
Effecten strandbebouwing op strand- en duinontwikkeling



RAPPORTAGE

31 maart 2017

Shore Monitoring & Research B.V.



Project Effecten strandbebouwing op strand- en duinontwikkeling

Opdrachtgever Stichting Deltares

Onderdeel Rapportage

Auteur ir. R.C. de Zeeuw

Interne reviewers dr. ir. M.A. de Schipper

Opgeleverd aan Laura Vonhögen-Peeters

Versie v0.1 dd. 31 maart 2017

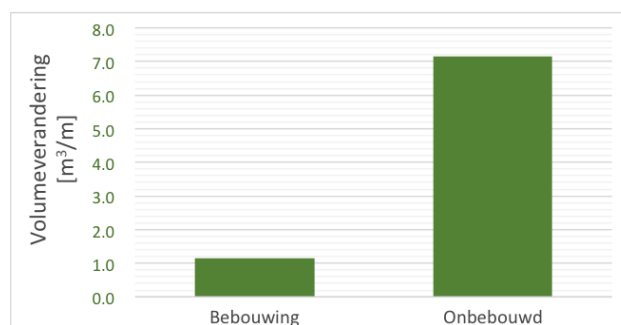
Samenvatting

In het kader van onderzoek naar de invloed van strandbebouwing op duin ontwikkeling zijn in de periode 2015-2016 enkele metingen uitgevoerd. De metingen betreffen de hoogteligging van strand en duin in twee onderzoeksgebieden in Noord Holland die zijn vastgelegd met een UAV (drone) en de fotogrammetrie techniek. In deze analyse worden de waargenomen morfologische veranderingen beschreven en uitgesplitst naar de (tijdelijk) bebouwde en onbebouwde delen van het strand binnen de onderzoeksgebieden.

De hoogtemetingen van strand en duin zijn uitgevoerd met de fotogrammetrie techniek met een UAV vanwege 1) de hoge ruimtelijke resolutie van de hoogtemetingen en 2) de simultaan verkregen orthophoto van het gebied om het strandgebruik te duiden. De hoge detail hoogtemodellen zijn geclassificeerd naar zandige oppervlaktes en bebouwing/vegetatie. Vervolgens zijn uit de geclassificeerde hoogtemodellen de volumeveranderingen berekend en uitgesplitst naar gebieden met verschillende bebouwing.

De metingen tonen dat hoogtemetingen met fotogrammetrie uit UAVs het ruimtelijke detail rond strandbebouwing goed weergeven. Veranderingen van kale zandoppervlaktes zijn goed te bemeten door de hoge ruimtelijke resolutie en de orthophoto. De met duinvegetatie begroeide gebieden worden met de fotogrammetrie techniek niet betrouwbaar bemeten en zijn niet meegenomen.

Uit een vergelijk van de verschillende opnames blijkt dat strandbebouwing een meetbaar effect heeft op de ontwikkeling van de hoogteligging op strand en voorduin. In de directe nabijheid van de bebouwing is vaak lokaal erosie waar te nemen, en op enige afstand is aan de lijzijde vaak een zone met aanzanding. Een vergelijk van de aangezande zandvolumes achter de afrastering van de duinvoet toont voor onbebouwde en (tijdelijk) bebouwde gebieden een duidelijke invloed. Gemiddeld gezien is in de onbebouwde referentie gebieden een fors grotere aanzanding ($7.2 \text{ m}^3/\text{m}$) waargenomen in een jaar dan in de gebieden landwaarts van (tijdelijke) bebouwing ($1.2 \text{ m}^3/\text{m}$).



Tussen de verschillende soorten bebouwing zijn kleine verschillen waargenomen. Landwaarts van de grotere, op palen aangebrachte paviljoens zijn aangezande volumes nagenoeg nihil, daar waar bij kleine lintbebouwing in het zomerseizoen een kleine aanzanding is gevonden ($1.5 \text{ m}^3/\text{m}$). Bij de paviljoens is tevens gekeken naar de duur van de bebouwing. Gebieden landwaarts van de jaarrond paviljoens tonen nagenoeg geen instuiving, daar waar bij een seizoenspaviljoen een kleine aanzanding wordt gemeten.

Samenvattend laten de resultaten zien dat de plaatsing van strandbebouwing de toevoer van zand naar de duinen lokaal sterk kan reduceren en de aanwezigheid een effect heeft op de strand en duin ontwikkeling. Voor een natuurlijke aanzanding van de duinen lijkt het daarom onverstandig om grote objecten vlak voor het duin te plaatsen.

Inhoudsopgave

1	Introductie	1
1.1	Achtergrond	1
1.1.1	Onderzoeksvragen	3
1.2	Onderzoeksgebieden	3
1.2.1	Julianadorp	3
1.2.2	Sint Maartenszee	4
2	Methodiek	5
2.1	Metingen	5
2.1.1	Inzet van UAV's	5
2.1.2	Meetprogramma	6
2.1.3	Verwerking beeldgegevens	6
2.2	Analyse	6
2.2.1	Data	6
2.2.2	Classificatie vegetatie voor strand- en duinontwikkeling	7
2.2.3	Sedimentatie erosie patronen	7
2.2.4	Balansgebieden	9
3	Resultaten	13
3.1	Julianadorp	13
3.2	Sint Maartenszee	16
3.3	Vergelijk verschillende gebieden	18
3.3.1	Verschil gebieden zonder en met strandbebouwing	20
3.3.2	Type bebouwing	20
3.3.3	Invloed duur van de bebouwing	21
3.3.4	Locatie	22
4	Conclusies en Aanbevelingen	23
4.1	Conclusies	23
4.2	Aanbevelingen	23
	Bijlage A Kaartbladen	25

1 Introductie

In het kader van onderzoek naar de mogelijke invloed van strandbebouwing op duin ontwikkeling heeft Stichting Deltares aan Shore Monitoring & Research opdracht gegeven voor enkele metingen en een beknopte data analyse. De metingen betreffen de morfologie in twee onderzoeksgebieden in Noord-Holland welke zijn gemonitord met een UAV (drone) en fotogrammetrie. De inzet van deze techniek komt voort uit de noodzaak om het sterk driedimensionale karakter van de morfologie rond strandbebouwing te bemeten; hetgeen met conventionele GPS profiel metingen niet haalbaar is. In deze analyse wordt de waargenomen morfologische veranderingen beschreven en uitgesplitst naar de (tijdelijk) bebouwde en onbebouwde delen van het strand binnen de onderzoeksgebieden.

Dit rapport beschrijft de methodiek, resultaten, conclusies en aanbevelingen van het onderzoek naar de invloed van strandbebouwing op duin ontwikkeling op basis van de uitgevoerde UAV fotogrammetrie hoogtemetingen.

1.1 Achtergrond

Landelijk speelt bij kustbeheerders (en exploitanten) het vraagstuk van de invloed van strandbebouwing op de achterliggende duin ontwikkeling. Hierbij staat het faciliteren van de verschillende functies van (en binnen) de smalle kuststrook centraal. Van groot belang is de waterkerende functie van de kust, waarvoor onderhoud, maar in de toekomst ook ontwikkeling benodigd is. Anderzijds zijn recreëren, natuurontwikkeling en sociaal economische functies steeds belangrijker. Dat strandbebouwing een invloed heeft op de duin(voet)ontwikkeling lijkt aannemelijk, zoals te zien in Fig. 1.1 en Fig. 1.2.



Figuur 1.1: Links de duinvoet bij onbebouwd stuk strand. Rechts de duinvoet bij overgang naar bebouwd strand.



Figuur 1.2: Aangroeiende duinvoet naast strandpaviljoen (seizoensgebonden). Achter strandpaviljoen, geen aangroei duinvoet.

Ieder voorjaar wordt bij de opbouw van strandpaviljoens de zeewaarts gegroeide duinvoet lokaal afgegraven (Fig. 1.3). Daarnaast hebben de recente ontwikkelingen rond het exploiteren van strandhuisjes (Fig. 1.4) en het jaarrond toestaan van strandpaviljoens bij kustbeheerders geleid tot de behoefte aan inzicht in de invloed van strandbebouwing op duinontwikkeling. Niet in de minste plaats ter ondersteuning van duidelijke kaders voor vergunningverlening en handhaving ten aanzien van strandbebouwing.



Figuur 1.3: Afgegraven duinvoet t.b.v. het plaatsen van strandpaviljoen (seizoensgebonden) in het voorjaar.



Figuur 1.4: Afgegraven duinvoet t.b.v. het plaatsen van tientallen vakantiehuisjes (seizoensgebonden). Links de opbouw, rechts het lint van huisjes.

Om de effecten te kwantificeren is een eerste verkennende studie uitgevoerd door Deltares op basis

van Jarkus-data [Memo Deltares (B. Hoonhout)]. De ruimtelijke resolutie van de data bleek te klein om trends in duinontwikkeling te correleren met de aanwezigheid van strandbebouwing. Wel zijn verschillende type strandbebouwing geïnventariseerd waarvan de invloed op duinontwikkeling onderzocht zou moeten worden.

Gezien de landelijke behoefte aan richtlijnen ten behoeve van de vergunningverlening bij strandbebouwing is het huidige onderzoek ingesteld. De basis van de analyse wordt gevormd door vlakdekkende, hoge resolutie hoogtemetingen (uitgevoerd m.b.v. UAV's en fotogrammetrie) in twee gebieden met een verscheidenheid aan type strandbebouwing.

1.1.1 Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen voor de monitoring en de analyse zijn als volgt gedefinieerd:

- Heeft strandbebouwing invloed op de achterliggende duin(voet)ontwikkeling?
- Zijn de parameters te identificeren met betrekking tot de plaatsing, afmetingen of duur van de strandtenten (jaarrond of seizoen) die de duinontwikkeling beïnvloeden?

1.2 Onderzoeksgebieden

De twee onderzoekslocaties zijn geselecteerd aan de hand van een vooronderzoek naar verschillende type strandbebouwing en de lopende profiel monitoring van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). De twee locaties zijn het Noord Hollandse Julianadorp en Sint Maartenszee (Fig. 1.5, rode omlijning). Het meetgebied bij Julianadorp is ca. 1600 m lang (kustlangs) en bij Sint Maartenszee ca. 1200 m lang. De zeewaartse begrenzing van het meetgebied is de NAP +1 m contour. De landwaartse begrenzing ligt ca. 100 m landinwaarts van de duinvoet (afrastering). De gele lijnen zijn de locaties waar het HHNK de profiel monitoring uitvoert.



Figuur 1.5: Locatie van de onderzoeksgebieden

1.2.1 Julianadorp

De aanwezige type strandbebouwing in Julianadorp zijn:

- Lintbebouwing in de vorm van nagenoeg aaneengesloten strandhuisjes (seizoensgebonden)
- Strandpaviljoen op zandfundament (seizoensgebonden)
- Strandpaviljoen op palen (jaarrond)
- Strandpaviljoen op palen (seizoensgebonden)

Daarnaast zijn ten zuiden en noorden van de strandbebouwing ook duidelijke ongerepte referentie gebieden aanwezig.

1.2.2 Sint Maartenszee

De aanwezige type strandbebouwing in Sint Maartenszee zijn:

- Lintbebouwing in de vorm van nagenoeg aaneengesloten strand schuurtjes (seizoensgebonden)
- Strandpaviljoen op palen (seizoensgebonden)
- Strandpaviljoen op palen (jaarrond)
- Strandpaviljoen op palen met grotere afstand tot duinvoet (seizoensgebonden)

Daarnaast zijn ten zuiden en noorden van de strandbebouwing ook duidelijke ongerepte referentie gebieden aanwezig.

Foto's van de verschillende locaties zijn verzameld in de figuren 2.4 en 2.6. Door de verschillende type strandbebouwing te vergelijken kan een indruk worden verkregen van de invloed van de duur van de bebouwing en het uitvoeringstype.

2 Methodiek

Om te onderzoeken of strandbebouwing invloed heeft op de achterliggende duin(voet)ontwikkeling is gekozen om het onderzoek op te bouwen uit twee componenten: *metingen* en *data analyse*. Hieronder wordt de methodiek voor beide toegelicht.

