

Monitoring Strandbebouwing en duinontwikkeling - T6



Adres: Shore Monitoring & Research BV
2e Zeesluisdwarsweg 8A
2583 DW, Den Haag
Nederland

Telefoon: +31(0)681280230
E-mail: info@shoremonitoring.nl
Website: www.shoremonitoring.nl
IBAN: NL89RABO0150660405
KvK: Den Haag 63003112
BTW: NL 855049431B01

Veldrapportage

Stichting Deltares

Opgeleverd aan: dhr. J. den Bieman

Verzonden per email: joost.denbieman@deltares.nl

Project: Monitoring Strandbebouwing en duinontwikkeling

Onderdeel: Veldrapportage

Survey datum: 05 september 2018

Auteur: ir. F.J.H. Gulden

Interne reviewer: ir. R.C. de Zeeuw

Kenmerk: N201510-01_T6

Versie: 26 oktober 2018

Inhoudsopgave

1	Introductie	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Meetgebied	1
2	Methodologie	3
2.1	Introductie	3
2.2	Coördinaatsysteem	3
2.3	Uitwerking methodologie	3
2.4	Meetapparatuur	7
3	Resultaten	9
3.1	UAV LiDAR Puntenwolk	9
3.2	UAV LiDAR Hoogtemodel	10
3.3	UAV LiDAR Orthophoto	13
3.4	UAV LiDAR Validatie	16
3.4.1	RTK-GNSS validatie transecten	16
3.4.2	Planimetrische checks o.b.v. RTK-GNSS puntmetingen	19

1 Introductie

1.1 Achtergrond

In het kader van onderzoek naar de mogelijke invloed van strandbebouwing op duinontwikkeling is Shore Monitoring & Research gevraagd om in de periode van maart 2017 t/m september 2018 de morfologie in twee onderzoeksgebieden in kaart te brengen met een Unmanned Aerial Vehicle (UAV) uitgerust met een LiDAR systeem. Per jaar zijn twee meetmomenten benoemd: 1) voor het strandseizoen (maart-april) en 2) vlak voor afbouw van de strandbebouwing.

In de jaren 2015 en 2016 zijn dezelfde gebieden gemonitord m.b.v. een Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) en fotogrammetrie. In 2017 is overgestapt op de UAV-LiDAR en door de inzet van LiDAR wordt het zeer sterk 3 dimensionale karakter van de morfologie rond strandbebouwing vastgelegd -hetgeen met conventionele GPS profiel metingen niet haalbaar is- en bovendien het grondoppervlak tussen de vegetatie beter bemeten dan met fotogrammetrie.

De huidige meting is de zevende meting sinds de start van de monitoring en de vierde opeenvolgende meting met LiDAR. De data die gegenereerd is met deze meting zal in een later stadium geanalyseerd worden t.b.v. het onderzoek naar de invloed van strandbebouwing op duinontwikkeling op langere termijn.

Dit rapport beschrijft de metingen die zijn verricht met behulp van een Unmanned Aerial Vehicle uitgerust met een LiDAR systeem en fotocamera, beschrijft de instrumenten die gebruikt zijn voor de meting en geeft een overzicht van de resultaten.

1.2 Meetgebied

Het meetgebied is identiek aan de meetgebieden van voorgaande monitoring op deze locaties, m.b.v. UAV en fotogrammetrie. Het oppervlak van het meetgebied bij Sint Maartenszee is ca. 45 ha, bij Julianadorp ca. 51 ha. (rode omlijning Fig. 1.1).



Figuur 1.1: Overzicht meetgebied (Achtergrond beeld: Google Earth).

Het vervolg van dit document bevat de volgende onderdelen:

- Beschrijving meetapparatuur en uitvoeringswijze in het veld (hoofdstuk 2)
- Resultaten van de verschillende metingen (hoofdstuk 3)

2 Methodologie

2.1 Introductie

Het hoogtemodel wordt verkregen met behulp van een mobiele laserscanner welke wordt bevestigd onder een Unmanned Aerial Vehicle (UAV, of drone). De laserscanner is bovendien uitgerust met een fotocamera zodat er ook een orthofoto gemaakt kan worden. Voor het realiseren van deze orthofoto worden RTK-GNSS grond controlepunten (GCP's) ingemeten, zodat de orthofoto echt met cm nauwkeurigheid gerefereerd kan worden aan het RD NAP referentiestelsel. De LiDAR data wordt gerefereerd aan het RD NAP referentiestelsel middels een RTK-GNSS ontvanger en Fibre Optic Gyroscope op de UAV.

De nauwkeurigheid van de GNSS positie kan worden vergroot door gebruik te maken van de Real Time Kinematic (RTK-GNSS) techniek. Hierbij wordt de positie van de ontvanger gecorrigeerd met correctiewaarden die worden verkregen via een radio of telefoon verbinding met het GNSS basisstation dat over een lokaal referentiepunt staat opgesteld, of onderdeel is van een landelijke GNSS-referentienetwerk, met nauwkeurig bekende coördinaten. Alle GNSS antennes die zich in het veld voortbewegen (rovers) worden door het referentiestation real time van correcties voorzien, waardoor centimeter nauwkeurigheid wordt verkregen van de posities van de rovers.

2.2 Coördinaatsysteem

De metingen zijn in het Rijksdriehoeken stelsel met hoogtes ten opzichte van NAP. Details van het coördinatensysteem zijn gegeven in Tab. 2.1.

Tabel 2.1: Details gebruikte coördinaatsysteem

Parameter:	Value:
Horizontal Datum:	RD2008
EPSG code:	28992
SPHEROID:	Bessel 1841
PROJECTION:	Oblique Stereographic
Latitude of origin:	52.15616055555555 degree
Central meridian:	5.38763888888889 degree
Scale factor:	0.9999079
False easting:	155000
False northing:	463000
Unit:	metre
Vertical Datum:	NAP

2.3 Uitwerking methodologie

De methodiek voor het genereren van een hoogtemodel en orthofoto van een gebied o.b.v. de LiDAR data en luchtfotos verkregen met de UAV, bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Opstellen van een vluchtplan (voor aanvang veldwerk)
2. Plaatsen van GCP's en inmeten GCP's met RTK-GNSS (tijdens veldwerk)
3. UAV-vlucht (inclusief LiDAR & luchtfoto's) volgens vluchtplan (tijdens veldwerk)
4. Data inventariseren en sorteren (na veldwerk)

5. Data verwerking (na veldwerk)
6. Kwaliteitscontrole (na veldwerk)

1. Opstellen vlucht- en GCP-plan

De UAV vliegt een voorgeprogrammeerd pad van waypoints af, waarbij de plaatsbepaling geschiedt op basis van barometrische en GPS plaatsbepaling. Dit gebeurt volledig autonoom. Het voorgeprogrammeerde pad van waypoints wordt voor aanvang in het veld vastgelegd in een zogenaamd vluchtplan. Dit plan is gebaseerd op de informatie en wensen van de klant in relatie tot de eigenschappen van de gebruikte sensor. In het veld kan om praktische redenen het plan altijd aangepast worden.

