

Technische notitie

Projectnaam	Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden		
Onderwerp	Uitkomsten en (rest)risico's gemeente Maasdriel		
Opdrachtgever	Kragten	Contactpersoon	P. van Zandvoort
Projectnummer	1120-180419	Documentnummer	TN06 – V1.4
Datum	20-08-2021	Opgesteld door	M. Veenvliet
Gecontroleerd door	V. Lubbers	Vrijgegeven door	V. Lubbers

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.

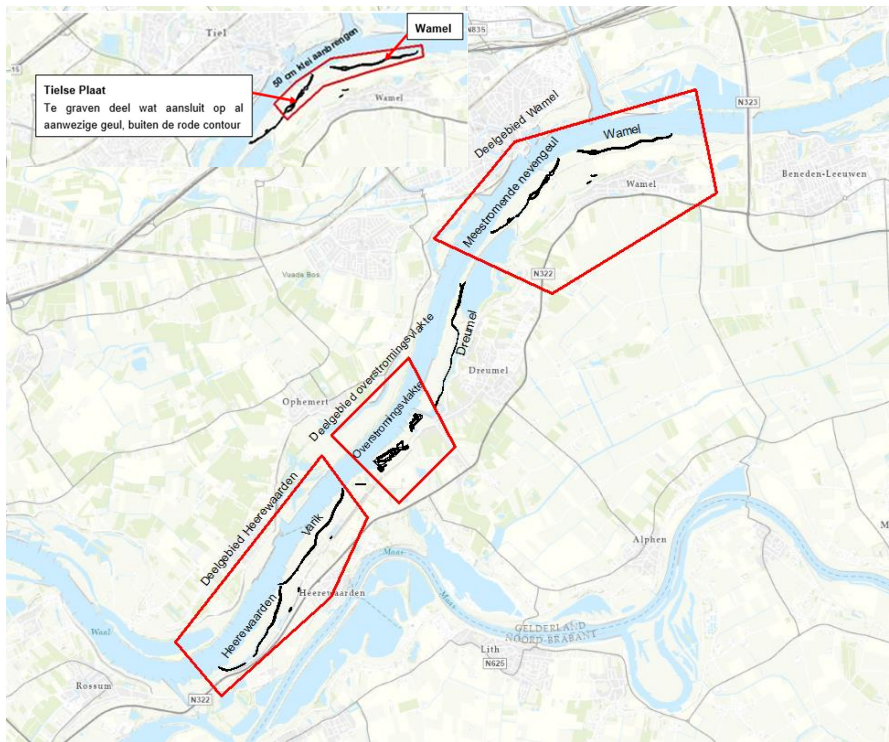
Deze notitie maakt onderdeel uit van een drietal notities:

- 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.

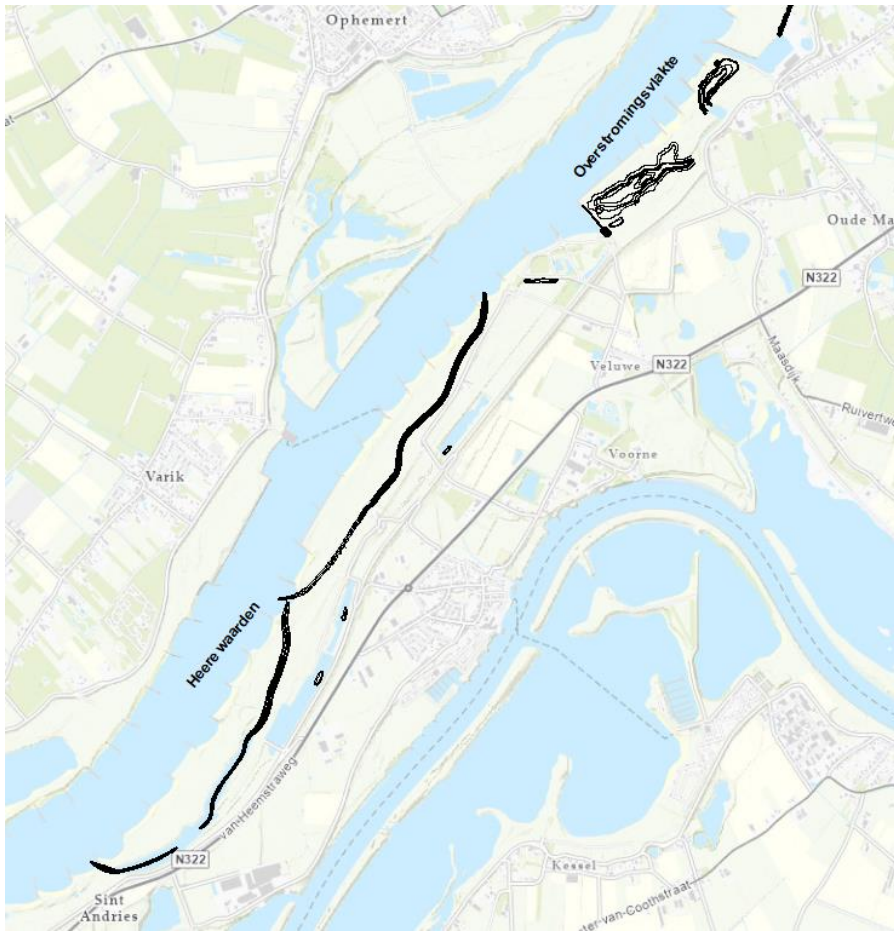
De ontgravingscontouren van het DO2.0 ontwerp (d.d. 03-02-2021) zijn weergegeven in figuur 1. In figuur 2 is ingezoomd op het ontwerp gelegen in de gemeente West Maas en Waal.

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

is de gestuurde overstroomingsvlakte. 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: 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 (herhalingsstijd 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 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 drainagegebied 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

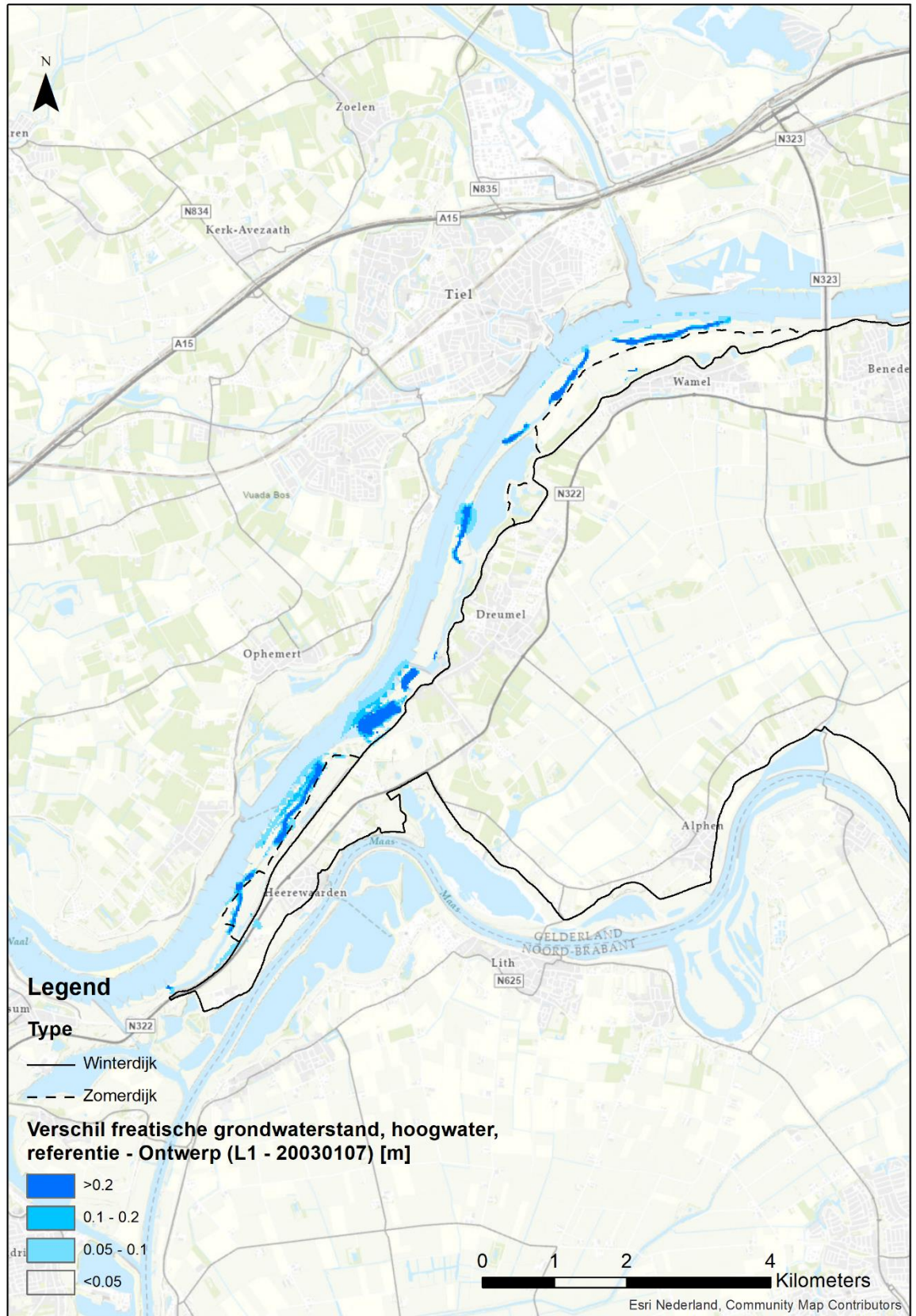
In dit hoofdstuk zijn in paragraaf 3.1 de modelresultaten van de T = 10 hoog- en laagwatersituatie beschreven. Tevens is in paragraaf 3.2 een toelichting gegeven op de risico's die gepaard gaan bij de berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen en de berekende kwel/wegzijgingsveranderingen.

3.1 Modeluitkomsten

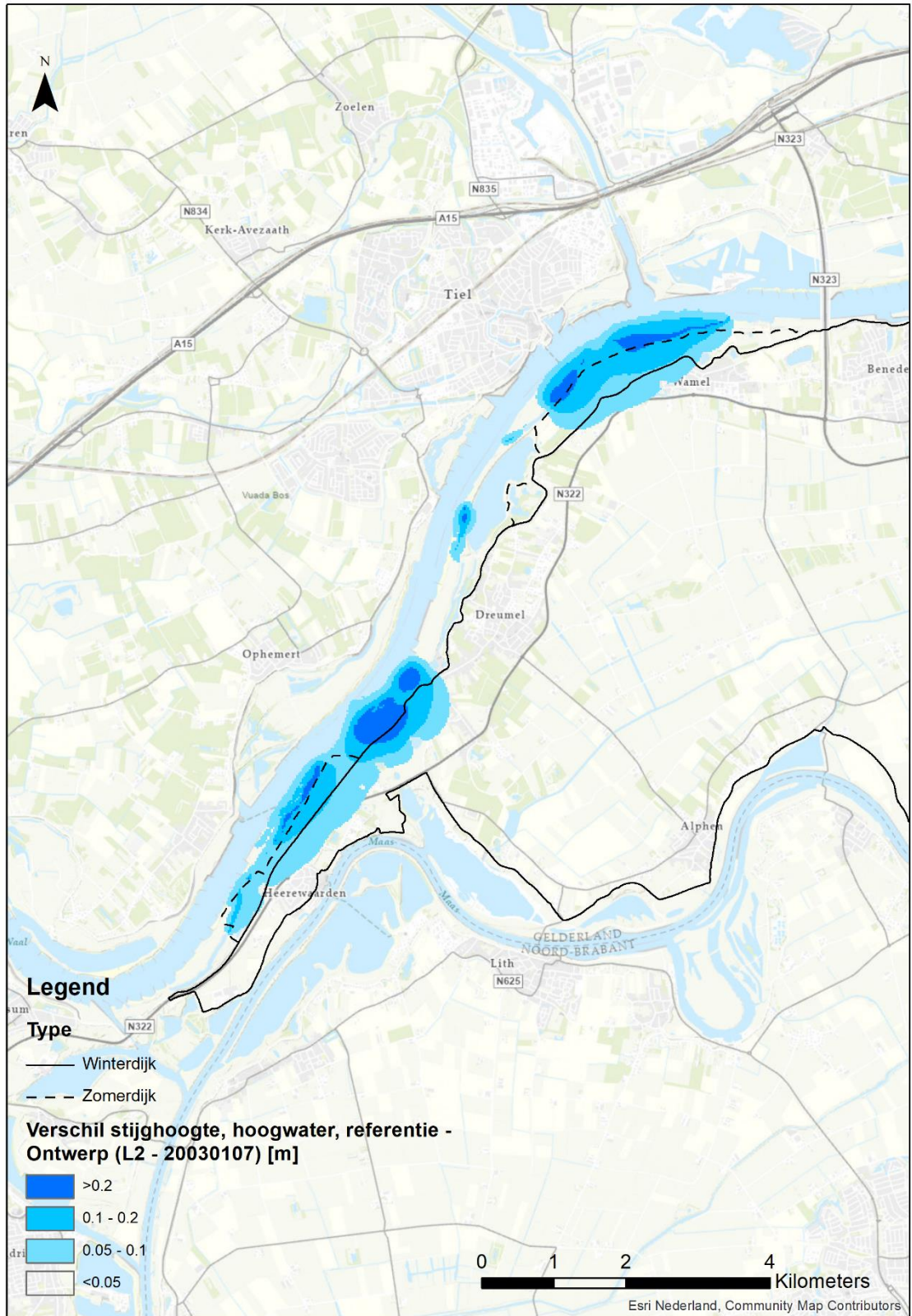
In deze paragraaf zijn de verschillen tussen de referentiesimulatie en de simulatie met het ontwerp weergegeven. Deze paragraaf is opgesplitst in 2 onderdelen, namelijk de toetsing op grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen en de toetsing op kwel/wegzijgingsveranderingen.

3.1.1 Grondwaterstand/stijghoogte

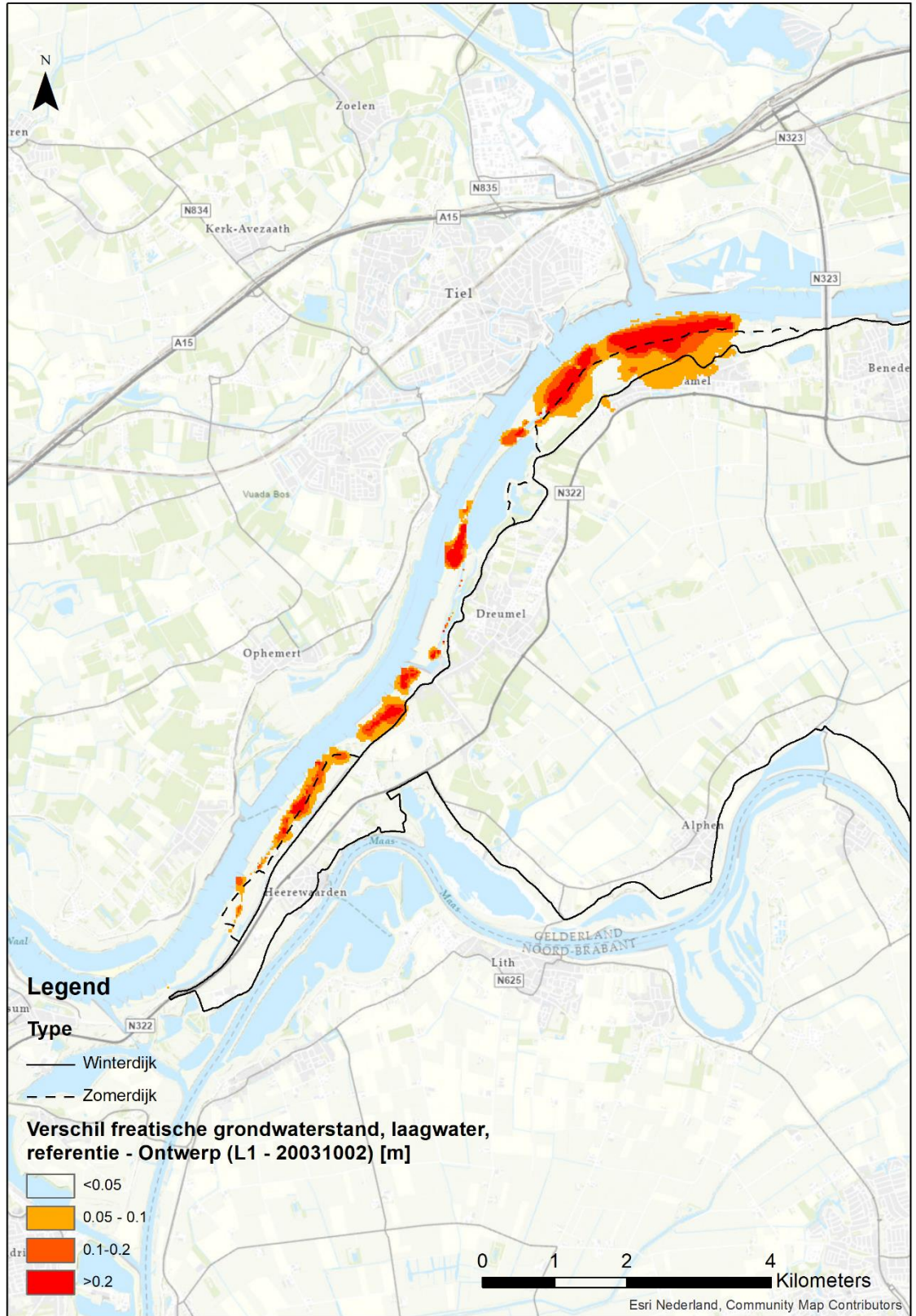
De uitkomsten voor T=10 natte zijn weergegeven in figuur 1 en figuur 2. De uitkomsten voor de T=10 droge situatie zijn weergegeven in figuur 3 en figuur 4. Hierbij is blauw een vernatting en rood/oranje een verdroging ten opzichte van de referentiesituatie bij T=10.



