

Pater Sangersburg Maaseik-Roosteren

Voorontwerp: rivierkundige effectstudie

Opdrachtgever: De Vlaamse Waterweg nv

In samenwerking met: ARCADIS Belgium nv/sa



24 november 2023

Colofon

Opdracht: Pater Sangersbrug Maaseik-Roosteren, Voorontwerp: rivierkundige effectstudie
Opdrachtgever: De Vlaamse Waterweg nv, in samenwerking met: ARCADIS Belgium nv/sa
Opdrachtnemer: RiQuest in samenwerking met: Anneke de Joode Rivierkundig Advies en Agtersloot
Hydraulisch Advies
Auteur: ir. D.G. Meijer
Collegiale toets: drs. R.C. Agtersloot
Datum: 24 november 2023
Status: definitief (versie 1.0)
Projectcode: 138.02-03
Document: 20231124 Pater Sangersbrug rivierkundige effectstudie v1.0.docx
Omslag: © De Vlaamse Waterweg, 2023 (bron: <https://www.1limburg.nl/nieuws/2188438/zo-gaat-de-nieuwe-brug-over-de-maas-bij-maaseik-eruitzien>)

Inhoud

Samenvatting.....	v
1 Inleiding.....	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doelstelling.....	1
1.3 Uitgangspunten	1
1.4 Aanpak.....	2
1.5 Leeswijzer	2
2 Effectbeoordeling voor de korte termijn (periode 2024-2025)	3
2.1 Scenario 1: Referentiesituatie (deactualisatie van het basismodel)	3
2.2 Scenario 2: Bouwfase Pater Sangersbrug (zonder Heerenlaak)	5
2.3 Scenario 3: Bouwfase Pater Sangersbrug met noodmaatregel (zonder Heerenlaak)	7
2.4 Scenario 4: Bouwfase Pater Sangersbrug (Heerenlaak met twee elementen)	8
2.5 Scenario 5: Bouwfase Pater Sangersbrug met noodmaatregel (Heerenlaak met twee elementen).....	9
2.6 Scenario 6: Pater Sangersbrug gereed en afbraak oude brug (zonder Heerenlaak)	10
2.7 Scenario 7: Pater Sangersbrug gereed (Heerenlaak met twee elementen)	13
2.8 Samenvatting van de resultaten.....	15
3 Effectbeoordeling voor de middellange termijn (vanaf 2030)	16
3.1 Scenario 8: Referentiesituatie middellange termijn (met Heerenlaak en Contelmo gereed)	16
3.2 Scenario 9: Pater Sangersbrug gereed (middellange termijn met Heerenlaak en Contelmo gereed)	17
3.3 Scenario 10: Pater Sangersbrug en stroomgeulverbreding Roosteren I (middellange termijn met Heerenlaak en Contelmo gereed).....	18
3.4 Samenvatting van de resultaten.....	19
4 Overige resultaten en beoordelingscriteria (RBK 5.0 ¹).....	20
4.1 Stabiliteit van de bodem en de oevers	20
4.1.1 Maximale stroomsnelheid onder de brug	20
4.1.2 Stabiliteit van de oevers	22
4.1.3 Ontgroning rondom de middenpijler	22
4.2 Effecten op afvoerverdeling	22
4.3 Effecten op dwarsstroming	24
4.4 Morfologische effecten.....	24
5 Rivierkundig Beoordelingskader (RBK 5.0)	25
6 Conclusies en aanbevelingen.....	27
6.1 Conclusies	27
6.2 Aanbevelingen	28
7 Referenties.....	29

- Bijlage 1 Referentiesituatie (deactualisatie van het basismodel in twee stappen): scenario 1
- Bijlage 2 Bouwfase Pater Sangersbrug (op basis van referentie 1 zonder Heerenlaak): scenario 2
- Bijlage 3 Bouwfase Pater Sangersbrug met noodmaatregel (op basis van referentie 1 zonder Heerenlaak): scenario 3
- Bijlage 4 Bouwfase Pater Sangersbrug (op basis van referentie 2 met Heerenlaak): scenario 4
- Bijlage 5 Bouwfase Pater Sangersbrug met noodmaatregel (op basis van referentie 2 met Heerenlaak): scenario 5
- Bijlage 6 Pater Sangersbrug gereed en afbraak oude brug (op basis van referentie 1 zonder Heerenlaak): scenario 6
- Bijlage 7 Pater Sangersbrug gereed (op basis van referentie 2 met Heerenlaak): scenario 7
- Bijlage 8 Referentiesituatie middellange termijn (met Heerenlaak en Contelmo gereed): scenario 8
- Bijlage 9 Pater Sangersbrug middellange termijn (met Heerenlaak en Contelmo gereed): scenario 9
- Bijlage 10 Pater Sangersbrug middellange termijn + Roosteren I (met Heerenlaak en Contelmo gereed): scenario 10
- Bijlage 11 Overzicht van Baseline-maatregelen, Baseline-varianten en WAQUA-modelsimulaties

Samenvatting

De Pater Sangersbrug, die Maaseik en Roosteren met elkaar verbindt, nadert het einde van haar levensduur. Er ligt een ontwerp voor een nieuwe brug, die een gewijzigd tracé heeft ten opzichte van de huidige brug. Voor dit ontwerp is een rivierkundige effectstudie noodzakelijk.

In de effectstudie wordt het Rivierkundig Beoordelingskader 5.0 (RBK5) van Rijkswaterstaat gevolgd (Rijkswaterstaat, 2019). Voorliggende rapportage presenteert aan de hand van 10 gedefinieerde toestanden (scenario's) een onderzoek naar de hydraulische effecten van het eindontwerp en diverse (potentiële) uitvoeringsstadia van de nieuwe Pater Sangersbrug en omliggende projecten ten opzichte van een tweetal referentiesituaties: één voor de korte termijn en één voor de middellange termijn.

Hierbij is de eindsituatie op de middellange termijn (scenario 9) het belangrijkste onderwerp van toetsing. De effectstudie is uitgevoerd op basis van een hydraulische modelstudie, waarbij 8 afvoerniveaus van de Maas beschouwd zijn, variërend van 100 tot 4118 m³/s (T3000-hoogwater).

Waterstanden en stroombeelden

In de analyse is gekeken naar waterstanden, stroomsnelheden en de afvoerverdeling rondom de ringdijk van Stevensweert. Omdat het project juist stroomopwaarts van deze ringdijk ligt, waarbij de Maas-afvoer zich langs twee zijden verdeelt (Gemeenschappelijke Maas resp. Oude Maas), is deze afvoer-verdeling een belangrijk onderwerp van analyse.

Er wordt in de analyse onderscheid tussen twee tijdvensters gemaakt.

Korte termijn en bouwfase (2024-2025)

Ten aanzien van waterstanden is de bouwfase, bestaande uit een bouwput rondom de nieuwe middenpijler met een verbindingdam naar de zijde van de Schansberg en twee bouwputten rondom de pijlers op de oevers (scenario 2), de meest kritische toestand. Bij een T100-hoogwater leidt dit tot een opstuwing van 91 mm (T3000: 78 mm). Een noodmaatregel, bestaande uit het verwijderen van de verbindingdam (scenario 3), haalt hier 24 resp. 20 mm van af (T100: 67 mm opstuwing, T3000: 58 mm opstuwing).

Ongeveer gelijktijdig wordt bij rkm 52,9 een inlaatwerk naar de plas Heerenlaak gerealiseerd als onderdeel van het project Heerenlaak, waarbij ook de doorvaartopening in stroomafwaartse richting wordt verlegd (van rkm 57,1 naar 57,4). De verlegging van de doorvaartopening zal als eerste plaatsvinden en is onderdeel van alle scenario's van dit onderzoek. Het is op dit moment niet bekend welk van de overige twee objecten (het inlaatwerk of de nieuwe brug) het eerst gerealiseerd zal worden. Als de inlaat van Heerenlaak met twee van de drie elementen tijdens de bouw van de nieuwe Pater Sangersbrug al operationeel is (scenario 4), wordt de meest kritieke bouwfase meer dan gecompenseerd (T100: resterende daling -39 mm). Bij het extreme T3000-hoogwater is er nog een resterende opstuwing van 12 mm. Als hierbij ook nog de noodmaatregel wordt toegepast (scenario 5), is de compensatie volledig (T100: -68 mm, T3000: -12 mm). De conclusie luidt dan ook dat het zeer wenselijk is dat de inlaat van Heerenlaak al ten tijde van de bouw van de brug operationeel is.

De nieuwe brug met herprofilering van de zuidelijke oever (Schansberg) levert minder stromingsweerstand dan de bestaande brug, waardoor een waterstandsdeling van 20 mm ontstaat. Echter na ingebruikname van de nieuwe brug moet de oude brug nog afgebroken worden. Hierbij staan de pijlers er nog en is er bovendien een sloopdam noodzakelijk om de brugdelen en de materialen van de pijlers af te voeren (scenario 6). Door de stromingsweerstand hiervan leidt deze situatie tot netto opstuwing van 49 mm (T100) of 46 mm (T3000). Indien de inlaat van Heerenlaak in dit stadium al operationeel is, zal er geen netto opstuwing meer zijn. Ook kan de situatie verbeterd worden door de sloopdam bij hoogwater te verwijderen. Deze laatste twee varianten zijn niet afzonderlijk, noch in combinatie met elkaar gemodelleerd, maar op basis van de overige resultaten en een expertoordeel is deze conclusie vanzelfsprekend.

Na het afronden van de sloopwerkzaamheden is het project voltooid (scenario 7). Dit scenario gaat ervan uit dat de inlaat van Heerenlaak operationeel is (hoewel dit voor de hydraulische toetsing niet cruciaal is). De waterstandsdaling bedraagt dan bij de brug 170 mm, waarvan verreweg het grootste deel (150 mm) aan de meestromende plas Heerenlaak en 20 mm aan de nieuwe brug toe te schrijven is.

Voor de beschreven tijdelijke situaties zijn ook lagere afvoerniveaus over het gehele spectrum beschouwd: van 100 m³/s (overschrijding 204 dagen per jaar) tot 2776 m³/s (T30-hoogwater). Bij lagere Maasafvoeren zijn de waterstandseffecten doorgaans groter, maar nooit kritiek omdat de waterkeringen langs de Maas op hogere beschermingsniveaus voorbereid zijn.

Middellange termijn en toekomstige projecten in de nabije omgeving (2030 en later)

De middellange termijn gaat uit van een volledig operationeel project Heerenlaak (met drie doorstroombare elementen) en uitvoering van het project Contelmo, waarmee aan Nederlandse zijde de instroming van de Oude Maas gereguleerd wordt. Binnen deze toekomstige geometrische context leidt het vervangen van de Pater Sangersbrug (alleen de eindsituatie) tot een waterstandsdaling van 20 en 21 mm (scenario 9: T100 resp. T3000). Dit is het hoofdsceario van de beoordeling omdat hiermee het op zichzelf staande (singuliere) effect van de nieuwe brug zonder gelijktijdige andere ontwikkelingen beoordeeld kan worden. Naast de genoemde waterstandsdaling aan bovenstroomse zijde is er een lokaal benedenstrooms effect van maximaal 50 mm in de rivieras. De waterstandsverhoging aan de zijde van Maaseik reikt ca. 500 m ver en bedraagt over deze afstand minder dan 50 mm. Een uitzondering is de locatie van de oude brug, waar de stroomversnelling bij de pijlers wegvalt, waardoor een zeer lokaal snelheidshoogte-effect van ca. 100 mm optreedt. Dit is een logisch gevolg van een verwijderd hydraulisch obstakel. Aan de waterkering van Roosteren treedt over een lengte van ca. 1250 m een waterstandverhoging van minder dan 10 mm op. Opgemerkt wordt dat de waterstandsdaling aan bovenstroomse zijde hier cumulatief ruimschoots tegen opweegt. Netto is er sprake van waterstandsdaling in het systeem. Uit de analyse blijkt ook dat de stroomsnelheidseffecten van de brug zelf gering zijn. Het effect van de brug op de afvoerverdeling rondom de ringdijk van Stevensweert is nihil.

Tot slot is gekeken naar het effect van de nieuwe brug in combinatie met het potentiële stroomgeulverbredingsproject Roosteren I (scenario 10). Dit ontwerp is uit de voorstudie (Meijer, 2022) overgenomen en past naadloos op het eindontwerp van de nieuwe brug. Het gevolg is 184 mm aanvullende waterstandsdaling (beide afvoerniveaus) nadat het effect van Heerenlaak en Contelmo al gerealiseerd is. Het effect van Roosteren I op de afvoerverdeling rondom de ringdijk van Stevensweert is ook nihil (T100) tot gering (T3000).

Dwarsstroming en morfologie

Naast de bovenstaand beschreven waterstanden en stroombeelden maken ook dwarsstroming in de vaargeul en morfologie onderdeel uit van het RBK5. Omdat dit deel van de Maas geen beroepsvaart heeft, is dwarsstroming niet van belang, ongeacht het argument dat de nieuwe brug ook geen dwarsstromingseffecten tot gevolg heeft. Ten aanzien van morfologie is op basis van een expertbeoordeling geoordeeld dat de zeer geringe hydraulische effecten van het vervangen van de brug geen morfologische effecten van betekenis voor de Maasbodem kan hebben.

Bodem- en oeverstabiliteit

Voor de beoordeling van de stabiliteit van de bestortingen op beide oevers en de verwachte ontgronding rondom de middenpijler is een afzonderlijke opdracht uitgevoerd (Jordans, 2023) en in voorliggende rapportage samengevat. Hierbij is eerst gekeken welk scenario (of welke combinaties van scenario's) tot de zwaarste belasting leidt. Dit is scenario 10 (nieuwe brug met Roosteren I) op de linkeroever en in de stroomgeul en scenario 6 (nieuwe brug gereed en oude brug nog niet afgebroken) op de rechteroever.

Voor een stabiele oeverbescherming op de Vlaamse oever is een steenbestorting van 40-200 kg benodigd (berekende diameter 0,22 m) en rond de brugpijler is over een breedte van 4 m een bestorting van 10-60 kg gepenetreerd benodigd (maatgevende berekende diameter 0,99 m). Voor een stabiele oeverbescherming van de Nederlands oever dient deze voorzien te zijn van een steenbestorting 40-200 kg (berekende diameter 0,27 m). Rond de brugpijler is een 40-200 kg bestorting over een breedte van 4 m eveneens voldoende (maatgevende berekende diameter 0,23 m).

Het is op beide oevers mogelijk om te differentiëren in de toe te passen gradering, waarbij hoger op het talud een kleinere sortering wordt toegepast dan 40-200 kg. De maatgevende situatie voor de stabiliteit van de bestorting bevindt zich aan de onderzijde van het talud.

Ontgroning is een zeer complex proces, er dient daarom rekening gehouden te worden met een grote bandbreedte rond de gepresenteerde resultaten. Afhankelijk van de gehanteerde methode en de d_{50} van het aanwezige bodemmateriaal is de verwachte maximale ontgroning rond de middenpijler 6 meter of kleiner. De maximale ontgroning in de doorgaande riviersectie nabij de brug varieert tussen 3 en 31 m, afhankelijk van de stroomsnelheid en de diameter van het bodemmateriaal. Een ontgroning van 31 m is zeer onwaarschijnlijk, aangezien hier is uitgegaan van de meest ongunstige situatie van zand direct aan de oppervlakte, terwijl uit de boringen een pakket van tenminste 3 m toutvenant aanwezig blijkt. Het geeft echter wel aan dat zodra het toutvenantpakket is doorbroken, de erosie zich zeer snel ontwikkelt.

Zelfs bij de kleinste berekende waarde voor ontgroning van 3 m (waarschijnlijk treedt er meer ontgroning op), lijkt het plaatsen van de brugpijler op de onbeschermd bodem niet afdoende voor de situatie dat erosie optreedt. Een bodembescherming aanbrengen rond de middenpijler of het dieper plaatsen van de middenpijler zijn mogelijke oplossingen.

Conclusies en aanbevelingen

De algemene conclusie van het onderzoek luidt dat het project niet tot rivierkundige problemen zal leiden en dat programmering van de uitvoering wenselijk is. De belangrijkste aanbevelingen luiden:

- Het is wenselijk de inlaat van Heerenlaak met twee elementen beschikbaar te hebben ten tijde van het meest kritieke uitvoeringsstadium met drie bouwputten.
- Als zich tijdens de bouw een hoogwater van substantiële omvang voordoet, is het uitvoeren van de noodmaatregel (verwijderen van de verbindingssdam) in alle scenario's verstandig.
- Dit geldt ook voor de sloopdam tijdens de sloopfase van de oude brug.
- De stroomgeulverbreding Roosteren I (scenario 10) is een relatief kleine ingreep met een groot effect. De verbreding verbindt het verruimde profiel onder de nieuwe brug met de inlaat van Heerenlaak en lost daarmee een lokale flessenhals op. Wij adviseren de Nederlandse rivierbeheerder deze geen-spijtmateelregel vast te stellen en de uitvoering, flankerend aan de bouw van de brug of zo spoedig mogelijk hierna, ter hand te nemen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Pater Sangersbrug, die Maaseik en Roosteren met elkaar verbindt, nadert het einde van haar levensduur. Er ligt een ontwerp voor een nieuwe brug, die een gewijzigd tracé heeft ten opzichte van de huidige brug. Voor dit ontwerp is een rivierkundige effectstudie noodzakelijk.

Niet alleen voor de eindsituatie, maar ook voor de diverse uitvoeringsstadia is een analyse noodzakelijk om verrassingen ten aanzien van waterstanden en stabiliteit van de constructie te vermijden. Hiervoor zijn enkele uitvoeringsstadia voor de korte termijn beschouwd. Ook na oplevering en ingebruikname van de nieuwe Pater Sangersbrug moet de brug op middellange termijn aan de vereisten blijven voldoen en moeten alle rivierkundige functies gewaarborgd blijven. Om deze reden is een toets gedaan binnen een toekomstige geometrische context (zichtjaar tenminste 2030), waarbij in de nabije omgeving mogelijk nog enkele projecten uitgevoerd zullen zijn.

De analyse betreft zodoende een tijdvenster van 2024 tot na 2030. Voorliggende studie presenteert aan de hand van 10 gedefinieerde toestanden (scenario's) een onderzoek naar de hydraulische effecten van het eindontwerp en diverse (potentiële) uitvoeringsstadia van de nieuwe Pater Sangersbrug alsmede omliggende projecten ten opzichte van een tweetal referentiesituaties: één voor de korte termijn en één voor de middellange termijn. Hiertoe heeft een hydraulische modelstudie plaatsgevonden, waarbij 8 afvoerniveaus van de Maas beschouwd zijn.

1.2 Doelstelling

Doel van dit onderzoek is:

- het uitwerken van 10 scenario's voor diverse (potentiële) uitvoeringsstadia van de nieuwe Pater Sangersbrug en omliggende projecten,
- het bepalen van de hydraulische effecten bij 8 Maasdebieten over het gehele afvoerspectrum.

Hierbij is gekeken naar waterstanden, stroomsnelheden, debietverdelingen van diverse afvoerroutes en de stabiliteit van de bodem en oeeververdedigingen (Jordans, 2023).

1.3 Uitgangspunten

Deze studie is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- We maken gebruik van een geactualiseerde modelvariant (gm01_2023_5-v1) van het beheer- en onderhoudsmodel van Rijkswaterstaat Zuid-Nederland (beno17_5-v1). Dit is een model van de vijfde generatie, tot stand gekomen bij Consortium Grensmaas (Meijer, 2023). Belangrijke onderdelen van deze basisvariant in de nabijheid van het interessegebied van de Pater Sangersbrug zijn de voorgenomen projecten Heerenlaak (inlaatwerk en verlegde doorvaartopening) en Contelmo (verruimde Oude Maasarm en twee inlaatwerken).
- De 10 beschouwde scenario's zijn op basis van aanleveringen van de opdrachtgever uitgewerkt (De Vlaamse Waterweg, 2023).
- Voor de actualisatie, het omzetten van de ontwerpen en de geometrische modellering is gebruik gemaakt van Baseline-versie 5.3.3 en ArcGIS-versie 10.4.0.
- Voor de WAQUA-simulaties is Simona-versie 2021 toegepast.
- Binnen de simulaties zijn de hydraulische randvoorwaarden van het Wettelijk Beoordelings-instrumentarium (WBI2017) van Rijkswaterstaat toegepast. In totaal zijn er 8 afvoerniveaus beschouwd.
- Voor de analyse van de waterstandseffecten geldt een hoogwater van 3291 m³/s te Maaseik (3224 m³/s te Borgharen), overeenkomstig een overschrijdingskans van 1/100 per jaar (stationair debiet).
- Voor de analyse van de stroomsnelheidseffecten geldt een extreem hoogwater van 4125 m³/s te Maaseik (4118 m³/s te Borgharen), overeenkomstig een overschrijdingskans van 1/3000 per jaar (dynamische afvoergolf).
- De in deze rapportage vermelde debieten zijn de standaardwaarden gebaseerd op de referentielocatie Borgharen.

1.4 Aanpak

In dit onderzoek wordt voor de beoordeling van de hydraulische effecten van de nieuwe Pater Sangersbrug onderscheid gemaakt tussen de korte en middellange termijn.

Voor de korte termijn geldt de actuele situatie (2024) als uitgangspunt. Omdat het meest actuele Maasmodel al voor de middellange termijn is gebouwd, zijn er enkele *deactualisaties* uitgevoerd. Dit betreft de projecten Heerenlaak (inlaatwerk ten behoeve van meestromende plas en verleggen doorvaartopening) en Contelmo (inlaatwerken ten behoeve van de Oude Maas en verruimen van deze waterloop ten behoeve van een betere doorstroming van de Molenplas en de Oude Maas). Deze projecten zijn uit het model verwijderd teneinde een model te verkrijgen dat bij het moment van uitvoeren van de Pater Sangersbrug past. De verlegde doorvaartopening van plas Heerenlaak blijft wel in het model behouden, omdat dit onderdeel naar verwachting in 2024 uitgevoerd zal zijn. Het model voor de korte termijn wordt gebruikt voor het toetsen van diverse uitvoeringsstadia, waarbij het van belang is of een eventueel hoogwater tijdens de bouwfase niet leidt tot onveilige situaties. Ook kijken we naar de interactie met het gelijktijdig uit te voeren project Heerenlaak (inlaatwerk). Elke van beide potentiële volgordes van uitvoeren is in voorliggende analyse beschouwd. De analyse gaat ervan uit dat de inlaat van Heerenlaak bij oplevering van de Pater Sangersbrug gerealiseerd zal zijn. Zolang Contelmo niet gerealiseerd is, zal de inlaat slechts voor 67% van de capaciteit functioneren (2 van de 3 doorstroombare elementen worden geactiveerd).

