



Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden – Risicoanalyse geohydrologie

R03 | Wamel, Dreumel en Heerewaarden

1120-180419-11-R03 | V1.6 | 20 augustus 2021

Definitief

Kragten



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden
Documentnaam	Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden – Risicoanalyse geohydrologie
Fugro-projectnr.	1120-180419
Fugro-documentnr.	1120-180419-11-R03
Versienummer	01
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10, 2264 SG, Leidschendam

Klantgegevens

Klant	Kragten
Adres klant	Schoolstraat 8, 6049BN, Herten
Contactpersoon klant	
Documentnr. klant	-

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	19-04-2021	Concept ter controle		MAV	VL	VL
1.1	17-05-2021	Concept	Opmerkingen Kragten/RWS verwerkt	MAV	VL	VL
1.2	31-05-2021	Definitief	Verwerken commentaar gemeente/waterschap	MAV	VL	VL
1.3	10-06-2021	Definitief	Toevoegen redeneratie Maasdriel & verwerken commentaar	MAV	VL	VL
1.4	13-07-2021	Definitief	Toevoeging dijkstabiliteit	MAV	VL	VL
1.5	26-07-2021	Definitief	Toevoeging Viaductbuurt	MAV	VL	VL
1.6	20-08-2021	Definitief	Verwerken commentaar waterschap dijkveiligheid	MAV	VL	VL

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
MAV		Adviseur hydrologie
VL		Teammanager hydrologie

Inhoudsopgave

Documentbeheer	ii
Documentgegevens	ii
Klantgegevens	ii
Versiebeheer	ii
Projectteam	ii
Inhoudsopgave	iii
Bijlage	iv
1. Introductie	1
2. Resultaten	5
3. Geohydrologische inventarisatie	8
3.1 Globale bodemopbouw	8
3.1.1 Wamel	8
3.1.2 Overstromingsvlakte	9
3.1.3 Heerewaarden	9
3.2 Open water	9
3.3 Landgebruik	10
3.3.1 Wamel	10
3.3.2 Overstromingsvlakte	10
3.3.3 Heerewaarden	11
3.4 Overig	11
3.4.1 Wamel	11
3.4.2 Overstromingsvlakte	11
3.4.3 Heerewaarden	11
4. Risicoanalyse	12
4.1 Wateroverlast/onderlast	12
4.1.1 Bebouwing	12
4.1.2 Infrastructuur	18
4.1.3 Natuur/Groen	20
4.1.4 Agrarisch landgebruik	24
4.1.5 Dijkveiligheid	26
4.1.6 Overige aspecten	30
4.2 Waterafvoer/aanvoer	30
4.2.1 Wamel	30
4.2.2 Overstromingsvlakte	31
4.2.3 Heerewaarden	31
4.3 Samenvatting	32

5. Voorgestelde maatregelen en discussie	34
5.1 Wamel	34
5.2 Overstromingsvlakte	37
5.3 Heerewaarden	39
5.4 Samenvatting	41
5.5 Conclusie en vervolgstappen	42
A.1 Berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen	2
A.2 Berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen na maatregelen	6
A.3 Kwelweglengte	11
A.3.1 Referentiesituatie	11
A.3.2 Ontwerpsituatie	12
A.3.3 Lokale veranderingen	13
B.1 Memo uitkomsten 1120-180419-11-TN01	15
B.2 Memo oplossingsrichtingen 1120-180419-11-TN02	16

Bijlage

Bijlage A – Uitkomsten

A.1 – Berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen

A.2 – Berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen na maatregelen

Bijlage B – Voorgaande rapportages

B.1 – Memo uitkomsten 1120-180419-11-TN01

B.2 – Memo oplossingsrichtingen 1120-180419-11-TN02

Bijlage C – Geofysische metingen

1. Introductie

Fugro voert geohydrologische modelberekeningen uit van het DO 2.0 ontwerp voor het project Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden (UWDH). Deze technische notitie is een vervolg op de resultaten van de geohydrologische berekeningen gepresenteerd in de notitie 1120-180419-TN01 (d.d. 03-03-2021) en de generieke beschrijving van oplossingsrichtingen gepresenteerd in de notitie 1120-180419-TN02 (d.d. 15-03-2021). Ter volledigheid zijn beide notities toegevoegd in bijlage B. Uit de geohydrologische berekeningen blijkt dat het basisontwerp niet voldoet aan de eisen en dat maatregelen noodzakelijk zijn om aan de gestelde eisen te kunnen voldoen. Op basis van de notitie met generieke oplossingsrichtingen is een selectie gemaakt van in dit gebied haalbare oplossingen.

Deze notitie maakt onderdeel uit van een drietal notities:

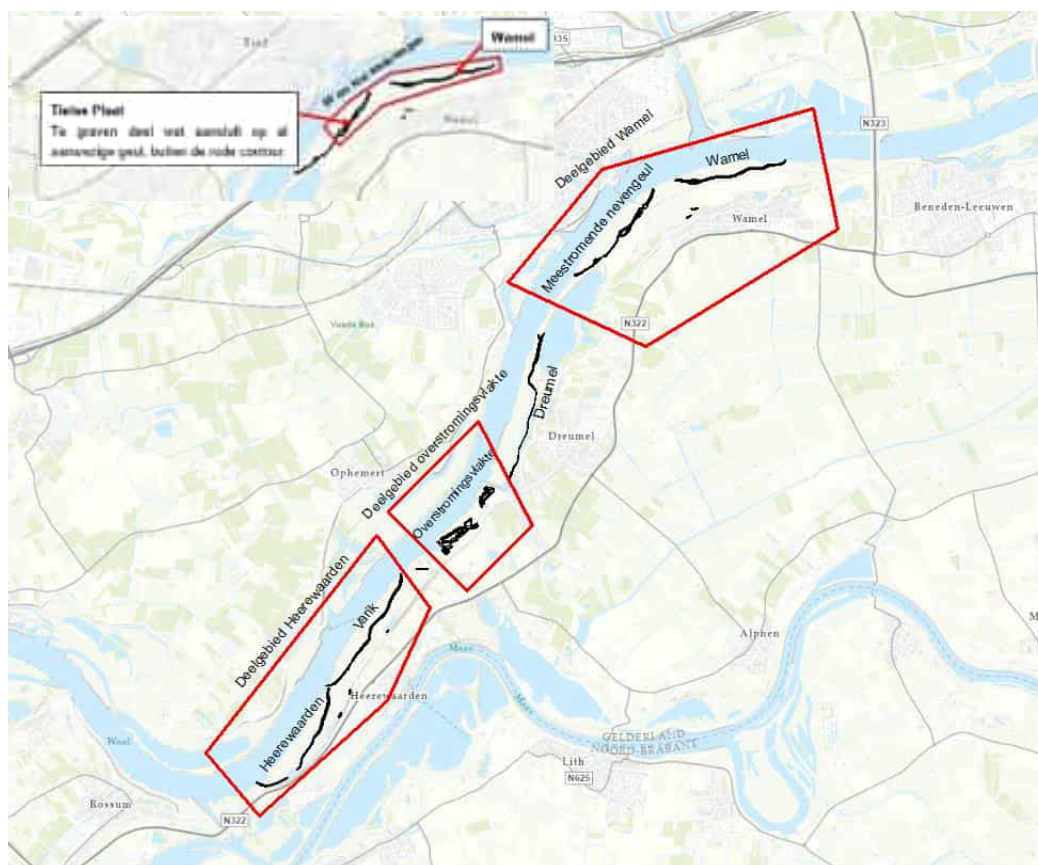
- 1120-180419-11-R03: Volledige rapportage met daarin de beschrijving van modelwijze, effecten, de risico's en maatregelen voor het gehele projectgebied;
- 1120-180419-11-TN05: Technische notitie met daarin de beschrijving van modelwijze, effecten, de risico's en maatregelen voor de gemeente West Maas en Waal;
- 1120-180419-11-TN06: Technische notitie met daarin de beschrijving van modelwijze, effecten, de risico's en maatregelen voor de gemeente Maasdriel.

In deze notitie worden de risico's die gepaard gaan bij het overschrijden van de gestelde eisen beschreven en worden de mogelijk haalbare maatregelen nader uitgewerkt.

Voorliggende notitie heeft als doel om toepasbare maatregelen in het gebied aan te dragen en een toelichting te geven op de maatregelen die door Rijkswaterstaat, Kragten en Fugro worden voorgesteld..

De ontgravingscontouren van het DO 2.0 ontwerp (d.d. 03-02-2021) zijn weergegeven in figuur 1.

Naast de ontgravingen in figuur 1 wordt ook een wijziging van het peilbeheer voorzien in het gebied nabij Heerewaarden, weergegeven in figuur 2. Op de weergegeven vlaktes zal door middel van een stuw water worden vastgehouden na hoogwater. Het vastgehouden water zal na afloop van hoogwater langzaam infiltreren in de bodem. De benaming voor deze ingreep is de gestuurde overstromingsvlakte. Voor deze ingreep wordt niet ontgraven (met uitzondering van zeer lokale ontgravingen voor het aanleggen van infrastructuur zoals duikers).



Figuur 1: Contouren en deelgebieden ontgravingen ontwerp DO 2.0 (d.d. 03-02-2021)



Figuur 2 - gestuurde overstromingsvlakte

In de basis moet het ontwerp grondwaterneutraal zijn volgens de eisen van het waterschap Rivierenland, de gemeente Maasdriel en de gemeente West Maas en Waal.

Aangezien elke wijziging in een uiterwaarde per definitie niet grondwaterneutraal is en er een onzekerheid in de modelberekeningen zit heeft Waterschap Rivierenland (WSRL) de richtlijn Richtlijn toetsing kwel en wegzijging (23 oktober 2003) opgesteld. In de richtlijn worden de volgende eisen met betrekking tot de geohydrologische impact voorgesteld:

- De kwel/wegzijgingsverandering mag maximaal 2% per peilgebied verslechteren ten tijde van een $T=10$ (herhalingsstijd van 10 jaar) hoog- en laagwater situatie en ten tijde van gemiddeld hoog- en laagwater.
- De grondwaterstand mag binnendijs niet met meer dan 5 cm veranderen ten tijde van een $T=10$ hoog- en laagwater situatie en ten tijde van gemiddeld hoog- en laagwater.

Deze richtlijn wordt gevolgd vanuit het waterschap Rivierenland. De gemeente Maasdriel en de gemeente West Maas en Waal houden vast aan de eis dat het ontwerp grondwaterneutraal moet zijn. Op basis van voorliggende notitie waarin de risico's van een niet grondwaterneutraal ontwerp en de inspanning om de effecten te beperken worden beschreven, wordt in overleg met de gemeenten en bij besluit van de gemeenteraden, gekeken of er, mogelijk onder bepaalde voorwaarden, af kan worden geweken van deze eis.

Voor toetsing op dijkveiligheid is door het waterschap Rivierenland op 07-05-2021 een toetsing voorgesteld op basis van de effectieve kwelweglengte (Richtlijn voor de effectbepaling Waterveiligheid van buitendijkse maatregelen, pre-concept, 05-2021). Het voordeel van deze toetsing is dat het huidige geohydrologische (MORIA) model ook kan worden gebruikt voor toetsing van de eisen m.b.t. dijkveiligheid. Door het waterschap Rivierenland is geëist dat de effectieve kwelweglengte met maximaal 2% mag afnemen ten opzichte van de huidige situatie.

Deze toetsing voor kwel/wegzijging is geschreven op basis van modelsimulaties uit de periode 2000 tot 2015. Deze modelsimulaties zijn uitgevoerd met het regionale grondwatermodel MORIA, versie 4.5, 2020. Conform de richtlijn van het waterschap komen de $T = 10$ hoog- en laagwater situatie voor in respectievelijk begin 2003 en eind 2003. De toetsing voor dijkveiligheid is, conform de eisen van het waterschap Rivierenland, geschreven op basis van een stationaire modelsimulaties met maatgevend hoogwater op de Waal en Maas.

Tevens is afgesproken dat indien een ontgraving is gelegen in de beschermingszone van een dijk en na ontgraving minder dan 1 meter klei in de deklaag achterblijft dit moet worden aangevuld tot een pakket van 1,5 m dikte vanwege dijkveiligheid. Indien in het ontwerp ontgravingen plaatsvinden in de beschermingszone van de dijk is derhalve altijd minimaal 1 m klei aanwezig.

Opgemerkt wordt dat in deze rapportage wordt gesproken van het aanbrengen van kleidiktes ter voorkoming van geohydrologische invloed. Voor het berekenen van deze

kleidiktes is uitgegaan van 100 dagen weerstand per meter klei. De aan te brengen klei zal een groot deel van het jaar onder water liggen (wordt aangebracht in de geulen) waardoor een dergelijke weerstand per meter klei realistisch is. Indien een ander type klei wordt toegepast dient minimaal dezelfde weerstand (in dagen) aan te worden gebracht.

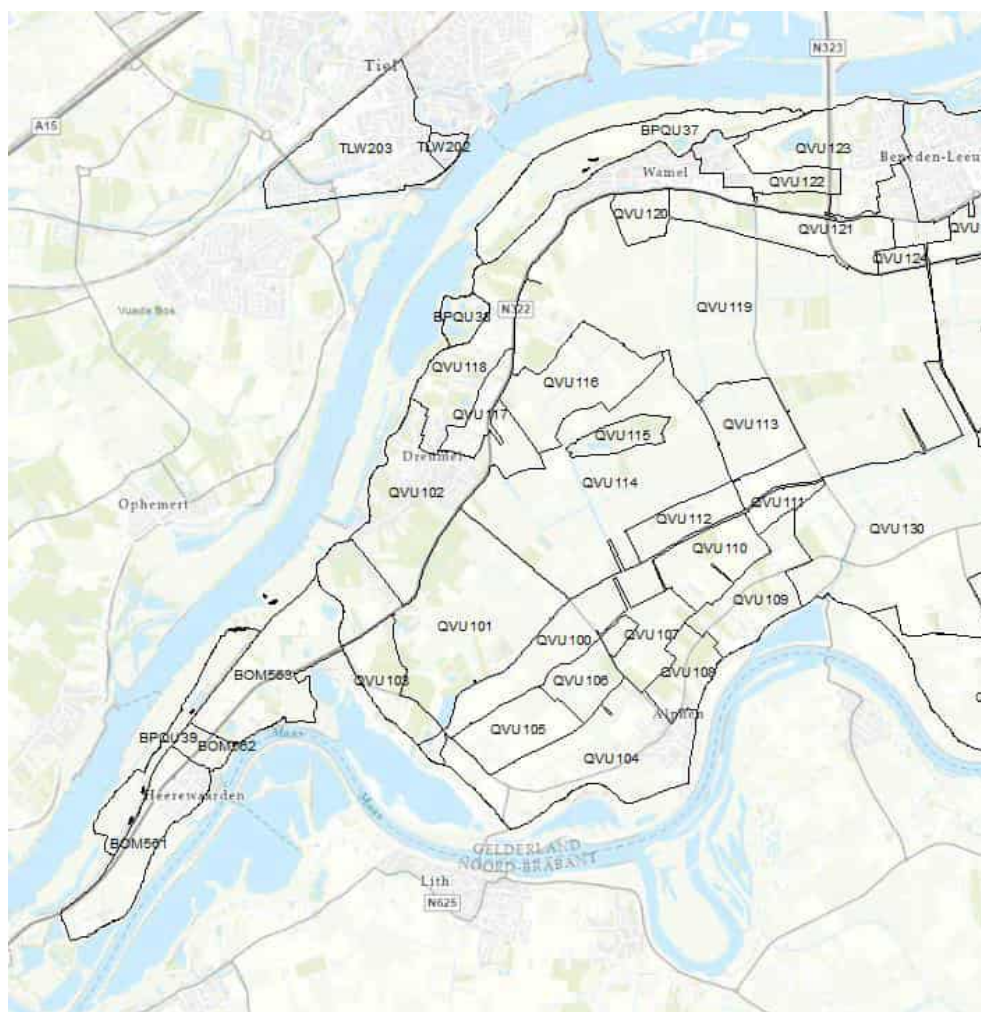
2. Resultaten

In dit hoofdstuk zijn kort de resultaten van de geohydrologische modelberekening weergegeven voor de T = 10 hoogwater en de T = 10 laagwater situatie. De T=10 situatie betreft een situatie waarbij de waterstand op de Waal een herhalingsjijd heeft van 10 jaar, d.w.z. deze hoge, of lage, waterstand komt 1 keer in de 10 jaar voor.

Een samenvatting van de berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen is weergegeven in tabel 1. De berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen zijn in appendix A.1 op topografische ondergrond weergegeven. De berekende kwel/wegzijgingsverandering zijn in percentages weergegeven in tabel 2. In tabel 3 zijn de exacte toenames en afnames van de kwel/wegzijgingsdebieten weergegeven. Voor de exacte modelleringswijze wordt verwezen naar bijlage B.1.

Tabel 1: Uitkomsten modellering UWDH (groen voldoet aan richtlijn waterschap, rood voldoet niet aan richtlijn waterschap)

Locatie	Binnendijkse verandering hoogwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Binnendijkse verandering laagwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]
Nevengeul Wamel	<5 / 7 à 8	5-10 / 8 à 11
Meestromende nevengeul	<5 / 5 à 7	5 / 5 à 8
Dreumel	<5 / <5	<5 / <5
Overstromingsvlakte	<5 / 5 à 30	5 / ≤5*
Gestuurde overstromingsvlakte	<5 / <5	<5 / <5
Varik	<5 / 5 à 10	<5 / ≤5
Heerewaarden	5-6 / 5	<5 / ≤5
* Betreffen enkel modelmatige effecten, zie 1120-180419-11-TN01.		



Figuur 3: Peilgebieden UWDH

Tabel 2: Uitkomsten waterbalans (groen voldoet aan richtlijn waterschap, rood voldoet niet aan richtlijn waterschap)

Peilgebied	Kwel/wegzijgingsverandering in hoogwater situatie [%]	Kwel/wegzijgingsverandering in laagwater situatie [%]
QVU122	<2%	4,2%
QVU118	2,4%	3,2%
QVU102*	2,2%	<2%
QVU101	2,3%	2,4%**
BOM563	10%	<2%
BOM562	2,2%	<2%
BOM561	<2%	<2%
* Door het aanbrengen van klei in de beschermingszone wordt een verlaging ten tijde van hoogwater en een verhoging ten tijde van laagwater berekent voor QVU102		
** Betreffen enkel modelmatige effecten, zie 1120-180419-11-TN01.		

Tabel 3: Uitkomsten waterbalans debieten

Peilgebied	Toename in kweldebiet/afname in wegzijgingsdebiet bij T = 10 hoogwater [m ³ /dag] (overschrijding boven 2% norm)	Afname in kweldebiet/toename in wegzijgingsdebiet bij T = 10 laagwater [m ³ /dag] (overschrijding boven 2% norm)
QVU122	57	-48 (25)
QVU118	224 (38)	-121 (46)
QVU102*	-163 (15)	4
QVU101	99 (13)	-19 (4)*
BOM563	755 (604)	-25
BOM562	20 (2)	-5
BOM561	-60	-22
* Betreffen enkel modelmatige effecten, zie 1120-180419-11-TN01.		

3. Geohydrologische inventarisatie

In dit hoofdstuk worden kort de geohydrologische aspecten van het projectgebied toegelicht. Per onderdeel is onderscheid gemaakt tussen 3 locaties in het projectgebied (figuur 1):

- Deelgebied Wamel: Dit betreft het gebied rondom de meestromende nevengeul en de geul Wamel.
- Deelgebied overstromingsvlakte: Dit betreft het gebied rondom de overstromingsvlakte.
- Deelgebied Heerewaarden: Dit betreft het gebied rondom de geulen Heerewaarden en Varik.

De nevengeul Dreumel zorgt binnendijks niet voor een verandering van de geohydrologische situatie omdat de Vonkerplas tussen het binnendijkse gebied en de geul is gelegen. Op de locatie van de nieuwe geul waar gegraven wordt ten zuiden van de Vonkerplas wordt 1,5 m klei aangebracht, omdat deze ontgraving in de beschermingszone van de winterdijk is gelegen. Vanwege het uitblijven van effecten is deze geul niet beschreven in deze rapportage.

De gestuurde overstromingsvlakte zorgt binnendijks tijdens een T=10 hoog- en laagwater niet voor een verandering van de geohydrologische situatie omdat er niet, of nauwelijks, gegraven wordt voor deze overstromingsvlakten en deze overstromingsvlakten in de huidige situatie tijdens het T = 10 hoogwater al volledig geïnundeerd is en tijdens het T = 10 laagwater volledig droog zal staan. Het vasthouden van water in de overstromingsvlakte na afloop van het hoogwater heeft wel effect op het uitzakken van de grondwaterstand/stijghoogte, echter is de waterdiepte in de gestuurde overstromingsvlakte zo gekozen dat er geen overlast zal ontstaan aan de binnendijkse zijde en zal het water pas worden vastgehouden vanaf het niveau dat geen hinder kan ontstaan. Vanwege het uitblijven van effecten is de gestuurde overstromingsvlakte niet beschreven in deze rapportage.

3.1 Globale bodemopbouw

Per deellocaties is de globale bodemopbouw beschreven. Opgemerkt wordt dat het aantal onderzoekspunten in het projectgebied (met name binnendijks) beperkt is.

3.1.1 Wamel

De uiterwaarde rond Wamel wordt gekenmerkt door een kleiige deklaag. De deklaag bestaat in hoofdzaak uit een iets zandigere toplaag gevolgd door een kleipakket, soms met tussenzandlagen. Ter plaatse van een aantal boorlocaties is de topzandlaag afwezig. De dikte van het kleipakket (en daarmee de gehele deklaag) varieert sterk in de uiterwaarde, van ca. 0,5 m tot lokaal wel 6 tot 8 meter dik (op basis van GeoTOP V1.4, uitgevoerde geofysische metingen en handboringen).

Het binnendijkse gebied wordt gekenmerkt door een sterk variërende deklaag. Lokaal bestaat de deklaag uit dikke lagen van klei (met lokaal veen), soms met een topzandlaag,

maar er zijn, met name in het bebouwde gebied van Wamel ook locaties waar de kleilaag nagenoeg compleet afwezig is (op basis van GeoTOP V1.4, Fugro archief met sonderingen en handboringen). Tevens zijn lokaal zandbanen aanwezig (ca. 3 m dikte) in de kleiige deklaag.

3.1.2 Overstromingsvlakte

In het buitendijkse gebied is volgens de publiek beschikbare bronnen (GeoTOP, Dinoloket) een vrij dikke deklaag van klei (min. ca. 5 m) aanwezig, echter blijkt uit door Fugro uitgevoerd geofysisch onderzoek dat deze kleilagen rond de overstromingsvlakte vrijwel afwezig zijn. Enkel vlak langs de Heerewaardense Afsluitdijk en de Waaldijk ligt nog ca. 1 a 2 meter klei (op basis van uitgevoerd geofysisch onderzoek).

Het binnendijkse gebied wordt volgens publiek beschikbare bronnen gekenmerkt door een wat dikkere deklaag (ca. 5 tot 10 meter) hoofdzakelijk bestaande uit klei. Opgemerkt wordt dat er maar zeer beperkt grondonderzoek beschikbaar is ter plaatse van het binnendijkse gebied en dat bij een enkele boring maar zeer beperkt een kleilaag aanwezig is (ca. 1 m). Gezien de beperkte hoeveelheid grondonderzoek, alsmede het aantonen van de afwezigheid van klei in het buitendijkse gebied door middel van aanvullend geofysisch onderzoek, kan worden gesteld dat de precieze bodemopbouw van het binnendijkse gebied rond de overstromingsvlakte niet goed bekend is. Op basis van de boringen is het aannemelijk dat er een kleilaag aanwezig is in de deklaag (binnendijks), maar de dikte zal hoogstwaarschijnlijk sterk variëren.

3.1.3 Heerewaarden

De uiterwaarde van Heerewaarden wordt gekenmerkt door een zandige toplaag met daaronder een kleilaag met een sterk variërende dikte tot max. ca. 5 m. In het zuidelijke deel van Heerewaarden is, op basis van Geotop V1.4, de kleilaag compleet afwezig.

Het binnendijkse gebied wordt gekenmerkt door een zeer variërende deklaag. Lokaal bestaat de deklaag uit relatief dikke lagen met klei (met lokaal veen), soms met een topzandlaag. Echter zijn verspreid over het gebied ook locaties waar de kleilaag vrijwel compleet afwezig is of er enkel dunne stoorlagen in een zandpakket aanwezig zijn (op basis van GeoTOP V1.4, Fugro archief met sonderingen en handboringen).

3.2 Open water

In tabel 4 zijn de zomer en winterpeilen per peilgebied weergegeven. Voor een figuur van de peilgebieden wordt verwezen naar figuur 3.

Tabel 4: Open water peilen

Peilgebied	Locatie	Zomerpeil [NAP m]	Winterpeil [NAP m]	Opmerking
QVU122	Wamel	4,6	4,2	
QVU118	Wamel	4,0	3,75	
QVU102	Dreumel	3,45	3,15	

Peilgebied	Locatie	Zomerpeil [NAP m]	Winterpeil [NAP m]	Opmerking
QVU101	Overstromingsvlakte	3,1	2,65	
BOM563	Overstromingsvlakte / Heerewaarden	3	3	Aan- en afvoer natuurlijk
BOM562	Heerewaarden	3,3	3,3	Aan- en afvoer natuurlijk
BOM561	Heerewaarden	2,6	2,6	Aan- en afvoer natuurlijk

Met het waterschap Rivierenland zijn per peilgebied de mogelijkheden tot wateraanvoer en waterafvoer besproken. In de noordelijke peilgebieden (QVU122, QVU118, QVU102 en QVU101) wordt het water afgevoerd en aangevoerd door middel van gemalen. Door het waterschap is aangegeven dat er geen overcapaciteit op deze gemalen zit en extra waterafvoer en wateraanvoer met bestaande gemalen niet haalbaar is. Daarnaast is opgemerkt dat de aan- en afvoer voor de zuidelijke peilgebieden (BOM563, BOM562 en BOM561) natuurlijk is en er geen gemalen zijn om water aan- of af te voeren.

Tevens is door het waterschap opgemerkt dat, naast de capaciteit van de gemalen, ook de capaciteit van het watersystemen (netwerk van watergangen) in beschouwing moet worden genomen. Ten tijde van het schrijven van deze notitie heeft Fugro geen gegevens ontvangen over het onderliggende slootsysteem. Deze zullen op een later moment verwerkt worden in de risicoanalyse.

3.3 Landgebruik

Het in deze paragraaf beschreven landgebruik is gebaseerd op het LGN7 en luchtfoto's van het gebied. Het landgebruik is kort beschreven voor de locaties waar wijzigingen in geohydrologische situaties zijn berekend.

3.3.1 Wamel

Het grootste deel van het invloedsgebied in Wamel wordt gekenmerkt als bebouwd gebied (dorpskern). Aan weerszijden van Wamel bevinden zich voornamelijk gronden met een agrarisch landgebruik met lokaal enkele bebouwing.

3.3.2 Overstromingsvlakte

Het grootste deel van het invloedsgebied rond de overstromingsvlakte wordt gekenmerkt als natuur. Binnen het invloedsgebied bevinden zich ook enkele agrarische terreinen. Ten noorden van de Maasdijk en ter hoogte van het buurtschap Veluwe bevindt zich lokaal wat bebouwing.

3.3.3 Heerewaarden

Het invloedsgebied van Heerewaarden wordt gekenmerkt door een groot deel agrarisch landgebruik met lokaal wat bebouwing. Een uitzondering hierop is de bebouwing van het dorp Heerewaarden.

3.4 Overig

3.4.1 Wamel

In de Viaductenbuurt van Wamel is een drainagesysteem aangelegd in het 1^e watervoerende pakket. Dit drainagesysteem zorgt voor vermindering van kwel in de Viaductenbuurt en is gerealiseerd om wateroverlast te voorkomen. De gemeente heeft aangegeven dat bij hoogwater dit systeem uitgezet wordt, omdat de impact van het systeem bij hoogwater minimaal is en de grondwaterstand blijft stijgen, zelfs wanneer water wordt afgepompt. Dit is verklaarbaar omdat het 1^e watervoerende pakket in het projectgebied doorgaans zeer doorlatend is waardoor, bij hoogwater op de waal, het debiet op een drainagesysteem in het 1^e watervoerende pakket sterk zal toenemen. Derhalve heeft de gemeente aangegeven dat het systeem geen overcapaciteit heeft en hierdoor niet geschikt is om een eventuele toename van kwel op te kunnen vangen.

3.4.2 Overstromingsvlakte

Er zijn voor zover bij Fugro bekend geen overige geohydrologische aspecten die van belang zijn voor de beschouwing van de risico's.

3.4.3 Heerewaarden

Er zijn voor zover bij Fugro bekend geen overige geohydrologische aspecten die van belang zijn voor de beschouwing van de risico's.

4. Risicoanalyse

In dit hoofdstuk worden de risico's van de berekende grondwaterstands- en stijghoogteverhogingen/verlagingen (paragraaf 3.1) en de risico's van het toenemen van de kwel/wegzijging (paragraaf 3.2) voor het projectgebied beschreven. Per onderdeel is een algemene beschrijving gegeven en vervolgens onderscheid gemaakt tussen 3 locaties in het projectgebied (zie hoofdstuk 3).

Opgemerkt wordt dat de beschreven risico's enkel gelden voor het binnendijkse gebied. In het buitendijkse gebied kunnen de effecten anders zijn.

4.1 Wateroverlast/onderlast

4.1.1 Bebouwing

Wateroverlast - algemeen

Door grondwaterstandsverhogingen kan wateroverlast ontstaan, met name ter plaatse van bebouwing met kruipruimten, niet waterdichte kelders of waar de vloerconstructie niet volledig waterdicht is uitgevoerd. Wateroverlast voor bebouwing kan ontstaan wanneer de grondwaterstand vlak onder het vloer/kelderpeil of hoger gelegen is.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat de extra kwel door de stijghoogteverhoging wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage). Indien dit niet het geval is zal de stijghoogteverhoging resulteren in een hogere grondwaterstand welke kan leiden tot wateroverlast.

Wateronderlast - algemeen

Door grondwaterstands-/stijghoogteverlagingen kunnen cohesieve grondsoorten zoals klei, leem en veen worden samengedrukt, met zettingen tot gevolg. Hierbij kan worden gedacht aan maaiveldzakkingen en zetting (en deformatie) van op staal gefundeerde panden en (ondergrondse) infrastructuur. Dit is met name het geval wanneer de grondwaterstand/stijghoogte gedurende langere tijd wordt verlaagd tot beneden de in het verleden opgetreden lage waarde. Zettingen, voornamelijk in combinatie met grote hoekverdraaiingen, kunnen bij bebouwing op staal leiden tot schade.

Daarnaast zijn houten paalfunderingen kwetsbaar voor verlagingen van de grondwaterstand tot onder het paalkopniveau. De paalkoppen kunnen in dat geval gaan rotten of worden aangetast door schimmels. Als in het verleden droogstand is opgetreden kunnen de palen reeds aangetast zijn.

4.1.1.1 Wamel

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij bebouwd gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie met een herhalingsjijd van 10 jaar ($T=10$) is als samenvatting weergegeven in tabel 5.

Tabel 5: Samenvatting resultaten bebouwd gebied Wamel

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤ 3	≤ 8
T = 10 laagwater	≤ 9	≤ 11

Wateroverlast

De berekende binnendijkse grondwaterstandsverhoging tijdens een $T=10$ hoogwater bedraagt minder dan 3 cm. Dergelijk veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden. Opgemerkt wordt dat deze berekende verhoging niet grondwaterneutraal is, maar minder is dan de maximale verhoging die het waterschap Rivierenland hanteert in haar richtlijn.

Opgemerkt wordt dat de berekende stijghoogteverhoging ter plaatse van de dorpskern ca. 5 à 8 cm bedraagt. Op basis van de ervaringen binnen de gemeente West Maas en Waal wordt verwacht dat deze stijghoogteverhoging in de praktijk wel zal leiden tot een stijging van de freatische grondwaterstand. Dit zal in de praktijk met name voorkomen op de locaties waar de ondergrond zeer zandig is, wat op basis van (archief)sonderingen op een aantal locaties is vastgesteld.

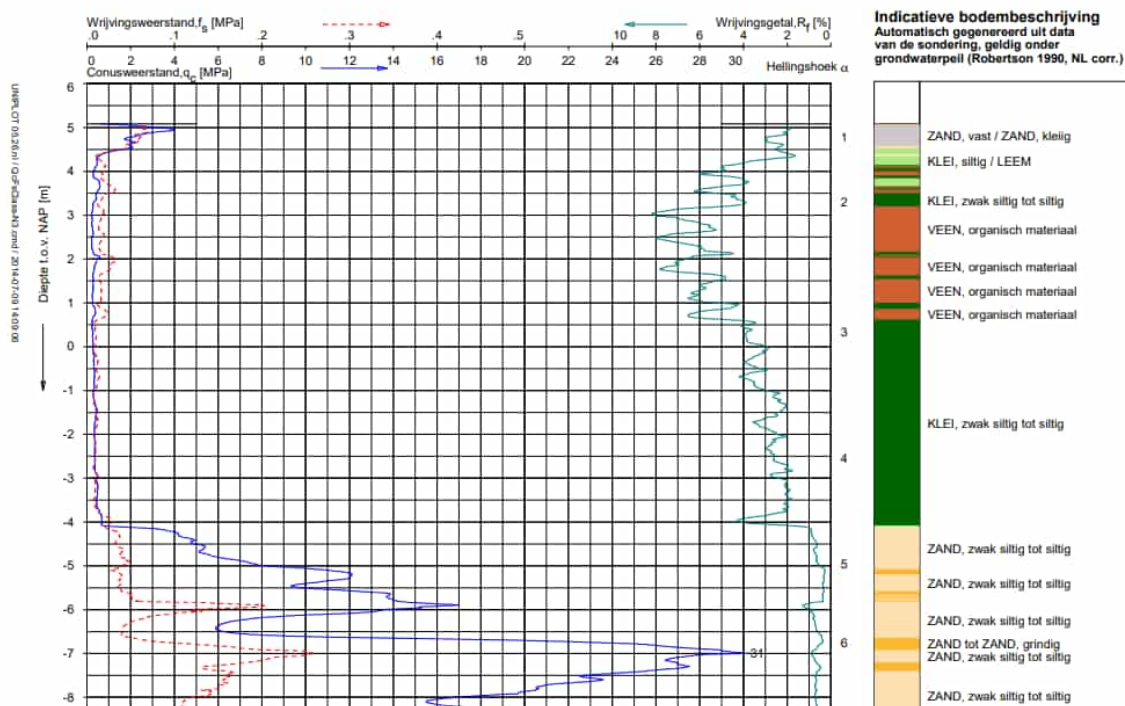
Op basis van de ervaringen binnen de gemeente wordt geconcludeerd dat de stijghoogteverhoging van ca. 5 à 8 cm kan leiden tot een toename van wateroverlast in het gebied. Derhalve zijn maatregelen noodzakelijk om de risico's te beperken (50 cm klei aanbrengen, nader uitgewerkt in hoofdstuk 5).

Wateronderlast

Schade aan bebouwing door wateronderlast kan ontstaan door zettingen. Zettingen treden alleen op wanneer de grondwaterstand/stijghoogte verder uitzakt dan de historisch lage waarde. Omdat (noemenswaardige) zettingen enkel optreden in cohesieve lagen (klei/veen) en de binnendijkse bodemopbouw zeer heterogeen is, is onderscheidt gemaakt tussen een zandige bodemopbouw en een kleiige bodemopbouw.

Bij een kleiige bodemopbouw kunnen zettingen optreden door verlagingen in de grondwaterstand (zettingen uit de bovenzijde van de deklaag, droogvallen topzandlaag) en door verlagingen van de stijghoogte (zettingen uit de onderzijde van de deklaag). Voor de zettingsberekeningen is de sondering uit het Fugro archief in figuur 4 aangehouden. Deze sondering is uitgevoerd ter hoogte van de N322 op de kruising met het Hollenhof en is de

sondering met het dikste pakket aan cohesieve bodemlagen (d.w.z. worst-case) die beschikbaar is in het Fugro archief voor de omgeving van Wamel.



Figuur 4: Sondering voor zettingsberekening

Op basis van de geringe dikte van de topzandlaag (onderzijde op NAP +4,0 m) ter plaatse van deze sondering(en), de grondwaterstandsmetingen aangeleverd door de gemeente West Maas en Waal nabij de Viaductenbuurt (lage grondwaterstand in ieder geval lager dan NAP +3,2 m) en het oppervlaktewaterpeil (zomerpeil NAP +3,75 m, winterpeil NAP +4,0 m) in het peilgebied van West Maas en Waal is het zeer aannemelijk dat de historisch lage grondwaterstand in ieder geval al is uitgezakt tot onder het niveau van de topzandlaag. Dat wil zeggen dat de gehele topzandlaag in het verleden vermoedelijk al gedurende een langere tijd droog heeft gestaan. In dat geval treden geen zettingen meer op uit de bovenzijde van de deklaag. De berekende verlaging van de grondwaterstand (max. 10 cm bij $T = 10$ laagwater) leidt derhalve enkel tot het eerder droogvallen van de topzandlaag maar zorgt niet voor aanvullende/extra zettingen.

De verlaging van de stijghoogte (berekent op max. 11 cm bij $T = 10$ laagwater) kan wel leiden tot zettingen uit de onderzijde van de deklaag. Wanneer uit wordt gegaan van een permanente verlaging van de stijghoogte met 11 cm bedragen de indicatieve eindzettingen (zettingen in 30 jaar) 10 mm (op basis van Terzhagi en de sondering in figuur 4). In werkelijkheid zal deze verlaging niet 30 jaar lang optreden omdat de $T = 10$ laagwatersituatie gedurende een aanzienlijk kortere periode voorkomt (theoretisch eens in de 10 jaar). Derhalve zijn de berekende zettingen worst-case en zullen deze zeer geleidelijk in de tijd optreden.

Daarnaast wordt opgemerkt dat het zeer waarschijnlijk is dat de historische lage stijghoogte lager is dan dat deze zal worden als gevolg van de ingreep. Wanneer de geulen droogvallen is de geohydrologische situatie vrijwel gelijk aan de huidige geohydrologische situatie, immers is, gerekend vanaf de binnendijkse zijde, het eerste oppervlaktewaterlichaam dan de Waal. De waterstand in 2018 is gedurende 2 maanden (in periode oktober-december) lager geweest dan het aanlegniveau van de geulen (ca. NAP +1,9 m). Aangezien de stijghoogte in het gebied sterk wordt bepaald door de waterstand van de Waal is het aannemelijk dat de stijghoogte gedurende die periode ook al lager is geweest dan zal voorkomen bij de laagste waterstand waarbij de geulen in het ontwerp nog niet droogvallen. In het geval de waterstand onder het bodemniveau daalt (zoals in 2018) is de geohydrologische situatie vrijwel gelijk aan de huidige situatie. Zettingen die voortkomen uit een lagere stijghoogte zijn gedurende die periode al grotendeels opgetreden en zullen daardoor niet meer optreden als gevolg van het ontwerp.

Ondersteunend daaraan wordt op basis van betrekkelingslijnen en duurlijnen (relatie tussen waterstand, debiet en periode) van de Waal bij Tiel (Rijkswaterstaat, 2019) tevens geconcludeerd worden dat in de laatste 30 jaar de waterstand van de Waal ca. 45 dagen (gemiddeld 1,5 dag per jaar bij een afvoer bij Lobith van ca. 740 m³/uur) lager is geweest dan het aanlegniveau van de geulen bij Wamel (ca. NAP +1,9 m). Dat wil zeggen dat de geulen uit het ontwerp op deze momenten droog zouden zijn gevallen. Derhalve is het zeer onwaarschijnlijk dat de berekende zettingen (10 mm) optreden.

Daarnaast wordt opgemerkt dat het verhang van de stijghoogte zeer beperkt is (de stijghoogte-verlagingen nemen geleidelijk af) waardoor over een afstand de zettingen gelijkmatig optreden. Hierdoor zijn de hoekverdraaiingen vrijwel nihil. Wanneer beperkte zettingen gelijkmatig optreden ontstaat doorgaans geen schade, zoals scheurvorming.

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat het onwaarschijnlijk is dat zettingen optreden. Zelfs in het worst-case geval, bij de berekende zettingen van maximaal 10 mm, wordt door het uitblijven van een grote hoekverdraaiing (het verhang van de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket is beperkt door de hoge doorlatendheid), geen zettingsschade verwacht wordt door de ingreep.

Bij een zandige bodemopbouw waar nog enkele cohesieve lagen aanwezig zijn zullen de zettingen nog kleiner zijn. Wanneer enkel zand aanwezig is (geen klei/veen) blijven zettingen uit.

Om een beeld te geven van de ordegrootte van de berekende worst-case eindzettingen: op basis van de INSAR (satelliet) data bedraagt de autonome bodemdaling in het gebied ca. 1 à 3 mm per jaar, dat wil zeggen ca. 30 à 90 mm per 30 jaar. Opgemerkt wordt dat berekende zettingen als gevolg van de ingreep samen met de autonome zettingen optreden.

Omdat maatregelen noodzakelijk zijn voor het beperken van de vernatting zal ook de verdroging door deze maatregelen verder beperkt worden (zie hoofdstuk 4), waardoor de kans op zettingen nog verder afneemt.

Zoals omschreven kan ook schade aan bebouwing optreden wanneer de bebouwing op houten palen is gefundeerd en deze houten palen (tijdelijk) droogvallen. Op basis van de bodemopbouw in het gebied is het aannemelijk dat er panden op houten palen zullen zijn gefundeerd. Het risico op schade is sterk afhankelijk van het exacte paalkopniveau en de exacte grondwaterstand.

De berekende grondwaterstandsverlaging van max. 10 cm kan leiden tot (langduriger) droogval van houten paalfunderingen en daardoor aantasting van de houten palen, met name als de houten palen gedurende een langere periode droogvallen. Het exacte risico is zonder informatie over de paalkopniveaus en grondwaterstandsmetingen niet te bepalen. Doorgaans worden houten palen (bovenzijde) enkele decimeters onder de lage grondwaterstand geplaatst waardoor een beperkte verandering van de grondwaterstand normaliter niet tot een risico zal leiden.

Opgemerkt wordt dat in kleiige bodem, zoals in een groot deel van Wamel het geval is, houten palen vaak gedurende langere tijd voldoende vochtig blijven, zelfs wanneer de grondwaterstand tijdelijk uitzakt onder het paalkopniveau (d.w.z. de bodem is vrijwel volledig verzadigd i.p.v. volledig verzadigd). Omdat de berekende verlagingen (op basis van T = 10 laagwater) normaliter gedurende een korte tijd optreden en de verlagingen gedurende een regulier jaar beperkter zijn (ordegrootte 1 à 3 cm) wordt het risico op (extra) droogvallende palen door de ingrepen in de uiterwaarden minimaal geacht.

Gezien de betrekings- en waterstandsduurlijnen van de Waal en de vermoedelijk lagere stijghoogte (die weer invloed heeft op de grondwaterstand) wordt opgemerkt dat, indien panden op houten palen zijn gefundeerd, het mogelijk is dat houten palen in de huidige situatie ook al deels droogvallen waardoor lokaal de staat van de houten paalfunderingen al slechter kan zijn, ongeacht de projectingreep.

Op basis van het risico met betrekking tot houten palen zal een maatregel noodzakelijk zijn (aanbrengen weerstand), zie ook hoofdstuk 5.

4.1.1.2 Overstromingsvlakte

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij bebouwd gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 6.

Tabel 6: Samenvatting resultaten bebouwd gebied overstromingsvlakte

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤2	≤30
T = 10 laagwater	-	-

Wateroverlast

Ter plaatse van de bebouwing wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤2 cm berekend. Dergelijk kleine veranderingen zijn

modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden.

De berekende stijghoogteverhoging gedurende de T = 10 hoogwatersituatie bedraagt binnendijs maximaal 30 cm. Uit de modellering blijkt dat deze stijghoogteverhoging wel tot een toename aan kwel leidt, maar dat dit zodanig afgevoerd wordt door middel van drainage en watergangen dat de grondwaterstand maar ≤ 2 cm stijgt.

Op basis van de modellering wordt geconcludeerd dat de grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm naar verwachting niet leidt tot (toename van) wateroverlast bij bebouwing.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. Mogelijk staat gedurende een deel van de zomerperiode de overstromingsvlakte nog vol met regenwater of kwelwater. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie. De berekende binnendijkse verlaging van ≤ 5 cm is enkel modelmatig, zie ook 1120-180419-11-TN01, d.d. 02-03-2021. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij bebouwing blijft daardoor uit.

4.1.1.3 Heerewaarden

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij bebouwd gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 7.

Tabel 7: Samenvatting resultaten bebouwd gebied Heerewaarden

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤ 3 (lokaal ≤ 4)	≤ 10
T = 10 laagwater	≤ 2	≤ 3

Wateroverlast

Ter plaatse van het merendeel van de bebouwing wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 3 cm berekend. Dergelijk kleine veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden.

De berekende stijghoogteverhoging gedurende de T = 10 hoogwatersituatie bedraagt binnendijs maximaal 10 cm. Uit de modellering blijkt dat deze stijghoogteverhoging wel tot een toename aan kwel leidt, maar dat dit zodanig afgevoerd wordt door middel van drainage en watergangen dat de grondwaterstand ≤ 3 cm stijgt.

Lokaal wordt, nabij de Van Heemstraweg net ten zuiden van Heerewaarden, bij de bebouwing een verhoging van de grondwaterstand van 4 cm berekend ten tijde van de T = 10 hoogwatersituatie. Hoewel niet wordt verwacht dat een dergelijke verhoging direct zal

leiden tot wateroverlast is het niet geheel uit te sluiten. Derhalve zijn lokale maatregelen noodzakelijk (aanbrengen van 25 cm klei, uitgewerkt in hoofdstuk 5).

Wateronderlast

Ten tijde van de T = 10 laagwatersituatie wordt maximaal een grondwaterstandsverlaging van ≤ 2 cm berekend. Dergelijk kleine veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden.

Het uitblijven van verdroging kan in dit gebied verklaard worden door de nabije ligging van de Maas. De Maas compenseert het effect van de te realiseren geulen nagenoeg volledig. Wanneer de waterstand in de Maas lager is dan in de Waal zal de ingreep zelfs zorgen voor een hogere grondwaterstand/stijghoogte in perioden met laag water.

Derhalve wordt geen negatieve invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht. Risico op schade bij bebouwing blijft daardoor uit.

4.1.2 Infrastructuur

Wateroverlast - algemeen

Wateroverlast aan infrastructuur als gevolg van geohydrologische verandering treedt in de praktijk niet snel op tenzij de grondwaterstand dermate hoog is dat het grondwater aan maaiveld (of hoger) komt. Bij een permante stijging van de grondwaterstand kan de ontwateringdiepte (verschil tussen maaiveld en grondwaterstand) van wegen nadelig worden beïnvloed. Dit kan leiden tot het eerder optreden van (vorst)schade aan het wegdek.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra kwel wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage).

Wateronderlast - algemeen

Door grondwaterstands/stijghoogteverlagingen kunnen cohesieve grondsoorten zoals klei, leem en veen worden samengedrukt, met zettingen tot gevolg. Hierbij kan worden gedacht aan maaiveldzakkingen en zetting (en deformatie) van (ondergrondse) infrastructuur. Dit is met name het geval wanneer de grondwaterstand/stijghoogte gedurende langere tijd wordt verlaagd tot beneden de in het verleden opgetreden lage waarde. Zettingen, voornamelijk in combinatie met grote hoekverdraaiingen, kunnen bij infrastructuur (afhankelijk van het type infrastructuur) leiden tot schade. Zettingsschade kan voornamelijk optreden bij kabels en leidingen en wegverhardingen (trottoir, asfalt, etc.).

4.1.2.1 Wamel

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij infrastructuur is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 5.

Wateroverlast

De berekende binnendijkse grondwaterstandsverhoging tijdens een T=10 hoogwater bedraagt minder dan 3 cm. Dergelijk kleine veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden. Echter is, op basis van ervaringen binnen de gemeente, geconcludeerd dat er mogelijk wel wateroverlast kan optreden in Wamel, vooral in combinatie met de berekende stijghoogteverhoging (5 à 8 cm), zie ook 4.1.1. Hoewel het niet in de verwachting ligt dat een dergelijke toename (5 cm) direct zal leiden tot extra schade aan het wegnetwerk (d.w.z. water op straat of verminderde draagkracht) is het in theorie wel mogelijk dat er eerder vorstschade optreedt. Opgemerkt wordt dat het ook mogelijk is dat in het wegcunnet drainage is aangebracht om de ontwatering te garanderen waardoor de effecten beperkter zullen zijn. Maatregelen om wateroverlast te beperken dienen al te worden genomen op basis van de risico's voor bebouwing, bij deze maatregelen dient dan ook rekening gehouden te worden met de risico's voor infrastructuur, zie hoofdstuk 5.

De effecten op het drainagesysteem in de Viaductenbuurt van Wamel zijn beschreven in 4.2.1.

Wateronderlast

In paragraaf 4.1.1. is aangegeven dat de berekende eindzettingen (30 jaar) maximaal 10 mm bedragen, maar dat het aannemelijk is dat de werkelijke zettingen als gevolg van het ontwerp kleiner zijn. Omdat de zettingen enkel optreden in het onderste deel van de deklaag (als gevolg van een stijghoogteverlaging) is de hoekverdraaiing aan maaiveld vrijwel nihil.

De berekende zettingen leiden doorgaans niet tot schade aan infrastructuur, echter omdat maatregelen noodzakelijk zijn voor het beperken van de vernatting zal ook de verdroging nog verder beperkt worden door de te nemen maatregelen (zie hoofdstuk 5).

4.1.2.2 Overstromingsvlakte

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij infrastructuur is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 6.

Wateroverlast

Ter plaatse van de bebouwing wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm berekent. De berekende stijghoogteverhoging gedurende de T = 10 hoogwatersituatie bedraagt binnendijks maximaal 30 cm, zie ook 4.1.1.2.

Op basis van de modellering kan geconcludeerd worden dat de grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm naar verwachting niet leidt tot wateroverlast bij infrastructuur.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie, zie ook 4.1.1.2. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij infrastructuur blijft daardoor uit.

4.1.2.3 Heerewaarden

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij infrastructuur is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 7.

Wateroverlast

Ter plaatse van het merendeel van de bebouwing en infrastructuur wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 3 cm berekent. Lokaal wordt, nabij de Van Heemstraweg net ten zuiden van Heerewaarden, een verhoging van de grondwaterstand van 6 cm berekent ten tijde van de T = 10 hoogwatersituatie. De berekende stijghoogteverhoging gedurende de T = 10 hoogwatersituatie bedraagt binnendijs maximaal 10 cm, zie 4.1.1.3.

De lokale toename van de grondwaterstand met ca. 6 cm kan theoretisch leiden tot het eerder optreden van vorstschade aan de Van Heemstraweg. Opgemerkt wordt dat het ook mogelijk is dat in het wegcunnet drainage is aangebracht om de ontwatering te garanderen waardoor de effecten beperkter zullen zijn. Derhalve zijn lokale maatregelen noodzakelijk (aanbrengen van 25 cm klei, zie hoofdstuk 5).

Wateronderlast

Ten tijde van de T = 10 laagwatersituatie wordt maximaal een grondwaterstandsverlaging van ≤ 2 cm berekent. Het uitblijven van verdroging kan in dit gebied verklaard worden door de nabije ligging van de Maas welke vrijwel volledig compenseert voor de ligging van de geulen, zie ook 4.1.1.3. Derhalve wordt geen negatieve invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht. Risico op schade bij infrastructuur blijft daardoor uit.

4.1.3 Natuur/Groen

Wateroverlast - algemeen

Begroeiing kan schade ondervinden door een te hoge grondwaterstand (eigenlijk een tekort aan zuurstof). De mate van schade en de grondwaterstand vanaf waar schade optreedt hangt sterk af van het type begroeiing en de duur van de hoge grondwaterstand. Een hoge grondwaterstand gedurende korte tijd kan over het algemeen geen kwaad voor natuur/groen omdat er geen directe opbrengst aan gerelateerd is en de natuur / het groen zich op den duur zal herstellen, mits de verhoging niet langdurig is. Dit wil zeggen dat het stedelijk groen in dat jaar misschien niet optimaal groeit, maar in het jaar daarna wel zal herstellen. De exacte schade door wateroverlast aan stedelijk groen/natuur is afhankelijk van het type plant, de hoeveelheid gevallen neerslag, de periode waarin hoge/lage

grondwaterstanden optreden, het wortelniveau en de exacte hoogte van de grondwaterstand.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra kwel wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage).

Opgemerkt wordt dat tuinen van bewoners tevens in de categorie natuur/groen vallen.

Wateronderlast - algemeen

Begroeiing kan schade ondervinden door een tekort aan vocht bij een verlaging van de grondwaterstand. Dit speelt met name in de periode van bladvorming (voorjaar) een rol. Voor het groeiseizoen wordt normaliter uitgegaan van de periode maart-oktober. Later in het jaar is begroeiing veelal beter bestand tegen (extra) vochttekort. Een lage grondwaterstand gedurende korte tijd kan over het algemeen geen kwaad voor natuur/groen omdat er geen directe opbrengst aan gerelateerd is en de natuur / het groen zich op ten duur zal herstellen, mits de verlaging niet langdurig is. Doorgaans kunnen planten beter tegen (een langere periode van) wateronderlast dan wateroverlast. Het schadebeeld van (beperkte) wateronderlast is doorgaans minder extreem. De exacte schade door wateronderlast aan stedelijk groen/natuur is afhankelijk van het type plant, het wortelniveau en de exacte hoogte van de grondwaterstand.

Een stijghoogteverlaging heeft niet direct wateronderlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverlaging niet leidt tot een verlaging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra wegzijging (of vermindering van kwel) wordt aangevoerd in de bodem vanuit omliggende sloten/drainage). Opgemerkt wordt dat de hoeveelheid water wat infiltreert vanuit een sloot de bodem in de praktijk maar zeer beperkt is.

Opgemerkt wordt dat tuinen van bewoners in deze rapportage tevens in de categorie natuur/groen vallen.

4.1.3.1 Wamel

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij stedelijk groen is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 5.

Wateroverlast

Zoals aangegeven in 4.1.1.1. wordt als gevolg van de stijghoogteverandering mogelijk een toename van wateroverlast verwacht in het bebouwde gebied ten tijde van de T = 10 hoogwatersituatie. Deze verwachte grondwaterstandsverhoging kan een negatief effect hebben op het stedelijk groen, met name wanneer deze verhoging langdurig optreedt en de grondwaterstand zich rond, of boven, het niveau van de wortels bevindt.

Opgemerkt wordt dat de GHG (gemiddeld hoge grondwaterstand) maar ≤ 2 cm verhoogd op basis van de langjarige simulatie. Dergelijk kleine veranderingen zijn modelmatig niet

significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden. Dat wil zeggen dat er in de normale situatie geen significante verhoging (op basis van het model) berekend wordt.

Omdat in de normale situatie (GHG) geen significante verhoging berekend wordt kan gesteld worden dat de verhoging van de grondwaterstand enkel bij extremer hoogwater optreedt. Deze extremere situaties komen doorgaans niet gedurende langere perioden voor. Derhalve is het aannemelijk dat eventuele schade enkel tijdelijk zal zijn en het stedelijk groen zich op ten duur zal herstellen. Het risico op permanente schade is echter niet geheel uit te sluiten wanneer een hoogwatersituatie gedurende langere tijd voorkomt.

Opgemerkt wordt dat er voor Wamel al maatregelen voorzien worden die ook het risico op schade bij stedelijk groen beperken, zie hoofdstuk 5.

Wateronderlast

Op basis van de berekeningen wordt bij de T = 10 laagwatersituatie een grondwaterstandsverlaging van 10 cm berekend. Deze verwachte grondwaterstandsverlaging kan een negatief effect hebben op het stedelijk groen, met name wanneer deze verlaging langdurig optreedt en de grondwaterstand zich rond, of boven, het niveau van de wortels bevindt.

Opgemerkt wordt dat de GLG (gemiddeld lage grondwaterstand) maar ≤ 2 cm verlaagd op basis van de langjarige simulatie. Dergelijk kleine veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden. Dat wil zeggen dat er in de normale situatie geen significante verlaging (op basis van het model) berekent wordt.

Omdat in de normale situatie (GLG) geen significante verlaging berekend wordt kan gesteld worden dat de verhoging van de grondwaterstand enkel bij extremer laagwater optreedt. In tegenstelling tot hoogwater komen periodes van langdurig laagwater vaker voor. Echter is de droge periode die planten doorgaans zonder permanente schade kunnen overbruggen groter. Het is niet uit te sluiten dat het stedelijk groen in dat droge jaar geen schade ondervindt maar zolang de plant zich kan herstellen is er geen sprake van groot risico.

Daarnaast wordt opgemerkt dat, gelijk aan de situatie bij houten paalfunderingen, de kleiige bodem in een deel van Wamel vaak vocht goed vasthoudt. De grondwaterstand zakt dan wel uit, maar de bodem blijft nog voldoende vochtig voor het stedelijk groen om water te kunnen onttrekken uit de bodem (door middel van capillaire werking).

Gezien de grotere resistentie tegen droogteschade en het vermogen van een groot deel van de bodem in Wamel om langduriger water vast te houden (in de onverzadigde zone) wordt het risico op permanente droogschade aan het stedelijk groen beperkt geacht. Daarnaast wordt in droge perioden, zoals de afgelopen zomers, beplanting vaak van water voorzien, zowel het openbare groen als particuliere tuinen.

Opgemerkt wordt dat er voor Wamel al maatregelen voorzien worden die ook het risico op schade bij stedelijk groen beperken, zie hoofdstuk 5.

4.1.3.2 Overstromingsvlakte

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij stedelijk groen is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 6.

Wateroverlast

Ter plaatse van stedelijk groen/natuur wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm berekend. De berekende stijghoogteverhoging gedurende de T = 10 hoogwatersituatie bedraagt binnendijs maximaal 30 cm, zie ook 4.1.1.2.

Daarnaast wordt opgemerkt dat de natuur in de omgeving van de overstromingsvlakte vaak gebaat is bij een iets hogere grondwaterstand. Voor een groot deel van het gebied is een grondwaterstandsverhoging derhalve niet negatief.

Op basis van de modellering kan geconcludeerd worden dat de grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm naar verwachting niet leidt tot permanente schade bij natuur/groen.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie, zie ook 4.1.1.2. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij groen/natuur blijft daardoor uit.

4.1.3.3 Heerewaarden

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij stedelijk groen is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 7.

Wateroverlast

Ter plaatse van stedelijk groen/natuur wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 3 cm berekend. Dergelijk kleine veranderingen leveren doorgaans geen permanente schade op aan stedelijk groen/natuur, risico op schade bij natuur/groen blijft daardoor uit.

Wateronderlast

Ten tijde van de T = 10 laagwatersituatie wordt maximaal een grondwaterstandsverlaging van ≤ 3 cm berekend. Het uitblijven van verdroging kan in dit gebied verklaard worden door de nabije ligging van de Maas. De Maas compenseert het effect van de te realiseren geulen nagenoeg volledig, zie ook 4.1.1.3. Derhalve wordt geen negatieve invloed op de

grondwaterstand of stijghoogte verwacht. Risico op schade bij natuur/groen blijft daardoor uit.

4.1.4 Agrarisch landgebruik

Wateroverlast - algemeen

Landbouwgewassen kunnen schade ondervinden door een te hoge grondwaterstand (eigenlijk een tekort aan zuurstof). De mate van schade en de grondwaterstand vanaf waar schade optreedt hangt sterk af van het gewas. Een hoge grondwaterstand gedurende een korte tijd kan in het groeiseizoen al zorgen voor een beperktere gewasopbrengst. Daarnaast kan een hoge grondwaterstand zorgen voor een slechtere berijdbaarheid van de agrarische gronden (verlies van draagkracht). Het risico op schade aan agrarisch landgebruik is ook sterk afhankelijk van de periode waarin de $T = 10$ hoogwatergolf optreedt. Wanneer deze $T = 10$ hoogwatergolf buiten het groeiseizoen optreedt dan zal er geen schade ontstaan.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra kwel wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage).

Wateronderlast - algemeen

Landbouwgewassen kunnen schade ondervinden door een tekort aan vocht bij een verlaging van de grondwaterstand. Dit speelt met name in het groeiseizoen, echter varieert het groeiseizoen sterk per gewas. De mate van schade en de grondwaterstand vanaf waar schade optreedt hangt sterk af van het gewas. Een lage grondwaterstand gedurende een korte tijd kan in het groeiseizoen al zorgen voor een beperktere gewasopbrengst.

Een stijghoogteverlaging heeft niet direct wateronderlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverlaging niet leidt tot een verlaging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra wegzijging (of vermindering van kwel) wordt aangevoerd in de bodem vanuit omliggende sloten/drainage). Opgemerkt wordt dat de hoeveelheid water wat infiltreert vanuit een sloot de bodem in de praktijk maar zeer beperkt is.

4.1.4.1 Wamel

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij het agrarische gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 8.

Tabel 8: Samenvatting resultaten agrarisch gebied Wamel

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤2	≤6
T = 10 laagwater	≤3	≤8

Wateroverlast

Ter plaatse van het agrarisch landgebruik wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm berekend (bij een stijghoogteverhoging van max. 6 cm). Een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm zal doorgaans niet leiden tot een toename van natschade bij het agrarisch landgebruik.

Wateronderlast

Ter plaatse van het agrarisch landgebruik wordt gedurende de T = 10 laagwatersituatie een grondwaterstandsverlaging van ≤ 3 cm berekend. Een grondwaterstandsverlaging van ≤ 3 cm zal doorgaans niet leiden tot een toename van droogteschade bij het agrarisch landgebruik.

4.1.4.2 Overstromingsvlakte

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij het agrarische gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 9.

Tabel 9: Samenvatting resultaten agrarisch gebied overstromingsvlakte

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤ 2	≤ 15
T = 10 laagwater	-	-

Wateroverlast

Ter plaatse van het agrarisch landgebruik wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm berekend. Een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm zal naar verwachting niet leiden tot een toename van natschade bij het agrarisch landgebruik.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie, zie ook 4.1.1.2. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij het agrarisch landgebruik blijft daardoor uit.

4.1.4.3 Heerewaarden

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij het agrarische gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 10.

Tabel 10: Samenvatting resultaten bebouwd gebied Heerewaarden

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤ 3 (lokaal ≤ 6)	≤ 10
T = 10 laagwater	≤ 3	≤ 4

Wateroverlast

Ter plaatse van het merendeel van het agrarisch landgebruik wordt gedurende de $T = 10$ hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 3 cm berekend. Lokaal wordt, nabij de Van Heemstraweg net ten zuiden van Heerewaarden, een verhoging van de grondwaterstand van 6 cm berekent ten tijde van de $T = 10$ hoogwatersituatie.

De lokale toename van de grondwaterstand met ca. 6 cm kan leiden tot het eerder optreden van natschade bij de percelen aan de Van Heemstraweg en een tijdelijke mindere berijdbaarheid van het perceel. Volgens het LHN7 zijn deze percelen vooral in gebruik voor agrarisch gras, echter kan daar bij hoge grondwaterstand ook schade optreden. Aangezien natschade op deze percelen niet geheel is uit te sluiten zijn lokale maatregelen noodzakelijk (zie hoofdstuk 5).

Wateronderlast

Ten tijde van de $T = 10$ laagwatersituatie wordt maximaal een grondwaterstandsverlaging van ≤ 3 cm berekend. Het uitblijven van verdroging kan in dit gebied verklaard worden door de nabije ligging van de Maas. De Maas compenseert het effect van de te realiseren geulen nagenoeg volledig, zie ook 4.1.1.3. Derhalve wordt geen negatieve invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht. Risico op schade bij het agrarisch landgebruik blijft daardoor uit.

4.1.5 Dijkveiligheid

Voor de toetsing op dijkveiligheid zijn voor de referentiesituatie en het ontwerp aanvullende stationaire MORIA berekeningen gemaakt met maatgevend hoogwater. Uit ervaring van het waterschap Rivierenland is gebleken dat de opgegeven intredeweerstand in de uiterwaarde in het MORIA model voor de MHW situatie te hoog is. In de stationaire berekeningen voor dijkveiligheid is, in afwijking van de regulier aangehouden intredeweerstand van 15 dagen, uitgegaan van een intredeweerstand van 5 dagen. Hierdoor bedraagt de intredeweerstand tussen de ca. 2 à 10% van de totale weerstand van de deklaag in de uiterwaarde, uiteraard met uitzondering van de aanwezige strangen en geulen waar de deklaag dunner of afwezig is.

Opgemerkt wordt dat de modelleerwijze voor de uit te graven geulen gelijk is aan de eerder aangehouden modelleerwijze met betrekking tot het invoeren van geulen in de uiterwaarde. Dat wil zeggen dat er gebruik gemaakt is van een "river package" in laag 2 voor de geulen in de uiterwaarde, waarbij de opgegeven conductance in laag 2 afhankelijk is van het nat oppervlak per cel en de resterende deklaagdikte, zie ook hoofdstuk 2 van bijlage A.

De effectieve kwelweglengte is bepaald per 50 m ter hoogte van de winterdijk op basis van de uitkomsten van de MORIA berekeningen. Per 50 meter is getoetst of de kwelweglengte met minder dan 2% afneemt.

Opgemerkt wordt dat de toetsing op dijkveiligheid op een later tijdstip heeft plaatsgevonden dan de toetsing op kwel- en wegzijging. Om deze reden zijn de voorgeschreven maatregelen voor kwel- en wegzijging (aanbrengen 50 cm klei bij Wamel, aanbrengen 25 cm in zuidelijke tak Heerewaarden, zie hoofdstuk 5) al meegenomen in de toetsing voor dijkveiligheid.

Wateroverlast

De berekende toename van de stijghoogte ten tijde van het T = 10 hoogwater ter plaatse van de dijk zijn per deelgebied weergegeven in tabel 11.

Tabel 11: Stijghoogteverandering dijkveiligheid

	Toename stijghoogte bij T = 10 [cm]
Wamel	≤9
Overstromingsvlakte	≤30
Heerewaarden	≤10

Uit de indicatieve toetsing op de effectieve kwelweglengte op 3 locaties waar de stijghoogte het meest wijzigt bij hoogwater (na maatregelen bij overstromingsvlaktes en Heerewaarden) is gebleken dat enkel bij de zuidelijke overstromingsvlakte niet wordt voldaan aan de eis m.b.t. de maximale afname van de kwelweglengte van 2%. In de zuidelijke overstromingsvlakte nam de kwelweglengte in de indicatieve toetsing af met ca. 9%. Om deze reden is voorafgaand aan volledige toetsing besloten om maatregelen te treffen in de zuidelijke overstromingsvlakte, namelijk het aanbrengen van de volledige hoeveelheid afgegraven klei. Door het aanbrengen van een zelfde weerstand als in de voorgaande situatie zal de stijghoogte in de zuidelijke overstromingsvlakte niet toenemen. Voor een verdere uitwerking van deze maatregel, zie hoofdstuk 5.2.

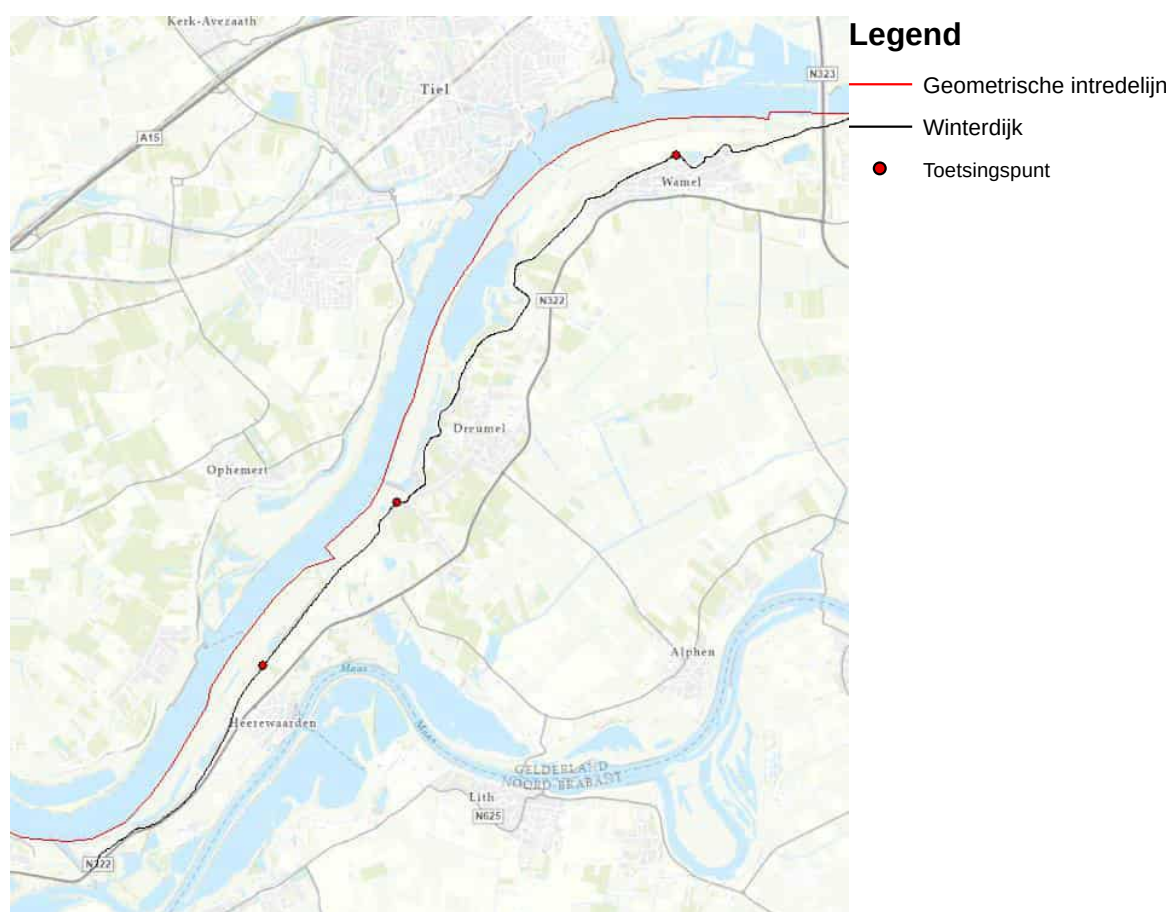
Opgemerkt wordt dat een deel van de zuidelijke overstromingsvlakte in de beschermingszone ligt. Voor de beschermingszone geldt dat voor locaties waar na ontgraving minder dan 1 meter klei in de deklaag achterblijft dit moet worden aangevuld tot een pakket van 1,5 m dikte vanwege dijkveiligheid (eis waterschap).

Het berekende theoretische intredepunt voor de referentiesituatie is weergegeven in bijlage A.3.1. Het berekende theoretische intredepunt voor de ontwerpsituatie is weergegeven in bijlage A.3.2. Een vergelijking van de intredepunten is in detail weergegeven in A.3.3.

Per ontgraving is de grootste verandering (na toepassen van maatregelen) tevens gepresenteerd in tabel 12. De bijbehorende locaties van de grootste wijzigingen zijn met een rode stip weergegeven in figuur 5.

Tabel 12: Wijziging effectieve kwelweglengte

Situatie	Parameter	Wamel	Overstromings- vlakte	Heerewaarden
Referentie	Fysieke voorlandlengte [m]*	537	304	435
	Spreidingslengte [m]	414	230	320
	Effectieve kwelweglengte [m]	357	199	280
Ontwerp	Fysieke voorlandlengte [m]*	533	304	435
	Spreidingslengte [m]	405	224	310
	Effectieve kwelweglengte [m]	351	196	275
Wijziging [%]		1,69%	1,75%	1,97%
* De fysieke voorlandlengte kan in de toetsing wijzigen als gevolg van een wijziging in stroomrichtingen in het 1e watervoerende pakket.				



Figuur 5: Locaties wijziging effectieve kwelweglengte (rode stip = locatie met grootste wijziging)

Geconcludeerd wordt dat door het nemen van de beschreven maatregelen in hoofdstuk 5 (50 cm klei aanbrengen in Wamel, 25 cm in de zuidelijke ontgraving van Heerewaarden en het aanbrengen van eenzelfde kleidikte als de aanwezige dikte in de huidige situatie bij de zuidelijke overstromingsvlakte) de kwelweglengte op geen van de locaties afneemt met meer dan 2%. Hiermee wordt voldaan aan de gestelde eisen van het waterschap Rivierenland.

Wateronderlast

Door grondwaterstands-/stijghoogteverlagingen beneden de historisch lage grondwaterstand/stijghoogte kunnen cohesieve grondsoorten zoals klei, leem en veen worden samengedrukt, met zettingen tot gevolg. De hieronder beschreven effecten van de grondwaterstand gelden voor het ontwerp inclusief maatregelen.

Opgemerkt wordt dat het zeer aannemelijk is dat de bovenste zandlaag in de uiterwaarde al vaak droog zal zijn gevallen waardoor zettingen uit freatische verlagingen ter plaatse van de dijk niet aannemelijk zijn. Gedurende laagwater zal de dijk, en de lagen onder de dijk, in de huidige situatie ook grotendeels droog vallen. Daarnaast zal in een groot deel van de geulen een afdichtende kleilaag worden aangebracht waardoor de freatische laag vrijwel wordt afgesloten van de aan te leggen geul. De enige uitzondering hierop is de noordelijke geul bij Heerewaarden, echter is het daar ook aannemelijk dat de freatische grondwaterstand al wel laag is geweest. Bovendien is de deklaag dusdanig kleiig dat de berekende veranderingen van grondwaterstand nabij de dijk ter plaatse van de noordelijke geul maximaal 2 cm zijn. Dit zal niet leiden tot noemenswaardige zettingen.

De enige berekende verandering groter dan 2 à 3 cm is de berekende verandering van de freatische grondwaterstand bij Wamel (8 cm). Deze verlagingen komen voort uit de berekende toename van wegzijging in het gebied ten tijde van laagwater en treden met name op in de aanwezige zandgeul in de uiterwaarde. Opgemerkt wordt dat een zandige bodem over het algemeen niet zal leiden tot zettingen.

Zettingen als gevolg van een lage stijghoogte zijn zeer onwaarschijnlijk en zullen bovendien, indien deze optreden, grotendeels gelijkmatig zijn. De waterstand in 2018 is gedurende een periode van ca. 2 maanden (in periode oktober-december) lager geweest dan het aanlegniveau van de meeste geulen. Aangezien de stijghoogte in het gebied sterk wordt bepaald door de waterstand van de Waal is het aannemelijk dat de stijghoogte gedurende die periode ook al lager is geweest dan zal voorkomen bij de laagste waterstand waarbij de geulen in het ontwerp nog niet droogvallen. In het geval de waterstand onder het bodemniveau van de aan te leggen geulen daalt (zoals in 2018) is de geohydrologische situatie vrijwel gelijk aan de huidige situatie in perioden met lage waterstanden. Zettingen die voortkomen uit een lagere stijghoogte zijn gedurende die periode al grotendeels opgetreden en zullen daardoor niet meer optreden als gevolg van het ontwerp.

Geconcludeerd wordt dat het niet aannemelijk is dat het ontwerp bij laagwater zal zorgen voor noemenswaardige zettingen bij de dijk.

4.1.6 Overige aspecten

Wateroverlast

Door het toenemen van de stijghoogte kunnen watergangen in het achterland eerder opbarsten dan in de huidige situatie het geval is. Dit speelt met name op de locaties waar de deklaag een relatief beperkte dikte is en het 1^e watervoerende pakket relatief ondiep onder de slootbodem begint. Wanneer slootbodems opbarsten kan het kweldebiet naar de sloten toenemen. Opgemerkt wordt dat in de huidige situatie bij hoogwater vermoedelijk ook al enige mate van opbarsten plaatsvindt.

De toename van de grondwaterstand/stijghoogte bedraagt maximaal enkele decimeters (max. 30 cm) maar is in het grootste deel van het gebied beperkt tot een stijging van max. 10 cm. Onttrekkingen, WKO systemen, archeologische en aardkundige waarden hebben geen negatieve invloed van een dergelijk (voor deze systemen) beperkte toename van de grondwaterstand/stijghoogte.

Wateronderlast

Er zijn geen archeologische of aardkundige waarden gelegen op de locaties waar een grondwaterstands/stijghoogteverlaging van >2 cm wordt berekend. Derhalve worden geen negatieve effecten op archeologische of aardkundige waarden verwacht.

De afname van de grondwaterstand/stijghoogte bedraagt maximaal enkele centimeters (max. 11 cm). Onttrekkingen en WKO systemen hebben geen negatieve invloed van een dergelijk (voor deze systemen) beperkte afname van de grondwaterstand/stijghoogte.

4.2 Waterafvoer/aanvoer

In deze paragraaf worden de risico's met betrekking tot de berekende verandering van de kwel/wegzijgingssituatie als gevolg van het ontwerp per deelgebied beschreven. Een toename of afname van de stijghoogte leidt tot een toename of afname van de kwel/wegzijging in het gebied. Indien dat niet leidt tot een grondwaterstandsverhoging zal dat leiden tot een toename/afname van af of aan te voeren debiet in de watergangen.

4.2.1 Wamel

Hoogwater

In Wamel wordt een toename van de kwelsituatie berekend van 1,5% voor QVU122 en 2,4% in QVU118. Deze toename komt overeen met een toename van het debiet van 57 m³/dag voor QVU122 en 224 m³/dag voor QVU118, zie ook hoofdstuk 2. Daarnaast is de toename van het debiet vooral merkbaar in de dorpskern van Wamel waar wateroverlast en het afvoeren van water al een probleem is. Dergelijke toenames zijn in het gebied rond Wamel niet risicoloos, omdat het watersysteem al aan het maximum zit. Derhalve zijn maatregelen noodzakelijk, zie hoofdstuk 5.

Tevens wordt opgemerkt dat een toename van de stijghoogte rond Wamel ook zal zorgen voor een toename in het debiet van het drainagesysteem in de Viaductenbuurt. Aangezien deze bij hoogwater wordt uitgeschakeld (vanwege hoge debiet en beperkte invloed op de grondwaterstand) wordt een toename van dit debiet als risicovol ingeschat, zie hoofdstuk 5 voor een voorstel voor te treffen maatregelen.

Laagwater

In Wamel wordt een toename van de wegzijgingssituatie berekend van 4,2% voor QVU122 en 3,2% in QVU118. Deze verandering komt overeen met een toename van het aanvoerdebiet van 48 m³/dag voor QVU122 en 121 m³/dag voor QVU118, zie ook hoofdstuk 2. Opgemerkt wordt dat de berekende verandering zich voornamelijk voordoet in de stadskern van Wamel. Een deel van de watergangen/duikers in de stadskern vallen in de zomer grotendeels droog en zijn met name aangelegd voor afvoer van kwel, zie ook 3.2.1. In overleg met de gemeente West Maas en Waal dient onderzocht te worden of het aanvoeren van water naar de stadskern (wat in de huidige situatie ook maar zeer beperkt het geval zal zijn) wel doelmatig is, mits hierdoor geen aanvullende risico's in grondwaterstandsverlaging voortkomen.

Daarnaast wordt opgemerkt dat, gezien de mate van wateroverlast, maatregelen zijn voorzien die ook invloed hebben op de wegzijgingssituatie tijdens laagwater, zie hoofdstuk 5.

4.2.2 Overstromingsvlakte

Hoogwater

Bij de T = 10 hoogwatersituatie wordt een toename van kwel berekend in QVU101 (2,3%) en BOM563 (10%). Dit komt overeen met een toename van 99 m³/dag in QVU101 en 755 m³/dag in BOM563, zie ook hoofdstuk 2. Deze toenames zorgen voor een groter af te voeren debiet in deze peilgebieden. Hoewel de peilgebieden natuurlijk afstromen is de toename van 2,3% en 10% hoger dan de eisen die het waterschap stelt aan de maximale toename, derhalve zijn maatregelen noodzakelijk.

Laagwater

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie. Modelmatig wordt een wijziging van max. 19 m³/dag (2,4%) berekend, maar aangezien de plas droogvalt is het aannemelijk dat er geen veranderingen optreden in werkelijkheid, zie ook 1120-180419-11-TN01. Aangezien de situatie niet verandert ten opzichte van de huidige situatie zijn er voor laagwater geen maatregelen noodzakelijk.

4.2.3 Heerewaarden

Hoogwater

Bij de T = 10 hoogwatersituatie wordt een toename van kwel berekend in BOM563 (10%) en in BOM562 (2,2%). De toename van kwel in BOM563 wordt met name veroorzaakt door het afgraven van waterremmende lagen (klei) ter plaatse van de overstromingsvlakte, zie 4.2.2. In BOM561 (-0,9%) wordt een afname van de kwel berekend, met name vanwege de ligging en de waterstand van de Maas tijdens de getoetste situatie (2003, T = 10 hoogwater). Dit komt overeen met een toename van 755 m³/dag in BOM563, 20 m³/dag in BOM562 en een afname van 60 m³/dag in BOM561, zie ook hoofdstuk 2. De genoemde toenames zorgen voor een groter af te voeren debiet in deze peilgebieden. De afname van kwel in BOM561 ten tijde van hoogwater is positief. Afhankelijk van de exacte inrichting van het watersysteem kan onderzocht worden of de afname in BOM561 voldoende is om de toename in BOM562 te compenseren. Hoewel de peilgebieden natuurlijk afstromen is de toename van 10% en 2,2% hoger dan de eisen die het waterschap stelt aan de maximale toename, derhalve zijn maatregelen noodzakelijk.

Laagwater

Gedurende de T = 10 laagwatersituatie wordt een toename van wegzijging berekend in BOM563 (0,7%), BOM562 (1,0%) en BOM561 (1,4%). De berekende verandering van de wegzijging komt overeen met een afname van het debiet van 25 m³/dag in BOM563, 5 m³/dag in BOM562 en 22 m³/dag in BOM561, zie ook hoofdstuk 2.

Ter illustratie, wanneer uitgegaan wordt van de oppervlaktes van het oppervlaktewater uit het BGT dan betekent de afname van het debiet maximaal een uitzakking van 1,1 mm per dag.

Omdat de peilgebieden enkel een natuurlijke toestroming hebben door kwel/wegzijging (d.w.z. geen aan-/afvoer van gemalen) en de afname van het debiet kleiner is dan 2% wordt geconcludeerd dat maatregelen niet noodzakelijk zijn, mits er geen risico's met betrekking tot wateronderlast ontstaan.

4.3 Samenvatting

In tabel 13 is een samenvatting gegeven van de voorziene risico's als gevolg van het wijzigen van de geohydrologische situatie in het ontwerp.

Tabel 13: Samenvatting risico's ontwerp UWDH

Risico	Situatie	Wamel	Overstromingsvlakte	Heerewaarden
Bebouwing	Hoogwater	Toename risico op wateroverlast door toename grondwaterstand/stijghoogte	Geen risico voorzien	Lokaal toename risico op wateroverlast
	Laagwater	Worst-case 10 mm maar geen hoekverdraaiing verwacht. Aannemelijk dat groot deel van deze al zijn opgetreden. Zelfs in worst-case geval geen risico op schade verwacht. Risico op droogstand houten palen aanwezig	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien

Risico	Situatie	Wamel	Overstromingsvlakte	Heerewaarden
Infrastructuur	Hoogwater	Risico op eerder optreden van (vors)schade aan (lokale) wegen	Geen risico voorzien	Lokaal risico op schade aan Van Heemstraweg
	Laagwater	Worst-case 10 mm maar geen hoekverdraaiing verwacht. Aannemelijk dat groot deel van deze al zijn opgetreden. Zelfs in worst-case geval geen risico op schade verwacht.	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Natuur/groen	Hoogwater	Klein risico op permanente natschade als gevolg van verhoging grondwaterstand	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Minimaal risico op permanente droogteschade als gevolg van verlaging grondwaterstand	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Agrarisch landgebruik	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Lokaal risico op natschade
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Dijkveiligheid*	Hoogwater	Geen risico voorzien	Overschrijding van afname effectieve kwelweglengte	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Overig (WKO, onttrekkingen, archeologie)	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
WATERAANVOER/AFVOER	Waterafvoer	Maatregelen noodzakelijk vanwege grote toename debiet en risico bij drainagesysteem	Maatregelen noodzakelijk vanwege grote toename debiet	Maatregelen noodzakelijk vanwege beperkte toename debiet
	Wateraanvoer	Nader te beschouwen of maatregelen voor wateraanvoer wenselijk zijn	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
* Vanwege het moment waarop de eisen van Dijkveiligheid bekend zijn gemaakt is ervoor gekozen om dijkveiligheid enkel te toetsen op het ontwerp <u>inclusief maatregelen</u> voor kwel/wegzijing.				

5. Voorgestelde maatregelen en discussie

In dit hoofdstuk zijn de meest kansrijke maatregelen per deelgebied gepresenteerd. Deze kansrijke maatregelen zijn tot stand gekomen op basis van verschillende overleggen met de betrokken partijen. Voor een omschrijving van alle onderzochte maatregelen wordt verwezen naar de memo oplossingsrichtingen 1120-180419-11-TN02, d.d. 15-03-2021. Tevens wordt inzage gegeven in de resterende effecten en bijbehorende risico's op basis van de eerder genoemde risico's in 4.3. Daarnaast worden in 5.4 kort de nog te onderzoeken punten beschreven.

5.1 Wamel

In de bebouwde kom van Wamel is vanwege de beperkte beschikbare ruimte geen mogelijkheid voor het bergen van water om de effecten van de ingreep in de uiterwaarde te compenseren. Water aanvoeren naar de dorpskern van Wamel wordt in de huidige situatie niet gedaan en is weinig effectief voor het beperken van risico's waardoor dit ook geen mogelijkheid is voor compensatie, zie ook paragraaf 3.2. Derhalve blijft enkel de mogelijkheid over om weerstand aan te brengen in de te graven geulen in de uiterwaarde. Voor het realiseren/herstellen van de weerstand wordt voorgesteld om klei toe te passen.

Uit het modelleren van verschillende kleidiktes is gebleken dat het aanbrengen van klei met name effectief is voor het beperken van de verhoging van de grondwaterstand en de toename van kwel tijdens hoogwater. Voor het beperken van de verlaging van de grondwaterstand en de toename van wegzijging is het aanbrengen van klei minder effectief.

Hoogwatersituatie

Door het aanbrengen van 50 dagen weerstand (op basis van eerdere aannames over klei komt dat overeen met 50 cm klei) onder de geulen wordt de grondwaterstandsverandering gedurende de $T = 10$ hoogwatersituatie beperkt tot ≤ 1 cm. De berekende stijghoogteverandering achter de dijk bedraagt dan nog ≤ 3 cm. De toename van het kweldebiet wordt daarbij berekent op 1,1% voor QVU118 en 0,8% voor QVU122. Dit komt overeen met een toename van het debiet van 100 m³/dag voor QVU118 en 26 m³/dag voor QVU122.

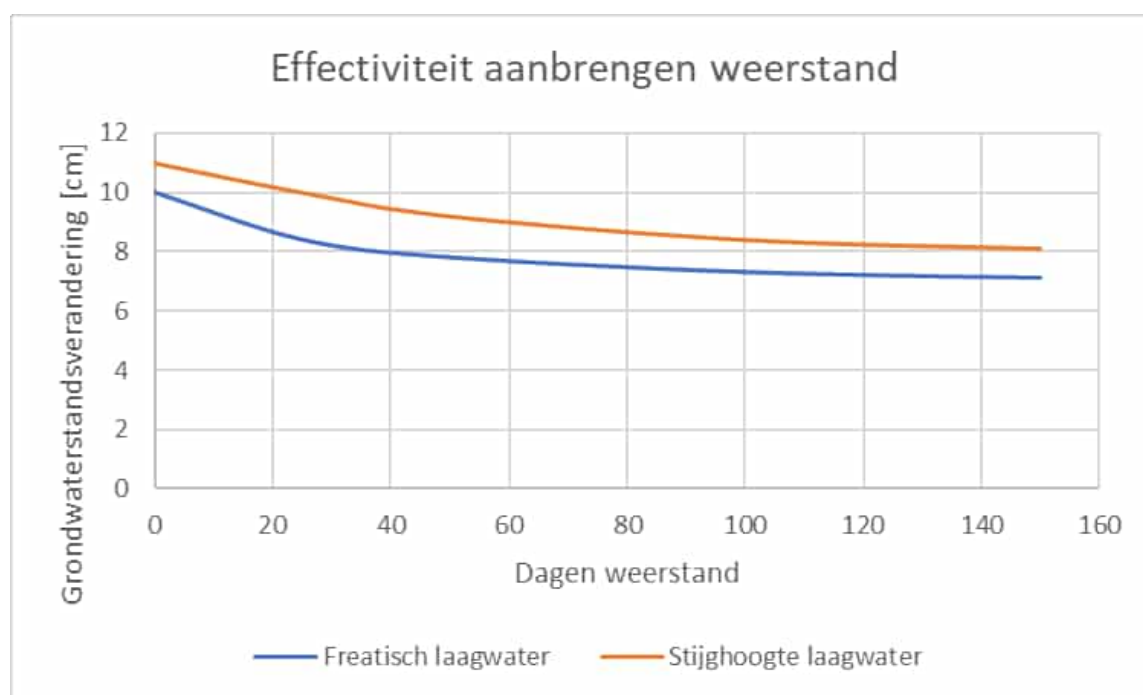
Ter illustratie, een toename van 100 m³/dag op het peilgebied QVU118 komt, wanneer uit wordt gegaan van het oppervlak watergangen in BGT, overeen met een toename van de oppervlaktewaterstand van 1,8 mm per dag voor het peilgebied.

Vanwege het uitblijven van effecten (≤ 1 cm) op de grondwaterstand kan worden geconcludeerd dat bij het aanbrengen van 50 dagen weerstand geen risico meer ontstaat op (een toename van) wateroverlast (bij bebouwing/natuur/agrarisch grondgebruik) als gevolg van de aanleg van de geulen. De stijghoogteverandering van max. 3 cm leidt eveneens niet tot verandering van de genoemde risico's. Uit deze berekening volgt daardoor dat het risico op een toename van het debiet in het drainagesysteem van de Viaductenstraat zeer beperkt

is. De toename van het debiet over de hele peilgebieden (max. 1,1%) ligt binnen de grenzen die in de richtlijn worden genoemd door het waterschap Rivierenland om aanvullend af te voeren binnen het peilgebied.

Laagwatersituatie

Het aanbrengen van weerstand voor het beperken van de verlaging van de grondwaterstand en toename van wegzijging is minder effectief. Door het aanbrengen van 50 cm klei worden de effecten tijdens laagwater wel beperkt, maar niet in dezelfde mate als bij de hoogwatersituatie. De grondwaterstands- en stijghoogteverandering bedraagt na het aanbrengen van 50 cm klei nog maximaal 8 cm. Deze verandering ligt boven de grens van de richtlijn van het waterschap en de eisen van de gemeente.



Figuur 6: Effectiviteit aanbrengen weerstand locatie Wamel

Zoals zichtbaar in figuur 6 is er een omslagpunt waarbij het aanbrengen van extra weerstand voor de laagwatersituatie nauwelijks effecten meer sorteert. Dit omslagpunt ligt bij ca. 30 à 50 dagen weerstand. Het aanbrengen van 150 dagen weerstand (1,5 m klei) in plaats van 50 dagen weerstand (0,5 m klei) heeft nog ca. 1 cm invloed op de berekende verlaging van de grondwaterstand en stijghoogte. Deze berekende beperking heeft geen noemenswaardige invloed op de aangegeven risico's.

Geconcludeerd wordt dat het aanbrengen van meer dan 50 dagen weerstand (50 cm klei) een onevenredig grote inspanning vergt die geen noemenswaardige reductie van risico's oplevert. Meer weerstand aanbrengen vermindert het risico op droogstand van houten palen en het risico op permante schade aan stedelijk groen niet noemenswaardig.

In verschillende overleggen met het waterschap Rivierenland en de gemeente West Maas en Waal is geconcludeerd dat andere oplossingen in het gebied niet mogelijk zijn vanwege

ruimtegebrek of niet wenselijk zijn vanuit een ecologisch oogpunt (bijv. het aanbrengen van folies of polymeren in de uiterwaarde). De beschouwde oplossingsrichtingen, inclusief afwegingen, zijn nader beschreven in 1120-180419-11-TN02. Het aanbrengen van weerstand is derhalve de enige mogelijkheid in het gebied rond Wamel om de effecten en risico's te reduceren.

Door het aanbrengen van 50 cm klei wordt de berekende grondwaterstands- en stijghoogteverlaging beperkt tot 8 cm. Door 8 cm grondwaterstands- en stijghoogtedaling zullen de worst-case eindzettingen ordegrrootte hetzelfde zijn als gepresenteerd in paragraaf 4.1.1.1 van dit rapport en worst-case 10 mm in een periode van 30 jaar bedragen. In paragraaf 4.1.1.1 is aangegeven dat de daadwerkelijke zettingen vermoedelijk veel kleiner zijn omdat het zeer aannemelijk is dat de stijghoogte lager is geweest dan de waarde aangehouden in de zettingsberekeningen (aannemelijk o.b.v. waterstandsduurlijnen en de waterstand van de Waal in oktober-december 2018). In paragraaf 4.1.1.1 is tevens ter illustratie weergegeven dat de autonome zettingen in dezelfde periode ca. 30 tot 90 mm bedragen. Geconcludeerd wordt dat de berekende worst-case eindzettingen in werkelijkheid minder zullen zijn en omdat er geen hoekverdraaiingen worden verwacht (vanwege het beperkte verhang door de hoge doorlatendheid van het 1^e watervoerende pakket) er zelfs bij de worst-case zettingen geen zettingsschade verwacht wordt door de ingreep in de uiterwaarden.

Voor houten paalfunderingen en stedelijk groen is de verlaging van de grondwaterstand zeer beperkt (8 cm) en over het algemeen zou een dergelijke verandering niet tot schade moeten leiden. Het risico wordt mede beperkt omdat de kleiige bodem gedurende langere tijd vocht vasthoudt waardoor aantasting van houten palen (door schimmels en bacteriën) niet zal optreden en de berekende invloed van de ingreep in een regulier jaar (GLG) enkel 2 à 3 cm is. Echter valt het risico op een beperkt negatieve invloed niet volledig uit te sluiten.

Met betrekking tot het aanvoeren van water kan geconcludeerd worden dat dit alleen doelmatig is buiten de dorpskern van Wamel, omdat binnen Wamel in de huidige situatie ook geen wateraanvoer plaatsvindt en een dergelijk beperkte wateraanvoer niet zal leiden tot beperking van de beschreven effecten bij laagwater (immers infiltreert water niet eenvoudig vanuit een oppervlaktewatersysteem in de bodem bestaande uit klei).

In het landelijk gebied rondom Wamel is een toename van wegzijging (afname van aanvoerdebiet) berekend van ca. 2,5% wanneer geen maatregelen genomen worden. Door het aanbrengen van 50 dagen weerstand (50 cm klei) wordt de toename van wegzijging in het landelijk gebied beperkt tot 1,95%. Dit ligt binnen de grenzen van de richtlijn kwel en wegzijging van het waterschap Rivierenland.

Conclusie

Geconcludeerd wordt dat door het aanbrengen van 50 cm klei er geen noemenswaardige verhogingen en bijhorende risico's meer worden voorzien ten tijde van hoogwater en er ten tijde van laagwater nog 8 cm grondwaterstands- en stijghoogteverlaging wordt berekend.

Deze 8 cm grondwaterstands- en stijghoogteverlaging zorgt voor maximaal 10 mm eindzettingen (vermoedelijk minder) en brengt een zeer beperkt risico voor droogstand van houten palen met zich mee. Voor stedelijk groen wordt geen schade verwacht. Geconcludeerd wordt dat er voor het projectgebied nabij Wamel geen andere maatregelen voorhanden zijn om de effecten verder te beperken.

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen na het aanbrengen van 50 cm klei zijn tevens op topografische ondergrond weergegeven in appendix A.2.

5.2 Overstromingsvlakte

Uit hoofdstuk 4 wordt geconcludeerd dat de overstromingsvlaktes enkel risico opleveren voor de toename van kwel wat naar voren komt als een extra debiet in de watergangen.

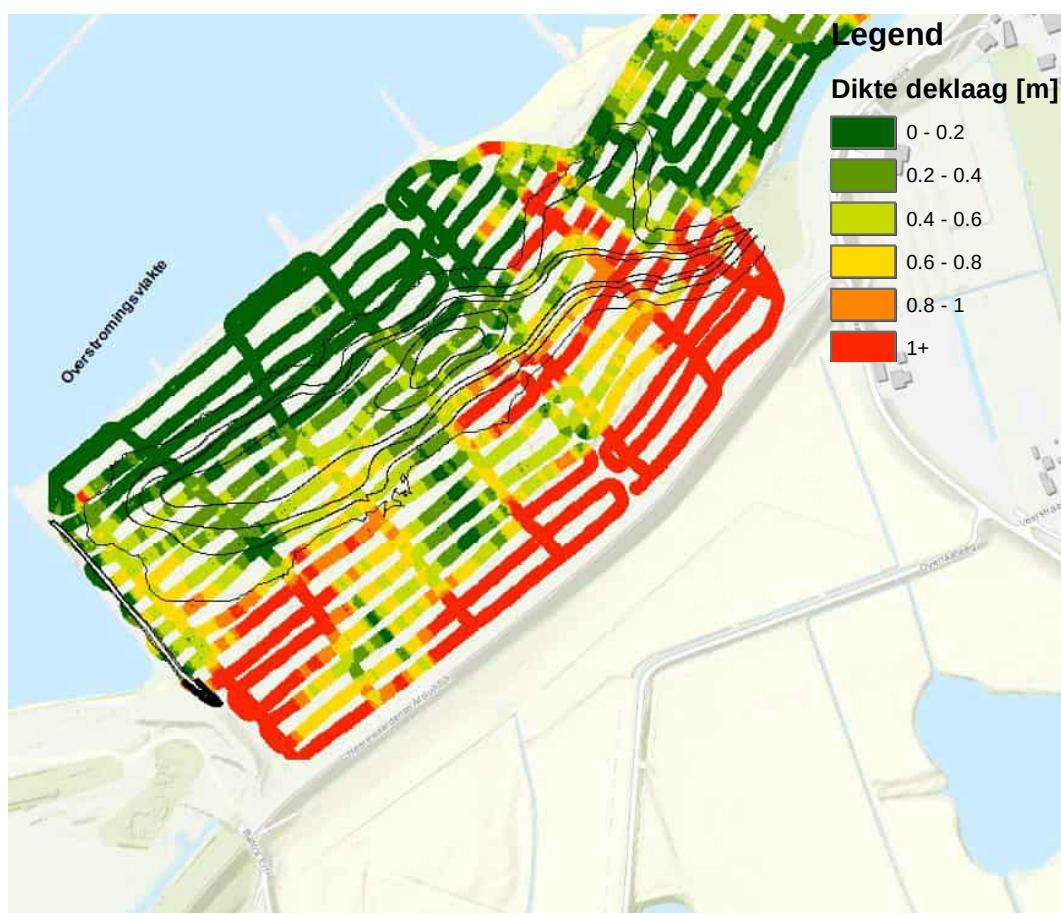
Voor de overstromingsvlakte wordt voorgesteld om een weerstand aan te brengen in combinatie met het bergen van oppervlaktewater. De berging moet een hoeveelheid kunnen bergen gelijk aan de berekende toename van de kwel. Deze combinatie van maatregelen nemen de risico's van de ingreep bij de overstromingsvlakte weg en is het meest doelmatig vanwege de inspanning (zowel in uitvoering als financieel) die vereist is bij het aanbrengen van meer klei in de overstromingsvlakte.

Er dient een minimale weerstand van 25 dagen (25 cm klei) aangebracht te worden in de noordelijke overstromingsvlakte om de kweltoename op de sloten in peilgebied QVU101 te beperken tot binnen de aangegeven eisen in de richtlijn van het waterschap Rivierenland. Na het aanbrengen van 25 cm klei is de debiettoename beperkt tot 1,8%, overeenkomend met 70 m³/dag.

In de zuidelijke overstromingsvlakte dient omwille van dijkveiligheid dezelfde hoeveelheid weerstand te worden aangebracht als er aanwezig is in de huidige situatie. Voor de huidige kleilaagdikte kunnen de geofysische metingen uit het geofysisch onderzoek gebruikt worden, zie bijlage C. De vertaling van geofysische metingen naar bodemlagen is gebeurd op basis van een aantal handboringen in het gebied. In de zuidelijke overstromingsvlakte kan worden uitgegaan van een kleilaagdikte van ca. 60 cm, zie figuur 7. Deze 60 cm dient integraal te worden aangebracht op/onder de bodem van de zuidelijke overstromingsvlakte.

Uitzondering hierop zijn de delen die in een beschermingszone liggen, hiervoor geldt dat indien er na de ontgraving minder dan 1 meter klei aanwezig blijft de deklaag minimaal moet worden aangevuld tot een pakket van 1,5 m klei.

Opgemerkt wordt dat op verzoek van het waterschap Rivierenland de dikte van deklaag tevens geverifieerd is op basis van een aantal handboringen uit het DINO-loket. Hieruit blijkt dat de aangehouden dikte van de deklaag op basis van de geofysische metingen ordegrrootte hetzelfde is als aangetroffen in de handboringen.



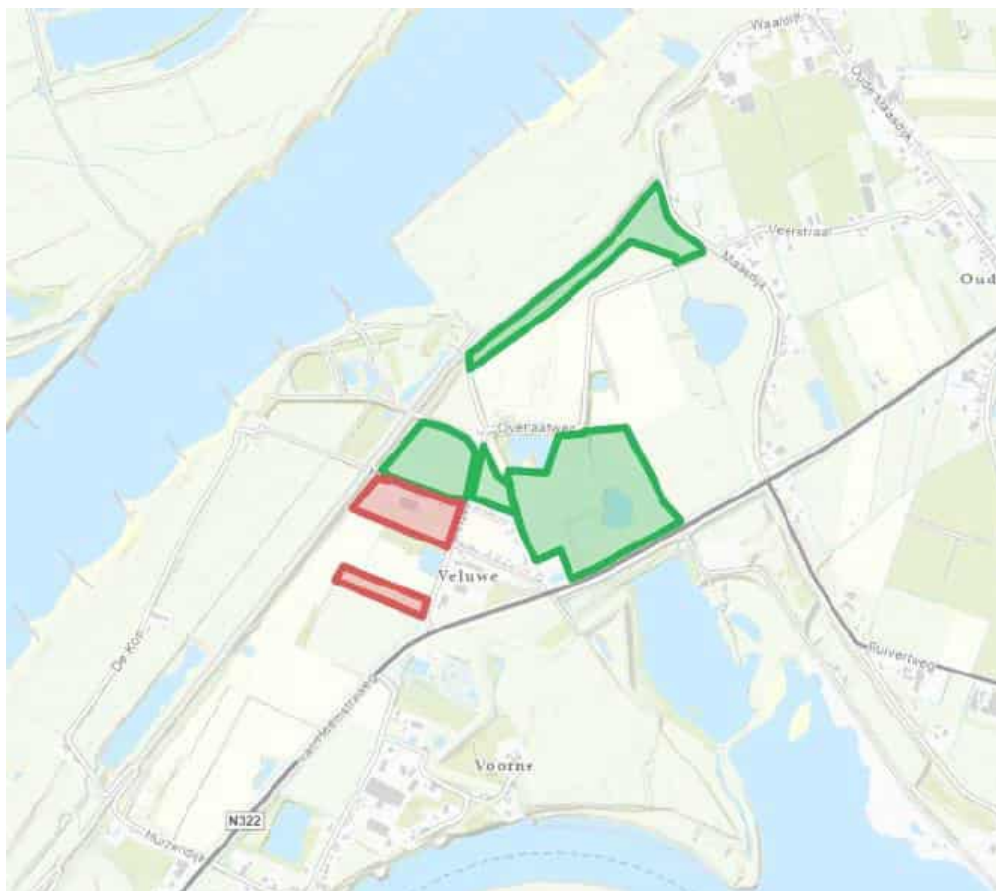
Figuur 7: Aanwezige deklaagdikte zuidelijke overstromingsvlakte

Na het aanbrengen van klei blijft een toename van het afvoerdebiet van 430 m³/dag over. Volgens de richtlijnen van het Waterschap Rivierenland dient uit te worden gegaan van een hoogwatergolf van 10 dagen, dat wil zeggen dat er 4.300 m³ geborgen zou moeten worden in het gebied om de toename te compenseren. Binnen het gebied zijn meerdere percelen in eigendom van Staatsbosbeheer (figuur 8) en is het mogelijk om deze hoeveelheid water tijdelijk te bergen en vervolgens geleidelijk af te voeren naar het oppervlaktewater of te infiltreren. De exacte uitwerking van de bergingslocatie wordt nader uitgewerkt in een aanvullende notitie.

Naast de berging die voortkomt uit de toename van het afvoerdebiet van BOM563 kan ook de toename van het afvoerdebiet uit BOM562 (gemeente Maasdriel) gecompenseerd worden in dezelfde berging. Dit is noodzakelijk omdat er geen eigen grond beschikbaar is in peilgebied BOM562 en enkel het peilgebied BOM563 bovenstrooms is gelegen voor de afvoer van kwelwater. De berekende toename van afvoerdebiet van BOM562 is 20 m³/dag. De te bergen hoeveelheid water uit BOM562 bedraagt derhalve 200 m³. De totale hoeveelheid te bergen water in het gebied van figuur 9 bedraagt daardoor 4.500 m³.

Een aandachtspunt is het aan- en afvoeren van water naar de bergingsgebieden. De exacte details met betrekking tot wateraanvoer en afvoer worden nader uitgewerkt in overleg met het waterschap Rivierenland. Ten tijde van het schrijven van voorliggend rapport is

voorgesteld om waterberging toe te passen nabij Bato's erf omdat deze percelen gelegen zijn aan een afvoerroute volgens de legger van het waterschap Rivierenland.

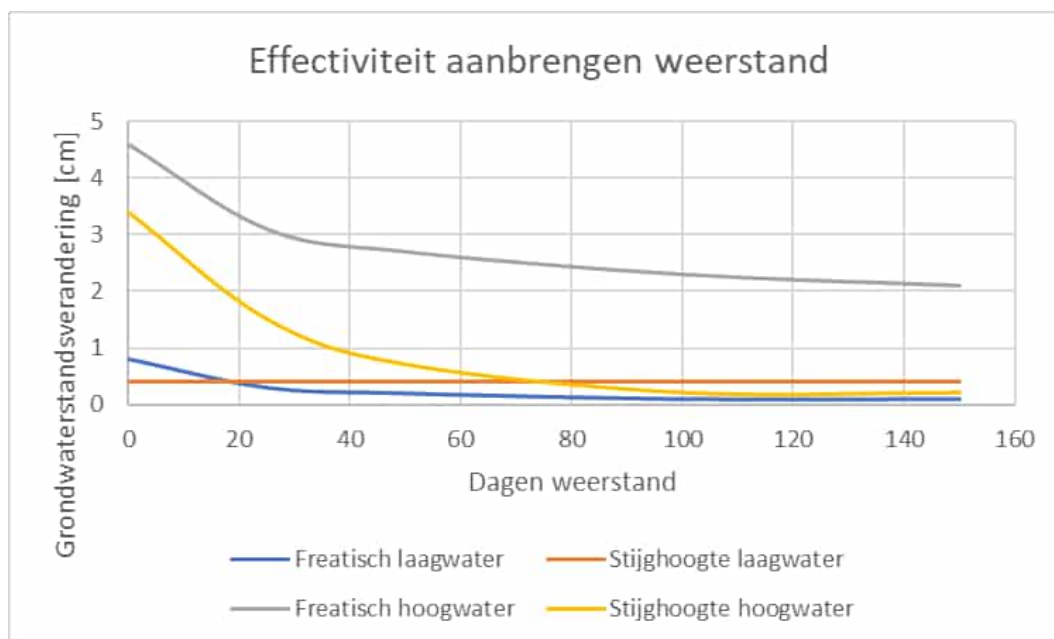


Figuur 8: Eigendom en mogelijkheid tot bergen

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen na toepassen van de maatregelen zijn tevens op topografische ondergrond weergegeven in appendix A.2.

5.3 Heerewaarden

Lokaal worden bij Heerewaarden risico's verwacht voor infrastructuur, bebouwing en agrarisch landgebruik als gevolg van lokale vernatting. Voor overige omgevingsaspecten (zie bijlage A.1) werden geen risico's verwacht. De beschreven lokale risico's kunnen ondervangen worden door het aanbrengen van 25 dagen weerstand (25 cm) klei in het nieuw te graven deel van de zuidelijke geul. De lokale vernatting neemt dan af tot ≤ 3 cm grondwaterstandsverhoging en ≤ 2 cm stijghoogteverhoging. Bij dergelijk kleine veranderingen (modelmatig) worden geen risico's meer verwacht (dit valt eveneens binnen de toegestane marges in de richtlijn van het waterschap).



Figuur 9: Effectiviteit aanbrengen weerstand locatie Heerewaarden

Zoals zichtbaar in figuur 9 is er een omslagpunt waarbij het aanbrengen van extra weerstand voor de laagwatersituatie nauwelijks effecten meer sorteert. Dit omslagpunt ligt bij ca. 20 à 40 dagen weerstand. Het aanbrengen van 150 dagen weerstand (1,5 m klei) in plaats van 25 dagen weerstand (0,25 m klei) heeft nog ca. 1 cm invloed op de berekende verlaging van de grondwaterstand en stijghoogte.

Geconcludeerd wordt dat het aanbrengen van meer dan 25 dagen weerstand (25 cm klei) een onevenredig grote inspanning vergt die geen noemenswaardige reductie van effecten meer oplevert. Bovendien is geconcludeerd dat er geen risico meer verwacht wordt voor de bebouwing, infrastructuur en agrarisch landgebruik na het aanbrengen van 25 cm klei.

Daarnaast wordt een toename van 2,2% in het kweldebiet berekend in BOM562. Deze toename wordt beperkt tot 1,7% door het aanbrengen van 25 dagen weerstand (25 cm klei) of is te bergen op percelen van Staatsbosbeheer. In dat geval moet 20 m³/dag, in 10 dagen dus 200 m³ totaal geborgen worden op één van de percelen. Ten tijde van schrijven wordt voorzien dat berging van deze 200 m³ water plaatsvindt op dezelfde locatie als de berging voor de overstromingsvlakte omdat deze bovenstrooms is gelegen van de afvoerroute van het kwelwater van BOM562 en BOM563. Hierbij gaat de voorkeur van de bergingslocatie uit naar de percelen rond Bato's erf, zie ook figuur 8.

Opgemerkt wordt dat de berging voor BOM563 (deels overstromingsvlakte en deels Heerewaarden) beschreven is in 5.2.

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen na het aanbrengen van 25 cm klei zijn tevens op topografische ondergrond weergegeven in appendix A.2.

5.4 Samenvatting

In tabel 14 is een samenvatting gegeven van de voorziene maatregelen en de resteffecten (grondwaterstands-/stijghoogteverandering en kwel/wegzijgingsverandering) weergegeven. In tabel 15 is een samenvatting van de risico's na toepassing van de maatregelen weergegeven.

Tabel 14: Maatregelen en resteffecten per deelgebied

Locatie	Maatregel	Binnendijkse verandering hoogwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Binnendijkse verandering laagwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Max. Kwel/wegzijgings verandering in hoogwater situatie [%]**	Max. Kwel/wegzijgings verandering in laagwater situatie [%]**
Wamel en Tielse Plaat (te graven deel)	Aanbrengen 50 cm klei	$\leq 1 / \leq 3$	$\leq 8 / \leq 8$	1,1	3,2***
Overstromingsvlakte	Aanbrengen 25 cm klei in noordelijke vlakte, aanbrengen gelijke hoeveelheid klei in zuidelijke overstromingsvlakte	$\leq 5 / \leq 25$	$\leq 5 / \leq 5^*$	8,0	2,2*
Heerewaarden	Lokaal aanbrengen 25 cm klei en berging / compensatie	$\leq 3 / \leq 2$	$\leq 2 / \leq 3$	1,7	1,0

* Betreffen enkel modelmatige effecten, zie 1120-180419-11-TN01.
 ** Betreft de maximale kwel/wegzijgingsverandering voor de verschillende peilgebieden in het invloedsgebied
 *** 2,2% voor QVU118 (Peilgebied waarin het grootste deel bebouwd gebied van Wamel is gelegen)

Tabel 15: Samenvatting risico's ontwerp en maatregelen UWDH

Risico	Situatie	Wamel	Overstromingsvlakte	Heerewaarden
Bebouwing	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Worst-case 10 mm maar geen hoekverdraaiing verwacht. Aannemelijk dat groot deel van deze al zijn opgetreden. Zelfs in worst-case geval geen risico op schade verwacht. Zeer beperkt risico op droogstand houten palen aanwezig.	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Infrastructuur	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Worst-case 10 mm maar geen hoekverdraaiing verwacht. Aannemelijk dat groot deel van deze	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien

Risico	Situatie	Wamel	Overstromingsvlakte	Heerewaarden
		al zijn opgetreden. Zelfs in worst-case geval geen risico op schade verwacht.		
Natuur/groen	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Zeer beperkt risico op permanente droogteschade als gevolg van verlaging grondwaterstand	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Agrarisch landgebruik	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Dijkveiligheid	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Overig (WKO, onttrekkingen, archeologie)	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Wateraanvoer/afvoer	Waterafvoer	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Wateraanvoer	Nader te beschouwen of maatregelen voor wateraanvoer wenselijk zijn	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien

5.5 Conclusie en vervolgstappen

Ten tijde van schrijven is de algemene aanpak voor de verschillende deelgebieden helder, echter dienen nog een aantal dingen nader onderzocht te worden.

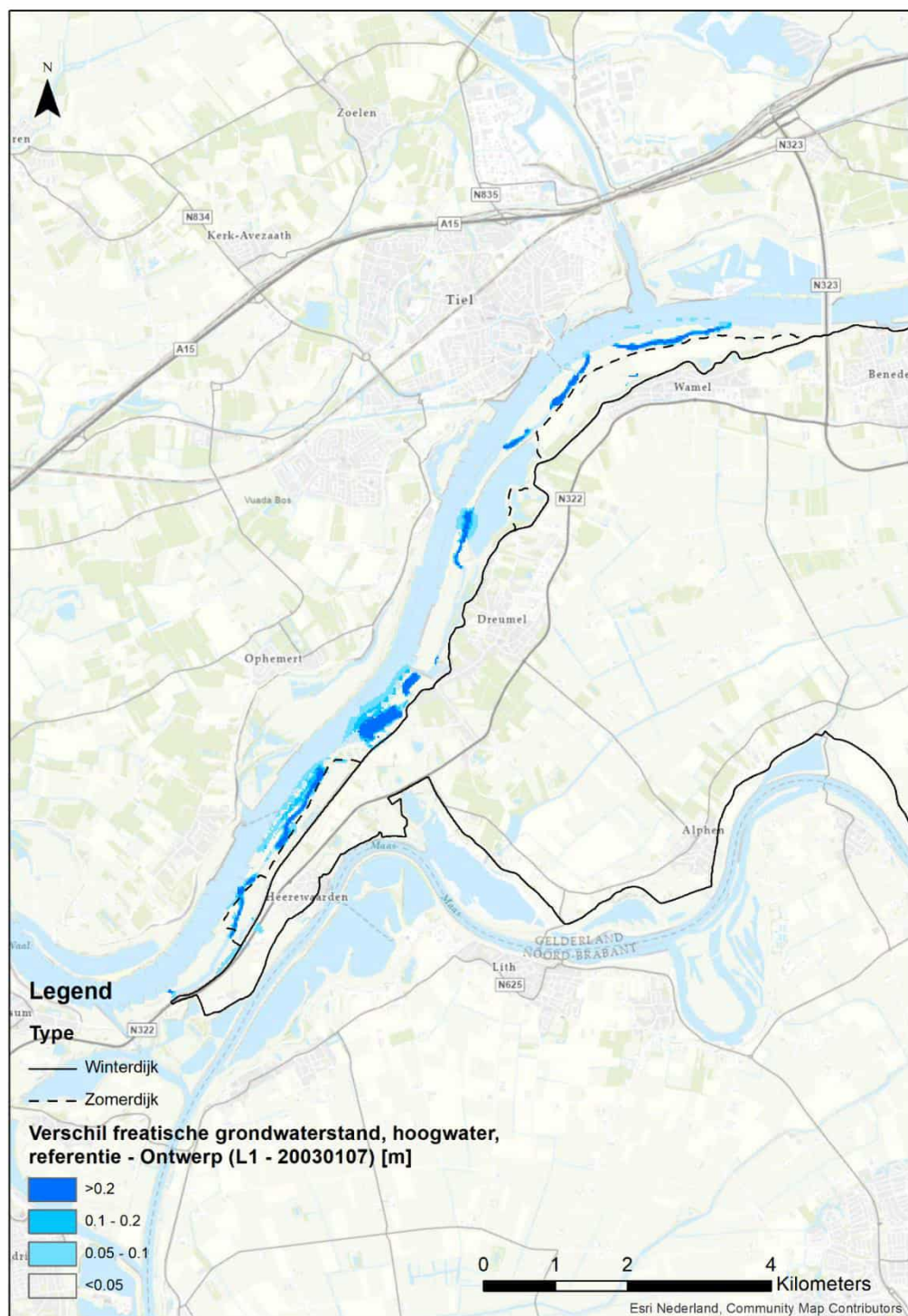
- Tijdens de laagwater periode kan in Wamel niet worden voldaan aan de eisen van het waterschap en de gemeenten. Het aanbrengen van meer dan 50 cm klei wordt niet doelmatig geacht (leidt niet tot afname van risico's) en andere maatregelen zijn in het gebied niet mogelijk. De zettingen die voortkomen uit deze verlagingen (8 cm) zijn op basis van de gehanteerde uitgangspunten klein (< 10 mm) waardoor geen schade wordt verwacht door deze ingreep. Ter illustratie, de autonome zettingen in dezelfde periode bedragen ca. 30 tot 90 mm, waarbij wordt opgemerkt dat berekende zettingen als gevolg van de ingreep samen met de autonome zettingen optreden. De risico's voor houten paalfunderingen en stedelijk groen worden als zeer beperkt ingeschat maar zijn niet geheel uit te sluiten.
- Voor de bergingsopgave is overleg gaande tussen Staatsbosbeheer en Rijkswaterstaat op welke percelen precies berging kan plaatsvinden. De voorkeur gaat uit naar percelen rondom Bato's erf. De exacte locatie zal in overleg met Staatsbosbeheer, de gemeente en waterschap Rivierenland bepaald worden.

- Het voorstel om op meerdere locaties weerstand aan te brengen wordt onderdeel van de aanbesteding en engineering van de aannemer. Daarbij dient extra aandacht te worden besteed aan de werkbaarheid en technische toepasbaarheid.
- Er zijn beperkt gegevens bekend over de watersystemen, met name van belang voor de inlaat en uitlaatcapaciteit van de berging rondom de overstromingsvlakte. Hiervoor is informatie opgevraagd bij het waterschap Rivierenland. Na het beschikbaar komen van de informatie wordt de berging nader uitgewerkt.

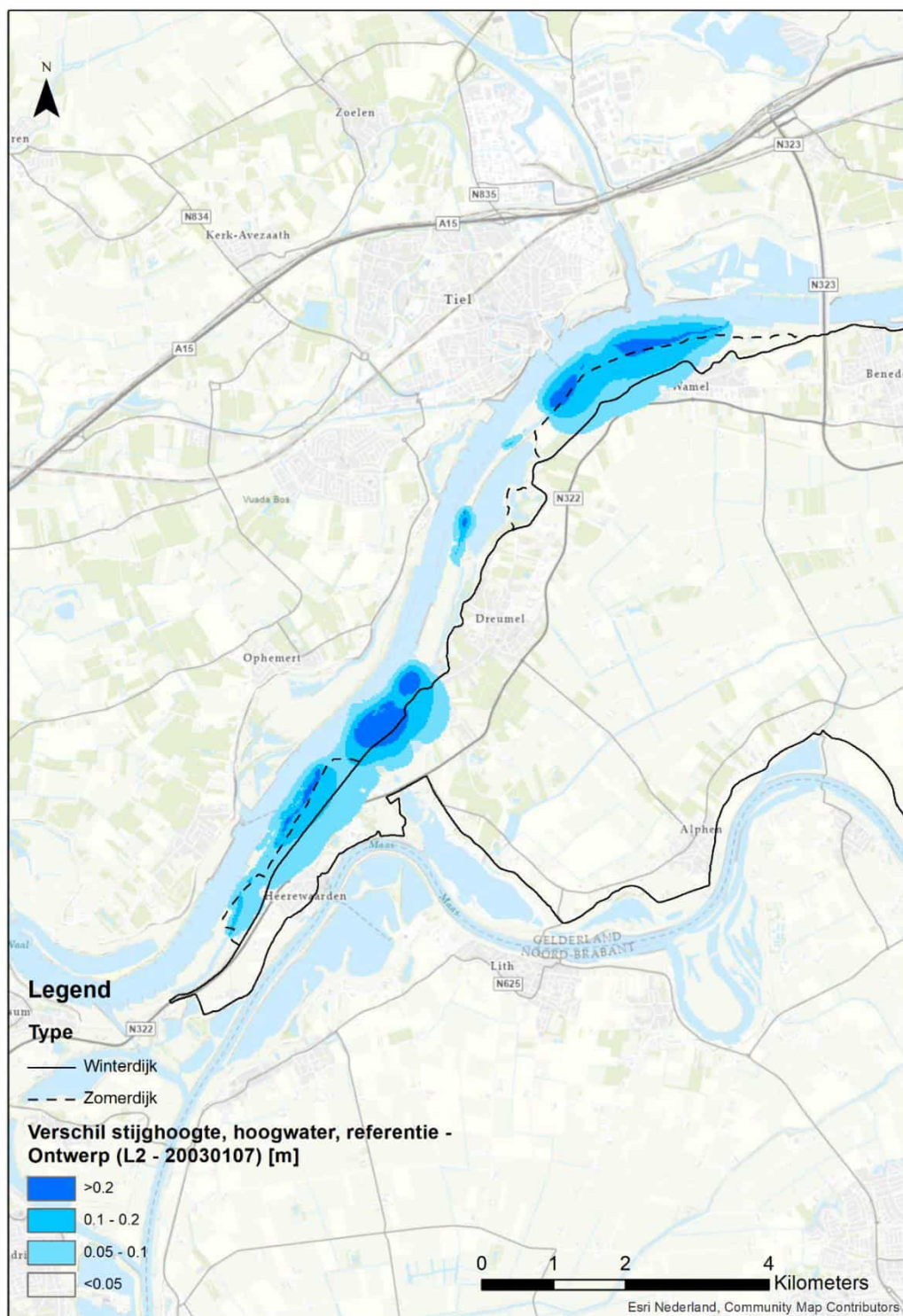
Appendix A

Uitkomsten

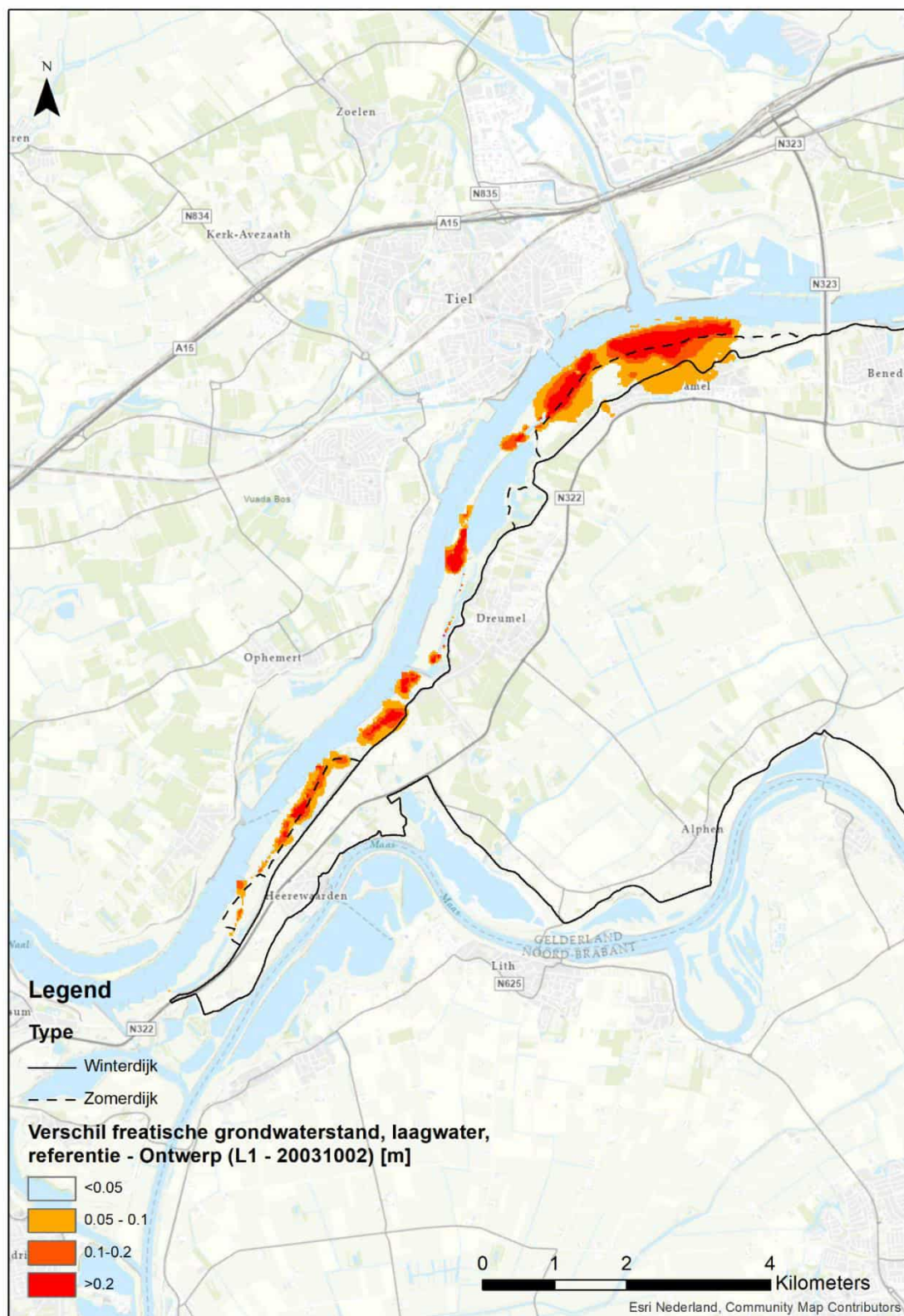
A.1 Berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen



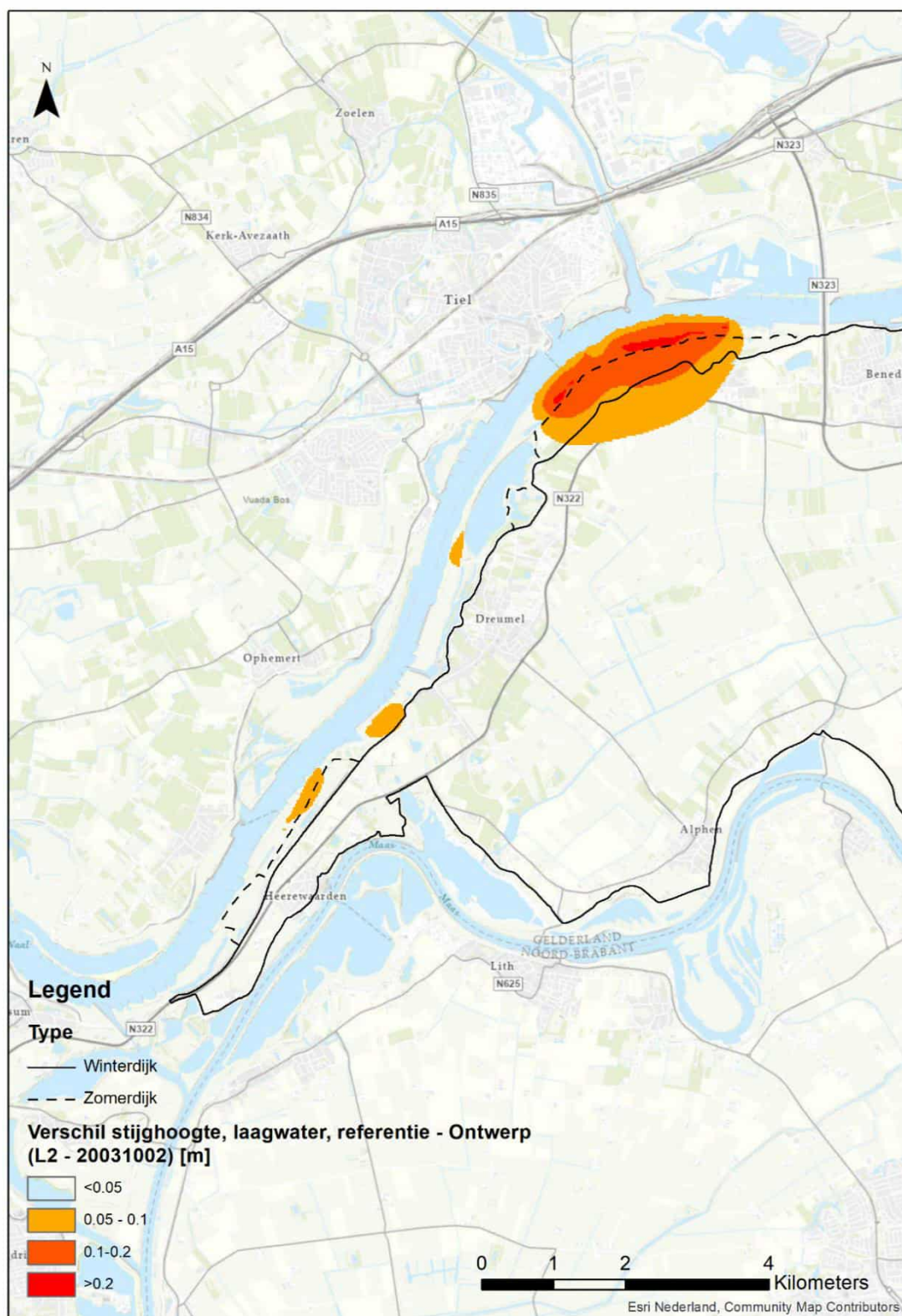
Figuur 10: Verskil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie



Figuur 11: Verschil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie

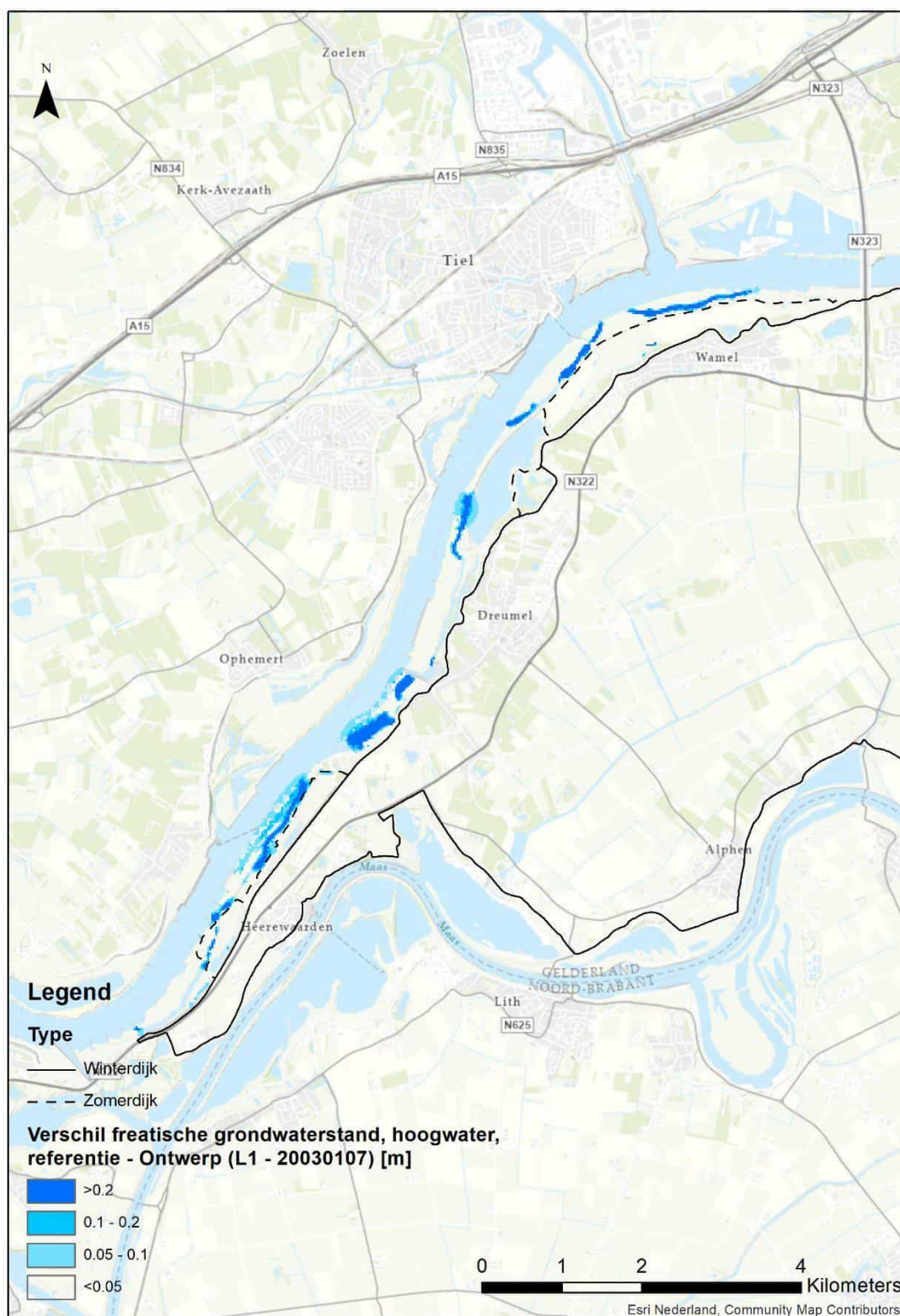


Figuur 12: Verschil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 laagwatersituatie

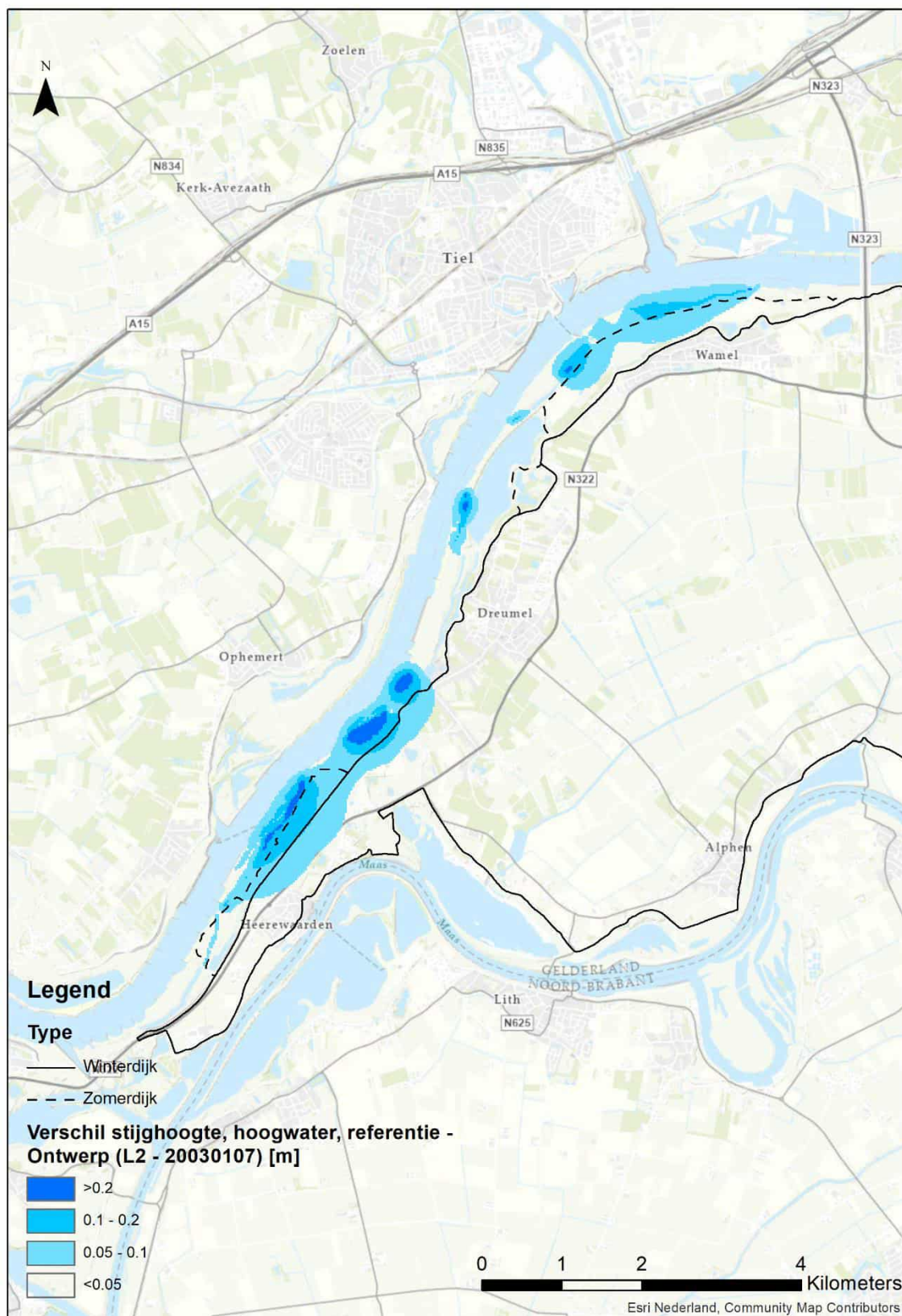


Figuur 13: Verskil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 laagwatersituatie

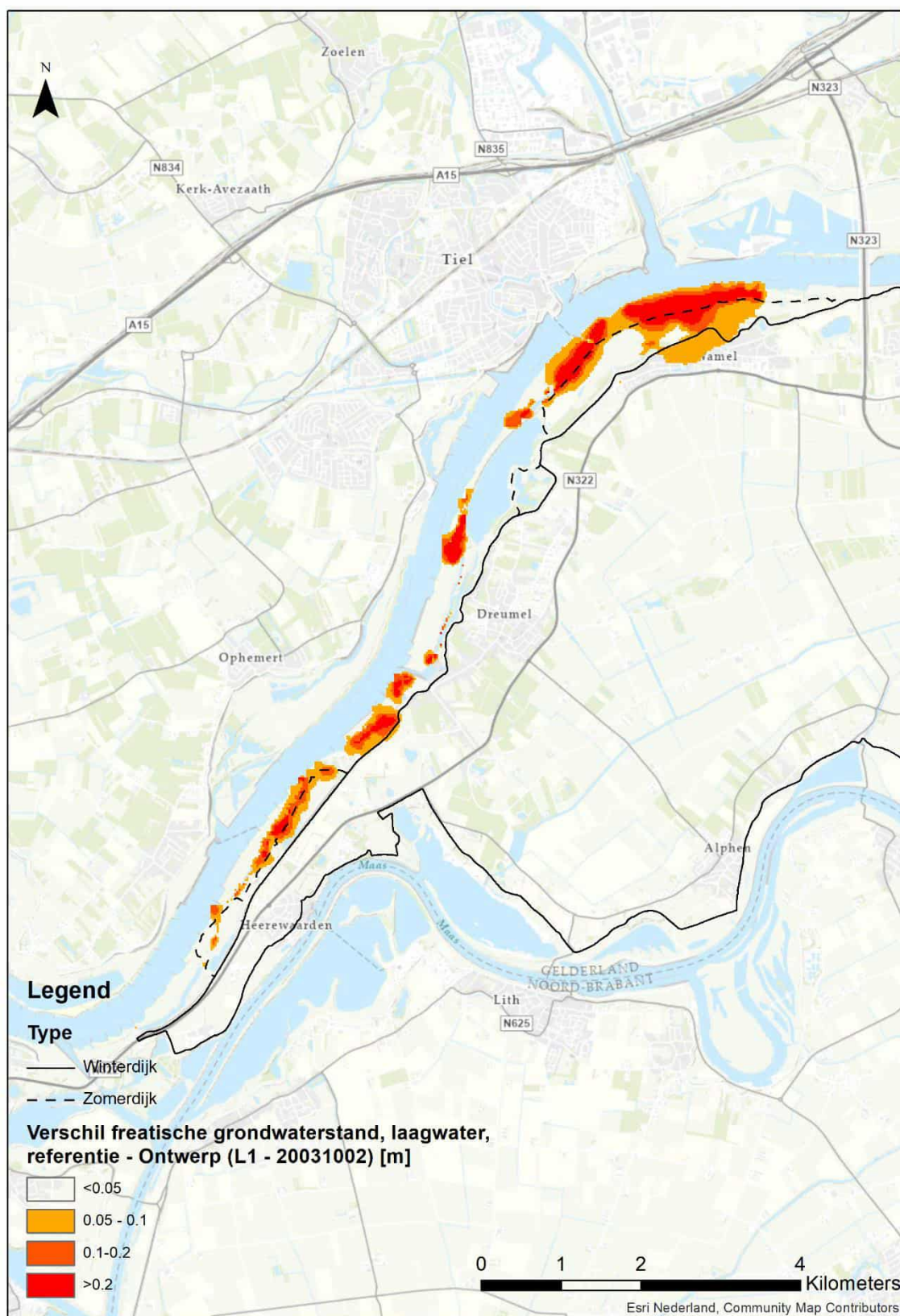
A.2 Berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen na maatregelen



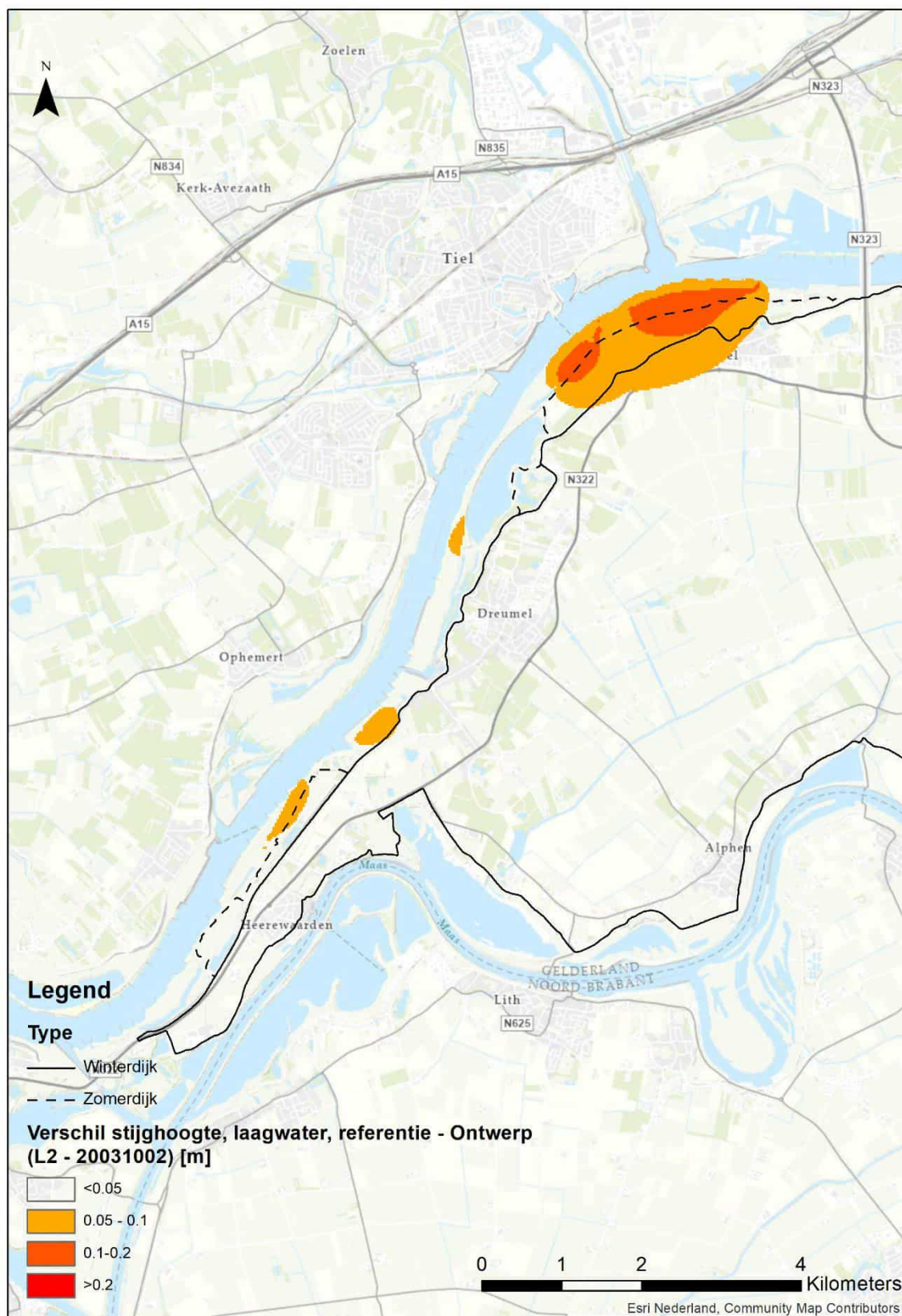
Figuur 14: Verschil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp na maatregelen voor een T=10 hoogwatersituatie



Figuur 15: Vershil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp na maatregelen voor een T=10 hoogwatersituatie



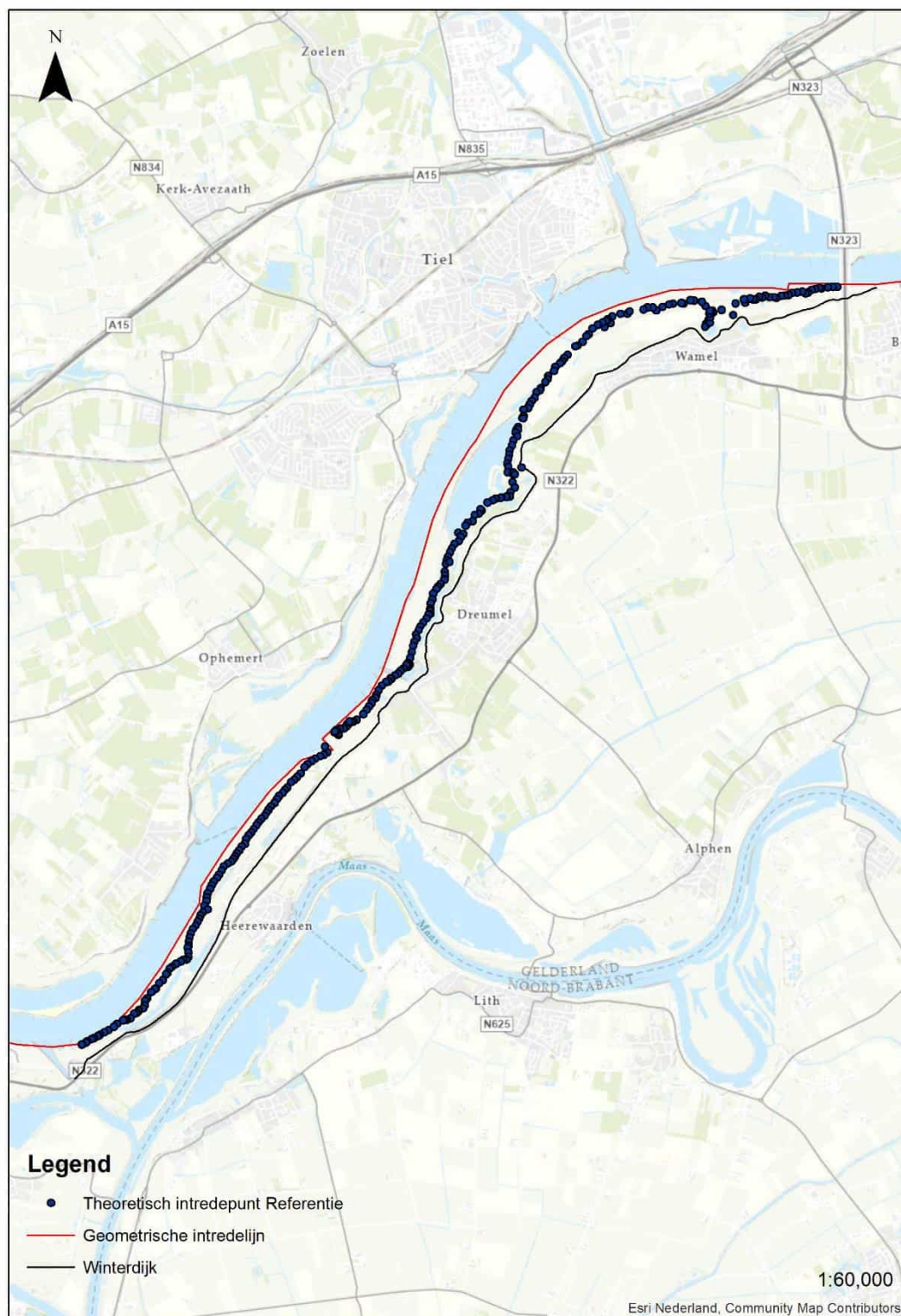
Figuur 16: Verskil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp na maatregelen voor een T=10 laagwatersituatie



Figuur 17: Verschil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp na maatregelen voor een T=10 laagwatersituatie

A.3 Kwelweglengte

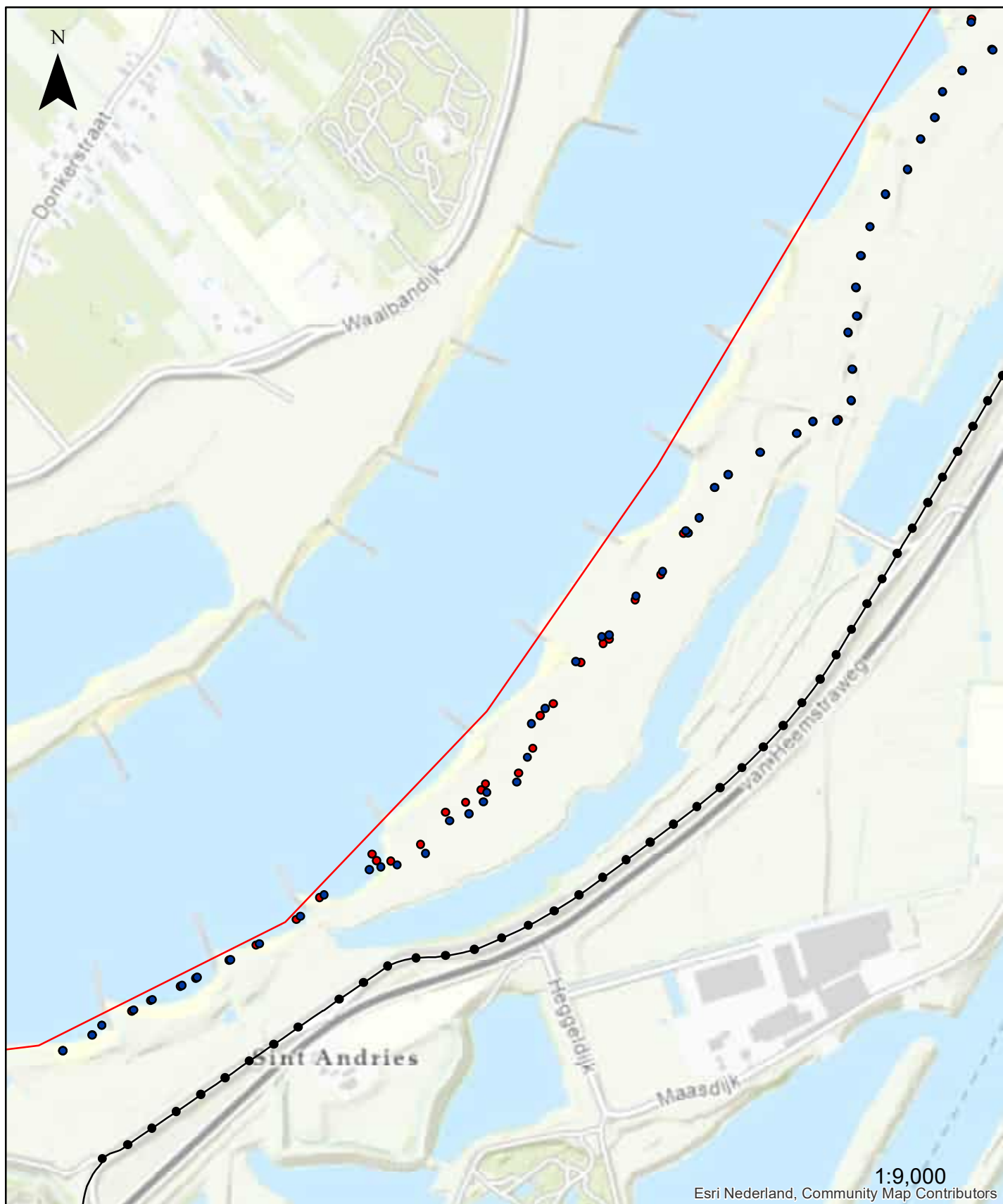
A.3.1 Referentiesituatie



A.3.2 Ontwerpsituatie



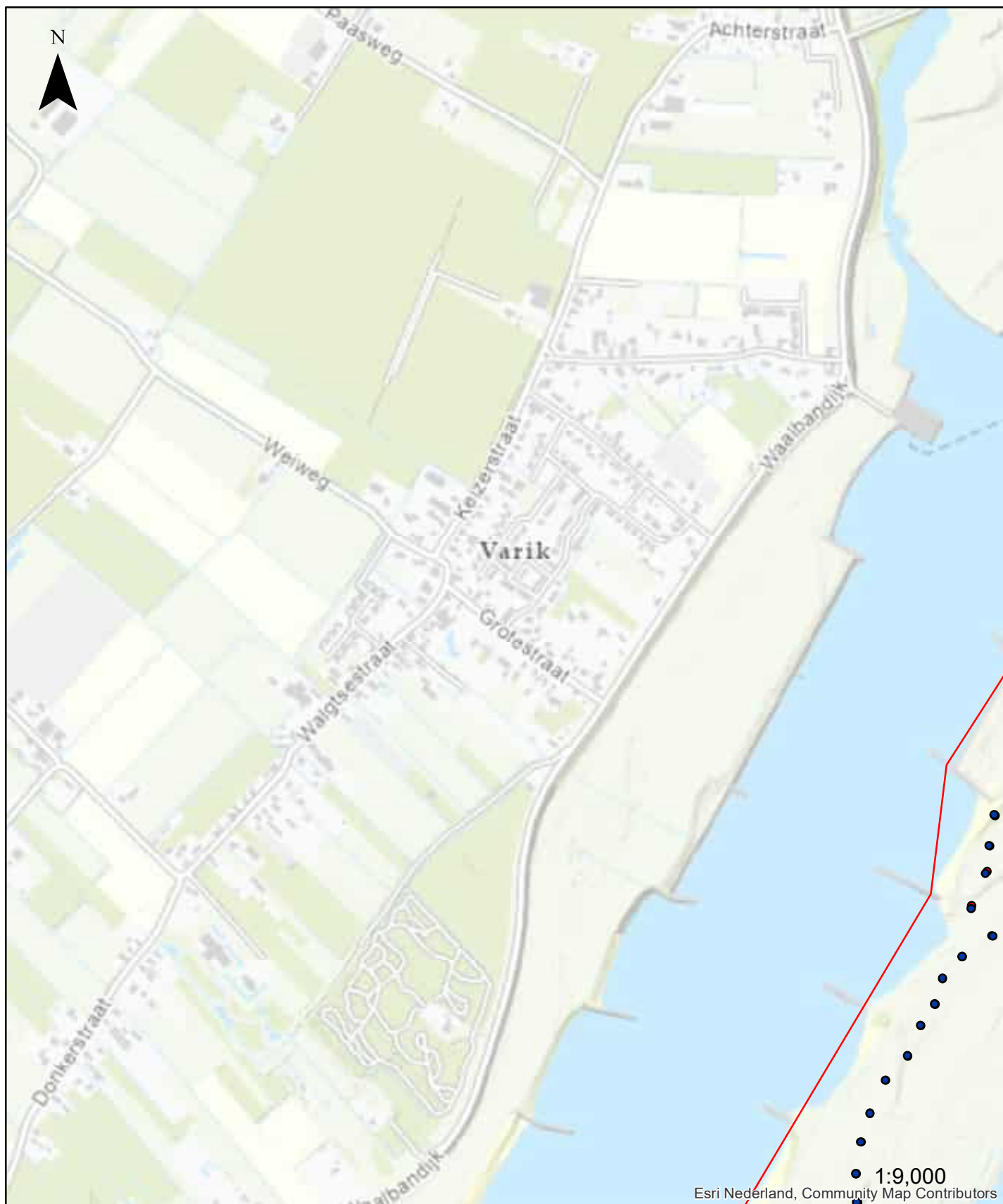
A.3.3 Lokale veranderingen



Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





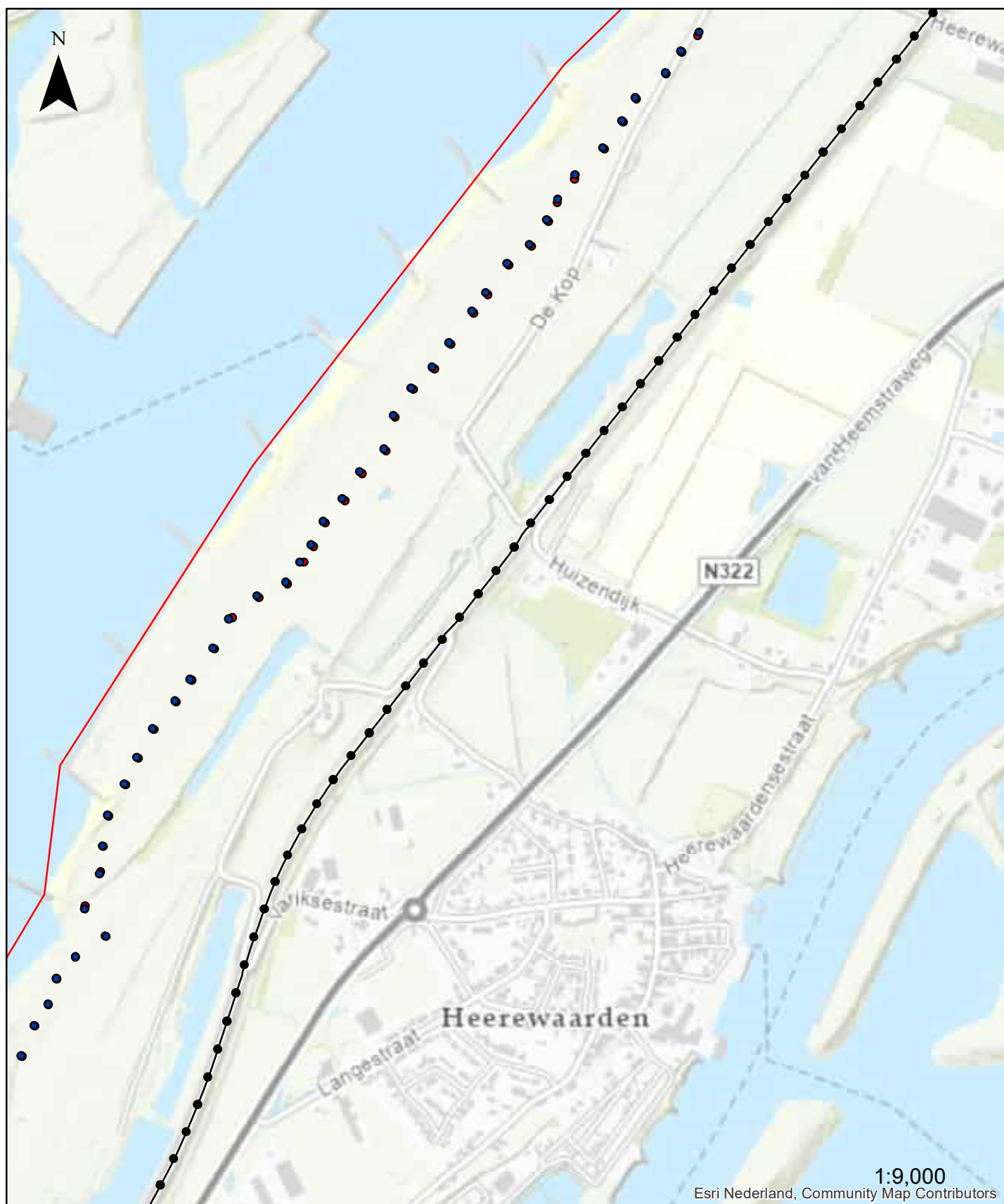
Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie

— Geometrische intredelijn

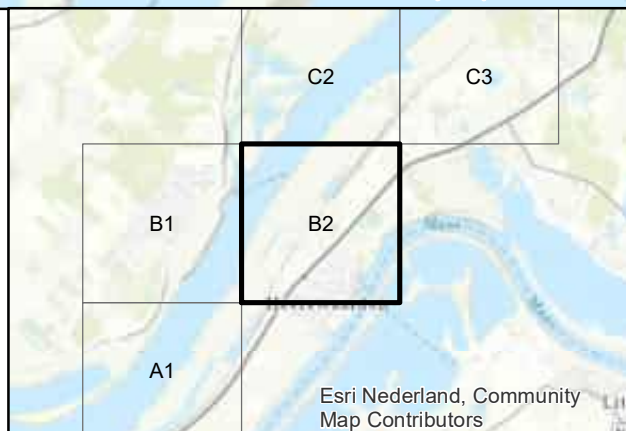
— Winterdijk

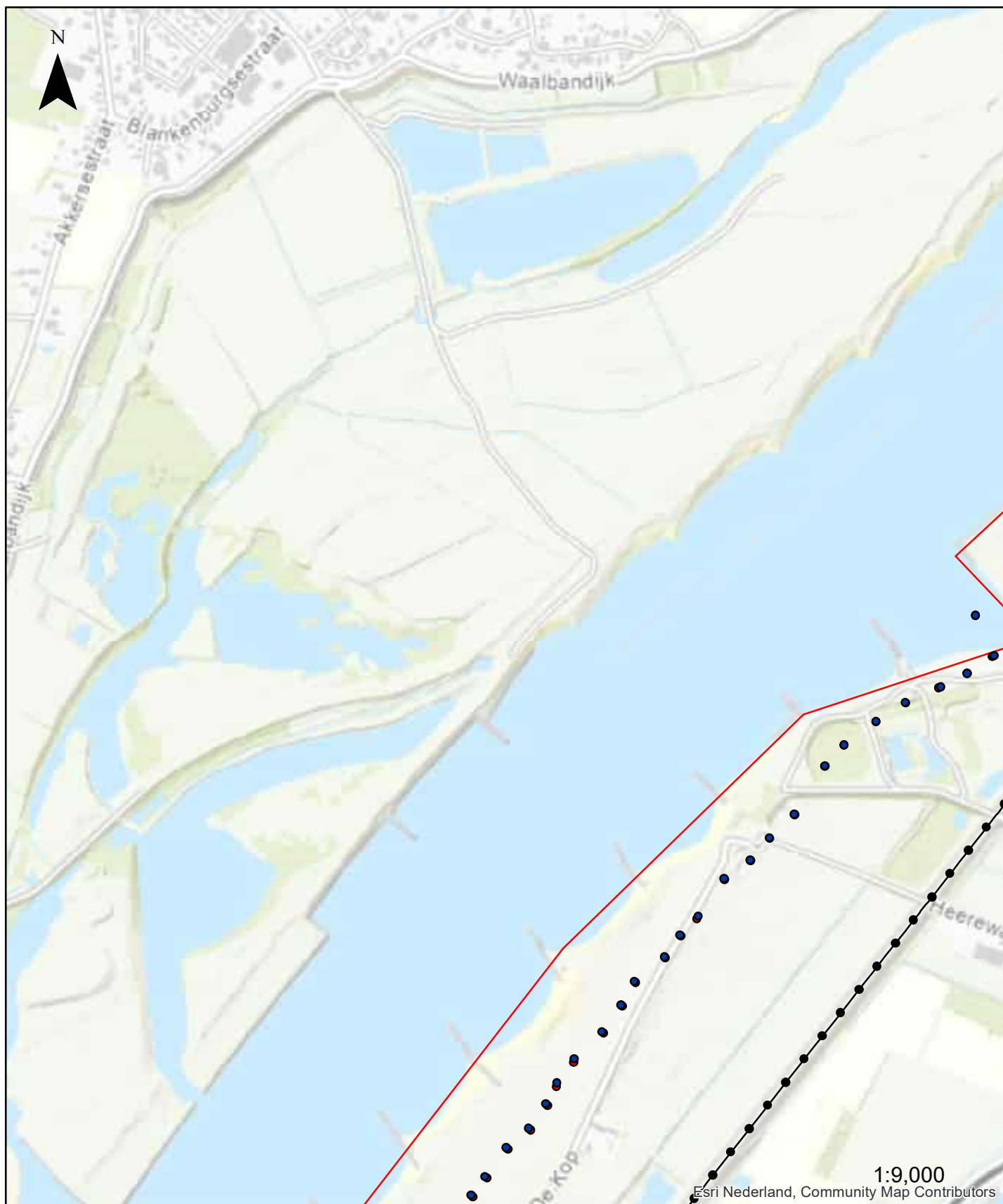




Legenda

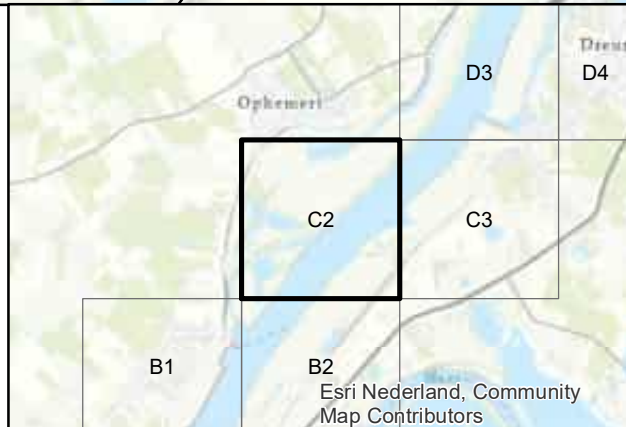
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

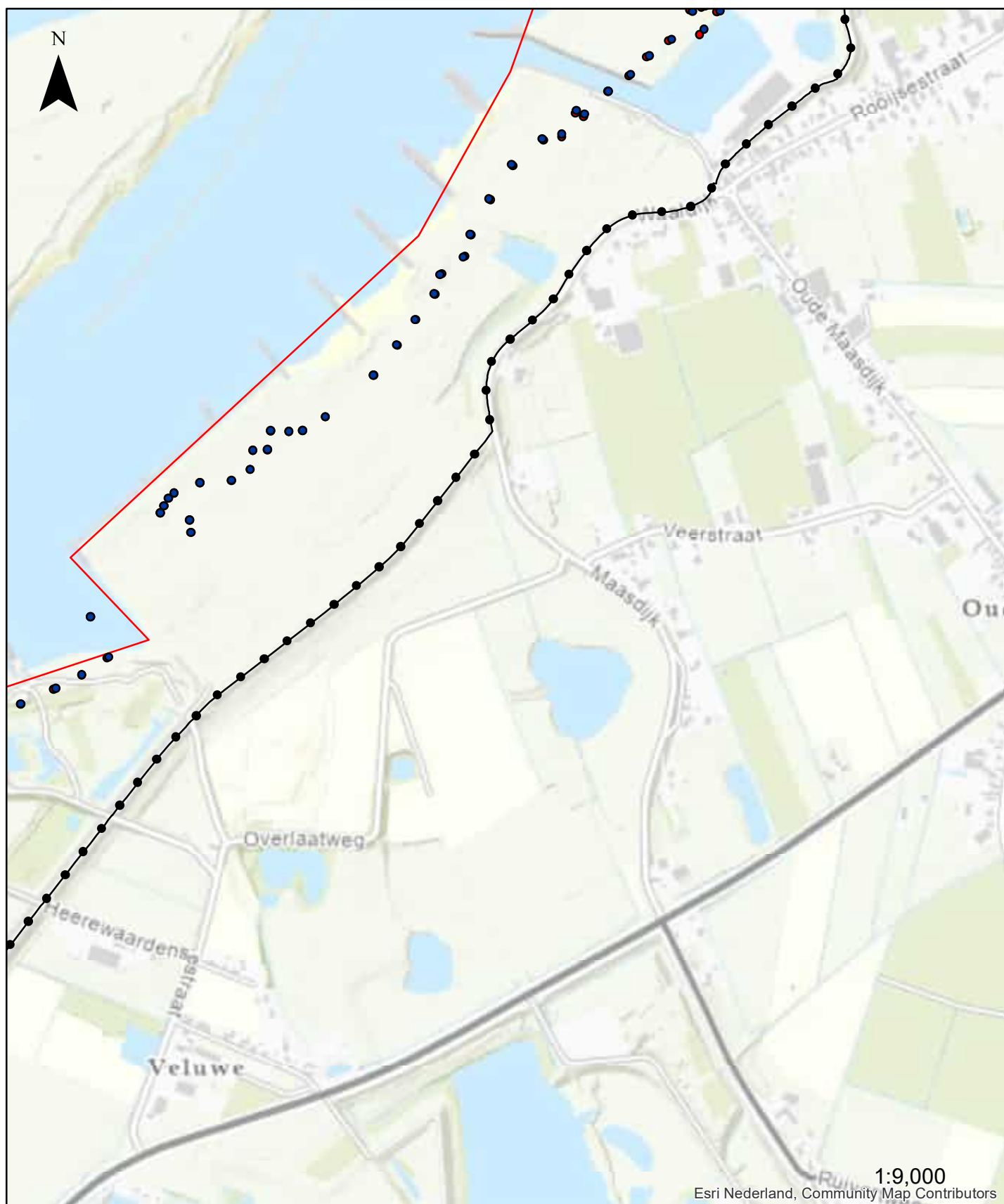




Legenda

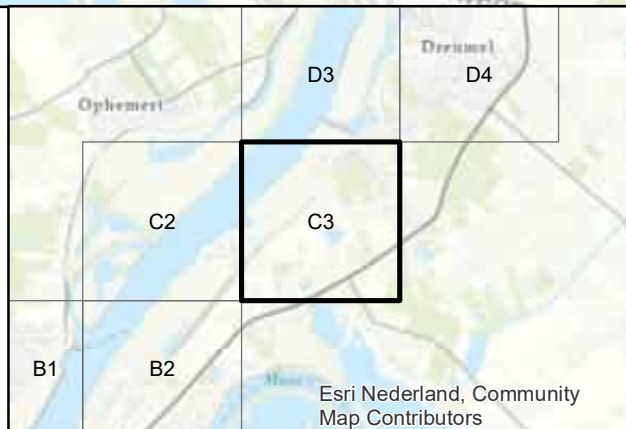
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

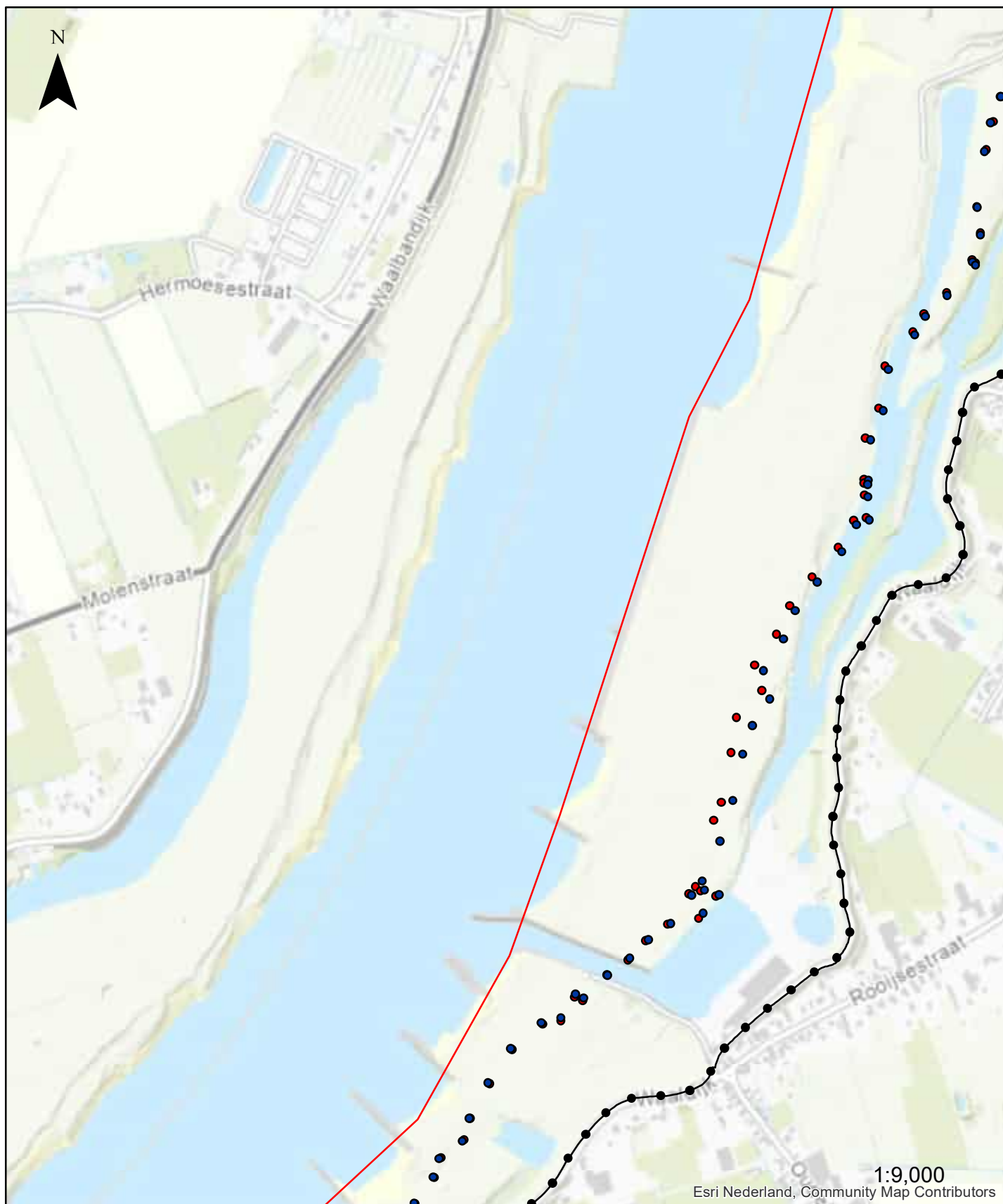




Legenda

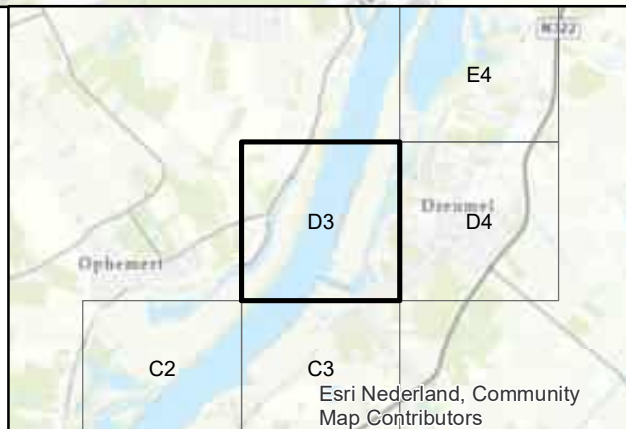
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

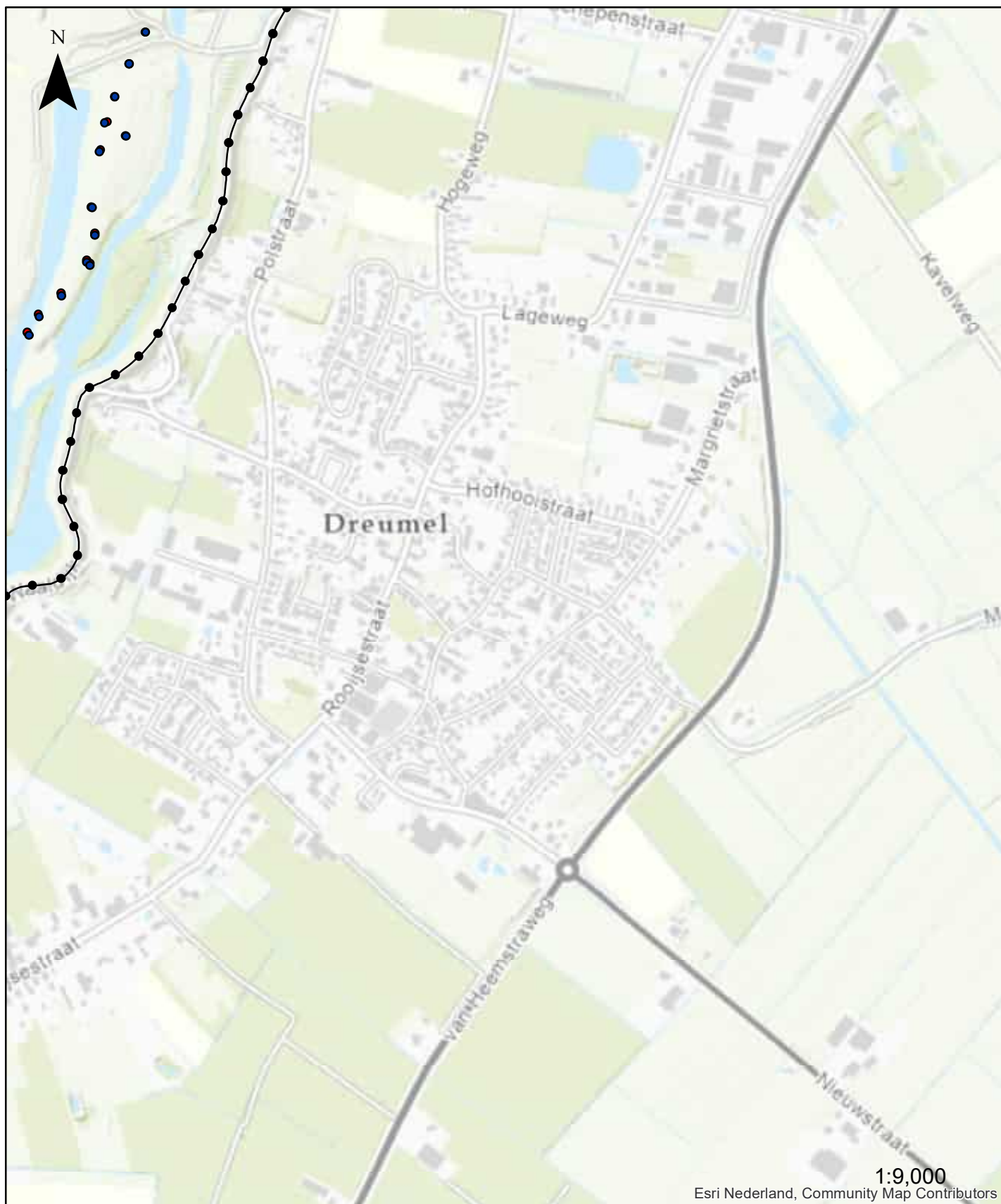




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

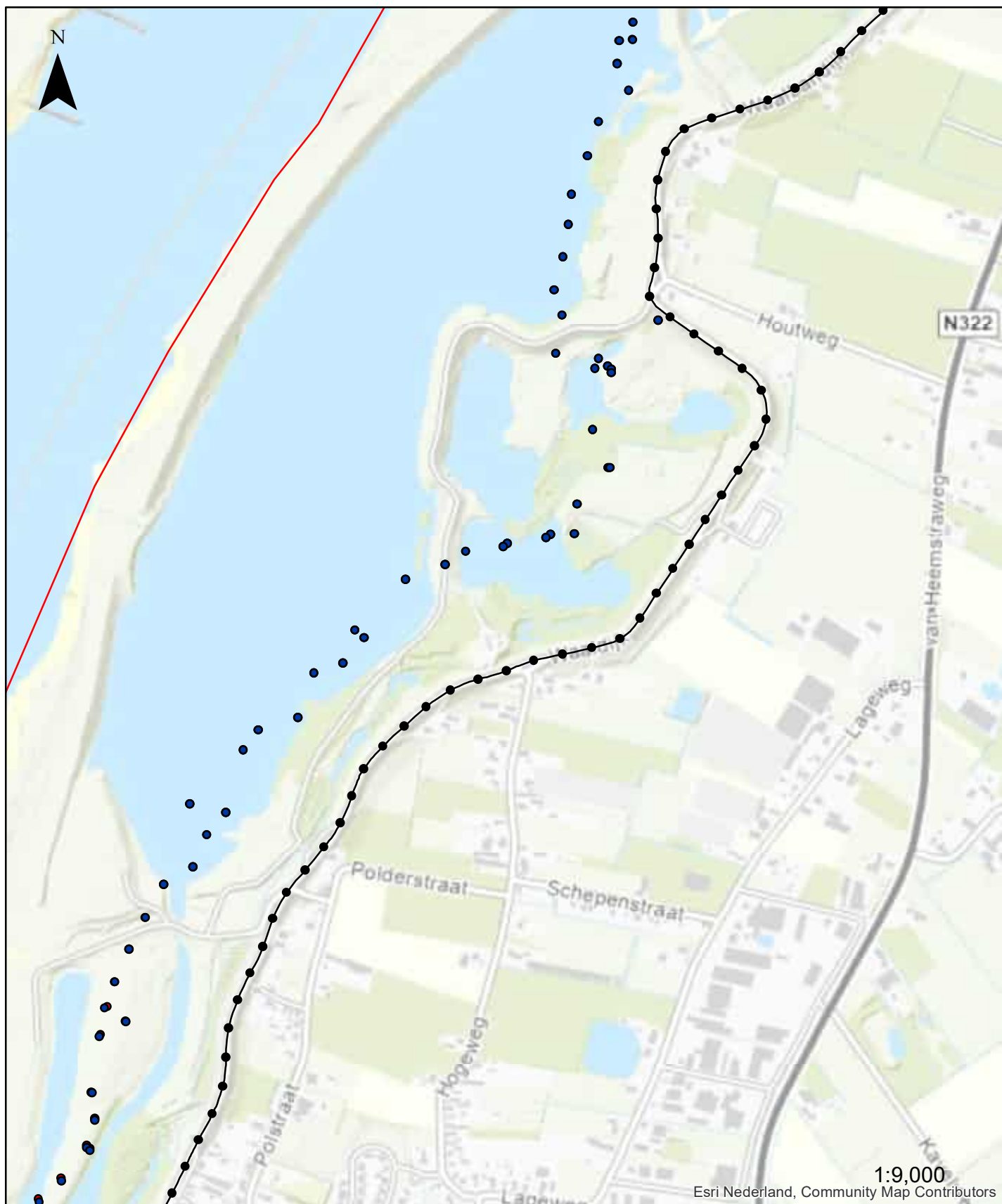




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

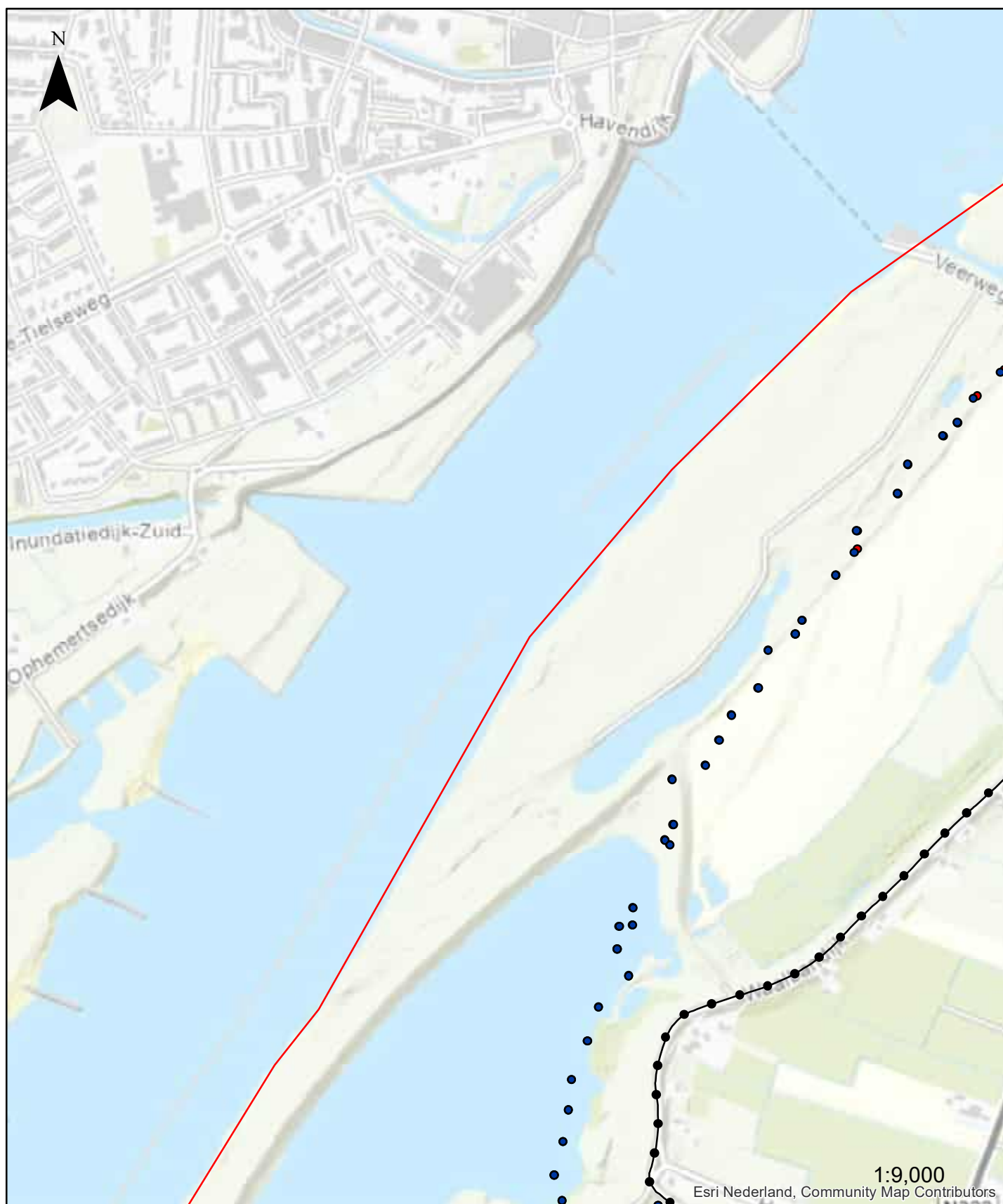




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

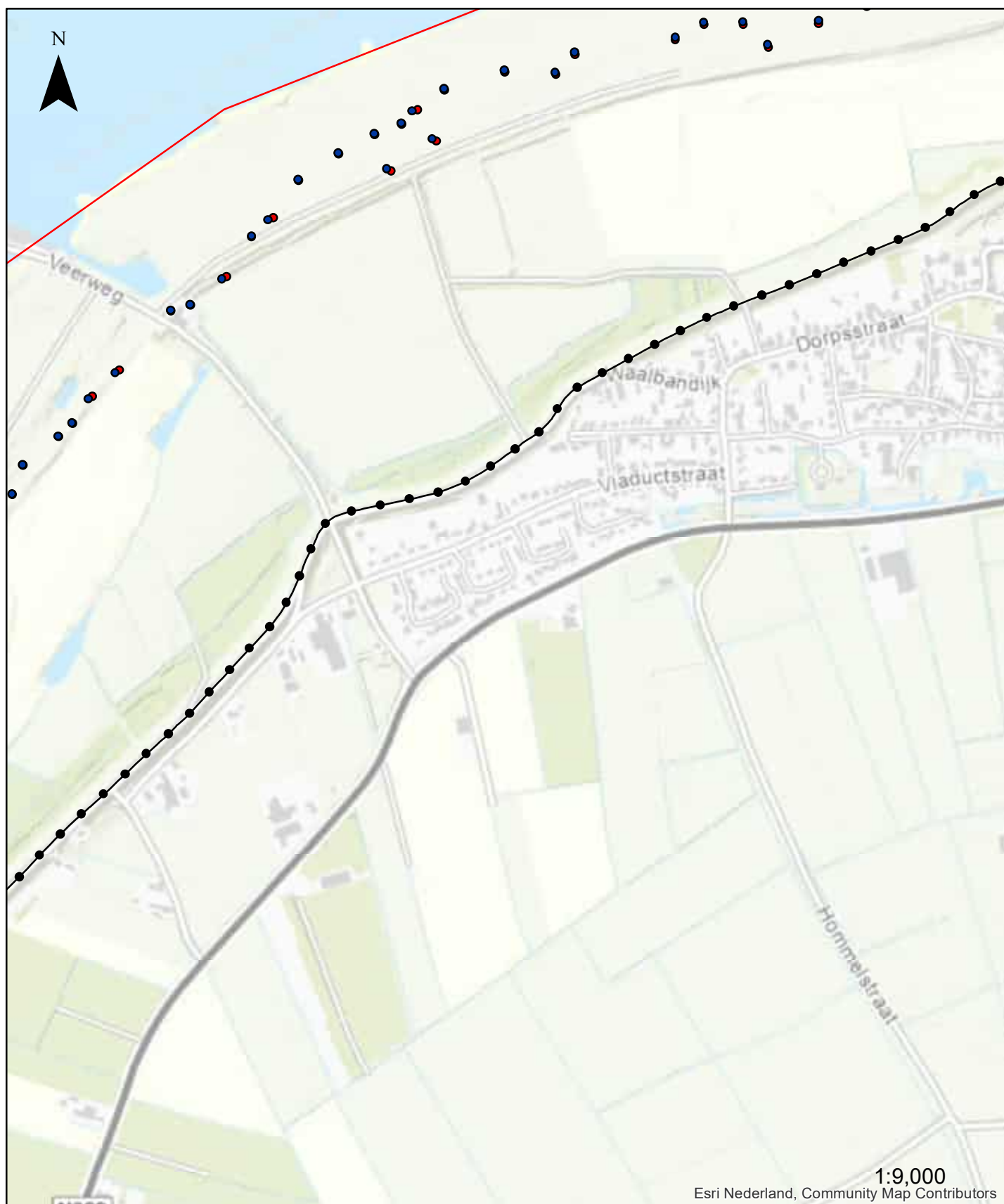




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

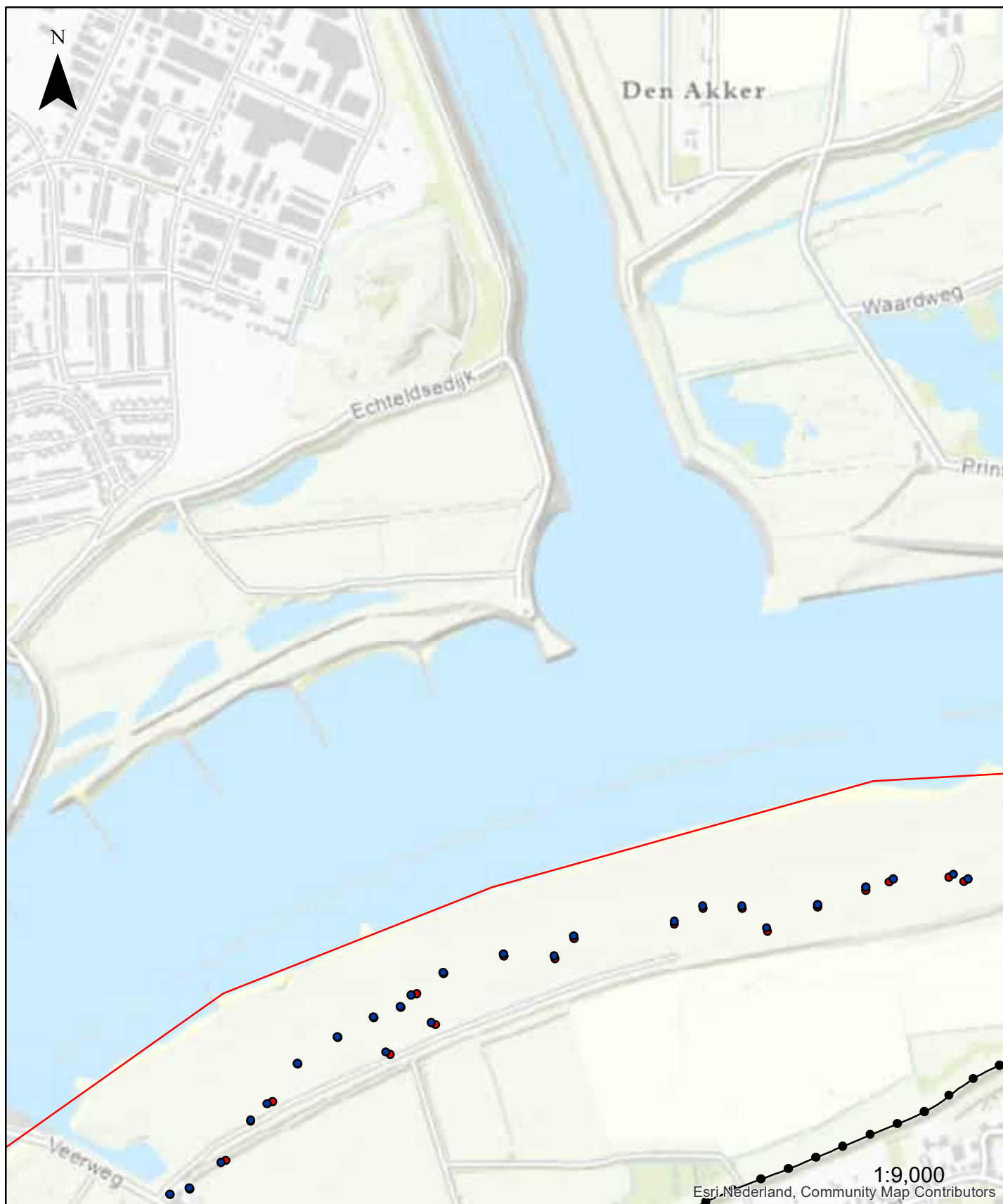




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

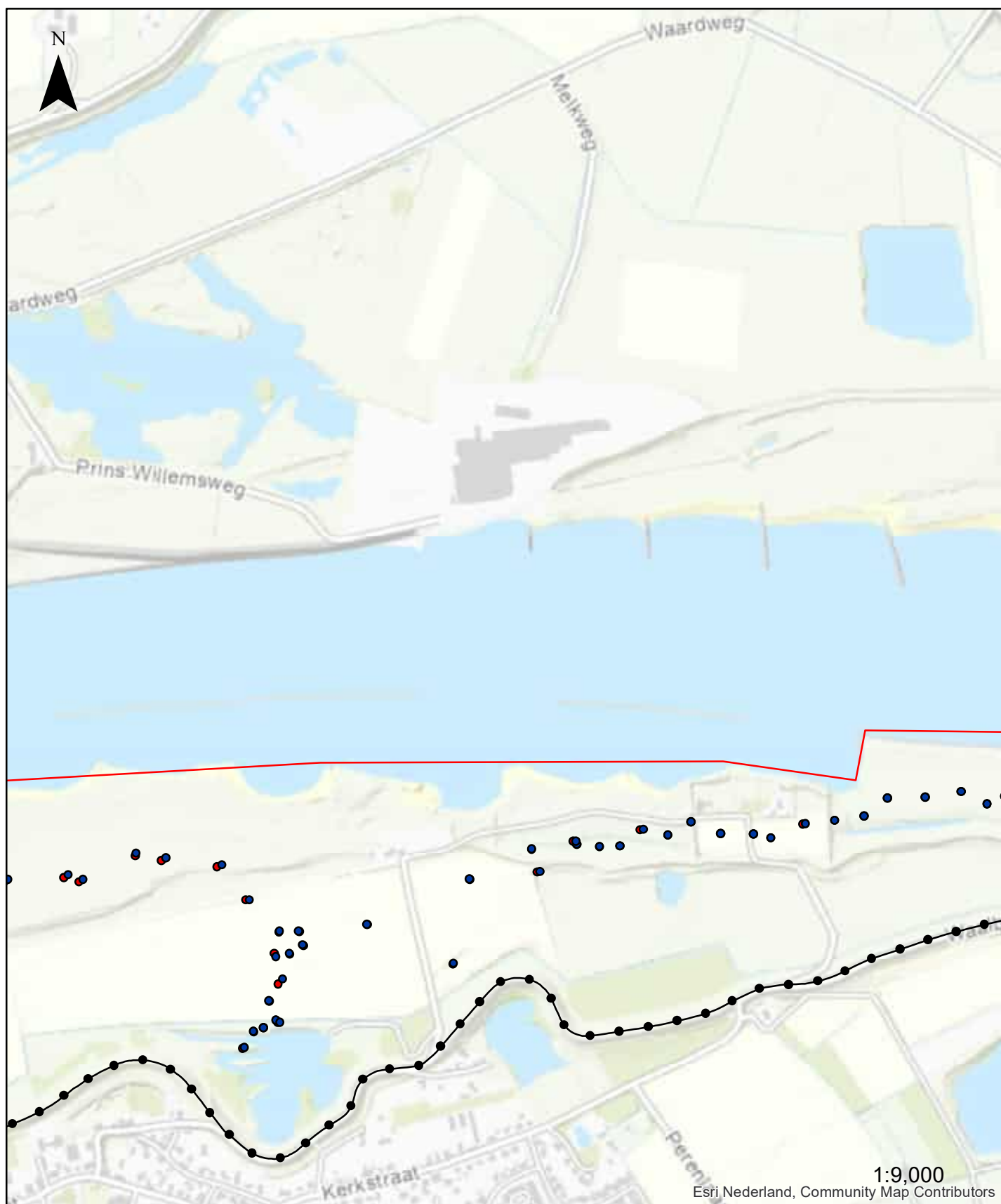




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

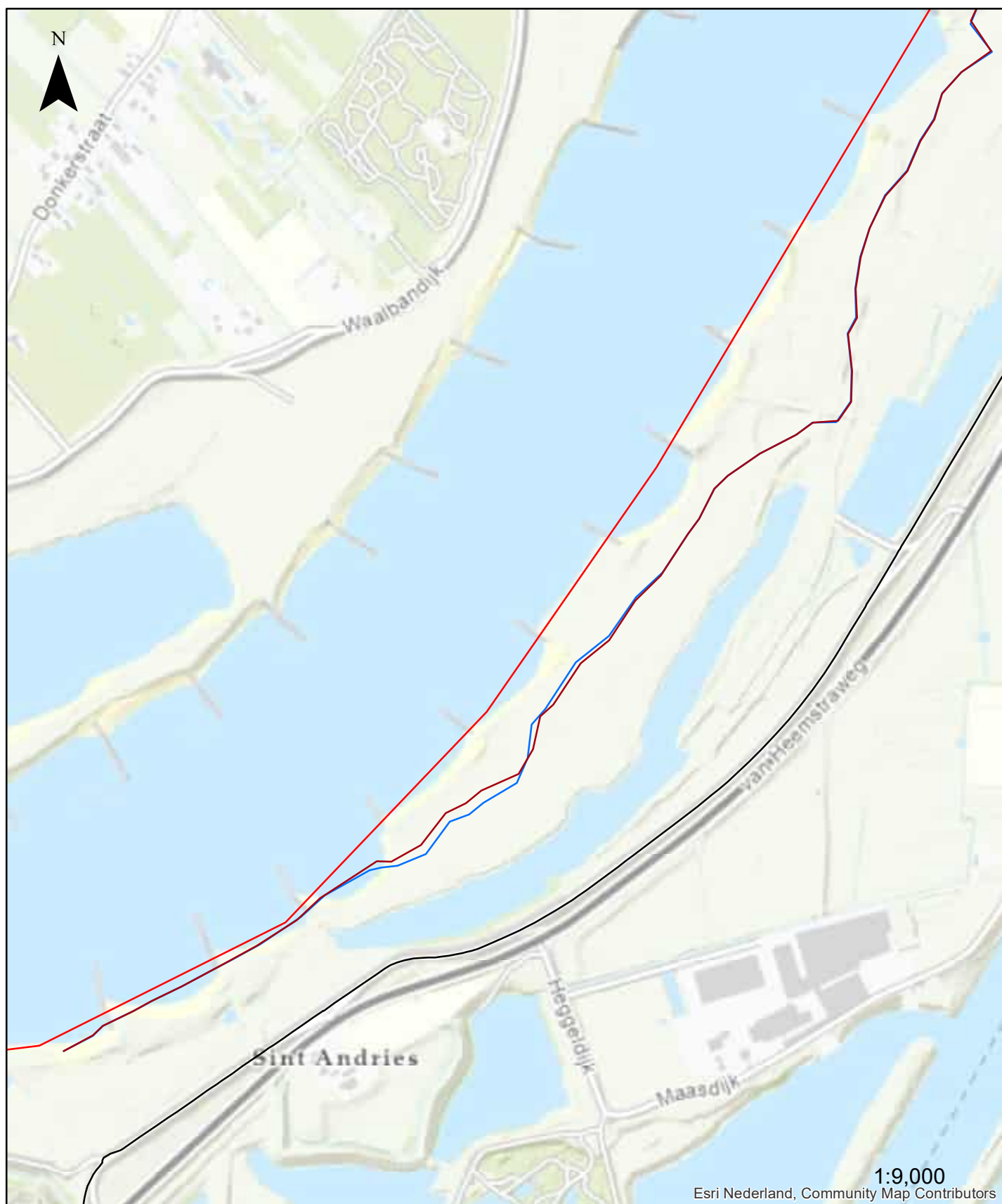




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intreidelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

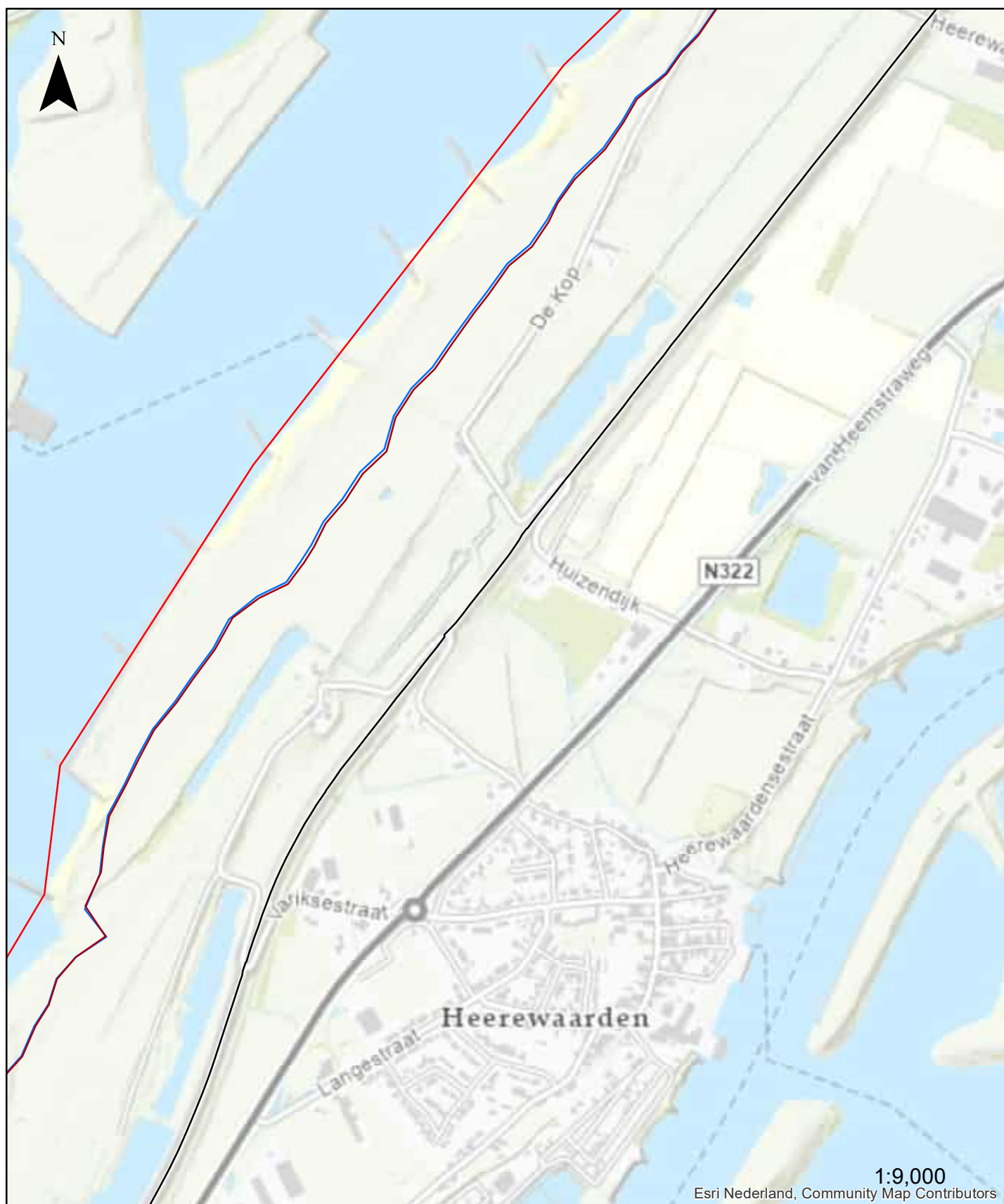




Legenda

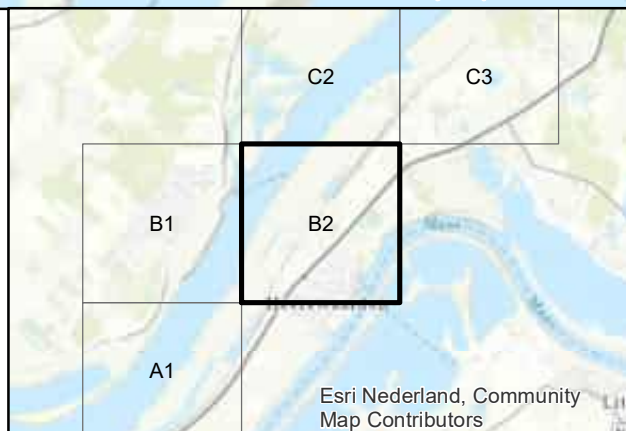
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

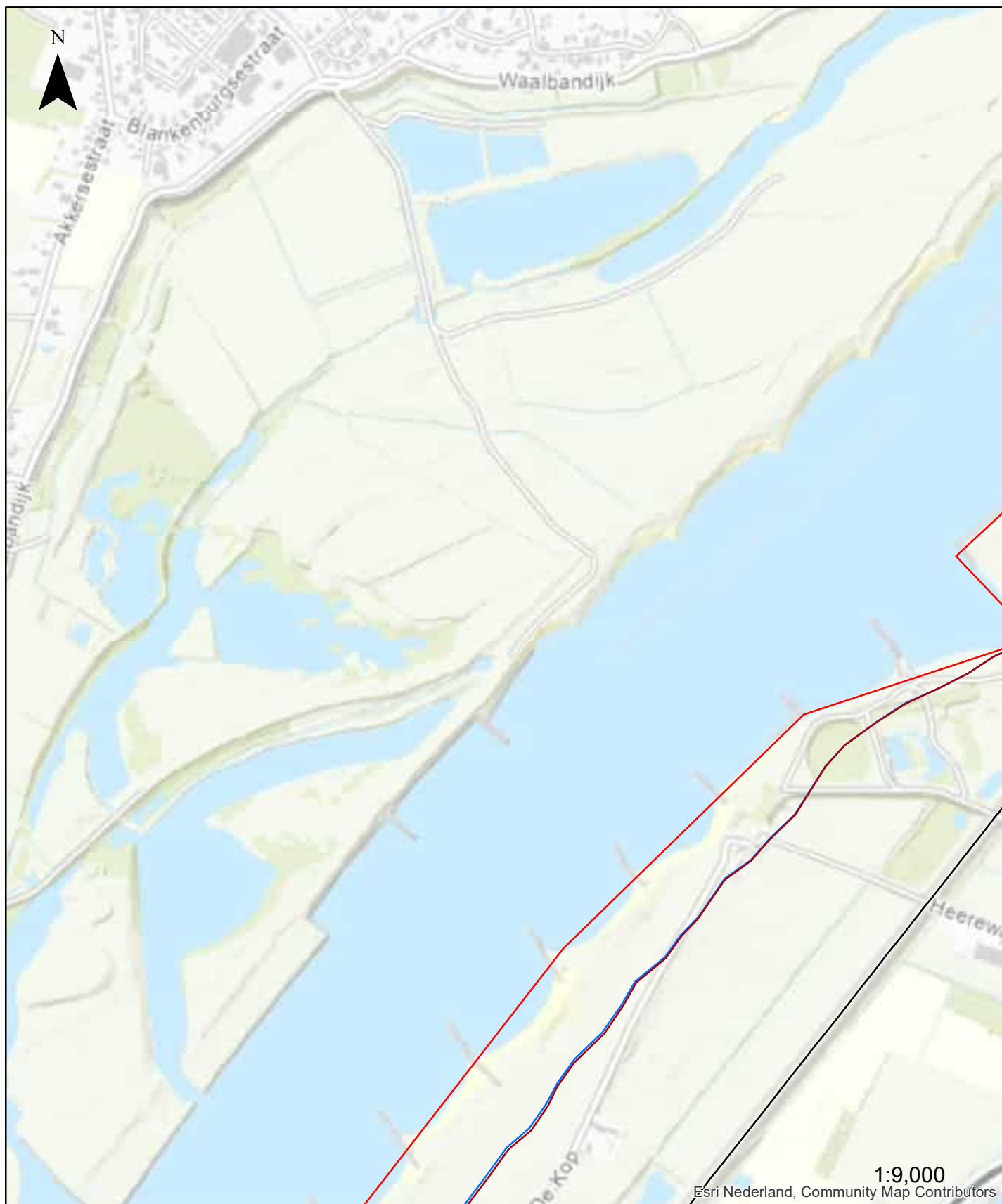




Legenda

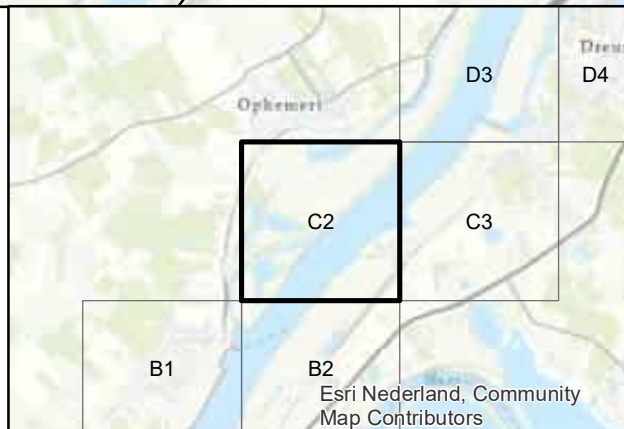
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

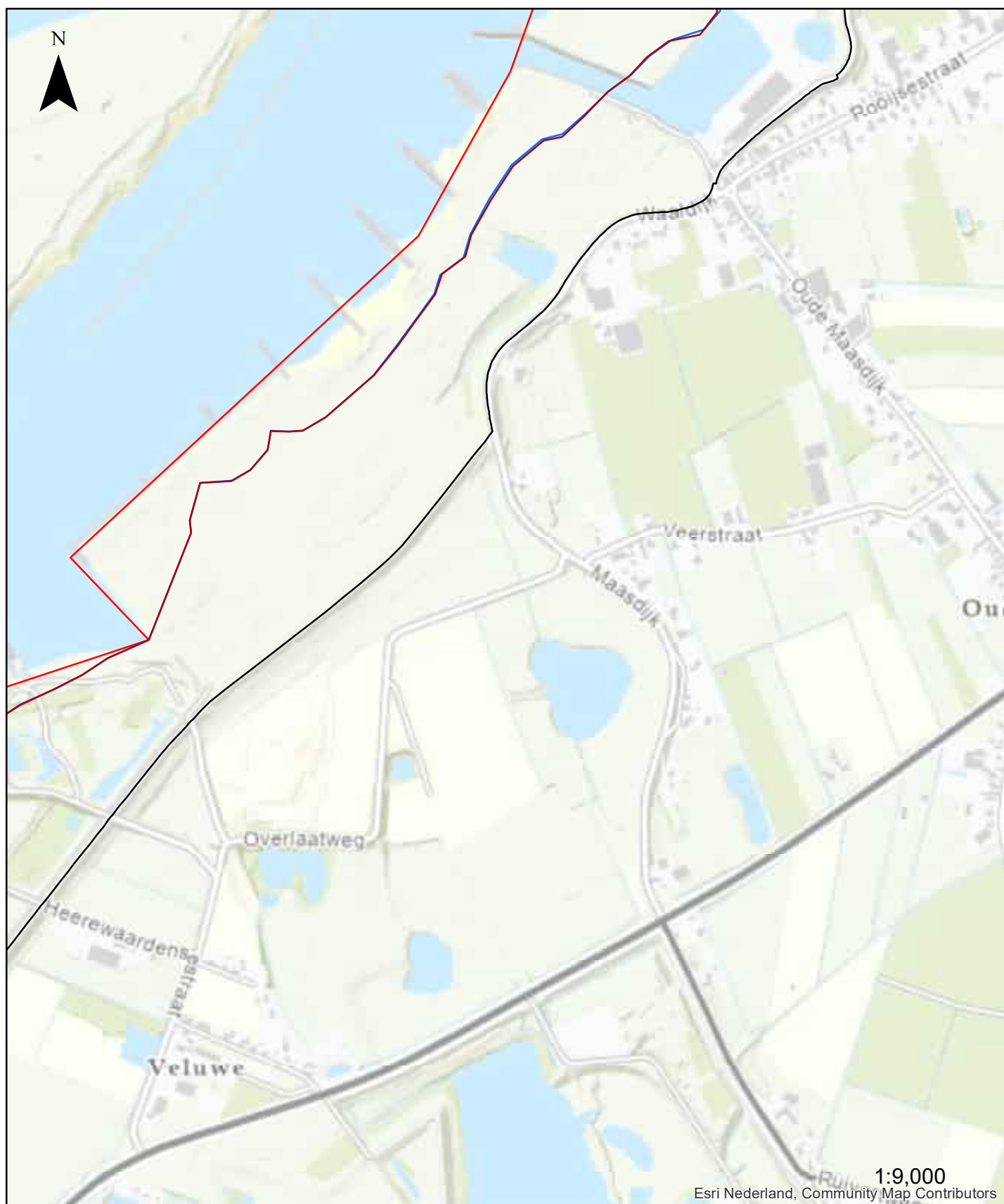




Legenda

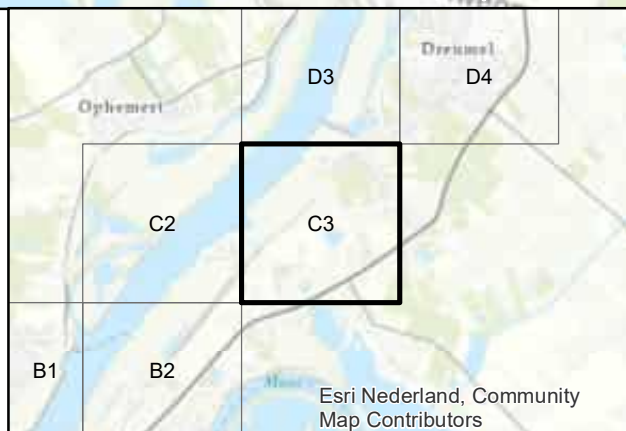
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredpunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredpunt Referentie Lijn
- Winterdijk

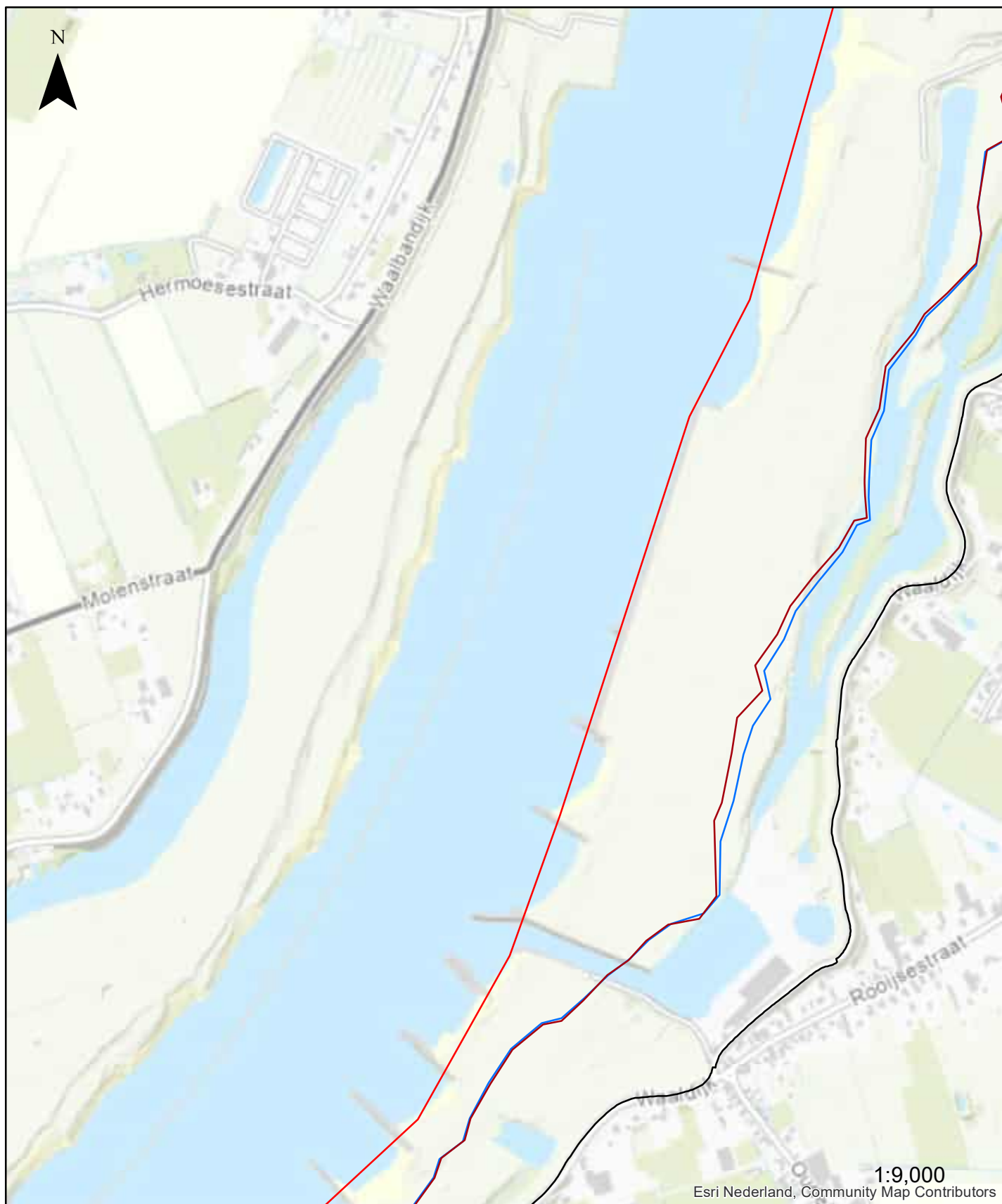




Legenda

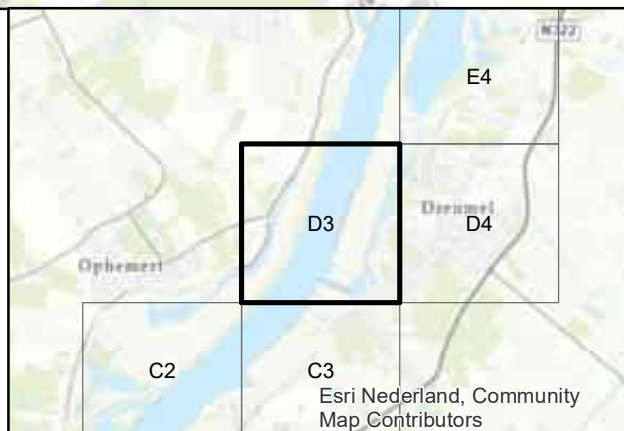
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

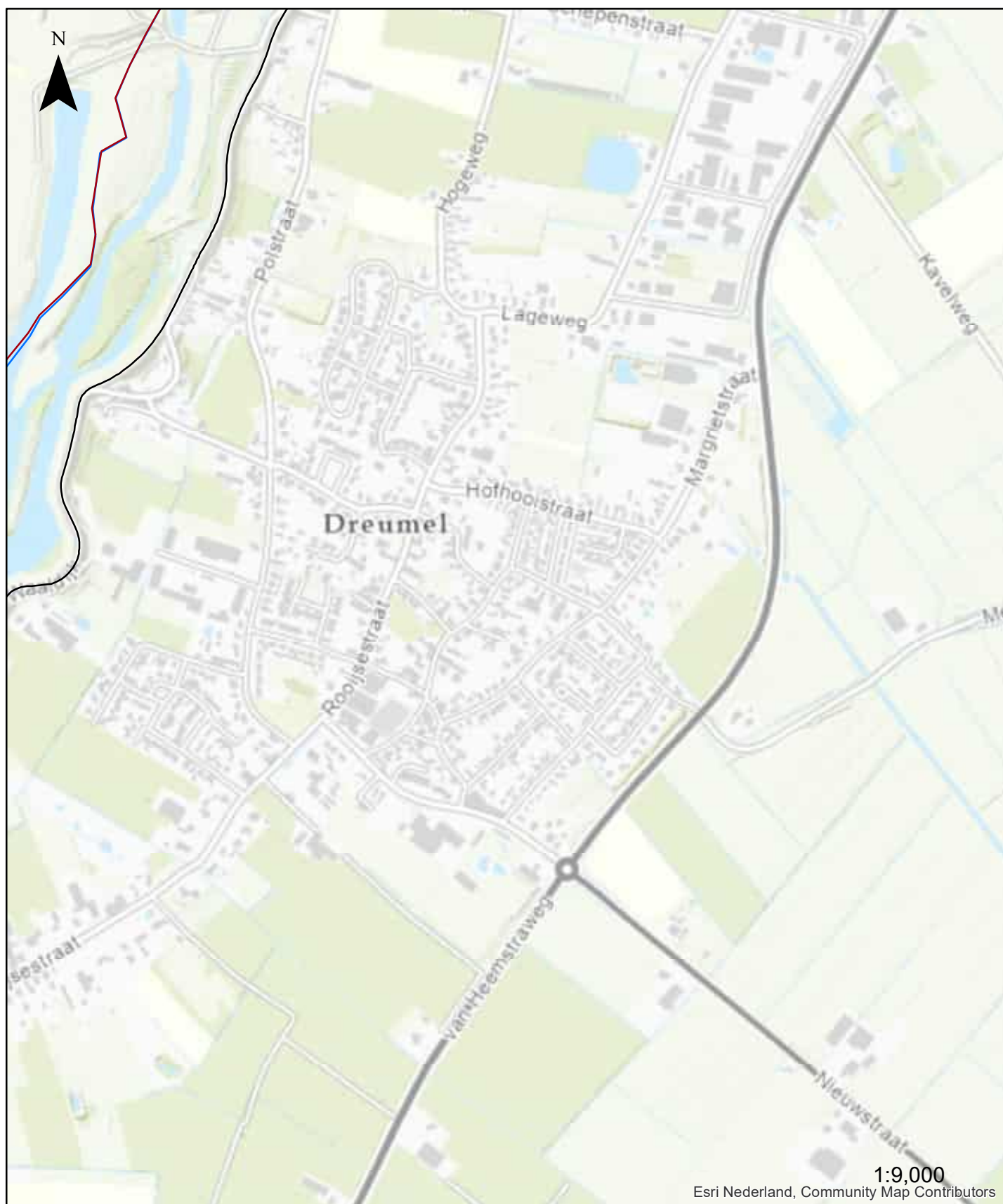




Legenda

- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

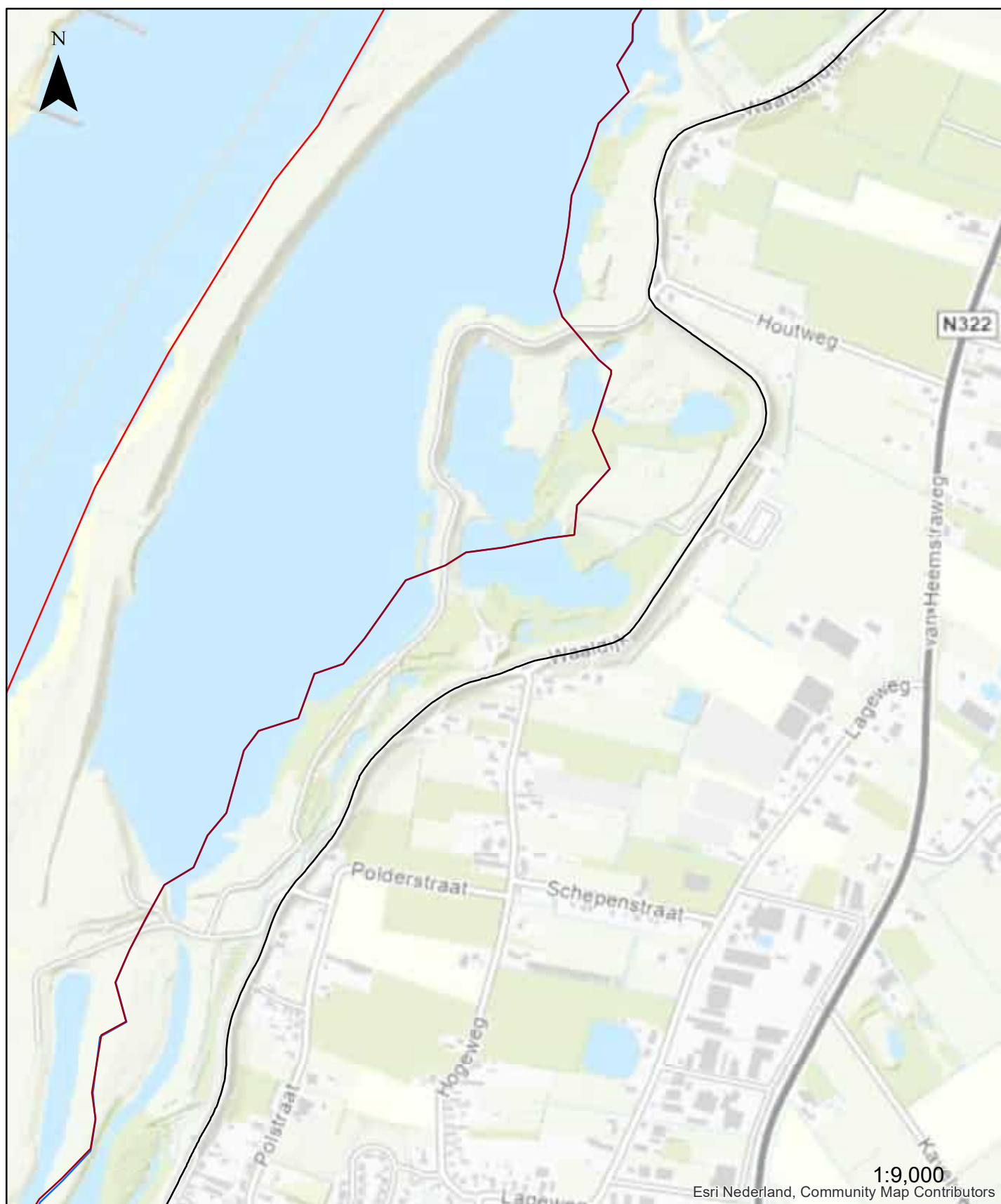




Legenda

- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

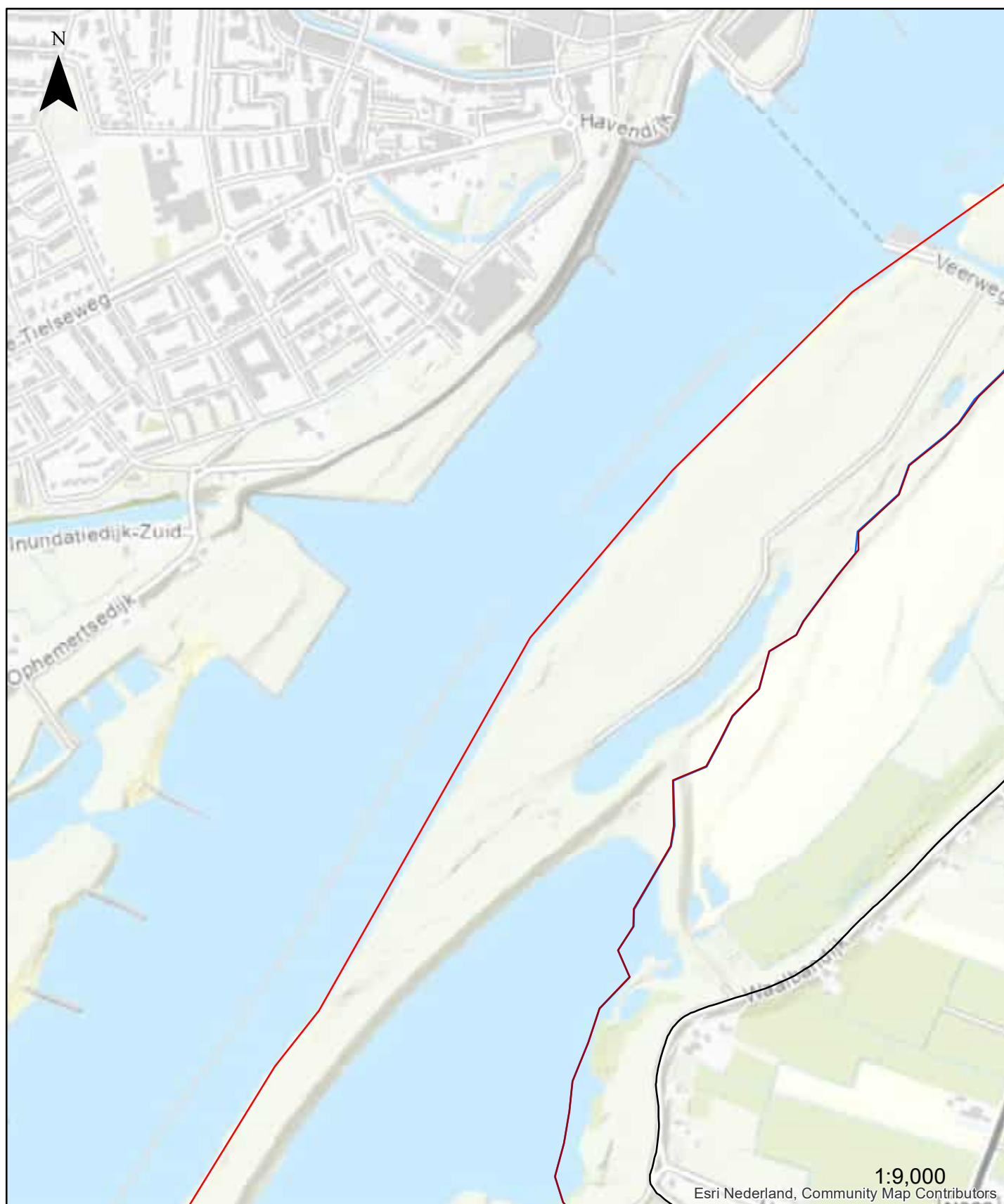




Legenda

- Geometrische intreidelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

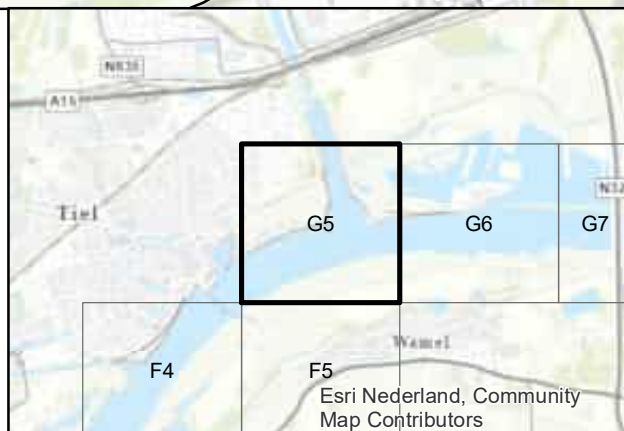
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intreidelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intreidelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk



Appendix B

Voorgaande notities

B.1 Memo uitkomsten 1120-180419-11-TN01

Technische notitie

Projectnaam	Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden		
Onderwerp	Uitkomsten geohydrologische modellering		
Opdrachtgever	Kragten	Contactpersoon	[REDACTED]
Projectnummer	1120-180419	Documentnummer	TN01 – V1.5
Datum	10-06-2021	Opgesteld door	[REDACTED]
Gecontroleerd door	[REDACTED]	Vrijgegeven door	[REDACTED]

1. Introductie

Fugro is door Kragten gevraagd om een geohydrologische modelberekening te maken van het DO 1.99 ontwerp voor het project Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden (UWDH). In deze technische notitie wordt de modelberekening kort toegelicht en worden de resultaten en nodige vervolgstappen gepresenteerd.

De ontgravingscontouren van het huidige ontwerp (d.d. 03-02-2021) zijn weergegeven in figuur 1. Opgemerkt wordt dat als er een ontgraving binnen de beschermingszone van de dijk plaatsvindt waarbij de resterende deklaagdikte minder dan 1 m bedraagt, er 1,5 m klei onder het ontgravingsniveau wordt aangebracht.

Naast de ontgravingen in figuur 1 wordt ook een wijziging van het peilbeheer voorzien in het gebied nabij Heerewaarden, weergegeven in figuur 2. Op de weergegeven vlaktes zal door middel van een stuw water worden vastgehouden na hoogwater. Het vastgehouden water zal na afloop van hoogwater langzaam infiltreren in de bodem. De benaming voor deze ingreep is de gestuurde overstromingsvlakte. Voor deze ingreep wordt niet ontgraven (met uitzondering van zeer lokale ontgravingen voor het aanleggen van infrastructuur zoals duikers).



Figuur 1: Contouren ontgravingen ontwerp DO 1.99 (d.d. 03-02-2021)



Figuur 2 - gestuurde overstromingsvlakte

In de basis moet het ontwerp grondwaterneutraal zijn. Aangezien elke wijziging in een uiterwaarde per definitie niet grondwaterneutraal is en er een onzekerheid in de modelberekeningen zit heeft Waterschap Rivierenland (WSRL) de richtlijn Richtlijn toetsing kwel en wegzijging (23 oktober 2003) opgesteld. In de richtlijn worden de volgende eisen met betrekking tot de geohydrologische impact voorgesteld:

- De kwel/wegzijgingsverandering mag maximaal 2% per peilgebied verslechteren ten tijde van een T=10 hoog- en laagwater situatie en ten tijde van gemiddeld hoog- en laagwater.
- De grondwaterstand mag binnendijs niet met meer dan 5 cm veranderen ten tijde van een T=10 hoog- en laagwater situatie en ten tijde van gemiddeld hoog- en laagwater.

Indien niet aan de eisen wordt voldaan moeten maatregelen getroffen worden. Uit ervaringen van Fugro blijkt dat de T=10 hoog- en laagwater situatie vaak maatgevend is. In deze memo is enkel de T = 10 hoog- en laagwatersituatie gepresenteerd.

2. Modelopzet

Voor de berekening is gebruik gemaakt van het door Waterschap Rivierenland beschikbaar gestelde regionale grondwatermodel MORIA v4.5 (2020 versie). Dit grondwatermodel draait op iMODFLOW (gebaseerd op MODFLOW 2005 gekoppeld met metaSWAP) en is quasi 3d. Het model heeft vierkante modelcellen met een resolutie van 25 m x 25 m.

Voor het aanleggen van de geulen/sloten/plassen wordt een deel van de deklaag in de uiterwaarde afgegraven. Wanneer uit wordt gegaan van een oppervlakte van de ontgraving

gelijk aan de celgrootte van het model (25 m x 25 m) kan de ontgraving worden gemodelleerd door de volgende aanpassingen in de modelcel door te voeren:

- Het wijzigen van de modellaag "natoppervlak" (nat oppervlak in m² per modelcel)
- Het wijzigen van de conductance van de rivier in modellaag 1 (reciproke van de infiltratie/drainageweerstand van de rivier [m²/dag])
- Het wijzigen van de transmissiviteit van modellaag 1 (kD [m²/dag])
- Het wijzigen van de weerstand van de deklaag (c [dagen])
- Het wijzigen van de bodemhoogte [m NAP]
- Het toevoegen van de geulen aan het modelbestand rivierwaterstanden [m NAP]

Echter, indien het waterlichaam smaller of korter is dan een modelcel (dus niet de hele modelcel bestrijkt) kan het waterlichaam ook voor een deel toegekend worden aan modellaag 2 (in het gebied van de gemeente West Maas en Waal is dat het 1^e watervoerende pakket). Hierbij dient de weerstand in de deklaag en de transmissiviteit van modellaag 1 niet te worden gewijzigd. Deze werkwijze is toegepast in de verbeterde deelmodellen van Alm en Biesbosch, Bommelerwaard en Lek, Linge en Tielerwaard. Opgemerkt wordt dat deze manier van modelleren normaliter wordt gebruikt voor binnendijkse smalle (kavel)sloten. Deze modelleringsmethode is besproken en goedgekeurd door het waterschap Rivierenland en is gangbaar bij relatief smalle oppervlaktewaterlichamen.

Omdat een aantal van de aanpassingen in het ontwerp vrij smal zijn, is er in overleg met WSRL voor gekozen om de schematiseringswijze van de verbeterde deelmodellen te hanteren. Hiervoor is in het bestaande model MORIA V4.5. (2020 versie) een nieuwe rivierlaag toegevoegd die verbinding maakt met modellaag 2. De conductance (reciproke van de weerstand) voor deze rivierlaag is (conform de werkwijze van de verbeterde deelmodellen) gelijk aan:

$$Conductance_{L2} = \frac{A_{nat}}{C_{i/d} + (D_d * 100)}$$

Waarbij:

A_{nat} = natoppervlak binnen de cel [m²]

$C_{i/d}$ = intrede/uittreeweerstand [dagen] = 0.5 * intrede/uittreeweerstand in laag 1.

D_d = resterende dikte van de deklaag [m]

Voor de resterende kleilaag is een weerstand van 100 dagen per meter klei aangehouden. Deze weerstand van 100 dagen per meter is gekozen op basis van eerder onderzoek uitgevoerd door Witteveen en Bos (geohydrologisch onderzoek uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden, 2016) en is op basis van ervaring gebruikelijk voor klei. Daarnaast is de intrede/uittreeweerstand in modellaag 2 de helft van de intrede/uittreeweerstand in modellaag 1. Deze vermenigvuldiging met factor 0,5 komt overeen met voorgaande studies bij de verbeterde deelmodellen in MORIA en is noodzakelijk om een overschatting van het infiltratie en drainagedebiet te voorkomen (betreft een kalibratiefactor).

Tevens is in de uiterwaarde de bodemopbouw aangepast op basis van geofysische metingen en een eerdere studie naar kleidktes in het gebied. Vrijwel het gehele buitendijkse deel van het projectgebied is geofysische bemeten. De uitkomsten van deze geofysische metingen zijn toegevoegd aan het MORIA v4.5 (2020) model. Op locaties waar geen geofysische metingen hebben plaatsgevonden is aanvullend gebruik gemaakt van een kleidikte kaart (DLO – Landinrichtingsgebied uitbreiding Maas en Waal, rapport 589, kaart 3, blad 1 en 2).

Voorafgaand aan het invoeren van het ontwerp is de referentiesituatie (het huidige MORIA V4.5 (2020 versie)) gecontroleerd. Voor de referentiesituatie zijn enkele aanpassingen aan MORIA V4.5 (2020 versie) gedaan. Deze aanpassingen zijn:

- het toevoegen van een aantal missende sloten in de uiterwaarde;
- het toevoegen van een zandwinplas aan de Maaszijde;
- Het wijzigingen van de deklaagdikte op basis van geofysische metingen en de kleidikte kaart;
- het wijzigen van de modelschematisering voor bestaande sloten/geulen in de uiterwaarde naar de beschreven schematisering met een conductance in modellaag 2.

Vervolgens is het ontwerp van UWDH in het referentiemodel ingevoerd en zijn voor beide scenario's (referentie en UWDH) instationaire modelberekeningen voor de periode 2000-2003 gemaakt. Het jaar 2003 kenmerkt zich met een periode van extreem laagwater en extreem hoogwater en is zodoende geschikt voor het doorrekenen van de T=10 hoogwater en T=10 laagwater scenario's. Binnen het werkgebied van het waterschap Rivierenland is het gebruikelijk om om het jaar 2003 te hanteren voor toetsingen zoals deze. Voorafgaand aan het uitvoeren van de berekeningen is het gebruik van het jaar 2003 voor de T = 10 hoog- en laagwater situaties is besproken met, en akkoord bevonden door, het waterschap Rivierenland. De verschillen tussen de uitkomsten van het referentiescenario en UWDH voor het T=10 hoogwater scenario en T=10 laagwaterscenario zijn vervolgens berekend en beschouwd.

Samengevat is voor de modelberekening het volgende aangepast:

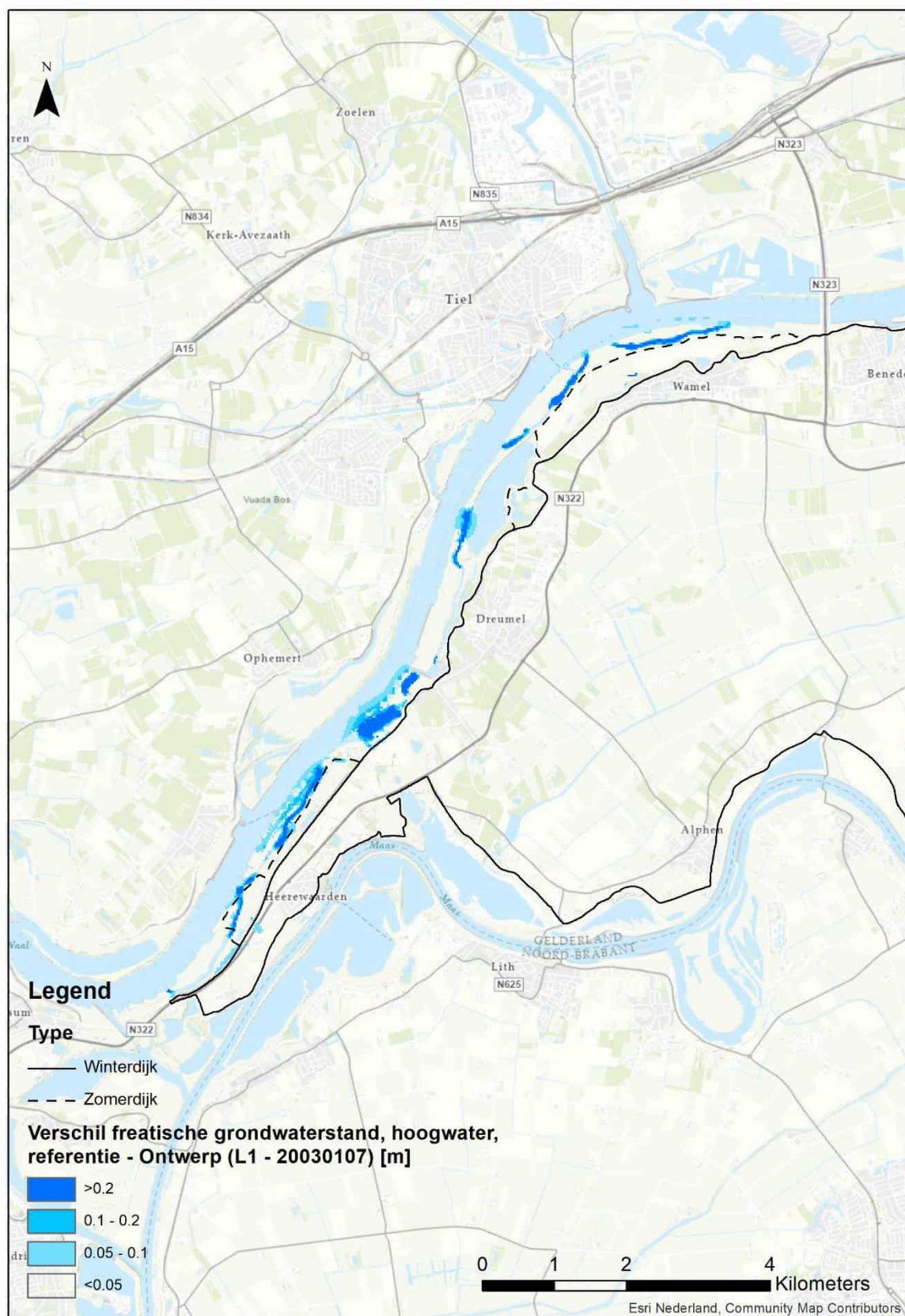
- De modellaag natoppervlak (nat oppervlak in m^2 per modelcel)
- De conductance van de rivier in laag 1 (reciproke van de infiltratie/drainageweerstand van de rivier [m^2/dag])
- Het toevoegen van een nieuwe river package (onderdeel van MORIA model) in laag 2 met conductance volgens opgegeven formule [m^2/dag]. Deze wijziging is ook gedaan voor de referentiesituatie daar waar al sloten/geulen aanwezig zijn in de uiterwaarde.
- Het wijzigen van de bodemhoogte [m NAP]
- Het toevoegen van de geulen en strangen aan het modelbestand rivierwaterstanden [m NAP]

3. Resultaten

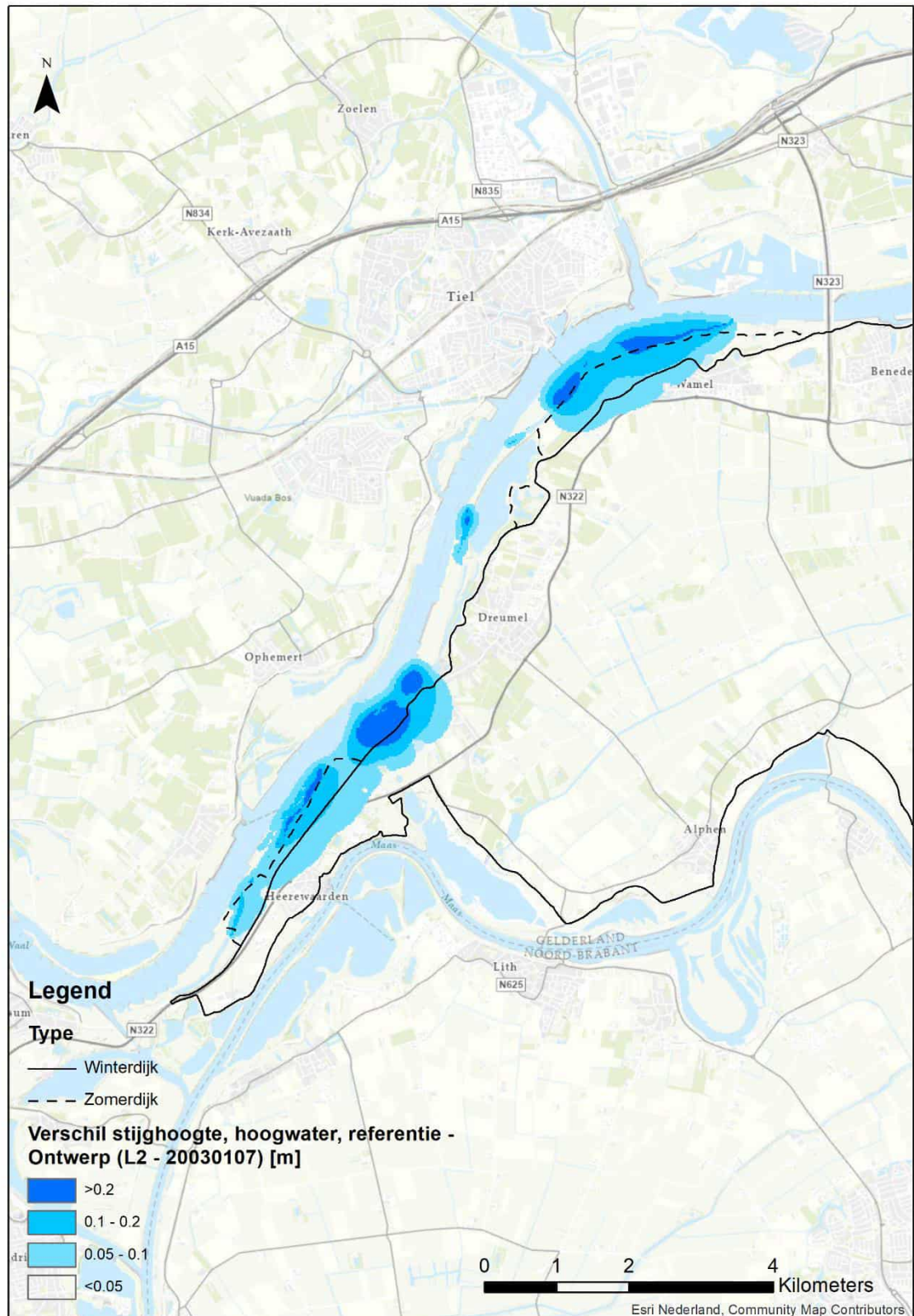
In deze paragraaf zijn de verschillen tussen de referentiesimulatie en de simulatie met het ontwerp weergegeven.

3.1 Grondwaterstand/stijghoogte

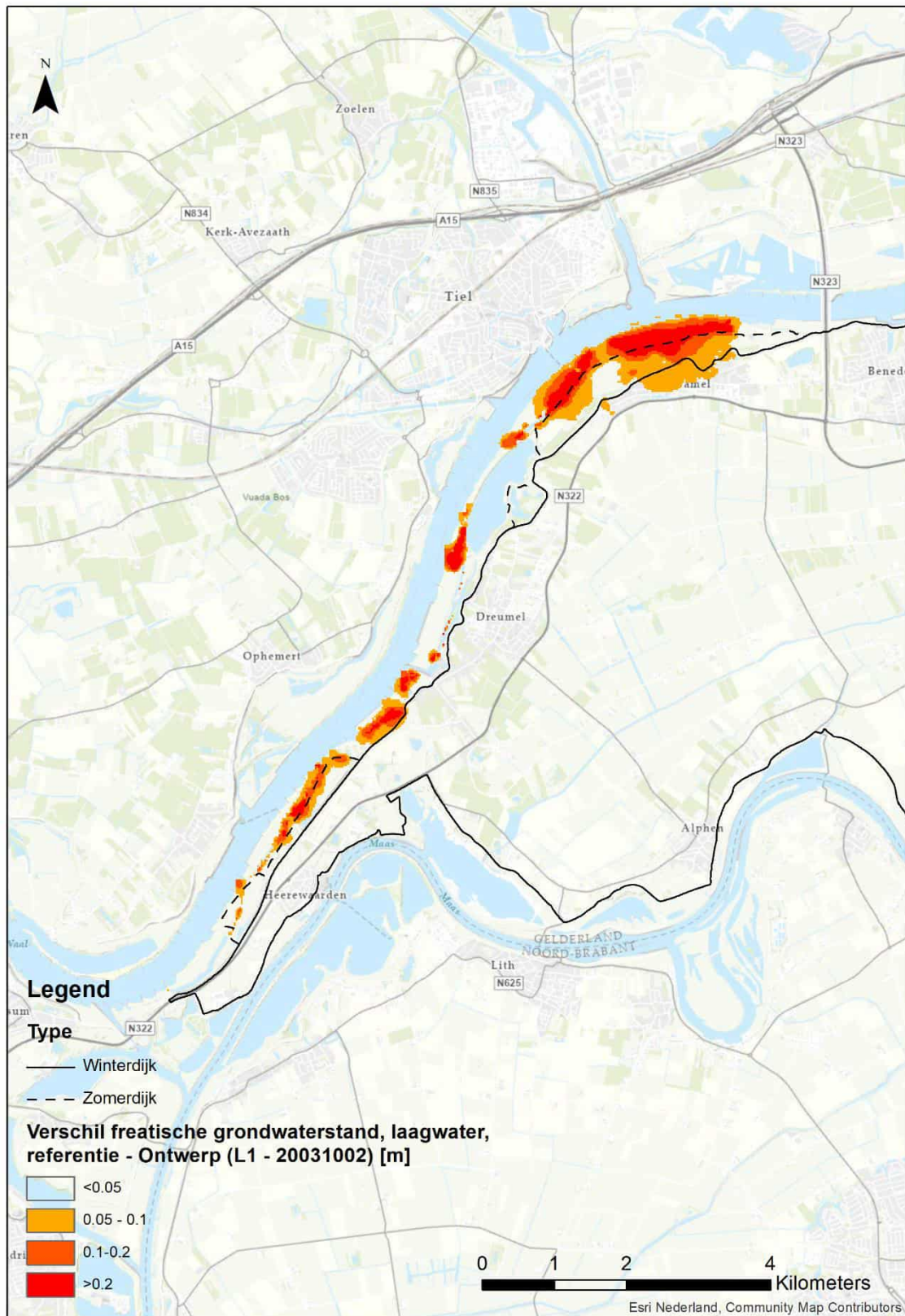
De uitkomsten voor T=10 natte zijn weergegeven in figuur 1 en figuur 2. De uitkomsten voor de T=10 droge situatie zijn weergegeven in figuur 3 en figuur 4. Hierbij is blauw een vernatting en rood/oranje een verdroging ten opzichte van de referentiesituatie bij T=10.



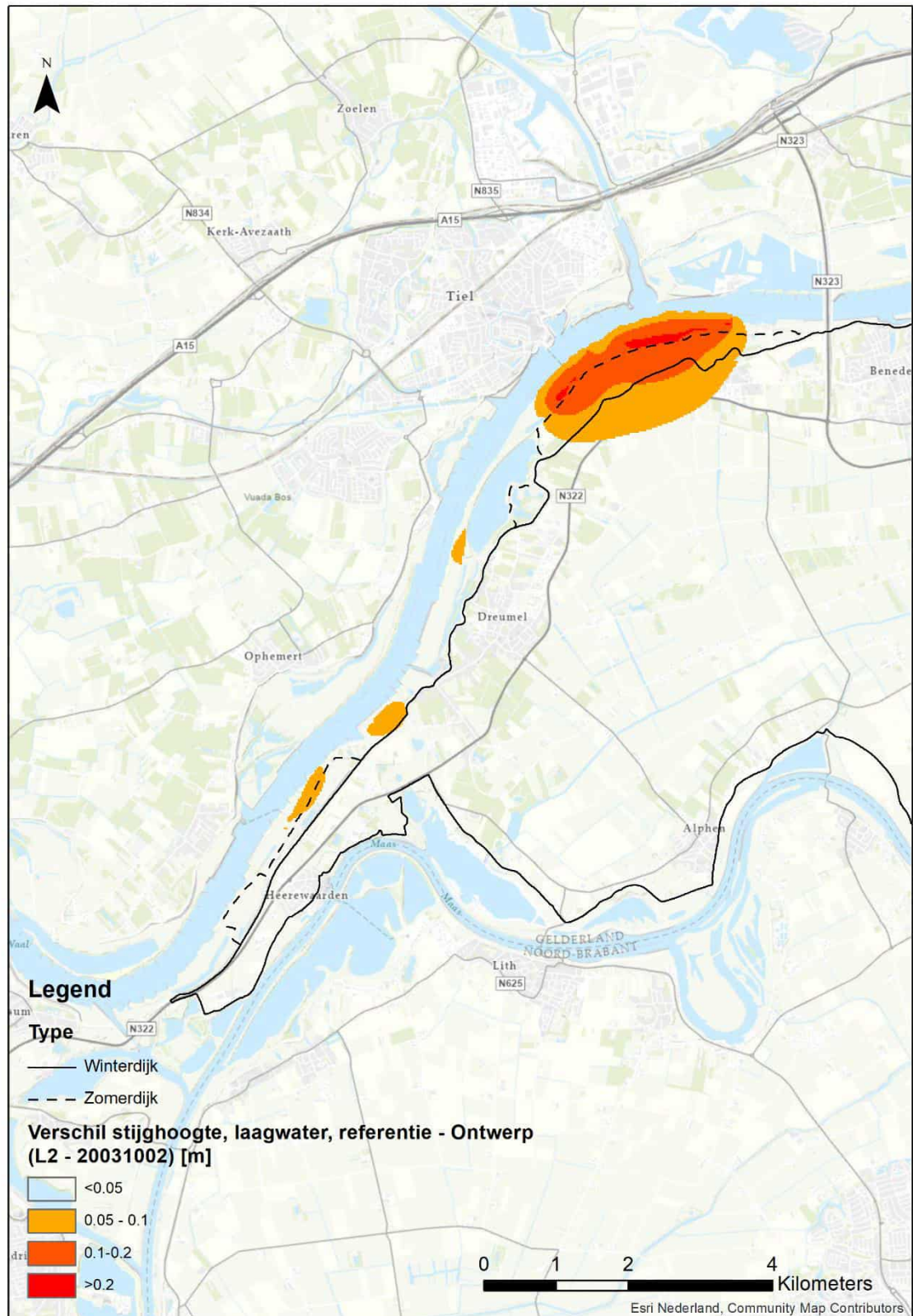
Figuur 3: Vershil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie



Figuur 4: Vershil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie

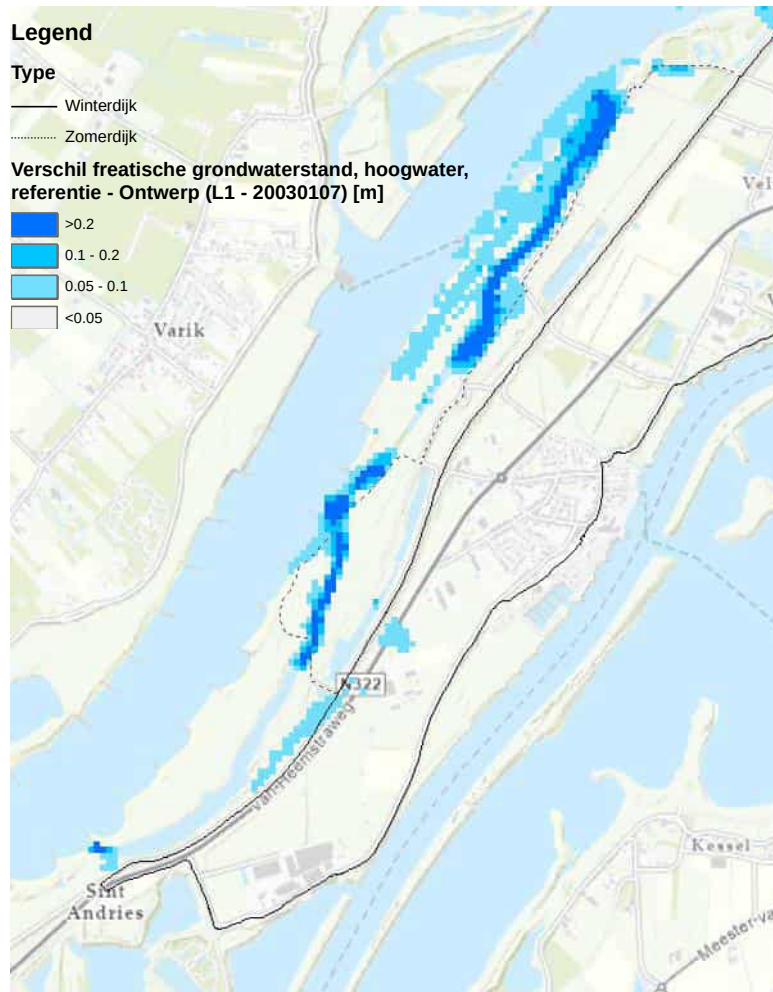


Figuur 5: Vershil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 laagwatersituatie



Figuur 6: Verskil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 laagwatersituatie

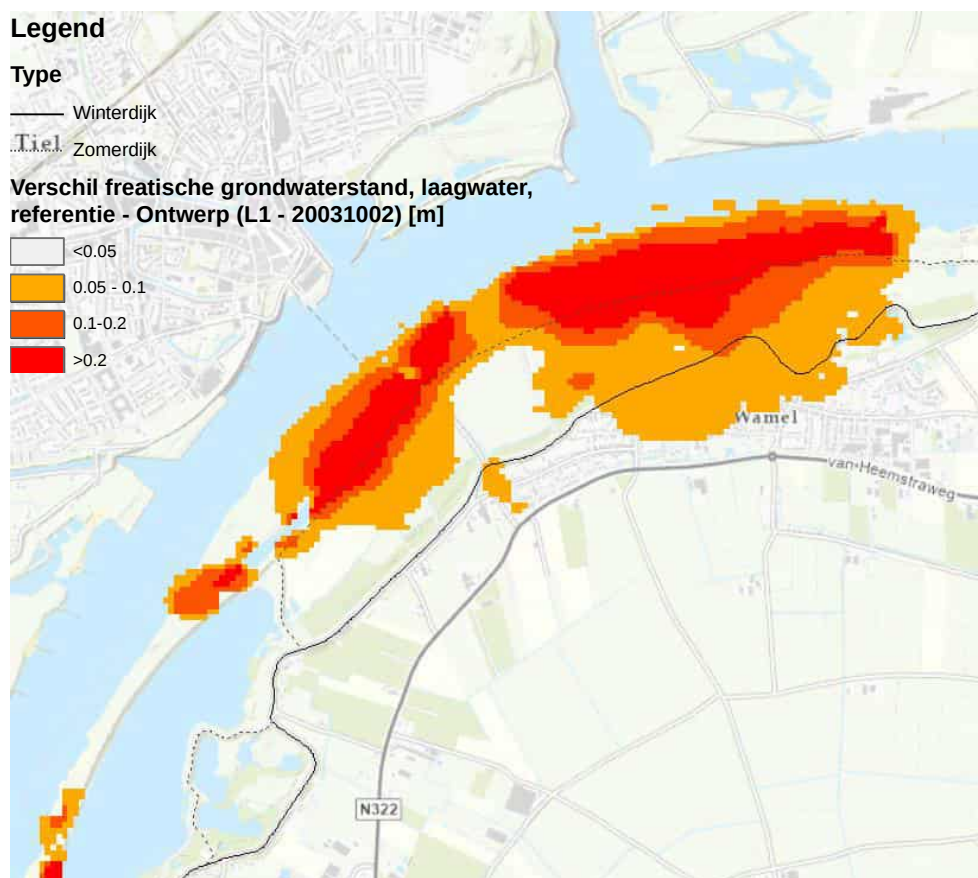
In de figuren is zichtbaar dat bij een hoogwatersituatie enkel ten zuiden van Heerewaarden binnendijks een verhoging van de grondwaterstand optreedt die met 5-6 cm groter is dan de richtlijn (5 cm), zie ook figuur 6. De stijghoogte verandert in de hoogwater situatie binnendijks nagenoeg overal meer dan 5 cm (tot ca. 25 cm bij de overstromingsvlakte).



Figuur 7: Binnendijkse vernatting bij een T=10 hoogwatersituatie

Uit de berekeningen volgt dat bij een T=10 laagwatersituatie enkel bij Wamel binnendijks een verandering van de freatische grondwaterstand optreedt die groter is dan 5 cm, namelijk een verdroging op van ca. 5 tot 10 cm, zie ook figuur 8. In een iets groter gebied rondom Wamel verandert de stijghoogte in een extreem laagwatersituatie met ca. 5 tot 11 cm (grootste verandering ter plaatse van de waterkering).

Door de gemeente Wamel is aangegeven dat een stijghoogteverandering, met name in de hoogwater situatie, kritisch is vanwege de aanwezigheid van een drainagesysteem voor het verlagen van de stijghoogte (en daarmee de kwel). De stijghoogte stijgt volgens de berekening bij extreem hoogwater binnendijks met ca. 7 tot 8 cm, hierdoor zal het af te voeren debiet van het drainagesysteem toenemen.



Figuur 8: Binnendijkse verdroging bij een T=10 laagwatersituatie

Een samenvatting van de resultaten is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Uitkomsten modellering UWDH (groen voldoet m.b.t. wijziging van grondwaterstand, rood niet)

Locatie	Binnendijkse verandering hoogwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Binnendijkse verandering laagwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]
Nevengeul Wamel	<5 / 7 à 8	5-10 / 8 à 11
Meestromende nevengeul	<5 / 5 à 7	5 / 5 à 8
Dreumel	<5 / <5	<5 / <5
Overstromingsvlakte	<5 / 5 à 30	5 / <5
Gestuurde overstromingsvlakte	<5 / <5	<5 / <5
Varik	<5 / 5 à 10	<5 / <5
Heerewaarden	5-6 / 5	<5 / <5

3.2 Waterbalans

Om te toetsen of er sprake is van een significante verandering in kwel/wegzijging, is er voor de twee modellen (referentie en UWDH) een waterbalans opgesteld. In de waterbalans is de hoeveelheid kwel/wegzijging per peilgebied bepaald. De aangehouden peilgebieden zijn weergegeven in figuur 9.



Figuur 9: Peilgebieden UWDH

De verschillen in kwel en wegzijging (percentages en m^3/dag) voor de meest nabijgelegen gelegen peilgebieden zijn weergegeven tabel 2. Indien in de meest nabijgelegen peilgebieden wordt voldaan aan de eis dan zal dat in de overige peilgebieden ook het geval zijn. Indien niet wordt voldaan in de meest nabijgelegen peilgebieden zal een ingreep noodzakelijk zijn waardoor in eerste instantie toetsen aan verder gelegen peilgebieden niet noodzakelijk wordt geacht. Positieve waarden betekenen een toename aan kwel en negatieve waarden een toename aan wegzijging.

Tabel 2: Uitkomsten waterbalans

Peilgebied	Kwel/wegzijgingsverandering in hoogwater situatie [% en m ³ /dag] (Wateropgave om aan 2% te voldoen)	Kwel/wegzijgingsverandering in laagwater situatie [% en m ³ /dag] (Wateropgave om aan 2% te voldoen)
QVU122	1,5% 57	4,2% -48 (25)
QVU118	2,4% 224 (38)	3,2% -121 (46)
QVU102*	2,2% -163 (15)	0,2% 4
QVU101	2,3% 99 (13)	2,4% -19 (4)
BOM563	10% 755 (604)	0,7% -25
BOM562	2,2% 20 (2)	1,0% -5
BOM561	0,9% -60	1,4% -22
* Door het aanbrengen van klei in de beschermingszone wordt een verlaging ten tijde van hoogwater en een verhoging ten tijde van laagwater berekent voor QVU102		

Uit tabel 2 blijkt dat niet wordt voldaan aan de eis betreffende maximaal 2% kwel/wegzijgingsverandering.

Opgemerkt wordt dat ten tijde van de T=10 laagwatersituatie in 2003 het opgegeven slootpeil in de verschillende peilgebieden lager is dan de freatische grondwaterstand. Deze drainerende werking wordt veroorzaakt door het feit dat ten tijde van de T=10 laagwatersituatie er al een winterpeil van kracht is. Bij het zomerpeil is de oppervlaktewaterstand enkele decimeters hoger. Opgemerkt wordt dat wateraanvoer, met name wanneer het niet gebiedseigen water betreft, in sommige situaties als niet wenselijk kan worden beschouwd, met name vanwege mogelijke verslechtering van de waterkwaliteit. In de beschreven situatie uit 2003, waarbij het winterpeil van kracht is, zou wateraanvoer niet zinvol zijn maar betreft de kwel/wegzijgingsverandering in de laagwater situatie eigenlijk een afname van het af te voeren debiet uit de verschillende peilgebieden.

3.3 Conclusie

In tabel 3 is per locatie een overzicht weergegeven of aan de eisen van het waterschap wordt voldaan. Opgemerkt wordt dat in de richtlijn van het waterschap Rivierenland geen eisen staan met betrekking tot het wijzigen van de stijghoogte, met uitzondering van de situatie waarbij de wijziging van de stijghoogte zorgt voor >2% kwel/wegzijgingsverandering. In tabel 3 (hoogwater) en tabel 4 (laagwater) is aanvullend aangegeven of er een binnendijkse stijghoogteverandering berekent is.

Tabel 3: Samenvatting T=10 hoogwater

Locatie	< 5 cm grondwaterstands- verandering	<2% kwel/wegzijgings- verandering	Stijghoogteverandering
Nevengeul Wamel	Voldaan	Niet voldaan	> 5 cm
Meestromende nevengeul	Voldaan	Niet voldaan	> 5 cm

Locatie	< 5 cm grondwaterstands- verandering	<2% kwel/wegzijgings- verandering	Stijghoogteverandering
Dreumel	Voldaan	Voldaan	<5 cm
Overstromingsvlakte	Voldaan	Niet voldaan	>5 cm
Gestuurde overstromingsvlakte	Voldaan	Voldaan	<5 cm
Varik	Voldaan	Niet voldaan	>5 cm
Heerewaarden	Niet voldaan	Voldaan	>5 cm

Tabel 4: Samenvatting T=10 laagwater

Locatie	< 5 cm grondwaterstands- verandering	<2% kwel/wegzijgings- verandering	Stijghoogteverandering
Nevengeul Wamel	Niet voldaan	Niet voldaan	>5 cm
Meestromende nevengeul	Niet voldaan	Niet voldaan	>5 cm
Dreumel	Voldaan	Voldaan	<5 cm
Overstromingsvlakte	Niet voldaan*	Niet voldaan*	<5 cm
Gestuurde overstromingsvlakte	Voldaan	Voldaan	<5 cm
Varik	Voldaan	Voldaan	<5 cm
Heerewaarden	Voldaan	Voldaan	<5 cm
* Dit betreft een modelmatige afwijking vanwege het droogvallen van de overstromingsvlakte. Verwacht wordt dat er geen verdroging optreedt aangezien de hydrologische situatie bij laagwater vrijwel gelijk is aan de huidige situatie.			

4. Oplossingsrichtingen

Uit de resultaten van de modelstudie volgt dat bij het uitvoeren van het huidige ontwerp DO 1.99 (datum) niet wordt voldaan aan de door WSRL gestelde eisen betreffende het grondwaterneutraal ontwikkelen van gebieden. Om aan de gestelde eisen te voldoen moeten er aanpassingen in het ontwerp worden gedaan en/of maatregelen worden getroffen.

Er is onderzocht of het aanbrengen van klei in de geulen/sloten en de overstromingsvlakte ervoor kan zorgen dat aan de door het waterschap gestelde eisen wordt voldaan. Hiervoor zijn nieuwe modelberekeningen gemaakt met een extra weerstand (aanbrengen van klei) van 25 dagen, 50 dagen, 100 dagen of 150 dagen in de conductance van de rivier in laag 2 (zie ook formule uit hoofdstuk 2). In tabel 5 is per locatie aangegeven hoeveel extra weerstand er moet worden aangebracht om aan de gestelde eisen te voldoen. Deze weerstand kan op basis van de eigenschappen van de toe te passen klei (weerstand in dagen) worden vertaald naar een dikte. Eventueel kan ook een ander materiaal worden toegepast om dezelfde weerstand te creëren. Vanwege ecologische doelstellingen moet op de geulbodem minimaal 0,5 m zand aanwezig zijn, waardoor de bovenzijde van de aan te brengen klei op een diepte van 0,5 m onder de geulbodem begint.

Aanvullend hierop zal onderzocht moeten worden of een stijghoogteverandering (mogelijk van meer dan 5 cm), die niet leidt tot 2% kwel/wegzijgingsverandering kan leiden tot overlast, met name in Wamel (vanwege het bestaande drainagesysteem) en voor de dijkveiligheid.

Tabel 5: Weerstand in de geulen.

Locatie	Aan te brengen weerstand [ten minste x dagen]
Nevengeul Wamel	150
Meestromende nevengeul*	75-100
Dreumel	0
Overstromingsvlakte	150
Gestuurde overstromingsvlakte**	0
Varik***	25-150
Heerewarden	25
* Bandbreedte opgegeven vanwege onderlinge invloed tussen nevengeul Wamel en de meestromende nevengeul in peilgebied QVU118	
** Wordt niet ontgraven	
*** Bandbreedte opgegeven vanwege onderlinge invloed tussen Varik en de overstromingsvlakte in peilgebied BOM563. Indien overstromingsvlakte wordt afgedicht 25 dagen noodzakelijk.	

Vanwege de wet bodembescherming mag gebiedseigen klei niet worden toegepast om de benodigde weerstand onder de geulen/overstromingsvlakten te verkrijgen. Indien klei wordt gebruikt om de weerstand te creëren zal deze klei moeten worden aangevoerd, wat bij de aanname van 100 dagen per meter klei financieel niet haalbaar is in het huidige project.

Additioneel wordt er gekeken naar andere oplossingen, zoals het accepteren van een verhoging/verlaging van de grondwaterstand in gevallen waar dit geen gevolgen heeft voor de omgeving en/of het bergen/aanvoeren van extra water ter compensatie van de wijziging in kwel/wegzijging. Mogelijk kan door een combinatie van deze oplossingen en het toepassen van een klei een situatie worden gecreëerd die voor alle betrokkenen acceptabel is.

De volgende werkzaamheden worden voor eind maart uitgevoerd:

- Uitvoeren van een risico-analyse ter beoordeling van het effect van de nu berekende veranderingen van de grondwaterstand en stijghoogte op bebouwing (zettingen, wateroverlast en wateronderlast), natuur, landbouw, waterkering en eventueel ander aanwezig landgebruik.
- Het aandragen en globaal beschrijven van oplossingsrichtingen.
- Beschrijven van het effect van de oplossingsrichting op bebouwing, natuur, landbouw, de waterkering en eventueel ander aanwezig landgebruik.

B.2 Memo oplossingsrichtingen 1120-180419-11-TN02

Technische notitie

Projectnaam	Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden		
Onderwerp	Oplossingsrichtingen DO 2.0		
Opdrachtgever	Kragten	Contactpersoon	[REDACTED]
Projectnummer	1120-180419	Documentnummer	TN02 – V1.1
Datum	31-05-2021	Opgesteld door	[REDACTED]
Gecontroleerd door	[REDACTED]	Vrijgegeven door	[REDACTED]

1. Introductie

Fugro voert geohydrologische modelberekeningen uit van het DO 1.99/2.0 ontwerp voor het project Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden (UWDH). Deze technische notitie is een vervolg op de resultaten van de geohydrologische berekeningen gepresenteerd in 1120-180419-TN01 (d.d. 03-03-2021). Uit de geohydrologische berekeningen blijkt dat het basisontwerp niet voldoet aan de eisen en dat maatregelen noodzakelijk zijn om aan de gestelde eisen te kunnen voldoen. In deze notitie worden mogelijke maatregelen kort beschreven. Voorliggende notitie heeft als doel om een eerste selectie te kunnen maken van mogelijke toepasbare maatregelen in het gebied. In een vervolgnottitie zal nadere detaillering plaatsvinden.

Hoofdstuk 2 bevat een samenvatting van de geohydrologische berekeningen (zie ook 1120-180419-TN01, 03-03-2021). Hoofdstuk 3 bevat de mogelijke oplossingsrichtingen op hoofdlijnen met daarbij een beschrijving van de voor- en nadelen. Op basis van hoofdstuk 3 zal, in samenspraak met het waterschap Rivierenland, Rijkswaterstaat en Kragten een selectie gemaakt worden van nader uit te werken maatregelen. De uitgewerkte maatregelen zullen in een latere memo ook aan de gemeenten worden voorgelegd.

De ontgravingscontouren van het huidige ontwerp (d.d. 03-02-2021) zijn weergegeven in figuur 1. Opgemerkt wordt dat als er een ontgraving binnen de beschermingszone van de dijk plaatsvindt waarbij de resterende deklaagdikte minder dan 1 m bedraagt, er 1,5 m klei onder het ontgravingsniveau wordt aangebracht.

Naast de ontgravingen in figuur 1 wordt ook een wijziging van het peilbeheer voorzien in het gebied nabij Heerewaarden, weergegeven in figuur 2. Op de weergegeven vlaktes zal door middel van een stuw water worden vastgehouden na hoogwater. Het vastgehouden water zal na afloop van hoogwater langzaam infiltreren in de bodem. De benaming voor deze ingreep is de gestuurde overstromingsvlakte. Voor deze ingreep wordt niet ontgraven (met uitzondering van zeer lokale ontgravingen voor het aanleggen van infrastructuur zoals duikers).



Figuur 1: Contouren ontgravingen ontwerp DO 1.99 (d.d. 03-02-2021)



Figuur 2 - gestuurde overstromingsvlakte

In de basis moet het ontwerp grondwaterneutraal zijn. Aangezien elke wijziging in een uiterwaarde per definitie niet grondwaterneutraal is en er een onzekerheid in de modelberekeningen zit heeft Waterschap Rivierenland (WSRL) de richtlijn "Richtlijn toetsing kwel en wegzijging" (23 oktober 2003) opgesteld. In deze richtlijn worden de volgende eisen met betrekking tot de geohydrologische impact voorgesteld:

- De kwel/wegzijgingsverandering mag maximaal 2% per peilgebied verslechteren ten tijde van een T=10 hoog- en laagwater situatie en ten tijde van gemiddeld hoog- en laagwater.
- De grondwaterstand mag binnendijs niet met meer dan 5 cm veranderen ten tijde van een T=10 hoog- en laagwater situatie en ten tijde van gemiddeld hoog- en laagwater.

Indien niet aan de eisen wordt voldaan moeten maatregelen getroffen worden. De mogelijke maatregelen zijn beschreven in hoofdstuk 3.

