



DYNAMISCH DUINGEBIED

Hoe kan door middel van het aanbrengen van kerven in het duingebied Springertduinen een dynamisch duingebied ontstaan?

ABSTRACT

Met dit onderzoek wordt aangetoond dat als er kerven in het duingebied aanwezig zijn, er een dynamische duingroei plaats vindt achter de kerven.

Yorick Oostdijk

Bachelor thesis

Document informatie

Afstudeerdocument

Student

Y.G.G. Oostdijk (Yorick)

Studentennummer

0915263

Naam Begeleiders

W. Leeuwenstein
Leendert van Gelder

Functie

HRO docent

Opdrachtgever

Waterschap Hollandse Delta

Opleiding

Civiele Techniek

Onderwijsinstelling

Hogeschool Rotterdam

Plaats

Philippine

Datum

19-01-2021

Versie

3.0

Versiebeheer

Versie	Datum	Wijziging	Status
1.0	20-12-2020	Start van het document	
2.0	27-12-2020	Inleiding & Theoretisch kader	
2.5	14-01-2021	Opmaak en bronvermelding	
3.0	19-01-2021	Samenvatting	

Distributielijst

Namen	Rol	Datum	Versie	Paragraaf
Yorick Oostdijk	Student			
W. Leeuwenstein	Begeleider			
W. Leeuwenstein	1 ^{ste} beoordelaar			
W. Kuppen	2 ^{ste} beoordelaar			
H.J. Lodder	Externe deskundige			

Samenvatting

Vanuit het waterschap Hollandse Delta is de vraag gesteld: Hoe kan aan de hand van het aanbrengen van kerven in het duingebied Springertduinen, een dynamisch duingebied ontstaan. Om op deze vraag antwoord te kunnen geven heb ik onderzocht welke invloed de aanwezige kerven hebben op het eolisch zandtransport in het gebied Springertduinen.

In dit onderzoek is vanuit twee invalshoeken gekeken naar wat er gebeurt met zandverplaatsingen rond de kerven en in een gebied zonder kerf. Het nul meet gebied.

De eerste invalhoek is het veldonderzoek ter plekke met zandvangers. Dit laat een duidelijk beeld achter. Bij de kerven is er meer eolisch zandtransport landinwaarts waar te nemen dan bij het nul gebied. De duur van dit onderzoek was beperkt.

Om verdere gegevens te verkrijgen is er gebruik gemaakt van hoogtekarten om te zien wat er in de jaren veranderd is met betrekking tot duin hoogtes en de kerven in het gebied. Ook uit deze gegevens komt naar voren dat bij de kerven er zandtransport landinwaarts plaats vindt.

De gegevens die uit deze onderzoeken naar voren zijn gekomen zijn waar mogelijk gekoppeld aan windomstandigheden en via berekeningen Kawamura formule omgezet na leesbare grafieken. Deze grafieken zijn de basis van de uiteindelijke conclusies die uit dit onderzoek naar voren komen. Namelijk:

De kerven hebben een aangetoond positief effect op de aangroei van de duinen. Hierdoor ontstaat een zelf groeiend/dynamisch duingebied. De lig en de windrichting hebben geen aantoonbare invloed op de groei van de achterliggende duinen.

Behalve deze conclusie worden er voor de toekomst een aantal aanbevelingen gegeven om verder te kijken hoe men de hoofdvraag: Hoe kan aan de hand van het aanbrengen van kerven in het duingebied Springertduinen, een dynamisch duingebied ontstaan verder kan beantwoorden/invullen. De basis van dit antwoord is gegeven. Bij kerven ontwikkelt het achterliggend duingebied zich dynamisch.

Voorwoord

Binnen het Instituut voor de Gebouwde Omgeving van de Hogeschool Rotterdam wordt de bacheloropleiding Civiele techniek afgesloten met een afstudeerproject. Het project heeft een omvang van 24EC, dat komt overeen met een studiebelasting van 672 uur.

Tijdens deze afstudeerperiode laat ik zien dat ik over de competenties beschik die nodig zijn voor een (toekomstige) maatschappelijke taak of functie op bachelor niveau in het beroepenveld. Het afstudeerproject stelt de opleiding in staat te beoordelen of ik de graad Bachelor of Science verdien. Dit afstudeerproject sluit daarom inhoudelijk aan bij de opleiding Civiele techniek. Het doel van het afstudeerproject is dat ik de door de opleiding bepaalde competenties op het aangegeven niveau aantoon. Hiervoor heb ik een Projectinitiatie Document (PID) aangeleverd en de volgende stap is dit Afstudeerverslag. Na dit verslag volgt ook nog Reflectieverslag, Presentatie en een Verdediging.

Het afstudeerbedrijf waar het onderzoek voor wordt uitgevoerd is het Waterschap Hollandse Delta. Bij de start van het onderzoek na wat kerven doen met het achterliggend duingebied heb ik me vooral beziggehouden met het inlezen in de materie.

Met deze theoretische achtergrond en in overleg met mijn begeleiders heb ik de plaatsen van de zandvangers bepaald en heeft het praktische onderzoek plaats gevonden. Omdat deze tijd beperkt was heb ik deze gegevens gebruikt samen met onderzoeken en gegevens uit het verleden om tot een conclusie te komen.

Graag wil ik mijn begeleiders W. Leeuwenstein, Y. Bruinsma, B. Arens & L.A. van Gelder bedanken voor hun steun en input.

Philippine, 12 januari 2021

Yorick Oostdijk

Inhoudsopgave

Versiebeheer	I
Distributielijst	I
Samenvatting	II
Voorwoord	III
Figurenlijst	VII
Tabellenlijst	VII
1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Probleemstelling	1
1.3 Doelstelling	1
1.4 Onderzoeksvragen	1
1.5 Methodologie	2
2. Theoretisch Kader	2
2.1 Eolisch zandtransport	3
2.2 Kerven en de invloed op zandtransport	4
2.3 Factoren die het eolisch zandtransport beïnvloeden	4
2.3.1 Initiërende factoren	5
2.3.2 Belemmerende factoren	5
3. Onderzoeksmethodiek	5
3.1 Literatuuronderzoek	6
3.1.1 Eolisch zandtransport	6
3.1.2 Formules om eolisch zandtransport te berekenen	6
3.1.3 Manieren om zandtransport te onderzoeken	6
3.2 Gesprekken/interviews	8
3.3 Veldonderzoek	8
3.3.1 Beschrijving gebied	8
3.3.2 Beschrijving veldonderzoek	9
3.4 Data-analyse	11
3.4.1 Data-analyse van uit hoogtekaarten en weergegevens	11
3.4.2 Data-analyse van het veldonderzoek	11
3.5 Verantwoording onderzoeksmethodes	12
3.5.1 Verantwoording literatuuronderzoek	12
3.5.2 Verantwoording gekozen formule om eolisch zandtransport te berekenen	13
3.5.3 Verantwoording gekozen manier om zandtransport te meten	14

3.5.5 Verantwoording dataverwerking.....	15
4. Onderzoeksresultaten en hieraan gekoppelde opmerkingen	15
4.1 Veldonderzoek	15
4.2 Bureauonderzoek.....	16
5 Onderzoeksresultaten als antwoord op onderzoeksvragen	23
5.1 Hoofdvraag.....	23
5.2 Hoe verplaatst het huidige natuurlijke zandtransport zich ter plekke in de duinen?	23
5.2 Hoe verplaatst het huidige zandtransport zich in de bestaande kerven?	23
5.4 Waarom gedraagt van de twee bestaande kerven de ene kerf anders dan de andere kerf?	23
5.5 Hoe moet de kerven in de duinen worden ontwikkeld om een dynamisch duingebied te creëren?	24
6 Conclusie en aanbevelingen	25
Bronnenlijst.....	26
Bijlagen.....	I
Bijlage 1: Samenvatting informatie zandvangers en hun toepasbaarheid.	I
Type Zandvangers.	I
PVC-zandvanger	I
Onderzoeksmethode knikkerbak	II
Saltifoon	III
Modified Wilson and Cooke (MWAC)	IV
Bijlage 2: Kaart Springertduinen met zandvangers.....	V
Bijlage 3: Knipsel uit Excel van de berekening zandtransport	VI
Bijlage 4: Spinnenwebdiagrammen wind en zandtransport 1997/2020	VIII
Bijlage 5: Omtrek van de kerf door de jaren heen.....	XXI
Bijlage 6: Kaart meetvlakken zandopvang	XXV
Bijlage 7: Zand afname/aangroei in de meetgebieden achter de duinen	XXVI
Bijlage 8: Hoogtekaarten Springertduinen 1997/2020	XXVIII
Hoogtekaart 2019	XXVIII
Hoogtekaart 2018	XXIX
Hoogtekaart 2017	XXX
Hoogtekaart 2016	XXXI
Hoogtekaart 2015	XXXII
Hoogtekaart 2014	XXXIII
Hoogtekaart 2013	XXXIV
Hoogtekaart 2012	XXXV

Hoogtekaart 2011	XXXVI
Hoogtekaart 2010	XXXVII
Hoogtekaart 2009	XXXVIII
Hoogtekaart 2008	XXXIX
Hoogtekaart 2007	XL
Hoogtekaart 2006	XLI
Hoogtekaart 2005	XLII
Hoogtekaart 2004	XLIII
Hoogtekaart 2003	XLIV
Hoogtekaart 2002	XLV
Hoogtekaart 2001	XLVI
Hoogtekaart 1999	XLVII
Hoogtekaart 1998	XLVIII
Hoogtekaart 1997	XLIX
JGoeree min hoogtekaarten 19/18.....	L
JGoeree min hoogtekaarten 18/17.....	LI
JGoeree min hoogtekaarten 17/16.....	LII
JGoeree min hoogtekaarten 16/15.....	LIII
JGoeree min hoogtekaarten 15/14.....	LIV
JGoeree min hoogtekaarten 14/13.....	LV
JGoeree min hoogtekaarten 12/11.....	LVI
JGoeree min hoogtekaarten 11/10.....	LVII
JGoeree min hoogtekaarten 10/09.....	LVIII
Bijlage 9: Data opgevangen zand in de zandvangsers tijdens veldonderzoekperiode	LIX

Figurenlijst

Figuur 1 Krachten die invloed hebben op de zandkorrel (Strypsteen, 2016)	3
Figuur 2 De drie fases van zandtransport (Deman, 2019)	4
Figuur 3 formules zandtransport berekeningen (Puystjens & Weymeis, 2012)	6
Figuur 4 Gebruikte zandvanger	7
Figuur 5 Foto Springertduinen	8
Figuur 6 Locatie zandvangers nulmeting in het gebied Springertduinen. Bijlage 2 kaart Springertduinen met zandvangers	9
Figuur 7 Locatie zandvangers kerf 1 & 2 in het gebied Springertduinen. Bijlage 2 kaart Springertduinen met zandvangers	10
Figuur 8 Aanpassing zandopvang (met filterzakje)	10
Figuur 9 windrichting en windsnelheid gemeten bij het windstation Lichteiland Goeree tijdens de veldonderzoek periode	12
Figuur 10 Omtrek kerf door de jaren heen	16
Figuur 11 Kaart meetvlakken zandmeting, Bijlage 6 (kaart meetvlakken zandopvang)	16
Figuur 12 Hoeveelheid verplaats zand door de wind en de richting van deze verplaatsing. De pijlen geven de loop van de kerf weer. Groene pijl: richting kerf 2. Oranje/gele pijl: richting kerf 1	21
Figuur 13 kerf 1 waarop versmalling ter hoogte van de oranje pijl zichtbaar is.	22
Figuur 14 Afb Kerf 1 genomen in het gebied over de "duin" heen	22
Figuur 15 Afb Kerf 1 genomen in het gebied waar "duin" ter hoogte van insnoering zichtbaar is.	22
Figuur 16 Tekening Leatherman trap zandvanger	II
Figuur 17 PVC-zandvanger	II
Figuur 18 MDCO (knikkerbak)	II
Figuur 19 Saltifoon	III
Figuur 20 MWAC-zandvanger	IV

Tabellenlijst

Tabel 1 Verschillen tussen fases zandtransport (Puystjens & Weymeis, 2012)	3
Tabel 2 Overzichtstabel van opgevangen zand in de zandvangers tijdens veldonderzoek periode	11
Tabel 3 Hoeveelheid gevallen regen gemeten bij het weerstation Goedereede tijdens de veldonderzoek periode	12
Tabel 4 overzichtstabel sterke punten van de verschillende type zandvangers.	14
Tabel 5 overzichtstabel opgevangen zand en hoeveelheid gevallen regen.	15
Tabel 6 Zand aangroei kerf 1 (meetvlakken/area's 1 t/m 9)	17
Tabel 7 Zandafname/-aangroei kerf 2 (meetvlakken/area's 10 t/m 15)	17
Tabel 8 Zandafname/-aangroei nulpunt (meetvlakken/area's 16 t/m 23)	18
Tabel 9 Zandafname/-groei 2009-2019	19
Tabel 10 Zandafnamen/-zand aangroei 2014-2019	19
Tabel 11 Windsnelheden en -richting, 2019	20
Tabel 12 Hoeveelheid verplaats zand door de wind en de richting van deze verplaatsing, 2019	20
Tabel 13 Overzichtstabel sterke punten van de zandvangers	IV

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

De laatste jaren komt in het nieuws veelvuldig klimaatverandering aan de orde. Een van de gevolgen van deze verandering is de veranderende invloed van de zee op de Zeeuwse kust.

De Zeeuwse kust bestaat voor een groot deel uit duinen. Zo ook het gebied Springertduinen. In dit gebied vindt eolisch zandtransport plaats. Eolisch zandtransport is de verplaatsing van zand door de wind. Het Waterschap Hollandse Delta en de Stichting Blauwe lijn willen hiervan gebruik maken om een dynamisch duingebied creëren. Dit dynamisch duingebied moet ervoor zorgen dat de duinen in het gebied zich op een zo'n natuurlijke mogelijke manier versterken. Hiermee willen het waterschap en de stichting ervoor zorgen dat er in het natuurgebied zo weinig mogelijk wordt ingegrepen door de mens. Tevens biedt dit ook de mogelijkheid om de CO²-uitstoot en kosten te verlagen. Dit doordat de natuur de rol van de mens overneemt. Door eolisch zandtransport wordt het achterland opgehoogd in plaats van door mens.

1.2 Probleemstelling

Zand en wind zijn elementen die van nature voorkomen in het gebied. Het zand wordt door de wind verplaatst, er vindt transport plaats. Dit transport gebeurt echter niet naar de plaats waar het wenselijk is. Hierdoor kan het waterschap niet meer garanderen dat het achterland beschermd is en wordt het onderhouden van het strand moeizamer.

De probleemstelling is hoe met bestaande elementen het "transport" zodanig beïnvloedt kan worden dat het zand op de plek terechtkomt waar we het willen hebben. Ofwel, hoe kunnen we de verplaatsing van zand door de wind sturen.

1.3 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om te onderzoeken of door middel van aanpassingen in het landschap, zoals kerven, de stroming van de lucht gebruikt kan worden om het natuurlijke transport van zand zo te sturen dat het terecht komt op de plaatsen waar men het wil hebben. Dit zodanig dat het gebied zichzelf op een natuurlijke manier versterkt.

1.4 Onderzoeksvragen

Hoofdvraag:

Hoe kan door middel van het aanbrengen van kerven in het duingebied Springertduinen een dynamisch duingebied ontstaan?

Bij deze hoofdvraag horen een aantal deelvragen. Uit de antwoorden op de deelvragen volgt een antwoord met onderbouwing op de hoofdvraag.

Deelvragen:

1. Hoe vindt het huidige natuurlijke zandtransport ter plekke plaats in de duinen?
2. Hoe verplaatst het huidige zandtransport zich in de bestaande kerven?
3. Waarom gedraagt van de twee bestaande kerven de ene kerf zich anders dan de andere kerf?
4. Hoe moet de kerven in de duinen worden ontwikkeld om een dynamisch duingebied te creëren?

1.5 Methodologie

Om inzicht te krijgen in het natuurlijk zandtransport dat plaatsvindt in een duingebied heb ik allereerst literatuuronderzoek gedaan. Hierbij heb ik me, aansluitend bij de probleem- en doelstelling, gericht op zandtransport en de toepassing van kerven in een duingebied.

Daarna heb ik in een bureauonderzoek data verzameld door middel van verder literatuuronderzoek en onderzoek met behulp van hoogtekarten, satellietbeelden van voorgaande jaren en van metrologische gegevens.

Ook heb ik een veldonderzoek uitgevoerd door plaatsing van zandvangers ter plekke. De beschikbare tijd voor het veldonderzoek was beperkt. Door het veldonderzoek te verlengen, is een grotere betrouwbaarheid van het onderzoek te behalen. De tijdens het veldonderzoek verkregen gegevens van de door de zandvangers opgevangen hoeveelheden zand worden gekoppeld aan de metrologische gegevens uit dezelfde periode.

Weersomstandigheden en de hoeveelheid verplaats zand zijn de gegevens die gebruikt worden om inzicht te krijgen in het zandtransport in de praktijk. Door deze gegevens te vergelijken (data-analyse) is het mogelijk een uitspraak te doen over het natuurlijk transport van zand over langere tijd. Om deze data correct te verzamelen en te interpreteren heb ik informatie ingewonnen over hoe dit te doen, bij gespecialiseerde professionals.

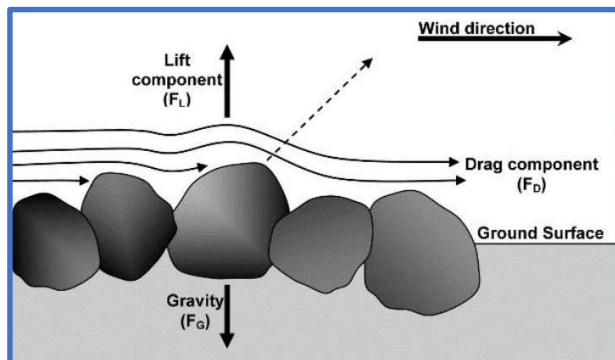
2. Theoretisch Kader

De duinen ontwikkelen zich doordat er in de omgeving een aantal aspecten voorhanden zijn. Dit zijn bijvoorbeeld de hoeveelheden sediment/zand en de energie/wind om het zand/sediment te verplaatsen, maar ook de geschikte strandmorfologie, de duinvegetatie en/of bebouwing (bijvoorbeeld windschermen).

Dit theoretisch kader is, passend bij de probleemstelling, begrensd tot het eolisch zandtransport dat plaatsvindt in en om de kerf in het gebied Springertduinen. Eerst zal ik beschrijven wat het proces van eolisch zandtransport inhoudt. Tevens zal ik aangegeven wat de invloed van een kerf is op het eolisch zandtransport. De verplaatsing van zand wordt positief en negatief beïnvloed door een aantal factoren die hierbij ook benoemd worden.

2.1 Eolisch zandtransport

Eolisch zandtransport is transport van zand dat plaatsvindt door de wind. Dit vindt plaats omdat er op de zandkorrels die zich verplaatsen verschillende krachten werken. De sleepkracht (de drag component), liftkracht (de lift component) en zwaartekracht (de gravity) hebben invloed op de zandkorrel.



Figuur 1 Krachten die invloed hebben op de zandkorrel (Strypsteen, 2016)

Het zandtransport kun je onderverdelen in drie fases. Sand removal (kruip), transportation (saltatie) en deposition(suspensie) (Bagnold, 1954). Deze drie vormen hebben elk hun eigen kenmerken. De eerste fase bestaat uit de start van het transport, de tweede fase is het transport door de wind en de derde fase is het neerslaan van het zand.

	Grote zandkorrel	Transport-afstand	Transport-hoogte	Energievorm
Suspensie	< 70 μm	groot	hoog	liftenergie wind
Saltatie	70 - 500 μm	gemiddeld	gemiddeld (max 1 m)	liftenergie wind
Kruip	> 500 μm	klein	laag (rollen)	impactenergie regen

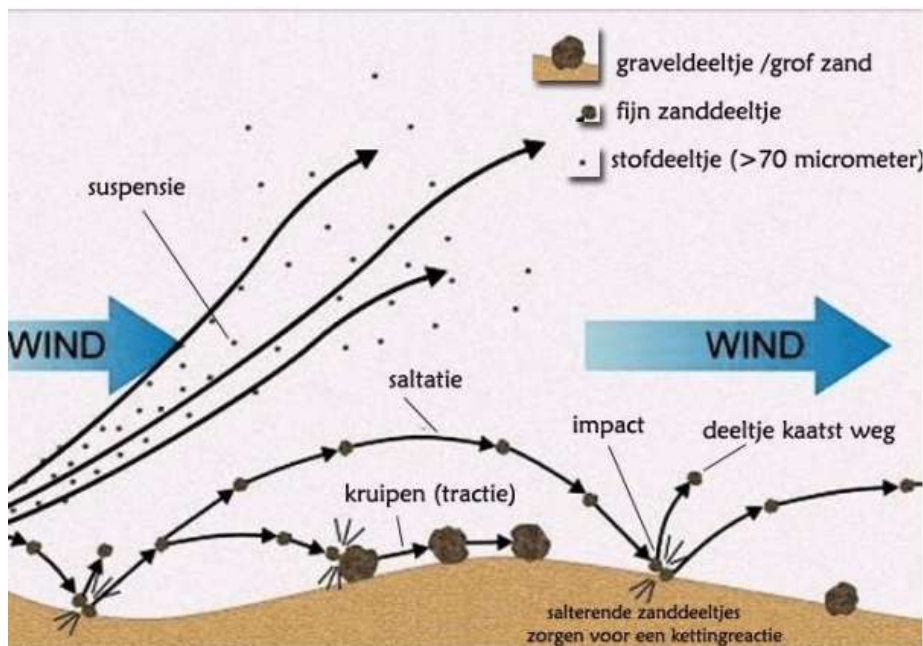
Tabel 1 Verschillen tussen fases zandtransport (Puystjens & Weymeis, 2012)

Een duidelijke uitleg omschrijving van deze drie fases staat verwoord in de masterproef van Michel Deman en wordt hieronder weergegeven.

“Suspensie: is een transport van heel kleine zanddeeltjes kleiner dan 70 μm . Doordat deze deeltje relatief licht wegen en gemakkelijk in de lucht blijven, zullen deze over een grote afstand en gedurende lange tijd getransporteerd worden.

Saltatie: is het transport van middelgrote zanddeeltjes (70 μm en 500 μm). Deze korrels zullen slechts een maximale transporthoogte van 1 meter bereiken. Dit is te wijten aan eigenschappen. Het traject van de salterende korrels lijkt op een parabool met een steiler stijgend deel dan een het dalende deel. Na het neerkomen/inslaan van de salterende korrels zal er energie overgebracht worden naar een aantal andere korrels. Hierdoor kunnen deze korrels een gelijkaardig traject afleggen.

Kruip: dit is het transport van grote zanddeeltje (>500 μm). Doordat de korrels te groot zijn, zal het gewicht ook groot zijn. Het is fan onmogelijk om deze korrels te liften. Kruip wordt niet in gang gezet door wind maar door salterende korrels die inslaan op het oppervlak. Het overdragen van deze impact energie zorgt ervoor dat deze relatief zware, grote korrels beginnen te rollen over de oppervlakte.”(Deman, 2019)



Figuur 2 De drie fases van zandtransport (Deman, 2019)

2.2 Kerven en de invloed op zandtransport

Letterlijk in het woordenboek (Woorden.org, 2020) staat dat een kerf een in natuurlijke omstandigheden door windwerking ontstane inkeping in de zeereep is waar de zee periodiek doorheen stroomt naar een primaire duinvallei. Kerven met hun typische vorm hebben invloed op de verplaatsing van het zand wat daar terplekke aanwezig is. Als de weersomstandigheden gunstig zijn, dan wordt er zand in de richting van de duinen verplaatst. Gunstige omstandigheden zijn onder andere droogweer, wind landinwaarts en hogere windsnelheden.

Als er geen kerf in het duingebied aanwezig is, dan hoopt het zand dat zich vanaf de kustlijn via de wind verplaatst, zich op voor de eerste duinenrij. Hier ontstaan duinembryo's. Deze kunnen onder gunstige omstandigheden uitgroeien tot een duin, maar meestal worden ze voor die tijd door storm en hoogwater weer afgebroken (weggeslagen).

Als er een kerf in het duingebied is, dan verplaatst de wind het zand in de kerf door de eerste duinenrij heen. Dit zand hoopt zich op achter de kerf en dan ontstaan er langzaam nieuwe duinen die in een parabolische vorm achter de kerf liggen. (S. M. Arens et al., 2010)

2.3 Factoren die het eolisch zandtransport beïnvloeden

Eolisch zandtransport vindt plaats door de wind. De windsnelheid is dan ook een belangrijke factor in het natuurlijk verplaatsen van het zand. Het verplaatsen van het zand door de wind is een initiërende factor. Maar als er factoren zijn die zandverplaatsing initiëren, zijn er ook factoren die het belemmeren.

2.3.1 Initiërende factoren

Initiërende factoren voor zandverplaatsing zijn de wind en de regen.

Wind. De windsnelheid is belangrijk om de omstandigheid te creëren waarin het zand zich gaat verplaatsen. Deze sleepsnelheid die de krachten lift en sleep bevatten zorgen voor het in beweging brengen van het zand. (Strypsteen, 2016)

Regen. De kracht waarmee de regendruppels op het zandoppervlak terecht komt zorgt ervoor dat de korrels loskomen uit het oppervlak (spatrosie) (Hessel et al., 2011; M. J. P. M. Riksen & Goossens, 2007). Dit is vergelijkbaar met de zandverplaatsing die plaats vindt bij saltatie.

2.3.2 Belemmerende factoren

Belemmerende factoren voor zandverplaatsing zijn de windrichting, het vochtgehalte van het zand/sediment, de karakteristiek van het sediment, de begroeiing en de helling.

Windrichting. De windrichting bepaald in welke richting de zandkorrels zich verplaatsen. Richting de duinen, richting zee of over het strand.

Vochtgehalte van het zand/sediment. Hoe hoger het vochtgehalte van het zand/sediment hoe hoger het gewicht. Dit belemmert de transportmogelijkheid. (Davidson-Arnott et al., 2008)(Delgado-Fernandez & Davidson-Arnott, 2009)

Karakteristiek van het sediment. Eigenschappen zoals korrelgrootte, -dichtheid en -verdeling zijn bepalend voor het moment waarop het transport wordt gestart. (Bagnold, 1973)

Begroeiing. Vegetatie zorgt ervoor dat zand wordt vastgehouden en kan het windpatroon veranderen (Hesp, 1989). Vooral het breken van de wind door begroeiing zorgt ervoor dat het zand transport veranderd/verminderd.

Helling. De helling van de kerf is bepalend voor het soort transport dat kan plaats vinden. Hierdoor is deze ook bepalend voor de hoeveelheid zand dat zich door eolisch zandtransport verplaatst. Een helling afwaarts verlaagt de grens waar zandverplaatsing start, waardoor sneller transport plaatsvindt. Een opwaartse helling belemmert het transport, omdat de grens waar zandverplaatsing start verhoogd wordt. (Bagnold, 1954)

3. Onderzoeksmethodiek

Om te weten te komen wat er gebeurt met het zand in de Springertduinen heb ik ervoor gekozen om dit op verschillende manieren te onderzoeken. Allereerst heeft er literatuuronderzoek en een theoretisch bureauonderzoek plaats gevonden. Gedurende acht weken heeft er ook ter plekke een veldonderzoek plaatsgevonden. Hierbij heb ik gebruik gemaakt van zandvangers. Omdat dit onderzoek van beperkte duur was, heeft er ook onderzoek plaats gevonden met behulp van hoogtekaarten. In paragraaf 3.5 wordt verantwoord welke keuzes er gemaakt zijn met betrekking tot dit onderzoek.

3.1 Literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek heeft verschillende invalshoeken gehad. Eolisch zandtransport in het algemeen, berekenen van potentieel zandtransport en manieren om zandtransport in de praktijk te onderzoeken.

3.1.1 Eolisch zandtransport

Om te weten te komen wat er al precies onderzocht is en bekend is over eolisch zandtransport in het algemeen en specifiek in de omgeving van een kerf heb ik gebruik gemaakt van een aantal rapporten en artikelen. Met name (Bagnold, 1954; Deman, 2019; Puystjens & Weymeis, 2012)

Als gemeenschappelijke deler is hieruit naar voren gekomen dat zoals al eerder genoemd eolisch zandtransport bestaat uit grof weg drie verschillende fasen (zie paragraaf 2.1).

3.1.2 Formules om eolisch zandtransport te berekenen

Uit de rapporten komen ook de formules die ik gebruikt heb om de gegevens uit de hoogtekaarten en weergegevens om te zetten naar waardes die de aangroei, afname of verplaatsing van zand in dit gebied weergeven.

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat er door de jaren heen verschillende formules worden gebruikt voor het berekenen van zandverplaatsing (zie onderstaande tabel).

Basic form	Expression	Contributors	Eq. no.
Bagnold type $Q = BU^3$	$Q = C(d/D)^{0.5}(\rho/g)U^3$	Bagnold (1941)	(1)
	$Q = C(d/D)^{0.75}(\rho/g)U^3$	Zingg (1953)	(2)
	$Q = (1/gd)^{1.5}e^{(4.97d - 0.47)}U^3$	Hsu (1971)	(3)
	$Q = C(1 - R_0)(1 + R_1^2)(\rho/g)U^3$	Kawamura (1951), White (1979)	(4)
Modified Bagnold type $Q = Bf(U_*)U^3$	$Q = (0.25 + 0.33R_0K_1)(1 - R_1^2)(\rho/g)U^3$	Owen (1964)	(5)
	$Q = CK_1(1 - R_1)(\rho/g)U^3$	Iversen et al. (1976)	(6)
	$Q = C(1 - R_1^2)(\rho/g)U^3$	Kind (1976)	(7)
	$Q = C(d/D)^{0.75}(1 - R_1^2)(\rho/g)U^3$	Maegley (1976)	(8)
	$Q = C(d/D)^{0.5}(1 - R_1)(\rho/g)U^3$	Lettau and Lettau (1978)	(9)
	$Q = C(1/A^2R_0)(1 - R_1)(\rho/g)U^3$	Lyles et al. (1979) quoted by Greeley and Iversen (1985)	(10)
	$Q = CU^3, C = 0.03$	O'Brien and Rindlaub (1936)	(11)
	$Q = C(1 - R_u)(\rho/g)U^3$	Dymin (1954) quoted by Greeley and Iversen (1985)	(12)
O'Brien–Rindlaub type $Q = BU^3$ Modified O'Brien–Rindlaub type $Q = Bf(U_*)U^3$	$Q = C(1 - R_u^3)(\rho/g)U^3$	Kuhlman (1958)	(13)
	$Q = C(1 - R_u^3)(\rho/g)U^3$	Dymin (1959) quoted by Greeley and Iversen (1985)	(14)
Complex type	$Q = \Phi \rho_s g d^3 (\rho_s - \rho) \gamma \rho^{0.5}$	Kadib (1965)	(15)
	$Q = e^{(a+bU)}$	Radok (1977)	(16)
	$Q = d \rho_s [N_1(U_* \rho/(gd\rho_s))^{0.8} - N_2]U_*$	Nakashima (1979)	(17)
	$Q = C[(U_* + U_{*c})^2(U_* - U_{*c})H_1 + (3U_*^2 + 2U_*U_{*c} - U_{*c}^2)H_2 + (3U_* + U_{*c})H_3](\rho/g)$	Horikawa et al. (1984)	(18)
	$Q = K_1U_*(U_* - U_{*c})$	Sorensen (1991)	(19)
	$(K_2U_* + K_3U_{*c} + K_4)$		

Figuur 3 formules zandtransport berekeningen (Puystjens & Weymeis, 2012)

3.1.3 Manieren om zandtransport te onderzoeken

Om het onderzoek in Springertduinen uit te zetten heb ik gebruik gemaakt van de informatie die te vinden is in de rapporten/artikelen van (S. M. Arens et al., 2003; S. M. Arens & Syuyfzand, 2015; Deman, 2019; Maatkamp, 2014). In de bijlage 1 (Samenvatting informatie zandvangers en hun toepasbaarheid). is er een samenvatting aanwezig waarin de verschillende mogelijkheden voor veldonderzoek naar eolisch zandtransport wordt toegelicht.

Hieronder een overzicht van de soorten zandvangers en hun toepasbaarheid.

Zandvangers zijn onder te verdelen in drie hoofdcategorieën: sensorische, verticale en horizontale zandvangers.

De eerste categorie, de sensorische zandvangers, zijn zandvangers die niet zozeer in staat zijn om een exacte hoeveelheid getransporteerd zand te meten, maar zijn goed in staat om in een korte periode te meten wanneer zandtransport plaatsvindt. Dit is vooral omdat de sensoren nog niet vergenoeg zijn ontwikkeld om een precieze meting te doen, maar doordat er direct data binnenkomt kan er wel een duidelijker beeld ontstaan over het transport in een korte periode dan in een niet sensorische zandvanger. Deze data kunnen rechtstreeks gekoppeld worden aan de weersomstandigheden op dat moment, om een preciezere conclusie te geven welke invloeden het weer op het transport heeft. Een van de soort sensoren die gebruikt wordt voor het meten van zandtransport is een akoestische methodiek. Deze wordt gebruikt in saltifoons. Een sensorische zandvanger kan worden gebruikt voor het meten van suspensie, saltatie en kruip.

De tweede categorie, de verticale zandvangers, zijn de zandvangers die worden gebruikt om het horizontale transport te meten. Deze soort zandvangers zijn voor het meten van suspensie en saltatie; met vooral suspensie als hoofdtransport. PVC-zandvangers en de MWAC-zandvangers vallen hieronder.



Figuur 4 Gebruikte zandvanger

De derde categorie, de horizontale zandvangers, zijn zandvangers die gebruikt worden voor het meten van het verticale transport. Deze worden dus gebruikt voor het meten van de depositie van het zand en meet dus vooral de kruip en de saltatie; met vooral kruip als hoofdtransport. De “Knikkerbak” valt hieronder.

Ook is er in het literatuuronderzoek gezocht naar wat er specifiek over kerven in de overgang van strand naar duingebied te vinden is. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende wetenschappelijke publicaties (B. Arens & Ridder, 2020; S. M. Arens et al., 2003, 2010; S. M. Arens & Syuyfzand, 2015; Ridder & Boers, 2020)

In deze publicaties komt vooral aan de orde wat de invloed op de natuur in omgeving van de kerf en het omliggend duingebied is. Het “technisch” aspect duinversteviging is niet zo duidelijk aanwezig in deze publicaties.