Voor de middellange termijn geldt een later zichtjaar (rondom 2030) als uitgangspunt. Hierbij zijn de projecten Heerenlaak (op 100% capaciteit) en Contelmo gereed en in deze toekomstige context wordt het hydraulisch effect van de nieuwe brug getoetst. **Dit is de feitelijke RBK-toetsing¹**, alle overige scenario's gelden als flankerende analyses. Tot slot is er ook gekeken naar het hydraulisch gedrag van de nieuwe brug in combinatie met de rivierverruiming (stroomgeulverbreding) Roosteren I, die het verruimde profiel van de nieuwe Pater Sangersbrug met de inlaat van Heerenlaak verbindt.

In totaal zijn er 10 toestanden (scenario's) beschouwd. Bijlage 11 bevat het totaaloverzicht van de geometrische en hydraulische modellering, waarbij alle scenario's kort beschreven staan.

1.5 Leeswijzer

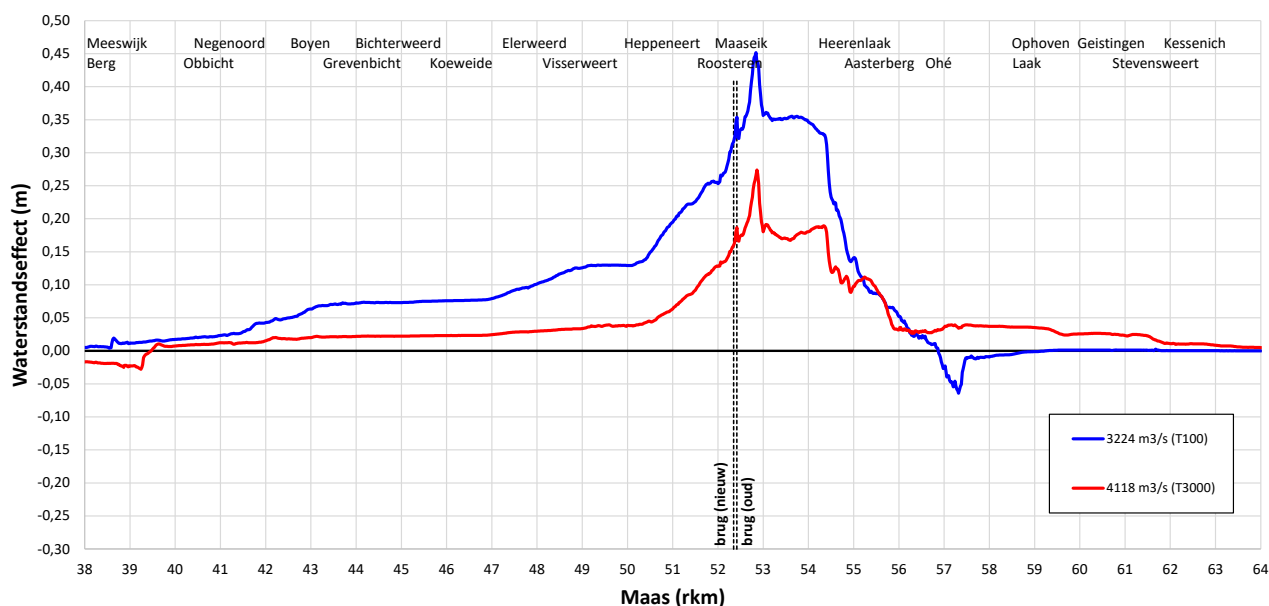
Voor alle scenario's is er een gezamenlijke beschrijving van de geometrie en de hydraulische analyse onder verwijzing naar de bijlagen. De bijlagennummering is gelijk aan de scenariomnummering. Hoofdstuk 2 behandelt de scenario's voor de korte termijn. In hoofdstuk 3 komen de scenario's voor de lange termijn aan de orde. Deze twee hoofdstukken richten zich vooral op de effecten op waterstanden en stroomsnelheden. Andere onderwerpen van analyse komen in hoofdstuk 4 aan de orde, zoals bodem- en oeverstabiliteit, afvoerdeling rondom de ringdijk van Stevensweert, en effecten op dwarsstroming en morfologie van de Maasbodem. Hoofdstuk 5 richt zich specifiek op het Rivierkundig Beoordelingskader en legt de resultaten van het onderzoek met behulp van een overzichtstabel langs de maatlat van Rijkswaterstaat. In hoofdstuk 6 volgen de conclusies en aanbevelingen. De gebruikte referenties en gegevensbronnen staan in hoofdstuk 7 opgesomd. Zoals reeds vermeld, bevat Bijlage 11 het totaaloverzicht van de geometrische en hydraulische modellering van alle scenario's, een overzicht dat bij het lezen van deze rapportage voortdurend van dienst kan zijn.

¹ RBK = Rivierkundig Beoordelingskader (Rijkswaterstaat, 2019), zie ook hoofdstuk 5 (RBK5 = versie 5).

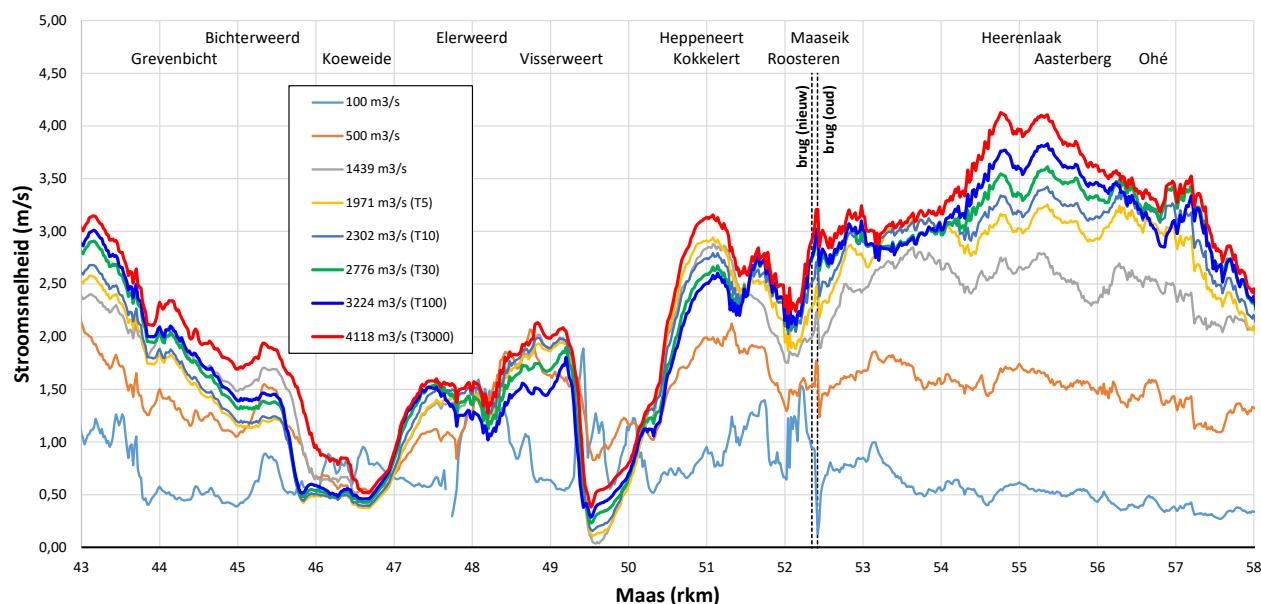
Omdat zowel de oplevering van het inlaatwerk van Heerenlaak als de oplevering van de nieuwe Pater Sangersbrug in 2025 geacht worden plaats te vinden, is het op dit moment niet duidelijk in welke volgorde dit het geval zal zijn. Om deze reden worden twee varianten van het referentiemodel gebouwd:

1. Referentie 1: deactualisatie van project Contelmo en van het inlaatwerk van Heerenlaak,
2. Referentie 2: deactualisatie van alleen het project Contelmo.

In Bijlage 1-1 tot en met Bijlage 1-4 is de modellering van deze beide varianten van de referentiesituatie afgebeeld. De figuren laten achtereenvolgens de geometrie en de ruwheidscodes ten behoeve van de hydraulische ruwheden zien. Alleen met Referentie 1 (ook wel: scenario 1) zijn modelsimulaties uitgevoerd. In Bijlage 1-5 zijn de maximale stroomsnelheden te zien (T3000-hoogwater). De hierbij behorende stroomlijnen zijn in Bijlage 1-6 te zien. Referentie 2 fungeert alleen als tussenproduct om bij de modellering van de Pater Sangersbrug op door te bouwen. Het waterstandseffect van de deactualisatie is in Figuur 2-2 te zien. Omdat de twee rivierverruimingsprojecten Heerenlaak en Contelmo ontbreken, is er sprake van hogere waterstanden. De grafiek laat het omgekeerde effect van deze twee maatregelen zien.



Figuur 2-2 Waterstandseffect in de rivieras van de deactualisatie (scenario 1) bij een T100- en een T3000-hoogwater ($Q=3224$ resp. $4118 \text{ m}^3/\text{s}$), vergelijking met gm01_2023_5-v1



Figuur 2-3 Stroomsnelheden in scenario 1 bij alle beschouwde afvoerniveaus

De waterstanden van scenario 1 zijn voor scenario's 2 tot en met 7 het uitgangspunt en vormen vanaf nu de nullijn.

De stroomsnelheden in de Gemeenschappelijke Maas (Figuur 2-3 met een iets meer ingezoomde horizontale as) kennen een grillig verloop en laten de effecten van de reeds uitgevoerde rivierverruimingsprojecten zien. Bij rkm 50 eindigt het laatste Vlaamse rivierverruimingsproject Elerweerd en bij rkm 50,5 eindigt Visserweert (de laatste locatie van het Nederlandse Grensmaasproject). Vanaf dit punt zijn dan ook hogere stroomsnelheden te zien, vooral bij Kokkelert (rkm 51) en in de bocht van de plas Heerenlaak (rkm 52,9 - 57,4).

2.2 Scenario 2: Bouwfase Pater Sangersbrug (zonder Heerenlaak)

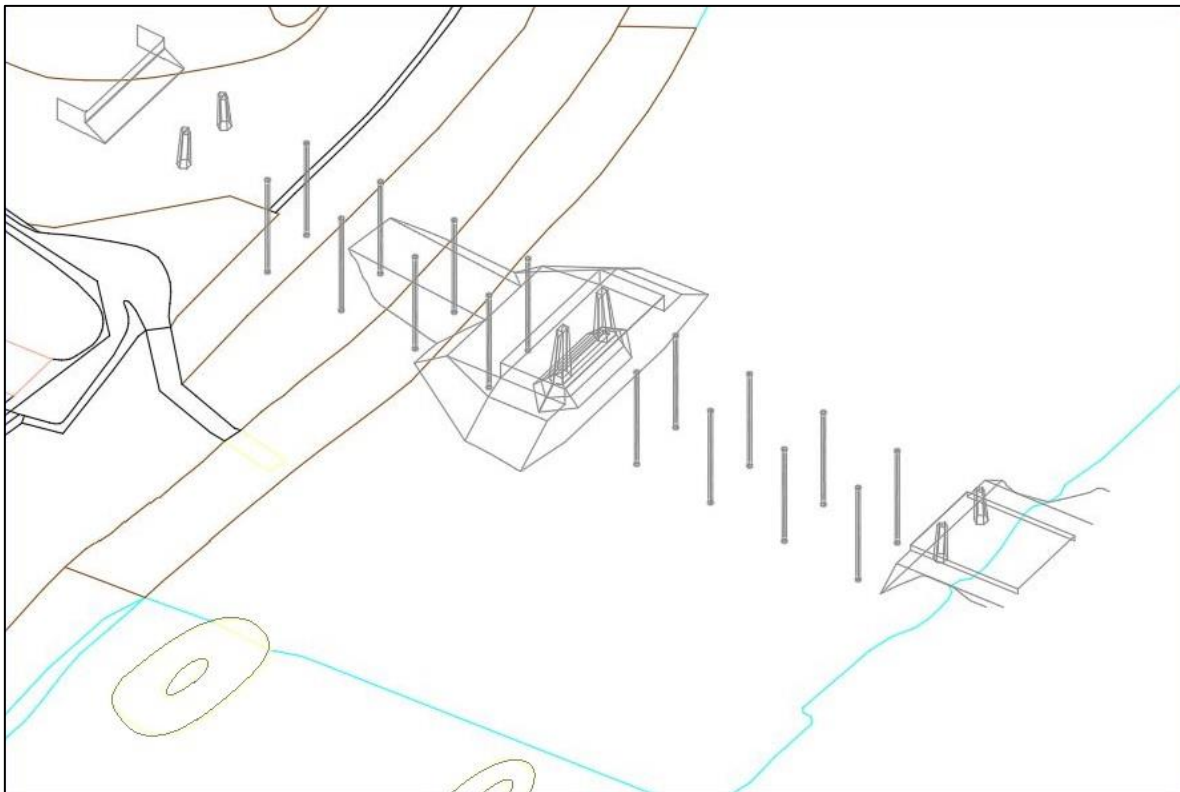
Het meest kritieke uitvoeringsstadium van de bouw van de nieuwe Pater Sangersbrug is het moment dat er drie bouwputten rondom de te bouwen pijlers zijn, waarvan de middenpijl de grootste is. Rondom de middelste bouwput is een bouweland gepland dat via een dwarsdam met de oever van de Schansberg verbonden is. Vanaf deze zijde zullen de bouwmaterialen worden aangevoerd. In de rivier zijn ook 16 buispalen geplaatst om het in aanbouw zijnde wegdek tijdelijk te ondersteunen. De bestaande brug met de twee pijlers, die juist in het verlengde van de twee nieuwe brugopeningen staan, is dan nog in gebruik (zie Figuur 2-4 en Figuur 2-5). Het is gemakkelijk in te zien dat deze situatie tot veel stromingsweerstand leidt. De modellering van deze bouwfase in Baseline en WAQUA is in Bijlage 2-1 tot en met Bijlage 2-6 afgebeeld: bodemhoogten, ruwheden en overlaten (ofwel harde randen).

De hydraulische modellering heeft over het gehele afvoerspectrum plaatsgevonden. De waterstandseffecten in de rivieras (Figuur 2-6) laten voor de diverse afvoerniveaus een opvallend eensluidend beeld zien. Het opstuwend effect bedraagt 91 mm voor het T100-hoogwater en 78 mm voor het T3000-hoogwater. Bijlage 2-7 en Bijlage 2-8 tonen een ruimtelijk beeld van de waterstandseffecten voor deze beide afvoerniveaus².



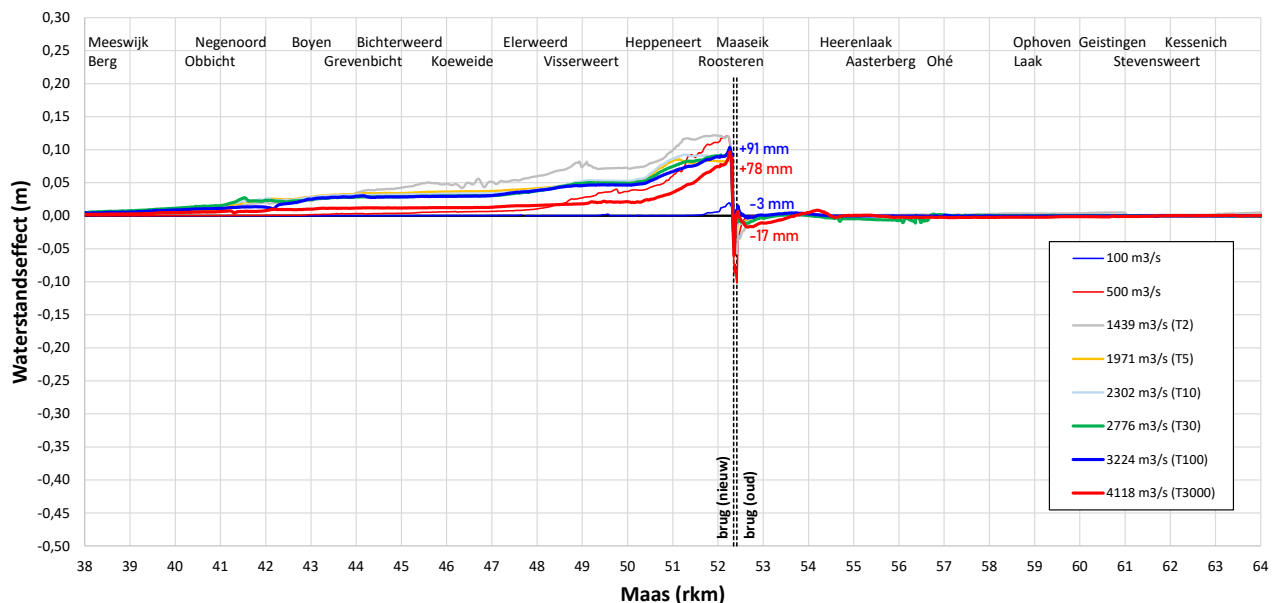
Figuur 2-4 Bouwfase pijlers met buispalen, bouwputten en toegangsdam vanuit de Schansberg (boven-aanzicht) met de bestaande brug nog in gebruik, bron: De Vlaamse Waterweg, 2023 (bewerkt)

² Bijlage 2-7 verradt dat het noordelijke dijktraject van Roosteren bij een T100-hoogwater instroomt, wat volgens de normering niet het geval mag zijn. Bij het hoogwater van 2021 bleek dit ook een zwak punt (voorbij het einde van het Grensmaasproject). Bijlage 2-8 laat een grootschalige instroming zien (T3000 overstijgt de norm).



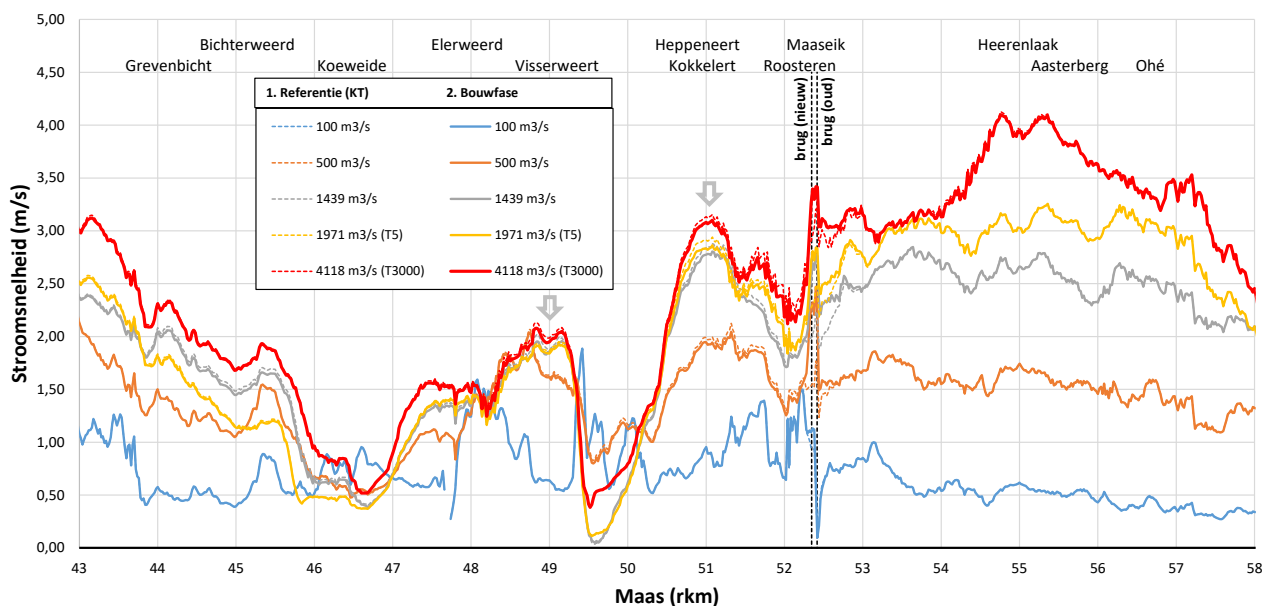
Figuur 2-5 Bouwfase pijlers met buispalen, bouwputten en toegangsdam vanuit de Schansberg (kijkrichting zuidwest) met de bestaande brug nog in gebruik (niet getekend, zie pijlers), bron: De Vlaamse Waterweg, 2023 (afbeelding bewerkt)

In Bijlage 2-7 en Bijlage 2-8 zijn enkele details te zien die niet uit de grafiek van Figuur 2-6 af te lezen zijn, zoals de lokale opstuwing juist voor de middelste bouwput (0,20 tot 0,25 m) en de opstuwing voor de nog bestaande aanbrug van de Schansberg, die hierdoor meer aangestroomd wordt (0,05 tot 0,10 m). De verticale schaal van het waterstandseffect is gestandaardiseerd omwille van de vergelijkbaarheid van de scenario's. De verhoogde waterstand vertaalt zich direct in een hogere waterstand van dezelfde orde van grootte langs de waterkeringen van Maaseik en Roosteren (Bijlage 2-7 en Bijlage 2-8).



