, bevindt zich een kerf vormige structuur, waar veel erosie plaatsvindt. Maar, gezien de ligging van de aangrenzende depositiezone, is het niet waarschijnlijk dat hiervandaan veel zand de vallei instuift. In de meest zeewaartse, golvende helmstrook is de depositie groot, maar mogelijk iets minder dan in het beplante deel ten zuiden hiervan. De depositie bedraagt maximaal 1-1.2m. De depositie op de tweede helmstrook is beperkt, en niet groter dan maximaal 40cm.

In de oude zeereep is de dynamiek zeer groot, met de ontwikkeling van paraboolvormige structuren. In de erosieve delen hiervan kan de erosie 1-1.5m bedragen.

3.2.5 Zuidelijk deel beplant (raaien 116.175 t/m 116.475):

~~De verschilkaart 2017-2018 (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) toont sterke aanstuiving tegen en op de zeereep in een 35-45m brede aanstuivingszone, met een hoogtetoename van 0.8-1m, lokaal meer. Aan de zuidkant is er een gradiënt zichtbaar van zuid (weinig) naar noord (veel), die met de aanwezigheid van de strandhuisjes samenhangt. Achter de strandhuisjes is echter ook al een~~

~~gradiënt van zuid naar noord zichtbaar, de aanstuivingszone wordt naar het noorden toe steeds breder, tot een maximale breedte van circa 45m. Opvallend is dat de aanstuivingszone scherp begrensd is, aan de voorkant, maar vooral aan de landwaartse zijde. De depositie neemt dus aan de landwaartse zijde zeer snel af. Tussen de strandhuisjes en de zeereep ligt een erosieve zone met een verlaging van rond de 0.5m.~~

Het noordelijkste stuk behoort nog tot de lage vallei, naar het zuiden toe neemt de hoogte toe en daarmee de invloed van vocht af. De sterkste erosie treedt op op de overgang naar de hogere vallei en naar de oude zeereep. Het lagere deel van de vallei is ook licht erosief, met uitzondering van de echt natte stukken, waar zand wordt ingevangen. Het vlak tussen 1.75-2.00m NAP wordt daardoor kleiner, het vlak tussen 1.50-1.75m NAP groter.

Op het basisduin neemt de hoogte aan de voorzijde door instuiving toe met 0.4-1.0m. Landwaarts daarvan bevindt zich een inmiddels ondoordringbare zone met duindoorn. Hier zal zeker geen zand doorheen stuiven. Hoogteverschillen hier zijn onjuist, en worden veroorzaakt door ruwheid van de begroeiing. Naar het zuiden toe neemt de overstuiving van het basisduin af, omdat hier in het zomerseizoen strandhuisjes voor het basisduin aanwezig zijn.

De grote, erosieve structuren in de oude zeereep zouden enige interactie met de vallei kunnen hebben. Met noordoosten of oosten wind zou hier zand vandaan de vallei in kunnen stuiven. Aan de uiterste zuidkant bevindt zich ook een dynamisch deel, wat een zandbron voor aanvoer van zand in de vallei met zuidwestenwind zou kunnen vormen. Het meest waarschijnlijk is het echter dat zandopname binnen de vallei de grootste bron van zand is wat elders in de vallei wordt afgezet. Het gaat om een lengte van vele honderden meters kaal zand, die precies op de meest voorkomende windrichting is gericht. Het is onvermijdelijk dat met zuidwesten wind over zulke grote afstanden flinke hoeveelheden zand worden opgenomen die elders in de vallei worden afgezet. De enige manier om dit te voorkomen is stroken dwars op de vallei te stabiliseren door bijvoorbeeld het plaatsen van rietpoten. Hier zal dan wel depositie in gaan optreden, waardoor de morfologie van de vallei zal gaan veranderen.

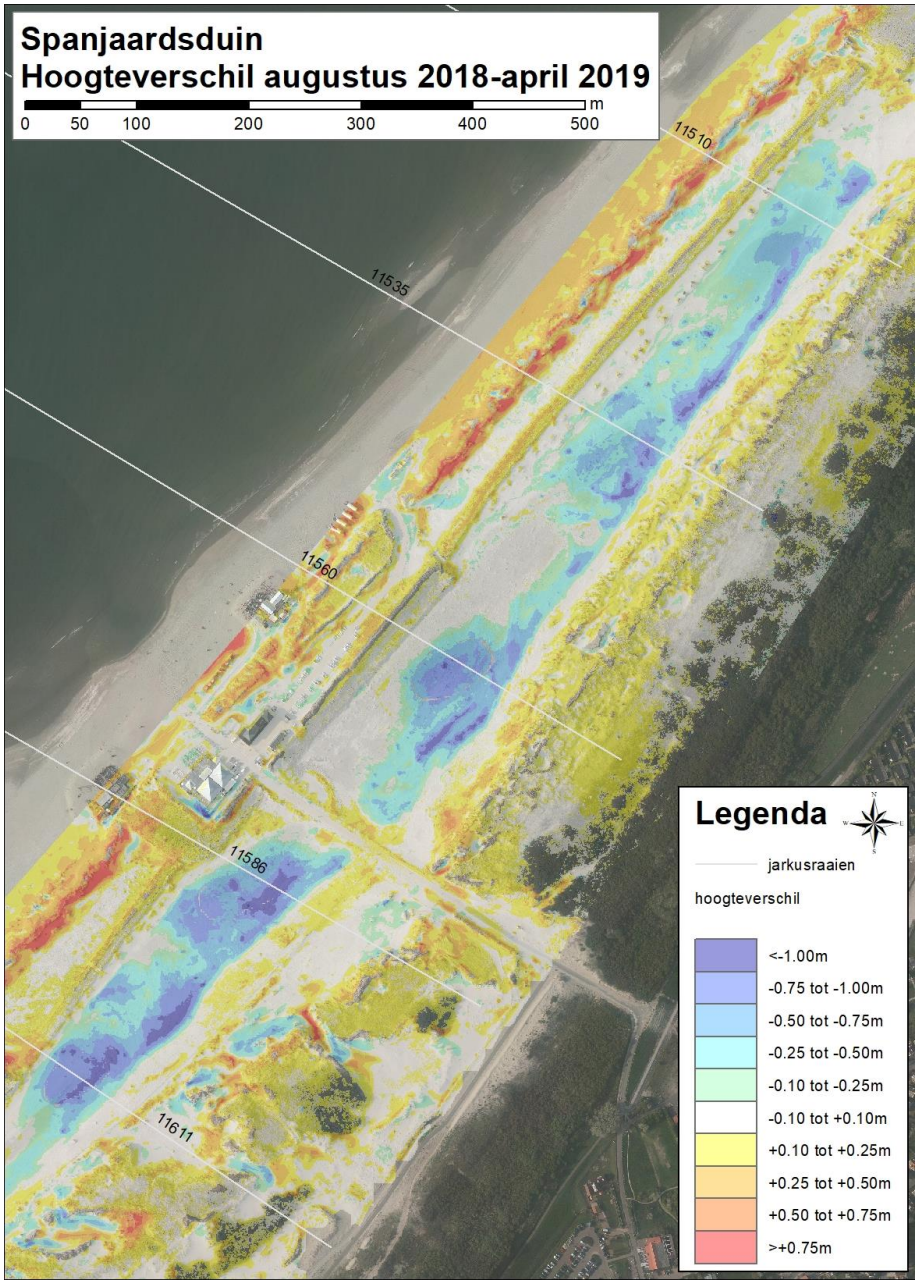
3.2.6 Seizoensverschillen

Figuur 3.10 t/m Figuur 3.13 geven de hoogteverschillen tussen de opeenvolgende opnames, orde halfjaar, weer. Figuur 3.10 en Figuur 3.11 zijn vergelijkbaar. Figuur 3.10 maakt gebruik van twee opeenvolgende metingen van shore (T4 en T5), terwijl Figuur 3.11 gebruik maakt van de najaarsopname van RWS en de meting van shore van april 2019 (T5). In beide kaarten zijn de grootste veranderingen in de vallei het gevolg van het afgraven begin 2019. Figuur 3.12 en Figuur 3.13 zijn in feite een opsplitsing in tijd van Figuur 3.6. Omdat in de opname van oktober 2019 er water in de vijf uitgegraven schotels staat, zijn er echter geen gegevens voor de ontwikkeling hiervan. De figuren geven wel meer detailinformatie over de erosie en depositie van de vlakken tussen de uitgegraven schotels en van basisduin en oude zeereep. Er is een duidelijk verschil in mate van dynamiek tussen Figuur 3.12 en Figuur 3.13. In het zomerseizoen, van april tot oktober, is de dynamiek van basisduin en oude zeereep veel kleiner dan in het winterseizoen, van oktober 2019 tot juni 2020. Overigens is de laatste periode ook langer, wat ook een verklaring voor grotere veranderingen kan zijn. Meest interessant is echter de ontwikkeling in de vallei. Van april tot oktober 2019 (Figuur 3.12) is er tussen de uitgegraven schotels duidelijk sprake van lichte erosie, met hoogteverschillen van 10-20cm. Om de eerste, vierde en vijfde schotel (gerekend vanaf het noorden) is nog net een randje depositie zichtbaar, ook met hoogteveranderingen van 10-20cm. Het is aannemelijk dat het grootste deel van het zand in het water is afgezet, en in deze gegevens dus niet tot uiting komt. Opvallend is verder dat het gespaarde stuk tussen de tweede en derde schotel geen tekenen van verhoging door overstuiving heeft. Van oktober 2019 tot juni 2020 (Figuur 3.13) is

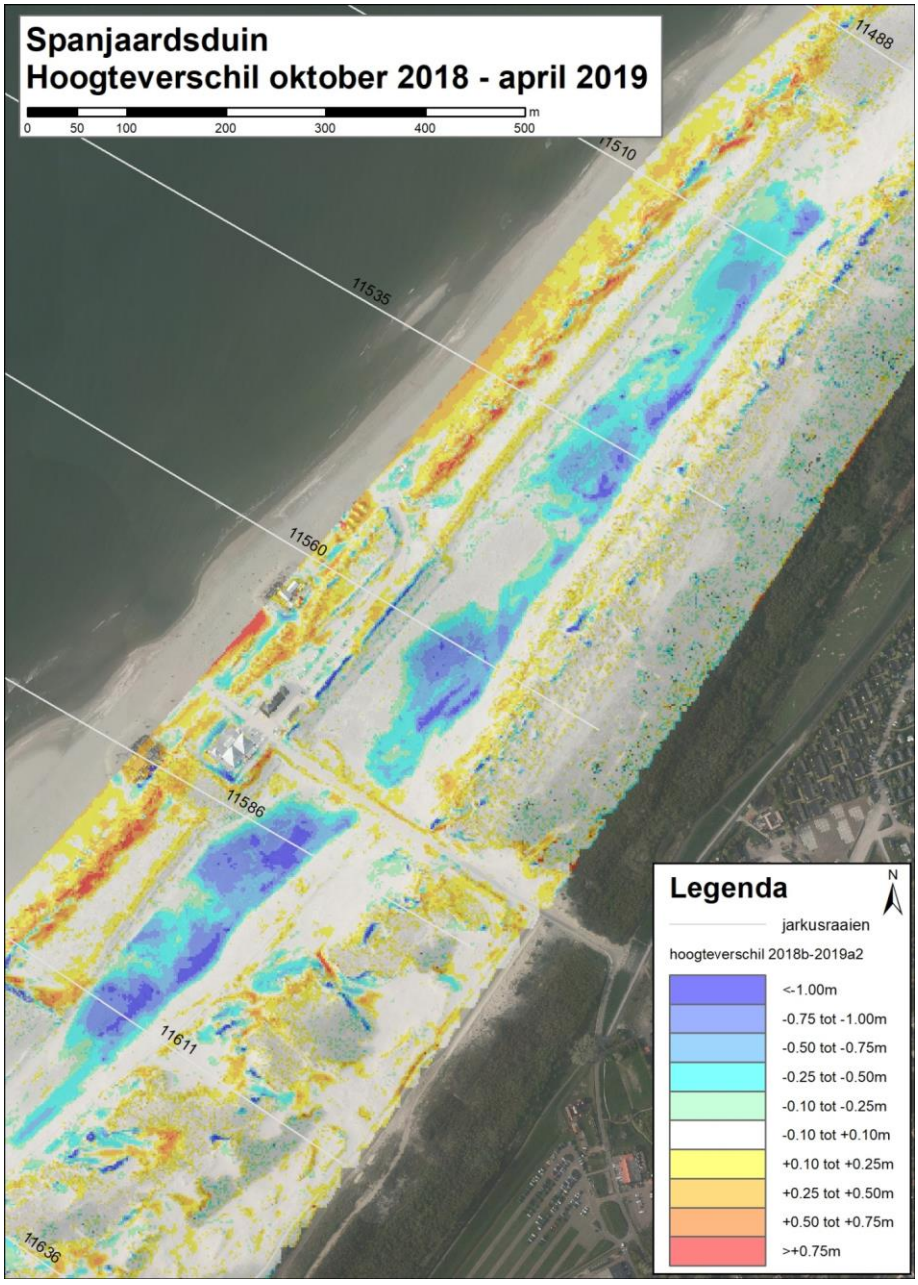
Commented [BA3]: Ook hier een keuze maken welke weg kan

er maar op enkele kleine plekken in de vallei erosie te zien, vooral tussen schotels 1 en 2 en 4 en 5. Rondom de schotels zijn enkele depositiezones, met een hoogteverandering van 5-10cm, het duidelijkst rondom de drie noordelijke schotels. In het gespaarde gebied tussen schotel 2 en 3 is nu wel enige opstuiving zichtbaar, met name in een strook aan de westkant, met een hoogteverandering van maximaal 16cm. Overigens is ook opvallend dat de hoogteveranderingen in de vallei klein zijn vergeleken met de hoogteveranderingen in de rest van het gebied. Figuur 3.6 liet de totale veranderingen in de vallei van april 2019 tot juni 2020 zien. Hieruit is wel af te leiden wat de mate van depositie is geweest in de schotels. In de volgende paragraaf wordt hier nog verder op in gegaan.

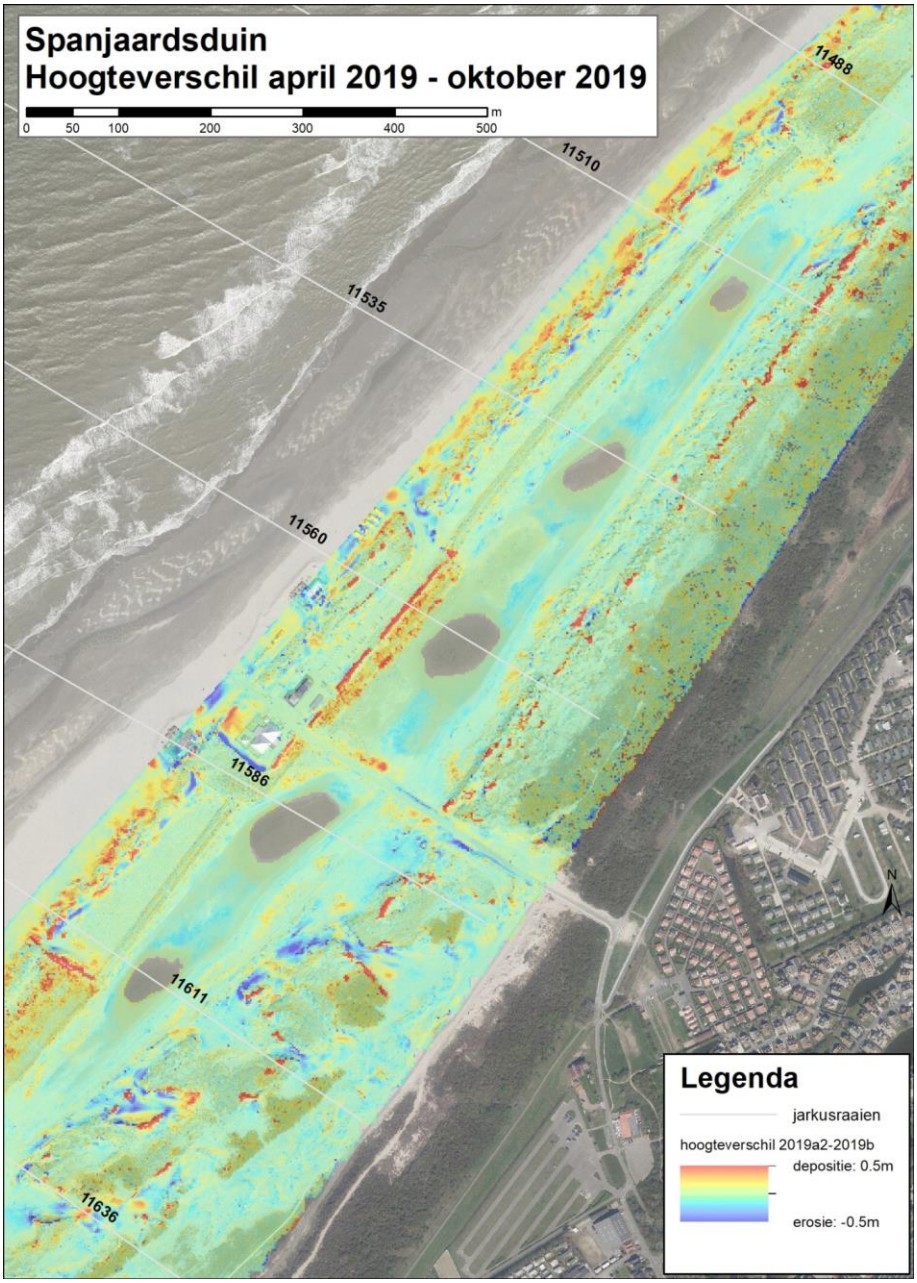
Ik vraag me af of deze detailkaarten zinnige informatie toevoegen. Mogelijk weglaten en misschien deze hele paragraaf over seizoensverschillen weglaten.



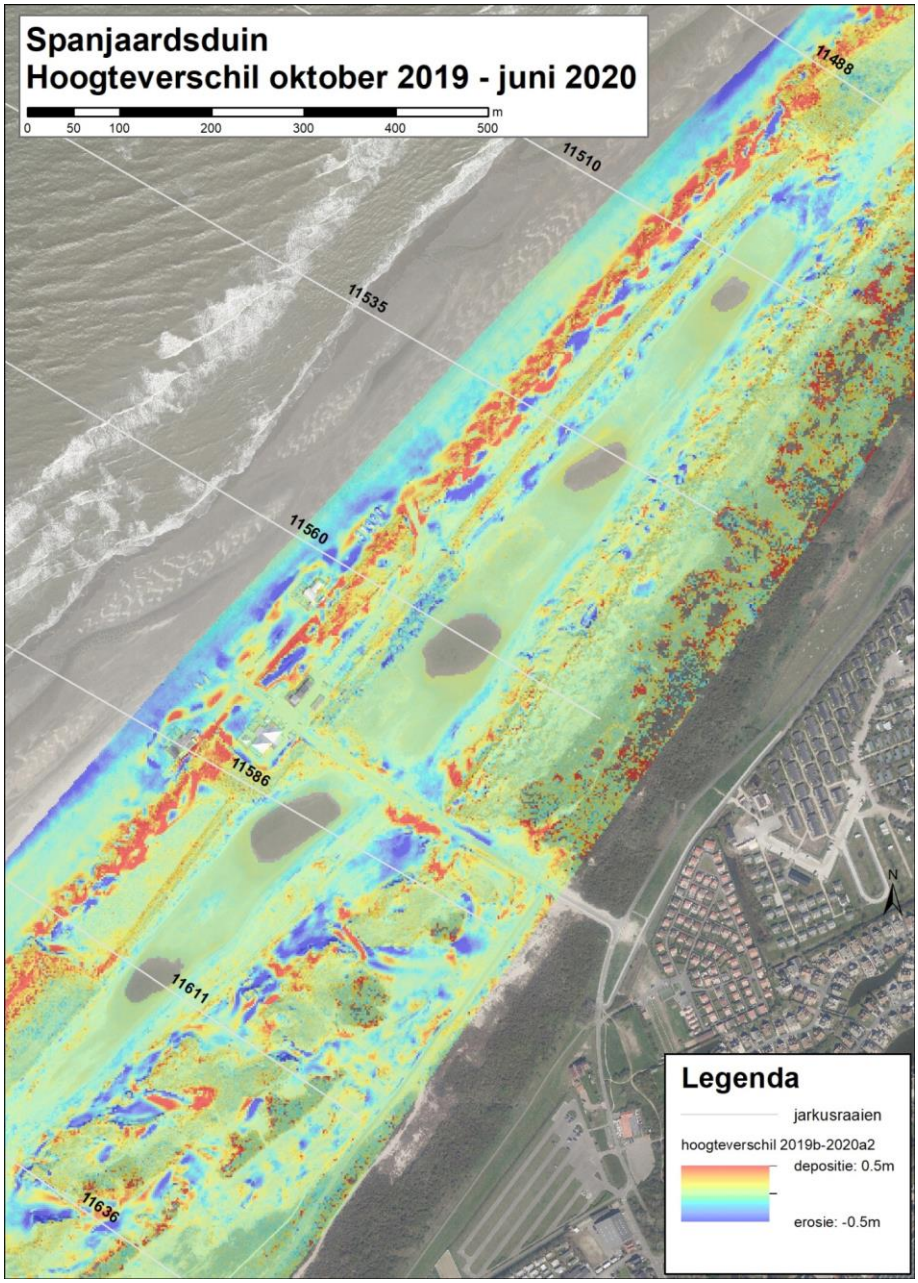
Figuur 3.10. Hoogteverschillen periode augustus 2018 (T4) tot april 2019 (T5). [Bron: Laseraltimetrie Shore]



Figuur 3.11. Detail hoogteverschillen oktober 2018b tot april 2019a2 (T5). [Bron: Laseraltimetrie RWS en Shore]



Figuur 3.12. Detail hoogteverschillen april 2019a2 (T5)-oktober 2019b. [Bron: Laseraltimetrie Shore en RWS]



Figuur 3.13. Detail hoogteverschillen oktober 2019b tot juni 2020a2 (T6). [Bron: Laseraltimetrie RWS en Shore]

De verschilkaart 2018-2019 laat een iets minder extreme aanstuiving zien dan in 2017-2018. Er is nu een drietal kerfjes zichtbaar aan de voorzijde, die behoorlijk erosief zijn. Achter de strandhuisjes bevindt zich direct tegen de zeereep aan een erosieve strook van 2-3m, met een verlaging van rond de 0.7m.

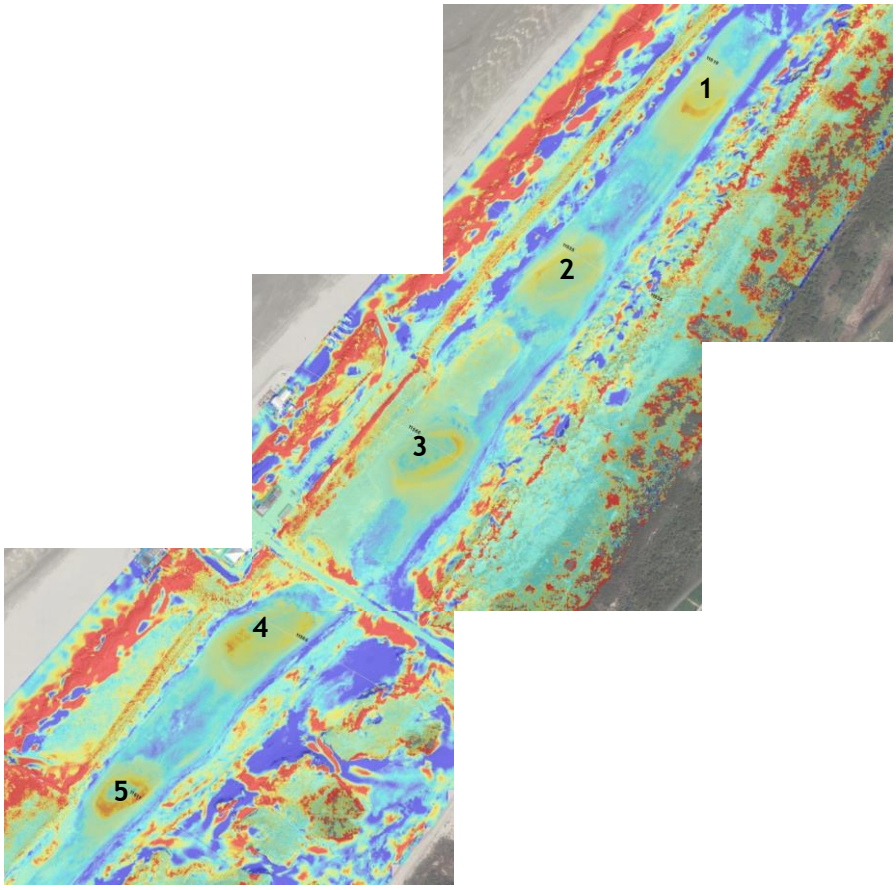
De vallei ligt voor het grootste deel boven 4m NAP en verandert weinig. In 2019 is aan de uiterste noordkant een deel afgegraven voor vernatting. Op andere plaatsen is soms lichte erosie te zien, mogelijk hangt dit samen met mechanisch verwijderde helm in 2017.

De oude zeereep vertoont een vergelijkbare dynamiek als bij het zuidelijk deel half beplant. In de verschilkaart 2018-2019 is meer accumulatie te zien dan in de verschilkaart 2017-2018.

Om de details van de ingreep beter zichtbaar te maken is nog een verschilkaart gemaakt met de hoogteverschillen tussen augustus 2018 en april 2019. Deze kaart is afgebeeld in Figuur 3.10. De negatieve hoogteverschillen in de vallei in Figuur 3.10 zijn het gevolg van de ingrepen, de overige verschillen zijn het gevolg van autonome processen.

3.3 Ontwikkeling vallei

Figuur 3.1 en Figuur 3.2 gaven voor de jaren 2018-2019 en 2019-2020 de ligging van de contourlijnen en de hoogte. Wat was de verandering van de hoogte in de vallei voor en na de ingrepen? Voor de veranderingen in de uitgediepte schotels zijn voor april 2019-juni 2020 is een detailkaart gemaakt. De ontwikkeling van de schotels is cruciaal voor het project, vandaar dat hier nog speciale aandacht aan wordt besteed. Figuur 3.6 gaf het hoogteverschil voor het gebied tussen april 2019 en juni 2020. Figuur 3.14 geeft meer detail met de focus op de vallei en de uitgediepte schotels. In Figuur 3.14 zijn de kleuren iets extremer gemaakt om de verschillen in de vallei duidelijker te maken.



Figuur 3.14. Detail van de hoogteveranderingen in de vallei tussen april 2019 en juni 2020 (T6-T5). De kleuren lopen van -0.3 tot +0.3m om de hoogteverschillen in de vallei te benadrukken. De verdiepte schotels zijn aangeduid met 1 t/m 5. [Bron: laseraltimetrie Shore]

De depositiezones rondom de uitgediepte schotels zijn goed zichtbaar. Bij schotel 1 (gerekend vanaf het noorden, zie figuur voor nummering) ligt er een duidelijke depositiezone aan de zuid- en de oostkant, met hoogteveranderingen van maximaal 23 cm. Op het breedste stuk, aan de zuidkant, is de breedte 11m. Aan de west- en noordkant is de depositiezone veel smaller, en is de hoogteverandering 5-10cm. Op de luchtfoto's van 2019 en 2020 is de omtrek van het water in de schotel vast te stellen. De omvang neemt af van 1340 naar 615 m^2, een halvering dus. De omtrek van het water is afhankelijk van de grondwaterstand, die is in juni 2020 laag door zeer droge periode vanaf maart. Bij schotel 1 komt het meeste zand uit zuidwesten, waar tussen schotel 1 en 2 de vallei geërodeerd is.

Bij schotel 2 is depositiezone wat diffuser, maximaal aan de noordwestkant met een breedte van circa 6m en een maximale hoogtetoename van 17cm. Het meeste zand komt hier uit de rand van vallei aan de westkant, waar het oppervlak erg erosief is (met een verlaging van -.5 tot 0.75m). Op

de luchtfoto van 2019 is niet goed te zien wat water is en wat niet. De geïnterpreteerde omvang neemt af van 3300 naar 2000 m^2.

In het gespaarde vlak zijn er enkele gebiedjes met een ophoging van +20cm, maar het grootste deel van het oppervlak heeft nauwelijks een verandering ondergaan.

Schotel 3 heeft de grootste depositiezone aan noordoostkant, 10m breed, met een hoogteverandering van maximaal 18 cm. Op de luchtfoto's van 2019 en 2020 is niet helemaal goed te zien wat de watergrens is. De omvang lijkt af te nemen van 3000 naar 1650m^2.

Schotel 4 heeft de grootste depositiezone aan de westkant met een breedte van 18m en een maximale depositie van 23cm. Ook aan de noordoostkant ligt een duidelijke depositiezone van 8m breed met een maximale depositie van 19cm. De omvang van het water in de schotel is afgenomen van 4000 naar 150 m^2, het lijkt grotendeels opgedroogd.

Bij schotel 5 is de waterpartij gekrompen van 1800 naar 560 m^2. De depositiezone ligt rondom, maar is het duidelijkst aan de zuidwest kant met een maximale depositie van 26cm en aan de oost- en noordoostkant met een maximale depositie van zelfs 35cm. De breedte varieert van 5m aan de noordwestkant tot 20m aan de zuidwestkant.

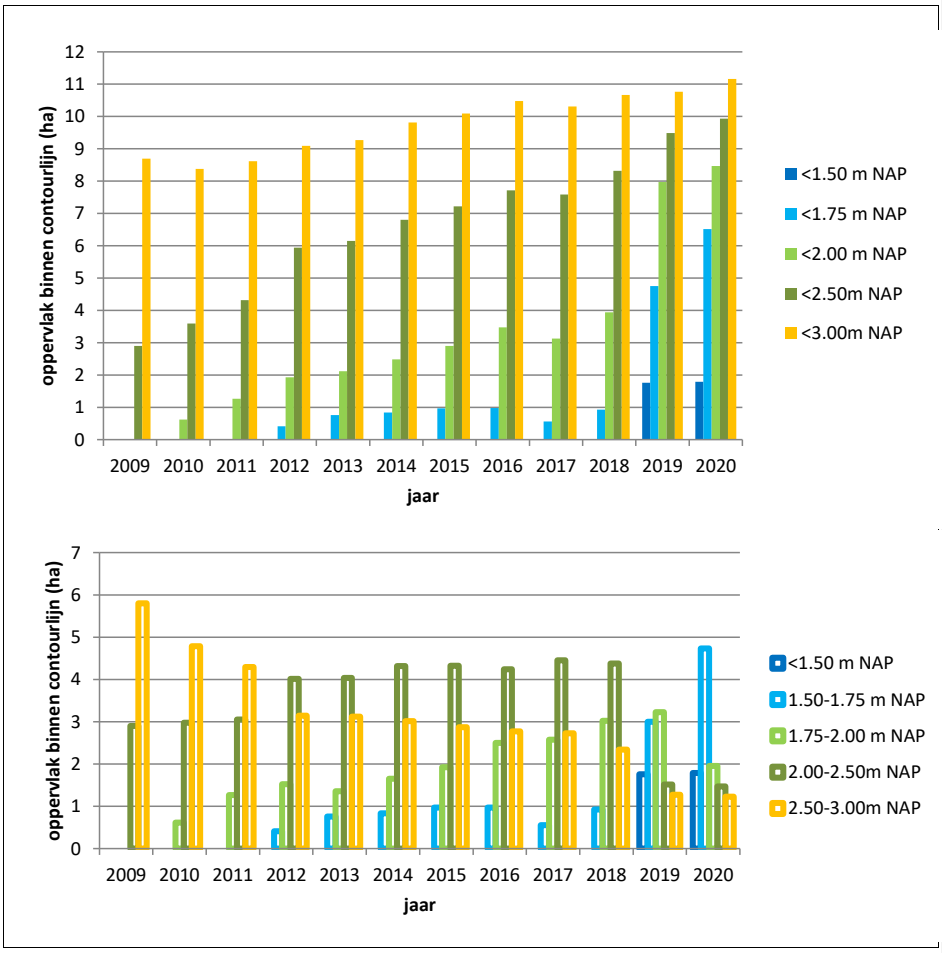
Het is duidelijk dat overal langs de randen van de schotels de omvang door depositie in water is afgenomen. Het is echter ook duidelijk dat er een behoorlijke variatie is in de ligging van de depositiezones. Gezien de richting van de meest actieve wind, zuidwesten, zou verwacht worden dat bij alle schotels de depositiezone vooral aan de zuidwest kant zou liggen, maar geldt alleen voor schotels 1 en 5 en in mindere mate 4. Ook de noordoostenwind is verantwoordelijk voor het ontstaan van depositiezones, het meest duidelijk bij schotels 3 en 5. Dit lijkt er op te wijzen dat de depositiezones bepaald worden door een lokale zandbron.

Voor de verschillende jaren zijn de oppervlaktes binnen de verschillende contourlijnen bepaald. Figuur 3.15 geeft de verandering in oppervlaktes tussen 2009 en 2020. Het bovenste deel van de figuur geeft de totale oppervlakte beneden de verschillende contourlijnen, het onderste deel geeft de oppervlaktes tussen twee opeenvolgende contourlijnen.

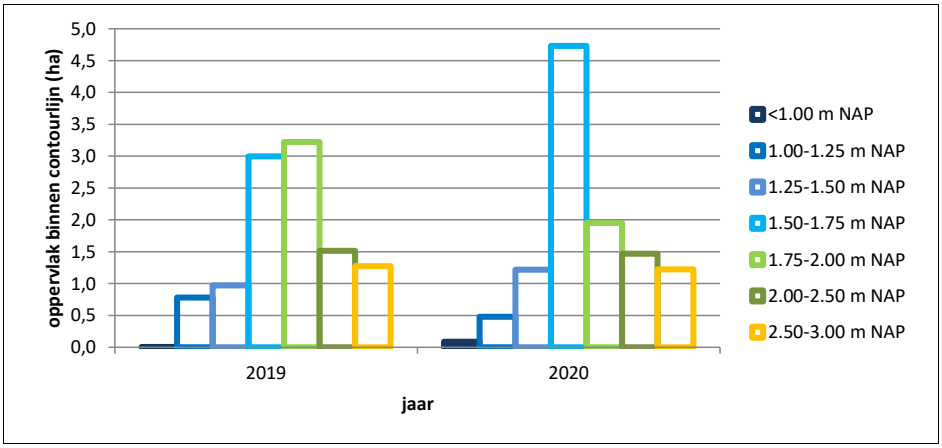
Tot en met 2016 bleek uit Figuur 3.15 een duidelijke trend van uitbreiding van het oppervlak voor alle contourlijnen, behalve de laagste van 1.75m NAP. Daarna zijn de veranderingen niet meer trendmatig. Van 2016 naar 2017 nemen alle oppervlaktes af en wordt het valleioppervlak beneden 3.0m NAP kleiner. Van 2017 naar 2018 nemen alle oppervlaktes weer toe en neemt dus niet alleen het oppervlak beneden 3.0m NAP toe, maar ook dat beneden 2.5, 2.0 en 1.75m NAP, het tot dan toe vochtigste deel. Van 2018 naar 2019 worden de veranderingen bepaald door de ingrepen en neemt het vochtige deel sterk toe, met voor het eerst ook een oppervlak beneden 1.5m NAP. Het oppervlak beneden 1.75m NAP neemt toe van 0.92 ha in 2018 naar 4.75 ha in 2019, na de ingreep. Van 2019 tot 2020 neemt het oppervlak verder toe naar 6.51ha. Het oppervlak beneden 1.50M NAP neemt door de verdieping toe van niets naar 1.76 ha in 2019, en blijft in 2020 vrijwel gelijk met 1.78ha.

Wanneer de oppervlakte per laag wordt berekend (onderste grafiek in Figuur 3.15) dan blijkt dat de verandering per laag verschilt. Het oppervlak dat ligt tussen de contourlijnen 1.75 en 2.0m NAP is van 2017 tot 2018 toegenomen, met 0.45 ha tot 3.02 ha. Ook in 2019 is het nog toegenomen tot 3.22 ha, maar daarna is er een afname met 1.27 tot 1.95 ha. Dit is vooral een gevolg van erosie van dit vlak, waardoor het oppervlak tussen 1.50 en 1.75m NAP sterk toeneemt met 1.73 ha tot 4.73 ha.

De vlakken tussen 2.0 en 2.5 en tussen 2.5 en 3.0m NAP nemen allen in oppervlakte af in 2019 als gevolg van de verdieping van de vallei. Dat de vallei nog steeds groeit blijkt uit het feit dat de totale oppervlakte onder 3.00m NAP is toegenomen van 10.76 ha in 2019 tot 11.16 ha in 2020.
Het hangt van de diepte van het grondwater en de ecologische criteria af wat dit betekent voor de potentiële habitattypen. Dit komt in Hoofdstuk 5 aan bod.



Figuur 3.15. Oppervlakte binnen contourlijnen in 2009 t/m 2019. In de bovenste grafiek is het totale oppervlak beneden een contourlijn weergegeven. In de onderste grafiek is het oppervlak tussen twee opeenvolgende contourlijnen weergegeven. (lichtblauw <1.50, blauw is 1.50 tot 2.00m NAP enz.).



Figuur 3.16. Oppervlakte binnen contourlijnen na de verdieping, 2019-2020.