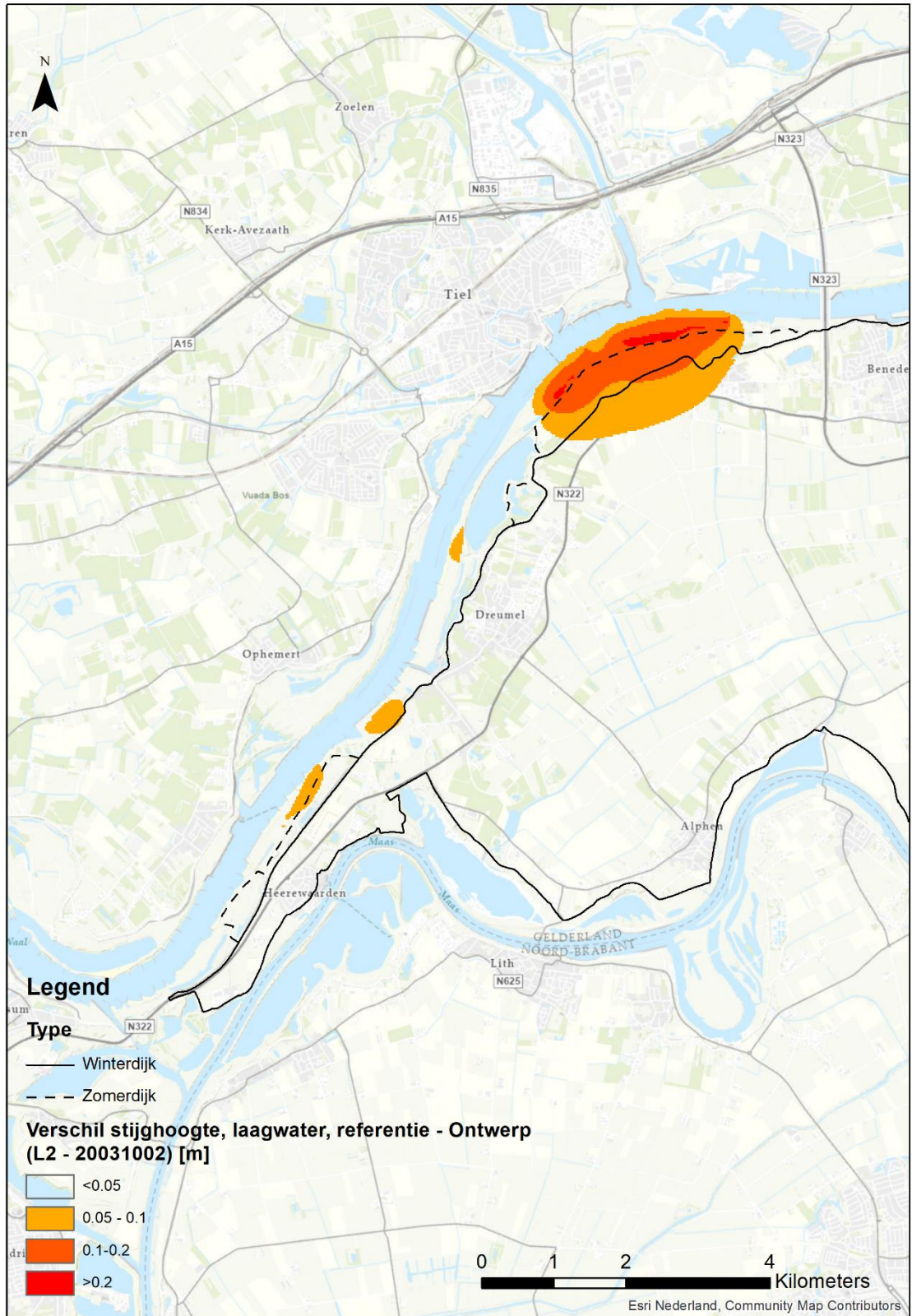
Figuur 4: Vershil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie



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



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



Figuur 7: Verskil 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.

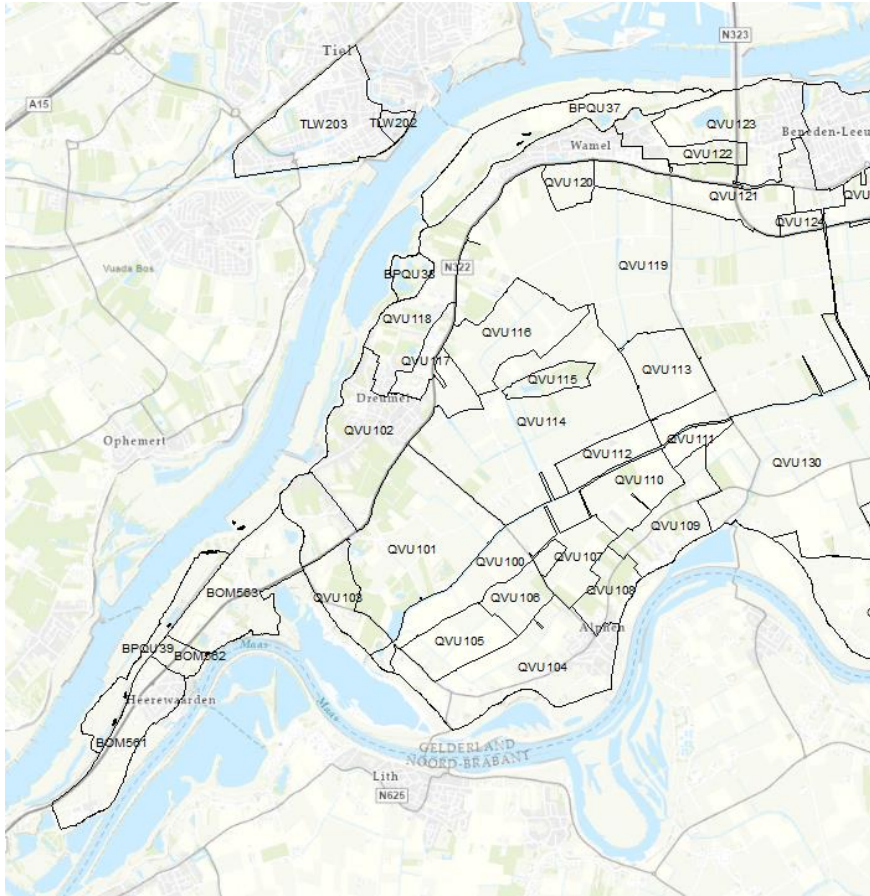
Tabel 1: Uitkomsten modellering UWDH

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
Heerwaarden	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/wegzijing, is er voor de twee modellen (referentie en UWDH) een waterbalans opgesteld. In de waterbalans is de hoeveelheid kwel/wegzijing per peilgebied bepaald. De peilgebieden zijn weergegeven in figuur 8.



Figuur 8: Peilgebieden UWDH

De verschillen in kwel en wegzijging (percentages en m^3/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
Wateraanvoer/afvoer	Waterafvoer	Maatregelen noodzakelijk vanwege grote toename debiet	Maatregelen noodzakelijk vanwege beperkte toename debiet
	Wateraanvoer	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

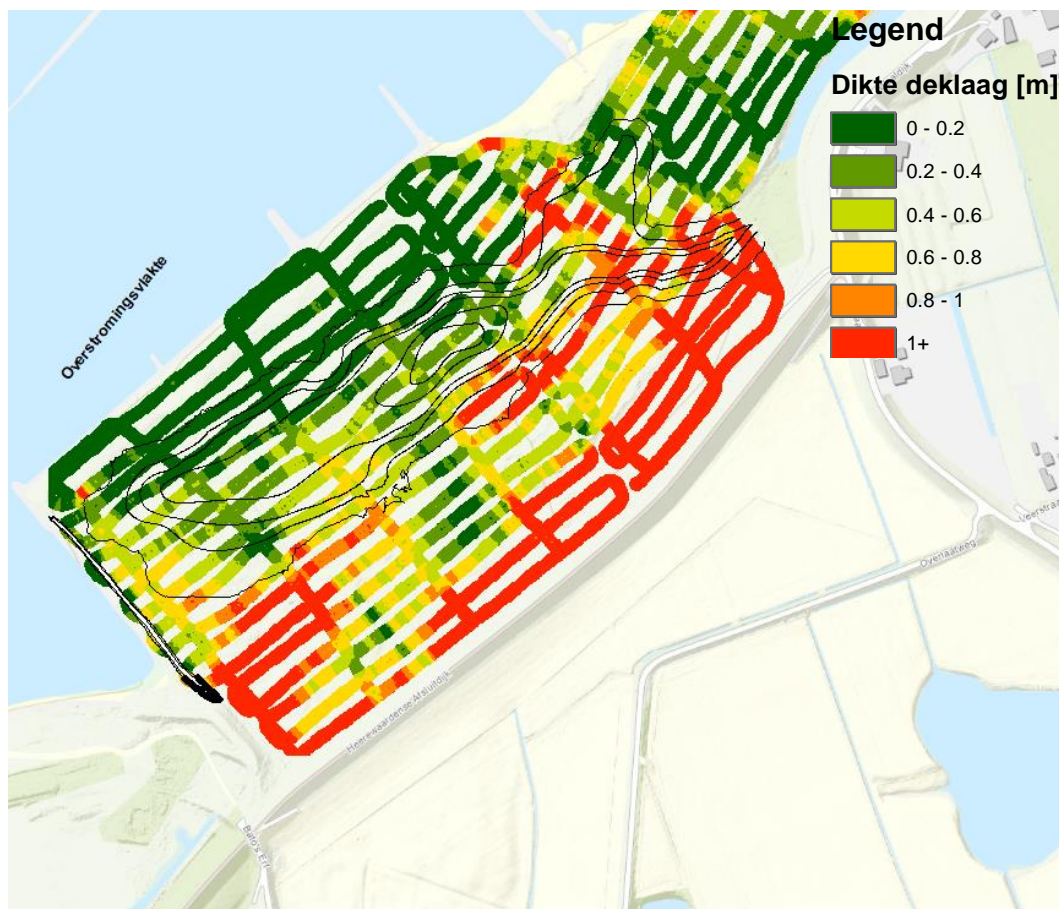
Uit hoofdstuk 3.2 en bijlage A kan geconcludeerd worden dat de overstromingsvlaktes enkel risico opleveren voor de toename van kwel wat naar voren komt als een extra debiet in de watergangen.

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.

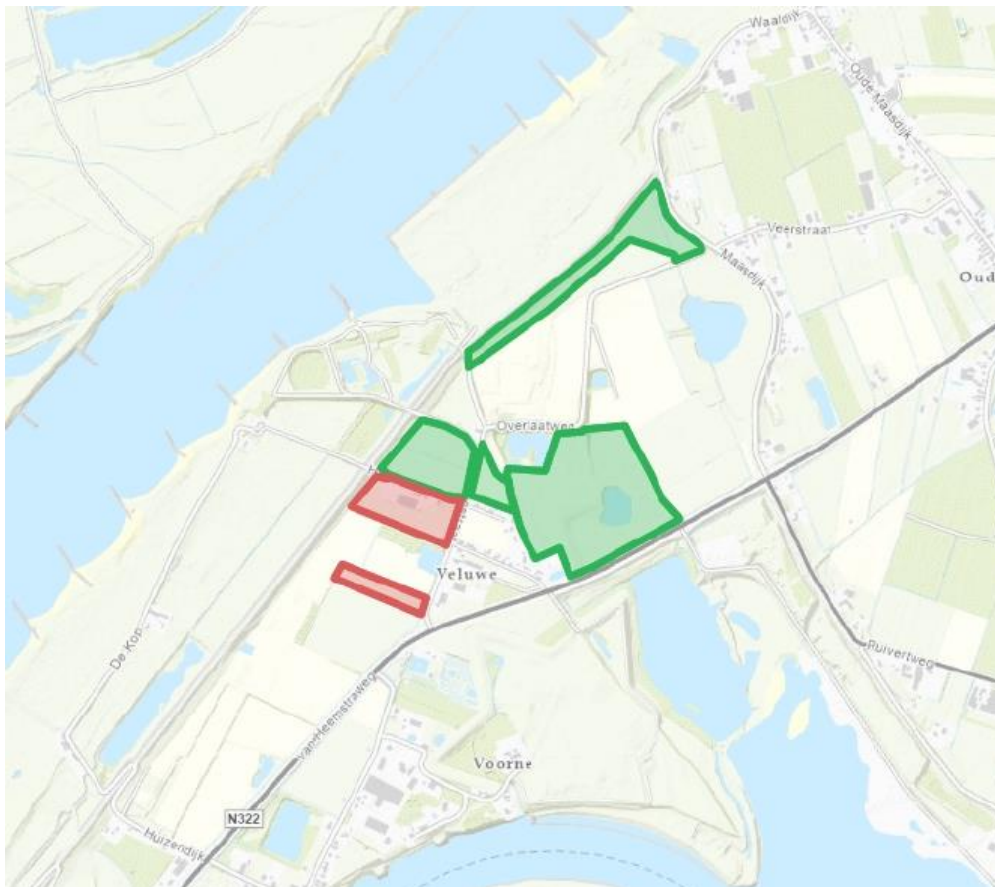


Figuur 9: Aanwezige deklaagdikte zuidelijke overstromingsvlakte

Na het aanbrengen van klei blijft een toename van het afvoerdebit 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.

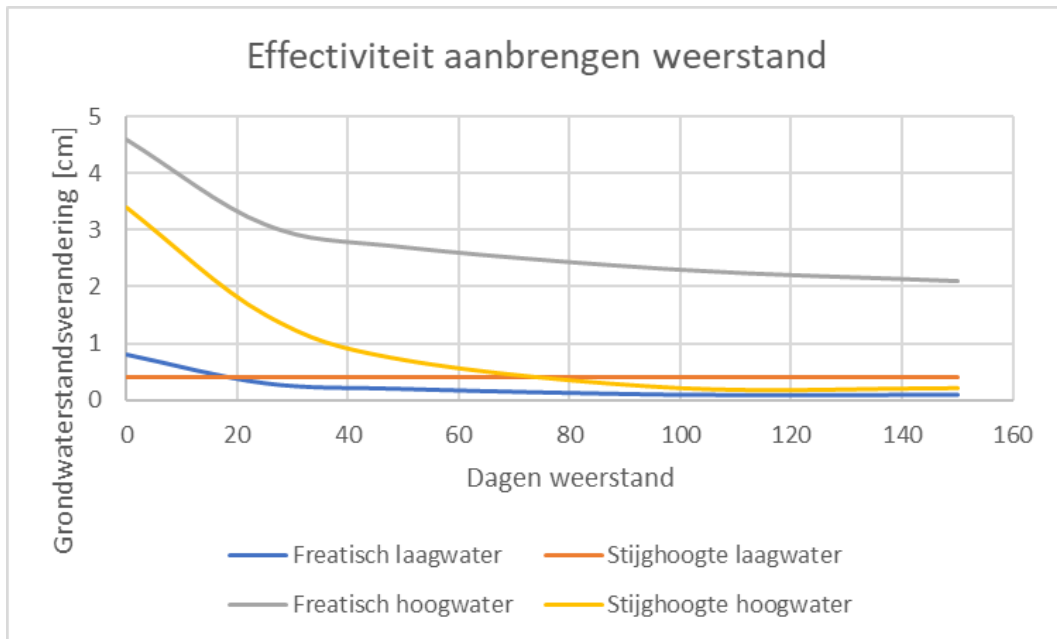


Figuur 10: Eigendom en mogelijkheid tot bergen

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 berekent 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 [%]**
Overstromingsvlakte	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.

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 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 verandert 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 weergeven 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 binnendijks 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.

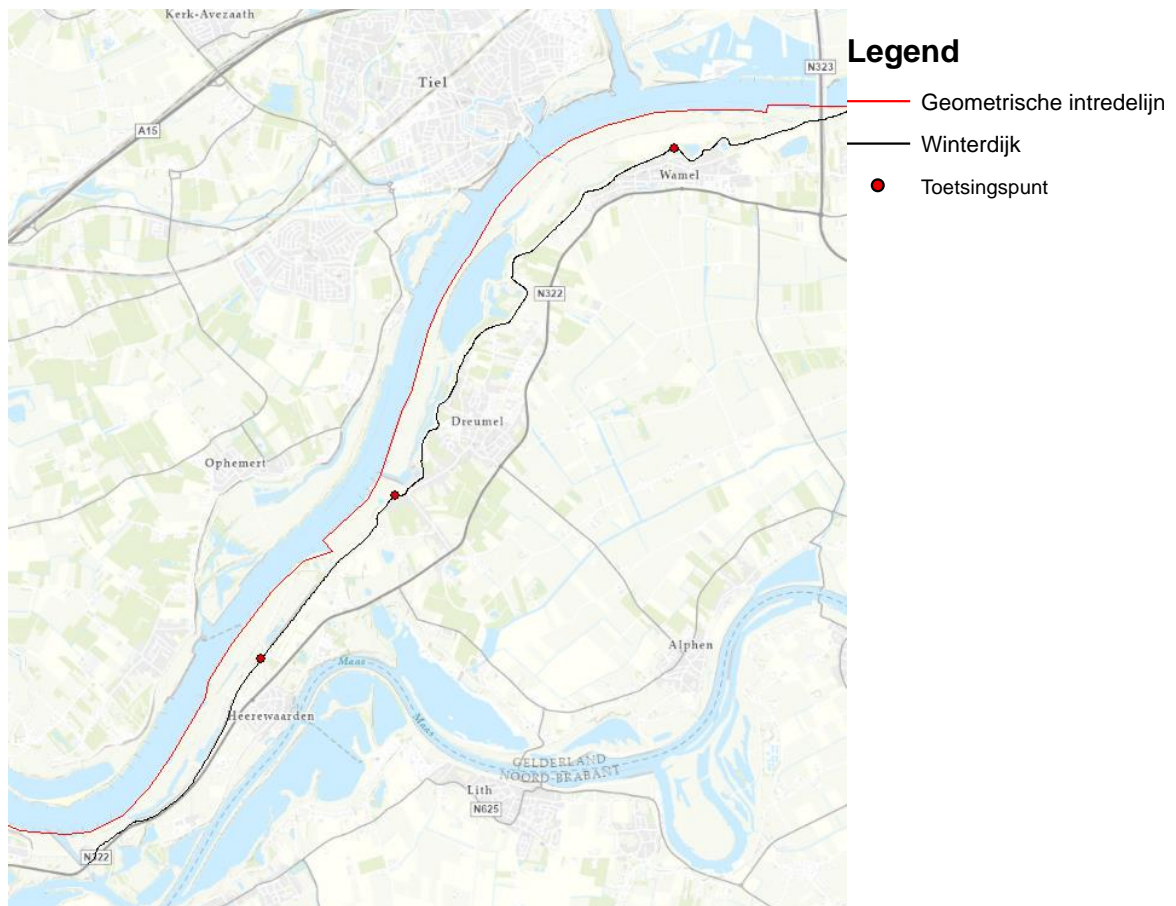
Opgemerkt wordt dat een deel van de zuidelijke overstromingsvlakte in de beschermingszone ligt. Voor de beschermingszone geldt dat voor locaties waar na ontgraving minder dan 1 meter klei in de deklaag achterblijft dit moet worden aangevuld tot een pakket van 1,5 m dikte vanwege dijkveiligheid (eis waterschap).

