

---

# Uiterwaarden Wamel, Dreumel en Heerewaarden

**Naar:** Dhr. P. van Zandvoort - Kragten  
**CC:** Dhr. K. Luit - RWS  
**Van:** Derike Velthuis, Thijs Kool en Volkert Lubbers - Fugro  
**Datum:** 21 juni 2024  
**Ref nr.:** 6424-253423  
**Onderwerp:** Gevoeligheidsanalyse geohydrologie UWDH

## Aanleiding

Voor het project UWDH is door Fugro een risicoanalyse geohydrologie uitgevoerd (1120-180419-11.R03 v1.6 d.d. 20 augustus 2021), welke als bijlage bij de MER is toegevoegd. De Commissie MER heeft in het voorlopig toetsadvies over het milieueffectrapport en de aanvulling daarop (projectnummer 3184 d.d. 16 april 2024) voor het onderdeel geohydrologie om aanvullende gegevens gevraagd. Om de vragen van de Commissie MER te beantwoorden is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn gepresenteerd in dit memo.

De Commissie verwacht op basis van informatie uit het MER en de aanvulling daarop, inclusief bijlagen, dat de geohydrologische effecten relatief beperkt zullen zijn en eenvoudig te mitigeren (3184 tsea eindconceptadvies, d.d. 26-3-2024). Door het ontbreken van jkingsresultaten zijn de nauwkeurigheid en de onzekerheden van de berekende geohydrologische effecten bij de voorgenomen ontwikkeling niet goed te beoordelen. Vooral de onzekerheden van de weerstand van de ondiepe kleilagen (deklaag) in de uiterwaarden zijn hierbij van belang. Gevraagd is om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren, door berekeningen uit te voeren met een realistische "worst-case" situatie voor de waarde van de weerstand van de ondiepe kleilaag in de uiterwaarden.

## Eerder uitgevoerde modelaanpassingen en berekeningen

Voor de berekeningen, zoals gepresenteerd in de geohydrologische risicoscan, is gebruik gemaakt van het regionale grondwatermodel MORIA versie 4.5 2020. Voor de berekening van de huidige situatie (referentiescenario) zijn eerst een aantal aanpassingen doorgevoerd zoals het toevoegen van ontbrekende sloten en een zandwinplas aan de Maaszijde.

Daarnaast is de deklaagweerstand in de uiterwaarden aangepast op basis van eerdere deelmodelverbetering door Witteveen en Bos (AH710-1/16-016.014 d.d. 23 september 2016). Aanvullend hierop is in verband met de heterogeniteit van de deklaag door Fugro in een groot deel van het plangebied geofysisch onderzoek uitgevoerd (EM-scan) om de deklaagdikte te meten (1217-0015-151 d.d. 19 september 2018). Op basis van deze in het veld gemeten deklaagdikte is de weerstand aangepast, waarbij uitgegaan is van 100 dagen weerstand per meter laagdikte.

Deze weerstand van 100 dagen per meter klei in de deklaag volgt ook uit door Witteveen en Bos uitgevoerd onderzoek en komt daarnaast overeen met het standaard uitgangspunt voor klei in de deklaag, zoals in MORIA in de verschillende verbeterde deelmodellen is toegepast (Bommelerwaard, Alm&Biesbosch, Lek & Linge en Tielerwaard) en door bevoegd gezag, Waterschap Rivierenland, is geaccepteerd.

Met dit model zijn, voor een gemiddelde deklaagweerstand van 100 dagen per meter laagdikte, de volgende berekeningen uitgevoerd:

- referentiesituatie: model zonder te realiseren geulen en strangen voor een T=10 hoog- en een T=10 laagwater
- ontwerpsituatie: model met geulen en strangen voor een T=10 hoog- en een T=10 laagwater
- ontwerpsituatie: met mitigerende maatregelen voor een T=10 hoog- en een T=10 laagwater

Voor de resultaten van deze berekeningen wordt verwezen naar de risicoanalyse geohydrologie met kenmerk 1120-180419-11.R03 v1.6 d.d. 20 augustus 2021.

## Gevoeligheidsanalyse

De weerstand van de ondiepe kleilaag in de uiterwaarden is van invloed op de effecten binnendijks, als gevolg van de realisatie van geulen/strangen. Door een gevoeligheidsanalyse uit te voeren waarin wordt gevarieerd met de weerstand van de ondiepe kleilaag in de uiterwaarden, wordt de samenhang tussen de weerstand van de ondiepe kleilagen in de uiterwaarden en de geohydrologische effecten binnendijks beter inzichtelijk.

Aanvullend op de effecten zoals gepresenteerd in de risicoanalyse geohydrologie, waarbij uitgegaan is van een basisweerstand van 100 dagen per meter, worden berekeningen uitgevoerd waarin voor de weerstand van de kleilaag een ondergrens en een bovengrens is aangehouden. Als ondergrens is een waarde aangehouden van 50 dagen per meter klei en als bovengrens een waarde van 200 dagen per meter klei.

De aangehouden weerstand van 100 dagen per meter is op basis van ervaring gangbaar en een gebruikelijk uitgangspunt voor klei in de deklaag. Deze waarde wordt ook op de website<sup>1</sup> genoemd voor matig zware klei. Als ondergrens is gekozen voor een waarde van 50 dagen per meter klei. Deze lage weerstand zou kunnen voorkomen wanneer de klei sterk heterogeen is of zand(laagjes) bevat. In het Grondwaterzakboekje 2016 wordt voor een gemiddelde deklaag van slibhoudend zand, leem en veenlaagjes een weerstandswaarde genoemd van 50 tot 100 dagen per meter laagdikte. Daarnaast wordt op de website<sup>1</sup> voor zandige klei een weerstand van 50 dagen per meter laagdikte genoemd. Het aanhouden van een ondergrens van 50 dagen weerstand per meter is een plausibele waarde voor de gevoeligheidsanalyse. Een lagere waarde is voor de aangetroffen klei niet realistisch.

---

<sup>1</sup> <http://www.grondwaterformules.nl/index.php/vuistregels/ondergrond/doorlatendheid-per-grondsoort>

Als bovengrens wordt een weerstandwaarde van 200 dagen per meter aangehouden. In de literatuur worden voor verschillende kleitypen weerstanden genoemd die variëren 50 tot 10.000 dagen. De hogere waarden worden toegekend aan zware tot zeer zware klei, welke in het plangebied niet of nauwelijks zijn aangetroffen bij het veldonderzoek. In de verbeterde MORIA versies worden de beste resultaten berekend met een weerstand van 100 dagen per meter laagdikte. Om deze reden en gezien de sterke heterogeniteit, ruimtelijke variatie en de lokaal voorkomende zand(ige) insluitingen is het rekenen met een significant hogere waarde niet realistisch. Daarnaast resulteert een hoge(re) waarde tot een onderschatting (in de meeste situaties) van de effecten binnendijks.

## **Uitgevoerde berekeningen voor gevoeligheidsanalyse zonder mitigerende maatregelen**

Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de parameterwaarde van de weerstand van de deklaag zijn de volgende berekeningen uitgevoerd voor een basisweerstand van 50 dagen per meter laagdikte en 200 dagen per meter laagdikte:

- referentiesituatie: model zonder te realiseren geulen en strangen T=10 hoog- en T=10 laagwater
- ontwerpsituatie: model met geulen en strangen voor een T=10 hoog- en een T=10 laagwater

Voor de modelberekeningen zijn nieuwe deklaagweerstanden berekend in het uiterwaardegebied voor de gevoeligheidsanalyse met waarden van 50 dagen per meter en 200 dagen per meter klei. Dit houdt in dat ter plaatse van oppervlaktewater eveneens een nieuwe conductance berekend is op basis van de nieuw berekende resterende deklaagweerstanden bij het uitgangspunt van 50 dagen weerstand per meter en 200 dagen weerstand per meter laagdikte.

Om de resultaten te presenteren en te beoordelen is het gebied in 3 deelgebieden (zie ook figuur 1) opgesplitst; namelijk:

1. Wamel (Wamel, meestromende nevengeul en Tielse plaat)
2. Dreumel (overstromingsvlakte)
3. Heerewaarden (Heerewaarden en Varik)

De berekende effecten zijn gepresenteerd op kaarten, waarop het verschil tussen de referentiesituatie zonder en met het ontwerp van nog te realiseren geulen/overstromingsvlakte is weergegeven. Deze verschilkaarten zijn gemaakt voor de T=10 hoog- en laagwater, voor zowel de freatische grondwaterstand en de stijghoogte. Deze kaarten tonen het invloedsgebied en de verandering van de freatische grondwaterstand en stijghoogte door de aanleg van de geulen/overstromingsvlakte.

Om het resultaat te kunnen vergelijken met het te verwachten scenario waarbij een weerstand van 100 dagen per meter laagdikte is gehanteerd, zijn er eveneens absolute verschilkaarten gemaakt tussen de scenario's met 100 dagen per meter laagdikte en 50 en 200 dagen per meter laagdikte. Deze kaarten tonen de verandering (toe- of afname van effecten).



Figuur 1: Overzicht van de drie deelgebieden

### **Resultaten – zonder mitigerende maatregel**

De resultaten van de berekeningen zonder mitigerende maatregel zijn per deelgebied gepresenteerd en beschreven. Vervolgens is om inzicht te krijgen in een toe-/afname van de berekende effecten ten opzichte van het in de risicoanalyse geohydrologie gepresenteerde scenario waarin een weerstand van 100 dagen per meter laagdikte is gehanteerd, een verschilkaart gemaakt. Deze verschilkaarten zijn voor het hele plangebied gepresenteerd in bijlage 1 (50 dagen weerstand per meter) en bijlage 2 (200 dagen weerstand per meter).

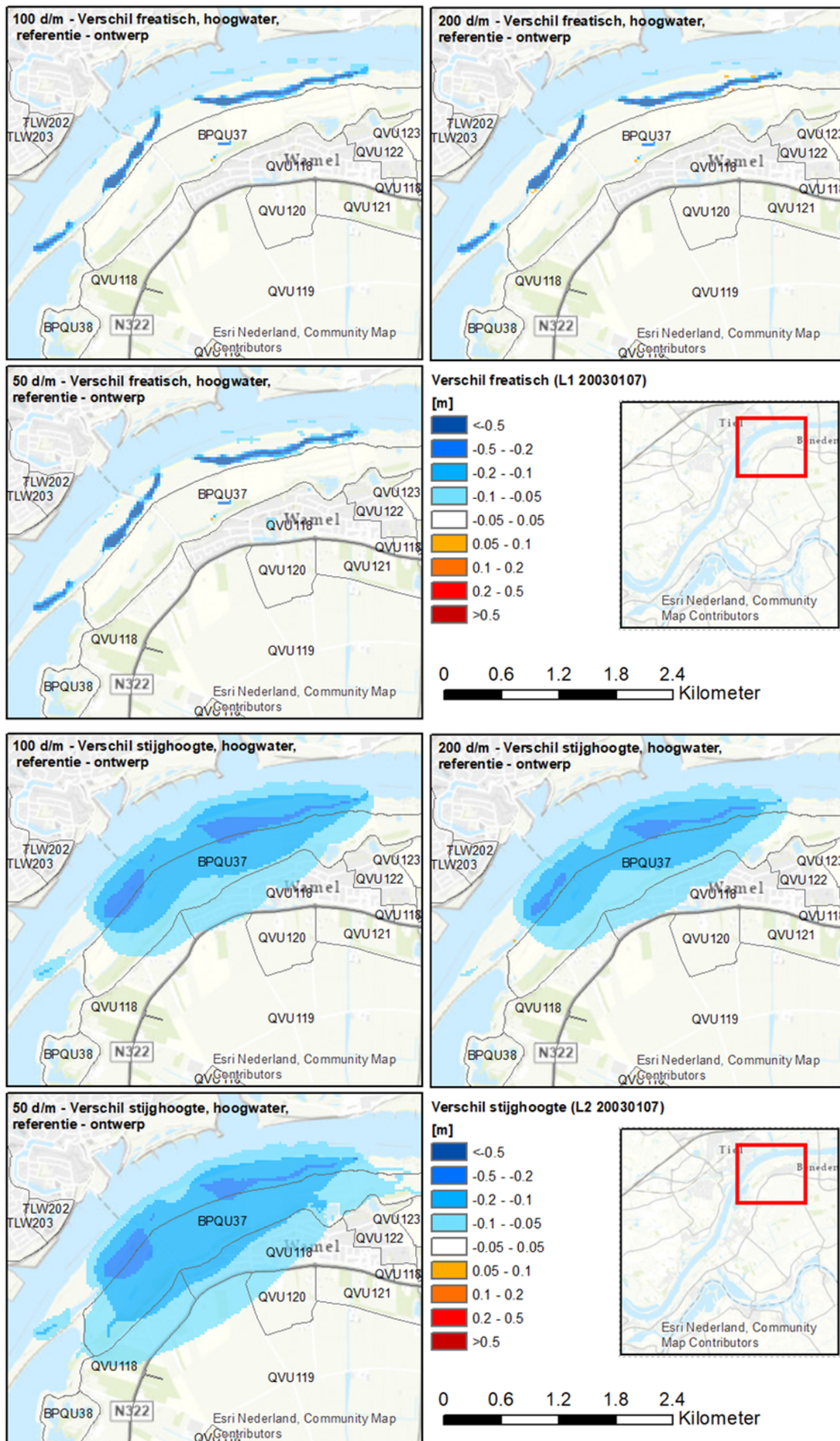
#### Wamel (Wamel, meestromende nevengeul en Tielse plaat)

In figuur 2 en 3 zijn de berekende effecten tijdens een T=10 hoog- en laagwater gepresenteerd voor de freatische grondwaterstand en de stijghoogte. In de figuren zijn de berekeningen voor de weerstand van 50 dagen per meter, 100 dagen per meter en 200 dagen per meter weergegeven.

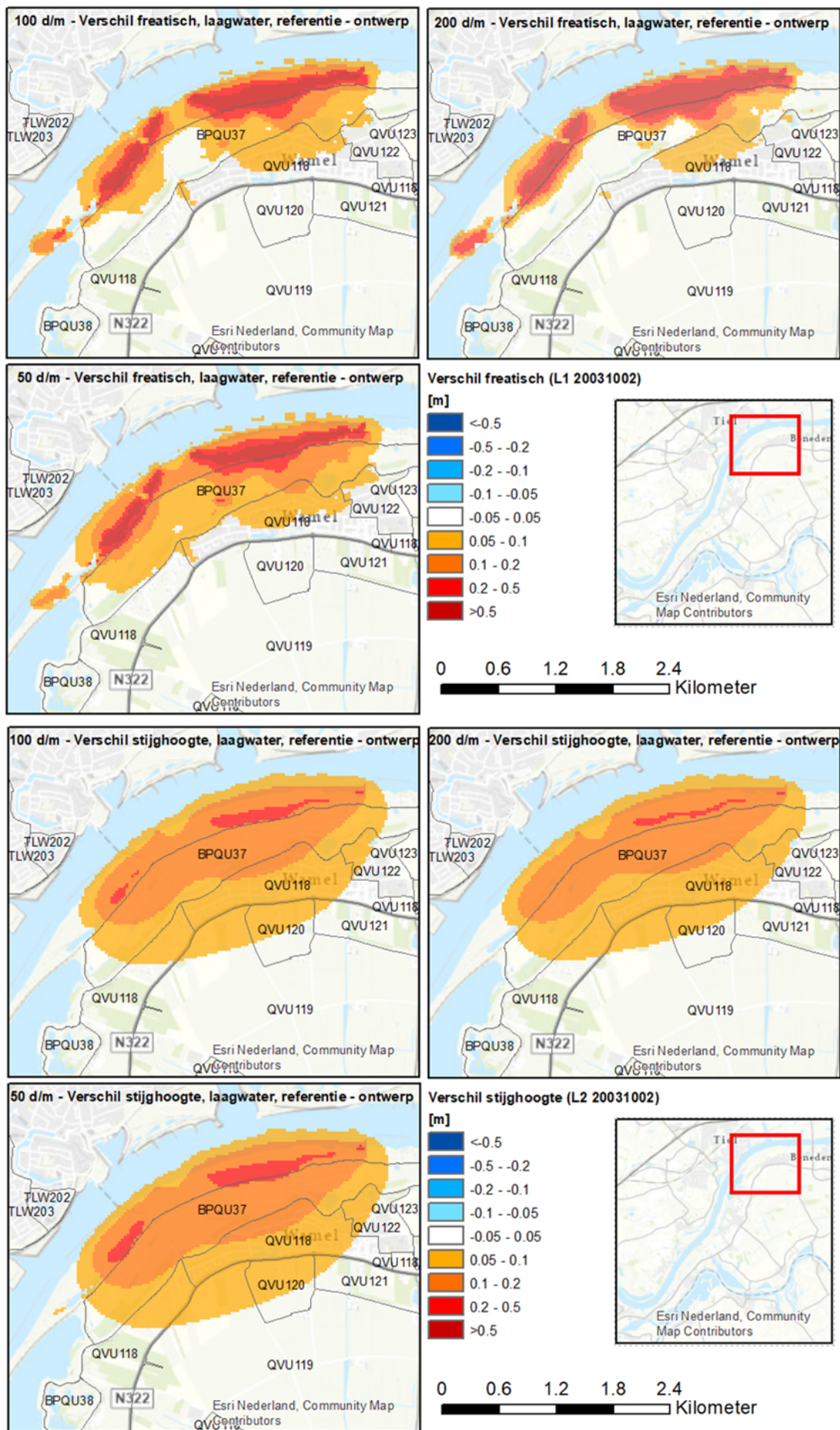
Uit de figuren valt op te maken dat:

- Bij hoogwater bij de verschillende weerstanden van de deklaag er nauwelijks een verschil optreedt in het niveau van de freatische grondwaterstand (verandering  $\leq 0,05$  m) en een klein verschil in het invloedsgebied (<25 m).