Figuur 3.16 gaat nog iets verder in op de oppervlaktes van de verschillende laagtes. Na de ingreep zijn ook de 1.00, 1.25 en 1.50m NAP hoogtelijnen in de vallei bereikt. Het allerlaagste niveau, beneden 1.00m NAP is in 2020 iets toegenomen, met 0.09ha, wat op zich bijzonder is, want dit vlak kan, gezien de aanwezigheid van grondwater boven het oppervlak, niet uitstuiven. Mogelijk is dit het gevolg van een meetfout of interpolatie. De natte vlakken zijn met de hand met GPS ingemeten, niet met laseraltimetrie, omdat dit niet op watervlakken werkt. Het vlak tussen 1.00 en 1.25m NAP is afgenomen van 0.78 tot 0.48 ha als gevolg van instuiving in de randen van de watervlakken. Dit is op zich niet gunstig, omdat hiermee de natste delen door instuiving weer deels verdrogen. Wat wel gunstig is, is dat de vlakken tussen 1.25 en 1.50 en tussen 1.50 en 1.75 wel zijn gegroeid door erosie in de vallei.

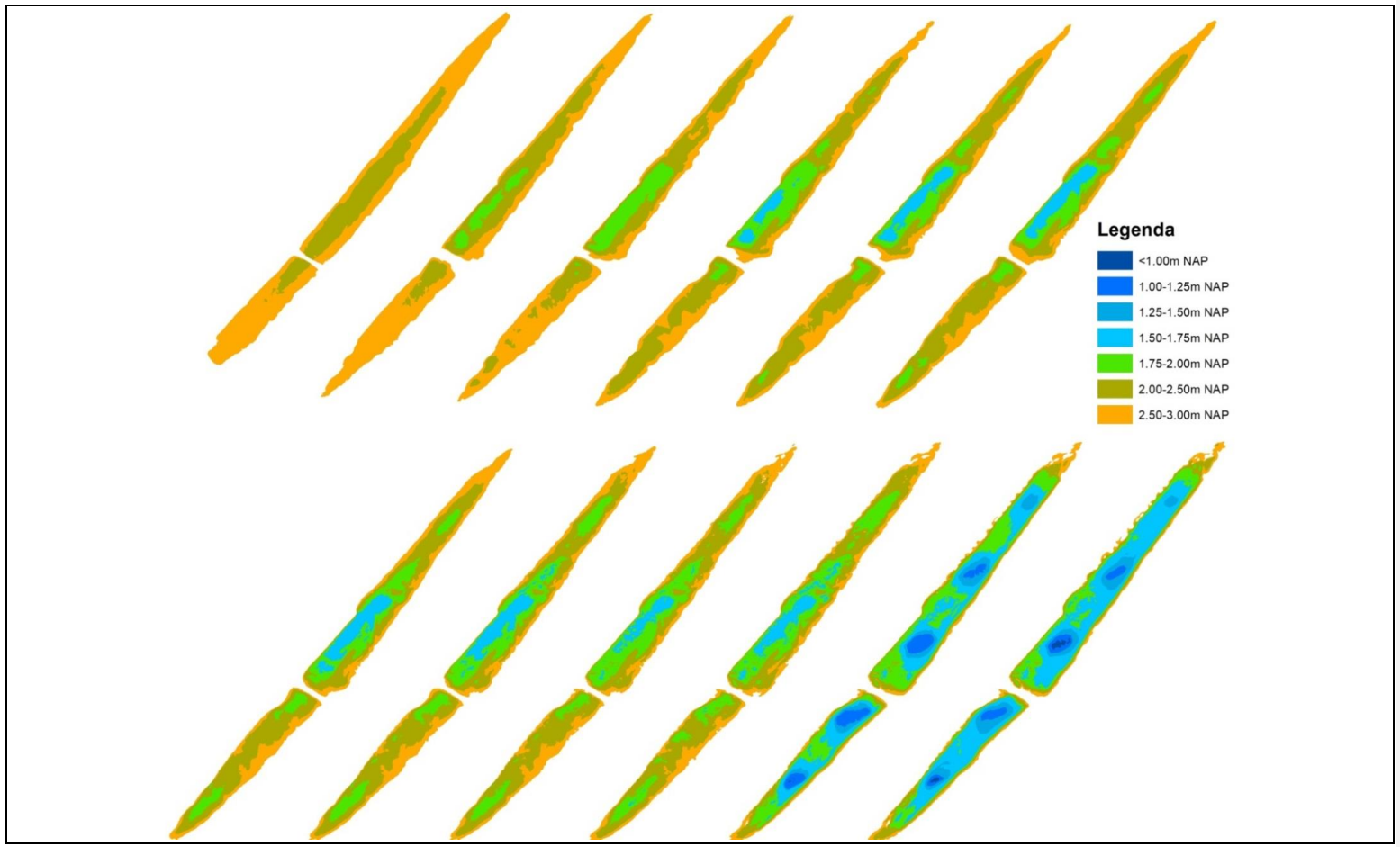
Commented [BA4]: methodisch

Hoewel we in de droge tijd, tussen maart en juni 2020, zagen dat het natte deel ophoogde door instuiving, is binnen de lagere delen toch meer sprake van erosie dan van depositie. Het oppervlak tussen 1.50 en 1.75m is sterk toegenomen, met 1.73ha, en dit is niet ten koste van het lagere deel, maar van het hogere, dus 1.75-2.00m NAP, wat1.72ha is afgenomen. Hier is dus een fors oppervlak geërodeerd. Het oppervlak beneden 1.50m NAP is nauwelijks veranderd, een toename van 0.02ha, maar er zijn hier wel degelijk verschuivingen. Bovendien is er per laagste vlak (de vijf uitgegraven schotels) wel een verschil zichtbaar, sommige zijn wel kleiner geworden (de meest noordelijke), de verschuivingen verschillen ook, niet allemaal dezelfde kant op, zodat er dus best wat variatie in de ontwikkeling zit. De vlakken tussen 2.00-2.50m NAP en 2.50-3.00m NAP zijn nauwelijks veranderd in oppervlakte, maar wel deels verschoven en dan ten koste van het oppervlak boven 3m NAP.

NB hoogtelijnen voor 2020 op basis van de gesmoothde DTM van Shore van juni 2020, en ook geresampled naar 0.5x0.5m^2 om vergelijkbare hoogtelijnen te krijgen. Zonder FS van het DTM was vooral de laagste hoogtelijn erg vaag, meer een brede band dan een lijn.

Commented [BA5]: methodisch

Figuur 3.17 geeft voor alle jaren weer hoe de verdieping van de vallei door uitstuiving en in 2019 door de kunstmatige verdieping, tot stand is gekomen. Aan de hand van de blauwe vlakken is mooi te volgen hoe de vallei langzaam maar zeker verdiept. Ondanks de beperkte grondwaterstijging en dankzij de uitstuiving is de grondwaterinvloed toch steeds dichter onder het oppervlak gekomen.



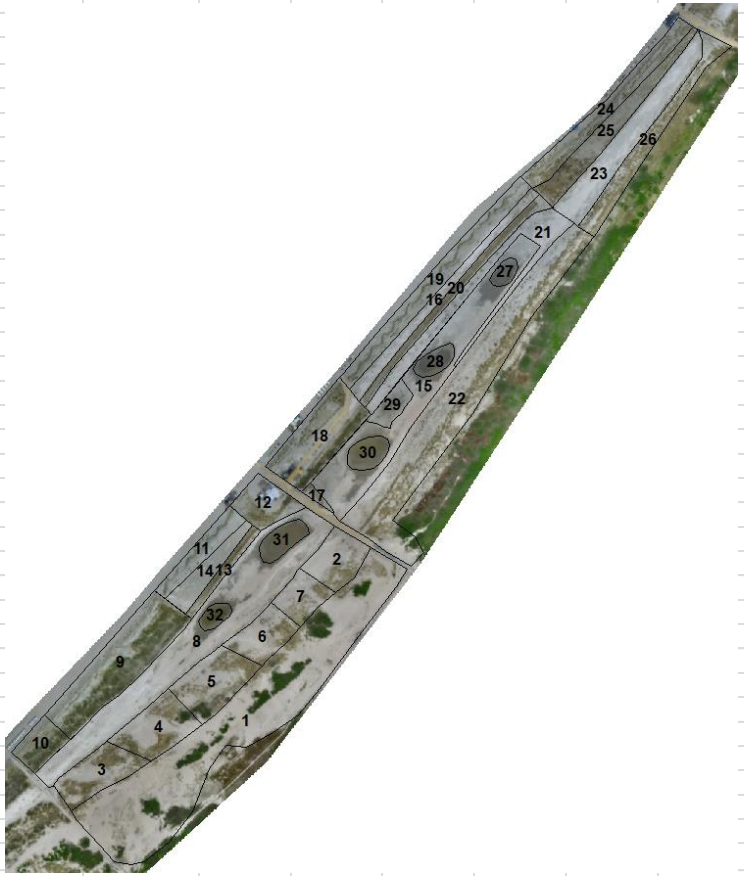
Figuur 3.17. Ontwikkeling van de hoogtevlakken binnen de vallei van 2009 (linksboven) tot 2020 (rechtsonder).

3.4 Kuberingen

Met de hoogtegegevens zijn volumeveranderingen berekend. Daarvoor is het gebied opgedeeld in min of meer homogene vlakken of landschapseenheden. De opdeling in vlakken is gegeven in **Error! Reference source not found.**. Per vlak is de gemiddelde hoogteverandering en volumeverandering berekend voor verschillende perioden. In Figuur 3.18 is dat voor de hoogteverschillen tussen T5 en T6 (de metingen van Shore van april 2019 en juni 2020) en voor de verschillen tussen de RWS gegevens van februari 2019 en de Shore meting van juni 2020. Beide zijn bepaald, omdat er enig verschil zit tussen de RWS meting van 2019 en de Shore meting van 2019, dat het gevolg lijkt van een meetfout. Voor de gegraven watervlakken (vlakken 27, 28, 30, 31 en 32) zijn de waarden voor de RWS-meting van 2019 niet juist, omdat de laseraltimetrie voor wateroppervlakken geen waarde geeft. De gemiddelde hoogteveranderingen per vlak zijn gegeven in Figuur 3.18. De bijbehorende volumeveranderingen zijn gegeven in Tabel 3.2 en Tabel 3.1. Dat het systeem niet gesloten is, blijkt onmiddellijk uit de totale volumeverandering die sterk positief is. Berekend per meter kustlijn betekent dit voor T6-T5 (+13362 m^3) een volumetoename van 6.1 m^3/m en voor T6-2019a (+25274 m^3) een volumetoename van 11.6m^3/m. Het verschil kan het gevolg zijn van de langere periode tussen 2019a (opgenomen in februari) en juni 2020, maar er kan ook een meetfout spelen. De verlaging in de vallei (vlakken 8, 15, 21 en 23) bedraagt voor beide metingen 7-9 cm gemiddeld, voor vlak 21 (de rand van de vallei aan de noordkant) echter wel 20 cm. Totaal is er uit de vier vlakken samen 14.000 m^3 verdwenen. De watervlakken hebben netto zand ingevangen, van noord naar zuid respectievelijk 136, 57, 12, 117 en 147 m^3. Totaal is dit 470m^3, een fractie van wat er uit de vallei is gestoven. Netto vormt de vallei dus een bron van sediment. Een deel van het zand wat uit de vallei stuift wordt ingevangen in de oude zeereep (vlakken 22 en 26, circa 3400m^3), maar het lijkt er toch op dat een belangrijk deel het gebied uit stuift. Een andere mogelijkheid is dat een deel tegen de zeereep op stuift en daar wordt afgezet, hoewel dit niet uit de depositiepatronen blijkt.

Tabel 3.1. Volumeveranderingen per vlak. De veranderingen voor 2009-2014 e n 2014-2019 worden in H4 besproken.

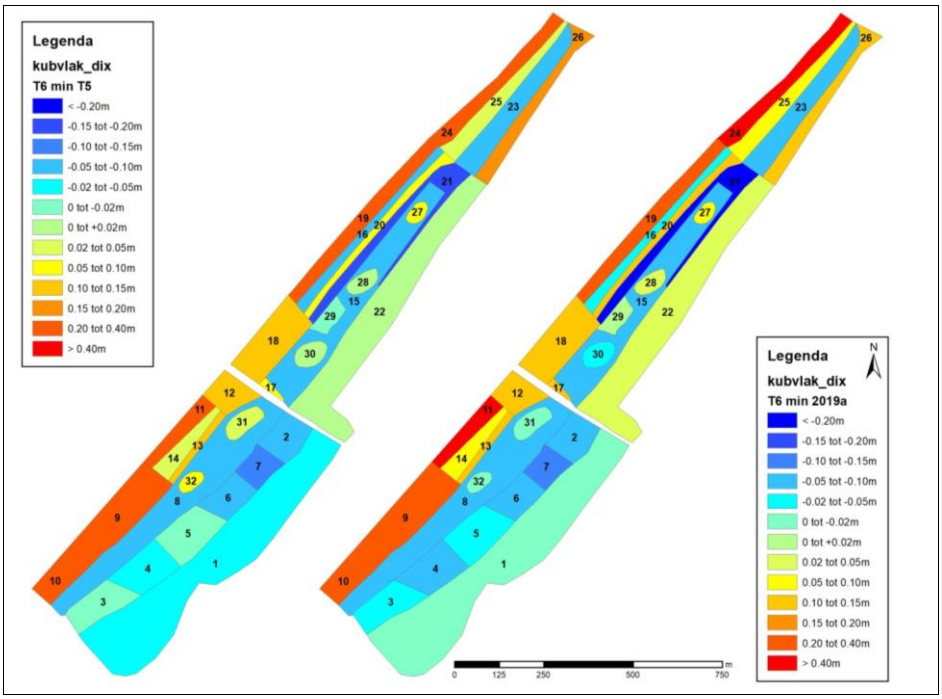
		volumeverandering in m^3			
vlak	oppervlakte	2019a-2020a2	2019a2-2020a2	2009a-2014a	2014a-2019a2
	m^2	m^3	m^3	m^3	m^3
1	106632	-1710	-5110	-107	13374
2	11868	-961	-906	3677	-2764
3	14524	-308	-136	47	-7308
4	15972	-816	-671	-582	-7640
5	17476	-351	-252	1826	-4709
6	11212	-627	-629	1551	-1238
7	8784	-926	-974	984	-1222
8	58828	-4560	-4548	-17626	-12640
15	40560	-3537	-3732	-14017	-20601
21	20240	-4284	-3768	3100	-5260
23	25100	-1661	-2310	345	-40
9	34656	11914	9097	50658	44035
10	7980	2164	1663	10107	8328
11	9692	4124	3002	4059	23061
12	9908	1155	988	11797	6678
13	4616	674	473	1529	5853
14	9092	531	220	-1341	2636
16	12668	-605	-705	-6241	-694
18	23848	2432	2816	20823	12798
19	21944	8136	6915	2919	42209
20	11464	1510	1054	-252	13724
24	17972	7279	6226	32448	32539
25	16700	1545	679	14000	9308
17	1348	178	103	192	-325
29	4932	28	-57	-2338	164
22	69360	1877	813	55753	18832
26	16164	2074	2642	11900	9473
27	2468		136	-950	-2233
28	3944		57	-1665	-2821
30	4680		12	-2844	-3260
31	5324		117	-2099	-5075
32	2720		147	-1618	-2837
totaal m^3		25274	13362	176033	162345
m3/m.jaar		11.8	6.2	16.4	15.1



Het zeereepbudget is fors positief. Voor het basisduin is per segment een berekening van de volumeverandering gemaakt. Tabel 3.2 geeft een overzicht van de resultaten. Er zijn duidelijke verschillen tussen de segmenten, met de grootste volumetoenames ten zuiden van Slag Vlugtenburg, met een maximum in vlak 9. De invang in het recreatie-eiland, zowel ten noorden als ten zuiden van Slag Vlugtenburg, is aanmerkelijk lager dan in de rest van de zeereep, wat er op wijst dat dit inderdaad een bron is voor verstuiving landwaarts. Als beide delen op vergelijkbare wijze begroeid zouden zijn als de rest van het basisduin, zou de aanstuiving hier ook vergelijkbare waarden hebben.

Tabel 3.2. Volumeverandering zeereep per segment. De veranderingen voor 2009-2014 en 2014-2019 worden in H4 besproken.

	vlakken	lengte m	2019a-2020a2 m^3/m,jaar	2019a2-2020a m^3/m,jaar	2009a-2014a m^3/m,jaar	2014a-2019a2 m^3/m,jaar
basisduin zuid – strandhuisjes	10	109	19.9	15.3	18.5	15.3
basisduin zuid	9	366	32.6	24.9	27.7	24.1
basisduin zuid voorheen onbeplant	11+13+14	248	21.5	14.9	3.4	25.4
recreatie-eiland zuid	12	96	12.0	10.3	24.6	13.9
recreatie-eiland noord	18	246	9.9	11.4	16.9	10.4
basisduin noord voorheen onbeplant	16+19+20	592	15.3	12.3	-1.2	18.7
basisduin noord	24+25	494	17.9	14.0	18.8	16.9



Figuur 3.18. Gemiddelde hoogteveranderingen tussen 2019 en 2020 voor de kuberingsvlakken. Links op basis van de data van Shore (2020a2-2019a2, T6-T5), rechts op basis van de data van Shore en RWS (2020a2-2019a, T6-2019a).

De oude zeereep ten zuiden van Slag Vlugtenburg is netto erosief. Hoewel hiervandaan zand de vallei in kan stuiven, is het waarschijnlijker dat het landwaarts uit het systeem verdwijnt. Het aangrenzende fietspad aan de oostzijde moet regelmatig geveegd worden. Het is niet goed mogelijk het landwaartse verlies te berekenen. Uit de stuifketels verdwijnt nu een vergelijkbare hoeveelheid als dat er in de oude zeereep ten noorden van Slag Vlugtenburg wordt ingevangen. In de zone landwaarts van de stuifketels verdwijnt ook nog eens een flinke hoeveelheid zand. Hier valt het verschil tussen de Shore meting van 2019 en de RWS-meting op. Volgens de Shore meting zou het verschil meer dan 5000 m^3 bedragen, volgens de RWS meting slechts 1700 m^3. Ongeacht of er nou zand vanuit de stuifketels de vallei instuift, is het duidelijk dat er vanuit dit deel in ieder geval zand het gebied uit stuift. In het zeereepsysteem komt in totaal 32.000 tot 40.000 m^3 binnen, uit de rest (dus volledige vallei, oude zeereep, stuifketels en achterliggende zone van Dixhoorndriehoek) verdwijnt er tussen voorjaar 2019 en voorjaar 2020 15.000 tot 19.000 m^3. Netto is het budget van het gebied positief, want de hoeveelheid die binnenkomt is ruim twee keer zo groot. Berekend voor alle vlakken ten noorden van Slag Vlugtenburg samen geeft T6-T5 een volume toename van bijna 11000m^3 (8.2 m^3/m.jaar), voor alle vlakken ten zuiden van Slag Vlugtenburg is dat bijna 2500m^3 (1.9 m^3/m.jaar), een groot verschil dus tussen noord en zuid. Ter vergelijking: in de zeereep wordt ten zuiden van Slag Vlugtenburg in totaal 15400 m^3 ingevangen (18.7 m^3/m.jaar), ten noorden in totaal 17000 m^3 (12.7 m^3/m.jaar). De input is ten zuiden van Slag Vlugtenburg groter, maar de output is ook groter, zodat het nettoverschil tussen input en output ten zuiden kleiner is dan ten noorden van Slag Vlugtenburg.

3.5 Overige waarnemingen

Overige waarnemingen zijn gebaseerd op de veldverslagen van Deltares (Van der Valk & Van der Meulen, 2018; Van der Valk & Van der Meulen, 2019; Van der Meulen & Van der Valk, 2019). In augustus 2018 bleek de ingeplante Helm in het zuidelijk deel goed aangeslagen, ondanks de droogte (Van der Valk & Van der Meulen, 2018). Aan de noordkant had maar een deel van de aanplant het overleefd. Ondanks de droogte bleek de grondwaterspiegel nog redelijk dicht onder het oppervlak te liggen. Van Slag Vlugtenburg noordwaarts werd grondwater aangetroffen op respectievelijk 85, 55 en 30cm onder maaiveld. In het noordelijk deel van de vallei bleek Bleekgelde-droogbloem zich enorm te hebben uitgebreid. Honderden exemplaren waren zichtbaar. Ook talloze individuen van Krielparnassia werden gevonden, evenals Greppelrus, allen pioniersoorten van voedselarme, vochtige duinvalleien. Ondanks de droogte zien de kiemplantjes er vitaal uit, wat er op wijst dat door capillaire opstijging van het nabije grondwater voldoende vocht beschikbaar is. Dit deel zal niet verlaagd worden.

Veldbezoeken in 2019 vonden plaats in het kader van begeleiding van de verlaging van de vallei (Van der Valk & Van der Meulen, 2019 en Van der Meulen & Van der Valk, 2019).

In januari 2019 stond het grondwater 60m ten noorden van Slag Vlugtenburg op 30cm onder het maaiveld. In het deel waar vanwege de al aanwezige vegetatie niet gegraven zou worden, stond het grondwater op 18cm onder het maaiveld. Op 15 februari waren de werkzaamheden in de vallei afgerond. Sporen waren nog wel zichtbaar, o.a. een tegen het paddenscherm aangewaaide strook zand. Afgegraven zand is op het strand afgezet. In februari is hier al niets meer van te zien. Aan de loefzijde van de gegraven plasjes is zand ingewaaid, over een breedte van ca 10m. Op 5 maart zijn de meeste sporen van het graven al vervaagd.

Het deel van de vallei waar alle natte duinvallei soorten zijn opgekomen en waar niet is afgegraven is in de winter van 2018-2019 door vrijwilligers ontdaan van Duindoorn. De Duindoorn is hier getrokken (pers. commun. Bert van der Valk).

~~In de memo over veldbezoeken in voorjaar 2019 (Van der Valk & Van der Meulen, 2019) zijn veel foto's opgenomen met een illustratie van processen rondom de gegraven plasjes. Deze zijn zeer illustratief.~~

Overige waarnemingen zijn gebaseerd op veldverslagen van Deltares van 6 juli en 3 augustus 2020 (Van der Valk & Van der Meulen, 2020aen 2020b).

Maart veel water

In juni 2020 is langs een aantal plasjes de sedimentatiedikte bepaald (van der Valk & van der Meulen, 2020a). In plasje 2 (gerekend vanaf het noorden) is een maximale dikte van 15cm gemeten. Langs de randen is de sedimentatie groter dan in het centrum van de plas. Op het niet afgegraven deel is een lichte overstuiving waargenomen. Er is een sedimentatie van 10-30cm gemeten. Het zand lijkt vooral met noordenwind te zijn aangewaaid, wat klopt met de overheersende wind de laatste weken (mei-juni 2020).

Bij het veldbezoek van 3 augustus is de vallei ten noorden van Slag Vlugtenburg bezocht. In het niet afgegraven deel van de vallei lijkt zich een overgang naar Grijs duin te voltrekken, door de lichte instuiving. Er is sprake van veel ontkiemende duindoorn. De pioniervegetatie rondom plas 3 (gerekend vanaf het noorden) is een stuk dichter dan vorige jaar. Rondom dit plasje houden zich vaak meeuwen op, die lokaal voor eutrofiering kunnen zorgen. Plasje 2 vertoont veel minder pioniervegetatie. Dit plasje voert over het algemeen ook minder vaak water. De indruk bestaat dat bij de plasjes waar vogels zich ophouden eerder vestiging van nieuwe planten optreedt dan waar geen vogels zitten. Plasje 1 aan de uiterste noordkant is het vaakst droog. Langs de rand heeft zich Helm gevestigd. De flanken aan weeszijden van de vallei zijn flink erosief. Er is enige zorg dat hierdoor de dynamiek niet uitdooft waardoor er ook geen Grijs duinontwikkeling op gang kan komen. Stabilisatie is daarom nodig. Kiemplantjes van duindoorn moeten overal uitgetrokken worden. Deze gehele alinea is ontleend aan van der Valk & van der Meulen, 2020b.

Commented [BA6]: er is mogelijk nog een veldverslag van maart van Deltares, maar ik heb het niet en het staat niet in box

4 EVALUATIE ONTWIKKELING 2009-2019/2020

In 2019 is het Spanjaardsduin tien jaar in ontwikkeling, reden om terug te blikken op de verschillende stadia in de ontwikkeling, de verwachtingen destijds en de lessen die we inmiddels geleerd hebben. In dit hoofdstuk ligt de nadruk op de geomorfologische ontwikkeling. Eerst wordt een beeld gegeven van de grote lijnen. Daarna zal in meer detail worden ingegaan op de verschillende onderdelen: vallei, basisduin, oude zeereep en strandhuisjes.

4.1 De morfologische ontwikkeling van het Spanjaardsduin in grote lijnen

Tabel 4.1 geeft een overzicht van belangrijke gebeurtenissen en ontwikkelingen in het Spanjaardsduin. Aanvankelijk was de verwachting dat het grondwater in de vallei tot 2.45m NAP zou stijgen en dat de vallei op zou stuiven om hier een natuurlijk gelaagde bodem te realiseren, vóór de vernatting door grondwaterstijging in zou treden. De aanvankelijk verwachte stijging van het grondwater is echter uitgebleven. Ook de instuiving van de vallei is (waarschijnlijk mede door de drogere omstandigheden) anders verlopen. Het basisduin en strand moesten het hiervoor benodigde zand leveren. Via en vanaf het onbeplante basisduin is inderdaad veel zand de vallei ingestoven. Een deel van het zand werd afgezet direct achter het onbeplante basisduin, waardoor de vallei hier smaller werd. Het beplante basisduin heeft weinig of geen zand geleverd. De vallei is in de loop der jaren juist uitgediept, waardoor lokaal het grondwater toch nog binnen bereik kwam. Het oppervlak beneden 2m NAP werd steeds groter, de invloed van het grondwater bleef echter te klein. Het onbeplante basisduin werd te laag, waardoor het risico ontstond dat de zee de vallei zou overspoelen. Daarom is dit in 2013 deels beplant, waarna het voorheen onbeplante basisduin flink in hoogte is toegenomen. Rond 2015 werd duidelijk dat de verwachte grondwaterstand van 2.45m NAP niet realistisch was, en dat er ingegrepen zou moeten worden om voldoende vochtige condities binnen de vallei te realiseren. In maart 2019 is deze ingreep uitgevoerd.

Figuur 4.2 geeft aan de hand van zes Jarkus-transecten een globaal beeld van de ontwikkeling van de vallei. Voor de ligging van de transecten zie Figuur 4.1. De jaartallen zijn als volgt gekozen: 2008 is het laatste jaar voor aanleg, 2009 is het jaar van aanleg, in 2013 is het voorheen onbeplante basisduin beplant, wat tot een aanzienlijke verandering in de ontwikkeling heeft geleid. 2018 is het laatste jaar voor de verdieping en 2019 is het jaar waarin de verdieping heeft plaatsgevonden.

Transect 115.100: noordkant vallei, voorheen onbeplant basisduin, vallei verdiept, maar hier niet maximaal (net ten noorden van schotel 1). In 2013 is het basisduin verlaagd tot 4.4m NAP. De vallei is dan aanmerkelijk smaller geworden, maar verbreedt weer in de jaren daarna. In 2018 is de vallei uitgestoven tot 2.0m NAP. Het basisduin is in 2019 alweer 9.7m hoog. De top van de oude zeereep is ook verhoogd met meer dan 2m en aan de voorzijde verbreed met meer dan 10m. Het strand is aanzienlijk geërodeerd ten opzichte van 2009.

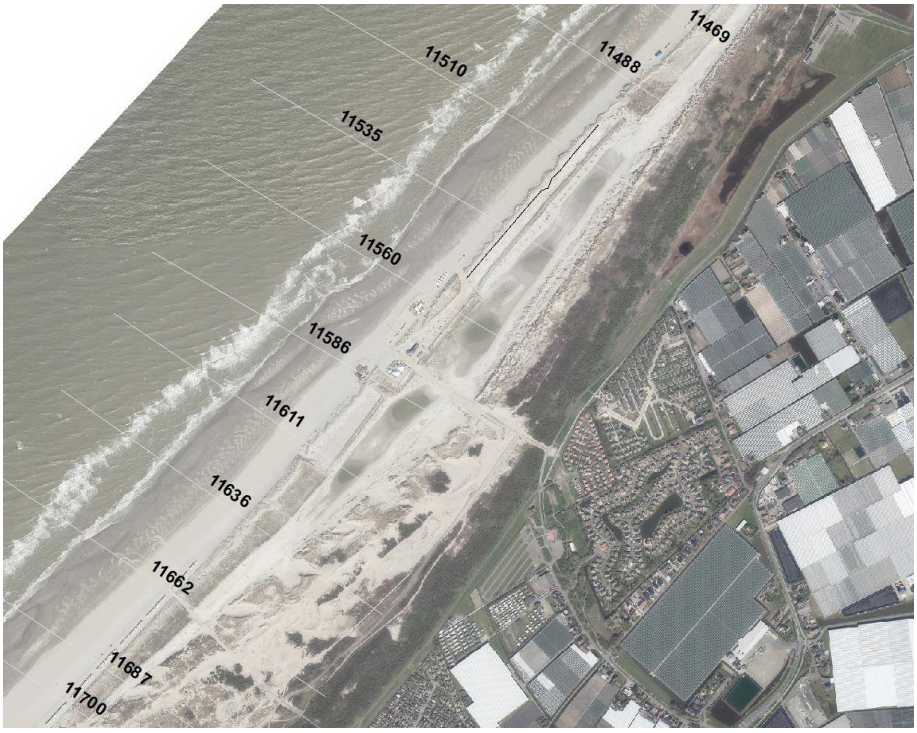
Transect 115.600: middendeel vallei net ten noorden van Slag Vlugtenburg, beplant basisduin, vallei maximaal verdiept (schotel 3). Het basisduin is gestaag verhoogd tot bijna 10m NAP. De vallei is in 2013 uitgestoven tot iets boven 1.5m NAP, daarna nauwelijks meer. De oude zeereep is verhoogd met ruim 2m en verbreed aan de voorzijde met 10m. Het grootste deel van de vallei ligt onder het niveau van 2008, en zou hier dus oorspronkelijke sediment moeten bevatten.

Transect 115.860: middendeel vallei net ten zuiden van slag Vlugtenburg, beplant basisduin, vallei maximaal verdiept (schotel 4). Het basisduin is gestaag verhoogd tot bijna 11m NAP. De vallei is in 2013 uitgestoven tot net onder 2.0m NAP, daarna nog iets verder tot 1.6m NAP in 2018. De oude zeereep is verhoogd met ruim 2m maar is aan de voorzijde vanaf circa 2014 sterk erosief. Dit heeft

te maken met de dynamiseringsingrepen in het kader van een herinrichting van de van Dixhoorndriehoek. De vallei is met de verdieping tot onder het niveau van 2008 gedaald, en zou hier dus oorspronkelijk sediment moeten bevatten.

Tabel 4.1. Overzicht van enkele belangrijke gebeurtenissen in de ontwikkeling van het Spanjaardsduin

2009	aanleg van het Spanjaardsduin; verwachte grondwaterstand is 2.45m NAP; dynamiek oude zeereep blijft gelijk in de jaren na aanleg; eerste vestiging van duintjes in Zeeraket
2010	achter het onbeplante basisduin stuift de vallei in en wordt deze smaller; de vrees bestaat nog dat de vallei te ver uitstuift en daarom te nat zal worden; te veel uitstuiving wordt nog als een risico gezien voor te natte omstandigheden
2012	aanplant op beplant basisduin wordt duidelijk zichtbaar; onbeplant basisduin verlaagd door erosie; beginnende vestiging van helm in de vallei; dynamiseringsingrepen ten zuiden van slag Vlugtenburg
2013	niet beplant basisduin met stroken helm ingeplant om verdere verlaging tegen te gaan, de meest zeewaartse strook wordt golvend ingeplant, de meest landwaartse als een rechte strook, met tussenliggend een kale zone; suppletie tussen 114-118 (vooroeversuppleties, 1.5 Mm^3); Stormen 28 oktober en sinterklaasstorm 5-6 dec 2013 met een beetje afslag en bijna instroming in de vallei
2014	aanvullende dynamiseringsingrepen ten zuiden van Vlugtenburg (aanleg duintjes); verdroging van vallei door instuiven en verhoging in gevestigde Helm; effect van strandhuisjes op de morfologie van het achterliggende basisduin wordt duidelijk;
2015	Duindoorn op basisduin wordt zichtbaar op luchtfoto; het wordt duidelijk dat de verwachte grondwaterstand van 2.45m NAP niet gehaald gaat worden; verdere uitstuiving van de vallei is nu een kans om dichter bij het grondwater te komen
2016	grootschalige dynamiseringsingrepen ten zuiden van Vlugtenburg. Duindoorn op basisduin wordt zichtbaar op luchtfoto; forse instuiving van de vallei via Slag Vlugtenburg;
2017	veel vestiging van vegetatie in de vallei wordt zichtbaar op de luchtfoto; verwijderen van Helmopslag uit de vallei; rietpoten experiment noordkant vallei wordt zichtbaar; aanplant van uit de vallei verwijderde helm op tussenzone tussen eerste en tweede helmstrook zuidelijk voorheen onbeplant basisduin; aanplant van een strook direct ten noorden van Slag Vlugtenburg om instuiving in de vallei via de slag te voorkomen; voorzijde basisduin wordt steeds natuurlijker door aanstuiving en kwalificeert mogelijk al als H2120 (Witte duinen)
2018	verwijderen van Duindoorn van het basisduin (onvolledig); beslissing voor verlagen vallei omdat beoogde H2190 anders niet realiseerbaar is i.v.m. te droge condities
2019	uitgraven vallei in vijf schotelvormige laagtes, waarbij diepste delen permanent onder water staan
2020	instuiven van de laagste delen

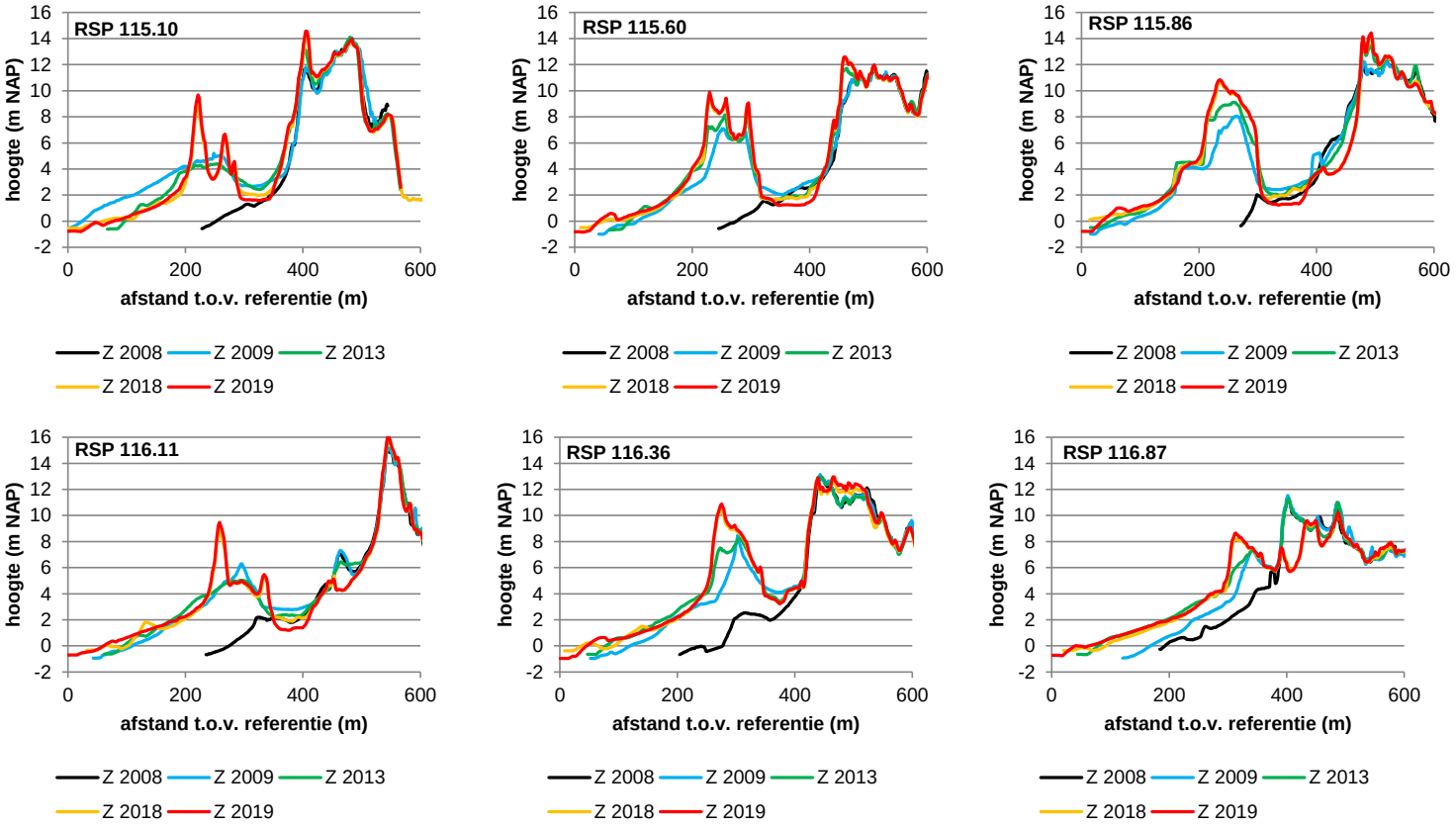


Figuur 4.1. Overzicht ligging besproken Jarkustransecten.