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 slootbodems 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.

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

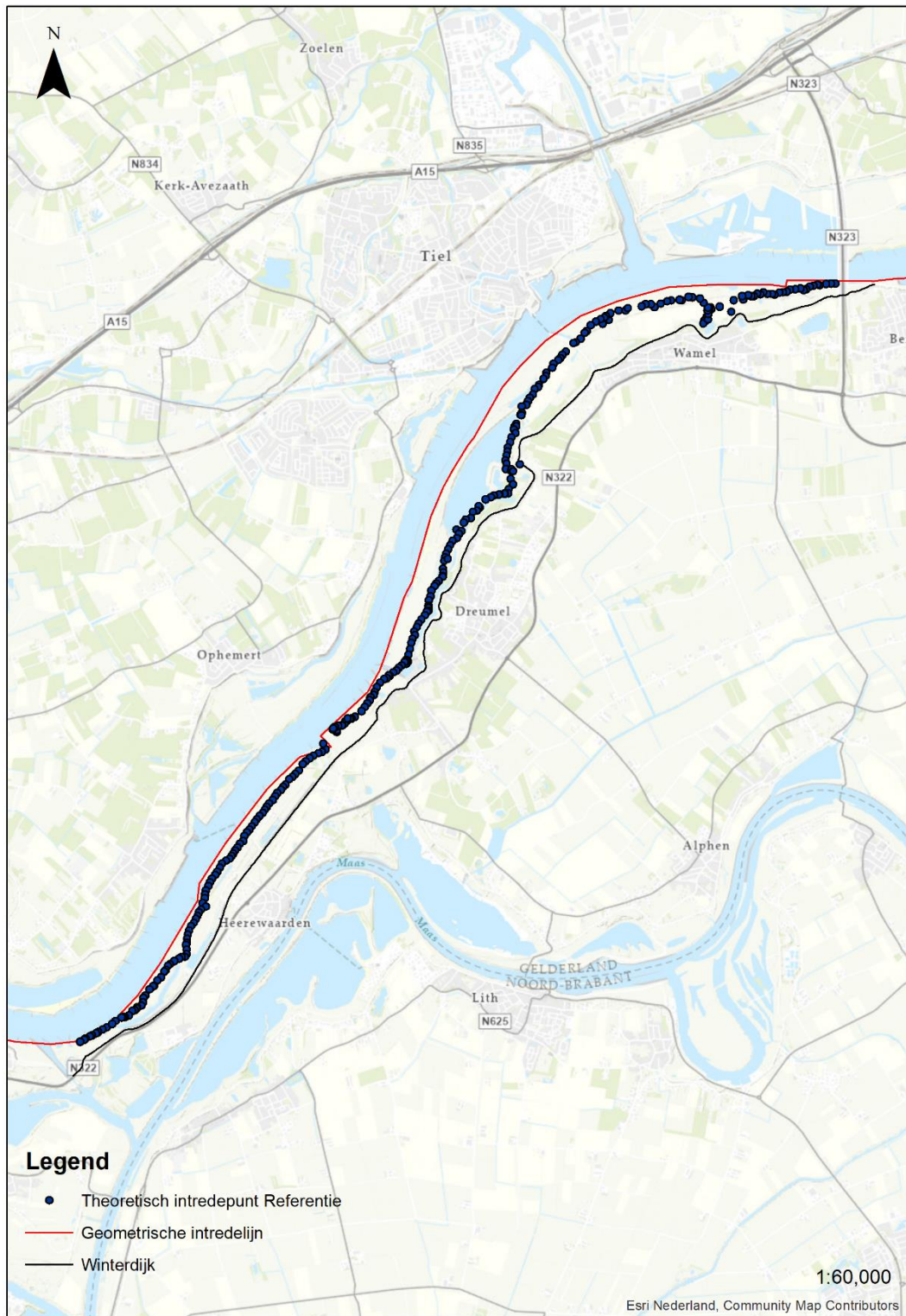
Gedurende de T = 10 laagwatersituatie wordt een toename van wegzijging berekend in BOM563 (0,7%), BOM562 (1,0%) en BOM561 (1,4%). De berekende verandering van de wegzijging komt overeen met een afname van het debiet van 25 m³/dag in BOM563, 5 m³/dag in BOM562 en 22 m³/dag in BOM561.

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.

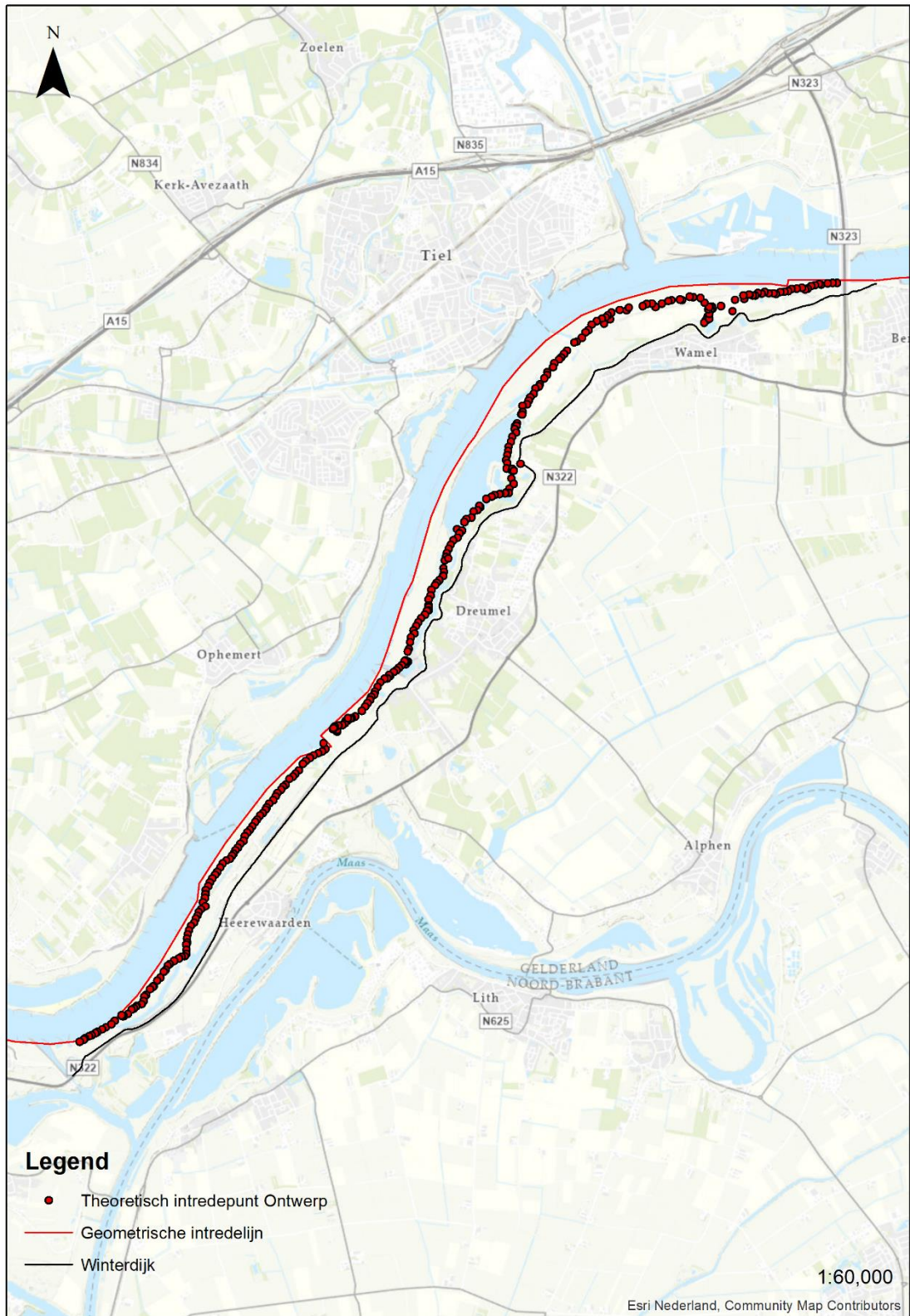
Omdat de peilgebieden enkel een natuurlijke toestroming hebben door kwel/wegzijging (d.w.z. geen aan-/afvoer van gemalen) en de afname van het debiet kleiner is dan 2% wordt geconcludeerd dat maatregelen niet noodzakelijk zijn, mits er geen risico's met betrekking tot wateronderlast ontstaan.

A.3 Kwelweglengte

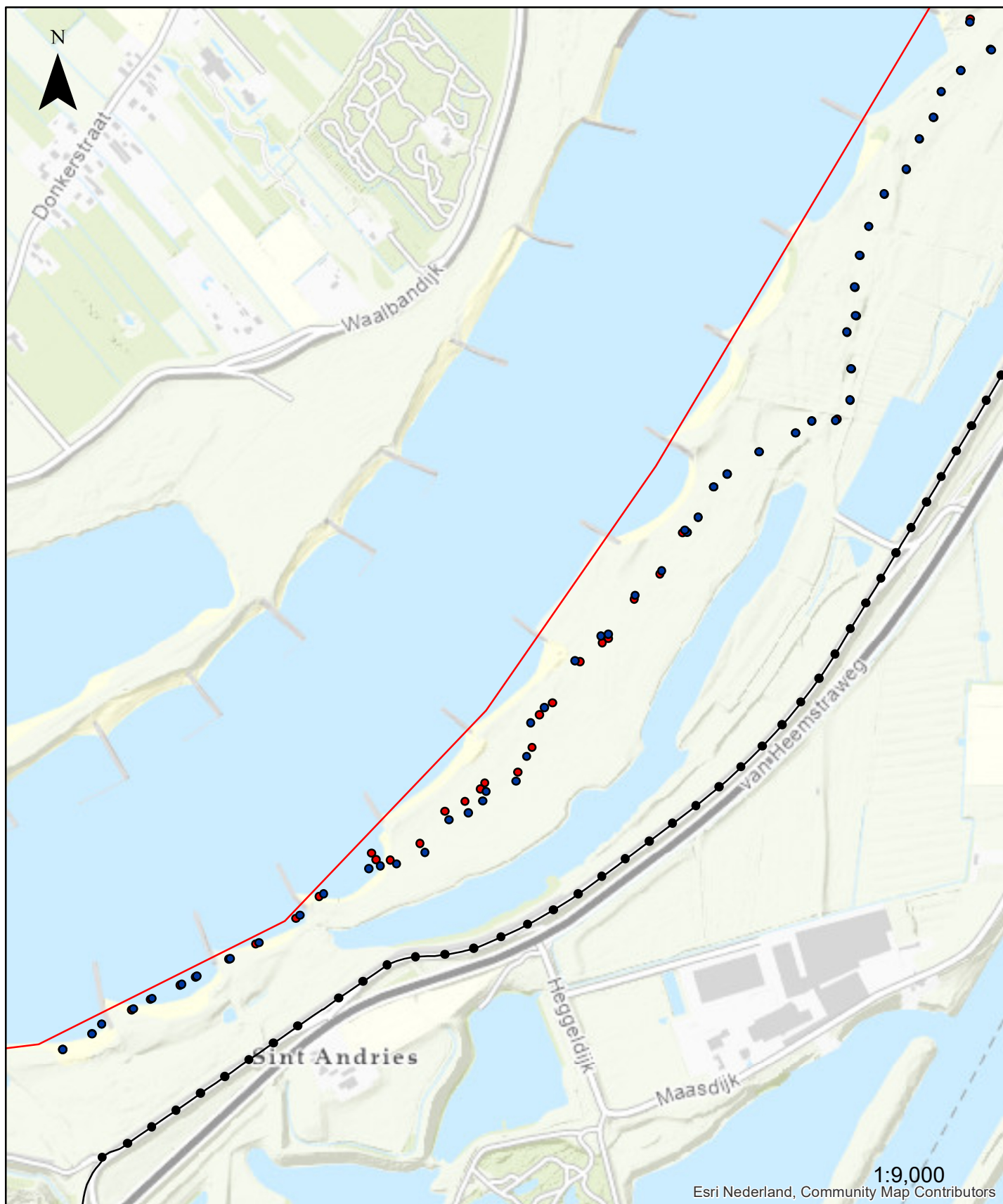
A.3.1 Referentiesituatie



A.3.2 Ontwerpsituatie



A.3.3 Lokale veranderingen



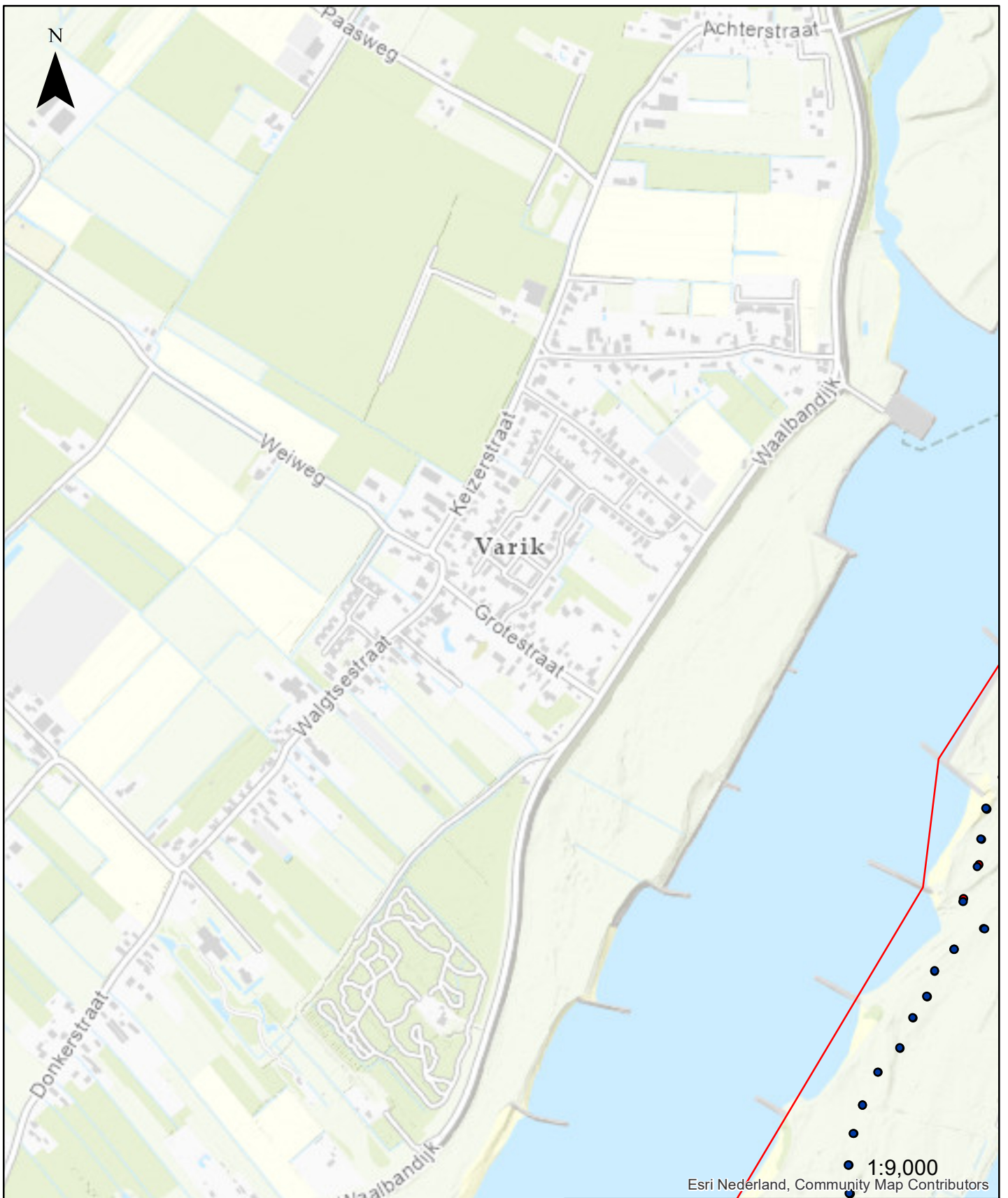
1:9,000
Esri Nederland, Community Map Contributors