- Bij hoogwater bij een weerstand van 200 dagen per meter ten opzichte van de situatie met een weerstand van 100 dagen per meter het invloedsgebied op de stijghoogte afneemt (orde van grootte ca. 65 m).
- Bij hoogwater bij een weerstand van 50 dagen per meter het invloedsgebied toeneemt en ca. de 0,05 m verlagingslijn ca. 450 m verder reikt ten opzichte van de situatie met 100 dagen weerstand per meter. De effecten binnendijs veranderen met maximaal 0,06 m.
  
- Bij laagwater bij een weerstand van 200 dagen per meter het invloedsgebied van de freatische grondwaterstand af neemt (ca. 200 m), maar de verandering in stijghoogte niveau nabij de ingreep (geul) is groter (orde van grootte ca. 0,50 m). De verandering op het niveau van de stijghoogte is geheel buitendijs.
- Bij laagwater bij een weerstand van 50 dagen per meter is het invloedsgebied van de freatische grondwaterstand toegenomen met ca. 240 m. De verandering in niveau van de freatische grondwaterstand verandert binnendijs met minder dan 0,05 m.
- Bij laagwater bij een weerstand van 200 dagen per meter het invloedsgebied van de stijghoogte beperkt kleiner wordt ten opzichte van de situatie met een weerstand van 100 dagen per meter (ca. 60 m). Het niveau van de stijghoogte verandert nauwelijks (verandering  $\leq 0,05$  m).
- Bij laagwater bij een weerstand van 50 dagen per meter ten opzichte van de situatie met een weerstand van 100 dagen per meter het invloedsgebied van de stijghoogte beperkt groter wordt (orde van grootte ca. 70 m). Het niveau van de stijghoogte verandert nauwelijks (verandering  $\leq 0,05$  m).



Figuur 2: Berekende effecten T=10 hoogwater freatisch en stijghoogte



Figuur 3: Berekende effecten T=10 laagwater freatisch en stijghoogte

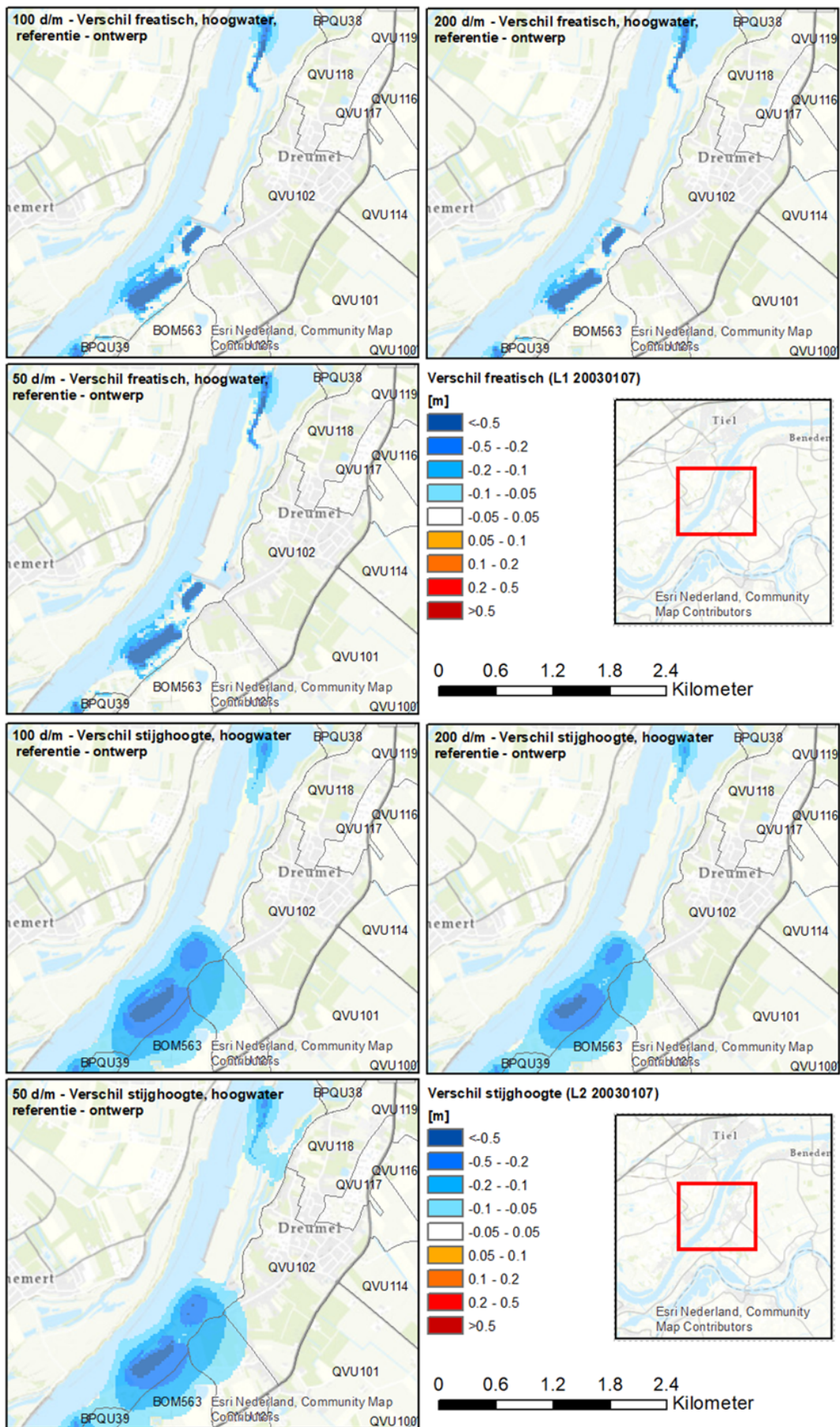
Dreumel (overstromingsvlakte)

In figuur 4 en 5 zijn de berekende effecten tijdens een T=10 hoog- en laagwater gepresenteerd voor de freatische grondwaterstand en de stijghoogte. In de figuren zijn de berekeningen voor de weerstand van 50 dagen per meter, 100 dagen per meter en 200 dagen per meter weergegeven.

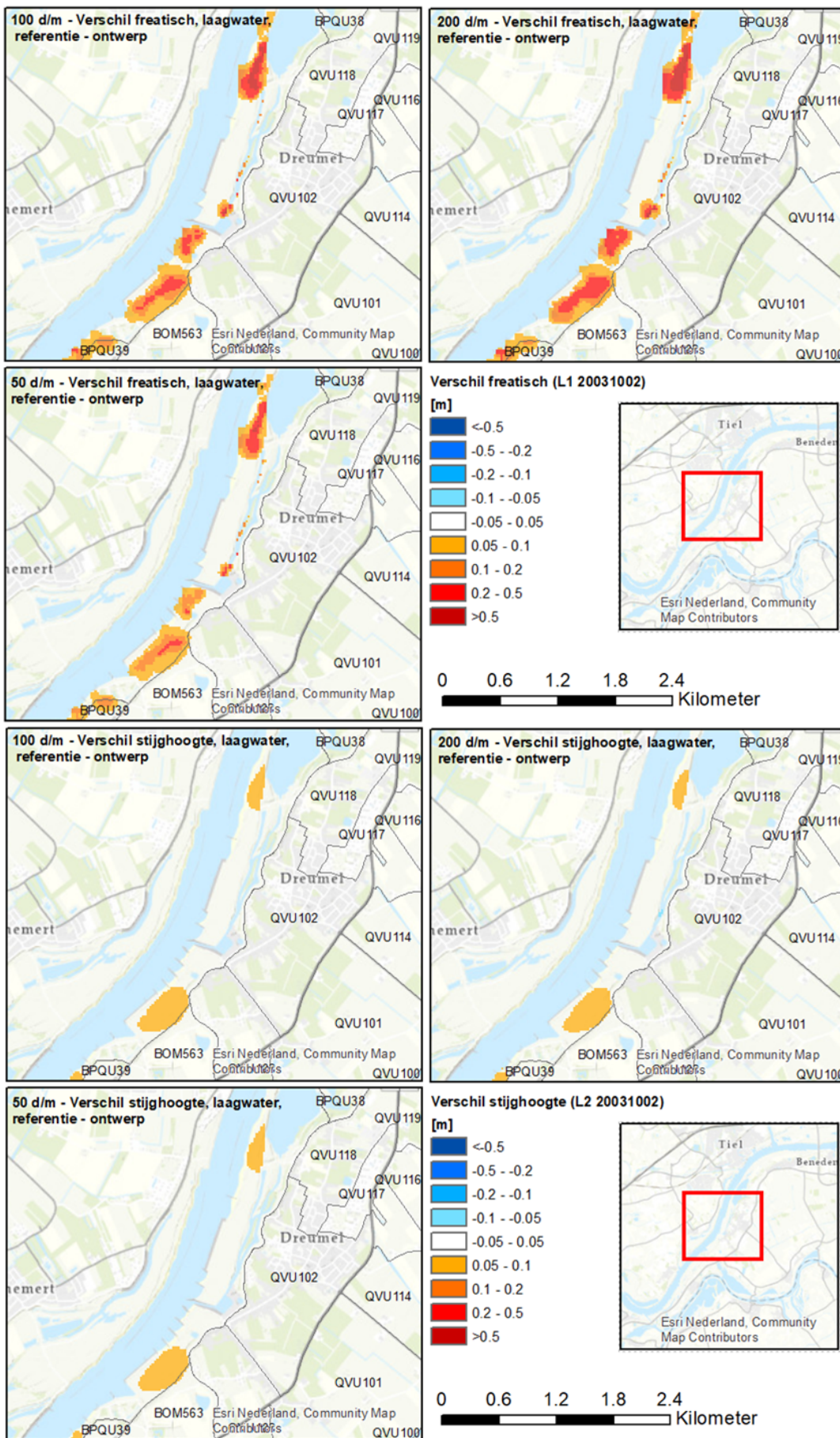
Uit de figuren valt op te maken dat:

- Bij hoogwater bij de verschillende weerstanden van de deklaag er nauwelijks een verschil optreedt in het niveau van de freatische grondwaterstand (verandering  $\leq 0,05$  m) en nauwelijks een verschil in het invloedsgebied (+/- ca. 25 m).
- Bij hoogwater bij een weerstand van 200 dagen per meter ten opzichte van de situatie met een weerstand van 100 dagen per meter er geen noemenswaardig effect optreedt op het niveau van de stijghoogte (verandering  $\leq 0,05$  m) en het invloedsgebied beperkt afneemt (ca. 150 m kleiner).
- Bij hoogwater bij een weerstand van 50 dagen per meter ten opzichte van de situatie met een weerstand van 100 dagen per meter er geen noemenswaardig effect optreedt op het niveau van de stijghoogte (verandering  $\leq 0,05$  m) en het invloedsgebied beperkt afneemt (ca. 100 m kleiner).
  
- Bij laagwater bij een weerstand van 200 dagen per meter de invloed op het niveau van de freatische grondwaterstand nabij de overstromingsvlakte toeneemt (verandering van 0,17 m) evenals het invloedsgebied van de verschillen groter dan 0,1 m. Deze veranderingen vinden enkel plaats rondom de overstromingsvlakte. Binnendijks is geen sprake van een noemenswaardige verandering in invloedsgebied en van het niveau van freatische grondwaterstand.
- Bij laagwater bij een weerstand van 50 dagen per meter de invloed op het niveau van de freatische grondwaterstand nabij de overstromingsvlakte afneemt (verandering van 0,11 m) evenals het invloedsgebied van de verschillen groter dan 0,1 m. Deze veranderingen vinden enkel plaats rondom de overstromingsvlakte. Binnendijks is geen sprake van een noemenswaardige verandering in invloedsgebied en niveau van freatische grondwaterstand.
- Bij laagwater bij een weerstand van 200 dagen per meter ten opzichte van 100 dagen per meter het invloedsgebied van de stijghoogte vergelijkbaar is (beperkt groter, orde van grootte 60 m), evenals de maximale verandering in niveau (verandering  $\leq 0,05$  m).
- Bij laagwater bij een weerstand van 50 dagen per meter ten opzichte van 100 dagen per meter het invloedsgebied van de stijghoogte vergelijkbaar is (beperkt kleiner, orde van grootte 50 m), evenals de maximale verandering in niveau (verandering  $\leq 0,05$  m).





Figuur 4: Berekende effecten T=10 hoogwater freatisch en stijghoogte



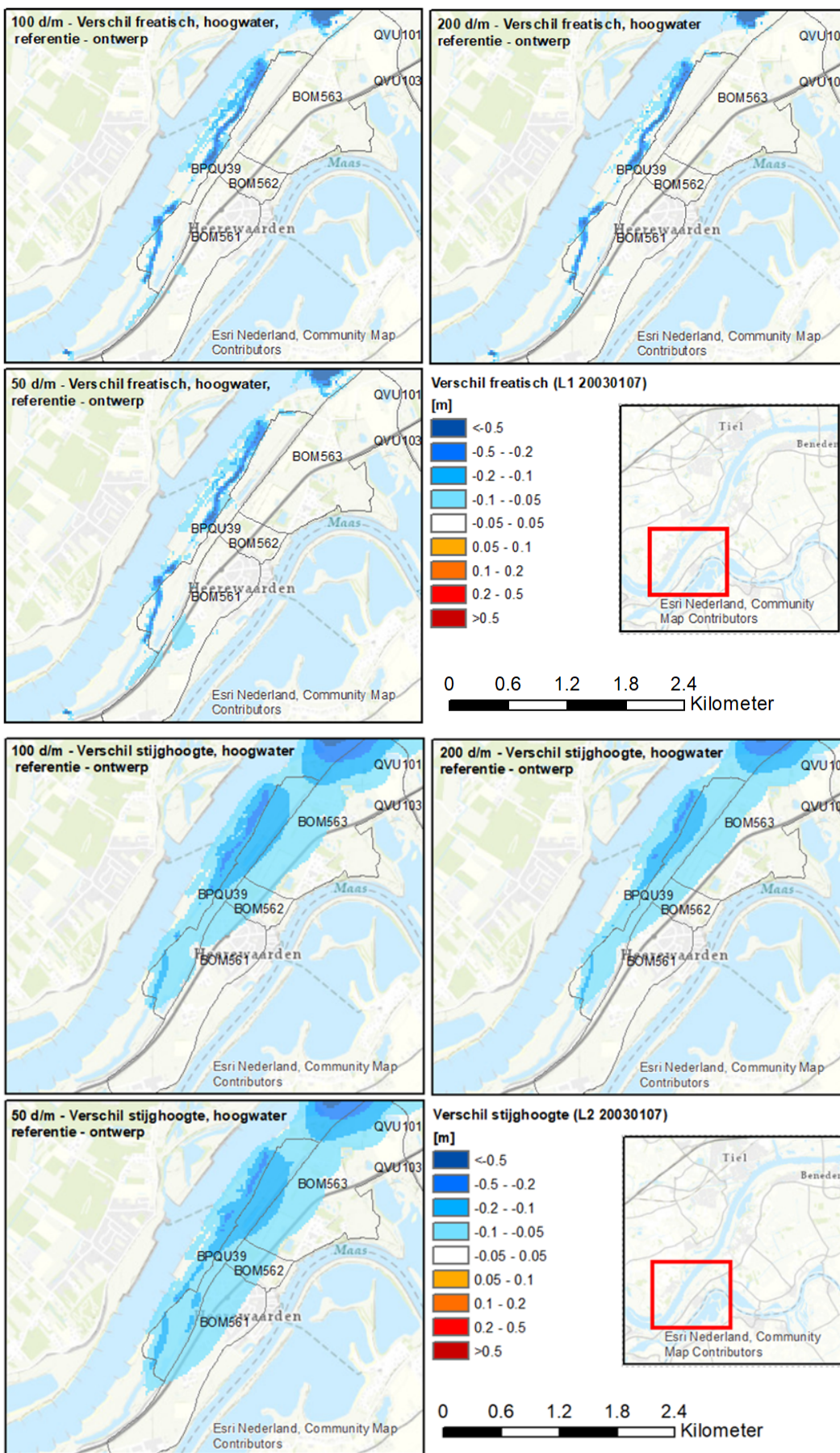
Figuur 5: Berekende effecten T=10 laagwater freatisch en stijghoogte