2. Plaatsen en inmeten GCP's

Om de luchtfoto's werkelijk op centimeter nauwkeurigheid te kunnen plaatsen in het RD referentiestelsel, worden er in het meetgebied GCP's geplaatst welke duidelijk herkenbaar zijn in de luchtfoto's. Het hart van de GCP's wordt ingemeten middels een RTK-GNSS op een loodstaaf (Fig. 2.1), waarvan de nauwkeurigheid ca. 2 tot 3 cm is in alle drie de richtingen (X,Y,Z). De coördinaten van de GCP's kunnen vervolgens worden gebruikt om orthofoto te geo-refereren. Voor aanvang van het veldwerk wordt bekeken waar de GCP's in het meetgebied geplaatst moeten worden, om tot een goede spreiding van referentiepunten te komen. Zonder deze grond controle punten is de orthofoto ook te verkrijgen o.b.v. de zeer nauwkeurige positie van de GNSS en Fibre Optic Gyroscope die op de UAV zitten t.b.v. de LiDAR. De horizontale nauwkeurigheid van de orthofoto, zonder gebruik te maken van GCP's, is in de orde van 5-10 cm.



Figuur 2.1: Voorbeeld GCP en inmeten hart GCP met RTK-GNSS

3. UAV-vlucht (inclusief LiDAR & luchtfoto's)

Voor het uitvoeren van de UAV-vlucht werkt SHORE samen met een gecertificeerde, en volgens de hoogste standaard gekwalificeerde, UAV-operator: Skyvision Unmanned Aviation. De UAV-operator laat de UAV handmatig opstijgen en vliegt vervolgens naar het begin van het vluchtplan. Vervolgens vliegt de UAV zelfstandig het vooraf opgestelde vluchtplan. De UAV-operator kan echter altijd de controle overnemen mocht dit nodig zijn. Voor LiDAR-inwinning wordt gebruik gemaakt van de DJI m600pro (Fig. 2.2) uitgerust met de AL3-32 mobiele laserscanner (incl. camera) van Phoenix LiDAR Systems.



Figuur 2.2: DJI M600pro met daaronder de mobiele laserscanner uitgerust met camera

Via WiFi of 3G staat het systeem in verbinding met een grondstation (laptop) met daarop de besturingssoftware voor het meetsysteem. RTK-GNSS correctiewaardes kunnen via 3G/Wifi/UHF naar het systeem verzonden worden. Op het grondstation zijn alle meetwaarden van de verschillende sensoren realtime zichtbaar. Ook de puntenwolk wordt tijdens het scannen realtime opgebouwd op het scherm van de surveyor. De surveyor houdt realtime alle sensorwaarden in de gaten en begeleidt de UAV-piloot bij het uitvoeren van de vluchten opdat een kwalitatief hoogwaardige meting wordt verricht.

4. Data inventariseren en sorteren

Deze UAV LiDAR meettechniek biedt de mogelijkheid om realtime kwaliteitscontrole uit te voeren. In het veld verschijnt de puntenwolk realtime in het scherm van de surveyor. Sensorstatus en kwaliteitscriteria kunnen direct gemonitord worden. Indien nodig, kan een deel van de meting opnieuw gedaan worden. Alle LiDAR metingen worden overigens op kantoor gepostprocesd.

Tijdens de vlucht worden honderden fotos genomen op de vooraf gespecificeerde waypoints. Alle fotos worden na afloop bij elkaar gezocht en gekoppeld. Alle bruikbare fotos worden geselecteerd.

5. Data verwerking

In hoofdlijnen volgt de verwerking van de data een aantal stappen. De real-time data van de RTK-GNSS, Motion Sensor (INS), laserscanner (LiDAR) en camera wordt geselecteerd op specifieke sensor gerelateerde kwaliteitscriteria. De RTK-GNSS en INS data wordt gepostprocesd om een zo hoog mogelijke kwaliteit te verkrijgen van de positie en oriëntatie van de drone in de lucht. Vervolgens wordt

dit gekoppeld aan de LiDAR data op basis van tijd en omgezet in een puntenwolk (X,Y,Z). Dit levert een zogenaamde puntenwolk file op in .las of .laz format.

Daarna worden automatisch outliers (i.e. sterk afwijkende waarden) en andere vormen van 'ruis' verwijderd. Dit vormt de ruwe gevalideerde puntenwolk. Optioneel wordt de vegetatie en andere objecten geclassificeerd (en mogelijk verwijderd) om tenslotte slechts grondpunten te gebruiken voor het verkrijgen van een DTM. De classificatie van de puntenwolk geschiedt volgens de internationale standaard zoals gehanteerd door American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS).

De foto's worden met Agisoft Photoscan verwerkt tot een orthofoto. De software zoekt o.a. naar overeenkomstige pixels in verschillende foto's. De overeenkomstige pixelparen worden gebruikt om de foto's samen te voegen en een puntenwolk te creëren van het ingemeten gebied. Deze fotogrammetrische puntenwolk wordt met de grond controle punten geoptimaliseerd en gerefereerd aan de wereldlijke (RD NAP) coördinaten.

Vanuit deze fotogrammetrische puntenwolk wordt een mesh gemaakt, die de basis vormt voor de orthofoto, die op basis van wat er in de oorspronkelijke beelden aan textuur te zien is wordt gemaakt. De beelden kunnen bovendien gecorrigeerd worden voor kleurverschillen (bijvoorbeeld doordat het weer verandert gedurende de dag). De resolutie van de uiteindelijke orthophoto is kleiner dan de individuele fotos (orde 1.5-3 cm).

6. Kwaliteitscontrole

De nauwkeurigheid en ligging van het hoogtemodel wordt gecontroleerd aan de hand van een vergelijking van het hoogtemodel met RTK-GNSS validatiemetingen. Hiertoe worden een aantal willekeurige transecten in het meetgebied gemeten met RTK-GNSS rolconstructie (Fig. 2.3).

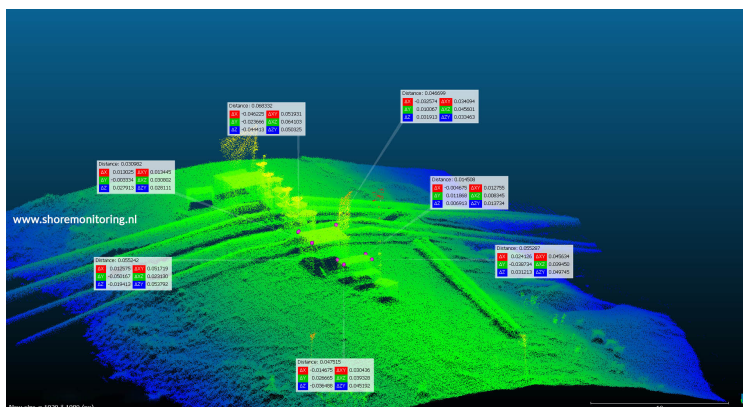
Met de rolconstructie wordt (al lopend) continu de bodemligging ingemeten van het oppervlak waarover men voortbeweegt. Positionering (in alle richtingen) gebeurt door middel van een RTK-GNSS ontvanger. Deze is gemonteerd op een loodstaaf die gegtegreerd is met een één-wieler en kruiwagen frame. De rolconstructie bevat een waterpas, waarmee de surveyor de rolconstructie recht kan houden.



Figuur 2.3: RTK-GNSS rolconstructie

Naast de vergelijking met RTK-GNSS validatie transecten, wordt de LiDAR puntenwolk ook planimetric gevalideerd. Met RTK-GNSS worden hoekpunten van 3D objecten ingemeten, die ook in de LiDAR

puntenwolk zichtbaar zijn. Deze metingen worden vergeleken en de afwijkingen worden gerapporteerd (Fig. 2.4).