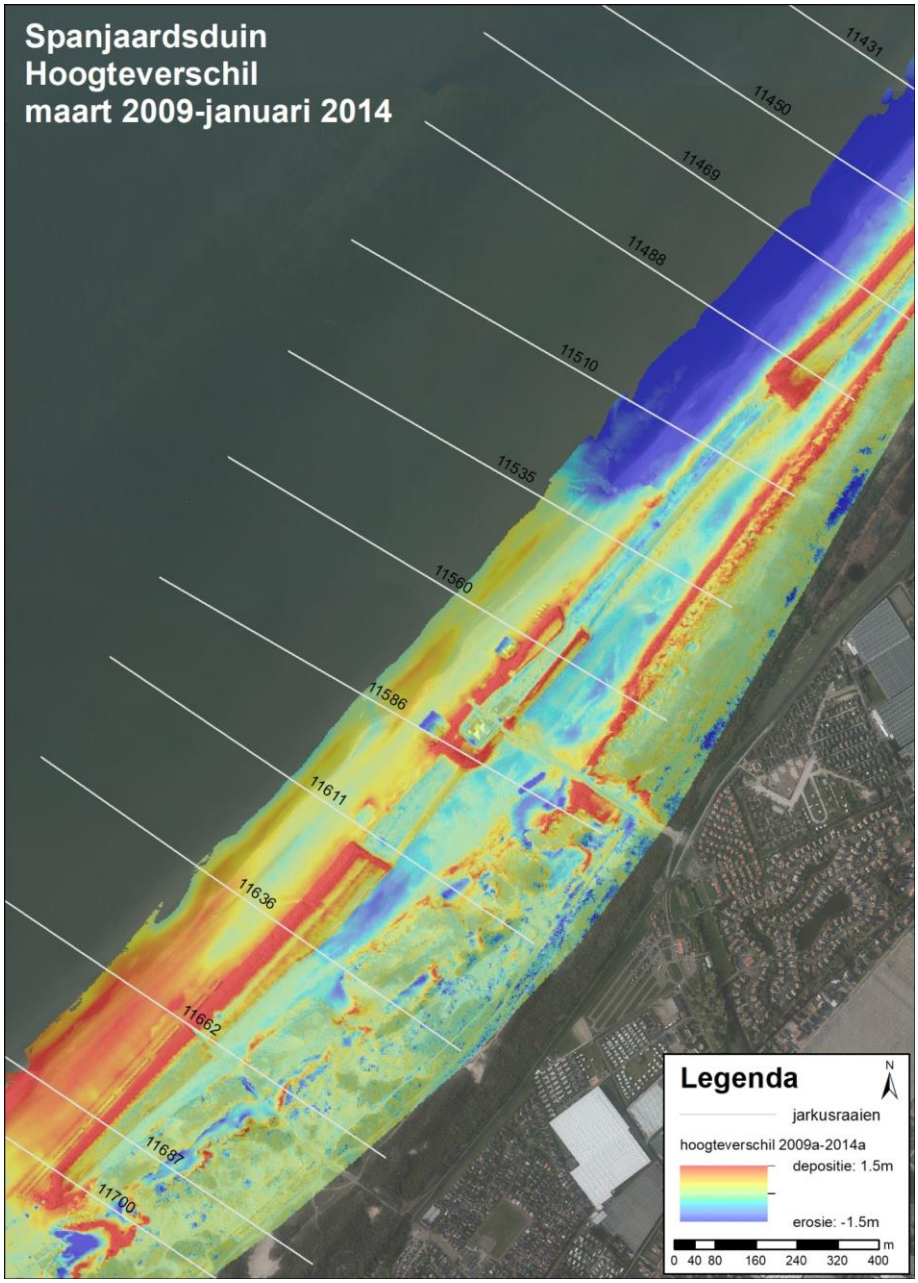
Transect 116.110 middendeel vallei, voorheen onbeplant basisduin, vallei maximaal verdiept (schotel 5). Het basisduin is aanvankelijk geërodeerd tot net onder 5m NAP, na de aangeplante stroken in 2013 weer gegroeid tot 9.3m NAP. De vallei is hier fors uitgestoven, in 2013 nog tot net boven 2.0m NAP, in 2018 tot net eronder. De vallei is met de verdieping tot onder het niveau van 2008 gedaald, en zou hier dus oorspronkelijk sediment moeten bevatten. In 2018 was overigens door uitstuiving al het niveau van 2008 bereikt.

Transect 116.360 zuidelijk deel vallei, beplant basisduin, vallei is hier niet verdiept. Het basisduin was hier oorspronkelijk smal, is aanzienlijk verbreed en verhoogd tot 10.7m. De vallei ligt hier hoog, ver boven de invloed van het grondwater. Sinds 2009 neemt de hoogte wel langzaam maar zeker af, tot inmiddels 3.2m NAP. De oude zeereep is aan de voorzijde stabiel, maar boven op heeft sedimentatie over een brede zone plaatsgevonden, mede gestimuleerd door de dynamiseringsingrepen in het kader van de herinrichting van Dixhoorndriehoek. Het zand van deze sedimentatiezone is afkomstig van een groot erosief vlak net ten zuiden van dit transect.

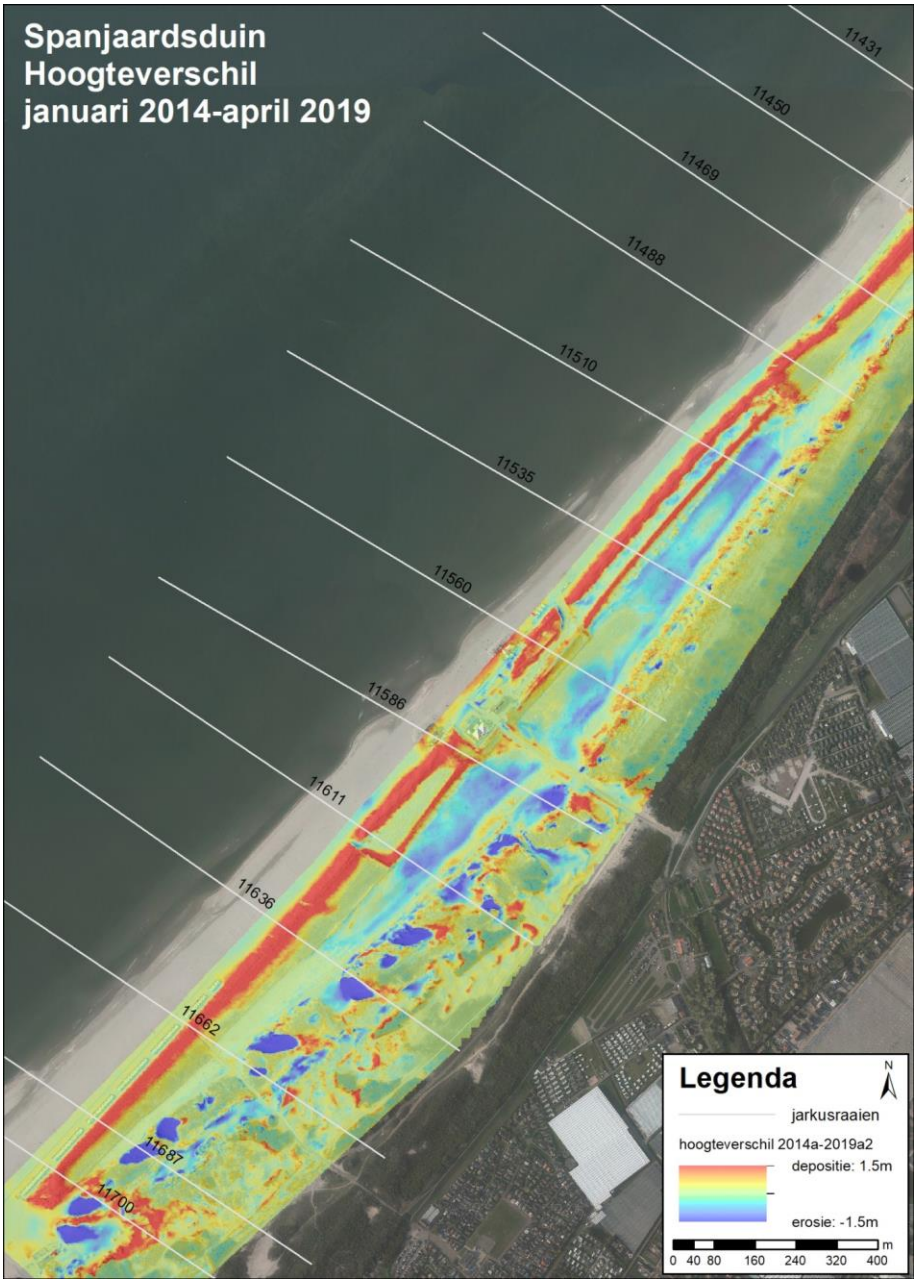
Transect 116.870 zuidelijk deel vallei, achter strandhuisjes, vallei is hier niet verdiept.
Het basisduin is hier aanmerkelijk minder verhoogd, de hoogte is nu 8.6m NAP. De vallei ligt hoog, op bijna 6m NAP en ligt dus ver buiten het bereik van het grondwater. Er is hier geen sprake van uitstuiving, het niveau van 2019 is vrijwel gelijk aan dat van 2009. In de oude zeereep overheerst forse erosie als gevolg van de dynamiseringsingrepen. Het strand is aanmerkelijk uitgebreid ten opzichte van 2009.



Figuur 4.2. Enkele voorbeelden van profielontwikkeling in het Spanjaardsduin. De zee ligt links in de grafieken. 115.10: voorheen onbeplant basisduin noord, 115.60: recreatie-eiland noord, 115.86: recreatie-eiland zuid, 116.11: voorheen onbeplant basisduin zuid, 116.36: beplant basisduin zuid, 116.87: beplant basisduin ter hoogte van de strandhuisjes.



Figuur 4.3 Hoogteverschillen tussen maart 2009 en januari 2014.



Figuur 4.4. Hoogteverschillen tussen januari 2014 en april 2019.

4.2 De ontwikkeling van het Spanjaardsduin van jaar tot jaar

Onderstaande informatie is ontleend aan de monitoringsrapporten geomorfologie waarop de jaarverslagen zijn gebaseerd.

2009-2010

De vallei is vooral erosief. Er ontstaan wel al kleine duintjes, overwegend in Zeeraket. Veel overstuiving treedt op aan de achterzijde van het basisduin, waardoor de vallei hier dichtgeknepen wordt. Er ontstaan al op diverse plaatsen schelpenvloertjes. Het basisduin wordt breder. Waar aangeplant is, vooral aan de voorzijde, wordt het basisduin ook hoger. Waar niet aangeplant is, wordt het ook breder, maar aan de achterzijde, en lager, de erosie speelt vooral rond de top.
In het grootste deel van de vallei ligt het grondwater ruim onder het maaiveld. Het grondwater stijgt nog nauwelijks. Een stijging van het grondwater wordt wel verwacht. Daarom is het ook nog de bedoeling dat er zand de vallei instuift, zodat daar een natuurlijk opgestoven bodem de basis kan vormen voor de ecologische ontwikkeling. Omdat er vanaf het beplante basisduin geen zand de vallei instuift, wordt aanbevolen hier lokaal, pleksgewijs, helm te verwijderen. De zandbron vanaf het niet beplante basisduin wordt niet voldoende geacht om de gewenste hoogteverandering in de vallei te realiseren.

2010-2011

Door groei van het basisduin versmalt de ruimte voor de ingesloten vallei. Het beplante basisduin groeit in de hoogte, het niet beplante basisduin wordt steeds lager, maar blijft ook groeien aan de landwaartse zijde. Schelpenvloertjes in de vallei blijven aanwezig, maar lijken vooralsnog de erosie niet tegen te houden. De duinvallei is over de gehele lengte in het midden enkele decimeters uitgestoven. Vooral aan de noordkant wordt door instuiving de vallei steeds smaller. Achter het beplante basisduin is de erosie van de vallei sterker dan achter het onbeplante basisduin. Er heerst de vrees dat de vallei te ver uitstuift en in de toekomst door de dan nog verwachtte stijging van de grondwaterstand permanent onder water komt te staan. De gewenste optimale hoogte ligt dan nog tussen 2.1en 2.7m NAP. De verwachte grondwaterstand is 2.45m NAP.
Ook in de oude zeereep is het effect van beplant en niet beplant basisduin merkbaar. Ter hoogte van de beplante delen is er weinig veranderd in de oude zeereep. Ter hoogte van de onbeplante delen, en noordoostelijk hiervan komt er juist veel zand bij. De top is hier verhoogd en de duinvoet heeft zich richting vallei uitgebreid. Dit is gunstig voor de vorming van de Grijze duinen, maar ongunstig voor de omvang van de vallei. De wens is op dat moment dat de oude zeereep ongeveer 40m breed zal worden voor de ontwikkeling van Grijze duinen. Deze verbreding is op de delen achter het onbeplante basisduin al bereikt, maar achter het beplante basisduin is de oude zeereep nog weinig veranderd.

2011-2012

Het strand wordt smaller, mede door een verdieping van de onderwateroever, maar voldoet nog als zandbron. De verbreding van het basisduin, zowel het beplante als het niet beplante, zet door, bij het niet beplante deel vooral aan de achterzijde. Ook het versmallen van de vallei zet daarmee door, maar aan de noordzijde is inmiddels sprake van een verschuiving, omdat hier de vallei aan de zijde van de oude zeereep uitbreidt. Het beplante basisduin is sinds 2010 al meer dan 2m hoger geworden, het niet beplante basisduin is 0.3 tot 0.7m lager geworden. Aan de noordkant is het inmiddels overal lager dan 5m NAP, wat betekent dat met storm en hoog water de zee de vallei zou kunnen binnen dringen. Er wordt gepleit voor stuifbeperkende maatregelen om verdere verlaging tegen te gaan en zelfs opstuiving naar een hoger niveau te stimuleren. Dit wordt in 2013 uitgevoerd, in de vorm van twee stroken met helm op het niet beplante basisduin. De eerste strook wordt golvend aangelegd, tegen de duinvoet, de tweede strook wordt aan de landwaartse zijde aangelegd in een rechte baan.

De vallei diept steeds verder uit, waardoor het oppervlak van de lage valleibodem (beneden 2.5m NAP) steeds verder toeneemt. In februari 2013 leidde dat voor het eerst tot grondwater boven het oppervlak. Deze stijging van het grondwater is overigens tijdelijk, en het gevolg van een relatief groot neerslagoverschot. Ondanks de aanwezige schelpenvloertjes gaat de erosie in de vallei nog door.

Langs Slag Vlugtenburg wordt veel zand vanaf het strand richting vallei geblazen, waardoor de dam breder wordt (de duikers zijn dan al lang onder gestoven) maar waardoor ook zand in de vallei wordt afgezet.

Er wordt nog een stijging van het grondwater verwacht. In combinatie met de inmiddels gerealiseerde verlaging van de vallei zou dit tot het beoogde doel van 6.1ha potentieel vochtige duinvallei kunnen leiden. Een deel zou te nat worden, zodat verdere uitstuiving van de laagste delen niet gewenst is. In de hogere delen zou echter nog wel enige uitstuiving gewenst zijn, zodat te droge delen alsnog dichter bij het grondwater komen.

De beoogde 9.8ha Grijze duinen zijn ruim binnen bereik. Wel is de dynamiek op nog zodanig groot dat er vooral Witte duinen voorkomen. De zone van de oude zeereep blijft dynamisch, met onregelmatige duinvormen. Op termijn zal de dynamiek af moeten nemen om tot een ontwikkeling van Grijze duinen te komen.

2013-2014

Bij stormen in 2013 is het voorheen niet beplante basisduin bijna overstroomd. Er zijn sporen van golven die de top van het talud hebben bereikt. Het voorheen niet beplante basisduin is dankzij de aanplant van twee helmstroken hoger geworden. In de meest zeewaartse strook is de hoogte met ruim 1m toegenomen. In de meest landwaartse strook is de verhoging slechts enkele decimeters, wat aangeeft dat de zandaanvoer vanaf het strand richting vallei waarschijnlijk beperkt is.
Instroming van de vallei met zeewater is minder waarschijnlijk geworden. Door deze stabilisatie is de vallei zelf door verder uitstuiven groter en dieper geworden. De aanvoer van zand richting oude zeereep is ook gestagneerd. Het voorheen niet beplante basisduin fungeert niet meer als zandbron.
In de hogere delen van de vallei (waar zich grijze duinvegetaties moeten ontwikkelen) overheerst erosie en zijn op grote schaal schelpvloertjes aanwezig. Buiten de met helm vastgelegde terreindelen is de dynamiek onverminderd groot.
Er is een duidelijk effect van de strandhuisjes op de aanstuiving naar het basisduin. Dit effect uit zich vooral in een beperkte of afwezige aanstuiving van de zeereep achter de strandhuisjes in het zomerseizoen.
Verwacht wordt dat de ontwikkeling van (pionier)vegetaties van habitattypen H2130A en H2190B in de komende jaren niet of nauwelijks van de grond komt. Daarnaast zal het oppervlak van niet-doelhabitattypen H2120 Witte duinen en H2160 Duindoornstruwelen waarschijnlijk nog substantieel toenemen.

2014-2015

Stormen hebben mogelijk het op het strand ontstane schelpenvloertje opgeruimd, waardoor het strand weer bedekt is met goed gesorteerd en verstuifbaar zand. Mogelijk is hierdoor de zandbron richting Spanjaardsduin toegenomen. Het voorheen niet beplante basisduin neemt verder in hoogte toe. In het noordelijk deel van de vallei zorgt de aanplant op het voorheen niet beplante basisduin voor verder erosie van de vallei. In het zuidelijk deel is dit effect niet zichtbaar. Duinontwikkeling tegen de oude zeereep stagneert. In de laagste delen van de vallei is sinds 2014 een microreliëf ontstaan doordat zich op verschillende plekken helm heeft gevestigd, wat vervolgens zand is gaan invangen. Op meer plekken in de vallei is helm opgekomen, wat wijst op te droge condities. Op de

hogere delen van de vallei, waar Grijze duinen tot ontwikkeling moeten komen, overheersen schelpenvloertjes. Het wordt duidelijk dat de grondwaterstand bij lange na niet de initiële verwachtingen gaat halen. Uitstuiving van de vallei is daarom geen risico meer voor te natte omstandigheden, maar een kans om alsnog in de buurt van het grondwater te komen.

2015-2016

Het voorheen niet beplante basisduin is verder gegroeid: 2m op de zeewaartse strook, 1m op de landwaartse strook. In het noordelijke deel van de vallei is er nog steeds sprake van lichte erosie. Door erosie op de hogere delen is er sprake van een bescheiden uitbreiding van de vallei in zowel noordelijke (12m) als zuidelijke (15m) richting. Duinontwikkeling tegen de oude zeereep stagneert, nog wel enigszins aanwezig aan de noordkant, vrijwel niet aan de zuidkant. Kleine duintjes in de vallei groeien verder uit. Instuiving bij Slag Vlugtenburg heeft ook een fors effect op verhoging van het vallei oppervlak direct ten noorden van de slag. Het effect van strandhuisjes op de morfologie van het achterliggende basisduin wordt steeds duidelijker: een veel homogenere en vlakkere instuivingszone achter de huisjes dan elders. Door de eigenaar van de strandhuisjes is een onderzoek gestart naar effecten van de strandhuisjes op zand- en zoutspray in de vallei. Er zijn nieuwe criteria opgesteld voor een schatting van het potentieel oppervlak aan natte duinvallei. De verwachtingen moeten flink bijgesteld, want ook door de inmiddels gebleken beperkte grondwaterstijging ligt de beoogde 6.1ha vochtige duinvallei niet meer binnen bereik.

2016-2017

De erosie in de vallei is zeer beperkt, de vallei is ook niet uitgebreid. Het basisduin, zowel beplant als voorheen niet beplant, blijft groeien. Door een geringer zandaanbod is de dynamiek van de oude zeereep verder afgenomen. Alleen aan de zuidkant, ten zuiden van Slag Vlugtenburg is er een enorme opleving door een aantal grootschalige dynamiseringsingrepen in het kader van een herinrichting van de van Dixhoorndriehoek.

Het microreliëf in de vallei door vestiging van Helm gevolgd door instuiven van zand wordt steeds uitgebreider en de hoogte van de ontstane duintjes worden steeds hoger, waardoor de verdroging ook toeneemt: het oppervlak potentieel natte duinvallei is daardoor flink afgenomen. Het instuiven van zand in de vallei vanuit Slag Vlugtenburg is enigszins beteugeld doordat een zone met Helmpollen is bedekt. Deze pollen zijn afkomstig van delen waar Helm uit de lage vallei is weggehaald.

Opnieuw is het effect van de strandhuisjes duidelijk. Was het vorig jaar vooral zichtbaar in een ander, veel homogener patroon van depositie achter de huisjes, dit jaar is vooral de hoeveelheid instuiving in de zeereep achter de strandhuisjes geringer. Door de massale vestiging van Duindoorn is het oppervlak met potentieel habitattype 2160 explosief toegenomen. Door de voortdurende aanstuiving van het basisduin wordt met name de voorzijde steeds natuurlijker. Het oppervlak dat mogelijk nu al kwalificeert als H2110 of H2120 is daardoor fors toegenomen.

2018-2019

Het natuurlijker worden van de voorkant en bovenkant van de zeereep zet door. Hier en daar ontstaan inmiddels ook embryonale duinen aan de voorzijde van de zeereep. De hoogtetoename is opnieuw groot, maar minder dan in het voorgaande jaar. De hoogte van het voorheen niet beplante basisduin is inmiddels al weer toegenomen tot 8m NAP, het beplante basisduin tot 10m NAP. Hoewel de uitbreiding van de vallei vorig jaar stagneerde, is er dit jaar toch weer een toename van de omvang. Helm is actief (mechanisch) weggehaald, maar door een zeer natte periode zou helm ook uit de vallei verdwenen kunnen zijn.

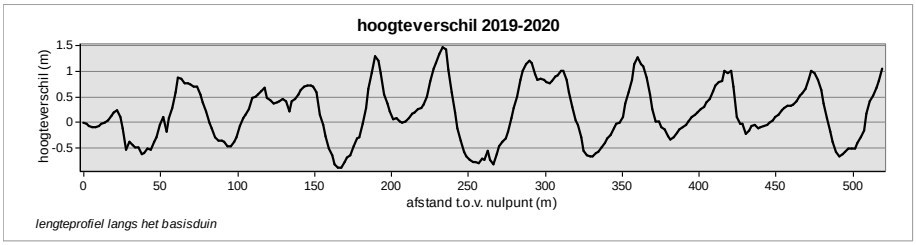
Belangrijkste verandering is het uitgraven van vijf schotelvormige vlakken die nu binnen de invloedsfeer van het grondwater liggen. Bij deze ingreep zijn de schelpenvloertjes ook deels verdwenen. Het potentieel oppervlak aan natte duinvallei is enorm toegenomen, en op dit moment zelfs iets groter dan de compensatieopgave. Het potentieel oppervlak aan Grijze duinen is ook groter dan de compensatieopgave. Het zijn echter potentiele oppervlakken, er is nog geen of nauwelijks oppervlak wat echt kwalificeert als Grijze duinen of Natte duinvallei. Grote oppervlakken waar Duindoorn is gemaaid met de bosmaaier zijn inmiddels weer dicht begroeid met Duindoorn. Het is duidelijk dat dit geen goede methode is. Achter de strandhuisjes is duindoorn niet verwijderd, waardoor het moeilijk wordt een onderscheid te maken tussen effecten van strandhuisjes en effecten van beheer.

Na de ingreep begint het probleem te ontstaan van dicht stuiven van de natste delen. Bij dreiging van vol stuiven zullen stabiliserende maatregelen nodig zijn. Belangrijke vraag is hoe precies de transportbanen lopen, wat de belangrijkste bron is voor het zand wat in de natste delen stuift. Het lijkt overwegend uit de vallei zelf te komen.

2019-2020

Door instuiving, maar waarschijnlijk vooral door een lagere grondwaterstand als gevolg van een zeer droge periode tussen maart en juni 2020 zijn de waterpartijen in de verdiepte schotels aanzienlijk gekrompen. Tussen de schotels is het oppervlak van de vallei plaatselijk verlaagd door erosie. Het gespaarde vegetatievlak tussen schotel 2 en 3 is licht opgestoven. De lengte van de vallei is iets toegenomen, door erosie aan de zuid- en aan de noordkant, waardoor het valleioppervlak beneden 4m NAP enkele meters is uitgebreid. Opvallend is ook dat de randen van de vallei rondom zijn geërodeerd, waardoor het deel beneden 4m NAP ook iets breder is geworden.

Het beplante basisduin groeit gestaag verder. De maximale hoogte bedraagt nu 13m NAP ten zuiden RSP 116.11. Ook de zeewaartse helmstrook op het voorheen onbeplante basisduin groeit steeds verder door tot inmiddels ruim 10m NAP. Dit is een verdubbeling van de hoogte sinds 2013. De tweede helmstrook groeit veel minder hard, met circa 20cm per jaar, en heeft plaatselijk een hoogte van bijna 7m NAP. Tussen de eerste en tweede strook liggen er grote, erosieve vlakken, met name in het voorheen onbeplante basisduin noord. Aan de zuidkant is deze tussenliggende zone in 2017 ingeplant. Er zijn nog wel enkele erosieve vlakken, maar deze liggen alleen aan de zuidkant tegen de achterzijde van de eerste helmstrook aan. Opvallende detail aan de ontwikkeling van de tussenliggende strook in het voorheen onbeplante basisduin noord is dat erosieve en accumulatieve vlakken landwaarts van de eerste helmstrook elkaar afwisselen met een golflengte die precies overeen komt met de golflengte van de aanplant in de helmstrook.



Figuur 4.5. Variatie in erosie en sedimentatie langs de achterzijde van de eerste helmstrook op het voorheen onbeplante basisduin.

In de oude zeereep is de dynamiek aan de noordkant beperkt en kleinschalig, aan de zuidkant aanzienlijk en grootschalig. Dit is het gevolg van dynamiseringsingrepen.

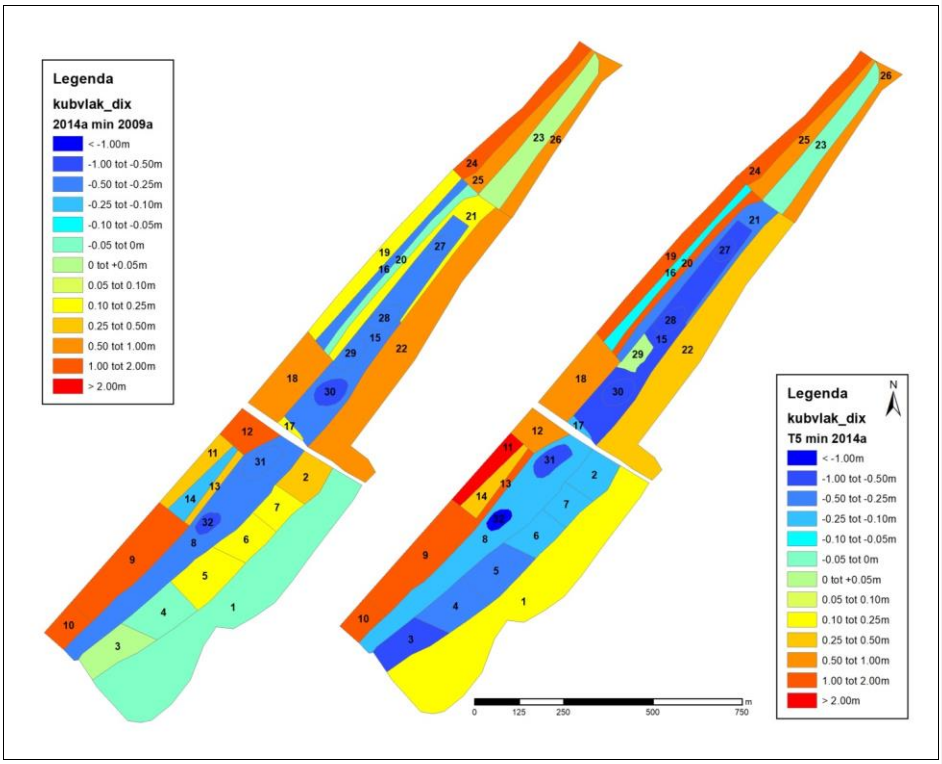
4.3 Volume- en hoogteveranderingen voor een aantal deelvlakken

Commented [BA7]: misschien moet dit stuk samen met figuur 3.18 in één paragraaf. De scheiding is zo toch een beetje kunstmatig.

Volumeberekeningen zijn op verschillende manieren uitgevoerd. Analoog aan Figuur 3.18 is in Figuur 4.6 voor de verschillende vlakken de gemiddelde hoogteverschillen per vlak voor de periode 2009-2014 en 2014-2019 weergegeven. Bijbehorende volumeveranderingen waren al opgenomen in Tabel 3.1en Tabel 3.2. Het beplante basisduin (vlakken 10, 9, 12, 18, 24 en 25) laat tussen 2009-2014 en 2014-2019 eenzelfde beeld zien: ophoging en een forse volumetoename, die voor alle vlakken behalve vlak 24 van 2009-2014 groter is dan van 2014-2019. Het voorheen onbeplante basisduin heeft een wat complexere ontwikkeling. Van 2009-2014 is het op de bovenkant (vlakken 14 en 16) erosief, aan de noordkant ook aan de landwaartse zijde (vlak 20). Na de beplanting met helmstroken in 2013 treedt aan voor- en achterzijde forse accumulatie op, maar aan de noordkant is de zone tussen de helmstroken (vlak 16) tussen 2014 en 2019 toch nog licht erosief. Het meest opvallende verschil in Figuur 4.6 tussen 2009-2014 en 2014-2019 is de ontwikkeling van de oude zeereep ten zuiden van Slag Vlugtenburg (vlakken 1 t/m 7). Vlak 1 is van 2009-2014 heel licht erosief, van 2014-2019 sterk accumulatief. Vlakken 2 t/m 7, langs de rand van de vallei zijn aanvankelijk overwegend accumulatief, na 2014 sterk erosief, het gevolg van de dynamiseringsingrepen. De zuidelijke vlakken (3, 4 en 5) zijn het sterkst erosief. De flinke volumetoename in vlak 1 na 2014 wijst er op dat het zand wat uit vlakken 2 t/m 7 erodeert voor een belangrijk deel landwaarts wordt afgezet.

Commented [BA8]: kan ook door verschuiven komen, er is reliëf aangebracht. En overigens is er een flink contrast met de veranderingen 2019-2020, waar val 1 ook erosief is.

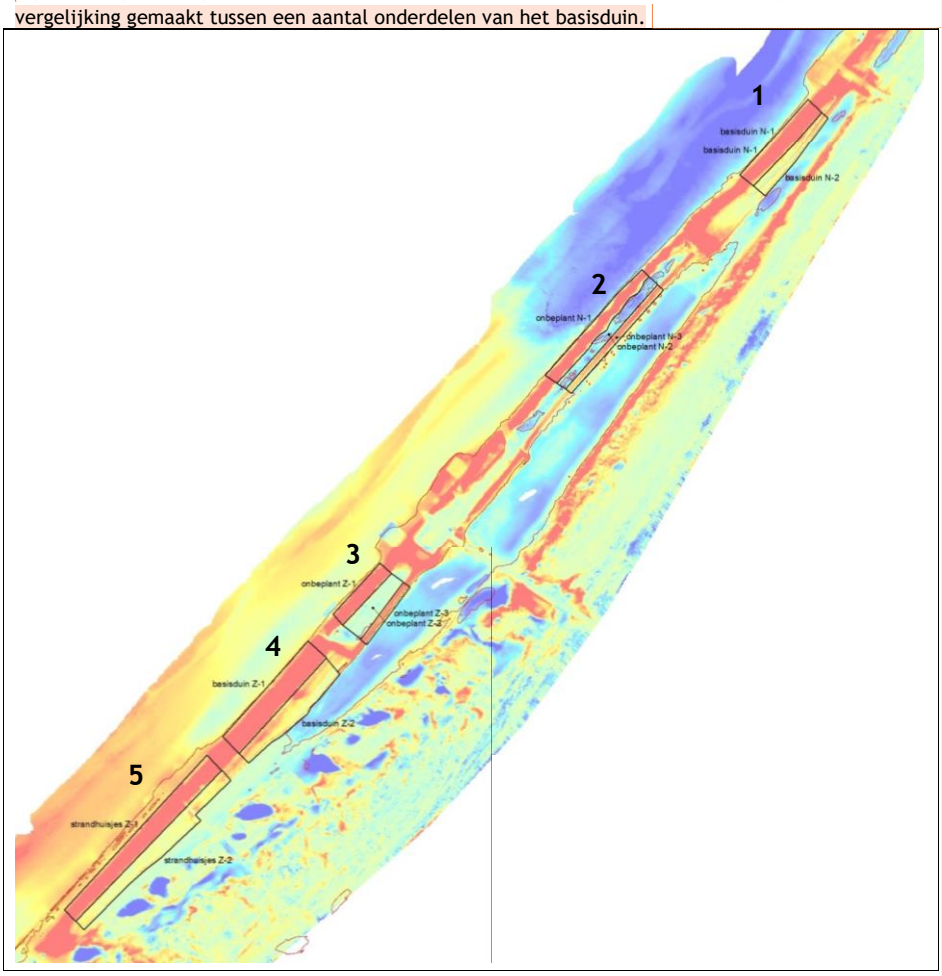
Voor de periodes 2009-2014 en 2014-2019 geldt ook weer dat het sedimentbudget sterk positief is, dus dat er meer binnenkomt dan er uit stuift. Voor 2009-2014 is de volumetoename met 176.000m^3 iets groter dan voor 2014-2019 met 162.000 m^3. Omgerekend naar strekkende meter kust is dit een klein verschil (16.3 ten opzichte van 15.1 m^3/m.jaar). De vallei (inclusief de gegraven schotels) verliest tussen 2014 en 2019 aanmerkelijk meer zand (54.800 m^3) dan tussen 2009 en 2014 (37.400 m^3), door uitstuiven en door de verdiepingsingreep. Het basisduin vangt veel zand in, ten zuiden van Slag Vlugtenburg meer dan ten noorden. Van 2009-2014 is het totale volume toegenomen met 140.500 m^3 (13.0 m^3/m.jaar) en van 2014-2019 met maar liefst 200.400m^3 (18.6 m^3/m.jaar). Ten zuiden van Slag Vlugtenburg komt dat neer op respectievelijk 18.6 en 22.0 m^3/m.jaar), ten noorden op 9.6 en 16.5 m^3/m.jaar. De stuifketels ten zuiden van Slag Vlugtenburg zijn van 2009-2014 nog niet actief en vangen dan nog 7.500 m^3 in. Tussen 2014-2019, na de activatie, stuift er 24.900 m^3 uit.



Figuur 4.6. Gemiddelde hoogteveranderingen tussen 2009 en 2014 (links) en 2014 en 2019 (rechts) voor de kuberingsvlakken. Links op basis van de RWS data van Shore, rechts op basis van de data van RWS en Shore (2019a2-2014a, T5-2014a). De hoogteveranderingen in de kaart van 2014-2019 zijn inclusief de verdiepingsingreep.

Figuur 4.7 geeft nogmaals de verschilkaart van 2009-2019, maar nu is een iets gedetailleerdere vergelijking gemaakt tussen een aantal onderdelen van het basisduin.

Commented [BA9]: Nog iets meer detail, maar over de hele periode
Deze exercitie had ik eerst gedaan. De voorgaande heb ik daarna gedaan, geeft eigenlijk dezelfde info, maar dan uitgesplitst over 2009-2014 en 2014-2019. Wellicht is daarmee onderstaand stuk overbodig.



Figuur 4.7. Verschilkaart 2009-2019 met omgrenzing en nummering van de vlakken waarvoor volumeverschillen zijn bepaald. Zone 1 is zeewaarts, zone 2/3 is landwaarts.

In Tabel 4.2 zijn een paar karakteristieken per deel opgenomen en ook kuberingen per vlak. Aan de zuidkant blijkt een groot verschil tussen basisduin en strandhuisjes (vlakken 5 en 4), wat ook al te zien is aan een smallere rode band voor de strandhuisjes. Aan de noordkant ligt voor het basisduin (vlak 1) ook een reeks strandhuisjes, iets verder voor de duinvoet dan aan de zuidkant lijkt het. Qua volumes zijn de beide zones met strandhuisjes vergelijkbaar. Door de strandhuisjes is de gemiddelde jaarlijkse aanstuiving bijna 4m^3 kleiner. Overigens is op de (voorheen) niet beplante delen (vlakken 2 en 3) het volumeverschil kleiner, maar de zone met aanplant ook veel smaller. In tegenstelling tot bij de strandhuisjes, waar het zand deels op het strand achterblijft omdat het niet door kan stuiven, zal bij het (voorheen) niet beplante basisduin het zand de vallei in zijn gestoven, in ieder geval in de periode dat het nog kaal was. In het noorden is dat meer dan in het zuiden, hier

is de zone tussen de ingeplante stroken erosief. Vermoedelijk hangt dit samen met langstransport met zuidwesten wind. In het zuiden is dit vlak kleiner, en grenst aan een dicht begroeid vlak met hogere duinen, in het noorden is het vlak langgerekter en grenst aan een veel meer open stuk.
Dit gaat vooral over randvoorwaarden voor ontwikkeling langs de vallei. Voor de vallei zijn deze berekeningen ingewikkelder en minder zinvol, hier is ook meer ingegrepen.