2.1 Metingen

Uit voorgaande studies omtrent de mogelijke invloed van strandbebouwing op duin ontwikkeling is gebleken dat de beschikbare data (temporeel en ruimtelijk) geen antwoord kon geven op verschillen in strand en duin ontwikkeling bij de verscheidenheid aan strandbebouwing. Tevens gaf het HHNK aan, dat uit de de standaard profiel metingen geen conclusies getrokken konden worden, vanwege de beperkte ruimtelijke resolutie van de data in relatie tot het hoog driedimensionale karakter van de morfologie rond strandbebouwing. Derhalve is een nieuwe techniek ingezet om de hoogteveranderingen in kaart te brengen, UAV's.

2.1.1 Inzet van UAV's

Bij de start van het onderzoek (september 2015) is gekozen voor de inzet van UAV's (Fig. 2.1) en fotogrammetrie voor de hoogtemetingen vanwege de hoge ruimtelijke resolutie van de hoogtemetingen en het simultaan verkrijgen van een orthophoto van het gebied. Een orthophoto is een hoge resolutie fotomosaiek (samengesteld uit honderden losse foto's) waarbij de coördinaten van pixels in Rijksdriehoeken bekend is.



Figuur 2.1: Links:gebruikte UAV voor de monitoring: MD4-1000. Rechts: een deel van de orthophoto van de T1 rond een strandpaviljoen bij Julianadorp

De orthophoto levert waardevolle gebiedsinformatie bij de hoogtegegevens in de vorm van de werkelijke locatie en afmetingen van de strandbebouwing. De orthophoto biedt tevens te mogelijkheid om het verschillende grondgebruik (terras, bebouwing, vegetatie, etc.) goed waar te nemen. Dit vult de hoogtegegevens aan en helpt lokale morfologische ontwikkelingen te duiden.

Daarnaast maakt de flexibele inzet van UAV's een vlakdekkende monitoring met een hoge temporele frequentie mogelijk, waarmee de invloed van seizoensgebonden versus jaarrond exploitatie van strandbebouwing onderzocht kan worden.

2.1.2 Meetprogramma

Voor de periode 2015-2016 zijn op drie meetmomenten opnames gemaakt:

- **T0** vóór afbouw van de strandbebouwing (september 2015)
- **T1** na de opbouw van de strandbebouwing (april 2016)
- **T2** vóór afbouw van de strandbebouwing (september 2016)

Naast de UAV-fotogrammetrie meetproducten zijn bij elke meting validatie metingen met RTK-GNSS uitgevoerd en veldobservaties gerapporteerd. Voor de beschrijving van de metingen wordt verwezen naar de veldrapportage documenten die bij iedere meting zijn opgeleverd.

2.1.3 Verwerking beeldgegevens

Tijdens de vluchten worden honderden fotos genomen op vooraf gespecificeerde locaties (waypoints). Alle fotos en locaties van de camera worden na afloop bij elkaar gezocht en gekoppeld.

De camera lens is per meetdag gekalibreerd middels een fotogrammetrie software pakket. De kalibratie gegevens zijn vervolgens ingezet om alle fotos te corrigeren voor distorsie. Waar mogelijk wordt contrast vergroot en op met nabewerking een scherper beeld verkregen, wat voor meer detail in het uiteindelijke product zorgt. Na deze stap is m.b.v. het Agisoft fotogrammetrie software pakket gezocht naar overeenkomstige pixels in de verschillende fotos. Vanuit de overeenkomstige pixelparen wordt een puntenwolk gecreëerd van het in beeld gebrachte gebied. Deze puntenwolk wordt met de grond controle punten geoptimaliseerd en gerefereerd aan de wereldlijke coördinaten.

Hierna wordt de puntenwolk tot een aaneengesloten orthophoto gemaakt, op basis van wat er in de oorspronkelijke beelden aan textuur te zien is. De beelden kunnen bovendien gecorrigeerd worden voor kleurverschillen.

Daarnaast wordt een 3-D puntenwolk in LAS formaat (.las) uitgevoerd en een digitaal hoogtemodel (DEM) wordt gecreëerd.

2.2 Analyse

2.2.1 Data

De puntenwolken, hoogtemodellen en orthophotos van de metingen geven een momentopname in hoog detail van de hoogteligging en de oppervlakte eigenschappen (vegetatie, terras, etc.). Ter illustratie is een deel van een puntenwolk getoond in Fig. 2.2. Hierbij zijn de punten gekleurd op basis van de kleuren in de oorspronkelijke foto's. Vanwege de hoge punt dichtheid levert dit een herkenbaar beeld op van de omgeving en de hoogteligging.



Figuur 2.2: Voorbeeld puntenwolk (T1 Julianadorp) waarbij de punten gekleurd zijn op basis van de foto's. De Landal strandhuisjes in de achtergrond, op de voorgrond strandpaviljoen Paal 6.

Om vegetatie, bebouwing en andere objecten te verwijderen uit het hoogtemodel zijn de puntenwolk en orthophoto geclassificeerd. Hierdoor blijft van elk hoogtemodel alleen het zandoppervlak over voor analyse van strand- en duinontwikkeling.

2.2.2 Classificatie vegetatie voor strand- en duinontwikkeling

Met de classificatie van de vlakdekkende resultaten wordt voorkomen dat de onnauwkeurige hoogtemetingen bij vegetatie de resultaten beïnvloeden. Fotogrammetrie levert enkel hoogtedata op van hetgeen in de foto's te zien is. Het bodemoppervlak *onder* de vegetatie kan derhalve niet worden bemeaten. Verschil in vegetatiehoogte tussen de meetmomenten (veel hoge vegetatie na de zomer en dunne, lage vegetatie in het voorjaar) zou zonder classificatie en focus op de onbegroeide gebieden tot een ongewenst signaal kunnen leiden.

Voor de analyse is derhalve gekozen alleen gebieden met zandige oppervlaktes te gebruiken. Om deze keuze toe te lichten zijn de orthophotos van de T0, T1 van Sint Maartenszee boven elkaar afgebeeld (Fig. 2.3) waaruit in direct het verschil in vegetatie oppervlakte naar voren komt. In de T0 meting in september 2015 is de vegetatie vitaal en het onderliggende zandoppervlak is niet waarneembaar in de foto's. De gereconstrueerde hoogte in de vegetatiegebieden met de fotogrammetrie techniek levert waarschijnlijk de toppen van de vegetatie. In de T1 meting van april 2016 is de vegetatie dun en dor (na de winter). Het zandoppervlak is tussen de vegetatie (en op sommige plaatsen erop) waarneembaar. De onderste afbeelding in Fig. 2.3 toont het classificatie resultaat van de T0 (blauw) en T1 (blauw+oranje).

Bij een visueel vergelijk lijkt er aanzanding te zijn in de duinen. Dit is echter niet kwantificeerbaar, omdat in de T0 meting slechts de hoogte van de vegetatietoppen is bemeaten en niet het zandoppervlak eronder. Om deze reden wordt vastgehouden aan het principe om alleen volumeveranderingen te kwantificeren van gebieden die zowel in de T0, T1 als T2 als zandoppervlakt zijn geclassificeerd.

2.2.3 Sedimentatie erosie patronen

De verschillen in bodemhoogte tussen metingen geven locaties van aanzanding (sedimentatie) en bodemdaling (erosie) weer. Per meetgebied zijn op basis van deze sedimentatie erosie patronen de volumeveranderingen tussen de metingen berekend. Deelgebieden met gelijksoortige strandbebouwing zijn hierna geïsoleerd om de lokale volume veranderingen vast te stellen. Hiermee is getracht de invloed van strandbebouwing op de ruimtelijke morfologische ontwikkeling te duiden. Deze resultaten worden aan de hand van bovenaanzichten van sedimentatie erosie patronen in Hoofdstuk 3 behandeld.



Figuur 2.3: Verschillen in vegetatie tussen de orthophotos van de T0 (boven) en T1 meting (midden) bij Sint Maartenszee. Classificatie van het hoogte model (onder): Zandig oppervlak in beide metingen in blauw, zandig oppervlak in enkel de T1 meting in oranje.

2.2.4 Balansgebieden

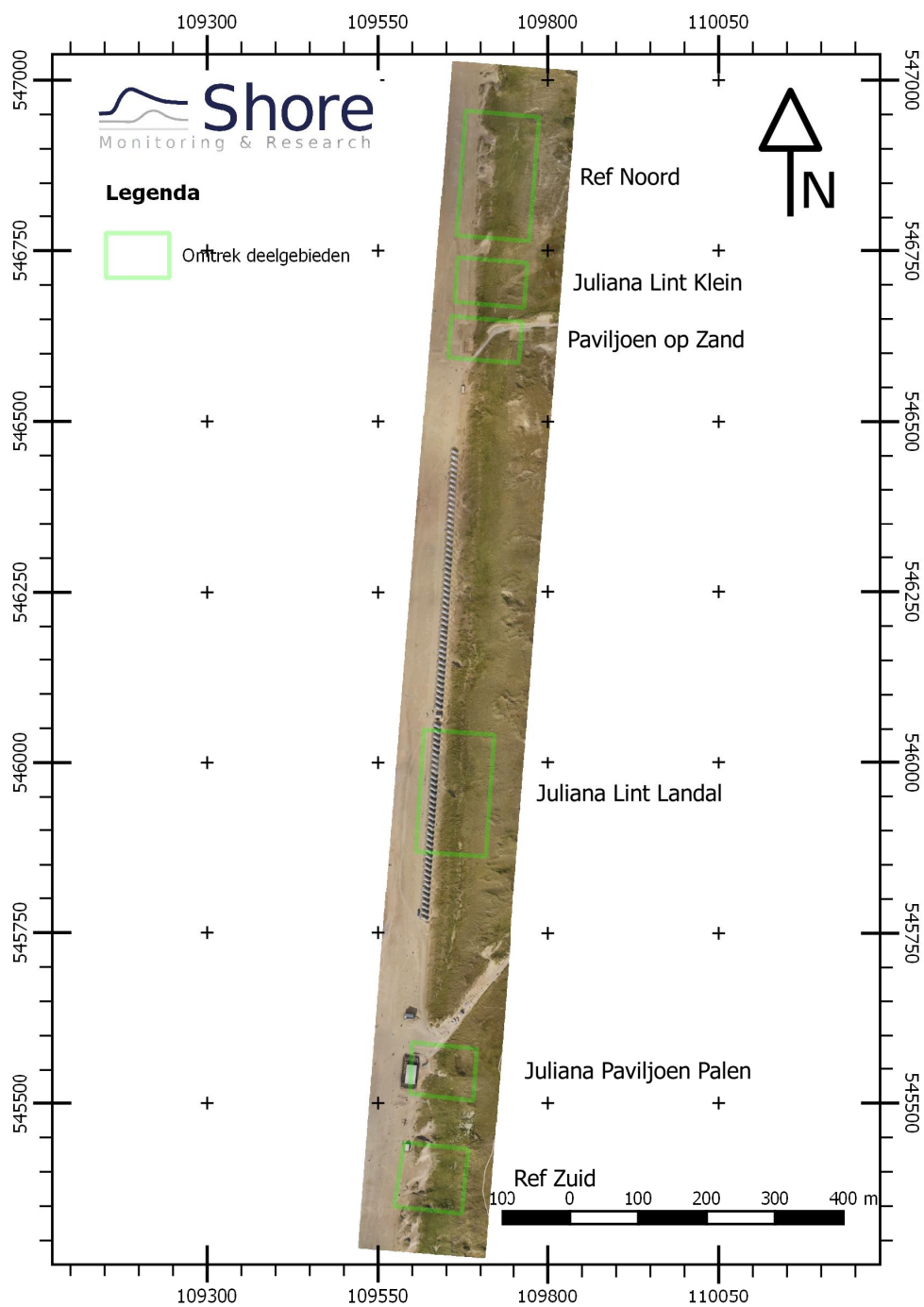
Ten behoeve van de kwantificering van duinontwikkeling in relatie tot het type strandbebouwing zijn balansgebieden opgesteld rondom de verschillende typen strandbebouwing en de referentiegebieden. De balansgebieden zijn zeewaarts begrensd door de NAP +3m contour (gekozen uit de T1 meting) en landwaarts door de rand van het meetgebied. Binnen de balansgebieden is tevens onderscheid gemaakt naar volumeveranderingen vóór en achter (landwaarts van) de duinvoetafrastering, ten einde de ontwikkeling van de 'onbewerkte' duinvoet in de verschillende deelgebieden te kwantificeren. De balansgebieden in Julianadorp en Sint Maartenszee zijn afgebeeld in Figuren 2.5 en 2.7.