Figuur 2.4: Voorbeeld planimetrische checks

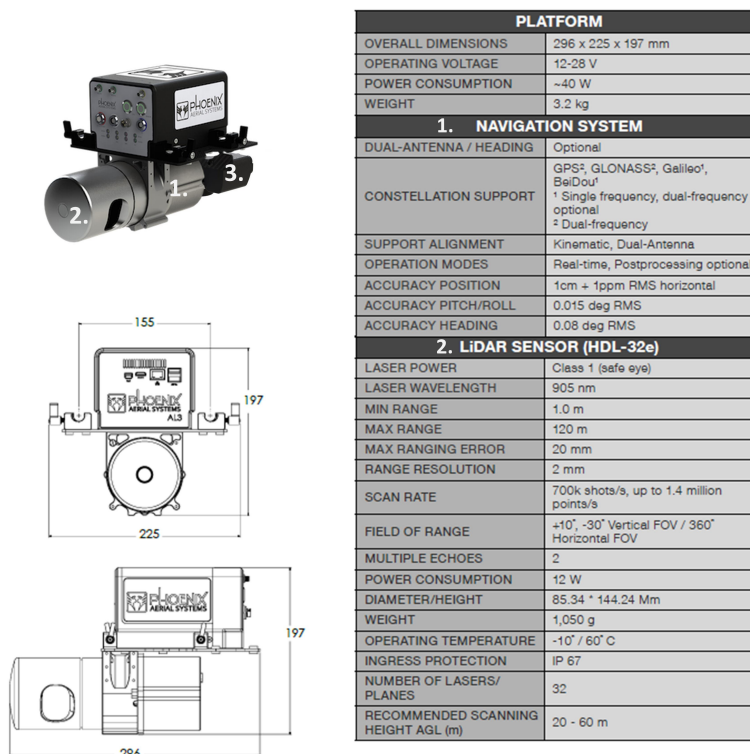
2.4 Meetapparatuur

De meetapparatuur (incl. specificaties) welke gebruikt wordt voor UAV-LiDAR metingen is weergegeven in Tab. 2.2:

Tabel 2.2: Overzicht gebruikte meetinstrumenten en specificaties

Instrument:	Merk:	Type:
RTK-GNSS (rolconstructie/loodstaaf)	Leica	GS10 en GX1230GG
UAV	DJI	M600pro
Laserscanner	Phoenix Aerial Systems	AI3-32
Fotocamera	Sony	α 6000

Het LiDAR systeem bestaat uit een KVH1725 Fiber Optic Gyro IMU (Fig. 2.5 annotatie 1), Velodyne HDL32e laserscanner (Fig. 2.5 annotatie 2), Sony A6000 camera (Fig. 2.5 annotatie 3) en een mini Linux computer waarin alle data wordt verzameld. De IMU vormt het hart van het meetsysteem. Alle offsets en hoekverdraaiing van de GNSS-antenne, camera en laserscanner liggen in x, y en z-richting nauwkeurig vast t.o.v. het hart van de IMU.



Figuur 2.5: Factsheet van het AL3-32 Mobile LiDAR systeem.

Het systeem is gecalibreerd in een testomgeving van Phoenix LiDAR Systems. Met name de offsets en rotaties van de laserscanner t.o.v. de IMU zijn cruciaal voor een nauwkeurige meting. Deze twee componenten worden na calibratie niet meer van elkaar gescheiden. De offsets en rotaties van de camera en GNSS tot de IMU kunnen verschillen per meetplatform en zijn met de grootst mogelijk zorg gemeten.

3 Resultaten

Als resultaat van de metingen zijn de volgende bestanden opgeleverd.

Rapportages:

- Het voorliggende document: 'Veldrapportage Monitoring Strandbebouwing en duinontwikkeling - T6.txt'

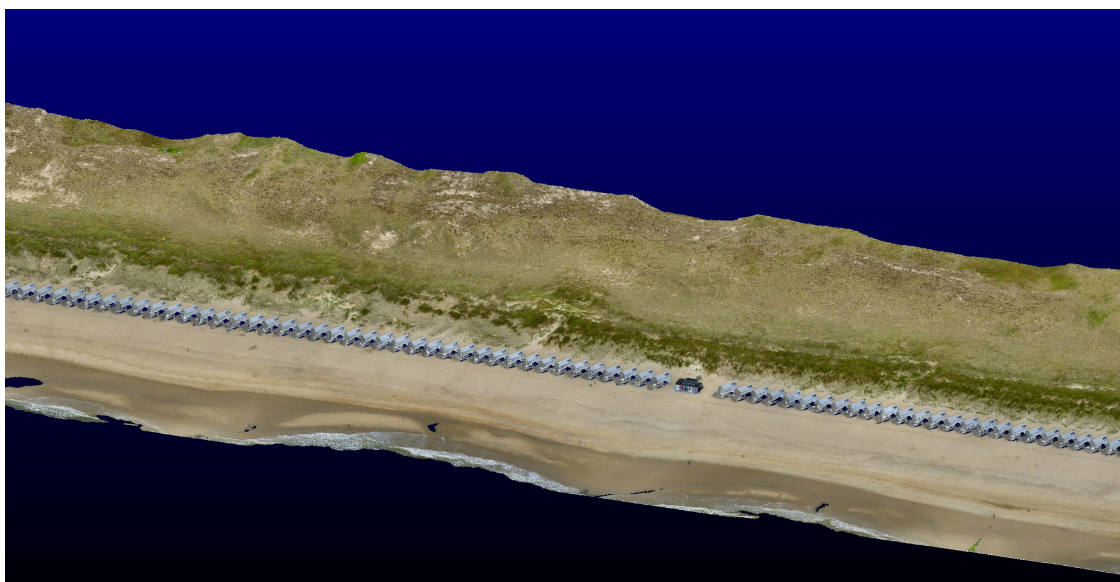
Data:

- Hoogtemodellen van het grondoppervlak van beide gebieden met een resolutie van 0.10×0.10 m en 0.5×0.5 m
- Orthofotos van beide gebieden met een resolutie van 0.02×0.02 m en 0.10×0.10 m resolutie
- de geclassificeerde en gekleurde puntenwolken van beide gebieden
- GPS validatie metingen

Hierna worden achtereenvolgend een korte beschrijving met visuele weergave van de puntenwolk, het hoogtemodel, de orthofoto, een vergelijking met de validatie transecten en het resultaat van de planimetrische checks behandeld.

3.1 UAV LiDAR Puntenwolk

Een meting met de UAV LiDAR resulteert in een puntenwolk van alle gescande oppervlakten en objecten in het meetgebied. De puntenwolk bestaat uit honderden miljoenen punten en toont daarmee veel detail van het oppervlak, vegetatie en de constructies binnen het scangebied van de laser. Een voorbeeld van een deel van de puntenwolk van de uitgevoerde meting is getoond in Fig. 3.1 & 3.2. De gemiddelde punt dichtheid van deze puntenwolken is ca. 700 punten per m^2 .



Figuur 3.1: Printscren van een deel van de gekleurde puntenwolk Julianadorp.