### Heerewaarden (Heerewaarden en Varik)

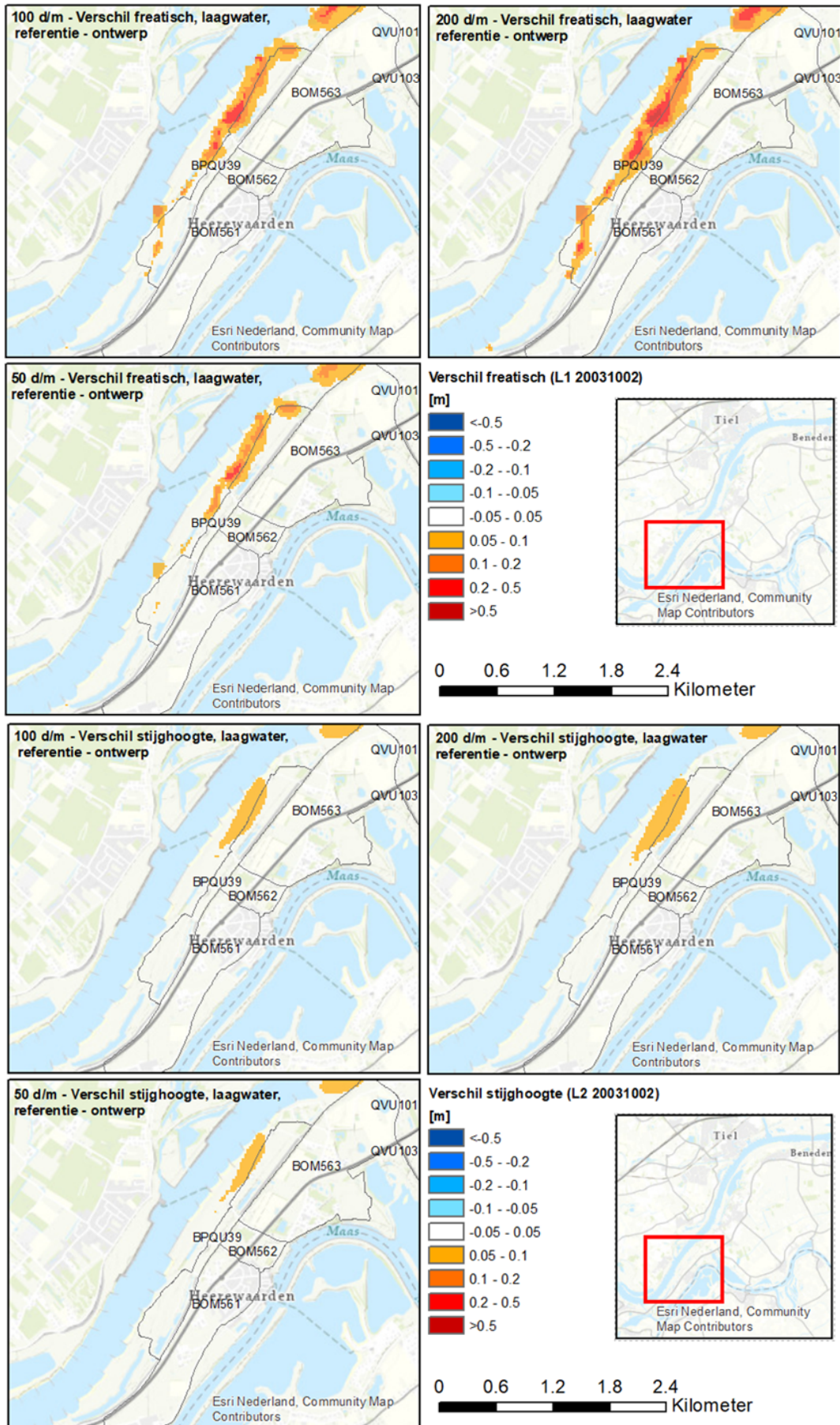
In figuur 6 en 7 zijn de berekende effecten tijdens een T=10 hoog- en laagwater gepresenteerd voor de freatische grondwaterstand en de stijghoogte. In de figuren zijn de berekeningen voor de weerstand van 50 dagen per meter, 100 dagen per meter en 200 dagen per meter weergegeven.

Uit de figuren valt op te maken dat:

- Bij hoogwater bij de verschillende weerstanden van de deklaag er nauwelijks een verschil optreedt in het niveau van de freatische grondwaterstand (verandering  $\leq 0,05$  m), maar dat het invloedsgebied bij 50 dagen toeneemt (orde van grootte ca. 30 m) en bij 200 dagen afneemt (orde van grootte 50 m).
- Bij hoogwater bij een weerstand van 200 dagen per meter het invloedsgebied van de stijghoogte beperkt afneemt (orde van grootte ca. 125 m) en de verandering in het niveau van de stijghoogte beperkt is (verandering  $\leq 0,05$  m).
- Bij hoogwater bij een weerstand van 50 dagen per meter het invloedsgebied van de stijghoogte toeneemt (orde van grootte ca. 450 m) en het niveau vergelijkbaar blijven en de verandering in het niveau van de stijghoogte beperkt is (verandering 0,06 m).
  
- Bij laagwater bij een weerstand van 200 dagen per meter de invloed op het niveau van de freatische grondwaterstand nabij de geul toeneemt (orde van grootte ca. 0,24 m) en het invloedsgebied beperkt toeneemt met ca. 75 m. De veranderingen treden alleen buitendijks op.
- Bij laagwater bij een weerstand van 50 dagen per meter zowel het invloedsgebied (ca. 50 m) van de freatische grondwaterstand als de verandering van niveau (ca. 0,16 m) nabij de te realiseren geul afneemt. De veranderingen treden alleen buitendijks op.
- Bij laagwater bij een weerstand van 200 dagen per meter ten opzichte van 100 dagen per meter zijn het invloedsgebied van de stijghoogte niet toe- of afneemt en de verandering in niveau van de stijghoogte beperkt is (verandering  $\leq 0,05$  m).
- Bij laagwater bij een weerstand van 50 dagen per meter ten opzichte van 100 dagen per meter zijn het invloedsgebied niet toe- of afneemt en de verandering in niveau van de stijghoogte beperkt is (verandering  $\leq 0,05$  m).



Figuur 6: Berekende effecten T=10 hoogwater freatisch en stijghoogte



Figuur 7: Berekende effecten T=10 laagwater freatisch en stijghoogte

Verschilkaarten hele gebied zonder mitigerende maatregel

Om inzicht te krijgen in de absolute verschillen zijn voor de verschillende scenario's de berekende effecten vergeleken. Door de berekende effecten bij verschillende uitgangswaarden te vergelijken wordt inzichtelijk of er als gevolg van een andere weerstand een groter of kleiner effect verwacht kan worden als gevolg van de werkzaamheden, in vergelijking met het uitgangspunt van 100 dagen weerstand per meter klei. Hierbij wordt opgemerkt dat er een sterke toename van invloedsgebied zichtbaar kan zijn, terwijl er absoluut gezien enkel lokaal verschillen berekend worden. Het invloedsgebied wordt namelijk bepaald door de gebieden met een effect van 0,05 m of meer. Wanneer er bijvoorbeeld bij 100 dagen per meter een effect van 0,04 m berekend is, zal dit niet binnen het invloedsgebied vallen (wordt niet op de kaart getoond) en als bij 50 dagen per meter een effect van 0,06 of 0,07 m berekend wordt valt dit wel binnen het invloedsgebied (wordt wel op de kaart getoond). Dit lijkt op de kaart een groot verschil, terwijl er absoluut gezien slechts sprake is van een verschil van 0,02-0,03 meter.

De verschilkaarten tussen de verschillende scenario's zijn weergegeven in Bijlage 1 en Bijlage 2.

- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 50 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 50 dagen voor de hoogwatersituatie de effecten op de freatische grondwaterstand enkel buitendijks veranderen. De verandering is ter plaatse van de overstromingsvlakte lokaal meer dan 0,05 m (afname effect).
- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 50 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 50 dagen voor de hoogwatersituatie de effecten op de stijghoogte lokaal toenemen (Wamel en Dreumel) en lokaal afnemen (overstromingsvlakte). De veranderingen bedragen maximaal ca. 0,15 m en komen overwegend buitendijks voor en langs een beperkte strook langs de dijk binnendijks. De verandering binnendijks bedraagt maximaal 0,05 m.
- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 50 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 50 dagen voor de laagwatersituatie de effecten op de freatische grondwaterstand enkel buitendijks toenemen. Ter plaatse van de geulen/overstromingsvlakte is de maximale verandering 0,32 m. Binnendijks wordt geen verandering berekend.
- Uit de verschilkaart het scenario met 50 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 50 dagen voor de laagwater situatie er geen effecten op de stijghoogte worden berekend.
- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 200 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 200 dagen voor de hoogwatersituatie de effecten op de freatische grondwaterstand enkel buitendijks en zeer lokaal optreden (geen noemenswaardige verandering). De veranderingen bedragen < 0,05 m.
- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 200 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 200 dagen voor de hoogwatersituatie de effecten op de stijghoogte afnemen. Deze verschillen komen voornamelijk buitendijks voor en nabij de

overstromingsvlakte ook in enige mate binnendijs met een verandering (afname effect) van maximaal 0,08 m binnendijs.

- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 200 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 200 dagen voor de laagwater situatie de effecten op de freatische grondwaterstand afnemen en dat dit enkel buitendijs plaatsvindt. De maximale verandering treden op nabij/ter plaatse van de geulen en overstromingsvlakte.
- Uit de verschilkaart het scenario met 200 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 200 dagen voor de laagwater situatie er geen effecten op de stijghoogte worden berekend.

### **Resultaten – met mitigerende maatregel**

De berekeningen zoals hiervoor beschreven en gepresenteerd zijn eveneens uitgevoerd voor een situatie met mitigerende maatregel. Hierbij is de maatregel zoals in de risicoscan geohydrologie is gepresenteerd doorgerekend, waarbij de toegepaste weerstand niet is aangepast. Dat betekent dat daar waar in deze rapportage als mitigerende maatregel een weerstand van 50 dagen is geadviseerd, deze weerstand van 50 dagen nu ook is doorgerekend. De toegepaste weerstand voor de mitigerende maatregel zijn niet verschaald gelijk aan de gevoeligheidsanalyse.

#### Wamel (Wamel, meestromende nevengeul en Tielse plaat)

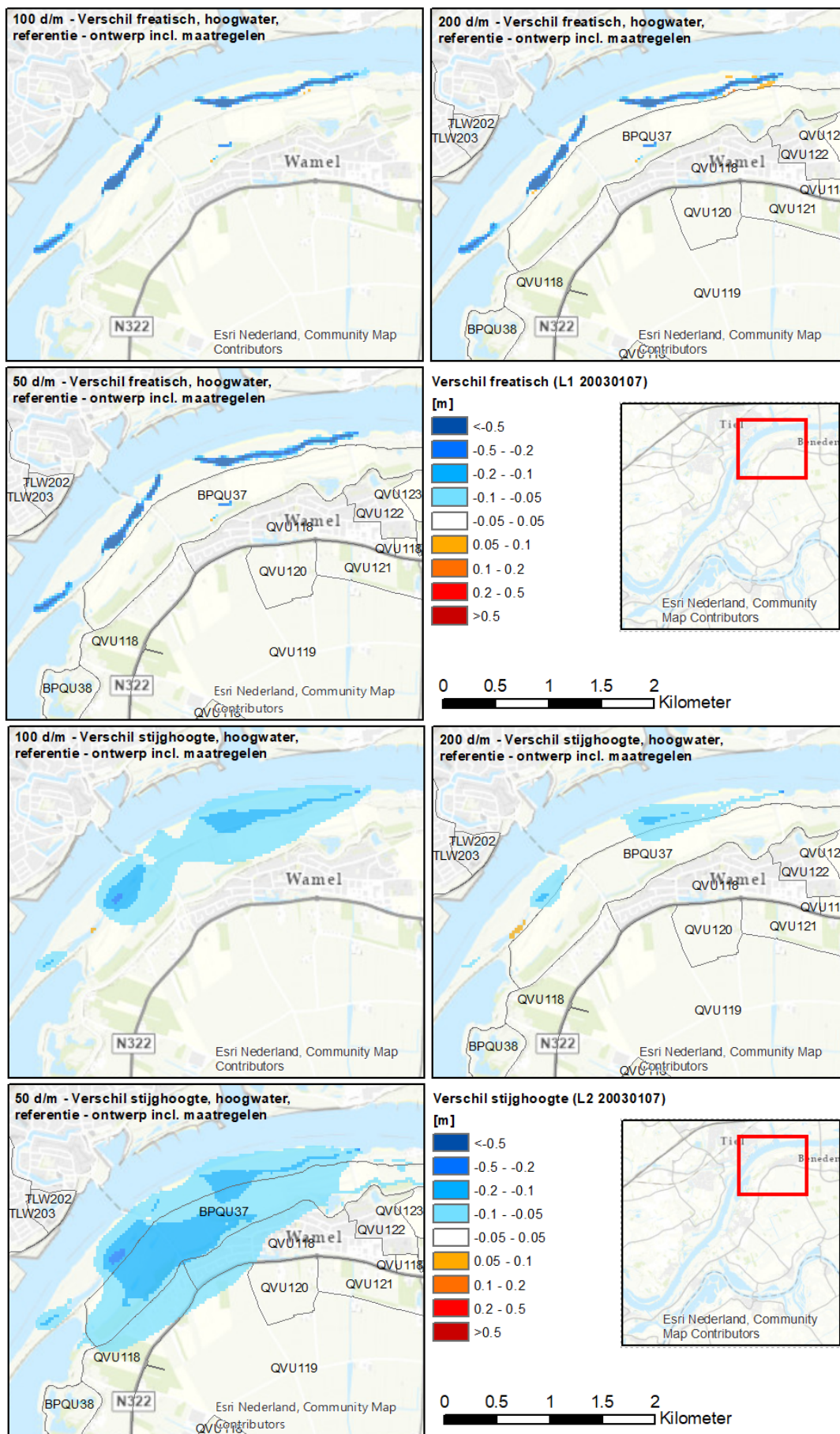
In figuur 8 en 9 zijn de berekende effecten tijdens een T=10 hoog- en laagwater gepresenteerd voor de freatische grondwaterstand en de stijghoogte. In de figuren zijn de berekeningen voor de weerstand van 50 dagen per meter, 100 dagen per meter en 200 dagen per meter weergegeven.

Uit de figuren valt op te maken dat:

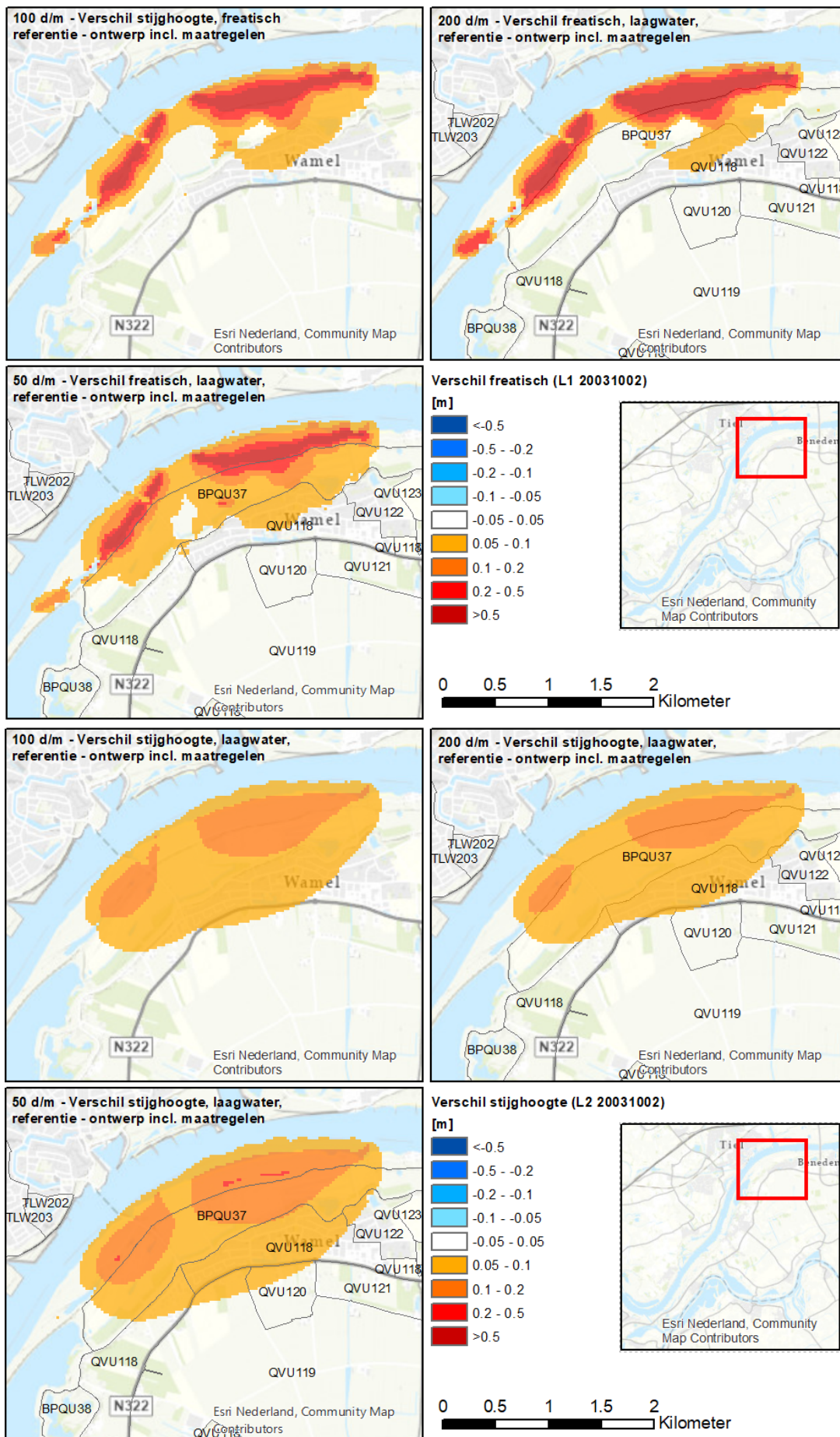
- Bij hoogwater bij de verschillende weerstanden van de deklaag er nauwelijks een verschil optreedt in het niveau van de freatische grondwaterstand (verandering  $\leq 0,05$  m) en nauwelijks een verschil in het invloedsgebied (+/- ca. 10 m).
- Bij hoogwater bij een weerstand van 200 dagen per meter ten opzichte van de situatie met een weerstand van 100 dagen per meter het invloedsgebied afneemt (orde van grootte ca. 10 m) en beperkt blijft tot het buitendijkse gebied.
- Bij hoogwater bij een weerstand van 50 dagen per meter het invloedsgebied toeneemt en ca. de 0,05 m verlagingslijn ca. 500 m verder reikt ten opzichte van de situatie met 100 dagen weerstand per meter. De effecten binnendijs veranderen met maximaal 0,07 m.
- Bij laagwater bij een weerstand van 200 dagen per meter ten opzichte van de situatie met een weerstand van 100 dagen per meter neemt het invloedsgebied van de freatische grondwaterstand beperkt af (orde van grootte ca. 50 m).
- Bij laagwater bij een weerstand van 50 dagen per meter is het invloedsgebied van de freatische grondwaterstand beperkt groter. De verandering in het niveau van de freatische grondwaterstand binnendijs veranderd niet (maximale verandering  $< 0,05$  m).