3.2 Gesprekken/interviews

Naast het literatuuronderzoek hebben er ook gesprekken met experts op het gebied van eolisch zandtransport in de duinen plaats gevonden.

Yede Bruinsma planvormer Waterkeringen van het waterschap Hollandse Delta heb ik gesproken over wat het waterschap graag wil bereiken met het onderzoek in de Springertduinen. Hieruit is naar voren gekomen dat ze graag een dynamisch duingebied willen ontwikkelen wat de duinen natuurlijk versterkt. Ze stellen zich de vraag of deze ontwikkeling al gestart is in het gebied waar de kerven liggen. Hij heeft er tevens voor gezorgd dat de hoogtekarten van het gebied en de gebiedskaarten/foto's beschikbaar zijn gekomen voor dit onderzoek.

Om op de vraag van Yede Bruinsma antwoord te kunnen geven is er contact geweest met:

Dhr. S. Arens is oprichter en eigenaar van Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek. Dit bureau zorgt in het zandmotor monitoringsproject voor het monitoren van de overstuiving in het duin door middel van een zelfontworpen pvc-zandvanger. Ook is dhr. S. Arens een expert op het gebied van kustgeomorfologie.

Tevens is er met hem contact geweest over hoe de hoogtekarten en de windgegevens kunnen bijdragen aan het verkrijgen van het juiste beeld wat betreft de verplaatsing van zand in een gebied. Deze expertise heeft grote bijdrage geleverd om de gegevens uit de hoogtekarten, weerkaarten en het veldonderzoek om te kunnen zetten in verwerkbare informatie.

3.3 Veldonderzoek

Het veldonderzoek heeft in de Springertduinen plaats gevonden met behulp van zandvangers.

3.3.1 Beschrijving gebied

Het gebied de Springertduinen is te vinden op de kop van Goeree Overflakkee ten westen van Ouddorp. Het is een uitgestrekt duingebied. In dit gebied vind je stranden, duinen, bos en slikken. Het is een gebied waar natuur een grote rol speelt. Allerlei soorten planten en dieren hebben hier hun leefgebied. Het is een natura-2000-gebied en wordt beheerd door Natuurmonumenten. Het gebied is via de openbare weg niet goed bereikbaar. Wel zijn er een aantal paden die het gebied ingaan vanaf het strand.



Figuur 5 Foto Springertduinen

3.3.2 Beschrijving veldonderzoek

In het duingebied Springertduinen is ervoor gekozen om met pvc-zandvangers ter plekke onderzoek te doen. Op het moment dat voor deze manier van meten gekozen was is er gekeken waar dat deze meetpalen vandaan gehaald konden worden. De eerste drie zijn ter beschikking gesteld door Bas Arens. Dit waren er niet genoeg en er zijn er dan ook een aantal bijgemaakt in de houtwerkplaats van de Hogeschool Rotterdam. Deze waren niet allemaal gelijktijdig klaar en er zijn dan ook twee, een week later dan de andere in het gebied geplaatst. Voordat ze geplaatst konden worden moesten ze eerst aan een paal vastgezet worden. Zodat ze terplekken verankerd konden worden in de grond. De keuze voor welke manieren van onderzoek en het verkrijgen van de juiste type zandvangers heeft een aantal weken in beslag genomen. Dit heeft de onderzoek tijd ter plekke beïnvloed.

Bij de start van het onderzoek is bepaald waar deze geplaatst moesten worden. Hierbij is uitgegaan van een plek om een nulmeting te doen. Omdat in dit onderzoek de vraag is of dat kerven invloed hebben op de zandverplaatsing in de duinen, is er voor de nulmeting gekozen voor een plek waar er geen kerf is.

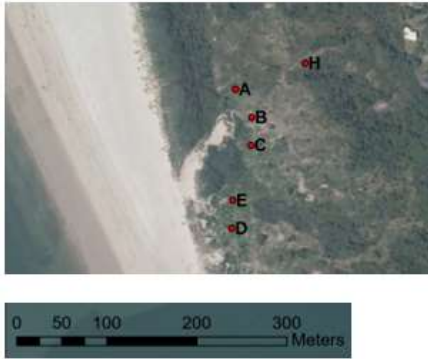
Hier zijn drie zandvangers geplaatst om relatief korte afstand vanaf de voet van de eerste duin. Zandvanger F en G op ongeveer 50 meter en de derde zandvanger (I) op ongeveer 125 meter achter de voet van de eerste duin.



Figuur 6 Locatie zandvangers nulmeting in het gebied Springertduinen. Bijlage 2 kaart Springertduinen met zandvangers

In het gebied zijn er twee kerven aanwezig. De kerven hebben zich op natuurlijke wijze ontwikkeld. De kerf die het verste de duinen in gaat is de oudste van de twee. Bij deze kerf zijn vier zandvangers geplaatst. Links, midden en rechts achter de kerf en een verder de duinen in. De hoeveelheid zand in deze zandvangers wordt vergeleken met de hoeveelheid zand uit de zandvangers van de nulmeting.

Om het verschil tussen een grote kerf en een kleine kerf te kunnen bekijken is er ook voor gekozen om bij de kerf die minder ver het duingebied in gaat twee zandvangers te plaatsen. De breedte van de kerf is kleiner, daarom is er gekozen voor maar twee zandvangers. Verder landinwaarts bij de kleine kerf is er geen zandvanger geplaatst, omdat er hier sprake is van veel begroeiing die het plaatsen belemmert.



Figuur 7 Locatie zandvangers kerf 1 & 2 in het gebied Springertduinen. Bijlage 2 kaart Springertduinen met zandvangers.

In het vervolgtraject na het plaatsen, zijn de zandvangers eens in de week geleegd en het opvangen zand gedroogd en gewogen. Deze gegevens zijn hierna verwerkt.

Aanpassing zandvanger.

Het legen van de zandvangers bij vochtig/nat weer is lastig. Zand plakt en is moeilijk te verwijderen uit de opvangbak onder in de zandvanger. Na een paar keer tegen dit te zijn aangelopen is er nagedacht over hoe dit te kunnen oplossen. Door een koffie filterzakjes in het opvanggedeelte van de buis te zetten en deze vast te zetten met een klem wordt het zand opgevangen en het vocht loopt door. Op deze manier kun je eenvoudig het filterzakje met zand verwijderen, laten drogen en uiteindelijk wegen.



Figuur 8 Aanpassing zandopvang (met filterzakje)

3.4 Data-analyse

In de data-analyse zijn gegevens die verzameld zijn uit hoogtekarten en weergegevens en gegevens die verzameld zijn via het veldonderzoek ter plekke bestudeerd.

3.4.1 Data-analyse van uit hoogtekarten en weergegevens

Dit onderzoek bestaat voor een groot gedeelte uit het analyseren van gegevens die verkregen zijn uit databases van overheidsinstanties. In deze databases zijn de gegevens van het weer en de hoogtekarten van het gebied te vinden. De gegevens van het weer komen van het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2021; Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2021)

Voor de gegevens van het weer is er gebruik gemaakt van de windgegevens van het meetstation 320, Lichteiland Goeree en de gegevens van de regen is gebruik gemaakt van meetstation 446, Goedereede. De weergegevens van deze stations zijn gebruikt, omdat deze stations de dichtstbijzijnde professionele weerstations zijn.

De gegevens van de veranderende hoogtes in het gebied zijn afkomstig van het AHN (Actueel Hoogtebestand) (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2021) & Gegevens van expert Dr. S.M. Arens.

De gegevens van de databases zijn via formules in Excel en ArcGis omgezet naar gegevens die antwoord geven op de deelvragen van dit onderzoek. Met deze antwoorden kan dan ook antwoord worden gegeven op de hoofdvraag 'Hoe kan aan de hand van het aanbrengen van kerven in het duingebied Springertduinen, een dynamisch duingebied ontstaan?'.

3.4.2 Data-analyse van het veldonderzoek

De verkregen gegevens uit het veldonderzoek met zandvangers zijn op de volgende manier verwerkt. Voor elke zandvanger (A t/m C in gebied zonder kerf en D t/m I in gebied met kerf) is per meetperiode van een week gemeten hoeveel zand (gewicht) is opgevangen. In onderstaande tabel staan deze gegevens weergegeven.

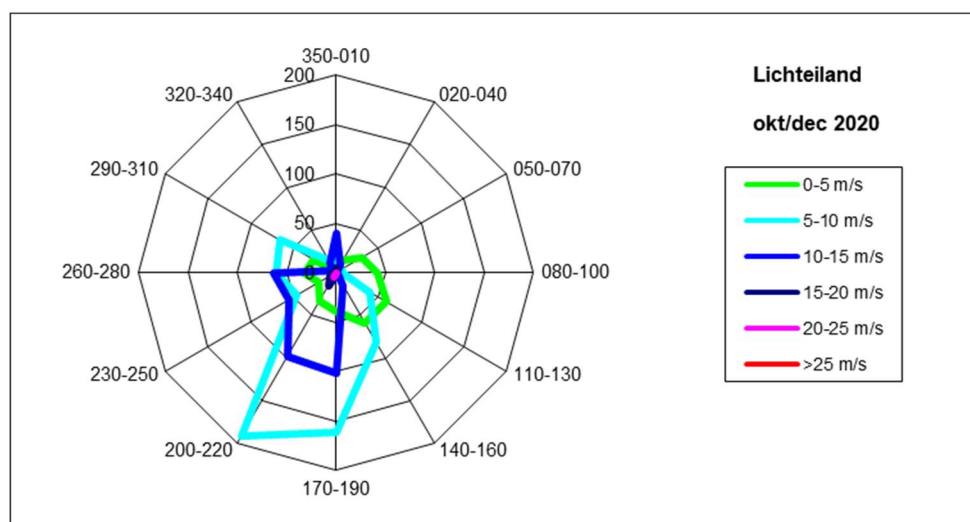
Gewicht gewogen zand (gr)	Zandvanger								
Datum	A	B	C	D	E	F	G	H	I
31/10/2020 - 07/11/2020	31,89	76,69	69,93	96,50	1,62	0,00	0,00	Nog niet geplaatst	
07/11/2020 - 14/11/2020	0,43	0,23	2,00	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14/11/2020 - 21/11/2020	1,60	39,96	87,58	45,62	10,55	0,00	0,00	2,96	0,00
21/11/2020 - 28/11/2020	0,15	1,40	0,80	1,05	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00
28/11/2020 - 05/12/2020	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05/12/2020 - 13/12/2020	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
13/12/2020 - 19/12/2020	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19/12/2020 - 28/12/2020	0,64	4,51	0,00	2,23	0,00	0,00	0,00	Gedraaid	Gedraaid
Totaal Gewicht (8 weken)	34,72	122,81	160,32	146,47	12,38	0,00	0,00	2,96	0,00

Tabel 2 Overzichtstabel van opgevangen zand in de zandvangers tijdens veldonderzoek periode

Het op de locatie Springertduinen opgevangen zand is gekoppeld aan de factoren wind en regen. Het gaat dan om de windsnelheid (m/s) en de hoeveelheid gevallen regen (mm) in dezelfde meetperiode.

Gevallen hoeveelheid regen (mm)	
Datum	Regen
31/10/2020 - 07/11/2020	8,00
07/11/2020 - 14/11/2020	8,70
14/11/2020 - 21/11/2020	0,00
21/11/2020 - 28/11/2020	9,20
28/11/2020 - 05/12/2020	16,60
05/12/2020 - 13/12/2020	19,45
13/12/2020 - 19/12/2020	6,25
19/12/2020 - 28/12/2020	45,00

Tabel 3 Hoeveelheid gevallen regen gemeten bij het weerstation Goedereede tijdens de veldonderzoek periode



Figuur 9 windrichting en windsnelheid gemeten bij het windstation Lichteiland Goeree tijdens de veldonderzoek periode

Opmerking: Deze gegevens zijn in een beperkte tijd (8 weken) en in één jaargetijde verzameld.

3.5 Verantwoording onderzoeksmethodes

Onderstaand een verantwoording van het uitgevoerde literatuuronderzoek, de keuze voor de formule om eolisch zandtransport te berekenen, de keuze voor de manier om het zandtransport te meten en de wijze van dataverwerking.

3.5.1 Verantwoording literatuuronderzoek

Er is gekozen om een literatuuronderzoek te doen om duidelijk te krijgen wat er allemaal onderzocht is in andere gebieden die lijken op het gebied Springertduinen.

Veldonderzoek naar eolisch zandtransport op een bepaalde plek neemt een lange periode in beslag en deze tijd was niet beschikbaar. Om uiteindelijk met de beperkte gegevens tot een conclusie te komen, is het van belang om hierin alle uit andere onderzoeken bekende gegevens mee te nemen.

3.5.2 Verantwoording gekozen formule om eolisch zandtransport te berekenen

Uit de gebruikte formules is uiteindelijk gekozen voor de Kawamura formule, omdat deze formule meerdere factoren heeft die meegenomen worden in de berekening. Hierdoor wordt de berekening nauwkeuriger en daarmee de uitkomsten betrouwbaarder. Het gebruiken van deze formule is ook geadviseerd door dhr. B Arens expert op het gebied van duinontwikkeling en alles wat hier mee samenhangt. (S. M. Arens et al., 2003)

Gebruikte Kawamura formule

$$U_z = \frac{U_*}{k} \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)$$

$$q = C_k * \frac{\rho}{g} (U_* - U_{*t})(U_* + U_{*t})^2 \text{ in kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$$

Symboolverklaring:

- q het berekende transport is.
- C_k een constante van 2,78 is.
- ρ de dichtheid van lucht 1,22 kg/m³.
- g de gravitatieversnelling 9,81 m/s²
- U_{*t} de wrijvingsnelheid waarbij zand transport door de wind begint, gesteld op 0,22 m/s. het geheel wordt daarna met 3600 vermenigvuldigd om een uurgemiddelde te krijgen.
- U_* de wrijvingsnelheid
- U_z de windsnelheid op de hoogte Z (38,3m)
- Z_0 ruwheidslengte 0,002m
- k von Karman met een waarde van 0,41
- Z hoogte waarop de windsnelheid is gemeten (38,3m)

De transportberekening

Bij de berekening is er rekening gehouden met de windrichting. Hierdoor is het brutotransport omgerekend naar een nettotransport per windrichting. (Dit wordt zichtbaar gemaakt door spinnenwebdiagram waar de gegevens van het eolisch zandtransport aan gekoppeld zijn). Bijlage 3 (Knipsel uit Excel van de berekening zandtransport), bijlage 4 (Spinnenwebdiagrammen wind en zandtransport 1997/2020)

Om het netto transport uit te rekenen wordt het uurtransport vermenigvuldigd met de cosinus van de windrichting. Deze netto-uurgegevens worden uiteindelijk omgerekend naar jaargegevens.

Om een vergelijking per gebied te kunnen doen, wordt het berekende netto- en brutojaartransport uiteindelijk omgerekend naar m³/m. Dit door het te delen door 1600 kg/m³ (de dichtheid van het zand).

De uiteindelijke uitkomst (q) is het maximale transport dat plaats kan vinden. "Het netto transport komt meestal echter neer op een 5 á 10% van het maximale transport door andere weersfactoren die invloed hebben op het transport" (S. M. Arens et al., 2003).

3.5.3 Verantwoording gekozen manier om zandtransport te meten

Uit het onderzoek naar bestaande zandvangers zijn de opmerkingen te maken met betrekking waar en wanneer ze het beste gebruikt kunnen worden. Dit wordt in onderstaand schema weergegeven.

Type zandvanger	Sterkte punten											
Saltifoon	-	-	+	-	-	+	+	+	+	-		-
MDCO	+	+	±	+	+	-	-	±	+	±		+
MWAC	±	+	±	±	+	+	+	+	+	+		-
PVC	+	+	±	±	+	+	+	±	-	+		+
	Monitoring over langere periode (jaren)	Monitoring over korte periode (weken/maanden)	Monitoring over zeer korte periode (uren/dagen)	Bruikbaar in alle weersomstandigheden	Bruikbaar zonder constante monitoring door personeel	Makkelijk te plaatsen	Suspensie meetbaar	Saltatie meetbaar	Kruip meetbaar	Relatief goedkoop	Digitale/Handmatige gegevens verwerking	Deegelijkheid constructie

Tabel 4 overzichtstabel sterke punten van de verschillende type zandvangers.

Saltifoon is goed bruikbaar om op korte termijn eolisch zandtransport te meten. Met als nadeel dat de metingen afwijkingen kunnen hebben en dat het een relatief dure apparatuur is. Voordeel is dan weer wel dat gegevens direct gekoppeld kunnen worden aan gegevens die gelijktijdig via andere sensoren (wind/regen) worden waargenomen.

MDCO is vooral goed bruikbaar voor kruip zandtransport en in mindere mate voor het meten van saltatie.

De MWAC-zandvanger vangt zand alleen op een bepaald punt op. Om op meerdere hoogtes te meten, moeten er meerdere zandvangers onder elkaar geplaatst worden. Om zand op te vangen uit verschillende windrichtingen moeten ze zo bevestigd worden dat ze door een windvaan gestuurd meebewegen. Deze constructie is ingewikkeld en kan snel stuk gaan.

Pvc-zandvangers zijn toepasbaar voor korte en lange tijd monitoring. Deze zandvangers zijn stevig en goed te plaatsen. Hebben een brede meethoek en grote meethoogte. Dit zorgt ervoor dat in tegenstelling tot de MWAC en saltifoon het meetbereik/vangbereik groter is.

Voor al deze type zandvangers geldt hoe langer de meetperiode hoe preciezer de gemeten waardes.

Na deze voor- en nadelen afgewogen te hebben, is er **gekozen voor het plaatsen van pvc-zandvangers**. Deze zijn goed in het gebied te plaatsen. Kunnen relatief veilig in het gebied blijven staan zonder dat men bang moet zijn dat er dure apparatuur vernield wordt op de momenten dat er niemand aanwezig is. In dit gebied zo'n 99 % van de tijd. Daarnaast zijn ze geschikt voor alle weersomstandigheden; zeker aan de kust met wind en regen een belangrijk voorwaarde. Ook hebben ze een breed zand opvang bereik en zijn ze relatief goedkoop, wat positief is omdat er voor dit onderzoek maar een heel klein budget beschikbaar was. Deze zandvangers geven betrouwbare metingen en komen positief uit de vergelijking met betrekking tot de plaats en de duur van dit onderzoek ten opzichte van de andere type zandvangers.

3.5.5 Verantwoording dataverwerking

Dataonderzoek heeft binnen twee gebieden plaats gevonden De data van het veldonderzoek en de verkregen data door het bureauonderzoek. Ik heb bewust gekozen om data uit het veldonderzoek en data verkregen uit officiële meetstations te koppelen, omdat het niet nodig was om deze gegevens allemaal via veldonderzoek te verzamelen. Officiële meetstations geven geverifieerde gegevens die verantwoord gebruikt kunnen worden.

Al deze data zijn verwerkt in tabellen en grafieken en terug te vinden in bijlage 3, 4, 7 & 9. Er is voor deze wijze gekozen, omdat er dan een duidelijk overzicht wordt geboden.

4. Onderzoeksresultaten en hieraan gekoppelde opmerkingen

De onderzoeksresultaten vallen uiteen in twee groepen. Namelijk veldonderzoek en bureauonderzoek. Bij deze onderzoeken zijn gelijk opmerkingen en/of conclusie geplaatst. Hierin wordt verwoord wat er uit de gegevens uit de onderzoeken naar voren komt.

4.1 Veldonderzoek

De verzamelde veldonderzoek gegevens met betrekking tot opgevangen zand en regen gegevens die afkomstig zijn van het weerstation zijn verwerkt in een tabel. Deze staat hieronder.

Gewicht gewogen zand (gr)	Zandvanger									Gevallen hoeveelheid regen (mm)
	Kerf 1			Kerf 2		Nul-meting		Achterland kerf 1	Achterland nul-meting	
Datum	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Regen
31/10/2020 - 07/11/2020	31,89	76,69	69,93	96,50	1,62	0,00	0,00	Nog niet geplaatst		8,00
07/11/2020 - 14/11/2020	0,43	0,23	2,00	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,70
14/11/2020 - 21/11/2020	1,60	39,96	87,58	45,62	10,55	0,00	0,00	2,96	0,00	0,00
21/11/2020 - 28/11/2020	0,15	1,40	0,80	1,05	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	9,20
28/11/2020 - 05/12/2020	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,60
05/12/2020 - 13/12/2020	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	19,45
13/12/2020 - 19/12/2020	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,25
19/12/2020 - 28/12/2020	0,64	4,51	0,00	2,23	0,00	0,00	0,00	Gedraaid	Gedraaid	45,00
Totaal Gewicht (8 weken)	34.72	122.81	160.32	146.47	12.38	0.00	0.00	2.96	0.00	

Tabel 5 overzichtstabel opgevangen zand en hoeveelheid gevallen regen.

Van uit deze gegevens kun je de volgende opmerkingen maken.

De weken waar het veel regende, is er weinig tot geen eolisch zandtransport waargenomen. De hoeveelheden zand in de zandvangers waren in die meetperioden nihil. Hierbij was er geen noemenswaardig verschil tussen de zandvangers bij de kerf en de zandvangers bij de nulmeting. Bijlage 2 (Kaart Springertduinen met zandvangers)

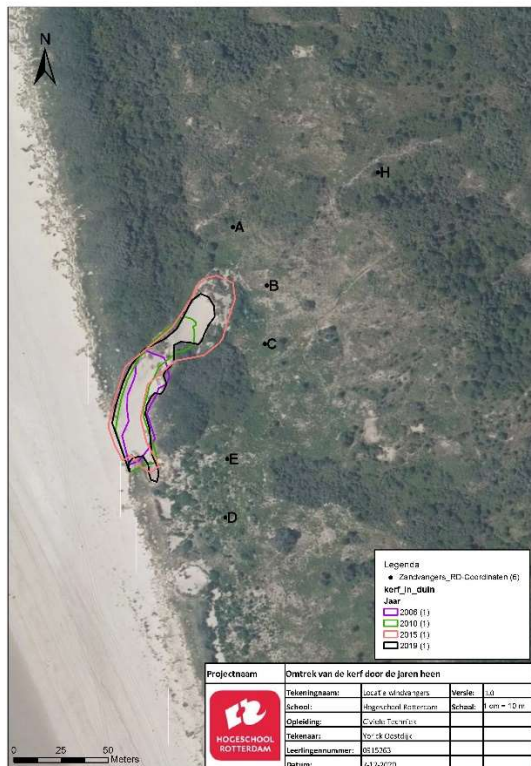
De zandvangers die verder landinwaarts geplaatst zijn (H/I), laten zien dat op de gehele meetperiode een verschil van 2.96 gr zit. Dit is opgevangen in de zandvanger (H) achter het gebied van de kerf. In het gebied van de nulmeting (I) is geen zand opgevangen.

De zandvangers als eerste achter de kerf vergeleken met de zandvangers in het gebied van de nulmeting die als eerste achter de duin staan laten het volgende zien. In het gebied achter de kerf is zand gevangen en in het gebied van de nulmeting is er geen zand opgevangen. Het zand is opgevangen in de weken dat de weersomstandigheden gunstig waren. (voornamelijk droog weer en wind)

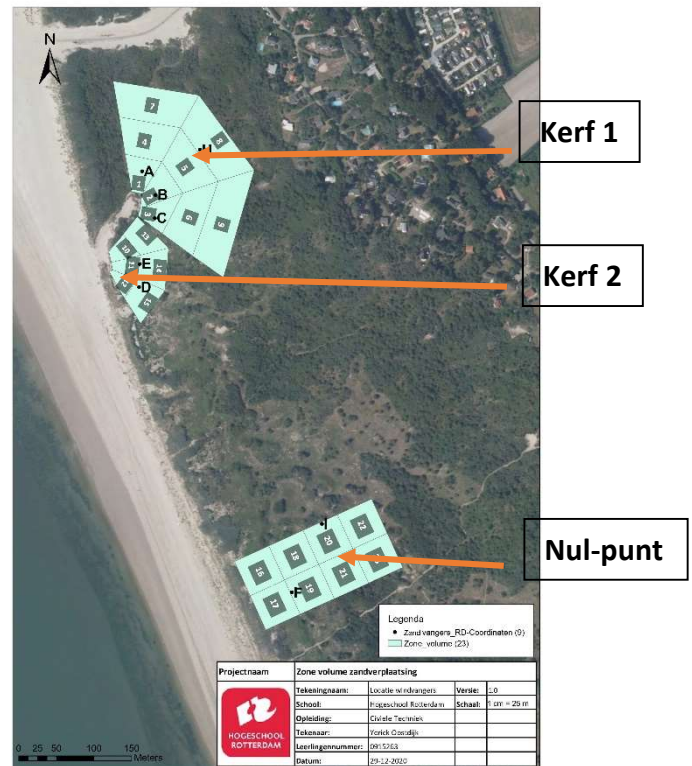
De tijd voor dit veldonderzoek was beperkt. De gegevens zijn dus ook afkomstig uit een korte periode (8 weken) en in één jaargetijde verzameld. Deze gegevens zijn dan ook niet representatief voor een geheel jaar, maar geven wel een eerste beeld.

4.2 Bureauonderzoek

Het doel van het bureauonderzoek was duidelijk te krijgen hoe het gebied rond de kerven zich in de loop van de jaren heeft ontwikkeld en of dit een relatie heeft met de duinhoogtes achter de kerven. Om dit zichtbaar te maken eerst een afbeelding waarin de ontwikkeling van de kerf vanaf 2006 zichtbaar gemaakt wordt.

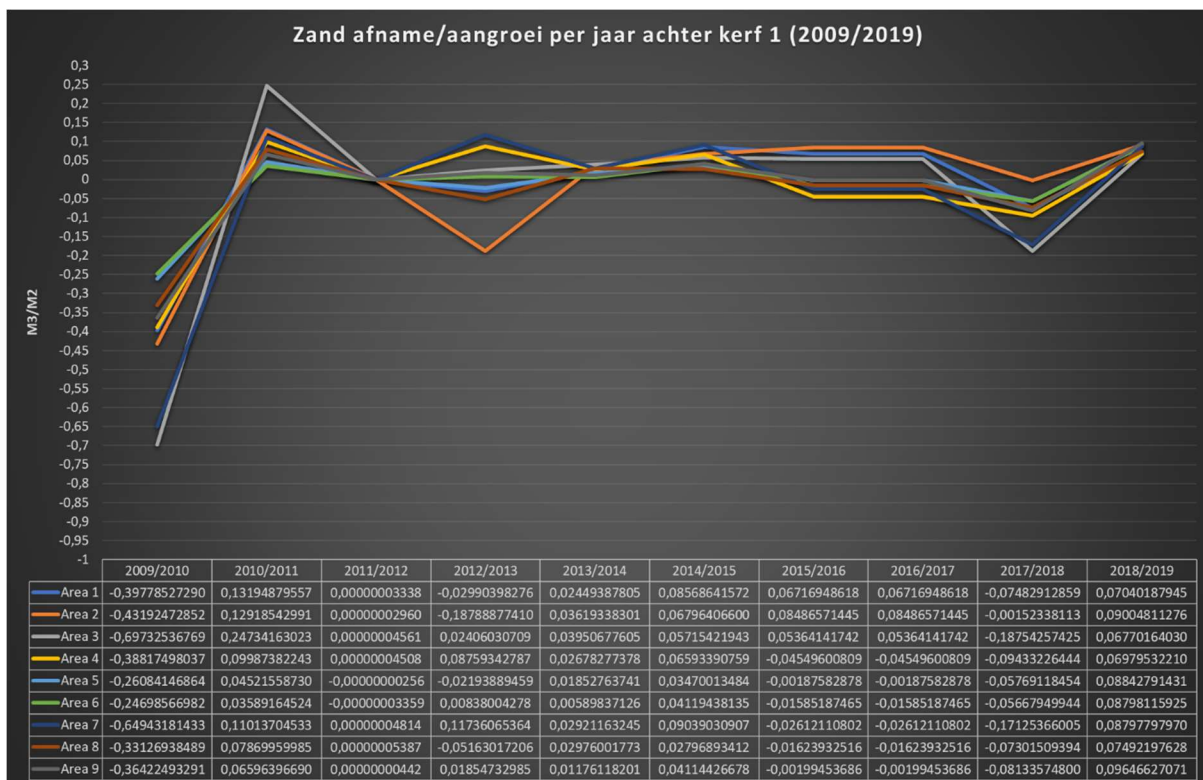


Figuur 10 Omtrek kerf door de jaren heen

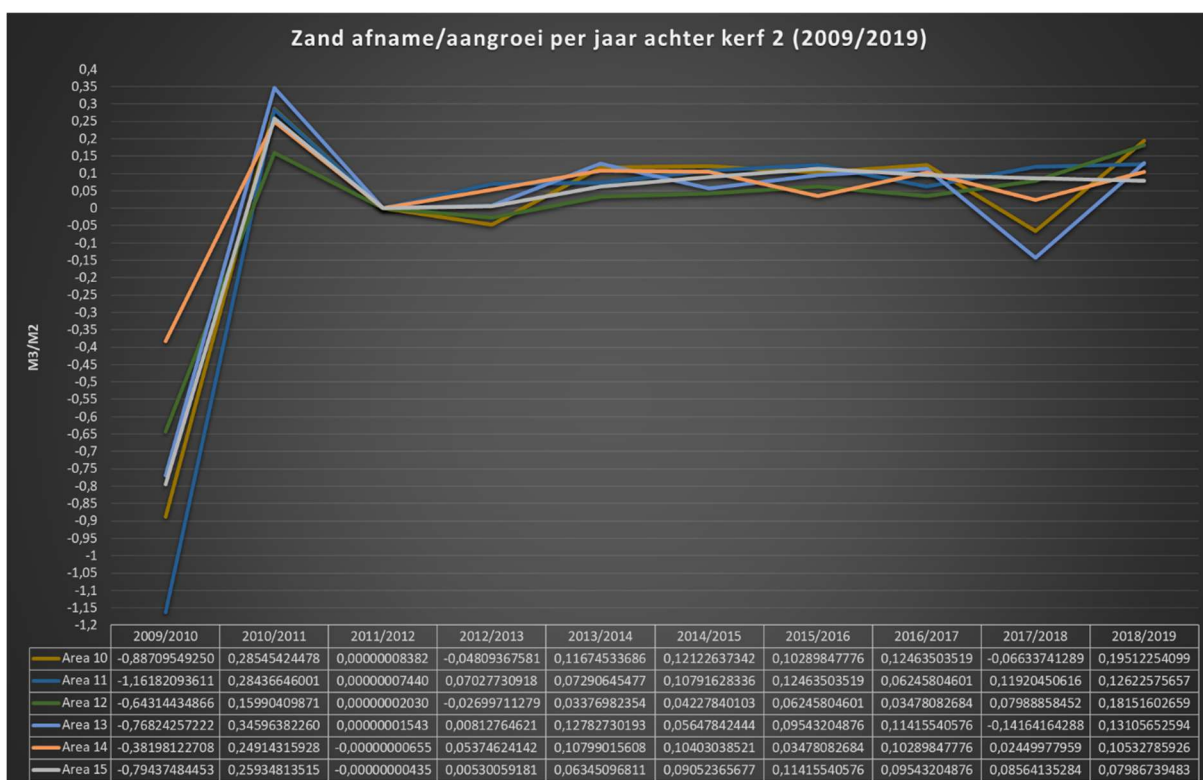


Figuur 11 Kaart meetvlakken zandmeting, Bijlage 6 (kaart meetvlakken zandopvang)

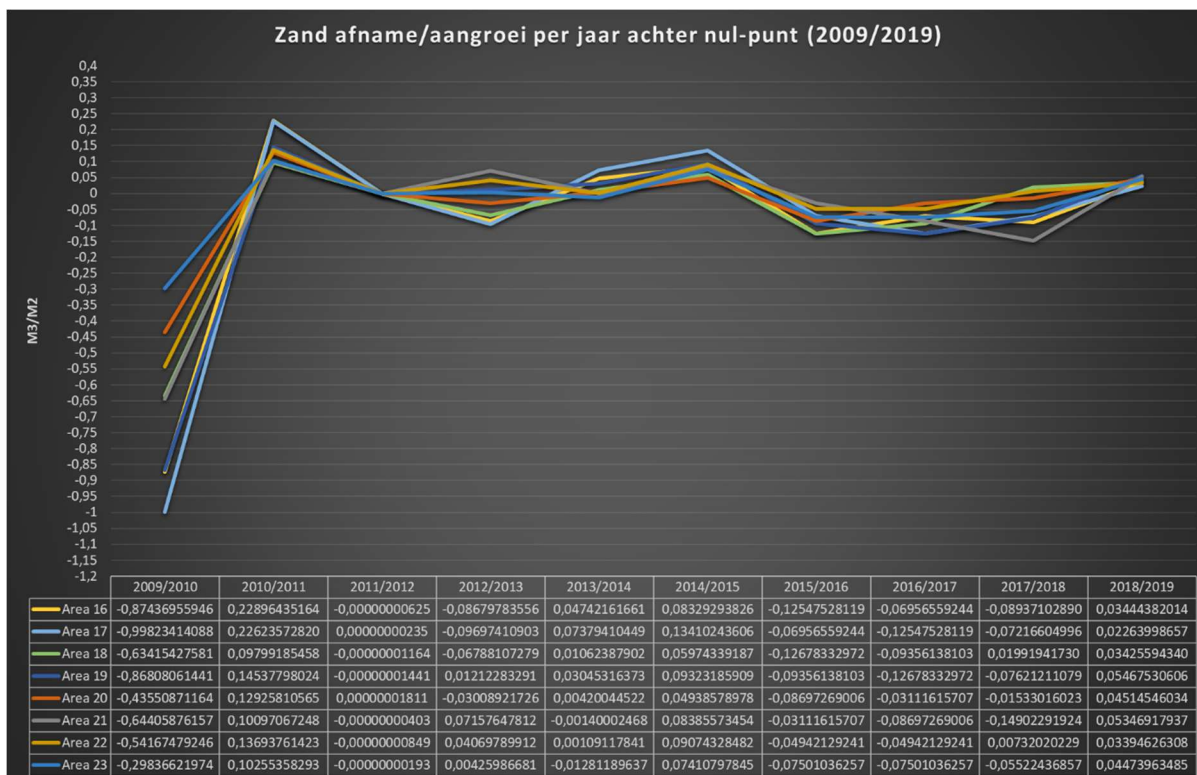
In de tweede afbeelding is te zien waar de meetvlakken (area's) zijn die achter de kerven liggen. Met deze meetvlakken is gekeken naar de verandering in de hoogtes in dit gebied. Hieronder een grafiek en waarin de verandering in hoogtes achter kerf 1 en kerf 2 zichtbaar gemaakt wordt over de periode 2009-2019. In de derde grafiek is de zandafname/-aangroei van het nulpunt zichtbaar gemaakt.