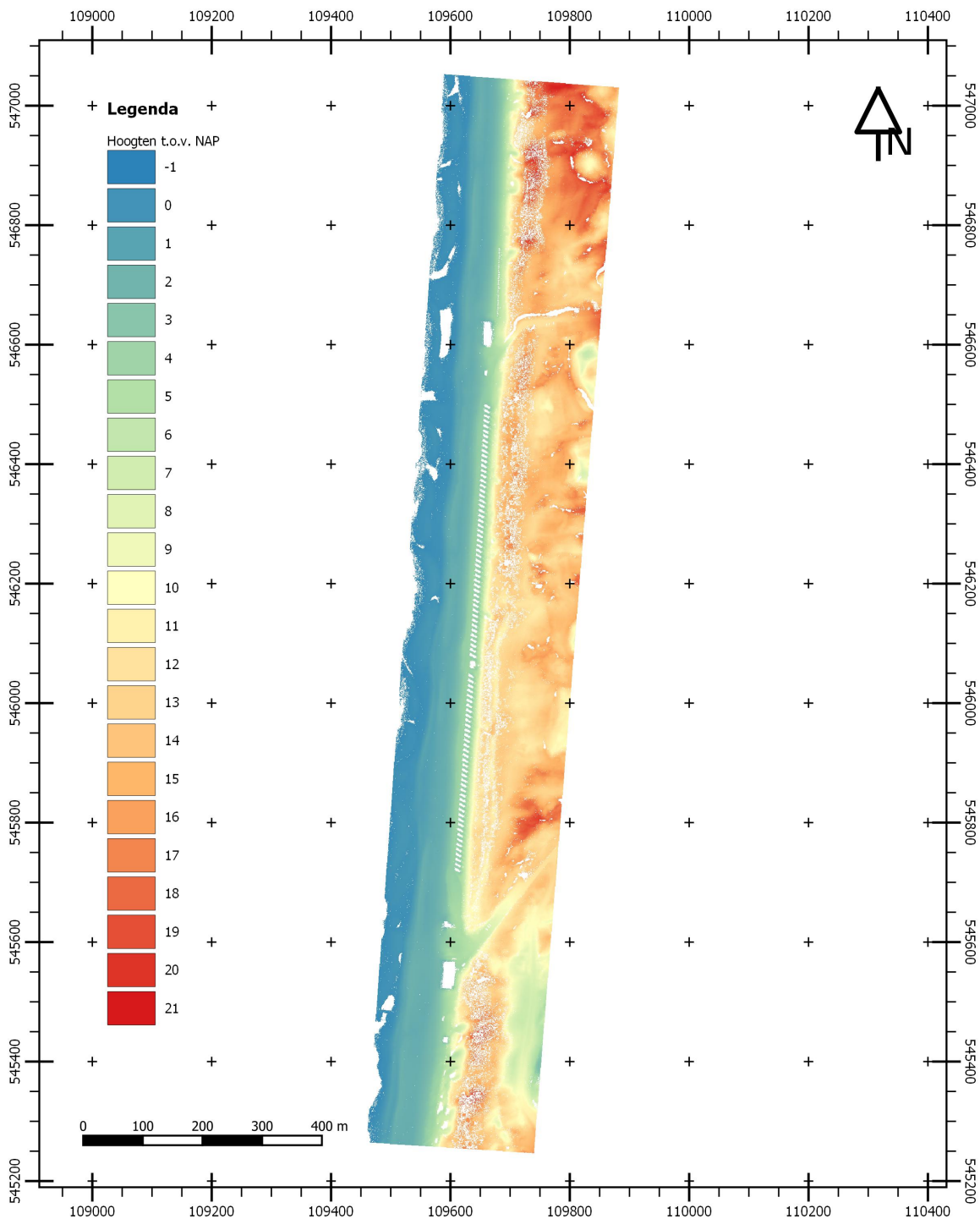


Figuur 3.2: Printscren van een deel van de gekleurde puntenwolk Sint Maartenszee.

3.2 UAV LiDAR Hoogtemodel

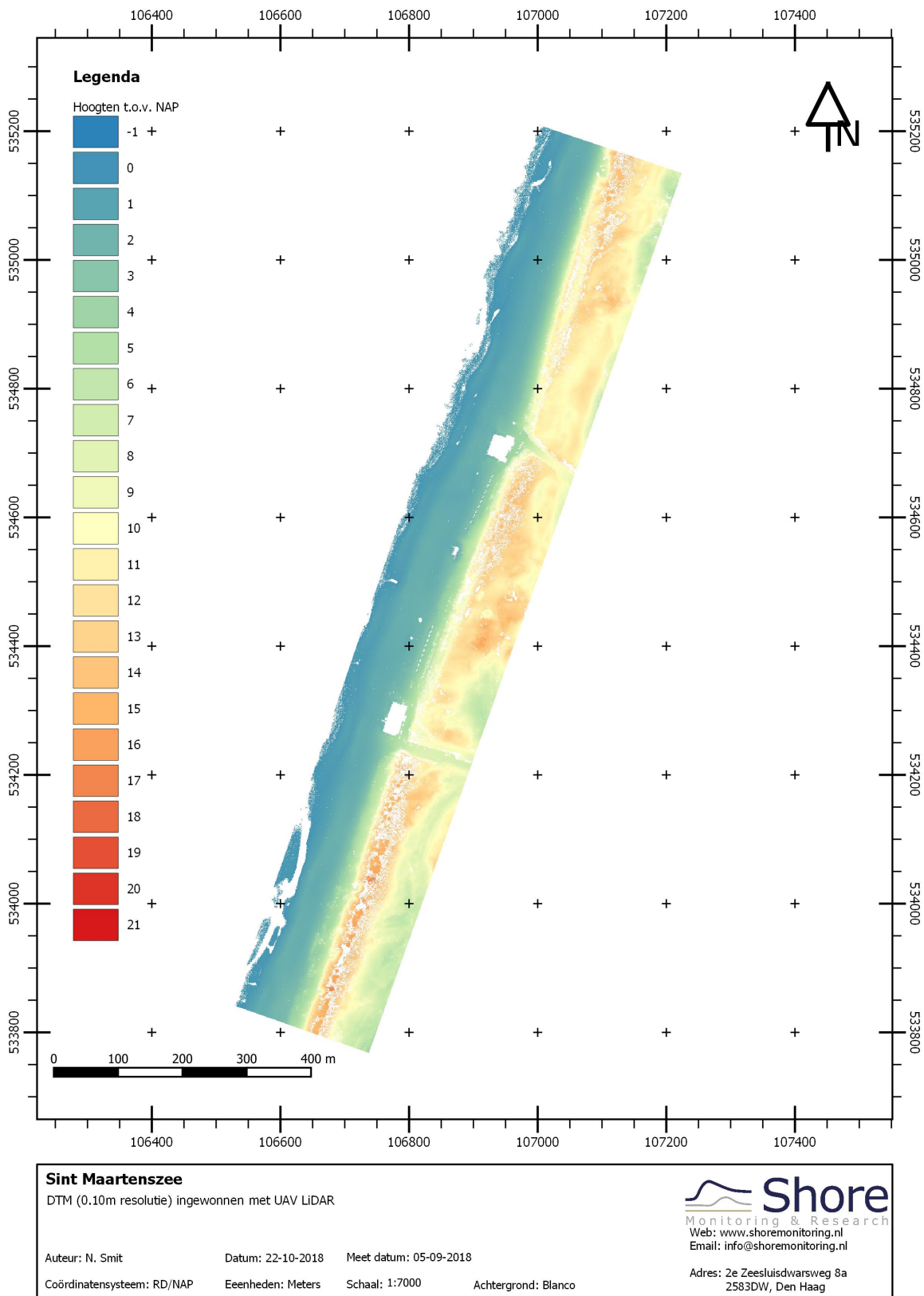
Naast de puntenwolk is een digitaal hoogtemodel een gewenst product (waarbij de hoge vegetatie is verwijderd uit de puntenwolk). Hiertoe zijn de punten vergrid naar een regelmatig raster met een resolutie van 0.10×0.10 , 0.50×0.50 m. Deze resulterende rasterbestanden kunnen in gangbare GIS-pakketten gevisualiseerd, geanalyseerd en bewerkt worden. Het resulterende digitale hoogtemodel van deze meting wordt hieronder gepresenteerd aan de hand van kaartbladen:

- Fig. 3.3 toont het hoogtemodel Juliadorp
- Fig. 3.4 toont het hoogtemodel Sint Maartenszee



Julianadorp		DTM (0.10m resolutie) ingewonnen met UAV LIDAR		<p>Monitoring & Research Web: www.shoremonitoring.nl Email: info@shoremonitoring.nl</p>
Auteur: N. Smit	Datum: 22-10-2018	Meet datum: 05-09-2018		
Coördinatensysteem: RD/NAP	Eenheden: Meters	Schaal: 1:8000	Achtergrond: Blanco	Adres: 2e Zeesluisdwarweg 8a 2583DW, Den Haag

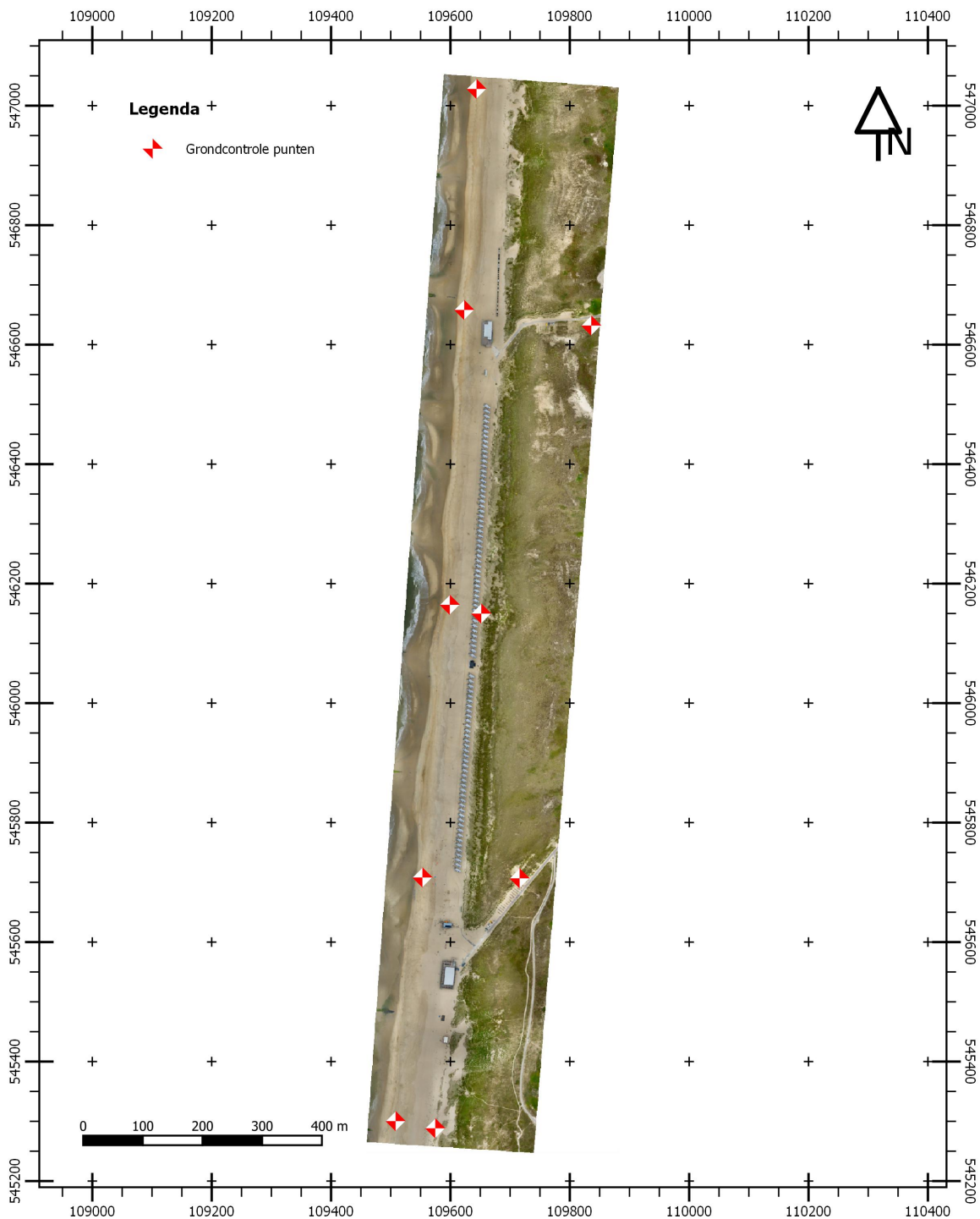
Figuur 3.3: Hoogtemodel Julianadorp



Figuur 3.4: Hoogtemodel Sint Maartenszee

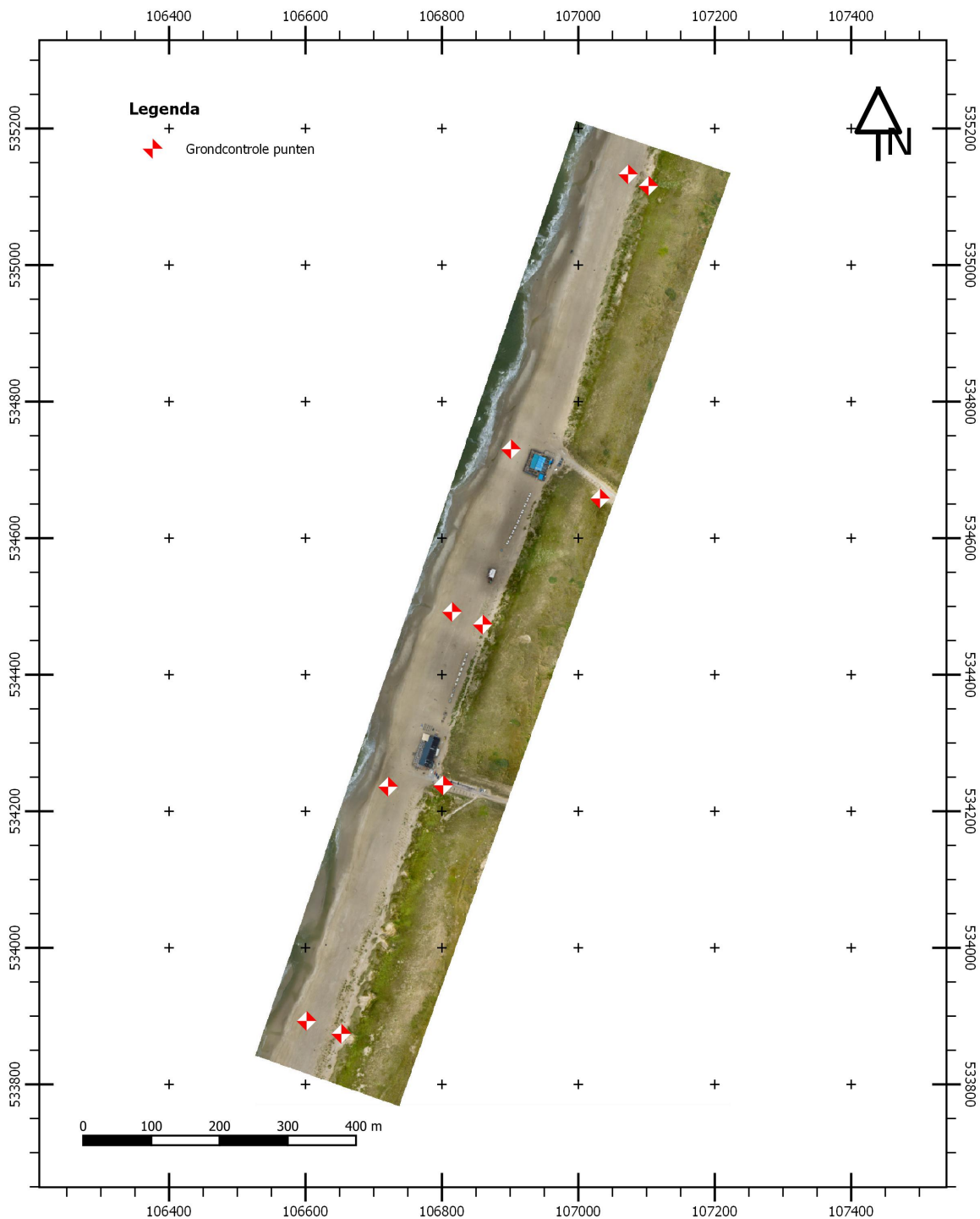
3.3 UAV LiDAR Orthophoto

Tijdens de vluchten zijn ca. 2500 en 1500 luchtfoto's gemaakt voor respectievelijk de gebieden Julianadorp en Sint Maartenszee. Met behulp van fotogrammetrie software zijn deze tot één aaneengesloten luchtfoto verwerkt in RD coördinaten. Doordat op de UAV met LiDAR ook een RTK-GNSS en fiber optic gyro gemonteerd zitten, zijn de camera positie en orientatie van alle foto's tot op de cm nauwkeurig bekend, hetgeen het benodigde aantal grond controle punten aanzienlijk verkleind. Fig. 3.5 en Fig. 3.6 tonen de orthofoto van Juliandorp en Sint Maartenszee inclusief de locaties van de grondcontrole punten.