2. Resultaten

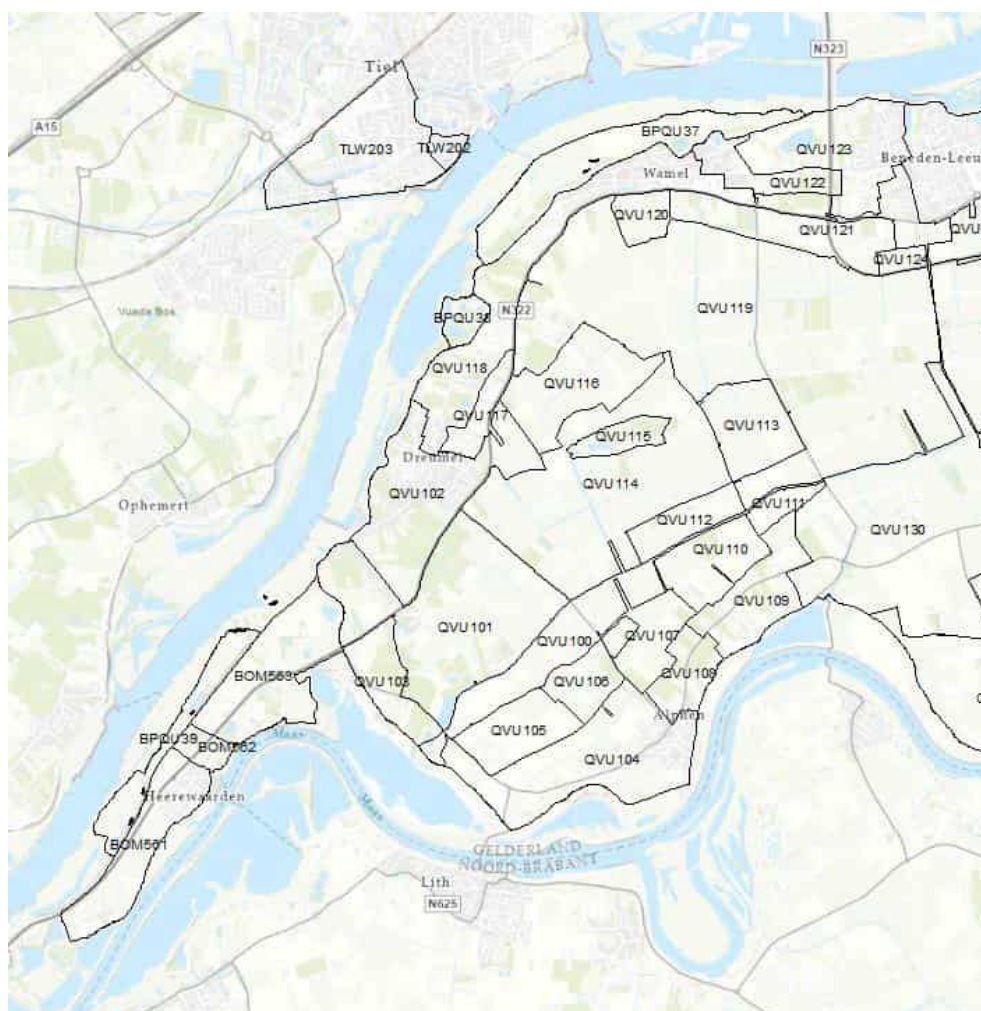
In dit hoofdstuk zijn kort de resultaten van de geohydrologische modelberekening weergegeven.

Een samenvatting van de berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen is weergegeven in tabel 1. De berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen zijn in appendix A.1 op topografische ondergrond weergegeven.

Tabel 1: Uitkomsten modellering UWDH (groen voldoet m.b.t. wijziging van grondwaterstand, rood niet)

Locatie	Binnendijkse verandering hoogwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Binnendijkse verandering laagwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]
Nevengeul Wamel	<5 / 7 à 8	5-10 / 8 à 11
Meestromende nevengeul	<5 / 5 à 7	5 / 5 à 8
Dreumel	<5 / <5	<5 / <5
Overstromingsvlakte	<5 / 5 à 30	5 / <5
Gestuurde overstromingsvlakte	<5 / <5	<5 / <5
Varik	<5 / 5 à 10	<5 / <5
Heerewaarden	5-6 / 5	<5 / <5

Een samenvatting van de berekende kwel- en wegzijgingsverandering per peilgebied (figuur 3) is weergegeven in tabel 1.



Figuur 3: Peilgebieden UWDH

Tabel 2: Uitkomsten waterbalans (groen voldoet m.b.t. wijziging van kwel/wegzijging, rood niet)

Peilgebied	Kwel/wegzijgingsverandering in hoogwater situatie [%]	Kwel/wegzijgingsverandering in laagwater situatie [%]
QVU122	1,5%	4,2%
QVU118	2,4%	3,2%
QVU102*	2,2%	0,2%
QVU101	2,3%	2,4%
BOM563	10%	0,7%
BOM562	2,2%	1,0%
BOM561	0,9%	1,4%
* Door het aanbrengen van klei in de beschermingszone wordt een verlaging ten tijde van hoogwater en een verhoging ten tijde van laagwater berekent voor QVU102		

3. Oplossingsrichtingen

Uit de geohydrologische berekeningen blijkt dat op 2 locaties niet wordt voldaan aan de eis dat de grondwaterstand binnendijks niet met meer dan 5 cm mag veranderen ten tijde van T=10 hoog- en laagwater. Tevens blijkt dat in 6 peilgebieden niet wordt voldaan aan de eis dat de kwel/wegzijgingsverandering maximaal 2% mag bedragen.

Om te kunnen voldoen aan de gestelde eisen dienen er aanvullende maatregelen genomen te worden.

3.1 Principemaatregelen

Er zijn 3 principemaatregelen geïdentificeerd die ervoor zouden kunnen zorgen dat het ontwerp voldoet aan de wensen en eisen van de verschillende stakeholders. Een combinatie van maatregelen is ook mogelijk. De mogelijke maatregelen zijn:

- Weerstand aanbrengen (3.1.1)
- Bergen en wateraanvoer (3.1.2)
- Drainage en wateraanvoer (3.1.3)

De verschillende principemaatregelen zijn nader toegelicht in de desbetreffende paragrafen.

Daarnaast wordt in paragraaf 3.1.4 het belang van het aanwezige landgebruik omschreven. De gestelde eisen zijn, logischerwijs, generiek voor het gehele gebied, maar op basis van aanvullend onderzoek met betrekking tot de mogelijke risico's die een geohydrologische wijziging met zich mee brengt kan mogelijk op een aantal locaties ook worden gekozen voor acceptatie of zelfs worden geconcludeerd dat de wijziging positief is.

3.1.1 Weerstand aanbrengen

Er is onderzocht of het aanbrengen van weerstand in de geulen/sloten en de overstromingsvlakte ervoor kan zorgen dat aan de door het waterschap gestelde eisen wordt voldaan. Hiervoor zijn aanvullende modelberekeningen uitgevoerd, waarbij ter plaatse van de ontgravingen een extra weerstand van 25 dagen, 50 dagen, 100 dagen of 150 dagen is aangebracht in het model. In tabel 3 is per locatie aangegeven hoeveel extra weerstand er moet worden aangebracht om aan de gestelde eisen (zowel grondwaterstandsverandering als kwel/wegzijgingsverandering) te voldoen. Vanwege ecologische doelstellingen moet op de geulbodem minimaal 0,5 m zand aanwezig zijn, waardoor de bovenzijde van de aan te brengen weerstand op een diepte van 0,5 m onder de geulbodem begint.

Tabel 3: Weerstand in de geulen.

Locatie	Aan te brengen weerstand [ten minste x dagen]
Nevengeul Wamel	150 ³
Meestromende nevengeul	75-100 ^{1/3}
Dreumel	0
Overstromingsvlakte	150

Locatie	Aan te brengen weerstand [ten minste x dagen]
Gestuurde overstromingsvlakte	0
Varik	25-150 ²
Heerewaarden	25 ³
1 Bandbreedte opgegeven vanwege onderlinge invloed tussen nevengeul Wamel en de meestromende nevengeul in peilgebied QVU118 2 Bandbreedte opgegeven vanwege onderlinge invloed tussen Varik en de overstromingsvlakte in peilgebied BOM563. Indien overstromingsvlakte wordt afgedicht 25 dagen noodzakelijk. 3 Noodzakelijk om aan 5 cm grondwaterstandsverandering te voldoen 4 Wordt niet ontgraven	

3.1.1.1 Klei aanbrengen

Een van de mogelijkheden voor het aanbrengen van weerstand is het aanbrengen van klei. De weerstand kan op basis van de eigenschappen van de toe te passen klei (weerstand in dagen) worden vertaald naar een dikte.

Voor de klei in het projectgebied is de eerdere modelstudies een weerstand van 100 dagen per meter aangehouden. Wanneer dezelfde weerstand wordt aangehouden voor de aan te brengen klei dan vertaalt 1 dag weerstand in tabel 3 zich naar 1 cm klei. Vanwege ecologische doelstellingen moet op de geulbodem minimaal 0,5 m zand aanwezig zijn, waardoor de bovenzijde van de aan te brengen klei op een diepte van 0,5 m onder de geulbodem begint.

Vanwege de wet bodembescherming mag gebiedseigen klei niet worden toegepast om de benodigde weerstand onder de geulen/overstromingsvlakten te verkrijgen. Indien klei wordt gebruikt om de weerstand te creëren zal deze klei moeten worden aangevoerd, wat bij de aanname van 100 dagen per meter klei financieel niet haalbaar is in het huidige project.

3.1.1.2 Trisoplast

Een andere manier voor het aanbrengen van weerstand is door gebruik te maken van Trisoplast. Trisoplast is een klei-polymeercomponent welke onder andere gebruikt wordt bij bodemaafdichtingen ten behoeve van milieubescherming. Het is onduidelijk wat de exacte weerstand van Trisoplast is en of het toepassen van Trisoplast financieel haalbaar is. Daarnaast is het toepassen van een polymeercomponent bij een project voor met name de ecologie mogelijk niet wenselijk.

Vanwege ecologische doelstellingen moet op de geulbodem minimaal 0,5 m zand aanwezig zijn, waardoor de bovenzijde van de aan te brengen Trisoplast op een diepte van 0,5 m onder de geulbodem begint. Onderzocht dient te worden of een constructie van Trisoplast met 0,5 m zanddek voldoende erosiebestendig is

3.1.1.3 Folie

Een derde optie voor het aanbrengen van weerstand is door gebruik te maken van een waterdicht geotextiel (folie). Een aandachtspunt bij het aanbrengen van geotextiel is de

levensduur en de mogelijkheid dat het textieldoek beschadigd raakt (door bijv. boringen in de toekomst). Opgemerkt wordt dat het toepassen van een geotextiel (plastic) bij een project voor met name de ecologie mogelijk niet wenselijk is.

3.1.1.4 (Kwel)schermen

Naast het aanbrengen van weerstand in de geulen/sloten is het mogelijk om weerstand aan te brengen in het 1^e watervoerende pakket zodat grondwater niet naar het binnendijkse gebied kan stromen door middel van (kwel)schermen. Gezien de dikte van het 1^e watervoerende pakket (min. ca. 40 m) wordt het niet haalbaar geacht om dit pakket vrijwel volledig af te sluiten. Het toepassen van (kwel)schermen zal daardoor maar zeer beperkt zorgen voor een vermindering van de berekende geohydrologische effecten.

Vanwege ecologische doelstellingen moet op de geulbodem minimaal 0,5 m zand aanwezig zijn, waardoor het geotextiel op ten minste een diepte van 0,5 m onder de geulbodem kan worden aangelegd.

3.1.2 Berging en wateraanvoer

Ter compensatie van de kwel/wegzijgingsverandering kan waterberging en wateraanvoer worden toegepast, met name wanneer de kwel/wegzijgingsverandering niet zorgt voor een minimale (<5 cm) freatische grondwaterstandsverandering. Wanneer de kwel/wegzijging binnen een peilgebied toeneemt met meer dan 2% maar de grondwaterstand maar minimaal toeneemt (<5 cm) dan zal de toename aan kwel/wegzijging vooral invloed hebben op de aanwezige watergangen en drainage (toename/afname van debiet).

Om de toename van het debiet (bij hoogwater) of afname van het debiet (bij laagwater) te compenseren kan extra water worden geborgen en later worden afgepompt of kan water worden aangevoerd (bij laagwater). In principe moet het water geborgen en aangevoerd worden in hetzelfde peilgebied.

Conform de Richtlijn toetsing kwel en wegzijging van het waterschap Rivierland wordt uitgegaan van een 10 dagen durende $T=10$ hoog- en laagwatersituatie. De toename/afname van het debiet moet derhalve 10 dagen lang worden geborgen in het gebied.

De berekende te bergen en aan te voeren debieten (m^3/dag) zijn weergegeven in tabel 4. Uit de tabel is af te lezen wat de te bergen hoeveelheid water is door de getallen te vermenigvuldigen met 10, bijvoorbeeld: in QVU118 moet tijdens $T=10$ hoogwater 224 m^3/dag geborgen worden om grondwaterneutraal te zijn. Dit betekent dat er in totaal 2240 m^3 geborgen moet worden in QVU118. Als ervoor wordt gekozen om 2% kweltoename te accepteren dan moet 38 m^3/dag geborgen worden, waardoor een totaal van 380 m^3 berging nodig is.

Positieve waarden betekenen een toename aan kwel en negatieve waarden een toename aan wegzijging. Door het water te bergen wordt enkel voldaan aan de eis met betrekking tot kwel/wegzijgingsverandering.

Tabel 4: Aan te voeren/te bergen waterhoeveelheden

Peilgebied	Kwel/wegzijgingsverandering in hoogwater situatie [m ³ /dag] (Wateropgave om aan 2% te voldoen)	Kwel/wegzijgingsverandering in laagwater situatie [% en m ³ /dag] (Wateropgave om aan 2% te voldoen)
QVU122	57	-48 (25)
QVU118	224 (38)	-121 (46)
QVU102*	-163 (15)	4
QVU101	99 (13)	-19 (4)
BOM563	755 (604)	-25
BOM562	20 (2)	-5
BOM561**	-60	-22
* Door het aanbrengen van klei in de beschermingszone wordt een verlaging ten tijde van hoogwater en een verhoging ten tijde van laagwater berekend voor QVU102. ** Wegzijging dankzij lagere waterstand Maas.		

3.1.2.1 Bergingsvijvers

Een mogelijkheid voor het bergen van water is het bergen in bergingsvijvers. Met name in het zuiden van het projectgebied (Heerewaarden) is er een kansrijke mogelijkheid tot bergen op enkele percelen die in het beheer komen van Staatsbosbeheer. Wanneer een 2% kwel/wegzijgingsverandering geaccepteerd wordt zijn de te bergen waterhoeveelheden, met uitzondering van de berging noodzakelijk voor de overstromingsvlakte (BOM563, te grote hoeveelheid), mogelijk haalbaar (bijv. ca. 380 m³ in QVU118). Een aandachtspunt voor het bergen in bergingsvijvers is het vol en leeg laten stromen, waarbij de verbinding naar het onderliggende watersysteem voldoende groot moet zijn. Daarnaast zal het bergen van water door middel van bergingsvijvers de grondwaterstandsverhoging/verlaging niet verminderen.

3.1.2.2 Watergangen

Een andere mogelijkheid voor het bergen van water is het bergen in watergangen. Wanneer een 2% kwel/wegzijgingsverandering geaccepteerd wordt zijn de te bergen waterhoeveelheden, met uitzondering van de berging noodzakelijk voor de overstromingsvlakte (BOM563), mogelijk haalbaar (ca. 380 m³ in QVU118). Het bergen in watergangen heeft als bijkomend voordeel dat de watergangen mogelijk ook een (deel) van de grondwaterstandsverhoging/verlaging kunnen verminderen wanneer de watergang aangelegd wordt op de locatie waar een toename/afname van de grondwaterstand berekend is. Een belangrijk aandachtspunt is de beperkte hoeveelheid beschikbare grond in het projectgebied.

3.1.2.3 Wateraanvoer

In de Richtlijn kwel en wegzijging van het waterschap Rivierland staat aangegeven dat:

"In tegenstelling tot kwel is het niet gewenst om wegzijging te compenseren in de vorm van extra waterberging, maar eerder in extra wateraanvoer. Dit leidt wel tot een netto toename van

gebiedsvreemd water en mogelijk tot een vermindering van de waterkwaliteit. Daarnaast kan extra wateraanvoer de daling van de grondwaterstand over het algemeen niet effectief 10 compenseren omdat het water niet zo snel in de bodem kan infiltreren. Daarvoor zou dan een peilverhoging of beregening plaats moeten vinden. Dit is over het algemeen nadelig voor de overige functies in het peilgebied. De nut en noodzaak moet per situatie worden bepaald."

Met uitzondering van de toename van kwel/wegzijging rond Wamel (QVU122 en QVU 118) en een hele kleine toename in het noordelijke stuk van Heerewaarden wordt de 2% eis ten tijde van laagwater niet overschreden. Aangezien wateraanvoer niet direct wenselijk is in het gebied wordt voorgesteld om eerst een risicoanalyse te maken van de lagere grondwaterstand/stijghoogte alvorens wordt besloten voor het aanvoeren van extra water (waar mogelijk).

3.1.3 Drainage en wateraanvoer

Naast het bergen van water of het aanbrengen van weerstand is het mogelijk om de hoeveelheid kwel/wegzijgingsverandering en de grondwaterstand/stijghoogte te beïnvloeden door middel van onttrekkingen/aanvullingen, zowel in het freatische pakket of in het 1^e watervoerende pakket. De noodzakelijk te onttrekken en/of aan te voeren debieten zijn gelijk aan de debieten gepresenteerd in tabel 4.

3.1.3.1 Drainage

Het aanbrengen van diepdrainage, in wegen of langs een dijklichaam, kan de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket dusdanig beïnvloeden dat de berekende kwel/wegzijgingsveranderingen binnen de 2% eis vallen en dat er geen grondwaterstandsveranderingen van groter dan 5 cm worden berekent. Een belangrijk aandachtspunt bij het aanbrengen van drainage is de beperkte hoeveelheid beschikbare grond en het lozingspunt van deze drainage (naar een berging of terug naar de Waal). Daarnaast moet de drain regelmatig onderhouden worden (doorspuiten).

Opgemerkt wordt dat een dergelijk drainagesysteem al aanwezig is in een deel van Wamel. Dit systeem zit qua capaciteit aan het maximum, maar afhankelijk van de inrichting van het systeem is het misschien mogelijk om dit systeem dusdanig uit te breiden dat deze ook de effecten van de voorziene aanpassingen in de uiterwaarde kan ondervangen.

3.1.3.2 Ontlastbronnen

Het aanbrengen van ontlastbronnen die worden aangesloten op een verzameldrain (al dan niet blinde buis), al dan niet langs een dijklichaam, kan de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket dusdanig beïnvloeden dat de berekende kwel/wegzijgingsveranderingen binnen de 2% eis vallen en dat er geen grondwaterstandsveranderingen van groter dan 5 cm worden berekent. Een belangrijk aandachtspunt bij het aanbrengen van ontlastbronnen en de verzameldrain is de beperkte hoeveelheid beschikbare grond en het lozingspunt van deze drainage (naar een berging of terug naar de Waal). Daarnaast moeten de ontlastbronnen onderhouden worden.

3.1.3.3 Wateriaanvoer

In de Richtlijn kwel en wegzijging van het waterschap Rivierland staat aangegeven dat:

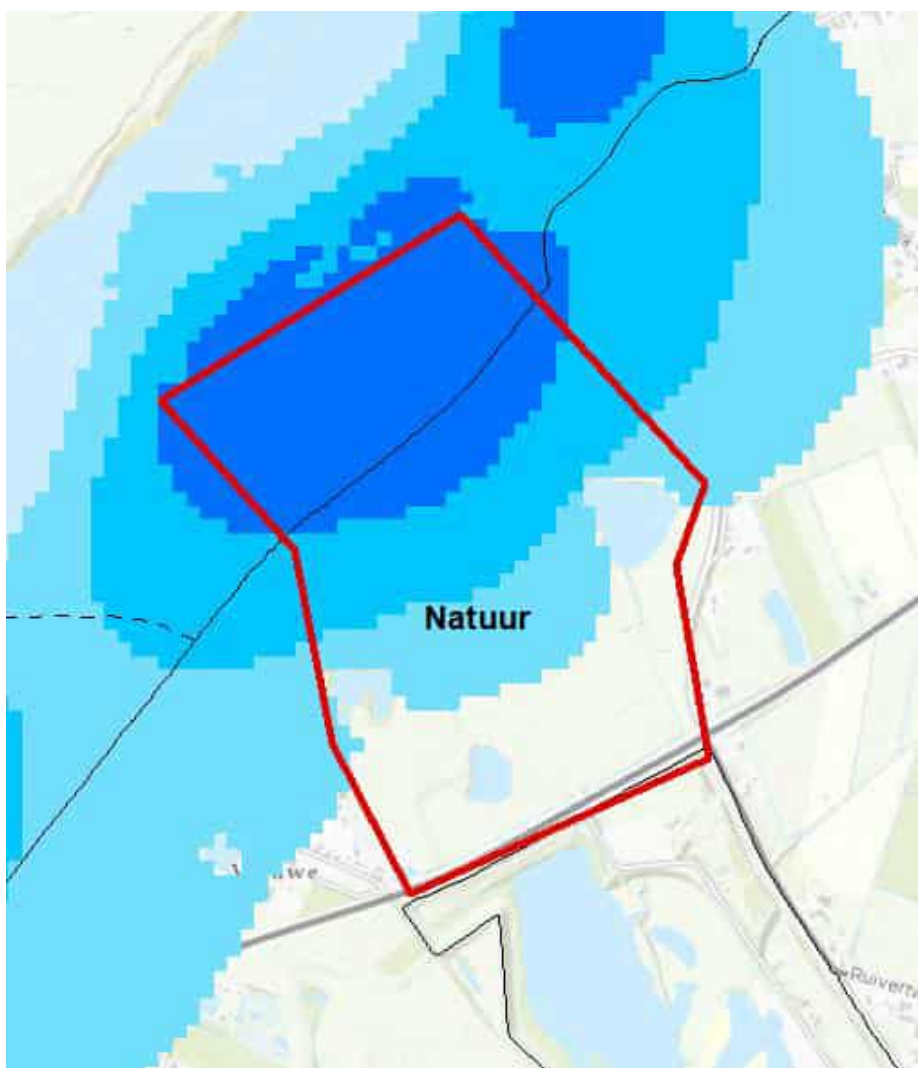
"In tegenstelling tot kwel is het niet gewenst om wegzijging te compenseren in de vorm van extra waterberging, maar eerder in extra wateraanvoer. Dit leidt wel tot een netto toename van gebiedsvreemd water en mogelijk tot een vermindering van de waterkwaliteit. Daarnaast kan extra wateraanvoer de daling van de grondwaterstand over het algemeen niet effectief 10 compenseren omdat het water niet zo snel in de bodem kan infiltreren. Daarvoor zou dan een peilverhoging of beregening plaats moeten vinden. Dit is over het algemeen nadelig voor de overige functies in het peilgebied. De nut en noodzaak moet per situatie worden bepaald."

Met uitzondering van de toename van kwel/wegzijging rond Wamel (QVU122 en QVU 118) en een hele kleine toename in het noordelijke stuk van Heerewaarden wordt de 2% eis ten tijde van laagwater niet overschreden. Aangezien wateraanvoer niet direct wenselijk is in het gebied wordt voorgesteld om eerst een risicoanalyse te maken van de lagere grondwaterstand/stijghoogte alvorens wordt besloten voor het aanvoeren van extra water (waar mogelijk).

3.1.4 Acceptatie

Aanvullend op het treffen van maatregelen kan, in overleg met de betrokken partijen, ook gekozen voor acceptatie van de berekende effecten, met name wanneer de effecten geen risico of schade met zich meebrengen voor het huidige (land)gebruik.

Het belangrijkste voorbeeld hiervoor zijn de berekende effecten nabij de overstromingsvlakte (tabel 4, peilgebied BOM563). Een groot deel van de berekende vernatting (ten tijde van een T=10 hoogwater) vindt plaats in een gebied wat aangewezen is al (natte) natuur en waar geen bebouwing aanwezig is, zie ook figuur 4. In het natuurgebied zou een toename van de stijghoogte (en kwel) tijdens hoogwater vermoedelijk niet schadelijk zijn waardoor ook gekozen kan worden voor acceptatie. Uiteraard dienen andere risico's (bijv. dijkstabiliteit) wel in beschouwing te worden genomen.



Figuur 4: Berekende effecten op stijghoogte door aanleg overstromingsvlakte

3.2 Samenvatting

In tabel 5 is een samenvatting weergegeven van alle mogelijke maatregelen met de beschreven voor- en nadelen.

Tabel 5: Samenvatting maatregelen

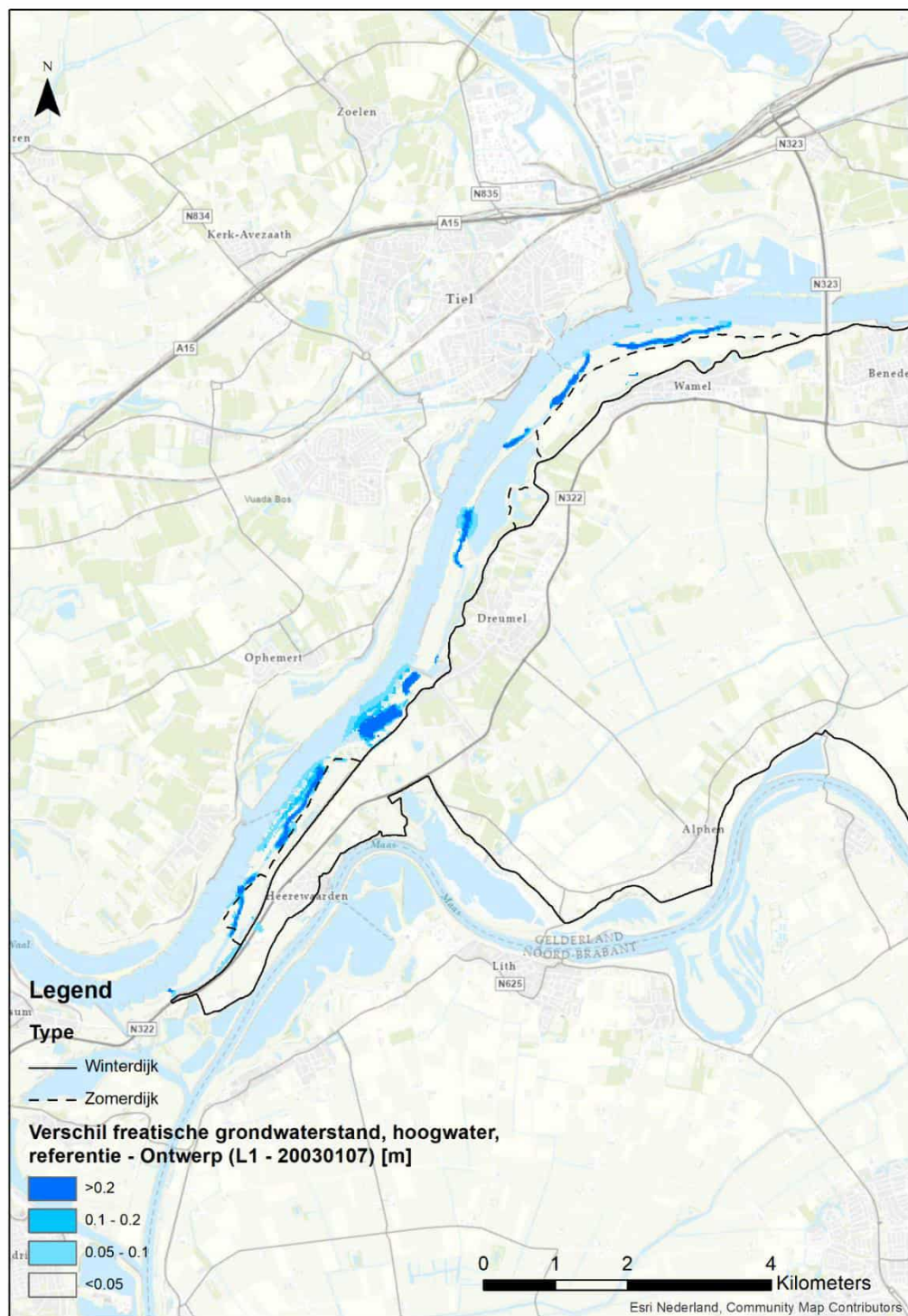
Oplossing	Voordelen	Nadelen
Principemaatregel: Weerstand aanbrengen	Bij voldoende weerstand kan worden voldaan aan de beide eisen	- Noodzaak om bovenzijde weerstand 0,5 m onder onderzijde geul/sloot aan te brengen - Grote consequenties voor uitvoering project
Klei aanbrengen	- Vermindert zowel kwel/wegzijing als grondwaterstandsveranderingen - geen ingrepen binnendijks	- Financieel niet haalbaar als toepassing voor het gehele gebied - lokaal relatief groot grondverzet nodig, inclusief bemaling

Oplossing	Voordelen	Nadelen
Trisoplast	- Vermindert zowel kwel/wegzijging als grondwaterstandsveranderingen - geen ingrepen binnendijks	- Financiële consequenties niet duidelijk - Exacte weerstand in de bodem dient nader onderzocht te worden - lokaal relatief groot grondverzet nodig, inclusief bemaling - Aanbrengen polymeer in ecologisch gebied
Folie	- Vermindert zowel kwel/wegzijging als grondwaterstandsveranderingen - Eenvoudig aan te brengen onder 0,5 m zand	- Levensduur van geotextiel niet bekend - Mogelijkheid tot beschadigingen aan geotextiel bij toekomstige werkzaamheden - Aanbrengen plastic in ecologisch gebied
(Kwel)schermen	- Mogelijk positief effect op dijkstabiliteit	- Niet mogelijk om te voldoen aan de eisen met enkel kwelschermen
Principemaatregel: Bergen en wateraanvoer	Concrete mogelijkheden tot berging in Heerewaarden. Te bergen m³ water is beperkt.	In de basis enkel invloed op de eis m.b.t. kwel/wegzijgingsveranderingen. Sterk afhankelijk van beschikbare grond.
Bergingsvijvers	- Mogelijkheid tot bergen op percelen van Staatsbosbeheer (Heerewaarden)	- Ruimte voor berging in overige deel beperkt - Verandert de berekende grondwaterstandswijziging niet
Watergangen	- Vermindert zowel kwel/wegzijging als grondwaterstandsveranderingen	- Ruimte voor berging door middel van sloten zeer beperkt
Wateraanvoer	Nader te onderzoeken. Mogelijk niet wenselijk in projectgebied (en indien wel wenselijk, mogelijkheden sterk afhankelijk van bestaande infrastructuur of nieuw aan te leggen infrastructuur).	
Principemaatregel: Drainage en wateraanvoer	Eerder toegepast in het projectgebied. Bij juist locatie kan worden voldaan aan de beide eisen	Sterk afhankelijk van beschikbare grond.
Drainage	- Eerder toegepast in projectgebied - Vermindert zowel kwel/wegzijging als grondwaterstandsveranderingen - Nader te onderzoeken: Mogelijkheid tot uitbreiden systeem Wamel	- Ruimte voor aanbrengen van drainage in zeer beperkt - Nader onderzoek nodig voor het wegpompen/bergen van het onttrokken water - Onderhoud nodig aan drainagebuizen
Ontlastbronnen	- Vermindert zowel kwel/wegzijging als grondwaterstandsveranderingen	- Ruimte voor aanbrengen van bronnen zeer beperkt - Nader onderzoek nodig voor het wegpompen/bergen van het onttrokken water

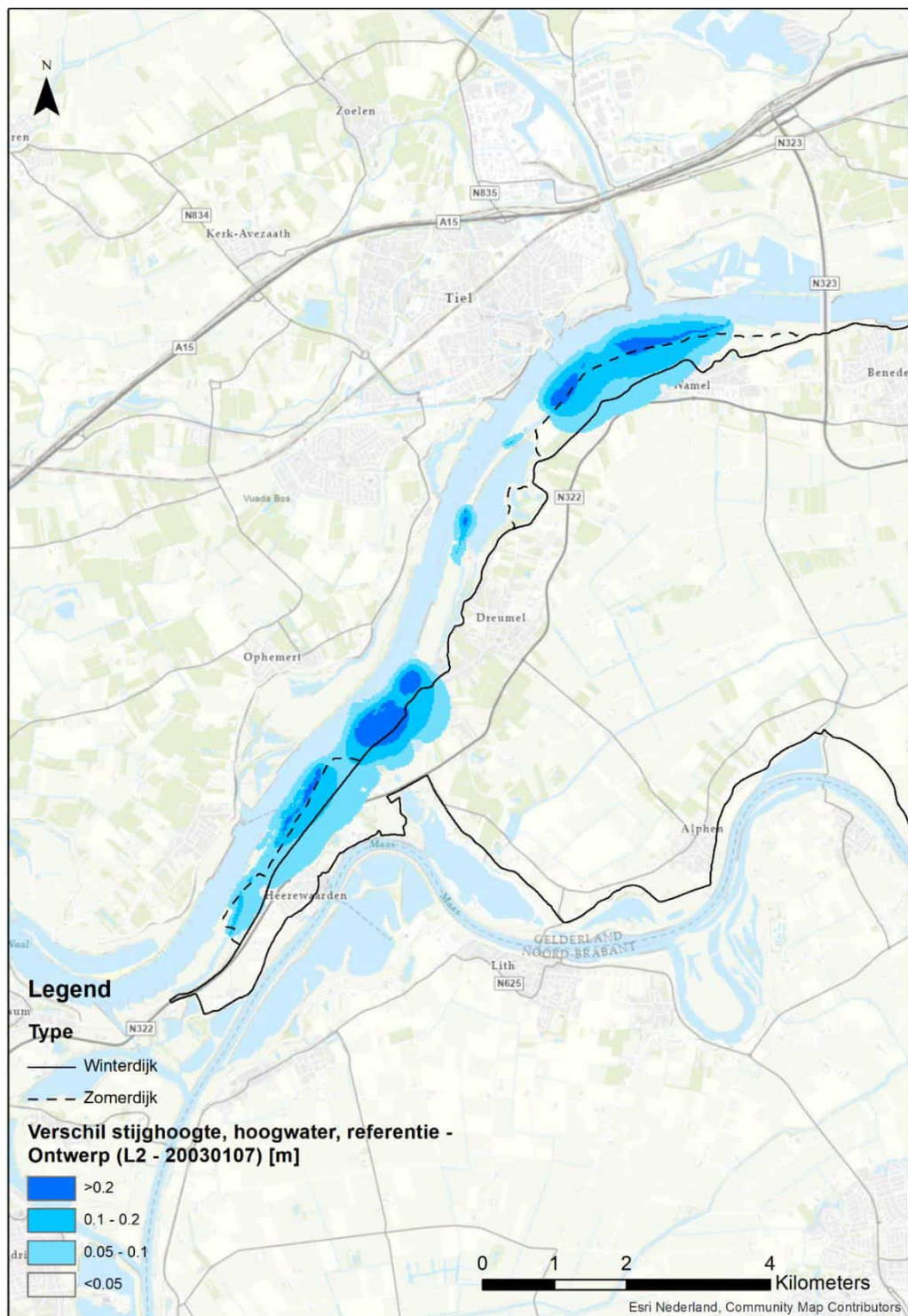
Oplossing	Voordelen	Nadelen
		- Onderhoud nodig aan ontlastbronnen
Wateriaanvoer	Nader te onderzoeken. Mogelijk niet wenselijk in projectgebied (en indien wel wenselijk, mogelijkheden sterk afhankelijk van bestaande infrastructuur).	

Opgemerkt wordt dat een combinatie van maatregelen ook mogelijk is. Met name het aanbrengen van een minimale weerstand onder de geulen ter beperking van de grondwaterstandsverandering, tezamen met berging of drainage voor het beperken van de kwelverandering lijkt kansrijk.

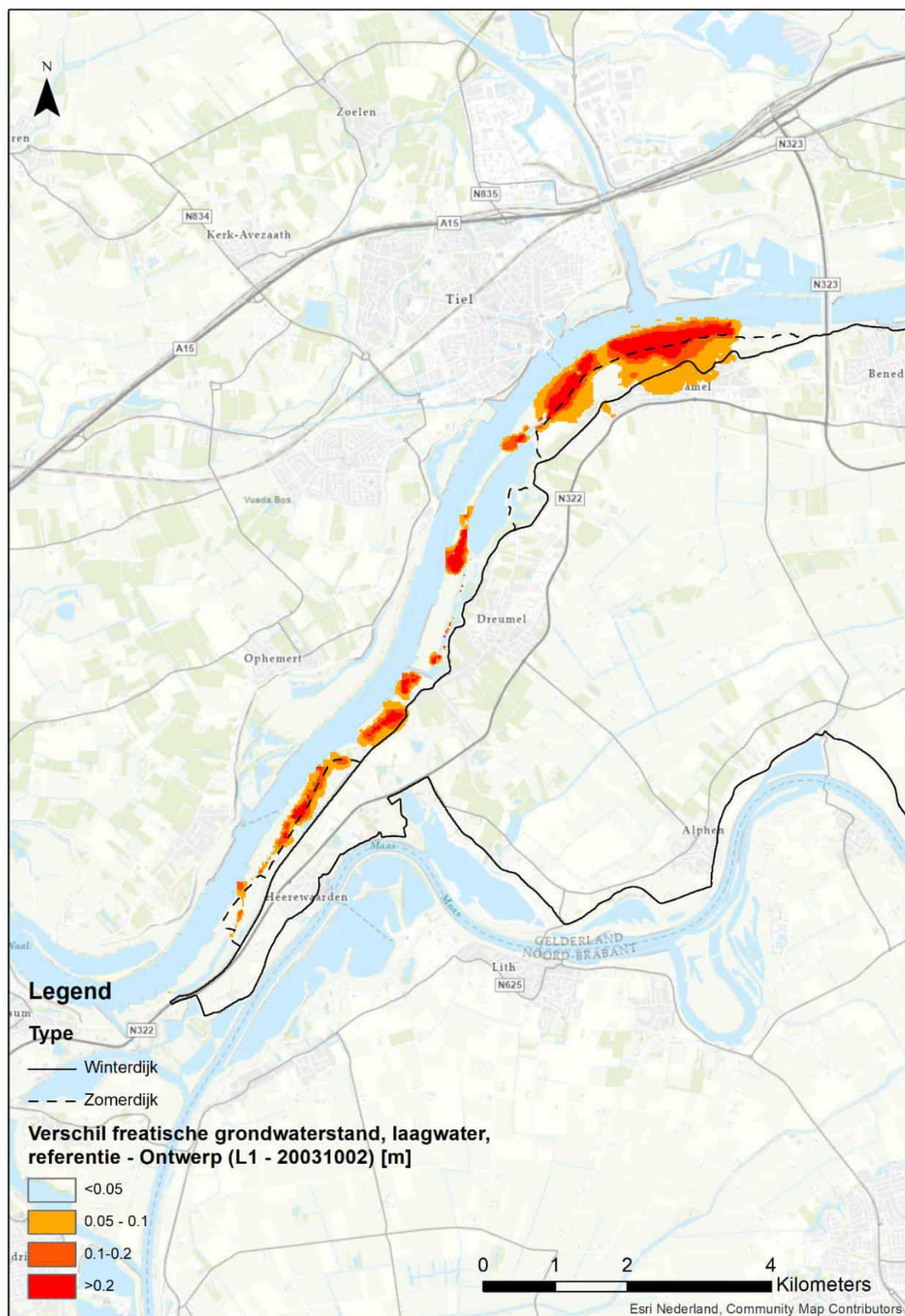
A.1 Berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen.



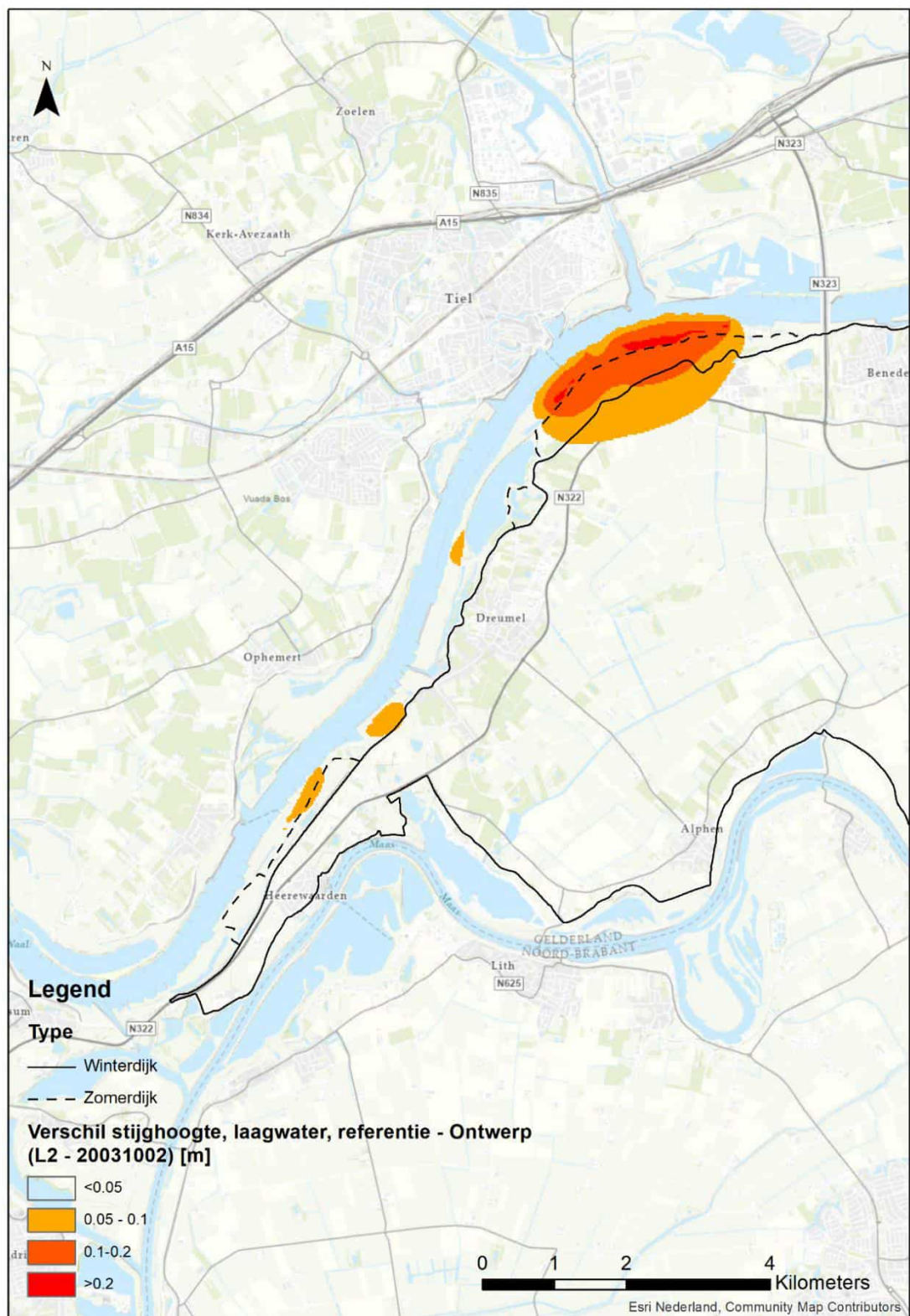
Figuur 5: Vershil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie



Figuur 6: Verskil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie



Figuur 7: Verskil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 laagwatersituatie



Figuur 8: Verschil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 laagwatersituatie

Appendix C

Geofysische metingen

**Kans 2 – Aanvullend geofysisch onderzoek uiterwaarden
Wamel – Dreumel – Heerewaarden**

Document Nr.: 1217-0015-151

Versie: 4.0

Datum: 19 september 2018

kragten



Opdrachtgever Kragten B.V.
Postbus 14
6040 AA Roermond

Datum 9 t/m 20 oktober 2017
grondonderzoek 3, 7, 10, 14 en 15 november 2017
8,9 mei en 10 juli 2018

Opdrachtnemer Fugro NL Land B.V.
Veurse Achterweg 10
Postbus 63
2260 AB Leidschendam
T 070 31 70700

Projectleider 
Senior Adviseur Geofysica
070 311 1360

Versiebeheer

1.0	Initiële versie	SNE / VK	CVI	CVI	01-12-2017
2.0	2 ^e versie	SNE / VK	CVI	CVI	15-12-2017
3.0	Totale rapportage	SNE	CVI	CVI	25-07-2018
4.0	Aangepaste totale rapportage	SNE	CVI	RVO	19-09-2018
Rev	Omschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Datum

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE	1
BIJLAGEN	1
1. INLEIDING	2
2. UITVOERING ELKTROMAGNETISCH EN GRONDRADAR ONDERZOEK	6
2.1 Uitvoering veldwerk	6
2.2 Methode Elektromagnetische metingen	7
2.3 Methode Grondradar metingen	8
2.4 Handboringen	10
3. RESULTATEN ELEKTROMAGNETISCH ONDERZOEK	12
3.1 Gebied 1 ter hoogte van Sint Andries	12
3.2 Gebied 2 ter hoogte van Heerewaarden	13
3.3 Gebied 3 ter hoogte van Dreumel (zuidelijke deel)	15
3.4 Gebied 4 ter hoogte van Dreumel (noordelijke deel)	16
3.5 Gebied 5 ter hoogte van Wamel (zuidelijke deel)	18
3.6 Gebied 6 ter hoogte van Wamel (noordelijke deel)	18
3.7 Samenvatting EM metingen	20
4. RESULTATEN GRONDRADARONDERZOEK	21
4.1 Technische benadering	21
4.2 Gebied 1 ter hoogte van Sint Andries	22
4.3 Gebied 2 ter hoogte van Heerewaarden	22
4.4 Gebied 3 ter hoogte van Dreumel (zuidelijke deel)	23
4.5 Gebied 4 ter hoogte van Dreumel (noordelijke deel)	24
4.6 Gebied 5 ter hoogte van Wamel (zuidelijke deel)	24
4.7 Gebied 6 ter hoogte van Wamel (noordelijke deel)	25
5. CONCLUSIE	26

BIJLAGEN

➤ Meetpunten kaart per gebied	1
➤ Hoogtekaart per gebied	2
➤ Geleidbaarheid kaarten	3
➤ Geclassificeerde EM data om de 25cm (bovenaanzicht) per gebied	4
➤ Lengteprofielen geclassificeerde EM data (dwarsprofielen) per gebied	5
➤ Dikte deklaag kaart per gebied	6
➤ Grensvlak kaart per gebied	7
➤ Resultaten van uitgevoerde handboringen	8
➤ Resultaten grondradar onderzoek	9

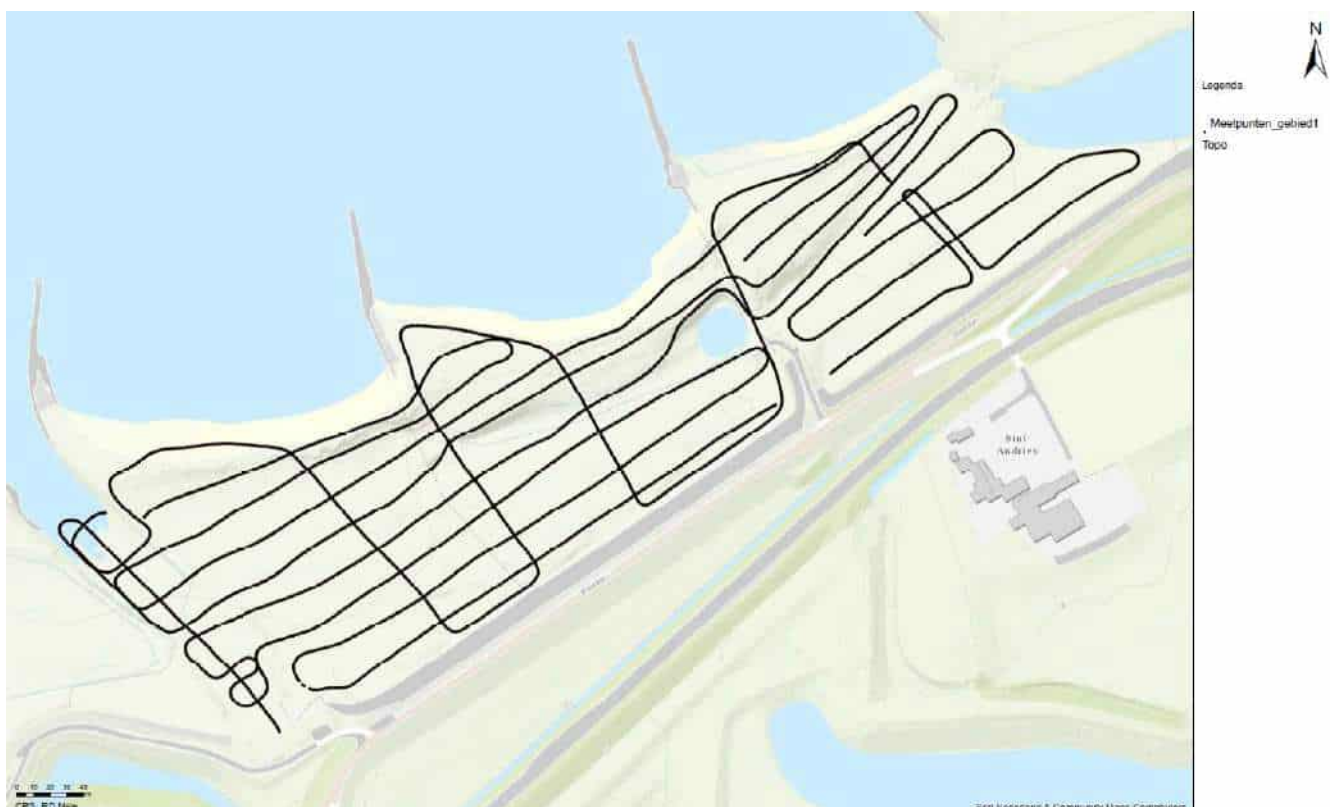
1. INLEIDING

Op 9 oktober 2017 ontving Fugro Nederland Land B.V. te Leidschendam van Kragten B.V. te Roermond, de opdracht voor een geofysisch onderzoek voor het project “planstudie en voorbereiding realisatie natuurontwikkeling Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden”.

Doel van het onderzoek is de nauwkeurige bepaling van dikte en verloop van de kleiige deklaag van delen van het onderzoeksgebied over een lengte van circa 10 km in de uiterwaarden langs de zuidkant van de rivier de Waal. Deze informatie ondersteunt het ontwerpproces voor de herinrichting van de uiterwaarden. Zo is bijvoorbeeld voor het onderzoek naar de effecten van de nieuwe herinrichting op de grondwaterhuishouding en waterveiligheid (piping) de samenstelling, dikte en verloop van de deklaag zeer bepalend.

In overleg met de opdrachtgever zijn een zestal gebieden in de uiterwaarden uitgekozen waar werkzaamheden gepland zijn, zoals maaiveldverlagingen en grondwerk aan nevengeulen en strangen. Om effecten voor die gebieden voor verdroging, kwel en/of piping volledig en vergunbaar in beeld te brengen is dit geofysisch onderzoek bedoeld. De zes gebieden zijn hieronder in de **figuren 1 t/m 6** aangegeven.

- Gebied 1: de uiterwaarden ter hoogte van Sint Andries;
- Gebied 2: de uiterwaarden ter hoogte van Heerewaarden;
- Gebied 3: de uiterwaarden ter hoogte van Dreumel (zuidelijke deel);
- Gebied 4: de uiterwaarden ter hoogte van Dreumel (noordelijke deel);
- Gebied 5: de uiterwaarden ter hoogte van Wamel (zuidelijke deel);
- Gebied 6: de uiterwaarden ter hoogte van Wamel (noordelijke deel).



Figuur 1: Gebied 1 de uiterwaarden ter hoogte van Sint Andries



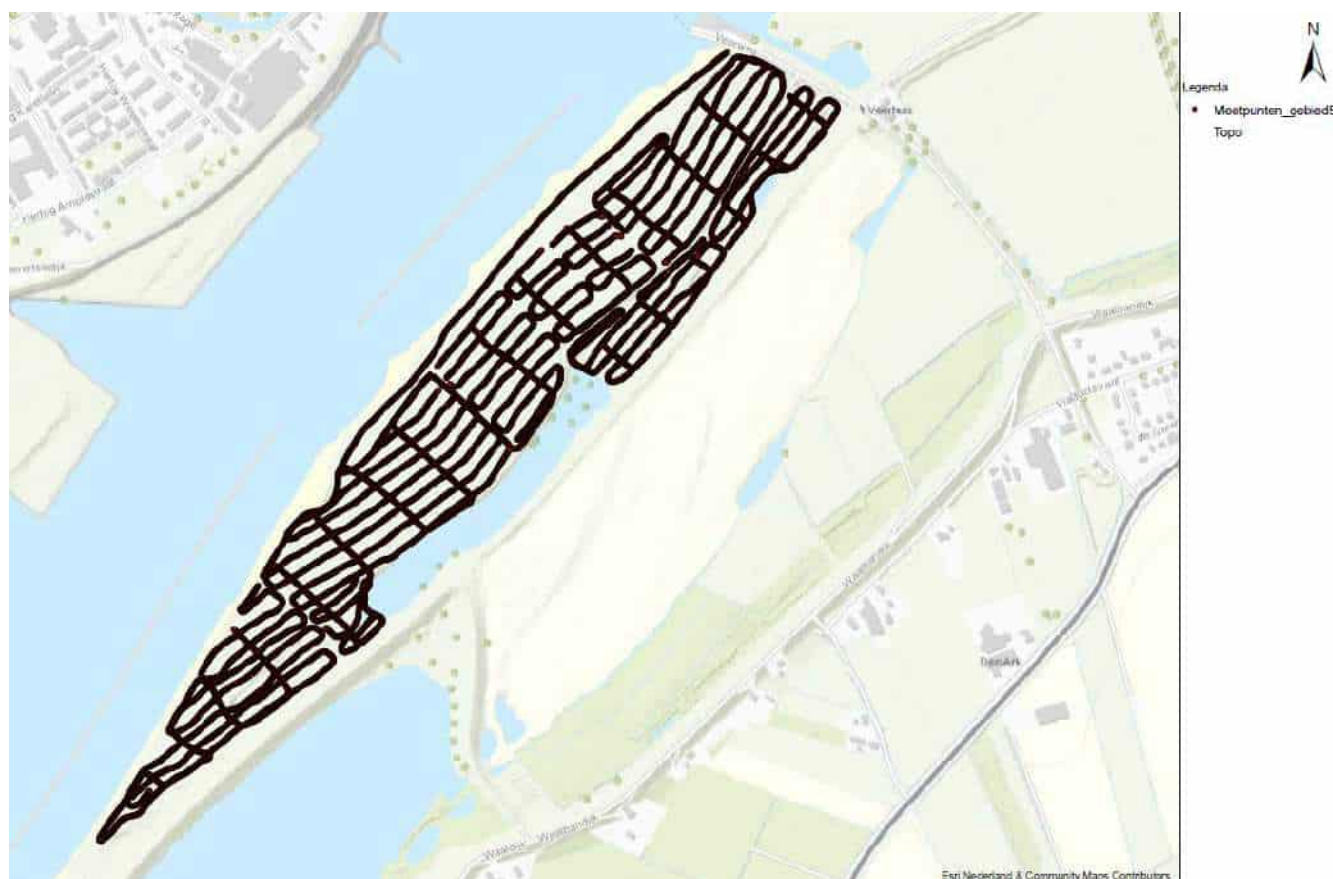
Figuur 2. Gebied 2 de uiterwaarden ter hoogte van Heerewaarden



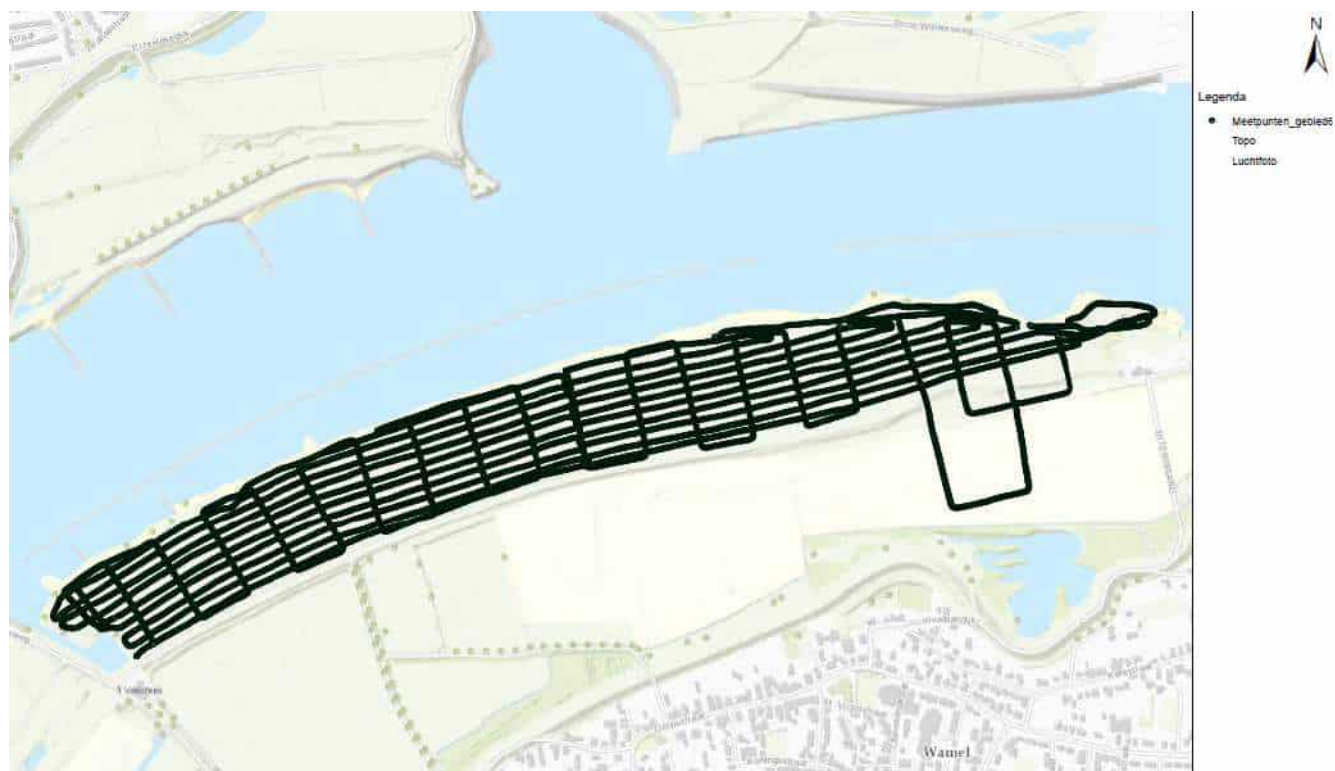
Figuur 3. Gebied 3 de uiterwaarden ter hoogte van Dreumel (zuidelijk deel)



Figuur 4. Gebied 4 de uiterwaarden ter hoogte van Dreumel (noordelijk deel)



Figuur 5. Gebied 5 de uiterwaarden ter hoogte van Wamel (zuidelijk deel)

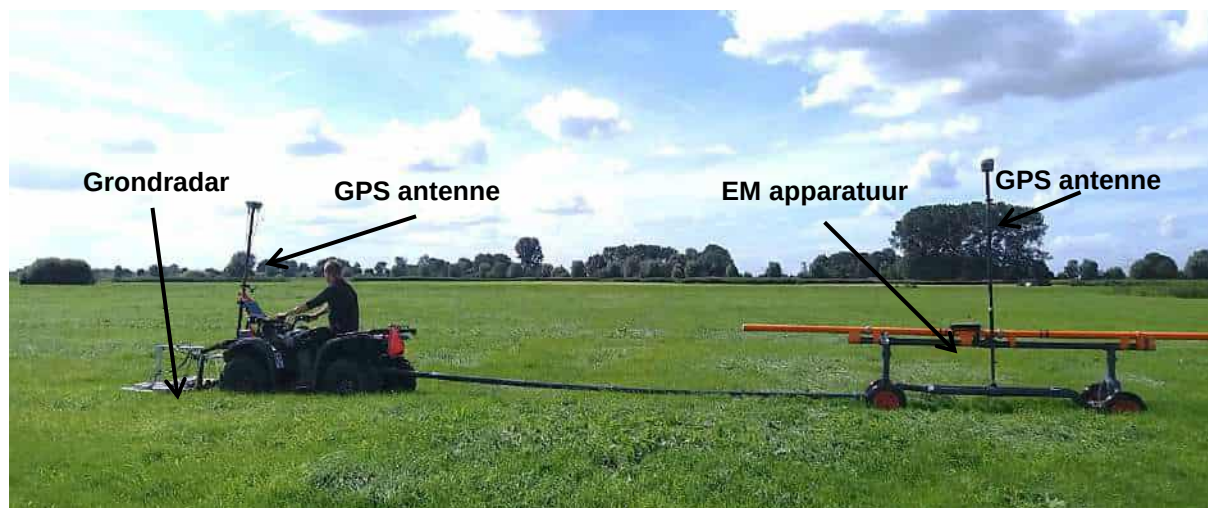


Figuur 6: Gebied 6 de uiterwaarden ter hoogte van Wamel (noordelijk deel)

2. UITVOERING ELKTROMAGNETISCH EN GRONDRADAR ONDERZOEK

2.1 Uitvoering veldwerk

Het geofysisch veldwerk is uitgevoerd met behulp van elektromagnetische (EM) en grondradar (GPR) metingen aangevuld met handboringen. De metingen zijn op loopsnelheid uitgevoerd. De elektromagnetische metingen zijn uitgevoerd met behulp van de CMD Explorer van GF Instruments en de grondradar metingen zijn met behulp van de grondradararray RIS HIMODE van IDS uitgevoerd. Alle instrumenten zijn gekoppeld aan een 06-GPS en de metingen zijn uitgevoerd met behulp van een quad (zie Figuur 7).



Figuur 7: Voorbeeld foto uitvoering elektromagnetische en grondradar metingen

In Tabel 1 is de uitvoeringsdatum, het aantal datapunten en de lengte van de gemeten profielen per gebied weergegeven.

Tabel 1. Overzicht gemeten aantal datapunten, profiel lengtes per gebied

Gebied	Uitvoeringsdatum	Gemeten data punten	Gemeten profiel lengte (m)
Gebied 1	16-10-2017	5020	5120
Gebied 2	17-10-2017	19153	23796
	07-11-2017		
	08-05-2018	6386	6850
Gebied 3	17-10-2017	16658	16992
	18-10-2017		
Gebied 4	18-10-2017	5830	5429
	03-11-2017		
	09-05-2018		
Gebied 5	20-10-2017	14813	18775
	14-11-2017		
	15-11-2017		
Gebied 6	19-10-2017	9413	11836
	10-07-2018	10136	12740

Tijdens de uitvoering van het elektromagnetische / grondradar onderzoek zijn de meetlijnen zowel parallel als loodrecht (circa om de 100m) op de dijk gemeten. De gemeten profielen hebben een totale lengte van circa **122 km**. In totaal zijn **103140 datapunten** gemeten met een onderlinge afstand van ongeveer **1.2 meter** per raai. Alle

gemeten elektromagnetische meetpunten zijn per gebied weergegeven op een topografische kaart in RD coördinaten en deze is per gebied bijgevoegd als **bijlage 1-1 t/m bijlage 1-6**.

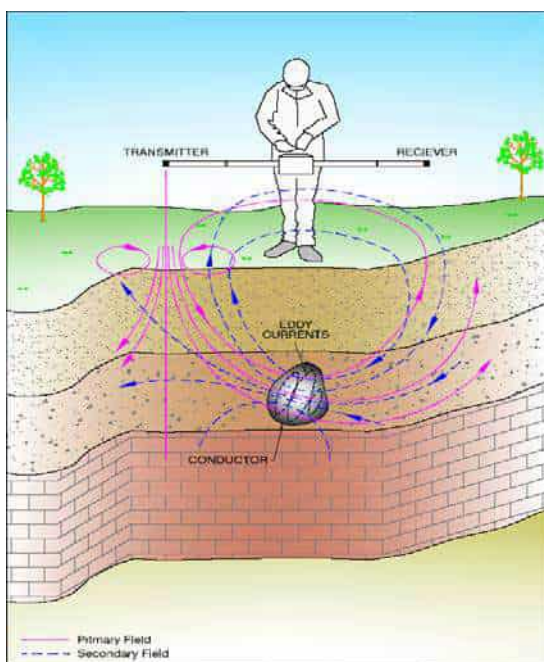
Alle meetpunten zijn ingemeten met behulp van een RTK GPS systeem, in RD coördinaten en ten opzichte van NAP. Het GPS systeem (Trimble R10 RTKGPS) heeft in de x, y richting een onnauwkeurigheid van 3 cm en in de z richting een onnauwkeurigheid van 5 cm. Deze onnauwkeurigheid zal op de hobbelige terreinen toe kunnen nemen. De gemeten hoogtes zijn maaiveld hoogtes ten opzichte van NAP.

2.2 Methode Elektromagnetische metingen

Bij het elektromagnetisch onderzoek wordt de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond gemeten door middel van elektromagnetische inductie. Het apparaat bestaat uit een zender en drie ontvangers op een onderlinge afstand van respectievelijk 1,48 m, 2,82 m en 4,49 m, die tijdens de metingen op een gelijke afstand boven het maaiveld worden gehouden.

Door de zendspoel wordt een elektrische wisselstroom in de bodem gestuurd om een primair magnetisch veld (H_p) op te wekken. Dit veld zal op zijn beurt elektrische stromingen in de bodem induceren, welke een secundair magnetisch veld (H_s) veroorzaakt. In de ontvangspoel wordt de vectorsom van de velden H_p en H_s gemeten (zie Figuur 8). Uit de verhouding H_s/H_p wordt het schijnbaar geleidingsvermogen van de ondergrond berekend. Deze schijnbare waarde representeert de werkelijke geleidbaarheid afhankelijk van de diepte van de lagen.

Voor het elektrisch geleidingsvermogen zijn de goed geleidende mineralen belangrijk zoals humus en vochtige klei in de bodem, ook gestort vuilnis kan goed geleidende materialen bevatten. Grondwater, zowel qua samenstelling als hoeveelheid, speelt echter de belangrijkste rol in het geleidingsvermogen. Uit de meting kan echter niet eenduidig de samenstelling van de ondergrond worden afgeleid, want het bereik van het geleidingsvermogen voor verschillende grondsoorten overlapt elkaar.



Figuur 8: Schematisch overzicht elektromagnetische onderzoeksmethode.

Over het algemeen is het geleidingsvermogen van de bodem hoger naarmate de korrelgrootte van het materiaal geringer is. Op basis hiervan kan bijvoorbeeld de variatie in dikte van een kleiige en/of venige toplaag op een

zandpakket in kaart worden gebracht. Verder zal bij gelijk blijvende porositeit/permeabiliteit het geleidingsvermogen toenemen met het **zoutgehalte** (of de vervuiling) van het grondwater.

Zo kunnen veranderingen in het geleidingsvermogen dus zowel duiden op verandering van de bodemsamenstelling als op verandering van de **grondwaterkwaliteit**. Daar de waarden van het geleidingsvermogen gebied gebonden zijn, blijft een aantal boringen altijd noodzakelijk voor een goede kalibratie van de gegevens.

Het **geleidingsvermogen** van de bodem is zeer zwak in vergelijking met dat van metalen geleiders. Metalen buizen, kabels, ondergrondse tanks, wildroosters e.d. kunnen dan ook zeer sterke storingen in de metingen veroorzaken. Door deze storing te meten met behulp van het elektromagnetische onderzoek kunnen de geleidende objecten zoals metalen buizen, metalen kabels en of ondergrondse tanks gelokaliseerd worden.

Over een gebied met gestort vuil in de ondergrond zal het geleidingsvermogen grillig verlopen, terwijl het bij meer natuurlijke oorzaken meestal geleidelijk verloopt.

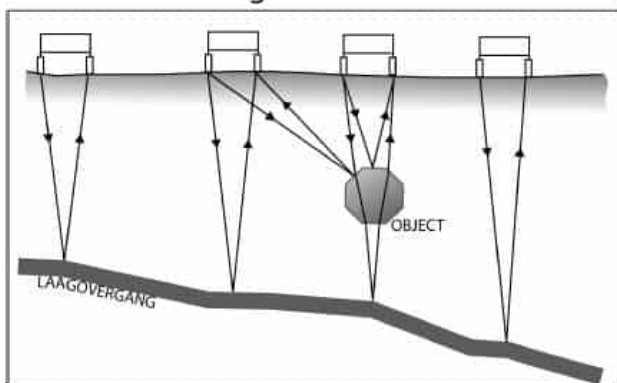
In het algemeen bezit zand een aanzienlijk lager elektrische geleidingsvermogen ten opzichte van klei en veen. Externe factoren zoals bijvoorbeeld **brak/ zout grondwater** kunnen dit beeld echter vertroebelen. De variatie in de dikte van de kleiige en/of venige toplaag op een zandpakket kan bijvoorbeeld worden aangetoond.

2.3 Methode Grondradar metingen

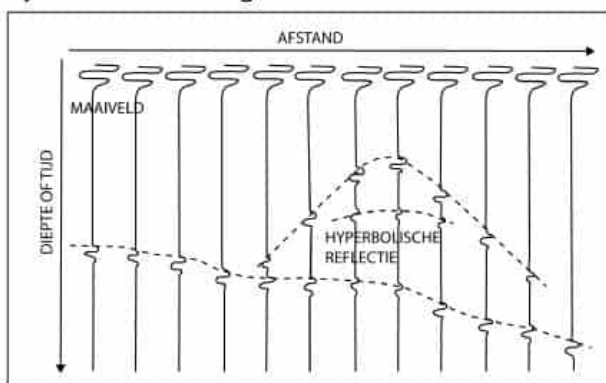
Het meetprincipe

Ground Penetrating Radar (GPR), ofwel grondradar of georadar, is een geofysische techniek gebaseerd op de voortplanting van kortstondige hoogfrequente elektromagnetische signalen (1 tot 1000MHz). Deze signalen worden uitgezonden door een zender (transmitter, Tx) en nadat ze door structuren in de ondergrond zijn gereflecteerd, worden ze gedetecteerd door de ontvanger (receiver, Rx). De radar beweegt zich in de richting van de pijl tijdens de uitvoering, zie Figuur 9.

Bodem voorstelling



Synthetisch radargram



Figuur 9: Meetprincipe van grondradar

Het meetprincipe kan als volgt worden uitgelegd:

De grondradar, die zich in een rechte lijn beweegt, zendt elektromagnetische pulsen uit en ontvangt de energie die terugkomt. Als de grondradar het object nadert, wordt de tijd tussen het zenden van de radarpuls en het ontvangen van de response steeds korter en als de grondradar van het object af beweegt, wordt de tijd tussen het zenden van de radarpuls en het ontvangen van de response steeds langer. Hierdoor ontstaat het profiel van een hyperbool.

Kans 2 – Aanvullend geofysisch onderzoek uiterwaarden Wamel – Dreumel – Heerewaarden

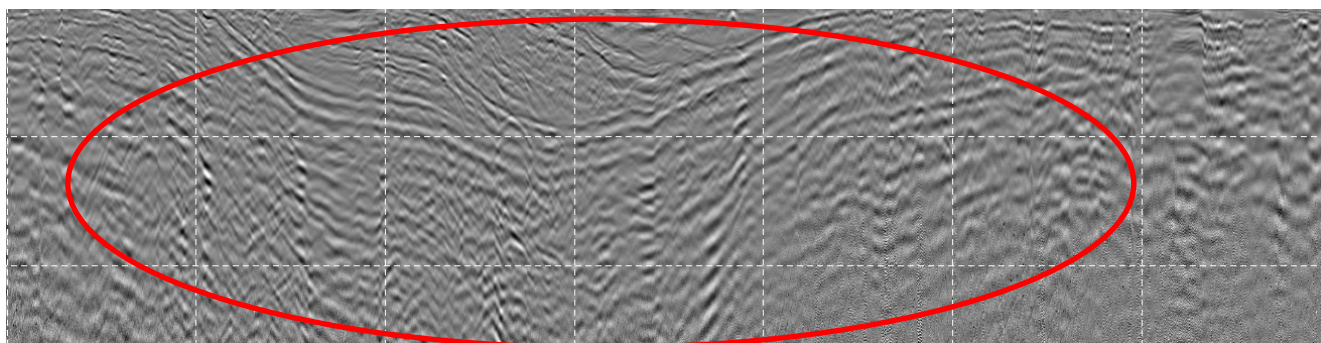
De volgende lokale objecten worden waargenomen:

- Kabels en leidingen.
- Keien, holle ruimtes en/of sterk samengeperste grond.
- Laagovergangen in de grond.

Laagovergangen in radarbeeld

Elke verandering van de aard van het aangetroffen materiaal in de bodem heeft als gevolg dat de radargolven worden gereflecteerd, gereflecteerd ("buiging" zoals licht) en/of gediffracteerd ("breking" zoals licht). Alle objecten, behalve lagen in de grond, hebben hetzelfde hyperbolisch spoor.

Als twee lagen in de grond verschillende diëlektrische eigenschappen hebben (dat wil zeggen, de snelheid van elektromagnetische golf in één laag verschilt van de snelheid in de andere), dan ontstaat een horizon in de radar afbeelding (zie ook in Figuur 10)



Figuur 10: Een voorbeeld van een grondradarprofiel gemeten naast de rivier in gebied 2. In het centrale gedeelte van het getoonde beeld penetreert het radarsignaal door de bovenste 3 meters van de grond (rode ovaal). Dit wijst op een puur zandige samenstelling van de grond op deze locatie. Dit beeld komt overeen met de resultaten van de uitgevoerde boring en EM waardes.

Belangrijke parameters

De zogenaamde "diëlektrische constante" van het materiaal in de ondergrond bepaalt de voortplantingssnelheid van de radargolven in het materiaal (zie Tabel 2). Het is een evenredigheidsconstante die verband houdt tussen de elektrische verplaatsing en de kracht van het toegepaste elektrische veld. De diëlektrische constante wordt sterk beïnvloed door het volume van het watergehalte in de bodem. Het verschil in de diëlektrische constante ofwel het elektrische verplaatsingsvermogen tussen de verschillende materialen onderling veroorzaakt de reflectie. De grondwaterspiegel geeft dan ook vaak een sterke reflectie.

De geleidbaarheid van de bodem bepaalt, voor het grootste deel, de demping van het radarsignaal. In grond met een hoge elektrische weerstand (droog zand, graniet, schoon zoet water) kunnen radarsignalen diep penetreren. In goed geleidende gronden (klei, meeste veengronden, löss) wordt het radarsignaal snel gedempt. Alle metalen reflecteren de radarsignalen volledig, eveneens zout (zee) water.

Tabel 2: Voortplantingssnelheid en verdamping van de radargolven in verschillende media.

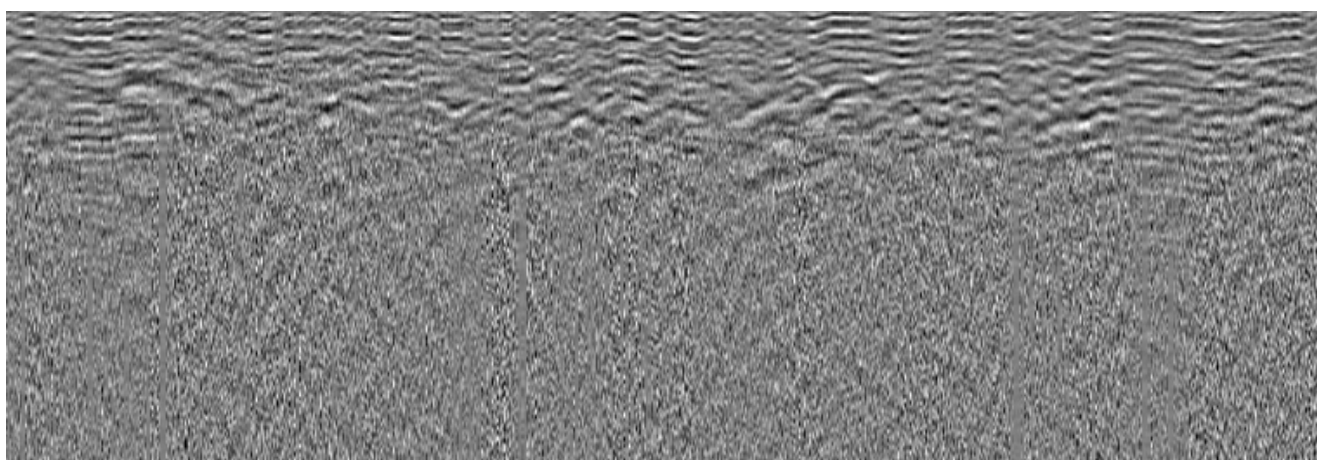
Medium / materiaal	Diëlektrische constante	Snelheid [m/μs]	Demping (dB/m)
Lucht	1	300	0
Zoetwater	81	33	0.1
Graniet	5 - 7	113 - 134	0.5 - 5
Beton	6 - 12	87 - 122	2 - 25
Klei	4 - 16	74 - 150	30 - 100

(vervolg tabel 2: Voortplantingssnelheid en verdamping van de radargolven in verschillende media.

Medium / materiaal	Diëlektrische constante	Snelheid [m/μs]	Demping (dB/m)
Slib	9 - 23	63 - 100	
Zand	4 - 30	55 - 150	0 - 10

Grondradarmetingen langs dijken

De natte kleien, typerend voor veel uiterwaarden in Nederland, tonen een demping van ca. 50dB/m. Een typische grondradar heeft een dynamisch budget (de ratio tussen de grootste meetbare waarde en het niveau van de eigen elektronische ruis van het systeem) van ca 55-60 dB. Dat wil zeggen, de metingen op die delen van een gebied die goed bedekt zijn met klei, moeten in ‘blinde’ metingen resulteren zoals Figuur 11 aangeeft.



Figuur 11: Een voorbeeld van een grondradarprofiel over kleiige grond

Indien een grondradarmeting resulteert in een radarprofiel met een aanzienlijke hoeveelheid data, dan is er sprake van een toplaag van zand.

Grondradarmetingen in het kader van het project

In dit project hebben wij de IDS HiMod grondradar gebruikt. De metingen zijn uitgevoerd in twee verschillende frequentie banden: respectievelijk 125 – 375 MHz om een diepere penetratie te krijgen en 300 – 900 MHz om een hogere resolutie te krijgen in de eerste 2,5 meter onder maaiveld (bij zandige gedeeltes). De radar- metingen zijn langs dezelfde lijnen als de EM- metingen gepositioneerd. In totaal hebben wij meer dan 100 km aan radarprofielen ingemeten.

Alle profielen zijn doorgenomen speurend naar:

- Het dieptebereik van de radar (onderscheid tussen klei en zand)
- Zichtbare laagovergangen

Het grondradar onderzoek is gebruikt als aanvulling op het elektromagnetisch onderzoek om de “dikte van de kleilaag” in bijlage 6 te genereren.

2.4 Handboringen

Geofysische technieken als EM en GPR dienen middels lokaal grondonderzoek geverifieerd te worden. Om een zo hoog mogelijke kwaliteit te behalen is een fasering in de interpretatie ingebouwd. Direct na uitvoering van het geofysisch onderzoek is een voorlopige interpretatie opgesteld waarbij gebruik is gemaakt van archiefgegevens

Kans 2 – Aanvullend geofysisch onderzoek uiterwaarden

Wamel – Dreumel – Heerewaarden

(DINO loket). Uit deze voorlopige interpretatie zijn punten naar voren gekomen waar de deklaagdikte niet met zekerheid kon worden vastgesteld. Daarom zijn op een aantal locaties handboringen uitgevoerd tot maximaal 5 m–mv.

Er is gekozen voor handboringen boven sonderingen en mechanische boringen omdat de impact van handboringen op de omgeving/natuur het kleinst zijn.

Aan de hand van ruwe geleidbaarheid kaarten zijn voor de vier gebieden in totaal **19 handboringen** met de edelmanboor uitgevoerd, zie ook Tabel 3.

Tabel 3: Uitgevoerde handboringen

Gebied	Handboring	RD Coördinaten		Hoogte NAP	Diepte NAP
		X [m]	Y [m]	Z [m]	[m]
Gebied 1	HB1	153165.1	423755.2	4.54	-0.46
	HB2	153362.9	423841.1	2.98	-2.02
Gebied 2	HB3	154427.2	424980.8	6.57	1.57
	HB4	154331.3	425059.3	7.14	2.14
	HB5	154674.3	425688.6	4.98	1.78
	HB6	154871.2	426146.0	6.25	1.25
Gebied 3	HB7	156260.4	427510.7	5.18	2.98
	HB8	156652.6	427771.6	4.95	-0.05
	HB9	156946.4	428309.7	5.13	0.13
Gebied 4	HB10	157639.9	429832.0	7.19	2.19
	HB11	157428.5	429865.8	6.00	1.00
	HB18	157094.8	438869.8	t.o.v. mv	-1.40
	HB19	157354.7	429452.4	t.o.v. mv	-2.00
Gebied 5	HB15	158097.9	431459.2	5.91	2.61
	HB16	158595.0	432182.3	7.46	2.46
	HB17	159050.7	432467.5	6.03	1.33
Gebied 6	HB12	160235.1	432995.3	6.49	1.49
	HB13	160767.1	433200.6	7.96	2.96
	HB14	160865.2	433130.3	7.03	2.03

3. RESULTATEN ELEKTROMAGNETISCH ONDERZOEK

Met behulp van de 06-GPS data is per gebied een **hoogtekaart** van het maaiveld gegenereerd, deze is per gebied bijgevoegd als **bijlage 2-1 t/m bijlage 2-6**.

Met de CMD Explorer van GF Instruments is de relatieve geleidbaarheid van de ondergrond op drie verschillende dieptes gemeten. De elektromagnetische (EM) data laat per meetpunt de waarden op drie verschillende dieptes zien, namelijk op 2.2 m-mv (short), op 4.2 m-mv (middel) en op 6.7 m-mv (long).

Volledige **ruwe geleidbaarheid kaarten** van de elektromagnetische (EM) metingen zijn per gebied bijgevoegd in **bijlage 3-1 t/m bijlage 3-6** als Appcond1 (2.2 m-mv), Appcond2 (4.2 m-mv) en Appcond3 (6.7 m-mv).

3.1 Gebied 1 ter hoogte van Sint Andries

Onderstaande Figuur 12 laat een voorbeeld zien van een contourbeeld van de EM data gemeten in **gebied 1** ter hoogte van Sint Andries. Het contourbeeld laat de relatieve geleidbaarheid van de ondergrond zien tot een diepte van circa 6.7 m–mv. Rode kleuren geven hoge waarden van geleidbaarheid weer en de blauwe kleuren geven lage waarden van geleidbaarheid weer.



Figuur 12: Voorbeeld contourbeeld overzicht gebied 1 met EM data tot een diepte van 6.7 m-mv

In het algemeen laat de aanwezigheid van een zandlaag op het contourbeeld een relatief lage geleidbaarheid zien. Hoge waarden wijzen op klei, veen, boven- ondergrondse geleiders, verontreiniging en of het hoge zoutgehalte van het grondwater.

In **gebied 1** laat de EM data in het algemeen lage geleidbaarheid waarden zien welke kunnen duiden op een zandige ondergrond / dunnere deklaag.

Ter hoogte van HB1 en HB2 en langs de buitenteen van de dijk laat de EM data **licht verhoogde tot hoge geleidbaarheid** waarden zien welke kunnen duiden op een kleiige bodem en of dikkere deklaag. Dit wordt bevestigd door de uitgevoerde handboringen **HB1** en **HB2**.

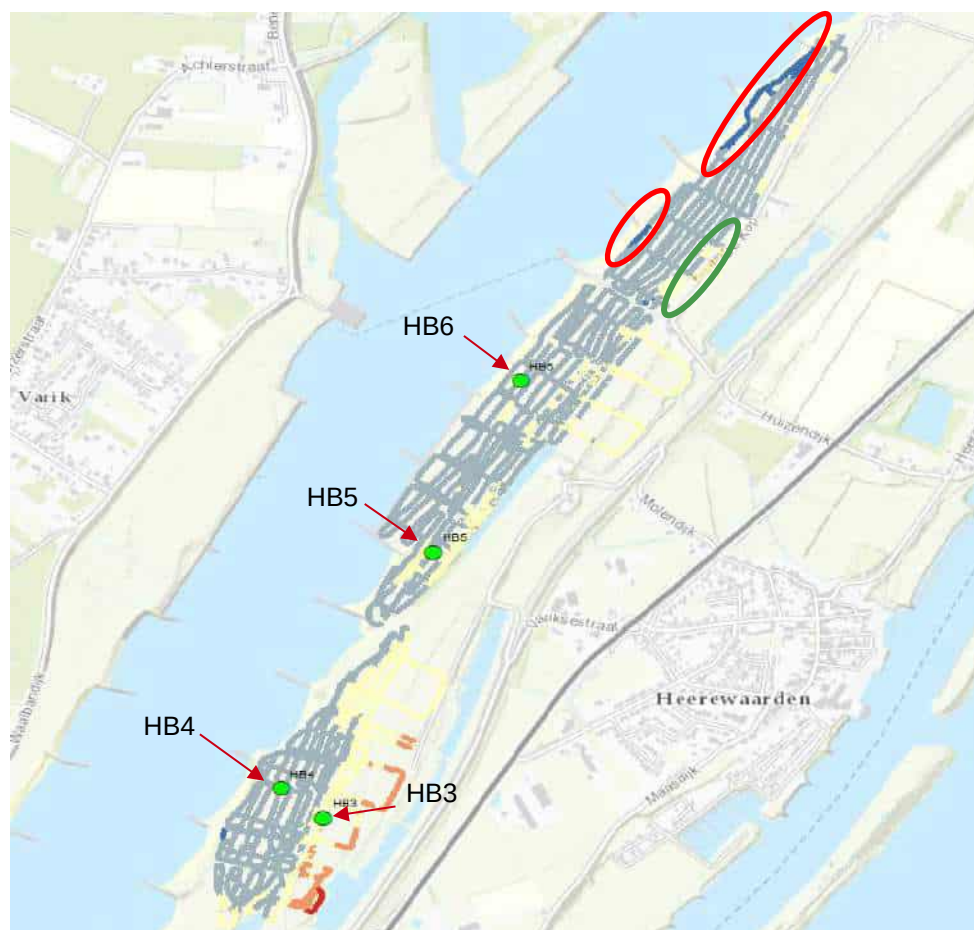
Verder laat de EM data in het midden van **gebied 1** tegen de dijk lokaal extreem hoge geleidbaarheid waarden zien (aangegeven met een gele ovaal). Deze hoge geleidbaarheid waarden zijn niet afkomstig van ondergrondse of bovengrondse geleiders volgens de KLIC-melding. Dus gaat het hier hoogstwaarschijnlijk om een dik kleipakket of een verontreiniging of een object in de ondergrond.

Het westelijk gedeelte van **gebied 1** dat in **figuur 12** met een groene ovaal is aangegeven wordt door de EM data (door de gemeten geleidbaarheid) geclassificeerd als klei tot circa 3 m-mv terwijl de grondradar meting in hetzelfde gebied een penetratie laat zien tot circa 2 m-mv wat aangeeft dat het gebied eigenlijk zandig is. Hier is de grondradar data als leidraad genomen, het gebied is een oude gedempte watergang met wellicht lokaal wat verontreinigingen wat de licht verhoogde geleidbaarheid kan veroorzaken.

De rest van de gebied laat voor beide metingen goed vergelijkbare resultaten zien.

3.2 Gebied 2 ter hoogte van Heerewaarden

Onderstaande Figuur 13 laat een voorbeeld zien van een contourbeeld van de EM data gemeten in **gebied 2** ter hoogte van Heerewaarden. Het contourbeeld laat de relatieve geleidbaarheid van de bodem zien tot een diepte van circa 6.7 m–mv. Rode kleuren geven hoge waarden van geleidbaarheid weer en de blauwe kleuren geven lage waarden van geleidbaarheid weer.



Figuur 13: Voorbeeld contourbeeld overzicht gebied 2 met EM data tot een diepte van 6.7 m–mv

In **gebied 2** laat de EM data aan de rivierzijde lage geleidbaarheid waarden zien welke kunnen duiden op een dunnere deklaag / zandigere bodem. Dit wordt bevestigd door de uitgevoerde handboringen **HB4** en **HB6**.

In het oosten van **gebied 2** naar de dijk toe laat de EM data tot een diepte van 6.7 m-mv hoge geleidbaarheid waarden zien, wat duidt op een kleiige bodem / dikkere deklaag. Dit wordt bevestigd door de uitgevoerde handboringen **HB3** en **HB5**.

Verder laat de EM data in het noordelijk deel van **gebied 2** aan de kant van de rivier vanaf een diepte van 4 m-mv tot 6,7 m-mv erg lage geleidbaarheid waarden zien (aangegeven met rood ovaal) welke kunnen duiden op de aanwezigheid van een fijne zandlaag en of een grindige zand.

De EM data van **gebied 2** laat aan de kant van de dijk, aangegeven met een groene ovaal in Figuur 13, een verstoord beeld zien welke hoogst waarschijnlijk afkomstig is van boven- en/of ondergrondse geleiders zoals hekken, borden, kabel en of leidingen e.d. De geclassificeerde EM data voor dit gebied zal niet representatief zijn.

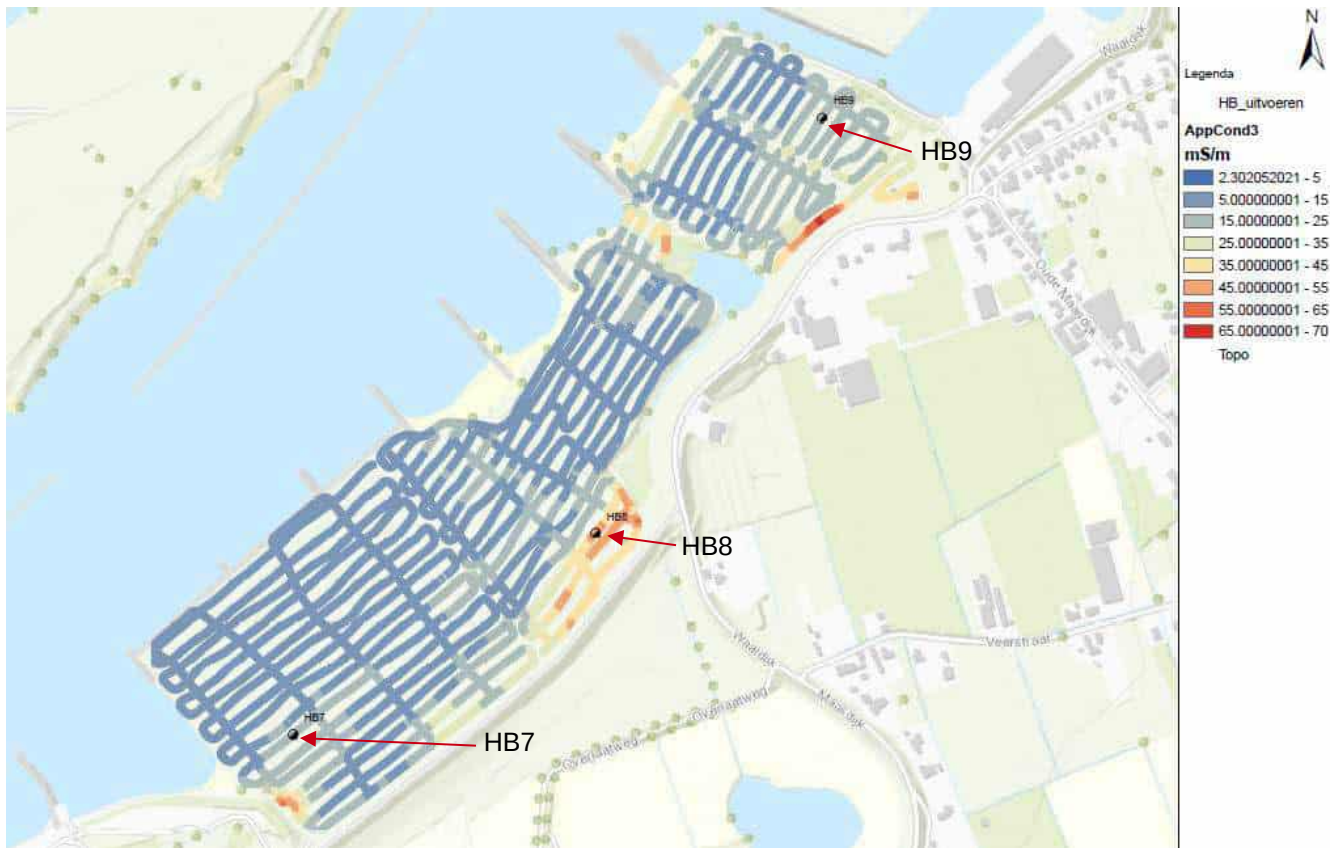


Figuur 14: Voorbeeld contourbeeld van gebied 2 met als ondergrond historische topografische data uit 1950

Figuur 14 laat een voorbeeld zien van de geclassificeerde EM data van **gebied 2** tot een diepte van 0,50 m-mv met als ondergrond historische topografische data uit 1950. De aanwezige resten van de oude kribben veroorzaken lokaal lagere geleidbaarheid waarden in de EM data waardoor deze gebieden als zand worden geclassificeerd, zoals aangegeven met een rode ovaal in Figuur 14. De gemeten geleidbaarheid waarden en de bepaalde dikte van de deklaag zal op deze locaties niet representatief zijn.

3.3 Gebied 3 ter hoogte van Dreumel (zuidelijke deel)

Onderstaande Figuur 15 laat een voorbeeld zien van een contourbeeld van EM data gemeten in **gebied 3** ten zuiden van Dreumel. Het contourbeeld laat de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond zien tot een diepte van 6.7 m-mv. Rode kleuren geven hoge waarden van geleidbaarheid weer en de blauwe kleuren geven lage waarden van geleidbaarheid weer.



Figuur 15: Voorbeeld contourbeeld overzicht gebied 3 met EM data tot een diepte van 6.7 m-mv

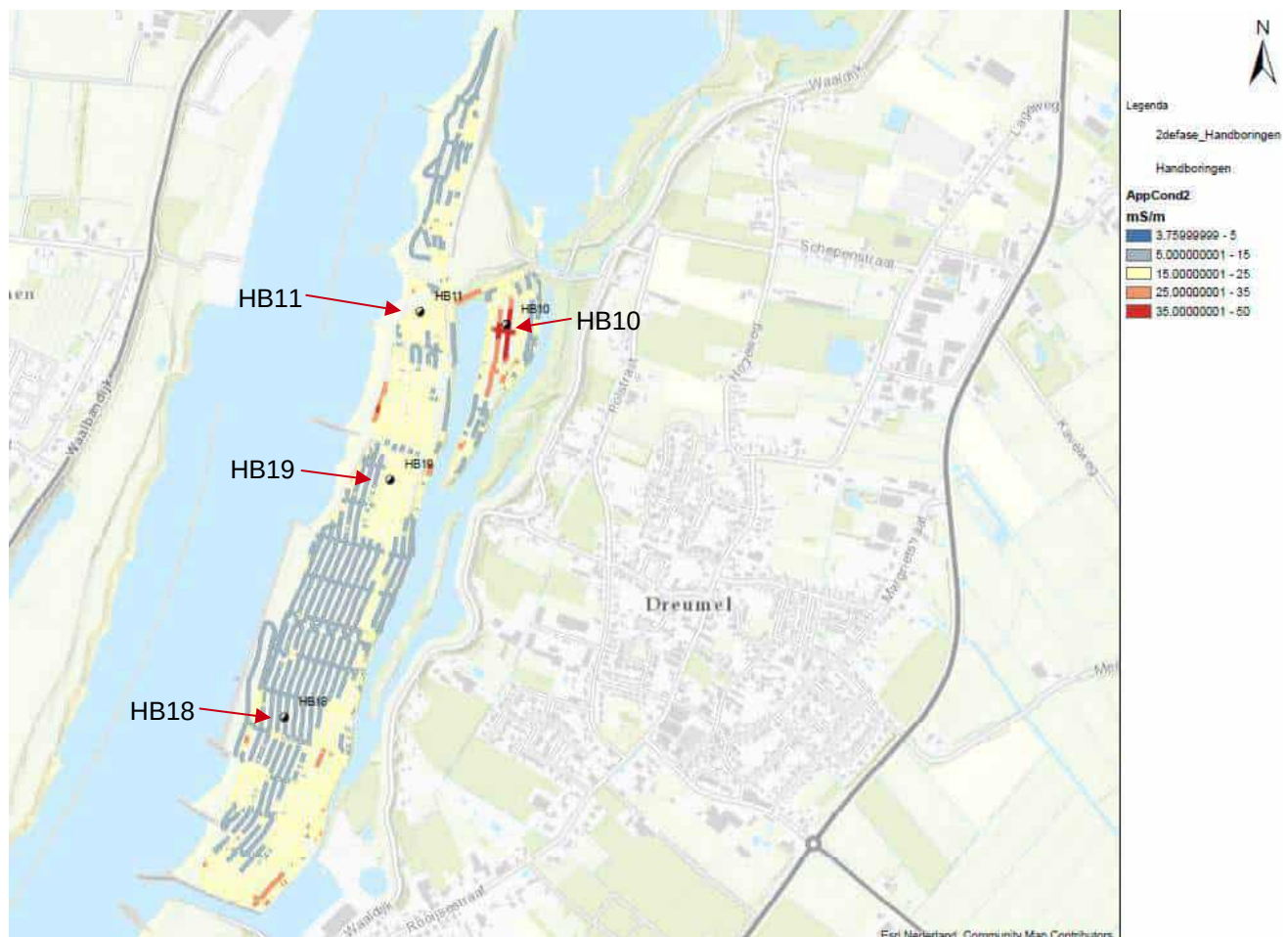
De EM data van **gebied 3** laat in het algemeen lage geleidbaarheid waarden zien. De gemeten geleidbaarheid van de ondergrond tot 6.7 m-mv laat richting de dijk hogere waarden zien, wat duidt op een kleiige bodem / dikkere deklaag. Dit wordt bevestigd door de uitgevoerde handboringen **HB7**, **HB8** en **HB9**.

De gemeten hoge geleidbaarheid waarden dichtbij de dijk (rode gebieden) zijn volgens de KLIC-melding niet afkomstig van kabels en leidingen, wellicht dat hier wat verontreiniging (mest) aanwezig is.

3.4 Gebied 4 ter hoogte van Dreumel (noordelijke deel)

Figuur 16 laat een voorbeeld zien van een contourbeeld van de EM data gemeten in **gebied 4** ten westen van Dreumel. Het contourbeeld laat de relatieve geleidbaarheid van de ondergrond zien tot een diepte van circa 4,2 m–mv. Rode kleuren geven hoge waarden van geleidbaarheid aan en de blauwe kleuren geven lage waarden van geleidbaarheid aan.

De EM data van **gebied 4** laat in het midden en in het noordelijk deel van het gebied, aan de kant van de rivier, lage geleidbaarheid waarden zien, welke kunnen duiden op een dunnere deklaag / zandige ondergrond. Dit wordt bevestigd door de uitgevoerde handboring **HB18** en de grondradar metingen.

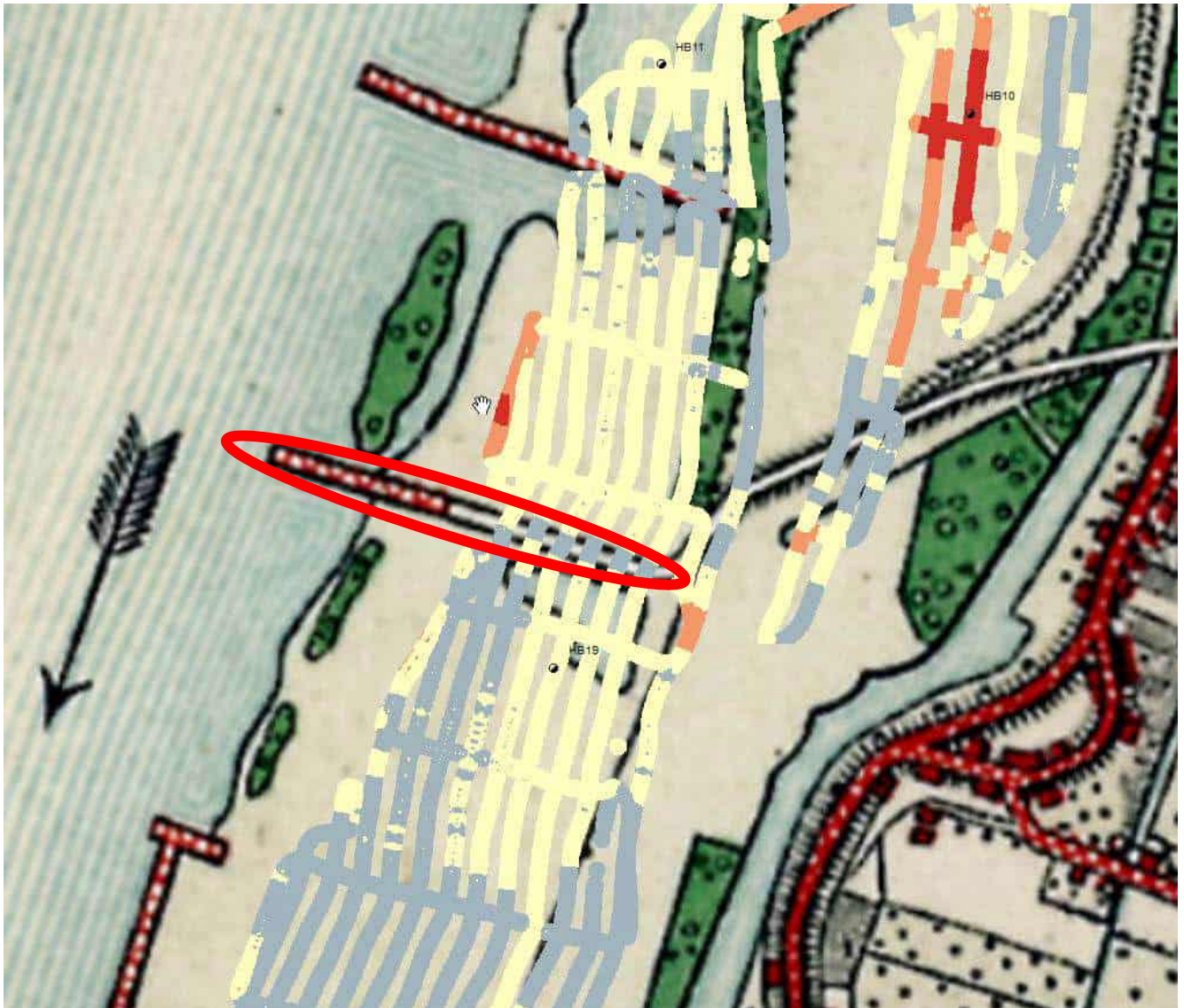


Figuur 16: Voorbeeld contourbeeld overzicht gebied 4 met EM data tot een diepte van 4,2 m–mv

Ter hoogte van handboringen **HB10**, **HB11** en **HB19** laat de EM data hoge geleidbaarheid waarden zien welke kunnen duiden op een dikkere deklaag en/of kleiige ondergrond. Dit wordt bevestigd door de uitgevoerde handboringen.

De veldclassificatie van de handboring **HB11** laat een dikker kleipakket zien dan de veldclassificatie van handboring **HB10**, terwijl ter hoogte van **HB10** hogere geleidbaarheid waarden zijn gemeten met de EM. In het algemeen leidt een dikker kleipakket voor hogere geleidbaarheid waarden. Mogelijk is de aanwezigheid van de tussenzandlaag, zoals te zien is in de boorstaat van **HB10**, de reden waarom de EM metingen voor een dikker kleipakket lagere geleidbaarheid waarden geven. Deze lagere geleidbaarheid waarden worden mogelijk

veroorzaakt door het verschil in de samenstelling van het aanwezige kleipakket. Om die redenen komt het resultaat van de EM meting ter hoogte van **HB10** niet overeen met het resultaat van de veldclassificatie.



Figuur 17: Voorbeeld contourbeeld van gebied 4 met EM data tot een diepte van 4,2 m-mv met als ondergrond historische topografische data uit 1950

Figuur 17 laat de geleidbaarheid van de ondergrond zien tot een diepte van 4,2 m-mv met als ondergrond historische topografische data uit 1950. De aanwezigheid van de resten van een oude krib (stenen dam) is goed zichtbaar in de elektromagnetische data zoals aangegeven met een rode ovaal. De gemeten geleidbaarheid waarden en de daarmee bepaalde dikte van de deklaag zal op deze locaties niet representatief zijn.

3.5 Gebied 5 ter hoogte van Wamel (zuidelijke deel)

Onderstaande Figuur 18 laat een voorbeeld zien van een contourbeeld van EM data gemeten in **gebied 5** ter hoogte van Wamel (zuidelijke deel). Het contourbeeld laat de elektrische geleidbaarheid van de bodem zien tot een diepte van 6.7 m-mv. Rode kleuren geven hoge waarden van geleidbaarheid weer en de blauwe kleuren geven lage waarden van geleidbaarheid weer.



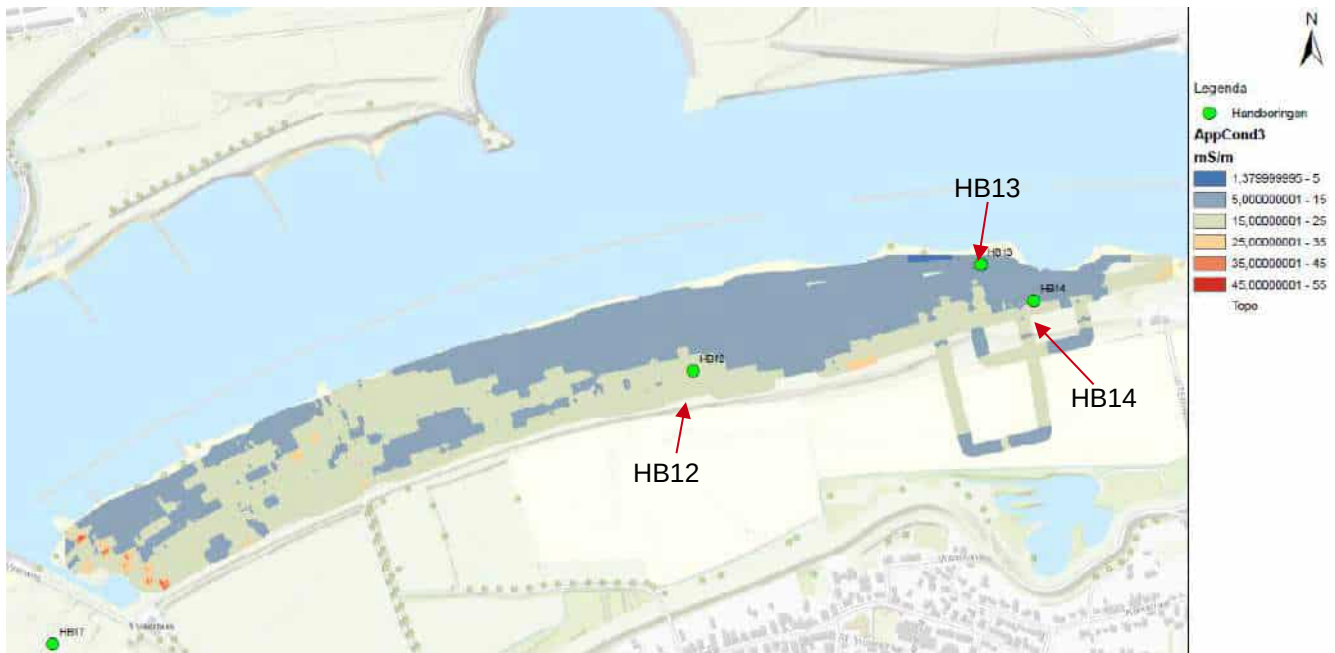
Figuur 18: Voorbeeld contourbeeld overzicht gebied 5 met EM data tot een diepte van 6.7 m-mv

De EM data van **gebied 5** laat in het algemeen lage geleidbaarheid waarden zien, wat duidt op een zandige ondergrond en of dunnere deklaag.

In **gebied 5** is net zoals in de gebieden 1,2 en 3 dichtbij de dijk hogere geleidbaarheid waarden gemeten wat duidt op een dikkere deklaag / kleiige bodem. Dit wordt bevestigd door **HB17** en de uitgevoerde GPR metingen. In de rest van het gebied laat de EM data lagere geleidbaarheid waarden zien welke kunnen duiden op een dunnere deklaag / zandige bodem. Dit wordt bevestigd door de uitgevoerde handboringen **HB15** en **HB16** en de uitgevoerde grondradar metingen.

3.6 Gebied 6 ter hoogte van Wamel (noordelijke deel)

Figuur 19 laat een voorbeeld zien van een contourbeeld van EM data gemeten in **gebied 6** ter hoogte van Wamel (noordelijke deel). Het contourbeeld laat de elektrische geleidbaarheid van de bodem zien tot een diepte van 6.7 m-mv. Rode kleuren geven hoge waarden van geleidbaarheid weer en de blauwe kleuren geven lage waarden van geleidbaarheid weer.

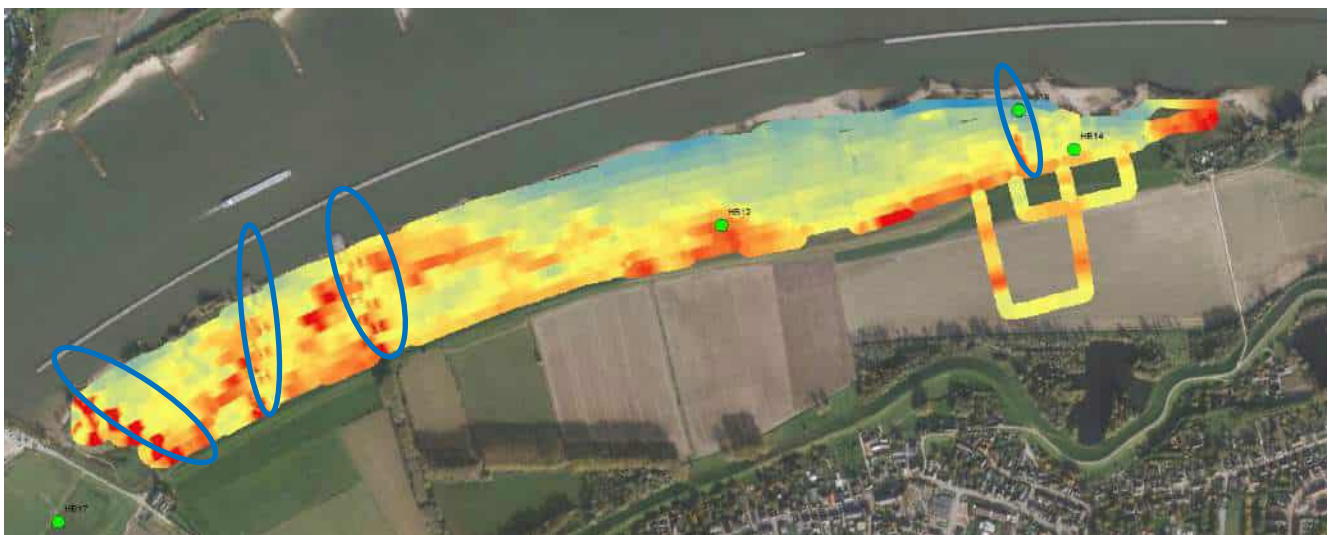


Figuur 19: Voorbeeld contourbeeld overzicht gebied 6 met EM data tot een diepte van 6.7 m-mv

De EM data laat in het zuidwesten van **gebied 6** en dichtbij de dijk hoge geleidbaarheid waarden zien welke kunnen duiden op een kleiige ondergrond en of dikkere deklaag. Dit wordt bevestigd door de uitgevoerde handboringen **HB12** en **HB14** en de uitgevoerde grondradar metingen.

In het oosten van **gebied 6** en dichtbij de rivier laat de EM data lage geleidbaarheid waarden zien welke kunnen duiden op een dunnere deklaag en of zandige ondergrond. Dit wordt bevestigd door de uitgevoerde handboring **HB13** en de uitgevoerde grondradar metingen.

In **gebied 6** hebben de EM metingen op sommige locaties hoge geleidbaarheid waarden gemeten welke hoogst waarschijnlijk afkomstig zijn van resten van oude kribben, aangegeven met blauwe ovals in Figuur 20. Dit leidt veelal leidt tot een overschatting van de dikte van de deklaag op deze locaties. De gemeten geleidbaarheid waarden en de daarmee berekende dikte van de deklaag zal op deze locaties niet representatief zijn.



Figuur 20: Dikte deklaag kaart gebied 6 (noordelijke deel Wamel)

3.7 Samenvatting EM metingen

Aan de hand van ruwe geleidbaarheid kaarten zijn voor de zes gebieden in totaal **19 handboringen** uitgevoerd. Om de ruwe geleidbaarheidswaarden om te zetten naar een lagenmodel van de bodemopbouw, is de elektromagnetische data geclassificeerd met behulp van de uitgevoerde handboringen. Tijdens de ijking van de EM data is gebruik gemaakt van de boringen welke de ondergrens van de afdekkende laag laten zien.

De bodemopbouw van het geclassificeerde model voor EM metingen heeft een verticale resolutie van 25 cm en bereikt een maximale diepte van 6m –MV. Dit betekent dat het model is opgebouwd uit 24 lagen.

De bovenaanzicht modellen van de geclassificeerde elektromagnetische data zijn per gebied bijgevoegd in de digitale bijlagen als **“Geclassificeerde EM data 25cm”**. De kaarten in de bijlage betreffen dieptedoorsneden per 0.25 m diepte. De gepresenteerde classificatie is gebaseerd op de verwachte lithologie in het midden van de dieptedoorsnede. Zo is in de kaart van het diepte interval van 1.00 m-mv tot 1.25 m-mv de verwachte lithologie op een diepte van 1.125 m-mv gepresenteerd. De geclassificeerde EM data per gebied is bijgevoegd in **bijlage 4-1 t/m 4-6**. De diepte van elke bovenaanzicht tekening is links onder aangegeven.

Ter verduidelijking van de bovenaanzicht tekeningen zijn per gebied een aantal lengteprofielen gegenereerd en deze zijn bijgevoegd in **bijlage 5 “Lengteprofielen van geclassificeerde EM data”**. Let wel op dat het beeld op het lengteprofiel alleen informatie geeft over de grondopbouw waar de profiellijn is getrokken. Het is mogelijk om tussen twee gewenste meetpunten lengteprofielen te genereren in een willekeurige richting.

Er is een “dikte kleideklaag kaart” en “grensvlak kaart” gemaakt (grensvlak tussen kleideklaag en onderliggende zandlaag) en deze zijn per gebied bijgevoegd in **bijlage 6** als **“dikte_ deklaag”** en in **bijlage 7** als **“grensvlak kaart”**. Het grensvlak kaart geeft de onderkant van de deklaag aan ten op ten opzichte m NAP.

Alle uitgevoerde handboringen zijn bijgevoegd in de **bijlage 8**.

Als aanvulling worden de volgende **vlakdekkend** raster bestanden digitaal geleverd:

- **Vlakdekkend** x, y, z raster bestanden van de gemeten maaiveld hoogte ten opzichte van NAP
- **Vlakdekkend** geleidbaarheid kaarten van de ondergrond
- **Vlakdekkend** dikte deklaag kaart per gebied
- **Vlakdekkend** grensvlak kaart (scheidingsvlak tussen klei en zand) m t.o.v. NAP
- de resultaten van grondradar onderzoek in autocad formaat.

4. RESULTATEN GRONDRADARONDERZOEK

4.1 Technische benadering

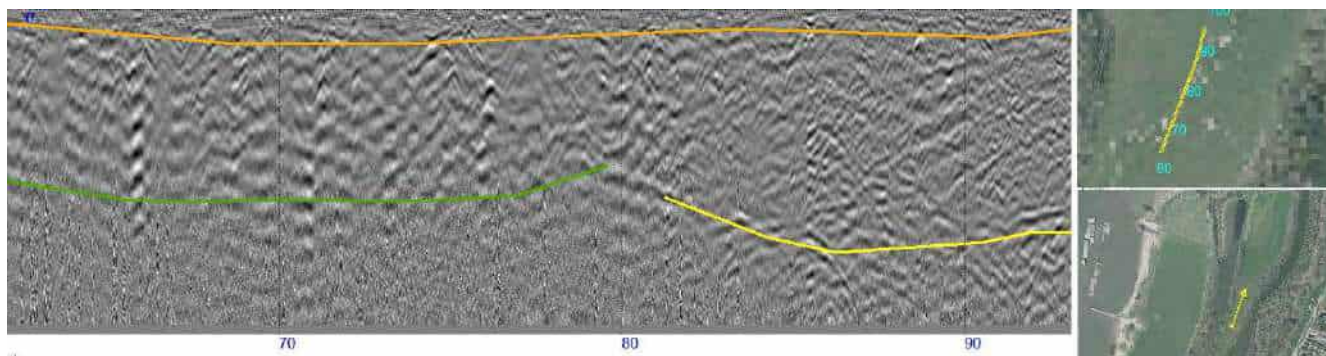
Grondradar is als secundair instrument gebruikt in dit onderzoek. De data waargenomen door dit instrument is gebruikt om de bevindingen van het EM onderzoek te ondersteunen (zie Figuur 21).

In dit onderzoek onderscheiden wij de drie volgende typen van radarbeelden:

1. Een humeuze toplaag (meestal ca. 20 tot 50 cm dik) – de bruine lijn in Figuur 21. De diepte van deze laag is gelijk aan zijn dikte
2. Een zandige laag (al dan niet aanwezig) – de gele lijn in Figuur 21. De diepte van deze laag kan niet altijd worden waargenomen. Er is vaak sprake van een **minimale** diepte op welke de radar afbeelding typerend voor zand wordt waargenomen. Het zand kan veel dieper voorkomen maar niet dat is niet waarneembaar met de grondradar. De **minimale** dikte van het zandpakket is het verschil tussen de diepte van de zandlaag en de humeuze toplaag
3. Klei (al dan niet aanwezig) – de groene lijn in Figuur 21. De diepte en dikte van de kleilaag kan vaak niet worden waargenomen. Het wordt gebruikt voor de data analyse, maar heeft geen direct verband met de dikte van de kleilaag.

Aan hand van de grondradar data kan het volgende onderscheid worden gemaakt:

1. Al dan niet aanwezigheid van humeuze laag
2. Aanwezigheid van zandige dan wel kleiige ondergrond direct onder de humeuze laag
3. Voor zandige ondergrond kan ook de minimale dikte van de laag worden geschat



Figuur 21: Grondradar profiel met leeflaag met daaronder links klei (tot ~80m) en rechts zand (>80m).

4.2 Gebied 1 ter hoogte van Sint Andries

In de radarbeelden gemeten langs de rivierzijde is een dieptebereik van de radar geconstateerd wat op sommige locaties tot ongeveer 3.5 m reikt (Figuur 22). Het radarbeeld wijst plaatselijk op een licht kleiige/ sterk zandige bodem vanaf maaiveld tot ca. 3.5 m-mv. Deze bevinding komt overeen met het resultaat van het EM onderzoek en de uitgevoerde boringen. Daar waar een oude watergang is geweest laten de radarbeelden een zandige bodem zien, wat niet geheel overeenkomt met de EM waarden. Hier is de radardata als leidend gebruikt voor het bepalen van de bodemopbouw.



Figuur 22: Het resultaat van het grondradaronderzoek in Gebied 1. Gele lijnen geven de locaties aan waar de toplaag zandig is.

4.3 Gebied 2 ter hoogte van Heerewaarden

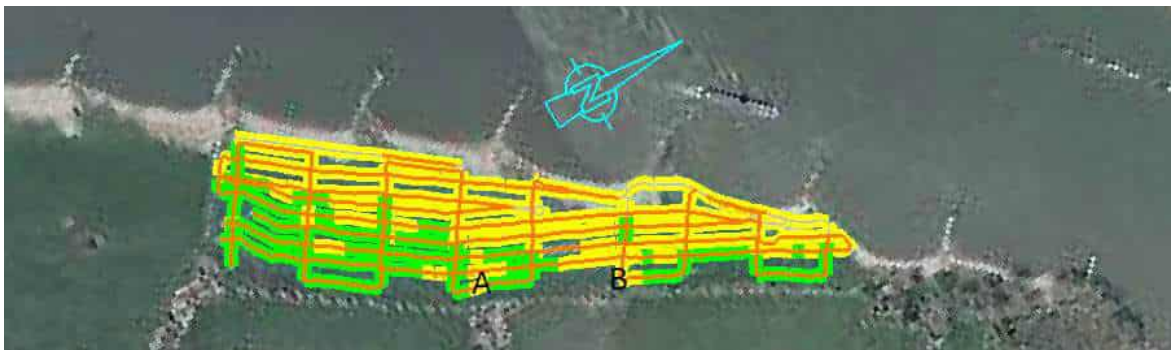
In gebied 2 is de aanwezigheid van een zandige bodem geconstateerd dichterbij de rivier tot minimaal 3 m-mv. Dit komt overeen met de gemeten geleidbaarheid waarden uit het elektromagnetisch onderzoek. De resultaten zijn in de onderstaande Figuur 23 met witte lijnen op de geleidbaarheid kaart weergegeven.



Figuur 23: Het resultaat van het grondradaronderzoek in Gebied 2. Witte lijnen geven de locaties aan waar de toplaag zandig is.

Daarnaast is het volgende geconstateerd: verder naar de dijk toe laten de radarbeelden een humeuze laag zien van 40 – 60 cm dikte. Onder deze laag wijst het radarbeeld op een meer klei houdende laag.

Zoals is te zien in onderstaande Figuur 24 (noordelijke deel van **gebied 2**) is nagenoeg overal in het gebied een humeuze toplaag aanwezig (bruine lijn). De dikte van deze laag varieert tussen 20 en 50 cm-mv. Onder de humeuze laag bestaat de ondergrond uit zandig of kleiig materiaal. Aan de kant van de rivier is de ondergrond zandig met de laagdiktes van minimaal 1 tot 3 m (gele kleur). Dichterbij bij de dijk, bestaat de ondergrond uit kleiig materiaal. De grondradar toont alleen de aanwezigheid maar geen dikte van de kleilaag aan. Zoals te zien in Figuur 24 (markeringen A en B), is op twee locaties door de radar een zandige grond geconstateerd die verder doorloopt naar de dijk dan op de andere locaties. Mogelijk betreffen dit resten / delen van oude kribben.



Figuur 24: Het resultaat van grondradaronderzoek noordelijke deel Gebied 2. Bruine lijn: humeuze toplaag, Geel: zand, Groen: klei.

4.4 Gebied 3 ter hoogte van Dreumel (zuidelijke deel)

In **gebied 3** is de aanwezigheid van een zandige bodem geconstateerd tot een diepte van minimaal 2.5 m-mv langs de rivier. Ook wat verder van de rivier af zit af en toe zand tot ca. 1 m-mv en in het noorden tot 2 m-mv. De rest van het gebied vertoont een humeuze deklaag op klei. Dit komt overeen met de waardes van de EM data.

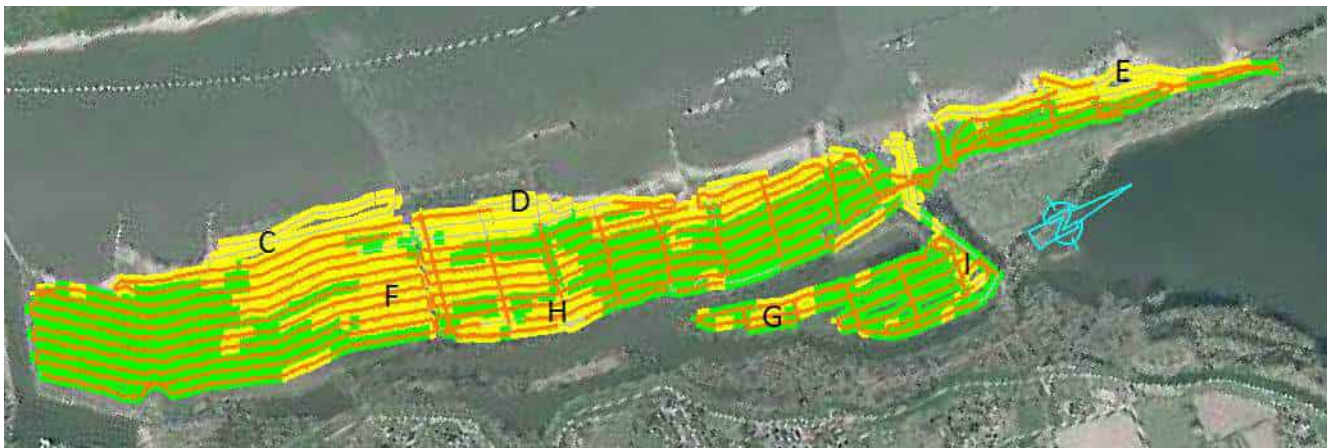


Figuur 25: Het resultaat van het grondradaronderzoek in Gebied 3. Gele cirkels geven de locaties aan waar de toplaag zandig is.

4.5 Gebied 4 ter hoogte van Dreumel (noordelijke deel)

Zoals is te zien in onderstaande Figuur 26, is nagenoeg overal in **gebied 4** (met uitzondering van de locaties C, D en E) een humeuze toplaag aanwezig (bruine lijn). De dikte van deze laag varieert tussen 20 en 80 cm-mv. Onder de humeuze laag bestaat de ondergrond uit zandig of kleiig materiaal. Aan de kant van de rivier is de ondergrond zandig met de diktes variërend van 1 tot 3 m (gele kleur). Dichterbij bij de dijk, is de ondergrond kleiig. De grondradar toont alleen de aanwezigheid van de kleilaag aan en geen dikte.

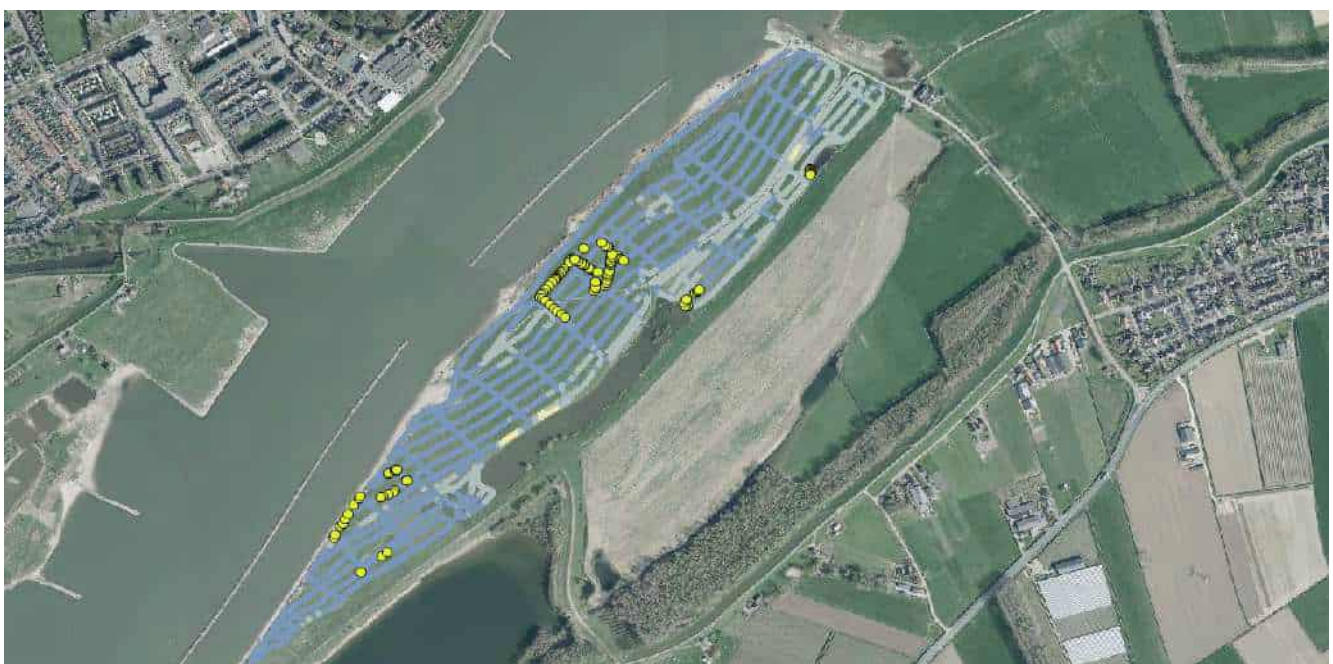
Zoals te zien in Figuur 26 (markeringen F) is, de grond in het centrale deel van het gebied zandig. Ook op de kleinere locaties H, G en I bestaat de ondergrond uit zandig materiaal.



Figuur 26: Het resultaat van het grondradaronderzoek in Gebied 4. Bruine lijn: humeuze toplaag, Geel: zand, Groen: klei.

4.6 Gebied 5 ter hoogte van Wamel (zuidelijke deel)

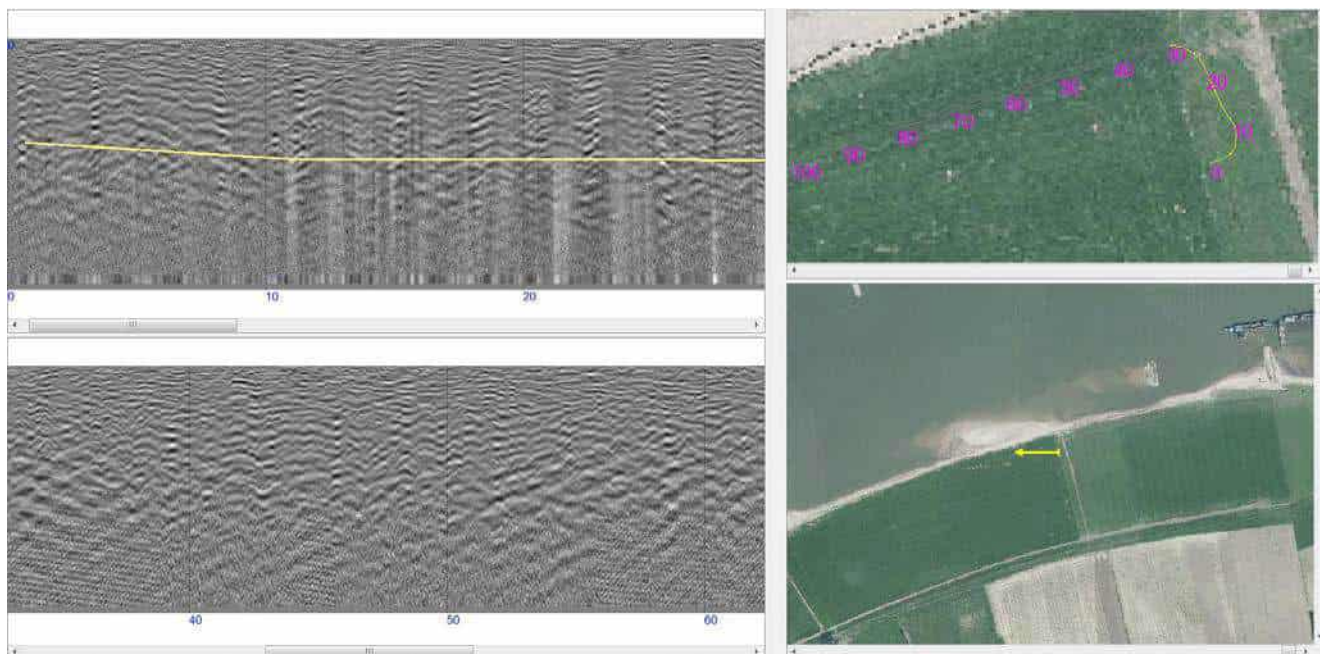
In Gebied 5 is de aanwezigheid van een zandige bodem geconstateerd dichtbij de rivier. Dit komt overeen met de waarden van de EM data.



Figuur 27: Het resultaat van het grondradaronderzoek in Gebied 5. Gele cirkels geven de locaties aan waar de toplaag zandig is.

4.7 Gebied 6 ter hoogte van Wamel (noordelijke deel)

Zoals te zien in Figuur 28 laat het uitgevoerde grondradar onderzoek in gebied 6 dichterbij de rivier een zandige ondergrond zien wat overeenkomt met het uitgevoerde elektromagnetisch onderzoek.



Figuur 28: Het grondradaronderzoek in Gebied 6 laat een zandige ondergrond dichterbij de rivier zien.

Vooraf in het midden en in het westen van het gebied laat de ondergrond opmerkelijke laagovergangen zien.

De opmerkelijke grondradar profielen zijn per gebied in **bijlage 9** weergegeven.

5. CONCLUSIE

In opdracht van Kragten B.V. heeft Fugro een geofysisch onderzoek uitgevoerd m.b.v. elektromagnetische en grondradar metingen aangevuld met handboringen in een 6-tal gebieden langs de rivier de Waal. De te onderzoeken locaties bevinden zich in de uiterwaarden aan de zuidoever van de Waal bij Heerewaarden-Dreumel-Wamel. Doel van het onderzoek is de nauwkeurige bepaling van dikte en verloop van de kleiige deklaag van de uiterwaarde, als ondersteuning in het ontwerpproces voor de herinrichting van de uiterwaarden. Daarbij is een juiste inschatting over de samenstelling, dikte en verloop van de deklaag zeer belangrijk voor onderzoek naar de te verwachten effecten van de nieuwe inrichting op de grondwaterhuishouding en de waterveiligheid.

Aan de hand van het uitgevoerde geofysisch onderzoek kunnen wij de volgende conclusies trekken:

Het geofysisch onderzoek laat in alle gebieden een vergelijkbaar beeld zien van de ondergrond. In het algemeen laat de gemeten geleidbaarheid van de ondergrond tot 6.7 m-mv lage geleidbaarheid waarden zien wat duidt op een dunnere kleideklaag en met name een zandige bodemopbouw.

Zoals te zien in de onderstaande kaarten van de dikte van de kleideklaag per gebied, laat de uitgevoerde elektromagnetische en grondradar metingen en aanvullende handboringen dichter naar de rivier toe een zandige ondergrond / dunnere kleideklaag zien en naar de dijk toe een kleiige ondergrond / dikkere kleideklaag.



Figuur 29: Dikte kleideklaag kaart gebied 1



Figuur 30: Dikte kleideklaag kaart gebied 2



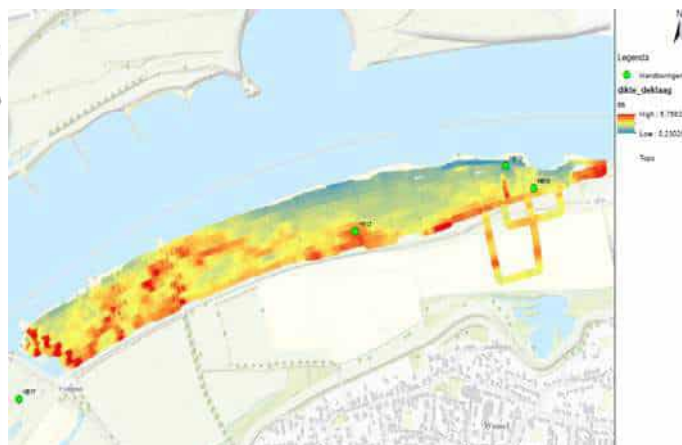
Figuur 31: Dikte kleideklaag kaart gebied 3



Figuur 32: : Dikte kleideklaag kaart gebied 4



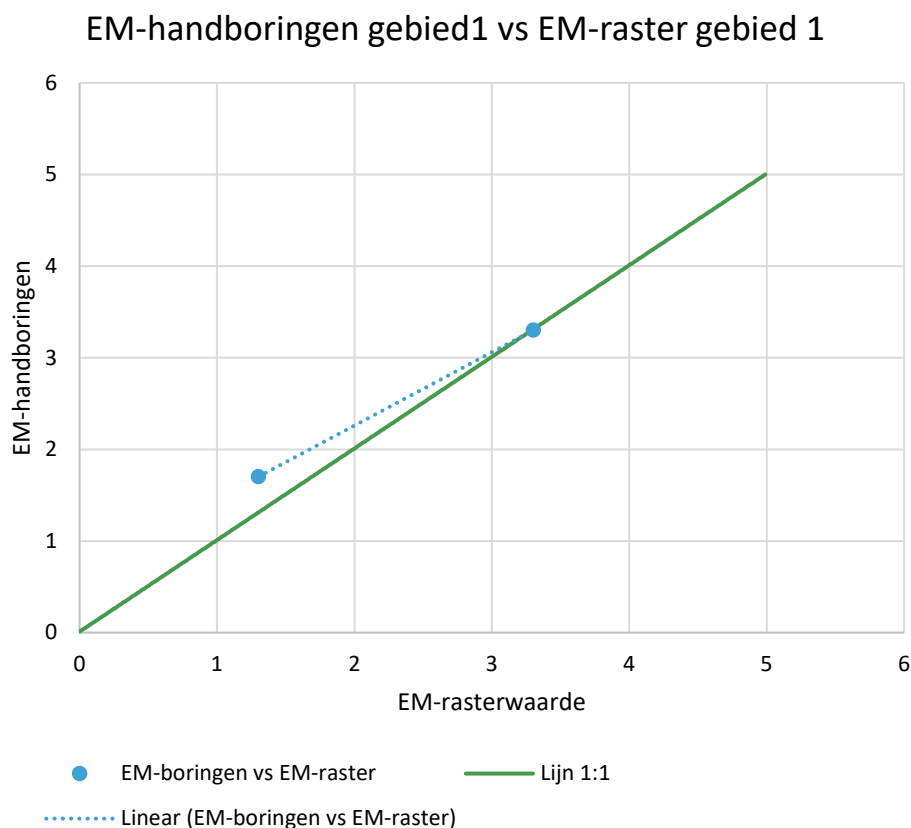
Figuur 33: Dikte kleideklaag kaart gebied 5



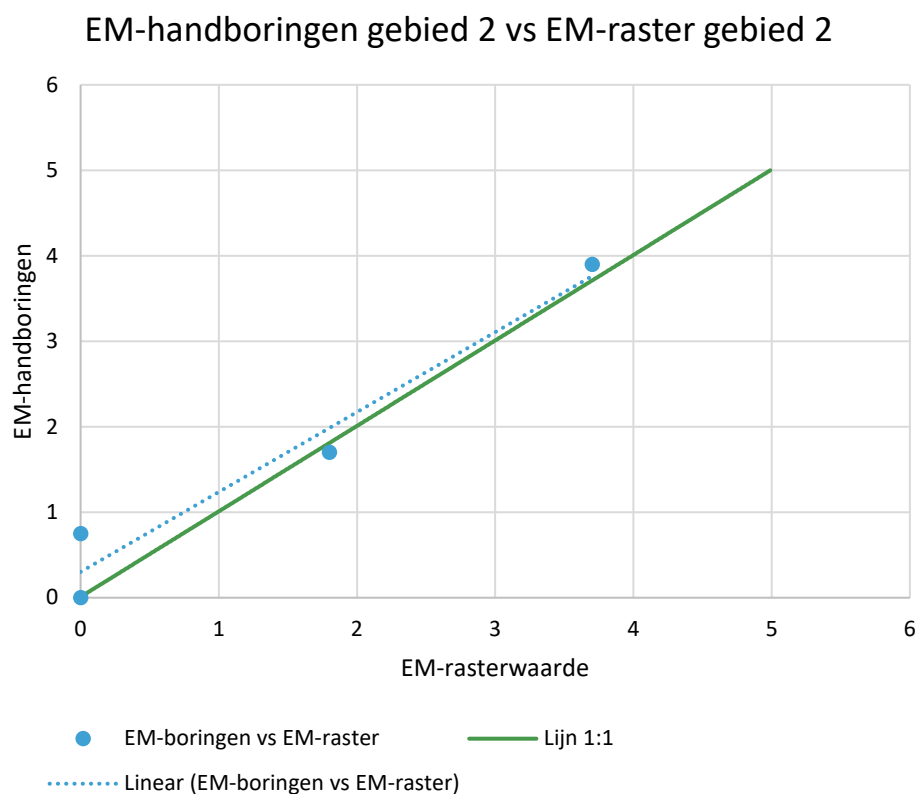
Figuur 34: Dikte kleideklaag kaart gebied 6

Voor bijna alle gebieden (ten noorden van het gebied Heerewaarden tot en met het noordelijke deel van Wamel) geldt dat de deklaag in de uiterwaarden aan de rivierzijde meer zand bevat en aan de kant van de dijk meer klei en dat het midden tussen de dijk en het water de ondergrond bestaat uit gemengd grond.

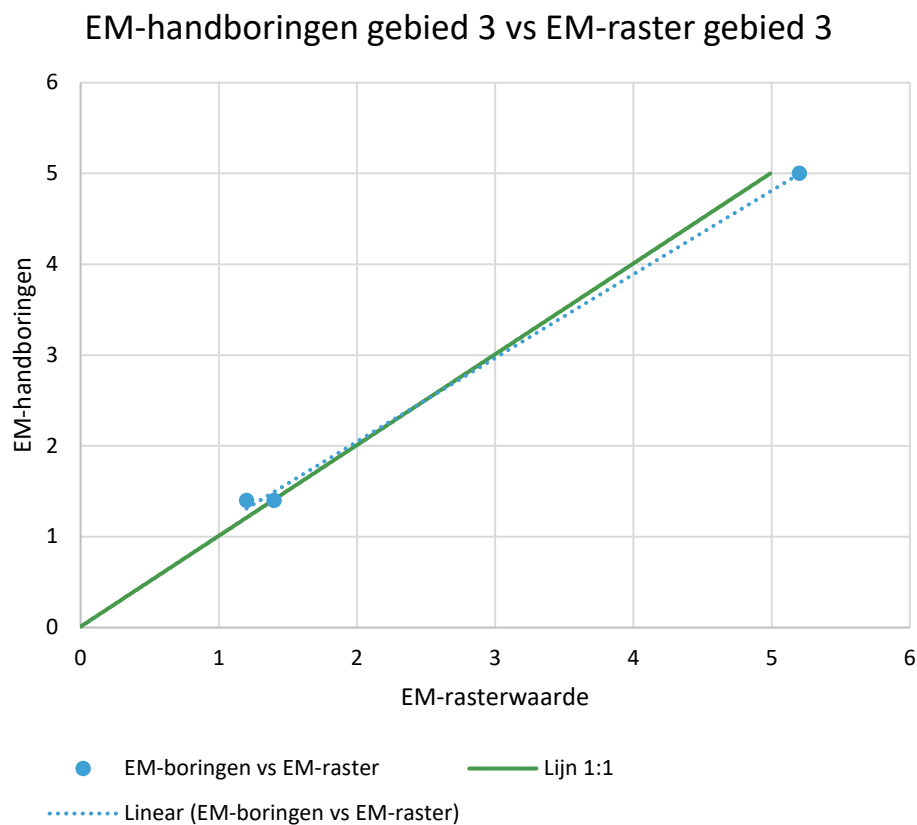
Hieronder zijn de vergelijkingen per gebied weergegeven voor de deklaag dikte uit de uitgevoerde handboringen en de deklaag dikte uit de geclassificeerde EM data voor de betrouwbaarheid van het uitgevoerd geofysisch onderzoek.



Figuur 35. Vergelijking dikte deklaag uit handboringen vs EM onderzoek, Gebied 1 (gemiddelde afwijking = 0.20 m, standard deviatie= 0.20m)

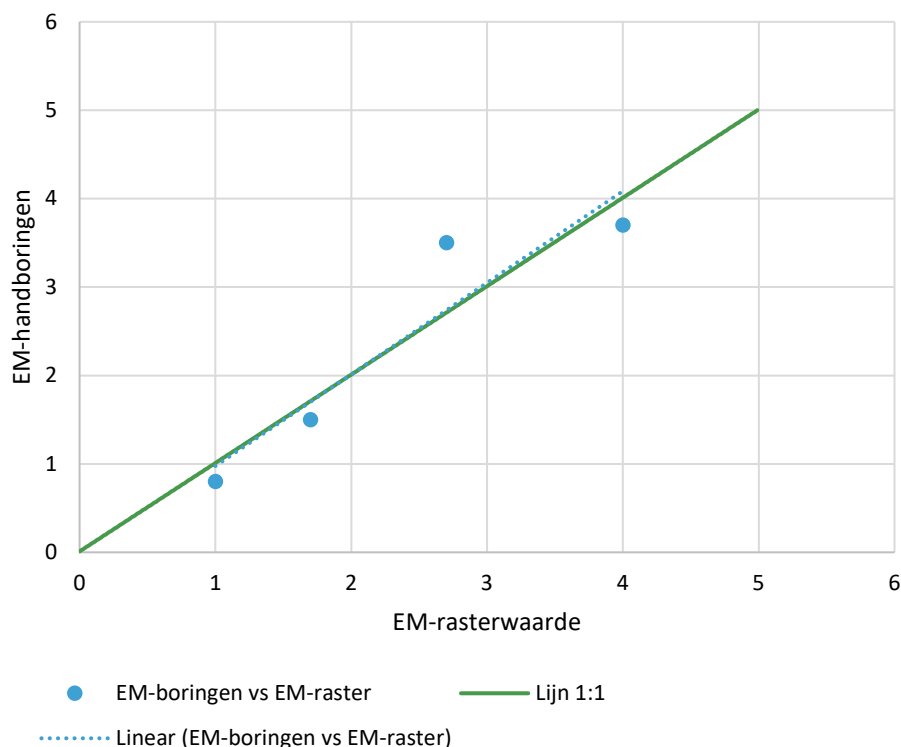


Figuur 36. Vergelijking dikte deklaag uit handboringen vs EM onderzoek, Gebied 2 (gemiddelde afwijking = 0.21 m, standard deviatie= 0.33m)



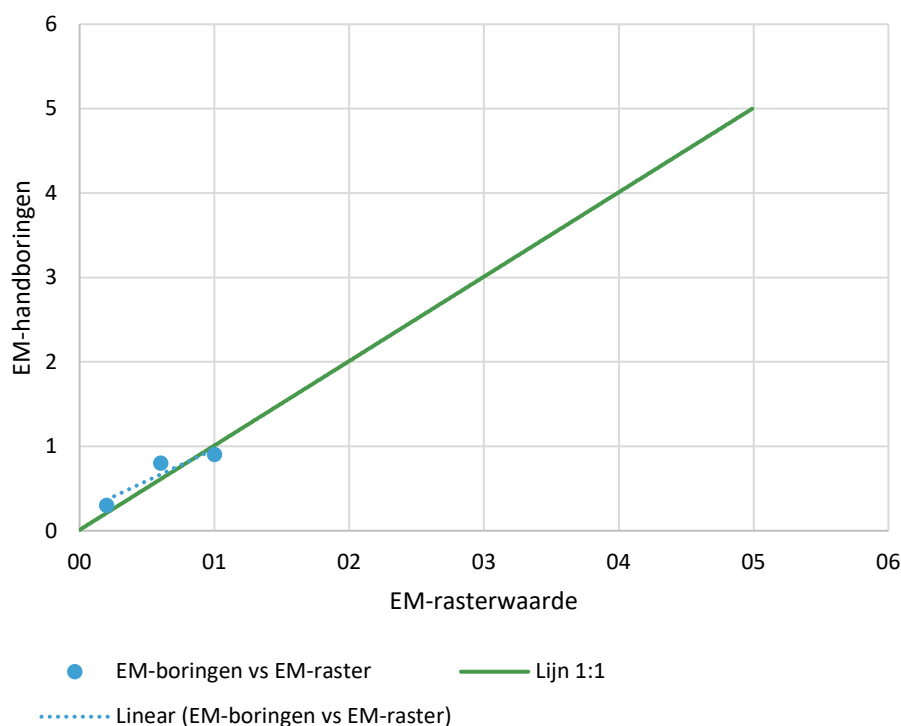
Figuur 37: Vergelijking dikte deklaag uit handboringen vs EM onderzoek, Gebied 3 (gemiddelde afwijking = 0.01 m, standard deviatie= 0.16m)

EM-handboringen gebied 4 vs EM-raster gebied 4

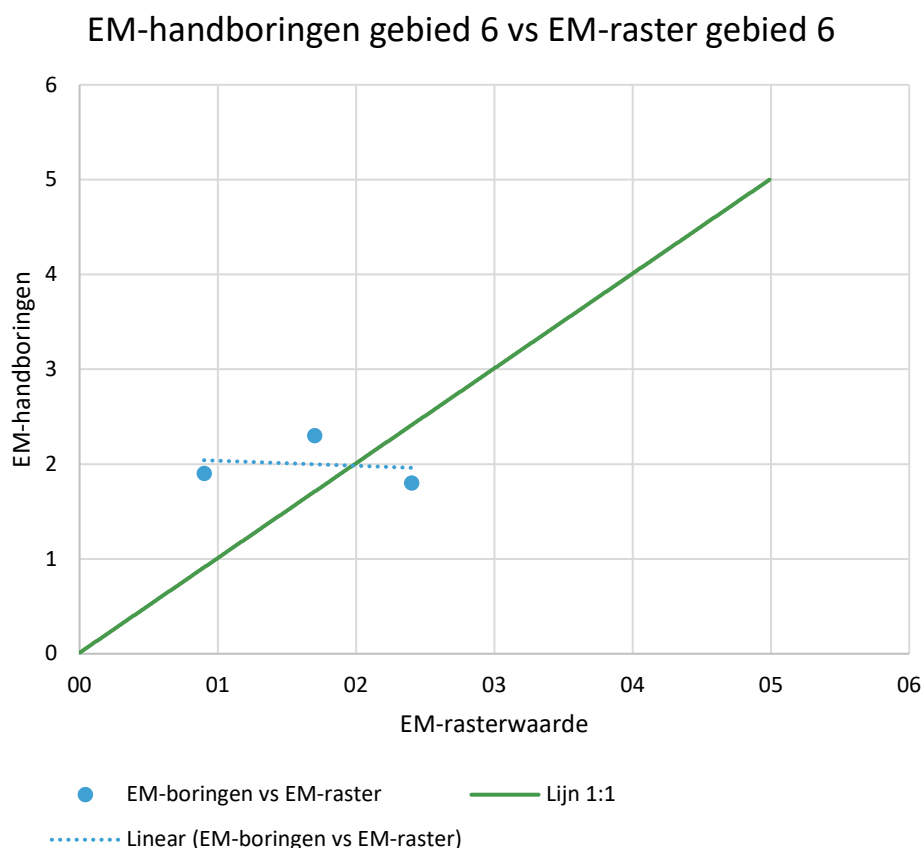


Figuur 38: Vergelijking dikte deklaag uit handboringen vs EM onderzoek, Gebied 4 (gemiddelde afwijking = 0.03 m, standard deviatie= 0.45m)

EM-handboringen gebied 5 vs EM-raster gebied 5

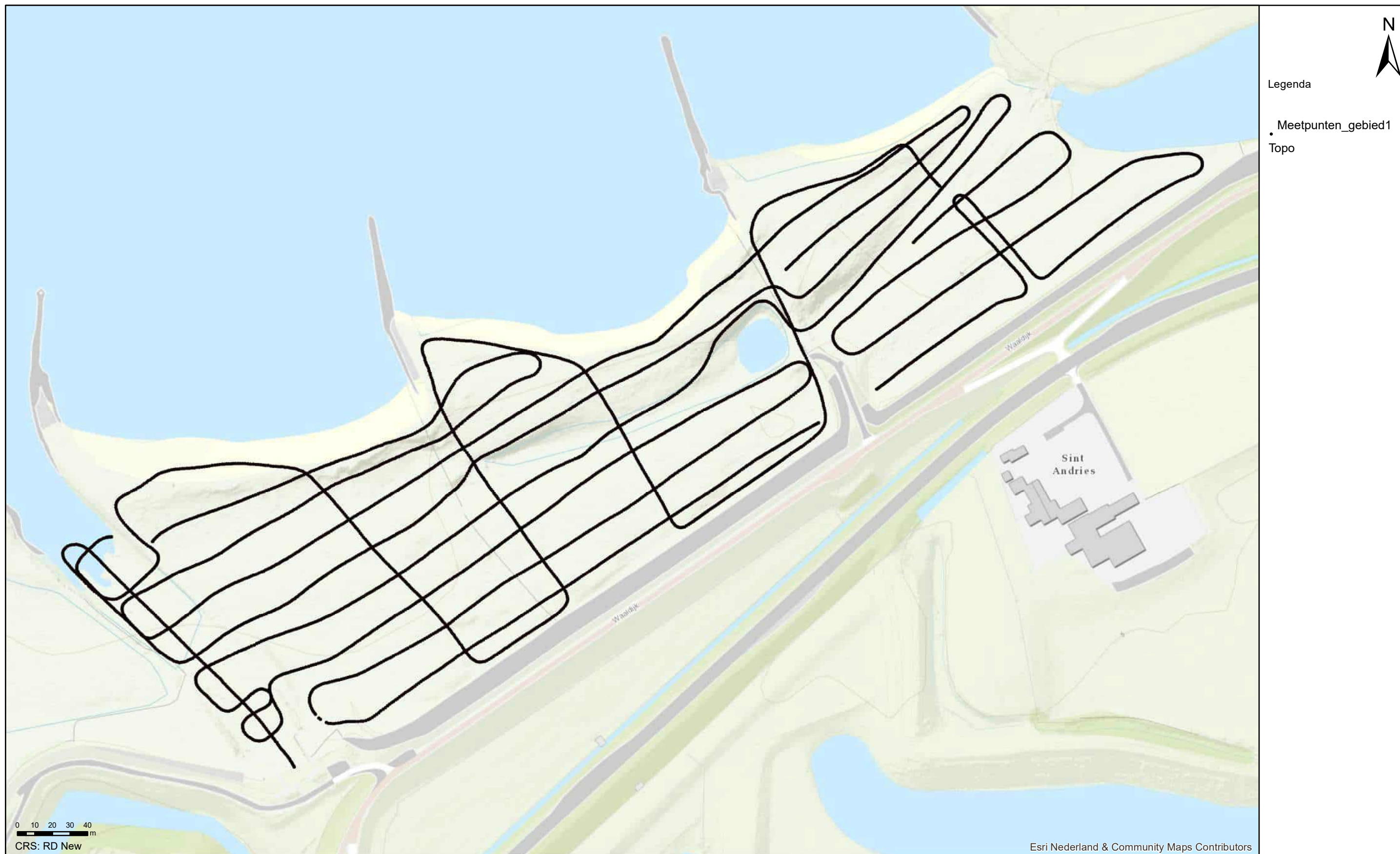


Figuur 39: Vergelijking dikte deklaag uit handboringen vs EM onderzoek, Gebied 5 (gemiddelde afwijking = 0.07 m, standard deviatie= 0.12m)



Figuur 40: Vergelijking dikte deklaag uit handboringen vs EM onderzoek, Gebied 6 (gemiddelde afwijking = 0.33 m, standard deviatie= 0.68m)

Door middel van toepassen van deze combi-geofysische meettechniek (EM + GPR), wordt een continue horizontaal beeld van de bodemopbouw verkregen tot een diepte van 6 m–mv. Hiermee is het mogelijk om toekomstige grondonderzoekspunten in het plangebied efficiënt te bepalen, wat kan leiden tot kostenbesparing en minder risico's. Door het geofysisch onderzoek als eerste onderdeel van een verkennend grondonderzoek uit te laten voeren, kunnen de sondeer- en boorwerkzaamheden worden geoptimaliseerd.



Geofysisch onderzoek UWDH

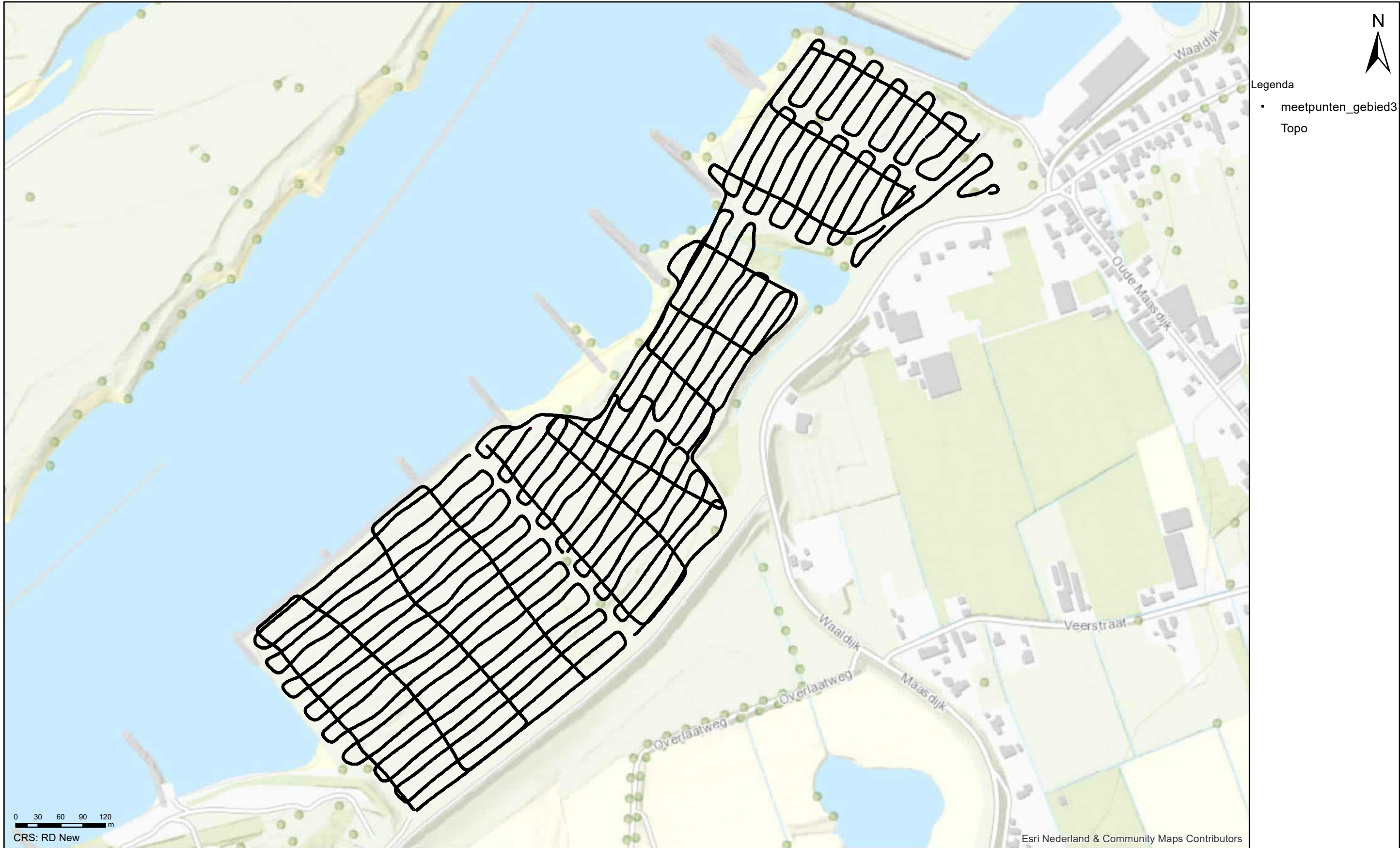
Meetpunten gebied 1

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 1-1





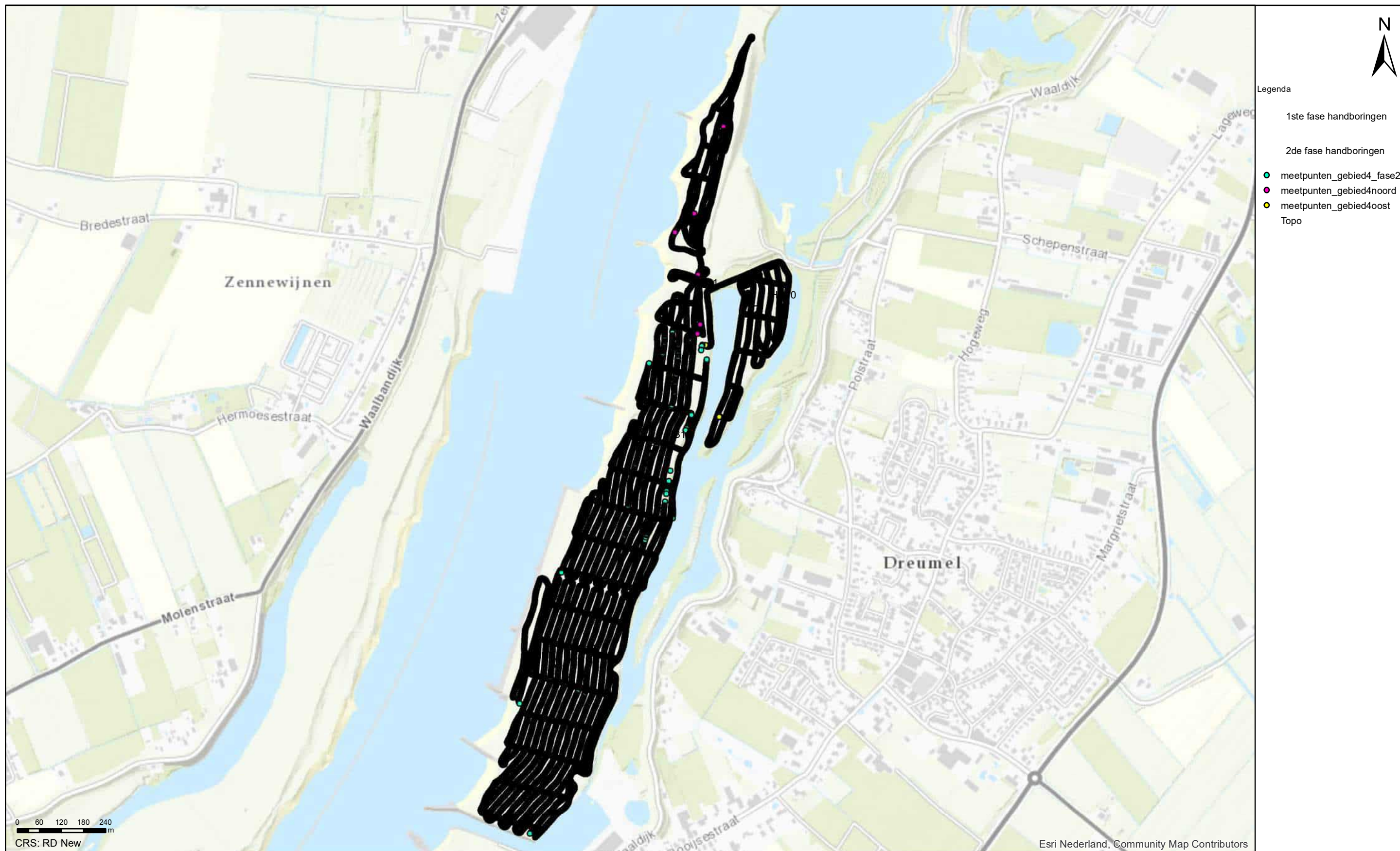
Geofysisch onderzoek UWDH

Meetpunten gebied 3

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 1-3



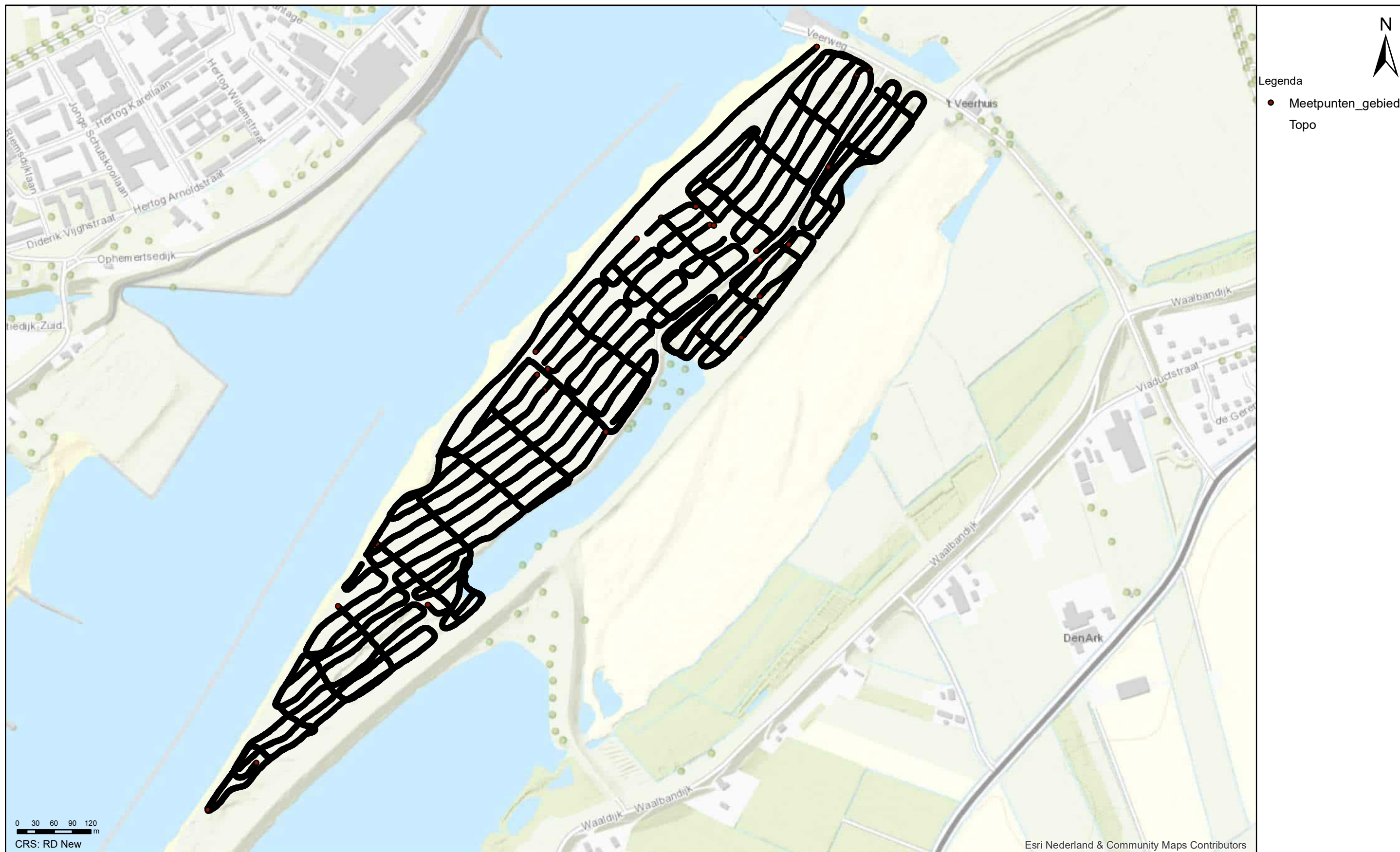
Geofysisch onderzoek UWDH

Meetpunten gebied 4

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 1-4



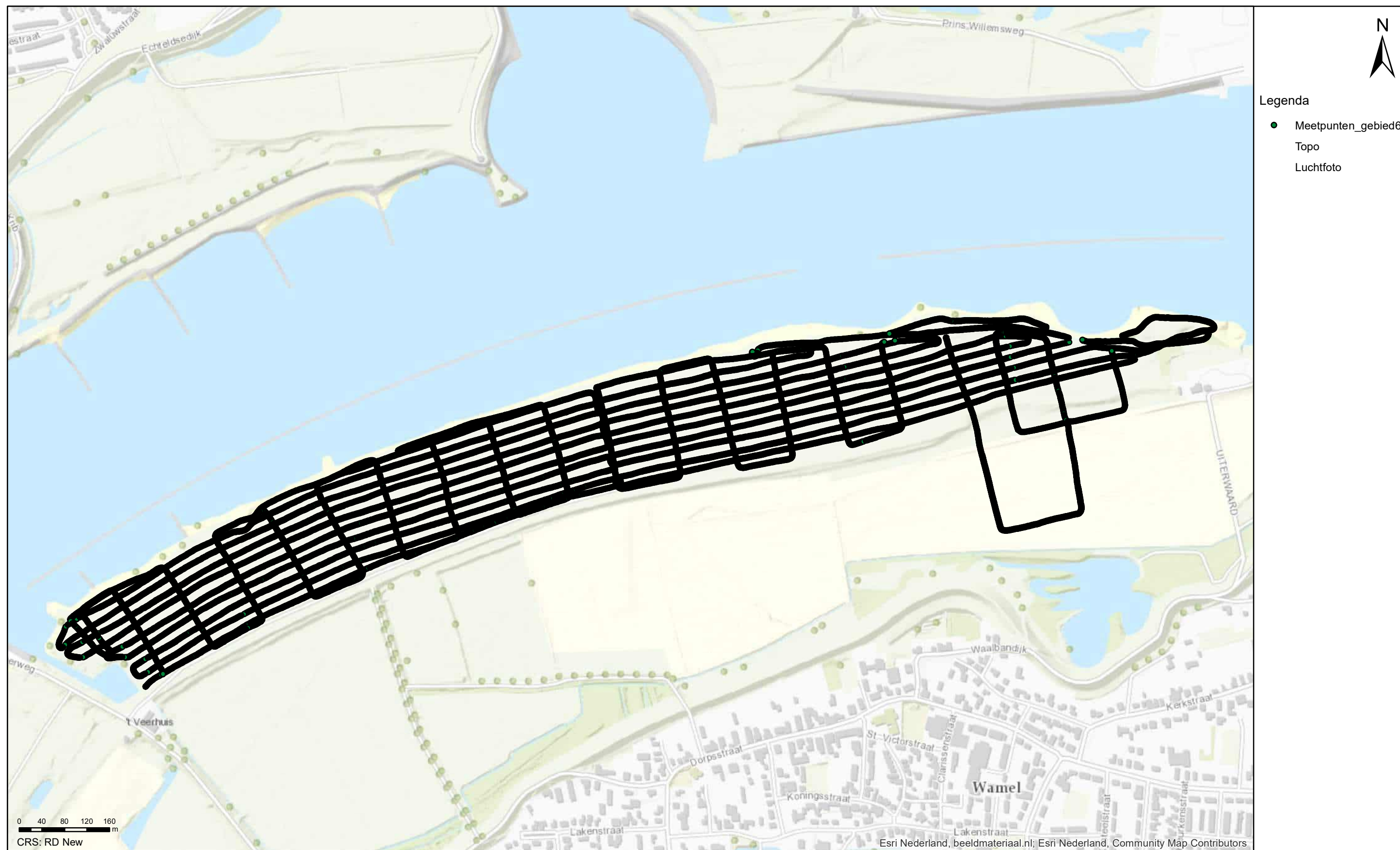
Geofysisch onderzoek UWDH

Meetpunten gebied 5

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 1-5



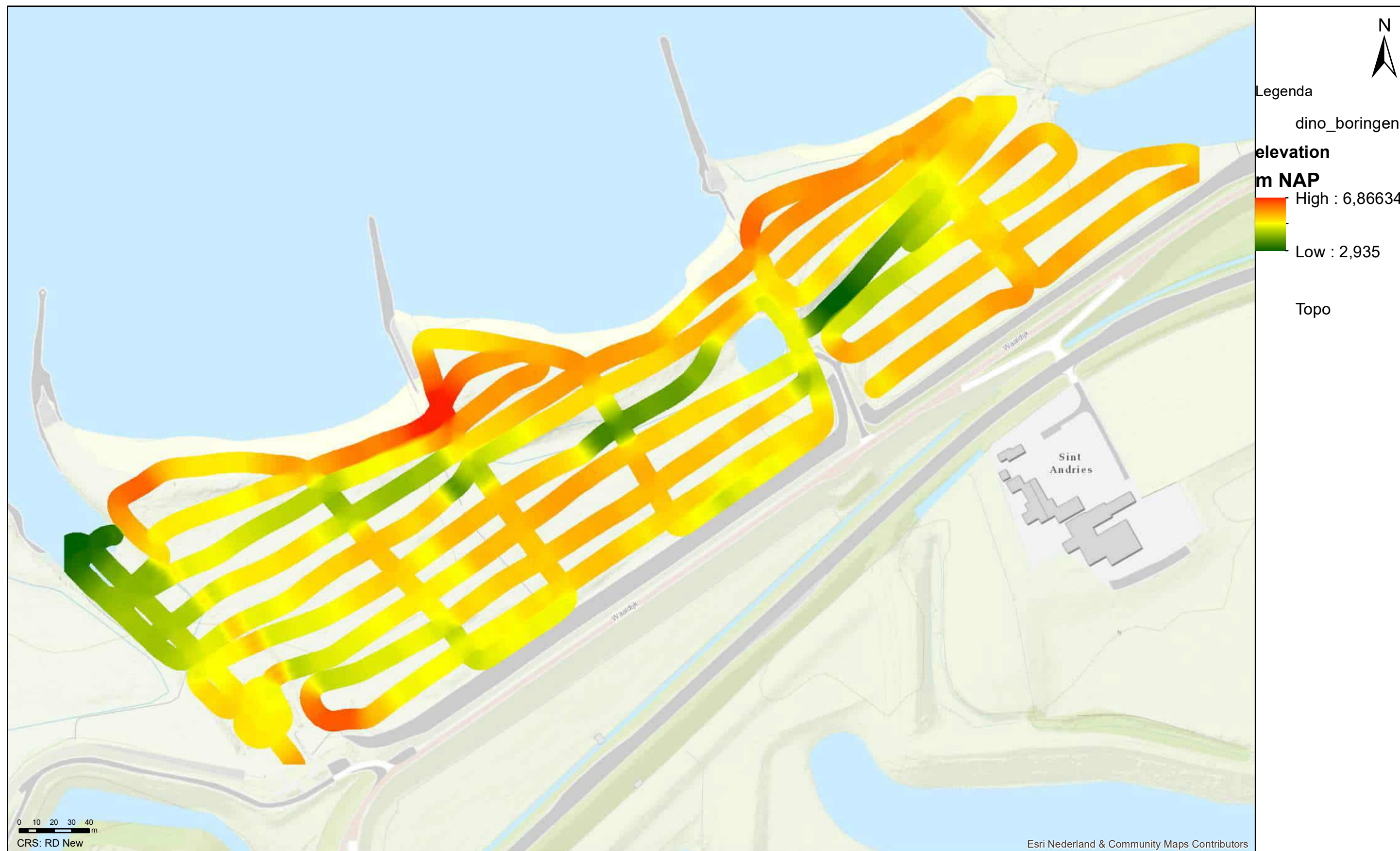
Geofysisch onderzoek UWDH

Meetpunten gebied 6

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 1-6



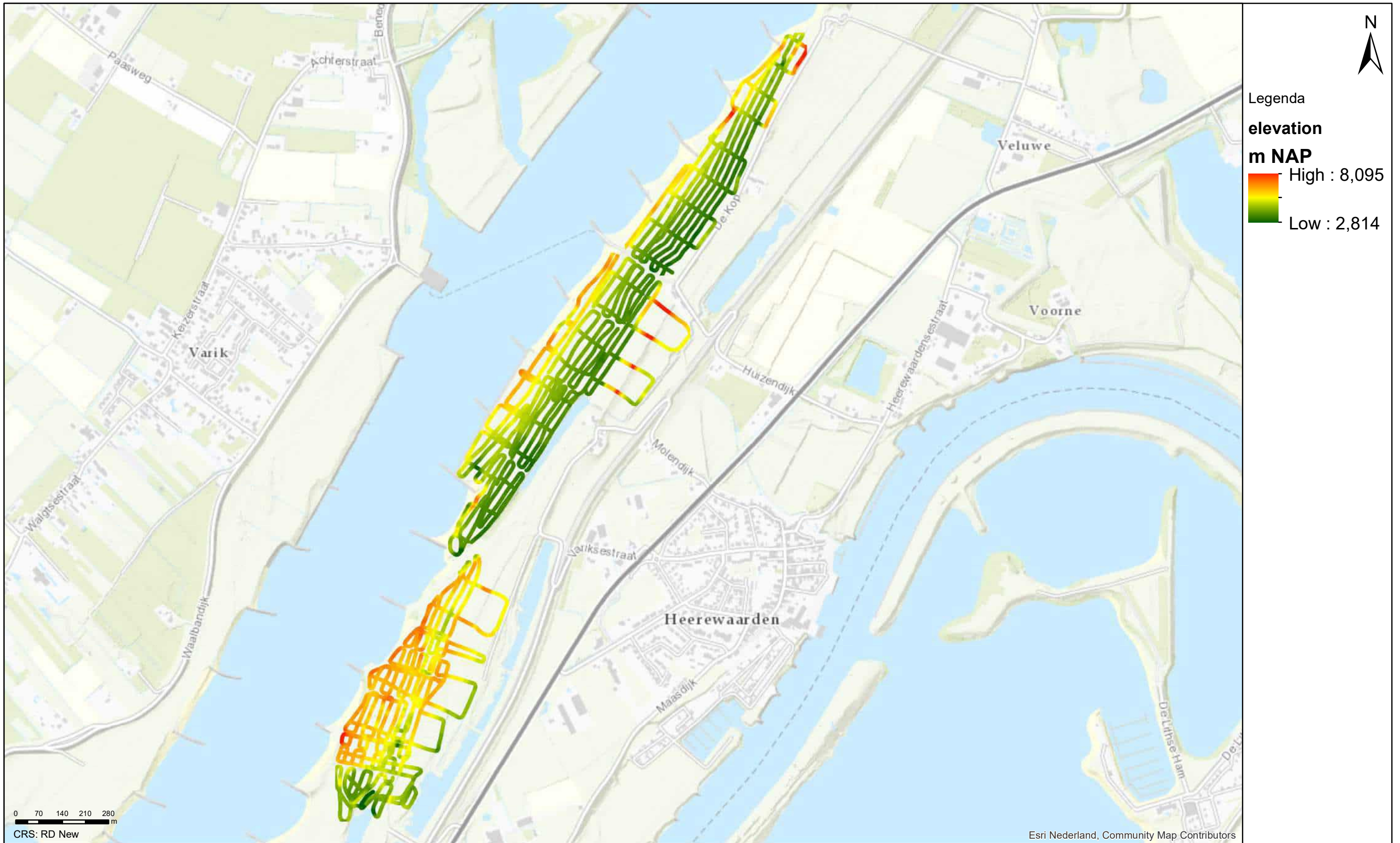
Geofysisch onderzoek UWDH

Hoggetkaart gebied 1

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 2-1



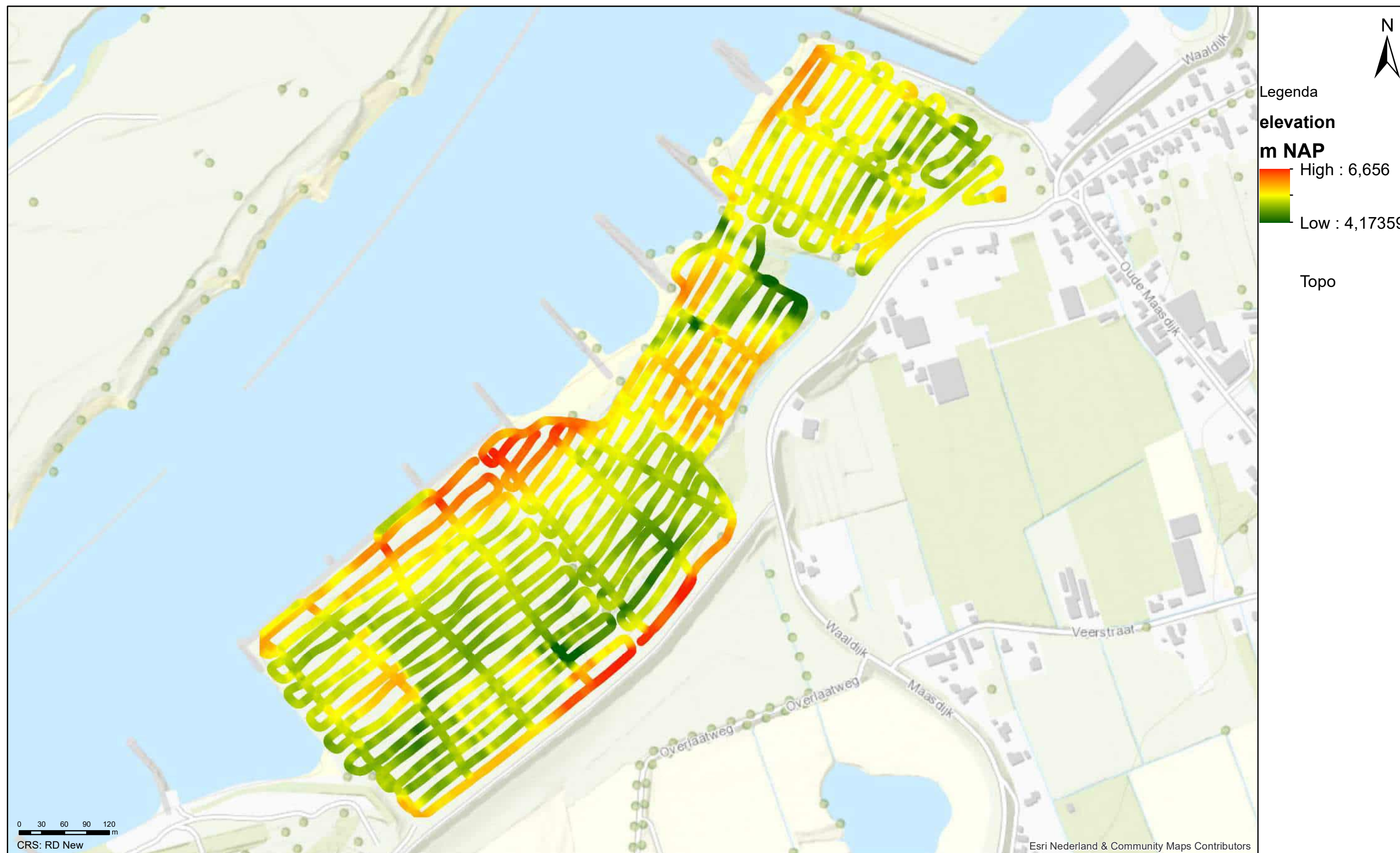
Geofysisch onderzoek UWDH

Hoogtekaart m t.o.v. NAP gebied 2

Heerewaaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 2-2

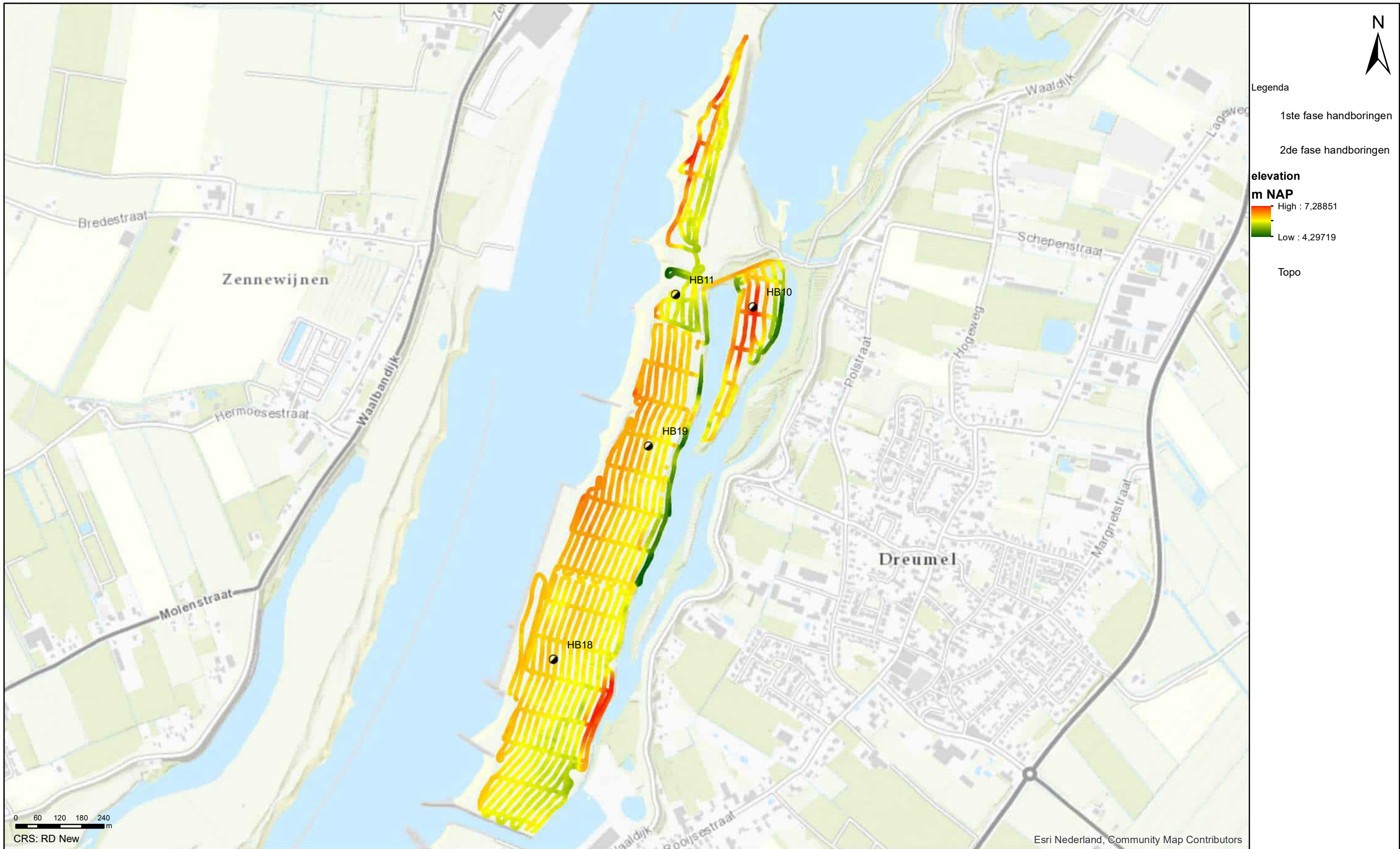


Geofysisch onderzoek UWDH

Hoogtekaart gebied 3

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 2-3



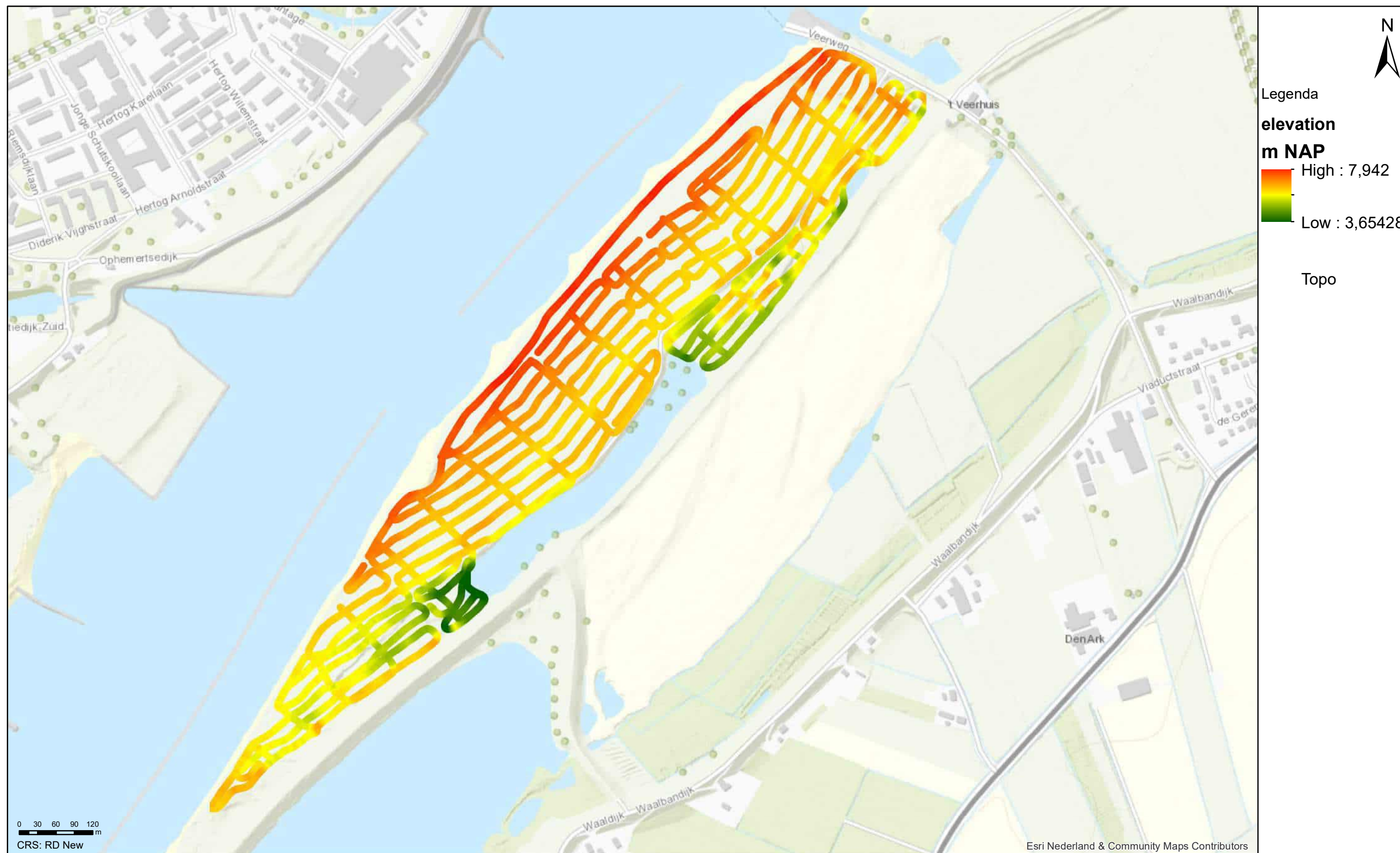
Geofysisch onderzoek UWDH

Hoogtekaart gebied 4 m t.o.v. NAP

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 2-4



Geofysisch onderzoek UWDH

Hoogte kaart gebied 5

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 2-5



Geofysisch onderzoek UWDH

Hoogte kaart gebied 6 m t.o.v. NAP

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 2-6



Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 2.2m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 3-1-1



Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondrgrfond tot een diepte van 4.2m -MV
 Sint Andries



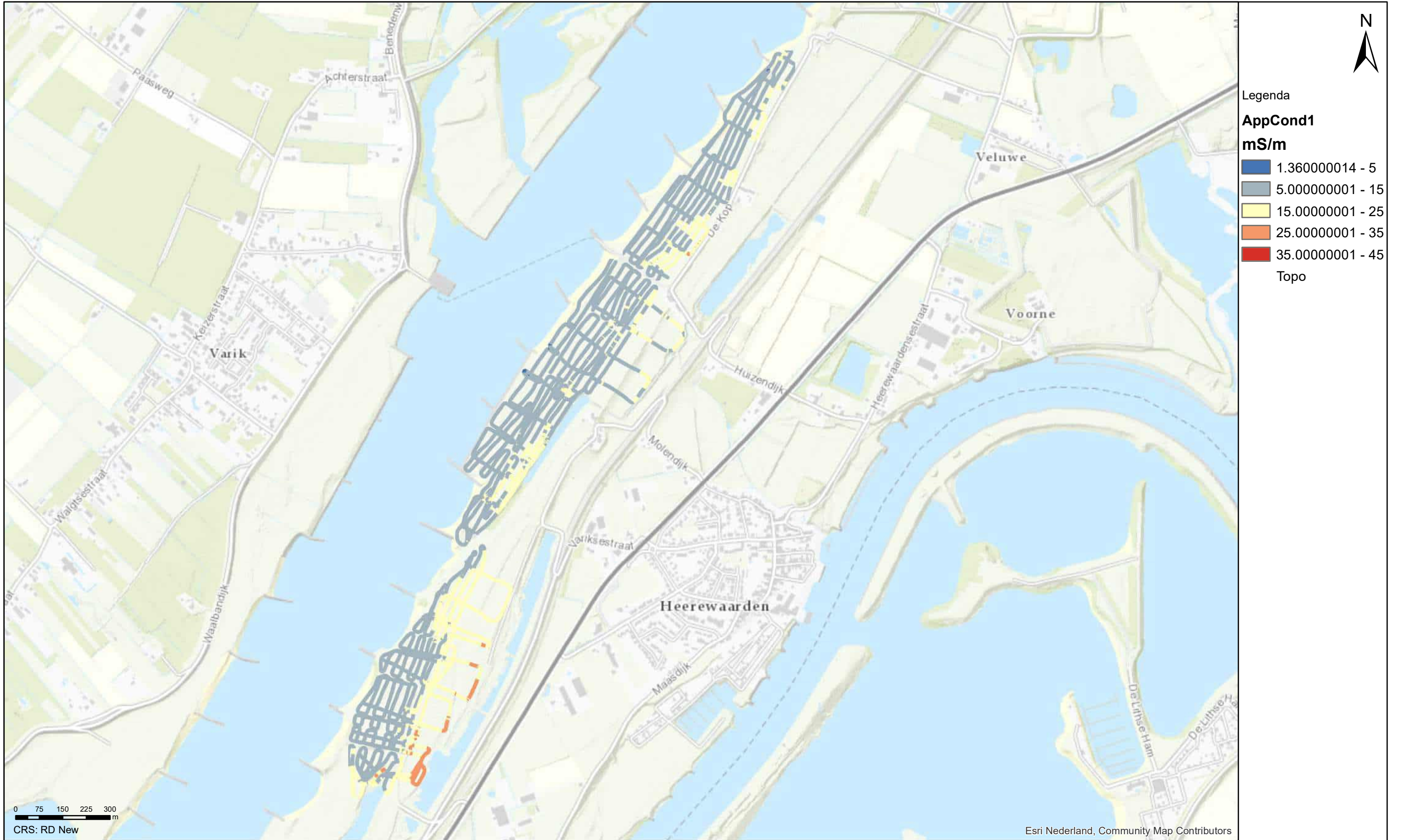
Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 6.7m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 3-1-3



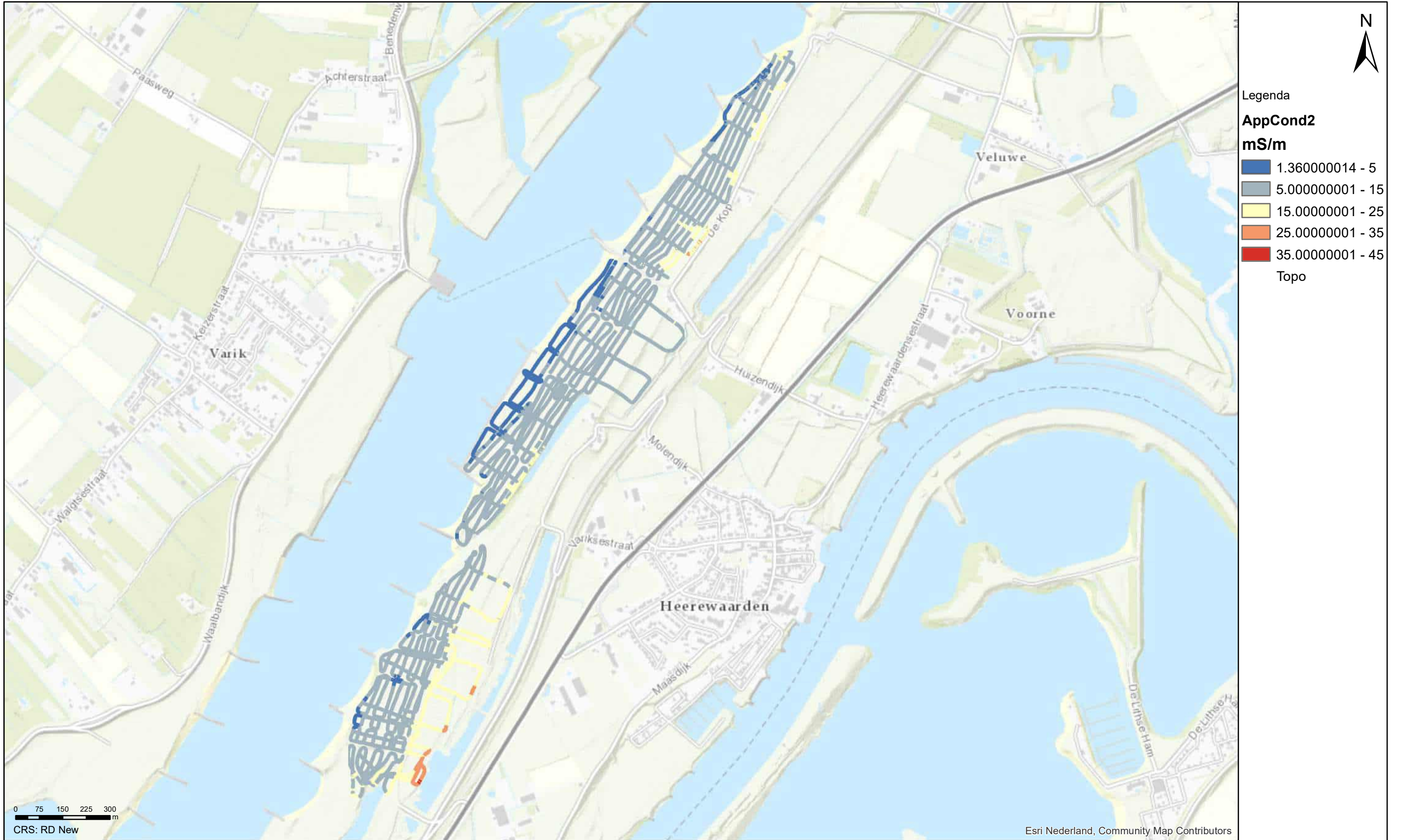
Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 2.2 m-MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 3-2-1



Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 4.2 m-MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 3-2-2



Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 6.7 m-MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 3-2-3



Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 2.2m -MV
Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 3-3-1



Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 4.2m -MV
Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 3-3-2



Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 6.7m -MV
Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 3-3-3



Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 2.2m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

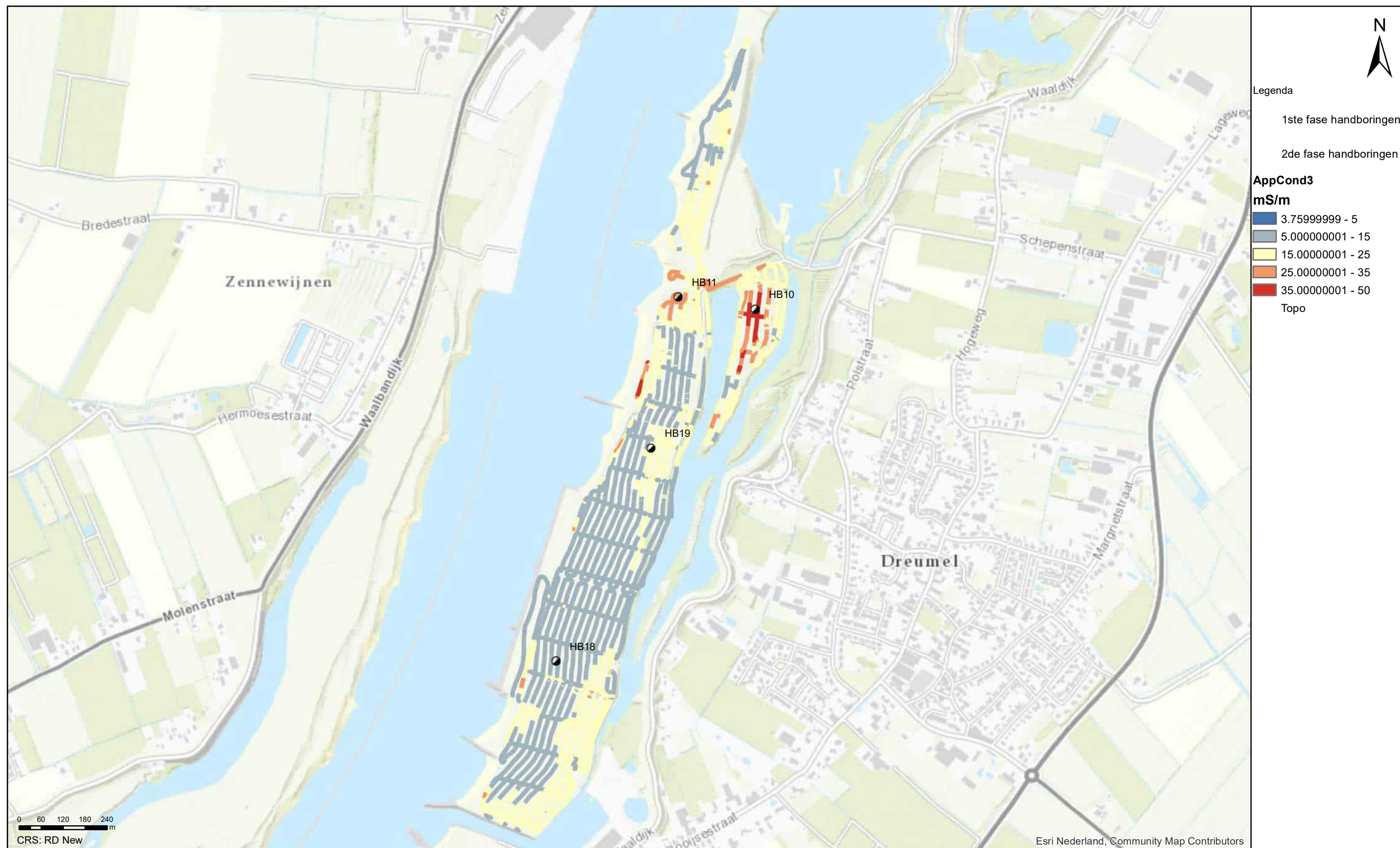
Bijlage : 3-4-1



Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 4.2m -MV
Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 3-4-2



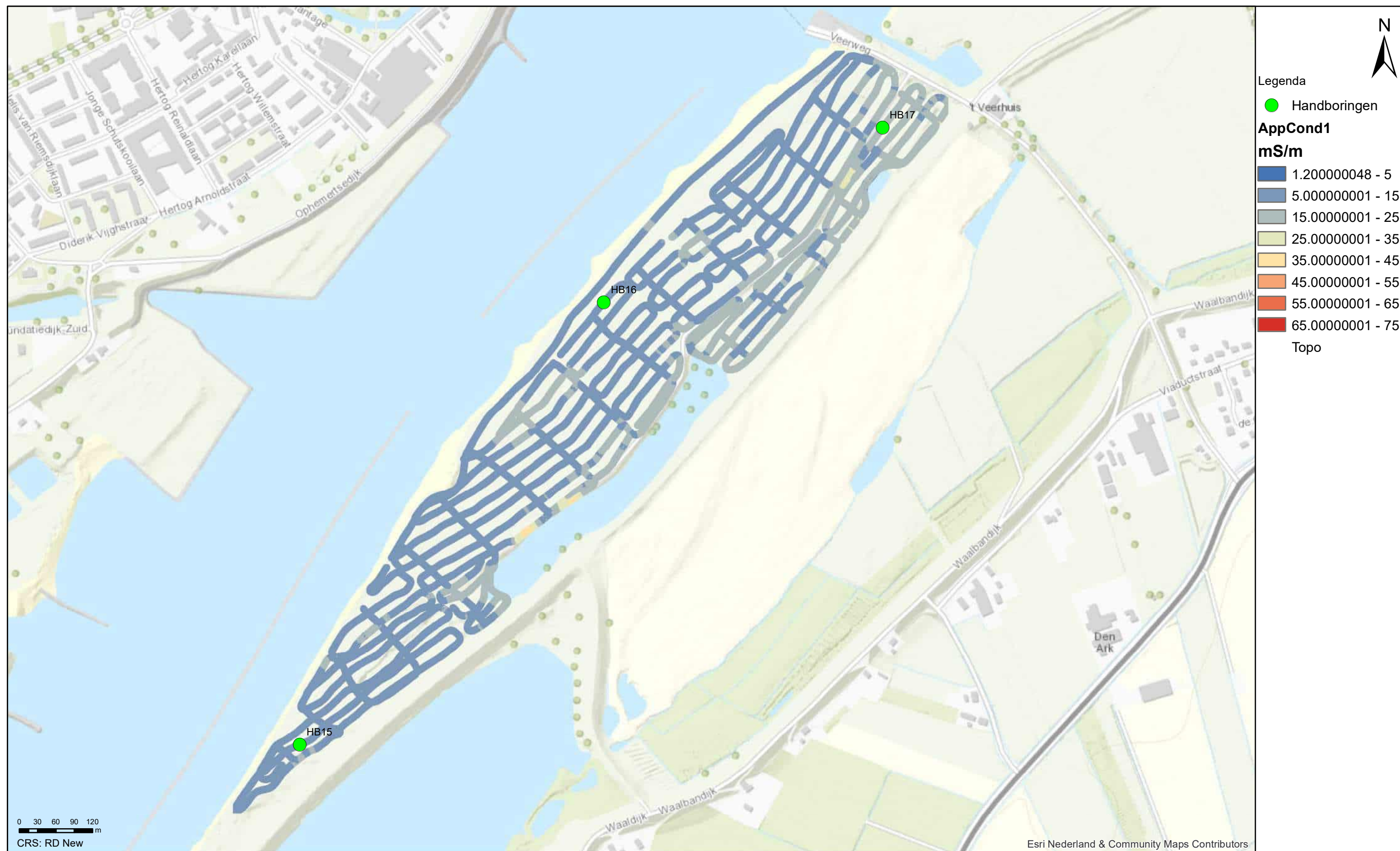
Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 6.7m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 3-4-3



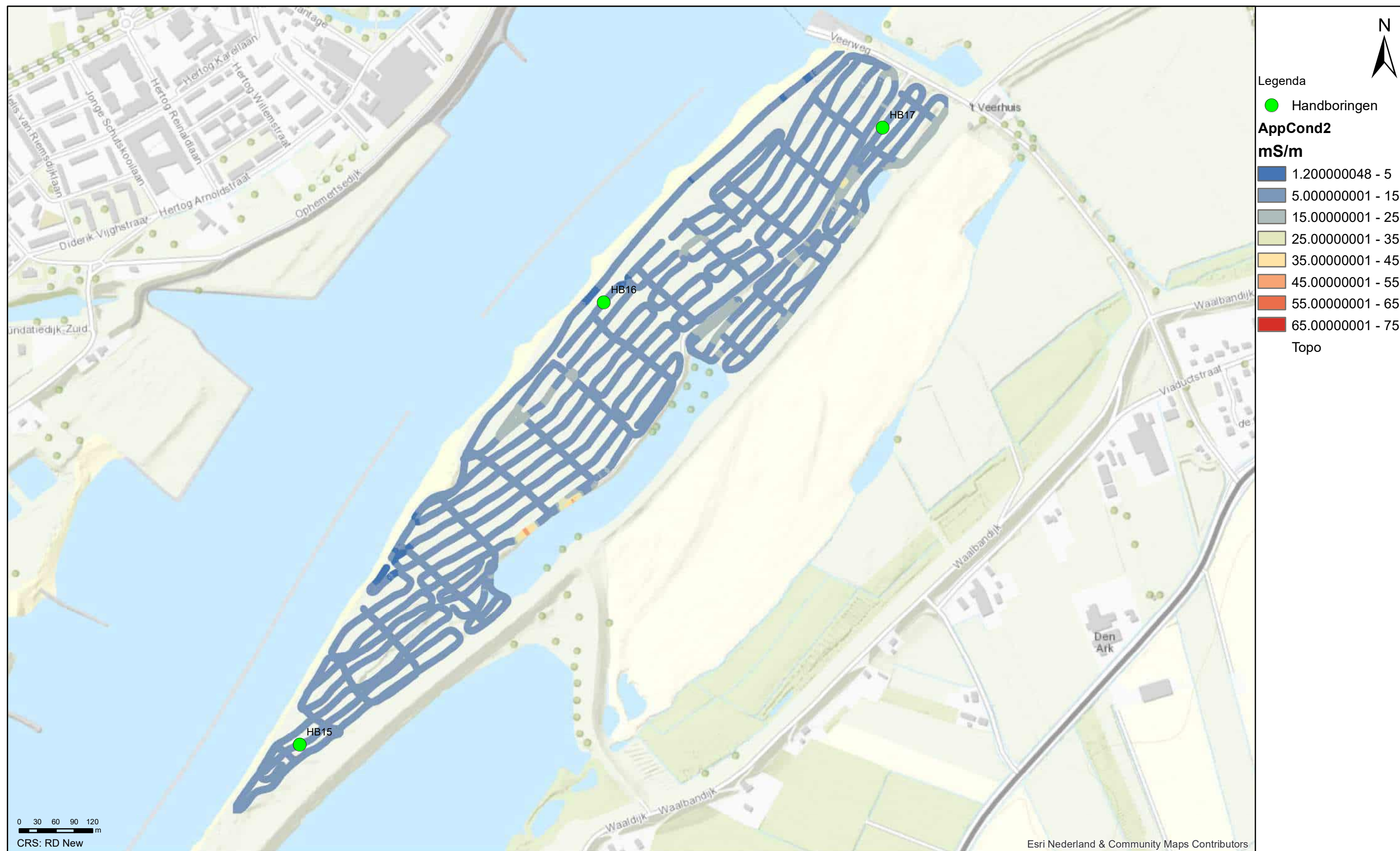
Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 2.2m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 3-5-1



Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 4.2m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 3-5-2



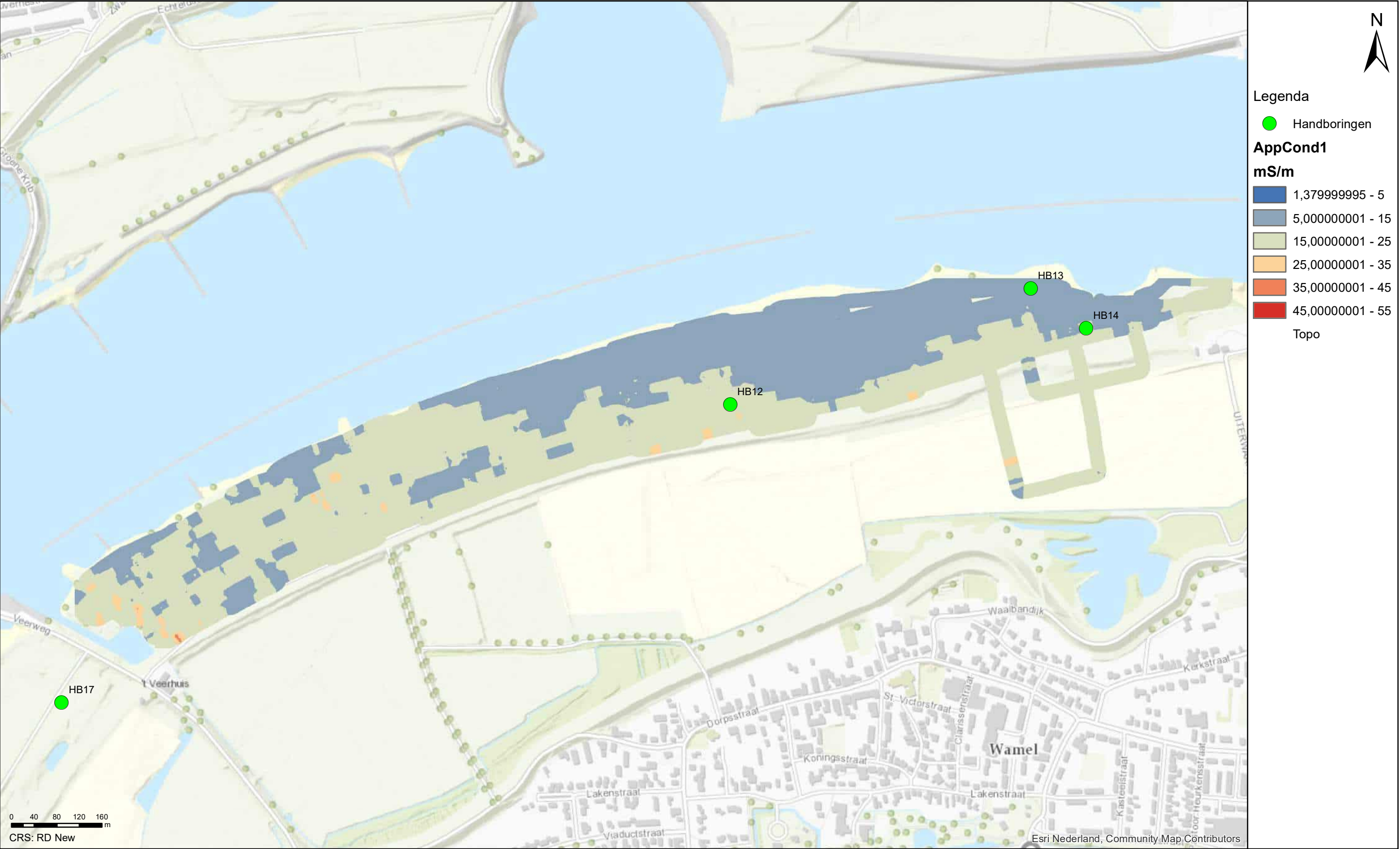
Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 6.7m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 3-5-3



Geofysisch onderzoek UWDH

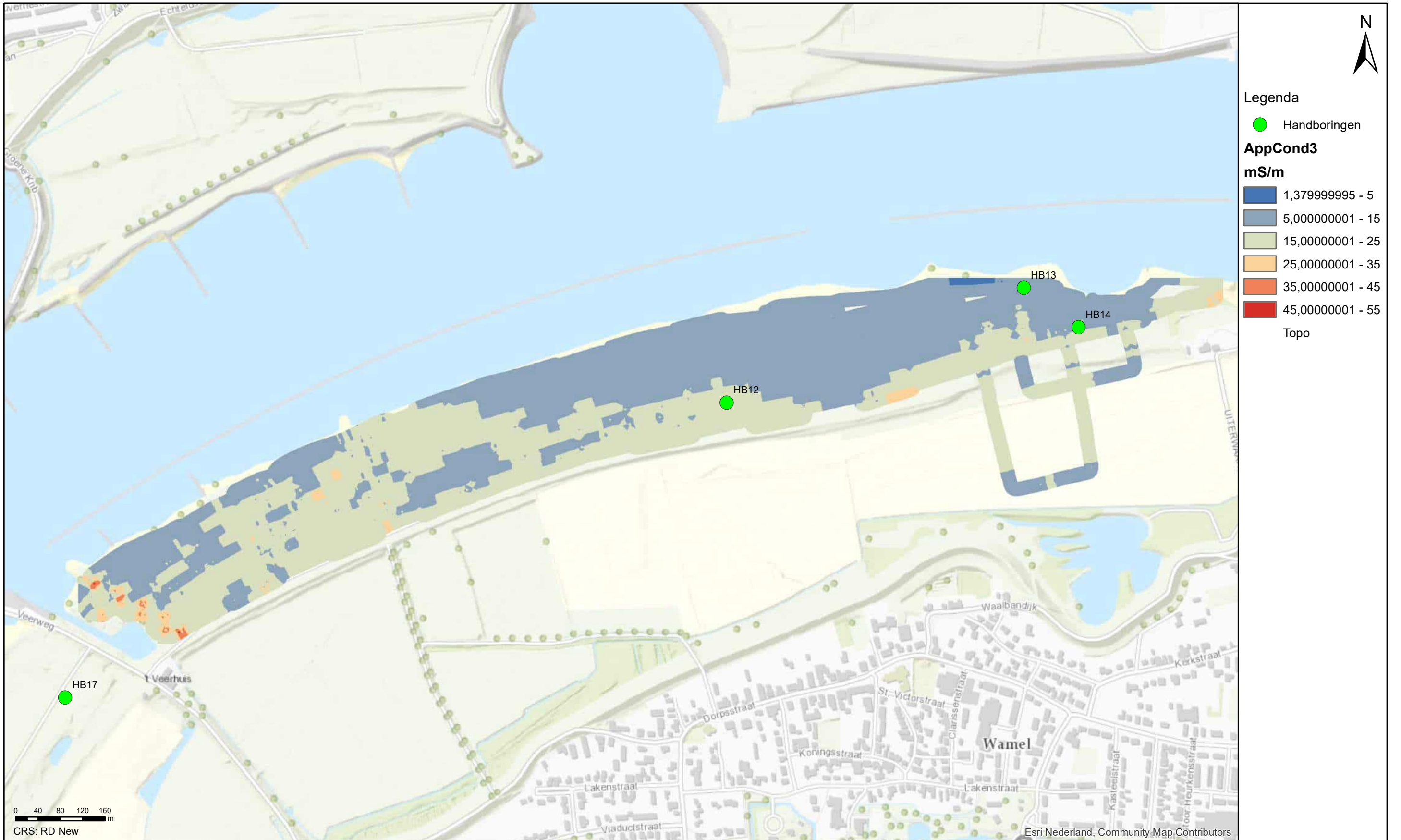
Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 2.2 m-MV
Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 3-6-1



Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 4.2 m-MV
Wamel



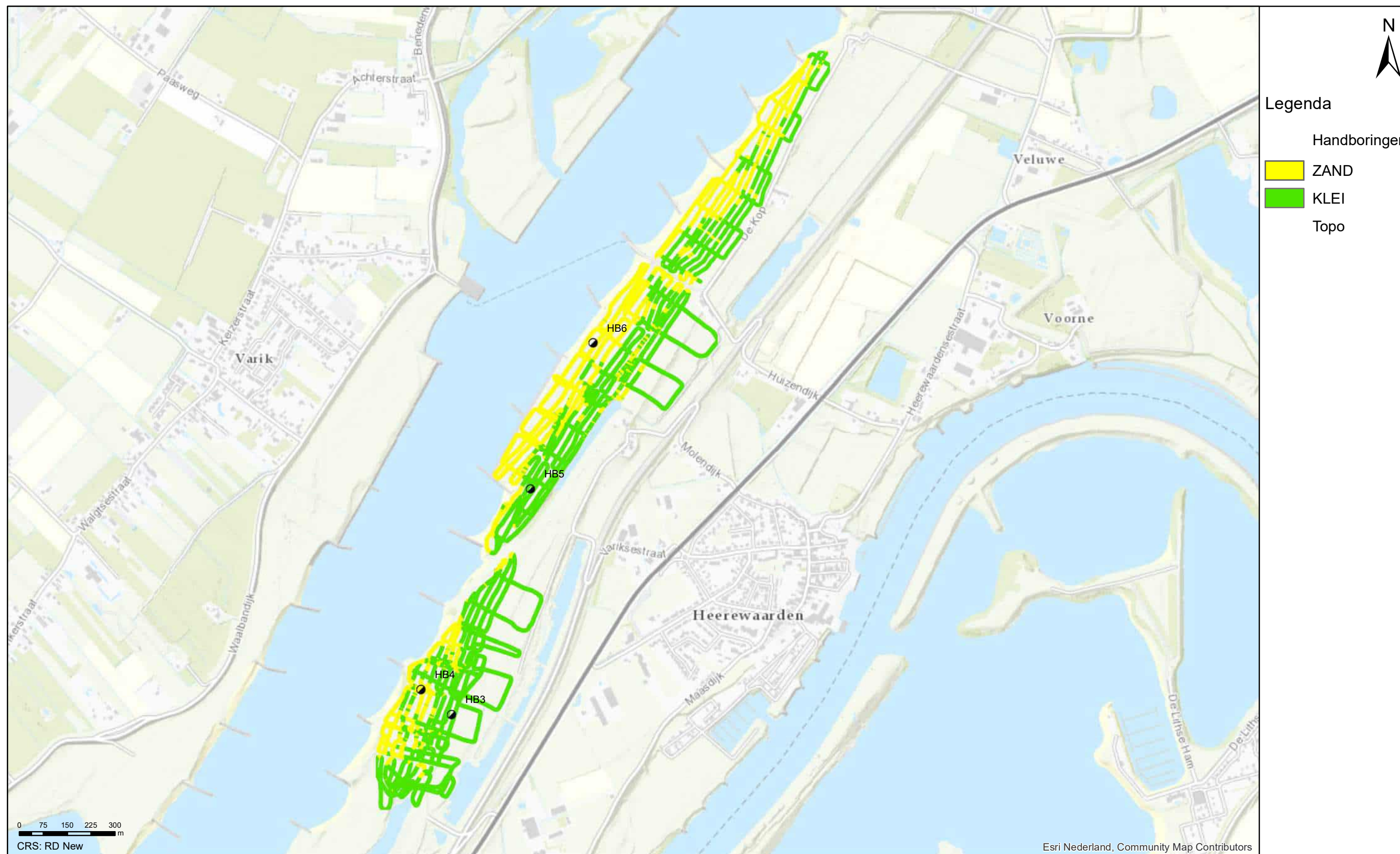
Geofysisch onderzoek UWDH

Geleidbaarheid van de ondergrond tot een diepte van 6.7 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 3-6-3



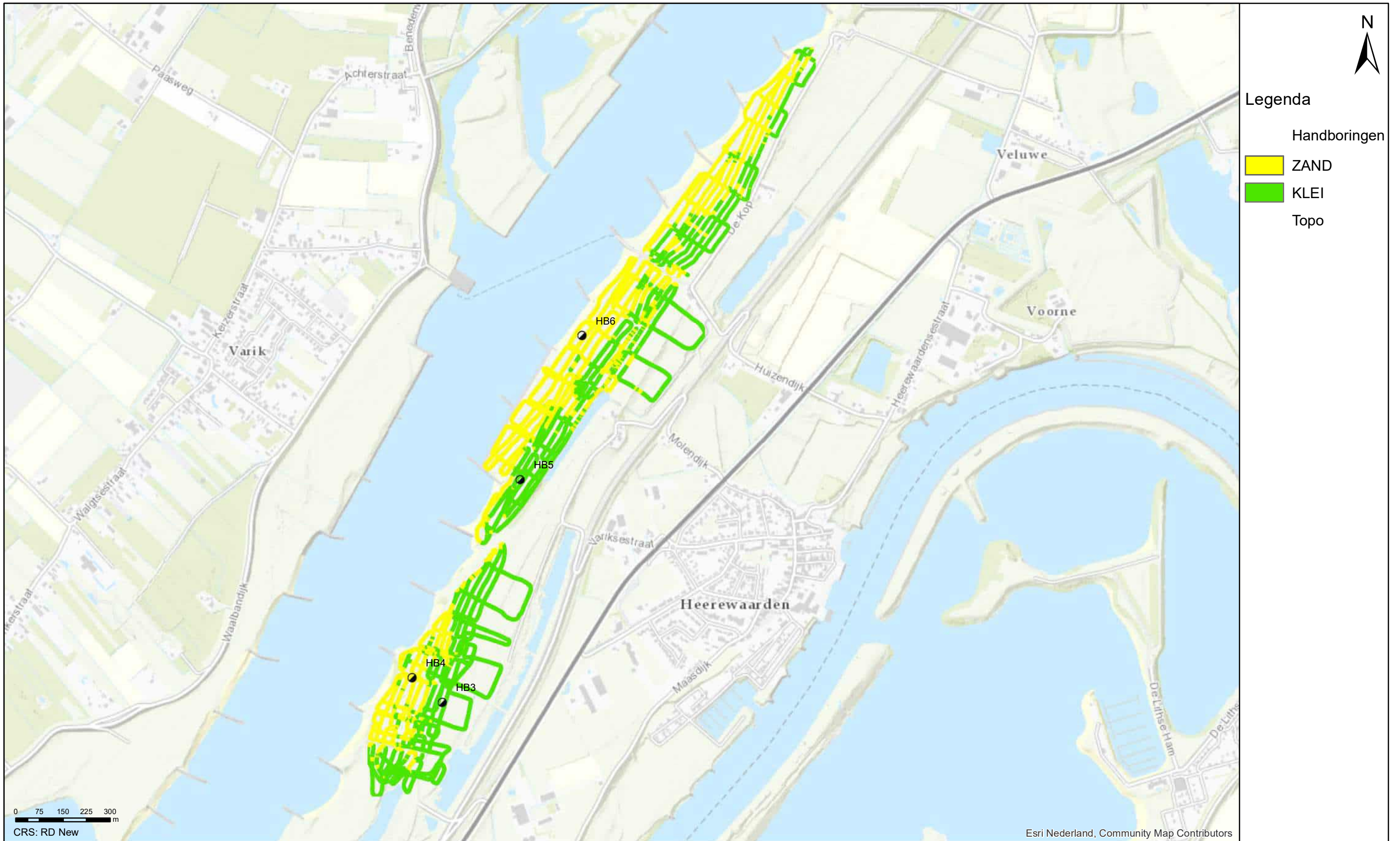
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 0.00 - 0.25 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-1



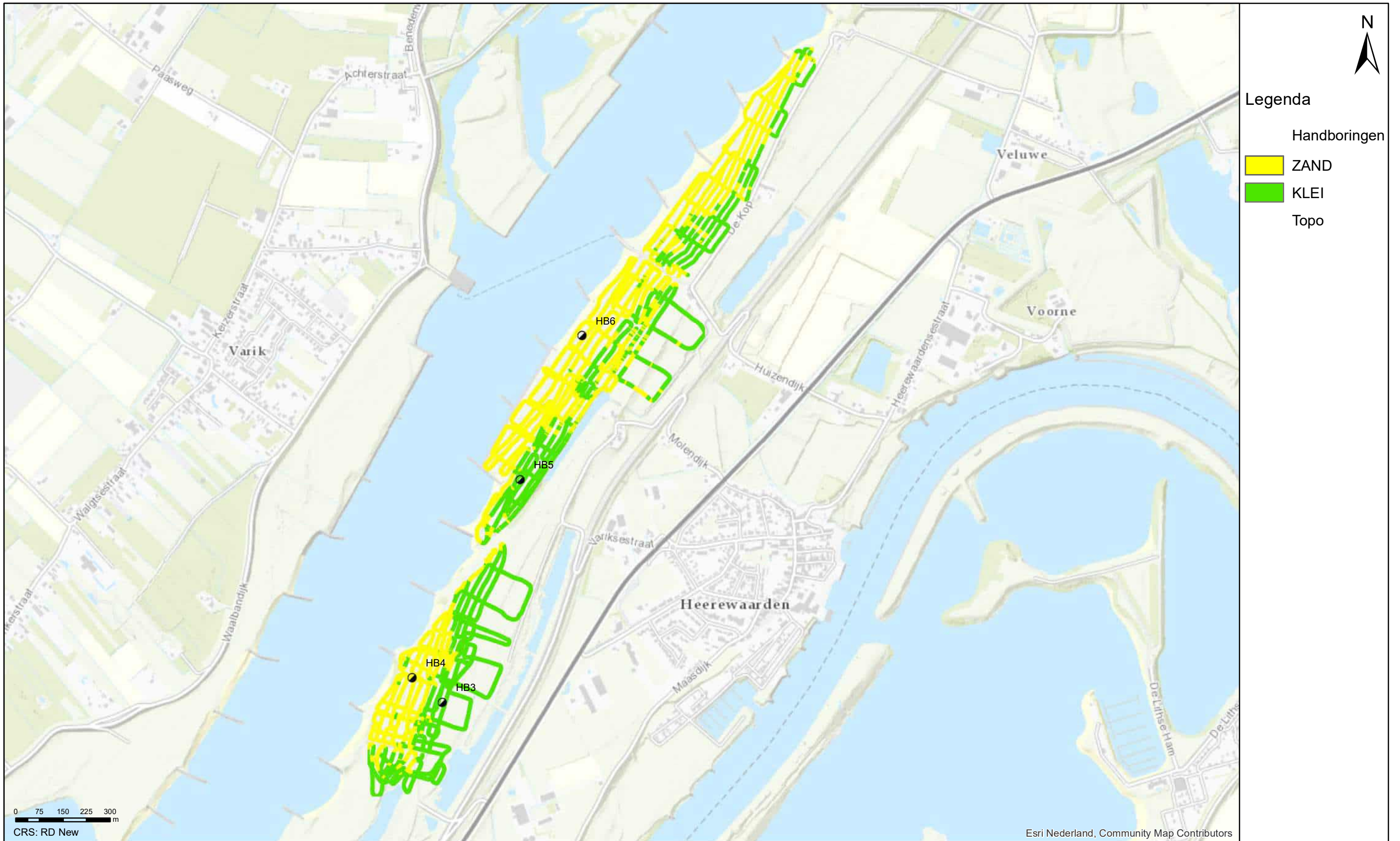
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 0.25 - 0.50 m -MV

Heerewwaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-2



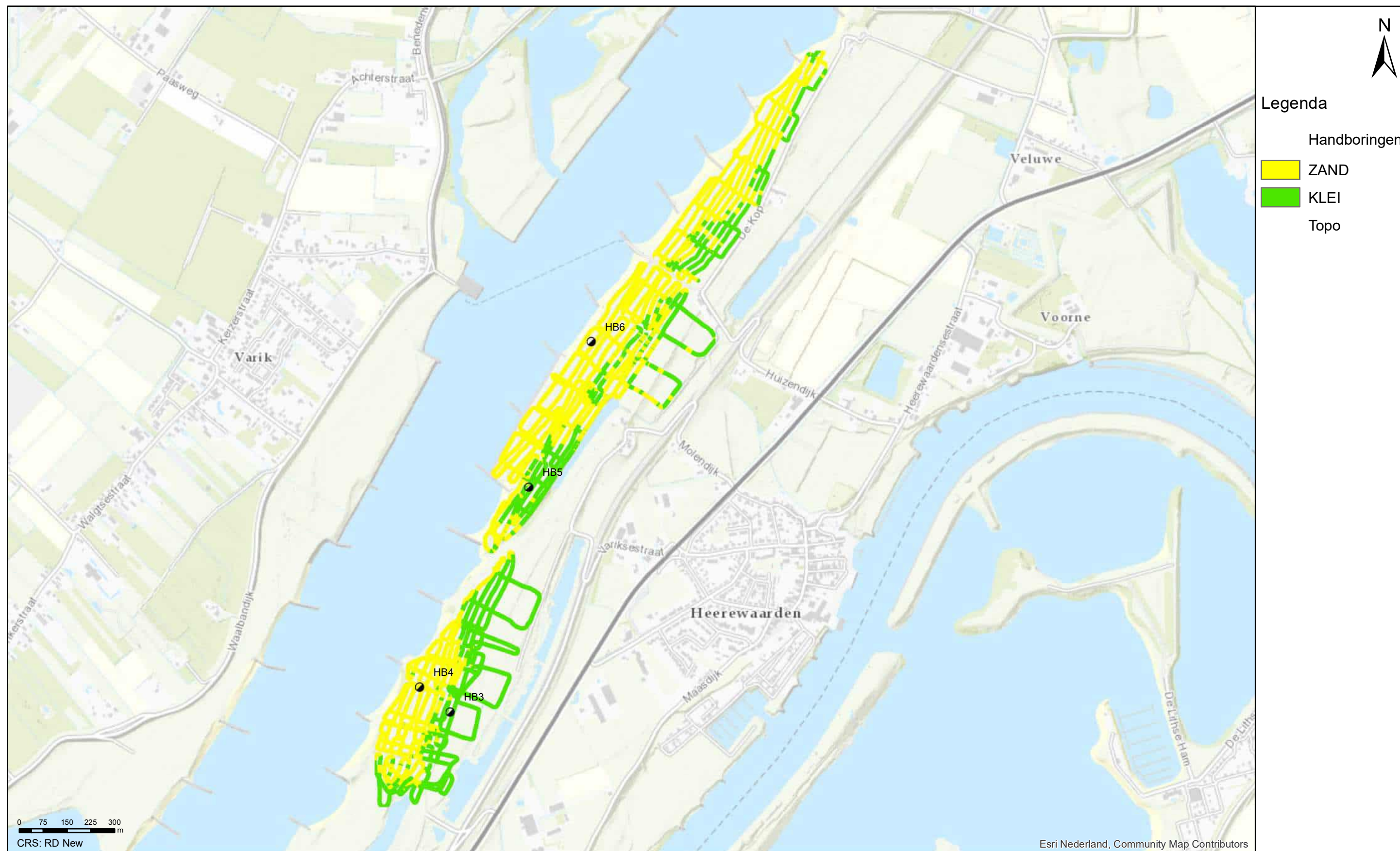
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 0.50 - 0.75 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-3



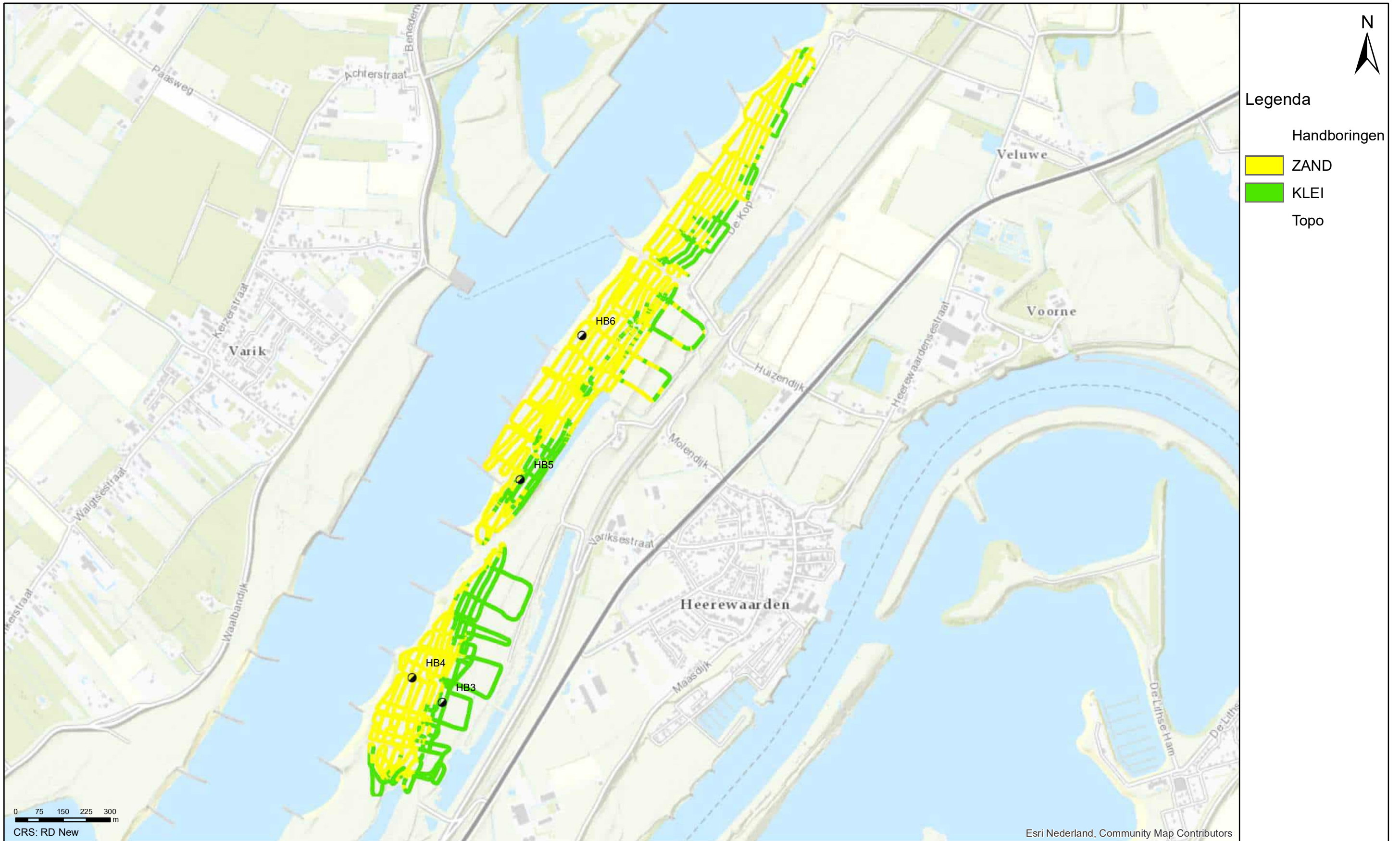
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 0.75 - 1.00 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-4



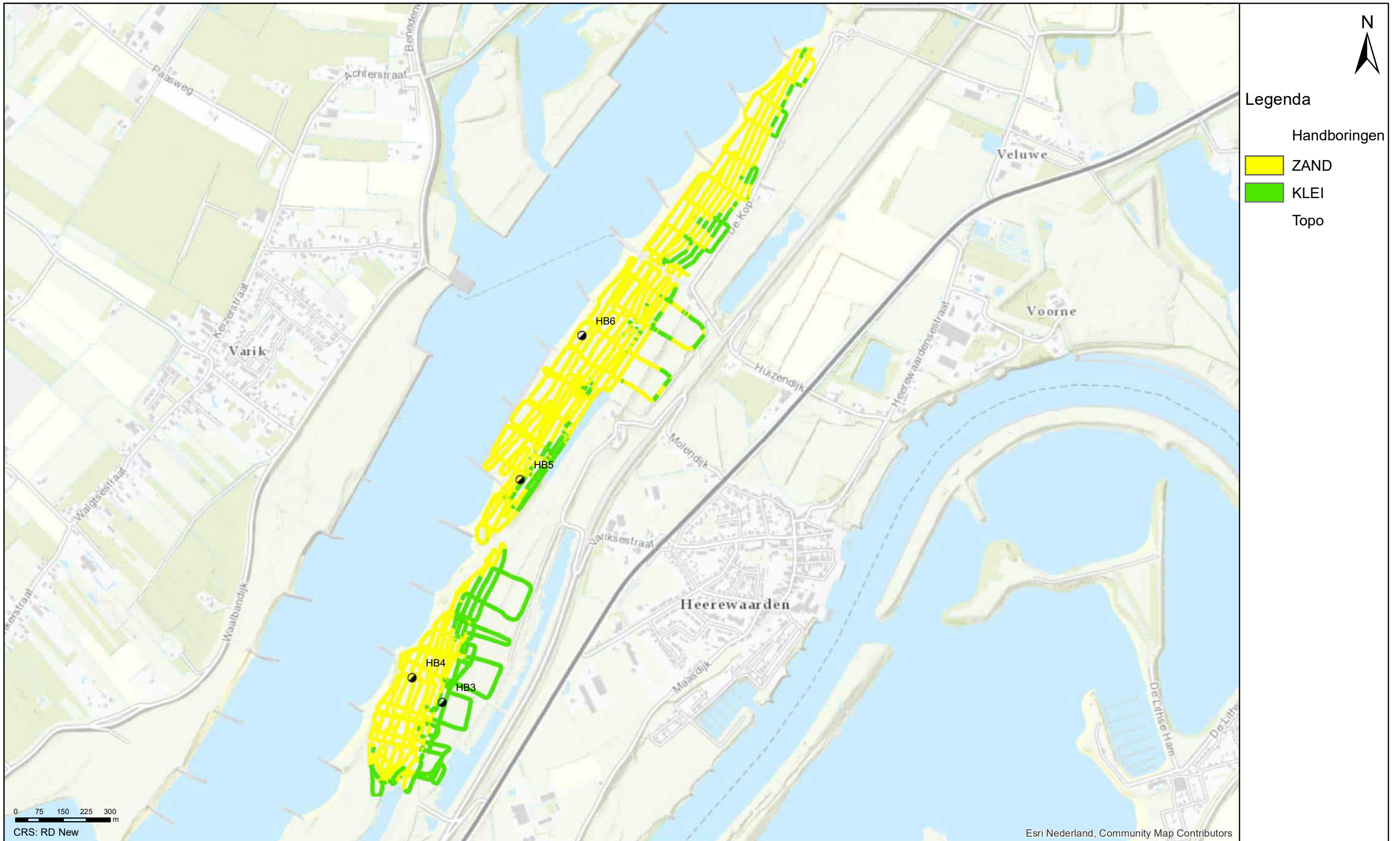
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 1.00 - 1.25 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-5



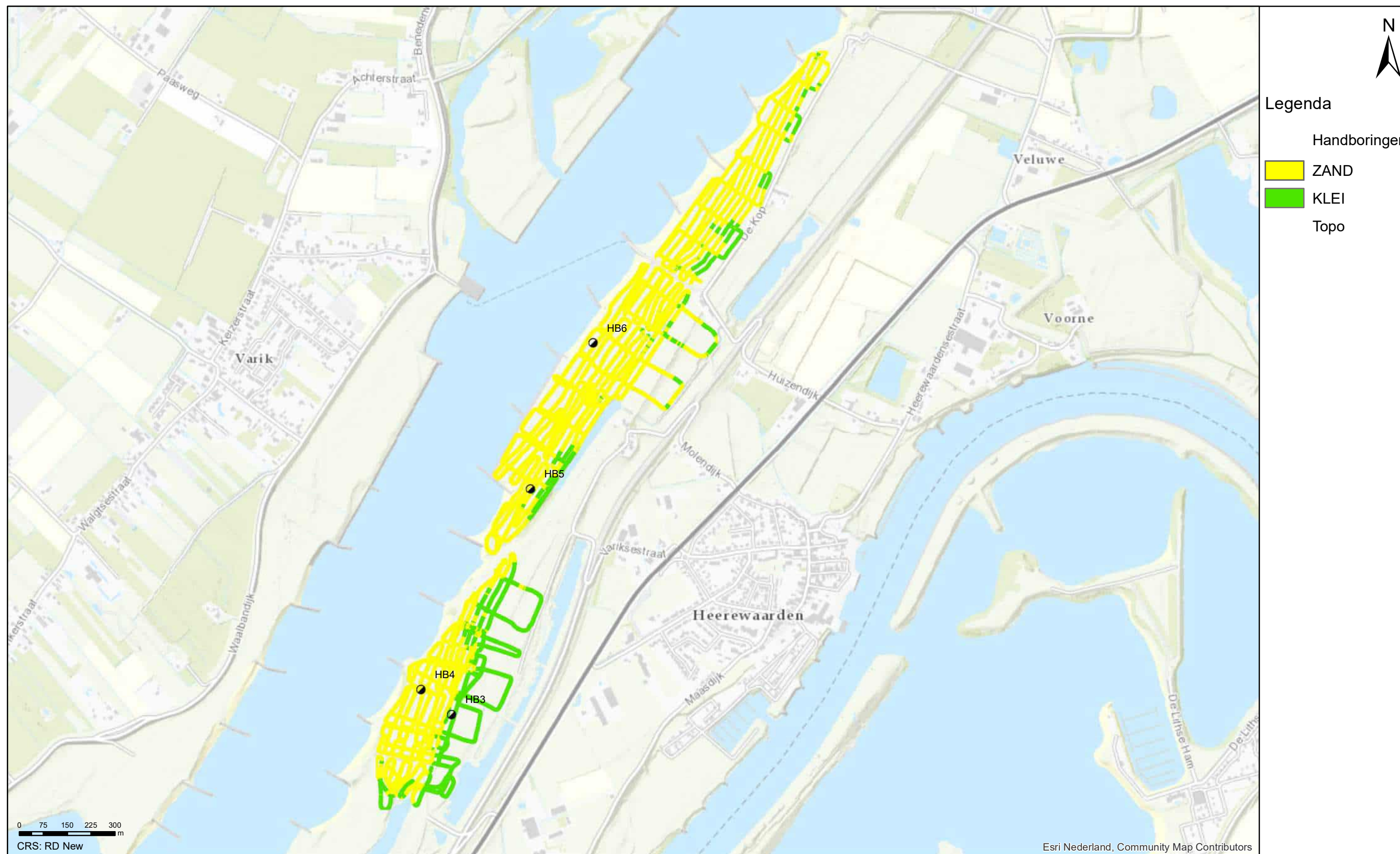
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 1.25 - 1.50 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-6



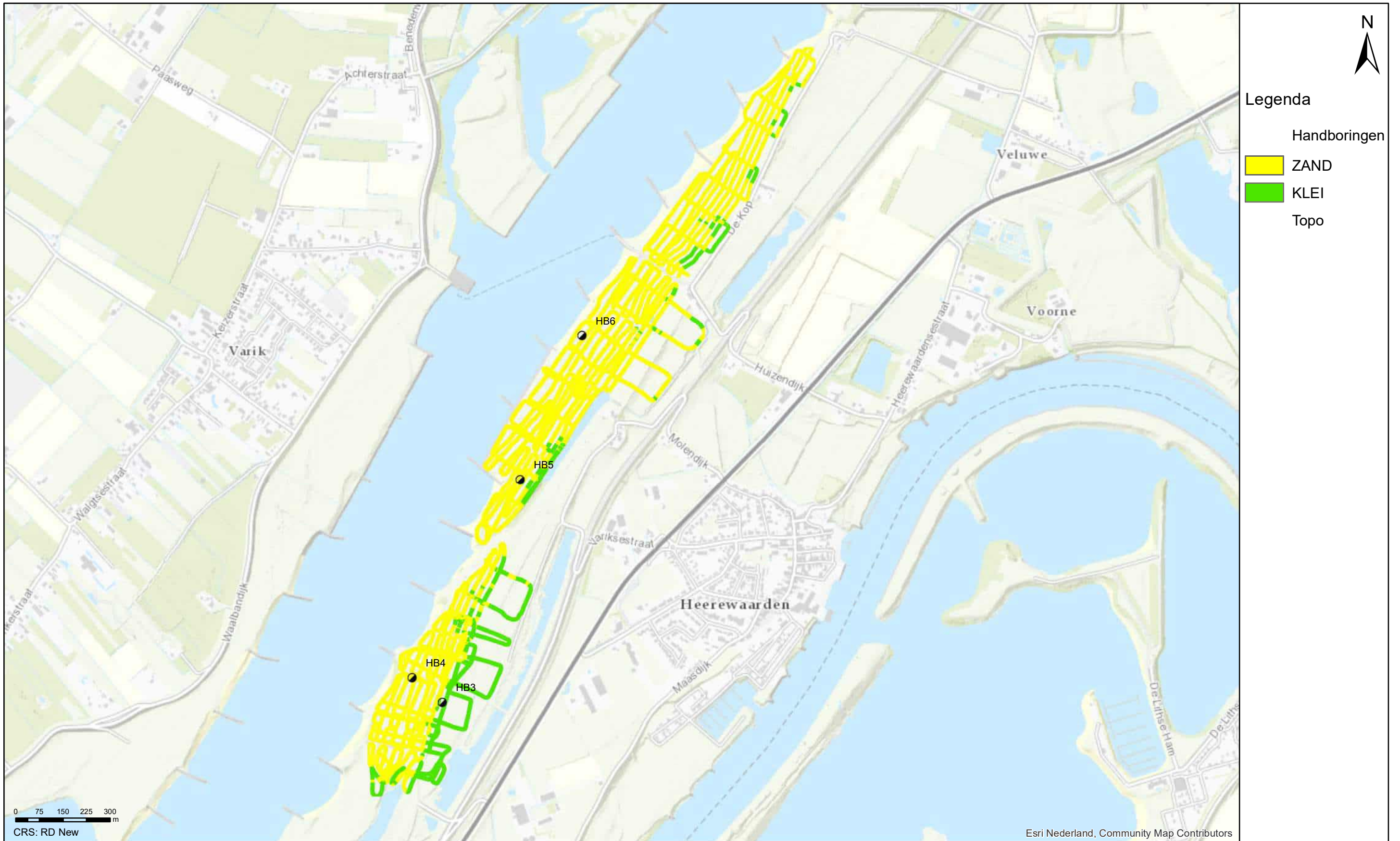
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 1.50 - 1.75 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-7



Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 1.75 - 2.00 m -MV

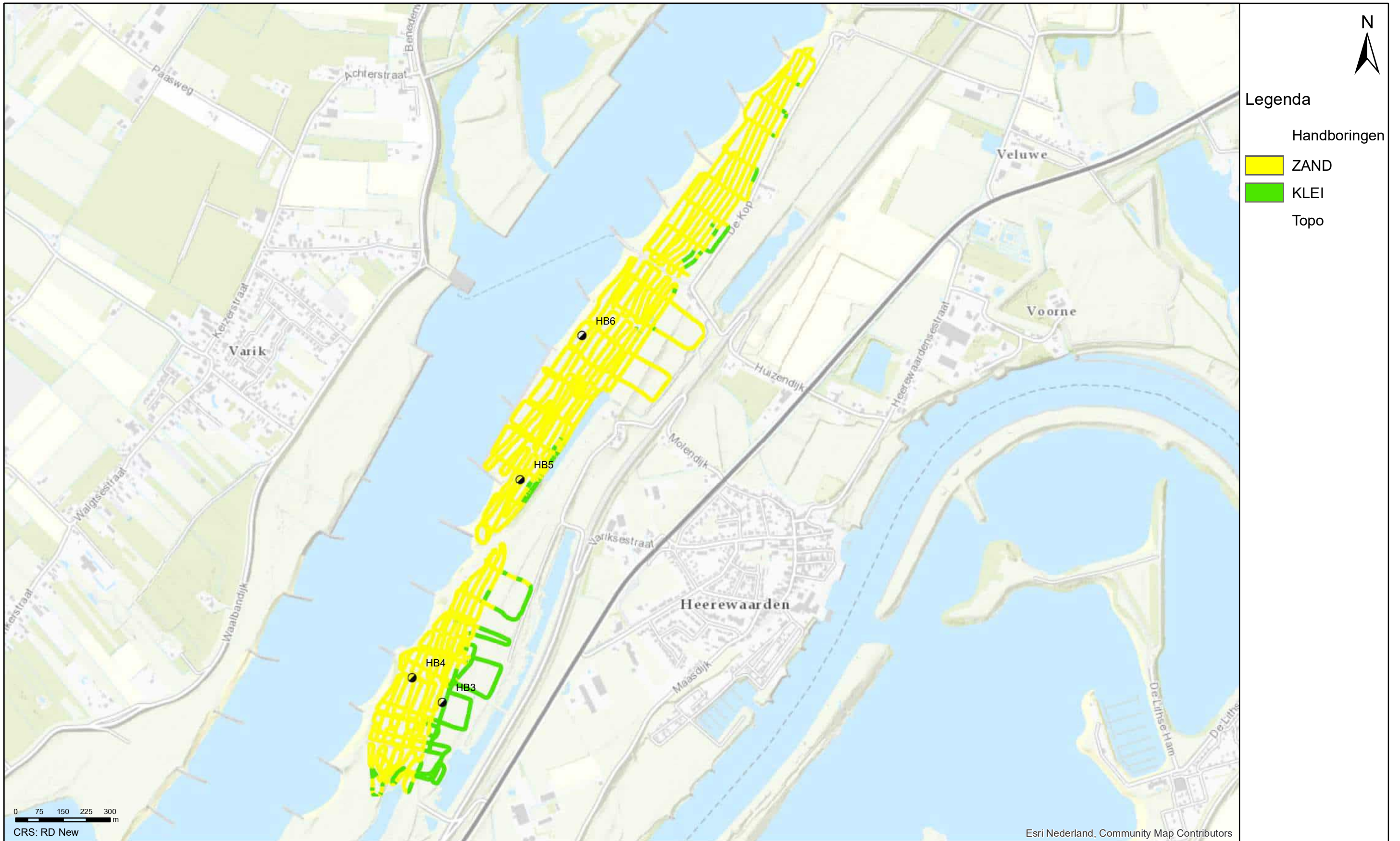
Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-8

Gclassificeerde EM data tussen 2.00 - 2.25 m -MV
Heerewwaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-2-9



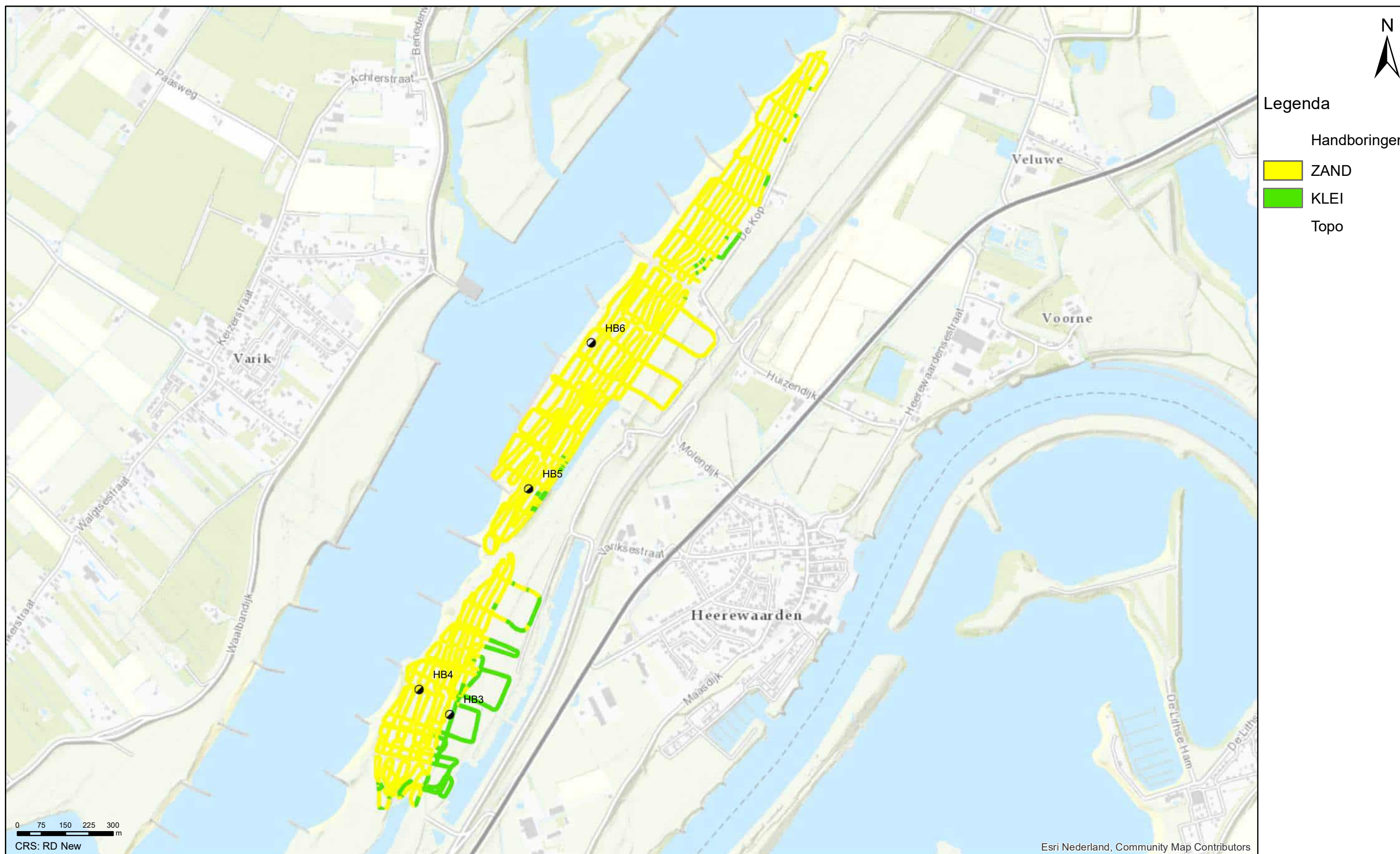
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 2.25 - 2.50 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-10



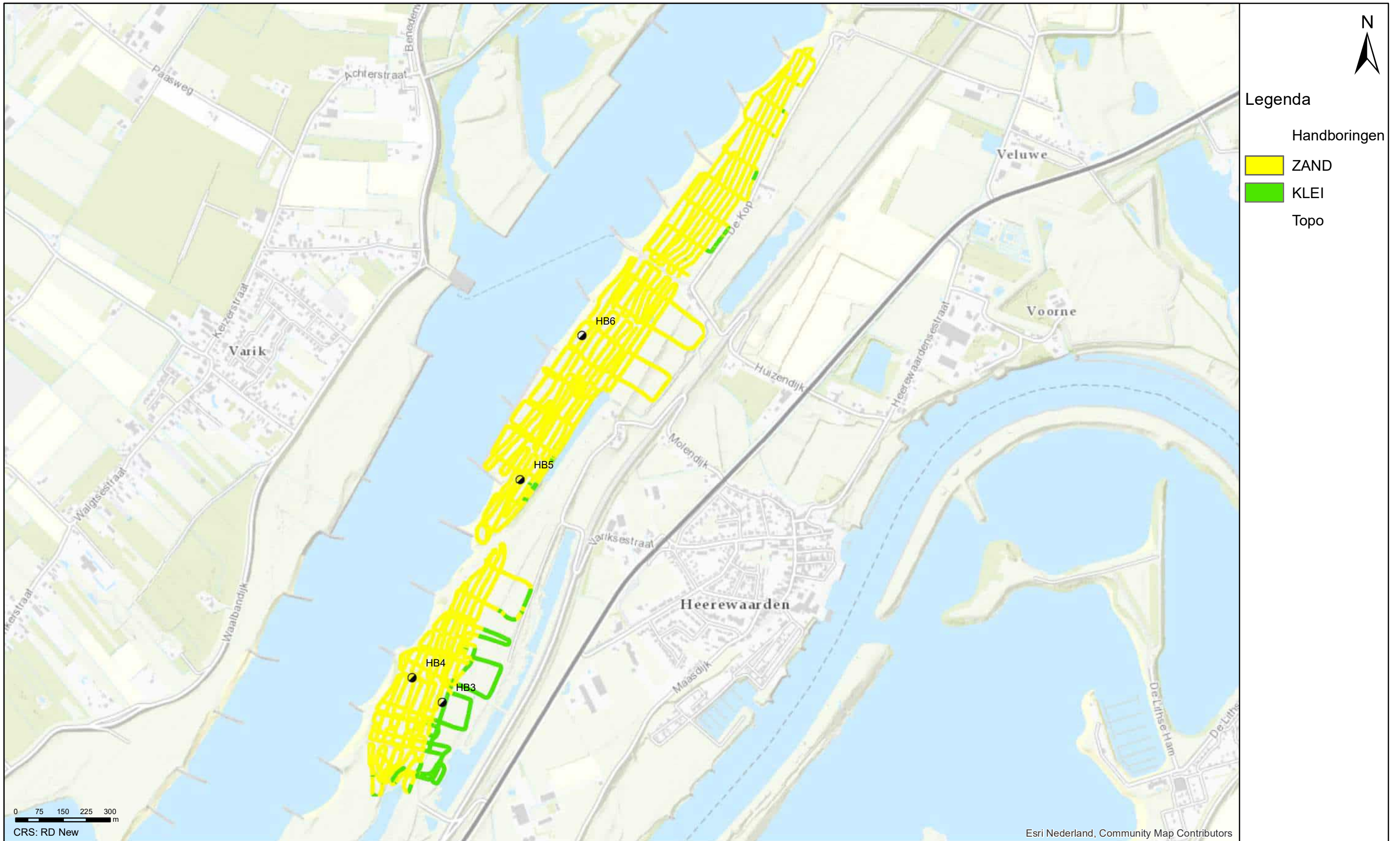
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 2.50 - 2.75 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-11



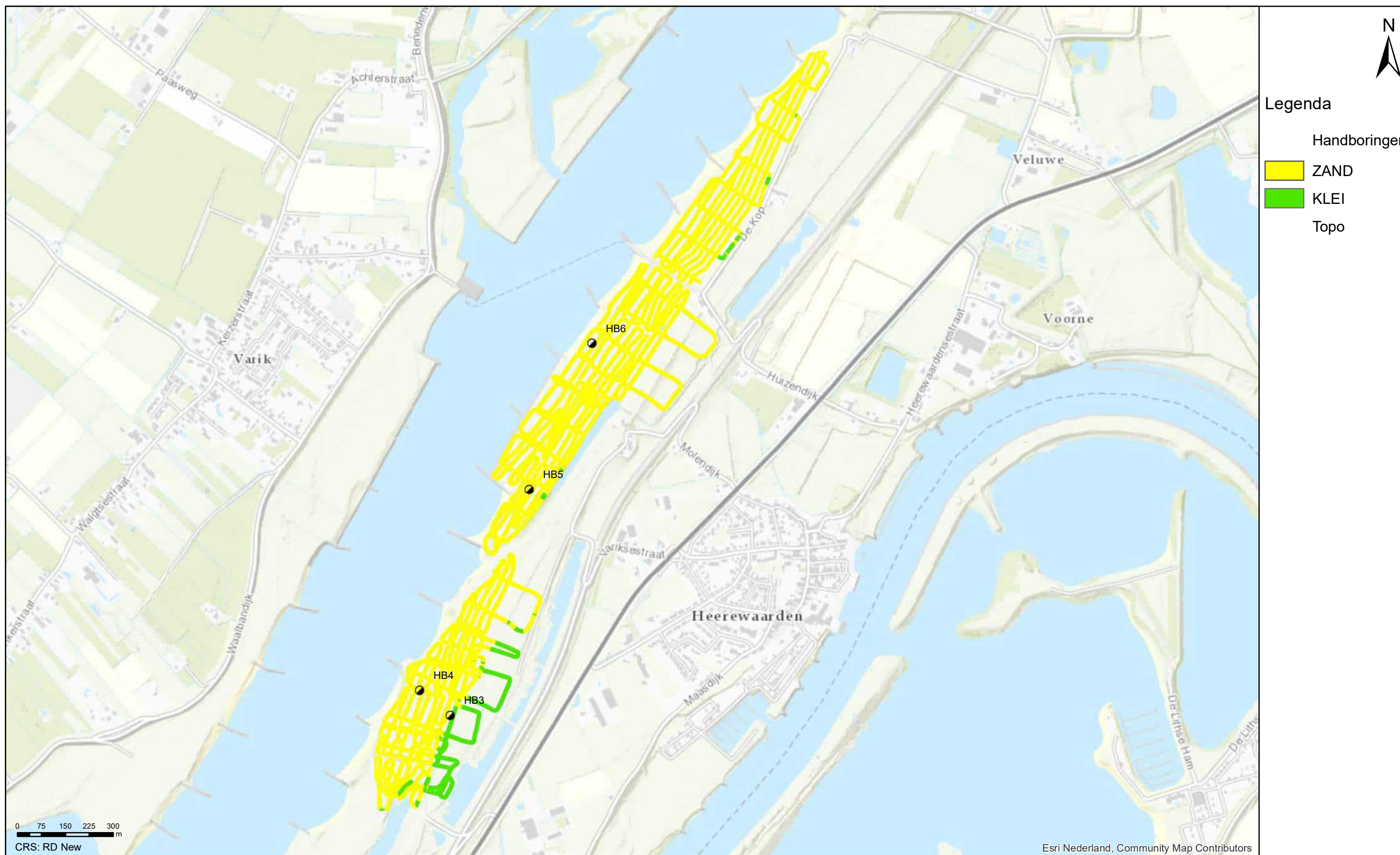
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 2.75 - 3.00 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-12

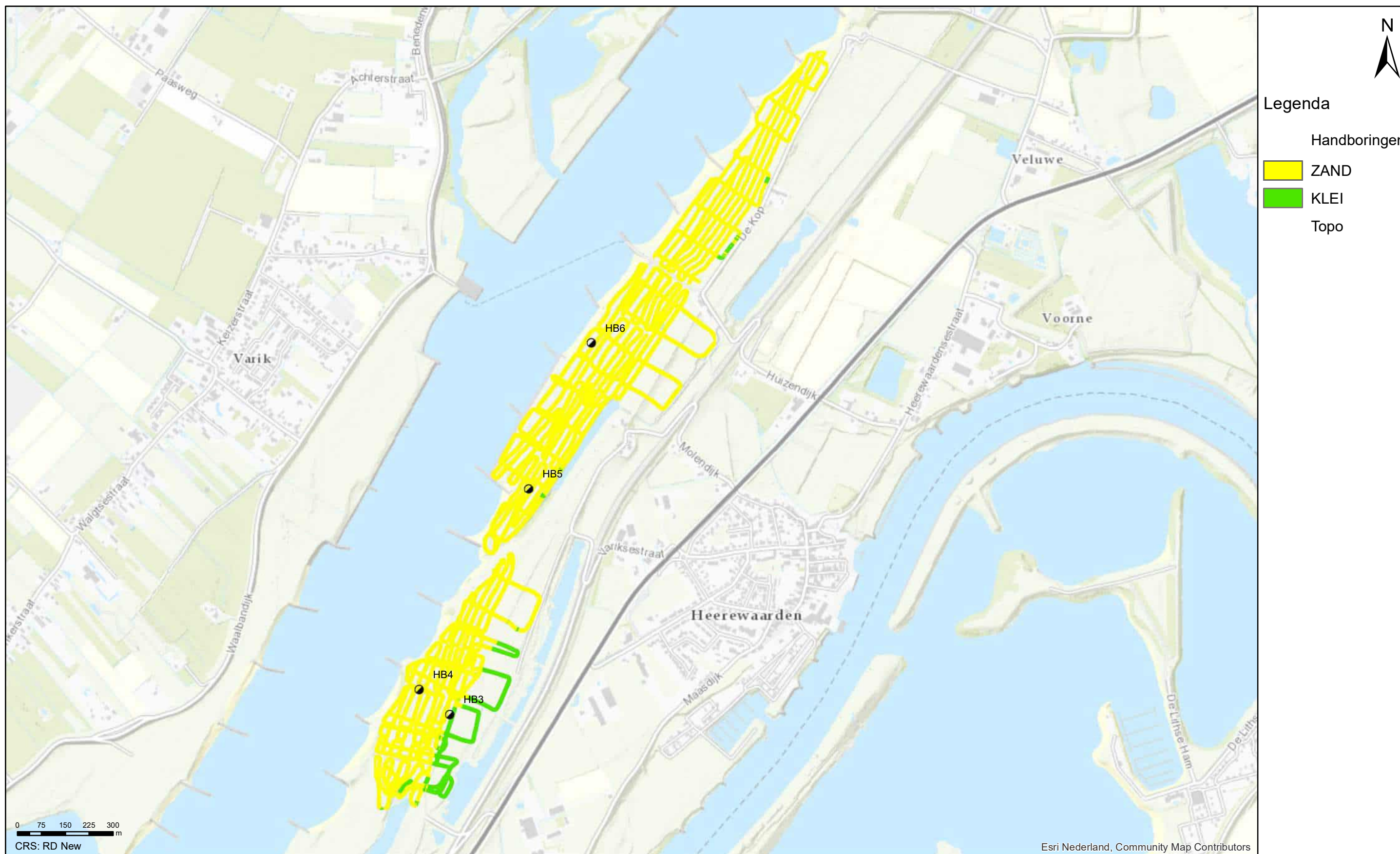


Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 3.00 - 3.25 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-2-13



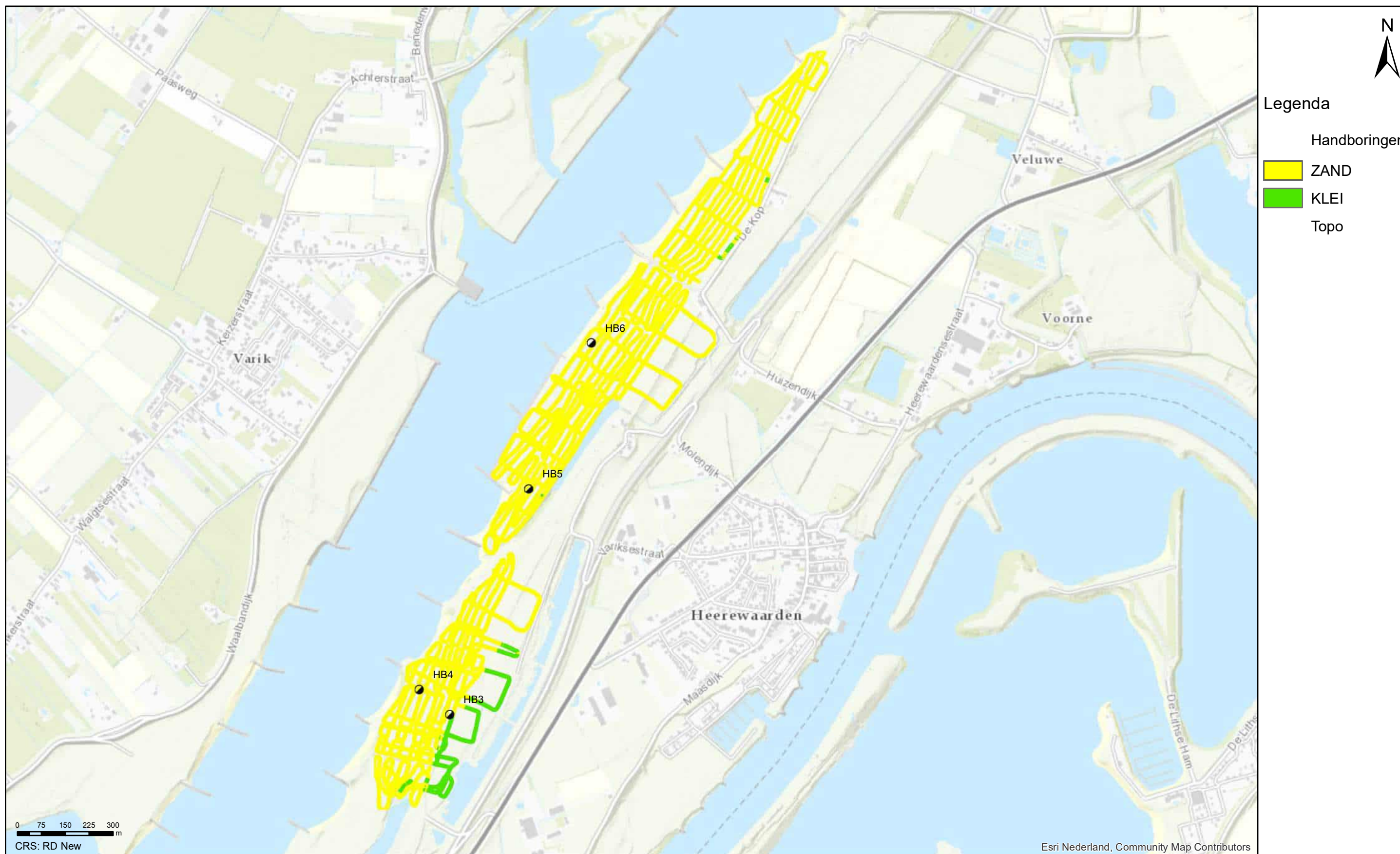
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 3.25 - 3.50 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-14



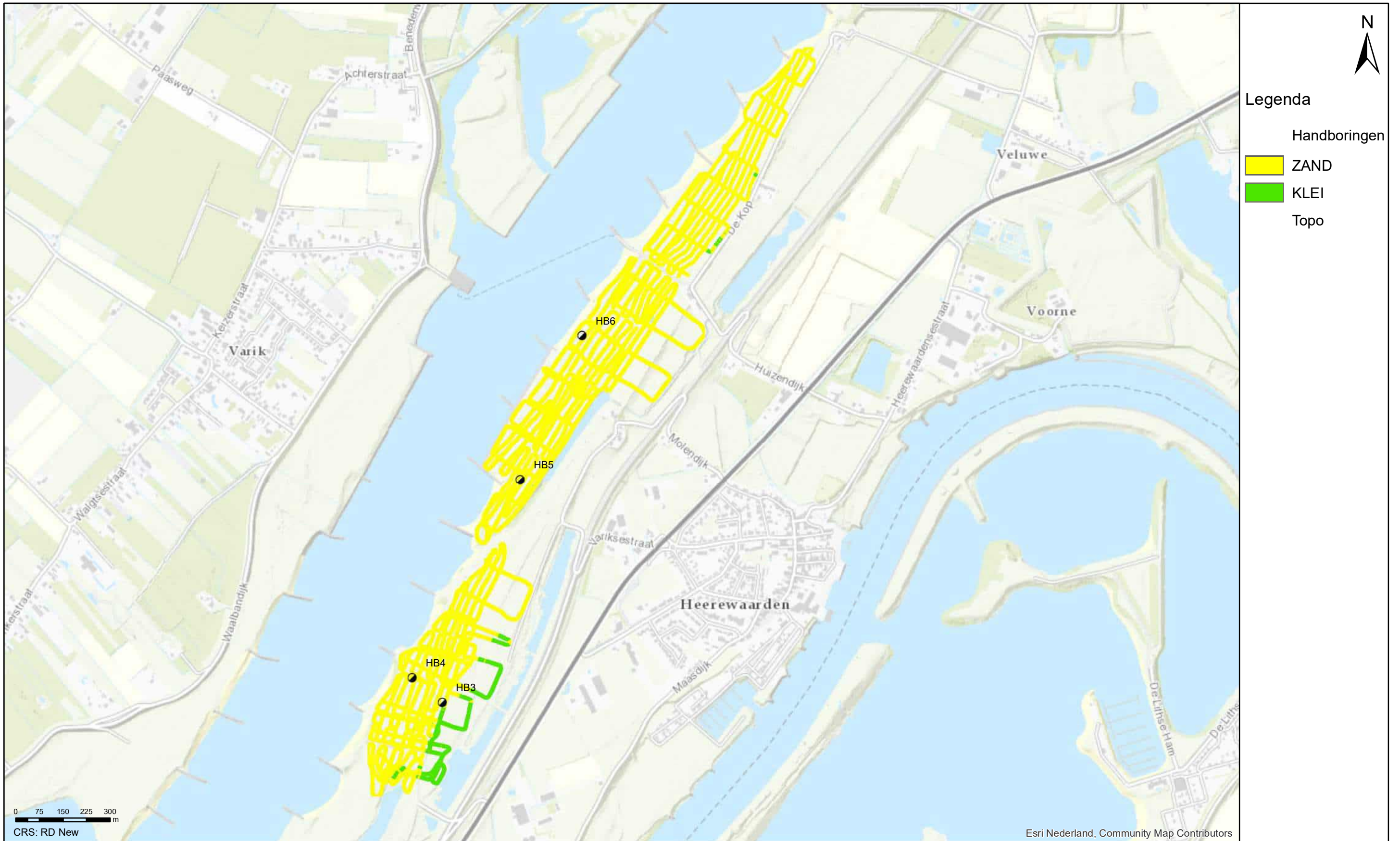
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 3.50 - 3.75 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-15



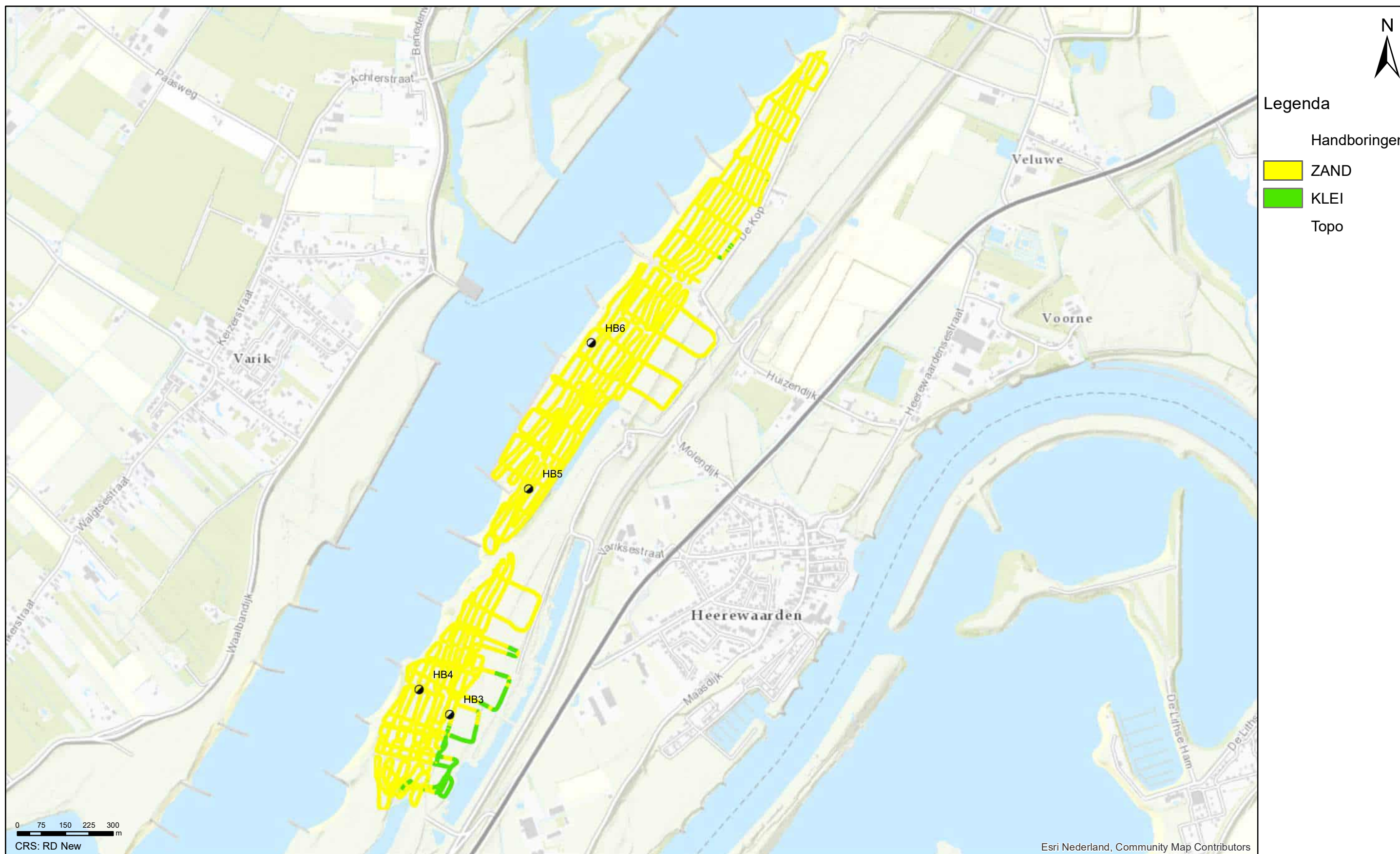
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 3.75 - 4.00 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-16



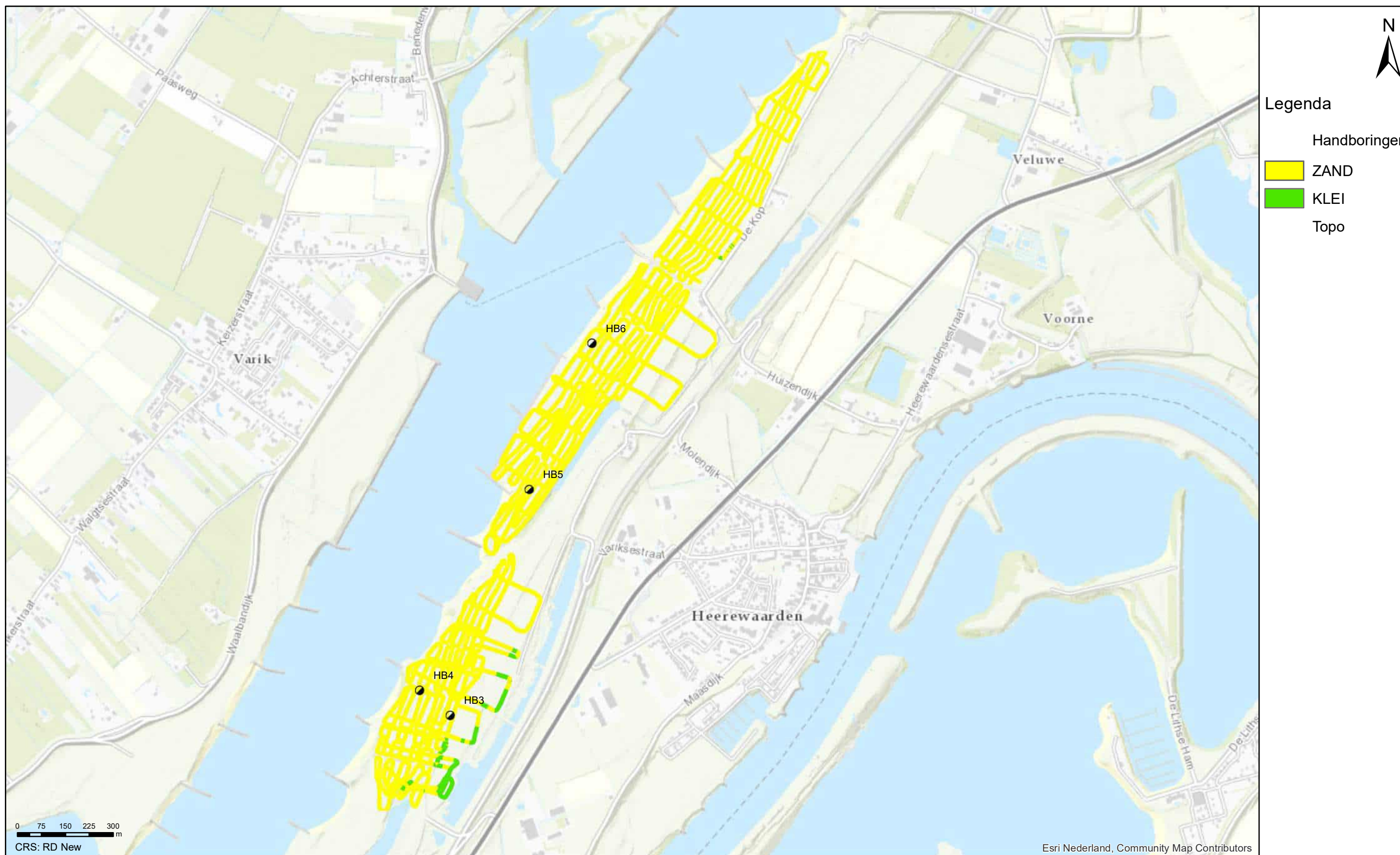
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 4.00 - 4.25 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-17