Tabel 6 Zand aangroei kerf 1 (meetvlakken/area's 1 t/m 9)



Tabel 7 Zandafname/-aangroei kerf 2 (meetvlakken/area's 10 t/m 15)



Tabel 8 Zandafname/-aangroei nulpunt (meetvlakken/area's 16 t/m 23)

Om een duidelijk overzicht te krijgen over aan- en afname van zand in het gebied heb ik ervoor gekozen om de meetpunten achter kerf 1 te clusteren. Idem voor de meetpunten van kerf 2 en de meetpunten in het nulmetingengebied. In de loop van de jaren hebben de kerven zich verder ontwikkeld. Bijlage 5 (Omtrek van de kerf door de jaren heen) Om te kunnen zien of deze ontwikkeling van de kerven invloed heeft op het eolisch zand verplaatsen, heb ik gekozen om de jaren te clusteren in drie periodes. Zodat in een oogopslag duidelijk wordt in welk gebied en in welke periode er zandafname/-aangroei is. De onderliggende gegevens zijn terug te vinden in bijlage 7 (Zand afname/aangroei in de meetgebieden achter de duinen).

Vanuit deze gegevens kun je de volgende opmerkingen maken.

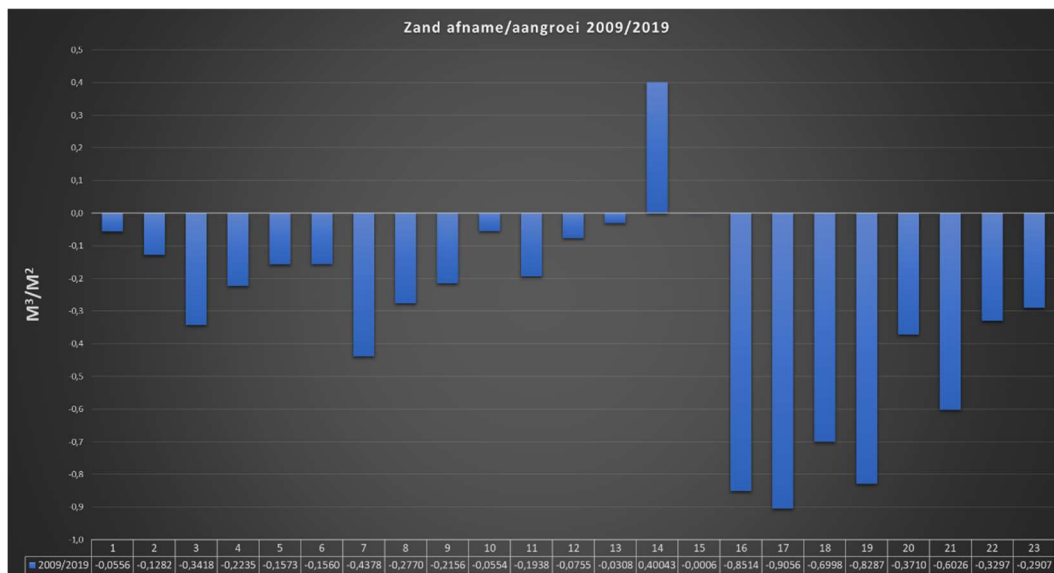
In de periode 2009-2010 is er in het gehele gebied zand verloren gegaan. Zowel bij de kerven als in het nulpuntmeetgebied.

Van +/- 2011 tot 2014 is in de meetgebieden bij de kerven iets minder zand verloren gegaan ten opzichte van het meetgebieden in het gebied van de nulmeting.

In de periode 2014-2019 is in de meetgebieden bij de kerven geen zand verloren gegaan. In het nulpunt meetgebied is wel zand verloren gegaan.

Dit maakt duidelijk dat als er een kerf ontstaat de afname van zand in het achterliggende gebied steeds kleiner wordt. Als de kerven zich zodanig verder hebben ontwikkeld dat ze door de eerste duinenrij heen gaan, dan zorgt het natuurlijk zandtransport ervoor dat er in het achterliggende gebied zand aangroei is.

Als je de periode 2009 – 2019 bekijkt, dan zie je dat er een natuurlijke ontwikkeling gaande is waarin het gebied bij de kerven langzaam terug de hoogte krijgt die het had in 2009. Dit is niet te zien bij het nulpuntmeetgebied. Het is wel zo dat op de laatste beschikbare hoogtekaarten van 2019 te zien is dat op één plek de hoogte van de duin hoger is dan in 2009. Wel zie je duidelijk dat waar de kerven zijn, het gebied langzaam op een natuurlijke manier hoger wordt maar nog niet de hoogte van 2009 heeft teruggewonnen.

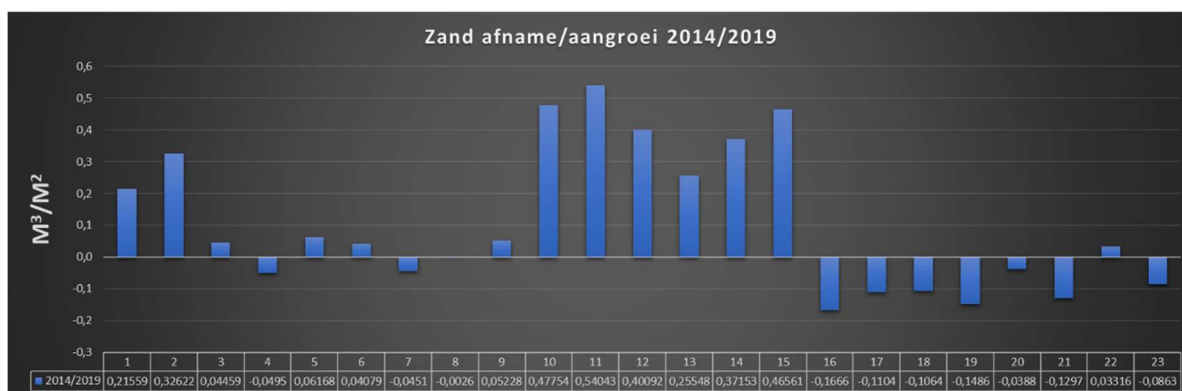


Tabel 9 Zandafname/-groei 2009-2019

In bovenstaande afbeelding is de zandafname/-groei van de gehele periode samengevoegd. Je ziet hier dat bij de meetpunten 16 tot en met 23 er een grotere netto afname is. Dit is het gebied van de nulmeting waar geen kerk is. Over de gehele periode is er een min of meer constante afname geweest. Bijlage 7 (Zand afname/aangroei in de meetgebieden achter de duinen).

Bij kerk 1 (meet punten 1 tot met 9) en kerk 2 (10 tot en met 15) zie je over de gehele periode een veel kleinere afname.

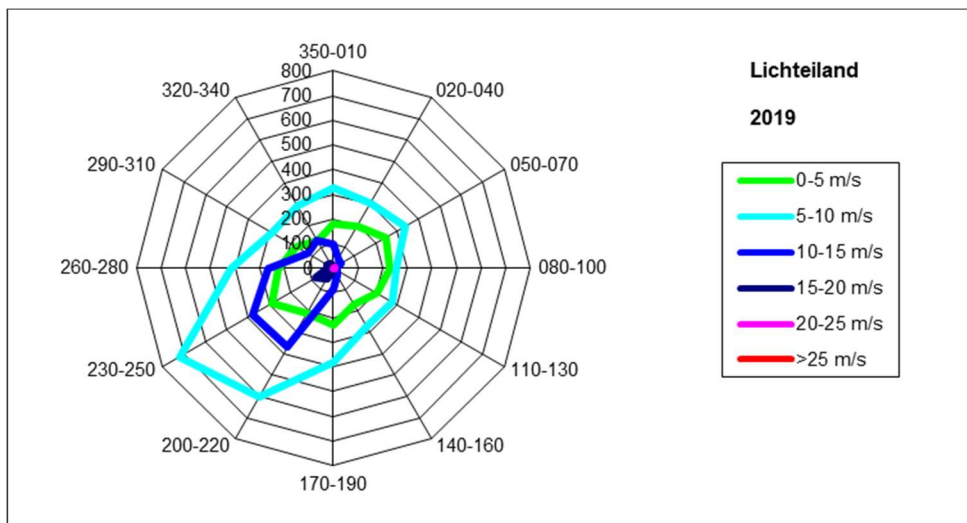
Als je het beeld inzoomt op de laatste jaren (2014-2019) dan zie je verandering in de twee gebieden van de kerk. Hier is er geen afname meer maar een aangroei.



Tabel 10 Zandafnamen/-zand aangroei 2014-2019

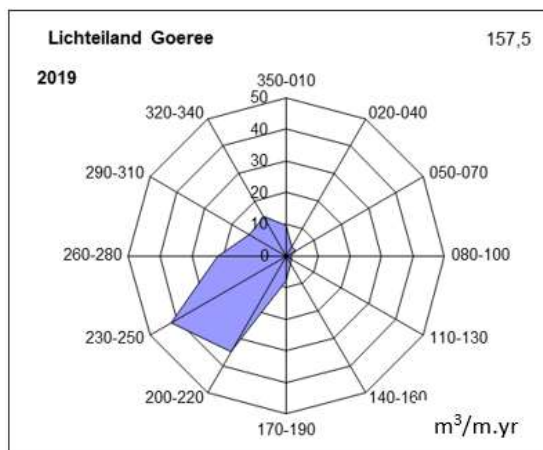
Theoretische invloed van de wind op de zandverplaatsing.

Om te kijken of deze aangroei ontstaat door de wind ben ik gaan kijken naar de windgegevens uit het gebied.



Tabel 11 Windsnelheden en -richting, 2019

In deze afbeelding zijn de windgegevens verwerkt die waargenomen zijn op het Lichteiland Goeree. Dit is het dichtstbijzijnde officiële windstation. Met deze gegevens kun je de zandverplaatsing berekenen met de formule van Kawamura. Als je de gegevens die verkregen zijn uit deze berekening weergeeft in een spinnenwebdiagram krijg je onderstaand beeld. Hier zie je hoeveel zand er maximaal theoretisch verplaatst wordt met de wind en in welke richting.



Tabel 12 Hoeveelheid verplaats zand door de wind en de richting van deze verplaatsing, 2019

In de bijlage 4 (Spinnenwebdiagrammen wind en zandtransport 1997/2020) zijn de uitkomsten van de berekening per jaar vanaf 1997 zichtbaar. Hieraan gekoppeld het spinnenwebdiagram zoals hierboven. De achterliggende data zijn niet zichtbaar in het rapport en de bijlage, omdat dit een zo groot Excel bestand is dat dit niet mogelijk is. Deze gegevens zijn eventueel als Excel bestand op te vragen. In bijlage 3 (Knipsel uit Excel van de berekening zandtransport). is wel de principewerking zichtbaar gemaakt en een toelichting gegeven hoe deze database is opgebouwd.



Figuur 13 kerf 1 waarop versmalling ter hoogte van de oranje pijl zichtbaar is.



Figuur 15 Afb Kerf 1 genomen in het gebied waar "duin" ter hoogte van insnoering zichtbaar is.



Figuur 14 Afb Kerf 1 genomen in het gebied over de "duin" heen

Om deze verklaringen met gegevens te kunnen onderbouwen is het nodig om nog verder onderzoek te doen. Dit door het plaatsen van extra zandvangers in kerf 1 net voor de "duin" en op dezelfde afstand als achter de kerf maar dan achter de "duin". Als uit deze metingen gelijksoortige waarnemingen naar voren komen, dan wordt de opmerking dat het lijkt of er een kerf achter een kerf ontstaan is bevestigd. Als deze de verklaring met betrekking tot het verschil in eolisch zandtransport tussen de ene kerf en de andere kerf bevestigd wordt, dan is het goed om te onderzoeken of als er een opening in de kerf blijft (dus geen "duin" /zandophoping plaatsvindt) dit ervoor zorgt dat het zand verder het duingebied in wordt getransporteerd.

In het veldonderzoek is met de zandvanger die verder in het gebied achter de kerven is geplaatst weinig zand opgevangen. De zandvanger die bij het nulpuntmeetgebied ongeveer even ver landinwaarts geplaatst is, heeft niets gevangen. Een kanttekening die hierbij geplaatst moet worden is dat het tijdens de veldonderzoekperiode behoorlijk vochtig is geweest. Dit beïnvloedt het eolisch zandtransport negatief, vooral op de langere afstand. Hierdoor zit er verschil in de gegevens van de hoogtekarten en veldonderzoek. De duur van het veldonderzoek en het jaargetijde waarin dit heeft plaats gevonden zorgen ervoor dat dit een vertekend beeld geeft. Om deze verklaring te onderbouwen is ook hier meer onderzoek nodig. Verwacht mag namelijk worden dat er in de zomer tijdens veldonderzoek bij de verder weggeplaatste zandvangers meer zand opgevangen wordt. Dit gegeven wordt in de hoogtekarten ook waargenomen.

5 Onderzoeksresultaten als antwoord op onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk worden de hoofdvraag en de deelvragen waarmee het onderzoek is gestart nog even aangehaald. De antwoorden/informatie/onderbouwing van deze vragen is terug te vinden in de voorgaande hoofdstukken. Omdat ik niet in de herhaling wil vallen maar voor de lezer wel duidelijk wil maken waar deze vragen waarmee het onderzoek gestart is zijn beantwoord heb ik per vraag een korte toelichting gegeven en aangegeven waar het gehele antwoord te vinden is.

5.1 Hoofdvraag

Hoe kan aan de hand van het aanbrengen van kerven in het duingebied Springertduinen, een dynamisch duingebied ontstaan?

Bij deze hoofdvraag horen een aantal deelvragen. Door antwoord te geven op deze deelvragen is de hoofdvraag voor een groot gedeelte beantwoord. Deze antwoorden staan hieronder. In de conclusie en de aanbevelingen wordt de hoofdvraag verder beantwoord (zie hoofdstuk 6).

5.2 Hoe verplaatst het huidige natuurlijke zandtransport zich ter plekke in de duinen?

Achteraf gezien is dit niet de juiste verwoording van de vraag geweest. Het is niet het hoe maar vindt er zandtransport plaats in de duinen.

Op deze vraag is antwoord gegeven in hoofdstuk 4 Onderzoeksresultaten. Waaruit als belangrijkste naar voren gekomen is dat er een significant verschil is tussen het gebied bij de kerven en het duingebied zonder kerf (nul-meetgebied).

5.2 Hoe verplaatst het huidige zandtransport zich in de bestaande kerven?

Achteraf gezien is dit niet de juiste verwoording van de vraag geweest. Het is niet het hoe maar wat is het verschil tussen het huidige zandtransport in de bestaande kerven.

Op deze vraag is er antwoord gegeven in hoofdstuk 4 onderzoeksresultaten. Waaruit naar voren gekomen is dat er een aanmerkelijk verschil is tussen de hoeveelheid zandverplaatsing naar het achter gebied toe tussen de ene kerf en de ander kerf.

5.4 Waarom gedraagt van de twee bestaande kerven de ene kerf anders dan de andere kerf?

Op deze vraag is antwoord gegeven in hoofdstuk 4 onderzoeksresultaten

De verklaring hiervoor is naar verwachting de lengte van de kerf en de "duin" groei midden in de kerf die bij kerf 1 het verder verplaatsen van zand landinwaarts beïnvloed.

5.5 Hoe moet de kerven in de duinen worden ontwikkeld om een dynamisch duingebied te creëren?

Op deze vraag is gedeeltelijk antwoord gegeven in hoofdstuk 4 onderzoeksresultaten. Er is hier aangegeven dat er nog op bepaalde gebieden verder onderzoek moet plaats vinden om een antwoord te geven of de getrokken conclusies te verifiëren zijn. Als deze conclusie met betrekking tot “kerf achter kerf” klopt, dan is goed om te kijken naar wat er gebeurt als de zandophoping (“duin”) in de kerf verlaagd wordt zodat er makkelijker eolisch zandtransport naar het achterland kan plaats vinden. Als je dit gaat doen, grijp je in, in het natuurlijke groeiproces van de kerf. Deze ingreep kan wel waardevolle informatie opleveren om in de toekomst te gebruiken bij het ontwikkelen van een dynamisch duingebied.

Kerven die zich ontwikkelen tot achter de eerste duin laten zien dat er in het achterland verhoging van de duinen plaats vindt. De start van de kerven is een natuurlijk proces waarbij de volgende aspecten een rol spelen. De wind, het uitslijten van een stukje duin door het zeewater en verdwijnen van de duinbegroeiing door groter hoeveelheden zand die hierop terecht komt door stormen. Deze natuurlijke processen kun je natuurlijk proberen na te bootsen om op verschillende plekken kerven te laten ontstaan. Die er vervolgens voor gaan zorgen dat het achter liggende gebied hoger wordt door het eolisch zandtransport. Dat dit gebeurt bij een kerf wordt in Hoofdstuk 4 zichtbaar gemaakt.

De natuur doet wat die wil, dit is ook te zien in kerf 1 waar eerst een doorgang ontstond wordt deze door het eolisch zandtransport ook weer dicht gelegd er ontstaat als waren een “duin” in de kerf en achter deze “duin” ontstaat een nieuw gedeelte kerf waardoor langzaam het zand verder het gebied in komt. Ervan uitgaand dat je de natuur een stapje kunt helpen om een start te maken van een kerf moet het mogelijk zijn om op verschillende plekken een kerf te laten groeien. Dit natuurlijk proces zal op de ene plek wel gaan plaats vinden en op een ander plaats zullen de omstandigheden net iets afwijken waardoor de kerf niet tot groei komt. De informatie die door het eventuele onderzoek naar de afvlakking van de hoogte in kerf 1 ter beschikking kan komen, kan in de verdere ontwikkeling van kerven in het duingebied waarschijnlijk een belangrijke rol spelen.

Doordat kerf 1 en kerf 2 ten opzichte van elkaar verschillen in de ligging en uit het onderzoek naar de windrichting en het hieraan gekoppeld de berekening van maximaal theoretisch zandtransport niet duidelijk wordt dat de ligging een invloed heeft op de groei van de kerf en daarmee de groei van de duinen in het achter gebied kun je kerven in verschillende richtingen het duingebied in laten komen. Dit heeft als voordeel dat het achterland over een veel breder gebied te maken krijgt met eolisch zandtransport dus met verhoging van de duinen.

6 Conclusie en aanbevelingen

De kerven hebben een aangetoond positief effect op de aangroei van de duinen. Hierdoor ontstaat een zelf groeiend/dynamisch duingebied. De lig- en de windrichting hebben geen aantoonbare invloed op de groei van de achterliggende duinen.

De bestaande kerven in het gebied Springertduinen laten dus zien dat als er extra kerven ontstaan/gemaakt worden, dat het achterliggend gebied verder in hoogte groeit/zich dynamisch ontwikkelt. Deze aangroei heeft geen aangetoond verband met de ligrichting van de kerven ten opzichte van wind.

Hiermee is gelijk antwoord gegeven op de hoofdvraag:

Hoe kan door middel van het aanbrengen van kerven in het duingebied Springertduinen een dynamisch duingebied ontstaan?

Hierbij kun je de volgende opmerkingen plaatsen.

Het is aangetoond dat in het gebied waar er kerven zijn in het directe achterland van de zeereep een aangroei van duinen plaatsvindt. Deze aangroei zie je niet in het nabijgelegen gebied waar geen kerven zijn.

De kerf die zich ontwikkelt heeft tot achter de eerste duinenrij zorgt ervoor dat het directe achterland de meeste aangroei vertoont. (kerf2)

Op het moment dat de kerf 1 door een tweede duinenrij gaat, is de aangroei achter deze duinenrij aanmerkelijk minder.

Hieruit kan je de conclusie trekken dat duin aangroei net achter de eerste duin door eolisch zandtransport meer is dan verder in het gebied als de kerf door de tweede parabolische duinenrij gaat.

Dit geeft aan dat de duin aangroei vlak langs de zeepreep met kerven beïnvloed wordt, maar dat verder in het gebied deze invloed kleiner wordt.

Aanbevelingen

Langer durend en in verschillende jaargetijden onderzoek doen met zandvangers, zodat er een representatief beeld ontstaat waar en hoeveel zand zich verplaatst in het gebied.

Om verder onderzoek te doen met zandvangers in kerf 1.

Dit door het plaatsen van extra zandvangers in kerf 1 net voor de “duin” en op dezelfde afstand als achter de kerf maar dan achter de “duin”. Als uit deze metingen gelijksoortige waarnemingen naar voren komen als bij kerf 2 dan wordt de opmerking dat het lijkt of er een kerf achter kerf ontstaat bevestigd.

Om te onderzoeken wat er in het achterland gebeurt als in kerf 1 de verhoging (“duin”) halverwege de kerf afgevlakt wordt. Komt er dan meer zand in het achterland? Tevens is het dan ook van belang om te kijken wat dit doet met de veiligheid als water door de kerf verder de duinen in kan komen.

In het gebied de natuur helpen door een start van een kerf te maken en dit te monitoren hoe deze zich ontwikkelt. Als de uitslag is dat achter deze kerf, gemeten met zandvangers, er eolisch zandtransport plaatst vindt het gebied in. Dan mag je er van uit gaan dat er in de toekomst, net als achter de bestaande kerven, er een dynamisch/in hoogte groeiend duingebied zich ontwikkelt.

De zandvangers aan te passen met filterzakjes in het opvang gedeelte zodat het zand eenvoudig verwijderd kan worden en hierdoor de meting makkelijker wordt.

Bronnenlijst

- Actueel Hoogtebestand Nederland. (2021). *AHN-viewer*. <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>
- Arens, B., & Ridder, M. De. (2020). *Planvorming Dynamiserende Springertduinen*, Goeree.
- Arens, S. M., Everts, F. H., Kooijman, A. M., Leek, S. T., Nijssen, M., & De Vries, N. P. J. (2012). *Ecologische effecten van zandsuppletie op de duinen langs de Nederlandse kust*. https://www.natuurkennis.nl/Uploaded_files/Publicaties/obn166-dk-ecologische-effecten-van-zandsuppletie-op-de-duinen-langs-de-nederlandse-kust.6ada78.pdf
- Arens, S. M., Puijvelde, S. P. van, & Brière, C. (2010). *Effecten van suppleties op duinontwikkeling : rapportage geomorfologie*. 216. <http://edepot.wur.nl/165181>
- Arens, S. M., Smit, C. W., Bruin, C. J. W., & Jungerius, P. D. (2003). *Dynamisch zeereepbeheer op Texel experiment Paal 14 evaluatie 1998-2003*. 77.
- Arens, S. M., & Syuyfzand, P. J. (2015). *Effecten van meteorologische condities, het kerven en kaalscheren van de zeereepzone op de samenstelling van regenwater, bodemvocht en grondwater in de Kennemerduinen*. <https://edepot.wur.nl/373897>
- Bagnold, R. A. (1954). *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes* - R. A. Bagnold - Google Boeken (Dover edit). London: Methuen. https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=TTJw5_7aNVcC&oi=fnd&pg=PP1&dq=The+physics+of+blown+sand+and+desert+dunes&ots=JB5lh6OA3I&sig=9duNko3WIYog5LqTxson2HfNZbE#v=onepage&q=removal&f=false
- Bagnold, R. A. (1973). *The nature of saltation and of 'bed-load' transport in water*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rspa.1973.0038>
- Davidson-Arnott, R. G. D., Yang, Y., Ollerhead, J., Hesp, P. A., & Walker, I. J. (2008). The effects of surface moisture on aeolian sediment transport threshold and mass flux on a beach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(1), 55–74. <https://doi.org/10.1002/esp.1527>
- Delgado-Fernandez, I., & Davidson-Arnott, R. (2009). Sediment Input to Foredunes Description and Frequency of Transport Events at Greenwich Dunes, PEI, Canada. *Journal of Coastal Research*, 1(January), 302–306. <http://www.jstor.org/stable/25737586>
- Deman, M. (2019). *Ontwerp van een eenvoudige meetmethode voor windgedreven zandtransport*. <https://www.kuleuven.be/campussen/campus-brugge/bestanden/masterproeven/bouwkunde/mp-b3040t-u0099514-0588840-deman-michiel-55383849.pdf>
- Hesp, P. A. (1989). A review of biological and geomorphological processes involved in the initiation and development of incipient foredunes. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Section B. Biological Sciences*, 96(May), 181–201. <https://doi.org/10.1017/s0269727000010927>
- Hessel, R., Stolte, J., & Riksen, M. (2011). *Huidige maatregelen tegen water-en winderosie in Nederland*. 50. <https://edepot.wur.nl/164250%0Awww.alterra.wur.nl>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2021). *KNMI - Klimaatdata en Advies - Potentiële wind - Download*. http://projects.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele_wind/
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2021). *KNMI - Dagwaarden neerslagstations*. <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reksen>
- Maatkamp, T. (2014). *Meetmethodiek eolisch zandtransport : Bachelor thesis Meetmethodiek eolisch zandtransport : Het meten van overstuiving over de zeereep*. 65.

- Puystjens, G., & Weymeis, M. (2012). *Eolisch zandtransport : terreinmetingen t . b . v . kalibratie*. <https://docplayer.nl/17137978-Eolisch-zandtransport-terreinmetingen-t-b-v-kalibratie-van-een-multispectraalcamera.html>
- Ridder, M. de, & Boers, M. (2020). *Duinveiligheidsberekeningen Springertduinen*.
- Riksen, M., & Goossens, D. (2004). *Wind Erosion and Dust Dynamics: Observations, Simulations, Modelling* (Issue May 2014). ESW Publications.
- Riksen, M. J. P. M., & Goossens, D. (2007). The role of wind and splash erosion in inland drift-sand areas in the Netherlands. *Geomorphology*, 88(1–2), 179–192. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.11.002>
- Spaan, W. P., & van den Abeele, G. D. (1991). Wind borne particle measurements with acoustic sensors. *Soil Technology*, 4(1), 51–63. [https://doi.org/10.1016/0933-3630\(91\)90039-P](https://doi.org/10.1016/0933-3630(91)90039-P)
- Strypsteen, G. (2016). *GUIDANCE COMMITTEE CREST Eolisch zandtransport-Eerste resultaten*. [http://www.crestproject.be/sites/crestproject.be/files/public/ppt/Crest 02/20160921_CRESCENT_BIJLAGE4_EolischZandtransport.pdf](http://www.crestproject.be/sites/crestproject.be/files/public/ppt/Crest%2020160921_CRESCENT_BIJLAGE4_EolischZandtransport.pdf)
- Van der Wal. (1999). *OF NOURISHMENT SAND IN BEACH-DUNE ENVIRONMENTS* Daphne van der Wal. 165.
- Vertegaal, C. T. M., Arens, S. M., & Reitsma, J. M. (2016). *Monitoring Pilot Zandmotor, onderdeel duinen*. <http://docplayer.nl/55392857-Monitoring-pilot-zandmotor-onderdeel-duinen-eindevaluatie-hoofdrapport.html>
- Woorden.org. (2020). *kerf Nederlands woordenboek - Woorden.org*. <https://www.woorden.org/woord/kerf>

Bijlagen

Bijlage 1: Samenvatting informatie zandvangers en hun toepasbaarheid.

In deze bijlage is er samenvatting gemaakt van beschikbare informatie over zandvangers. Hierin komen de verschillende type zandvangers aan en hun toepasbaarheid om zand te kunnen vangen in het algemeen en specifiek in het onderzoeksgebied Springertduinen aan de orde. In het overzicht zijn er vier soorten zandvangers die het meest gebruikt worden meegenomen. Deze zijn de PVC-zandvanger (Leatherman trap), “Knikkerbakken”, Saltifoon en Modified Wilson and Cooke (MWAC).

Type Zandvangers.

Zandvangers zijn onder te verdelen in drie hoofdcategorieën: sensorische, verticale en horizontale zandvangers. (Deman, 2019; Maatkamp, 2014)

De eerste categorie: sensorische zandvangers zijn zandvangers die niet zozeer in staat zijn om een exacte hoeveelheid getransporteerd zand te meten maar zijn goed in staat om in tijdens korte periode te meten wanneer zandtransport plaats vindt. Dit is vooral omdat er de sensoren nog niet vergenoeg zijn ontwikkeld om een precieze meting te doen met betrekking tot hoeveelheid zand. Doordat er gelijk data binnen komt kan er wel een duidelijker beeld ontstaan over of er op dat moment transport plaats vindt. Dit transport kan dan gelijk gekoppeld worden aan de weersomstandigheden op dat moment in het onderzocht gebied om een preciezer conclusie te geven welke invloeden het weer op het transport heeft. De sensorische zandvangers kan worden gebruikt voor het meten van suspensie, saltatie en kruip.

De tweede categorie: verticale zandvangers zijn de zandvangers die worden gebruikt om het horizontale transport te meten. Deze soort zandvangers zijn voor het meten van suspensie en saltatie. Met vooral suspensie als hoofdtransport. PVC-zandvangers en de MWAC-zandvanger vallen hieronder.

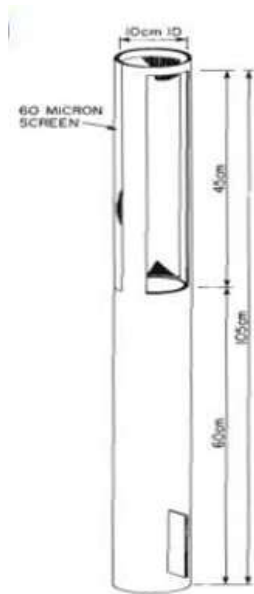
De derde categorie: horizontale zandvangers zijn zandvangers die gebruikt worden voor het meten van het verticale transport. Hij wordt dus gebruikt voor het meten van de depositie van het zand en meet dus vooral de kruip en de saltatie. Met vooral kruip als hoofdtransport. “Knikkerbak” valt hieronder.

PVC-zandvanger

De PVC-zandvanger (Figuur 2) is een verticale zandvanger. De PVC-zandvangers die worden aangeraden door Bas Arens zijn gebaseerd op de Leatherman trap (Figuur 2). Deze Leatherman trap is uitgerust met een sleuf die 45 cm hoog is en 40 mm breed aan de voorkant en aan de achterkant met een gat voor de luchtstroom zo weinig mogelijk te beïnvloeden. Dit gat aan de achterkant is afgedekt met gaas dat een maaswijdte van 60 μm heeft. (S. M. Arens et al., 2012; Deman, 2019)

De PVC-zandvanger is daarentegen gemaakt uit een Pvc-buis die aan de bovenkant een door de helft is gesneden. En heeft gaten in de andere helft van de Pvc-buis om de luchtstroom niet te beïnvloeden. Om het zand op te vangen is er onderaan een opvangreservoir die te legen is door onderaan de deksel van de buis te draaien. De zandvanger wordt aan een paal op locatie geplaatst.

Door dat de opening van de zandvanger over een lengte van 1m zich boven de grond bevindt wordt met deze zandvanger vooral suspensie opgevangen.



Figuur 16 Tekening Leatherman trap zandvanger



Figuur 17 PVC-zandvanger

De PVC-zandvanger is toepasbaar in korte tot meerjarige monitoring (S. M. Arens et al., 2012; Vertegaal et al., 2016). Door het gebruikte materiaal zijn de zandvangers onderhoudsarm en zullen niet snel stuk gaan. De zandvanger moet alleen in regelmatig worden geleegd. Hoe vaak de zandvanger moet worden geleegd ligt aan hoe precies je de metingen wilt uitvoeren.

Onderzoeksmethode knikkerbak

Onderzoeksmethode knikkerbak wordt ook wel Marble Dust Collector (MDCO) (Maatkamp, 2014) genoemd, en is een horizontale zandvanger.

De MDCO is opgebouwd uit een plasticbak met de afmetingen 52,5 cm lang, 31,5 cm breed en een hoogte van 10cm. Op deze bak zit een filter. Deze filter is samengesteld uit een zeef (0,5 cm) en daarboven op twee lagen knikkers (ø1,5 cm). Deze knikkers zorgen ervoor dat het gevallen zand in de bak niet meer uit de zandvanger verdwijnt (M. Riksen & Goossens, 2004)



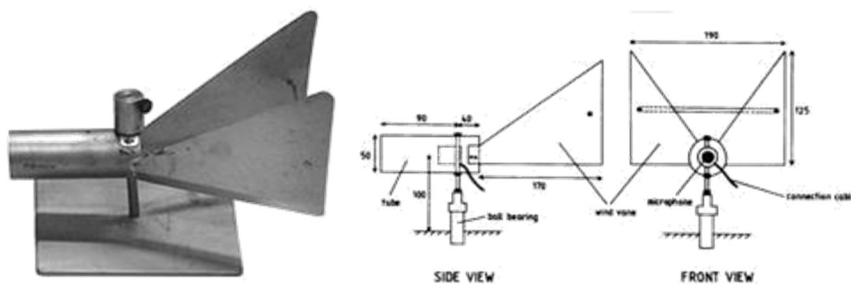
Figuur 18 MDCO (knikkerbak)

De MDCO/knikkerbak is als horizontale zandvanger is toepasbaar in het opvangen van saltatie en kruip. Wel moet de zandvanger regelmatig worden geleegd om voor te zorgen dat hoeveelheden zand niet te veel worden voor het opvangreservoir. Dit kan snel plaats vinden na bijvoorbeeld een storm.

De knikkerbak wordt dus vooral gebruikt om het meten van stof ($< 63 \mu\text{m}$) in woestijngebieden (Deman, 2019). Dit omdat de opvangbak en de zeef deze korrelgrote die in de woestijn veel voorkomt beter aan kan. De knikkerbak wordt hierbij gebruikt om depositie en accumulatie zichtbaar te maken. Deze opvang methode kan langere tijd gebruikt worden maar moet regelmatig geleegd worden. Sneller dan een pvc-zandvanger.

Saltifoon

Saltifoon (Deman, 2019; Maatkamp, 2014; Spaan & van den Abeele, 1991) is een akoestische sensor die impacts van eolisch zandtransport meet. Deze impacts worden gemeten door een microfoon. Deze microfoon is in het midden van een stalen buis geplaatst van 130mm lang en een diameter van 10mm om de microfoon van weersinvloeden te beschermen. Om te zorgen dat de saltifoon altijd de goeie windrichting opstaat is de achterzijde van de buis verbonden met 2 windvanen. De saltifoon is door een stalenbuis in de grond verzekerd. Door de saltifoon op verschillende hoogstens te plaatsen kan het verschillende soorten transport meten.



Figuur 19 Saltifoon

Bij optreden van eolisch transport komt de zandkorrel in contact met de microfoon die dan een frequentie op geeft. Deze signaal wordt dan versterkt en gefilterd. Dit wordt gedaan om de lage frequenties (regen en wind) uit het signaal te filter en alleen de hoge frequenties (zandkorrels) te verwerken.