Julianadorp			<p>Monitoring & Research Web: www.shoremonitoring.nl Email: info@shoremonitoring.nl</p>
Orthofoto (0.02m resolutie) met daarop de locaties van de grondcontrole punten aangegeven			
Auteur: N. Smit	Datum: 22-10-2018	Meet datum: 05-09-2018	Adres: 2e Zeesluisdwarweg 8a 2583DW, Den Haag
Coördinatensysteem: RD/NAP	Eenheden: Meters	Schaal: 1:8000	

Figuur 3.5: Orthophoto Julianadorp. Inclusief locaties van grond controle punten.



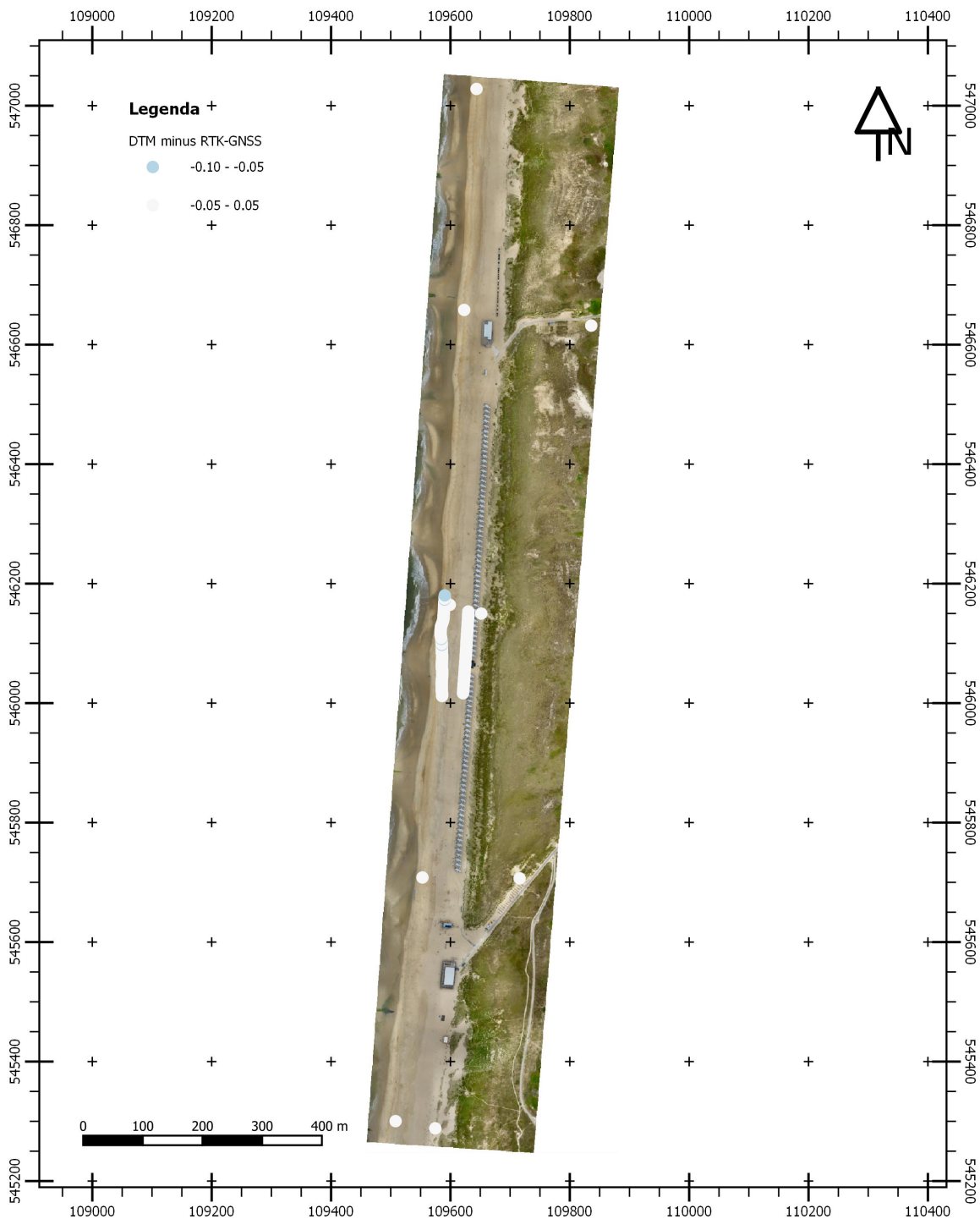
Sint Maartenszee			<p>Monitoring & Research Web: www.shoremonitoring.nl Email: info@shoremonitoring.nl</p>
Orthofoto (0.02m resolutie) met daarop de locaties van de grondcontrole punten aangegeven			
Auteur: N. Smit	Datum: 22-10-2018	Meet datum: 05-09-2018	Adres: 2e Zeesluisdwarweg 8a 2583DW, Den Haag
Coördinatensysteem: RD/NAP	Eenheden: Meters	Schaal: 1:7000	

Figuur 3.6: Orthophoto Sint Maartenszee. Inclusief locaties van grond controle punten.