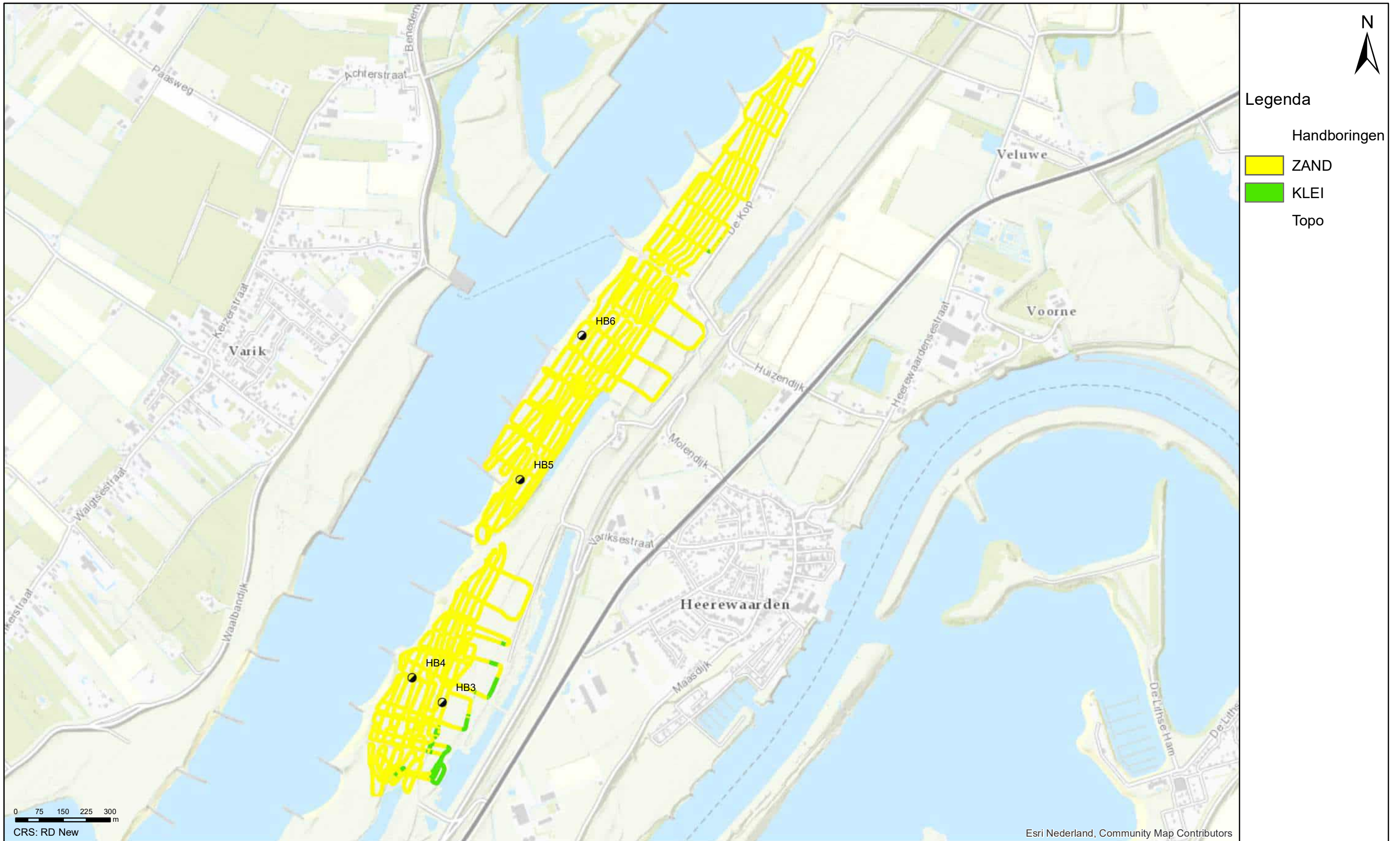


Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 4.25 - 4.50 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-2-18



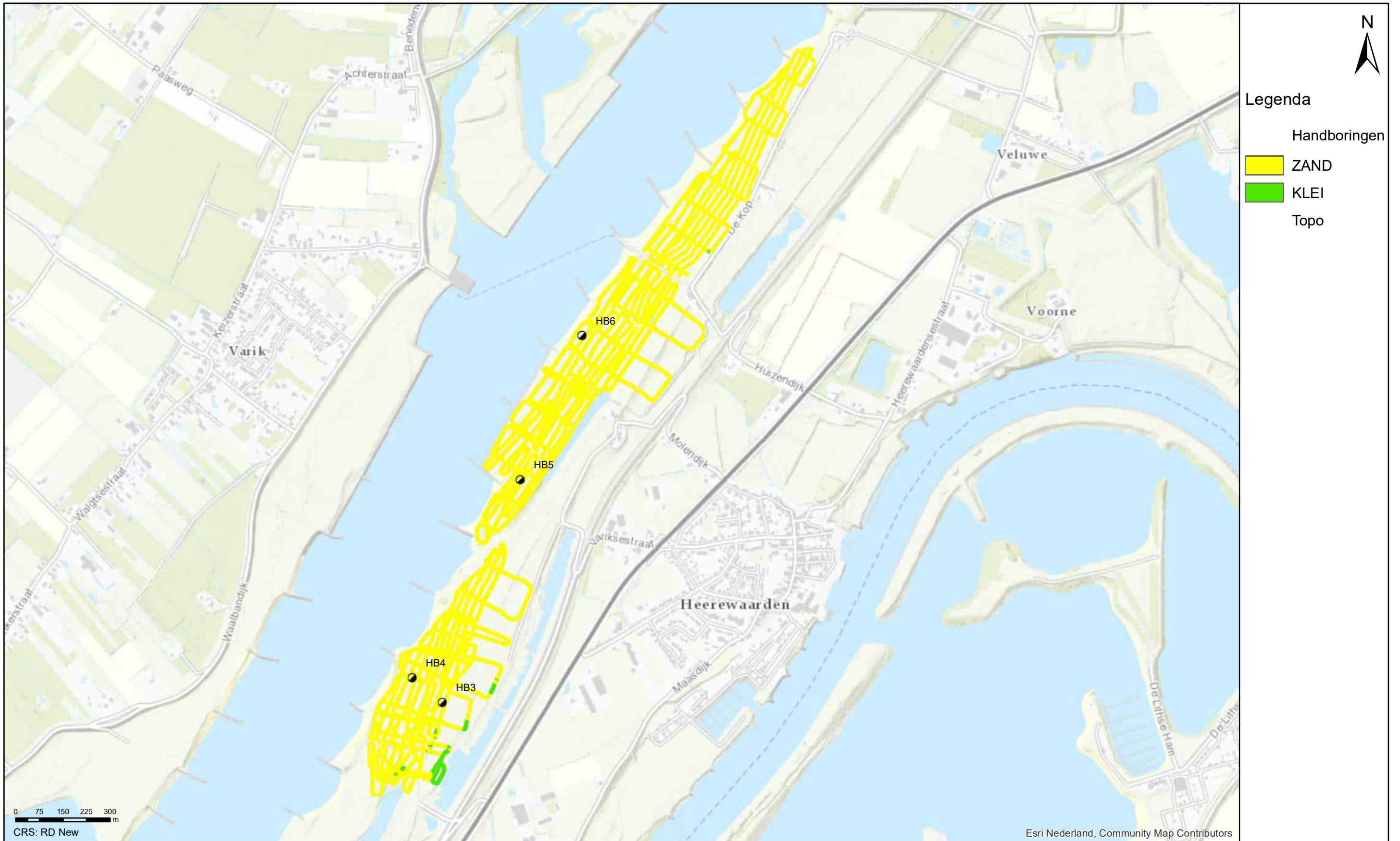
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 4.50 - 4.75 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-19



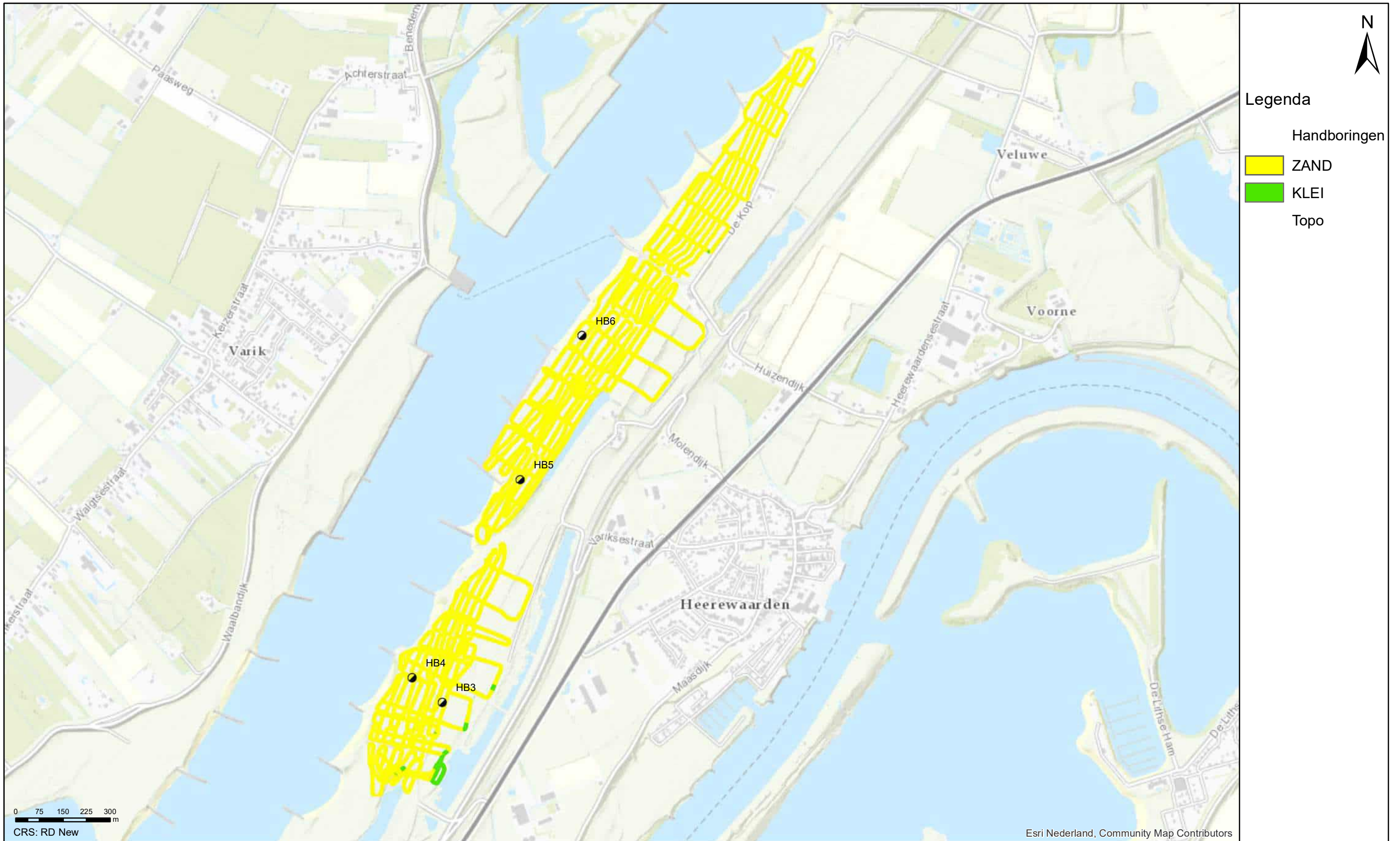
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 4.75 - 5.00 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-20



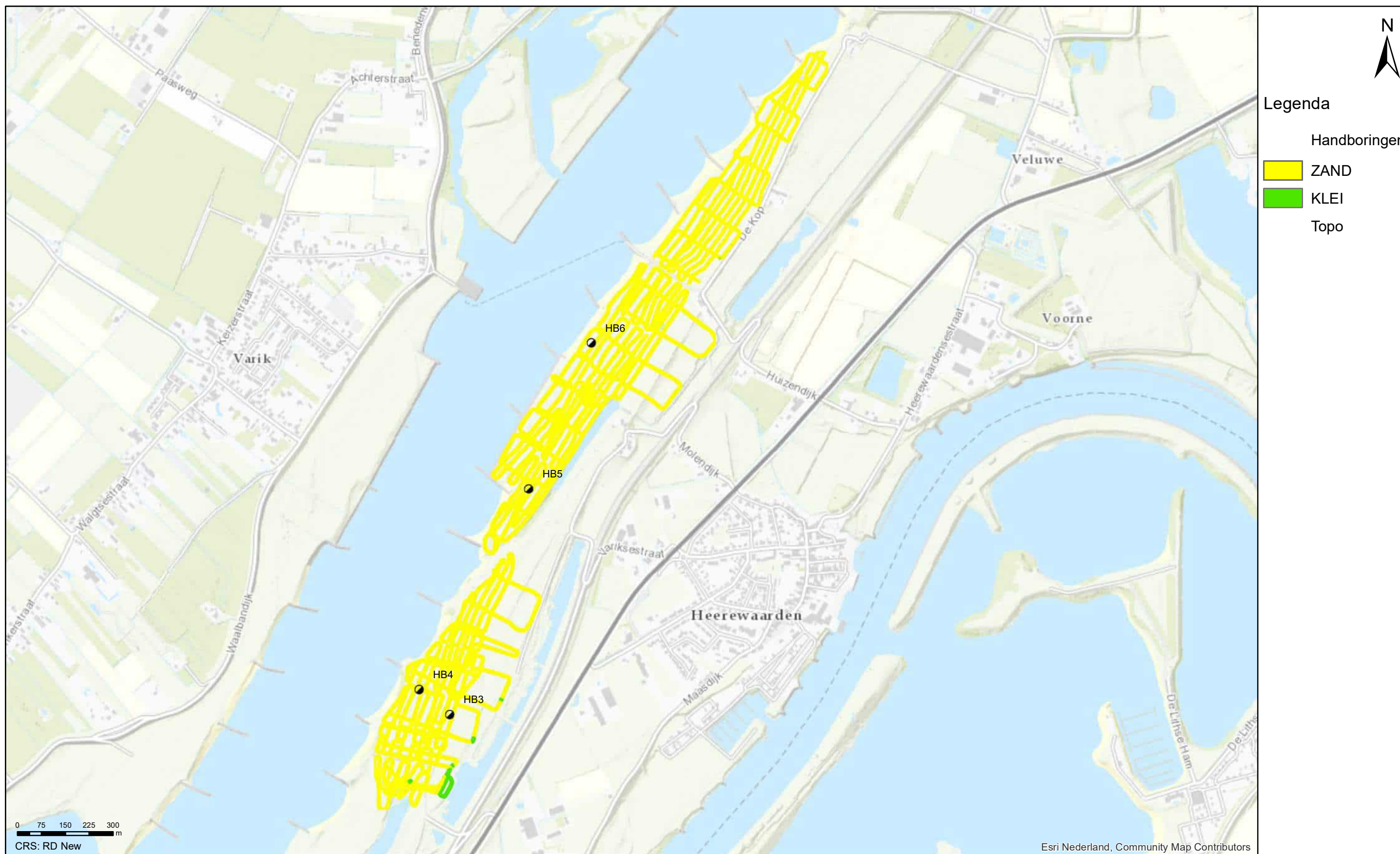
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 5.00 - 5.25 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-21



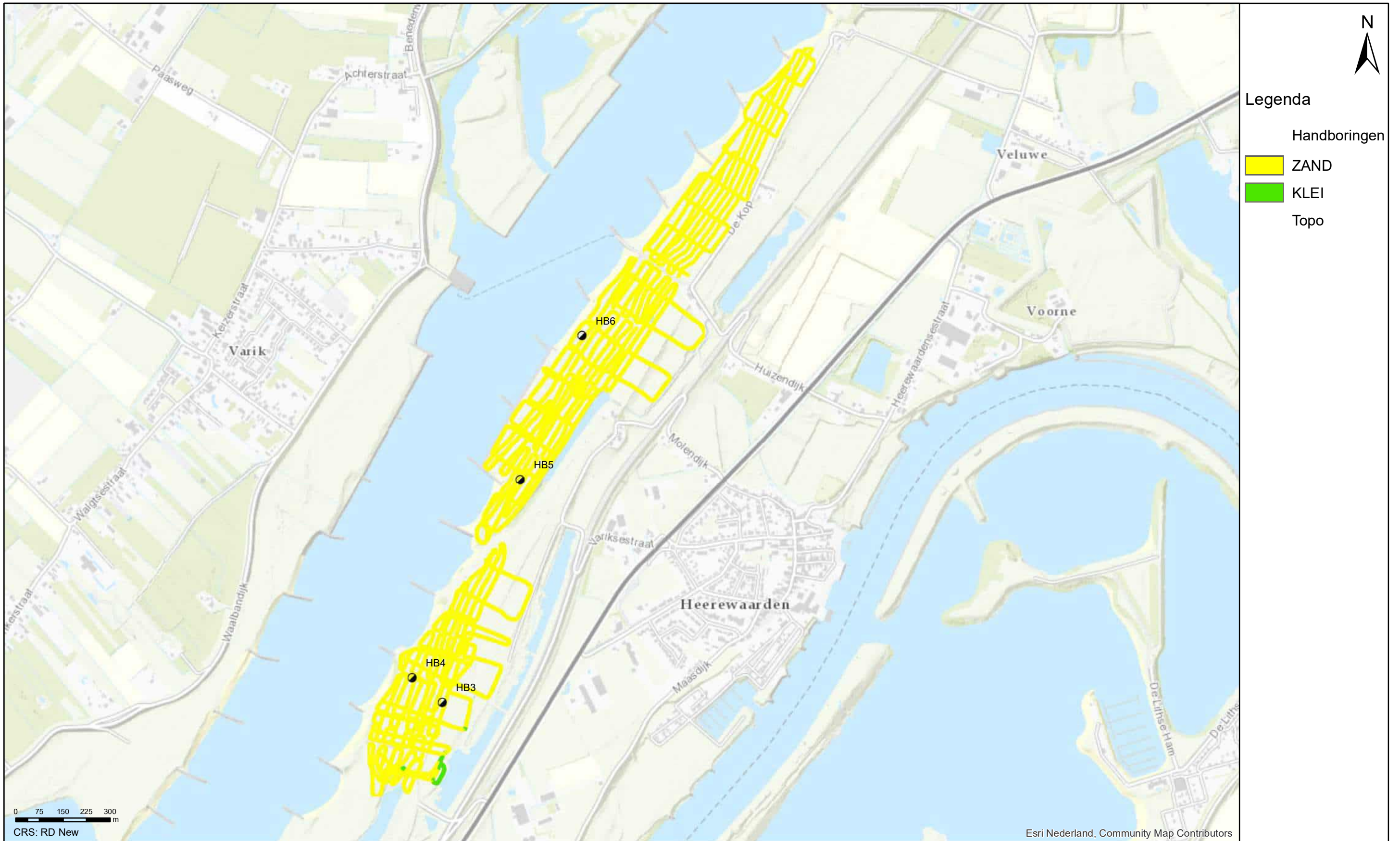
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 5.25 - 5.50 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-22



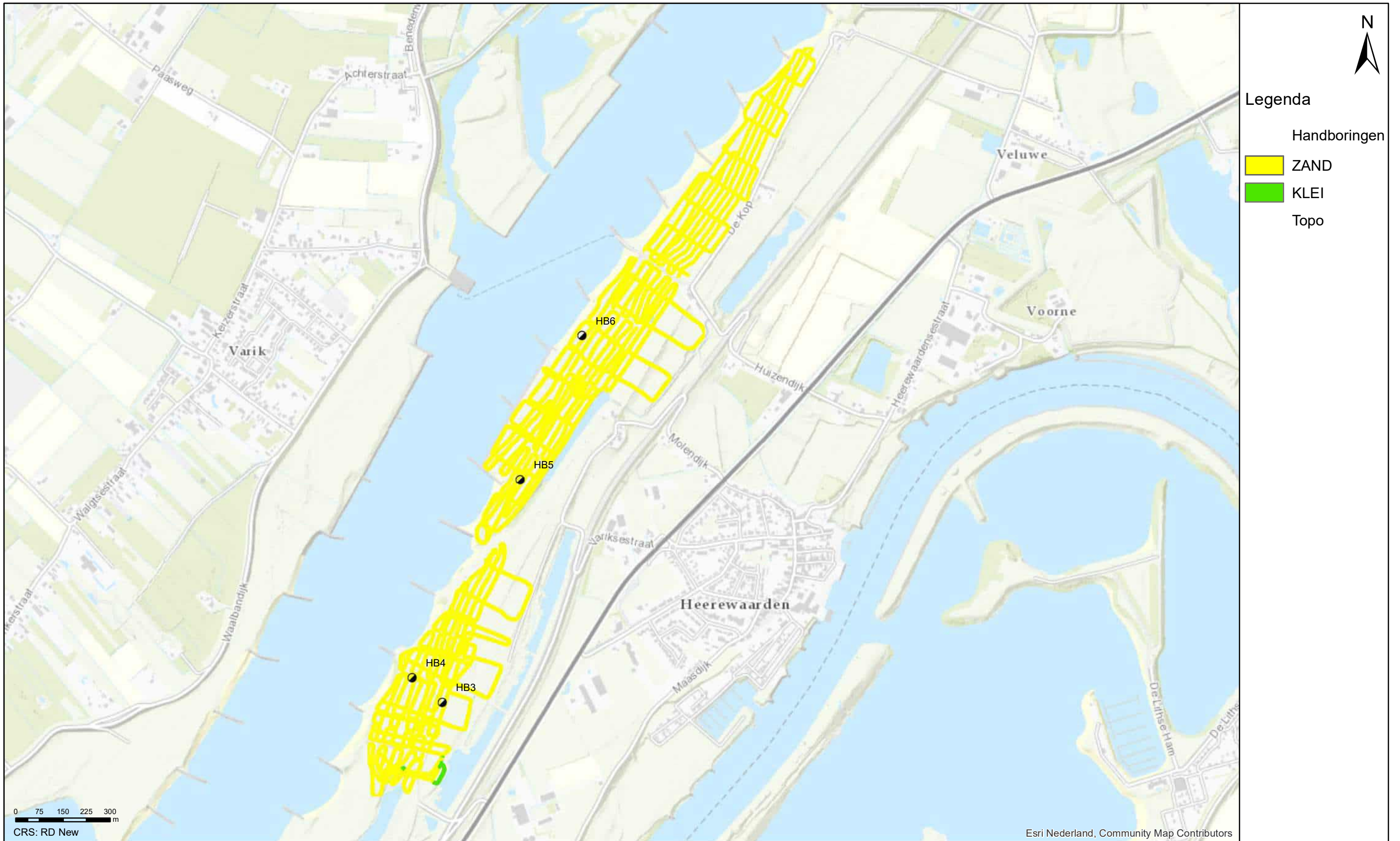
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 5.50 - 5.75 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-23



Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 5.75 - 6.00 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-24



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.00 - 0.25 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-1



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.25 - 0.50 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-2



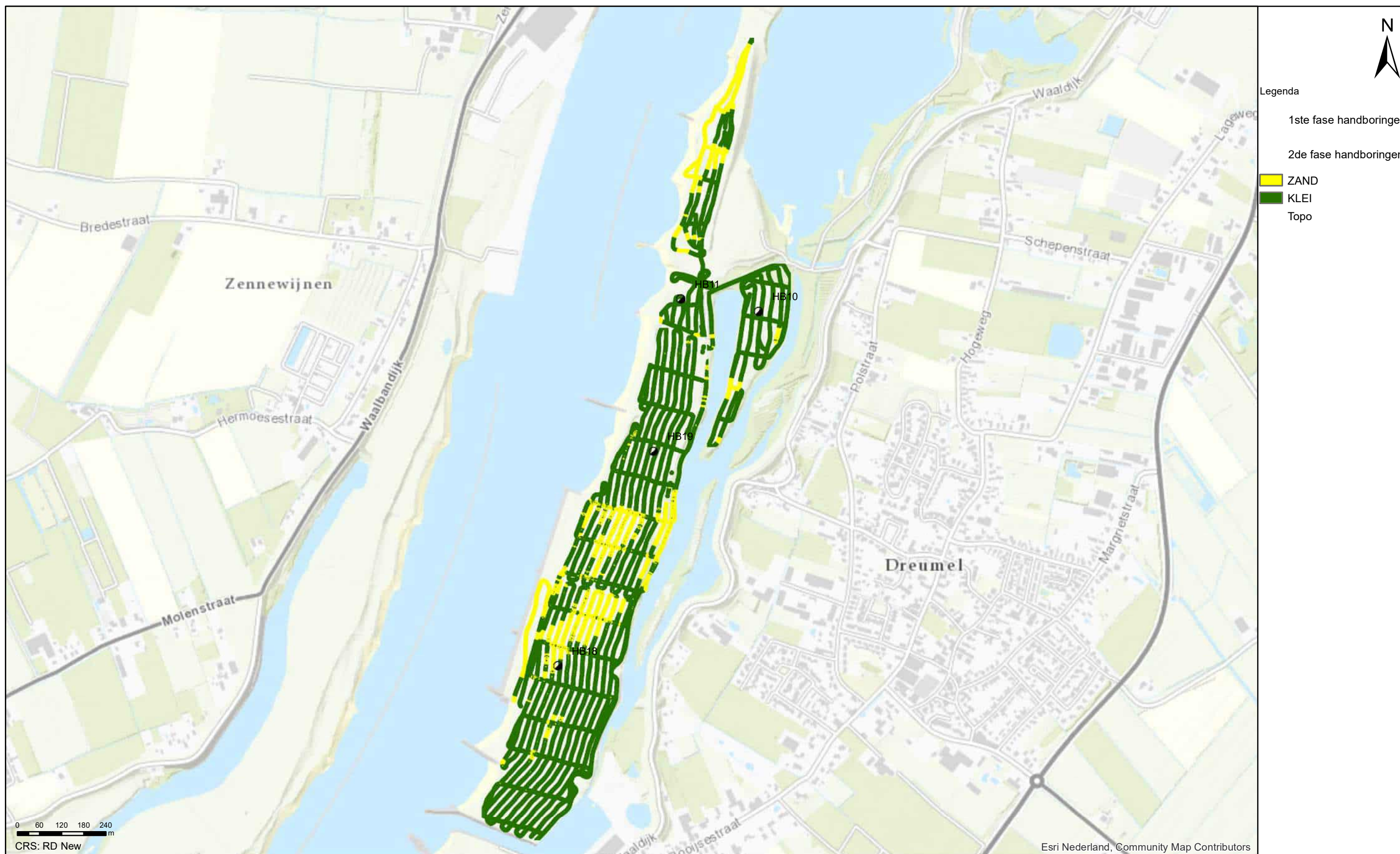
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.50 - 0.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-3



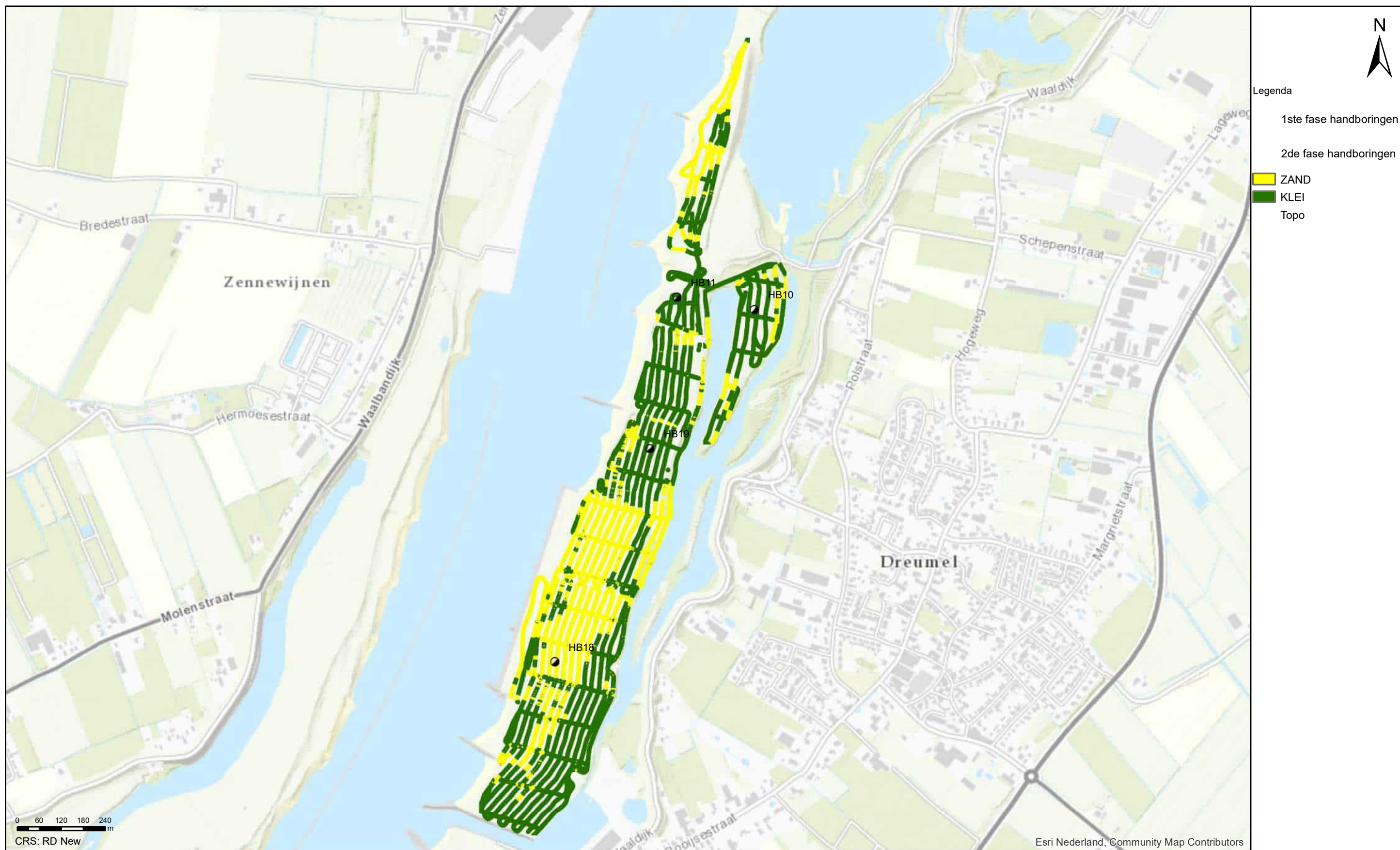
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.75 - 1.00 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-4

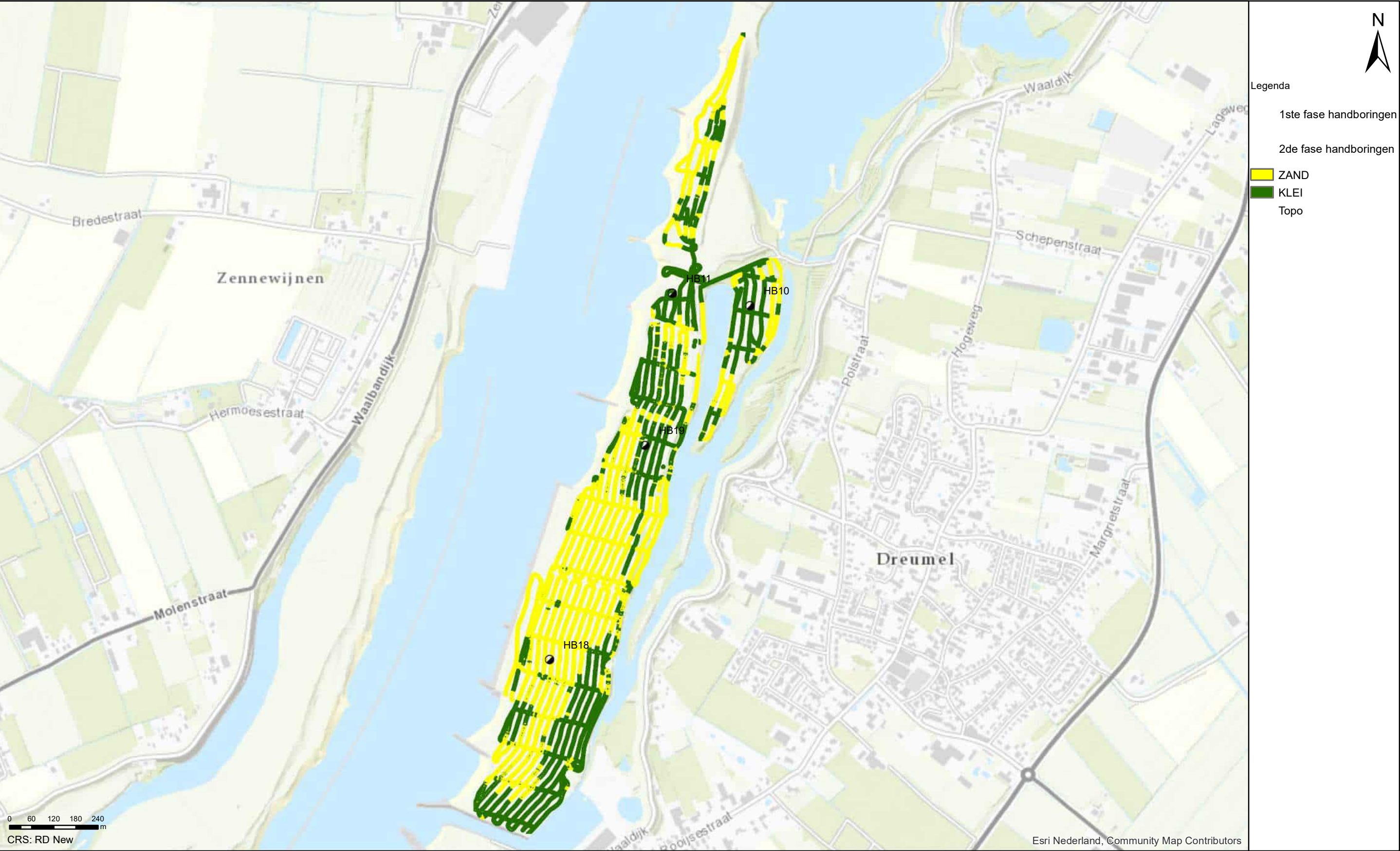


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.00 - 1.25 m -MV

Dreumel

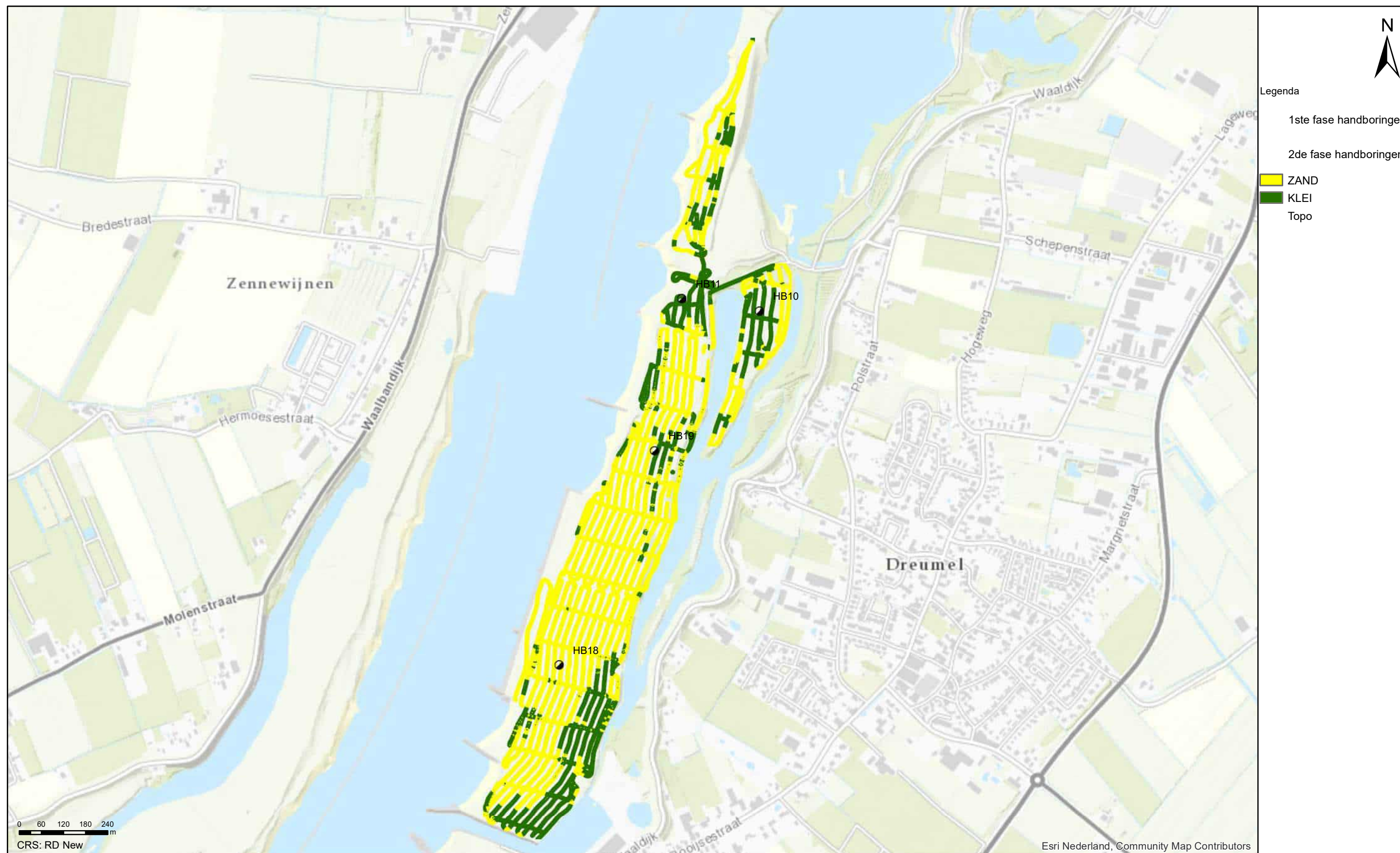
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-5



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.25 - 1.50 m -MV
Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-6



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.50 - 1.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-7



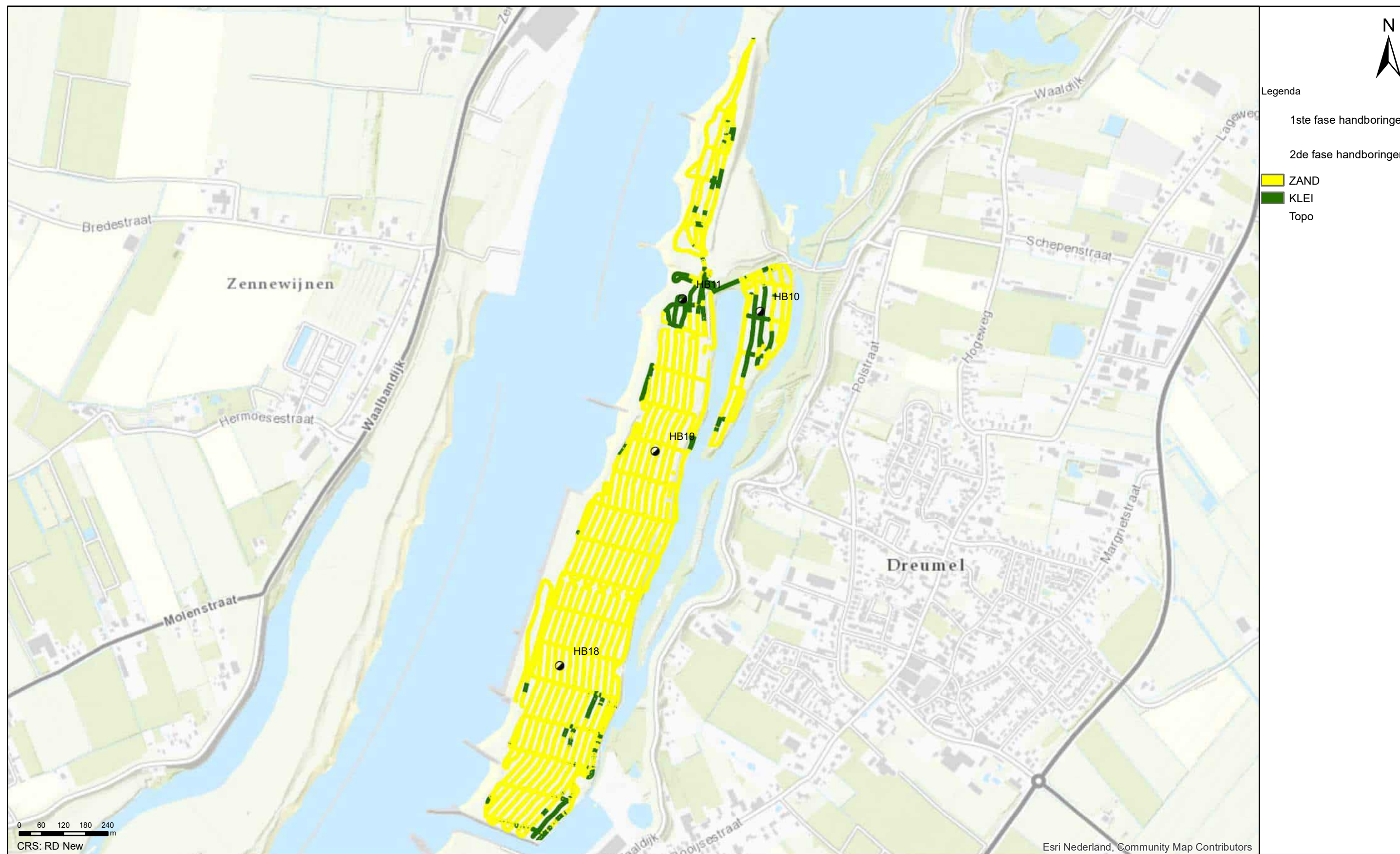
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.75 - 2.00 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-8



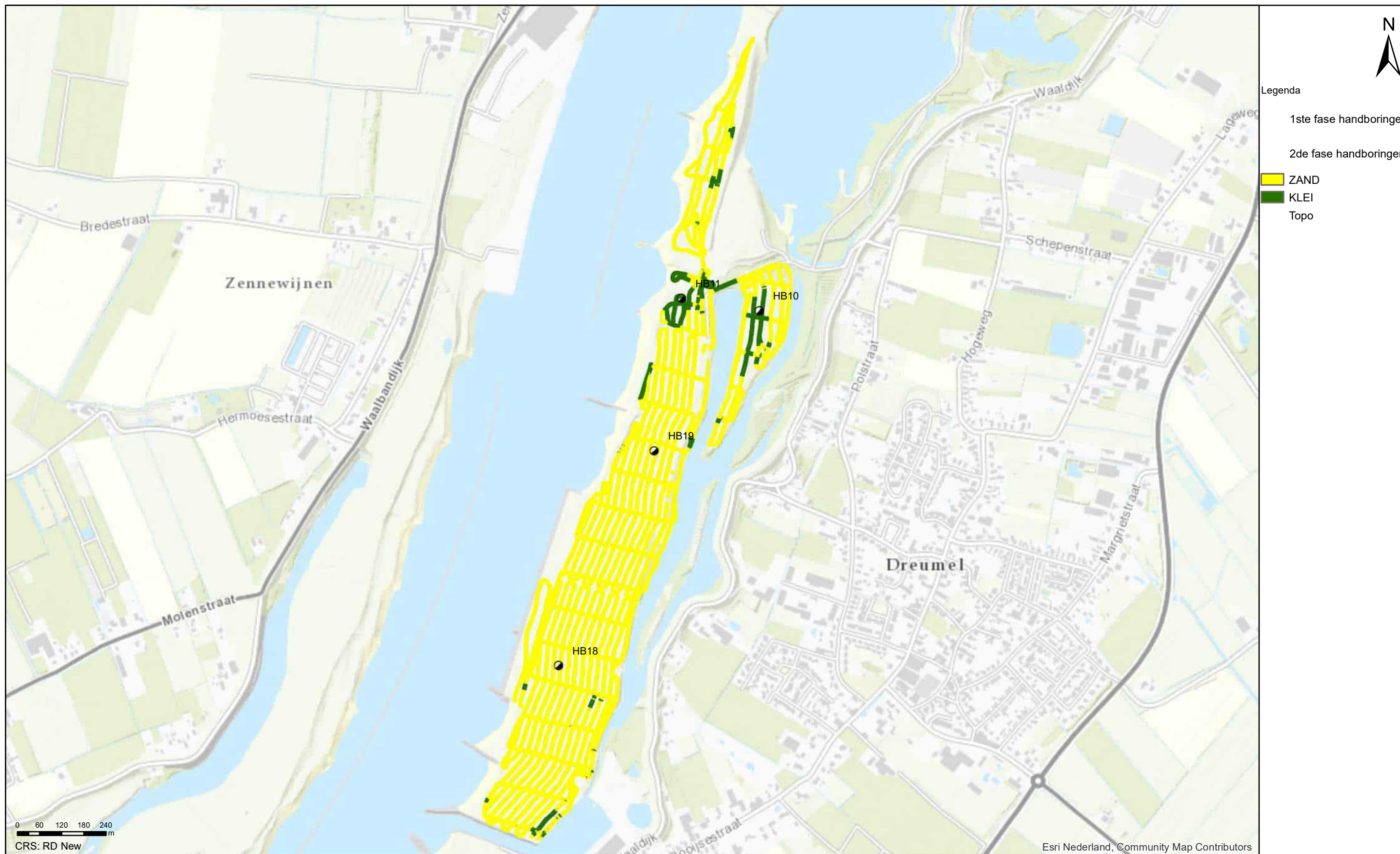
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.00 - 2.25 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-9

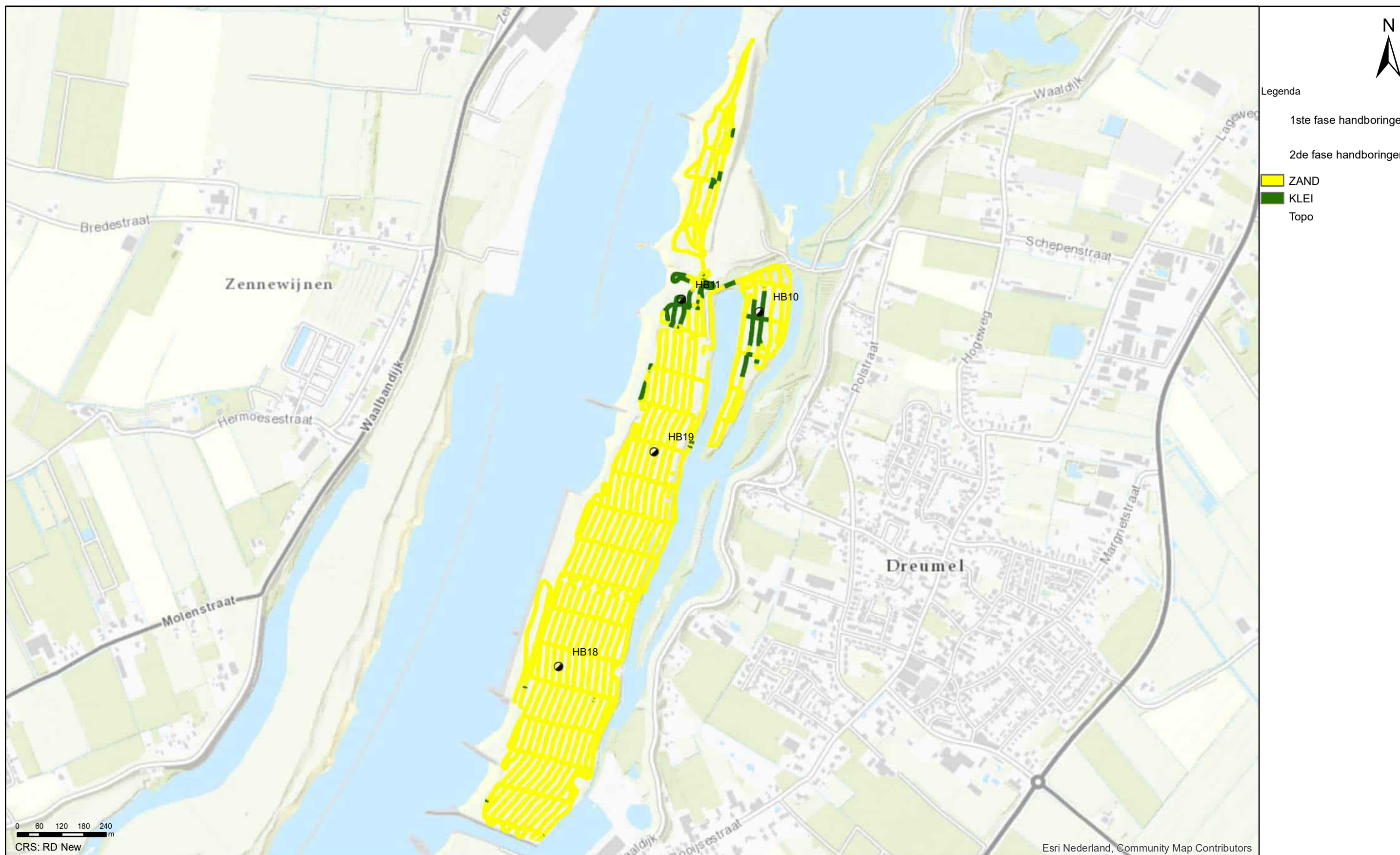


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.25 - 2.50 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-10



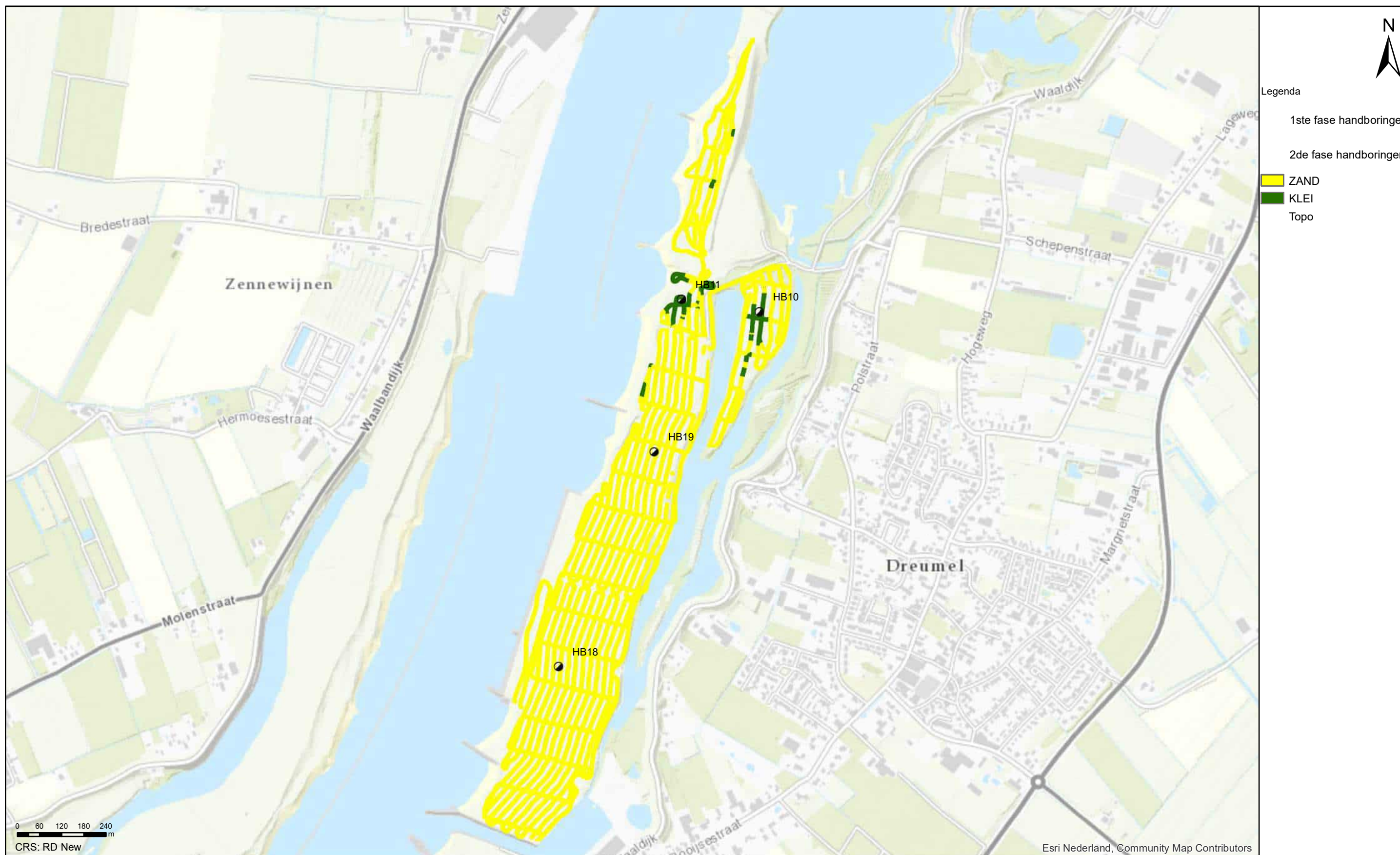
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.50 - 2.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-11

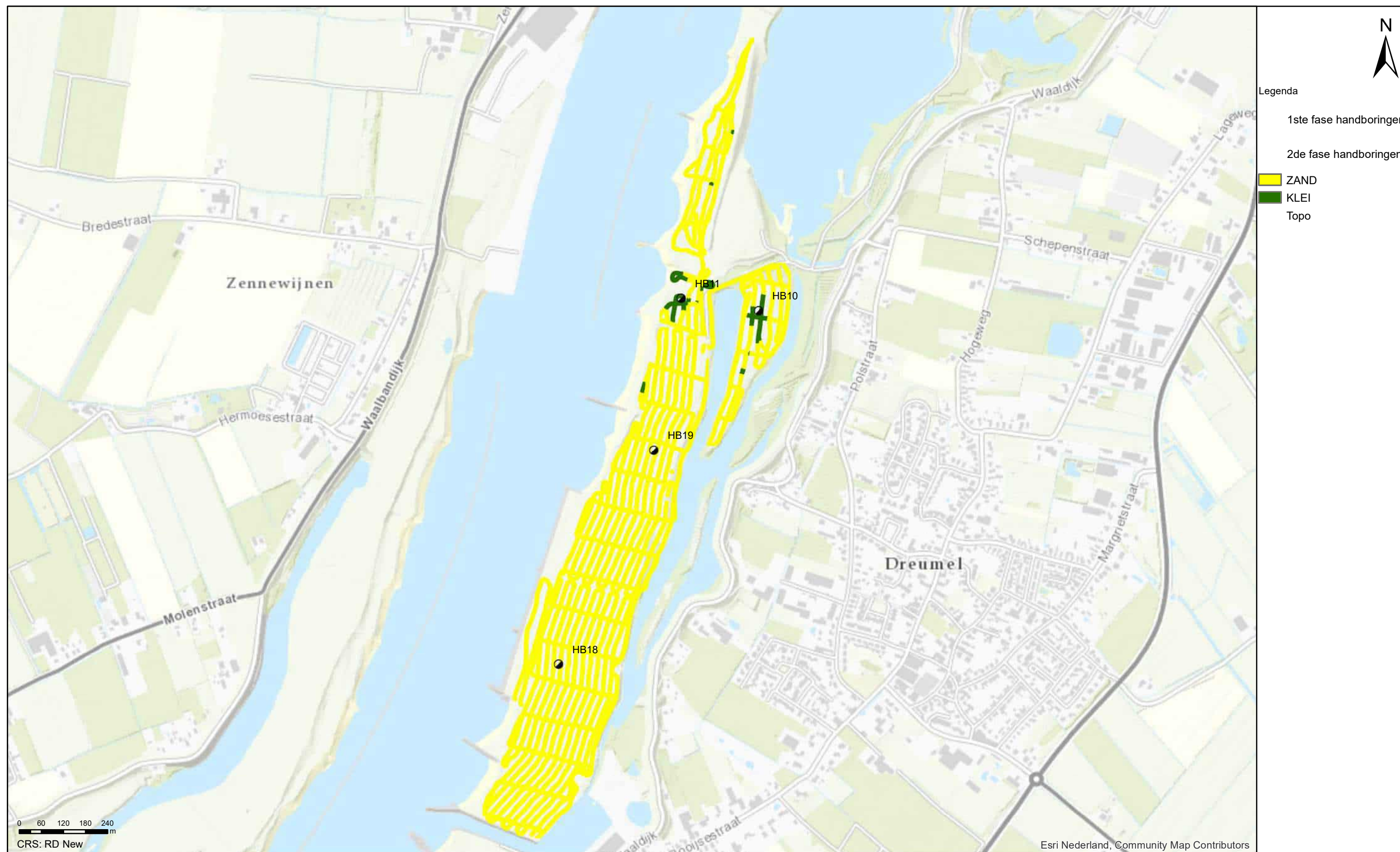


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.75 - 3.00 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-12



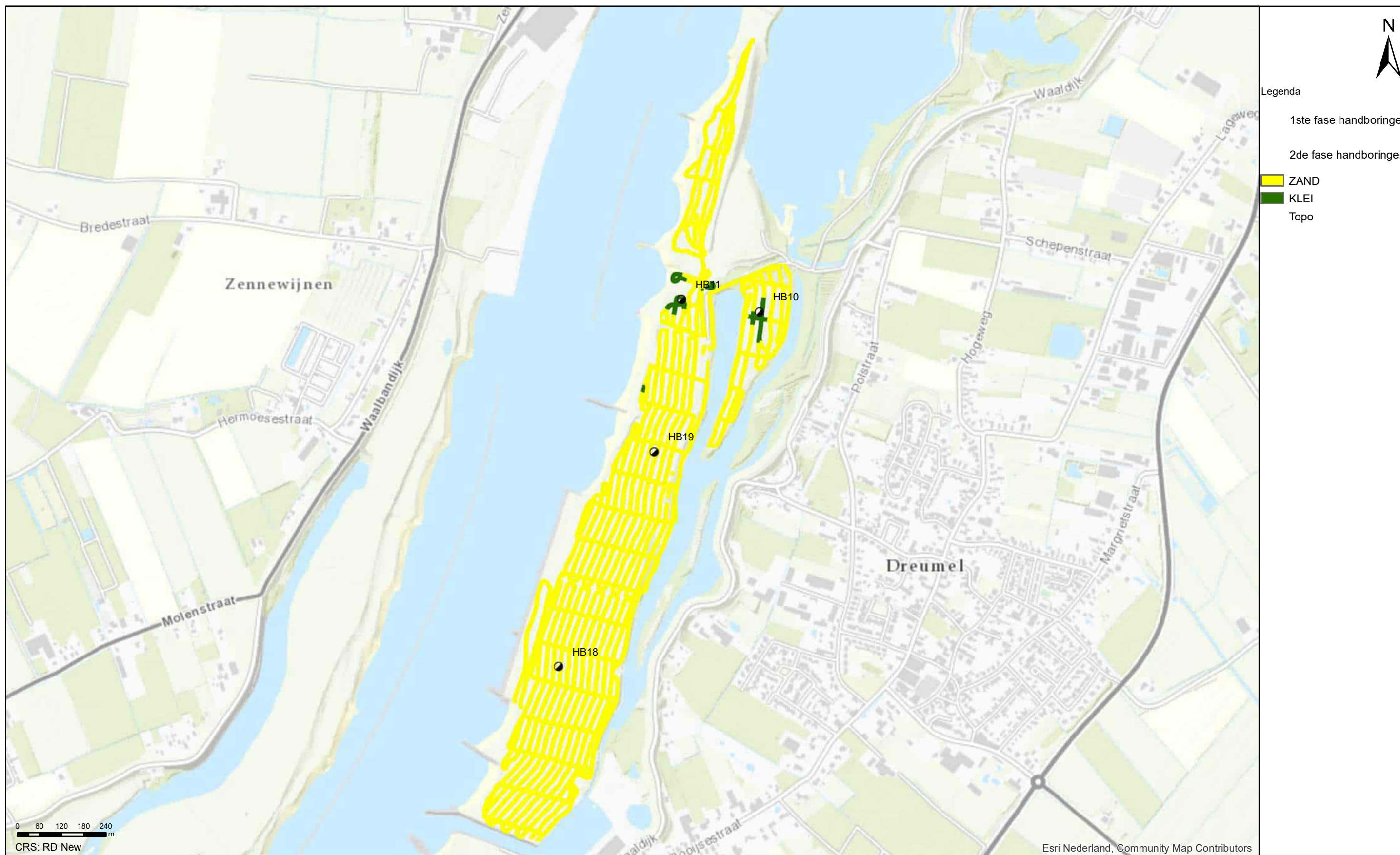
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.00 - 3.25 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-13

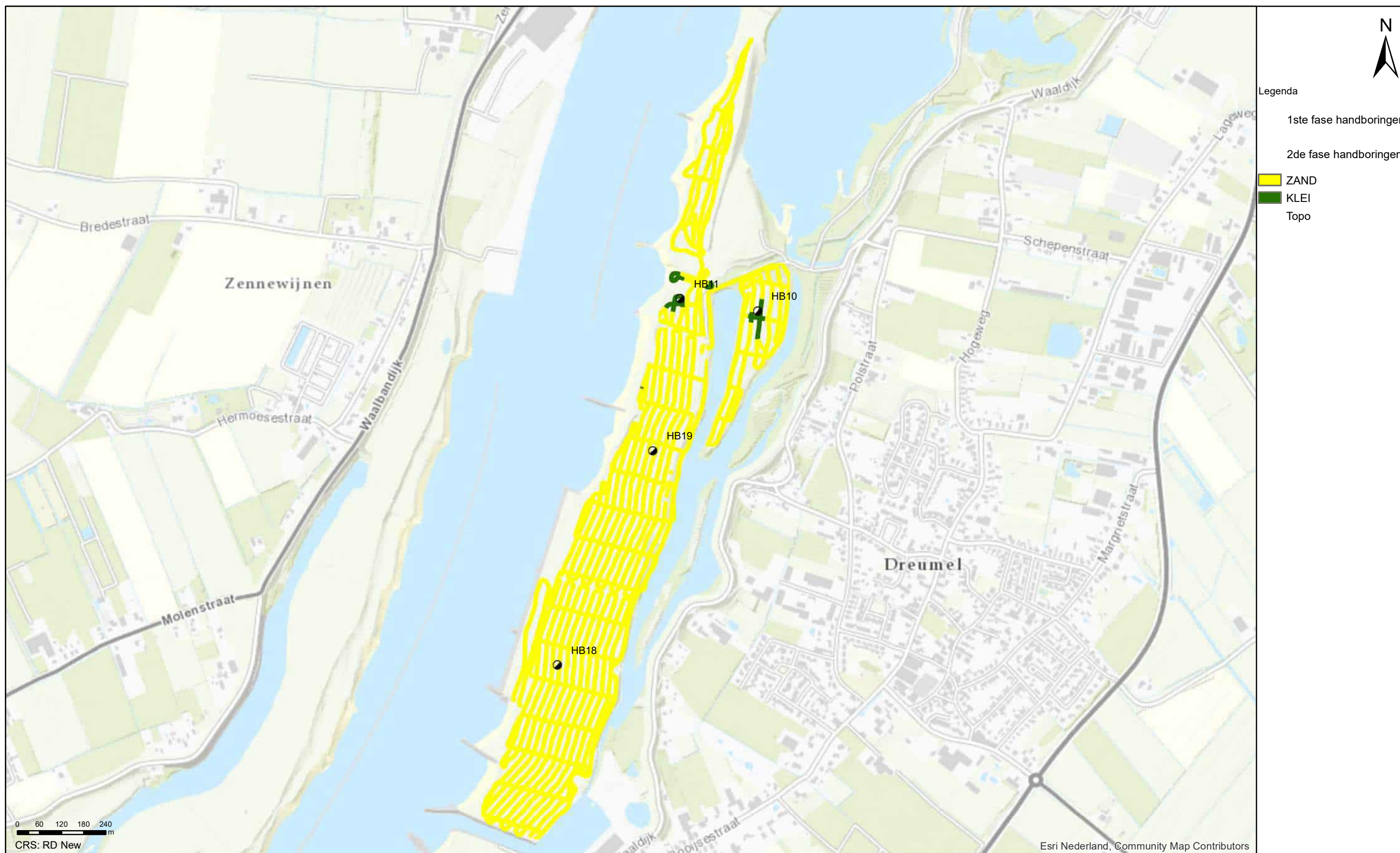


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.25 - 3.50 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-14

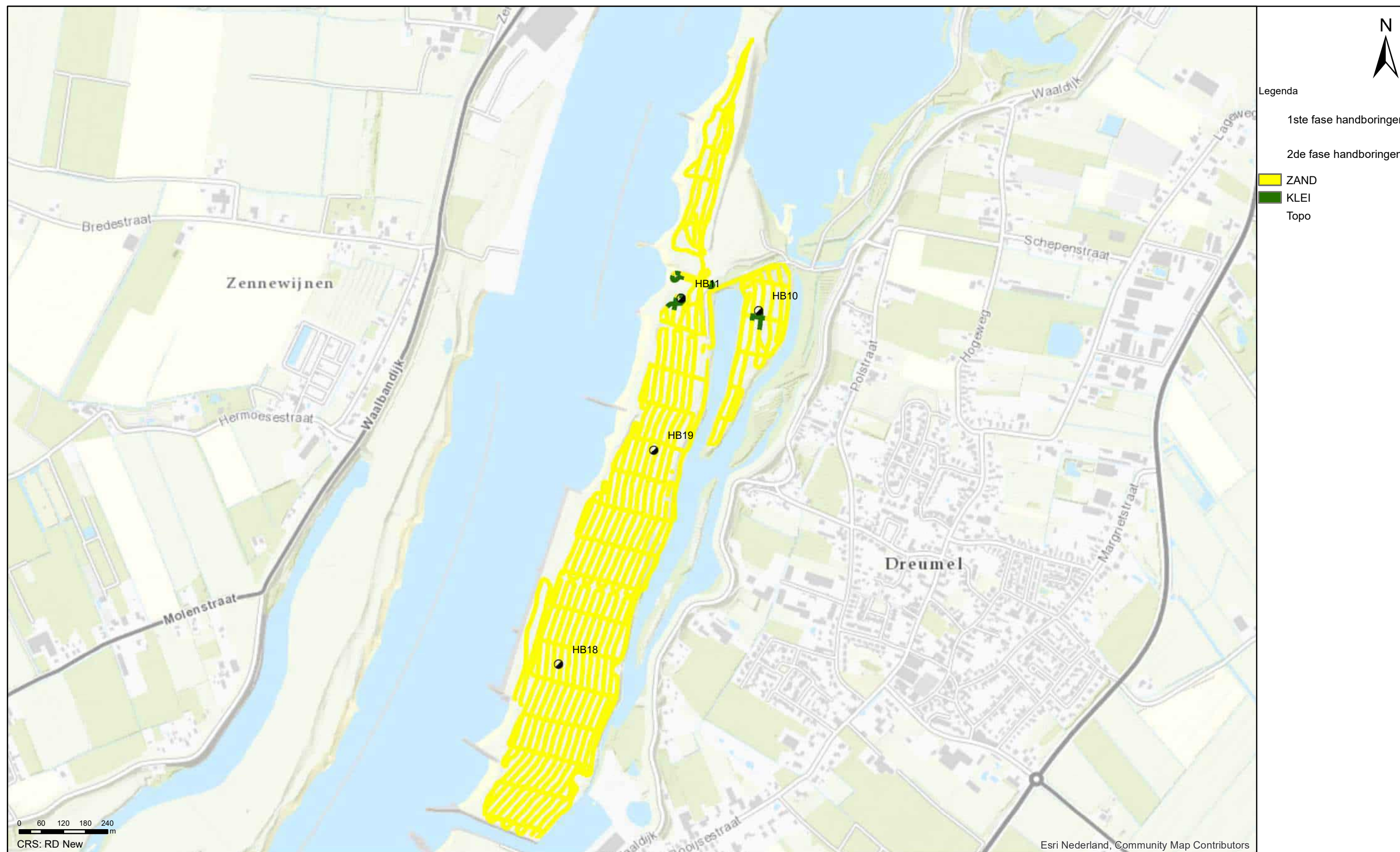


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.50 - 3.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-15



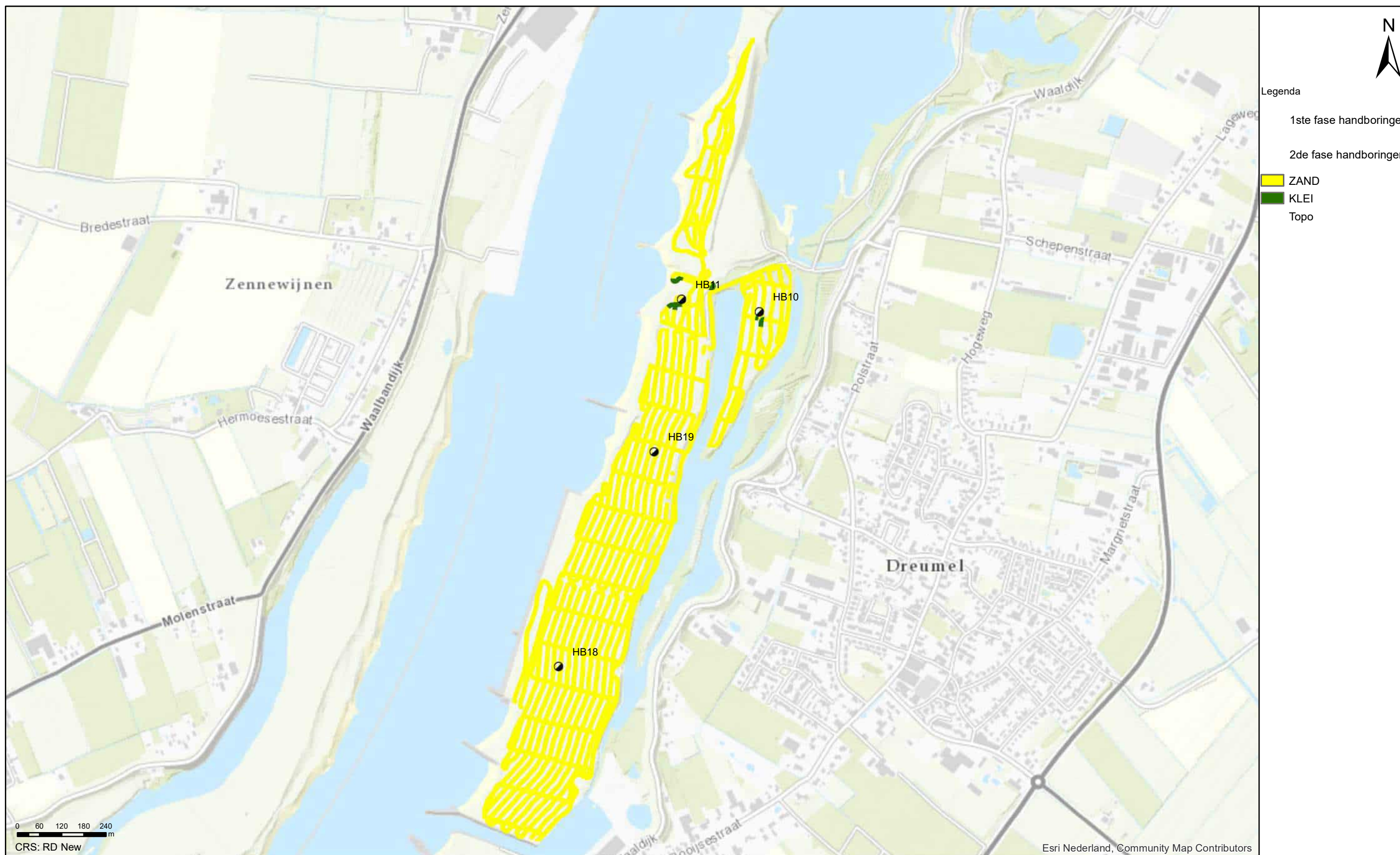
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.75 - 4.00 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-16

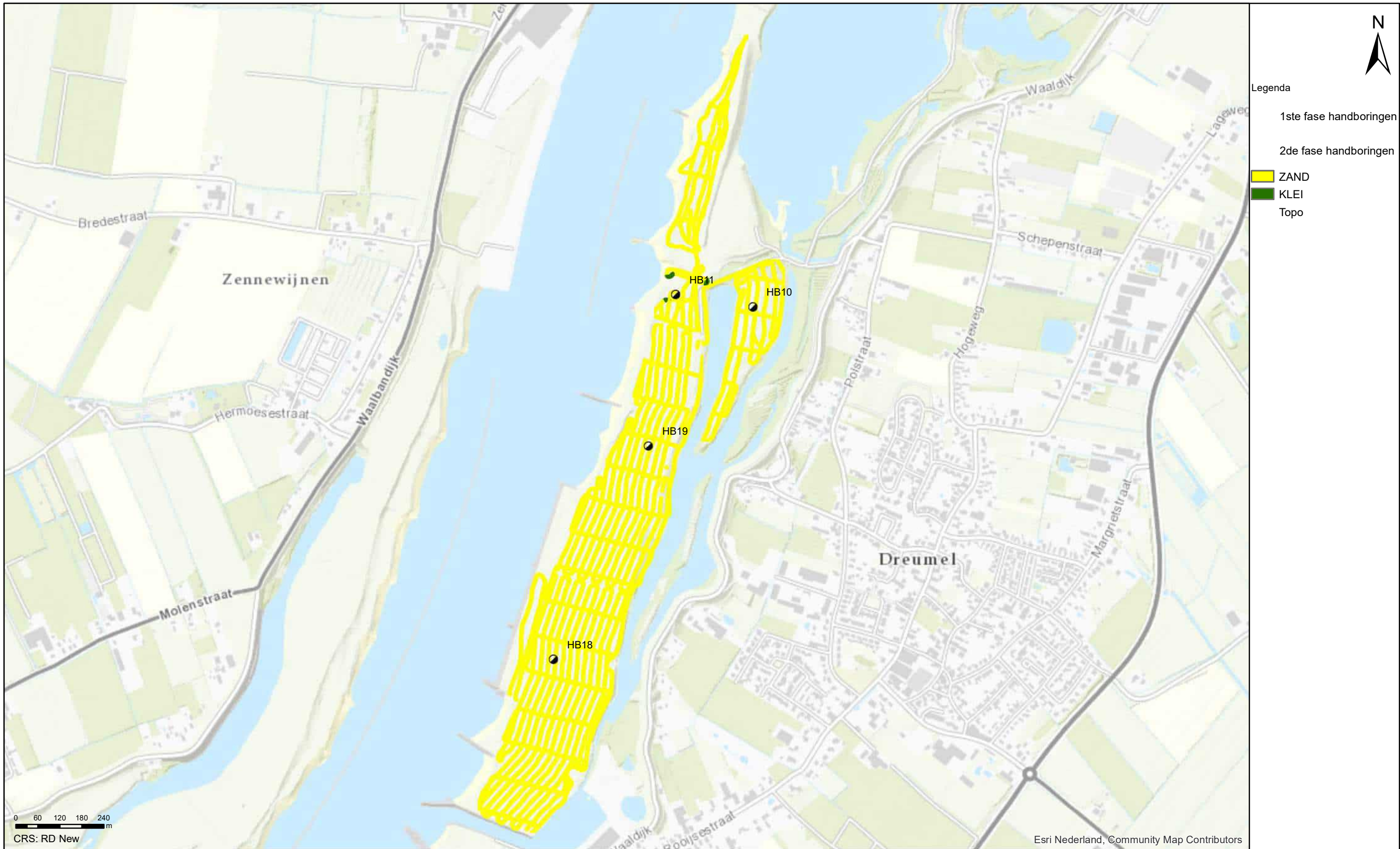


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.00 - 4.25 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-17



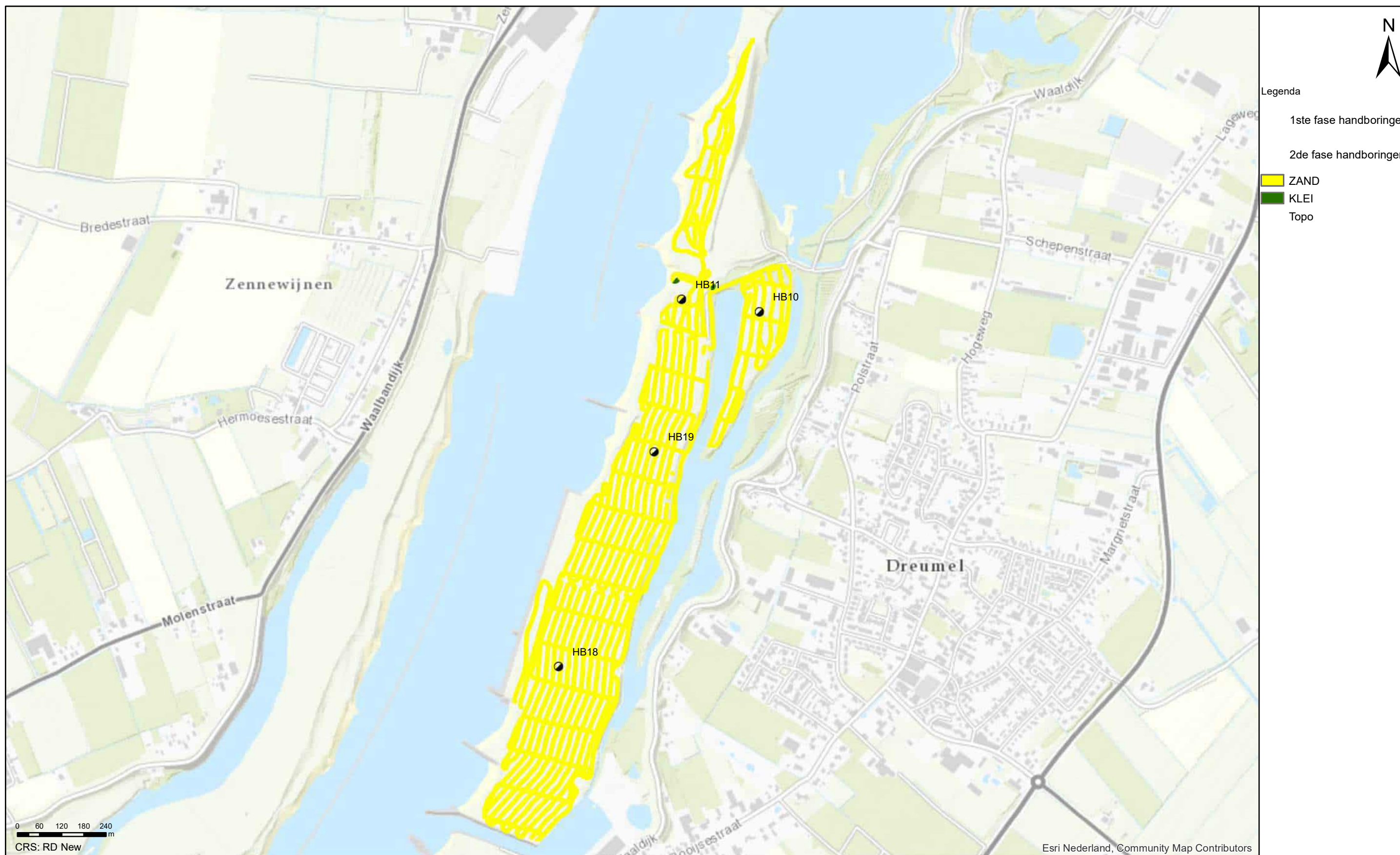
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.25 - 4.50 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-18

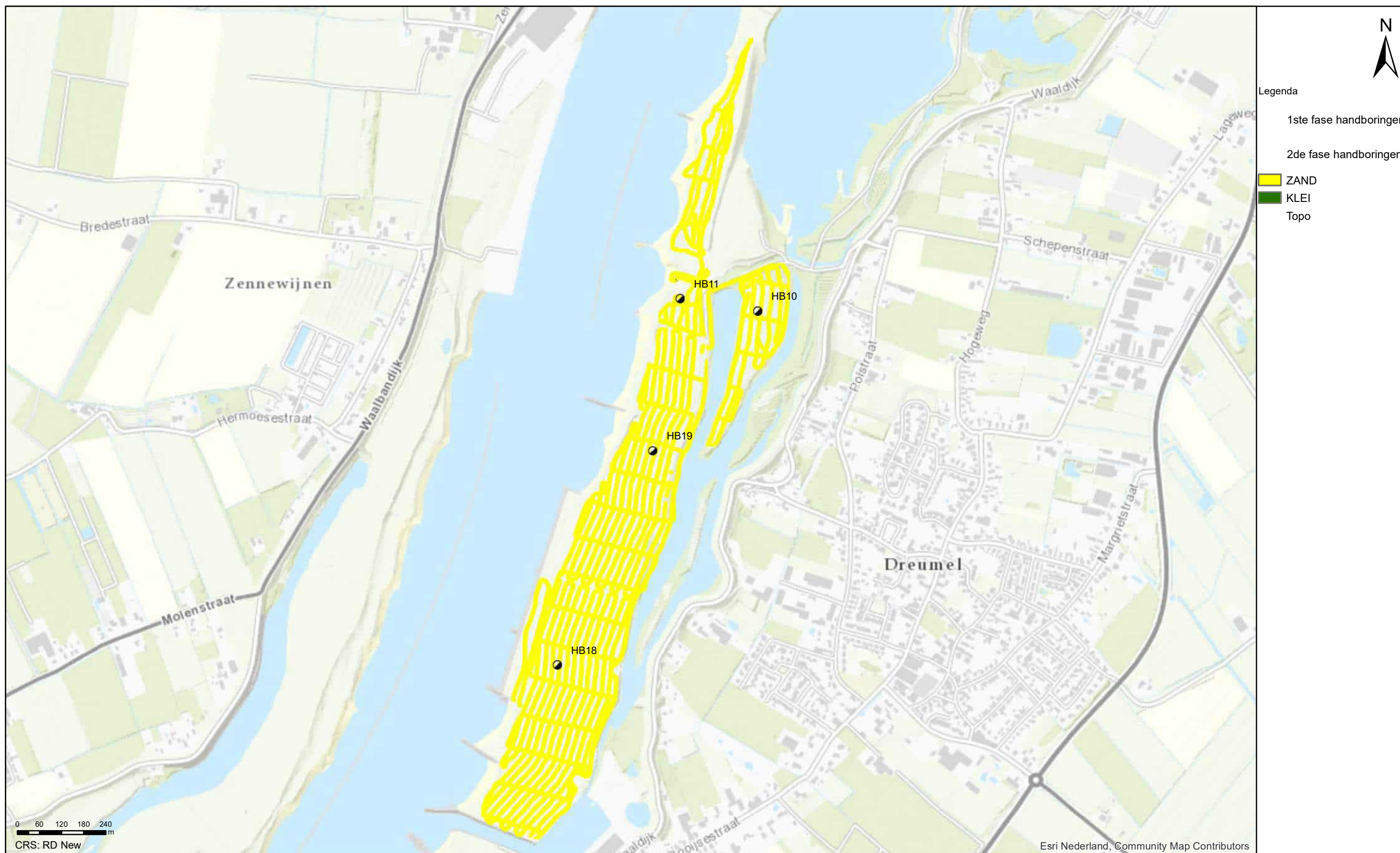


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.50 - 4.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-19



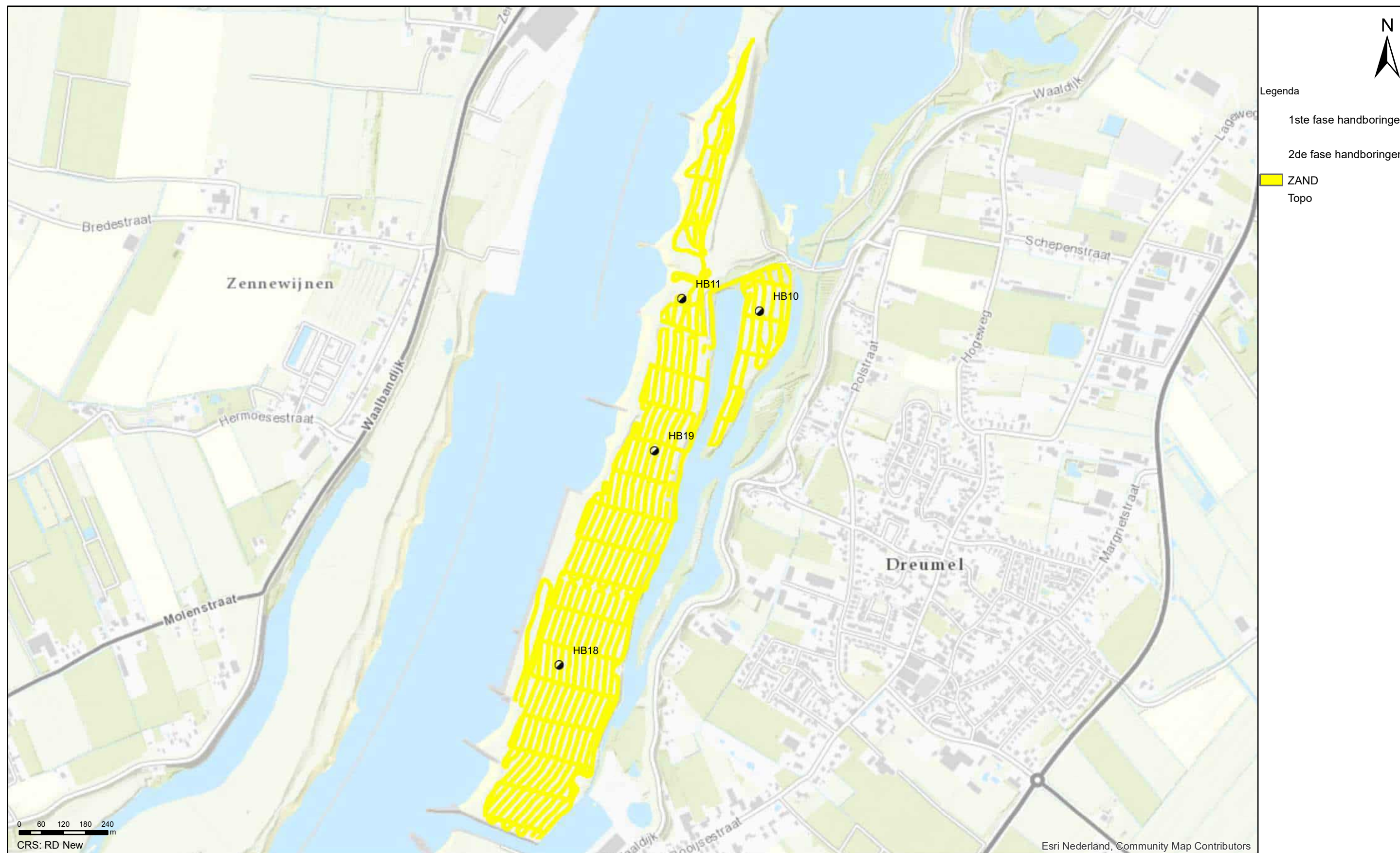
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.75 - 5.00 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-20



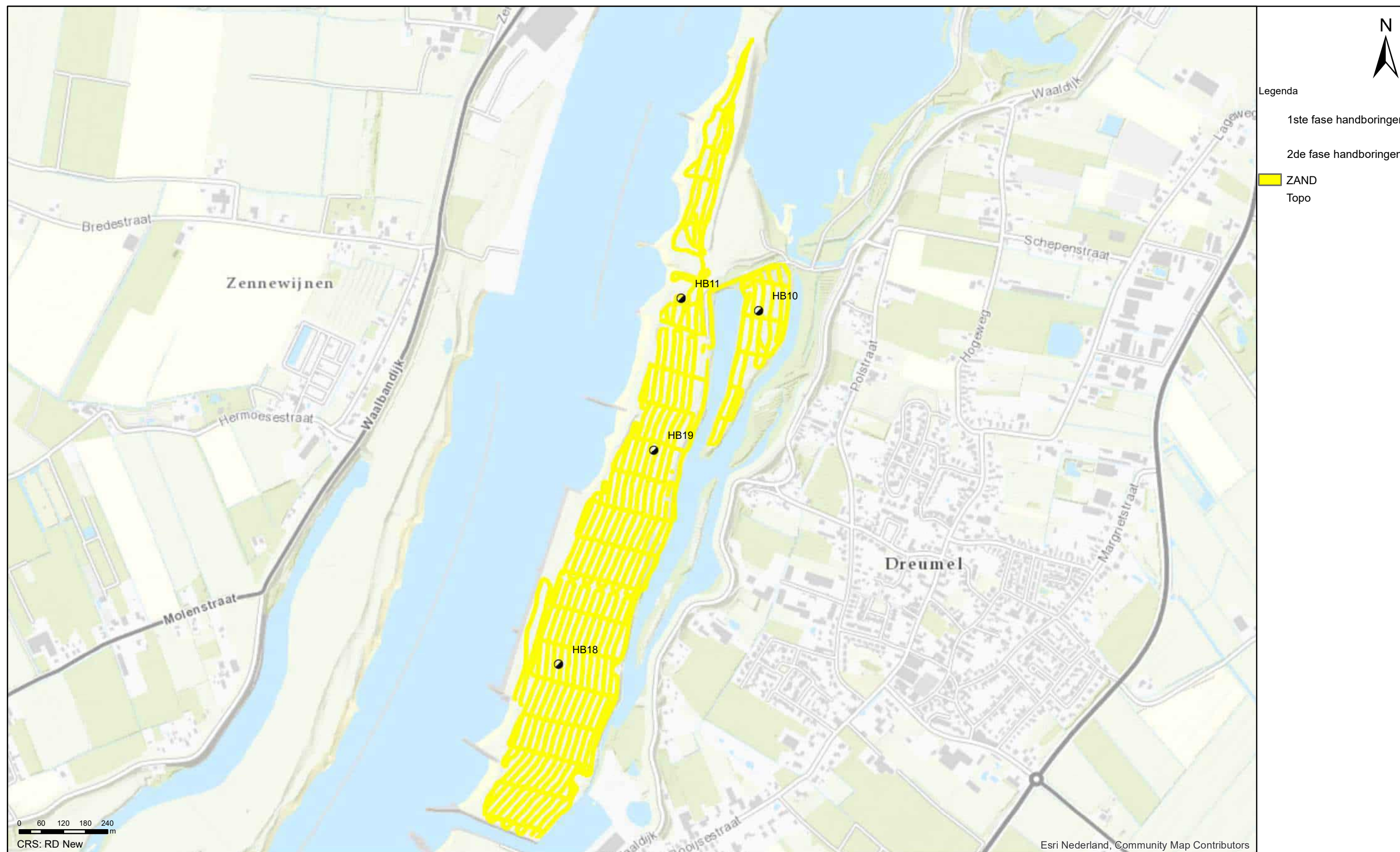
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.00 - 5.25 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-21



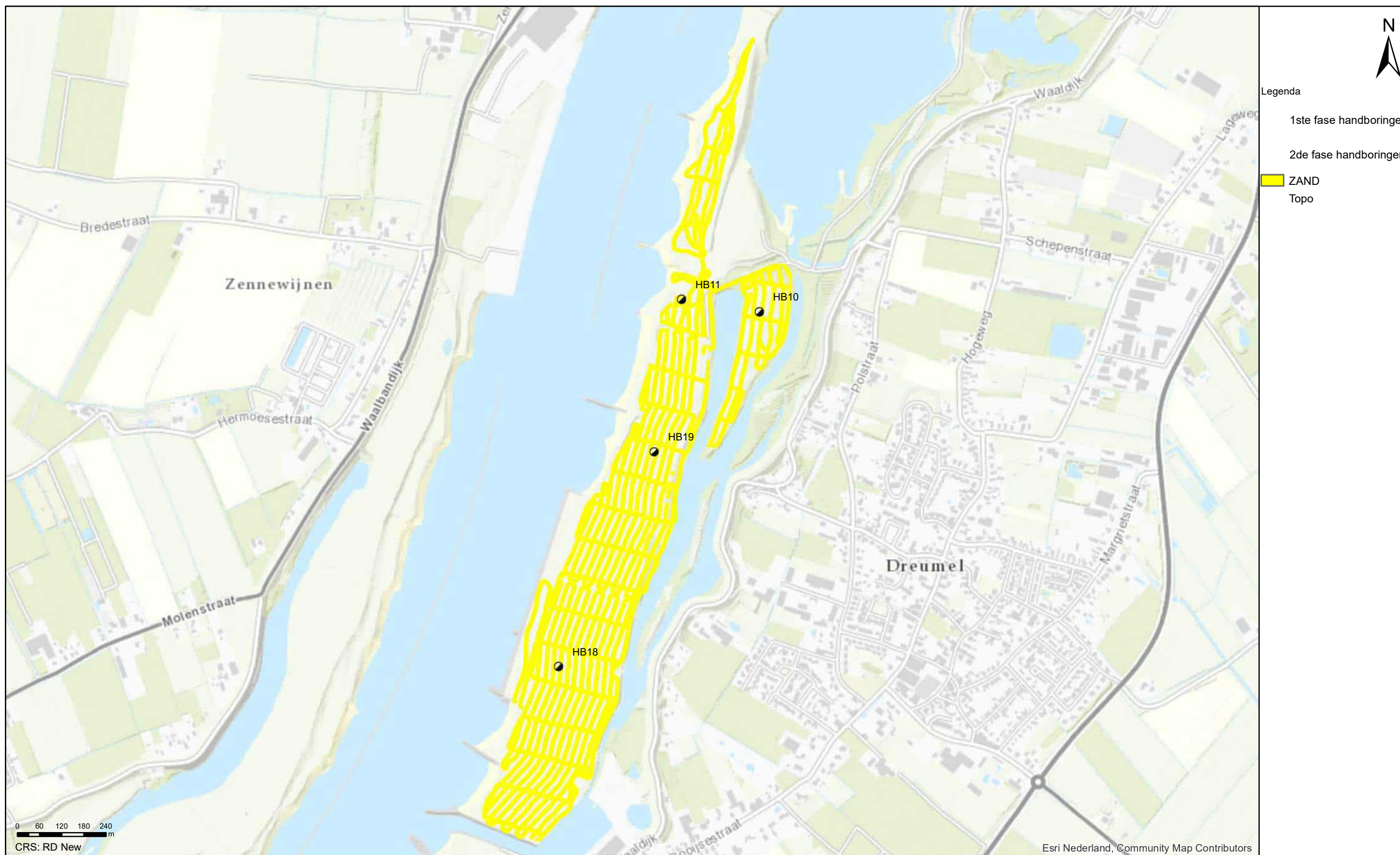
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.25 - 5.50 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-22



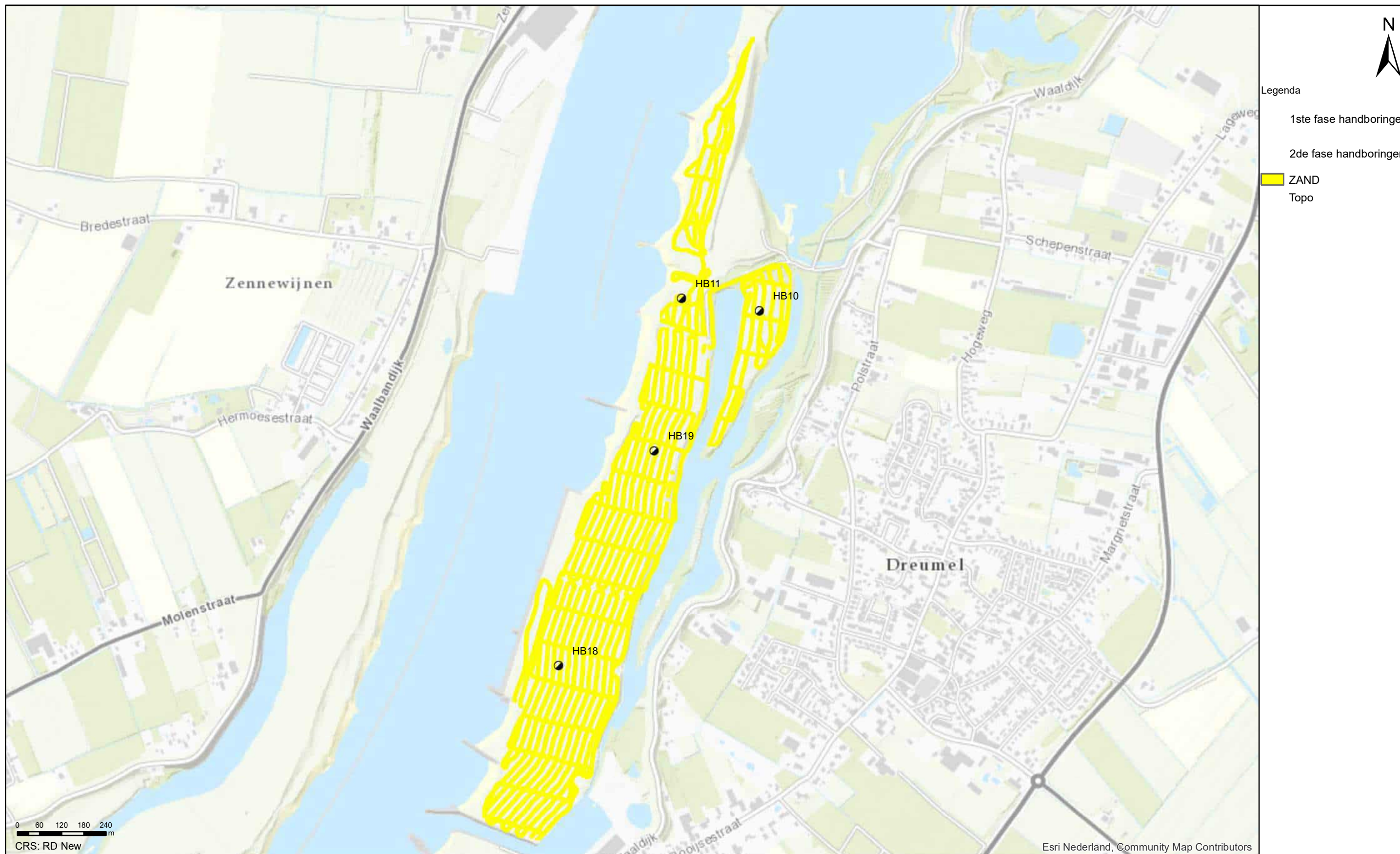
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.50 - 5.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-23

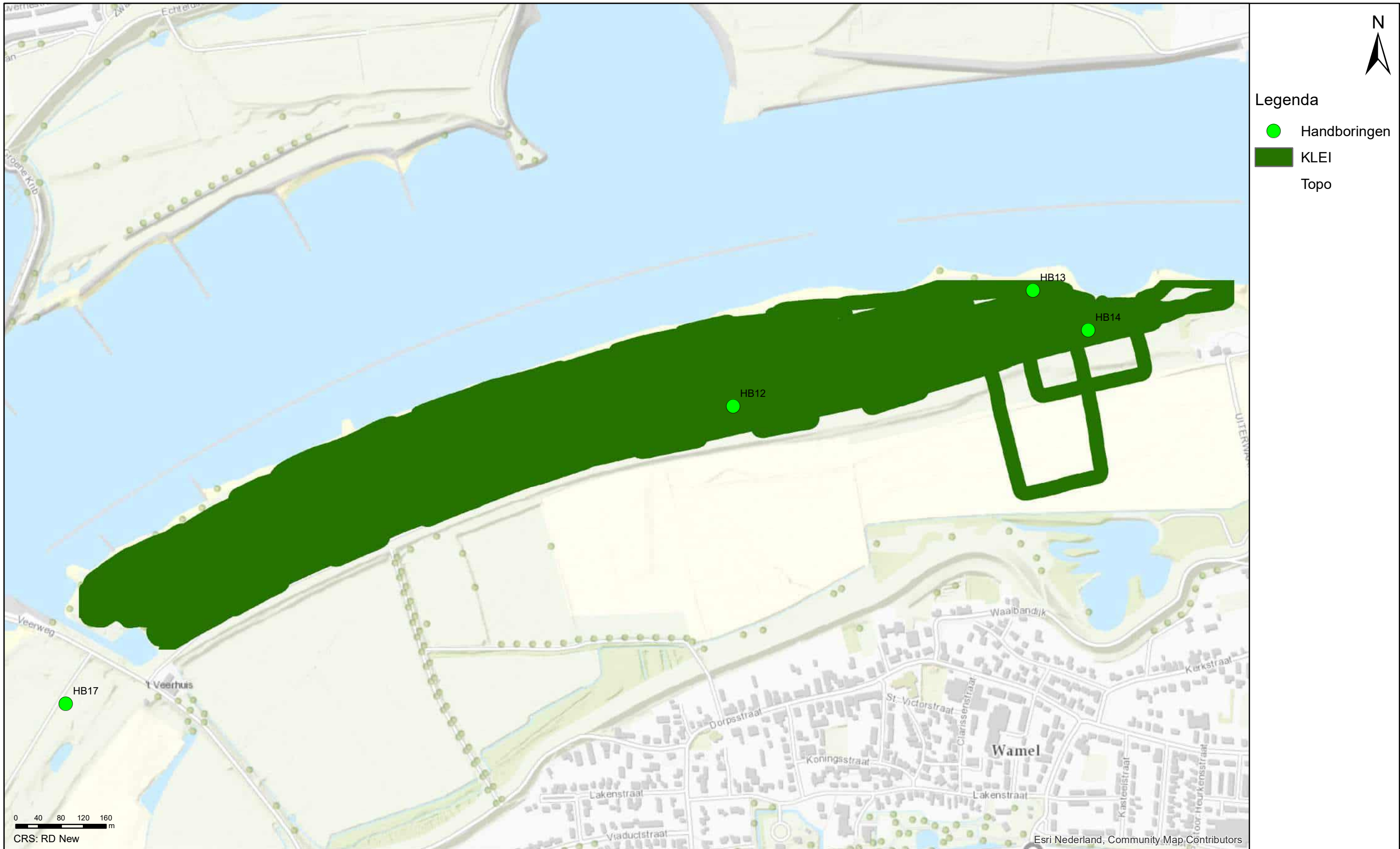


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.75 - 6.00 m -MV

Dreumel

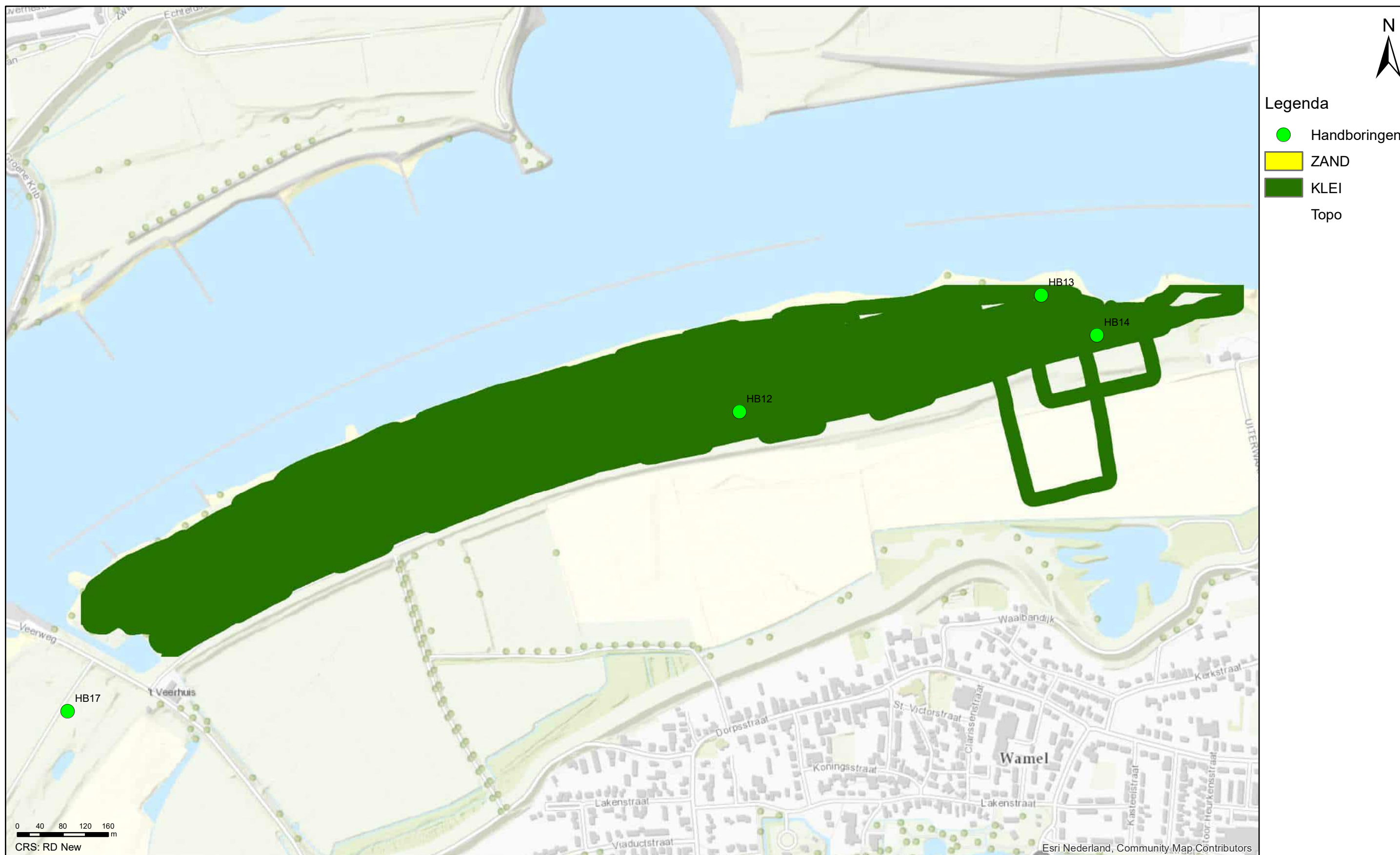
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-24



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 0.00 - 0.25 m -MV
Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-1

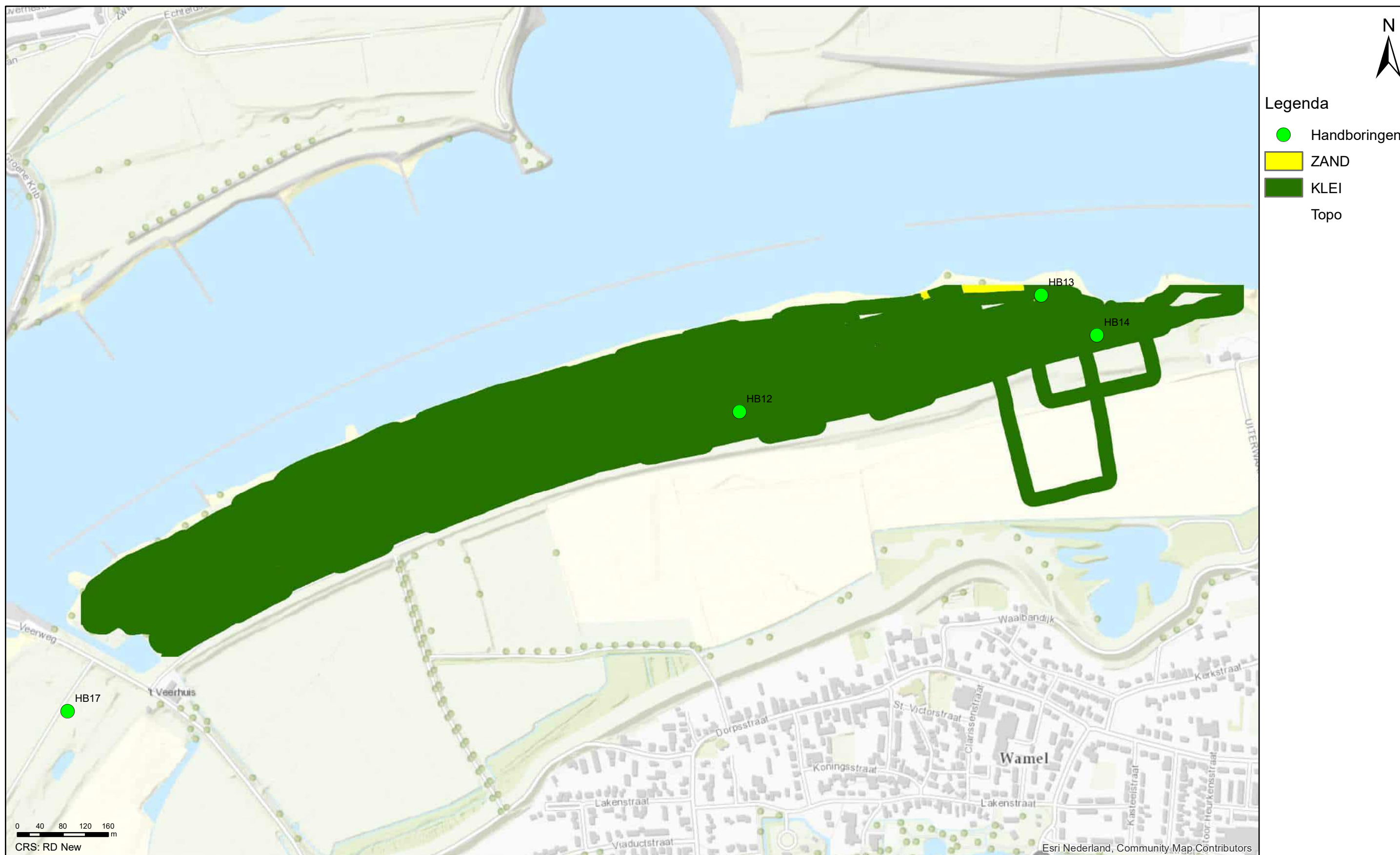


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 0.25 - 0.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-2



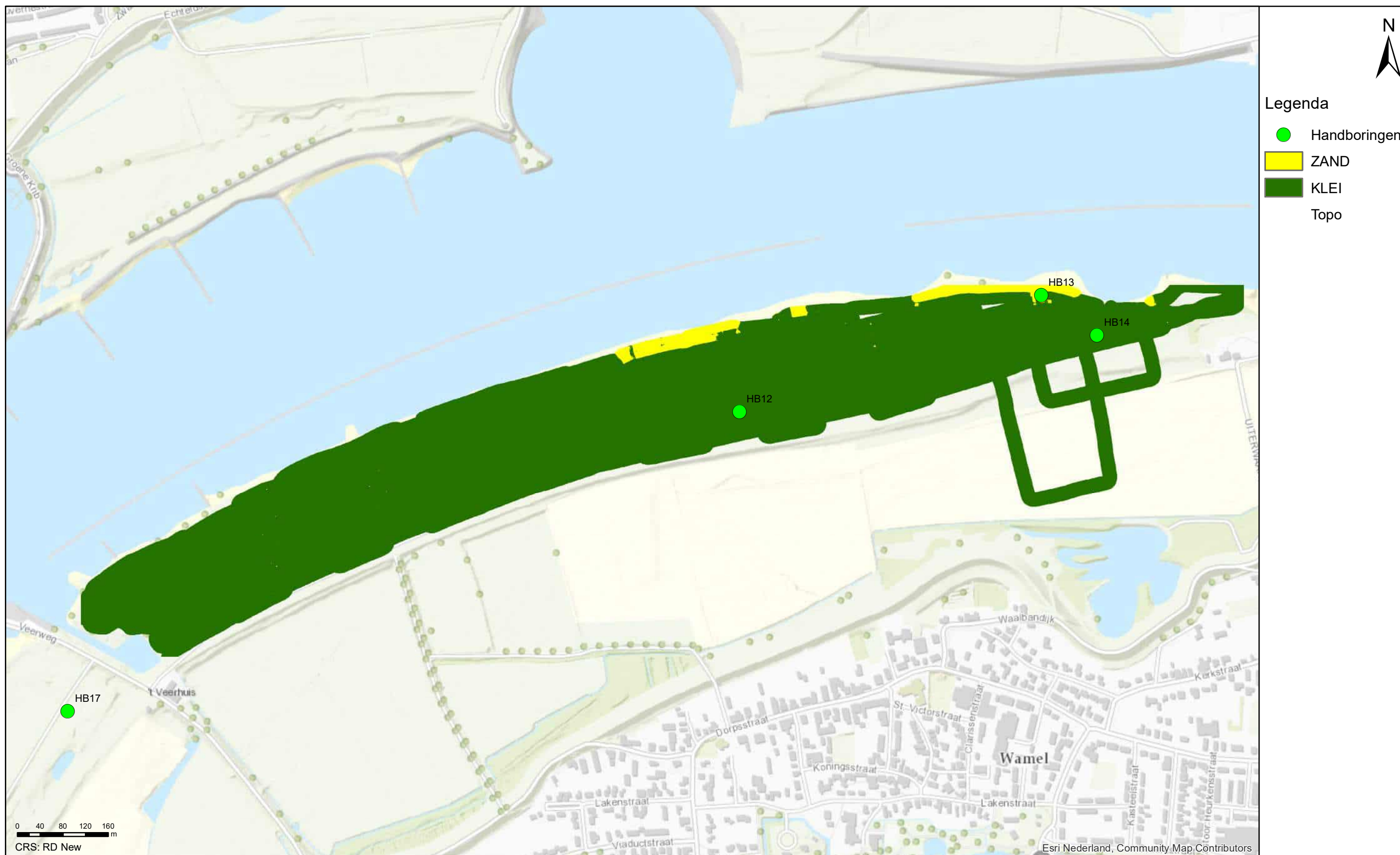
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 0.50 - 0.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-3



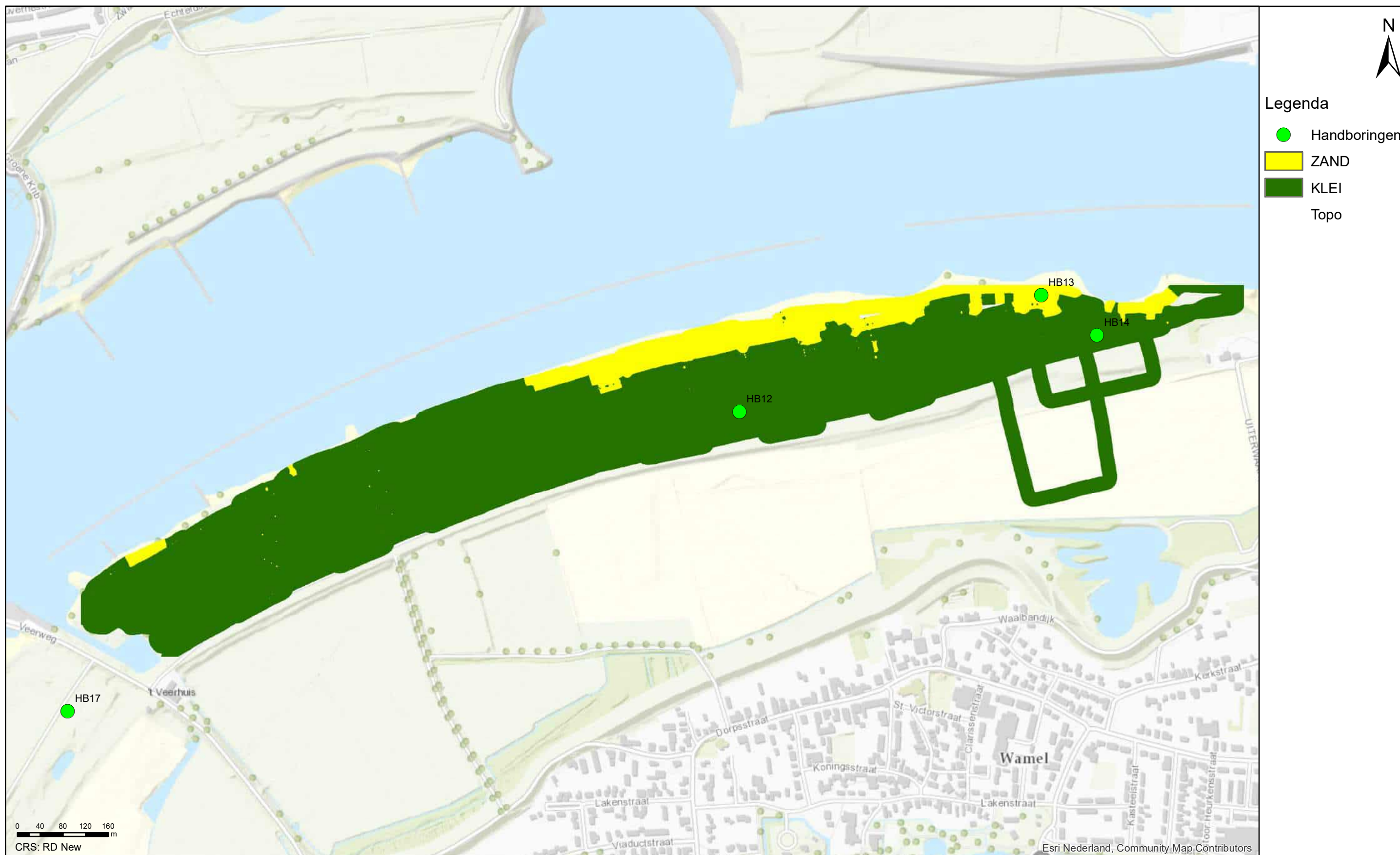
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 0.75 - 1.00 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-4

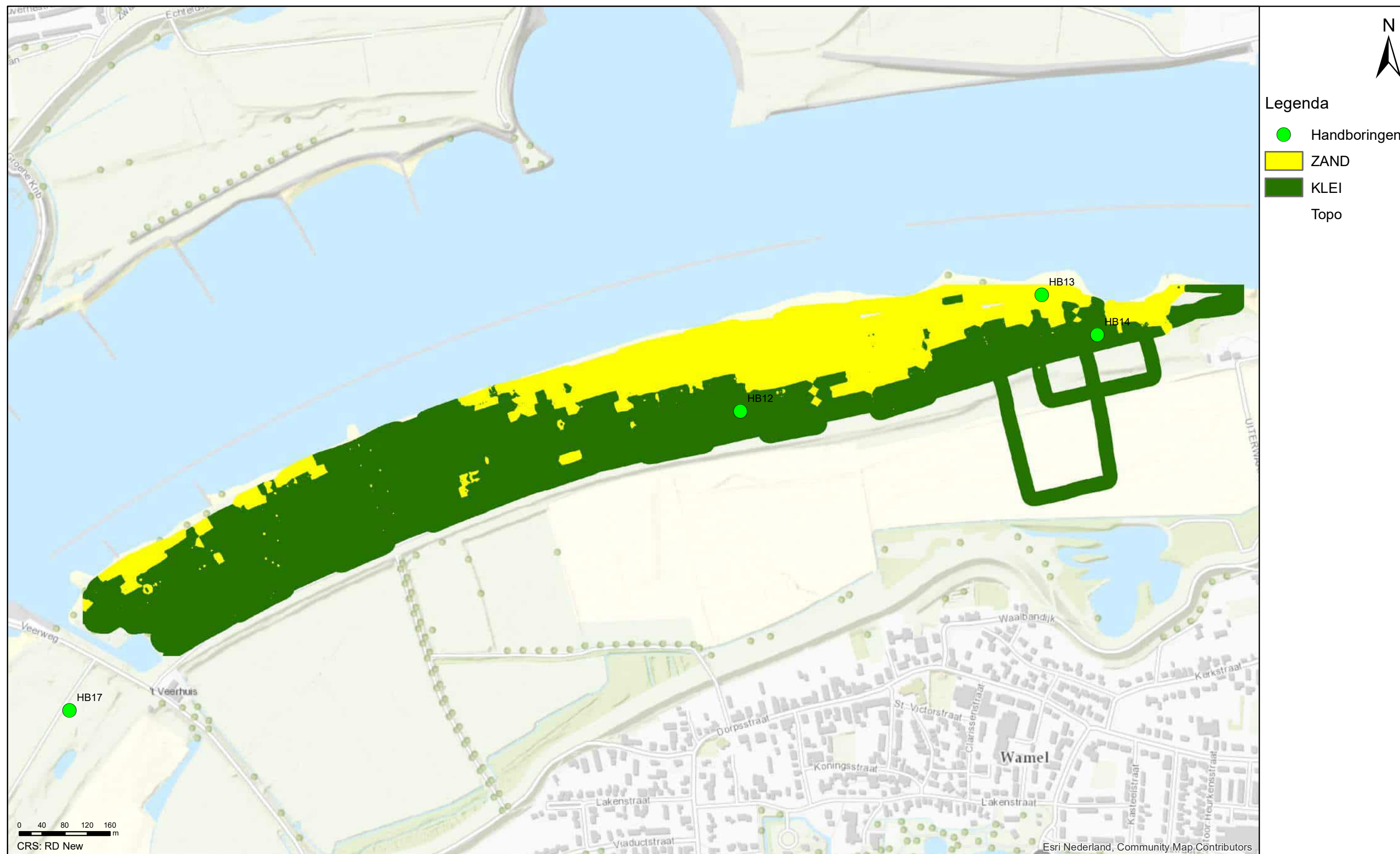


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 1.00 - 1.25 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-5



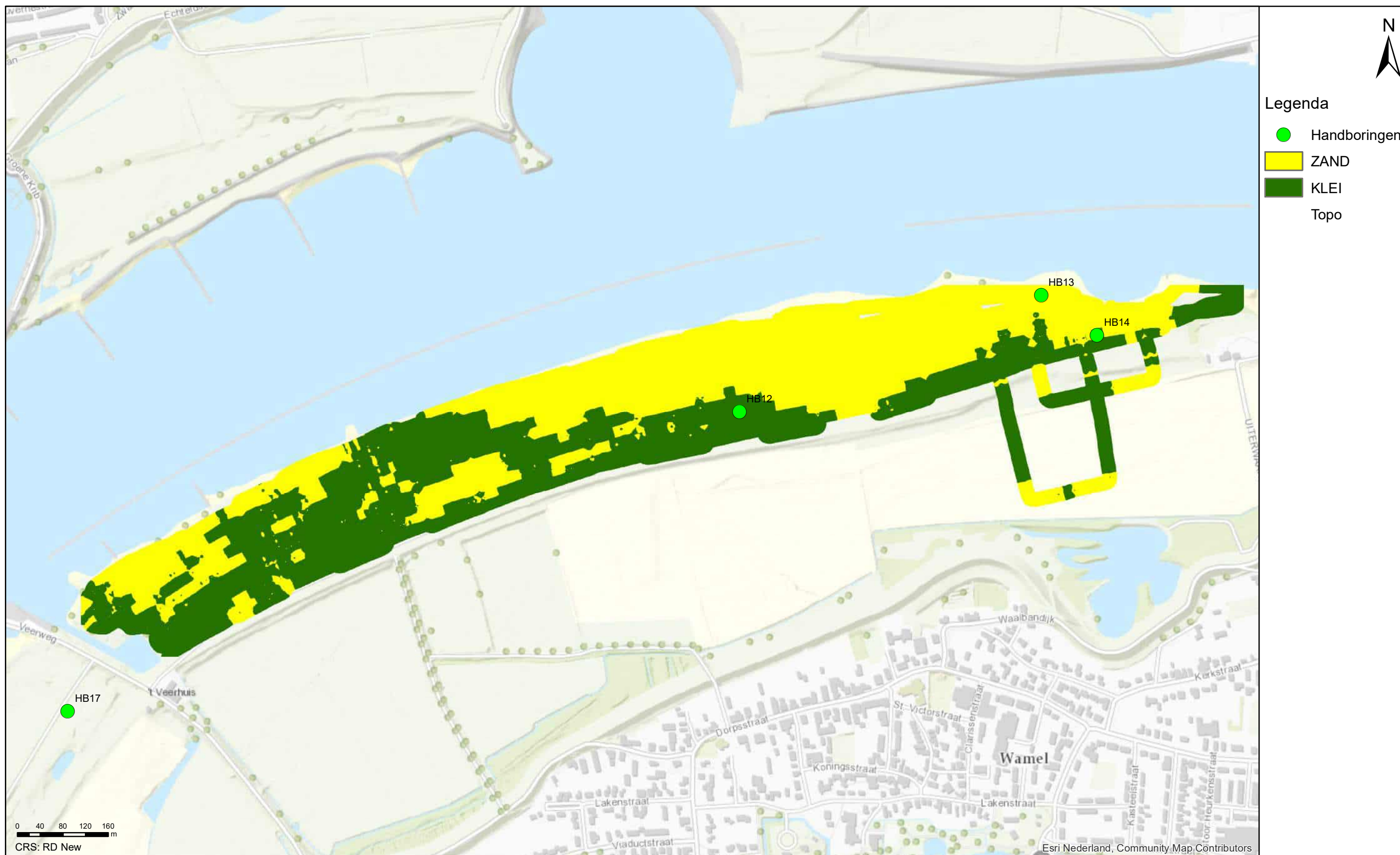
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 1.25 - 1.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-6

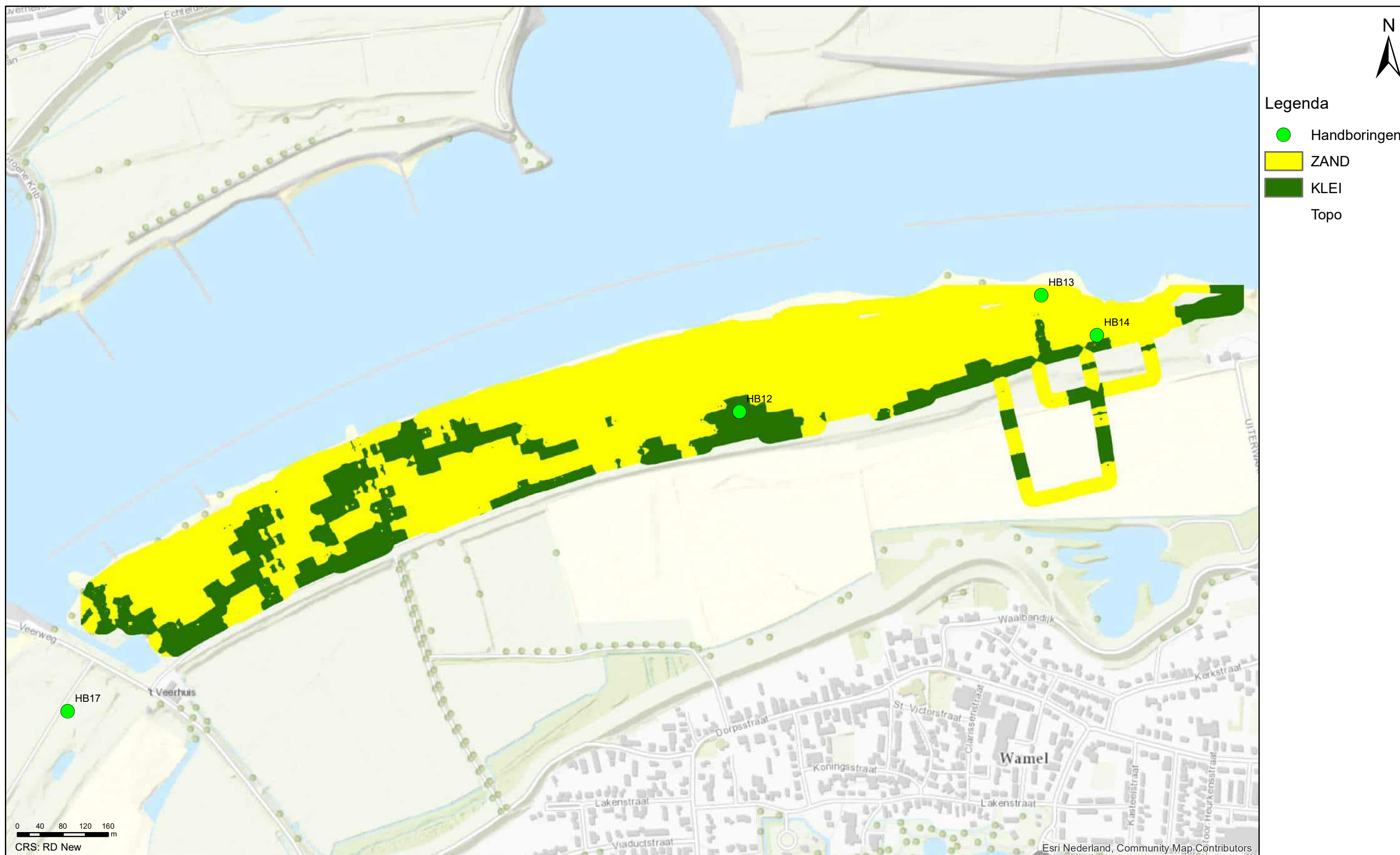


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 1.50 - 1.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-7



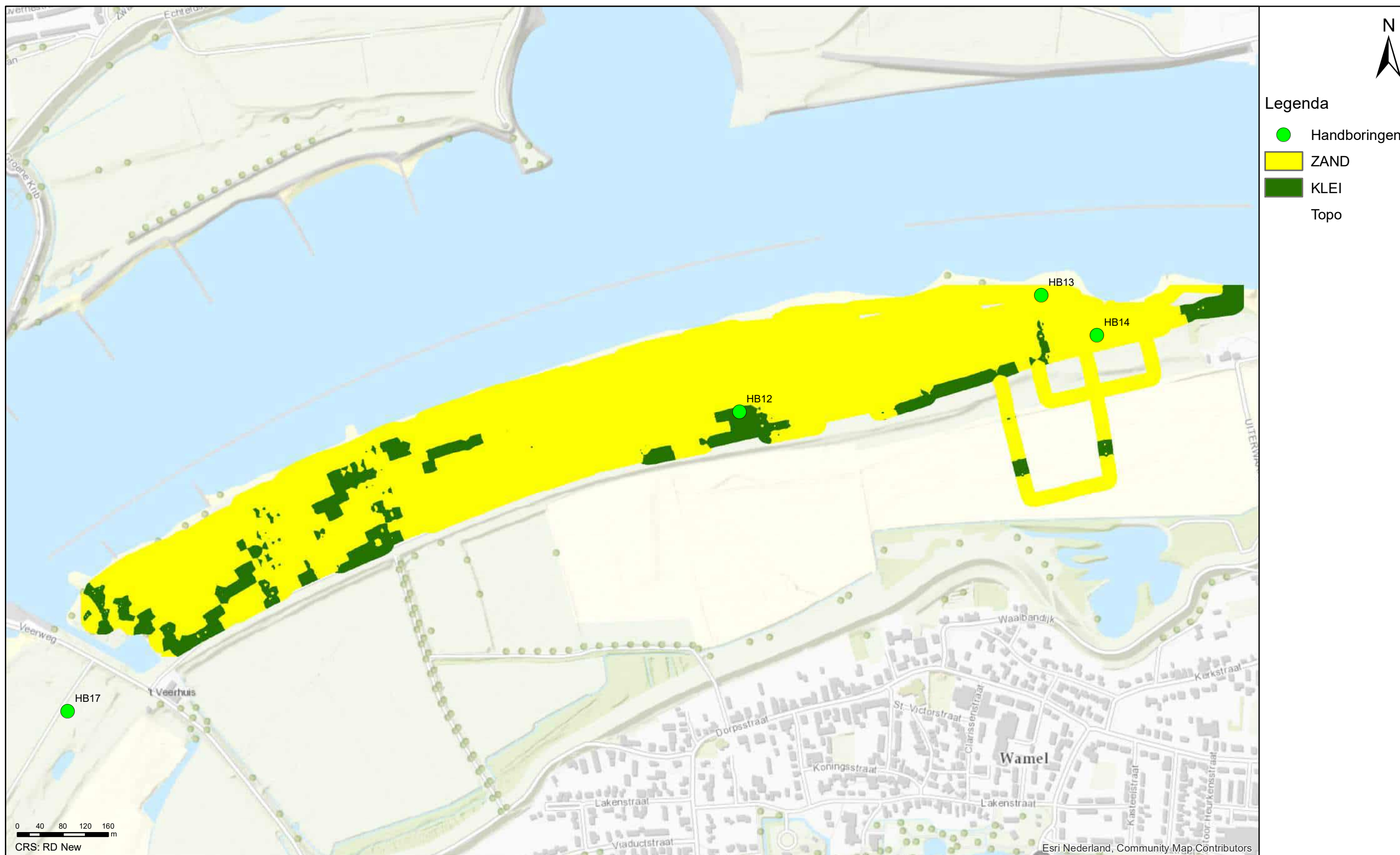
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 1.75 - 2.00 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-8



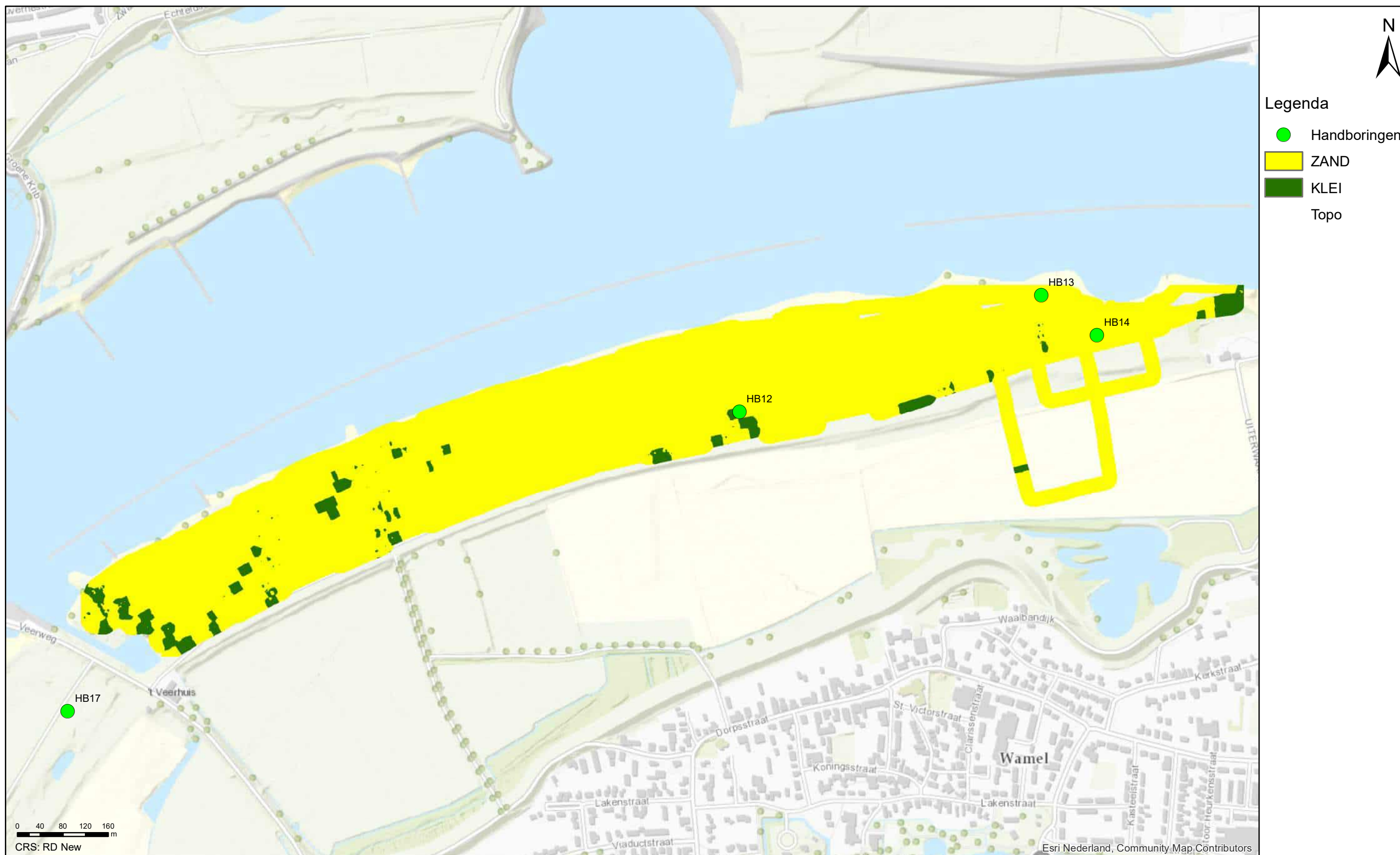
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 2.00 - 2.25 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-9



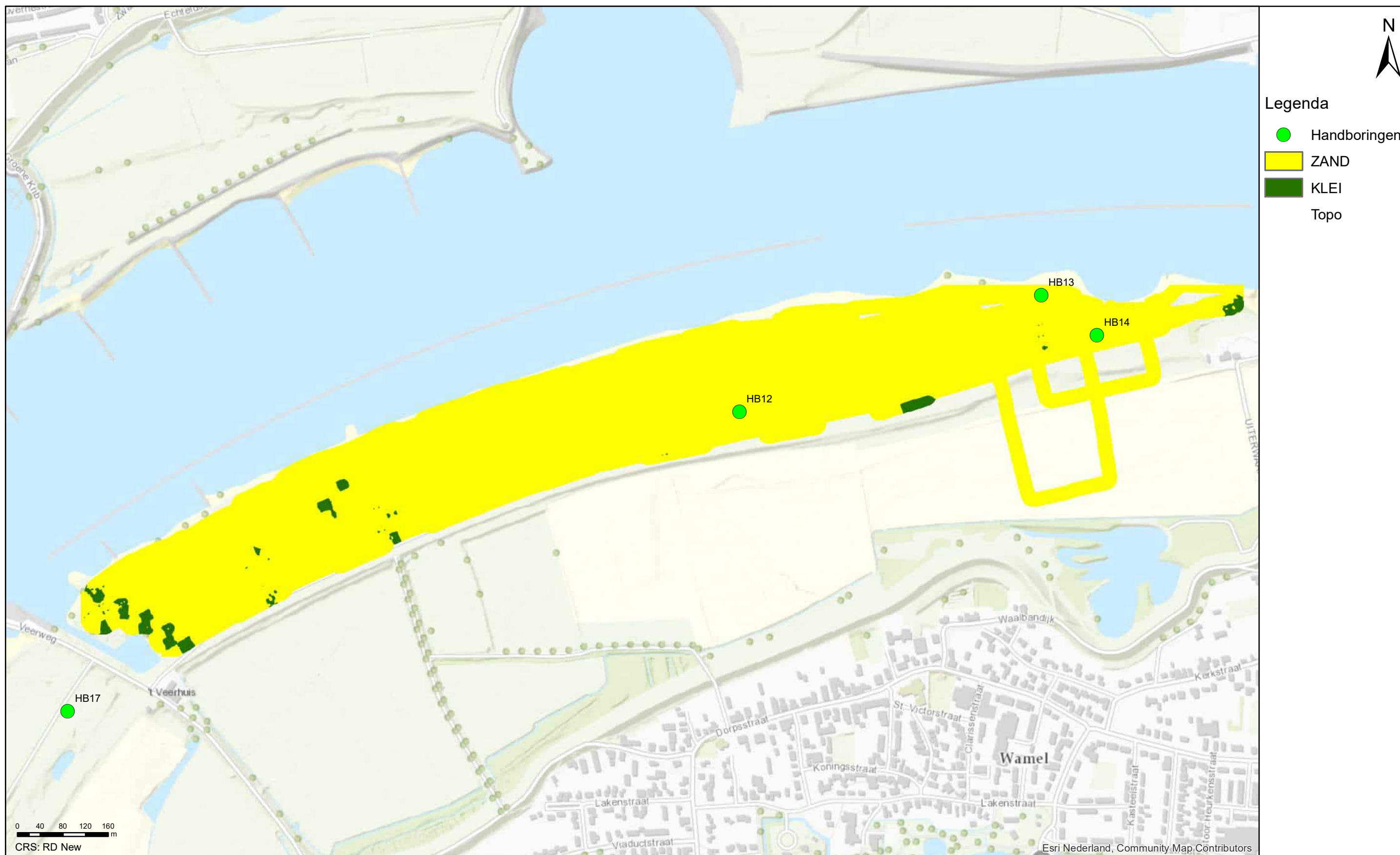
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 2.25 - 2.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-10



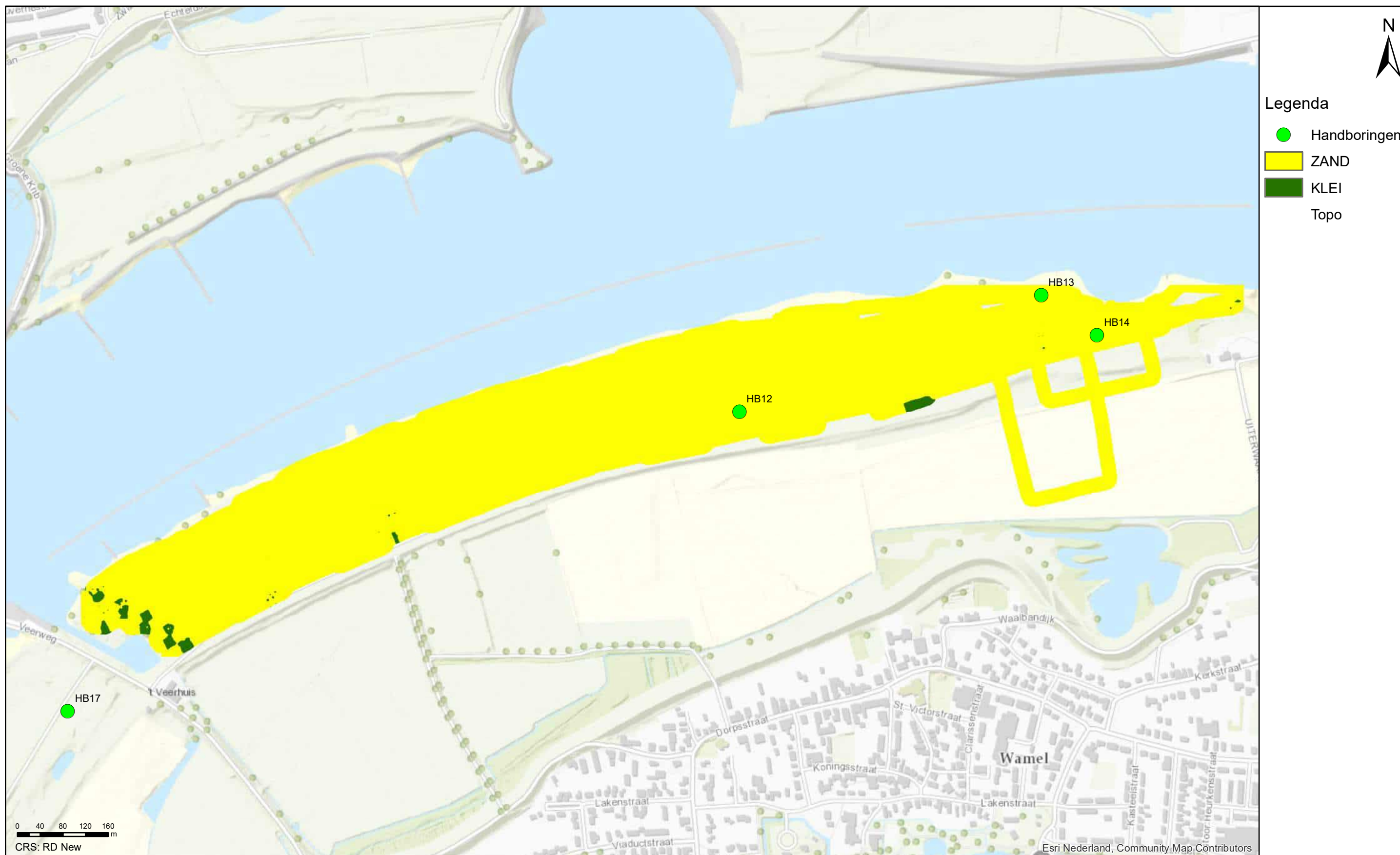
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 2.50 - 2.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-11



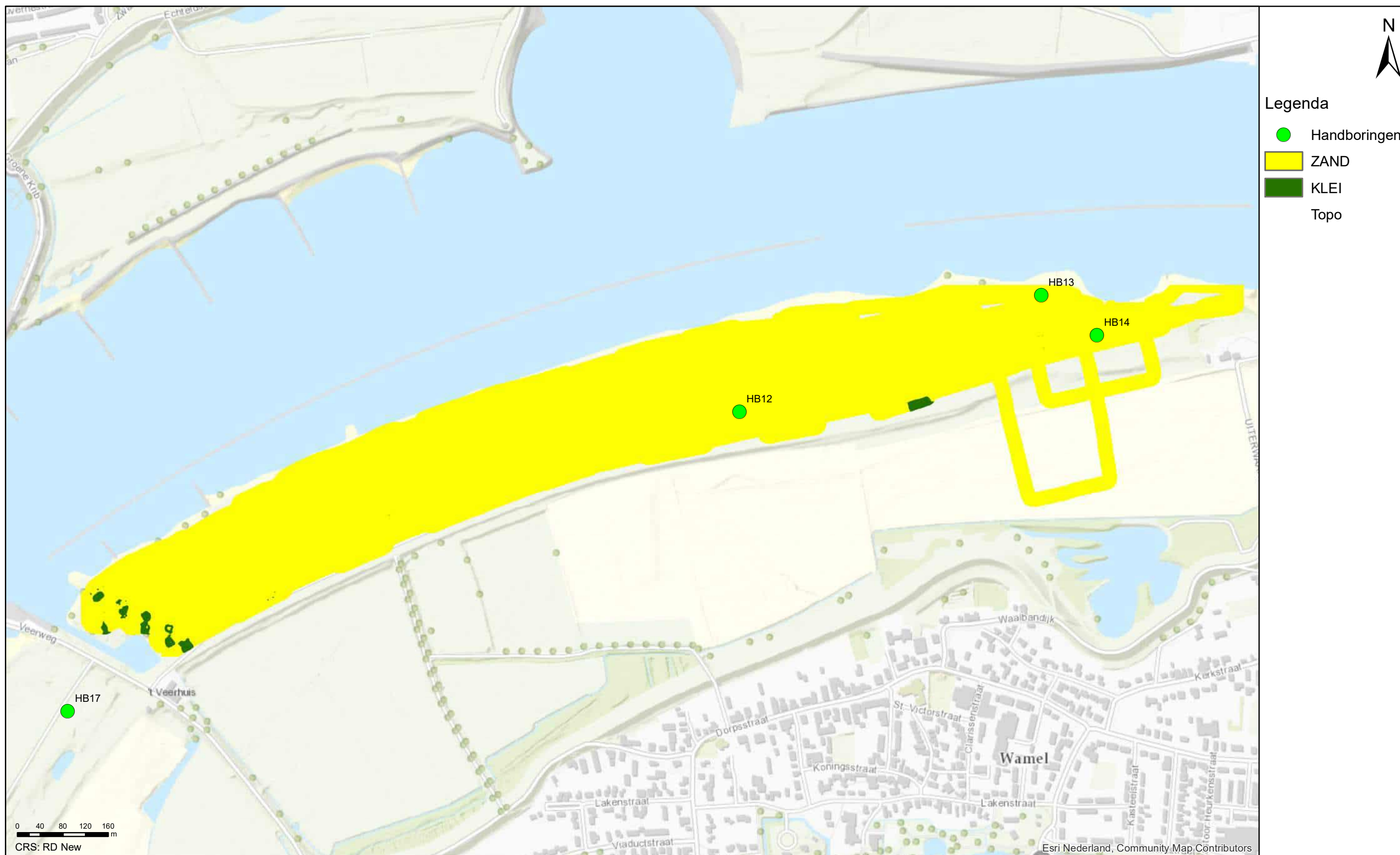
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 2.75 - 3.00 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-12



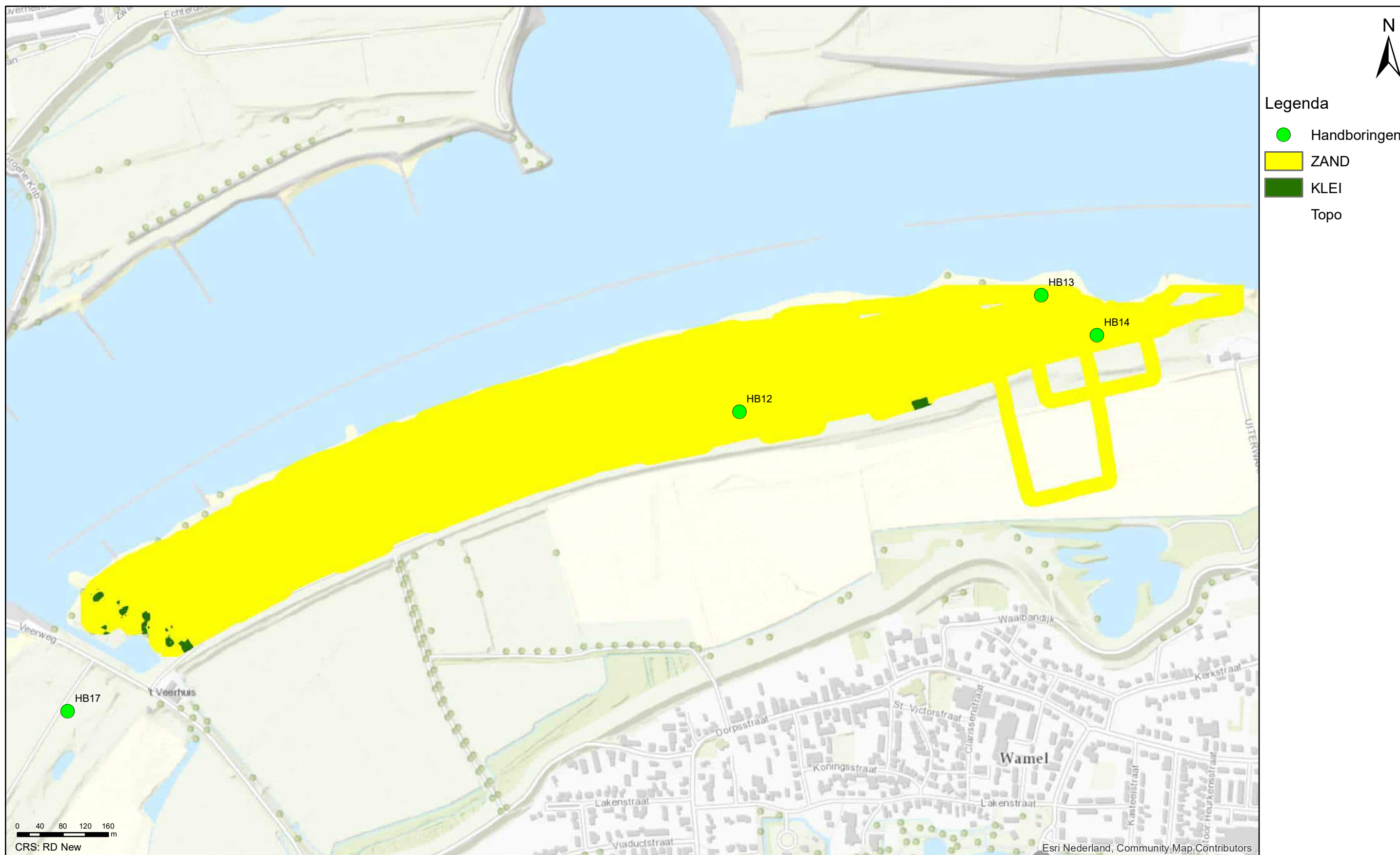
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 3.00 - 3.25 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-13



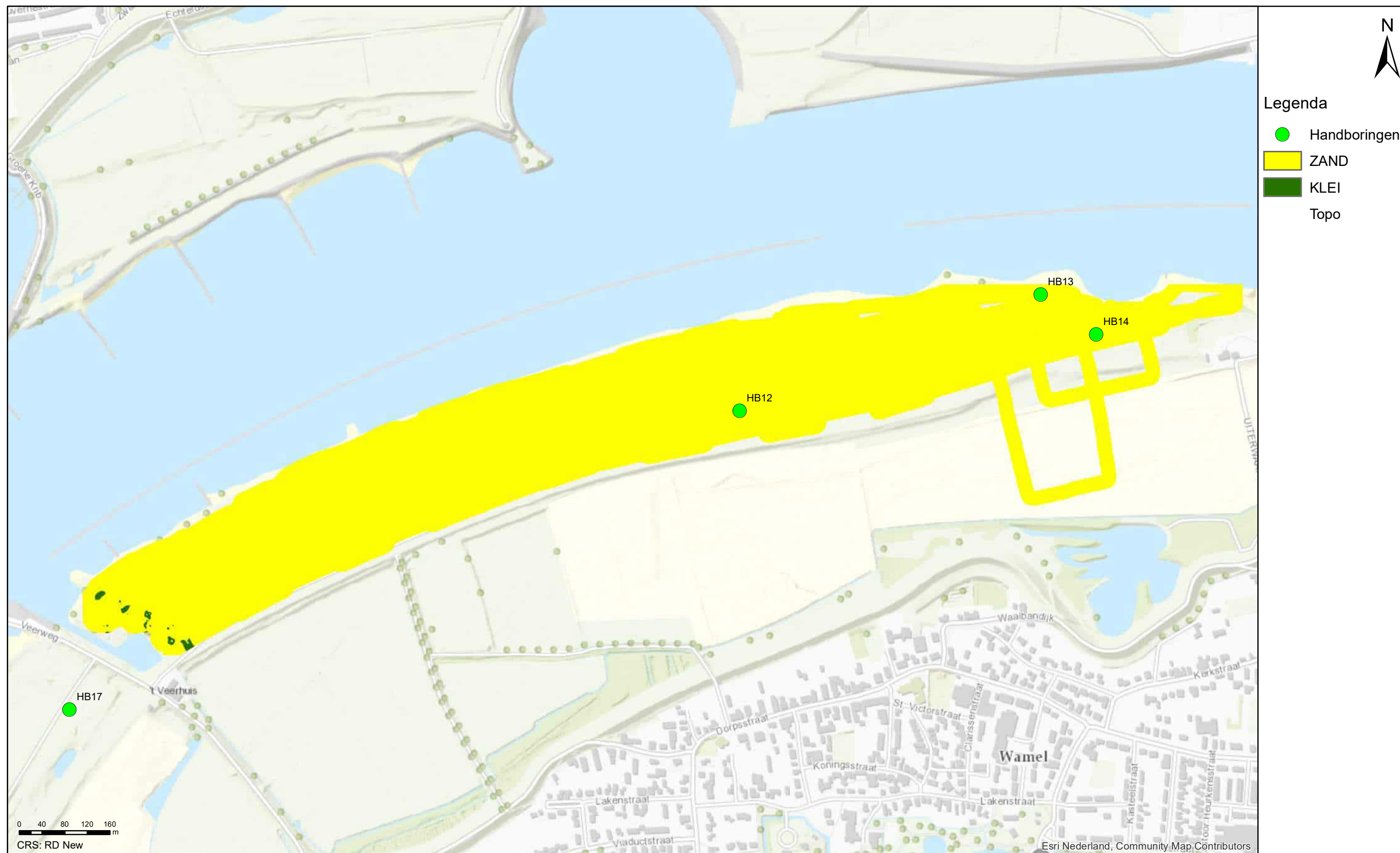
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 3.25 - 3.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-14



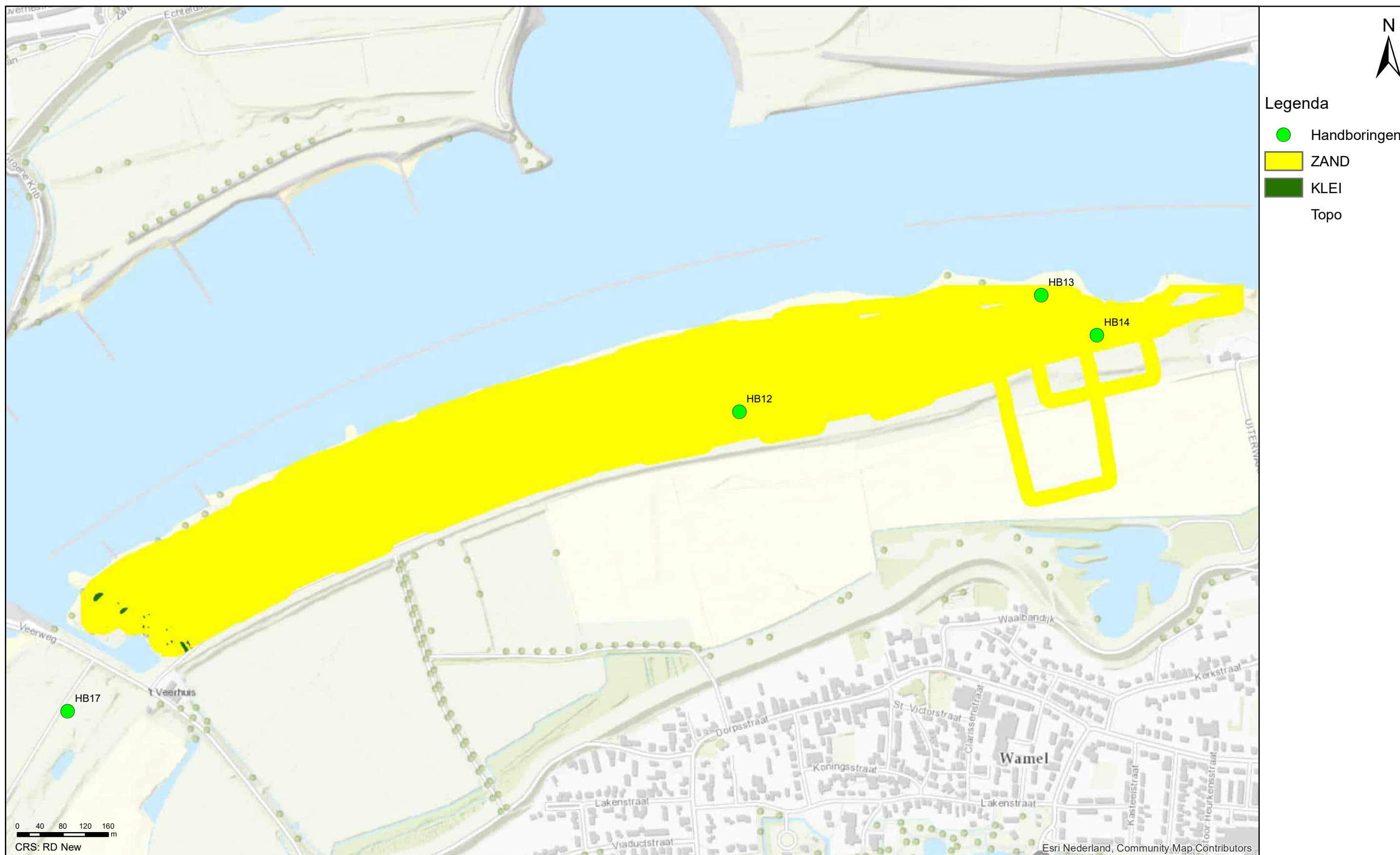
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 3.50 - 3.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-15



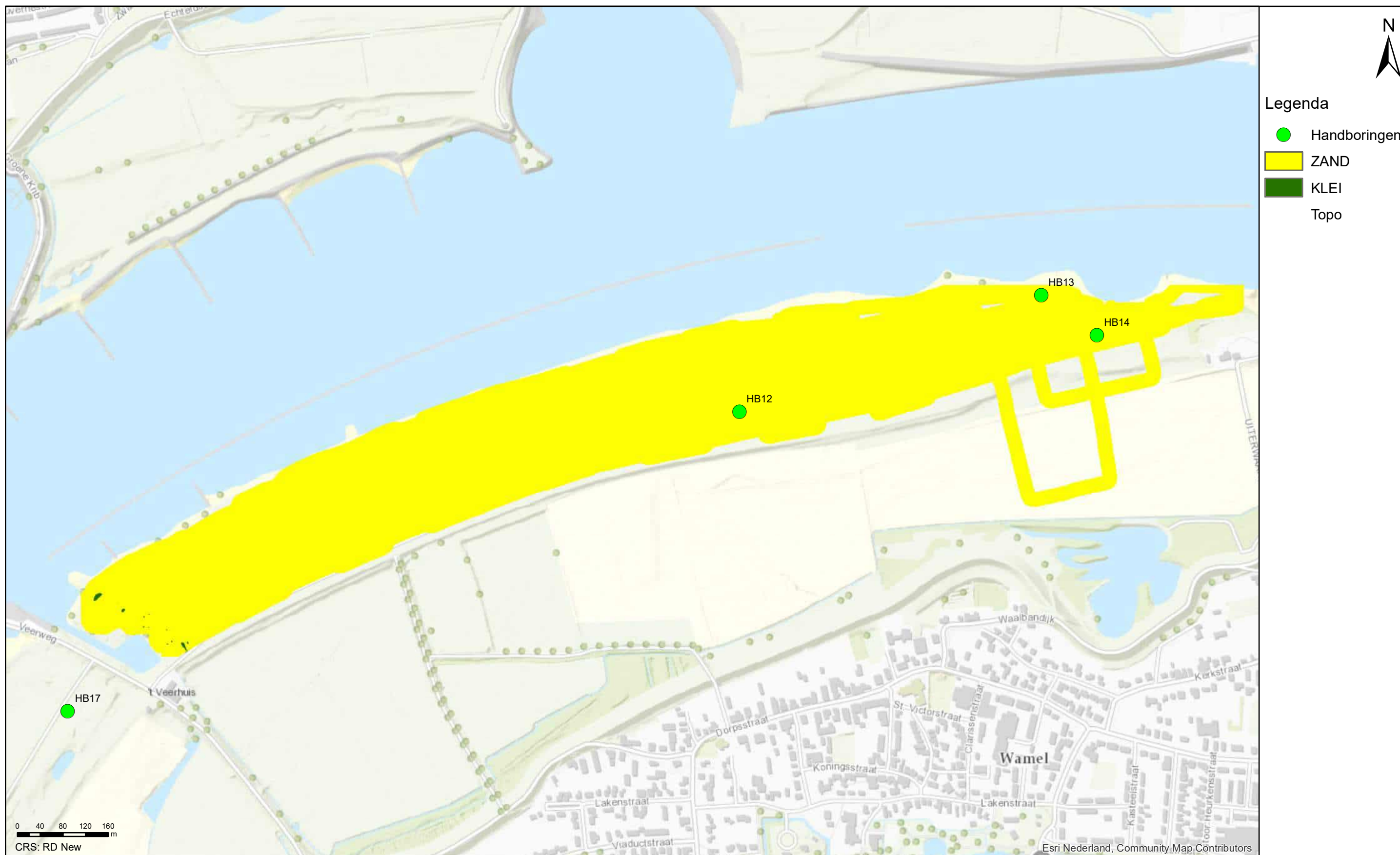
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 3.75 - 4.00 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-16

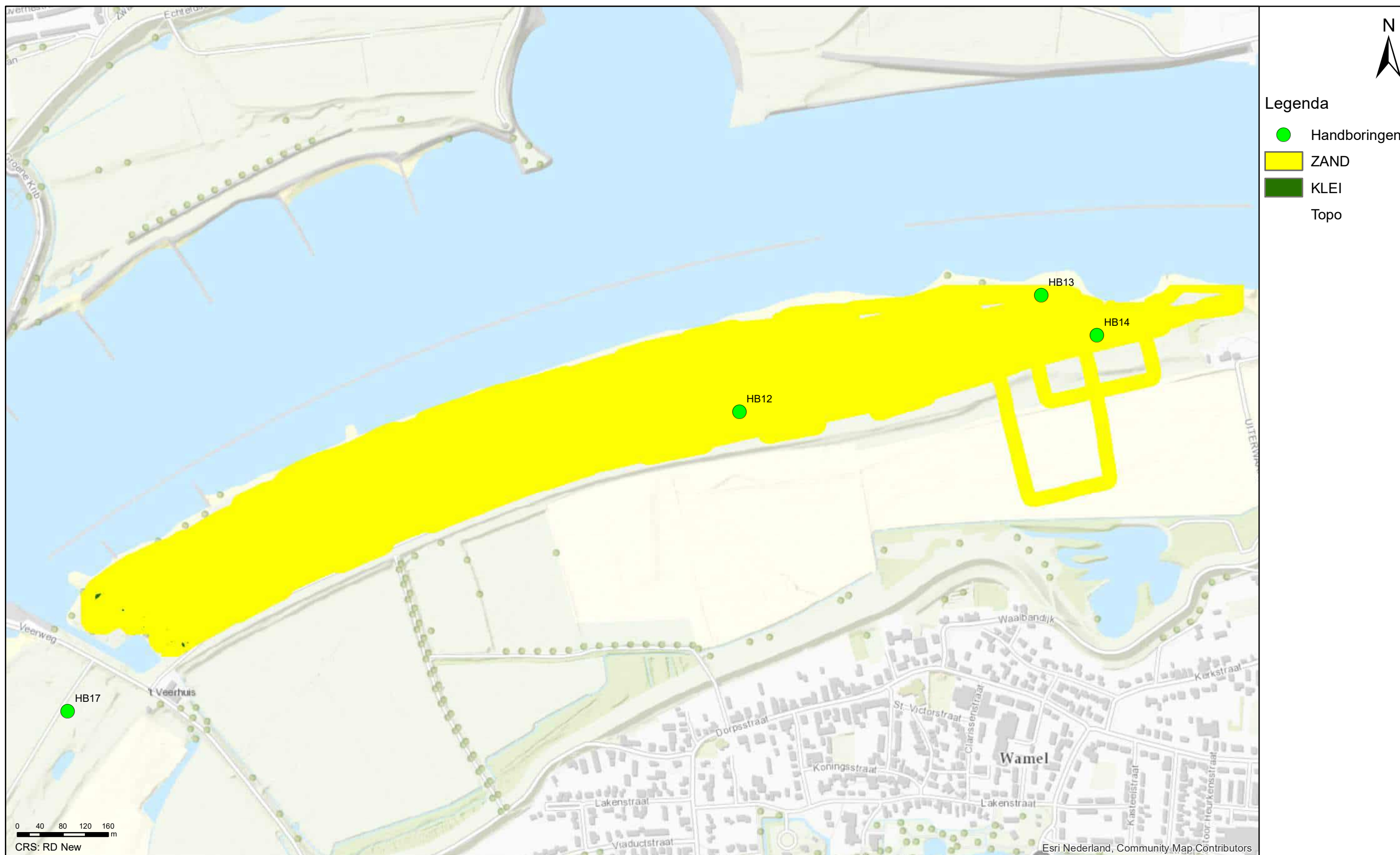


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 4.00 - 4.25 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-17



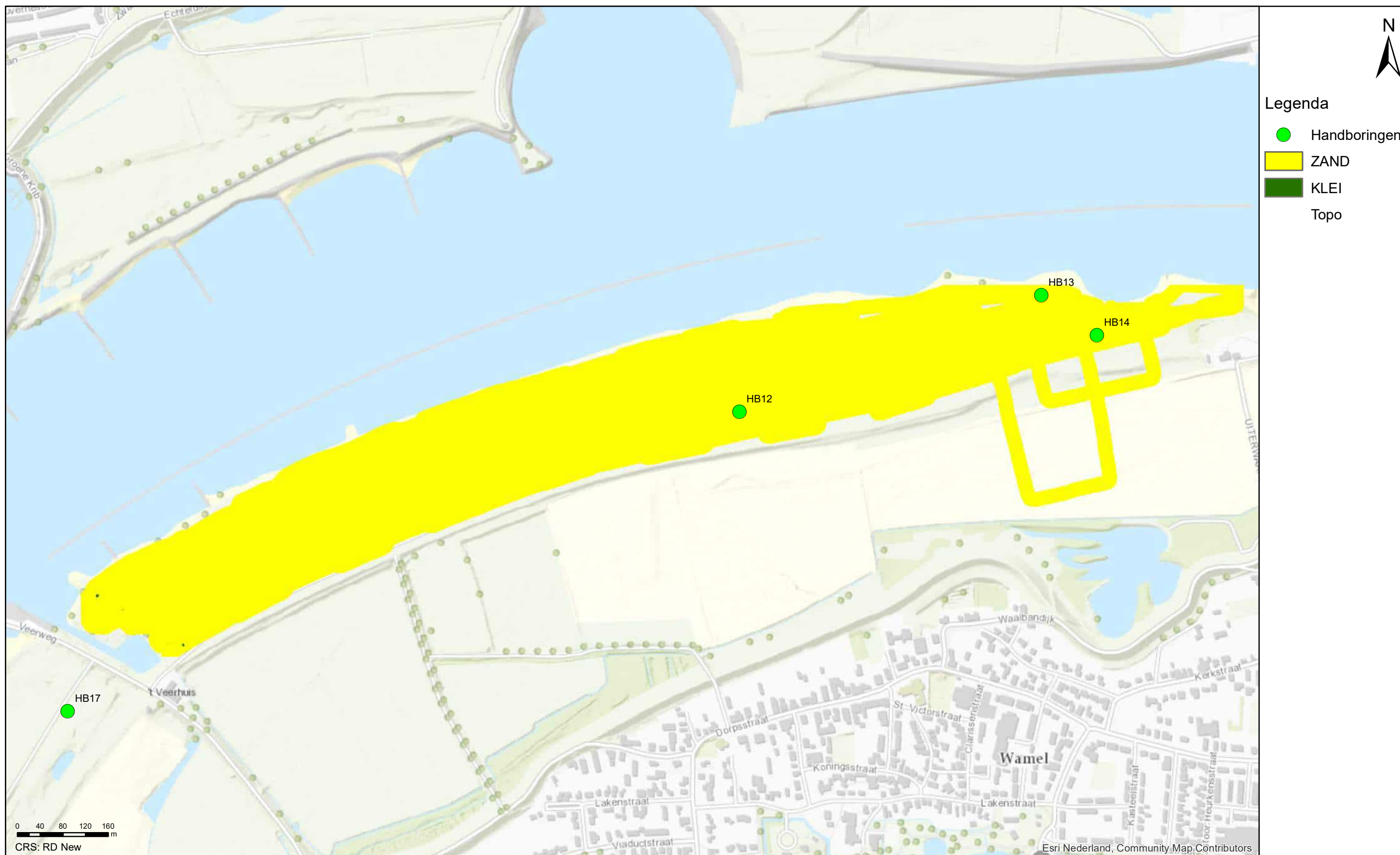
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 4.25 - 4.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-18



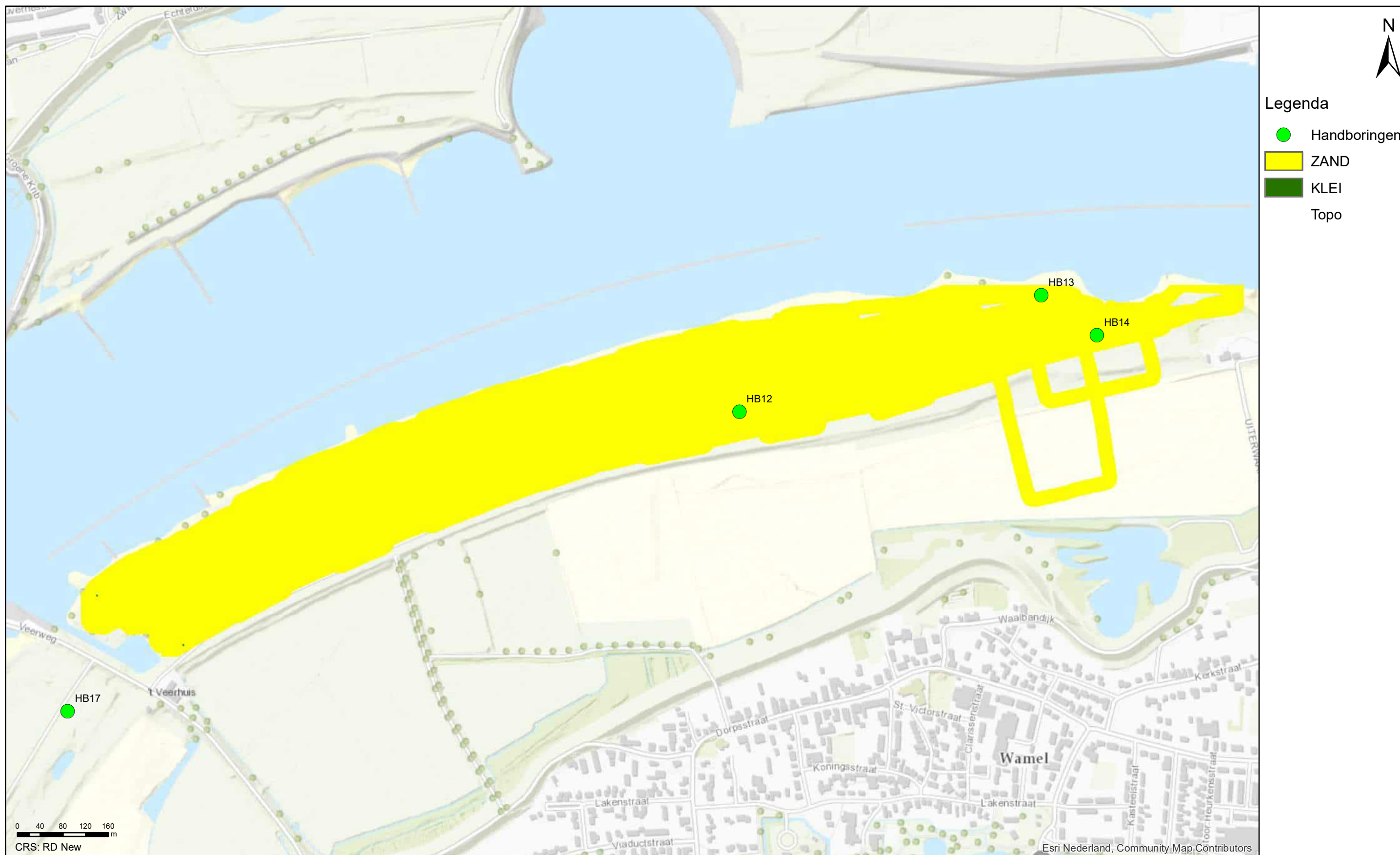
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 4.50 - 4.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-19



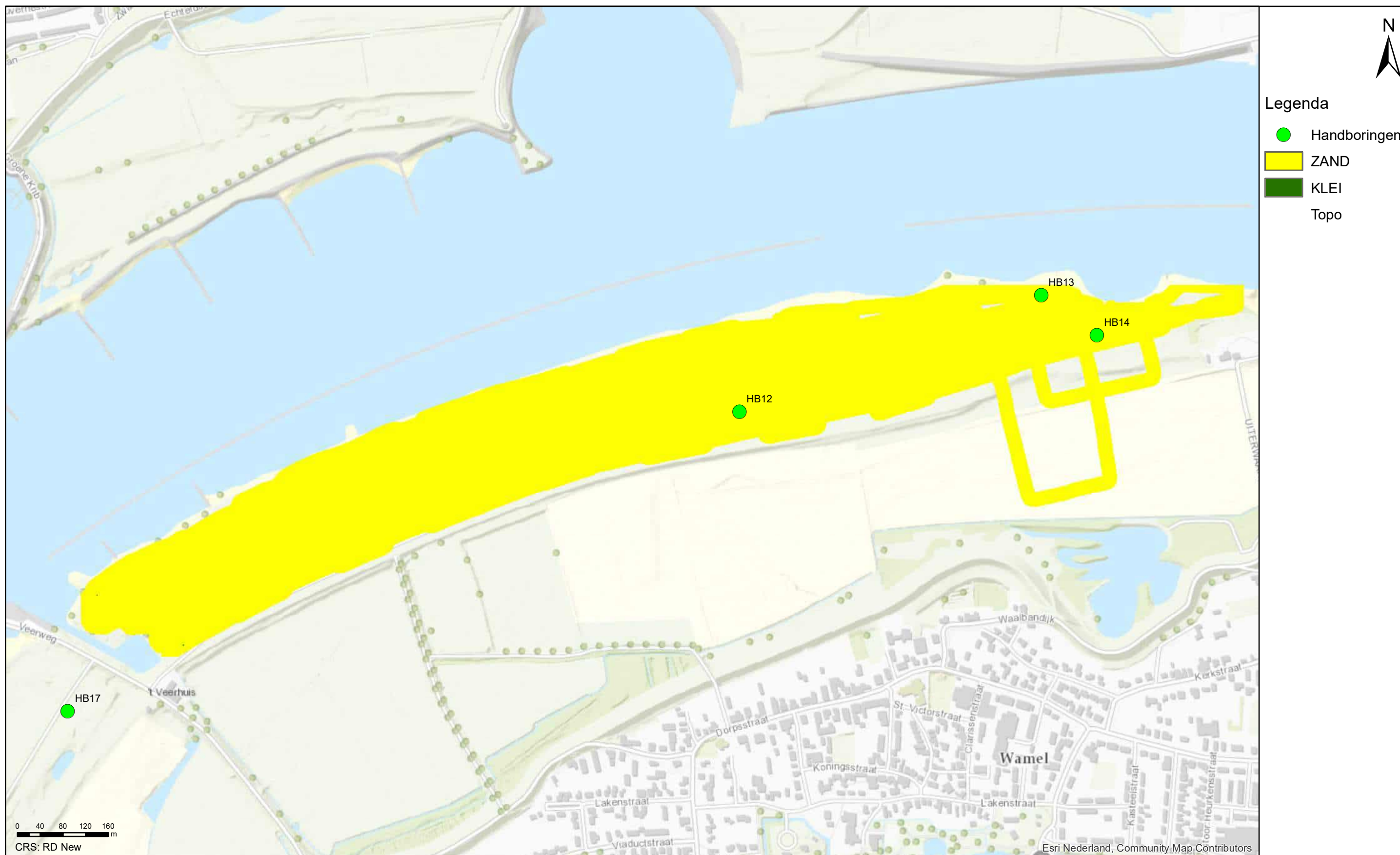
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 4.75 - 5.00 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-20



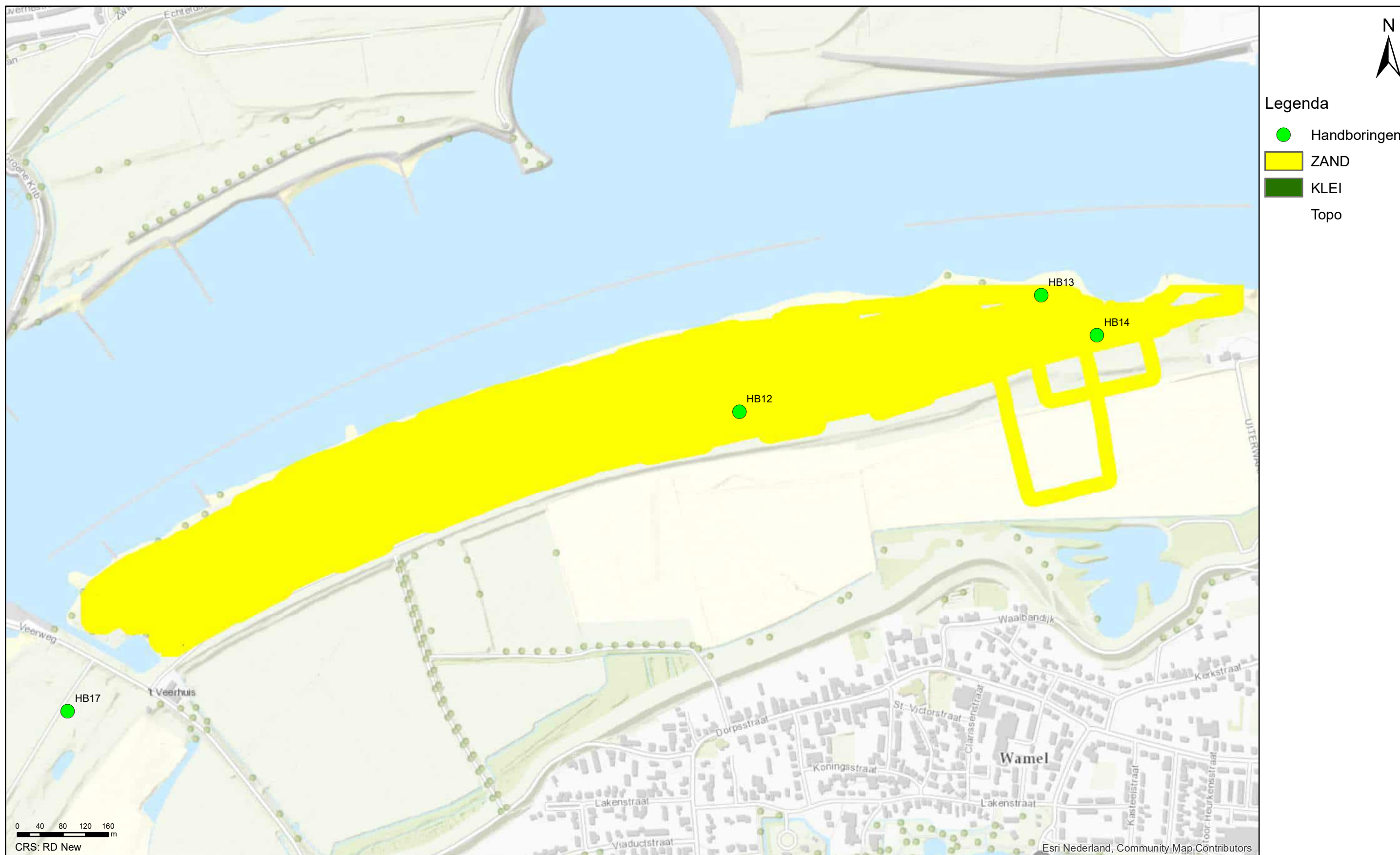
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 5.00 - 5.25 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-21

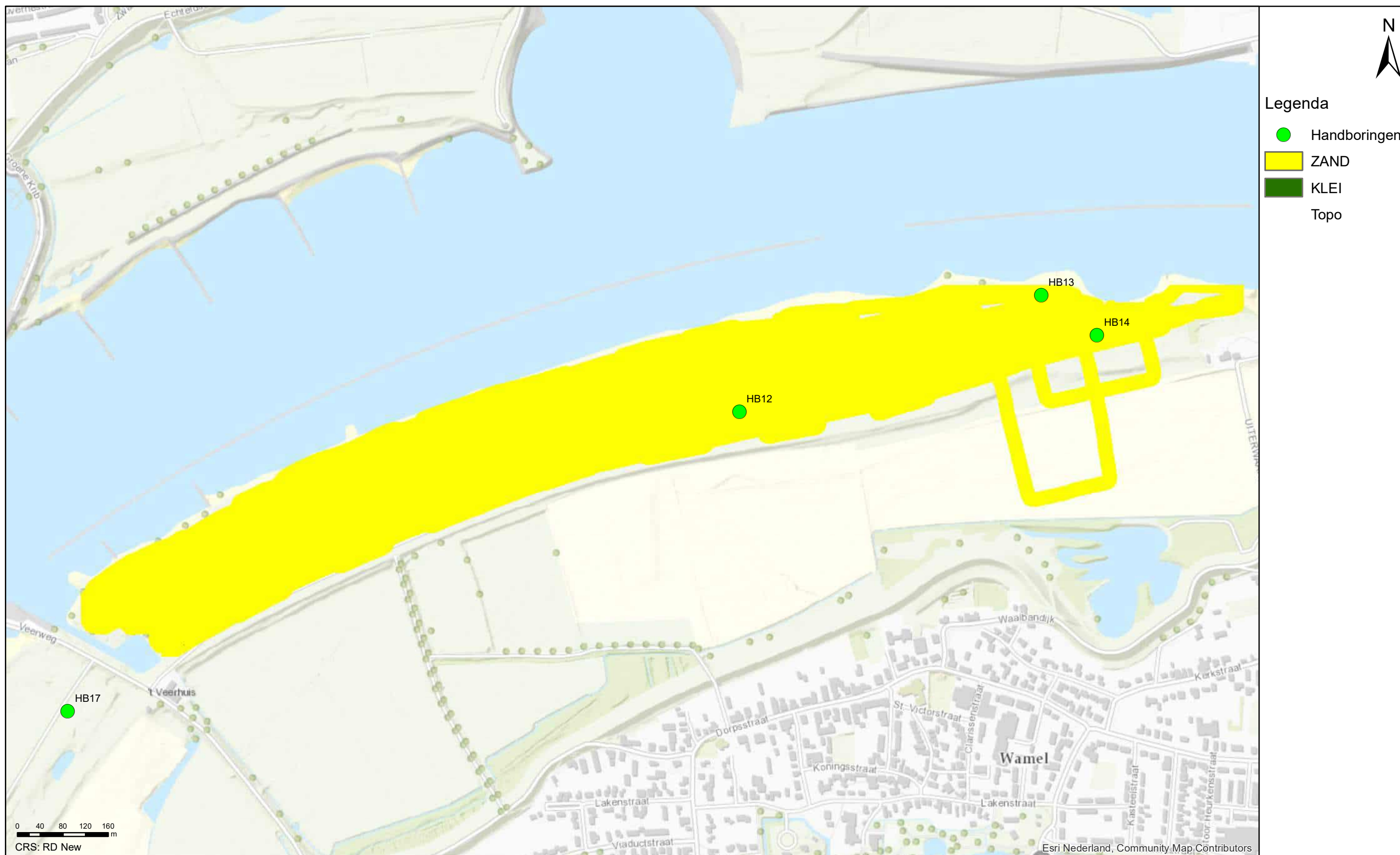


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 5.25 - 5.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-22

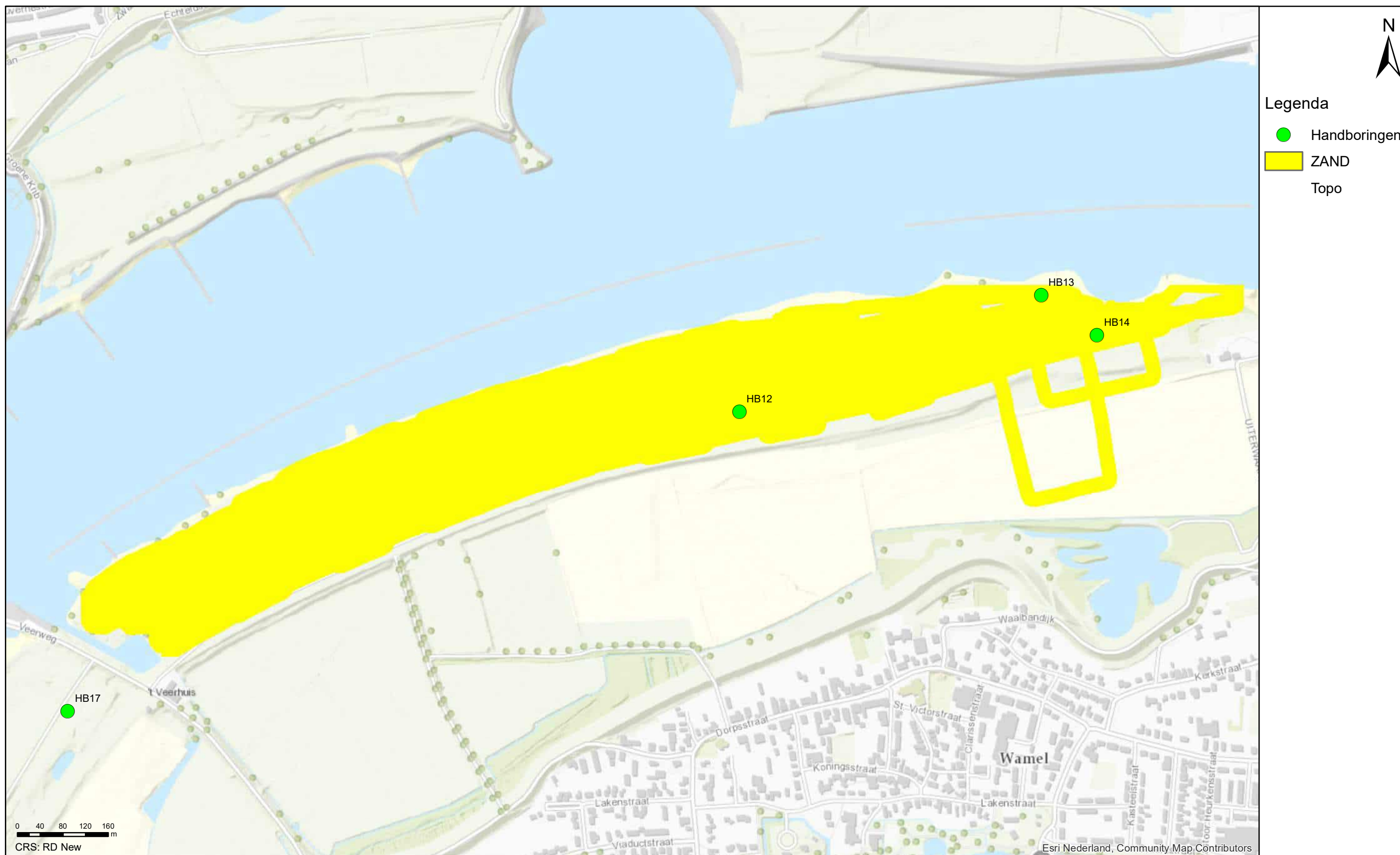


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 5.50 - 5.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-23



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 5.75 - 6.00 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-24



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.00 - 0.25 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-1



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.25 - 0.50 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-2



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.50 - 0.75 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-3



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.75 - 1.00 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-4



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.00 - 1.25 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-5



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.25 - 1.50 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-6



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.50 - 1.75 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-7



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.75 - 2.00 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-8



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.00 - 2.25 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-9



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.25 - 2.50 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-10

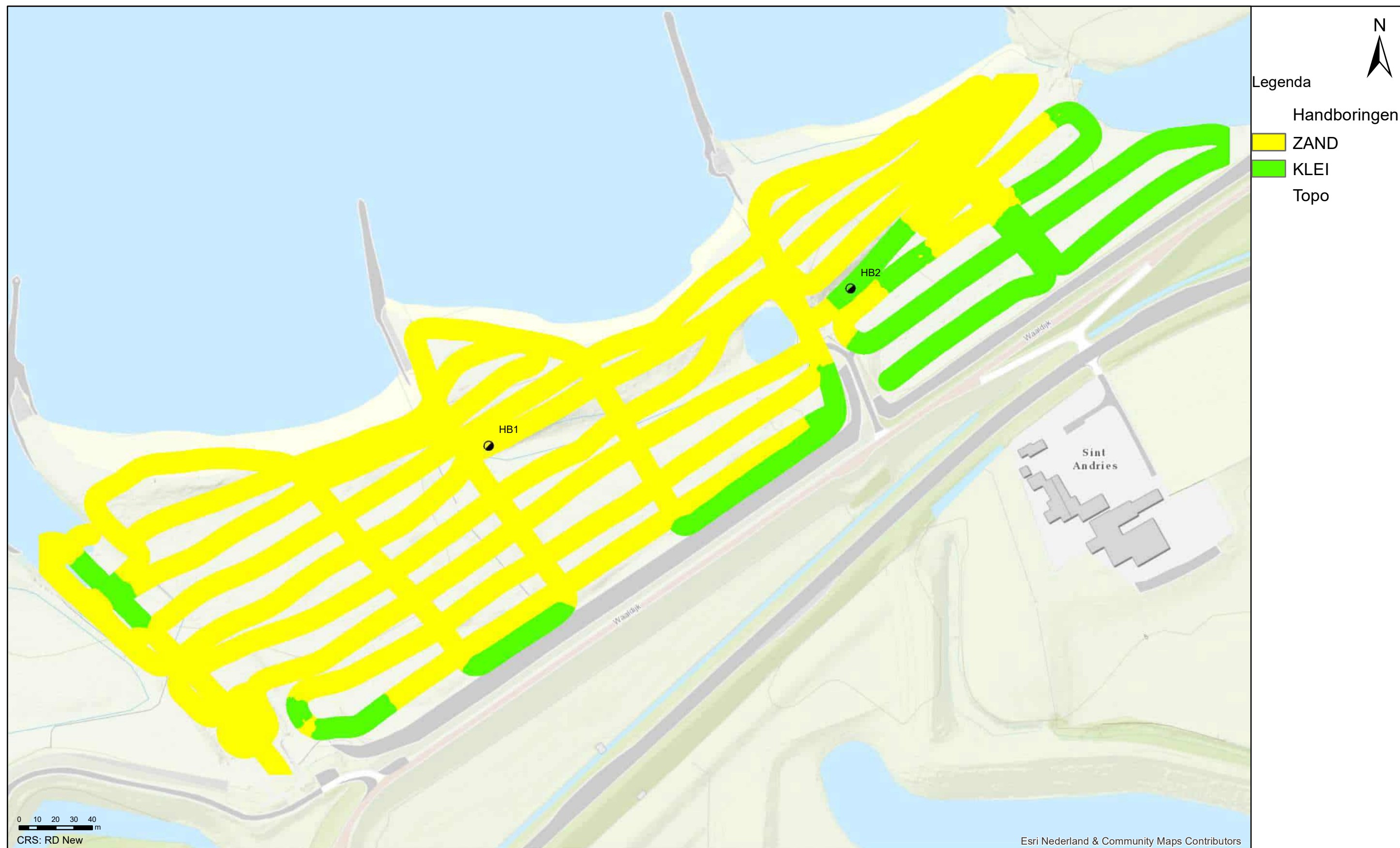


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.50 - 2.75 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-1-11



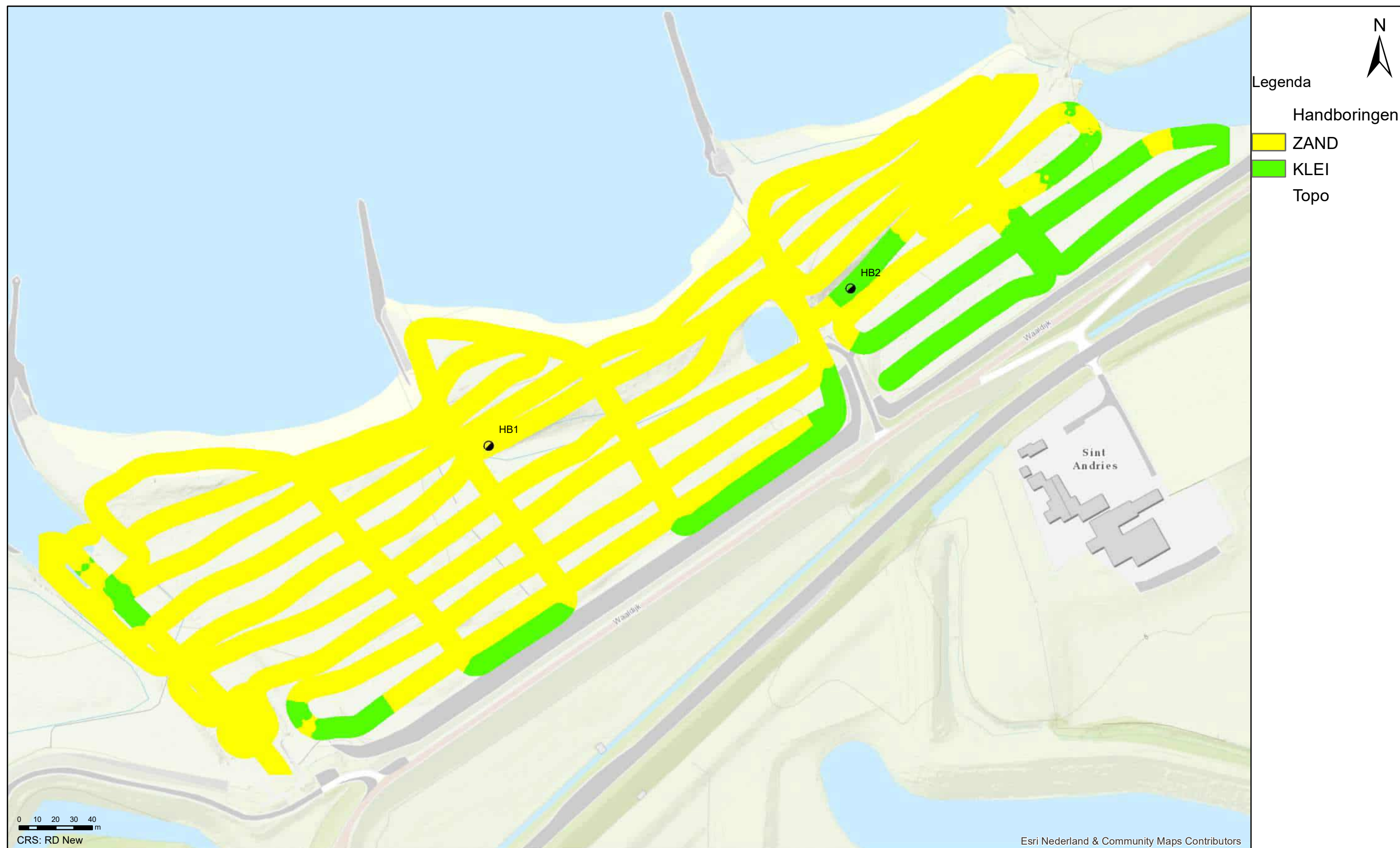
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.75 - 3.00 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-12

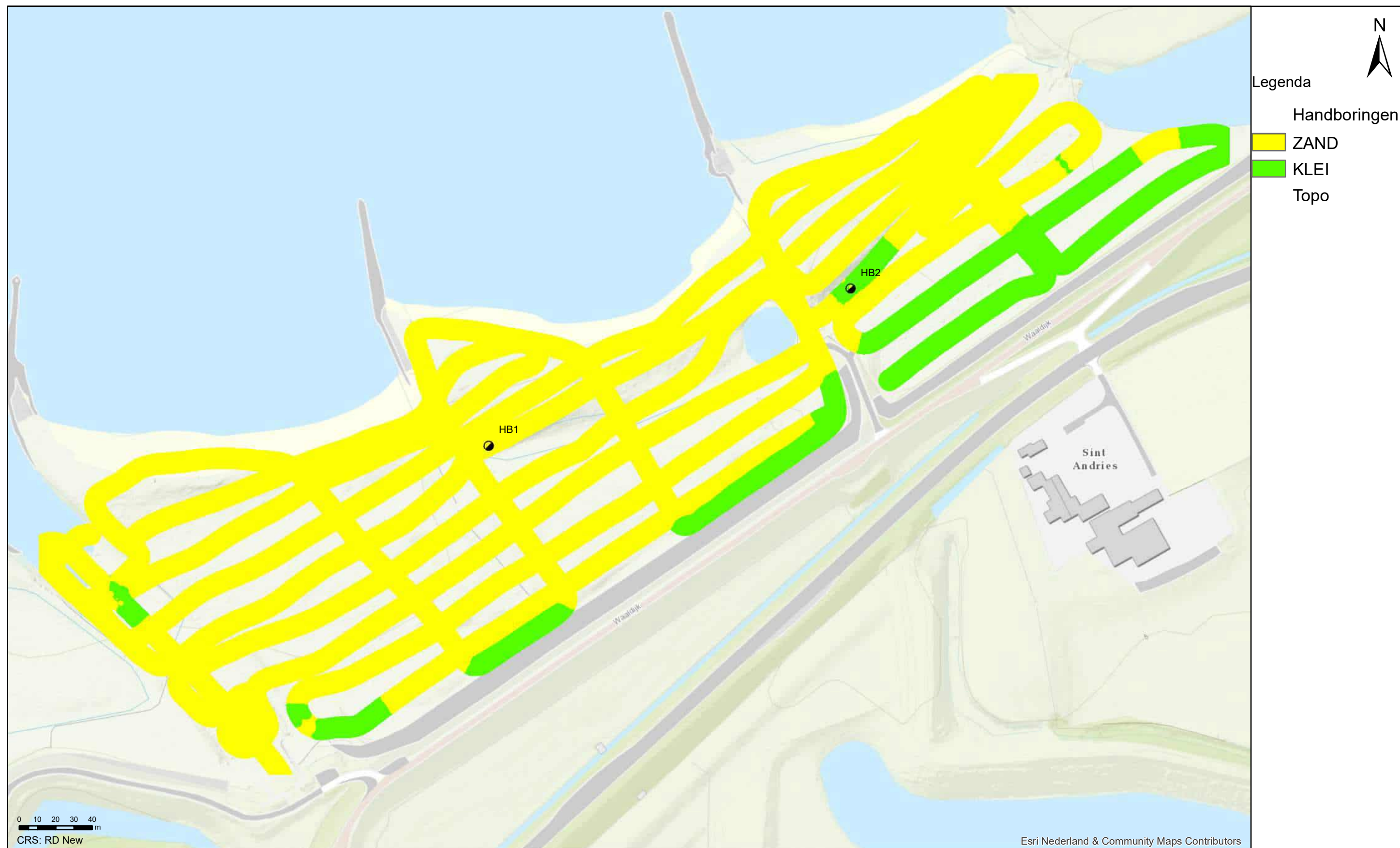


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.00 - 3.25 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-1-13



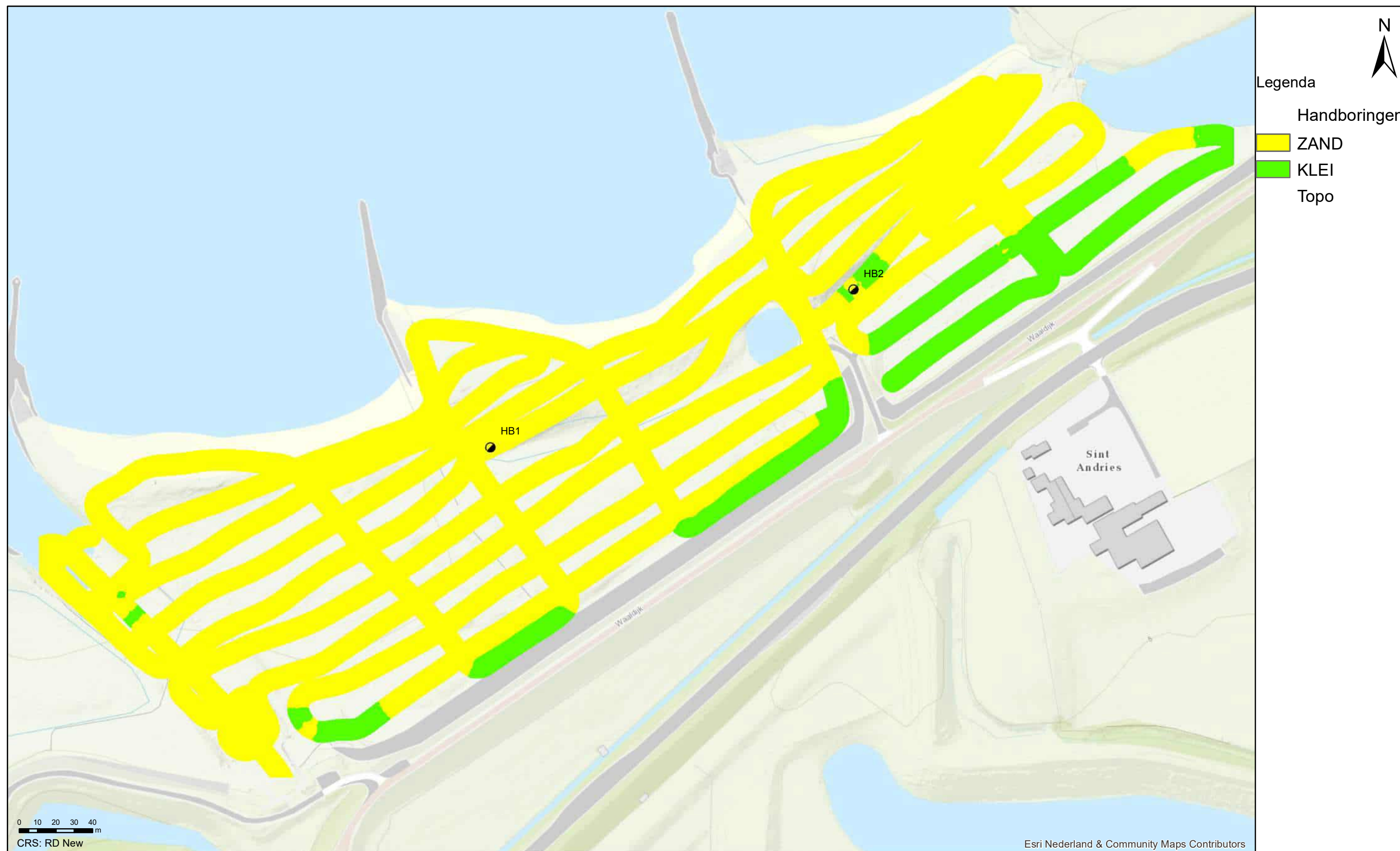
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.25 - 3.50 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-14



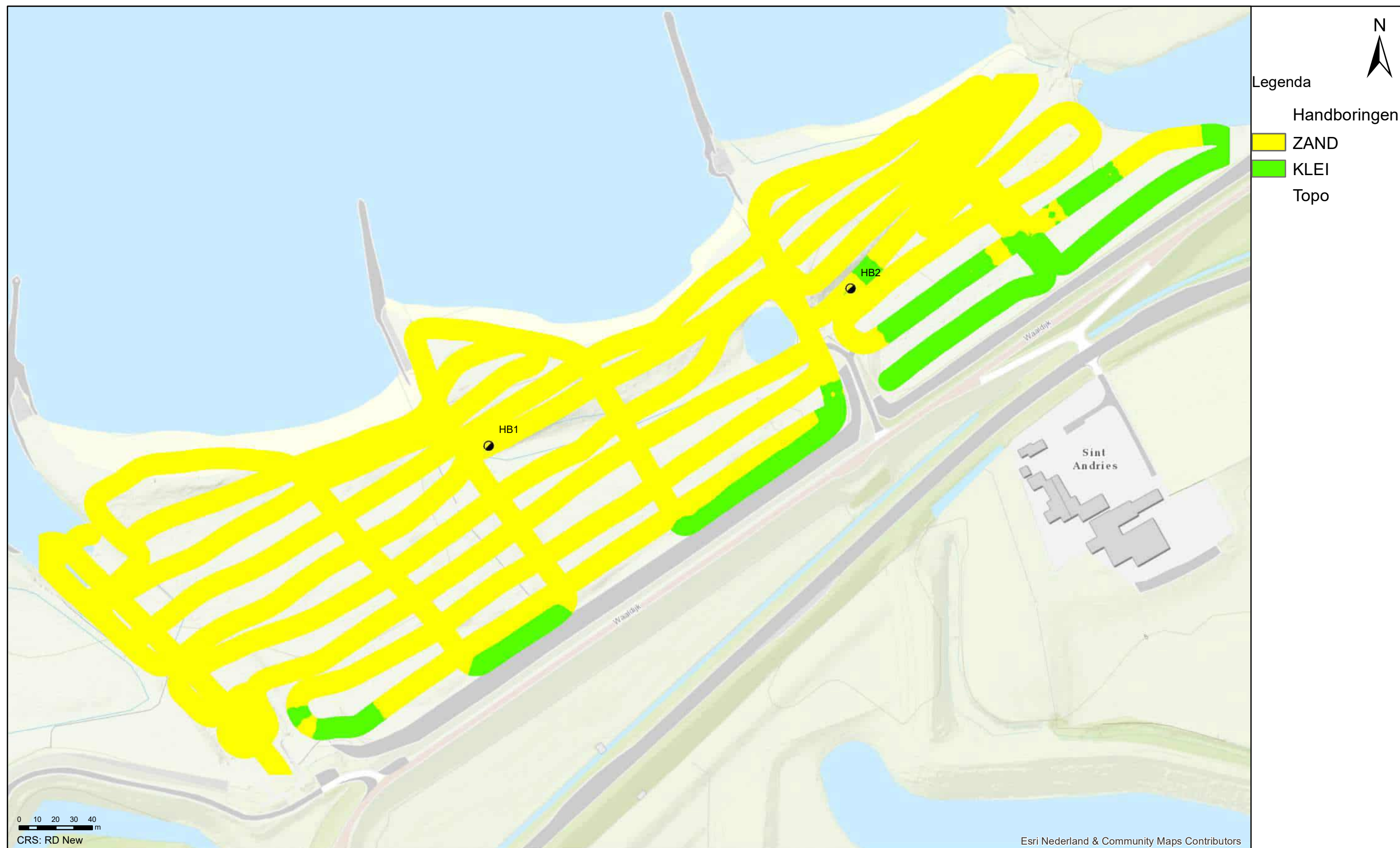
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.50 - 3.75 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-15



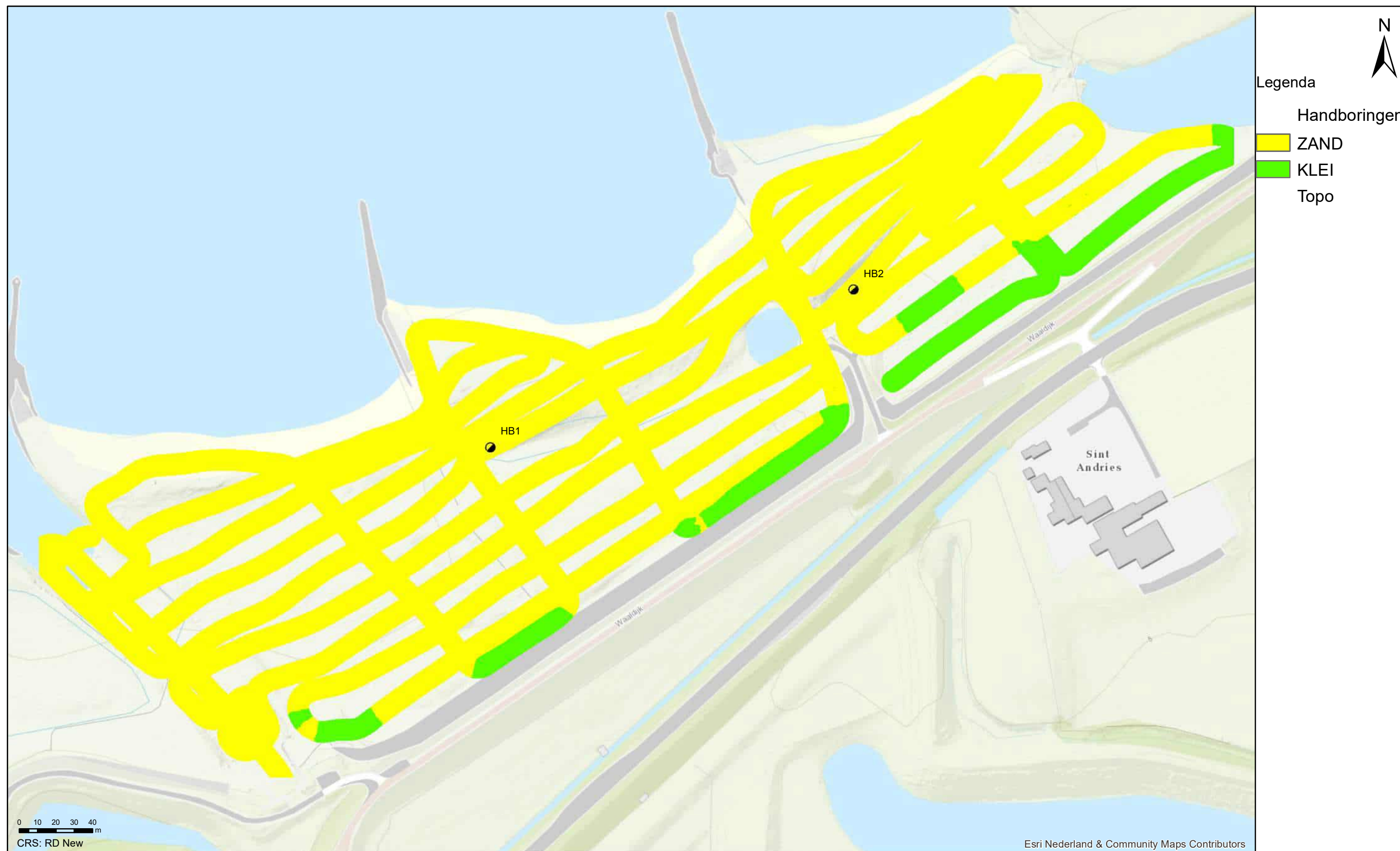
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.75 - 4.00 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-16



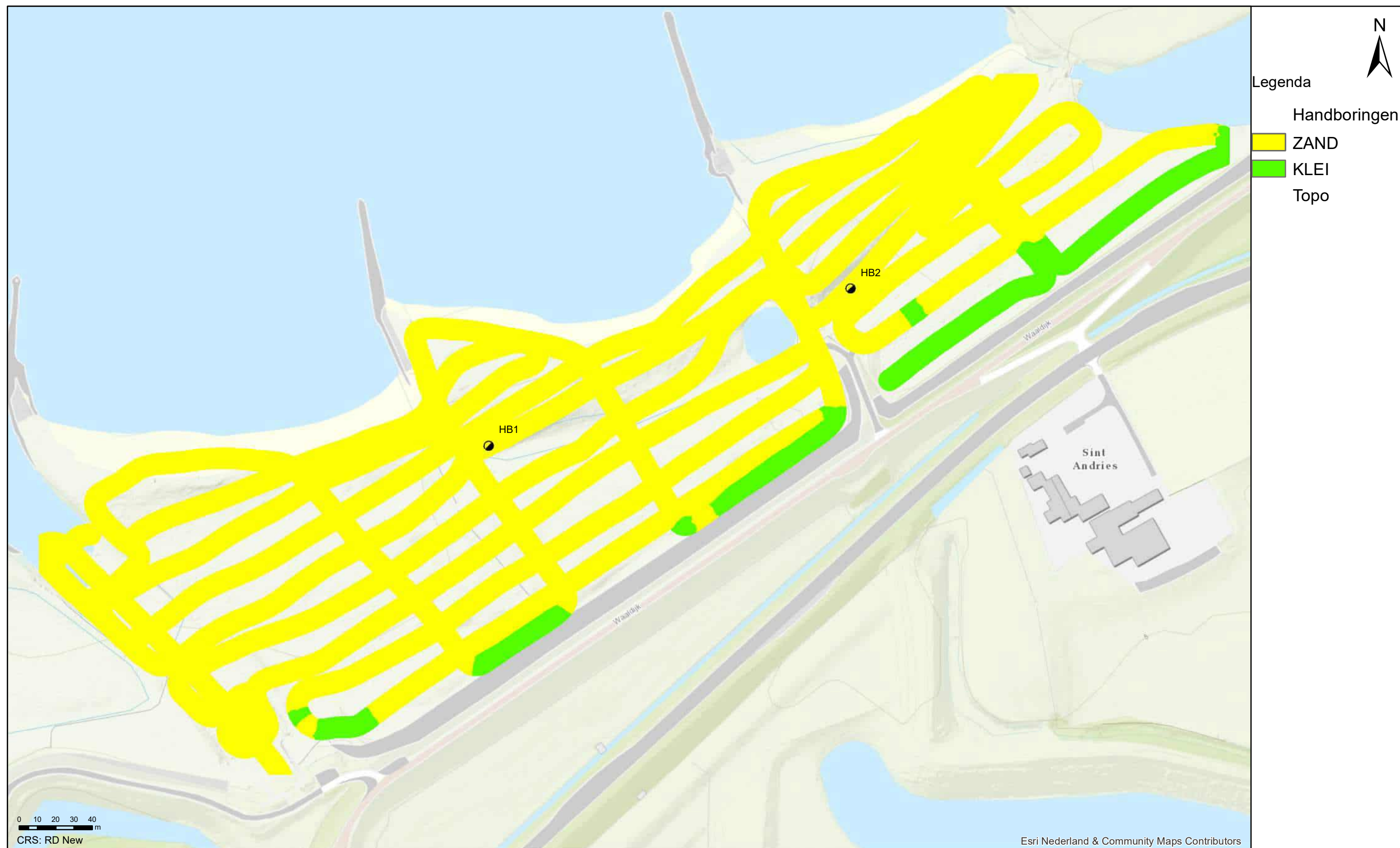
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.00 - 4.25 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-17



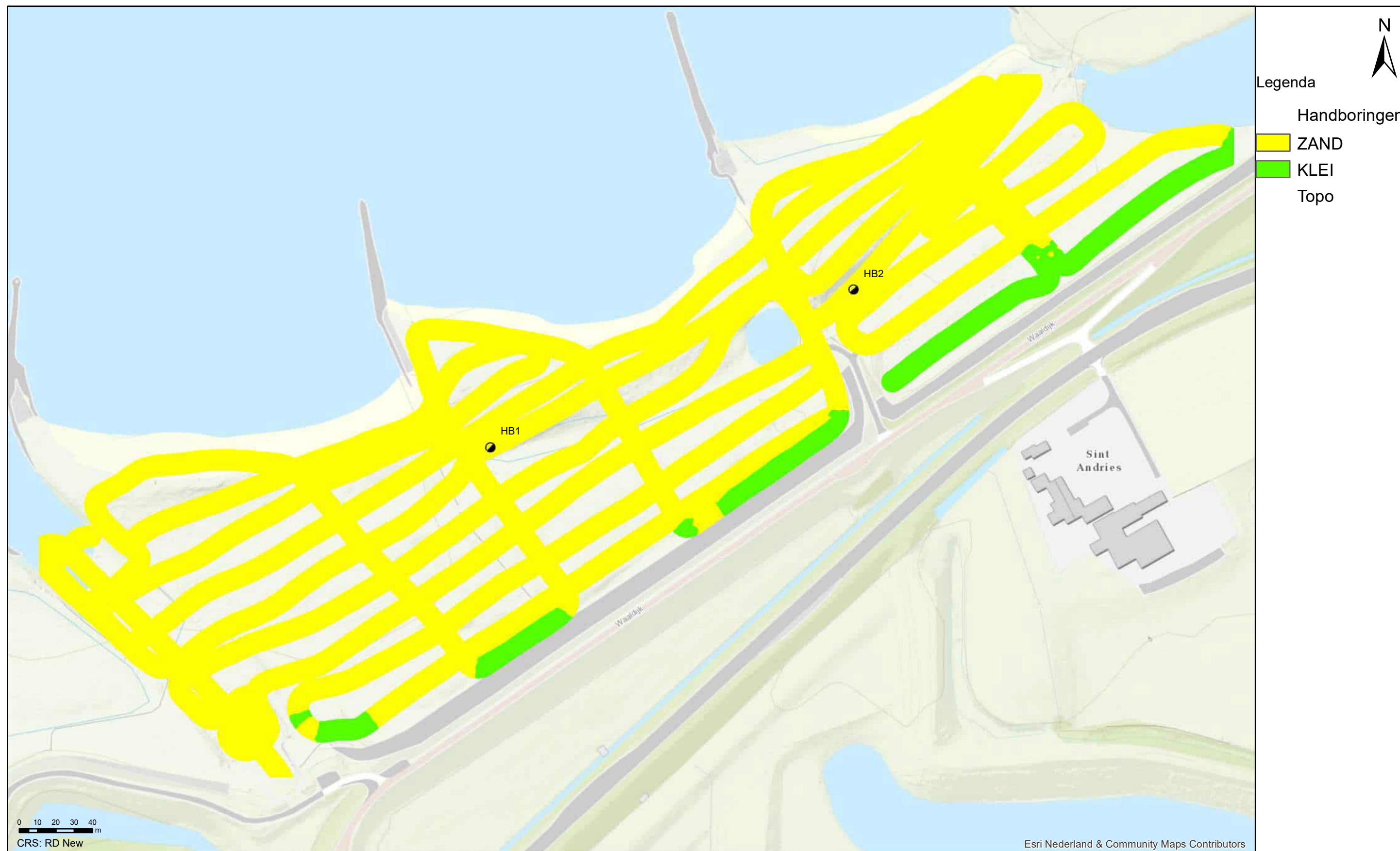
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.25 - 4.50 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-18



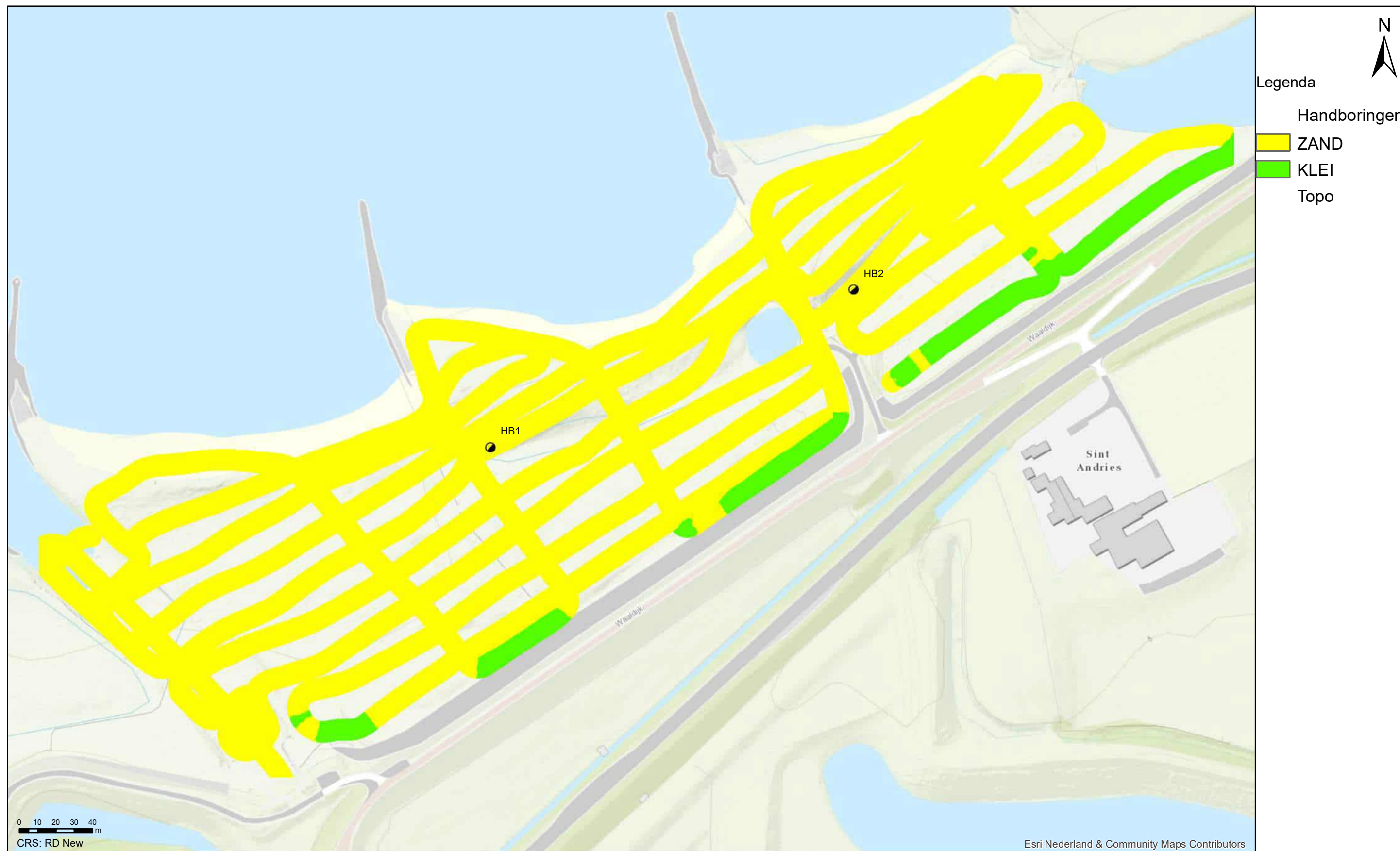
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.50 - 4.75 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-19



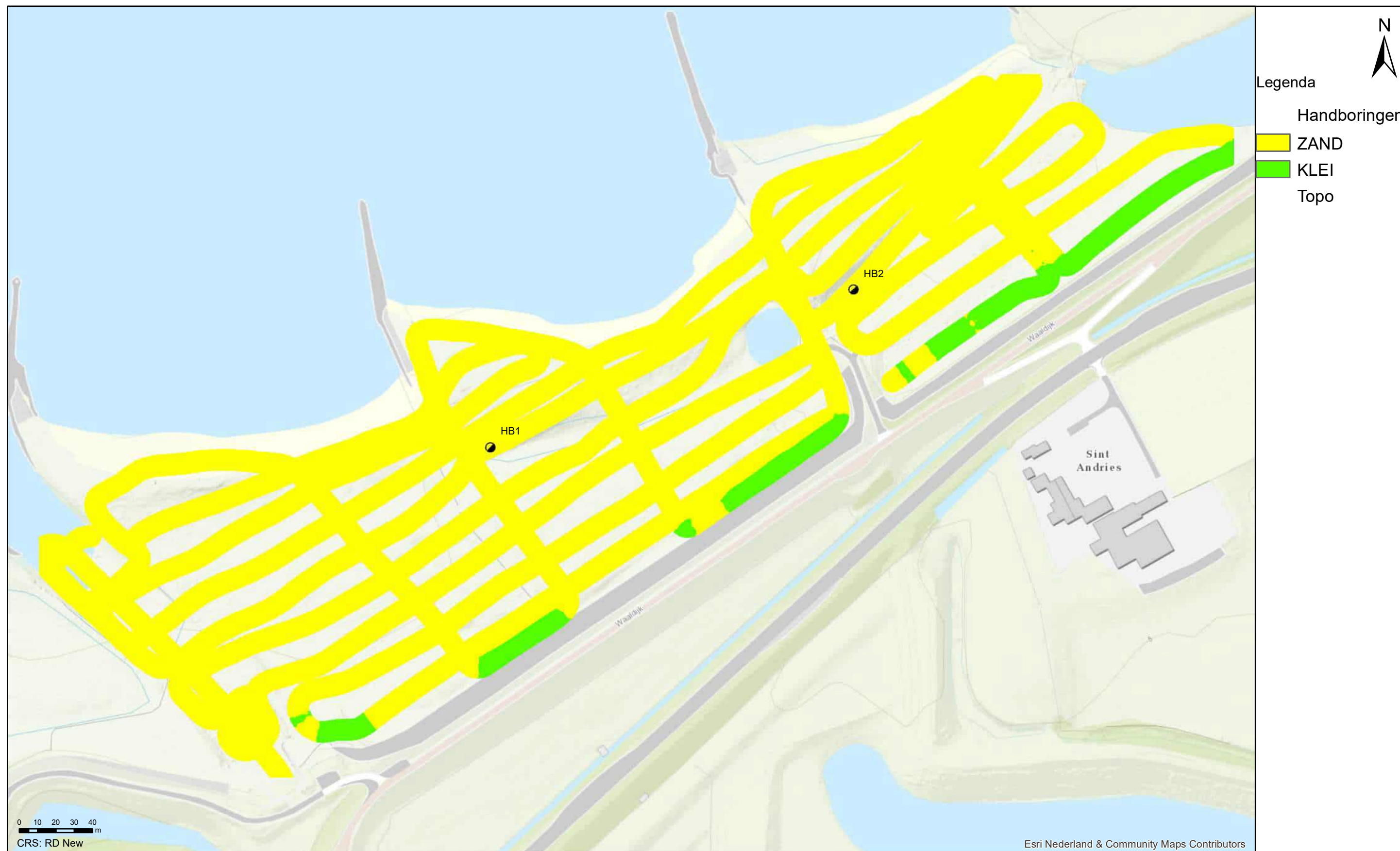
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.75 - 5.00 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-20



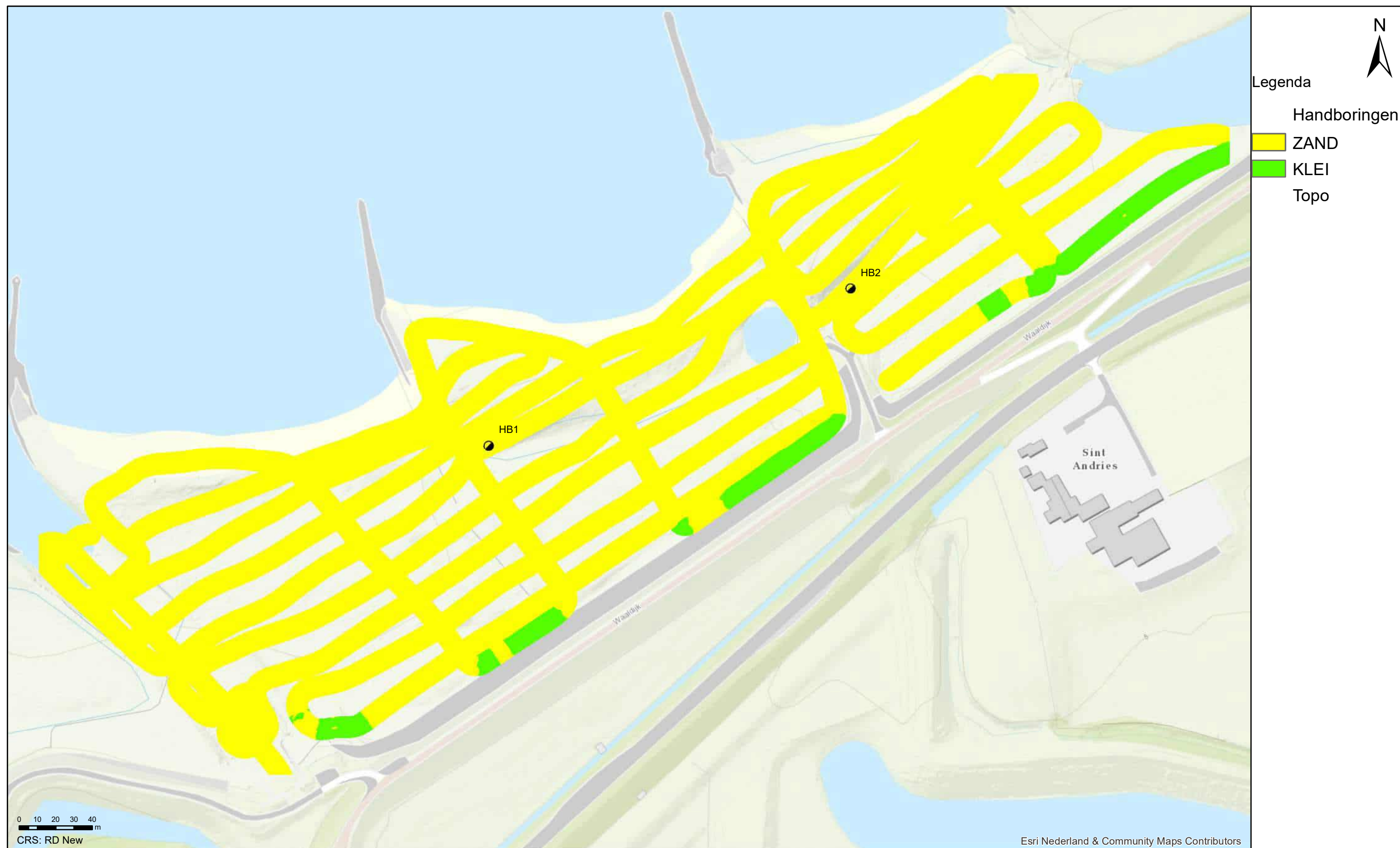
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.00 - 5.25 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-21



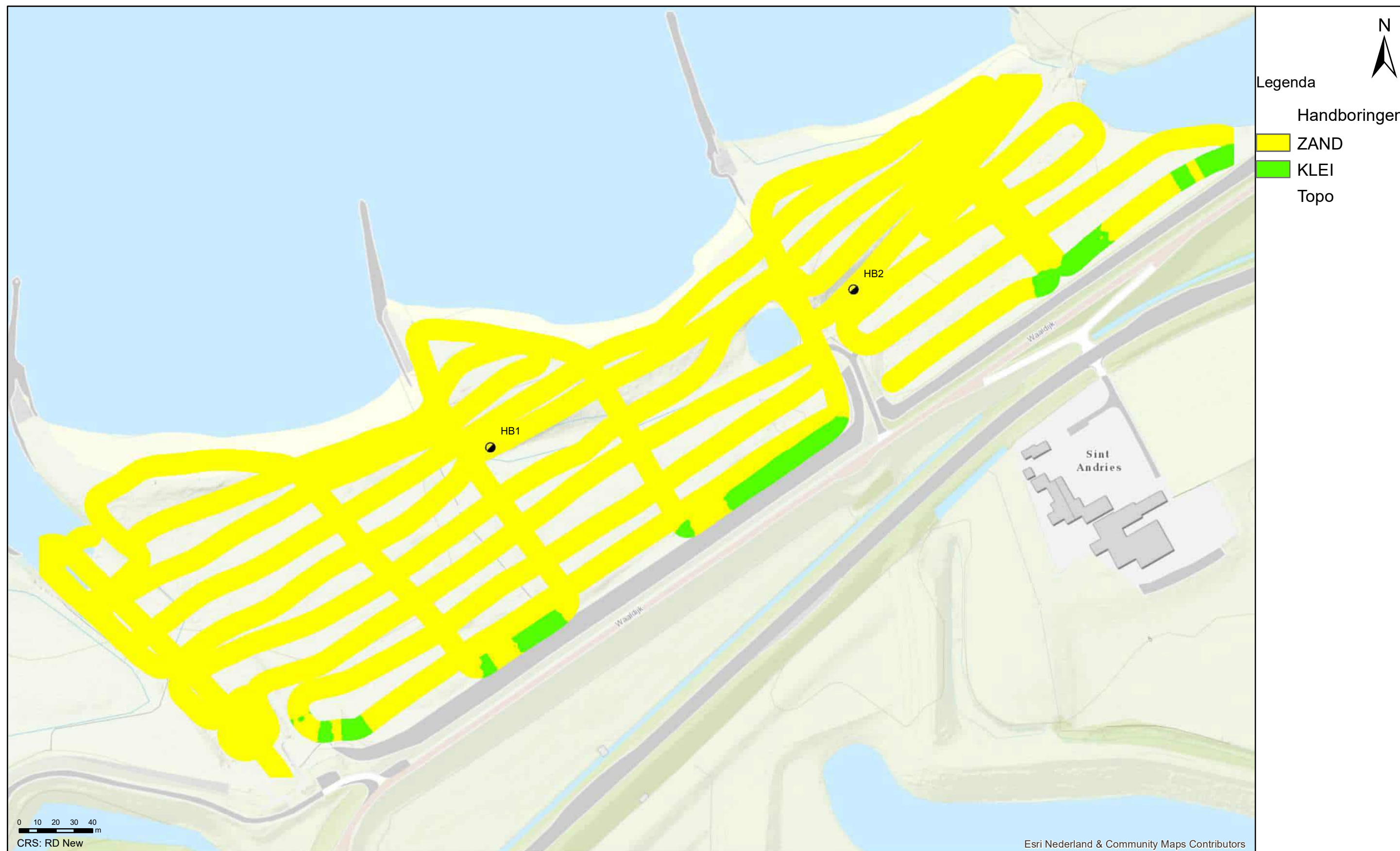
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.25 - 5.50 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-22



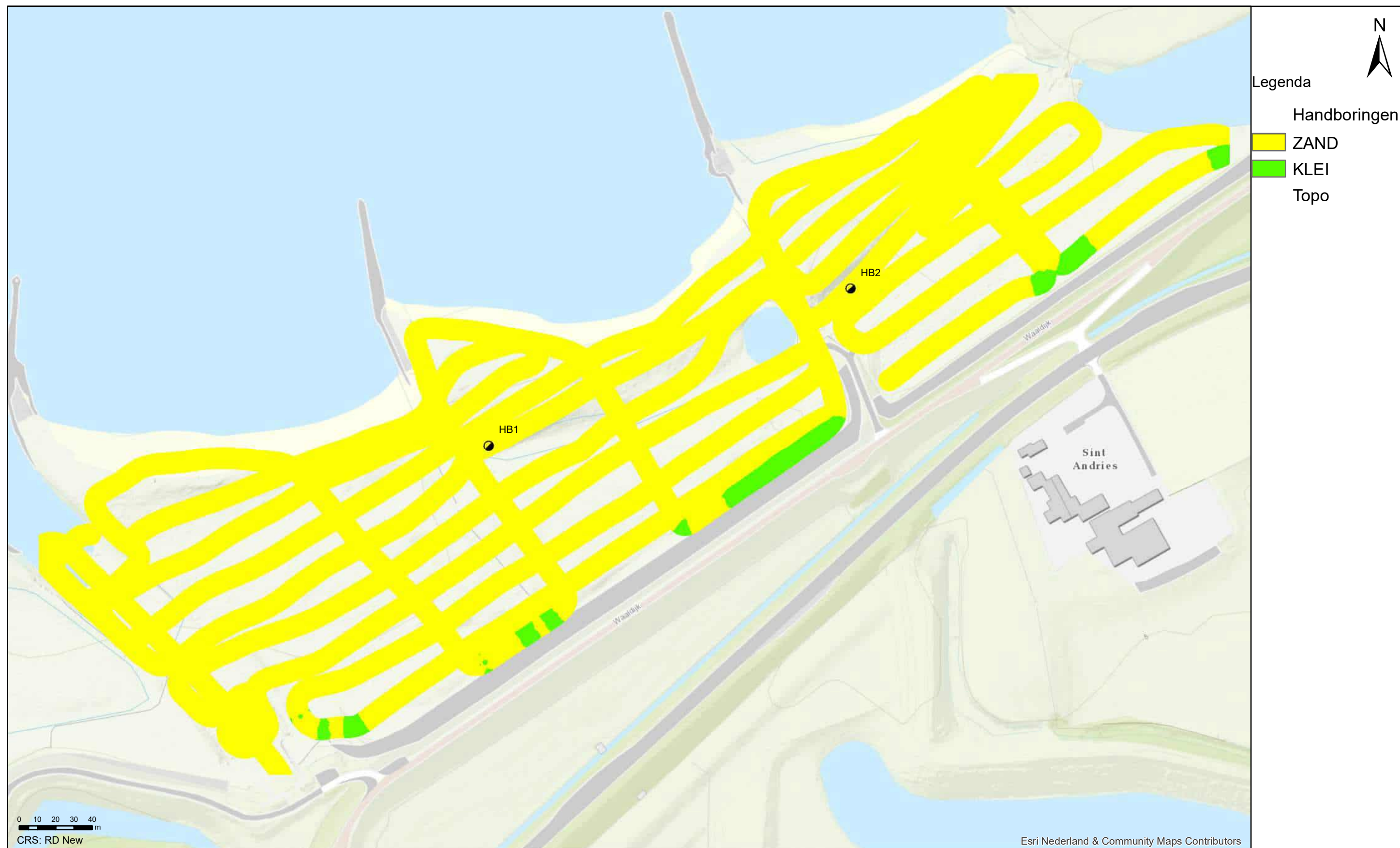
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.50 - 5.75 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-23



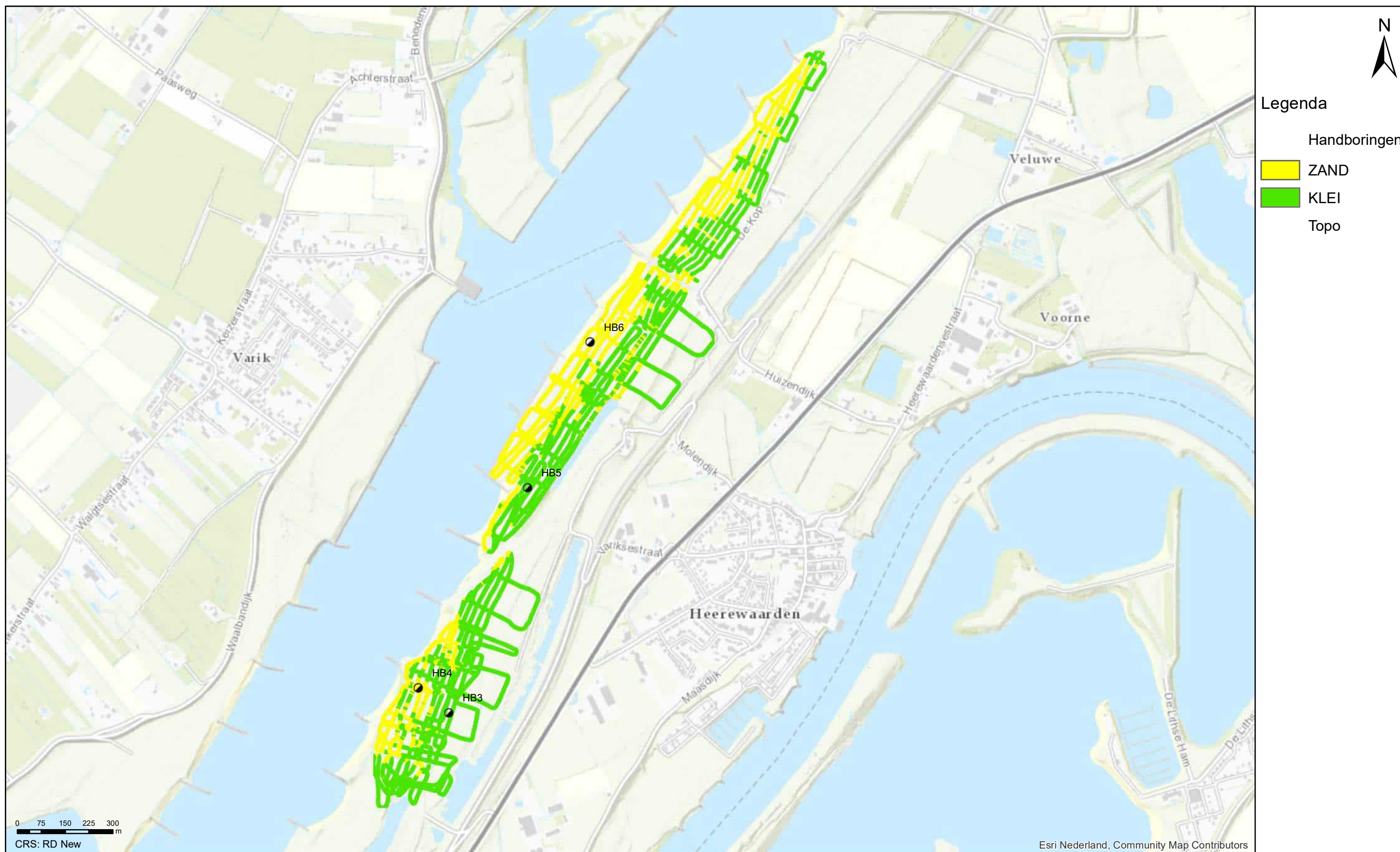
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.75 - 6.00 m -MV

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-1-24



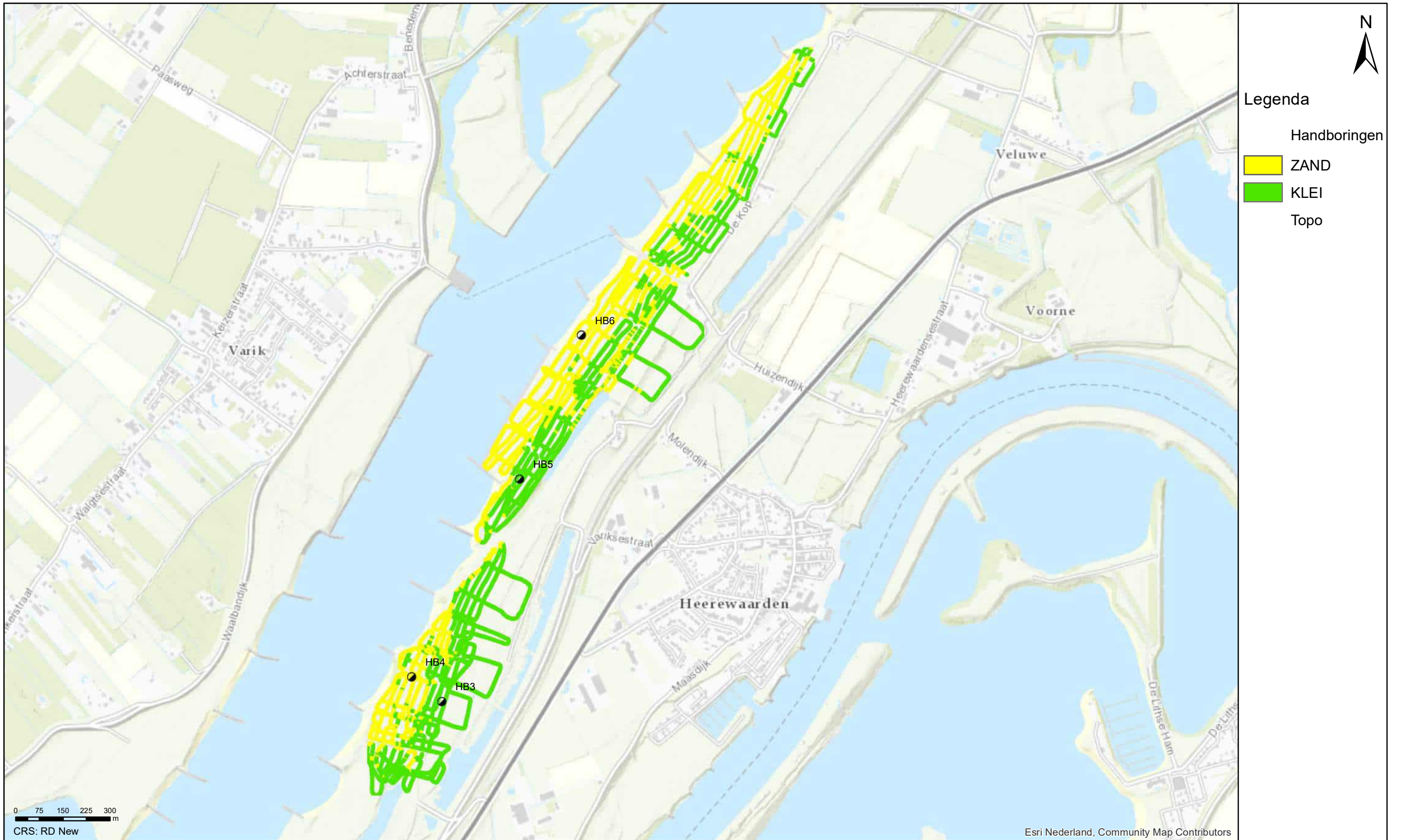
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 0.00 - 0.25 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-1



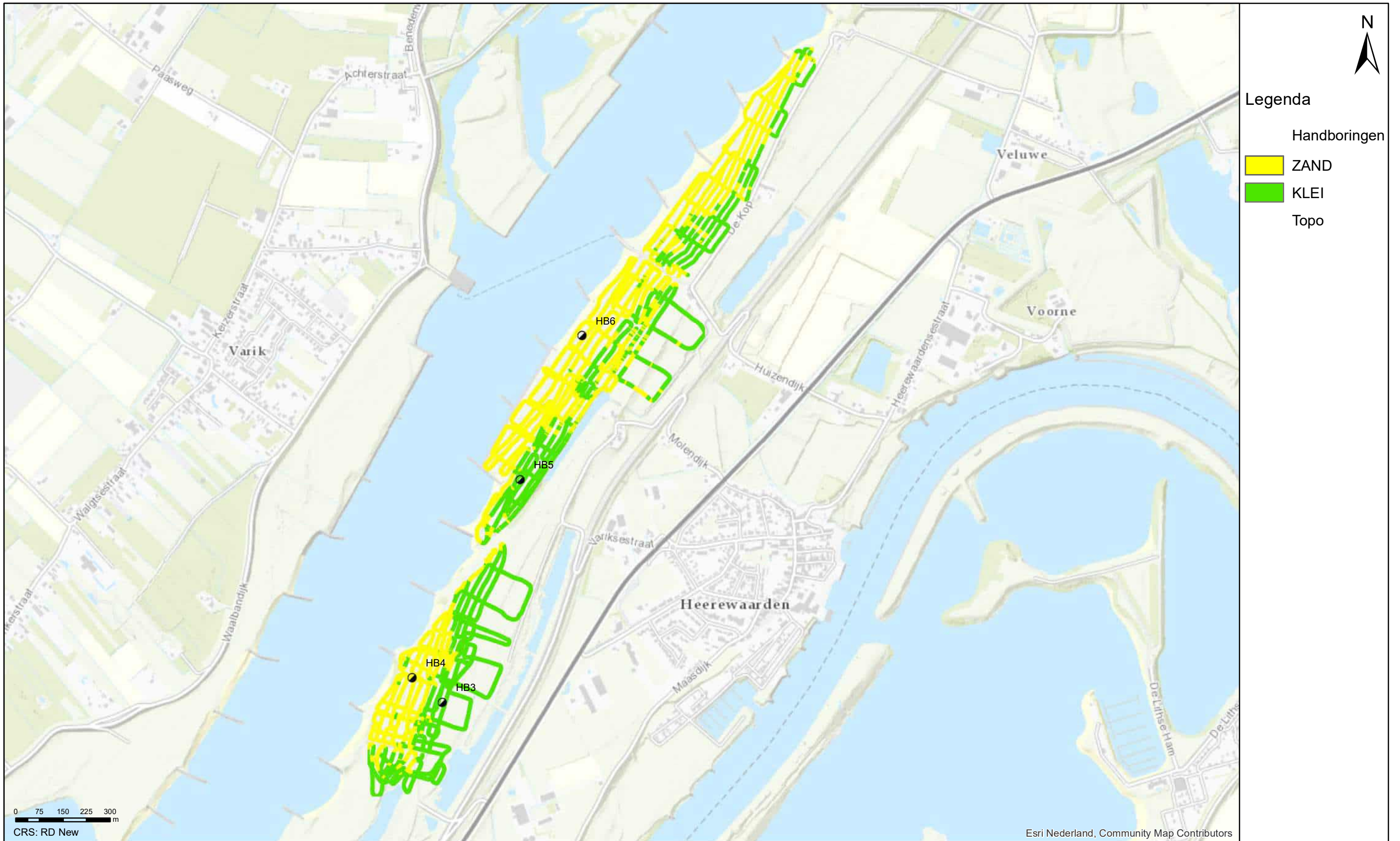
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 0.25 - 0.50 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-2



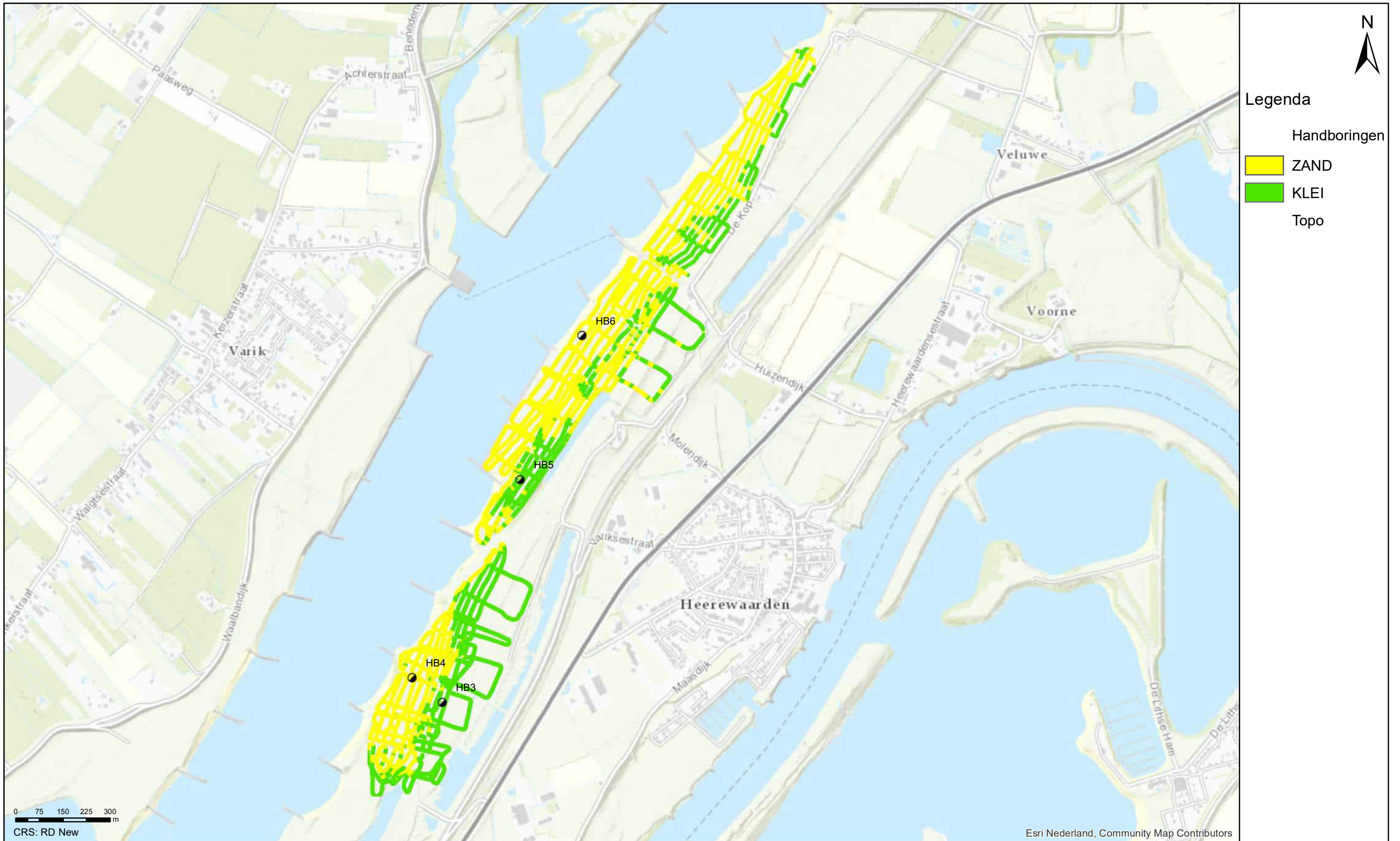
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 0.50 - 0.75 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-3



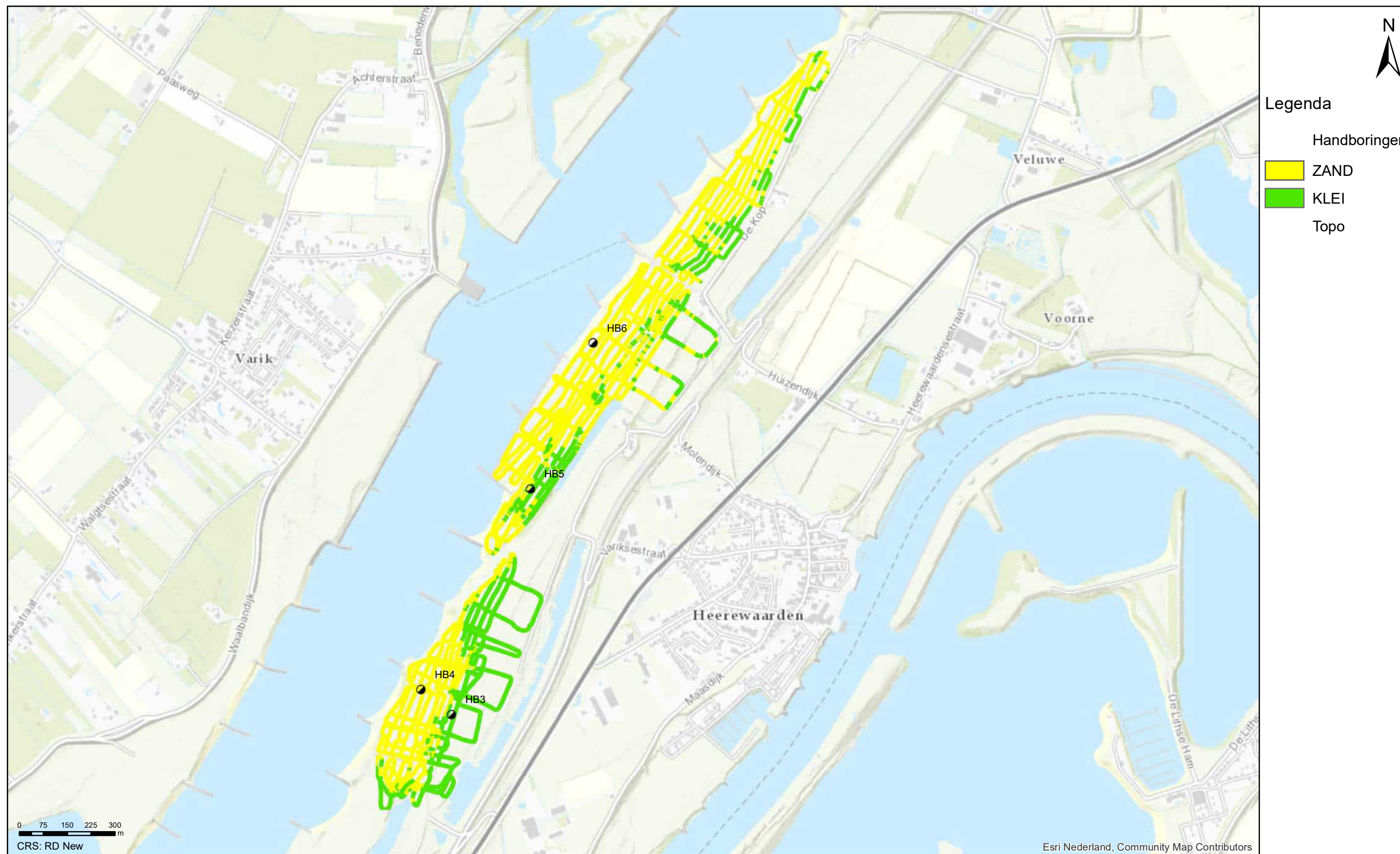
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 0.75 - 1.00 m -MV

Heerewwaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-4



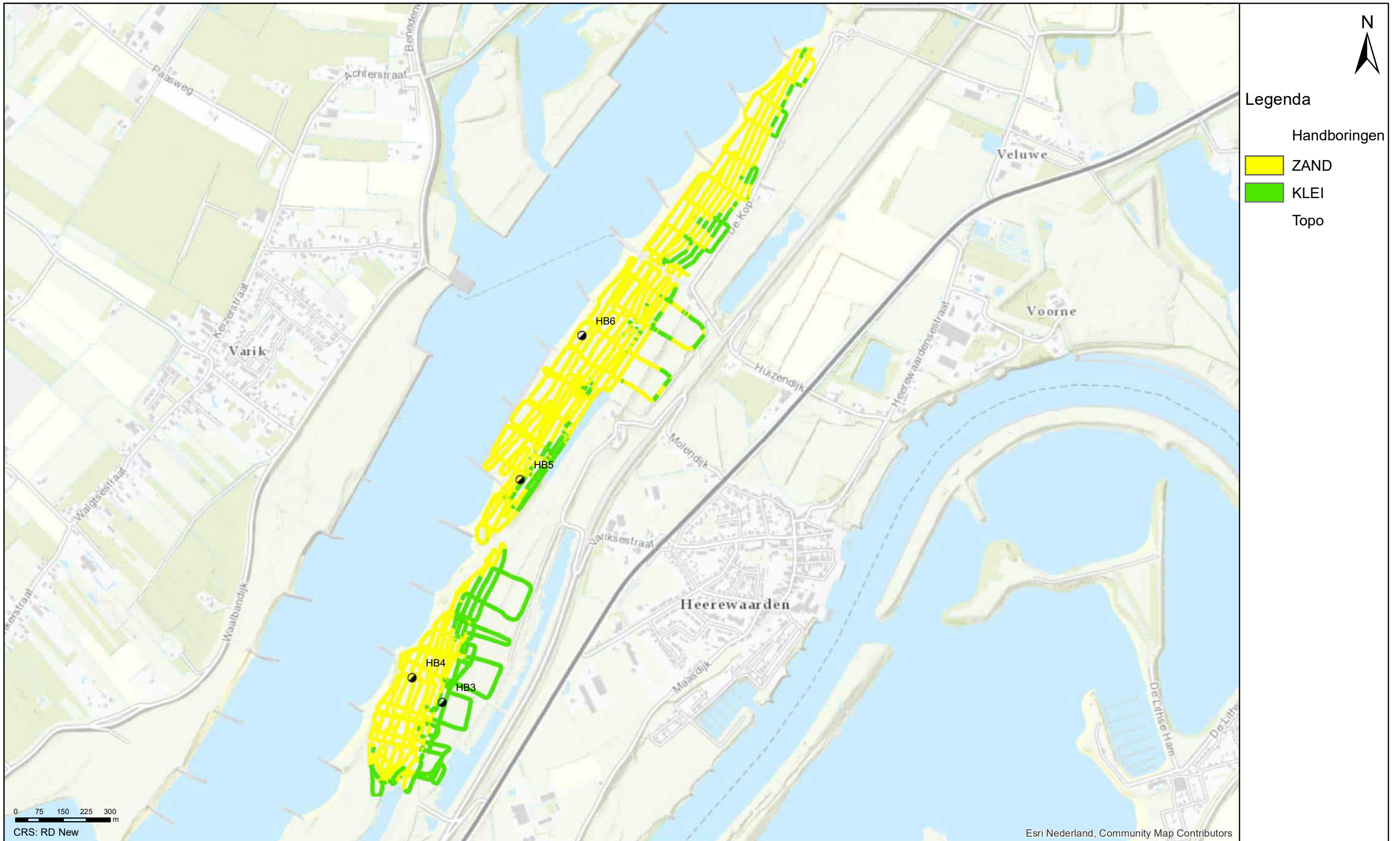
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 1.00 - 1.25 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-5



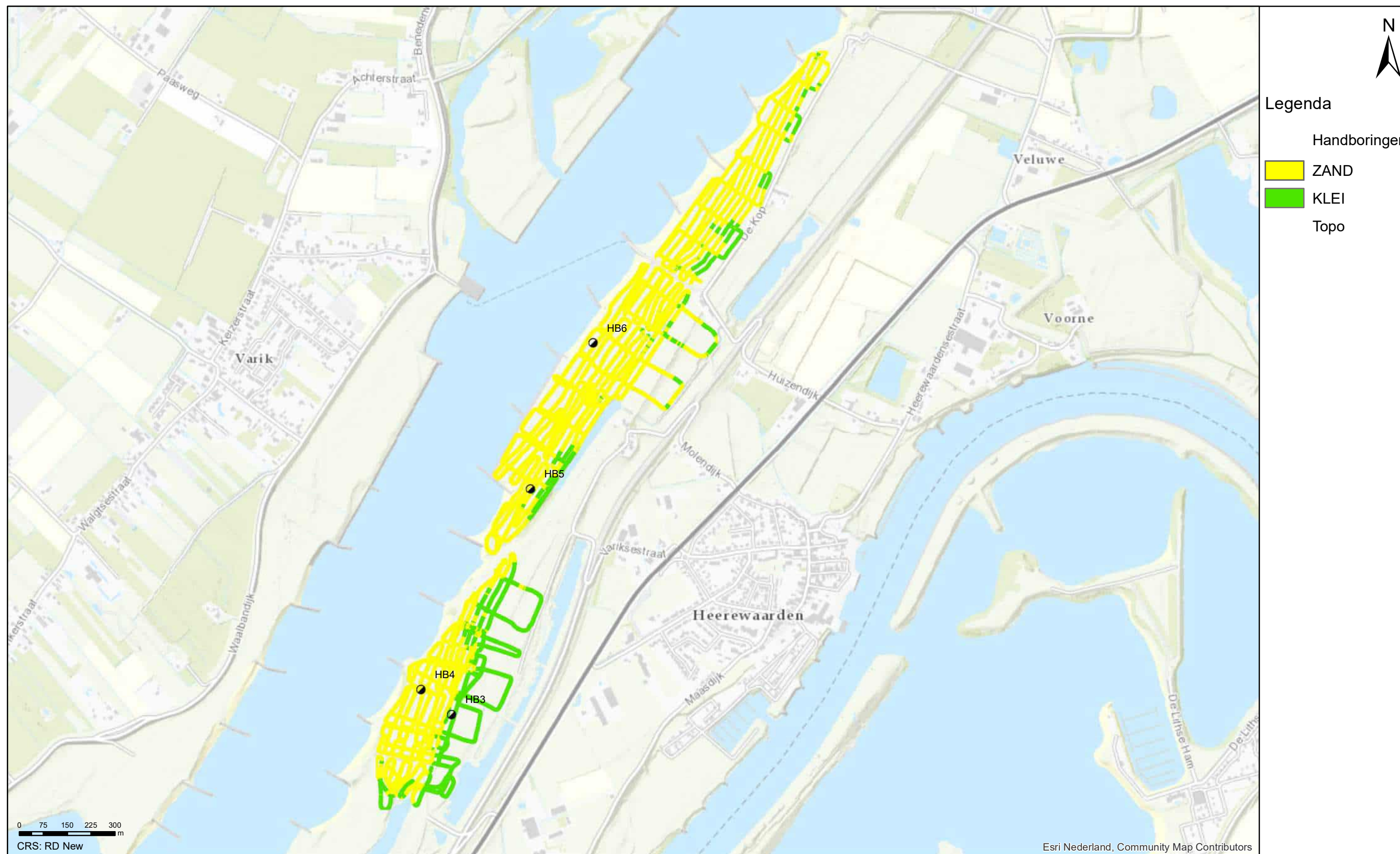
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 1.25 - 1.50 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-6



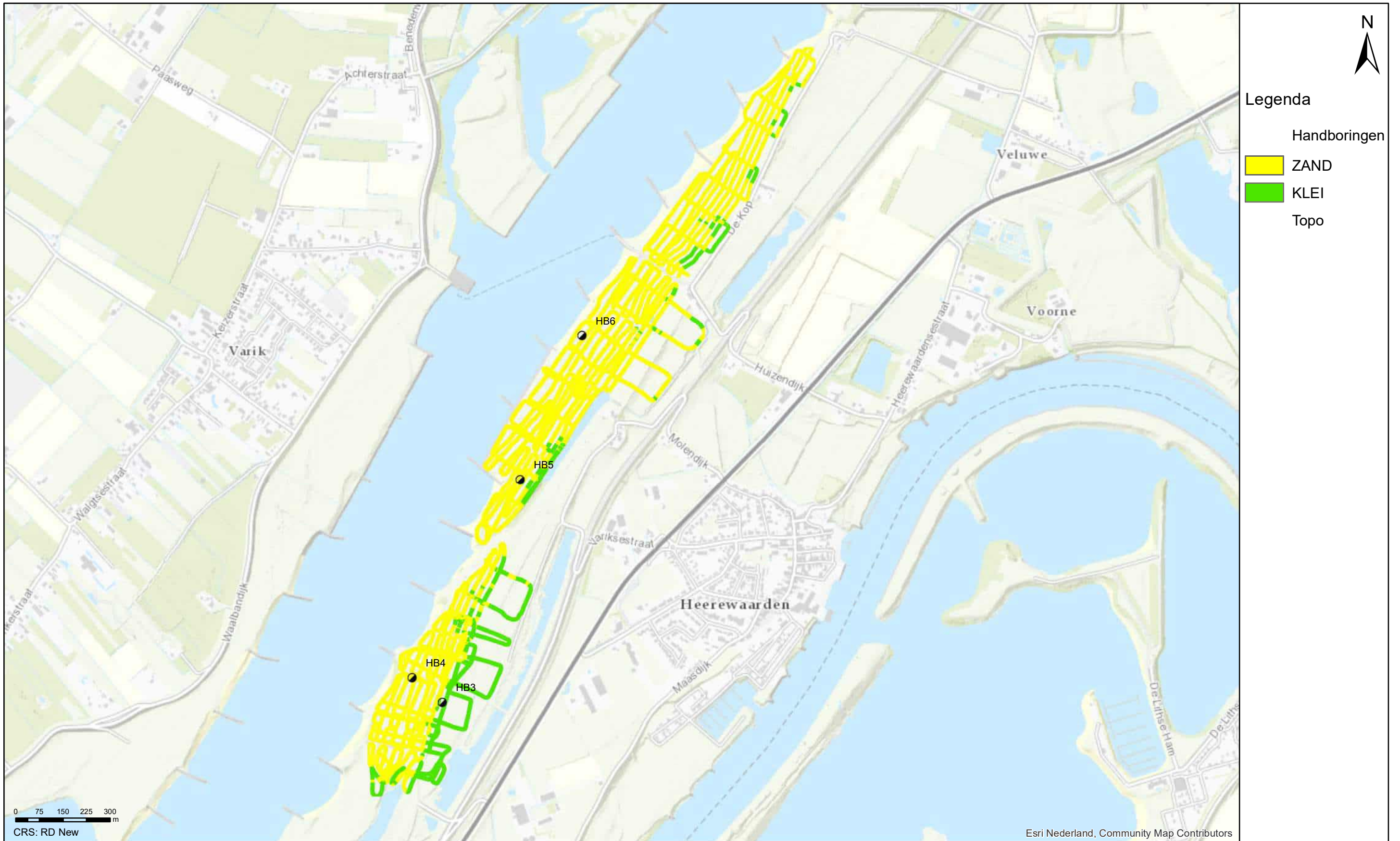
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 1.50 - 1.75 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-7



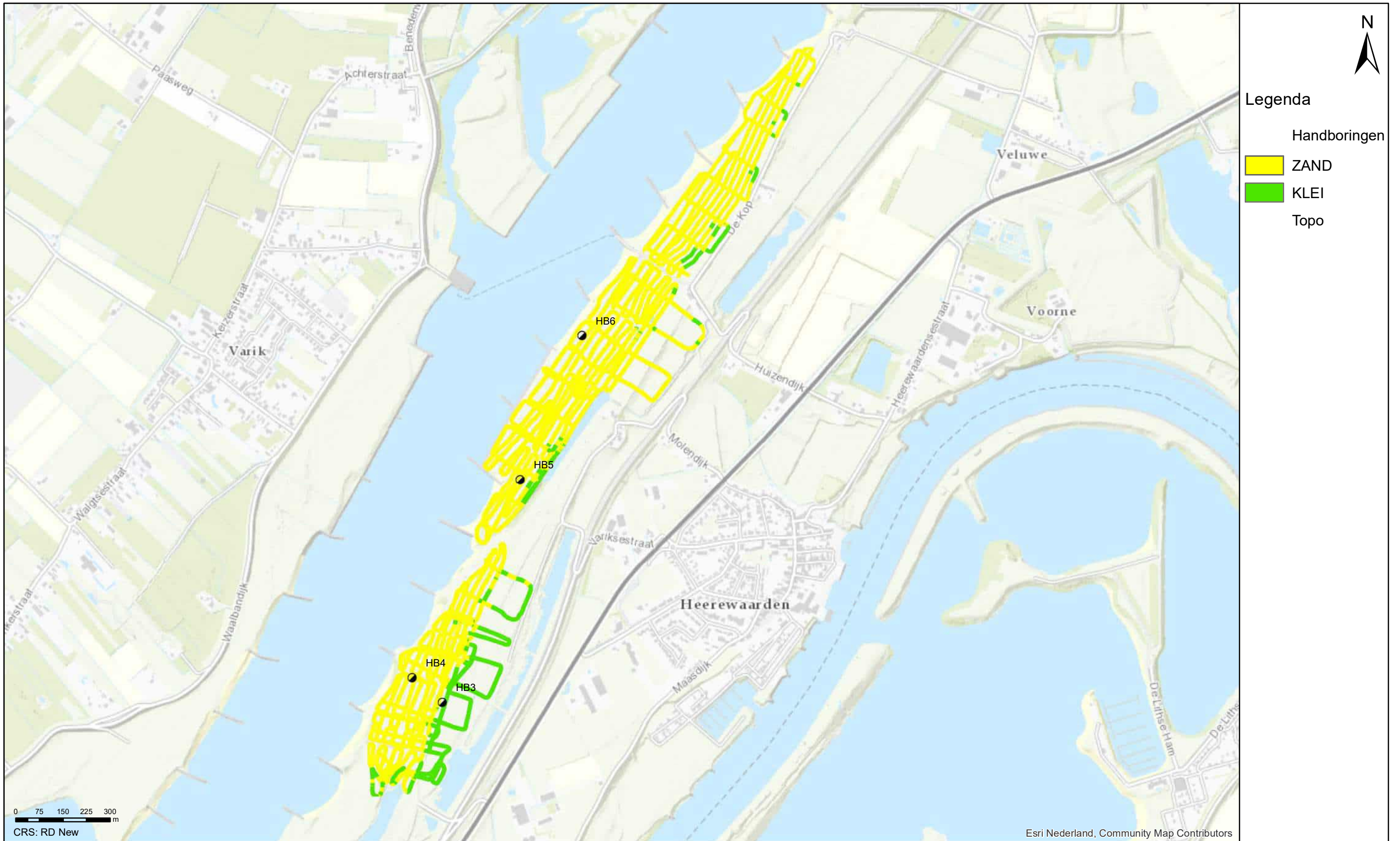
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 1.75 - 2.00 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-8



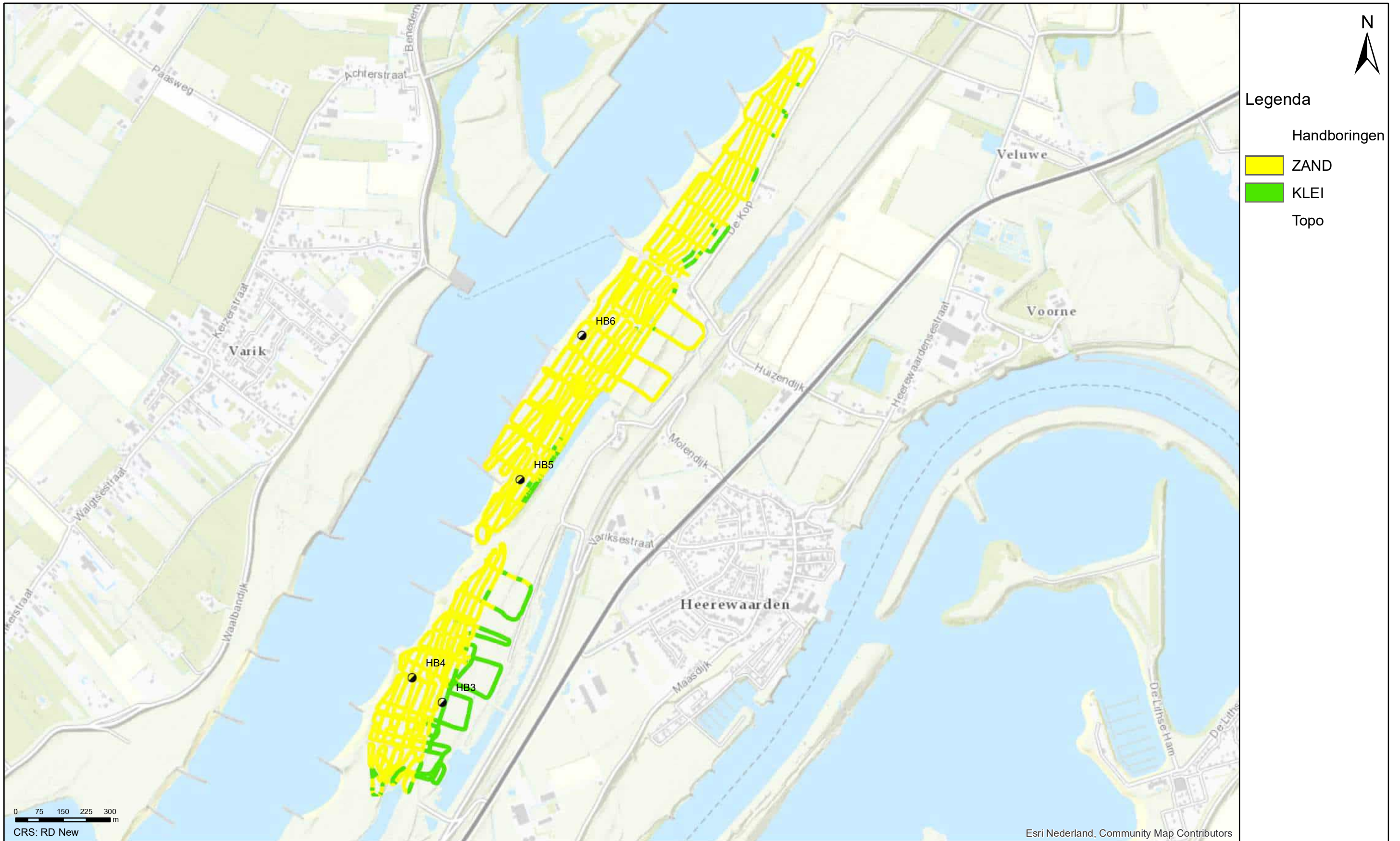
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 2.00 - 2.25 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-9



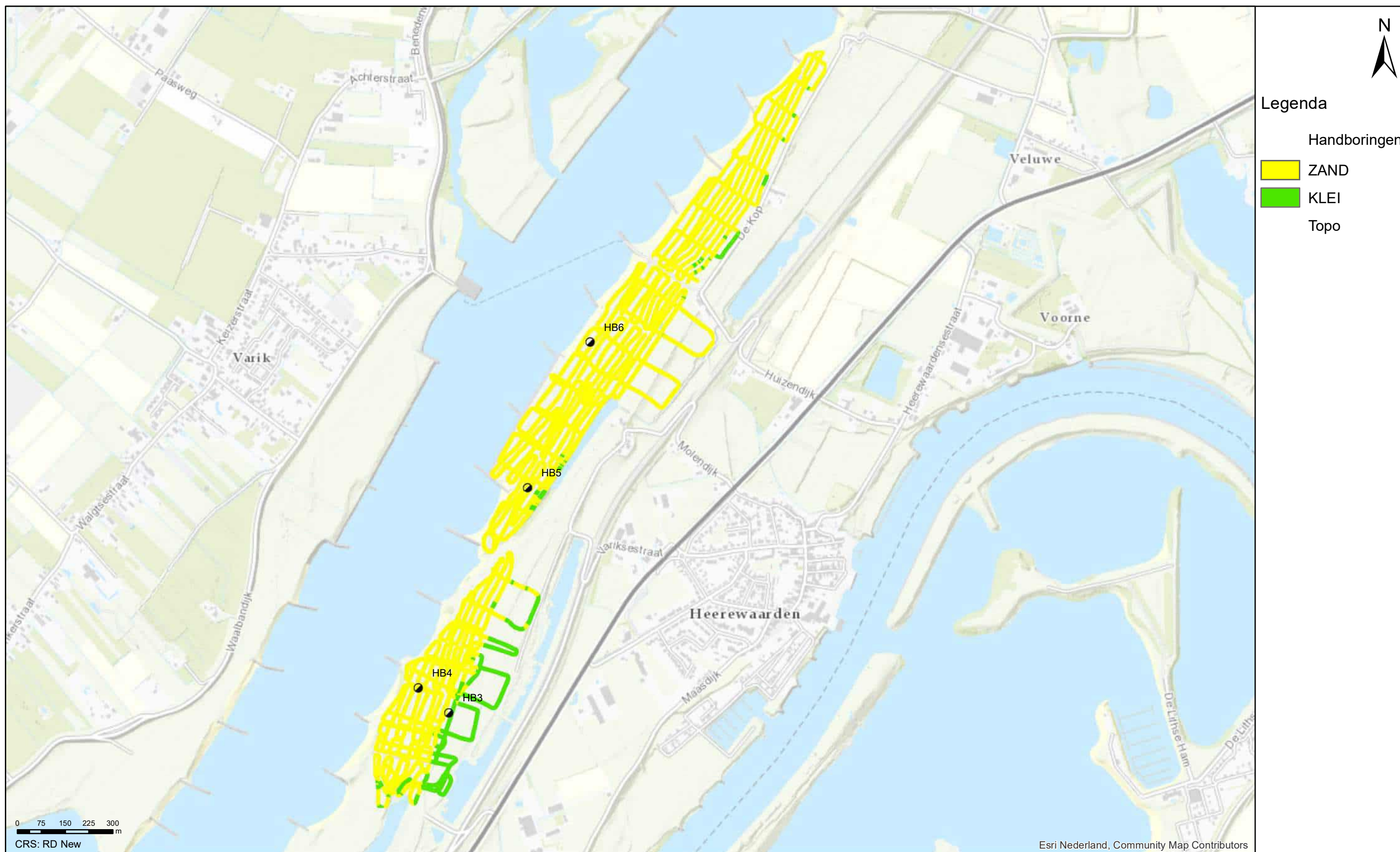
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 2.25 - 2.50 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-10