- Bij laagwater bij een weerstand van 200 dagen per meter is het invloedsgebied van de stijghoogte afneemt ten opzichte van de situatie met een weerstand van 100 dagen per meter (orde van grootte ca. 90 m).
- Bij laagwater bij een weerstand van 50 dagen per meter ten opzichte van de situatie met een weerstand van 100 dagen per meter het invloedsgebied van de stijghoogte beperkt groter wordt (orde van grootte ca. 100 m). Het niveau van de stijghoogte verandert nauwelijks (verandering  $\leq 0,05$  m). Ter plaatse van de geulen neemt het effect op het niveau van de stijghoogte toe, dit is enkel buitendijks.





Figuur 8: Berekende effecten T=10 hoogwater freatisch en stijghoogte



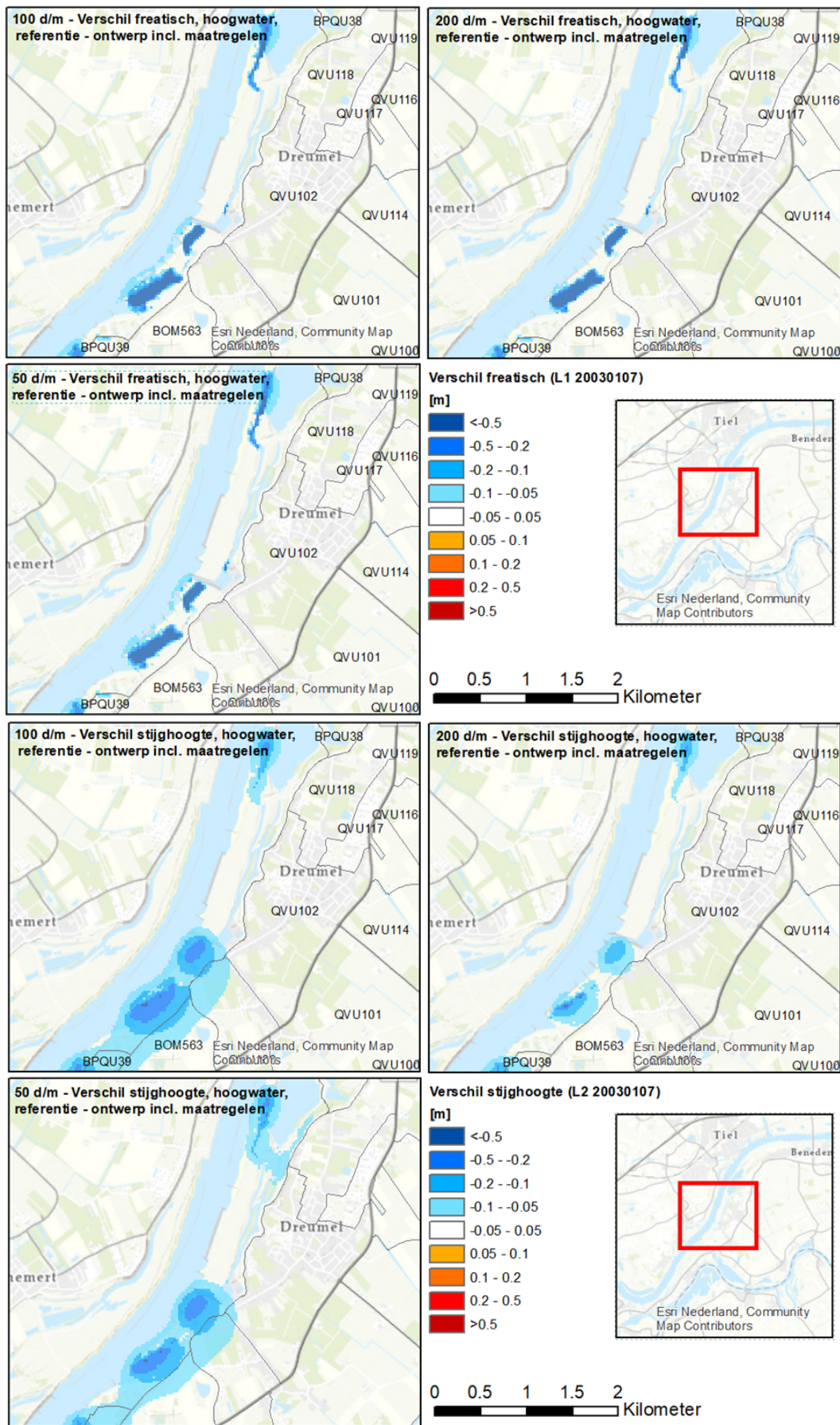
Figuur 9: Berekende effecten T=10 laagwater freatic en stijghoogte

Dreumel (overstromingsvlakte)

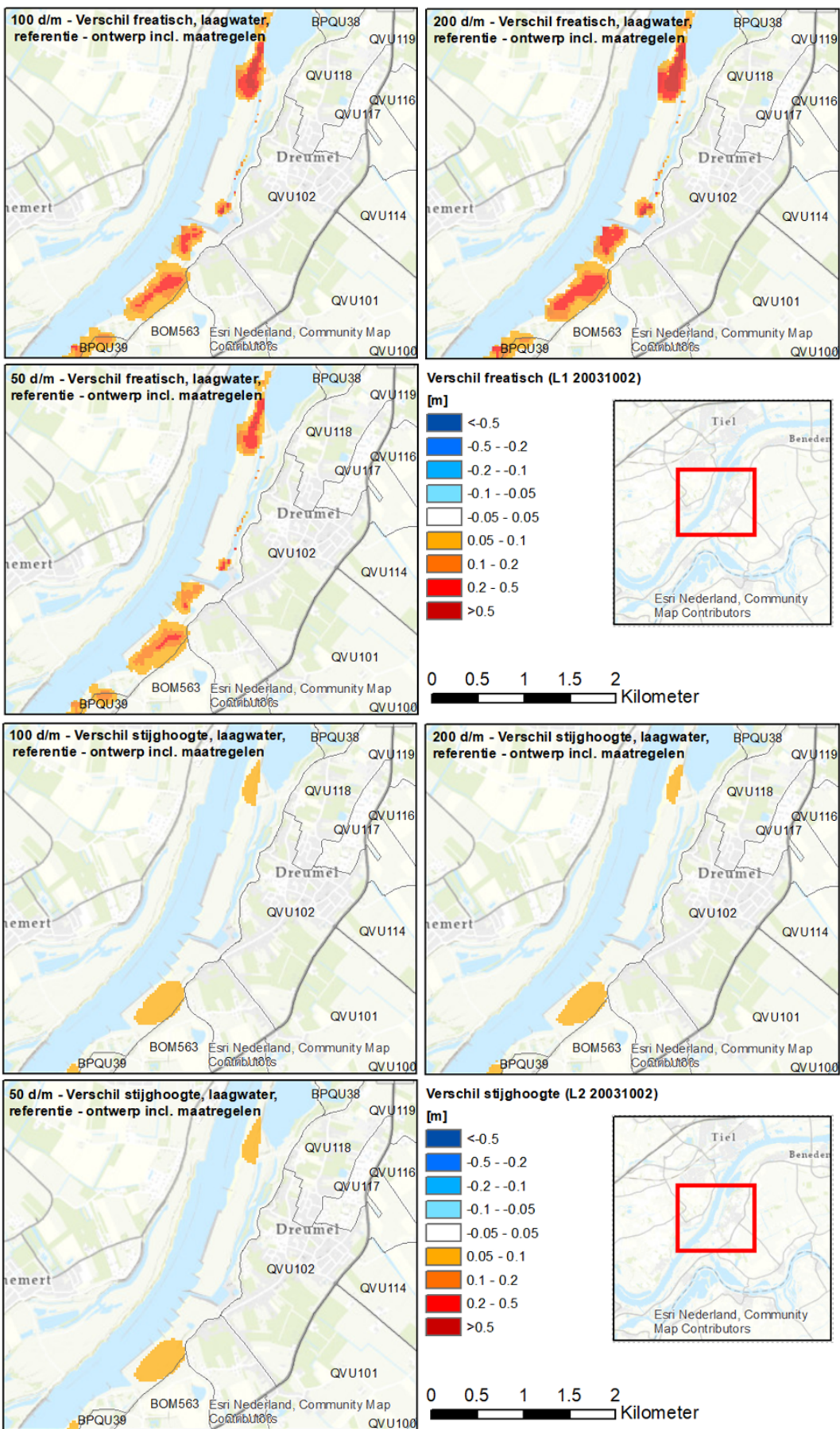
In figuur 10 en 11 zijn de berekende effecten tijdens een T=10 hoog- en laagwater gepresenteerd voor de freatische grondwaterstand en de stijghoogte. In de figuren zijn de berekeningen voor de weerstand van 50 dagen per meter, 100 dagen per meter en 200 dagen per meter weergegeven.

Uit de figuren valt op te maken dat:

- Bij hoogwater bij de verschillende weerstanden van de deklaag er nauwelijks een verschil optreedt in het niveau van de freatische grondwaterstand (verandering  $\leq 0,05$  m) en nauwelijks een verschil in het invloedsgebied (+/- ca. 5 m).
- Bij hoogwater bij een weerstand van 200 dagen per meter ten opzichte van de situatie met een weerstand van 100 dagen per meter het invloedsgebied afneemt (orde van grootte ca. 100 m) tot gelijk blijft.
- Bij hoogwater bij een weerstand van 50 dagen per meter het effect op de stijghoogte vergelijkbaar blijft ten opzichte van de situatie met 100 dagen weerstand per meter.
  
- Bij laagwater bij de verschillende weerstanden van de deklaag er nauwelijks een verschil optreedt in het niveau van de freatische grondwaterstand (verandering  $< 0,05$  m) en nauwelijks een verschil in het invloedsgebied (+/- ca. 10 m).
- Bij laagwater bij de verschillende weerstanden van de deklaag er nauwelijks een verschil optreedt in het invloedsgebied en in het niveau van de stijghoogte.



Figuur 10: Berekende effecten T=10 hoogwater freatisch en stijghoogte



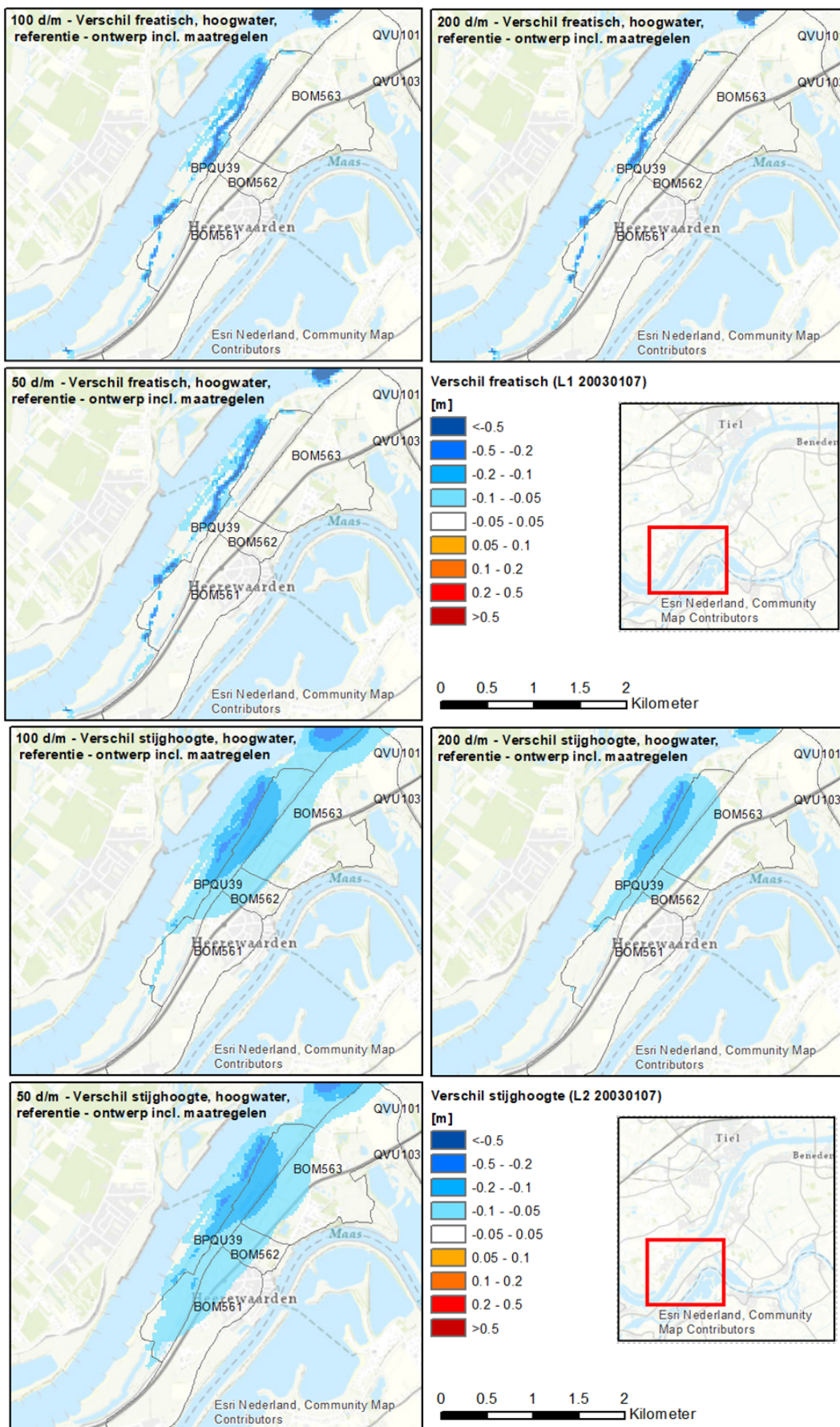
Figuur 11 Berekende effecten T=10 laagwater freatisch en stijghoogte

