

# Technische notitie

|                    |   |                  |                  |
|--------------------|---|------------------|------------------|
| Projectnaam        | Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden             |                  |                  |
| Onderwerp          | Uitkomsten en (rest)risico's gemeente West Maas en Waal |                  |                  |
| Opdrachtgever      | Kragten   | Contactpersoon   | P. van Zandvoort |
| Projectnummer      | 1120-180419   | Documentnummer   | TN05 – V1.5      |
| 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 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:

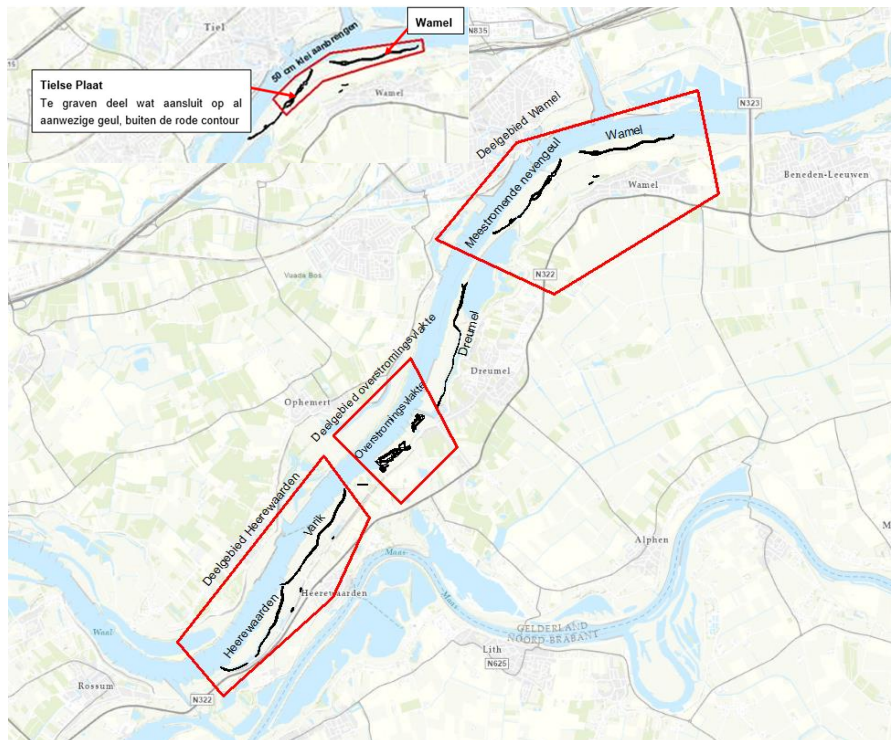
- 1120-180419-11-R03: Volledige rapportage met daarin de beschrijving van modelwijze, effecten, de risico's en maatregelen voor het gehele projectgebied;
- 1120-180419-11-TN05: Technische notitie met daarin de beschrijving van modelwijze, effecten, de risico's en maatregelen voor de gemeente West Maas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

is de gestuurde overstromingsvlakte. Voor deze ingreep wordt niet ontgraven (met uitzondering van zeer lokale ontgravingen voor het aanleggen van infrastructuur zoals duikers).

Opgemerkt wordt dat in deze rapportage wordt gesproken van het aanbrengen van kleidktes ter voorkoming van geohydrologische invloed. Voor het berekenen van deze kleidktes 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 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 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  $m^2$  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<sup>e</sup> 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

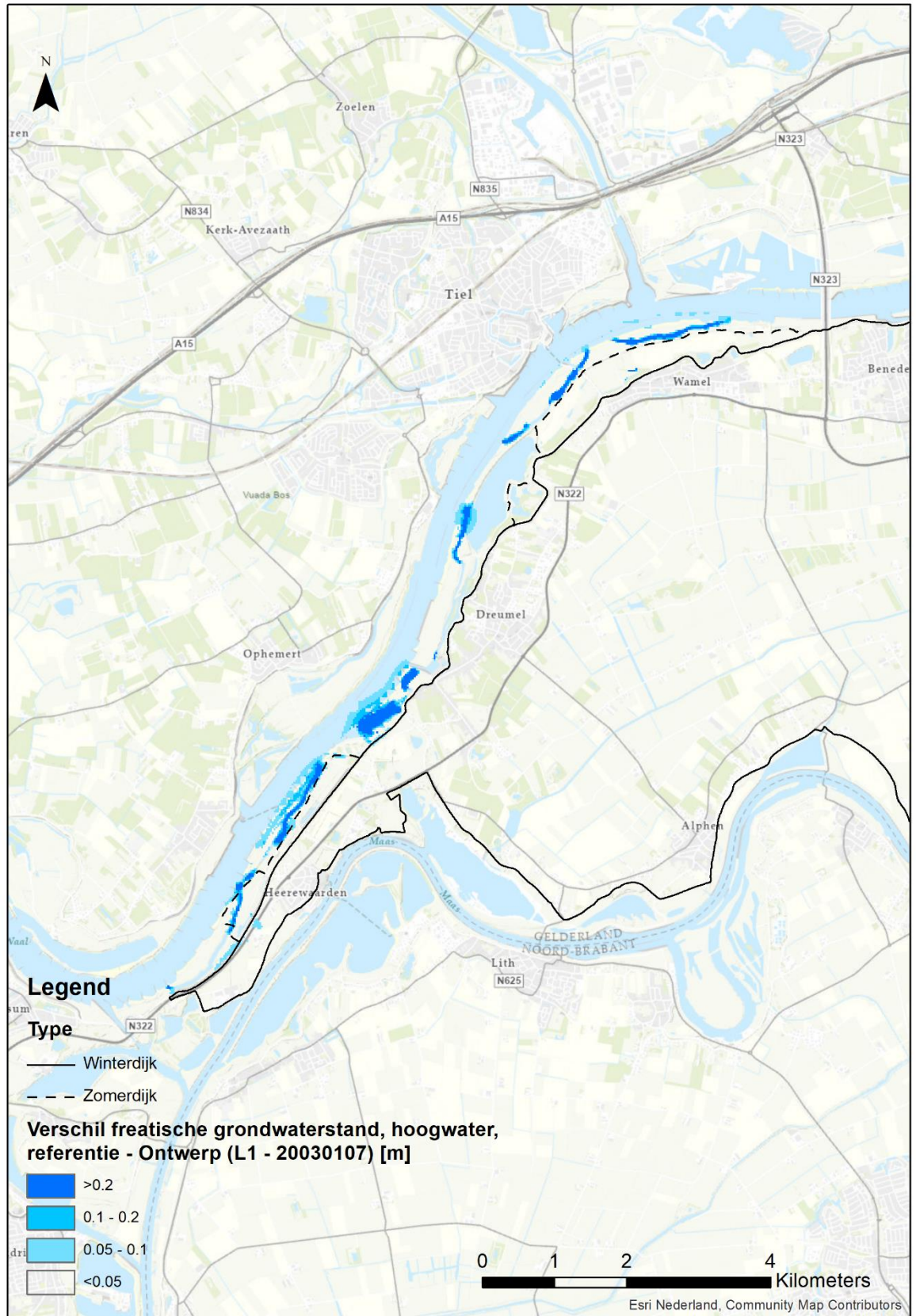
In dit hoofdstuk zijn in paragraaf 3.1 de modelresultaten van de T = 10 hoog- en laagwatersituatie beschreven. Tevens is in paragraaf 3.2 een toelichting gegeven op de risico's die gepaard gaan bij de berekende grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen en de berekende kwel/wegzijgingsveranderingen.

### 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.

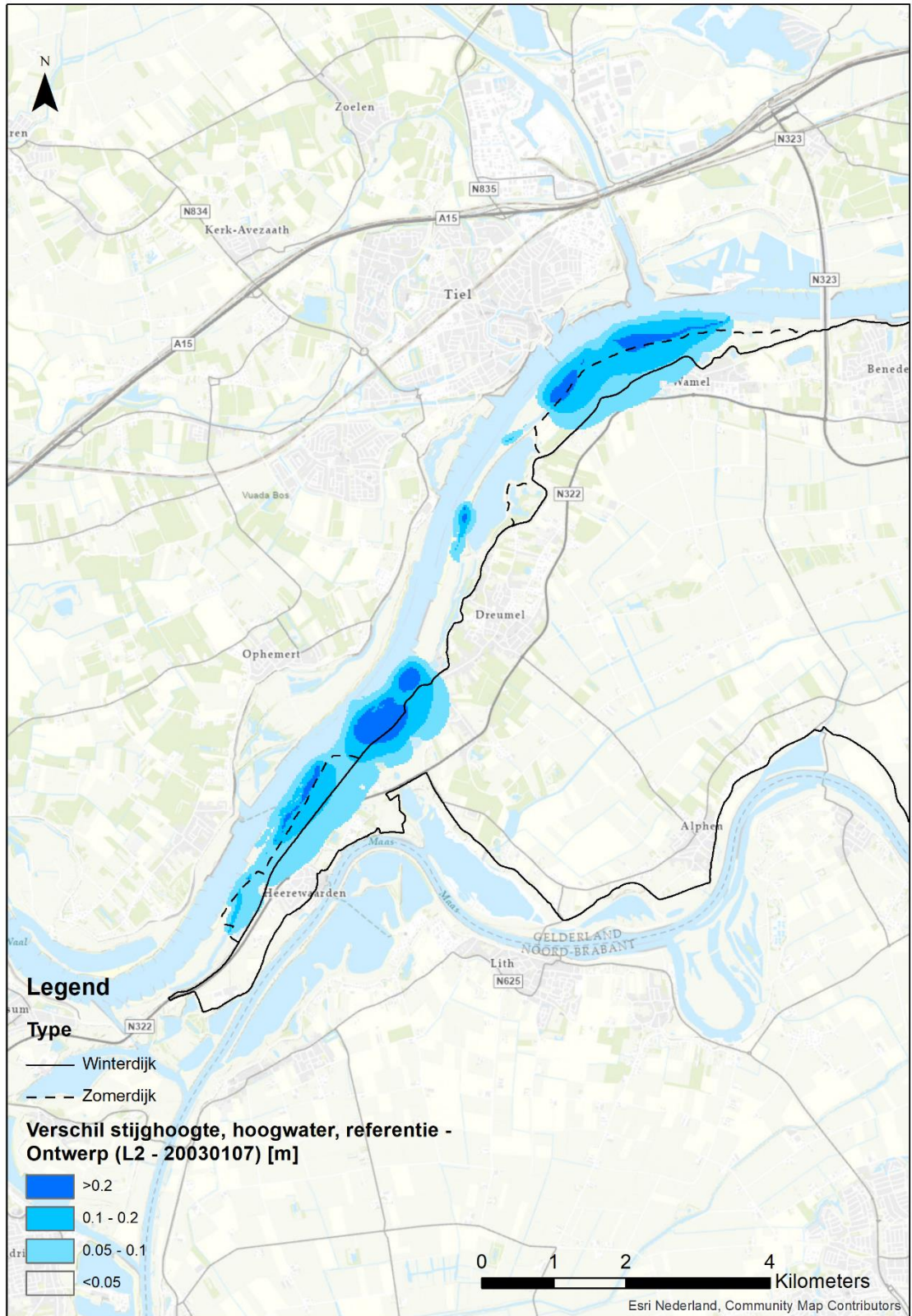
#### 3.1.1 Grondwaterstand/stijghoogte

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.

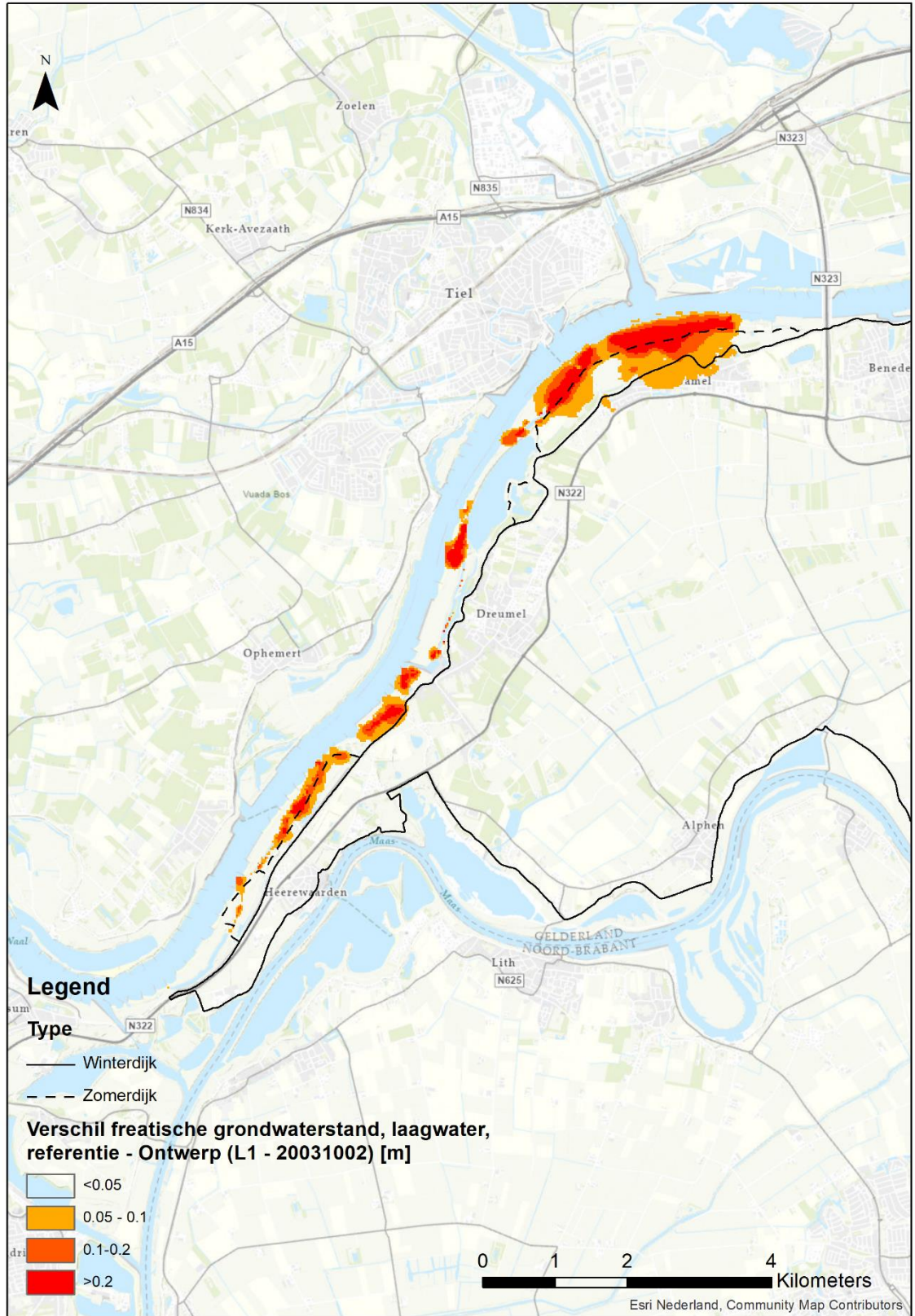


Figuur 4: Vershil in freatische grondwaterstand (laag 1) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie

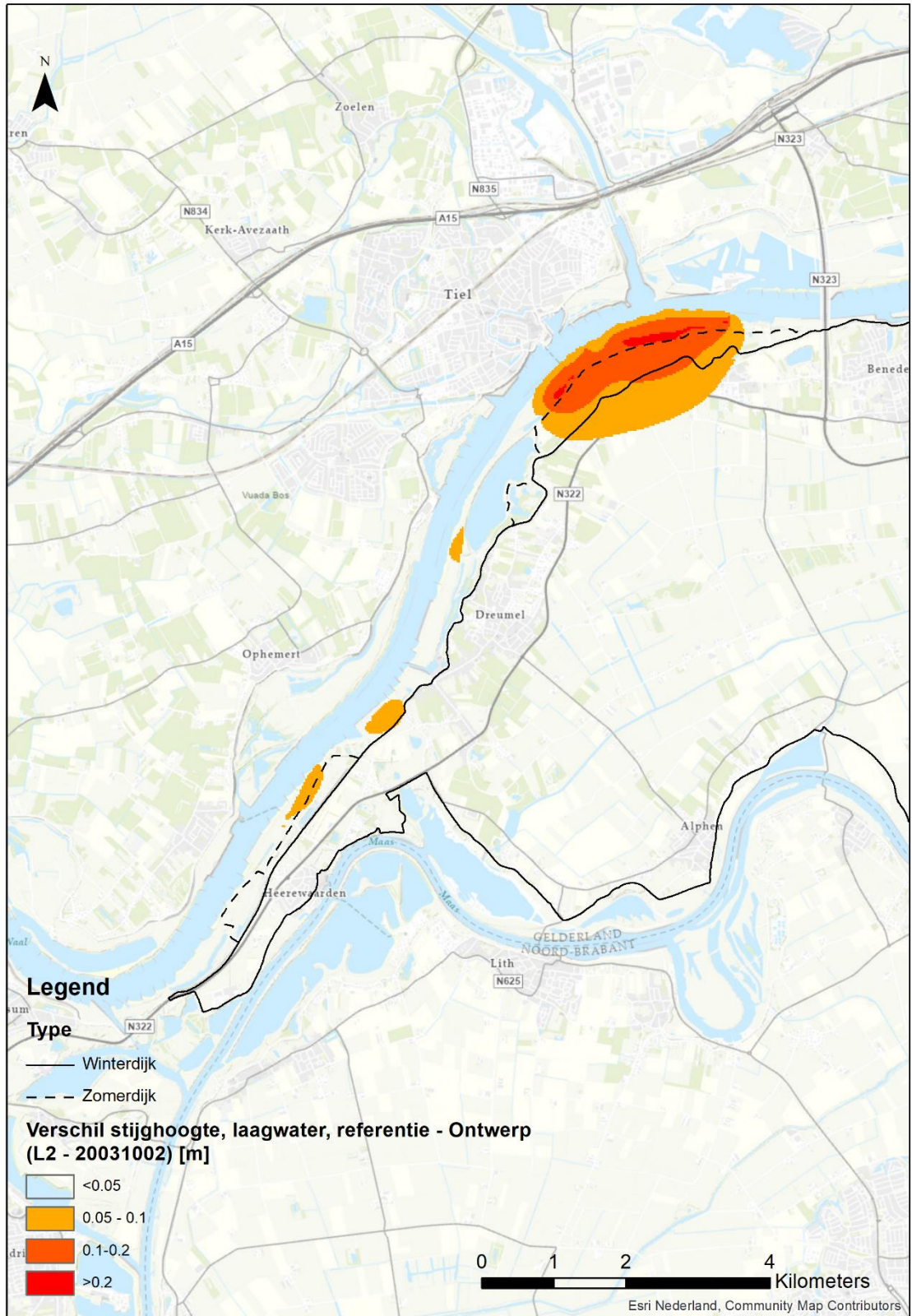




Figuur 5: Vershil in stijghoogte (laag 2) tussen de referentieberekening en de berekening met het ontwerp voor een T=10 hoogwatersituatie



Figuur 6: Verschil 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 West Maas en Waal is weergegeven in tabel 1.