Figuur 2-6 Waterstandseffect in de rivieras van scenario 2 bij alle afvoerniveaus (standaardschaal)

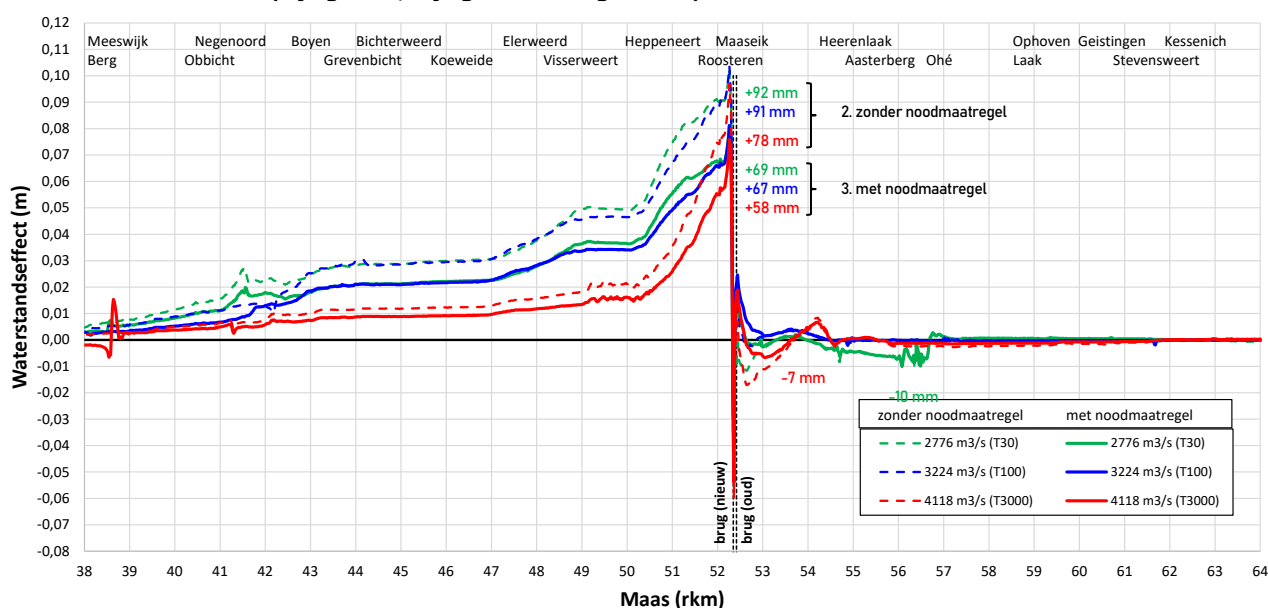
Het effect op de stroomsnelheid (zie uitvergroot detail in Bijlage 2-9) laat duidelijk de stromingsluwte achter de middelste bouwput zien alsmede de verhoogde stroomsnelheden aan weerszijden ervan. Het grootschalige effect van deze bouwphase op de stroomsnelheid in de Maas (Figuur 2-7) is bescheiden. Alleen aan stroomopwaartse zijde nemen de stroomsnelheden licht af, immers het stromingsprofiel is door de hogere waterstanden iets toegenomen. Aan stroomafwaartse zijde is de lokale verstoring snel uitgewerkt.



Figuur 2-7 Stroomsnelheden in de rivieras van scenario 2 bij de laagste vier afvoerniveaus en het T3000-hoogwater, vergelijking met scenario 1 (korte termijn)

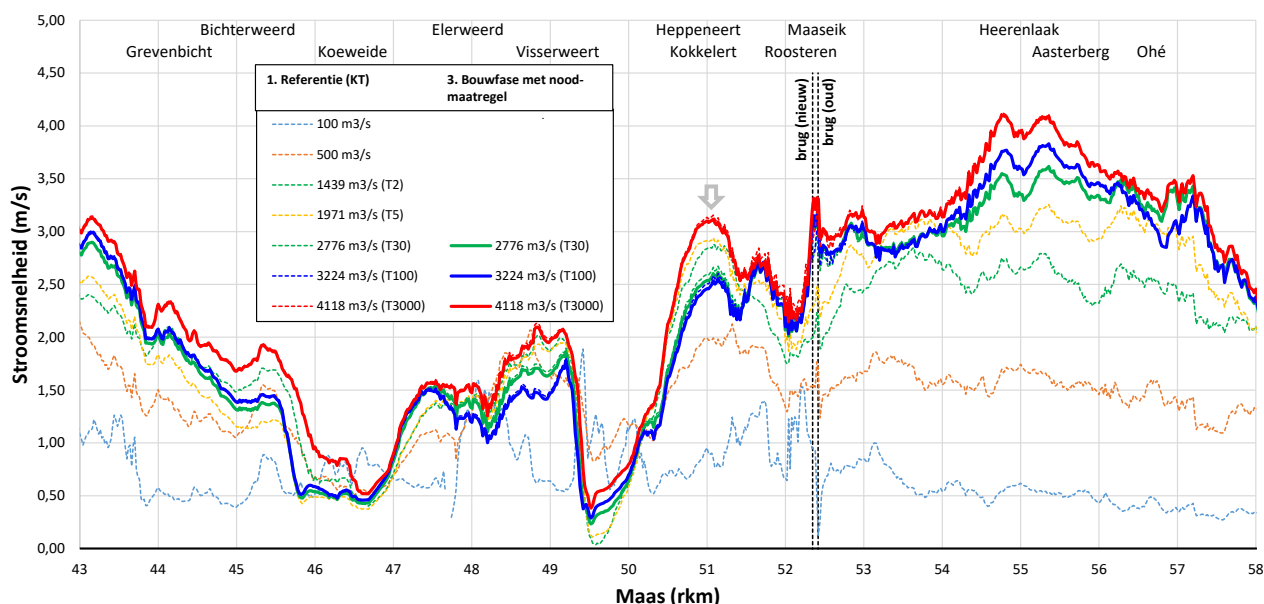
2.3 Scenario 3: Bouwphase Pater Sangersbrug met noodmaatregel (zonder Heerenlaak)

Als zich tijdens dit uitvoeringsstadium een hoogwater voordoet, is het verwijderen van de verbindingsdam een voor de hand liggende noodmaatregel. Wat dit voor de geometrie, ruwheden en overlaatligning betekent, is in Bijlage 3-1 tot en met Bijlage 3-6 te zien. De piekwaterstanden dalen hierdoor 20 tot 24 mm, afhankelijk van het afvoerniveau in kwestie, maar blijven nog steeds boven de nullijn van de referentiesituatie (Bijlage 3-7, Bijlage 3-8 en Figuur 2-8).



Figuur 2-8 Waterstandseffect in de rivieras van scenario's 2 en 3 bij een T100- en T3000-hoogwater (3224 resp. 4118 m³/s, let op: gewijzigde schaal ten opzichte van Figuur 2-6)

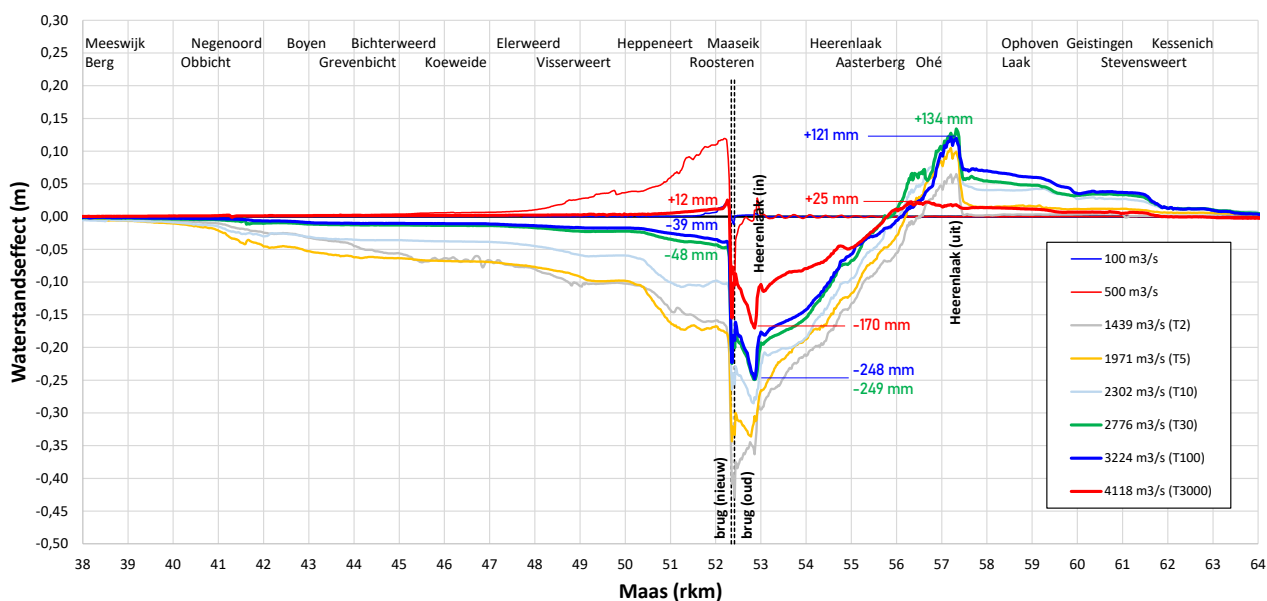
In het grotere geheel is het beeld voor de stroomsnelheden voor scenario 3 niet heel anders dan bij scenario 2 (Bijlage 3-9, Figuur 2-9), daarvoor is de invloed van de verwijderde dam te lokaal.



Figuur 2-9 Stroomsnelheden in de rivieras van scenario 3 bij de laagste vier afvoerniveaus en het T3000-hoogwater, vergelijking met scenario 1 (korte termijn)

2.4 Scenario 4: Bouwfase Pater Sangersbrug (Heerenlaak met twee elementen)

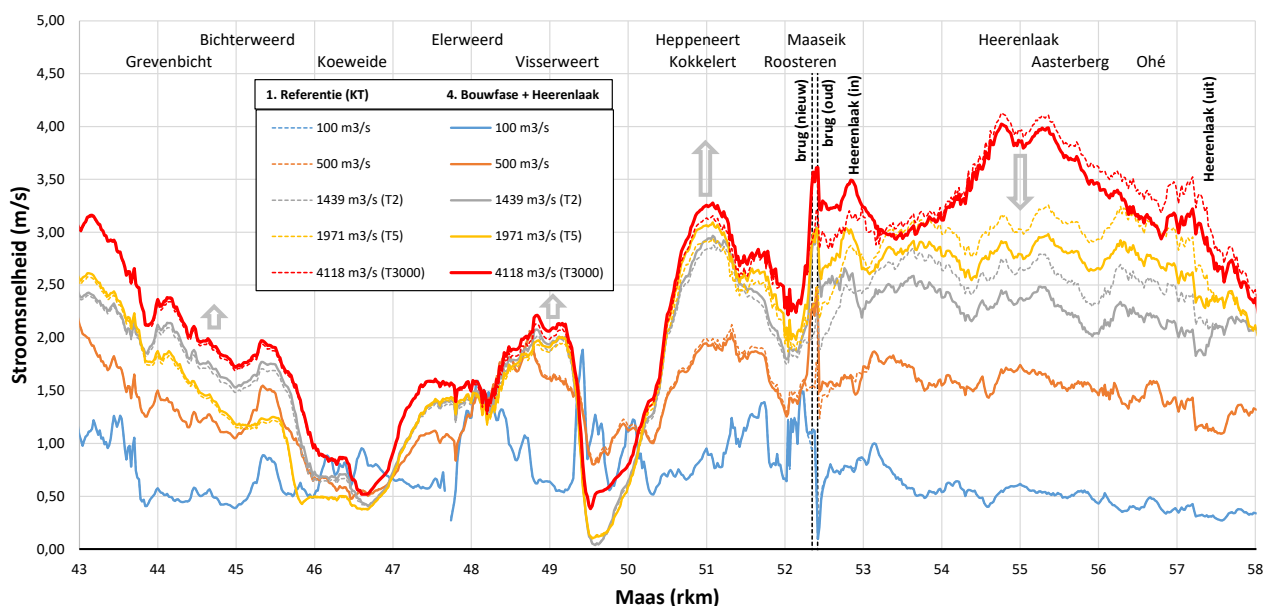
De bouwfase van de Pater Sangersbrug vindt ongeveer gelijktijdig plaats met de aanleg van het inlaatwerk van Heerenlaak, waardoor de plas bij hoogwater zal kunnen meestromen. In eerste instantie zal dit inlaatwerk voor 67% (twee van de drie doorstroombare elementen) inzetbaar zijn, zolang het tegenover liggende project Contelmo niet gerealiseerd is. De waterstandsvaling van deze maatregel is aanzienlijk. Als het inlaatwerk operationeel is tijdens deze meest kritische bouwfase (Bijlage 4-1) wordt de opstuwing bij benadering gecompenseerd. Bij alle afvoerniveaus tot en met een T100-hoogwater is de compensatie meer dan volledig, alleen bij een T3000-hoogwater is er nog 12 mm opstuwing bovenstrooms van de brug over (Figuur 2-10, Bijlage 4-3, Bijlage 4-4). De grafiek laat ook zien dat het project Heerenlaak een benedenstrooms waterstandverhogend effect tot Maasbracht (rkm 64) heeft, de locatie waar de Oude Maasarm in de Maas uitkomt.



Figuur 2-10 Waterstandseffect in de rivieras van scenario 4 bij alle afvoerniveaus (standaardschaal)

Door de meestromende plas stroomt er meer debiet door de Maas en minder door de Oude Maas, een effect dat door project Contelmo gecompenseerd zal worden (hier komt paragraaf 4.2 nog uitgebreider op terug). Om deze reden zijn tot de uitvoering van laatstgenoemd project slechts twee van de drie doorstroombare elementen actief. De waterstandsdeling aan bovenstroomse zijde (waar de dijkhoogten van Heppeneert, Maaseik en Roosteren kritisch zijn) is aanzienlijk groter dan de benedenstroomse verhoging, zodat er cumulatief sprake is van waterstandsdeling in de Maas. Een tijdige beschikbaarheid van het inlaatwerk is gunstig voor de waterstanden, zeker voor de bouwplaats van de nieuwe brug.

Het effect van het inlaatwerk op de stroomsnelheden (ook op de plas) is substantieel (Bijlage 4-5). De bouwplaats wordt hierdoor hydraulisch iets zwaarder belast (zie detail in Bijlage 4-5). Het grotere beeld voor de stroomsnelheden op de rivier laat zien, dat bij hoogwater de stroomsnelheden bovenstrooms van het inlaatwerk (rkm 52,9) toenemen en parallel aan de plas (rkm 52,9 – 57,4) juist afnemen (Figuur 2-11, Bijlage 4-5), omdat een plas over deze lengte een deel van de Maasafvoer overneemt. De grafiek laat ook bij lagere hoogwaters (T2 en T5) het effect zien, dat nog groter is. Omwille van de leesbaarheid van de grafiek zijn de tussenliggende hoogwaterniveaus (T30 en T100) weggelaten.



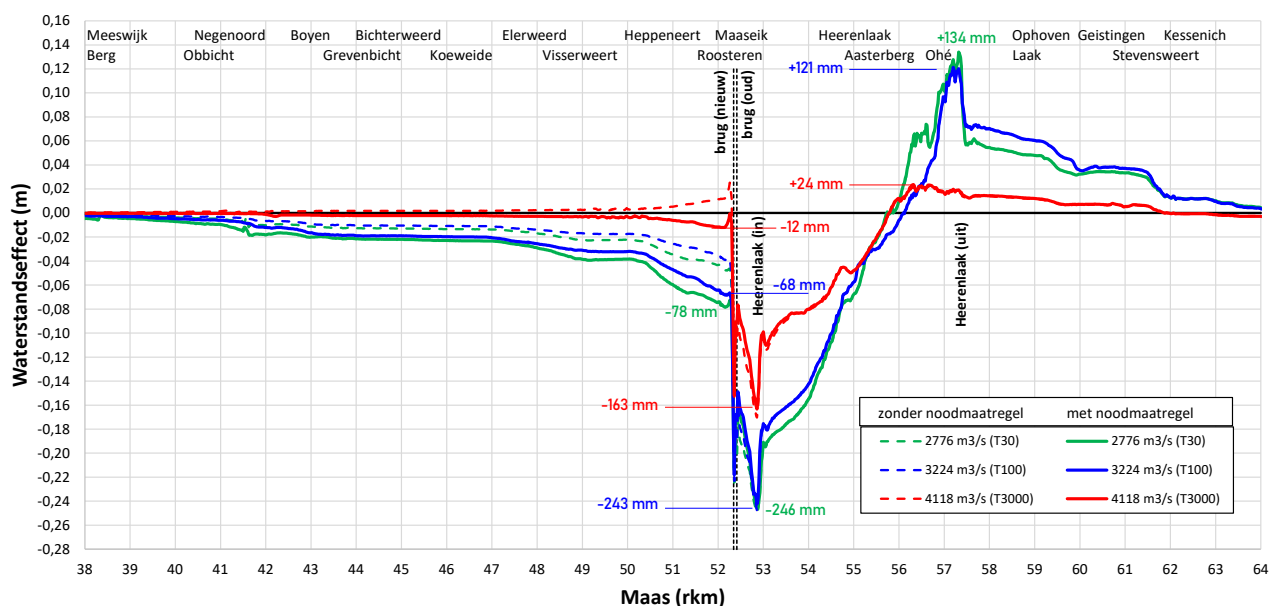
Figuur 2-11 Stroomsnelheden in de rivieras van scenario 4 bij de laagste vier afvoerniveaus en het T3000-hoogwater, vergelijking met scenario 1 (korte termijn)

Voor een uitgebreidere beschrijving van de effecten van project Heerenlaak wordt naar de achtergrondrapportage van de MER-studie verwezen (Meijer, 2021).

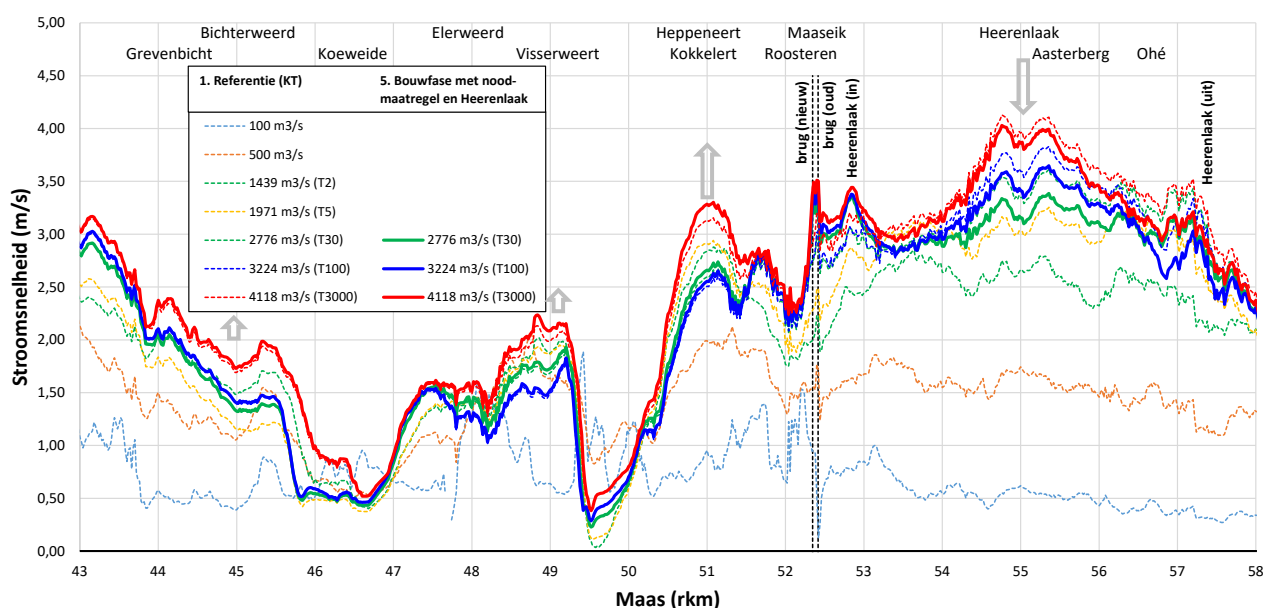
2.5 Scenario 5: Bouwphase Pater Sangersbrug met noodmaatregel (Heerenlaak met twee elementen)

Een combinatie van het operationele inlaatwerk en een noodmaatregel (Bijlage 5-1) geeft de best denkbare compensatie voor de waterstanden in de bouwphase van de nieuwe Pater Sangersbrug. De hoogwaterstanden zakken nu nog 24 tot 30 mm verder, afhankelijk van het beschouwde afvoerniveau. De bouwplaats geeft nog steeds een aanzienlijke opstuwing, maar de compensatie is in alle gevallen meer dan volledig (Figuur 2-12, Bijlage 5-3, Bijlage 5-4). Het effect bij het T30-hoogwater is ongeveer gelijk aan dat bij het T100-hoogwater. Zelfs bij het T3000-hoogwater zakt de waterstand bovenstrooms van de brug nu onder de nullijn van de referentiesituatie (-12 mm). Opnieuw valt het benedenstroomse effect van Heerenlaak op, dat al in paragraaf 2.4 uitgelegd is.

Omdat de waterstandsdeling van Heerenlaak nu iets sterker stroomopwaarts doorzet, is het effect op de toenemende stroomsnelheden ook iets merkbaarder (Figuur 2-13, Bijlage 5-5), al is het verschil met scenario 4 in het grotere geheel niet erg groot.