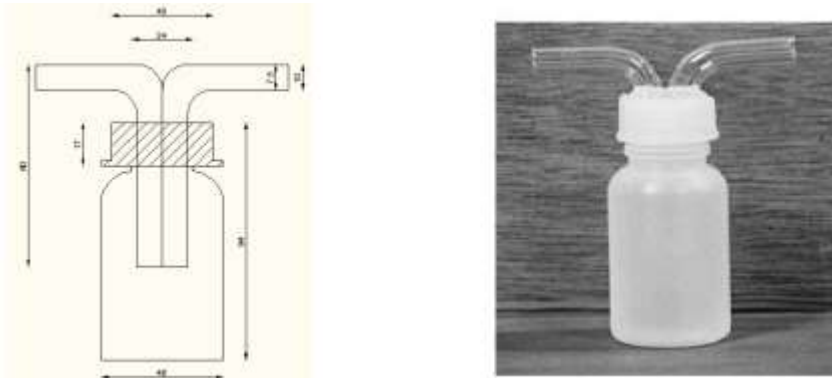
De saltifoon kan twee signalen doorgeven naar de datalogger. Een digitaal die alleen de intensiteit doorgeeft en een analoog signaal die de intensiteit meet en de kinetische energie van de inslaande zandkorrel.

Een saltifoon wordt vooral beperkt door hoe goed de microfoon de inslaande zandkorrels kan registreren. En het omzetten van de gemeten intensiteit naar hoeveelheid getransporteerd zand. Dit doordat signaal van de zandvanger moeilijk om te zetten is naar massa.

Wel zijn saltifoons geschikt voor het in kaart brengen van verschillende variabelen die invloed hebben op het eolische zandtransport (Van der Wal, 1999). Dit doordat saltifoon de transportintensiteit op een korte tijdschalen binnen krijgt en hierdoor precieze koppelingen kan leggen met de verschillende variabelen.

Modified Wilson and Cooke (MWAC)

MWAC-zandvanger is een door S.J. Wilson en R.U. Cooke ontworpen zandvanger in 1980.(Deman, 2019)



Figuur 20 MWAC-zandvanger

De zandvanger bestaat uit een plasticfles die als opvangreservoir dient, waaraan twee buisjes zijn bevestigd. Deze buisjes worden door windvanen gedraaid zodat altijd een van de buisjes richting de wind staat. De wind komt dan met het zand door het buisje terecht in de fles. Door het wegvallen de druk valt het zand en gaat de wind verder door het andere buisje.

Door meerdere MWAC's te plaatsen kort boven elkaar kan er precies gekeken worden op welke hoogte welke zandkorrel grote wordt transporteert en welke hoeveelheid.

Sterke punten bekeken type zandvangers samengevat en weergegeven in onderstaande tabel.

Type zandvanger	Sterkte punten											
Saltifoon	-	-	+	-	-	+	+	+	+	-		-
MDCO	+	+	±	+	+	-	-	±	+	±		+
MWAC	±	+	±	±	+	+	+	+	+	+		-
PVC	+	+	±	+	+	+	+	±	-	+		+
Monitoring over langere periode (jaren)												
Monitoring over korte periode (weken/maanden)												
Monitoring over zeer korte periode (uren/dagen)												
Bruikbaar in alle weersomstandigheden												
Bruikbaar zonder constante monitoring door personeel												
Makkelijk te plaatsen												
Suspensie meetbaar												
Saliniteit meetbaar												
Kruip meetbaar												
Relatief goedkoop												
Digitale/Handmatige gegevens verwerking												
Degelijkheid constructie												

Tabel 13 Overzichtstabel sterke punten van de zandvangers

Bijlage 2: Kaart Springertduinen met zandvangers

Door verandering van grote van de kaart voor het verwerken van de kaart in Word is de schaallijn enige manier om schaal goed te meten. De schaal vernoemt in het titelblok klopt niet meer.



Bijlage 3: Knipsel uit Excel van de berekening zandtransport

									z ₀	0,0002	C	2,78	expositie:	leeg of 0 betekent geen rekening houden met expositie				
									rho	1,22	U _t	0,22		# wind direction classes:	12			
									g	9,81	sum Q	374391,13	kg/m	# width wind speed classes:	1	(m/s)		
									von Karman	0,41	bulk density	1600	m ³ /m ³					
									z	38,30	sum Q	233,99	m ³ /m					
DATE	DD (gr)	U10 (m/s)	DATE	TIME	DD	QDD	UP	QUP	U _t	q (kawamura)	cos(winddir)	q_dir	maand Q	dag Q	Wrange	Urange		
01/01/20 01:00	140	5,9	20200101	1	140	0	59	0	0,20	0	1,00	0	36023,76351	6,423558	6	6		
01/01/20 02:00	150	5,9	20200101	2	150	0	59	6	0,20	0	1,00	0			6	6		
01/01/20 03:00	160	6,9	20200101	3	160	0	69	0	0,23	3,211779078	1,00	3,211779078			6	7		
01/01/20 04:00	150	5,9	20200101	4	150	0	59	0	0,20	0	1,00	0			6	6		
01/01/20 05:00	150	5,9	20200101	5	150	0	59	0	0,20	0	1,00	0			6	6		
01/01/20 06:00	160	4,9	20200101	6	160	0	49	0	0,17	0	1,00	0			6	5		
01/01/20 07:00	170	4,9	20200101	7	170	0	49	0	0,17	0	1,00	0			7	5		
01/01/20 08:00	160	4,9	20200101	8	160	0	49	0	0,17	0	1,00	0			6	5		
01/01/20 09:00	170	4,9	20200101	9	170	0	49	0	0,17	0	1,00	0			7	5		
01/01/20 10:00	170	4,9	20200101	10	170	0	49	0	0,17	0	1,00	0			7	5		
01/01/20 11:00	180	4,9	20200101	11	180	0	49	0	0,17	0	1,00	0			7	5		
01/01/20 12:00	180	4,9	20200101	12	180	0	49	0	0,17	0	1,00	0			7	5		
01/01/20 13:00	170	4,9	20200101	13	170	0	49	0	0,17	0	1,00	0			7	5		
01/01/20 14:00	180	4,9	20200101	14	180	0	49	0	0,17	0	1,00	0			7	5		
01/01/20 15:00	190	4,9	20200101	15	190	0	49	0	0,17	0	1,00	0			7	5		
01/01/20 16:00	200	4,9	20200101	16	200	0	49	0	0,17	0	1,00	0			8	5		
01/01/20 17:00	200	5,9	20200101	17	200	0	59	0	0,20	0	1,00	0			8	6		
01/01/20 18:00	220	5,9	20200101	18	220	0	59	0	0,20	0	1,00	0			8	6		
01/01/20 19:00	200	5,9	20200101	19	200	0	59	0	0,20	0	1,00	0			8	6		
01/01/20 20:00	210	5,9	20200101	20	210	0	59	0	0,20	0	1,00	0			8	6		
01/01/20 21:00	220	5,9	20200101	21	220	0	59	0	0,20	0	1,00	0			8	6		
01/01/20 22:00	220	6,9	20200101	22	220	0	69	0	0,23	3,211779078	1,00	3,211779078			8	7		
01/01/20 23:00	230	5,9	20200101	23	230	0	59	0	0,20	0	1,00	0			9	6		
02/01/20 00:00	230	5,9	20200101	24	230	0	59	0	0,20	0	1,00	0			9	6		

Uitleg tabellen:

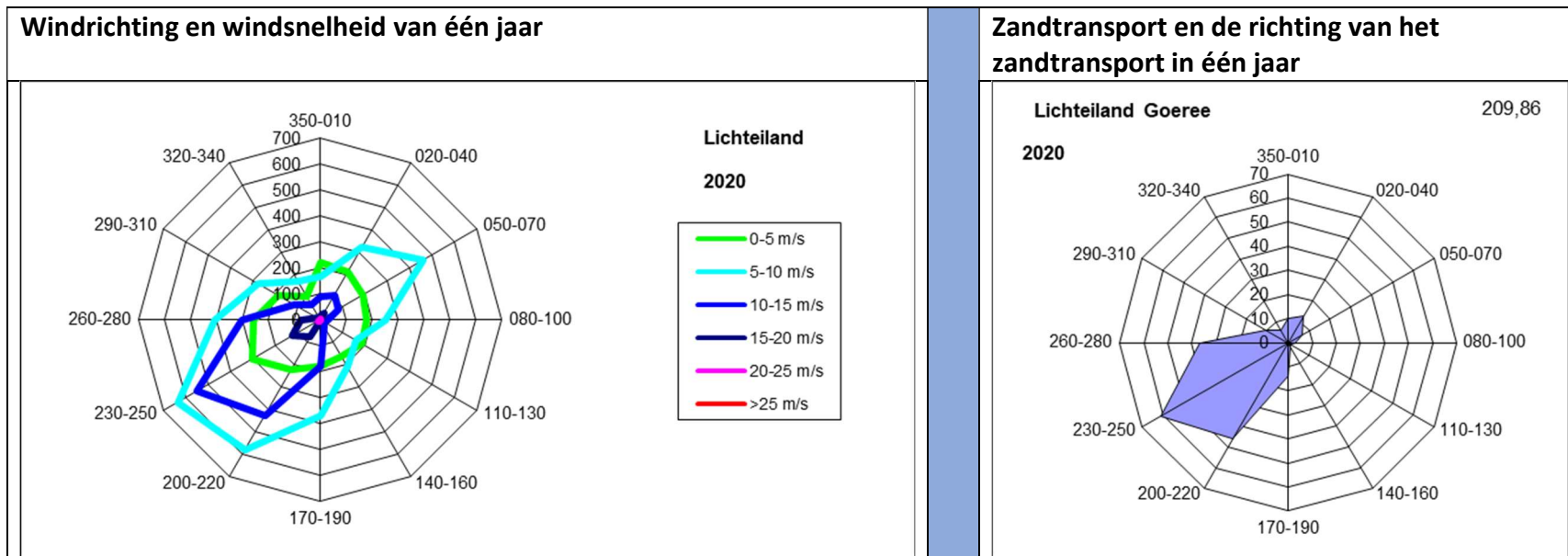
- De tabellen: Date (4^{de} tabel van links), Time, DD(windrichting), QDD(Quality code DD), UP(windsnelheid), QUP(Quality code UP) zijn verkregen van uit de gegevens van het weerstation Lichteiland Goeree (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2021)
- De tabellen: Date, DD (gr), U10 (m/s) zijn omgezet van de tabellen DD, UP, Date (4^{de} tabel van links)
- Voor de berekening van U_z is gebruik gemaakt van de formule: $U_z = \frac{U_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$
- Voor de berekening van q (kawamura) is gebruik gemaakt van de formule: $q = 3600 * C_k * \frac{\rho}{g} (U_* - U_{*t})(U_* + U_{*t})^2$, wel wordt er first gekeken of $U_* > U_{*t}$ want U_{*t} is de wrijvingssnelheid waarbij zand transport door de wind begint. Dus als U_* lager is, is er geen zandtransport
- Cos(winddir) is berekend door eerst te kijken of expositie groter is dan 0 (geen rekening met expositie gehouden dus hij voldoet). Daarna wordt hij berekend door $\cos((DD \text{ (gr) tabel} - \text{expositie})/360 * 2 * \pi())$
- q_{dir} is berekend door eerst te kijken of de tabel cos(winddir) groter is dan 0. Als dit is dan wordt q (kawamura) * cos(winddir) gedaan.
- De tabellen: Maand Q en Dag Q zijn de optelling van q_{dir} voor een maand en dag
- Wrange tabel wordt de DD (gr) omgezet in 12 windrichting classes: 350-010 graden is een class, 020-040 is de volgende class en zo verder.
- Urange tabel wordt U10 (m/s) tabel omgezet in class per 1 m/s windsnelheid. Dus als van 1 t/m 1,99 m/s windsnelheid wordt omgezet naar class 1
- q het berekende transport is.
- C_k een constante van 2,78 is.
- ρ de dichtheid van lucht 1,22 kg/m³.
- g de gravitatieversnelling 9,81 m/s²
- U_{*t} de wrijvingssnelheid waarbij zand transport door de wind begint, gesteld op 0,22 m/s. het geheel wordt daarna met 3600 vermenigvuldigd om een uurgemiddelde te krijgen.
- U_* de wrijvingssnelheid
- U_z de windsnelheid op de hoogte Z (38,3m)
- Z_0 ruwheidslengte 0,002m
- k von Karman met een waarde van 0,41
- Z hoogte waarop de windsnelheid is gemeten (38,3m)
- Bulk desity tabel is gewicht van zand (1600 m³/m³)
- Sum Q tabel is de opsomming van alle q_{dir} tabel

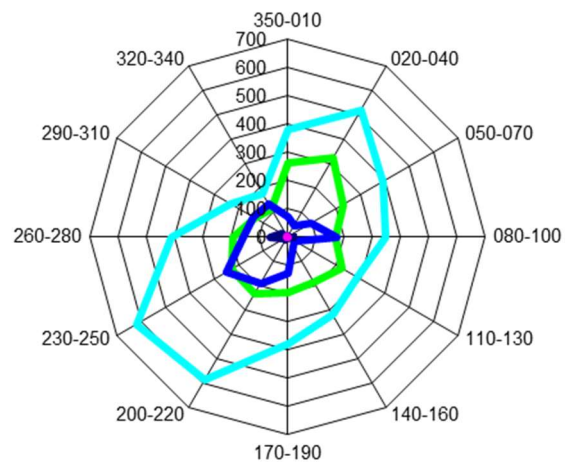
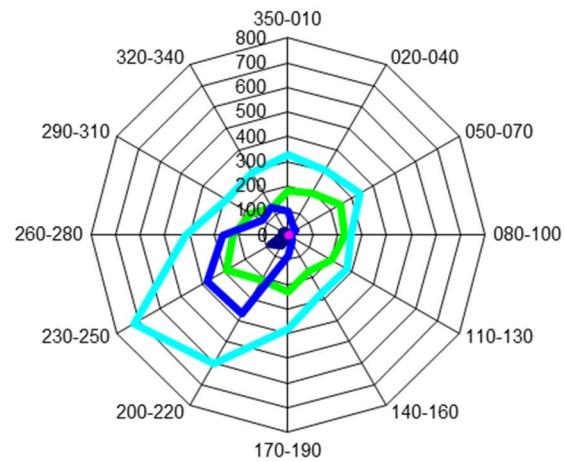
Bijlage 4: Spinnenwebdiagrammen wind en zandtransport 1997/2020

Theoretische invloed van de wind op de zandverplaatsing.

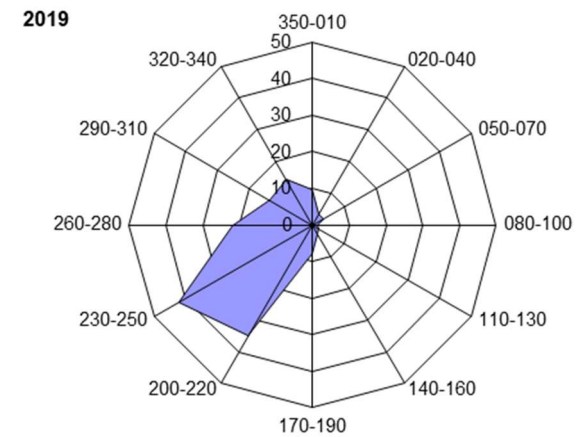
Om te kijken of deze aangroei ontstaat door de wind ben ik gaan kijken naar de windgegevens uit het gebied.

In linker tabel zijn de windgegevens verwerkt die waargenomen zijn op het Lichteiland Goeree. Dit is het dichtstbijzijnde officiële windstation. Met deze gegevens kun je de zandverplaatsing berekenen met de formule van Kawamura (bijlage 3). Als je de gegevens die verkregen zijn uit deze berekening weergeeft in een spinnenwebdiagram krijg je onderstaand beeld (rechter tabel). Hier zie je hoeveel zand er maximaal theoretisch verplaatst wordt met de wind en in welke richting.

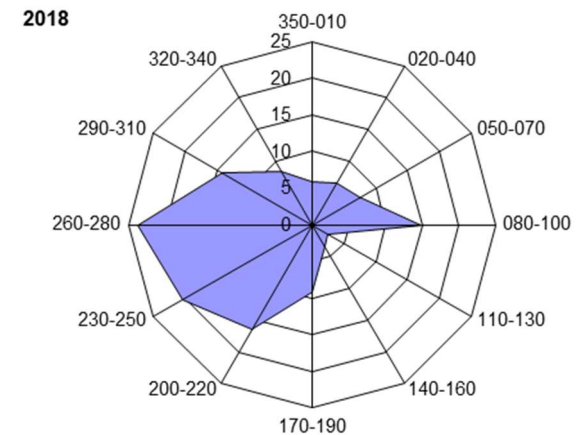


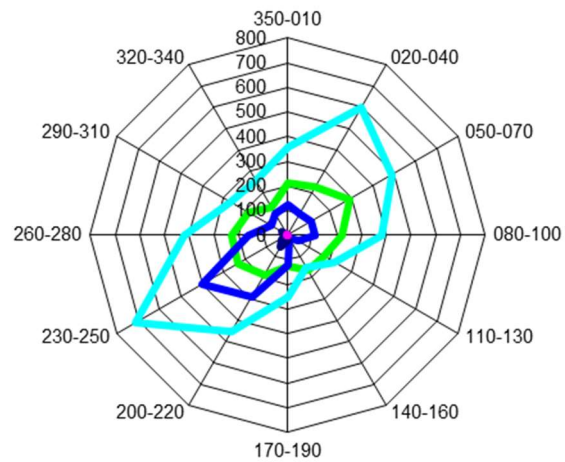


Lichteiland Goeree 157,5

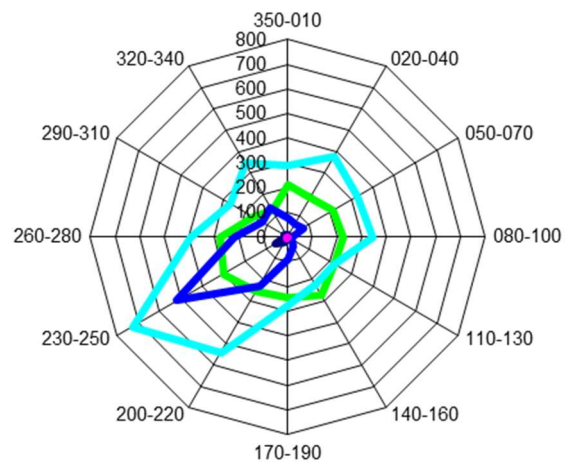
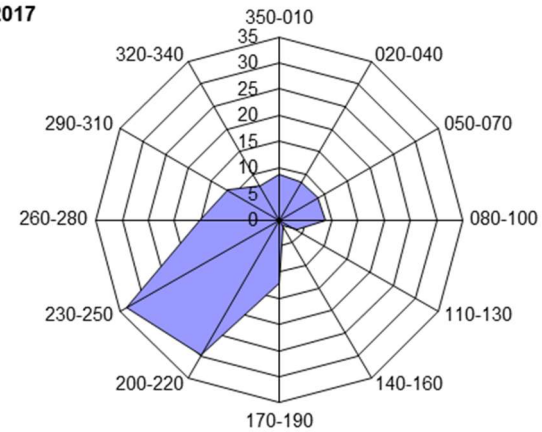


Lichteiland Goeree 132,7

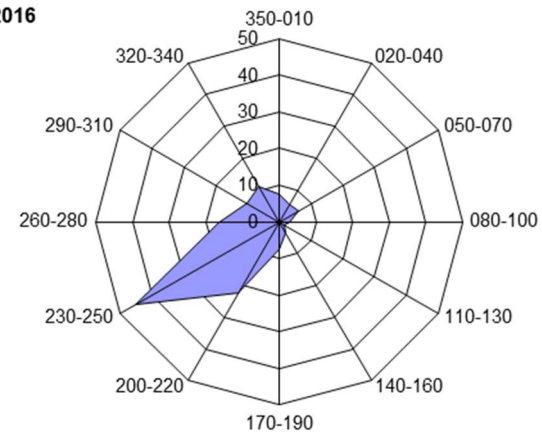


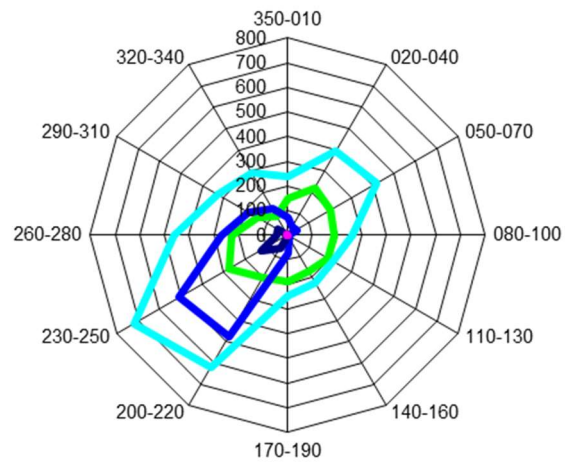


Lichteiland Goeree 149,1
2017



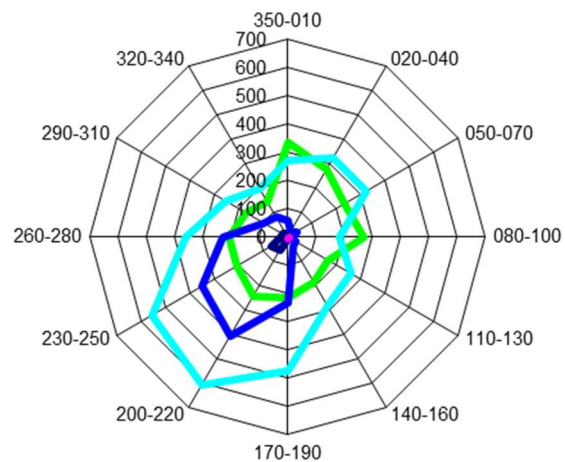
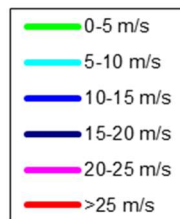
Lichteiland Goeree 139,82
2016





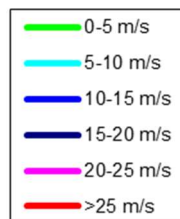
Lichteiland

2015



Lichteiland

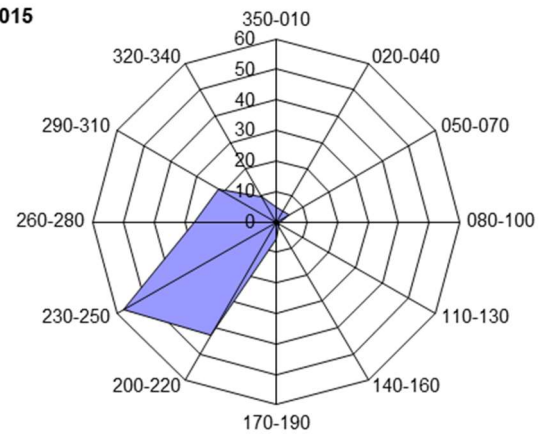
2014



Lichteiland Goeree

181,0

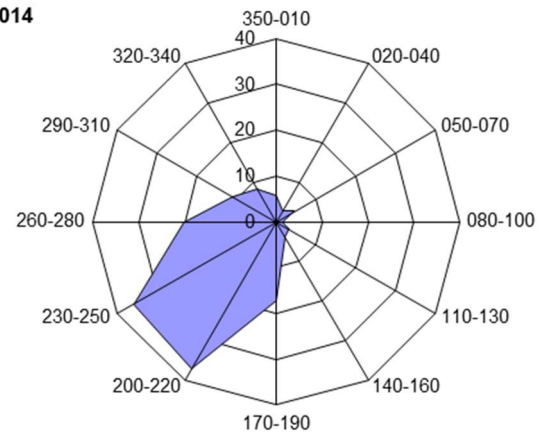
2015

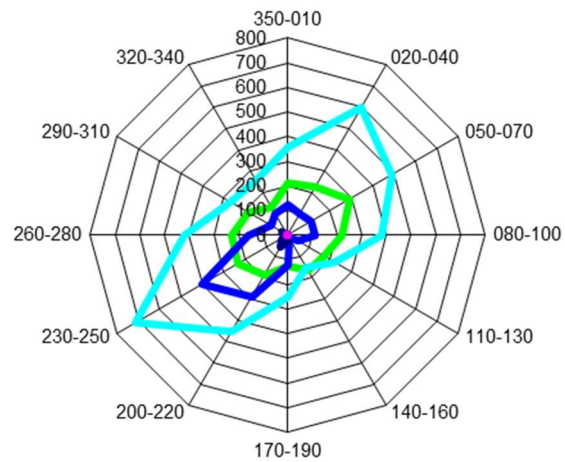


Lichteiland Goeree

151,0

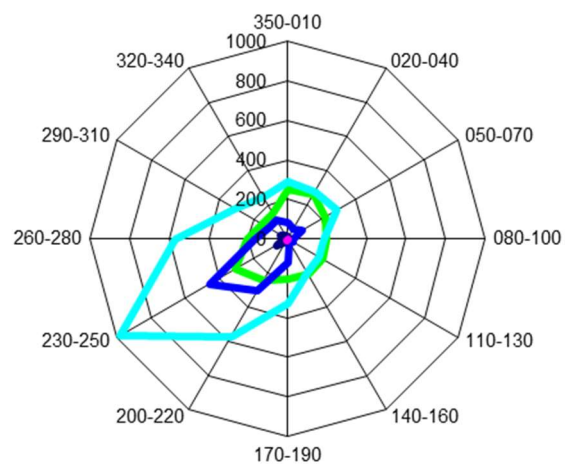
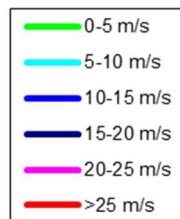
2014





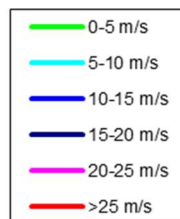
Lichteiland

2013



Lichteiland

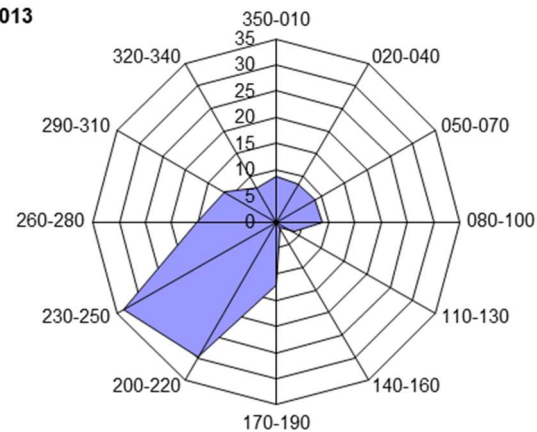
2012



Lichteiland Goeree

149,1

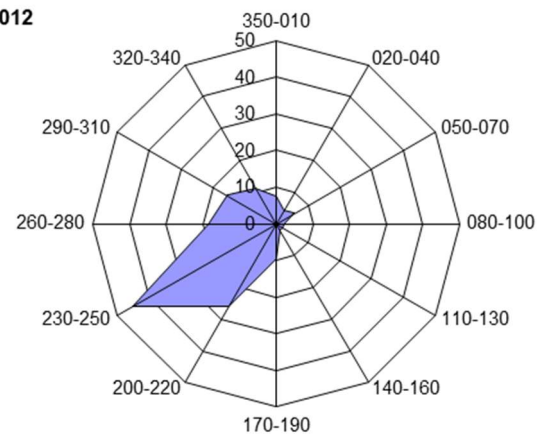
2013

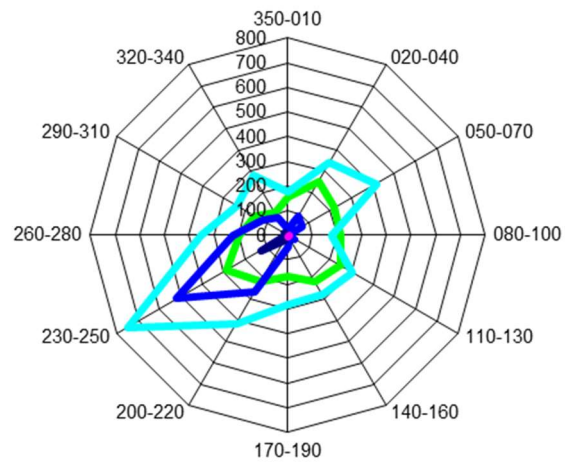


Lichteiland Goeree

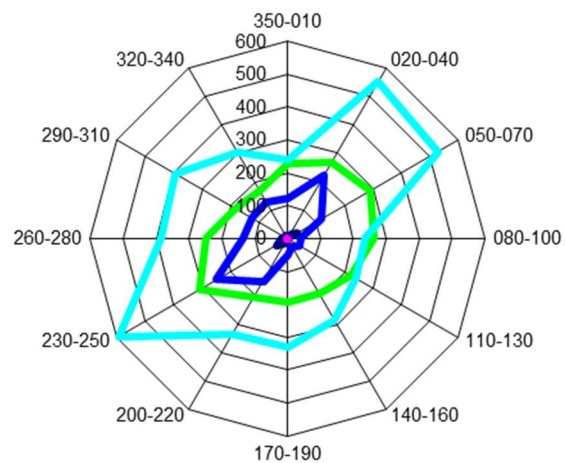
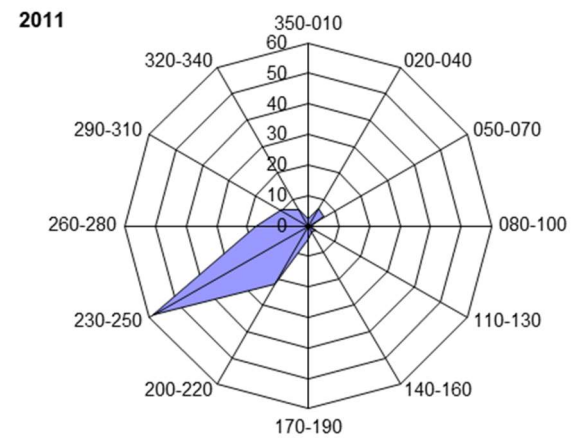
149,74

2012

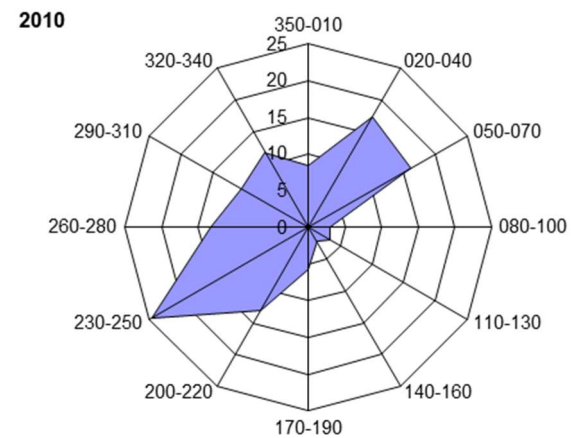


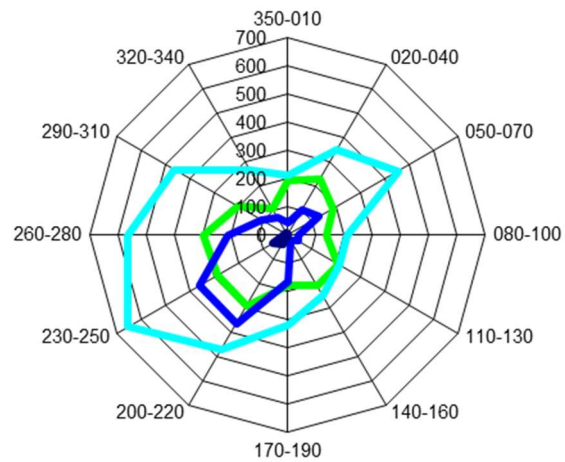


Lichteiland Goeree 138,9



Lichteiland Goeree 129,7

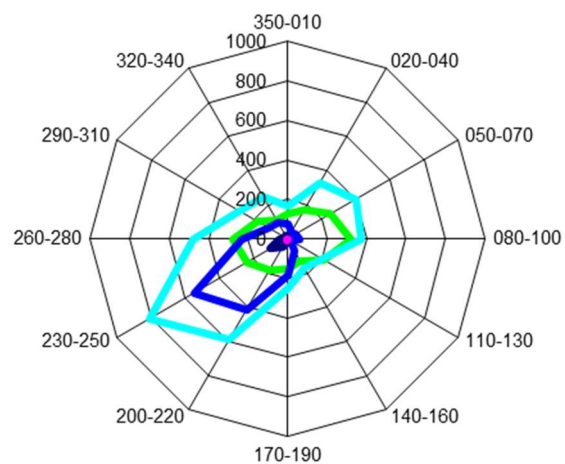
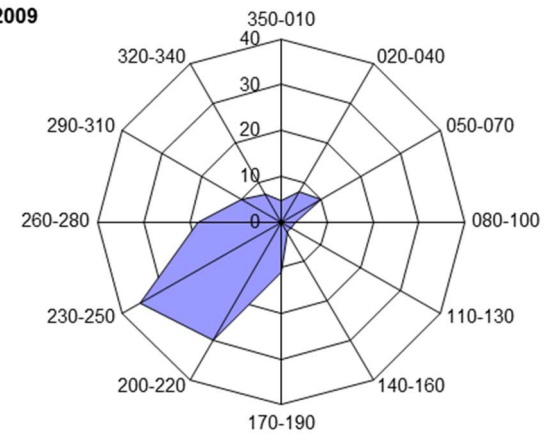