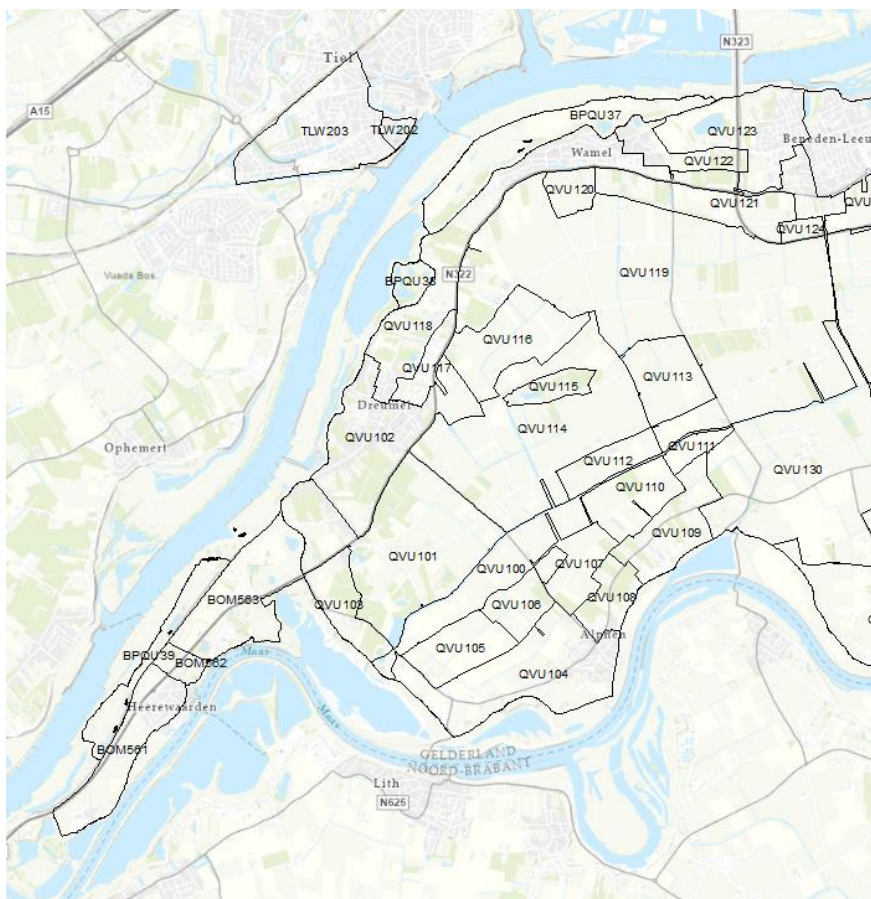
Tabel 1: Uitkomsten modellering UWDH

| 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 m<sup>3</sup>/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 <sup>3</sup> /dag] (Wateropgave om aan 2% te voldoen) | Kwel/wegzijgingsverandering in laagwater situatie [% en m <sup>3</sup> /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.<br>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                                  |
| <p>* 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.</p> |              |  |   |

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  $\leq 1$  cm. De berekende stijghoogteverandering achter de dijk bedraagt dan nog  $\leq 3$  cm. De toename van het kweldebiet wordt daarbij berekend op 1,1% voor QVU118 en 0,8% voor QVU122. Dit komt overeen met een toename van het debiet van 100 m<sup>3</sup>/dag voor QVU118 en 26 m<sup>3</sup>/dag voor QVU122.

Ter illustratie, een toename van 100 m<sup>3</sup>/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 ( $\leq 1$  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.

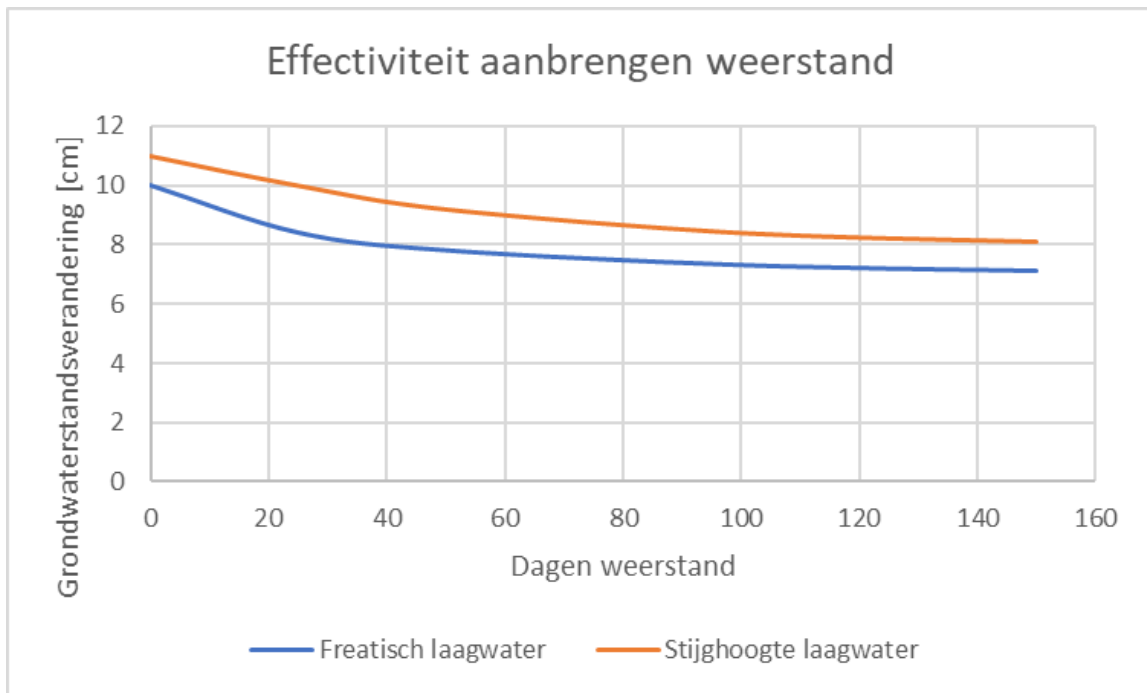
Het drainagesysteem in de Viaductenbuurt bevindt zich in het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket. Het debiet van het drainagesysteem wordt daardoor direct bepaald door de stijghoogte. Aangezien de berekende stijghoogteverandering ter plaatse van de viaductenbuurt maximaal ca. 3 cm bedraagt bij een T = 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<sup>e</sup> 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 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.

#### 4.1.2 Overstromingsvlakte

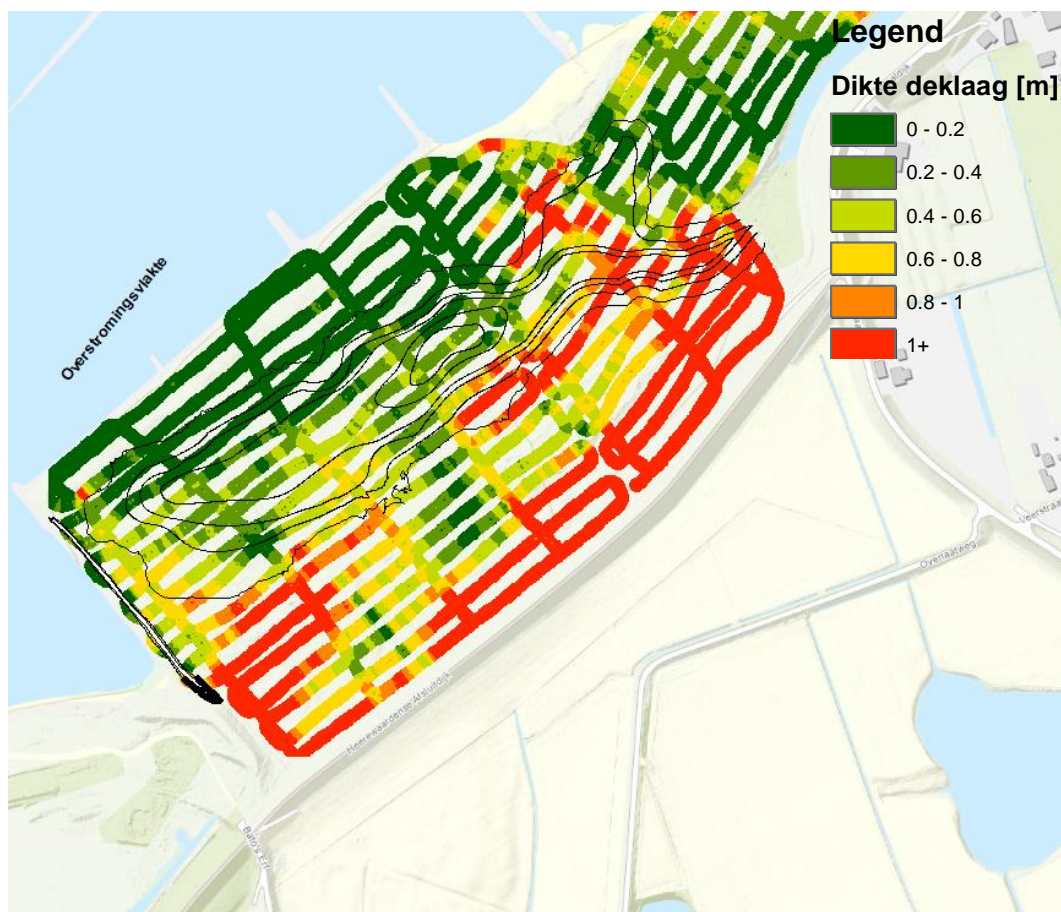
Uit hoofdstuk 3.2 en bijlage A kan geconcludeerd worden dat de overstromingsvlaktes enkel risico opleveren voor de toename van kwel wat naar voren komt als een extra debiet in de watergangen.

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 m<sup>3</sup>/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 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 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.



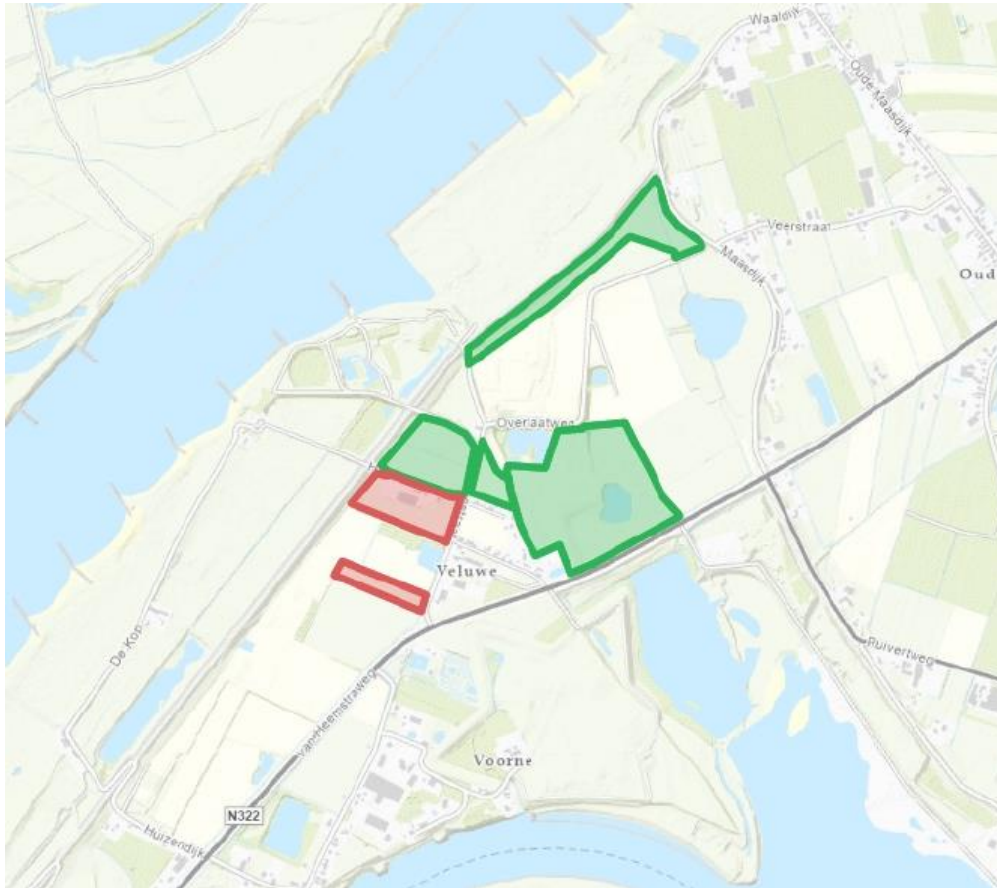
Figuur 10: Aanwezige deklaagdikte zuidelijke overstromingsvlakte

Na het aanbrengen van klei blijft een toename van het afvoerdebiet van 430 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> 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 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 m<sup>3</sup>/dag. De te bergen hoeveelheid water uit BOM562 bedraagt derhalve 200 m<sup>3</sup>. De totale hoeveelheid te bergen water in het gebied van figuur 9 bedraagt daardoor 4.500 m<sup>3</sup>.

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   | $\leq 1 / \leq 3$  | $\leq 8 / \leq 8$  | 1,1   | 3,2***  |
| Overstromingsvlakte                    | Aanbrengen 25 cm klei in noordelijke vlakte, aanbrengen gelijke | $\leq 3 / \leq 12$   | $\leq 5 / \leq 5 *$  | 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 |  |  |   |   |
| <p>* Betreffen enkel modelmatige effecten, zie 1120-180419-11-TN01.</p> <p>** Betreft de maximale kwel/wegzijgingsverandering voor de verschillende peilgebieden in het invloedsgebied</p> <p>*** 2,2% voor QVU118 (Peilgebied waarin het grootste deel bebouwd gebied van Wamel is gelegen)</p> <p>**** Wordt gecompenseerd met berging</p> |  |  |  |   |   |

### 4.3 Restriscio'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.<br>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 m<sup>3</sup> 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.

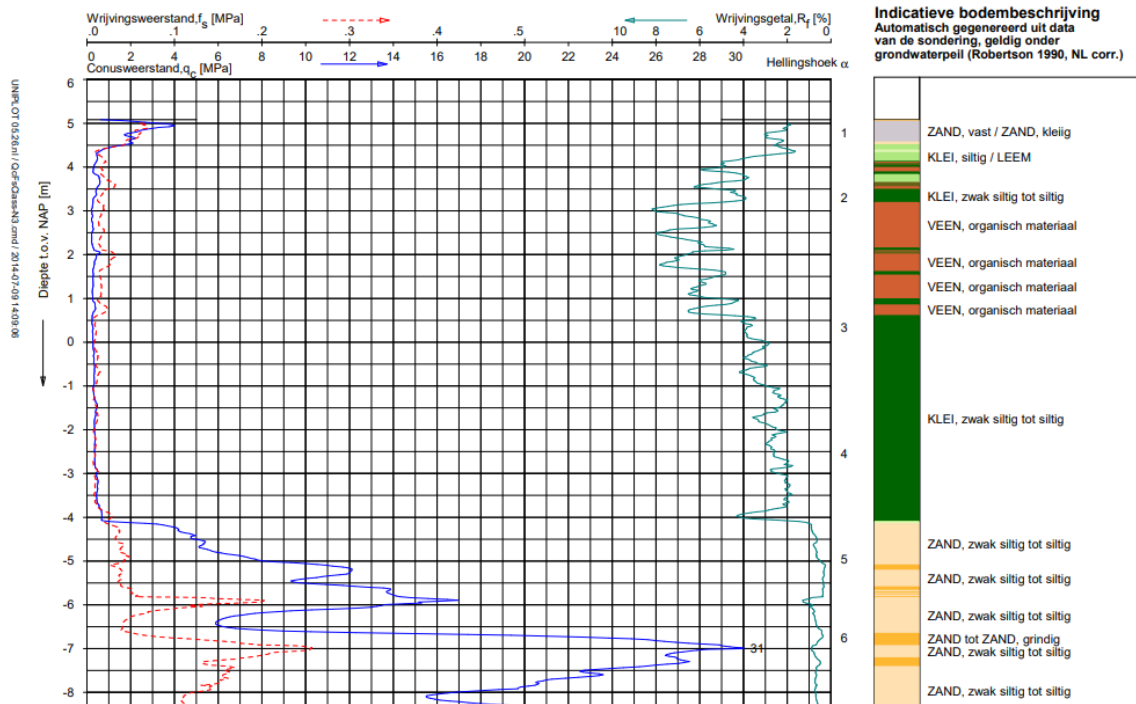
Opgemerkt wordt dat de berekende stijghoogteverhoging ter plaatse van de dorpskern ca. 5 à 8 cm bedraagt. Op basis van de ervaringen binnen de gemeente West Maas en Waal wordt verwacht dat deze stijghoogteverhoging in de praktijk zal leiden tot een stijging van de freatische grondwaterstand, met name op de locaties waar de ondergrond zeer zandig is. Op basis van (archieff)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 betrekkinglijnen 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 m<sup>3</sup>/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<sup>e</sup> 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  $\leq 2$  cm stijgt.