### Heerewaarden (Heerewaarden en Varik)

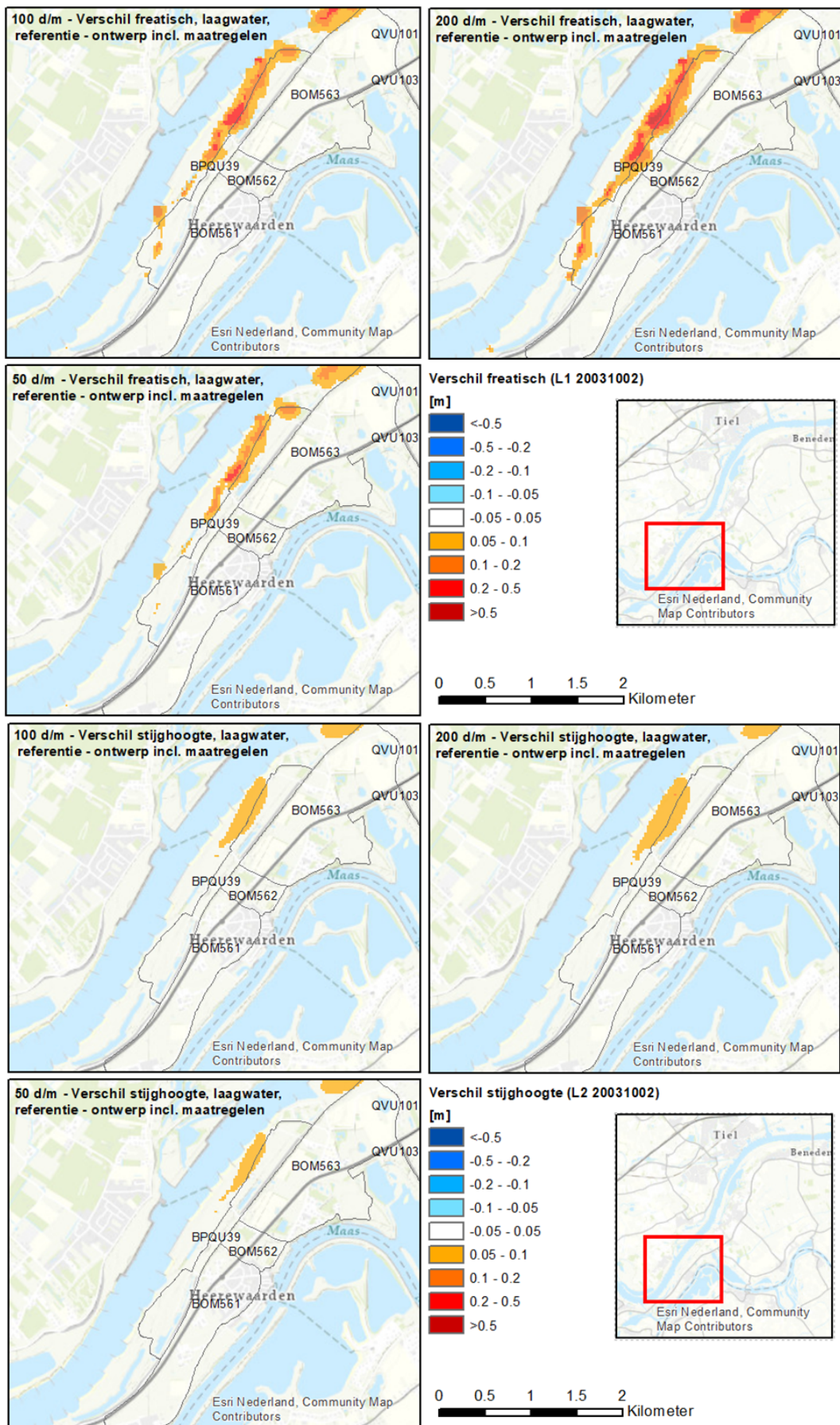
In figuur 12 en 13 zijn de berekende effecten tijdens een T=10 hoog- en laagwater gepresenteerd voor de freatische grondwaterstand en de stijghoogte. In de figuren zijn de berekeningen voor de weerstand van 50 dagen per meter, 100 dagen per meter en 200 dagen per meter weergegeven.

Uit de figuren valt op te maken dat:

- Bij hoogwater bij de verschillende weerstanden van de deklaag er nauwelijks een verschil optreedt in het niveau van de freatische grondwaterstand (verandering  $\leq 0,05$  m) en nauwelijks een verschil in het invloedsgebied (+/- ca. 50 m).
- Bij hoogwater bij een weerstand van 200 dagen per meter ten opzichte van de situatie met een weerstand van 100 dagen per meter het invloedsgebied van de stijghoogte afneemt (orde van grootte ca. 150 m) tot gelijk blijft. Veranderingen in het niveau van de stijghoogte zijn  $\leq 0,05$  m.
- Bij hoogwater bij een weerstand van 50 dagen per meter het invloedsgebied toeneemt (orde van grootte ca. 200 m) en dat er binnendijks geen sprake is van een verandering in het niveau van de stijghoogte.
  
- Bij laagwater bij een weerstand van 200 dagen per meter het invloedsgebied van de freatische grondwaterstand beperkt toeneemt (orde van grootte 0,05 m).
- Bij laagwater bij een weerstand van 50 dagen per meter zowel het invloedsgebied (ca. 55 m kleiner) van de freatische grondwaterstand als de invloed nabij de te realiseren geulen afnemen.
- Bij laagwater bij een weerstand van 200 dagen per meter ten opzichte van 100 dagen per meter zowel het invloedsgebied van de stijghoogte als de maximale stijghoogte niet veranderen.
- Bij laagwater bij een weerstand van 50 dagen per meter ten opzichte van 100 dagen per meter het invloedsgebied afneemt (orde van grootte ca. 50 m). De maximale verandering van de stijghoogte veranderd niet.



Figuur 12: Berekende effecten T=10 hoogwater freatisch en stijghoogte



Figuur 13: Berekende effecten T=10 laagwater freatisch en stijghoogte



### Verschilkaarten hele gebied met mitigerende maatregel

Om inzicht te krijgen in de absolute verschillen zijn voor de verschillende scenario's de berekende effecten vergeleken. Door de berekende effecten bij verschillende uitgangswaarden te vergelijken wordt inzichtelijk of er als gevolg van een andere weerstand een groter of kleiner effect verwacht kan worden als gevolg van de werkzaamheden, in vergelijking met het uitgangspunt van 100 dagen weerstand per meter klei. Hierbij wordt opgemerkt dat er een sterke toename van invloedsgebied zichtbaar kan zijn, terwijl er absoluut gezien enkel lokaal verschillen berekend worden. Het invloedsgebied wordt namelijk bepaald door de gebieden met een effect van 0,05 m of meer. Wanneer er bijvoorbeeld bij 100 dagen per meter een effect van 0,04 m berekend is, zal dit niet binnen het invloedsgebied vallen (wordt niet op de kaart getoond) en als bij 50 dagen per meter een effect van 0,06 of 0,07 m berekend wordt valt dit wel binnen het invloedsgebied (wordt wel op de kaart getoond). Dit lijkt op de kaart een groot verschil, terwijl er absoluut gezien slechts sprake is van een verschil van 0,02-0,03 meter.

De verschilkaarten tussen de verschillende scenario's zijn weergegeven in Bijlage 3 en Bijlage 4.

- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 50 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 50 dagen voor de hoogwatersituatie de effecten op de freatische grondwaterstand enkel buitendijks veranderen. De verandering is ter plaatse van de overstromingsvlakte lokaal meer dan 0,05 m (afname effect).
- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 50 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 50 dagen voor de hoogwatersituatie de effecten op de stijghoogte grondwaterstand toenemen. De veranderingen worden overwegend buitendijks berekend en parallel aan de dijk nabij Wamel ook binnendijks. De verandering binnendijks bedraagt maximaal ca. 0,07 m ten opzichte van de situatie met 100 dagen weerstand per meter.
- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 50 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 50 dagen voor de laagwatersituatie de effecten op de freatische grondwaterstand enkel buitendijks toenemen. Ter plaatse van de geulen/overstromingsvlakte is de maximale verandering 0,32 m. Binnendijks wordt geen verandering berekend.
- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 50 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 50 dagen voor de laagwatersituatie geen effect wordt berekend op de stijghoogte.
- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 200 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 200 dagen voor de hoogwatersituatie de effecten op de freatische grondwaterstand enkel buitendijks en zeer lokaal optreden (geen noemenswaardige verandering). De verandering in het niveau bedraagt overwegend  $\leq 0,05$  m en zeer lokaal (tussen de overstromingsvlakte en de rivier) iets meer.
- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 200 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 200 dagen voor de hoogwatersituatie de effecten op

de stijghoogte afnemen. Deze verschillen komen voornamelijk buitendijks voor en nabij de overstromingsvlakte ook in enige mate binnendijks met een verandering (afname effect) van maximaal 0,08 m binnendijks.

- Uit de verschilkaart tussen het scenario met 200 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 200 dagen voor de laagwater situatie de effecten op de freatische grondwaterstand afnemen en dat dit enkel buitendijks plaatsvindt. De maximale verandering treden op nabij/ter plaatse van de geulen en overstromingsvlakte.
- Uit de verschilkaart het scenario met 200 dagen per meter en 100 dagen per meter is op te maken dat bij een weerstand van 200 dagen voor de laagwater situatie er geen effecten op de stijghoogte worden berekend.

## Samenvatting van de resultaten

De uitkomsten van de resultaten kunnen zijn samengevat in twee tabellen, zie tabel 1 voor de invloed op hoogwater en tabel 2 voor de invloed op laagwater. De waarden die vetgedrukt zijn, zijn de waarden die horen bij de verandering binnendijks. De waarden met een \* en niet vetgedrukt zijn de veranderingen buitendijks en ter plaatse/nabij de ingreep (geul/overstromingsvlakte).

Tabel 1: Invloed van het ontwerp met en zonder de mitigerende maatregel bij hoogwater, waarden in meters

Hoogwater									
Gebied	Scenario	Weerstand							
		50				200			
		Freatisch		Stijghoogte		Freatisch		Stijghoogte	
		Niveau	Invloeds- gebied	Niveau	Invloeds- gebied	Niveau	Invloeds- gebied	Niveau	Invloeds- gebied
<b>Wamel</b>	Zonder	<b>&lt;0,05</b>	<25*/ <b>&lt;5</b>	+0,08*/ <b>+0,06</b>	<b>+450</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>&lt;5</b>	-0,10*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>-65</b>
	Met	-0,15*/ <b>&lt;0,05</b>	+10*/ <b>&lt;5</b>	+0,08*/ <b>+0,07</b>	<b>+500</b>	-0,10*/ +0,10*/ <b>&lt;0,05</b>	-10*/ <b>&lt;5</b>	-0,10*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>-230</b>
<b>Overstromingsvlakte</b>	Zonder	<b>&lt;0,05</b>	<b>+20</b>	-0,11*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>+100</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>+20</b>	-0,25*/ <b>-0,08</b>	<b>-150</b>
	Met	-0,19*/ <b>&lt;0,05</b>	+20*/ <b>&lt;5</b>	-0,12*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>+80</b>	+0,10*/ +0,10*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>&lt;5</b>	-0,25*/ <b>-0,08</b>	<b>-100</b>
<b>Heerewaarden</b>	Zonder	<b>&lt;0,05</b>	<b>+30</b>	<b>0,06</b>	<b>+450</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>-50</b>	-0,07*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>-125</b>
	Met	-0,14*/ <b>&lt;0,05</b>	+30*/ <b>&lt;5</b>	+0,06*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>+200</b>	-0,07*/ <b>&lt;0,05</b>	-40*/ <b>&lt;5</b>	-0,08*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>-150</b>

\*Invloed buitendijks enkel ter plaatse van de geul/overstromingsvlakte

Tabel 2: Invloed van het ontwerp met en zonder de mitigerende maatregel bij laagwater, waarden in meters

Laagwater									
Gebied	Scenario	Weerstand							
		50				200			
		Freatisch		Stijghoogte		Freatisch		Stijghoogte	
		Niveau	Invloeds- gebied	Niveau	Invloeds- gebied	Niveau	Invloed s- gebied	Niveau	Invloeds- gebied
Wamel	Zonder	+0,32*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>+240</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>+70</b>	-0,51*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>-200</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>-60</b>
	Met	+0,30*/ <b>&lt;0,05</b>	+200*/ <b>&lt;5</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>+100</b>	-0,53*/ <b>&lt;0,05</b>	-50*/ <b>-25</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>-90</b>
<b>Overstromingsvlakte</b>									
	Zonder	+0,11*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>-50</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>-50</b>	-0,17*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>+25</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>+60</b>
	Met	+0,12*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>-10</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>&lt;5</b>	-0,17*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>+10</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>+50</b>
<b>Heerewaarden</b>									
	Zonder	+0,16*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>-50</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>&lt;5</b>	-0,24*/ <b>&lt;0,05</b>	<b>+75</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>&lt;5</b>
	Met	+0,15*/ <b>&lt;0,05</b>	-55*/ <b>&lt;5</b>	<b>&lt;0,05</b>	-50*/ <b>&lt;5</b>	-0,22*/ <b>&lt;0,05</b>	+75*/ <b>&lt;5</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>&lt;5</b>

\*Invloed buitendijks enkel ter plaatse van de geul/overstromingsvlakte

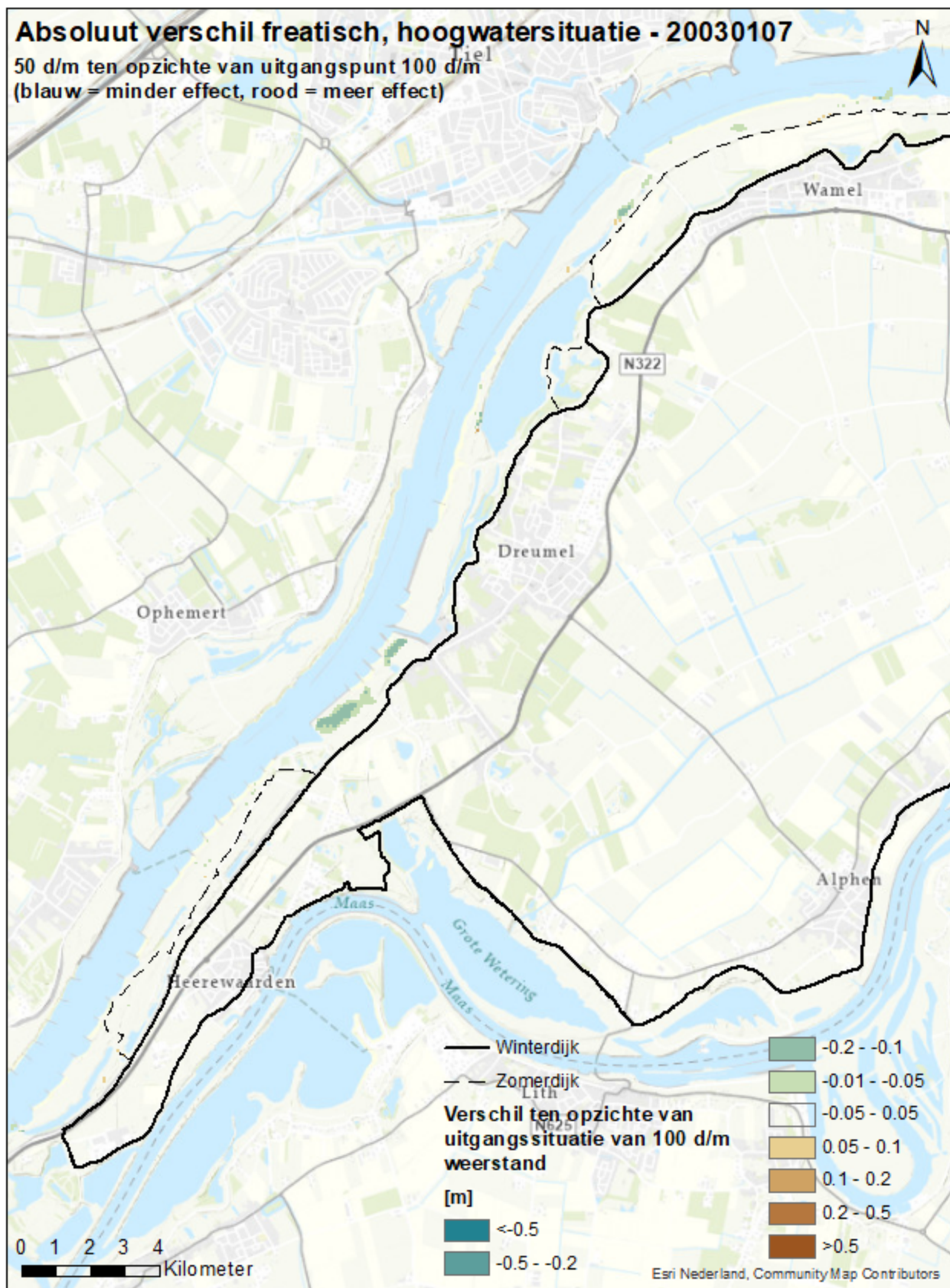
## Conclusie

Uit de gevoeligheidsanalyse volgt dat de onderlinge veranderingen op de grondwaterstanden en stijghoogte binnendijks beperkt zijn tot maximaal 0,05 m (doorgaans minder gezien het invloedsgebied in een enkel geval net over de dijk ligt), voor zowel de situatie zonder als met mitigerende maatregel.