Lichteiland Goeree

141,8

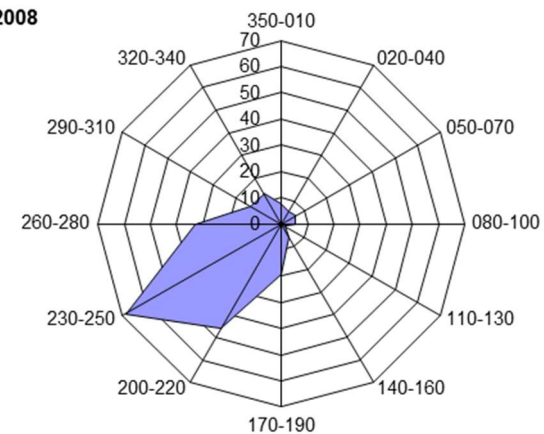
2009

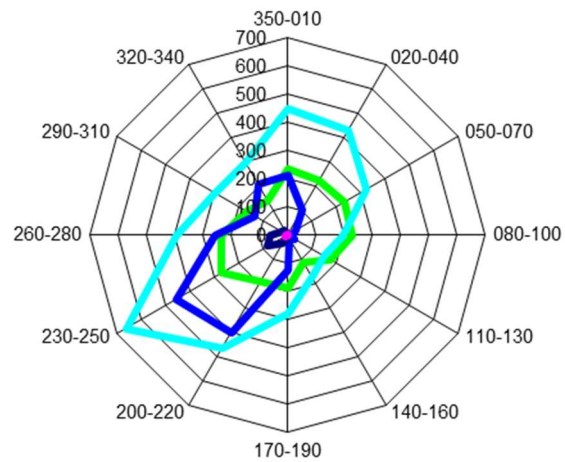


Lichteiland Goeree

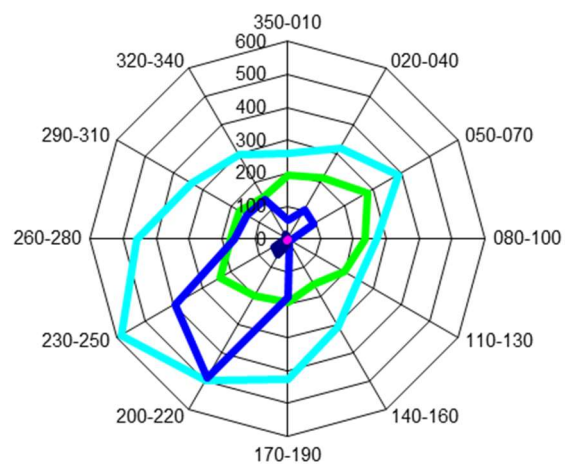
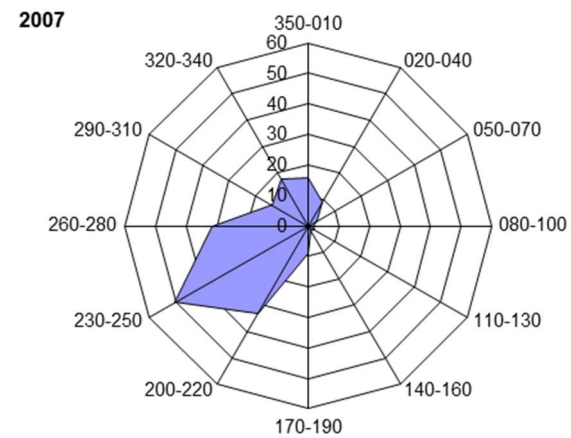
224,99

2008

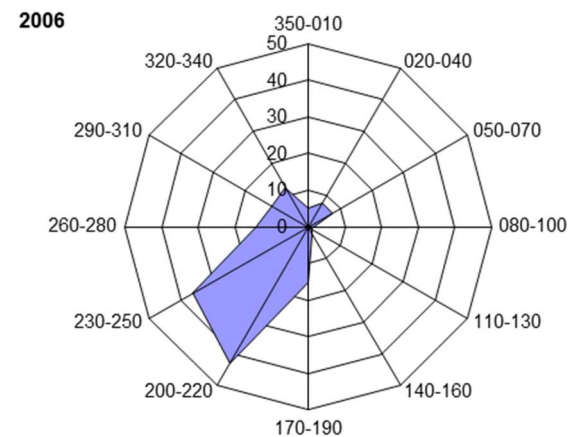


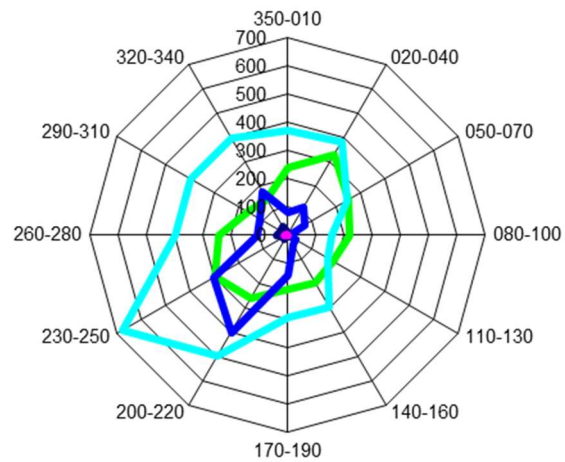


Lichteiland Goeree 188,3



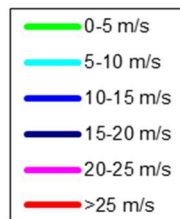
Lichteiland Goeree 157,4





Lichteiland Goeree

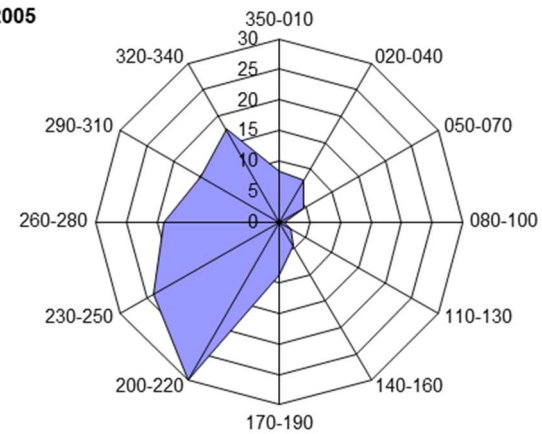
2005



Lichteiland Goeree

141,8

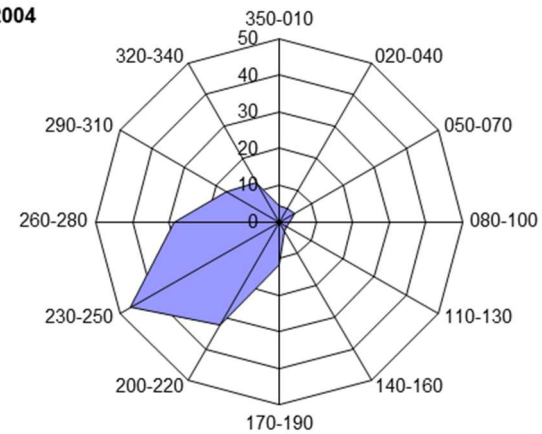
2005

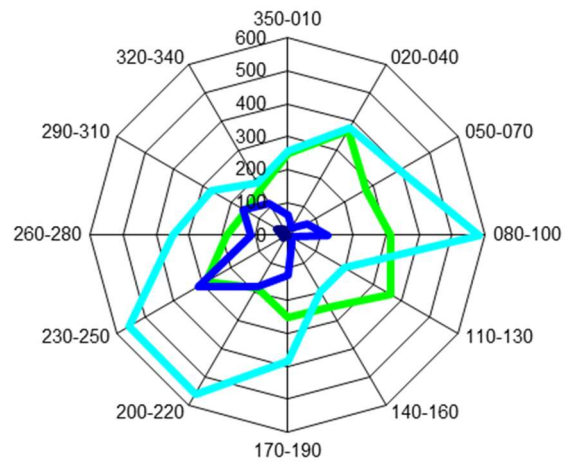


Lichteiland Goeree

170,02

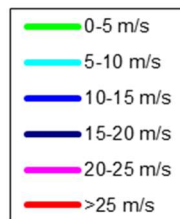
2004





Lichteiland Goeree

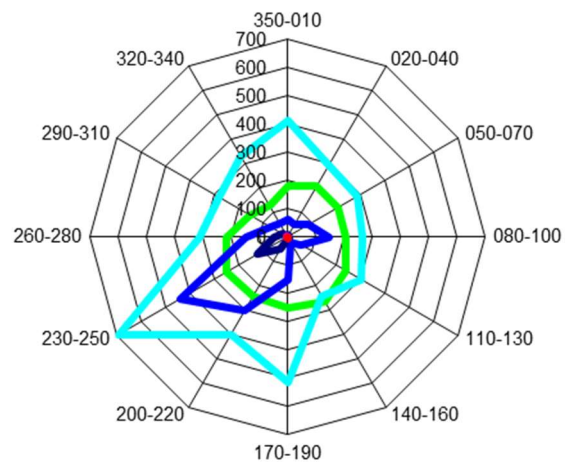
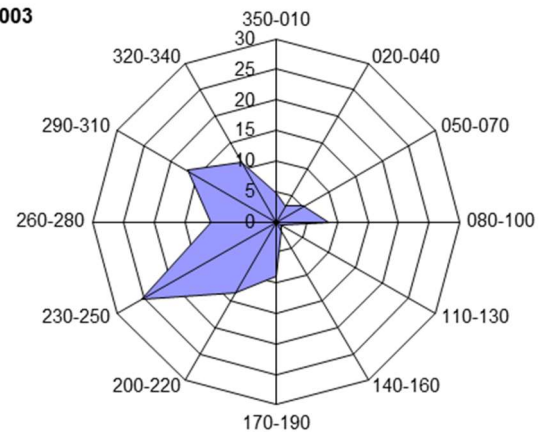
2003



Lichteiland Goeree

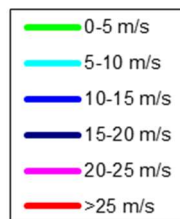
110,8

2003



Lichteiland Goeree

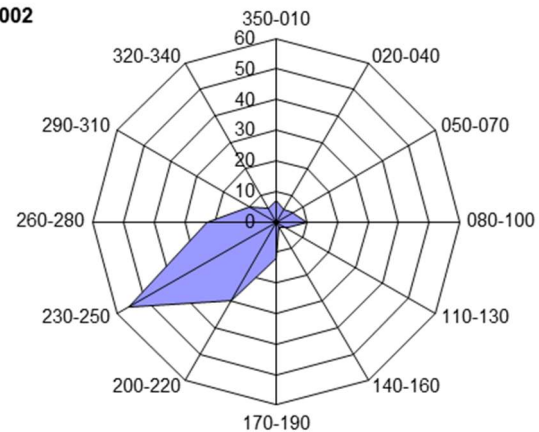
2002

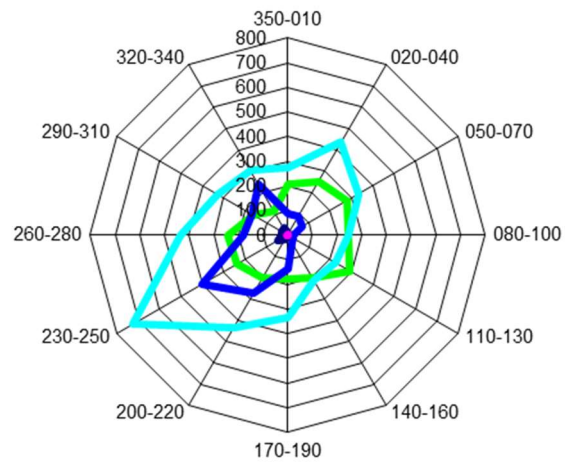


Lichteiland Goeree

168,8

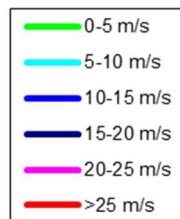
2002





Lichteiland Goeree

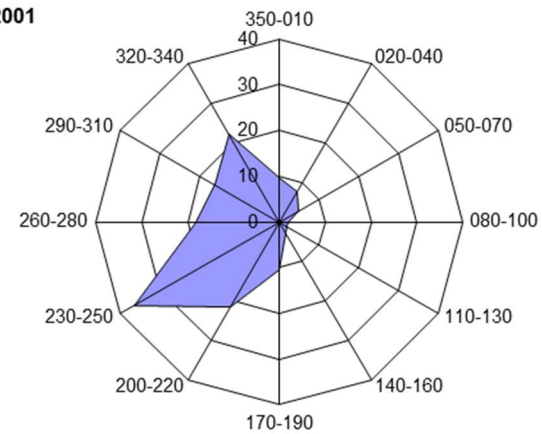
2001



Lichteiland Goeree

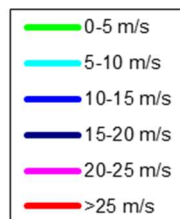
154,2

2001



Lichteiland

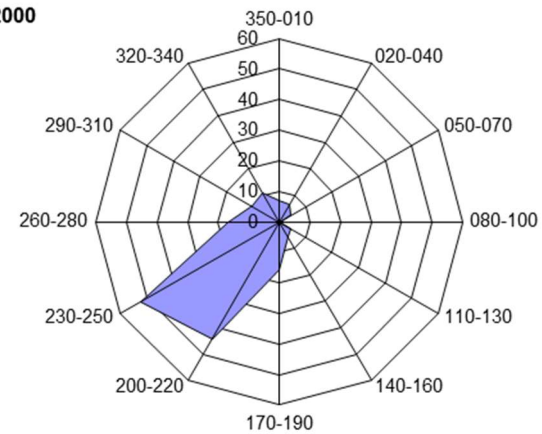
2000

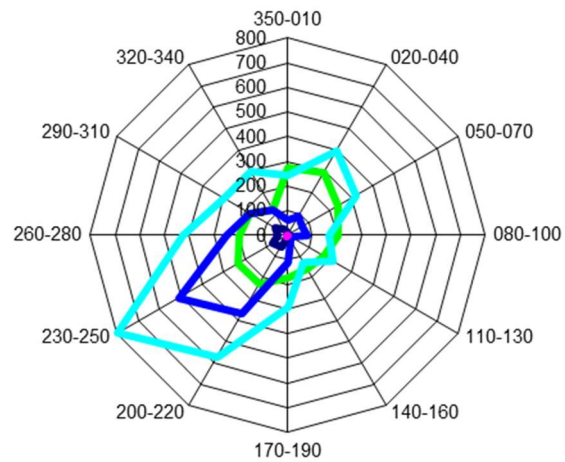


Lichteiland Goeree

178,48

2000

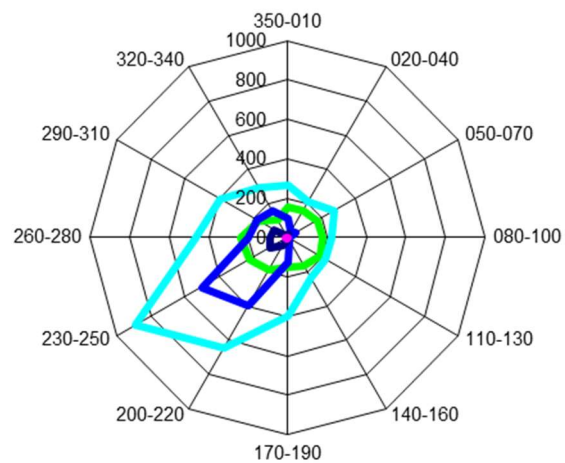
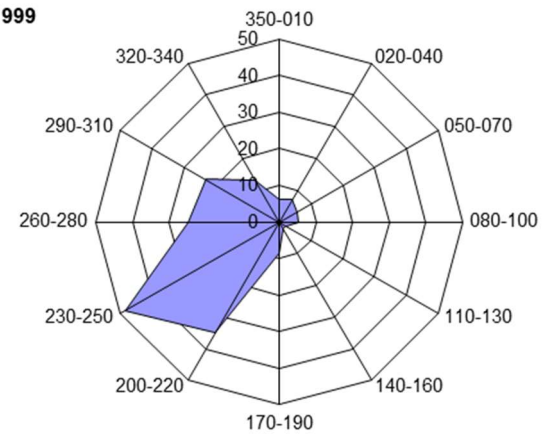




Lichteiland Goeree

181,5

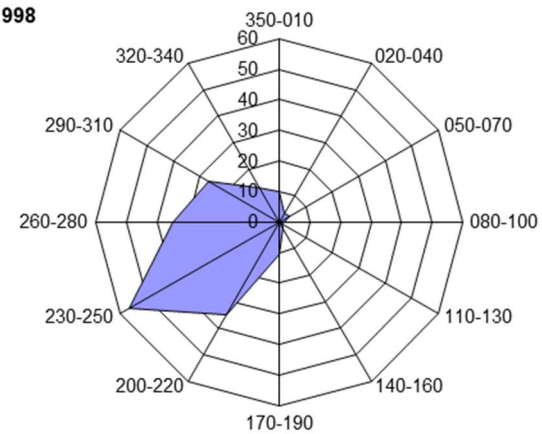
1999

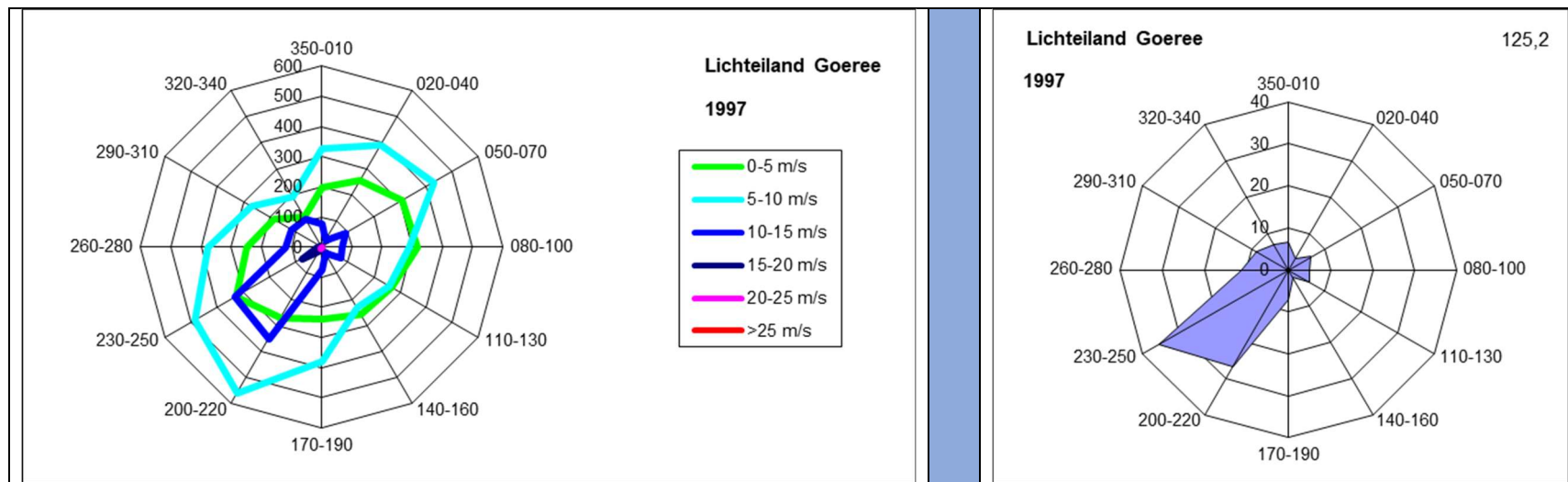


Lichteiland Goeree

198,9

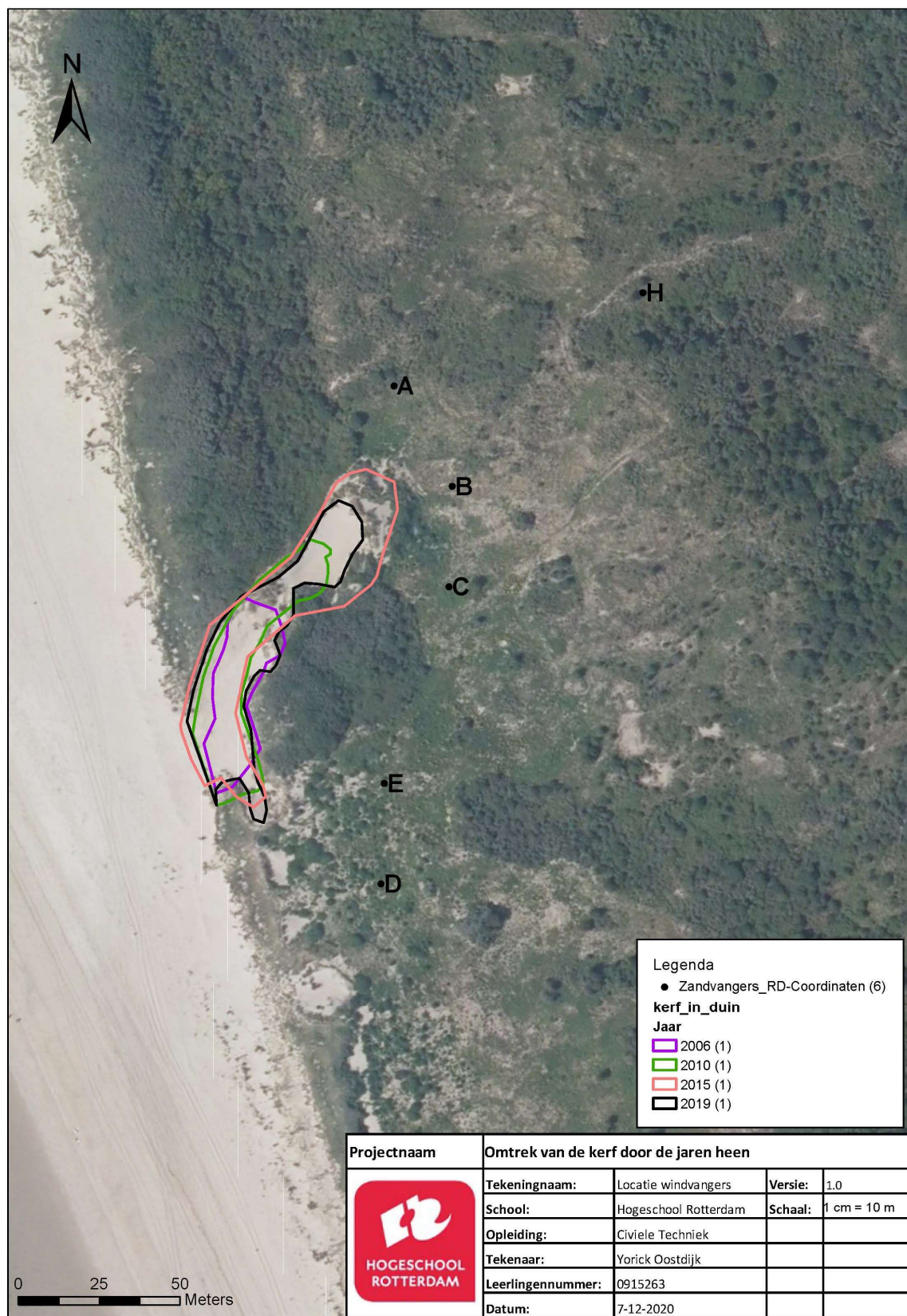
1998





Bijlage 5: Omtrek van de kerf door de jaren heen

Door verandering van grote van de kaart voor het verwerken van de kaart in Word is de schaallijn enige manier om schaal goed te meten. De schaal vernoemt in het titelblok klopt niet meer.



De volgende kaarten zijn gebruikt voor de omtrek te bepalen van de kerf in de jaren 2006,2010,2015.







Bijlage 6: Kaart meetvlakken zandopvang

Door verandering van grootte van de kaart voor het verwerken van de kaart in Word is de schaallijn enige manier om schaal goed te meten. De schaal vernoemt in het titelblok klopt niet meer.



Bijlage 7: Zand afname/aangroei in de meetgebieden achter de duinen

De meetgegevens in deze tabel zijn afkomstig van de JGoeree_min_hoogtekaarten, bijlage 8. Deze hoogtekaarten laten het verschil zien tussen de hoogtes in het gebied van 2 opeenvolgende jaren. De gebieden in deze tabel komen uit de kaart meetvlakken bijlage 6

Zand afname/aangroei in de meetgebieden achter de duinen (m3/m2)											
Locatie	Gebied	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019
Gebied achter kerf 1	1	-0,39778527290	0,13194879557	0,00000003338	-0,02990398276	0,02449387805	0,08568641572	0,06716948618	0,06716948618	-0,07482912859	0,07040187945
	2	-0,43192472852	0,12918542991	0,00000002960	-0,18788877410	0,03619338301	0,06796406600	0,08486571445	0,08486571445	-0,00152338113	0,09004811276
	3	-0,69732536769	0,24734163023	0,00000004561	0,02406030709	0,03950677605	0,05715421943	0,05364141742	0,05364141742	-0,18754257425	0,06770164030
	4	-0,38817498037	0,09987382243	0,00000004508	0,08759342787	0,02678277378	0,06593390759	-0,04549600809	-0,04549600809	-0,09433226444	0,06979532210
	5	-0,26084146864	0,04521558730	-0,00000000256	-0,02193889459	0,01852763741	0,03470013484	-0,00187582878	-0,00187582878	-0,05769118454	0,08842791431
	6	-0,24698566982	0,03589164524	-0,00000003359	0,00838004278	0,00589837126	0,04119438135	-0,01585187465	-0,01585187465	-0,05667949944	0,08798115925
	7	-0,64943181433	0,11013704533	0,00000004814	0,11736065364	0,02921163245	0,09039030907	-0,02612110802	-0,02612110802	-0,17125366005	0,08797797970
	8	-0,33126938489	0,07869959985	0,00000005387	-0,05163017206	0,02976001773	0,02796893412	-0,01623932516	-0,01623932516	-0,07301509394	0,07492197628
	9	-0,36422493291	0,06596396690	0,00000000442	0,01854732985	0,01176118201	0,04114426678	-0,00199453686	-0,00199453686	-0,08133574800	0,09646627071
Gebied achter kerf 2	10	-0,88709549250	0,28545424478	0,00000008382	-0,04809367581	0,11674533686	0,12122637342	0,10289847776	0,12463503519	-0,06633741289	0,19512254099
	11	-1,16182093611	0,28436646001	0,00000007440	0,07027730918	0,07290645477	0,10791628336	0,12463503519	0,06245804601	0,11920450616	0,12622575657
	12	-0,64314434866	0,15990409871	0,00000002030	-0,02699711279	0,03376982354	0,04227840103	0,06245804601	0,03478082684	0,07988858452	0,18151602659
	13	-0,76824257222	0,34596382260	0,00000001543	0,00812764621	0,12782730193	0,05647842444	0,09543204876	0,11415540576	-0,14164164288	0,13105652594
	14	-0,38198122708	0,24914315928	-0,00000000655	0,05374624142	0,10799015608	0,10403038521	0,03478082684	0,10289847776	0,02449977959	0,10532785926
	15	-0,79437484453	0,25934813515	-0,00000000435	0,00530059181	0,06345096811	0,09052365677	0,11415540576	0,09543204876	0,08564135284	0,07986739483
Nulmeet gebied	16	-0,87436955946	0,22896435164	-0,00000000625	-0,08679783556	0,04742161661	0,08329293826	-0,12547528119	-0,06956559244	-0,08937102890	0,03444382014
	17	-0,99823414088	0,22623572820	0,00000000235	-0,09697410903	0,07379410449	0,13410243606	-0,06956559244	-0,12547528119	-0,07216604996	0,02263998657
	18	-0,63415427581	0,09799185458	-0,00000001164	-0,06788107279	0,01062387902	0,05974339187	-0,12678332972	-0,09356138103	0,01991941730	0,03425594340
	19	-0,86808061441	0,14537798024	-0,00000001441	0,01212283291	0,03045316373	0,09323185909	-0,09356138103	-0,12678332972	-0,07621211079	0,05467530606
	20	-0,43550871164	0,12925810565	0,00000001811	-0,03008921726	0,00420044522	0,04938578978	-0,08697269006	-0,03111615707	-0,01533016023	0,04514546034
	21	-0,64405876157	0,10097067248	-0,00000000403	0,07157647812	-0,00140002468	0,08385573454	-0,03111615707	-0,08697269006	-0,14902291924	0,05346917937
	22	-0,54167479246	0,13693761423	-0,00000000849	0,04069789912	0,00109117841	0,09074328482	-0,04942129241	-0,04942129241	0,00732020229	0,03394626308
	23	-0,29836621974	0,10255358293	-0,00000000193	0,00425986681	-0,01281189637	0,07410797845	-0,07501036257	-0,07501036257	-0,05522436857	0,04473963485

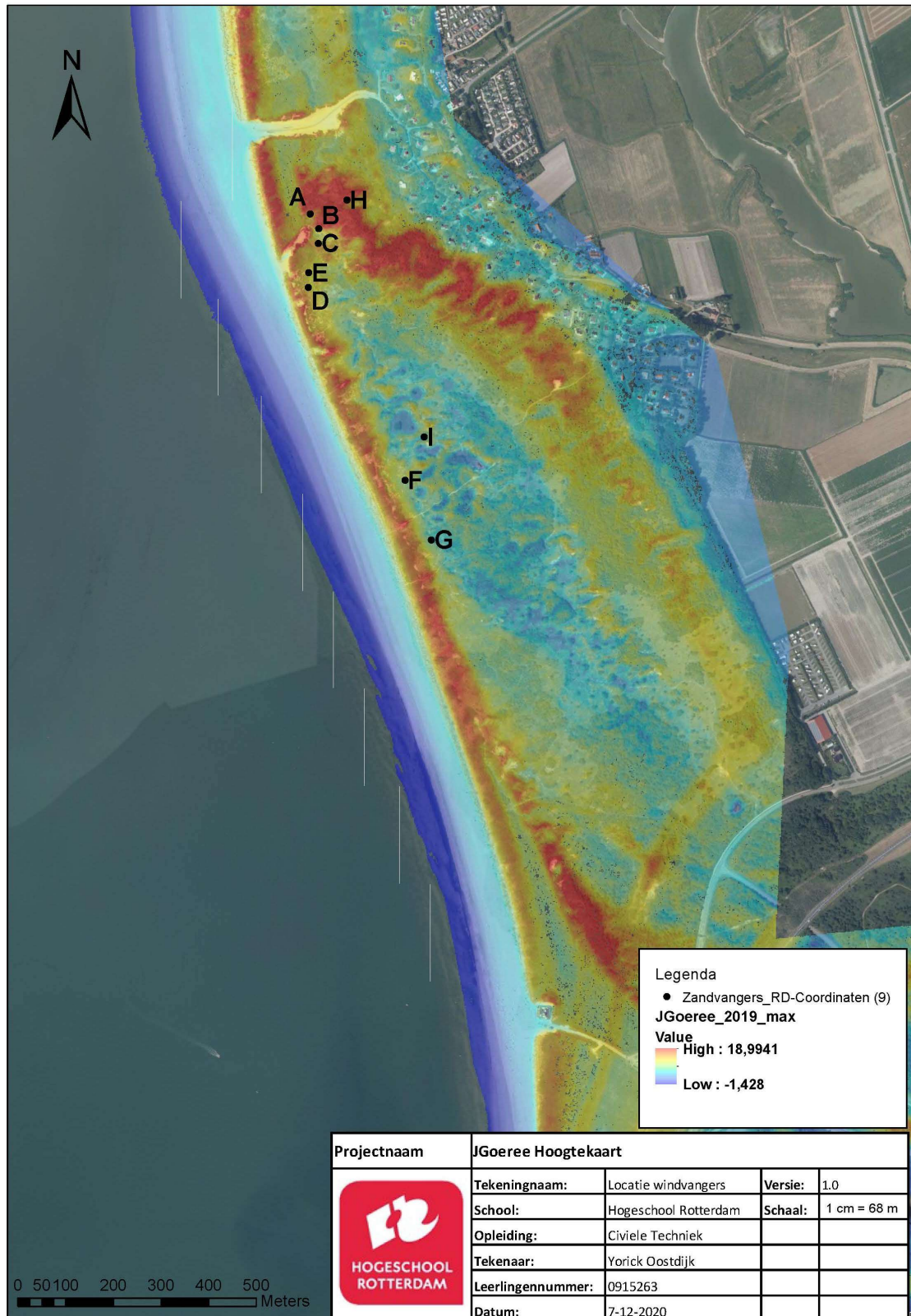
De meetgegevens uitvoorgaande tabel zijn in deze tabel gekoppeld aan elkaar om een overzicht te geven van de zand afname/aangroei over een langere periode. Om een duidelijker beeld te geven van de veranderingen door de jaren heen.

Zand afname/aangroei in de meetgebieden achter de duinen (m3/m2)				
Locatie	Gebied	2009/2014	2014/2019	2009/2019
Gebied achter kerf 1	1	-0,27124654866	0,21559813893	-0,05564840973
	2	-0,45443466010	0,32622022653	-0,12821443357
	3	-0,38641660871	0,04459612033	-0,34182048838
	4	-0,17392491122	-0,04959505094	-0,22351996216
	5	-0,21903714108	0,06168520705	-0,15735193403
	6	-0,19681564414	0,04079229187	-0,15602335227
	7	-0,39272243477	-0,04512758731	-0,43785002208
	8	-0,27443988551	-0,00260283385	-0,27704271936
	9	-0,26795244973	0,05228571577	-0,21566673396
Gebied achter kerf 2	10	-0,53298950285	0,47754501448	-0,05544448837
	11	-0,73427063775	0,54043962729	-0,19383101047
	12	-0,47646751891	0,40092188499	-0,07554563392
	13	-0,28632378606	0,25548076201	-0,03084302404
	14	0,02889832315	0,37153732866	0,40043565181
	15	-0,46627515381	0,46561985895	-0,00065529486
Nulmeet gebied	16	-0,68478143302	-0,16667514412	-0,85145657715
	17	-0,79517841486	-0,11046450096	-0,90564291582
	18	-0,59341962664	-0,10642595818	-0,69984558483
	19	-0,68012665194	-0,14864965640	-0,82877630833
	20	-0,33213935992	-0,03888775724	-0,37102711717
	21	-0,47291163968	-0,12978685245	-0,60269849214
	22	-0,36294810918	0,03316716538	-0,32978094380
	23	-0,20436466831	-0,08639748041	-0,29076214873

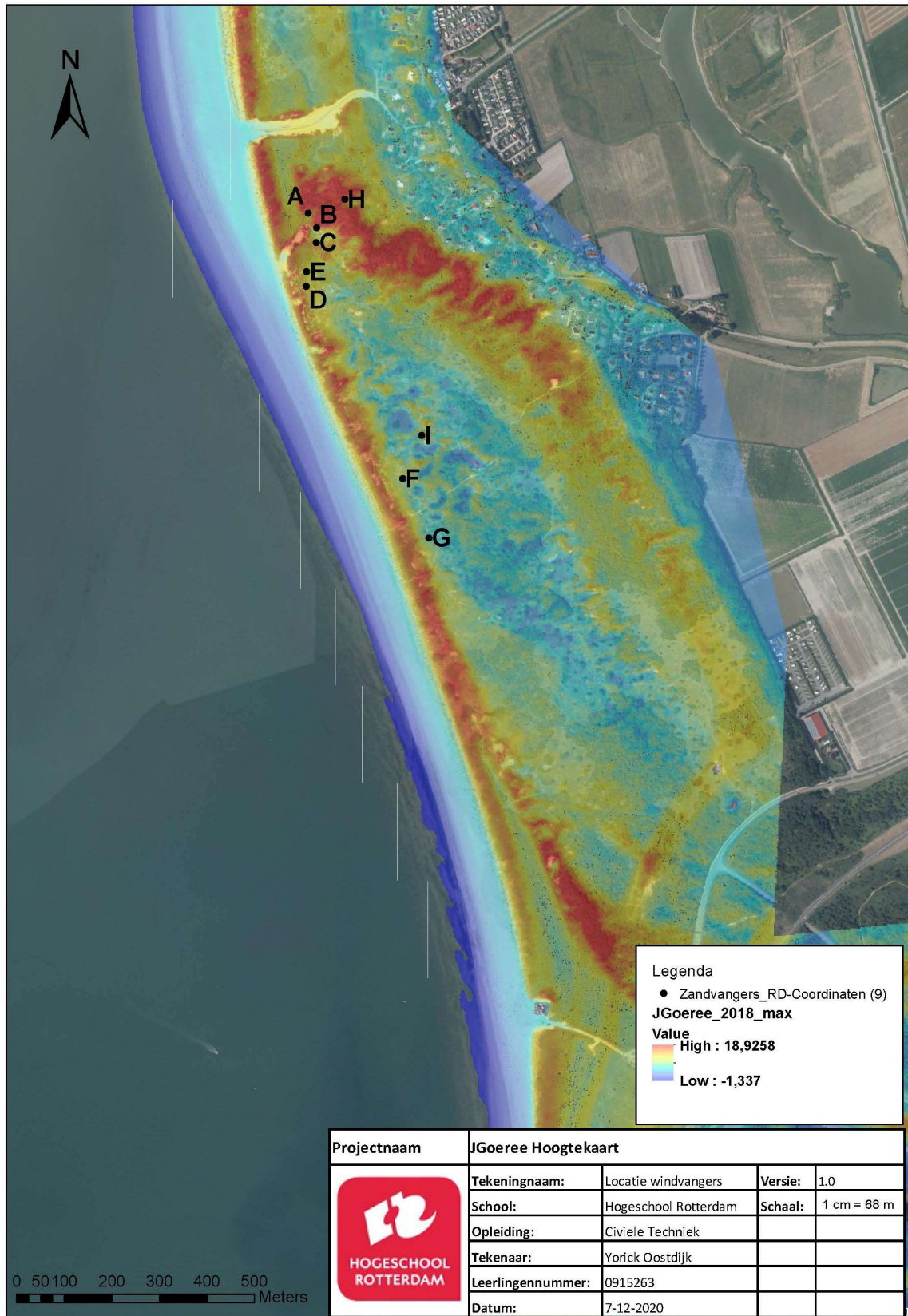
Bijlage 8: Hoogtekaarten Springertduinen 1997/2020

Door verandering van grote van de kaart voor het verwerken van de kaart in Word is de schaallijn enige manier om schaal goed te meten. De schaal vernoemt in het titelblok klopt niet meer.