Balansgebieden Julianadorp:

- *Referentiegebieden.* Zowel aan de noord- als zuidkant van het gebied zijn referentie gebieden gedefinieerd (resp. Ref. Noord en Ref. Zuid). Hier heeft geen bebouwing gestaan.
- *Lint Klein* omvat de kleine bebouwing (kleedhokjes/strandschuurtjes), die doorgaans in de vorm van een lint geschakeld. Deze bebouwing staat langs de duinvoet en is seizoensgebonden (Fig. 2.4, linksboven).
- *Paviljoen op Zand* omvat een strandpaviljoen bij de noordelijke opgang van Julianadorp, welke seizoensgebonden is en op een zandbanket gefundeerd is (Fig. 2.4, rechtsboven).
- *Lint Landal* omvat een deel uit de aaneenschakeling van naast elkaar geplaatste vakantiehuisjes van Landal. Deze huisjes staan ieder schuin op de duinvoet georiënteerd. De huisjes zijn seizoensgebonden en staan op een palenframe, ca. 1 m boven het strandoppervlak. Tussen de huisjes is een kleine tussenruimte (Fig. 2.4, linksonder).
- *Paviljoen Palen* is een jaarrond geëxploiteerd paviljoen op palen, ten zuiden van de zuidelijke opgang van Julianadorp (Fig. 2.4, rechtsonder).



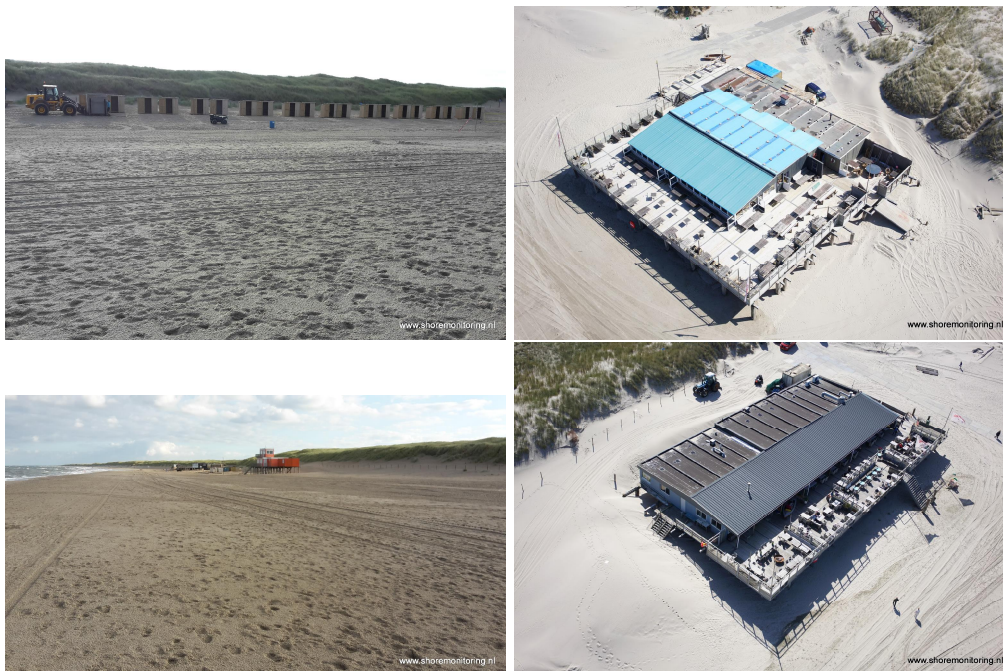
Figuur 2.4: Voorbeelden bebouwingstypen Julianadorp. Kleine lintbebouwing (linksboven), Landal lint bebouwing (linksonder), Strandpaviljoens op zand (rechtsboven) en op palen (rechtsonder).



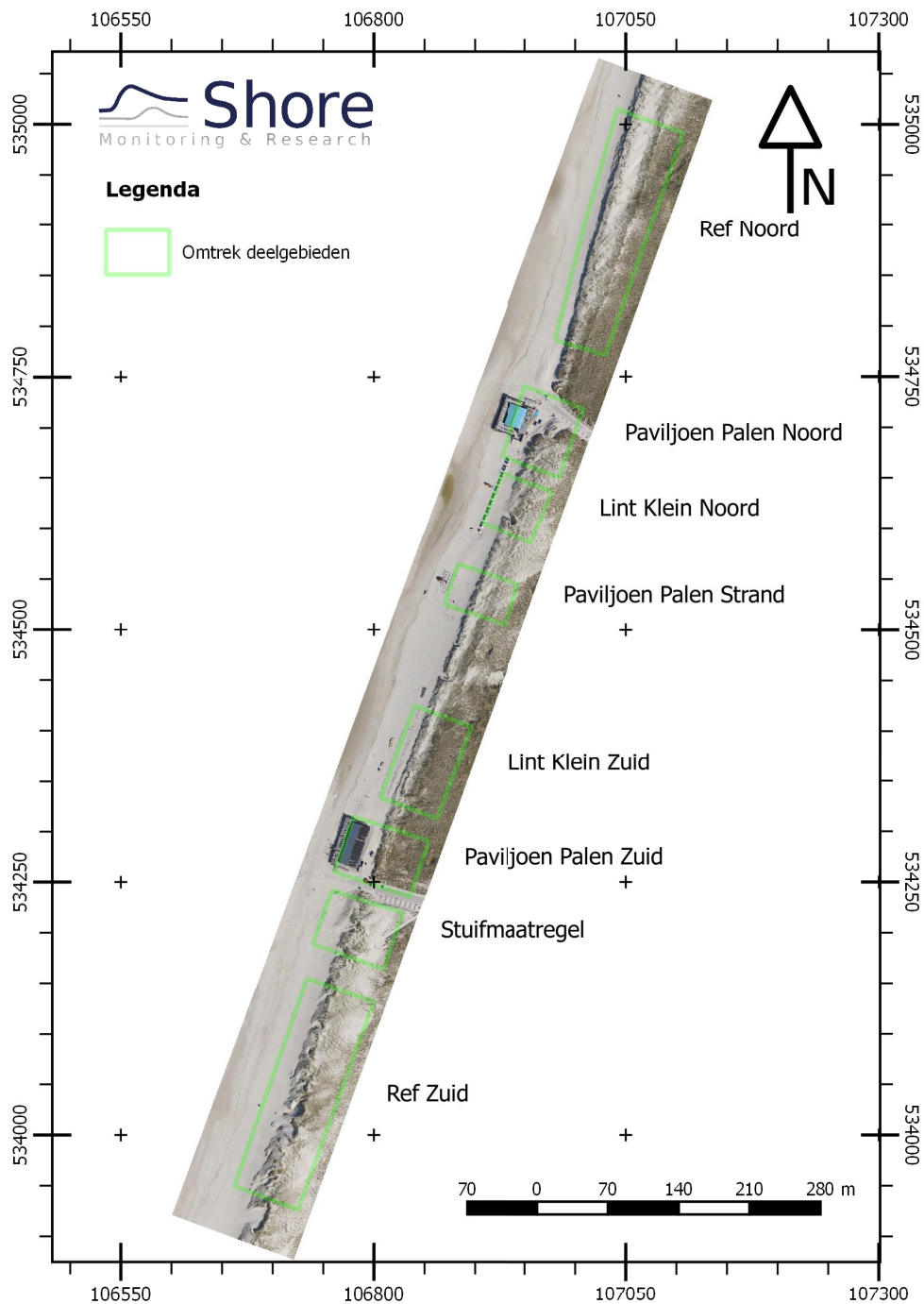
Figuur 2.5: Balansgebieden Julianadorp. Als achtergrond is de T1 orthophoto gebruikt (april 2016).

Balansgebieden Sint Maartenszee:

- *Referentiegebieden.* Zowel aan de noord- als zuidkant van het gebied zijn referentie gebieden gedefinieerd (resp. Ref. Noord en Ref. Zuid). Hier heeft geen bebouwing gestaan.
- *Paviljoen Palen Noord* omvat een seizoensgebonden paviljoen op palen ten zuiden van de noordelijke opgang van Sint Maartenszee (Fig. 2.6, rechtsboven).
- *Lint Klein Zuid en Noord* omvatten de typische kledhokjes/strandschuurtjes bebouwing, die doorgaans in de vorm van een lint geschakeld langs de duinvoet staan en seizoensgebonden zijn (Fig. 2.6, linksboven).
- *Paviljoen Palen Strand* omvat een seizoensgebonden paviljoen op palen, dat verder van de duinvoet verwijderd staat dan de andere paviljoens en tevens kleinere afmetingen heeft (Fig. 2.6, linksonder).
- *Paviljoen Palen Zuid* omvat een jaarrond geëxploiteerd paviljoen op palen ten noorden van de zuidelijke opgang van Sint Maartenszee (Fig. 2.6, rechtsonder).
- *Stuifmaatregel.* Dit gebied omvat een stuk strand en duinvoet waar instuivingsmaatregelen zijn geplaatst, net ten zuiden van de zuidelijke opgang van Sint Maartenszee. Het gebied is meegenomen om de invloed ervan te kwantificeren in relatie tot de overige gebieden.



Figuur 2.6: Voorbeelden bebouwingstypen Sint Maartenszee. Kleine lintbebouwing aan de zuidzijde (linksboven), Paviljoen op palen op het strand (linksonder), Strandpaviljoens op palen seizoensgebonden (rechtsboven) en jaarrond (rechtsonder).



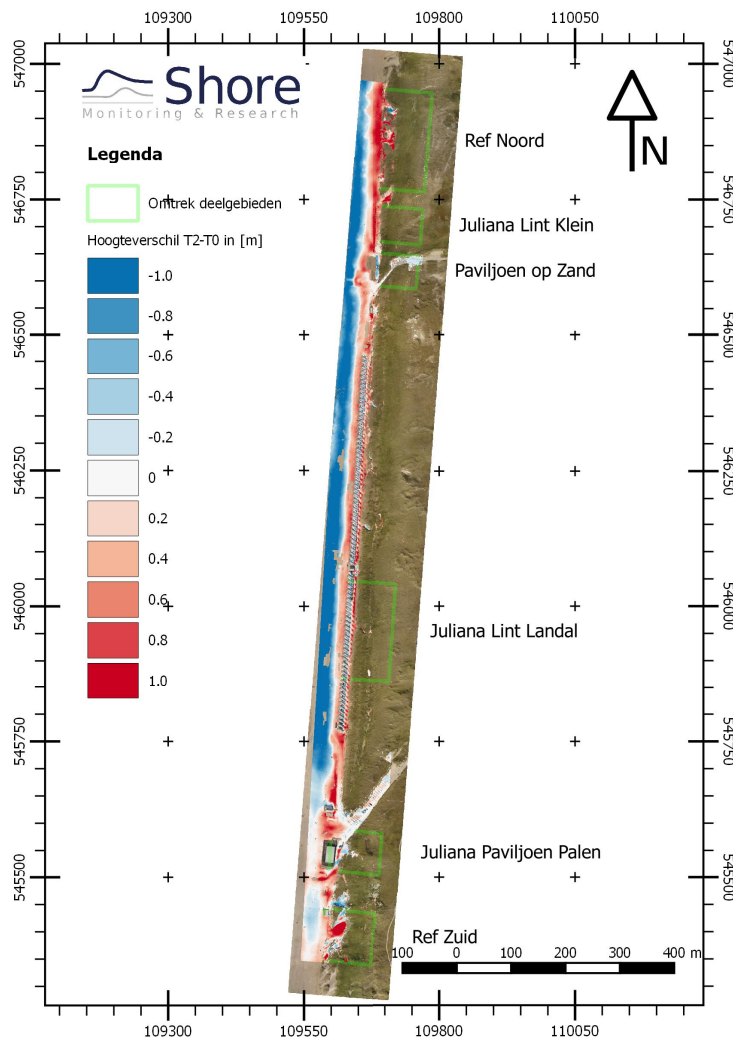
Figuur 2.7: Balansgebieden Sint Maartenszee. Als achtergrond is de T1 orthophoto gebruikt (april 2016).

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden allereerst de resultaten per locatie gepresenteerd. Daarna volgt een aggregatie van de resultaten om meer generieke uitspraken te kunnen doen over de strand- en duinontwikkeling bij verschillende type strandbebouwing en de referentiegebieden.