Tabel 4.2. Volumeverschillen en hoogte(veranderingen) tussen 2009-2019 voor een aantal vlakken. Zone 1 is zeewaarts, zone 2/3 is landwaarts.

vlak	omschrijving	kust-lengte m	opp. m^2	hoogte 2019 m NAP	hoogte-verschil 2009-2019 m	volume 2009-2019 m^3/m	volume jaarlijks $m^3/m.jaar$	per type $m^3/m.jaar$
5	strandhuisjes zuid_zone1	468	19438	7.40	3.00	57.2	5.7	6.6
	strandhuisjes zuid_zone2	468	15016	7.34	0.61	9.1	0.9	
4	basisduin zuid_zone1	287	15445	8.40	3.89	87.9	8.8	10.7
	basisduin zuid_zone2	287	12548	7.06	1.00	19.2	1.9	
3	onbeplant zuid_zone1	156	5219	7.43	3.14	43.2	4.3	5.4
	onbeplant zuid_zone2	156	6627	4.84	-0.04	-0.6	-0.1	
	onbeplant zuid_zone3	156	3026	4.55	1.32	11.1	1.1	
2	onbeplant noord_zone1	316	9562	6.89	2.63	36.1	3.6	3.6
	onbeplant noord_zone2	313	7056	4.10	-0.91	-9.4	-0.9	
	onbeplant noord_zone3	308	5291	5.76	1.20	9.8	1.0	
1	basisduin noord_zone1	224	9392	8.23	3.40	60.2	6.0	6.9
	basisduin noord_zone2	224	6052	7.40	0.76	9.2	0.9	

4.4 Verwachtingen versus ontwikkeling en lessen

De geomorfologische ontwikkelingsfase werd bij aanvang geschat op 5 jaar (Vertegaal & Arens, 2008). Naar verwachting zouden: de vallei voldoende zijn opgestoven en het grondwater voldoende gestegen. Fase 1 zou dan afgesloten worden door het basisduin te stabiliseren om verdere instuiving van de vallei te beperken. Aan het eind van fase 1 zouden de randvoorwaarden voor de volgende fase van ecologische ontwikkeling optimaal zijn. Uiteindelijk is na 10 jaar de geomorfologische ontwikkelingsfase nog steeds niet afgelopen. Met de verdieping van de vallei is de grondwatertoestand geoptimaliseerd en in die zin zou de vallei klaar zijn voor de volgende ontwikkeling. Het basisduin is grotendeels gestabiliseerd. Probleem is echter dat er toch nog teveel actieve verstuiving in het gebied optreedt, waardoor er weer een dreiging is van verdroging doordat zand in de nu natte delen instuift en deze geleidelijk weer opvult. Voor het zover is zou de verstuiving getemperd moeten worden. De vraag is alleen nog hoe (zie H6). Niet voorzien werd dat bij zuidwestenwind de vallei zelf een belangrijke bron van aanstuivend zand was. Op grond van een analyse van de laatste hoogteveranderingen wordt geconcludeerd dat het instuiven van de natte delen het gevolg is van winderosie elders in de vallei. Aanbeveling is dan ook binnen de vallei

stroken te stabiliseren. Het experiment met de rietpoten, aan de noordkant van de vallei, heeft geleerd dat de vlakken met rietpoten zand invangen, en de tussenliggende, kale vlakken eroderen.

Niet voorzien zijn de volgende punten:

- Enorme dynamiek in langsrichting, waardoor vallei zelf belangrijke bron van instuivend zand is;
- Beperkte grondwaterstijging;
- Snelle verlaging van het onbeplante basisduin;
- Vestiging van Helm in de lagere delen van de vallei en vervolgens ophoging door invangen van zand door de helmpollen;
- Uitstuiving van de vallei (bedoeling was juist instuiving, voor een natuurlijke gelaagdheid)
- Effect van Slag Vlugtenburg op de doorstuiving van zand vanaf het strand de noordkant van de vallei in;
- De plaatsing van strandhuisjes van hun oorspronkelijke plaats naar de voorzijde van het Spanjaardsduin;
- Volledig onderstuiven van de duikers in de dam van Slag Vlugtenburg.

4.4.1 Het basisduin

Verwachting (V&A2008)

Het basisduin is bij aanvang deels kaal (5m NAP), deels ingeplant (7m NAP). Gezien de ontwikkeling ligt de vraag voor de hand waarom dit destijds niet anders om was. Op grond van huidige kennis zou verwacht worden dat het kale duin zou eroderen en dan snel te laag zou worden.

Op het basisduin moet een opgestoven toplaag van ca 2m dik ontstaan zodat mochten hier zich stuifkuilen in ontwikkelen, deze zich ontwikkelen in natuurlijk gelaagd zand (V&A2008). Niet duidelijk is waarom verwacht werd dat het basisduin zou opstuiven terwijl het onbegroeid was.

Het basisduin zal zich als strook witte duinen ontwikkelen, waarvandaan zand richting vallei stuift. Geleidelijk aan zal door de toename van begroeiing de verstuiving afnemen. Op de niet beplante delen zal zich vanzelf vegetatie vestigen (Helm, Biestarwegras) die het basisduin geleidelijk zal stabiliseren. Door het instuiven in de vegetatie zal het basisduin hoger en natuurlijker worden. Aan de luwe (landwaartse) zijde zal de dynamiek van verstuiving geringer zijn en kunnen Grijze duinen tot ontwikkeling komen, maar waarschijnlijker is de vestiging van Duindoornstruweel.
Incidenteel kan de zee over het basisduin de vallei binnen stromen.

Ontwikkeling

Het basisduin is sterk gegroeid. Het voorheen niet beplante deel was aanvankelijk erosief en werd steeds lager. Daarom is in 2013 besloten tot gedeeltelijke aanplant. Hierna is de hoogte weer toegenomen en is de maximale hoogte vergelijkbaar met die van het beplante basisduin. Wel is er nog steeds een erosieve zone aanwezig tussen de twee ingeplante stroken helm. De verstuiving op het basisduin lijkt geen invloed meer te hebben op de instuiving van de vallei, hoogstens marginaal.

Knelpunten

Op het niet beplante basisduin kwam geen spontane vegetatie op, zodat het sterk erodeerde en zodanig laag dreigde te worden dat de zee er vaker dan gewenst overheen zou kunnen stromen (dit is overigens nooit gebeurd). Daarom is in 2013 besloten het basisduin te beplanten. Om het niet met een strak aanplantpatroon van Helm vast te leggen is er voor gekozen een slingerende baan Helm aan de voorzijde aan te brengen, en rechte baan helm meer landwaarts, in de tussenliggende zone geen aanplant. Er is niet voor gekozen om aanplant aan te brengen in natuurlijke patronen. Het kaal

gebleven deel is door langstransport nog steeds erosief en hier komt nog steeds geen spontane vegetatie op. De verdere verlaging door erosie is wel voorkomen, want het voorheen niet beplante deel is door opstuiving in de aangebrachte helmstroken inmiddels weer flink in hoogte toegenomen.

Lessen
Een kaal duin zal gaan eroderen, spontante vestiging van vegetatie hierop is onwaarschijnlijk
De aangeplante stroken op het voorheen kale basisduin geven wel een natuurlijkere aanblik dan het geheel ingeplante basisduin, maar het had natuurlijker gekund door het geheel te beplanten in een natuurlijk patroon, zoals bijvoorbeeld aangegeven door V&A2008. Niet duidelijk is waarom geen gebruik gemaakt is van het aanplantplan uit V&A2008.

De vorming van (potentieel) Witte duinen gaat snel. Een aangeplant duin kan door opstuiving in de loop van 10 jaar transformeren in een volledig natuurlijk uitziend Wit duin (maar kwalificeert het ook als H2120 en is de kwaliteit vergelijkbaar met natuurlijk Wit duin?).

Beplant deel noord
Dit deel gaat naar het noorden (ten noorden van Slag Arendsduin) over in de duinversterking Delfland. Vóór de duinvoet liggen strandhuisjes. Het basisduin is veel natuurlijker geworden en aanzienlijk in hoogte toegenomen. Plaatselijk bedraagt de hoogtetoename t.o.v. de uitgangssituatie in 2009 meer dan 6m.

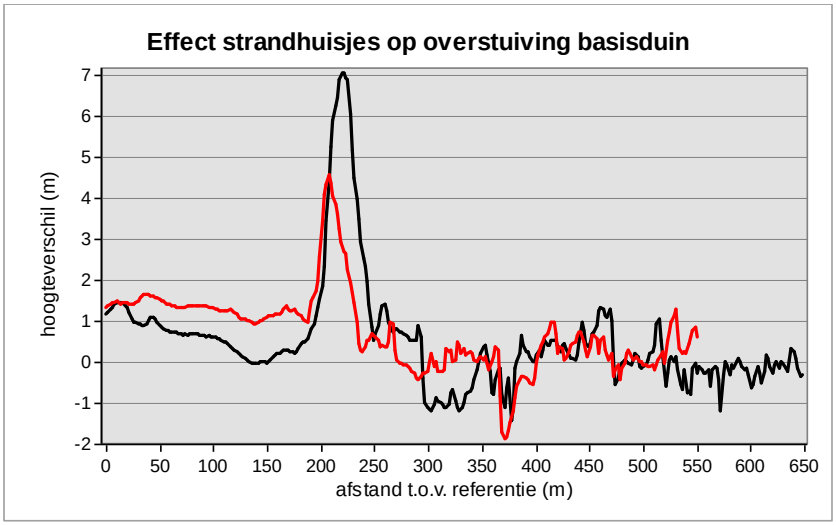
Voorheen onbeplant deel noord
Dit deel is aanvankelijk sterk geërodeerd. Er is niet spontaan vegetatie gevestigd. De maximale hoogte kwam plaatselijk beneden 4.5m NAP. Na de Sinterklaasstorm in 2013 was er bijna sprake van instroming van zeewater. De sporen van golven waren tot over de top van het basisduin te zien.
In 2013 zijn twee stroken Helm ingeplant, waarna de hoogte snel is toegenomen. De meest zeewaartse strook heeft het meest ingevangen en is nu qua hoogte vergelijkbaar met het beplante basisduin. De tweede strook heeft aanmerkelijk minder ingevangen, en op grond van deze ontwikkeling wordt geconcludeerd dat het basisduin maar voor beperkte doorvoer van zand richting vallei zorgt.

Beplant deel midden, Slag Vlugtenburg
Het basisduin kent nauwelijks een natuurlijke ontwikkeling in verband met het vele graven en schuiven vanwege de aanwezige infrastructuur. Belangrijk in dit deel is dat zeer veel zand via de slag de vallei in is gestoven, met name aan de noordkant. Rondom de dam door de vallei is zeer veel zand afgezet, en de duikers zijn dan ook geheel onder het zand verdwenen.
Op de lijzijde van het basisduin staat inmiddels dichte Duindoorn.

Voorheen onbeplant deel zuid
De ontwikkeling was hier vergelijkbaar met het noordelijke onbeplante deel, met forse erosie tot 2013, daarna aanplant en ophoging. Verschil met het noordelijk deel is dat hier het kale vlak tussen de aangeplante stroken inmiddels ook is ingeplant (in 2017), met Helm afkomstig uit de vallei. Hierbij is geen strak aanplantpatroon gebruikt, waardoor het oppervlak er natuurlijker uit ziet. Hoewel de vegetatie nog vooral uit Helm bestaat, zijn er wel enkele kenmerkende soorten voor Grijze duinen aanwezig. De overstuiving van dit vlak is beperkt tot hoogstens enkele cm's.
Op de overgang naar het beplant deel zuid bevindt zich een kerf, waar het niet goed lukt om de dynamiek te beteugelen. Via dit gat komt veel zand naar binnen, en hoopt zich voor het grootste deel op in een depositiezone op het basisduin. Waarschijnlijk vindt hier vandaan wel enige doorvoer richting vallei plaats. Hier ligt niet de vierde, uitgegraven schotel achter, dus te veel instuiving is hier niet gewenst. Waarschijnlijk is wat intensiever beheer hier voldoende om het gat te dichten.

Beplant deel zuid

Dit deel ontwikkeld zich vergelijkbaar met het noordelijk deel beplant. Belangrijkste verschil is dat in de zuidelijke helft strandhuisjes voor het basisduin staan. Deze hebben een effect op de ontwikkeling van het basisduin: er komt minder zand binnen, er blijft meer zand op het strand, en de morfologie ontwikkelt zich minder spontaan en natuurlijk, maar homogener.



Figuur 4.8. Vergelijking hoogteverandering zeereep 2009-2019 met strandhuisjes (rood) en zonder (zwart).

4.4.2 De duinvallei

Verwachting (V&A2008)

Vallei heeft een holle bodem en een hoogte op het diepste punt vergelijkbaar met het grondwaterpeil bij een extreem droog jaar. Deze hoogte wordt geschat op 1.96m NAP, Een deel van de vallei zal bestaan uit onverstoord duinzand. Door instuiving zal de vallei ophogen, zodat de condities niet te nat worden en er een natuurlijke bovenlaag ontstaat. Deze opstuiving moet van strand en basisduin komen. Daarom is de ontwikkeling van embryonale duinen niet gewenst, omdat deze zand wat vanaf het strand aangevoerd wordt invangen, zodat dit zand de vallei niet kan bereiken. De opstuivingslaag zou 0.3m moeten bedragen, en het oppervlak zou dan op 2.35m NAP moeten komen te liggen, het gemiddelde van extreem nat en extreem droog. De verwachte toename van de grondwaterstand is 0.67-1.25m.

Een te lage grondwaterstand als mogelijk knelpunt werd niet voorzien.

Het mag duidelijk zijn dat van de voorspelling van de grondwaterstand niet veel klopte. En van de opstuiving gelukkig ook niet, in tegenstelling is de vallei juist geërodeerd, waardoor het grondwater toch nog enigszins in de buurt van het oppervlak kwam.

Ontwikkeling

De ontwikkeling van de duinvallei is nogal anders dan verwacht. Belangrijkste is dat de grondwaterstand veel minder is gestegen dan verwacht en de ontwikkeling van de vallei daardoor te

droog bleef. Gelukkig was er van opstuiving van de vallei geen sprake, maar stoof deze, ook tegen de verwachtingen in, juist uit, waardoor het grondwater toch nog dichter bij het oppervlak kwam. Echter niet genoeg om voldoende vochtige condities te hebben voor de ontwikkeling van een geheel scala aan natte duinvallei elementen. Bij een tijdelijk lagere grondwaterstand kon zich Helm in de vallei vestigen, waarin vervolgens rondstuivend zand werd ingevangen, waardoor lokaal de hoogte binnen de vallei wel ging toenemen, en het oppervlak hier nog verder buiten het bereik van het oppervlak kwam. Door de aanwezigheid van schelpen in het aangebrachte sediment ontstonden schelpenvloertjes. Omdat de concentratie van schelpen waarschijnlijk niet homogeen was, erodeerde er op sommige plekken meer zand, op andere minder, maar volgens een chaotisch patroon. Hierdoor ontstond een onnatuurlijk microreliëf. Dit is bij de verdieping in 2019 verwijderd.

Knelpunten
Er is geen goede grondwatermodellering gedaan, wat op zich vreemd is, gezien het ultieme belang van de grondwaterstand in relatie tot het te realiseren oppervlak aan H2190, Natte Duinvallei. Blijkbaar was er veel vertrouwen in de schatting destijds. Achteraf is niet te achterhalen hoe deze schatting tot stand is gekomen.

Schelpen in het opgebrachte sediment hebben een groot effect op het zandtransport, maar ook op de morfologische ontwikkeling. Door verschillen in schelpconcentratie ontstaan er door de vallei heen onnatuurlijke hobbels.
De vestiging van Helm in de vallei door te droge omstandigheden met als gevolg duinontwikkeling in de vallei was niet voorzien, en zorgde voor een aanzienlijke verhoging van juist die delen die het dichtst op het grondwater lagen.

Een groot deel van de dynamiek binnen de vallei lijkt bepaald te worden door langstransport met zuidwesten wind. Het was niet voorzien dat langstransport zou domineren over dwarstransport, dus dwars op het basisduin, van strand naar basisduin naar vallei naar oude zeereep.

Lessen
Voor de ontwikkeling van een natte duinvallei is een accurate prognose van de grondwaterstand actueel.

Het idee om door opstuiving een natuurlijk gelaagde bodem te laten ontstaan is in de praktijk erg moeilijk. Omdat de vallei zelf nog kaal is (en moet blijven zolang de grondwatercondities nog niet goed zijn) is de balans tussen in- en uitstuivend zand eigenlijk niet te regelen. Waarschijnlijk speelt de expositie van de kust hier ook een rol bij. De vallei is zo georiënteerd dat de lengte-as in de richting van de zeer frequente zuidwestenwind ligt. Ook bij meer westelijke of meer zuidelijke wind zal de wind gestuurd worden door de vallei. Langstransport door de vallei is waarschijnlijk zeer belangrijk geweest voor de erosie in de vallei. De aanvulling door aanstuiving vanuit het basisduin kon dit niet bij houden, hoewel het waarschijnlijker is dat aanstuiving vanaf het basisduin niet tot stilstand kwam in de vallei, maar doorstoof. Mogelijk kon bij noordwestenwind, dus dwars op de kust, zand wel vanaf het basisduin in de vallei stuiven en daar tot rust komen, omdat dan de vallei in de luwte van het basisduin ligt. Naarmate het basisduin hoger werd en meer begroeid raakte kon deze luwtewerking sterker worden. Detailinformatie over dit soort processen is echter niet beschikbaar.

Het is de vraag of het in het ontwerp zo slim is geweest om de slag dwars door de vallei te laten lopen, en niet meer richting één van beide einden. De slag zorgt sowieso voor een tweedeling, brengt veel verstoring met zich mee in de vorm van passanten en heeft ook gezorgd voor een ongewenste instuiving van zand vanaf het strand. Voor het deel van de vallei, waar de grootste

potenties voor de ontwikkeling van een natte duinvallei lagen, is bovendien een sterk verrommeld duin aanwezig wat ook voor veel verstoringen zorgt.

Duinvallei noord
De noordkant heeft altijd iets meer onder invloed van grondwater gestaan dan de zuidkant. Ook de vestiging van vegetatie is daar sneller gegaan. In het noordelijk deel liggen nu drie van de vijf verdiepte schotels.

Duinvallei zuid
Qua schaal is het zuidelijk deel kleiner dan het noordelijk. Twee van de vijf verdiepte schotels liggen aan de zuidkant.

4.4.3 De oude zeereep

Verwachting (V&A2008)
Voor de oude zeereep (verbrede duinvoet) wordt verwacht dat deze verbreedt door zand wat er tegen aan stuift. Hier zijn geen limieten voor gesteld. Na verloop van tijd wordt verwacht dat de oude zeereep geleidelijk aan stabiliseert (zeker als aan het eind van fase 1 het basisduin ook stabiliseert en de aanvoer van zand beperkt wordt) en de vegetatie zich ontwikkeld richting Grijze duinen. Dit proces zal zo veel mogelijk spontaan moeten verlopen.

Ontwikkeling
Aanvankelijk was de dynamiek op de oude zeereep aan de noordkant sterker dan aan de zuidkant. De bron van sediment was hier ook groter, met een veel breder onbeplant basisduin dan aan de zuidkant. Na stabilisatie van het voorheen onbeplante basisduin met de helmstroken is de dynamiek op de oude zeereep langzaam aan het verminderen. Maar nog steeds is het een, voor binnenduin situaties, behoorlijk dynamisch geheel. De zuidkant is inmiddels veel dynamischer, omdat ten zuiden van Slag Vlugtenburg grootschalige maatregelen zijn genomen om dynamiek op gang te brengen. Dit geeft de kans om over een aantal jaren een vergelijking te maken tussen de ecologische ontwikkeling van een min of meer spontaan dynamisch landschap en van een kunstmatig geactiveerd landschap met een grootschaliger dynamiek.

Knelpunten
Er zijn geen vooralsnog geen knelpunten. Er is nog steeds sprake van enige dynamiek, de morfologische ontwikkeling is natuurlijk en er is een vestiging van Duinzwenkgras, wat past in de geleidelijke omvorming van Witte duinen naar Grijze duinen. De verwachting is dat Grijze duinen hier zich verder zullen ontwikkelen. Mogelijk ontstaan in de nabije toekomst aan de zuidkant meer Witte duinen omdat de dynamiek hier veel groter is. Wanneer dit op termijn uitdooft, zullen hier uiteindelijk ook Grijze duinen tot ontwikkeling komen.

Lessen
Het is mogelijk de dynamiek in een voormalige zeereep te beïnvloeden door aanbrengen van een nieuwe zandbron, ook al wordt de voormalige zeereep afgesneden van de zee.

Oude zeereep noord
Geleidelijk aan afnemende dynamiek doordat het voorland langzaam maar zeker stabiliseert. Kleinschalige winderosieverschijnselen gecombineerd met overstuiving.

Oude zeereep zuid
Grootschalige dynamiek door dynamiserings ingrepen. Er zijn verschillende paraboolvormige structuren, met omvangrijke erosieve zones en landwaarts daarvan accumulatieve zones.

5 POTENTIËLE HABITATTYPEN

Voor 2018 is geen kaart met potentiële habitattypen afgeleid, omdat deze door de verdiepingsingrepen niet meer relevant is. Dankzij het snel ter beschikking komen van hoogtegegevens van 2020 kan hier al een kaart met potentiële habitattypen voor 2020 gepresenteerd worden. Zoals uitgelegd in paragraaf 2.3 is deze kaart afgeleid van de in 2020 vastgestelde GVG en de bodemhoogtekaarten van 2020. De GVG van 2020 is de meest nauwkeurige, omdat die gebaseerd is op de langste meetreeks en dus het beste tijdreeksmodel. Zie verder over de afleiding van de GVG de bijlage over hydrologie. Aangezien ieder jaar nieuwe metingen beschikbaar komen zal het tijdreeksmodel en daarmee de GVG ieder jaar iets nauwkeuriger worden. Wanneer zich geen veranderingen in omstandigheden voordoen (vergroten zoetwaterbel, zeespiegelstijging), zou de GVG echter een constante moeten zijn, het is immers een gemiddelde voor een lange meteorologische periode. De potentiële habitattypen worden dan puur bepaald door de hoogteligging/geomorfologie en de mate van zanddynamiek.

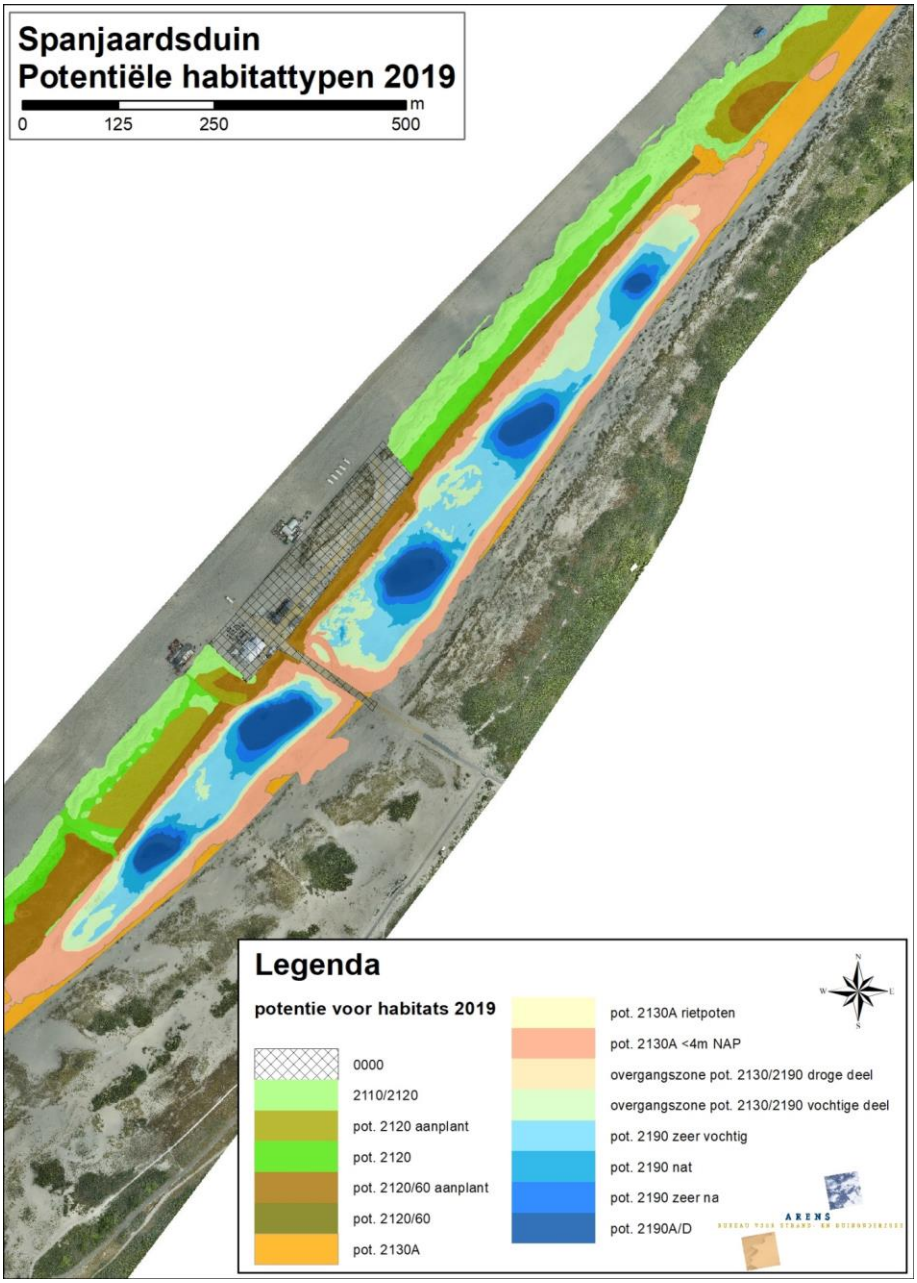
Volgens de nieuw vastgestelde criteria, besproken in paragraaf 2.3, is de kaart met potentiële habitattypen voor 2020 afgeleid.

Tabel 5.1. Oppervlaktes potentiële habitattypen en tussenzones in hectares.

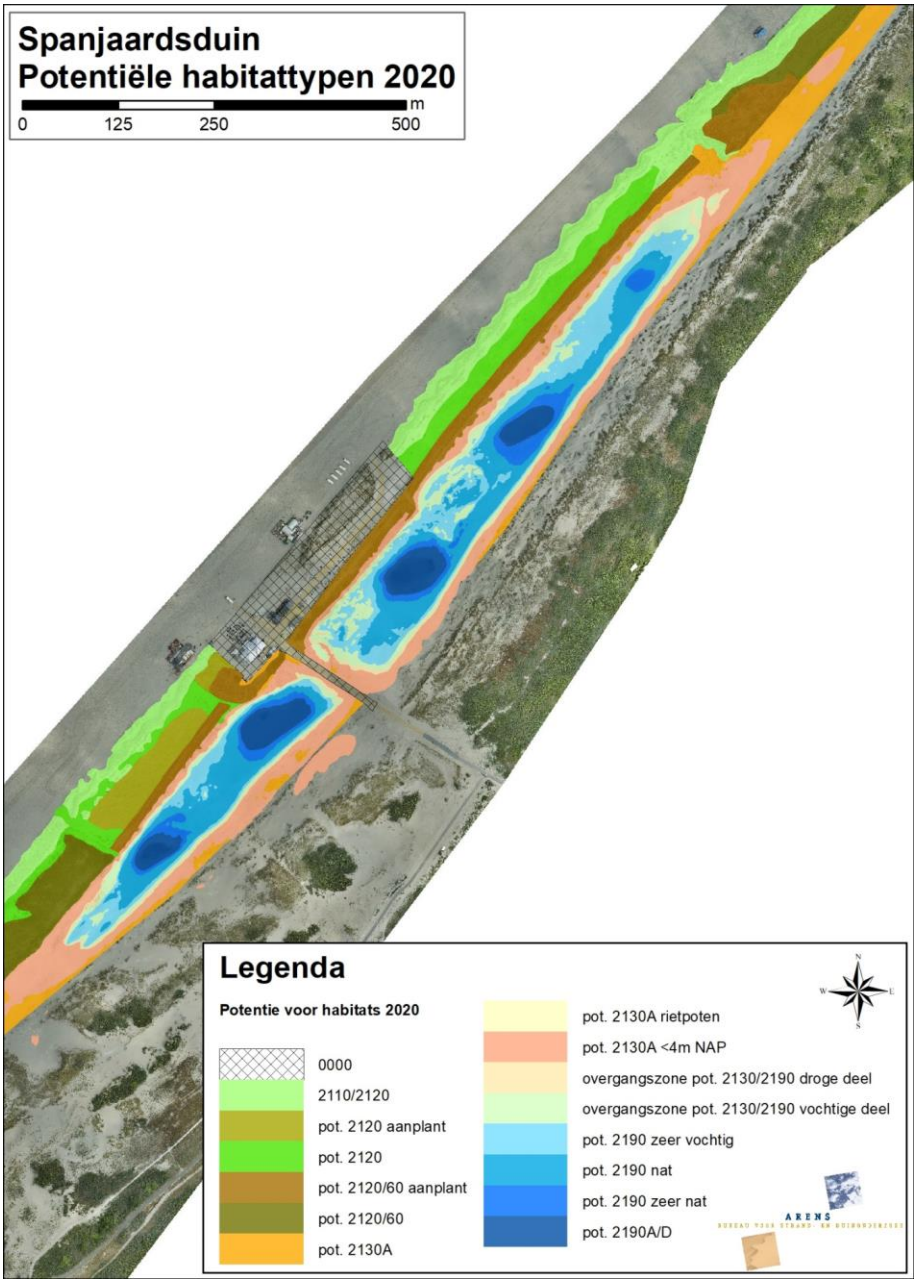
omschrijving	code	2014	2015	2016	2017	2019	2020
antropogeen	0	2.67	2.67	2.67	2.67	2.72	2.69
H2110/H2120	2110/2120	2.30	2.30	2.46	4.10	6.64	7.08
H2120 aanplant	2120 a	8.27	8.27	8.03	6.00	3.69	2.80
H2120 spontaan	2120 p	3.84	3.84	3.92	3.18	3.36	2.33
H2120/H2160 aanplant	2120/60 a	6.00	6.01	6.03	4.66	6.13	4.18
H2120/H2160 spontaan	2120/60 p	0.47	0.47	0.54	2.88	1.07	4.74
Potentieel H2130 Grijze duinen							
H2130 >4.0m NAP	2130 l	8.69	8.23	7.66	7.36	5.16	5.01
H2130 <4m NAP	2130 p	4.98	4.98	4.96	5.24	5.24	5.18
Overgangszone							
overgangszone droog	75V130L	1.62	1.45	1.38	1.83	0.61	0.63
overgangszone nat	40V75V	2.43	2.86	3.18	3.52	2.32	1.71
Potentieel H2190 Duinvalleien							
H2190 zeer vochtig	25V40V	1.15	1.24	1.49	1.23	2.92	2.31
H2190 nat	10V25V	0.48	0.59	0.61	0.25	1.34	2.89
H2190 zeer nat	0V10V					0.68	0.85
H2190A/D	>0	0	0	0	0	1.27	1.12
totaal		42.92	42.92	42.94	42.92	43.16	43.52

Tabel 5.2. Samenvatting oppervlaktes potentieel H2130, H2190 en tussenzone.

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



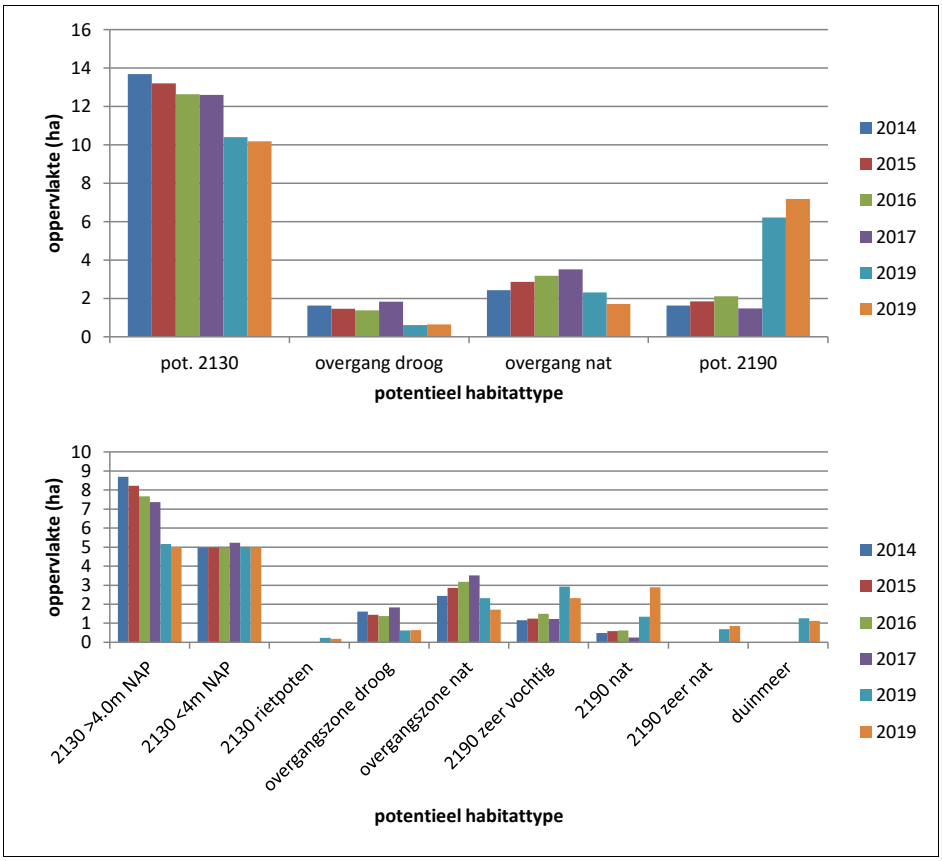
Figuur 5.1. Potentiële habitatkaart 2019.



Figuur 5.2. Potentiële habitatkaart 2020.

De verschillen door de ingreep zijn duidelijk. De oppervlaktes per potentieel habitattype zijn opgenomen in Tabel 5.1 en voor de belangrijkste habitattypen samengevat in Tabel 5.2. Dezelfde gegevens zijn in grafiekvorm weergegeven in Figuur 5.3.

Het areaal aan potentieel vochtige duinvallei is na de ingreep toegenomen tot 6.21 ha, iets groter dan de compensatieopgaven van 6.1ha. In 2020 is dit areaal nog iets gegroeid tot 7.18 ha, door uitstuiving in de vallei. Het verdiepen in 2019 is vanzelfsprekend ten koste gegaan van de drogere habitattypen. Het oppervlak aan potentieel Grijs duin bedroeg direct na de verdieping nog 10.4ha, in 2020 is dat iets afgenomen tot 10.18ha, nog steeds groter dan de compensatieopgave van 9.8ha. Er zijn bovendien forse oppervlakken die op termijn ook kunnen ontwikkelen naar Grijs duin, zoals de zone tussen de helmstroken in het voorheen onbeplante basisduin zuid. De overgangszone "droog" (0.61ha in 2019, 0.63ha in 2020) is iets toegenomen. De overgangszone "nat" (2.32ha in 2019, 1.71ha in 2020) is afgenomen. Een deel van deze zone is door uitstuiving overgegaan in potentieel H2190.. Delen van de overgangszones kunnen tot Grijze duinen dan wel Duinvalleien gaan behoren, waarmee het totale oppervlak aan potentiële habitattypen enkele hectares groter is dan de totale compensatieopgave.



Figuur 5.3. Veranderingen van oppervlaktes potentiële habitattypen.

Er was in de zomer van 2020 enige zorg over het verdrogen van de verdiepingen door instuiving in water. De diepste zones zijn inderdaad enigszins in omvang afgenomen (met 0.15ha). Daar staat tegenover dat de zones daarboven zeer nat (licht) en nat (fors) zijn toegenomen, waardoor het potentieel areaal aan natte duinvallei habitat 2190 met 1 ha is toegenomen.

De verschillen in de potentiële habitats 2110, 2120 en 2160 in Figuur 5.1 en Figuur 5.2 en Tabel 5.1 zijn groot. Het betreft interpretaties op grond van luchtfoto-beelden. De interpretatie van potentieel H2120 en H2110, witte en embryonale duinen, hangt deels af van de mate van overstuiving op de luchtfoto-opname. Het ene jaar is het oude patroon van Helmaanplant minder duidelijk zichtbaar dan het andere jaar. Hetzelfde geld voor de Duindoorn. Wanneer Duindoorn recent verwijderd is, wordt het oude, onderliggende aanplantpatroon weer zichtbaar. Is de Duindoorn welig tierend aanwezig, dan is het onderliggende aanplantpatroon niet meer zichtbaar. Het totale oppervlak aan potentieel witte en embryonale duinen bedraagt in 2019 13.69ha, in 2020 iets afgenomen tot 12.21ha. Het oppervlak aan potentieel H2160, duindoornstruwelen is toegenomen van 7.21 tot 8.91ha. Dit strookt met de veldobservatie dat Duindoorn na het verwijderen in 2017 weer op grote schaal is terug gekomen.

Door Shore is een automatische classificatie van vegetatie(structuur) gemaakt (de Zeeuw, 2020). Het zou interessant zijn om deze classificatie en de luchtfoto-interpretatie te vergelijken. Daarnaast zou het nuttig zijn om aan de classificatie van Shore de grondwaterinformatie toe te voegen, waarmee voor de vallei betere resultaten kunnen worden verkregen, omdat dan vochtklassen toegevoegd kunnen worden.

Aangezien voor zowel habitattype H2110 Embryonale duinen als H2120 Witte duinen als H2160 Duindoornstruwelen geen compensatieopgave bestaat, zijn deze verschuivingen interessant maar voor de doelstellingen van dit project niet van belang. Overigens zijn ze voor de natuurdoelen van het gebied zelf wel van belang. Door structureel Duindoorn te verwijderen zou kunnen worden voorkomen dat een (groot) deel van de zeereep overwoekerd raakt met Duindoorn en zou hier op termijn mogelijk zelfs nog Grijs duin kunnen ontstaan.

6 VERWACHTINGEN, KNELPUNTEN EN LESSEN

Het project Spanjaardsduin heeft een hoop relevante kennis geleverd over de mogelijkheden en onmogelijkheden van “natuurbouw”. Maar ook nu nog worden we geconfronteerd met vraagstukken, waarop het antwoord niet direct voorhanden is. Hieronder worden eerst de meest urgente knelpunten besproken. Daarna volgt een opsomming van de verschillende knelpunten uit het verleden, oplossingen en fouten en lessen die toepasbaar zijn voor toekomstige projecten.