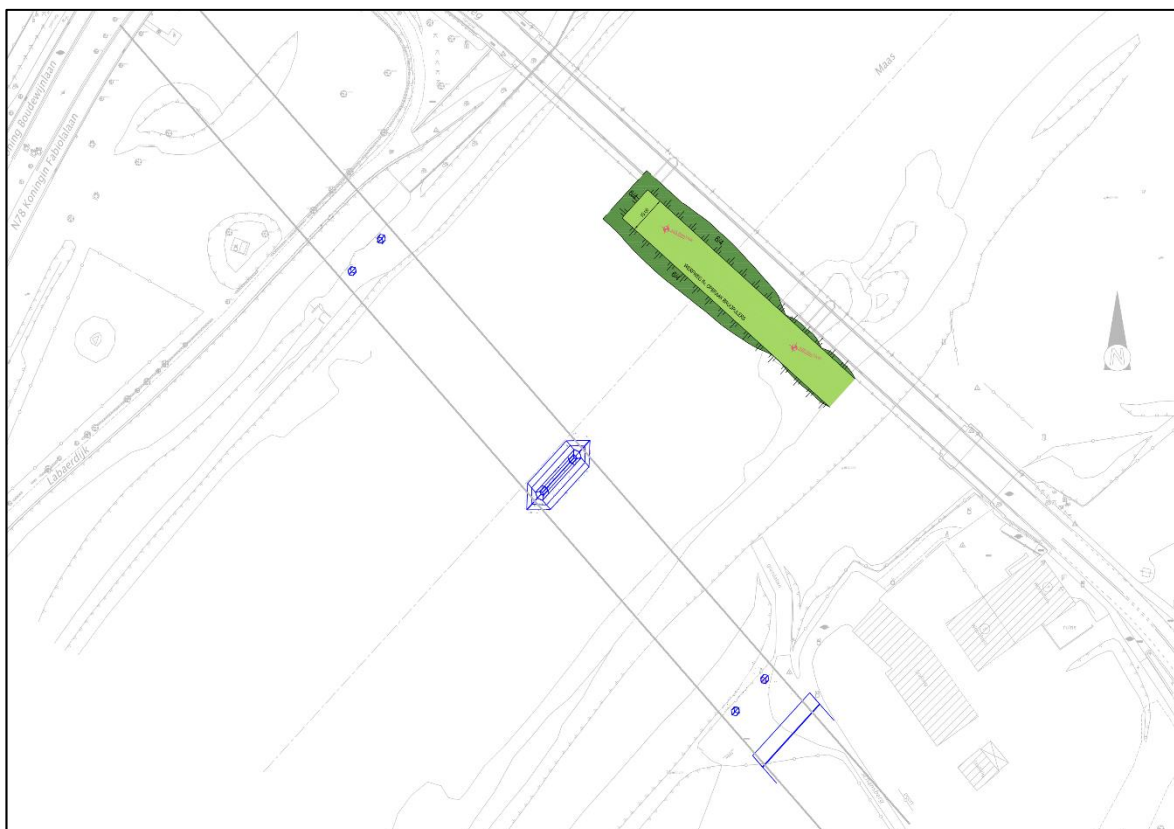
Figuur 2-12 Waterstandseffect in de rivieras van scenario 5 bij een T100- en T3000-hoogwater (3224 resp. 4118 m³/s, let op gewijzigde schaal ten opzichte van Figuur 2-10)



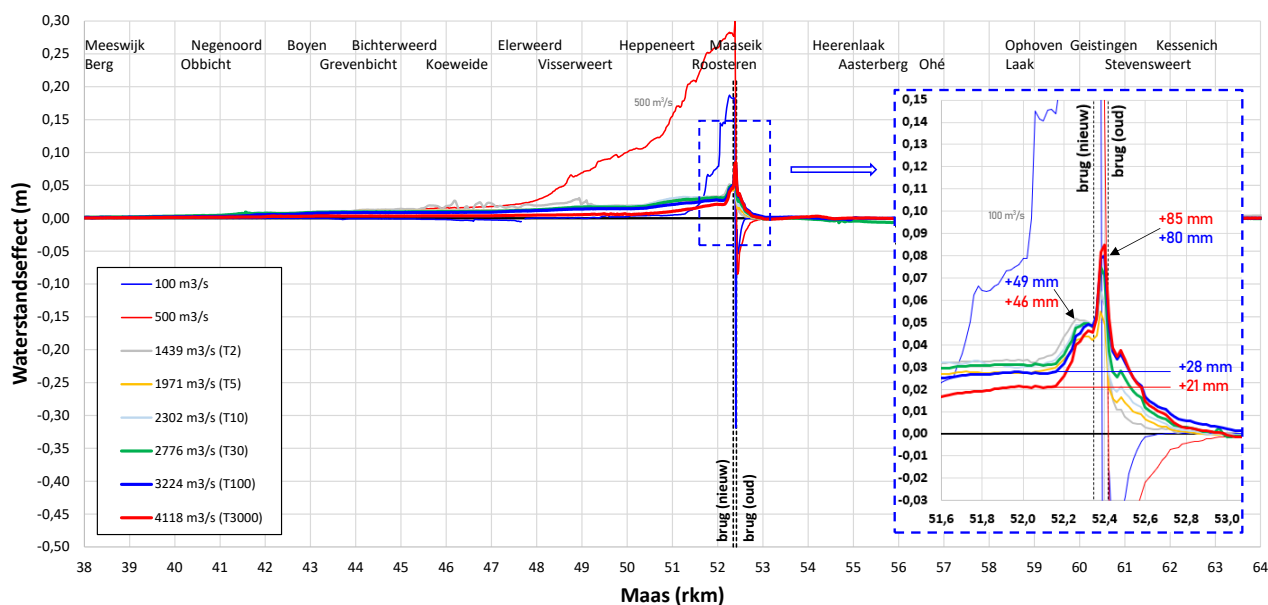
Figuur 2-13 Stroomsnelheden in de rivieras van scenario 5 bij de laagste vier afvoerniveaus en het T3000-hoogwater, vergelijking met scenario 1 (korte termijn)

2.6 Scenario 6: Pater Sangersbrug gereed en afbraak oude brug (zonder Heerenlaak)

Nadat de nieuwe brug gereed en in gebruik genomen is, is het tijd om de oude brug af te breken. Ook dit uitvoeringsstadium is gemodelleerd, omdat er sprake is van een hydraulisch obstakel. Voor de afbraak van de oude brug is een verbindingsdam nodig om de materialen af te voeren. Deze sloopdam verbindt de oude brug eveneens met de zuidelijke oever (de Schansberg). De sloopdam (25,00 m+TAW) ligt lager dan de inmiddels verwijderde bouwdam (26,50 m+TAW) en kan alleen bij lage afvoerniveaus tot ca. 250 m³/s gebruikt worden, ofwel ca. 260 dagen per jaar, uitgaande van minimaal 0,5 m vrijboord. Figuur 2-14 geeft een situatieschets. De modellering gaat ervan uit dat de herprofilering van de Nederlandse oever nog niet tot het einde doorgezet is, waardoor het einde abrupt is. Alle uitgangspunten zijn op een conservatieve waterstandsberekening gericht (Bijlage 6-1 tot en met Bijlage 6-6).



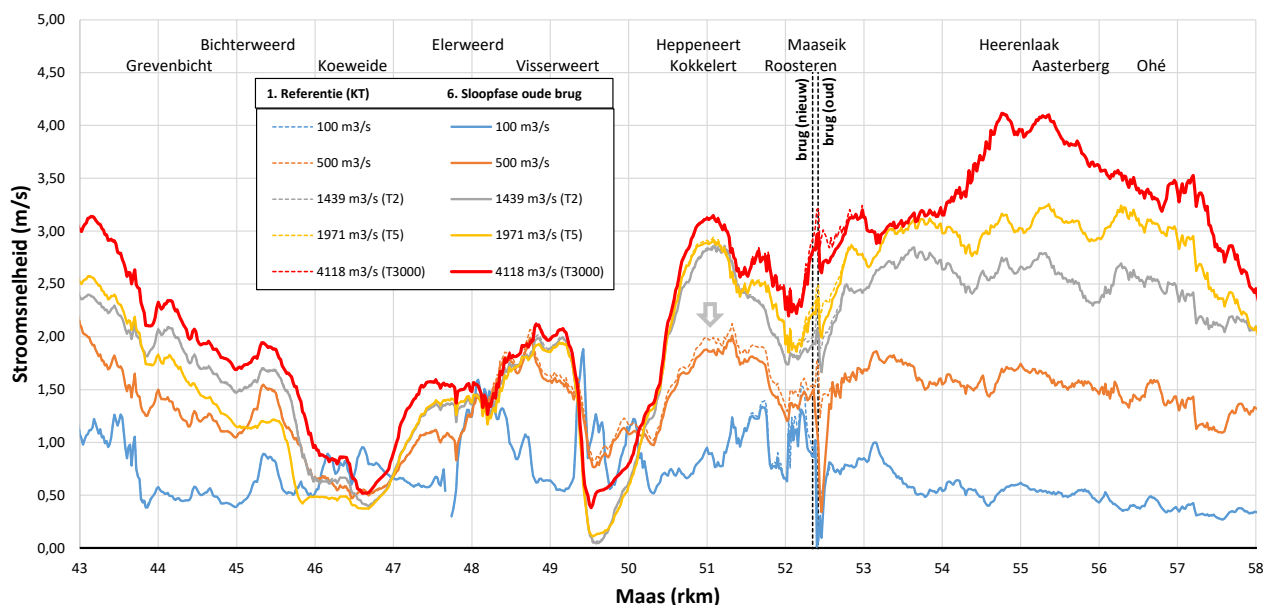
Figuur 2-14 Sloopdam voor afbraak van de oude brug na ingebruikname van de nieuwe brug (scenario 6), bron: De Vlaamse Waterweg, 2023 (afbeelding bewerkt)



Figuur 2-15 Waterstandseffect in de rivieras van scenario 6 bij alle afvoerniveaus (standaardschaal)

Het waterstandseffect is bij alle afvoerniveaus bepaald (Figuur 2-15). De grootste effecten (0,28 resp. 0,18 m) zien we bij de laagste afvoeren (100 en 500 m³/s) omdat de profielvernauwing hierbij relatief het grootst is. Ten aanzien van de hoogwatereffecten (T100- resp. T3000-hoogwater) zijn er drie typen opstuwings: de lokale opstuwings door de sloopdam (80 resp. 85 mm), een lokale verstoring juist stroomopwaarts van de nieuwe pijler (46 resp. 49 mm) en een relatief ongestoord resteffect van deze opstuwings in de rivieras (21 resp. 28 mm) dat langzaam in stroomopwaartse richting uitdempt. Deze laatste getallen worden als het effect van scenario 6 op de rivierwaterstand beschouwd, zie ook Bijlage 6-7 en Bijlage 6-8.

Het effect op de stroomsnelheid is vooral lokaal (zie detailuitsnede in Bijlage 6-9). De stroomsnelheid achter de dam neemt aanzienlijk af. Daarvoor is er een aanzienlijke toename in stroomsnelheid in het linkerdeel van de stroomgeul en langs de oever van Maaseik. Figuur 2-16 laat het effect op de stroomsnelheden op de schaal van de rivier zien. Alleen bij 500 m³/s is er enig effect op de stroomsnelheden te zien. Dit is rechtstreeks terug te voeren op het waterstandseffect bij deze Maasafvoer (Figuur 2-15).



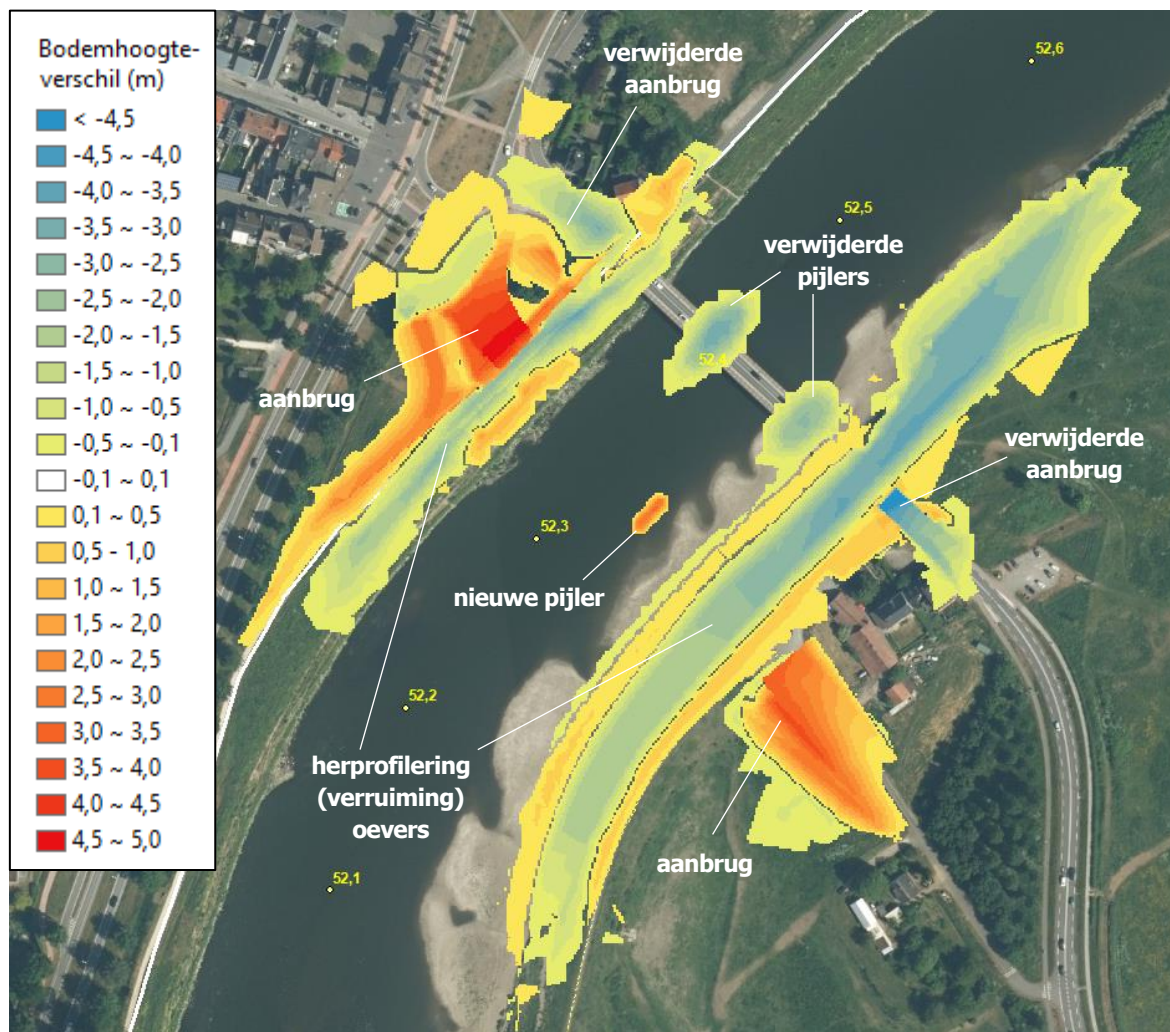
Figuur 2-16 Stroomsnelheden in de rivieras van scenario 6 bij de laagste vier afvoerniveaus en het T3000-hoogwater, vergelijking met de referentiesituatie (korte termijn)

Om het waterstandseffect van 28 resp. 21 mm bij een T100- resp. T3000-hoogwater te vermijden is er ook in dit afbraakstadium van de oude brug een noodmaatregel denkbaar: het verwijderen van de dam. Dit zal naar verwachting het effect reduceren, maar mogelijk niet geheel tot nul. Ook is het waarschijnlijk dat in dit stadium de inlaat van Heerenlaak al operationeel is. In dat geval zal er in het geheel geen opstuwing ten opzichte van de referentiesituatie overblijven en een netto waterstandsvaling resteren.

Deze varianten zijn niet nader uitgewerkt maar kunnen op basis van de overige resultaten en een expertoordeel als zodanig beoordeeld worden.

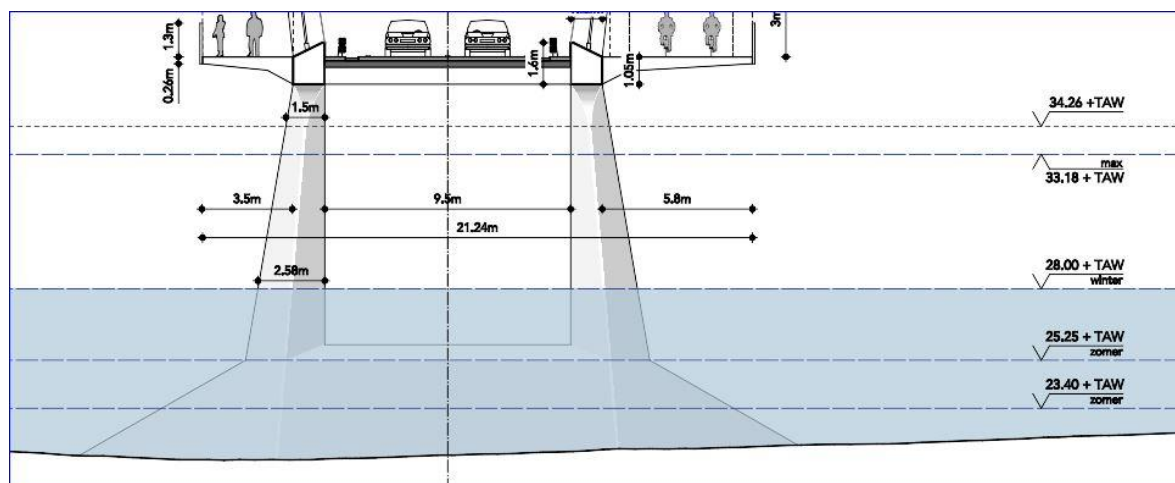
2.7 Scenario 7: Pater Sangersbrug gereed (Heerenlaak met twee elementen)

Nadat de brug gereed is, is er sprake van een aanzienlijk gerealiseerd grondverzet. Figuur 2-17 laat de locaties zien waar sprake is van ontgraving respectievelijk aanvulling.



Figuur 2-17 Bodemhoogteverschil ten opzichte van scenario 1 (waterkering in wit)

De nieuwe middenpijler (Figuur 2-18) bestaat uit een fundament met hierop twee verticale dragers waarop het wegdek zich bevindt. Tussen de dragers is er lege ruimte. Het fundament is in de bodemhoogte gemodelleerd. De dragers zijn als hoogwatervrije vlakjes gemodelleerd (zie Bijlage 7-2).



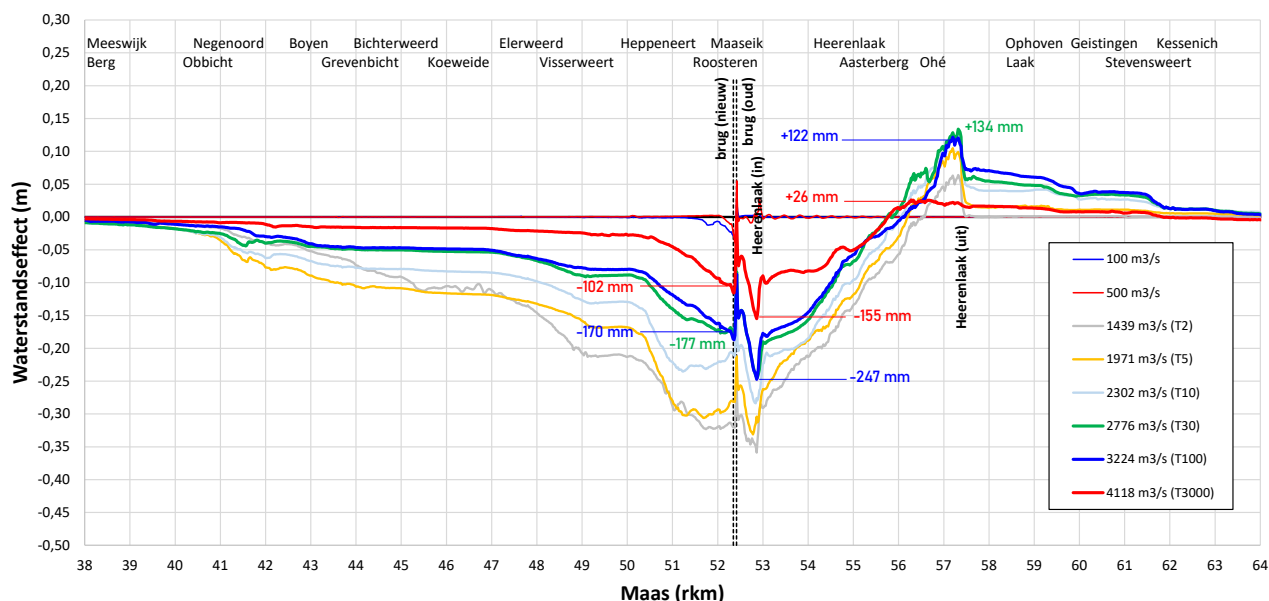
Figuur 2-18 Lengtedoorsnede en hoogten van de middenpijler (De Vlaamse Waterweg, 2023)

In totaal is er sprake van een netto onttrekking van bijna 15.000 m³ (Tabel 2-1). Hoewel dit getal zowel binnen- als buitendijks bepaald is (Figuur 2-17), is er per saldo aan de buitendijkse zijde (rivierzijde) met zekerheid sprake meer rivierverruiming dan 15.000 m³, omdat binnendijks bij Maaseik een grote aanvulling in de vorm van een aanbrug en een verhoogde verbindingsweg ligt. Deze hoeveelheid heeft geen rivierkundige invloed, waardoor een zuiver buitendijkse grondbalans ruimer zou uitvallen.

Tabel 2-1 Volumeanalyse eindsituatie

Volume (m ³)	
onttrekking	-34.050
aanvulling	19.176
totaal	-14.873

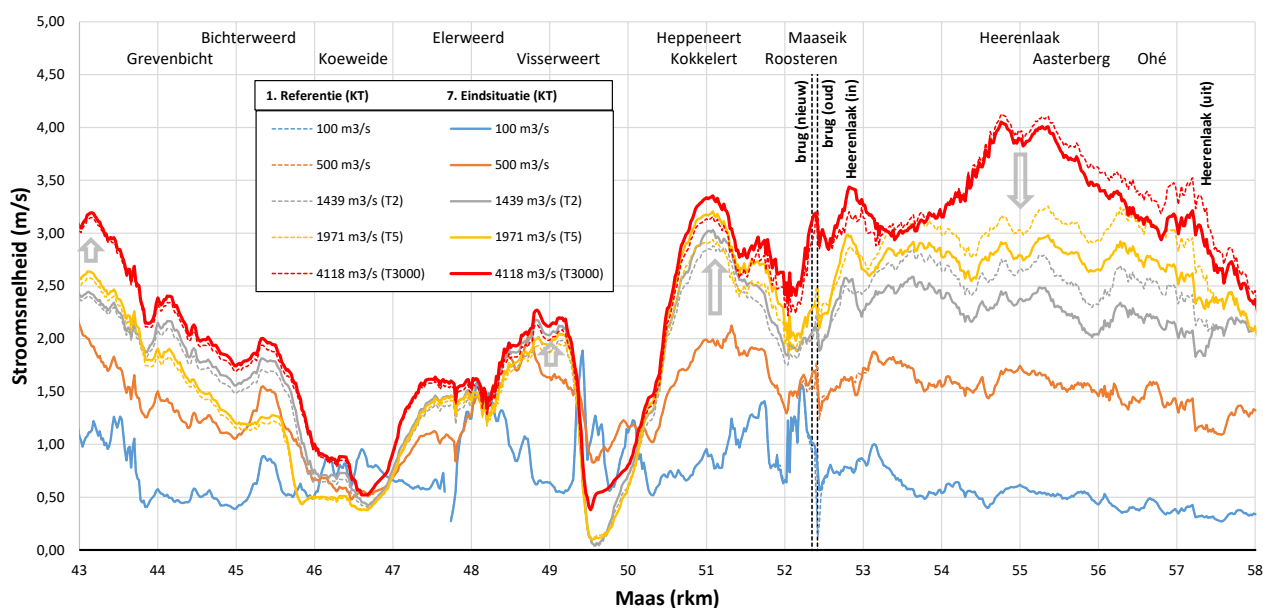
De modellering gaat ervan uit dat na de bouw van de nieuwe brug en de sloop van de oude brug ook de inlaat van Heerenlaak voltooid zal zijn (Bijlage 7-1). De modellering van de Pater Sangersbrug staat in Bijlage 7-2 tot en met Bijlage 7-6 in detail gepresenteerd. Het waterstandseffect is een gecombineerd effect van de meestromende plas Heerenlaak en de nieuwe brug, waarin Heerenlaak verreweg het grootste aandeel heeft (Figuur 2-19, Bijlage 7-7 en Bijlage 7-8). Het singuliere effect van de Pater Sangersbrug blijkt niet uit deze berekening, maar dit is ook een netto waterstandsvaling³. Opnieuw valt het benedenstroomse effect van Heerenlaak op, dat al in paragraaf 2.4 uitgelegd is.