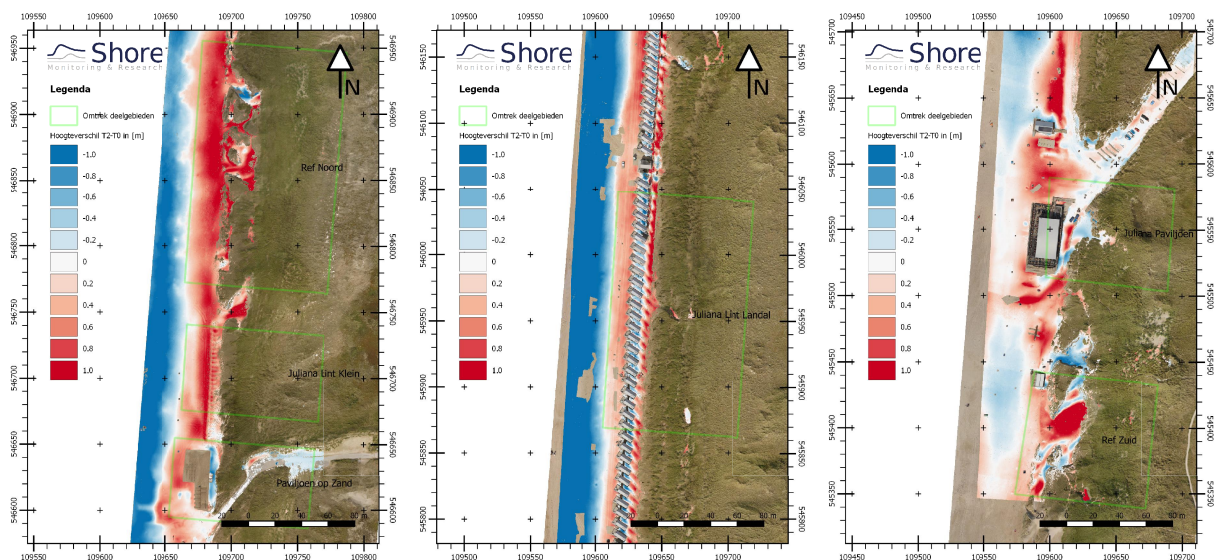
3.1 Julianadorp

Het strand bij Julianadorp wordt gekenmerkt door verschillende typen bebouwing met onbebouwde referentiegebieden aan weerszijden (Fig. 3.1). In de periode van circa 1 jaar tussen de T2 en T0 metingen valt de erosie van het strand aan de zeewaartse kant van het meetgebied op (Fig. 3.1, diep blauwe gebied). Dit gebied, lager op het strand, is sterk dynamisch en bodemveranderingen in deze zone veranderen op de tijdschaal van stormen. Gebieden dicht bij het duin laten in algemene zin aanzanding zien. Dit gebied ligt ruim boven de waterlijn tijdens de stormen van het onderzochte jaar.



Figuur 3.1: Sedimentatie/erosie in het volledige meetgebied bij Julianadorp na 1 jaar (T2-T0). Groen omlijnde gebieden zijn de balansgebieden.

De ontwikkeling van de verschillende gebieden in Julianadorp zijn ruimtelijk geduid met kaartbladen van deelgebieden (Fig.3.2). De volume veranderingen achter de afrastering in de duinen zijn gekubeerd en per strekkende meter uitgezet in Fig. 3.3.

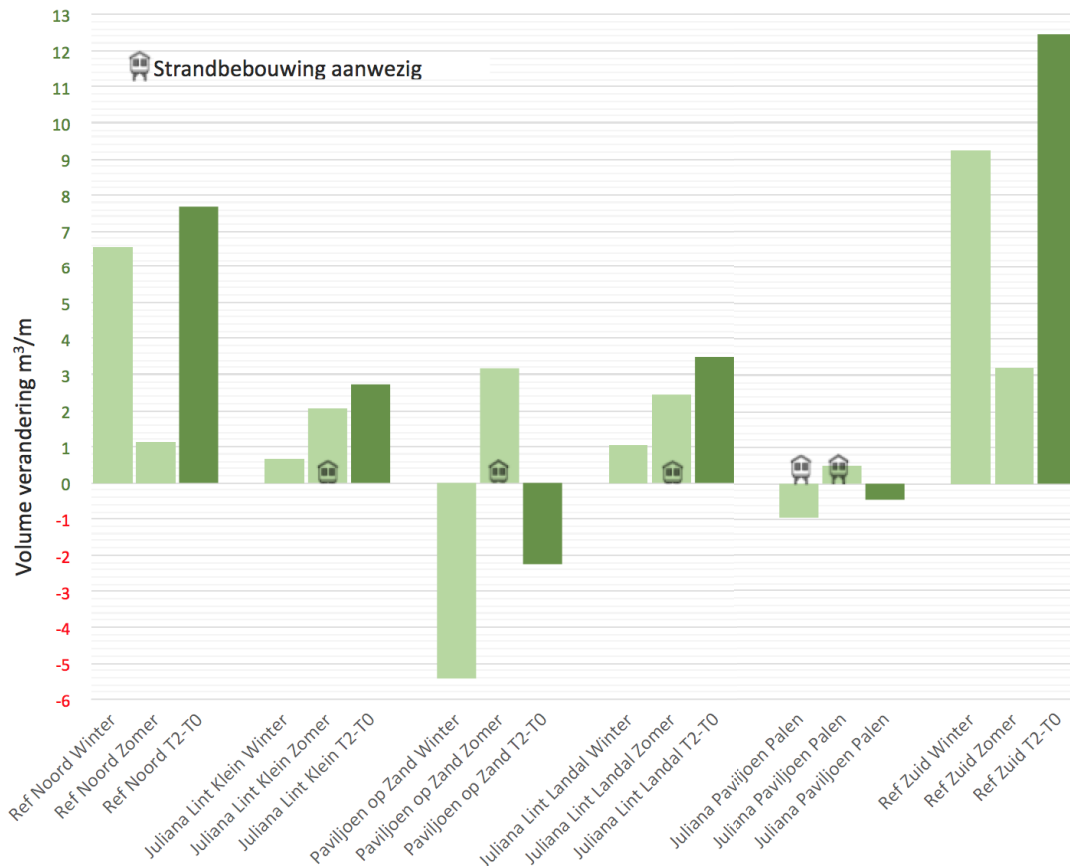


Figuur 3.2: Detail beelden van sedimentatie/erosie na 1 jaar (T2-T0). Groen omlinjde gebieden zijn de balansgebieden.

Resultaten per balansgebied Julianadorp:

- *Referentiegebied Noord.* In het referentie gebied aan de noordzijde is in nagenoeg de gehele strand en duinzone aanzanding te zien met waarden tot ca. 1 meter (Fig. 3.2, links). In enkele stuifkuilen landwaarts van de duinvoet is erosie waargenomen. Er is een sterk verschil tussen de beide seizoenen. In het winter seizoen is gemiddeld ca. 6 keer meer instuiving waargenomen per strekkende meter dan in de zomer, m.a.w. een reductie van de instuiving in de zomer met meer dan 80 % (Fig. 3.3).
- *Lint Klein* Bij de kleine lint bebouwing (kleedhokjes/strandschuurtjes) is variatie in de aanzanding te zien, die overeenkomt met de locaties van de huisjes (Fig. 3.2, links). Landwaarts van de lintbebouwing is in beide seizoenen wat aanzanding waargenomen, waarbij de periode waarin de huisjes aanwezig waren een iets grotere aanzanding laat zien. De volumeverandering na beide metingen is echter ca 30 % van het gemiddelde van beide referentiegebieden Noord en Zuid (ca. 10 m³/m, Fig. 3.3).
- *Paviljoen op Zand* Bij het grotere paviljoen op zand is een duidelijke reductie van het zandvolume achter strandpaviljoen te zien (Fig. 3.2, rechts). Opvallend is dat deze erosie met name ontstaat in de wintermaanden (Fig. 3.3). De resultaten bij deze locatie zijn en zijn wellicht beïnvloed door menselijk handelen.
- *Lint Landal* De lintbebouwing van geschakelde Landal huisjes toont een afwisselend patroon van erosie en aanzanding dicht achter de huisjes (Fig. 3.2, midden). Tussen de huisjes is een verlaging van het oppervlak te zien. Dit gebied strekt zich uit tot in de duinen maar raakt de rand van de vegetatie niet. Vergelijkbaar met de andere lintbebouwing bij Julianadorp (het gebied *Lint Klein*) is er kleine aanzanding landwaarts van de afrastering (Fig. 3.3).

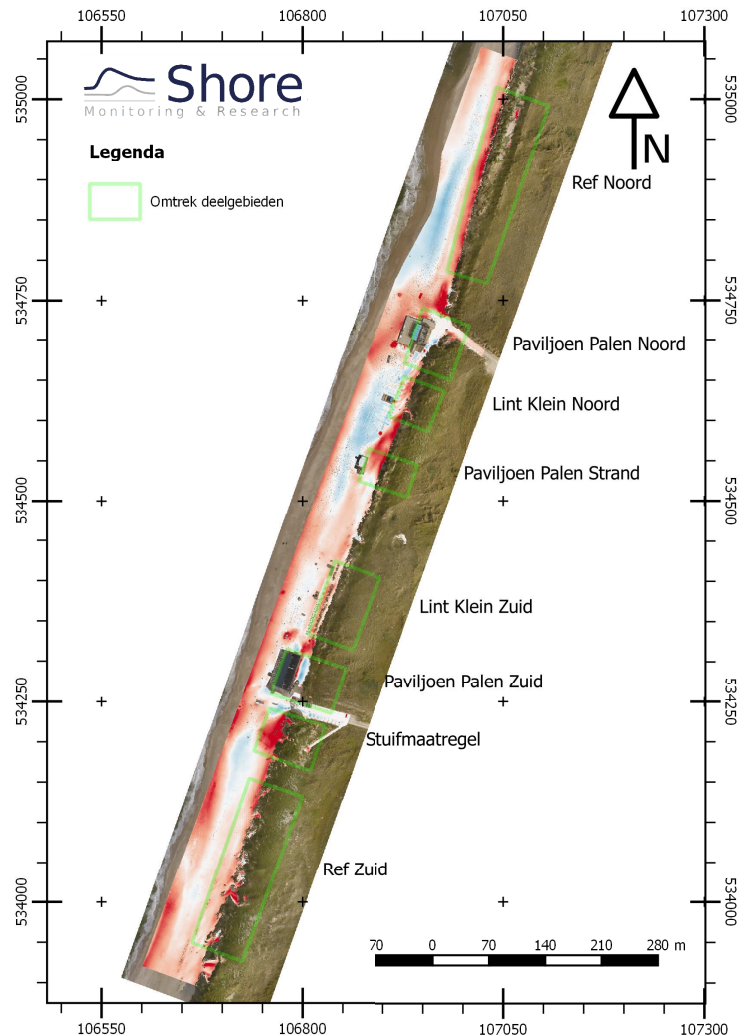
- *Paviljoen Palen* Landwaarts van het jaarrond geëxploiteerd paviljoen op palen zijn gemiddeld weinig volume veranderingen, kleiner dan 1 m³/m (Fig. 3.3). De ruimtelijk is wel verschillend gedrag zichtbaar; erosie in het gebied landwaarts van de afrastering, dichter rondom het paviljoen een afwisselend patroon van sedimentatie en erosie.
- *Referentiegebied Zuid*. In het referentiegebied aan de zuidzijde van Julianadorp zien we de grootste veranderingen. Zowel in de zomer als winter worden grote volumes zand in de duinen afgezet, met name in de natuurlijke kerf (Figuren 3.2 en 3.3).



Figuur 3.3: Sedimentatie/erosie volumes na een jaar (T2-T0) achter de afrastering in de verschillende balansgebieden.