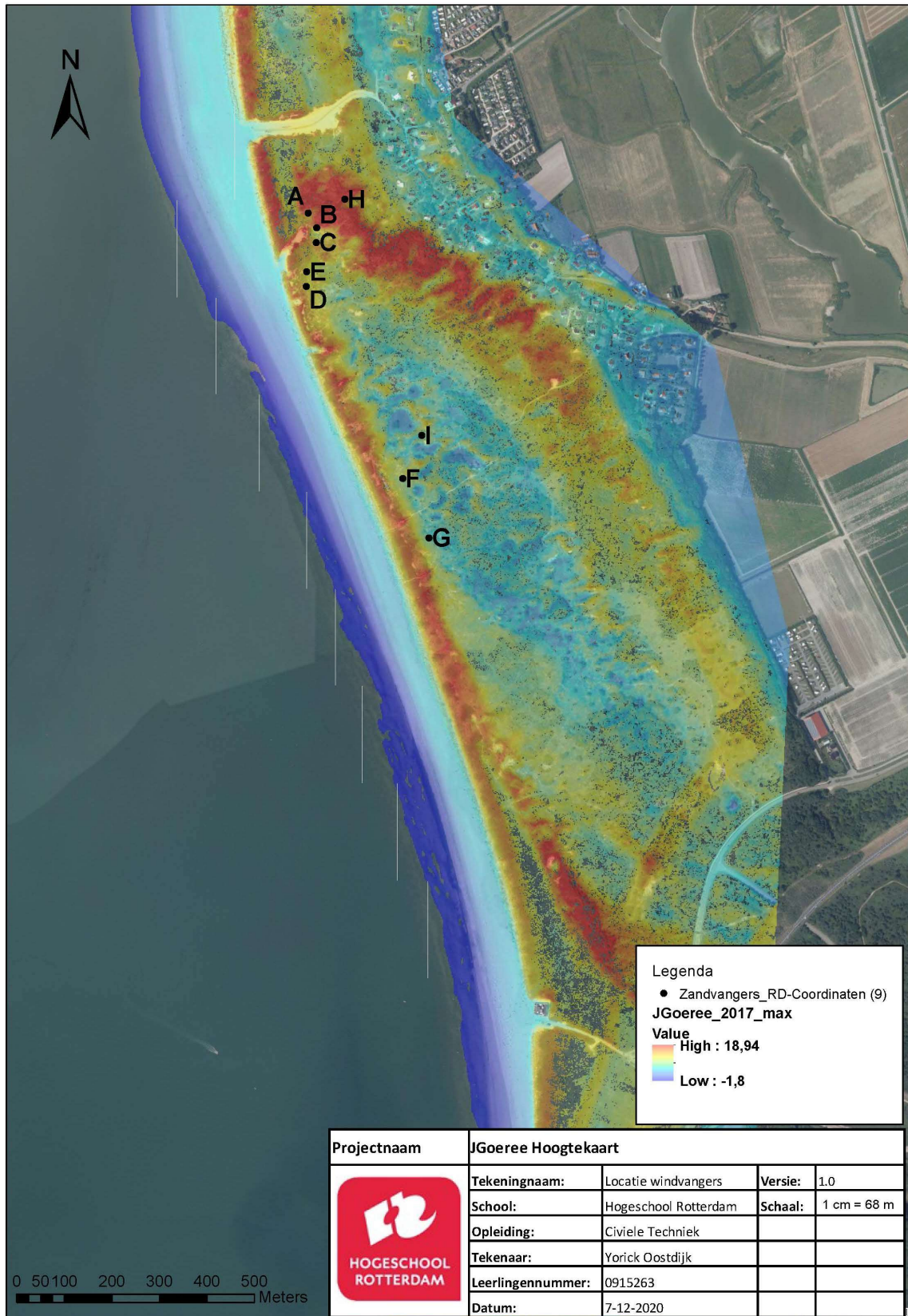
Hoogtekaart 2019



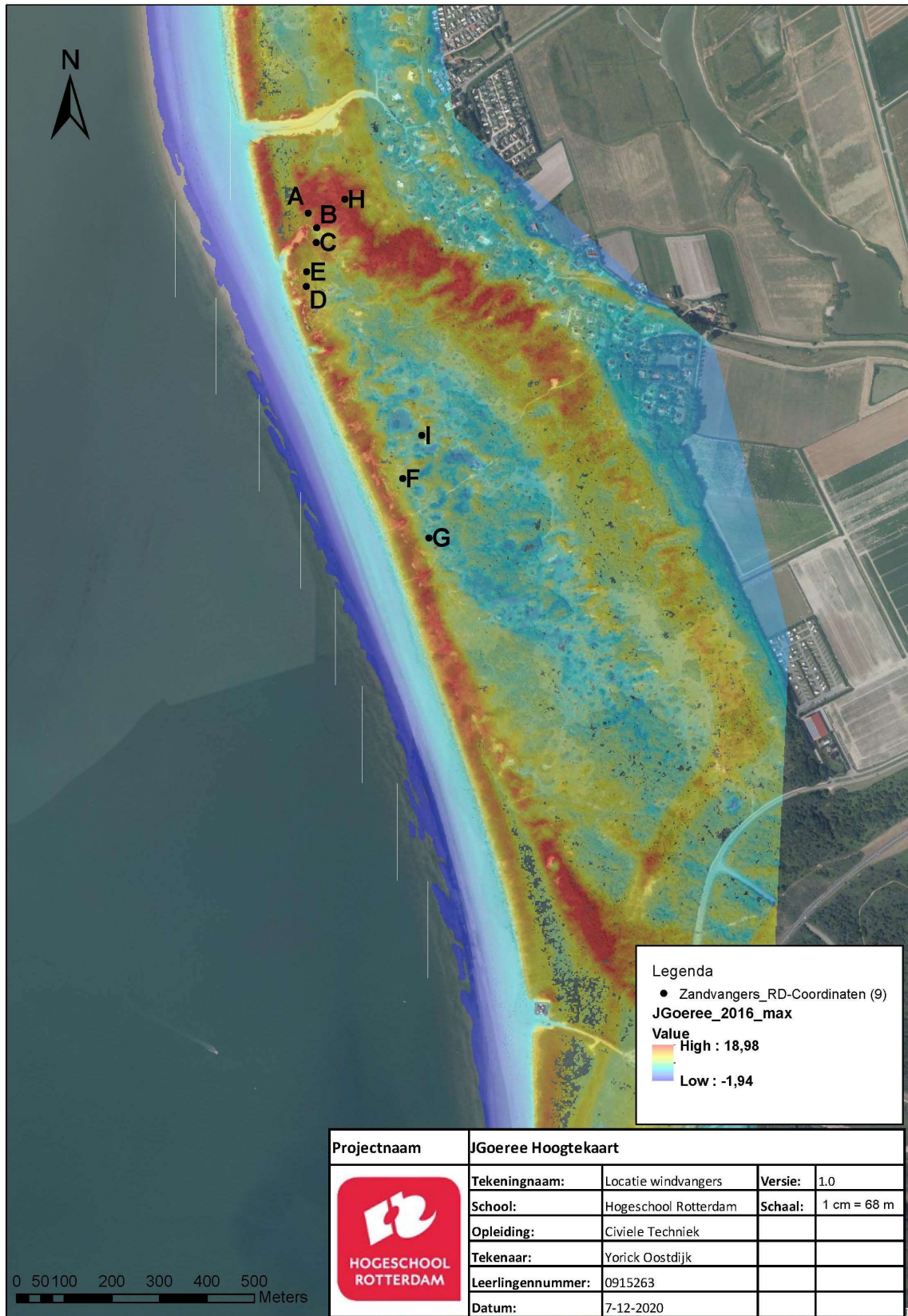
Hoogtekaart 2018



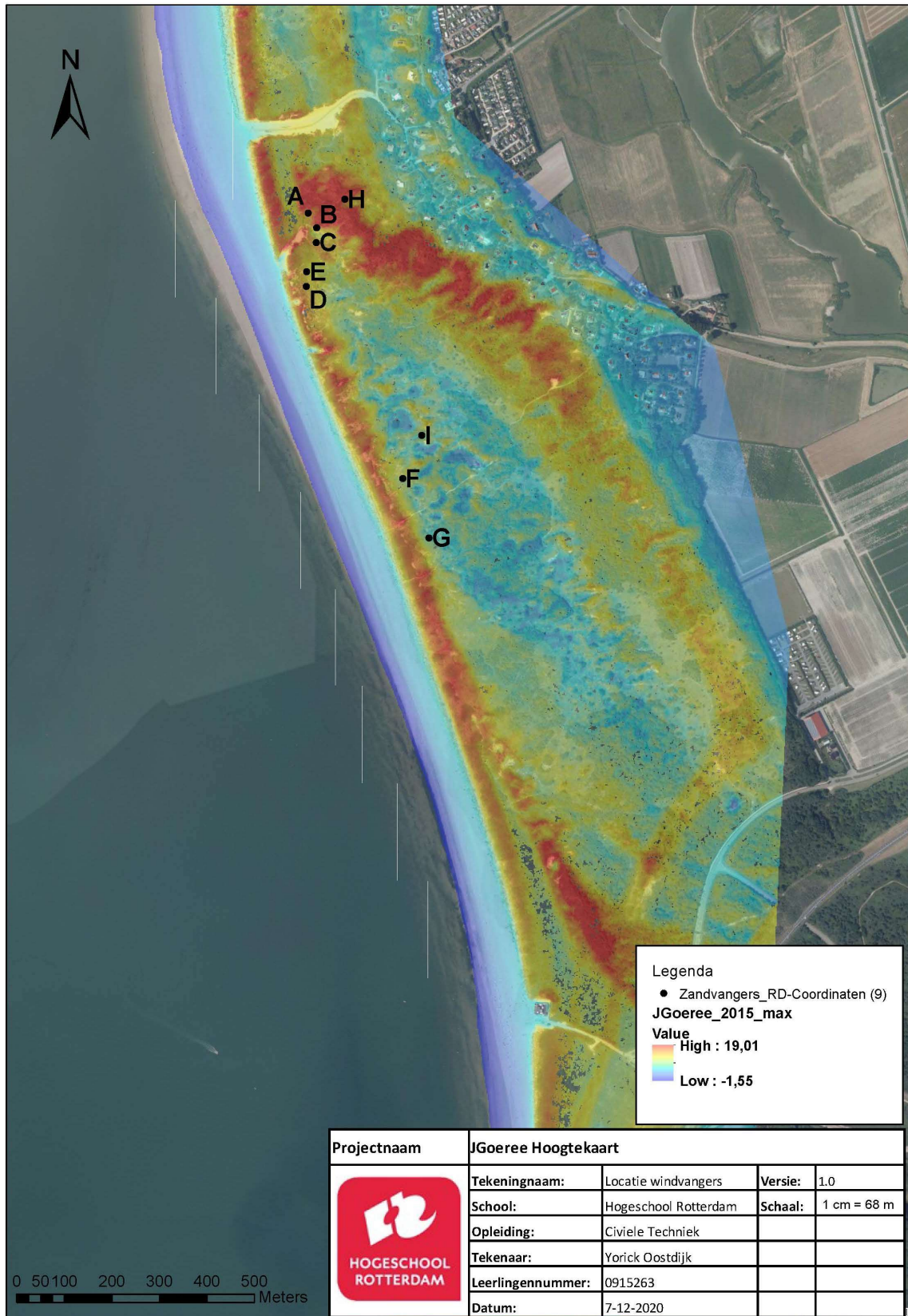
Hoogtekaart 2017



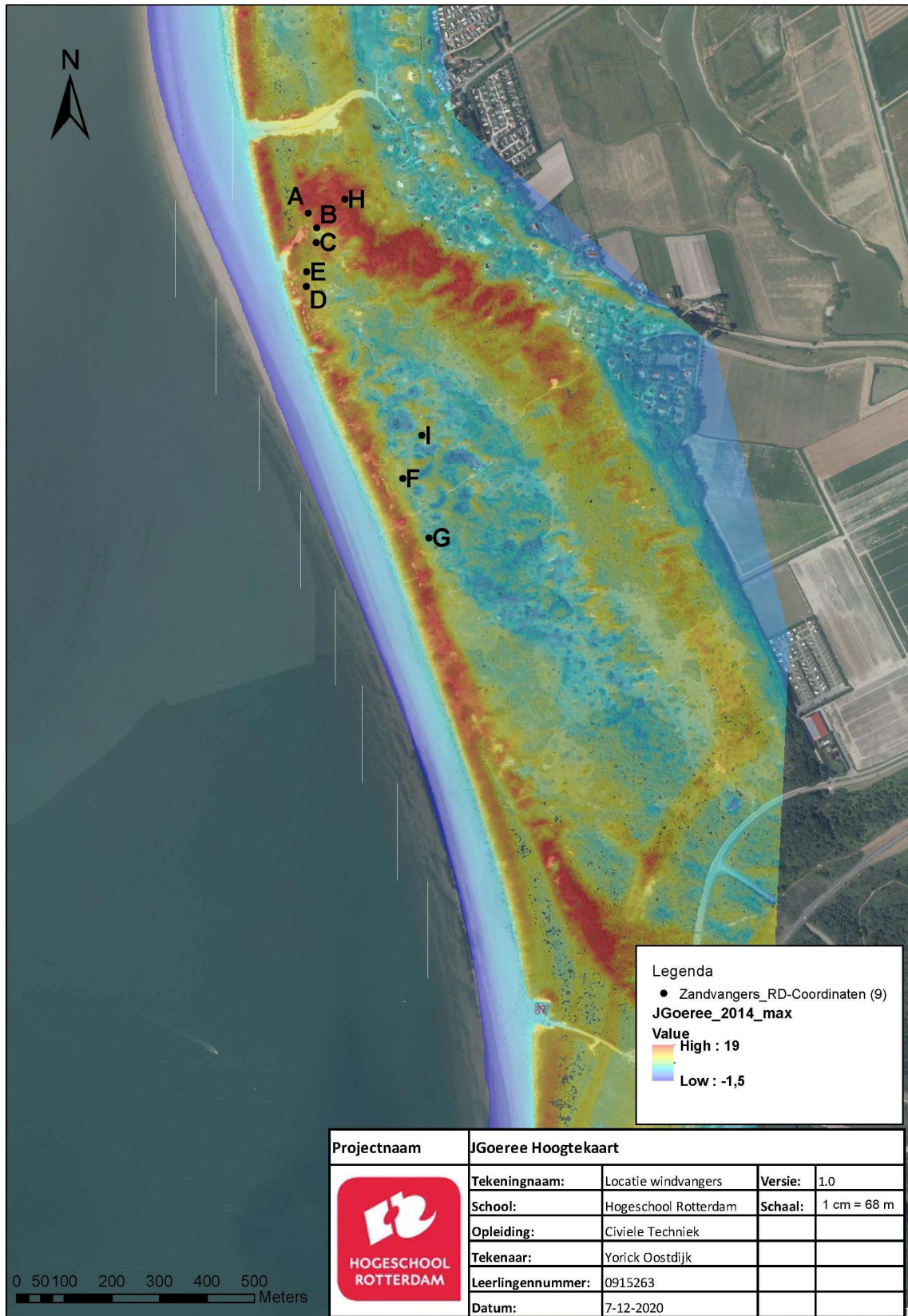
Hoogtekaart 2016



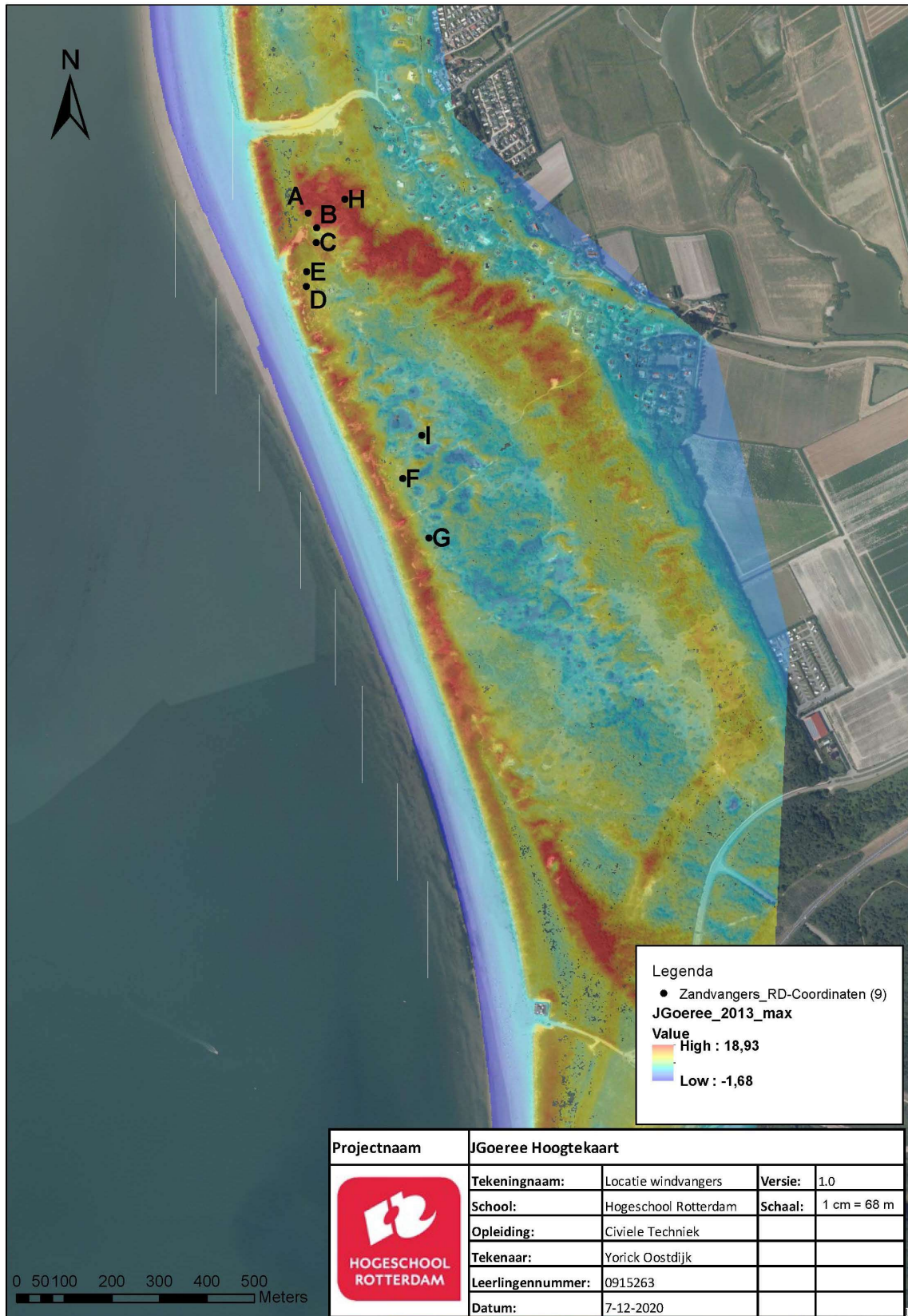
Hoogtekaart 2015



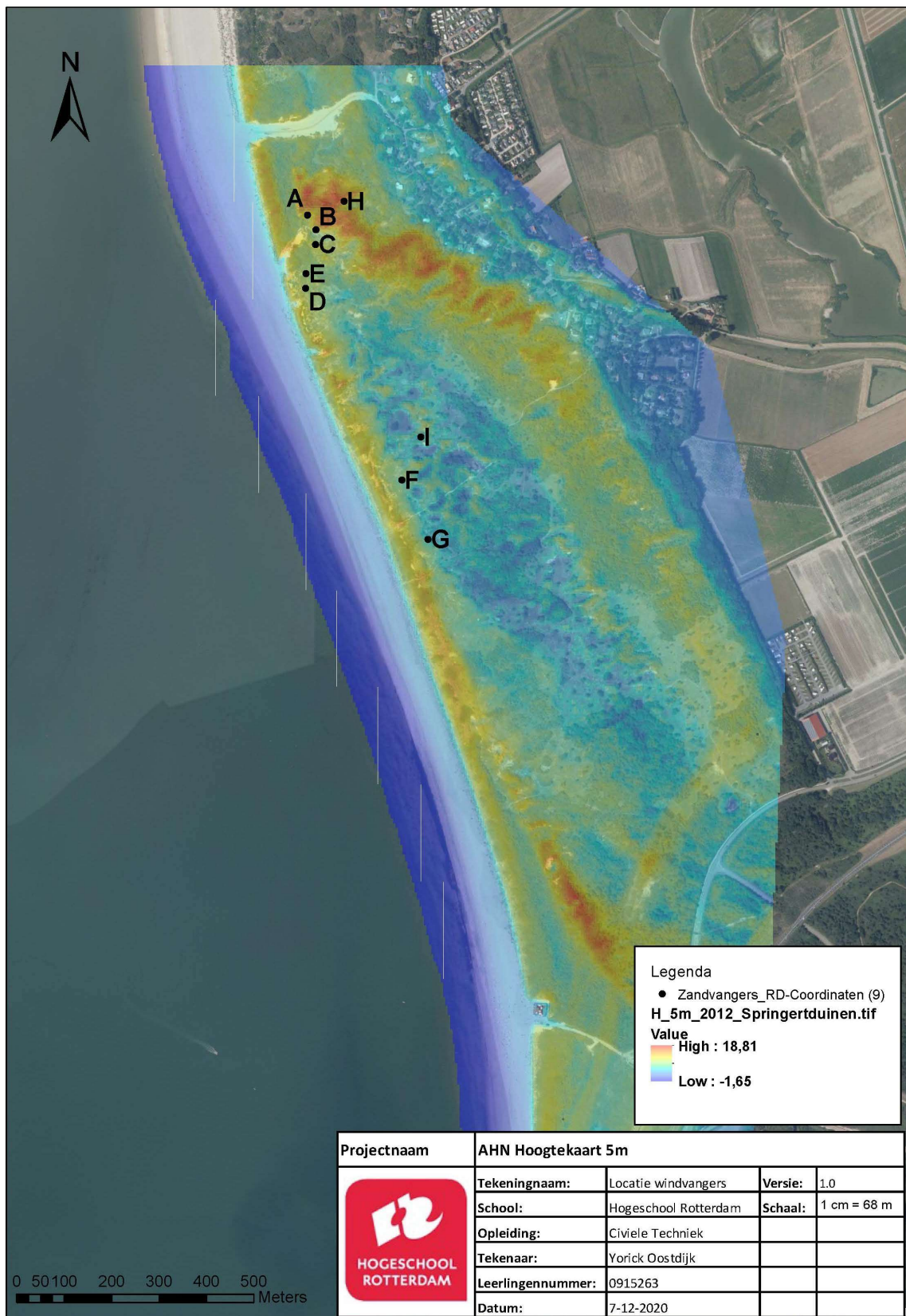
Hoogtekaart 2014



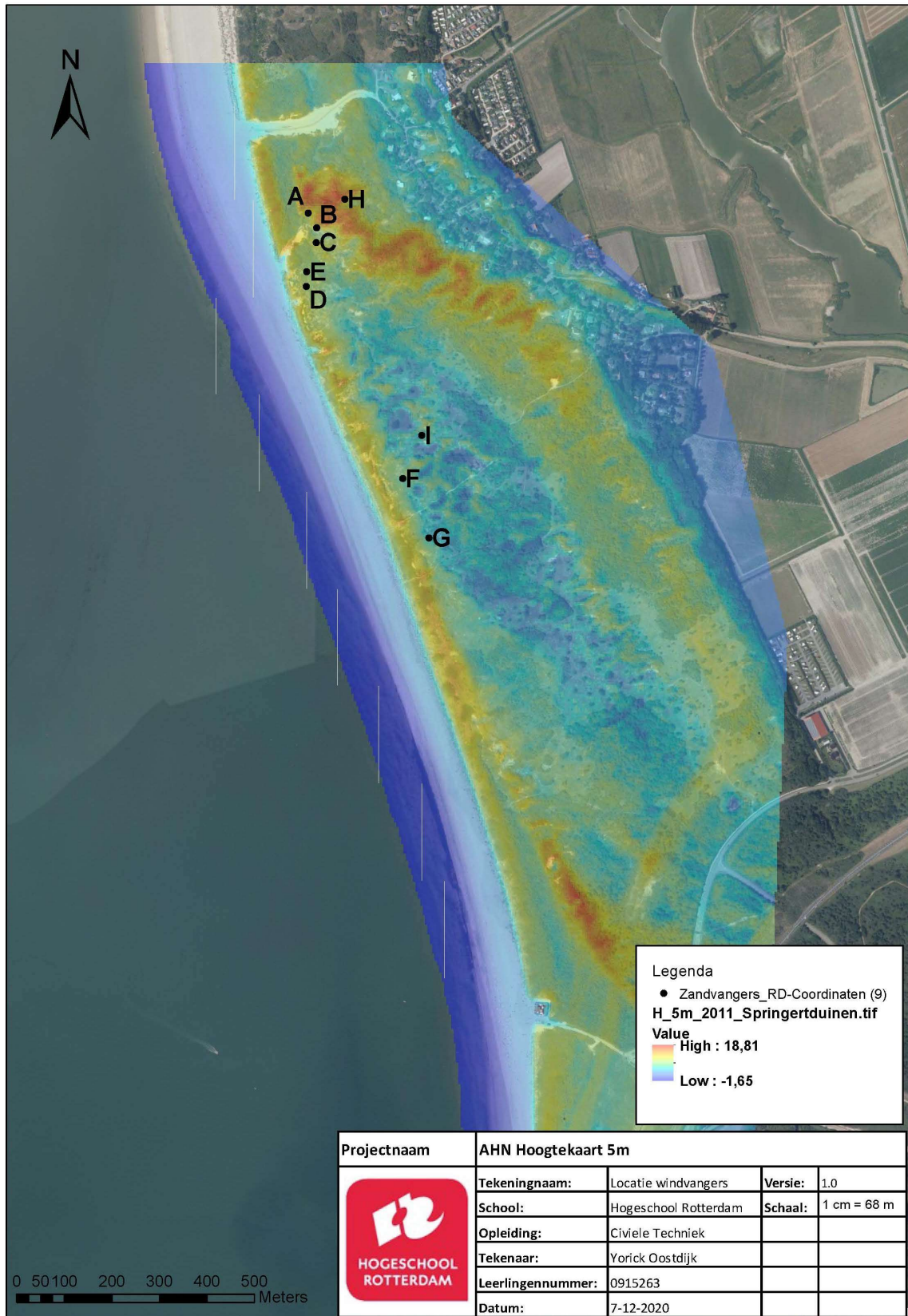
Hoogtekaart 2013



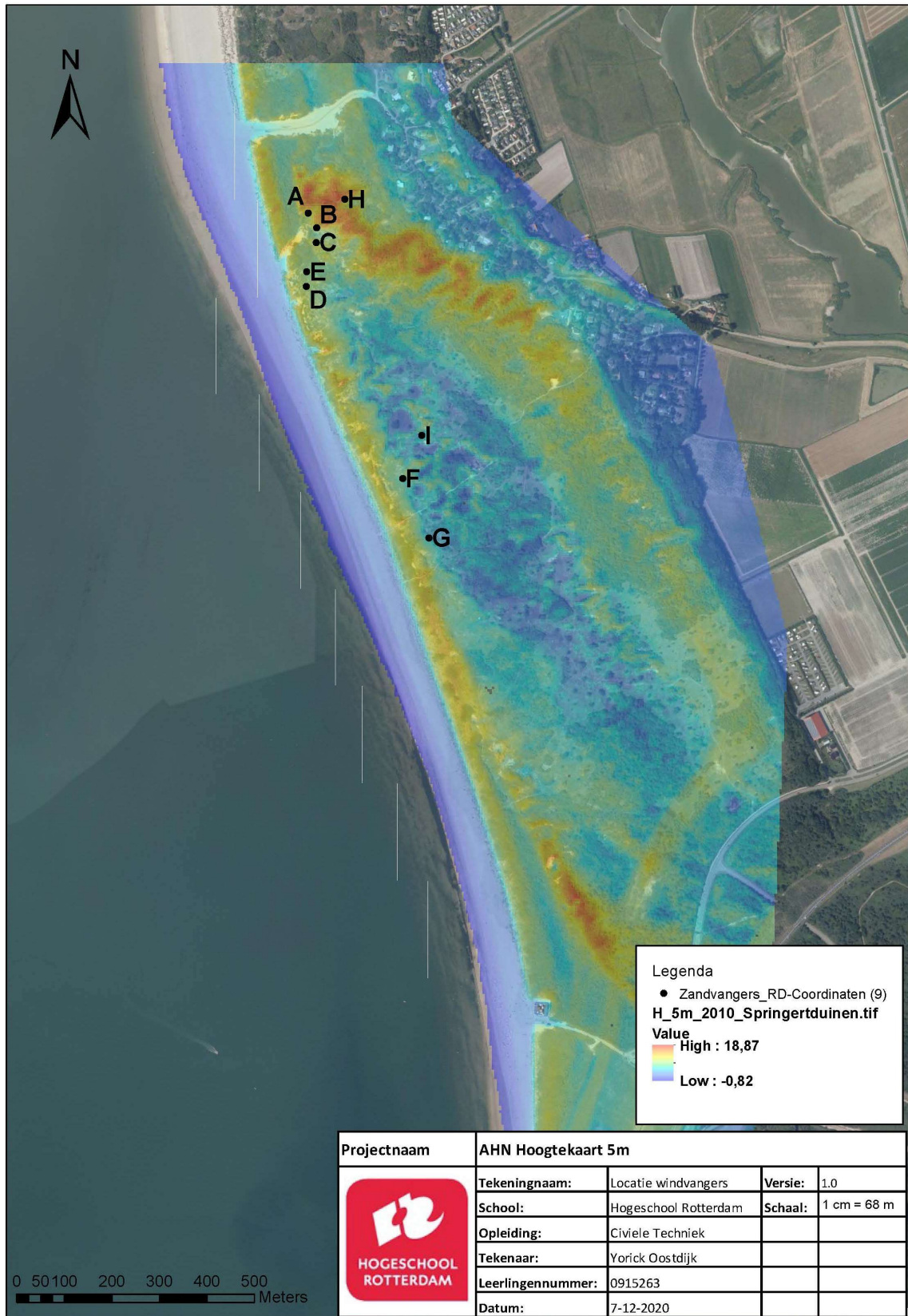
Hoogtekaart 2012



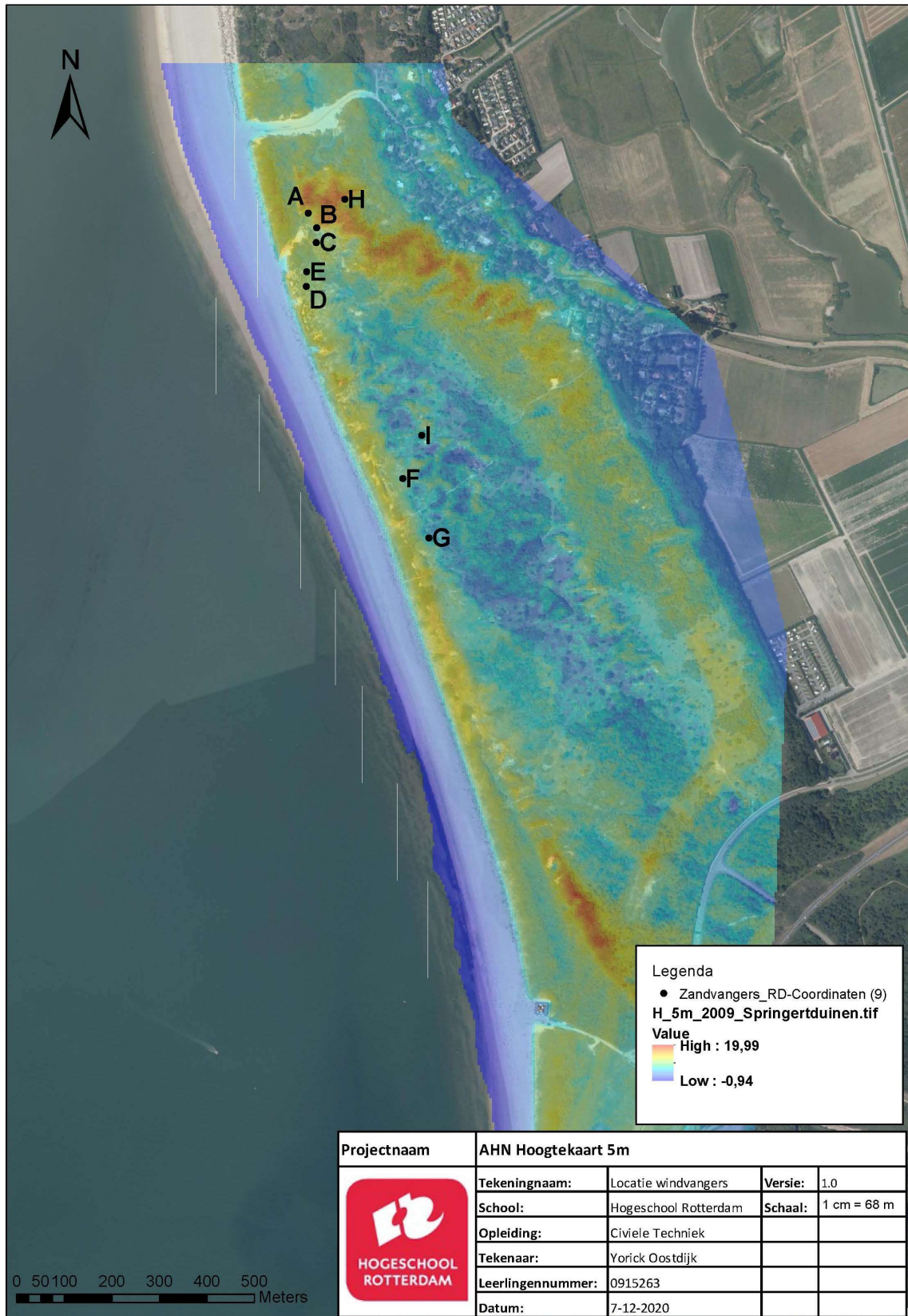
Hoogtekaart 2011



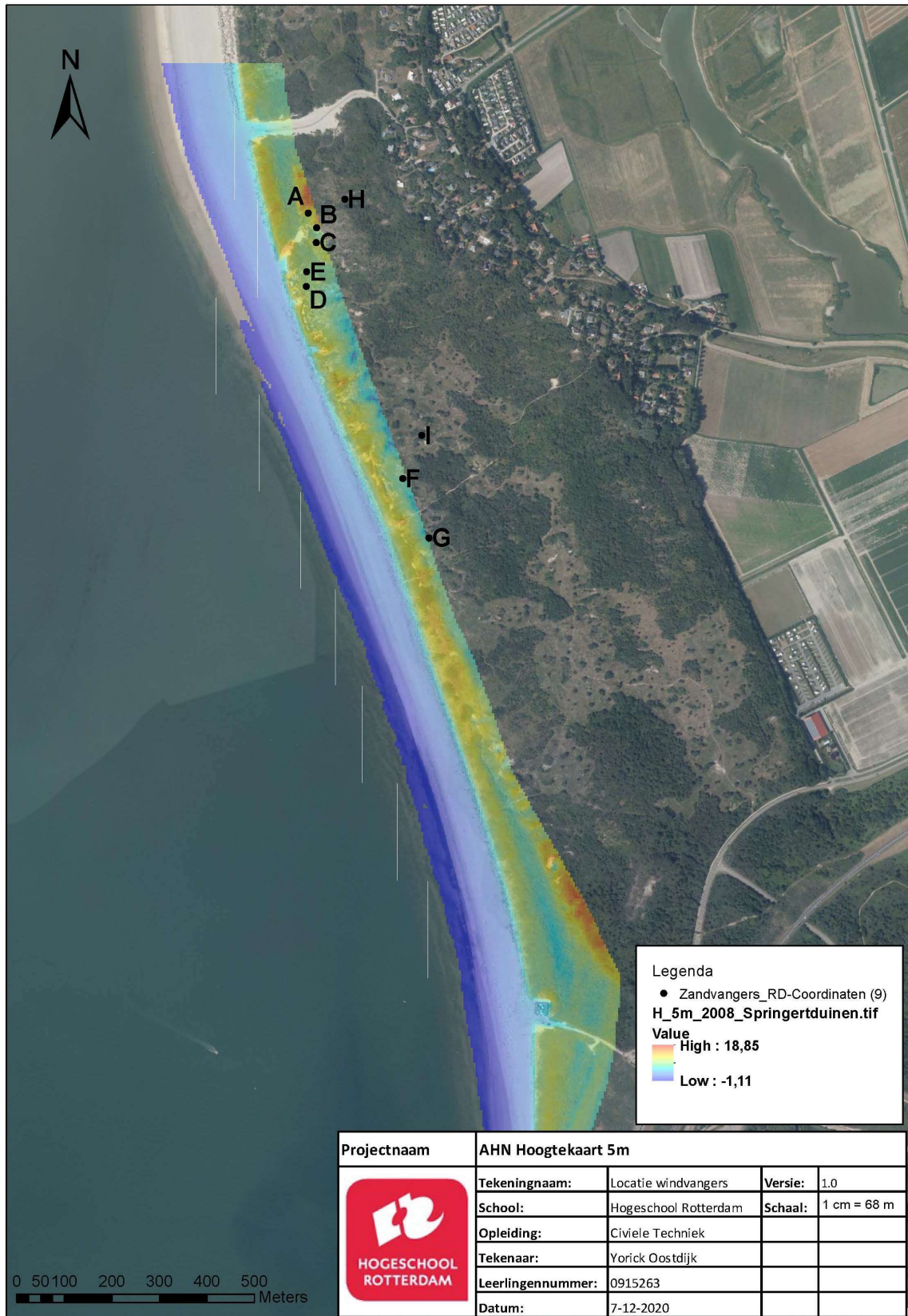
Hoogtekaart 2010



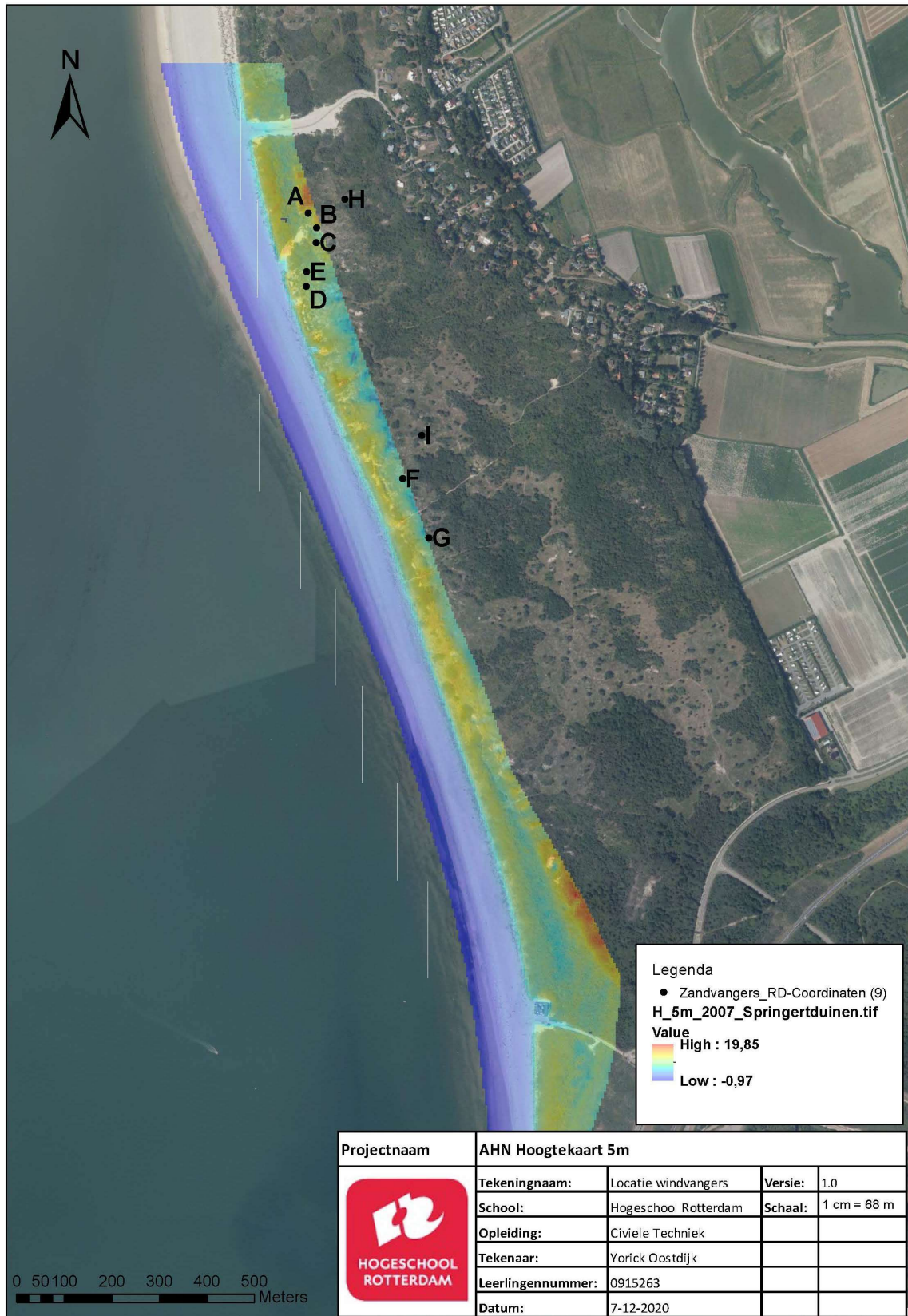
Hoogtekaart 2009



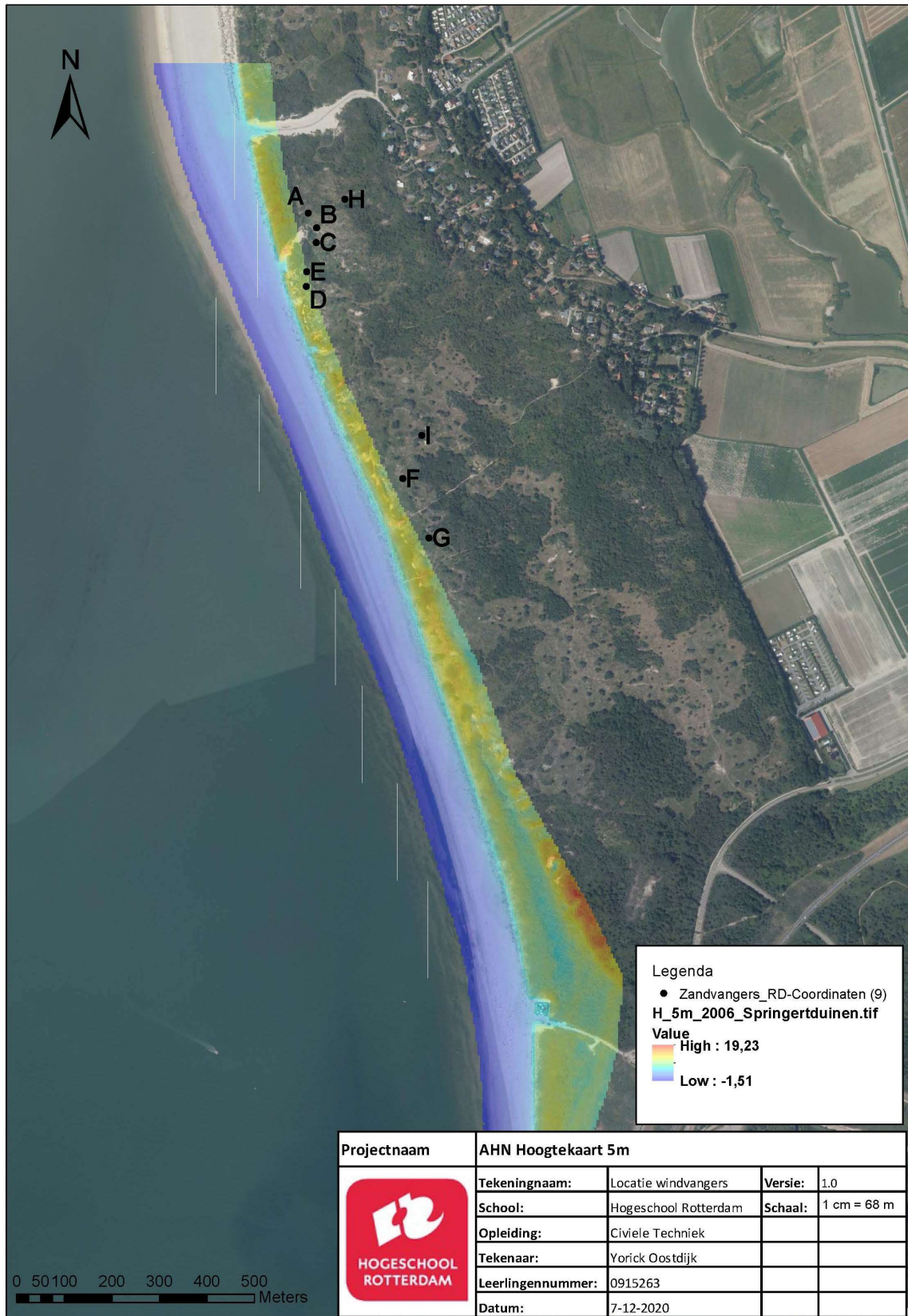
Hoogtekaart 2008



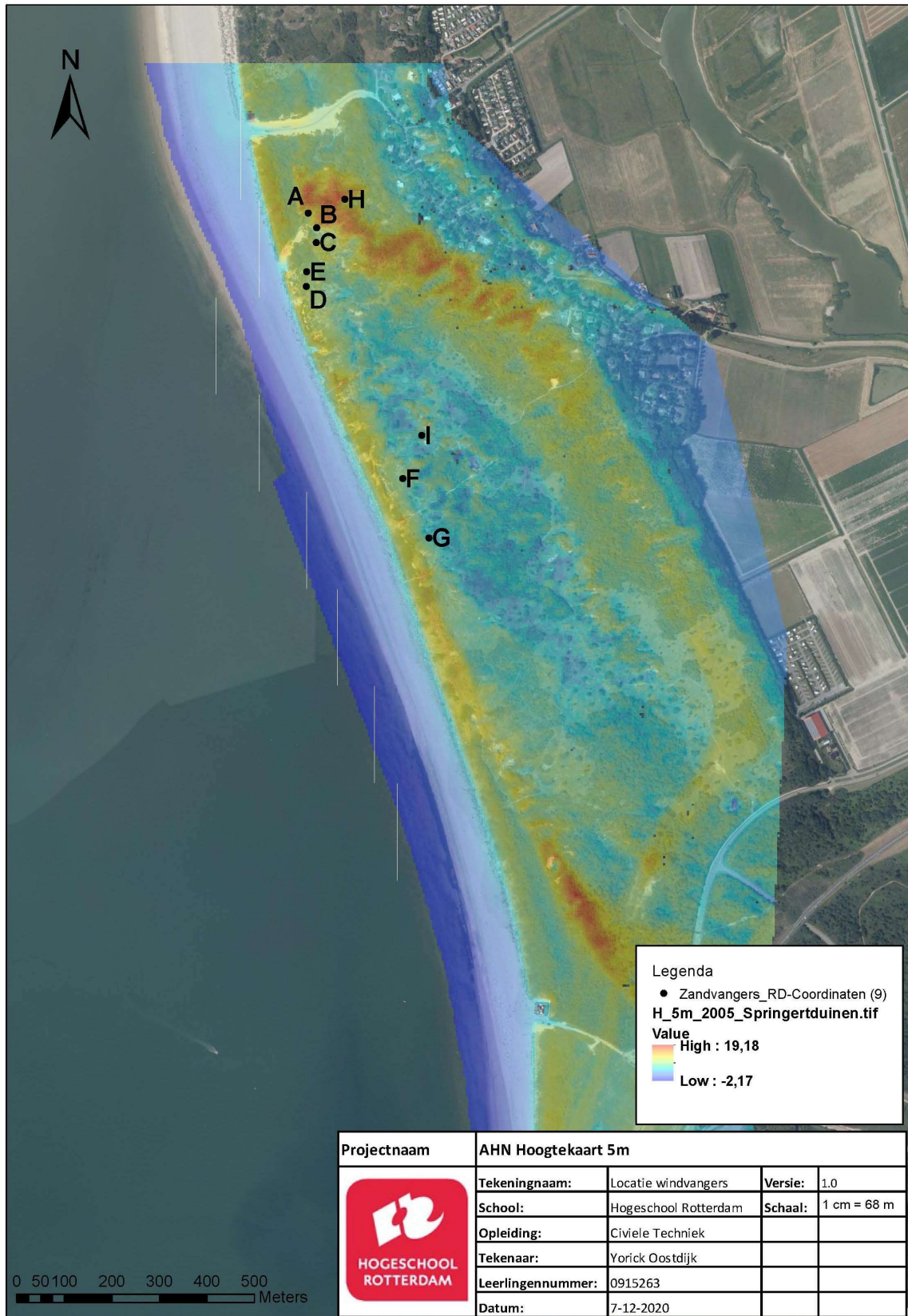
Hoogtekaart 2007



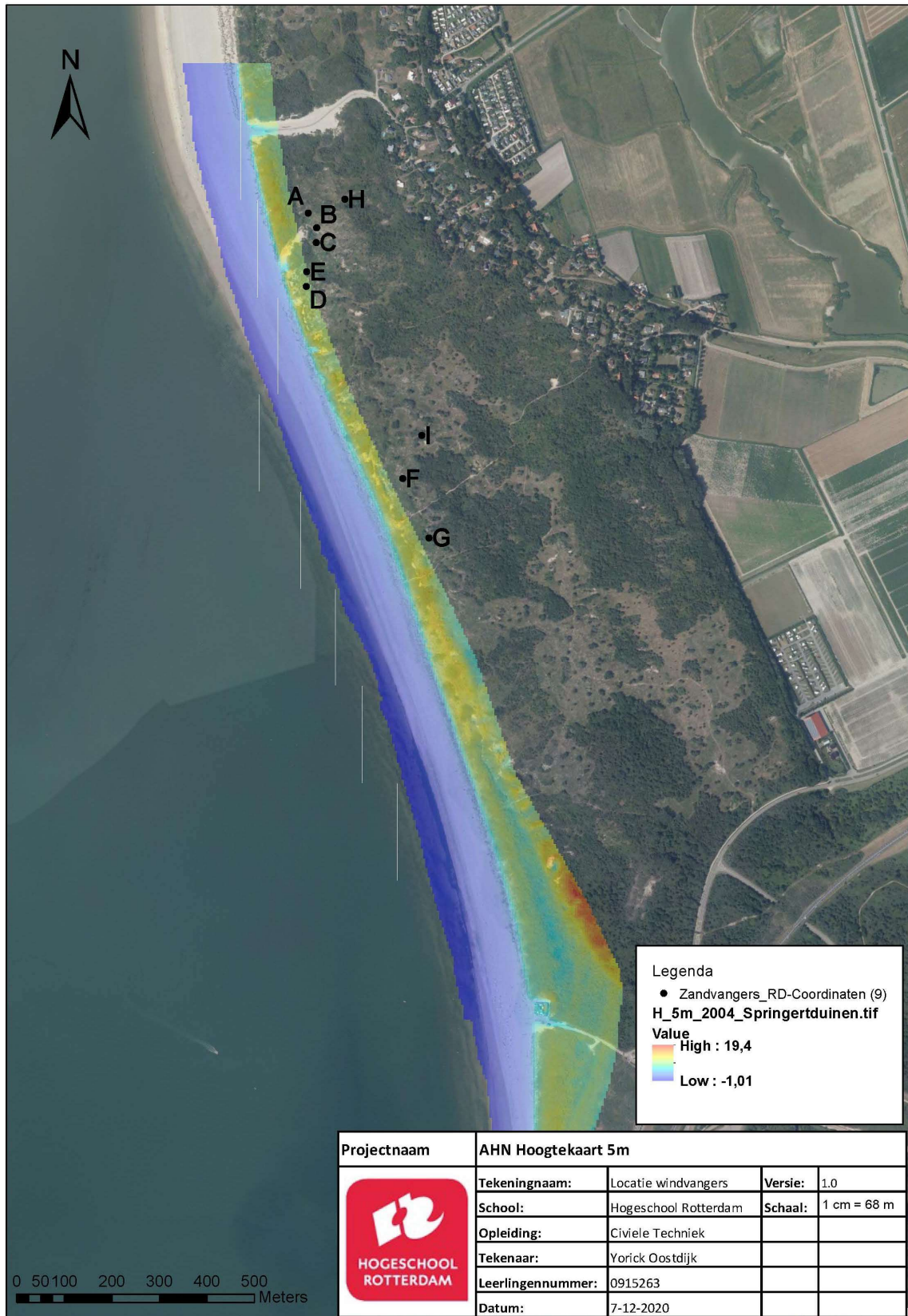
Hoogtekaart 2006



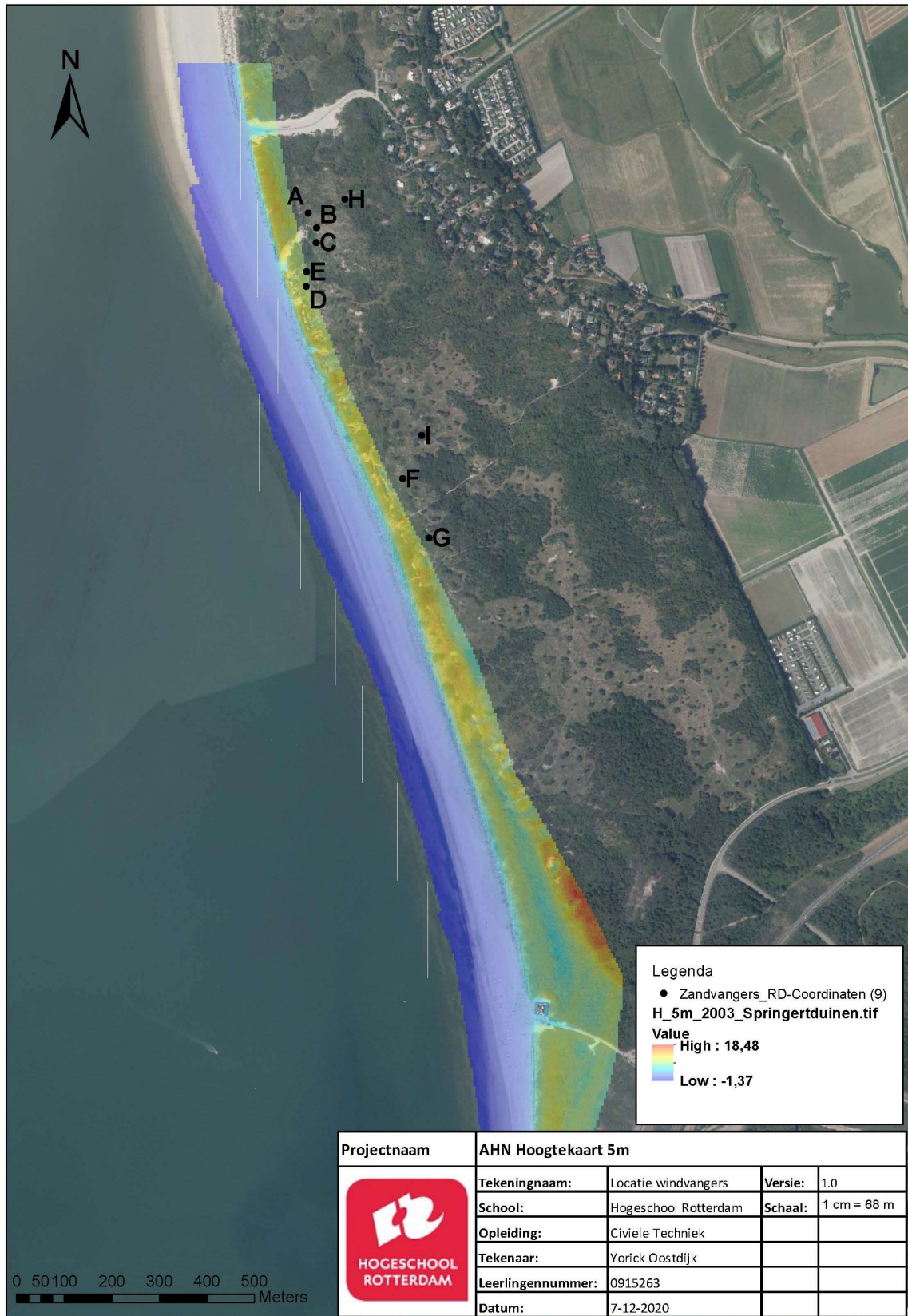
Hoogtekaart 2005



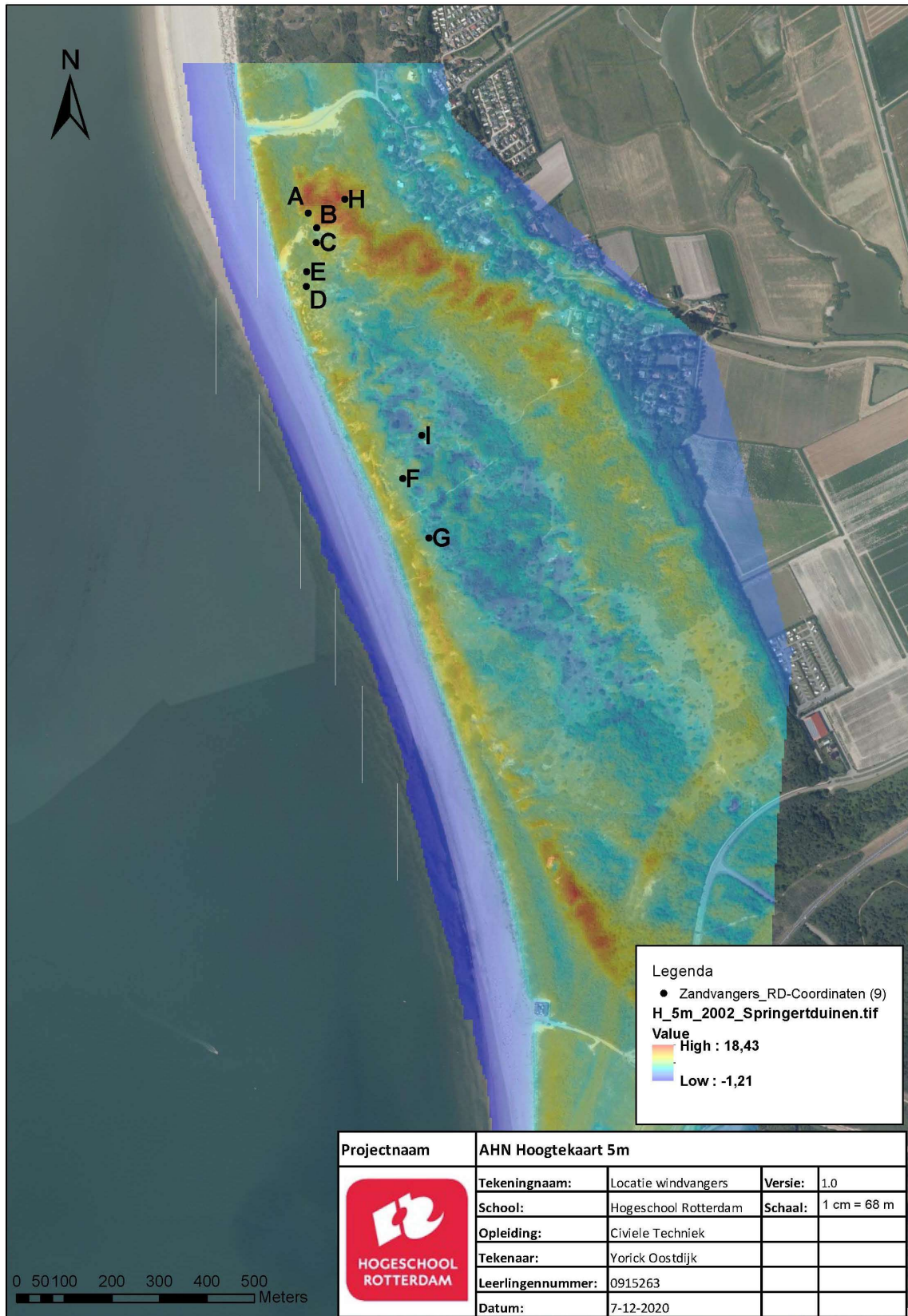
Hoogtekaart 2004



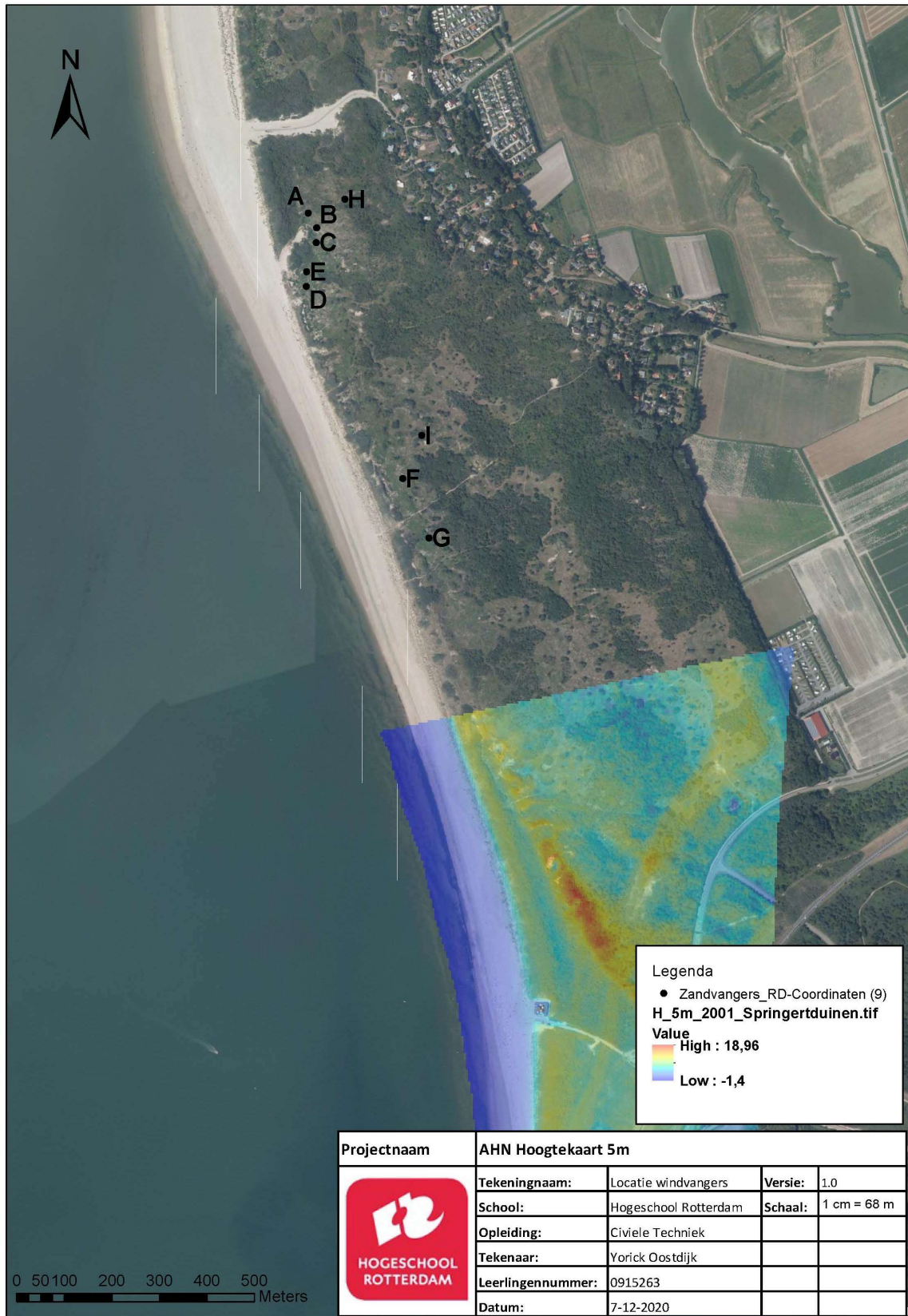
Hoogtekaart 2003



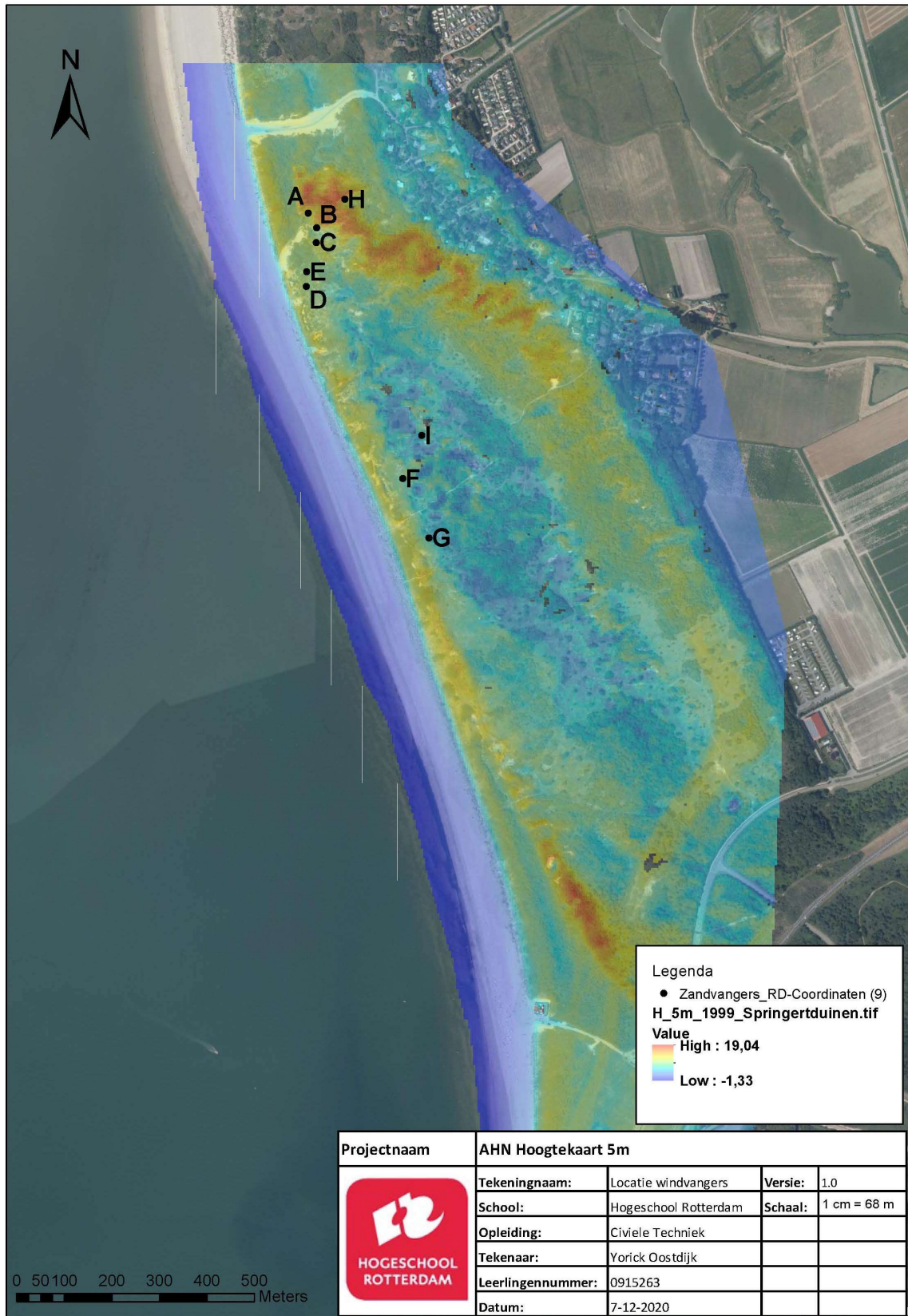
Hoogtekaart 2002



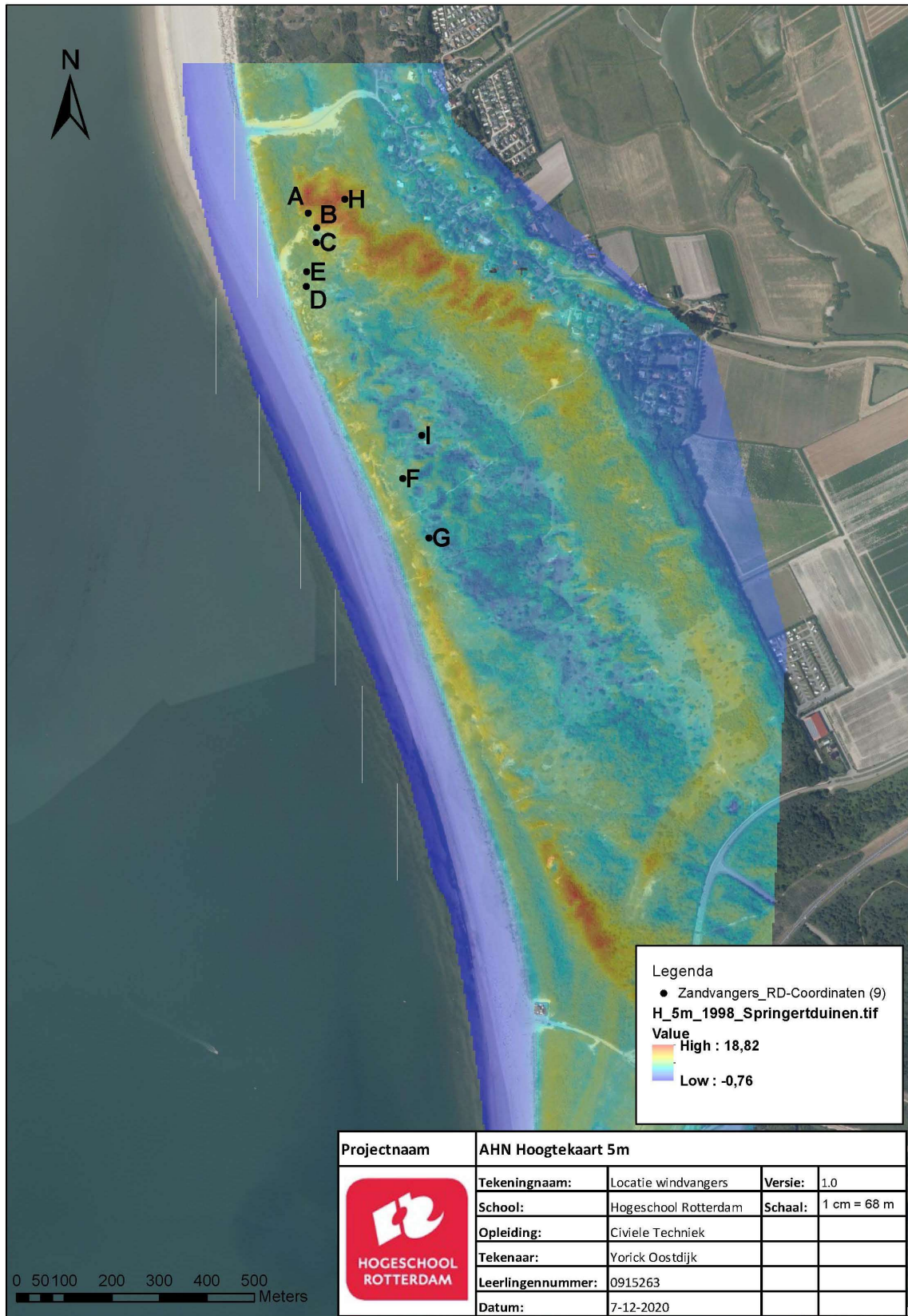
Hoogtekaart 2001



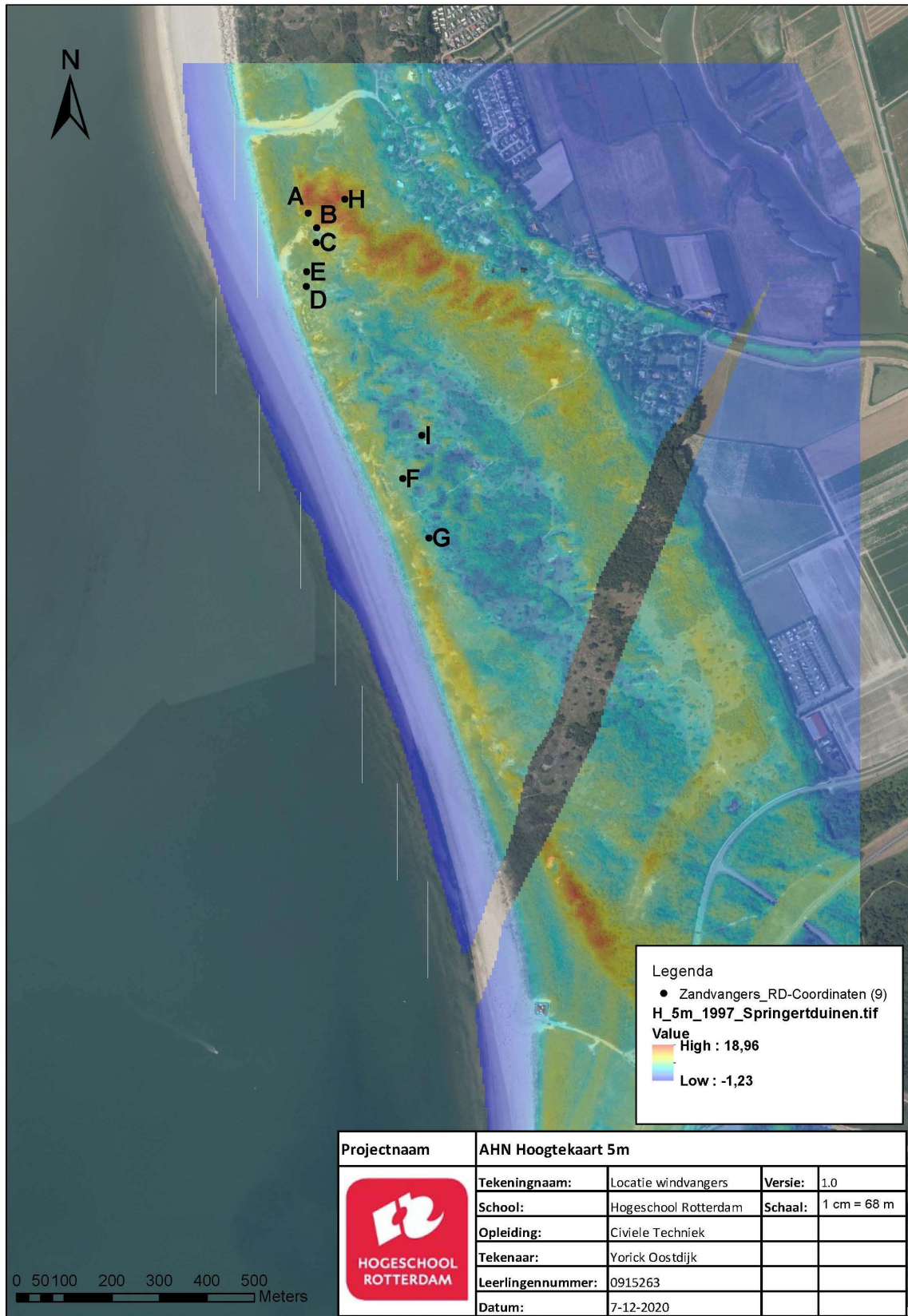
Hoogtekaart 1999



Hoogtekaart 1998



Hoogtekaart 1997