6.1 Urgente knelpunten

De ingreep van 2019 heeft een fors areaal opgeleverd wat onder invloed van het grondwater staat. Waar grondwater boven het oppervlak staat zal rondstuivend zand ingevangen worden door het water. Het risico bestaat dat hierdoor de laagste delen te snel opgevuld worden en daarmee weer verdrogen. Op zich is het de normale dynamiek in het ontstaan van vochtige duinvalleien dat de maximale uitstuiving tijdens een droge periode bereikt wordt, het oppervlak daarna tijdens hoger grondwater vochtig wordt, waarna vegetatie zich vestigt en de vallei stabiliseert. In het huidige Spanjaardsduin worden de vochtige vlakken afgewisseld met droge stukken, waarvandaan nog steeds zand kan eroderen. Het is het meest waarschijnlijk dat deze erosieve stukken het zand leveren voor de geleidelijke opvulling van de nattere delen. De rol van het basisduin als bron voor deze instuiving is waarschijnlijk beperkt. Op het moment van schrijven van dit rapport (augustus 2020) verkeren we weer in een extreem droge periode. Het is goed mogelijk dat het grondwater daardoor dermate daalt, dat ook de laagst gelegen delen droog vallen en daarmee opnieuw vatbaar worden voor winderosie. Het is daarom van belang om de ontwikkeling van de vallei in detail te blijven monitoren.

Voor de toekomstige morfologische ontwikkeling van de vallei zijn de volgende knelpunten van belang:

- Het risico dat de verdiepte vlakken weer verdrogen omdat rond stuivend zand in het water ingevangen wordt;
- Het gemis aan kennis over de sedimentstromen binnen het gebied, in het bijzonder wat de brongebieden zijn voor de instuiving van de natste delen.

Voor het eerste knelpunt kunnen we lering trekken uit het rietpotenexperiment aan de noordkant. Hier zijn vier vlakken “beplant” met rietpoten. Deze vlakken vangen zand. De tussenliggende vlakken zijn erosief. Omdat in deze vlakken geen (of weinig) zand binnenkomt, er kan uit de vlakken met rietpoten immers geen zand ontsnappen, kan de wind hier zand opnemen, en dus het oppervlak eroderen. In feite zien we hetzelfde gebeuren bij de vijf natte schotels. Ook hier kan de wind geen zand opnemen. In de tussenliggende, droge vlakken kan dat wel, dus ook deze vlakken eroderen. Door een deel van deze vlakken te stabiliseren zal de hoeveelheid zand die naar de natte schotels stuift afnemen. Het effect van deze ingreep is wel dat de vallei wordt opgedeeld in hogere en lagere delen, en dus in drogere en nattere delen.

Om zo een stabiliserende maatregel goed te ontwerpen is het essentieel dat het tweede knelpunt opgelost wordt. Door meer in detail naar de hoogteontwikkeling in de vallei te kijken, in combinatie met meteorologische omstandigheden, zal meer duidelijkheid ontstaan onder welke condities erosie optreedt en met name wat de rol van de zuidwestenwind is. Als blijkt dat de zuidwestenwind dominant is voor de hoogteontwikkeling van de vallei, zal bij de stabilisatie de focus op de zuidwestkant van de vallei moeten liggen, want hier bevindt zich het grootste, droge oppervlak wat in potentie zand kan leveren om de rest van de vallei onder te stuiven.

6.2 Samenvatting van knelpunten en lessen n.a.v. de ontwikkeling sinds 2009

Er werd een flinke stijging van het grondwater verwacht. Schattingen gingen uit van een hoogste grondwaterstand van 2.45m NAP. Dit is uitgebleven. De maximale grondwaterstand is tot nu toe 1.65m NAP. Het is achteraf niet te achterhalen hoe deze schatting tot stand is gekomen.

De verwachting was dat het kale, onbeplante basisduin geleidelijk aan gekoloniseerd zou worden door vegetatie en zou stabiliseren. Dit bleek niet het geval. Het kale duin erodeerde (snel), vegetatie kon zich niet vestigen door een te grote dynamiek.

De verwachting was dat vanaf het basisduin zand in de vallei zou stuiven, waardoor binnen de vallei een natuurlijk opgebouwde bodem zou ontstaan. Omdat de verwachte grondwaterstijging uitbleef en de vallei daardoor droog bleef, is dit niet gebeurd, integendeel: de vallei is jarenlang uitgediept door uitstuiving.

Een duin dat ingeplant is met Helm kan binnen een aantal jaren transformeren tot een natuurlijk ogend wit duin, wanneer er voldoende aanstuiving plaatsvindt.

Aanplant in een golvende lijn geeft meer variatie en een natuurlijker beeld dan aanplant in een recht en strak patroon. Desondanks leidt zulke aanplant ook tot een regelmaat in patronen van erosie en depositie die in de natuur niet voorkomt. Een aanplantpatroon wat uit de natuur is gekopieerd geeft een natuurlijker resultaat.

Vestiging van Helm in de laagste delen van de vallei en vervolgens ophogen door het invangen van zand in de Helmpollen was niet voorzien.

De aanleg van een slag door de vallei heeft geleid tot een tweedeling, op de plaats waar de vallei het meest ontwikkeld zou moeten zijn. Via de slag is veel zand de vallei ingestoven. Rondom de slag is een zanddam ontstaan, waardoor de verbinding tussen het noordelijk en zuidelijk deel in de vorm van duikers is verbroken.

Het is mogelijk de dynamiek in een voormalige zeereep te beïnvloeden door het aanbrengen van een nieuwe zandbron, ook al wordt de voormalige zeereep afgesneden van de zee.

Het werd verwacht dat op de lijhelling van het basisduin Duindoorn zou opkomen. Dit is ook gebeurt.

Schelpen in het sediment geven aanleiding tot de ontwikkeling van schelpenvloertjes. Door variaties in de concentratie van schelpen ontstaat er waarschijnlijk ook een variatie in de mate van uitstuiving, waardoor merkwaardige patronen in het reliëf kunnen ontstaan.

Tot slot werd niet voorzien dat de ligging van de vallei op de zuidwestenwind zou betekenen dat veel van de morfologische ontwikkeling bepaald werd door wind die in de lengterichting van vallei en basisduin waait en niet door wind die dwars op vallei en basisduin waait, zoals gebruikelijk bij zeerepen langs de Hollandse kust. Bij een expositie waarbij zuidwestenwind langs de zeereep waait is het effect over het algemeen veel kleiner, omdat de zeereep overwegend begroeid is.

7 CONCLUSIES

- Het basisduin is aangelegd als zanddijk en in de jaren na aanleg door aanstuiving snel natuurlijker geworden. De voorzijde is het meest natuurlijk geworden, hier ontstaan inmiddels ook embryonale duinen. Het voorheen onbeplante basisduin is in 2013 van twee helmstroken voorzien. Ook hier is de voorste helmstrook snel natuurlijker geworden door een sterke aanstuiving. Wel is het golvend patroon van aanplant op luchtfoto's nog steeds herkenbaar en heeft dit ook een effect op het patroon van erosie en depositie achter deze helmstrook. In het veld ziet dit er door zeer vitale en ingestoven helmpollen echter zeer natuurlijk uit.
- De mate van overstuiving is groot en heeft behalve tot natuurlijker worden ook geleid tot een forse verhoging van het basisduin. Het beplante basisduin is tussen 2009 en 2020 gegroeid van 6-7m tot lokaal ruim 11m NAP. Het voorheen niet beplante basisduin was aanvankelijk met name rondom de top erosief, waarbij de hoogte afnam tot 4.3m NAP. Na aanplant van de helmstroken is zowel in de eerste als in de tweede helmstrook de hoogte sterk toegenomen, tot respectievelijk 10 en 7m. De tussenliggende zone is nog steeds erosief en lager dan 4m NAP. Aan de zuidkant is deze inmiddels ook ingeplant met helm afkomstig uit de vallei, waarbij de helm onregelmatig verspreid is aangebracht. De erosie is hier nu grotendeels gestopt, met uitzondering van enkele plekken, met name op de overgang van beplant naar voorheen onbeplant basisduin.
- De vallei is in de loop der jaren geleidelijk aan uitgediept, waarbij het laagste oppervlak ook langzaam in oppervlak is toegenomen. Aanvankelijk nam de breedte bij het voorheen onbeplante basisduin noord af, omdat hier aan de landwaartse zijde van het basisduin een forse overstuiving optrad, waardoor deze kant van het basisduin zich ten koste van het valleioppervlak uitbreidde. De uitdieping van de vallei heeft kunnen plaatsvinden omdat de verwachte grondwaterstand van 2.45m NAP bij lange na niet gehaald is. Ondanks de verlaging en door een slechts geringe stijging van het grondwater bleef de invloed van het grondwater te beperkt, zodat in 2019 een verdiepingsingreep heeft plaatsgevonden. Een deel van de vallei is afgegraven en er zijn vijf schotelvormige vlakken aangelegd die nu binnen de invloedsfeer van het grondwater liggen. In maart 2020 heeft er een ongekende hoeveelheid water in de vallei gestaan. Door extreme droogte daarna is het natte oppervlak vervolgens weer flink gekrompen. Na de verdieping is de omvang van de vallei echter toch weer iets toegenomen door uitbreiding in noordelijke en zuidelijke richting met enkele meters als gevolg van uitstuiving. Door instuiving in de natste delen zijn deze juist iets gekrompen, vooral in een zeer droge periode tussen maart en juli 2020. Een deel van het instuivende zand is hoogstwaarschijnlijk afkomstig van de iets minder natte delen, want deze oppervlaktes zijn iets geërodeerd en daarmee in omvang toegenomen. Dit uit zich vooral in een verschuiving van het oppervlak tussen 1.75-2.00m NAP (van 3.22ha in 2019 naar 1.95ha in 2020) naar 1.50-1.75m NAP (van 3.0 naar 4.7ha).
- Het vallei-oppervlak beneden 4m NAP heeft zich in noordelijke en zuidelijke richting enkele meters uitgebreid.
- Bij de verdieping is op enkele plaatsen, tegen de oude zeereep aan, de hoogte op of onder het niveau van 2008, dus van voor de aanleg van het Spanjaardsduin, gekomen. Dat zou betekenen dat hier oorspronkelijk sediment aan het oppervlak ligt (hoewel dit wel beïnvloed kan zijn door suppleties die vóór aanleg van het Spanjaardsduin zijn uitgevoerd).
- De herkomst van het zand dat in de natste delen instuift is een punt van discussie. Probleem is dat dit niet direct af te leiden is uit de erosie- en depositiepatronen. Om hier meer inzicht in te krijgen zou eigenlijk meer detail onderzoek moeten plaatsvinden.
- Het is belangrijk om de verstuiving te blijven volgen om te bepalen of natte delen niet volstuiven (water vangt zand, dit probleem speelde eerst natuurlijk niet).
- Bij dreiging van volstuiven zullen stabilisatiemaatregelen nodig zijn.

- Bij de ingreep zijn de schelpenvloertjes ook deels verdwenen, waardoor de erodeerbaarheid van het oppervlak is toegenomen. De vallei stuift daardoor weer verder uit. De mate van uitstuiving over 2019-2020 is veel groter dan gemiddeld tussen 2009-2014 en 2014-2019.
- Bij de verdieping is een oppervlak net ten noorden van Slag Vlugtenburg gespaard omdat hier al een veelbelovende ecologische ontwikkeling op gang was gekomen. Na de verdieping is dit oppervlak door instuiving deels licht verhoogd, waardoor de ontwikkeling hier eerder richting Grijze duinen dan richting Natte duinvallei gaat.
- De dynamiek in de oude zeereep aan de noordkant (ten noorden van Slag Vlugtenburg) neemt af, wel liggen hier enkele zeer actieve stuifkuiltjes.
- De dynamiek in de oude zeereep aan de zuidkant (ten zuiden van Slag Vlugtenburg) is na 2014 sterk toegenomen door dynamiseringsmaatregelen in het kader van een herinrichting van de van Dixhoorndriehoek.
- Kuberingen wijzen uit dat het gebied in zijn totaliteit, dus de som van basisduin, vallei en oude zeereep, zand invangt, omdat het volume toeneemt, van 2009-2014 met in totaal 170.000m^3, van 2014-2019 met 162.000m^3. Het gros van de toename is het gevolg van instuiving in het basisduin, met een gemiddelde aanwas van 13 m^3/m.jaar van 2009-2014 en 18.6 m^3/m.jaar van 2014-2019. De aanwas van het basisduin is ten zuiden van Slag Vlugtenburg groter dan ten noorden. Een kleiner deel van de toename komt op conto van de noordkant (ten noorden van Slag Vlugtenburg) van de oude zeereep: van 2009-2014 is dat 68.000m^3 en van 2014-2019 28.000m^3. De vallei in zijn geheel en de oude zeereep ten zuiden van Slag Vlugtenburg verliezen forse hoeveelheden sediment. In de oude zeereep ten zuiden van Slag Vlugtenburg is dit het gevolg van dynamiseringsingrepen tussen 2014-2017. Tussen 2019 en 2020 verliest de vallei door uitstuiving maar liefst 14.000m^3. Van 2009-2014 is dit 28.000 m^3 en van 2014-2019 39.000 m^3. De stuifketels in de oude zeereep ten zuiden van Slag Vlugtenburg verliezen van 2014-2019 25.000m^3, waarvan 13.000 in de zone oostwaarts van de ketels wordt teruggevonden. Er is discussie of de erosie in de oude zeereep gevolgen heeft voor de instuiving in de aangrenzende vallei, of dat dit zand vooral oostwaarts geblazen wordt. De uitgediepte laagtes vangen wel enig zand, maar dit is verwaarloosbaar (circa 3%) ten opzichte van de uitgestoven hoeveelheid. Een deel van dit zand moet uit het systeem stuiven, oostwaarts van de oude zeereep ten zuiden van Slag Vlugtenburg. Het zou kunnen dat ook een deel het basisduin instuift, maar dit is op grond van de erosie- en depositiepatronen niet te concluderen, maar het zou wel een verklaring kunnen zijn voor het toch vrij grote verschil in aanstuiving van het basisduin ten noorden en ten zuiden van Slag Vlugtenburg en ook voor het verschil tussen de aanstuiving tussen 2009-2014 (nog geen herdynamisering van de stuifketels) en tussen 2014-2019 (wel herdynamisering). Er lijkt netto transport van zuid naar noord plaats te vinden, maar het is zeker niet zo dat al het zand wat aan de zuidkant erodeert aan de noordkant afgezet wordt.
- Door de ingreep is het oppervlak aan potentieel habitat Natte duinvallei 6.21ha, wat iets groter is dan de 6.1ha uit de compensatieopgave. In 2020 is dat uitgebreid tot 7.18ha
- Er was in de zomer van 2020 enige zorg over het verdrogen van de verdiepingen door instuiving in water en de gevolgen daarvan voor het potentieel habitattype Natte duinvallei. De diepste zones zijn inderdaad enigszins in omvang afgenomen (met 0.15ha). Daar staat tegenover dat de zones daarboven zeer nat (licht) en nat (fors) zijn toegenomen, waardoor het potentieel areaal aan natte duinvallei habitat 2190 met 1 ha is toegenomen.
- Het potentieel habitat grijze duinen bedroeg na de ingreep 10.40 ha, iets groter dan de 9.8ha uit de compensatieopgave. In 2020 is dat licht afgenomen naar 10.18ha
- Voeg hierbij nog de overgangszones van 0.63 (droog) en 1.71 (nat) ha en er lijkt genoeg ruimte om aan de compensatieopgave te voldoen.
- Daarnaast kan een deel van de zeereep zich tot grijs duin ontwikkelen, zeker als de opgekomen Duindoorn massaal verwijderd wordt en onderdrukt blijft worden. Dit is met een eerste ingreep

niet goed gelukt. Verwijderen van Duindoorn met de bosmaaier is geen goede oplossing, tenzij het zeer regelmatig (meerdere keren per jaar) gebeurt.

8 AANBEVELINGEN

8.1 Aanbevelingen voor het Spanjaardsduin

Zuidwestenwind is waarschijnlijk een belangrijke motor voor de dynamiek in de vallei. Bij zuidwestenwind waait de wind precies door de vallei, kan aan de zuidkant over een groot, kaal oppervlak zand opnemen en dit richting noorden verplaatsen. Aan de hand van bestaande data moet het mogelijk zijn het effect van zuidwesten wind en andere windrichtingen op hoogteveranderingen in de vallei te bepalen. Voor de laatste jaren zijn middels de opnames van Shore en Rijkswaterstaat verschillende laseraltimetriemetingen beschikbaar: maart, augustus en oktober 2018, februari, april en oktober 2019 en januari en juni 2020. Van de oude situatie zijn bovendien de profielmetingen beschikbaar, die ook bruikbaar kunnen zijn voor dit onderzoek. Voor de verschillende periodes kan met via het KNMI beschikbare gegevens van windrichting, -snelheid en eventueel neerslag worden uitgezocht welke omstandigheden bepalend zijn voor het optreden van erosie/sedimentatie in de vallei. Hiermee wordt duidelijk wat de brongebieden van stuivend zand in de vallei zijn en hoe hier effectieve maatregelen genomen kunnen worden om te voorkomen dat vanuit de brongebieden de natste delen van de vallei weer vol stuiven.

Als duidelijk is wat de brongebieden zijn binnen het gebied, kan erosie hiervandaan effectief bestreden worden en kan hiermee de instuiving in de natste delen van de vallei voorkomen worden. Het verdient sowieso aanbeveling om aan de zuidkant dwars op de vallei enkele stroken te stabiliseren, om de enorm lange strijklengte vanaf de zuidkant van de vallei naar het noorden te onderbreken. Als dwars op de vallei stabiele zones worden aangelegd (rietpoten, aanplant) kunnen in de stabiele zones grijze duinen ontstaan, maar begint de wind ook op de grens van de nog kale valleidelen te graven, waardoor de kans toeneemt dat deze stukken (sterker) onder invloed van het grondwater komen te staan. Bij de rietpotenvlakken aan de noordkant lijkt dit zo te werken. Het betekent wel iets voor het mozaïek van H2130 en H2190 wat zo kan ontstaan en ook voor het totale oppervlak aan H2190 wat hierdoor mogelijk te krap wordt om aan de compensatieopgave te voldoen.

Om te voorkomen dat een groot deel van het Spanjaardsduin onder de Duindoorn verdwijnt, moet deze veel actiever en ingrijpender bestreden worden. Maaien met de bosmaaier lijkt hierbij niet de beste methode, tenzij dit structureel, verschillende keren per jaar wordt uitgevoerd.

8.2 Aanbevelingen voor toekomstige projecten

Er bestaat inmiddels aardig wat ervaring met het “bouwen” van duinen. Duinen zijn redelijk maakbaar en kunnen met behulp van aanplant en verstuiving vrij snel uitgroeien tot natuurlijk ogende, Witte duinen. Het aanplanten van een dubbele helmstrook op het voorheen onbeplante basisduin laat ook zien dat met variatie in de manier van aanbrengen van de beplanting ook variatie in de zich ontwikkelende morfologie bestaat.

Ervaring met het aanleggen van natte duinvalleien is veel beperkter. Het is cruciaal dat bij een ontwerp zeer goed nagedacht wordt over de ontwikkeling van het grondwater. Een gedegen modellering is hier op zijn plaats. Het is eigenlijk curieus dat bij het ontwerp van het Spanjaardsduin hier zo weinig aandacht aan is besteed. Het feit dat de grondwaterstand zo veel minder is gestegen dan verwacht heeft een enorme invloed op de ontwikkeling gehad, met als belangrijkste gevolg dat het halen van de compensatieopgave voor natte duinvalleien onzeker was, en uiteindelijk heeft geleid tot een nieuwe ingreep.

Een andere feit waar vanuit de efficiëntie van het project vraagtekens bij gezet kunnen worden is de plaatsing van een slag dwars door de beoogde duinvallei. De slag heeft een enorme impact, omdat deze ten eerste de vallei op de plaats waar deze het meest optimaal tot ontwikkeling had moeten komen dwars door midden snijdt. Het zandtransport via de slag heeft gezorgd voor veel ongewenste sedimentatie aan de noordkant van de vallei, met als gevolg helmopslag en verdroging. Door het zandtransport is de slag ook veranderd in het een zanddam, en is de fysieke verbinding tussen noord- en zuidkant van de vallei verbroken, omdat de in de dam aanwezige duikers volledig zijn ondergestoven. Het lijkt voor de hand liggend dat bij een project als dit, met een belangrijke natuurdoelstelling, de kern van het gebied gereserveerd wordt voor natuur, terwijl andere functies meer naar de periferie verwezen worden.

9 REFERENTIES

Arcadis, 2017. Resultaten monitoring strandhuisjes Spanjaardsduin; Tussentijds verslag. Rapport Arcadis B.V. in opdracht van Westland Strandhuisjes. 22 december 2017.

Arens, S.M., 2010. Duincompensatie Delfland. Monitoring abiotische ontwikkeling; Februari 2010. Rapport Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek RAP 2010.02 in opdracht van Het Zuid-Hollands Landschap.

Arens, S.M., 2016. Bijlage Geomorfologie bij jaarverslag 2015. 2016_08

Arens, S.M., 2017. Bijlage Geomorfologie bij jaarverslag 2016. 2017_01

Arens, S.M., 2018. Bijlage Geomorfologie bij jaarverslag 2017. 2018_02

Arens, S.M., 2018. Monitoring van verstuivingen in de zeereep van het Hoogheemraadschap van Delfland. Situatie 2016. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek RAP 2018.02 in opdracht van Hoogheemraadschap van Delfland.

Arens, S.M., 2019. Bijlage Geomorfologie bij jaarverslag 2018-2019. 2019_05

Arens, S.M., 2019. Monitoring van verstuivingen in de zeereep van het Hoogheemraadschap van Delfland. Situatie 2017-2018. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek RAP 2019.03 in opdracht van Hoogheemraadschap van Delfland.

Arens, S.M. en C.T.M. Vertegaal, 2011. Duincompensatie Delfland – Spanjaardsduin, Jaarverslag 2009-2010. Rapport Arens BSDO RAP2011.02 in opdracht van Stichting het Zuid-Hollands

Arens et al., 2013. Jaarverslag Beheer Spanjaards Duin 2012. Ontwikkeling Duincompensatie Delfland 2011-2012. 2013_01

Arens et al., 2014. Jaarverslag Beheer Spanjaards Duin 2013. Ontwikkeling Duincompensatie Delfland 2009-2013. 2014.03

Arens et al., 2014. Jaarverslag Beheer Spanjaards Duin 2014. 2015_02

Eleveld, M. & L. van der Valk, 2019. Memo rietpotenexperiment noordpunt Spanjaardsduin. Memo Deltares aan RWS. 8 april 2019.

IJff, S, B. van der Valk & F. van der Meulen, 2017. Leidraad beheer Spanjaards Duin. Rapport Deltares 1230642-002-ZKS-0001, versie 1.0, mei 2017, in opdracht van Rijkswaterstaat.

Van der Meulen, F. & B. van der Valk, 2016. Verslag veldbezoek Spanjaards Duin, dinsdag 8 maart 2016. Memo Deltares 1209885-000-ZKS-0027, 7-12-2016.

Van der Meulen, F., B. van der Valk, S. IJff en M. Eleveld, 2017. Concept-verslag veldbezoek Spanjaardsduin. Memo Deltares 4 mei 2017.

Van der Meulen, F. & B. van der Valk, 2017. Veldnotitie bezoek Spanjaards Duin 14 november 2017. Memo Deltares 23 november 2017.

Van der Meulen, F. & B. van der Valk, 2019. Veldbezoek Spanjaardsduin. Datum 18-1-2019, aanvulling op25-1-2019. Interne notitie Deltares.

Oude Vrielink, J.J., 2020. The impact of aeolian sediment transport on vegetation development in engineered coastal dunes and dune valleys. Master thesis University Twente en Deltares.

Stichting het Zuid-Hollandse Landschap, 2012. Spanjaardsduin-Duincompensatie Delfland, Beheerverslag 2011.

Van der Valk, B. & F. van der Meulen, 2018. Veldbezoek Audit Commissie Spanjaards Duin. Verslag 8-8-2018. Interne notitie Deltares.

Van der Valk, B. & F. van der Meulen, 2019. Stand van zaken Spanjaardsduin tijdens en na verdieping. Memo Deltares, 11203145-002-ZKS-0002, mei 2019.

Van der Valk, L. & F. van der Meulen, 2020a. Memo veldbezoek Spanjaardsduin, donderdag 11 juni 2020. Memo Deltares 11205731-000-ZKS-0001.

Van der Valk, L. & F. van der Meulen, 2020b. Memo veldbezoek Spanjaardsduin, 3 augustus 2020. Memo Deltares.

Verkerk, M., 2019. Hoogtemeting Spanjaardsduin – T5. Veldrapportage. Rapport Shore Monitoring & Research, kenmerk N201904-03_T5 in opdracht van Rijkswaterstaat.
Vertegaal, C.T.M., 2017. Interne memo Ecologische vereisten Habitattypen.
Vertegaal, C.T.M. & S.M. Arens, 2008. Natuurbeheerplan Duincompensatieproject Delflandse kust 2009-2029. Zuid-Holland Landschap/Vertegaal/Arens, Rotterdam/Leiden/Amsterdam.
De Weger, R. Ph., 2017. RPAS Monitoring Spanjaards Duin, 's-Gravenzande. T2 april 2017 Veldrapportage. Shore Monitoring & Research BV, in opdracht van RWS-WVL.
De Zeeuw, R.C., 2020. Spanjaardsduin, UAV vegetatieopname en morfologische ontwikkelingen juni 2020. Rapport Shore in opdracht van Rijkswaterstaat N202006-01_T6 (draft).

10 LIJST VAN FIGUREN, FOTO'S EN TABELLEN

10.1 Lijst van Figuren

Figuur 1.1. Overzicht van de uitgangssituatie van het Spanjaards Duin na aanleg in 2009. De 2.0 m contour is in 2009 nog niet bereikt binnen de vallei. [Bron: luchtfoto's en laseraltimetrie RWS].

Figuur 2.1. Voorbeeld van fout in de hoogte van wateroppervlakken, ontstaan door interpolatie bij ontbrekende data

Figuur 3.1. Contourlijnen binnen de vallei over AHN, 2019a2. [Bron: Laseraltimetrie Shore T5]

Figuur 3.2. Contourlijnen binnen de vallei over AHN, 2020a2. [Bron: Laseraltimetrie Shore T6]

Figuur 3.3. Contourlijnen binnen de vallei over AHN, 2009a. [Bron: Laseraltimetrie RWS]

Figuur 3.4. Vlakken tussen de hoogtelijnen voor 2019 en 2020. [Bron: Laseraltimetrie Shore]

Figuur 3.5. Hoogteverschillen periode 2018a tot 2019a2. [Bron: Laseraltimetrie RWS en Shore]

Figuur 3.6. Hoogteverschillen periode april 2019a2 tot juni 2020a2. [Bron: Laseraltimetrie Shore]

Figuur 3.7. Hoogteverschillen periode maart 2009a tot februari 2019a. [Bron: Laseraltimetrie RWS]

Figuur 3.8. Hoogteverschillen periode maart 2009 tot april 2019a2. [Bron: Laseraltimetrie RWS en Shore]

Figuur 3.9. Detail van de verschilkaart 2019a2-2020a2 (T6-T5) van de vlakken met rietpoten en tussenliggende vlakken. Voor kleuren zie legenda Figuur 3.6, hoogteverschillen van -0.5 tot +0.5m. [Bron: laseraltimetrie Shore]

Figuur 3.10. Hoogteverschillen periode augustus 2018 (T4) tot april 2019 (T5). [Bron: Laseraltimetrie Shore]

Figuur 3.11. Detail hoogteverschillen oktober 2018b tot april 2019a2 (T5). [Bron: Laseraltimetrie RWS en Shore]

Figuur 3.12. Detail hoogteverschillen april 2019a2 (T5)-oktober 2019b. [Bron: Laseraltimetrie Shore en RWS]

Figuur 3.13. Detail hoogteverschillen oktober 2019b tot juni 2020a2 (T6). [Bron: Laseraltimetrie RWS en Shore]

Figuur 3.14. Detail van de hoogteveranderingen in de vallei tussen april 2019 en juni 2020 (T6-T5). De kleuren lopen van -0.3 tot +0.3m om de hoogteverschillen in de vallei te benadrukken. De verdiepte schotels zijn aangeduid met 1 t/m 5. [Bron: laseraltimetrie Shore]

Figuur 3.15. Oppervlakte binnen contourlijnen in 2009 t/m 2019. In de bovenste grafiek is het totale oppervlak beneden een contourlijn weergegeven. In de onderste grafiek is het oppervlak tussen twee opeenvolgende contourlijnen weergegeven. (lichtblauw <1.50, blauw is 1.50 tot 2.00m NAP enz.).

Figuur 3.16. Oppervlakte binnen contourlijnen na de verdieping, 2019-2020.

Figuur 4.8. Ontwikkeling van de hoogtevlakken binnen de vallei van 2009 (linksboven) tot 2020 (rechtsonder).

Figuur 3.18. Gemiddelde hoogteveranderingen tussen 2019 en 2020 voor de kuberingsvlakken. Links op basis van de data van Shore (2020a2-2019a2, T6-T5), rechts op basis van de data van Shore en RWS (2020a2-2019a, T6-2019a).

Figuur 4.1. Overzicht ligging besproken Jarkustransecten.

Figuur 4.2. Enkele voorbeelden van profielontwikkeling in het Spanjaardsduin. De zee ligt links in de grafieken.

Figuur 4.3 Hoogteverschillen tussen maart 2009 en januari 2014.

Figuur 4.4. Hoogteverschillen tussen januari 2014 en april 2019.

Figuur 4.5. Variatie in erosie en sedimentatie langs de achterzijde van de eerste helmstrook op het voorheen onbeplante basisduin.

Figuur 4.6. Gemiddelde hoogteveranderingen tussen 2009 en 2014 (links) en 2014 en 2019 (rechts) voor de kuberingsvlakken. Links op basis van de RWS data van Shore, rechts op basis van de

data van RWS en Shore (2019a2-2014a, T5-2014a). De hoogteveranderingen in de kaart van 2014-2019 zijn inclusief de verdiepingsingreep.
Figuur 4.7. Verschilkaart 2009-2019 met omgrenzing en nummering van de vlakken waarvoor volumeverschillen zijn bepaald. Zone 1 is zeewaarts, zone 2/3 is landwaarts.
Figuur 4.9. Vergelijking hoogteverandering zeereep 2009-2019 met strandhuisjes (rood) en zonder (zwart).
Figuur 5.1. Potentiële habitatkaart 2019.
Figuur 5.2. Potentiële habitatkaart 2020.
Figuur 5.3. Veranderingen van oppervlaktes potentiële habitattypen.

10.2 Lijst van Foto's

Foto 3.1. Blik naar het noorden. Het niet afgegraven vlak met vegetatie staat ook deels onder water. Foto Kees Vertegaal, 11-03-2020.
Foto 3.2. Dichte begroeiing op het niet afgegraven vlak, nu overstoven. Opname 25-06-2020.
Foto 3.3. Krielparnassia, een doelsoort voor Natte duinvalleivegetatie. Opname 25-06-2020.
Foto 3.4. Slag Vlugtenburg, blik naar de noordkant, met op de achtergrond het gespaarde vlak. Opname 04-06-2020.
Foto 3.5. Water ten noorden van Slag Vlugtenburg. Op de grens van het water staan enkele beginnende helmpollen. Foto Kees Vertegaal, 11-03-2020.
Foto 3.6. Opname 25-06-2020.
Foto 3.7. Foto Kees Vertegaal, 11-03-2020.
Foto 3.8. 4-6-2020 bij slag Vlugtenburg, blik naar het zuiden, de eerste uitgegraven plas direct ten zuiden van de slag. Opname 04-06-2020.
Foto 3.9. Vochtige vlak met stukje water, vanaf de zeereep ten noorden van slag Vlugtenburg. Opname 04-06-2020.
Foto 3.10. Uitgegraven plas, weer instuivend, vooral aan de zuidkant door doorstuivend zand wat door de vallei aan komt stuiven. Opname 25-06-2020.
Foto 3.11. Eerste en tweede helmstrook, verschil in dynamiek, ten nootfrn van slag Vlugtenburg. Opname 04-06-2020.
Foto 3.12. Aan de noordkant, blik naar het zuiden. De vallei staat hier grotendeels onder water. Goed zichtbaar zijn hier de bulten op de grens van de vallei die zijn ontstaan door achtergebleven hopen helm. Foto Kees Vertegaal, 11-03-2020.
Foto 3.13. In het later ingeplante vlak met helm uit de vallei, niet al te regelmatig, lichte dynamiek nog, weinig instuiving, alleen aan de zuidkant door een gat. Opname 25-06-2020.
Foto 3.14. Het duindoornoerwoud. Opname 25-06-2020.

10.3 Lijst van Tabellen

Tabel 2.1. Beschikbare laseraltimetrie Rijkswaterstaat.
Tabel 2.2. Ecologische criteria voor onderscheid habitattypen 2130A (Grijze Duinen kalkrijk) en 2190B (Natte duinvalleien).
Tabel 2.3. Legendaeenheden potentiële habitatkaart.
Tabel 3.1. Volumeveranderingen per vlak. De veranderingen voor 2009-2014 e n 2014-2019 worden in H4 besproken.
Tabel 3.2. Volumeverandering zeereep per segment. De veranderingen voor 2009-2014 en 2014-2019 worden in H4 besproken.
Tabel 4.1. Overzicht van enkele belangrijke gebeurtenissen in de ontwikkeling van het Spanjaardsduin
Tabel 4.2. Volumeverschillen en hoogte(veranderingen) tussen 2009-2019 voor een aantal vlakken. Zone 1 is zeewaarts, zone 2/3 is landwaarts.

Tabel 5.1. Oppervlaktes potentiële habitattypen en tussenzones in hectares.
Tabel 5.2. Samenvatting oppervlaktes potentieel H2130, H2190 en tussenzone.