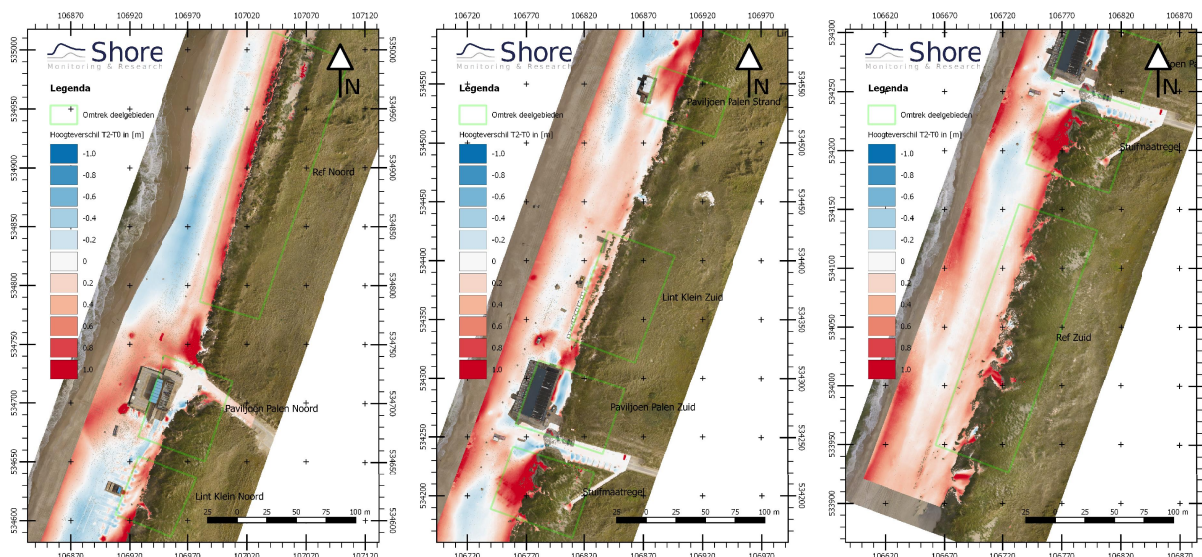
3.2 Sint Maartenszee

Het strand bij Sint Maartenszee is iets meer op het noordwesten georiënteerd en wordt gekenmerkt door verschillende typen bebouwing op korte afstand van elkaar (Fig. 3.4). In de periode van circa 1 jaar tussen de T2 en T0 metingen valt op dat vaak sedimentatie op het strand zichtbaar is in de noordoost lijzijde van objecten op het strand. Dit is met name zichtbaar bij de stuifmaatregel in het zuiden en het paviljoen dat dicht bij de hoogwaterlijn staat (Fig. 3.4, 'Paviljoen palen strand').



Figuur 3.4: Sedimentatie/erosie in het volledige meetgebied bij Sint Maartenszee na 1 jaar (T2-T0). Groen omlinjnde gebieden zijn de balansgebieden.

De ontwikkeling van de verschillende gebieden in Sint Maartenszee zijn ruimtelijk geduid met kaartbladen van deelgebieden (Fig.3.5). De volume veranderingen zijn vervolgens gekwantificeerd voor de gebieden achter de afrastering in de duinen en per strekkende meter uitgezet in Fig. 3.6.



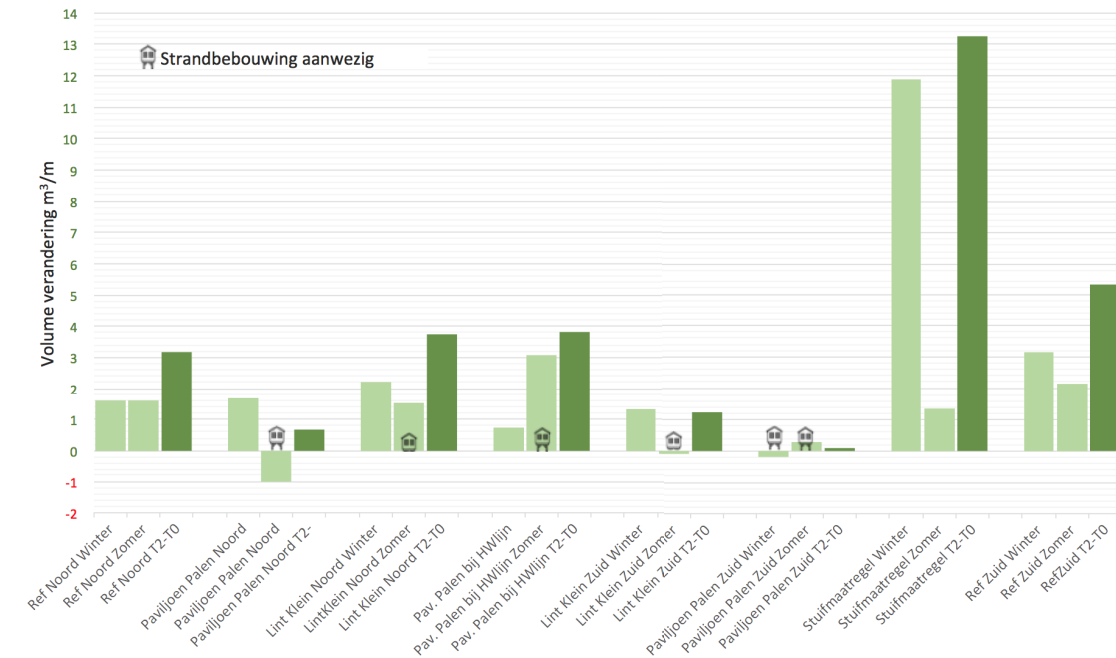
Figuur 3.5: Detail beelden van sedimentatie/erosie na 1 jaar (T2-T0). Groen omlijnde gebieden zijn de balansgebieden.

Resultaten per balansgebied Sint Maartenszee:

- *Referentiegebieden.* Zowel aan de noord- als zuidkant van het gebied zijn referentie gebieden (resp. Ref. Noord en Ref. Zuid, Fig.3.5). Beide gebieden zanden aan in de onderzochte periode. In vergelijking met de referentiegebieden van Julianadorp zijn de volume veranderingen over het jaar kleiner. Ook laten de referentiegebieden bij Sint Maartenszee nauwelijks seizoenfluctuatie zien (Fig. 3.6), waar in Julianadorp hier een sterk verschil tussen de seizoenen is waargenomen.
- *Paviljoen Palen Noord.* Bij het seizoensgebonden paviljoen op palen ten zuiden van de noordelijke opgang zijn kleine volumeveranderingen waargenomen (Fig.3.5, rechts). Gemiddeld gezien laat de onbebouwde periode een kleine aanzanding zien, waar de periode met paviljoen een kleine reductie van het volume laat zien (Fig. 3.6).
- *Lint Klein Zuid en Noord.* Bij de kleine seizoensgebonden lintbebouwing van kledhokjes/strandschuurtjes zijn lokaal kleine variaties te zien dichtbij de bebouwing (Fig.3.5, rechts/midden). Verder landwaarts in de duinen is aanzanding zichtbaar rondom de vegetatie. Op beide locaties is de grootste aanzanding waargenomen in de periode zonder bebouwing, verschillen tussen de beide seizoenen is in de orde van 1 m³/m (Fig. 3.6).
- *Paviljoen Palen Strand bij HW lijn.* Dit seizoensgebonden paviljoen staat ver van de duinvoet, richting de hoogwaterlijn. Op deze locatie is afwijkend gedrag waargenomen, waarbij grote aanzanding juist heeft plaatsgevonden in de zomerperiode wanneer het paviljoen aanwezig is (Fig. 3.6). De ruimtelijke verdeling van sedimentatie erosie suggereert dat wellicht aanzanding het gevolg is van een depositiezone in de lijzijde (Fig.3.5, midden).
- *Paviljoen Palen Zuid.* Rond het jaarrong geëxploiteerde paviljoen ten noorden van de zuidelijke opgang zijn nauwelijks volume veranderingen waargenomen (Fig. 3.6). Dichtbij het paviljoen zijn

wel lokaal depositie en erosie zones waar te nemen (Fig.3.5, midden), maar gemiddeld gesproken is er geen aanzandig waargenomen.

- *Stuifmaatregel.* Tenslotte zijn in het zuidelijke gebied instuivingsmaatregelen geplaatst waarachter (i.e. ten noorden) een groot gebied met aanzanding is waar te nemen (Fig.3.5, rechts). De aanzanding in de duinen is hier het grootste, waarbij de meeste aanzanding plaatsvindt in de eerste periode wanneer de stuifmaatregelen net zijn aangebracht (Fig. 3.6).



Figuur 3.6: Sedimentatie/erosie volumes na een jaar (T2-T0) achter de afrastering in de verschillende balansgebieden.

3.3 Vergelijk verschillende gebieden

Volumeveranderingen zijn voor de 12 sub-gebieden (6 in St Maartenszee en 6 bij Julianadorp) gekwantificeerd voor de periode T0-T1 (sept.'15-apr.'16) en T1-T2 (apr.'16-sept.'16). Vervolgens zijn de gebieden ingedeeld op het type bebouwing (zie Tabel 3.1). Voor het vergelijk van de waargenomen volume veranderingen is hierbij gericht op het gebied achter de duinafrastering waar geen mechanische verplaatsing van zand heeft plaatsgevonden.

Door het gedrag van de verschillende gebieden te vergelijken is getracht een inschatting te maken van het effect van (het type) bebouwing op de volumeveranderingen in het duin. Hierbij moet worden opgemerkt dat op basis van de beperkte gegevens niet een volledig generiek beeld kan worden gemaakt. Het ontbreken van sommige onderscheidende bebouwingstypen (bijv. kleine seizoensbebouwing op palen of grote lintbebouwing) in de dataset beperkt de mogelijkheden om de invloed van alle eigenschappen individueel eenduidig vast te stellen.

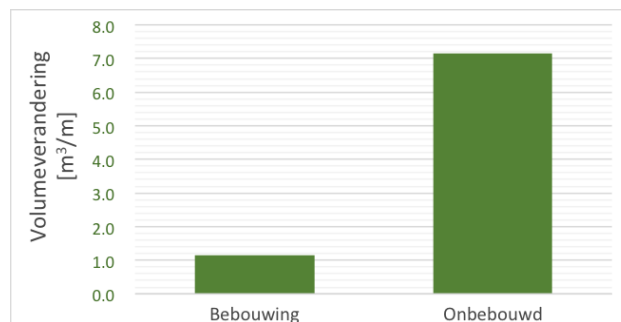
Tabel 3.1: Overzicht onderzoeksgebieden voor Julianadorp (J) en Sint Maartenszee (S).

Gebieds- code	Aanduiding gebied	Periode	Δ Volume duin [m ³ /m]	Bebouwing (b) / onbebouwd (o)	Seizoen (s) / jaarrond (j)	Groot (g) / klein (k)	Palen (p) / op zand (z)	Lint (li) / los (lo)
J1	RefNoord	T1-T0 T2-T1	6,6 1,1	o o				
J2	Lint Klein	T1-T0 T2-T1	0,7 2,1	o b	s	k	z	li
J3	Paviljoen Zand	T1-T0 T2-T1	-5,4 3,2	o b	s	g	z	lo
J4	Lint Landal	T1-T0 T2-T1	1,0 2,4	o b	s	k	z	li
J5	Paviljoen Palen	T1-T0 T2-T1	-0,9 0,5	b b	j j	g g	p p	lo lo
J6	RefZuid	T1-T0 T2-T1	9,2 3,2	o o				
J7	RefNoord	T1-T0 T2-T1	1,6 1,6	o o				
J8	Paviljoen Palen Noord	T1-T0 T2-T1	1,7 -1,0	o b	s	g	p	lo
J9	Lint Klein Noord	T1-T0 T2-T1	2,2 1,5	o b	s	k	z	li
J10	Lint Klein Zuid	T1-T0 T2-T1	1,3 -0,1	o b	s	k	z	li
J11	Paviljoen Palen Zuid	T1-T0 T2-T1	-0,2 0,3	b b	j j	g g	p p	lo lo
J12	RefZuid	T1-T0 T2-T1	3,2 2,2	o o				

3.3.1 Verschil gebieden zonder en met strandbebouwing

Voor een doorkijk naar de effecten van strandbebouwing zijn de volumeveranderingen in de 4 referentiegebieden vergeleken met 8 gebieden met (seizoens) bebouwing. Hiervoor zijn de totale volume veranderingen na 1 jaar in de referentiegebieden (J1+J2, J11+J12, S1+S2 en S11+S12 in tabel 3.1) gemiddeld en vergeleken met het gemiddelde van volumeveranderingen voor de locaties met bebouwing (J3+J4, J5+J6, J7+J8, J9+J10, S3+S4, S5+S6, S7+S8 en S9+S10).