Figuur 2-19 Waterstandseffect in de rivieras van scenario 7 bij alle afvoerniveaus (standaardschaal)

Ook ten aanzien van de stroomsnelheden is het effect van de meestromende plas verreweg dominant (Figuur 2-20): bovenstrooms van de inlaat is er door de waterstandsvaling een toename van stroomsnelheden en parallel aan de plas Heerenlaak een afname, doordat de plas een deel van de Maasafvoer overneemt, overeenkomstig de beschrijving bij scenario's 4 en 5. Omdat het werk nu voltooid is, ondervindt de waterstandsvaling (en dus ook het stroomsnelheidseffect) minder weerstand om zich in stroomopwaartse richting voort te zetten. De detailuitsnede van Bijlage 7-9 laat ook zien dat er bij de brug geen lokale obstakels meer zijn. Vooral het effect van de verwijderde pijlers is goed te zien.

³ Dit wordt in paragraaf 3.2 van het volgende hoofdstuk bevestigd.



Figuur 2-20 Stroomsnelheden in de rivieras van scenario 7 bij de laagste vier afvoerniveaus en het T3000-hoogwater, vergelijking met scenario 1 (korte termijn)

2.8 Samenvatting van de resultaten

De maximale waterstandseffecten van de beschouwde scenario's voor de korte termijn staan in Tabel 2-2 samengevat. Per afvoerniveau geeft de eerste kolom het waterstandseffect op de rivier bovenstrooms van de brug weer, ontgaan van lokale effecten als brugpijlers en bouwputten. De tweede kolom geeft het effect aan benedenstroomse zijde. Scenario's waar Heerenlaak deel van uitmaakt hebben steeds twee getallen: dit zijn achtereenvolgens de maximale waterstandsval en het maximale benedenstroomse effect van de meestromende plas.

Tabel 2-2 Maximale waterstandseffecten van de beschouwde scenario's (opstuwung in rood)

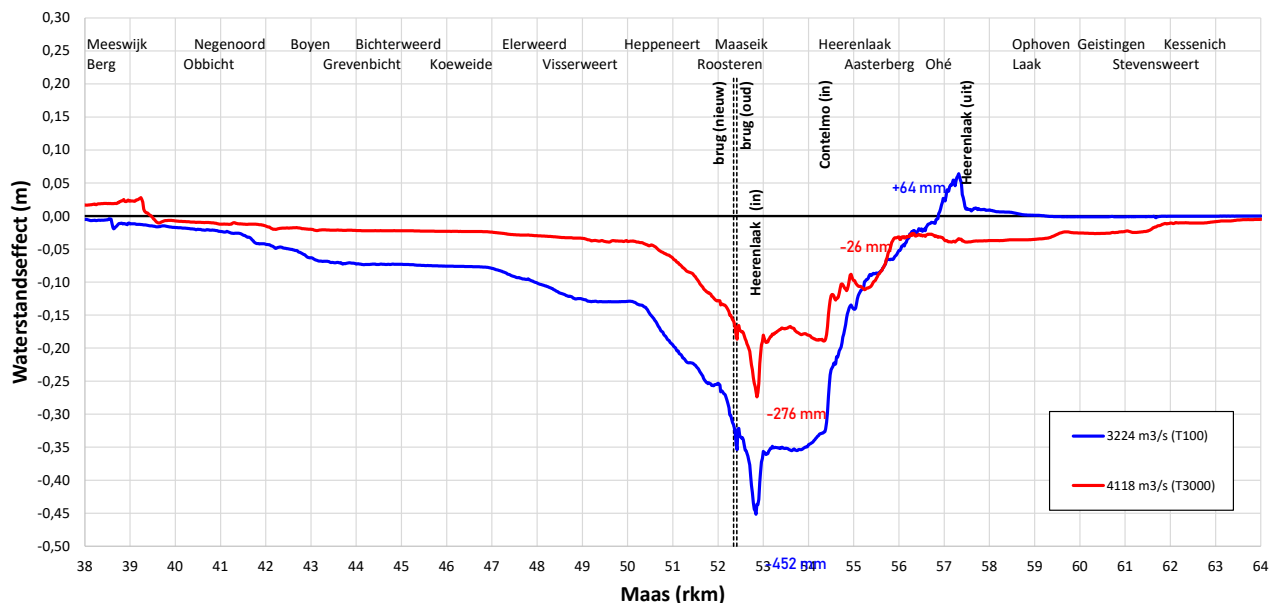
scenario	1. Korte termijn	Pater Sangersbrug	variant	T100 (3224 m³/s)		T3000 (4118 m³/s)	
				boven	beneden	boven	beneden
1	Referentiesituatie		gm01_psb_ref1	-	-	-	-
2	Bouwfase zonder Heerenlaak	bouwfase	gm01_psb1a_a1	+0,091	-0,003	+0,078	-0,017
3		bouwfase + noodmaatregel	gm01_psb1b_a1	+0,067	-0,002	+0,058	-0,007
4	Bouwfase met Heerenlaak (2 elementen)	bouwfase	gm01_psb2a_a1	-0,039	-0,248 +0,121	+0,012	-0,170 +0,025
5		bouwfase + noodmaatregel	gm01_psb2b_a1	-0,068	-0,243 +0,121	-0,012	-0,163 +0,024
6	Afbraak oude brug (uitvoeringsfase)	gereed oude in sloop	gm01_psb3_a1	+0,028	-0,003	+0,021	-0,002
7	Brug gereed met Heerenlaak (2 elementen)	gereed	gm01_psb4_a1	-0,170	-0,247 +0,122	-0,102	-0,155 +0,026

Samenvattend kan worden gesteld dat de bouwfase en de sloopfase zonder compensatie door Heerenlaak (scenario's 2, 3 en 6) tot netto opstuwung leiden. De noodmaatregelen helpen in alle gevallen (bij scenario 6 is dit niet onderzocht maar op basis van een expertoordeel wordt dit gesteld). Ingebruikname van de inlaat van Heerenlaak voor aanvang van de bouw van de nieuwe Pater Sangersbrug is daarom aan te bevelen om tussentijdse waterstandsverhogingen in het geval van een hoogwater te voorkomen. In de afbraakfase zal de compenserende werking hiervan ook voldoende zijn (ook op basis van een expertoordeel en de overige resultaten gesteld).

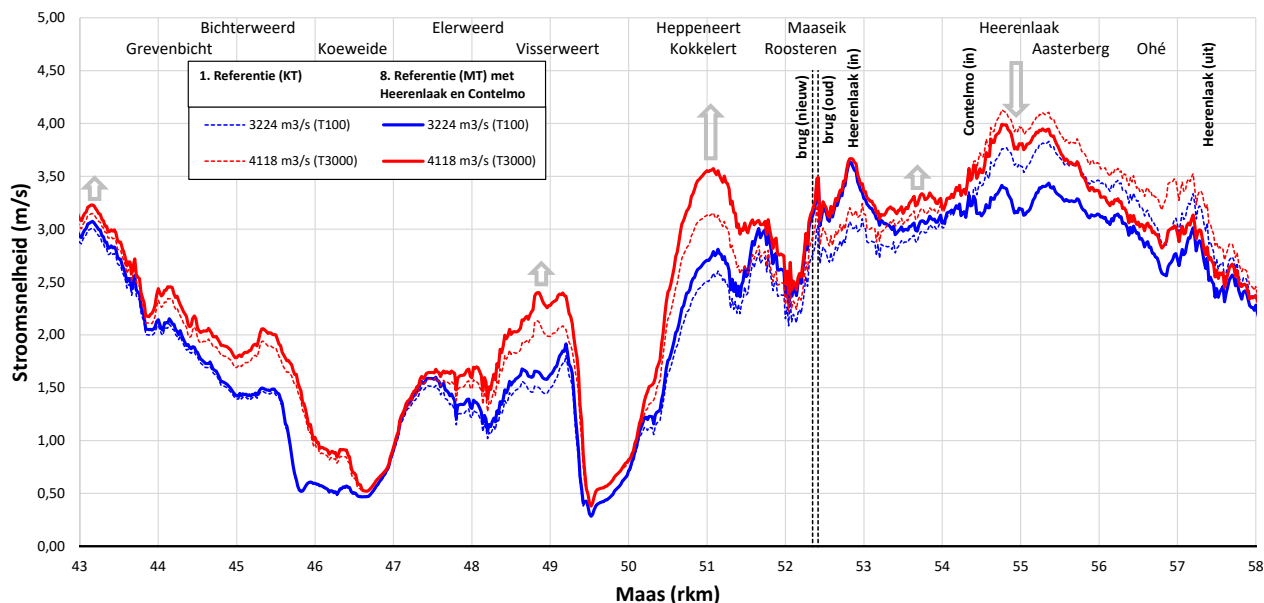
3 Effectbeoordeling voor de middellange termijn (vanaf 2030)

3.1 Scenario 8: Referentiesituatie middellange termijn (met Heerenlaak en Contelmo gereed)

Op de middellange termijn geldt als uitgangspunt dat de projecten Heerenlaak (met drie operationele doorstroombare elementen) en Contelmo uitgevoerd zijn (zichtjaar ca. 2030). Deze referentiesituatie bevat nog de huidige (oude) Pater Sangersbrug (Bijlage 8-1 en Bijlage 8-2). Figuur 3-1 laat het waterstandsverschil tussen de oude en de nieuwe referentiesituatie zien, zijnde het effect van beide maatregelen. De grafiek toont het omgekeerde van Figuur 2-1. Zoals beoogd zorgt de aanwezigheid van project Contelmo voor een volledige compensatie van het benedenstroomse effect van Heerenlaak (T100-hoogwater). Bij het T3000-hoogwater is er zelfs sprake van een waterstandsddaling omdat Contelmo bij dit afvoerniveau meer dan evenredig als rivierverruimingsmaatregel bijdraagt.



Figuur 3-1 Waterstandseffect in de rivieras (standaardschaal): scenario 8 (referentiesituatie middellange termijn met project Contelmo en de inlaat van Heerenlaak (3 elementen)) ten opzichte van scenario 1 (referentiesituatie voor de korte termijn) bij een T100- en T3000-hoogwater (3224 resp. 4118 m³/s)



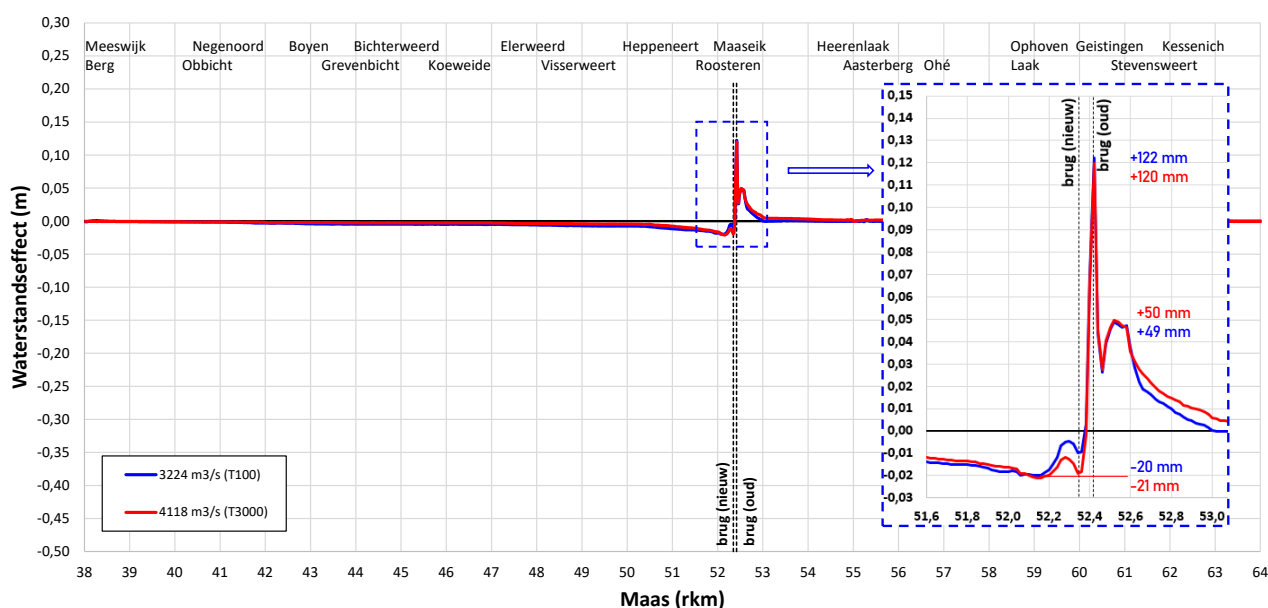
Figuur 3-2 Stroomsnelheden in de rivieras van scenario 8 (referentiesituatie middellange termijn) bij de laagste vier afvoerniveaus en het T3000-hoogwater, vergelijking met scenario 1 (referentiesituatie voor de korte termijn)

Figuur 3-2 laat zien dat de stroomsnelheden bovenstrooms van inlaat Heerenlaak toenemen en parallel aan de plas afnemen. Toch zijn er verschillen met eerdere stroomsnelheidsgrafieken waarin Heerenlaak operationeel is. Het effect is nu groter, omdat Heerenlaak nu meer capaciteit heeft en omdat Contelmo ook meedoet. Ten tweede ligt het omslagpunt nu niet bij de inlaat van Heerenlaak, maar bij de inlaat van Contelmo.

De resultaten van scenario 8 zijn voor scenario's 9 en 10 het uitgangspunt en vormen vanaf nu de nullijn. De locaties van Heerenlaak en Contelmo worden dan ook niet meer in de grafieken aangeduid, omdat ze niet meer onderscheidend zijn. Ze zijn immers bestanddeel van zowel de (nieuwe) referentiesituatie als de eindsituatie.

3.2 Scenario 9: Pater Sangersbrug gereed (middellange termijn met Heerenlaak en Contelmo gereed)

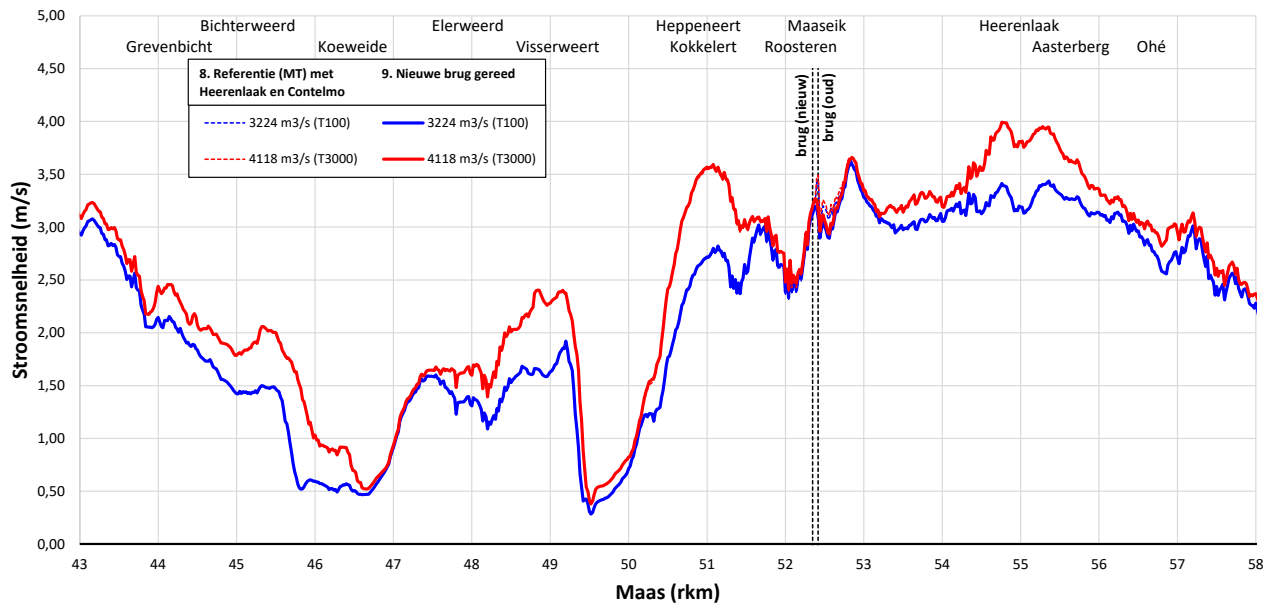
Binnen de geometrie van de nieuwe referentiesituatie wordt nu het effect van de nieuwe Pater Sangersbrug getoetst. Bijlage 9-1 laat deze combinatie van ingrepen zien. Scenario 9 laat als enige het singuliere effect (ontstaan van alle uitvoeringsstadia en omliggende projecten) van de nieuwe brug zien en vormt daarmee de feitelijke effectbeoordeling zoals bedoeld in het RBK5. Hieruit blijkt dat de nieuwe brug ten opzichte van de oude brug voor een waterstandsval van maximaal 20 resp. 21 mm zorgt (T100- resp. T3000-hoogwater). Het benedenstroomse effect is maximaal 49 resp. 50 mm. Ter plaatse van de verdwenen oude brug is er een lokaal effect van 122 resp. 120 mm, dat feitelijk geen onderdeel van de beoordeling mag zijn, omdat dit de weggevalen stroomversnelling rondom de oude brugpijlers is. Per saldo is er meer waterstandsval dan -toename (over de lengte geïntegreerd bedraagt de waterstandsval cumulatief 61 resp. 18 m²). De ruimtelijke weergave van onderstaande grafiek is te zien in Bijlage 9-2 en Bijlage 9-3.



Figuur 3-3 Waterstandseffect in de rivier van scenario 9 (standaardschaal) bij een T100- en T3000-hoogwater (3224 resp. 4118 m³/s)

De stroomsnelheidseffecten zijn uitsluitend lokaal van aard (zie uitsnede in Bijlage 9-3). Hier is vooral de luwte achter de nieuwe pijler en de daling van de stroomsnelheid ter plaatse van de verwijderde pijlers te zien. Uit Figuur 3-4 blijken geen effecten van betekenis van de nieuwe brug op de rivier in stroomopwaartse en stroomafwaartse richting: de lijnen in de grafiek vallen vrijwel samen met die van de referentiesituatie.

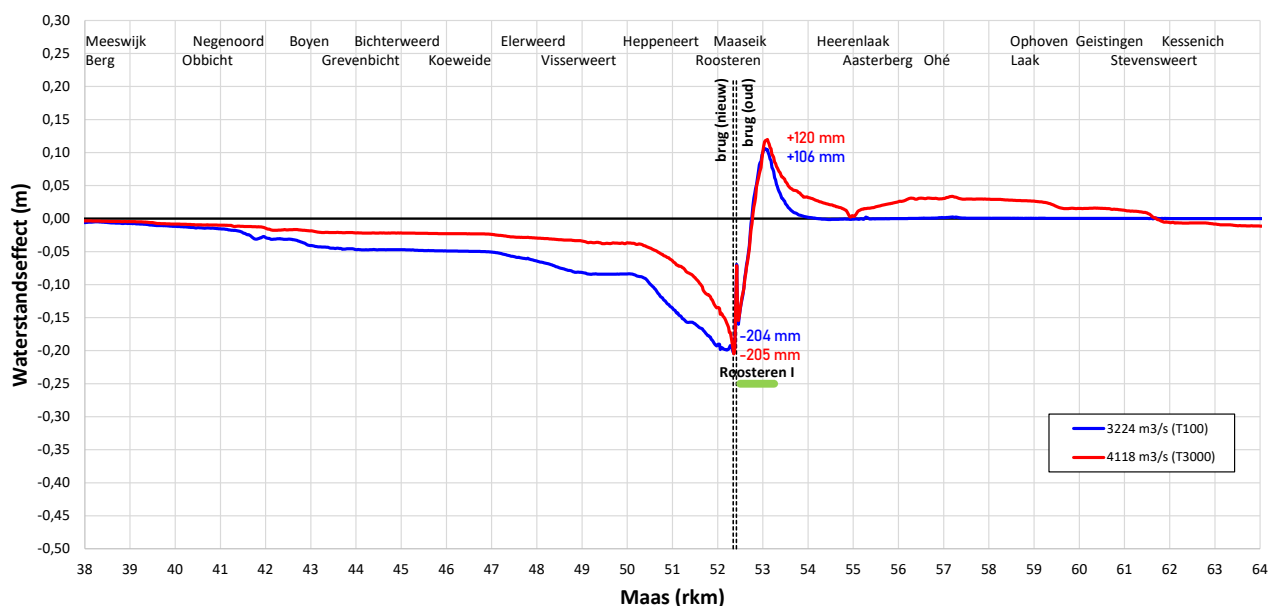
De lokale stroomsnelheidspiek tussen de brug en de inlaat van Heerenlaak bij rkm 52,9 laat zien dat er een lokale flessenhals is ontstaan. Het einde van de profielverruiming van de nieuwe brug loopt van rkm 52,5 tot 52,6. De inlaat ligt bij rkm 52,9. Hiertussen ligt deze piek.