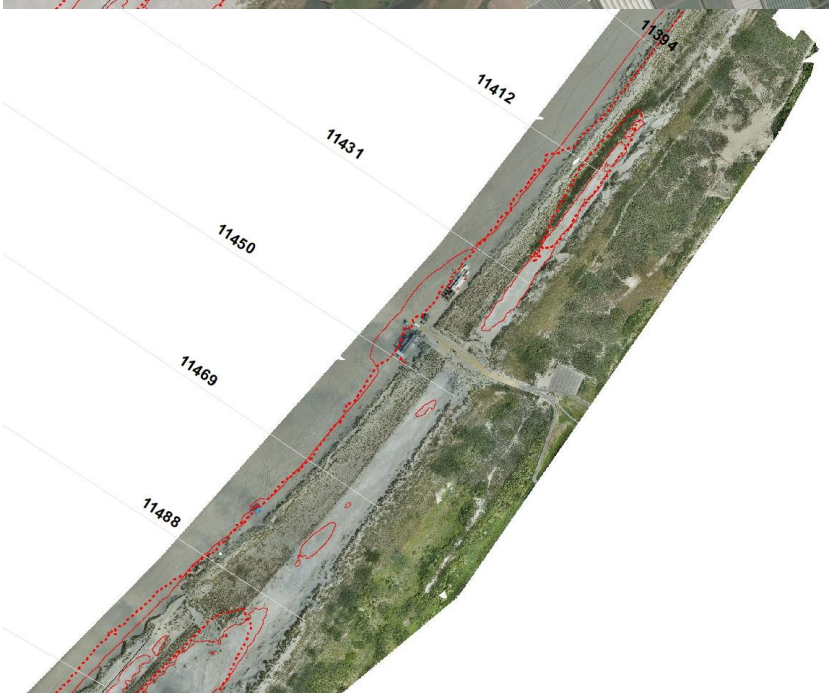
11 BIJLAGE

Hieronder zijn voor de volledigheid een aantal kaarten opgenomen die een overzicht geven van de situaties in 2009 en 2020 en de tussentijdse ontwikkeling. Er wordt in de tekst hieronder niet naar verwezen, ze zijn opgenomen voor de volledigheid. Het gebied is op de kaarten in vieren verdeeld:

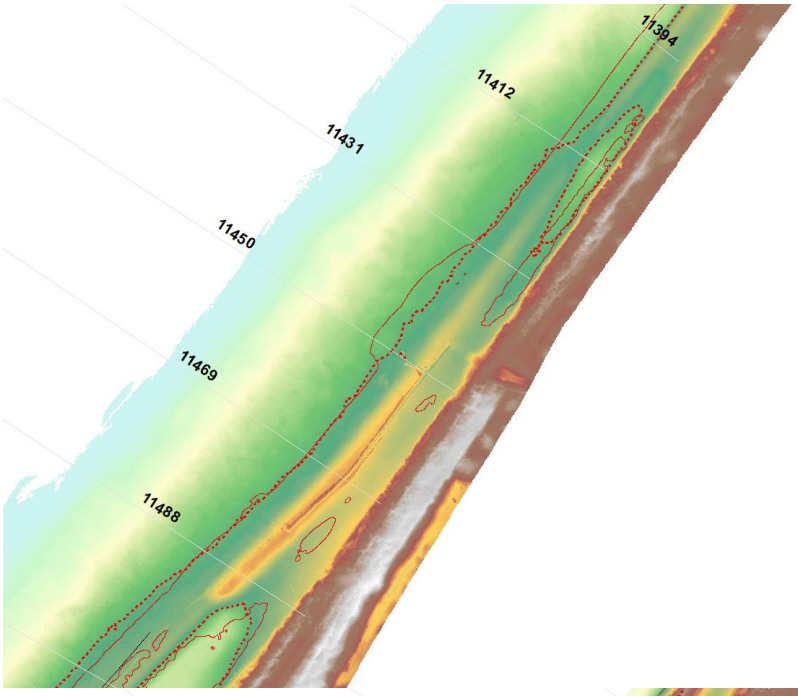
- Noordelijk beplant
- Noordelijk onbeplant
- Midden beplant en zuidelijk onbeplant
- Zuidelijk beplant

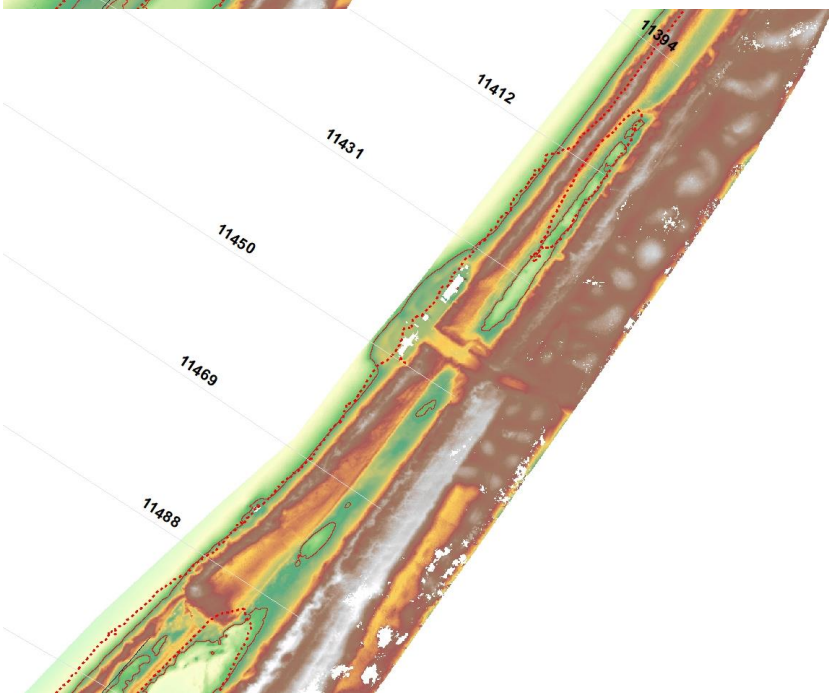
De volgorde van de kaarten is steeds:

- Luchtfoto 2009 (met 4m NAP hoogtelijn voor 2009, gestippeld en 2019, niet gestippeld)
- Luchtfoto 2020 (met 4m NAP hoogtelijn voor 2009, gestippeld en 2019, niet gestippeld)
- AHN, hoogteligging 2009
- AHN, hoogteligging 2020
- Verschilkaart 2009-2020

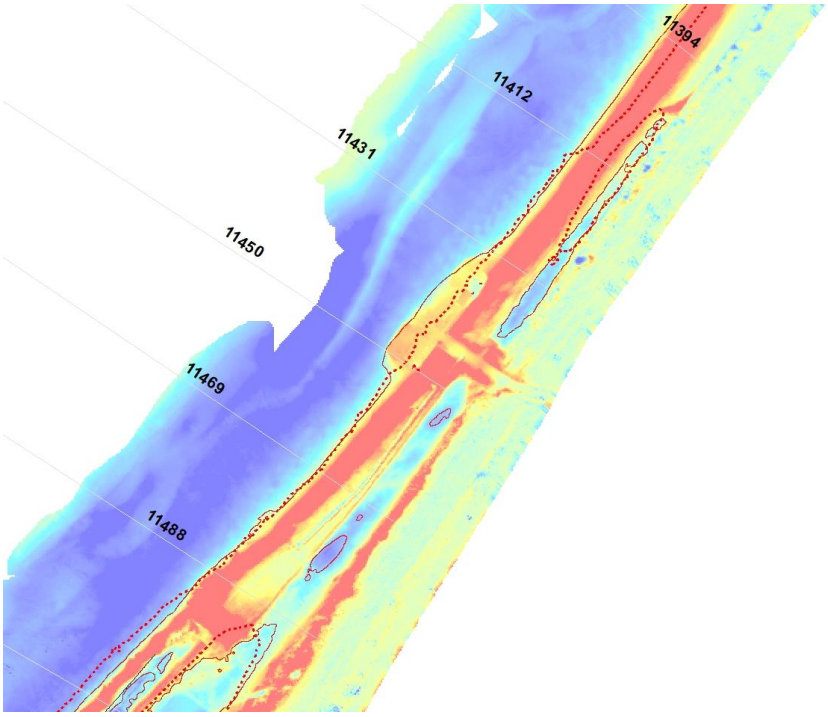


noord beplant



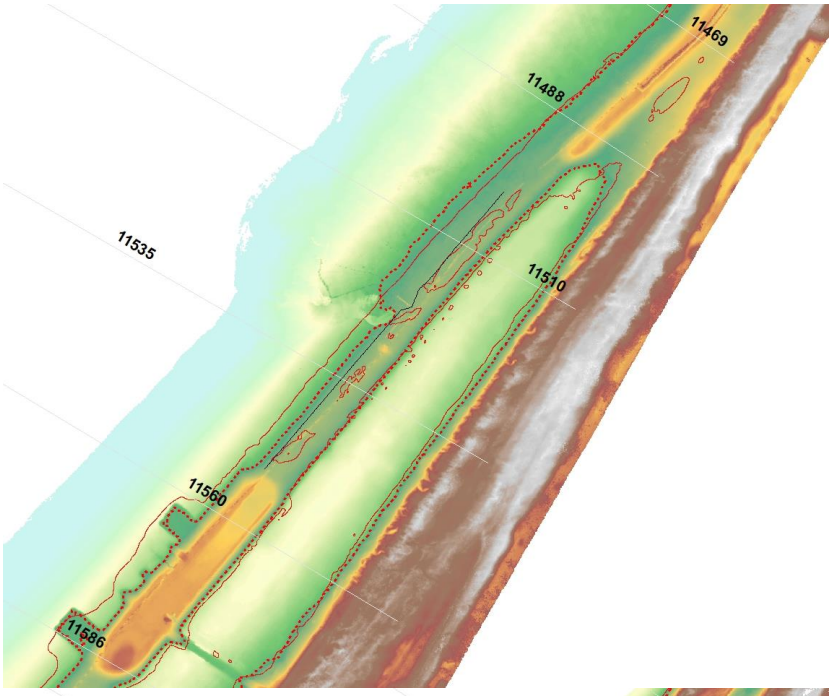


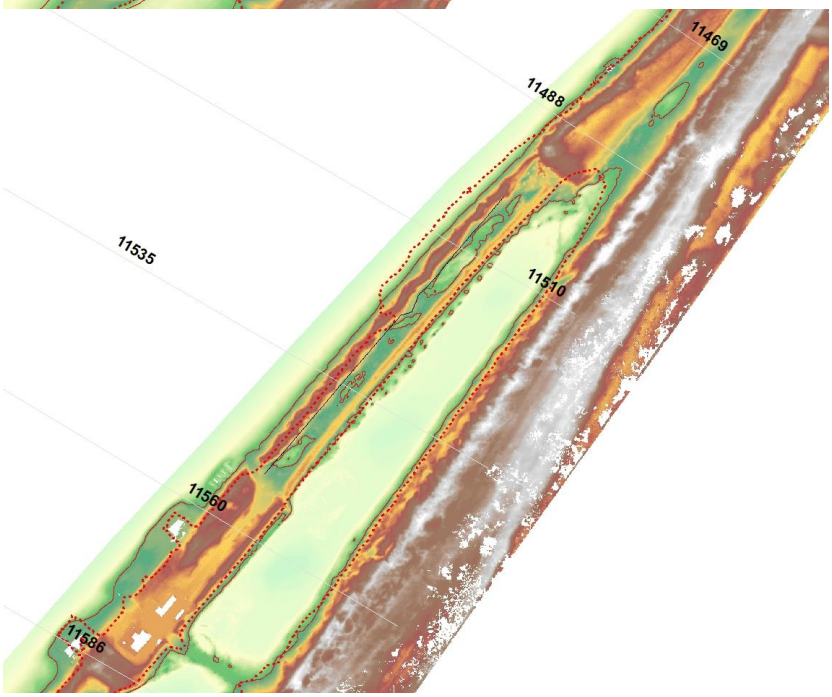
noord beplant



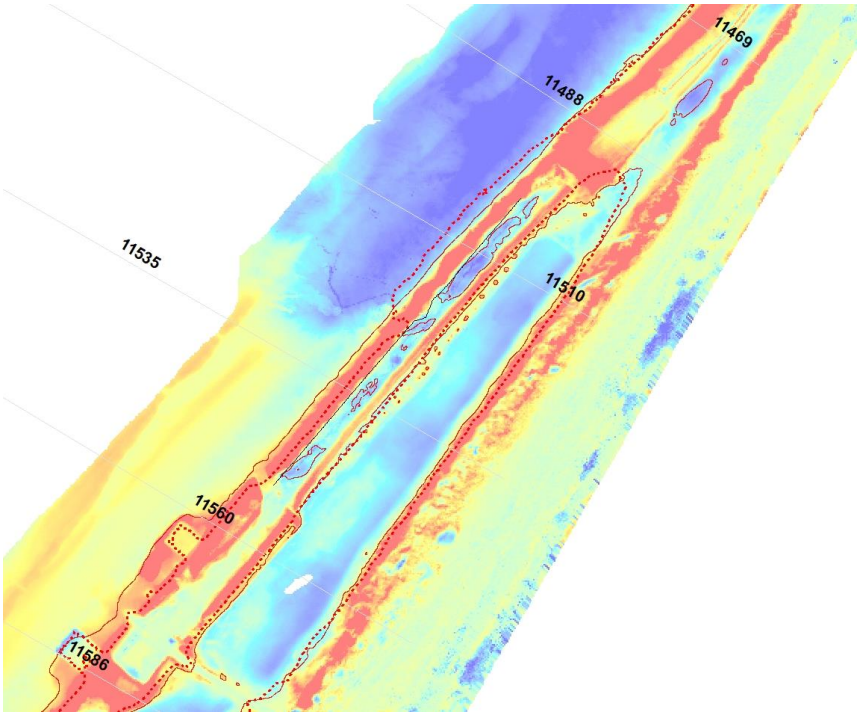
noord beplant

noord half beplant



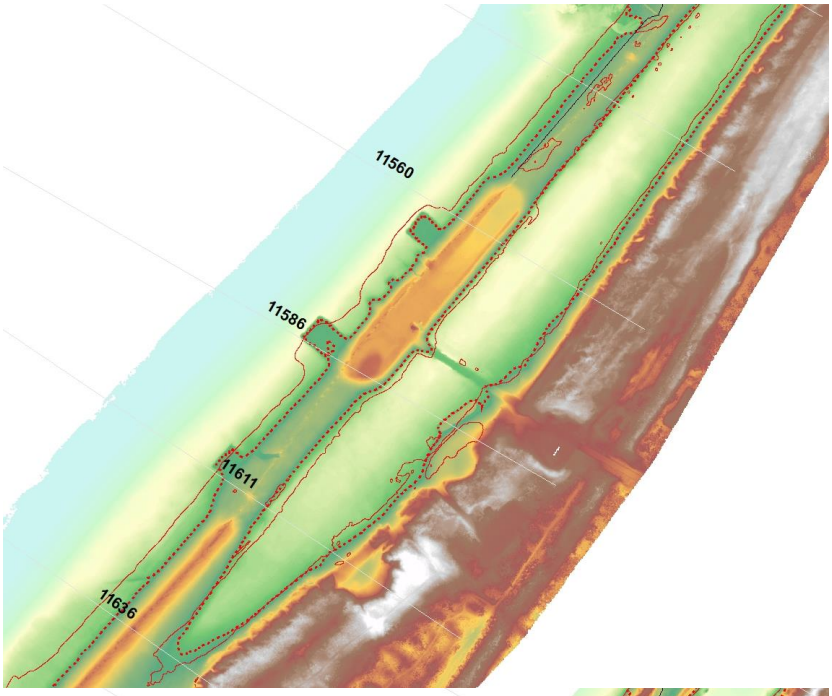


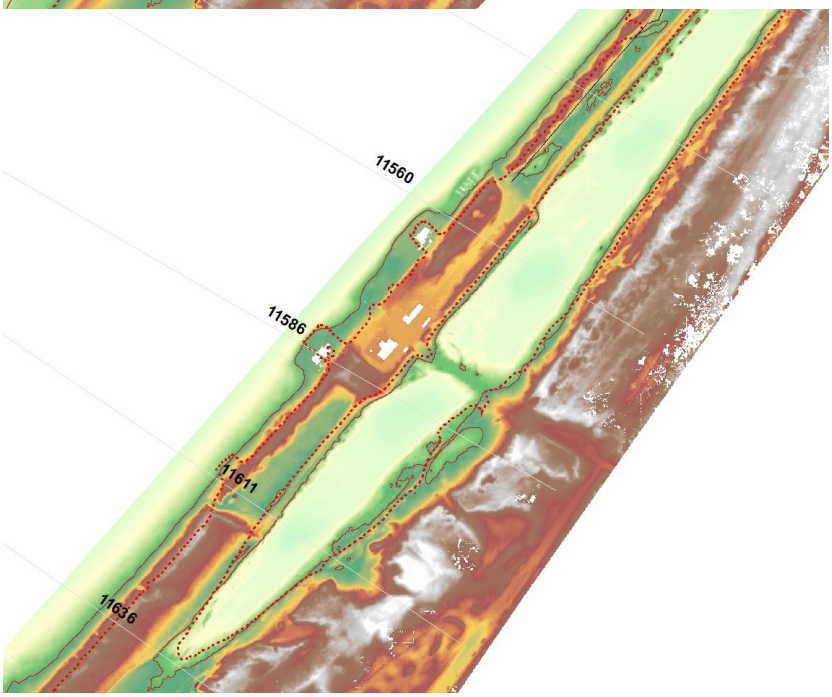
noord half beplant



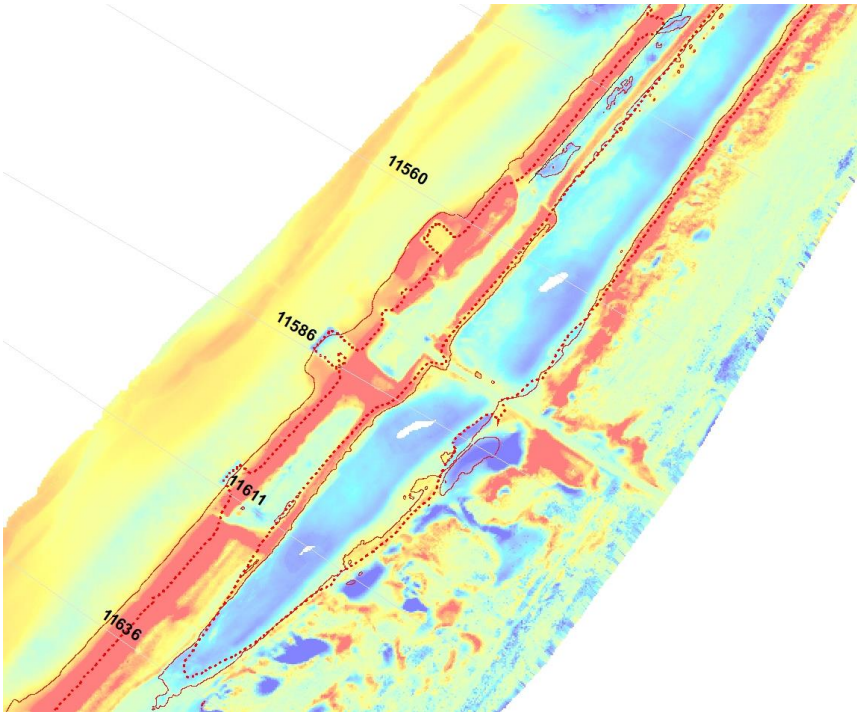
noord half beplant

midden beplant, zuid

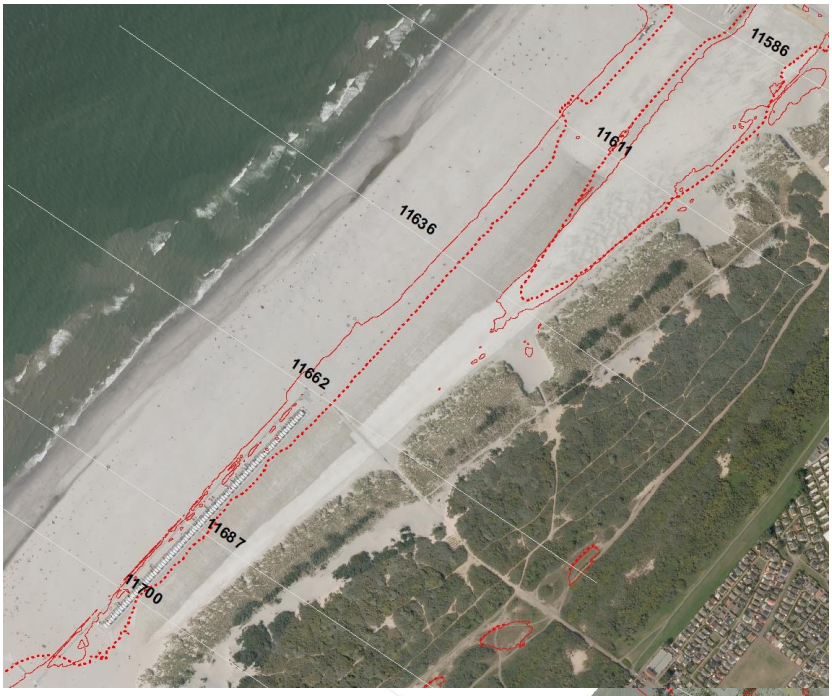




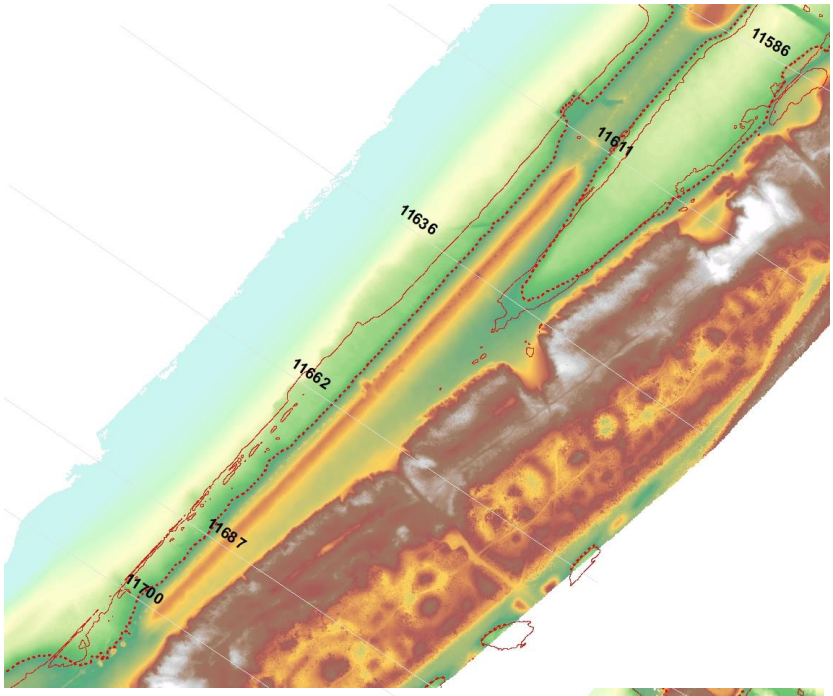
midden beplant, zuid

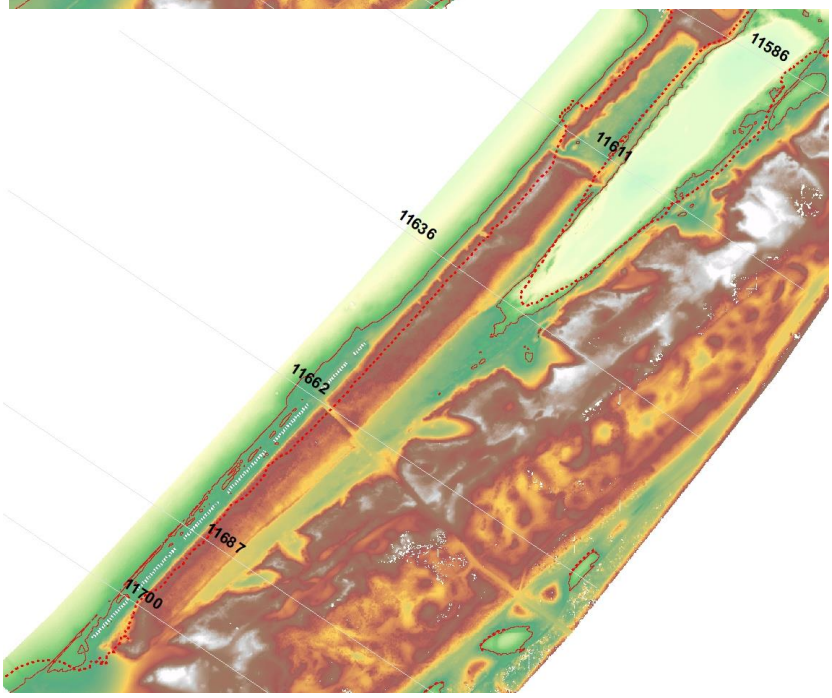


midden beplant, zuid

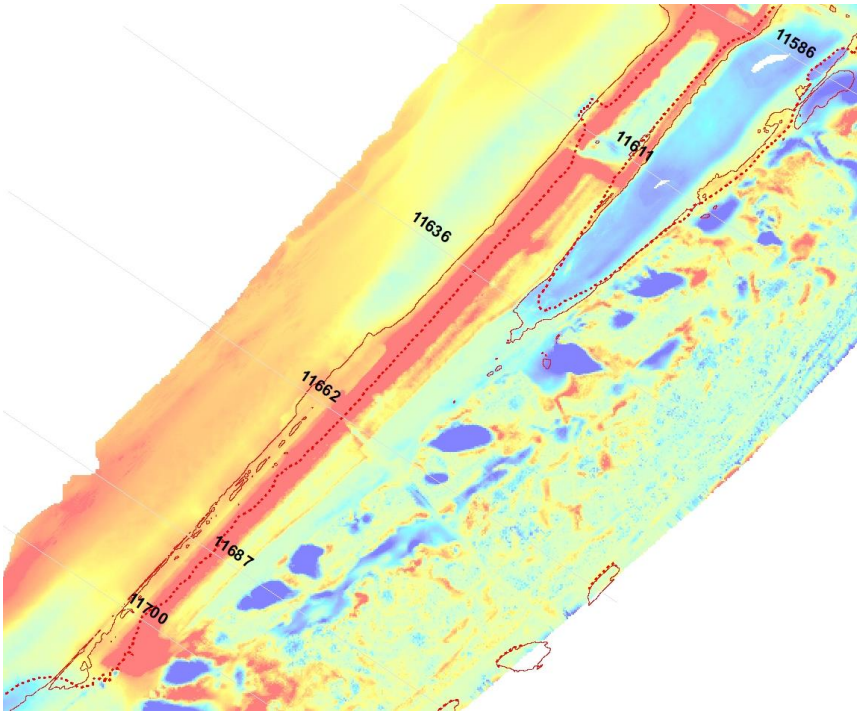


zuid beplant





zuid beplant



zuid beplant

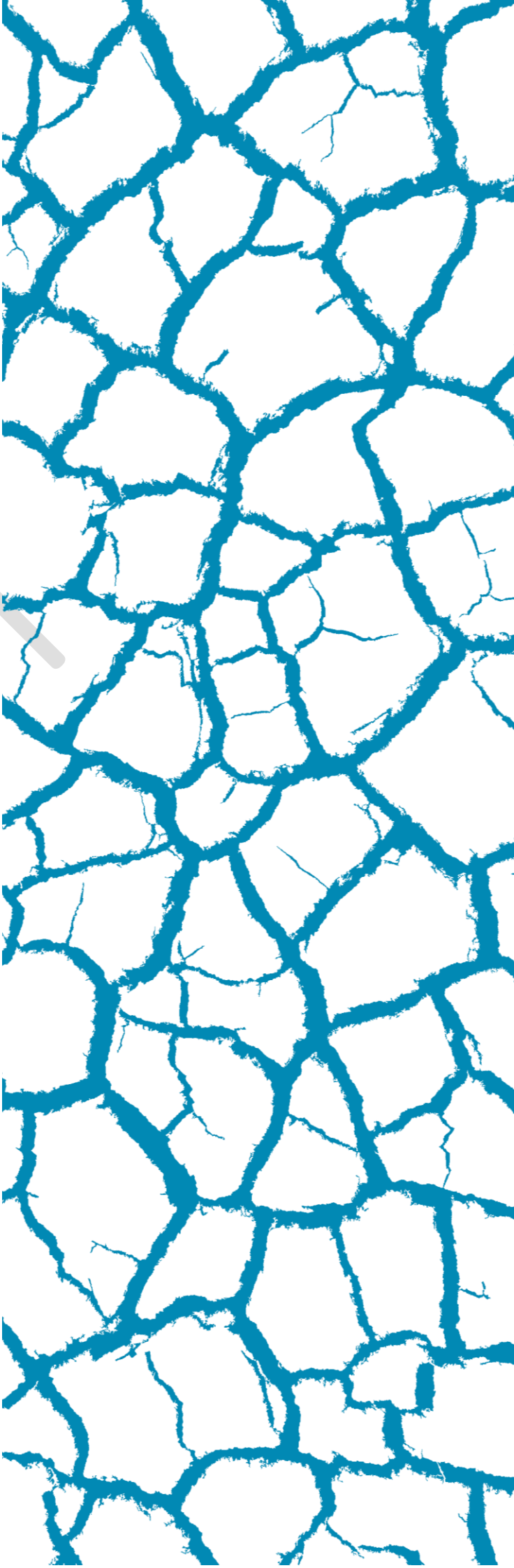
C Hydrologische ontwikkeling

ARTESIA
WATER RESEARCH UNLIMITED

Spanjaardsduin: Hydrologische ontwikkeling

Tot 2020

CONCEPT



Schoonhoven 2021

ARTESIA
WATER RESEARCH UNLIMITED

Spanjaardsduin: Hydrologische ontwikkeling

Tot 2020

CONCEPT

Opdrachtgever:	**Zuid-Hollands Landschap**
Projectnummer:	**20005106**
Datum:	**9 september 2020**
Auteur(s):	**Wouter Beekman**

© 2021 Artesia B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

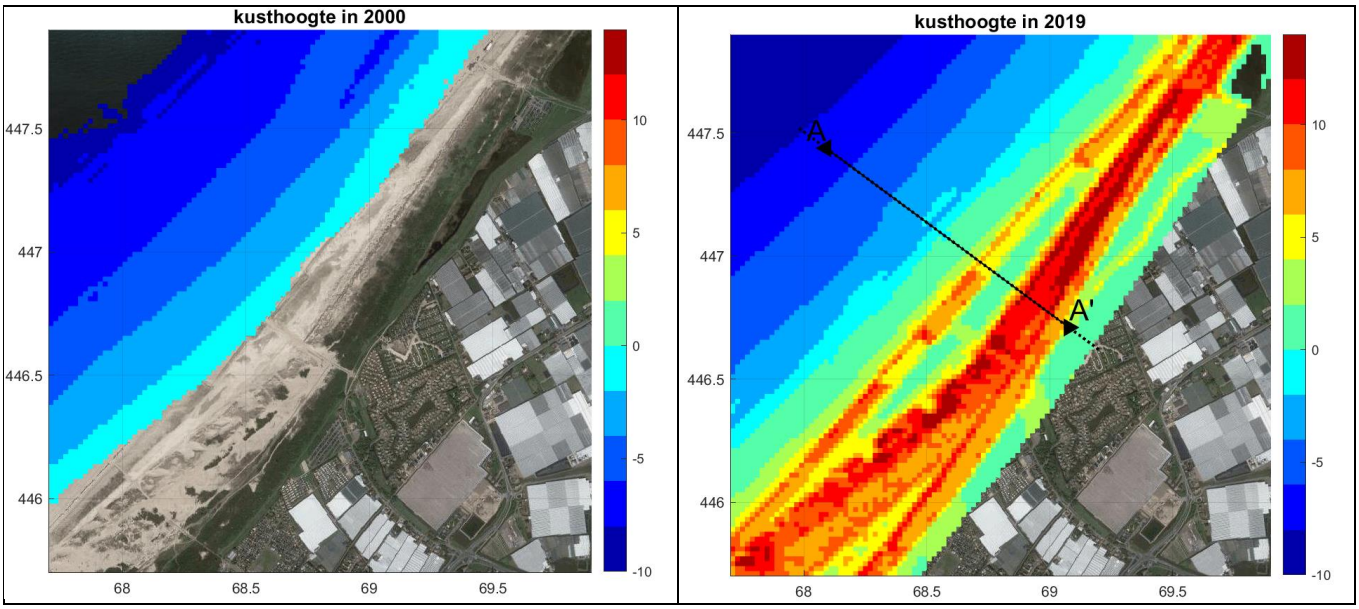
Inhoud

1 Inleiding 7
2 Ontwikkeling Grondwaterdynamiek 8
2.1 Hydrologische karakterisering van het jaar 8
2.2 De veldmetingen 8
2.3 Ruimtelijke interpolatie van de GxG 10
2.4 Ontwikkeling zoetwater lens 12
3 Conclusies 15
Bijlage 1 Profielen grondwaterstand 17
Bijlage 2 Invoer tijdreeksmodellen 19
Bijlage 3 Metingen vs tijdreeksmodellen 21
Bijlage 4 Ontwikkeling zoetwaterlens 25

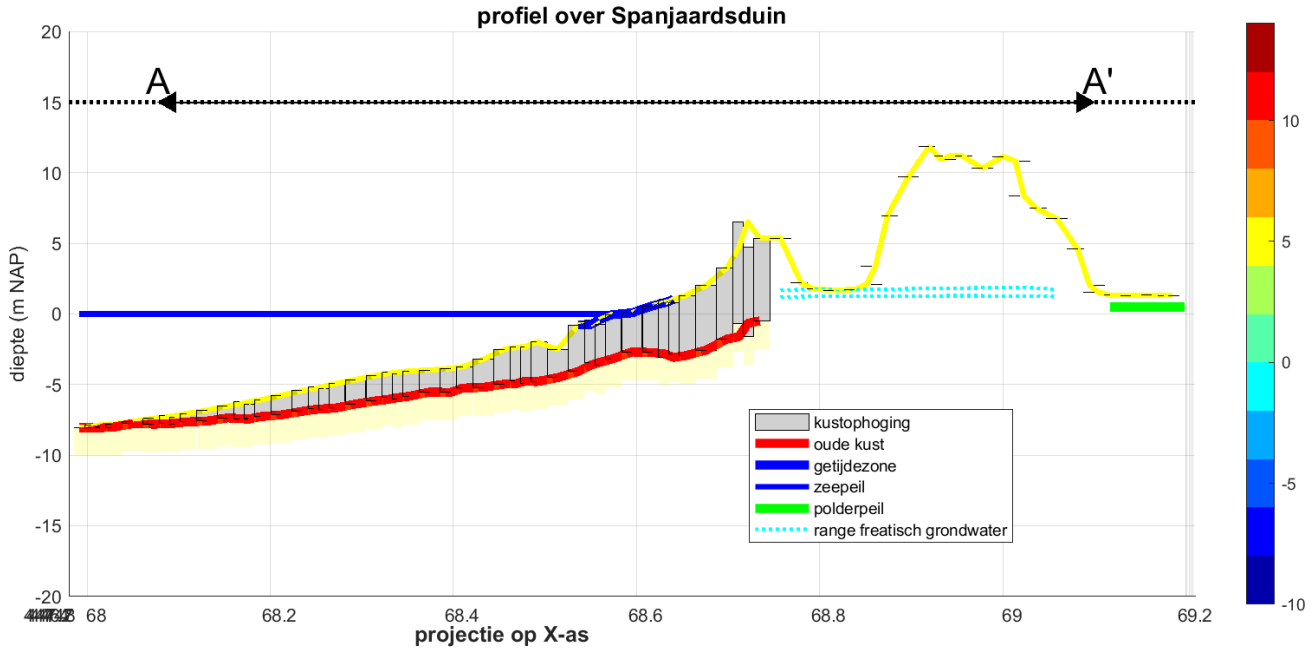
CONCEPT

1 Inleiding

Het Spanjaardsduin is onderdeel van het kustversterkingsproject 'Delflandse Kust', in samenhang met de natuurcompensatieopgave voor de aanleg van de Tweede Maasvlakte. De kustversterking bestaat uit een zeewaarts verbreding van de Delflandse kust. Daartoe is aan de zeezijde een extra duinenrij aangelegd en is de kustlijn met zandsuppleties strakker getrokken. Daarmee is een onderhoudsarmere kustboog ontstaan én een aanzienlijk breder strand. De oude en nieuwe kustmorfologie zijn weergegeven in figuur 1. In figuur 2 is deze versterking zichtbaar in profiel. Op deze locatie is de kust circa 200 meter zeewaarts komen te liggen en de duin/strand-zone verbreed tot 500 meter. Het bodemprofiel is hier tot 40 meter diepte zandig ontwikkeld, wat een goede ontwatering van de duinen impliceert. De opbolling van het freatisch vlak in de duinen blijft daardoor beperkt, waardoor ook de hydrologische barrière werking van de duinzone (diepteontwikkeling van de zoetwaterbel) beperkt blijft.



figuur 1: Kustmorfologie vóór en ná de kustversterking

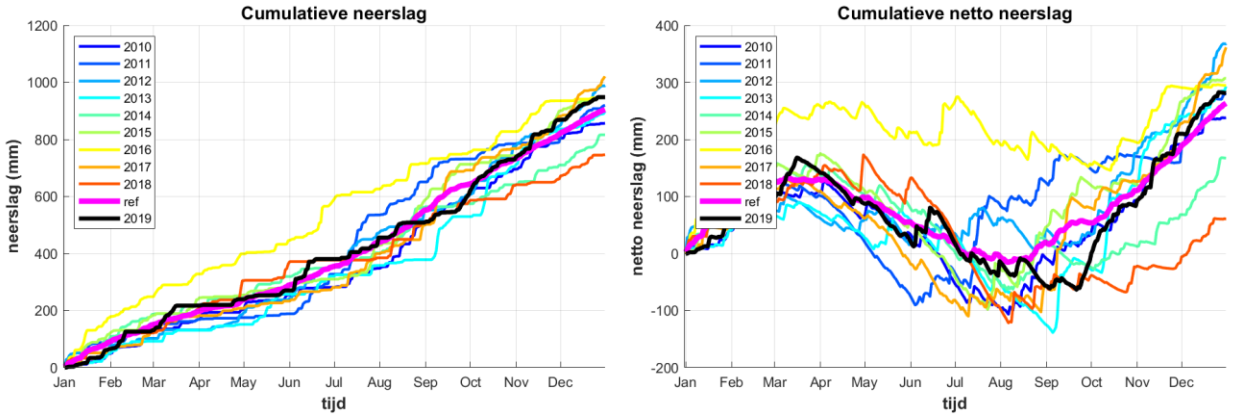


figuur 2: Kustprofiel vóór en na kustversterking

2 Ontwikkeling Grondwaterdynamiek

2.1 Hydrologische karakterisering van het jaar

Het jaar 2019 kende meteorologisch een aantal bijzondere kenmerken. In 2019 werd in de tweede helft van september het droogte record van 2018 zelfs even verbroken. Een relatief nat najaar deed het jaar uiteindelijk als een normaal jaar afsluiten voor de termen jaartotaal van de neerslag en verdamping. In figuur 3 is de ontwikkeling van resp. de neerslag en de netto neerslag (neerslag – potentiële verdamping) weergegeven in vergelijking met voorgaande jaren en met het gemiddelde verloop.



figuur 3: cumulatieve neerslag van 2019 in relatie tot voorgaande jaren en afgezet tegen een gemiddeld verloop

Dit verloop manifesteert zich ook in de grondwaterstanden, waarbij voor de verschillende meetpunten de verschillen worden veroorzaakt door de afstand tot een drainerende basis (de polder aan de landzijde en de zee aan de zeezijde). De stand van de zee is niet-stationair, maar de hoogfrequente dynamiek van eb en vloed dringt in de meetpunten nauwelijks door. Alleen de tragere variatie in gemiddeld zeepeil hebben in de zeewaarts gelegen meetpunten enig effect.