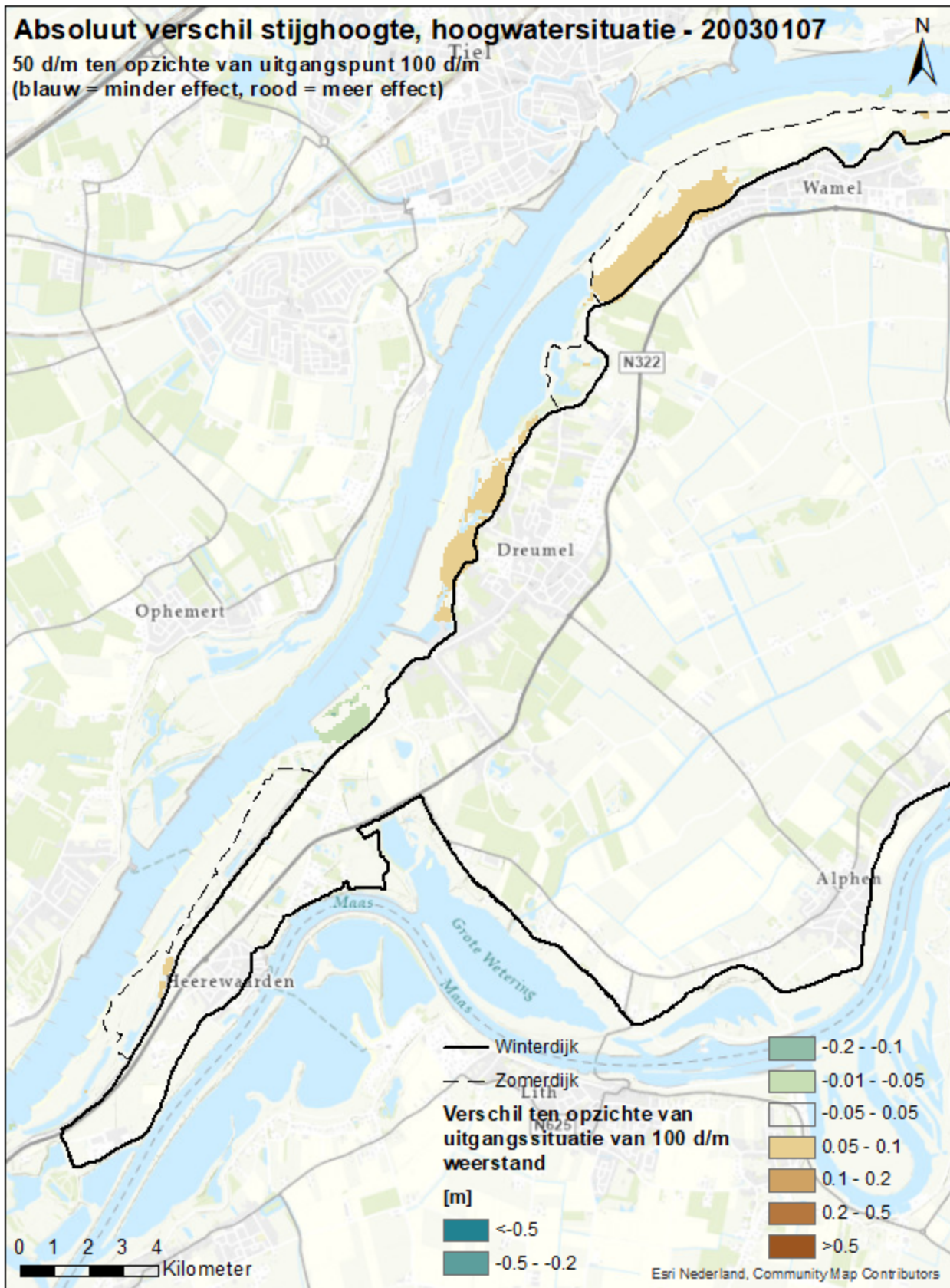
Uit de gevoeligheidsanalyse wordt geconcludeerd dat bij de gehanteerde waarden voor de weerstand van de ondiepe kleilaag geen significante verschillen ontstaan in de effecten op de freatische grondwaterstand en stijghoogte bij T=10 hoog- en laagwater. Met de gevoeligheidsanalyse is aangetoond dat de impact van deze parameter op de resultaten beperkt is. Zodoende is er geen aanleiding om te voorzien in extra benodigde mitigerende maatregelen dan reeds doorberekend.

# BIJLAGE 1: Absolute verschillen bij 50 dagen/meter

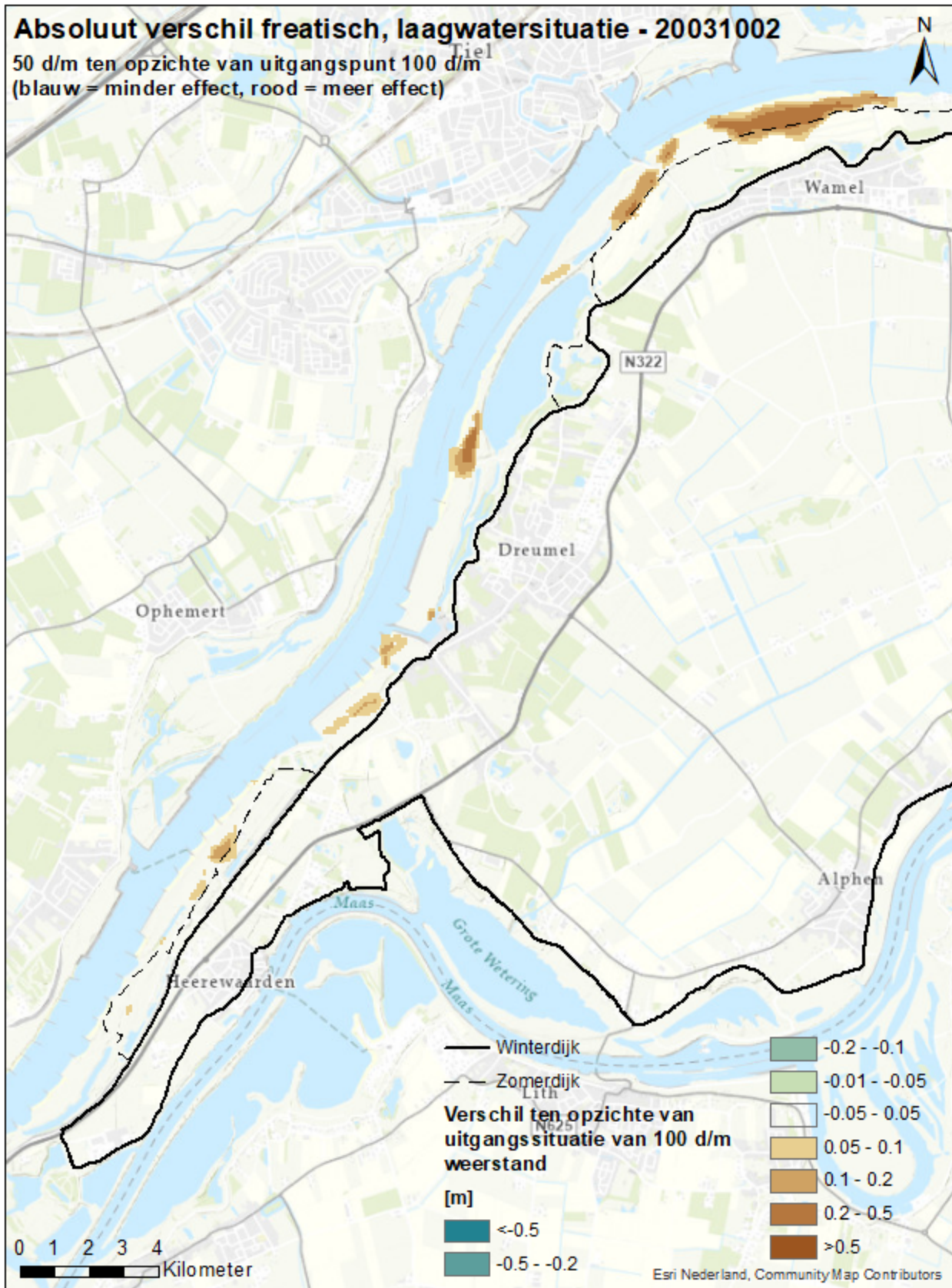
Freatisch hoogwater – zonder mitigerende maatregel



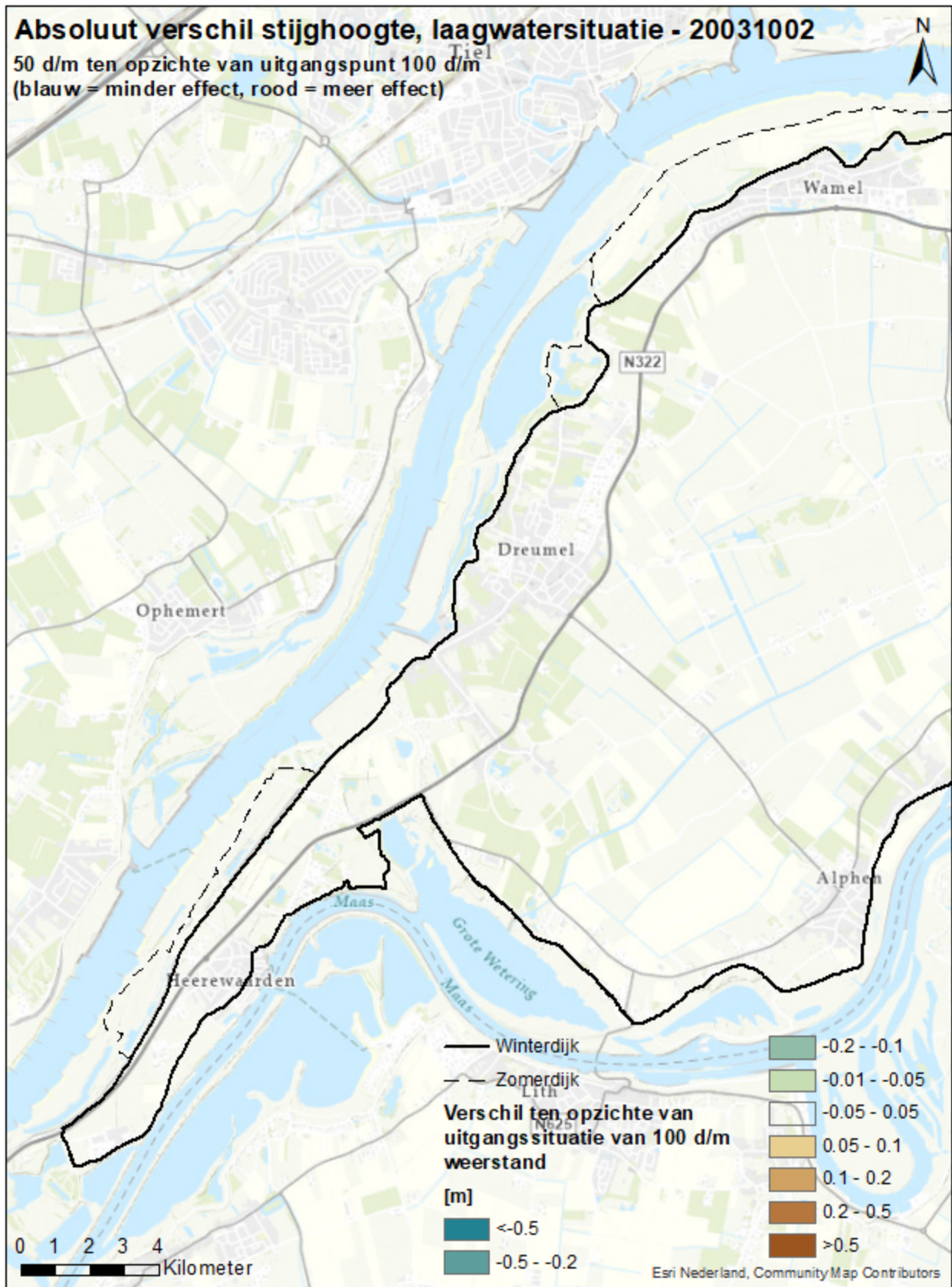
Stijghoogte hoogwater – zonder mitigerende maatregel