Legenda

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

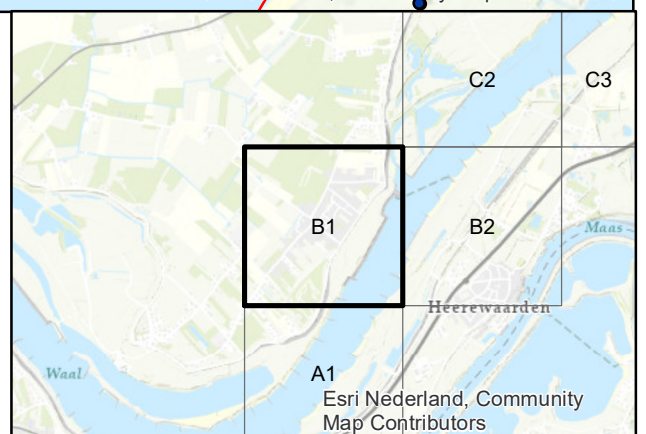


Esri Nederland, Community Map Contributors



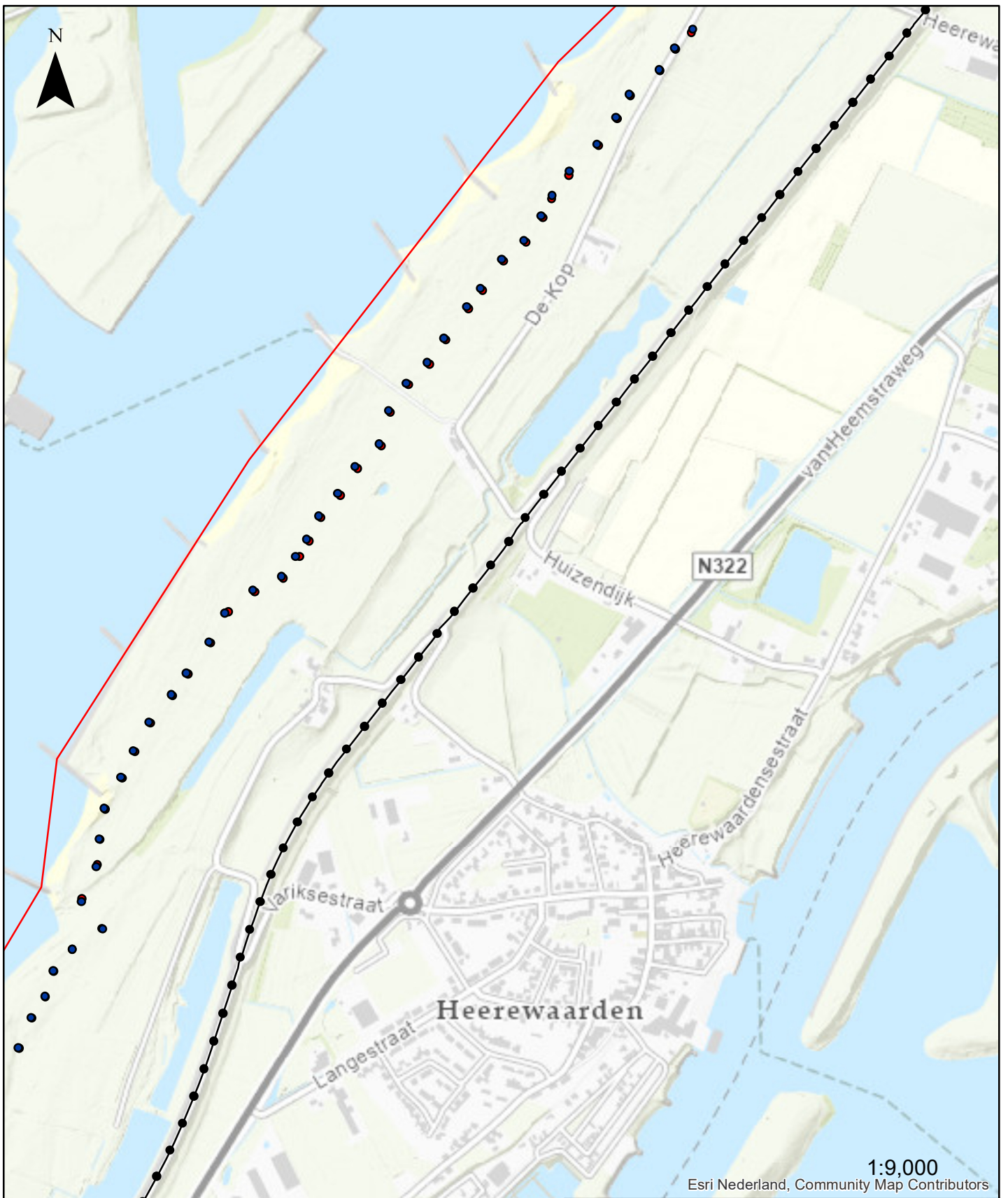
Legenda

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



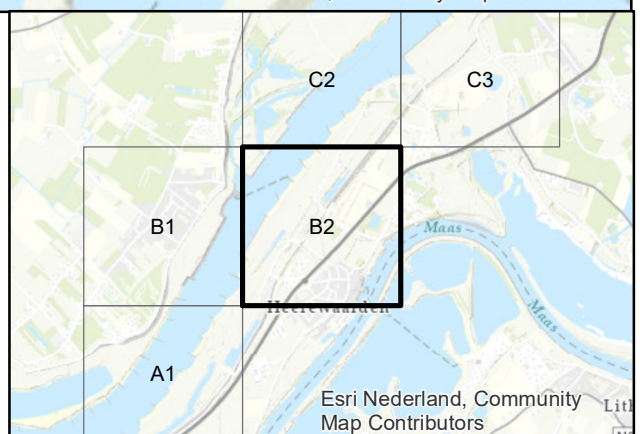
Esri Nederland, Community Map Contributors

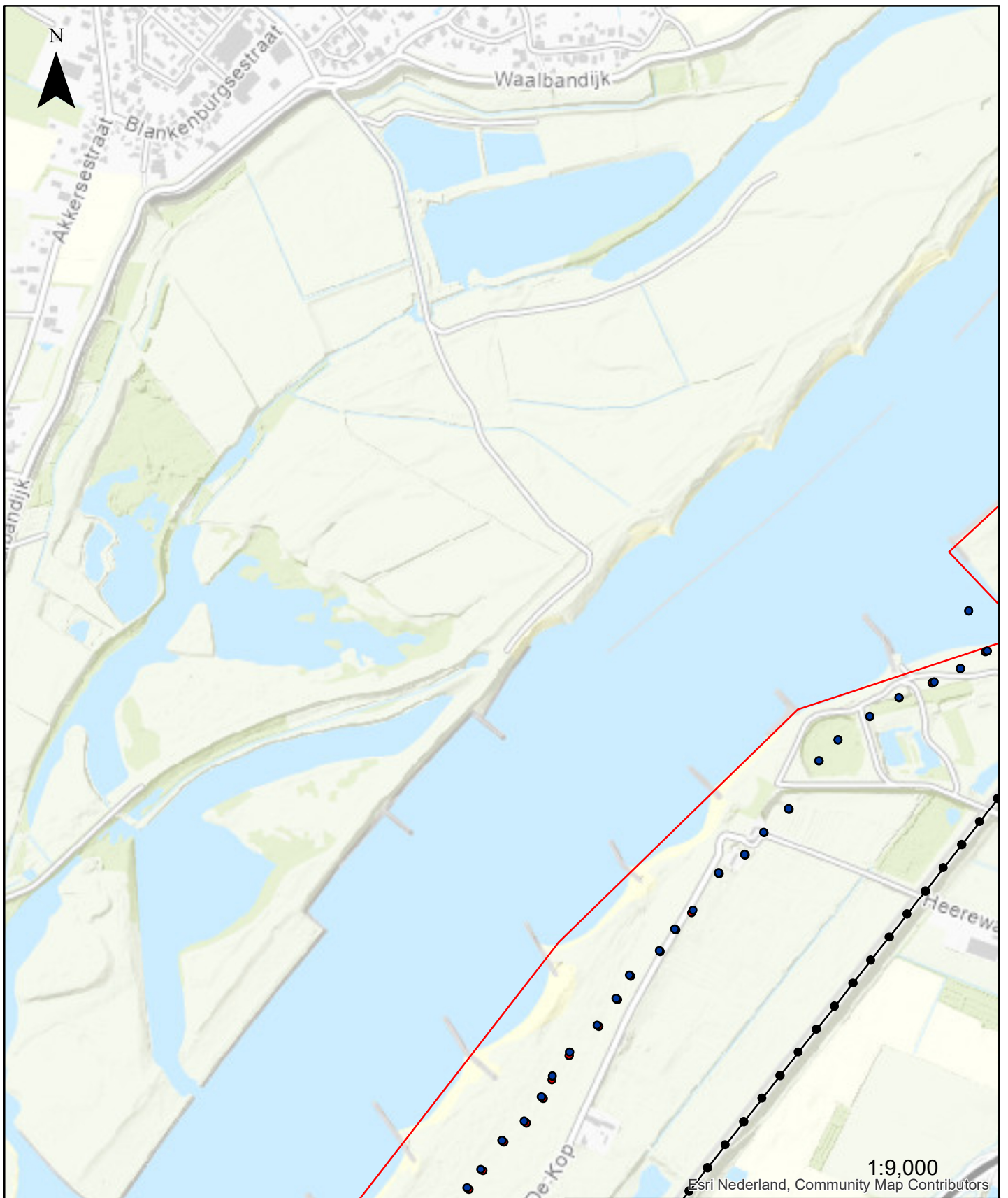
Esri Nederland, Community Map Contributors



Legenda

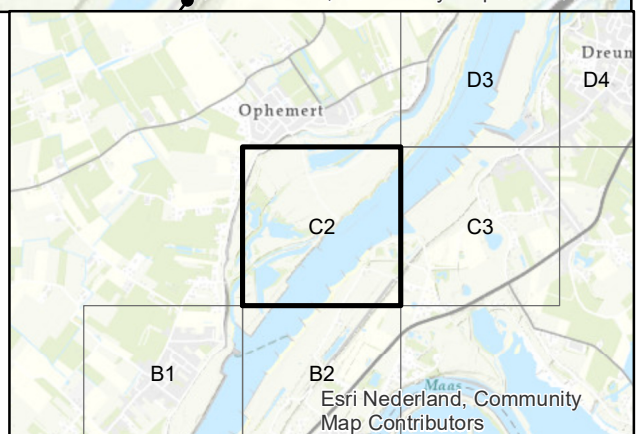
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

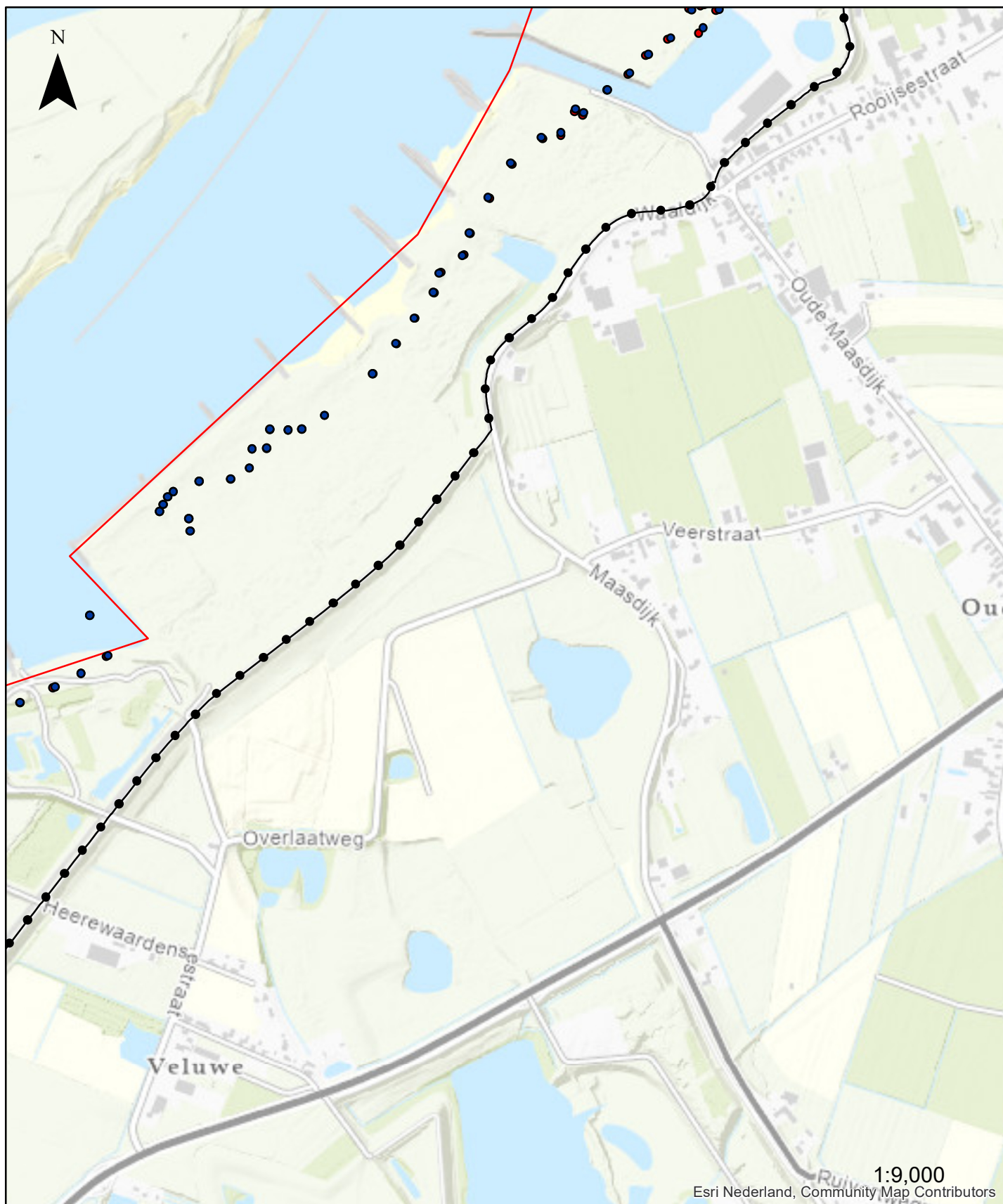




Legenda

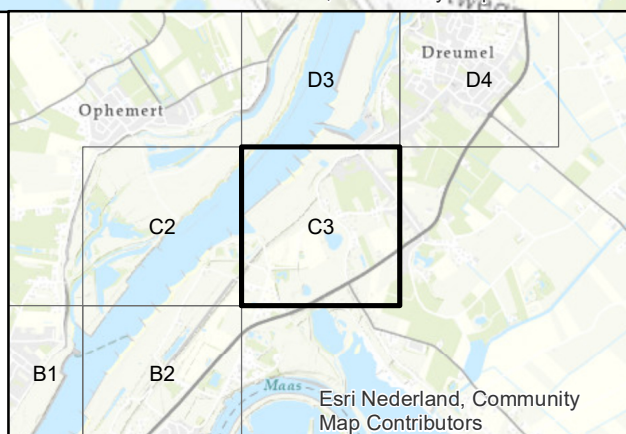
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

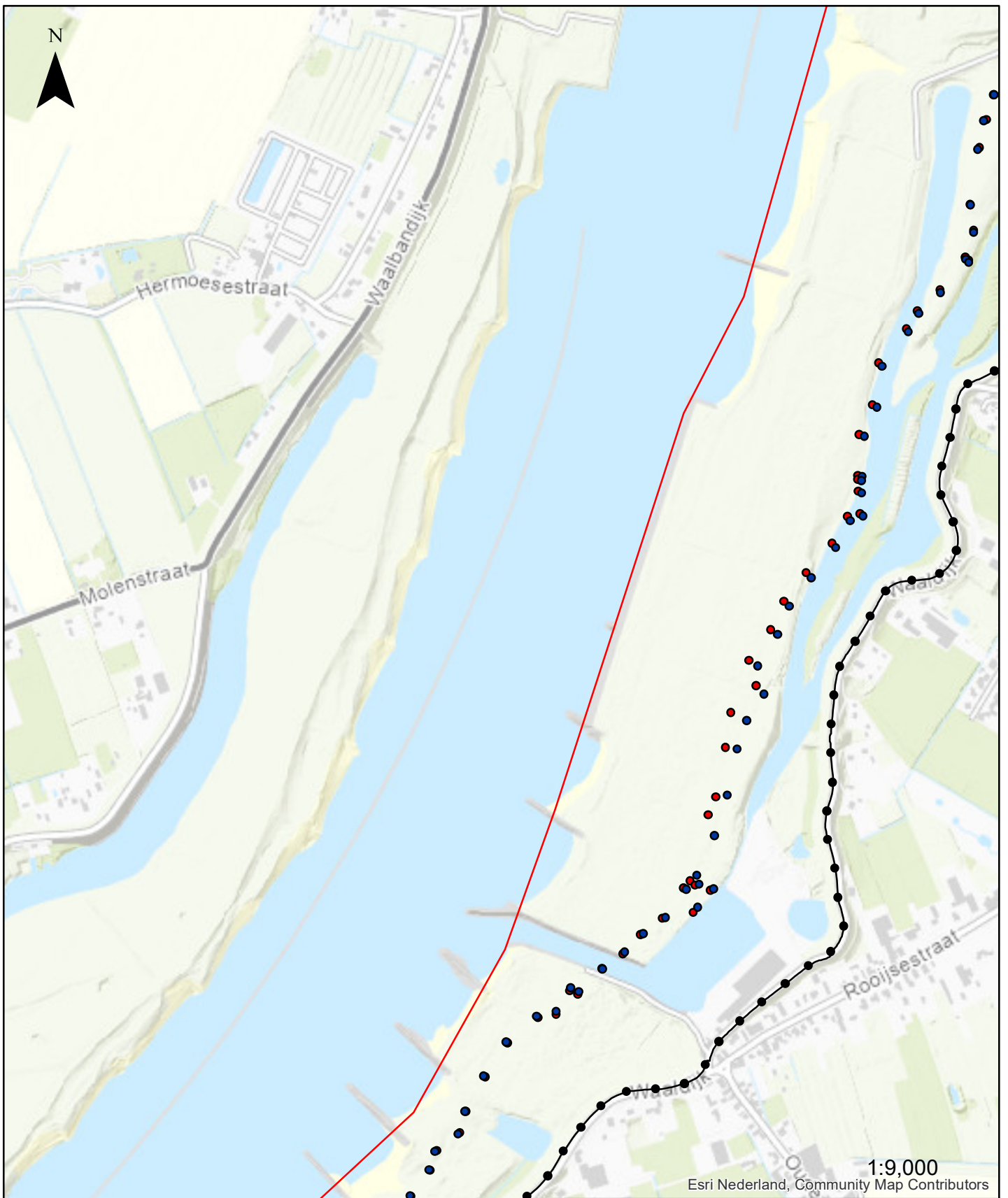




Legenda

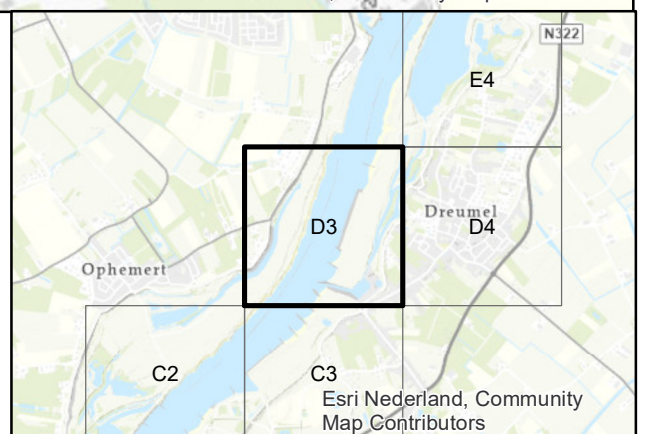
- Toetspunt
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