Volumeveranderingen tussen de gebieden kunnen in dezelfde periode behoorlijk verschillen, bijvoorbeeld referentie gebied Noord in Julianadorp (J1: 6.6 m³/m) en referentie gebied Noord in Sint Maartenszee (S1: 1.6 m³/m). Desalniettemin laten de gegevens gemiddeld gezien een fors grotere aanzanding achter de afrastering zien voor de referentie gebieden (7.2 m³/m) ten opzichte van de gebieden die deels of gedurende het hele jaar bebouwd zijn (1.2 m³/m), zie Fig. 3.7. Hoewel er spreiding is in de resultaten, laten de gebieden achter strandbebouwing in de dataset nooit een aanzanding zien die gelijk is aan het gemiddelde van de onbebouwde gebieden. De maximum aanzanding in een gebied achter bebouwing is 3.7 m³/m bij de kleine lint bebouwing in het noordelijk deel van Sint Maartenszee (S5+S6, tabel 3.1).

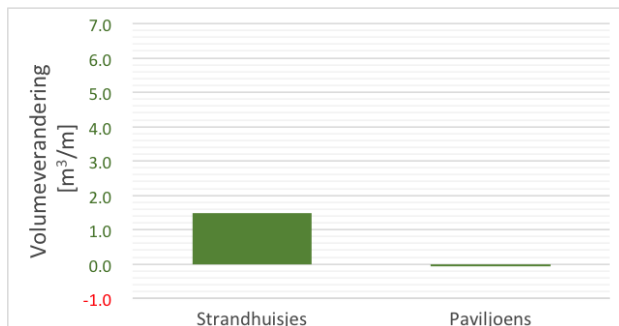


Figuur 3.7: Gebundelde resultaten voor onbebouwde referentiegebieden en gebieden met strandbebouwing. Gegevens zijn de aanzanding na een jaar in m³/m achter de afrastering.

3.3.2 Type bebouwing

Voor een evaluatie van het type bebouwing is gekeken naar het verschil binnen het seizoen dat bebouwing aanwezig is (de periode april (T1) - september (T2)). Hiervoor zijn paviljoens met kenmerken groot, op palen en los staand (J10, S4 en S10 in tabel 3.1) vergeleken met de kleinschaligere bebouwing van kleine strandhuisjes op zand en in lintopstelling (J4, J8, S4 en S8).

Uit de metingen blijkt dat landwaarts van de paviljoens nauwelijks zand kan worden waargenomen (-0.1 m³/m) daar waar er bij de strandhuisjes een kleine aanzanding is gevonden (1.5 m³/m), zie Fig. 3.8. Deze strandhuisjes lijken derhalve meer zand door te laten naar het direct achtergelegen duingebied.



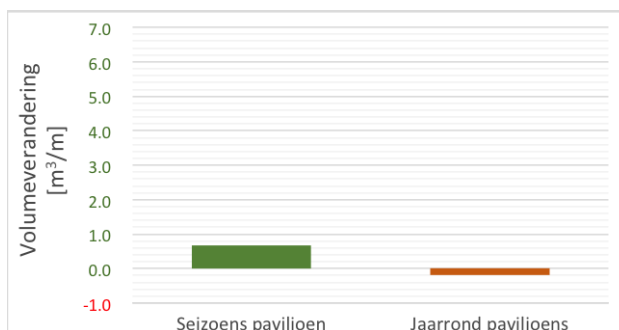
Figuur 3.8: Gebundelde resultaten voor het type strandbebouwing. Paviljoens met kenmerken groot, op palen en los staand vergeleken met strandhuisjes (klein, op zand en in lintopstelling). Gegevens zijn de gemiddelde aanzanding in m³/m achter de afrastering binnen het strandseizoen.

Over het afzonderlijke effect van individuele eigenschappen van de bebouwing (lint of los, op palen of op zand, groot of klein) kan met de huidige dataset geen uitspraak worden gedaan. Hiervoor ontbreken vergelijkbare gebieden met waarin enkel één van de eigenschappen veranderd.

3.3.3 Invloed duur van de bebouwing

Seizoensbebouwing heeft overwegend een ander type (kleine lintbebouwing) dan de jaarrond bebouwing (grote paviljoens). Om te voorkomen dat het effect van het type bebouwing meespeelt in het vergelijk tussen jaarrond en seizoensbebouwing is derhalve gekozen om enkel naar paviljoens op palen te kijken voor een vergelijk. Voor de seizoensbebouwing is er slechts één paviljoen waarvan de aanzanding in het eerste jaar kan worden vergeleken, het paviljoen aan de Noordzijde van Sint Maartenzee (S3+S4), voor de jaarrond paviljoens op palen zijn er twee gebieden die in aanmerking komen (J9+J10 en S9+S10).

Bij het seizoenspaviljoen wordt een kleine aanzanding gemeten na het jaar (0.7 m³/m) daar waar gebieden nabij jaarrond paviljoens op palen een afname van het volume hebben (-0.2 m³/m), zie Fig. 3.9. Hierbij moet worden opgemerkt dat door een of twee paviljoens te vergelijken eventuele lokale effecten (nabijheid strandopgang) ook mee kunnen spelen in het resultaat.



Figuur 3.9: Gebundelde resultaten voor de duur van de bebouwing, gebieden achter seizoensbebouwing vergeleken met gebieden achter permanente, jaarrond paviljoens. Gegevens zijn de aanzanding na een jaar in m³/m achter de afrastering.

Over alle gebieden genomen is er geen eenduidig beeld van seizoensfluctuatie in de instuiving. De meeste onbebouwde referentie gebieden laten een grotere instuiving zien in de wintermaanden dan in de zomer (tot 80 % minder instuiving bij het noordelijk referentie gebied in Julianadorp). Bij bebouwde

gebieden kan dit sterk verschillen. In sommige gebieden is er meer aanzanding in de zomer als de seizoensbebouwing er staat (zie bv. Fig. 3.3). In andere gevallen is er in het zomerseizoen juist minder instuiving als de seizoenbebouwing aanwezig is (zie bv. Fig. 3.6).

3.3.4 Locatie

Over de invloed van de locatie ten opzichte van de duinvoet kan met deze gegevens niets vast worden gesteld. Wel wordt opgemerkt dat het enkele paviljoen met een afwijkende positie dicht bij de waterlijn een uitgebreid gebied met aanzanding in de lijzijde heeft (Paviljoen Palen Strand, Fig 3.5, midden). Dit suggereert dat de negatieve invloeden van strandbebouwing minder aanwezig zijn bij objecten verder van de duinvoet.

4 Conclusies en Aanbevelingen

4.1 Conclusies

Om de invloed van strandbebouwing op duinontwikkeling te analyseren zijn enkele metingen uitgevoerd met een UAV en fotogrammetrie in de periode 2015-2016. In de analyse zijn de waargenomen morfologische veranderingen beschreven en uitgesplitst naar de (tijdelijk) bebouwde en onbebouwde delen van het strand binnen de onderzoeksgebieden.

De metingen tonen dat hoogtemetingen van strand en duin met fotogrammetrie uit UAVs het ruimtelijke detail goed weergeven rondom strandbebouwing. Veranderingen van kale zandoppervlaktes zijn goed te bemeten vanwege de hoge ruimtelijke resolutie en de simultaan verkregen orthophoto van het gebied om het strandgebruik te duiden. De met duinvegetatie begroeide gebieden worden met de fotogrammetrie techniek niet betrouwbaar weergegeven en zijn daarom niet meegenomen in de analyse.

Uit een vergelijk van de verschillende opnames blijkt dat strandbebouwing een meetbaar effect heeft op de hoogteligging van het strand en het voorduin. In de directe nabijheid van de bebouwing is vaak lokaal erosie waar te nemen, en op enige afstand is aan de lijzijde vaak een zone met aanzanding.

Een vergelijk van de aanzanding volumes achter de afrastering van de duinvoet toont voor onbebouwde en (tijdelijk) bebouwde gebieden een duidelijke invloed. In de onbebouwde referentie gebieden is gemiddeld gezien een forse grotere aanzanding ($7.2 \text{ m}^3/\text{m}$) waargenomen dan in de gebieden landwaarts van (tijdelijke) bebouwing ($1.2 \text{ m}^3/\text{m}$).

Tussen de verschillende soorten bebouwing zijn kleine verschillen waargenomen. Landwaarts van de grotere, op palen aangebrachte paviljoens is de aanzanding nagenoeg nihil, daar waar bij kleine lintbebouwing in het zomerseizoen een kleine aanzanding is gevonden ($1.5 \text{ m}^3/\text{m}$). Bij de paviljoens is tevens gekeken naar een mogelijk effect van de duur van de bebouwing. Gebieden landwaarts van de jaarrond paviljoens tonen nagenoeg geen instuiving in de resultaten, daar waar bij een seizoenspaviljoen een kleine aanzanding wordt gemeten.

Samenvattend laten de resultaten zien dat de plaatsing van strandbebouwing de toevoer van zand naar de duinen lokaal sterk kan reduceren en de aanwezigheid een effect heeft op de strand en duin ontwikkeling. Voor een natuurlijke aanzanding van de duinen lijkt het daarom onverstandig om grote objecten vlak voor het duin te plaatsen.

4.2 Aanbevelingen

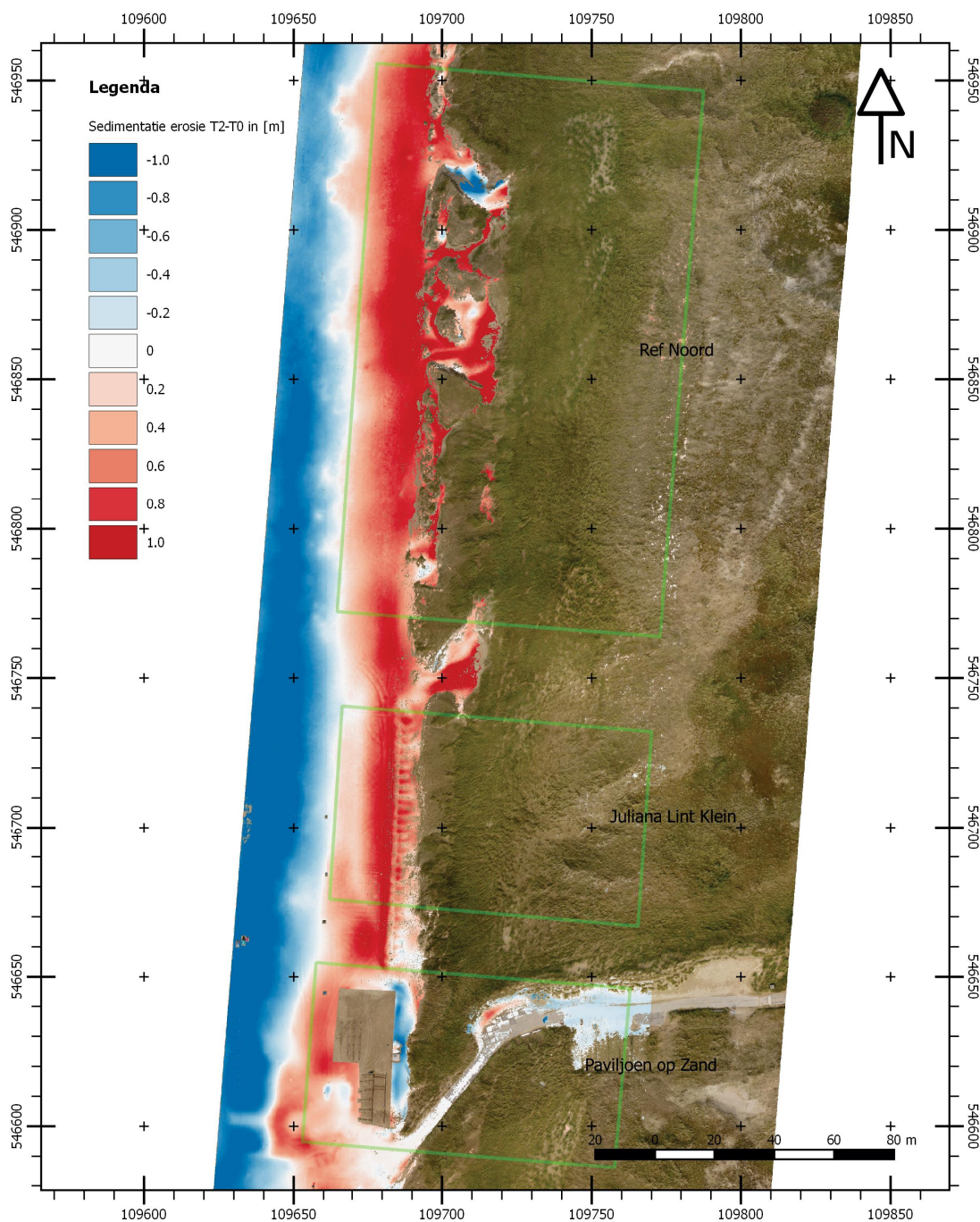
De instuiving en het effect van strandbebouwing is van meerdere factoren afhankelijk. Door in de huidige studie bij twee gebieden te bemeten die dicht bij elkaar liggen, zijn veranderingen in het windklimaat beperkt. De aanzanding is echter waarschijnlijk ook afhankelijk van de factoren die niet konden worden getoetst in de huidige studie, onder andere de ligging van objecten ten opzichte van de strandopgang, exacte afmetingen van de bebouwing, afstanden tussen de lintbebouwing en de nabijheid van de duinvoet. Om het effect van deze kenmerken individueel te beschouwen is een ruimere set gegevens nodig, waarin alle combinaties van type, locatie en afmetingen van strandbebouwing voorkomen. Eventueel kunnen de vergaarde gegevens uit deze studie hiervoor gecombineerd worden met een versimpelde veld pilot of een laboratorium proef.