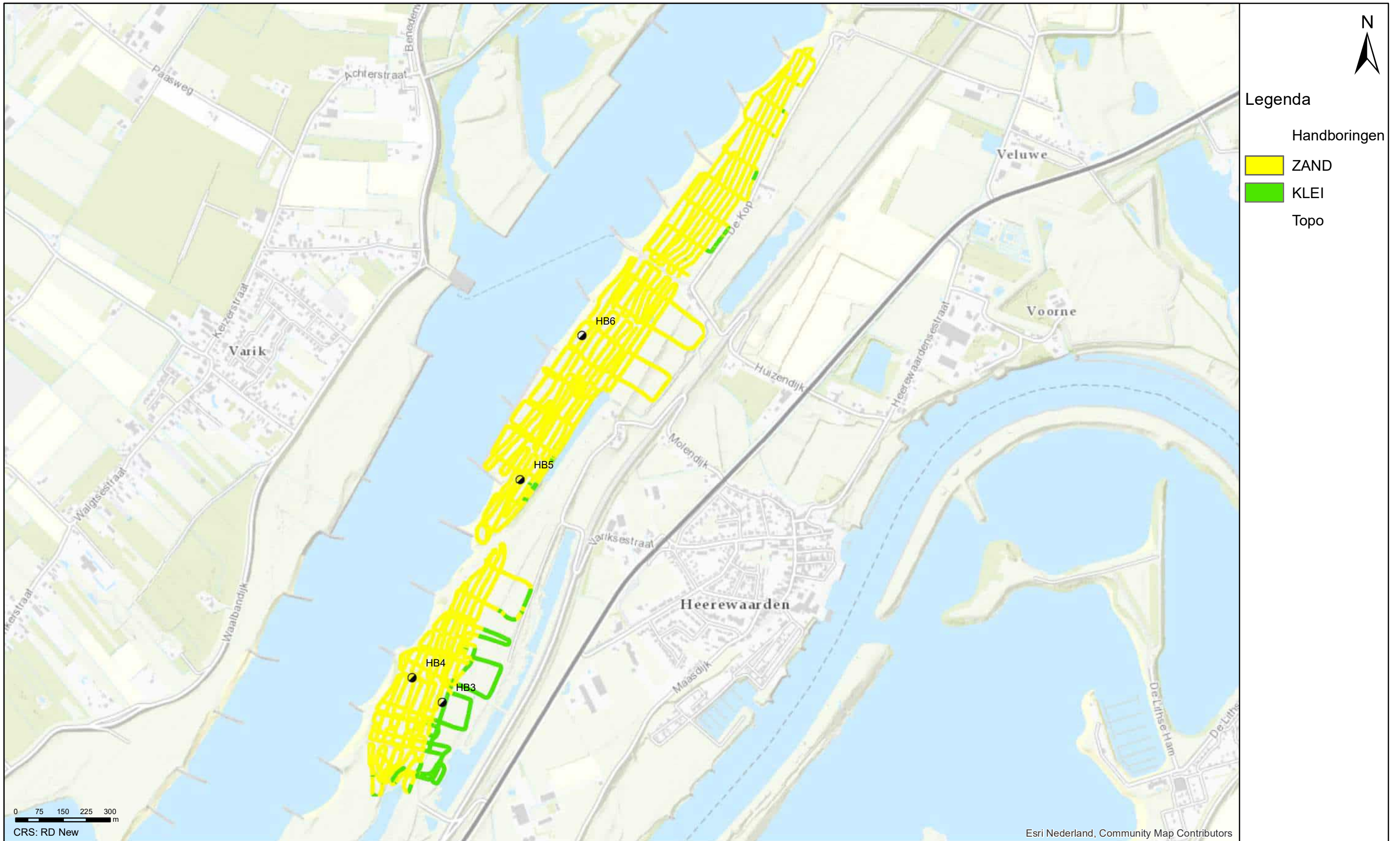


Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 2.50 - 2.75 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-2-11



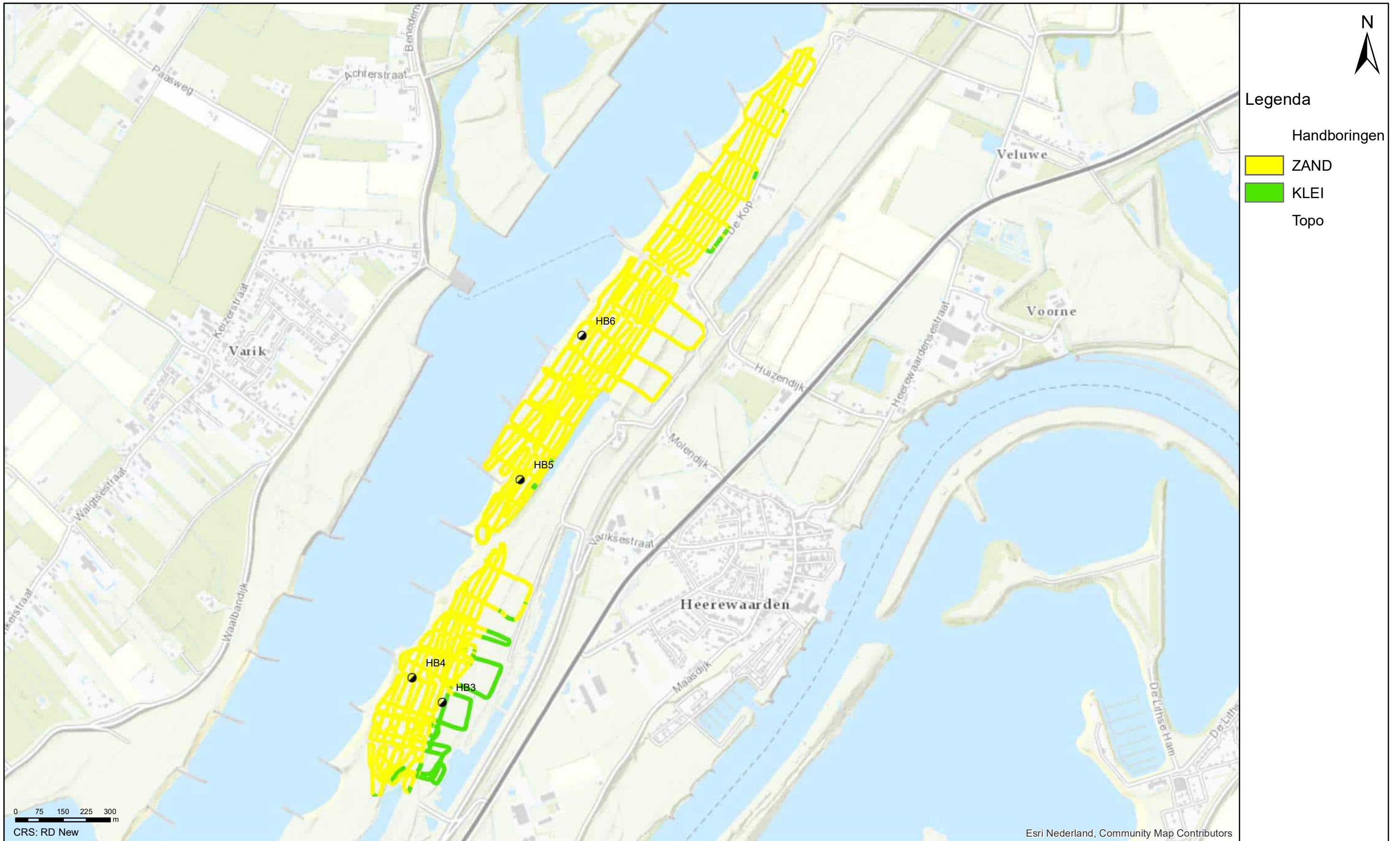
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 2.75 - 3.00 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-12



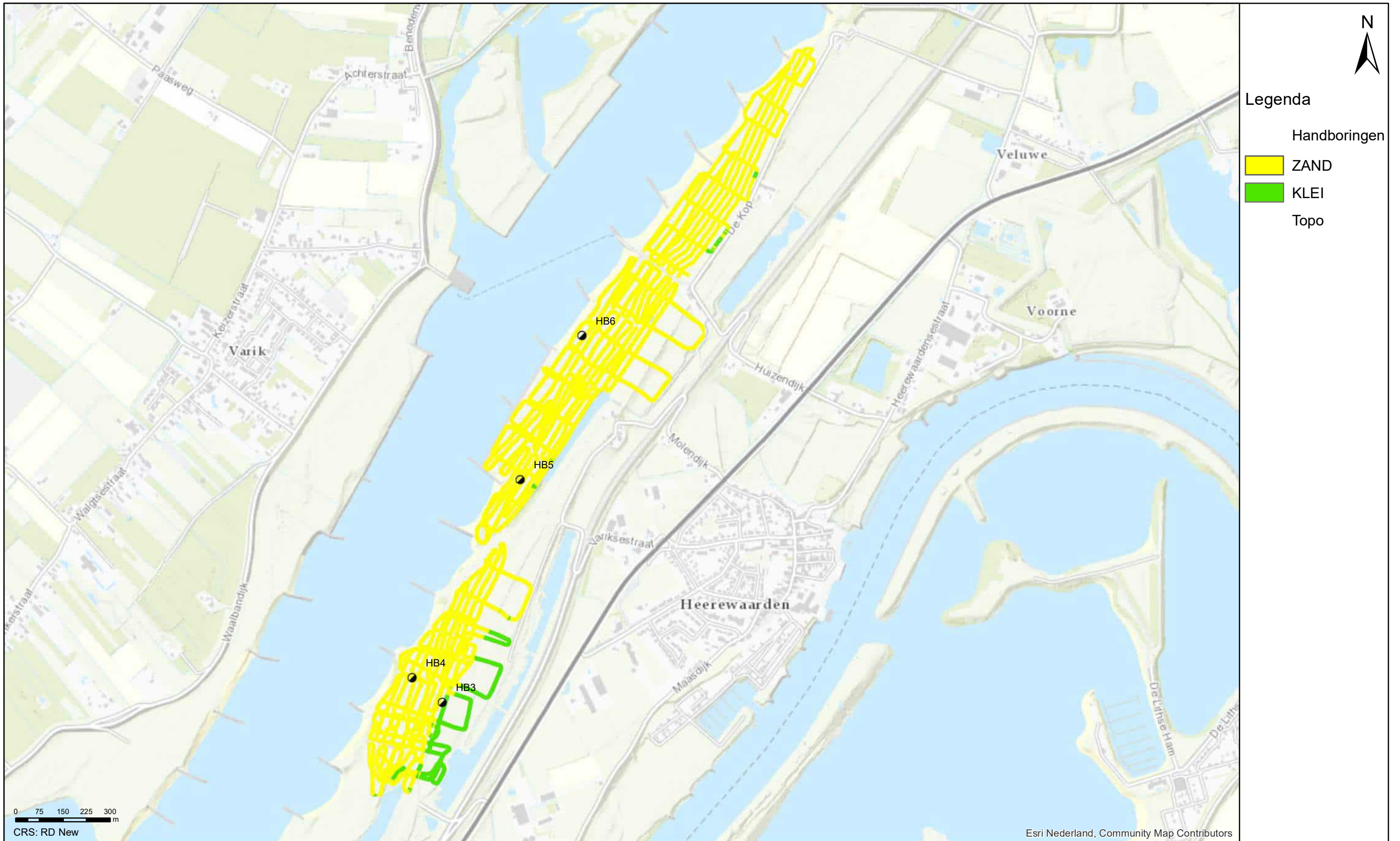
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 3.00 - 3.25 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-13



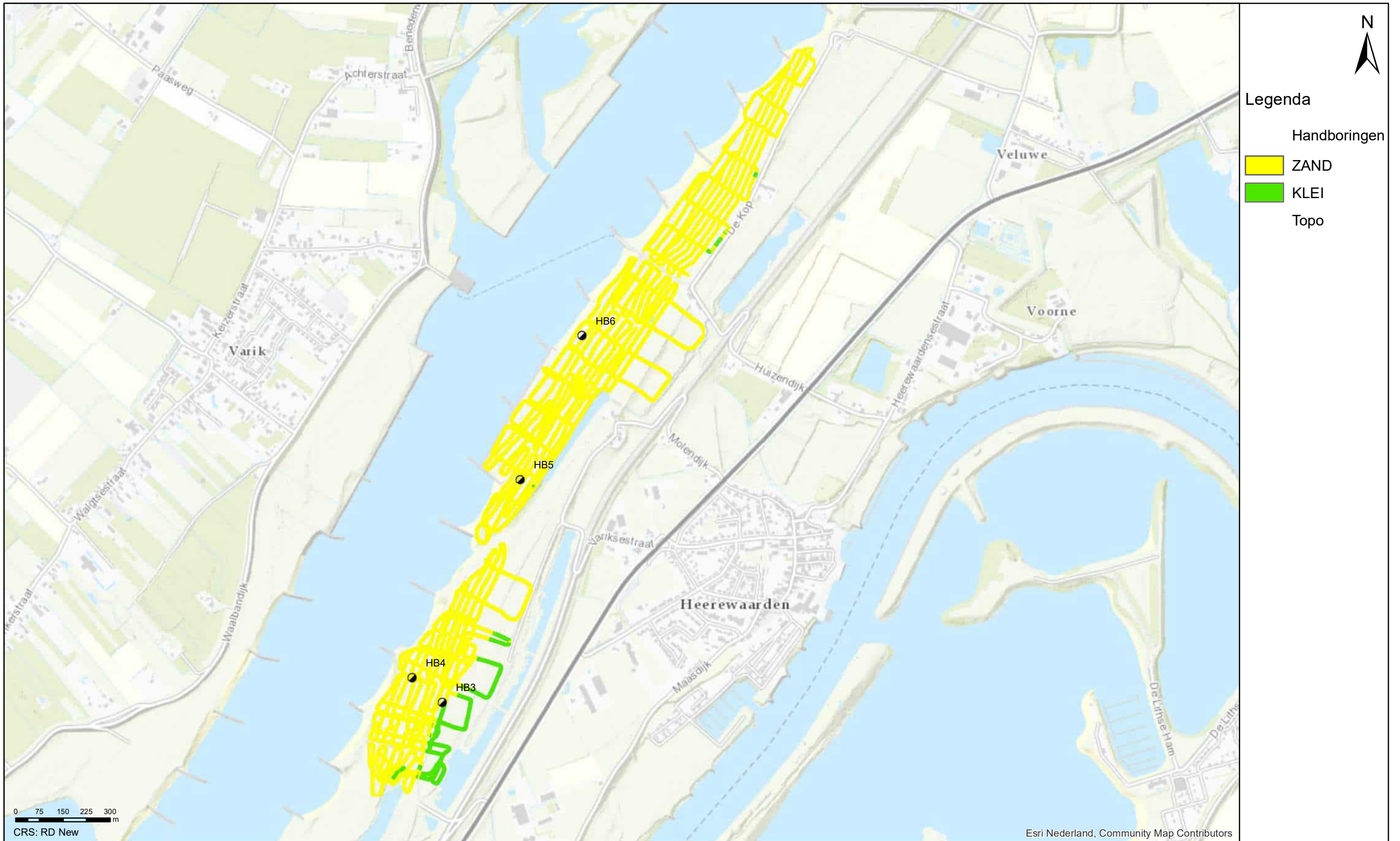
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 3.25 - 3.50 m -MV

Heerewarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-14



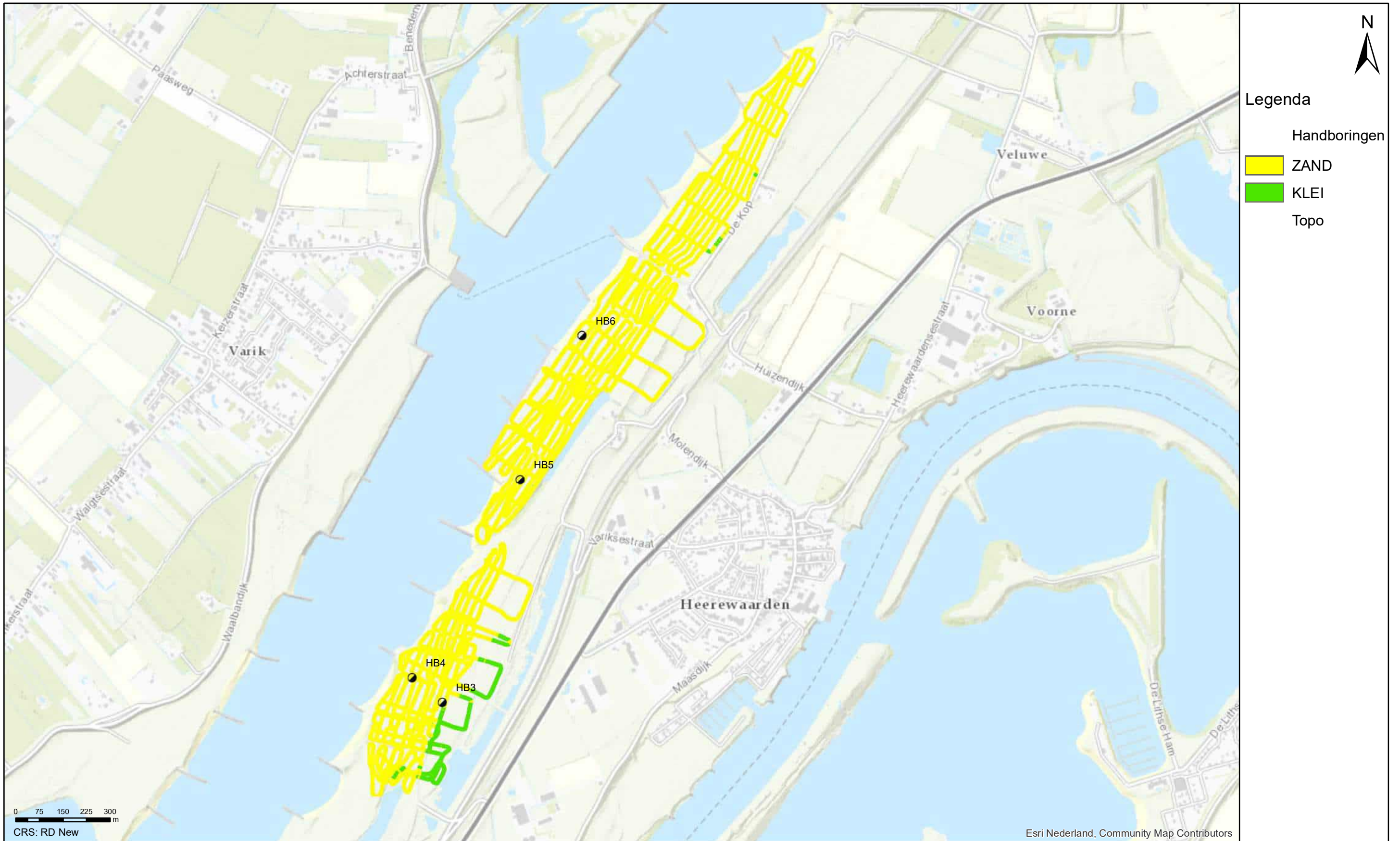
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 3.50 - 3.75 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-15



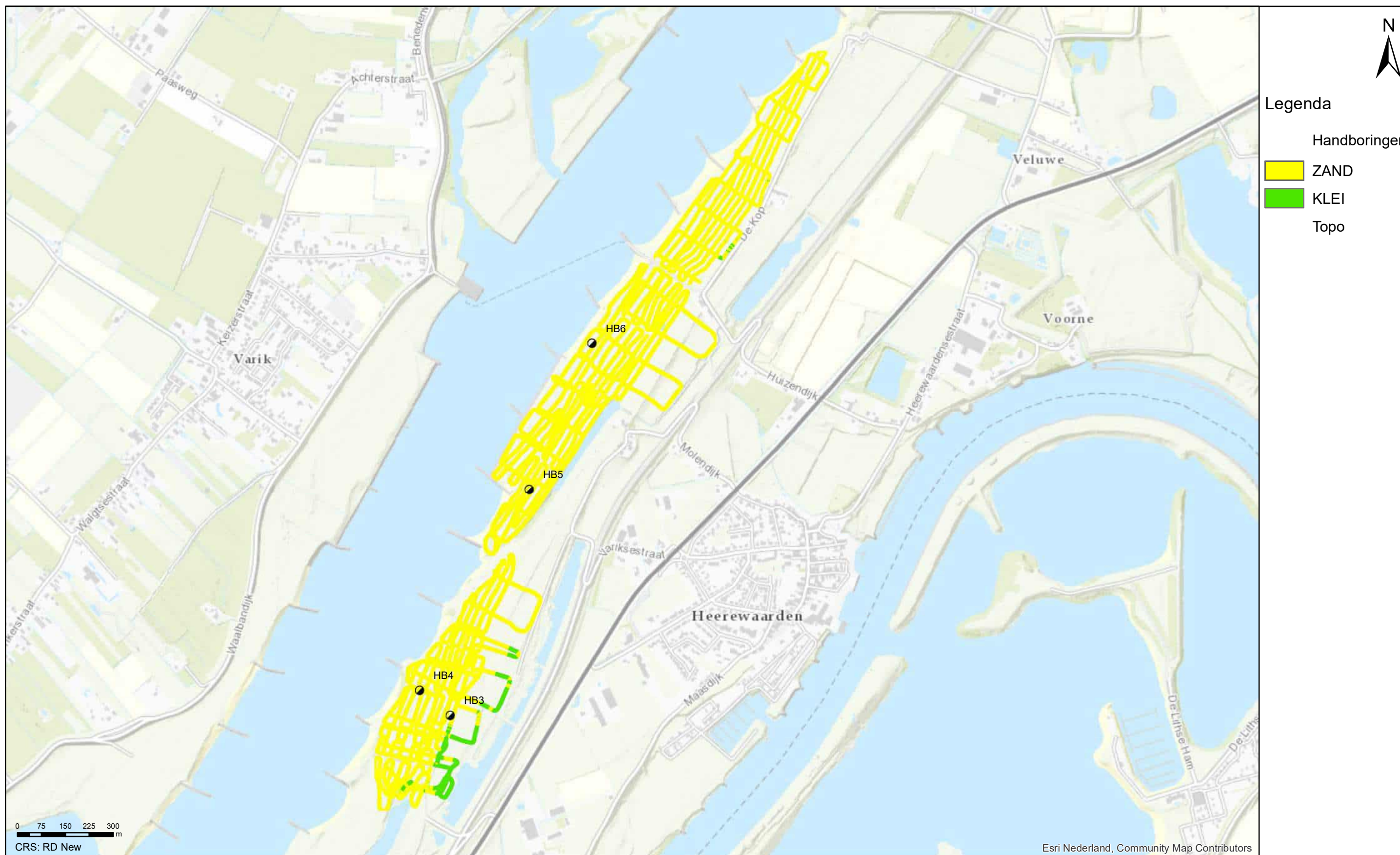
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 3.75 - 4.00 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-16



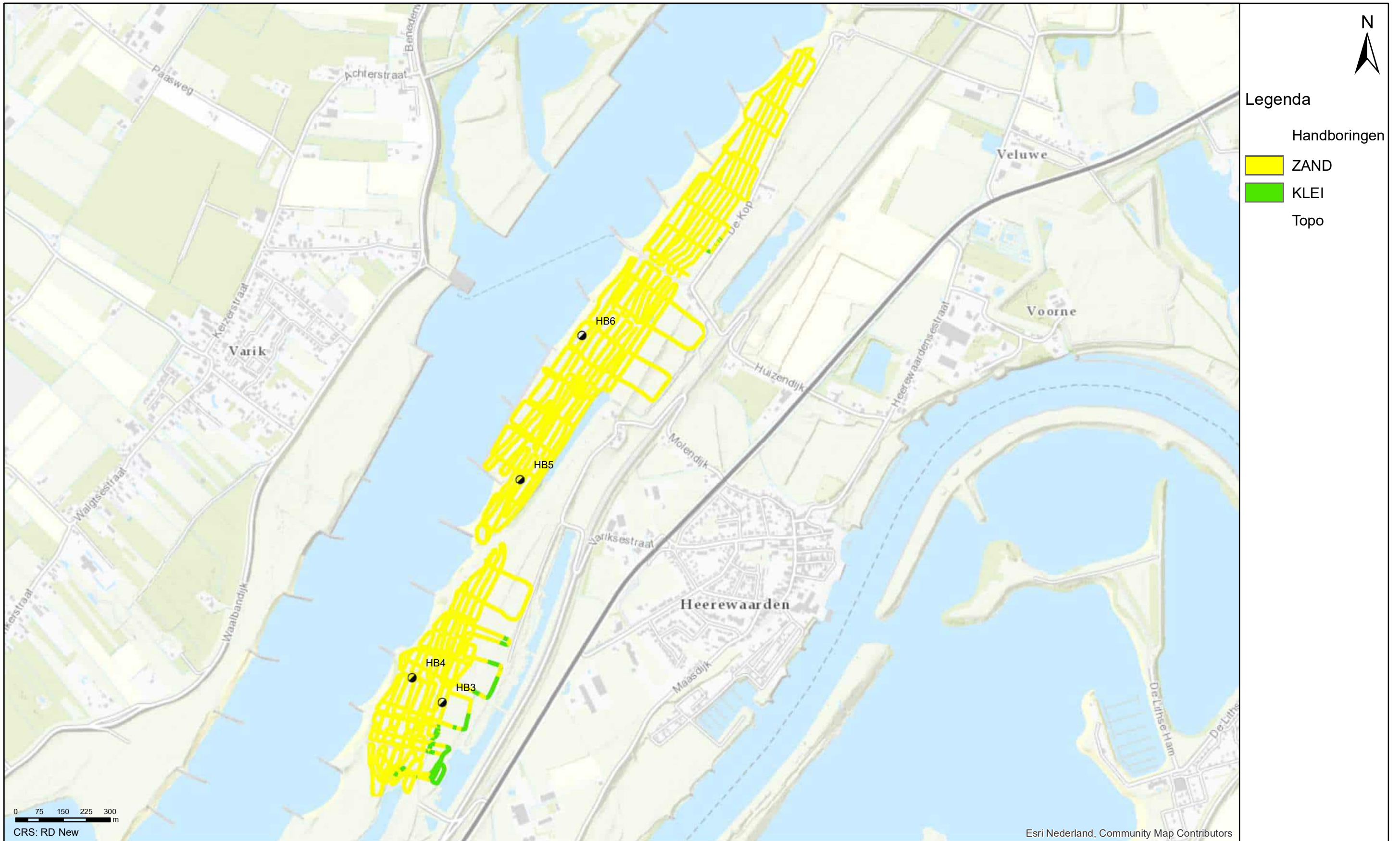
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 4.00 - 4.25 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-17



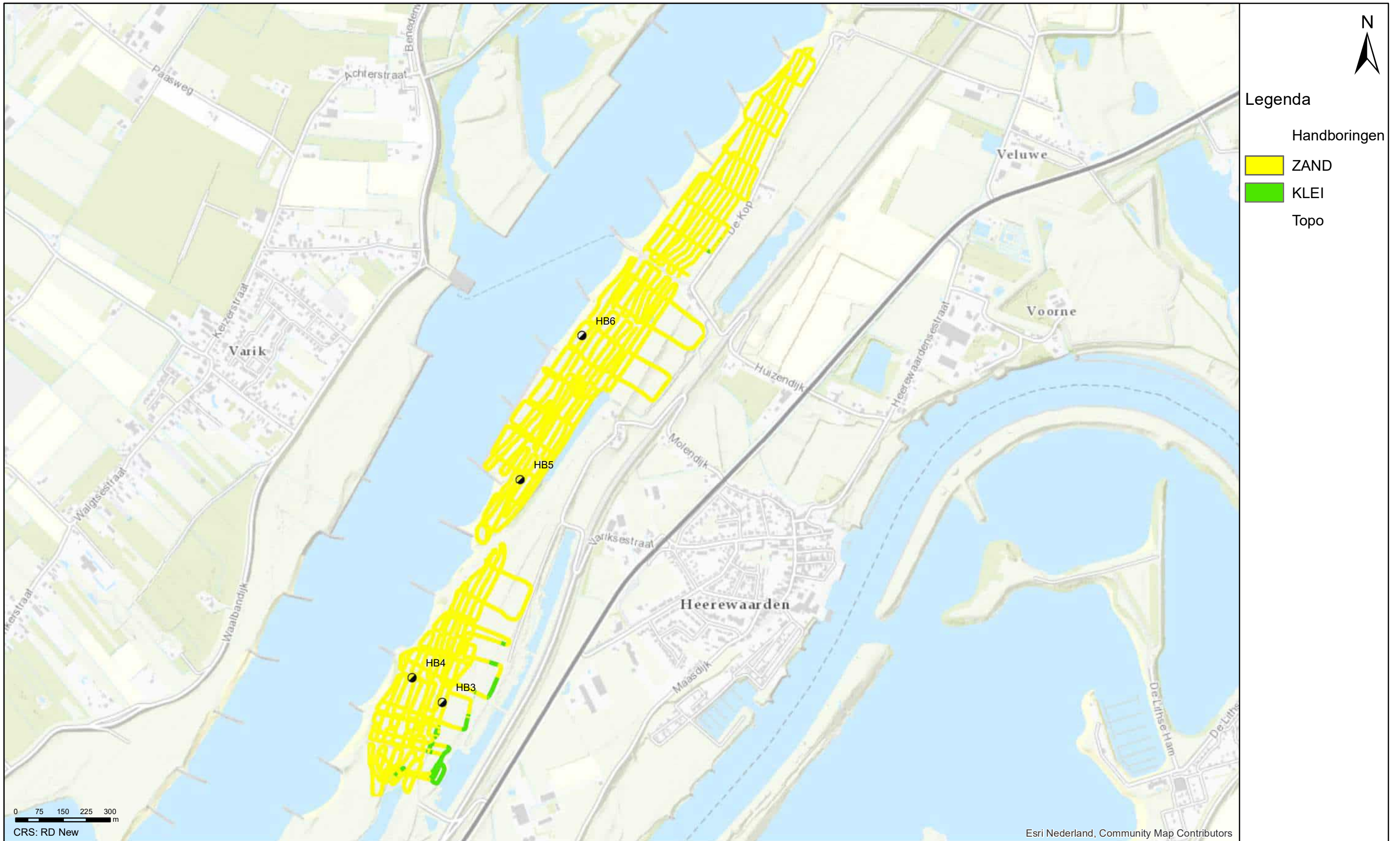
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 4.25 - 4.50 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-18



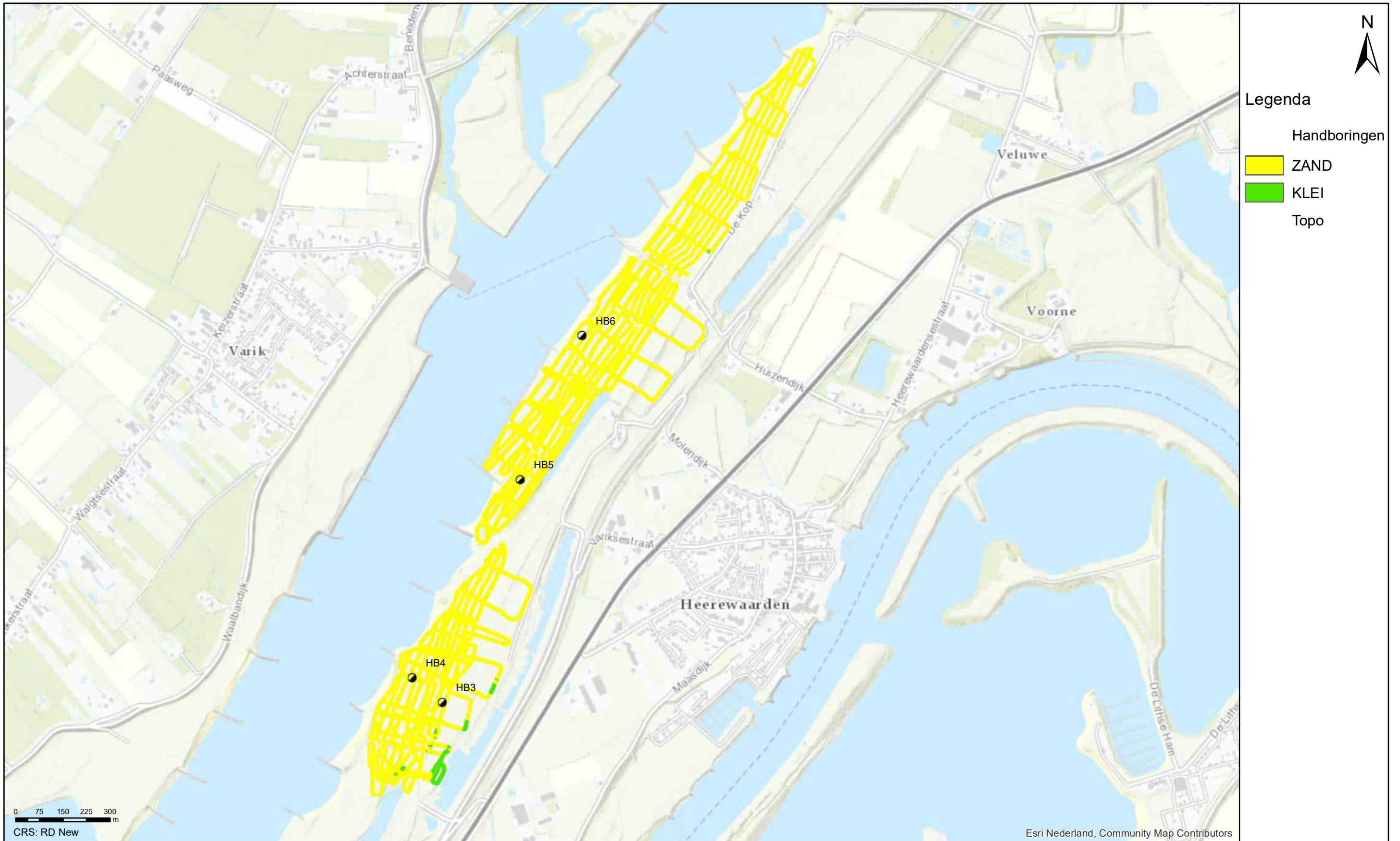
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 4.50 - 4.75 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-19



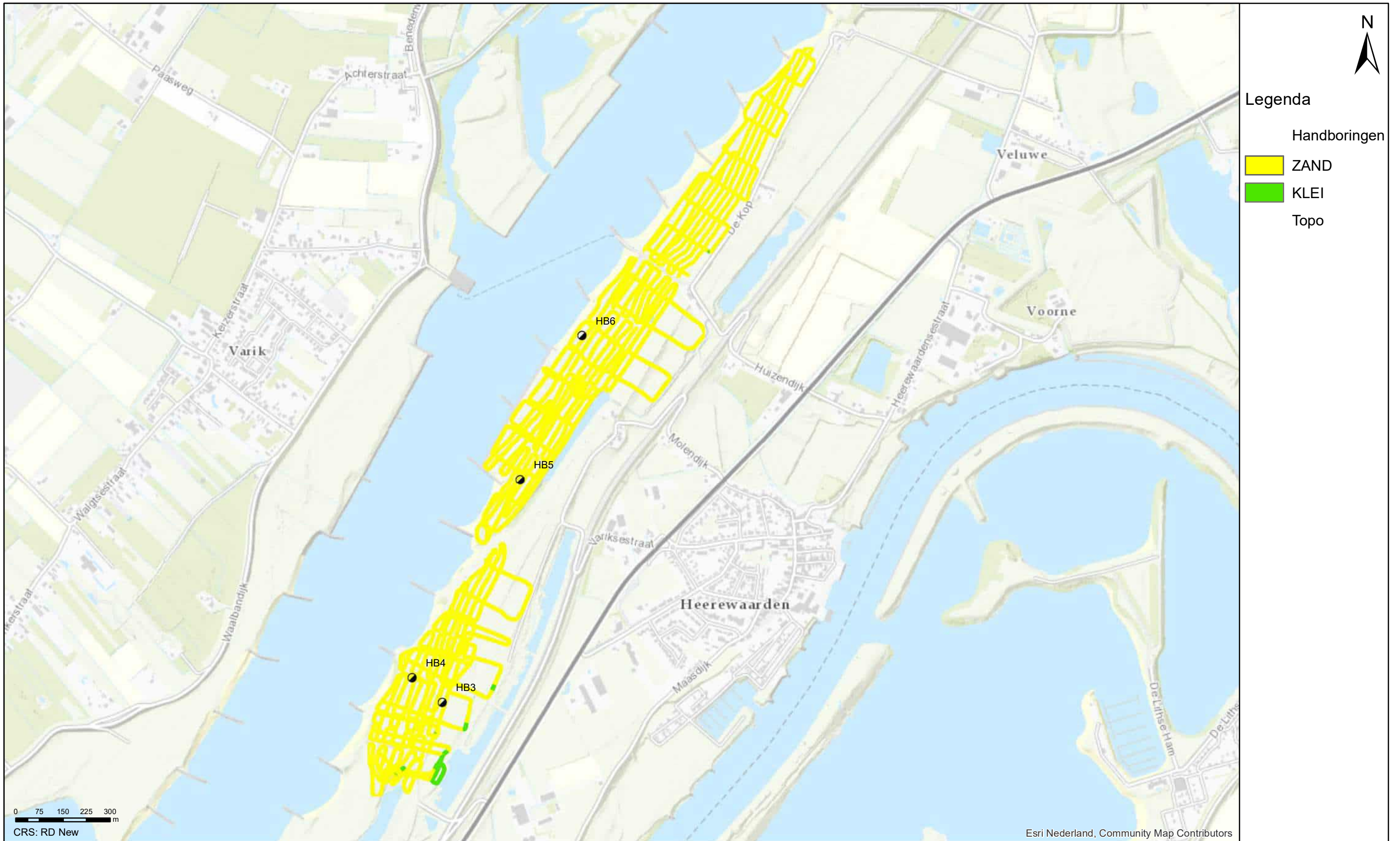
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 4.75 - 5.00 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-20



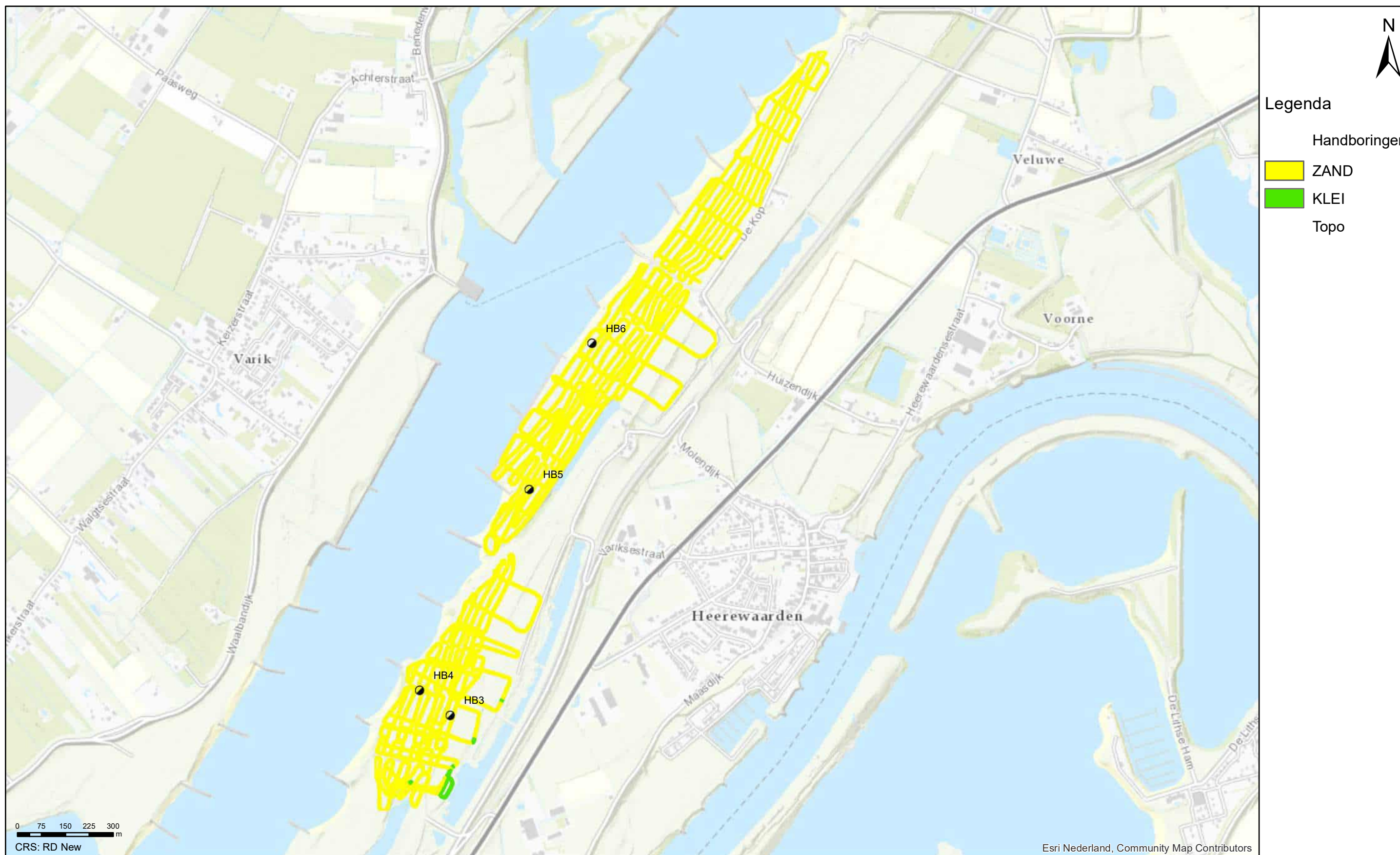
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 5.00 - 5.25 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-21



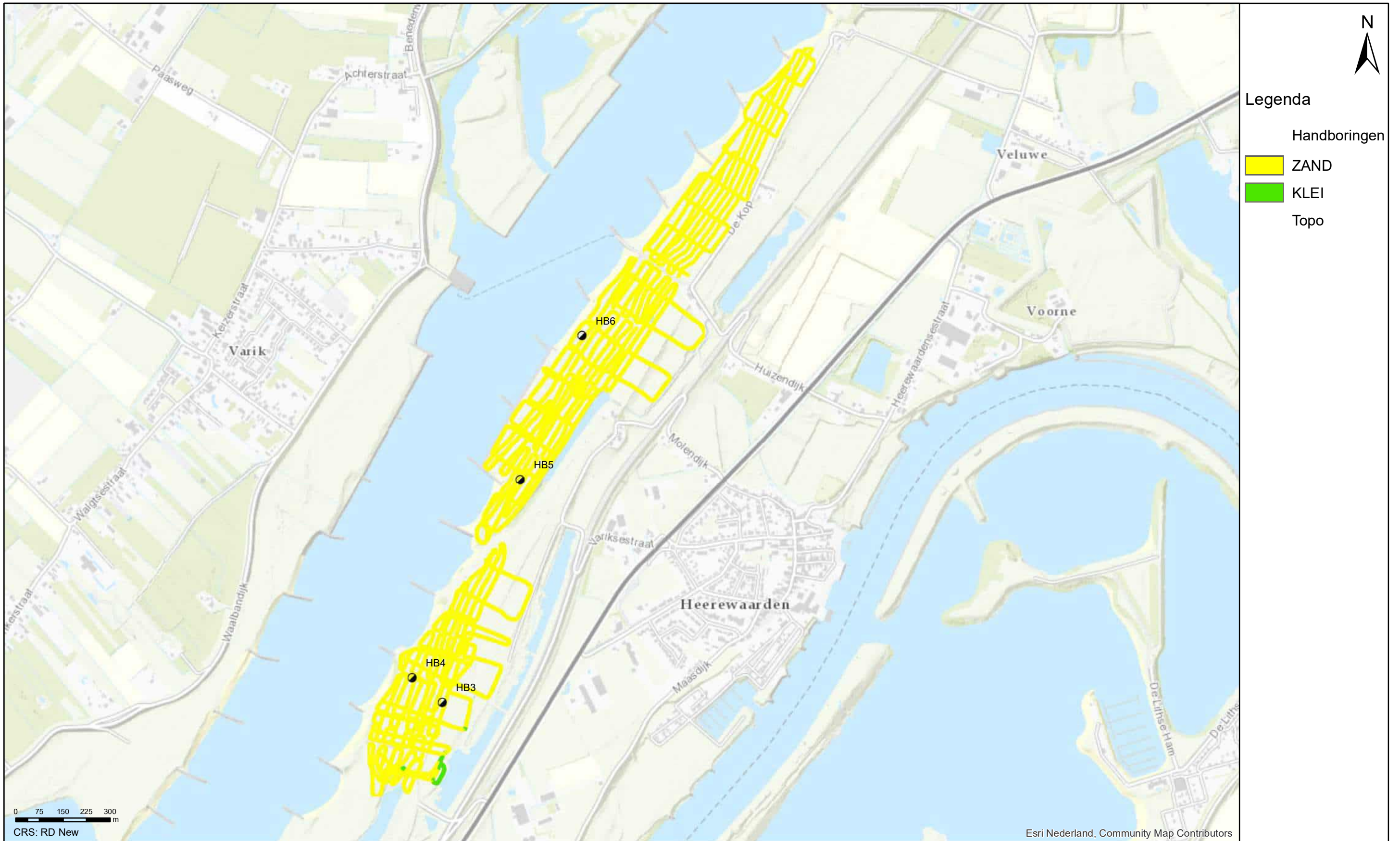
Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 5.25 - 5.50 m -MV

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-22



Geofysisch onderzoek UWDH

Gclassificeerde EM data tussen 5.50 - 5.75 m -MV

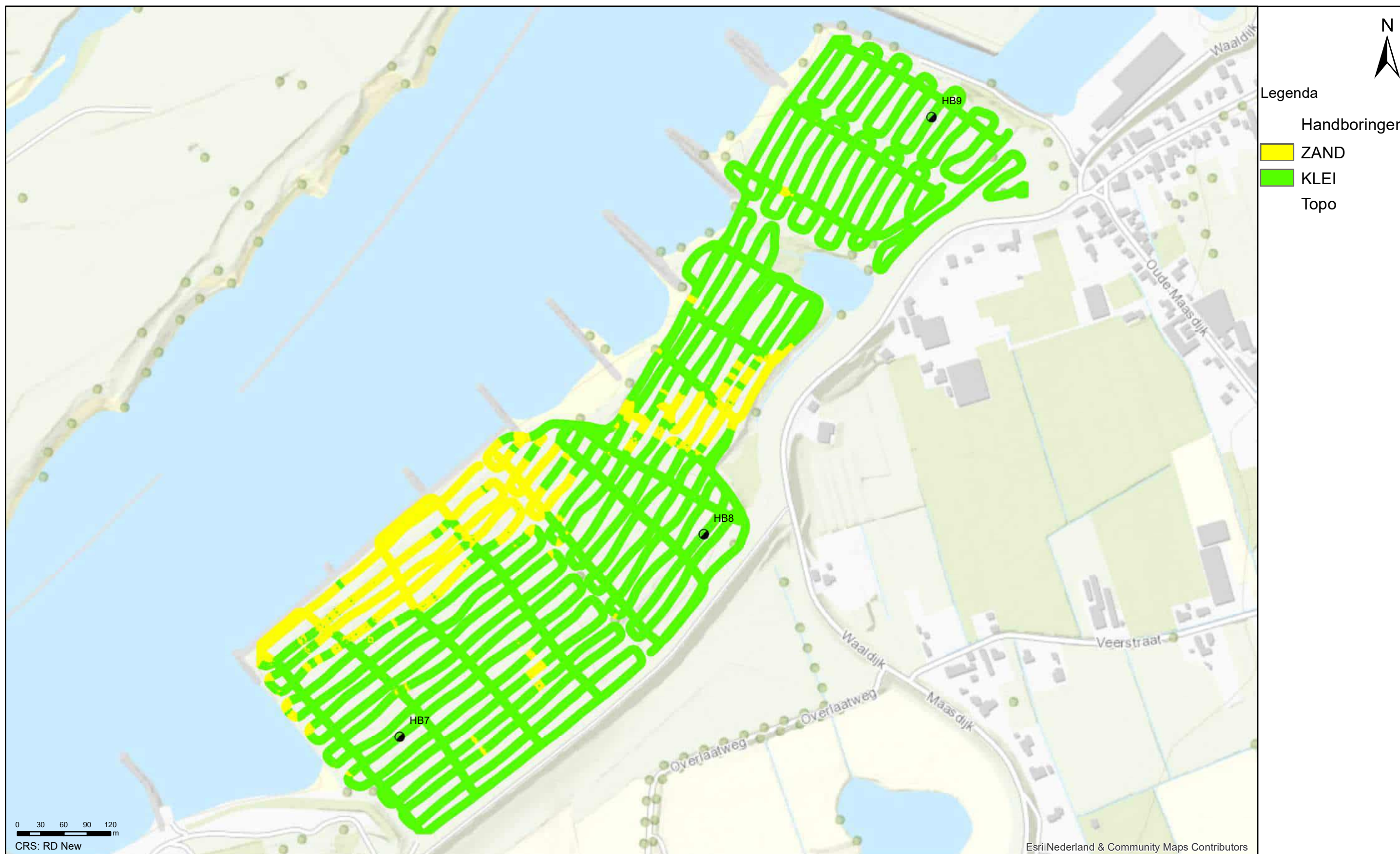
Heerewaarden

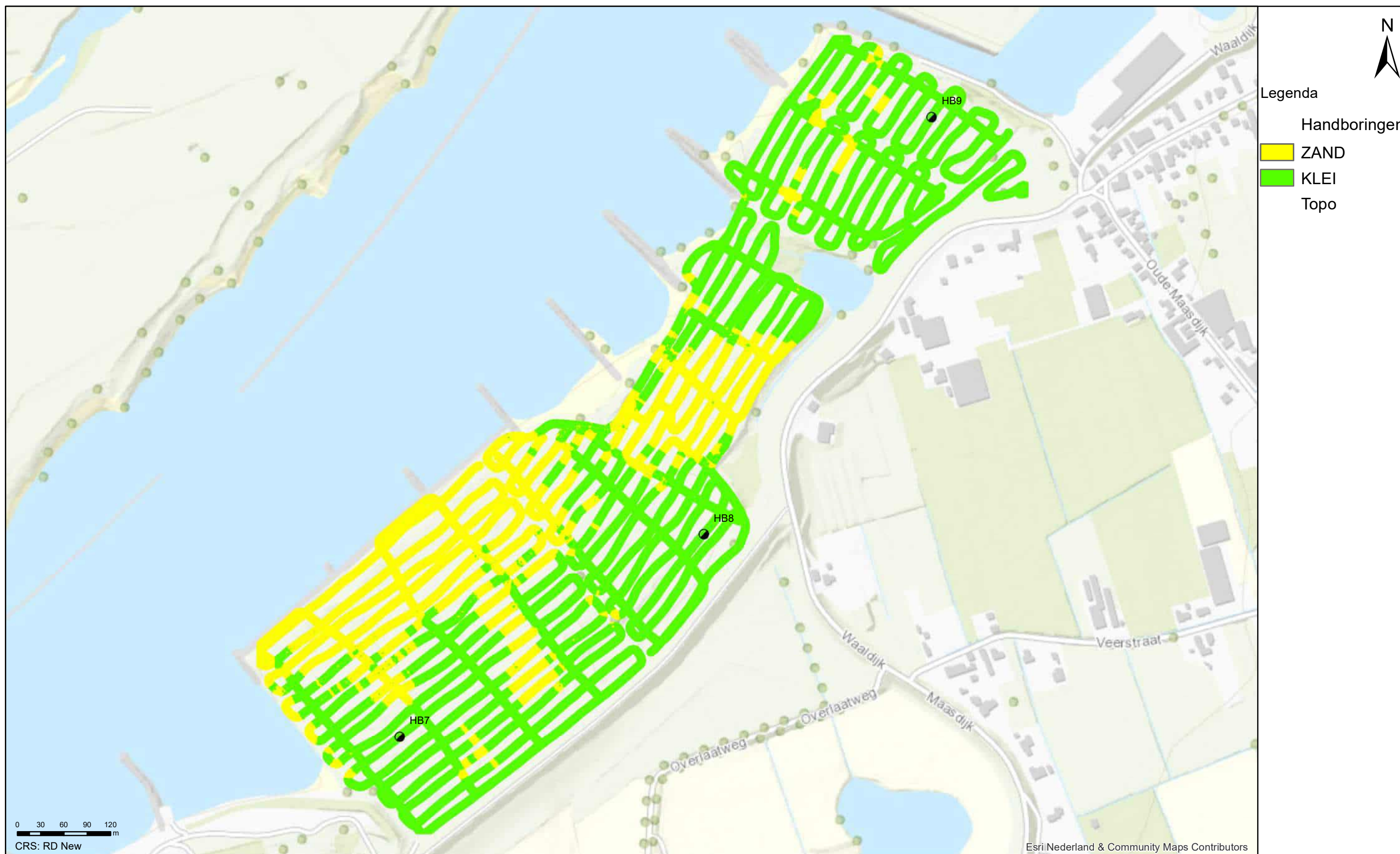
Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-2-23

Gclassificeerde EM data tussen 5.75 - 6.00 m -MV
Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-2-24





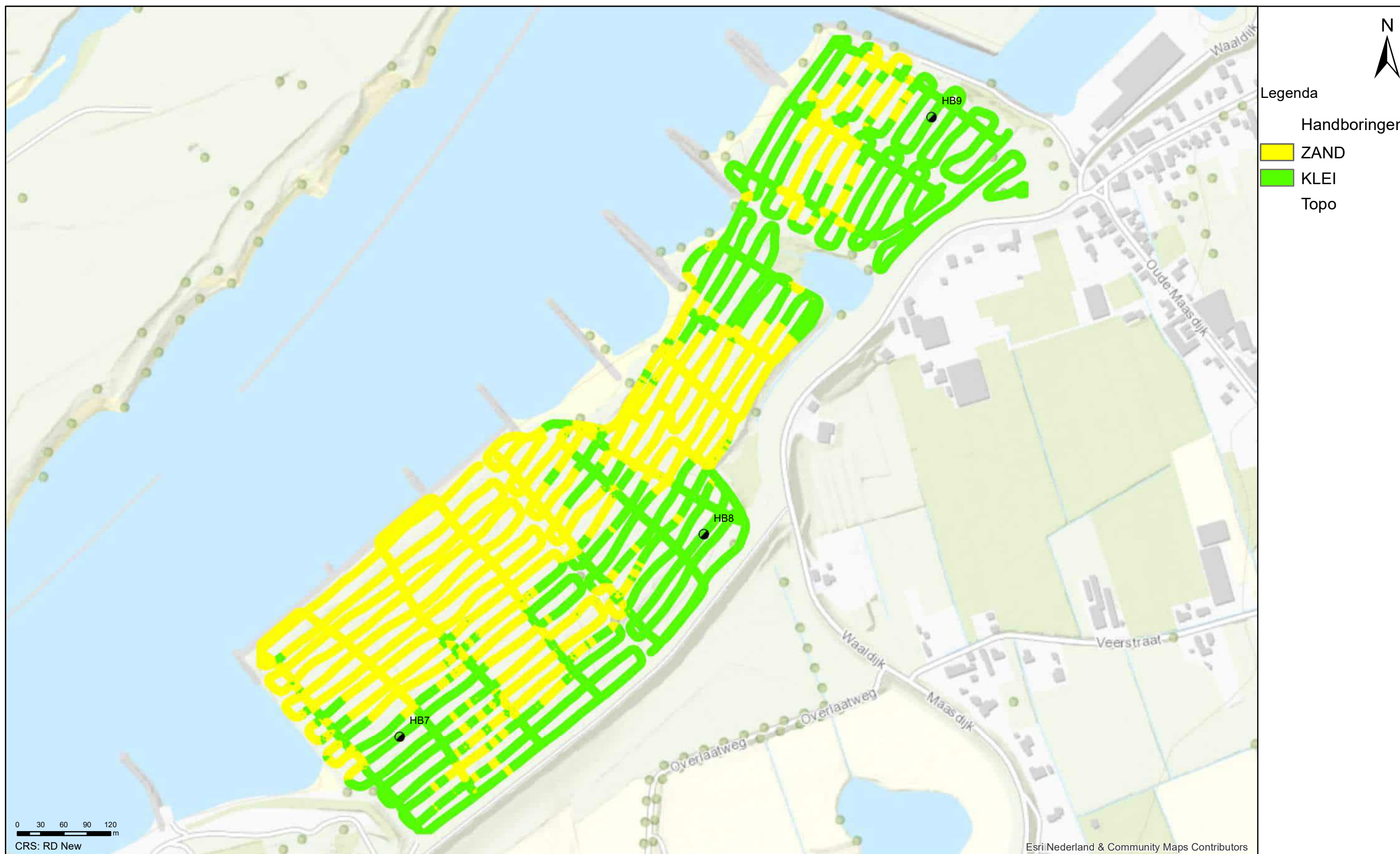
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 0.25 - 0.50 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-2



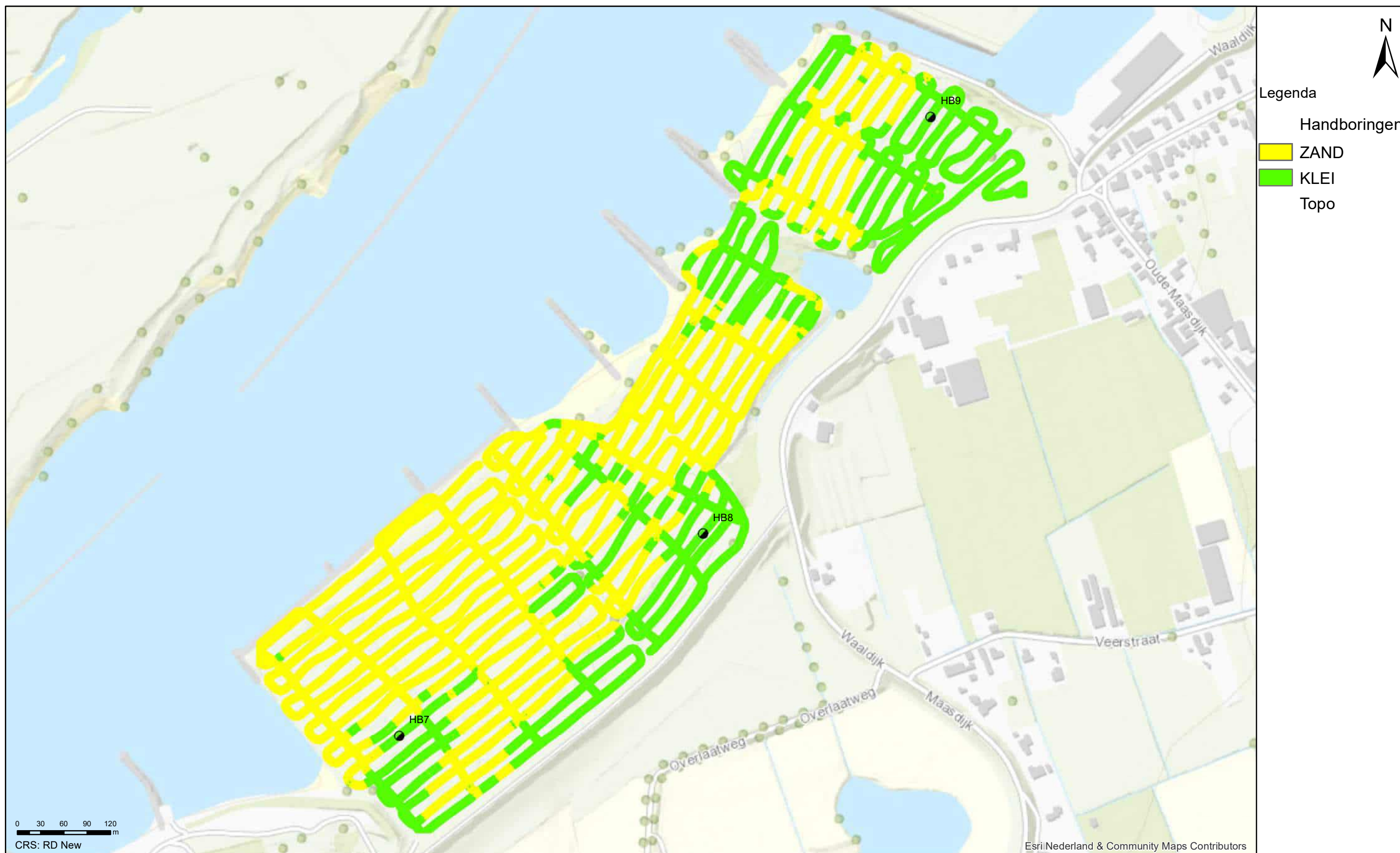
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 0.50 - 0.75 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-3



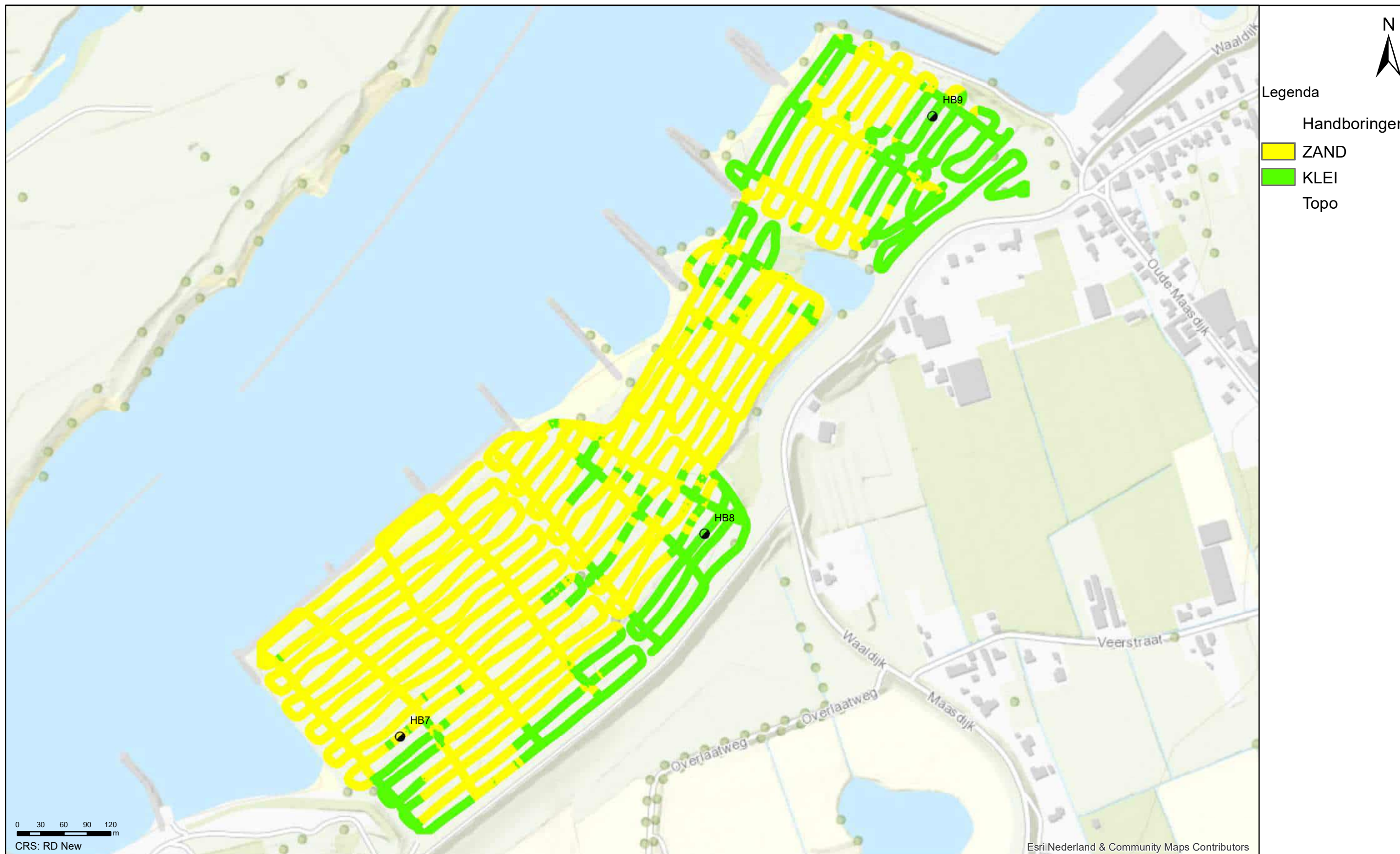
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 0.75 - 1.00 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-4

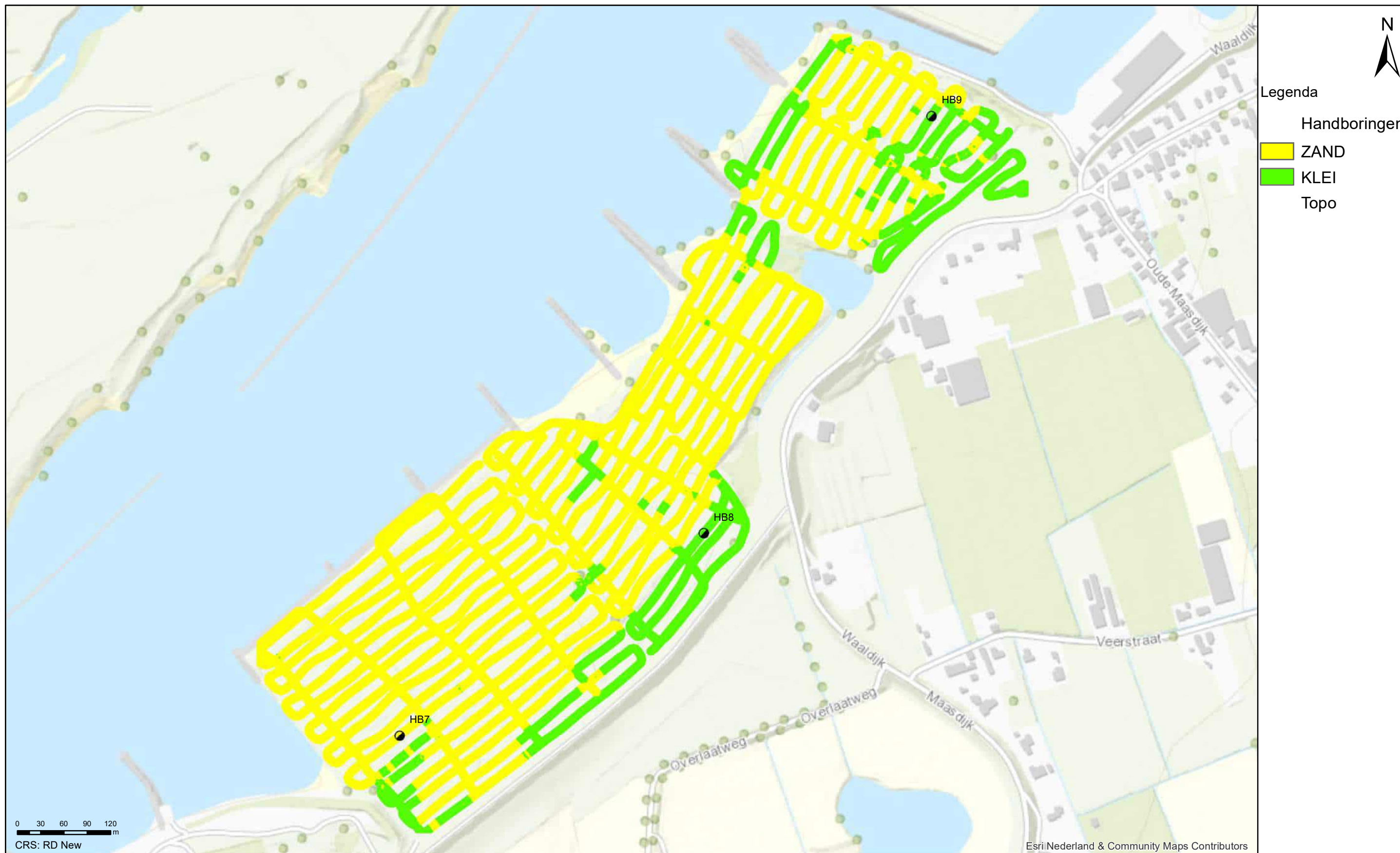


Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 1.00 - 1.25 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-3-5



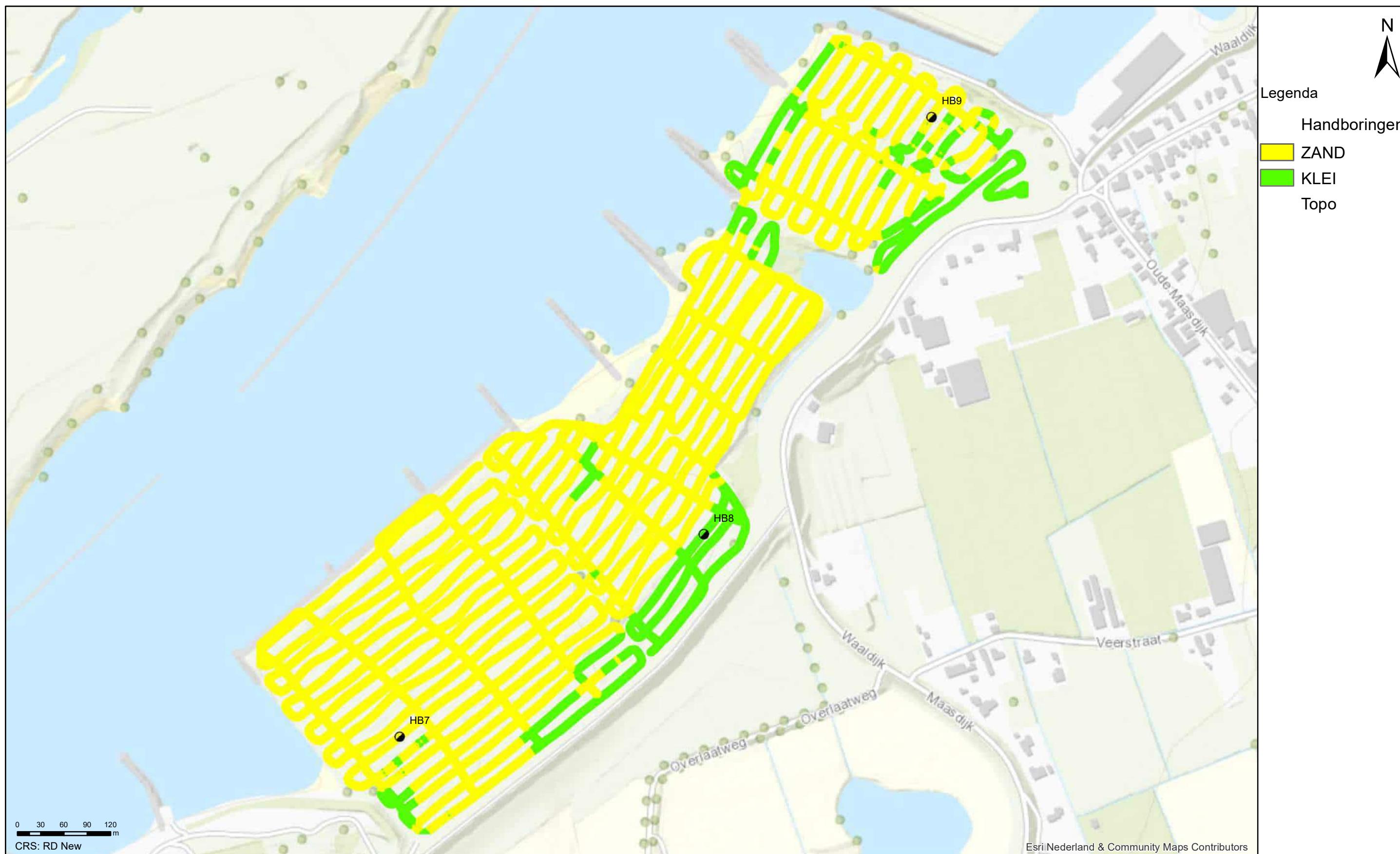
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 1.25 - 1.50 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-6

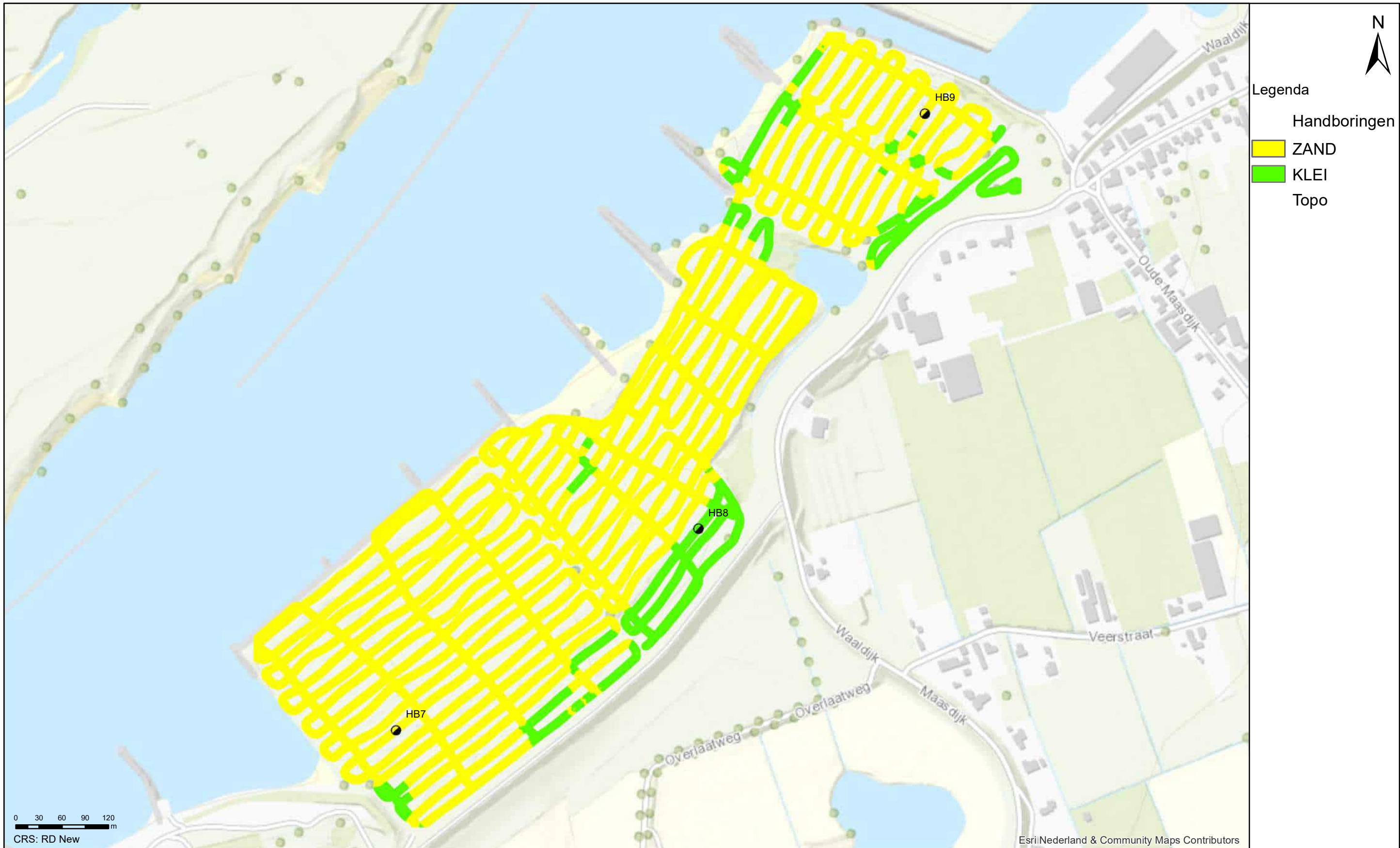


Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 1.50 - 1.75 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-3-7

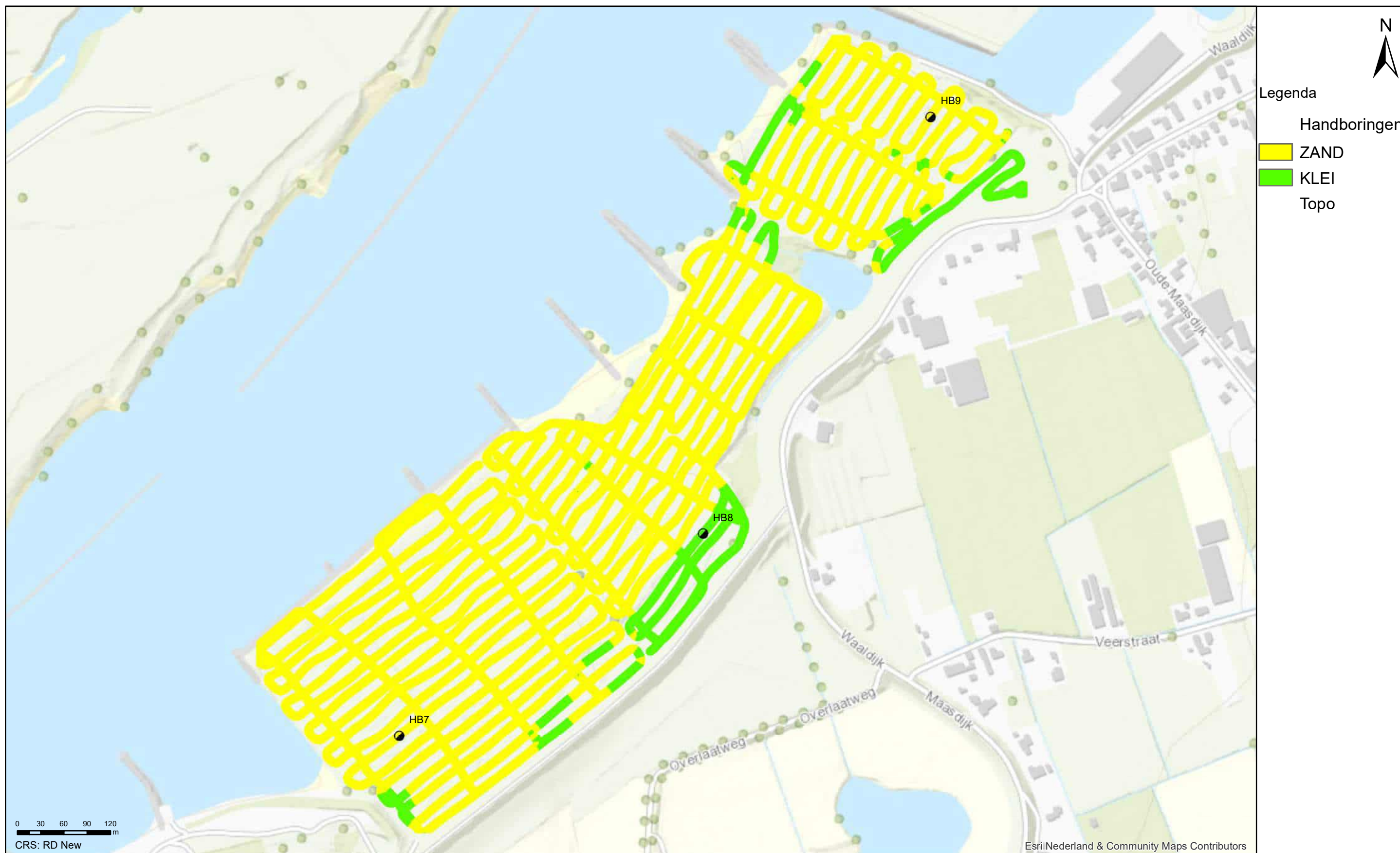


Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 1.75 - 2.00 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-3-8



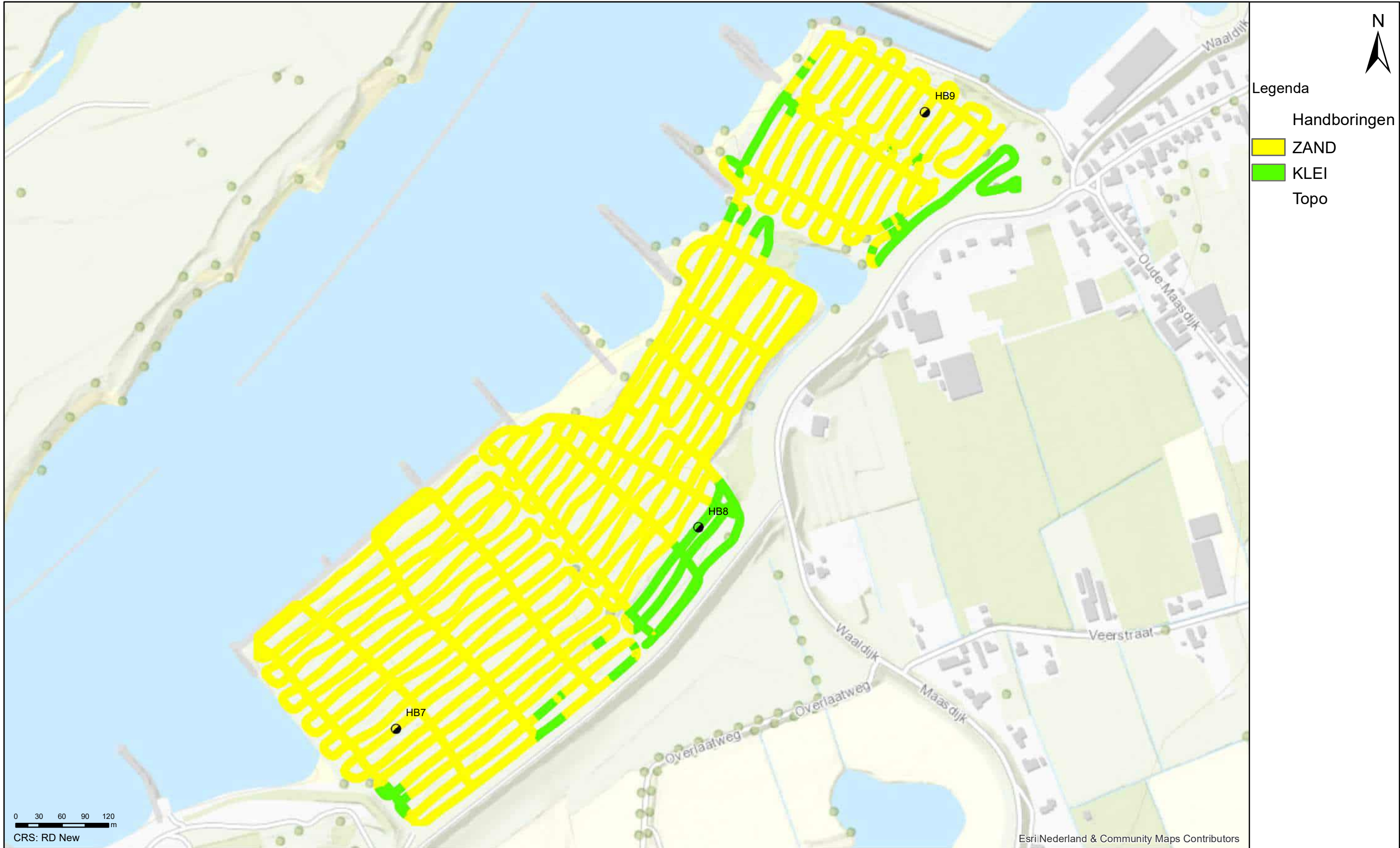
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 2.00 - 2.25 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-9



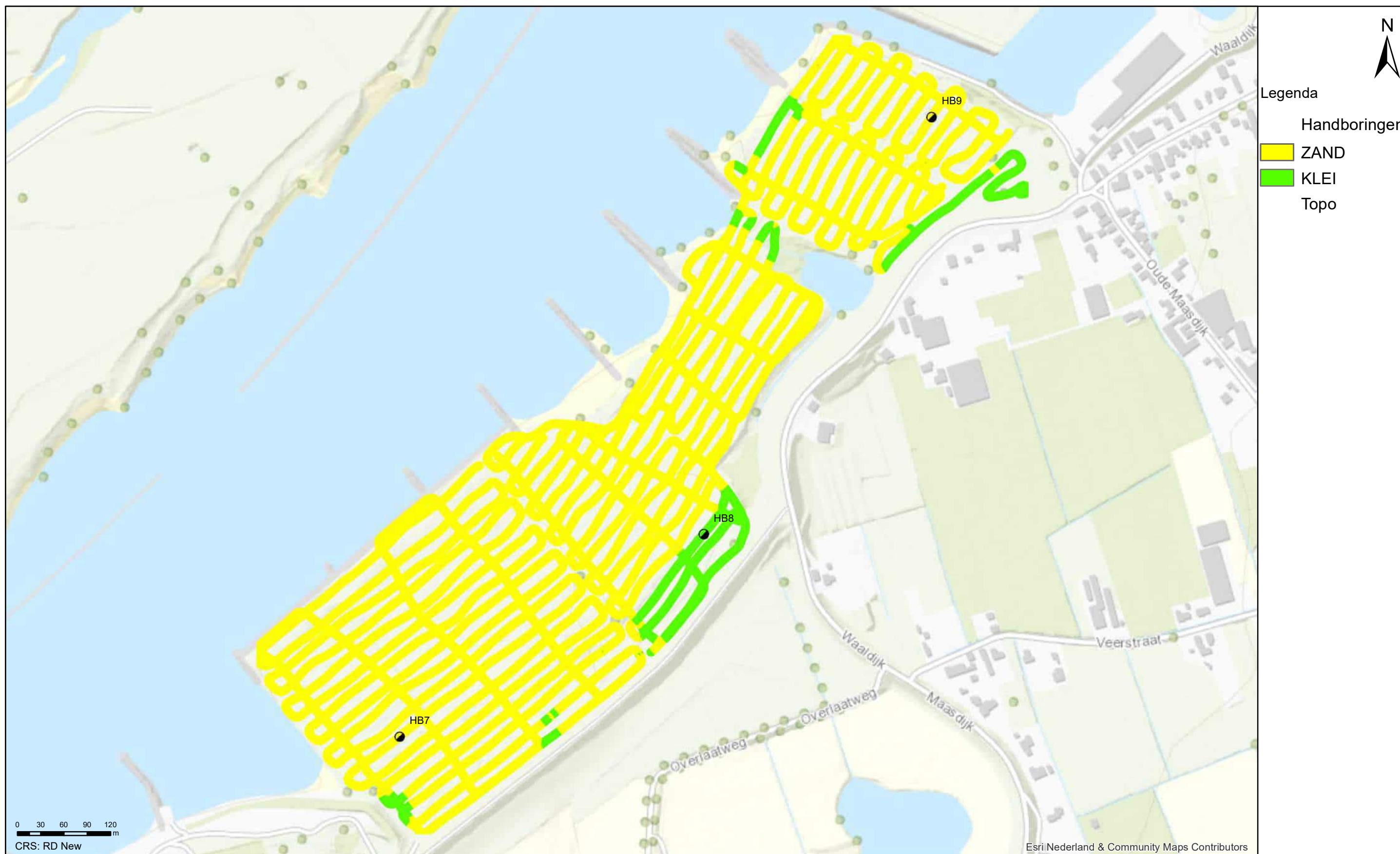
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 2.25 - 2.50 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-10

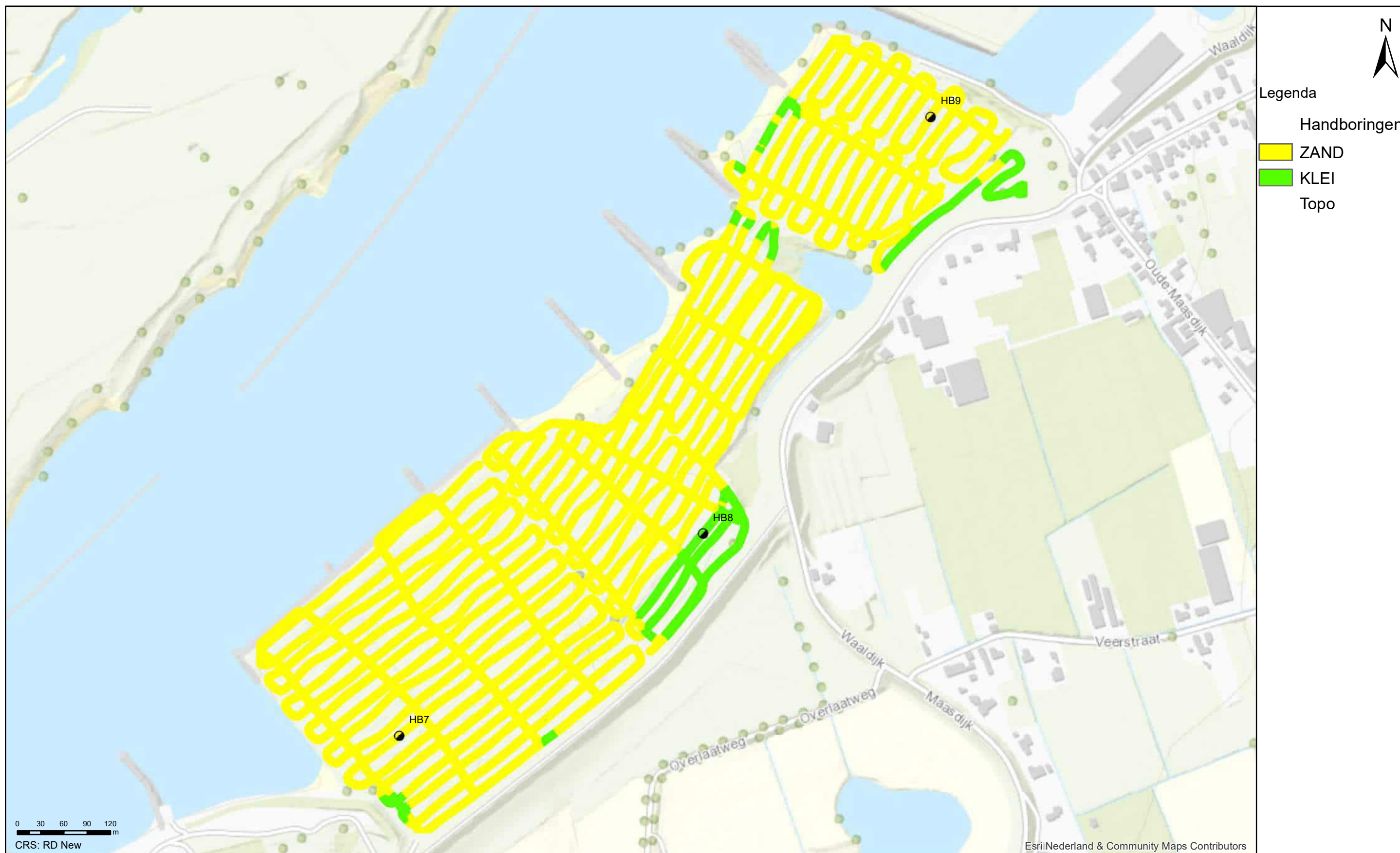


Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 2.50 - 2.75 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-3-11



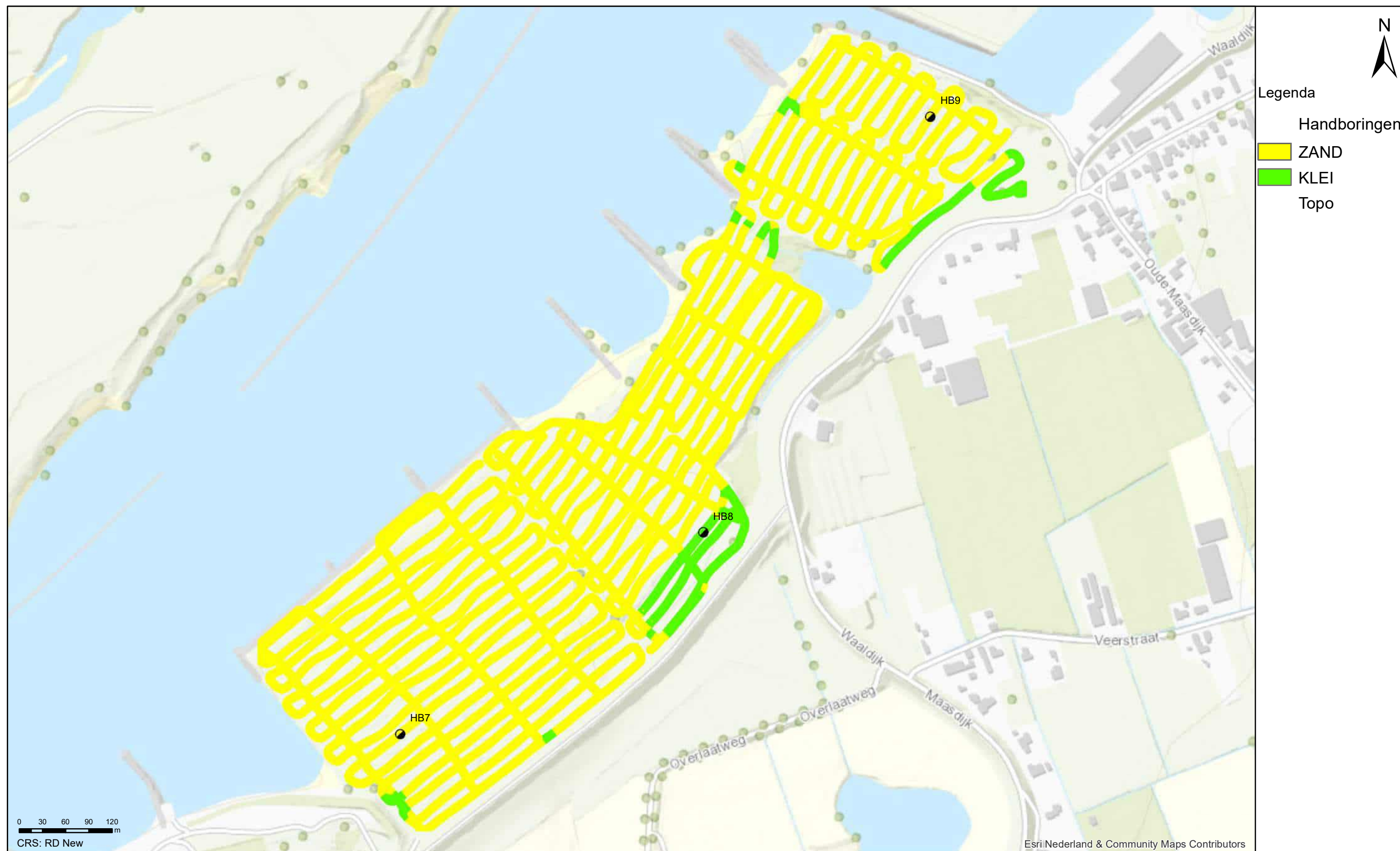
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 2.75 - 3.00 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-12



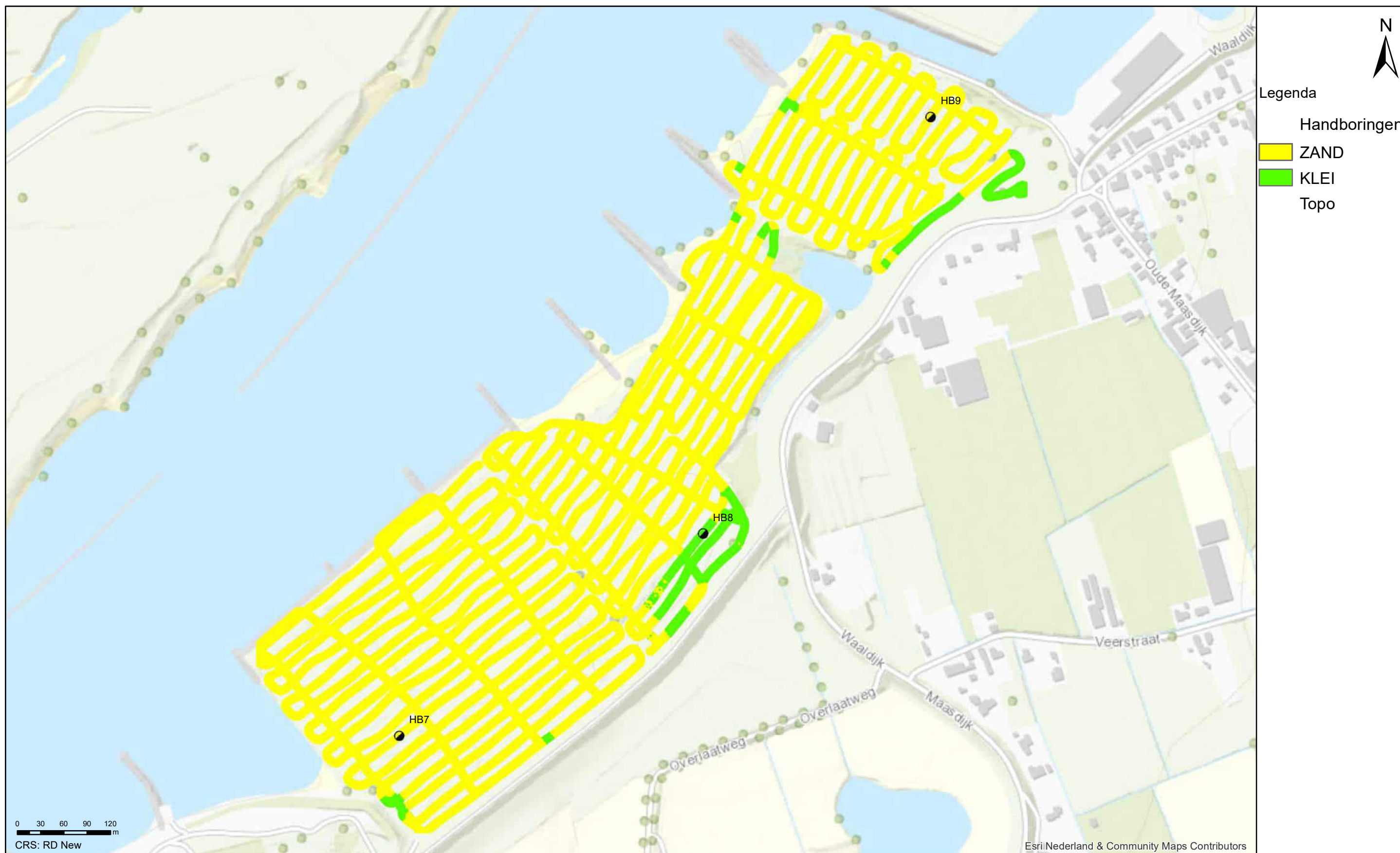
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 3.00 - 3.25 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-13

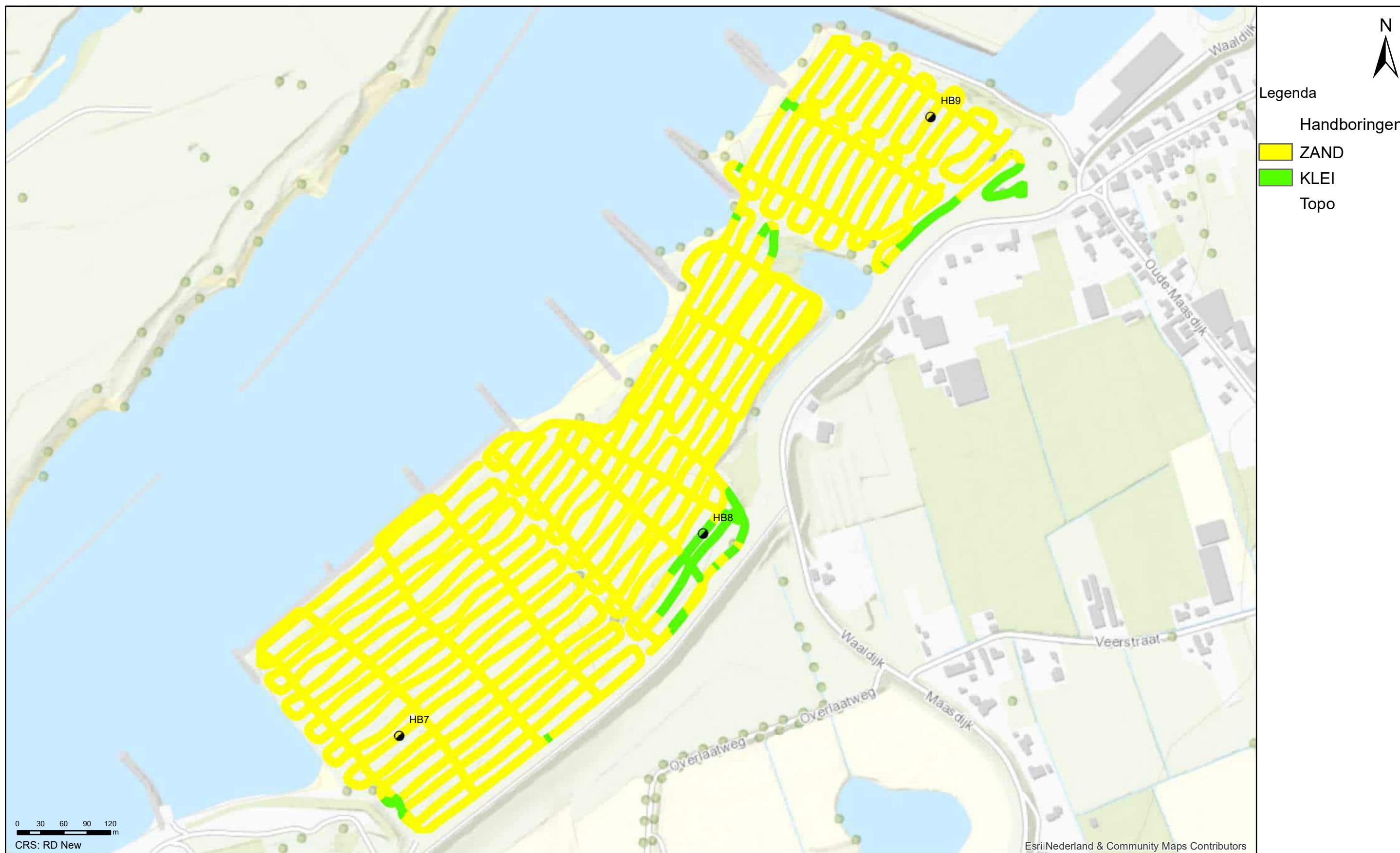


Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 3.25 - 3.50 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-3-14

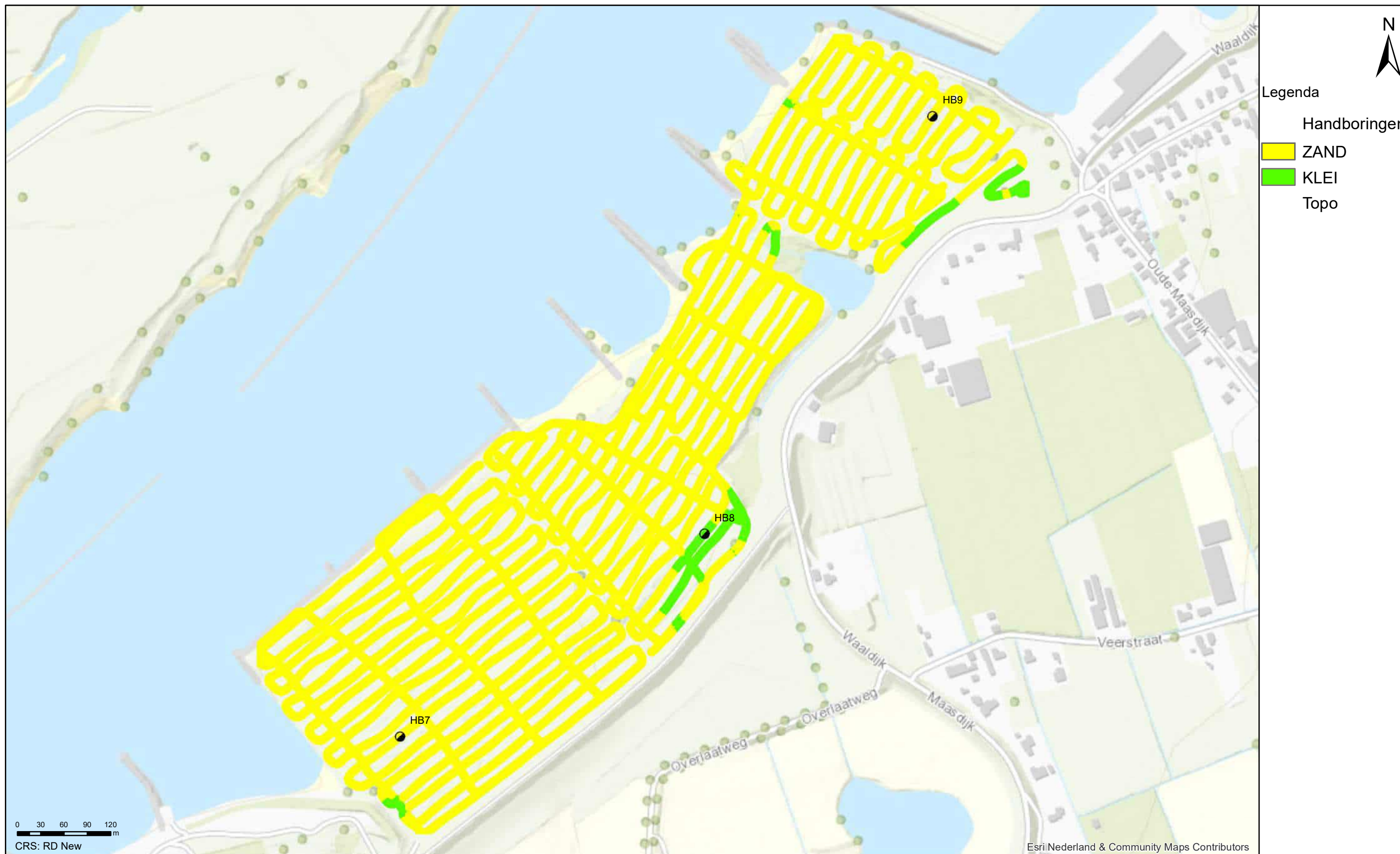


Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 3.50 - 3.75 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-3-15



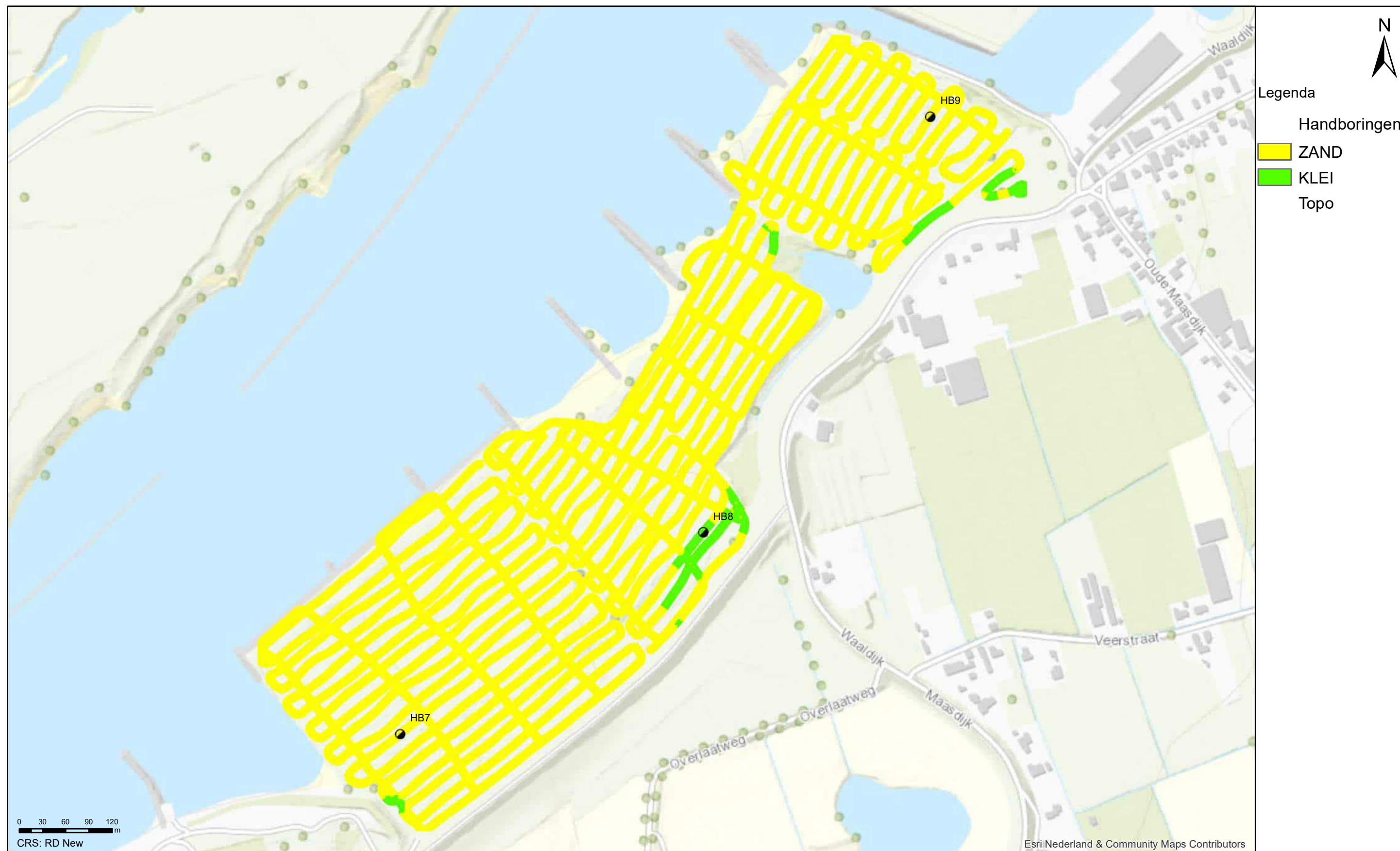
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 3.75 - 4.00 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-16



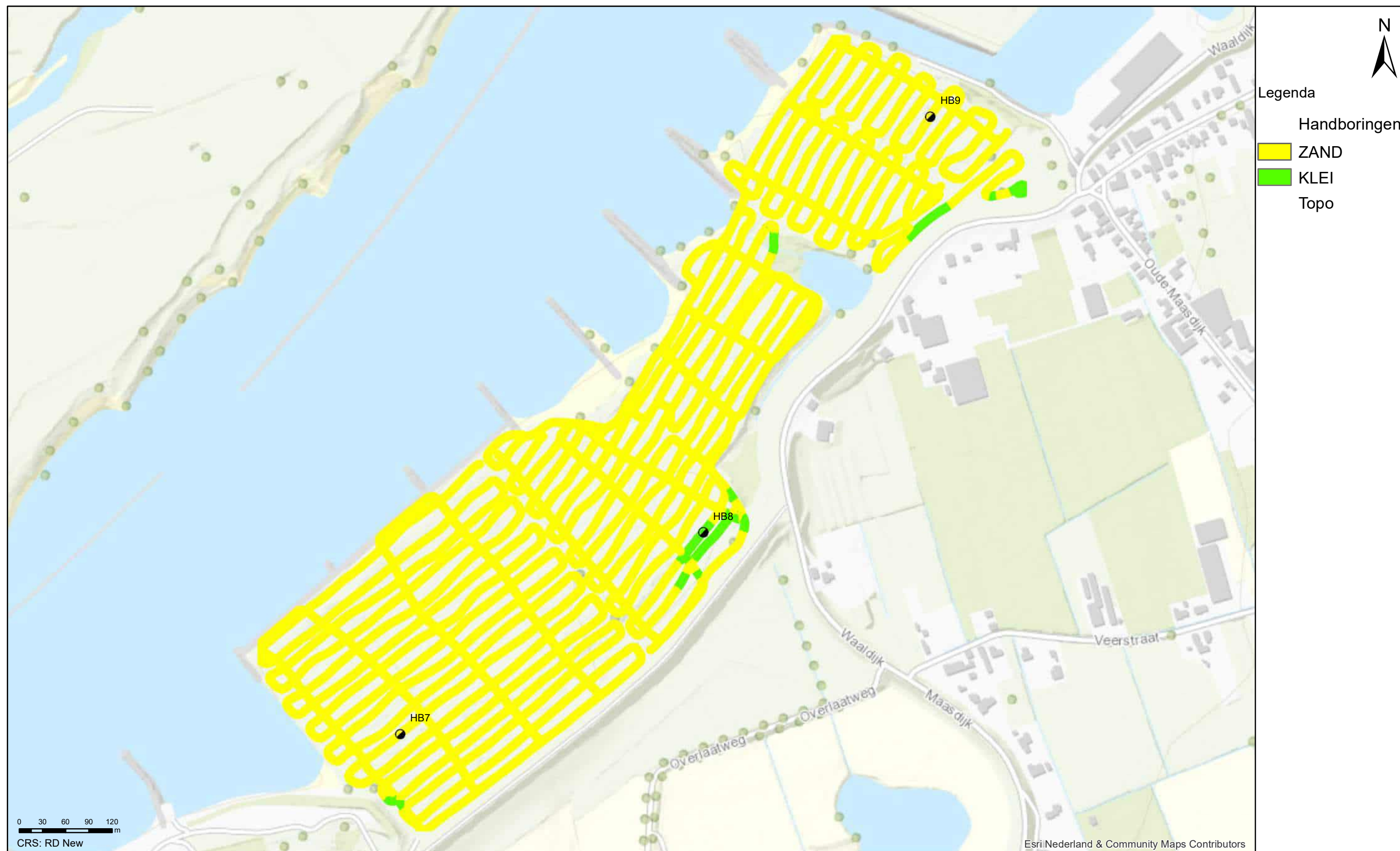
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 4.00 - 4.25 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-17



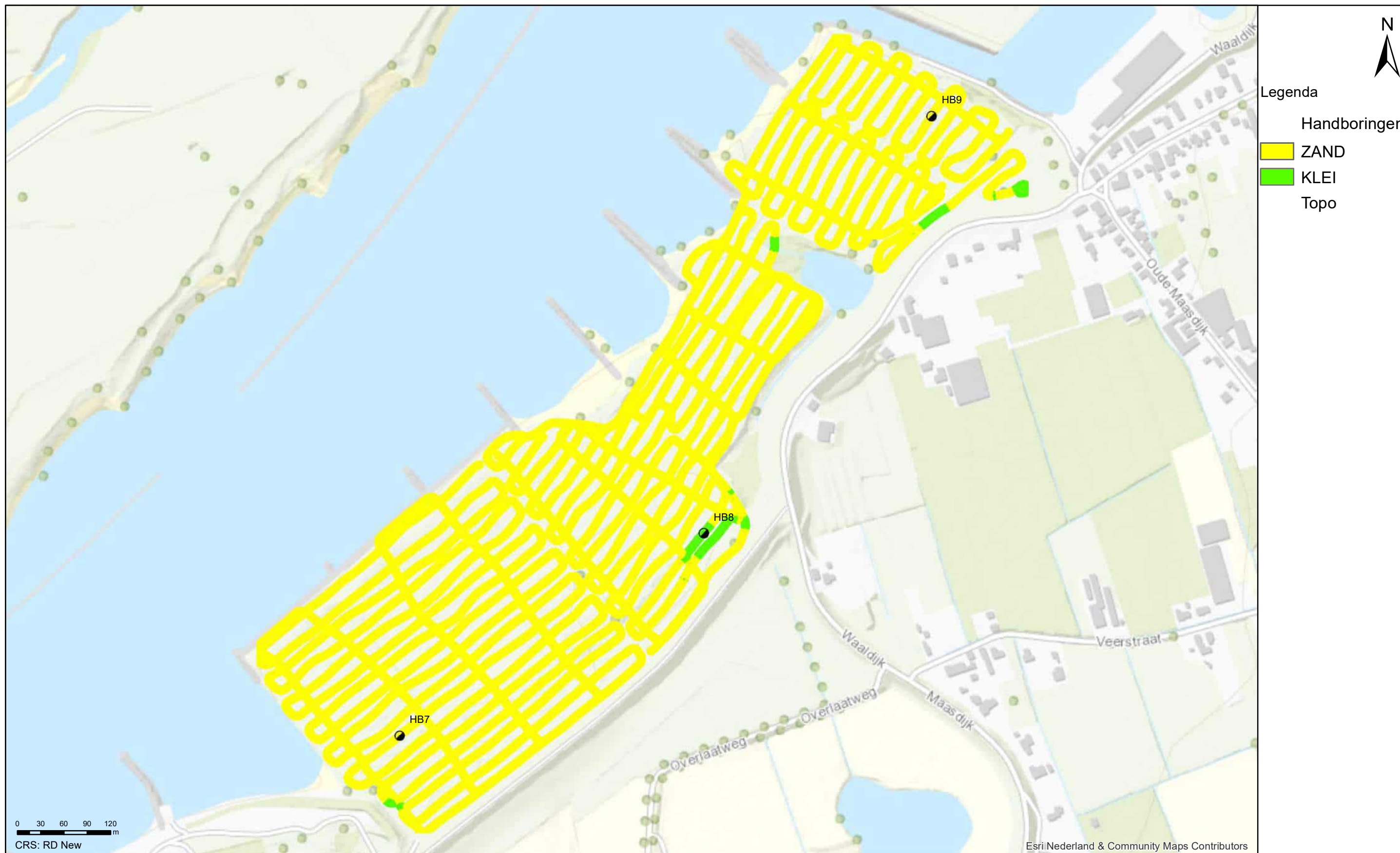
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 4.25 - 4.50 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-18

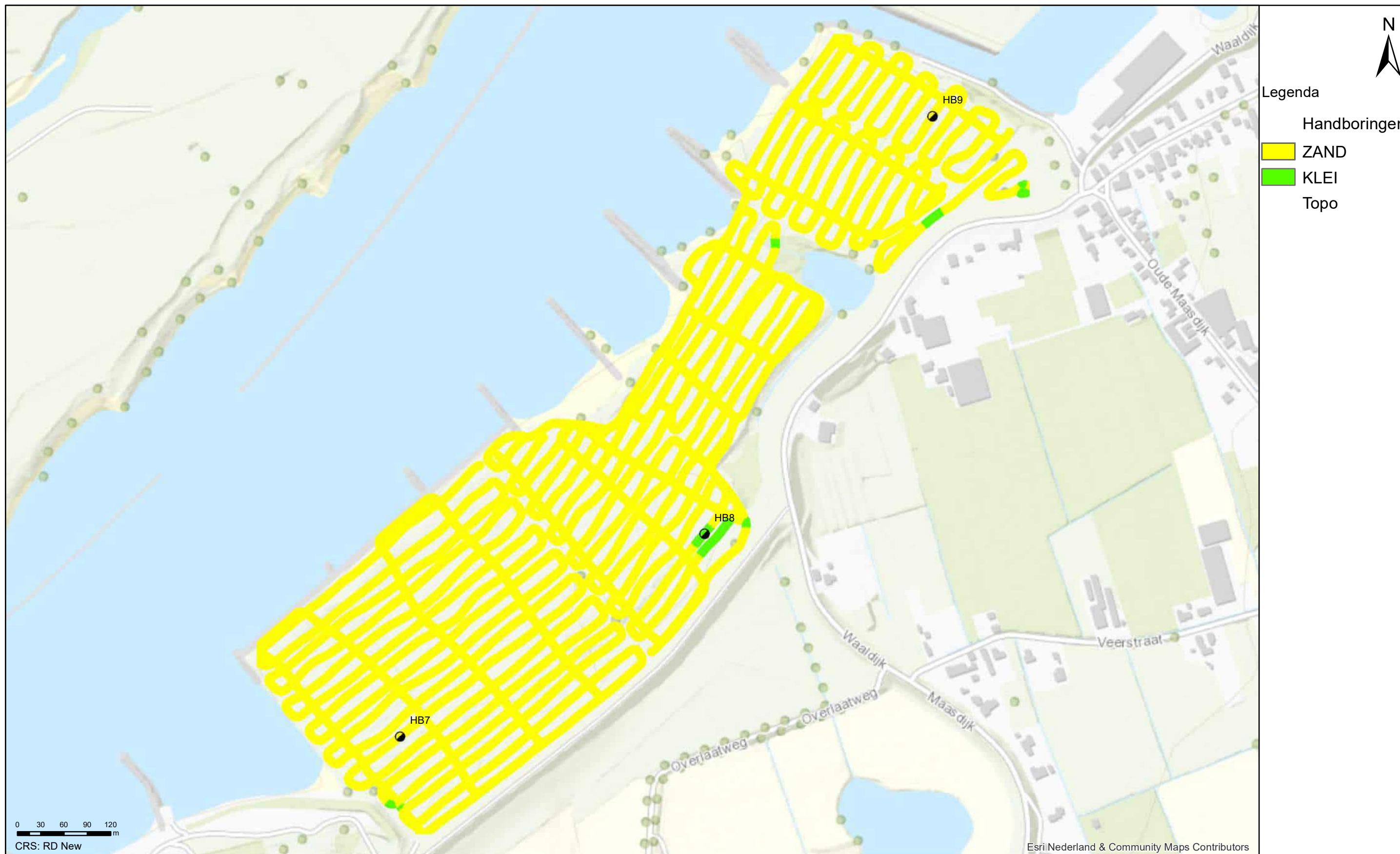


Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 4.50 - 4.75 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-3-19

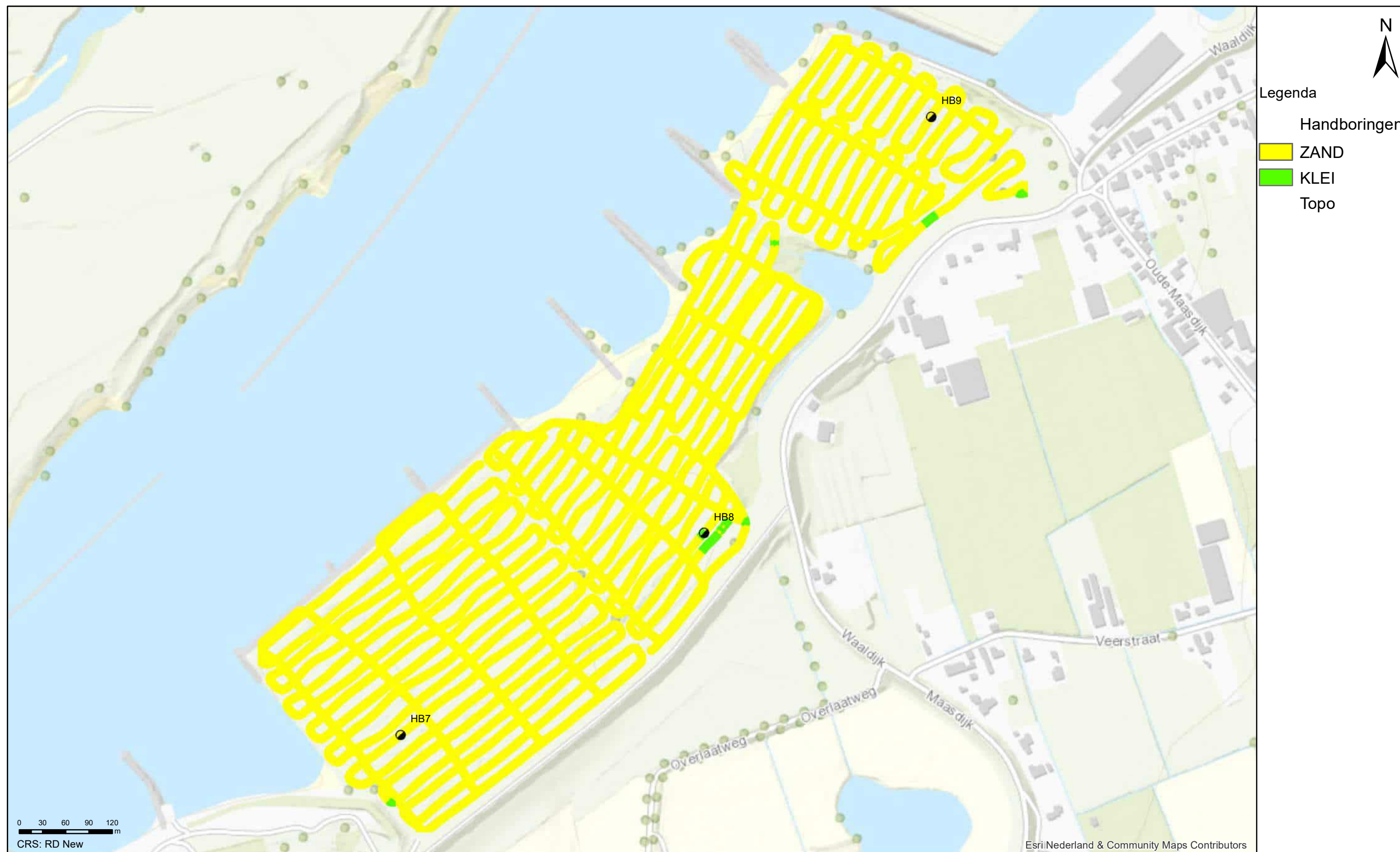


Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 4.75 - 5.00 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-3-20



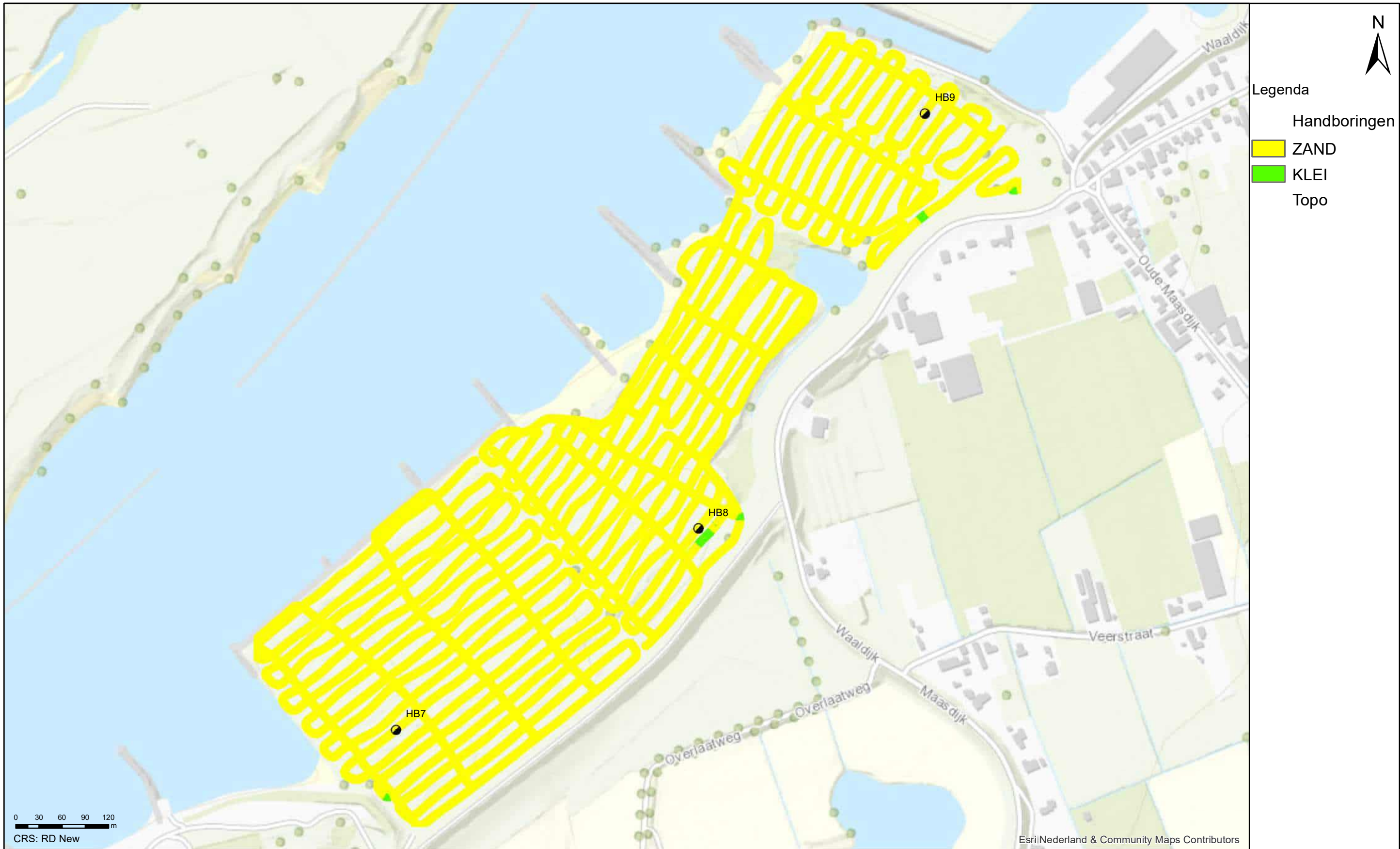
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 5.00 - 5.25 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-21



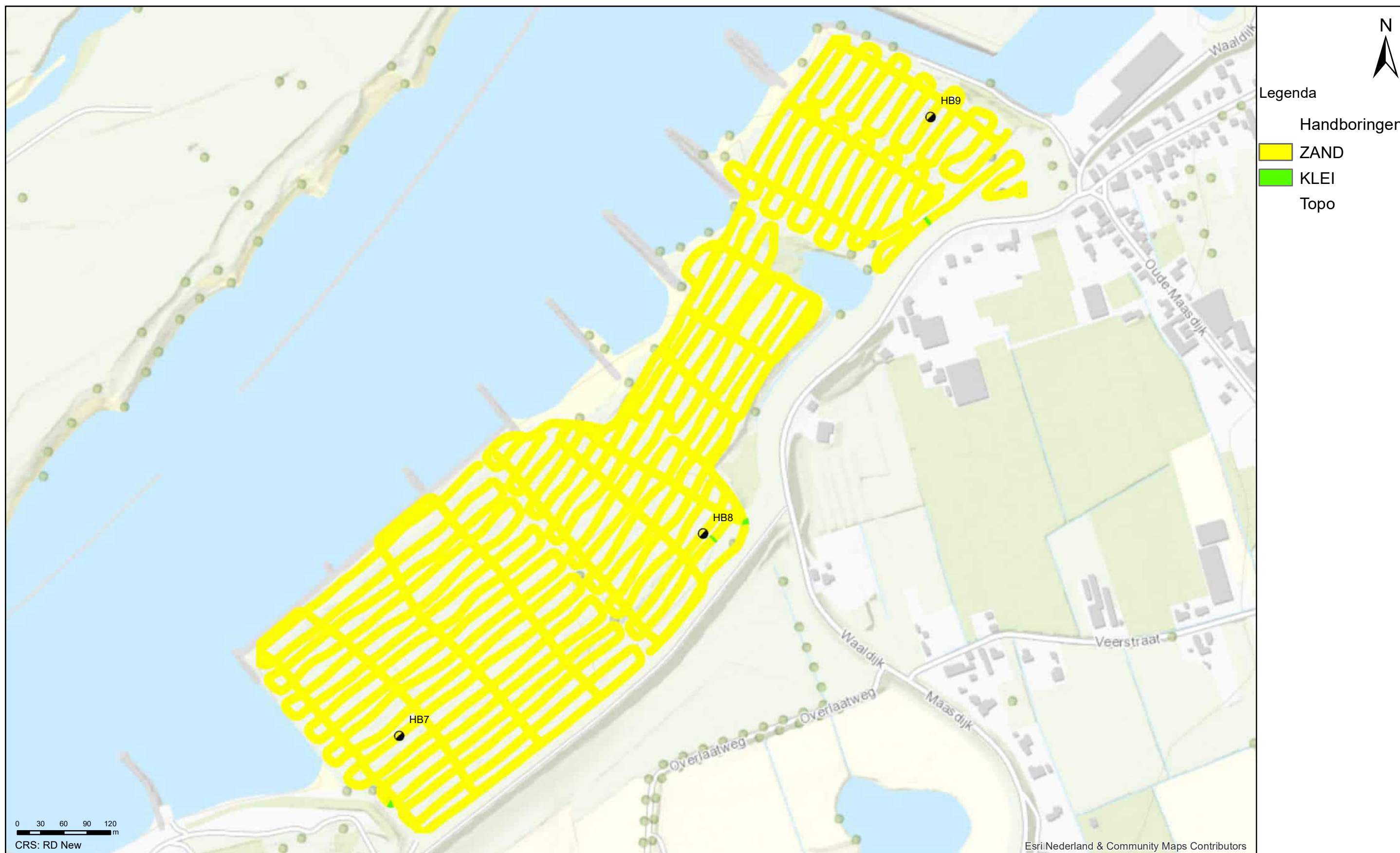
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 5.25 - 5.50 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-22



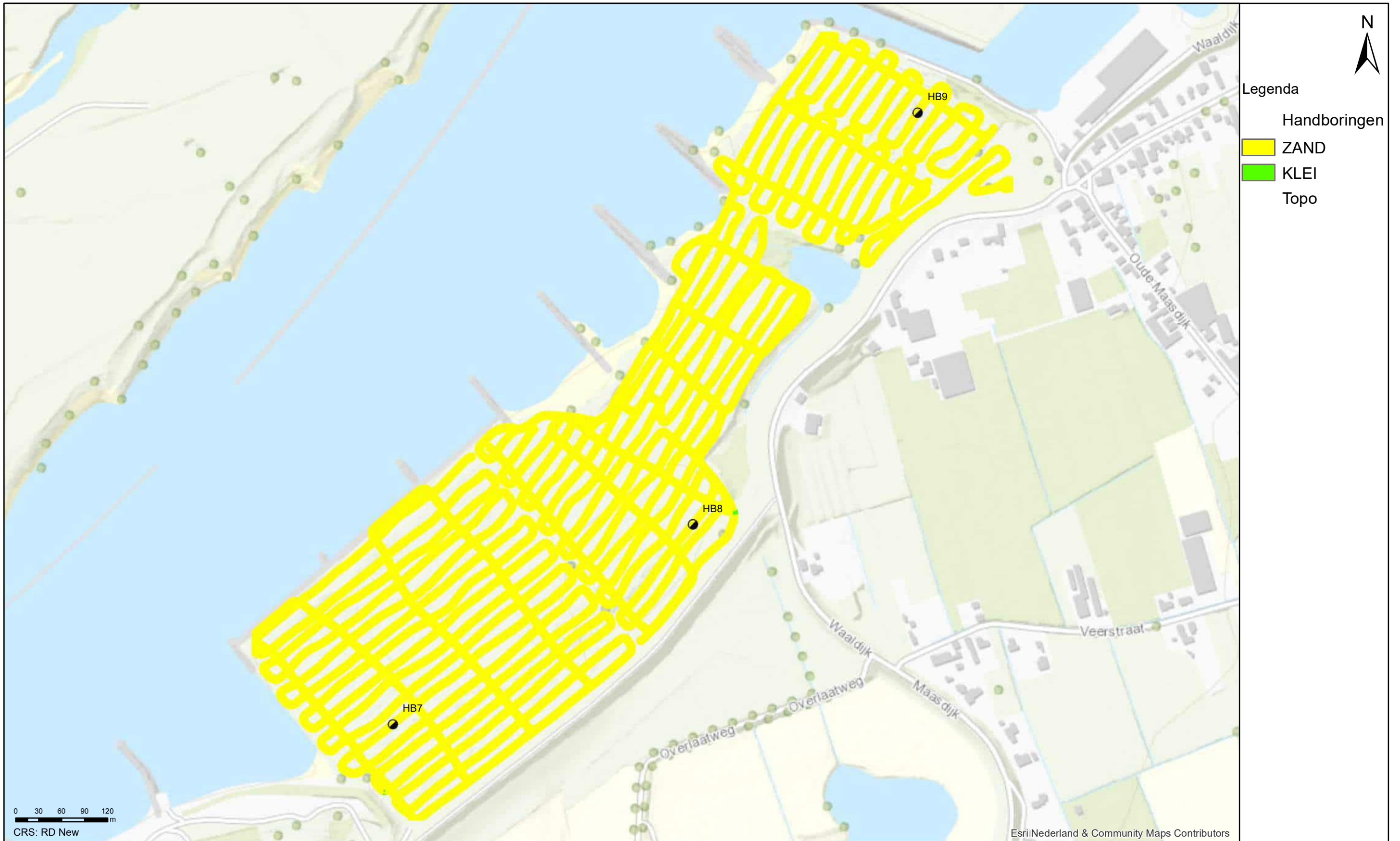
Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 5.50 - 5.75 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-23



Geofysisch onderzoek UWDH

Gecalssificeerde EM data tussen 5.75 - 6.00 m-MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-3-24



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.00 - 0.25 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-1



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.25 - 0.50 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-2



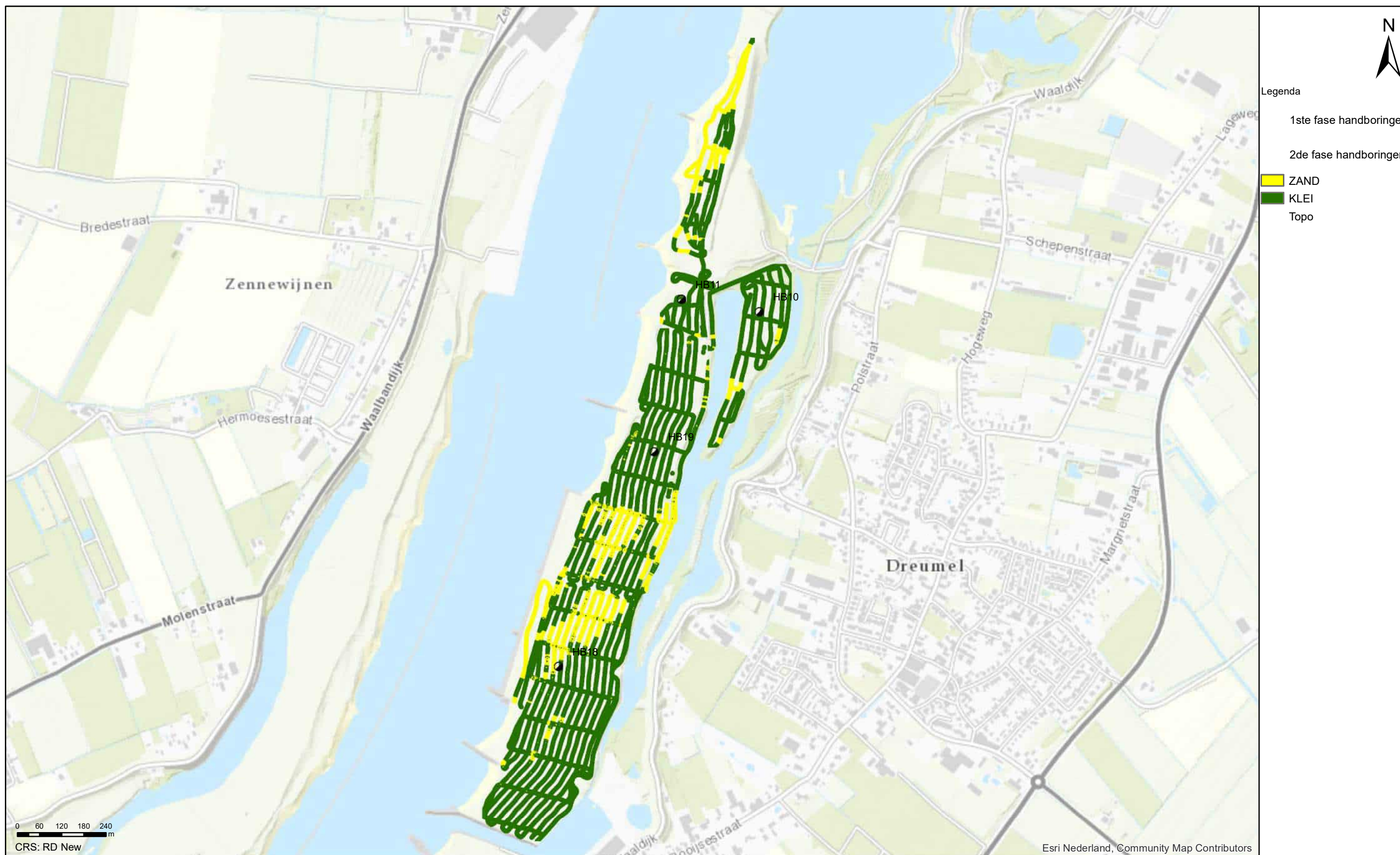
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.50 - 0.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-3

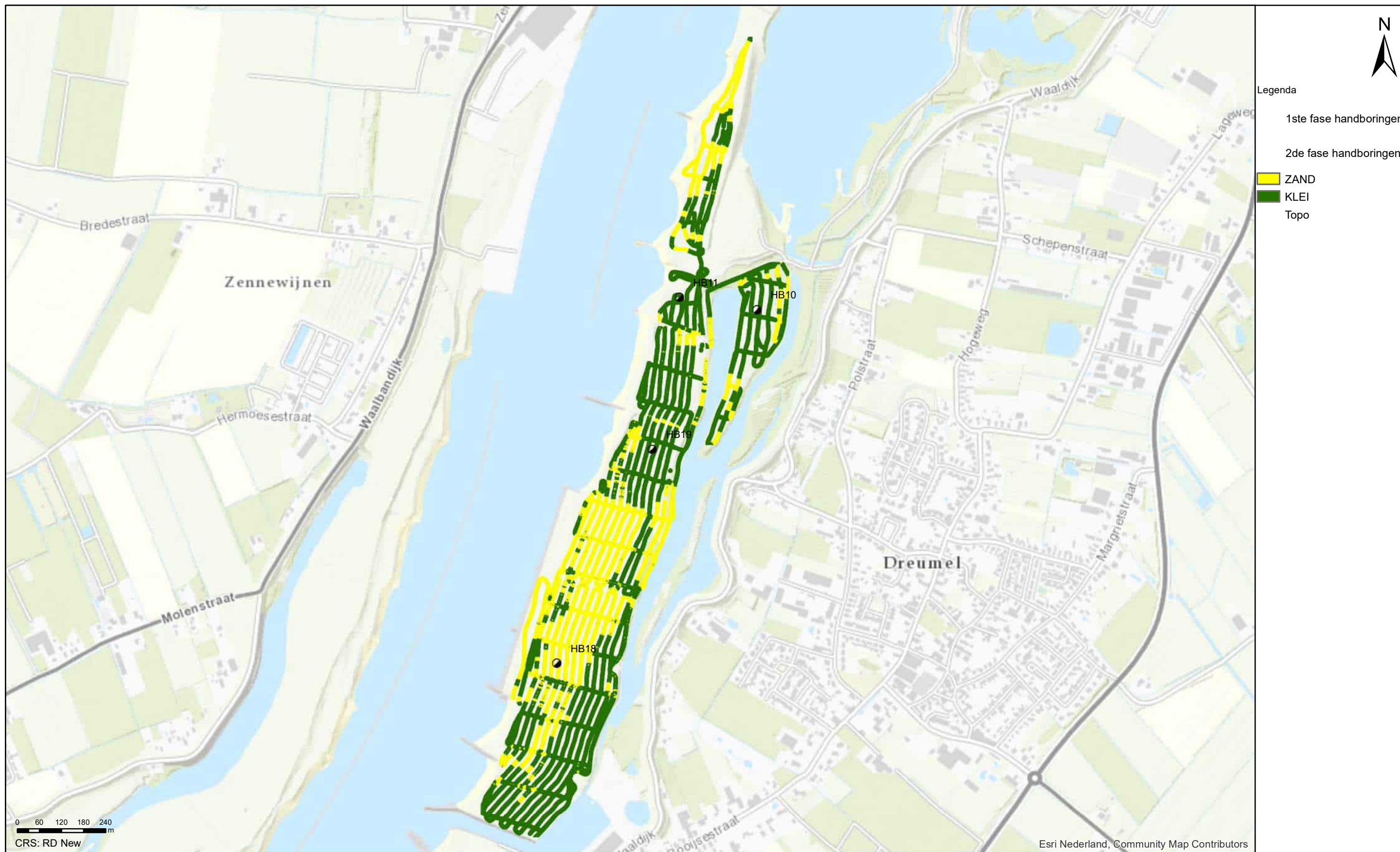


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 0.75 - 1.00 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-4



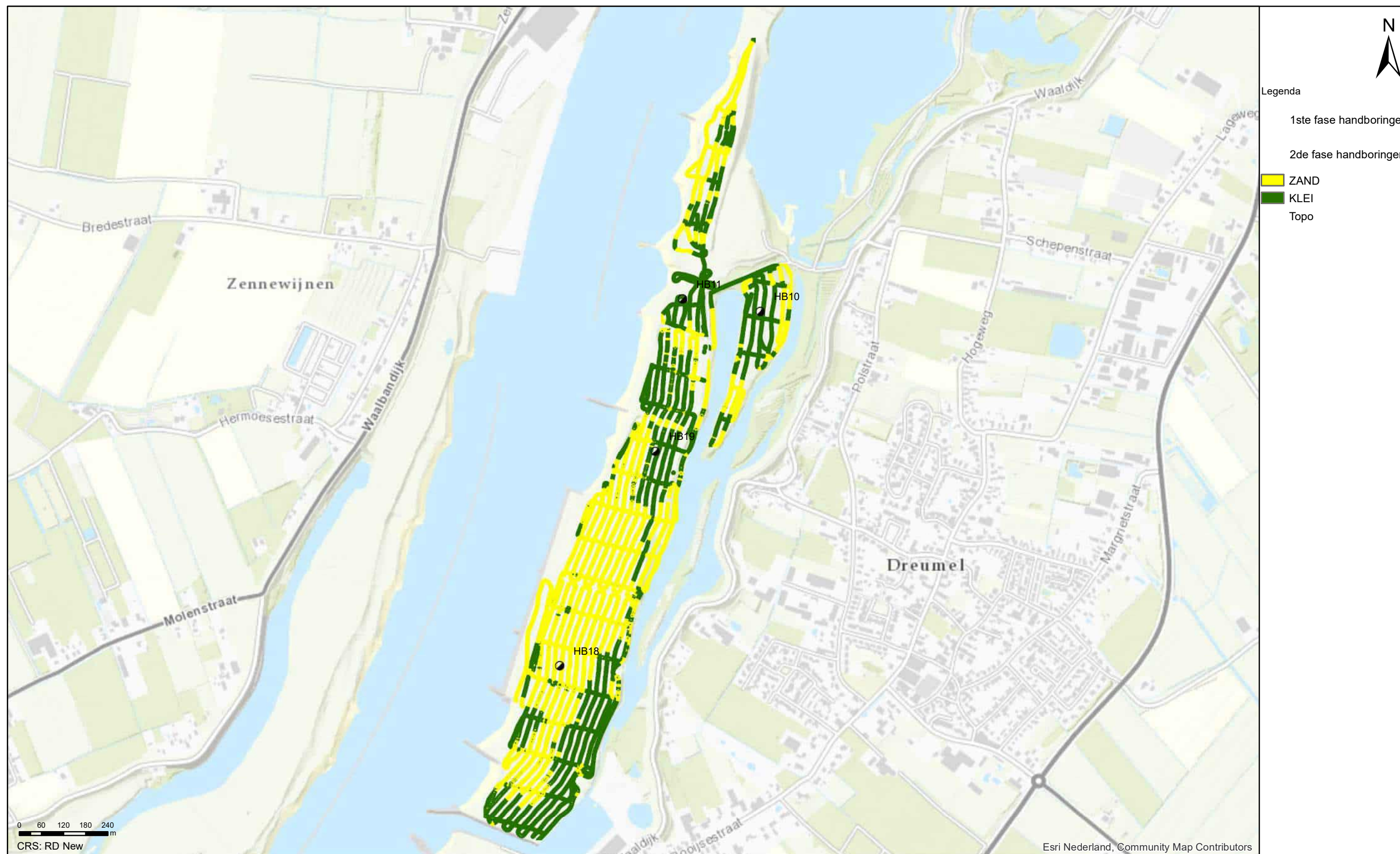
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.00 - 1.25 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-5



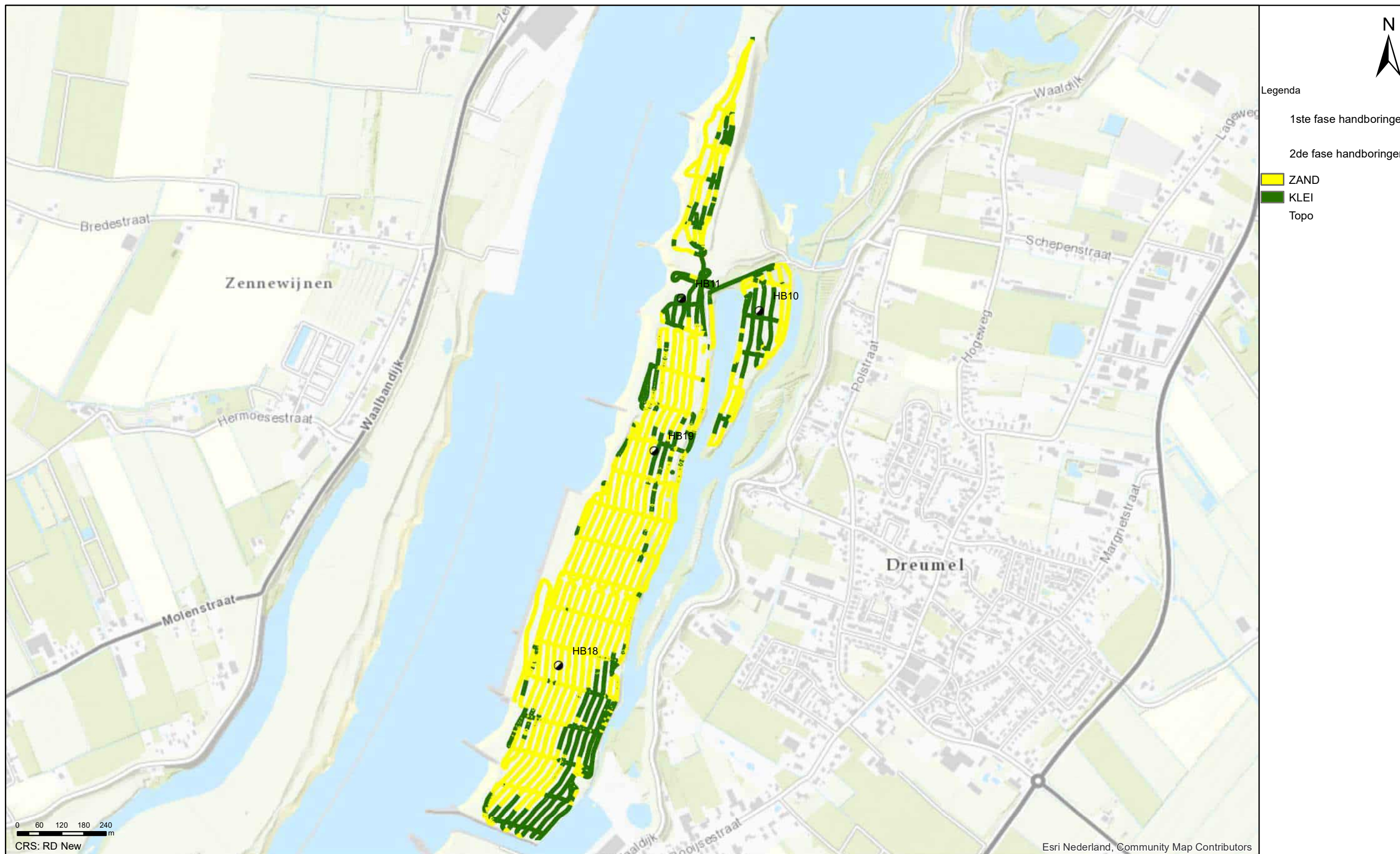
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.25 - 1.50 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-6



Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.50 - 1.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-7



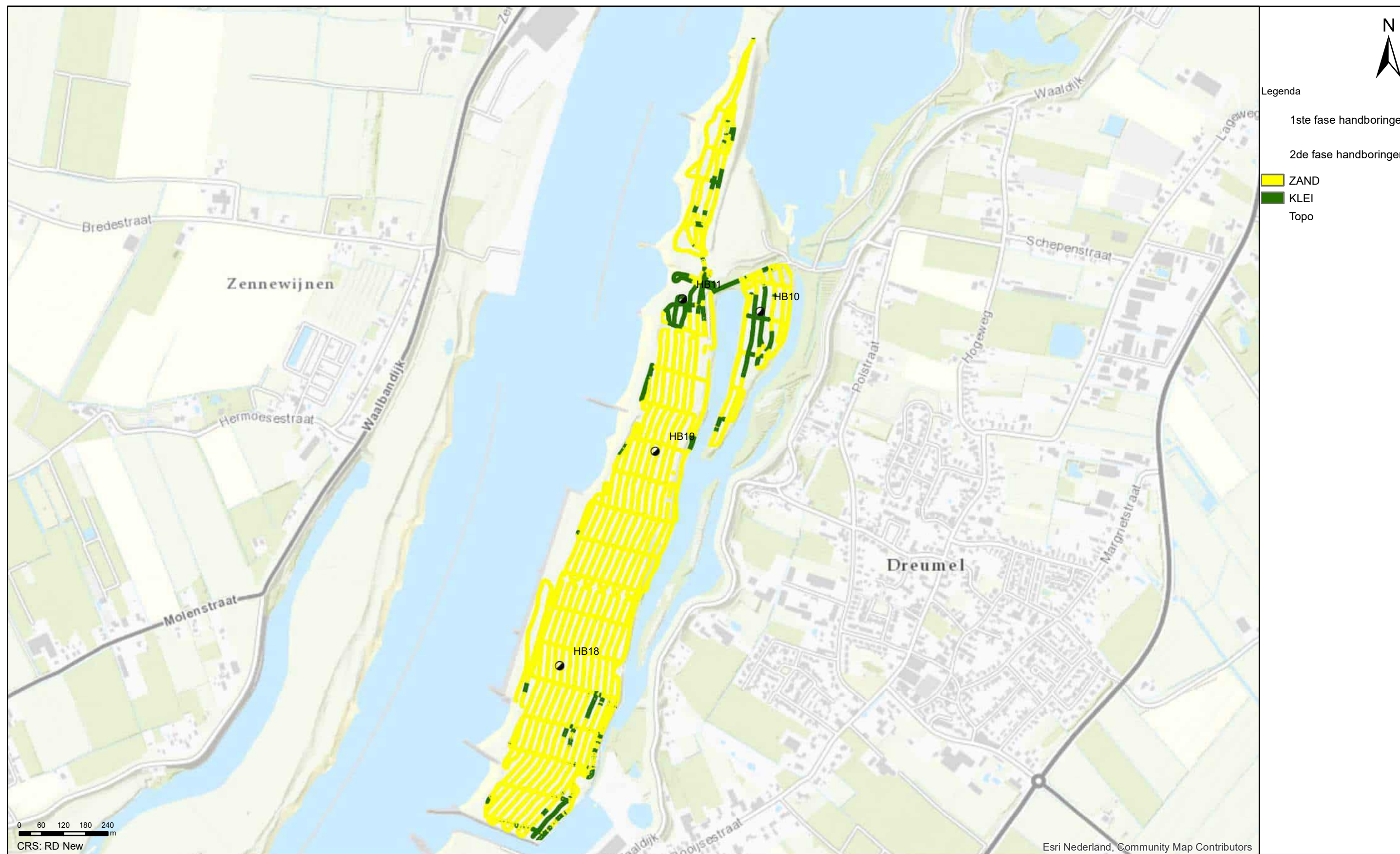
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.75 - 2.00 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-8



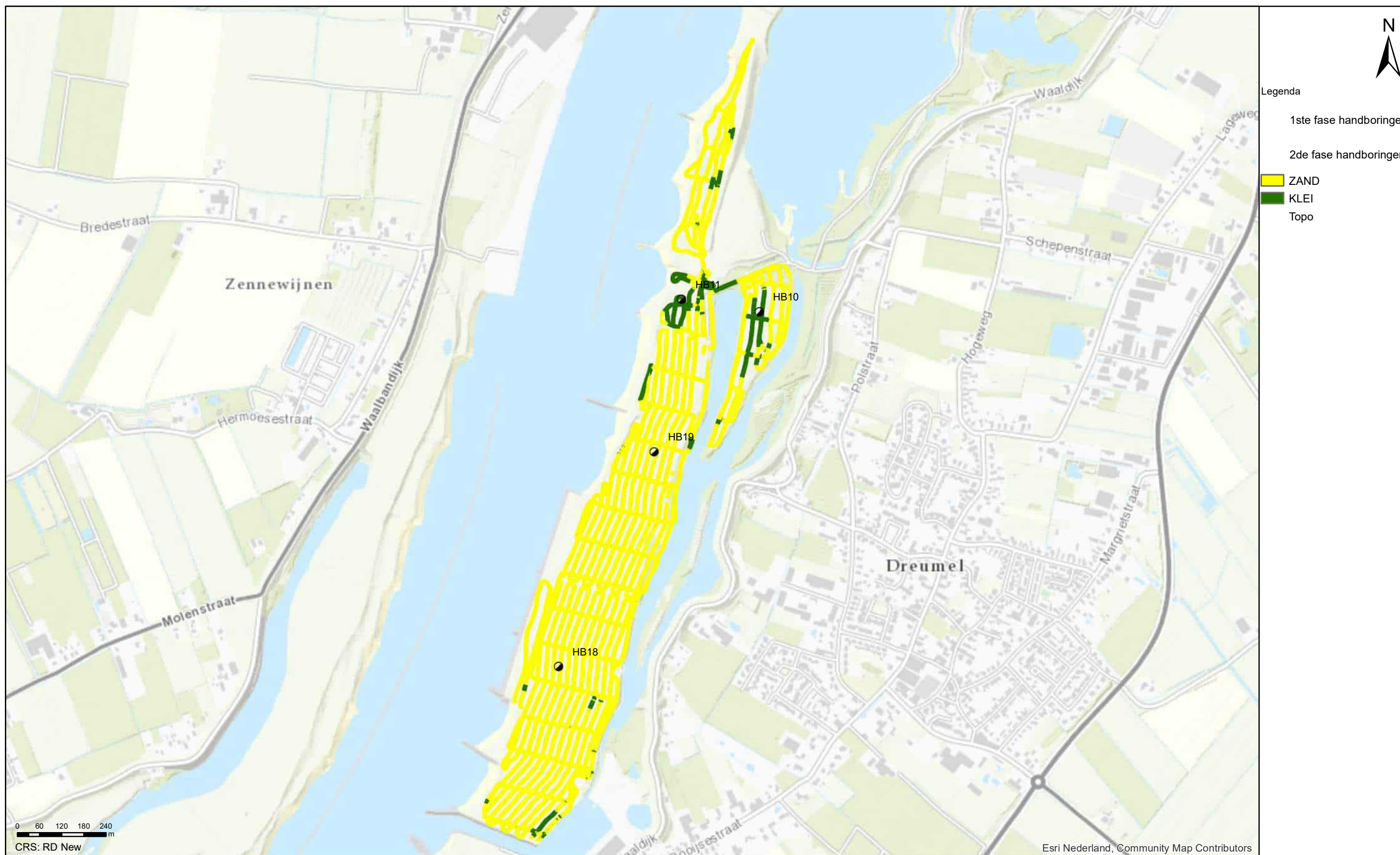
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.00 - 2.25 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-9

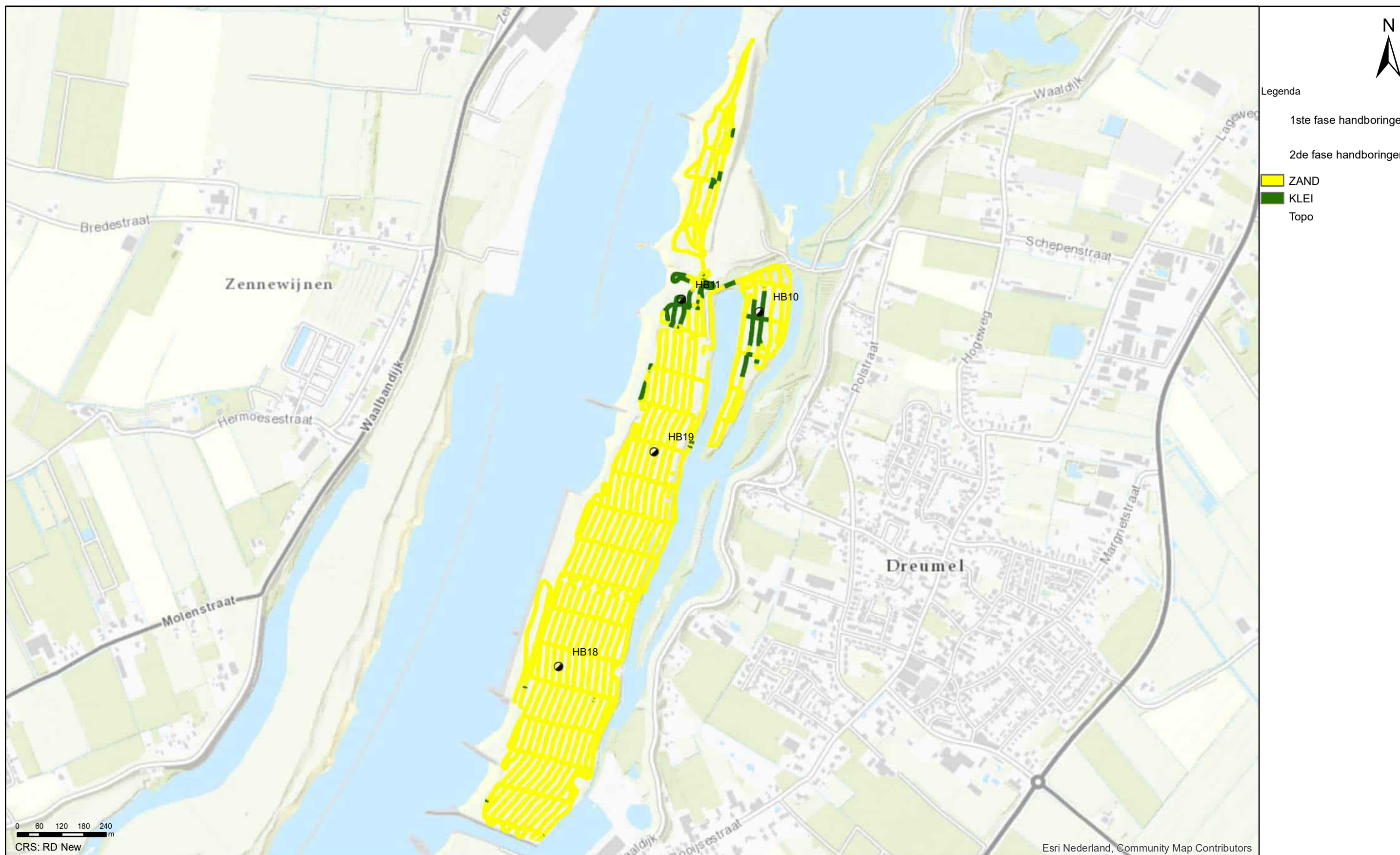


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.25 - 2.50 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-10



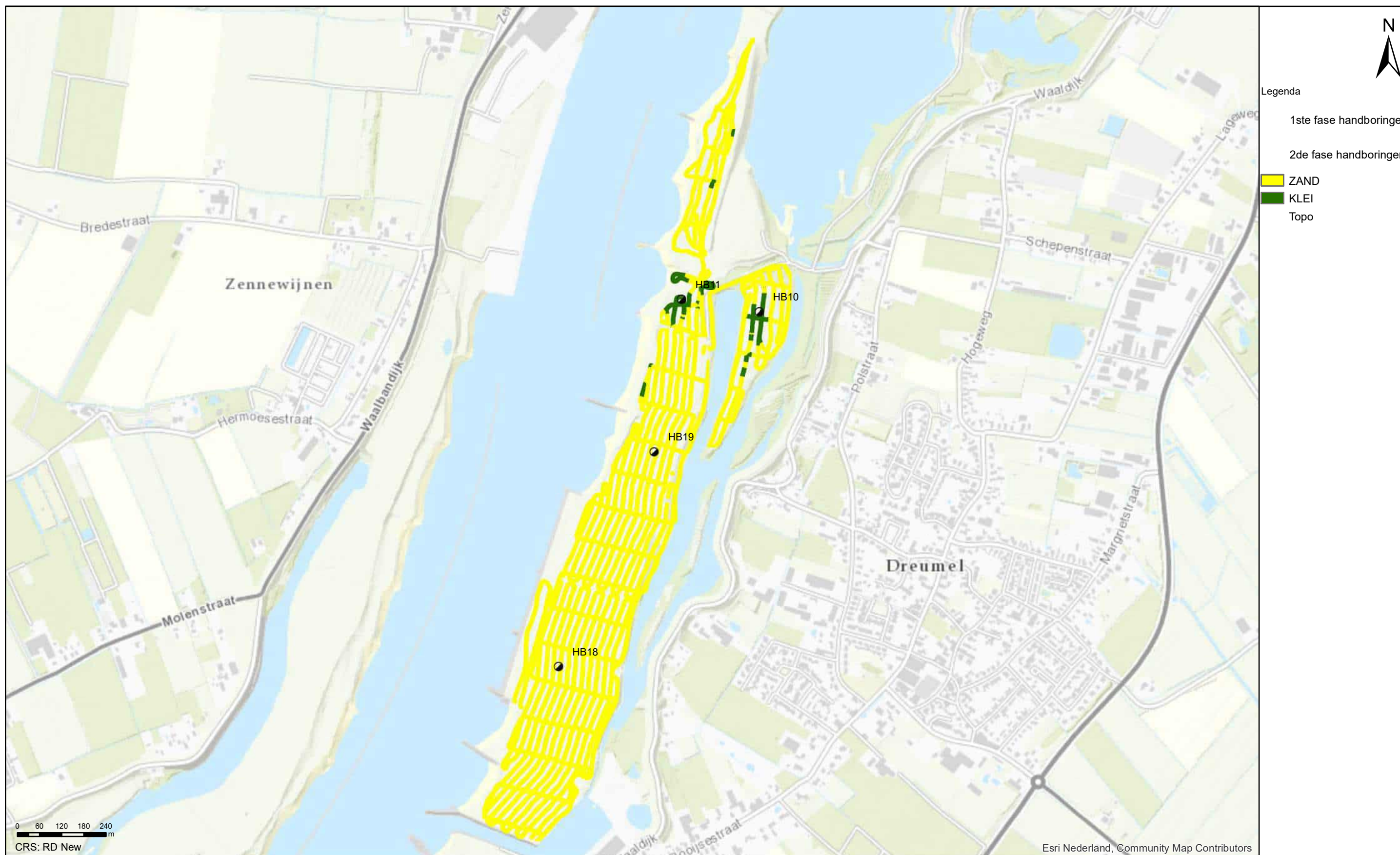
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.50 - 2.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-11



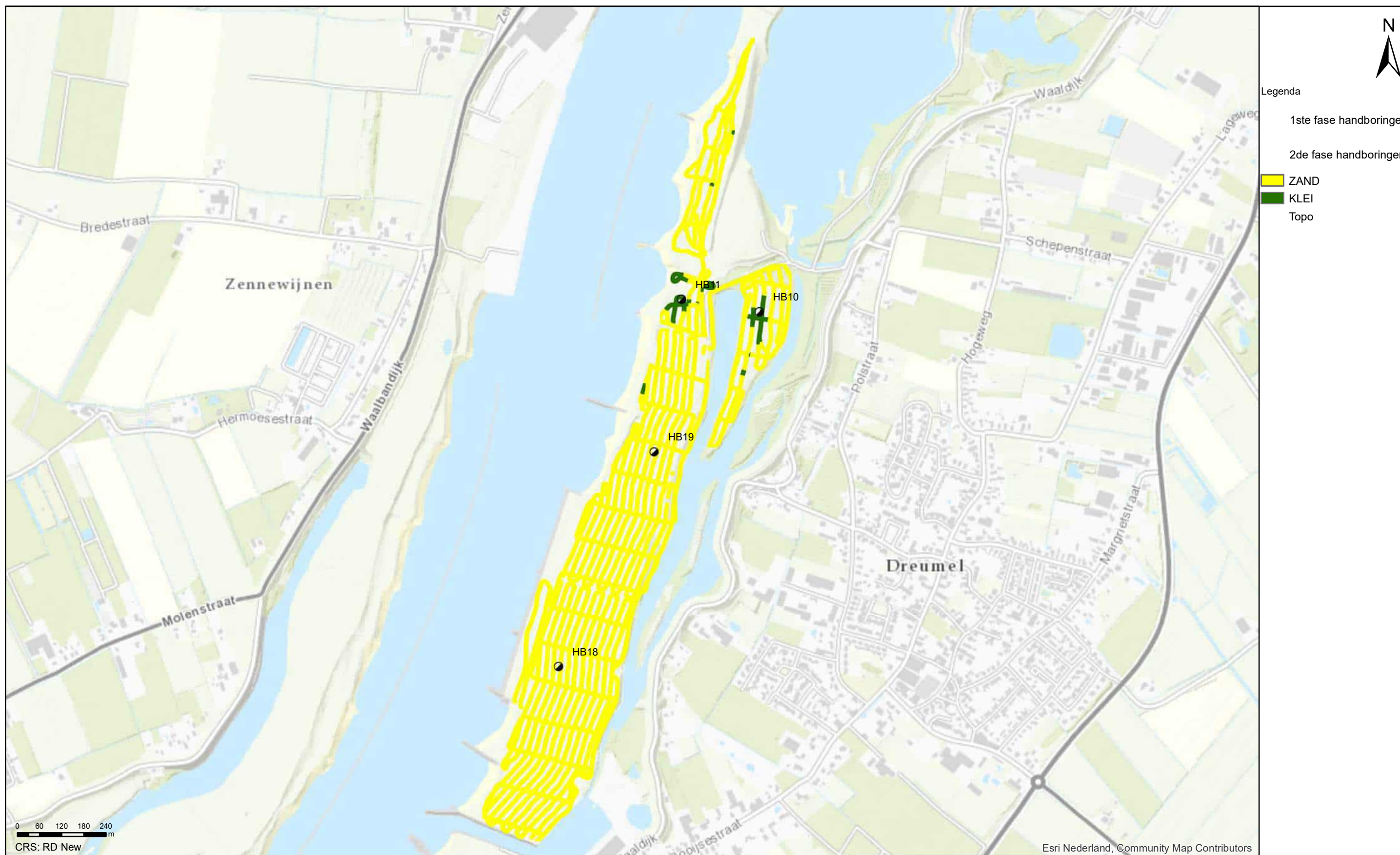
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 2.75 - 3.00 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-12

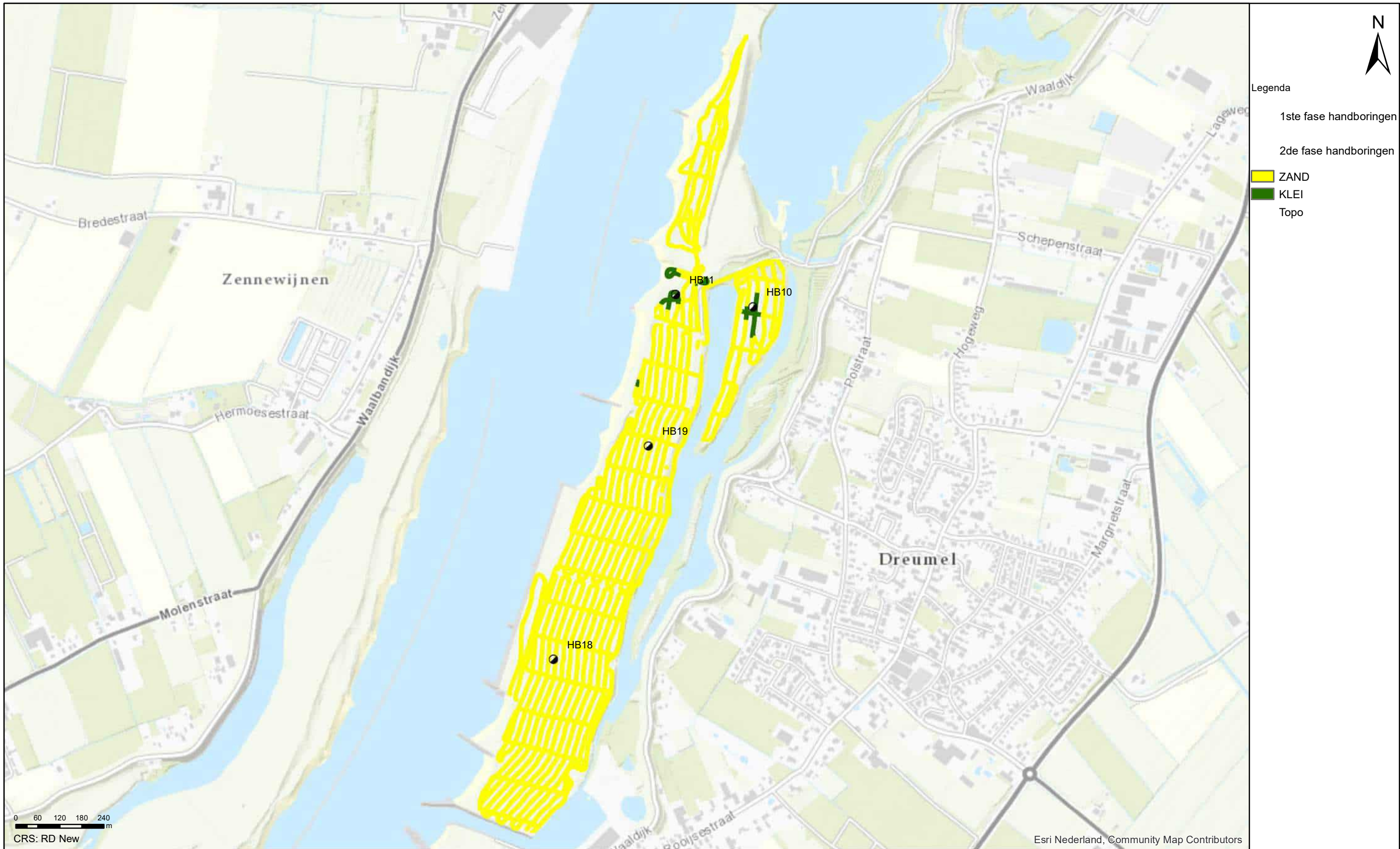


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.00 - 3.25 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-13



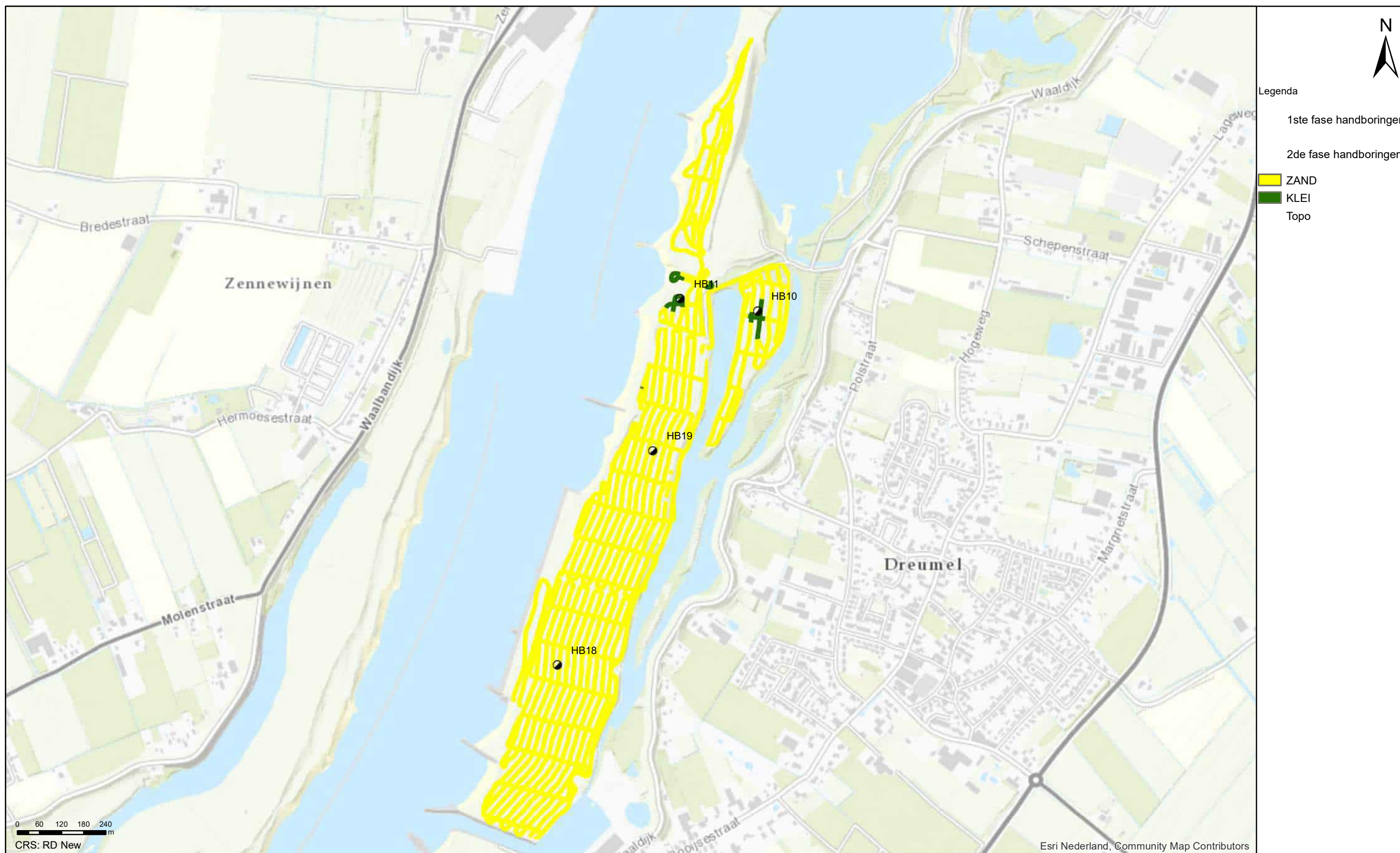
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.25 - 3.50 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-14

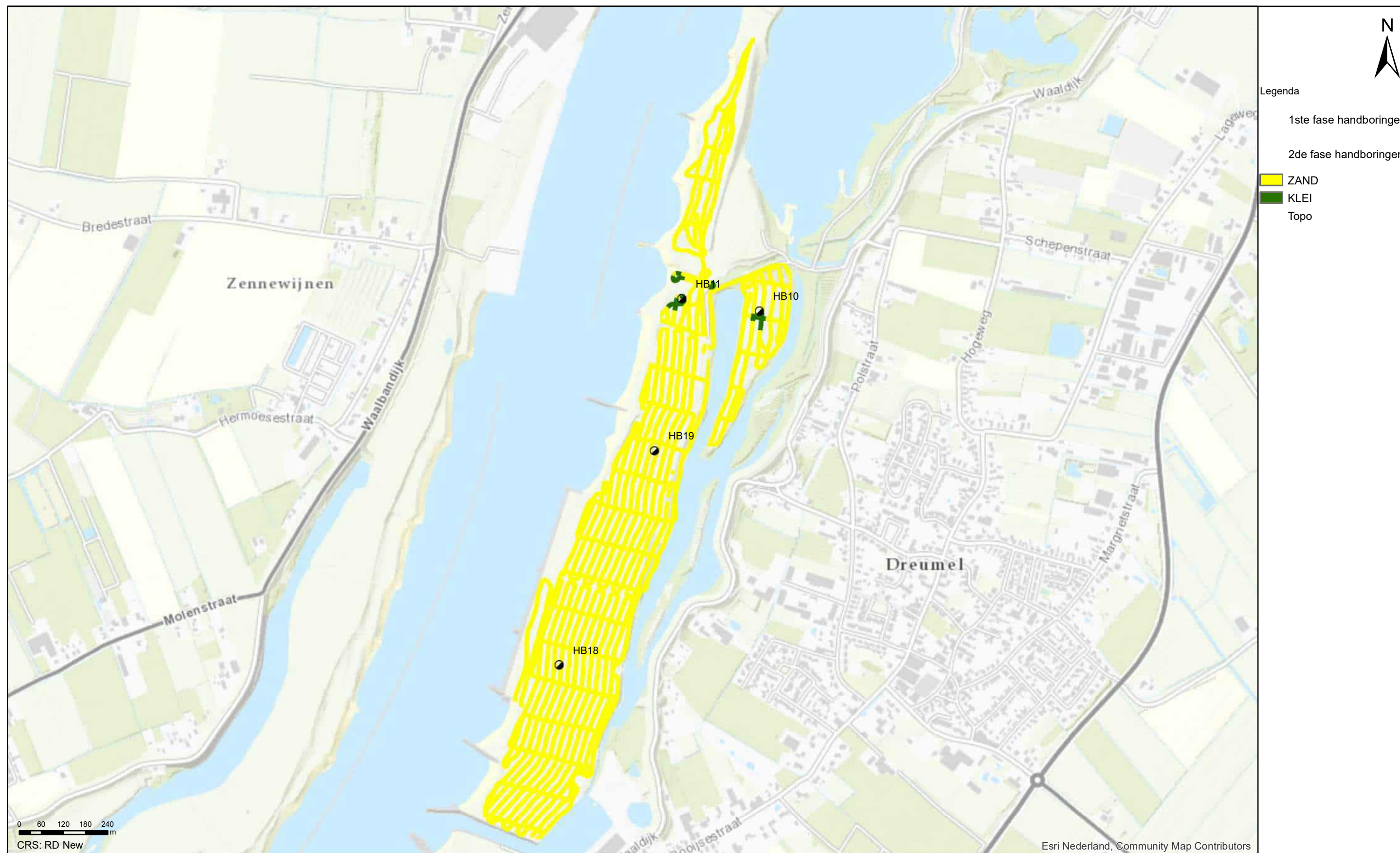


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.50 - 3.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-15



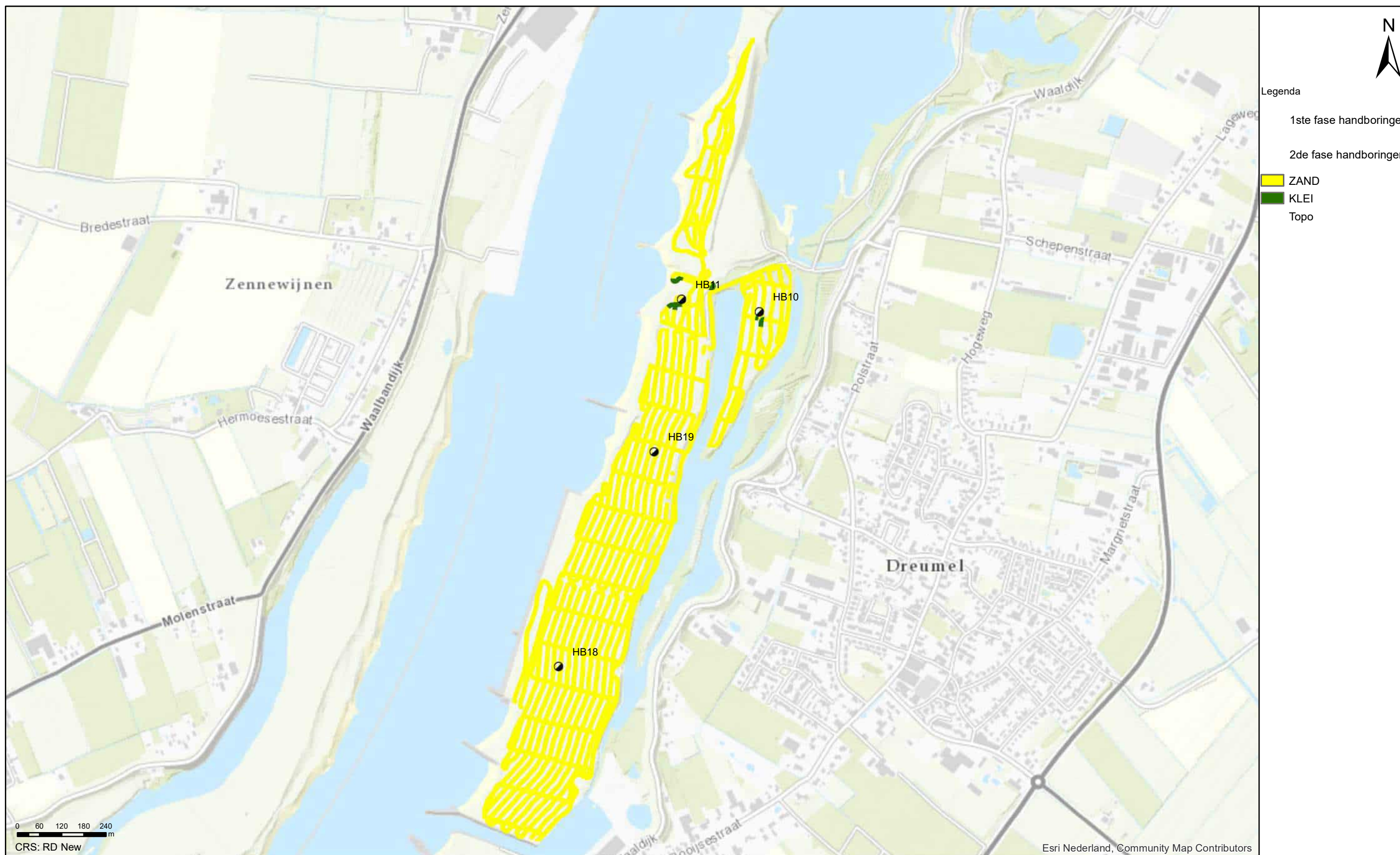
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 3.75 - 4.00 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-16



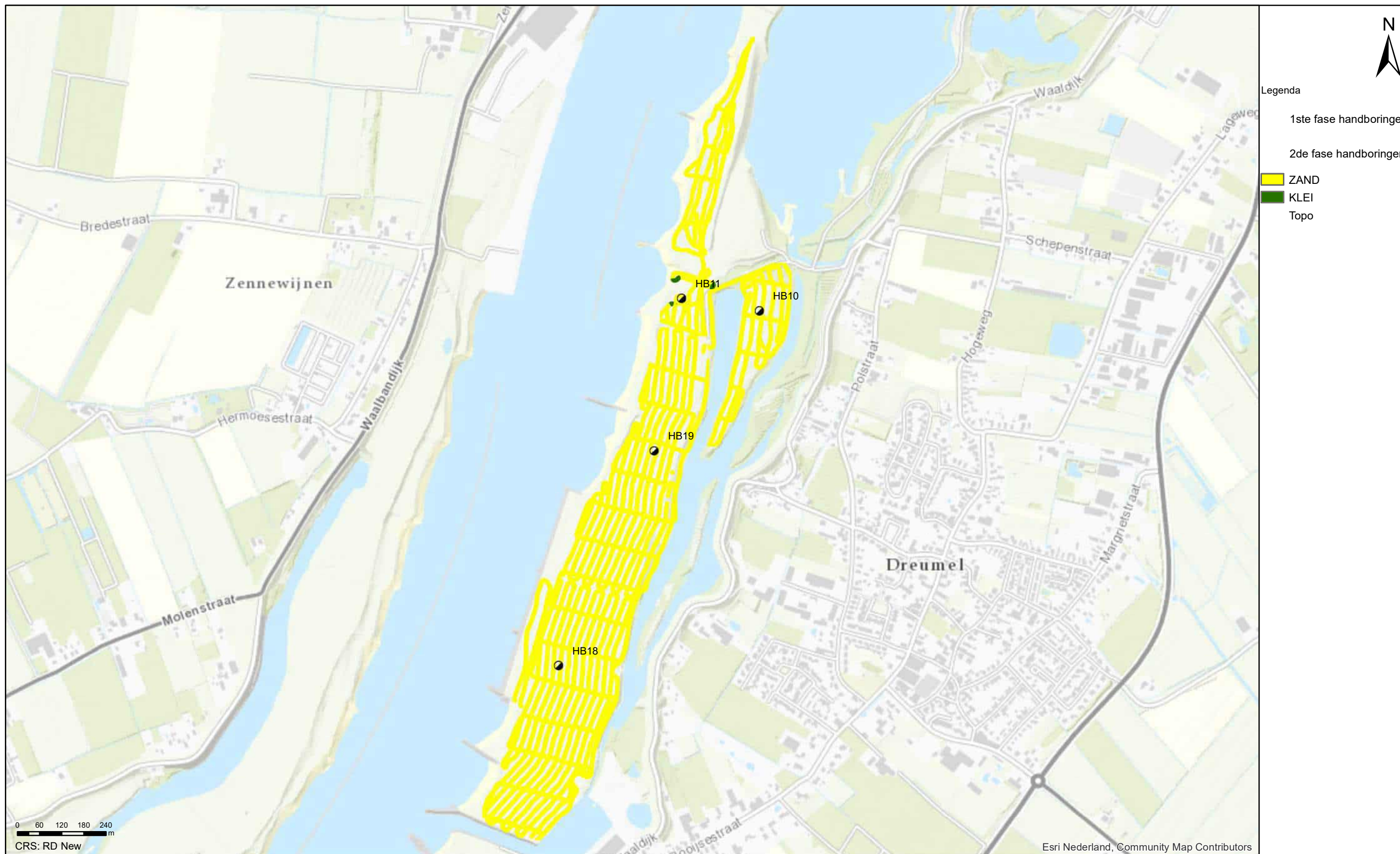
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.00 - 4.25 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-17

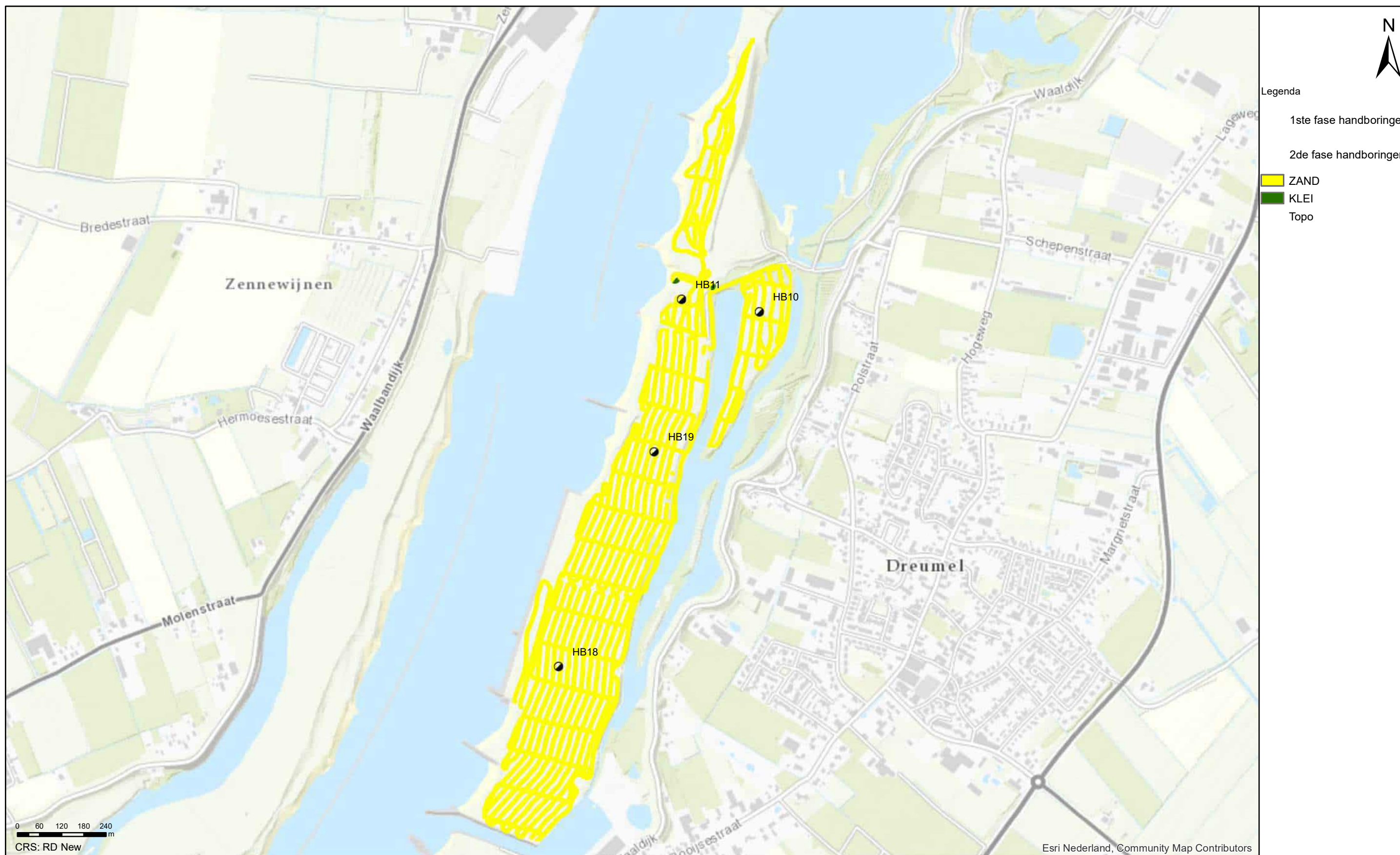


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.25 - 4.50 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-18

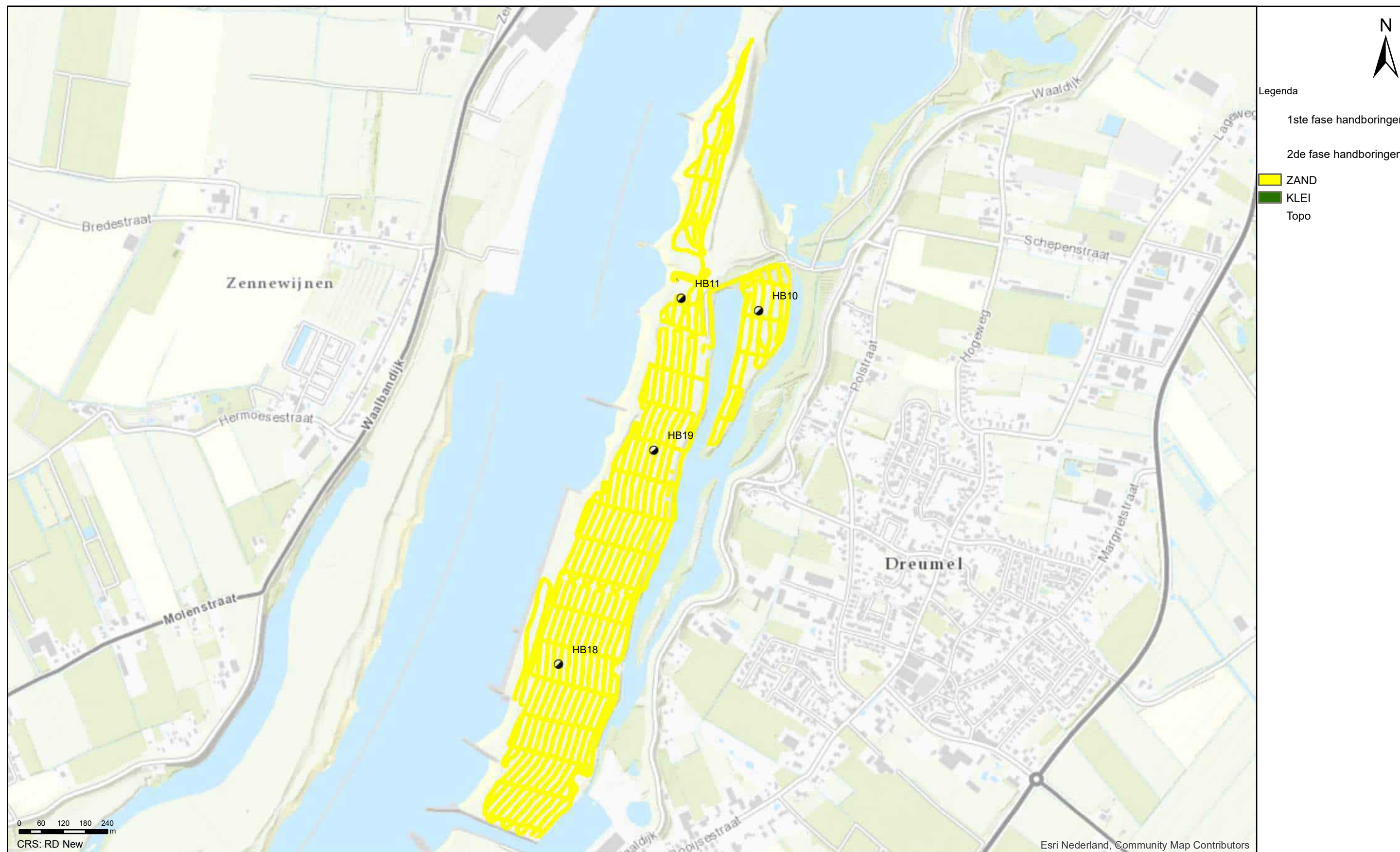


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.50 - 4.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-4-19



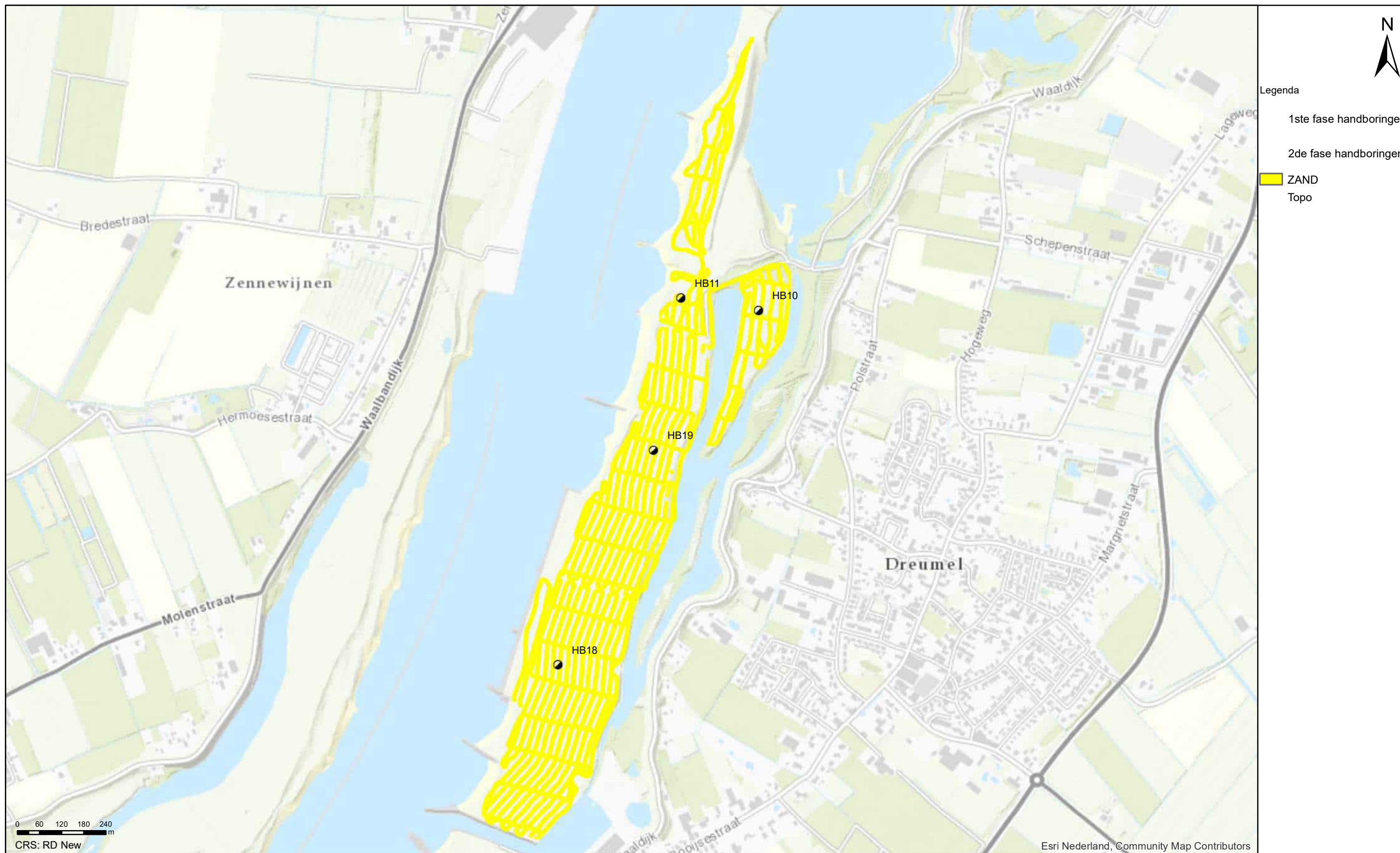
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 4.75 - 5.00 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-20



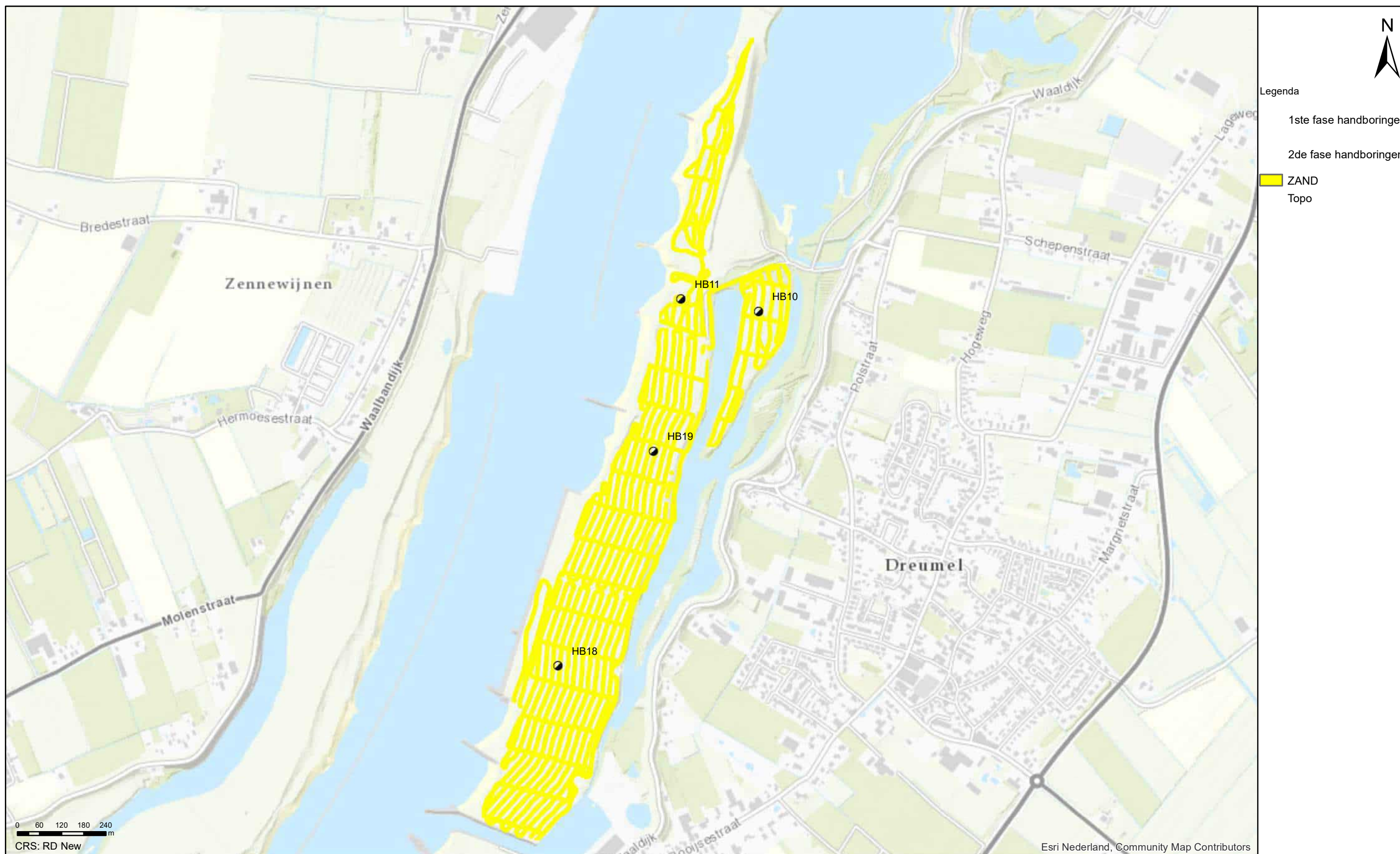
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.00 - 5.25 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-21



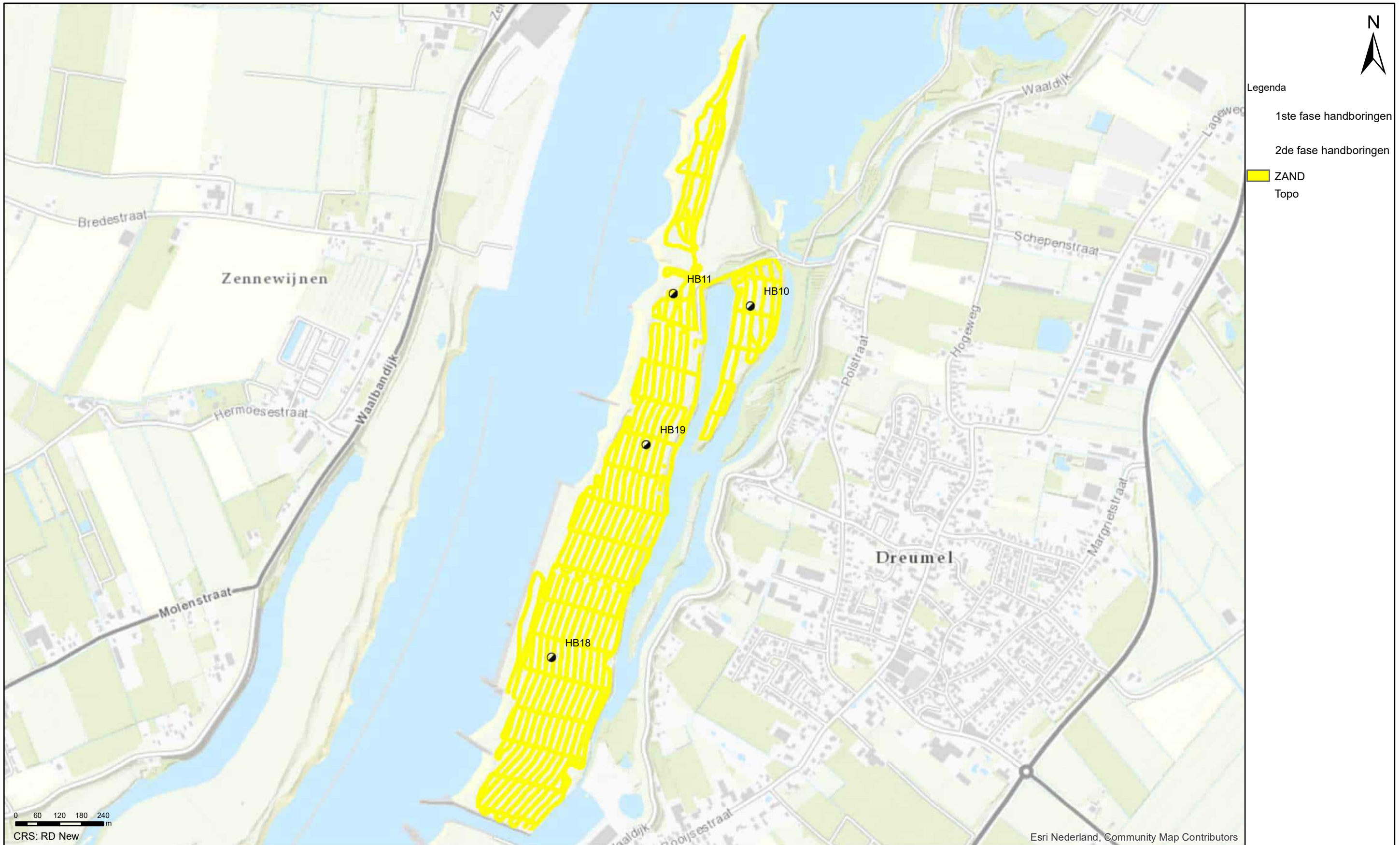
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.25 - 5.50 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-22



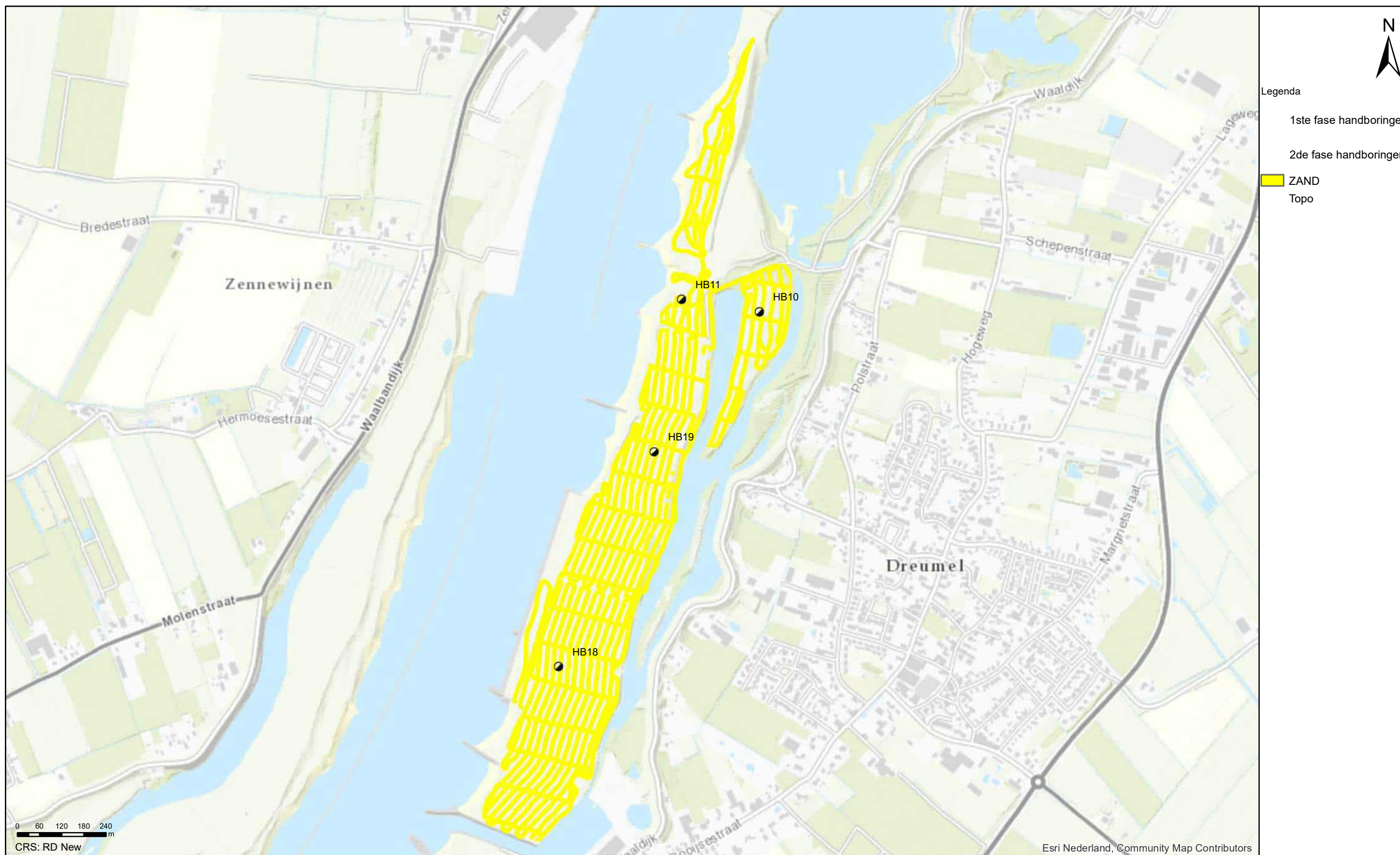
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.50 - 5.75 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-23



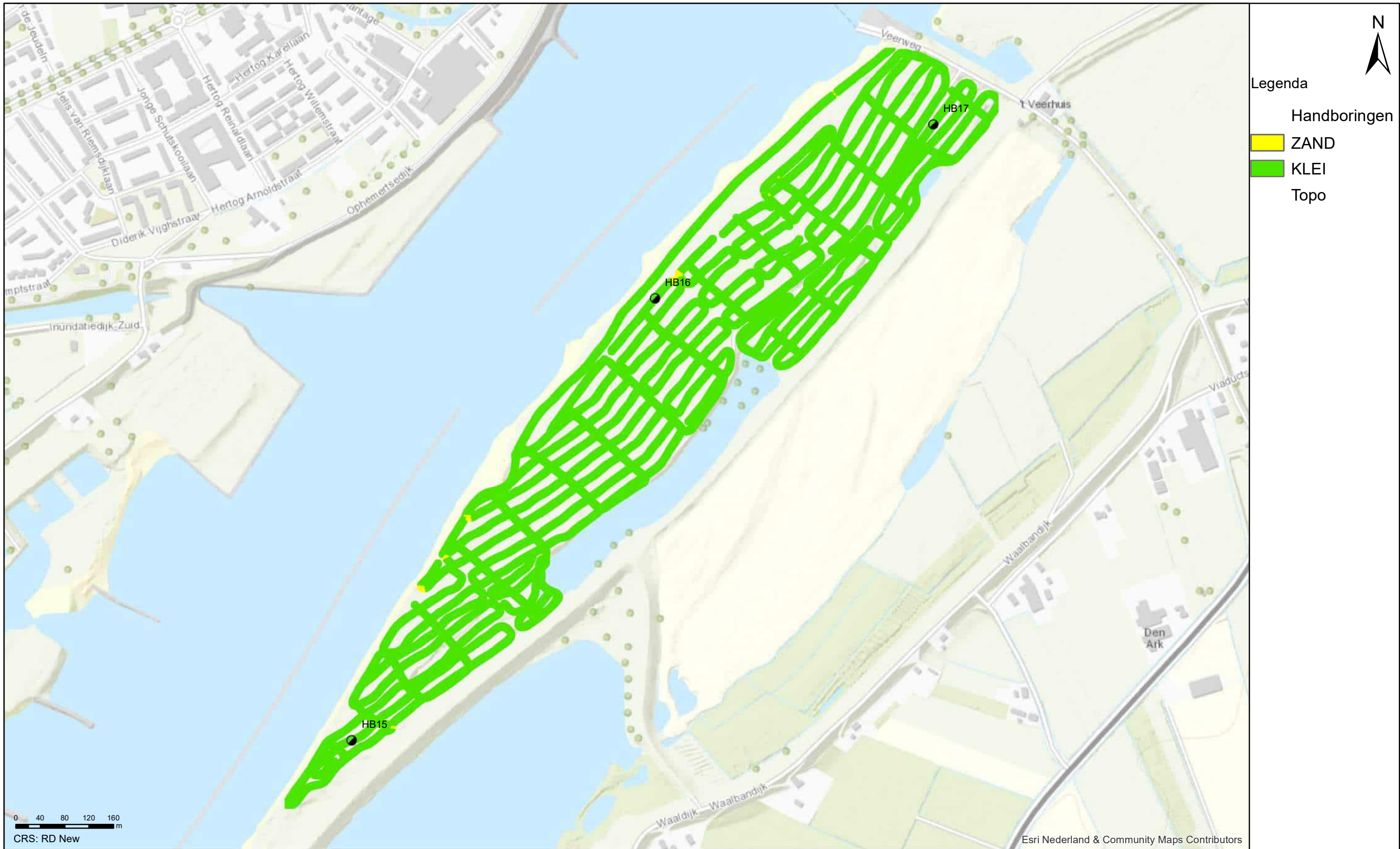
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 5.75 - 6.00 m -MV

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-4-24

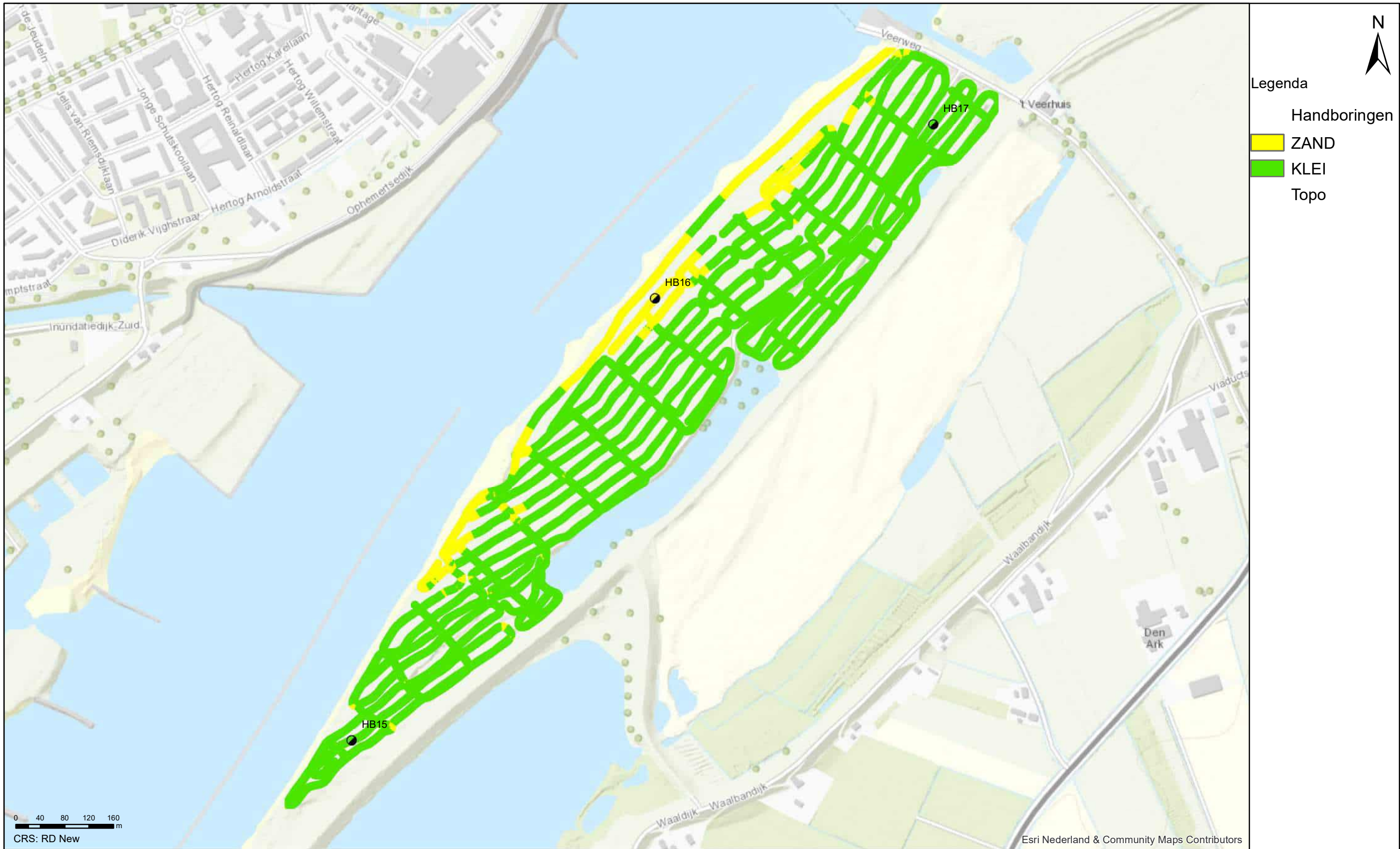


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 0.00 - 0.25 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-1



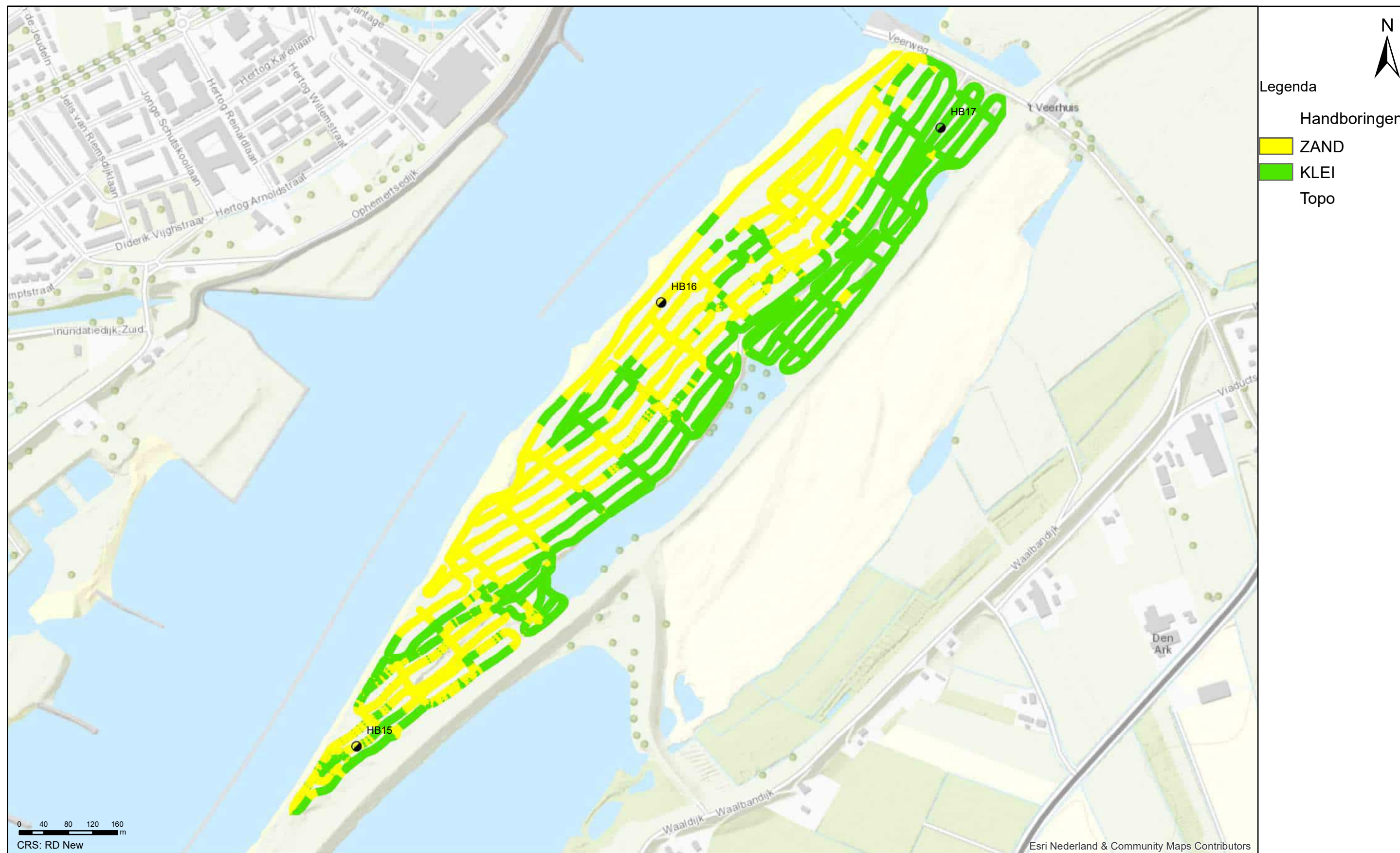
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 0.25 - 0.50 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-5-2



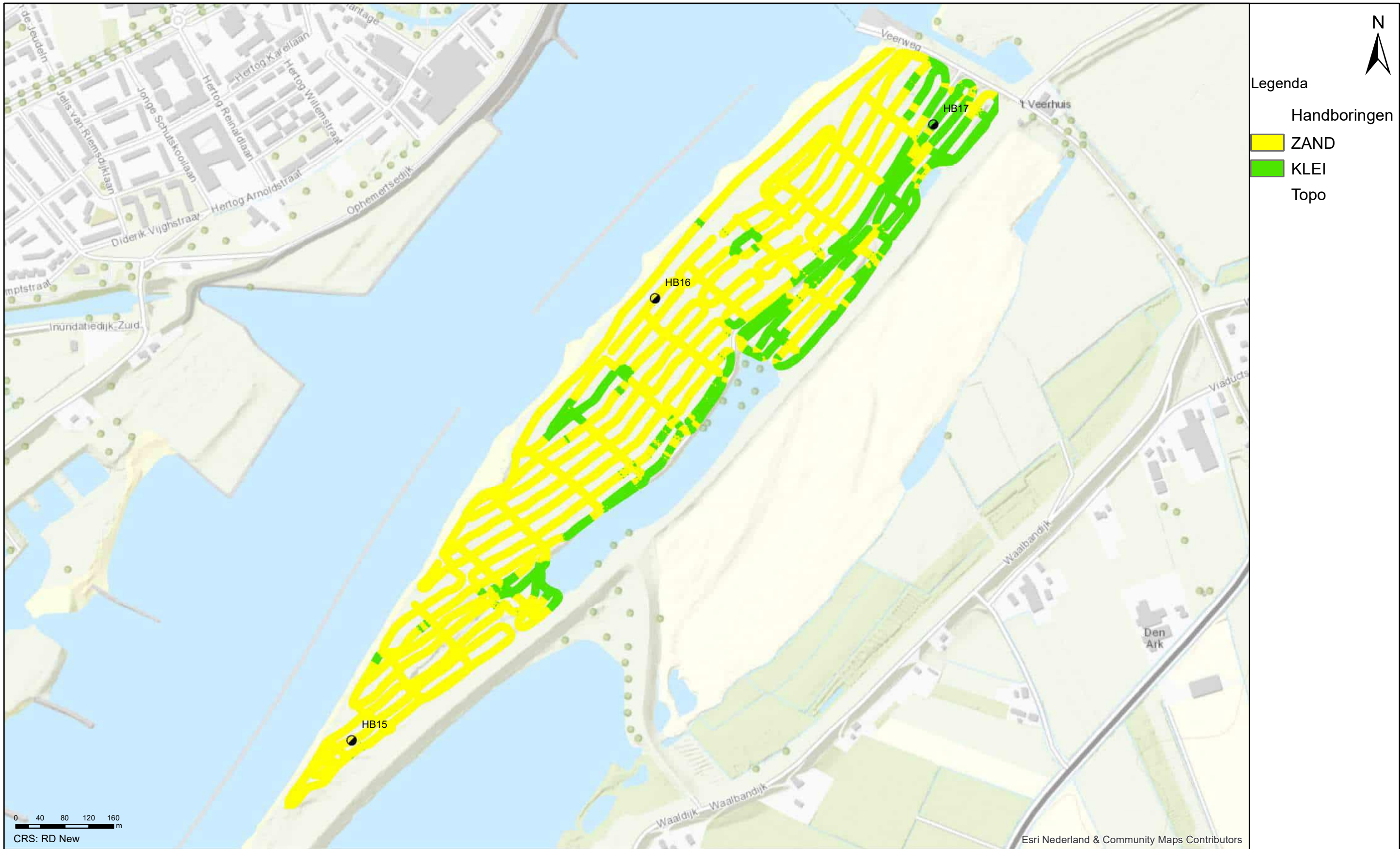
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 0.50 - 0.75 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-5-3



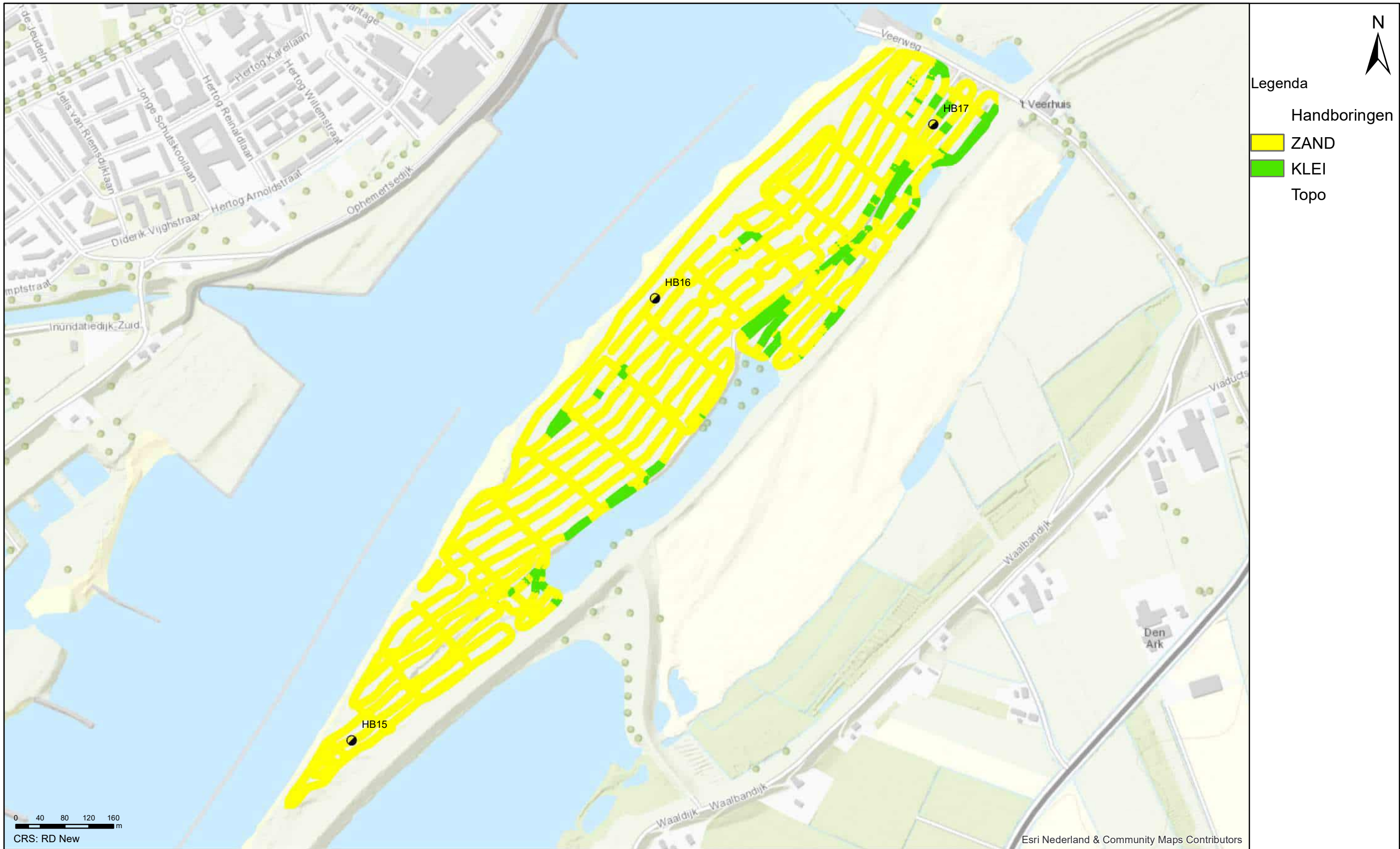
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 0.75 - 1.00 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-5-4



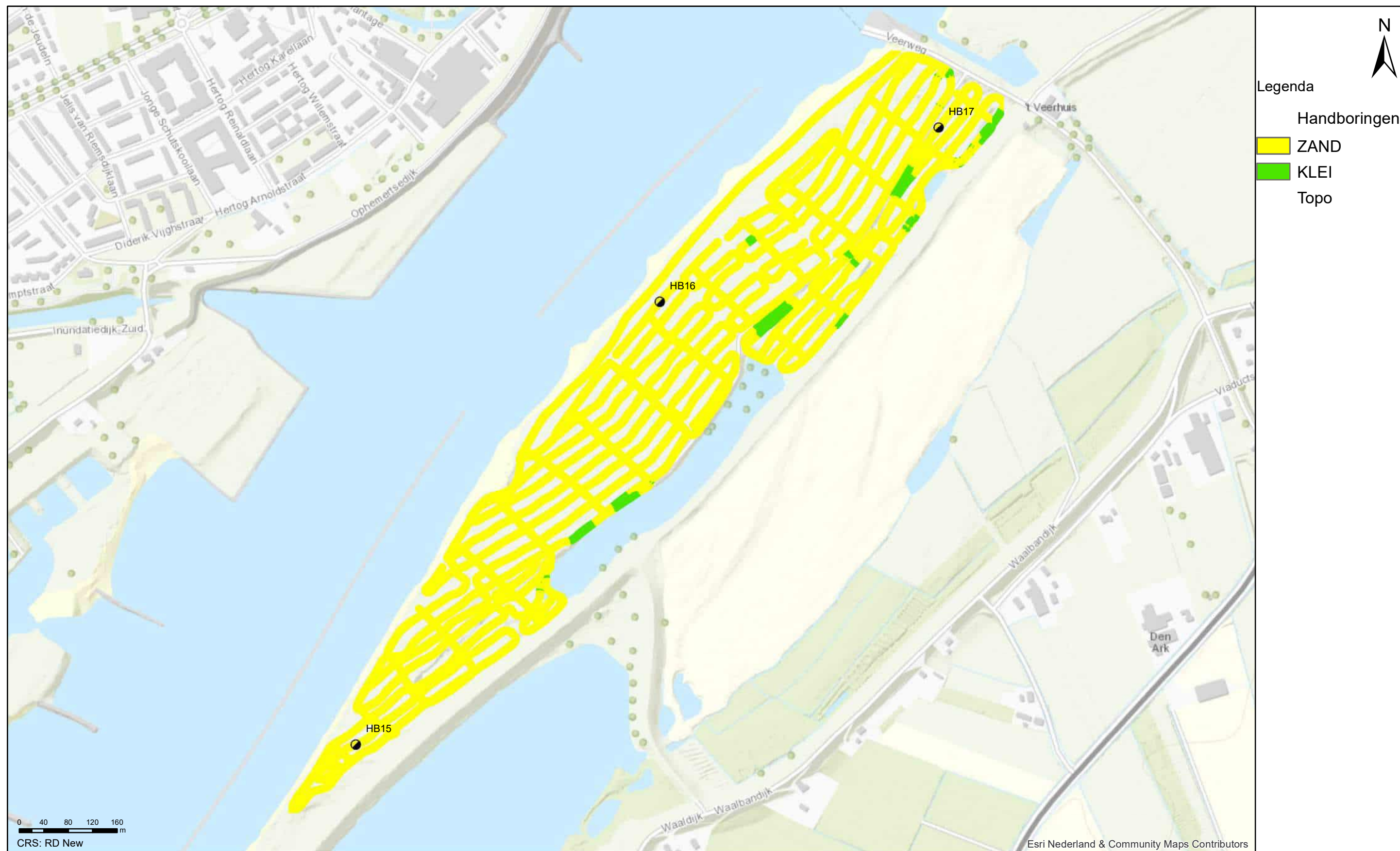
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 1.00 - 1.25 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-5-5



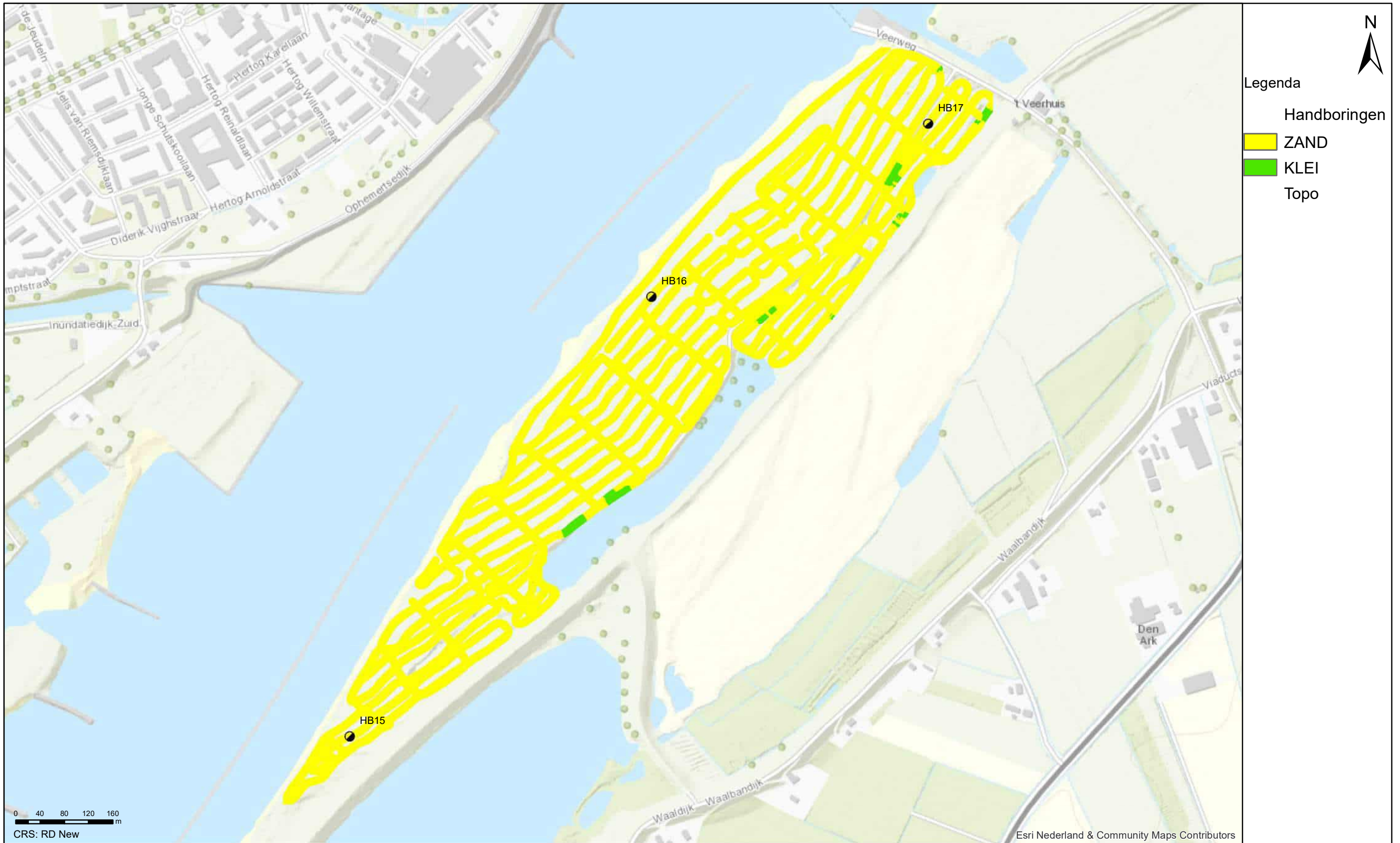
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 1.25 - 1.50 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-5-6



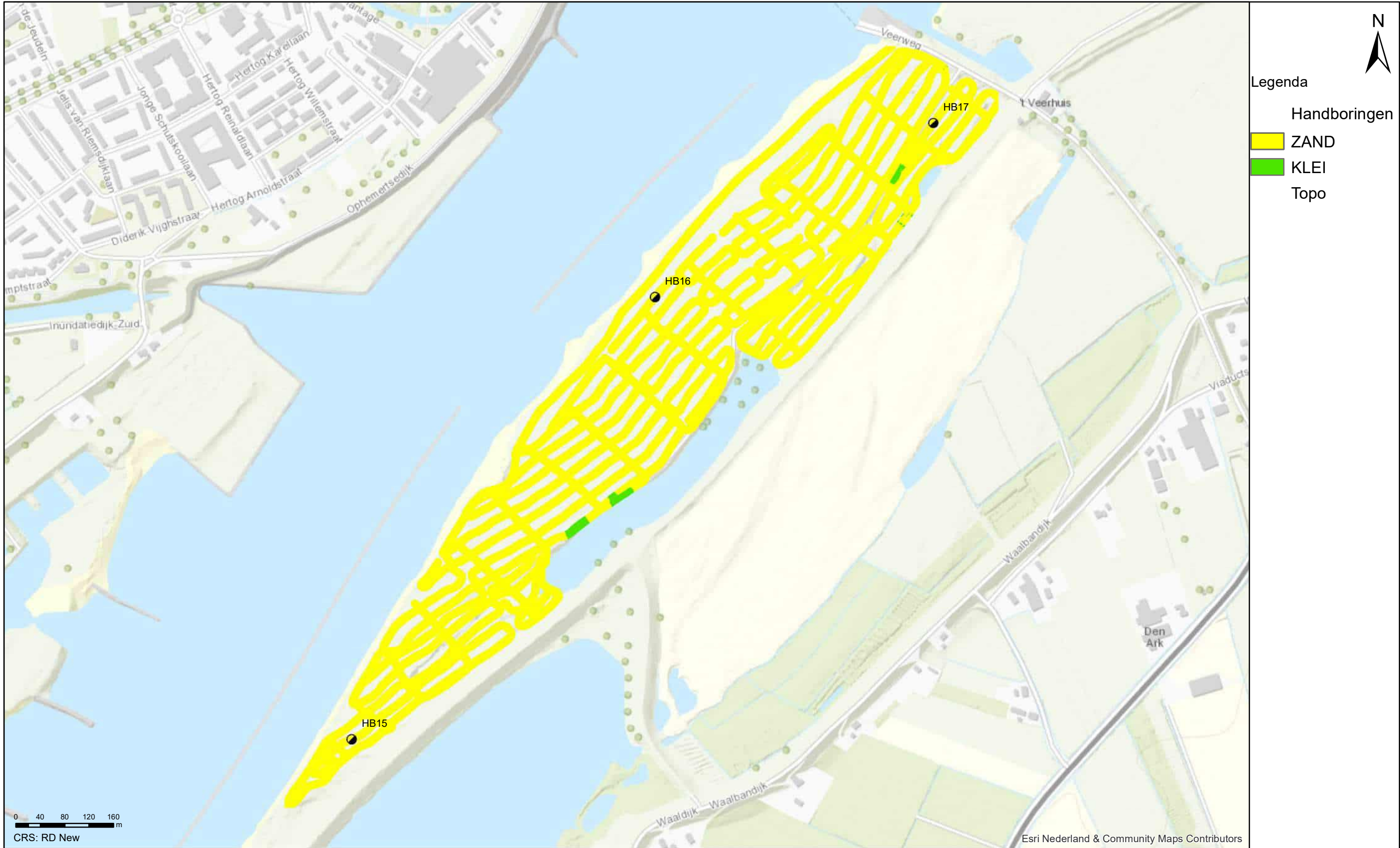
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen 1.50 - 1.75 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-5-7



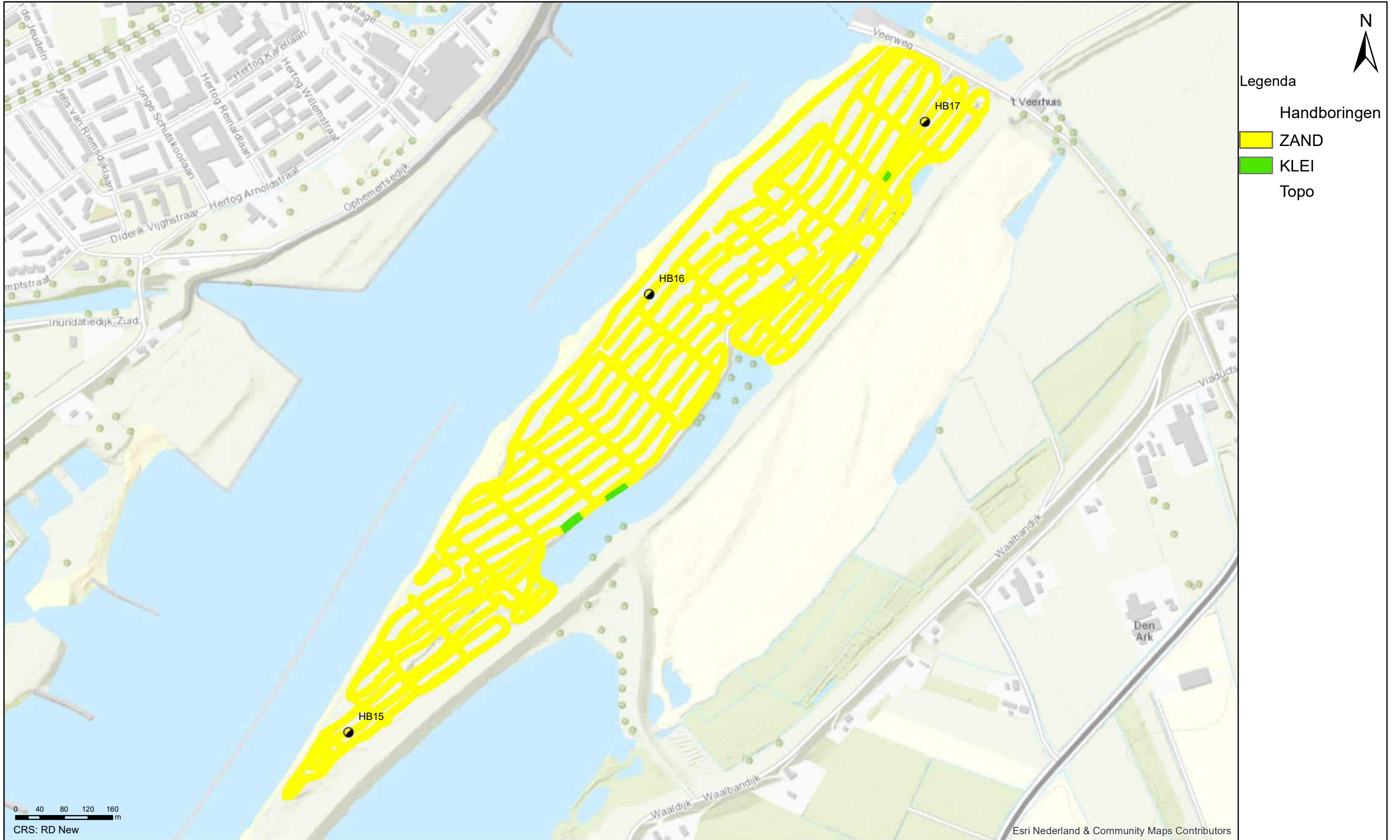
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 1.75 - 2.00 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-5-8



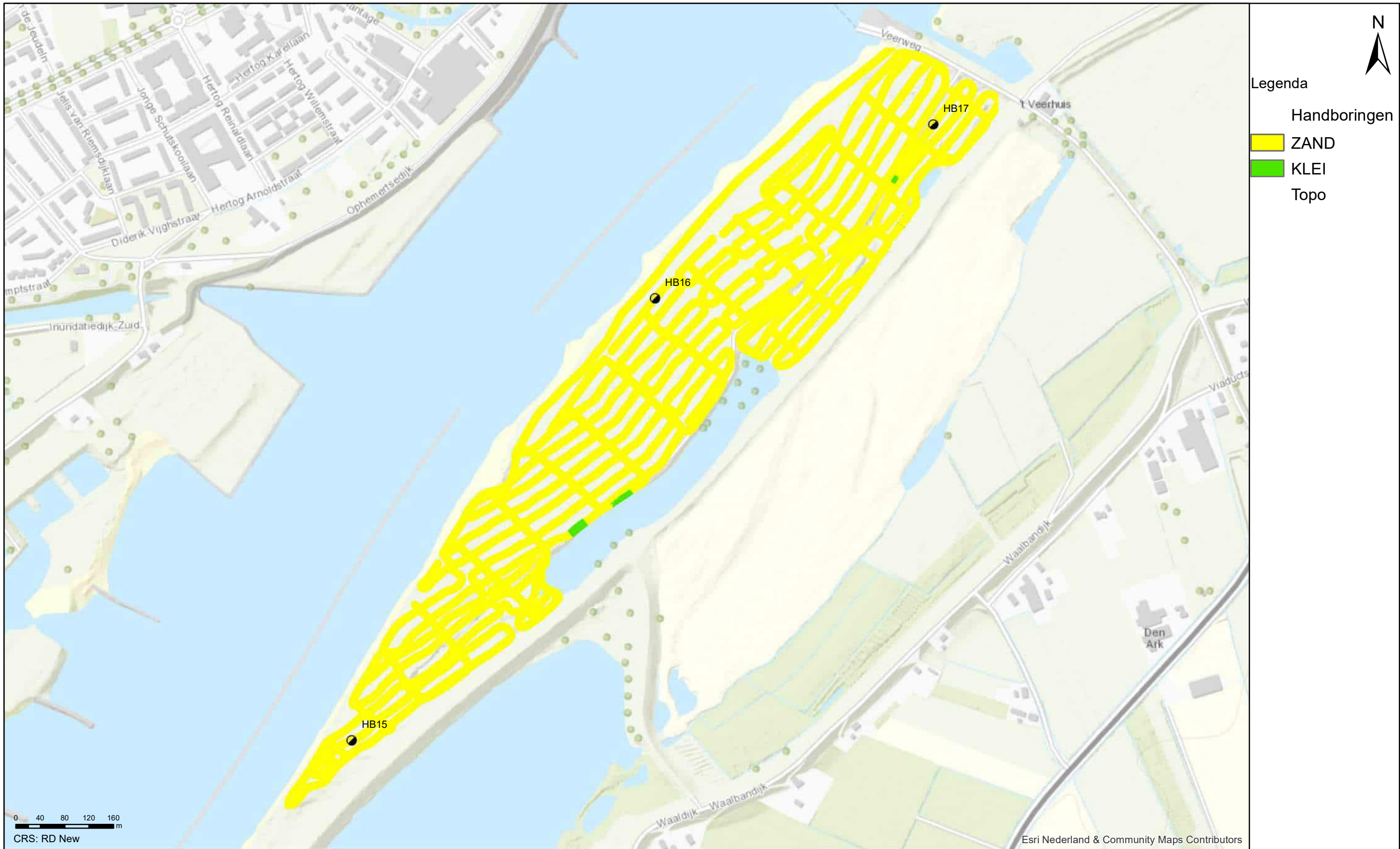
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 2.00 - 2.25 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-5-9

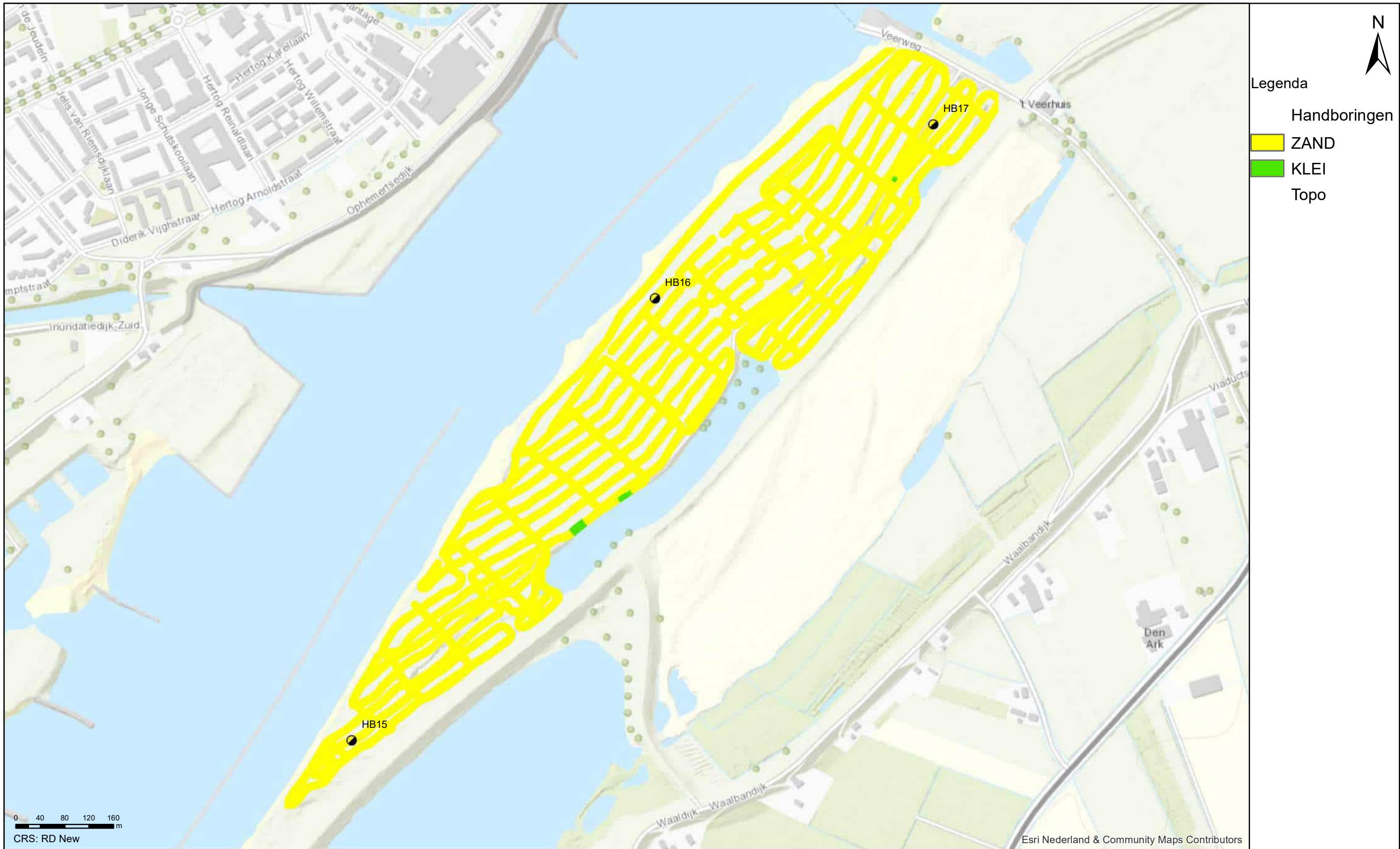


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 2.25 - 2.50 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-10

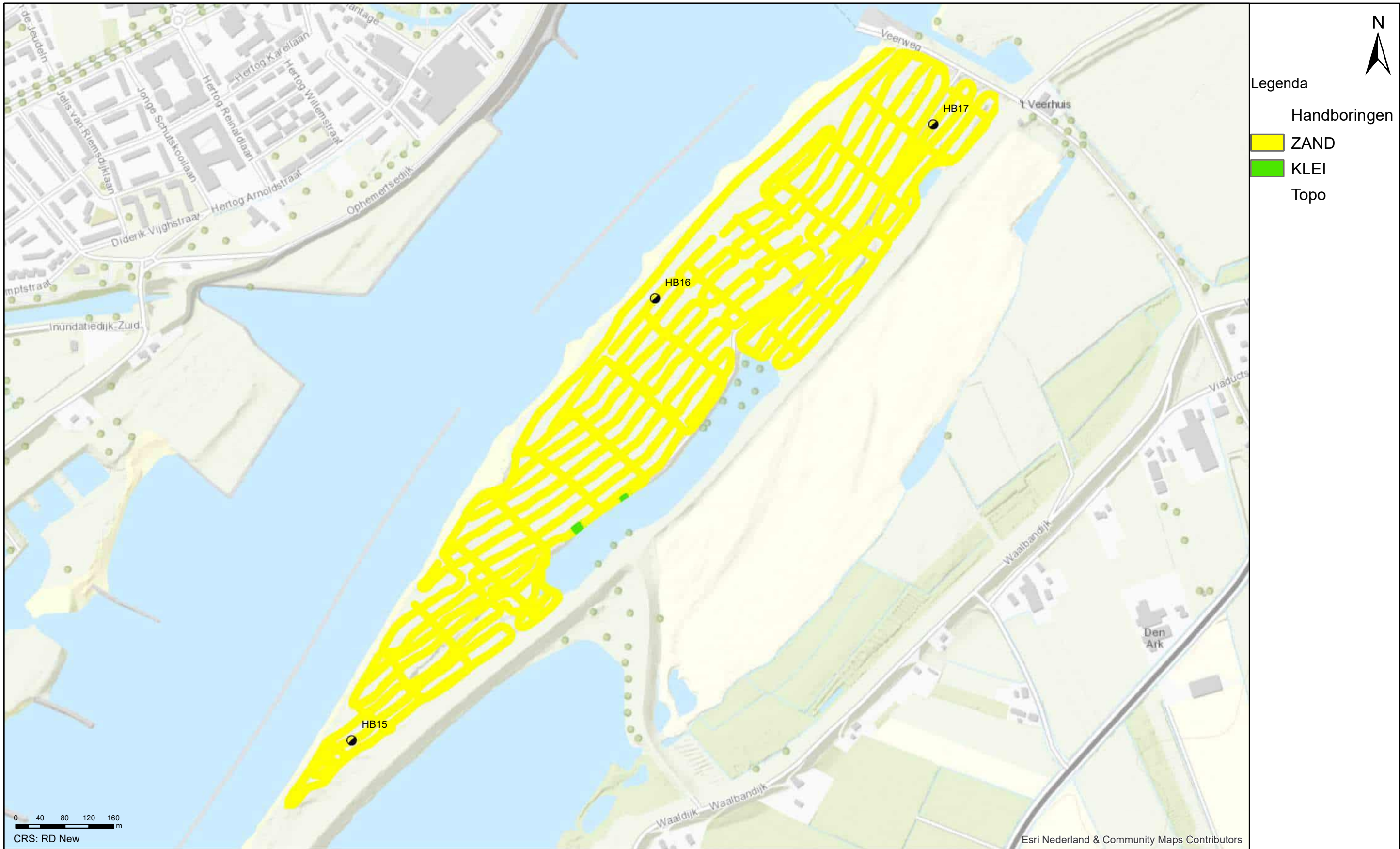


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 2.50 - 2.75 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-11

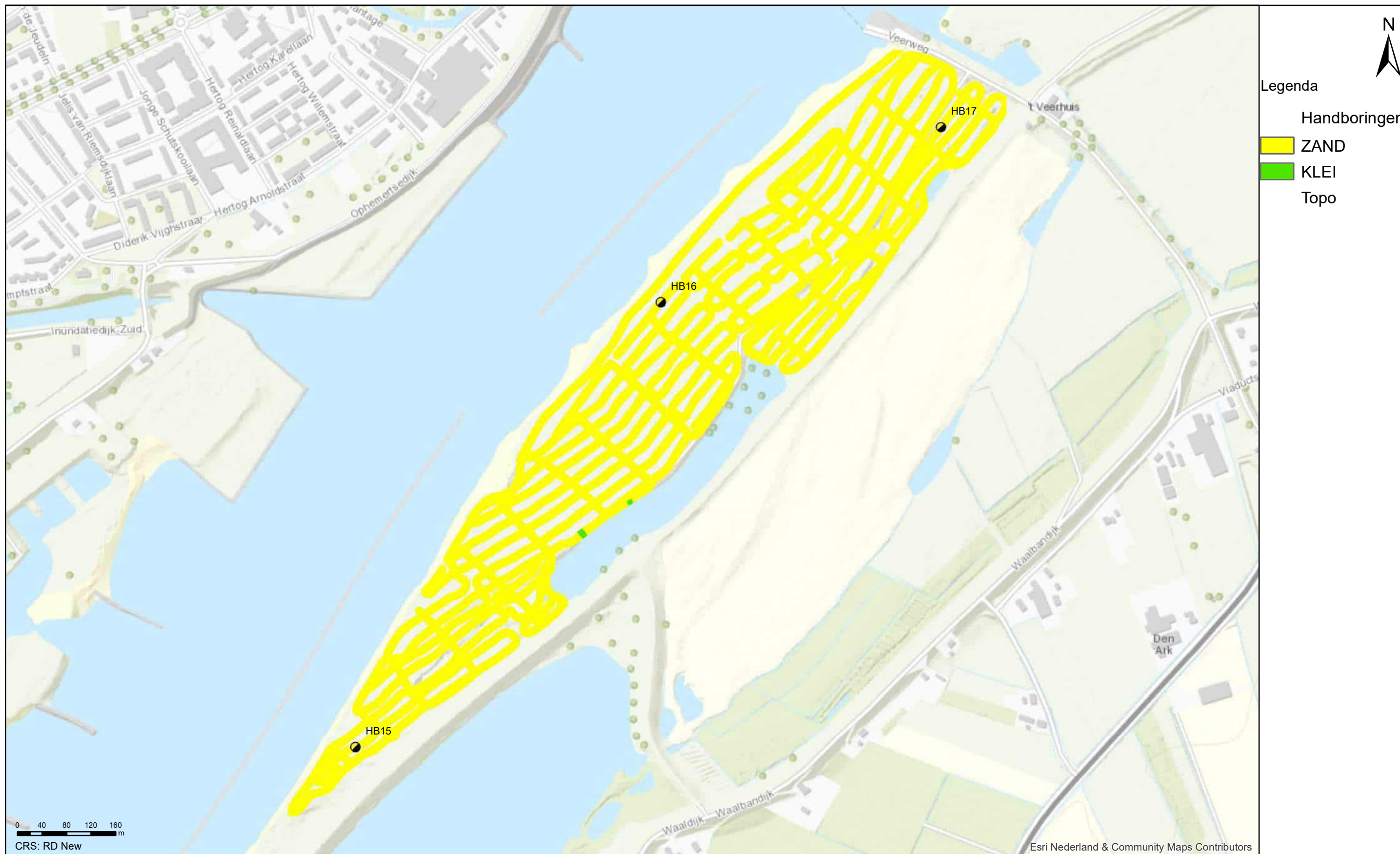


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 2.75 - 3.00 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-12

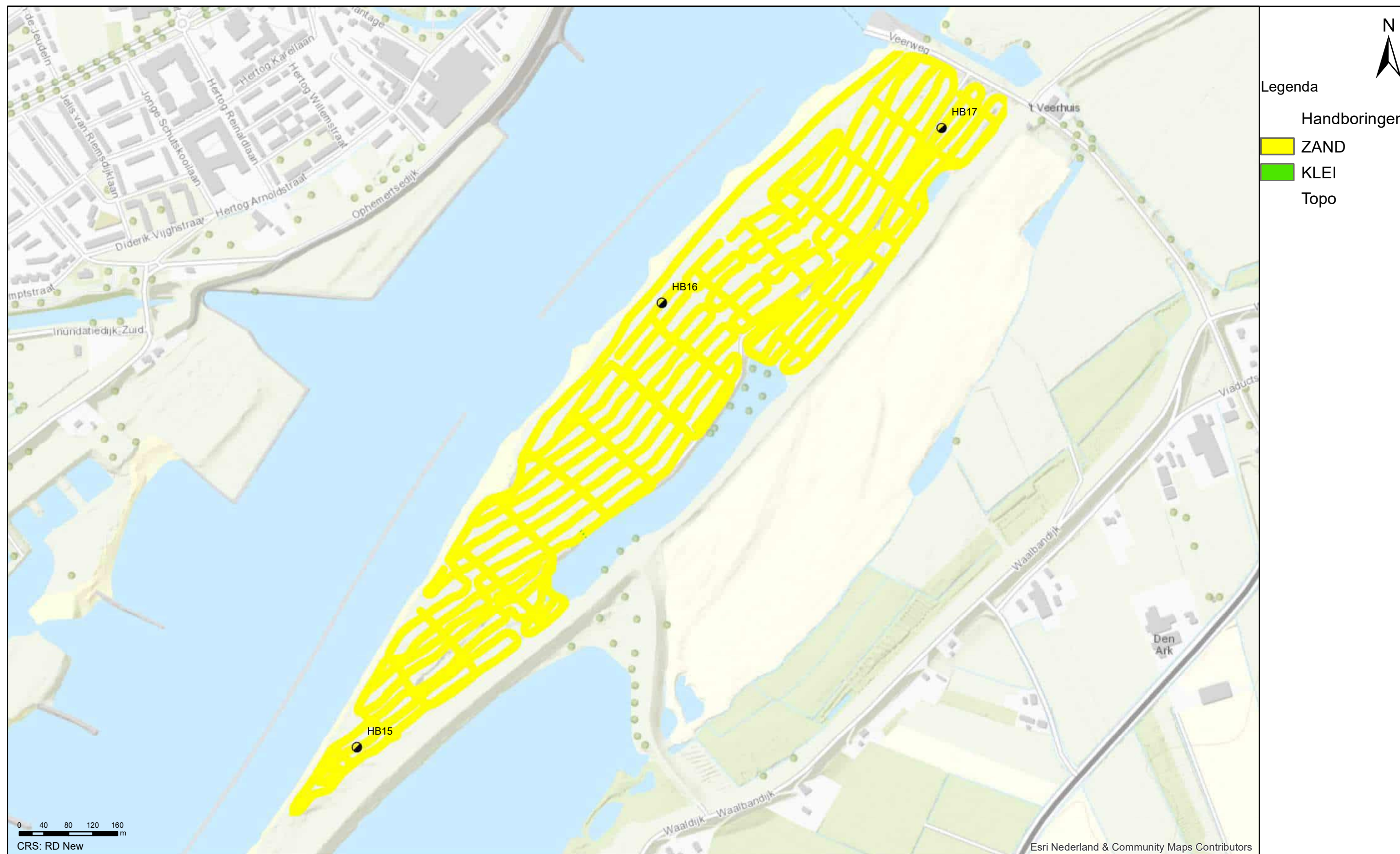


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 3.00 - 3.25 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-13



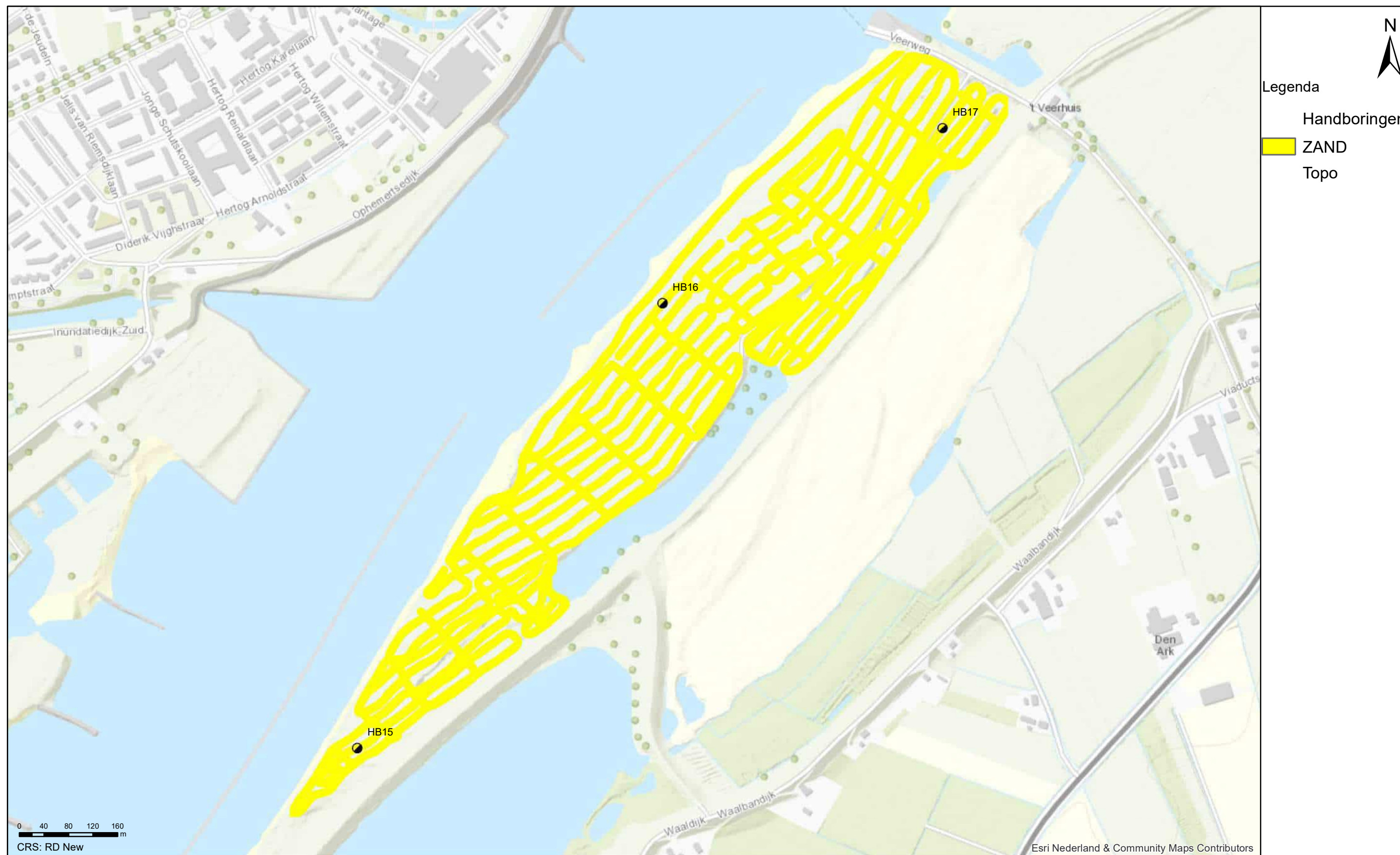
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 3.25 - 3.50 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-5-14

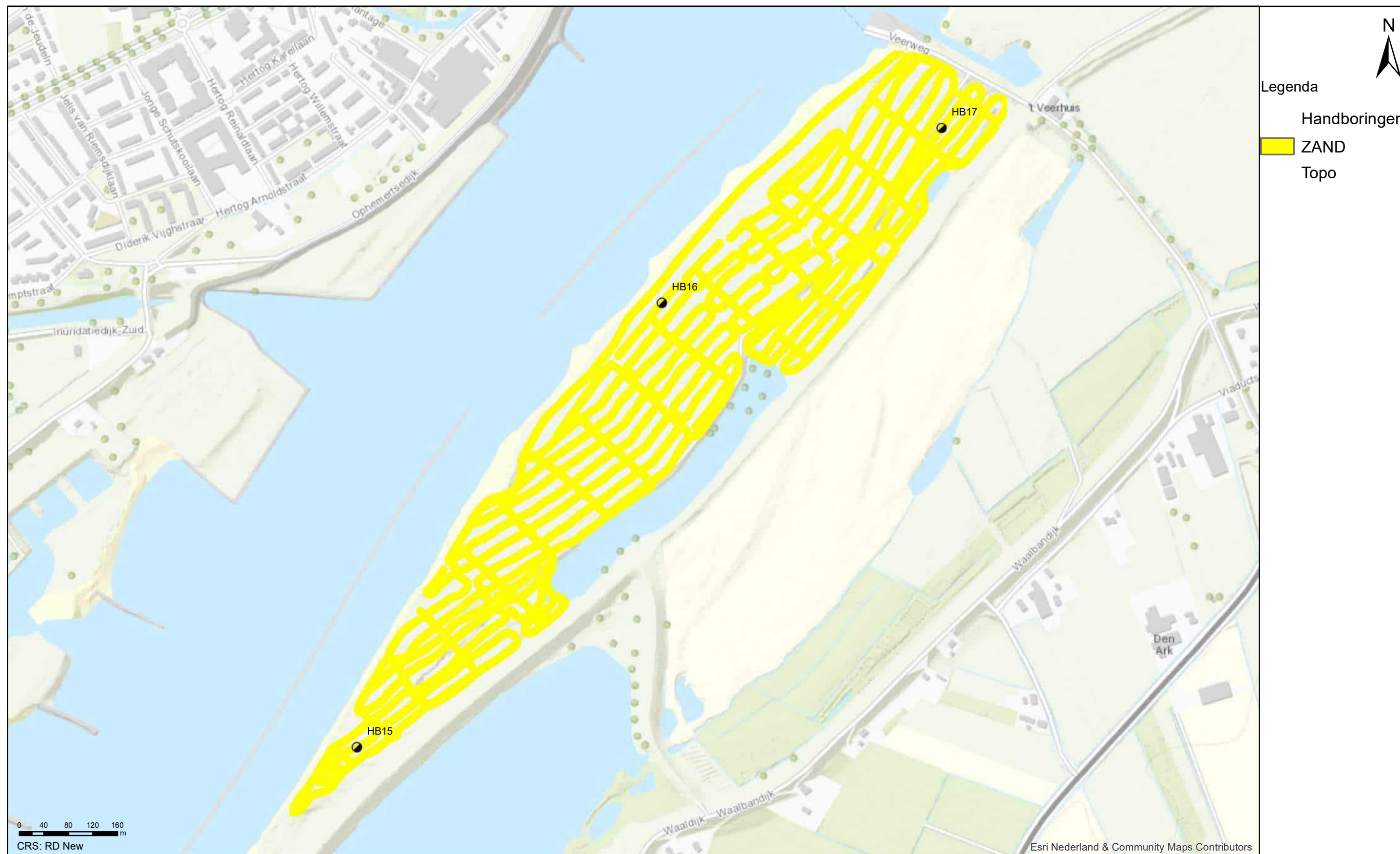


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 3.50 - 3.75 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-15



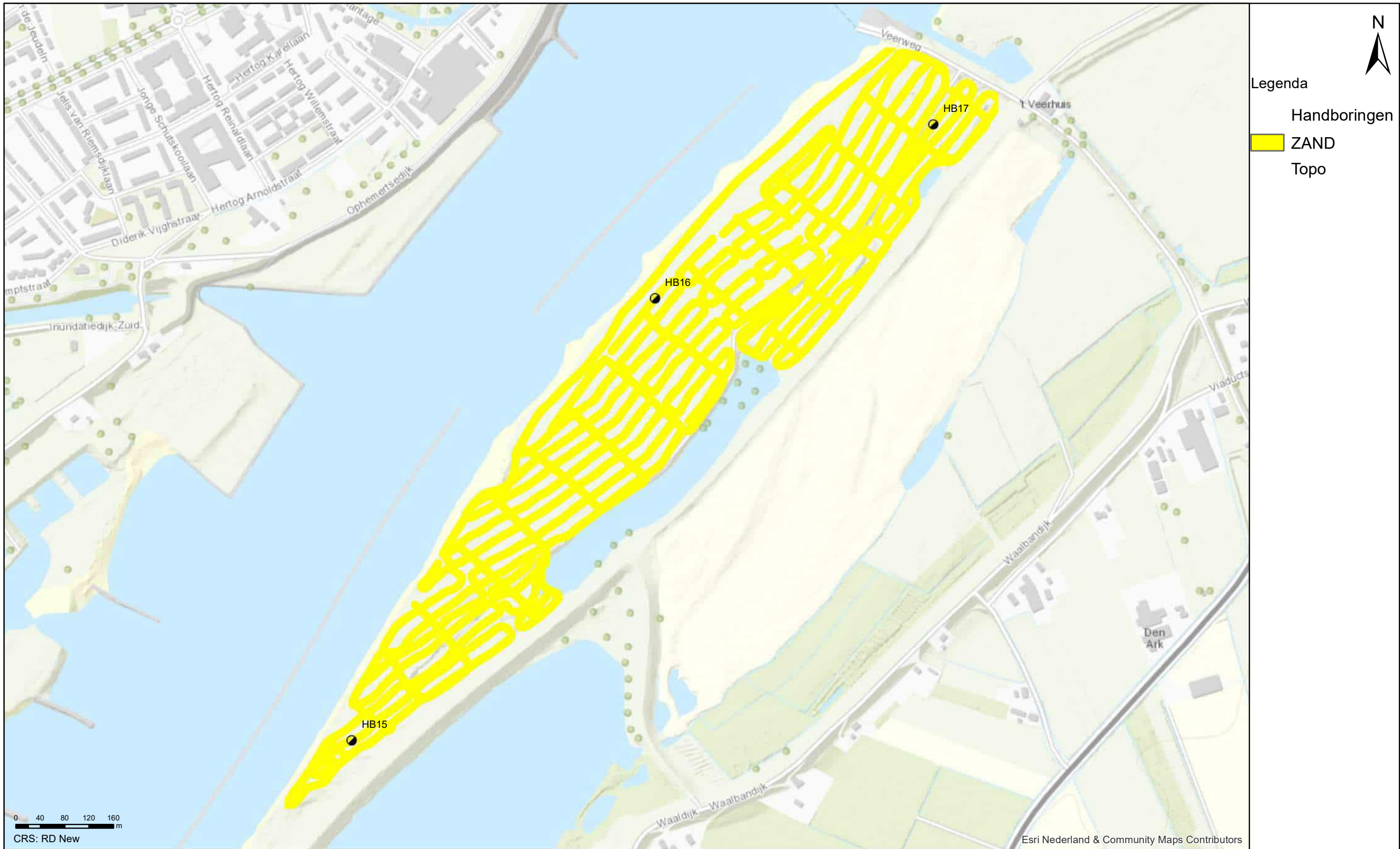
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 3.75 - 4.00 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-5-16

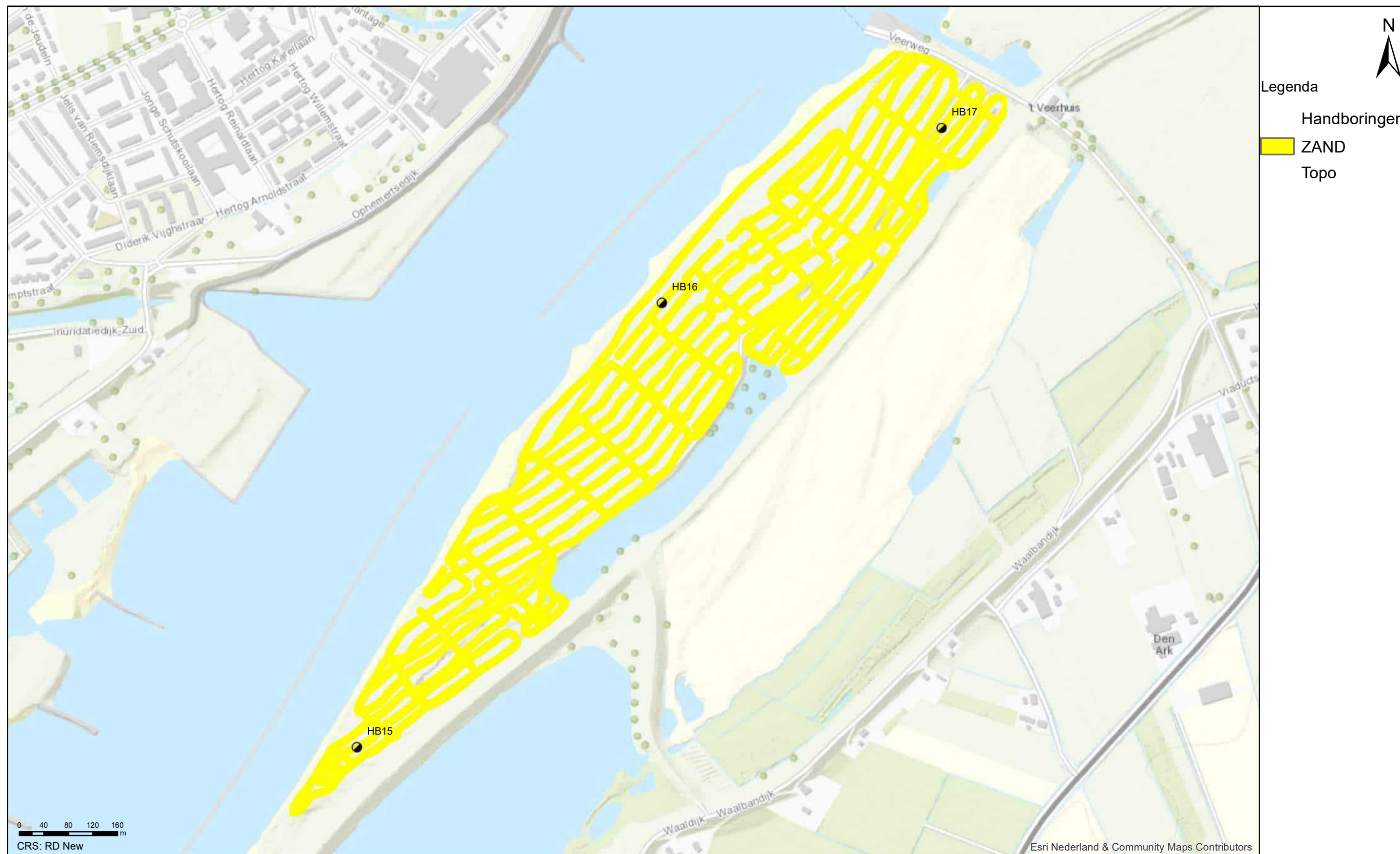


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 4.00 - 4.25 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-17