2.2 De veldmetingen

Aan het einde van 2019 bleek een groot aantal van de drukopnemers in het meetnet verdwenen of disfunctioneel. Slechts in drie peilbuizen (meetpunten N1, N3 en N3A) zijn waterdrukken semi-continue geregistreerd. Een van deze drukopnemers (in meetpunt N1) vertoont in deze periode echter drift, waardoor ook die registratie weinig informatie geeft. Ook de meetreeks uit meetpunt N3A wijkt sterk af van het verwachte verloop. Eind 2019 zijn twee peilbuizen herplaatst en begin 2020 zijn vrijwel alle peilbuizen (met uitzondering van meetpunt N3) voorzien van nieuwe drukopnemers.
De registratie van de uitgevoerde activiteiten is ook dit jaar slordig vastgelegd. De volgende gebreken zijn daarin geconstateerd:

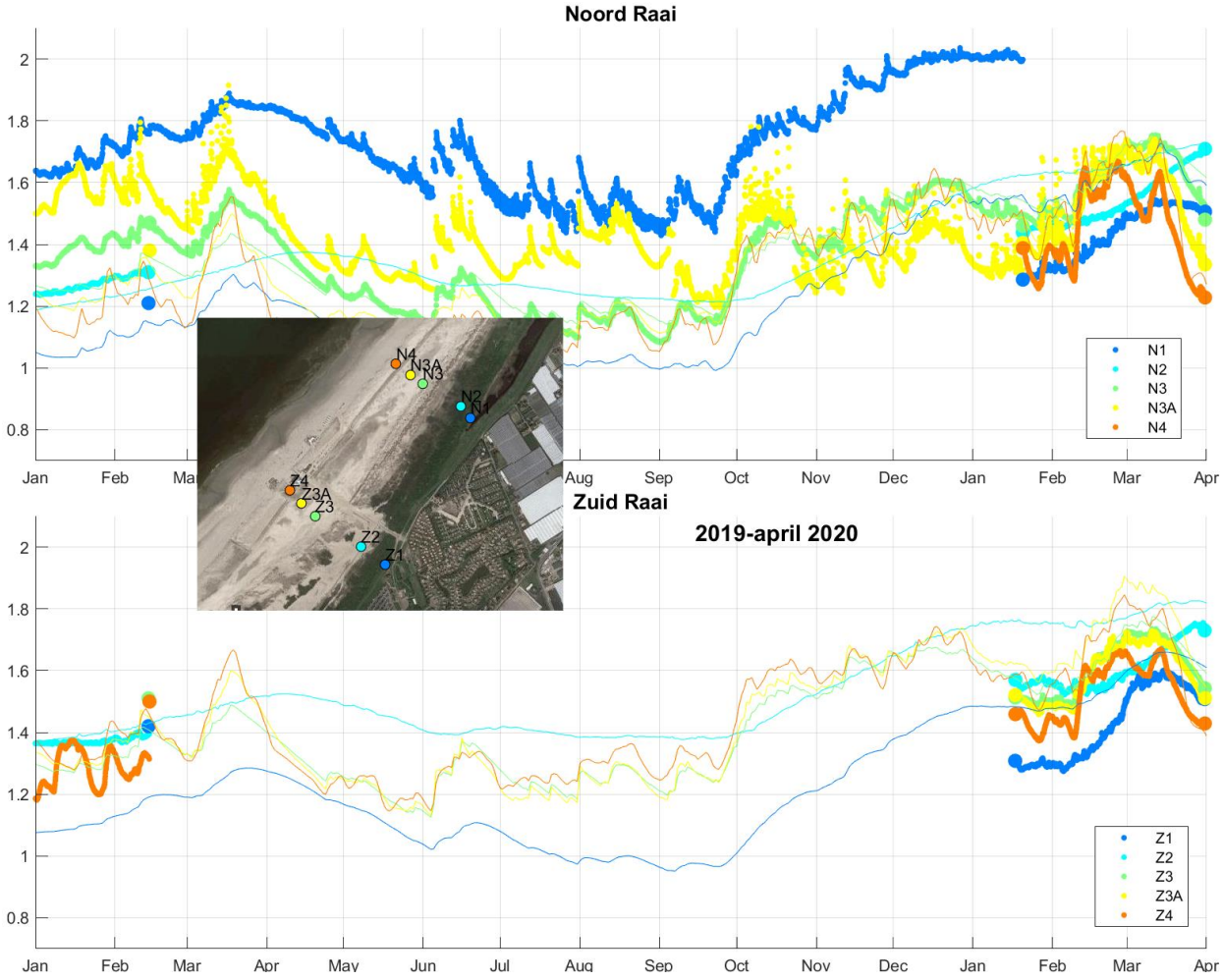
- Dezelfde handpeilingen hebben in de verschillende opgeleverde bestanden een afwijkende datum/tijdstip
- Op 31 april 2020 is de laatste handpeiling genoteerd
- Sommige handpeilingen in 2020 worden afgeleid van NAP-waarden (in plaats van andersom)
- De handpeilingen zij dermate infrequent en onregelmatig dat daaruit geen idee van de grondwaterdynamiek kan worden verkregen.
- De geautomatiseerde registratie van peilen is in 2019 ook niet gelukt.
- Onduidelijk is of, hoe en wanneer de hoogte van de meetpunten opnieuw is ingemeten.
- Onduidelijk is ook welke aanleiding er is om de hoogte van de meetpunten aan te passen.

Deze conclusies zijn gebaseerd op de aangeleverde excel- en csv-bestanden: *Tabellen AD-034 Voo-11 Q1 2020 v1.0.xlsx*; *CK36 januari 2020.csv*; en *CK36 april 2020.xlsx*

De meetreeksen van de huidige rapportageperiode zijn weergegeven in figuur 4. Op basis van de metingen tot 2018 is een tijdreeksmodel gemaakt van de dynamiek, met als verklarende variabelen het weer en de zeewaterstanden. Deze berekende dynamiek is in de figuur toegevoegd ter ondersteuning van de interpretatie van enerzijds grote afwijkingen en anderzijds mogelijke trendmatige veranderingen.

Uit figuur 4 blijkt dat de drukopnemer van meetpunt N1 een grote afwijking is gaan vertonen (door drift, reeds begonnen in 2018). Tevens bevat de registratie een hoogfrequente fluctuatie, zonder hydrologische betekenis. Daarmee is de drukopnemer aan vervanging toe, wat begin 2020 ook is gerealiseerd. Ondanks deze registratieproblemen geeft de reeks vermoedelijk wel een goed beeld van de relatieve dynamiek in 2019. Ook de meetreeks op meetpunt N3A, met name gedurende de zomermaanden wijkt sterk af van de dynamiek die in eerdere jaren werd gemeten: het ontbreekt echter aan controle-metingen om de reeks goed te kunnen positioneren in de hoogte.

Uit de resultaten zoals weergegeven in figuur 4 blijkt dat het onmogelijk is om op basis van de metingen een goede hydrologische karakterisering van de hydrologisch dynamiek in 2019 in Spanjaardsduin te geven. Net als in 2018 zal de dynamiek beter gekarakteriseerd worden door de gesimuleerde dynamiek op basis van het tijdreeksmodel.



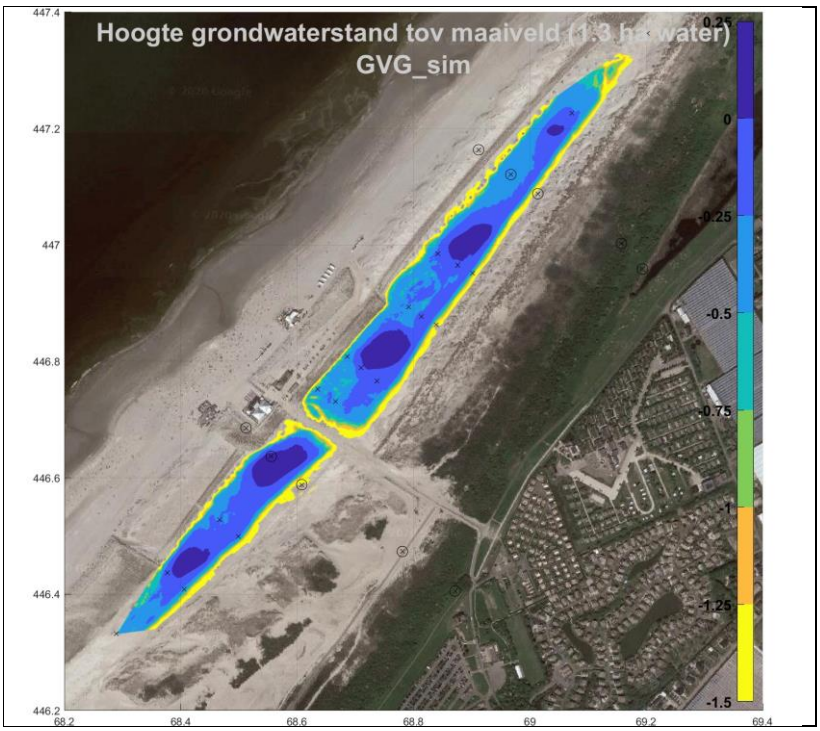
figuur 4: De metingen (dikke lijndelen) in relatie tot de met een tijdreeksmodel gesimuleerde grondwaterdynamiek (dunne lijnen) en de handmetingen (punten)

De langjarige grondwaterreeksen zijn in figuur 5 in ruimtelijke samenhang weergegeven. In bijlage 1 zijn dwarsprofielen van de grondwaterstand over de beide raaien weergegeven voor respectievelijk een zomersituatie en een wintersituatie. Uit deze profielen blijkt dat het gehele duingebied een redelijke vlakke opbolling van de grondwaterstand heeft, die fluctueert tussen de 1 m NAP (in droge jaren in de zomer) en de 1.8 m NAP (in natte jaren in de winter). De grootste stijghoogtegradiënt aan de zee-kant ligt buiten de buitenste peilbuizen, onder het strand: in die zone zal water periodiek (bij eb) uittreden.

figuur 5: Stijghoogte-grafieken, in meter t.o.v. NAP, getekend bij de meetpunten. De kleur geeft als extra visuele hulp ook de stijghoogte aan.

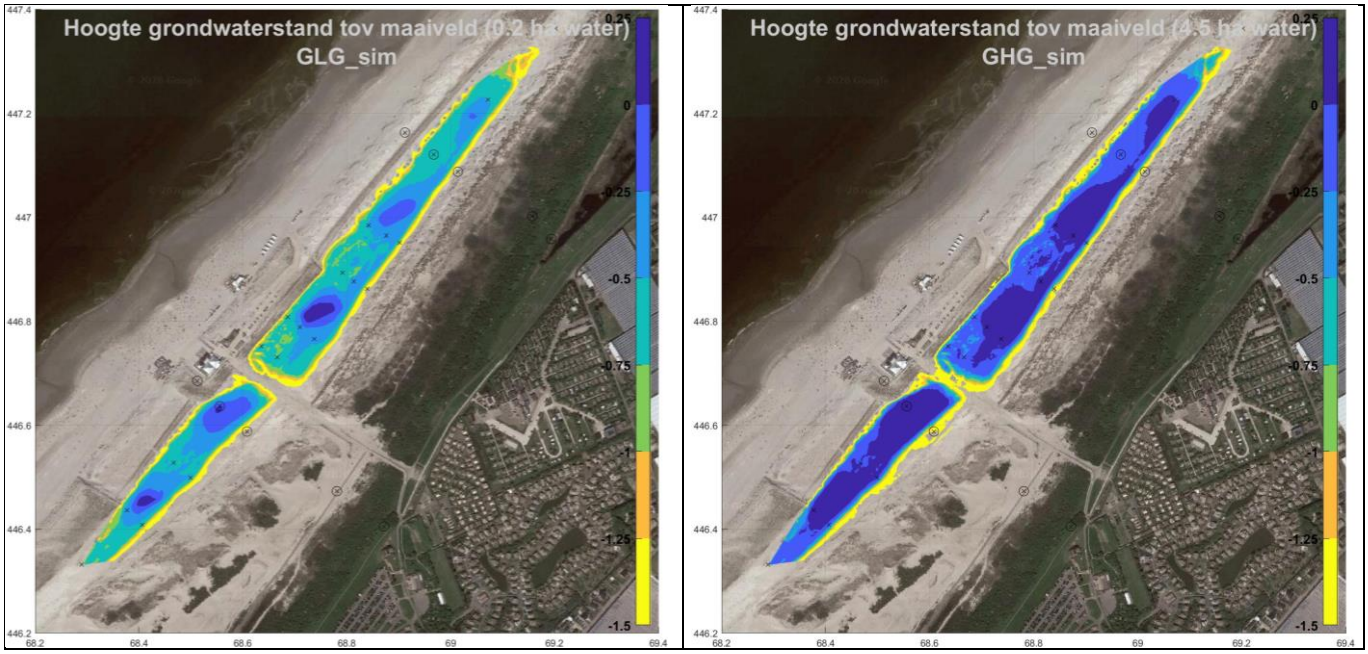
2.3 Ruimtelijke interpolatie van de GxG

Op basis van de meetpunten kan voor de gehele vallei (en de aangrenzende duinen) een GxG geschat worden. Deze interpolatie is conform de eerdere jaren, gebaseerd op de gesimuleerde dynamiek, wegens de besproken onvolkomenheden in de recentere metingen. De situatie in het voorjaar (GVG) wordt als gevoelig beschouwd, omdat deze situatie de kiemingscondities voor de vegetatie globaal weergeeft. De geïnterpoleerde grondwaterstanden zijn voor deze situatie in figuur 6 weergeven, in samenhang met de terreinhoogte van juni 2020 (Shore/Arens 2020). Onder GVG-condities staat het water in een aantal diepten aan maaiveld, in totaal voor circa 1.3 ha.



figuur 6: Geinterpoleerde GVG, ten opzichte van maaiveld

Op vergelijkbare wijze geeft figuur 7 de ontwateringsdiepte onder respectievelijk de GLG- en de GHG-condities (figuur 7). Het blijkt dat onder GLG condities in de dieper uitgegraven delen nog water aan maaiveld staat (maximale diepte ongeveer 19 cm), terwijl onder GHG-condities het water in grotere delen aan maaiveld staat, met een maximale diepte van .

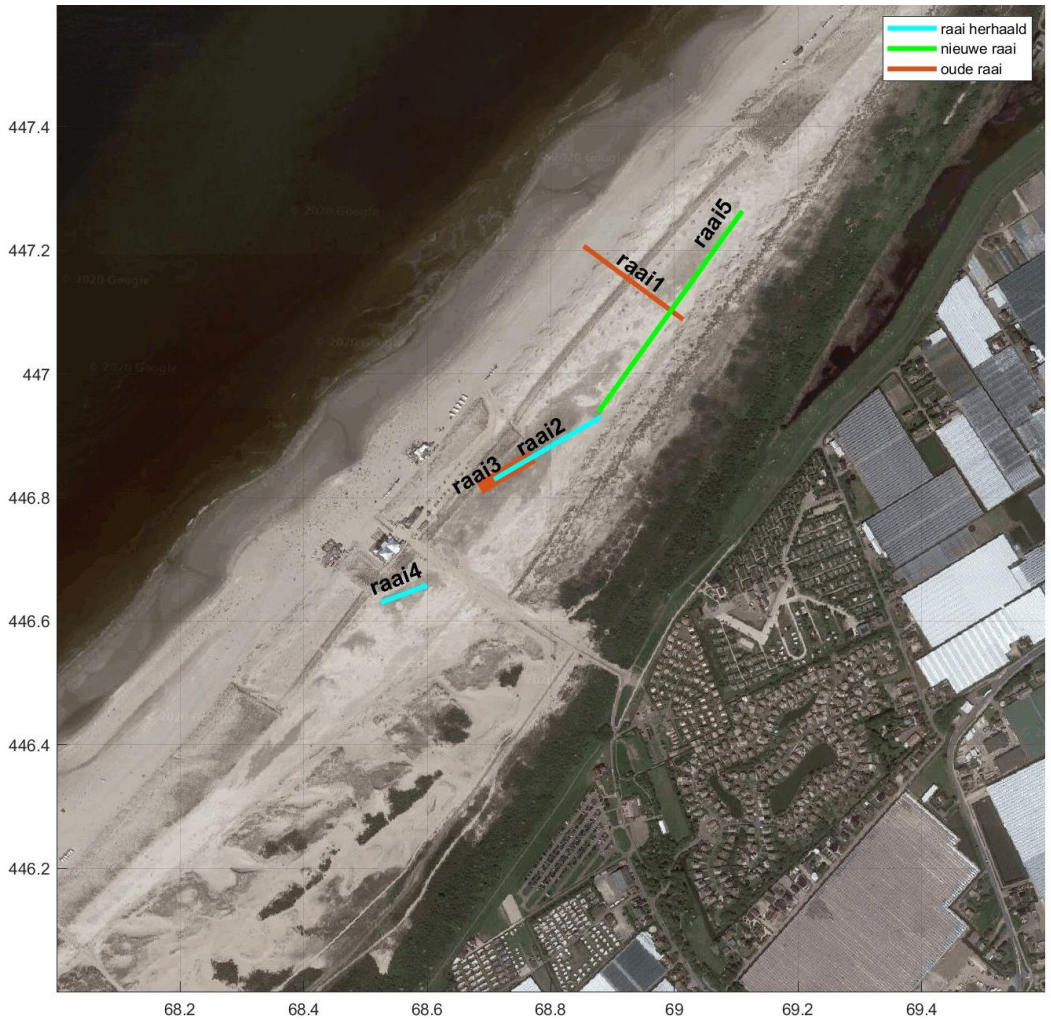


figuur 7: de gesimuleerde dynamiek-range in Spanjaardsduim weergegeven t.o.v. maaiveld

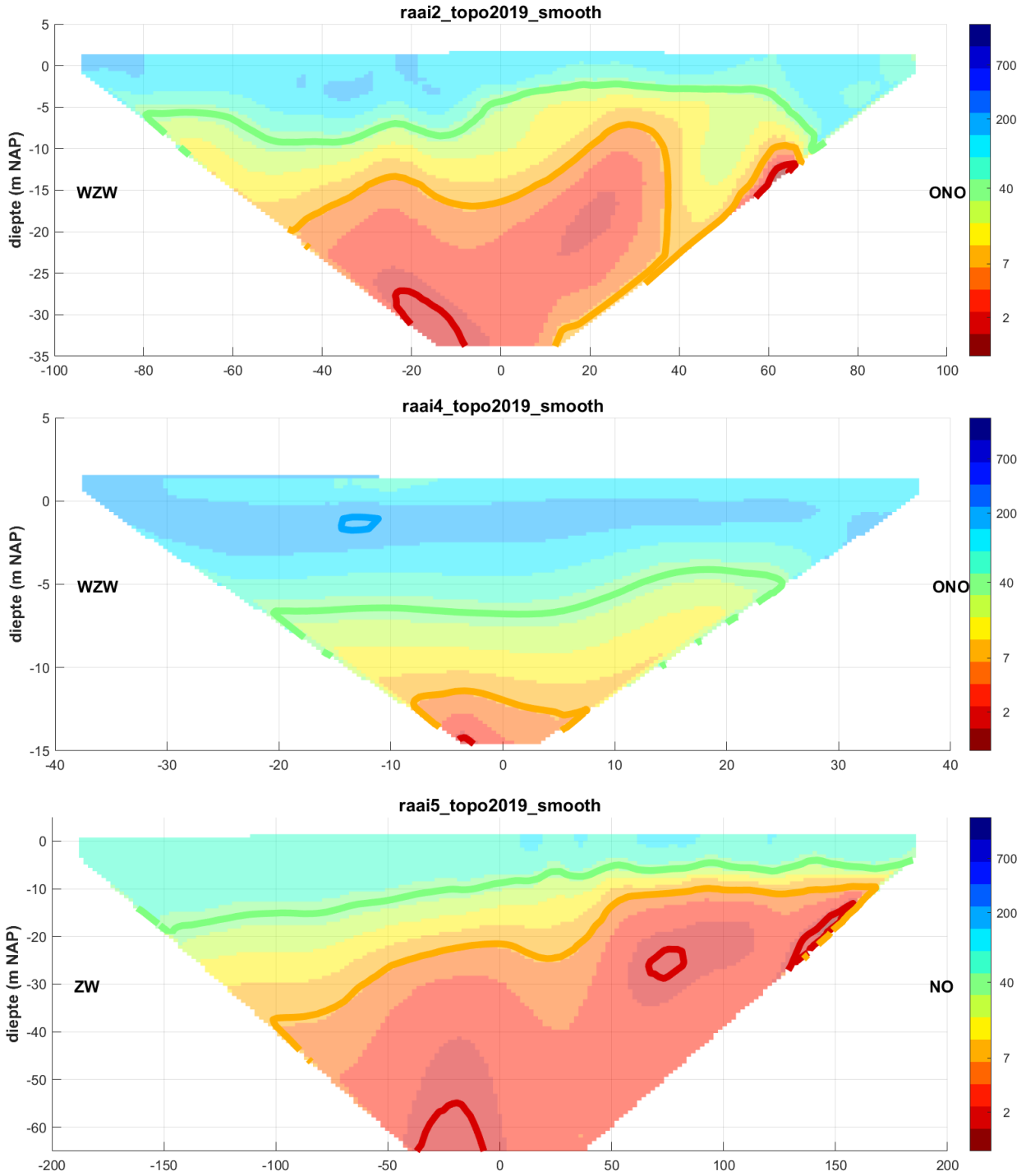
2.4 Ontwikkeling zoetwater lens

De zoetwater lens onder het duinsysteem bij Spanjaardsduin heeft zich sinds de aanleg van Spanjaardsduin in 2008 kunnen uitbreiden richting een nieuw evenwicht. In 2014 en 2015 zijn geo-elektrische metingen uitgevoerd, waarmee onder Spanjaardsduin de grens van de zoetwaterbel kon worden vastgesteld. Tevens is de ontwikkeling van de zoetwaterlens voorspeld met behulp van een profielmodel. Uit deze modelering bleek dat de groei in deze periode nog gestaag verloopt, terwijl de metingen het beeld van omvang en groei bevestigde. Daarom zijn nu in 2020 na vijf jaar, de metingen herhaald, om te controleren of het systeem zich nog steeds ontwikkeld volgens verwachting. Het belang daarvan zit onder meer in het vaststellen van de zogenaamde secundaire vernatting: het aandeel van de stijghoogte in het zoete grondwater, dat veroorzaakt wordt door het dichtheidseffect. Daarnaast is de diepte van de zoetwaterlens en de omvang van het duinsysteem van belang voor de waterhuishouding achter de duinen en de invloed op de zoutwaterlast.

De geo-elektrische CVES-metingen zijn in drie raaien uitgevoerd (door M.Groen, Wiertsema & Partners), waarvan twee raaien herhalingen zijn van de eerder in 2014 en 2015 uitgevoerde metingen. Raai 1 kon niet worden herhaald omdat de duinenrij van de nieuwe zeereep inmiddels sterk is verhoogd. Dat verstoort de geometrische interpretatie vanwege de sterk variabele dikte van de onverzadigde zone. In plaats daarvan is een nieuwe raai 5 uitgelegd, aan de voet van de oude duinen, waarmee het beeld van de zoetwaterbel kan worden aangevuld. De ligging van de raaien is weergegeven in figuur 8 en de meetresultaten in figuur 9.



figuur 8: ligging CVES-raaien



figuur 9: De gemeten resisitiviteit (ohm.m) in de CVES-profielen in 2020

De resultaten van raai 2 en raai 4 zijn in Bijlage 4 vergeleken met de eerdere metingen uit 2014 en 2015. Uit figuur 9 blijkt dat de zoetwaterlens nog niet tot een evenwicht is gekomen. Ter plaatse van de inmiddels vrij permanente duinmeertjes (zowel langs raai 2 als langs raai 4) is de infiltratie groter: kennelijk stroomt horizontaal water toe naar deze laagtes, een fenomeen wat ook zichtbaar is aan de stromingssporen langs de rand van de meertjes. Langs de voet van het oude duin (raai5) blijkt dat de zoetwaterlens aan de noordzijde minder dik is en naar het zuid-westen toeneemt. Een duidelijke oorzaak is moeilijk aan te wijzen. Mogelijk speelt de drainerende werking van de Banken daarin een rol.

De groene contour kan worden beschouwd als de overgang van brak naar zout water en vormt een relatief robuuste maat voor de begrenzing van de zoetwaterlens. Op basis van deze begrenzing is de dikte van de

zoetwaterlens onder het Spanjaardsduin in deze 5 jaren met circa twee meter toegenomen. De groeisnelheid is daarmee nog steeds vergelijkbaar met die in de eerste jaren na aanleg. De voortschrijding van de brakwatercontour is ook numeriek bepaald als de gemiddelde diepteligging in het centrale (2/3) deel van elk profiel. Deze resultaten zijn opgenomen in Tabel 1

Tabel 1: Voortschrijding verzoeting onder Spanjaardsduin

raainummer	peilbuis Cl- concentratie	Gemiddelde diepte 40 ohm.m overgang (brak/zout) (m NAP)			Toename dikte zoetwaterlens (m/jaar)		
	2010	2014	2015	2020	2014/2015	2015/2020	2010/2020
2	~ -1.6	-3.2	-3.6	-5.4	0.4	0.4	~0.4
4	~ -1.6	-3.2	-3.8	-5.9	0.6	0.4	~0.4
5		-	-	-9.2			

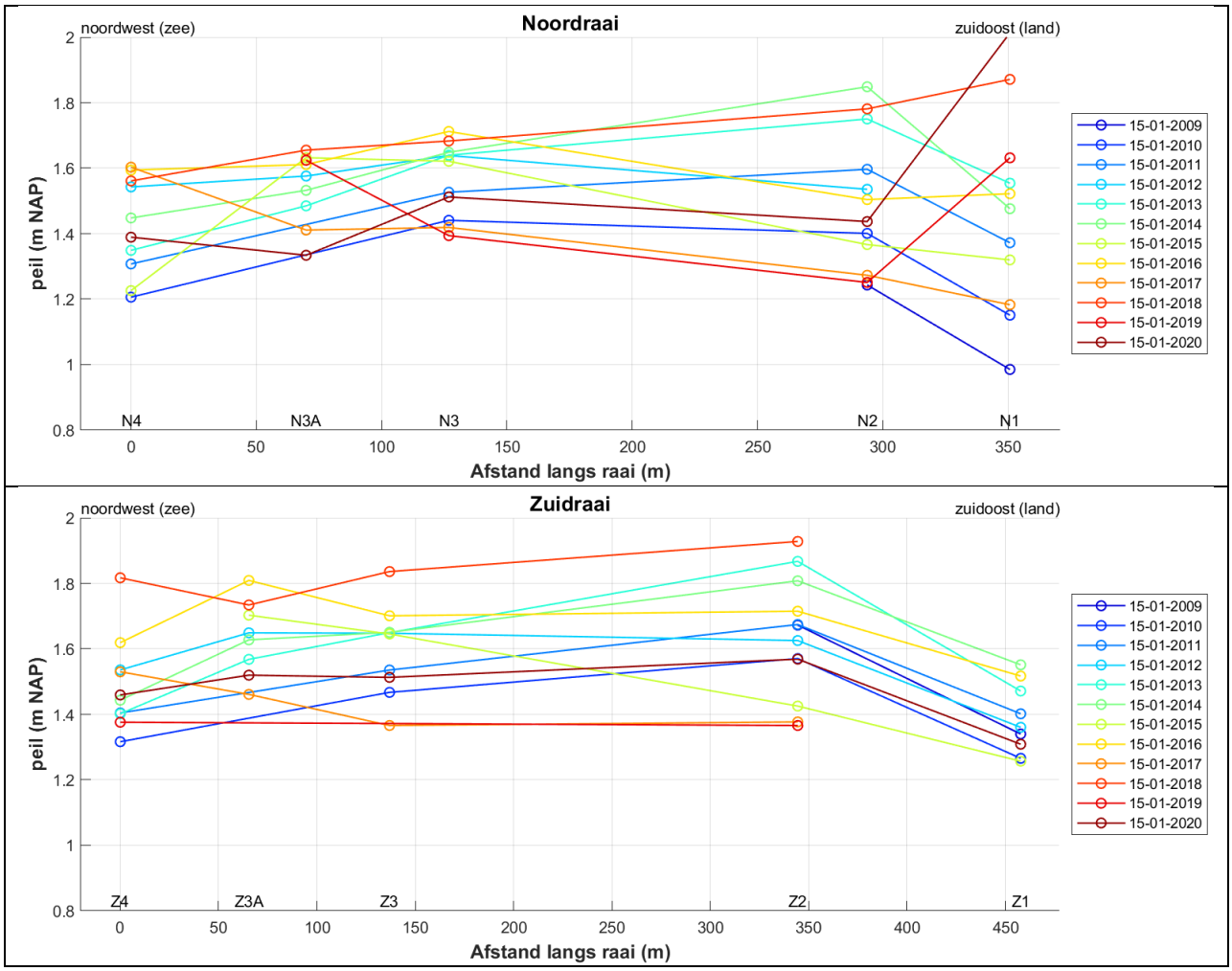
Het blijkt dat de zoetwaterlens onder Spanjaardsduin tot nog toe jaarlijks met bijna een halve meter toeneemt en dus nog niet in evenwicht is gekomen. Ook de secundaire stijghoogte zal dus verder toenemen en bedraagt nu reeds circa 15 cm. De verwachting, op basis van conceptuele modelberekeningen, is dat de verzoeting onder Spanjaardsduin nog zeker 5 meter zal verdiepen. De metingen ondersteunen voorlopig dat beeld.

3 Conclusies

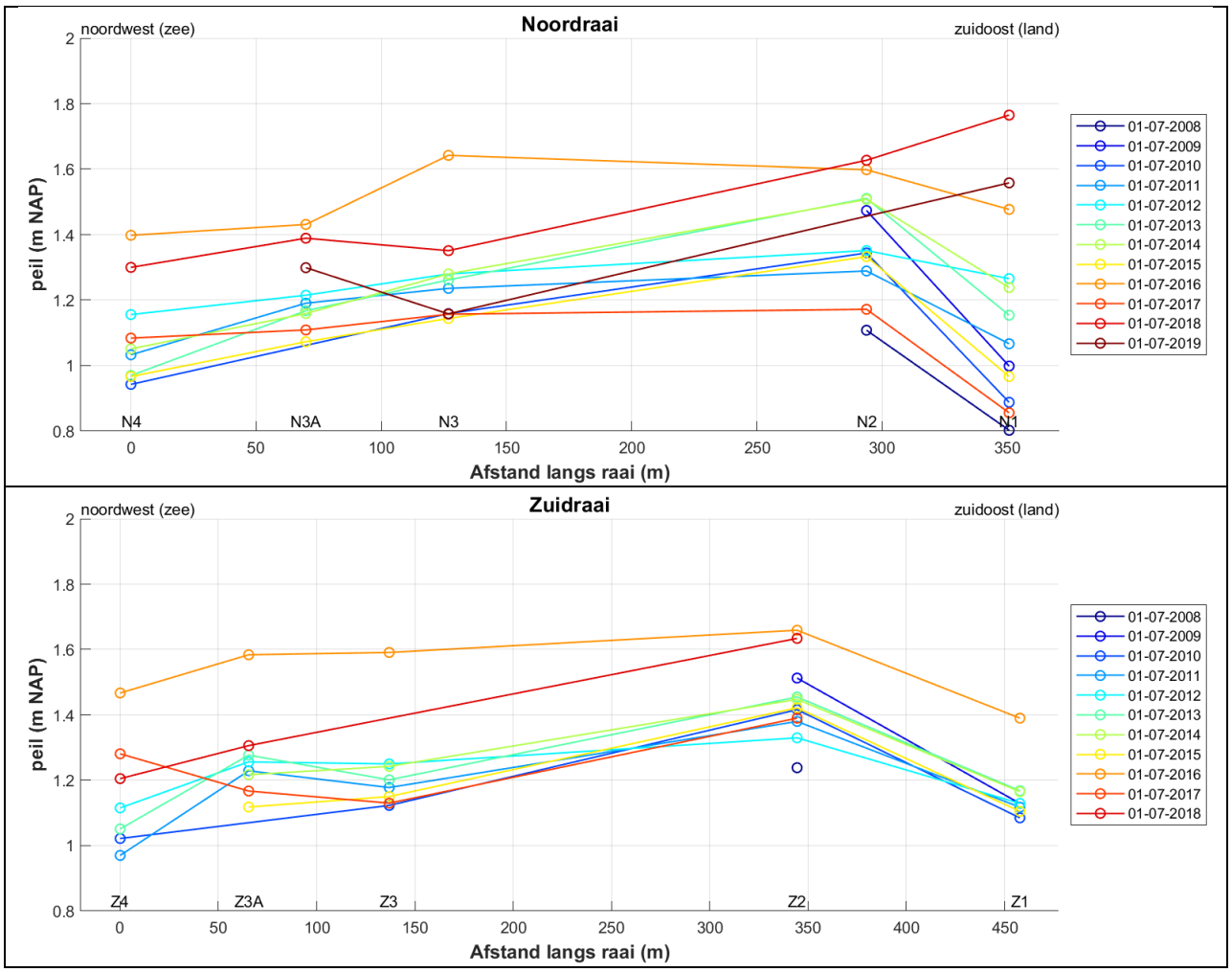
Uit de aanvullende metingen in het jaar 2019 blijkt het volgende:

- De peilregistratie in het vaste meetnet is in 2019 zeer incompleet geweest: de meeste automatische drukopnemers waren defect of verdwenen en twee van de drie resterende opnemers functioneerden niet goed. Eind 2019 zijn twee peilbuizen (N4 en Z3A) herplaatst. Het meetnet is begin 2020 voorzien van nieuwe drukopnemers (met uitzondering van meetpunt N3).
- Uit de opgeleverde gegevens blijkt niet of de meetpunten opnieuw zijn ingemeten. Wel zijn nieuwe referentiehoogtes toegekend.
- De in voorgaand jaar opgestelde tijdreeksmodellen geven ook in 2019 de beste schatting van het verloop van de grondwaterstand op de meeste punten. Echter er is niet voor alle meetpunten een goed tijdreeksmodel beschikbaar. Met name voor de meetpunten in de oude duinen (N1, N2 en Z2) zijn de tijdreeksmodellen niet erg betrouwbaar.
- De extrapolatie met een tijdreeksmodel leidt tot een onbetrouwbare beschrijving van de situatie en dient dus zo snel mogelijk weer te worden ingebed in betrouwbare metingen.
- De CVES-metingen laten een gestage groei zien van de zoetwaterlens onder Spanjaardsduin. De toename van de dikte bedraagt circa 0.4 meter per jaar en is over de afgelopen 10 jaar vrijwel constant.
- De verwachting is dat deze groei de komen jaren aanhoudt, wat moet leiden tot een opwaartse trend in de stijghoogte onder het Spanjaardsduin.