Op basis van de modellering wordt geconcludeerd dat de grondwaterstandsverhoging van  $\leq 2$  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  $\leq 5$  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 wege 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  $\leq 2$  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  $\leq 2$  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)  $\leq 2$  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)  $\leq 2$  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 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 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  $\leq 2$  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  $\leq 2$  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 bereikbaarheid 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  $\leq 2$  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  $\leq 3$  cm berekend. Een grondwaterstandsverlaging van  $\leq 3$  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 | $\leq 2$                         | $\leq 15$                   |
| T = 10 laagwater | -                                | -                           |

#### Wateroverlast

Ter plaatse van het agrarisch landgebruik wordt gedurende de T = 10 hoogwatersituatie een grondwaterstandsverhoging van  $\leq 2$  cm berekend. Een grondwaterstandsverhoging van  $\leq 2$  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.

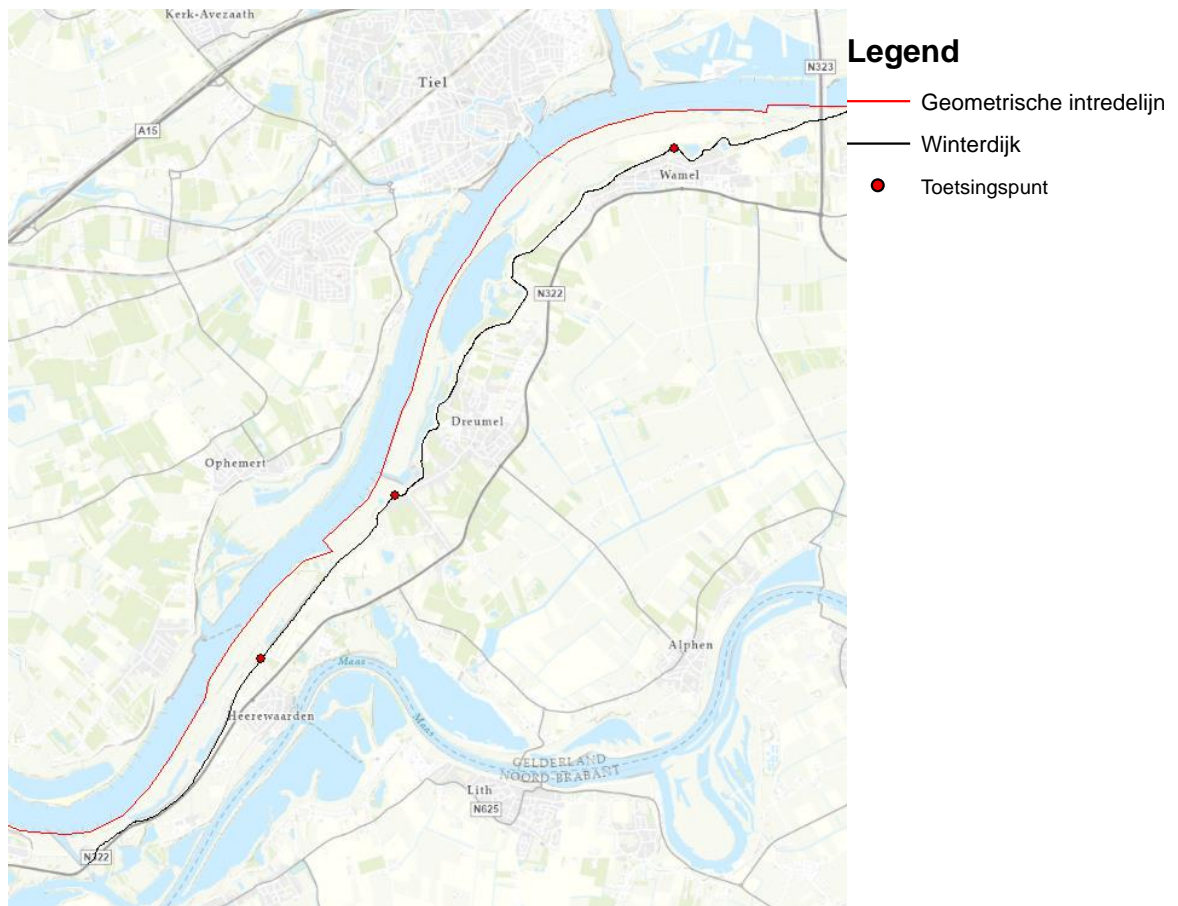
Opgemerkt wordt dat een deel van de zuidelijke overstromingsvlakte in de beschermingszone ligt. Voor de beschermingszone geldt dat voor locaties waar na ontgraving minder dan 1 meter klei in de deklaag achterblijft dit moet worden aangevuld tot een pakket van 1,5 m dikte vanwege dijkveiligheid (eis waterschap).

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-<br>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<sup>e</sup> 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.

### 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 m<sup>3</sup>/dag voor QVU122 en 224 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/dag voor QVU122 en 121 m<sup>3</sup>/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

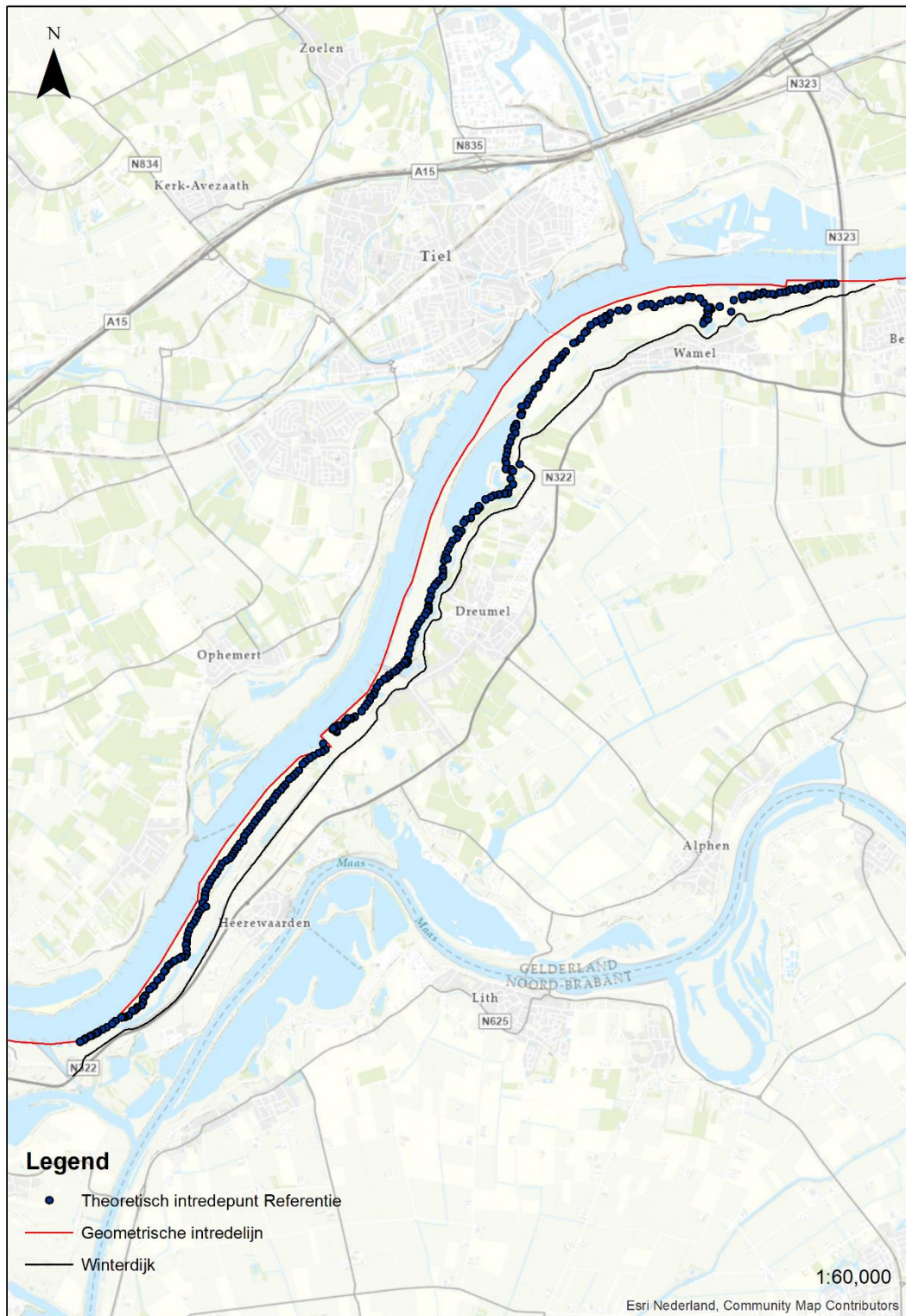
Bij de T = 10 hoogwatersituatie wordt een toename van kwel berekend in QVU101 (2,3%) en BOM563 (10%). Dit komt overeen met een toename van 99 m<sup>3</sup>/dag in QVU101 en 755 m<sup>3</sup>/dag in BOM563, zie ook hoofdstuk 3.1.2. Deze toenames zorgen voor een groter af te voeren debiet in deze peilgebieden. 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

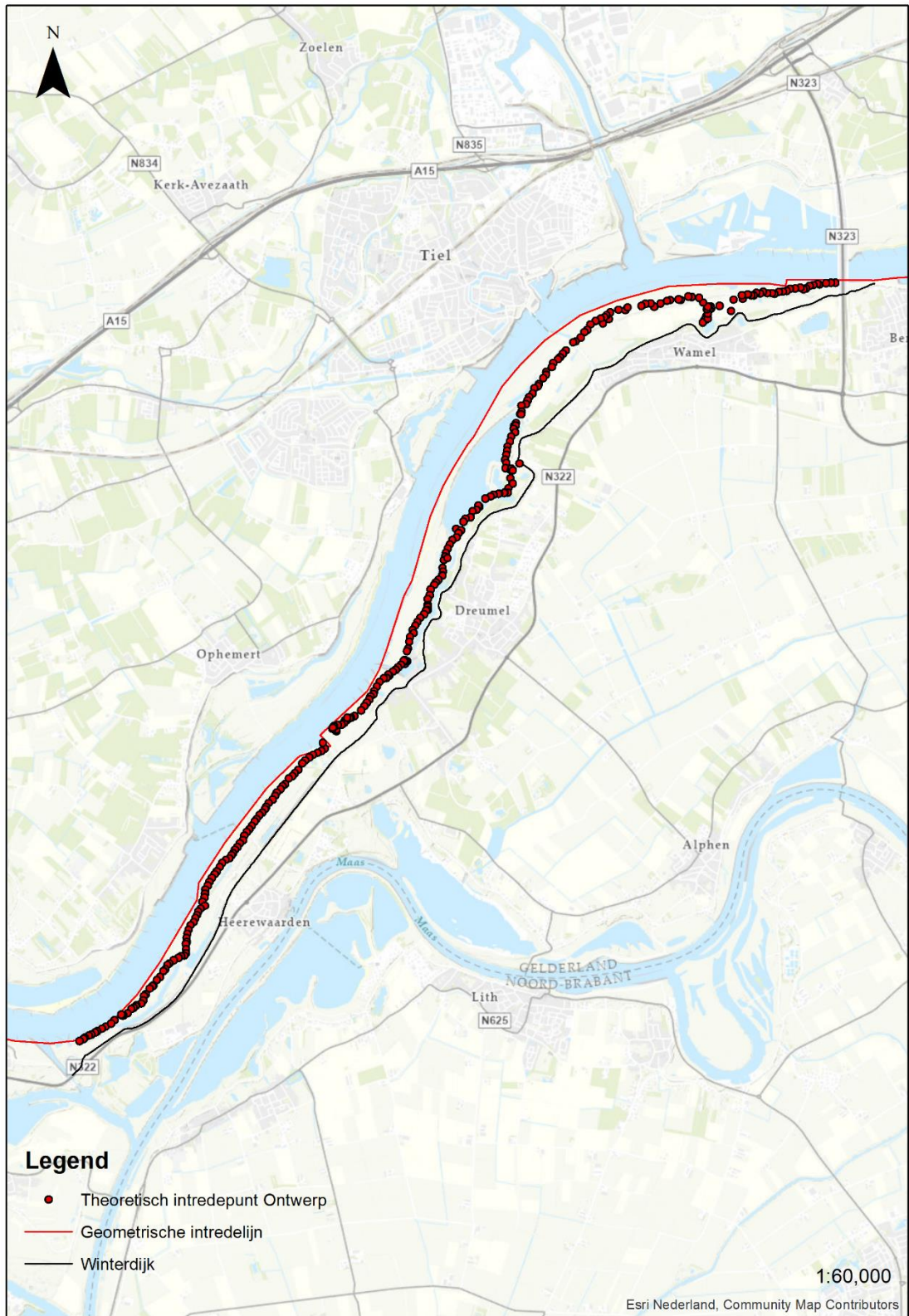
Gedurende het grootste deel van de zomerperiode staat de overstromingsvlakte droog. In het geval dat de plas droog staat verandert er niks aan de geohydrologische situatie ten opzichte van de huidige situatie. Modelmatig wordt een wijziging van max. 19 m<sup>3</sup>/dag (2,4%) berekend, maar aangezien 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