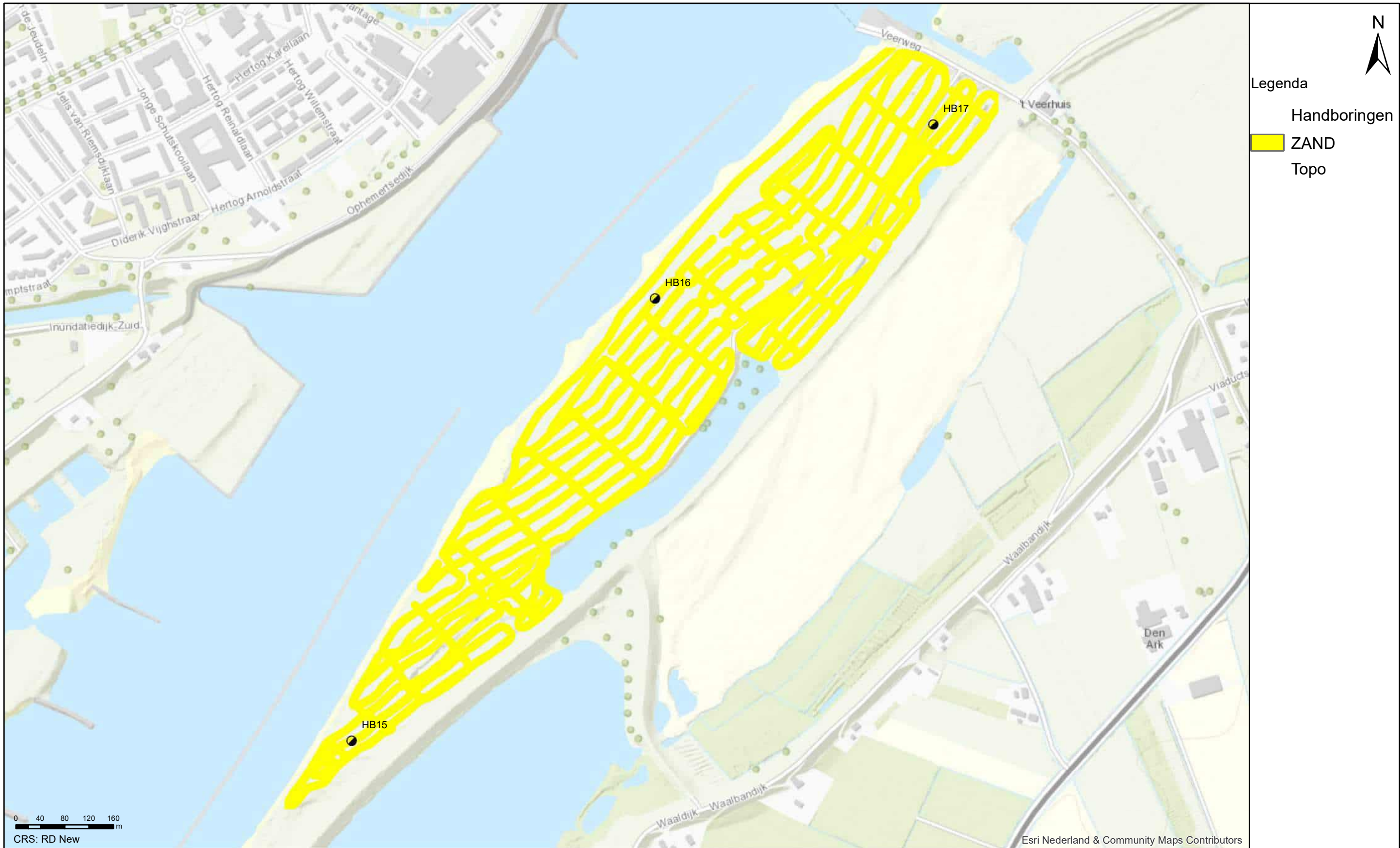


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 4.25 - 4.50 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-18

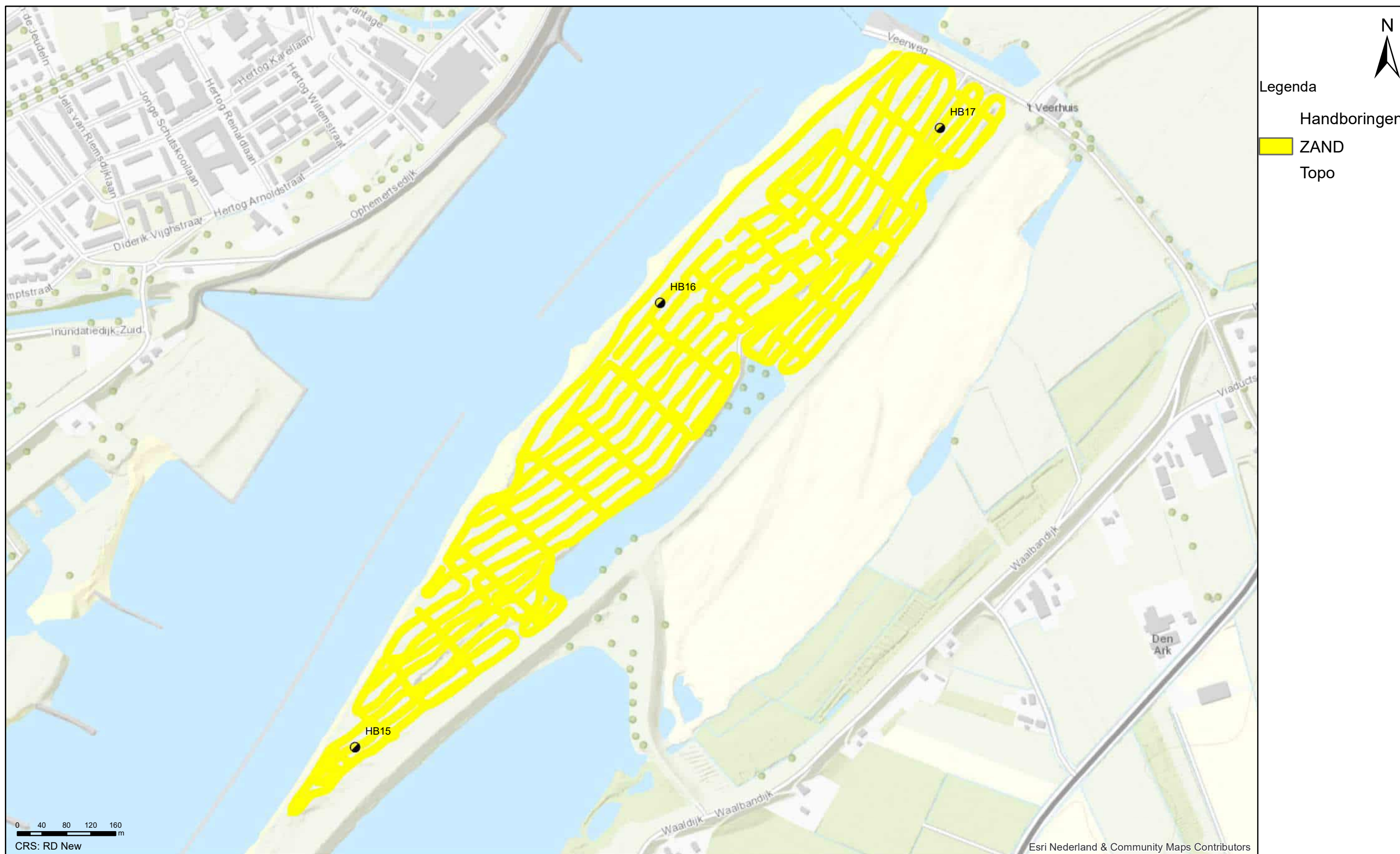


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 4.50 - 4.75 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-19

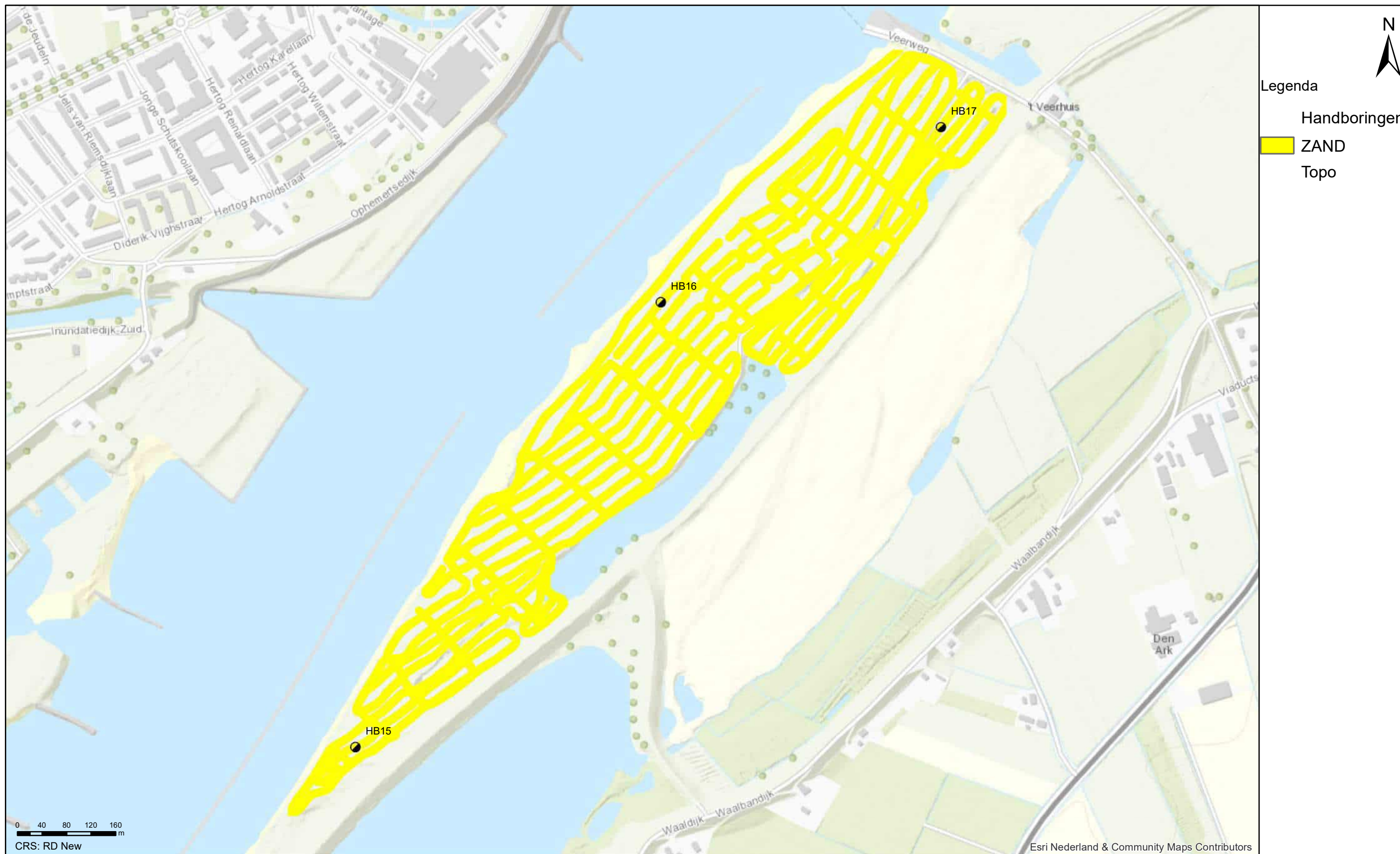


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 4.75 - 5.00 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-20

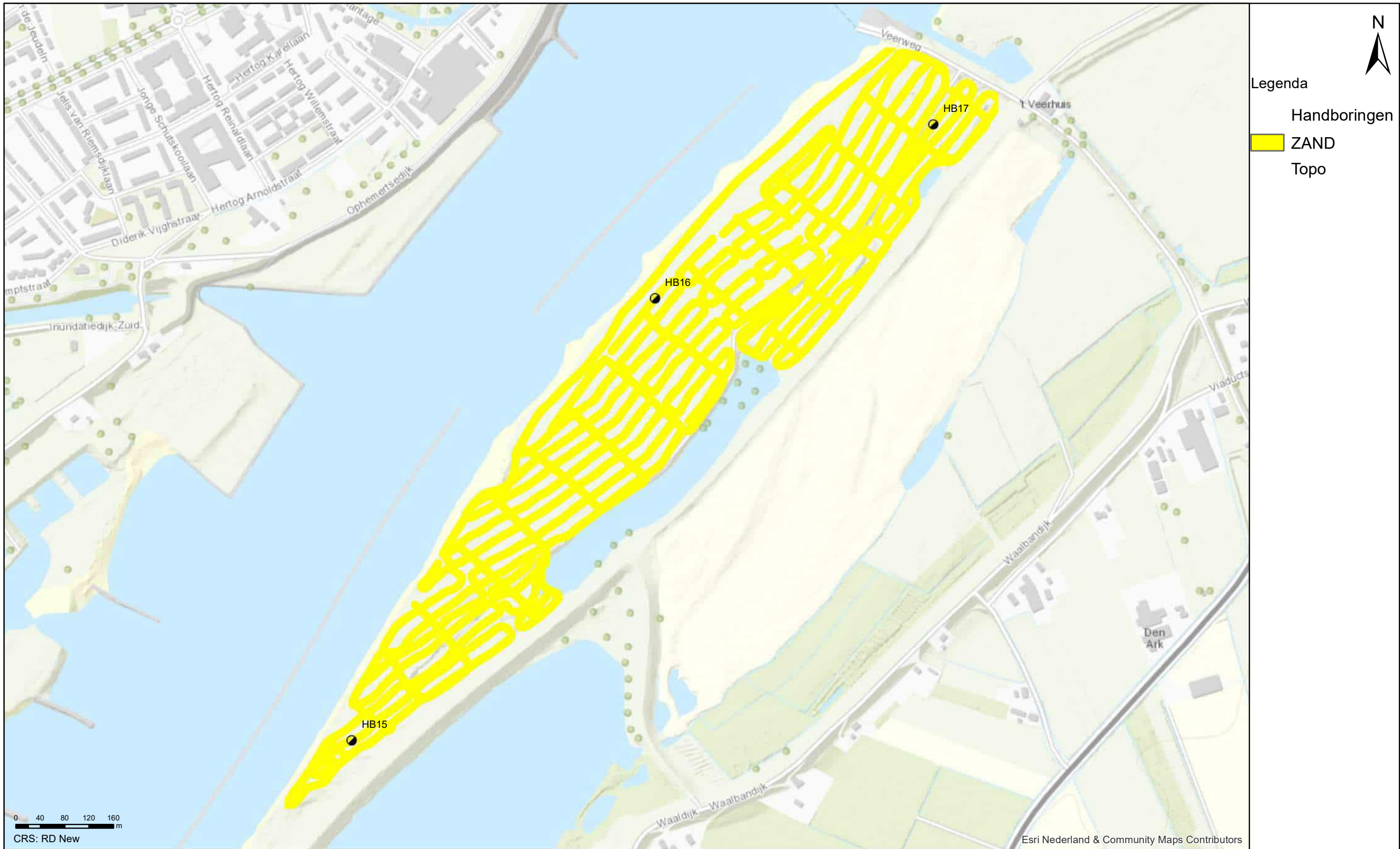


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 5.00 - 5.25 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-21

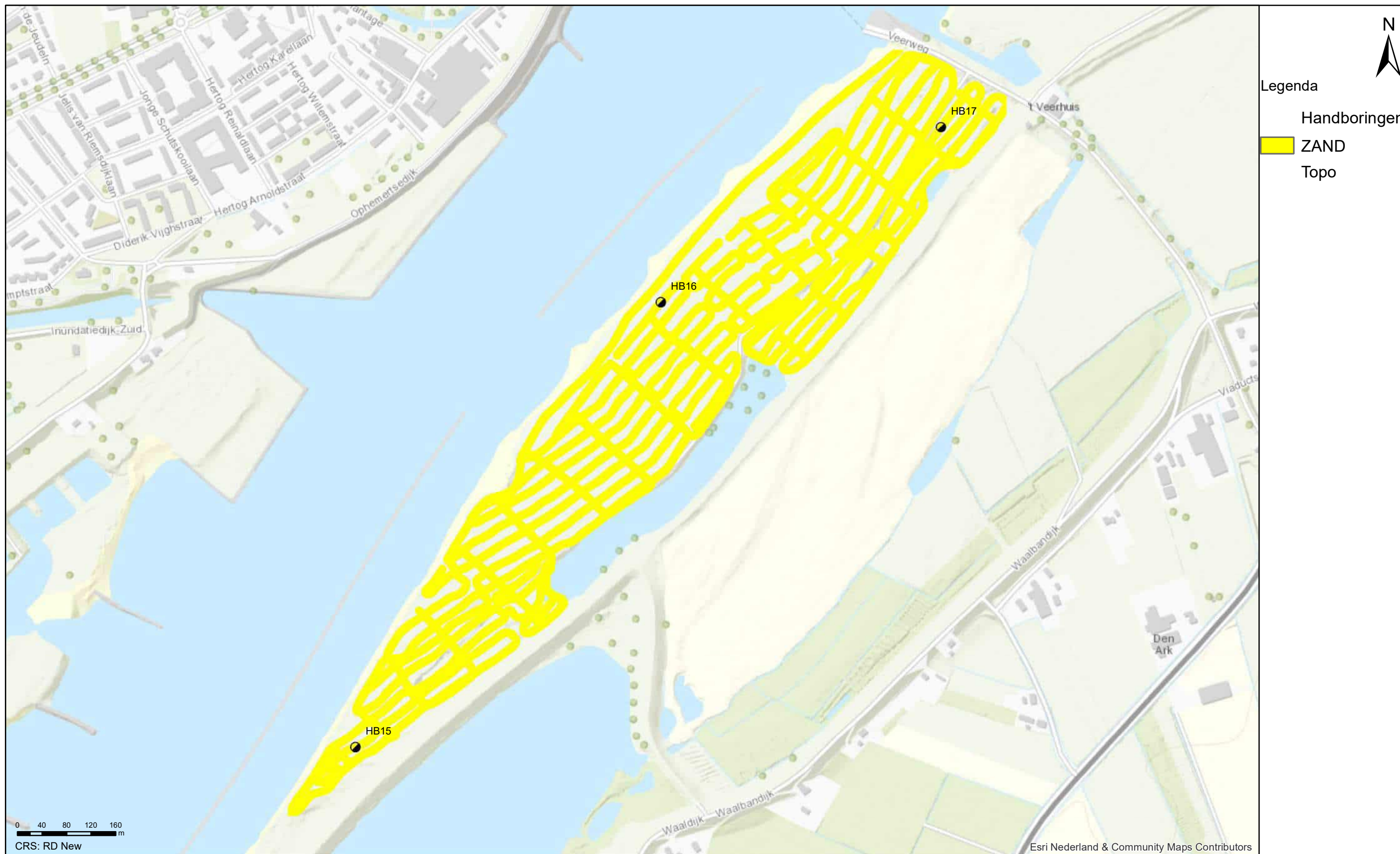


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 5.25 - 5.50 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-22

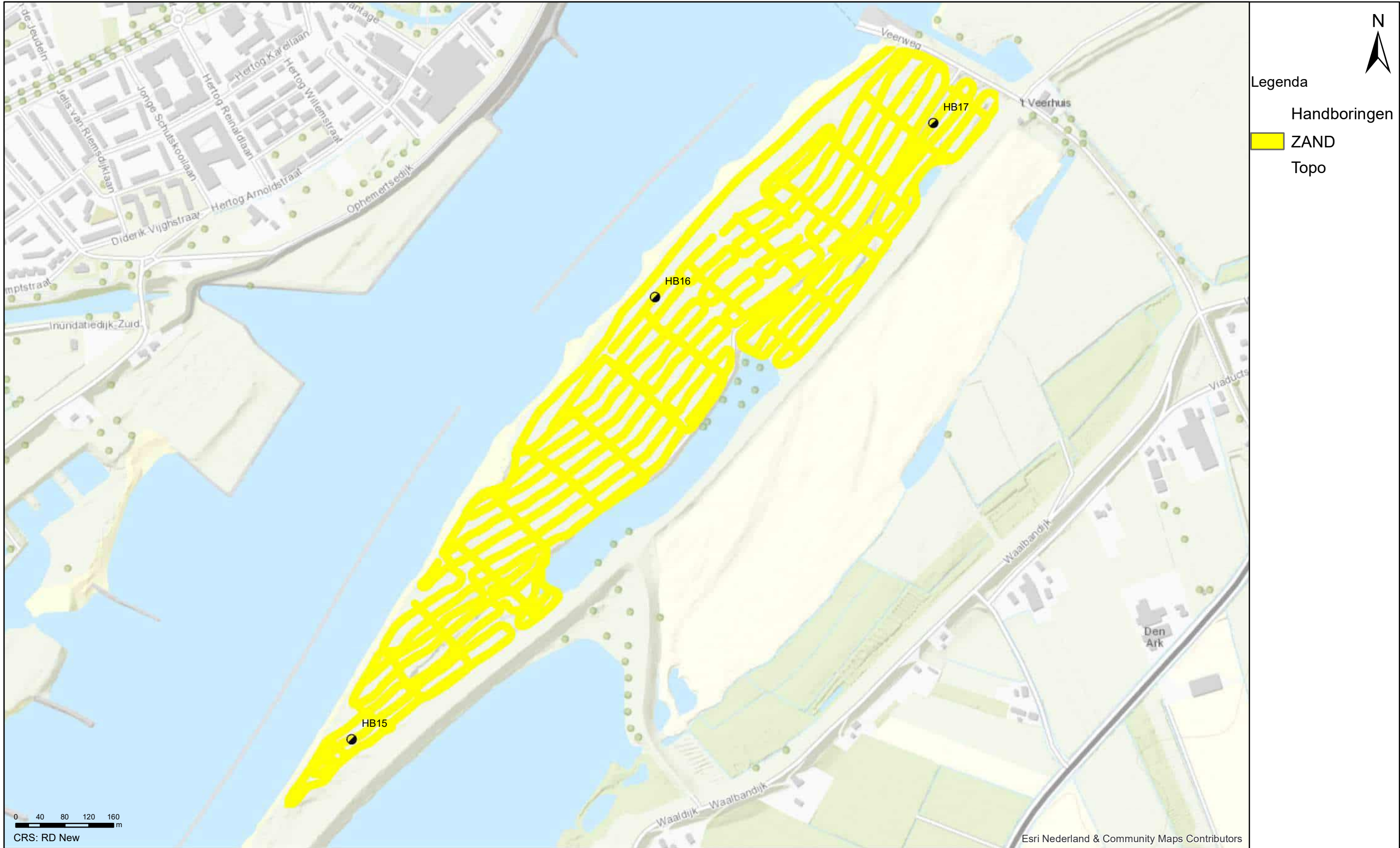


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 5.50 - 5.75 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-5-23



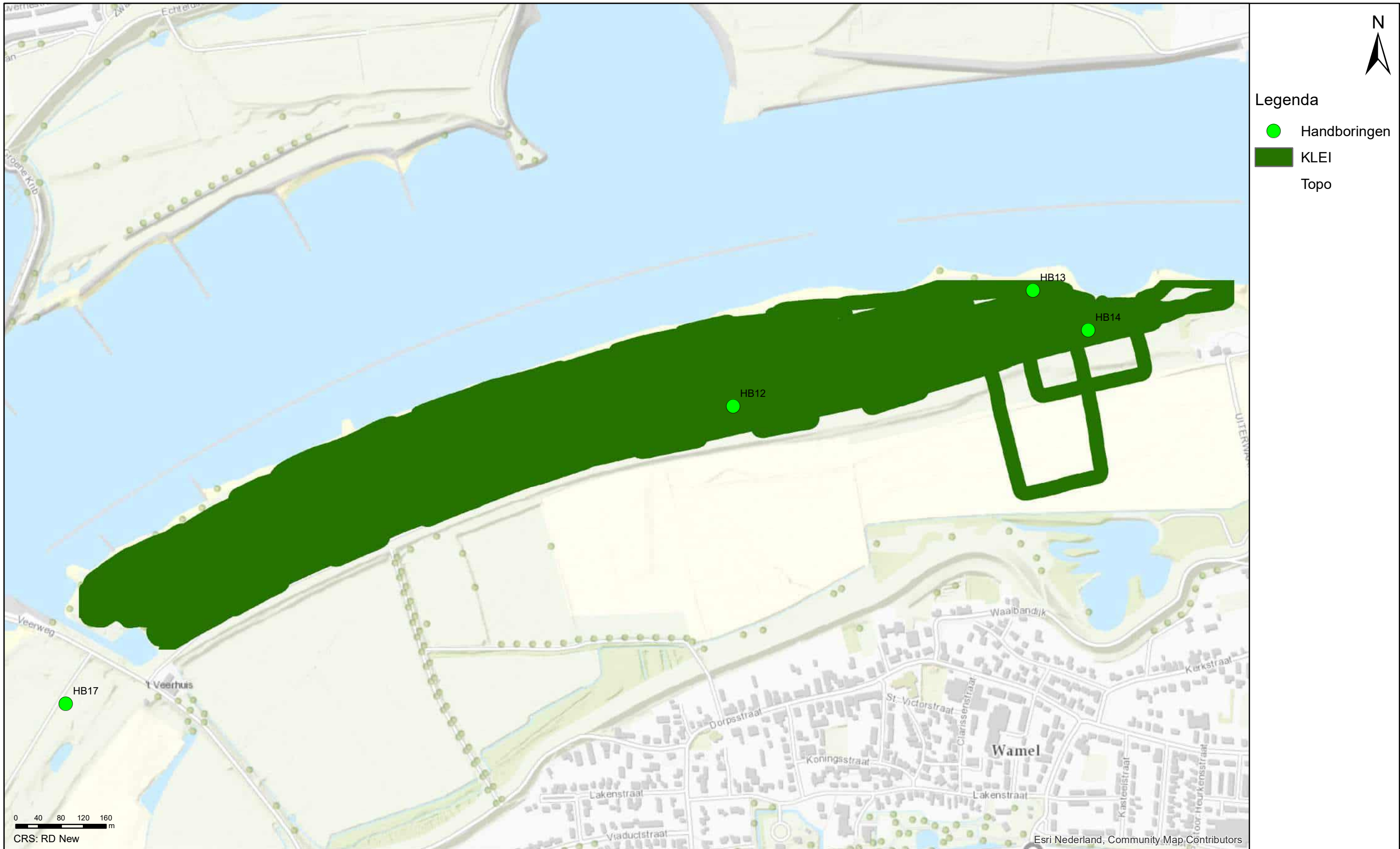
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussn 5.75 - 6.00 m-MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-5-24



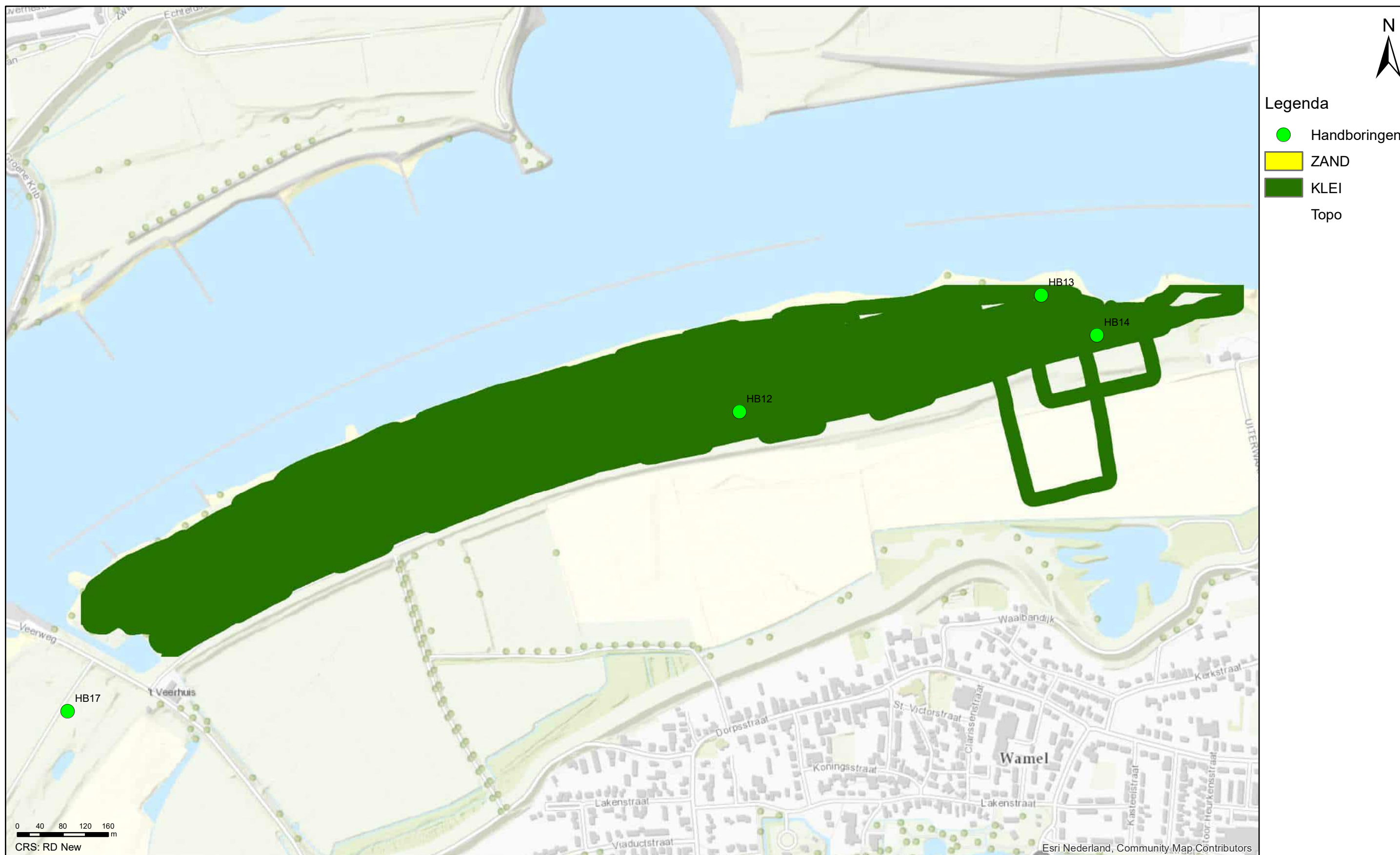
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 0.00 - 0.25 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-1



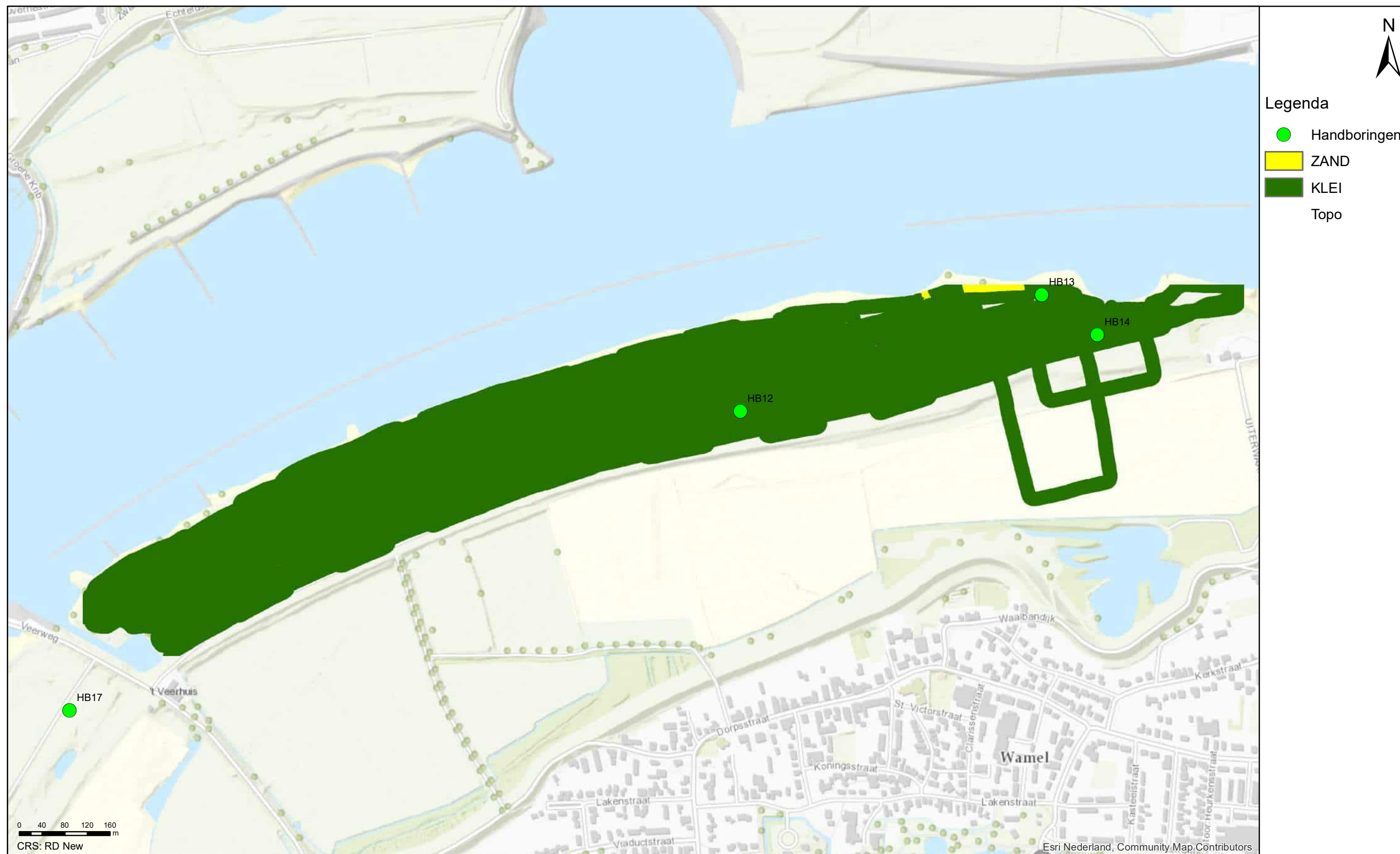
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 0.25 - 0.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-2



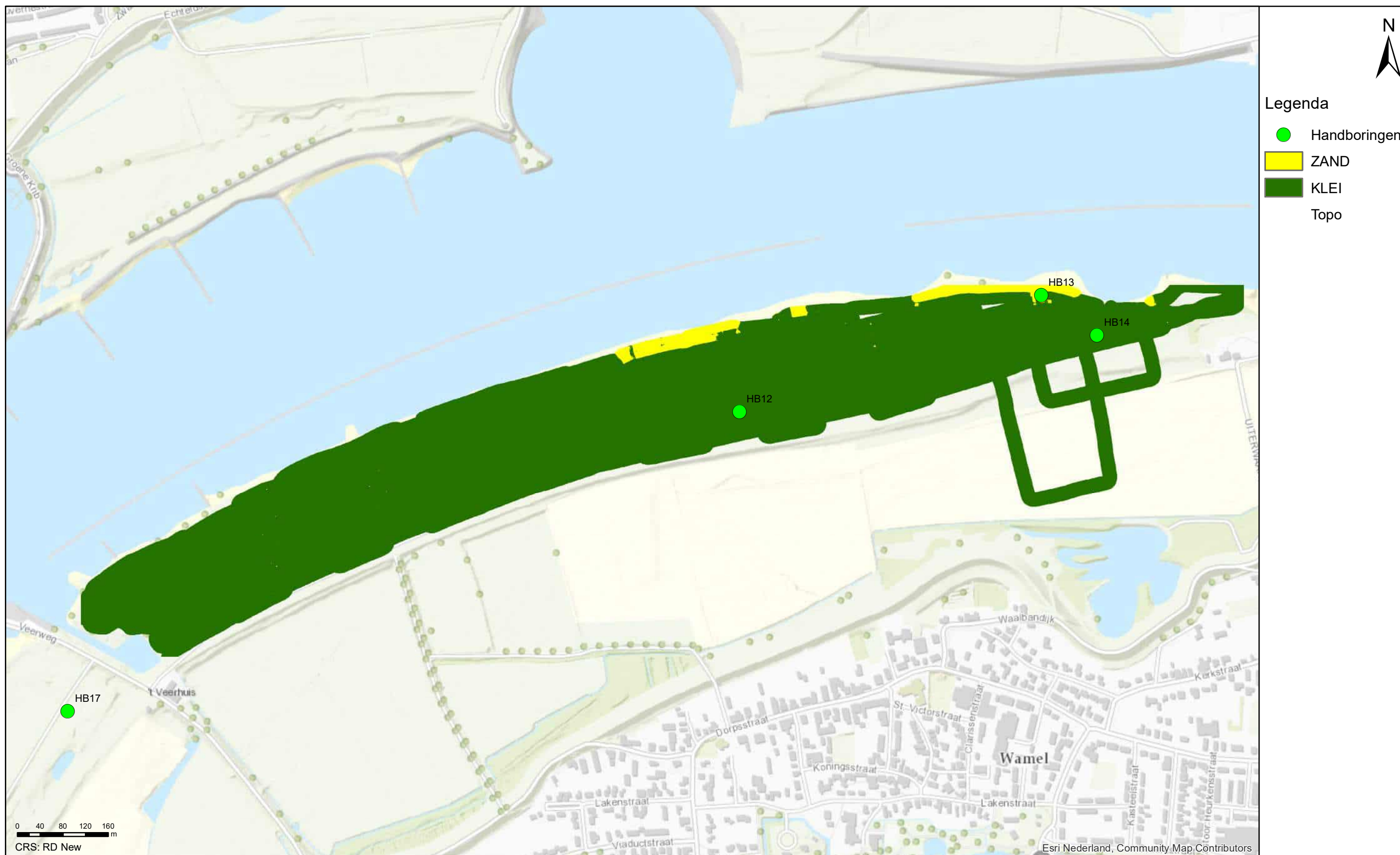
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 0.50 - 0.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-3



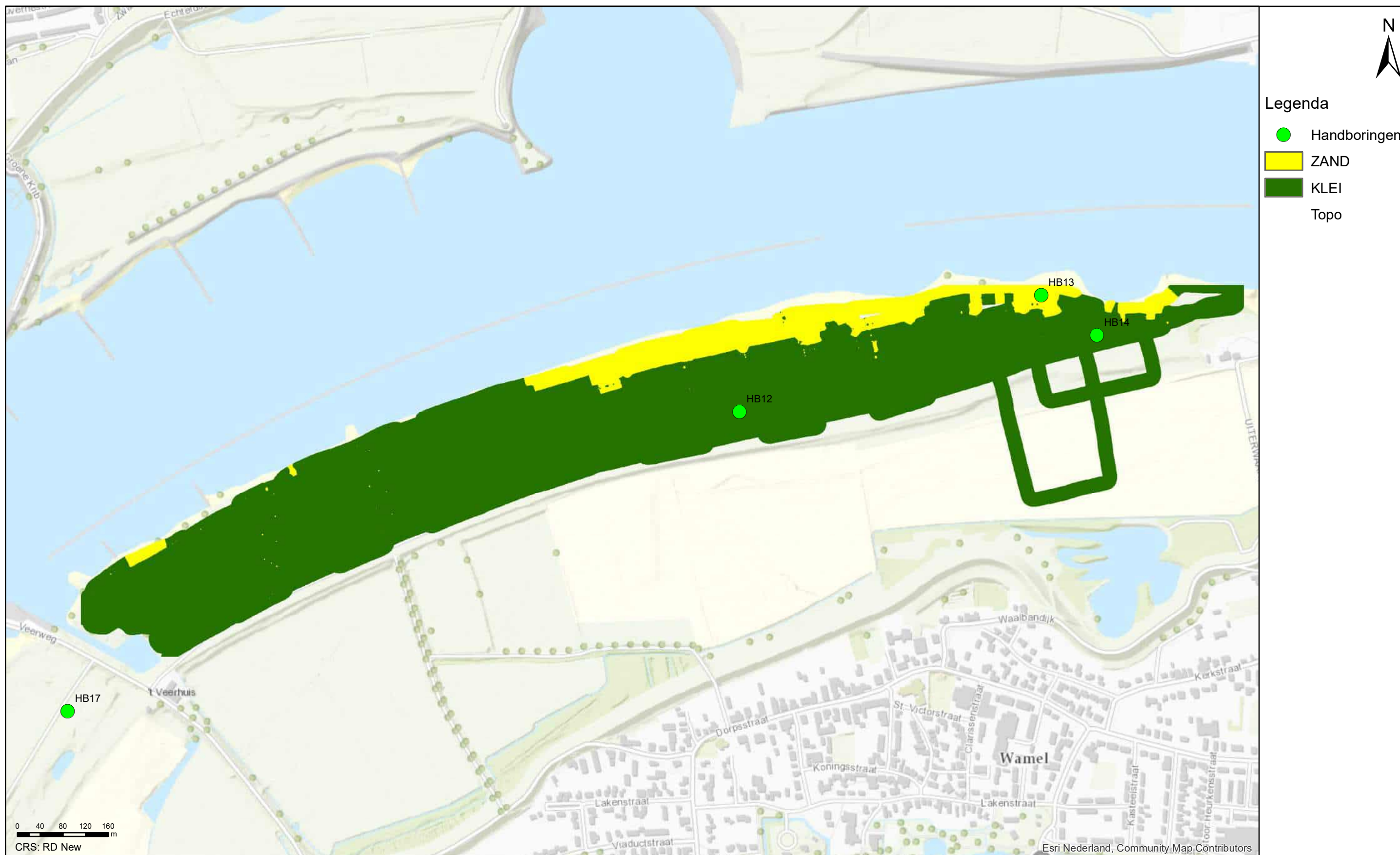
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 0.75 - 1.00 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-4



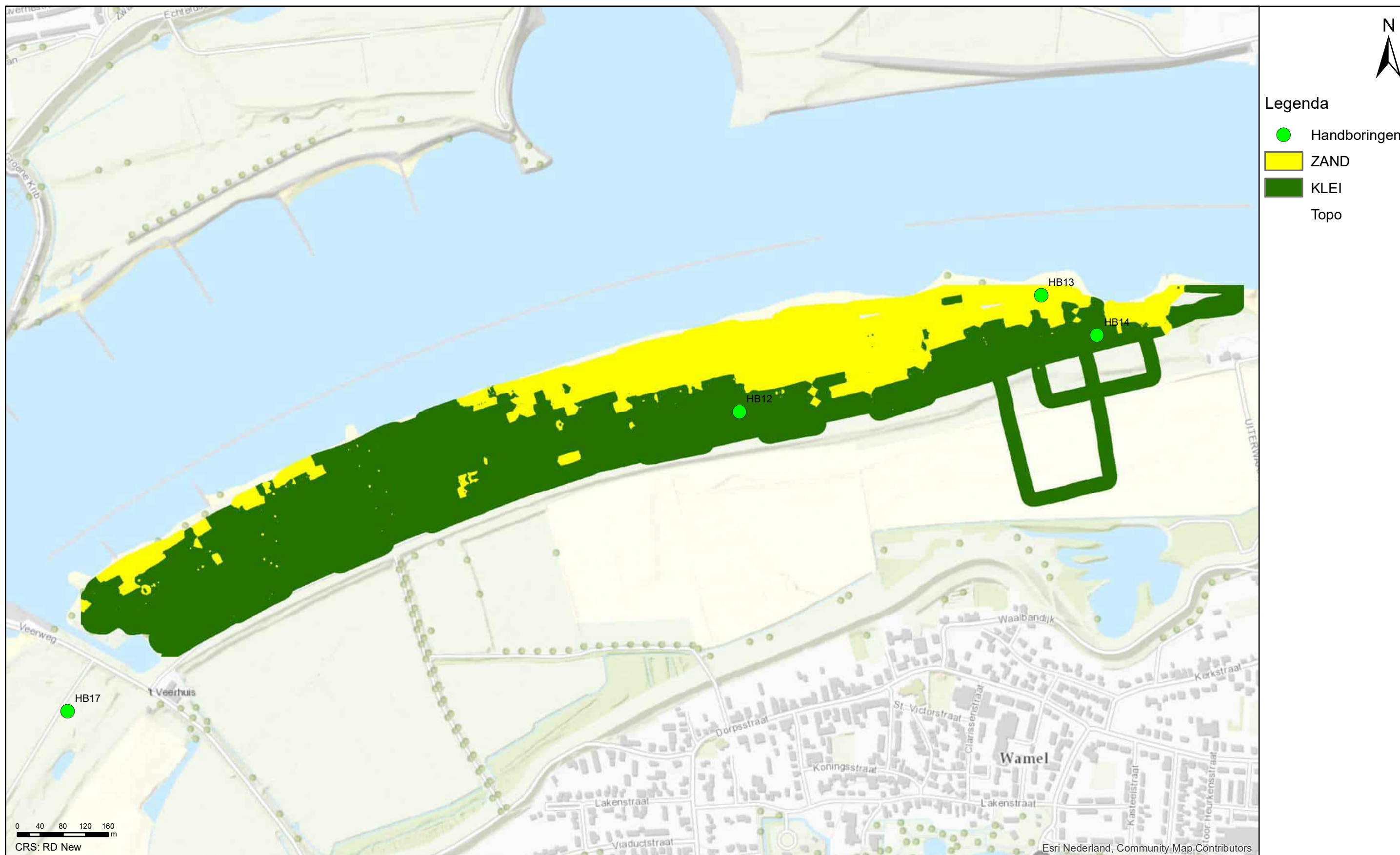
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 1.00 - 1.25 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-5



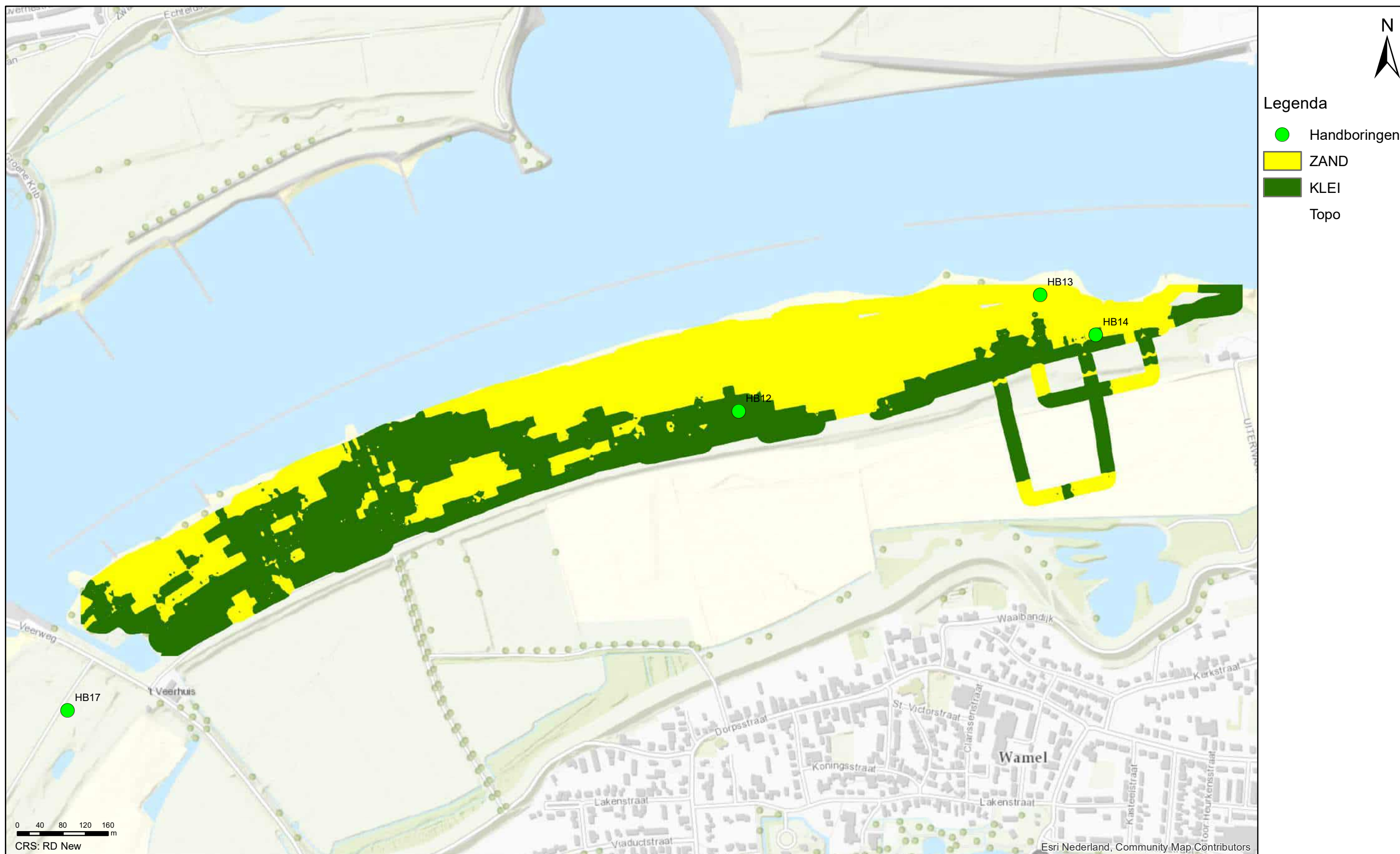
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 1.25 - 1.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-6



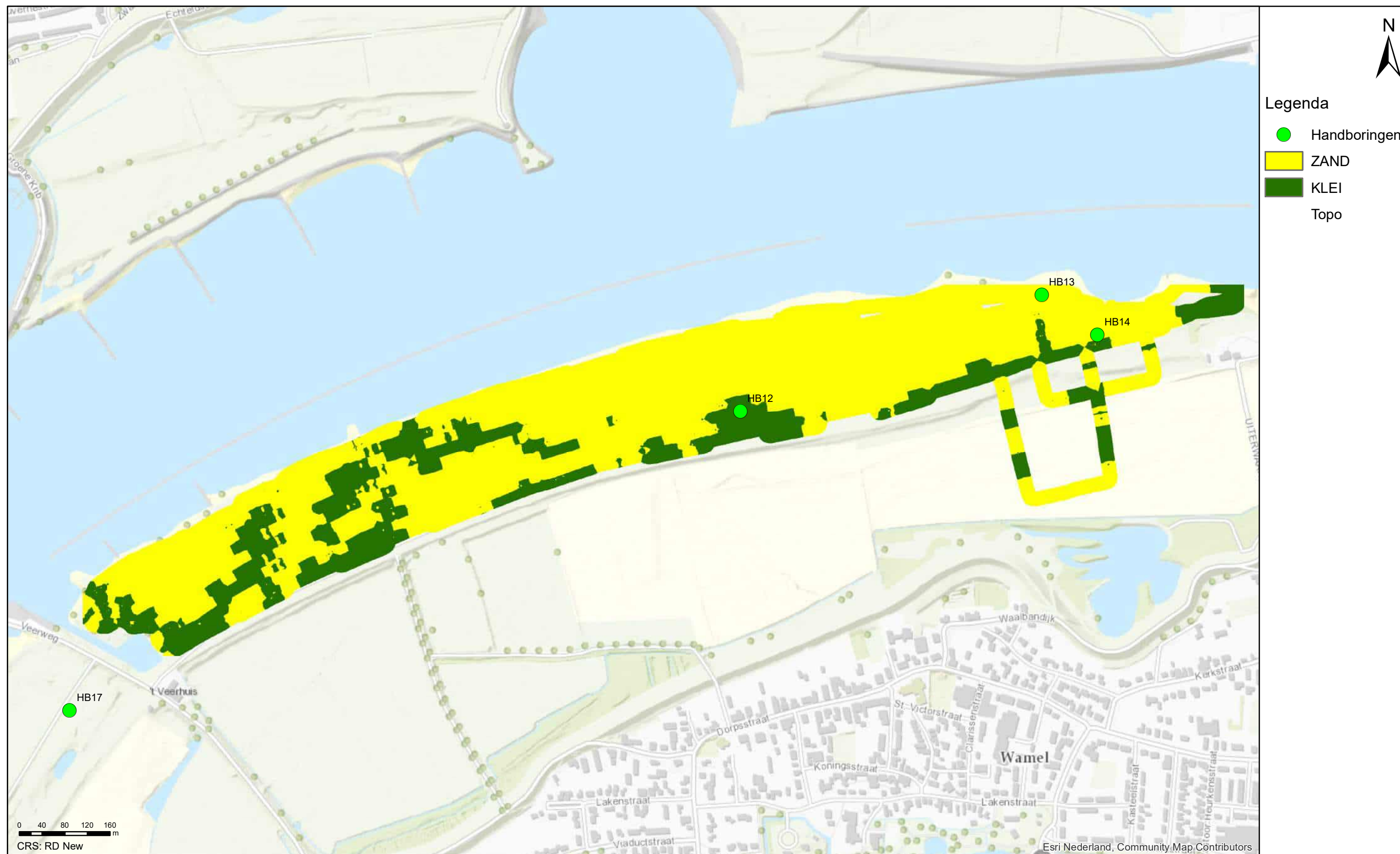
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 1.50 - 1.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-7



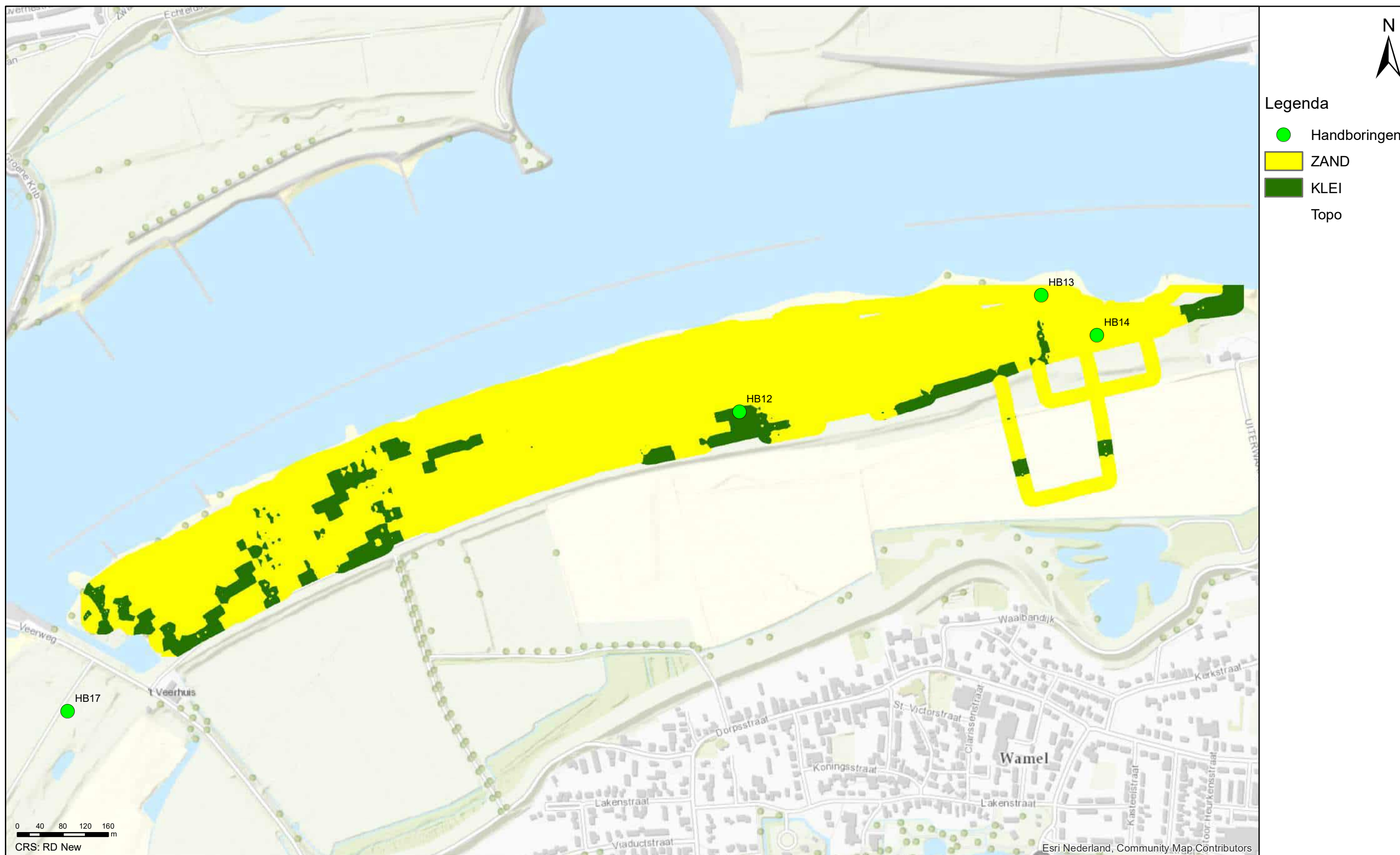
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 1.75 - 2.00 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-8



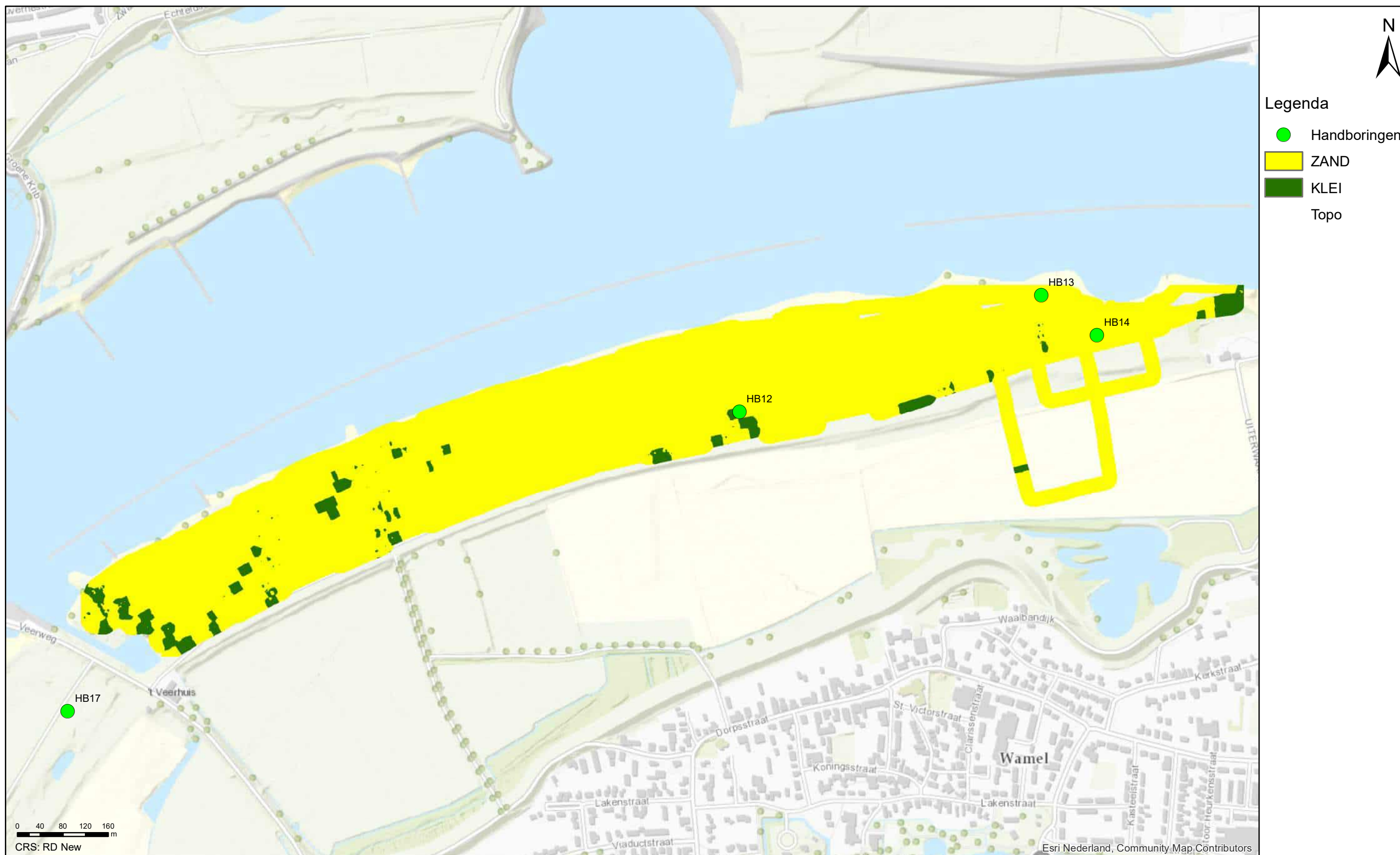
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 2.00 - 2.25 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-9



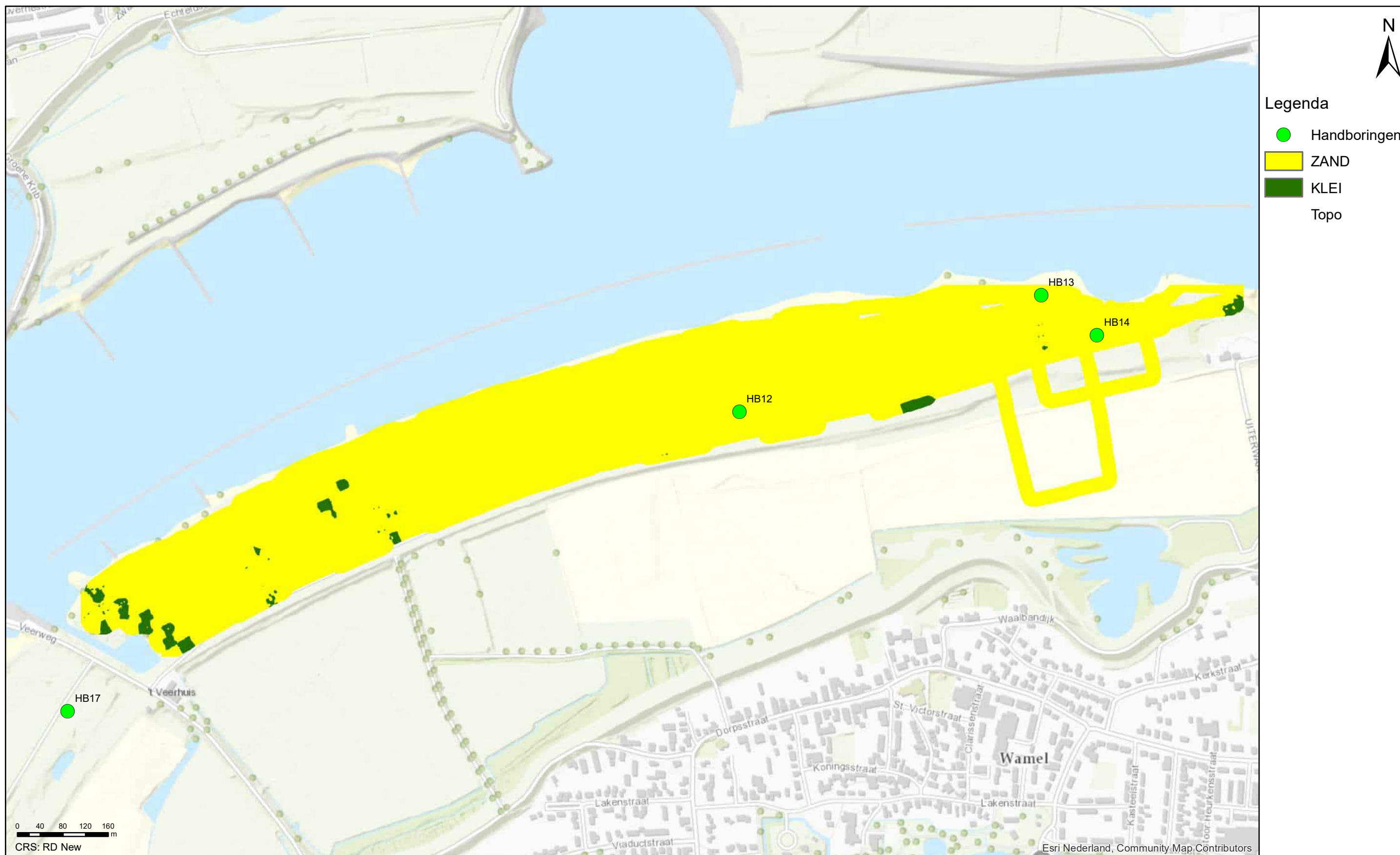
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 2.25 - 2.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-10



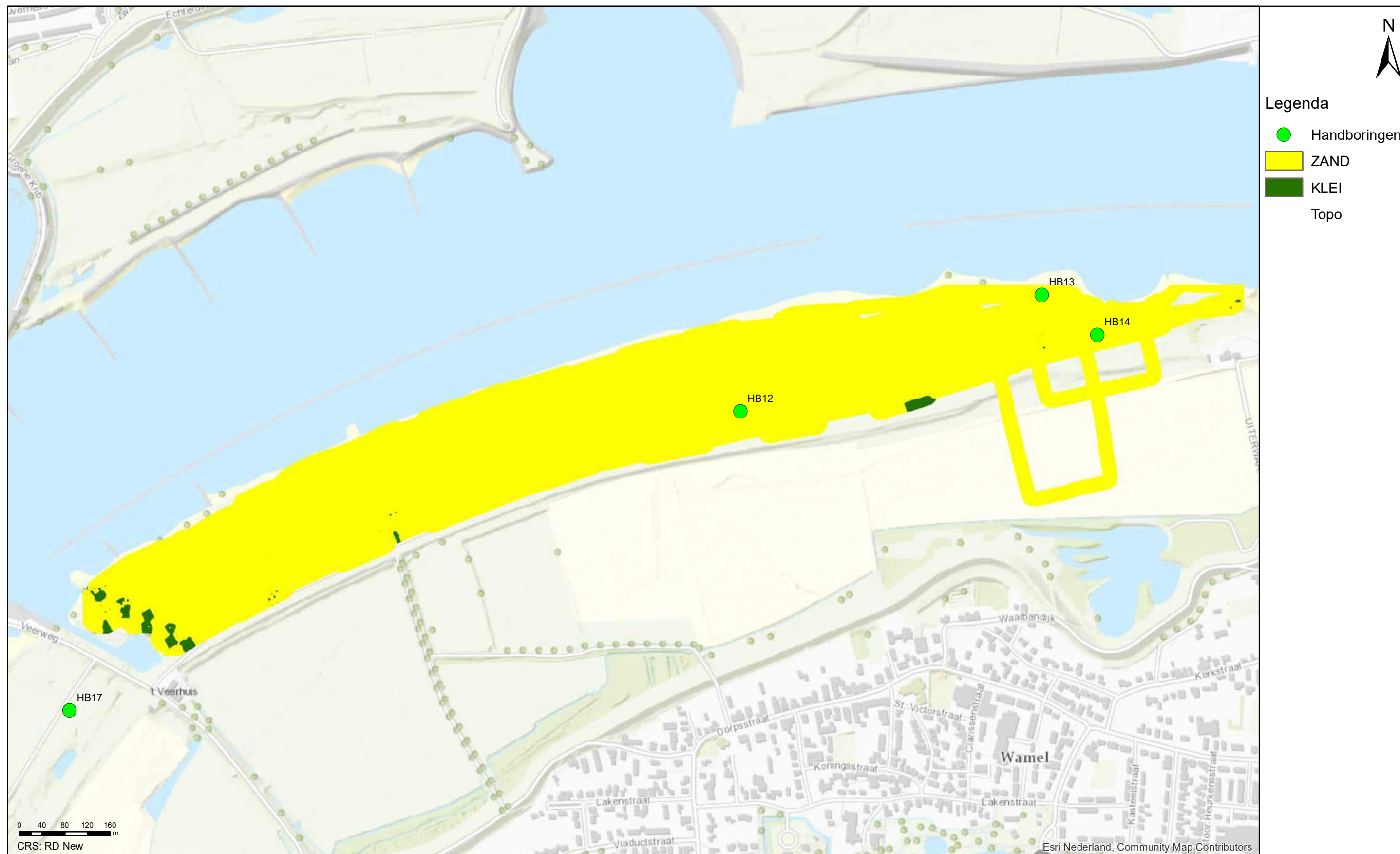
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 2.50 - 2.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-11

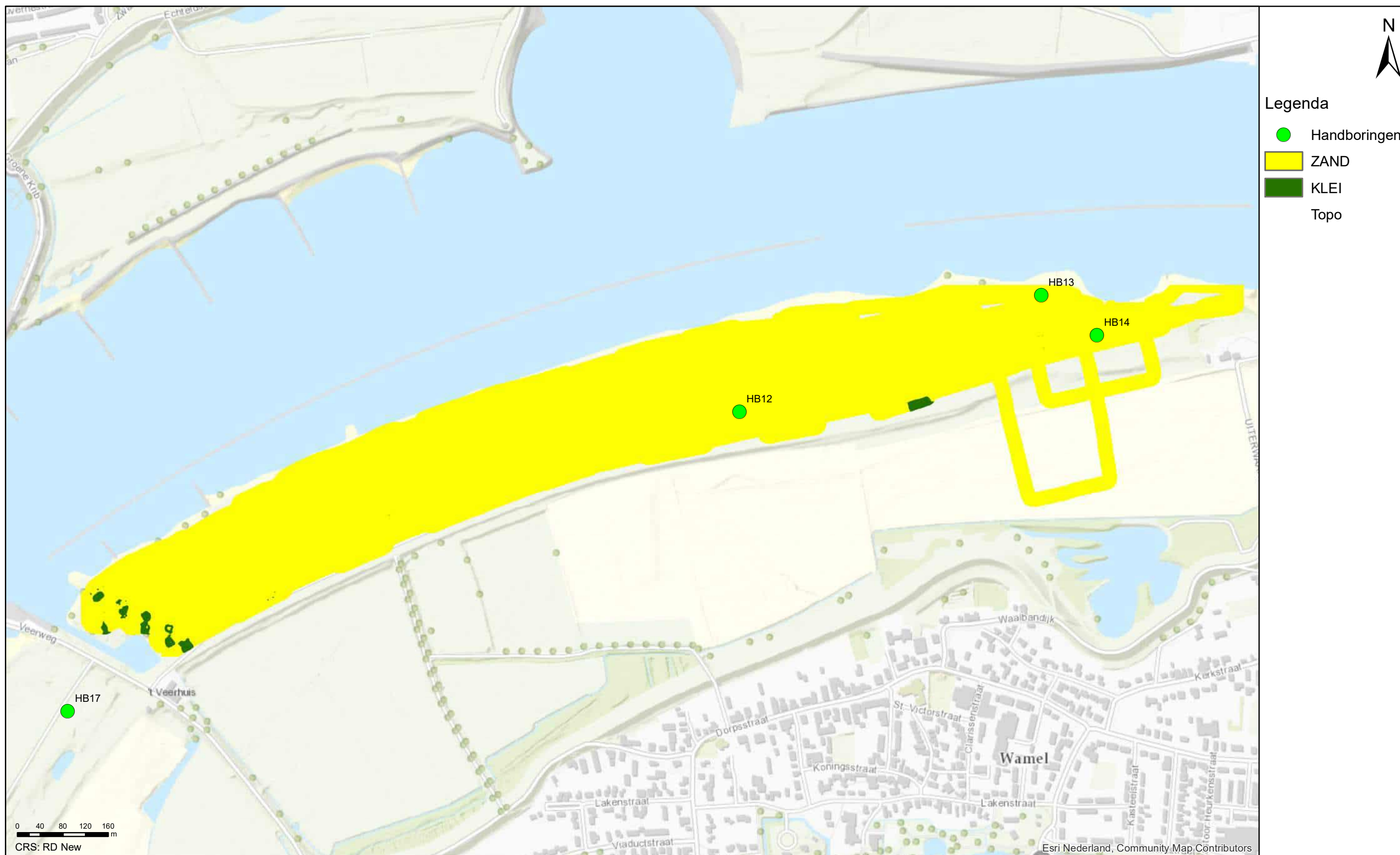


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 2.75 - 3.00 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-12



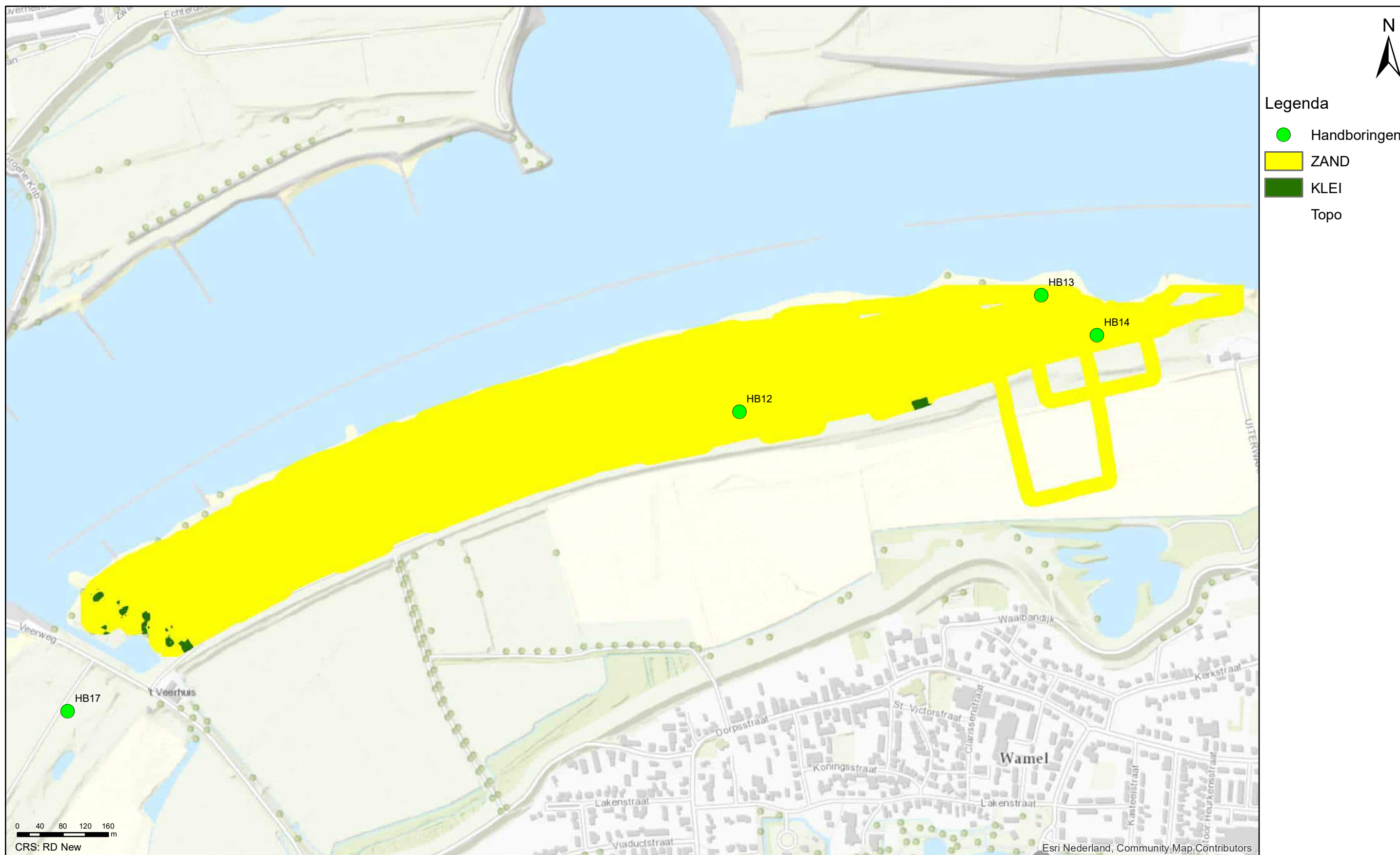
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 3.00 - 3.25 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-13



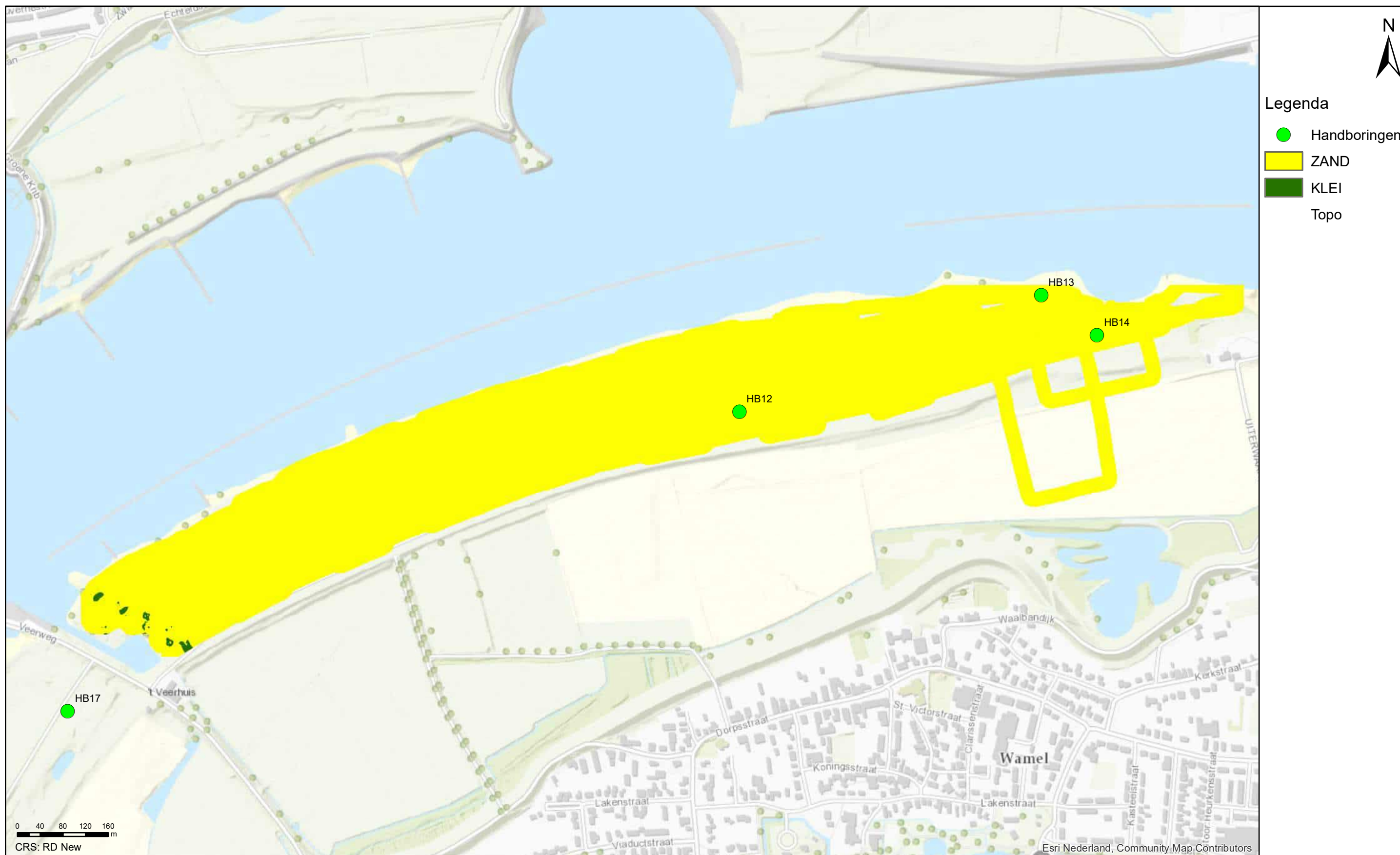
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 3.25 - 3.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-14



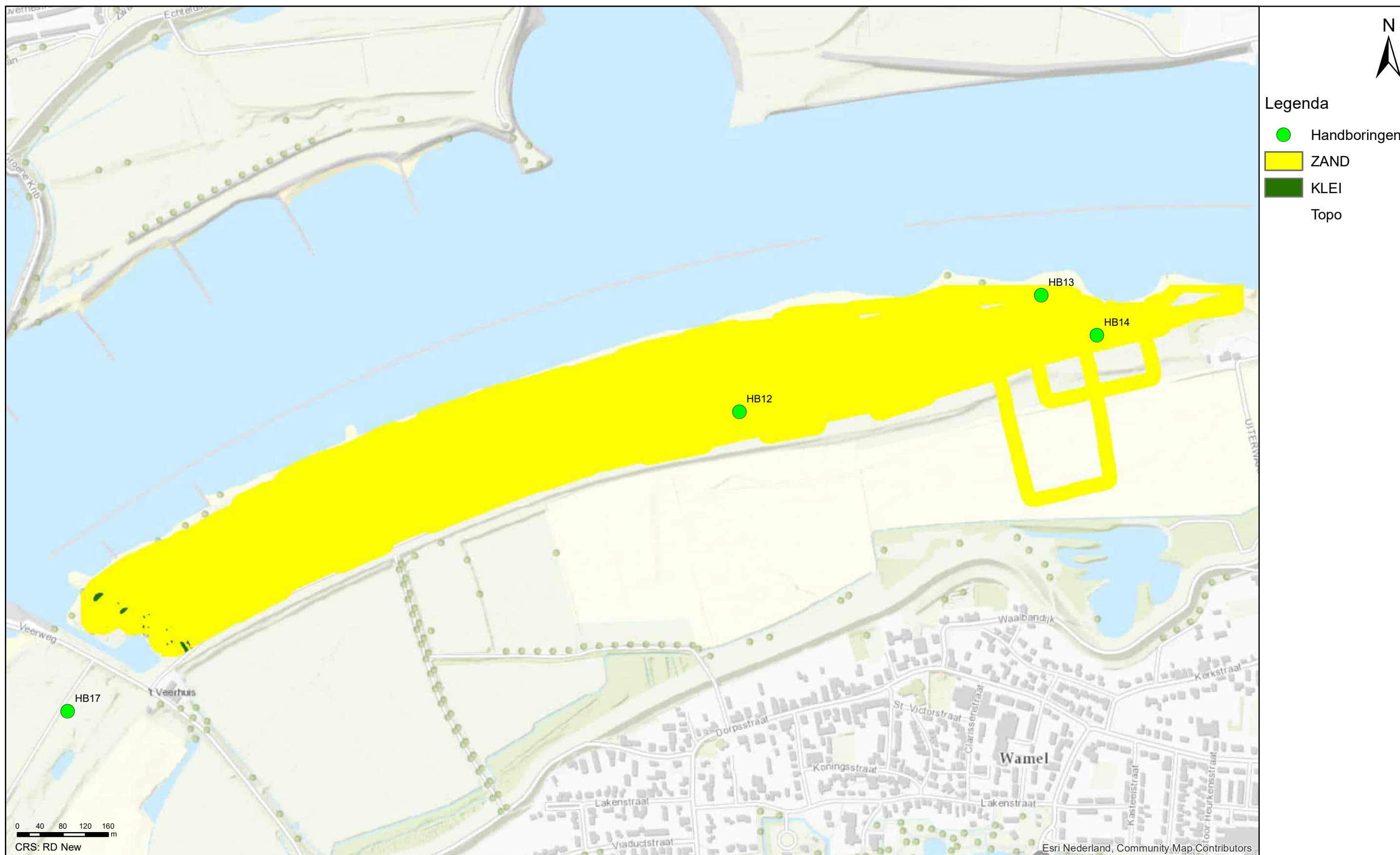
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 3.50 - 3.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-15



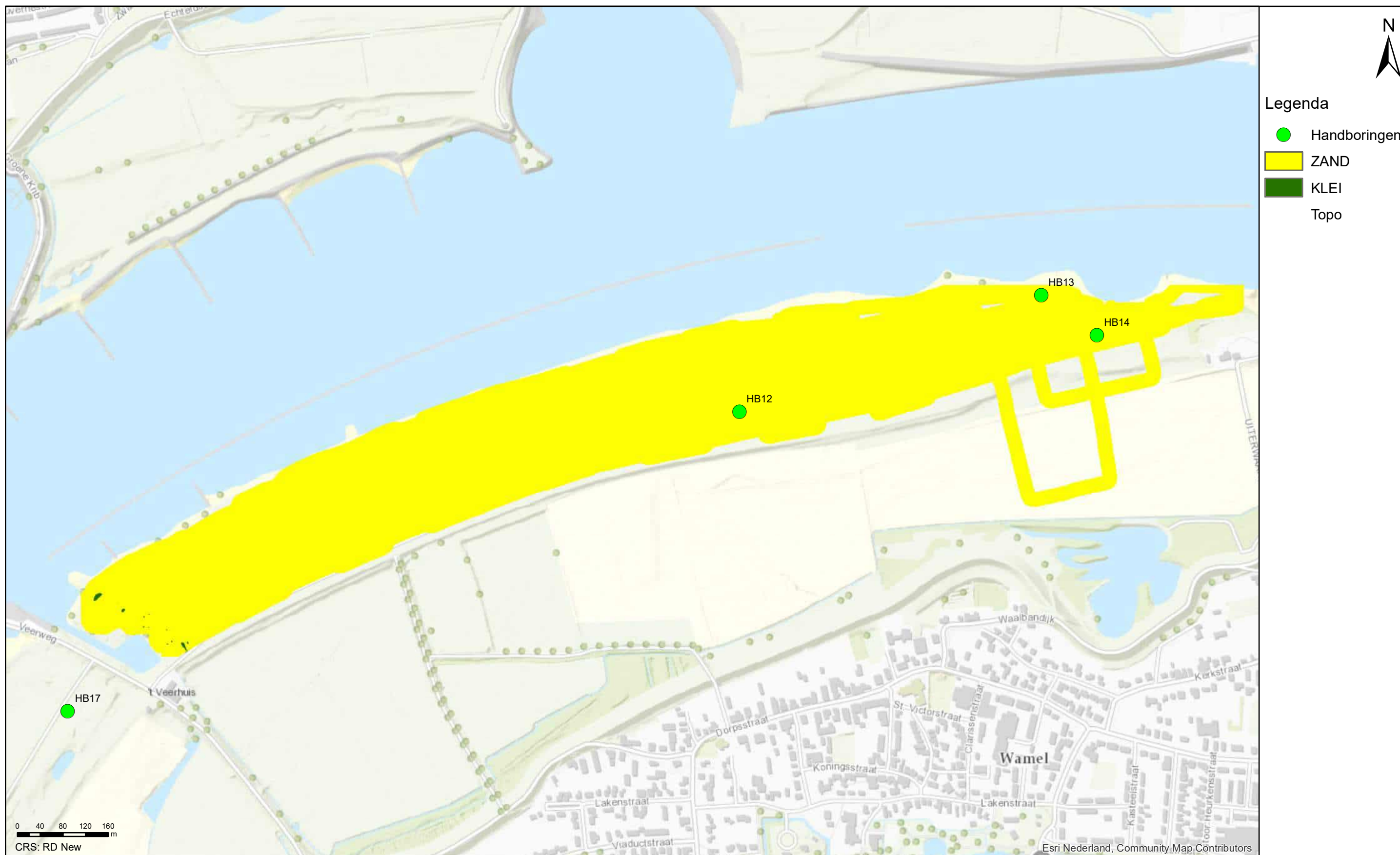
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 3.75 - 4.00 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-16

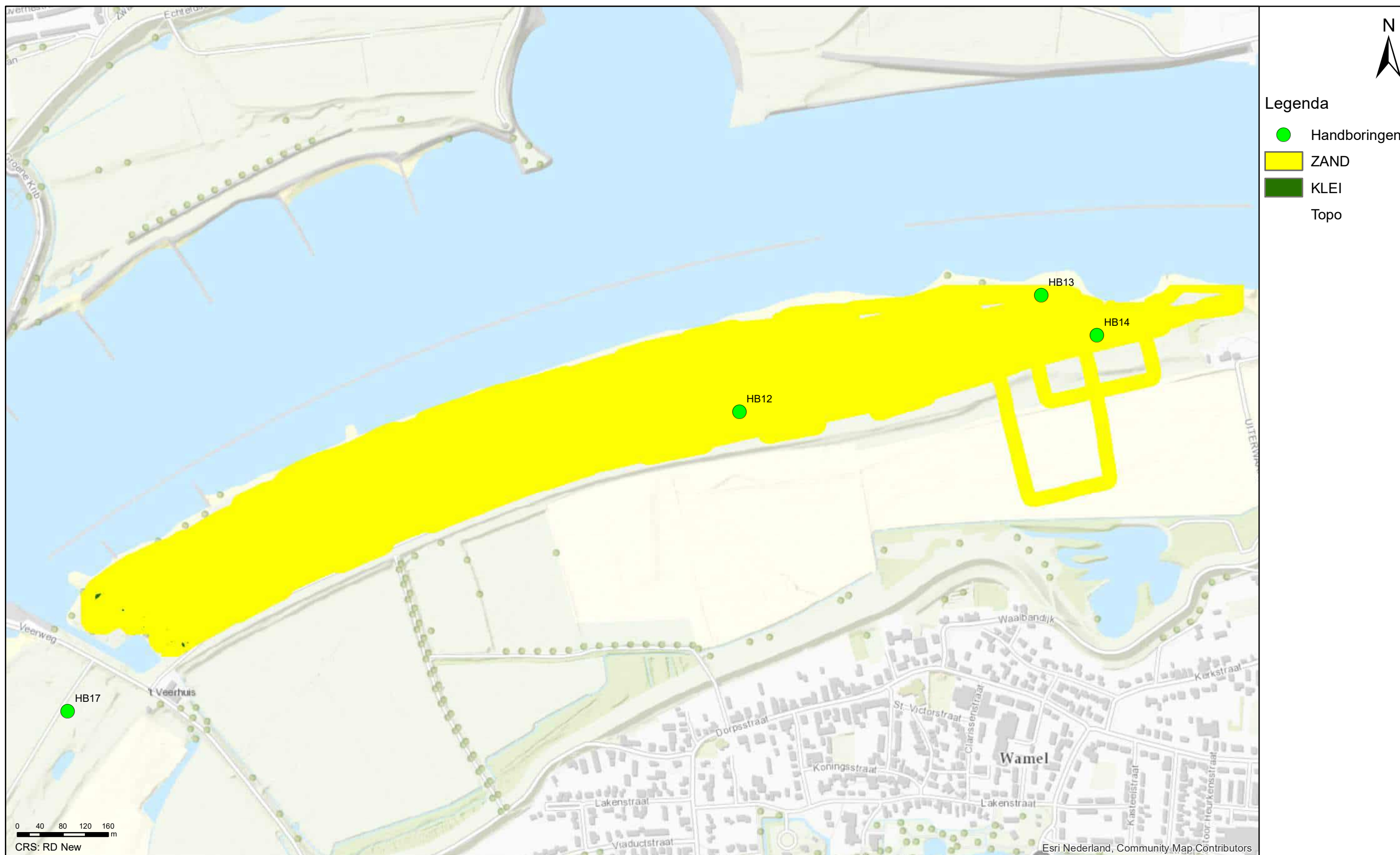


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 4.00 - 4.25 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-17

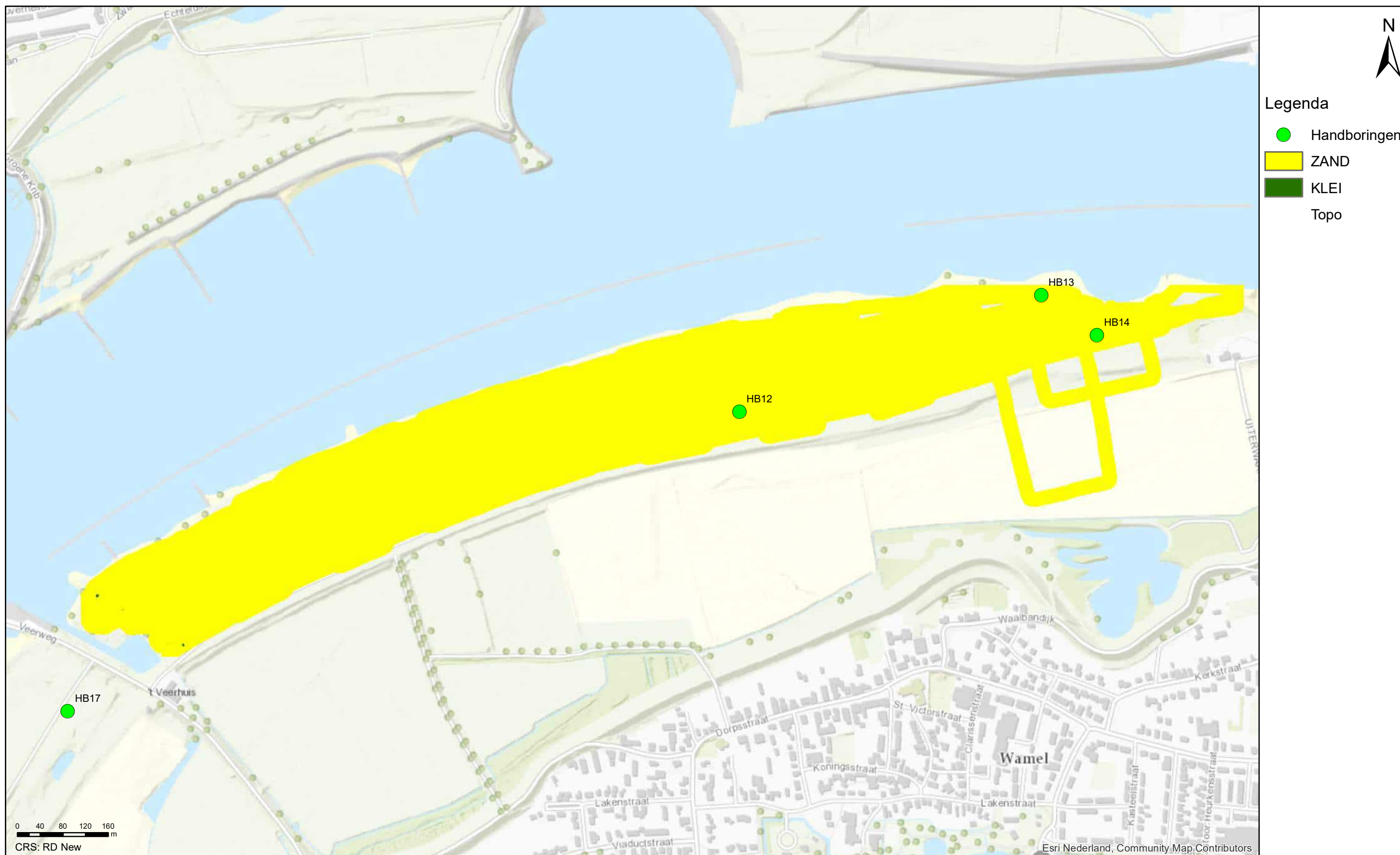


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 4.25 - 4.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-18



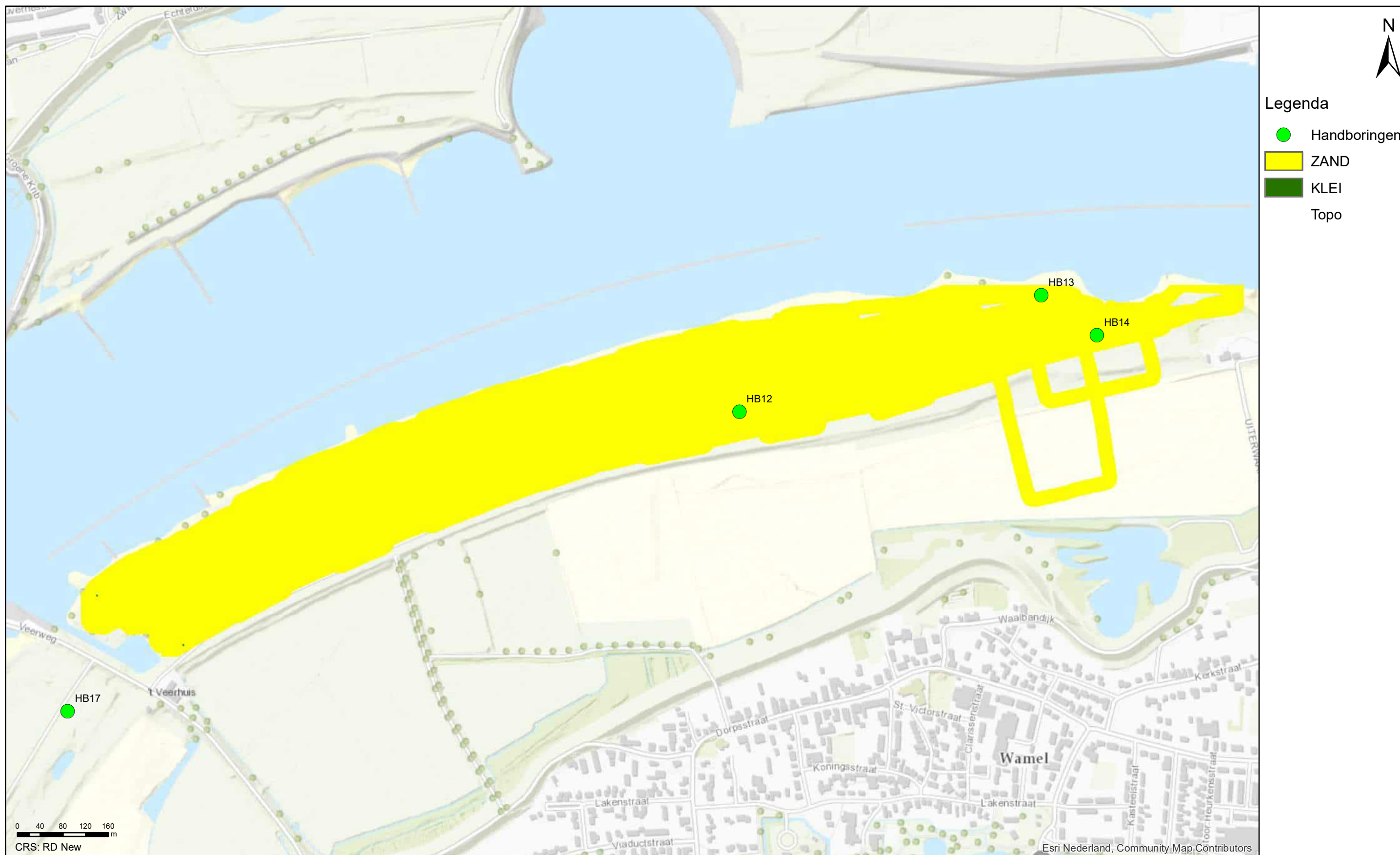
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 4.50 - 4.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-19



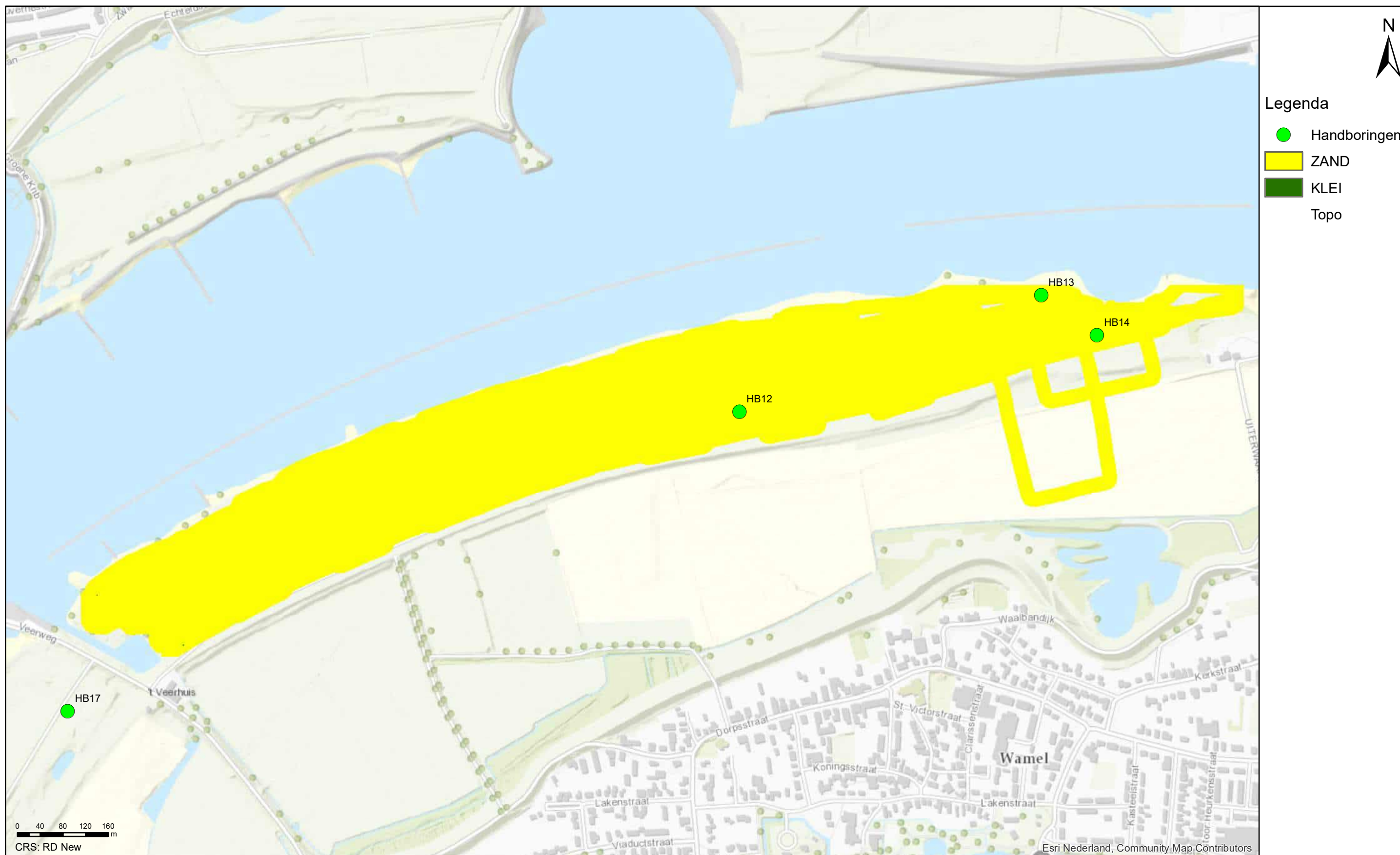
Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 4.75 - 5.00 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 4-6-20

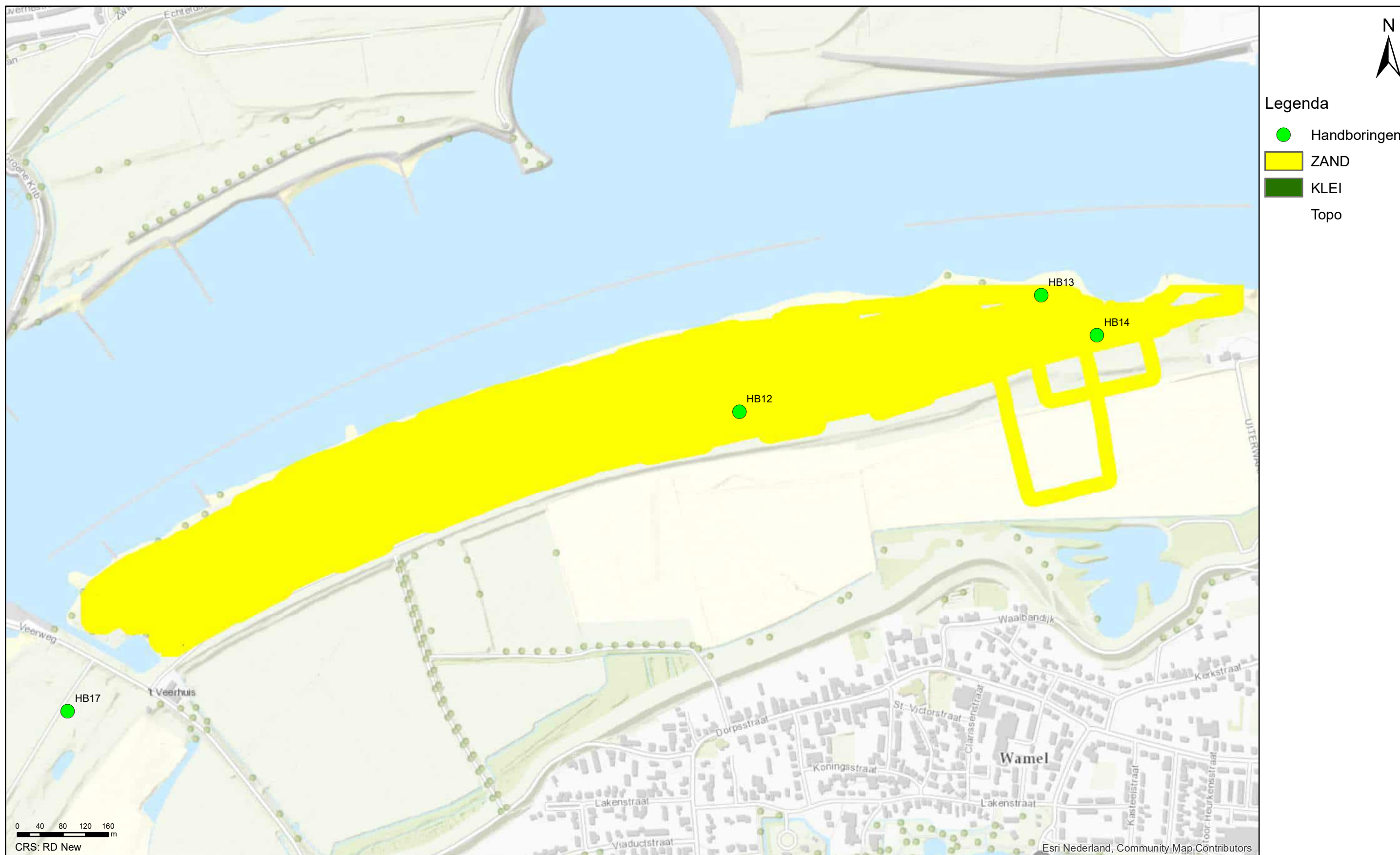


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 5.00 - 5.25 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-21

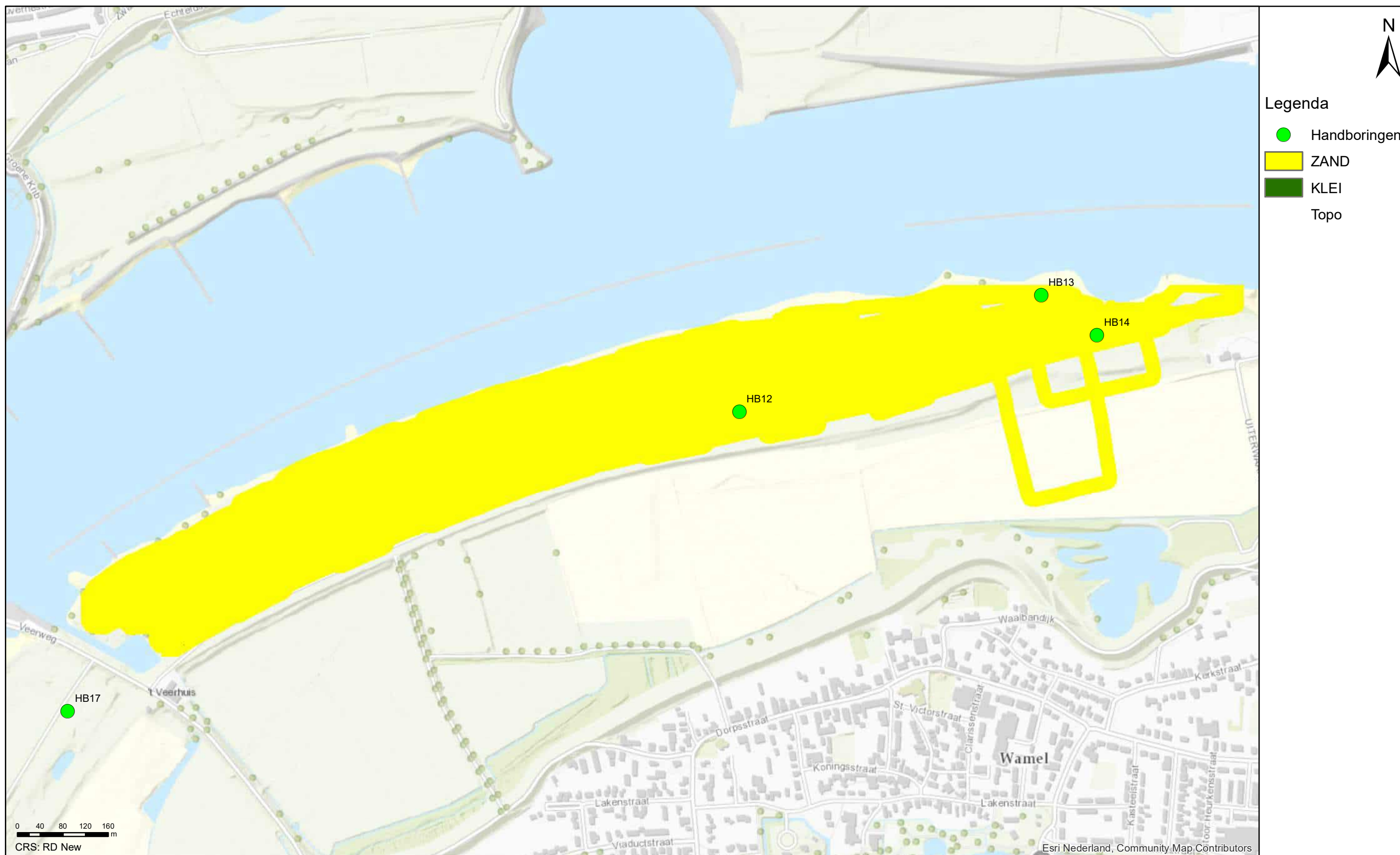


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 5.25 - 5.50 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-22

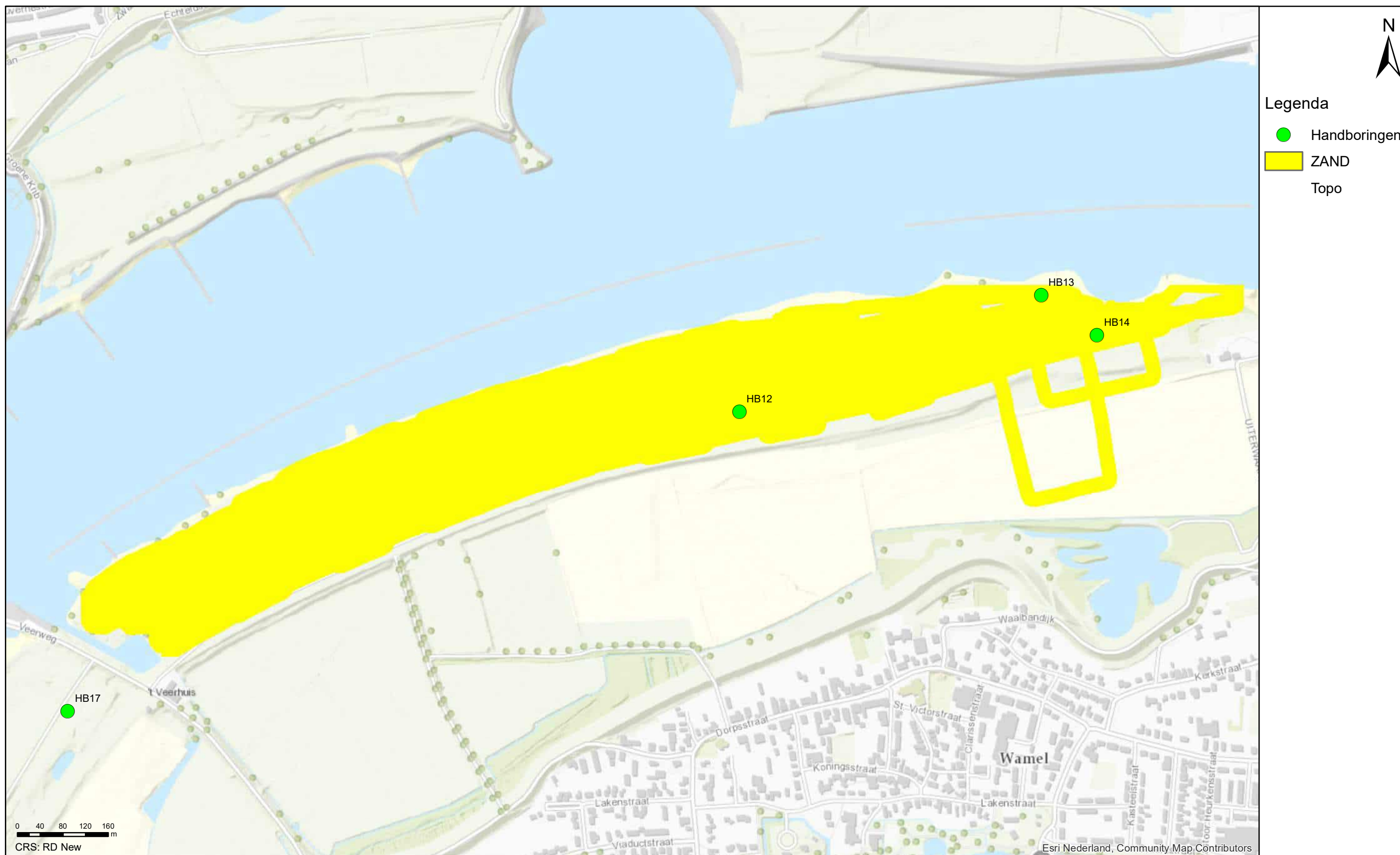


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 5.50 - 5.75 m -MV

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-23

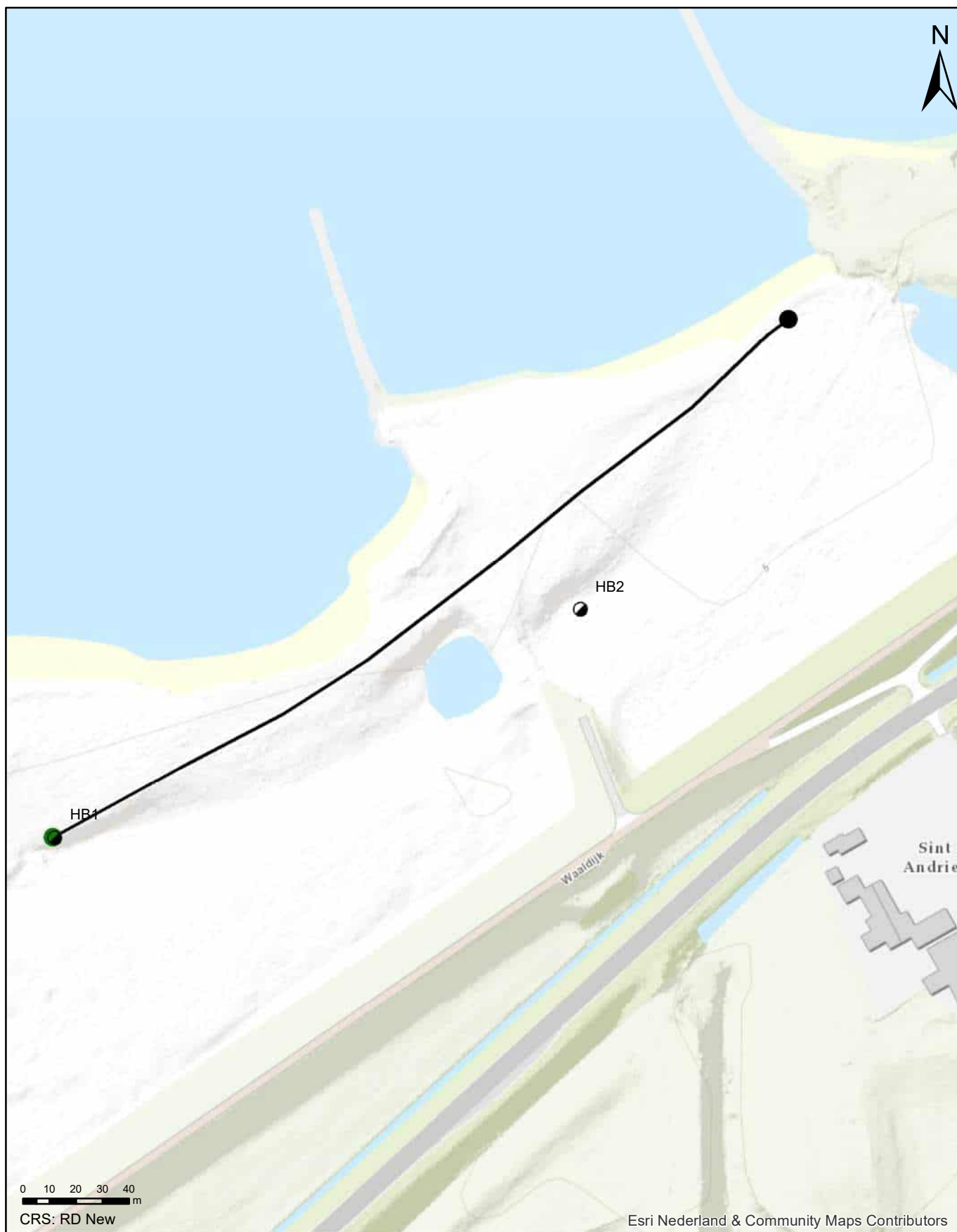


Geofysisch onderzoek UWDH

Geclassificeerde EM data tussen een diepte van 5.75 - 6.00 m -MV

Wamel

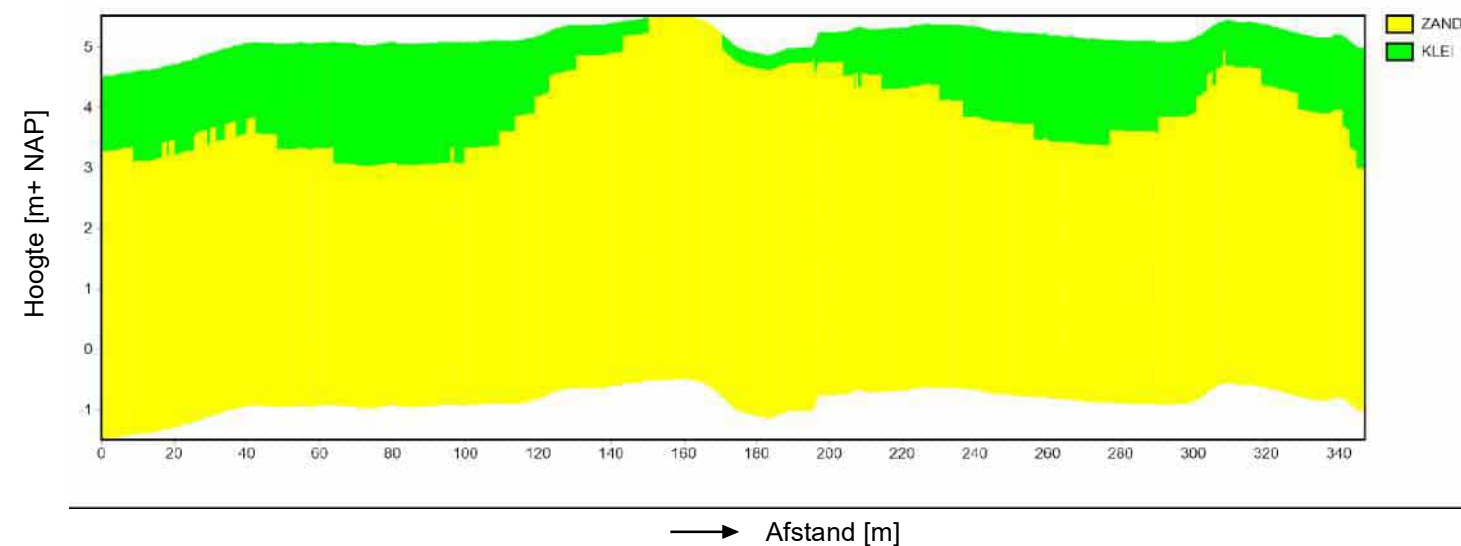
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 4-6-24



X:153161.27
Y:423753.54

X:153443.85
Y:423952.51

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



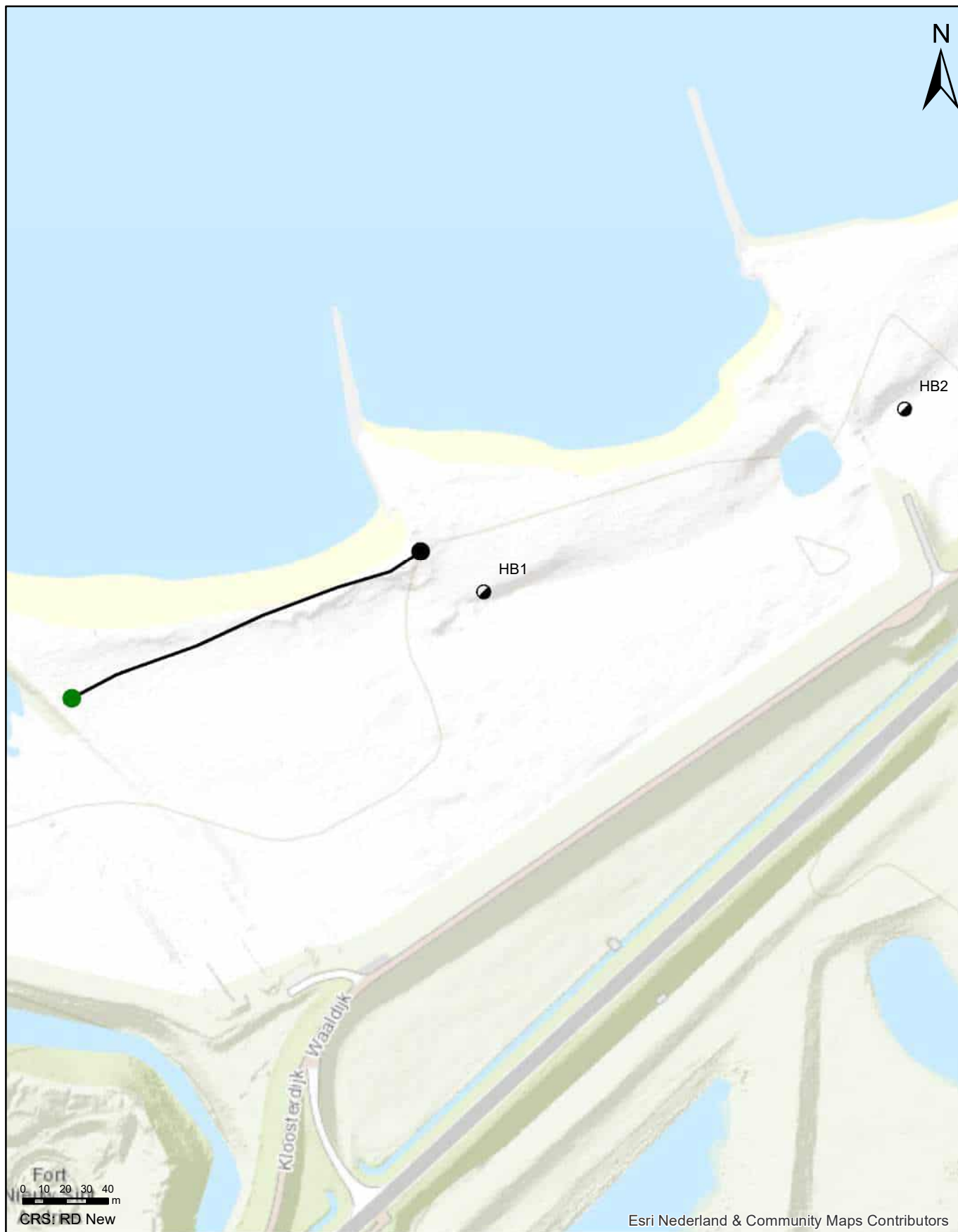
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data Gebied 1

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

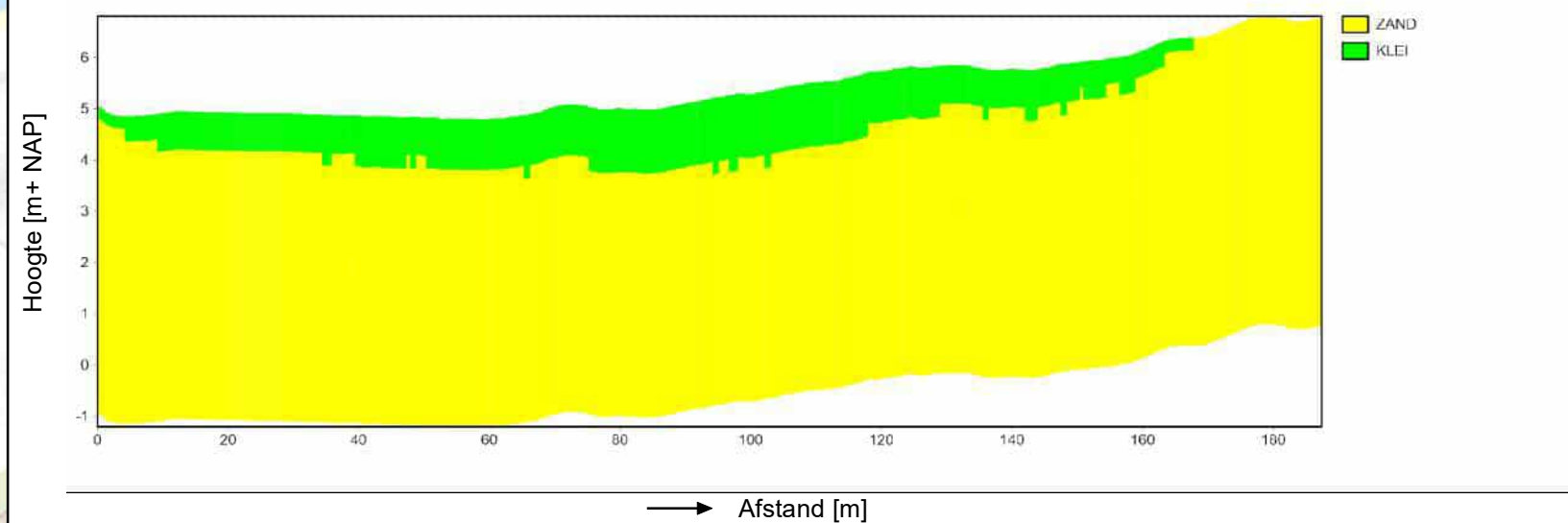
Bijlage : 5-1-1



X:152967.60
Y:423703.27

X:153137.99
Y:423777.88

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA

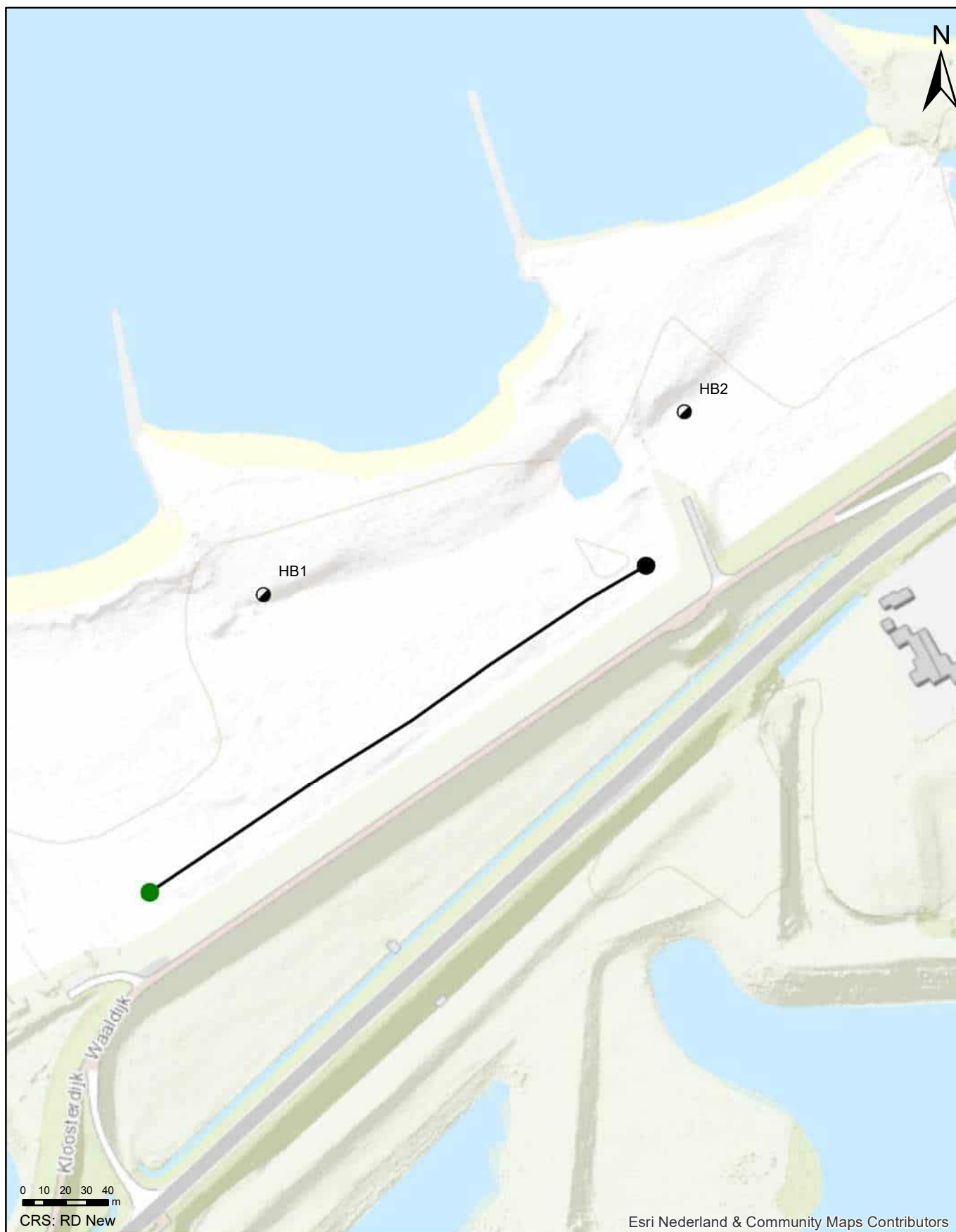


Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 1

Sint Andries

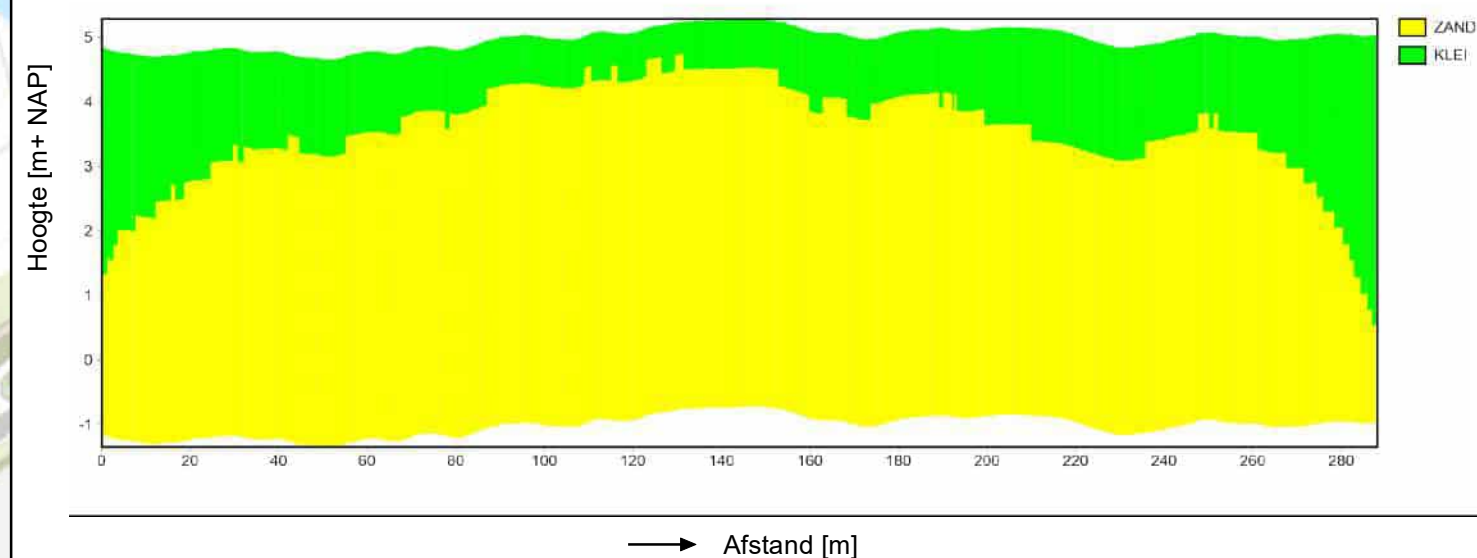
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-1-2



X:153108.01
Y:423612.78

X:153348.68
Y:423770.95

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



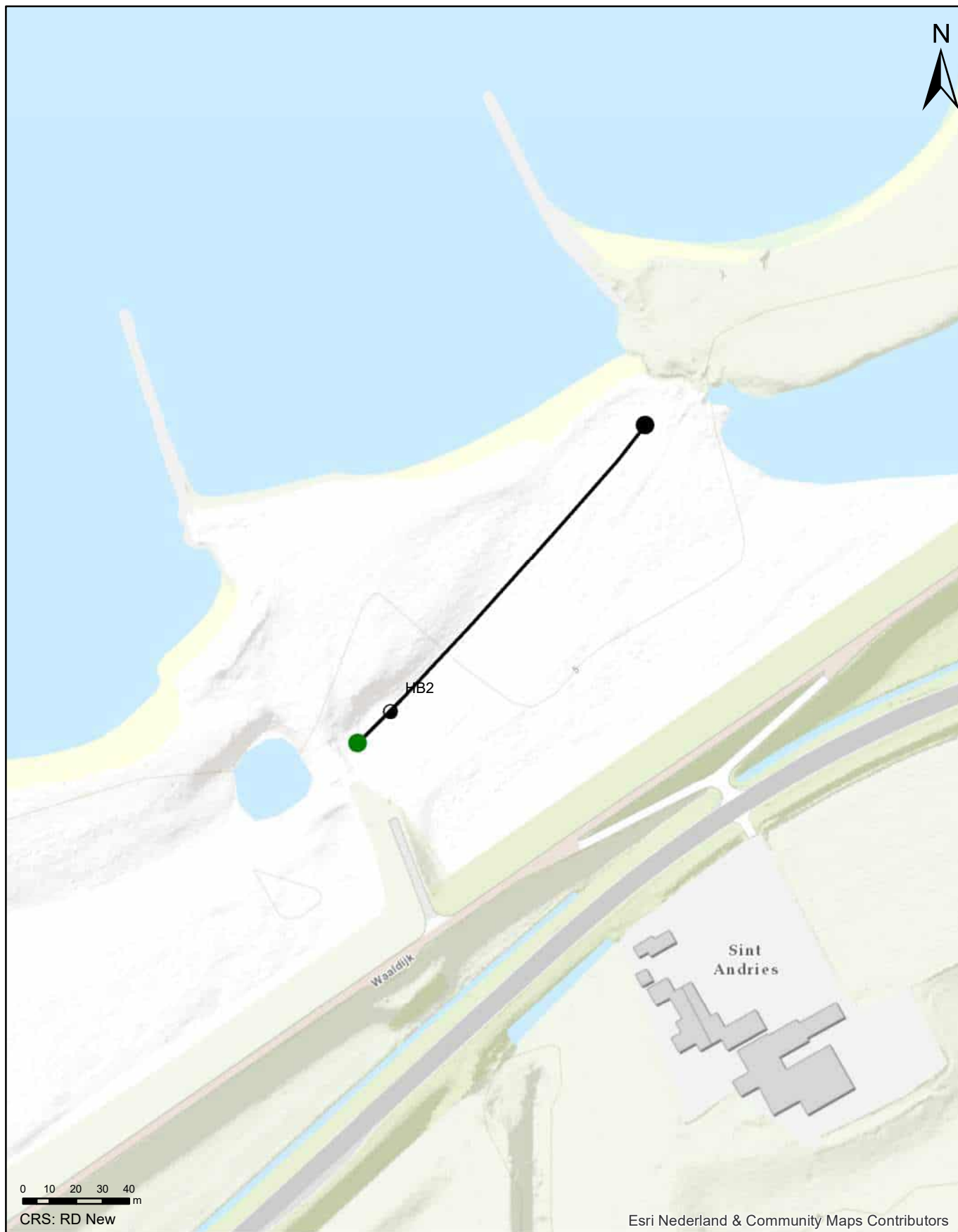
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 1

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

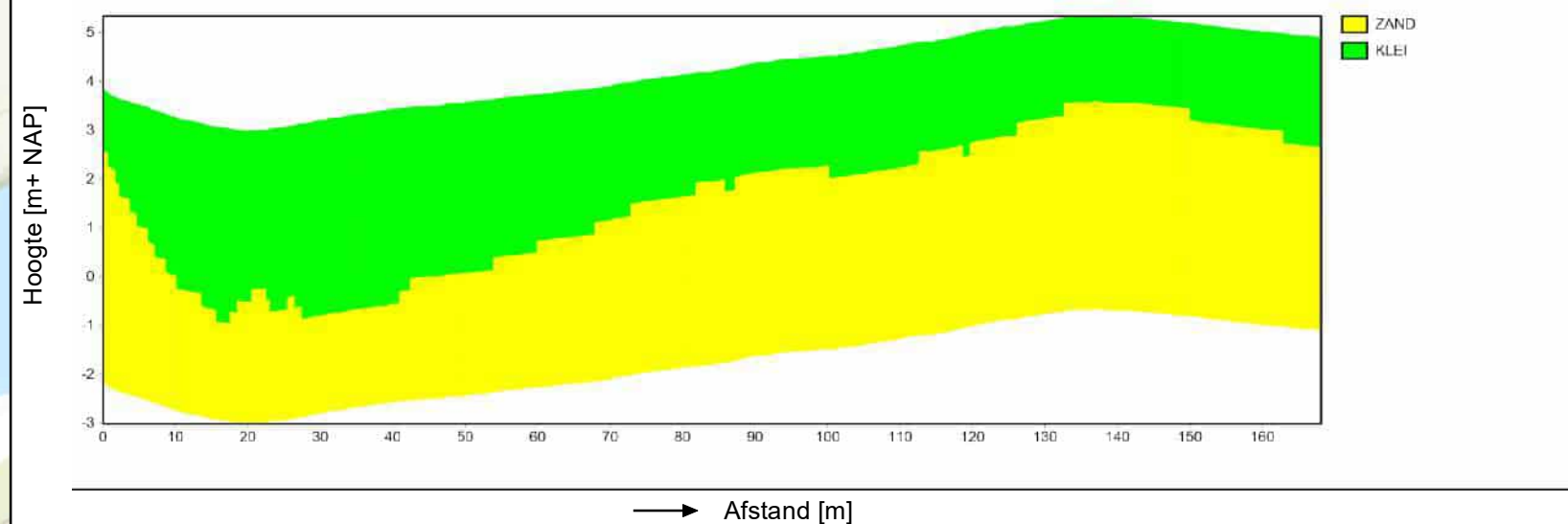
Bijlage : 5-1-3



X:153348.11
Y:423826.71

X:153460.77
Y:423951.31

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



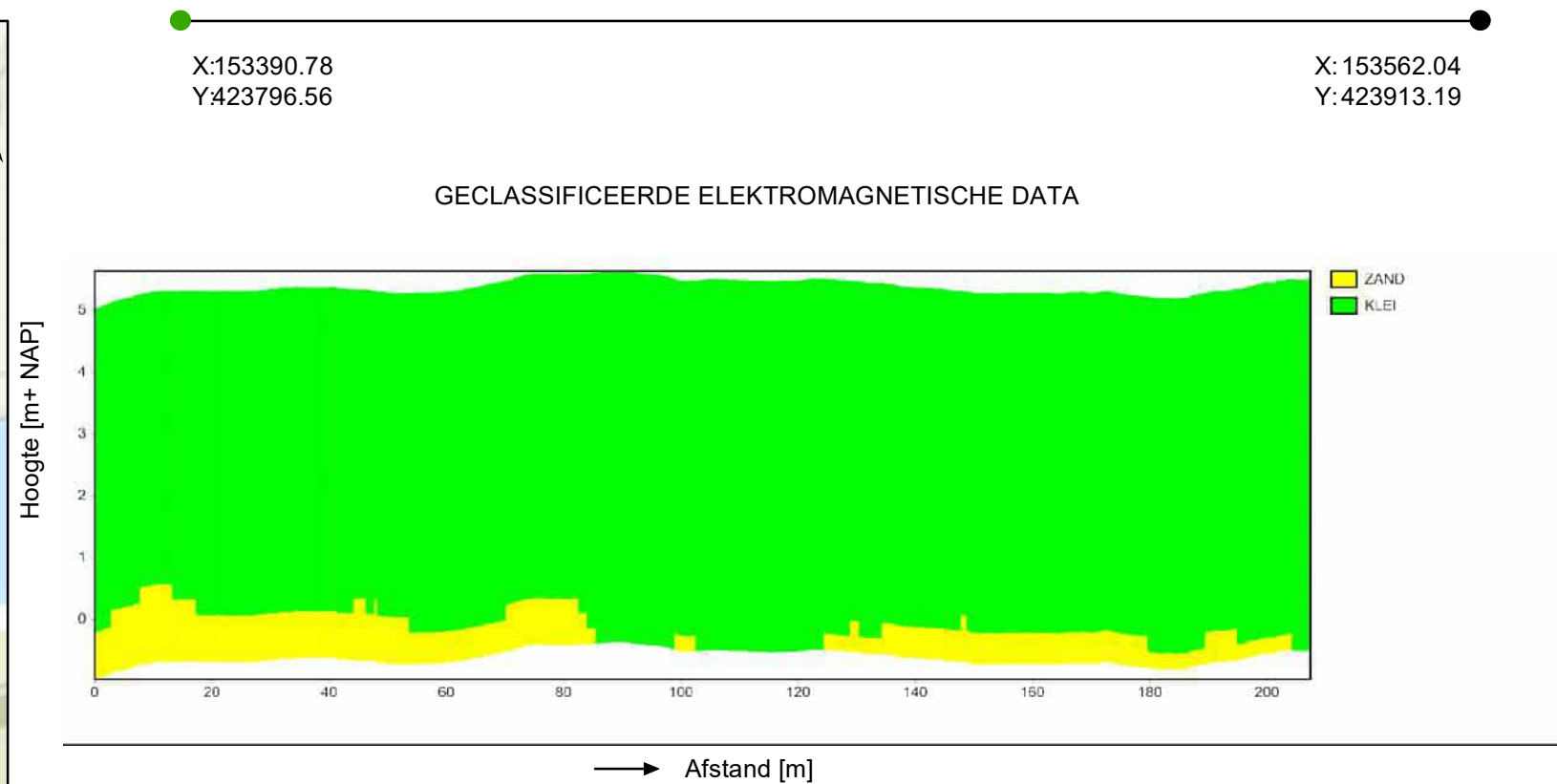
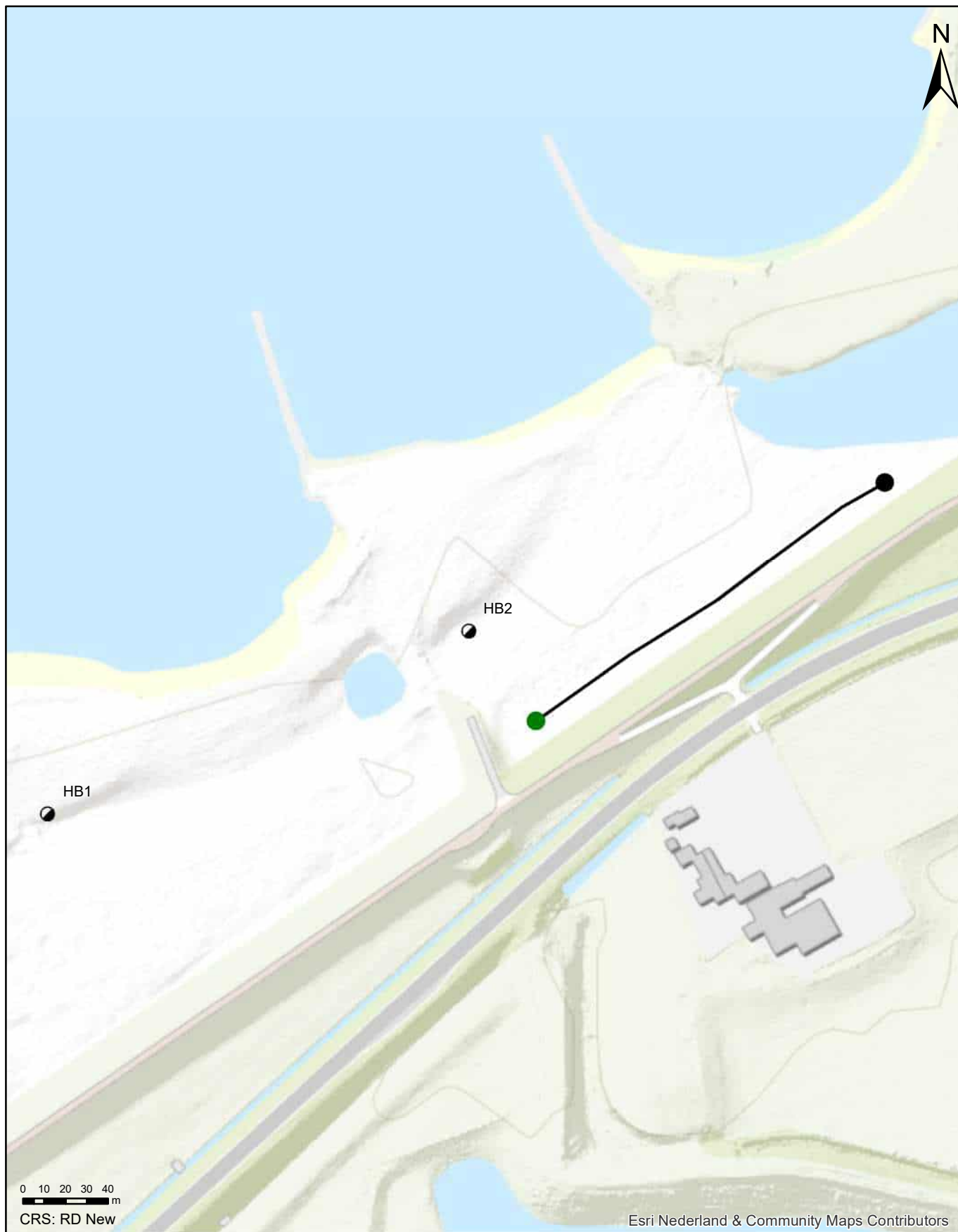
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen geclassificeerde EM data gebied 1

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 5-1-4



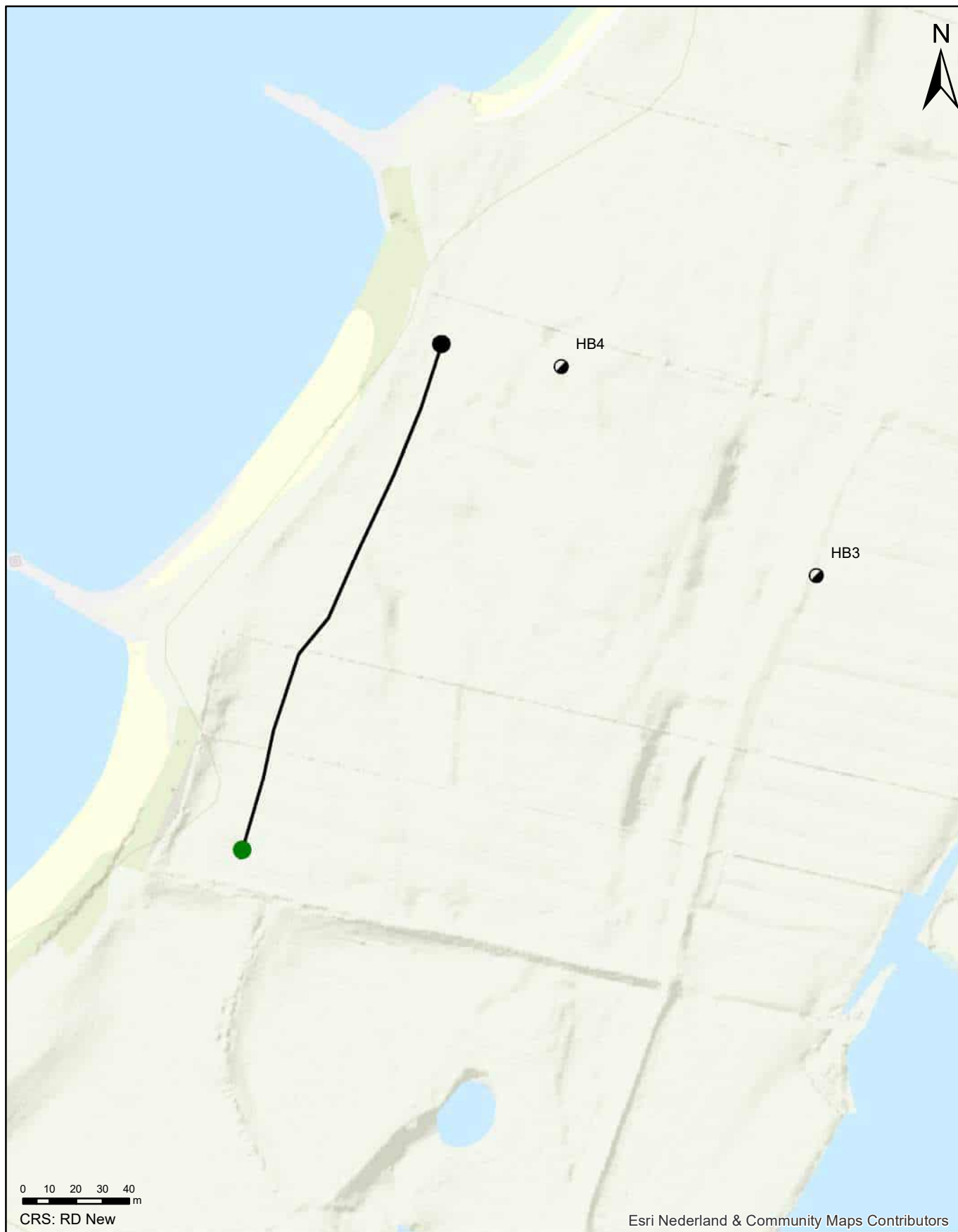
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 1

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

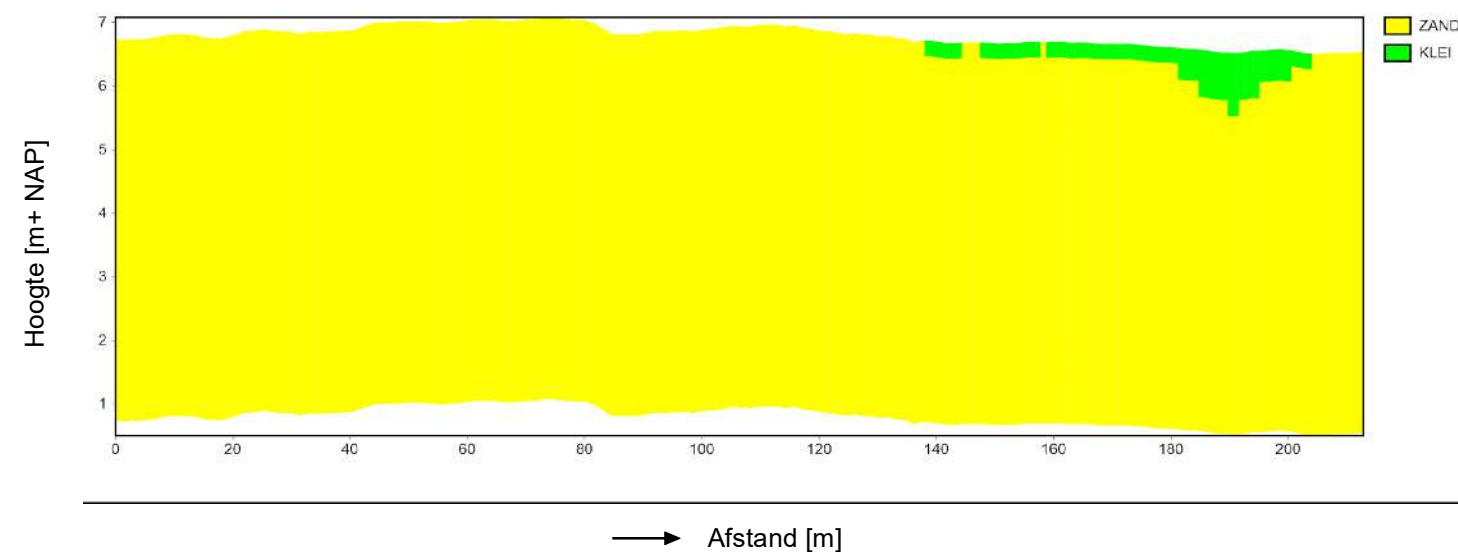
Bijlage : 5-1-5



X:154210.42
Y:424874.31

X: 154287.42
Y: 425071.16

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data

Heerwaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

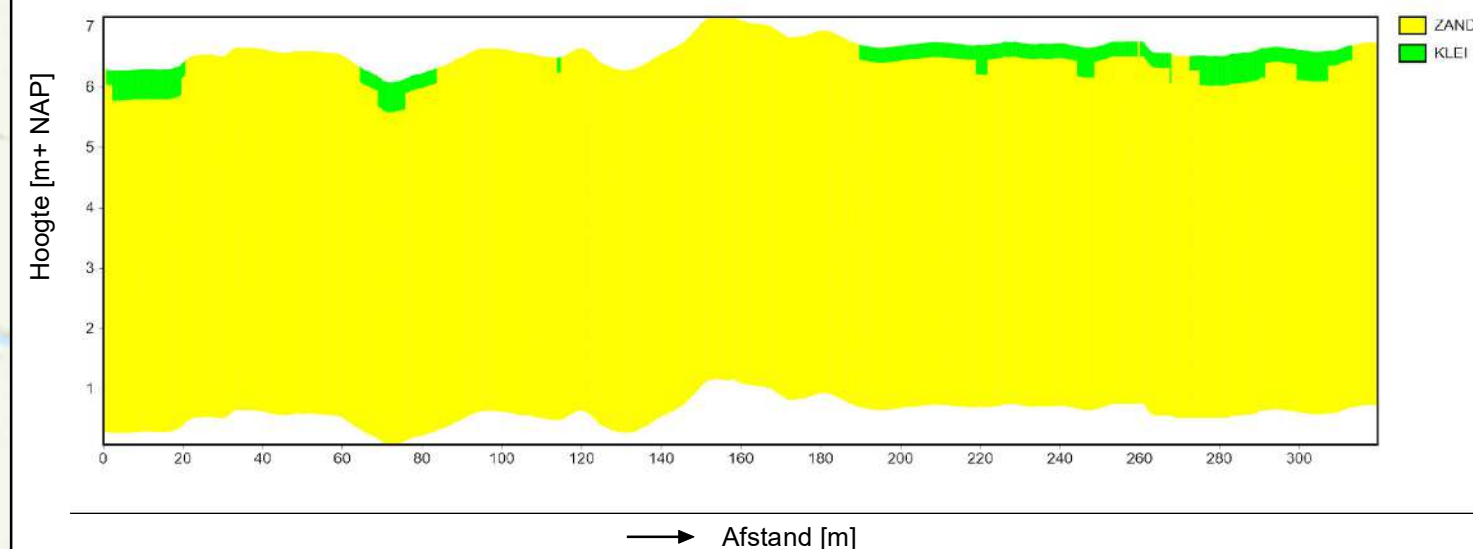
Bijlage : 5-2-1



X:154277.39
Y:424912.84

X:154392.49
Y:425208.90

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data
Heerewaarden

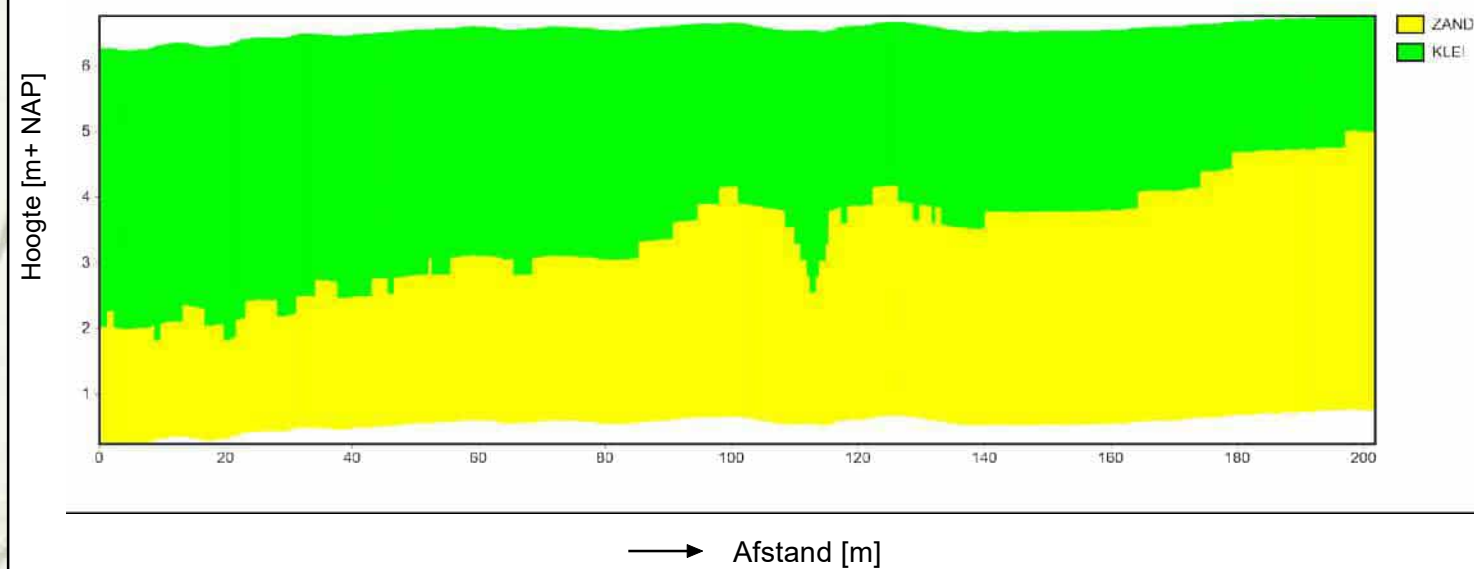
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-2-2



X:154410.85
Y:424929.64

X:154474.35
Y:425120.80

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



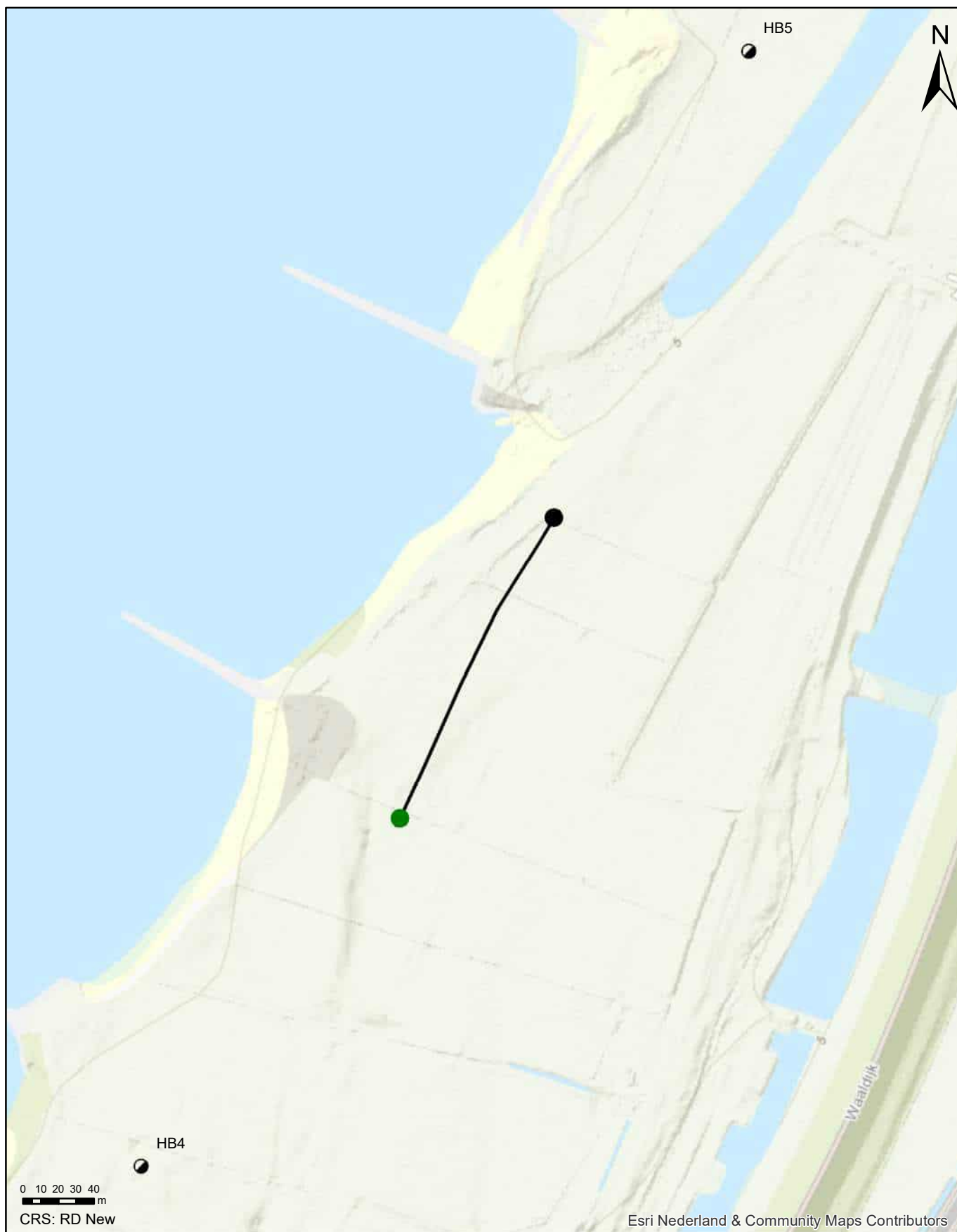
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 1

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

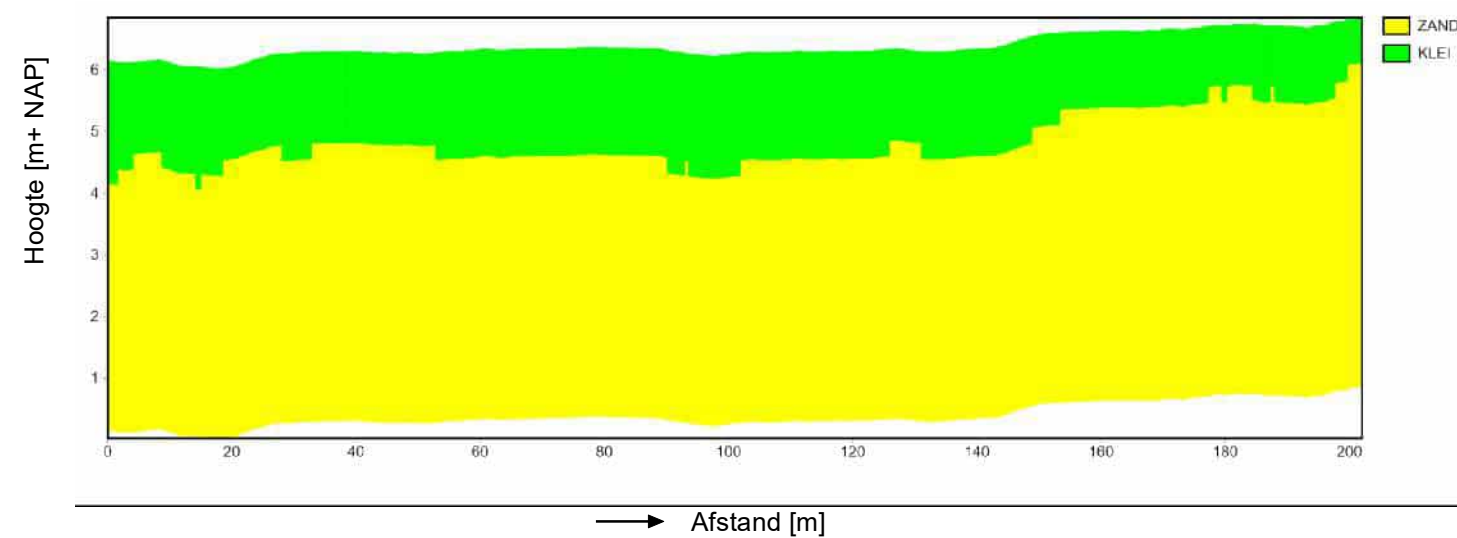
Bijlage : 5-2-3



X:154475.02
Y:425250.51

X:154567.09
Y:425429.90

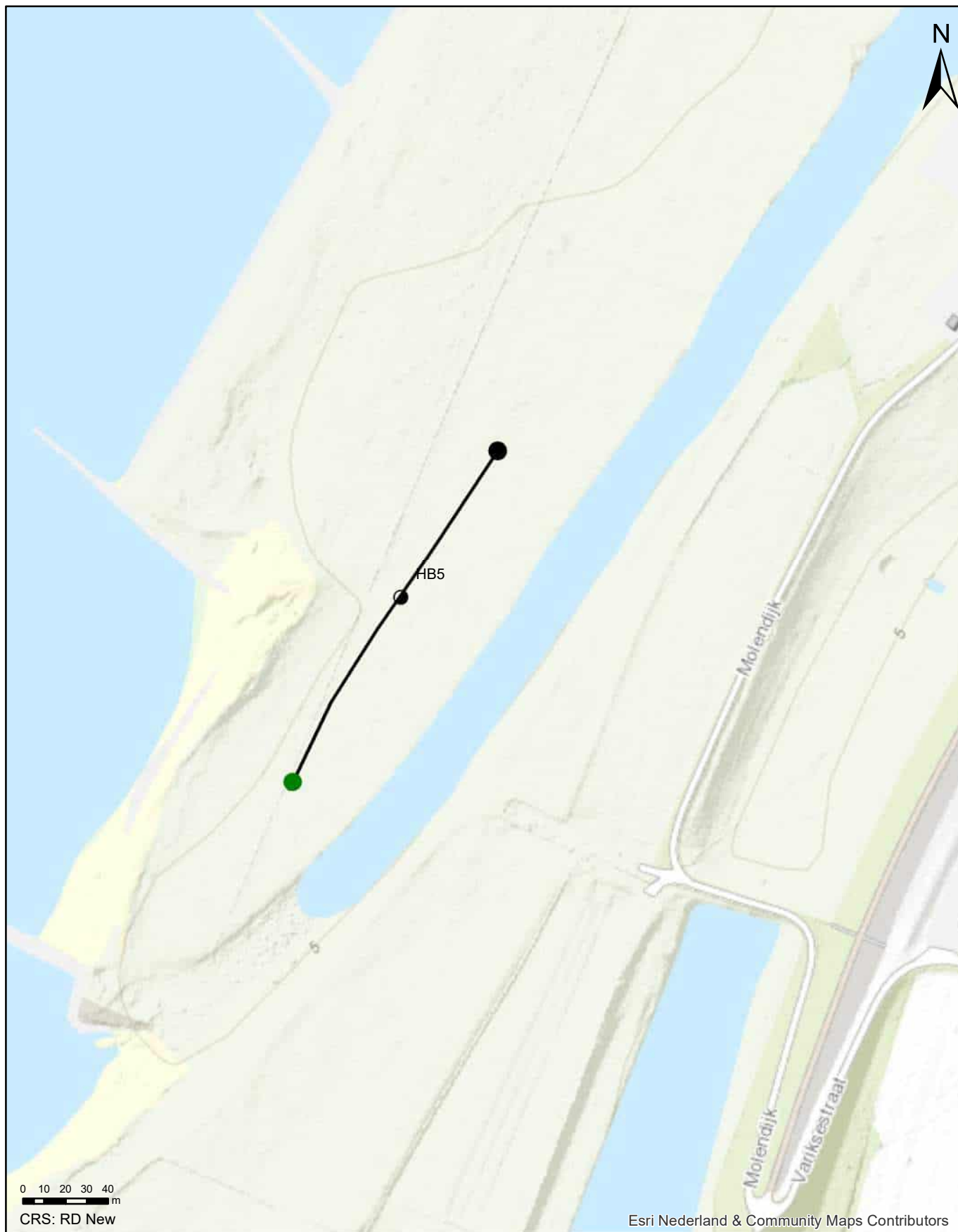
GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 2
Heerewaarden

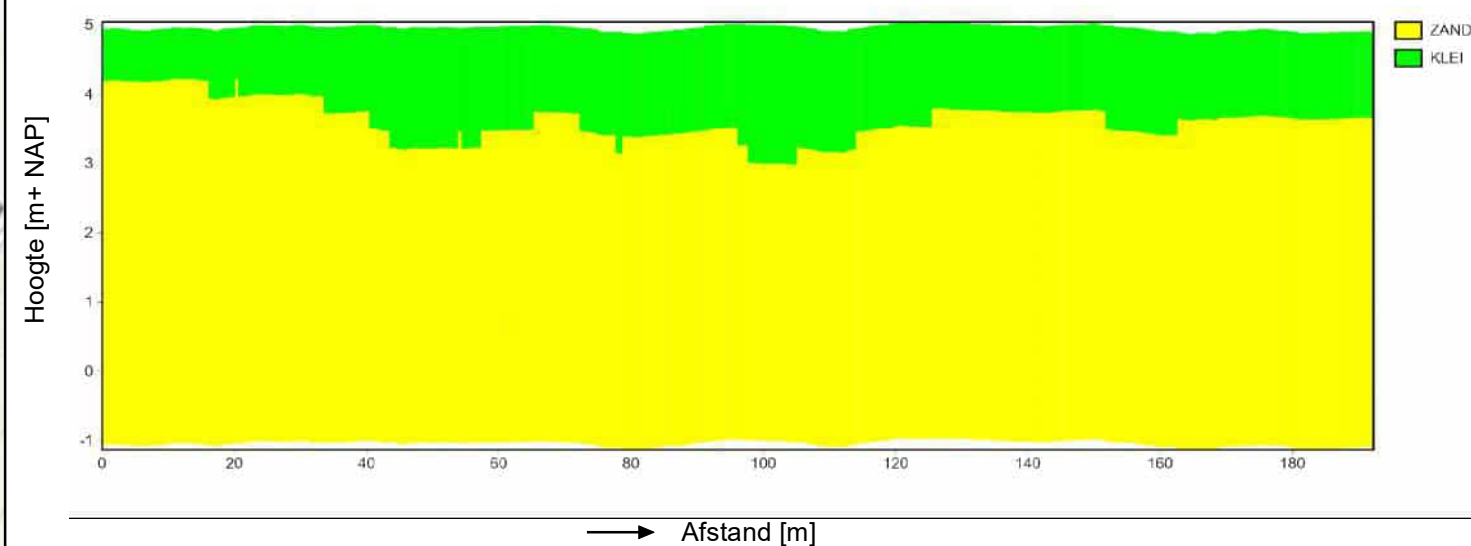
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-2-4



X:154621.65
Y:425597.68

X:154722.19
Y:425761.06

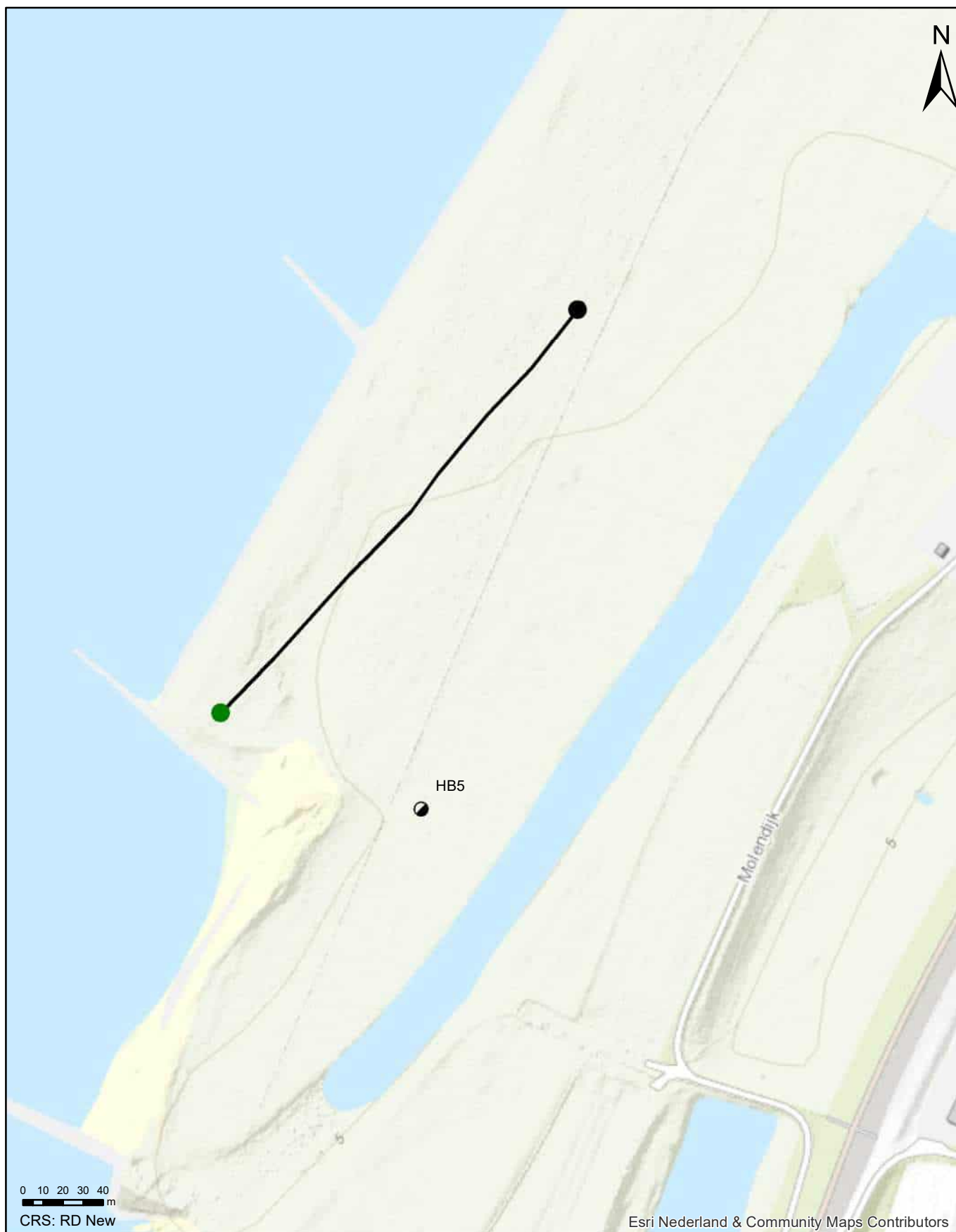
GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 2
Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-2-5

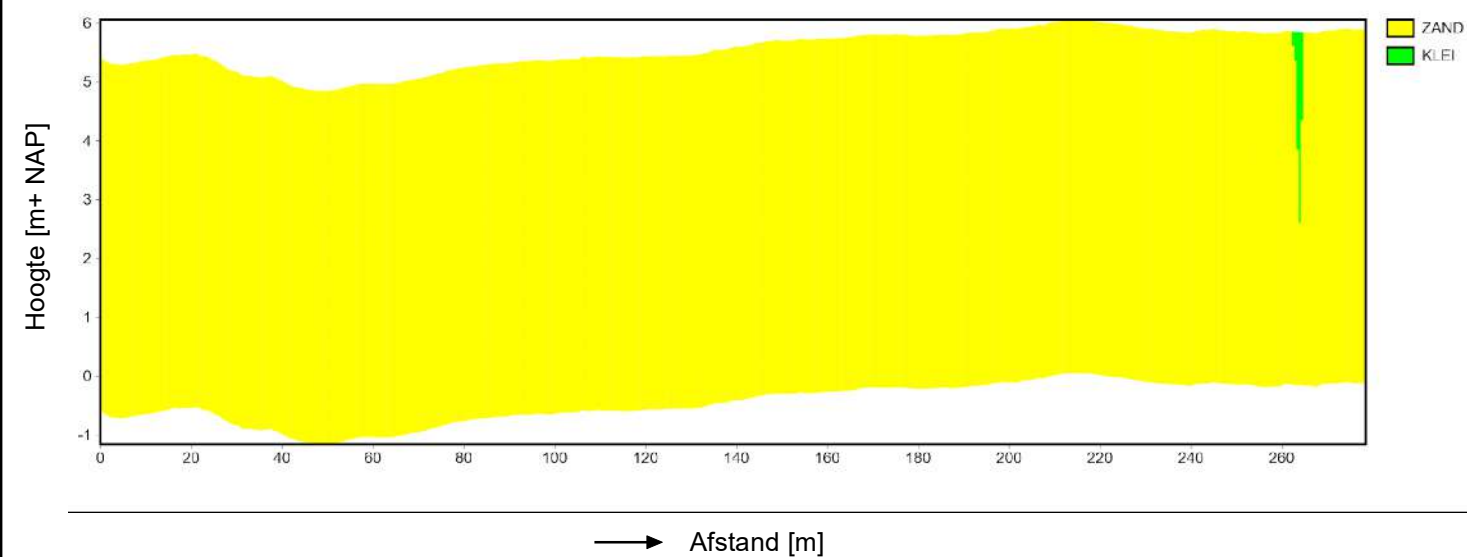


X:154571.17
Y:425733.18



X:154755.32
Y:425941.54

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

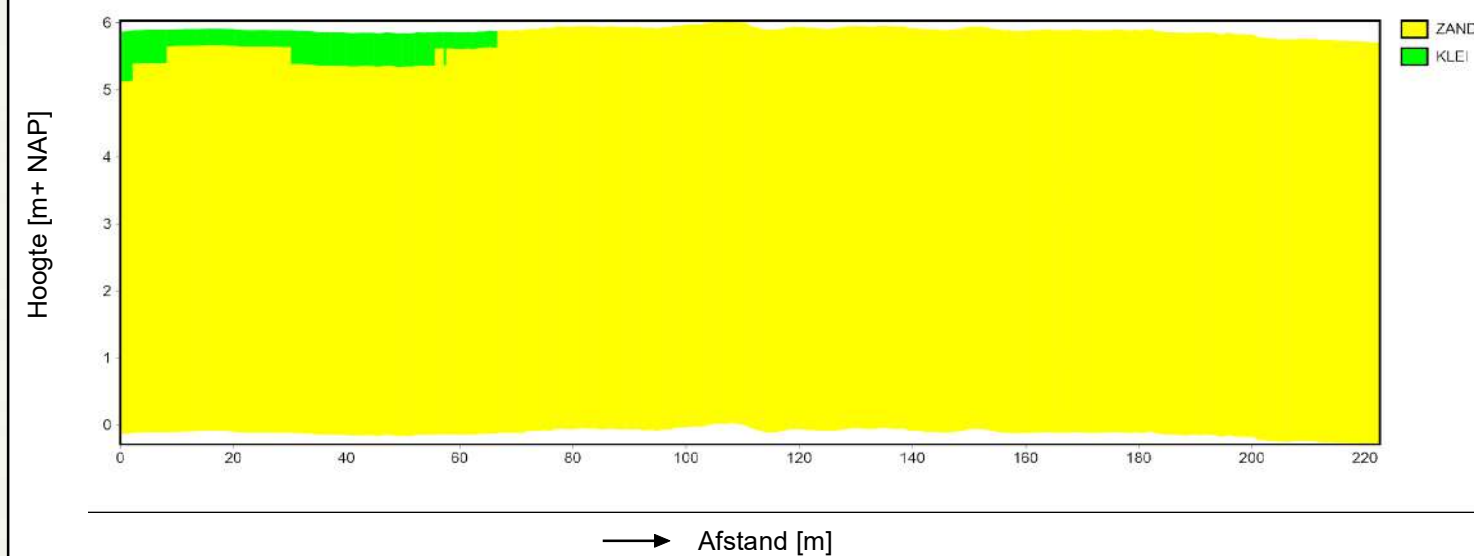
Bijlage : 5-2-6



X:154825.78
Y:426044.73

X:154953.58
Y:426226.50

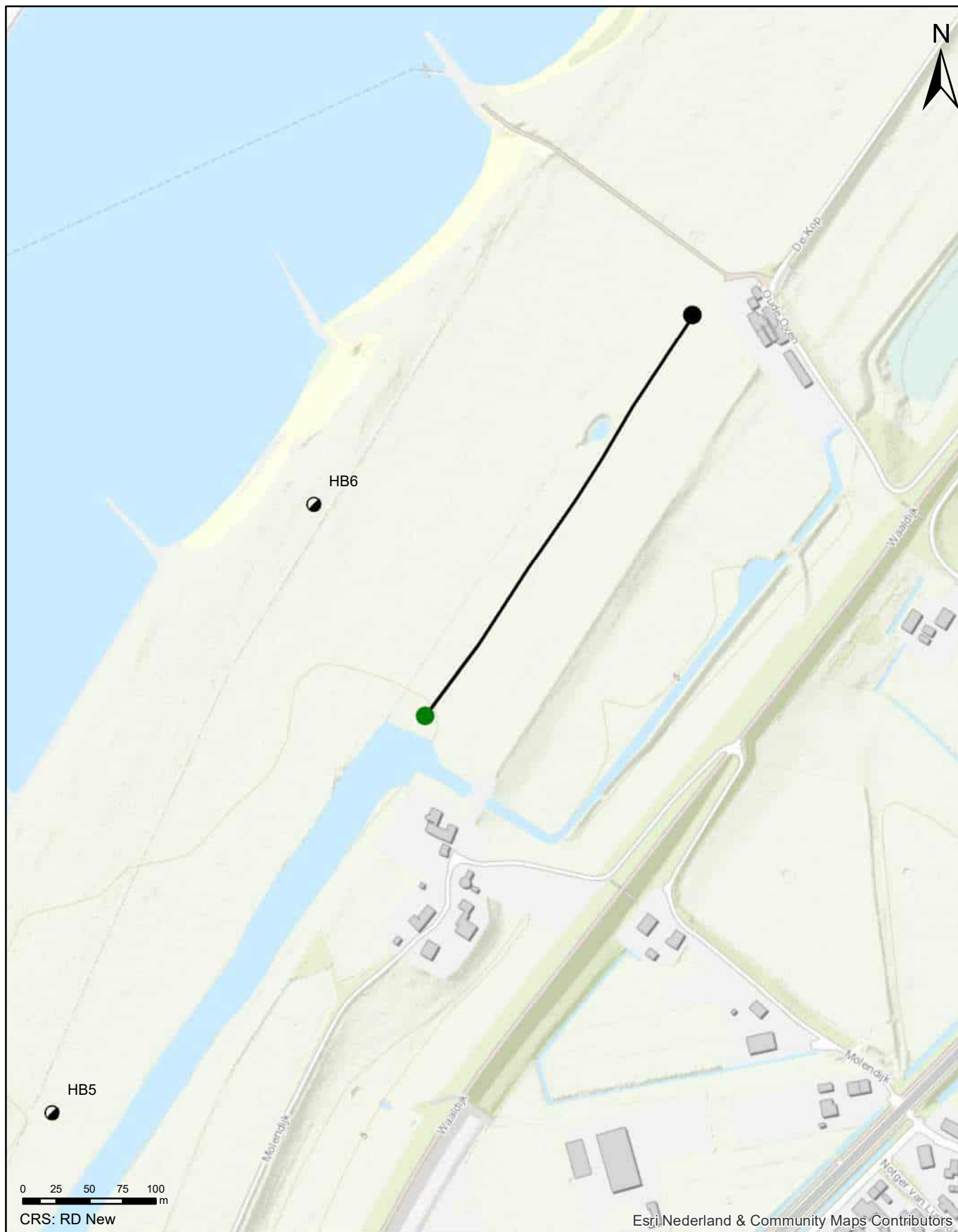
GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 2
Heerewaarden

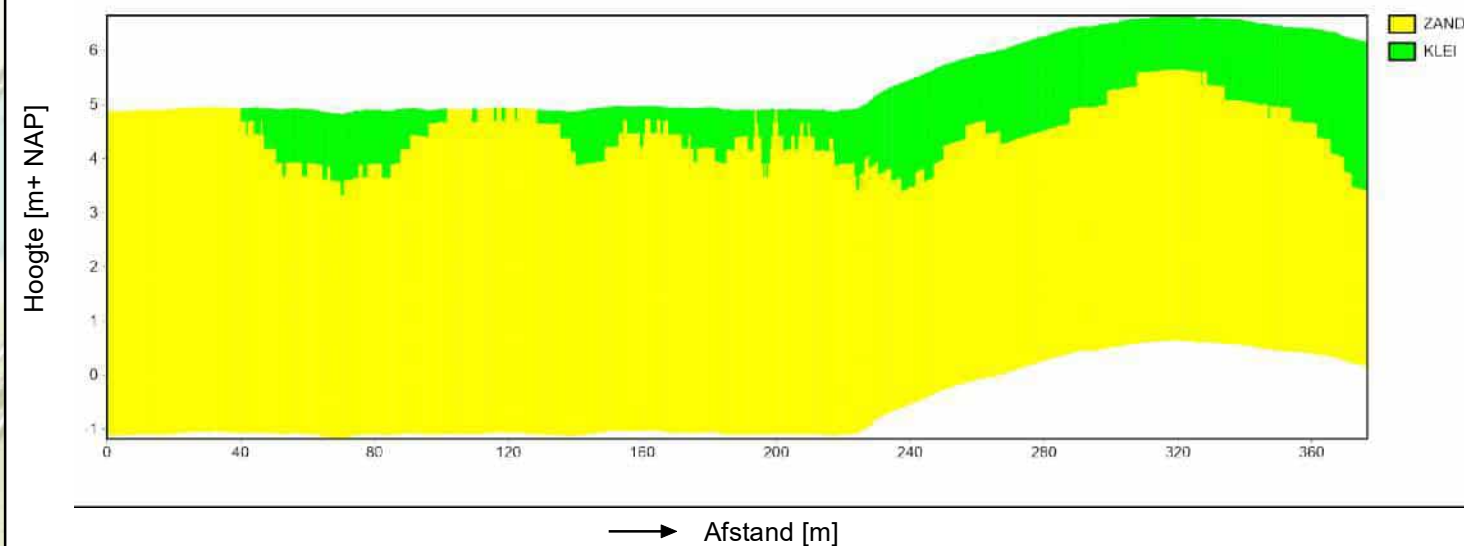
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-2-7



X:154950.55
Y:425981.45

X:155159.04
Y:426294.72

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



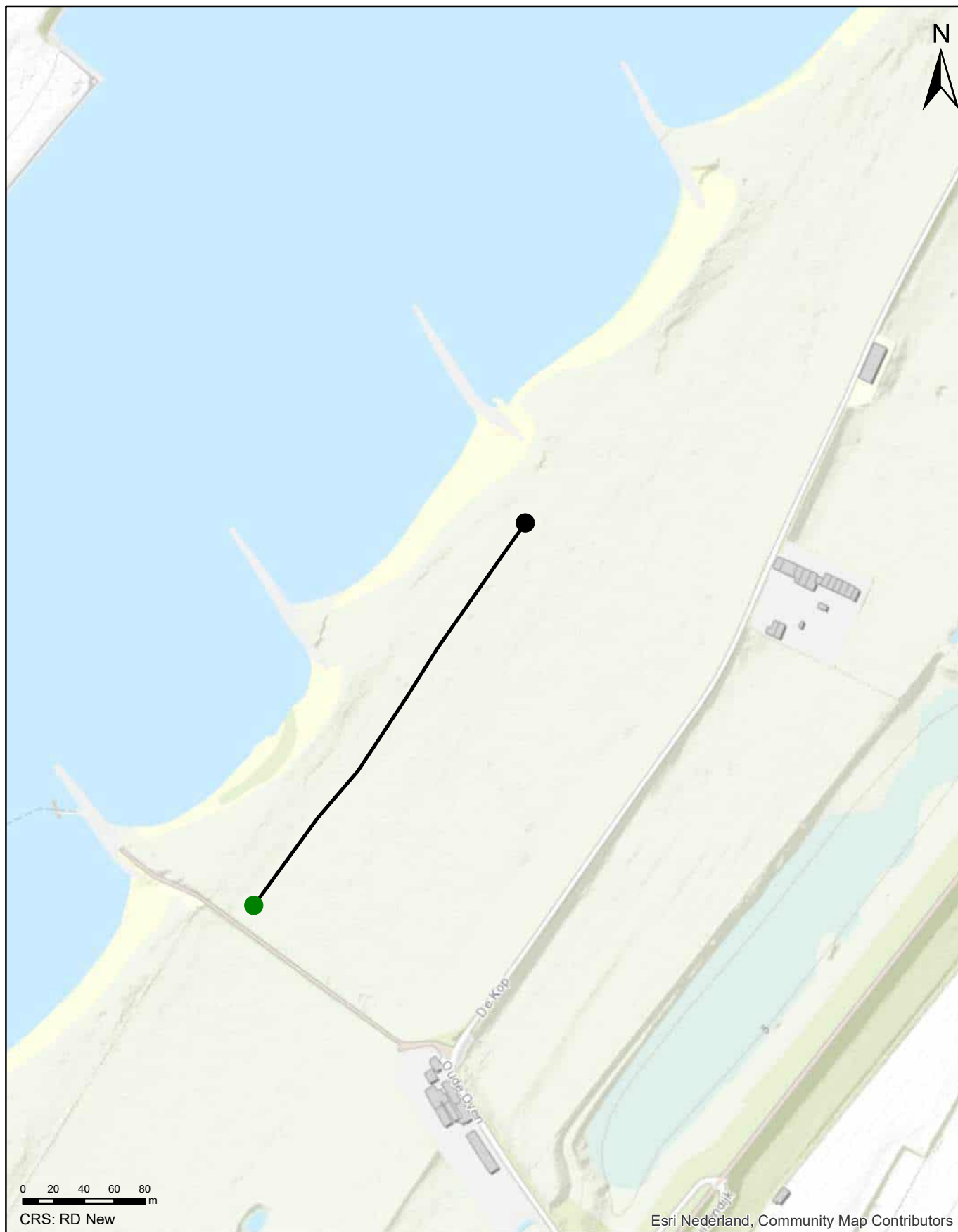
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 2

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

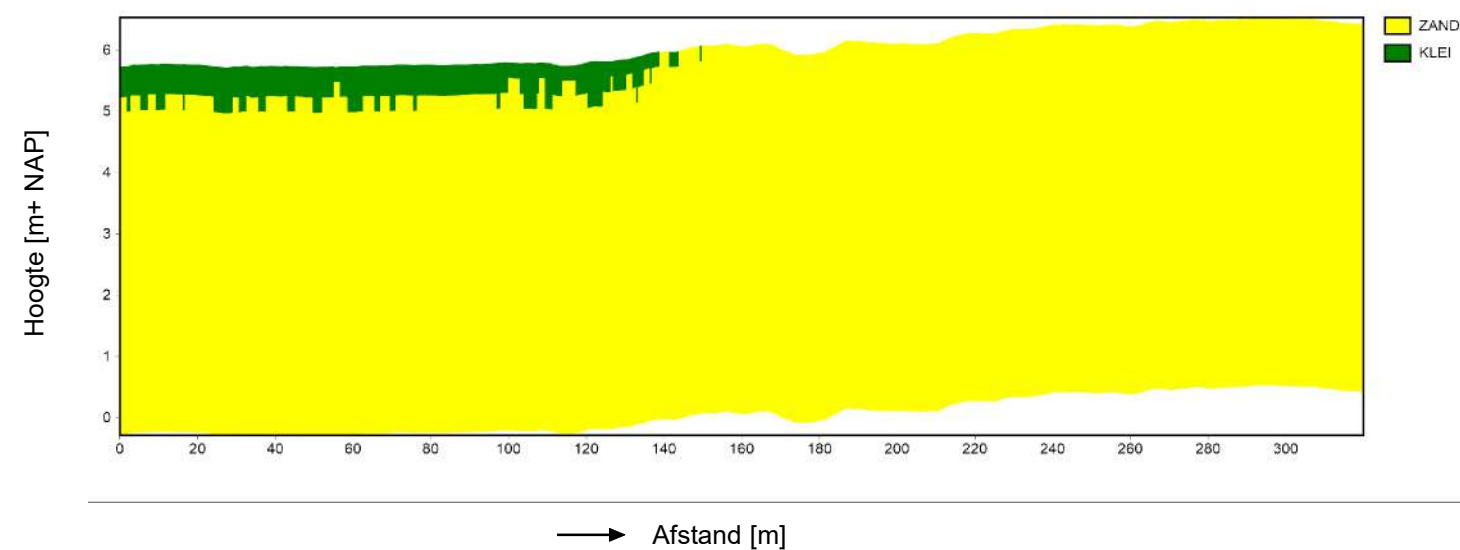
Bijlage : 5-2-8



X:155081.43
Y:426404.71

X:155266.63
Y:426665.22

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



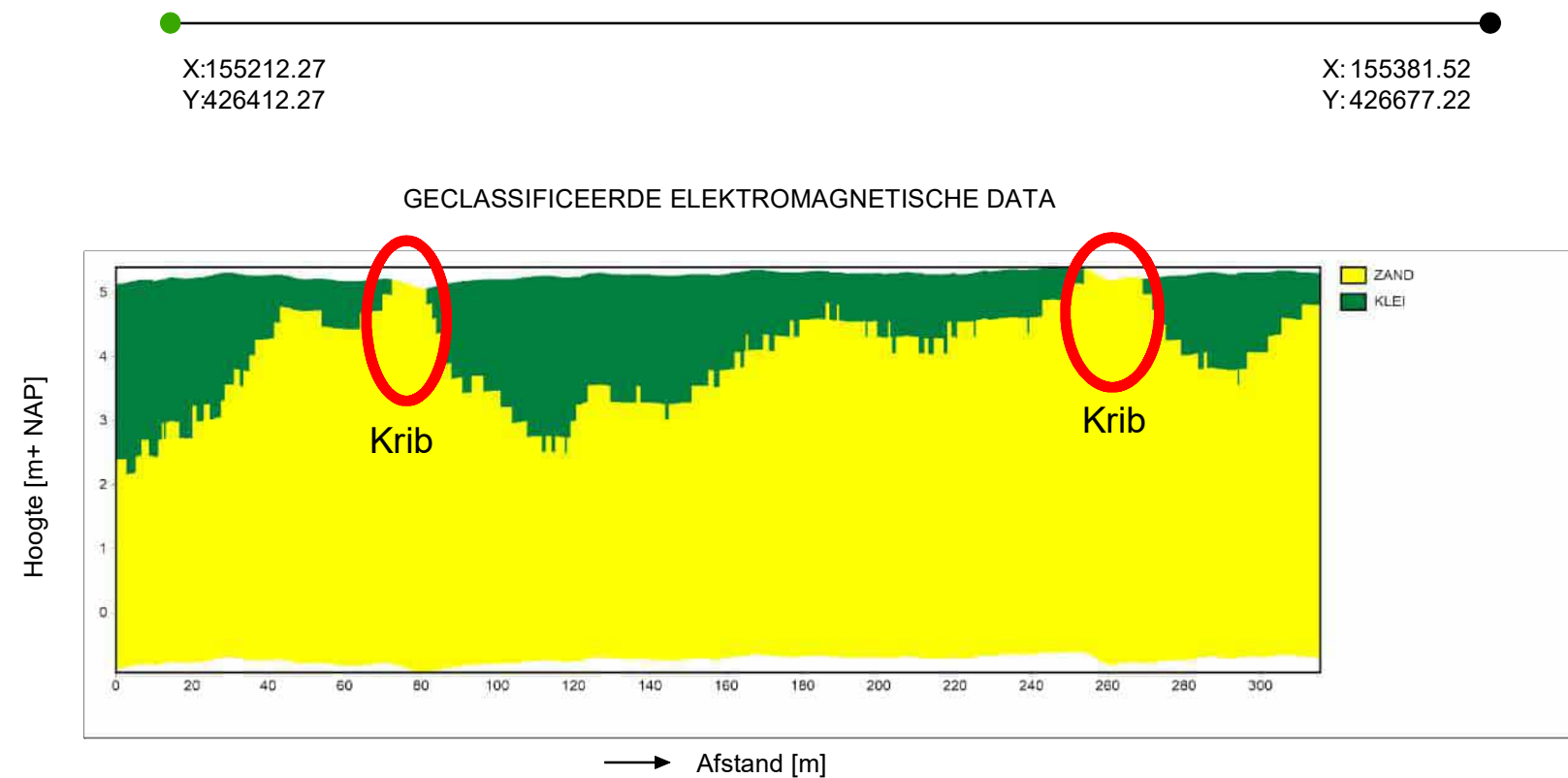
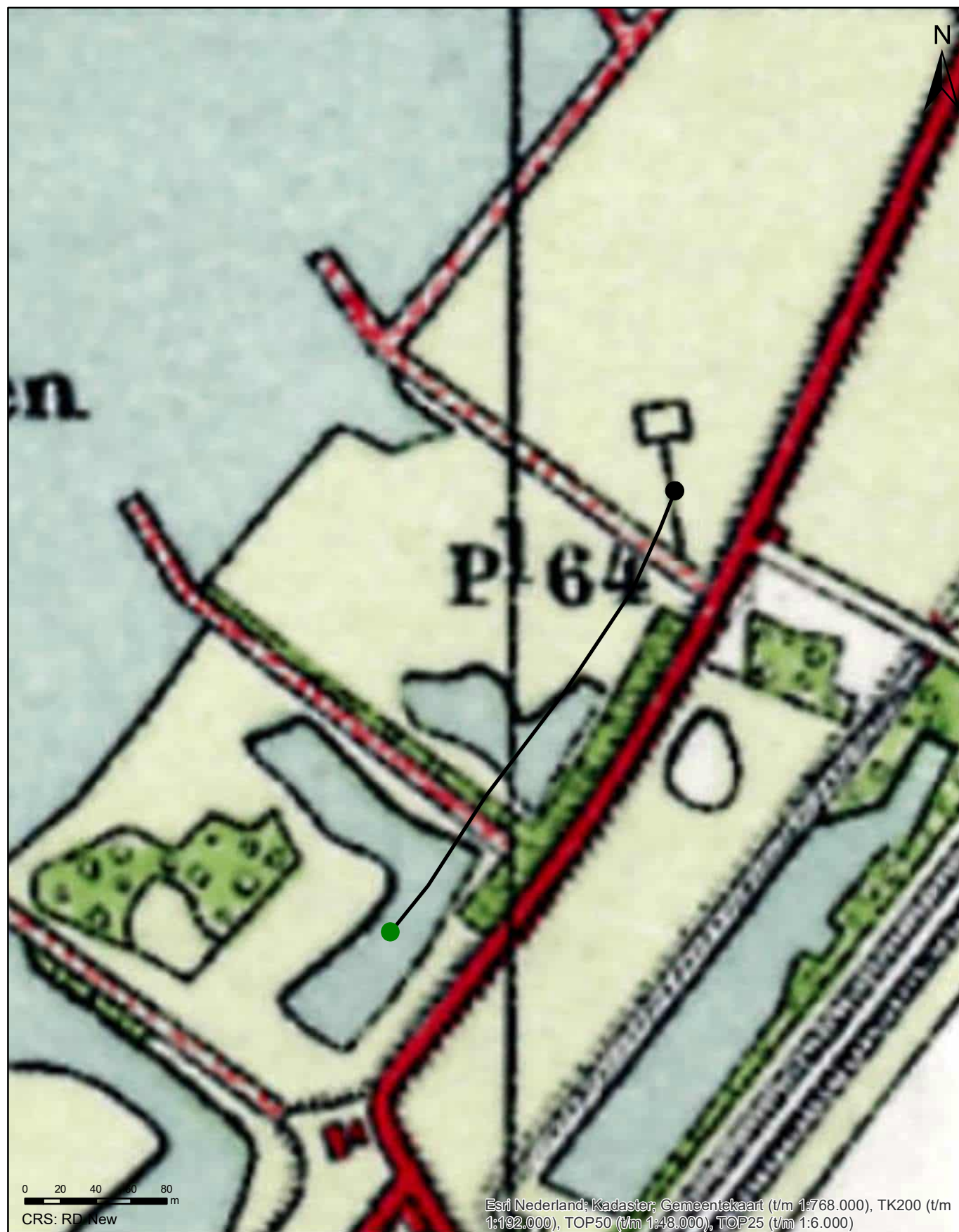
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van de geclassificeerde EM data gebied 2 (fase 2)

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 5-2-1 (fase 2)



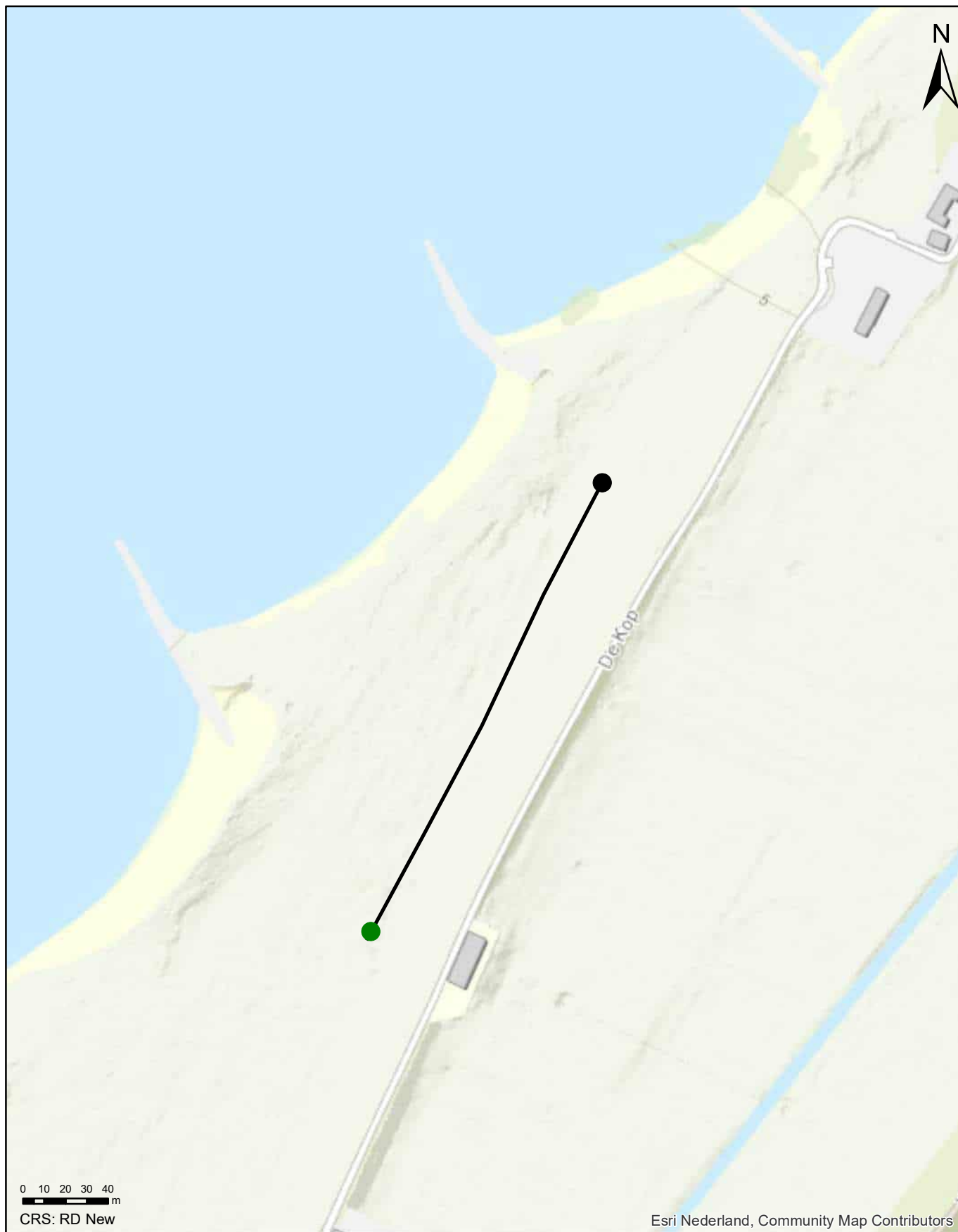
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofiel van de geclassificeerde EM data gebied 2 (fase 2)

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

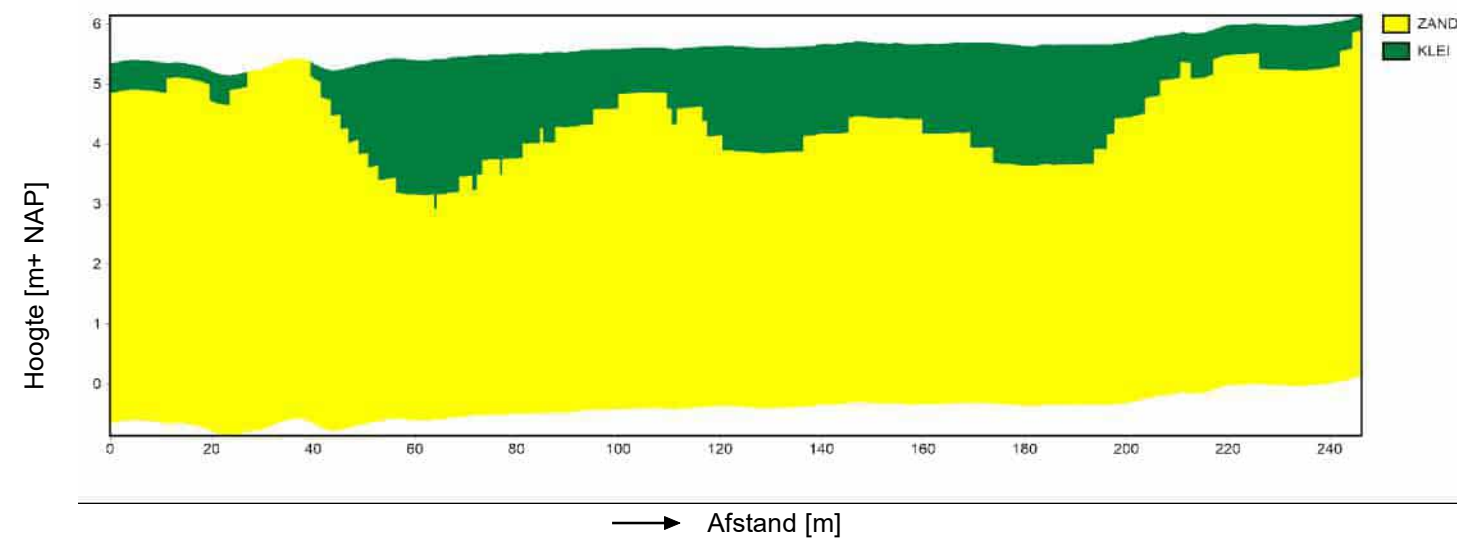
Bijlage : 5-2-2



X:155443.51
Y:426774.30

X:155556.34
Y:426993.10

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA

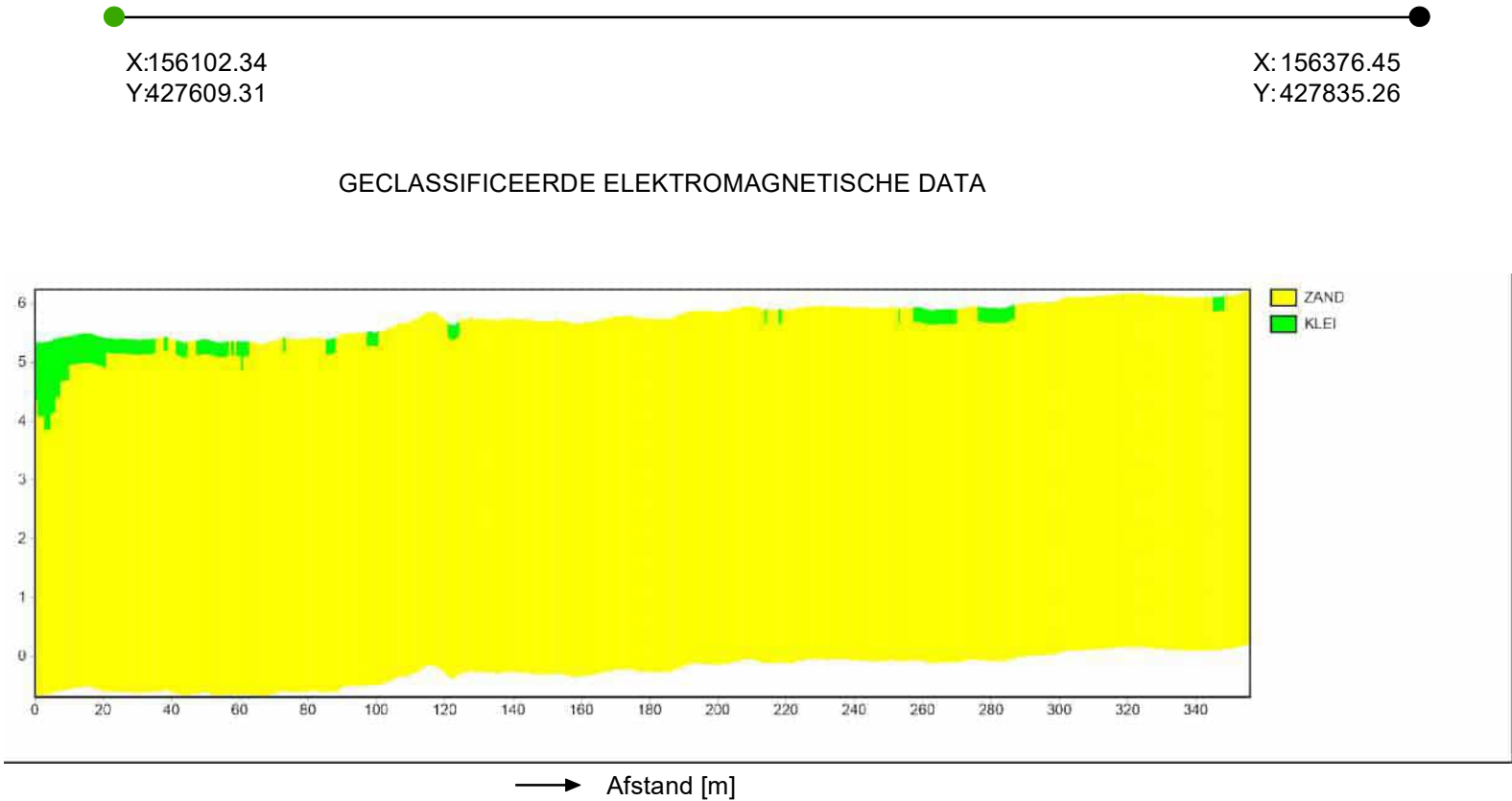


Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofiel van de geclassificeerde EM data gebied 2 (fase 2)

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-2-3

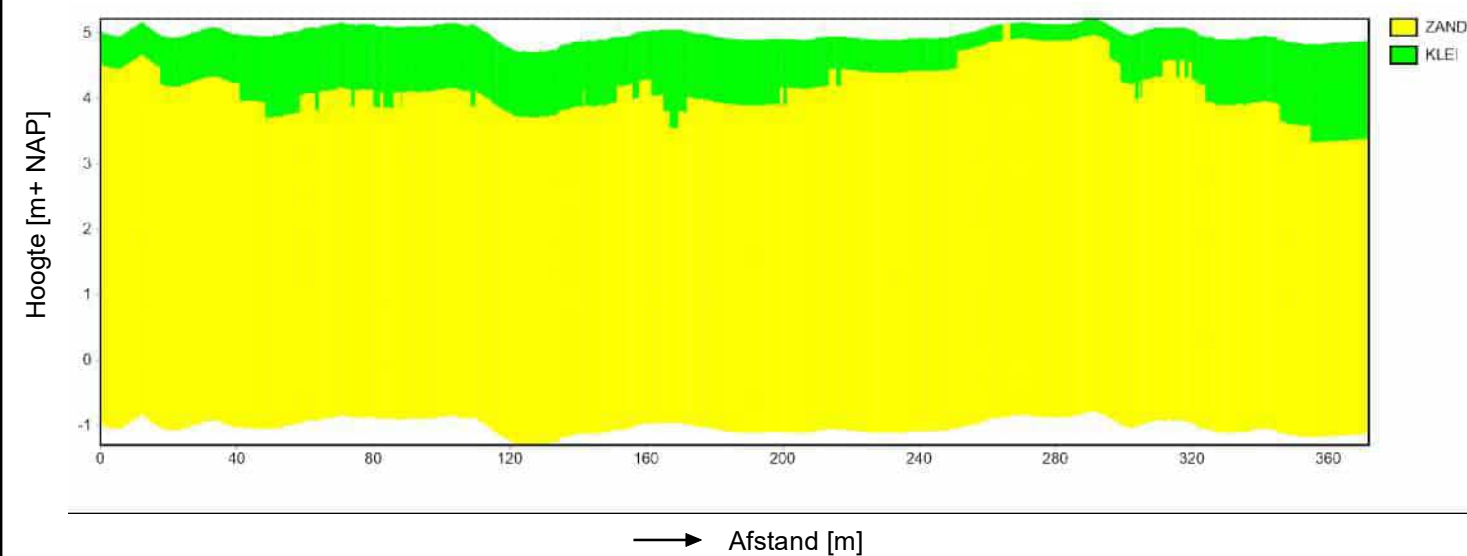




X:156203.41
Y:427469.61

X:156494.98
Y:427699.27

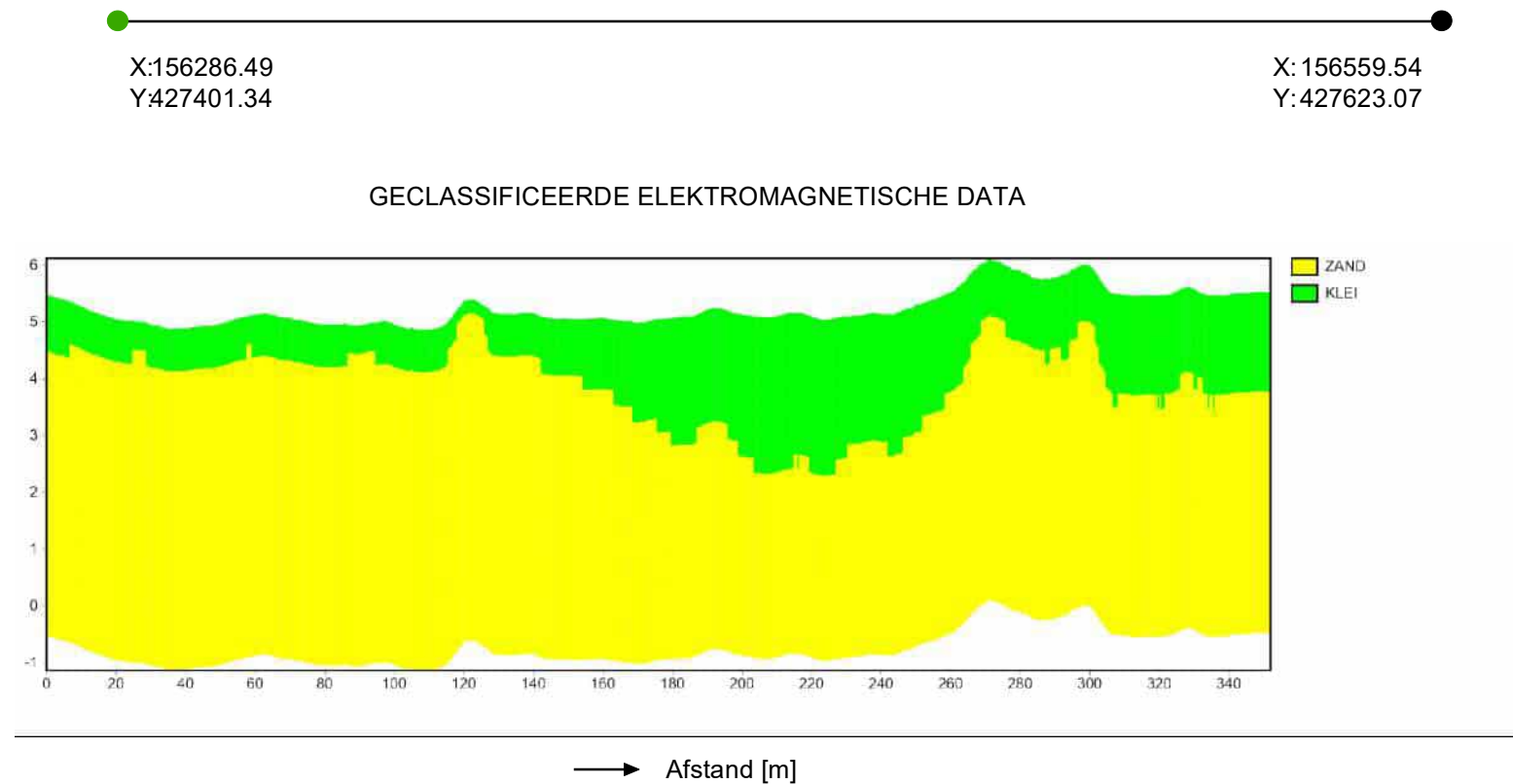
GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 3
Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-3-2



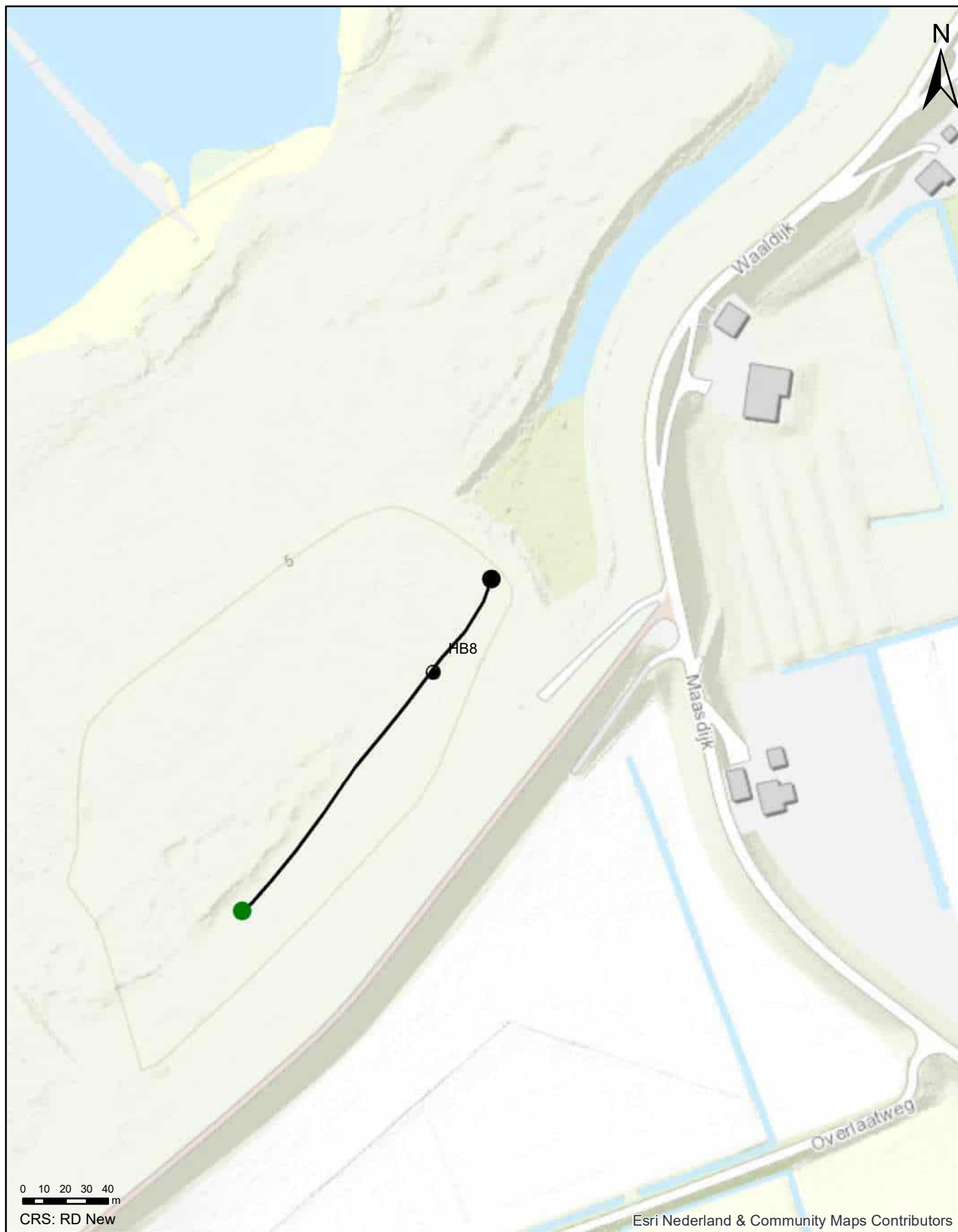
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 3

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

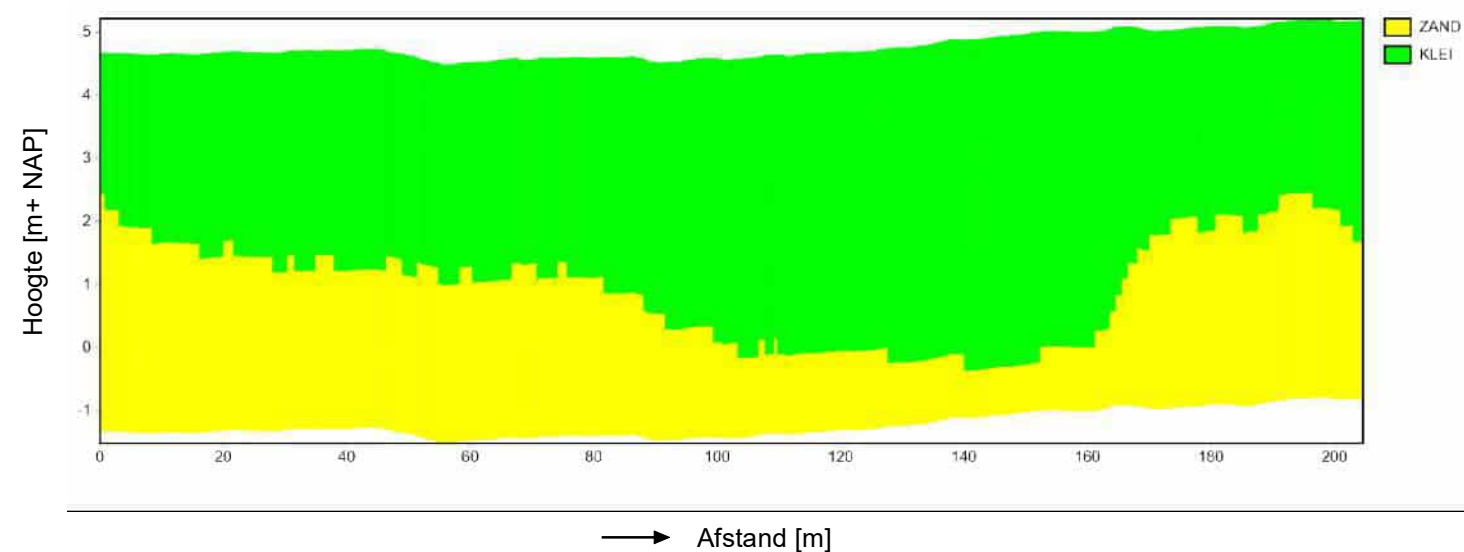
Bijlage : 5-3-3



X:156559.54
Y:427656.40

X:156681.25
Y:427819.39

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data
Dreumel

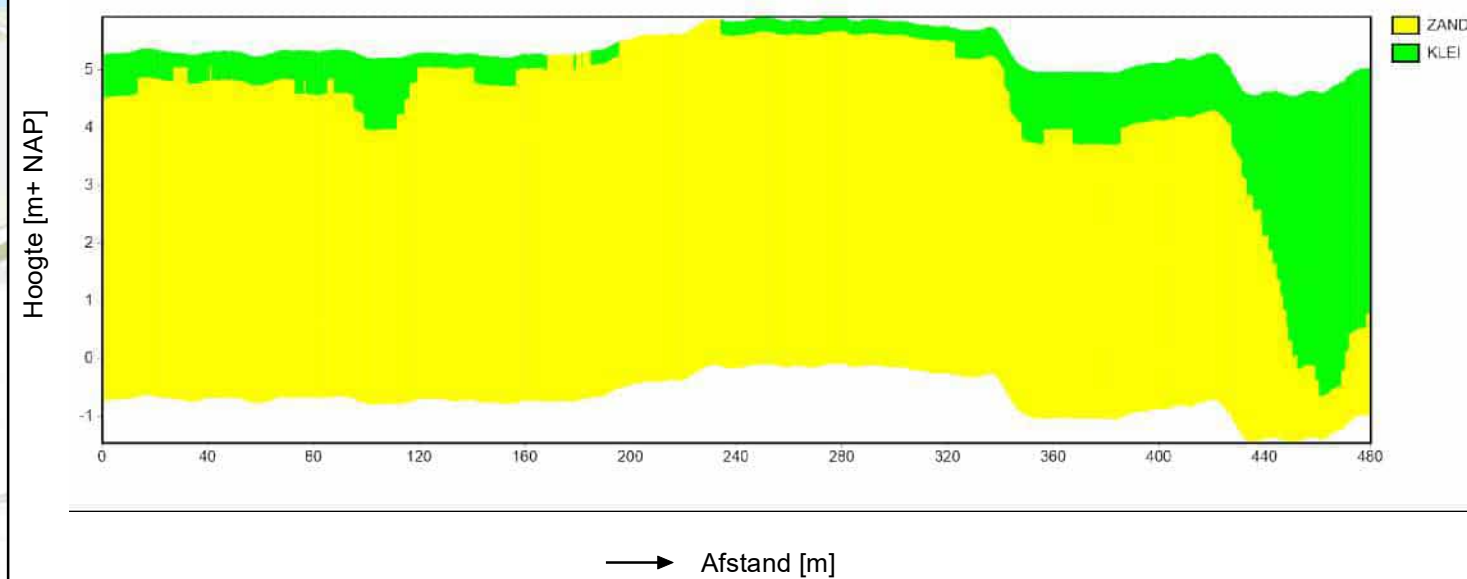
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-3-4



X:156493.39
Y:427758.43

X:156744.22
Y:428161.65

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



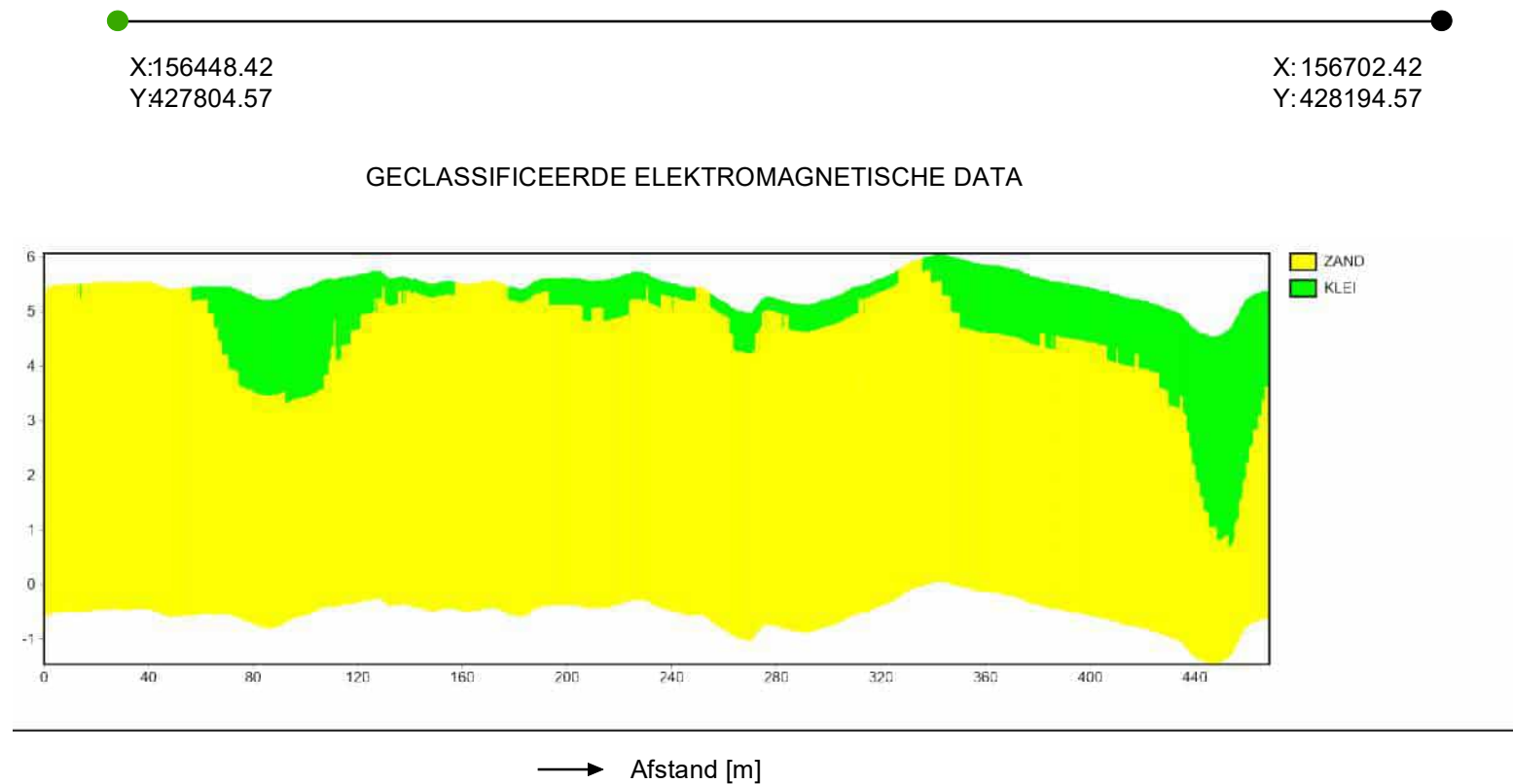
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 3

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 5-3-5



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 3

Dreumel

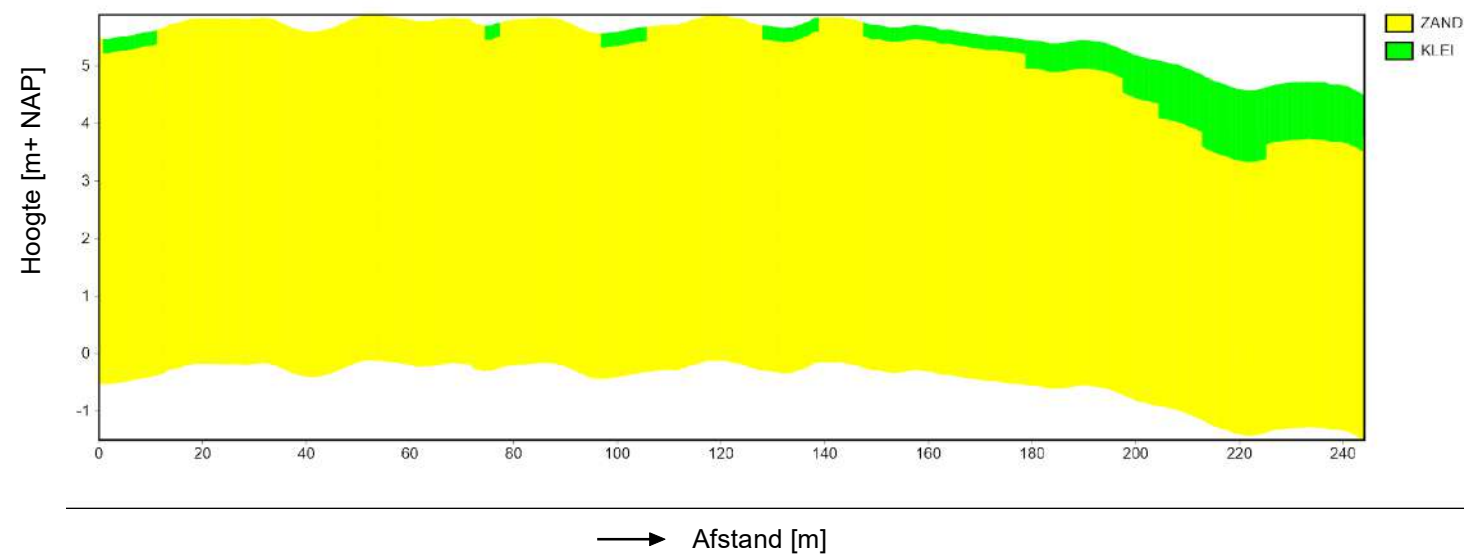
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-3-6



X:156645.80
Y:427877.60

X:156782.85
Y:428078.68

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 3

Dreumel

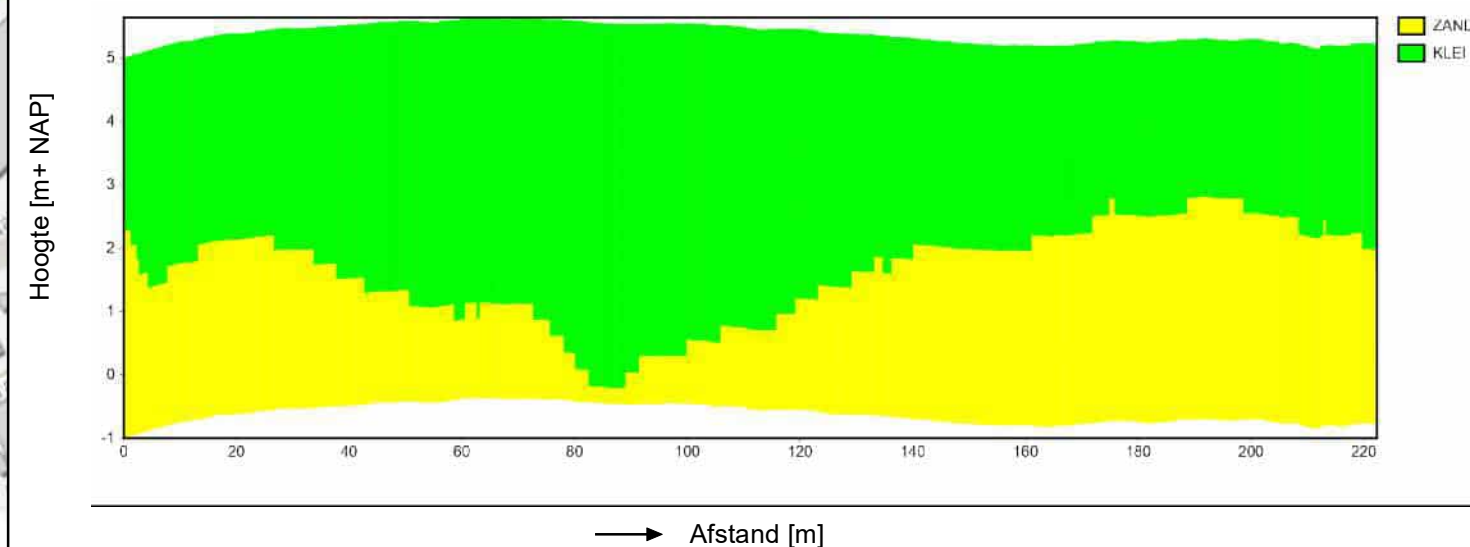
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-3-7



X:156882.86
Y:428114.13

X:157047.96
Y:428261.77

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA

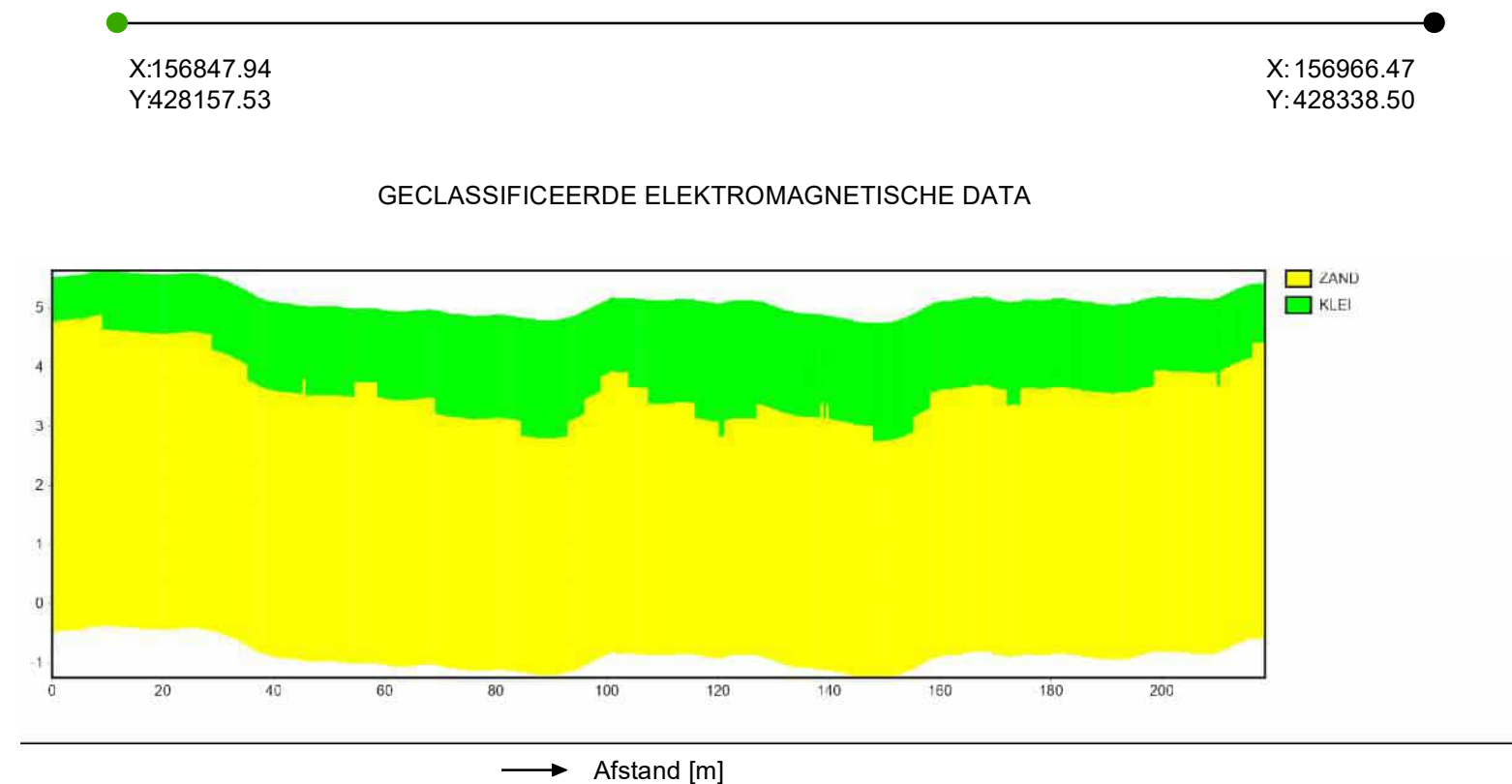
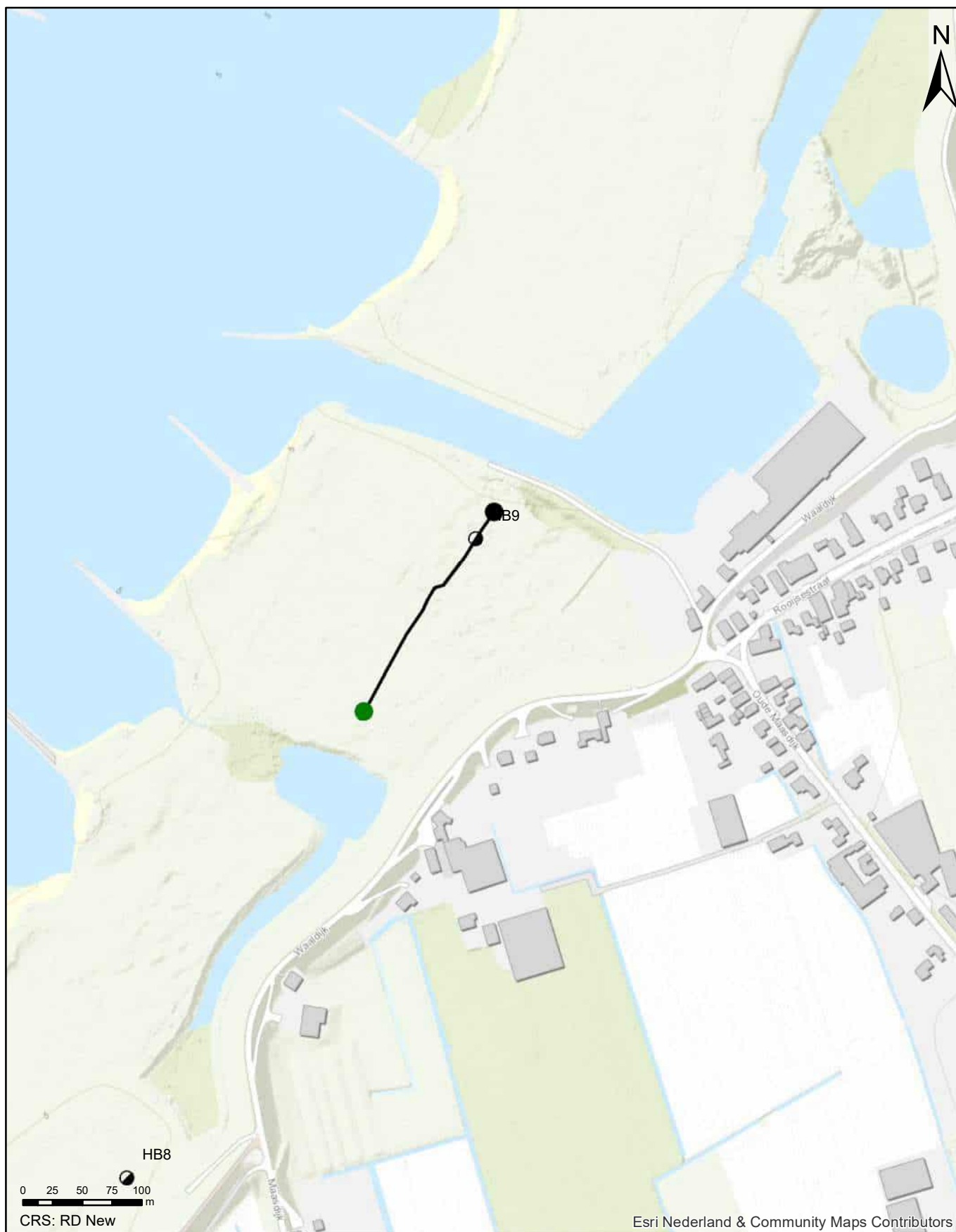


Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 3

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-3-8



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 3

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

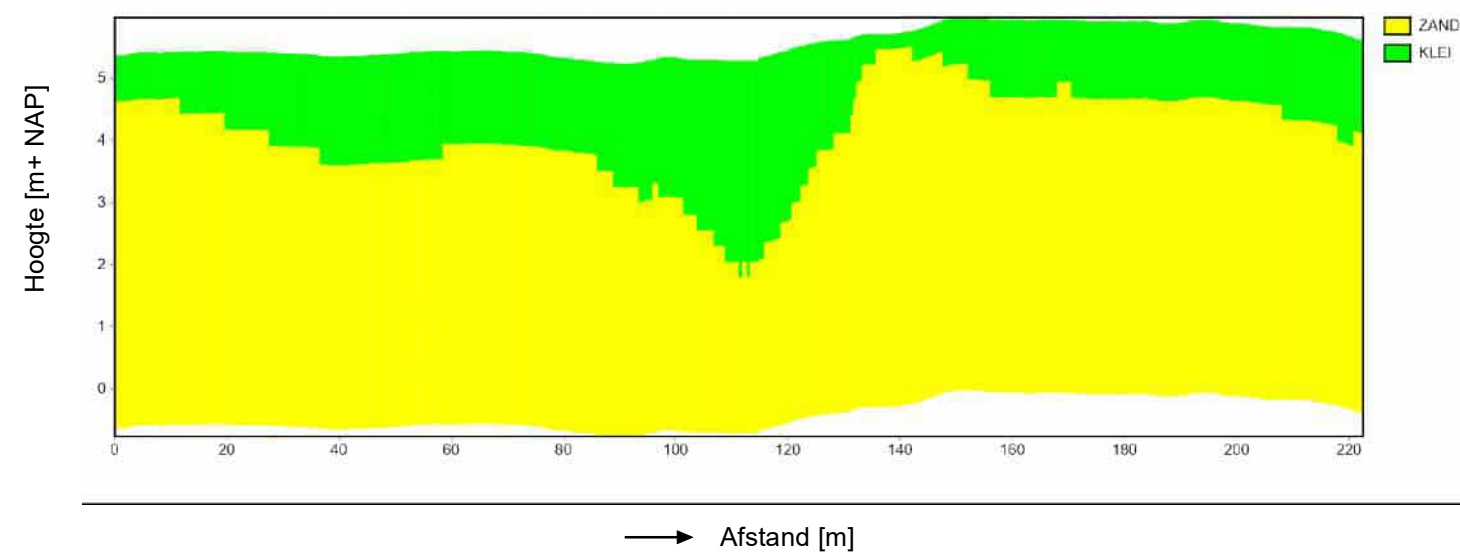
Bijlage : 5-3-9



X:156724.64
Y:428214.68

X:156837.35
Y:428404.65

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 3

Dreumel

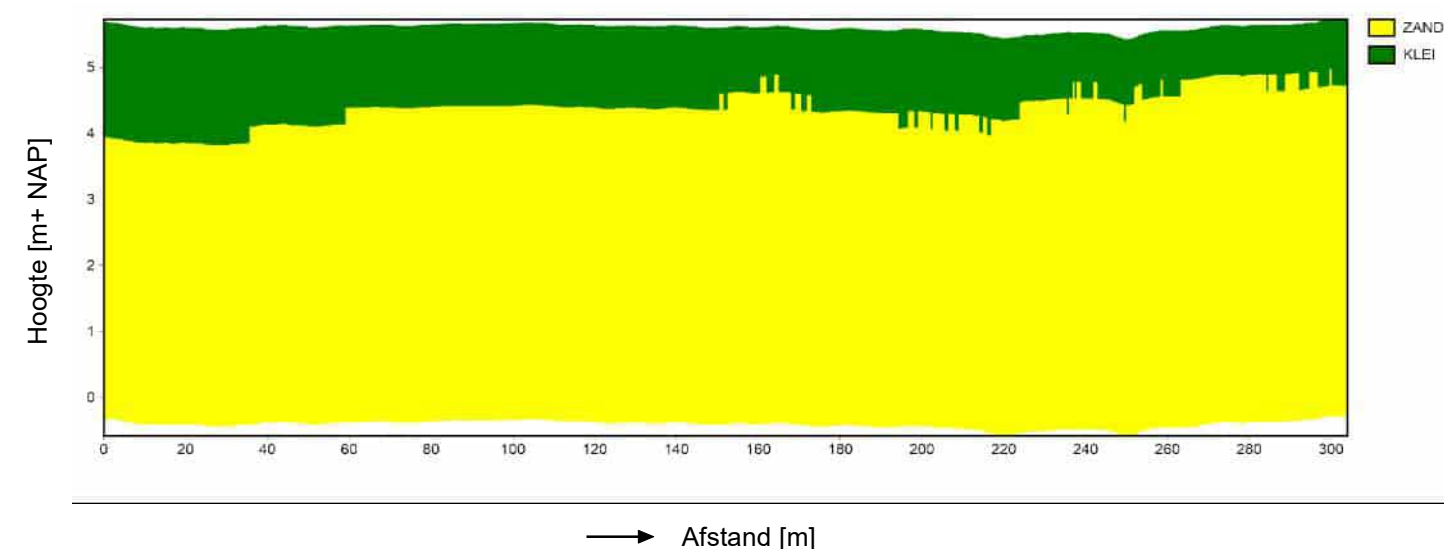
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-3-10



X:156905.40
Y:428469.62

X:157068.12
Y:428718.85

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofiel van de geclassificeerde EM data gebied 4

Dreumel

Opdr.nr.: 12147-0015-151

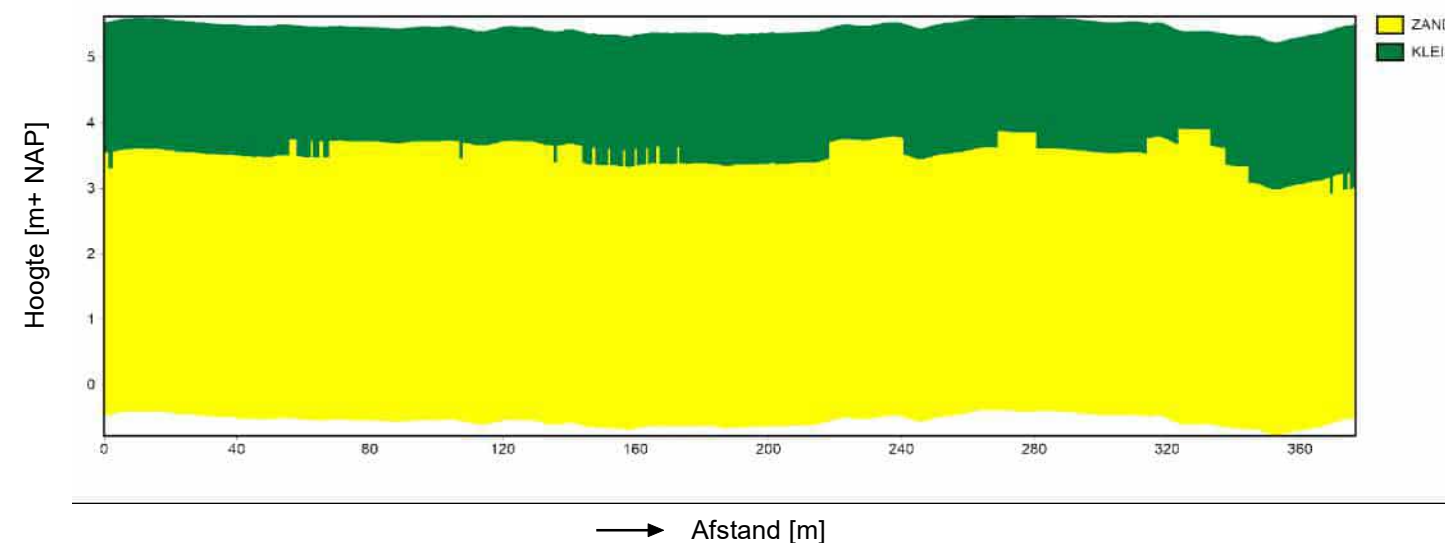
Bijlage : 5-4-1



X:156989.53
Y:428443.42

X:157173.68
Y:428764.10

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofiel van de geclassificeerde EM data gebied 4

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 5-4-2

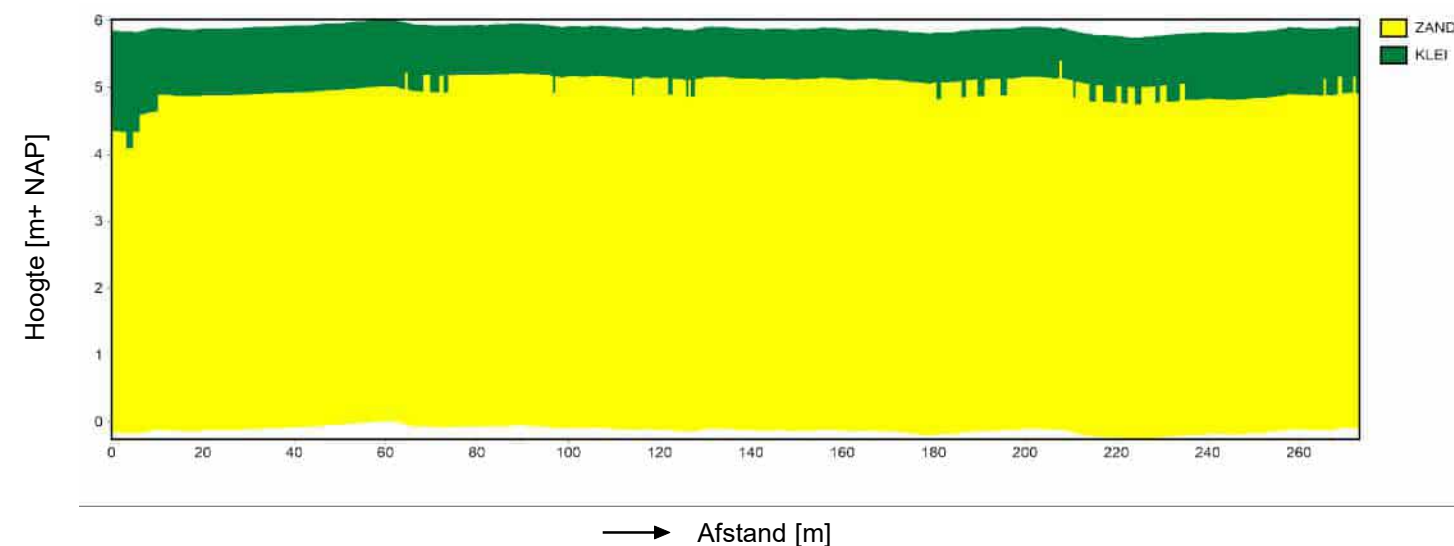


X:157088.75
Y:428822.04



X:157150.67
Y:429086.36

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



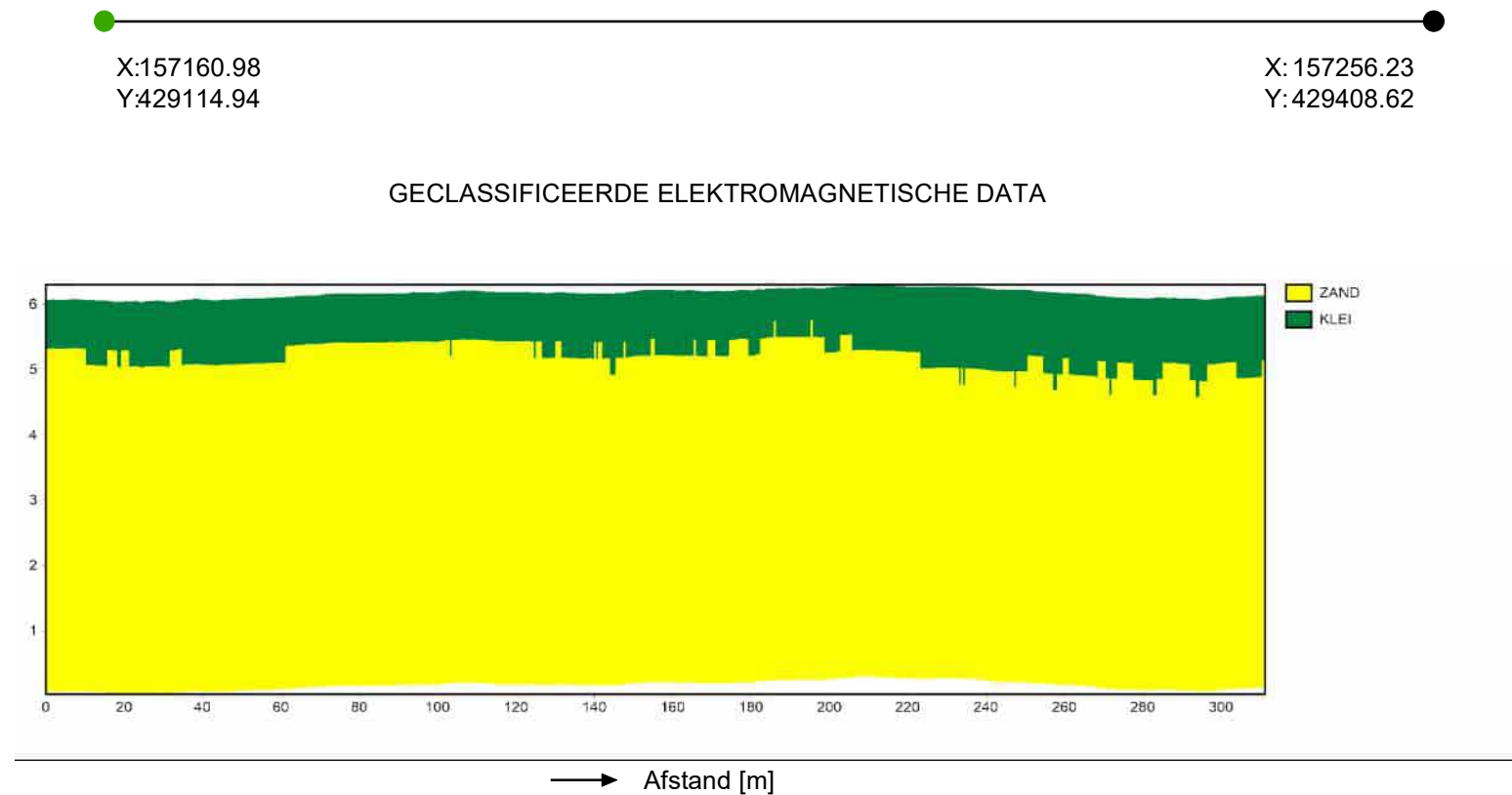
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofiel van de geclassificeerde EM data gebied 4

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 5-4-3

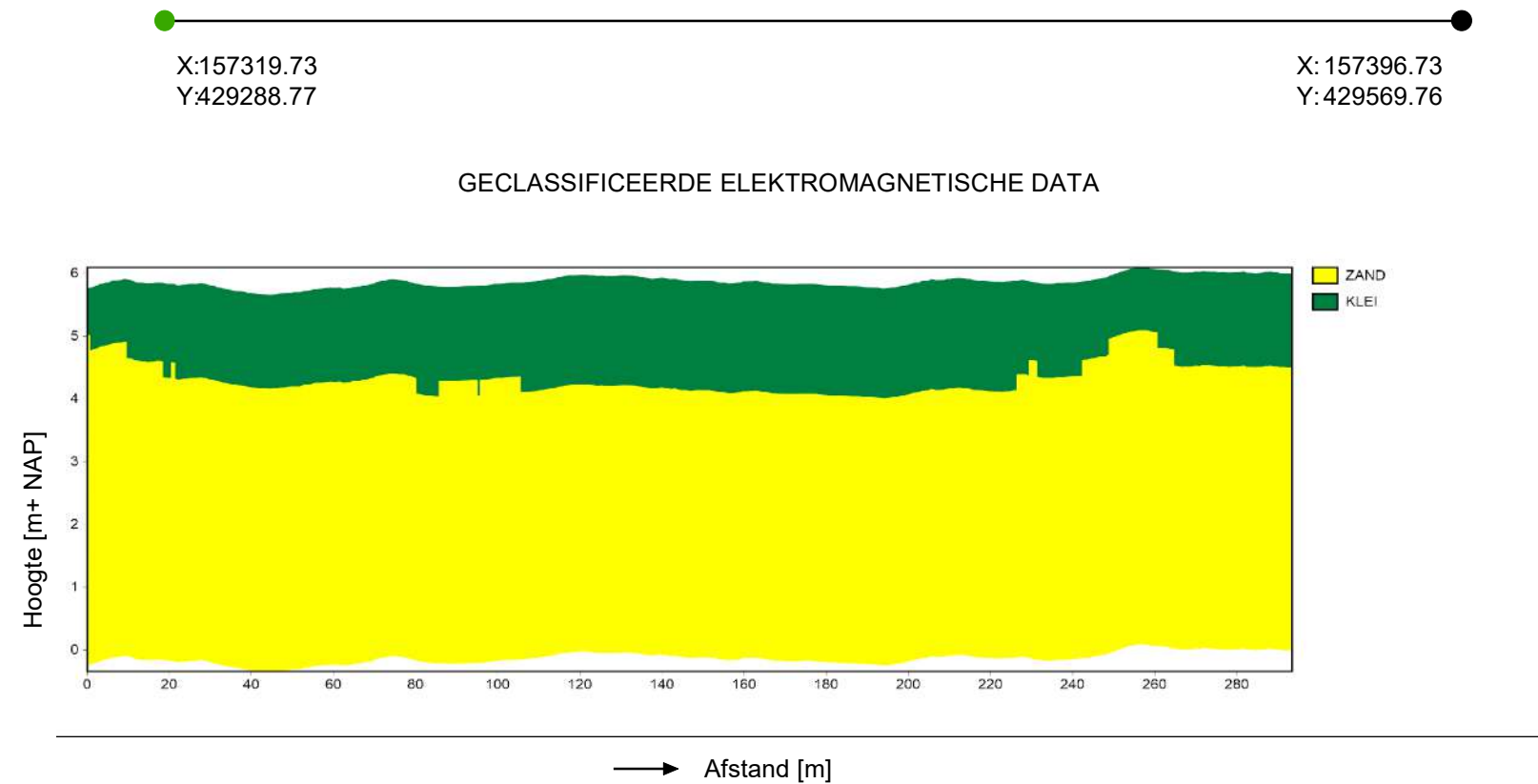


Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofiel van de geclassificeerde EM data gebied 4

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-4-4



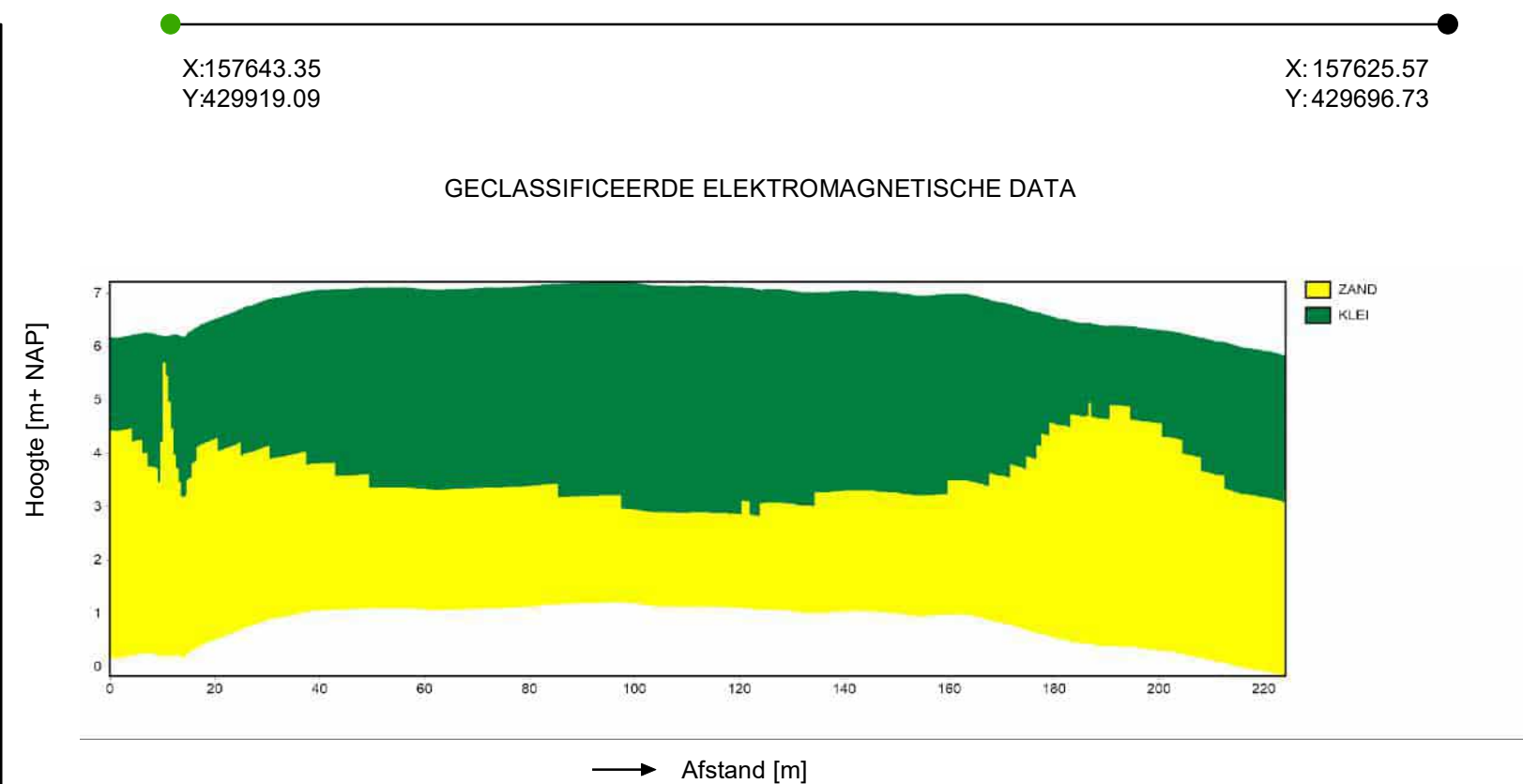
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofiel van de geclassificeerde EM data gebied 4

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 5-4-5



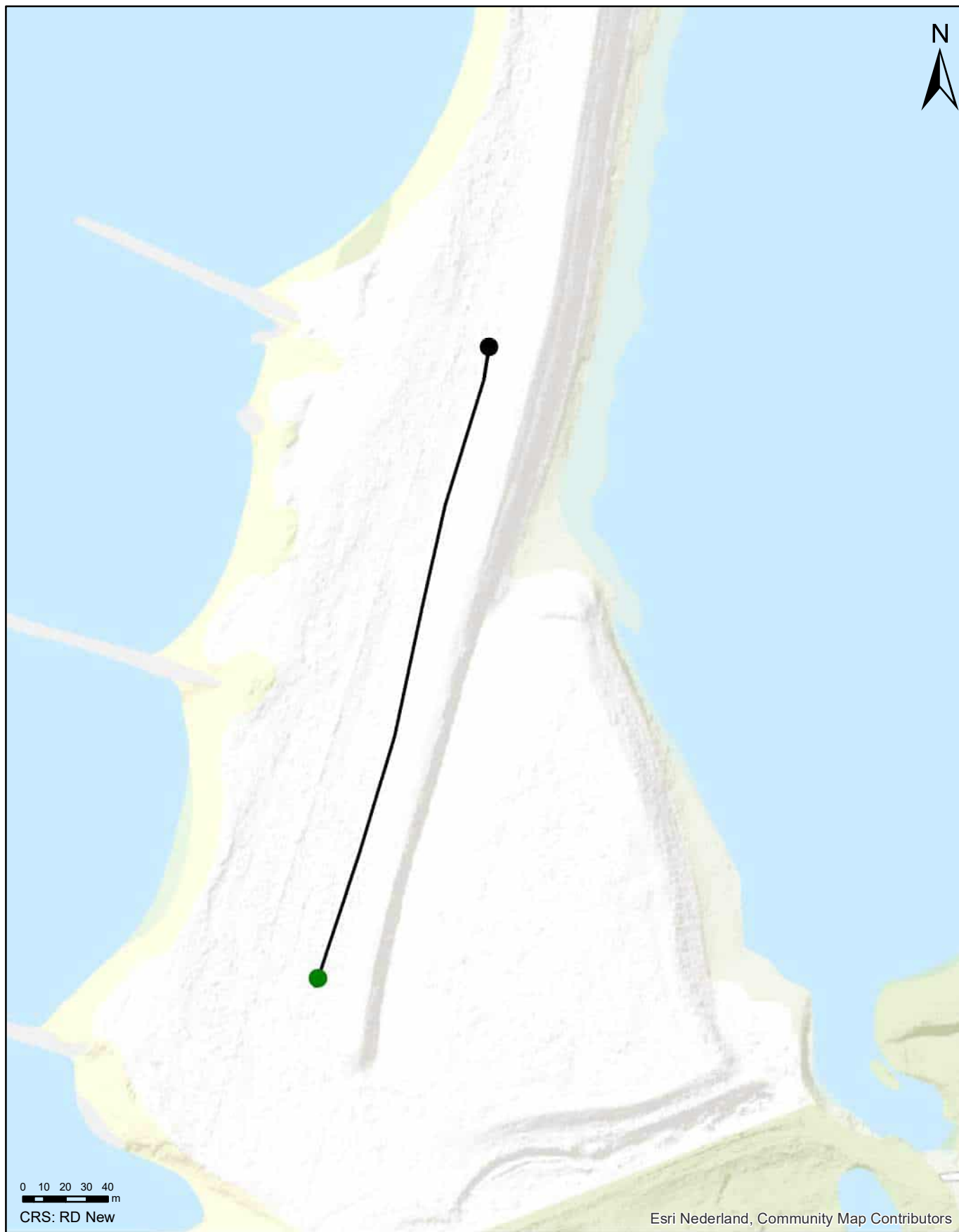
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofiel van de geclassificeerde EM data gebied 4

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

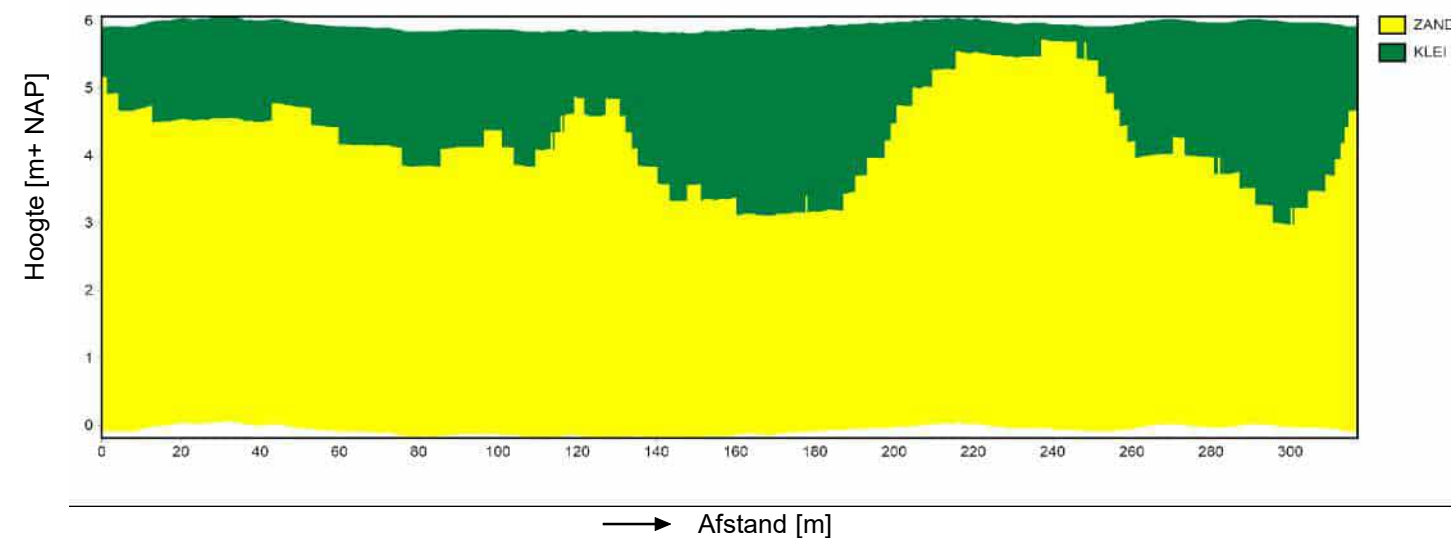
Bijlage : 5-4-6



X:157477.78
Y:430038.82

X:157560.33
Y:430344.41

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofiel van de geclassificeerde EM data gebied 4

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

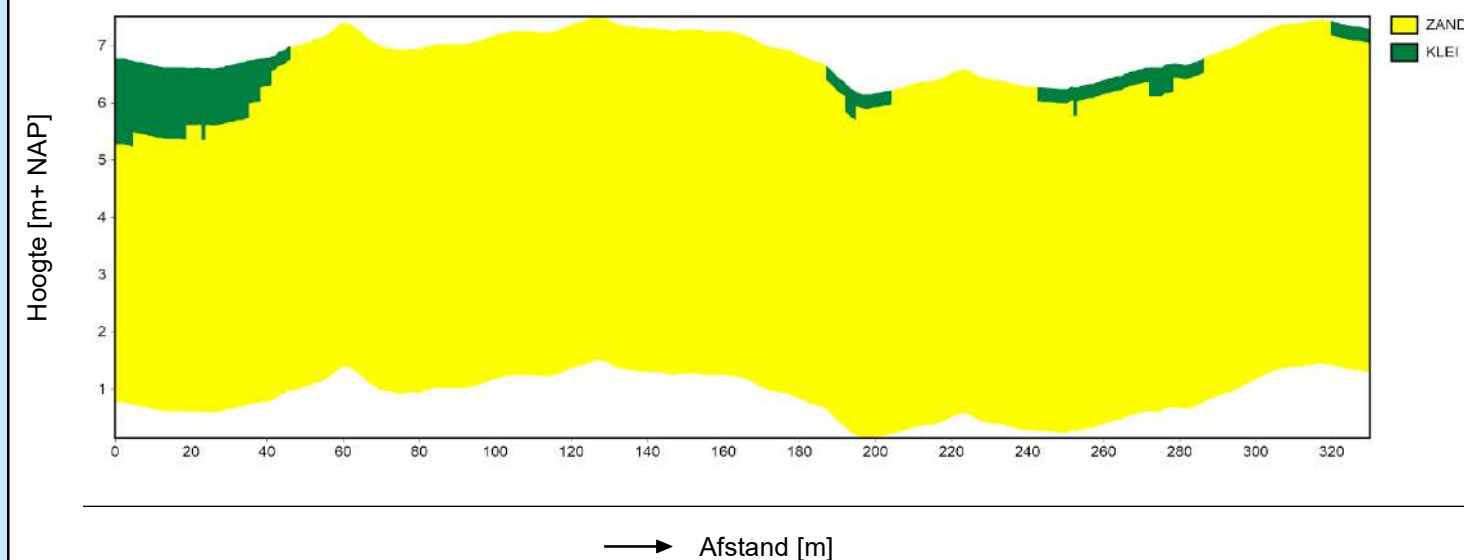
Bijlage : 5-4-7



X:157445.23
Y:430125.34

X:157550.01
Y:430427.76

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



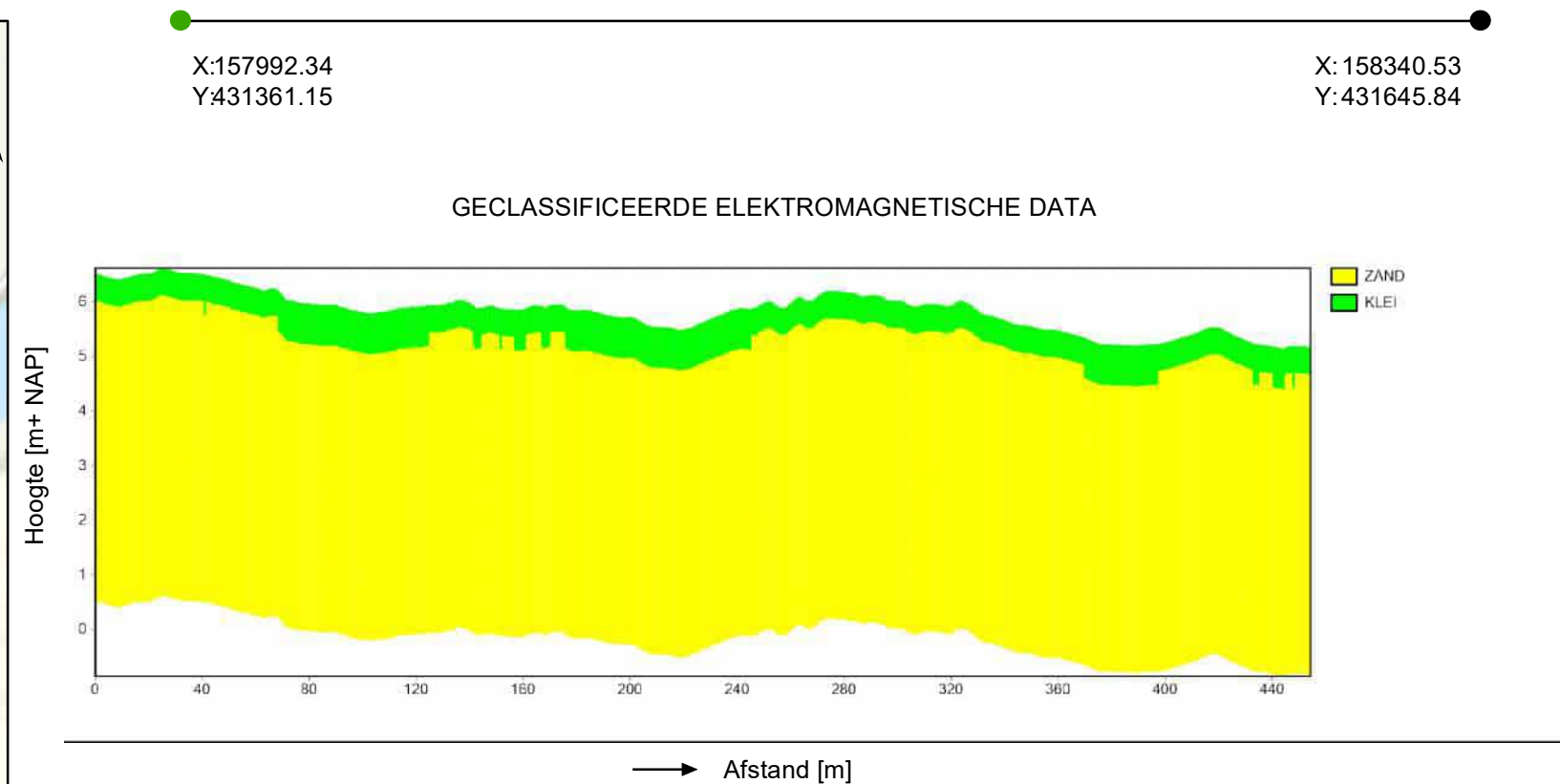
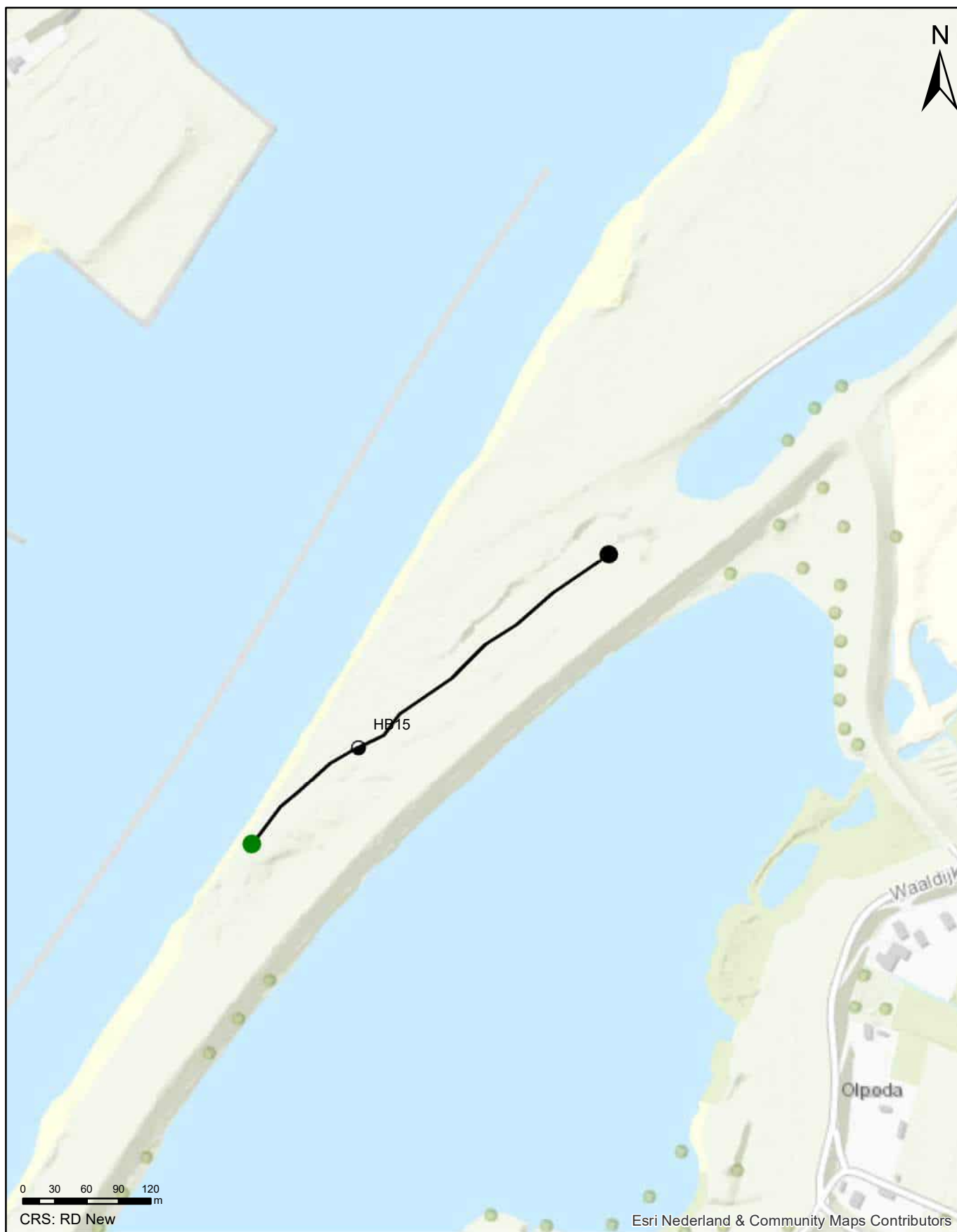
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van de geclassificeerde EM data gebied 4