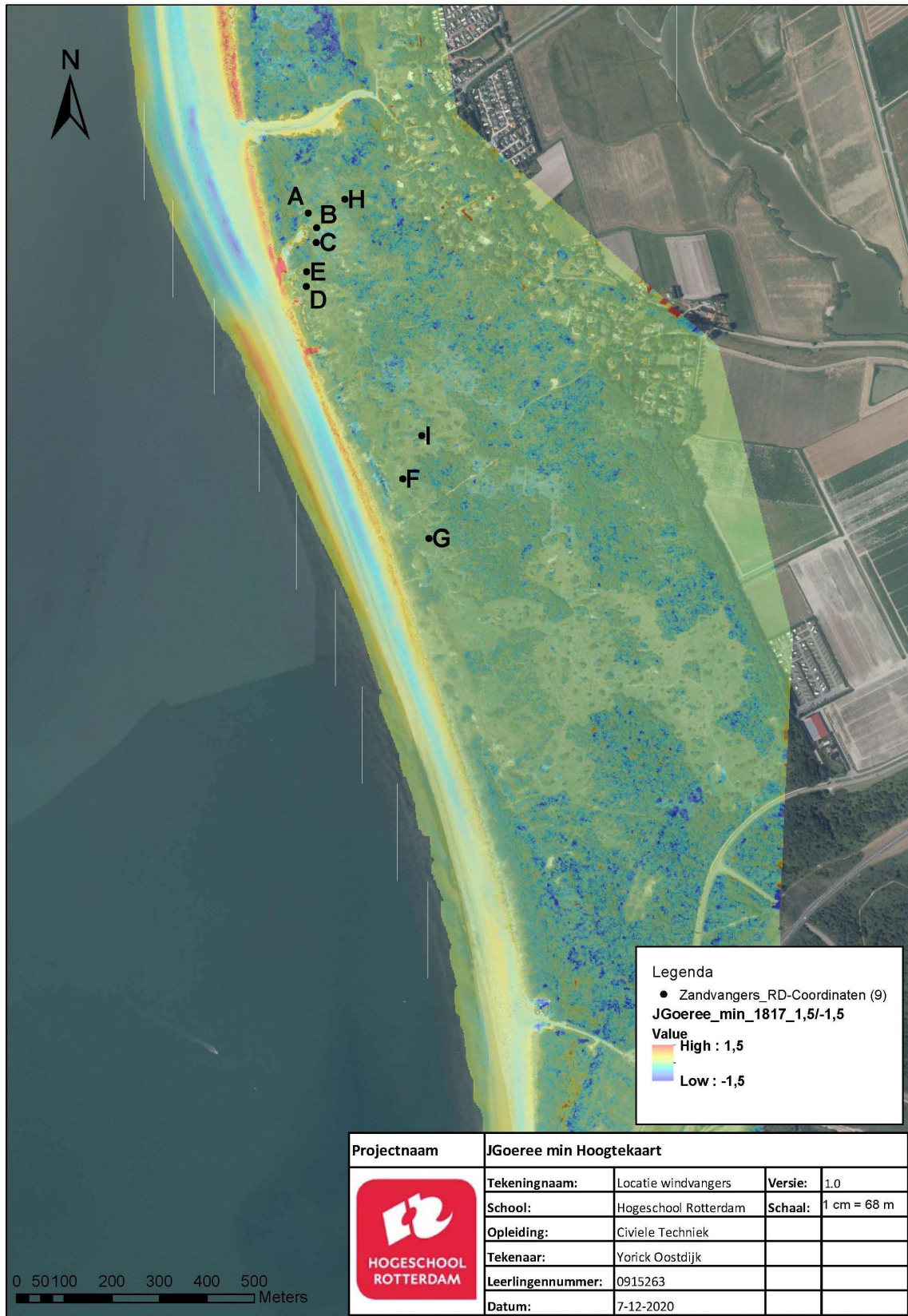
JGoeree min hoogtekaarten 19/18

Deze hoogtekaart laten het verschil zien tussen de hoogtes in het gebied van 2 opeenvolgende jaren.



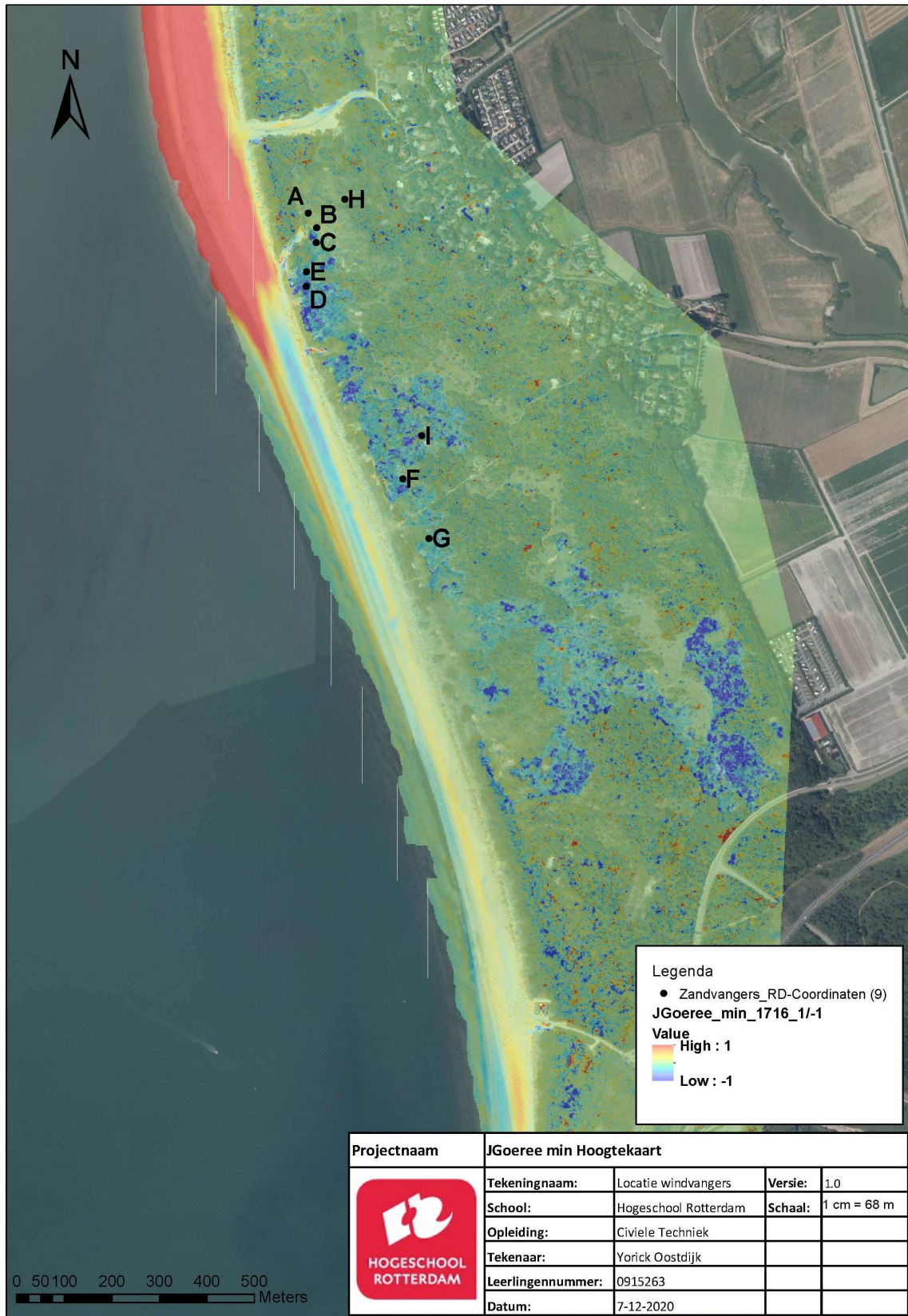
JGoeree min hoogtekarten 18/17

Deze hoogtekarte laten het verschil zien tussen de hoogtes in het gebied van 2 opeenvolgende jaren.



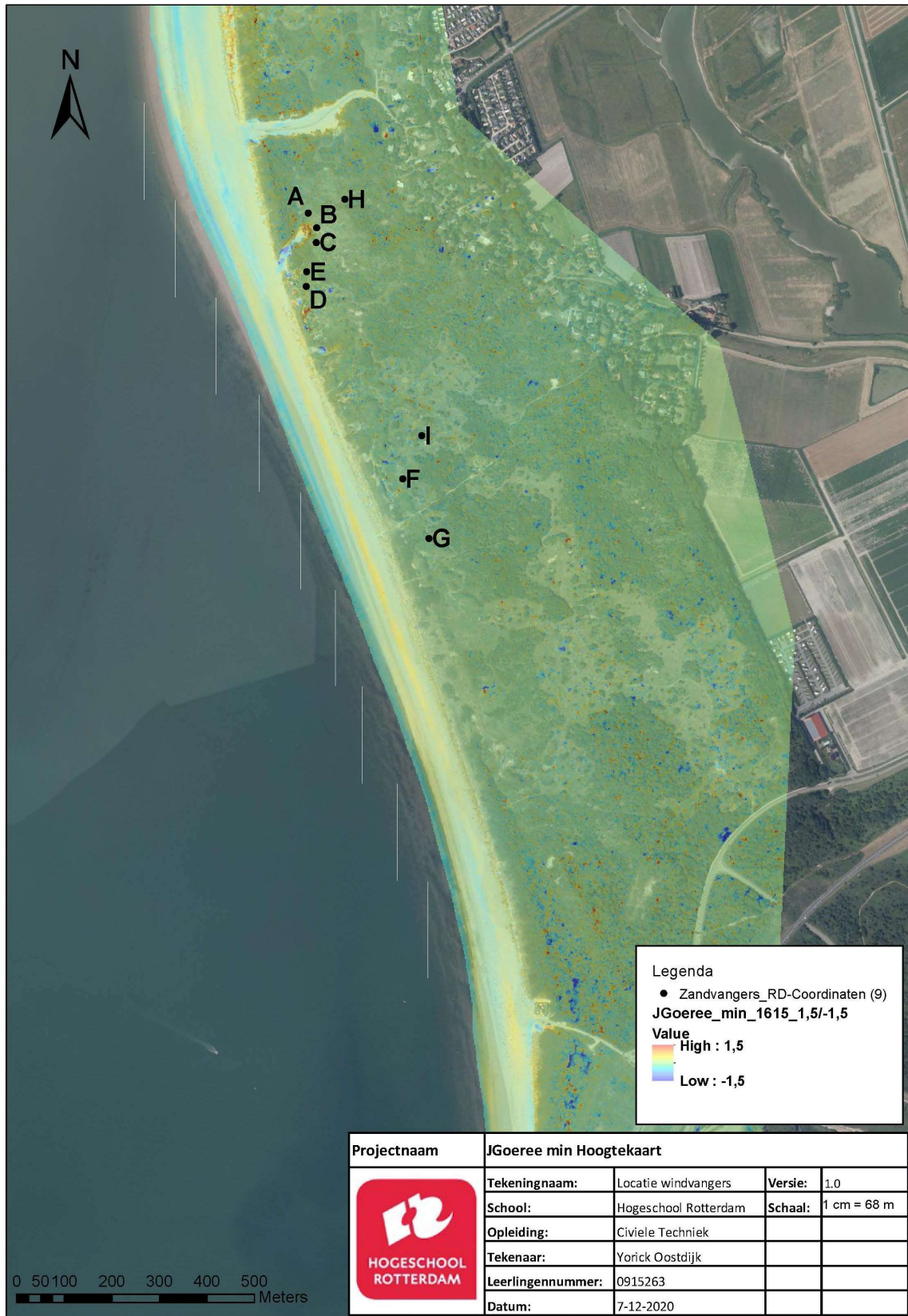
JGoeree min hoogtekarten 17/16

Deze hoogtekarte laten het verschil zien tussen de hoogtes in het gebied van 2 opeenvolgende jaren.



JGoeree min hoogtekaarten 16/15

Deze hoogtekaart laten het verschil zien tussen de hoogtes in het gebied van 2 opeenvolgende jaren.



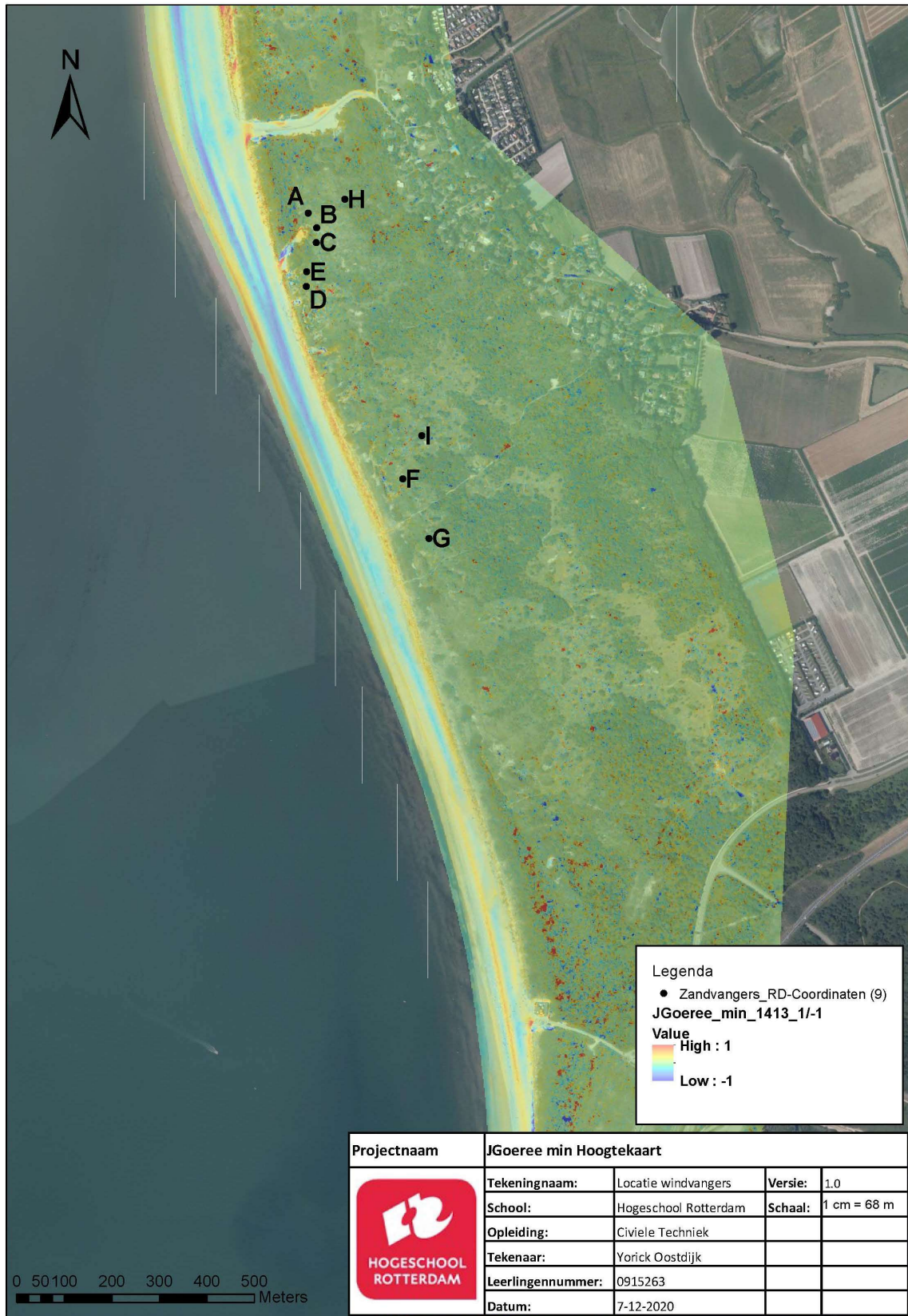
JGoeree min hoogtekaarten 15/14

Deze hoogtekaart laten het verschil zien tussen de hoogtes in het gebied van 2 opeenvolgende jaren.



JGoeree min hoogtekarten 14/13

Deze hoogtekarte laten het verschil zien tussen de hoogtes in het gebied van 2 opeenvolgende jaren.



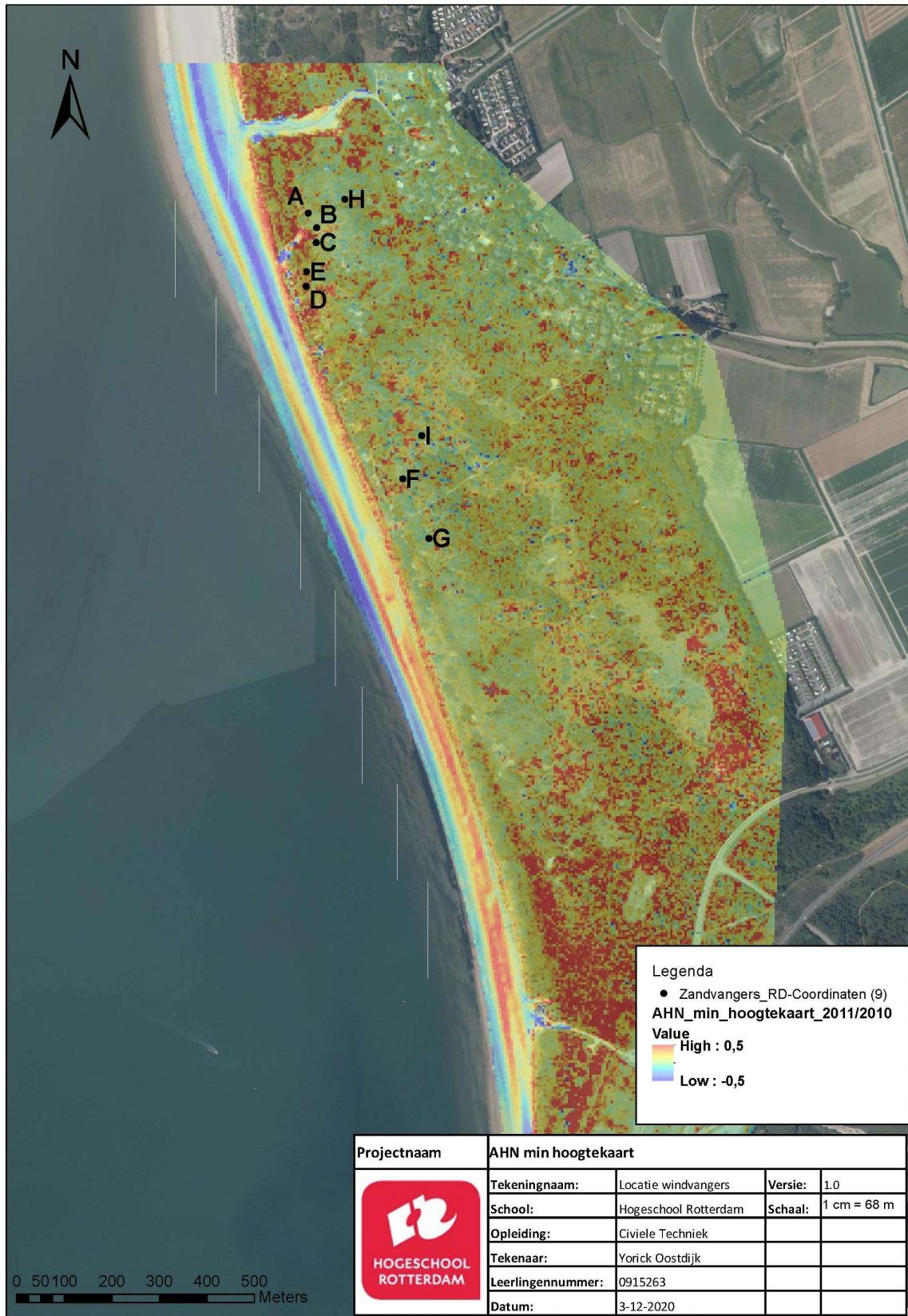
JGoeree min hoogtekaarten 12/11

Deze hoogtekaart laten het verschil zien tussen de hoogtes in het gebied van 2 opeenvolgende jaren.



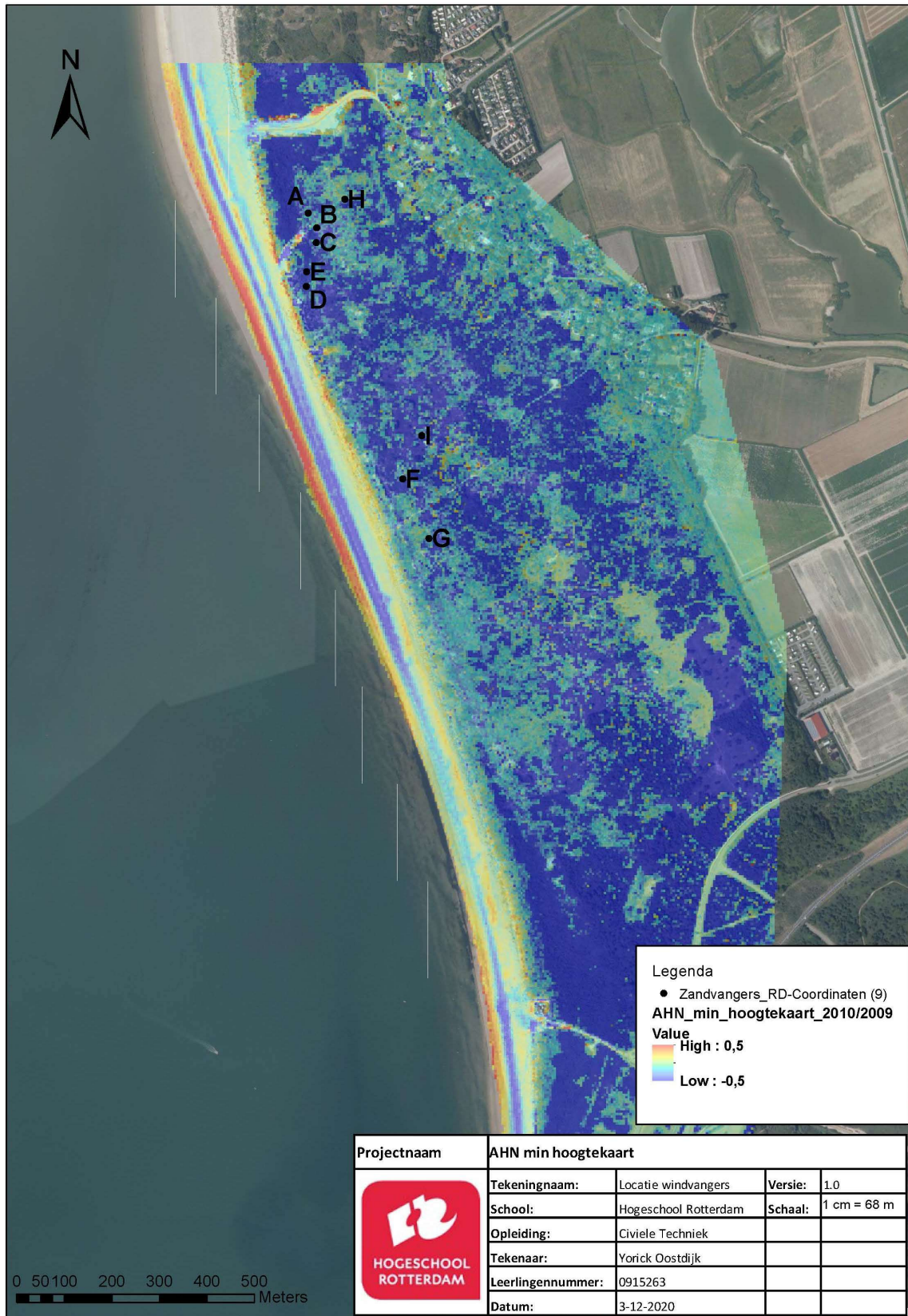
JGoeree min hoogtekaarten 11/10