Figuur 3-4 Stroomsnelheden in de rivieras van scenario 9 bij de laagste vier afvoerniveaus en het T3000-hoogwater, vergelijking met scenario 8 (middellange termijn)

3.3 Scenario 10: Pater Sangersbrug en stroomgeulverbreding Roosteren I (middellange termijn met Heerenlaak en Contelmo gereed)

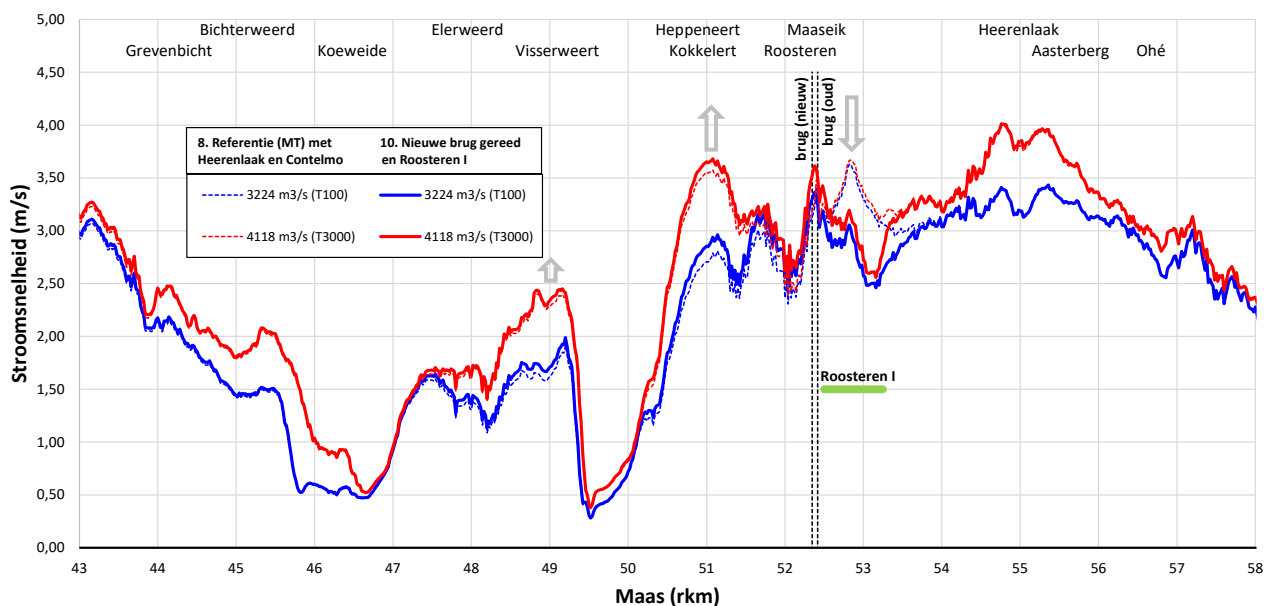
In een rivierkundige ontwerpstudie voor maatregelen in de noordelijke sector van de Gemeenschapelijke Maas is een ontwerp voor een stroomgeulverbreding tussen de oude rivierverruiming van Roosteren en de toekomstige inlaat van Heerenlaak gepresenteerd (Meijer, 2016). Het nieuwe ontwerp van de Pater Sangersbrug geeft hier al deels invulling aan en voorziet in een profielverruiming aan de zijde van de Schansberg. Deze profielverruiming wordt echter tussen rkm 52,5 tot 52,6 afgebouwd. Het laatste scenario van dit onderzoek behelst een verlenging van dit verruimde profiel tot juist voorbij de toekomstige inlaat van Heerenlaak op basis van het ontwerp van Roosteren I uit de voorstudie van de Pater Sangersbrug (Meijer, 2022). Dit gecombineerde ontwerp is weergegeven in Bijlage 10-1 tot en met Bijlage 10-6.



Figuur 3-5 Waterstandseffect in de rivieras van scenario 10 (standaardschaal) bij een T100- en T3000-hoogwater (3224 resp. 4118 m³/s)

Het waterstandseffect hiervan is aanzienlijk en bedraagt maximaal 204 resp. 205 mm (voor het T100-resp. T3000-hoogwater) juist bovenstrooms van de nieuwe brug en reikt ver stroomopwaarts (Figuur 3-5). Een benedenstroomse waterstandsverhoging van 106 resp. 120 mm treedt juist op bij de inlaat van Heerenlaak. Deze verhoging treft de waterkering van Roosteren geheel niet en de waterkering van Maaseik slechts gedeeltelijk (zie Bijlage 10-7 en Bijlage 10-8). Per saldo is er een overtuigende waterstandsverlaging in de Maas over een traject waar de behoefte aan waterstandsdeling groot is (Heppeneert, Roosteren en Maaseik). Gezien de beperkte omvang van deze ingreep is de effectiviteit hoog te noemen.

De eerdergenoemde flessenhals tussen de brug en de inlaat (rkm 52,9) is hiermee opgelost (Figuur 3-6, Bijlage 10-9). Aan bovenstroomse zijde nemen de stroomsnelheden door de lagere waterstanden toe, met als zwaartepunt Kokkelert (tegenover Heppeneert), waar de oever bij hoogwater nu al zwaar belast wordt. Ook hier bevindt zich een flessenhals tussen de rivierverruiming van Visserweert en Roosteren.



Figuur 3-6 Stroomsnelheden in de rivieras van scenario 10 bij de laagste vier afvoerniveaus en het T3000-hoogwater, vergelijking met scenario 8 (middellange termijn)

Uitvoering van Roosteren I lijkt zodoende een logische vervolgstap op de vervanging van de Pater Sangersbrug en programmering van deze geen-spijtnaatregel wordt dan ook aanbevolen.

3.4 Samenvatting van de resultaten

De in de voorgaande paragrafen genoemde getallen staan in Tabel 3-1 samengevat. Nogmaals vermelden wij dat de effectbeschrijving van scenario 9 onderdeel is van RBK5 (gemarkeerd in Tabel 3-1).

Tabel 3-1 Maximale waterstandseffecten van de beschouwde scenario's (middellange termijn)

scenario	2. Middellange termijn	Pater Sangersbrug	variant	T100		T3000	
				boven	beneden	boven	beneden
8	Referentiesituatie	-	gm01_2023_5-v1	-	-	-	-
9	Brug gereed	gereed	gm01_psb_a1	-0,020	+0,049	-0,021	+0,050
10	Roosteren I uitgevoerd	gereed	gm01_psb5_a1	-0,204	+0,106	-0,205	+0,120

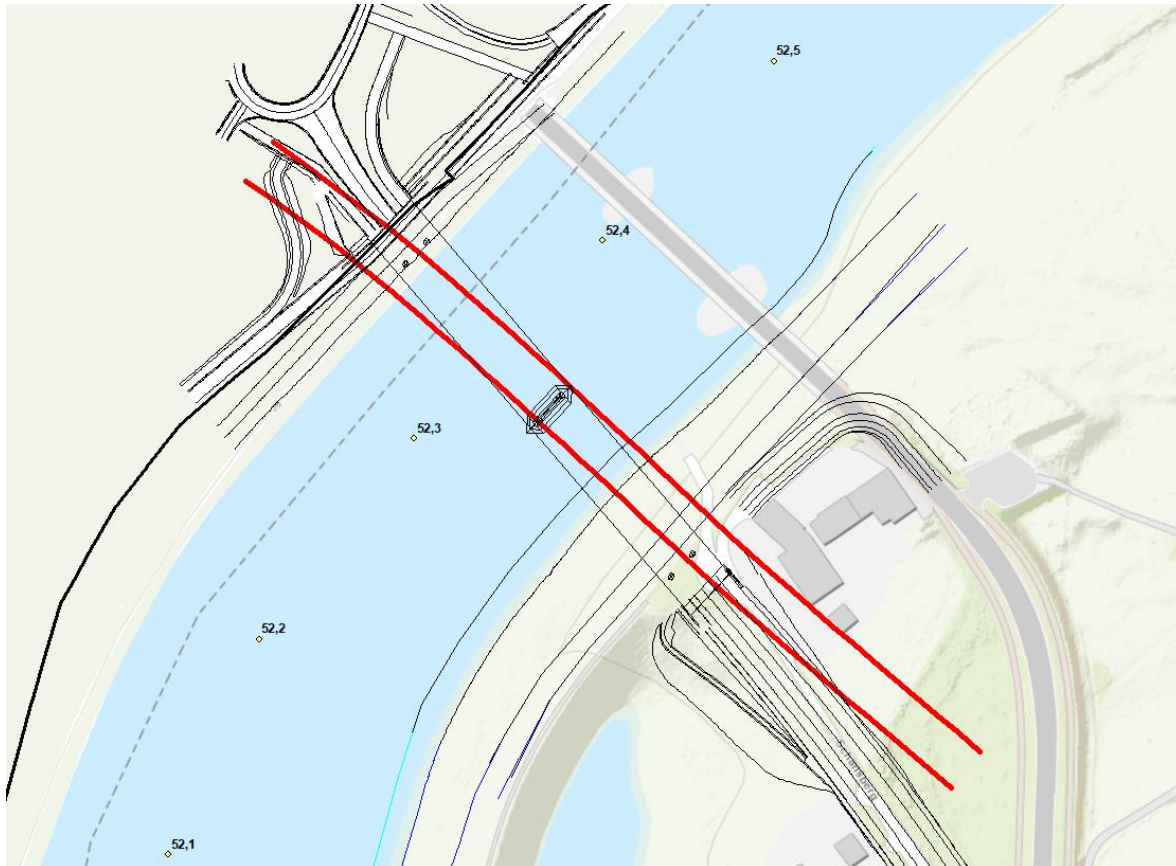
De vervanging van de Pater Sangersbrug leidt niet tot bezwaarlijke rivierkundige effecten. Bij bevestiging van deze conclusie door beide rivierbeheerders is uitvoering van dit project aan te bevelen. Aanvullend bevelen wij aan in een aanvullend project de profielverruiming tot aan de inlaat van Heerenlaak voort te zetten, zoals in deze studie gemodelleerd als scenario 10.

4 Overige resultaten en beoordelingscriteria (RBK 5.0¹)

4.1 Stabiliteit van de bodem en de oevers

4.1.1 Maximale stroomsnelheid onder de brug

In een afzonderlijke opdracht is de stabiliteit van de oeververdediging onder de brug aan weerszijden van de Maas onderzocht (Jordans, 2023). In dit onderzoek is ook een analyse gedaan naar de potentiële ontgroning rond de middenpijler. Hiertoe is de maximale hydraulische belasting onder de brug bepaald langs raaien van het rekenrooster. Omdat het rekenrooster niet dezelfde oriëntatie als de brug heeft, zijn er twee raaien bepaald (Figuur 4-1).



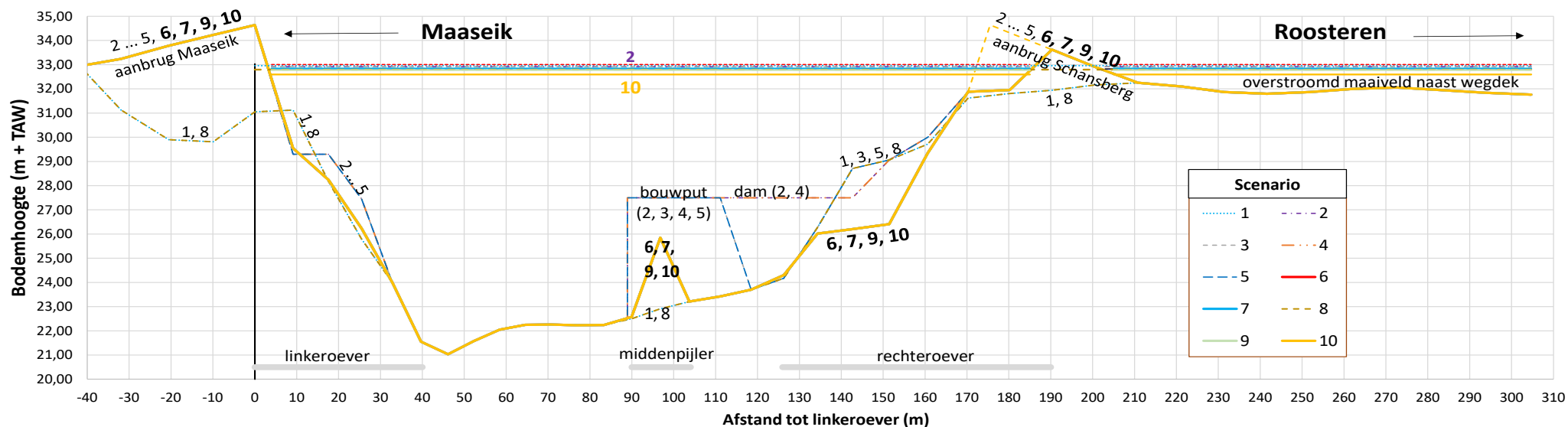
Figuur 4-1 Raaien in het WAQUA-model ten behoeve van de stabiliteitsanalyse onder de nieuwe brug

Het rivierprofiel ter plaatse van deze raaien is in Figuur 4-2 afgebeeld. Omdat de 10 scenario's verschillende geometrieën hebben, zijn er meerdere profielen zichtbaar.

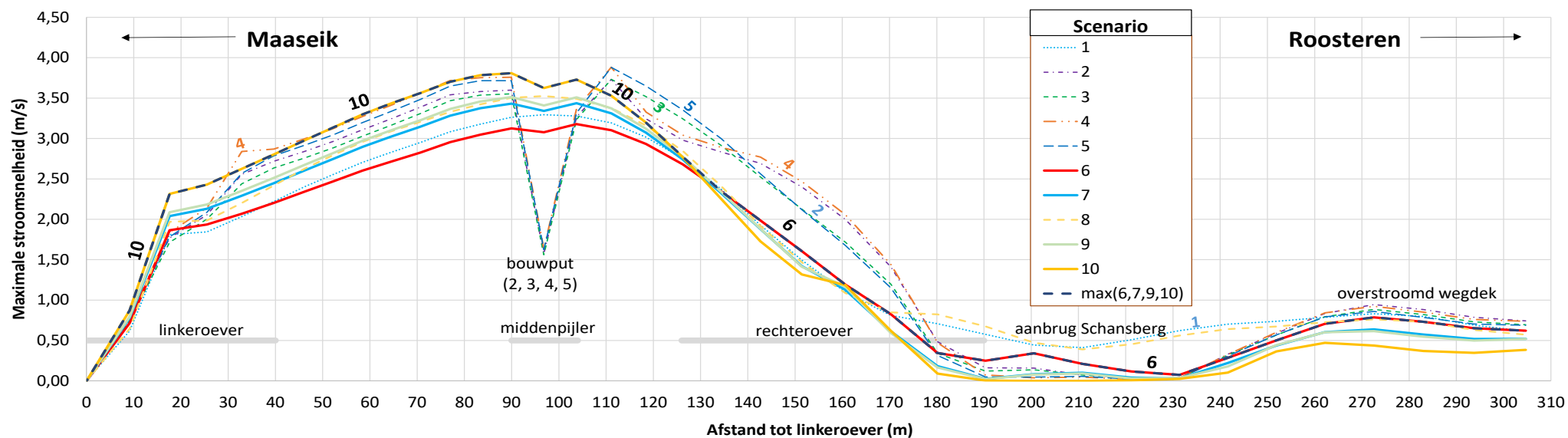
De maximale belasting is een functie van de stroomsnelheid en de waterdiepte. Voor de bepaling hiervan is de gehele hoogwatergolf op basis van het T3000-hoogwater doorlopen. Dit betekent niet dat de betreffende belasting slechts eenmaal in 3000 jaar voorkomt. De simulatie doorloopt de gehele afvoercyclus en registreert voor elke locatie de maximale belasting als functie van stroomsnelheid en diepte. Deze belasting kan ook ruim voor de piek optreden en zodoende ook bij een kleinere hoogwatergolf voorkomen. De praktijk leert dat de belasting van constructies bij een toenemende rivierafvoer na verloop van tijd niet meer sterk blijft stijgen. Deze analyse is buiten voorliggend onderzoek uitgevoerd (Jordans, 2023).

Ter illustratie is een analyse naar maximale stroomsnelheden gedaan, omdat de maximale hydraulische belasting vooral door de stroomsnelheid bepaald wordt. Bij benadering geeft de maximale stroomsnelheid een beeld van de maximale belasting (Figuur 4-3).

In beide figuren is onderscheid gemaakt tussen de scenario's waarbij de nieuwe Pater Sangersbrug in gebruik is (6, 7, 9 en 10) en de scenario's waarbij dat niet het geval is (referentiesituaties en uitvoeringsstadia: 1, 2, 3, 4, 5, 8).



Figuur 4-2 Dwarsprofiel onder de brug: bodemhoogten en waterstanden (T3000) ter plaatse van de raaien (maxima van beide raaien)



Figuur 4-3 Stroomsnelheden (T3000) ter plaatse van de raaien (maxima van beide raaien)

In de eerste categorie scenario's moet de bestorting te allen tijde voldoen en mag ontgronding beslist geen probleem zijn. Hierbij is scenario 10 preventief meegenomen, omdat het ontwerp van de brug niet tekort mag schieten, mocht project Roosteren I later alsnog vastgesteld worden. In de tweede categorie scenario's is er sprake van potentiële schade tijdens de uitvoering, hetgeen herstelbaar is.

Op basis van de maximale stroomsnelheden lijkt scenario 10 voor de linkeroever en de bodem maatgevend voor de stabiliteitsanalyse. Op de rechteroever komen in scenario 6 nog iets hogere stroomsnelheden voor. Dat scenario 10 vrijwel overal de hoogste stroomsnelheden geeft is in overeenstemming met de gemodelleerde situatie waarbij zowel Heerenlaak (3 openingen) als Contelmo een maximaal hydraulisch effect hebben. De verklaring voor het feit dat scenario 6 op de rechteroever tot de hoogste snelheden leidt, is dat als gevolg van de sloopdam een andere verdeling van de afvoer in dwarsrichting ontstaat, met als resultaat een hogere snelheid op de rechteroever. Een combinatie van scenario's 6 en 10 lijkt daarom bepalend voor de stabiliteitsanalyse, maar verificatie op basis van de formule voor de daadwerkelijke hydraulische belasting is geboden, omdat de maximale stroomsnelheid daarin slechts één van de variabelen is.

4.1.2 Stabiliteit van de oevers

Aan beide zijden van de Maas wordt een stortstenen oeververdediging aangebracht. In een stabiliteitsanalyse (Jordans, 2023) is aan de hand van de stroomsnelheidsresultaten en de taludhelling bepaald welke bestorting minimaal noodzakelijk is.

Voor een stabiele oeverbescherming op de Vlaamse oever is een steenbestorting van 40-200 kg benodigd (berekende diameter 0,22 m) en rond de brugpijler is over een breedte van 4 m een bestorting van 10-60 kg gepenetreerd benodigd (maatgevende berekende diameter 0,99 m). Voor een stabiele oeverbescherming van de Nederlands oever dient deze voorzien te zijn van een steenbestorting 40-200 kg (berekende diameter 0,27 m). Rond de brugpijler is een 40-200 kg bestorting over een breedte van 4 m eveneens voldoende (maatgevende berekende diameter 0,23 m).

Het is op beide oevers mogelijk om te differentiëren in de toe te passen gradering, waarbij hoger op het talud een kleinere sortering wordt toegepast dan 40-200 kg. De maatgevende situatie voor de stabiliteit van de bestorting bevindt zich aan de onderzijde van het talud.

Dit resultaat wordt in het uitvoeringsontwerp meegenomen.

4.1.3 Ontgronding rondom de middenpijler

De middenpijler is een betonnen constructie die geen stortstenen verdediging nodig heeft. Tussen de pijler en beide oevers is de bodem echter onverdedigd. Op basis van de stroomsnelheidsresultaten is een schatting gemaakt van de maximale ontgronding die zou kunnen optreden (Jordans, 2023).

Ontgronding is een zeer complex proces, er dient daarom rekening gehouden te worden met een grote bandbreedte rond de gepresenteerde resultaten. Afhankelijk van de gehanteerde methode en de d_{50} van het aanwezige bodemmateriaal is de verwachte maximale ontgronding rond de middenpijler 6 meter of kleiner. De maximale ontgronding in de doorgaande riviersectie nabij de brug varieert tussen 3 en 31 m, afhankelijk van de stroomsnelheid en de diameter van het bodemmateriaal. Een ontgronding van 31 m is zeer onwaarschijnlijk, aangezien hier is uitgegaan van de meest ongunstige situatie van zand direct aan de oppervlakte, terwijl uit de boringen een pakket van tenminste 3 m toutvenant aanwezig blijkt. Het geeft echter wel aan dat zodra het toutvenantpakket is doorbroken, de erosie zich zeer snel ontwikkelt.

Zelfs bij de kleinste berekende waarde voor ontgronding van 3 m (waarschijnlijk treedt er meer ontgronding op), lijkt het plaatsen van de brugpijler op de onbeschermd bodem niet afdoende voor de situatie dat erosie optreedt. Een bodembescherming aanbrengen rond de middenpijler of het dieper plaatsen van de middenpijler zijn mogelijke oplossingen.

4.2 Effecten op afvoerdeling

De ingreep bevindt zich op een complexe locatie waar de Maasafvoer zich over drie routes verdeelt. Bij het inlaatwerk van Heerenlaak stroomt een deel over de plas naar de doorvaartopening. Een ander deel stroomt via Contelmo naar de Oude Maas en tot slot blijft het grootste deel in de Maas.

Tabel 4-1 Debieten op diverse locaties (stationaire T100-hoogwatersimulatie) in m³/s

Locatie	Scenario (T100 / S3224)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eijsden	3228	3228	3228	3228	3228	3228	3228	3228	3228	3228
Borgharen-dorp	3239	3239	3239	3239	3239	3239	3239	3239	3239	3239
Maaseik	3291	3291	3291	3291	3291	3291	3291	3291	3291	3291
Heerenlaak inlaat	0	0	0	223	223	0	223	334	334	336
Oude Maas	448	448	448	385	385	448	385	450	450	450
Stevensweert	2879	2879	2879	2942	2942	2879	2942	2877	2877	2878

Tabel 4-2 Debieten op diverse locaties (dynamische T3000-hoogwatersimulatie) in m³/s

Locatie	Scenario (T3000 / D4118)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eijsden	4119	4119	4119	4119	4119	4119	4119	4119	4119	4119
Borgharen-dorp	4111	4111	4111	4111	4111	4111	4111	4111	4111	4111
Maaseik	4123	4122	4122	4122	4122	4123	4119	4114	4112	4084
Heerenlaak inlaat	0	0	0	227	227	0	227	340	340	343
Oude Maas	653	656	655	635	634	654	628	699	694	635
Stevensweert	3467	3464	3465	3485	3487	3466	3489	3412	3416	3439

Voor zowel de T100-situatie (Tabel 4-1) als de T3000-situatie (Tabel 4-2) is geanalyseerd of de diverse stadia van het vervangen van de Pater Sangersbrug deze afvoerverdeling beïnvloeden. De conclusie is dat de verschillende bouwstadia geen invloed op de afvoerverdeling hebben. De verschillen die zichtbaar zijn, zijn het gevolg van andere projecten:

Heerenlaak inlaat

De scenario's waarbij 2 of 3 elementen actief zijn, zijn lichtblauw respectievelijk blauw in de tabel gemarkeerd. Het is duidelijk dat bij een toenemend aantal elementen het debiet ook toeneemt. De tabel laat ook zien dat het debiet door het inlaatwerk ongevoelig voor de verschillen tussen de scenario's is. Dit heeft te maken met het robuuste ontwerp van het doorlaatwerk, dat op een constant debiet per element gericht is, ongeacht omgevingsfactoren. Zelfs tussen beide hoogwaterscenario's zijn de verschillen gering.