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

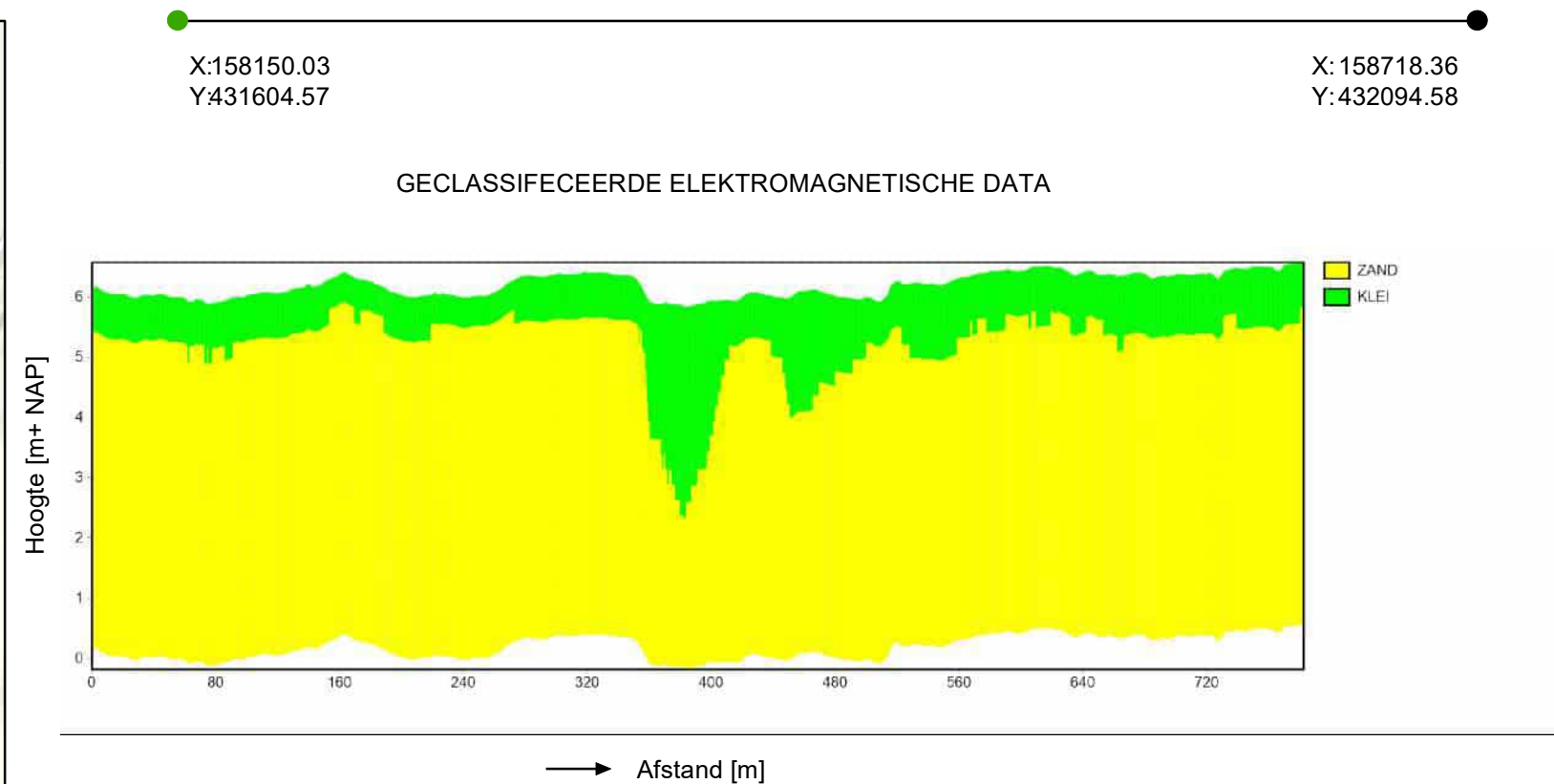
Bijlage : 4-5-8



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 5
Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-5-1



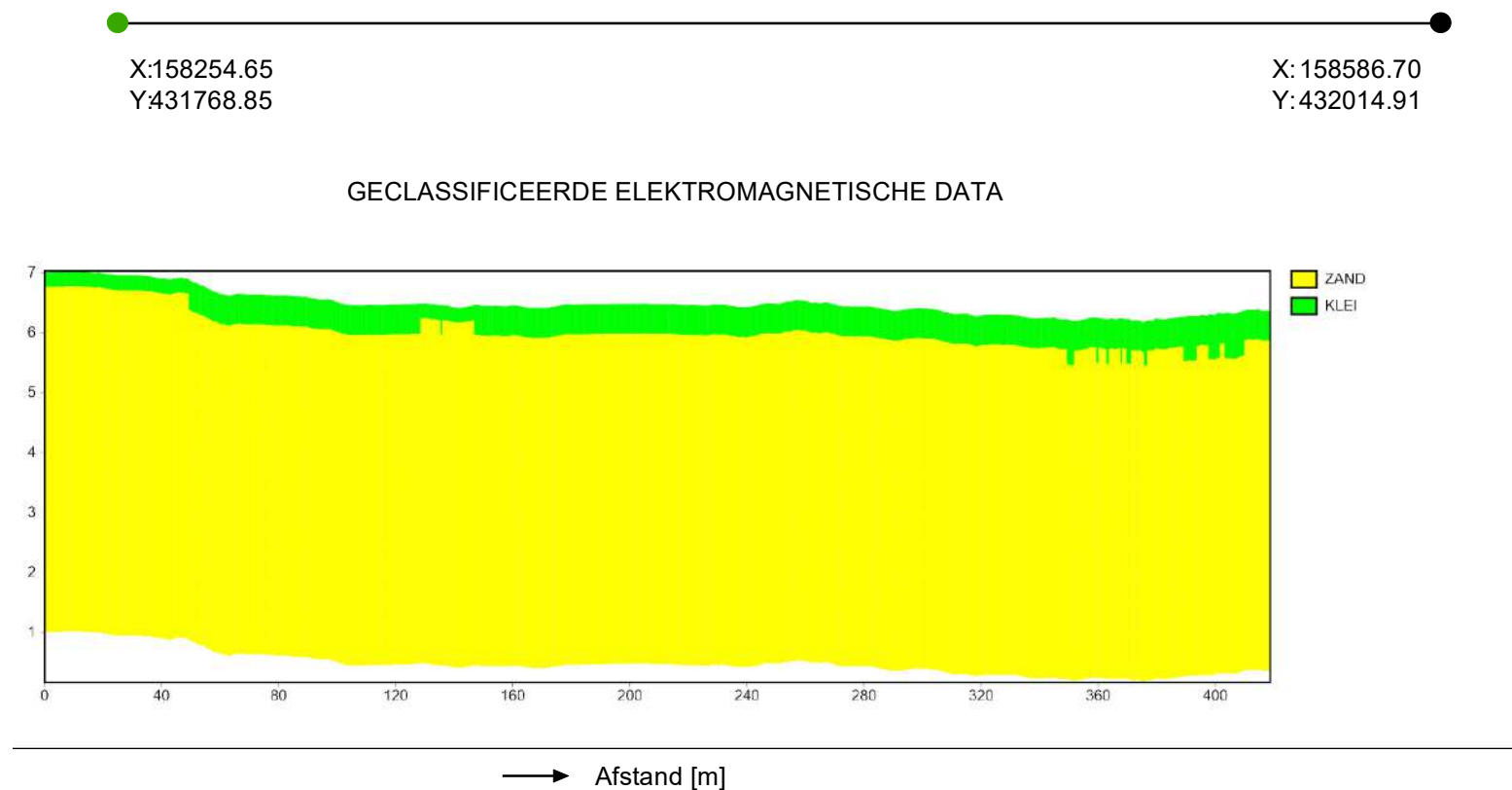
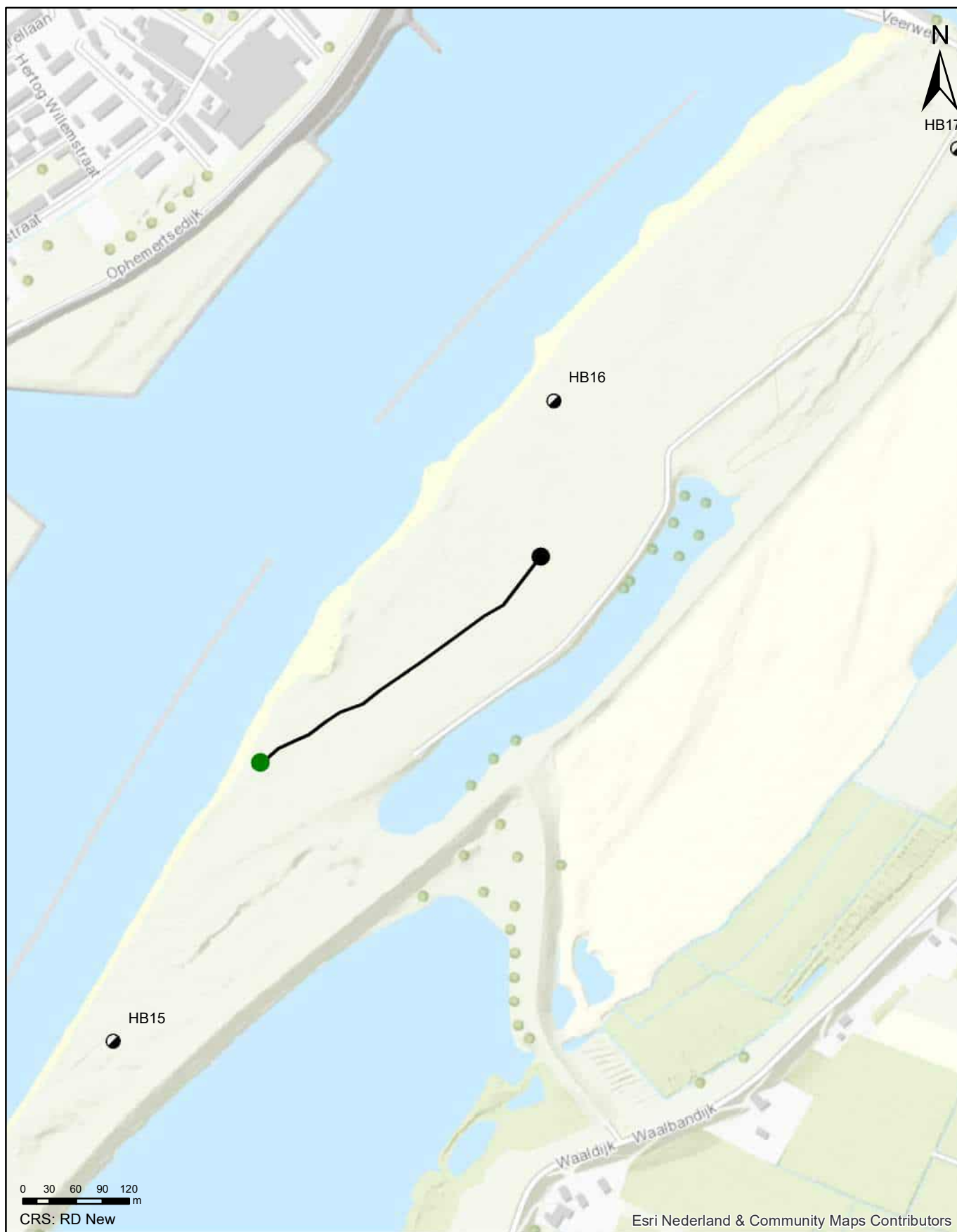
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data van gebied 5

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 5-5-2



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 5

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

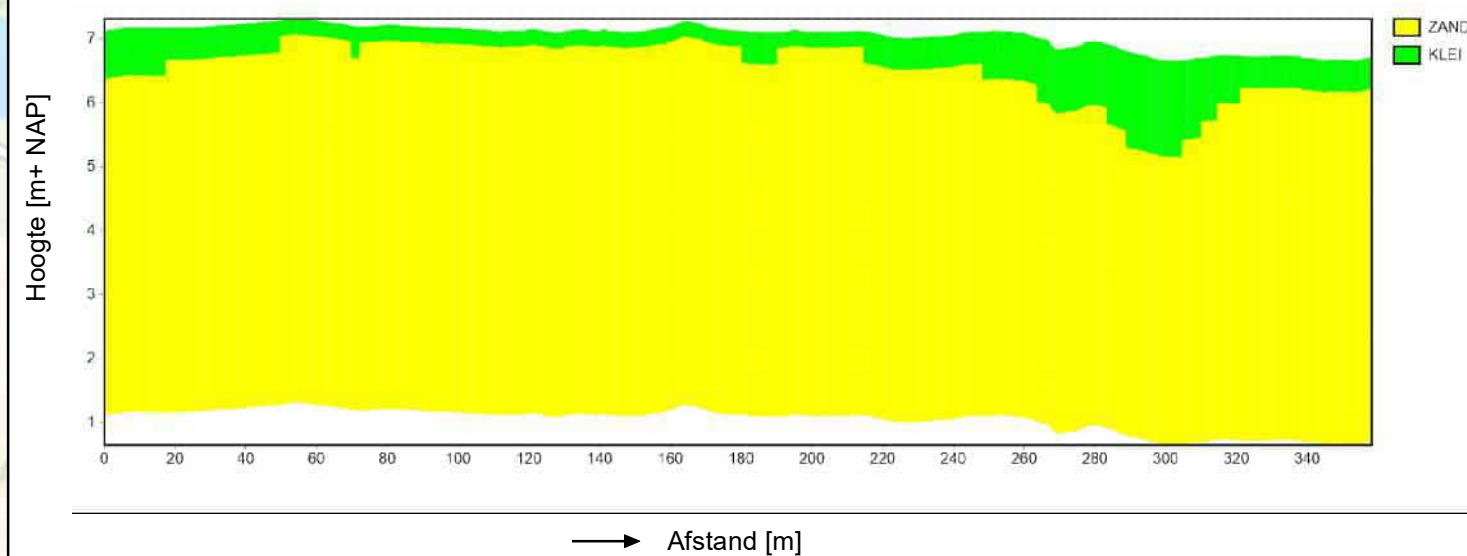
Bijlage : 5-5-3



X:158537.38
Y:432080.82

X:158792.44
Y:432320.00

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



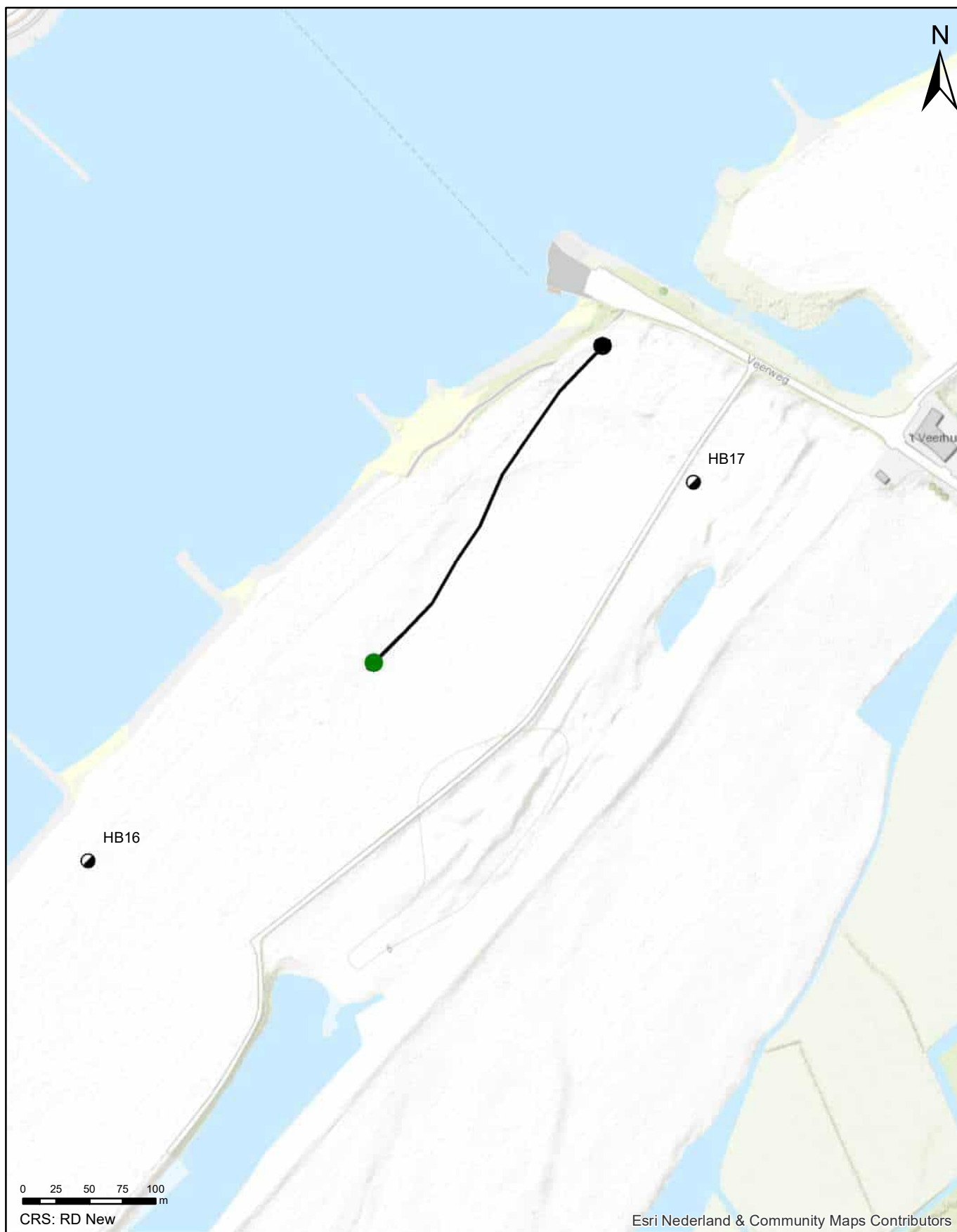
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 5

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

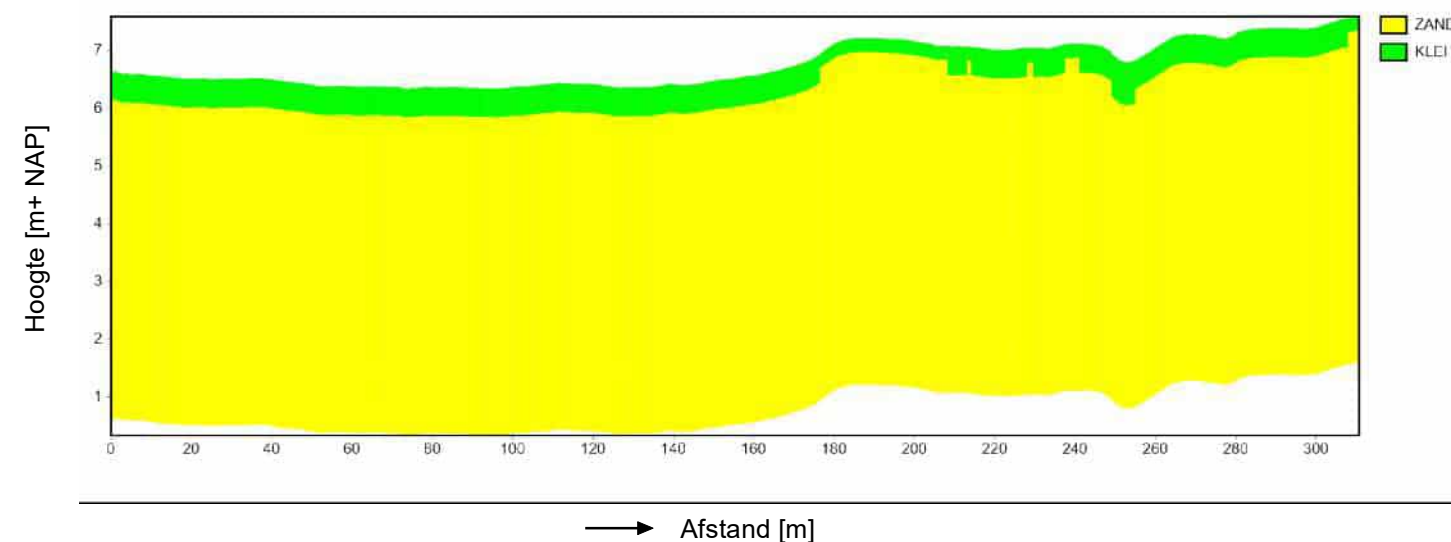
Bijlage : 5-5-4



X:158805.14
Y:432326.35

X:158987.17
Y:432575.06

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



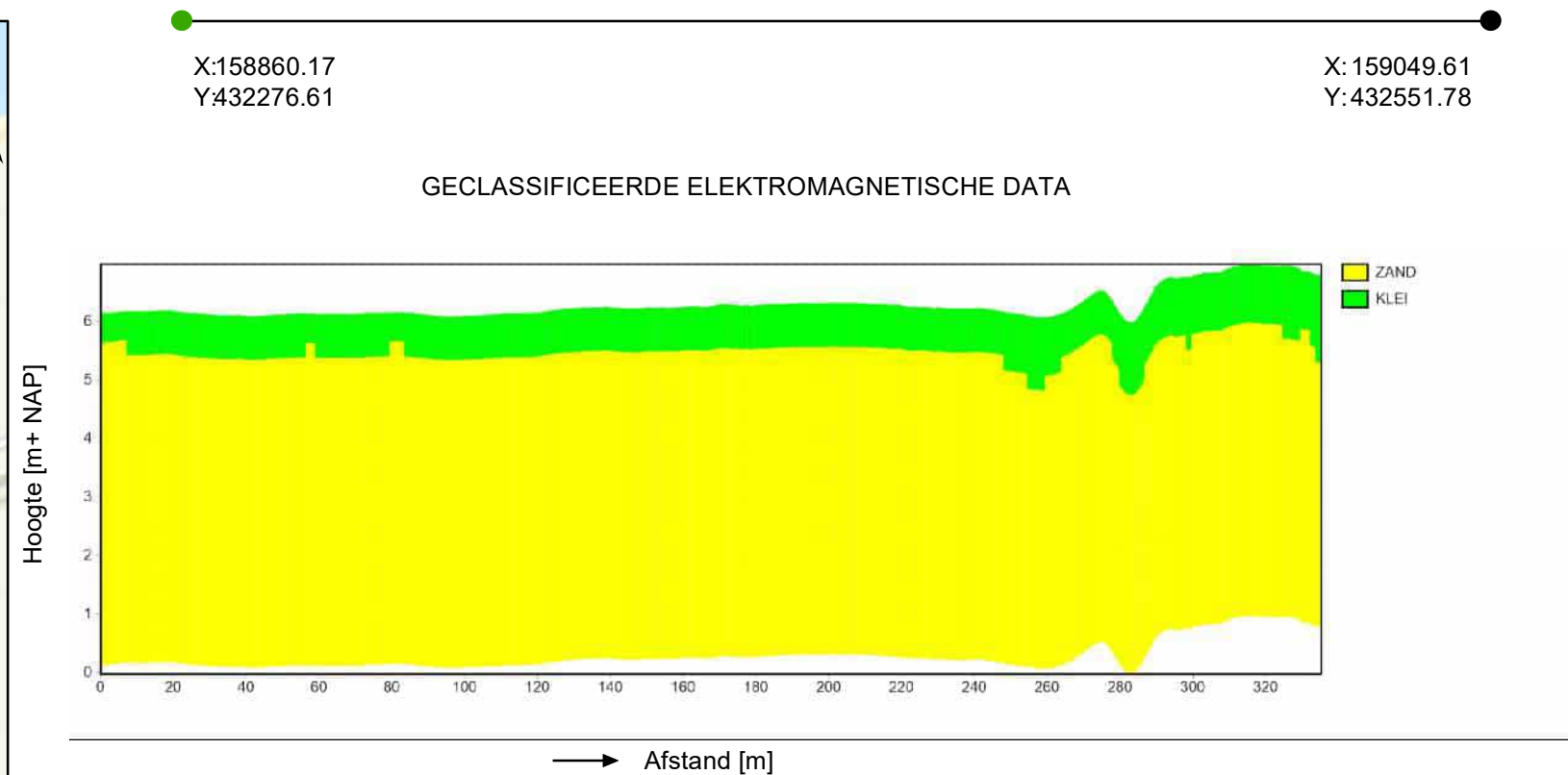
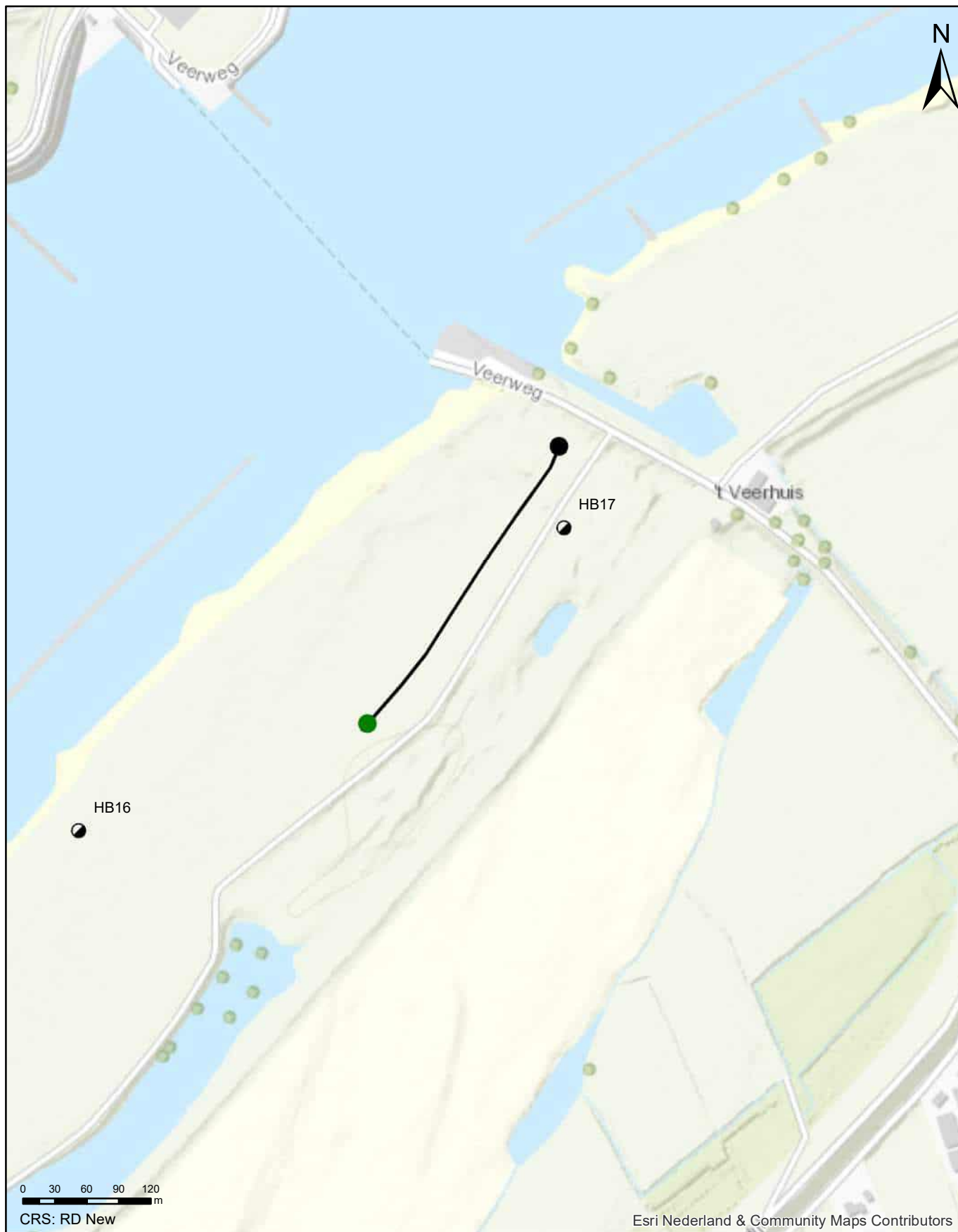
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 5

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 5-5-5



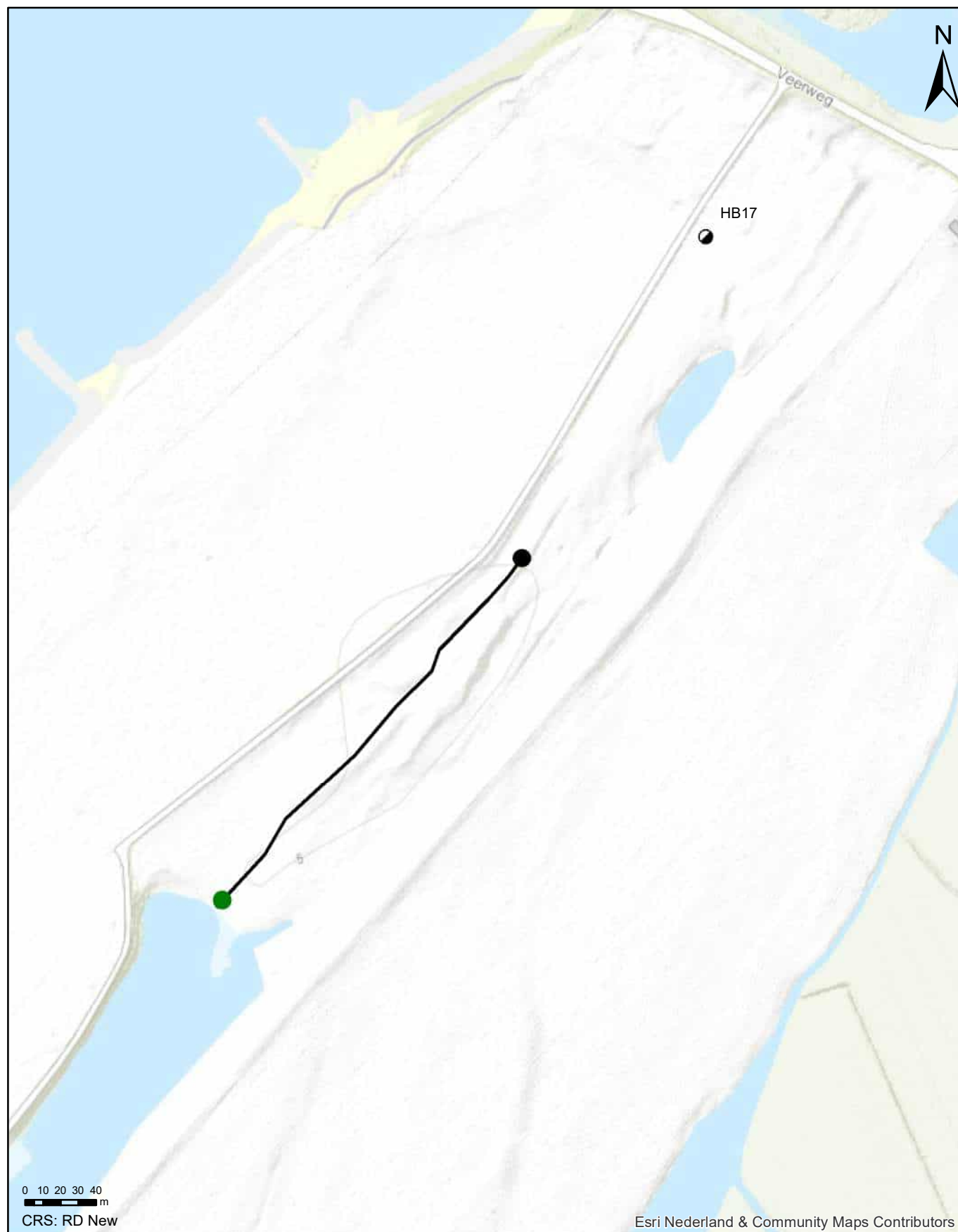
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 5

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

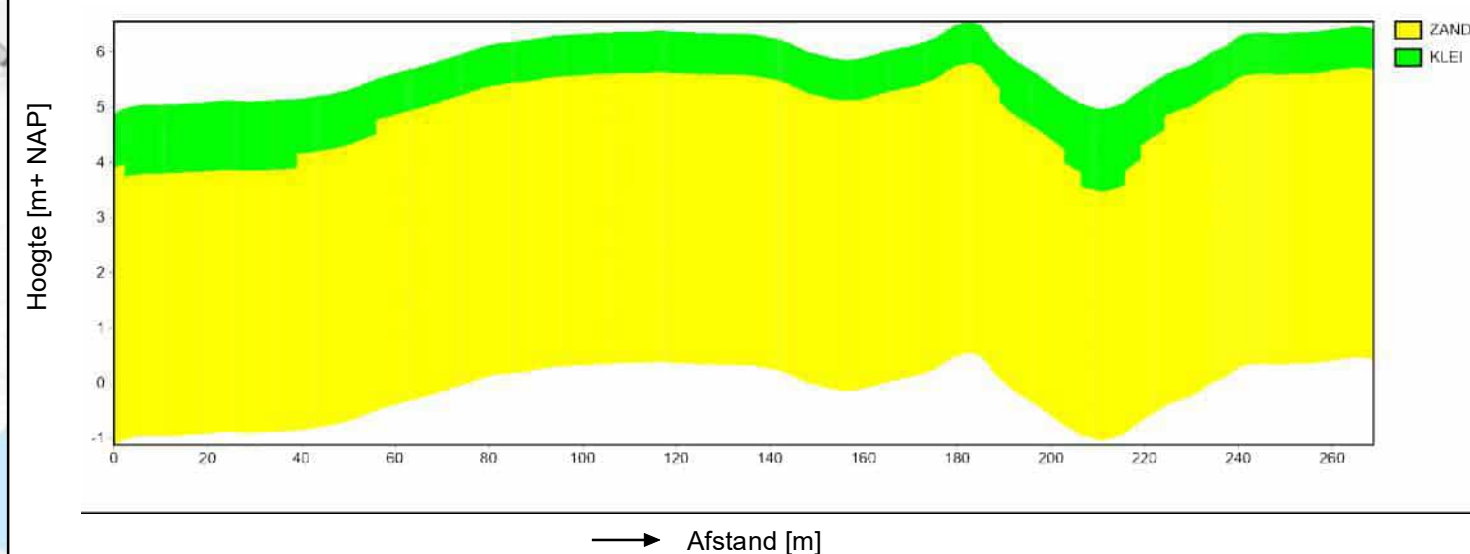
Bijlage : 5-5-6



X:158774.45
Y:432089.29

X:158950.13
Y:432290.37

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 5

Wamel

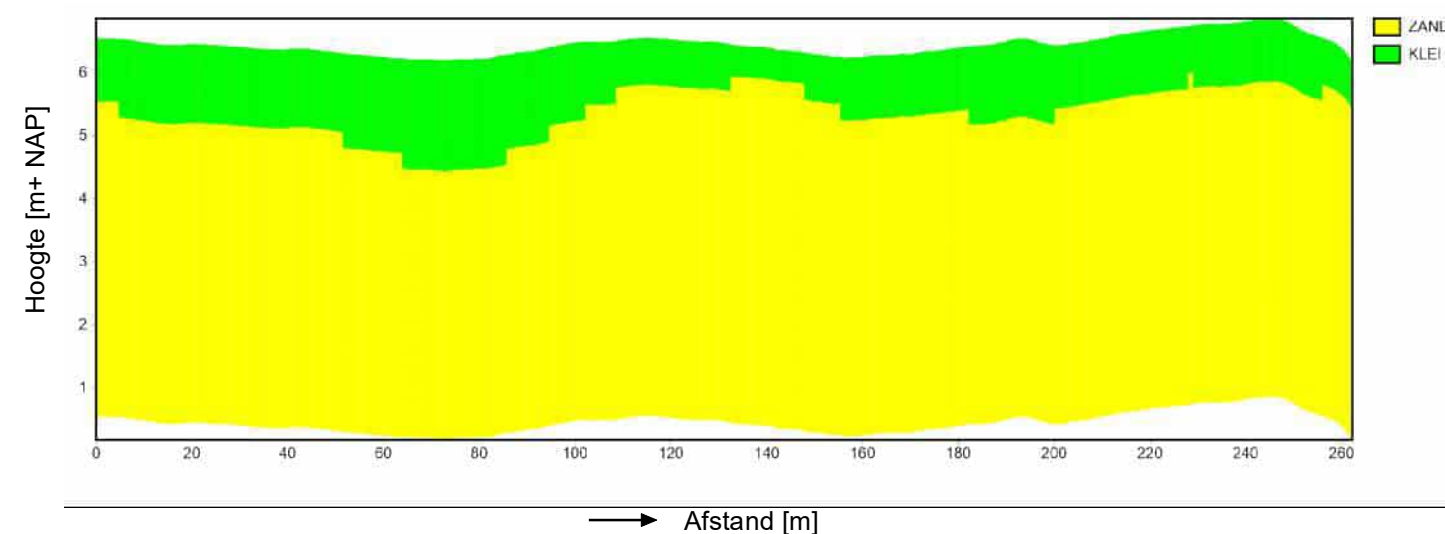
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-5-7



X:158955.42
Y:432310.48

X:159113.11
Y:432518.97

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



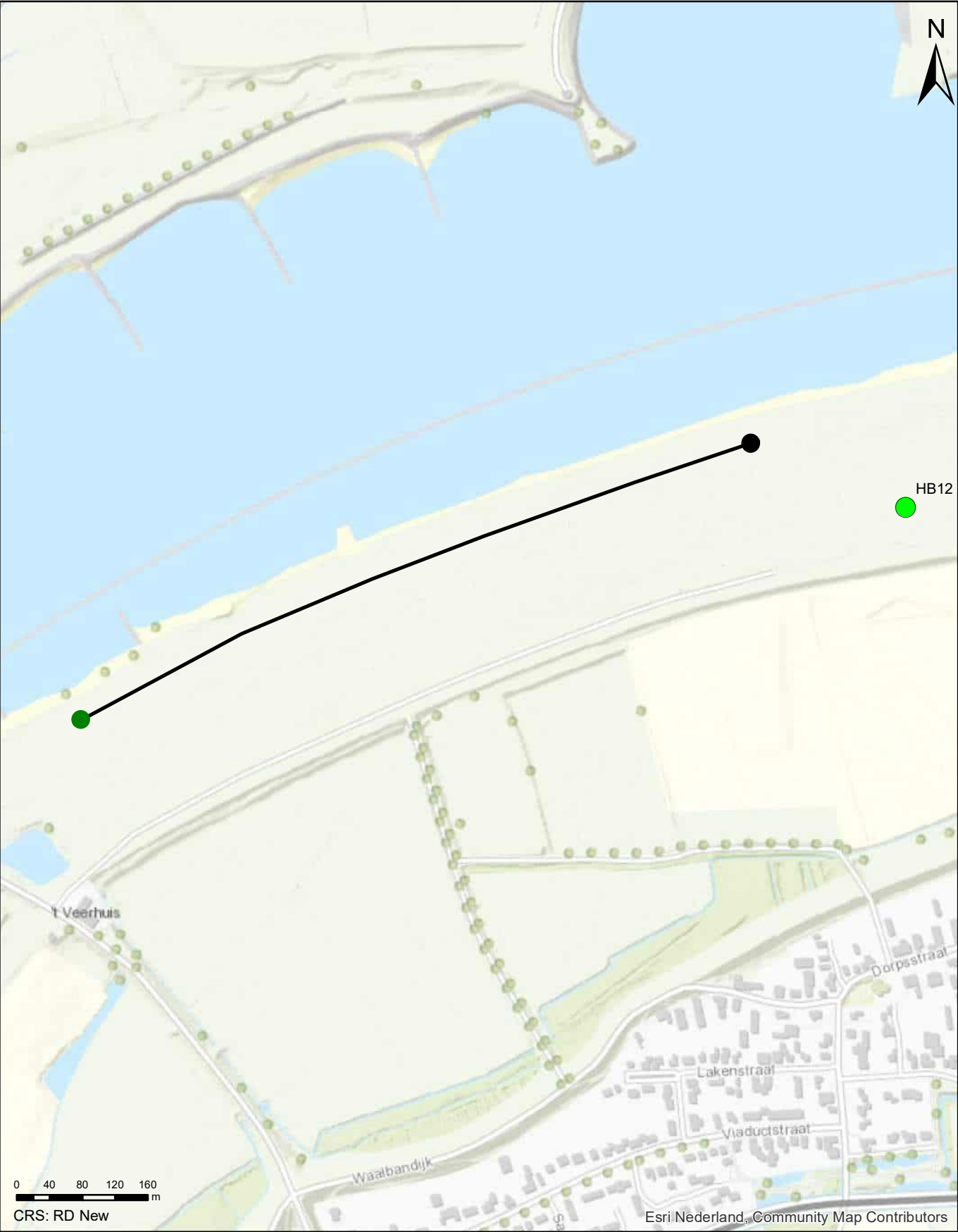
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van geclassificeerde EM data gebied 5

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

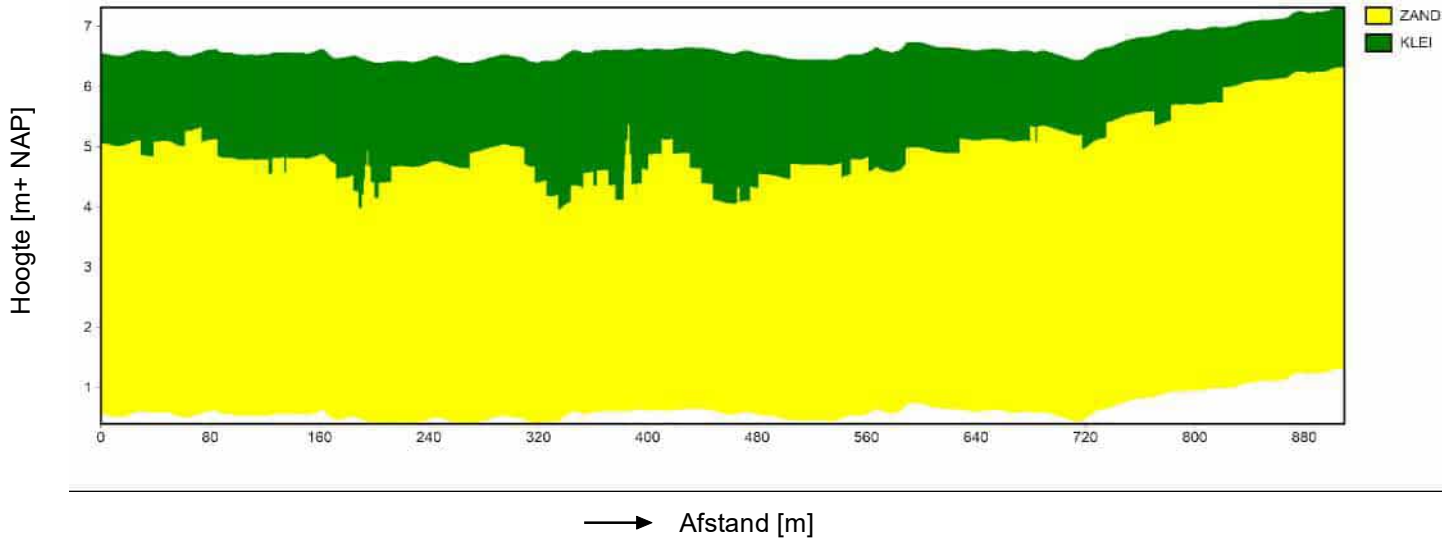
Bijlage : 5-5-8



X:159218.33
Y:432730.42

X:160056.83
Y:433077.08

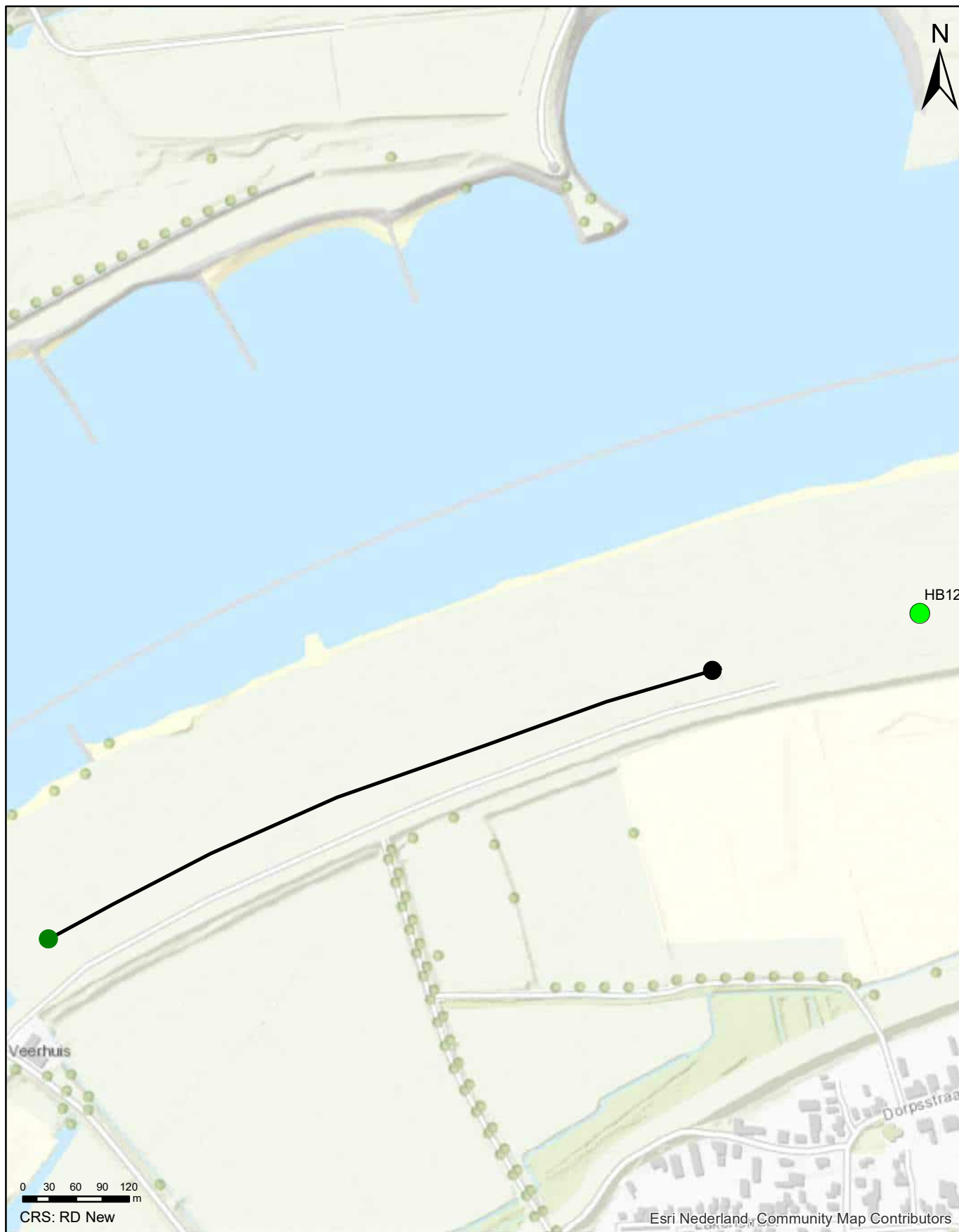
GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofiel van geclassificeerde EM data gebied 6
WAMEL

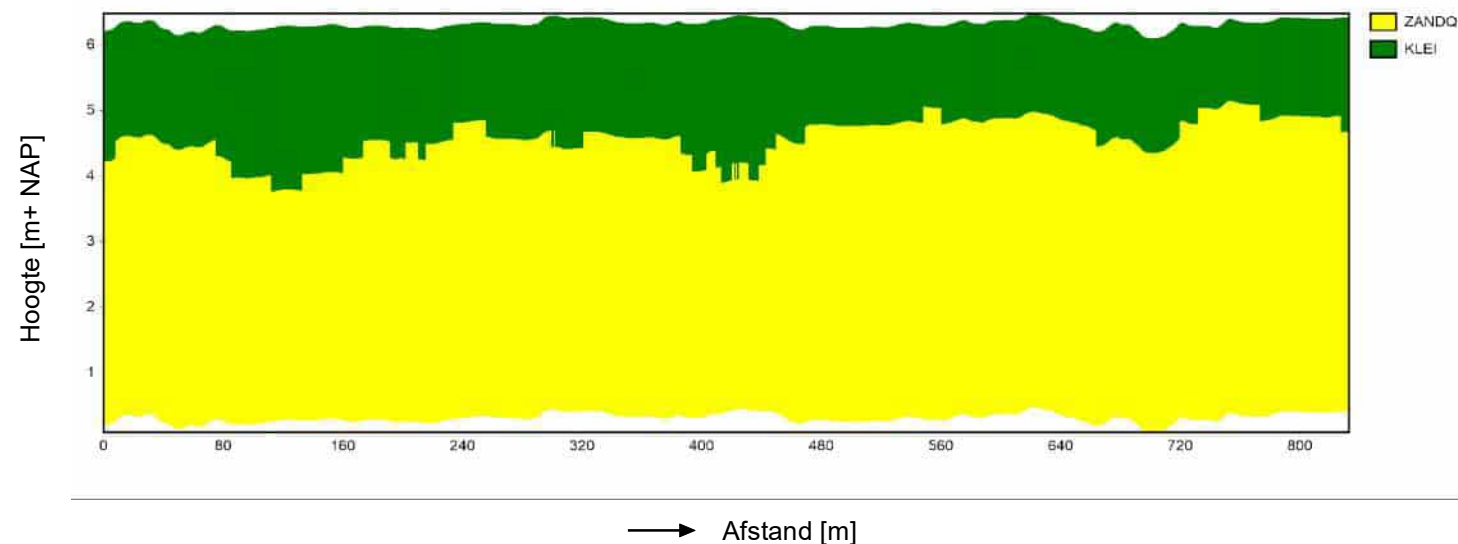
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-6-1



X:159241.37
Y:432622.46

X:160011.31
Y:432933.61

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



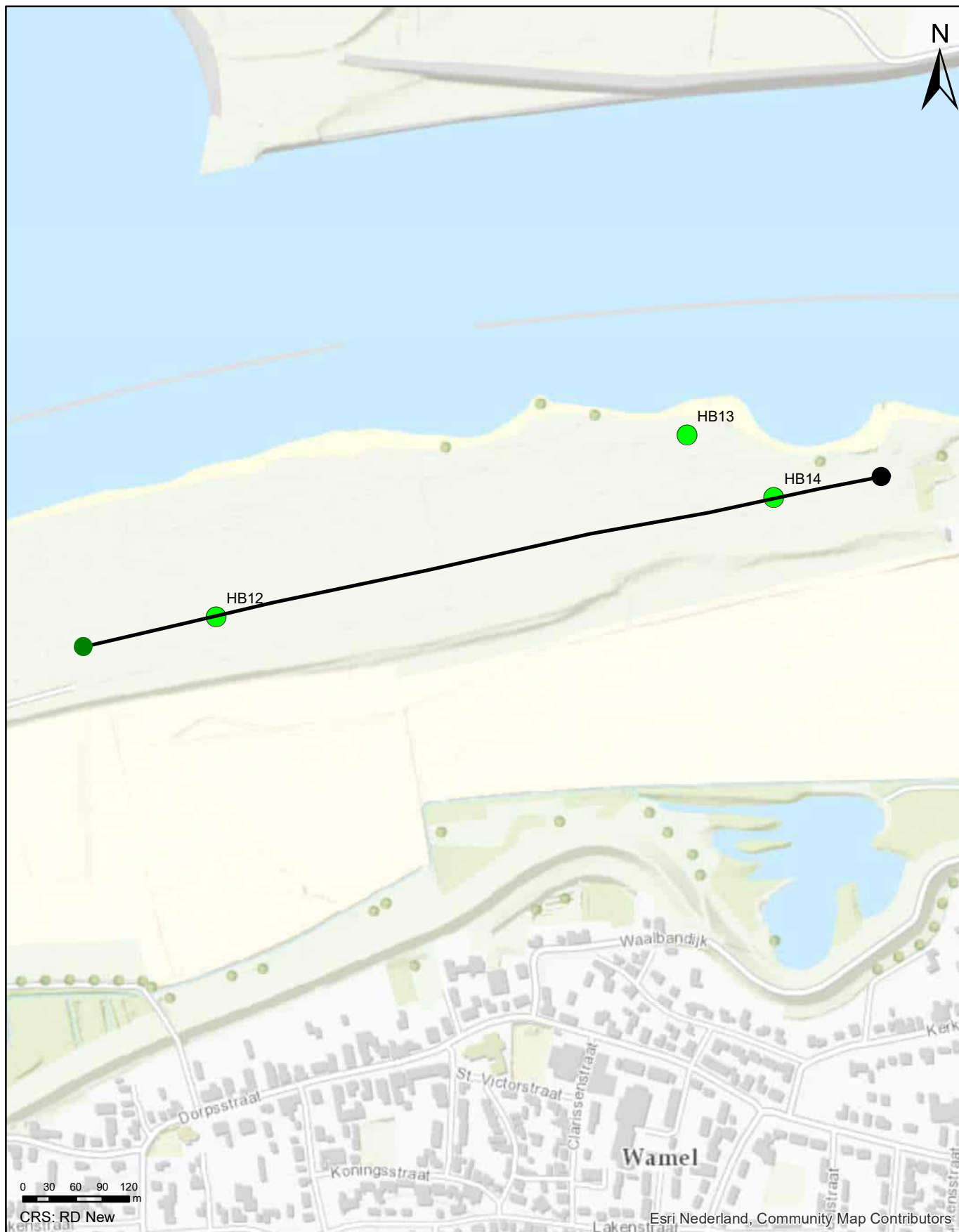
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofiel van geclassificeerde EM data gebied 6

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 5-6-2



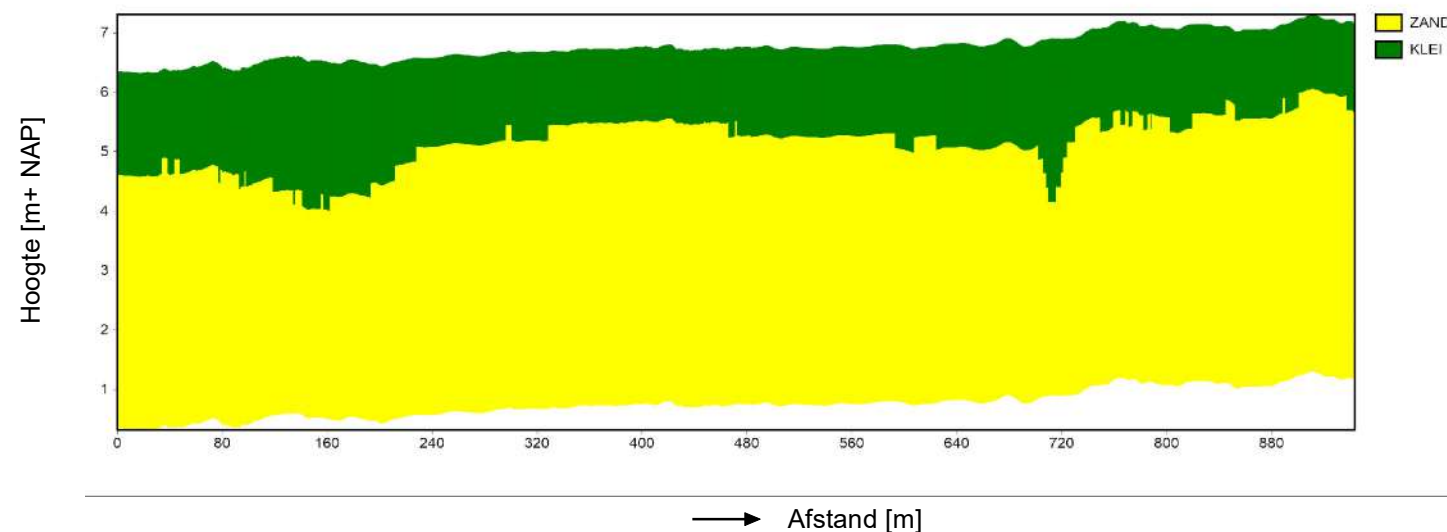
Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van de geclassificeerde EM data gebied 6
WAMEL

X:160074.68
Y:432958.83

X:160997.02
Y:433155.68

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



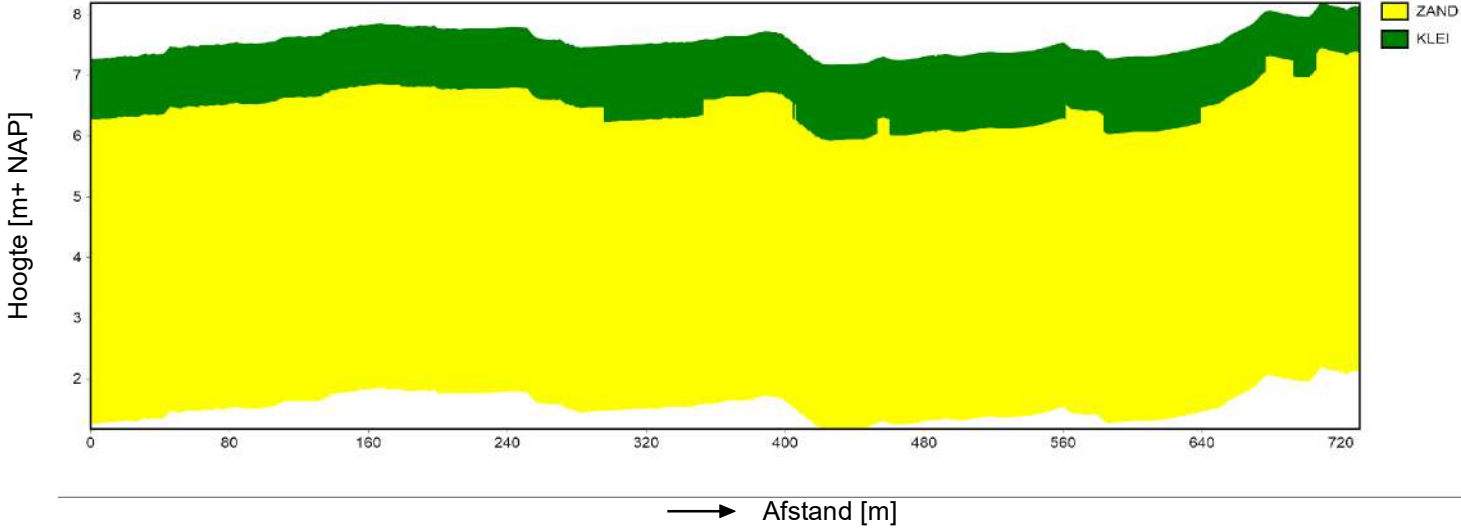
Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-6-3



X:160085.14
Y:433084.34

X: 160801.26
Y: 433215.78

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



Geofysisch onderzoek UWDH

Lengteprofielen van de geclassificeerde EM data gebied 6
WAMEL

Opdr.nr.: 1217-0015-151
Bijlage : 5-6-4



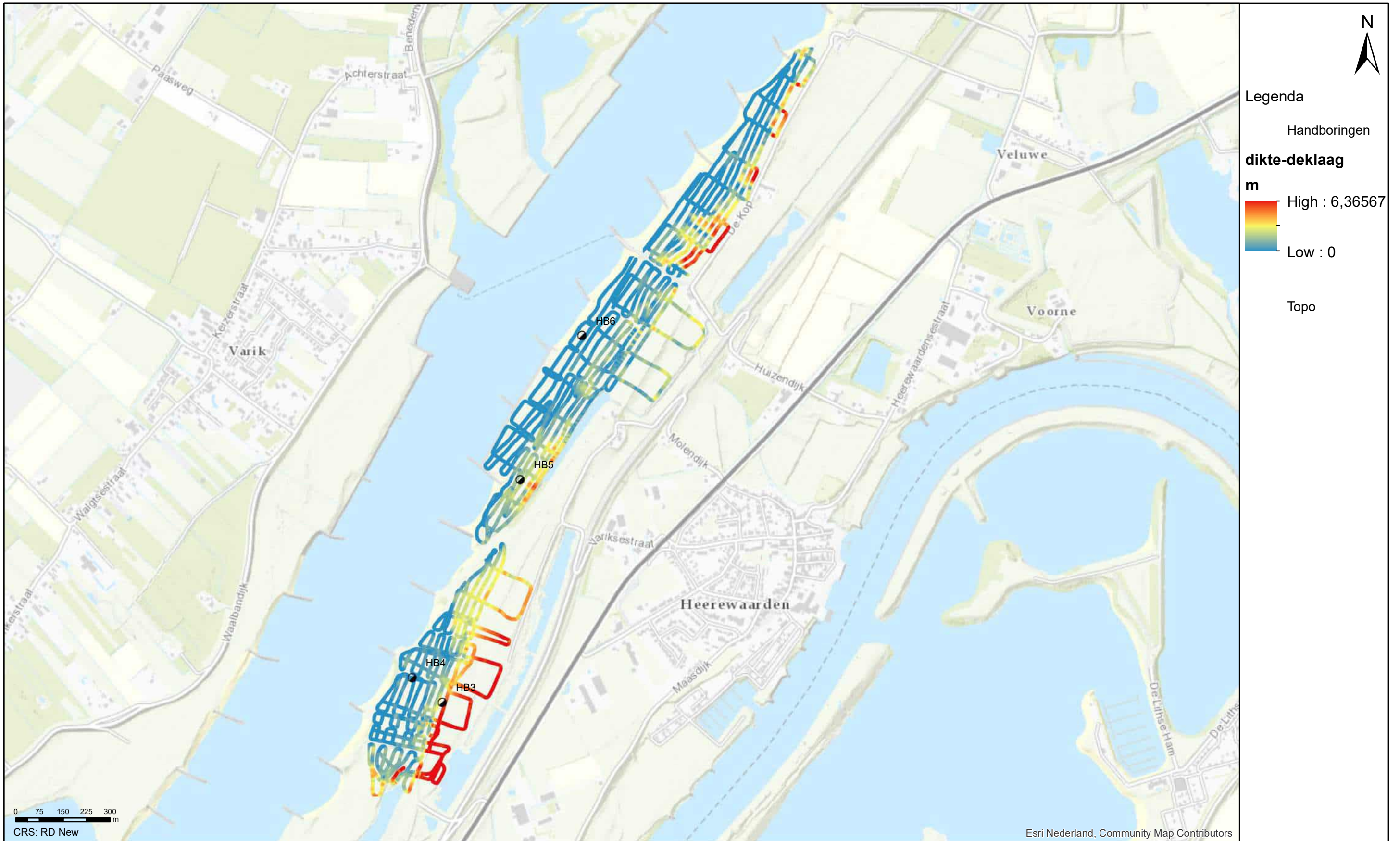
Geofysisch onderzoek UWDH

Dikte_deklaag kaart gebied 1

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 6-1



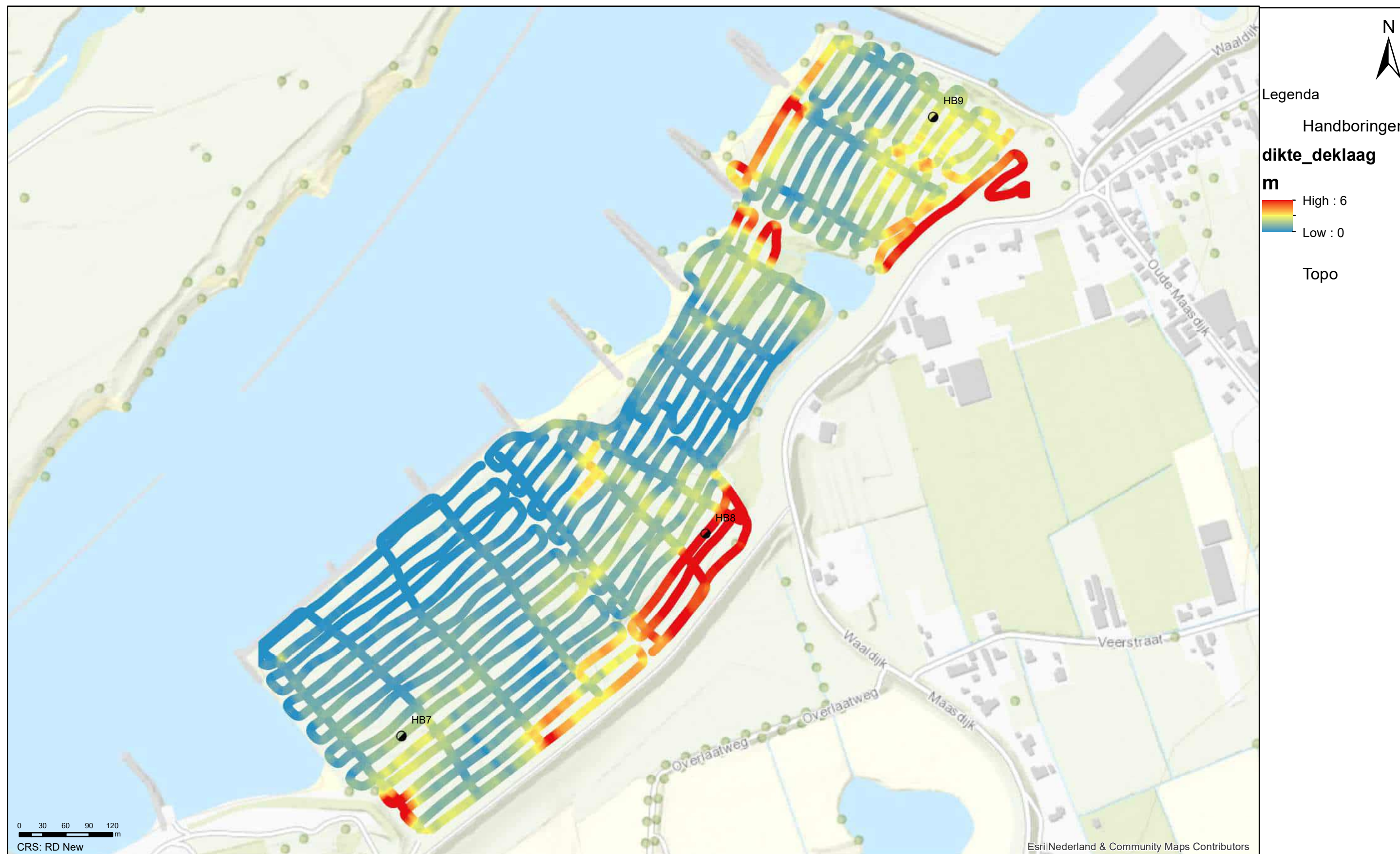
Geofysisch onderzoek UWDH

Dikte deklaag kaart gebied 2

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 6-2



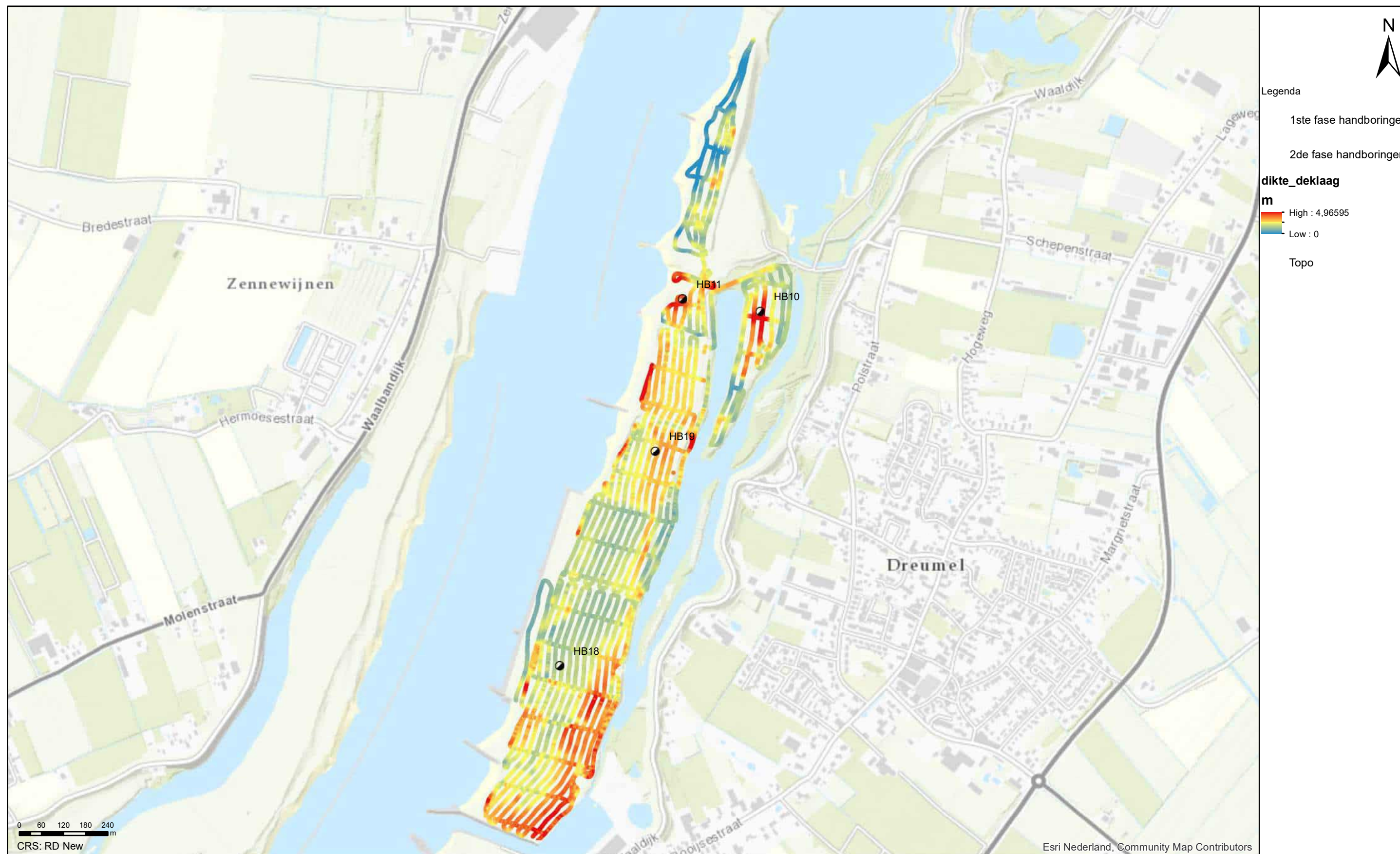
Geofysisch onderzoek UWDH

Dikte_deklaag kaart gebied 3

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 6-3



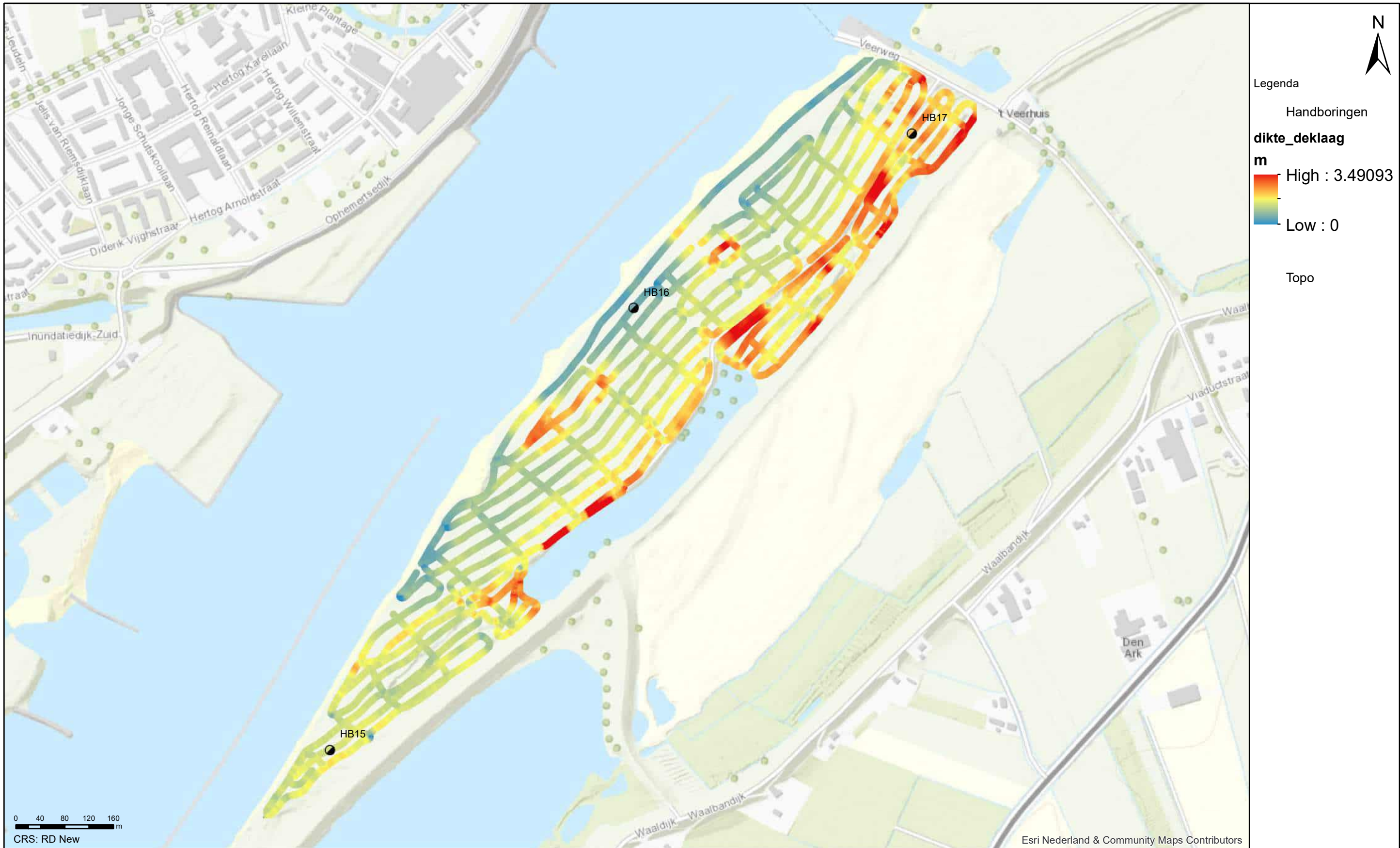
Geofysisch onderzoek UWDH

Dikte deklaag kaart

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 6-4



Geofysisch onderzoek UWDH

Dikte_deklaag kaart gebied 5

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 6-5



Geofysisch onderzoek UWDH

Dikte deklaag kaart m gebied 6

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 6-6



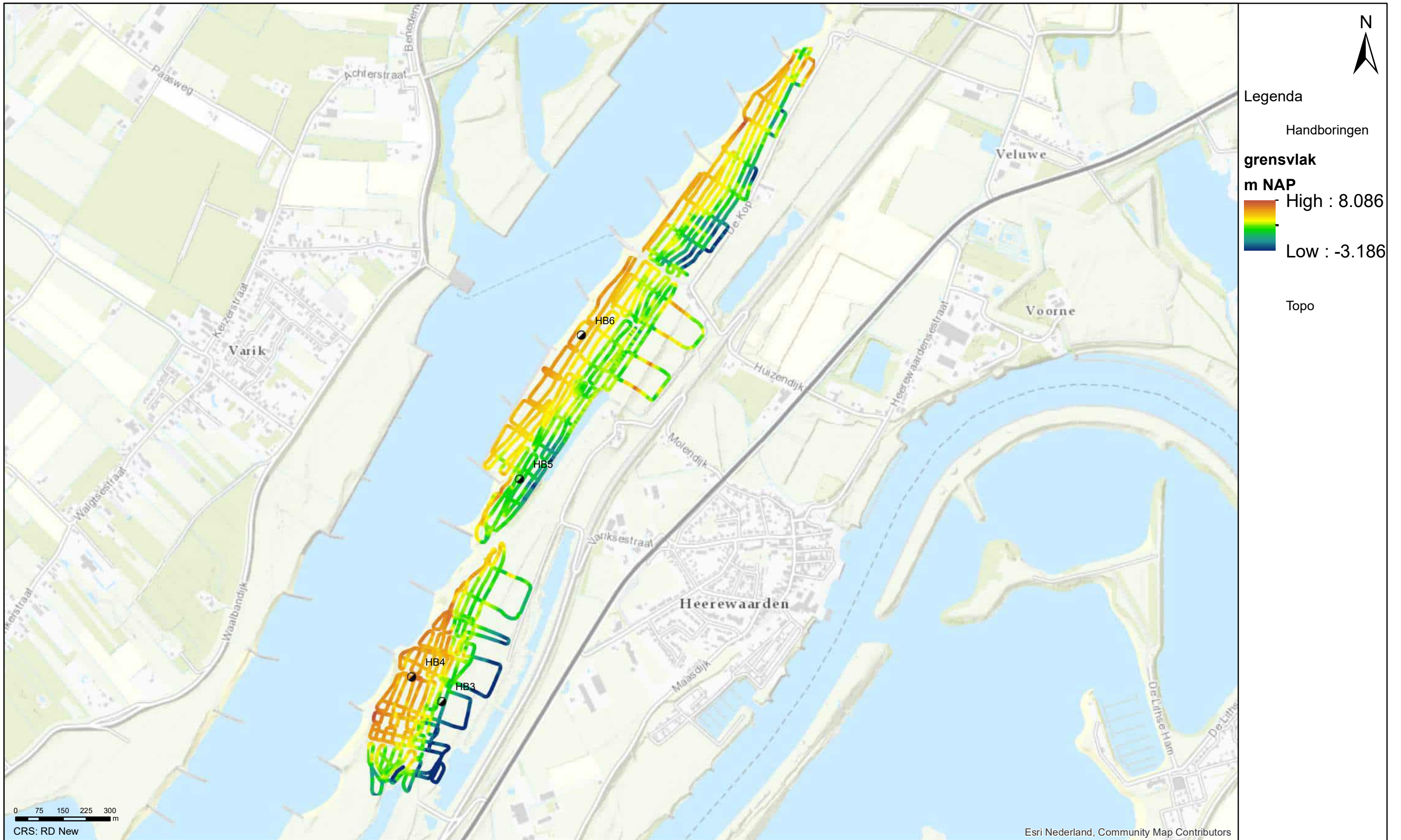
Geofysisch onderzoek UWDH

Grensvlak_kaat t.o.v. NAP

Sint Andries

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 7-1



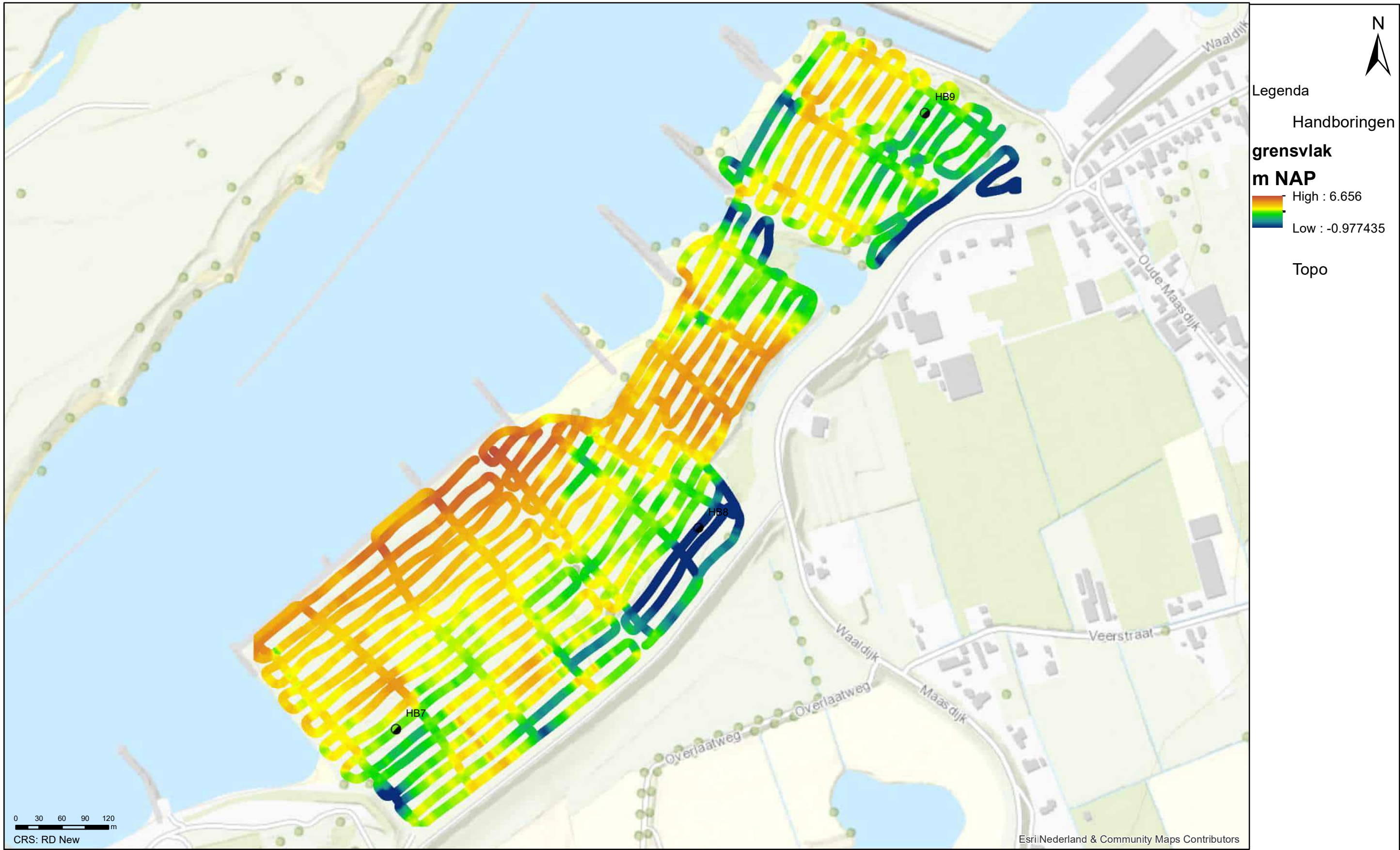
Geofysisch onderzoek UWDH

Grensvlak kaart m t.o.v. NAP

Heerewaarden

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 7-2



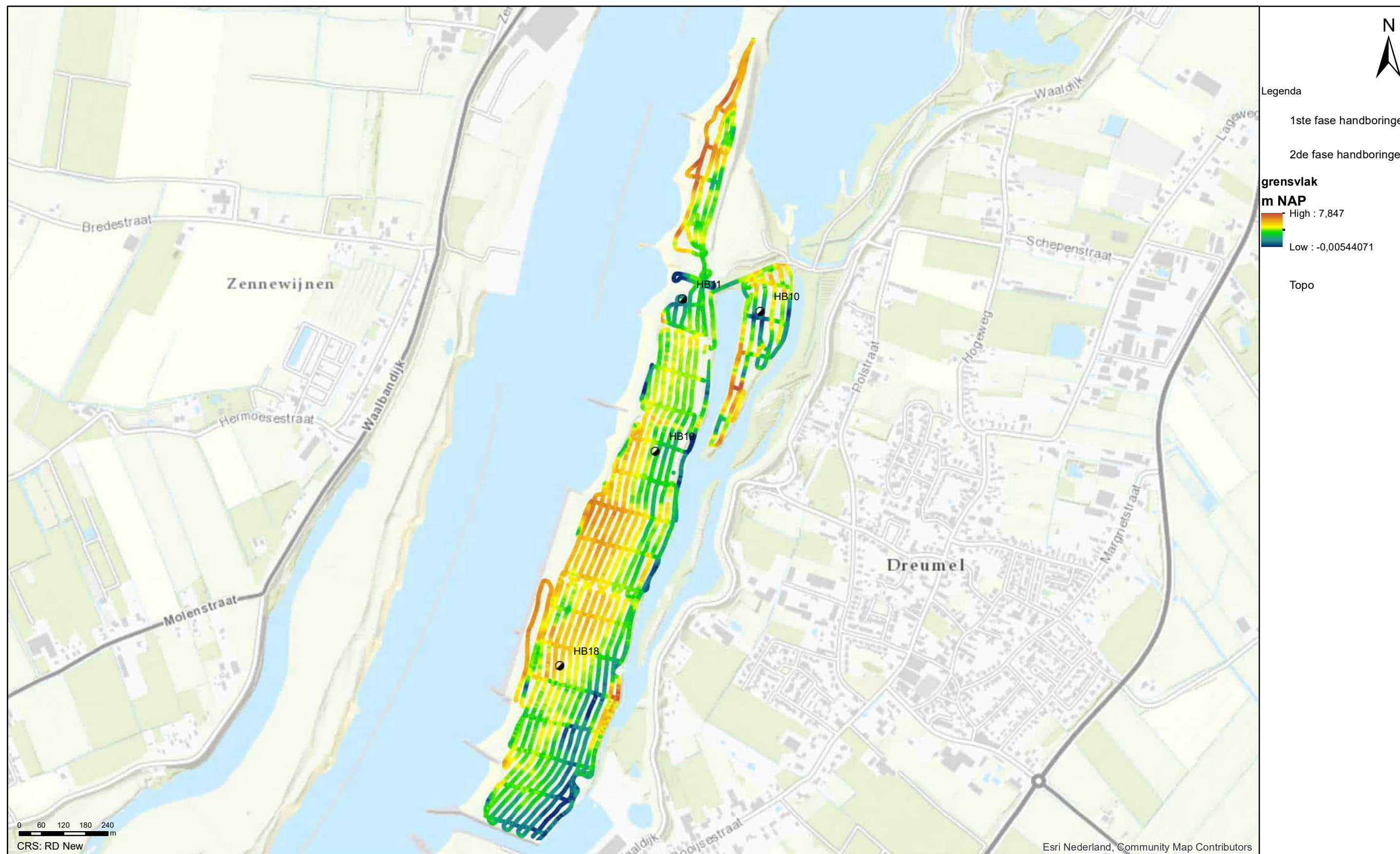
Geofysisch onderzoek UWDH

Grensvlak kaart gebied 3 t.o.v. NAP

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 7-3



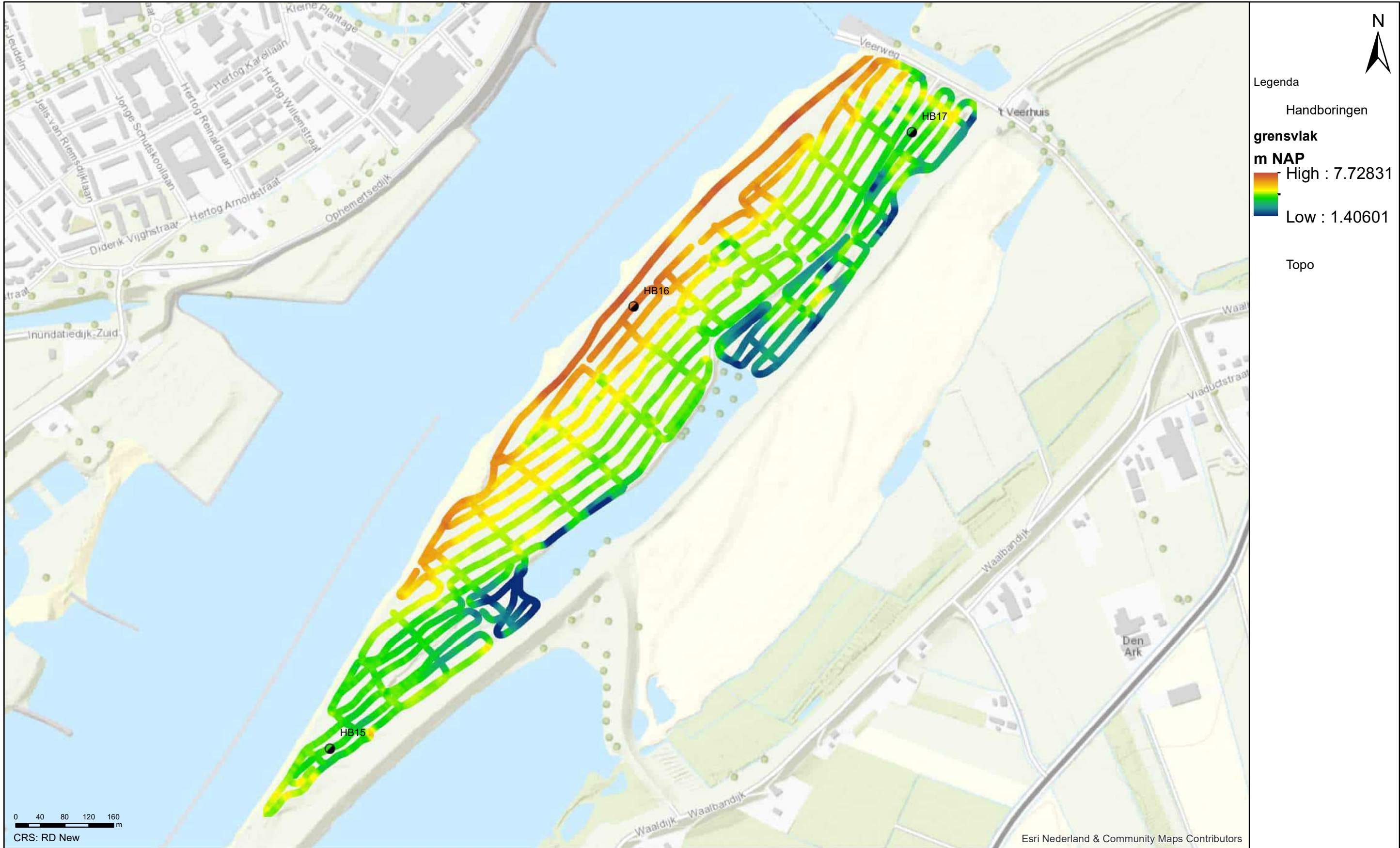
Geofysisch onderzoek UWDH

Grensvlak kaart m t.o.v. NAP

Dreumel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 7-4



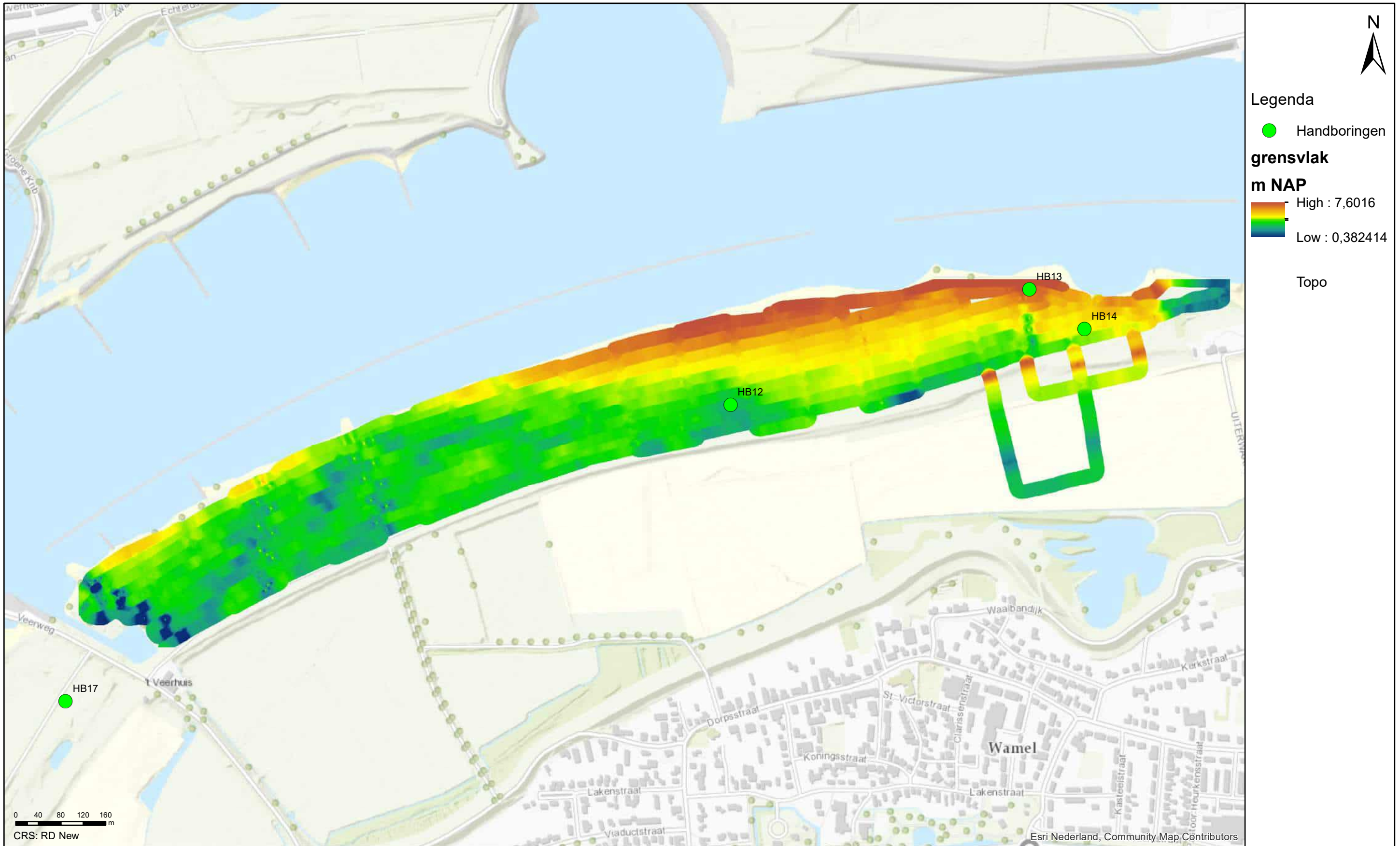
Geofysisch onderzoek UWDH

Grensvlak kaart gebied 5 t.o.v. NAP

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 7-5



Geofysisch onderzoek UWDH

Grensvlak kaart m t.o.v. NAP gebied 6

Wamel

Opdr.nr.: 1217-0015-151

Bijlage : 7-6

Boring: HB1

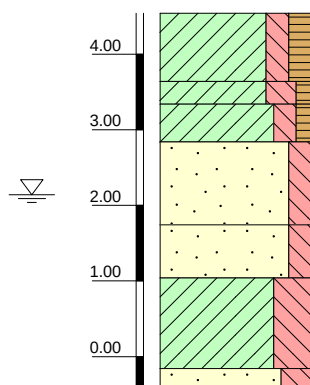
Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Veldclassificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

Pagina 1 van 1



4.54 tot 3.64 Klei, matig siltig, matig humeus bruin

3.64 tot 3.34 Klei, sterk siltig, zwak humeus, sporen roest bruin-grijs

3.34 tot 2.84 Klei, matig siltig, zwak humeus, sporen roest, insluitingen zand grijs-bruin

2.84 tot 1.74 Zand, matig fijn, matig siltig, brokken klei

1.74 tot 1.04 Zand, matig fijn, matig siltig grijs

1.04 tot -0.16 Klei, uiterst siltig, laagjes zand grijs

-0.16 tot -0.46 Zand, matig grof, sterk siltig grijs

Algemene opmerking:

X: 153165.1

Y: 423755.2

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): 2.14

MV (m tov NAP): 4.54

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

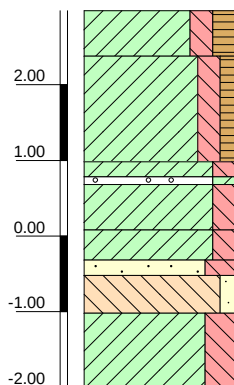
Geclassificeerd door:

Boring: HB2

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



2.98 tot 2.38 Klei, matig siltig, matig humeus, roest bruin

2.38 tot 0.98 Klei, matig siltig, zwak humeus grijs

0.98 tot 0.78 Klei, matig siltig, laagjes zand grijs

0.78 tot 0.68 Grind, matig kleilig grijs

0.68 tot 0.08 Klei, matig siltig, laagjes zand grijs

0.08 tot -0.32 Klei, matig siltig, resten slib grijs

-0.32 tot -0.52 Zand, matig grof, sterk siltig, resten hout, grind grijs

-0.52 tot -1.02 Leem, zwak zandig, laagjes zand grijs

-1.02 tot -2.02 Klei, sterk siltig, laagjes zand grijs

Algemene opmerking:

X: 153362.9

Y: 423841.1

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 2.98

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Geofysisch onderzoek Uiterwaarden Wamel Dreumel Heerewaarden

1217-0015-151

Boring: HB3

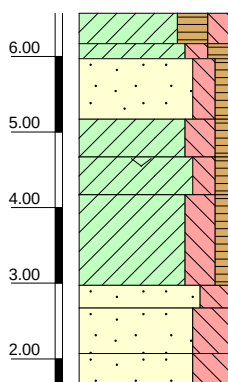
Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Veldclassificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

Pagina 1 van 1



6.57 tot 6.17 Klei, matig siltig, sterk humeus bruin
6.17 tot 5.97 Klei, matig siltig, matig humeus bruin
5.97 tot 5.17 Zand, matig siltig, zwak humeus grijs-bruin

5.17 tot 4.67 Klei, sterk siltig, zwak humeus, sporen roest grijs-bruin
4.67 tot 4.17 Klei, matig siltig, zwak humeus, sporen roest, resten schelpen grijs-bruin
4.17 tot 2.97 Klei, sterk siltig, zwak humeus, resten roest grijs-bruin

2.97 tot 2.67 Zand, sterk siltig, sporen roest bruin
2.67 tot 2.07 Zand, uiterst siltig grijs
2.07 tot 1.57 Zand, uiterst siltig grijs

Algemene opmerking:

X: 154427.2

Y: 424980.8

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 6.57

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

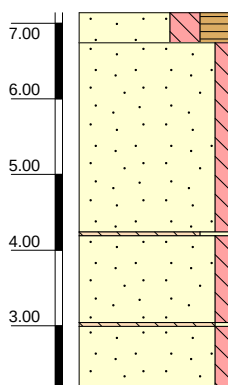
Geclassificeerd door:

Boring: HB4

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



7.14 tot 6.74 Zand, sterk siltig, sterk humeus bruin
6.74 tot 4.24 Zand, zwak siltig grijs

4.24 tot 4.19 Leem, sterk zandig, resten roest grijs
4.19 tot 3.04 Zand, zwak siltig grijs

3.04 tot 2.99 Leem, zwak zandig grijs
2.99 tot 2.14 Zand, zwak siltig, brokken klinker grijs-bruin

Algemene opmerking:

X: 154331.3

Y: 425059.3

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 7.14

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Geofysisch onderzoek Uiterwaarden Wamel Dreumel Heerwaarden

1217-0015-151

Boring: HB5

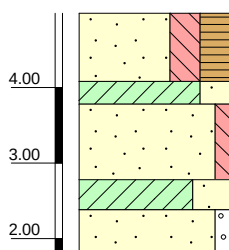
Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Veldclassificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

Pagina 1 van 1



4.98 tot 4.08 Zand, sterk siltig, sterk humeus bruin

4.08 tot 3.78 Klei, sterk zandig, sporen roest bruin

3.78 tot 2.78 Zand, zwak siltig, brokken klei grijs

2.78 tot 2.38 Klei, uiterst zandig, sporen roest

2.38 tot 1.78 Zand, zeer grof, zwak grindig

Algemene opmerking:

X: 154674.3

Y: 425688.6

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 4.98

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloestof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

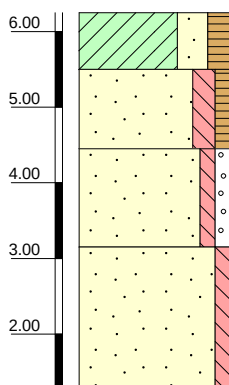
Geclassificeerd door:

Boring: HB6

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



6.25 tot 5.50 Klei, sterk zandig, matig humeus, laagjes zand bruin-grijs

5.50 tot 4.45 Zand, matig fijn, matig siltig, zwak humeus, resten klei grijs

4.45 tot 3.15 Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak grindig grijs

3.15 tot 1.25 Zand, uiterst grof, zwak siltig

Algemene opmerking:

X: 154871.2

Y: 426146.0

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 6.25

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloestof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Geofysisch onderzoek Uiterwaarden Wamel Dreumel Heerewaarden

1217-0015-151

Boring: HB7

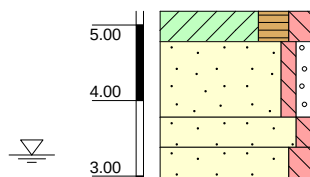
Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Veldclassificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

Pagina 1 van 1



5.18 tot 4.78	Klei, matig siltig, sterk humeus bruin
4.78 tot 3.78	Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak grindig grijs
3.78 tot 3.38	Zand, zeer grof, zwak siltig, brokken klei grijs
3.38 tot 2.98	Zand, matig fijn, matig siltig, sporen roest grijs

Algemene opmerking:

X: 156260.4

Y: 427510.7

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): 3.28

MV (m tov NAP): 5.18

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

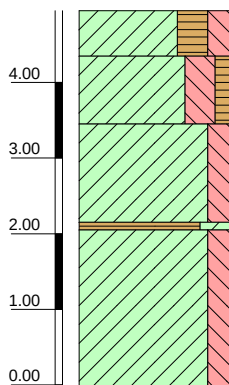
Geclassificeerd door:

Boring: HB8

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



4.95 tot 4.35	Klei, matig siltig, sterk humeus, laagjes zand bruin
4.35 tot 3.45	Klei, sterk siltig, zwak humeus, sporen roest, laagjes zand bruin
3.45 tot 2.15	Klei, matig siltig grijs
2.15 tot 2.05	Veen, sterk kleilig bruin-grijs
2.05 tot -0.05	Klei, matig siltig grijs

Algemene opmerking:

X: 156652.6

Y: 427771.6

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 4.95

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Geofysisch onderzoek Uiterwaarden Wamel Dreumel Heerewaarden

1217-0015-151

Boring: HB9

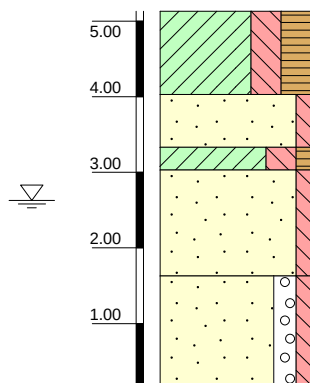
Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Veldclassificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

Pagina 1 van 1



5.13 tot 4.03 Klei, sterk siltig, sterk humeus, sporen roest bruin

4.03 tot 3.33 Zand, matig fijn, zwak siltig, sporen klei grijs

3.33 tot 3.03 Klei, sterk siltig, zwak humeus, sporen roest grijs

3.03 tot 1.63 Zand, matig grof, zwak siltig

1.63 tot 0.13 Zand, uiterst grof, zwak siltig, matig grindig grijs

Algemene opmerking:

X: 156946.4

Y: 428309.7

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): 2.63

MV (m tov NAP): 5.13

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

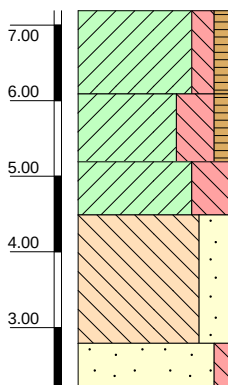
Geclassificeerd door:

Boring: HB10

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



7.19 tot 6.09 Klei, matig siltig, zwak humeus bruin

6.09 tot 5.19 Klei, uiterst siltig, zwak humeus grijs

5.19 tot 4.49 Klei, uiterst siltig grijs

4.49 tot 2.79 Leem, sterk zandig grijs

2.79 tot 2.19 Zand, zwak siltig grijs

Algemene opmerking:

X: 157639.9

Y: 429832.0

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 7.19

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Geofysisch onderzoek Uiterwaarden Wamel Dreumel Heerewaarden

1217-0015-151

Boring: HB11

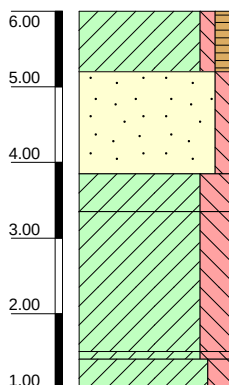
Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Veldclassificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

Pagina 1 van 1



6.00 tot 5.20 Klei, zwak siltig, zwak humeus

5.20 tot 3.85 Zand, zwak siltig

3.85 tot 3.35 Klei, sterk siltig

3.35 tot 1.50 Klei, sterk siltig

1.50 tot 1.40 Klei, matig grof, sterk siltig

1.40 tot 1.00 Klei, matig siltig

Algemene opmerking:

X: 157428.5

Y: 429865.8

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 6.00

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

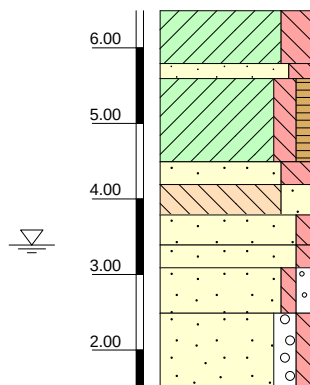
Geclassificeerd door:

Boring: HB12

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



6.49 tot 5.79 Klei, sterk siltig bruin

5.79 tot 5.59 Zand, matig siltig, matig stevig, sporen klei grijs

5.59 tot 4.49 Klei, matig siltig, zwak humeus, sporen roest bruin

4.49 tot 4.19 Zand, sterk siltig, sporen roest, sporen klei bruin

4.19 tot 3.79 Leem, sterk zandig grijs

3.79 tot 3.39 Zand, matig fijn, zwak siltig bruin

3.39 tot 3.09 Zand, zwak siltig grijs

3.09 tot 2.49 Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak grindig grijs

2.49 tot 1.49 Zand, zeer grof, zwak siltig, matig grindig bruin

Algemene opmerking:

X: 160235.1

Y: 432995.3

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): 3.39

MV (m tov NAP): 6.49

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Geofysisch onderzoek Uiterwaarden Wamel Dreumel Heerewaarden

1217-0015-151

Boring: HB13

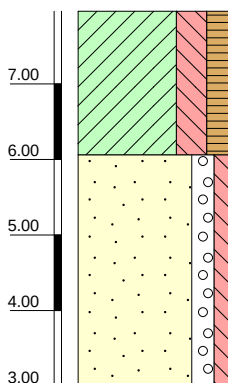
Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Veldclassificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

Pagina 1 van 1



7.96 tot 6.06 Klei, sterk siltig, matig humeus, laagjes zand bruin

6.06 tot 2.96 Zand, zeer grof, zwak siltig, matig grindig grijs

Algemene opmerking:

X: 160767.1

Y: 433200.6

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 7.96

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

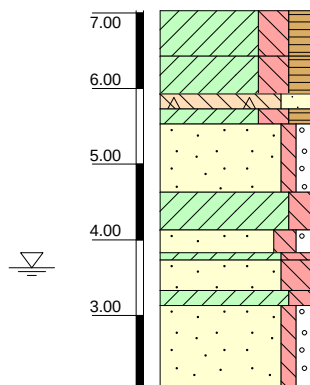
Geclassificeerd door:

Boring: HB14

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



7.03 tot 6.43 Klei, sterk siltig, matig humeus, laagjes zand bruin

6.43 tot 5.93 Klei, sterk siltig, matig humeus, donker bruin

5.93 tot 5.73 Leem, sterk zandig, puin bruin

5.73 tot 5.53 Klei, sterk siltig, matig humeus, sporen roest grijs

5.53 tot 4.63 Zand, matig grof, zwak siltig, zwak grindig grijs

4.63 tot 4.13 Klei, matig siltig, sporen roest grijs

4.13 tot 3.83 Zand, zeer grof, matig siltig, zwak grindig grijs

3.83 tot 3.73 Klei, sterk siltig grijs

3.73 tot 3.33 Zand, zeer fijn, sterk siltig grijs

3.33 tot 3.13 Klei, matig siltig grijs

3.13 tot 2.03 Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak grindig bruin

Algemene opmerking:

X: 160865.2

Y: 433130.3

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): 3.63

MV (m tov NAP): 7.03

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Geofysisch onderzoek Uiterwaarden Wamel Dreumel Heerewaarden

1217-0015-151

Boring: HB15

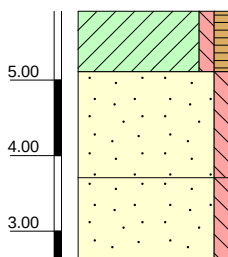
Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Veldclassificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

Pagina 1 van 1



5.91 tot 5.11 Klei, zwak siltig, zwak humeus bruin

5.11 tot 3.71 Zand, matig grof, zwak siltig grijs

3.71 tot 2.61 Zand, zeer grof, zwak siltig grijs

Algemene opmerking:

X: 158097.9

Y: 431459.2

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 5.91

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

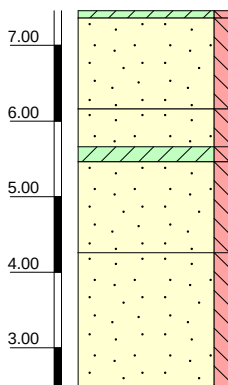
Geclassificeerd door:

Boring: HB16

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



7.46 tot 7.36 Klei, zwak siltig bruin

7.36 tot 6.16 Zand, matig fijn, zwak siltig grijs

6.16 tot 5.66 Zand, zwak siltig, brokken klei grijs

5.66 tot 5.46 Klei, zwak siltig grijs

5.46 tot 4.26 Zand, zwak siltig grijs

4.26 tot 2.46 Zand, zwak siltig grijs

Algemene opmerking:

X: 158595.0

Y: 432182.3

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 7.46

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Geofysisch onderzoek Uiterwaarden Wamel Dreumel Heerewaarden

1217-0015-151

Boring: HB17

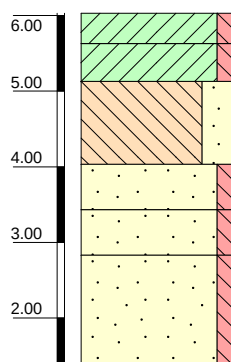
Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Veldclassificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

Pagina 1 van 1



6.03 tot 5.63 Klei, zwak siltig bruin

5.63 tot 5.13 Klei, zwak siltig grijs

5.13 tot 4.03 Leem, sterk zandig grijs

4.03 tot 3.43 Zand, matig grof, zwak siltig grijs

3.43 tot 2.83 Zand, zwak siltig grijs

2.83 tot 1.33 Zand, zeer grof, zwak siltig grijs

Algemene opmerking:

X: 159050.7

Y: 432467.5

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 6.03

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering:

Boormeester:

Geclassificeerd door:

Boring: HB18

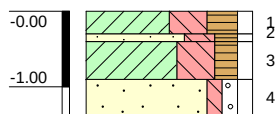
Referentie (m tov MV)

Monsternr.

Laboratorium classificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104 [Q]

Pagina 1 van 1



0.00 tot -0.30	Klei, uiterst siltig, sterk humeus, resten wortels bruin
-0.30 tot -0.40	Zand, zeer fijn, sterk siltig, matig humeus, insluitingen klei bruin
-0.40 tot -0.90	Klei, uiterst siltig, matig humeus grijs-bruin
-0.90 tot -1.40	Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak grindig grijs-bruin

Algemene opmerking:

X: 157094.8

Y: 438869.8

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov MV):

MV (m tov müM):

GHG (m tov MV):

GLG (m tov MV):

Boorvloeistof:

Datum boring: 01-06-2018

Boormeester: wdr

Datum laboratorium classificatie: 05-06-2018

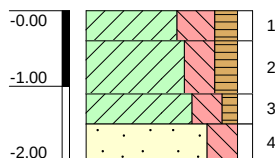
Geclassificeerd door: mlb

Boring: HB19

Referentie (m tov MV)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104 [Q]



0.00 tot -0.40	Klei, uiterst siltig, matig humeus, resten wortels grijs-bruin
-0.40 tot -1.10	Klei, sterk siltig, matig humeus, sporen wortels grijs-bruin
-1.10 tot -1.50	Klei, sterk siltig, zwak humeus grijs-bruin
-1.50 tot -2.00	Zand, matig grof, sterk siltig, brokken klei grijs-bruin

Algemene opmerking:

X: 157354.7

Y: 429452.4

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov MV):

MV (m tov müM):

GHG (m tov MV):

GLG (m tov MV):

Boorvloeistof:

Datum boring: 01-06-2018

Boormeester: wdr

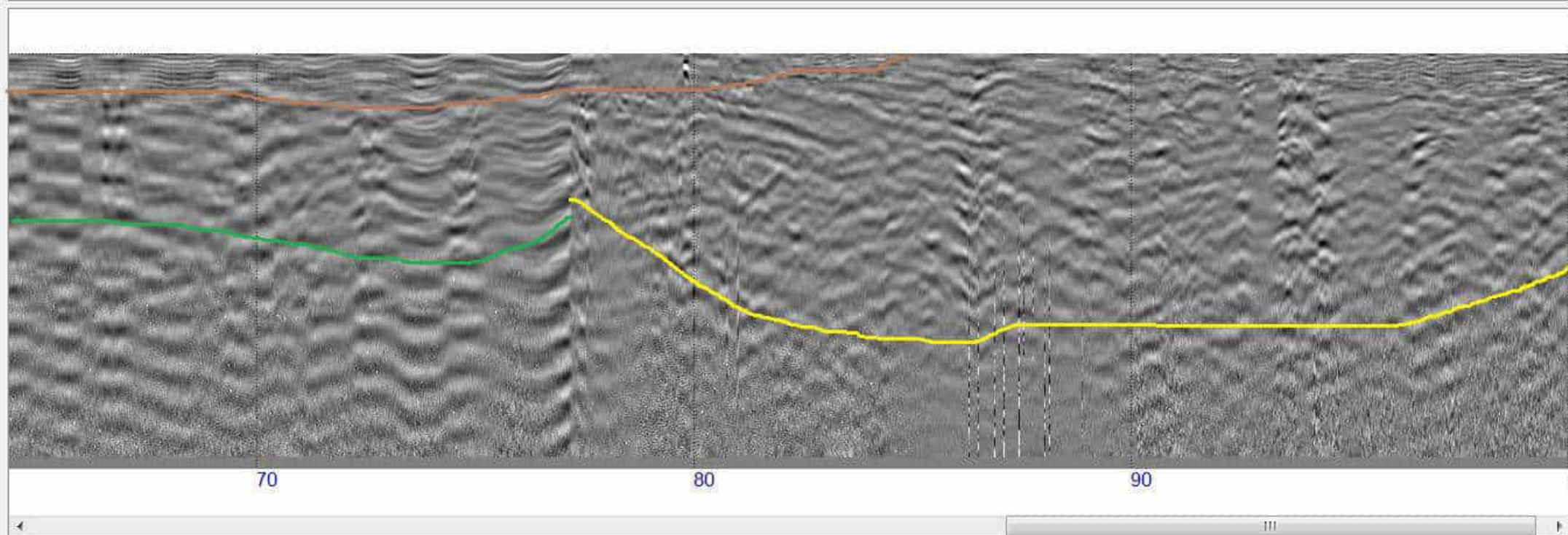
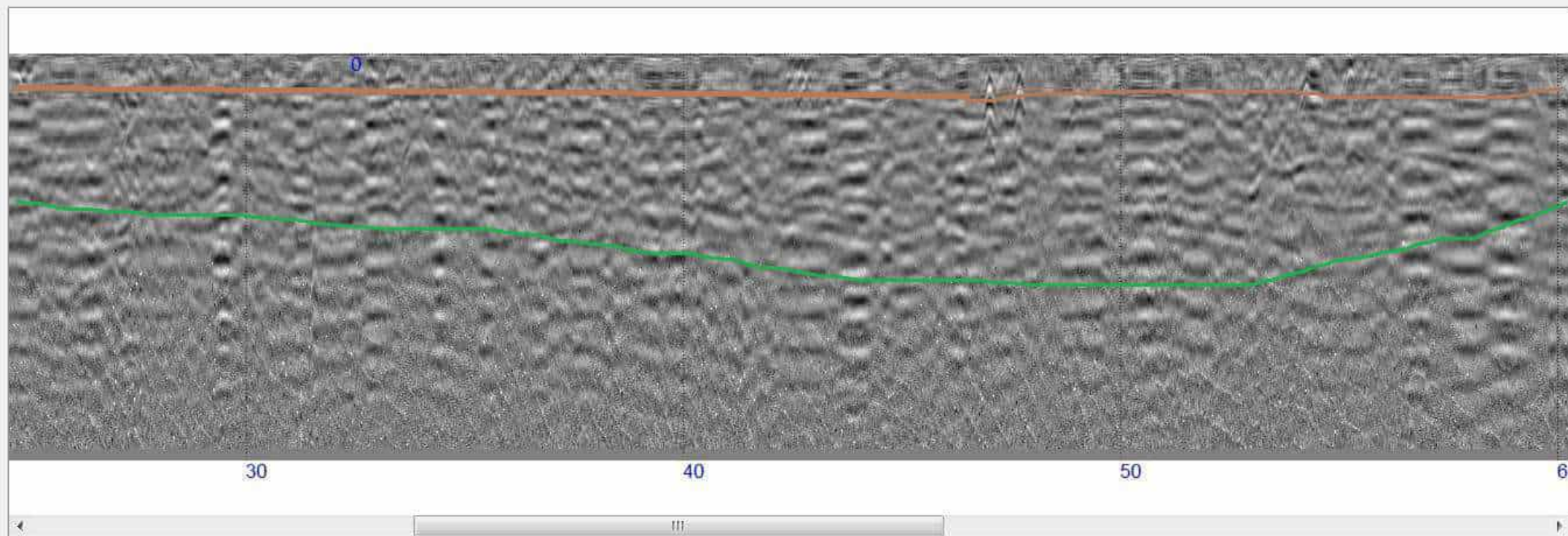
Datum laboratorium classificatie: 05-06-2018

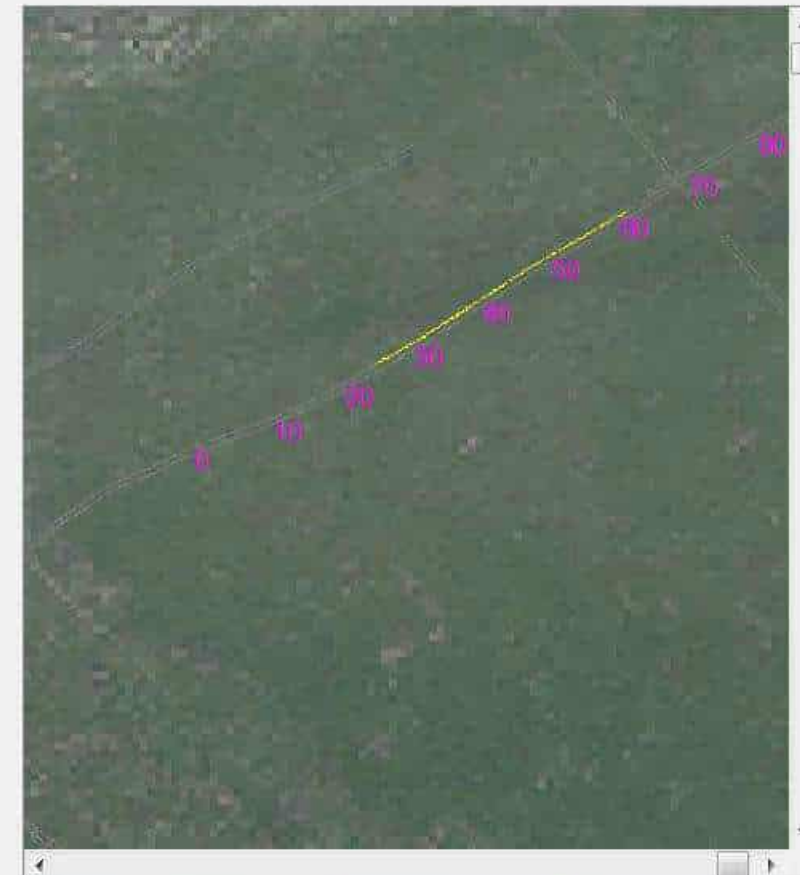
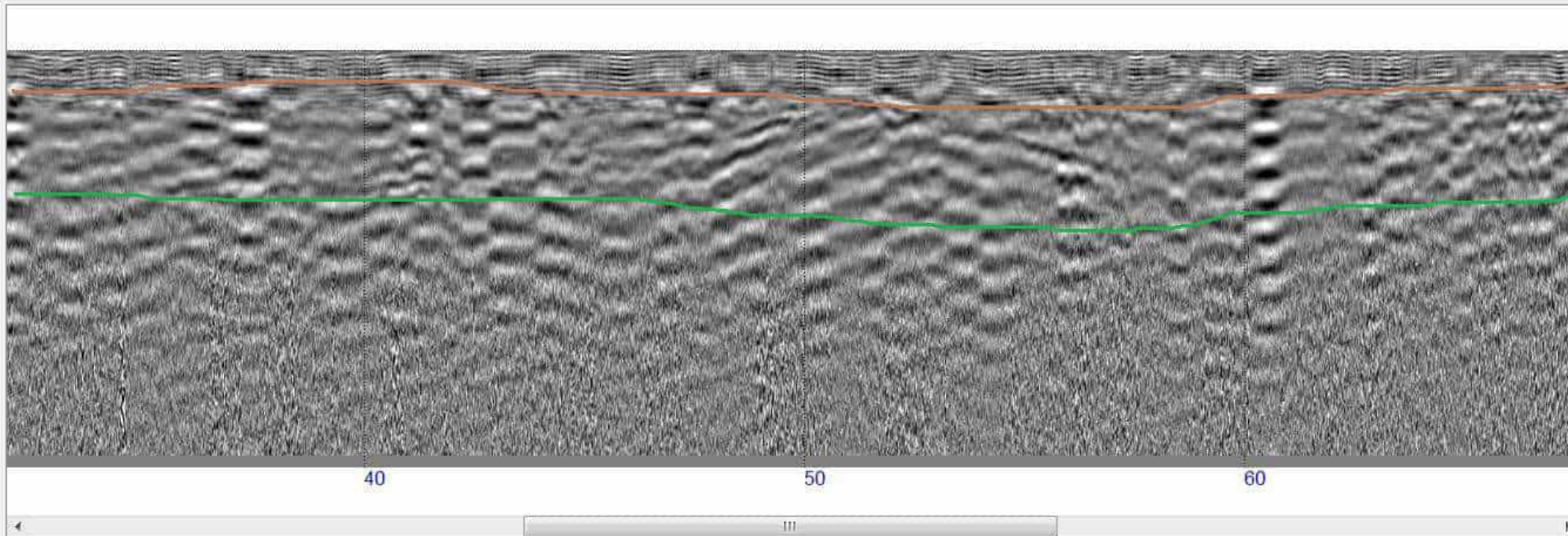
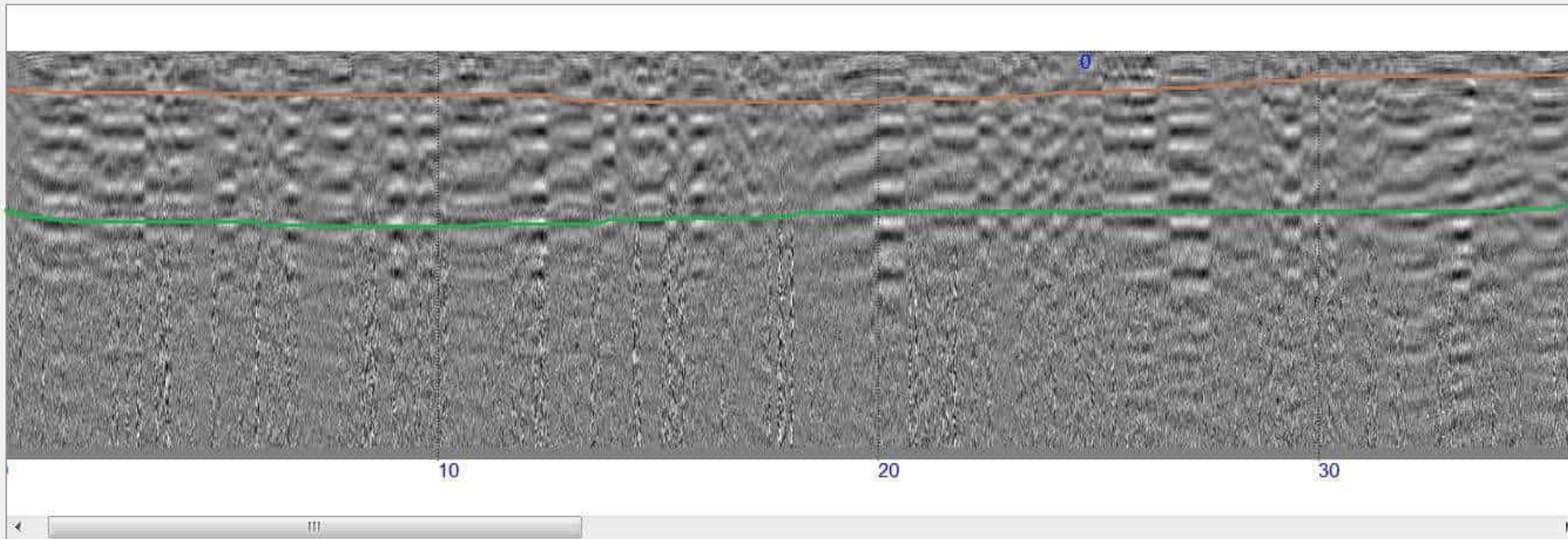
Geclassificeerd door: mlb

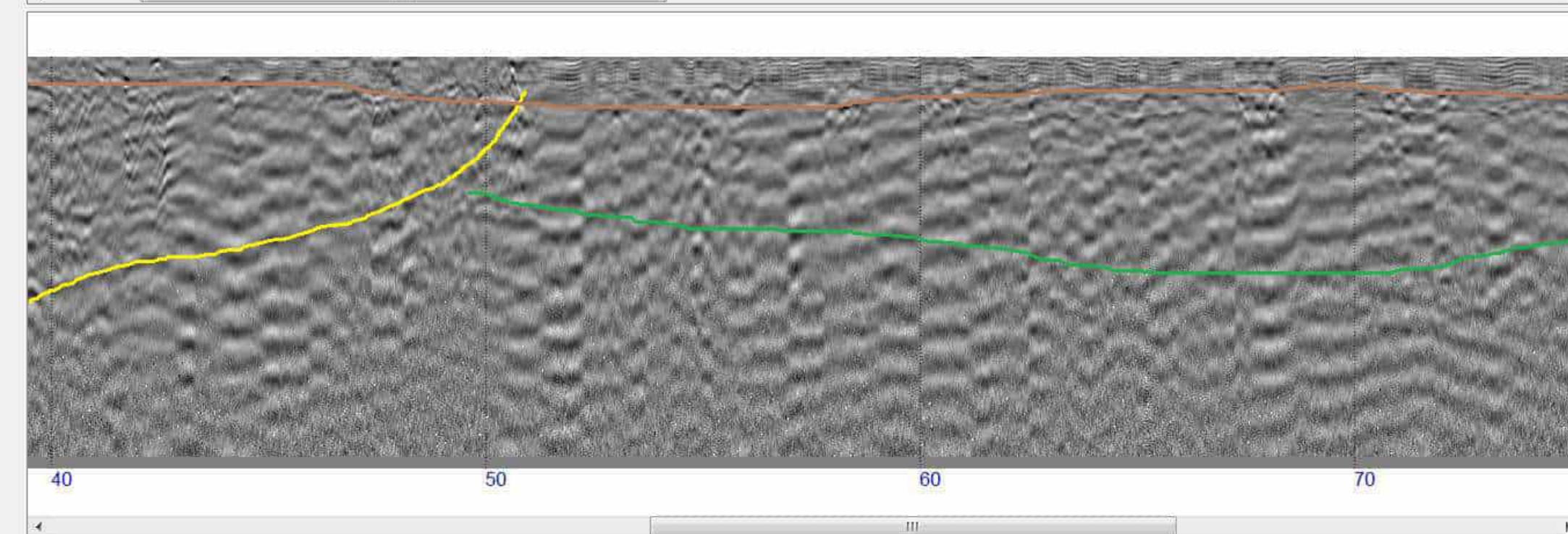
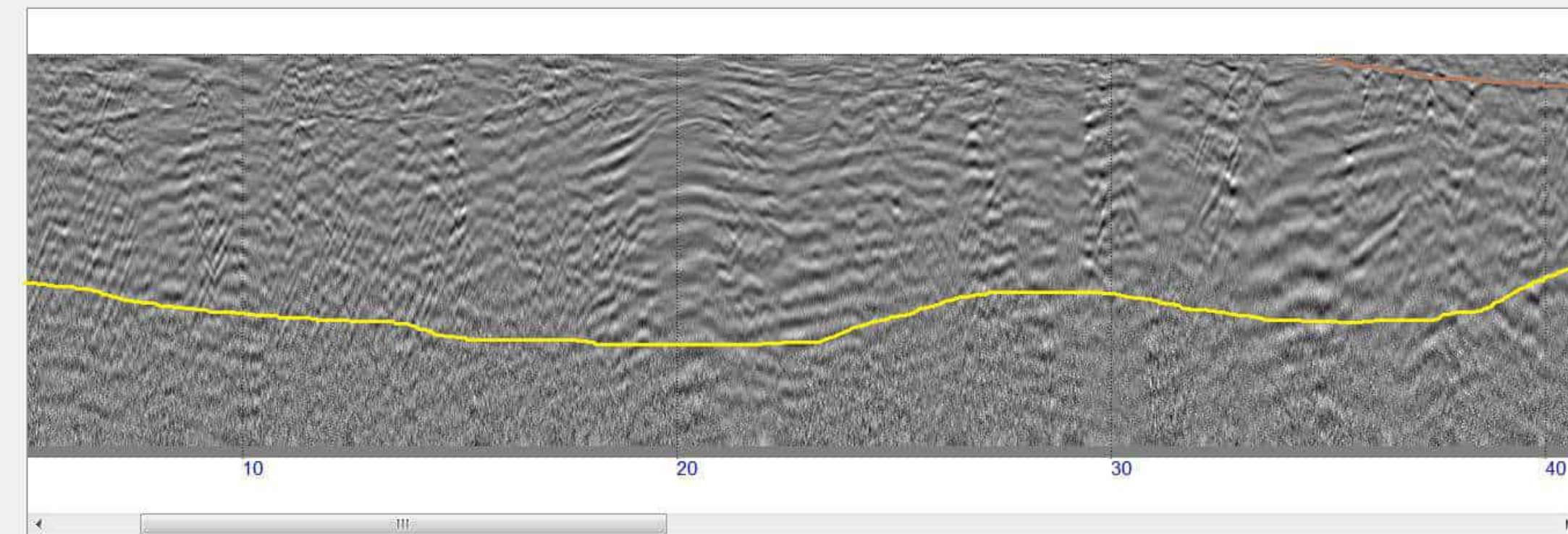
BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

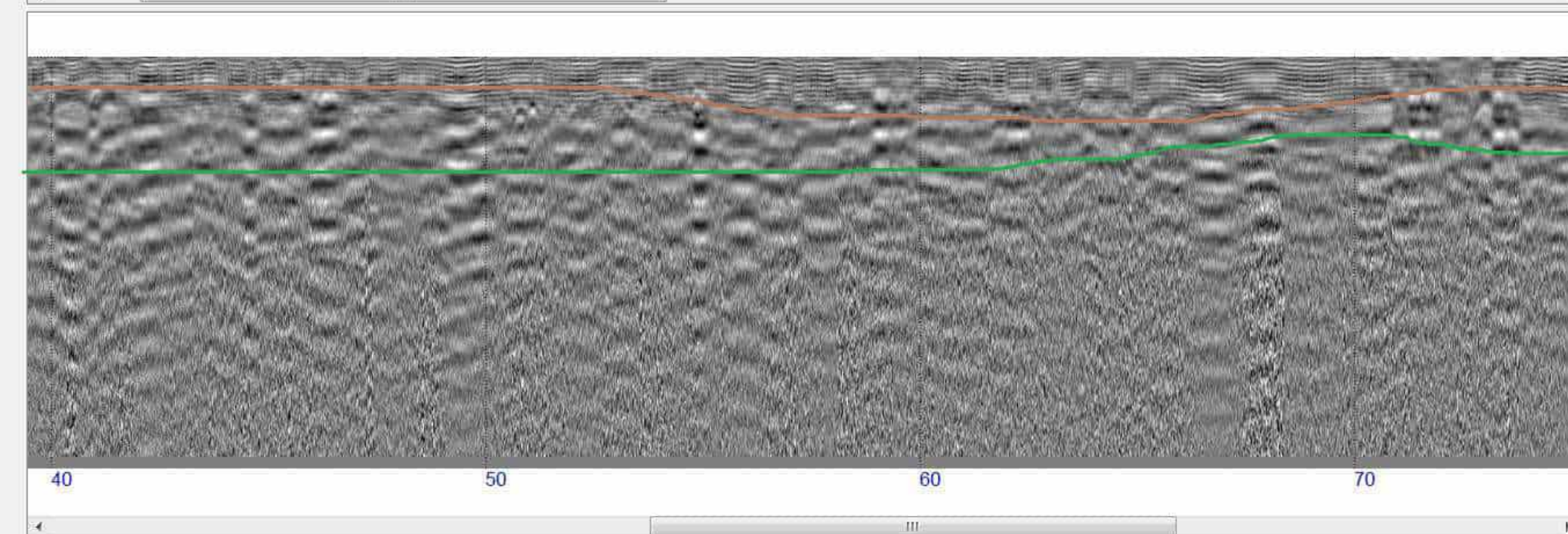
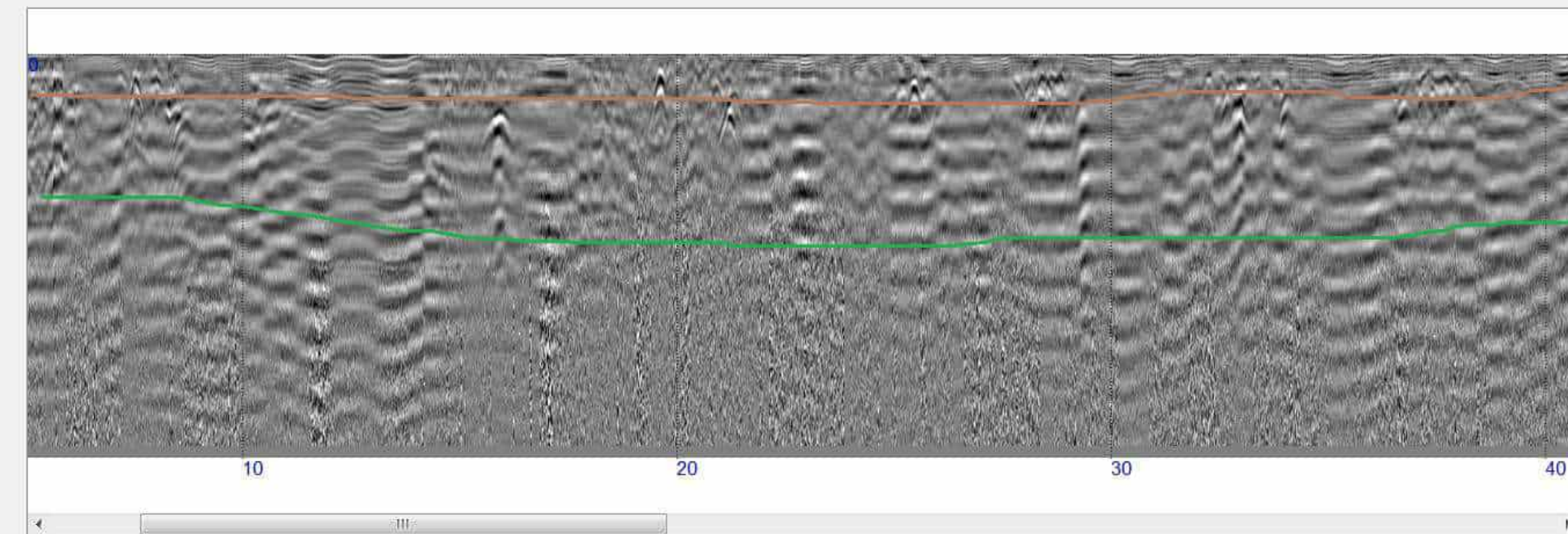
Uiterwaarden Wamel Dreumel Heerewaarden

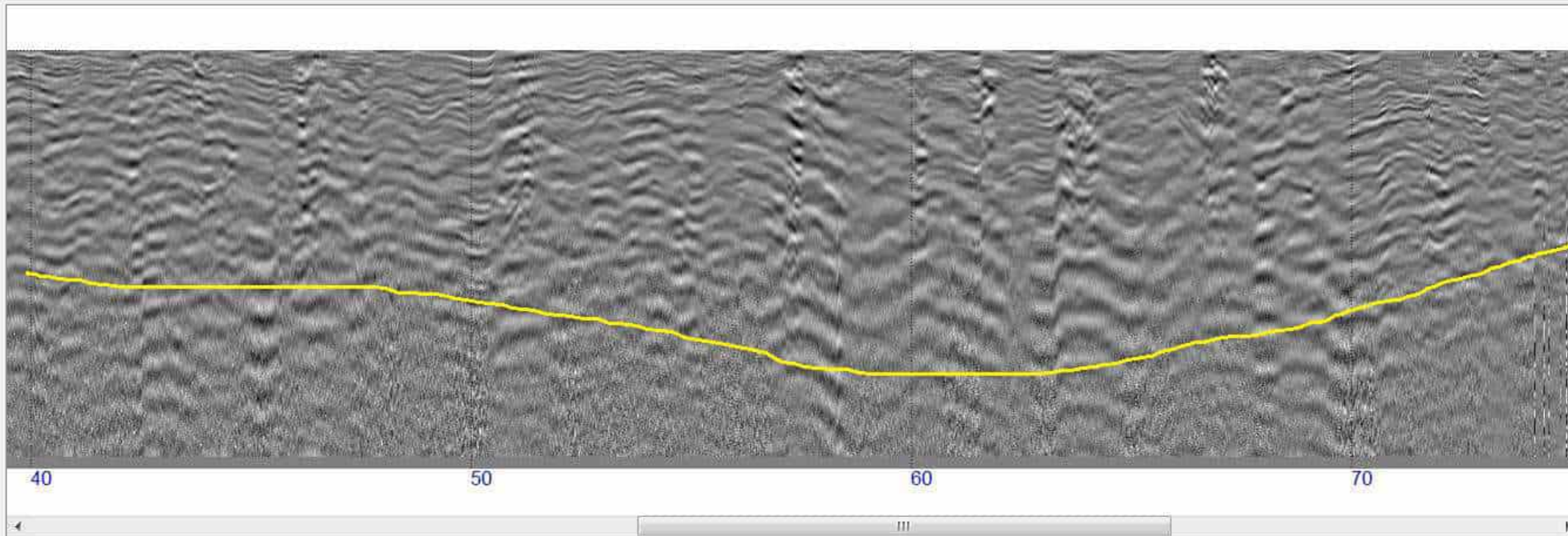
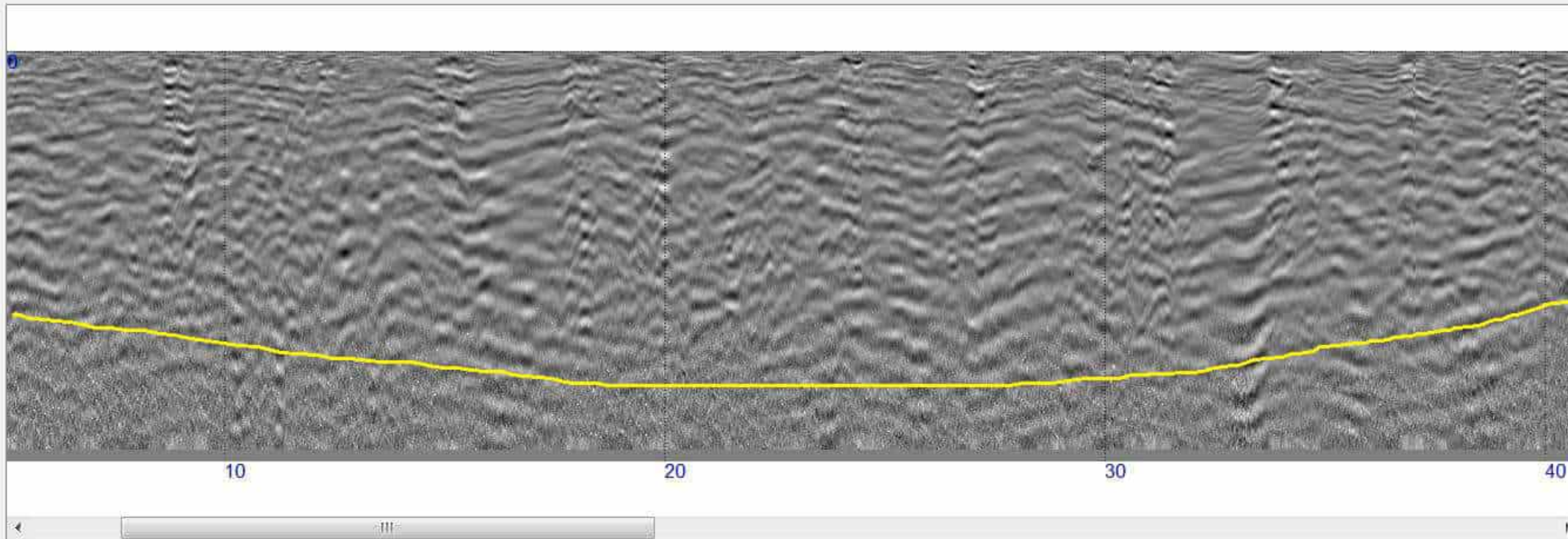
1217-0015-200

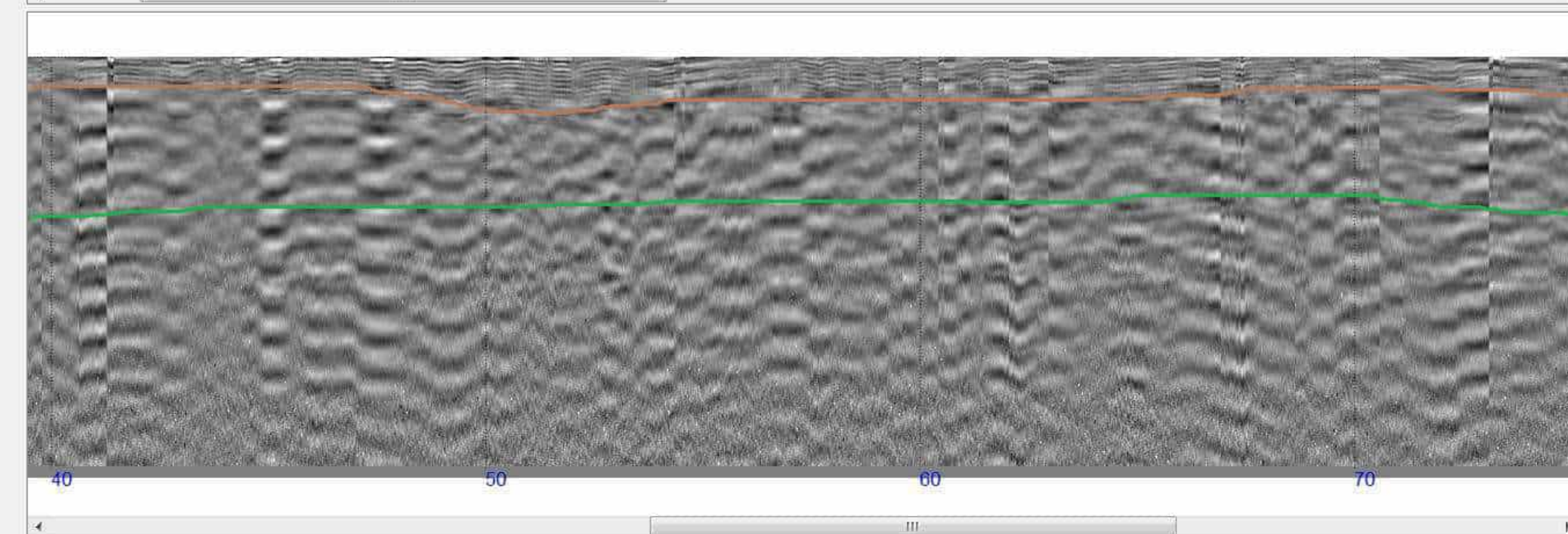
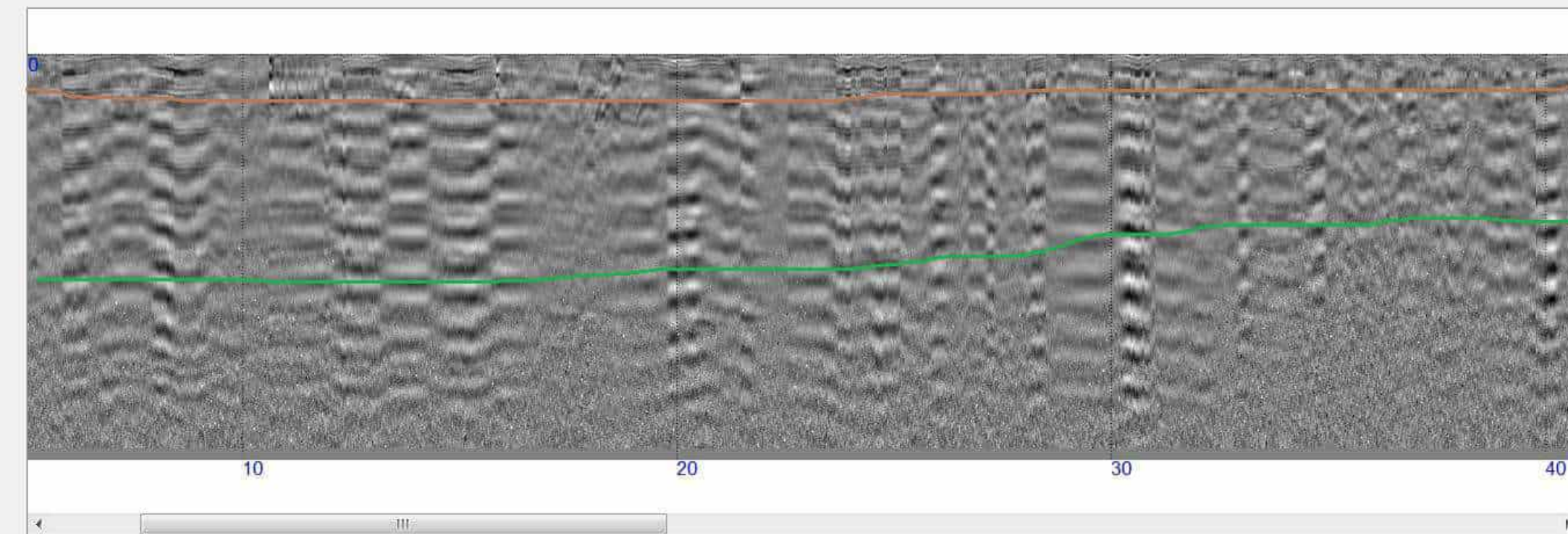


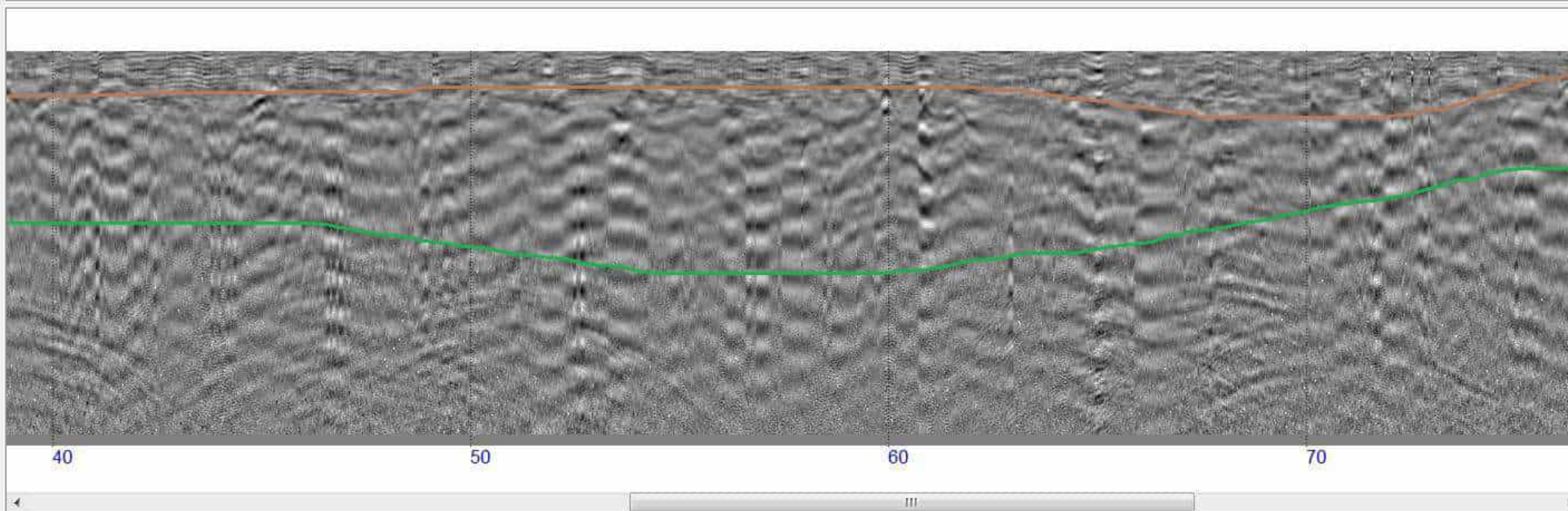
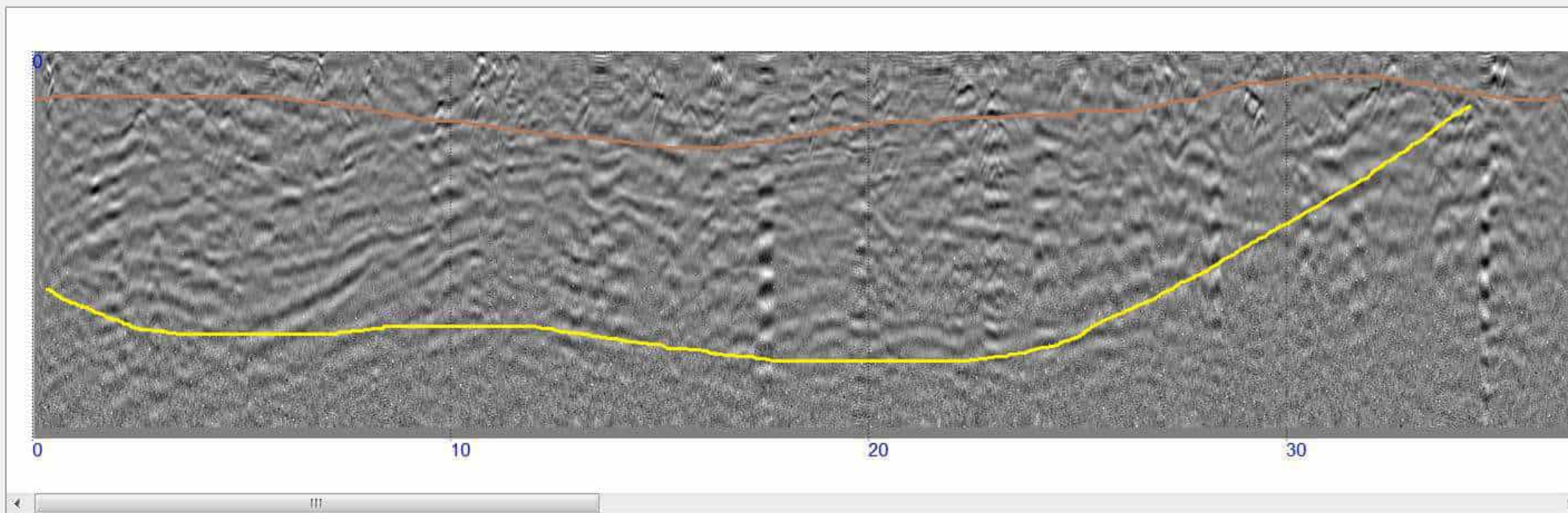


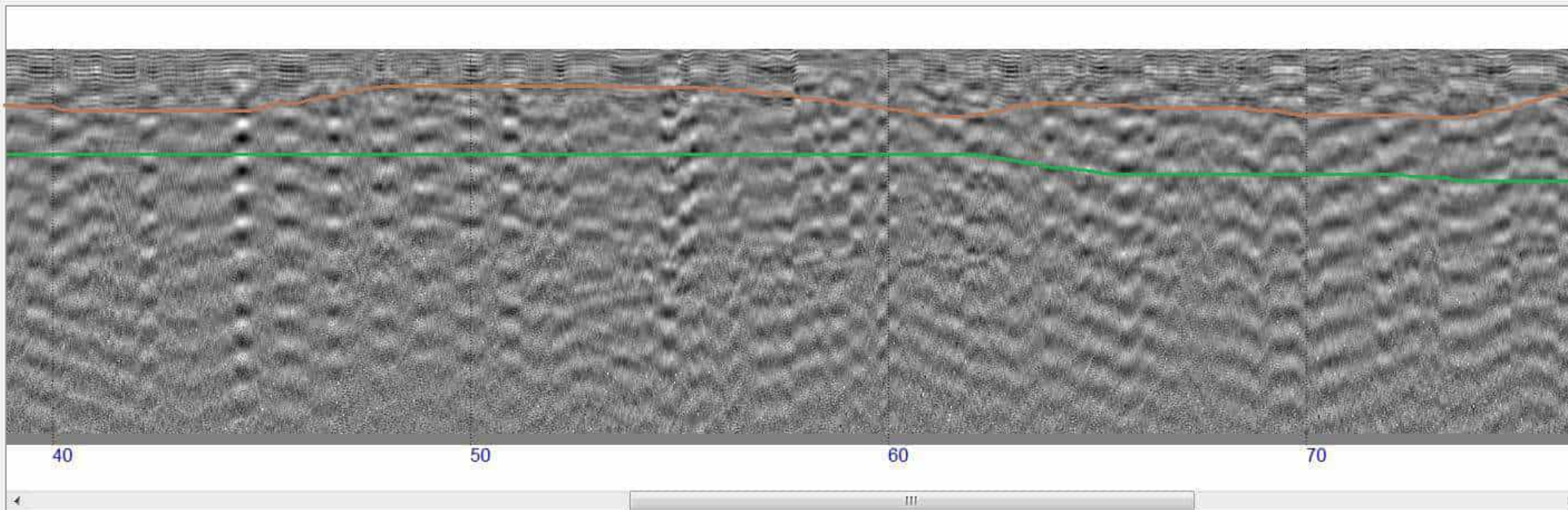
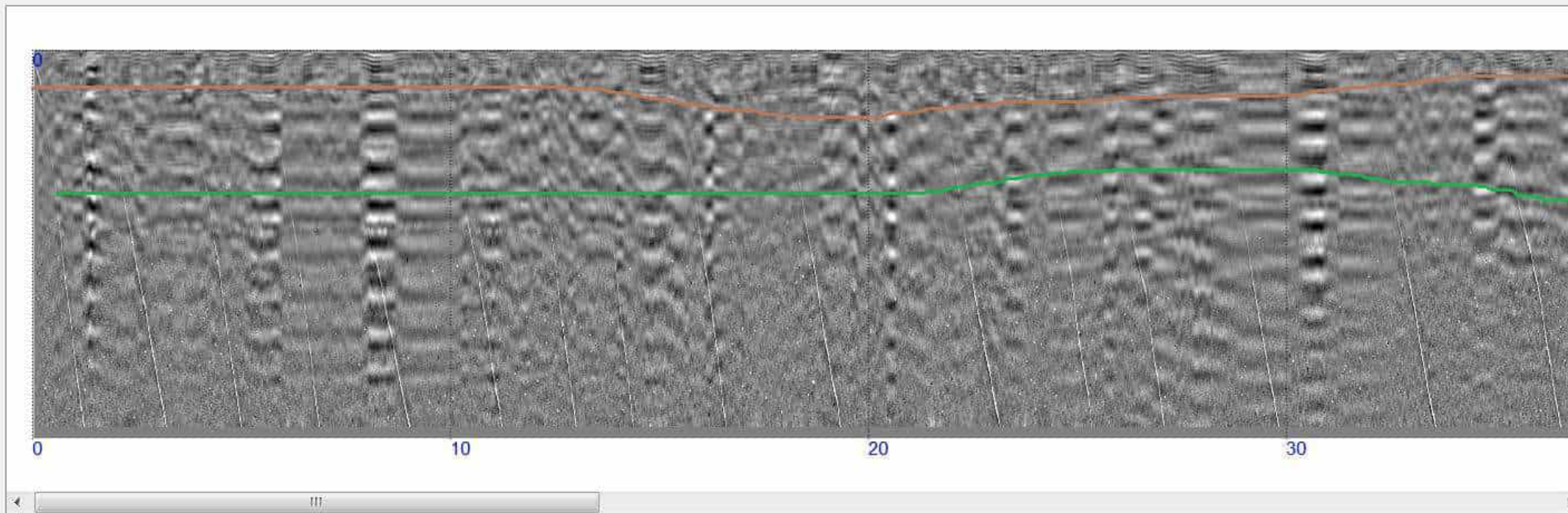


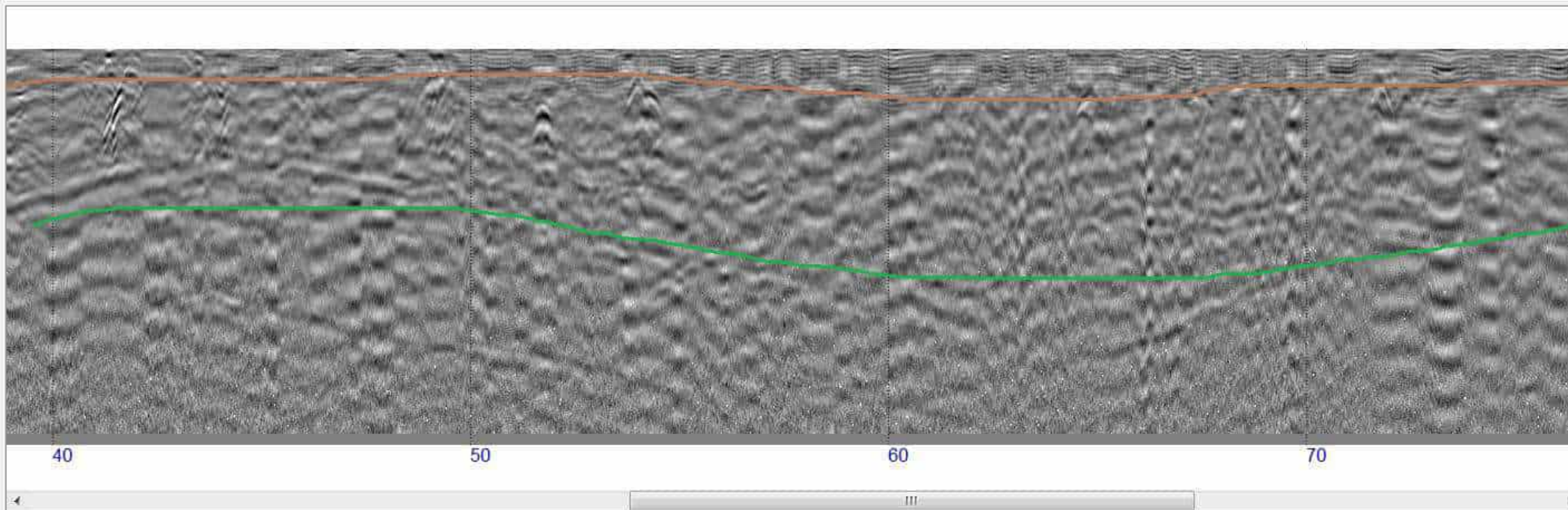
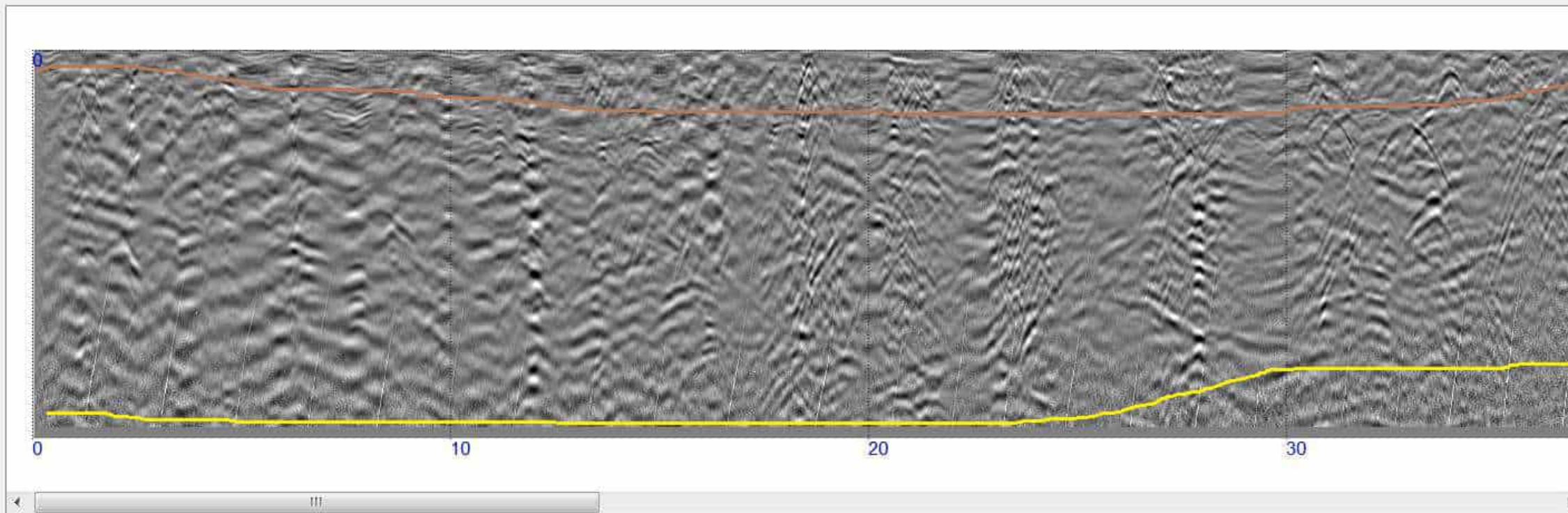


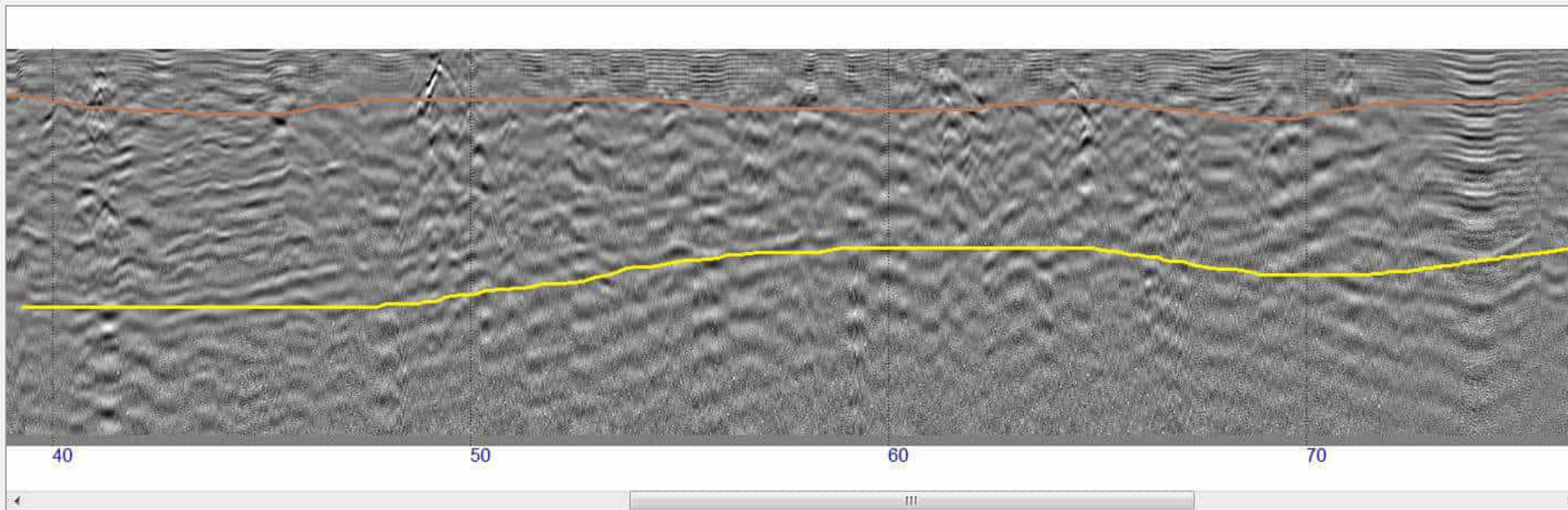
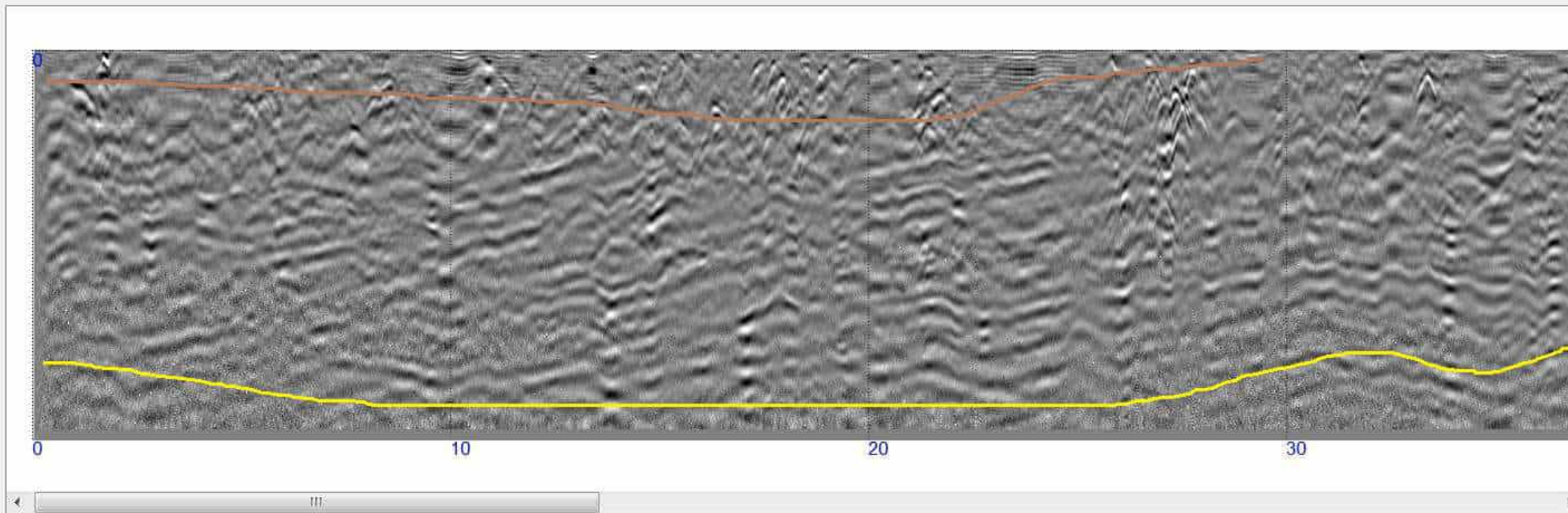


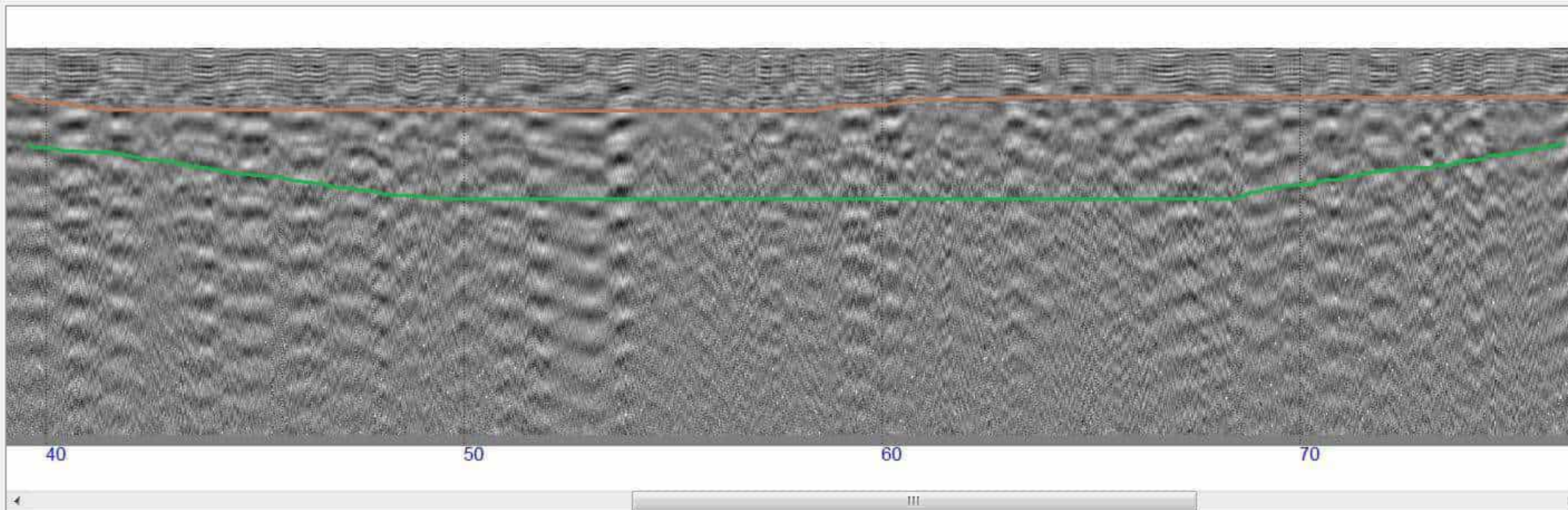
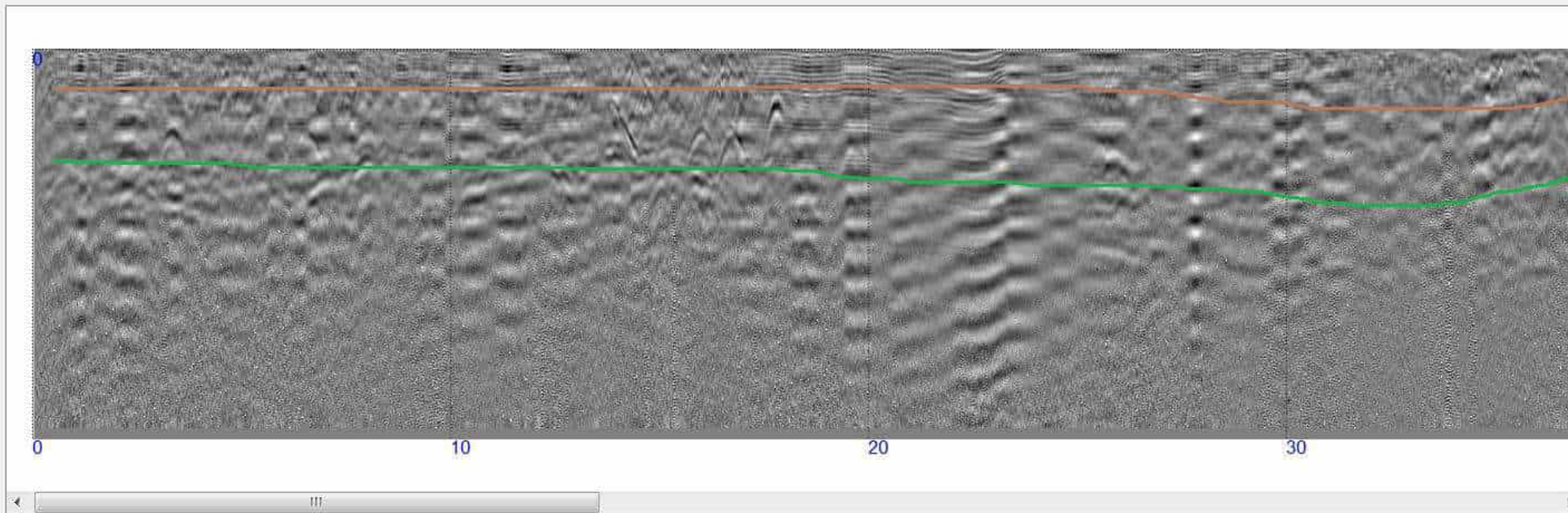


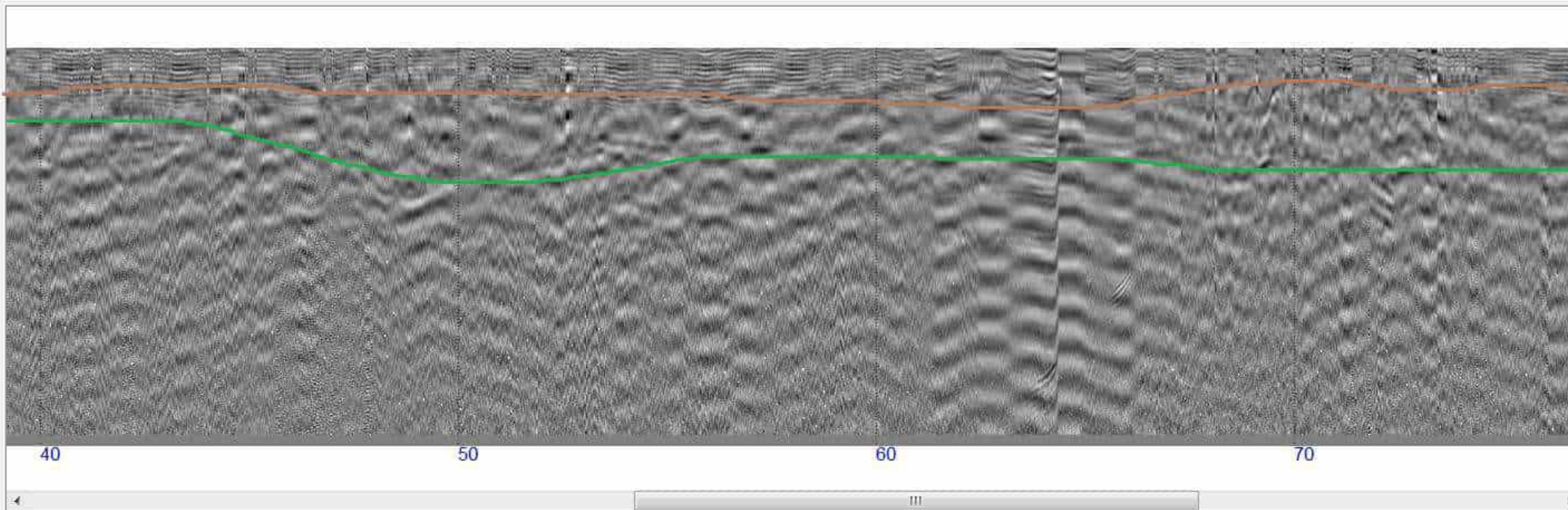
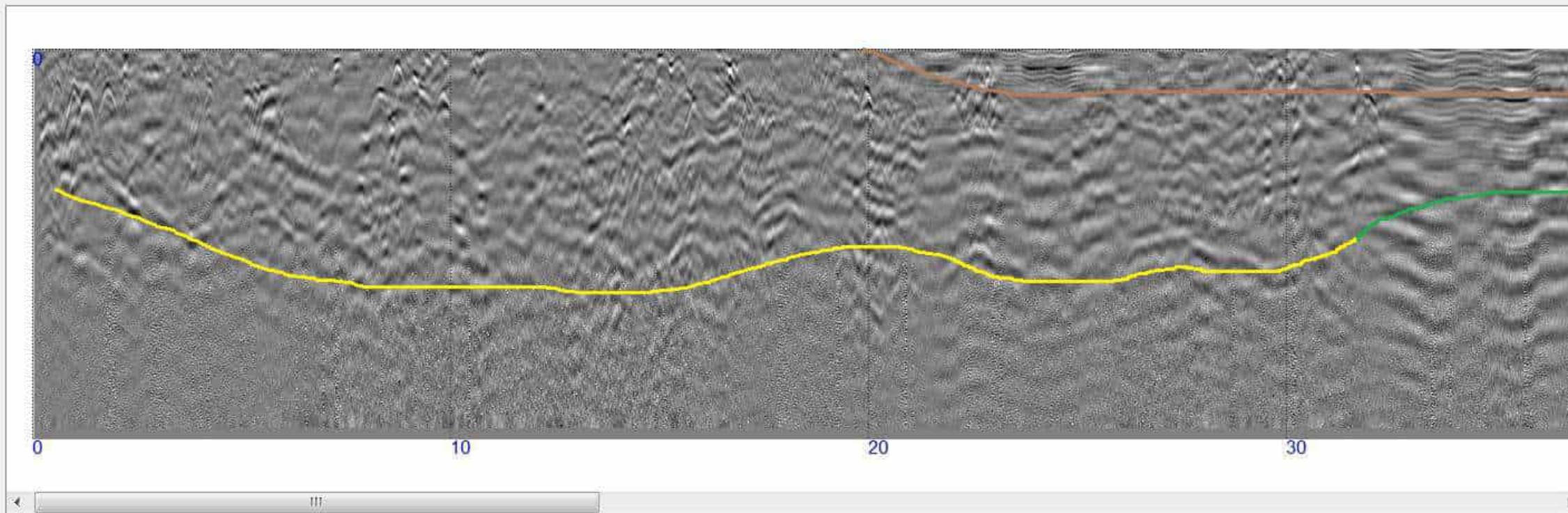


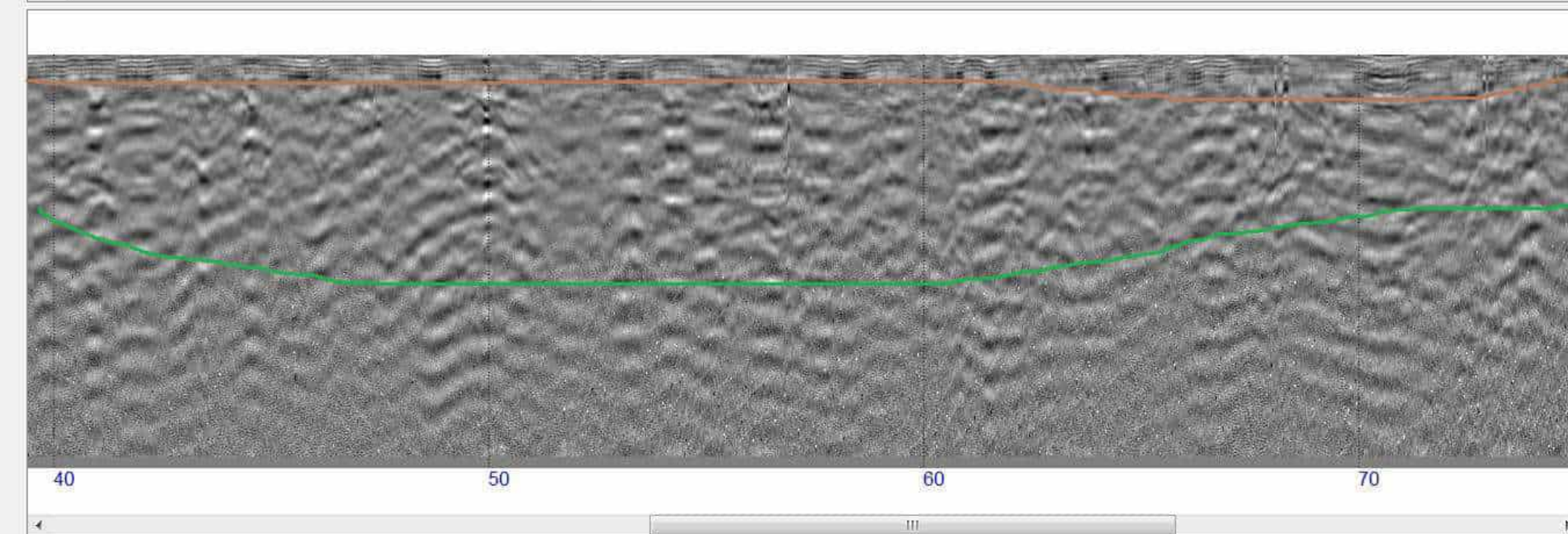
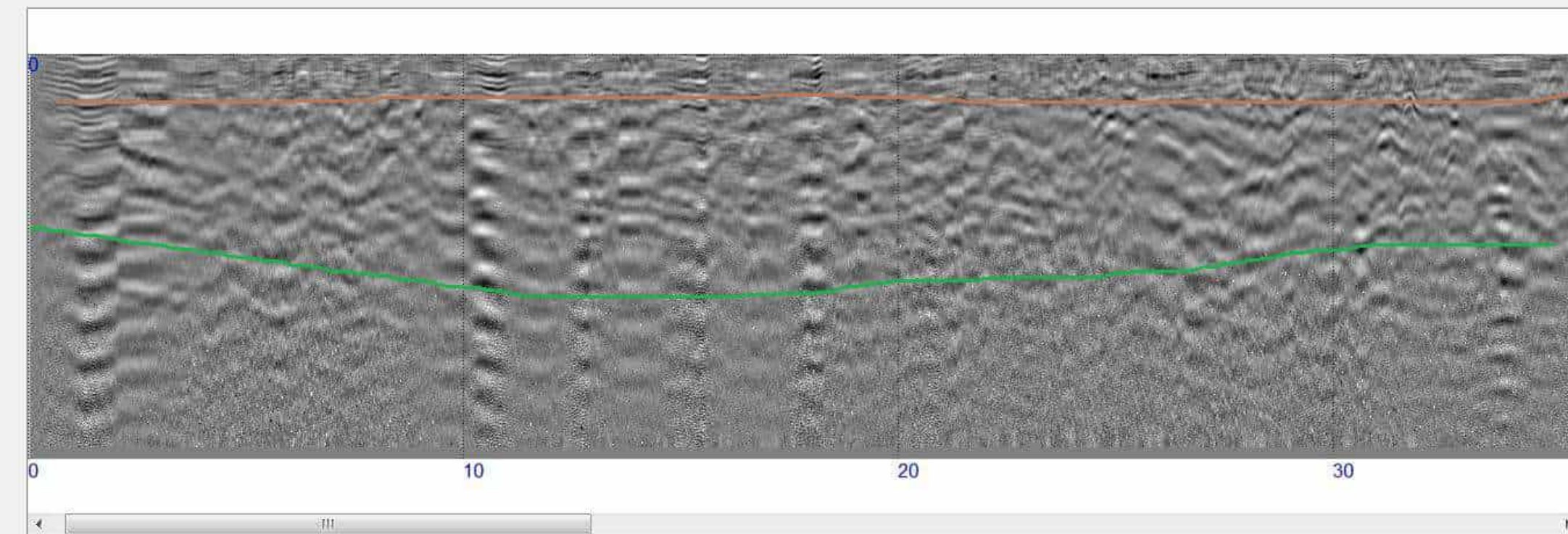


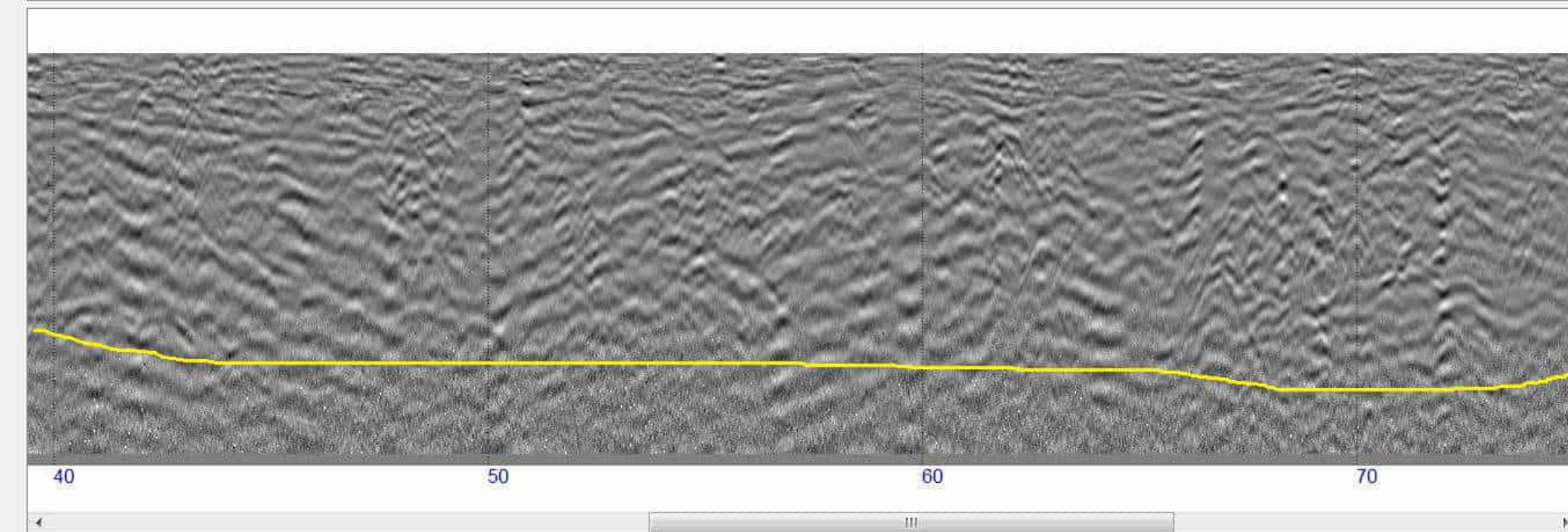
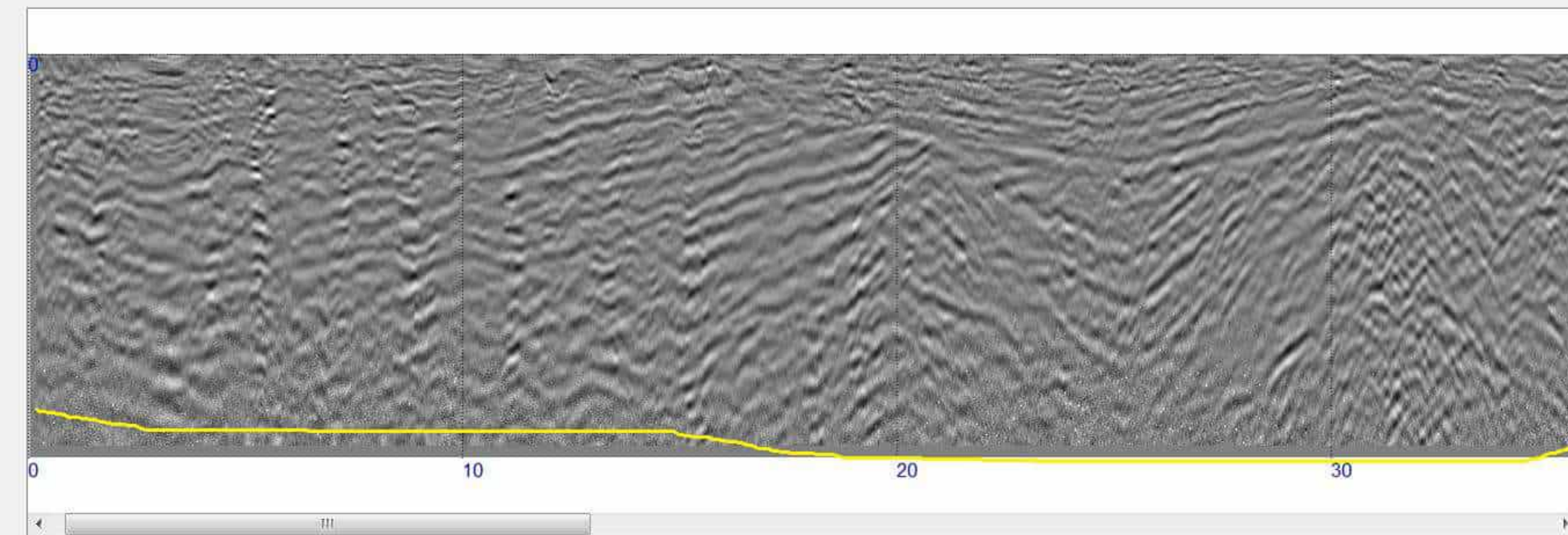


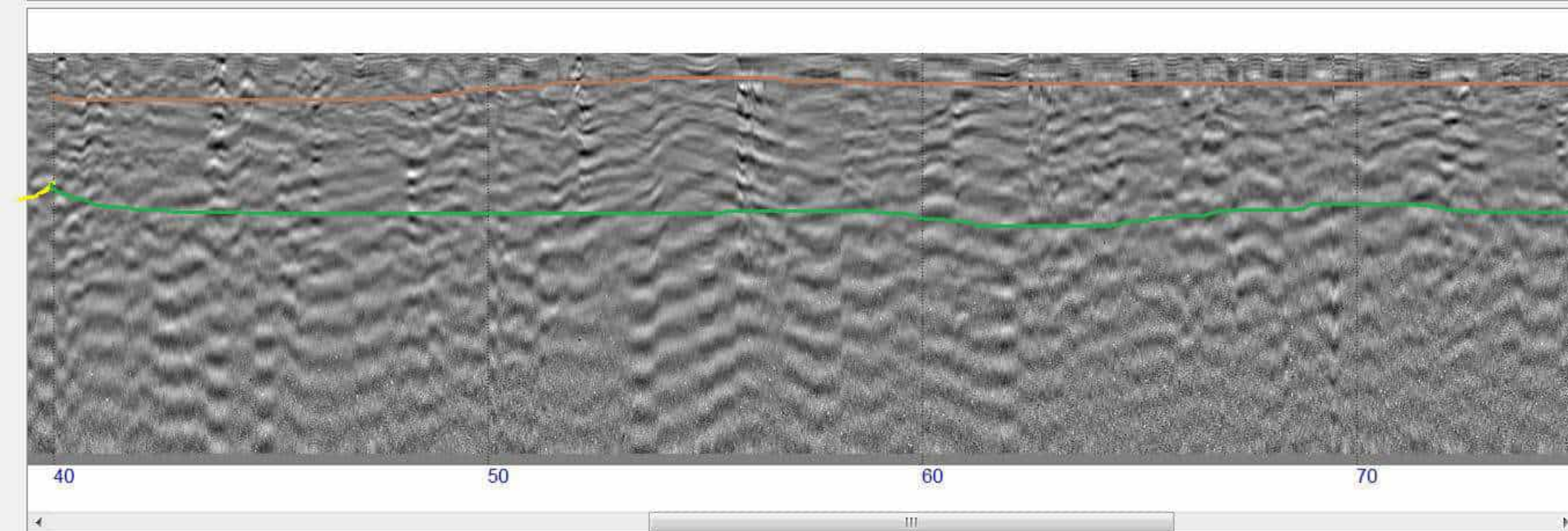
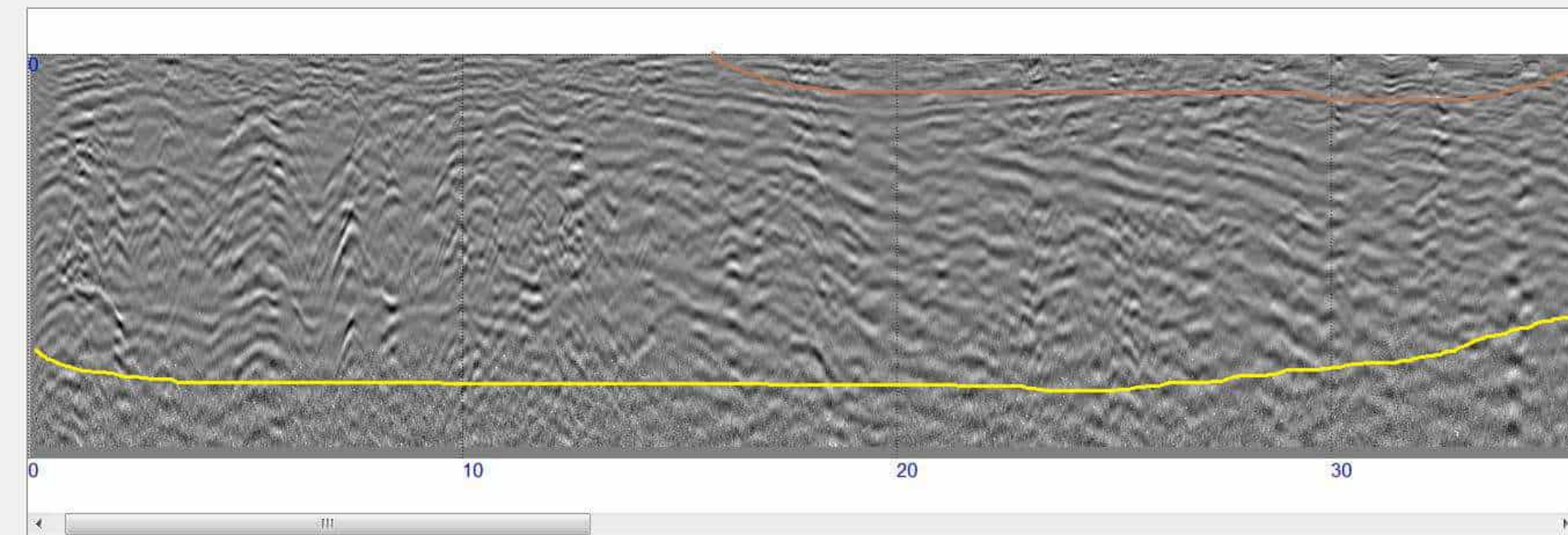


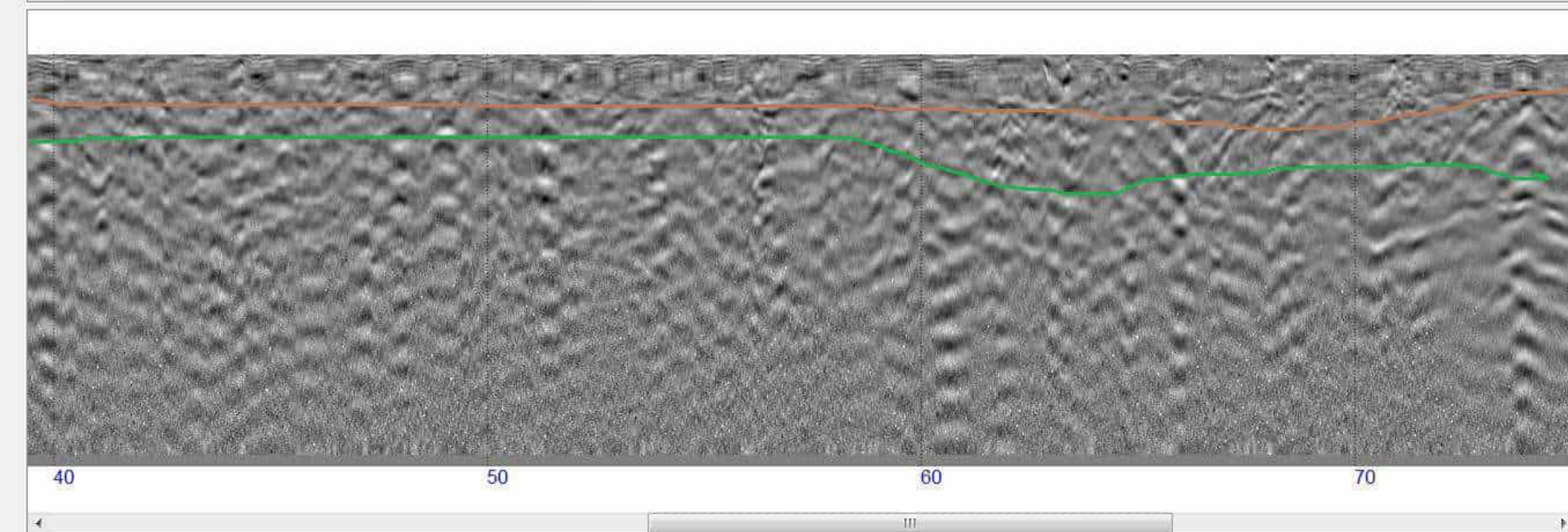
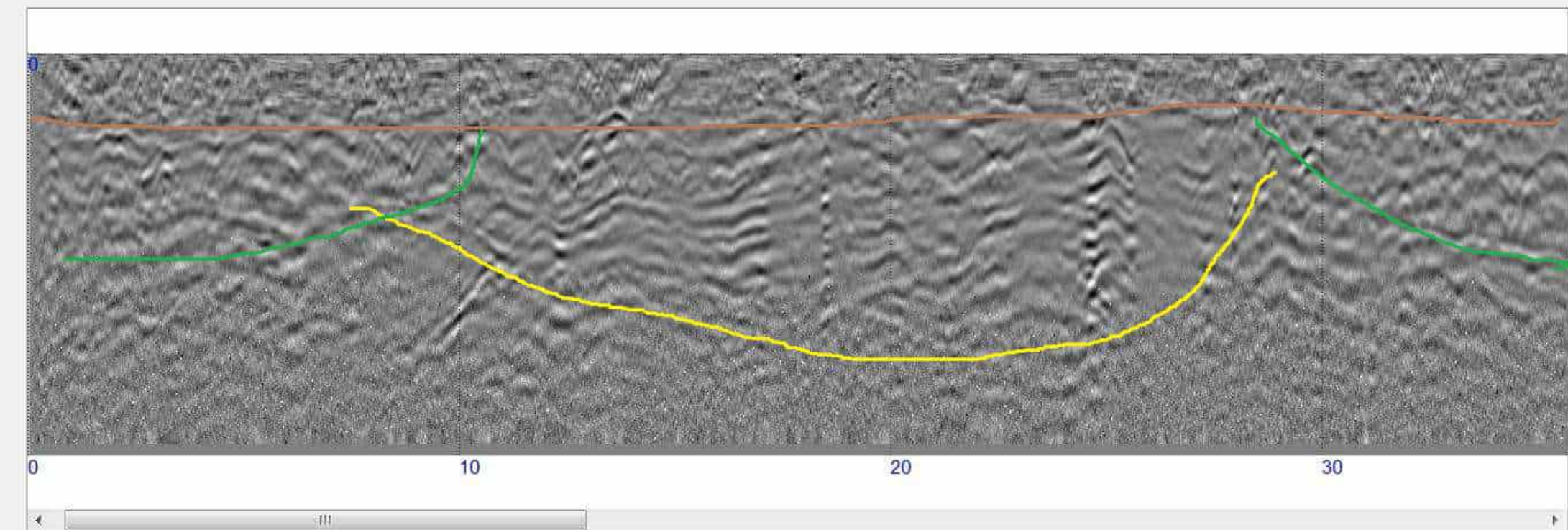


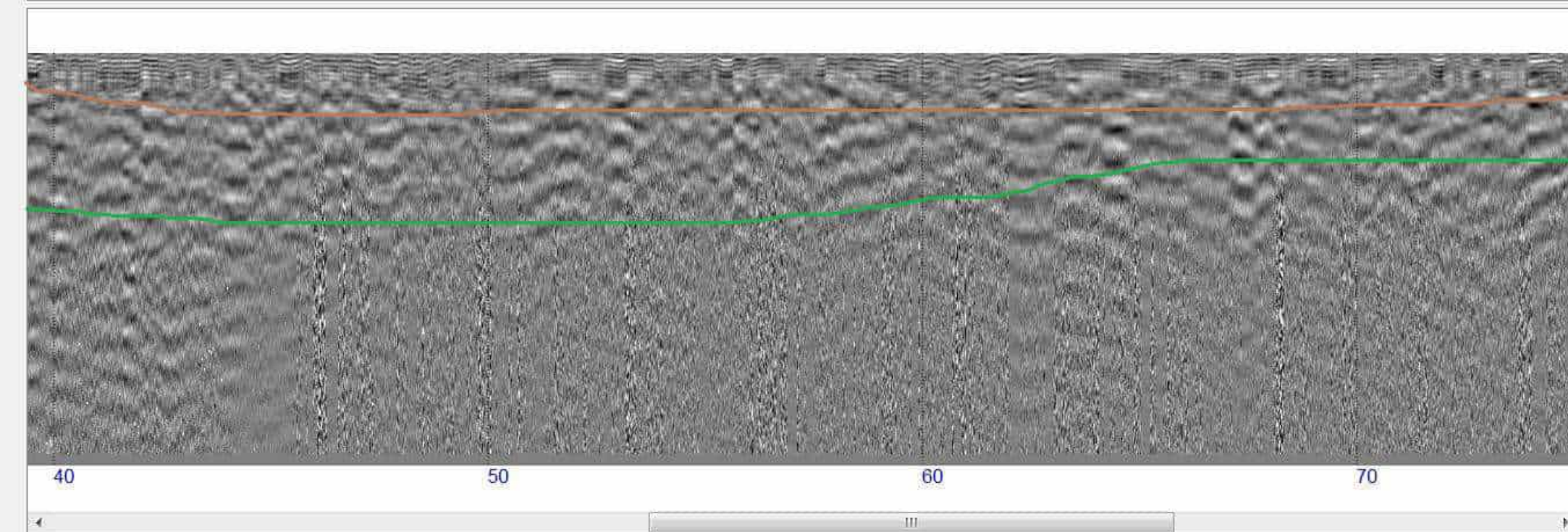
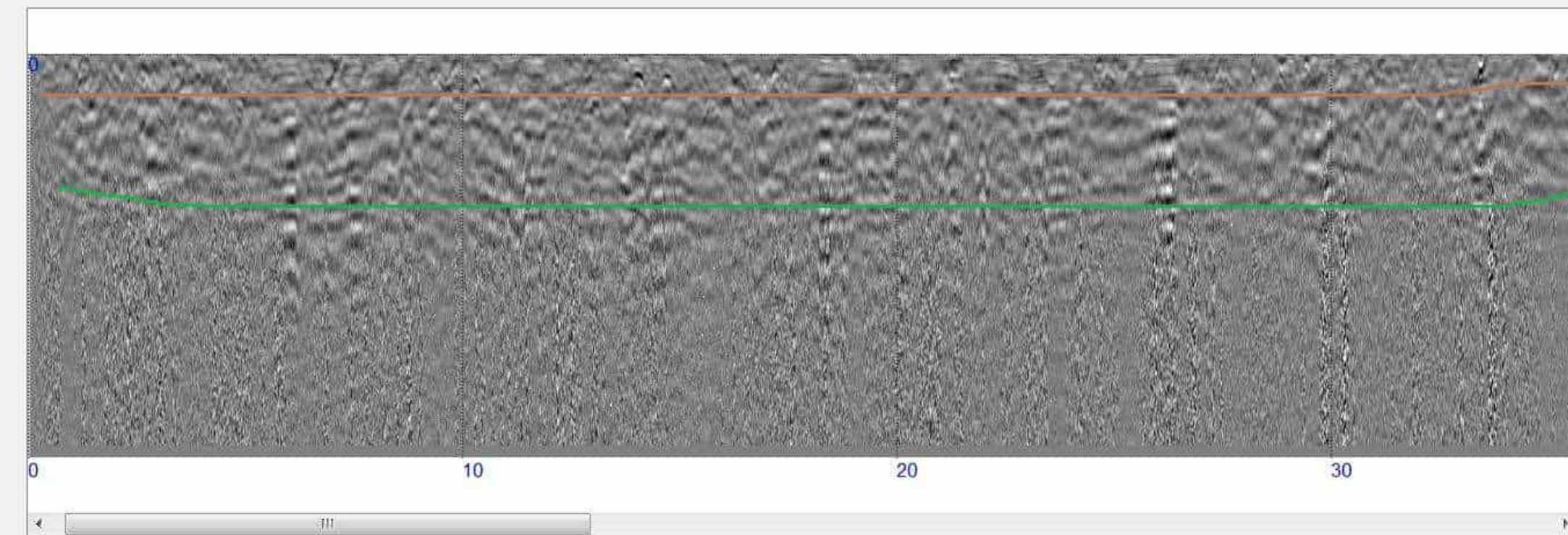


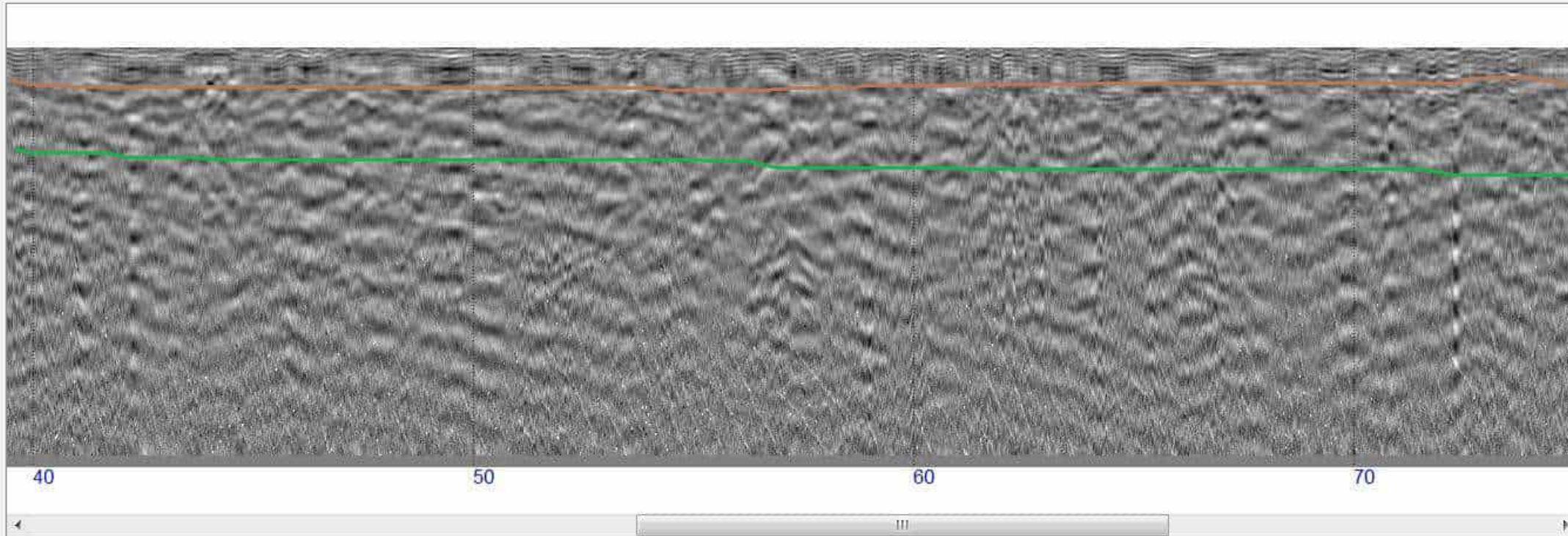
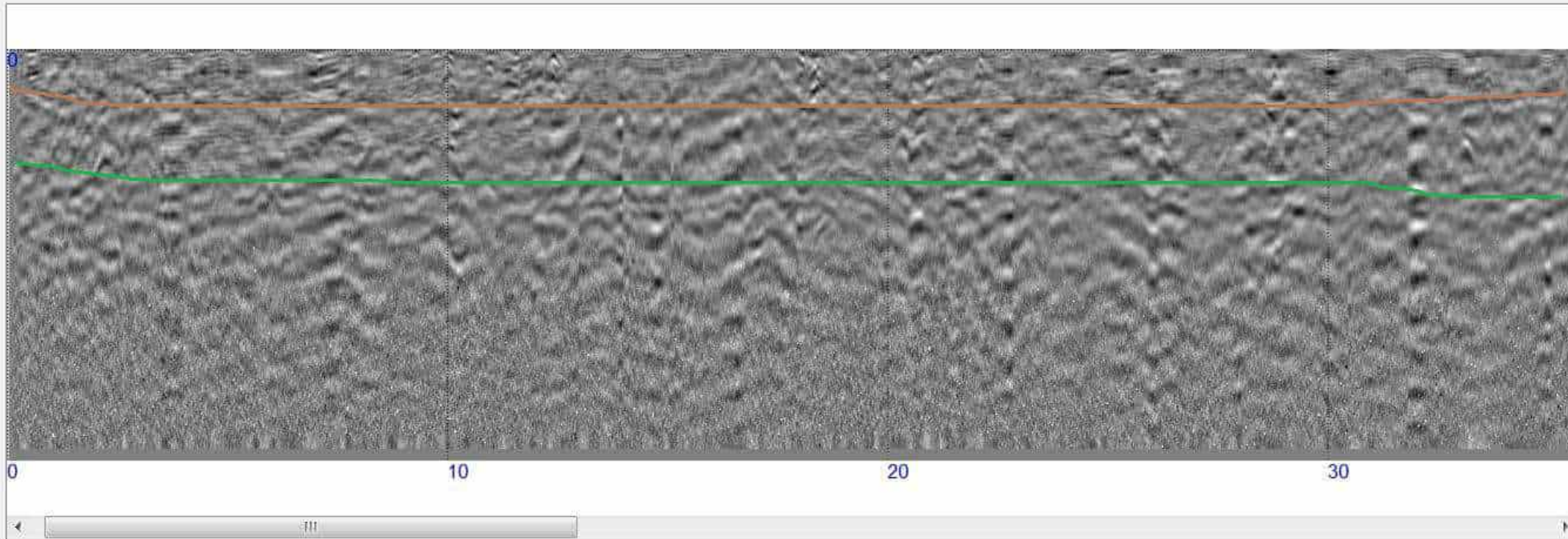


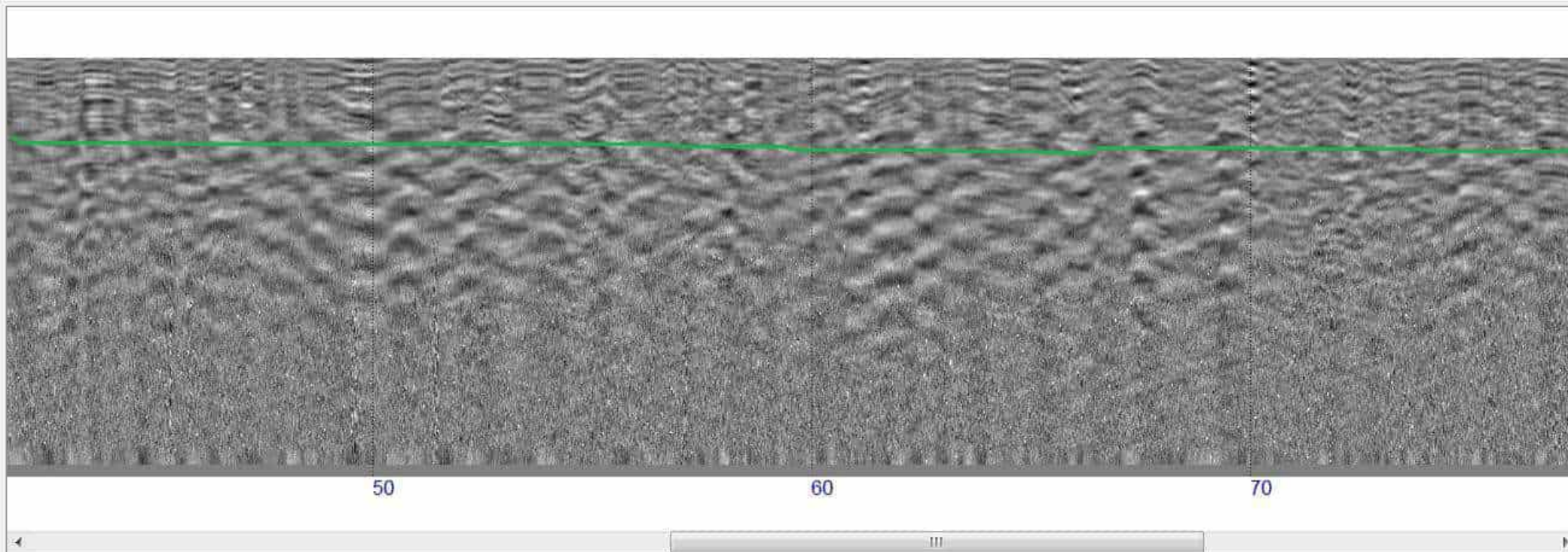
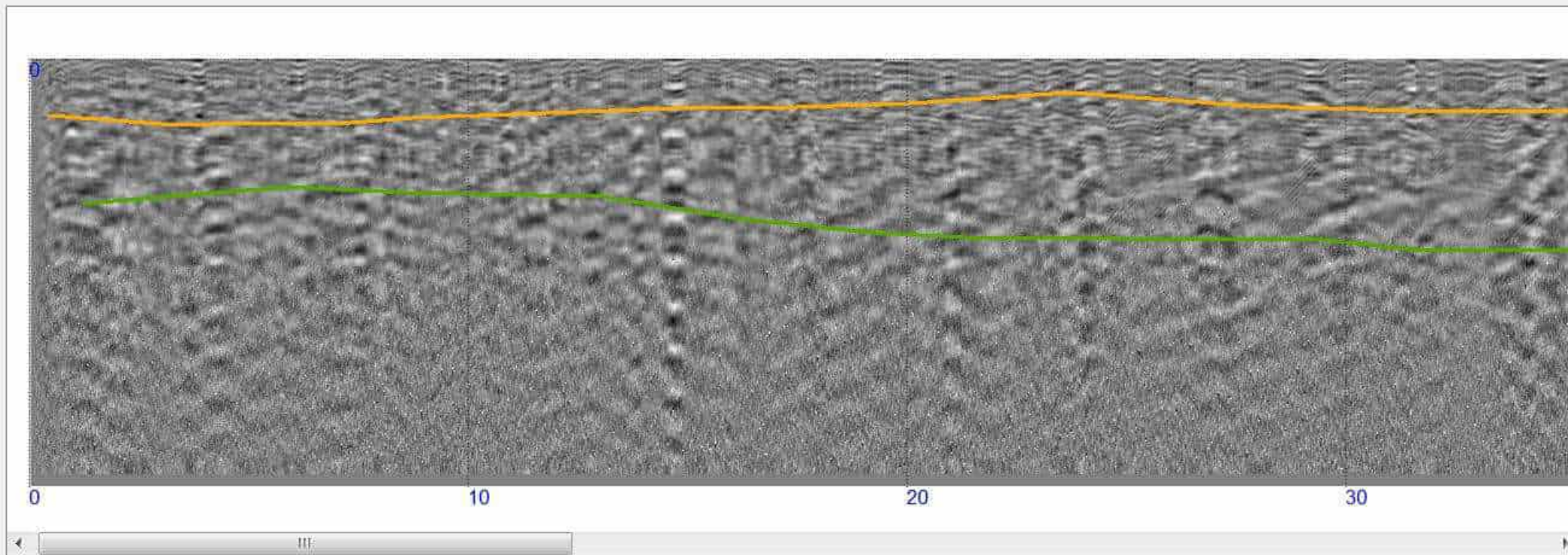


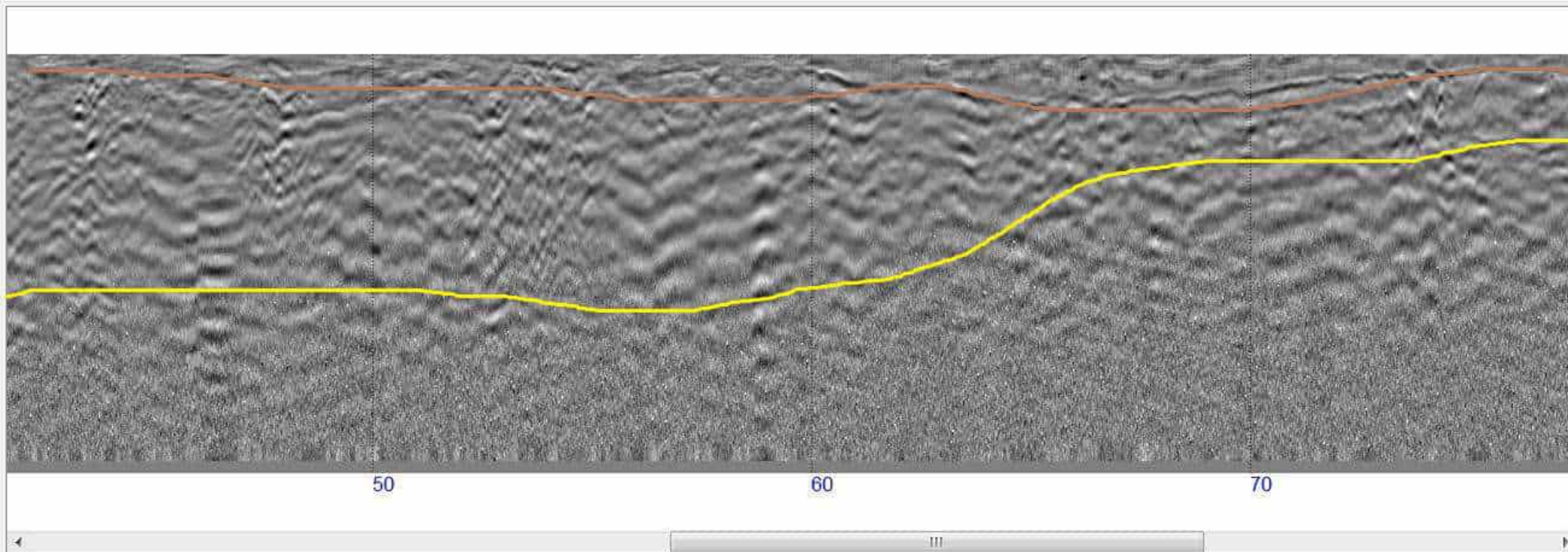
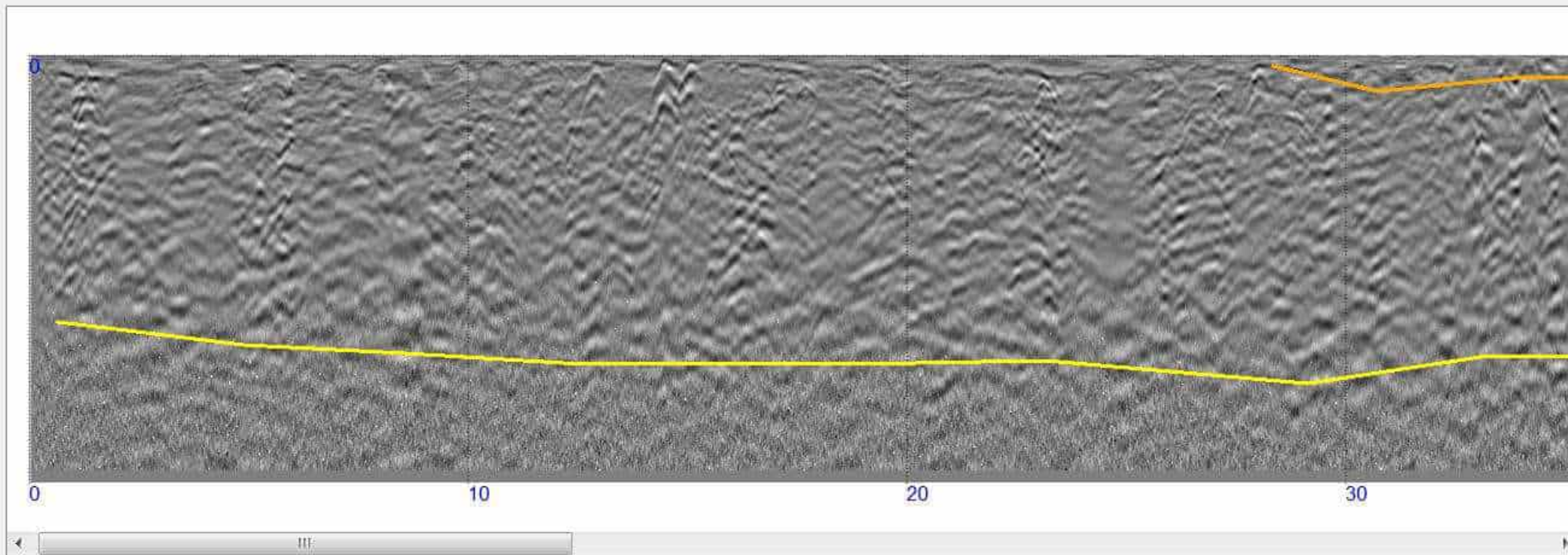


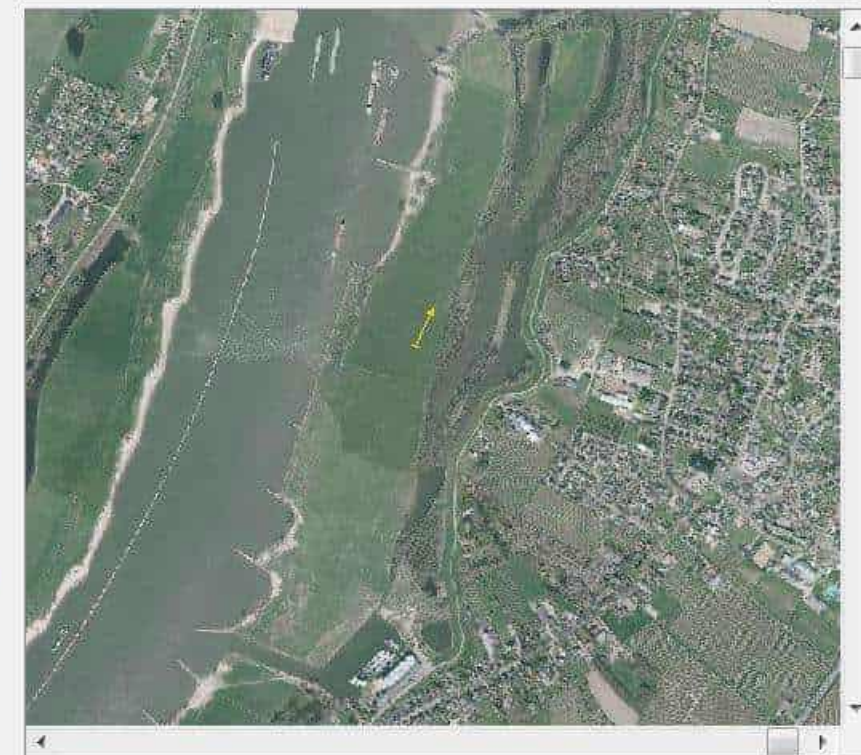
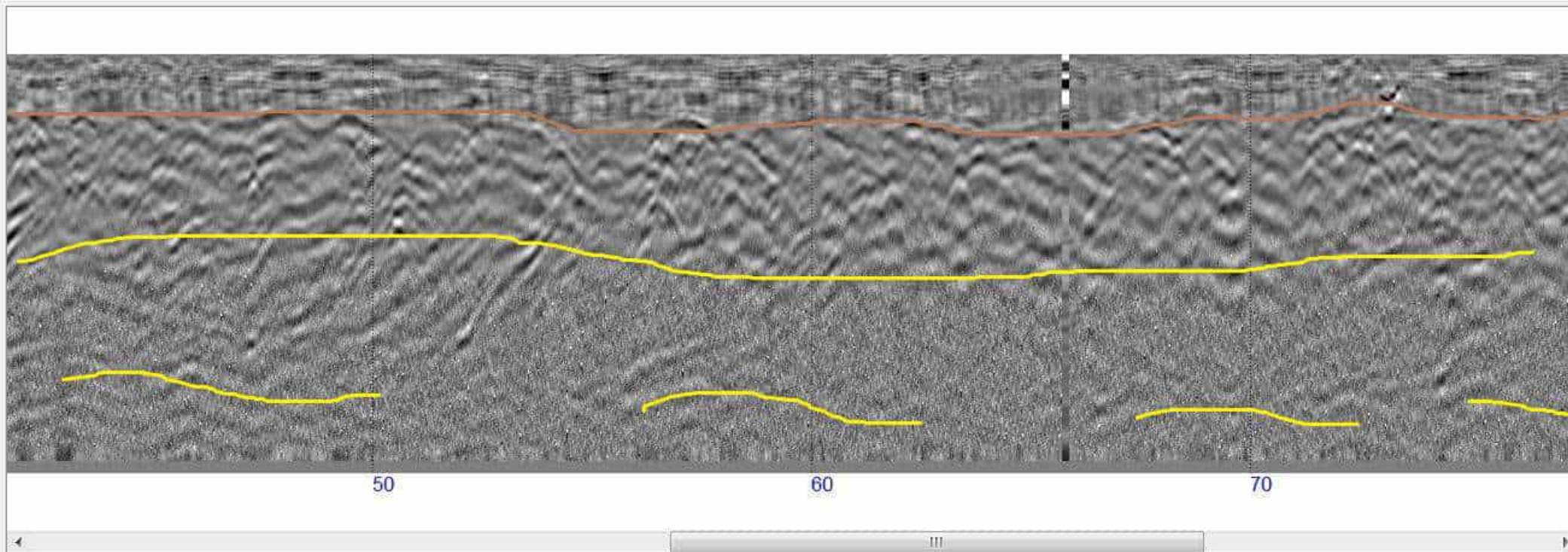
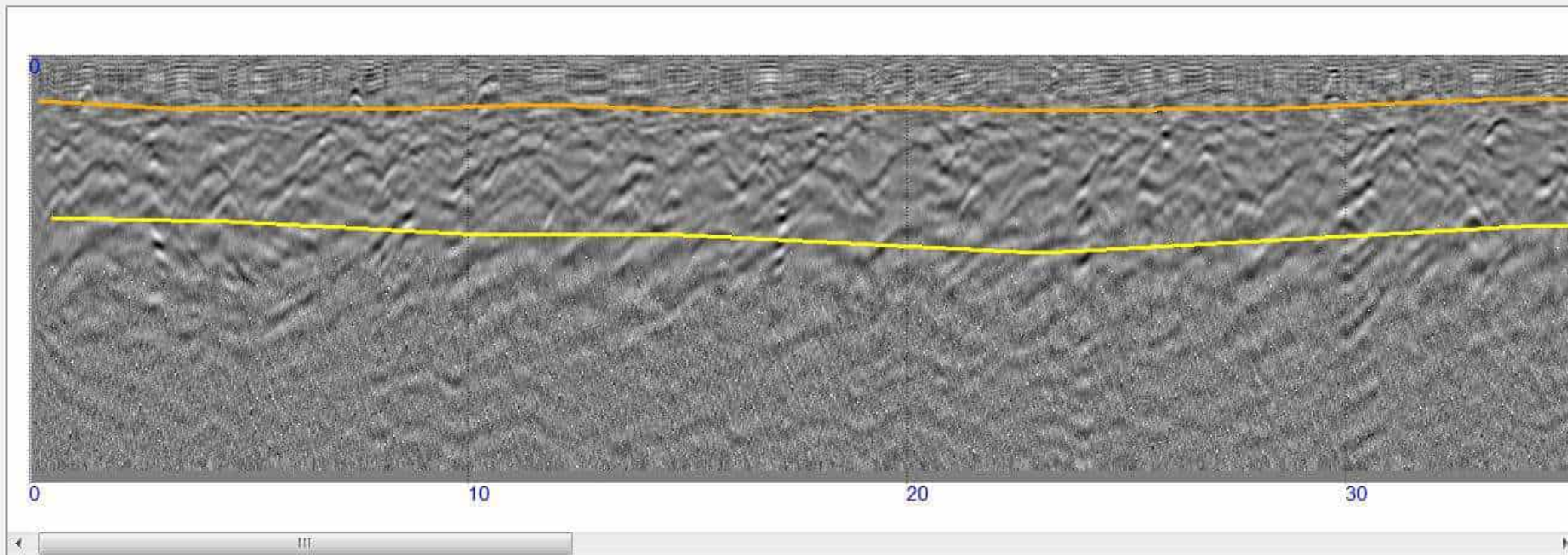


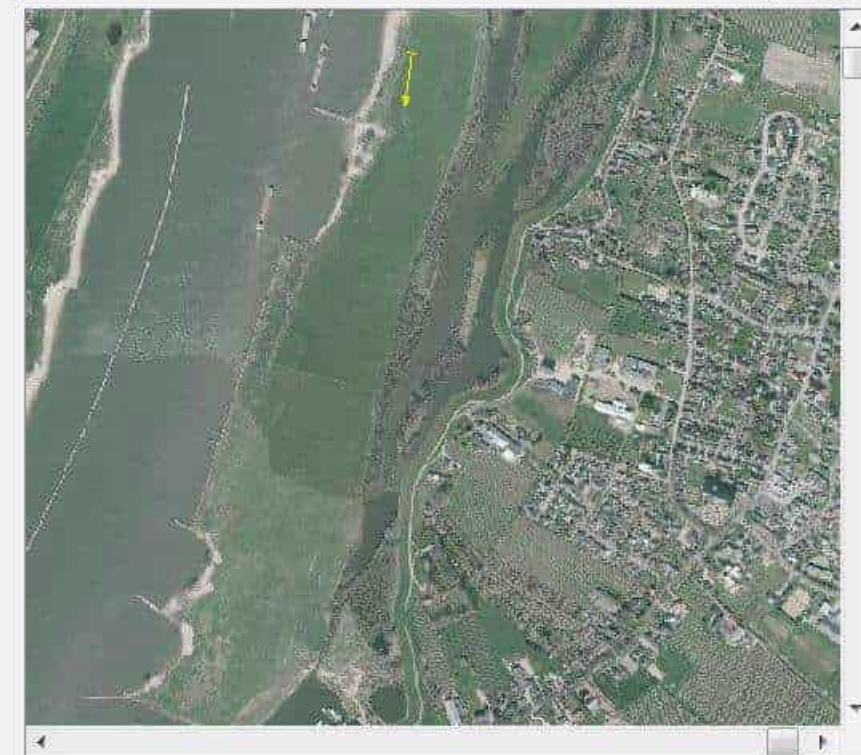
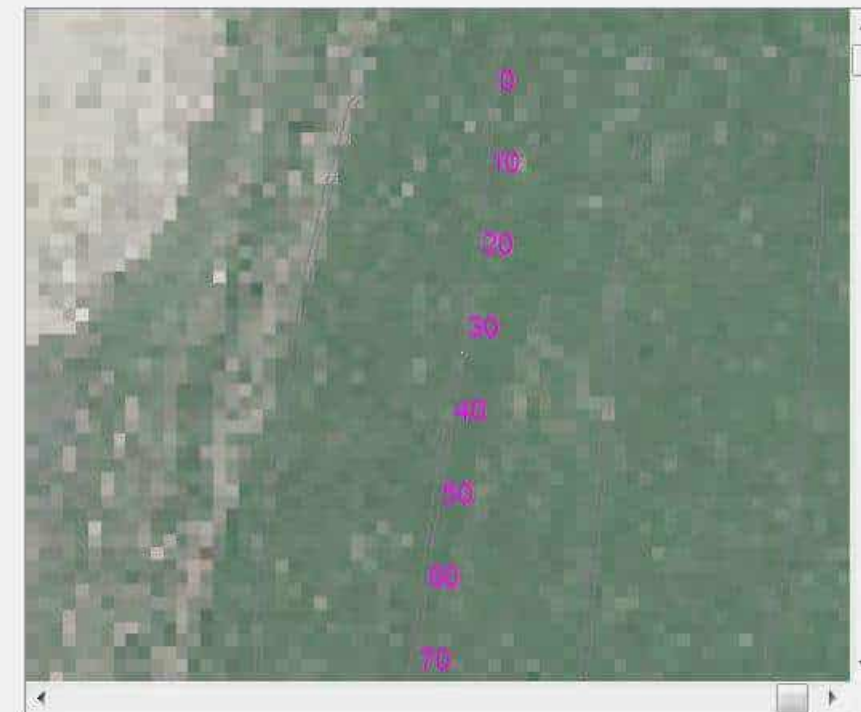
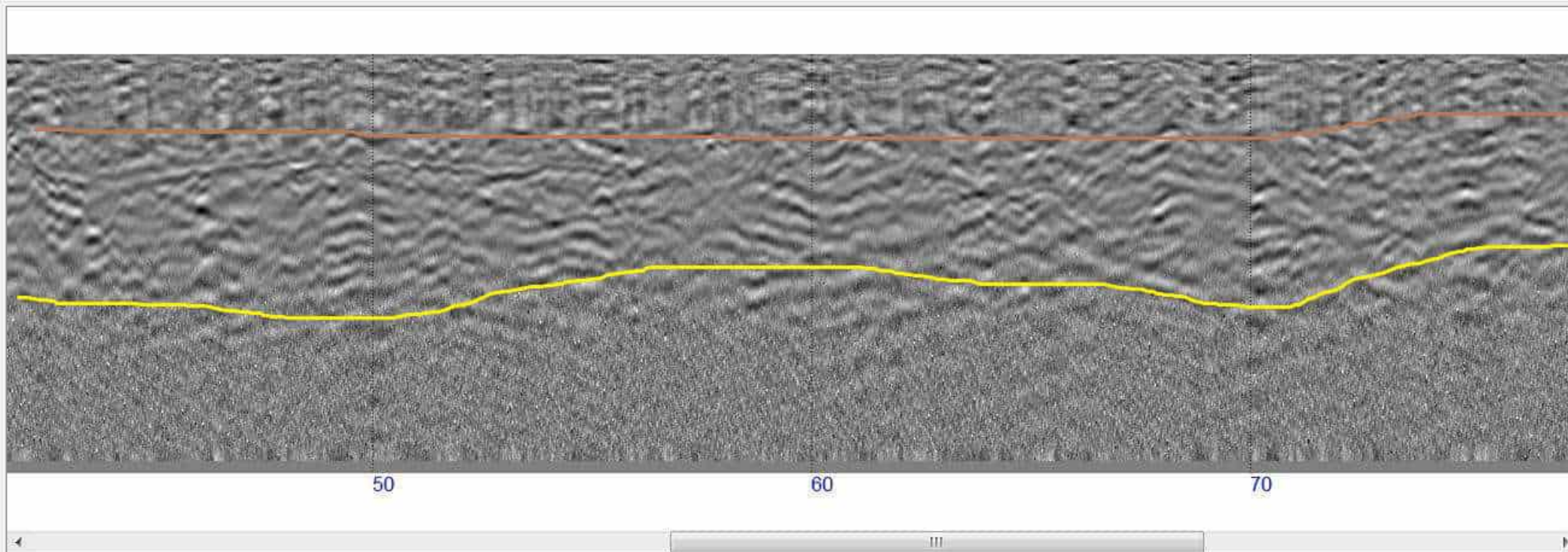
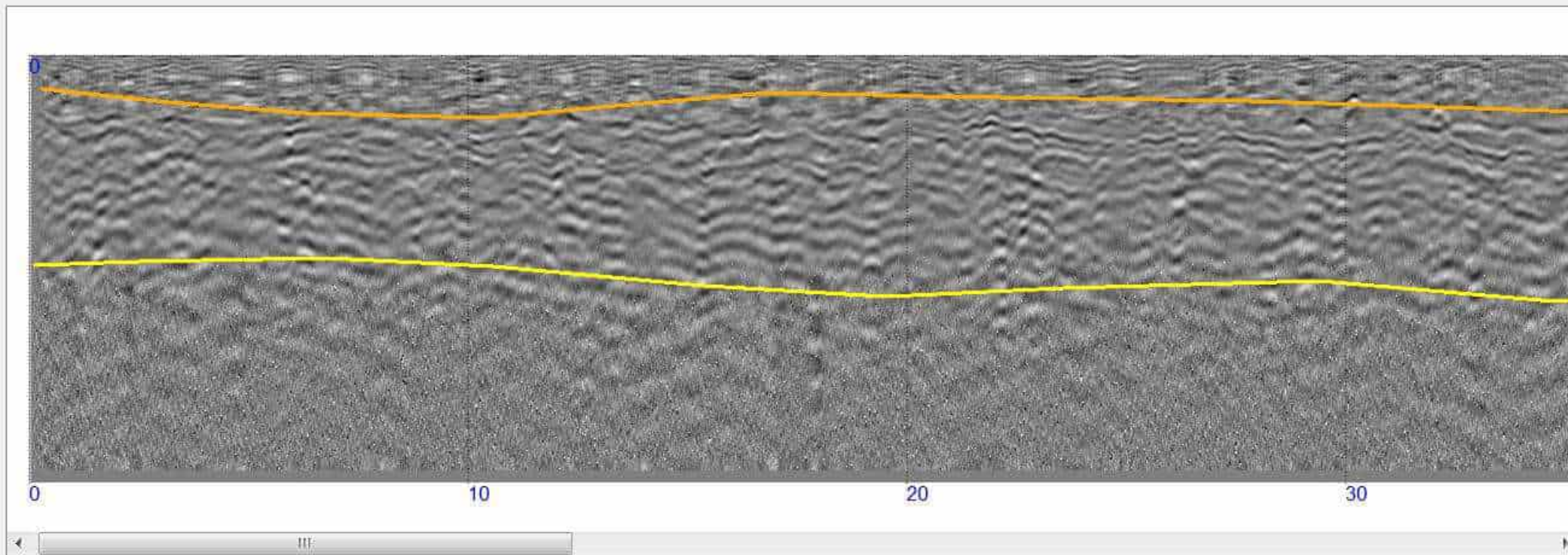


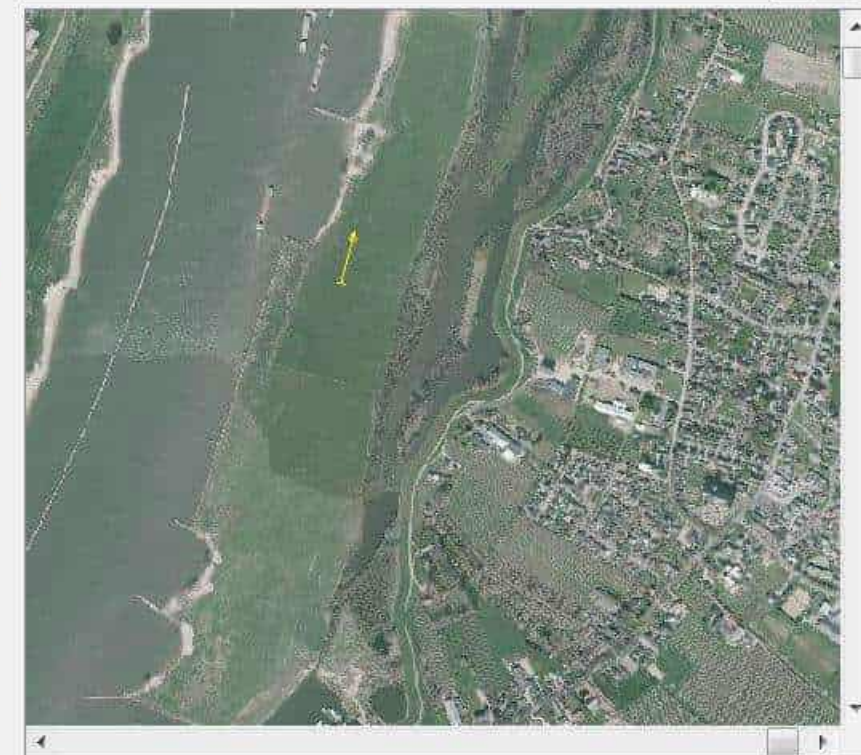
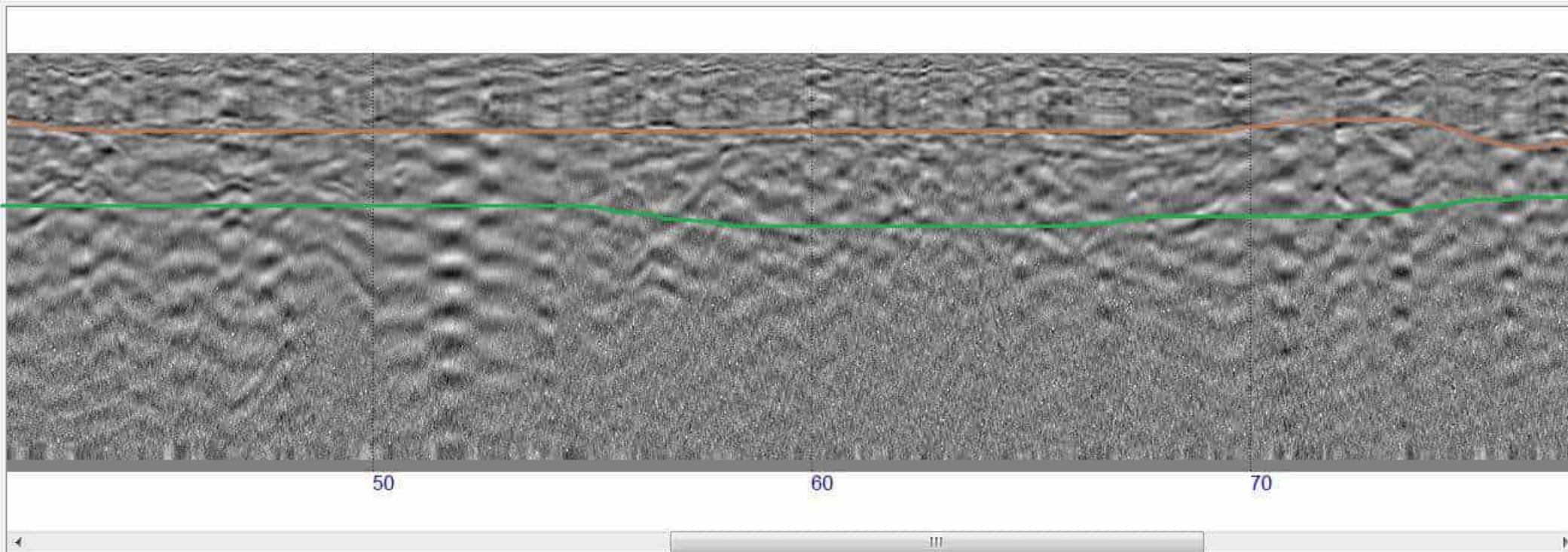
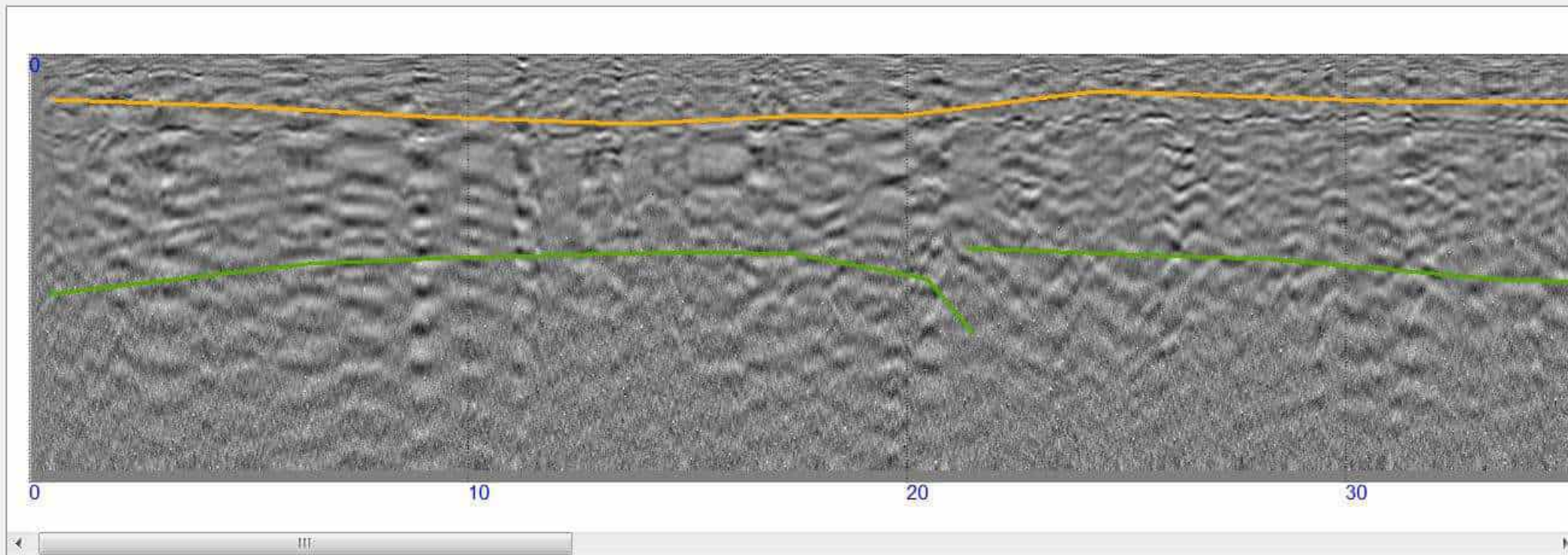


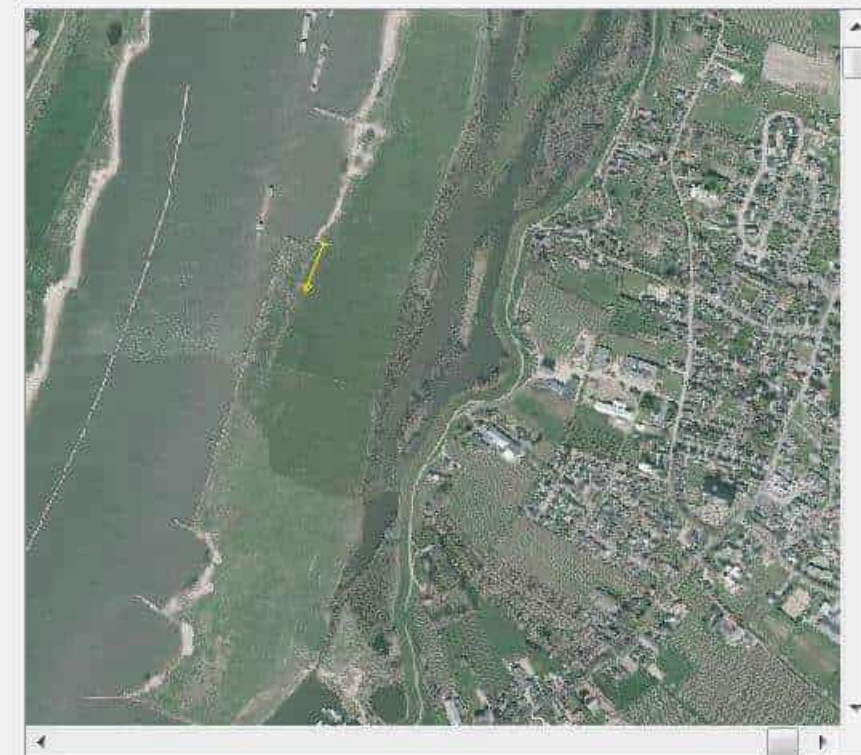
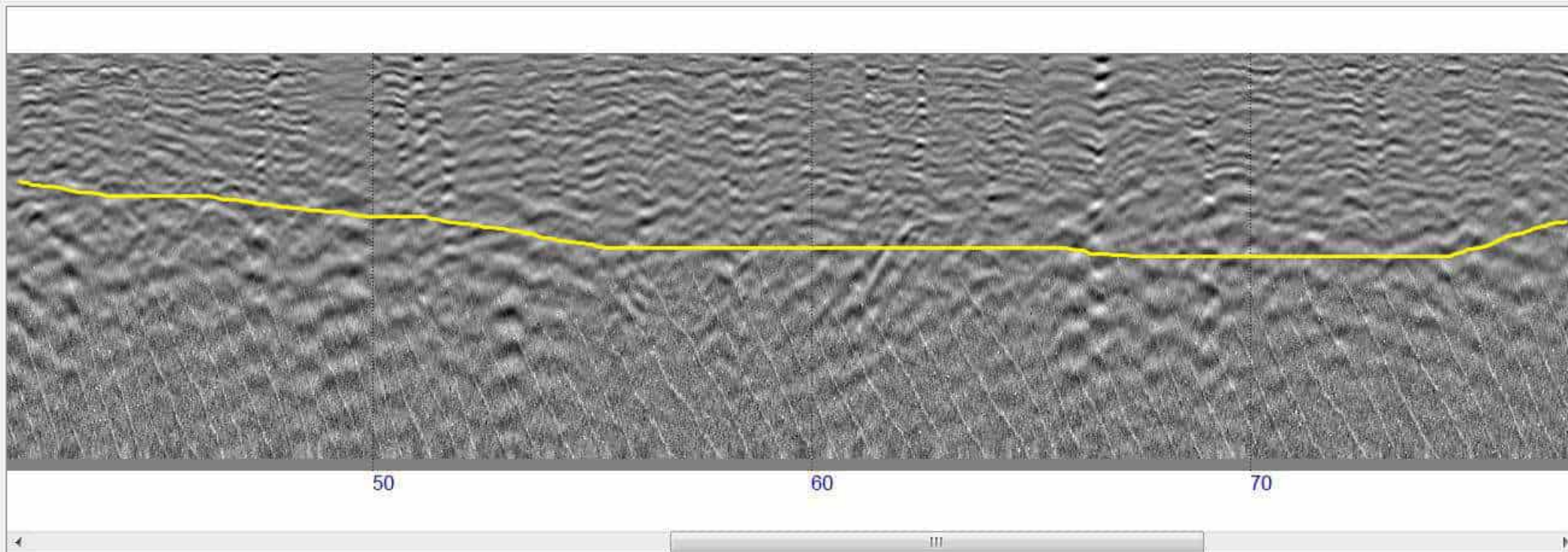
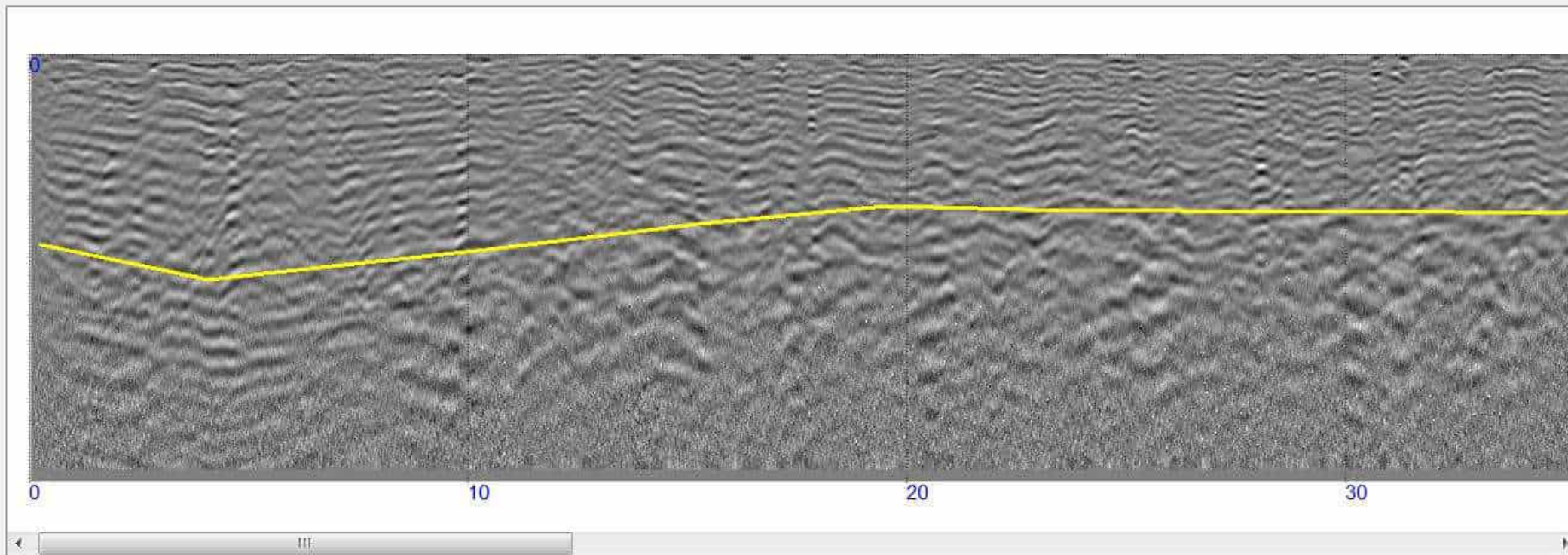


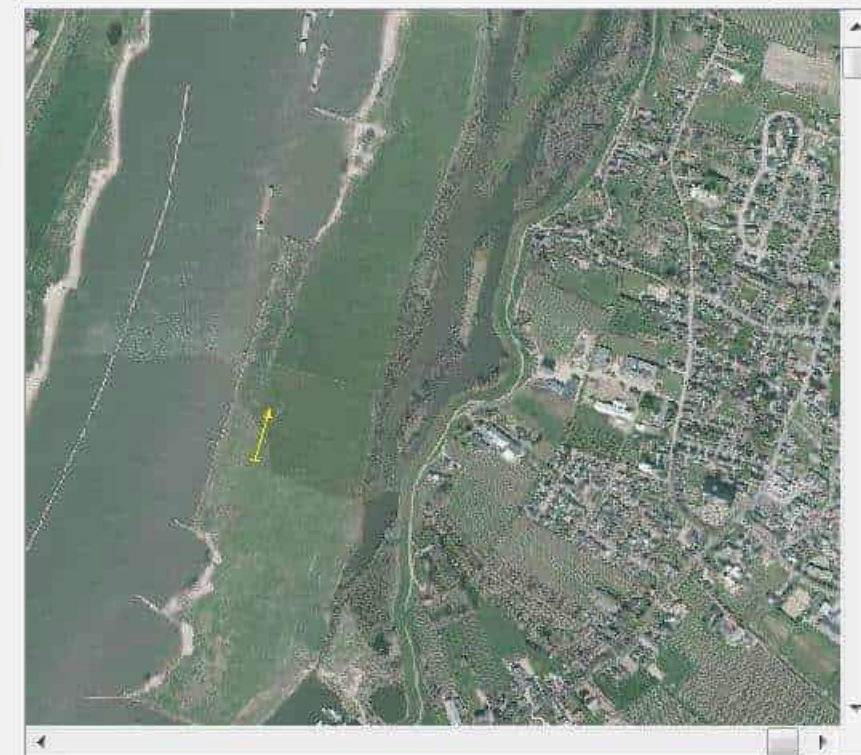
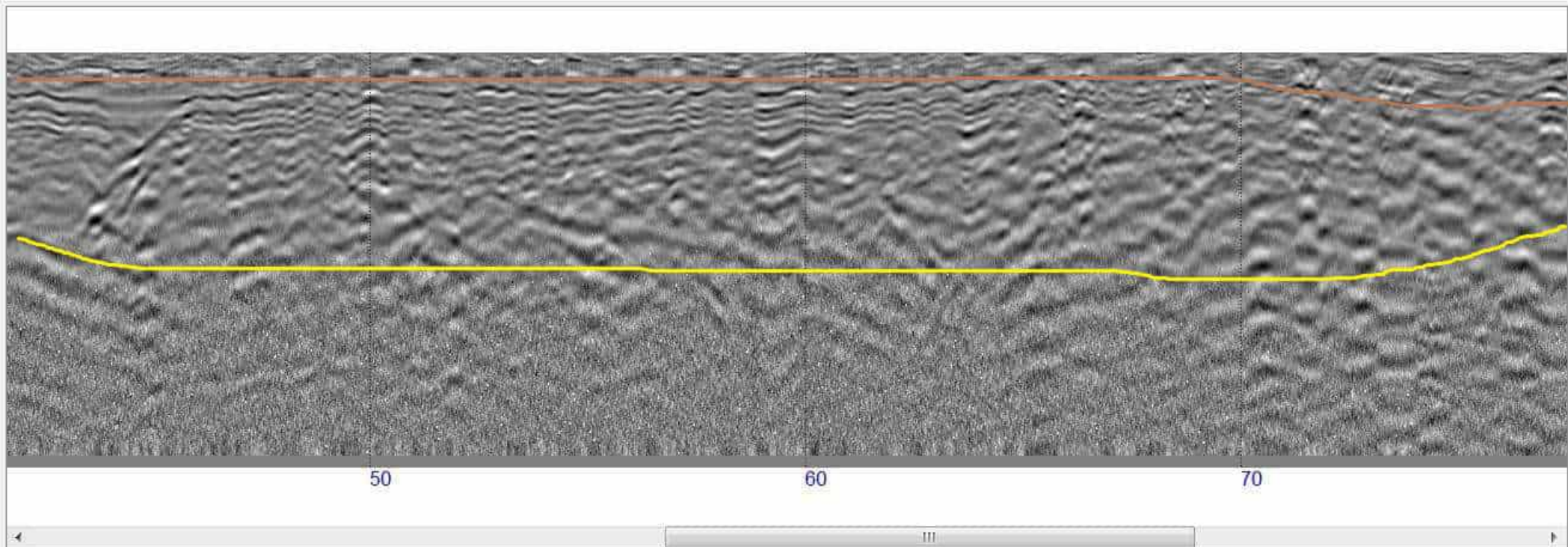
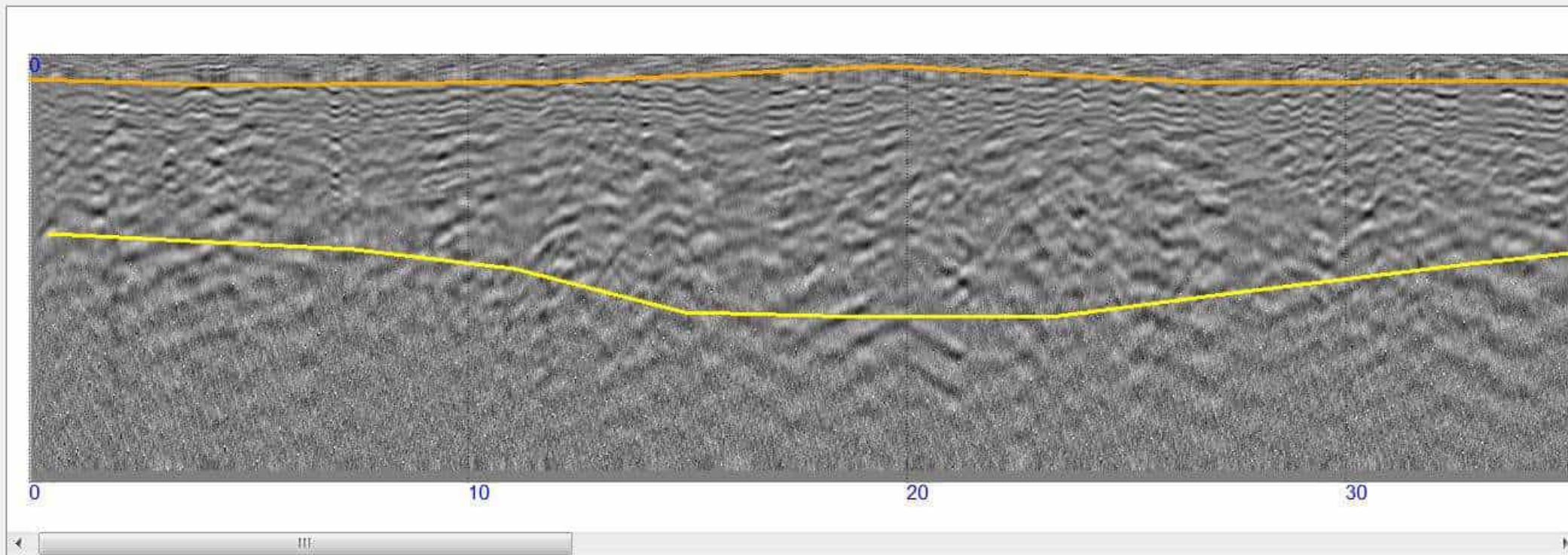


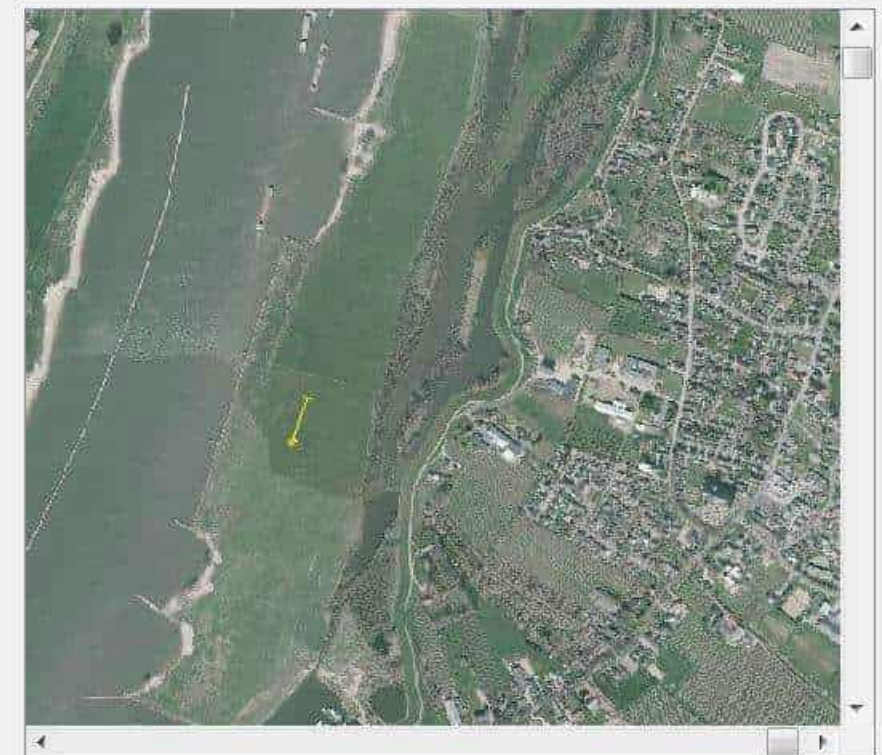
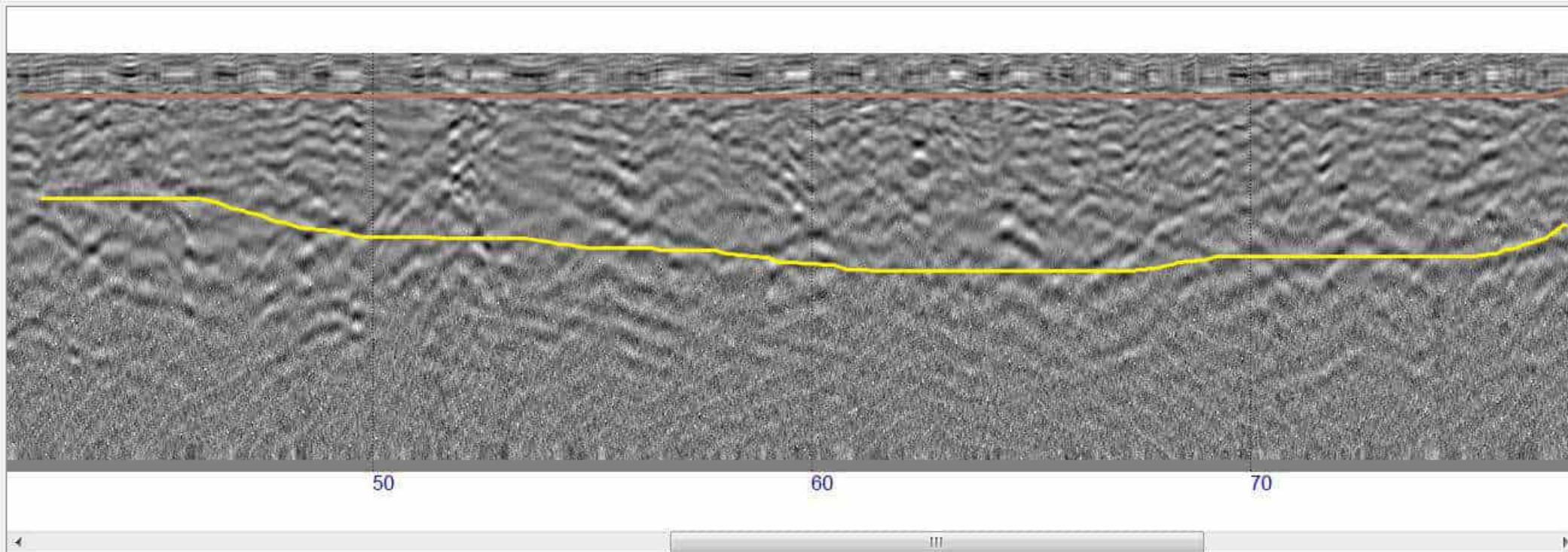
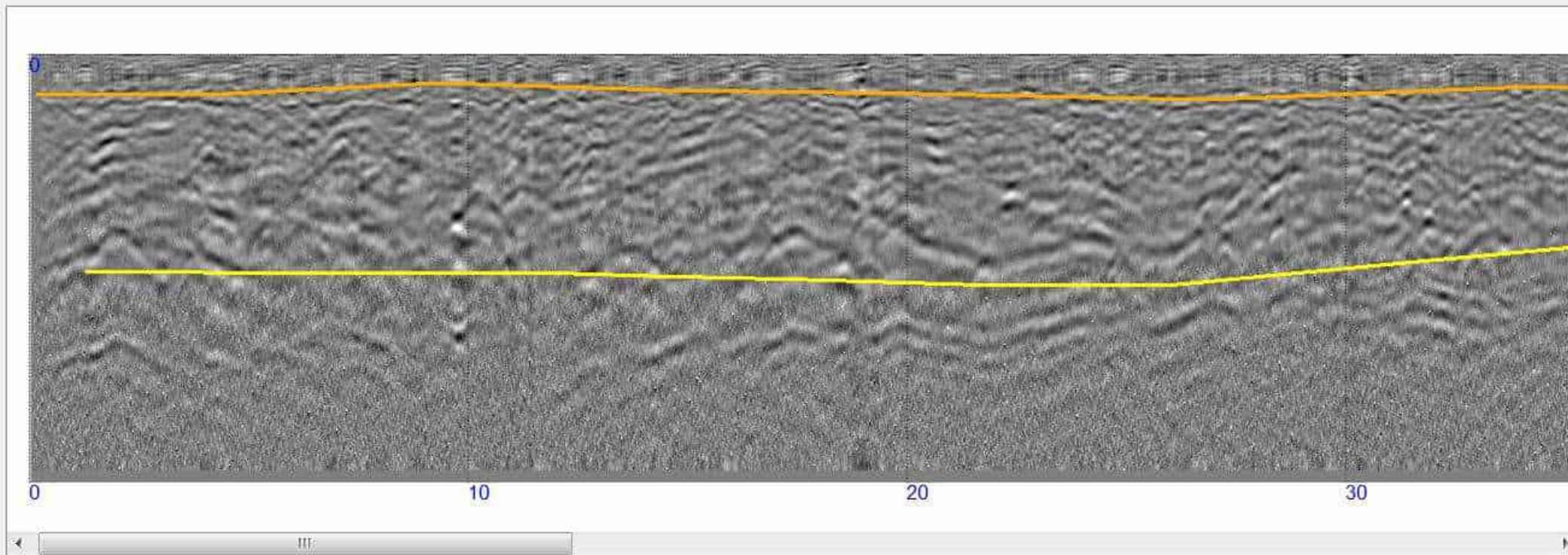


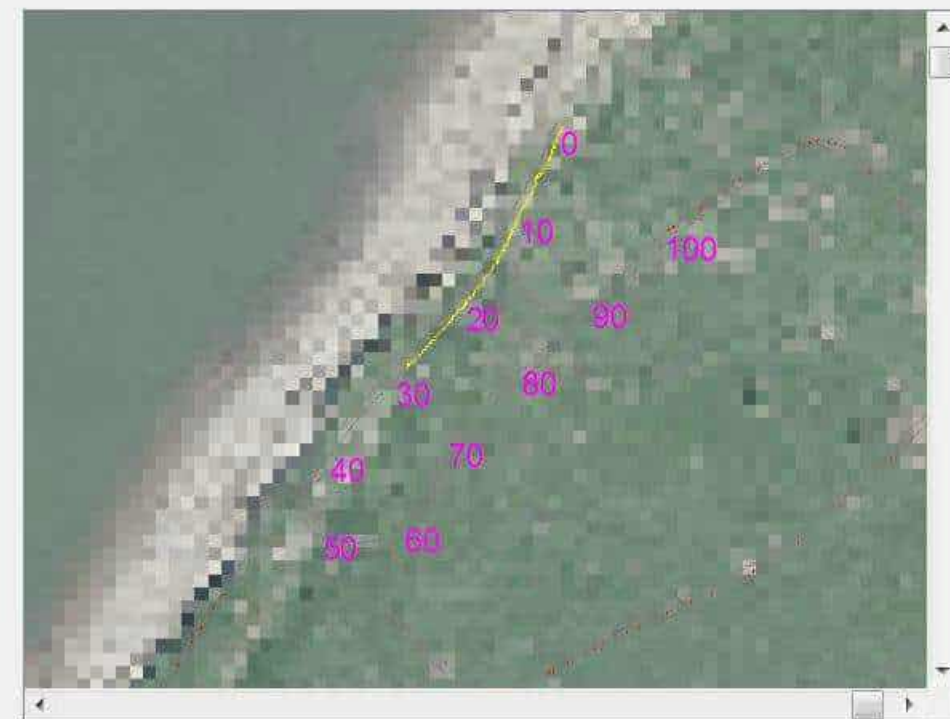
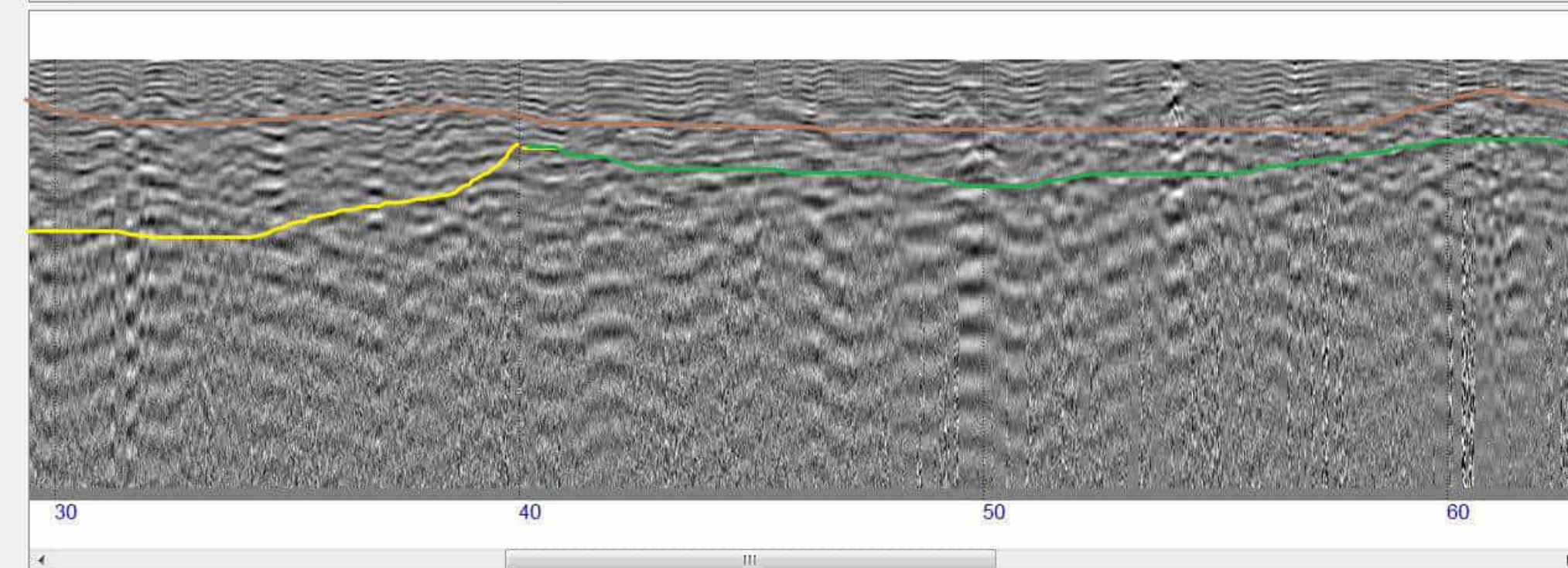
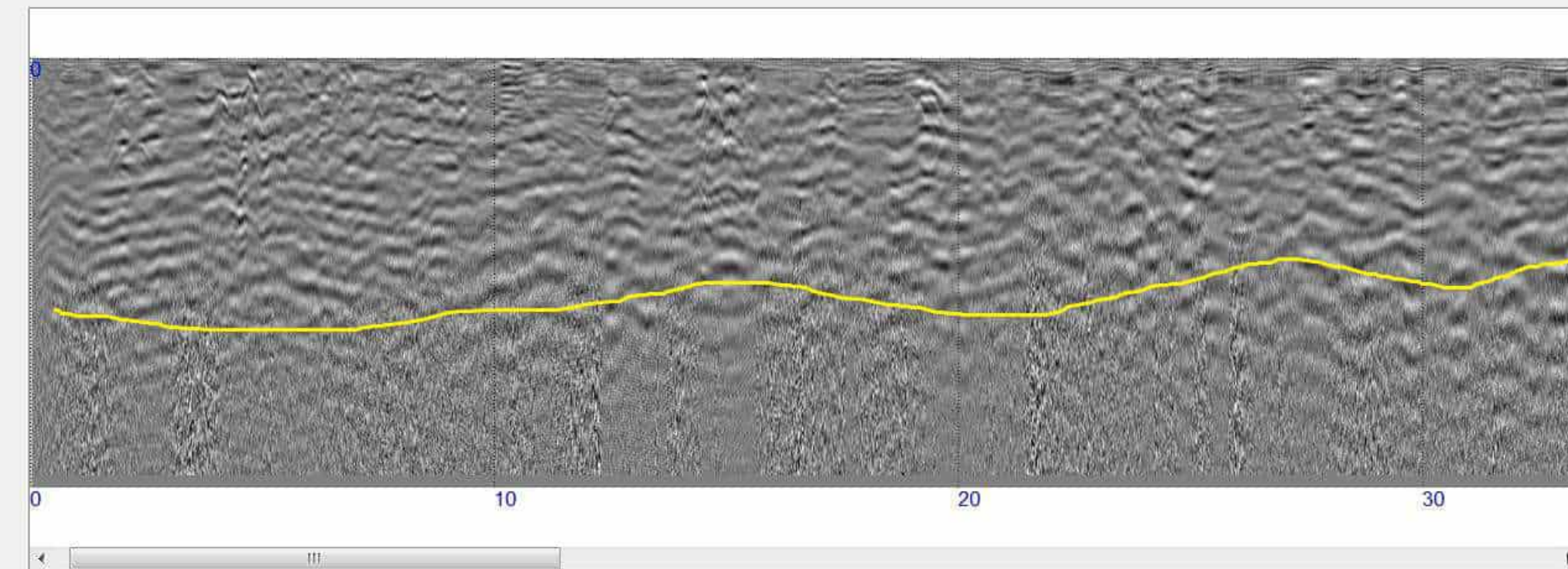


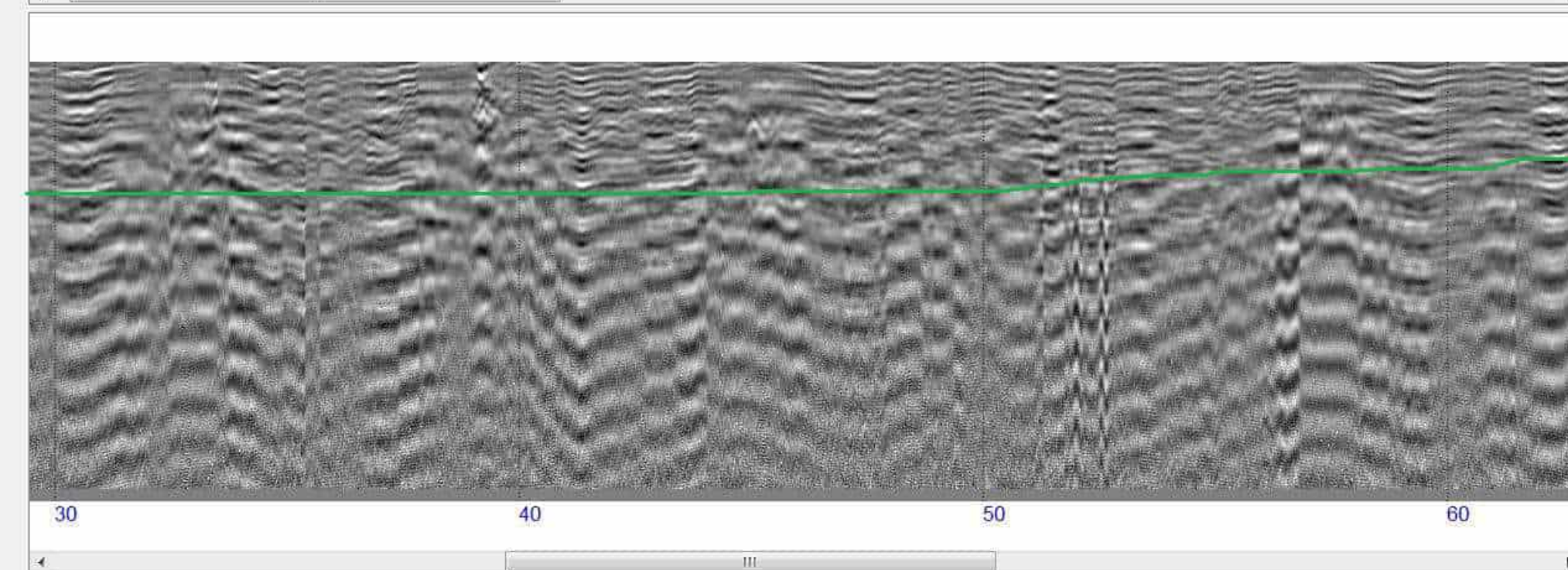
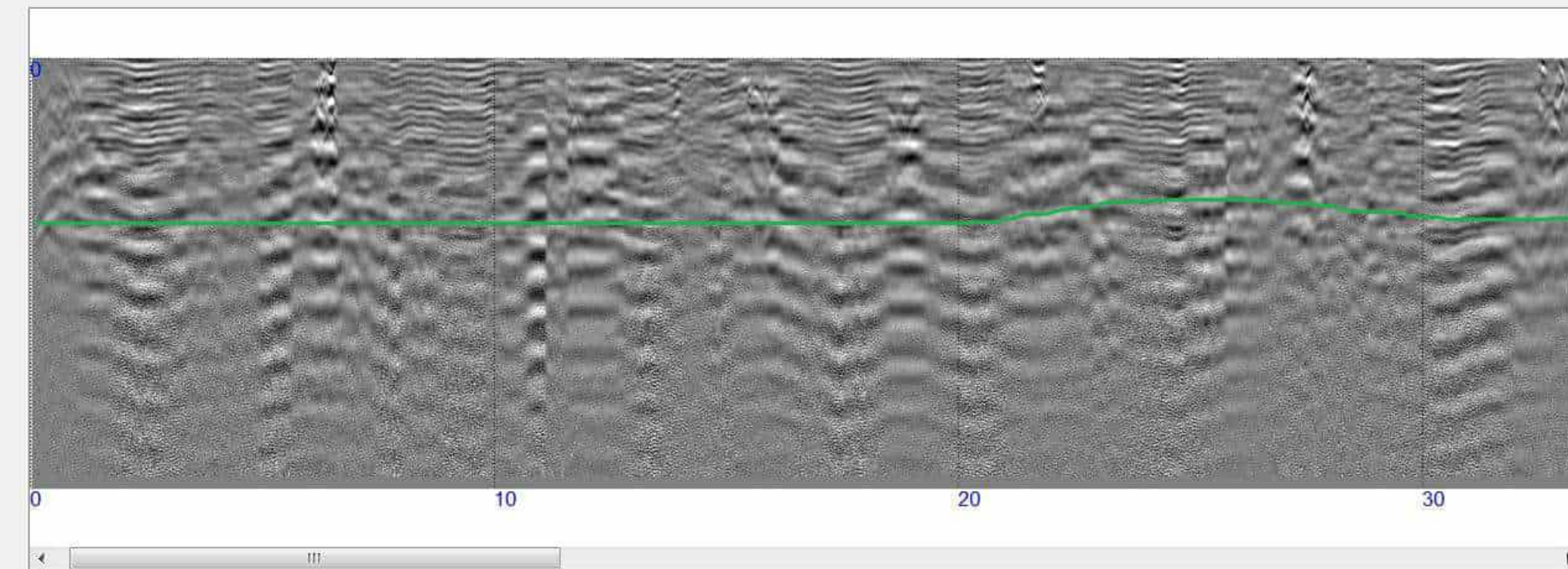