3.4 UAV LiDAR Validatie

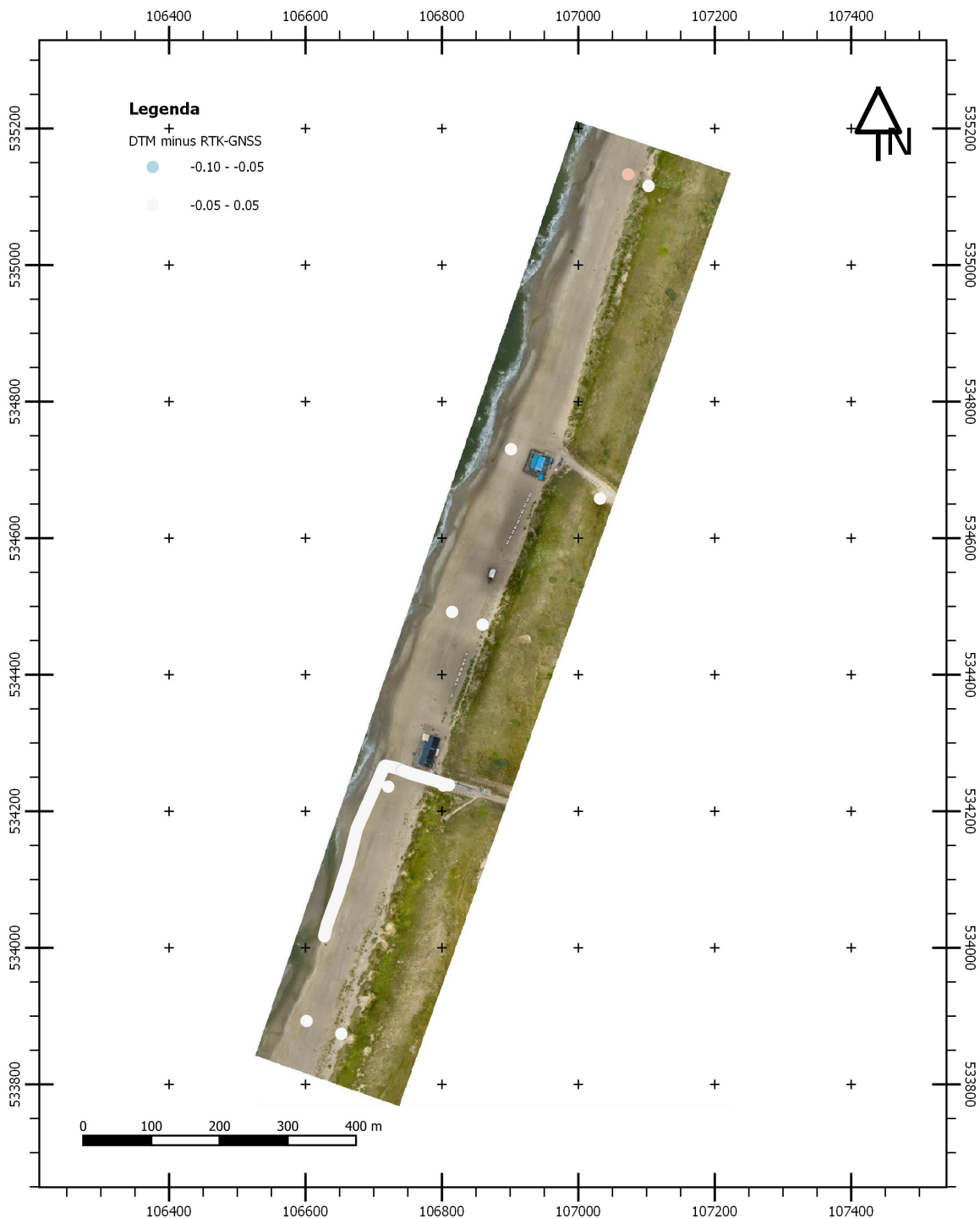
3.4.1 RTK-GNSS validatie transecten

Op locaties van de RTK-GNSS metingen zijn de hoogteligging van het terrein op basis van de UAV LiDAR metingen vergeleken met de RTK-GNSS veldmetingen. De hoogteverschillen zijn in Fig. 3.7 en 3.8 op de orthophoto weergegeven. De kleuren corresponderen met het verschil in hoogteligging tussen de RTK-GNSS hoogtemetingen en het UAV-LiDAR hoogtemodel (0.10 x 0.10 m resolutie).



Julianadorp				<p>Monitoring & Research Web: www.shoremonitoring.nl Email: info@shoremonitoring.nl</p>
Orthofoto (0,02m resolutie) inclusief verschil in hoogte t.o.v. NAP tussen het DTM en de RTK-GNSS validatietransecten				
Auteur: N. Smit	Datum: 22-10-2018	Meet datum: 05-09-2018		Adres: 2e Zeesluisdwarweg 8a 2583DW, Den Haag
Coördinatensysteem: RD/NAP	Eenheden: Meters	Schaal: 1:8000	Achtergrond: Blanco	

Figuur 3.7: Orthophoto Julianadorp o.b.v. UAV LiDAR luchtfoto's. Hoogteverschil met validatiemetingen in kleur aangegeven.