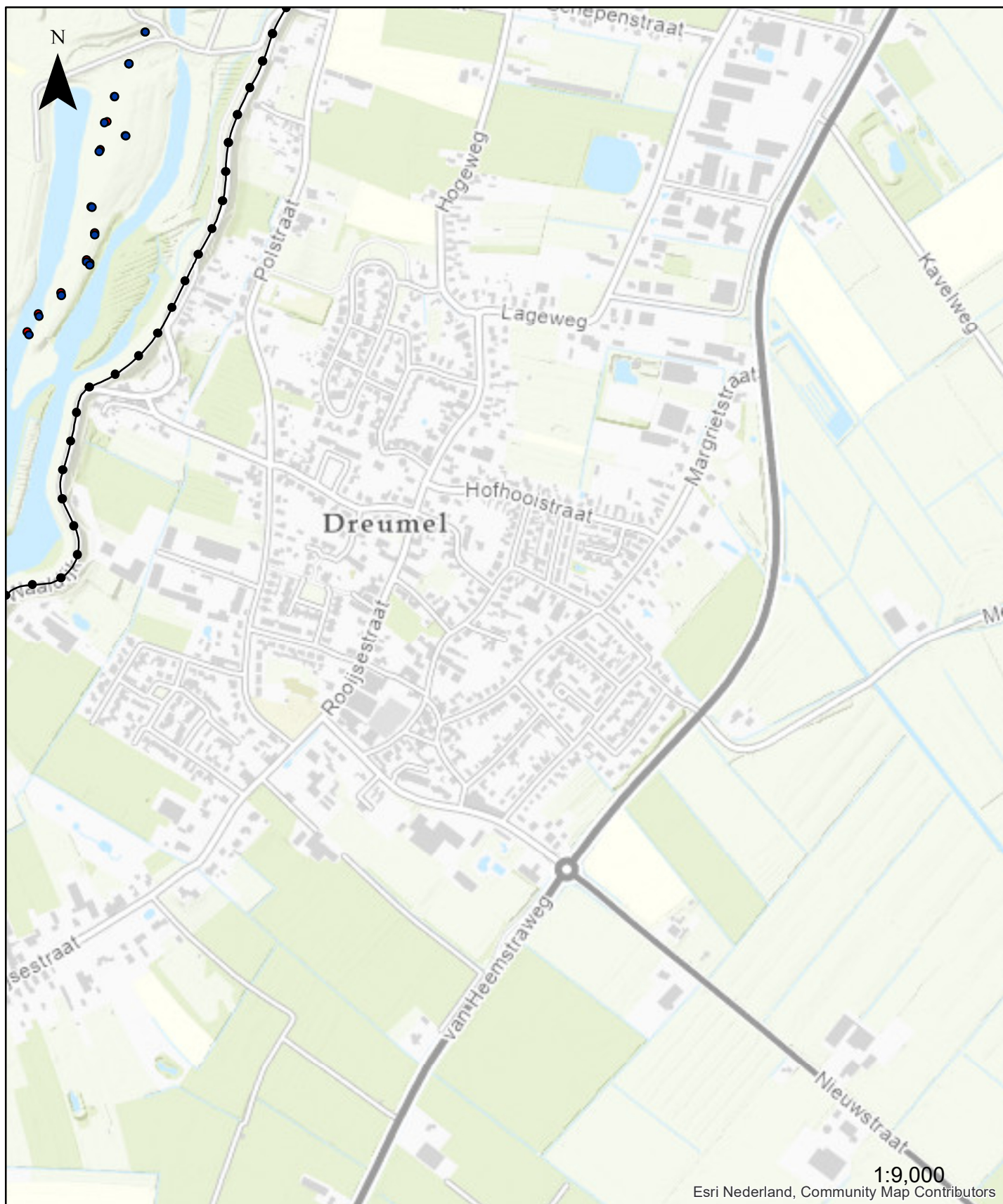




Legenda

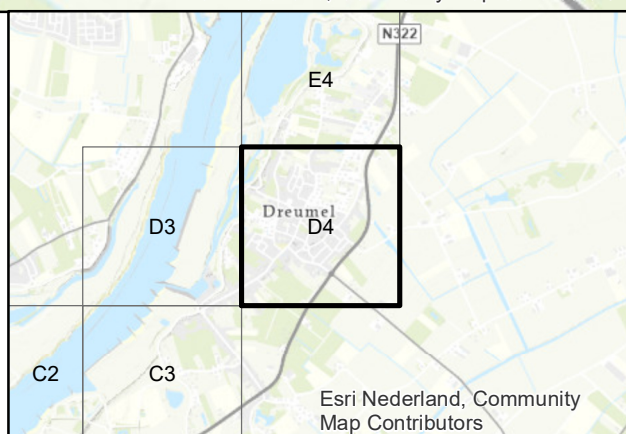
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





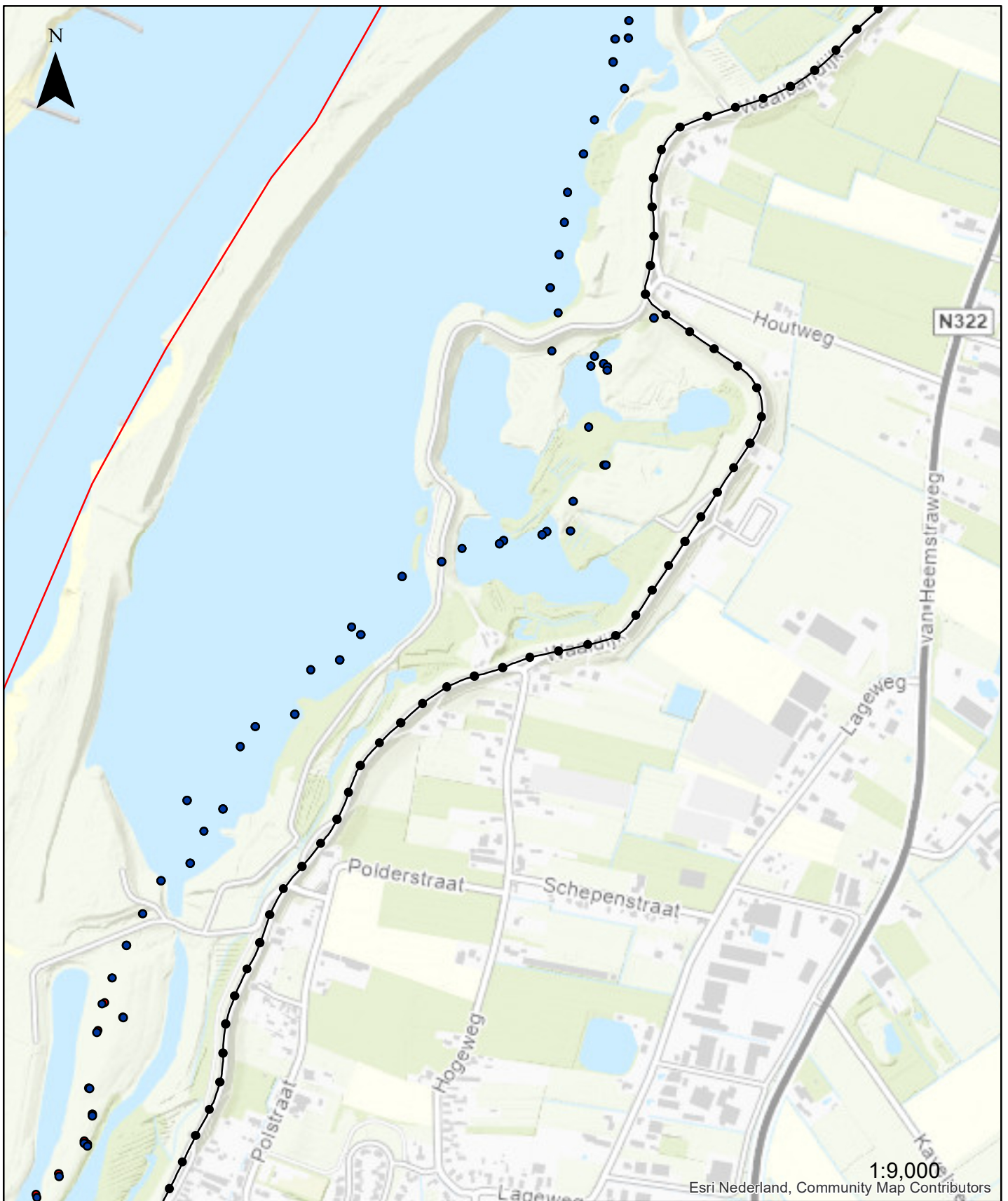
Legenda

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



1:9,000
Esri Nederland, Community Map Contributors

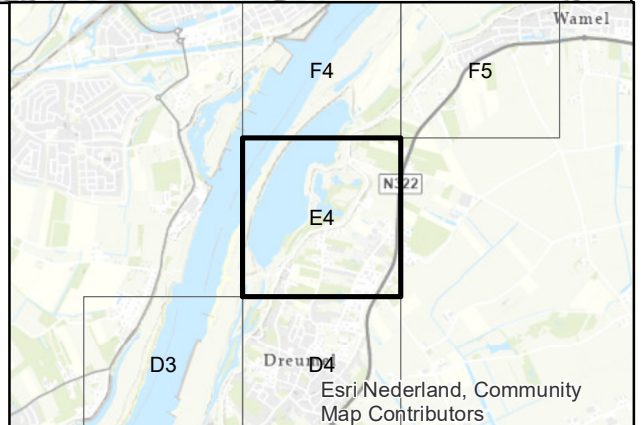
Esri Nederland, Community
Map Contributors



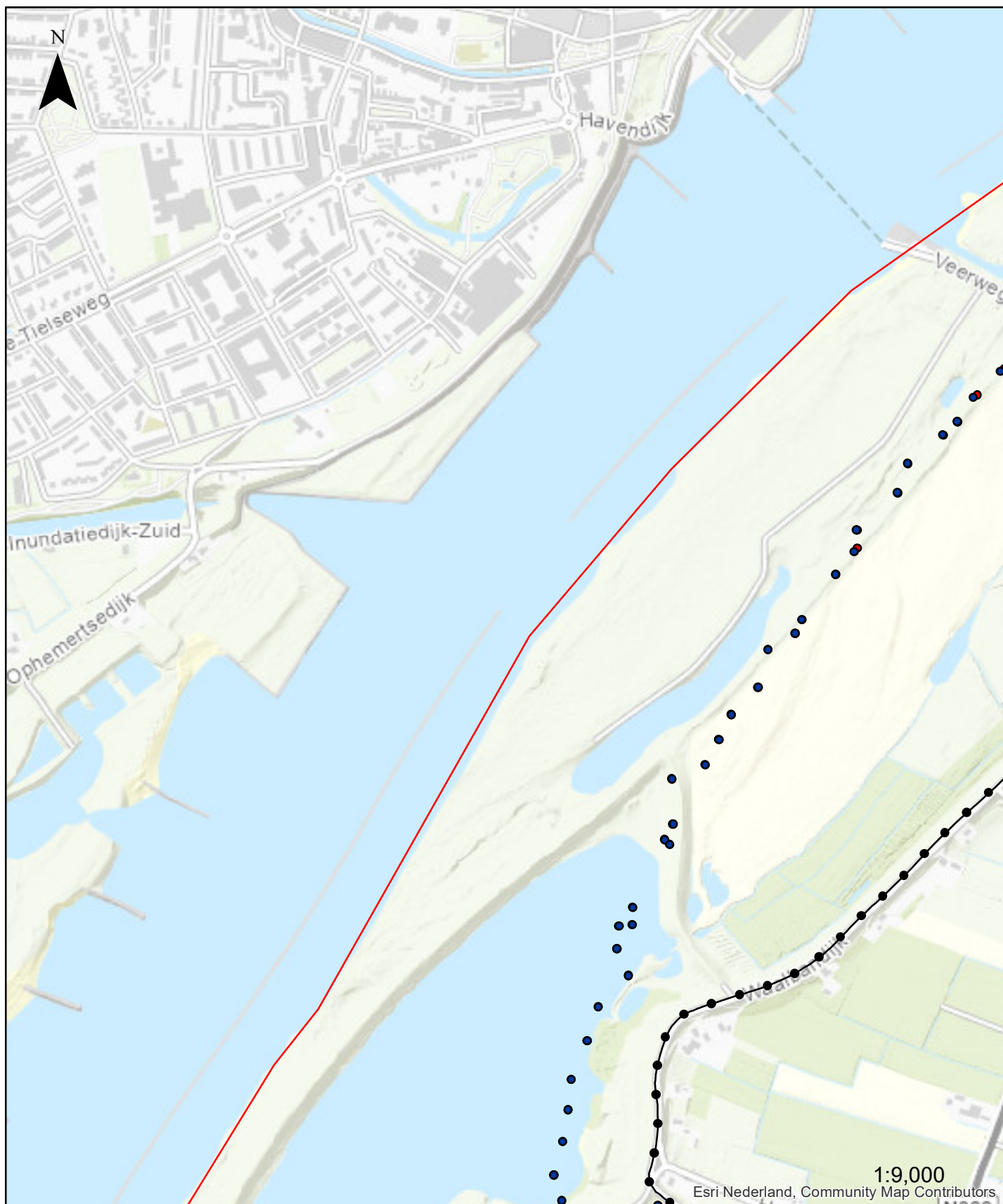
1:9,000
Esri Nederland, Community Map Contributors

Legenda

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

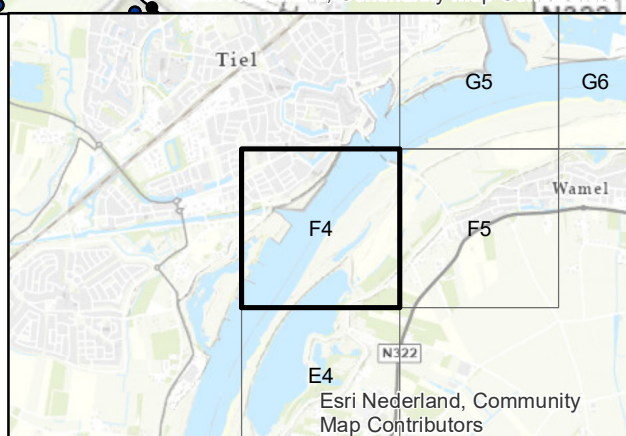


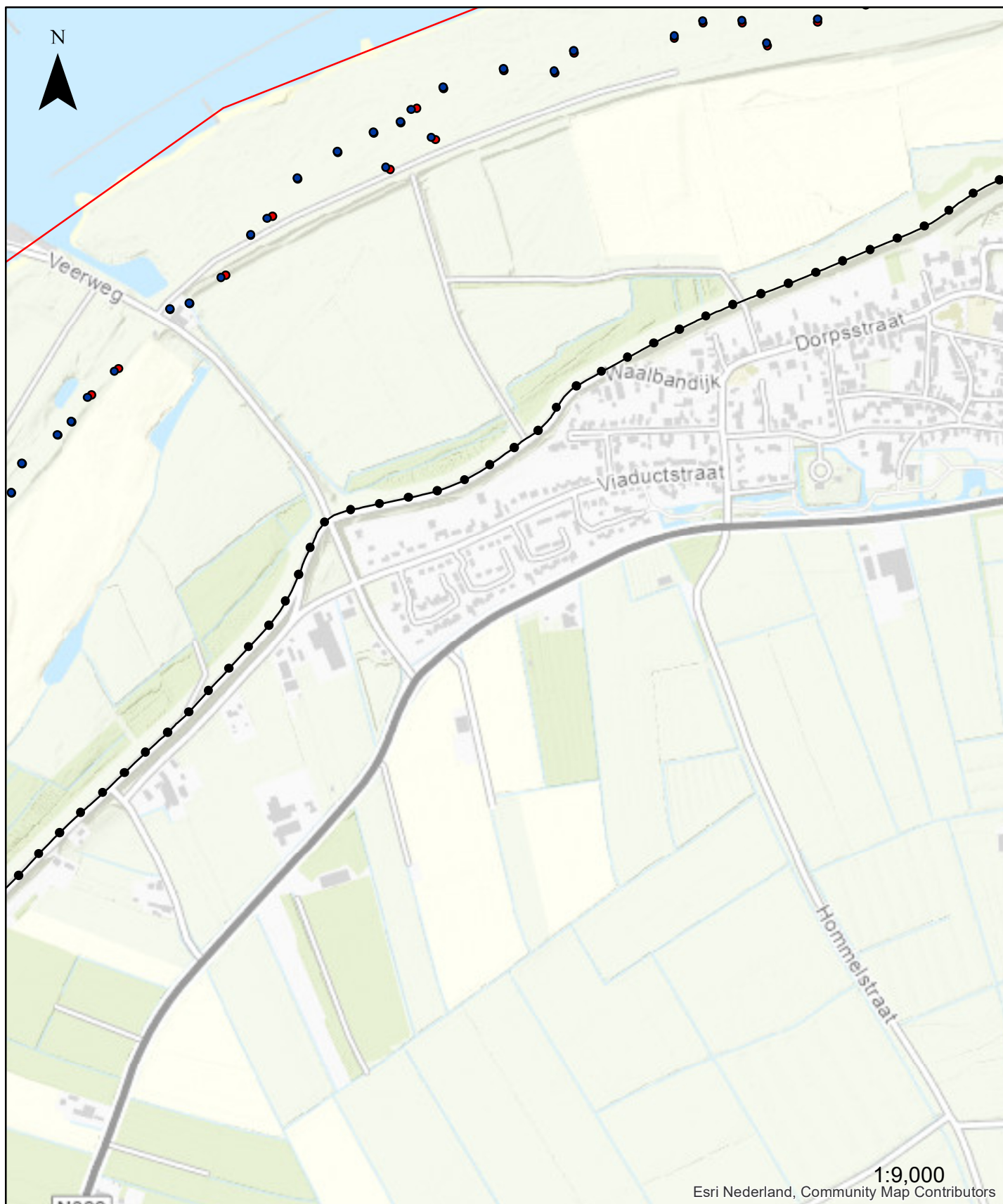
Esri Nederland, Community Map Contributors