De hier berekende volumes zijn verkregen door het kuberen van de oppervlaktes zonder vegetatie. Naar alle waarschijnlijkheid is er ook aanzanding in de begroeide delen van de duinen. Om dit te kwantificeren wordt een ander soort meet techniek aanbevolen, laser altimetrie (LiDAR). Dit kan ook vanuit UAVs. Tenslotte is er onzekerheid over de ontwikkeling van de lager gelegen delen op het strand omdat eigenaren van de strandbebouwing zelf zand verplaatsen (zie ook Fig. 1.3). Om de veranderingen in deze hoogtezona te duiden is het aan te bevelen om de grote werkzaamheden van paviljoenhouders en

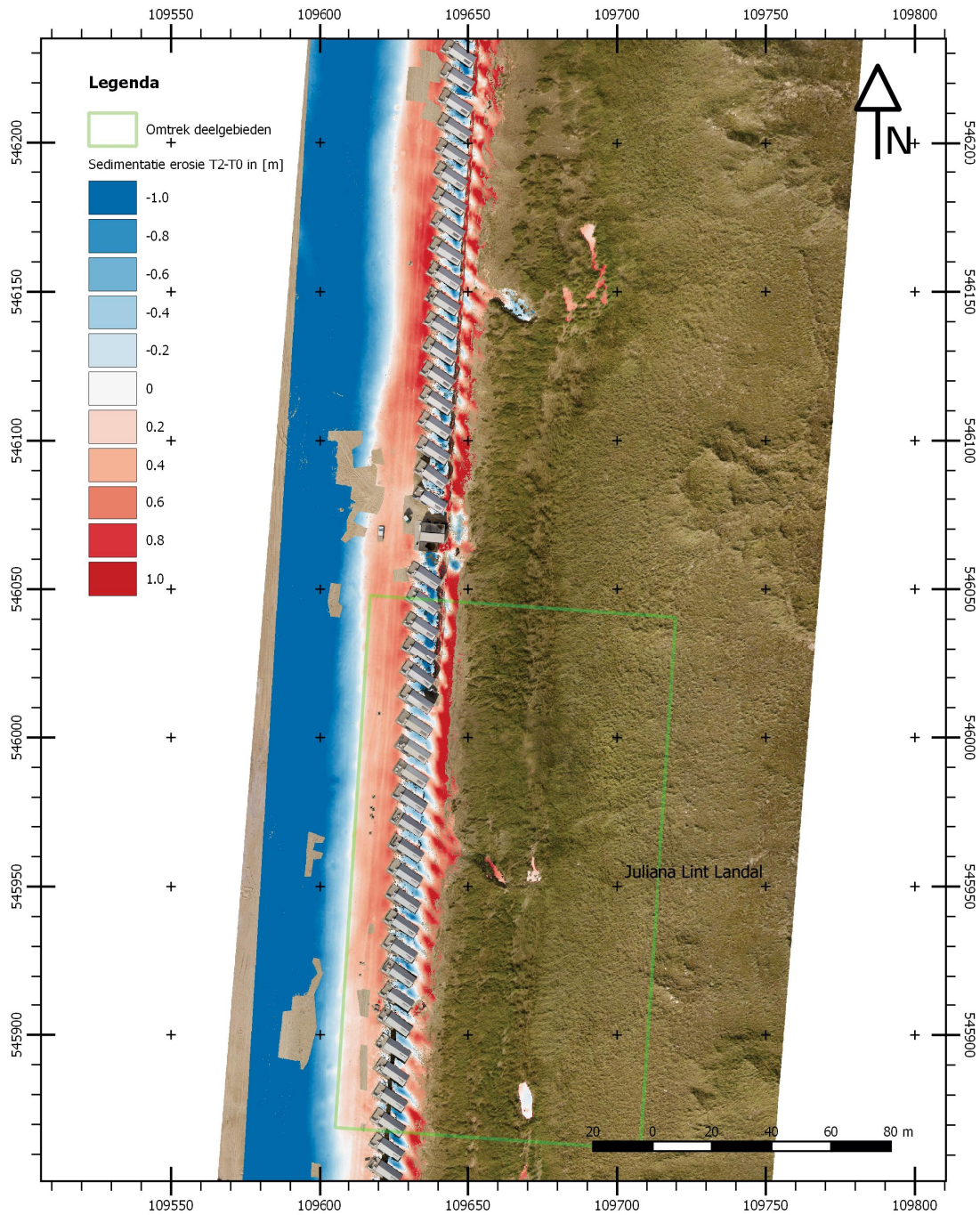
strandhuisexploitanten vast te leggen in het seizoen.

Bijlage A Kaartbladen

Sedimentatie erosie kaartbladen van Julianadorp



Analyse Julianadorp T2			 Web: www.shoremonitoring.nl Email: info@shoremonitoring.nl
Sedimentatie erosie T2-T0 (0.1m resolutie) met daarop de verschillende deelgebieden.			
Auteur: Ing. R.Ph. de Weger	Datum: 14-03-2017	Meet datum: 23-09-2016	Adres: 2e Zeesluisdwarweg 8a 2583DW, Den Haag
Coördinatenstelsel: RD/NAP	Eenheden: Meters	Schaal: 1:1.600	

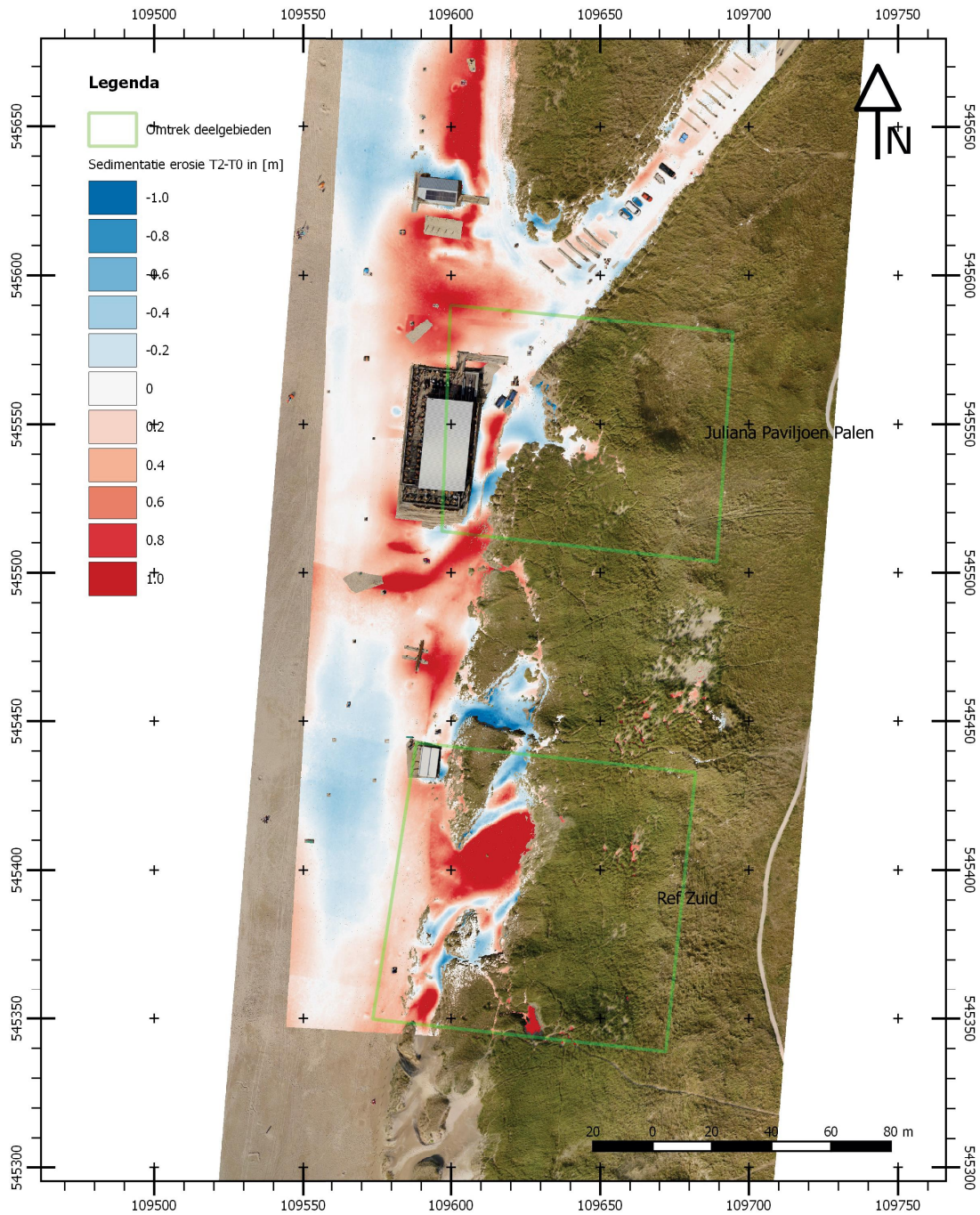


Analyse Julianadorp T2
 Sedimentatie erosie T2-T0 (0.1m resolutie) met daarop de verschillende deelgebieden.