Bijlage 1 Profielen grondwaterstand

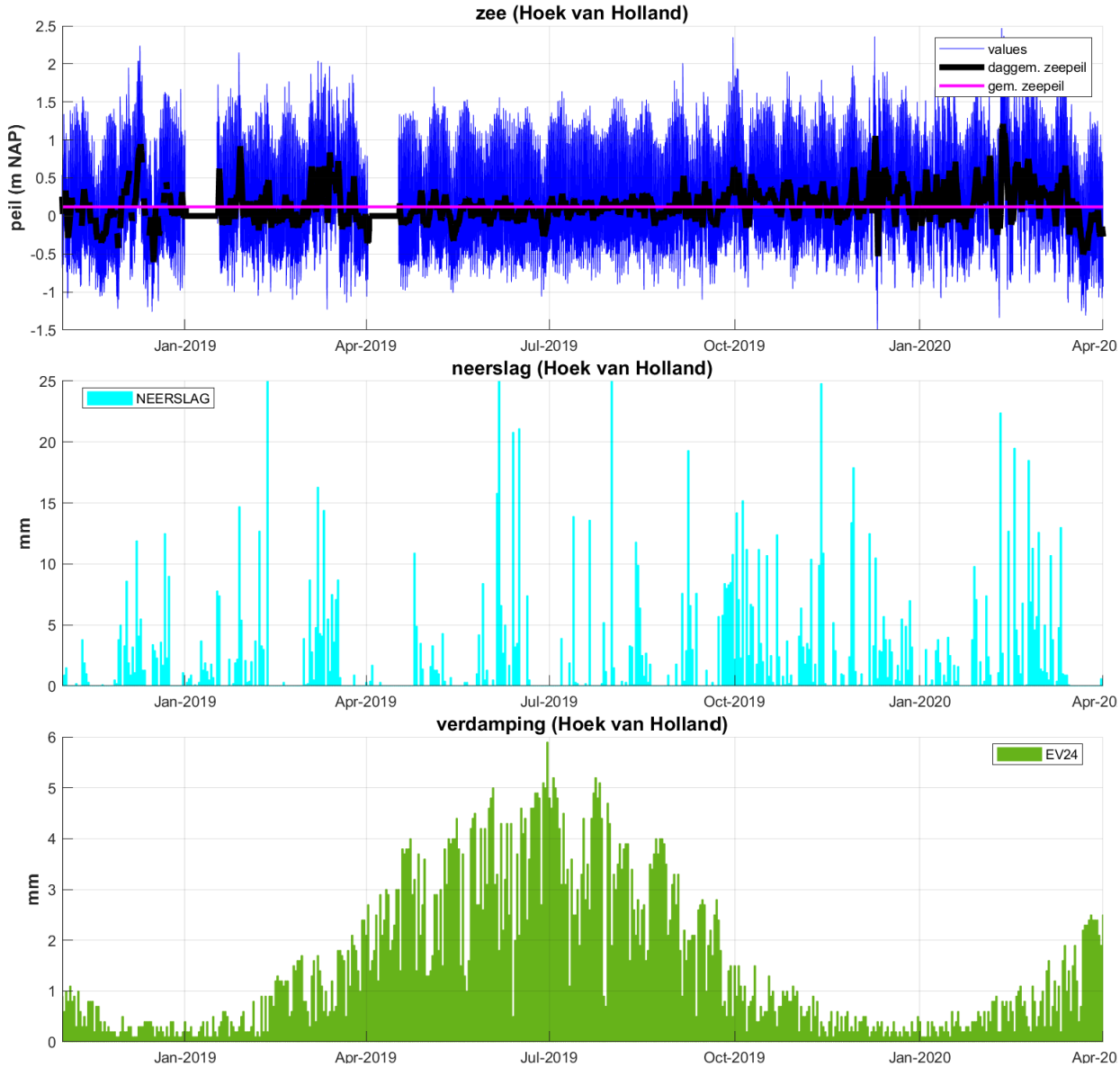


figuur 10: gemeten stijghoogte verbanden in de zomersituatie (1 juli)



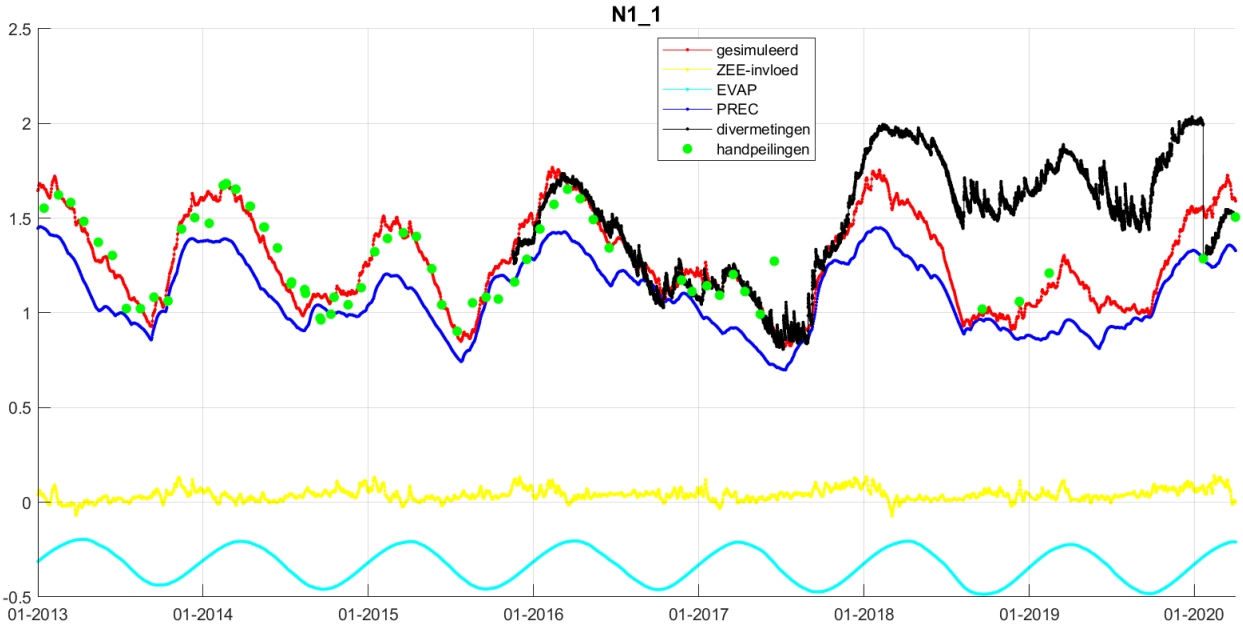
figuur 11: gemeten stijghoogte verbanden in de wintersituatie (15 januari)

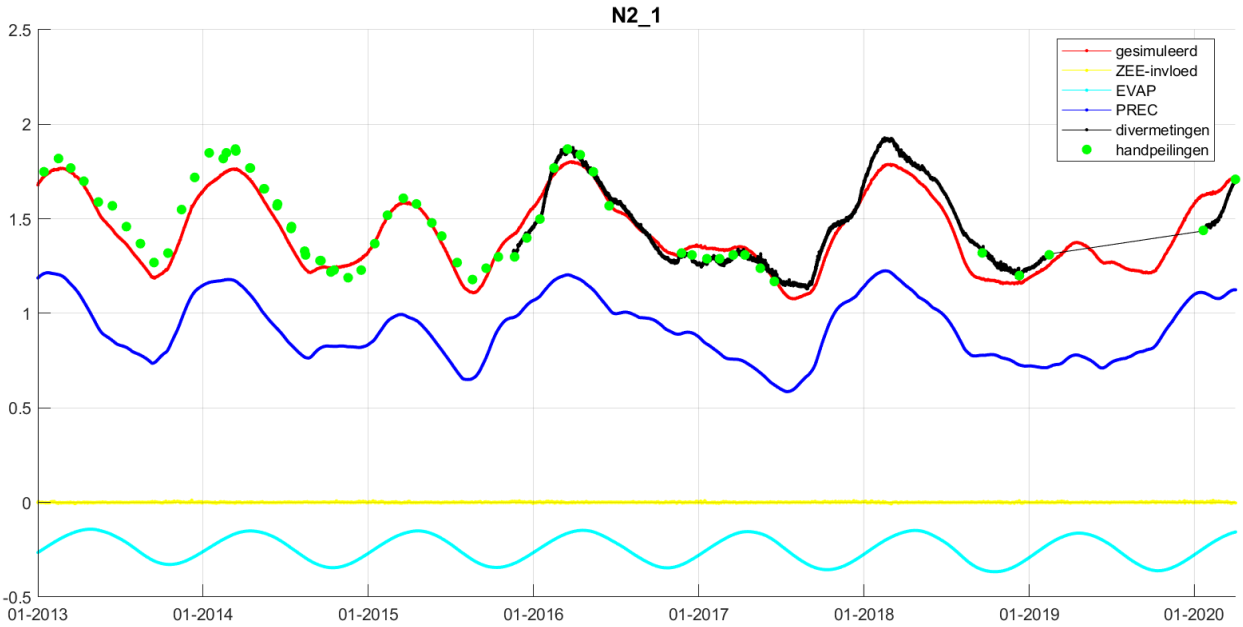
Bijlage 2 Invoer tijdreeksmodellen

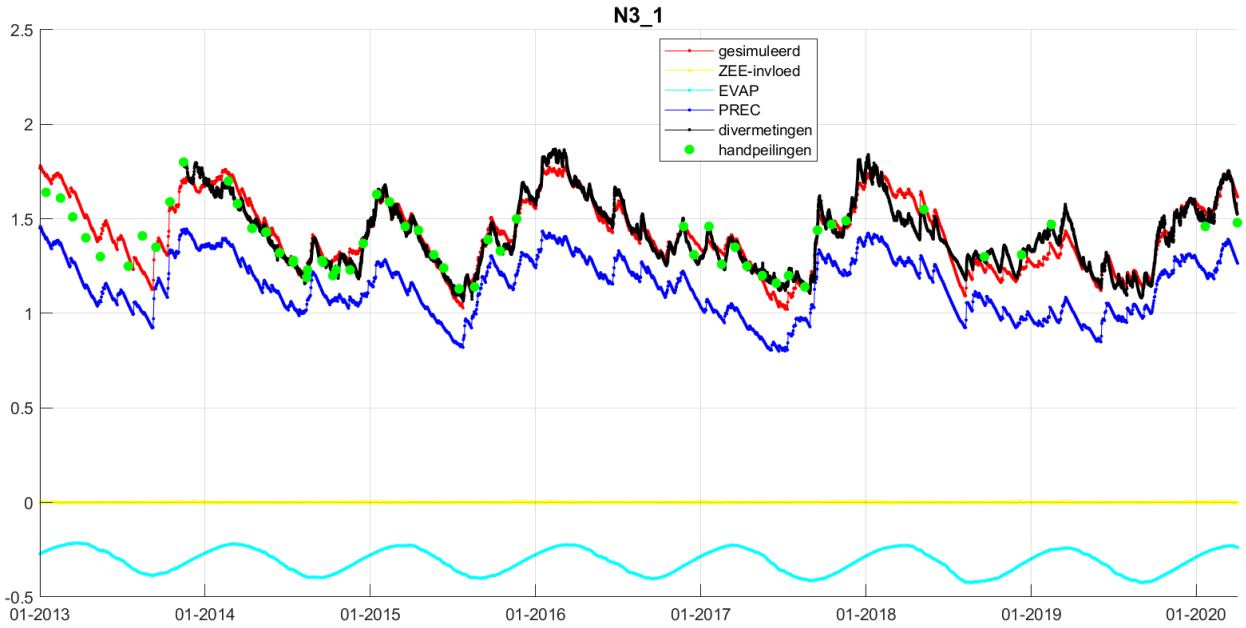


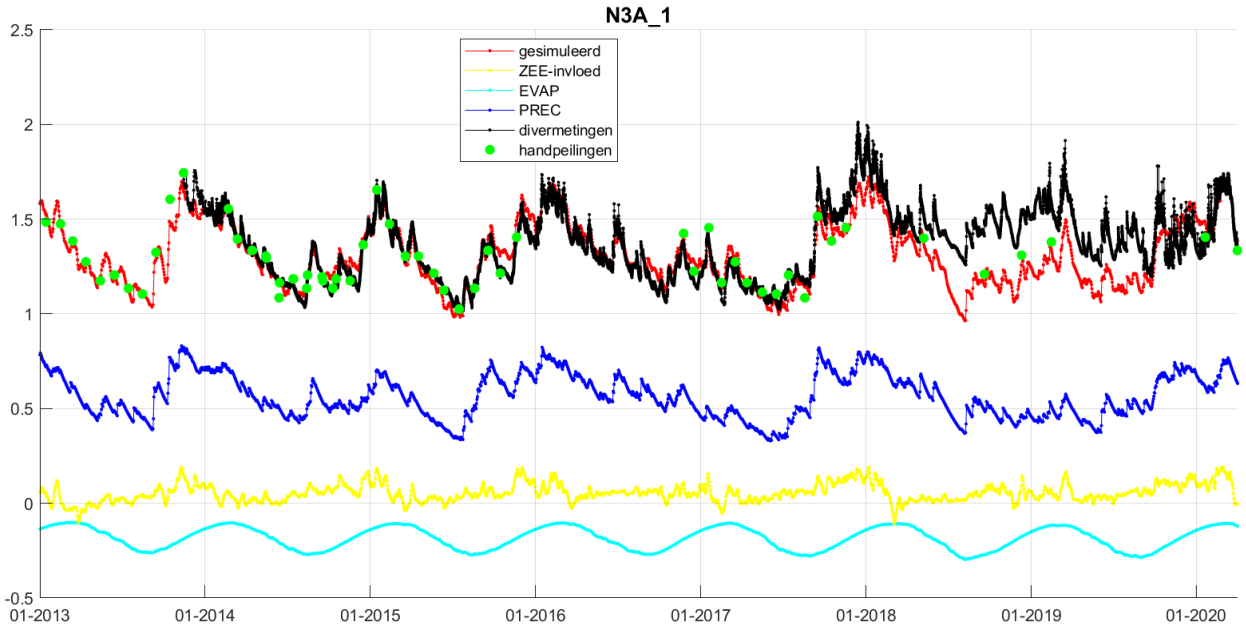
figuur 12: Verklarende reeksen in de tijdreeksanalyse: zeepeil, neerslag en verdamping

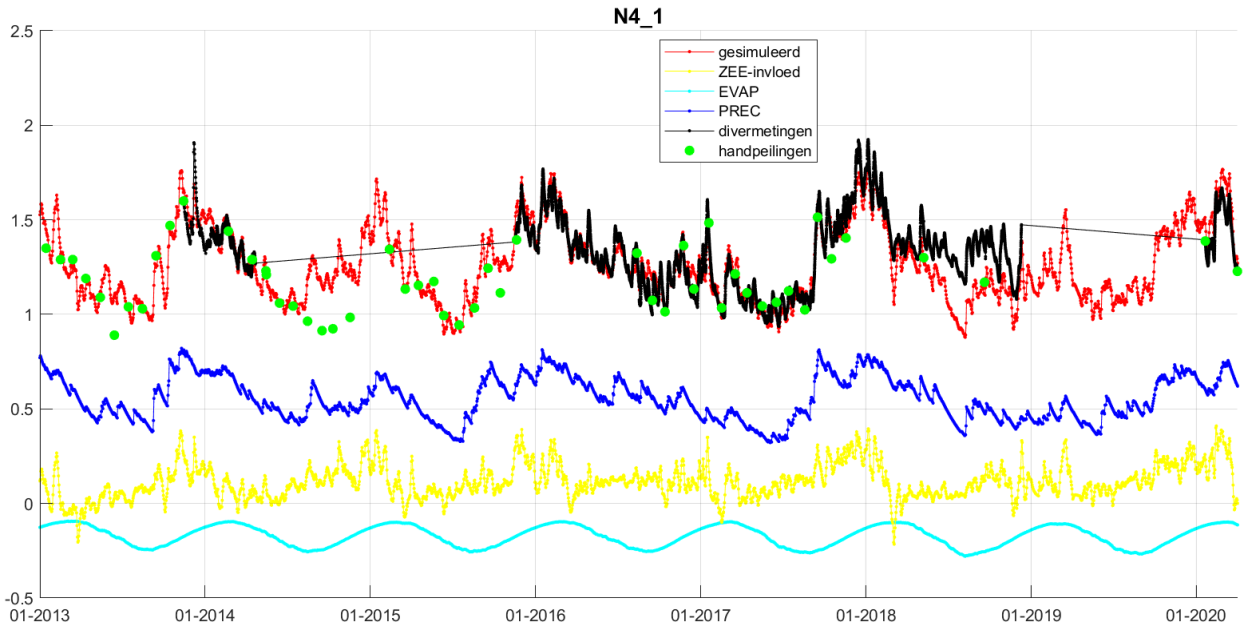
Bijlage 3 Metingen vs tijdreeksmodellen

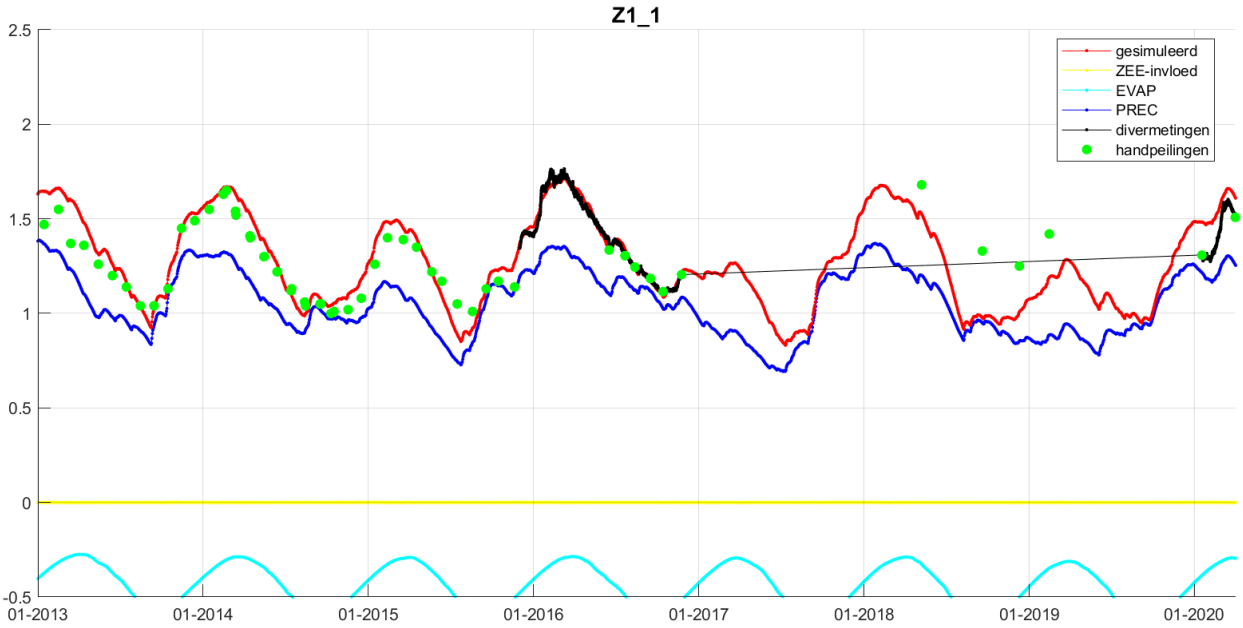


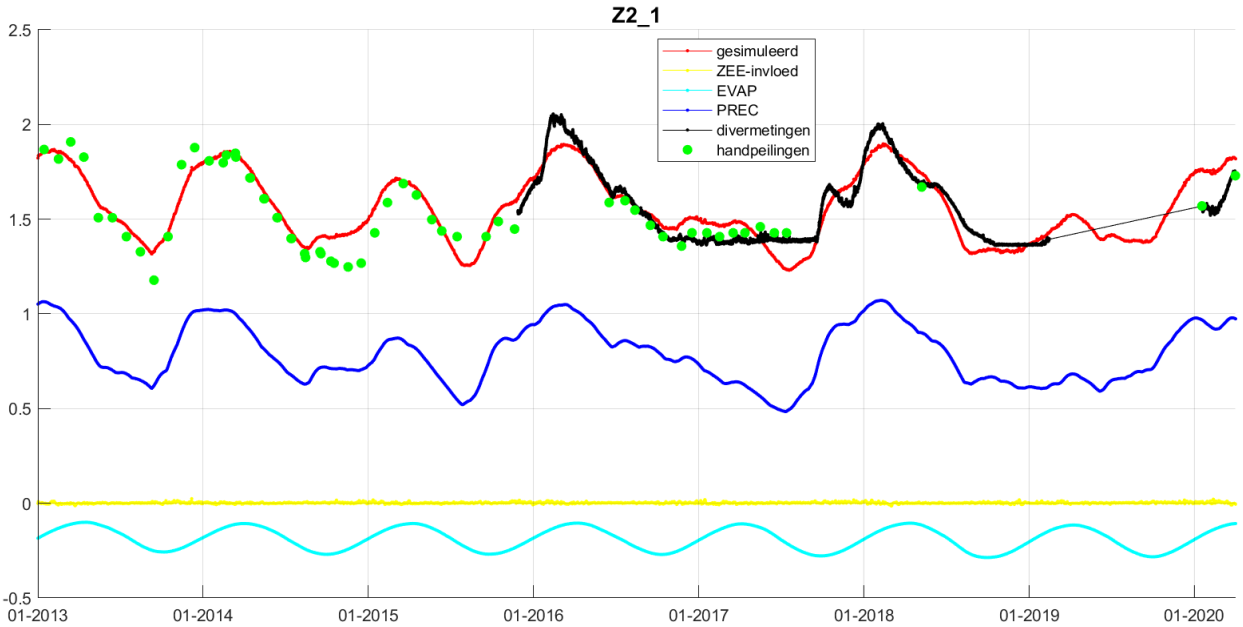


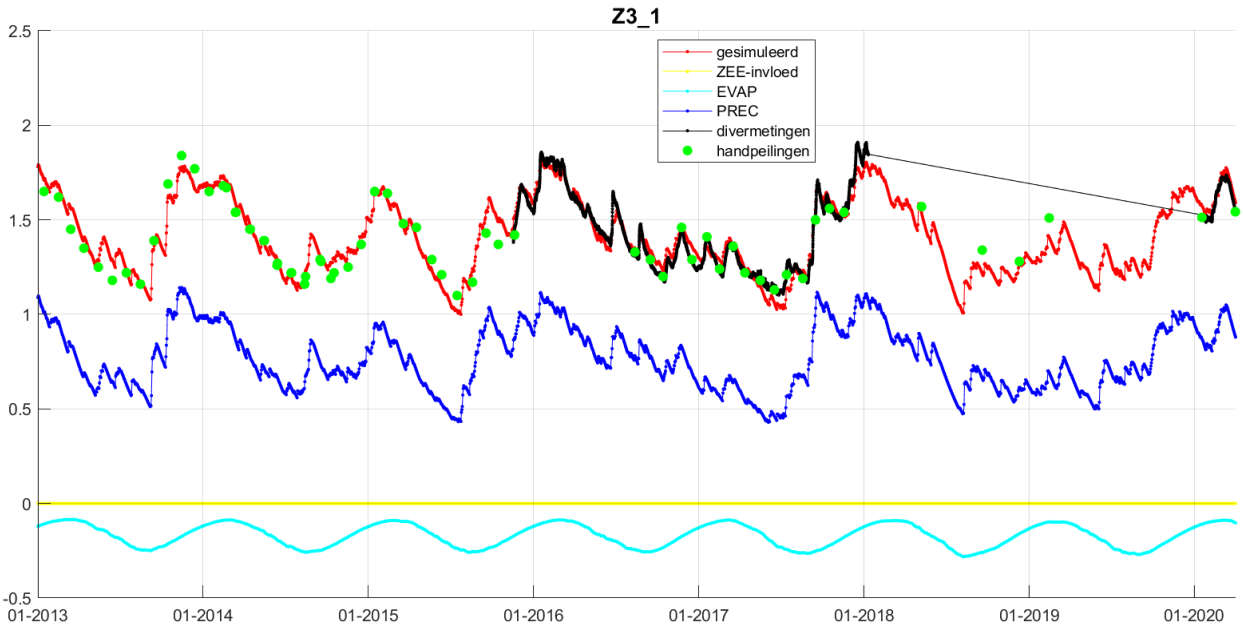

N3_1
gesimuleerd
ZEE-invloed
EVAP
PREC
divermetingen
handpeilingen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
01-2013
01-2014
01-2015
01-2016
01-2017
01-2018
01-2019
01-2020

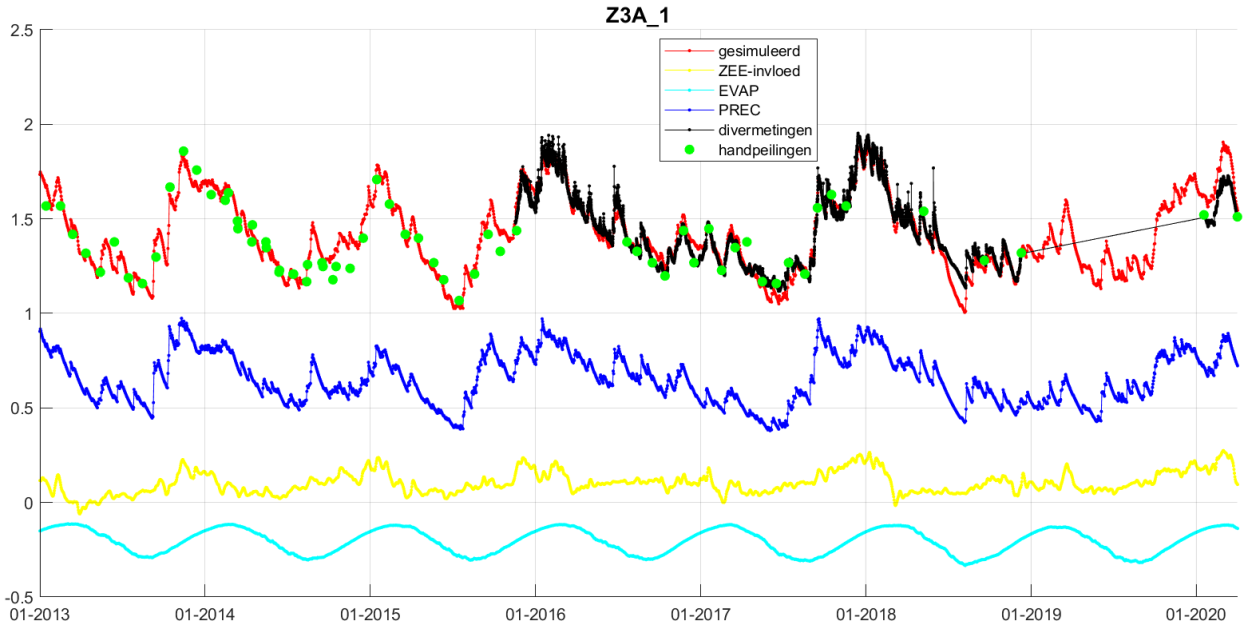

N3A_1
gesimuleerd
ZEE-invloed
EVAP
PREC
divermetingen
handpeilingen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
01-2013
01-2014
01-2015
01-2016
01-2017
01-2018
01-2019
01-2020

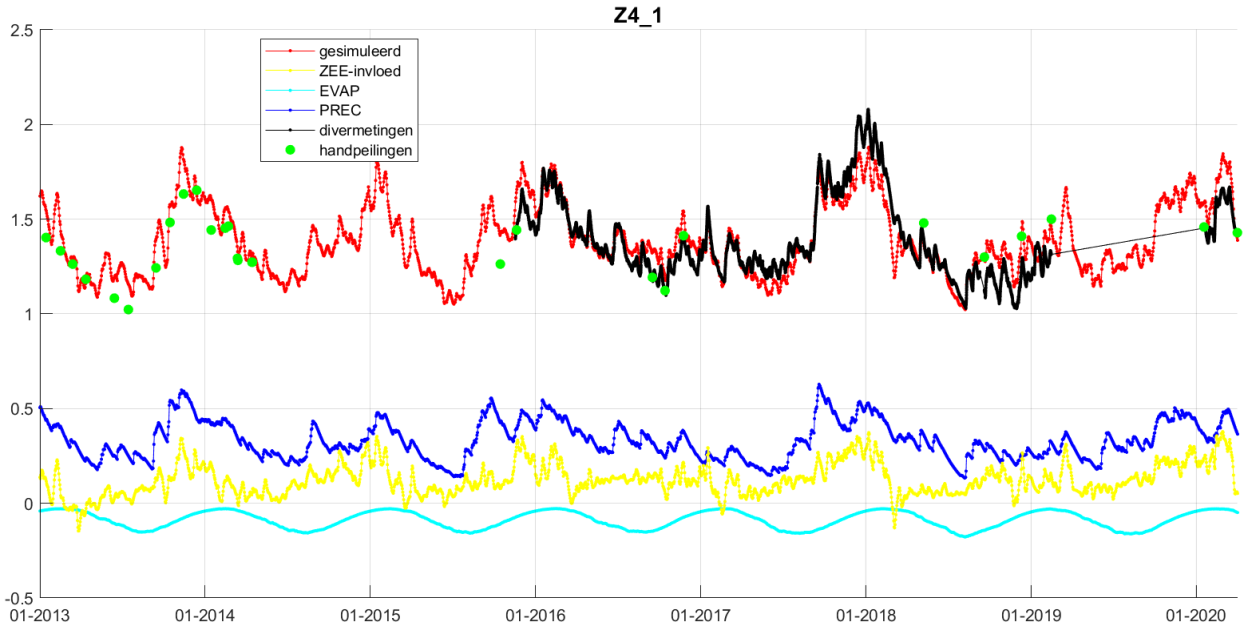

N4_1
gesimuleerd
ZEE-invloed
EVAP
PREC
divermetingen
handpeilingen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
01-2013
01-2014
01-2015
01-2016
01-2017
01-2018
01-2019
01-2020


Z1_1
gesimuleerd
ZEE-invloed
EVAP
PREC
divermetingen
handpeilingen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
01-2013
01-2014
01-2015
01-2016
01-2017
01-2018
01-2019
01-2020

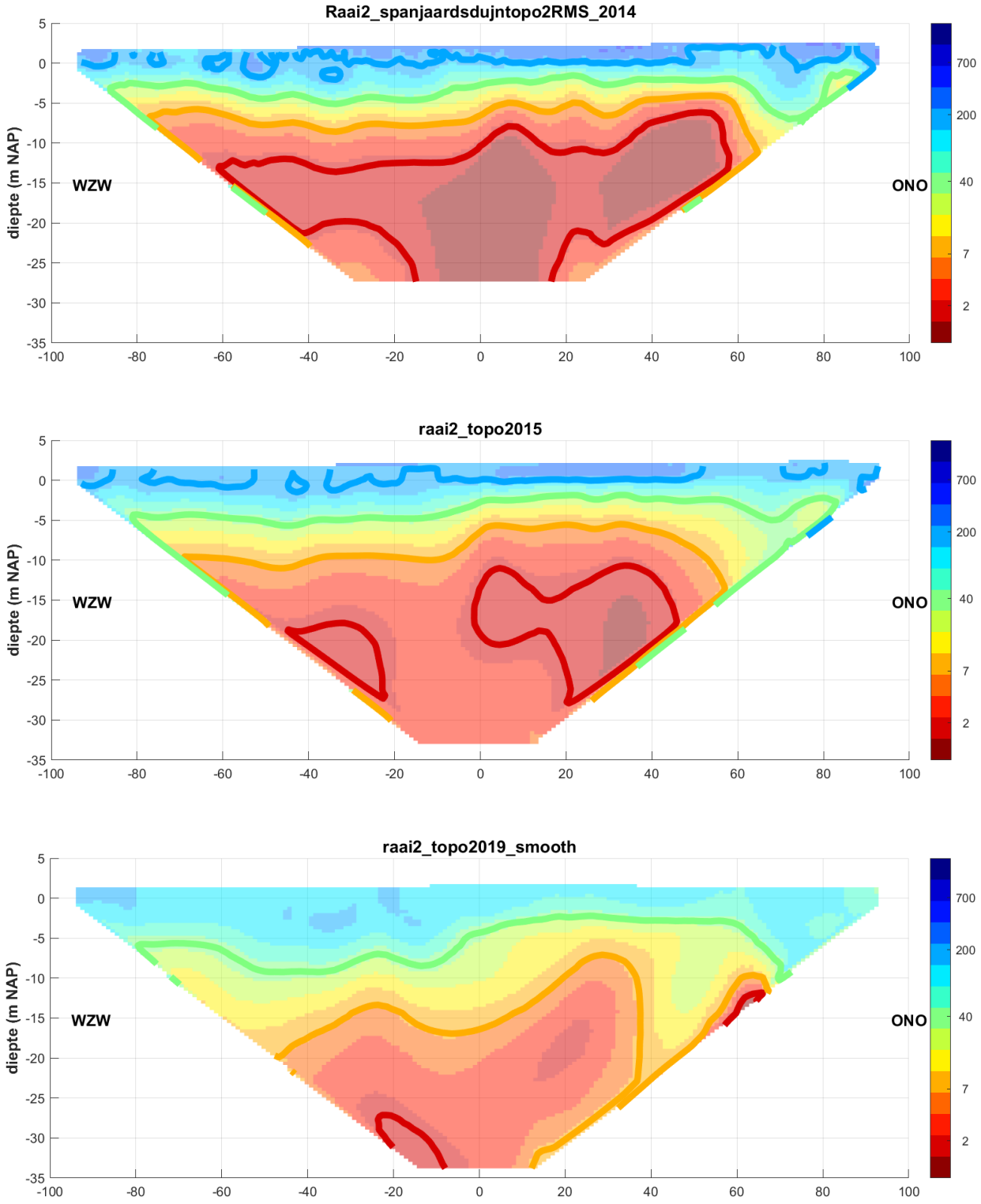

Z2_1
gesimuleerd
ZEE-invloed
EVAP
PREC
divermetingen
handpeilingen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
01-2013
01-2014
01-2015
01-2016
01-2017
01-2018
01-2019
01-2020


Z3_1
gesimuleerd
ZEE-invloed
EVAP
PREC
divermetingen
handpeilingen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
01-2013
01-2014
01-2015
01-2016
01-2017
01-2018
01-2019
01-2020

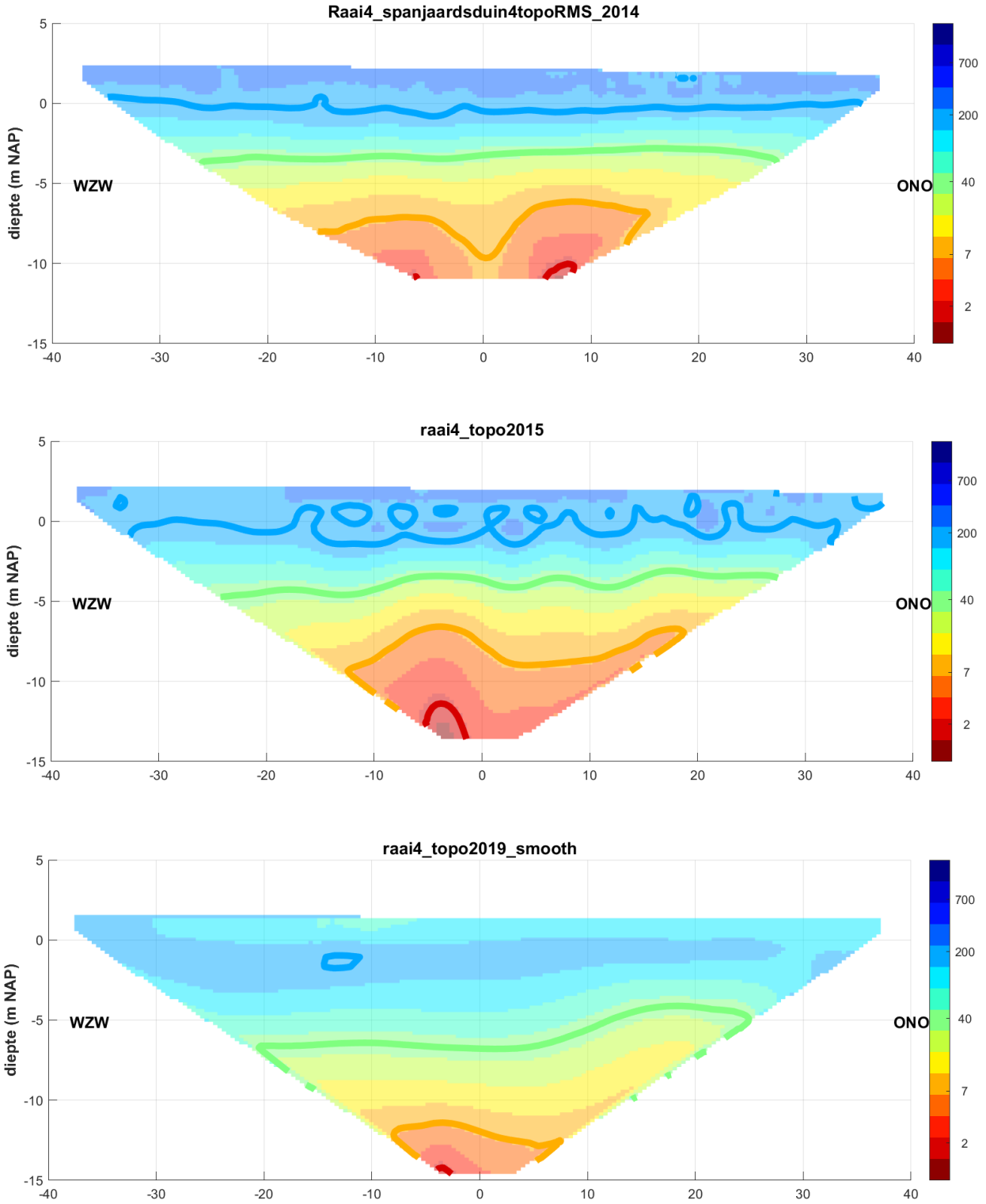

Z3A_1
gesimuleerd
ZEE-invloed
EVAP
PREC
divermetingen
handpeilingen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
01-2013
01-2014
01-2015
01-2016
01-2017
01-2018
01-2019
01-2020


Z4_1
gesimuleerd
ZEE-invloed
EVAP
PREC
divermetingen
handpeilingen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
01-2013
01-2014
01-2015
01-2016
01-2017
01-2018
01-2019
01-2020

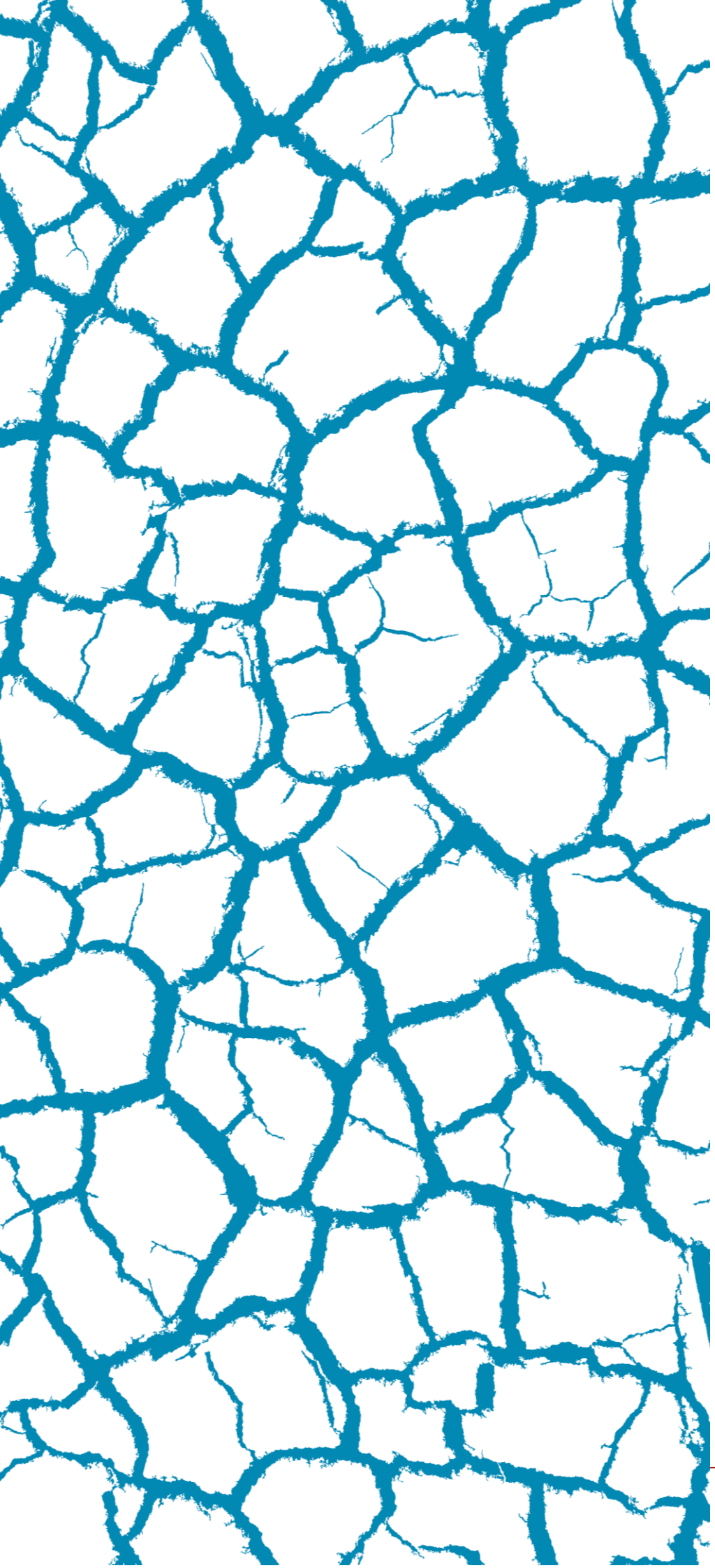
Bijlage 4 Ontwikkeling zoetwaterlens



figuur 13: Resistiviteit (Ohm.m) van de ondergrond van raai2 en de ontwikkeling van de zoetwaterlens (globaal de 40 Ohm.m contour: de grens tussen brak- en zout grondwater)



figuur 14: Resistiviteit (Ohm.m) van de ondergrond van raai4 en de ontwikkeling van de zoetwaterlens (globaal de 40 Ohm.m contour)



Korte Weistraat 12

2871 BP Schoonhoven

Tel: (0182) 387138

www.artesia-water.nl

ARTESIA
WATER RESEARCH UNLIMITED

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

Deltares

www.deltares.nl