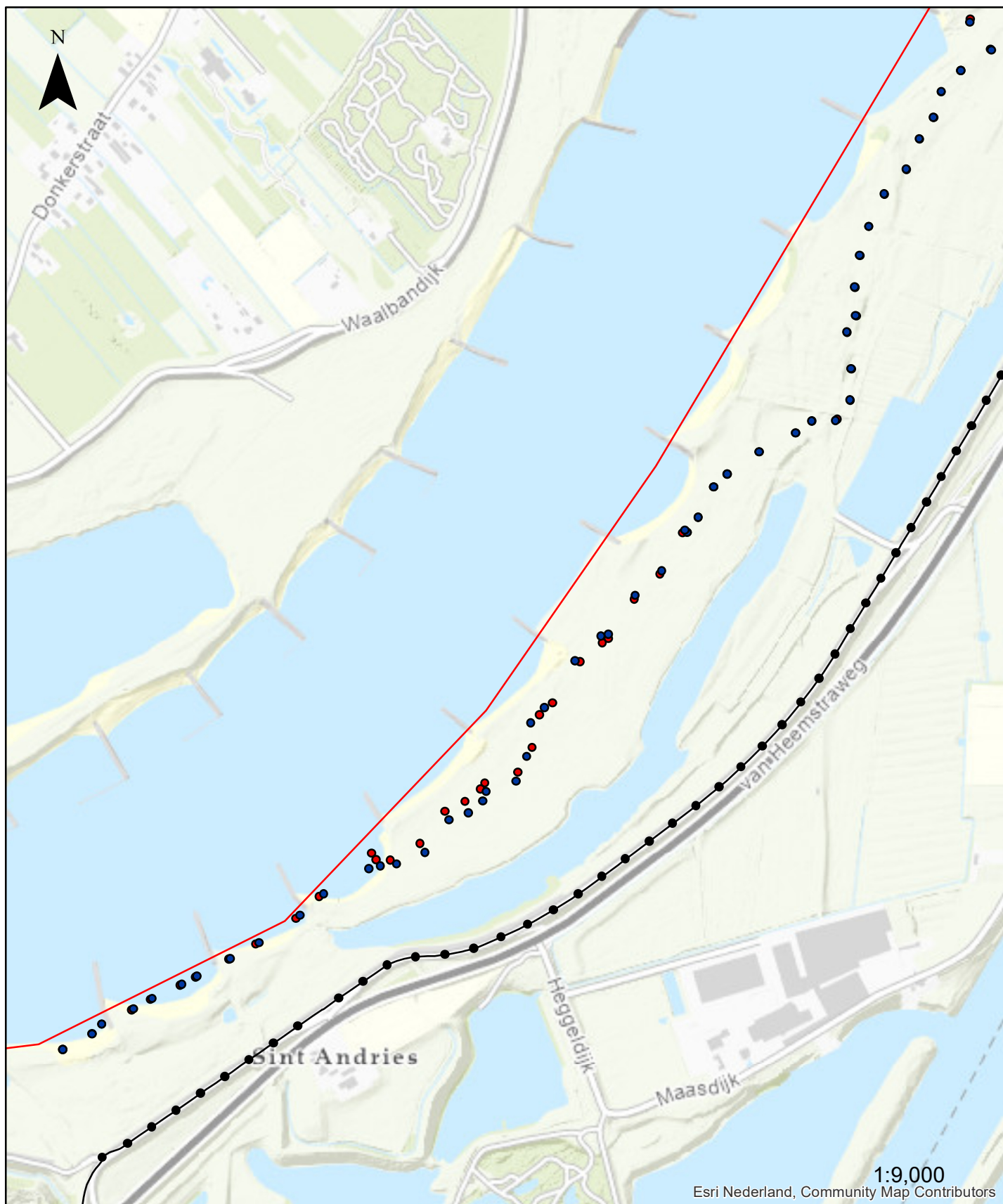
### A.3.1 Referentiesituatie



## A.3.2 Ontwerpsituatie

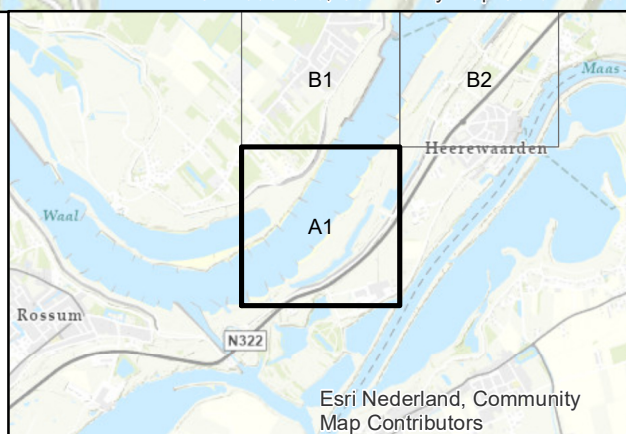


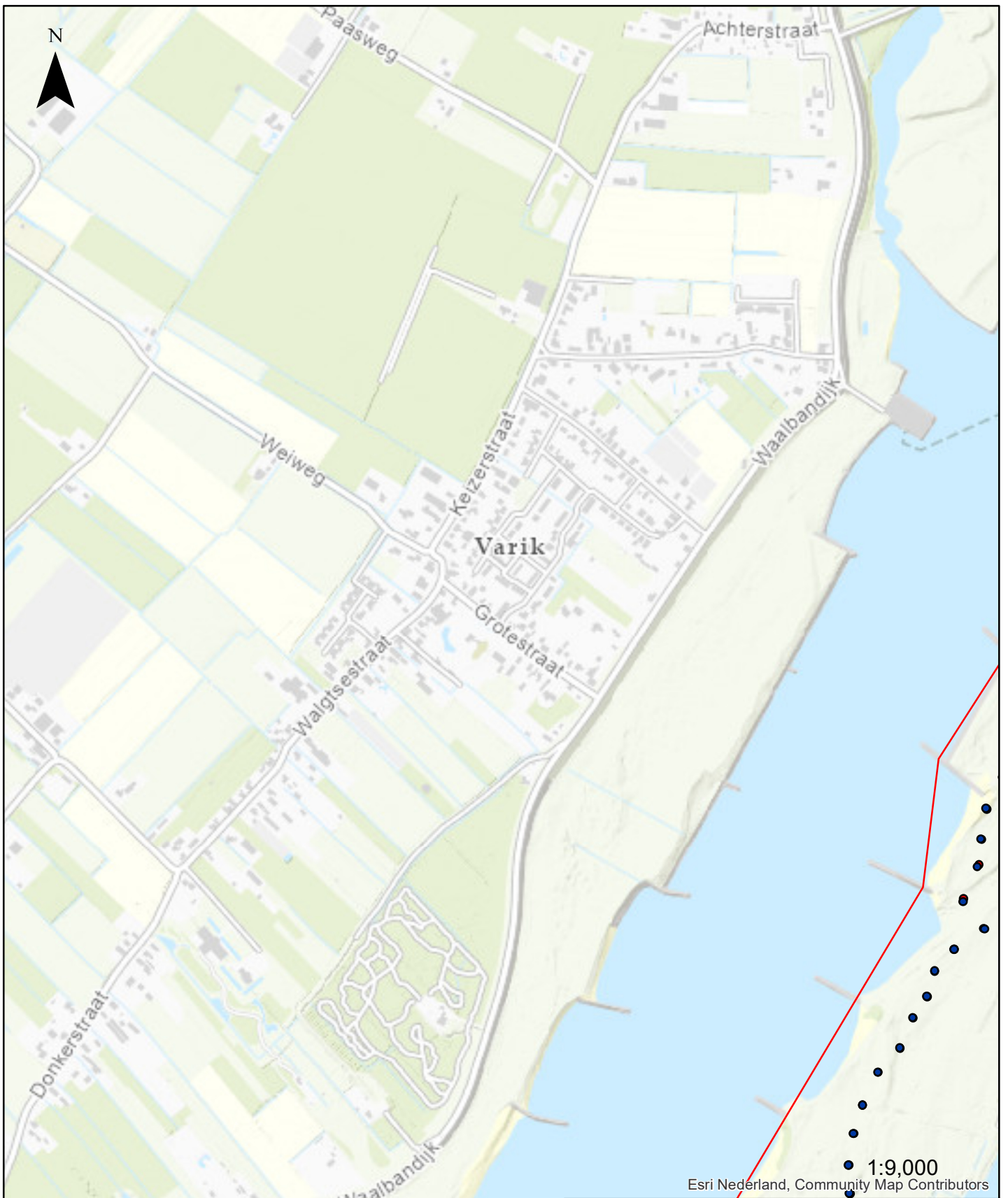
### A.3.3 Lokale veranderingen



## Legenda

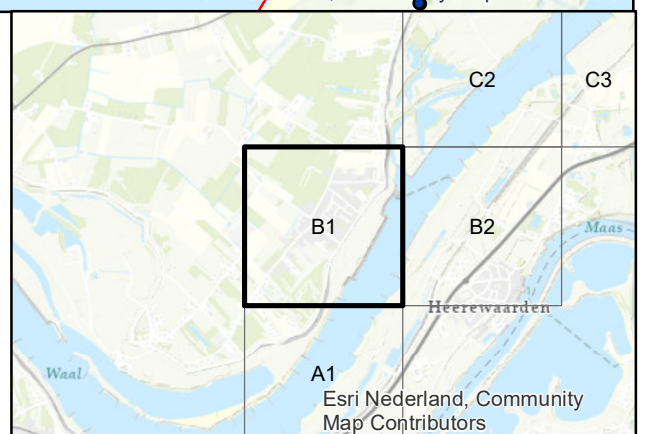
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelij
- Winterdijk

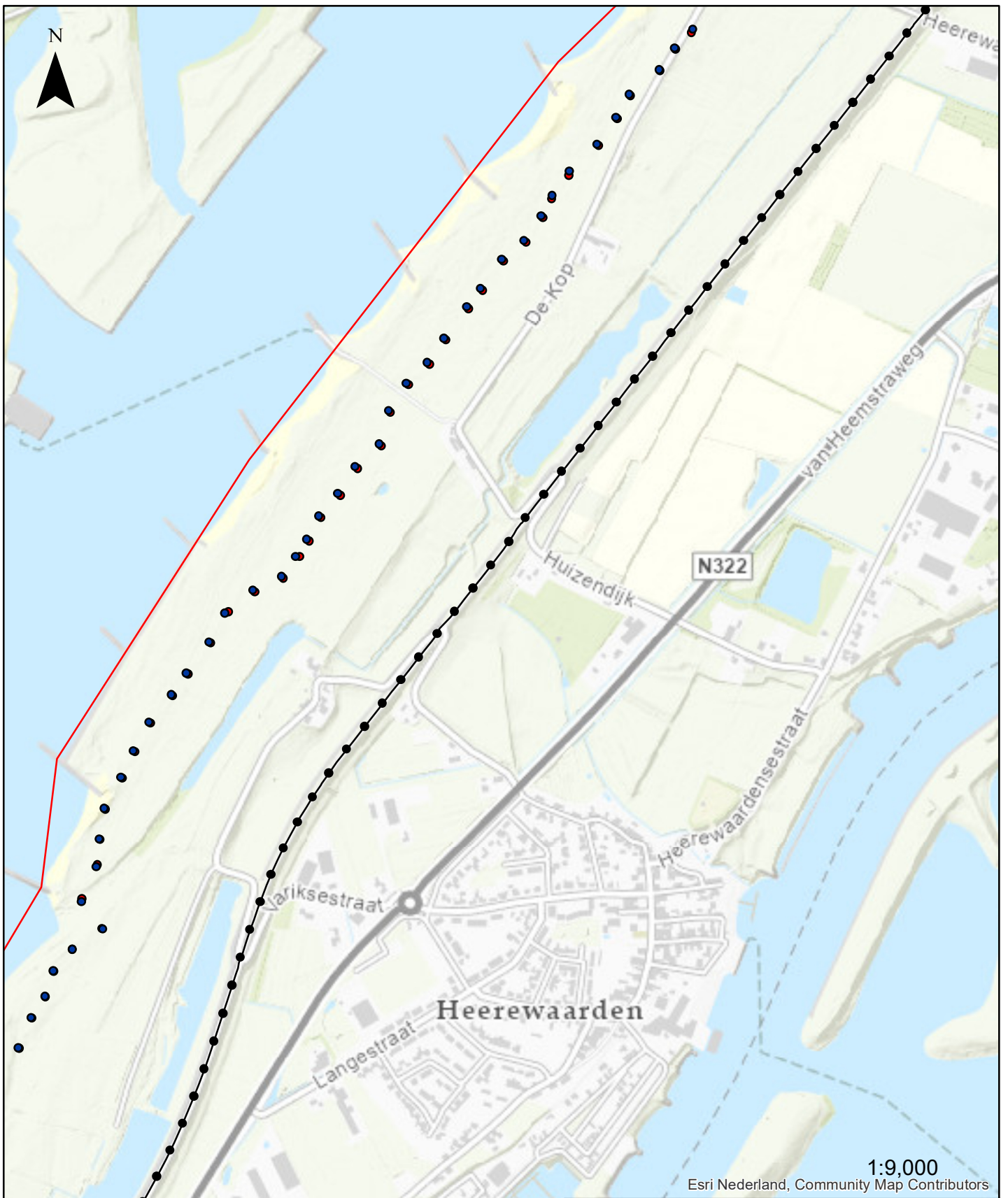




## Legenda

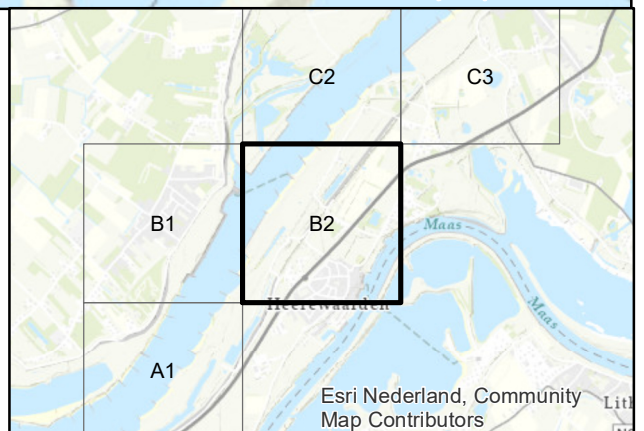
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk



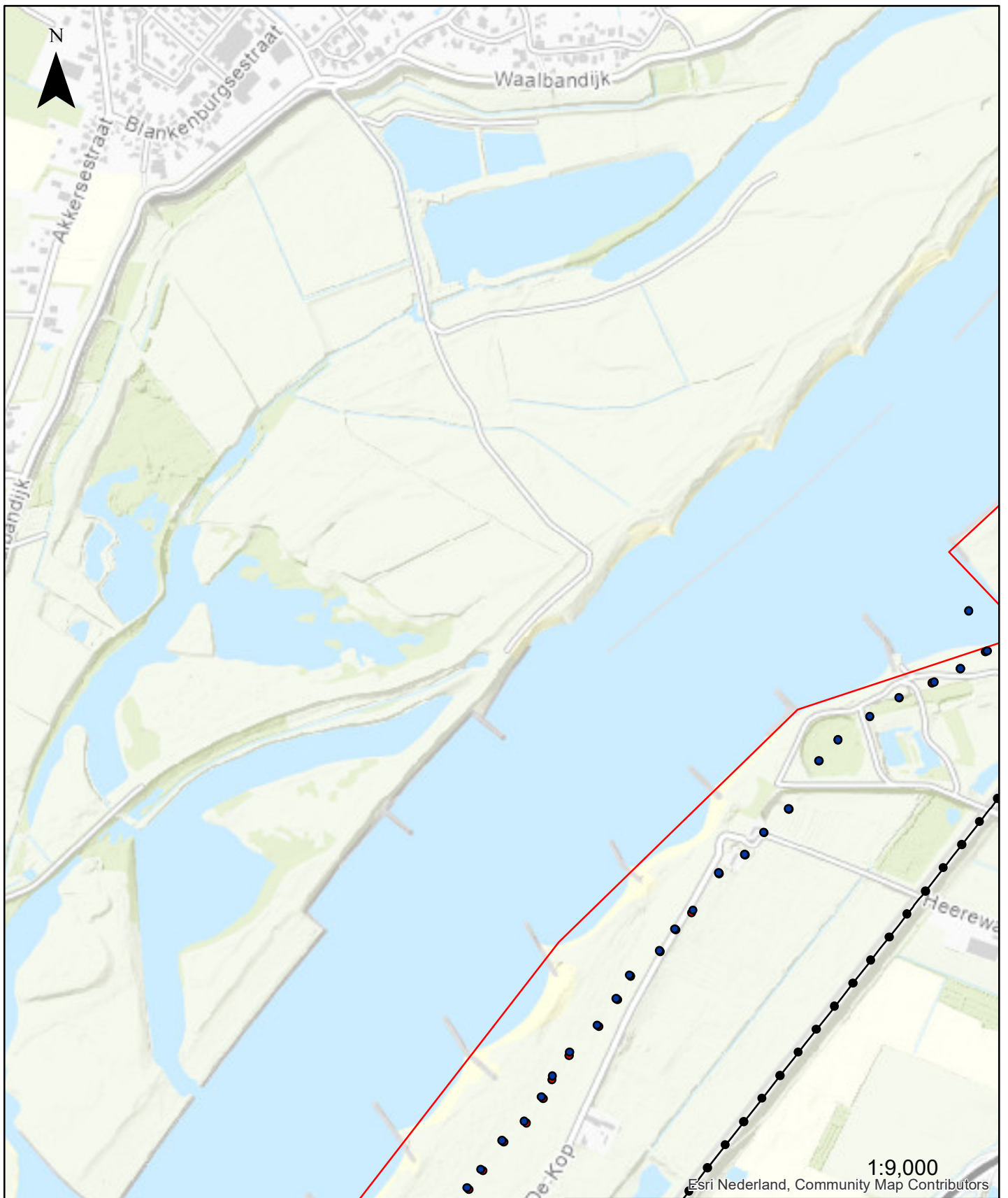


## Legenda

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

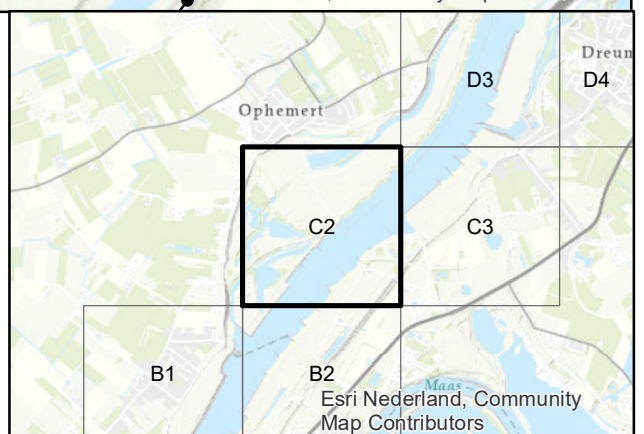


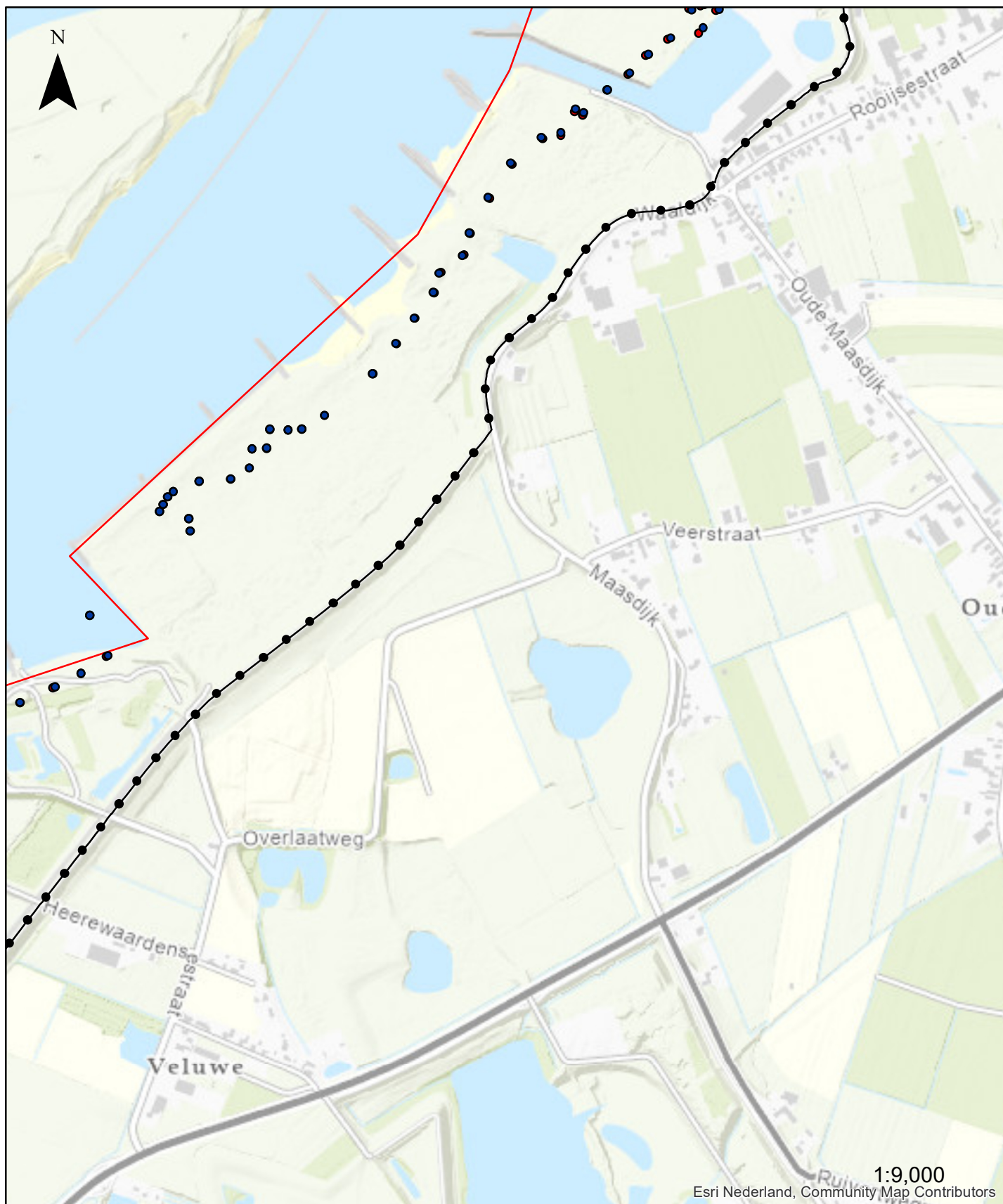




## Legenda

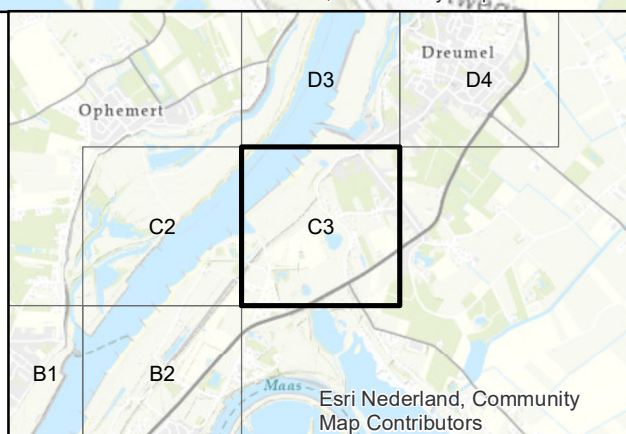
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