Auteur: Ing. R.Ph. de Weger Datum: 14-03-2017 Meet datum: 23-09-2016

Coördinatensysteem: RD/NAP Eenheden: Meters Schaal: 1:1.600 Achtergrond: Blanco

Web: www.shoremonitoring.nl
 Email: info@shoremonitoring.nl
 Adres: 2e Zeelusdwarweg 8a
 2583DW, Den Haag



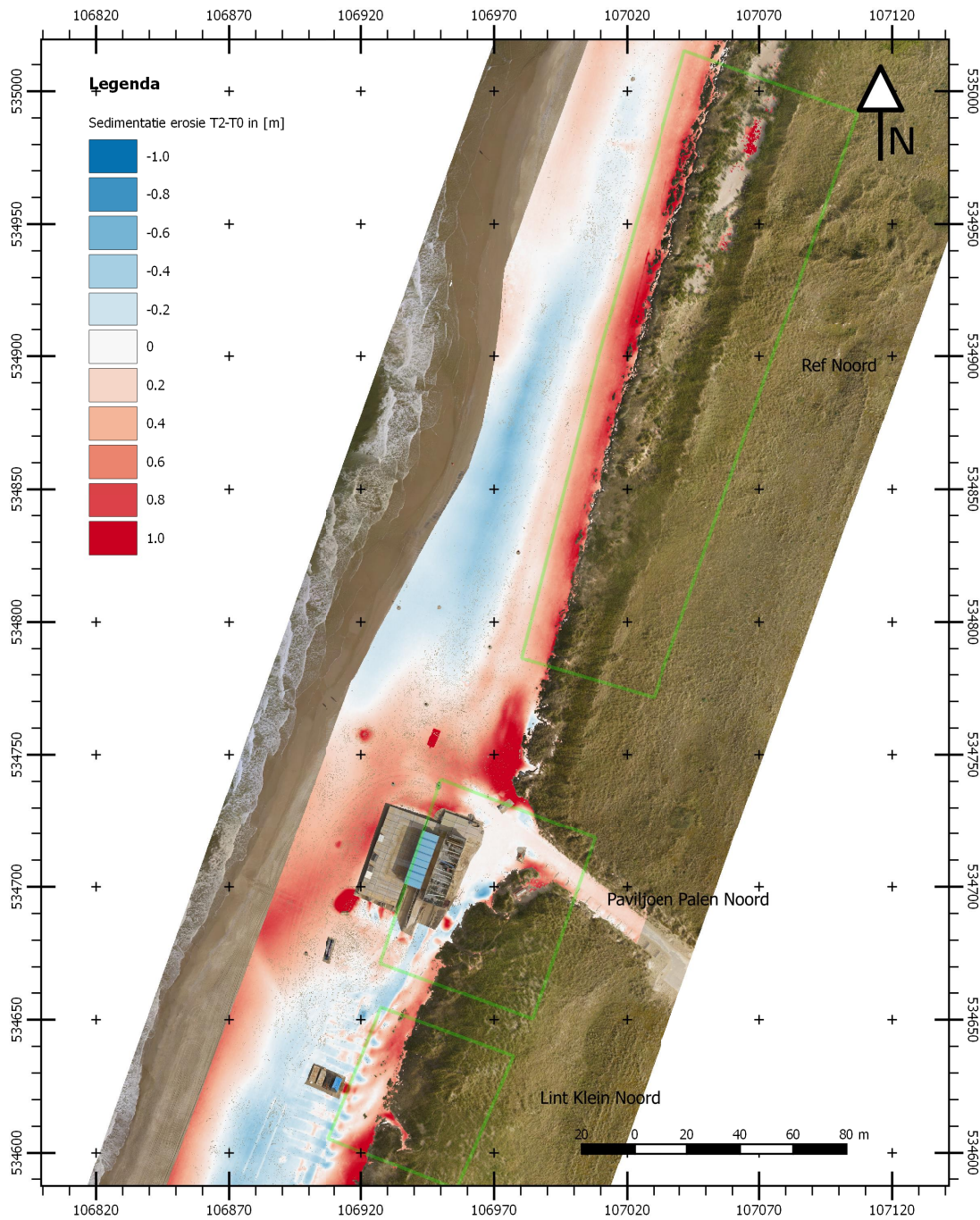
Analyse Julianadorp T2
 Sedimentatie erosie T2-T0 (0.1m resolutie) met daarop de verschillende deelgebieden.


Auteur: Ing. R.Ph. de Weger Datum: 14-03-2017 Meet datum: 23-09-2016

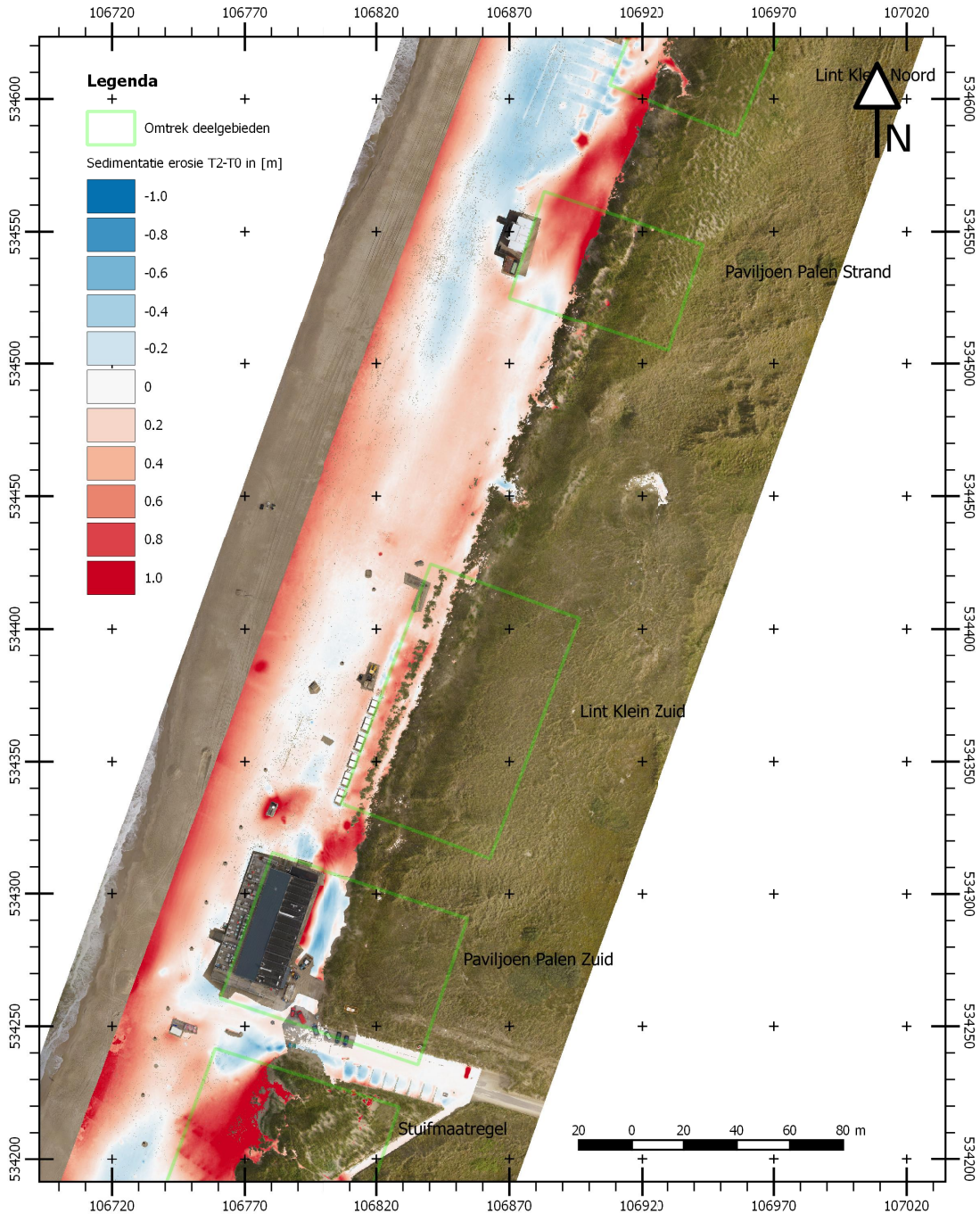
Coördinatensysteem: RD/NAP Eenheden: Meters Schaal: 1:1.600 Achtergrond: Blanco

Web: www.shoremonitoring.nl
 Email: info@shoremonitoring.nl
 Adres: 2e Zeesluisdwarsweg 8a
 2583DW, Den Haag

Sedimentatie erosie kaartbladen van Sint Maartenszee



Analyse Sint Maartenszee T2				 <p>Web: www.shoremonitoring.nl Email: info@shoremonitoring.nl</p>
Sedimentatie erosie T2-T0 (0.1m resolutie) met daarop de verschillende deelgebieden.				
Auteur: Ing. R.Ph. de Weger	Datum: 14-03-2017	Meet datum: 23-09-2016		Adres: 2e Zeehuisdwaarsweg 8a 2583DW, Den Haag
Coördinatensysteem: RD	Eenheden: Meters	Schaal: 1:1.800	Achtergrond: Blanco	

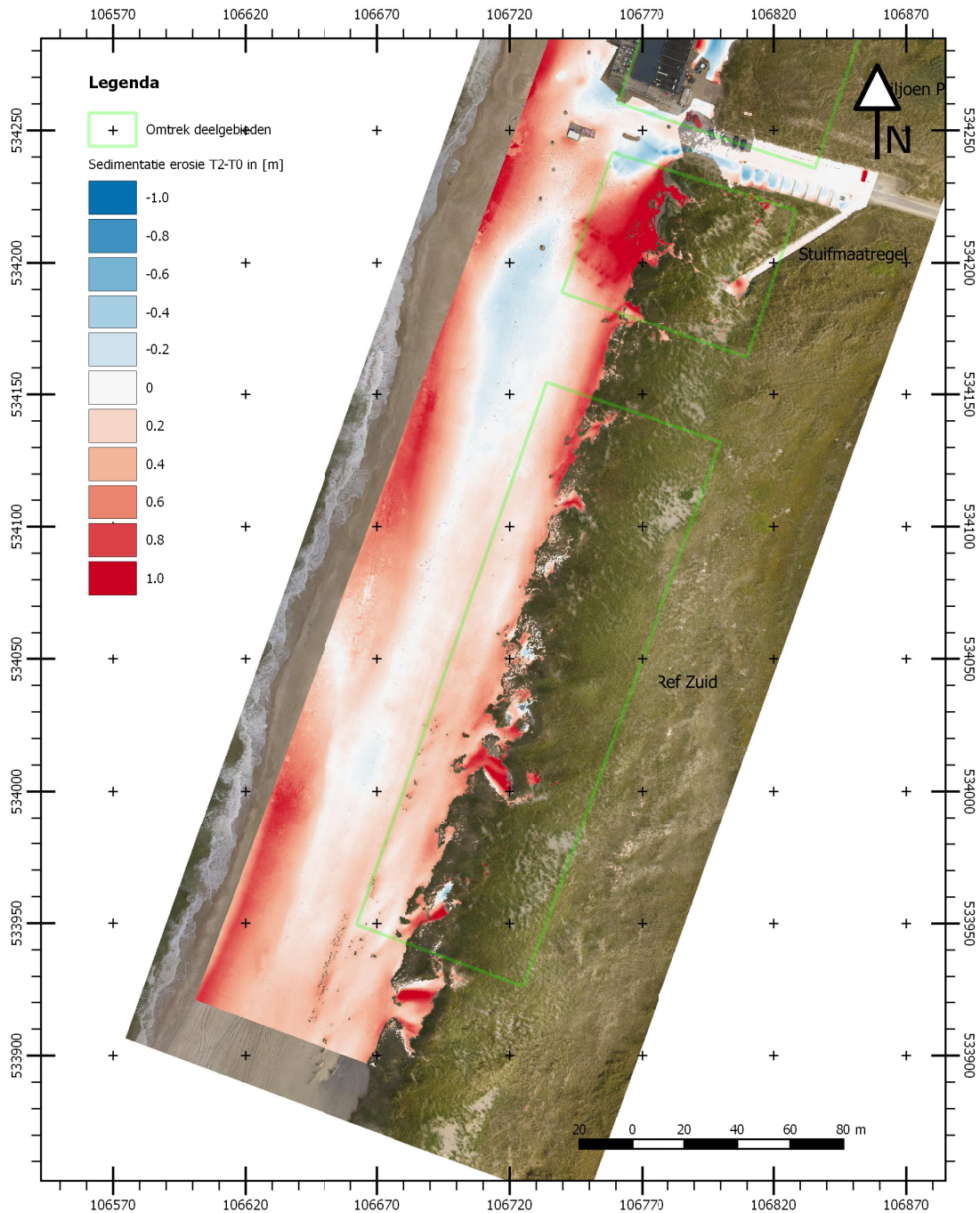


Analyse Sint Maartenszee T2
Sedimentatie erosie T2-T0 (0.1m resolutie) met daarop de verschillende deelgebieden.

Auteur: Ing. R.Ph. de Weger Datum: 14-03-2017 Meet datum: 23-09-2016

Coördinatensysteem: RD Eenheden: Meters Schaal: 1:1.800 Achtergrond: Blanco

Web: www.shoremonitoring.nl
Email: info@shoremonitoring.nl
Adres: 2e Zeehuisdwaarsweg 8a
2583DW, Den Haag



Analyse Sint Maartenszee T2
 Sedimentatie erosie T2-T0 (0.1m resolutie) met daarop de verschillende deelgebieden.

Auteur: Ing. R.Ph. de Weger Datum: 14-03-2017 Meet datum: 23-09-2016

Coördinatensysteem: RD Eenheden: Meters Schaal: 1:1.800 Achtergrond: Blanco

Web: www.shoremonitoring.nl
 Email: info@shoremonitoring.nl
 Adres: 2e Zeehuisdwarweg 8a
 2583DW, Den Haag