Freatisch laagwater – zonder mitigerende maatregel



Stijghoogte laagwater – zonder mitigerende maatregel

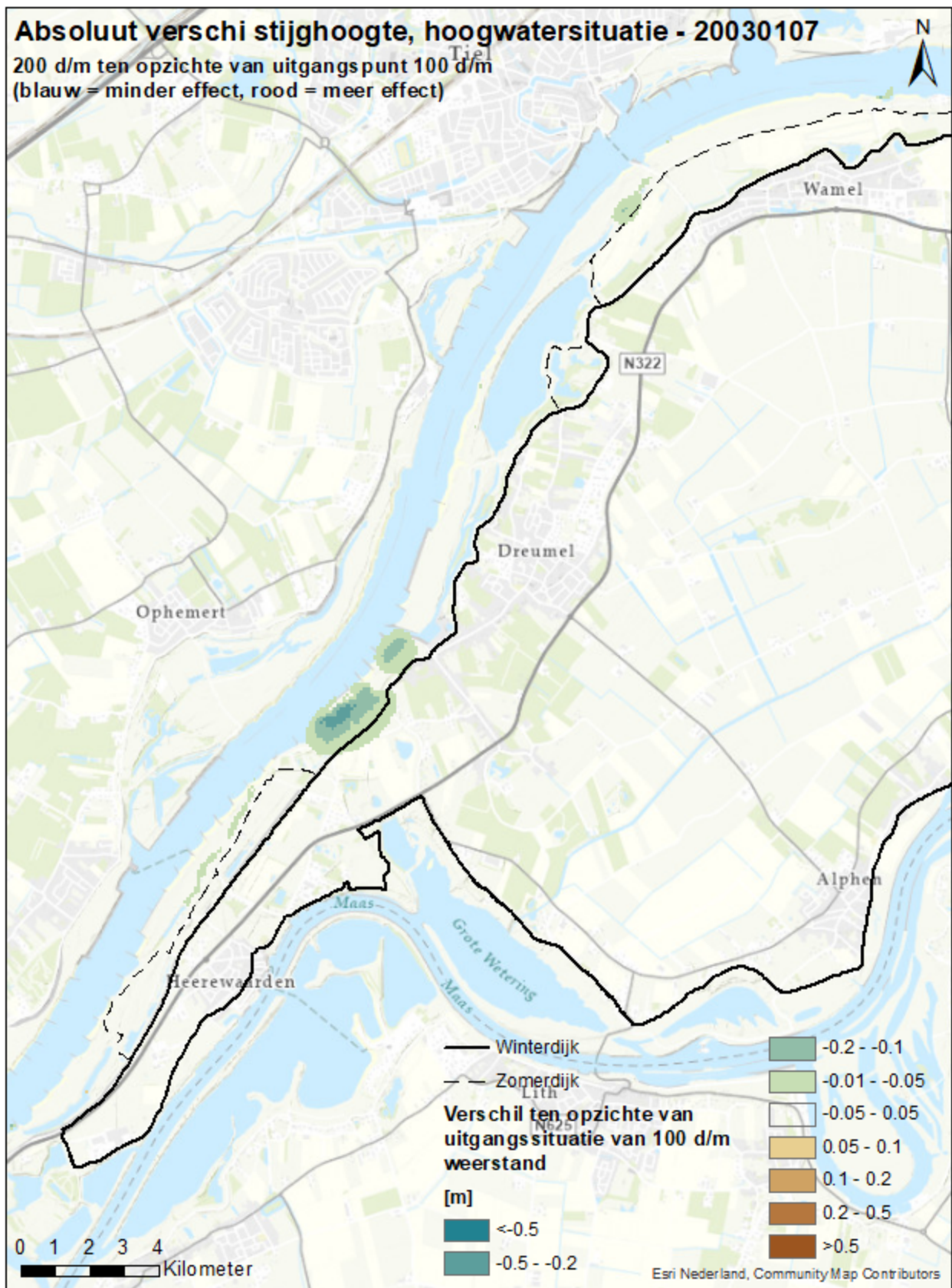


## BIJLAGE 2: Absolute verschillen bij 200 dagen/meter Freatisch hoogwater – zonder mitigerende maatregel

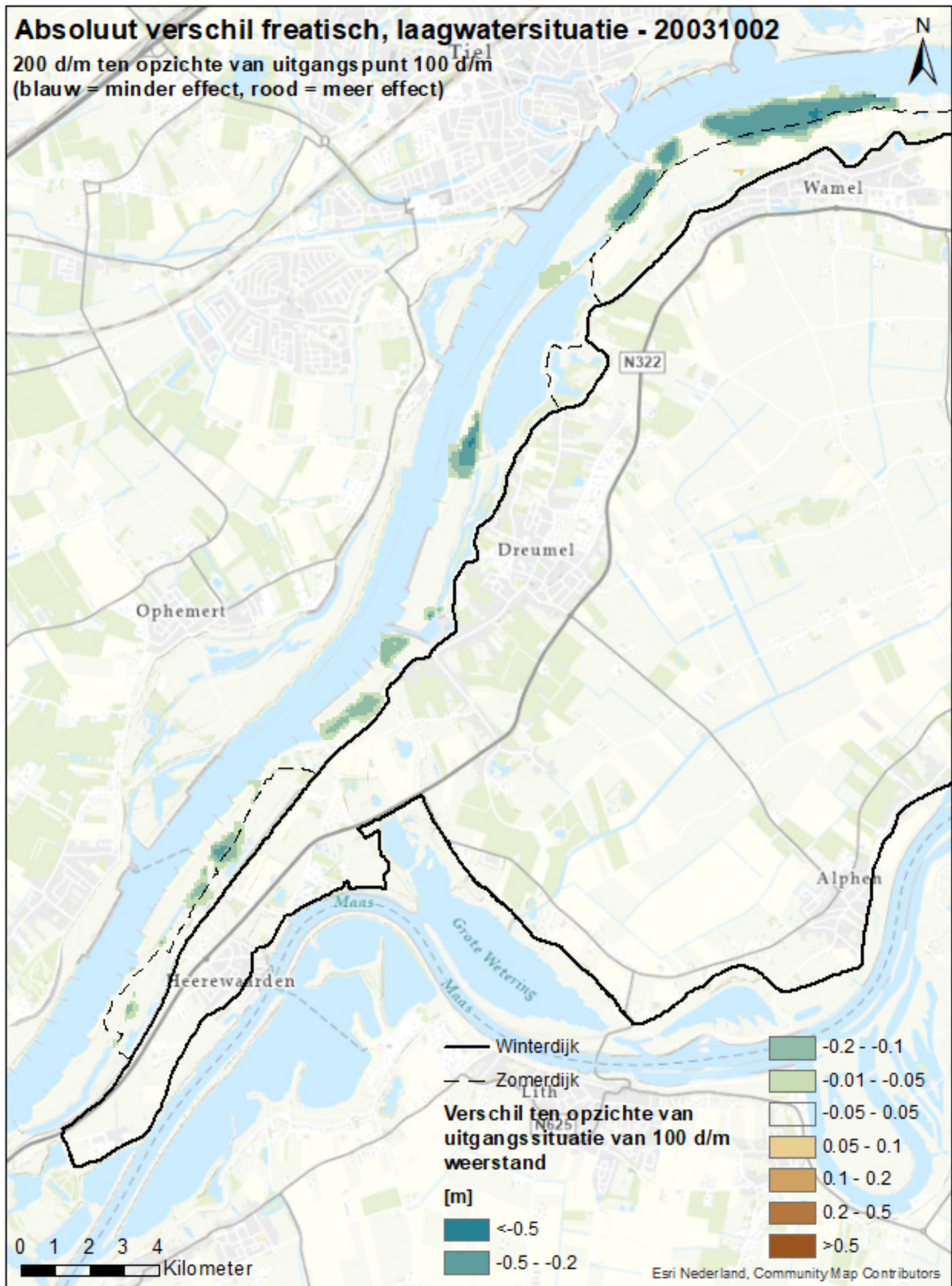




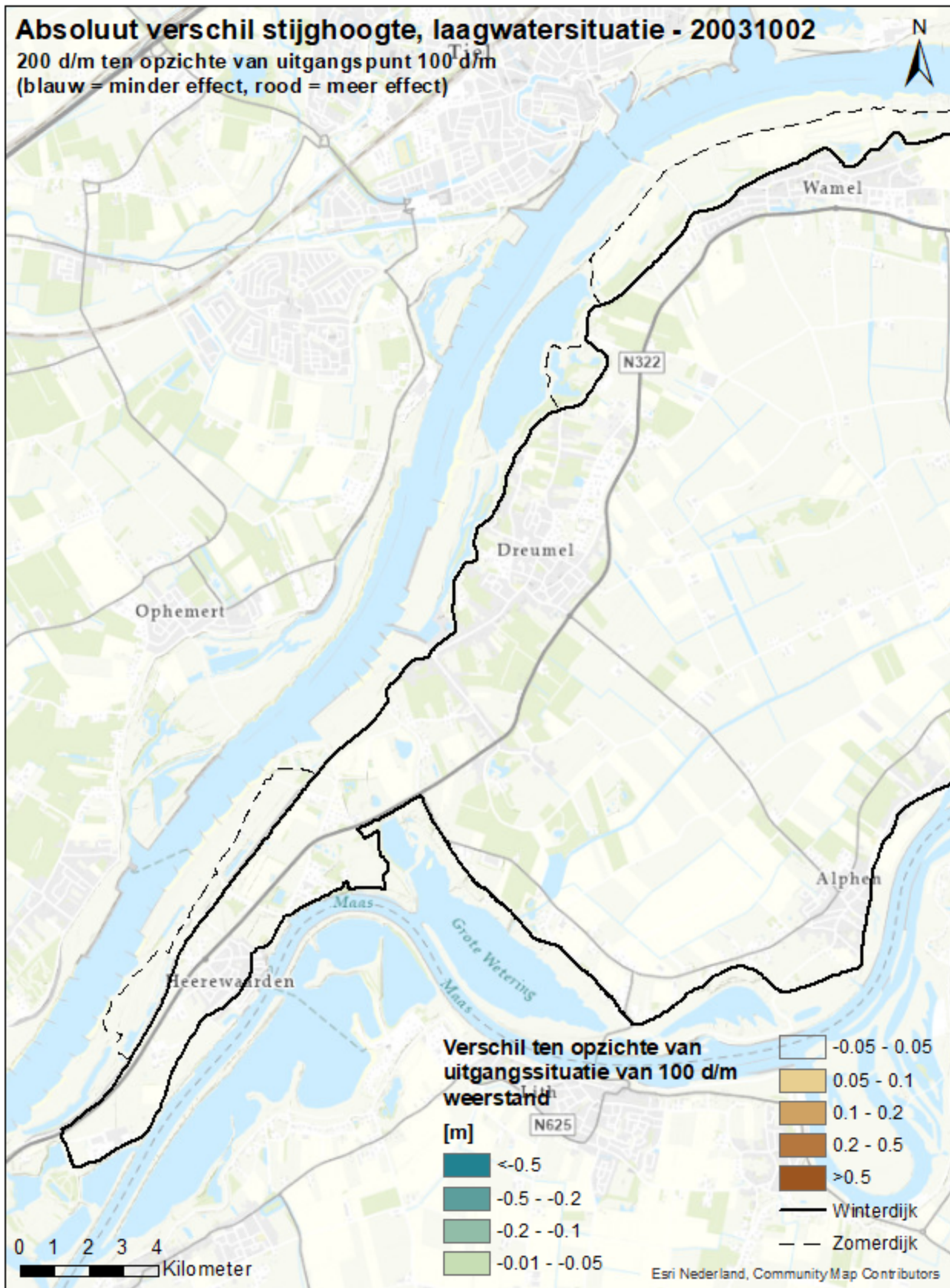
### Stijghoogte hoogwater – zonder mitigerende maatregel



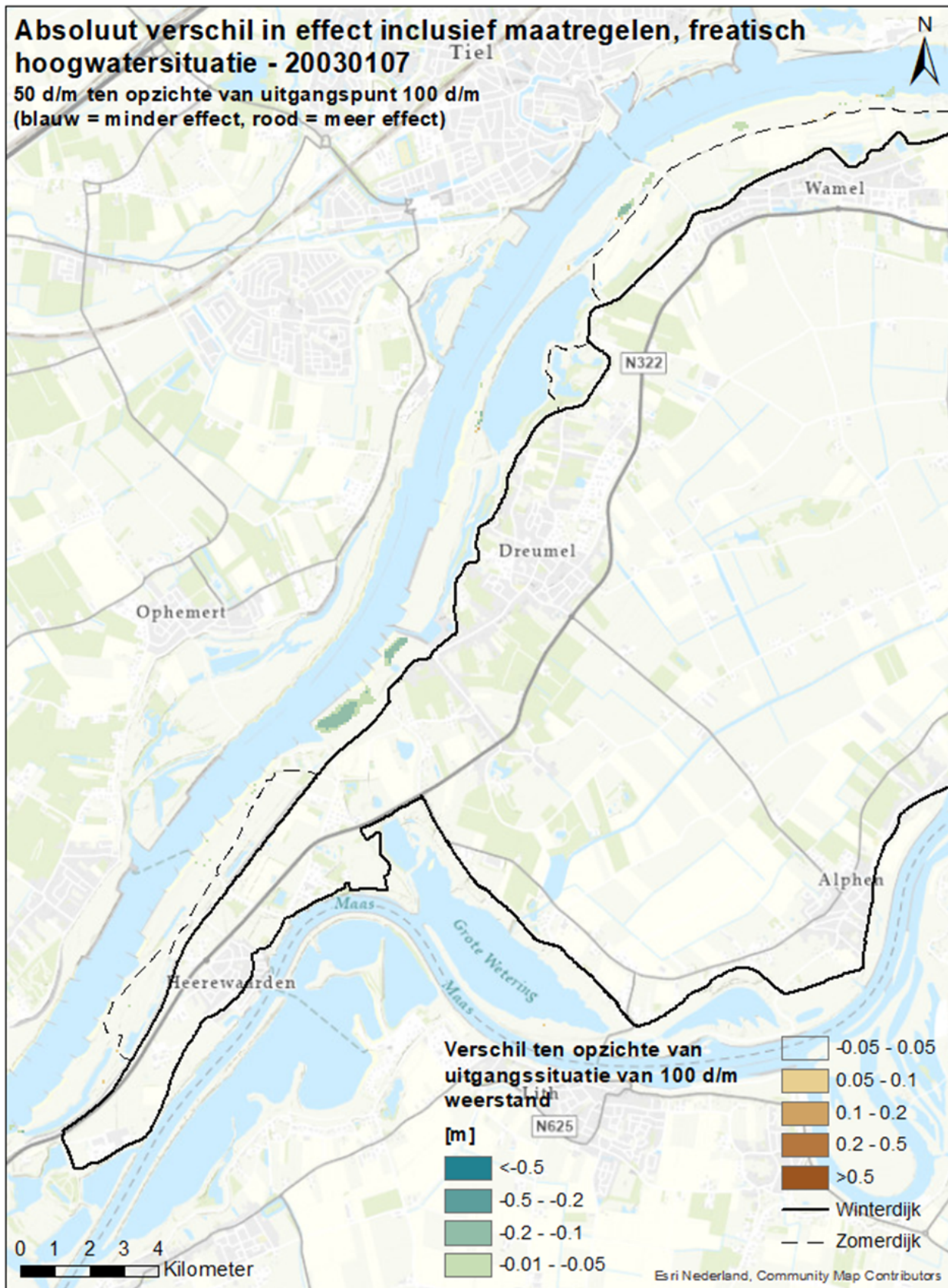
### Freatisch laagwater – zonder mitigerende maatregel



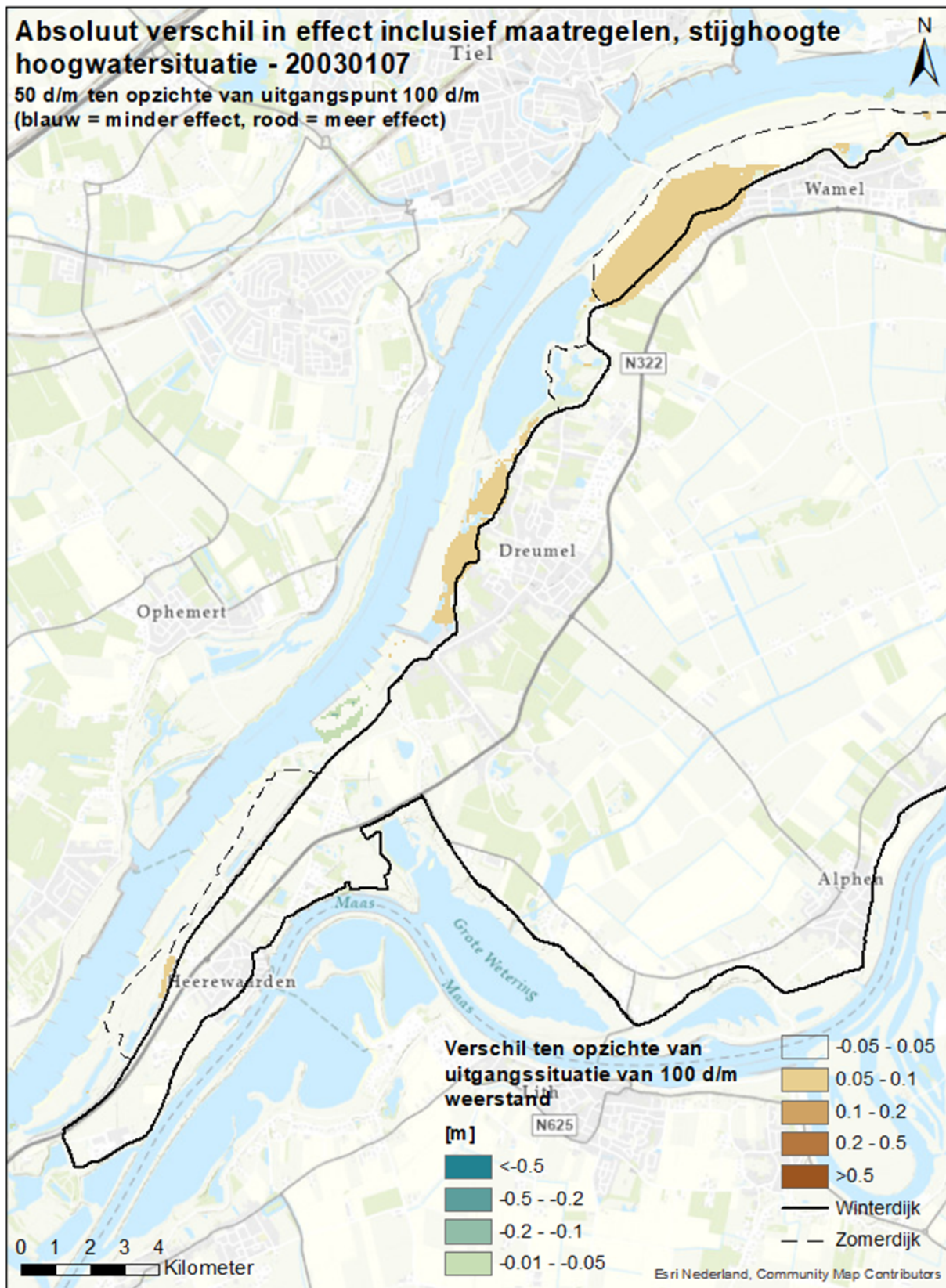
Stijghoogte laagwater – zonder mitigerende maatregel



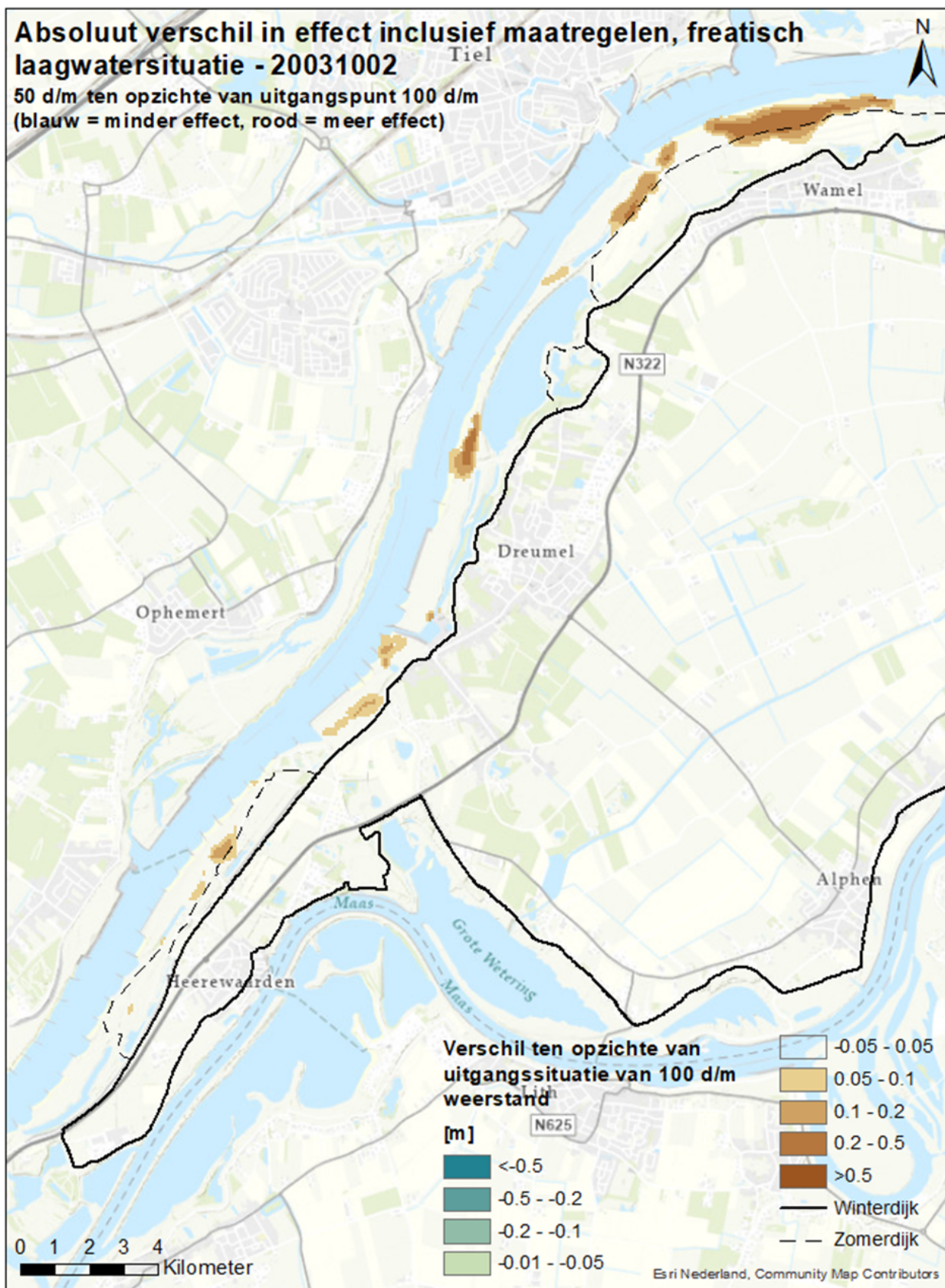
## BIJLAGE 3: Absolute verschillen bij 50 dagen/meter Freatisch hoogwater – met mitigerende maatregel