Legenda

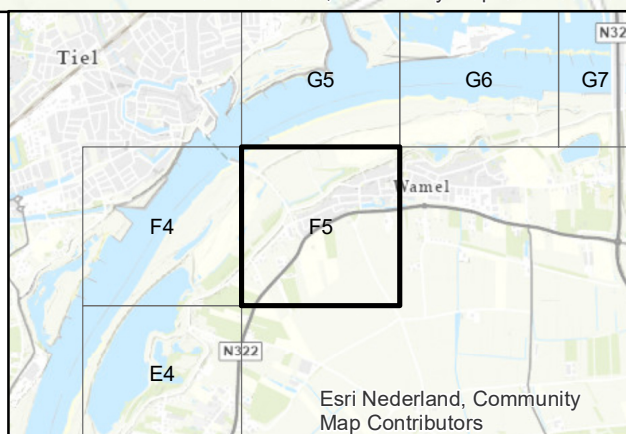
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

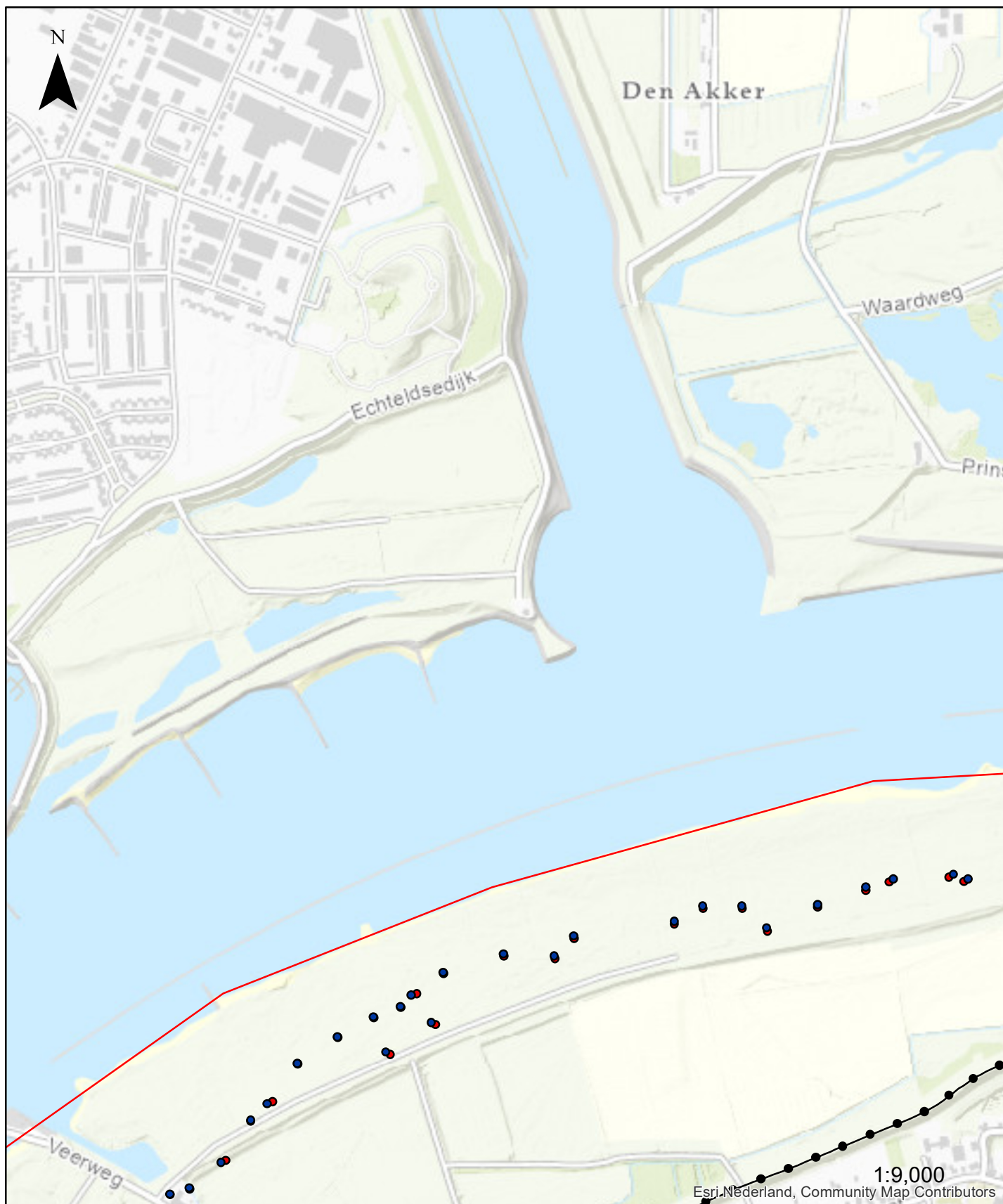




Legenda

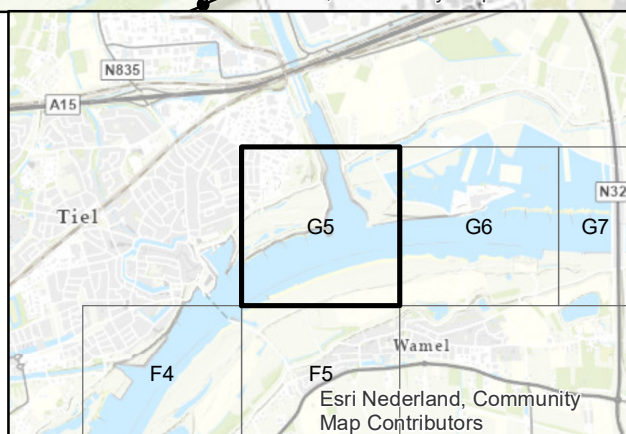
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

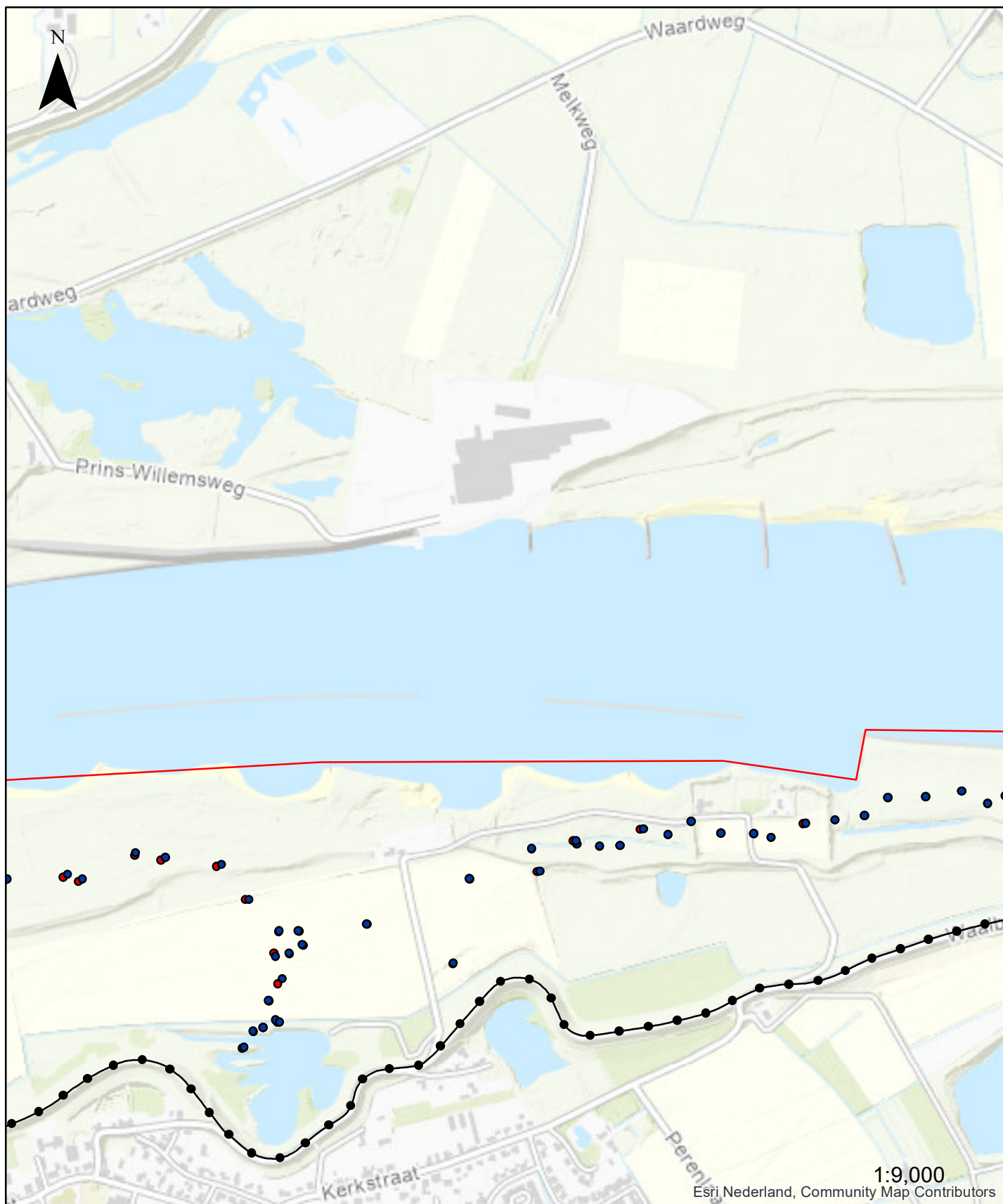




Legenda

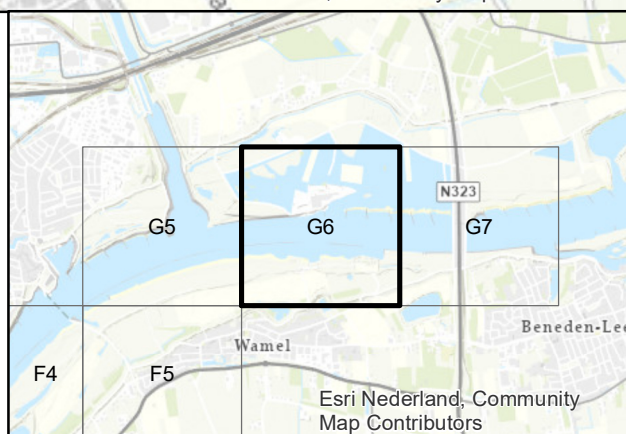
- Toetspunt
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

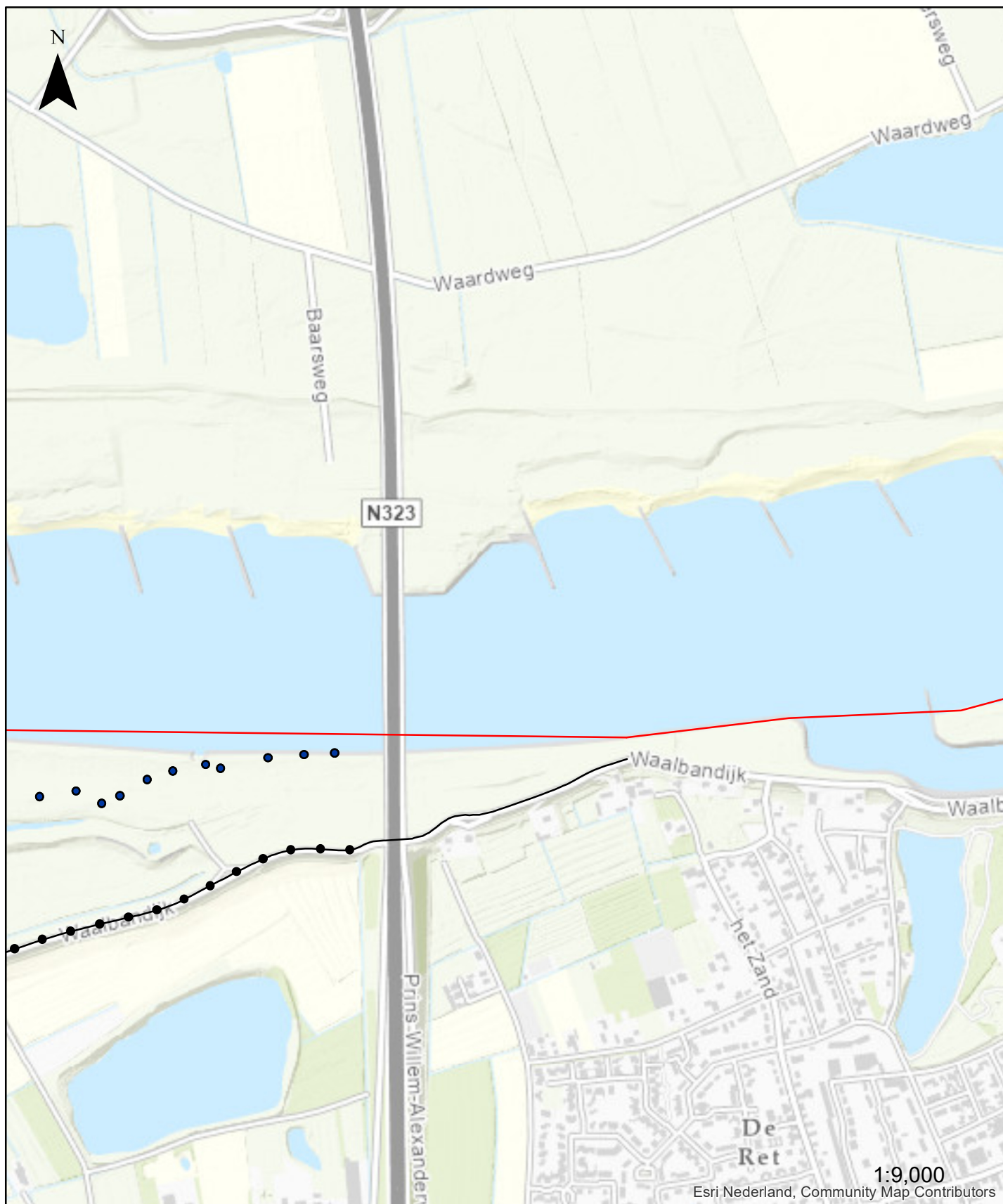




Legenda

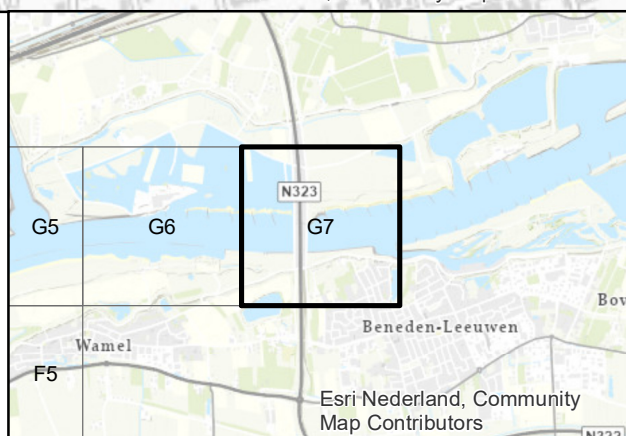
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





Legenda

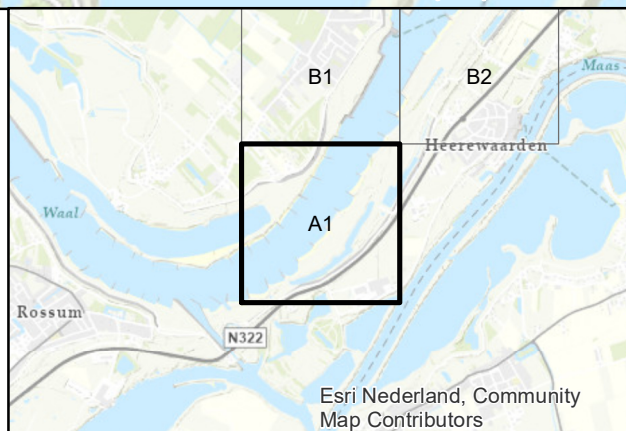
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