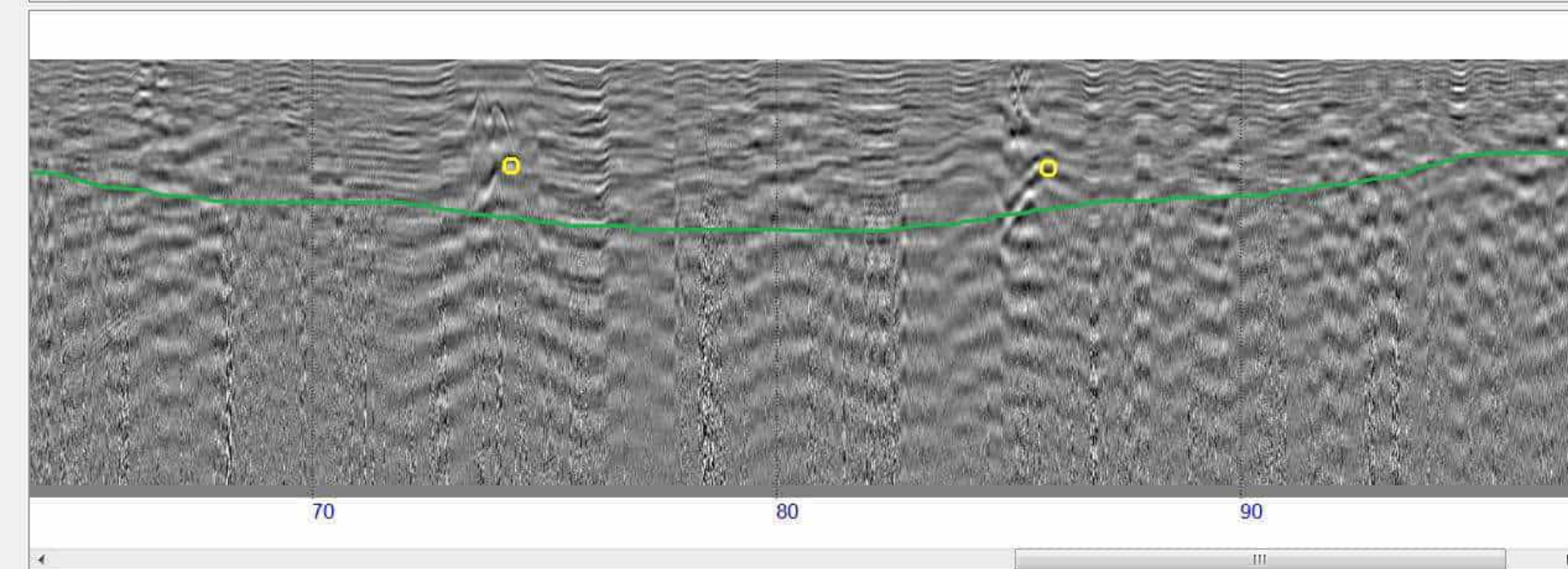
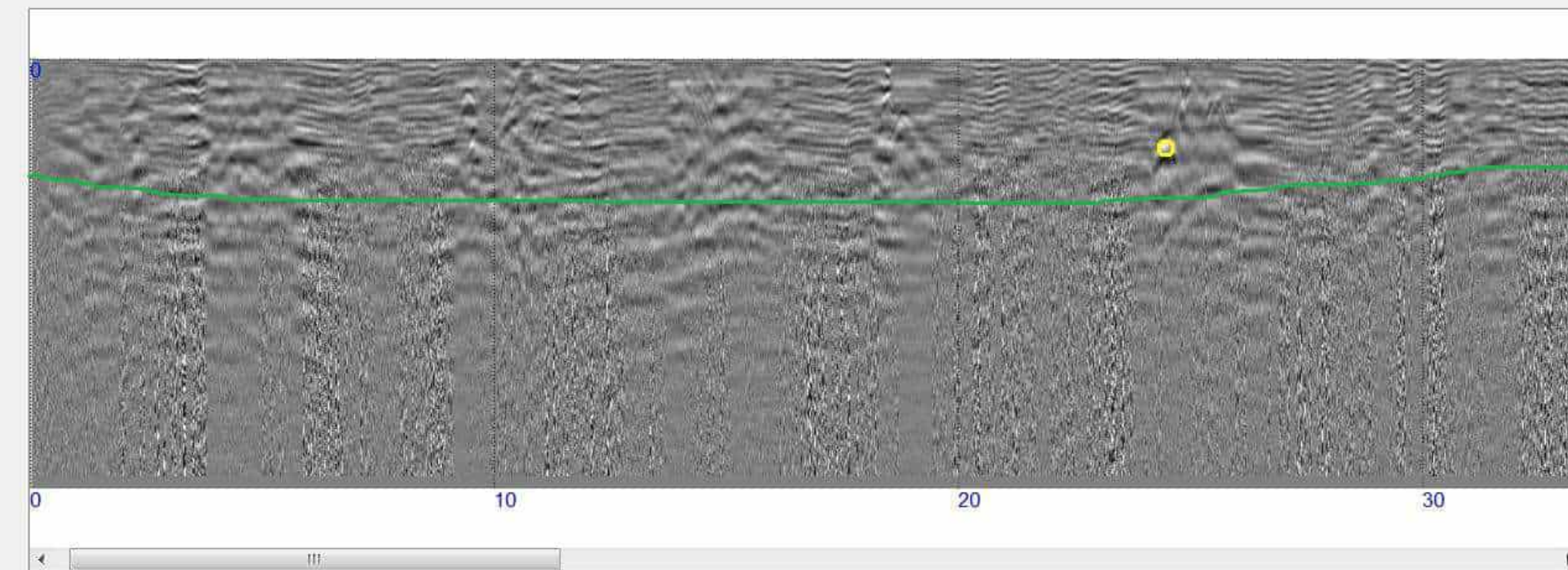


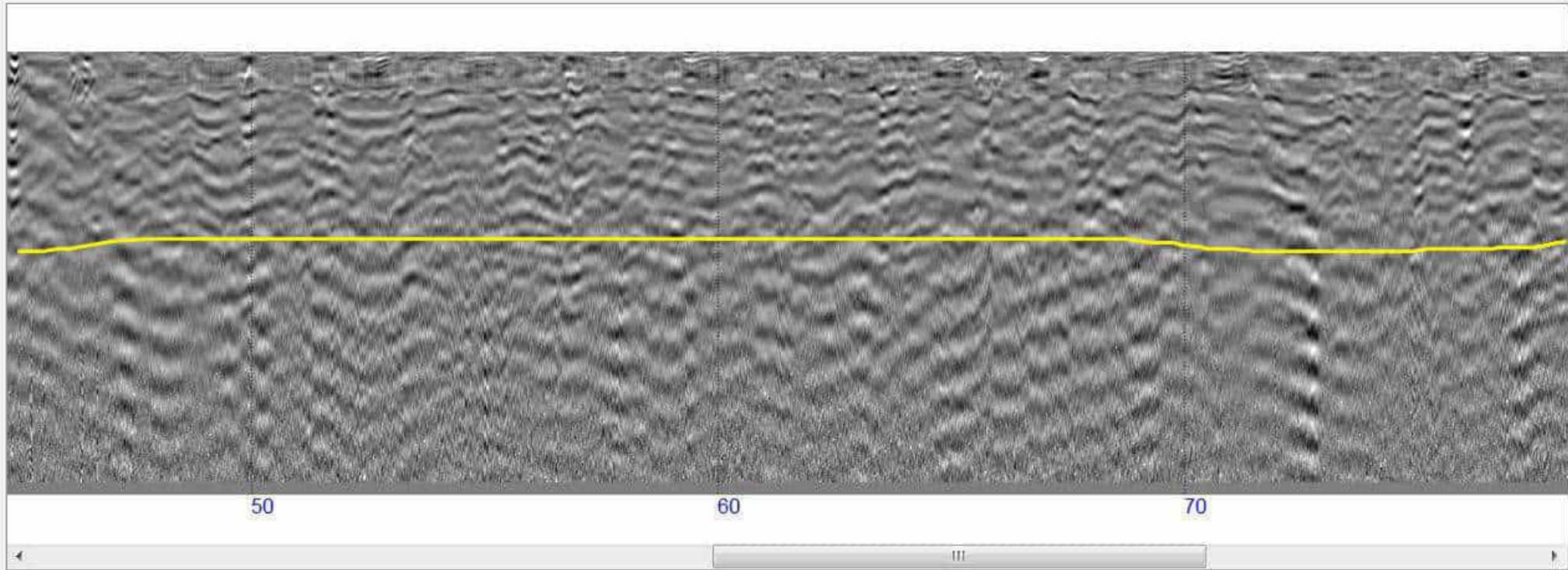
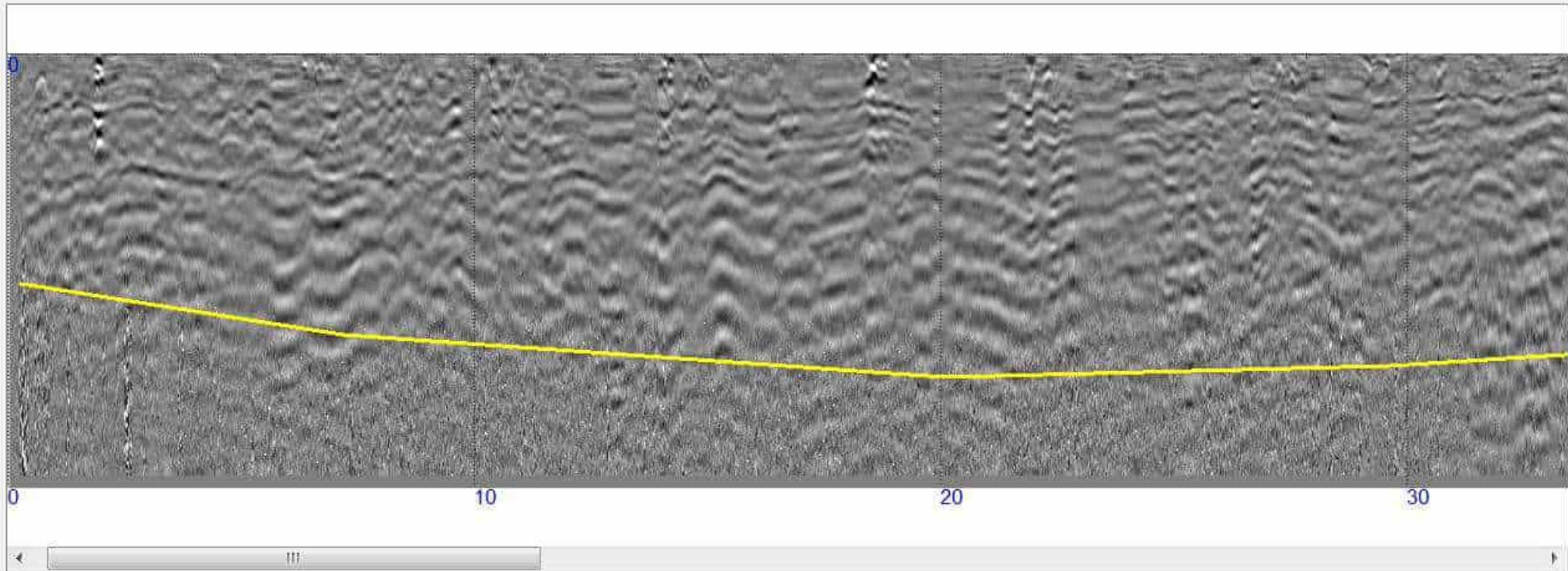


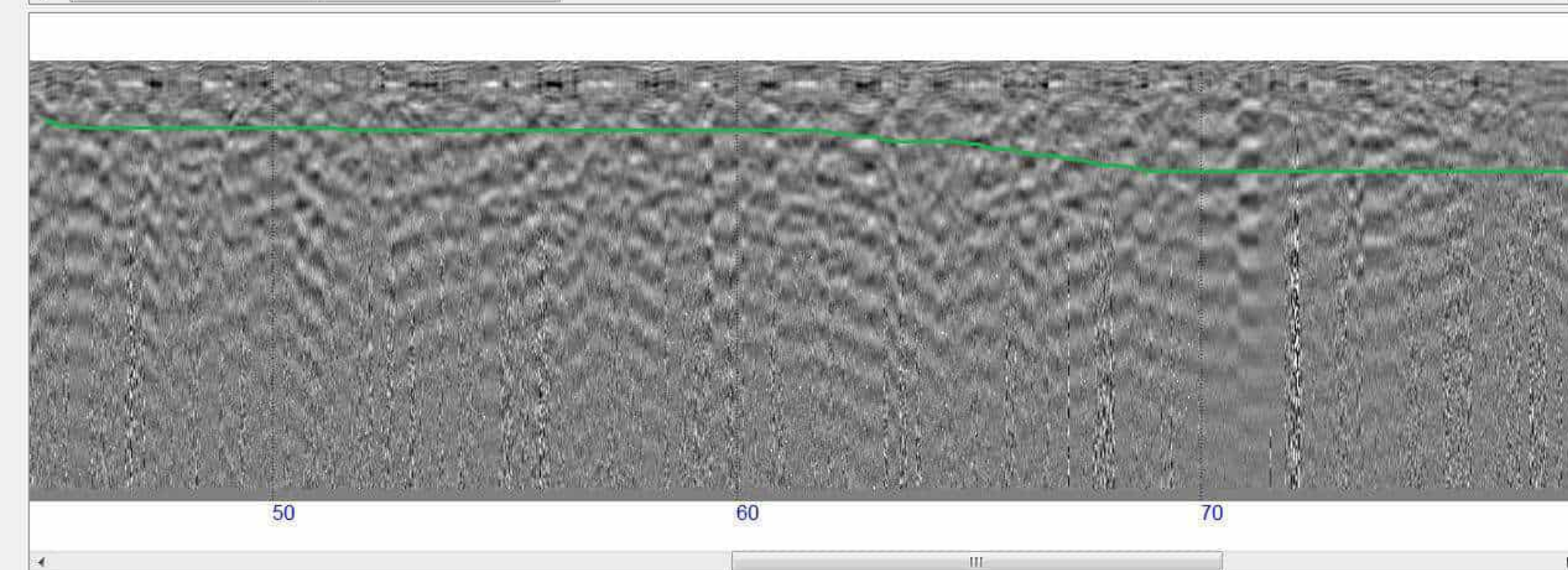
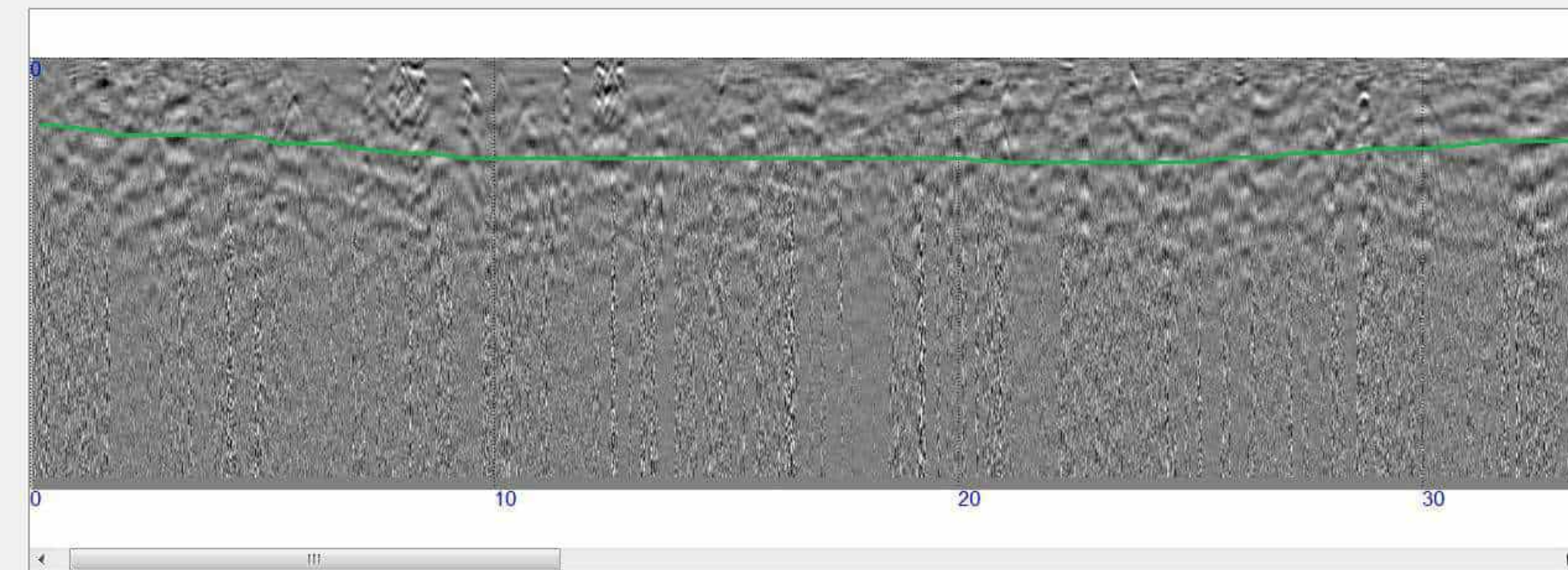


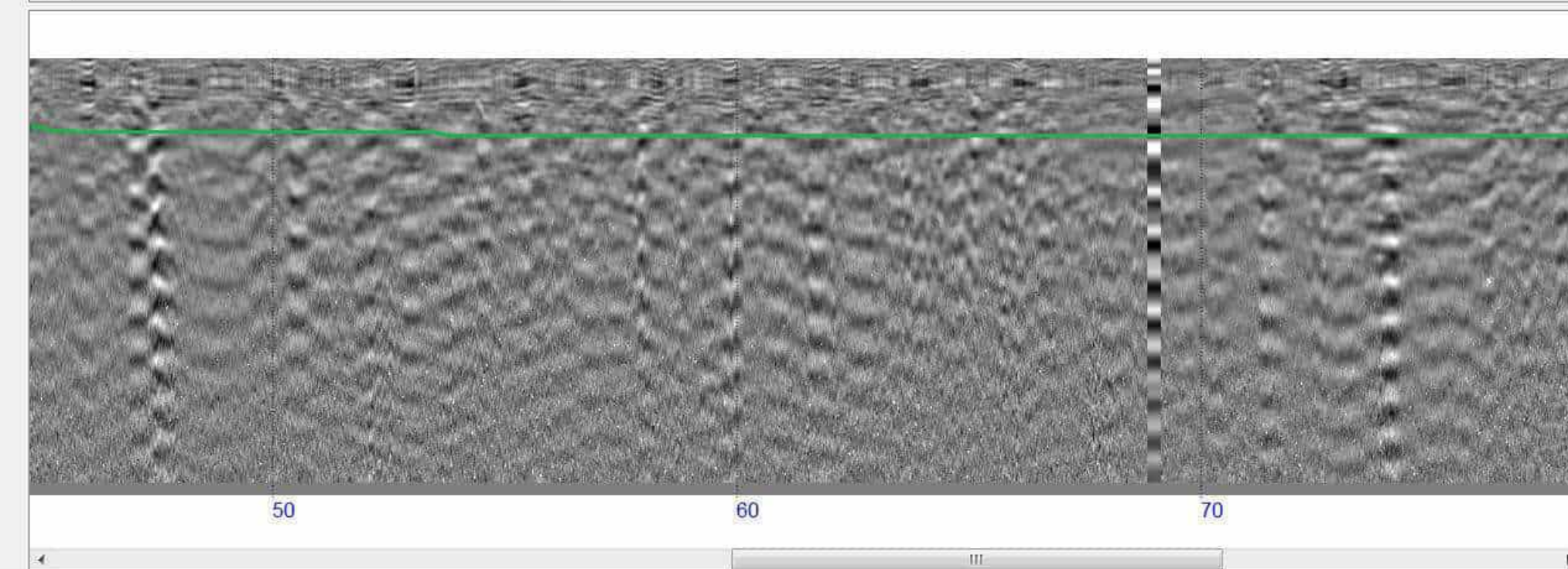
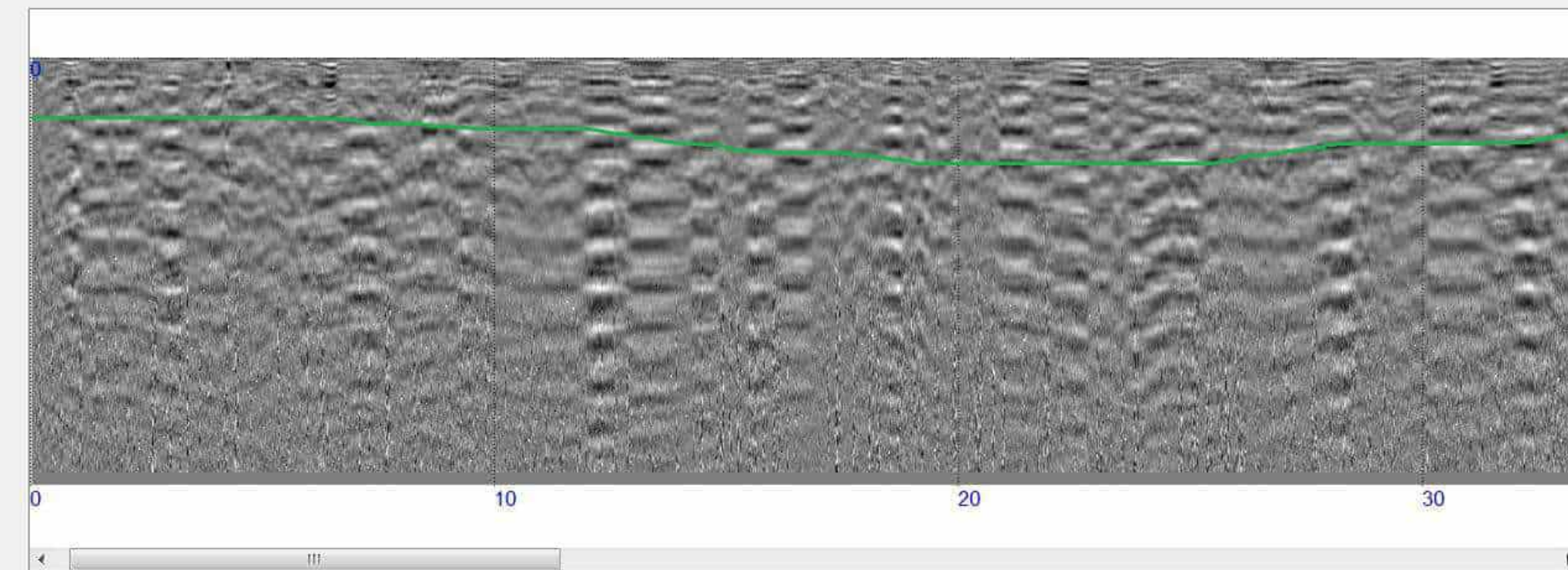


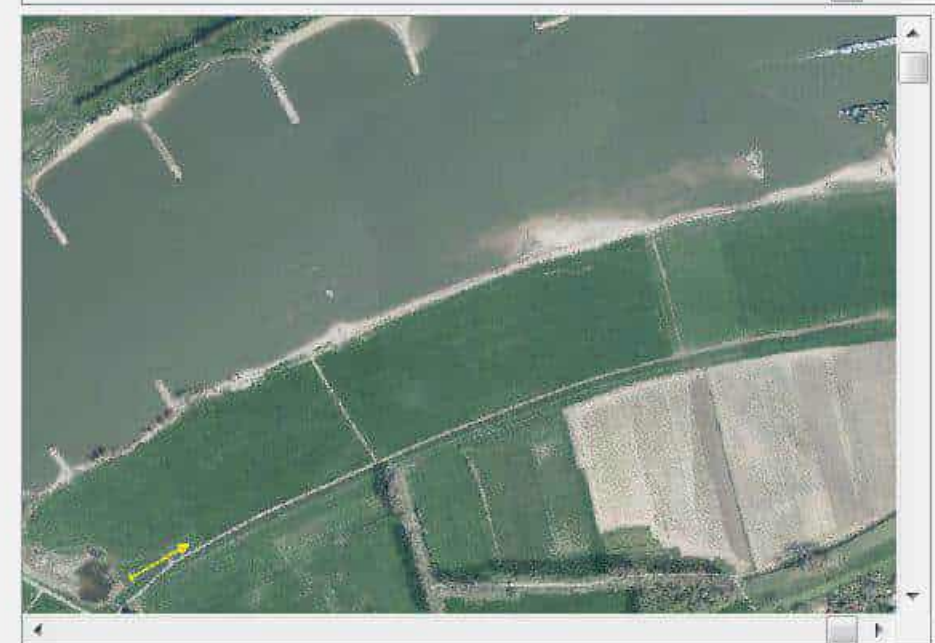
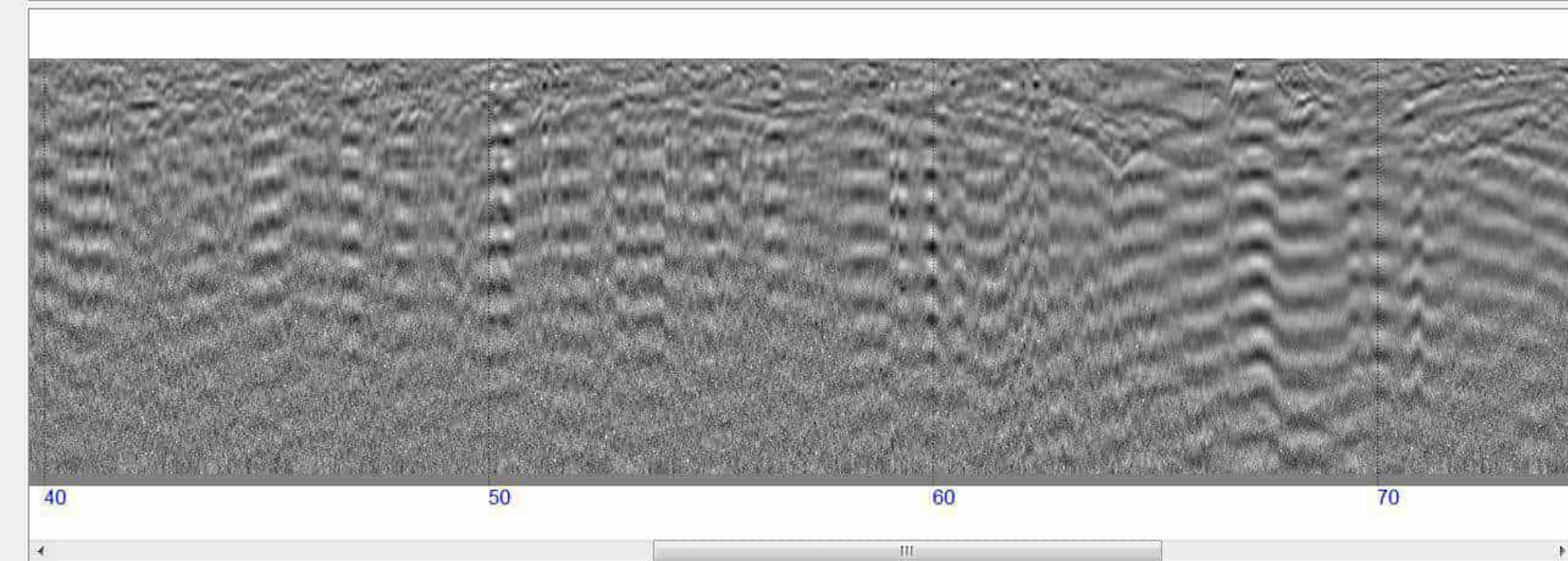
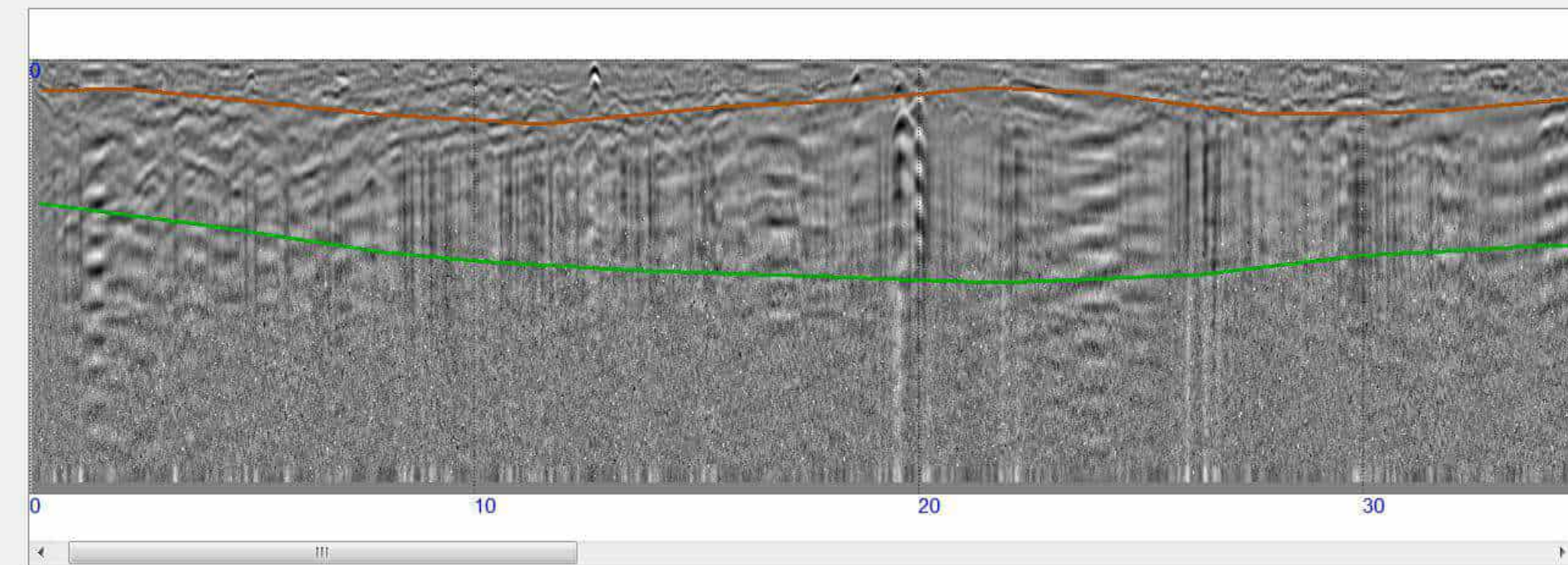


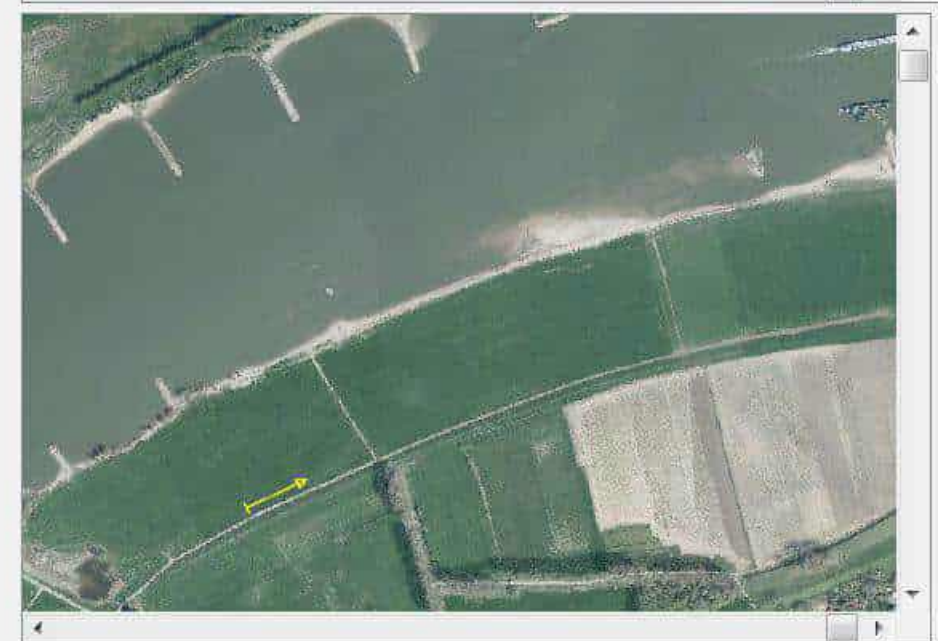
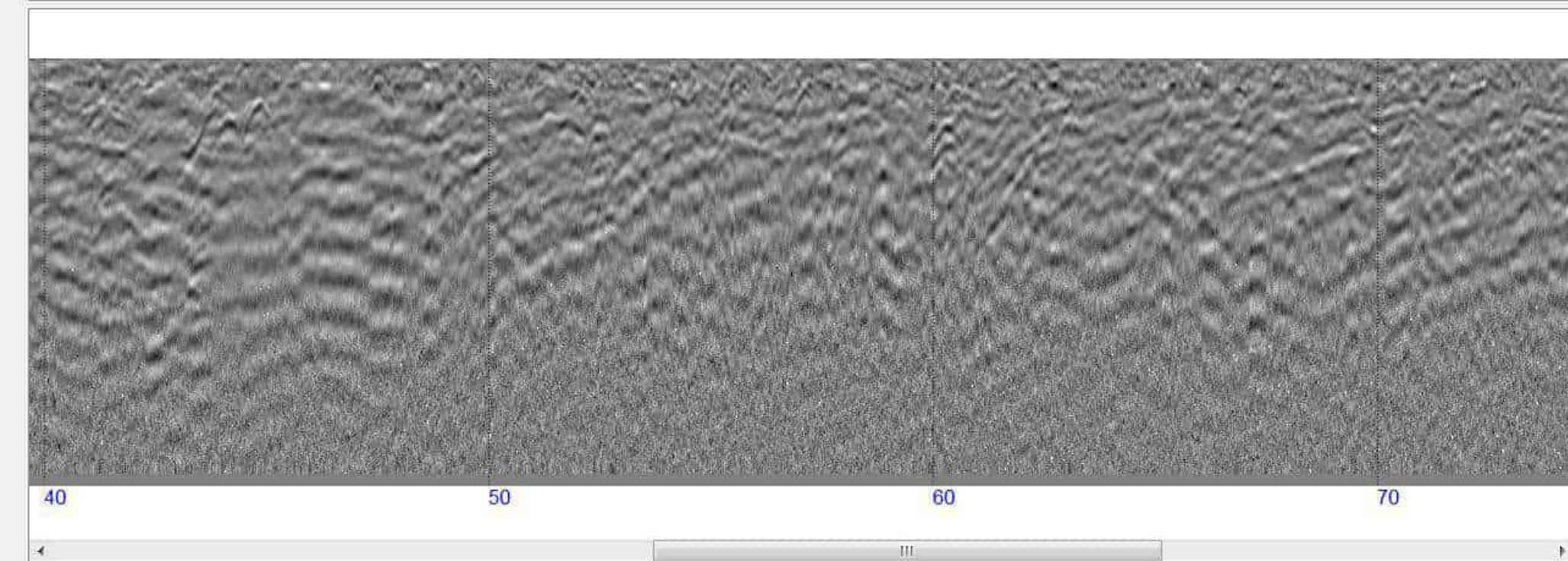
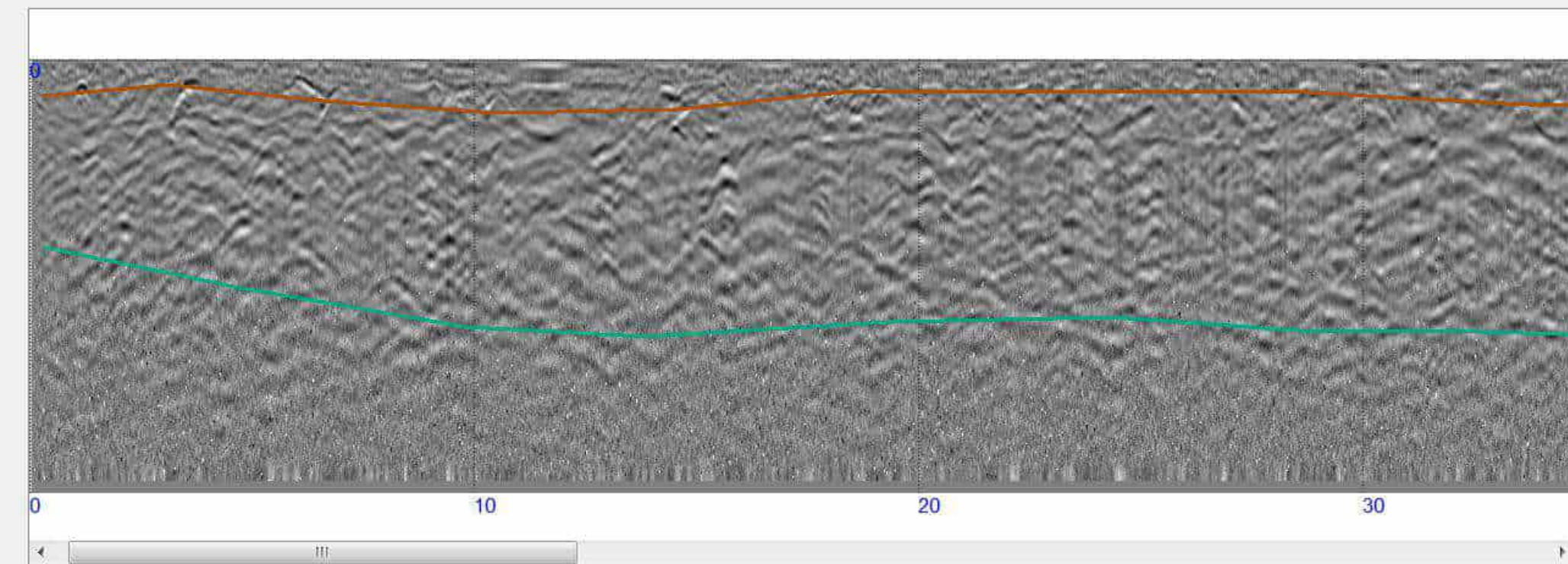


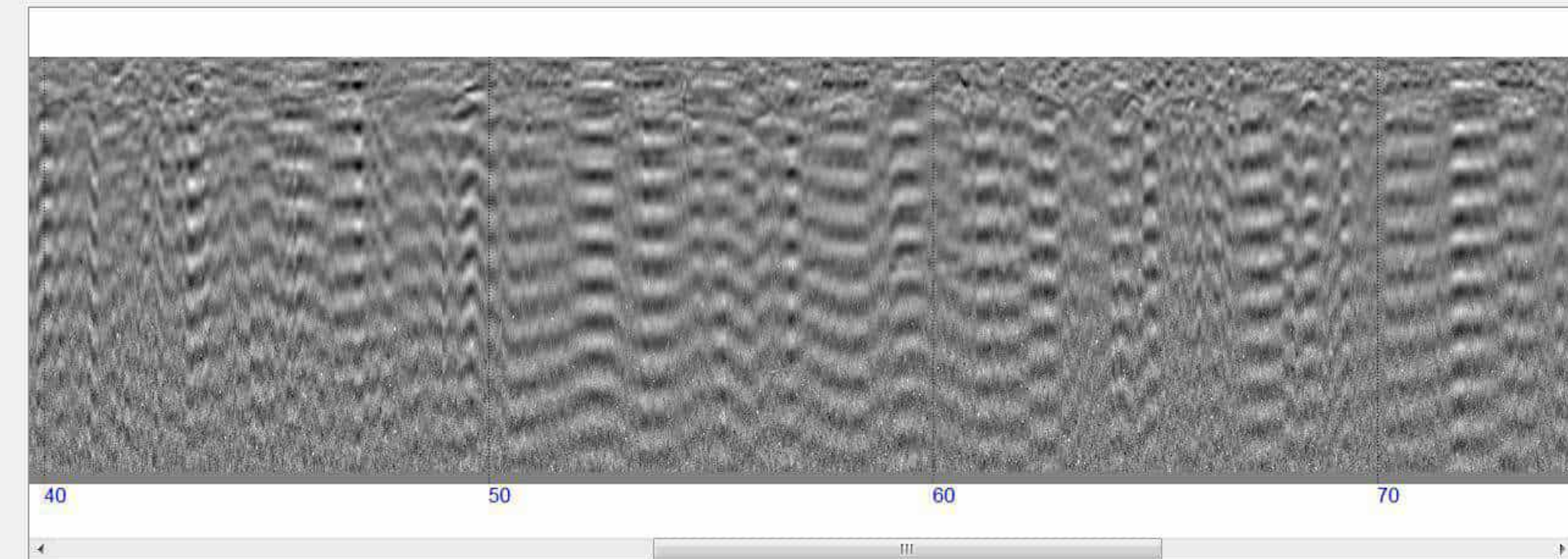
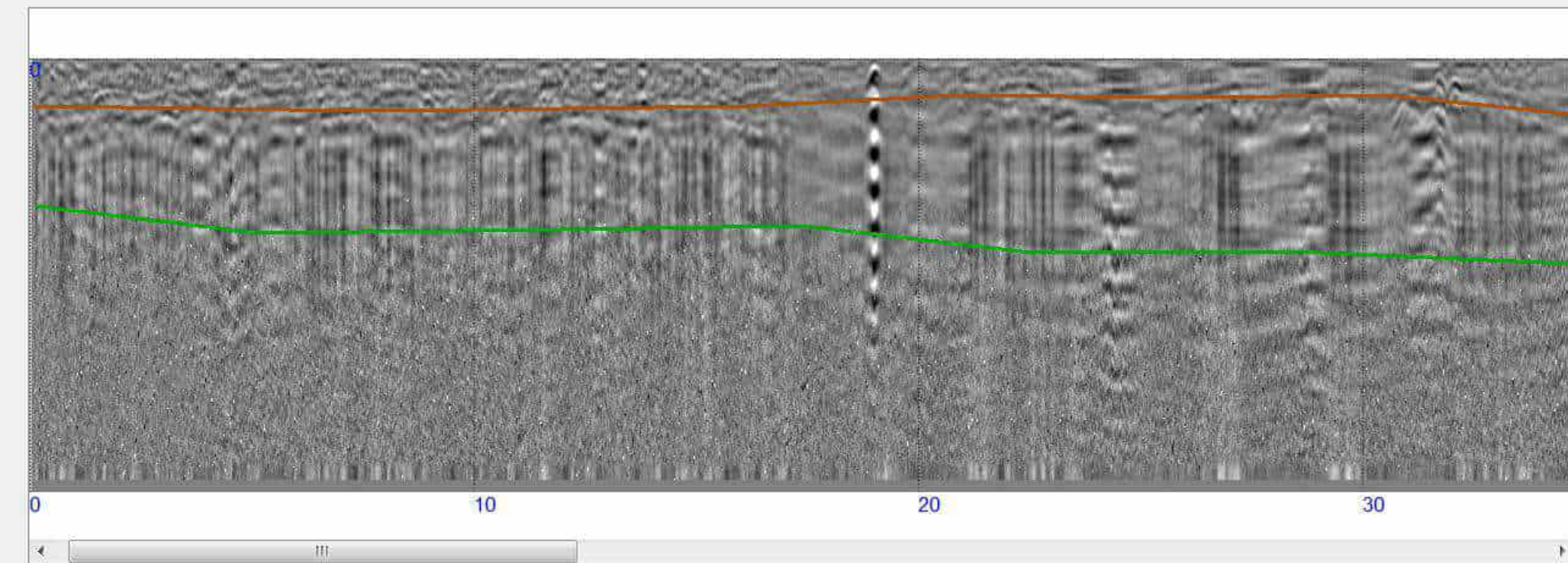


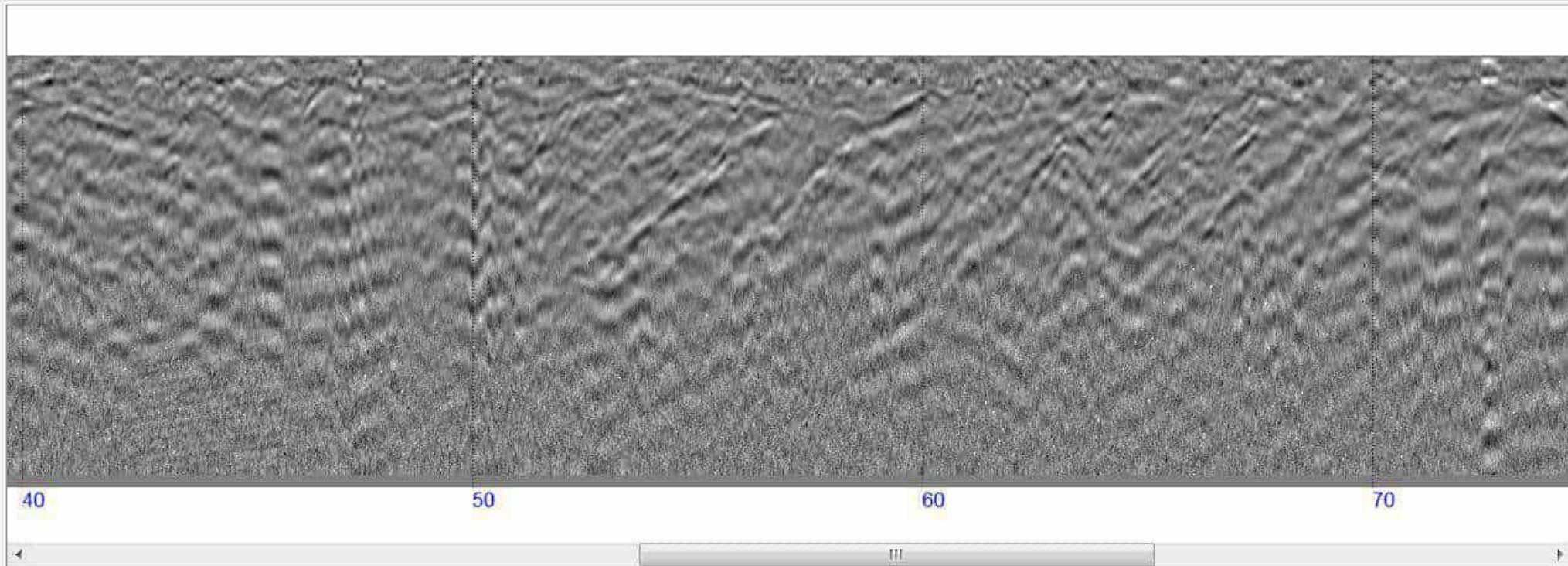
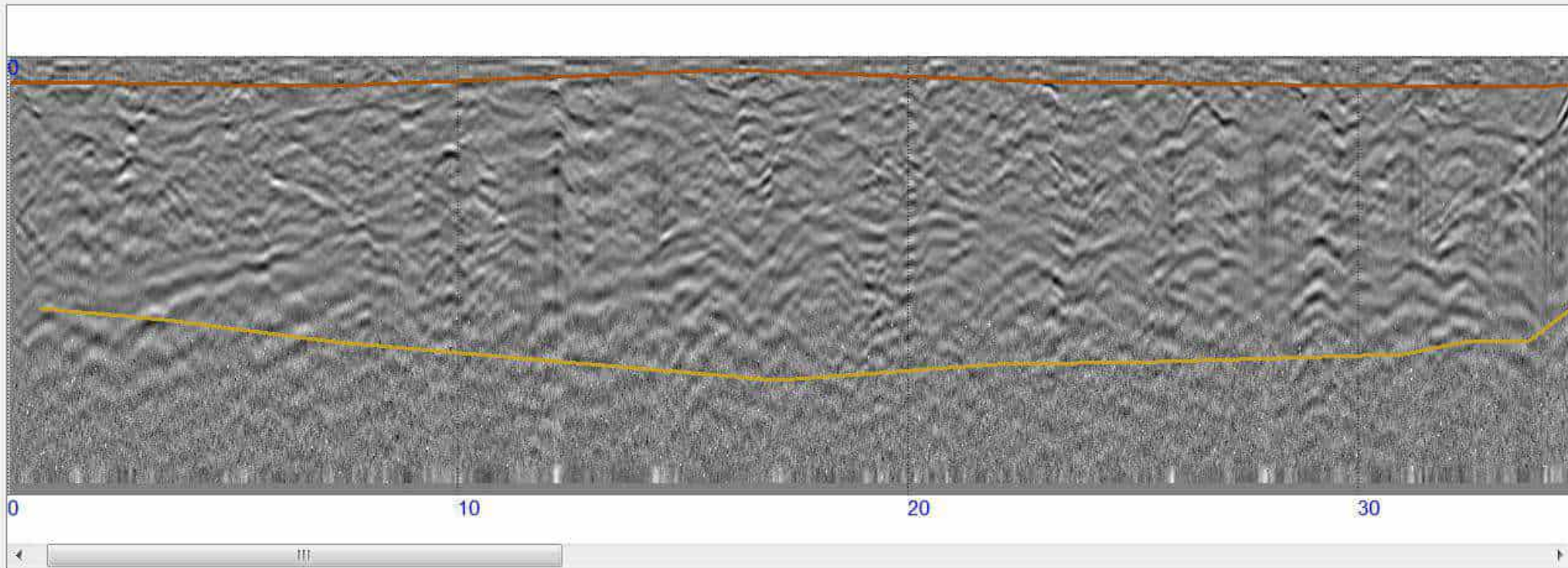


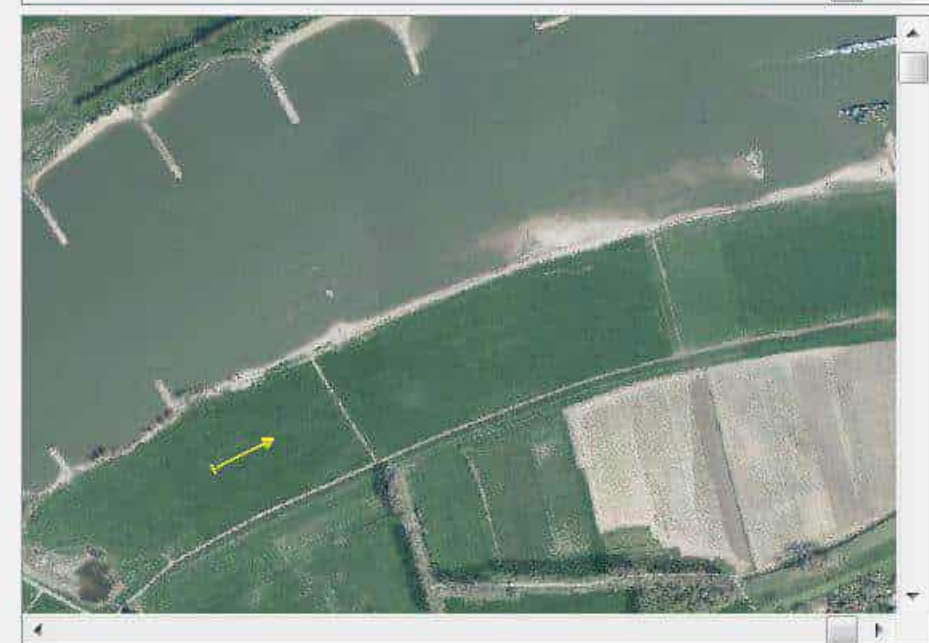
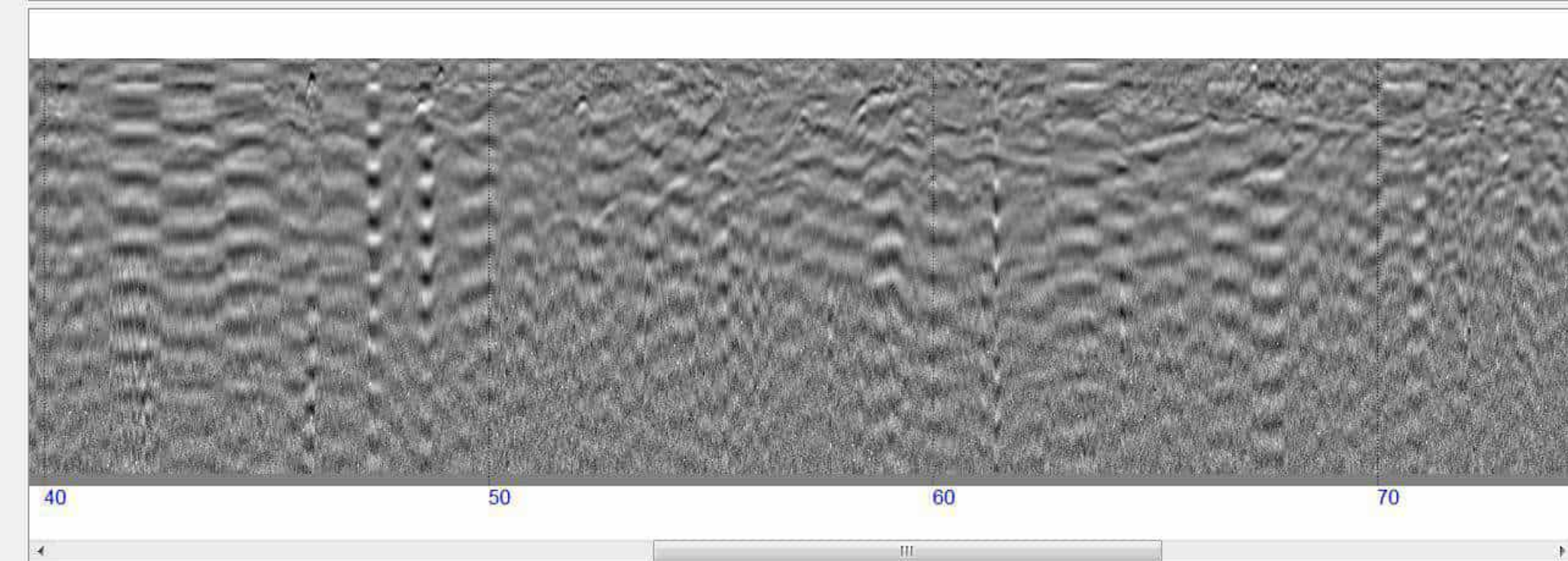
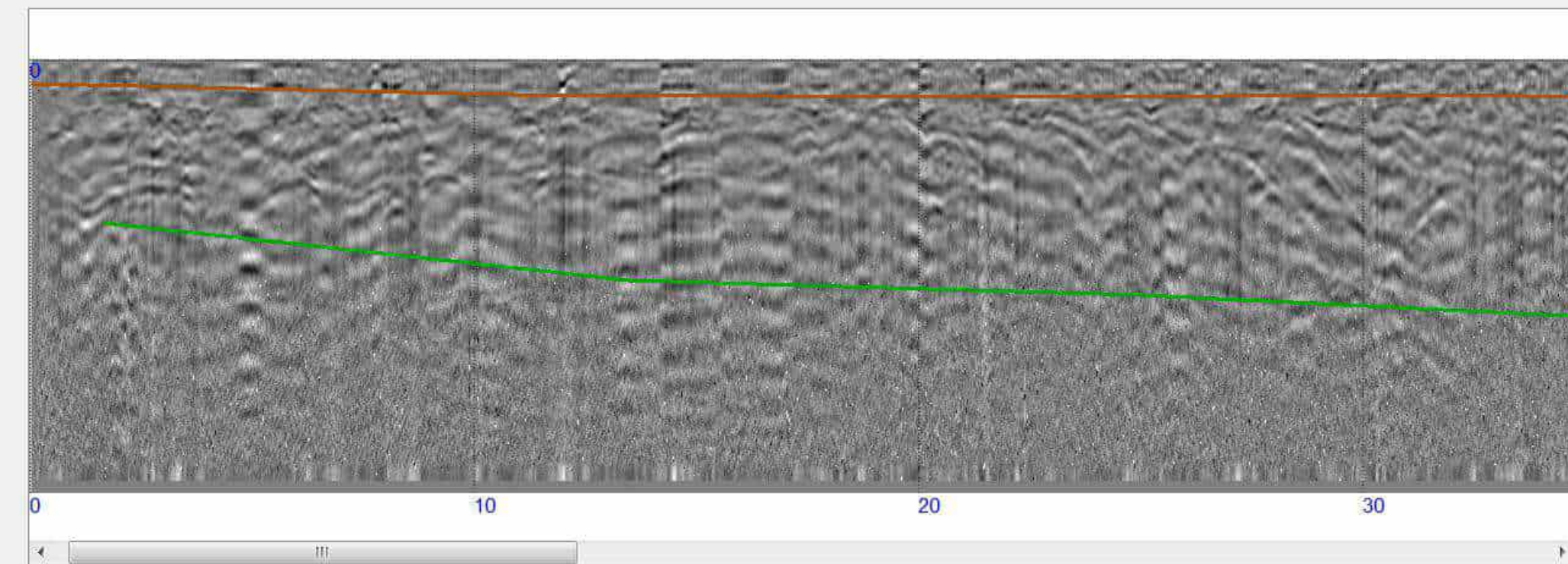


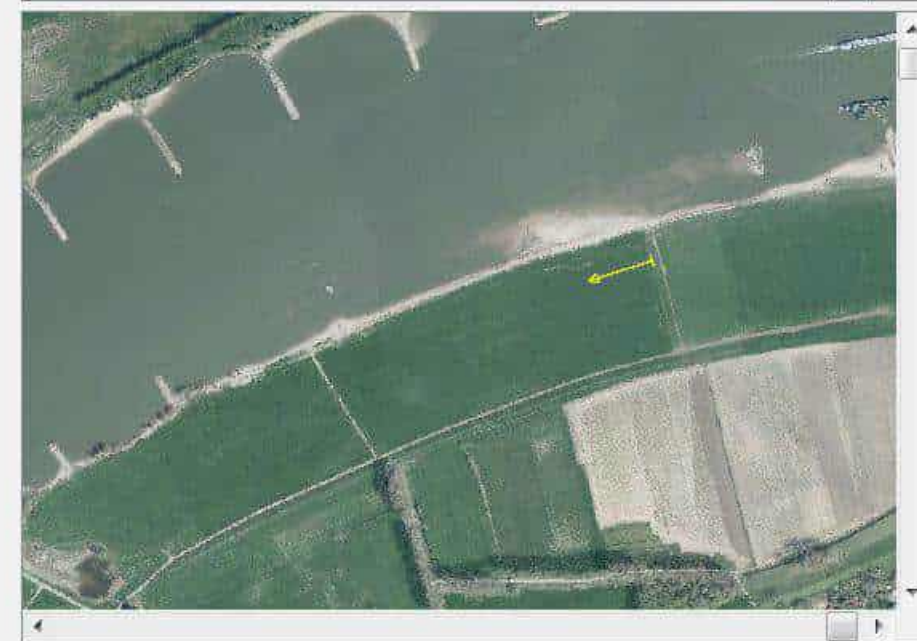
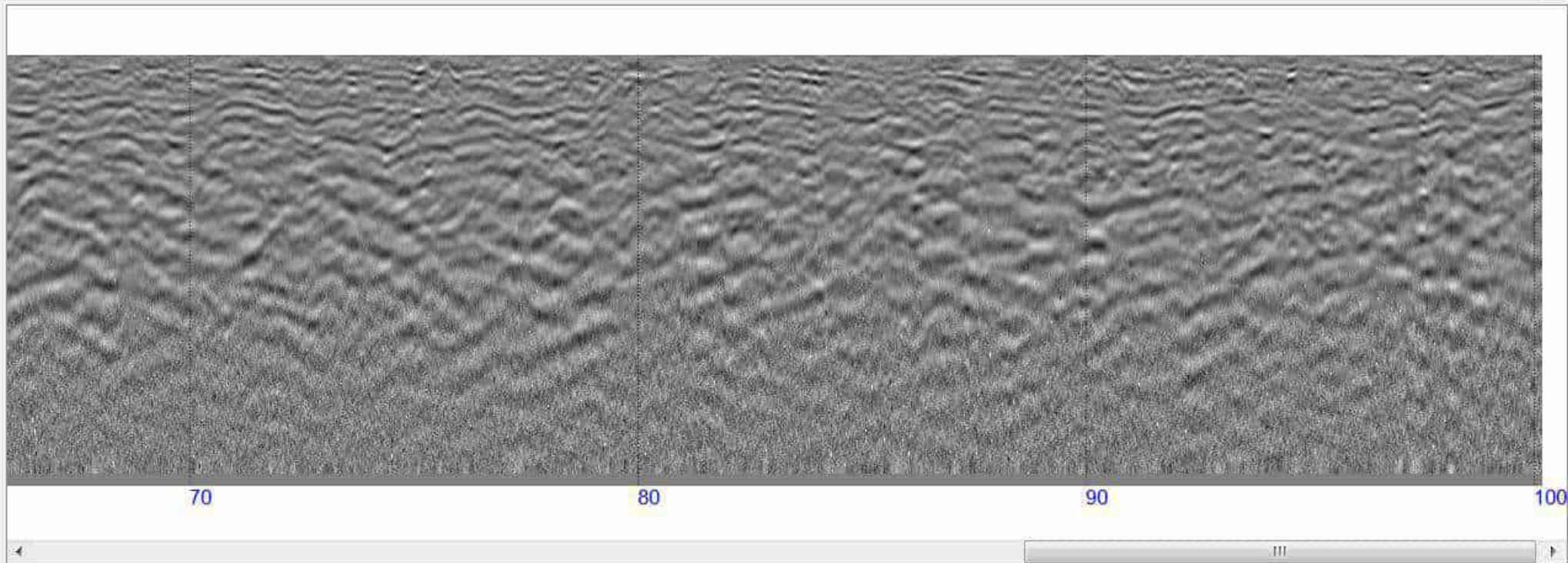
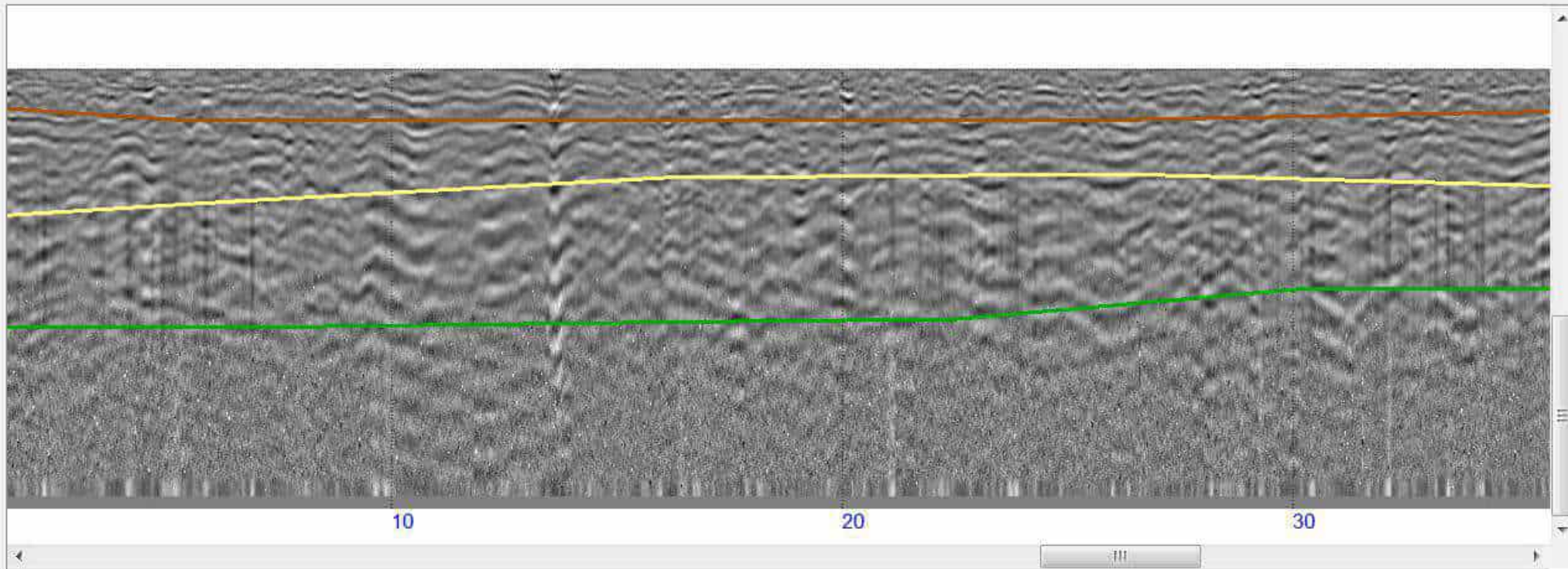


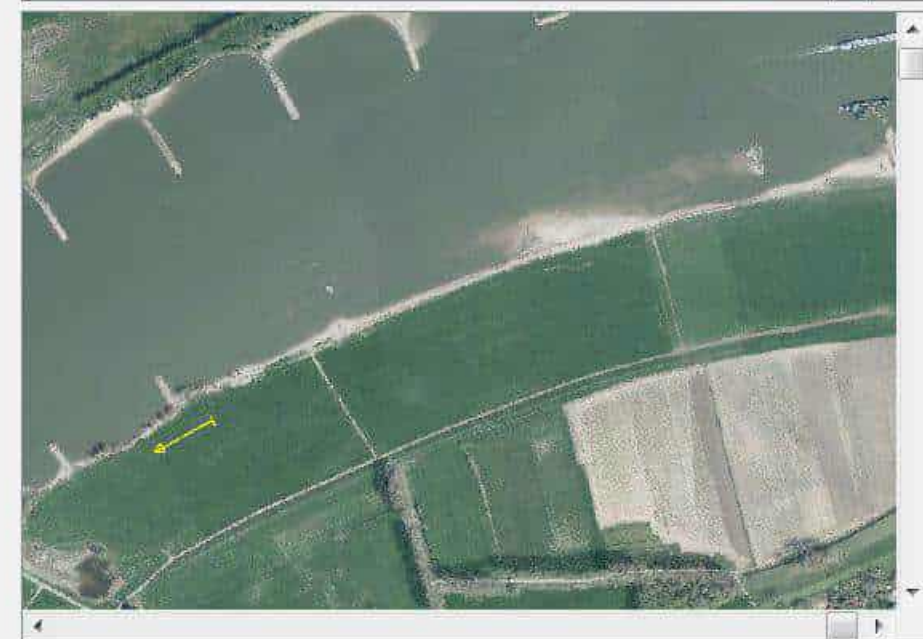
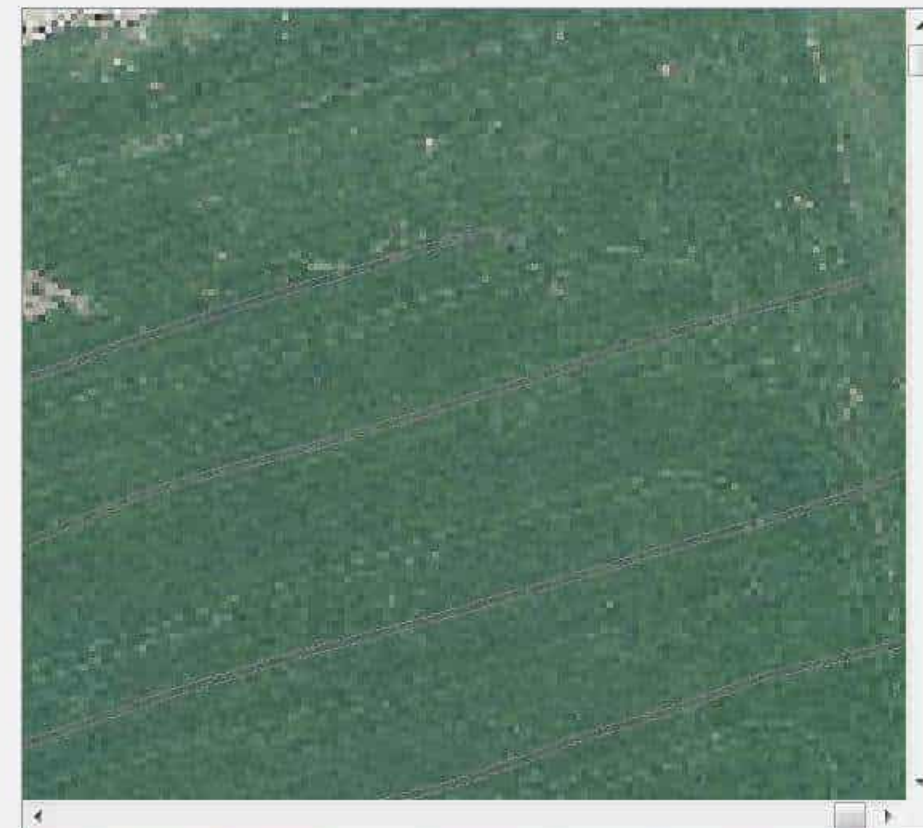
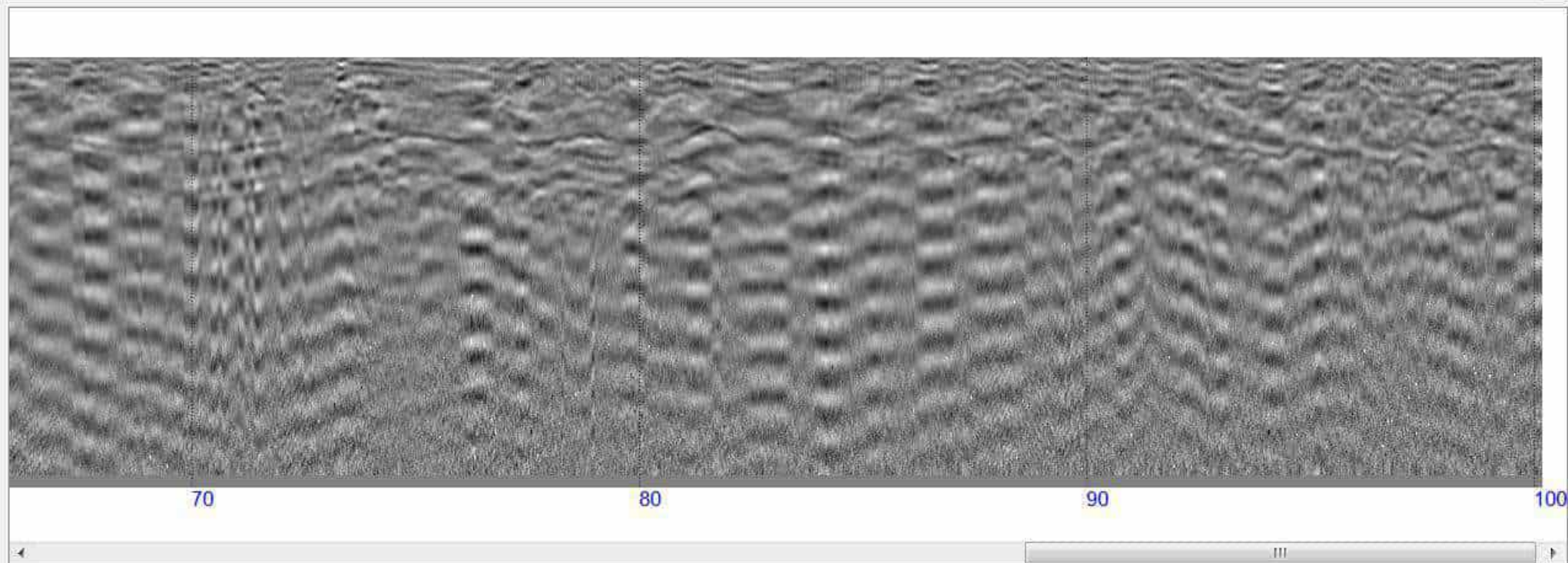
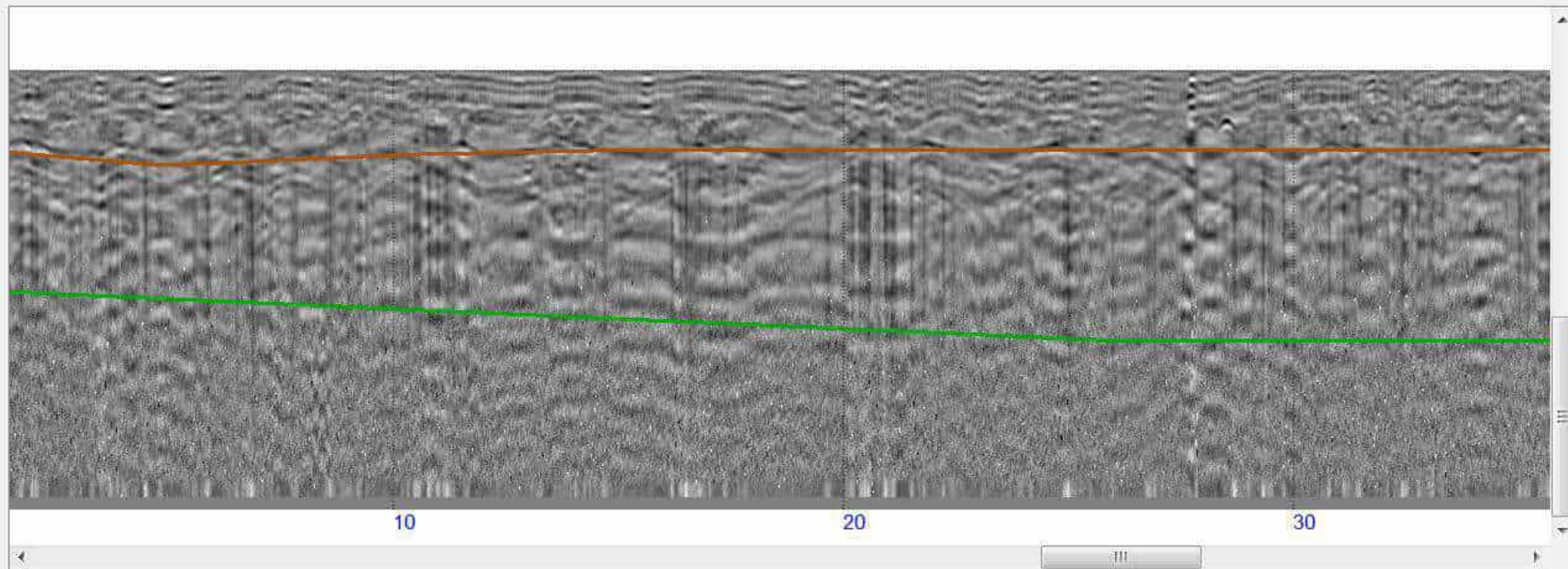


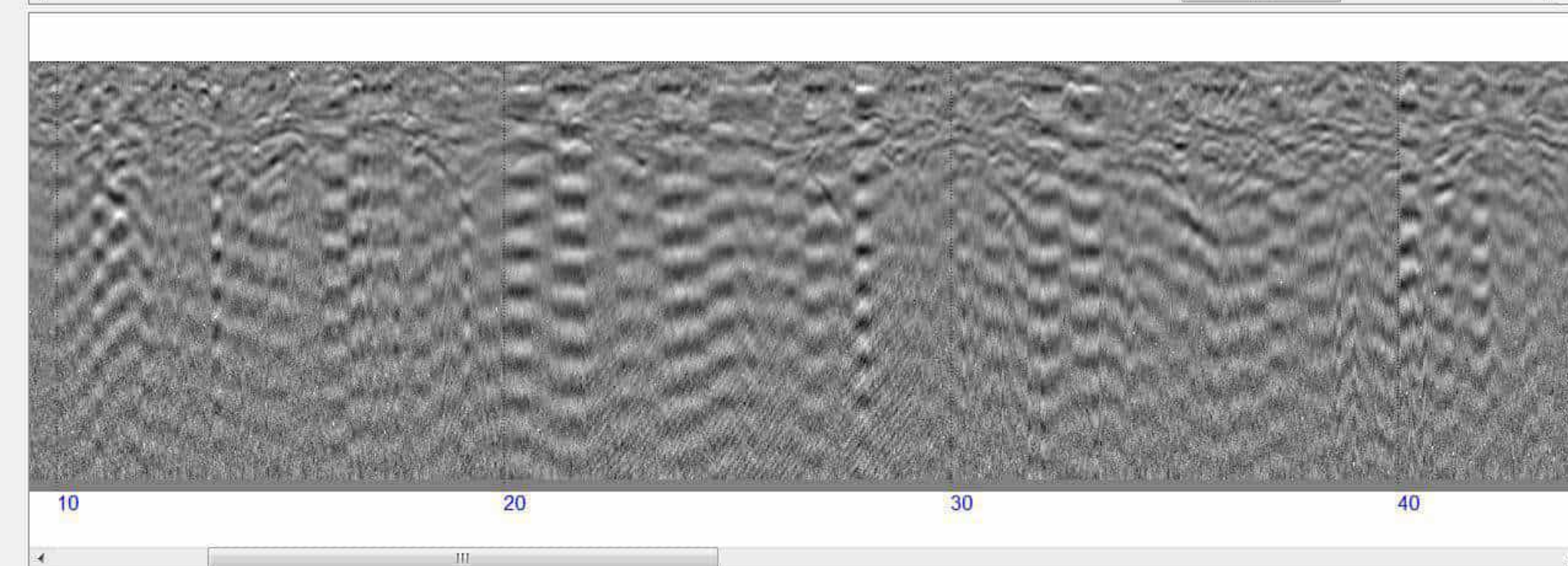
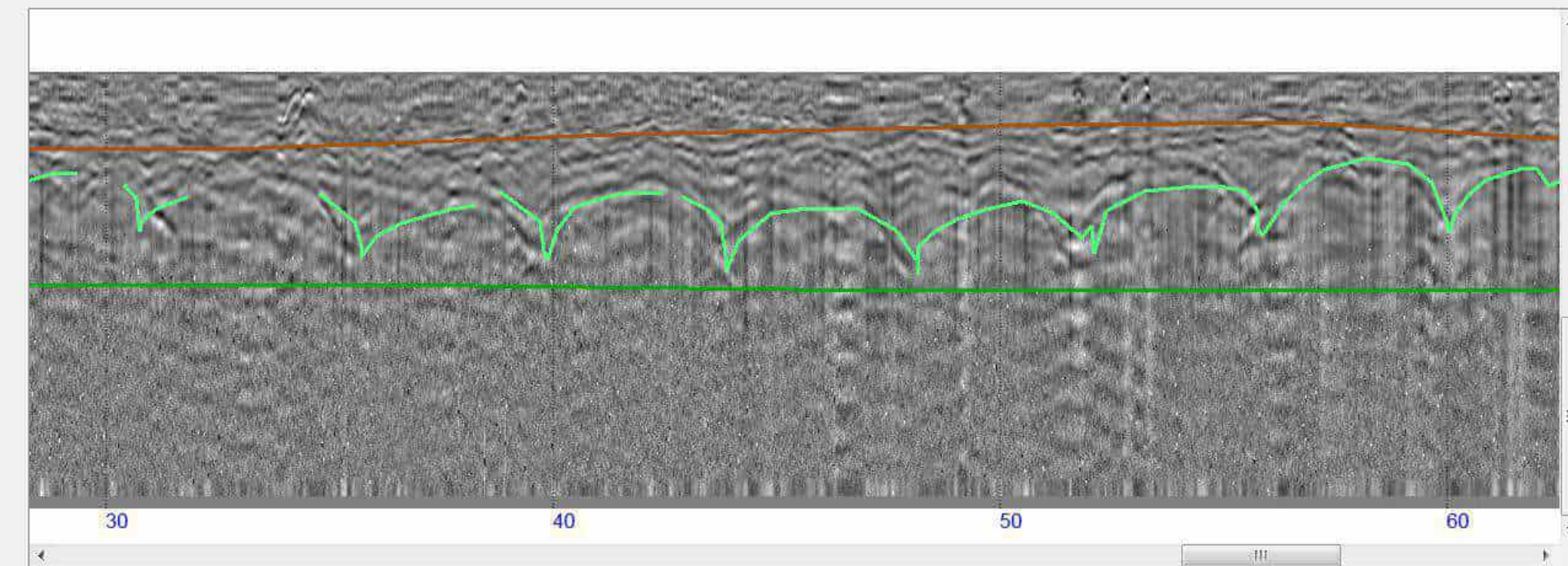


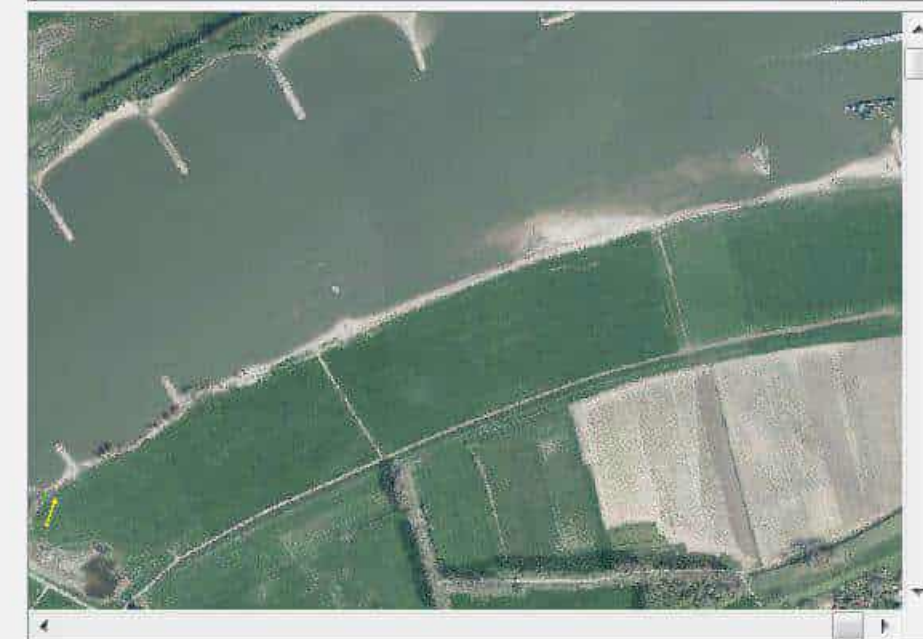
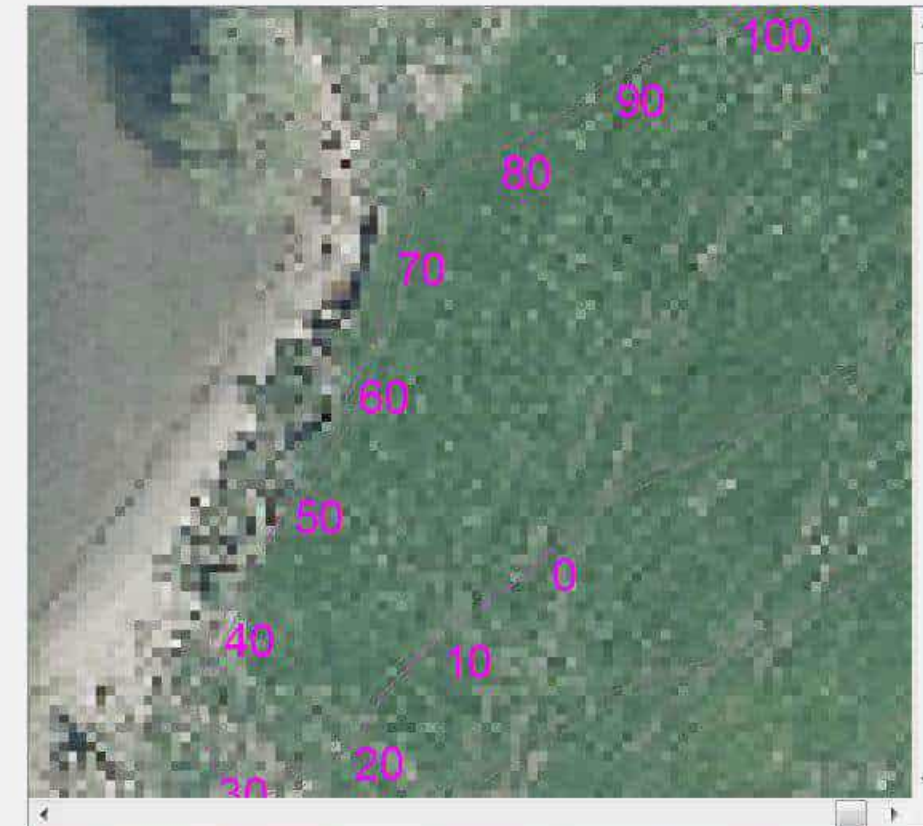
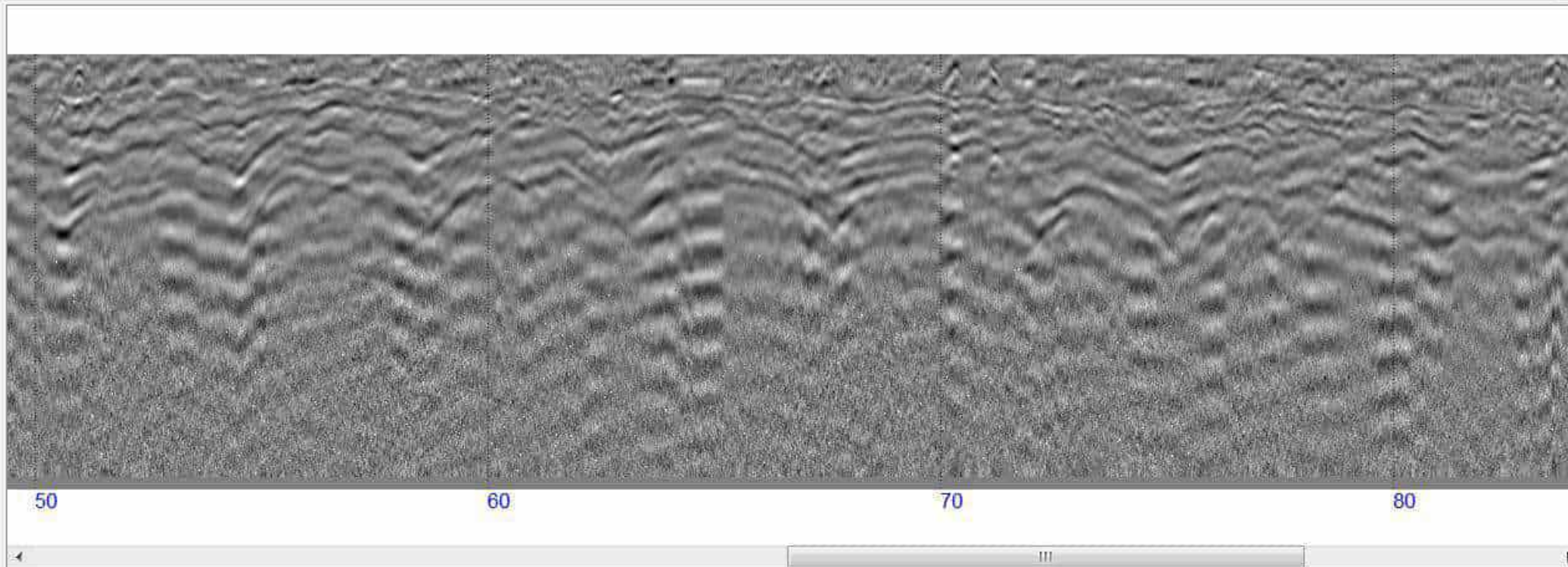
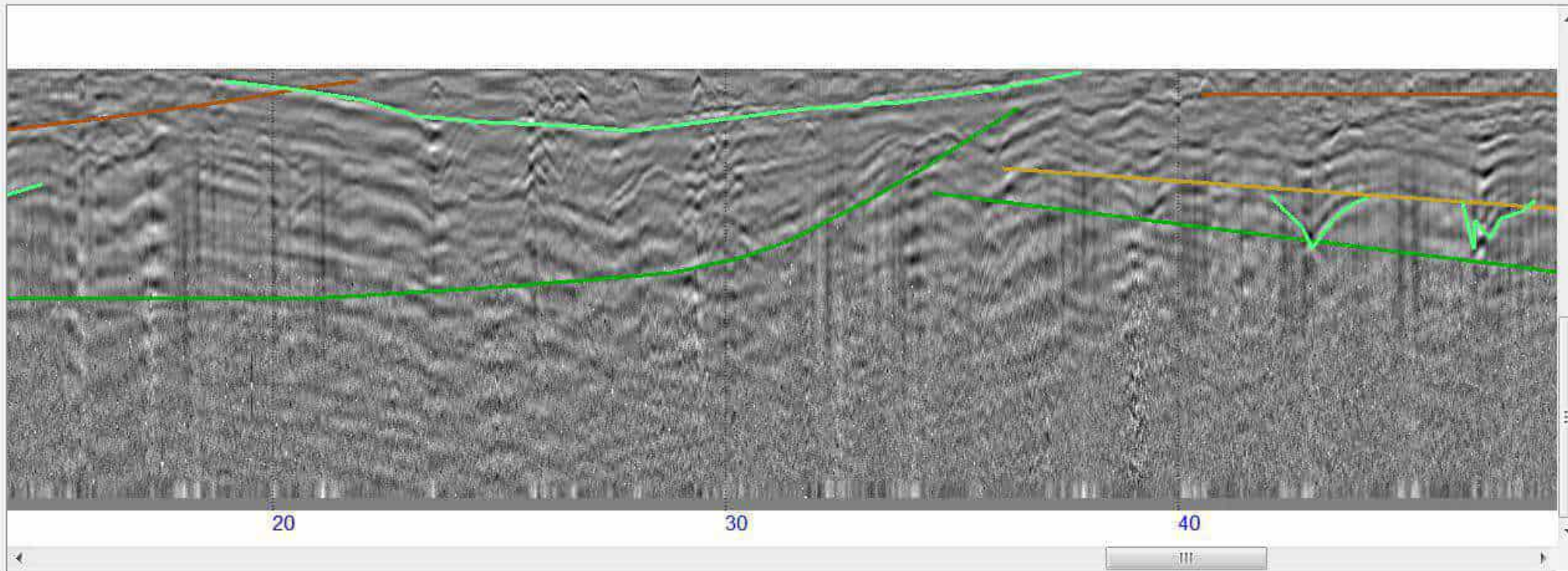


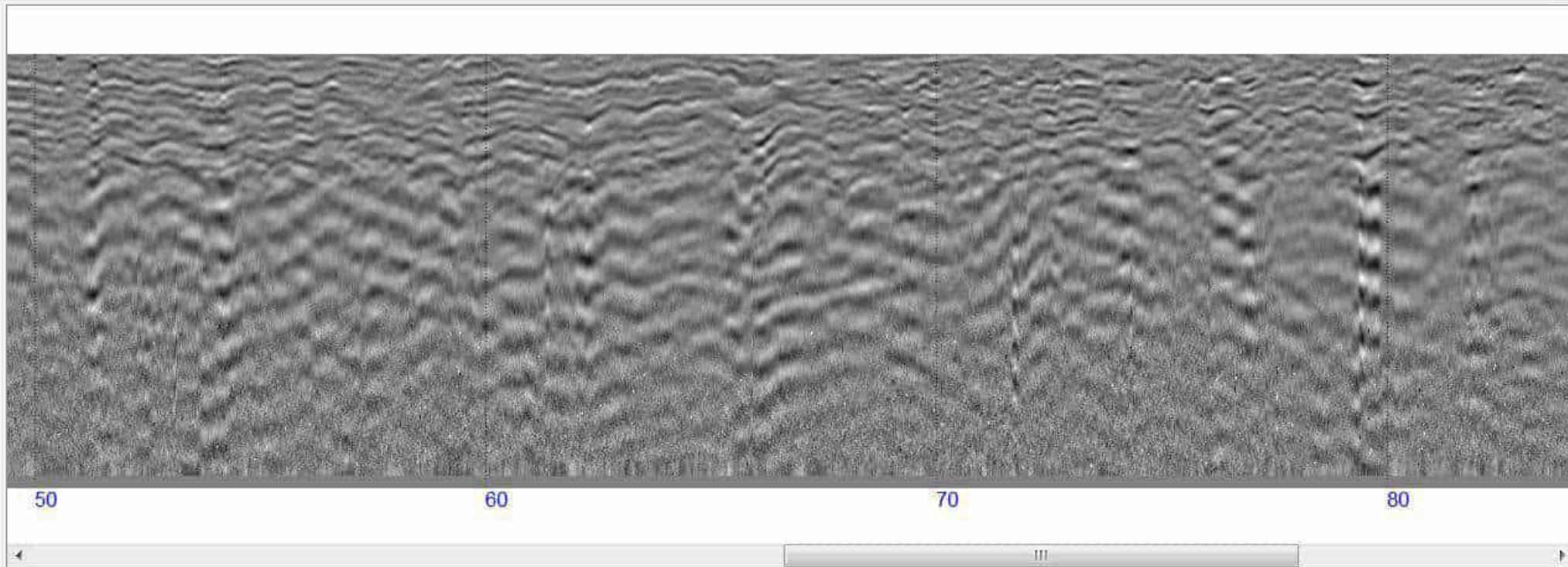
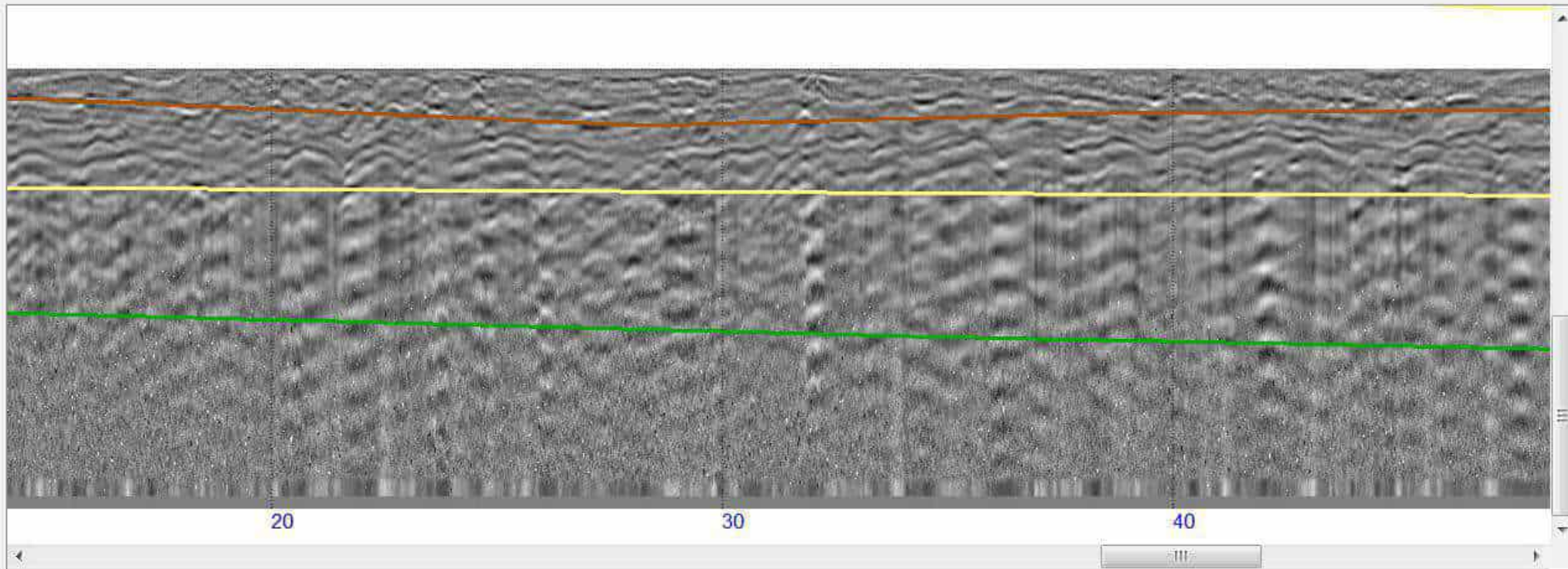


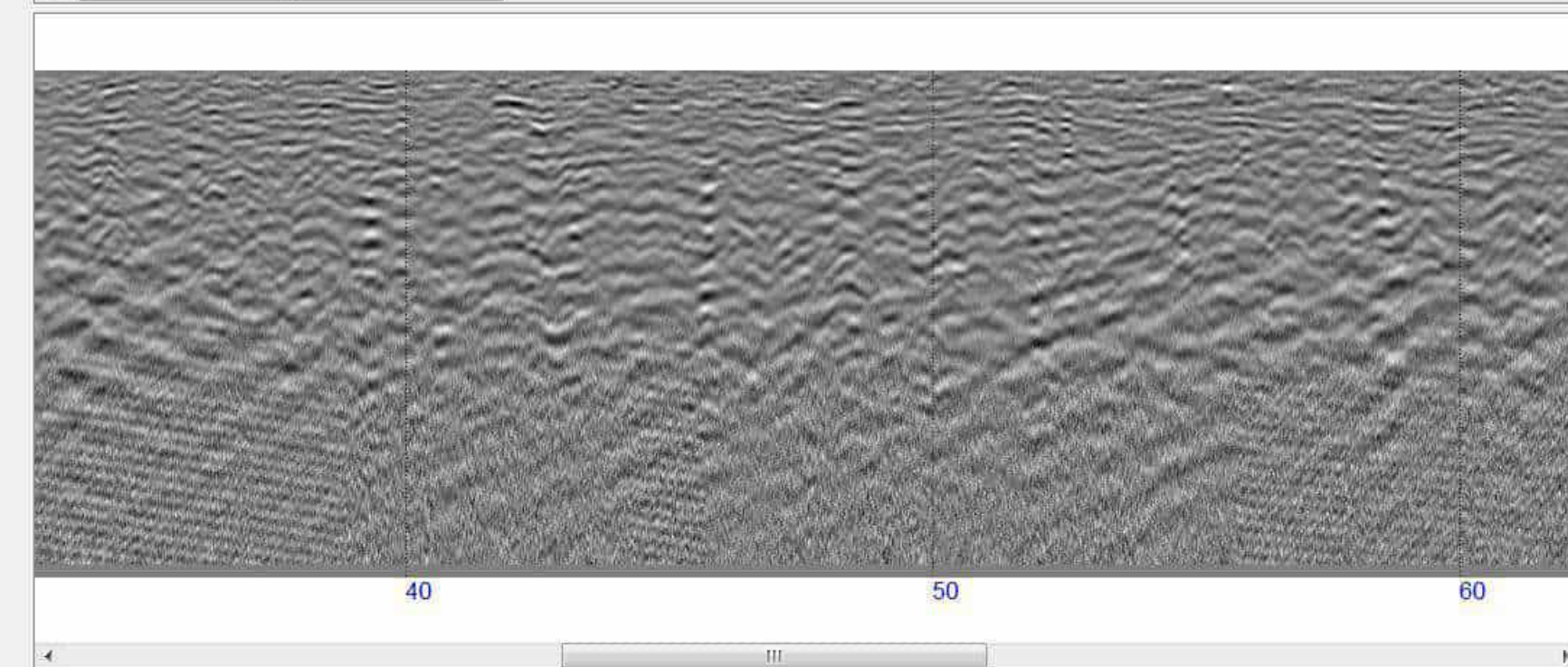
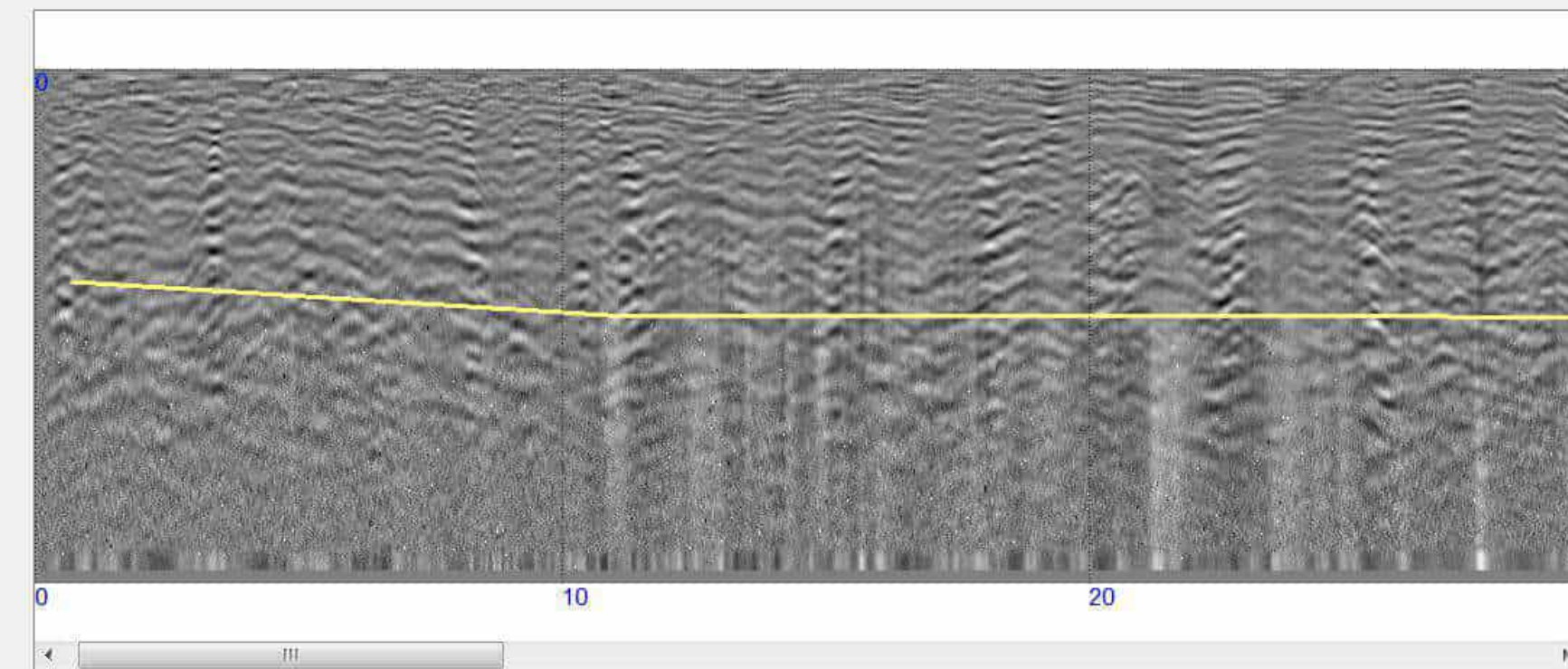


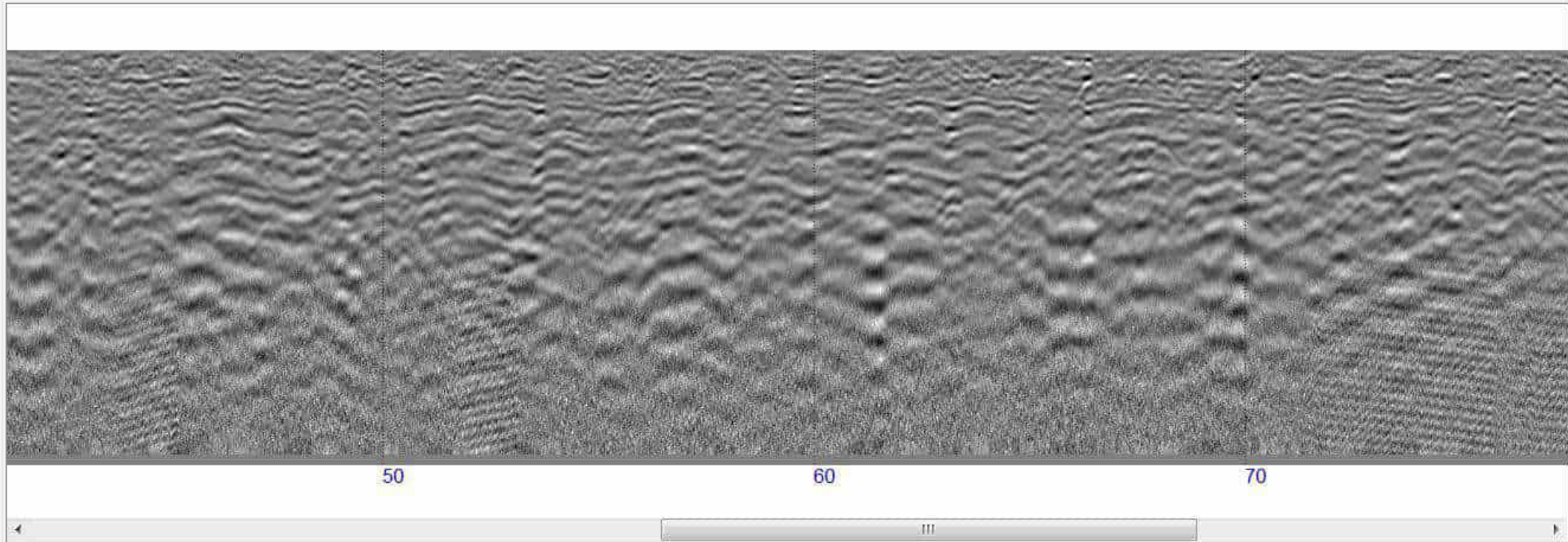
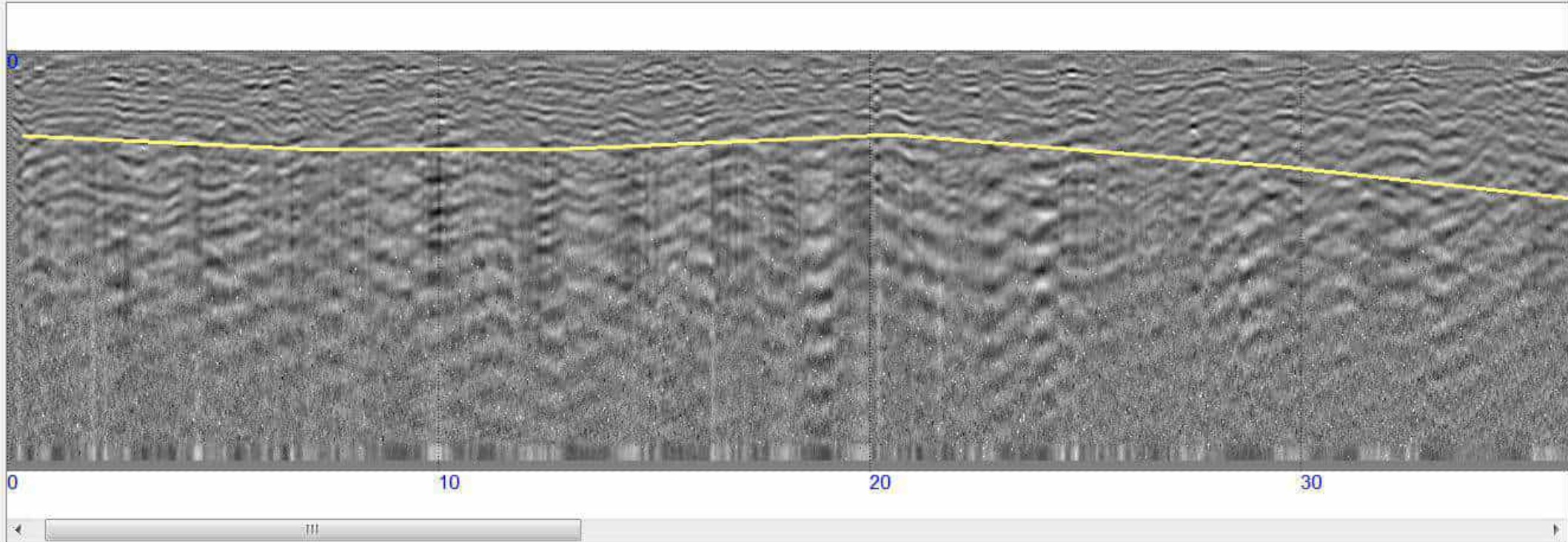


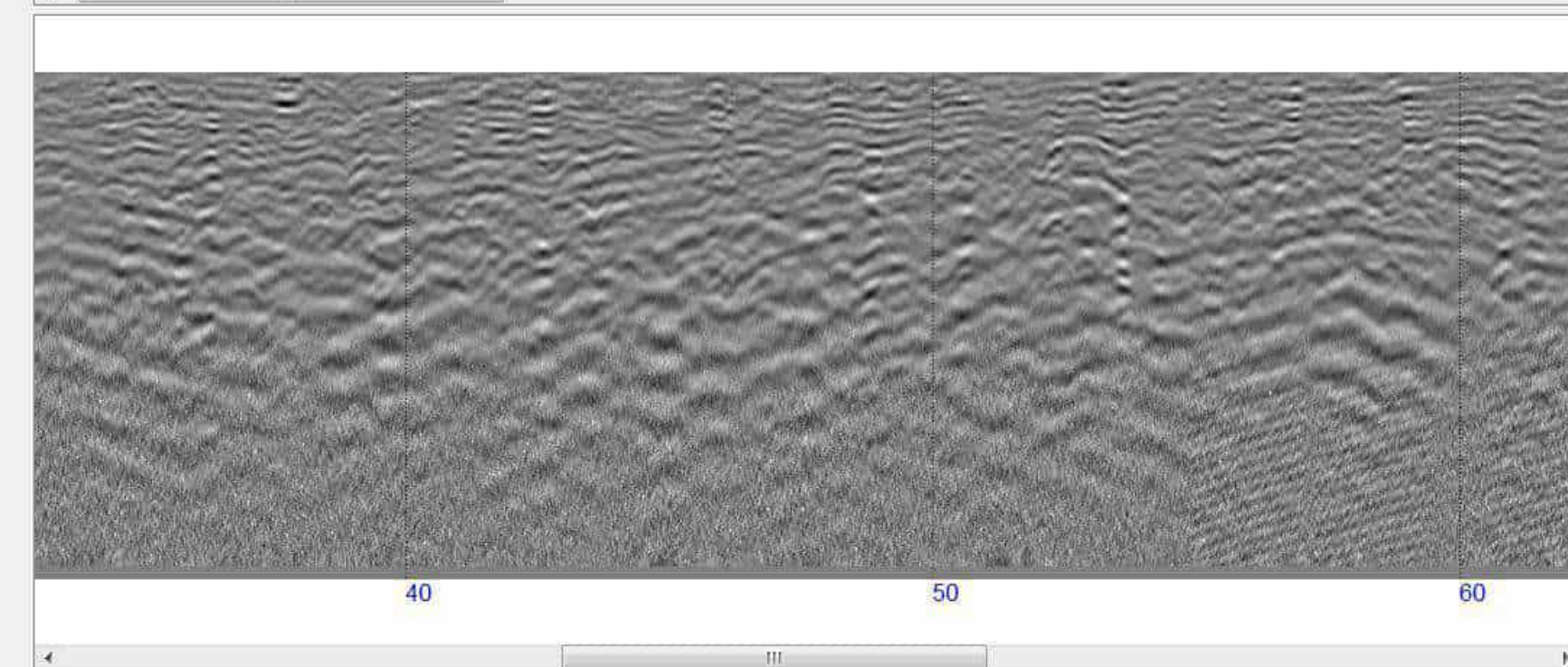
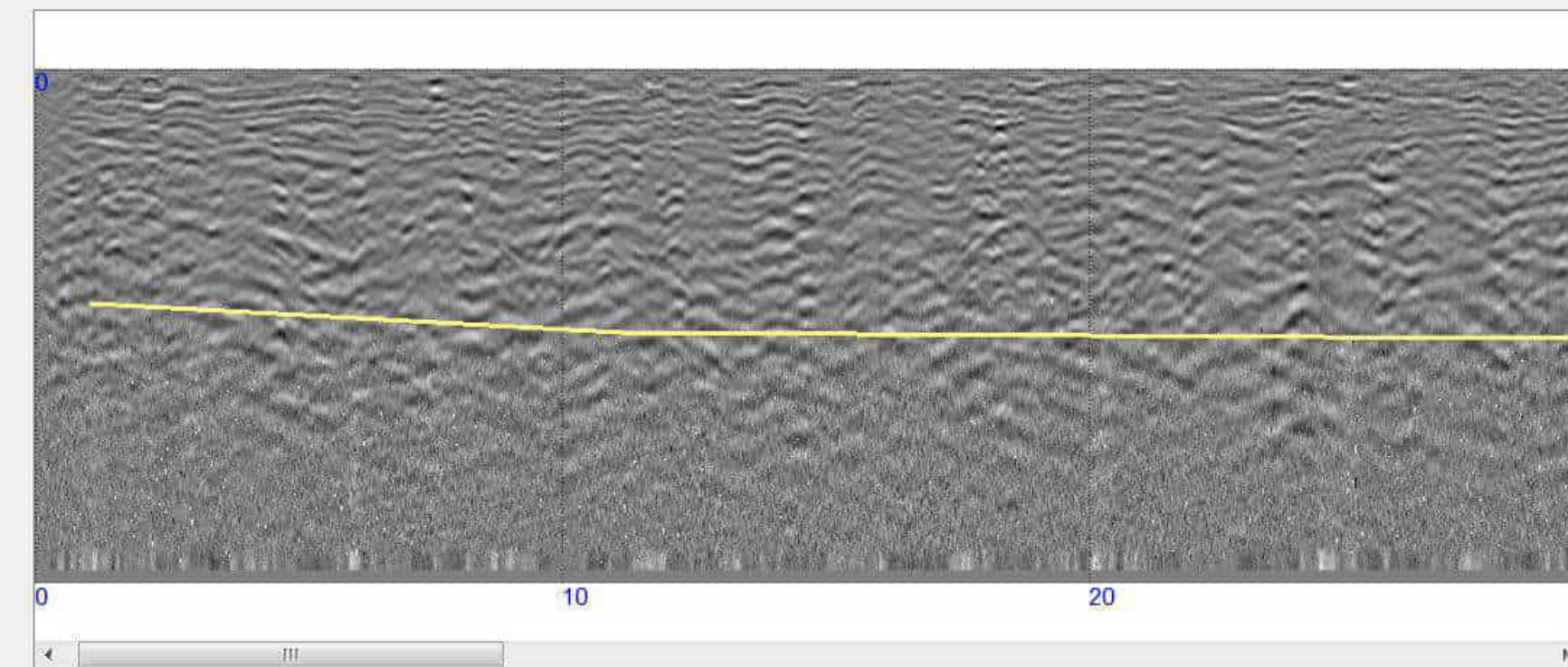


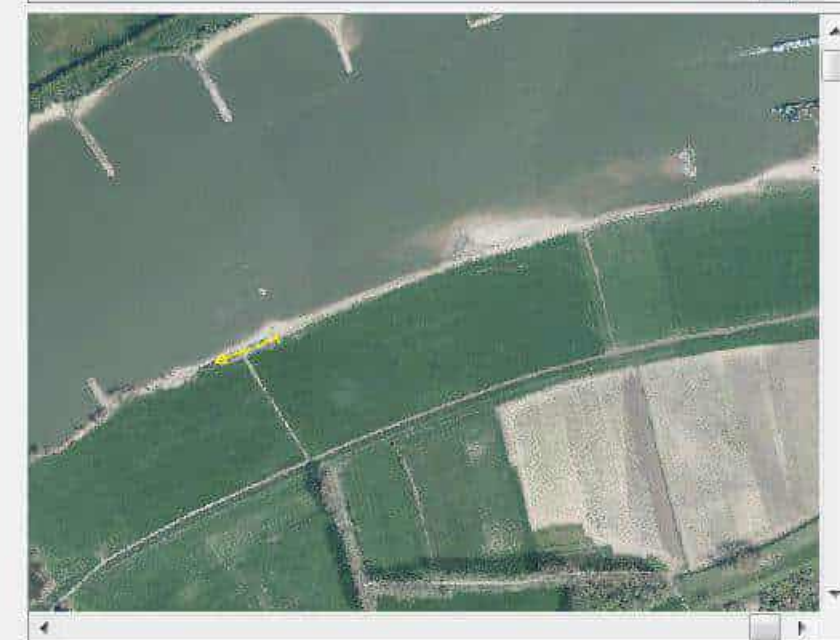
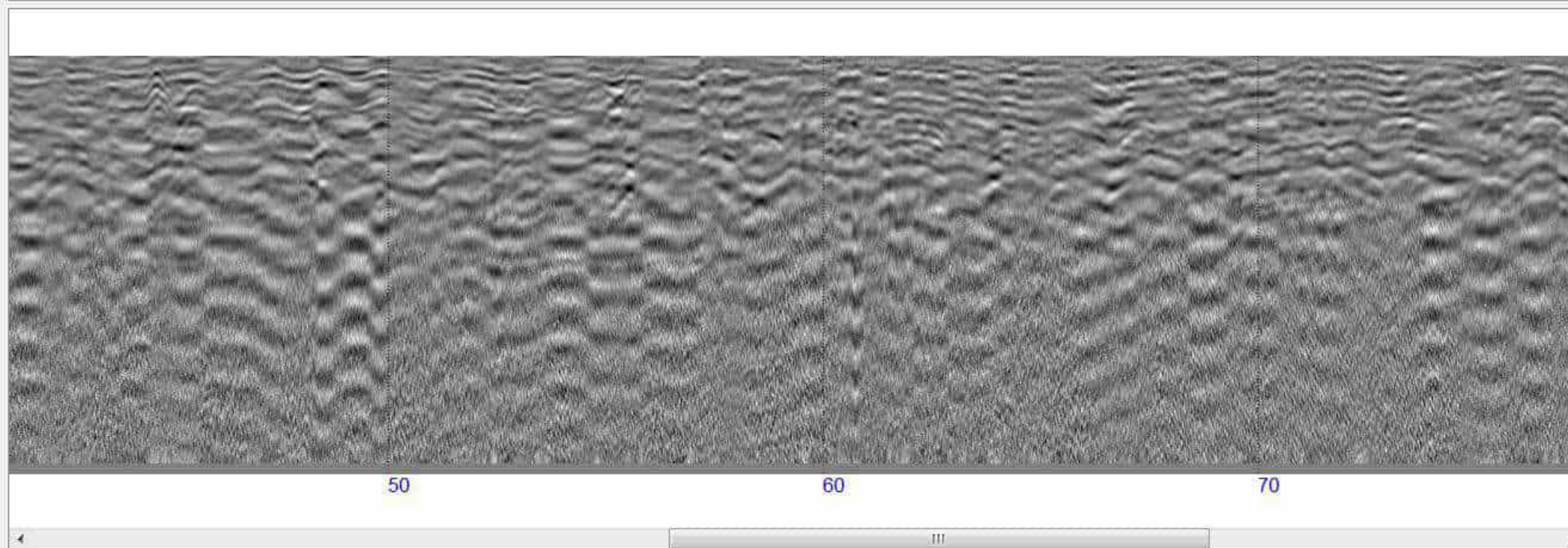
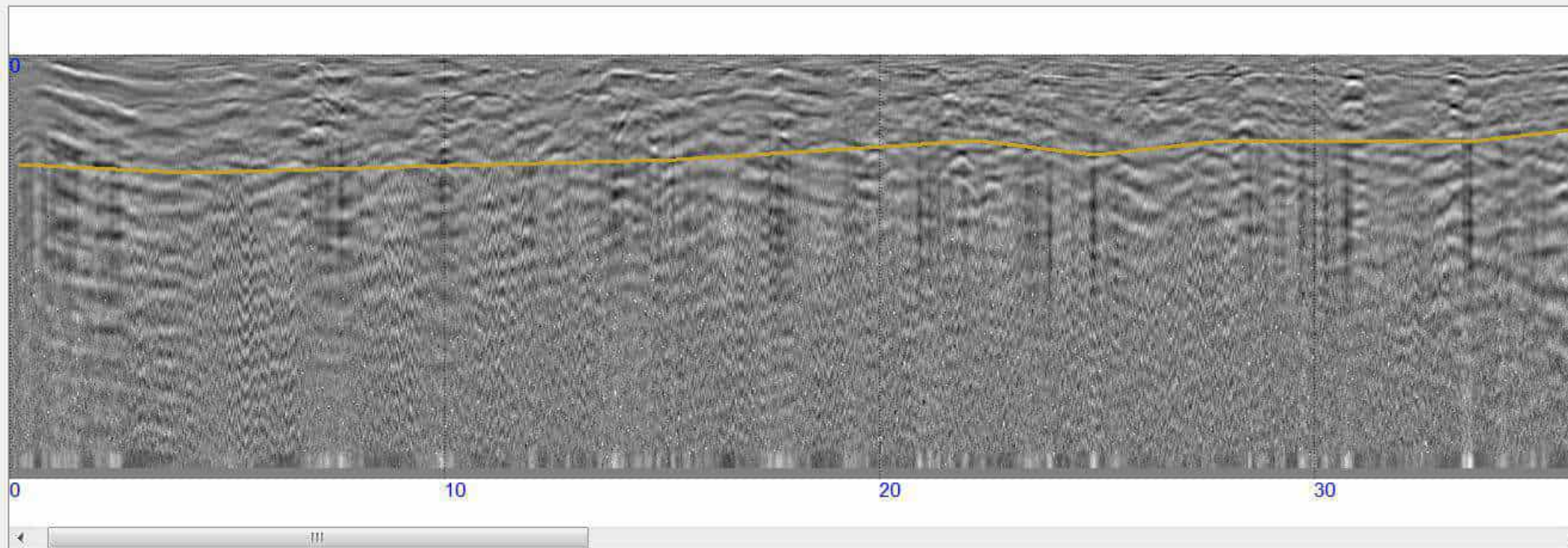


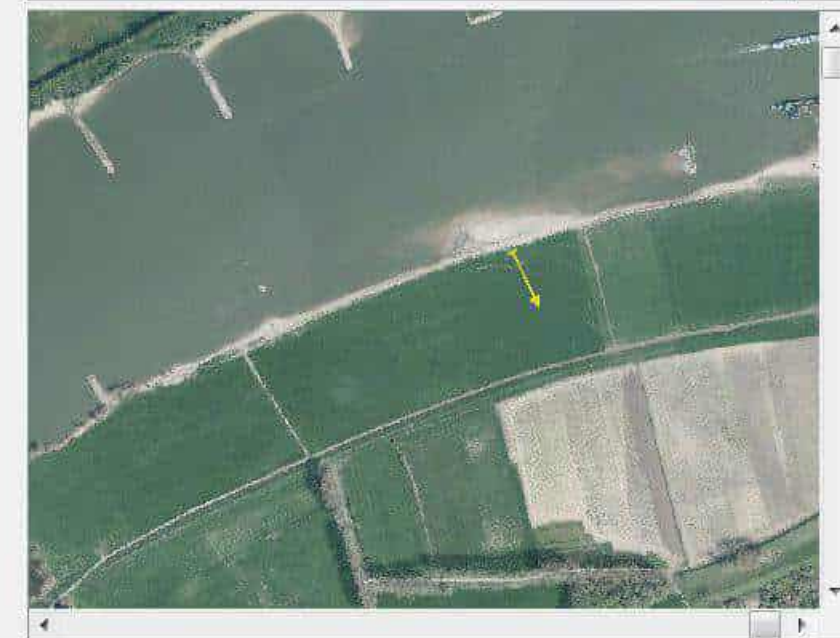
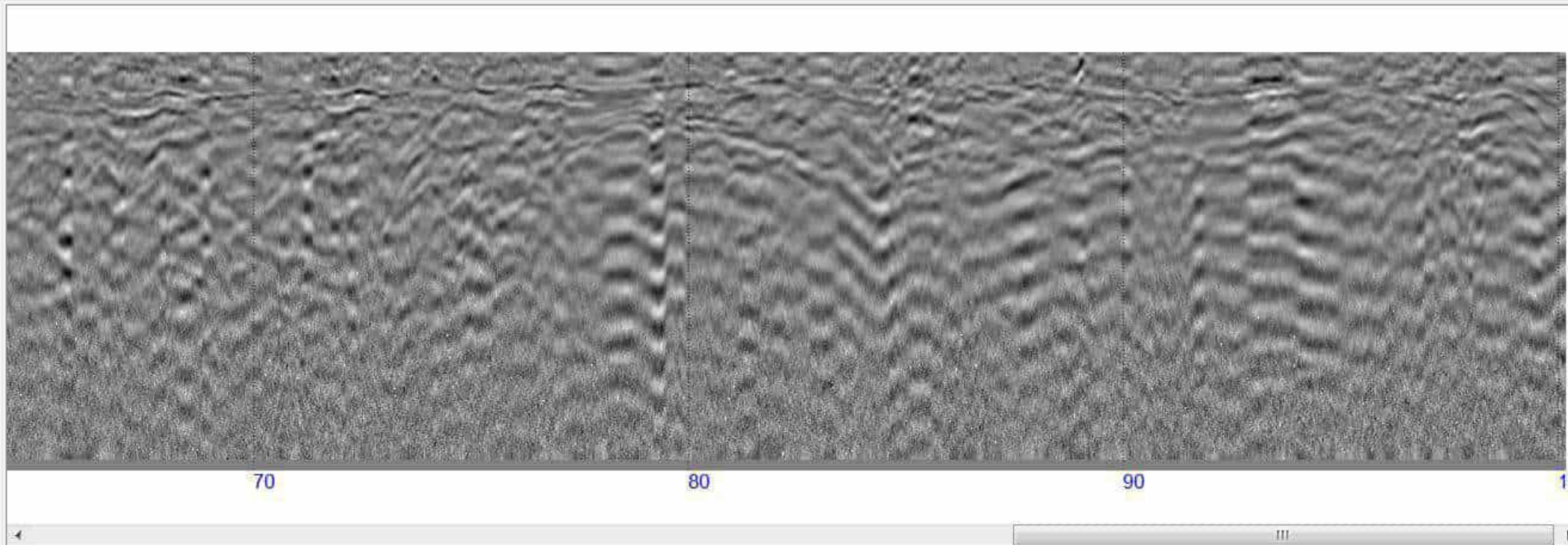
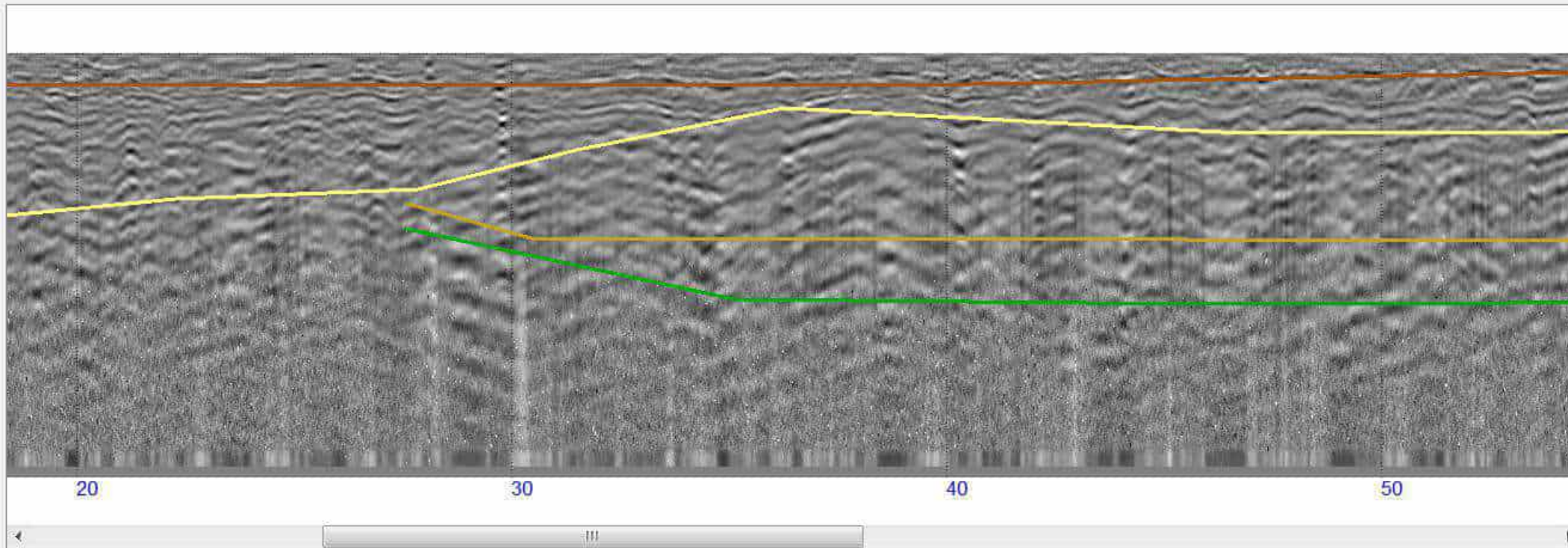


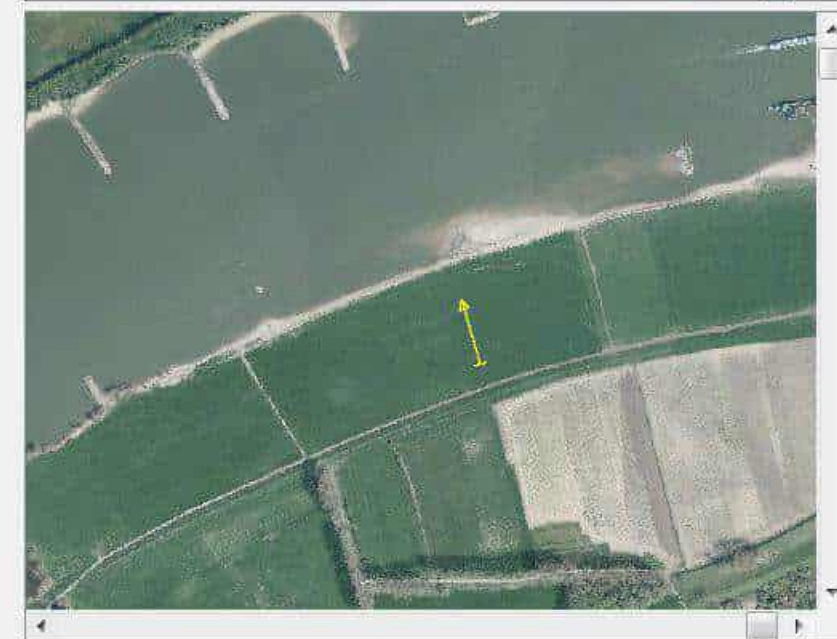
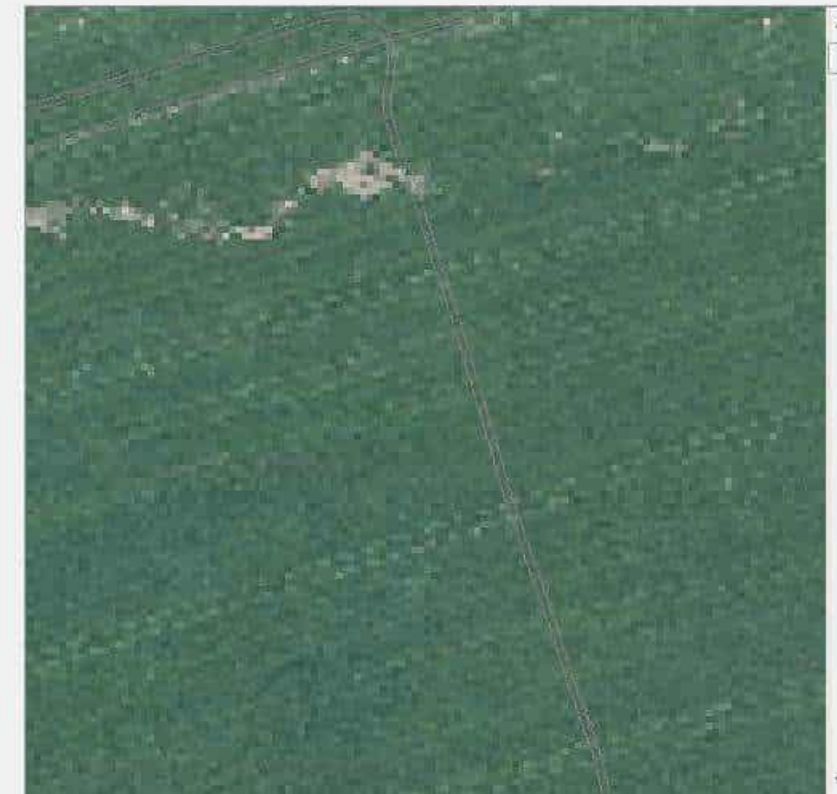
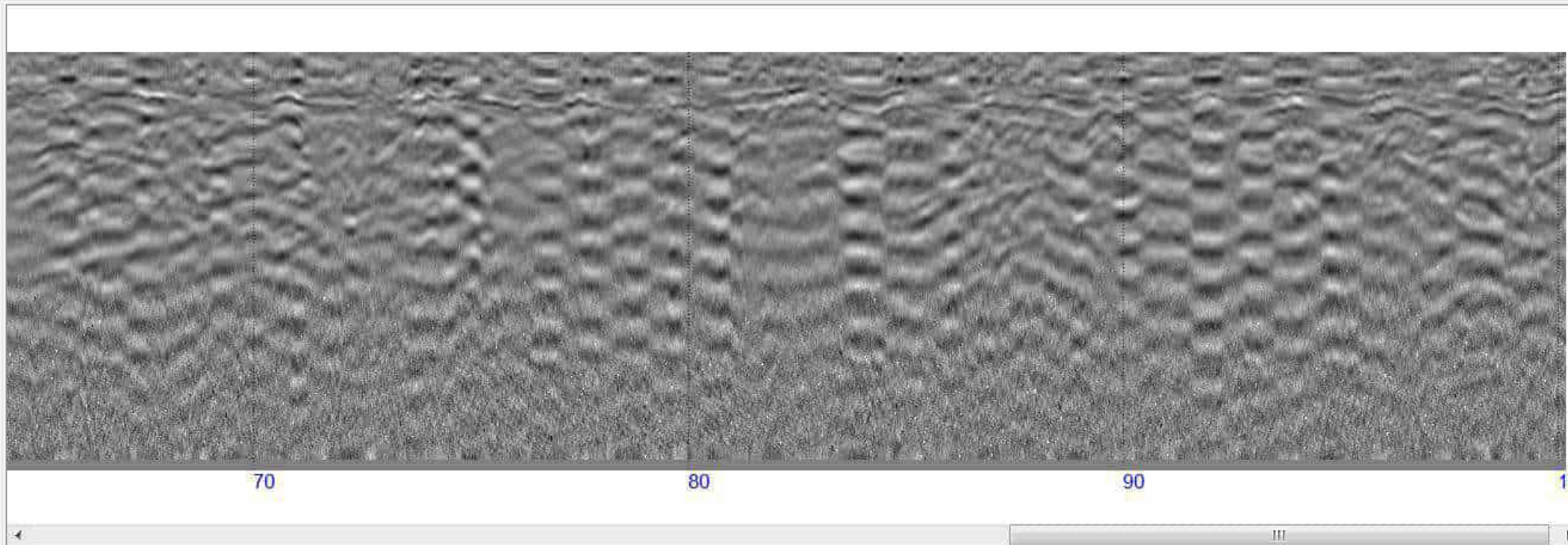
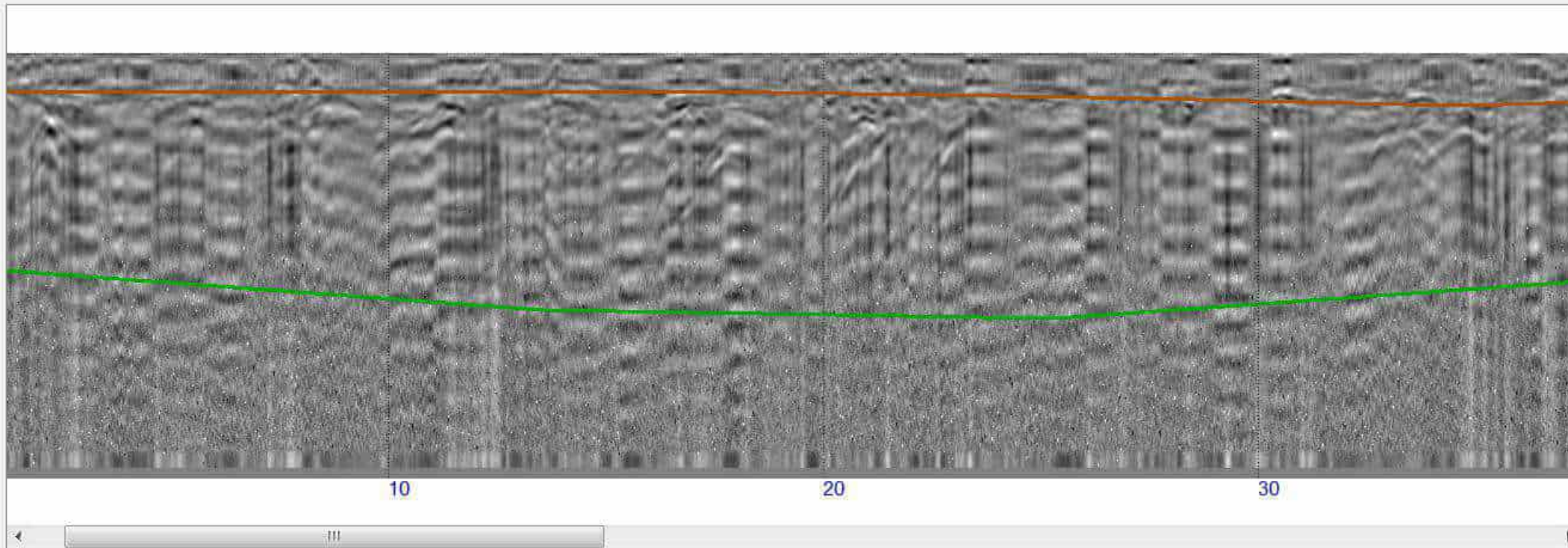


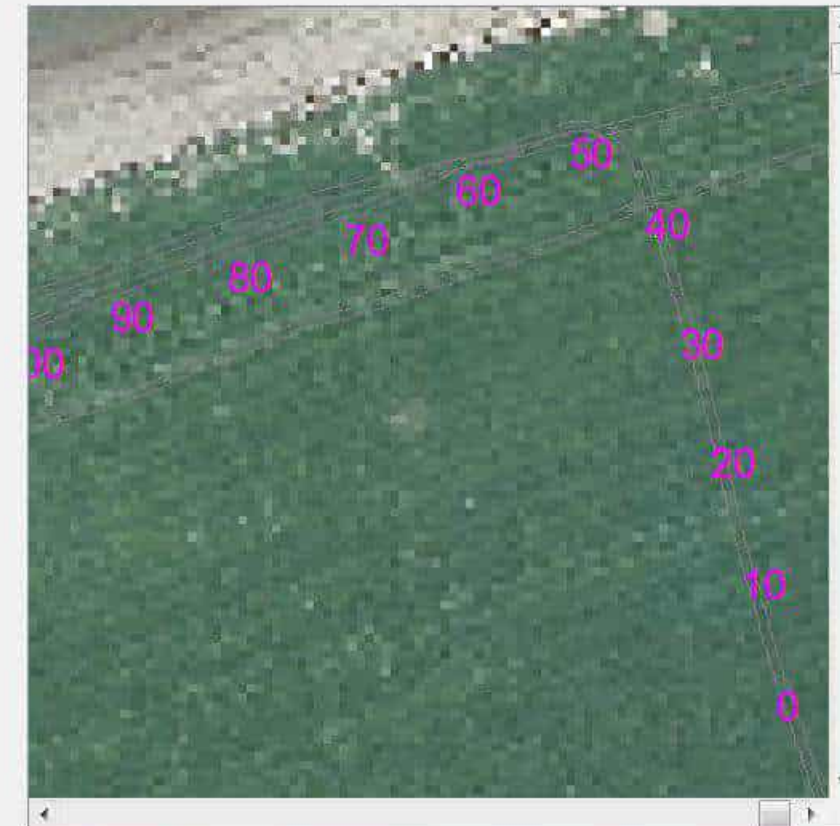
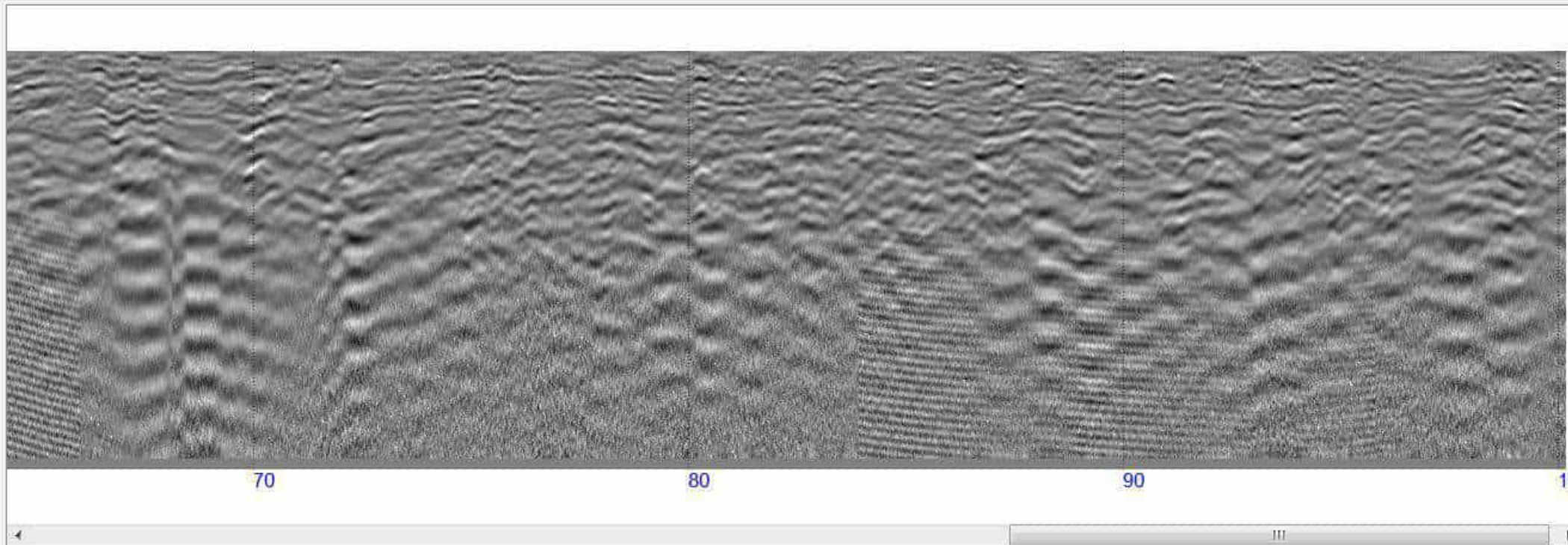
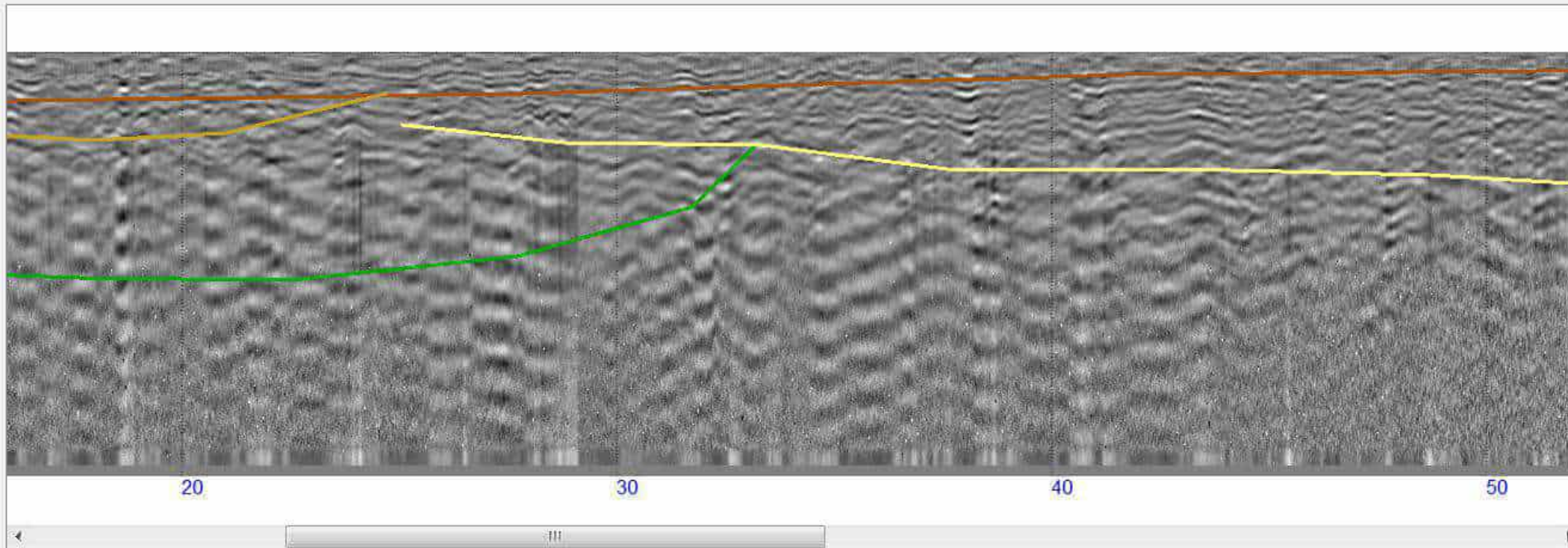


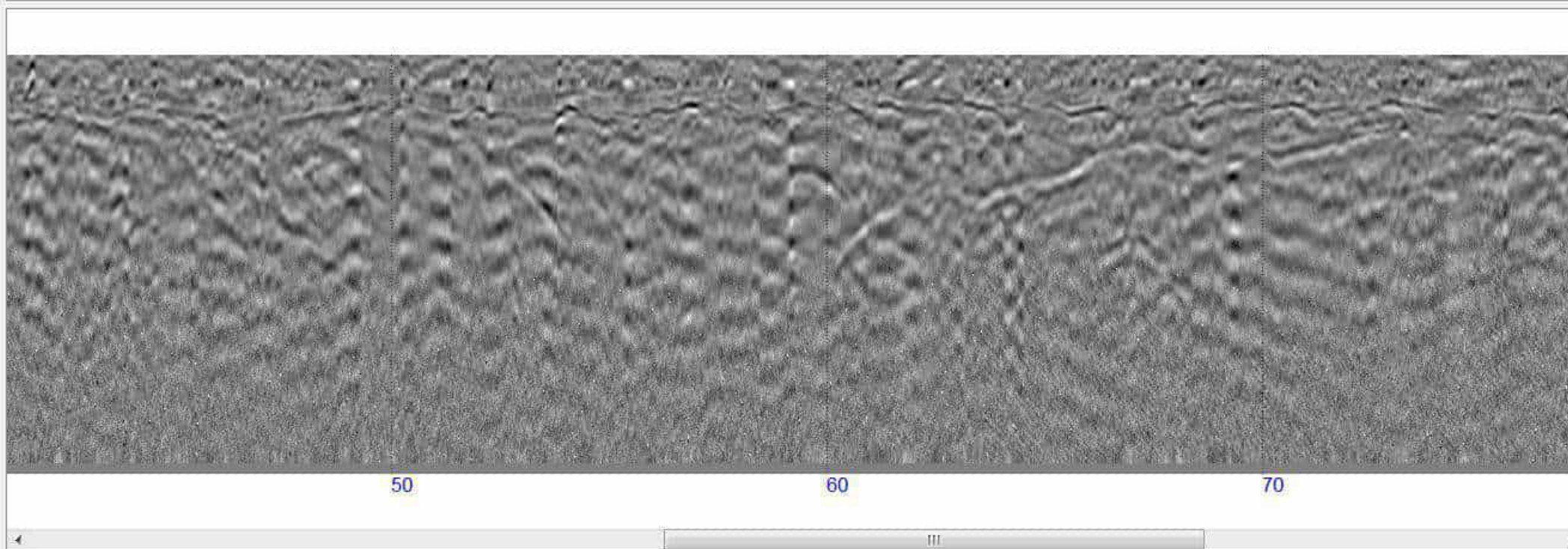
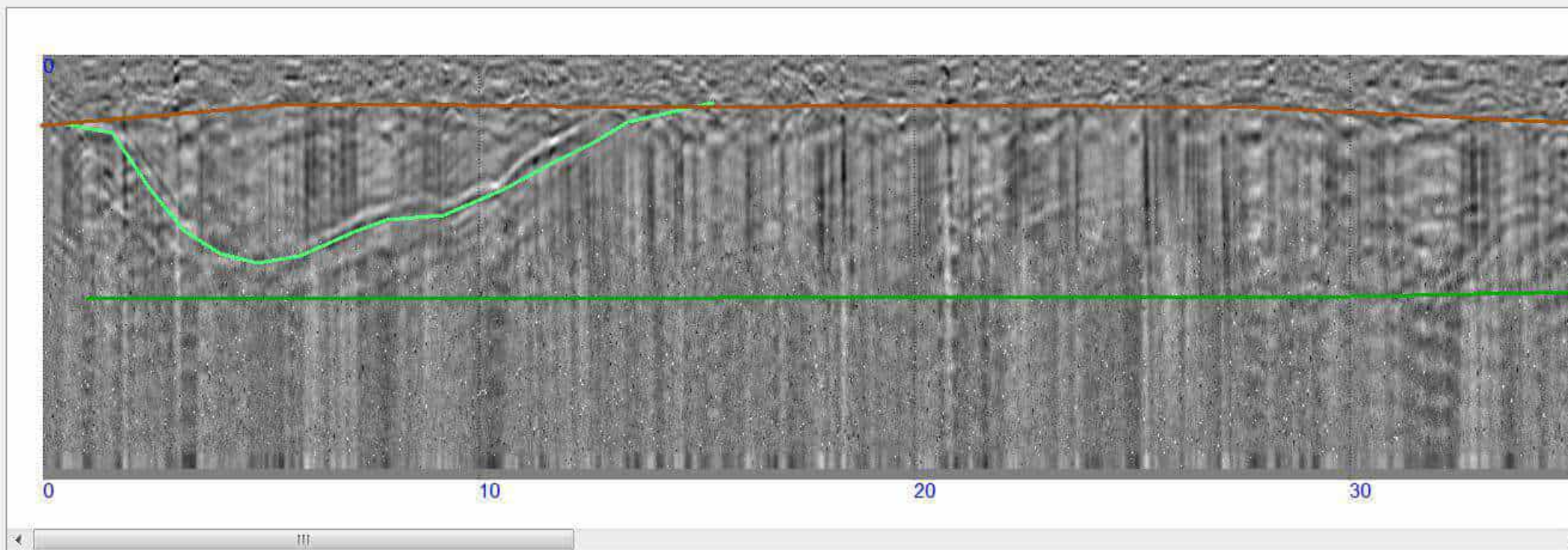


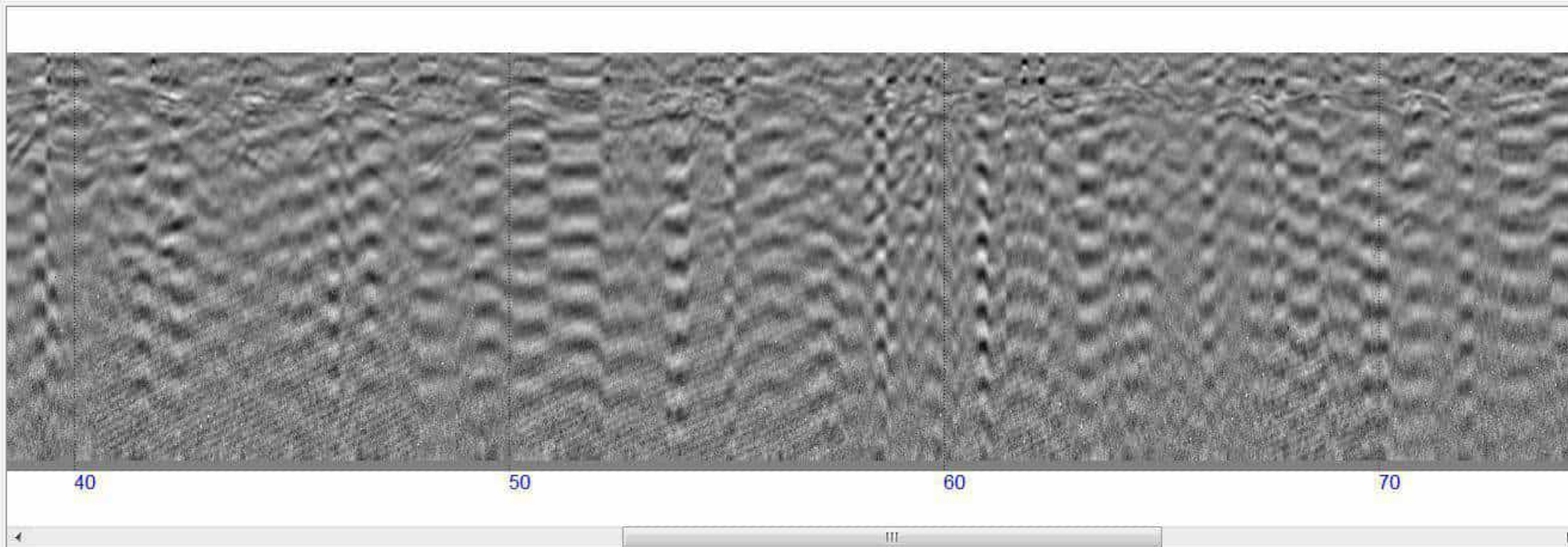
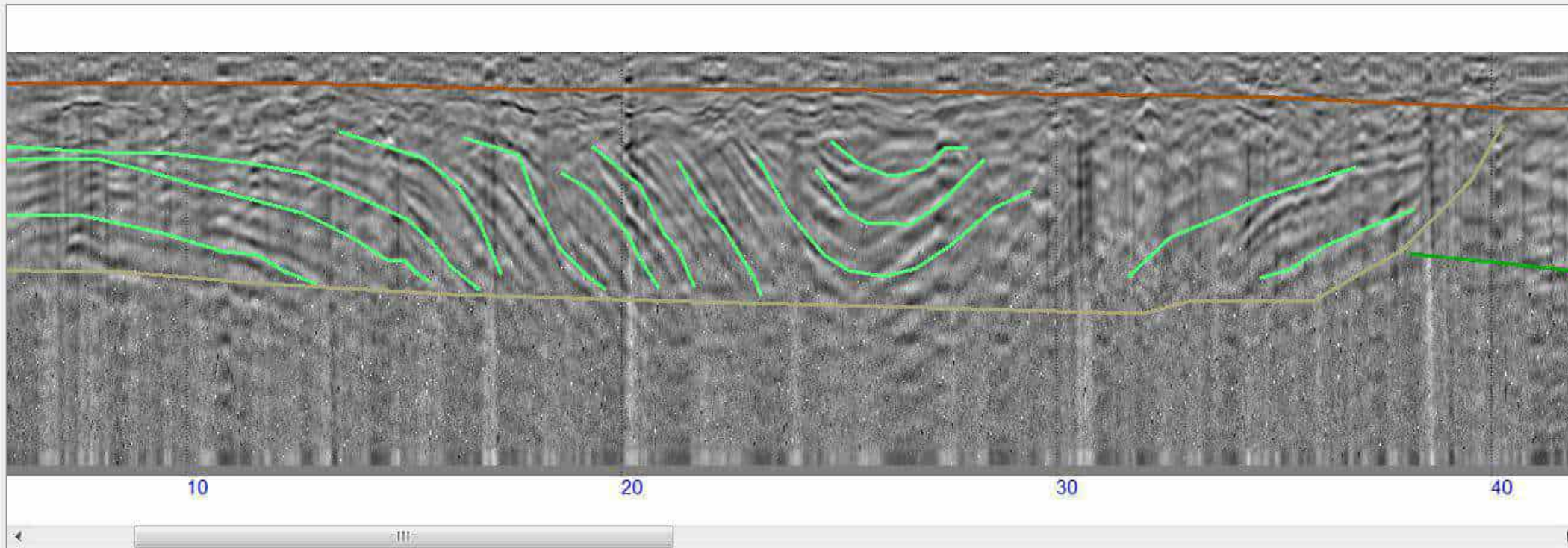


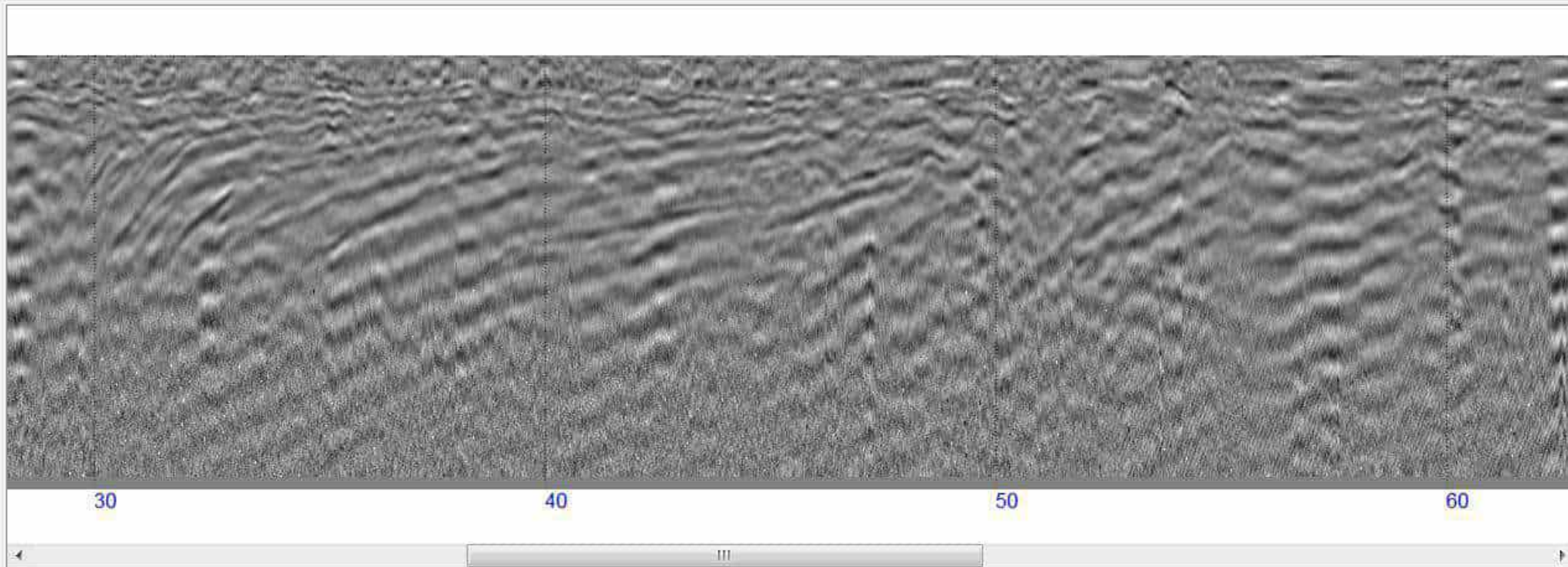
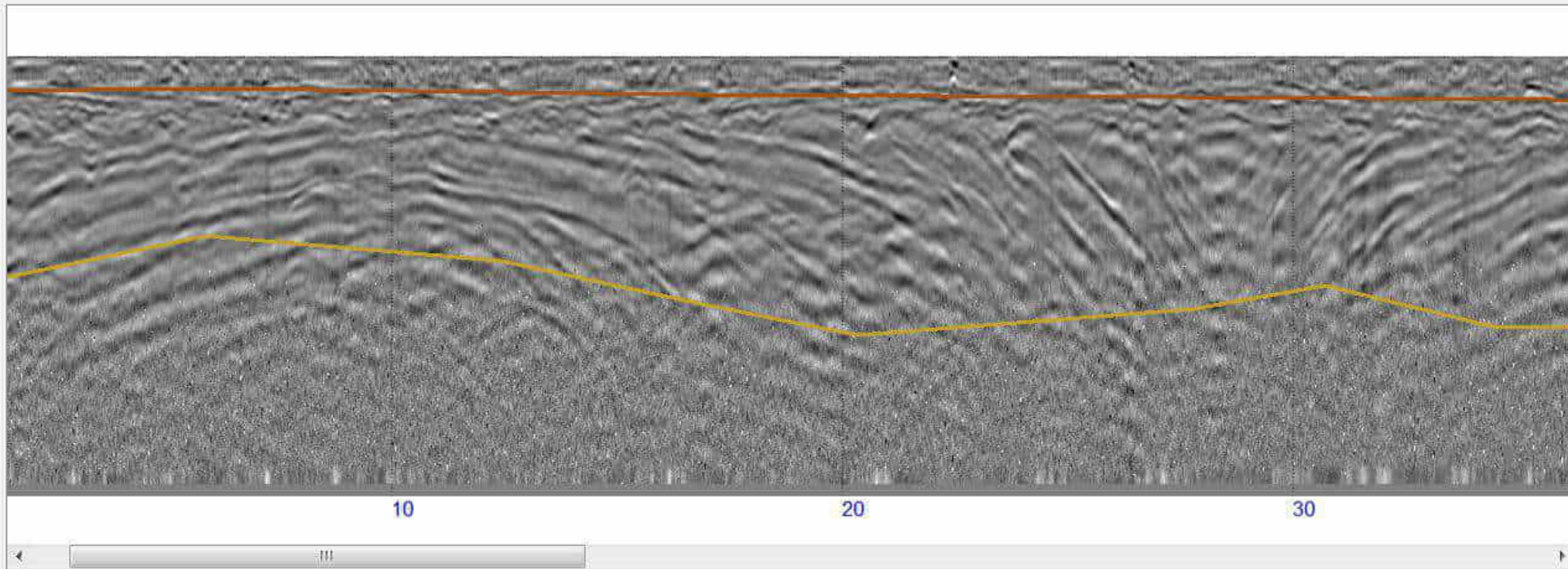












Technische notitie

Projectnaam	Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden		
Onderwerp	Uitkomsten en (rest)risico's gemeente West Maas en Waal		
Opdrachtgever	Kragten	Contactpersoon	[REDACTED]
Projectnummer	1120-180419	Documentnummer	TN05 – V1.5
Datum	20-08-2021	Opgesteld door	[REDACTED]
Gecontroleerd door	[REDACTED]	Vrijgegeven door	[REDACTED]

1. Introductie

Fugro voert geohydrologische modelberekeningen uit van het DO 2.0 voor het project Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden (UWDH). Deze technische notitie bevat een samenvatting van de resultaten voor de gemeente West Maas en Waal. Uit de geohydrologische berekeningen blijkt dat het basisontwerp niet voldoet aan de eisen gesteld door de gemeente West Maas en Waal en het waterschap Rivierenland (zie tevens pagina 3) en dat maatregelen noodzakelijk zijn om aan de gestelde eisen te kunnen voldoen. Op basis van de notitie met generieke oplossingsrichtingen (1120-180419-11-TN02 d.d 15-03-2021) is een selectie gemaakt van in dit gebied haalbare oplossingen.

Voorliggende notitie heeft als doel om toepasbare maatregelen in het gebied van de gemeente West Maas en Waal aan te dragen en een toelichting te geven op de maatregelen die door Rijkswaterstaat, Kragten en Fugro worden voorgesteld.

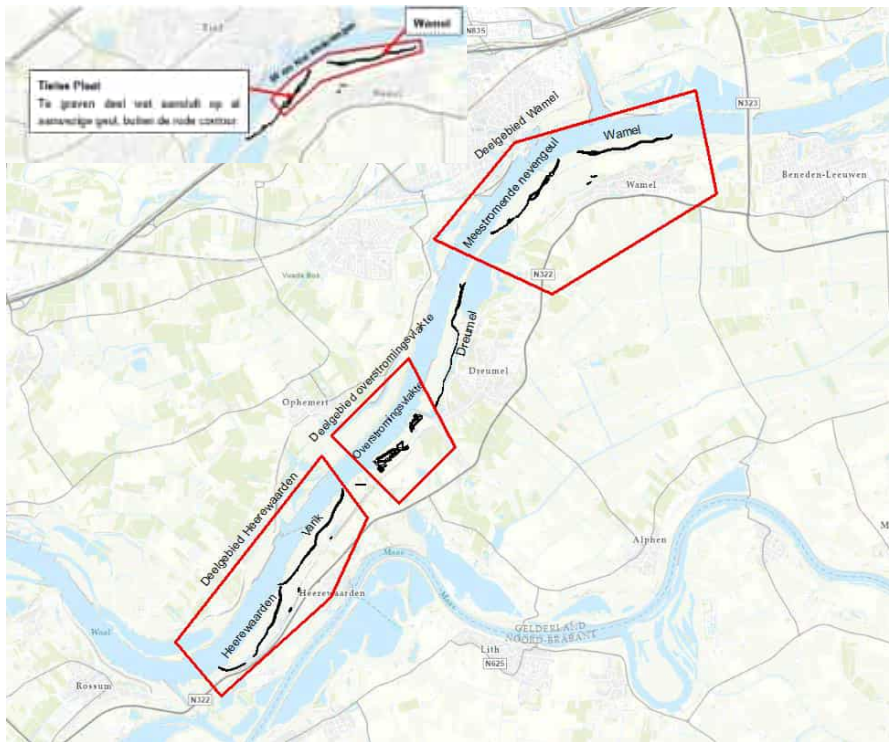
Deze notitie maakt onderdeel uit van een drietal notities:

- 1120-180419-11-R03: Volledige rapportage met daarin de beschrijving van modelwijze, effecten, de risico's en maatregelen voor het gehele projectgebied;
- 1120-180419-11-TN05: Technische notitie met daarin de beschrijving van modelwijze, effecten, de risico's en maatregelen voor de gemeente West Maas en Waal;
- 1120-180419-11-TN06: Technische notitie met daarin de beschrijving van modelwijze, effecten, de risico's en maatregelen voor de gemeente Maasdriel.

De ontgravingscontouren van het DO2.0 ontwerp (d.d. 03-02-2021) zijn weergegeven in figuur 1. In figuur 2 is ingezoomd op het ontwerp gelegen in de gemeente West Maas en Waal.

Naast de ontgravingen in figuur 1 wordt ook een wijziging van het peilbeheer voorzien in het gebied nabij Heerewaarden, weergegeven in figuur 3. Op de weergegeven vlaktes zal door middel van een stuw water worden vastgehouden na hoogwater. Het vastgehouden water zal na afloop van hoogwater langzaam infiltreren in de bodem. De benaming voor deze ingreep

Opgemerkt wordt dat in deze rapportage wordt gesproken van het aanbrengen van kleidiktes ter voorkoming van geohydrologische invloed. Voor het berekenen van deze kleidiktes is uitgegaan van 100 dagen weerstand per meter klei. Indien een ander type klei wordt toegepast dient minimaal dezelfde weerstand (in dagen) aan te worden gebracht.



Figuur 1: Contouren en deelgebieden ontgravingen ontwerp DO 2.0 (d.d. 03-02-2021)



Figuur 2: DO 2.0 gemeente West Maas en Waal



Figuur 3 - gestuurde overstromingsvakte

In de basis moet het ontwerp grondwaterneutraal zijn volgens de eisen van het waterschap Rivierenland, de gemeente Maasdriel en de gemeente West Maas en Waal.

Aangezien elke wijziging in een uiterwaarde per definitie niet grondwaterneutraal is en er een onzekerheid in de modelberekeningen zit heeft Waterschap Rivierenland (WSRL) de richtlijn *Richtlijn toetsing kwel en wegzijging* (23 oktober 2003) opgesteld. In de richtlijn worden de volgende eisen met betrekking tot de geohydrologische impact voorgesteld:

- De kwel/wegzijgingsverandering mag maximaal 2% per peilgebied verslechteren ten tijde van een T=10 (herhalingstijd van 10 jaar) hoog- en laagwater situatie en ten tijde van gemiddeld hoog- en laagwater.
- De grondwaterstand mag binnendijs niet met meer dan 5 cm veranderen ten tijde van een T=10 hoog- en laagwater situatie en ten tijde van gemiddeld hoog- en laagwater.

Deze richtlijn wordt gevolgd vanuit het waterschap Rivierenland. De gemeente Maasdriel en de gemeente West Maas en Waal houden vast aan de eis dat het ontwerp grondwaterneutraal moet zijn. Op basis van voorliggende notitie waarin de risico's van een niet grondwaterneutraal ontwerp en de inspanning om de effecten te beperken worden beschreven, wordt in overleg met de gemeenten en bij besluit van de gemeenteraden, gekeken of er, mogelijk onder bepaalde voorwaarden, af kan worden geweken van deze eis.

Voor toetsing op dijkveiligheid is door het waterschap Rivierenland op 07-05-2021 een toetsing voorgesteld op basis van de effectieve kwelweglengte (Richtlijn voor de effectbepaling Waterveiligheid van buitendijkse maatregelen, pre-concept, 05-2021). Het voordeel van deze toetsing is dat het huidige geohydrologische (MORIA) model ook kan worden gebruikt voor toetsing van de eisen m.b.t. dijkveiligheid. Door het waterschap Rivierenland is geëist dat de effectieve kwelweglengte met maximaal 2% mag afnemen ten opzichte van de huidige situatie.

Deze toetsing voor kwel/wegzijging is geschreven op basis van modelsimulaties uit de periode 2000 tot 2015. Deze modelsimulaties zijn uitgevoerd met het regionale grondwatermodel MORIA, versie 4.5, 2020. Conform de richtlijn van het waterschap komen de T = 10 hoog- en laagwater situatie voor in respectievelijk begin 2003 en eind 2003. De toetsing voor dijkveiligheid is, conform de eisen van het waterschap Rivierenland, geschreven op basis van een stationaire modelsimulaties met maatgevend hoogwater op de Waal en Maas.

Tevens is afgesproken dat indien een ontgraving is gelegen in de beschermingszone van een dijk en na ontgraving minder dan 1 meter klei in de deklaag achterblijft dit moet worden aangevuld tot een pakket van 1,5 m dikte vanwege dijkveiligheid. Indien in het ontwerp ontgravingen plaatsvinden in de beschermingszone van de dijk is derhalve altijd minimaal 1 m klei aanwezig.

Opgemerkt wordt dat in deze rapportage wordt gesproken van het aanbrengen van kleidiktes ter voorkoming van geohydrologische invloed. Voor het berekenen van deze kleidiktes is uitgegaan van 100 dagen weerstand per meter klei. De aan te brengen klei zal een groot deel van het jaar onder water liggen (wordt aangebracht in de geulen) waardoor een dergelijke weerstand per meter klei realistisch is. Indien een ander type klei wordt toegepast dient minimaal dezelfde weerstand (in dagen) aan te worden gebracht.

2. Modelopzet

Voor de berekening is gebruik gemaakt van het door Waterschap Rivierenland beschikbaar gestelde regionale grondwatermodel MORIA v4.5 (2020 versie). Dit grondwatermodel draait op iMODFLOW (gebaseerd op MODFLOW 2005 gekoppeld met metaSWAP) en is quasi 3d. Het model heeft vierkante modelcellen met een resolutie van 25 m x 25 m.

Voor het aanleggen van de geulen/sloten/plassen wordt een deel van de deklaag in de uiterwaarde afgegraven. Wanneer uit wordt gegaan van een oppervlakte van de ontgraving gelijk aan de celgrootte van het model (25 m x 25 m) kan de ontgraving worden gemodelleerd door de volgende aanpassingen in de modelcel door te voeren:

- Het wijzigen van de modellaag "natoppervlak" (nat oppervlak in m² per modelcel)
- Het wijzigen van de conductance van de rivier in modellaag 1 (reciproke van de infiltratie/drainageweerstand van de rivier [m²/dag])
- Het wijzigen van de transmissiviteit van modellaag 1 (kD [m²/dag])
- Het wijzigen van de weerstand van de deklaag (c [dagen])
- Het wijzigen van de bodemhoogte [m NAP]
- Het toevoegen van de geulen aan het modelbestand rivierwaterstanden [m NAP]

Echter, indien het waterlichaam smaller of korter is dan een modelcel (dus niet de hele modelcel bestrijkt) kan het waterlichaam ook voor een deel toegekend worden aan modellaag 2 (in het gebied van de gemeente West Maas en Waal is dat het 1^e watervoerende pakket). Hierbij dient de weerstand in de deklaag en de transmissiviteit van modellaag 1 niet te worden gewijzigd. Deze werkwijze is toegepast in de verbeterde deelmodellen van Alm en Biesbosch, Bommelerwaard en Lek, Linge en Tielerwaard. Opgemerkt wordt dat deze manier van modelleren normaliter wordt gebruikt voor binnendijkse smalle (kavel)sloten. Deze modelleringsmethode is besproken en goedgekeurd door het waterschap Rivierenland en is gangbaar bij relatief smalle oppervlaktewaterlichamen.

Omdat een aantal van de aanpassingen in het ontwerp vrij smal zijn, is er in overleg met WSRL voor gekozen om de schematiseringswijze van de verbeterde deelmodellen te hanteren. Hiervoor is in het bestaande model MORIA V4.5. (2020 versie) een nieuwe rivierlaag toegevoegd die verbinding maakt met modellaag 2. De conductance (reciproke van de weerstand) voor deze rivierlaag is (conform de werkwijze van de verbeterde deelmodellen) gelijk aan:

$$Conductance_{L2} = \frac{A_{nat}}{C_{i/d} + (D_d * 100)}$$

Waarbij:

A_{nat} = natoppervlak binnen de cel [m^2]

$C_{i/d}$ = intrede/uittreeweerstand [dagen] = 0.5 * intrede/uittreeweerstand in laag 1.

D_d = resterende dikte van de deklaag [m]

Voor de resterende kleilaag is een weerstand van 100 dagen per meter klei aangehouden. Deze weerstand van 100 dagen per meter is gekozen op basis van eerder onderzoek uitgevoerd door Witteveen en Bos (geohydrologisch onderzoek uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden, 2016) en is op basis van ervaring gebruikelijk voor klei. Daarnaast is de intrede/uittreeweerstand in modellaag 2 de helft van de intrede/uittreeweerstand in modellaag 1. Deze vermenigvuldiging met factor 0,5 komt overeen met voorgaande studies bij de verbeterde deelmodellen in MORIA en is noodzakelijk om een overschatting van het infiltratie en drainage-debiet te voorkomen (betreft een kalibratiefactor).

Tevens is in de uiterwaarde de bodemopbouw aangepast op basis van geofysische metingen en een eerdere studie naar kleidiktes in het gebied. Vrijwel het gehele buitendijkse deel van het projectgebied is geofysische bemeten. De uitkomsten van deze geofysische metingen zijn toegevoegd aan het MORIA v4.5 (2020) model. Op locaties waar geen geofysische metingen hebben plaatsgevonden is aanvullend gebruik gemaakt van een kleidikte kaart (DLO – Landinrichtingsgebied uitbreiding Maas en Waal, rapport 589, kaart 3, blad 1 en 2).

Voorafgaand aan het invoeren van het ontwerp is de referentiesituatie (het huidige MORIA V4.5 (2020 versie)) gecontroleerd. Voor de referentiesituatie zijn enkele aanpassingen aan MORIA V4.5 (2020 versie) gedaan. Deze aanpassingen zijn:

- het toevoegen van een aantal missende sloten in de uiterwaarde;
- het toevoegen van een zandwinplas aan de Maaszijde;
- Het wijzigingen van de deklaagdikte op basis van geofysische metingen en de kleidikte kaart;
- het wijzigen van de modelschematisering voor bestaande sloten/geulen in de uiterwaarde naar de beschreven schematisering met een conductance in modellaag 2.

Vervolgens is het ontwerp van UWDH in het referentiemodel ingevoerd en zijn voor beide scenario's (referentie en UWDH) instationaire modelberekeningen voor de periode 2000-2003 gemaakt. Het jaar 2003 kenmerkt zich met een periode van extreem laagwater en extreem hoogwater en is zodoende geschikt voor het doorrekenen van de T=10 hoogwater en T=10 laagwater scenario's. Binnen het werkgebied van het waterschap Rivierenland is het gebruikelijk om om het jaar 2003 te hanteren voor toetsingen zoals deze. Voorafgaand aan het uitvoeren van de berekeningen is het gebruik van het jaar 2003 voor de T = 10 hoog- en laagwater situaties is besproken met, en akkoord bevonden door, het waterschap Rivierenland. De verschillen tussen de uitkomsten van het referentiescenario en UWDH voor

het T=10 hoogwater scenario en T=10 laagwaterscenario zijn vervolgens berekend en beschouwd.

Samengevat is voor de modelberekening het volgende aangepast:

- De modellaag natoppervlak (nat oppervlak in m^2 per modelcel)
- De conductance van de rivier in laag 1 (reciproke van de infiltratie/drainageweerstand van de rivier [m^2/dag])
- Het toevoegen van een nieuwe river package (onderdeel van MORIA model) in laag 2 met conductance volgens opgegeven formule [m^2/dag]. Deze wijziging is ook gedaan voor de referentiesituatie daar waar al sloten/geulen aanwezig zijn in de uiterwaarde.
- Het wijzigen van de bodemhoogte [m NAP]
- Het toevoegen van de geulen en strangen aan het modelbestand rivierwaterstanden [m NAP]

3. Resultaten

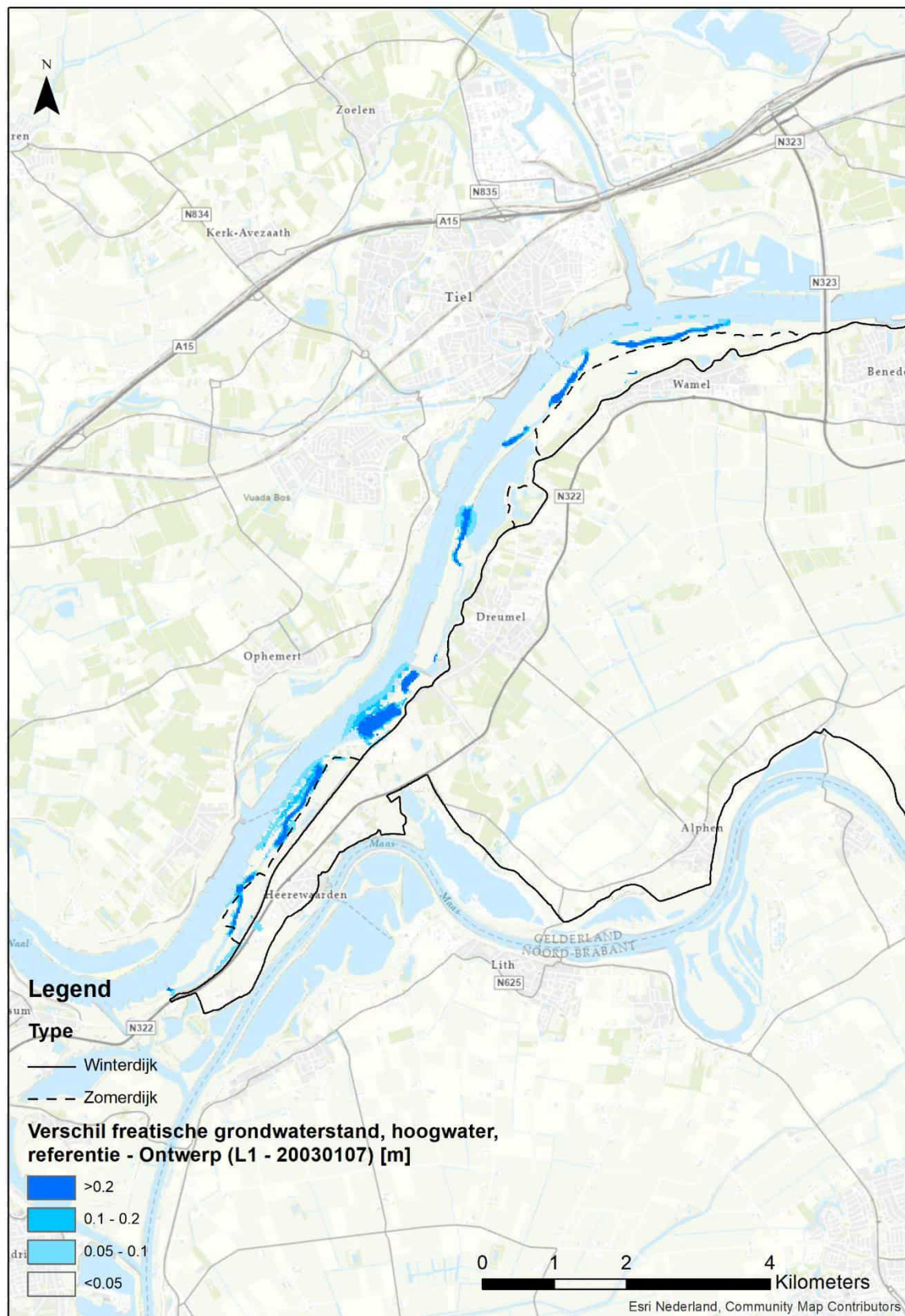
In dit hoofdstuk zijn in paragraaf 3.1 de modelresultaten van de T = 10 hoog- en laagwatersituatie beschreven. Tevens is in paragraaf 3.2 een toelichting gegeven op de risico's die gepaard gaan bij de berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen en de berekende kwel/wegzijgingsveranderingen.

3.1 Modeluitkomsten

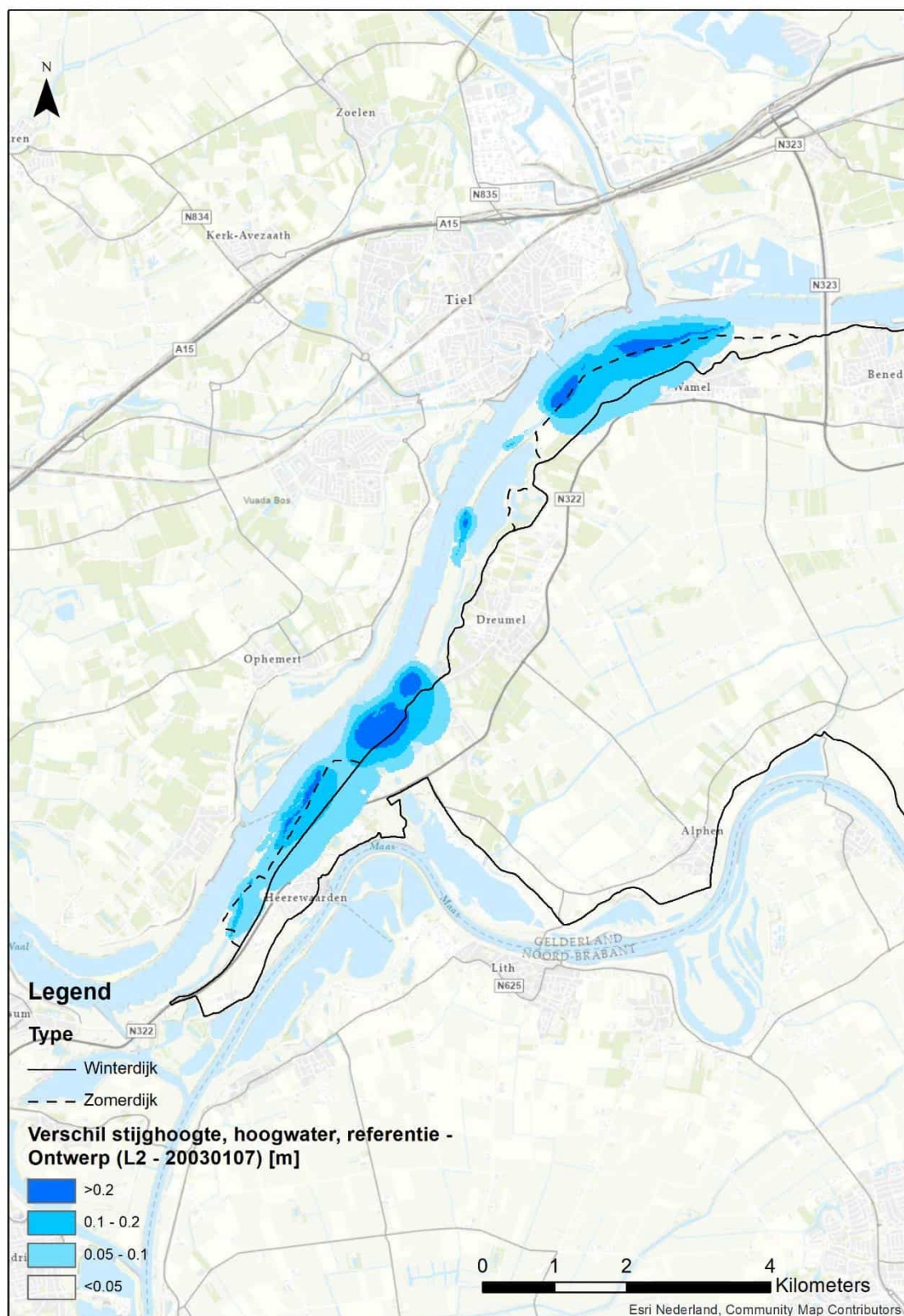
In deze paragraaf zijn de verschillen tussen de referentiesimulatie en de simulatie met het ontwerp weergegeven. Deze paragraaf is opgesplitst in 2 onderdelen, namelijk de toetsing op grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen en de toetsing op kwel/wegzijgingsveranderingen.

3.1.1 Grondwaterstand/stijghoogte

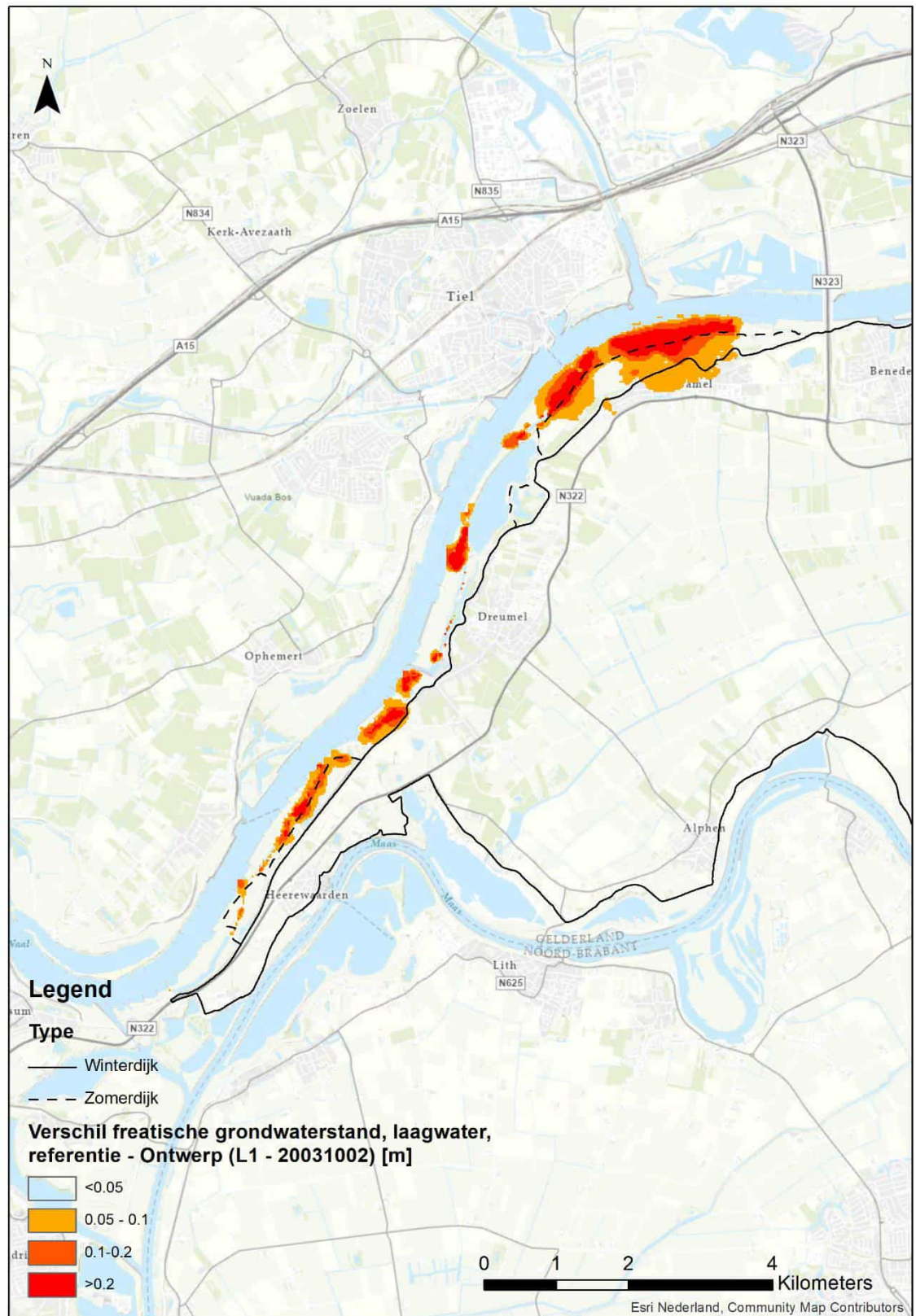
De uitkomsten voor T=10 natte zijn weergegeven in figuur 1 en figuur 2. De uitkomsten voor de T=10 droge situatie zijn weergegeven in figuur 3 en figuur 4. Hierbij is blauw een vernatting en rood/oranje een verdroging ten opzichte van de referentiesituatie bij T=10.



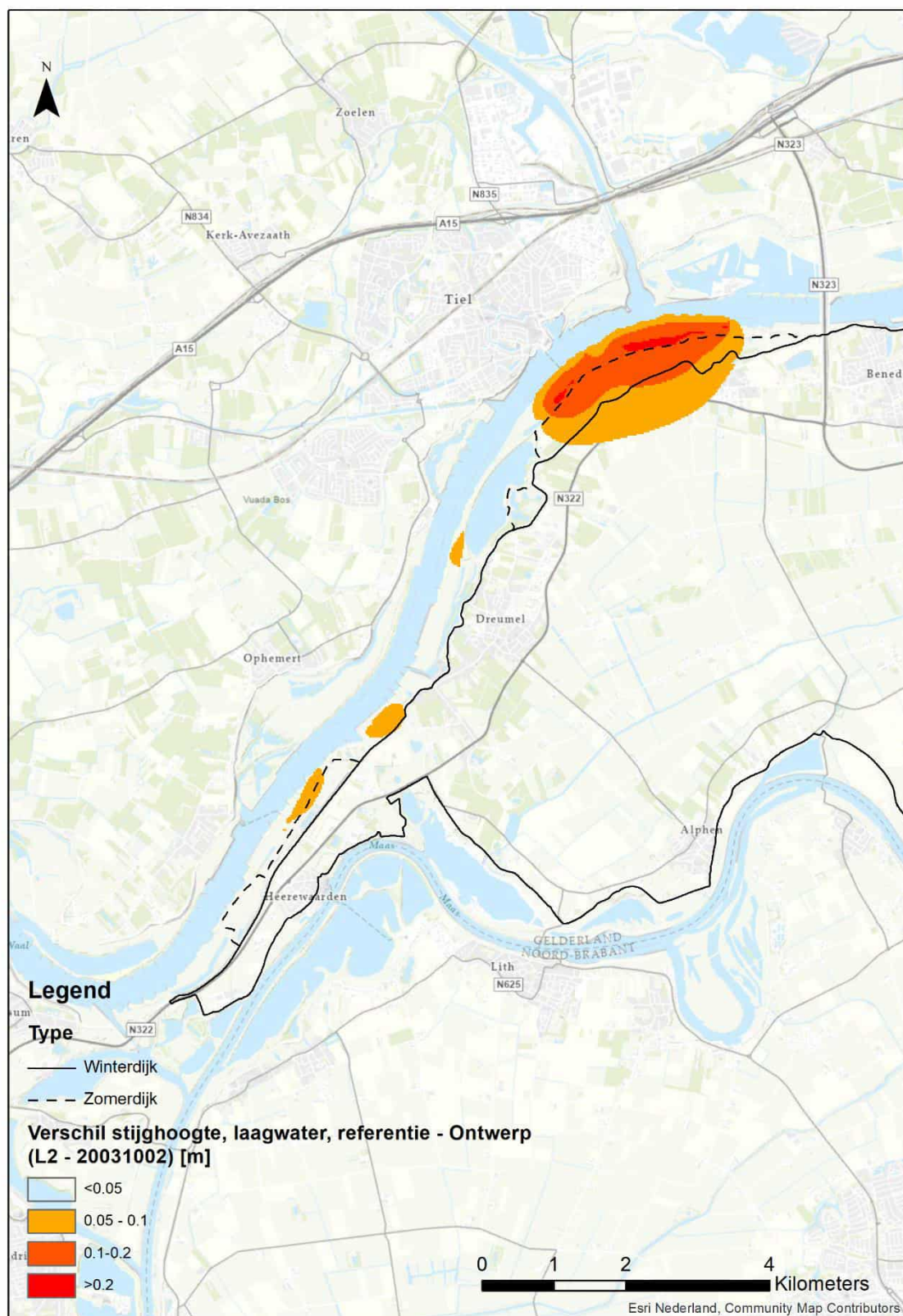
Figuur 4: Vershil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie



Figuur 5: Verschil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie



Figuur 6: Vershil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 laagwatersituatie



Figuur 7: Verschil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 laagwatersituatie

Een samenvatting van de resultaten van de ontgravingen gelegen in de gemeente West Maas en Waal is weergegeven in tabel 1.

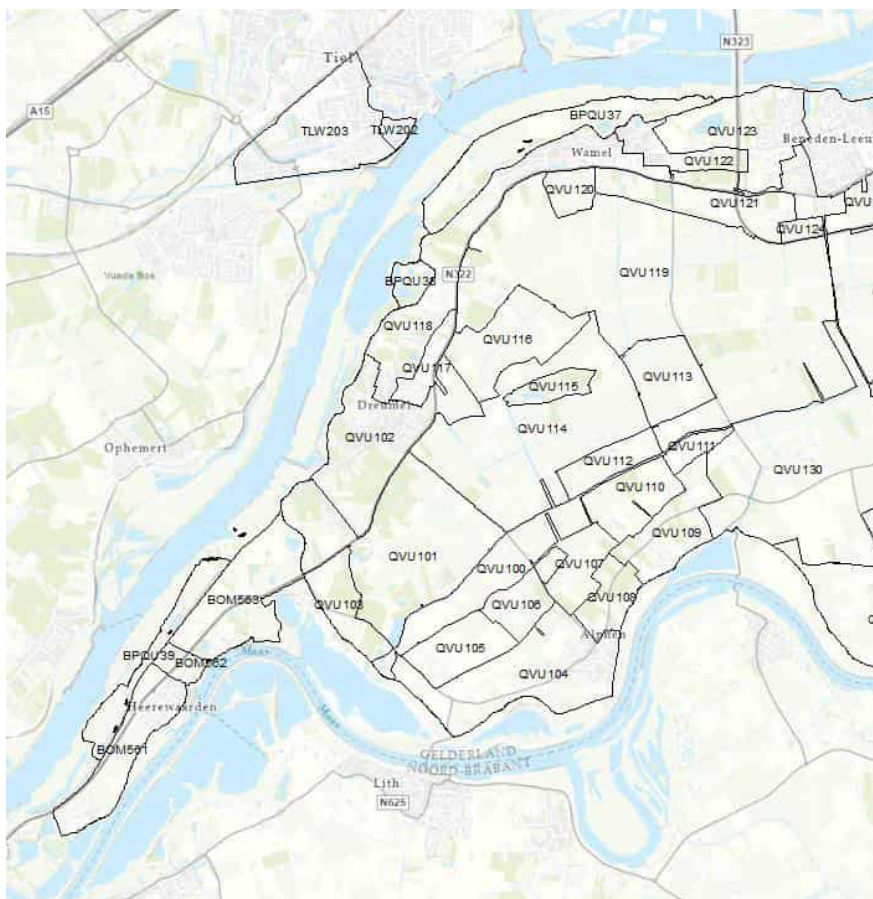
Tabel 1: Uitkomsten modellering UWDH

Locatie	Binnendijkse verandering hoogwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Binnendijkse verandering laagwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]
Nevengeul Wamel	<5 / 7 à 8	5-10 / 8 à 11
Meestromende nevengeul	<5 / 5 à 7	5 / 5 à 8
Dreumel	<5 / <5	<5 / <5
Overstromingsvlakte	<5 / 5 à 30	5 / <5

Uit tabel 1 blijkt dat er grondwaterstandsverandering en stijghoogteverandering optreden, waarmee niet voldaan wordt aan de eisen van de gemeente West Maas en Waal met betrekking tot grondwaterneutraal ontwerpen. Op een aantal locaties is de grondwaterstandsverandering tevens groter dan 5 centimeter waardoor ook niet wordt voldaan aan de richtlijnen van het waterschap Rivierenland, derhalve zijn maatregelen noodzakelijk, zie hoofdstuk 4.

3.1.2 Waterbalans

Om te toetsen of er sprake is van een significante verandering in kwel/wegzijging, is er voor de twee modellen (referentie en UWDH) een waterbalans opgesteld. In de waterbalans is de hoeveelheid kwel/wegzijging per peilgebied bepaald. De peilgebieden zijn weergegeven in figuur 8.



Figuur 8: Peilgebieden UWDH

De verschillen in kwel en wegzijging (percentages en m³/dag) voor de meest nabijgelegen gelegen peilgebieden in de gemeente West Maas en Waal zijn weergegeven tabel 2. Indien in de meest nabijgelegen peilgebieden wordt voldaan aan de eis dan zal dat in de overige peilgebieden ook het geval zijn. Indien niet wordt voldaan in de meest nabijgelegen peilgebieden zal een ingreep noodzakelijk zijn waardoor toetsen aan verder gelegen peilgebieden niet noodzakelijk wordt geacht. Positieve waarden betekenen een toename aan kwel en negatieve waarden een toename aan wegzijging.

Tabel 2: Uitkomsten waterbalans

Peilgebied	Kwel/wegzijgingsverandering in hoogwater situatie [% en m ³ /dag] (Wateropgave om aan 2% te voldoen)	Kwel/wegzijgingsverandering in laagwater situatie [% en m ³ /dag] (Wateropgave om aan 2% te voldoen)
QVU122	1,5% 57	4,2% -48 (25)**
QVU118	2,4% 224 (38)	3,2% -121 (46)**
QVU102*	2,2% -163 (15)	0,2% 4
QVU101	2,3% 99 (13)	2,4% -19 (4)
* Door het aanbrengen van klei in de beschermingszone wordt een verlaging ten tijde van hoogwater en een verhoging ten tijde van laagwater berekent voor QVU102		
** Berekende toename van wateraanvoer met name in dorpskern Wamel, zie ook bijlage A.2		

Uit tabel 2 blijkt dat niet wordt voldaan aan de door het waterschap Rivierenland gestelde eis betreffende maximaal 2% kwel/wegzijgingsverandering.

3.2 Risico's

In tabel 3 is een samenvatting gegeven van de voorziene risico's als gevolg van het wijzigen van de geohydrologische situatie voor het gebied van de gemeente West Maas en Waal. Dit zijn de risico's **zonder dat er maatregelen** zijn getroffen. In bijlage A is per onderdeel een algemene beschrijving gegeven en een nadere toelichting op de risico's voor de gemeente West Maas en Waal gegeven.

De risicobeschrijving voor de gemeente West Maas en Waal is opgesplitst in 2 deelgebieden (zie ook figuur 1 en figuur 2)

- Deelgebied Wamel: Dit betreft het gebied rondom de meestromende nevengeul en de geul Wamel.
- Deelgebied overstromingsvlakte: Dit betreft het gebied rondom de overstromingsvlakte.

De geul bij Dreumel zorgt binnendijks niet voor een verandering van de geohydrologische situatie omdat de Vonkerplas tussen het binnendijkse gebied en de geul is gelegen. Op de locatie waar gegraven wordt ten zuiden van de Vonkerplas wordt 1,5 m klei aangebracht, omdat deze ontgraving in de beschermingszone van de winterdijk is gelegen. Vanwege het uitblijven van effecten is deze geul verder niet beschreven in de risicoanalyse.

Opgemerkt wordt dat de beschreven risico's enkel gelden voor het binnendijkse gebied. In het buitendijkse gebied kunnen de effecten anders zijn.

Tabel 3: Samenvatting risico's ontwerp UWDH

Risico	Situatie	Wamel	Overstromingsvlakte
Bebouwing	Hoogwater	Toename van het risico op wateroverlast door toename grondwaterstand/stijghoogte	Geen risico voorzien
	Laagwater	Worst-case 10 mm maar geen hoekverdraaiing verwacht. Aannemelijk dat groot deel van deze al zijn opgetreden. Zelfs in worst-case geval geen risico op schade verwacht. Risico op droogstand houten palen aanwezig	Geen risico voorzien
Infrastructuur	Hoogwater	Toename van het risico op eerder optreden van (vors)schade aan (lokale) wegen	Geen risico voorzien
	Laagwater	max. 10 mm eindzettingen. Aannemelijk dat daadwerkelijke zettingen kleiner zijn, geen hoekverdraaiing, geen risico op schade verwacht.	Geen risico voorzien
Natuur/groen	Hoogwater	Klein risico op permanente natschade als gevolg van verhoging grondwaterstand	Geen risico voorzien
	Laagwater	Minimaal risico op permanente droogteschade als gevolg van verlaging grondwaterstand	Geen risico voorzien
Agrarisch landgebruik	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Dijkveiligheid*	Hoogwater	Geen risico voorzien	Overschrijding van afname effectieve kwelweglengte

Risico	Situatie	Wamel	Overstromingsvlakte
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Overig (WKO, onttrekkingen, archeologie)	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
WATERAANVOER/AFVOER	Waterafvoer	Maatregelen noodzakelijk vanwege grote toename debiet en risico bij drainagesysteem	Maatregelen noodzakelijk vanwege grote toename debiet
	Wateraanvoer	Maatregelen noodzakelijk vanwege toename aan te voeren debiet landelijk gebied Wamel	Geen risico voorzien
* Vanwege het moment waarop de eisen van dijkveiligheid bekend zijn gemaakt is ervoor gekozen om dijkveiligheid enkel te toetsen op het ontwerp <u>inclusief maatregelen</u> voor kwel/wegzijing (25 dagen weerstand aanbrengen zuidelijke deel Heerewaarden en in overstromingsvlaktes, 50 dagen weerstand in Wamel), exclusief evt. aanvullende maatregelen voor dijkveiligheid.			

Geconcludeerd wordt dat op basis van de risicoanalyse maatregelen noodzakelijk zijn, met name voor de toename van het risico op wateroverlast in de dorpskern van Wamel, het risico op het droogvallen van houten palen in de dorpskern van Wamel en de toename (>2 %) van het afvoer- en aanvoerdebiet ten tijde van de T = 10 hoog- en laagwatersituatie. Hierbij wordt opgemerkt dat het daadwerkelijke risico dat op kan treden ook sterk afhangt van de huidige situatie (bijv. wanneer de grondwaterstand al ondiep onder een weg is gelegen zal door stijging van de grondwaterstand niet direct de totale hoeveelheid vorstschade toenemen, immers treedt vorstschade al op).

4. Maatregelen

In dit hoofdstuk worden in paragraaf 4.1 de meest kansrijke maatregelen per deelgebied gepresenteerd. Deze kansrijke maatregelen zijn tot stand gekomen op basis van berekeningsresultaten en verschillende overleggen met de betrokken partijen. Tevens wordt inzage gegeven in de resterende effecten (paragraaf 4.2) en bijbehorende restrisico's (paragraaf 4.3). Daarnaast worden in 4.4 kort de nog te onderzoeken punten beschreven.

In het ontwerp worden zoveel als mogelijk maatregelen opgenomen om zo dicht mogelijk bij de eisen van het Waterschap Rivierenland en de Gemeente West maas en Waal te komen. Opgemerkt wordt dat het volledig grondwaterneutraal uitvoeren een onevenredig grote inspanning (zowel financieel als in uitvoering) vereist in verhouding tot de verwachte (rest)risico's, zie ook 4.3.

De in dit hoofdstuk beschreven maatregelen, in combinatie met de opsomming van resteffecten en restrisico's, worden voorgesteld om vast te stellen of van de gestelde eis (grondwaterneutraal) kan worden afgeweken.

4.1 Maatregelen

4.1.1 Wamel

In de bebouwde kom van Wamel is vanwege ruimtegebrek geen mogelijkheid voor het bergen van water om effecten van het ontwerp te compenseren. Water aanvoeren naar de

dorpskern van Wamel wordt in de huidige situatie niet gedaan en is weinig effectief voor het beperken van risico's waardoor dit ook geen mogelijkheid is voor compensatie, zie ook bijlage A.1. Derhalve blijft enkel de mogelijkheid over om weerstand aan te brengen onder de te graven geulen in de uiterwaarde. Voor het realiseren/herstellen van de weerstand wordt voorgesteld om klei toe te passen.

Uit het modelleren van verschillende kleidiktes is gebleken dat het aanbrengen van klei met name effectief is voor het beperken van de verhoging van de grondwaterstand en de toename van kwel tijdens hoogwater. Voor het beperken van de verlaging van de grondwaterstand en de toename van wegzijging is het aanbrengen van klei minder effectief.

Hoogwatersituatie

Door het aanbrengen van 50 dagen weerstand (op basis van eerdere aannames over klei komt dat overeen met 50 cm klei) onder de geulen wordt de grondwaterstandsverandering gedurende de $T = 10$ hoogwatersituatie beperkt tot ≤ 1 cm. De berekende stijghoogteverandering achter de dijk bedraagt dan nog ≤ 3 cm. De toename van het kweldebiet wordt daarbij berekent op 1,1% voor QVU118 en 0,8% voor QVU122. Dit komt overeen met een toename van het debiet van 100 m³/dag voor QVU118 en 26 m³/dag voor QVU122.

Ter illustratie, een toename van 100 m³/dag op het peilgebied QVU118 komt, wanneer uit wordt gegaan van het oppervlak watergangen in BGT, overeen met een toename van de oppervlaktewaterstand van 1,8 mm per dag voor het peilgebied.

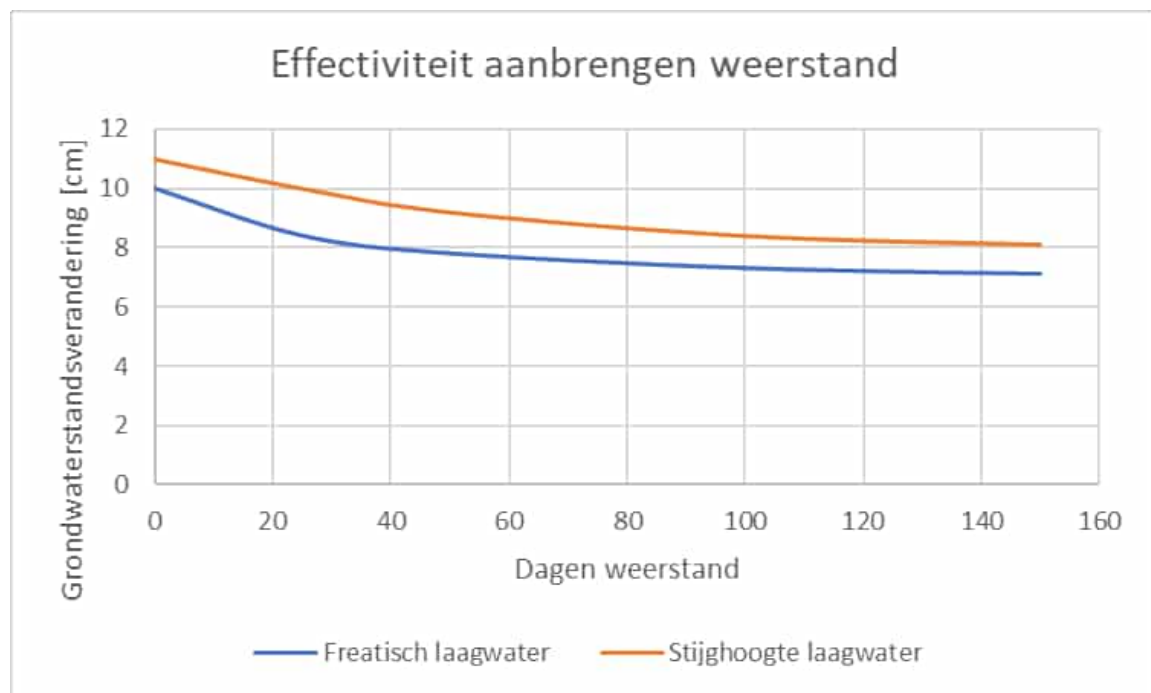
Vanwege het uitblijven van effecten (≤ 1 cm) op de grondwaterstand kan worden geconcludeerd dat bij het aanbrengen van 50 dagen weerstand geen risico meer ontstaat op (een toename van) wateroverlast (bij bebouwing/natuur/agrarisch grondgebruik) als gevolg van de aanleg van de geulen. De stijghoogteverandering van max. 3 cm leidt eveneens niet tot verandering van de genoemde risico's.

Het drainagesysteem in de Viaductenbuurt bevindt zich in het 1^e watervoerende pakket. Het debiet van het drainagesysteem wordt daardoor direct bepaald door de stijghoogte. Aangezien de berekende stijghoogteverandering ter plaatse van de viaductenbuurt maximaal ca. 3 cm bedraagt bij een $T = 10$ hoogwater wordt niet verwacht dat het debiet aanzienlijk zal toenemen. Bij een kleinere herhalingstijd neemt de verwachte stijghoogteverandering tevens af. Opgemerkt wordt dat ten tijde van hoogwater in de huidige situatie het drainagesysteem al buiten werking wordt gesteld (vanwege de sterke toename in debieten bij een hoge stijghoogte) en dus het effect op het drainagesysteem nog beperkter zal zijn.

De toename van het debiet over de hele peilgebieden (max. 1,1%) ligt binnen de grenzen die in de richtlijn worden genoemd door het waterschap Rivierenland om aanvullend af te voeren binnen het peilgebied.

Laagwatersituatie

Het aanbrengen van weerstand voor het beperken van de verlaging van de grondwaterstand en toename van wegzijging is minder effectief. Door het aanbrengen van 50 cm klei worden de effecten tijdens laagwater wel beperkt, maar niet in dezelfde mate als bij de hoogwatersituatie. De grondwaterstands- en stijghoogteverandering bedraagt na het aanbrengen van 50 cm klei nog maximaal 8 cm. Deze verandering ligt boven de grens van de richtlijn van het waterschap en de eisen van de gemeente.



Figuur 9: Effectiviteit aanbrengen weerstand locatie Wamel

Zoals zichtbaar in figuur 9 is er een omslagpunt waarbij het aanbrengen van extra weerstand voor de laagwatersituatie nauwelijks effecten meer sorteert. Dit omslagpunt ligt bij ca. 30 à 50 dagen weerstand. Het aanbrengen van 150 dagen weerstand (1,5 m klei) in plaats van 50 dagen weerstand (0,5 m klei) heeft nog ca. 1 cm invloed op de berekende verlaging van de grondwaterstand en stijghoogte. Deze berekende beperking heeft geen noemenswaardige invloed op de aangegeven risico's.

Geconcludeerd wordt dat het aanbrengen van meer dan 50 dagen weerstand (50 cm klei) een onevenredig grote inspanning vergt die geen noemenswaardige reductie van risico's oplevert. Meer weerstand aanbrengen vermindert het risico op droogstand van houten palen en het risico op permante schade aan stedelijk groen niet noemenswaardig.

In verschillende overleggen met het waterschap Rivierenland en de gemeente West Maas en Waal is geconcludeerd dat andere oplossingen in het gebied niet mogelijk zijn vanwege ruimtegebrek of niet wenselijk zijn vanuit een ecologisch oogpunt (bijv. het aanbrengen van folies of polymeren in de uiterwaarde). De beschouwde oplossingsrichtingen, inclusief afwegingen, zijn nader beschreven in 1120-180419-11-TN02. Het aanbrengen van weerstand

is derhalve de enige mogelijkheid in het gebied rond Wamel om de effecten en risico's te reduceren.

Door het aanbrengen van 50 cm klei wordt de berekende grondwaterstands- en stijghoogteverlaging beperkt tot 8 cm. Door 8 cm grondwaterstands- en stijghoogtedaling zullen de worst-case eindzettingen ordegrrootte hetzelfde zijn als gepresenteerd in paragraaf 3.2 van dit memo en worst-case 10 mm in een periode van 30 jaar bedragen. In bijlage A is aangegeven dat de daadwerkelijke zettingen vermoedelijk veel kleiner zijn omdat het zeer aannemelijk is dat de stijghoogte lager is geweest dan de waarde aangehouden in de zettingsberekeningen (aannemelijk o.b.v. waterstandsduurlijnen en de waterstand van de Waal in oktober-december 2018). In bijlage A is tevens ter illustratie weergegeven dat de autonome zettingen in dezelfde periode ca. 30 tot 90 mm bedragen. Geconcludeerd wordt dat de berekende worst-case eindzettingen in werkelijkheid minder zullen zijn en omdat er geen hoekverdraaiingen worden verwacht (vanwege het beperkte verhang door de hoge doorlatendheid van het 1^e watervoerende pakket) er zelfs bij de worst-case zettingen geen zettingsschade verwacht wordt door de ingreep in de uiterwaarden.

Voor houten paalfunderingen en stedelijk groen is de verlaging van de grondwaterstand zeer beperkt (8 cm) en over het algemeen zou een dergelijke verandering niet tot schade moeten leiden. Het risico wordt mede beperkt omdat de kleiige bodem gedurende langere tijd vocht vasthoudt waardoor aantasting van houten palen (door schimmels en bacteriën) niet zal optreden en de berekende invloed van de ingreep in een regulier jaar (GLG) enkel 2 à 3 cm is. Echter valt het risico op een beperkt negatieve invloed niet volledig uit te sluiten.

Gezien de betrekking- en waterstandsduurlijnen van de Waal en de vermoedelijk lagere stijghoogte (die weer invloed heeft op de grondwaterstand) wordt opgemerkt dat, indien panden op houten palen zijn gefundeerd, het mogelijk is dat houten palen in de huidige situatie ook al deels droogvallen waardoor lokaal de staat van de houten paalfunderingen al slechter kan zijn, ongeacht de projectingreep.

Met betrekking tot het aanvoeren van water kan geconcludeerd worden dat dit alleen doelmatig is buiten de dorpskern van Wamel, omdat binnen Wamel in de huidige situatie ook geen wateraanvoer plaatsvindt en een dergelijk beperkte wateraanvoer niet zal leiden tot beperking van de beschreven effecten bij laagwater (immers infiltreert water niet eenvoudig vanuit een oppervlaktewatersysteem in de bodem bestaande uit klei).

In het landelijk gebied rondom Wamel is een toename van wegzijging (afname van aanvoerdebit) berekend van ca. 2,5% wanneer geen maatregelen genomen worden. Door het aanbrengen van 50 dagen weerstand (50 cm klei) wordt de toename van wegzijging in het landelijk gebied beperkt tot 1,95%. Dit ligt binnen de grenzen van de richtlijn kwel en wegzijging van het waterschap Rivierenland.

Conclusie

Geconcludeerd wordt dat door het aanbrengen van 50 cm klei er geen noemenswaardige verhogingen en bijhorende risico's meer worden voorzien ten tijde van hoogwater en er ten tijde van laagwater nog 8 cm grondwaterstands- en stijghoogteverlaging wordt berekend. Deze 8 cm grondwaterstands- en stijghoogteverlaging zorgt voor maximaal 10 mm eindzettingen (vermoedelijk minder) en brengt een zeer beperkt risico voor droogstand van houten palen met zich mee. Voor stedelijk groen wordt geen schade verwacht. Geconcludeerd wordt dat er voor het projectgebied nabij Wamel geen andere maatregelen voorhanden zijn om de effecten verder te beperken.

4.1.2 Overstromingsvlakte

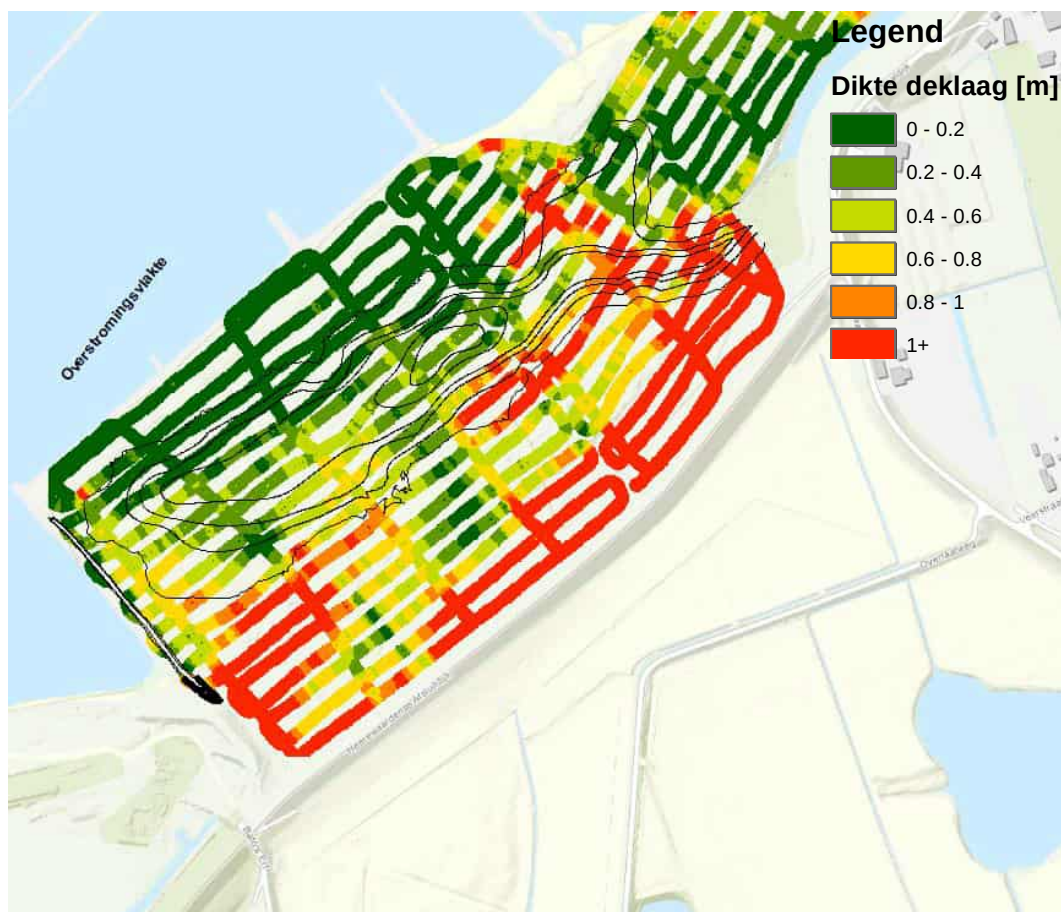
Uit hoofdstuk 3.2 en bijlage A kan geconcludeerd worden dat de overstromingsvlaktes enkel risico opleveren voor de toename van kwel wat naar voren komt als een extra debiet in de watergangen.

Voor de overstromingsvlakte wordt voorgesteld om een weerstand aan te brengen in combinatie met het bergen van oppervlaktewater. De berging moet een hoeveelheid kunnen bergen gelijk aan de berekende toename van de kwel. Deze combinatie van maatregelen nemen de risico's van de ingreep bij de overstromingsvlakte weg en is het meest doelmatig vanwege de inspanning (zowel in uitvoering als financieel) die vereist is bij het aanbrengen van meer klei in de overstromingsvlakte.

Er dient een minimale weerstand van 25 dagen (25 cm klei) aangebracht te worden in de noordelijke overstromingsvlakte om de kweltoename op de sloten in peilgebied QVU101 te beperken tot binnen de aangegeven eisen in de richtlijn van het waterschap Rivierenland. Na het aanbrengen van 25 cm klei is de debiettoename beperkt tot 1,8%, overeenkomend met 70 m³/dag.

In de zuidelijke overstromingsvlakte dient omwille van dijkveiligheid dezelfde hoeveelheid weerstand te worden aangebracht als er aanwezig is in de huidige situatie. Voor de huidige kleilaagdikte kunnen de geofysische metingen uit het geofysisch onderzoek gebruikt worden. De vertaling van geofysische metingen naar bodemlagen is gebeurt op basis van een aantal handboringen in het gebied. In de zuidelijke overstromingsvlakte kan worden uitgegaan van een kleilaagdikte van ca. 60 cm, zie figuur 10. Deze 60 cm dient integraal te worden aangebracht op/onder de bodem van de zuidelijke overstromingsvlakte. Uitzondering hierop zijn de delen die in een beschermingszone liggen, hiervoor geldt dat indien er na de ontgraving minder dan 1 meter klei aanwezig blijft de deklaag minimaal moet worden aangevuld tot een pakket van 1,5 m klei.

Opgemerkt wordt dat op verzoek van het waterschap Rivierenland de dikte van deklaag tevens geverifieerd is op basis van een aantal handboringen uit het DINO-loket. Hieruit blijkt dat de aangehouden dikte van de deklaag op basis van de geofysische metingen ordegrrootte hetzelfde is als aangetroffen in de handboringen.



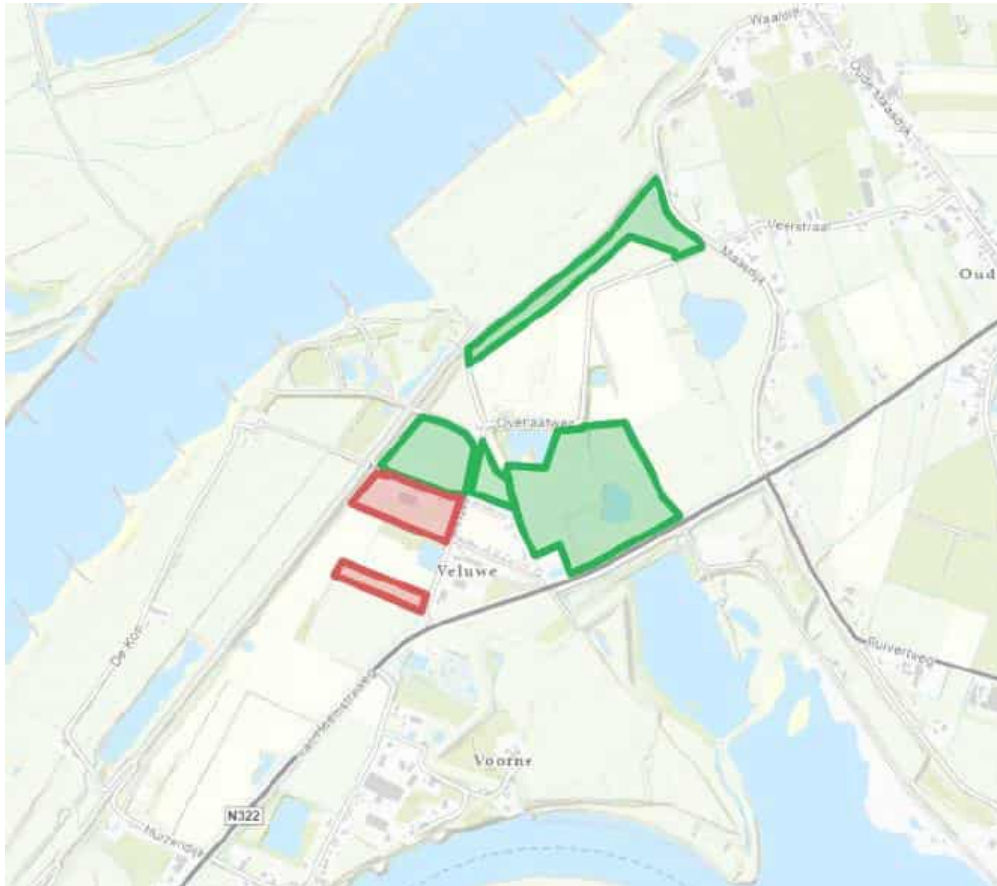
Figuur 10: Aanwezige deklaagdikte zuidelijke overstromingsvlakte

Na het aanbrengen van klei blijft een toename van het afvoerdebiet van 430 m³/dag over. Volgens de richtlijnen van het Waterschap Rivierenland dient uit te worden gegaan van een hoogwatergolf van 10 dagen, dat wil zeggen dat er 4.300 m³ geborgen zou moeten worden in het gebied om de toename te compenseren. Binnen het gebied zijn meerdere percelen in eigendom van Staatsbosbeheer (figuur 11) en is het mogelijk om deze hoeveelheid water tijdelijk te bergen en vervolgens geleidelijk af te voeren naar het oppervlaktewater of te infiltreren. De exacte uitwerking van de bergingslocatie wordt nader uitgewerkt in een aanvullende notitie.

Naast de berging die voortkomt uit de toename van het afvoerdebiet van BOM563 kan ook de toename van het afvoerdebiet uit BOM562 (gemeente Maasdiel) gecompenseerd worden in dezelfde berging. Dit is noodzakelijk omdat er geen eigen grond beschikbaar is in peilgebied BOM562 en enkel het peilgebied BOM563 bovenstrooms is gelegen voor de afvoer van kwelwater. De berekende toename van afvoerdebiet van BOM562 is 20 m³/dag. De te bergen hoeveelheid water uit BOM562 bedraagt derhalve 200 m³. De totale hoeveelheid te bergen water in het gebied van figuur 9 bedraagt daardoor 4.500 m³.

Een aandachtspunt is het aan- en afvoeren van water naar de bergingsgebieden. De exacte details met betrekking tot wateraanvoer en afvoer worden nader uitgewerkt in overleg met het waterschap Rivierenland. Ten tijde van het schrijven van voorliggend rapport is

voorgesteld om waterberging toe te passen nabij Bato's erf omdat deze percelen gelegen zijn aan een afvoerroute volgens de legger van het waterschap Rivierenland.



Figuur 11: Eigendom en mogelijkheid tot bergen

4.2 Modeluitkomsten

In tabel 4 is een samenvatting gegeven van de resteffecten (grondwaterstands-/stijghoogteverandering en kwel/wegzijgingsverandering) **inclusief de hiervoor beschreven (combinatie van) maatregelen**.

Tabel 4: Maatregelen en resteffecten per deelgebied

Locatie	Maatregel	Binnendijkse verandering hoogwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Binnendijkse verandering laagwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Max. Kwel/wegzijgings verandering in hoogwater situatie [%]**	Max. Kwel/wegzijgings verandering in laagwater situatie [%]**
Wamel en Tielse Plaat (te graven deel)	Aanbrengen 50 cm klei	≤ 1 / ≤ 3	≤ 8 / ≤ 8	1,1	3,2***
Overstromings-vlakte	Aanbrengen 25 cm klei in noordelijke vlakte, aanbrengen gelijke	≤ 3 / ≤ 12	≤ 5 / ≤ 5 *	8,8****	2,2*

Locatie	Maatregel	Binnendijkse verandering hoogwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Binnendijkse verandering laagwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Max. Kwel/wegzijgings verandering in hoogwater situatie [%]**	Max. Kwel/wegzijgings verandering in laagwater situatie [%]**
	hoeveelheid klei in zuidelijke overstromingsvlakte				
* Betreffen enkel modelmatige effecten, zie 1120-180419-11-TN01. ** Betreft de maximale kwel/wegzijgingsverandering voor de verschillende peilgebieden in het invloedsgebied *** 2,2% voor QVU118 (Peilgebied waarin het grootste deel bebouwd gebied van Wamel is gelegen) **** Wordt gecompenseerd met berging					

4.3 Restrisico's

In tabel 5 is een samenvatting van de risico's **inclusief de hiervoor beschreven de maatregelen** weergegeven. Deze samenvatting is opgesteld op basis van de eerder vastgestelde risico's in bijlage A en de aangegeven resteffecten in 4.1 en 4.2.

Tabel 5: Samenvatting risico's ontwerp en maatregelen UWDH

Risico	Situatie	Wamel	Overstromingsvlakte
Bebouwing	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Worst-case 10 mm maar geen hoekverdraaiing verwacht. Aannemelijk dat groot deel van deze al zijn opgetreden. Zelfs in worst-case geval geen risico op schade verwacht. Zeer beperkt risico op droogstand houten palen aanwezig	Geen risico voorzien
Infrastructuur	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Worst-case 10 mm maar geen hoekverdraaiing verwacht. Aannemelijk dat groot deel van deze al zijn opgetreden. Zelfs in worst-case geval geen risico op schade verwacht.	Geen risico voorzien
Natuur/groen	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Zeer beperkt risico op permanente droogteschade als gevolg van verlaging grondwaterstand	Geen risico voorzien
Agrarisch landgebruik	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Dijkveiligheid	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Overig (WKO, onttrekkingen, archeologie)	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Wateraanvoer/afvoer	Waterafvoer	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Wateraanvoer	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien

4.4 Conclusie en vervolgstappen

Ten tijde van schrijven is de algemene aanpak voor de verschillende deelgebieden helder, echter dienen nog een aantal onderdelen nader onderzocht te worden.

- Tijdens de laagwater periode kan in Wamel niet worden voldaan aan de eisen van het waterschap en de gemeenten. Het aanbrengen van meer dan 50 cm klei wordt niet doelmatig geacht (leidt niet tot afname van risico's) en andere maatregelen zijn in het gebied niet mogelijk. De zettingen die voortkomen uit deze verlagingen (8 cm) zijn op basis van de gehanteerde uitgangspunten klein (< 10 mm) waardoor geen schade wordt verwacht door deze ingreep. Ter illustratie, de autonome zettingen in dezelfde periode bedragen ca. 30 tot 90 mm, waarbij wordt opgemerkt dat berekende zettingen als gevolg van de ingreep samen met de autonome zettingen optreden. De risico's voor houten paalfunderingen en stedelijk groen worden als zeer beperkt ingeschat maar zijn niet geheel uit te sluiten.
- Het voorstel om op meerdere locaties weerstand aan te brengen wordt onderdeel van de aanbesteding en engineering van de aannemer. Daarbij dient extra aandacht te worden besteed aan de werkbaarheid en technische toepasbaarheid.
- De berging van 4.500 m³ nabij de overstromingsvlakte zal worden uitgewerkt in een aanvullende notitie.

Appendix A Risicobeschrijving gemeente West Maas en Waal

Per onderdeel is een algemene beschrijving gegeven en vervolgens onderscheid gemaakt tussen de 2 locaties in het gebied van de gemeente West Maas en Waal (zie hoofdstuk 3.2). Dit zijn de risico's **zonder dat er maatregelen** zijn getroffen.

A.1 Wateroverlast/onderlast

A.1.1 Bebouwing

Wateroverlast - algemeen

Door grondwaterstandsverhogingen kan wateroverlast ontstaan, met name ter plaatse van bebouwing met kruipruimten, niet waterdichte kelders of waar de vloerconstructie niet volledig waterdicht is uitgevoerd. Wateroverlast voor bebouwing kan ontstaan wanneer de grondwaterstand vlak onder het vloer/kelderpeil of hoger gelegen is.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat de extra kwel door de stijghoogteverhoging wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage). Indien dit niet het geval is zal de stijghoogteverhoging resulteren in een hogere grondwaterstand welke kan leiden tot wateroverlast.

Wateronderlast - algemeen

Door grondwaterstands-/stijghoogteverlagingen kunnen cohesieve grondsoorten zoals klei, leem en veen worden samengedrukt, met zettingen tot gevolg. Hierbij kan worden gedacht aan maaiveldzakkingen en zetting (en deformatie) van op staal gefundeerde panden en (ondergrondse) infrastructuur. Dit is met name het geval wanneer de grondwaterstand/stijghoogte gedurende langere tijd wordt verlaagd tot beneden de in het verleden opgetreden lage waarde. Zettingen, voornamelijk in combinatie met grote hoekverdraaiingen, kunnen bij bebouwing op staal leiden tot schade.

Daarnaast zijn houten paalfunderingen kwetsbaar voor verlagingen van de grondwaterstand tot onder het paalkopniveau. De paalkoppen kunnen in dat geval gaan rotten of worden aangetast door schimmels. Als in het verleden droogstand is opgetreden kunnen de palen reeds aangetast zijn.

Wamel

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij bebouwd gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is samengevat weergegeven in tabel 6.

Tabel 6: Samenvatting resultaten bebouwd gebied Wamel

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤3	≤8
T = 10 laagwater	≤9	≤11

Wateroverlast

De berekende binnendijkse grondwaterstandsverhoging tijdens een T=10 hoogwater bedraagt minder dan 3 cm. Dergelijke veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden. Opgemerkt wordt dat deze berekende verhoging niet grondwaterneutraal is, maar minder is dan de maximale verhoging die het waterschap Rivierenland hanteert in haar richtlijn.

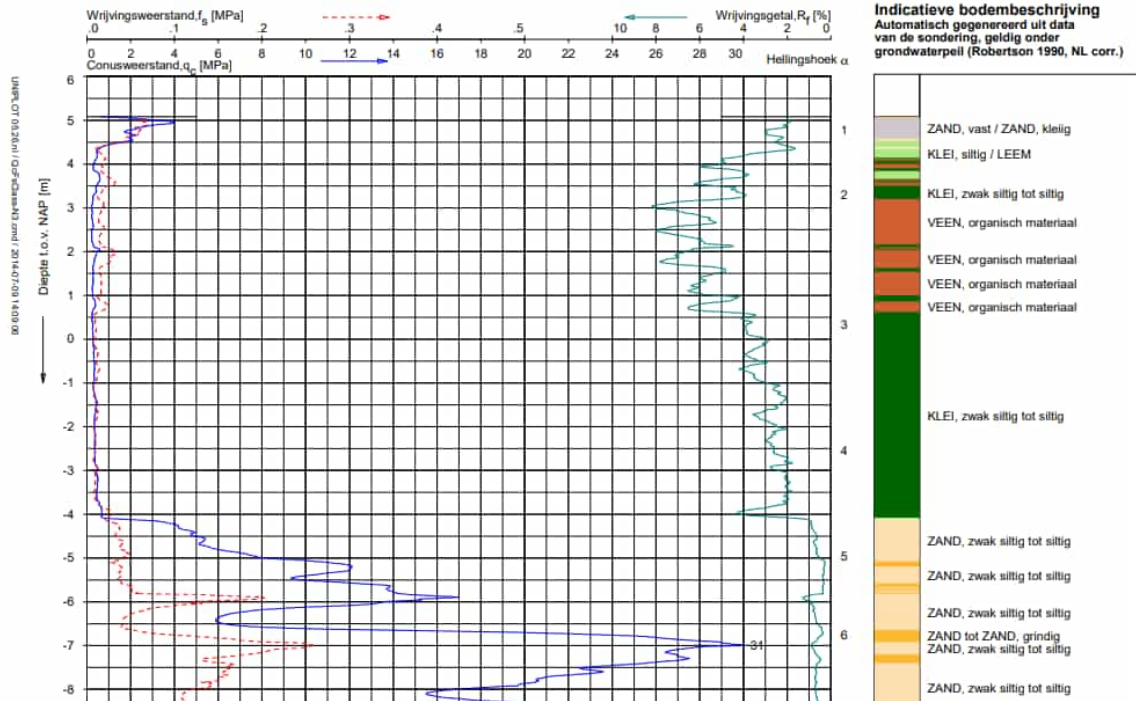
Opgemerkt wordt dat de berekende stijghoogteverhoging ter plaatse van de dorpskern ca. 5 à 8 cm bedraagt. Op basis van de ervaringen binnen de gemeente West Maas en Waal wordt verwacht dat deze stijghoogteverhoging in de praktijk zal leiden tot een stijging van de freatische grondwaterstand, met name op de locaties waar de ondergrond zeer zandig is. Op basis van (archief)sonderingen is dit op een aantal locaties is vastgesteld.

Op basis van de ervaringen binnen de gemeente wordt geconcludeerd dat de stijghoogteverhoging van ca. 5 à 8 cm kan leiden tot een toename van wateroverlast in het gebied. Derhalve zijn maatregelen noodzakelijk om de risico's te beperken (50 cm klei aanbrengen, nader uitgewerkt in hoofdstuk 4).

Wateronderlast

Schade aan bebouwing door wateronderlast kan ontstaan door zettingen. Zettingen treden alleen op wanneer de grondwaterstand/stijghoogte verder uitzakt dan de historisch lage waarde. Omdat (noemenswaardige) zettingen enkel optreden in cohesieve lagen (klei/veen) en de binnendijkse bodemopbouw zeer heterogeen is, is onderscheidt gemaakt tussen een zandige bodemopbouw en een kleiige bodemopbouw.

Bij een kleiige bodemopbouw kunnen zettingen optreden door verlagingen in de grondwaterstand (zettingen uit de bovenzijde van de deklaag, droogvallen topzandlaag) en door verlagingen van de stijghoogte (zettingen uit de onderzijde van de deklaag). Voor de zettingsberekeningen is de sondering uit het Fugro archief in figuur 12 aangehouden. Deze sondering is uitgevoerd ter hoogte van de N322 op de kruising met het Hollenhof en is de sondering met het dikste pakket aan cohesieve bodemlagen (d.w.z. worst-case) die beschikbaar is in het Fugro archief voor de omgeving van Wamel.



Figuur 12: Sondering voor zettingsberekening

Op basis van de geringe dikte van de topzandlaag (onderzijde op NAP +4,0 m) ter plaatse van deze sondering(en), de grondwaterstandsmetingen aangeleverd door de gemeente West Maas en Waal nabij de Viaductenbuurt (lage grondwaterstand in ieder geval lager dan NAP +3,2 m) en het oppervlaktewaterpeil (zomerpeil NAP +3,75 m, winterpeil NAP +4,0 m) in het peilgebied van West Maas en Waal is het zeer aannemelijk dat de historisch lage grondwaterstand in ieder geval al is uitgezakt tot onder het niveau van de topzandlaag. Dat wil zeggen dat de gehele topzandlaag in het verleden vermoedelijk al gedurende een langere tijd droog heeft gestaan. In dat geval treden geen zettingen meer op uit de bovenzijde van de deklaag. De berekende verlaging van de grondwaterstand (max. 10 cm bij $T = 10$ laagwater) leidt derhalve enkel tot het eerder droogvallen van de topzandlaag maar zorgt niet voor aanvullende/extra zettingen.

De verlaging van de stijghoogte (berekent op max. 11 cm bij $T = 10$ laagwater) kan wel leiden tot zettingen uit de onderzijde van de deklaag. Wanneer uit wordt gegaan van een permanente verlaging van de stijghoogte met 11 cm bedragen de indicatieve eindzettingen (zettingen in 30 jaar) 10 mm (op basis van Terzhagi en de sondering in figuur 12). In werkelijkheid zal deze verlaging niet 30 jaar lang optreden omdat de $T = 10$ laagwatersituatie gedurende een aanzienlijk kortere periode voorkomt (theroretisch eens in de 10 jaar). Derhalve zijn de berekende zettingen worst-case en zullen deze zeer geleidelijk in de tijd optreden.

Daarnaast wordt opgemerkt dat het zeer waarschijnlijk is dat de historische lage stijghoogte lager is dan dat deze zal worden als gevolg van de ingreep. Wanneer de geulen droogvallen is de geohydrologische situatie vrijwel gelijk aan de huidige geohydrologische situatie, immers is, gerekend vanaf de binnendijkse zijde, het eerste oppervlaktewaterlichaam dan de

Waal. De waterstand in 2018 is gedurende 2 maanden (in periode oktober-december) lager geweest dan het aanlegniveau van de geulen (ca. NAP +1,9 m). Aangezien de stijghoogte in het gebied sterk wordt bepaald door de waterstand van de Waal is het aannemelijk dat de stijghoogte gedurende die periode ook al lager is geweest dan zal voorkomen bij de laagste waterstand waarbij de geulen in het ontwerp nog niet droogvallen. In het geval de waterstand onder het bodemniveau daalt (zoals in 2018) is de geohydrologische situatie vrijwel gelijk aan de huidige situatie Zettingen die voortkomen uit een lagere stijghoogte zijn gedurende die periode al grotendeels opgetreden en zullen daardoor niet meer optreden als gevolg van het ontwerp.

Ondersteunend daaraan wordt op basis van betrekkelingslijnen en duurlijnen (relatie tussen waterstand, debiet en periode) van de Waal bij Tiel (Rijkswaterstaat, 2019) tevens geconcludeerd worden dat in de laatste 30 jaar de waterstand van de Waal ca. 45 dagen (gemiddeld 1,5 dag per jaar bij een afvoer bij Lobith van ca. 740 m³/uur) lager is geweest dan het aanlegniveau van de geulen bij Wamel (ca. NAP +1,9 m). Dat wil zeggen dat de geulen uit het ontwerp op deze momenten droog zouden zijn gevallen. Derhalve is het zeer onwaarschijnlijk dat de berekende zettingen (10 mm) optreden.

Daarnaast wordt opgemerkt dat het verhang van de stijghoogte zeer beperkt is (de stijghoogte-verlagingen nemen geleidelijk af) waardoor over een afstand de zettingen gelijkmatig optreden. Hierdoor zijn de hoekverdraaiingen vrijwel nihil. Wanneer beperkte zettingen gelijkmatig optreden ontstaat doorgaans geen schade, zoals scheurvorming.

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat het onwaarschijnlijk is dat zettingen optreden. Zelfs in het worst-case geval, bij de berekende zettingen van maximaal 10 mm, wordt door het uitblijven van een grote hoekverdraaiing (het verhang van de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket is beperkt door de hoge doorlatendheid), geen zettingsschade verwacht wordt door de ingreep.

Bij een zandige bodemopbouw waar nog enkele cohesieve lagen aanwezig zijn zullen de zettingen nog kleiner zijn. Wanneer enkel zand aanwezig is (geen klei/veen) blijven zettingen uit.

Om een beeld te geven van de ordegrootte van de berekende worst-case eindzettingen: op basis van de INSAR (satelliet) data bedraagt de autonome bodemdaling in het gebied ca. 1 à 3 mm per jaar, dat wil zeggen ca. 30 à 90 mm per 30 jaar. Opgemerkt wordt dat berekende zettingen als gevolg van de ingreep samen met de autonome zettingen optreden

Omdat maatregelen noodzakelijk zijn voor het beperken van de vernatting zal ook de verdroging door deze maatregelen verder beperkt worden (zie hoofdstuk 4), waardoor de kans op zettingen nog verder afneemt.

Zoals omschreven kan ook schade aan bebouwing optreden wanneer de bebouwing op houten palen is gefundeerd en deze houten palen (tijdelijk) droogvallen. Op basis van de bodemopbouw in het gebied is het aannemelijk dat er panden op houten palen zullen zijn

gefundeerd. Het risico op schade is sterk afhankelijk van het exacte paalkopniveau en de exacte grondwaterstand.

De berekende grondwaterstandsverlaging van max. 10 cm kan leiden tot (langduriger) droogval van houten paalfunderingen en daardoor aantasting van de houten palen, met name als de houten palen gedurende een langere periode droogvallen. Het exacte risico is zonder informatie over de paalkopniveaus en grondwaterstandsmetingen niet te bepalen. Doorgaans worden houten palen (bovenzijde) enkele decimeters onder de lage grondwaterstand geplaatst waardoor een beperkte verandering van de grondwaterstand normaliter niet tot een risico zal leiden.

Opgemerkt wordt dat in kleiige bodem, zoals in een groot deel van Wamel het geval is, houten palen vaak gedurende langere tijd voldoende vochtig blijven, zelfs wanneer de grondwaterstand tijdelijk uitzakt onder het paalkopniveau (d.w.z. de bodem is vrijwel volledig verzadigd i.p.v. volledig verzadigd). Omdat de berekende verlagingen (op basis van T = 10 laagwater) normaliter gedurende een korte tijd optreden en de verlagingen gedurende een regulier jaar beperkter zijn (ordegrootte 1 à 3 cm) wordt het risico op (extra) droogvallende palen door de ingrepen in de uiterwaarden minimaal geacht.

Gezien de betrekking- en waterstandsduurlijnen van de Waal en de vermoedelijk lagere stijghoogte (die weer invloed heeft op de grondwaterstand) wordt opgemerkt dat, indien panden op houten palen zijn gefundeerd, het mogelijk is dat houten palen in de huidige situatie ook al deels droogvallen waardoor lokaal de staat van de houten paalfunderingen al slechter kan zijn, ongeacht de projectingreep.

Op basis van het risico met betrekking tot houten palen zal een maatregel noodzakelijk zijn (aanbrengen weerstand), zie ook hoofdstuk 4.

Overstromingsvlakte

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij bebouwd gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 7.

Tabel 7: Samenvatting resultaten bebouwd gebied overstromingsvlakte

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤2	≤30
T = 10 laagwater	-	-

Wateroverlast

Ter plaatse van de bebouwing wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤2 cm berekend. Dergelijk kleine veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden.

De berekende stijghoogteverhoging gedurende de T = 10 hoogwatersituatie bedraagt binnendijks maximaal 30 cm. Uit de modellering blijkt dat deze stijghoogteverhoging wel tot een toename aan kwel leidt, maar dat dit zodanig afgevoerd wordt door middel van drainage en watergangen dat de grondwaterstand maar ≤ 2 cm stijgt.

Op basis van de modellering wordt geconcludeerd dat de grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm naar verwachting niet leidt tot (toename van) wateroverlast bij bebouwing.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. Mogelijk staat gedurende een deel van de zomerperiode de overstromingsvlakte nog vol met regenwater of kwelwater. In het geval dat de plas droog staat veranderd er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie. De berekende binnendijkse verlaging van ≤ 5 cm is enkel modelmatig. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij bebouwing blijft daardoor uit.

A.1.2 Infrastructuur

Wateroverlast - algemeen

Wateroverlast aan infrastructuur als gevolg van geohydrologische verandering treedt in de praktijk niet snel op tenzij de grondwaterstand dermate hoog is dat het grondwater aan maaiveld (of hoger) komt. Bij een permante stijging van de grondwaterstand kan de ontwateringdiepte (verschil tussen maaiveld en grondwaterstand) van wegen nadelig worden beïnvloed. Dit kan leiden tot het eerder optreden van (vorst)schade aan het wegdek.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra kwel wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage).

Wateronderlast - algemeen

Door grondwaterstands/stijghoogteverlagingen kunnen cohesieve grondsoorten zoals klei, leem en veen worden samengedrukt, met zettingen tot gevolg. Hierbij kan worden gedacht aan maaiveldzakkingen en zetting (en deformatie) van op staal gefundeerde panden en (ondergrondse) infrastructuur. Dit is met name het geval wanneer de grondwaterstand/stijghoogte gedurende langere tijd wordt verlaagd tot beneden de in het verleden opgetreden lage waarde. Zettingen, voornamelijk in combinatie met grote hoekverdraaiingen, kunnen bij infrastructuur (afhankelijk van het type infrastructuur) leiden tot schade. Zettingsschade kan voornamelijk optreden bij kabels en leidingen en wegverhardingen (trottoir, asfalt, etc.)

Wamel

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij infrastructuur is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 6.

Wateroverlast

De berekende binnendijkse grondwaterstandsverhoging tijdens een T=10 hoogwater bedraagt minder dan 3 cm. Dergelijk kleine veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden. Echter is, op basis van ervaringen binnen de gemeente, geconcludeerd dat er mogelijk wel wateroverlast kan optreden in Wamel, vooral in combinatie met de berekende stijghoogteverhoging (5 à 8 cm), zie ook A.1.1. Hoewel het niet in de verwachting ligt dat een dergelijke toename (5 cm) direct zal leiden tot extra schade aan het wegnetwerk (d.w.z. water op straat of verminderde draagkracht) is het in theorie wel mogelijk dat er eerder vorstschade optreedt. Opgemerkt wordt dat het ook mogelijk is dat in het wegcunnet drainage is aangebracht om de ontwatering te garanderen waardoor de effecten beperkter zullen zijn. Maatregelen om wateroverlast te beperken dienen al te worden genomen op basis van de risico's voor bebouwing, bij deze maatregelen dient dan ook rekening gehouden te worden met de risico's voor infrastructuur, zie hoofdstuk 4.

Wateronderlast

In paragraaf A.1.1. is aangegeven dat de berekende eindzettingen (30 jaar) maximaal 10 mm bedragen, maar dat het aannemelijk is dat de werkelijke zettingen als gevolg van het ontwerp kleiner zijn. Omdat de zettingen enkel optreden in het onderste deel van de deklaag (als gevolg van een stijghoogteverlaging) is de hoekverdraaiing aan maaiveld vrijwel nihil.

De berekende zettingen leiden doorgaans niet tot schade aan infrastructuur, echter omdat maatregelen noodzakelijk zijn voor het beperken van de vernatting zal ook de verdroging nog verder beperkt worden door de te nemen maatregelen (zie hoofdstuk 4).

Overstromingsvlakke

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij infrastructuur is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 7.

Wateroverlast

Ter plaatse van de bebouwing wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm berekent. De berekende stijghoogteverhoging gedurende de T = 10 hoogwatersituatie bedraagt binnendijs maximaal 30 cm, zie ook A.1.1.

Op basis van de modellering kan geconcludeerd worden dat de grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm naar verwachting niet leidt tot wateroverlast bij infrastructuur.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakke droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten

opzichte van de huidige situatie, zie ook A.1.1. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij infrastructuur blijft daardoor uit.

A.1.3 Natuur/Groen

Wateroverlast - algemeen

Begroeiing kan schade ondervinden door een te hoge grondwaterstand (eigenlijk een tekort aan zuurstof). De mate van schade en de grondwaterstand vanaf waar schade optreedt hangt sterk af van het type begroeiing en de duur van de hoge grondwaterstand. Een hoge grondwaterstand gedurende korte tijd kan over het algemeen geen kwaad voor natuur/groen omdat er geen directe opbrengst aan gerelateerd is en de natuur/het groen zich op den duur zal herstellen, mits de verhoging niet langdurig is. Dit wil zeggen dat het stedelijk groen in dat jaar misschien niet optimaal groeit, maar in het jaar daarna wel zal herstellen. De exacte schade door wateroverlast aan stedelijk groen/natuur is afhankelijk van het type plant, de hoeveelheid gevallen neerslag, de periode waarin hoge/lage grondwaterstanden optreden, het wortelniveau en de exacte hoogte van de grondwaterstand.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra kwel wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage).

Opgemerkt wordt dat tuinen van bewoners tevens in de categorie natuur/groen vallen.

Wateronderlast - algemeen

Begroeiing kan schade ondervinden door een tekort aan vocht bij een verlaging van de grondwaterstand. Dit speelt met name in de periode van bladvorming (voorjaar) een rol. Voor het groeiseizoen wordt normaliter uitgegaan van de periode maart-oktober. Later in het jaar is begroeiing veelal beter bestand tegen (extra) vochttekort. Een lage grondwaterstand gedurende korte tijd kan over het algemeen geen kwaad voor natuur/groen omdat er geen directe opbrengst aan gerelateerd is en de natuur / het groen zich op ten duur zal herstellen, mits de verlaging niet langdurig is. Doorgaans kunnen planten beter tegen (een langere periode van) wateronderlast dan wateroverlast. Het schadebeeld van (beperkte) wateronderlast is doorgaans minder extreem. De exacte schade door wateronderlast aan stedelijk groen/natuur is afhankelijk van het type plant, het wortelniveau en de exacte hoogte van de grondwaterstand.

Een stijghoogteverlaging heeft niet direct wateronderlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverlaging niet leidt tot een verlaging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra wegzijging (of vermindering van kwel) wordt aangevoerd in de bodem vanuit omliggende sloten/drainage). Opgemerkt wordt dat de hoeveelheid water wat infiltreert vanuit een sloot de bodem in de praktijk maar zeer beperkt is.

Opgemerkt wordt dat tuinen van bewoners in deze rapportage tevens in de categorie natuur/groen vallen.

Wamel

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij stedelijk groen is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 6.

Wateroverlast

Zoals aangegeven in A.1.1 wordt als gevolg van de stijghoogteverandering mogelijk een toename van wateroverlast verwacht in het bebouwde gebied ten tijde van de T = 10 hoogwatersituatie. Deze verwachte grondwaterstandsverhoging kan een negatief effect hebben op het stedelijk groen, met name wanneer deze verhoging langdurig optreedt en de grondwaterstand zich rond, of boven, het niveau van de wortels bevindt.

Opgemerkt wordt dat de GHG (gemiddeld hoge grondwaterstand) ≤ 2 cm verhoogd op basis van de langjarige simulatie. Dergelijk kleine veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden. Dat wil zeggen dat er in de normale situatie geen significante verhoging (op basis van het model) berekend wordt.

Omdat in de normale situatie (GHG) geen significante verhoging berekend wordt kan gesteld worden dat de verhoging van de grondwaterstand enkel bij extremer hoogwater optreedt. Deze extremere situaties komen doorgaans niet gedurende langere perioden voor. Derhalve is het aannemelijk dat eventuele schade enkel tijdelijk zal zijn en het stedelijk groen zich op ten duur zal herstellen. Het risico op permanente schade is echter niet geheel uit te sluiten wanneer een hoogwatersituatie gedurende langere tijd voorkomt.

Opgemerkt wordt dat er voor Wamel al maatregelen voorzien worden die ook het risico op schade bij stedelijk groen beperken, zie hoofdstuk 5.

Wateronderlast

Op basis van de berekeningen wordt bij de T = 10 laagwatersituatie een grondwaterstandsverlaging van 10 cm berekend. Deze verwachte grondwaterstandsverlaging kan een negatief effect hebben op het stedelijk groen, met name wanneer deze verlaging langdurig optreedt en de grondwaterstand zich rond, of boven, het niveau van de wortels bevindt.

Opgemerkt wordt dat de GLG (gemiddeld lage grondwaterstand) ≤ 2 cm verlaagd op basis van de langjarige simulatie. Dergelijk kleine veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden. Dat wil zeggen dat er in de normale situatie geen significante verlaging (op basis van het model) berekend wordt.

Omdat in de normale situatie (GLG) geen significante verlaging berekend wordt kan gesteld worden dat de verhoging van de grondwaterstand enkel bij extremer laagwater optreedt. In tegenstelling tot hoogwater komen periodes van langdurig laagwater vaker voor. Echter is de droge periode die planten doorgaans zonder permanente schade kunnen overbruggen groter. Het is niet uit te sluiten dat het stedelijk groen in dat droge jaar geen schade ondervindt maar zolang de plant zich kan herstellen is er geen sprake van groot risico.

Daarnaast wordt opgemerkt dat, gelijk aan de situatie bij houten paalfunderingen, de kleiige bodem in een deel van Wamel vaak vocht goed vasthoudt. De grondwaterstand zakt dan wel uit, maar de bodem blijft nog voldoende vochtig voor het stedelijk groen om water te kunnen onttrekken uit de bodem (door middel van capillaire werking).

Gezien de grotere resistentie tegen droogteschade en het vermogen van een groot deel van de bodem in Wamel om langduriger water vast te houden (in de onverzadigde zone) wordt het risico op permanente droogschade aan het stedelijk groen beperkt geacht. Daarnaast wordt in droge periodes, zoals de afgelopen zomers, beplanting vaak van water voorzien, zowel het openbare groen als particuliere tuinen.

Opgemerkt wordt dat er voor Wamel al maatregelen voorzien worden die ook het risico op schade bij stedelijk groen beperken, zie hoofdstuk 4.

Overstromingsvlakte

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij stedelijk groen is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 7.

Wateroverlast

Ter plaatse van stedelijk groen/natuur wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm berekend. De berekende stijghoogteverhoging gedurende de T = 10 hoogwatersituatie bedraagt binnendijks maximaal 30 cm, zie ook A.1.1.

Daarnaast wordt opgemerkt dat de huidige, en in de toekomst voorziene, natuur in de omgeving van de overstromingsvlakte vaak gebaat is bij een iets hogere grondwaterstand. Voor een groot deel van het gebied is een grondwaterstandsverhoging derhalve niet negatief.

Op basis van de modellering kan geconcludeerd worden dat de grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm naar verwachting niet leidt tot permanente schade bij natuur/groen.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie, zie ook A.1.1. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij het natuur/groen blijft daardoor uit.

A.1.4 Agrarisch landgebruik

Wateroverlast - algemeen

Landbouwgewassen kunnen schade ondervinden door een te hoge grondwaterstand (eigenlijk een tekort aan zuurstof). De mate van schade en de grondwaterstand vanaf waar schade optreedt hangt sterk af van het gewas. Een hoge grondwaterstand gedurende een korte tijd kan in het groeiseizoen al zorgen voor een beperktere gewasopbrengst. Daarnaast kan een hoge grondwaterstand zorgen voor een slechtere berijdbaarheid van de agrarische gronden (verlies van draagkracht). Het risico op schade aan agrarisch landgebruik is ook sterk afhankelijk van de periode waarin de T = 10 hoogwatergolf optreedt. Wanneer deze T = 10 hoogwatergolf buiten het groeiseizoen optreedt dan zal er geen schade ontstaan.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra kwel wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage).

Wateronderlast- algemeen

Landbouwgewassen kunnen schade ondervinden door een tekort aan vocht bij een verlaging van de grondwaterstand. Dit speelt met name in het groeiseizoen, echter varieert het groeiseizoen sterk per gewas. De mate van schade en de grondwaterstand vanaf waar schade optreedt hangt sterk af van het gewas. Een lage grondwaterstand gedurende een korte tijd kan in het groeiseizoen al zorgen voor een beperktere gewasopbrengst.

Een stijghoogteverlaging heeft niet direct wateronderlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverlaging niet leidt tot een verlaging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra wegzijging (of vermindering van kwel) wordt aangevoerd in de bodem vanuit omliggende sloten/drainage). Opgemerkt wordt dat de hoeveelheid water wat infiltreert vanuit een sloot de bodem in de praktijk maar zeer beperkt is.

Wamel

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij het agrarische gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 8.

Tabel 8: Samenvatting resultaten agrarisch gebied Wamel

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤2	≤6
T = 10 laagwater	≤3	≤8

Wateroverlast

Ter plaatse van het agrarisch landgebruik wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤2 cm berekend (bij een stijghoogteverhoging van max. 6

cm). Een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm zal doorgaans niet leiden tot een toename van natschade bij het agrarisch landgebruik.

Wateronderlast

Ter plaatse van het agrarisch landgebruik wordt gedurende de T = 10 laagwatersituatie een grondwaterstandsverlaging van ≤ 3 cm berekend. Een grondwaterstandsverlaging van ≤ 3 cm zal doorgaans niet leiden tot een toename van droogteschade bij het agrarisch landgebruik.

Overstromingsvlakte

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij het agrarische gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 9.

Tabel 9: Samenvatting resultaten agrarisch gebied overstromingsvlakte

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤ 2	≤ 15
T = 10 laagwater	-	-

Wateroverlast

Ter plaatse van het agrarisch landgebruik wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm berekend. Een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm zal naar verwachting niet leiden tot een toename van natschade bij het agrarisch landgebruik.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie, zie ook A.1.1. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij het agrarisch landgebruik blijft daardoor uit.

A.1.5 Dijkveiligheid

Voor de toetsing op dijkveiligheid zijn voor de referentiesituatie en het ontwerp aanvullende stationaire MORIA berekeningen gemaakt met maatgevend hoogwater. Uit ervaring van het waterschap Rivierenland is gebleken dat de opgegeven intredeweerstand in de uiterwaarde in het MORIA model voor de MHW situatie te hoog is. In de stationaire berekeningen voor dijkveiligheid is, in afwijking van de regulier aangehouden intredeweerstand van 15 dagen, uitgegaan van een intredeweerstand van 5 dagen. Hierdoor bedraagt de intredeweerstand tussen de ca. 2 à 10% van de totale weerstand van de deklaag in de uiterwaarde, uiteraard met uitzondering van de aanwezige strangen en geulen waar de deklaag dunner of afwezig is.

Opgemerkt wordt dat de modelleerwijze voor de uit te graven geulen gelijk is aan de eerder aangehouden modelleerwijze met betrekking tot het invoeren van geulen in de uiterwaarde. Dat wil zeggen dat er gebruik gemaakt is van een "river package" in laag 2 voor de geulen in de uiterwaarde, waarbij de opgegeven conductance in laag 2 afhankelijk is van het nat oppervlak per cel en de resterende deklaagdikte, zie ook hoofdstuk 2 van 1120-180419-11-TN01.

De effectieve kwelweglengte is bepaald per 50 m ter hoogte van de winterdijk op basis van de uitkomsten van de MORIA berekeningen. Per 50 meter is getoetst of de kwelweglengte met minder dan 2% afneemt.

Opgemerkt wordt dat de toetsing op dijkveiligheid op een later tijdstip heeft plaatsgevonden dan de toetsing op kwel- en wegzijging. Om deze reden zijn de voorgeschreven maatregelen voor kwel- en wegzijging (aanbrengen 50 cm klei bij Wamel, aanbrengen 25 cm in zuidelijke tak Heerewaarden, zie hoofdstuk 5) al meegenomen in de toetsing voor dijkveiligheid.

Wateroverlast

De berekende toename van de stijghoogte ten tijde van het T = 10 hoogwater ter plaatse van de dijk zijn per deelgebied weergegeven in tabel 10.

Tabel 10: Stijghoogteverandering dijkveiligheid

	Toename stijghoogte bij T = 10 [cm]
Wamel	≤9
Overstromingsvlakte	≤30

Uit de indicatieve toetsing op de effectieve kwelweglengte op 3 locaties waar de stijghoogte het meest wijzigt bij hoogwater (na maatregelen bij overstromingsvlaktes en Heerewaarden) is gebleken dat enkel bij de zuidelijke overstromingsvlakte niet wordt voldaan aan de eis m.b.t. de maximale afname van de kwelweglengte van 2%. In de zuidelijke overstromingsvlakte nam de kwelweglengte in de indicatieve toetsing af met ca. 9%. Om deze reden is voorafgaand aan volledige toetsing besloten om maatregelen te treffen in de zuidelijke overstromingsvlakte, namelijk het aanbrengen van de volledige hoeveelheid afgegraven klei. Door het aanbrengen van een zelfde weerstand als in de voorgaande situatie zal de stijghoogte in de zuidelijke overstromingsvlakte niet toenemen. Voor een verdere uitwerking van deze maatregel, zie hoofdstuk 4.

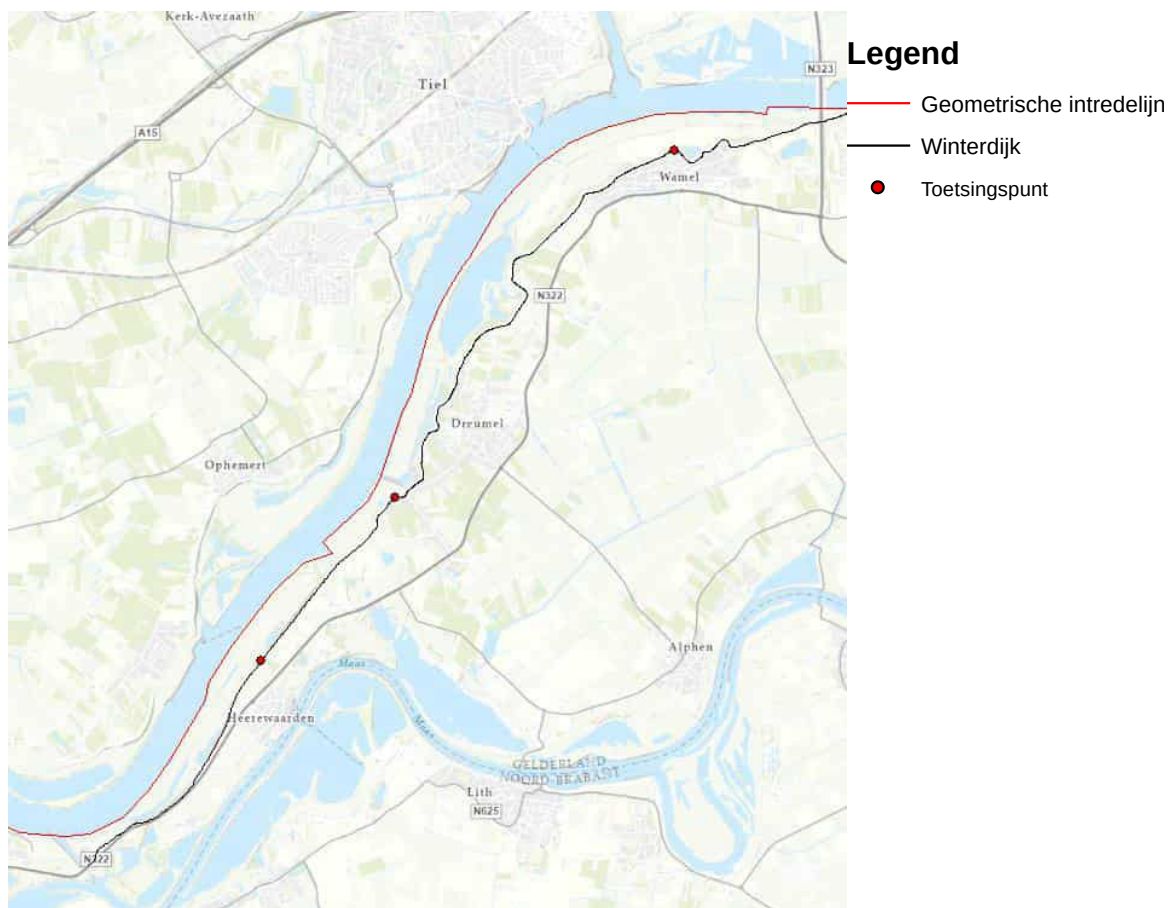
Opgemerkt wordt dat een deel van de zuidelijke overstromingsvlakte in de beschermingszone ligt. Voor de beschermingszone geldt dat voor locaties waar na ontgraving minder dan 1 meter klei in de deklaag achterblijft dit moet worden aangevuld tot een pakket van 1,5 m dikte vanwege dijkveiligheid (eis waterschap).

Het berekende theoretische intredepunt voor de referentiesituatie is weergegeven in bijlage A.3.1. Het berekende theoretische intredepunt voor de ontwerpsituatie is weergegeven in bijlage A.3.2. Een vergelijking van de intredepunten is in detail weergegeven in A.3.3.

Per ontgraving is de grootste verandering (na toepassen van maatregelen) tevens gepresenteerd in tabel 11. De bijbehorende locaties van de grootste wijzigingen zijn met een rode stip weergegeven in figuur 13.

Tabel 11: Wijziging effectieve kwelweglengte

Situatie	Parameter	Wamel	Overstromings- vlakte
Referentie	Fysieke voorlandlengte [m]*	537	304
	Spreidingslengte [m]	414	230
	Effectieve kwelweglengte [m]	357	199
Ontwerp	Fysieke voorlandlengte [m]*	533	304
	Spreidingslengte [m]	405	224
	Effectieve kwelweglengte [m]	351	196
Wijziging [%]		1,69%	1,75%
* De fysieke voorlandlengte kan in de toetsing wijzigen als gevolg van een wijziging in stroomrichtingen in het 1e watervoerende pakket.			



Figuur 13: Locaties wijziging effectieve kwelweglengte (rode stip = locatie met grootste wijziging)

Geconcludeerd wordt dat door het nemen van de beschreven maatregelen in hoofdstuk 4 (50 cm klei aanbrengen in Wamel en het aanbrengen van eenzelfde kleidikte als de aanwezige dikte in de huidige situatie bij de zuidelijke overstromingsvlakte) de kwelweglengte op geen van de locaties afneemt met meer dan 2%. Hiermee wordt voldaan aan de gestelde eisen van het waterschap Rivierenland.

Wateronderlast

Door grondwaterstands-/stijghoogteverlagingen beneden de historisch lage grondwaterstand/stijghoogte kunnen cohesieve grondsoorten zoals klei, leem en veen worden samengedrukt, met zettingen tot gevolg. De hieronder beschreven effecten van de grondwaterstand gelden voor het ontwerp inclusief maatregelen.

Opgemerkt wordt dat het zeer aannemelijk is dat de bovenste zandlaag in de uiterwaarde al vaak droog zal zijn gevallen waardoor zettingen uit freatische verlagingen ter plaatse van de dijk niet aannemelijk zijn. Gedurende laagwater zal de dijk, en de lagen onder de dijk, in de huidige situatie ook grotendeels droog vallen. Daarnaast zal in een groot deel van de geulen een afdichtende kleilaag worden aangebracht waardoor de freatische laag vrijwel wordt afgesloten van de aan te leggen geul. De enige uitzondering hierop is de noordelijke geul bij Heerewaarden, echter is het daar ook aannemelijk dat de freatische grondwaterstand al wel laag is geweest. Bovendien is de deklaag dusdanig kleiig dat de berekende veranderingen

van grondwaterstand nabij de dijk ter plaatse van de noordelijke geul maximaal 2 cm zijn. Dit zal niet leiden tot noemenswaardige zettingen.

De enige berekende verandering groter dan 2 à 3 cm is de berekende verandering van de freatische grondwaterstand bij Wamel (8 cm). Deze verlagingen komen voort uit de berekende toename van wegzijging in het gebied ten tijde van laagwater en treden met name op in de aanwezige zandgeul in de uiterwaarde. Opgemerkt wordt dat een zandige bodem over het algemeen niet zal leiden tot zettingen.

Zettingen als gevolg van een lage stijghoogte zijn zeer onwaarschijnlijk en zullen bovendien, indien deze optreden, grotendeels gelijkmatig zijn. De waterstand in 2018 is gedurende een periode van ca. 2 maanden (in periode oktober-december) lager geweest dan het aanlegniveau van de meeste geulen. Aangezien de stijghoogte in het gebied sterk wordt bepaald door de waterstand van de Waal is het aannemelijk dat de stijghoogte gedurende die periode ook al lager is geweest dan zal voorkomen bij de laagste waterstand waarbij de geulen in het ontwerp nog niet droogvallen. In het geval de waterstand onder het bodemniveau van de aan te leggen geulen daalt (zoals in 2018) is de geohydrologische situatie vrijwel gelijk aan de huidige situatie in perioden met lage waterstanden. Zettingen die voortkomen uit een lagere stijghoogte zijn gedurende die periode al grotendeels opgetreden en zullen daardoor niet meer optreden als gevolg van het ontwerp.

Geconcludeerd wordt dat het niet aannemelijk is dat het ontwerp bij laagwater zal zorgen voor noemenswaardige zettingen bij de dijk.

A.1.6 Overige aspecten

Wateroverlast

Door het toenemen van de stijghoogte kunnen watergangen in het achterland eerder opbarsten dan in de huidige situatie het geval is. Dit speelt met name op de locaties waar de deklaag een relatief beperkte dikte heeft en het 1^e watervoerende pakket relatief ondiep onder de slootbodem begint. Wanneer slootbodems opbarsten kan het kweldebiet naar de sloten toenemen. Dit kan dan zorgen voor een verlaging van de stijghoogte, maar kan zorgen voor een sterke toename van het af te voeren debiet. Opgemerkt wordt dat in de huidige situatie bij hoogwater vermoedelijk ook al enige mate van opbarsten plaatsvindt. Dit risico zal nader uitgewerkt worden in overleg met het waterschap Rivierenland

De toename van de grondwaterstand/stijghoogte bedraagt maximaal enkele decimeters (max. 30 cm) maar is in het grootste deel van het gebied beperkt tot een stijging van max. 10 cm. Onttrekkingen, WKO systemen, archeologische en aardkundige waarden hebben geen negatieve invloed van een dergelijk (voor deze systemen) beperkte toename van de grondwaterstand/stijghoogte.

Wateronderlast

Er zijn geen archeologische of aardkundige waarden gelegen op de locaties waar een grondwaterstands/stijghoogteverlaging van >2 cm wordt berekend. Derhalve worden geen negatieve effecten op archeologische of aardkundige waarden verwacht.

De afname van de grondwaterstand/stijghoogte bedraagt maximaal enkele centimeters (max. 11 cm). Onttrekkingen en WKO systemen ondervinden geen negatieve invloed van een dergelijk (voor deze systemen) beperkte afname van de grondwaterstand/stijghoogte.

A.2 Waterafvoer/aanvoer

In deze paragraaf worden de risico's met betrekking tot de berekende verandering van de kwel/wegzijgingsituatie als gevolg van het ontwerp per deelgebied beschreven. Een toename of afname van de stijghoogte leidt tot een toename of afname van de kwel/wegzijging in het gebied. Indien dat niet leidt tot een grondwaterstandsverhoging zal dat leiden tot een toename/afname van af of aan te voeren debiet in de watergangen.

Wamel

Hoogwater

In Wamel wordt een toename van de kwelsituatie berekend van 1,5% voor QVU122 en 2,4% in QVU118. Deze toename komt overeen met een toename van het debiet van 57 m³/dag voor QVU122 en 224 m³/dag voor QVU118, zie ook hoofdstuk 2. Daarnaast is de toename van het debiet vooral merkbaar in de dorpskern van Wamel waar wateroverlast en het afvoeren van water al een probleem is. Dergelijke toenames zijn in het gebied rond Wamel niet risicoloos, omdat het watersysteem al aan het maximum zit. Derhalve zijn maatregelen noodzakelijk, zie hoofdstuk 4.

Tevens wordt opgemerkt dat een toename van de stijghoogte rond Wamel ook zal zorgen voor een toename in het debiet van het drainagesysteem in de Viaductenbuurt. Aangezien deze bij hoogwater wordt uitgeschakeld (vanwege hoge debiet en beperkte invloed op de grondwaterstand) wordt een toename van dit debiet als risicovol ingeschat, zie hoofdstuk 4 voor een voorstel voor te treffen maatregelen.

Laagwater

In Wamel wordt een toename van de wegzijgingssituatie berekent van 4,2% voor QVU122 en 3,2% in QVU118. Deze verandering komt overeen met een toename van het aanvoerdebiet van 48 m³/dag voor QVU122 en 121 m³/dag voor QVU118, zie ook hoofdstuk 2.

Indien een opsplitsing wordt gemaakt in de peilgebieden tussen de dorpskern van Wamel en het omliggende gebied dan is de berekende afname van wateraanvoer voor het landelijk gebied maximaal 2,6%. Voor de dorpskern van Wamel is de berekende afname maximaal ca. 6%.

Zoals beschreven doet de berekende afname van wateraanvoer zich voornamelijk voor in de stadskern van Wamel. Een deel van de watergangen/duikers in de stadskern vallen in de zomer grotendeels droog en zijn met name aangelegd voor afvoer van kwel. In overleg met de gemeente West Maas en Waal en het waterschap Rivierenland is aangegeven dat wateraanvoer naar de dorpskern in de huidige situatie niet of nauwelijks plaatsvindt. Aangezien een beperkte toename van wateraanvoer (compensatie van de berekende afname) niet direct leidt tot het verkleinen van de berekende effecten in het laagwaterscenario (immers infiltreert oppervlaktewater niet eenvoudig terug te bodem in) is geconcludeerd dat aanvoer naar de dorpskern van Wamel niet noodzakelijk is.

De maximale afname van wateraanvoer van 2,55% in het landelijke gebied overschrijdt de 2% grens die opgegeven is door het waterschap Rivierenland. Derhalve zijn maatregelen om de afname van wateraanvoer te beperken noodzakelijk, zie hoofdstuk 4.

Overstromingsvlakte

Hoogwater

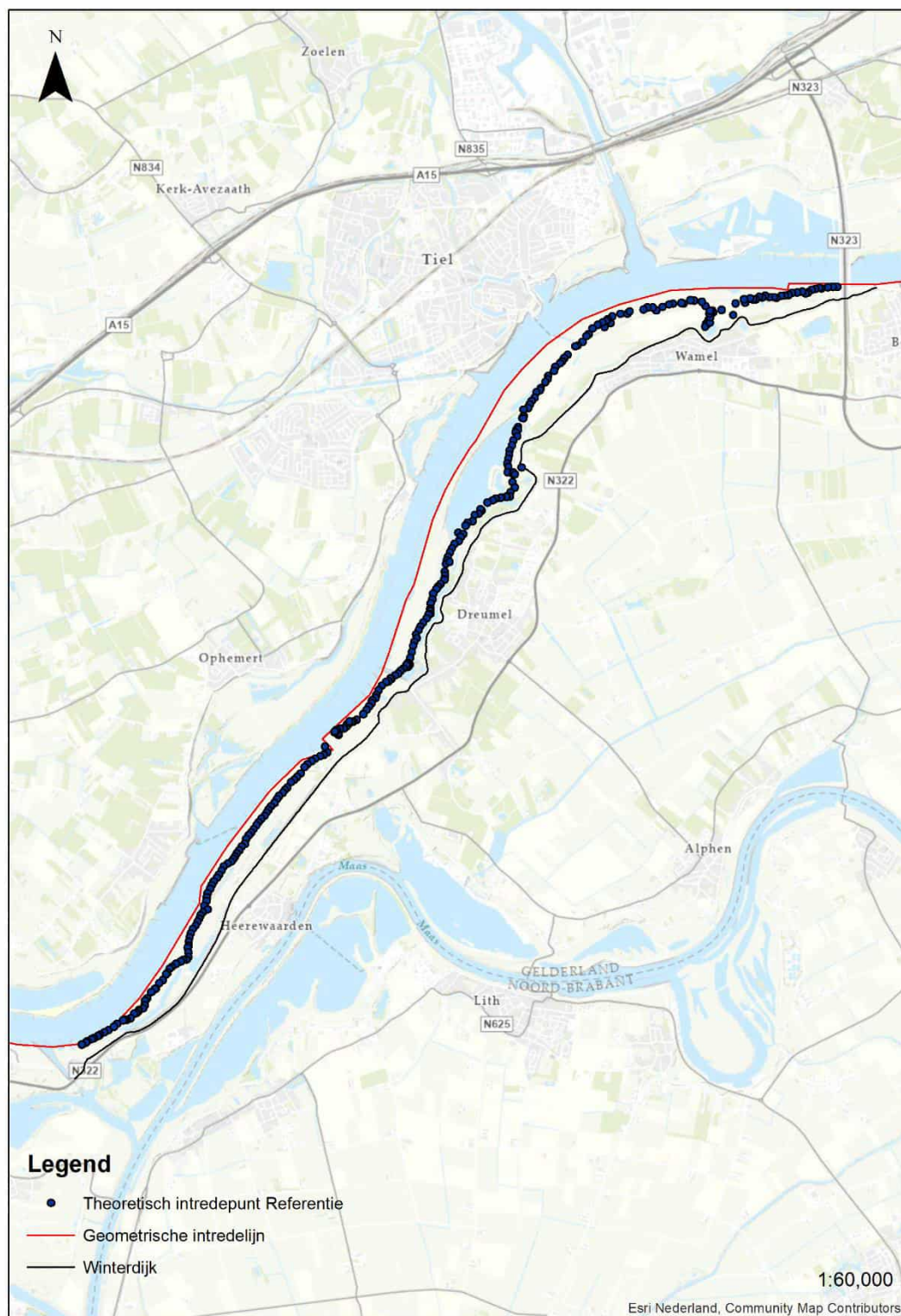
Bij de T = 10 hoogwatersituatie wordt een toename van kwel berekend in QVU101 (2,3%) en BOM563 (10%). Dit komt overeen met een toename van 99 m³/dag in QVU101 en 755 m³/dag in BOM563, zie ook hoofdstuk 3.1.2. Deze toenames zorgen voor een groter af te voeren debiet in deze peilgebieden. Hoewel de peilgebieden natuurlijk afstromen is de toename van 2,3% en 10% hoger dan de eisen die het waterschap stelt aan de maximale toename, derhalve zijn maatregelen noodzakelijk.