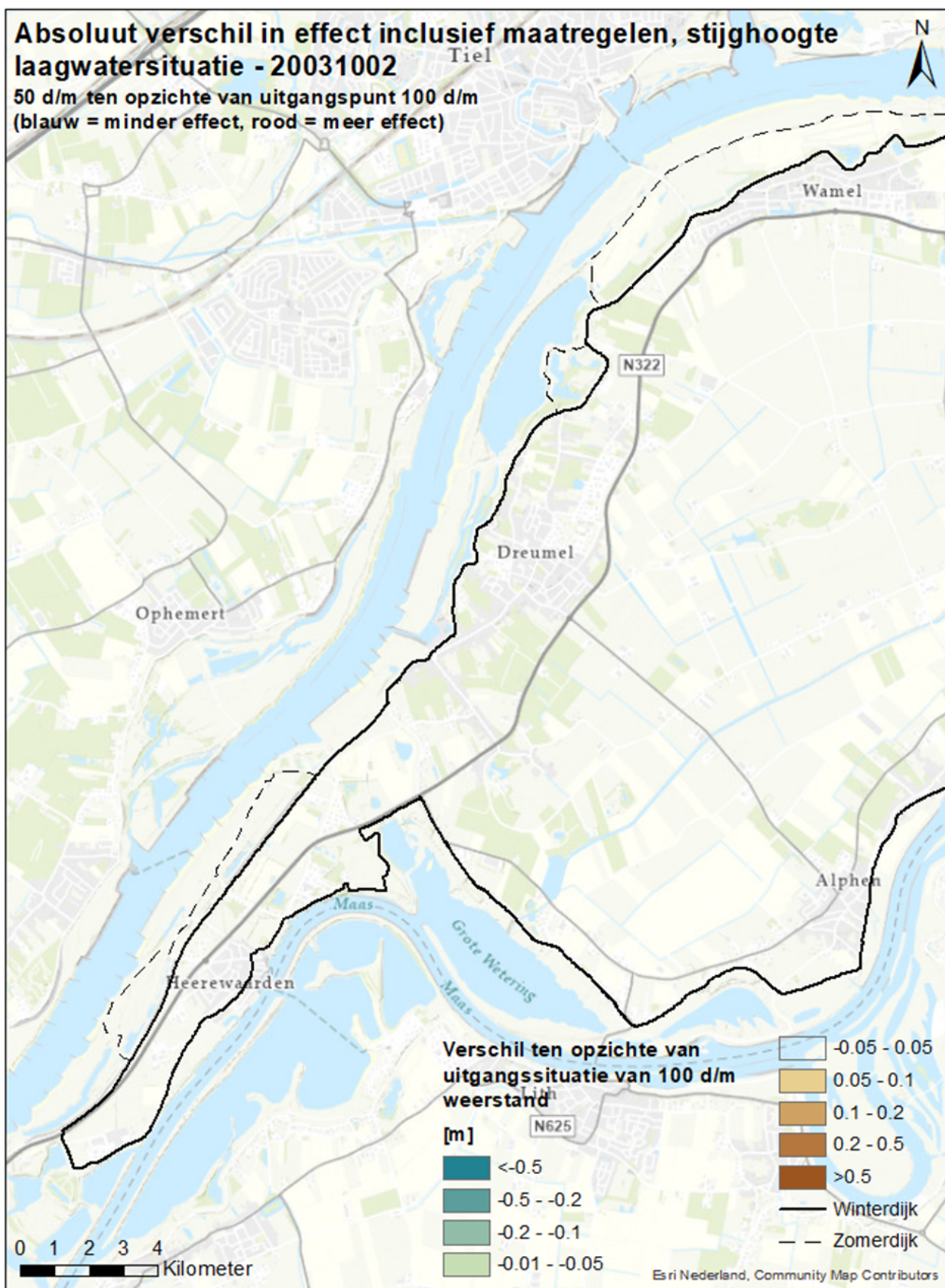
Stijghoogte hoogwater – met mitigerende maatregel



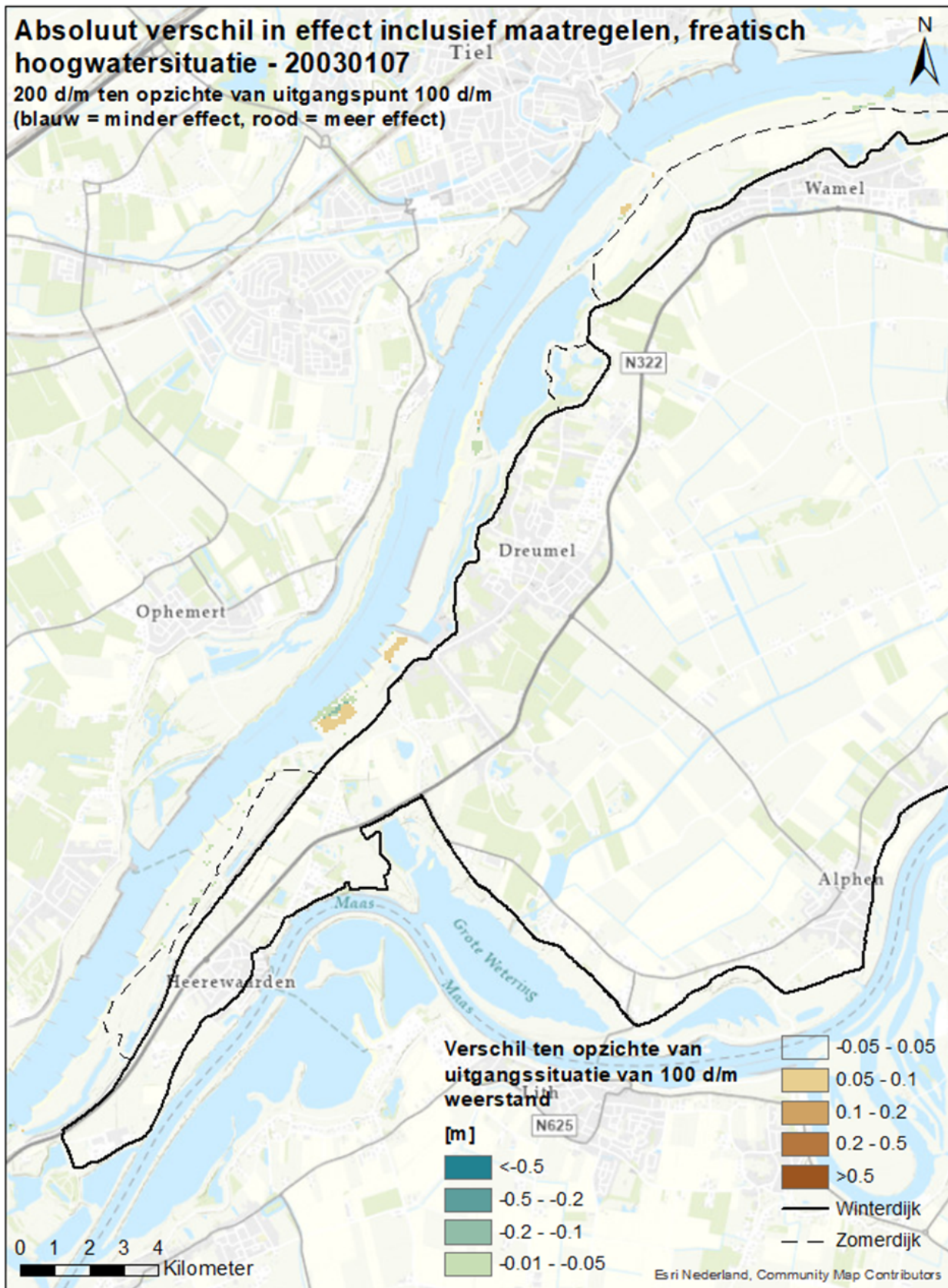
### Freatisch laagwater – met mitigerende maatregel



### Stijghoogte laagwater – met mitigerende maatregel

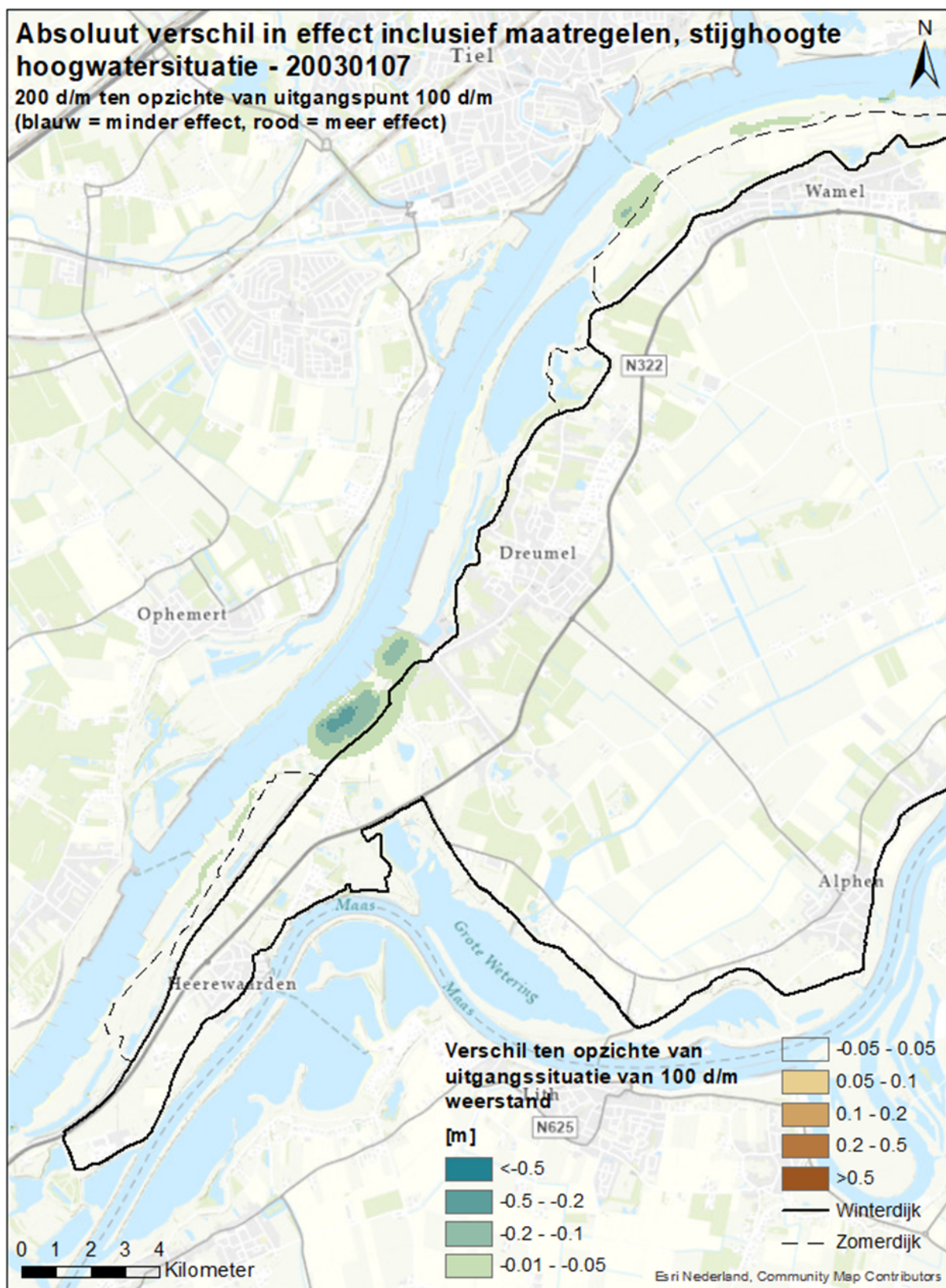


## BIJLAGE 4: Absolute verschillen bij 200 dagen/meter Freatisch hoogwater – met mitigerende maatregel

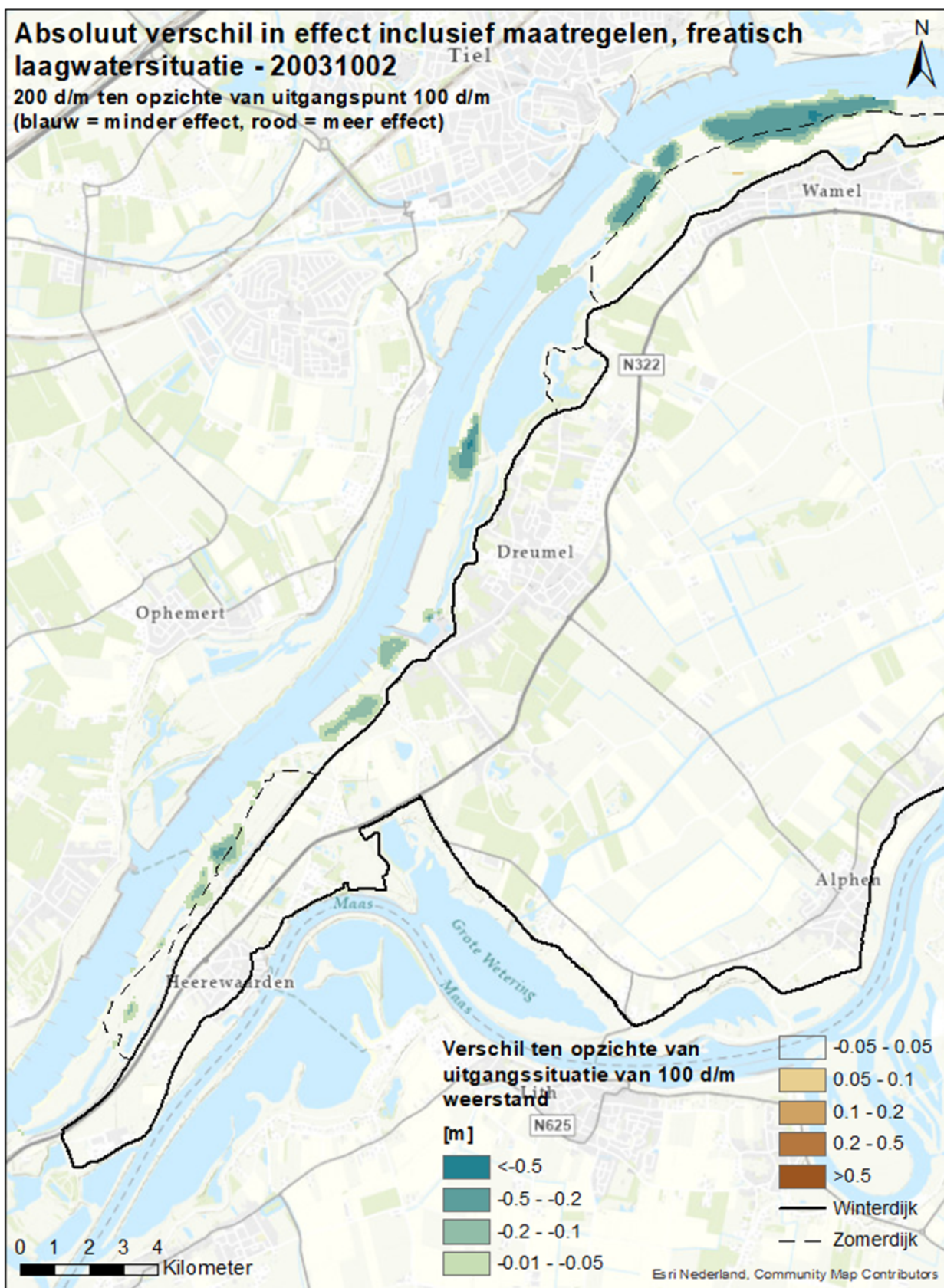




### Stijghoogte hoogwater – met mitigerende maatregel



### Freatisch laagwater – met mitigerende maatregel



## Stijghoogte laagwater – met mitigerende maatregel