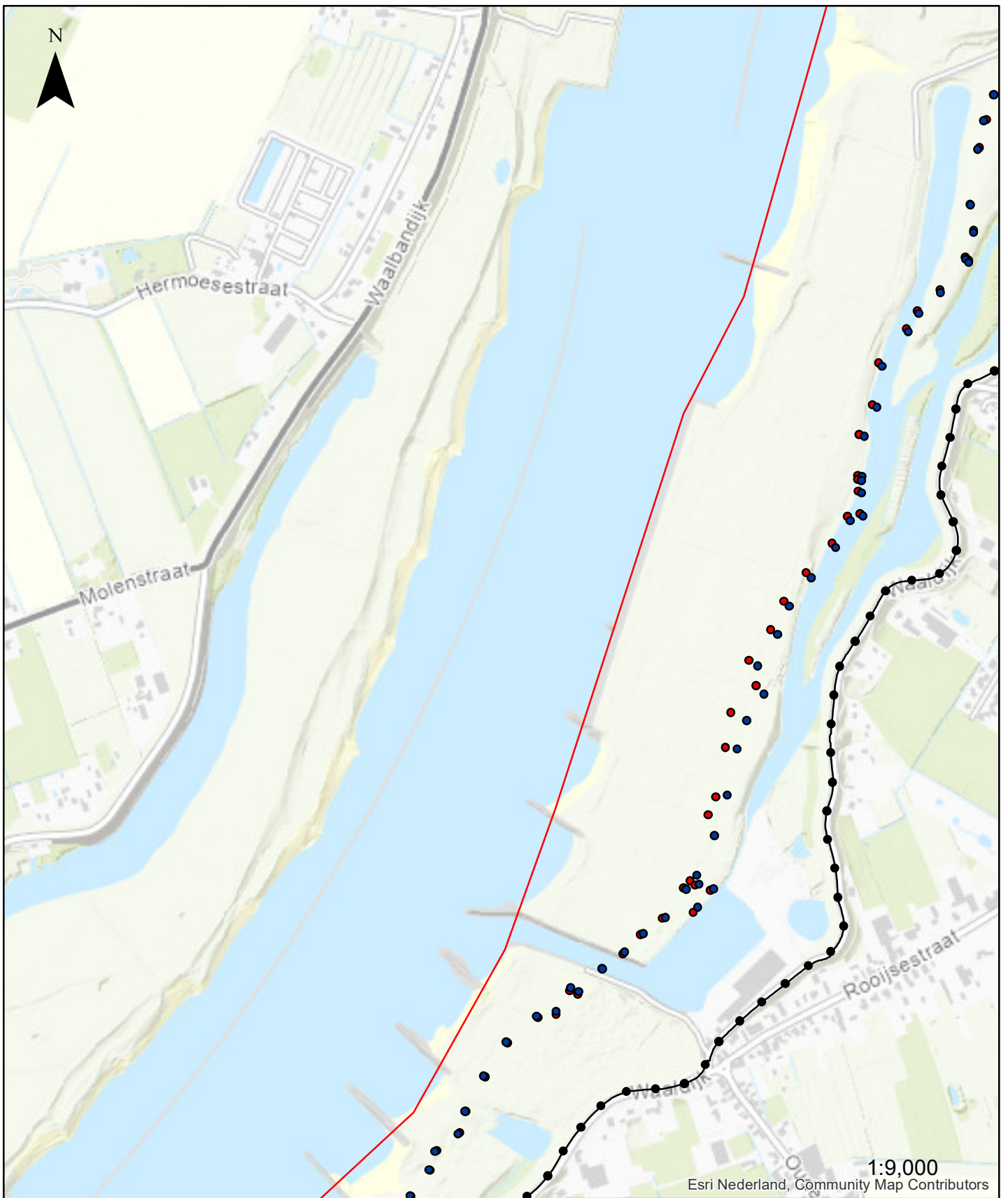




## Legenda

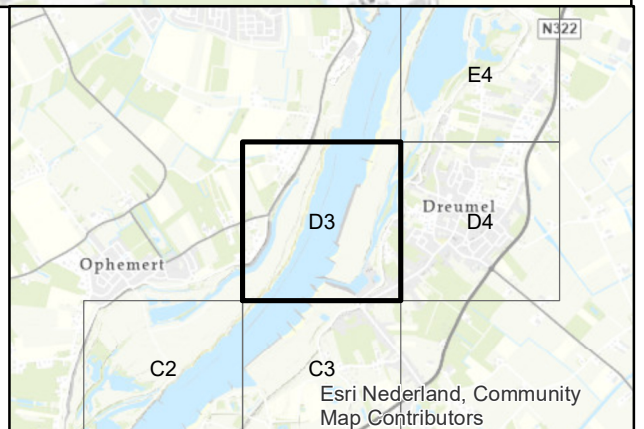
- Toetspunt
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

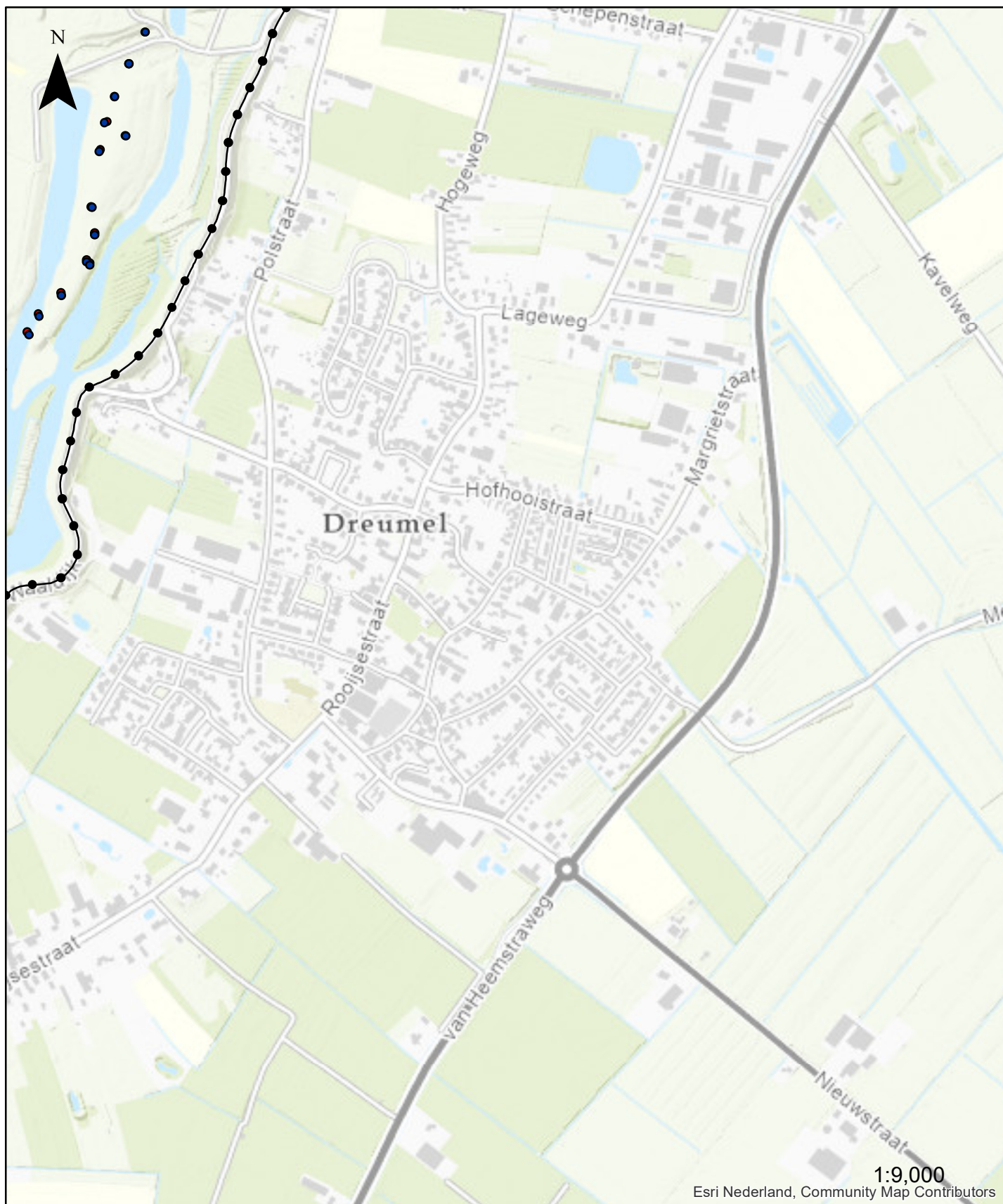




## Legenda

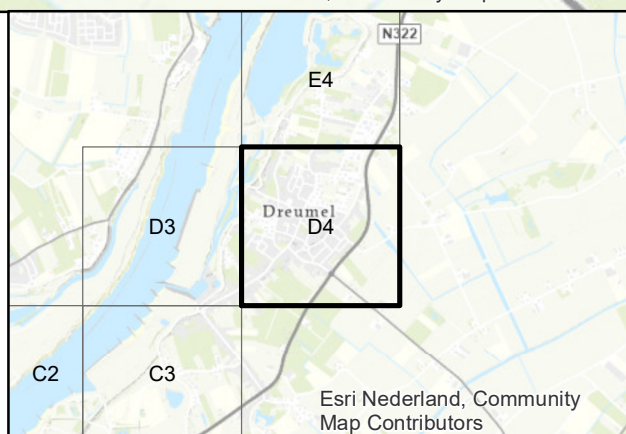
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





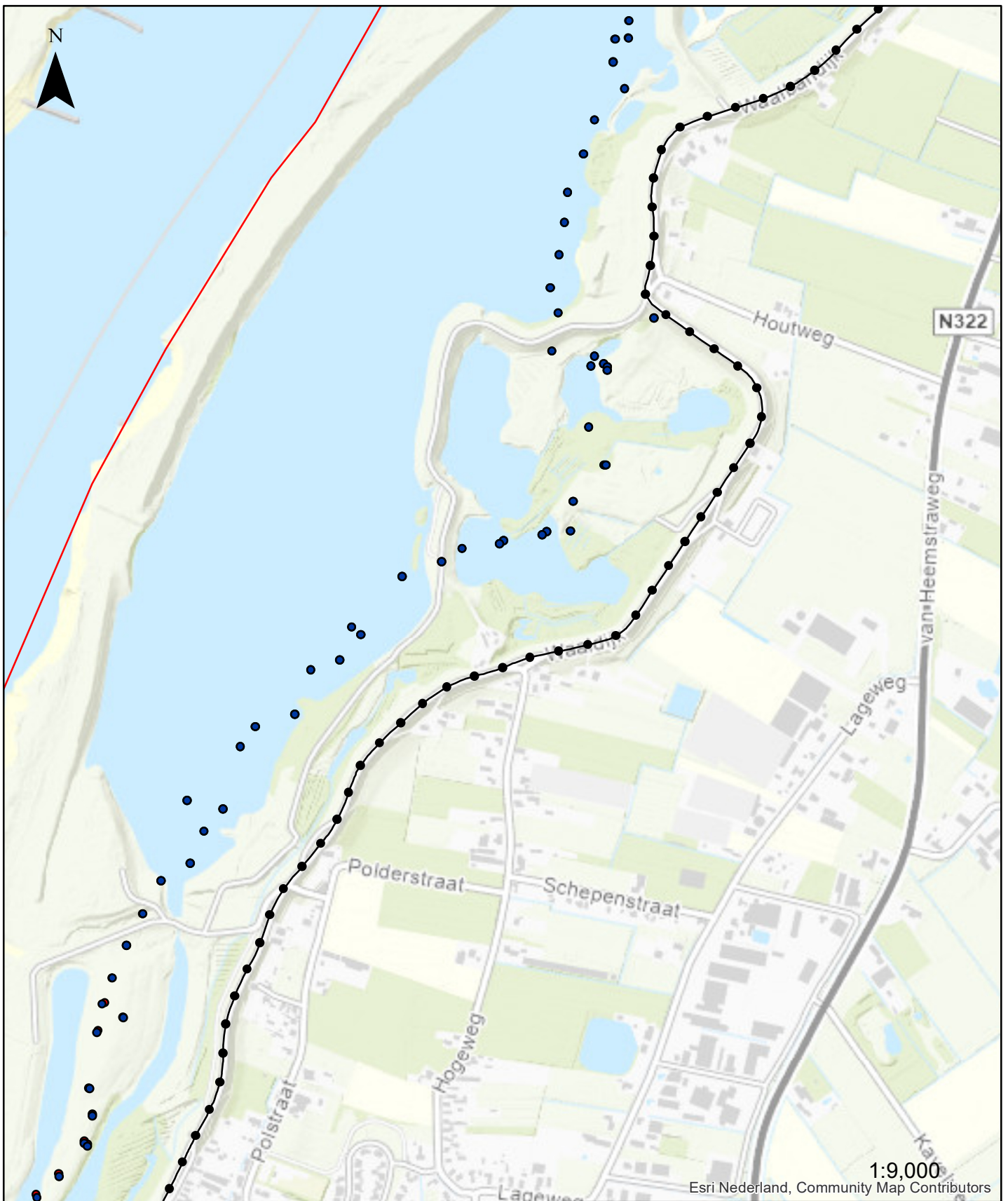
## Legenda

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



1:9,000  
Esri Nederland, Community Map Contributors

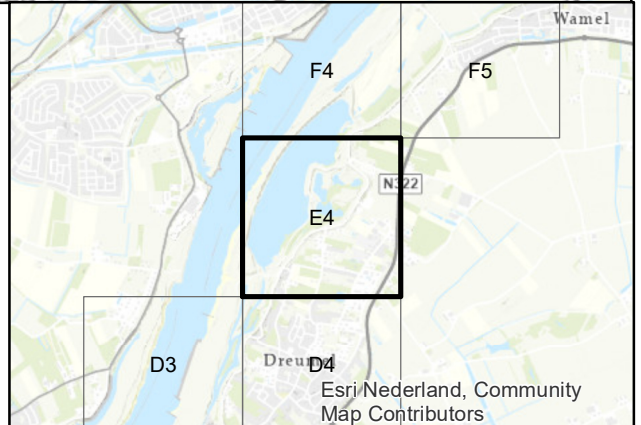
Esri Nederland, Community Map Contributors