Legenda

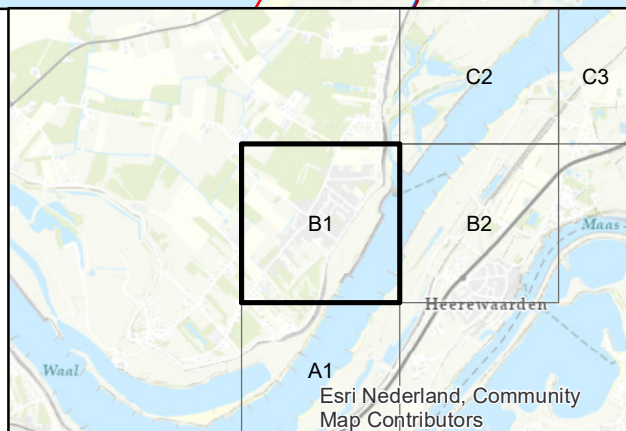
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

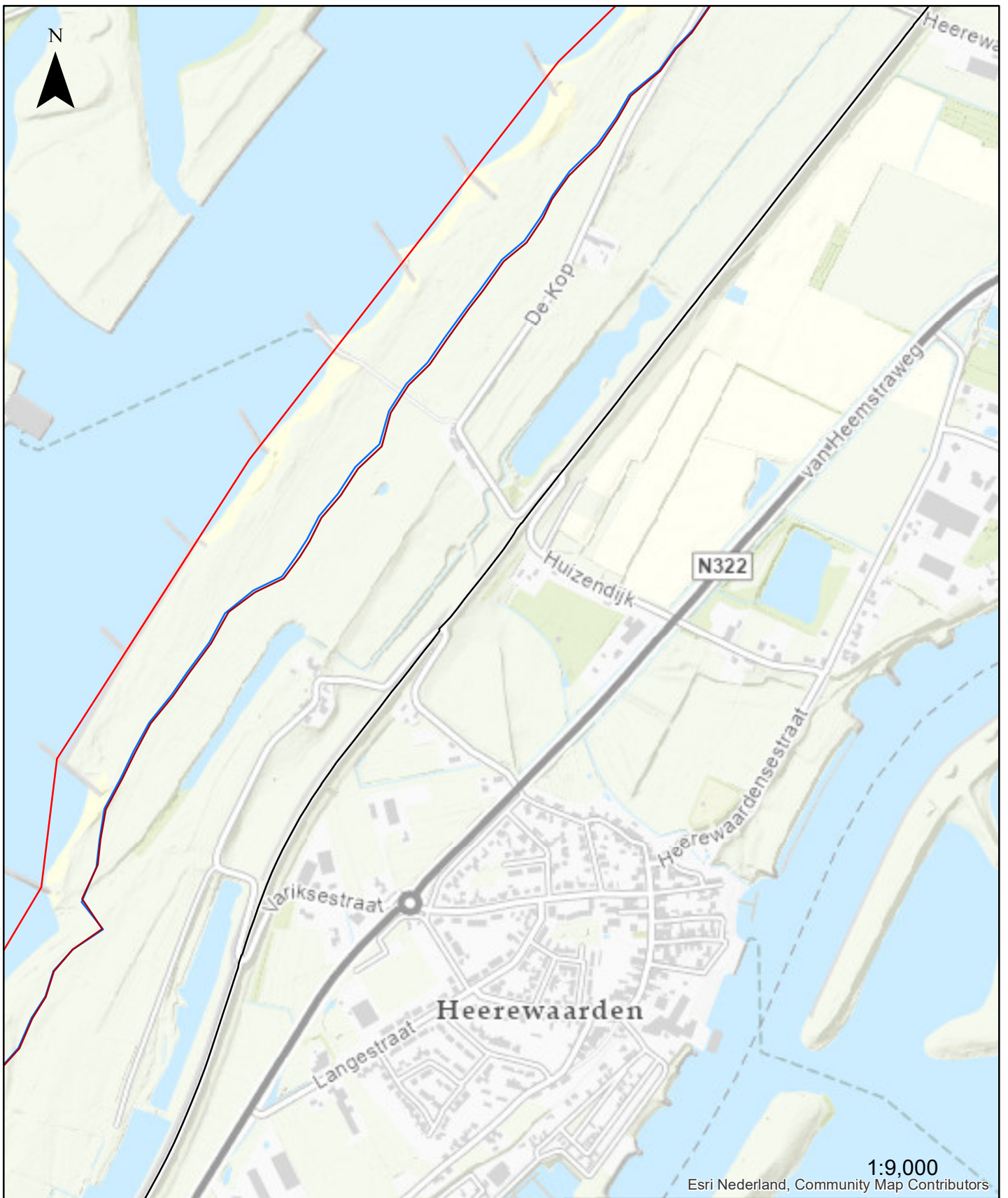




Legenda

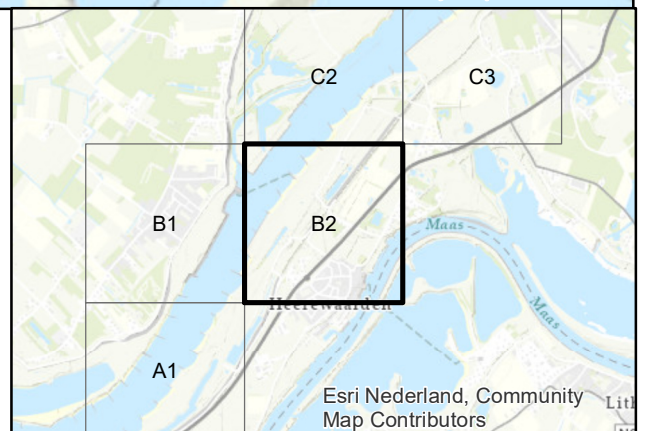
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

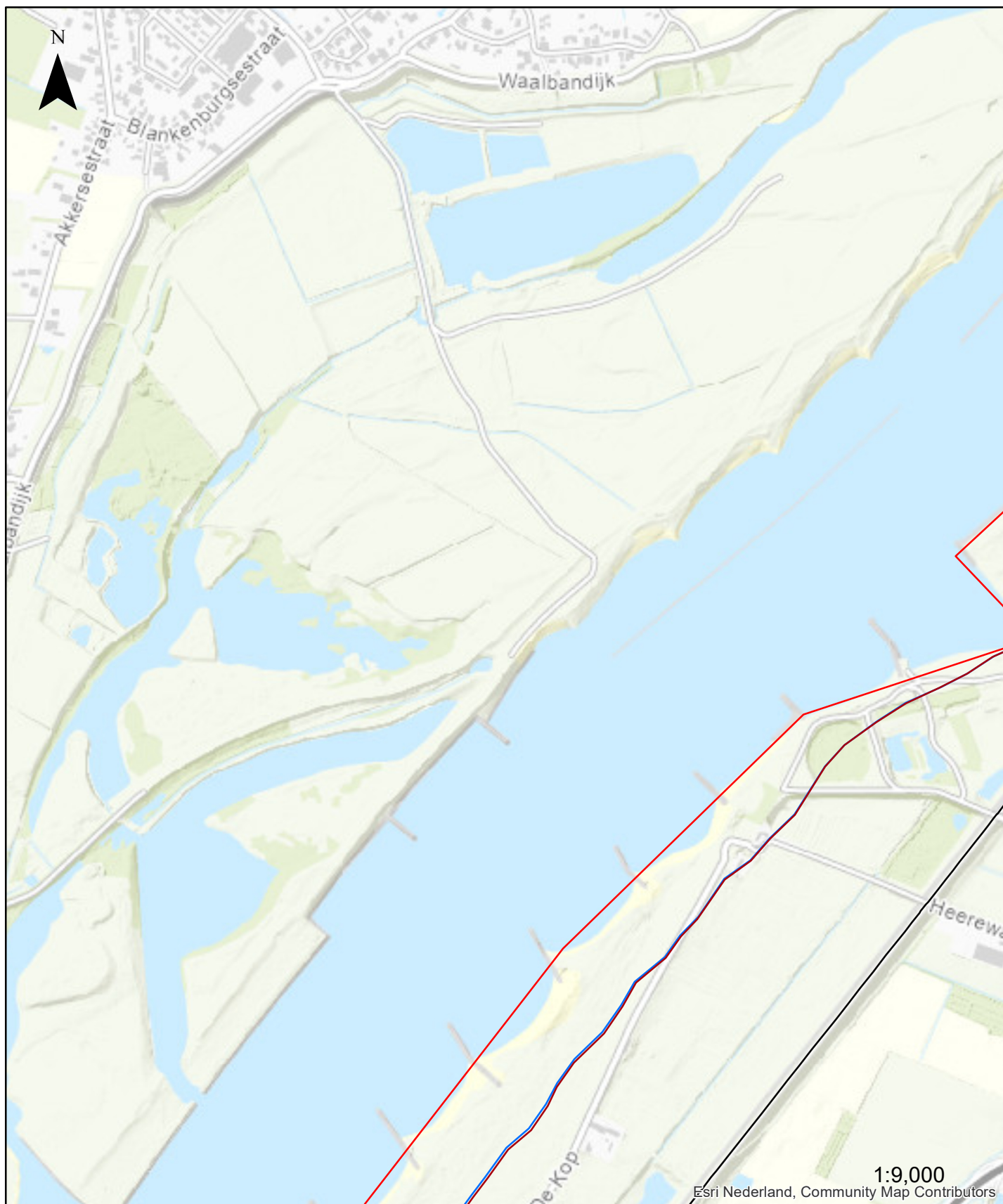




Legenda

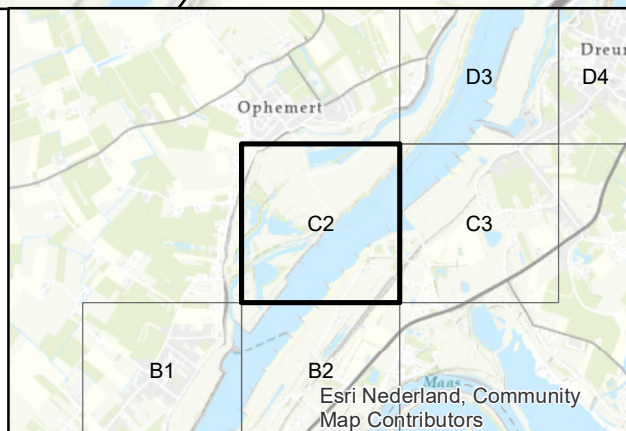
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

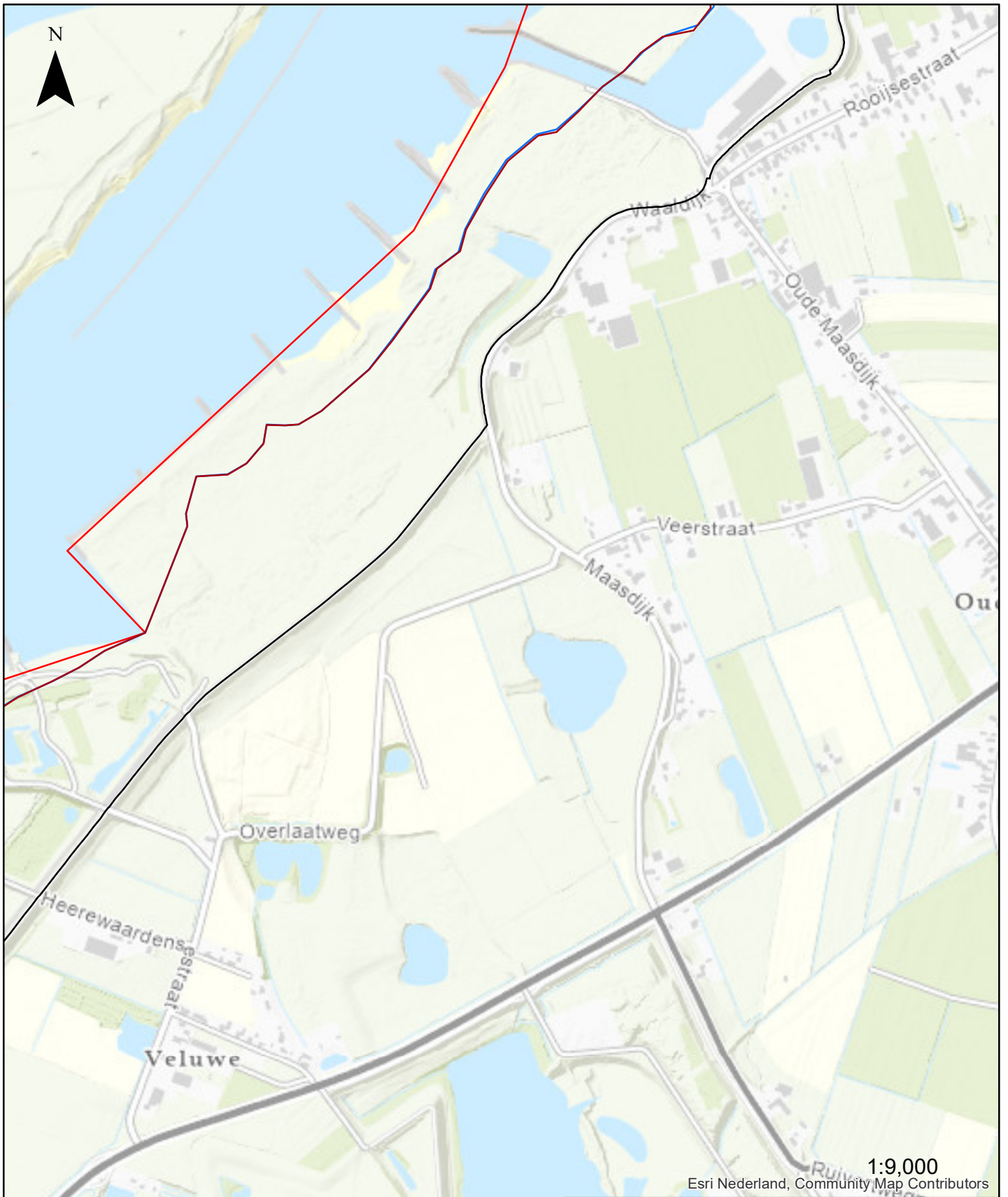




Legenda

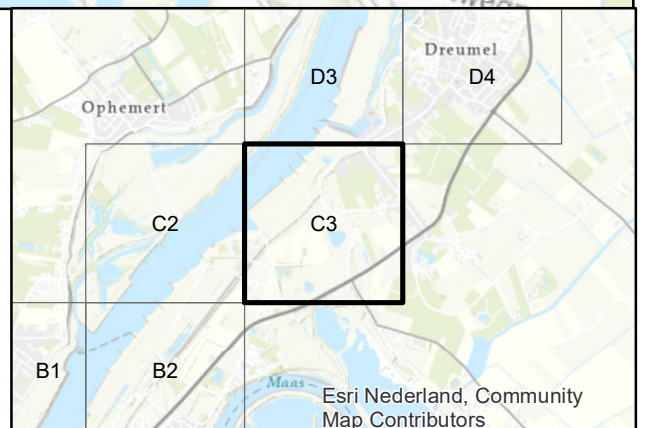
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

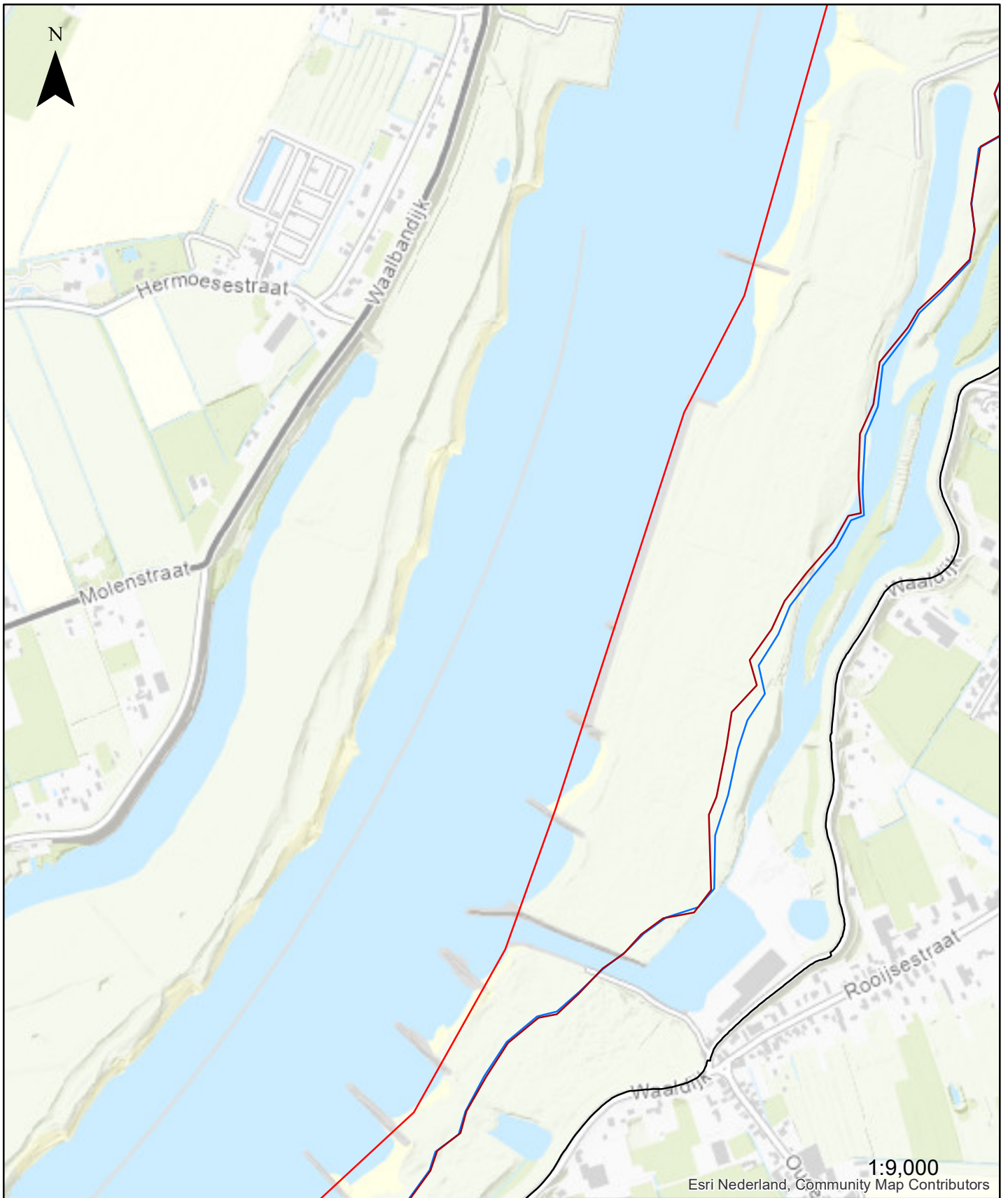




Legenda

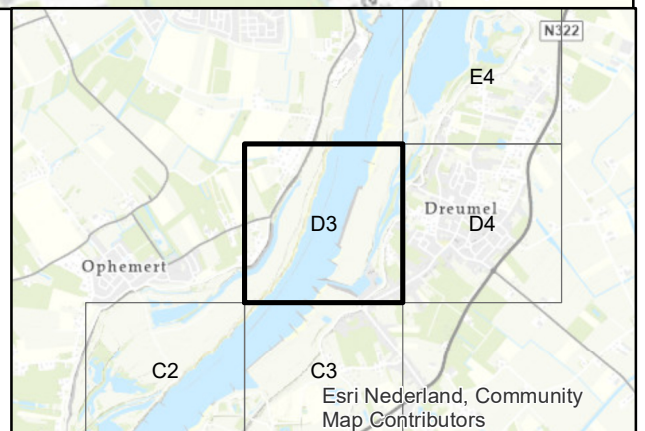
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