Laagwater

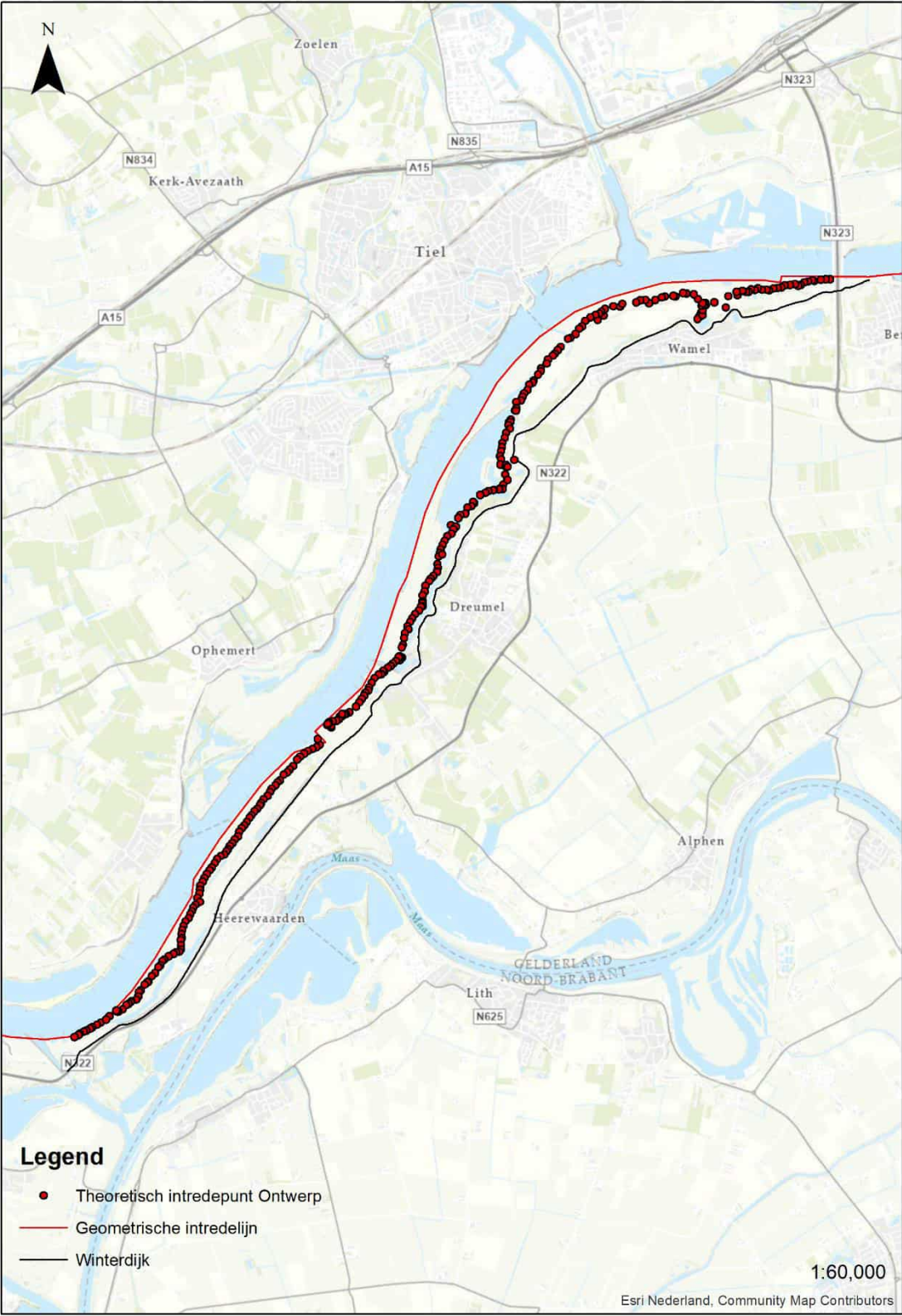
Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie. Modelmatig wordt een wijziging van max. 19 m³/dag (2,4%) berekend, maar aangezien de plas droogvalt is het aannemelijk dat er geen veranderingen optreden in werkelijkheid. Aangezien de situatie niet verandert ten opzichte van de huidige situatie zijn er voor laagwater geen maatregelen noodzakelijk.

A.3 Kwelweglengte

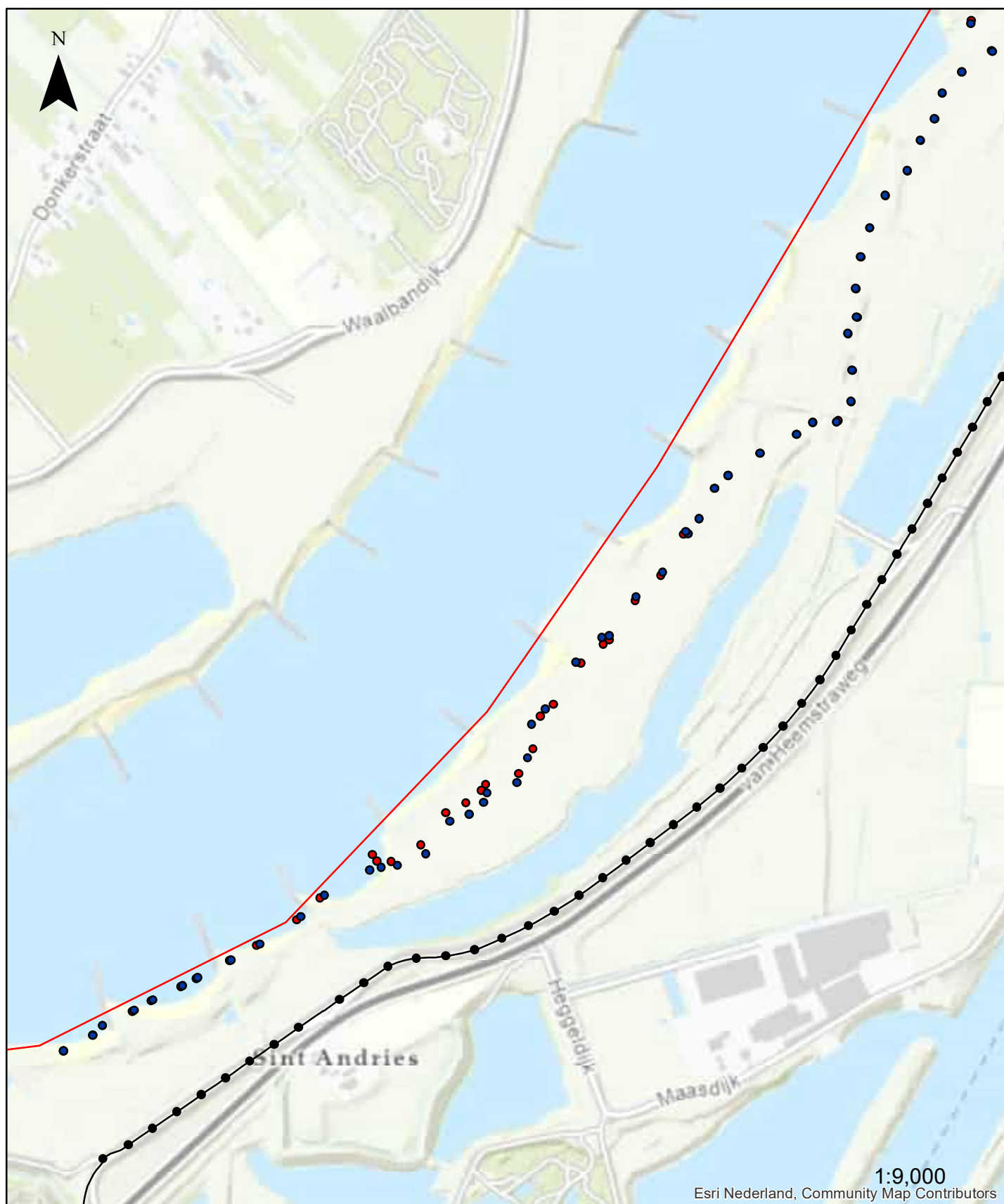
A.3.1 Referentiesituatie



A.3.2 Ontwerpsituatie



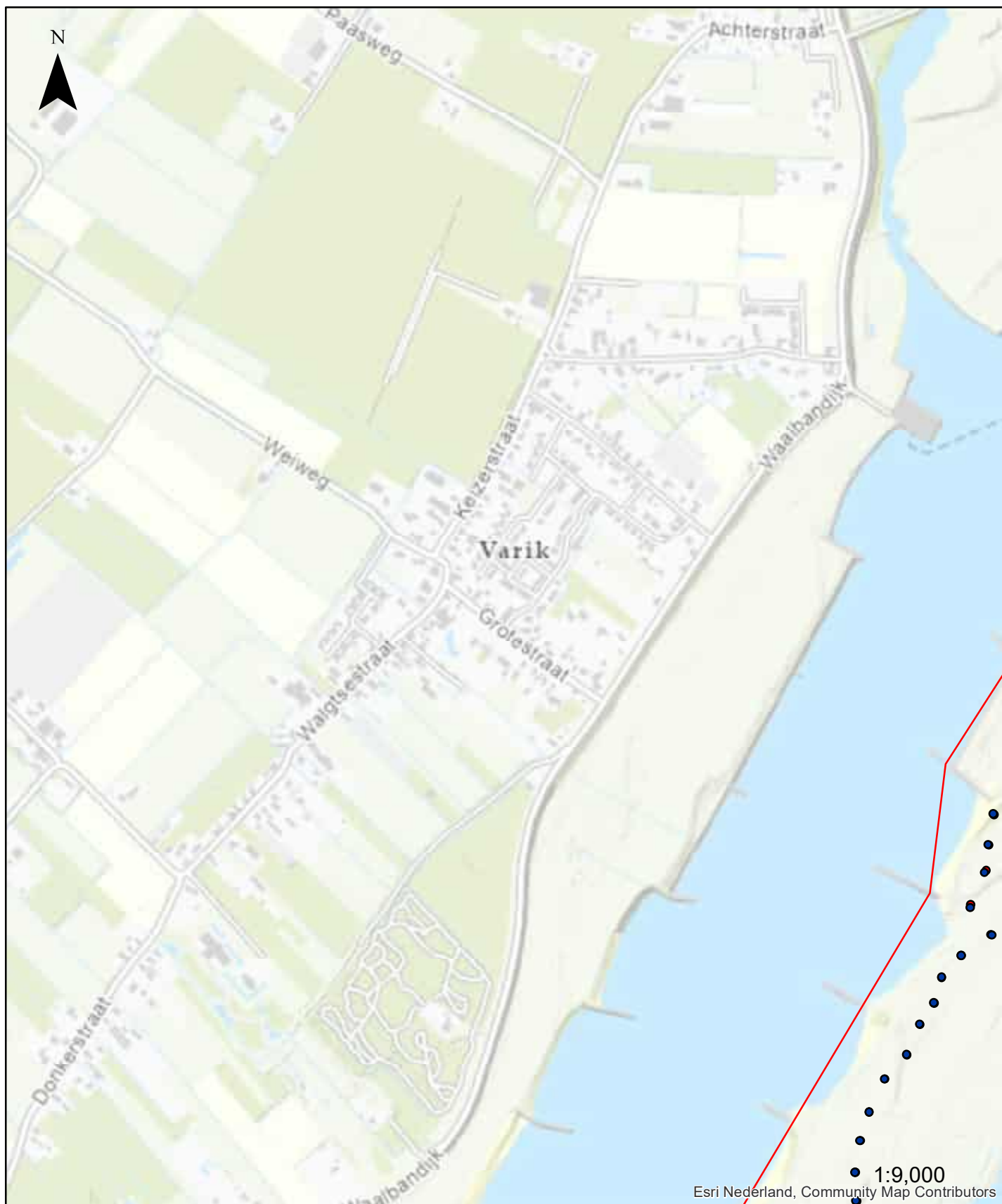
A.3.3 Lokale veranderingen



Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

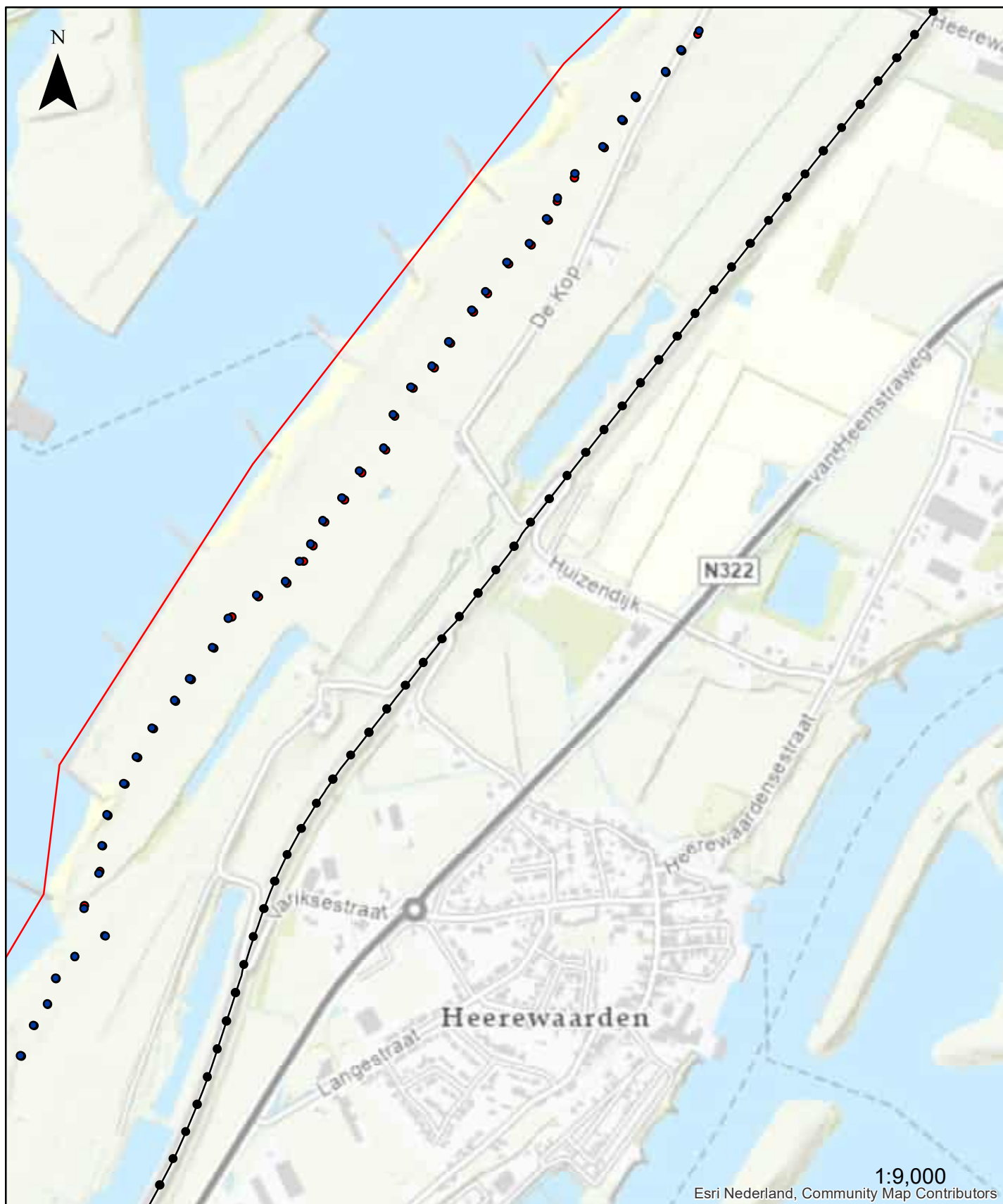




Legenda

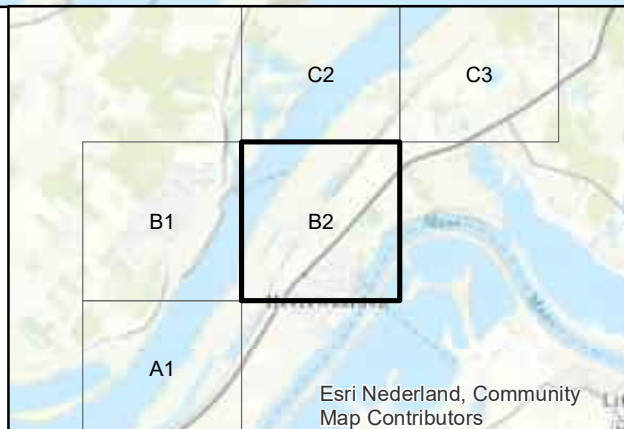
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

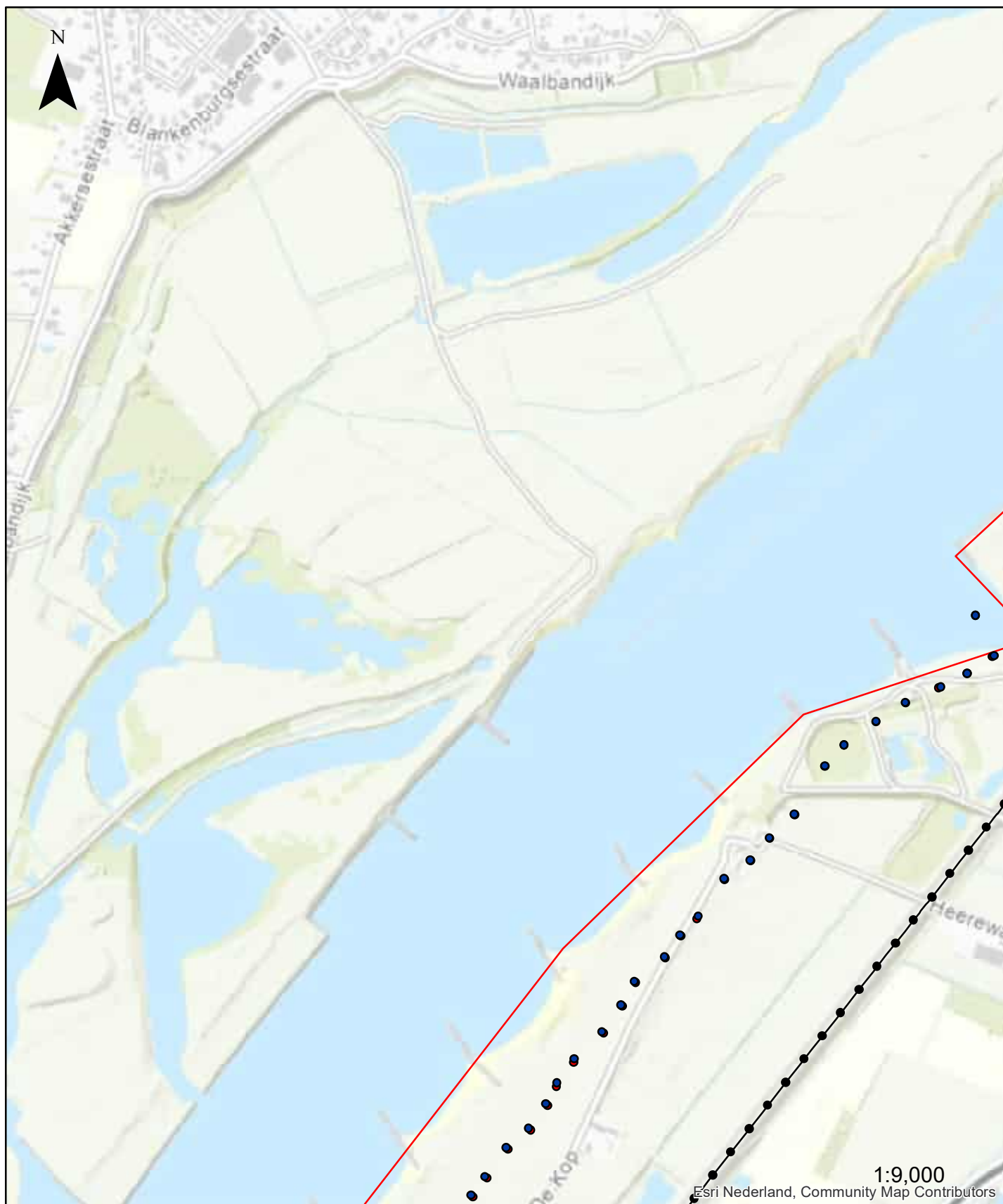




Legenda

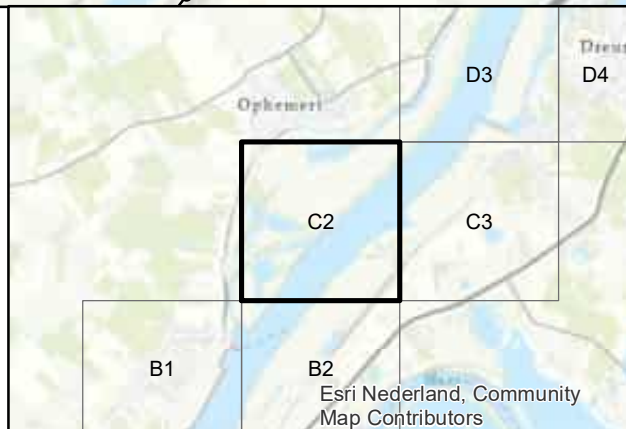
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

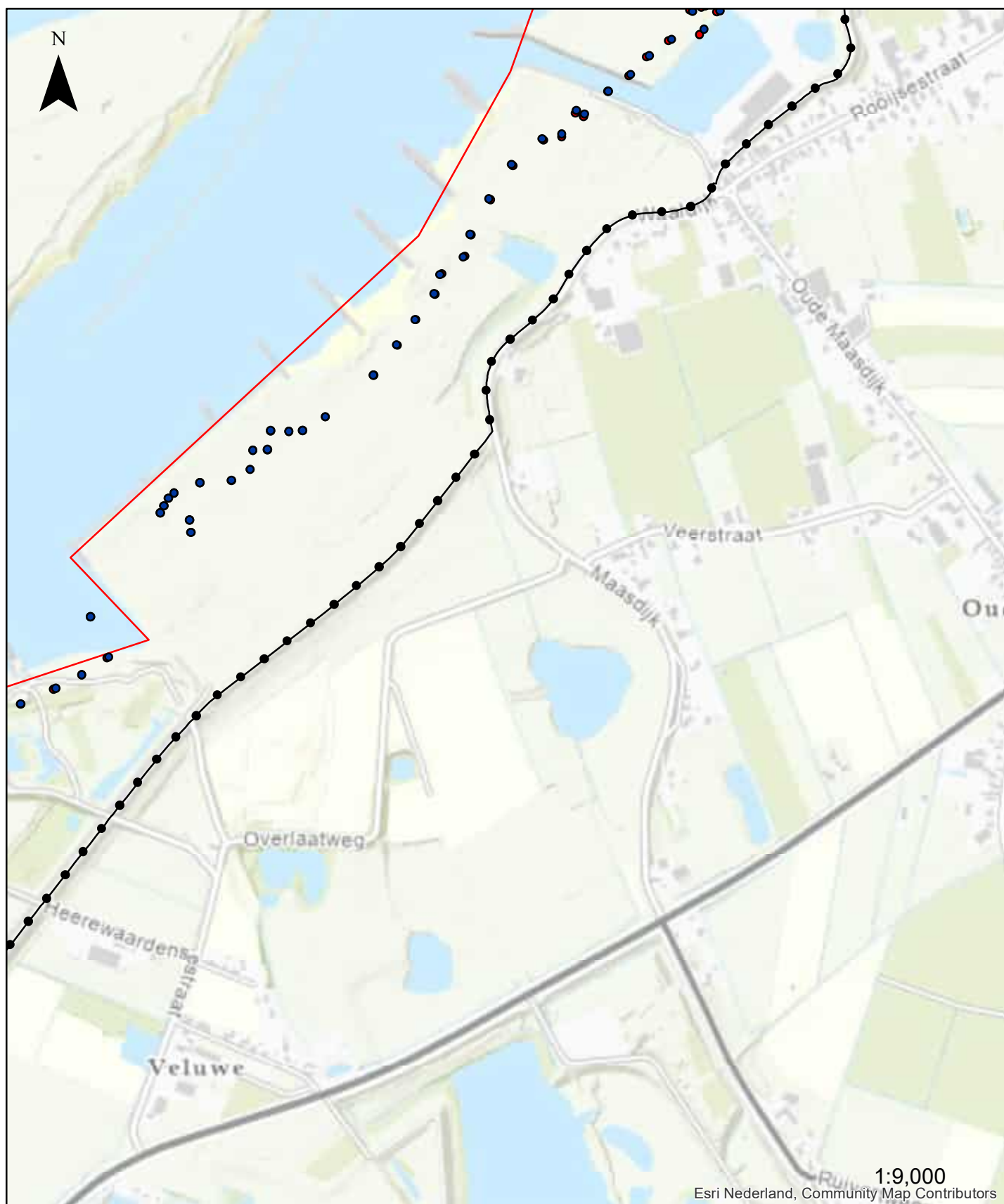




Legenda

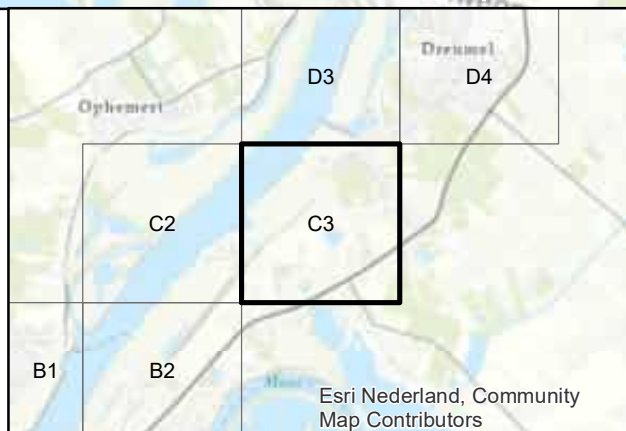
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

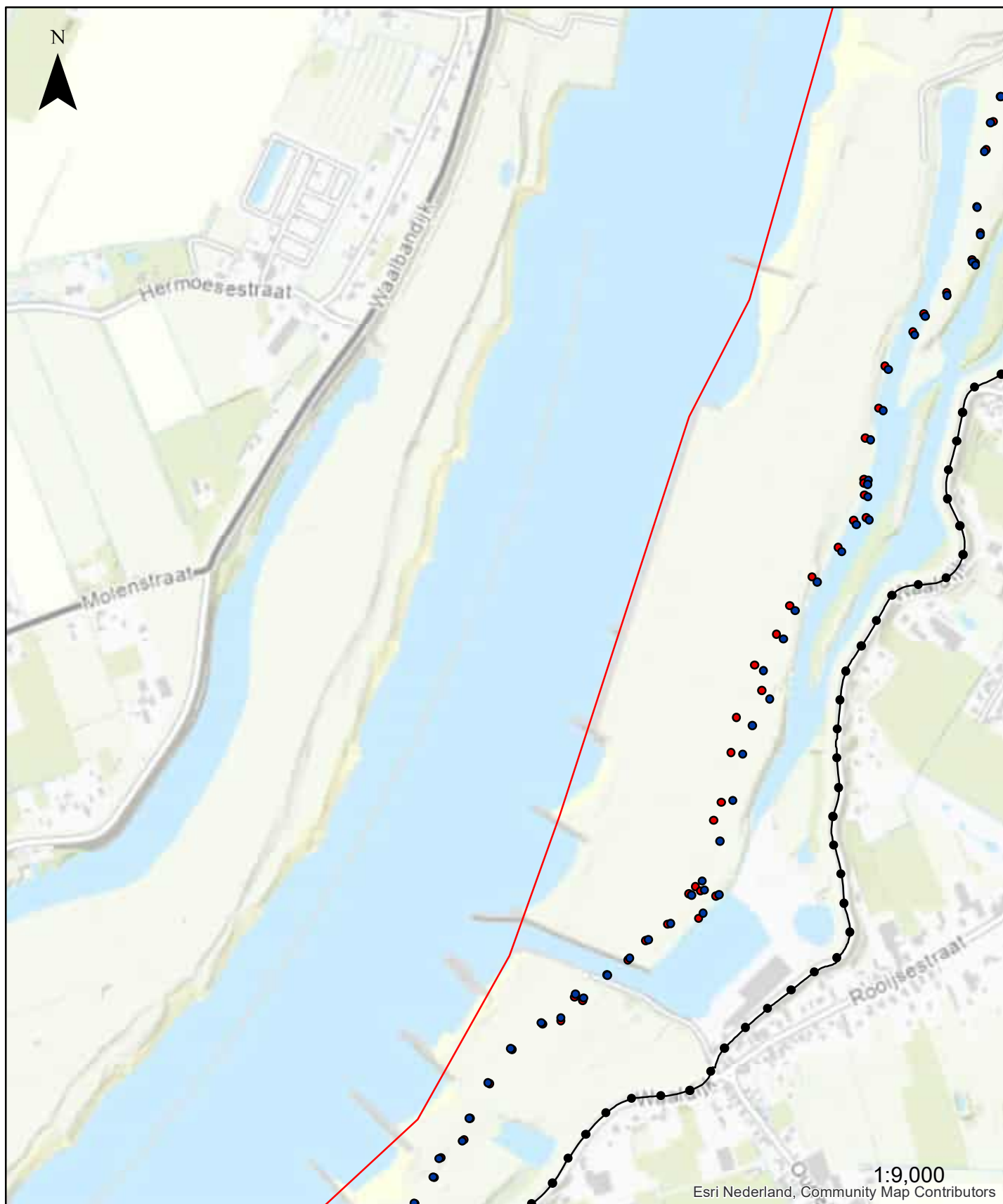




Legenda

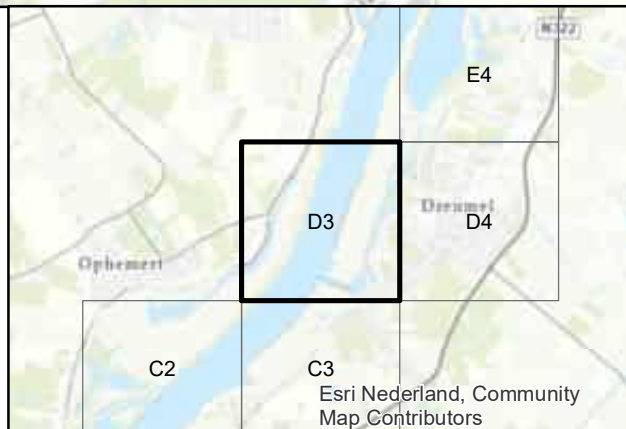
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

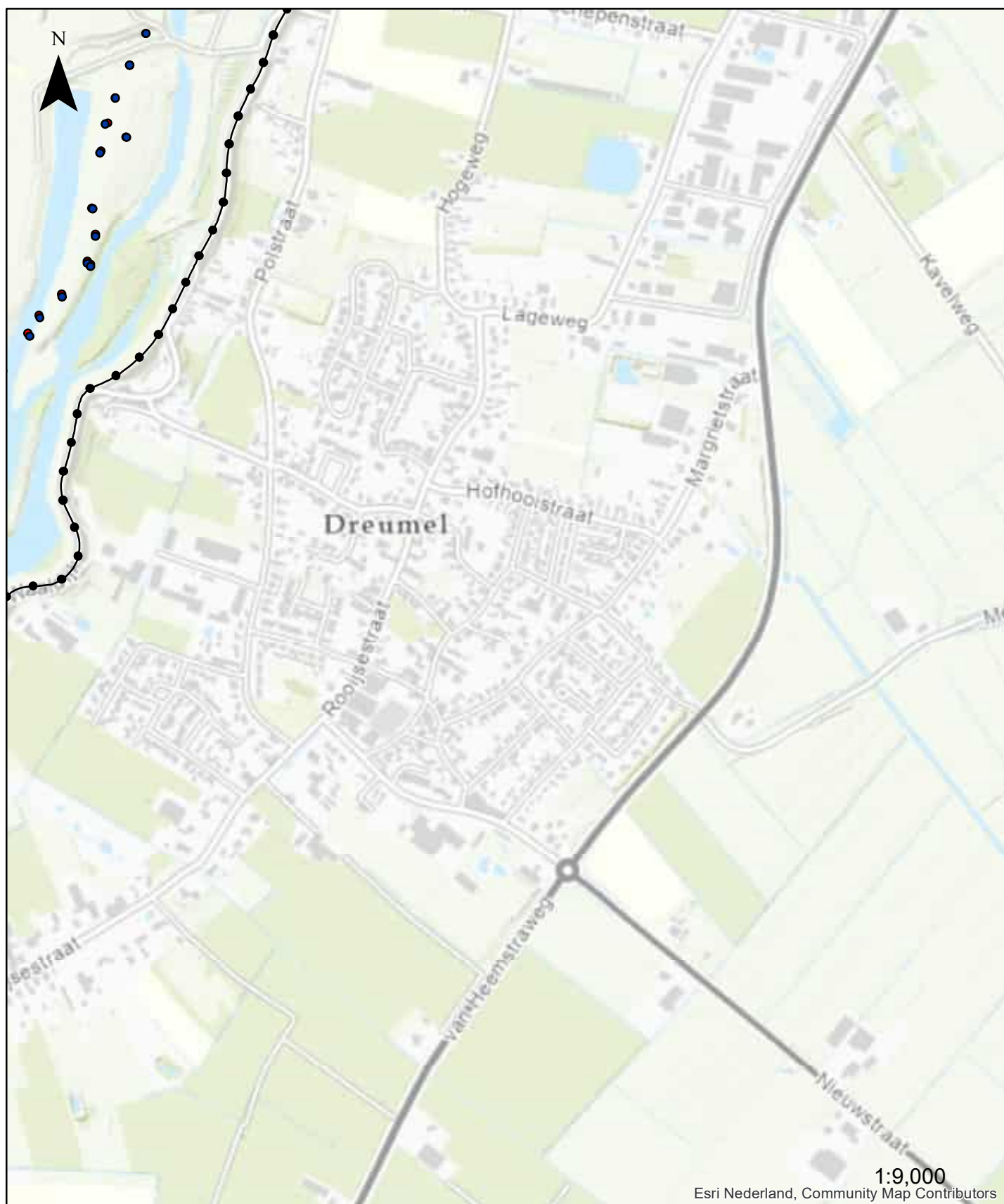




Legenda

- Toetspunt
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

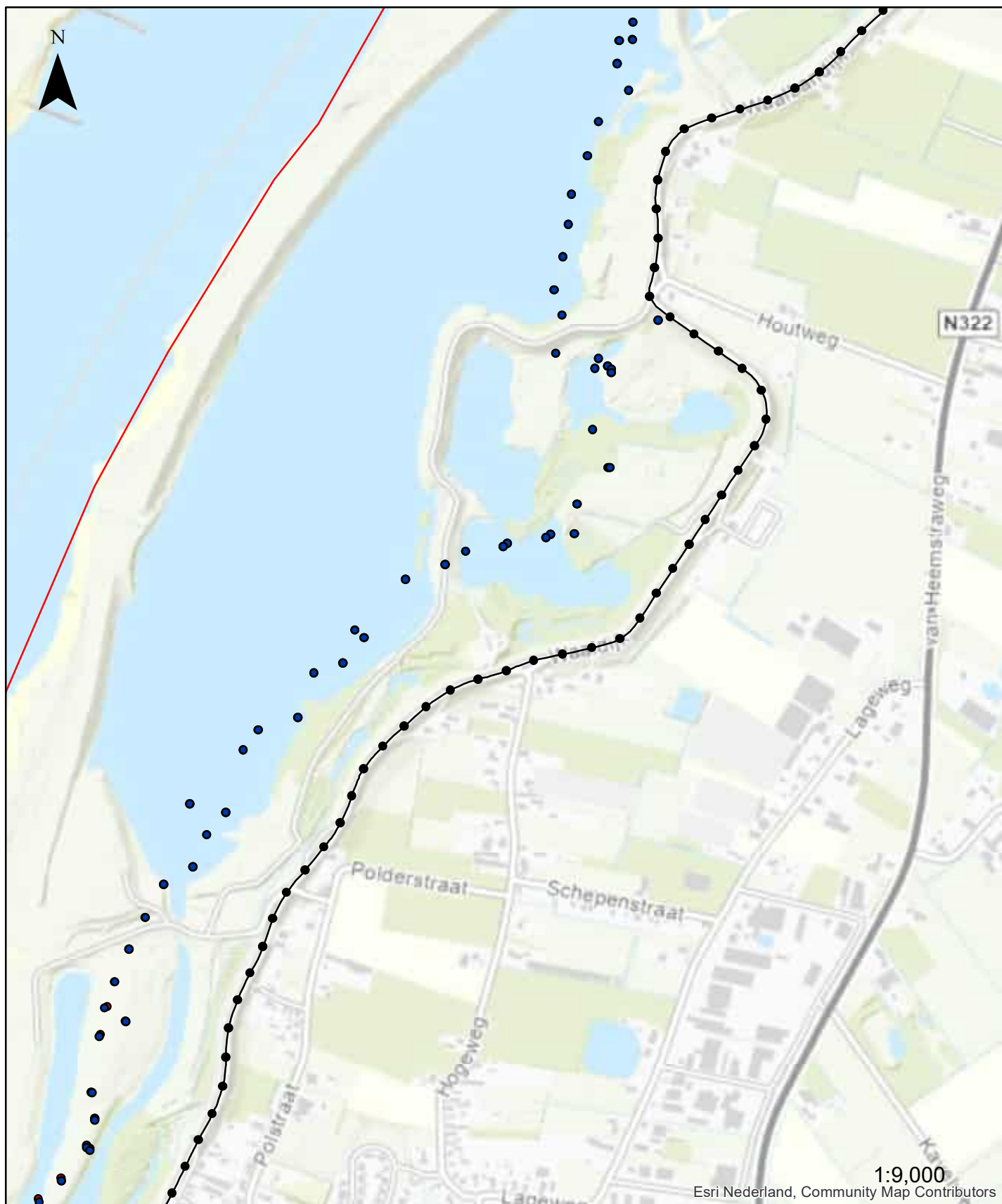




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





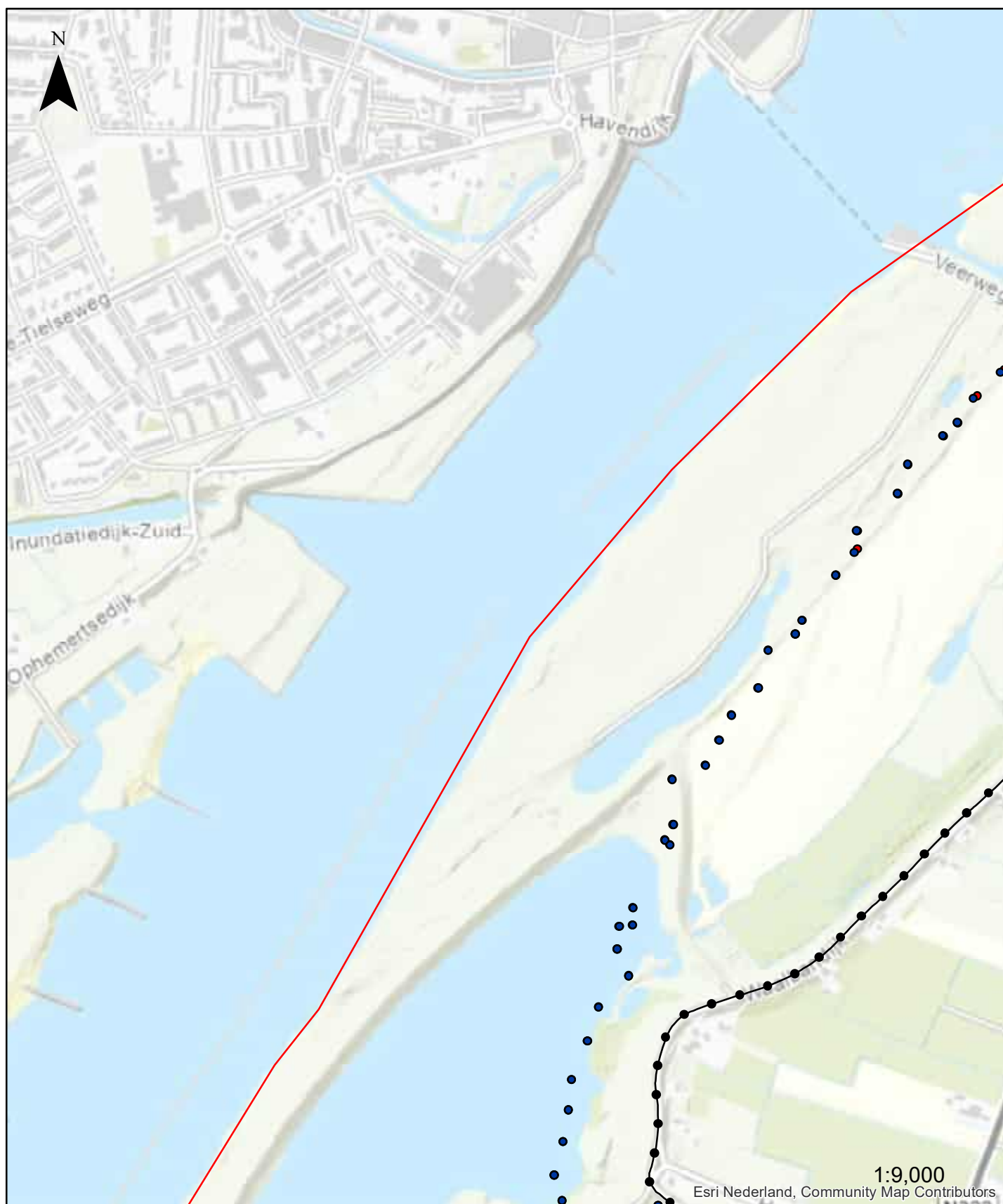
Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk



1:9,000
Esri Nederland, Community Map Contributors

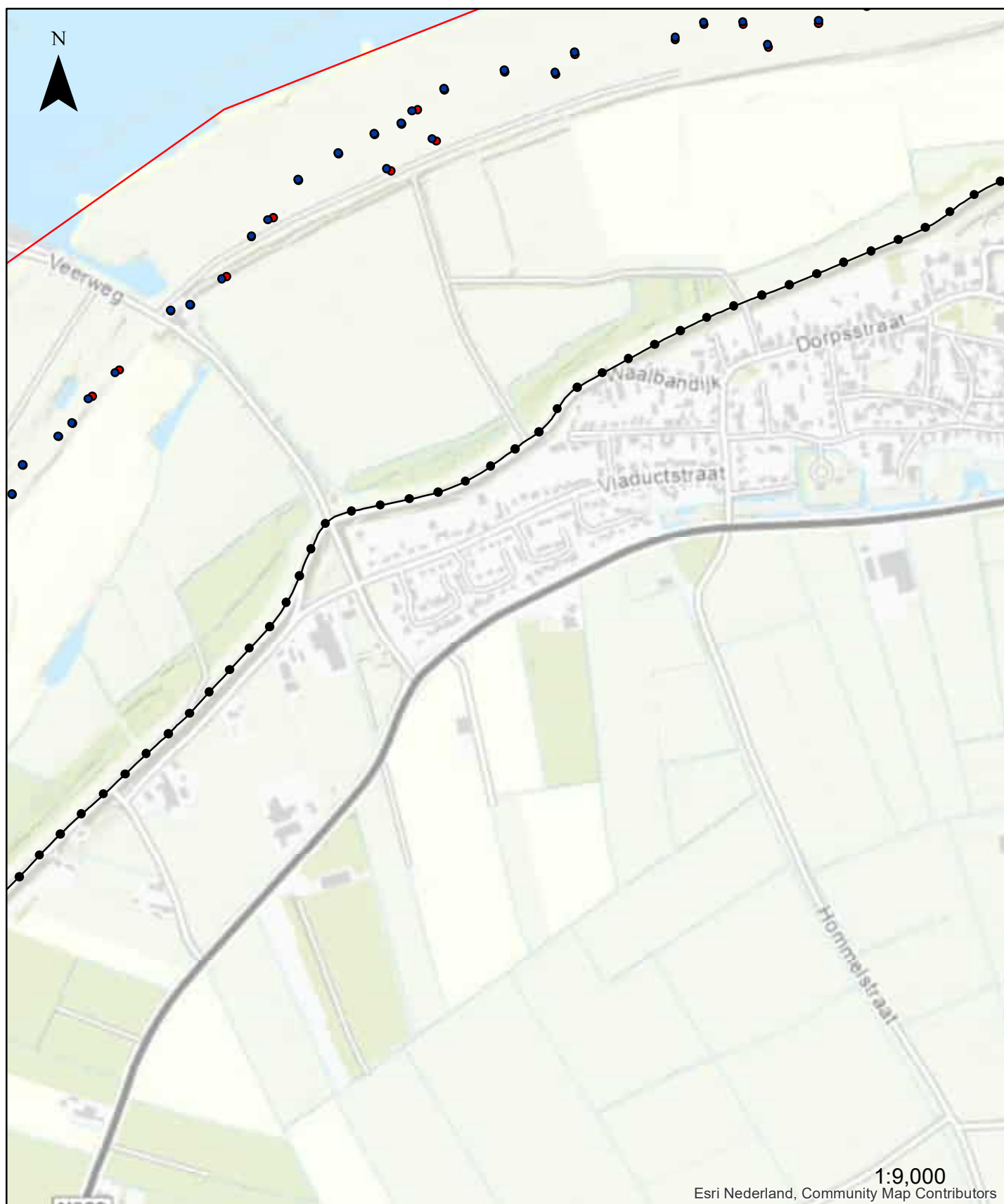
Esri Nederland, Community
Map Contributors



Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

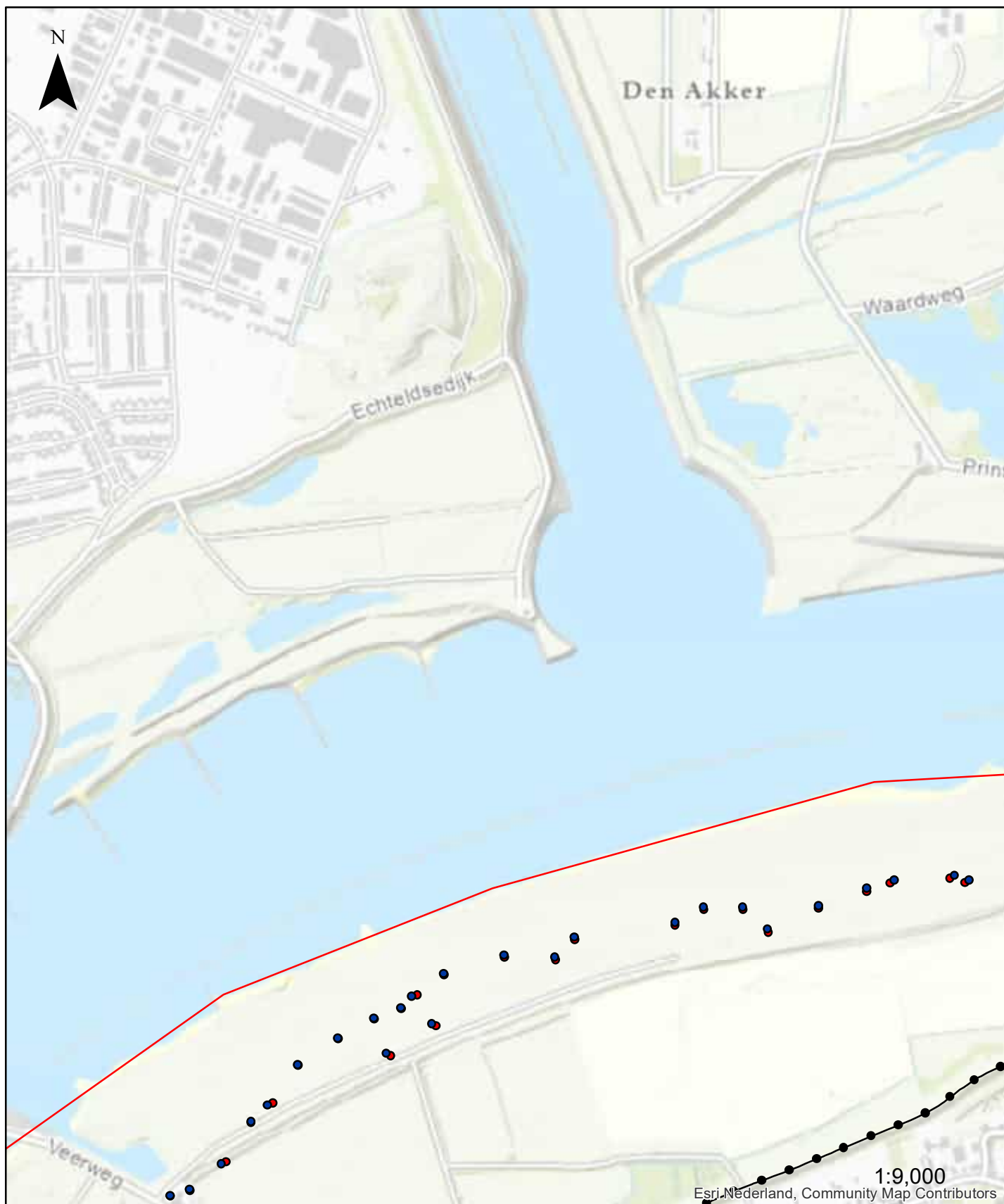




Legenda

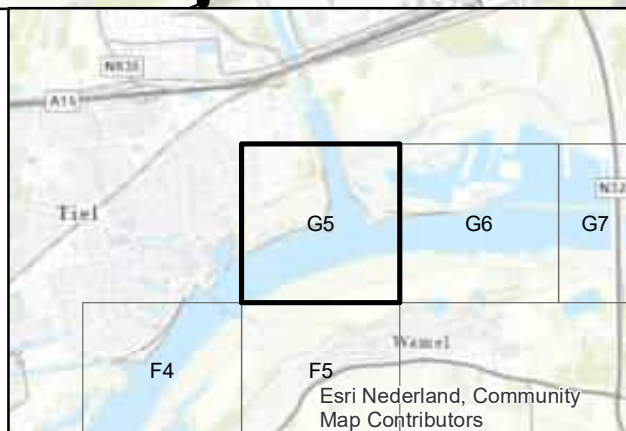
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

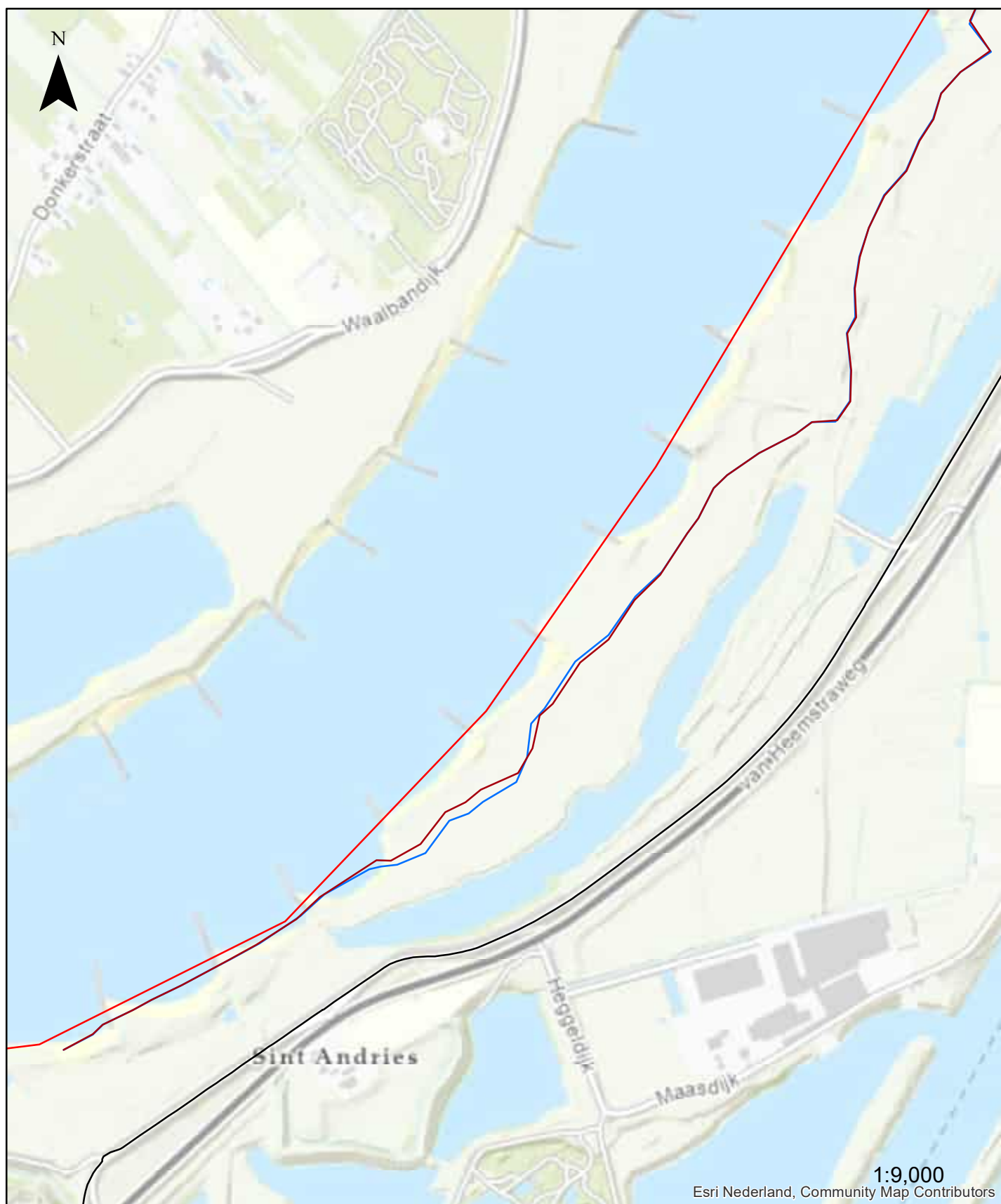




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredpunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredpunt Referentie Lijn
- Winterdijk

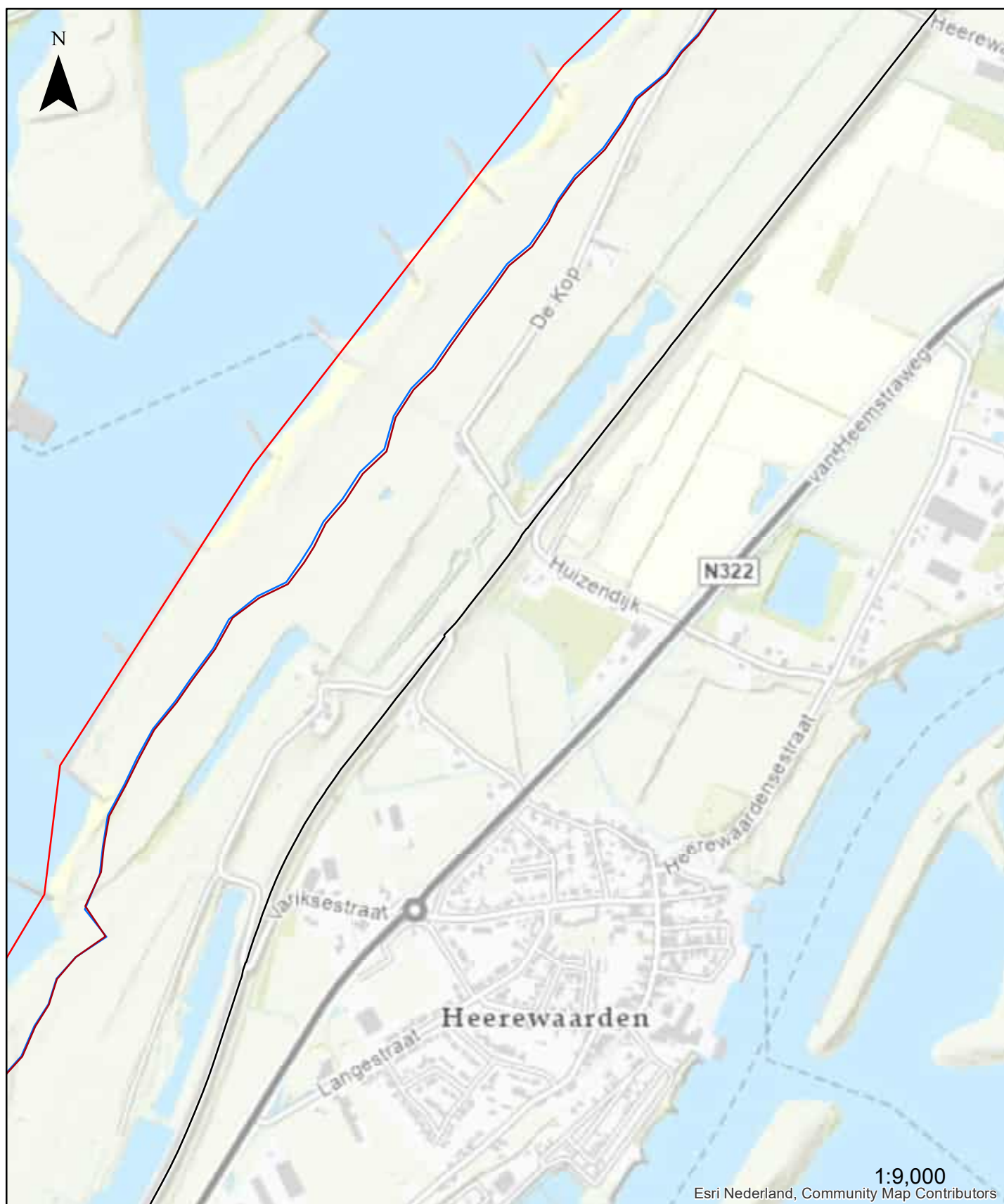




Legenda

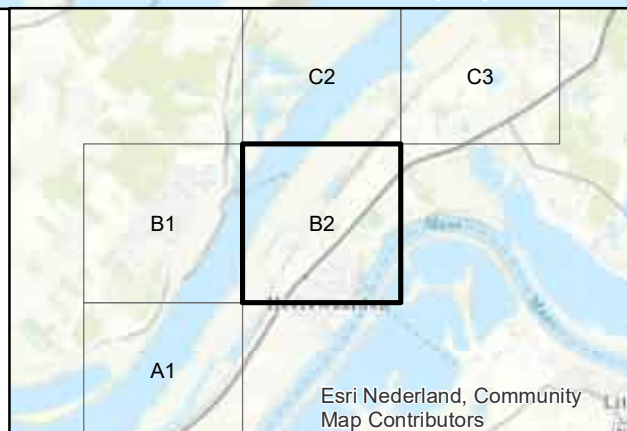
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

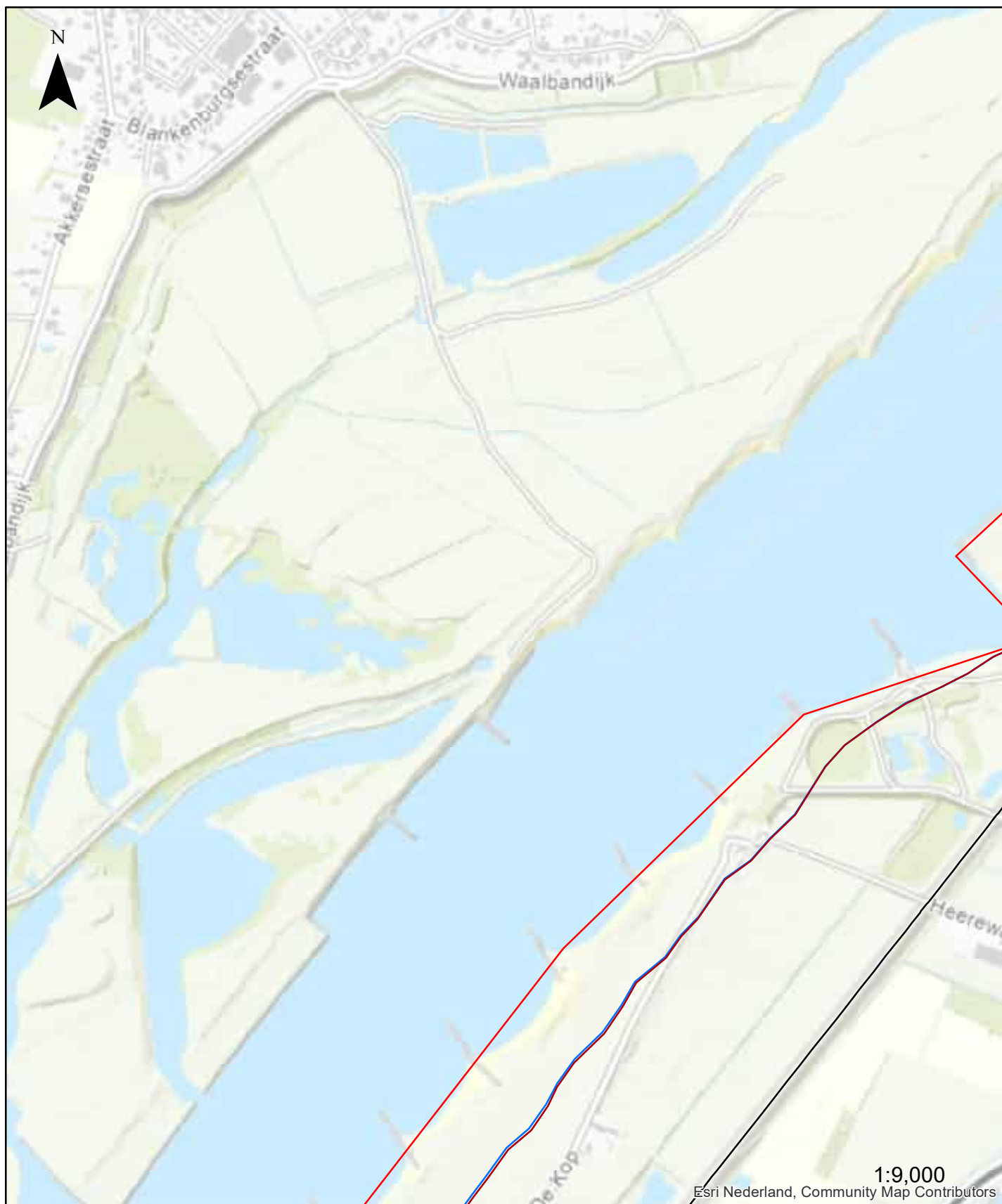




Legenda

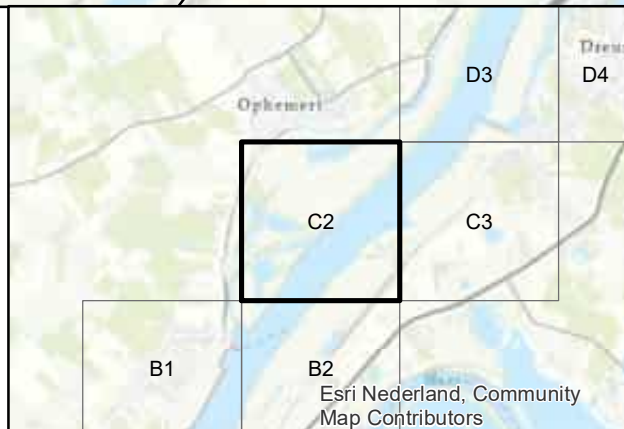
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

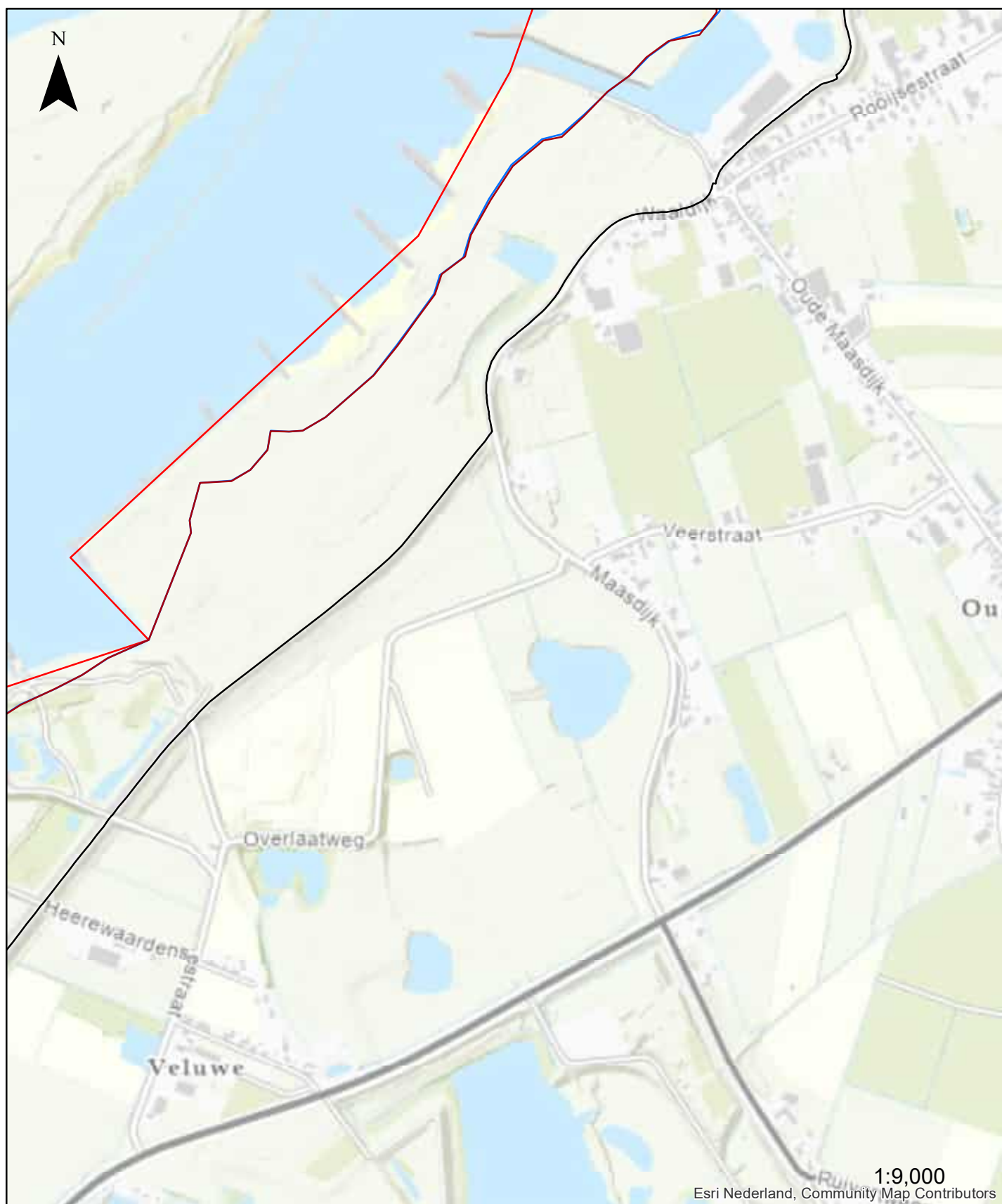




Legenda

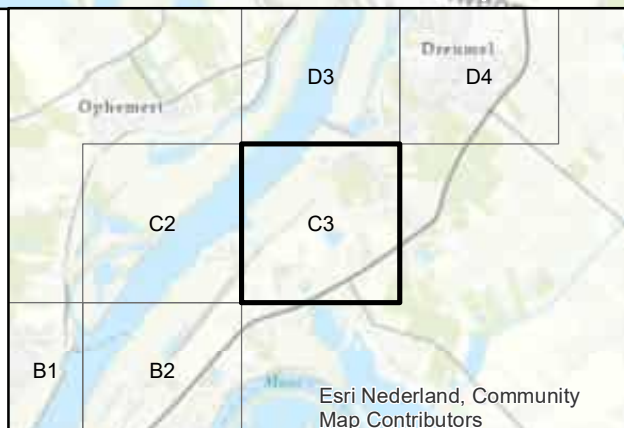
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredpunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredpunt Referentie Lijn
- Winterdijk

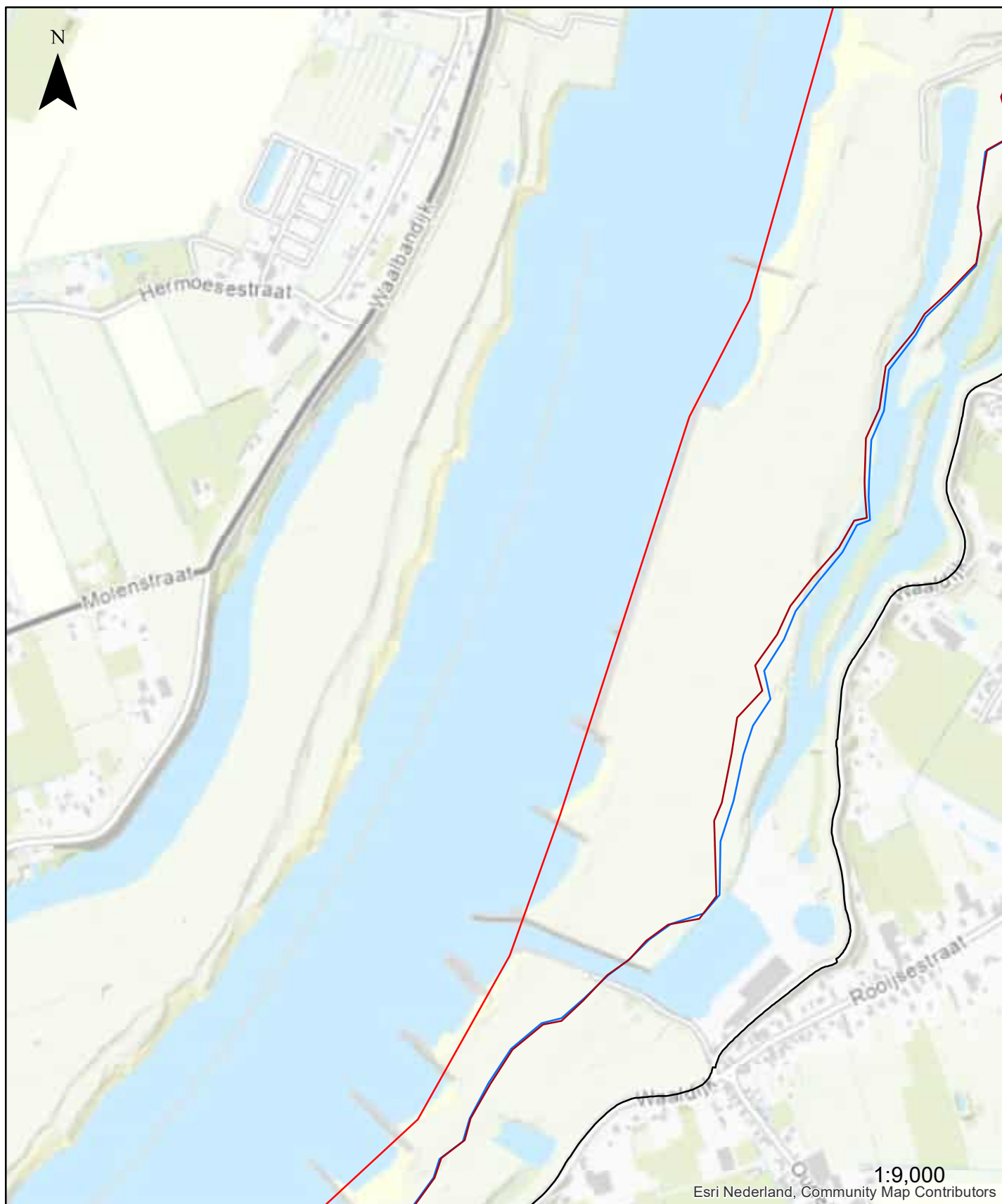




Legenda

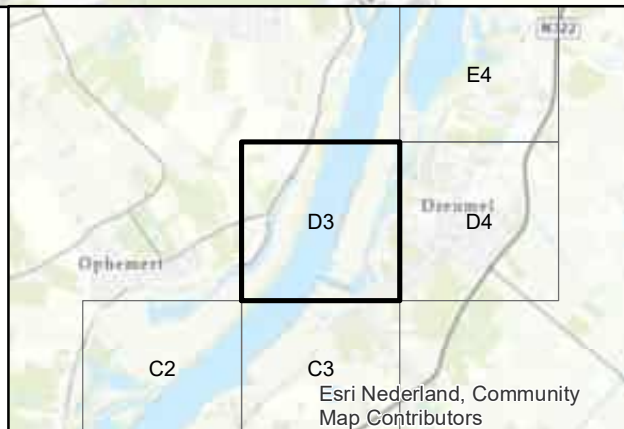
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

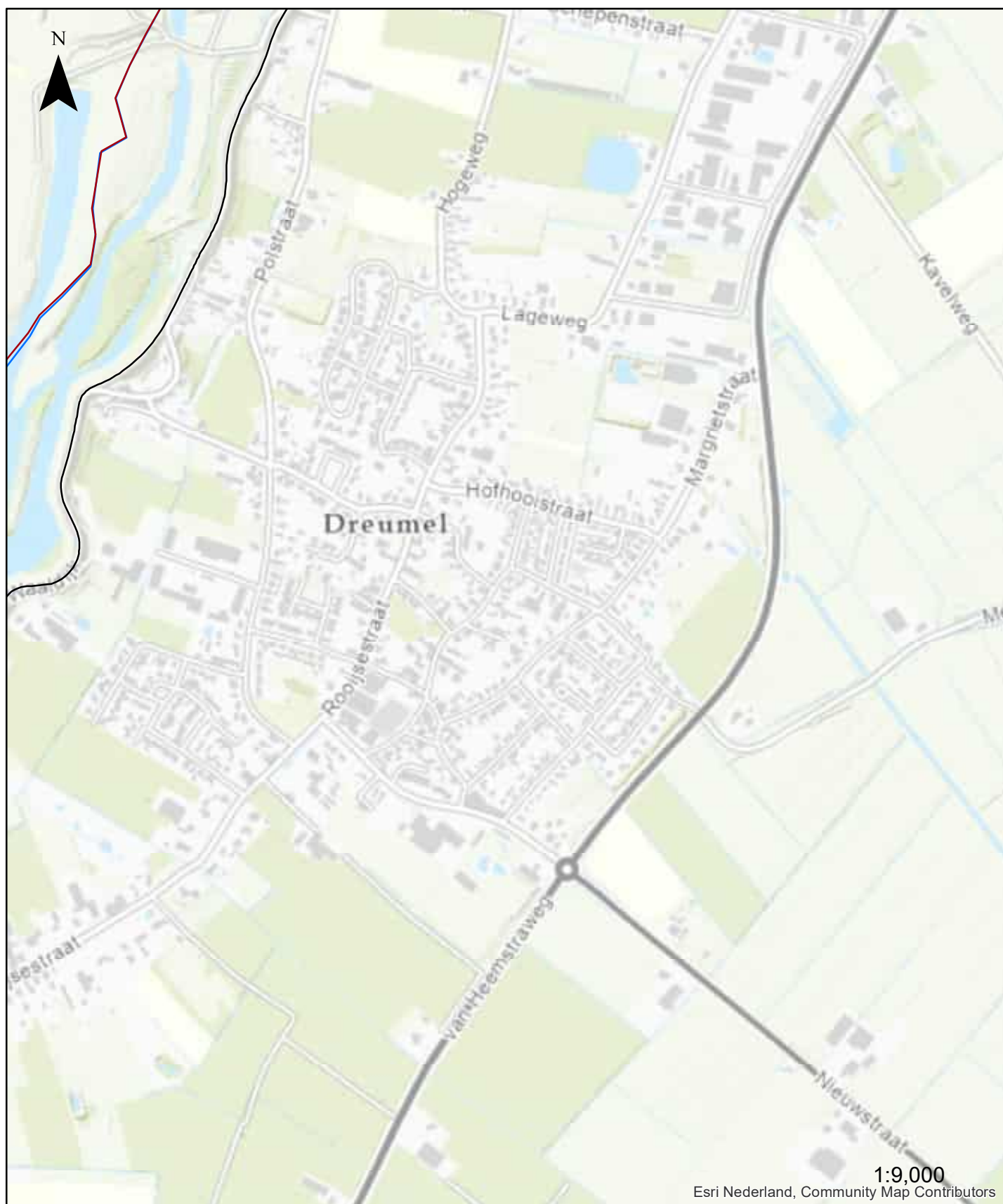




Legenda

- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

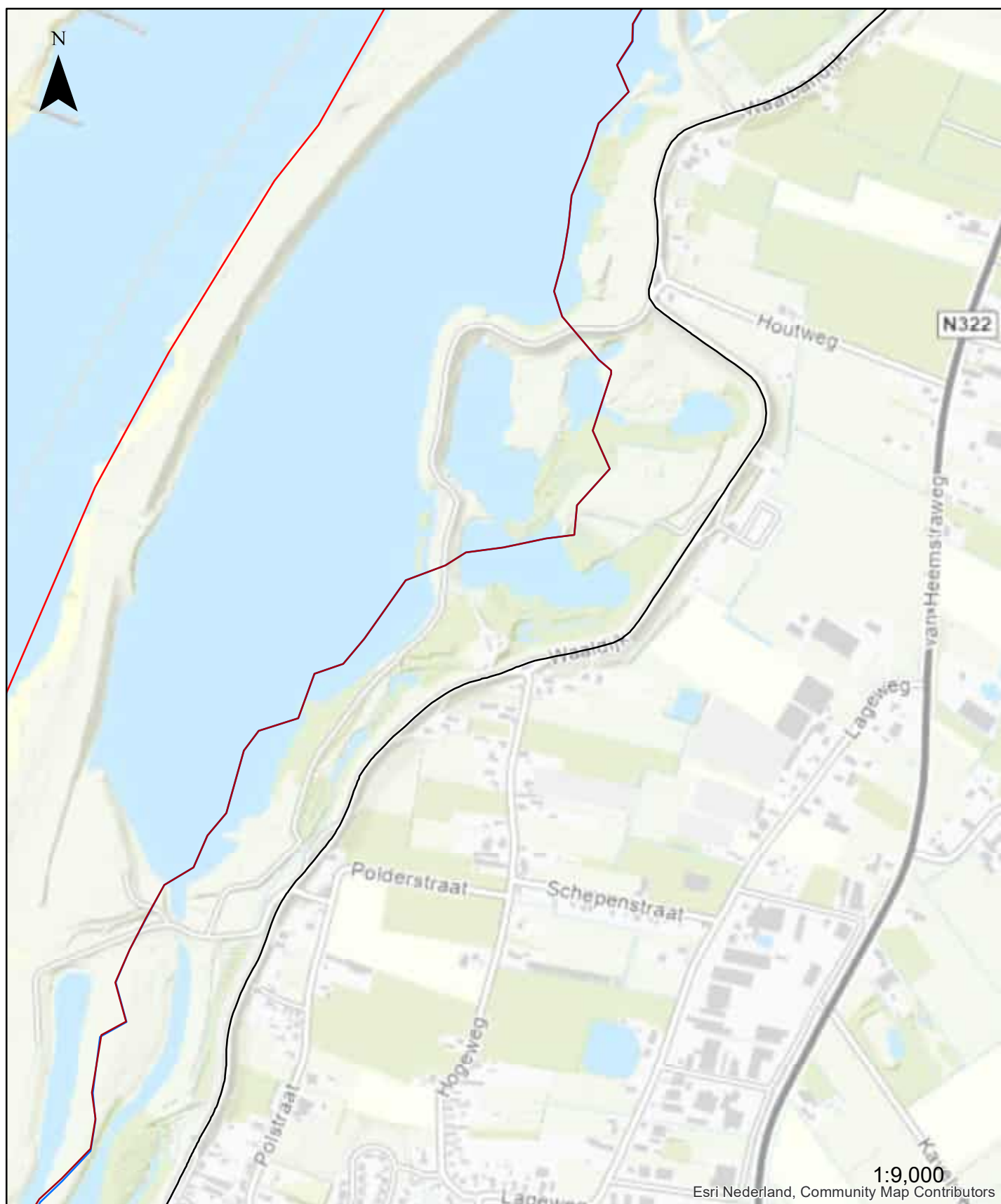




Legenda

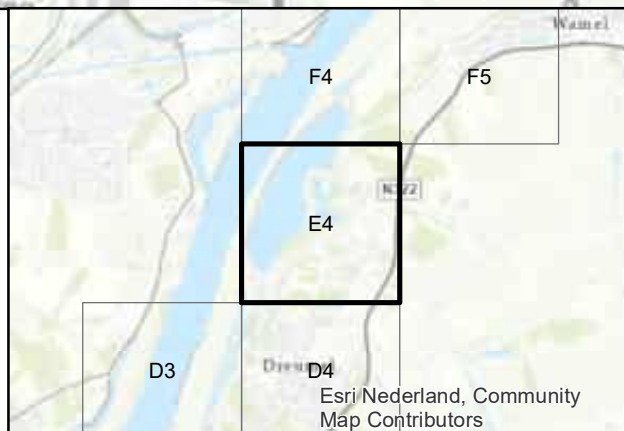
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

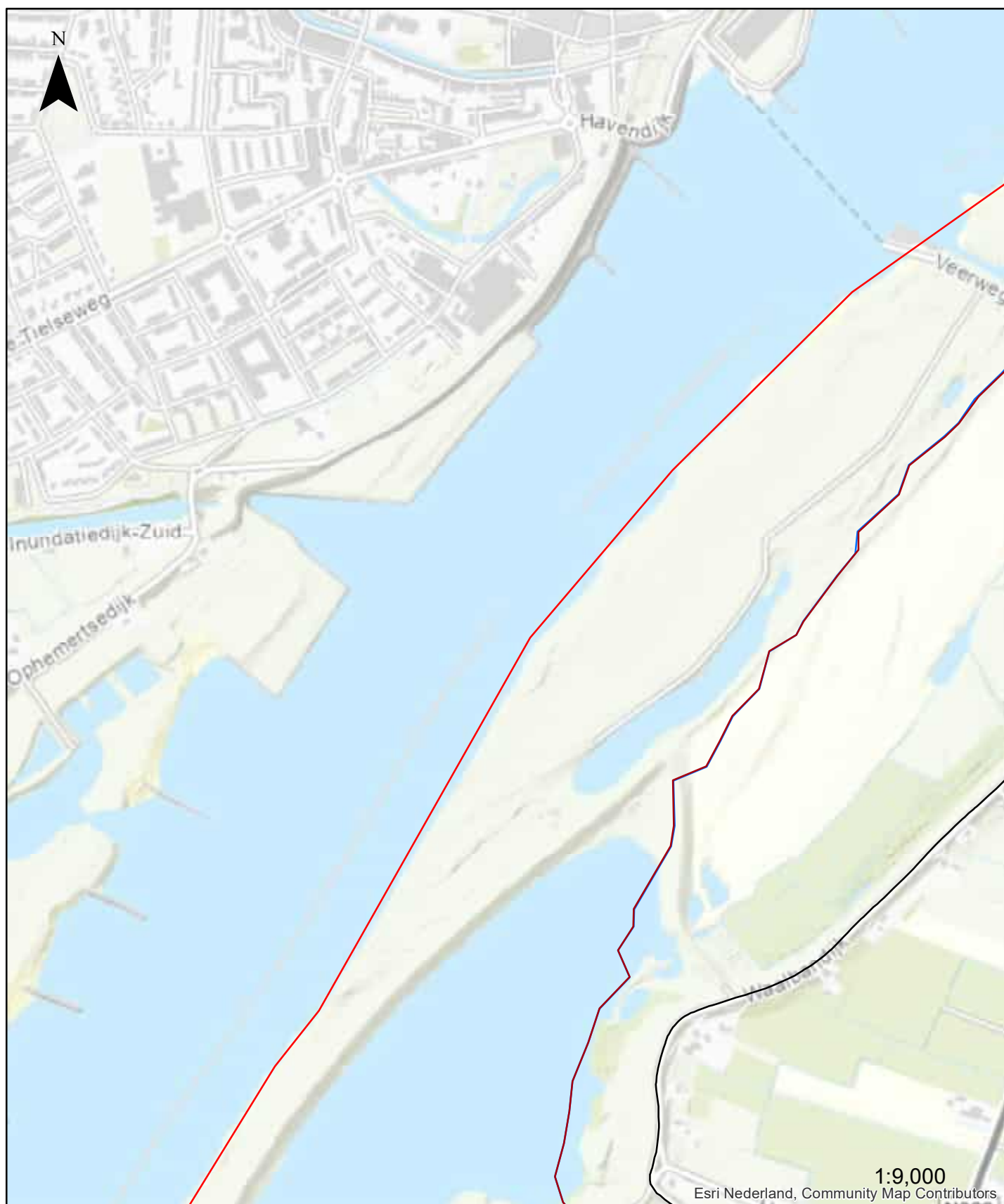




Legenda

- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intreidelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

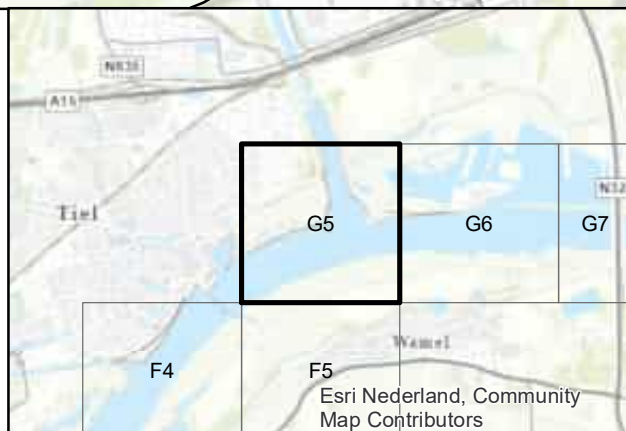
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredpunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredpunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intreidelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk



Technische notitie

Projectnaam	Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden		
Onderwerp	Uitkomsten en (rest)risico's gemeente Maasdriel		
Opdrachtgever	Kragten	Contactpersoon	[REDACTED]
Projectnummer	1120-180419	Documentnummer	TN06 – V1.4
Datum	20-08-2021	Opgesteld door	[REDACTED]
Gecontroleerd door	[REDACTED]	Vrijgegeven door	[REDACTED]

1. Introductie

Fugro voert geohydrologische modelberekeningen uit van het DO 2.0 voor het project Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden (UWDH). Deze technische notitie bevat een samenvatting van de resultaten voor de gemeente West Maas en Waal. Uit de geohydrologische berekeningen blijkt dat het basisontwerp niet voldoet aan de eisen gesteld door de gemeente West Maas en Waal en het waterschap Rivierenland (zie tevens pagina 3) en dat maatregelen noodzakelijk zijn om aan de gestelde eisen te kunnen voldoen. Op basis van de notitie met generieke oplossingsrichtingen (1120-180419-11-TN02 d.d. 15-03-2021) is een selectie gemaakt van in dit gebied haalbare oplossingen.

Voorliggende notitie heeft als doel om toepasbare maatregelen in het gebied van de gemeente Maasdriel aan te dragen en een toelichting te geven op de maatregelen die door Rijkswaterstaat, Kragten en Fugro worden voorgesteld.

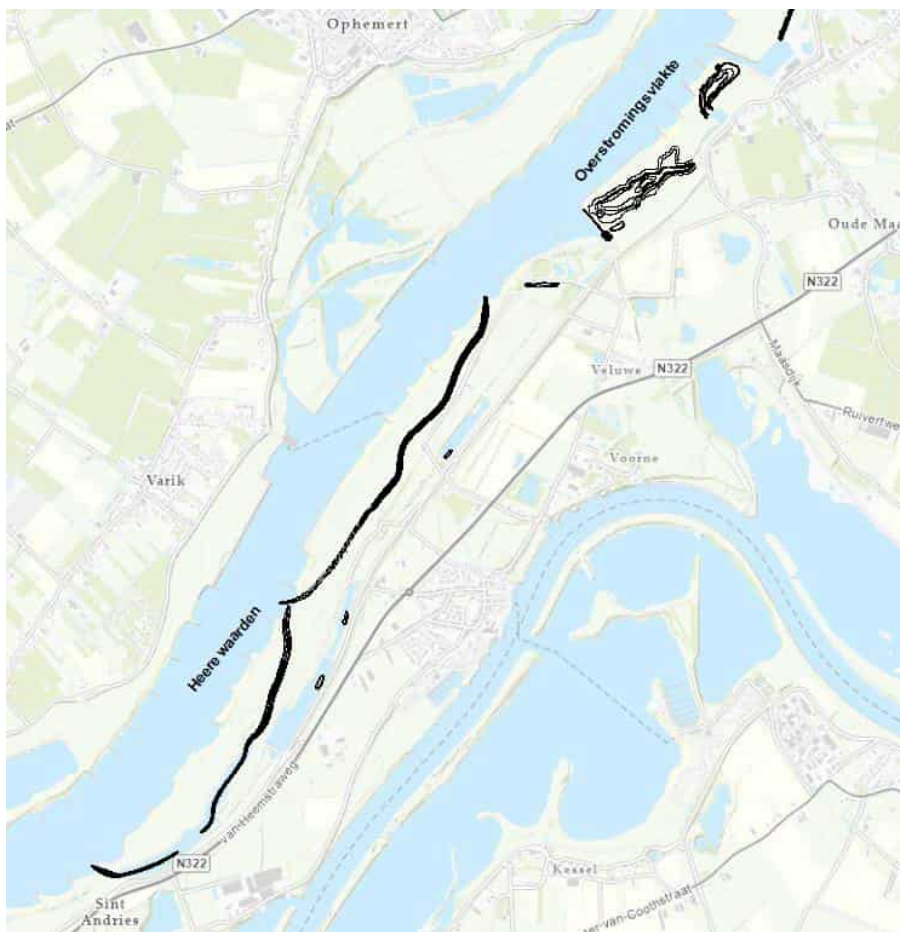
Deze notitie maakt onderdeel uit van een drietal notities:

- 1120-180419-11-R03: Volledige rapportage met daarin de beschrijving van modelwijze, effecten, de risico's en maatregelen voor het gehele projectgebied;
- 1120-180419-11-TN05: Technische notitie met daarin de beschrijving van modelwijze, effecten, de risico's en maatregelen voor de gemeente West Maas en Waal;
- 1120-180419-11-TN06: Technische notitie met daarin de beschrijving van modelwijze, effecten, de risico's en maatregelen voor de gemeente Maasdriel.

De ontgravingscontouren van het DO2.0 ontwerp (d.d. 03-02-2021) zijn weergegeven in figuur 1. In figuur 2 is ingezoomd op het ontwerp gelegen in de gemeente West Maas en Waal.

Naast de ontgravingen in figuur 1 wordt ook een wijziging van het peilbeheer voorzien in het gebied nabij Heerewaarden, weergegeven in figuur 3. Op de weergegeven vlaktes zal door middel van een stuw water worden vastgehouden na hoogwater. Het vastgehouden water zal na afloop van hoogwater langzaam infiltreren in de bodem. De benaming voor deze ingreep





Figuur 2: DO 2.0 gemeente Maasdriel



Figuur 3 - gestuurde overstromingsvlakte

In de basis moet het ontwerp grondwaterneutraal zijn volgens de eisen van het waterschap Rivierenland, de gemeente Maasdriel en de gemeente West Maas en Waal.

Aangezien elke wijziging in een uiterwaarde per definitie niet grondwaterneutraal is en er een onzekerheid in de modelberekeningen zit heeft Waterschap Rivierenland (WSRL) de richtlijn *Richtlijn toetsing kwel en wegzijging* (23 oktober 2003) opgesteld. In de richtlijn worden de volgende eisen met betrekking tot de geohydrologische impact voorgesteld:

- De kwel/wegzijgingsverandering mag maximaal 2% per peilgebied verslechteren ten tijde van een T=10 (herhalingstijd van 10 jaar) hoog- en laagwater situatie en ten tijde van gemiddeld hoog- en laagwater.
- De grondwaterstand mag binnendijks niet met meer dan 5 cm veranderen ten tijde van een T=10 hoog- en laagwater situatie en ten tijde van gemiddeld hoog- en laagwater.

Deze richtlijn wordt gevolgd vanuit het waterschap Rivierenland. De gemeente Maasdriel en de gemeente West Maas en Waal houden vast aan de eis dat het ontwerp grondwaterneutraal moet zijn. Op basis van voorliggende notitie waarin de risico's van een niet grondwaterneutraal ontwerp en de inspanning om de effecten te beperken worden beschreven, wordt in overleg met de gemeenten en bij besluit van de gemeenteraden, gekeken of er, mogelijk onder bepaalde voorwaarden, af kan worden geweken van deze eis.

Voor toetsing op dijkveiligheid is door het waterschap Rivierenland op 07-05-2021 een toetsing voorgesteld op basis van de effectieve kwelweglengte (Richtlijn voor de effectbepaling Waterveiligheid van buitendijkse maatregelen, pre-concept, 05-2021). Het voordeel van deze toetsing is dat het huidige geohydrologische (MORIA) model ook kan worden gebruikt voor toetsing van de eisen m.b.t. dijkveiligheid. Door het waterschap Rivierenland is geëist dat de effectieve kwelweglengte met maximaal 2% mag afnemen ten opzichte van de huidige situatie.

Deze toetsing voor kwel/wegzijging is geschreven op basis van modelsimulaties uit de periode 2000 tot 2015. Deze modelsimulaties zijn uitgevoerd met het regionale grondwatermodel MORIA, versie 4.5, 2020. Conform de richtlijn van het waterschap komen de T = 10 hoog- en laagwater situatie voor in respectievelijk begin 2003 en eind 2003. De toetsing voor dijkveiligheid is, conform de eisen van het waterschap Rivierenland, geschreven op basis van een stationaire modelsimulaties met maatgevend hoogwater op de Waal en Maas.

Tevens is afgesproken dat indien een ontgraving is gelegen in de beschermingszone van een dijk en na ontgraving minder dan 1 meter klei in de deklaag achterblijft dit moet worden aangevuld tot een pakket van 1,5 m dikte vanwege dijkveiligheid. Indien in het ontwerp ontgravingen plaatsvinden in de beschermingszone van de dijk is derhalve altijd minimaal 1 m klei aanwezig.

Opgemerkt wordt dat in deze rapportage wordt gesproken van het aanbrengen van kleidiktes ter voorkoming van geohydrologische invloed. Voor het berekenen van deze kleidiktes is uitgegaan van 100 dagen weerstand per meter klei. De aan te brengen klei zal een groot deel van het jaar onder water liggen (wordt aangebracht in de geulen) waardoor een dergelijke weerstand per meter klei realistisch is. Indien een ander type klei wordt toegepast dient minimaal dezelfde weerstand (in dagen) aan te worden gebracht.

2. Modelopzet

Voor de berekening is gebruik gemaakt van het door Waterschap Rivierenland beschikbaar gestelde regionale grondwatermodel MORIA v4.5 (2020 versie). Dit grondwatermodel draait op iMODFLOW (gebaseerd op MODFLOW 2005 gekoppeld met metaSWAP) en is quasi 3d. Het model heeft vierkante modelcellen met een resolutie van 25 m x 25 m.

Voor het aanleggen van de geulen/sloten/plassen wordt een deel van de deklaag in de uiterwaarde afgegraven. Wanneer uit wordt gegaan van een oppervlakte van de ontgraving gelijk aan de celgrootte van het model (25 m x 25 m) kan de ontgraving worden gemodelleerd door de volgende aanpassingen in de modelcel door te voeren:

- Het wijzigen van de modellaag "natoppervlak" (nat oppervlak in m^2 per modelcel)
- Het wijzigen van de conductance van de rivier in modellaag 1 (reciproke van de infiltratie/drainageweerstand van de rivier [m^2/dag])
- Het wijzigen van de transmissiviteit van modellaag 1 (kD [m^2/dag])
- Het wijzigen van de weerstand van de deklaag (c [dagen])
- Het wijzigen van de bodemhoogte [m NAP]
- Het toevoegen van de geulen aan het modelbestand rivierwaterstanden [m NAP]

Echter, indien het waterlichaam smaller of korter is dan een modelcel (dus niet de hele modelcel bestrijkt) kan het waterlichaam ook voor een deel toegekend worden aan modellaag 2 (in het gebied van de gemeente West Maas en Waal is dat het 1^e watervoerende pakket). Hierbij dient de weerstand in de deklaag en de transmissiviteit van modellaag 1 niet te worden gewijzigd. Deze werkwijze is toegepast in de verbeterde deelmodellen van Alm en Biesbosch, Bommelerwaard en Lek, Linge en Tielerwaard. Opgemerkt wordt dat deze manier van modelleren normaliter wordt gebruikt voor binnendijkse smalle (kavel)sloten. Deze modelleringsmethode is besproken en goedgekeurd door het waterschap Rivierenland en is gangbaar bij relatief smalle oppervlaktewaterlichamen.

Omdat een aantal van de aanpassingen in het ontwerp vrij smal zijn, is er in overleg met WSRL voor gekozen om de schematiseringswijze van de verbeterde deelmodellen te hanteren. Hiervoor is in het bestaande model MORIA V4.5. (2020 versie) een nieuwe rivierlaag toegevoegd die verbinding maakt met modellaag 2. De conductance (reciproke van de weerstand) voor deze rivierlaag is (conform de werkwijze van de verbeterde deelmodellen) gelijk aan:

$$Conductance_{L2} = \frac{A_{nat}}{C_{i/d} + (D_d * 100)}$$

Waarbij:

A_{nat} = natoppervlak binnen de cel [m^2]

$C_{i/d}$ = intrede/uittreeweerstand [dagen] = 0.5 * intrede/uittreeweerstand in laag 1.

D_d = resterende dikte van de deklaag [m]

Voor de resterende kleilaag is een weerstand van 100 dagen per meter klei aangehouden. Deze weerstand van 100 dagen per meter is gekozen op basis van eerder onderzoek uitgevoerd door Witteveen en Bos (geohydrologisch onderzoek uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden, 2016) en is op basis van ervaring gebruikelijk voor klei. Daarnaast is de intrede/uittreeweerstand in modellaag 2 de helft van de intrede/uittreeweerstand in modellaag 1. Deze vermenigvuldiging met factor 0,5 komt overeen met voorgaande studies bij de verbeterde deelmodellen in MORIA en is noodzakelijk om een overschatting van het infiltratie en drainage-debiet te voorkomen (betreft een kalibratiefactor).

Tevens is in de uiterwaarde de bodemopbouw aangepast op basis van geofysische metingen en een eerdere studie naar kleidiktes in het gebied. Vrijwel het gehele buitendijkse deel van het projectgebied is geofysische bemeten. De uitkomsten van deze geofysische metingen zijn toegevoegd aan het MORIA v4.5 (2020) model. Op locaties waar geen geofysische metingen hebben plaatsgevonden is aanvullend gebruik gemaakt van een kleidikte kaart (DLO – Landinrichtingsgebied uitbreiding Maas en Waal, rapport 589, kaart 3, blad 1 en 2).

Voorafgaand aan het invoeren van het ontwerp is de referentiesituatie (het huidige MORIA V4.5 (2020 versie)) gecontroleerd. Voor de referentiesituatie zijn enkele aanpassingen aan MORIA V4.5 (2020 versie) gedaan. Deze aanpassingen zijn:

- het toevoegen van een aantal missende sloten in de uiterwaarde;
- het toevoegen van een zandwinplas aan de Maaszijde;
- Het wijzigingen van de deklaagdikte op basis van geofysische metingen en de kleidikte kaart;
- het wijzigen van de modelschematisering voor bestaande sloten/geulen in de uiterwaarde naar de beschreven schematisering met een conductance in modellaag 2.

Vervolgens is het ontwerp van UWDH in het referentiemodel ingevoerd en zijn voor beide scenario's (referentie en UWDH) instationaire modelberekeningen voor de periode 2000-2003 gemaakt. Het jaar 2003 kenmerkt zich met een periode van extreem laagwater en extreem hoogwater en is zodoende geschikt voor het doorrekenen van de T=10 hoogwater en T=10 laagwater scenario's. Binnen het werkgebied van het waterschap Rivierenland is het gebruikelijk om om het jaar 2003 te hanteren voor toetsingen zoals deze. Voorafgaand aan het uitvoeren van de berekeningen is het gebruik van het jaar 2003 voor de T = 10 hoog- en laagwater situaties is besproken met, en akkoord bevonden door, het waterschap Rivierenland. De verschillen tussen de uitkomsten van het referentiescenario en UWDH voor

het T=10 hoogwater scenario en T=10 laagwaterscenario zijn vervolgens berekend en beschouwd.

Samengevat is voor de modelberekening het volgende aangepast:

- De modellaag natoppervlak (nat oppervlak in m^2 per modelcel)
- De conductance van de rivier in laag 1 (reciproke van de infiltratie/drainageweerstand van de rivier [m^2/dag])
- Het toevoegen van een nieuwe river package (onderdeel van MORIA model) in laag 2 met conductance volgens opgegeven formule [m^2/dag]. Deze wijziging is ook gedaan voor de referentiesituatie daar waar al sloten/geulen aanwezig zijn in de uiterwaarde.
- Het wijzigen van de bodemhoogte [m NAP]
- Het toevoegen van de geulen en strangen aan het modelbestand rivierwaterstanden [m NAP]

3. Resultaten

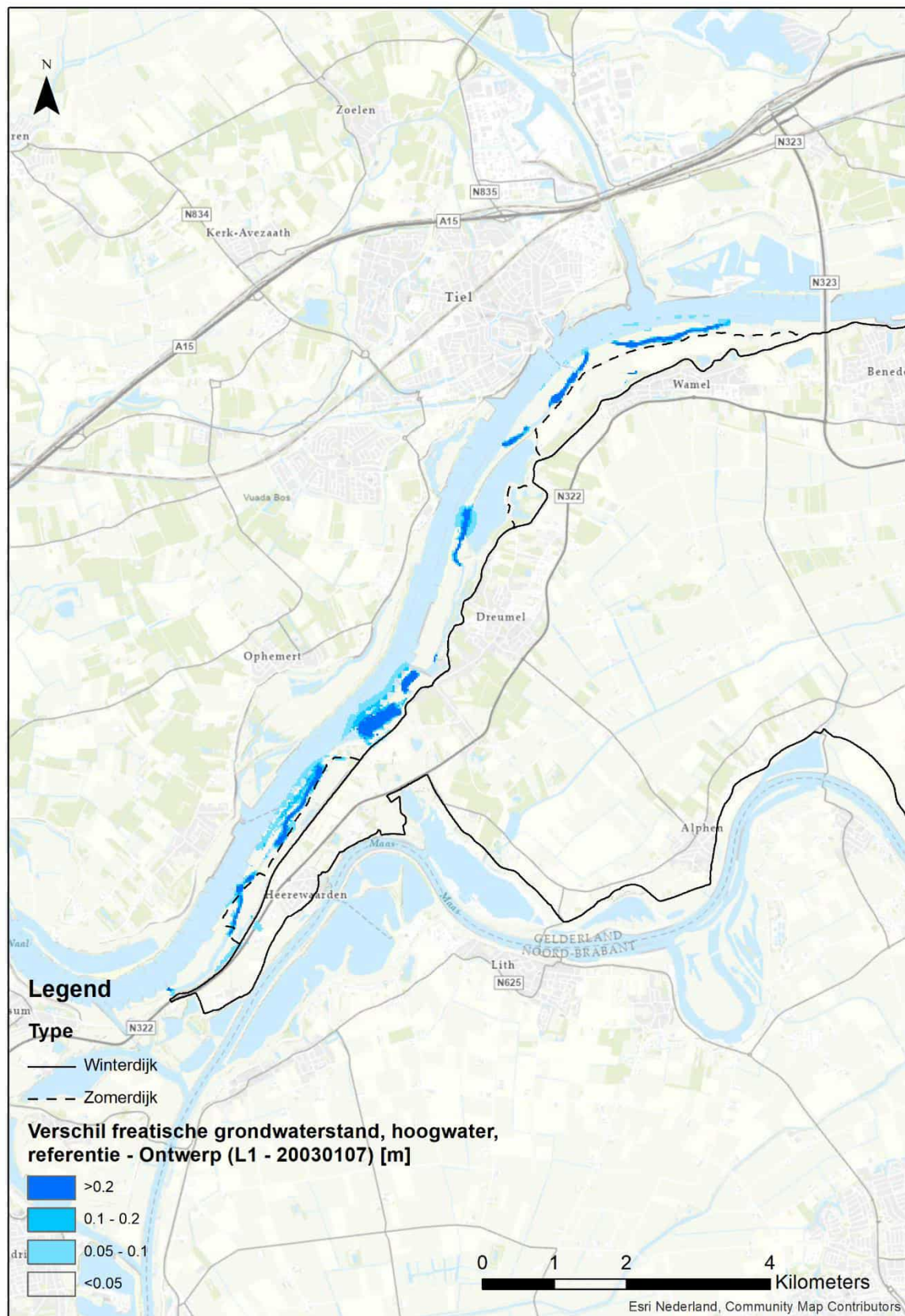
In dit hoofdstuk zijn in paragraaf 3.1 de modelresultaten van de T = 10 hoog- en laagwatersituatie beschreven. Tevens is in paragraaf 3.2 een toelichting gegeven op de risico's die gepaard gaan bij de berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen en de berekende kwel/wegzijgingsveranderingen.

3.1 Modeluitkomsten

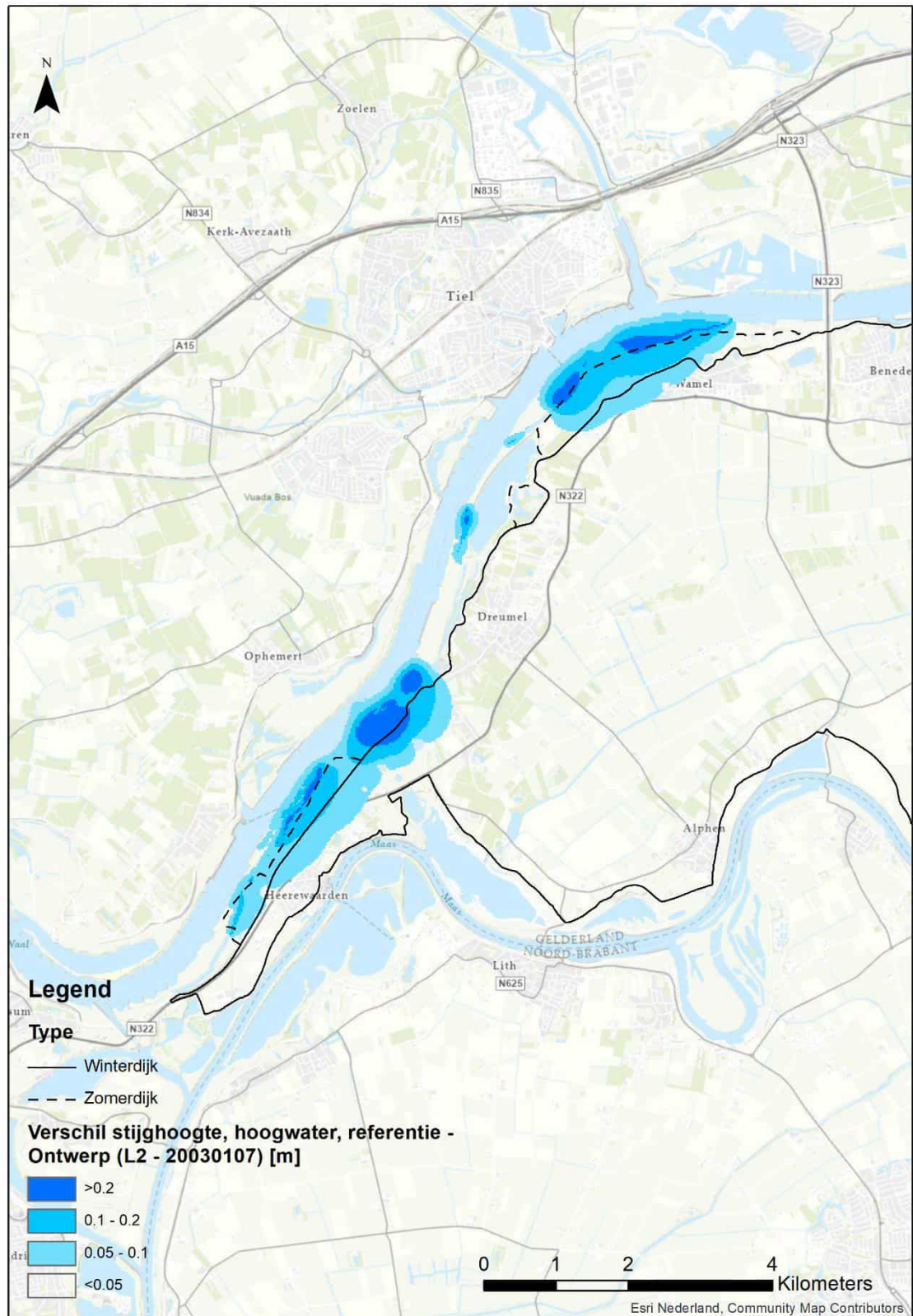
In deze paragraaf zijn de verschillen tussen de referentiesimulatie en de simulatie met het ontwerp weergegeven. Deze paragraaf is opgesplitst in 2 onderdelen, namelijk de toetsing op grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen en de toetsing op kwel/wegzijgingsveranderingen.

3.1.1 Grondwaterstand/stijghoogte

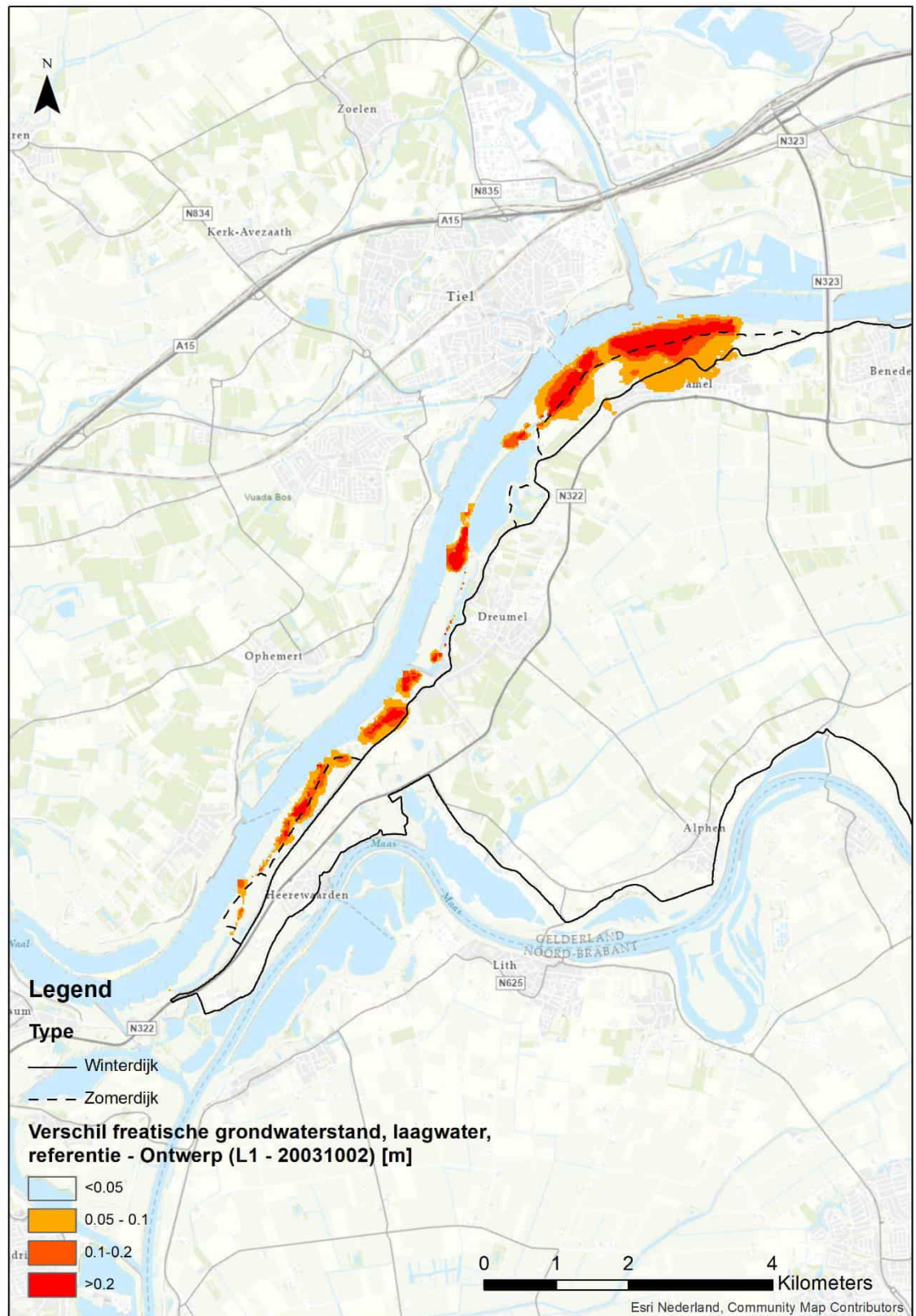
De uitkomsten voor T=10 natte zijn weergegeven in figuur 1 en figuur 2. De uitkomsten voor de T=10 droge situatie zijn weergegeven in figuur 3 en figuur 4. Hierbij is blauw een vernatting en rood/oranje een verdroging ten opzichte van de referentiesituatie bij T=10.



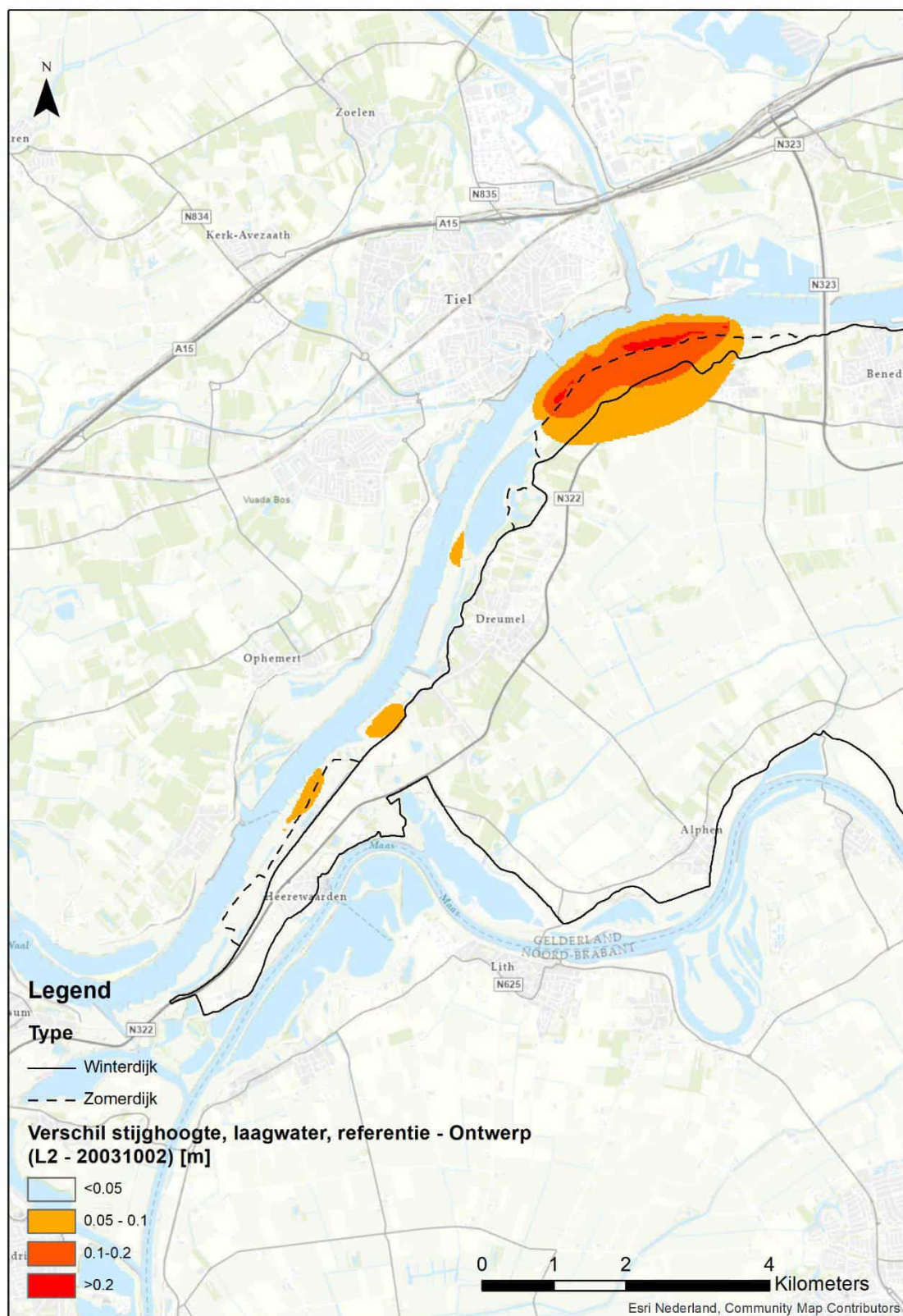
Figuur 4: Vershil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie



Figuur 5: Vershil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie



Figuur 6: Verschil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 laagwatersituatie



Figuur 7: Verschil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 laagwatersituatie

Een samenvatting van de resultaten van de ontgravingen gelegen in de gemeente Maasdriel is weergegeven in tabel 1.

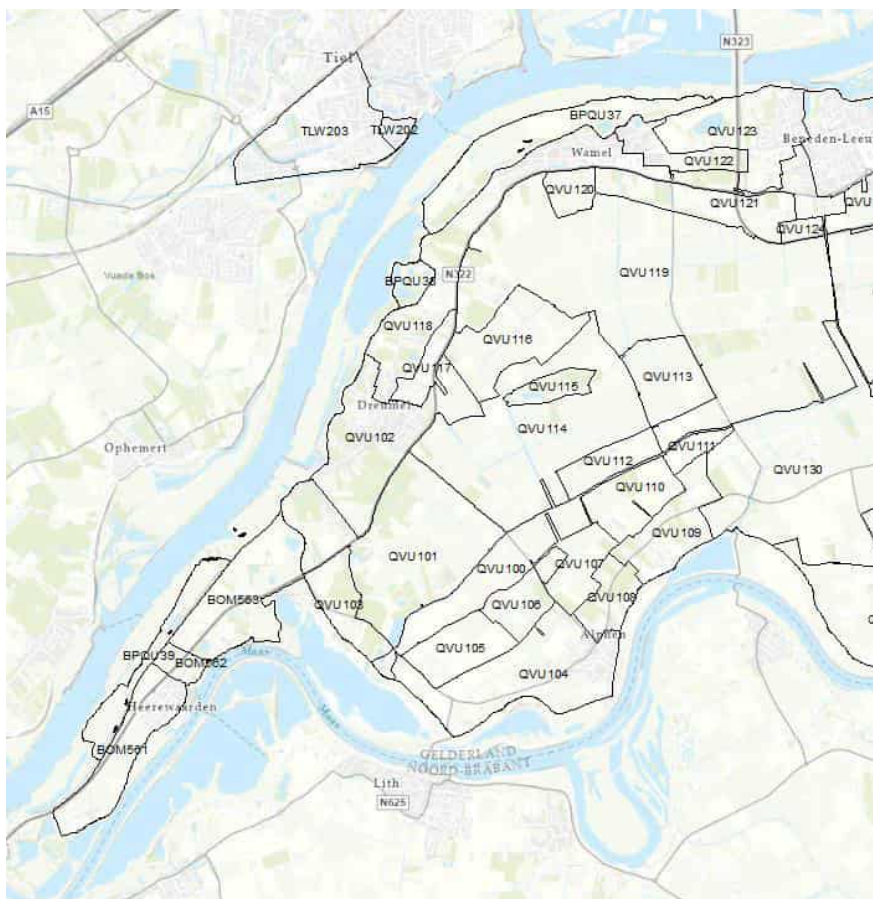
Tabel 1: Uitkomsten modellering UWDH

Locatie	Binnendijkse verandering hoogwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Binnendijkse verandering laagwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]
Overstromingsvlakte	<5 / 5 à 30	5 / ≤5*
Gestuurde overstromingsvlakte	<5 / <5	<5 / <5
Varik	<5 / 5 à 10	<5 / ≤5
Heerewaarden	5-6 / 5	<5 / ≤5

Uit tabel 1 blijkt dat er grondwaterstandsverandering en stijghoogteverandering optreden, waarmee niet voldaan wordt aan de eisen van de gemeente Maasdriel met betrekking tot grondwaterneutraal ontwerpen. Lokaal is de grondwaterstandsverandering tevens groter dan 5 centimeter waardoor ook niet wordt voldaan aan de richtlijnen van het waterschap Rivierenland, derhalve zijn maatregelen noodzakelijk, zie hoofdstuk 4.

3.1.2 Waterbalans

Om te toetsen of er sprake is van een significante verandering in kwel/wegzijging, is er voor de twee modellen (referentie en UWDH) een waterbalans opgesteld. In de waterbalans is de hoeveelheid kwel/wegzijging per peilgebied bepaald. De peilgebieden zijn weergegeven in figuur 8.



Figuur 8: Peilgebieden UWDH

De verschillen in kwel en wegzijging (percentages en m³/dag) voor de meest nabijgelegen gelegen peilgebieden in de gemeente Maasdiel zijn weergegeven tabel 2. Indien in de meest nabijgelegen peilgebieden wordt voldaan aan de eis dan zal dat in de overige peilgebieden ook het geval zijn. Indien niet wordt voldaan in de meest nabijgelegen peilgebieden zal een ingreep noodzakelijk zijn waardoor toetsen aan verder gelegen peilgebieden niet noodzakelijk wordt geacht. Positieve waarden betekenen een toename aan kwel en negatieve waarden een toename aan wegzijging.

Tabel 2: Uitkomsten waterbalans

Peilgebied	Kwel/wegzijgingsverandering in hoogwater situatie [% en m ³ /dag] (Wateropgave om aan 2% te voldoen)	Kwel/wegzijgingsverandering in laagwater situatie [% en m ³ /dag] (Wateropgave om aan 2% te voldoen)
BOM563	10% 755 (604)	0,7% -25
BOM562	2,2% 20 (2)	1,0% -5
BOM561	0,9% -60	1,4% -22

Uit tabel 2 blijkt dat niet wordt voldaan aan de door het waterschap Rivierenland gestelde eis betreffende maximaal 2% kwelverandering.

3.2 Risico's

In tabel 3 is een samenvatting gegeven van de voorziene risico's als gevolg van het wijzigen van de geohydrologische situatie voor het gebied van de gemeente Maasdriel. Dit zijn de risico's **zonder dat er maatregelen** zijn getroffen. In bijlage A is per onderdeel een algemene beschrijving gegeven en een nadere toelichting op de risico's voor de gemeente Maasdriel gegeven.

De risicobeschrijving voor de gemeente Maasdriel is opgesplitst in 2 deelgebieden (zie ook figuur 1 en figuur 2)

- Deelgebied overstromingsvlakte: Dit betreft het gebied rondom de overstromingsvlakte.
- Deelgebied Heerewaarden: Dit betreft het gebied rondom de geulen Heerewaarden en Varik.

De gestuurde overstromingsvlakte zorgt binnendijks tijdens een T=10 hoog- en laagwater niet voor een verandering van de geohydrologische situatie omdat er niet, of nauwelijks, gegraven wordt voor deze overstromingsvlakten en deze overstromingsvlakten in de huidige situatie tijdens het T = 10 hoogwater al volledig geïnundeerd is en tijdens het T = 10 laagwater volledig droog zal staan. Het vasthouden van water in de overstromingsvlakte na afloop van het hoogwater heeft wel effect op het uitzakken van de grondwaterstand/stijghoogte, echter is de waterdiepte in de gestuurde overstromingsvlakte zo gekozen dat er geen overlast zal ontstaan aan de binnendijkse zijde en zal het water pas worden vastgehouden vanaf het niveau dat geen hinder kan ontstaan. Vanwege het uitblijven van effecten is de gestuurde overstromingsvlakte niet beschreven in deze rapportage.

Opgemerkt wordt dat de beschreven risico's enkel gelden voor het binnendijkse gebied. In het buitendijkse gebied kunnen de effecten anders zijn, zie bijlage B.

Tabel 3: Samenvatting risico's ontwerp UWDH

Risico	Situatie	Overstromingsvlakte	Heerewaarden
Bebouwing	Hoogwater	Geen risico voorzien	Lokaal toename risico op wateroverlast
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Infrastructuur	Hoogwater	Geen risico voorzien	Lokaal risico op schade aan Van Heemstraweg
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Natuur/groen	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Agrarisch landgebruik	Hoogwater	Geen risico voorzien	Lokaal risico op natschade
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Dijkveiligheid	Hoogwater	Overschrijding van afname effectieve kwelweglengte	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien

Risico	Situatie	Overstromingsvlakte	Heerewaarden
Overig (WKO, onttrekkingen, archeologie)	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Wateriaanvoer/afvoer	Waterafvoer	Maatregelen noodzakelijk vanwege grote toename debiet	Maatregelen noodzakelijk vanwege beperkte toename debiet
	Wateriaanvoer	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien

Geconcludeerd wordt dat op basis van de risicoanalyse maatregelen noodzakelijk zijn, met name voor de lokale risico's langs de Van Heemstraweg en de toename van het afvoerdebiet ten tijde van de T = 10 hoogwatersituatie bij de overstromingsvlakte en Heerewaarden.

4. Maatregelen

In dit hoofdstuk worden in paragraaf 4.1 de meest kansrijke maatregelen per deelgebied gepresenteerd. Deze kansrijke maatregelen zijn tot stand gekomen op basis van berekeningsresultaten en verschillende overleggen met de betrokken partijen. Tevens wordt inzage gegeven in de resterende effecten (paragraaf 4.2) en bijbehorende restrisico's op basis van de eerder genoemde risico's (paragraaf 4.3) Daarnaast worden in 4.4 kort de nog te onderzoeken punten beschreven.

In het ontwerp worden zoveel als mogelijk maatregelen opgenomen om zo dicht mogelijk bij de eisen van het Waterschap Rivierenland en de Gemeente Maasdriel te komen.

De in dit hoofdstuk beschreven maatregelen, in combinatie met de opsomming van resteffecten en restrisico's, worden voorgesteld om vast te stellen of van de gestelde eis (compleet grondwaterneutraal) kan worden afgeweken.

4.1 Maatregelen

4.1.1 Overstromingsvlakte

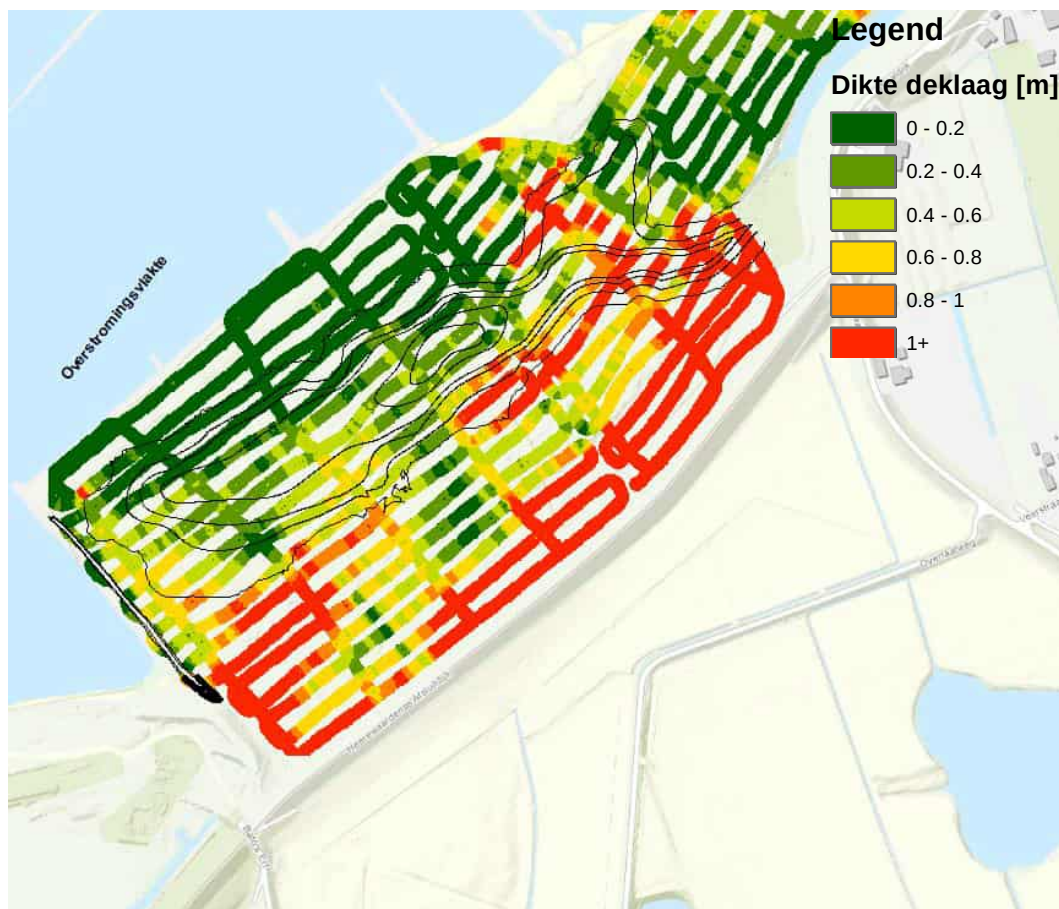
Uit hoofdstuk 3.2 en bijlage A kan geconcludeerd worden dat de overstromingsvlaktes enkel risico opleveren voor de toename van kwel wat naar voren komt als een extra debiet in de watergangen.

Voor de overstromingsvlakte wordt voorgesteld om een minimale weerstand aan te brengen in combinatie met het bergen van oppervlaktewater gelijk aan de berekende toename van de kwel. Deze combinatie van maatregelen neemt de risico's van de ingreep bij de overstromingsvlakte weg en is het meest doelmatig vanwege de inspanning (zowel in uitvoering als financieel) die vereist is bij het aanbrengen van meer klei in de overstromingsvlakte.

In de zuidelijke overstromingsvlakte dient omwille van dijkveiligheid dezelfde hoeveelheid weerstand te worden aangebracht als er aanwezig is in de huidige situatie. Voor de huidige kleilaagdikte kunnen de geofysische metingen uit het geofysisch onderzoek gebruikt worden. De vertaling van geofysische metingen naar bodemlagen is gebeurt op basis van een aantal

handboringen in het gebied. In de zuidelijke overstromingsvlakte kan worden uitgegaan van een kleilaagdikte van ca. 60 cm, zie figuur 9. Deze 60 cm dient integraal te worden aangebracht op/onder de bodem van de zuidelijke overstromingsvlakte. Uitzondering hierop zijn de delen die in een beschermingszone liggen, hiervoor geldt dat indien er na de ontgraving minder dan 1 meter klei aanwezig blijft de deklaag minimaal moet worden aangevuld tot een pakket van 1,5 m klei.

Opgemerkt wordt dat op verzoek van het waterschap Rivierenland de dikte van deklaag tevens geverifieerd is op basis van een aantal handboringen uit het DINO-loket. Hieruit blijkt dat de aangehouden dikte van de deklaag op basis van de geofysische metingen ordegrrootte hetzelfde is als aangetroffen in de handboringen.

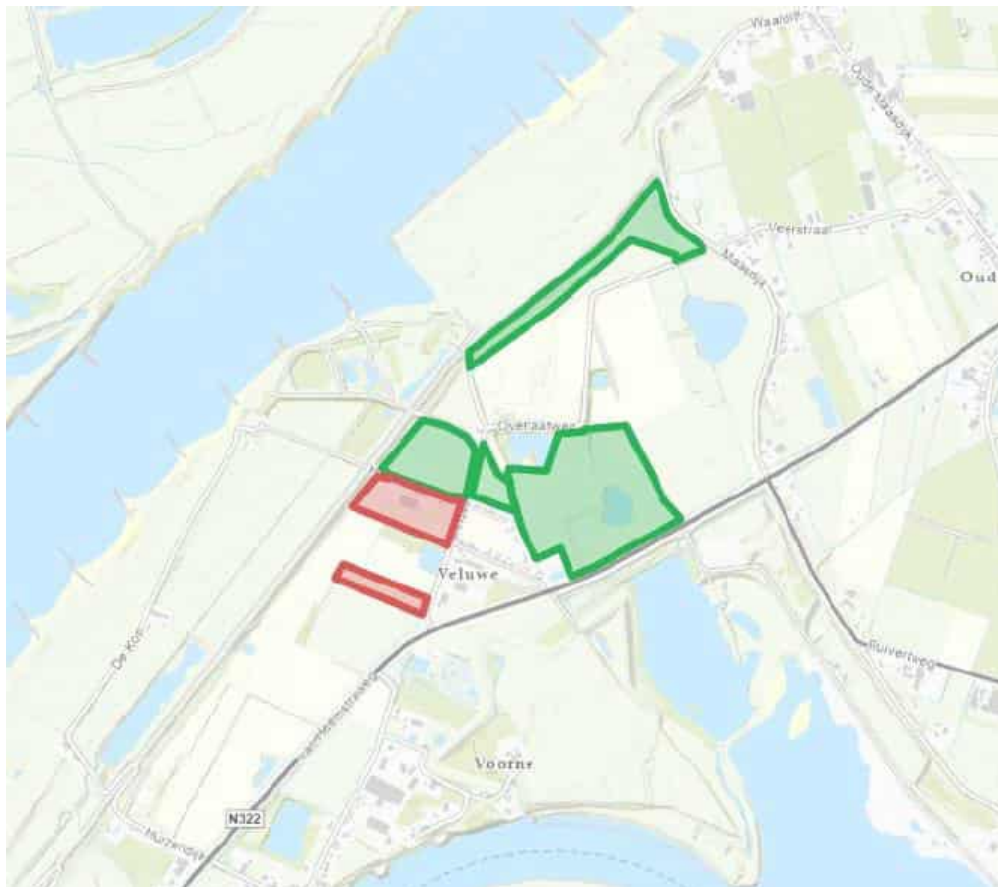


Figuur 9: Aanwezige deklaagdikte zuidelijke overstromingsvlakte

Na het aanbrengen van klei blijft een toename van het afvoerdebiet van 430 m³/dag over. Volgens de richtlijnen van het Waterschap Rivierenland dient uit te worden gegaan van een hoogwatergolf van 10 dagen, dat wil zeggen dat er 4.300 m³ geborgen zou moeten worden in het gebied om de toename te compenseren. Binnen het gebied zijn meerdere percelen in eigendom van Staatsbosbeheer (figuur 10) en is het mogelijk om deze hoeveelheid water tijdelijk te bergen en vervolgens geleidelijk af te voeren naar het oppervlaktewater of te infiltreren. De exacte uitwerking van de bergingslocatie wordt nader uitgewerkt in een aanvullende notitie.

Naast de berging die voortkomt uit de toename van het afvoerdebiet van BOM563 kan ook de toename van het afvoerdebiet uit BOM562 (gemeente Maasdriel) gecompenseerd worden in dezelfde berging. Dit is noodzakelijk omdat er geen eigen grond beschikbaar is in peilgebied BOM562 en enkel het peilgebied BOM563 bovenstrooms is gelegen voor de afvoer van kwelwater. De berekende toename van afvoerdebiet van BOM562 is 20 m³/dag. De te bergen hoeveelheid water uit BOM562 bedraagt derhalve 200 m³. De totale hoeveelheid te bergen water in het gebied van figuur 9 bedraagt daardoor 4.500 m³.

Een aandachtspunt is het aan- en afvoeren van water naar de bergingsgebieden. De exacte details met betrekking tot wateraanvoer en afvoer worden nader uitgewerkt in overleg met het waterschap Rivierenland. Ten tijde van het schrijven van voorliggend rapport is voorgesteld om waterberging toe te passen nabij Bato's erf omdat deze percelen gelegen zijn aan een afvoerroute volgens de legger van het waterschap Rivierenland.

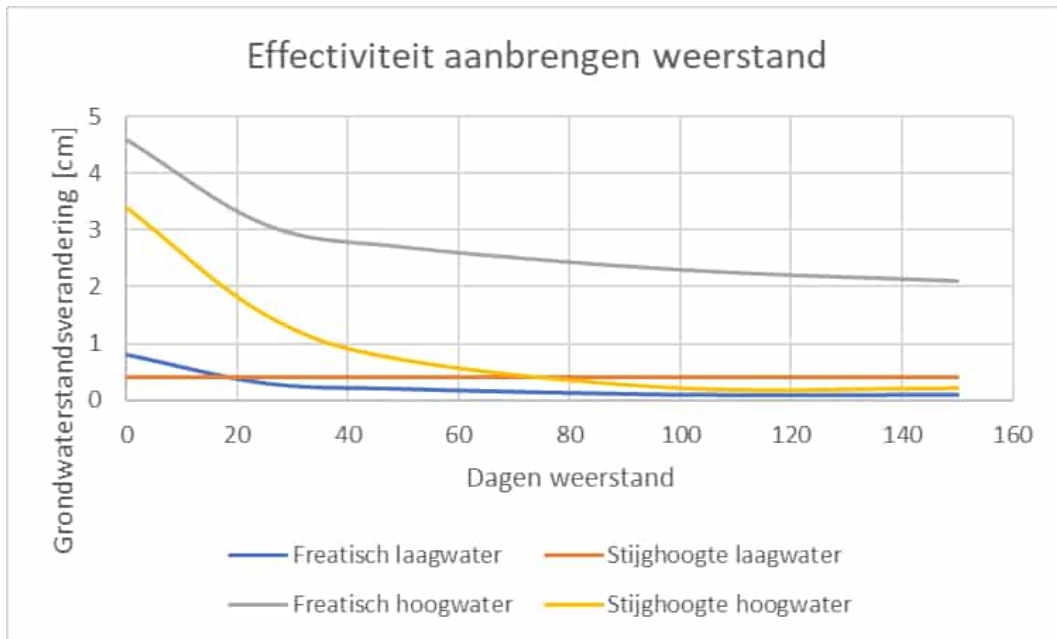


Figuur 10: Eigendom en mogelijkheid tot bergen

4.1.2 Heerewaarden

Lokaal worden bij Heerewaarden risico's verwacht voor infrastructuur, bebouwing en agrarisch landgebruik als gevolg van lokale vernatting. Voor overige omgevingsaspecten (zie bijlage A.1) werden geen risico's verwacht. De beschreven lokale risico's kunnen ondervangen worden door het aanbrengen van 25 dagen weerstand (25 cm) klei in het nieuw te graven deel van de zuidelijke geul. De lokale vernatting neemt dan af tot ≤ 3 cm grondwaterstandsverhoging en ≤ 2 cm stijghoogteverhoging. Bij dergelijk kleine

veranderingen (modelmatig) worden geen risico's meer verwacht (dit valt eveneens binnen de toegestane marges in de richtlijn van het waterschap).



Figuur 11: Effectiviteit aanbrengen weerstand locatie Heerewaarden

Zoals zichtbaar in figuur 11 is er een omslagpunt waarbij het aanbrengen van extra weerstand voor de laagwatersituatie nauwelijks effecten meer sorteert. Dit omslagpunt ligt bij ca. 20 à 40 dagen weerstand. Het aanbrengen van 150 dagen weerstand (1,5 m klei) in plaats van 25 dagen weerstand (0,25 m klei) heeft nog ca. 1 cm invloed op de berekende verlaging van de grondwaterstand en stijghoogte.

Geconcludeerd wordt dat het aanbrengen van meer dan 25 dagen weerstand (25 cm klei) een onevenredig grote inspanning vergt die geen noemenswaardige reductie van effecten meer oplevert. Bovendien is geconcludeerd dat er geen risico meer verwacht wordt voor de bebouwing, infrastructuur en agrarisch landgebruik na het aanbrengen van 25 cm klei.

Daarnaast wordt een toename van 2,2% in het kweldebiet berekend in BOM562. Deze toename wordt beperkt tot 1,7% door het aanbrengen van 25 dagen weerstand (25 cm klei) of is te bergen op percelen van Staatsbosbeheer. In dat geval moet 20 m³/dag, in 10 dagen dus 200 m³ totaal geborgen worden op één van de percelen. Ten tijde van schrijven wordt voorzien dat berging van deze 200 m³ water plaatsvindt op dezelfde locatie als de berging voor de overstromingsvlakte omdat deze bovenstrooms is gelegen van de afvoerroute van het kwelwater van BOM562 en BOM563. Hierbij gaat de voorkeur van de bergingslocatie uit naar de percelen rond Bato's erf, zie ook figuur 10.

Opgemerkt wordt dat de berging voor BOM563 (deels overstromingsvlakte en deels Heerewaarden) beschreven is in 4.1.1.

4.2 Modeluitkomsten

In tabel 4 is een samenvatting gegeven van de resteffecten (grondwaterstands-/stijghoogteverandering en kwel/wegzijgingsverandering) **inclusief de hiervoor beschreven (combinatie van) maatregelen**.

Tabel 4: Maatregelen en resteffecten per deelgebied

Locatie	Maatregel	Binnendijkse verandering hoogwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Binnendijkse verandering laagwater situatie freatisch grondwater (I1) /stijghoogte (I2) [cm]	Max. Kwel/wegzijgings verandering in hoogwater situatie [%]**	Max. Kwel/wegzijgings verandering in laagwater situatie [%]**
Overstromings-vlakte	Aanbrengen 25 cm klei in noordelijke vlakte, aanbrengen gelijke hoeveelheid klei in zuidelijke overstromingsvlakte	≤3 / ≤12	≤5 / ≤5*	8,8***	2,2*
Heerewaarden	Lokaal aanbrengen 25 cm klei en berging	≤3 / ≤2	≤2 / ≤3	1,7***	1,0
* Betreffen enkel modelmatige effecten, zie 1120-180419-11-TN01. ** Betreft de maximale kwel/wegzijgingsverandering voor de verschillende peilgebieden in het invloedsgebied *** Wordt gecompenseerd met berging					

4.3 Restrisico's

In tabel 5 is een samenvatting van de risico's **inclusief de hiervoor beschreven de maatregelen** weergegeven. Deze samenvatting is opgesteld op basis van de eerder vastgestelde risico's in bijlage A en de aangegeven resteffecten in 4.1 en 4.2.

Tabel 5: Samenvatting risico's ontwerp en maatregelen UWDH

Risico	Situatie	Overstromingsvlakte	Heerewaarden
Bebouwing	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Infrastructuur	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Natuur/groen	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Agrarisch landgebruik	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien

Risico	Situatie	Overstromingsvlakte	Heerewaarden
Dijkveiligheid	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Overig (WKO, onttrekkingen, archeologie)	Hoogwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Laagwater	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
Wateraanvoer/afvoer	Waterafvoer	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien
	Wateraanvoer	Geen risico voorzien	Geen risico voorzien

4.4 Conclusie en vervolgstappen

Ten tijde van schrijven is de algemene aanpak voor de verschillende deelgebieden helder, echter dienen nog een aantal dingen nader onderzocht te worden.

- Het voorstel om op meerdere locaties weerstand aan te brengen wordt onderdeel van de aanbesteding en engineering van de aannemer. Daarbij dient extra aandacht te worden besteed aan de werkbaarheid en technische toepasbaarheid.
- De berging van 4.500 m³ nabij de overstromingsvlakte zal worden uitgewerkt in een aanvullende notitie.

Appendix A Risicobeschrijving gemeente Maasdriel

Per onderdeel is een algemene beschrijving gegeven en vervolgens onderscheid gemaakt tussen de 2 locaties in het gebied van de gemeente Maasdriel (zie hoofdstuk 3.2). Dit zijn de risico's **zonder dat er maatregelen** zijn getroffen.

A.1 Wateroverlast/onderlast

A.1.1 Bebouwing

Wateroverlast - Algemeen

Door grondwaterstandsverhogingen kan wateroverlast ontstaan, met name in bebouwing met kruipruimten, niet waterdichte kelders of waar de vloerconstructie niet volledig waterdicht is uitgevoerd. Wateroverlast voor bebouwing kan ontstaan wanneer de grondwaterstand vlak onder het vloer/kelderpeil of hoger gelegen is.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra kwel wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage). Indien dit niet het geval is zal de stijghoogteverhoging resulteren in een hogere grondwaterstand welke kan leiden tot wateroverlast.

Wateronderlast - Algemeen

Door grondwaterstands-/stijghoogteverlagingen kunnen cohesieve grondsoorten zoals klei, leem en veen worden samengedrukt, met zettingen tot gevolg. Hierbij kan worden gedacht aan maaiveldzakkingen en zetting (en deformatie) van op staal gefundeerde panden en (ondergrondse) infrastructuur. Dit is met name het geval wanneer de grondwaterstand/stijghoogte gedurende langere tijd wordt verlaagd tot beneden de in het verleden opgetreden lage waarde. Zettingen, voornamelijk in combinatie met grote hoekverdraaiingen, kunnen bij bebouwing op staal leiden tot schade.

Daarnaast zijn houten paalfunderingen kwetsbaar voor verlagingen van de grondwaterstand tot onder het paalkopniveau. De paalkoppen kunnen in dat geval gaan rotten of worden aangetast door schimmels. Als in het verleden droogstand is opgetreden kunnen de palen reeds aangetast zijn.

Overstromingsvlakke

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij bebouwd gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 6.

Tabel 6: Samenvatting resultaten bebouwd gebied overstromingsvlakte

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤2	≤30
T = 10 laagwater	-	-

Wateroverlast

Ter plaatse van de bebouwing wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤2 cm berekend. Dergelijk kleine veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden.

De berekende stijghoogteverhoging gedurende de T = 10 hoogwatersituatie bedraagt binnendijks maximaal 30 cm. Uit de modellering blijkt dat deze stijghoogteverhoging wel tot een toename aan kwel leidt, maar dat dit zodanig afgevoerd wordt door middel van drainage en watergangen dat de grondwaterstand maar ≤2 cm stijgt.

Op basis van de modellering wordt geconcludeerd dat de grondwaterstandsverhoging van ≤2 cm naar verwachting niet leidt tot (toename van) wateroverlast bij bebouwing.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. Mogelijk staat gedurende een deel van de zomerperiode de overstromingsvlakte nog vol met regenwater of kwelwater. In het geval dat de plas droog staat veranderd er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie. De berekende binnendijkse verlaging van ≤5 cm is enkel modelmatig. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij bebouwing blijft daardoor uit.

Heerewaarden

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij bebouwd gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 7.

Tabel 7: Samenvatting resultaten bebouwd gebied Heerewaarden

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤3 (lokaal ≤4)	≤10
T = 10 laagwater	≤2	≤3

Wateroverlast

Ter plaatse van het merendeel van de bebouwing wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤3 cm berekend. Dergelijk kleine

veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden.

De berekende stijghoogteverhoging gedurende de T = 10 hoogwatersituatie bedraagt binnendijs maximaal 10 cm. Uit de modellering blijkt dat deze stijghoogteverhoging wel tot een toename aan kwel leidt, maar dat dit zodanig afgevoerd wordt door middel van drainage en watergangen dat de grondwaterstand ≤ 3 cm stijgt.

Lokaal wordt, nabij de Van Heemstraweg net ten zuiden van Heerewaarden, bij de bebouwing een verhoging van de grondwaterstand van 4 cm berekend ten tijde van de T = 10 hoogwatersituatie. Hoewel niet wordt verwacht dat een dergelijke verhoging direct zal leiden tot wateroverlast is het niet geheel uit te sluiten. Derhalve zijn lokale maatregelen noodzakelijk (aanbrengen van 25 cm klei, uitgewerkt in hoofdstuk 4).

Wateronderlast

Ten tijde van de T = 10 laagwatersituatie wordt maximaal een grondwaterstandsverlaging van ≤ 2 cm berekend. Dergelijk kleine veranderingen zijn modelmatig niet significant omdat de grondwaterstand, ook binnen effectmodellering, niet op deze nauwkeurigheid voorspeld kan worden.

Het uitblijven van verdroging kan in dit gebied verklaard worden door de nabije ligging van de Maas. De Maas compenseert het effect van de te realiseren geulen nagenoeg volledig. Wanneer de waterstand in de Maas lager is dan in de Waal zal de ingreep zelfs zorgen voor een hogere grondwaterstand/stijghoogte in perioden met laag water.

Derhalve wordt geen negatieve invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht. Risico op schade bij bebouwing blijft daardoor uit.

A.1.2 Infrastructuur

Wateroverlast – algemeen

Wateroverlast aan infrastructuur als gevolg van geohydrologische verandering treedt in de praktijk niet snel op tenzij de grondwaterstand dermate hoog is dat het grondwater aan maaiveld (of hoger) komt. Bij een permante stijging van de grondwaterstand kan de ontwateringdiepte (verschil tussen maaiveld en grondwaterstand) van wegen nadelig worden beïnvloed. Dit kan leiden tot het eerder optreden van (vorst)schade aan het wegdek.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra kwel wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage).

Wateronderlast - algemeen

Door grondwaterstands/stijghoogteverlagingen kunnen cohesieve grondsoorten zoals klei, leem en veen worden samengedrukt, met zettingen tot gevolg. Hierbij kan worden gedacht aan maaiveldzakkingen en zetting (en deformatie) van (ondergrondse) infrastructuur. Dit is

met name het geval wanneer de grondwaterstand/stijghoogte gedurende langere tijd wordt verlaagd tot beneden de in het verleden opgetreden lage waarde. Zettingen, voornamelijk in combinatie met grote hoekverdraaiingen, kunnen bij infrastructuur (afhankelijk van het type infrastructuur) leiden tot schade. Zettingsschade kan voornamelijk optreden bij kabels en leidingen en wegverhardingen (trottoir, asfalt, etc.).

Overstromingsvlakte

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij infrastructuur is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 6.

Wateroverlast

Ter plaatse van de bebouwing wordt gedurende de $T = 10$ hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm berekent. De berekende stijghoogteverhoging gedurende de $T = 10$ hoogwatersituatie bedraagt binnendijks maximaal 30 cm, zie ook A.1.1.

Op basis van de modellering kan geconcludeerd worden dat de grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm naar verwachting niet leidt tot wateroverlast bij infrastructuur.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie, zie ook A.1.1. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij infrastructuur blijft daardoor uit.

Heerewaarden

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij infrastructuur is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 7.

Wateroverlast

Ter plaatse van het merendeel van de bebouwing en infrastructuur wordt gedurende de $T = 10$ hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 3 cm berekent. Lokaal wordt, nabij de Van Heemstraweg net ten zuiden van Heerewaarden, een verhoging van de grondwaterstand van 6 cm berekent ten tijde van de $T = 10$ hoogwatersituatie. De berekende stijghoogteverhoging gedurende de $T = 10$ hoogwatersituatie bedraagt binnendijks maximaal 10 cm, zie A.1.1.

De lokale toename van de grondwaterstand met ca. 6 cm kan theoretisch leiden tot het eerder optreden van vorstschade aan de Van Heemstraweg. Opgemerkt wordt dat het ook mogelijk is dat in het wegcunnet drainage is aangebracht om de ontwatering te garanderen waardoor de effecten beperkter zullen zijn. Derhalve zijn lokale maatregelen noodzakelijk (aanbrengen van 25 cm klei, uitgewerkt in hoofdstuk 4).

Wateronderlast

Ten tijde van de T = 10 laagwatersituatie wordt maximaal een grondwaterstandsverlaging van ≤ 2 cm berekent. Het uitblijven van verdroging kan in dit gebied verklaard worden door de nabije ligging van de Maas welke vrijwel volledig compenseert voor de ligging van de geulen. Derhalve wordt geen negatieve invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht. Risico op schade bij infrastructuur blijft daardoor uit.

A.1.3 Natuur/Groen

Wateroverlast - algemeen

Begroeiing kan schade ondervinden door een te hoge grondwaterstand (eigenlijk een tekort aan zuurstof). De mate van schade en de grondwaterstand vanaf waar schade optreedt hangt sterk af van het type begroeiing en de duur van de hoge grondwaterstand. Een hoge grondwaterstand gedurende korte tijd kan over het algemeen geen kwaad voor natuur/groen omdat er geen directe opbrengst aan gerelateerd is en de natuur/het groen zich op den duur zal herstellen, mits de verhoging niet langdurig is. Dit wil zeggen dat het stedelijk groen in dat jaar misschien niet optimaal groeit, maar in het jaar daarna wel zal herstellen. De exacte schade door wateroverlast aan stedelijk groen/natuur is afhankelijk van het type plant, de hoeveelheid gevallen neerslag, de periode waarin hoge/lage grondwaterstanden optreden, het wortelniveau en de exacte hoogte van de grondwaterstand.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra kwel wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage).

Opgemerkt wordt dat tuinen van bewoners tevens in de categorie natuur/groen vallen.

Wateronderlast - algemeen

Begroeiing kan schade ondervinden door een tekort aan vocht bij een verlaging van de grondwaterstand. Dit speelt met name in de periode van bladvorming (voorjaar) een rol. Voor het groeiseizoen wordt normaliter uitgegaan van de periode maart-oktober. Later in het jaar is begroeiing veelal beter bestand tegen (extra) vochttekort. Een lage grondwaterstand gedurende korte tijd kan over het algemeen geen kwaad voor natuur/groen omdat er geen directe opbrengst aan gerelateerd is en de natuur / het groen zich op ten duur zal herstellen, mits de verlaging niet langdurig is. Doorgaans kunnen planten beter tegen (een langere periode van) wateronderlast dan wateroverlast. Het schadebeeld van (beperkte) wateronderlast is doorgaans minder extreem. De exacte schade door wateronderlast aan stedelijk groen/natuur is afhankelijk van het type plant, het wortelniveau en de exacte hoogte van de grondwaterstand.

Een stijghoogteverlaging heeft niet direct wateronderlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverlaging niet leidt tot een verlaging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra

wegzijing (of vermindering van kwel) wordt aangevoerd in de bodem vanuit omliggende sloten/drainage). Opgemerkt wordt dat de hoeveelheid water wat infiltreert vanuit een sloot de bodem in de praktijk maar zeer beperkt is.

Opgemerkt wordt dat tuinen van bewoners in deze rapportage tevens in de categorie natuur/groen vallen.

Overstromingsvlakte

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij stedelijk groen is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 6.

Wateroverlast

Ter plaatse van stedelijk groen/natuur wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm berekend. De berekende stijghoogteverhoging gedurende de T = 10 hoogwatersituatie bedraagt binnendijks maximaal 30 cm, zie ook A.1.1.

Daarnaast wordt opgemerkt dat de huidige, en in de toekomst voorziene, natuur in de omgeving van de overstromingsvlakte vaak gebaat is bij een iets hogere grondwaterstand. Voor een groot deel van het gebied is een grondwaterstandsverhoging derhalve niet negatief.

Op basis van de modellering kan geconcludeerd worden dat de grondwaterstandsverhoging van ≤ 2 cm naar verwachting niet leidt tot permanente schade bij natuur/groen.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie, zie ook A.1.1. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij het natuur/groen blijft daardoor uit.

Heerewaarden

De berekende verandering van de grondwaterstand en stijghoogte nabij stedelijk groen is hetzelfde als bij bebouwing, zie tabel 7.

Wateroverlast

Ter plaatse van stedelijk groen/natuur wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤ 3 cm berekend. Dergelijk kleine veranderingen leveren doorgaans geen permanente schade op aan stedelijk groen/natuur, risico op schade bij natuur/groen blijft daardoor uit.

Wateronderlast

Ten tijde van de T = 10 laagwatersituatie wordt maximaal een grondwaterstandsverlaging van ≤ 3 cm berekend. Het uitblijven van verdroging kan in dit gebied verklaard worden door de nabije ligging van de Maas. De Maas compenseert het effect van de te realiseren geulen nagenoeg volledig, zie ook A.1.1. Derhalve wordt geen negatieve invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht. Risico op schade bij natuur/groen blijft daardoor uit.

A.1.4 Agrarisch landgebruik

Wateroverlast - algemeen

Landbouwgewassen kunnen schade ondervinden door een te hoge grondwaterstand (eigenlijk een tekort aan zuurstof). De mate van schade en de grondwaterstand vanaf waar schade optreedt hangt sterk af van het gewas. Een hoge grondwaterstand gedurende een korte tijd kan in het groeiseizoen al zorgen voor een beperktere gewasopbrengst. Daarnaast kan een hoge grondwaterstand zorgen voor een slechtere berijdbaarheid van de agrarische gronden (verlies van draagkracht). Het risico op schade aan agrarisch landgebruik is ook sterk afhankelijk van de periode waarin de T = 10 hoogwatergolf optreedt. Wanneer deze T = 10 hoogwatergolf buiten het groeiseizoen optreedt dan zal er geen schade ontstaan.

Een stijghoogteverhoging heeft niet direct wateroverlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverhoging niet leidt tot een verhoging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra kwel wordt afgevoerd naar omliggende sloten/drainage).

Wateronderlast - algemeen

Landbouwgewassen kunnen schade ondervinden door een tekort aan vocht bij een verlaging van de grondwaterstand. Dit speelt met name in het groeiseizoen, echter varieert het groeiseizoen sterk per gewas. De mate van schade en de grondwaterstand vanaf waar schade optreedt hangt sterk af van het gewas. Een lage grondwaterstand gedurende een korte tijd kan in het groeiseizoen al zorgen voor een beperktere gewasopbrengst.

Een stijghoogteverlaging heeft niet direct wateronderlast tot gevolg, mits deze stijghoogteverlaging niet leidt tot een verlaging van de grondwaterstand (d.w.z. dat extra wegzijging (of vermindering van kwel) wordt aangevoerd in de bodem vanuit omliggende sloten/drainage). Opgemerkt wordt dat de hoeveelheid water wat infiltreert vanuit een sloot de bodem in de praktijk maar zeer beperkt is.

Overstromingsvlakke

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij het agrarische gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 8.

Tabel 8: Samenvatting resultaten agrarisch gebied overstromingsvlakte

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤2	≤15
T = 10 laagwater	-	-

Wateroverlast

Ter plaatse van het agrarisch landgebruik wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤2 cm berekend. Een grondwaterstandsverhoging van ≤2 cm zal naar verwachting niet leiden tot een toename van natschade bij het agrarisch landgebruik.

Wateronderlast

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie, zie ook A.1.1. Derhalve wordt geen invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht bij een laagwatersituatie. Risico op schade bij het agrarisch landgebruik blijft daardoor uit.

Heerewaarden

De berekende grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij het agrarische gebied gedurende de hoog- en laagwatersituatie is als samenvatting weergegeven in tabel 9.

Tabel 9: Samenvatting resultaten bebouwd gebied Heerewaarden

Situatie	Grondwaterstandsverandering [cm]	Stijghoogteverandering [cm]
T = 10 hoogwater	≤3 (lokaal ≤6)	≤10
T = 10 laagwater	≤3	≤4

Wateroverlast

Ter plaatse van het merendeel van het agrarisch landgebruik wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van ≤3 cm berekend. Lokaal wordt, nabij de Van Heemstraweg net ten zuiden van Heerewaarden, een verhoging van de grondwaterstand van 6 cm berekent ten tijde van de T = 10 hoogwatersituatie.

De lokale toename van de grondwaterstand met ca. 6 cm kan leiden tot het eerder optreden van natschade bij de percelen aan de Van Heemstraweg en een tijdelijke mindere bereikbaarheid van het perceel. Volgens het LHN7 zijn deze percelen vooral in gebruik voor agrarisch gras, echter kan daar bij hoge grondwaterstand ook schade optreden. Aangezien natschade op deze percelen niet geheel is uit te sluiten zijn lokale maatregelen noodzakelijk (aanbrengen van 25 cm klei, uitgewerkt in hoofdstuk 4).

Wateronderlast

Ten tijde van de T = 10 laagwatersituatie wordt maximaal een grondwaterstandsverlaging van ≤ 3 cm berekend. Het uitblijven van verdroging kan in dit gebied verklaard worden door de nabije ligging van de Maas. De Maas compenseert het effect van de te realiseren geulen nagenoeg volledig, zie ook A.1.1. Derhalve wordt geen negatieve invloed op de grondwaterstand of stijghoogte verwacht. Risico op schade bij het agrarisch landgebruik blijft daardoor uit.

A.1.5 Dijkveiligheid

Voor de toetsing op dijkveiligheid zijn voor de referentiesituatie en het ontwerp aanvullende stationaire MORIA berekeningen gemaakt met maatgevend hoogwater. Uit ervaring van het waterschap Rivierenland is gebleken dat de opgegeven intredeweerstand in de uiterwaarde in het MORIA model voor de MHW situatie te hoog is. In de stationaire berekeningen voor dijkveiligheid is, in afwijking van de regulier aangehouden intredeweerstand van 15 dagen, uitgegaan van een intredeweerstand van 5 dagen. Hierdoor bedraagt de intredeweerstand tussen de ca. 2 à 10% van de totale weerstand van de deklaag in de uiterwaarde, uiteraard met uitzondering van de aanwezige strangen en geulen waar de deklaag dunner of afwezig is.

Opgemerkt wordt dat de modelleerwijze voor de uit te graven geulen gelijk is aan de eerder aangehouden modelleerwijze met betrekking tot het invoeren van geulen in de uiterwaarde. Dat wil zeggen dat er gebruik gemaakt is van een "river package" in laag 2 voor de geulen in de uiterwaarde, waarbij de opgegeven conductance in laag 2 afhankelijk is van het nat oppervlak per cel en de resterende deklaagdikte, zie ook hoofdstuk 2 van 1120-180419-11-TN01.

De effectieve kwelweglengte is bepaald per 50 m ter hoogte van de winterdijk op basis van de uitkomsten van de MORIA berekeningen. Per 50 meter is getoetst of de kwelweglengte met minder dan 2% afneemt.

Opgemerkt wordt dat de toetsing op dijkveiligheid op een later tijdstip heeft plaatsgevonden dan de toetsing op kwel- en wegzijging. Om deze reden zijn de voorgeschreven maatregelen voor kwel- en wegzijging (aanbrengen 50 cm klei bij Wamel, aanbrengen 25 cm in zuidelijke tak Heerewaarden, zie hoofdstuk 5) al meegenomen in de toetsing voor dijkveiligheid.

Wateroverlast

De berekende toename van de stijghoogte ten tijde van het T = 10 hoogwater ter plaatse van de dijk zijn per deelgebied weergegeven in tabel 10.

Tabel 10: Stijghoogteverandering dijkveiligheid

	Toename stijghoogte bij T = 10 [cm]
Overstromingsvlakte	≤ 30
Heerewaarden	≤ 10

Uit de indicatieve toetsing op de effectieve kwelweglengte op 3 locaties waar de stijghoogte het meest wijzigt bij hoogwater (na maatregelen bij overstromingsvlaktes en Heerewaarden) is gebleken dat enkel bij de zuidelijke overstromingsvlakte niet wordt voldaan aan de eis m.b.t. de maximale afname van de kwelweglengte van 2%. In de zuidelijke overstromingsvlakte nam de kwelweglengte in de indicatieve toetsing af met ca. 9%. Om deze reden is voorafgaand aan volledige toetsing besloten om maatregelen te treffen in de zuidelijke overstromingsvlakte, namelijk het aanbrengen van de volledige hoeveelheid afgegraven klei. Door het aanbrengen van een zelfde weerstand als in de voorgaande situatie zal de stijghoogte in de zuidelijke overstromingsvlakte niet toenemen. Voor een verdere uitwerking van deze maatregel, zie hoofdstuk 4.

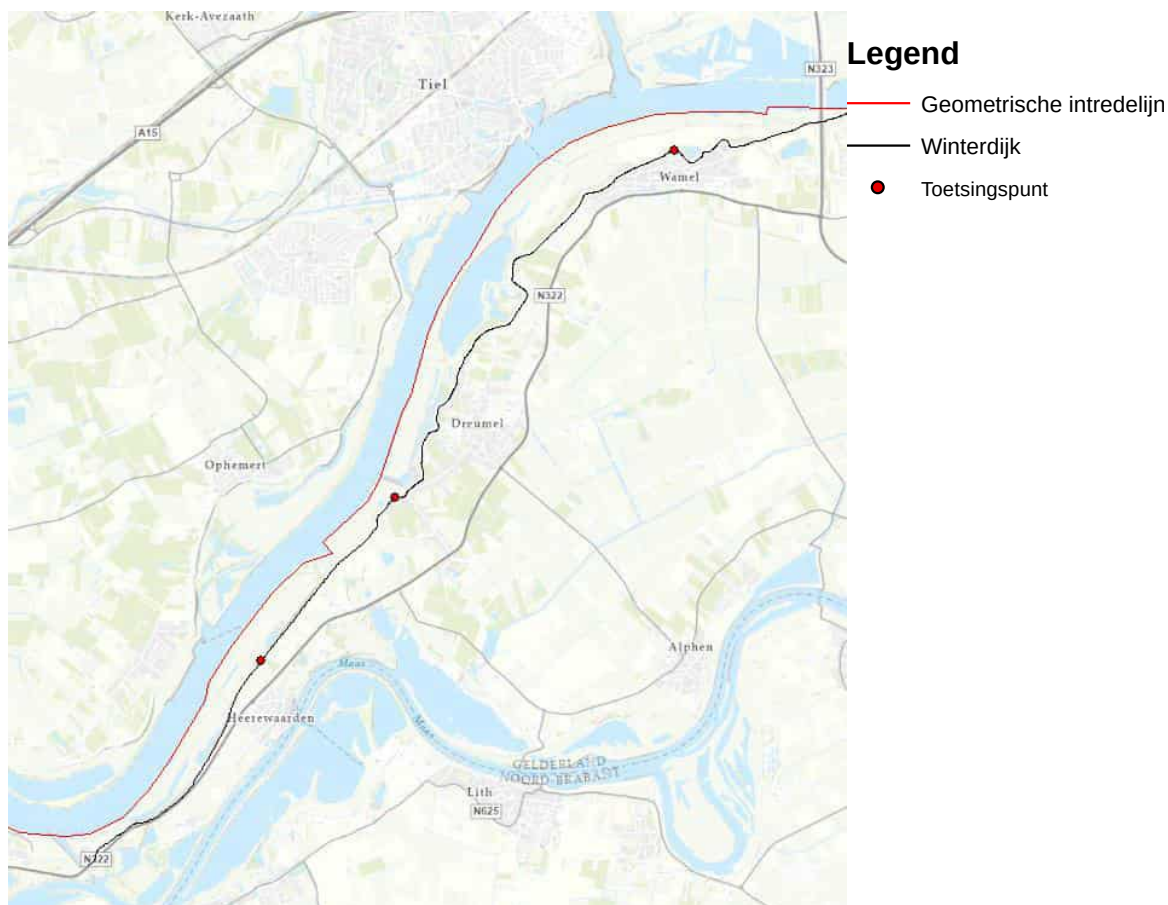
Opgemerkt wordt dat een deel van de zuidelijke overstromingsvlakte in de beschermingszone ligt. Voor de beschermingszone geldt dat voor locaties waar na ontgraving minder dan 1 meter klei in de deklaag achterblijft dit moet worden aangevuld tot een pakket van 1,5 m dikte vanwege dijkveiligheid (eis waterschap).

Het berekende theoretische intredepunt voor de referentiesituatie is weergegeven in bijlage A.3.1. Het berekende theoretische intredepunt voor de ontwerpsituatie is weergegeven in bijlage A.3.2. Een vergelijking van de intredepunten is in detail weergegeven in A.3.3.

Per ontgraving is de grootste verandering (na toepassen van maatregelen) tevens gepresenteerd in tabel 11. De bijbehorende locaties van de grootste wijzigingen zijn met een rode stip weergegeven in figuur 12.

Tabel 11: Wijziging effectieve kwelweglengte

Situatie	Parameter	Overstromings- vlakte	Heerewaarden
Referentie	Fysieke voorlandlengte [m]*	304	435
	Spreidingslengte [m]	230	320
	Effectieve kwelweglengte [m]	199	280
Ontwerp	Fysieke voorlandlengte [m]*	304	435
	Spreidingslengte [m]	224	310
	Effectieve kwelweglengte [m]	196	275
Wijziging [%]		1,75%	1,97%
* De fysieke voorlandlengte kan in de toetsing wijzigen als gevolg van een wijziging in stroomrichtingen in het 1e watervoerende pakket.			



Figuur 12: Locaties wijziging effectieve kwelweglengte (rode stip = locatie met grootste wijziging)

Geconcludeerd wordt dat door het nemen van de beschreven maatregelen in hoofdstuk 4 (50 cm klei aanbrengen in Wamel, 25 cm in de zuidelijke ontgraving van Heerewaarden en het aanbrengen van eenzelfde kleidikte als de aanwezige dikte in de huidige situatie bij de zuidelijke overstromingsvlakte) de kwelweglengte op geen van de locaties afneemt met meer dan 2%. Hiermee wordt voldaan aan de gestelde eisen van het waterschap Rivierenland.

Wateronderlast

Door grondwaterstands-/stijghoogteverlagingen beneden de historisch lage grondwaterstand/stijghoogte kunnen cohesieve grondsoorten zoals klei, leem en veen worden samengedrukt, met zettingen tot gevolg. De hieronder beschreven effecten van de grondwaterstand gelden voor het ontwerp inclusief maatregelen.

Opgemerkt wordt dat het zeer aannemelijk is dat de bovenste zandlaag in de uiterwaarde al vaak droog zal zijn gevallen waardoor zettingen uit freatische verlagingen ter plaatse van de dijk niet aannemelijk zijn. Gedurende laagwater zal de dijk, en de lagen onder de dijk, in de huidige situatie ook grotendeels droog vallen. Daarnaast zal in een groot deel van de geulen een afdichtende kleilaag worden aangebracht waardoor de freatische laag vrijwel wordt afgesloten van de aan te leggen geul. De enige uitzondering hierop is de noordelijke geul bij Heerewaarden, echter is het daar ook aannemelijk dat de freatische grondwaterstand al wel laag is geweest. Bovendien is de deklaag dusdanig kleiig dat de berekende veranderingen

van grondwaterstand nabij de dijk ter plaatse van de noordelijke geul maximaal 2 cm zijn. Dit zal niet leiden tot noemenswaardige zettingen.

De enige berekende verandering groter dan 2 à 3 cm is de berekende verandering van de freatische grondwaterstand bij Wamel (8 cm). Deze verlagingen komen voort uit de berekende toename van wegzijging in het gebied ten tijde van laagwater en treden met name op in de aanwezige zandgeul in de uiterwaarde. Opgemerkt wordt dat een zandige bodem over het algemeen niet zal leiden tot zettingen.

Zettingen als gevolg van een lage stijghoogte zijn zeer onwaarschijnlijk en zullen bovendien, indien deze optreden, grotendeels gelijkmatig zijn. De waterstand in 2018 is gedurende een periode van ca. 2 maanden (in periode oktober-december) lager geweest dan het aanlegniveau van de meeste geulen. Aangezien de stijghoogte in het gebied sterk wordt bepaald door de waterstand van de Waal is het aannemelijk dat de stijghoogte gedurende die periode ook al lager is geweest dan zal voorkomen bij de laagste waterstand waarbij de geulen in het ontwerp nog niet droogvallen. In het geval de waterstand onder het bodemniveau van de aan te leggen geulen daalt (zoals in 2018) is de geohydrologische situatie vrijwel gelijk aan de huidige situatie in perioden met lage waterstanden. Zettingen die voortkomen uit een lagere stijghoogte zijn gedurende die periode al grotendeels opgetreden en zullen daardoor niet meer optreden als gevolg van het ontwerp.

Geconcludeerd wordt dat het niet aannemelijk is dat het ontwerp bij laagwater zal zorgen voor noemenswaardige zettingen bij de dijk.

A.1.6 Overige aspecten

Wateroverlast

Door het toenemen van de stijghoogte kunnen watergangen in het achterland eerder opbarsten dan in de huidige situatie het geval is. Dit speelt met name op de locaties waar de deklaag een relatief beperkte dikte heeft en het 1^e watervoerende pakket relatief ondiep onder de slootbodem begint. Wanneer slootbodems opbarsten kan het kweldebiet naar de sloten toenemen. Dit kan dan zorgen voor een verlaging van de stijghoogte, maar kan zorgen voor een sterke toename van het af te voeren debiet. Opgemerkt wordt dat in de huidige situatie bij hoogwater vermoedelijk ook al enige mate van opbarsten plaatsvindt. Dit risico zal nader uitgewerkt worden in overleg met het waterschap Rivierenland

De toename van de grondwaterstand/stijghoogte bedraagt maximaal enkele decimeters (max. 30 cm) maar is in het grootste deel van het gebied beperkt tot een stijging van max. 10 cm. Onttrekkingen, WKO systemen, archeologische en aardkundige waarden hebben geen negatieve invloed van een dergelijk (voor deze systemen) beperkte toename van de grondwaterstand/stijghoogte.

Wateronderlast

Er zijn geen archeologische of aardkundige waarden gelegen op de locaties waar een grondwaterstands/stijghoogteverlaging van >2 cm wordt berekend. Derhalve worden geen negatieve effecten op archeologische of aardkundige waarden verwacht.

De afname van de grondwaterstand/stijghoogte bedraagt maximaal enkele centimeters (max. 11 cm). Onttrekkingen en WKO systemen ondervinden geen negatieve invloed van een dergelijk (voor deze systemen) beperkte afname van de grondwaterstand/stijghoogte.

A.2 Waterafvoer/aanvoer

In deze paragraaf worden de risico's met betrekking tot de berekende verandering van de kwel/wegzijgingssituatie als gevolg van het ontwerp per deelgebied beschreven. Een toename of afname van de stijghoogte leidt tot een toename of afname van de kwel/wegzijging in het gebied. Indien dat niet leidt tot een grondwaterstandsverhoging zal dat leiden tot een toename/afname van af of aan te voeren debiet in de watergangen.

Overstromingsvlakte

Hoogwater

Bij de T = 10 hoogwatersituatie wordt een toename van kwel berekend in QVU101 (2,3%) en BOM563 (10%). Dit komt overeen met een toename van 99 m³/dag in QVU101 en 755 m³/dag in BOM563, zie ook hoofdstuk 3.1.2. Deze toenames zorgen voor een groter af te voeren debiet in deze peilgebieden. Hoewel de peilgebieden natuurlijk afstromen is de toename van 2,3% en 10% hoger dan de eisen die het waterschap stelt aan de maximale toename, derhalve zijn maatregelen noodzakelijk.

Laagwater

Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie. Modelmatig wordt een wijziging van max. 19 m³/dag (2,4%) berekend, maar aangezien de plas droogvalt is het aannemelijk dat er geen veranderingen optreden in werkelijkheid. Aangezien de situatie niet verandert ten opzichte van de huidige situatie zijn er voor laagwater geen maatregelen noodzakelijk.

Heerewaarden

Hoogwater

Bij de T = 10 hoogwatersituatie wordt een toename van kwel berekend in BOM563 (10%) en in BOM562 (2,2%). De toename van kwel in BOM563 wordt met name veroorzaakt door het afgraven van waterremmende lagen (klei) ter plaatse van de overstromingsvlakte, zie 4.2.2. In BOM561 (-0,9%) wordt een afname van de kwel berekend, met name vanwege de ligging en de waterstand van de Maas tijdens de getoetste situatie (2003, T = 10 hoogwater). Dit komt overeen met een toename van 755 m³/dag in BOM563, 20 m³/dag in BOM562 en een afname van 60 m³/dag in BOM561. De genoemde toenames zorgen voor een groter af te voeren debiet in deze peilgebieden. De afname van kwel in BOM561 ten tijde van hoogwater is positief. Afhankelijk van de exacte inrichting van het watersysteem kan onderzocht worden of de afname in BOM561 voldoende is om de toename in BOM562 te compenseren. Hoewel de peilgebieden natuurlijk afstromen is de toename van 10% en 2,2% hoger dan de eisen die het waterschap stelt aan de maximale toename, derhalve zijn maatregelen noodzakelijk (bergen van kweltoename, uitgewerkt in hoofdstuk 4);

Laagwater

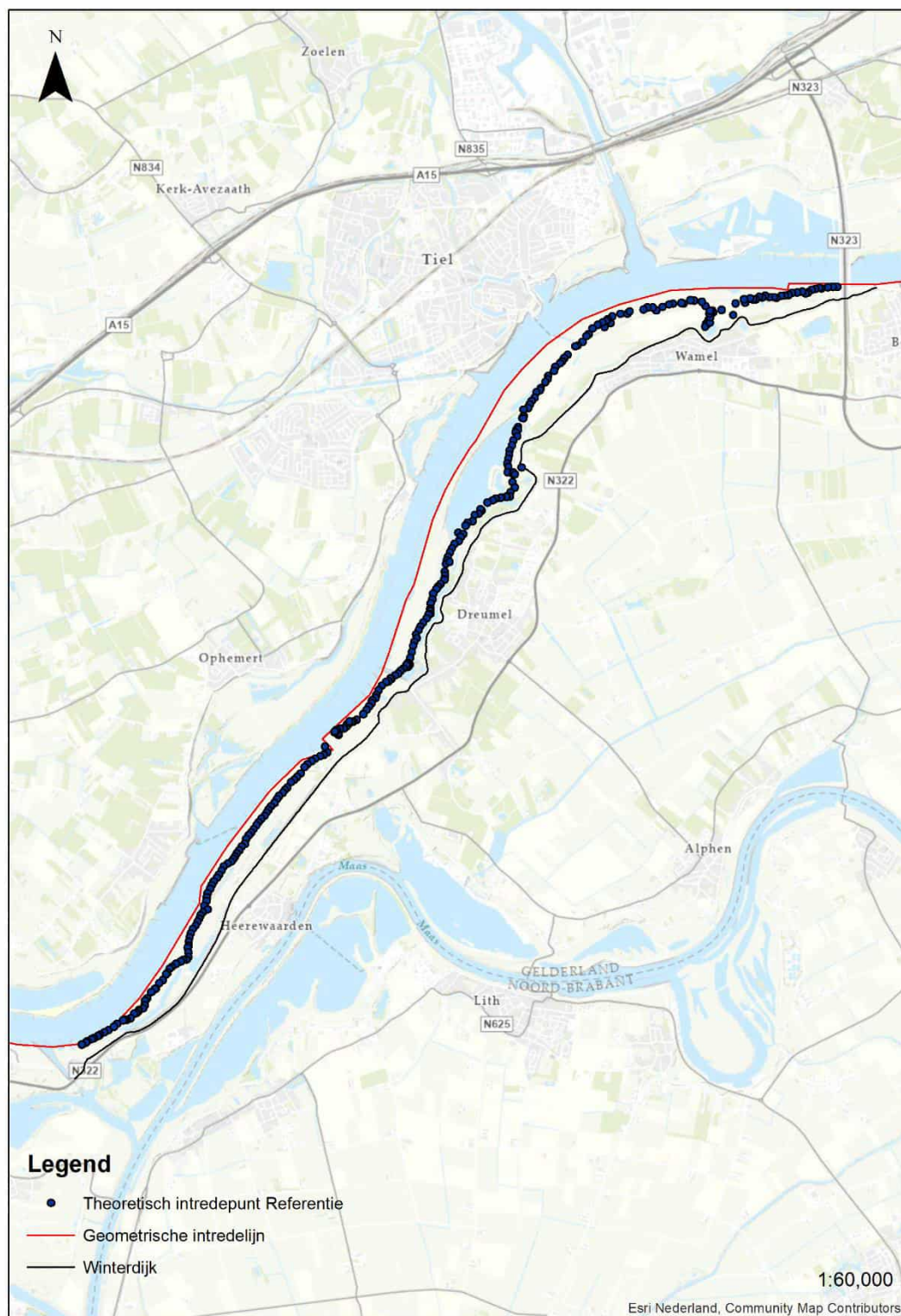
Gedurende de T = 10 laagwatersituatie wordt een toename van wegzijging berekend in BOM563 (0,7%), BOM562 (1,0%) en BOM561 (1,4%). De berekende verandering van de wegzijging komt overeen met een afname van het debiet van 25 m³/dag in BOM563, 5 m³/dag in BOM562 en 22 m³/dag in BOM561.

Ter illustratie, wanneer uitgegaan wordt van de oppervlaktes van het oppervlaktewater uit het BGT dan betekent de afname van het debiet maximaal een uitzakking van 1,1 mm per dag.

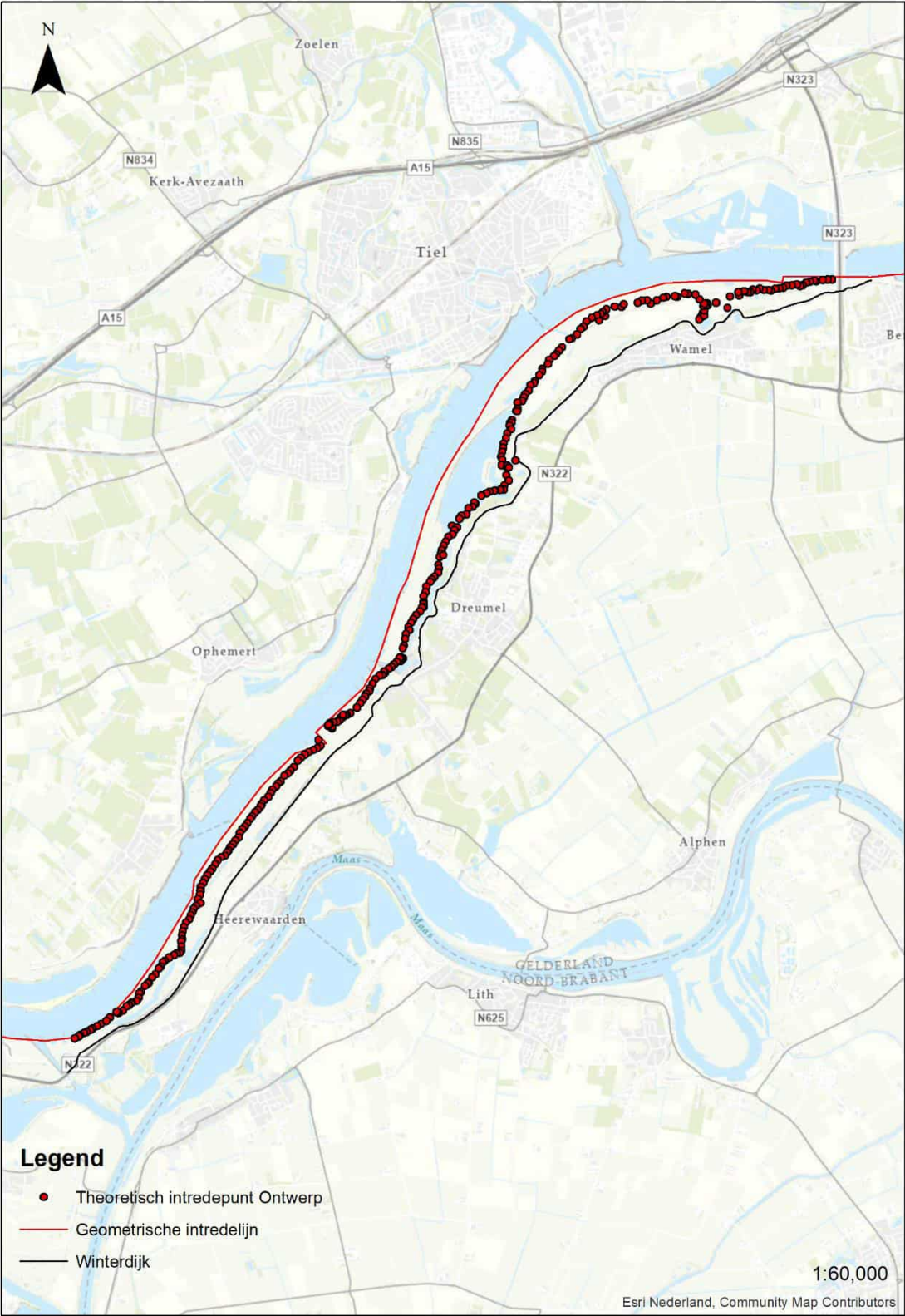
Omdat de peilgebieden enkel een natuurlijke toestroming hebben door kwel/wegzijging (d.w.z. geen aan-/afvoer van gemalen) en de afname van het debiet kleiner is dan 2% wordt geconcludeerd dat maatregelen niet noodzakelijk zijn, mits er geen risico's met betrekking tot wateronderlast ontstaan.

A.3 Kwelweglengte

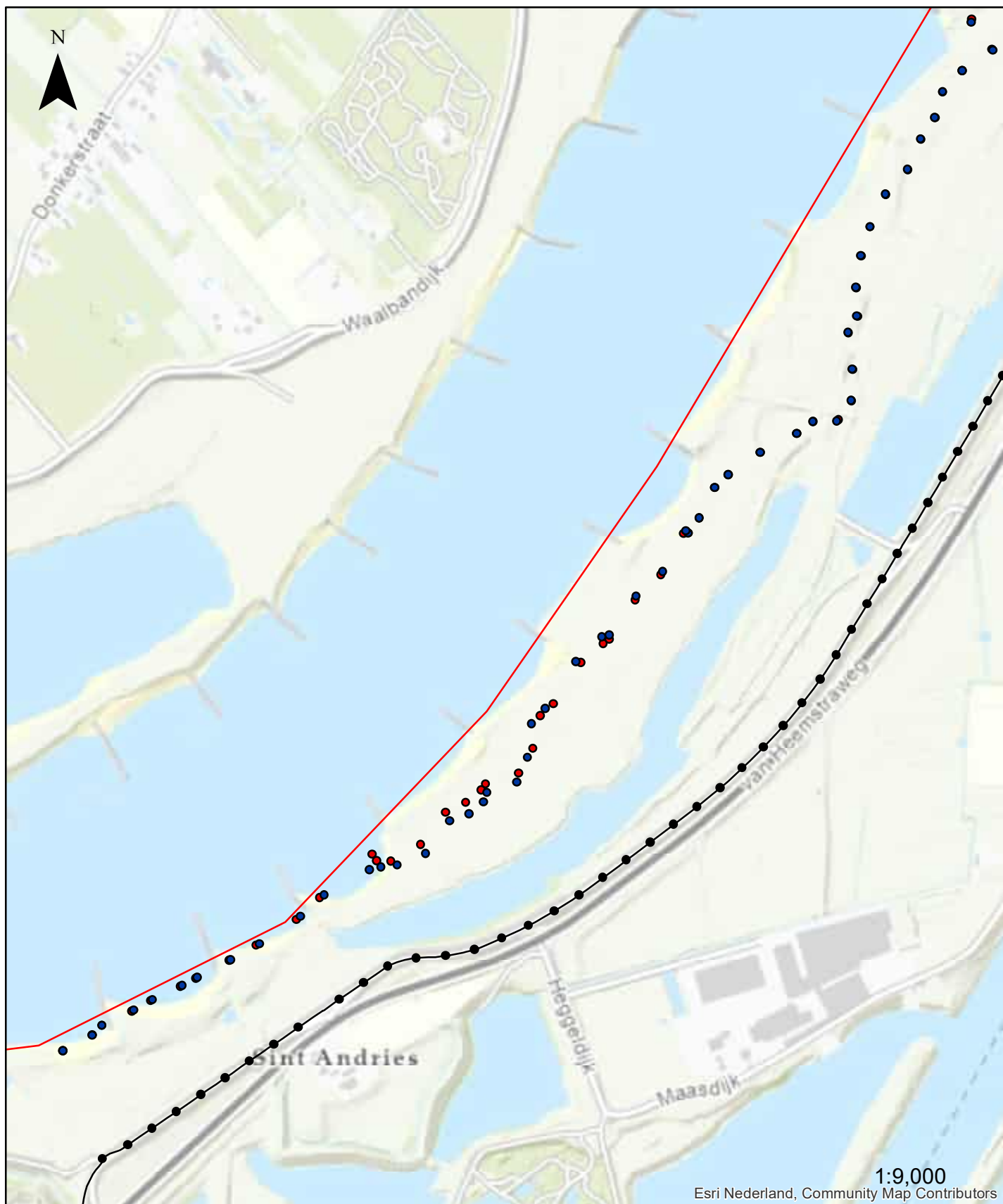
A.3.1 Referentiesituatie



A.3.2 Ontwerpsituatie



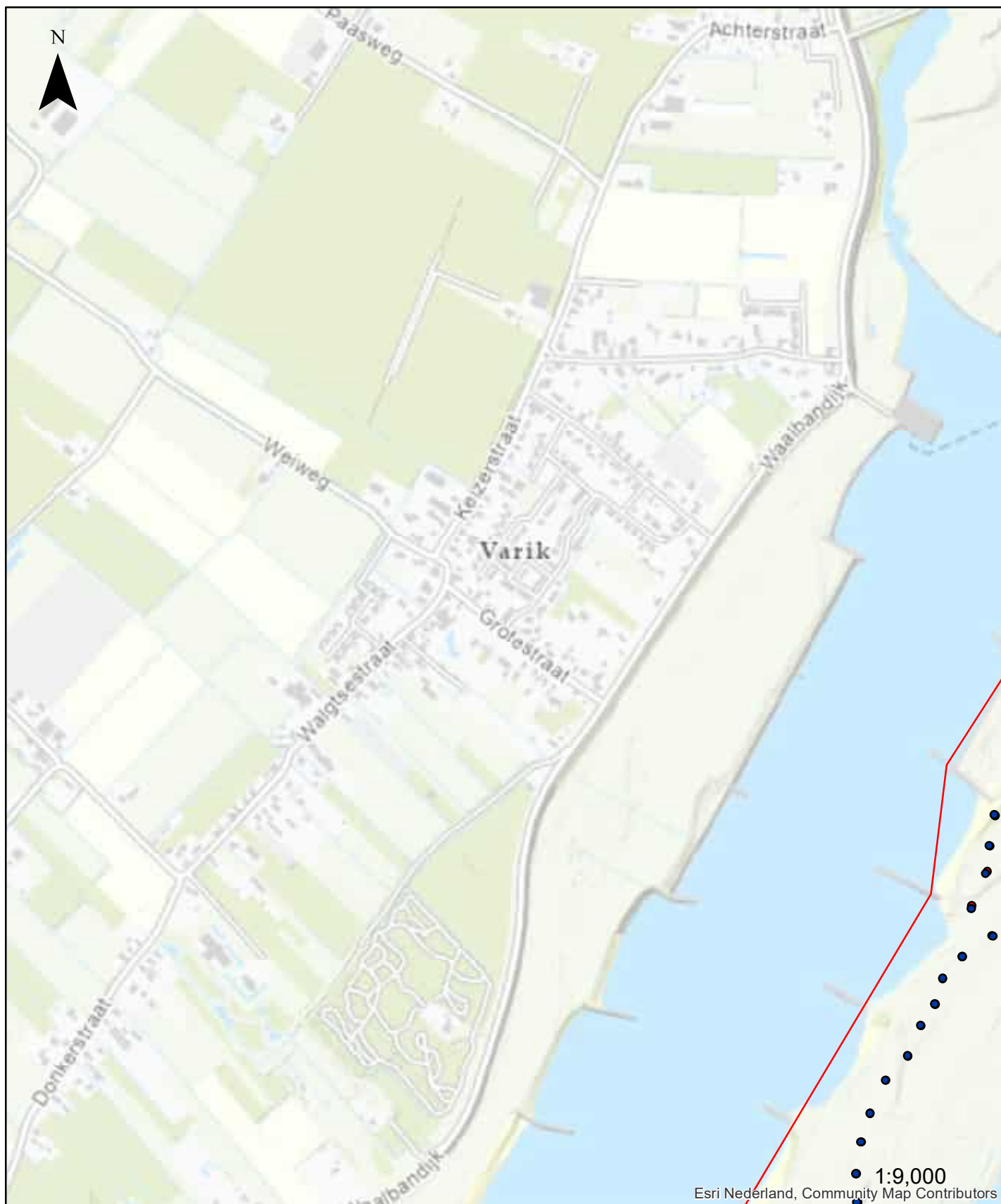
A.3.3 Lokale veranderingen



Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepoint Ontwerp
- Theoretisch intredepoint Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

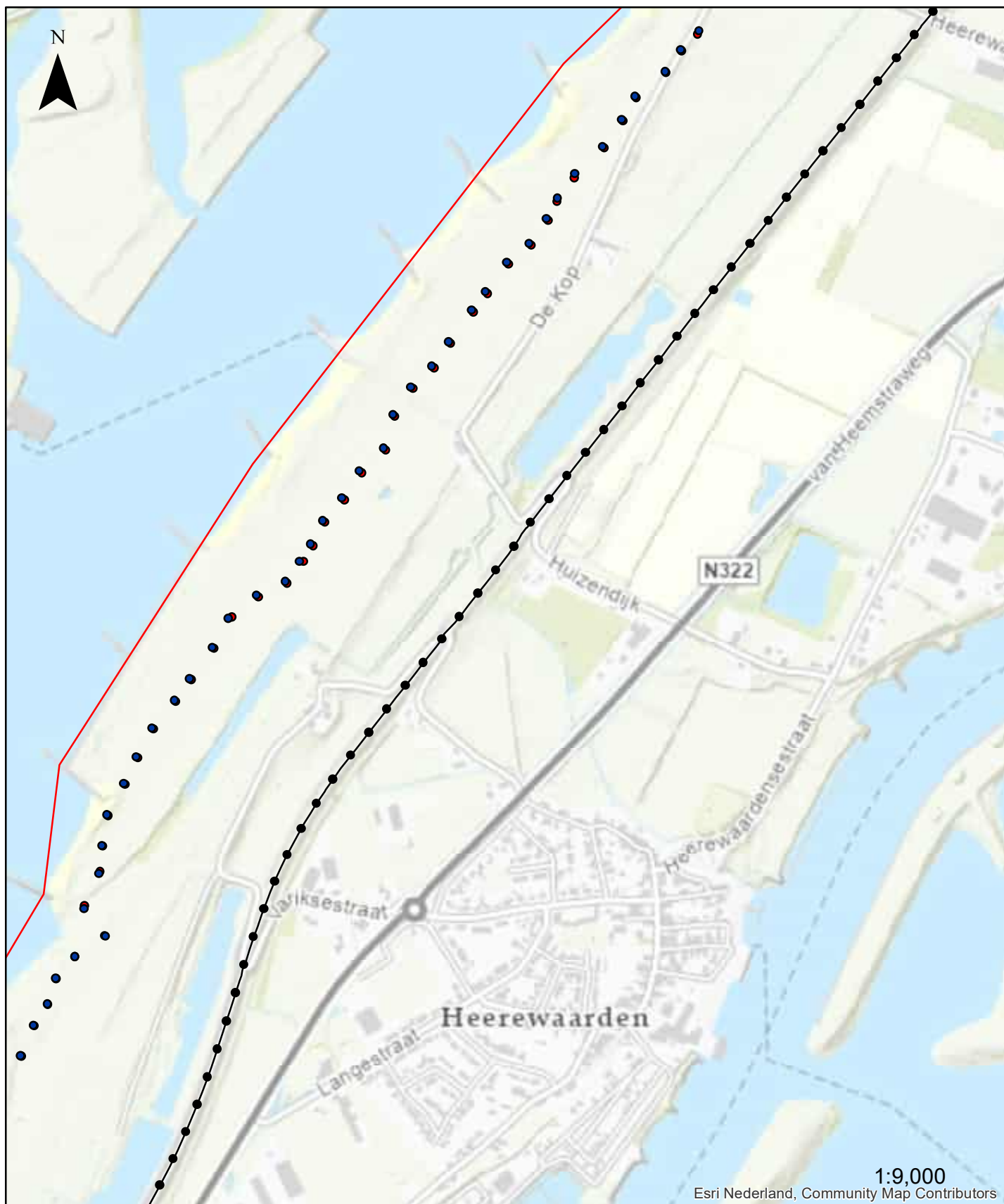




Legenda

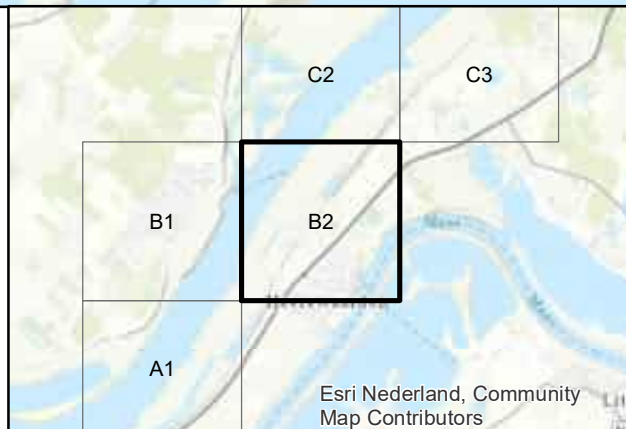
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

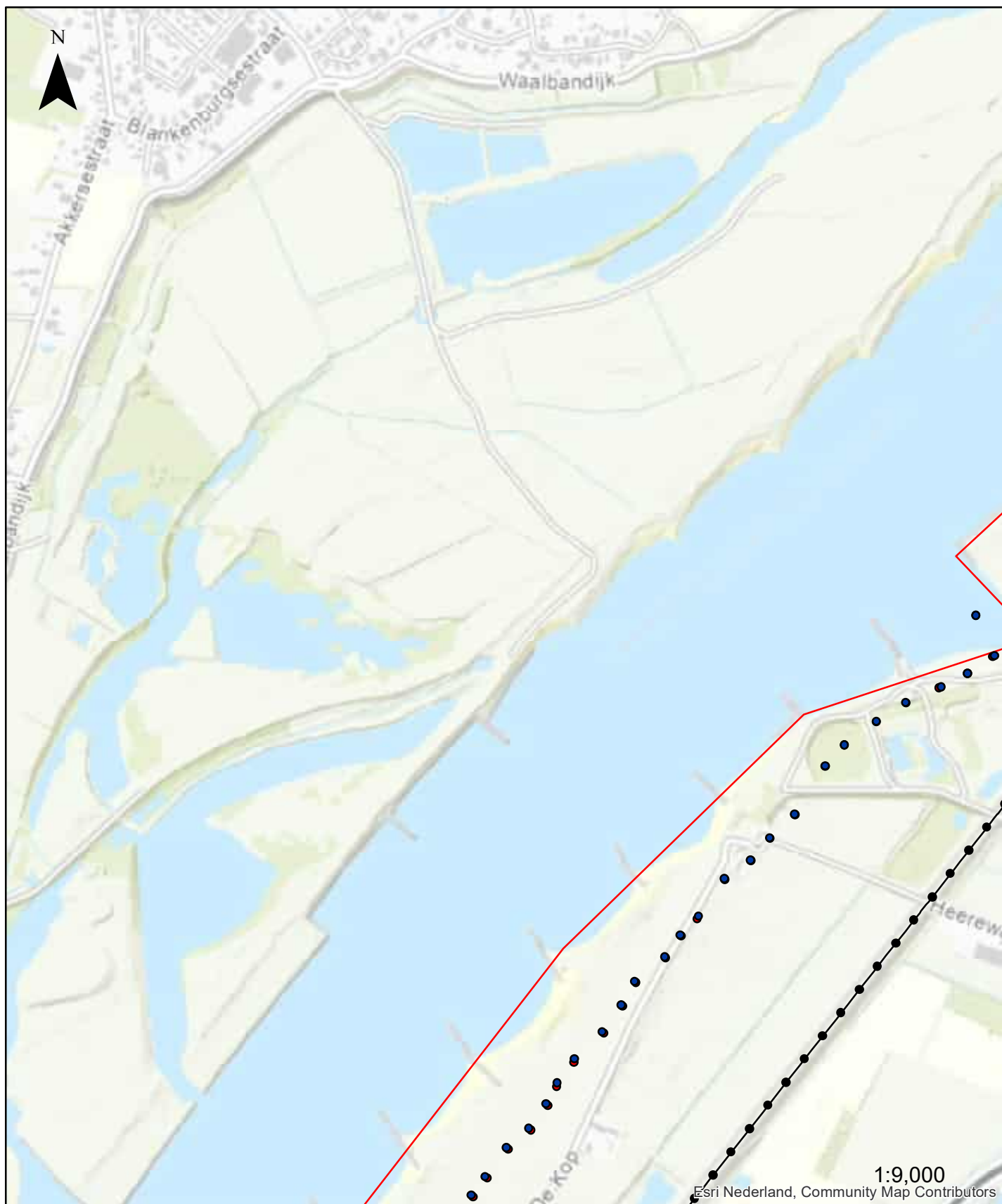




Legenda

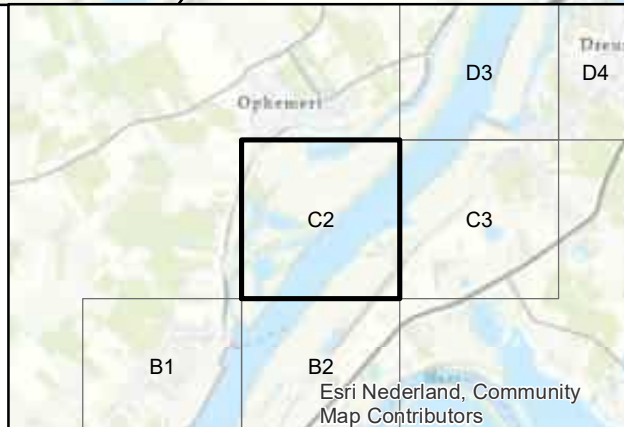
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

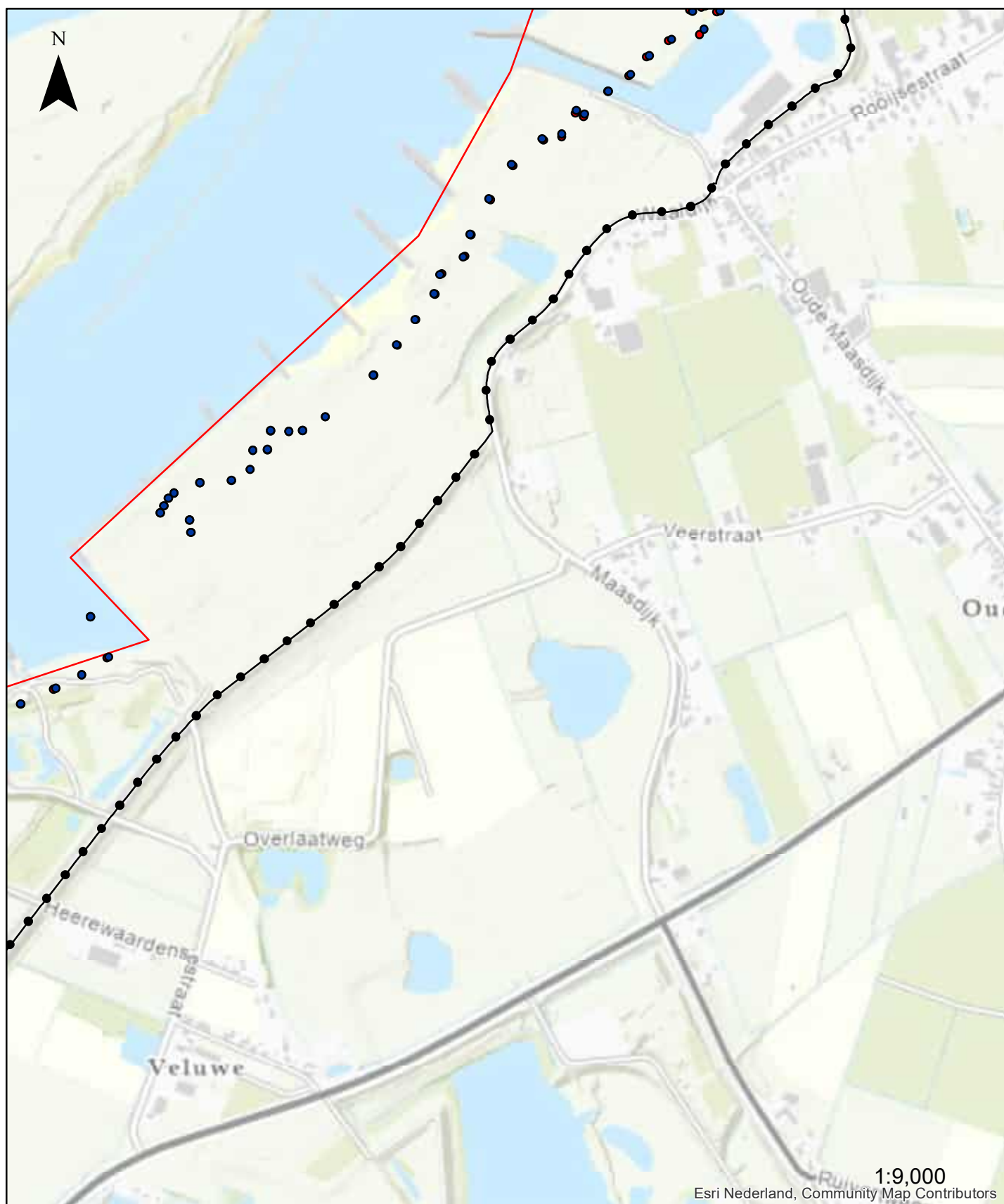




Legenda

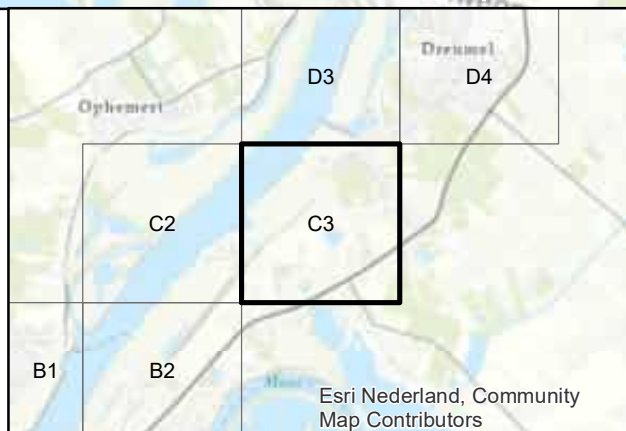
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

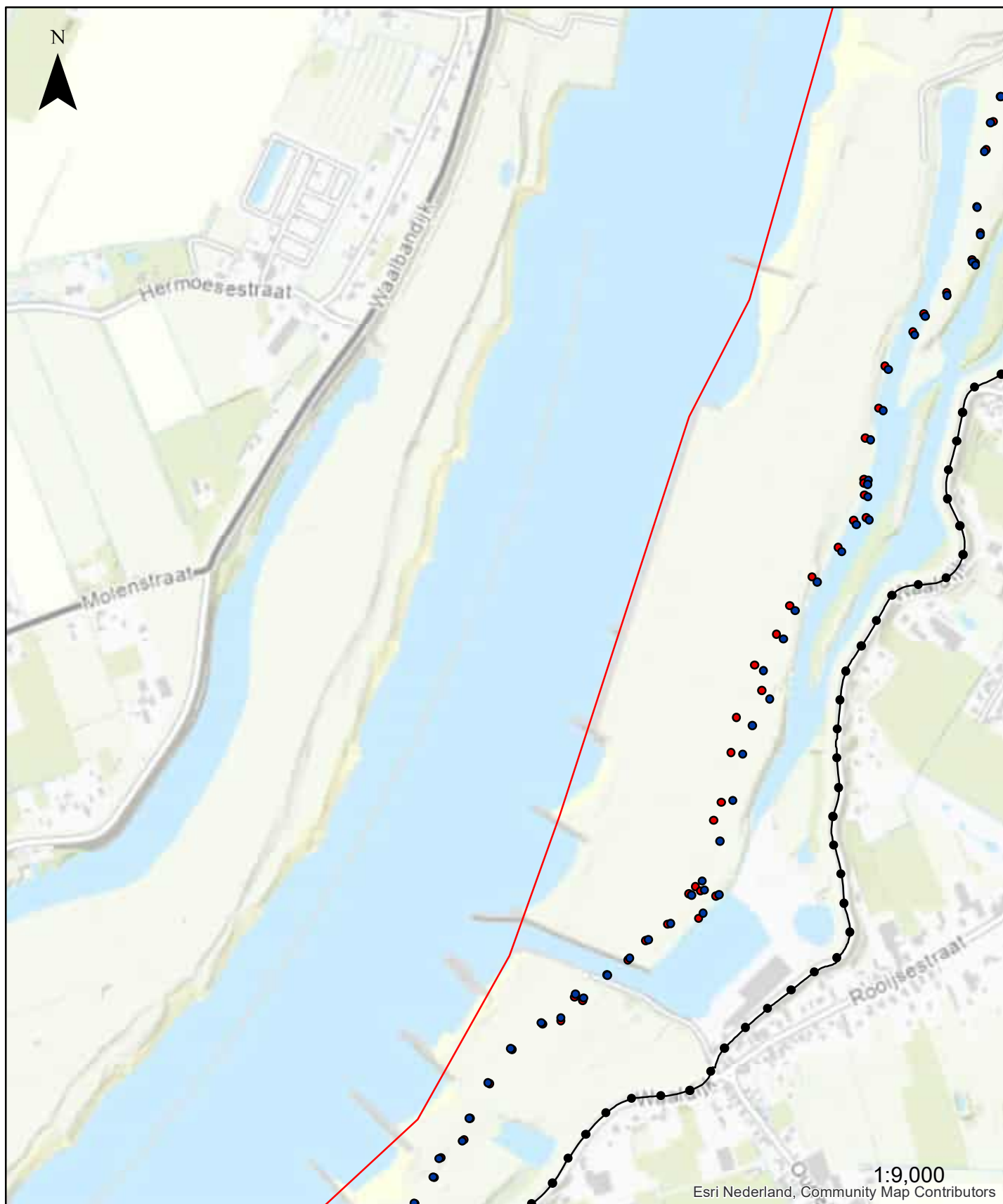




Legenda

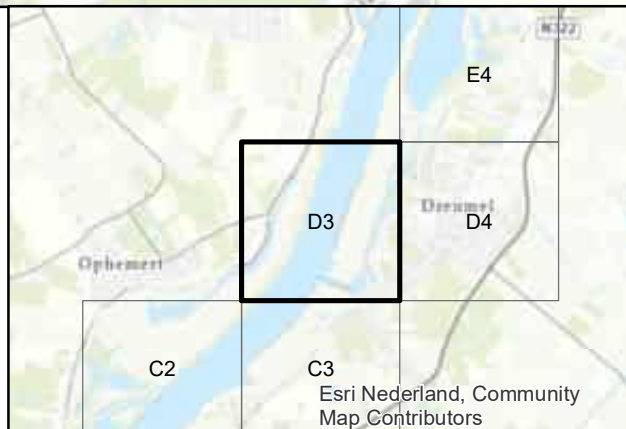
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

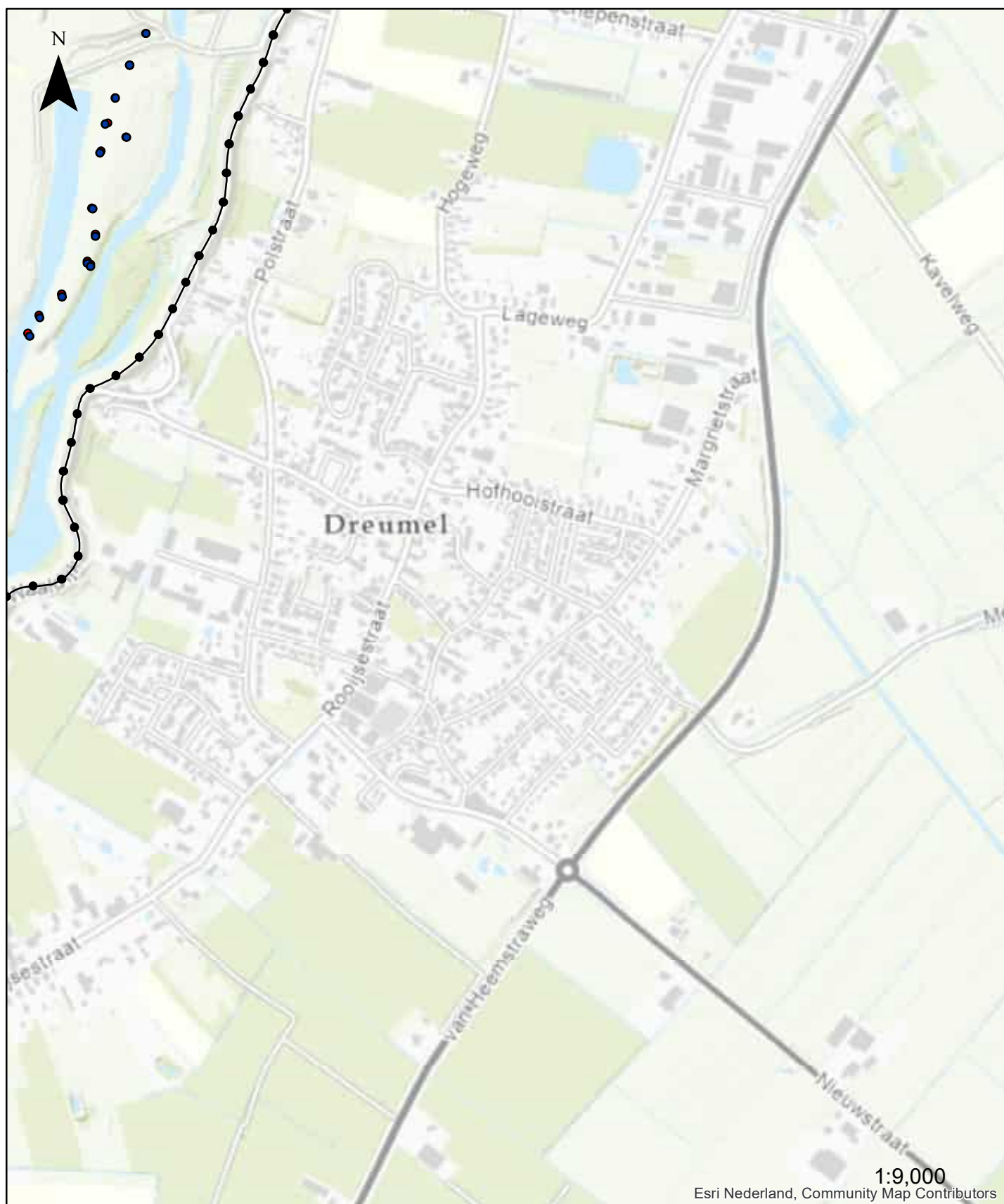




Legenda

- Toetspunt
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

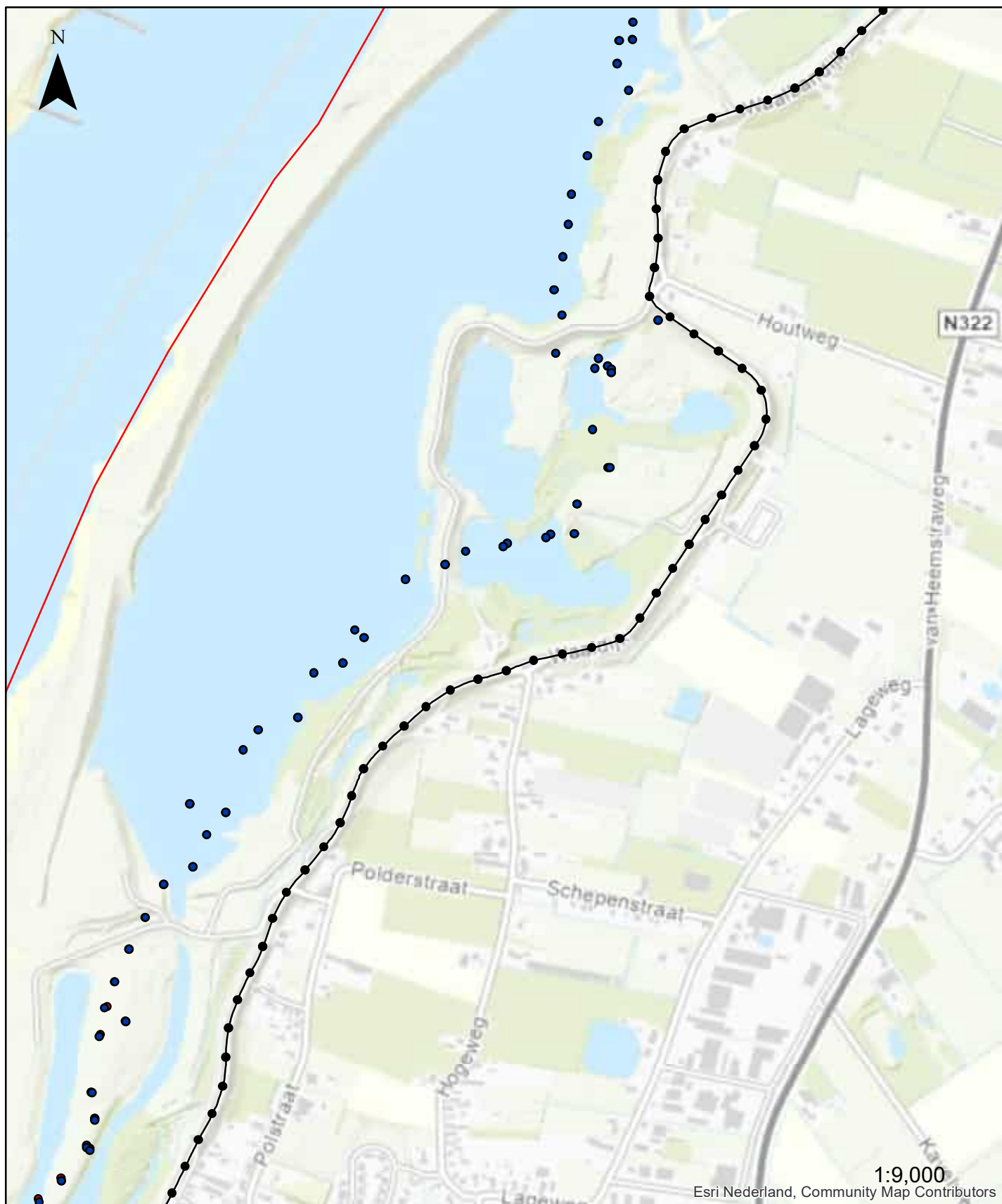




Legenda

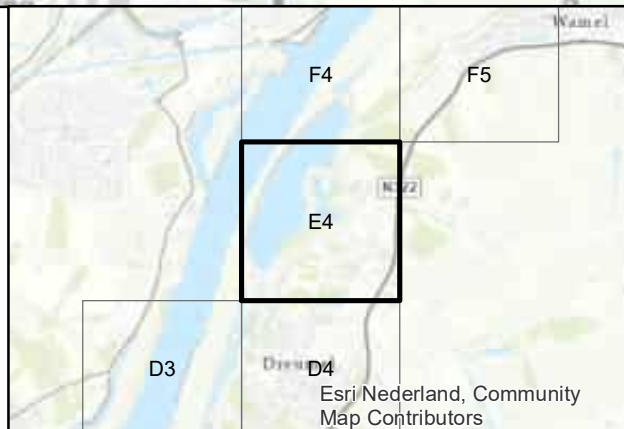
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

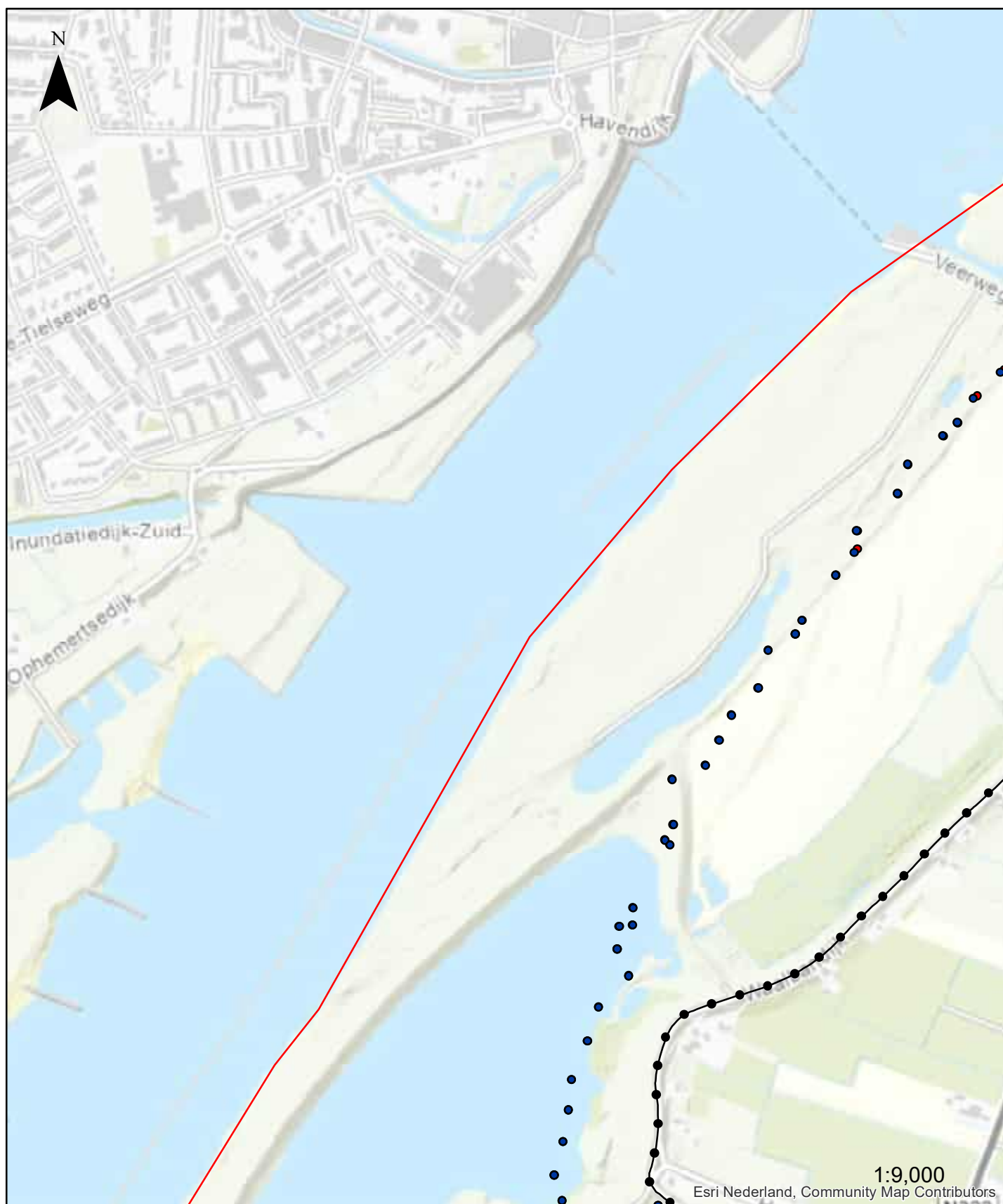




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

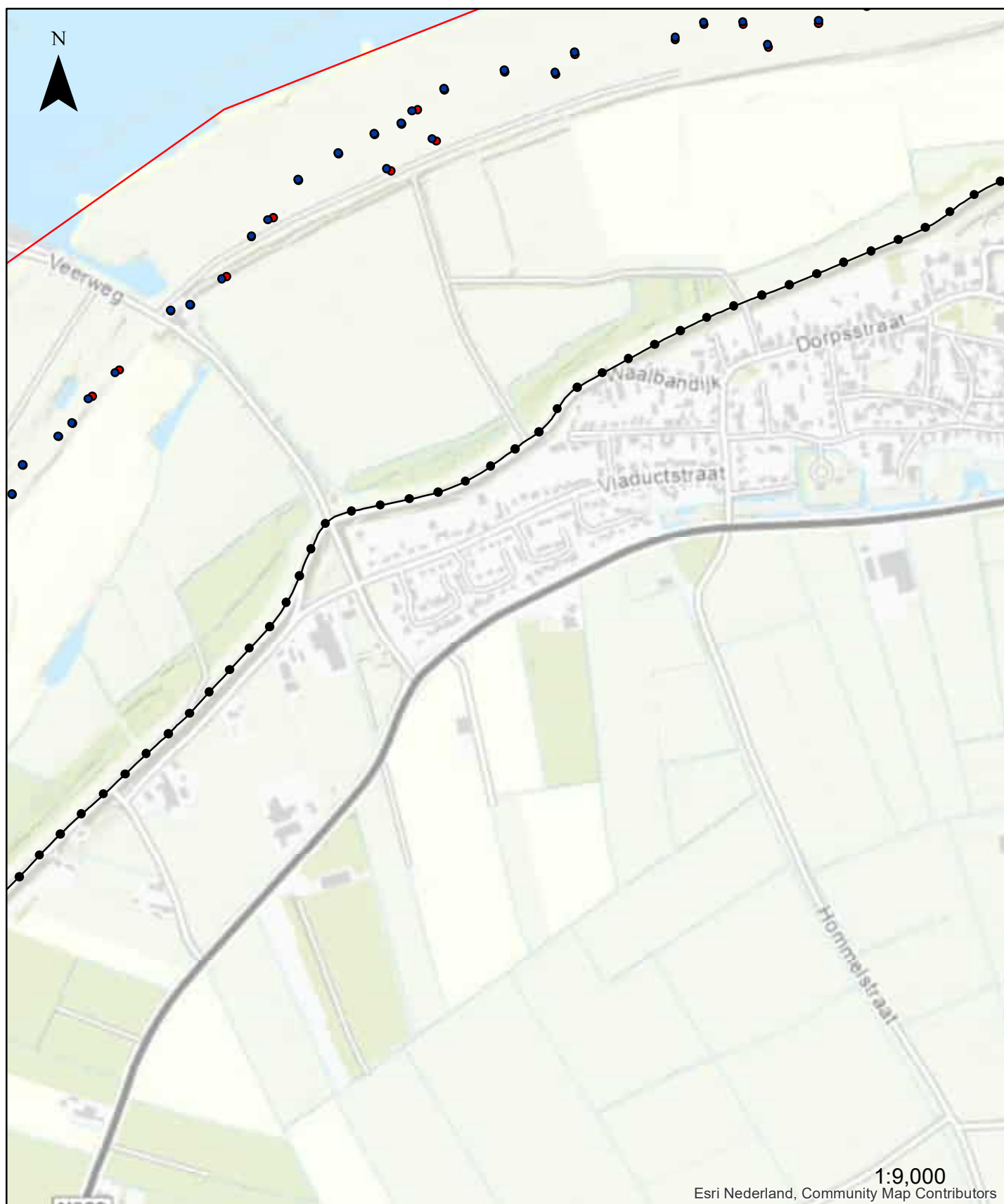




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

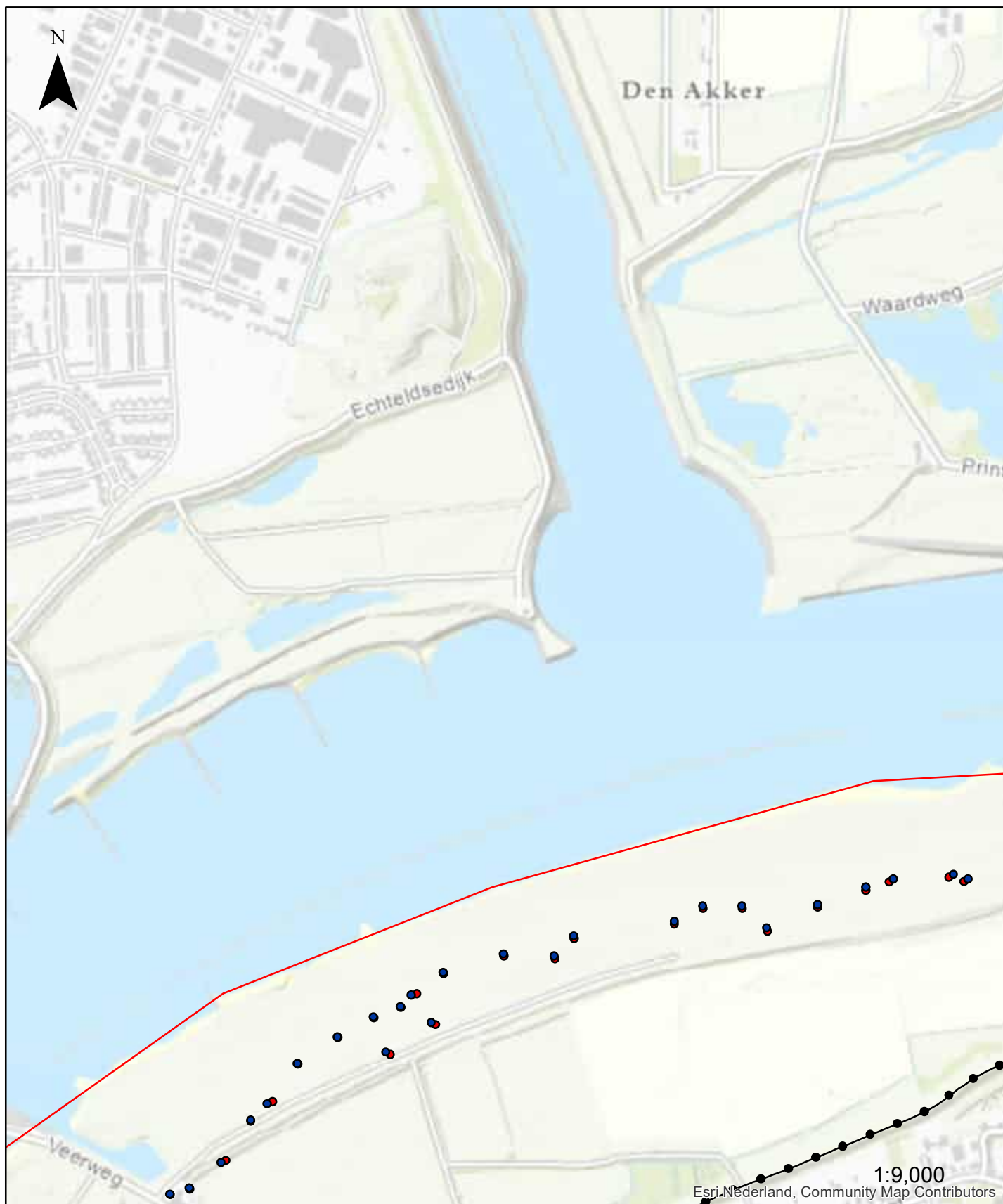




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

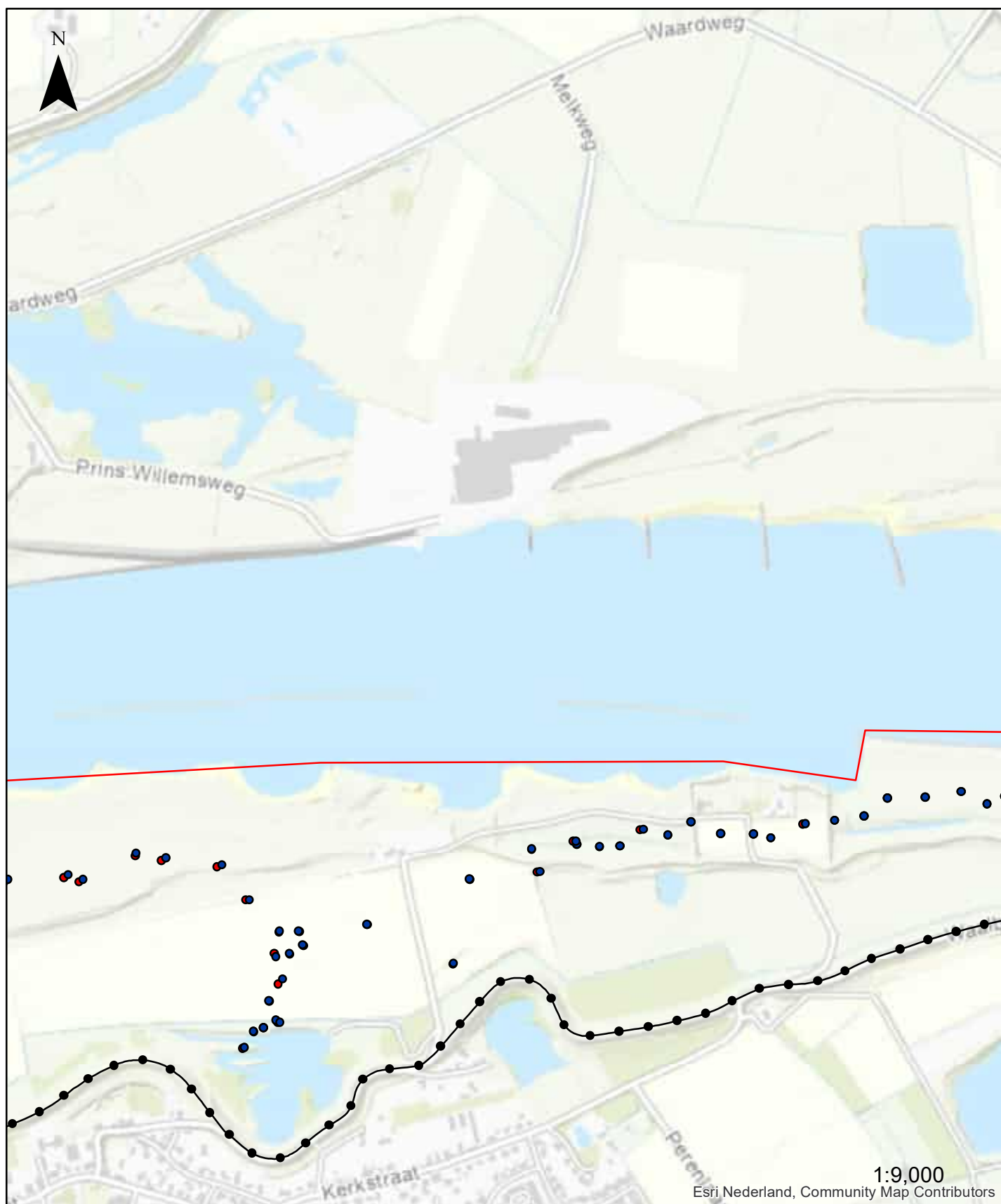




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

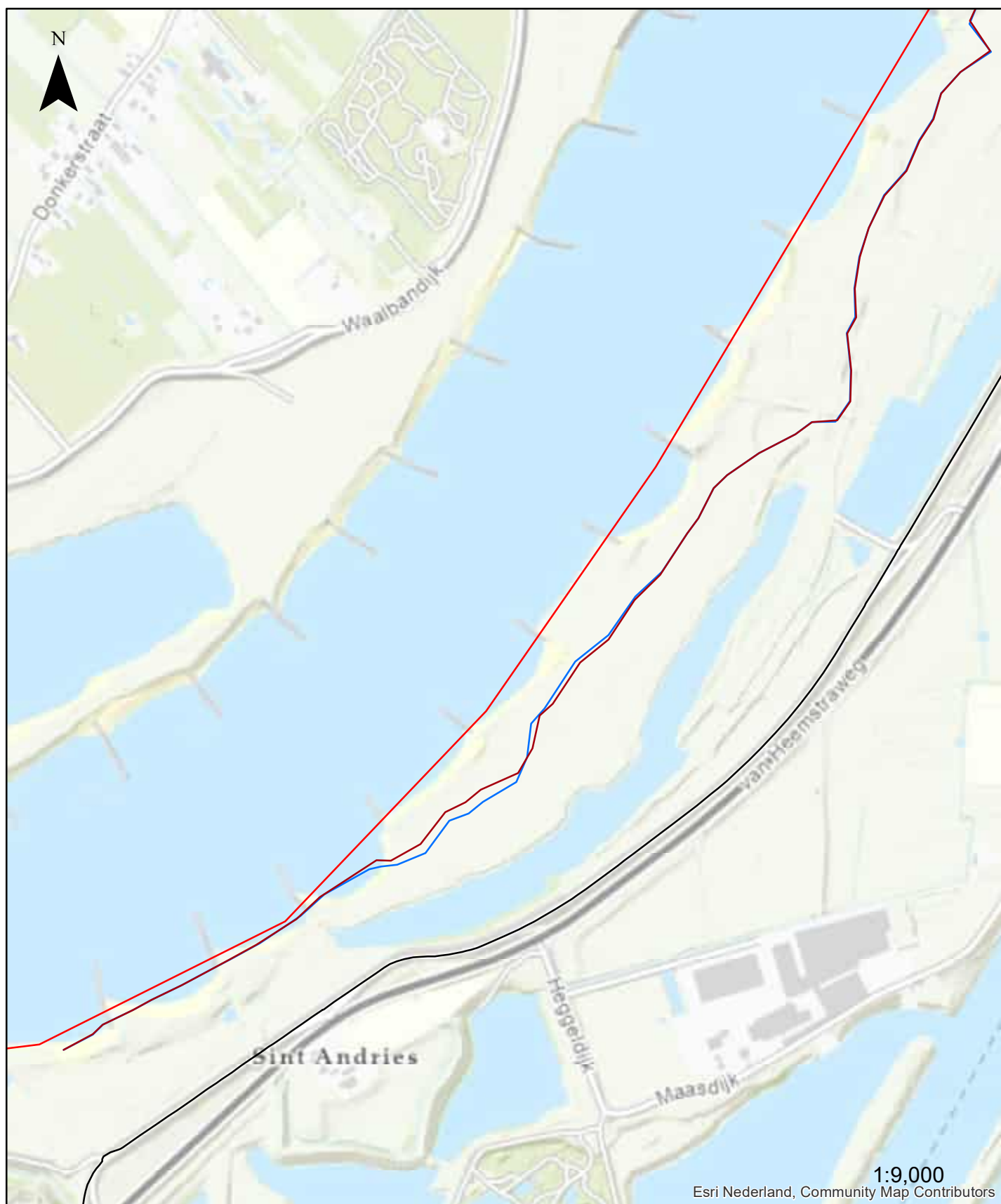




Legenda

- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intreidelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

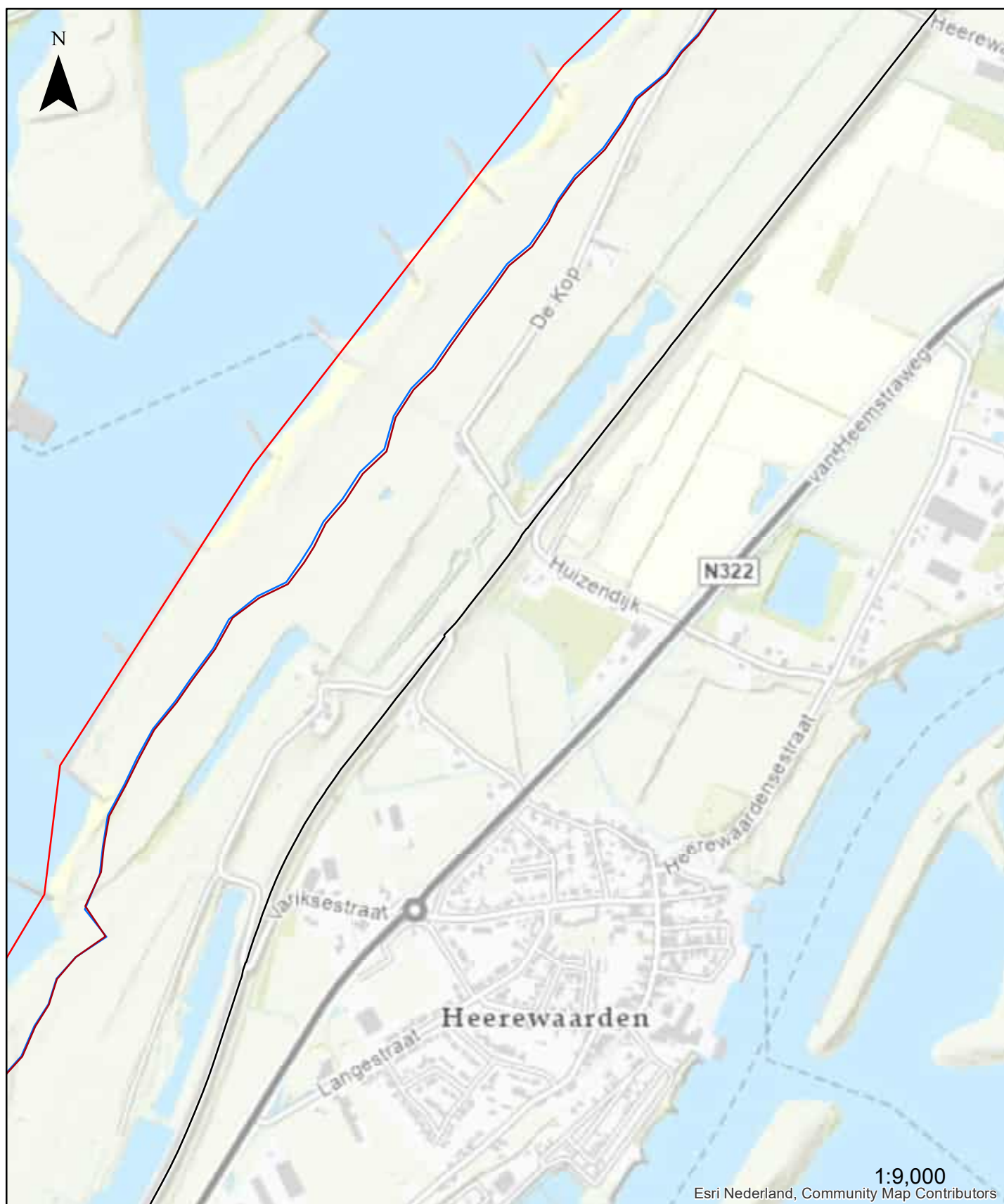




Legenda

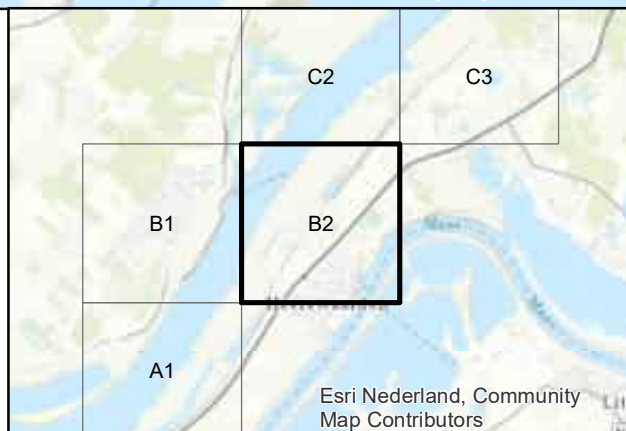
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

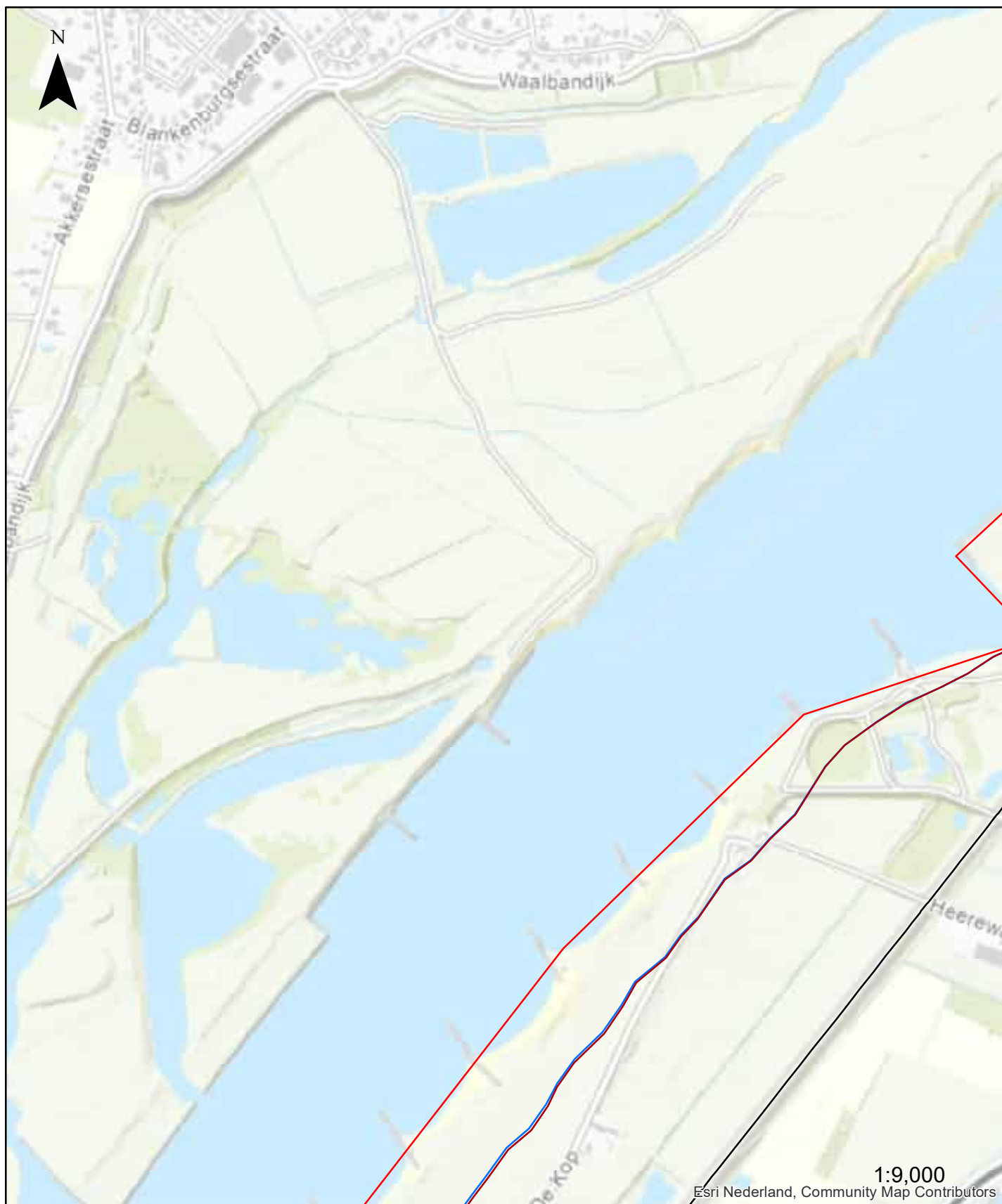




Legenda

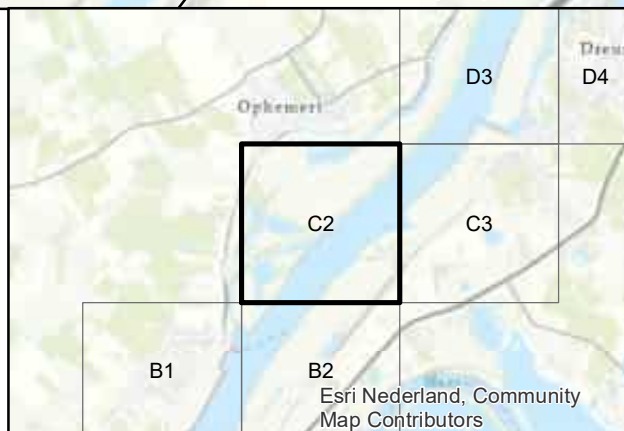
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

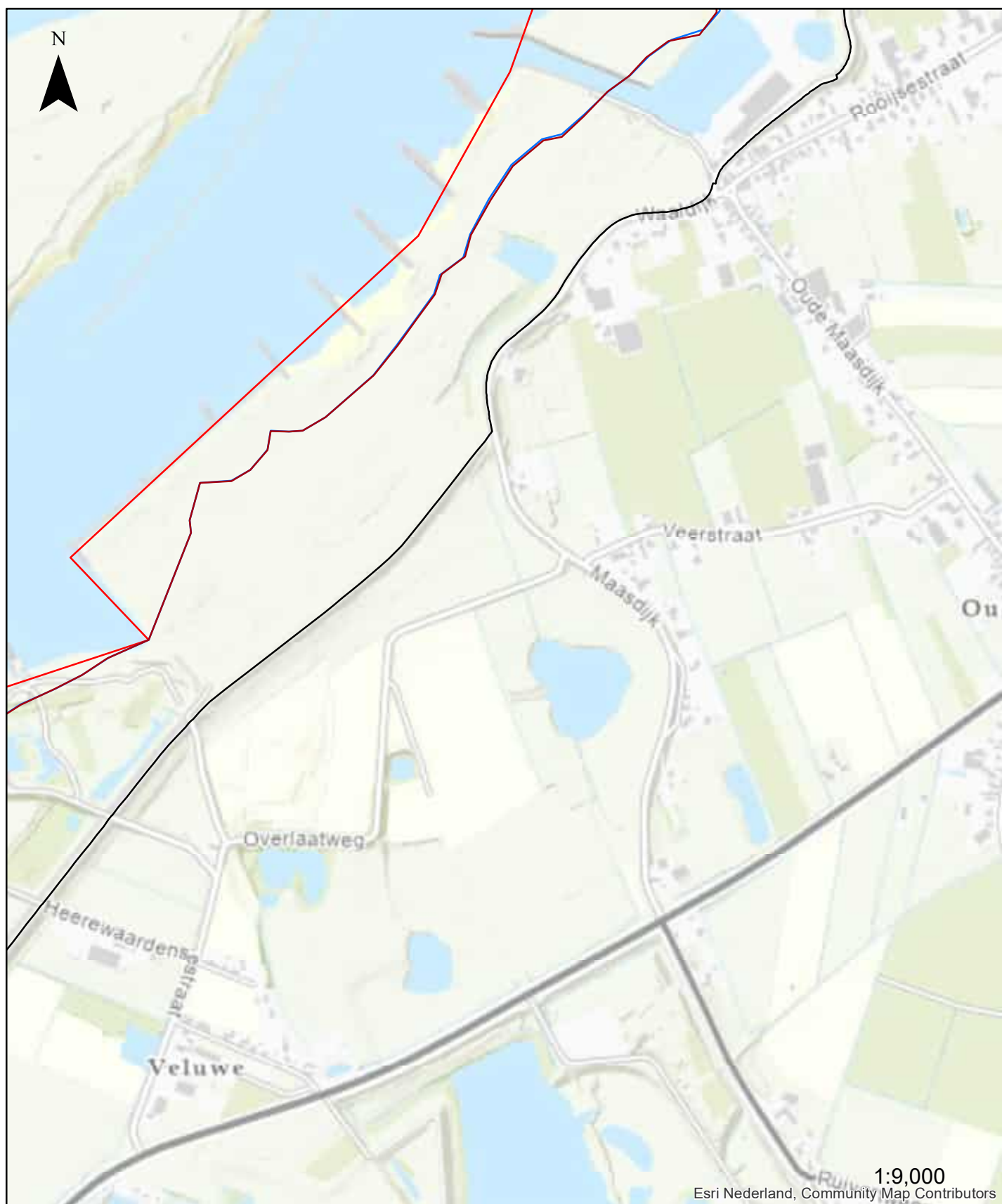




Legenda

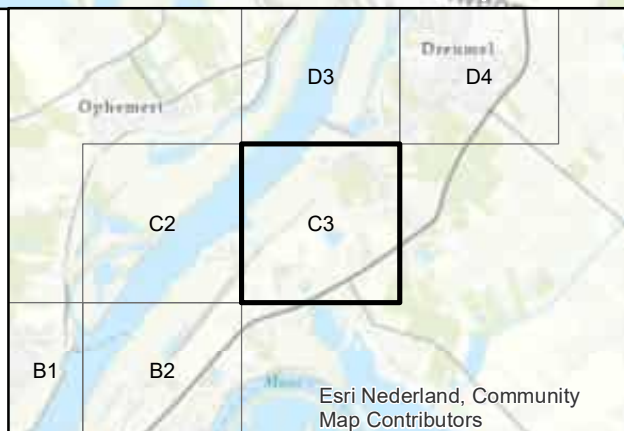
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

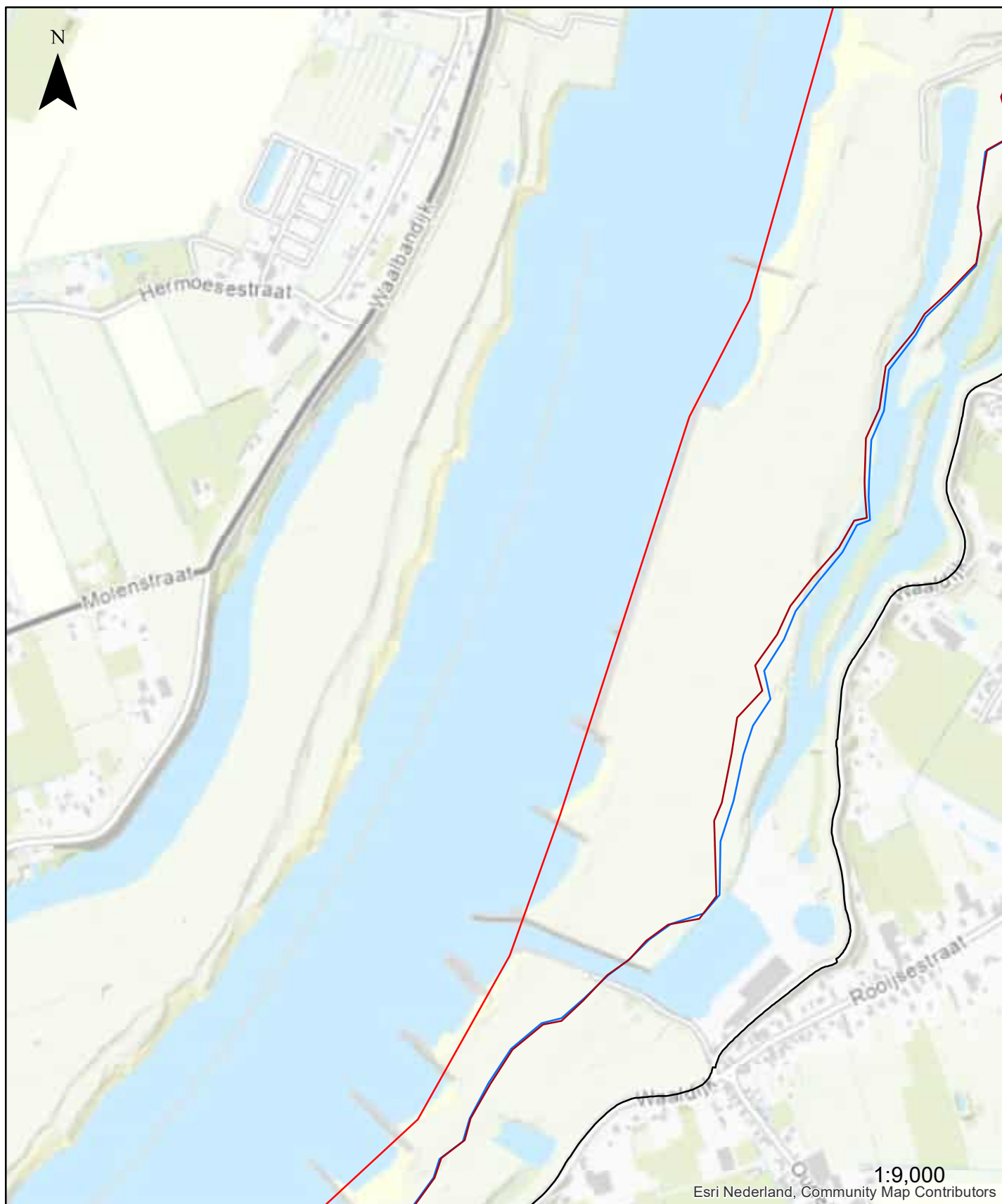




Legenda

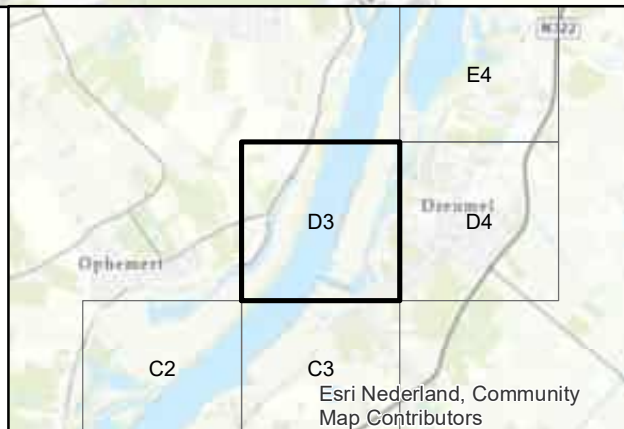
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

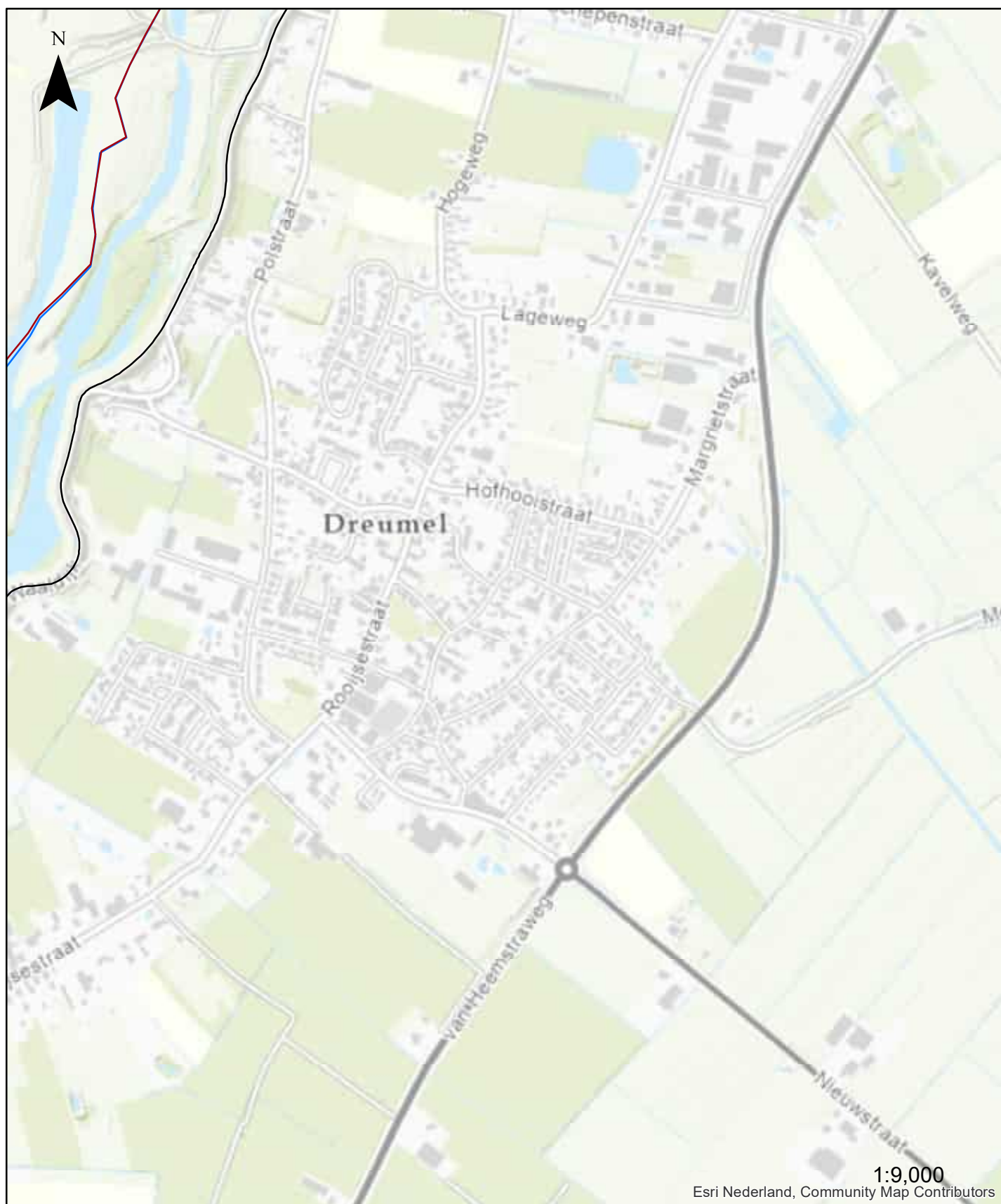




Legenda

- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

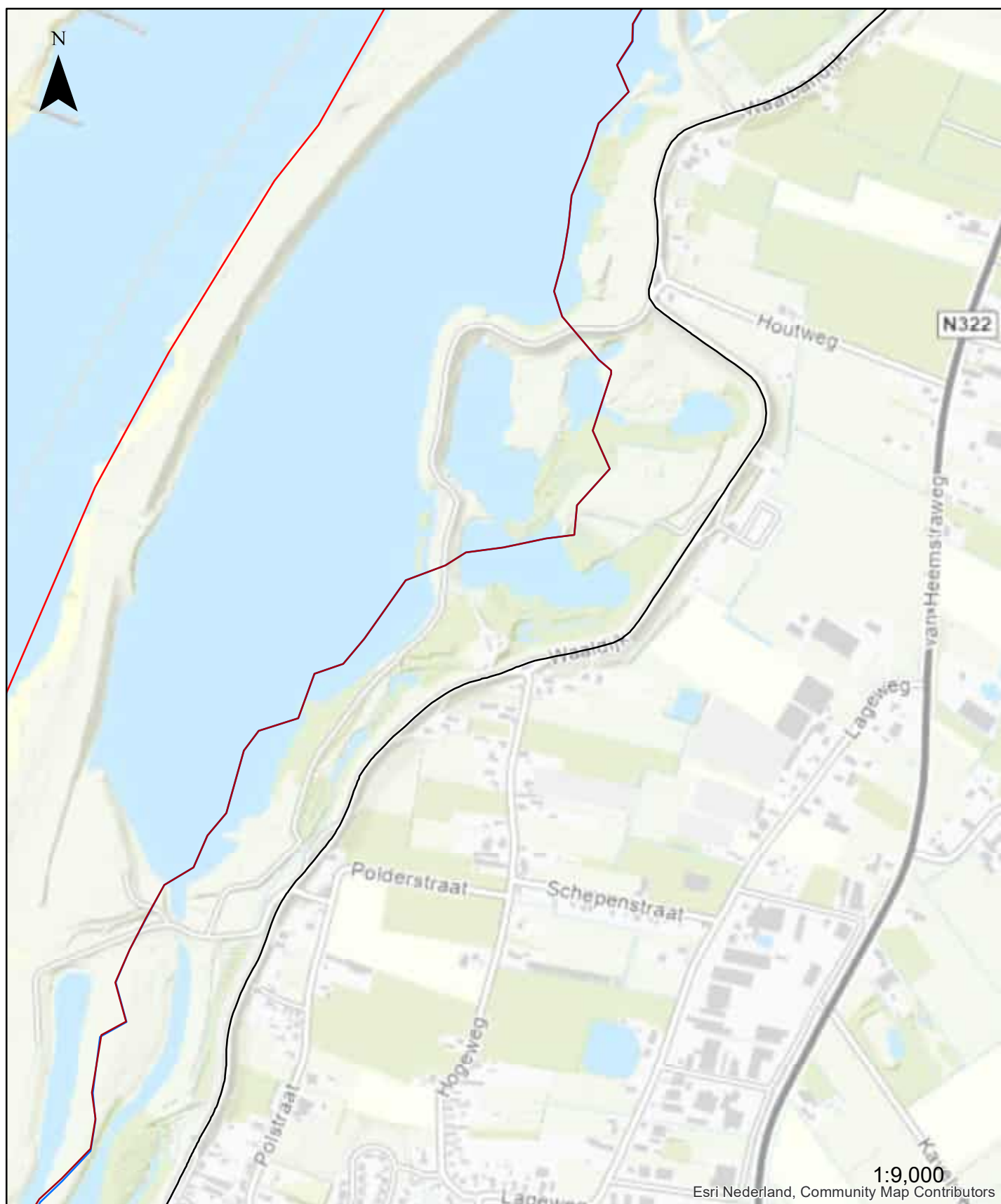




Legenda

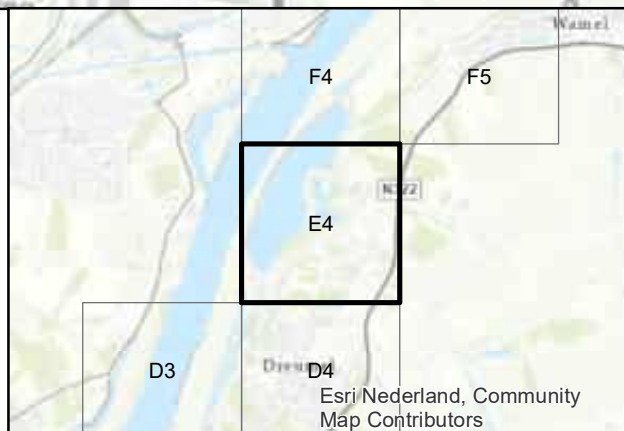
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

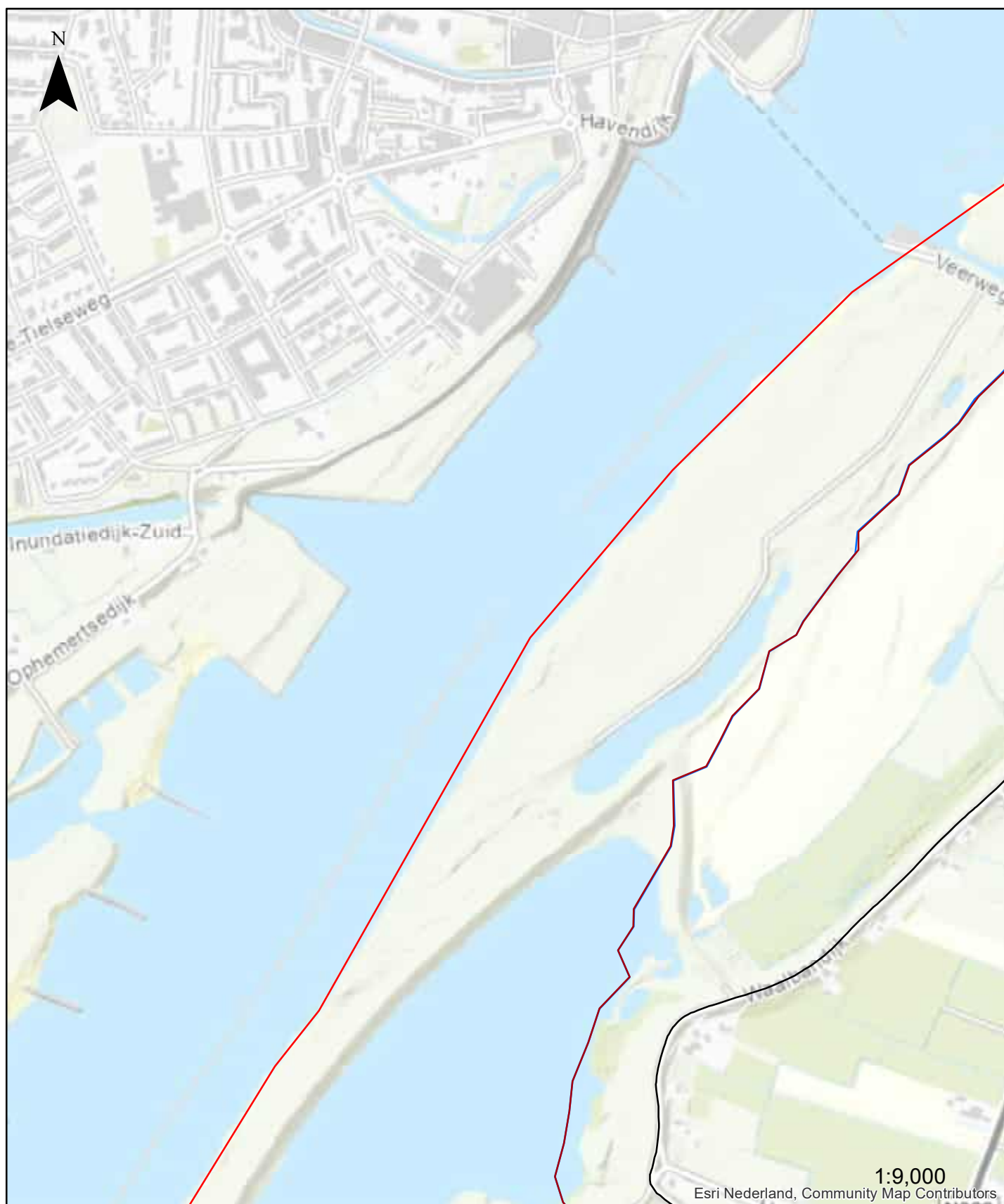




Legenda

- Geometrische intreidelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intreidelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

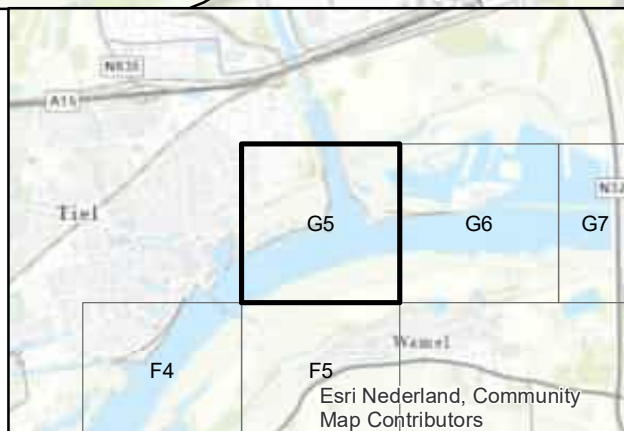
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredpunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredpunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intreidelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

- Geometrische intreidelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





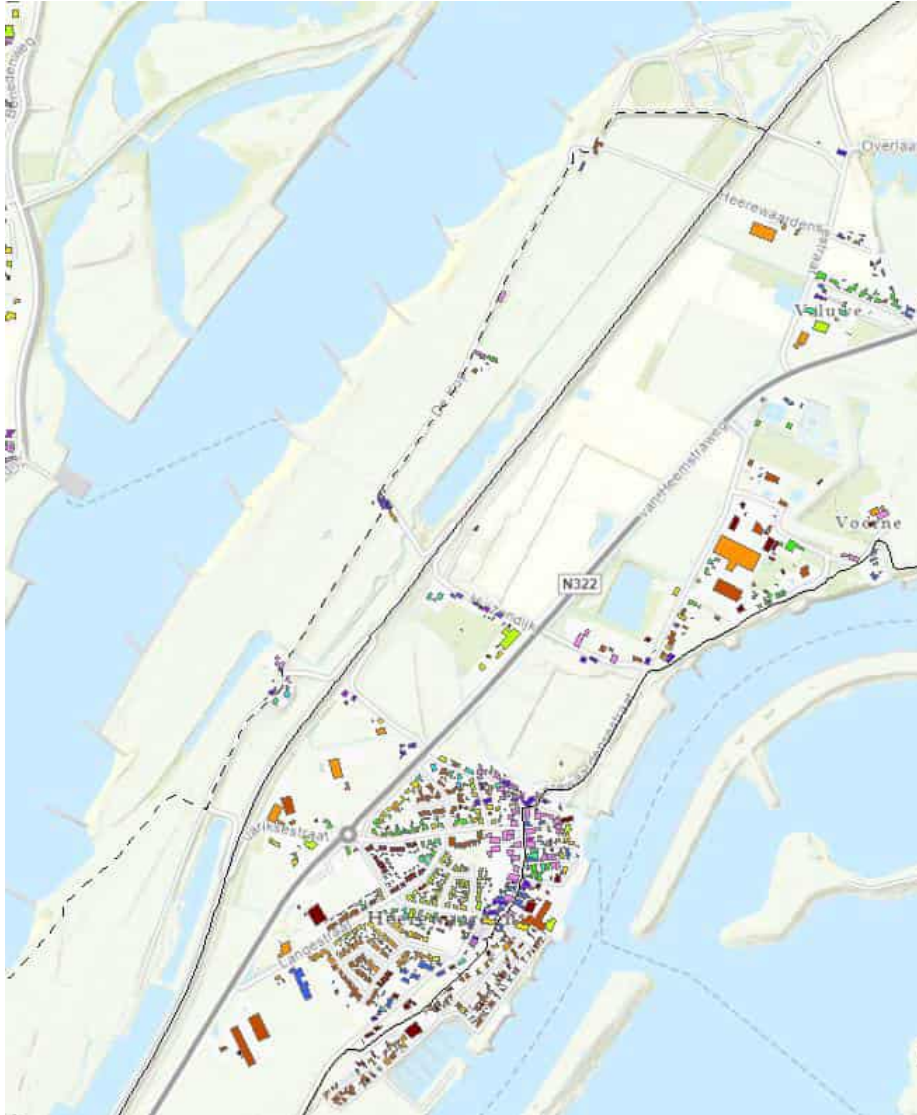
Legenda

- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk



Appendix B Buitendijkse effecten

In het buitendijkse gebied van Heerewaarden is enkele bebouwing gelegen (aan de Kop en aan de Molendijk), zie figuur 13.



Figuur 13: Buitendijkse bebouwing Heerewaarden

Hoogwater

Opgemerkt wordt dat de overstromingsfrequentie in het buitendijkse gebied niet wordt beïnvloed door de voorziene ingrepen. Derhalve wijzigt het wateroverlast dat ontstaat door overstromingen in het gebied niet. Tijdens de T=10 hoogwatersituatie is de omliggende grond, en mogelijk ook de panden, geïnundeerd, derhalve is enkel een kwalitatieve toetsing van de risico's van een mogelijke stijging van de grondwaterstand gedurende een periode per jaar mogelijk.

Gezien de ligging in buitendijks gebied waar de grondwaterstand gedurende langere perioden per jaar vrijwel aan maaiveld staat is het waarschijnlijk dat de panden geen kelders, of in ieder geval geen lekke kelders, hebben. Aangezien de situatie waar het grondwater zich vrij vlak onder maaiveld bevindt in een regulier jaar al voor zal komen wordt niet verwacht dat de ingrepen voor merkbaar wateroverlast zorgen bij de bebouwing omdat de freatische grondwaterstand niet verder zal stijgen dan het maaiveld en de overstromingsfrequentie niet zal wijzigen. Theoretisch kan de periode dat het grondwater zich vlak onder maaiveld bevindt toenemen, echter, gezien de buitendijkse locatie, is het aannemelijk dat de aanwezige bebouwing daarop is ingericht.

Bebouwing ondervindt doorgaans geen risico's door enkel een toename van de stijghoogte, derhalve wordt geen risico verwacht met betrekking tot de (berekende) toename van de stijghoogte in het buitendijkse gebied.

Laagwater

De berekende grondwaterstandsverlaging tijdens de T = 10 laagwatersituatie bij de bebouwing bedraagt maximaal ca. 6 cm. De stijghoogteverlaging bedraagt tevens maximaal ca. 6 cm.

Door grondwaterstands-/stijghoogteverlagingen kunnen cohesieve grondsoorten zoals klei, leem en veen worden samengedrukt, met zettingen tot gevolg. Hierbij kan worden gedacht aan maaiveldzakkingen en zetting (en deformatie) van op staal gefundeerde panden en (ondergrondse) infrastructuur. Dit is met name het geval wanneer de grondwaterstand/stijghoogte gedurende langere tijd wordt verlaagd tot beneden de in het verleden opgetreden lage waarde. Zettingen, voornamelijk in combinatie met grote hoekverdraaiingen, kunnen bij bebouwing op staal leiden tot schade.

Daarnaast zijn houten paalfunderingen kwetsbaar voor verlagingen van de grondwaterstand tot onder het paalkopniveau. De paalkoppen kunnen in dat geval gaan rotten of worden aangetast door schimmels. Als in het verleden droogstand is opgetreden kunnen de palen reeds aangetast zijn.

Zettingen

Op basis van de geringe dikte van de (lokaal aanwezige) topzandlaag ter plaatse van het buitendijkse gebied (vastgesteld op basis van geofysisch onderzoek) is het zeer aannemelijk dat de historisch lage grondwaterstand in ieder geval al is uitgezakt tot onder het niveau van de (lokaal aanwezige) topzandlaag. Derhalve zullen geen zettingen voortkomen uit de toplaag.

De historisch lage stijghoogte is in het verleden vermoedelijk al lager geweest dan zal ontstaan door de aanleg van de projectingrepen. Op basis van betrekkinglijnen en duurlijnen (relatie tussen waterstand, debiet en periode) van de Waal bij Heerewaarden (Rijkswaterstaat, 2019) kan geconcludeerd worden dat in de laatste 30 jaar de waterstand van de Waal ca. 69 dagen (gemiddeld 2,3 dag per jaar bij een afvoer bij Lobith van ca. 775

m³/uur) lager is geweest dan het aanlegniveau van de geulen bij Heerewaarden (ca. NAP +1,2 m). Dat wil zeggen dat de geulen uit het ontwerp op deze momenten droog zouden zijn gevallen. Wanneer de geulen droogvallen is de geohydrologische situatie vrijwel gelijk aan de huidige geohydrologische situatie, immers is, gerekend vanaf de binnendijkse zijde, het eerste oppervlaktewaterlichaam dan de Heerewaarden. Aangezien de stijghoogte in het gebied sterk wordt bepaald door de waterstand van de Waal is het aannemelijk dat de stijghoogte gedurende die periode ook al zeer laag is geweest, vermoedelijk lager dan met het ontwerp zonder droogvallen van de geulen. Derhalve worden geen zettingen verwacht door de ingreep als gevolg van een stijghoogteverlaging.

Houten palen

Indien de panden in het buitendijkse gebied op houten palen zijn gefundeerd kan een grondwaterstandsverlaging leiden tot (eerdere) aantasting van de houten palen wanneer de houten palen door deze verandering eerder, of langduriger, droogvallen.

De berekende grondwaterstandsverlaging van max. 6 cm kan leiden tot (langduriger) droogval van houten paalfunderingen en daardoor aantasting van de houten palen, met name als de houten palen gedurende een langere periode droogvallen. Het exacte risico is zonder informatie over de paalkopniveaus en grondwaterstandsmetingen niet te bepalen.

Opgemerkt wordt dat in kleiige bodem, zoals in een groot deel van het buitendijkse gebied bij Heerewaarden het geval is, houten palen vaak gedurende langere tijd voldoende vochtig blijven, zelfs wanneer de grondwaterstand tijdelijk uitzaakt onder het paalkopniveau (d.w.z. de bodem is vrijwel volledig verzadigd i.p.v. volledig verzadigd). Omdat de berekende verlagingen (op basis van T = 10 laagwater) normaliter gedurende een korte tijd optreden en de verlagingen gedurende een regulier jaar beperkter zijn (ordegrootte 1 à 2 cm) wordt het risico op (extra) droogvallende palen door de ingrepen in de uiterwaarden minimaal geacht.

Gezien de betrekings- en waterstandsduurlijnen van de Waal en de vermoedelijk lagere stijghoogte (die weer invloed heeft op de grondwaterstand) wordt opgemerkt dat, indien panden op houten palen zijn gefundeerd, het mogelijk is dat houten palen in de huidige situatie ook al deels droogvallen waardoor lokaal de staat van de houten paalfunderingen al slechter kan zijn, ongeacht de projectingreep