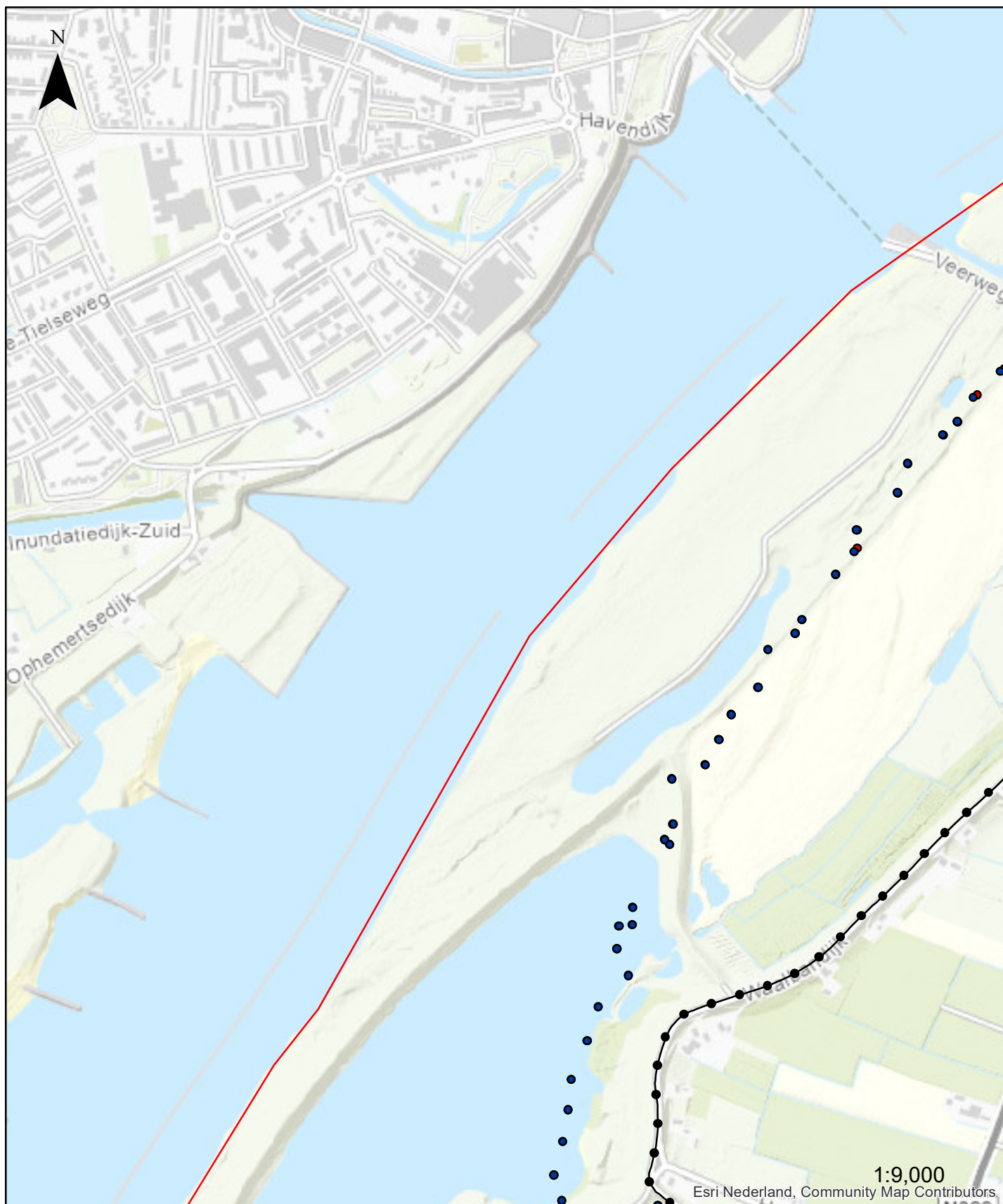
1:9,000  
Esri Nederland, Community Map Contributors

## Legenda

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

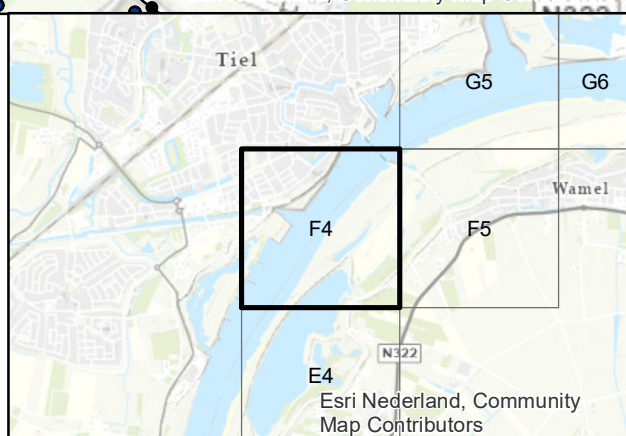


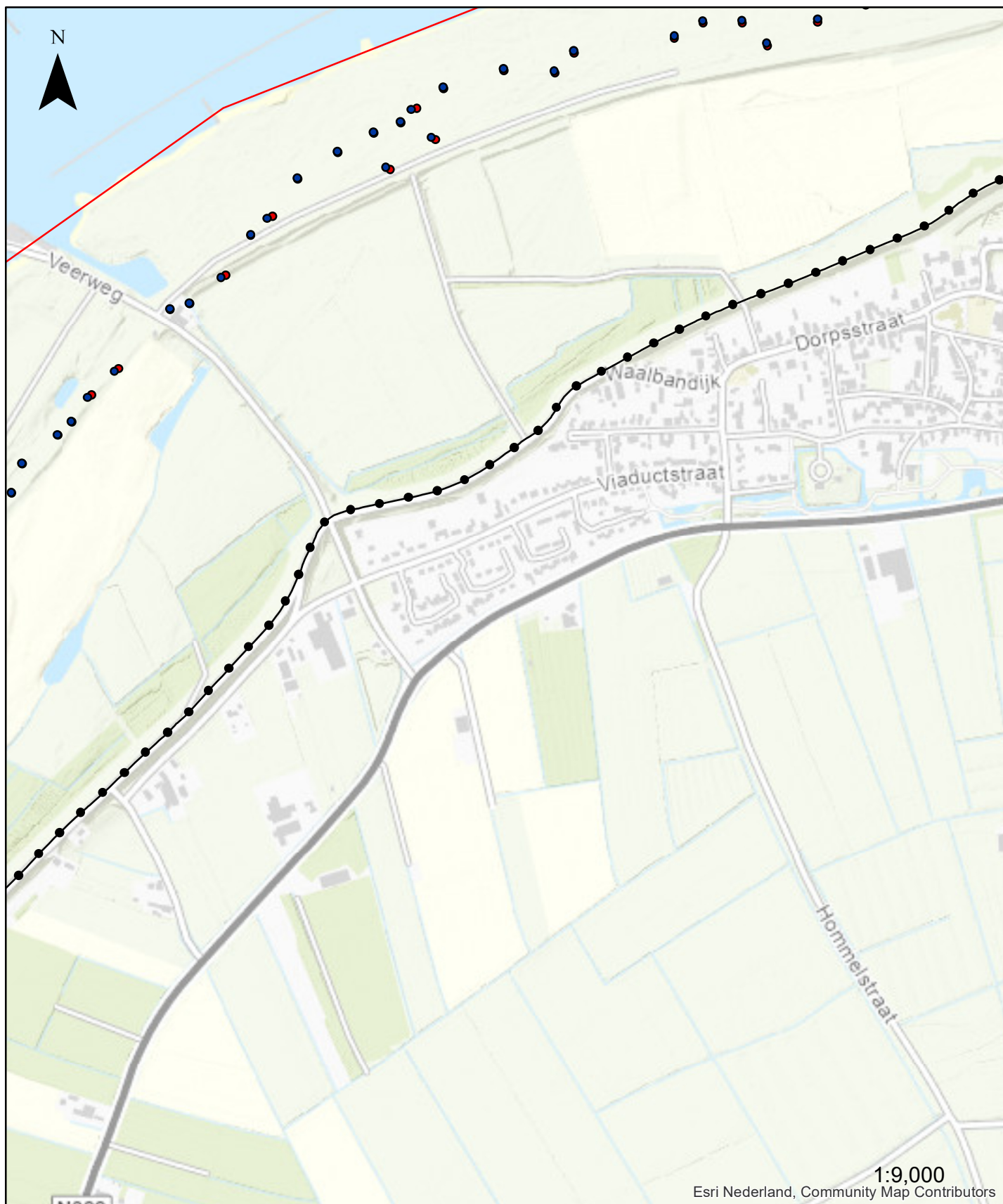
Esri Nederland, Community Map Contributors



## Legenda

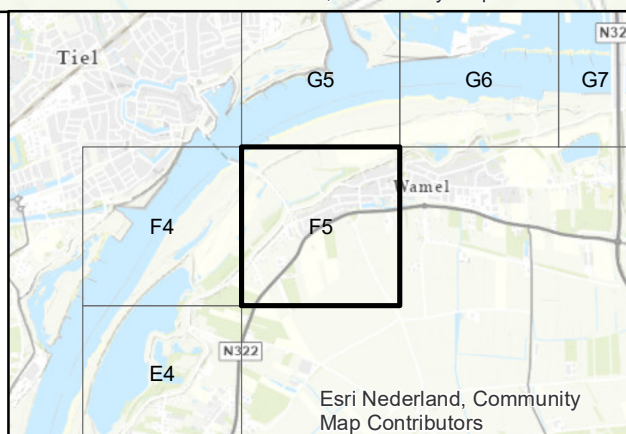
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk

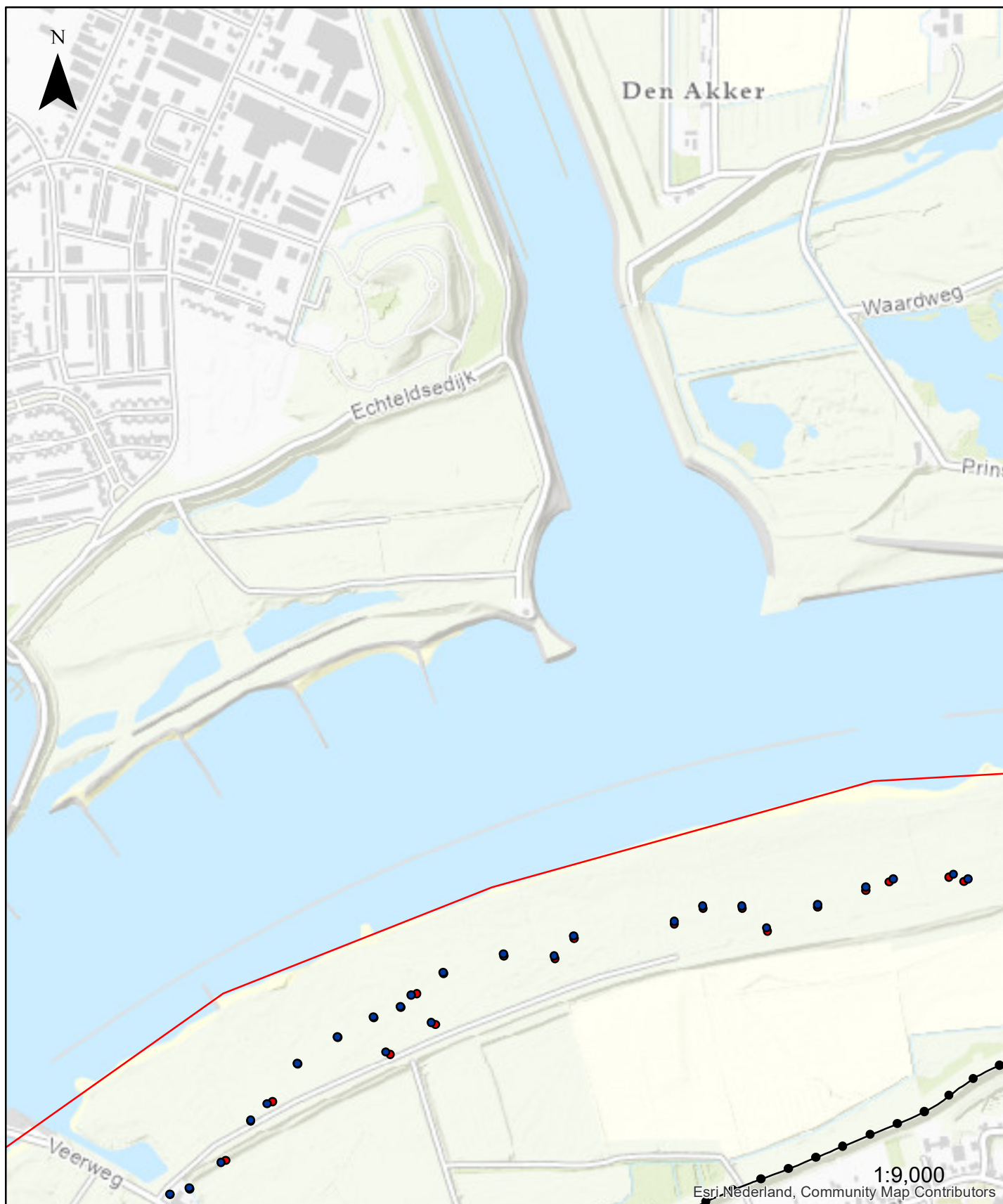




## Legenda

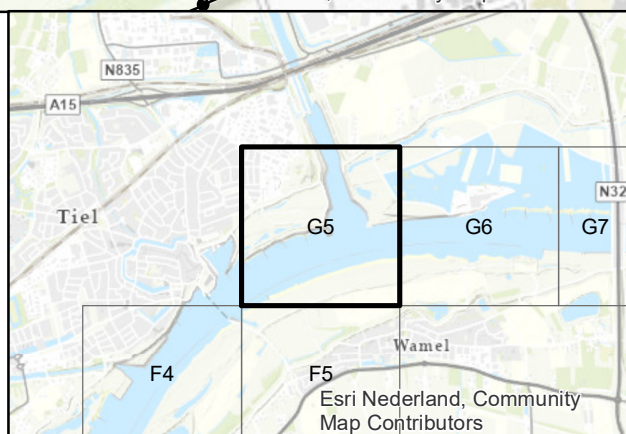
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk



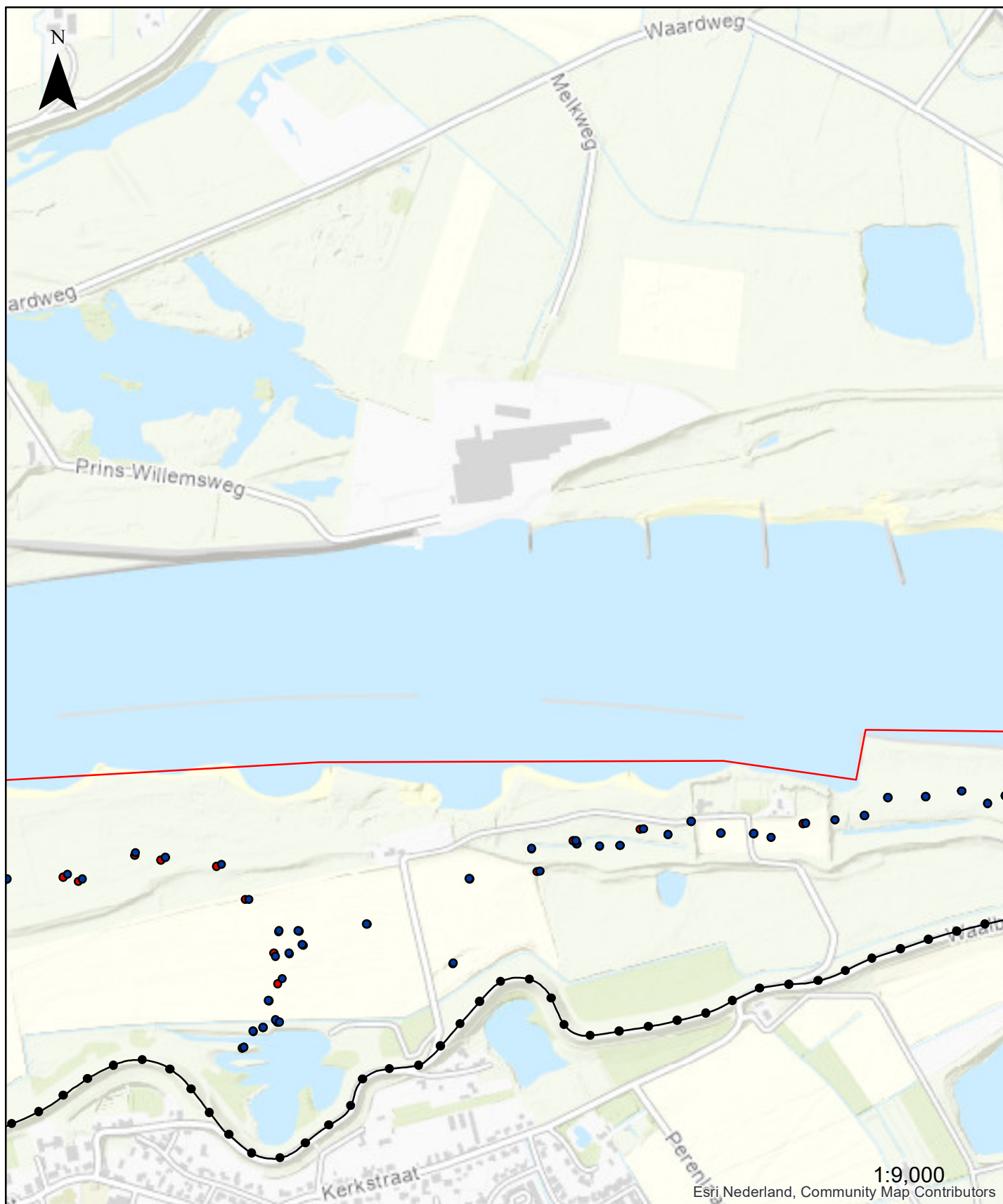


## Legenda

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

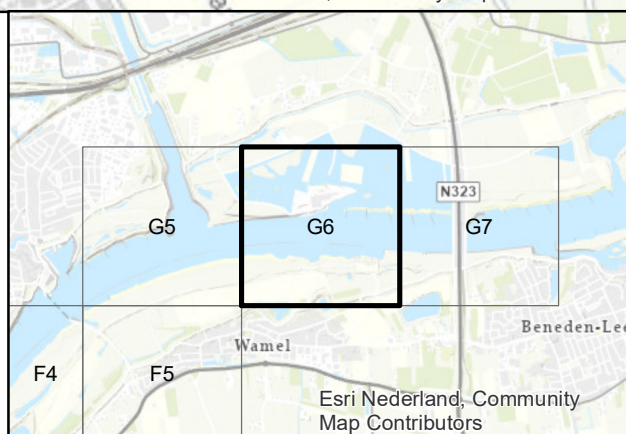


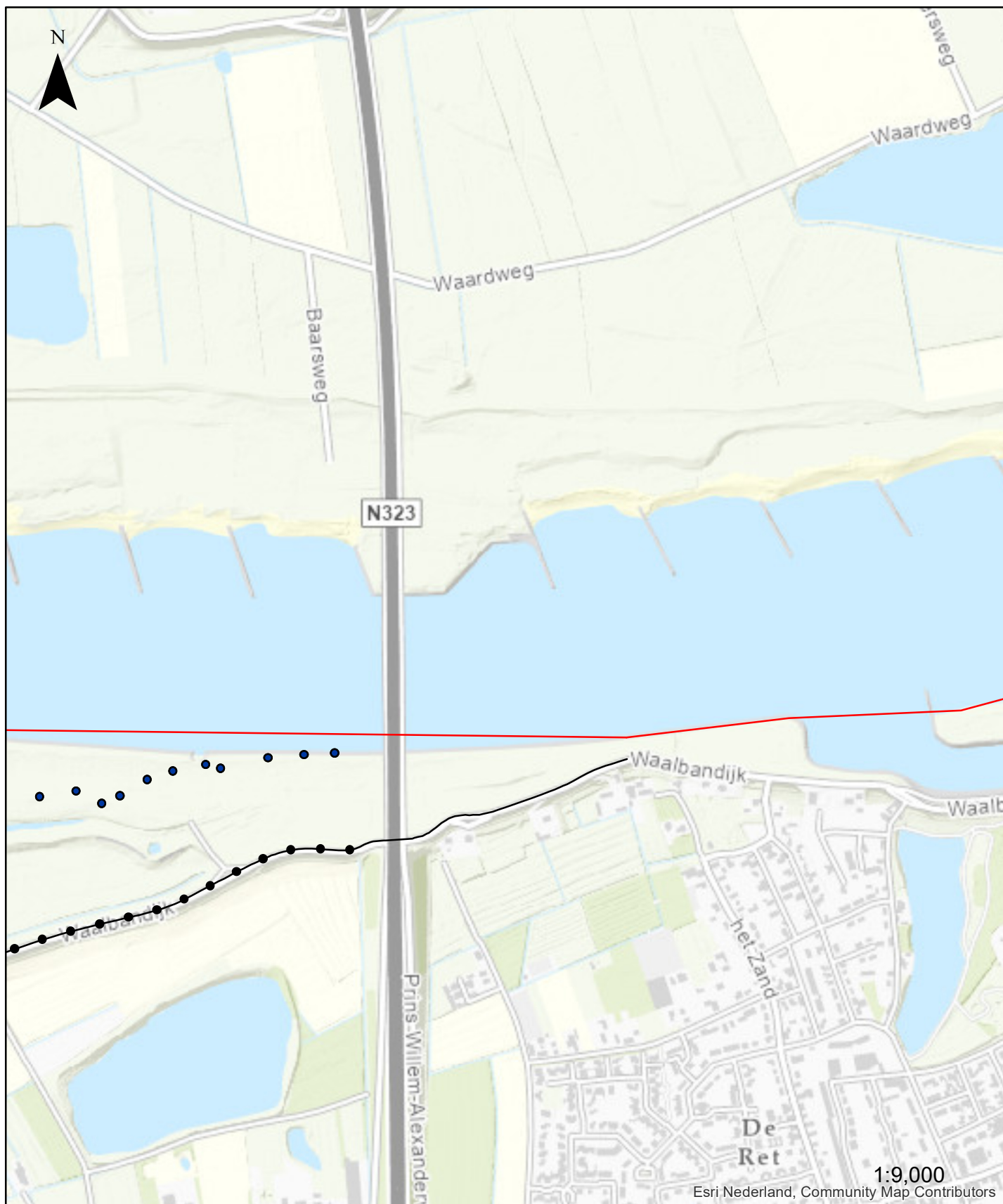




## Legenda

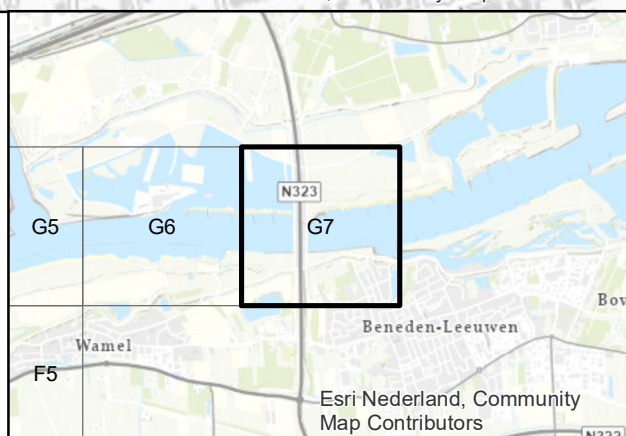
- Toetspoint
- Theoretisch intredepunt Ontwerp
- Theoretisch intredepunt Referentie
- Geometrische intredelijn
- Winterdijk





## Legenda

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





## Legenda

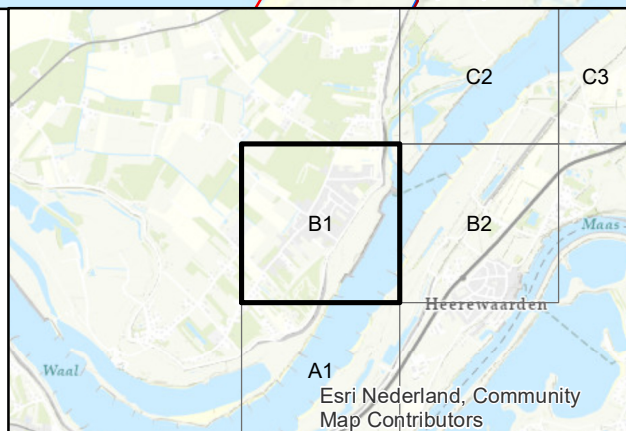
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

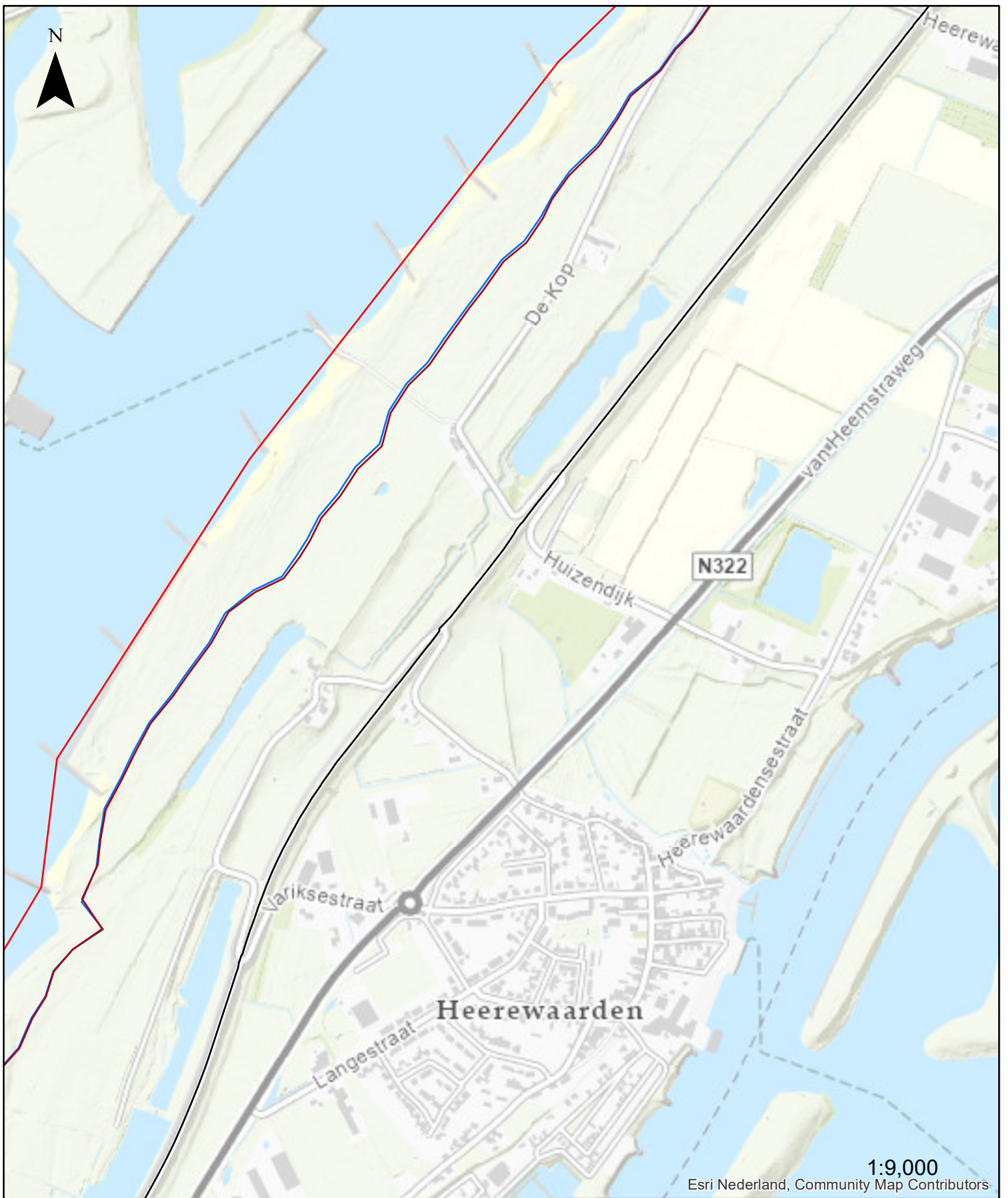




## Legenda

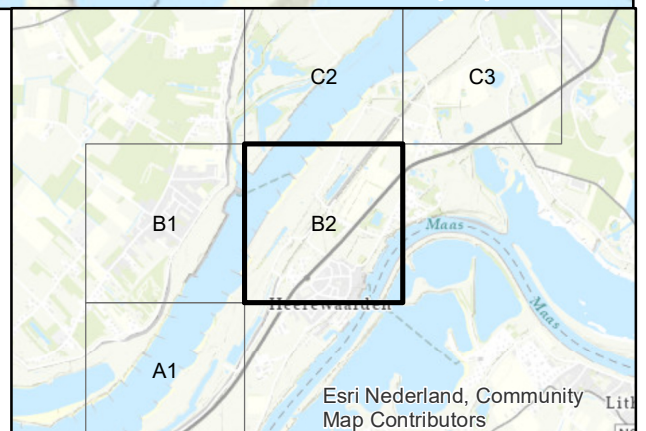
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

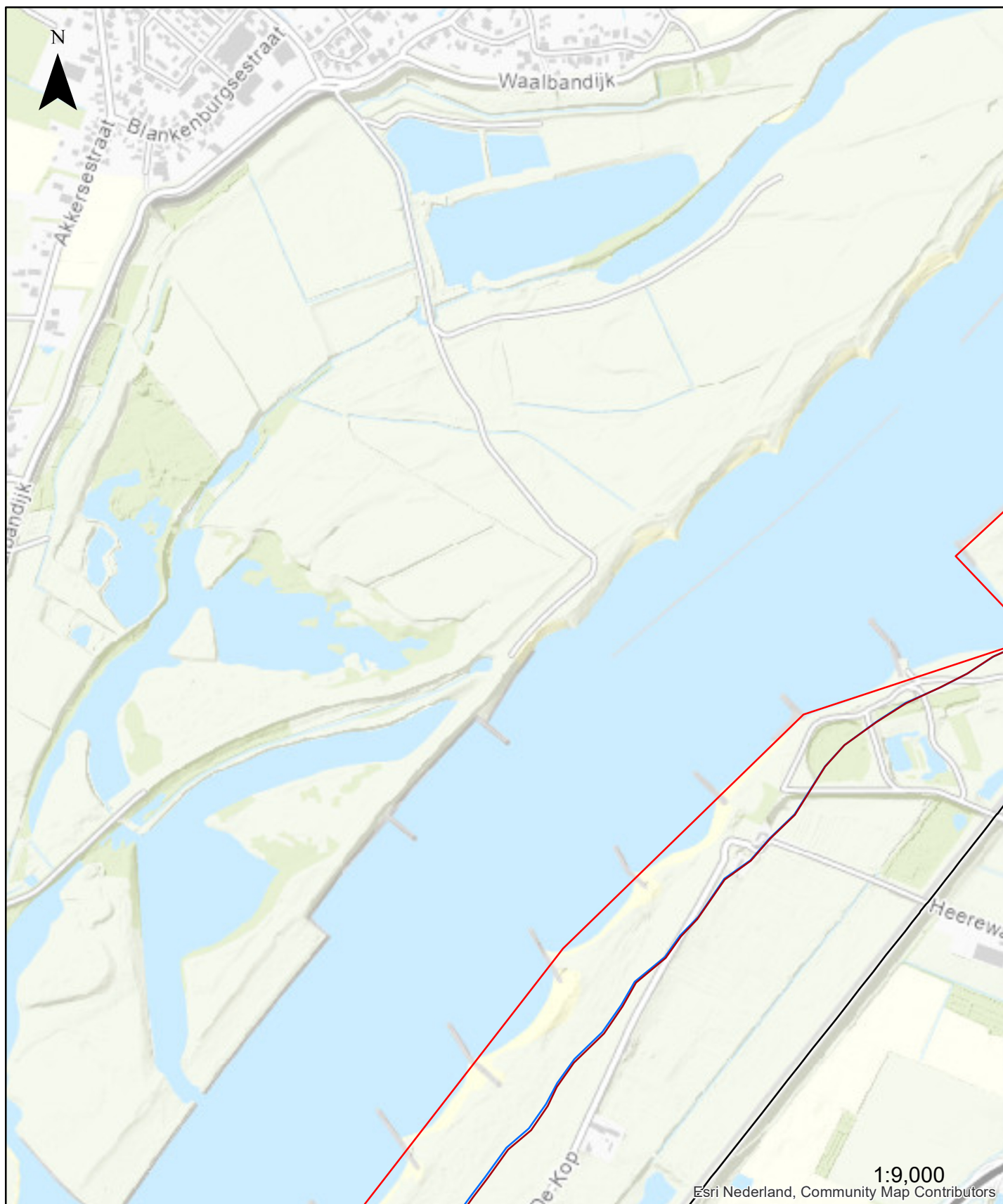




## Legenda

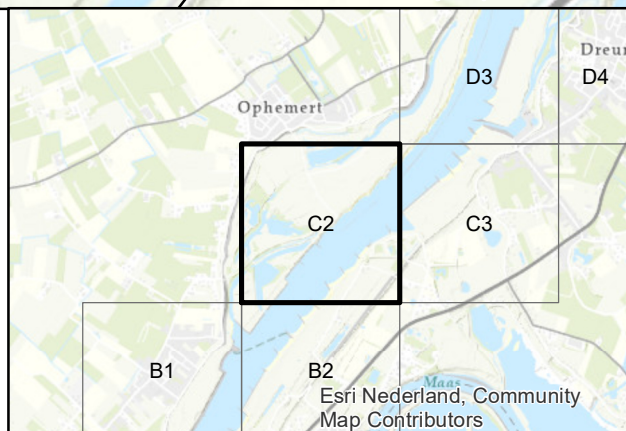
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

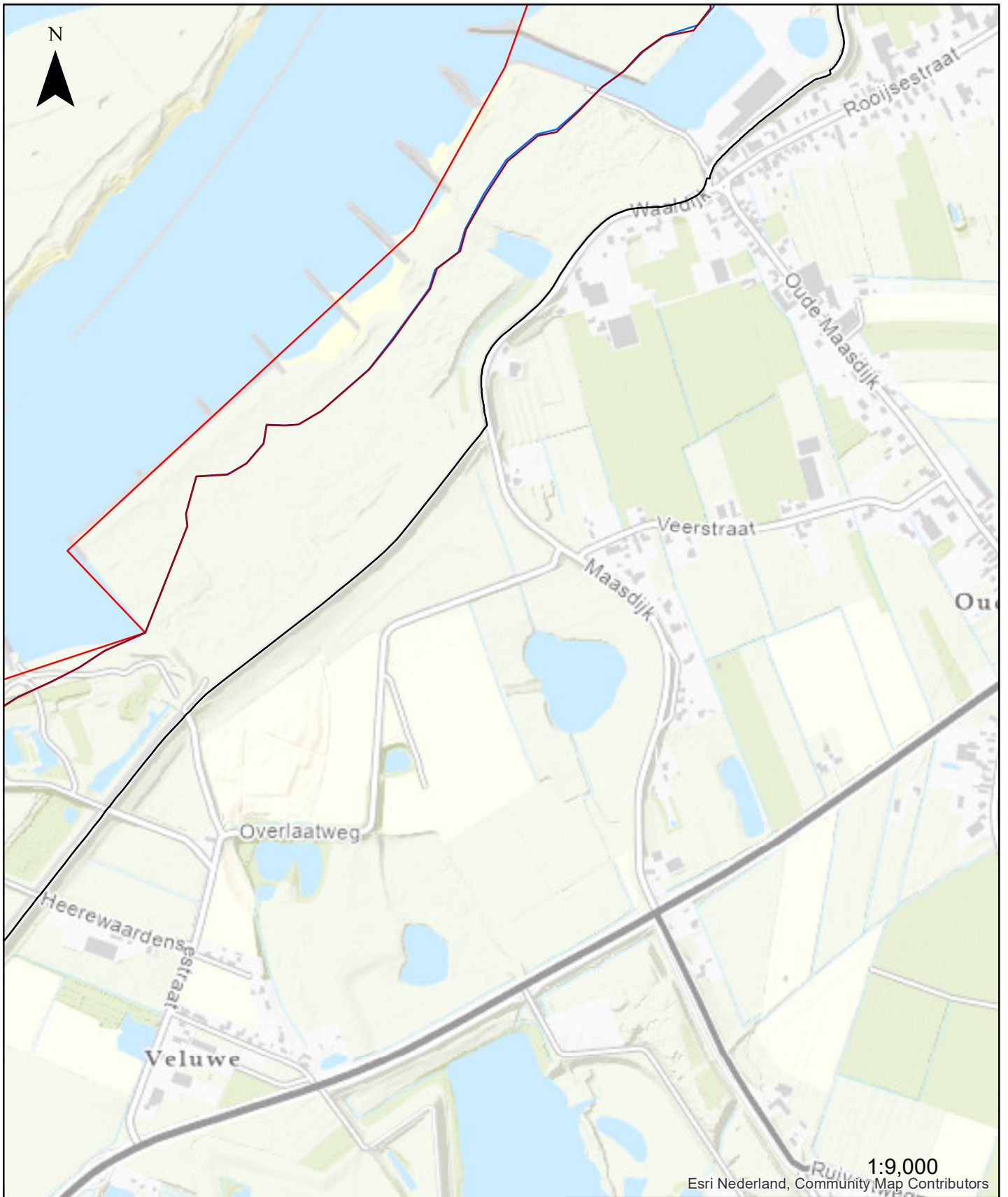




## Legenda

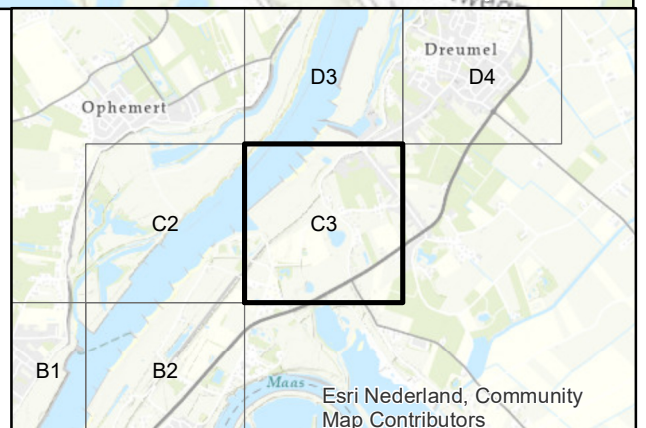
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk