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





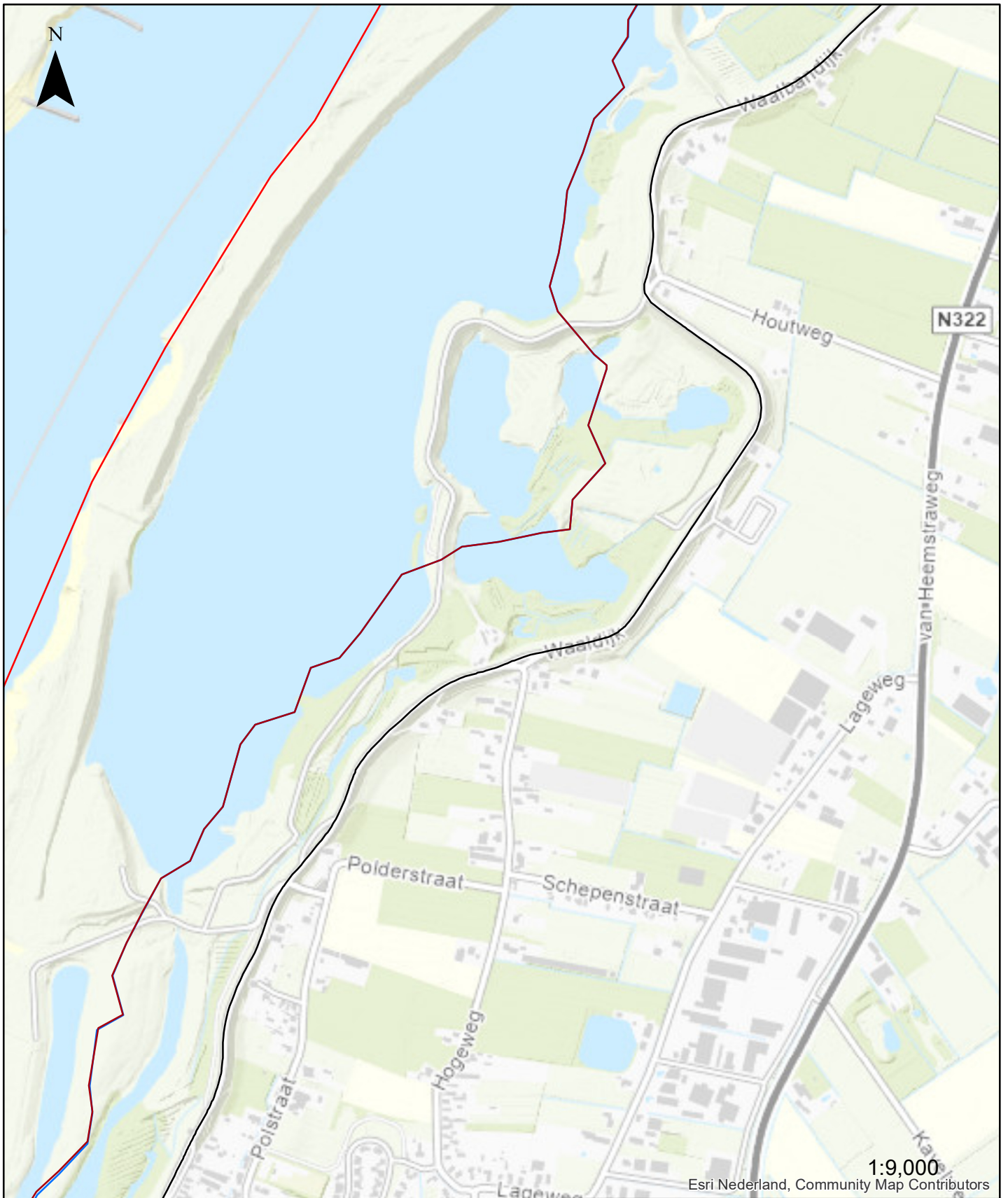
1:9,000
Esri Nederland, Community Map Contributors

Legenda

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

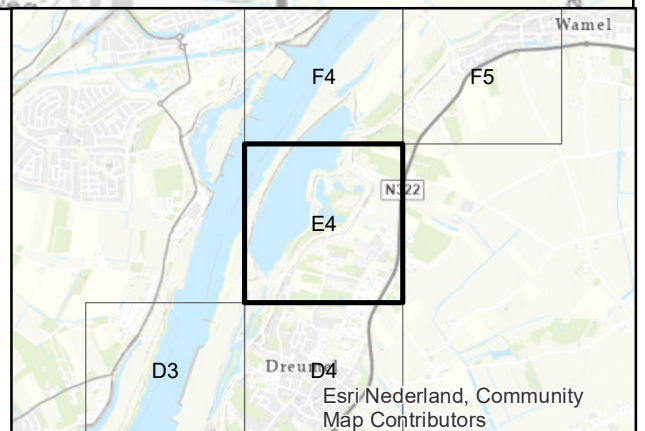


Esri Nederland, Community Map Contributors



Legenda

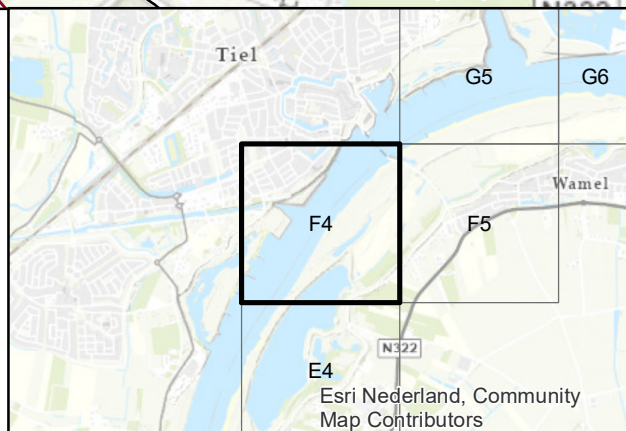
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

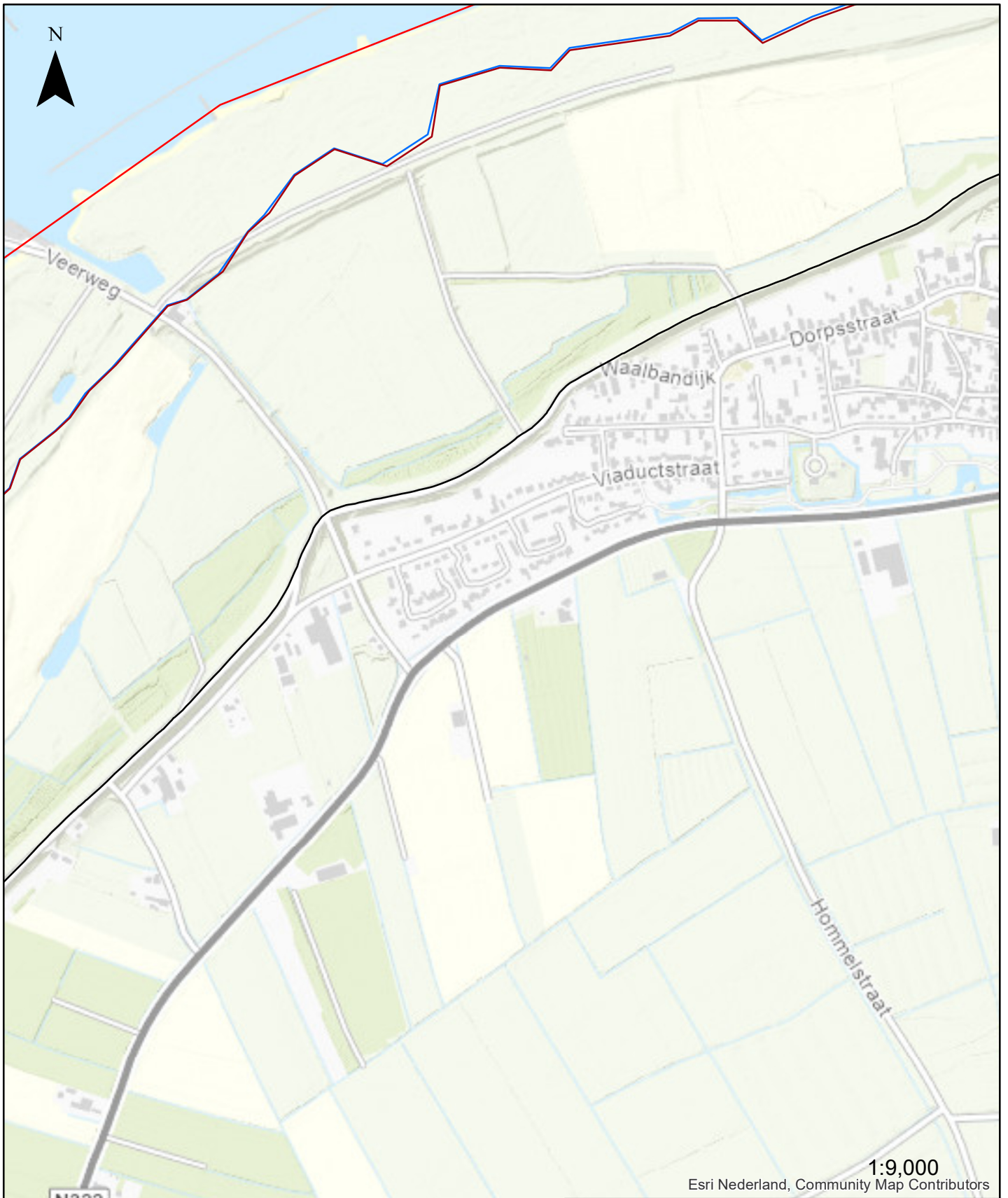




Legenda

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





Legenda

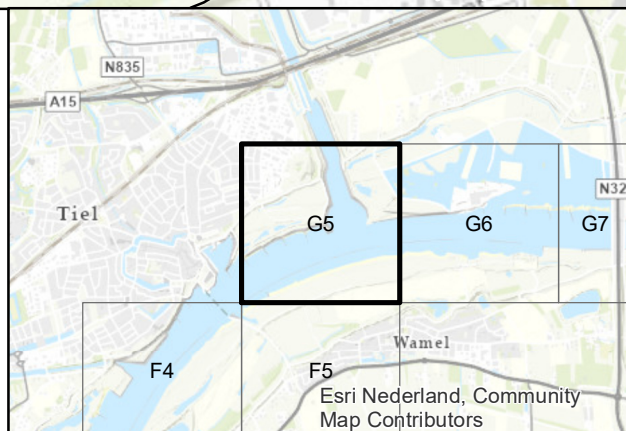
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

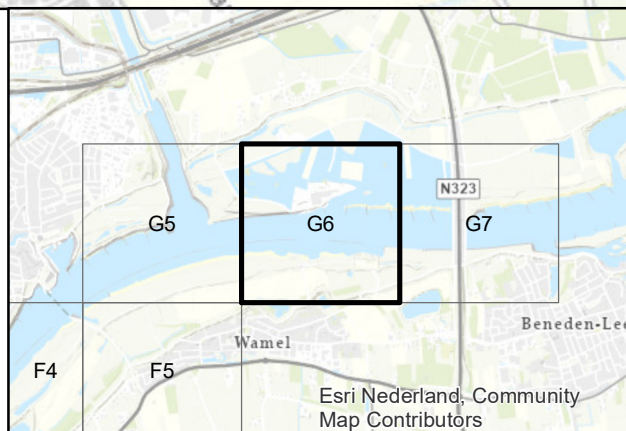
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





Legenda

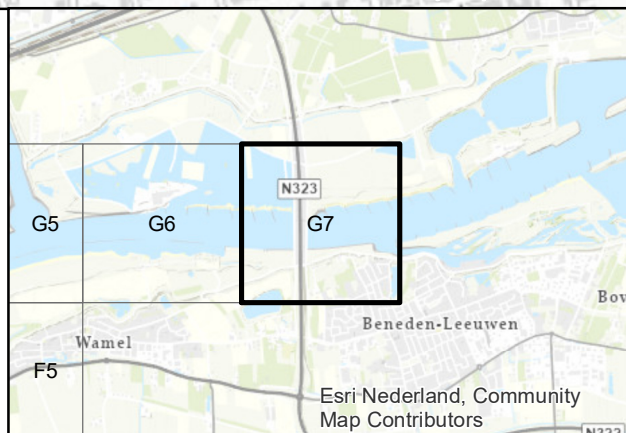
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





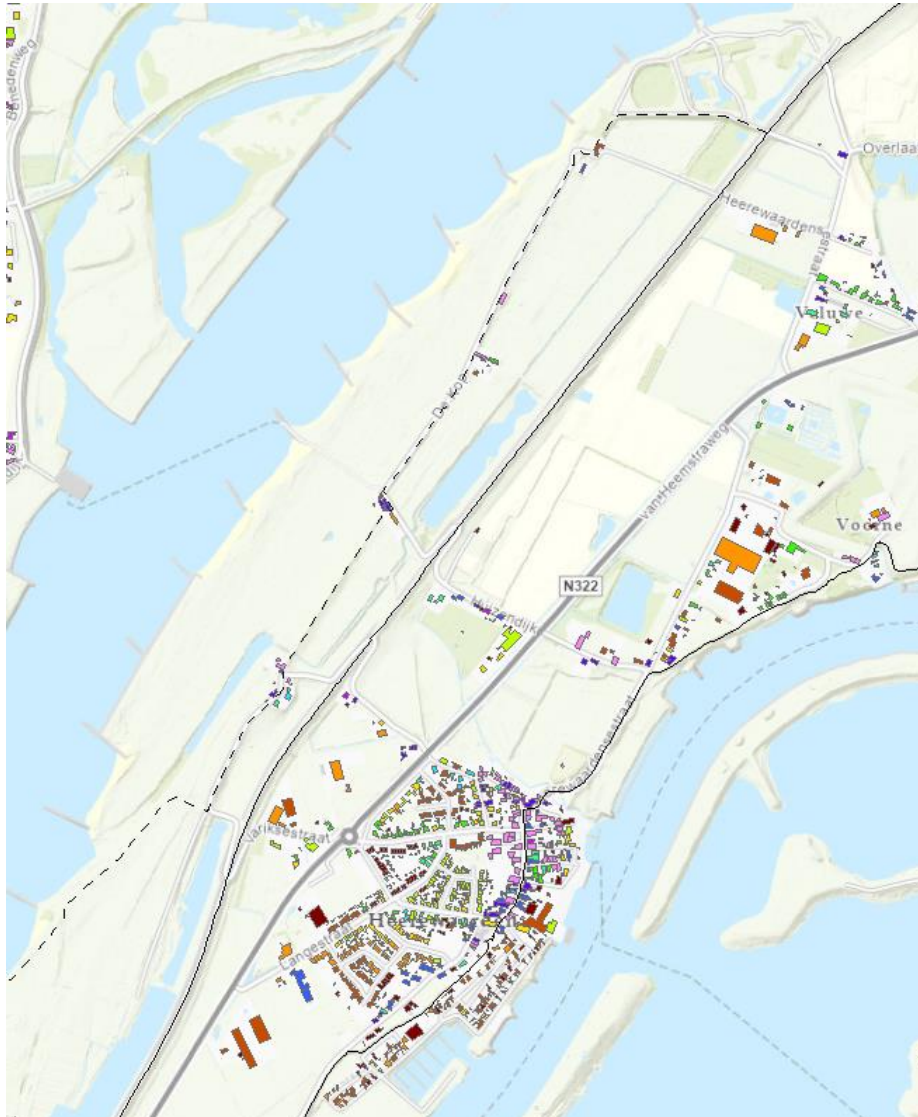
Legenda

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



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 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 2 cm) wordt het risico op (extra) droogvallende palen door de ingrepen in de uiterwaarden minimaal geacht.

Gezien de betrekkingen- 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