Oude Maas

Het debiet door de Oude Maas reageert op de onttrekking door Heerenlaak. De respons is ca. 30%. Het debiet dat door Heerenlaak stroomt (scenario's 4, 5 en 7 in Tabel 4-1: 223 m³/s bij T100) leidt tot een reductie van 68 m³/s van het debiet in de Oude Maas (lichtgroen gemarkeerd). Door de aanleg van project Contelmo (scenario's 8, 9 en 10) wordt het oorspronkelijke debiet hersteld (groen gemarkeerd: 450 m³/s). Bij het T3000-hoogwater (Tabel 4-2) is de respons geringer (ca. 10%) en pakken de getallen iets anders uit (er is enige overcompensatie van het debiet in de Oude Maas), maar de effecten zijn in dezelfde richting.

Stevensweert

Een gereduceerd debiet door de Oude Maas leidt tot een verhoogd debiet bij Stevensweert (in beide tabellen oranje gemarkeerd). Door de aanleg van Contelmo (scenario's 8, 9 en 10) is het oorspronkelijke debiet bij Stevensweert weer hersteld (T100: Tabel 4-1) of zelfs iets gereduceerd (T3000: Tabel 4-2).

Bij benadering vormen de debieten van de Oude Maas en van Stevensweert een communicerend vat, maar het totaal van beide piekafvoeren is niet altijd exact constant omdat piekvervlakkingseffecten door de projecten Heerenlaak en Contelmo ook een rol spelen.

4.3 Effecten op dwarsstroming

In het Rivierkundig Beoordelingskader (Rijkswaterstaat, 2019) is het effect op dwarsstroming een beoordelingscriterium. Dit thema is voor de voorliggende ingreep om twee redenen niet relevant. Ten eerste is er op dit traject van de Gemeenschappelijke Maas geen scheepvaart. De beroepsvaart vindt op de kanalen plaats en de recreatievaart begint pas vanaf rkm 56,6. Ten tweede is de aard van de ingreep, het vervangen van een brug, zodanig beperkt dat er van dwarsstromingseffecten geen sprake kan zijn.

4.4 Morfologische effecten

Ook voor morfologie geldt dat de aard van de ingreep, het vervangen van een brug, zodanig beperkt is dat er van significante bodemveranderingen geen sprake kan zijn. Tijdelijke situaties zijn hierbij niet van belang, omdat morfologie per definitie een thema van meerdere jaren is.

5 Rivierkundig Beoordelingskader (RBK 5.0)

Dit hoofdstuk vat de resultaten samen en legt deze systematisch naast de criteria van het Rivierkundig Beoordelingskader (Rijkswaterstaat, 2019: Tabel 5).

Tabel 5-1 Criteria uit het RBK 5.0 (RWS, 2019) en beoordeling eindsituatie Pater Sangersbrug

Thema	nr.	Aspect	Criterium	eindsituatie Pater Sangersbrug
Hoogwaterveiligheid	1.1	Maatregel in stroomvoerend deel rivier: hoogwaterreferentie op de as van de rivier	Stroomvoerend: geen waterstandverhoging op de as van de rivier bij de afvoer(en) uit de hoogwaterreferentie.	Maximale waterstandsval resp. maximaal benedenstrooms effect: Scenario 4 (KT ⁴): -0,215 m +0,096 m -0,155 m +0,026 m Scenario 9 (MT⁴): -0,020 m +0,122 m -0,021 m +0,120 m De resultaten gelden voor het T100- resp. T3000-hoogwater. In alle gevallen is er cumulatief meer waterstandsval dan waterstandstoename in de Maas.
		Maatregel in bergend deel rivier: volume waterberging	Bergend: geen vermindering bergend volume.	Niet aan de orde.
	1.2	Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier	Geen waterstandverhoging langs de hoge grondenlijn of primaire waterkering bij de afvoer(en) uit de hoogwaterreferentie.	Over een lengte van ca. 1250 m aan de noordzijde van Roosteren is er een waterstandverhoging van minder dan 1 cm. Over een lengte van 600 m is er aan de zijde van Maaseik (van de oude brug tot de nieuwe inlaat Heerenlaak) en benedenstrooms effect, variërend van 0 tot 5 cm, met een lokale piek van maximaal 10 cm ter plaatse van de oude brug (snelheids-hoogte-effect door verwijderen pijlers). Aan beide zijden is er cumulatief meer waterstandsval langs de waterkeringen (resultaten voor scenario 9 met een T100-hoogwater).
Hinder of schade door hydraulische effecten	2.1	Inundatiefrequentie van de uiterwaard	De mate van verandering van de inundatiefrequentie van een of meerdere uiterwaarden. Kies daarvoor een of meerdere afvoeren die dit aspect inzichtelijk maken.	Geen invloed. De waterstandseffecten van de brug (scenario 9) zijn hiervoor te marginaal.
	2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	De mate van verandering van de grootte en richting van de stroomsnelheden in een of meerdere de uit de hoogwaterreferentie-afvoeren uit de hoogwaterreferentie.	Ten gevolge van de brug (scenario 9) wijzigt het stroombeeld in de weerden niet. Wel zorgen de verruimingen in de uiterwaard (zie Figuur 2-17) voor lokale veranderingen in de stroomsnelheden.
	2.3	Stroombeeld in vaarweg	Dwarsstroomsnelheid op de rand van de vaarweg bij verschillende afvoerniveaus: De ingreep mag niet resulteren in een absolute dwarsstroming in de vaarweg groter dan 0,15 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een debiet groter dan 50 m ³ /s. Of het moet aantoonbaar zijn dat de toename padbreedte schip t.g.v. dwarsstroom kleiner is dan ½B; De ingreep mag niet resulteren in een absolute dwarsstroming in de vaarweg groter dan 0,3 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een debiet kleiner dan 50 m ³ /s.	Niet aan de orde: er is geen vaarweg en er zijn geen dwarsstroomeffecten.
	2.6	Instroom retentiegebieden Maas	Verandering waterstand ter hoogte van inlaat retentiegebieden Maas, waaronder Lateraalkanaal-West en Lob van Gennep	Niet aan de orde. Er zijn geen retentiegebieden in de nabije omgeving.

(vervolg op volgende pagina)

⁴ KT = korte termijn (op basis van referentiemodel zonder Contelmo en inlaat Heerenlaak, scenario 4 bevat echter de inlaat Heerenlaak met twee actieve elementen: het weergegeven effect komt vooral van Heerenlaak),
MT = middellange termijn (op basis van referentiemodel met Contelmo en Heerenlaak: **scenario 9 betreft de feitelijke RBK-toets van het rivierkundige effect van de nieuwe Pater Sangersbrug**).

(vervolg)

Thema	nr.	Aspect	Criterium	eindsituatie Pater Sangersbrug
Morfologische effecten	3.1	Sedimentatie en erosie van het zomerbed (+ oevers) 1. door ingrepen zomerbed 2. door ingrepen winterbed	Bij erosie: - geen verlaging zomerbed beneden de minimale bodemligging t.a.v. erosie en infrastructuur (o.a. kabels, leidingen en waterkeringen). Bij sedimentatie: - geen vermindering van vaargeulafmetingen ^{e)}; - geen verhoging van de maatgevende waterstanden op lange termijn. Generiek: - beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten; behouden vlotheid en veiligheid scheepvaartverkeer; - geen onacceptabele sedimentatie of terugschrijdende erosie.	Niet aan de orde. Ten gevolge van de aanleg van de brug (scenario 9) zijn er geen morfologische effecten te verwachten.
Morfologische effecten (vervolg)	3.2	Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeulen: 1. sedimentatie winterbed 2. erosie winterbed	Bij sedimentatie: - acceptabele beheerskosten^{f)} voor baggeren nevengeulen. Bij erosie: - geen zijdelingse verplaatsing van een nevengeul richting een primaire waterkering. Nevengeul moet op voldoende afstand blijven van de primaire waterkering, buiten de beschermingszone van de primaire kering. De beschermingszones worden bepaald door de keringbeheerders; - geen zijdelingse verplaatsing van een nevengeul richting het zomerbed van de rivier, waardoor er kans bestaat dat de nevengeul een kortsluiting veroorzaakt met het zomerbed; - stroomsnelheid in een zandige nevengeul bij zomerbedvullende afvoer moet kleiner blijven dan 0,3 m/s; - geen bodemerosie langs primaire waterkering; - stabiliteit van belangrijke constructies in de uiterwaard mag niet verminderen.	Niet aan de orde. Ten gevolge van de aanleg van de brug (scenario 9) is er geen sedimentatie in de weerden te verwachten.

^{a)} In de praktijk kan een waterstandsverhoging tot 1 mm in de as van de rivier worden toegestaan. Zie ook paragraaf 1.1.

^{d)} Keuze afvoerniveaus in overleg met rivierbeheerder.

^{e)} Voor specifieke criteria en afmetingen: zie **Bijlage 9**. ⁵

^{f)} Wat 'acceptabele beheerskosten' zijn, kan van dienst tot dienst verschillen en is ter beoordeling van het Bevoegd Gezag.

^{g)} Richtlijn voor zandige rivierbodem. Exacte waarde hangt af van lokale bodemsamenstelling en -ruwheid.

⁵ Dit betreft Bijlage 9 van het Rivierkundige Beoordelingskader (Rijkswaterstaat, 2019), niet van voorliggende rapportage.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Op basis van de gepresenteerde analyse trekken we de volgende conclusies:

Effecten in de uitvoeringsstadia en direct na afronding (korte termijn)

- In de diverse uitvoeringsstadia is er wel sprake van waterstandsverhogingen bij hoogwater. Het meest kritieke stadium is de bouwphase met een bouwput en een verbindingsdam vanuit de Schansberg (zijde Roosteren) naar de middenpijler (scenario 2). De opstuwing bedraagt hierbij stroomopwaarts van de bouwlocatie 91 resp. 78 mm (T100 resp. T3000).
- De voorgenomen noodmaatregel (scenario 3: verwijderen verbindingsdam) reduceert de opstuwing van de bouwphase tot 67 resp. 58 mm (T100 resp. T3000). De noodmaatregel is dus niet voldoende voor een algehele compensatie van de opstuwing.
- Als in dit stadium de inlaat van Heerenlaak met twee elementen operationeel is (scenario 4), dan is er juist voldoende compensatie bij een T100-hoogwater en blijft er bij de brug nog 39 mm waterstandsdaling van het effect van Heerenlaak over. Dit geldt niet voor het T3000-hoogwater, daar resteert nog 12 mm waterstandstoename bij de brug, ondanks de meestromende plas Heerenlaak.
- De noodmaatregel is in combinatie met Heerenlaak (scenario 5) nog steeds zinvol en zorgt voor een extra reductie. De daling bij T100 bedraagt nu 68 mm. Nu is ook de compensatie voor het T3000-hoogwater volledig (12 mm daling).
- De afbraakfase van de oude brug zonder operationele inlaat van Heerenlaak (scenario 6), bestaande uit een sloopdam die de oever van de Schansberg (zijde Roosteren) met de beide pijlers verbindt, leidt tot 77 mm opstuwing bij de oude brug (T100-hoogwater). Voor het T3000-hoogwater is dit 85 mm. Omdat dit effect zeer lokaal is, is het effect bij de nieuwe brug relevanter. Dat is becijferd op 28 resp. 21 mm. Zonder nieuwe modelsimulaties kunnen we stellen dat een operationele inlaat van Heerenlaak al meer dan voldoende compensatie voor deze tijdelijke situatie zou bieden. Bovendien is hier ook een noodmaatregel denkbaar, bestaande uit het verwijderen van de sloopdam.
- Bij oplevering van de brug en na afronding van de sloop van de oude brug zal de inlaat van Heerenlaak vrijwel zeker met twee elementen operationeel zijn (scenario 7). Hierbij is er een aanzienlijke waterstandsdaling (170 resp. 102 mm voor T100 resp. T3000) die overigens vooral van Heerenlaak afkomstig is.

Effecten in de eindsituatie en in samenhang met overige projecten (middellange termijn)

- Voor de beoordeling van de rivierkundige effecten van de nieuwe Pater Sangersbrug geldt scenario 9. Hieruit blijkt dat de brug minder stromingsweerstand levert dan de bestaande brug. Er is hierdoor sprake van een waterstandsdaling van 20 resp. 21 mm bij de nieuwe brug (T100 resp. T3000).
- Wel is er over een lengte van 500 m aan de zijde van Maaseik (van de oude brug tot de nieuwe inlaat Heerenlaak) een benedenstrooms effect, variërend van 0 tot 50 mm, met een lokale piek van maximaal 100 mm ter plaatse van de oude brug (snelheidshoogte-effect door het verwijderen van de pijlers). Langs de noordelijke dijk van Roosteren is er over een lengte van ca. 1250 m een lokale waterstandsverhoging van minder dan 10 mm. Aan beide zijden is er cumulatief meer waterstandsdaling langs de waterkeringen (resultaten voor scenario 9 met een T100-hoogwater).
- Het nieuwe ontwerp van de brug past naadloos op het ontwerp van Roosteren I, een stroomgeulverbreding, die al in diverse eerdere onderzoeken een rol heeft gespeeld (Noordelijke Sector Gemeenschappelijke Maas, Deltaprogramma Rivieren, Voorstudie Pater Sangersbrug: Meijer, 2022). De gezamenlijke waterstandsdaling (scenario 10) bedraagt dan 204 resp. 205 mm (T100 resp. T3000) en de profielverruiming reikt hiermee tot het inlaatwerk van Heerenlaak, waarmee een flessenhals wordt voorkomen.

Stroomsnelheden en afvoerverdeling

- Effecten op stroomsnelheden zijn doorgaans niet groot en steeds verklaarbaar uit de beschreven waterstandseffecten. Bij de scenario's waar waterstandsdaling optreedt, nemen de stroomsnelheden in stroomopwaartse richting toe. In de scenario's met opstuwing, zoals de uitvoeringsstadia en het sloopstadium, nemen deze stroomsnelheden juist af.
- De effecten komen steeds van randverschijnselen of overige projecten. Het effect van alleen de nieuwe brug op de stroomsnelheden (scenario 9) is vrijwel nihil.

- Ditzelfde geldt voor de afvoerverdeling rondom de ringdijk van Stevensweert. Deze wordt tijdelijk beïnvloed door de ingebruikname van Heerenlaak en hersteld bij de ingebruikname van Contelmo. De brug als zodanig heeft geen effect op de afvoerverdeling.

Overige effecten en beoordelingscriteria

- Ten gevolge van de aanleg van de brug zijn er geen effecten op dwarsstroming te verwachten. Overigens is dit thema in de Gemeenschappelijke Maas wegens afwezigheid van beroepsvaart niet relevant.
- Ten gevolge van de aanleg van de brug zijn er geen morfologische effecten in de stroomgeul en is er geen sedimentatie in de weerden te verwachten.
- Voor een stabiele oeverbescherming op de Vlaamse oever is een steenbestorting van 40-200 kg benodigd (berekende diameter 0,22 m) en rond de brugpijler is over een breedte van 4 m een bestorting van 10-60 kg gepenetreerd benodigd (maatgevende berekende diameter 0,99 m). Voor een stabiele oeverbescherming van de Nederlands oever dient deze voorzien te zijn van een steenbestorting 40-200 kg (berekende diameter 0,27 m). Rond de brugpijler is een 40-200 kg bestorting over een breedte van 4 m eveneens voldoende (maatgevende berekende diameter 0,23 m). Het is op beide oevers mogelijk om te differentiëren in de toe te passen gradering, waarbij hoger op het talud een kleinere sortering wordt toegepast dan 40-200 kg. De maatgevende situatie voor de stabiliteit van de bestorting bevindt zich aan de onderzijde van het talud.
- Afhankelijk van de gehanteerde methode en de d_{50} van het aanwezige bodemmateriaal is de verwachte maximale ontgronding rond de middenpijler 6 meter of kleiner. De maximale ontgronding in de doorgaande riviersectie nabij de brug varieert tussen 3 en 31 m, afhankelijk van de stroomsnelheid en de diameter van het bodemmateriaal. Een ontgronding van 31 m is zeer onwaarschijnlijk, aangezien hier is uitgegaan van de meest ongunstige situatie van zand direct aan de oppervlakte, terwijl uit de boringen een pakket van tenminste 3 m toutvenant aanwezig blijkt. Het geeft echter wel aan dat zodra het toutvenantpakket is doorbroken, de erosie zich zeer snel ontwikkelt. Zelfs bij de kleinste berekende waarde voor ontgronding van 3 m (waarschijnlijk treedt er meer ontgronding op), lijkt het plaatsen van de brugpijler op de onbeschermde bodem niet afdoende voor de situatie dat erosie optreedt. Een bodembescherming aanbrengen rond de middenpijler of het dieper plaatsen van de middenpijler zijn mogelijke oplossingen.

6.2 Aanbevelingen

Op basis van de gepresenteerde analyse doen we de volgende aanbevelingen:

- Wij zien geen bezwaren van rivierkundige aard ten aanzien van het eindontwerp van de nieuwe Pater Sangersbrug en adviseren positief ten aanzien van de uitvoering.
- In de bouwfase is de voorgenomen noodmaatregel (verwijderen verbindingsdam) bij hoogwater zinvol. Wij bevelen aan hiervoor op basis van waterstandsvoorspellingen een criterium te bepalen, rekening houdend met de benodigde uitvoeringstijd van de noodmaatregel. Een vergelijkbare noodmaatregel bevelen wij ook aan voor de sloopdam van de oude brug.
- Indien mogelijk, dan strekt het tot de aanbeveling om de inlaat van Heerenlaak operationeel te hebben op het moment dat de bouwput voor de nieuwe Pater Sangersbrug aangelegd wordt.
- Het is aan te bevelen om de rechteroever (van de Schansberg tot de toekomstige inlaat van Heerenlaak) te verbreden, zoals gemodelleerd in scenario 10 (rivierverruiming Roosteren I). Hiermee wordt een nieuwe flessenhals voorkomen.

7 Referenties

De Vlaamse Waterweg, 2023: diverse ontwerptekeningen en AutoCAD-bestanden:

aangeleverd op 15 mei 2023:

ARO-22-7501-A024A_Grondplan ontwerp projectstuurgroep bouwfasering.pdf

ARO-22-7501-A024B-grondplan ontwerp projectstuurgroep.pdf

ARO-22-7501-A026-Lengteprofielen bouwfasering.pdf

ARO-22-7501-A028_Profielen_over_de_Maas.pdf

ARO-22-7501-A028A_Profielen_over_de_Maas.pdf

aangeleverd op 27 juli 2023:

BEpolylines_NAP+RD.dwg

NLpolylines_NAP+RD.dwg

aangeleverd op 31 augustus en 1 september 2023:

3dpoly_verruimingRO_mNAP&RD_230901.dwg

3Dpolylines_aanvulling_bouw_middenpijler_NL&mNAP_230831.dwg

3Dpolylines_aanvulling_bouwput_pijlers_linkeroever_NE&mNAP_230831.dwg

3Dpolylines_aanvulling_opbraak_pijlers_NL&mNAP_230831.dwg

3Dpolylines_buispalen_NL&mNAP_230831.dwg

3Dpolylines_pijlers_NL&mNAP_230831.dwg

Bouwputten&aanvullingen_in_NAP_230831.dwg

Obstakels bouw Maasbrug 230831.pdf

impressie_aanvulling_opbraakpijlers.JPG

impressie_obstakels_bouw_brug.JPG

Niveaus_middenpijler.JPG

Meijer D.G., 2016: Noordelijke sector - Gemeenschappelijke Maas, Rivierkundige studie, opdrachtgever: nv De Scheepvaart in samenwerking met Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 25 november 2016, RiQuest, AHA en Anneke de Joode Rivierkundig Advies

Meijer D.G., 2021: MER Heerenlaak, Achtergrondrapportage Rivierkunde, Opdrachtgever: De Vlaamse Waterweg in onderaanneming van ARCADIS Belgium bvba, 31 december 2021, RiQuest en Agtersloot Hydraulisch Advies

Meijer D.G., 2022: Pater Sangersburg Maaseik-Roosteren [voorstudie], Opdrachtgever: De Vlaamse Waterweg nv, 7 juni 2022, RiQuest, AHA en Anneke de Joode Rivierkundig Advies

Meijer D.G., 2023: Actualisatie Grensmaasmodel 2023, DO-GM-ENG-0458-1, 22 september 2023, Consortium Grensmaas BV

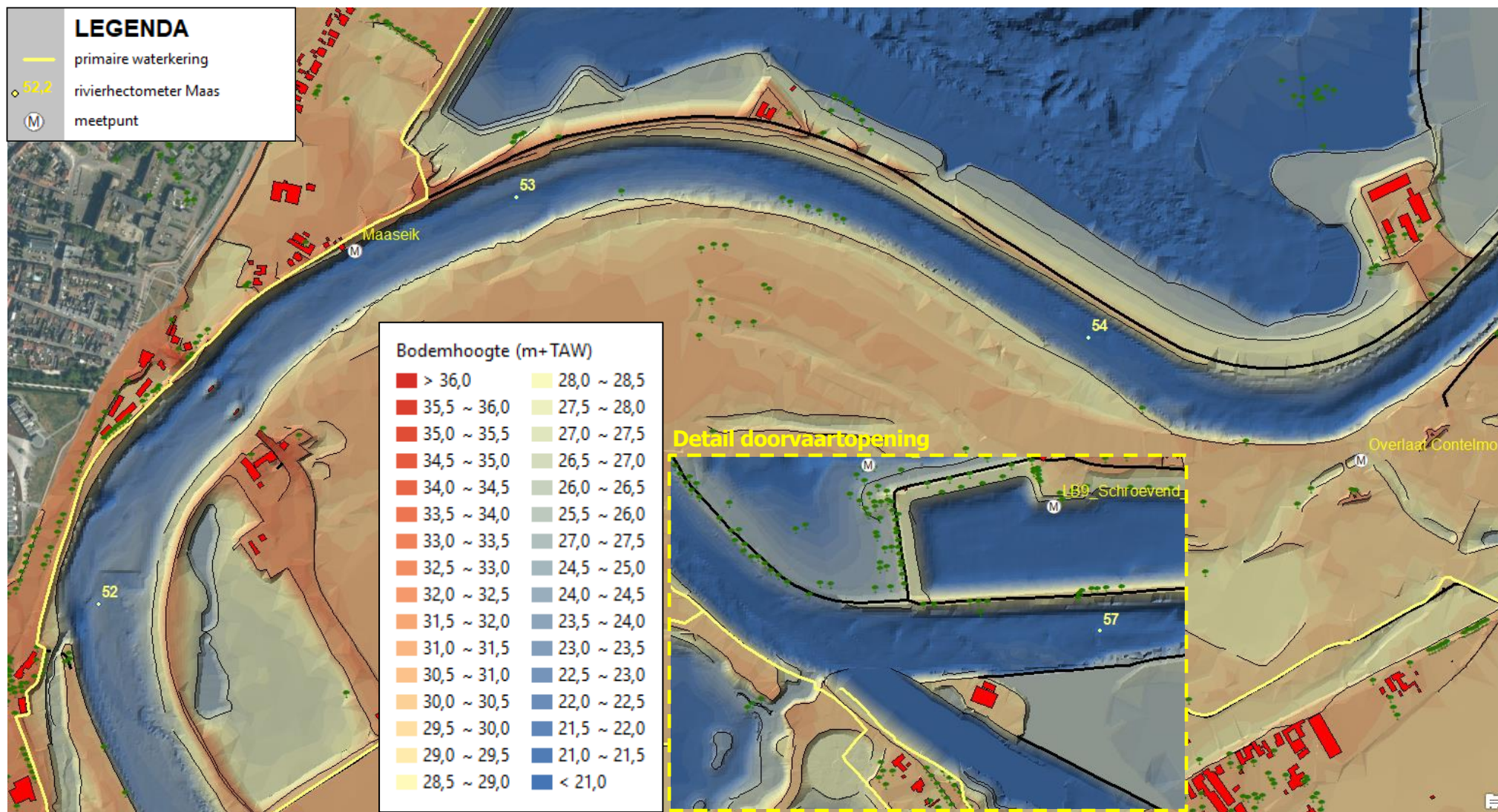
Rijkswaterstaat, 2019: Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren, Versie 5.0, 26 februari 2019, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