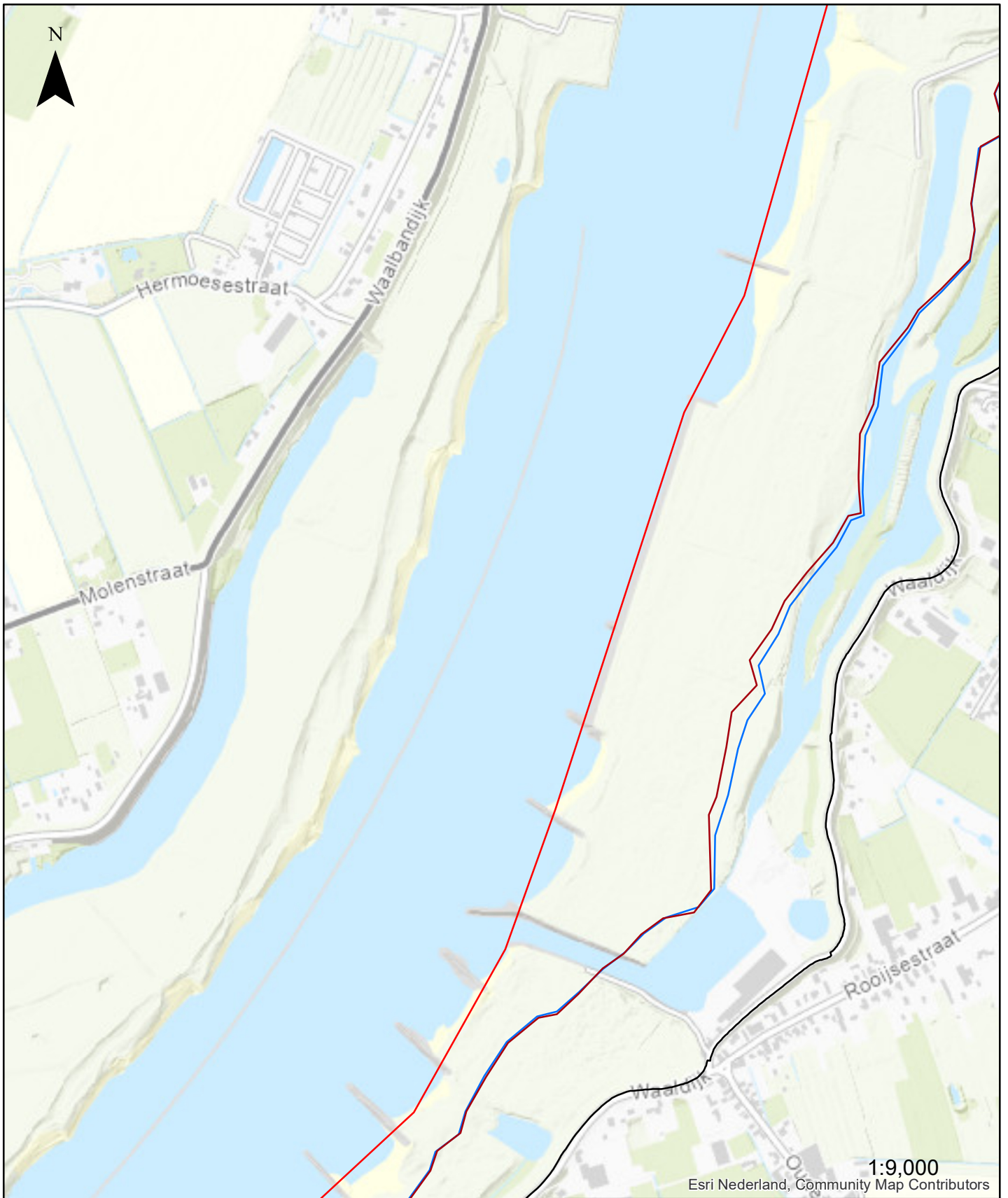




## Legenda

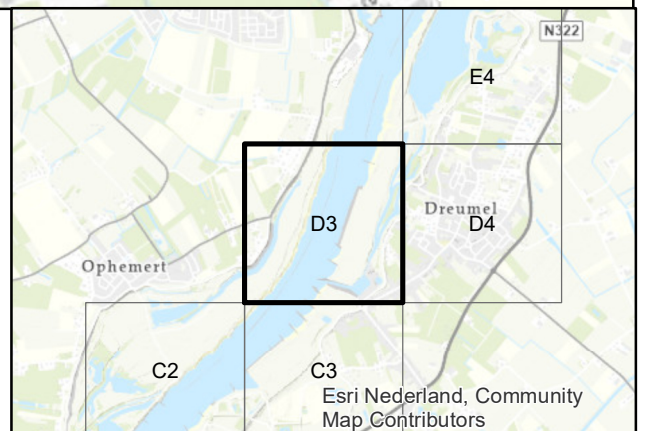
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





## Legenda

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



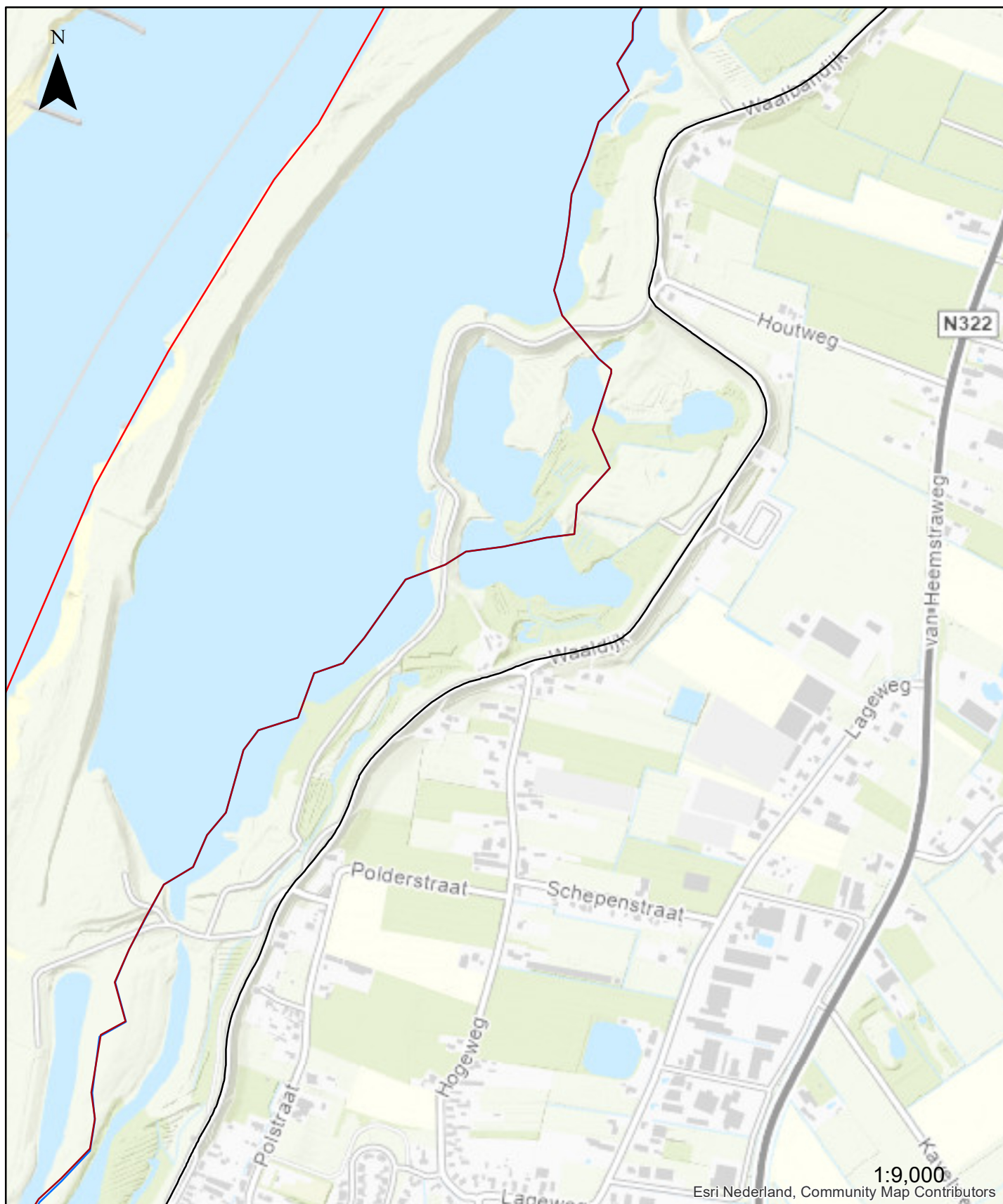




## Legenda

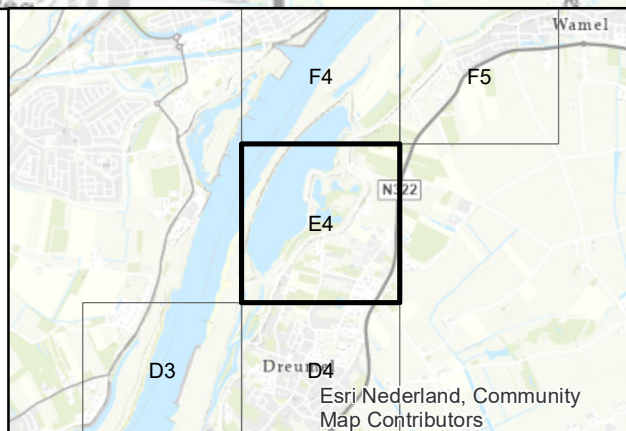
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





## Legenda

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



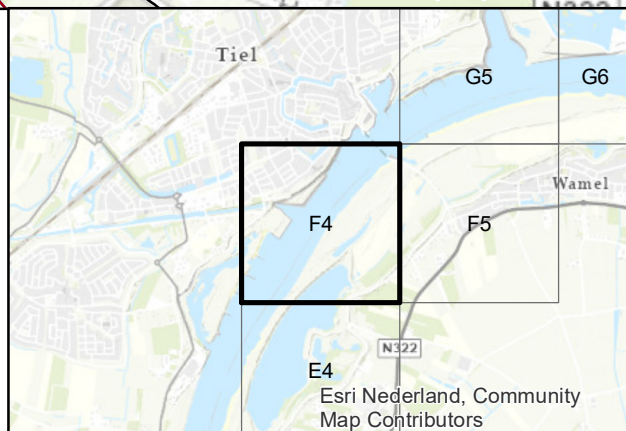
1:9,000  
Esri Nederland, Community Map Contributors

Esri Nederland, Community Map Contributors



## Legenda

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

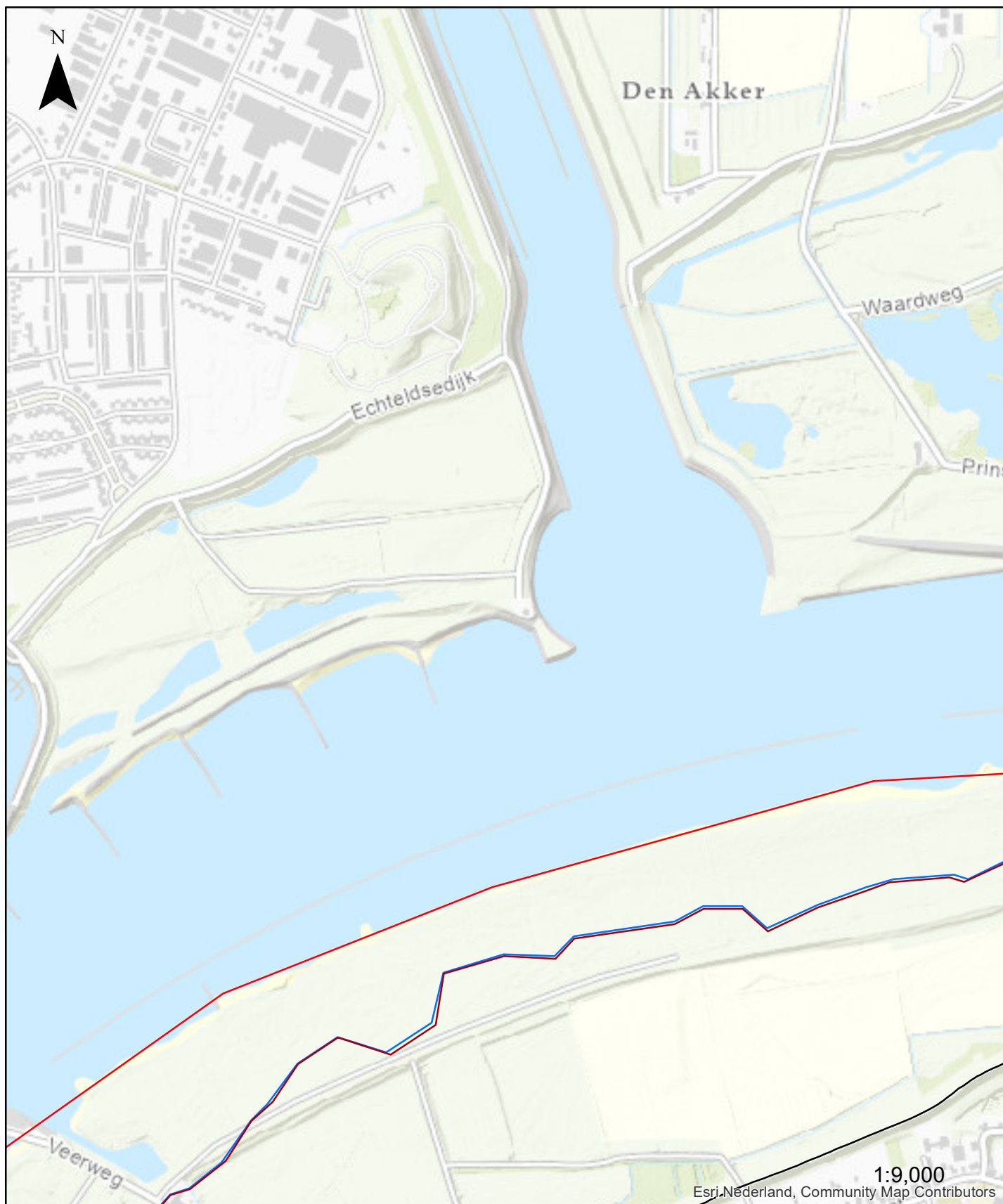




## Legenda

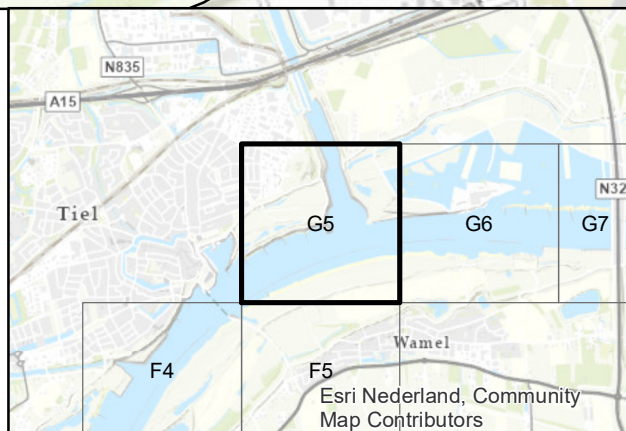
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





## Legenda

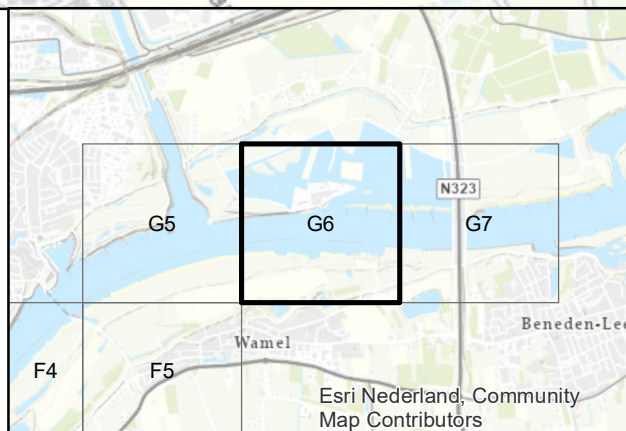
- Geometrische intredelijn
- Theoretisch intredepunt Ontwerp Lijn
- Theoretisch intredepunt Referentie Lijn
- Winterdijk





## Legenda

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





## Legenda

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