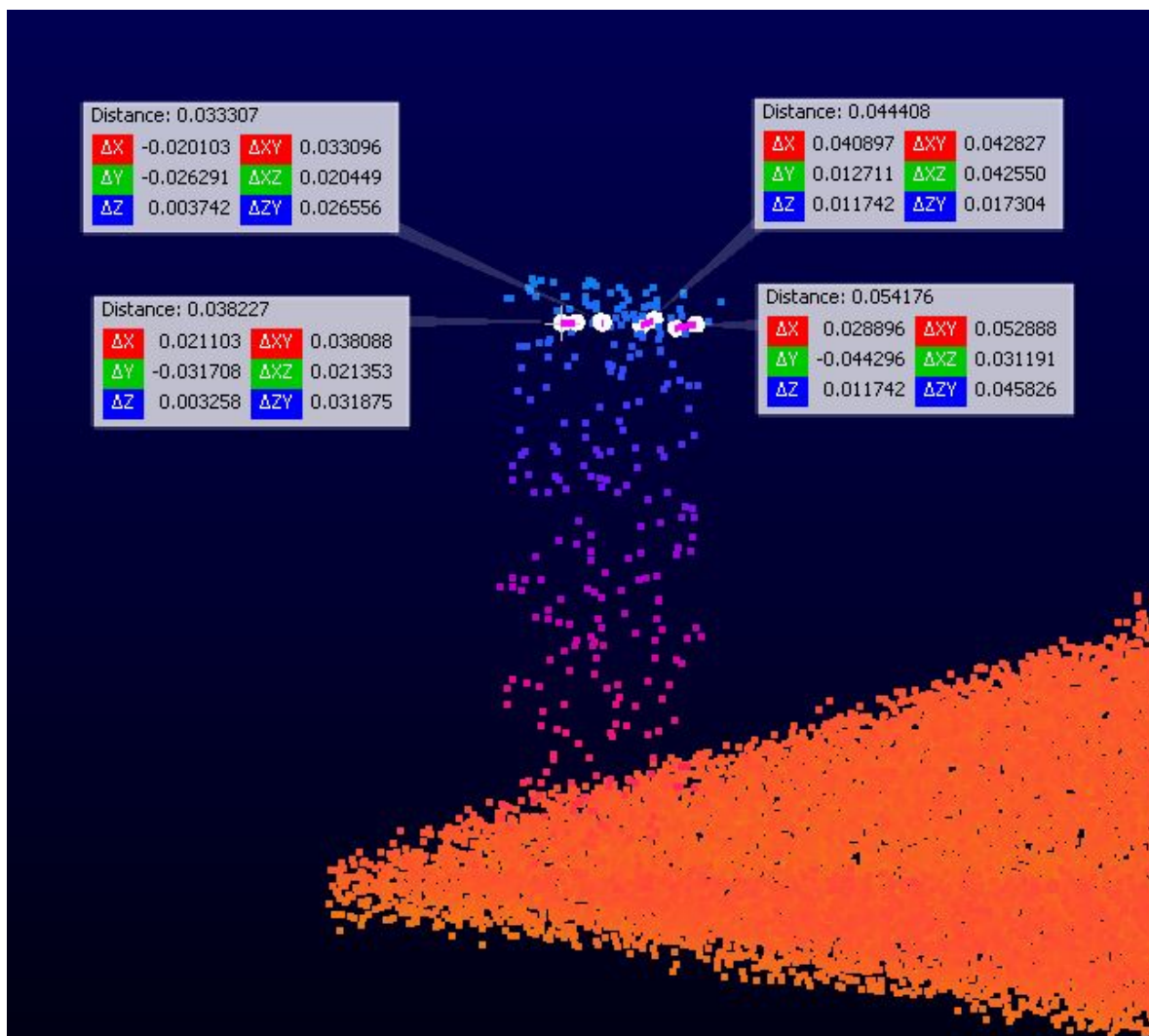


Sint Maartenszee				<p>Monitoring & Research Web: www.shoremonitoring.nl Email: info@shoremonitoring.nl</p>
Orthofoto (0,02m resolutie) inclusief verschil in hoogte t.o.v. NAP tussen het DTM en de RTK-GNSS validatietransecten				
Auteur: N. Smit	Datum: 22-10-2018	Meet datum: 05-09-2018		
Coördinatensysteem: RD/NAP	Eenheden: Meters	Schaal: 1:7000	Achtergrond: Blanco	Adres: 2e Zeesluisdwarweg 8a 2583DW, Den Haag

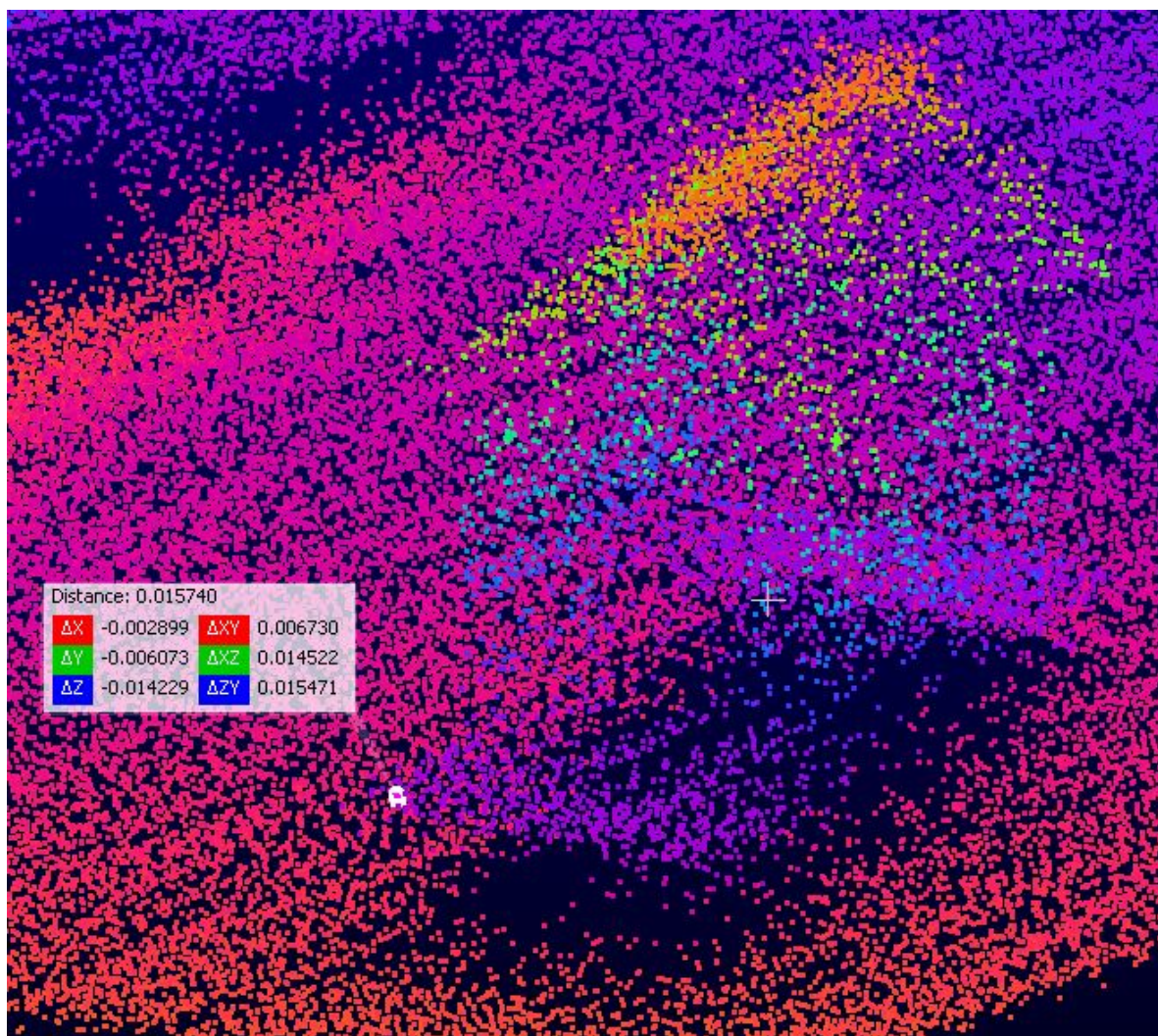
Figuur 3.8: Orthophoto Julianadorp o.b.v. UAV LiDAR luchtfoto's. Hoogteverschil met validatiemetingen in kleur aangegeven.

3.4.2 Planimetrische checks o.b.v. RTK-GNSS puntmetingen

Fig. 3.9 (Julianadorp) en Fig. 3.10 (Sint Maartenszee) tonen de planimetrische check van de puntenwolken o.b.v. de GNSS metingen van hetzelfde object.



Figuur 3.9: Planimetrisch vergelijk GNSS puntmetingen en LiDAR puntenwolk Julianadorp.



Figuur 3.10: Planimetrisch vergelijk GNSS puntmetingen en LiDAR puntenwolk Sint Maartenszee.