Deze hoogtekaart laten het verschil zien tussen de hoogtes in het gebied van 2 opeenvolgende jaren.



JGoeree min hoogtekaarten 10/09

Deze hoogtekaart laten het verschil zien tussen de hoogtes in het gebied van 2 opeenvolgende jaren.



Bijlage 9: Data opgevangen zand in de zandvangers tijdens veldonderzoekperiode

Gewicht gewogen zand (gr)	Zandvanger									Gevallen hoeveelheid regen (mm)
	Kerf 1			Kerf 2		Nul-meting		Achterland kerf 1	Achterland nul-meting	
Datum	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Regen
31/10/2020 - 07/11/2020	31,89	76,69	69,93	96,50	1,62	0,00	0,00	Nog niet geplaatst		8,00
07/11/2020 - 14/11/2020	0,43	0,23	2,00	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,70
14/11/2020 - 21/11/2020	1,60	39,96	87,58	45,62	10,55	0,00	0,00	2,96	0,00	0,00
21/11/2020 - 28/11/2020	0,15	1,40	0,80	1,05	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	9,20
28/11/2020 - 05/12/2020	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,60
05/12/2020 - 13/12/2020	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	19,45
13/12/2020 - 19/12/2020	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,25
19/12/2020 - 28/12/2020	0,64	4,51	0,00	2,23	0,00	0,00	0,00	Gedraaid	Gedraaid	45,00
Totaal Gewicht (8 weken)	34,72	122,81	160,32	146,47	12,38	0,00	0,00	2,96	0,00	