Rijkswaterstaat, 2023: Betrekkingslijnen 2023-2024, geldigheidsbereik 1 november 2023 – 31 oktober 2024, Rijkswaterstaat Zuid-Nederland

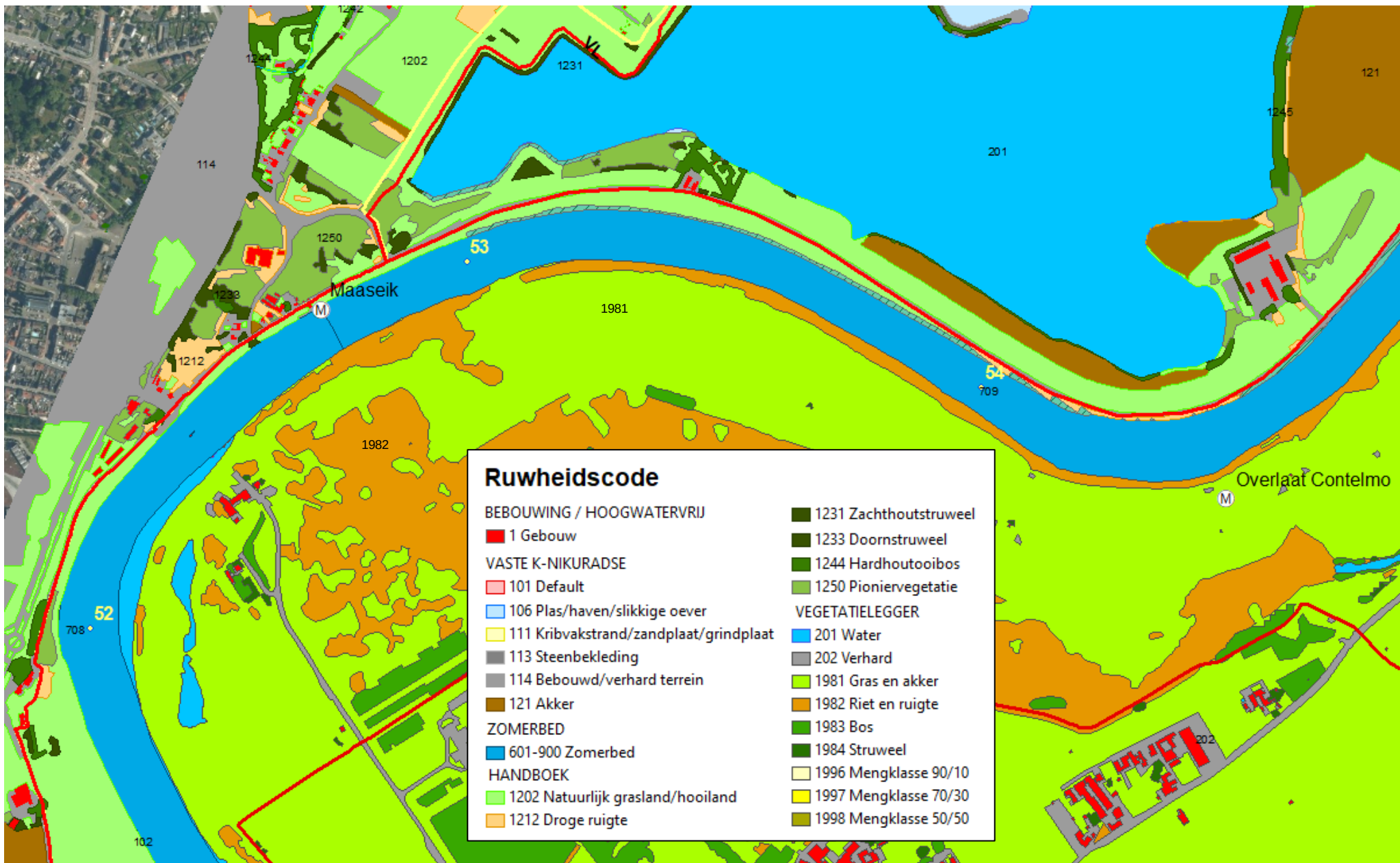
Jordans L.M.A., 2023: Pater Sangersbrug te Maaseik, Stabiliteit oever en ontgronding bij brugpijler Pater Sangersbrug, opdrachtgever: Arcadis Belgium N.V., 24 november 2023, Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs BV

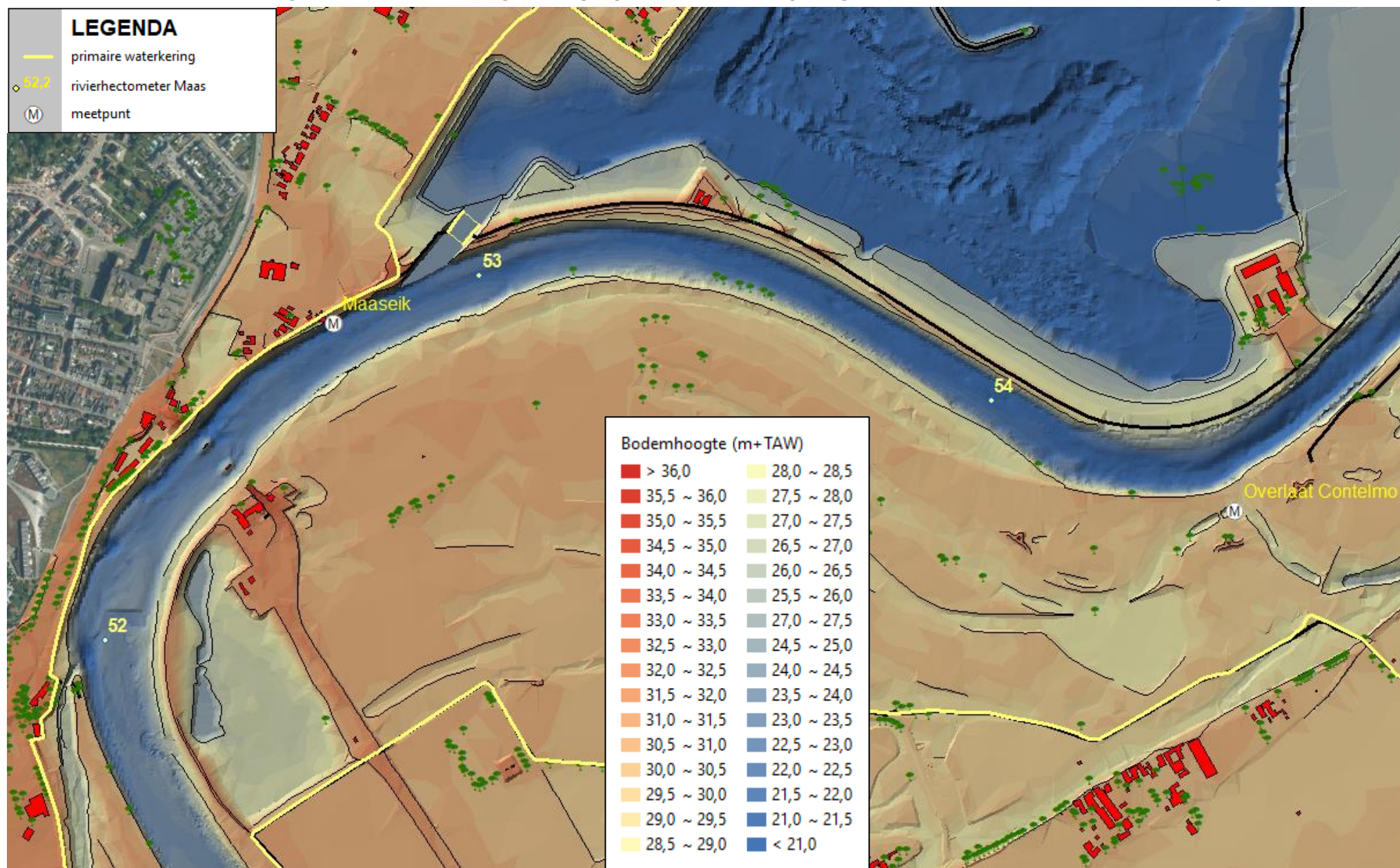
Bijlage 1 Referentiesituatie (deactualisatie van het basismodel in twee stappen): scenario 1

Referentie 1: Contelmo niet uitgevoerd, Heerenlaak deels uitgevoerd (alleen verplaatste doorvaartopening)

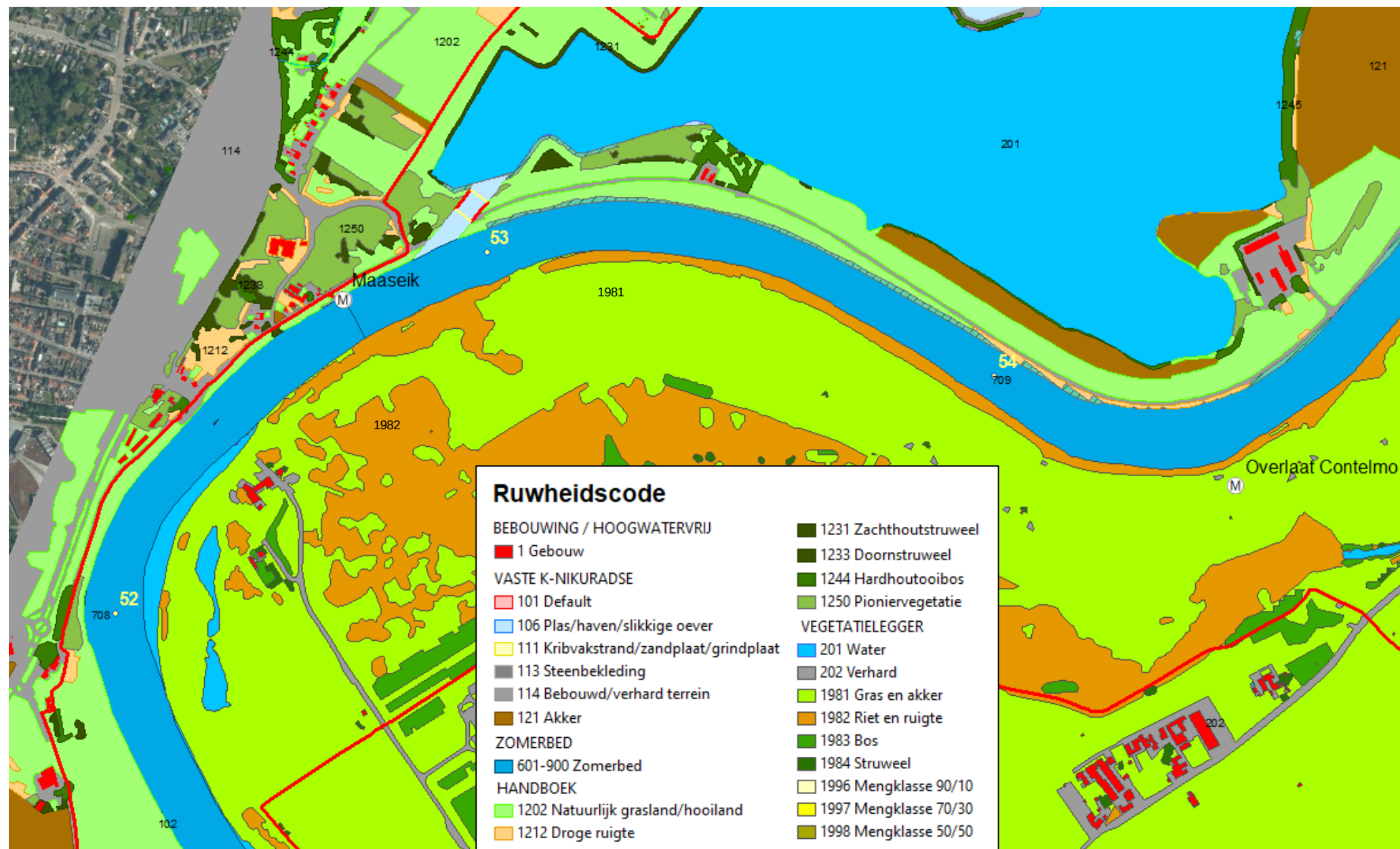


Hydraulische ruwheden referentie 1: Contelmo niet uitgevoerd, Heerenlaak deels uitgevoerd (alleen verplaatste doorvaartopening)

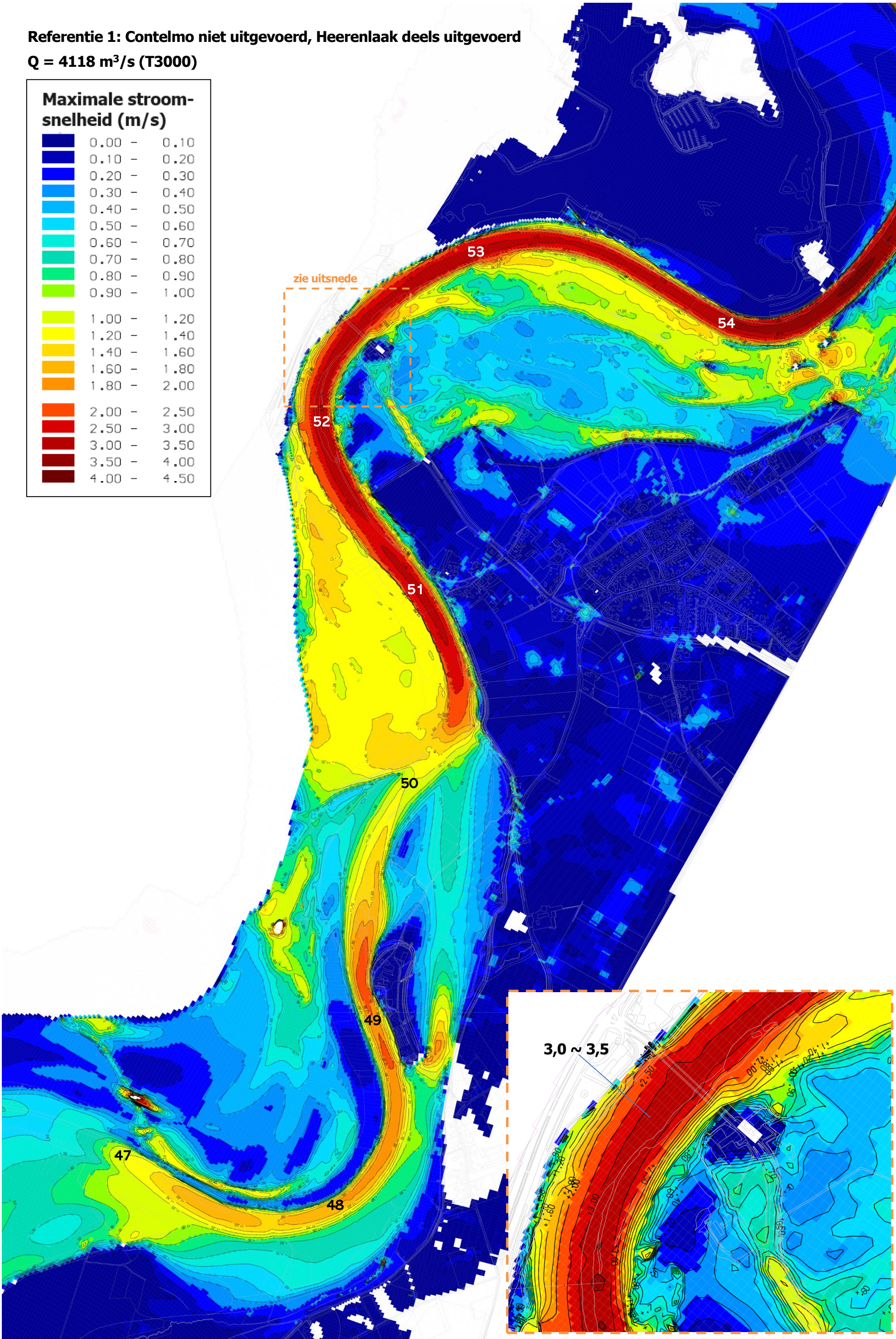
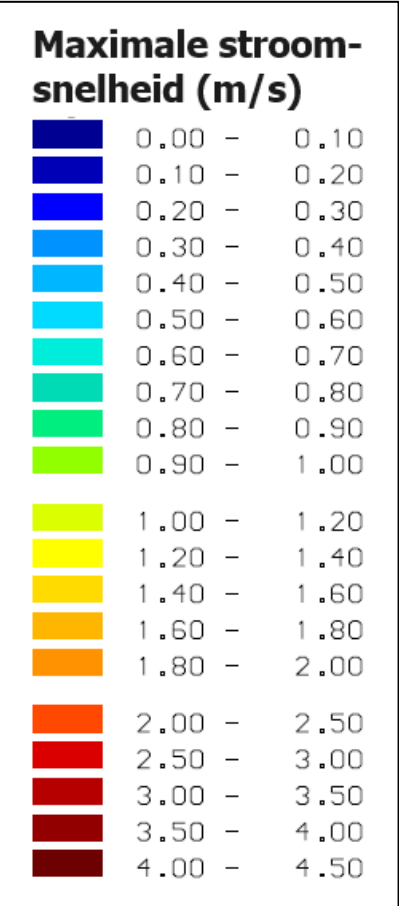


Referentie 2: Contelmo niet uitgevoerd, Heerenlaak uitgevoerd (verplaatste doorvaartopening, inlaatwerk met twee functionele kokers)

Hydraulische ruwheden referentie 2: Contelmo niet uitgevoerd, Heerenlaak uitgevoerd (verplaatste doorvaartopening, inlaatwerk met twee functionele kokers)

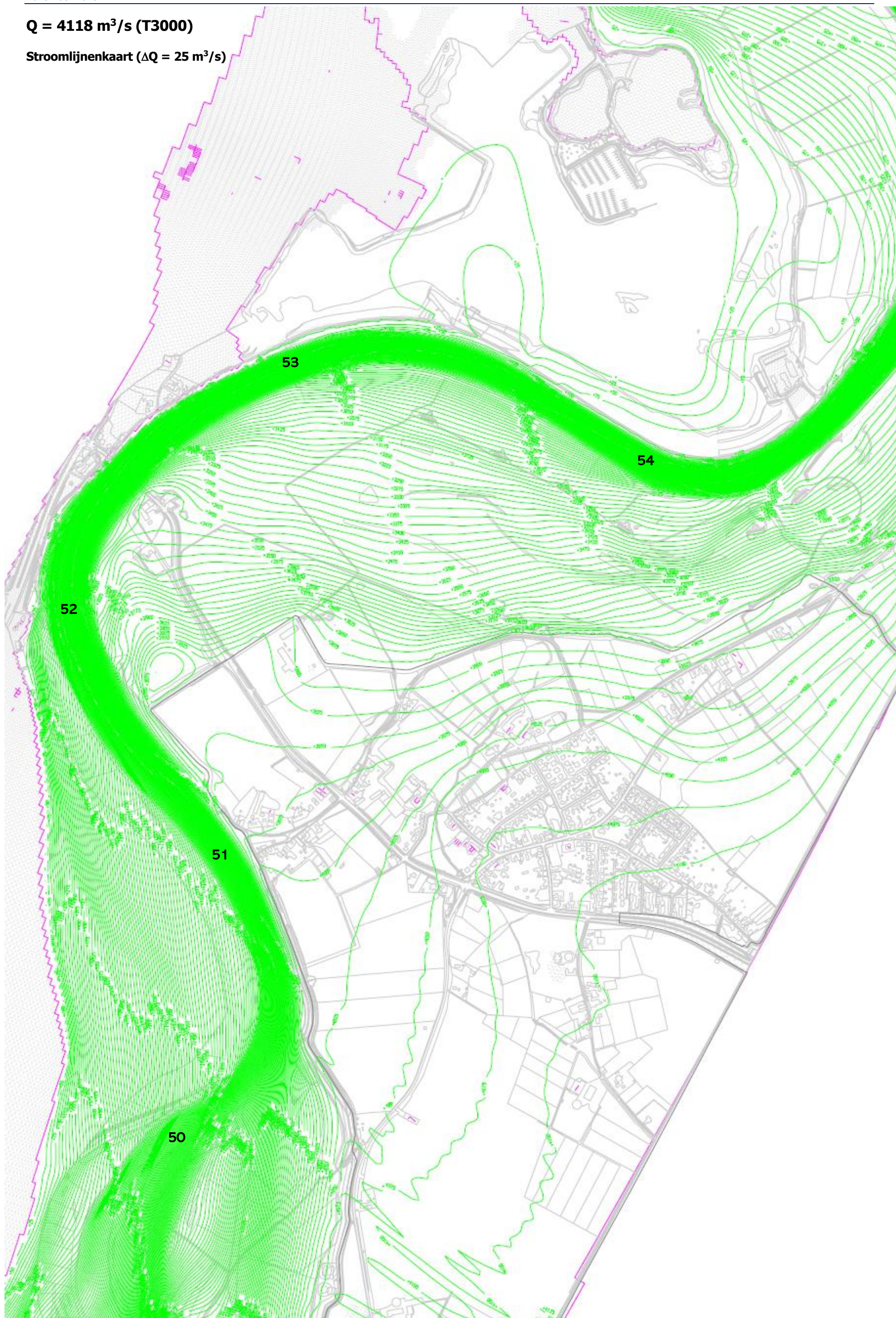


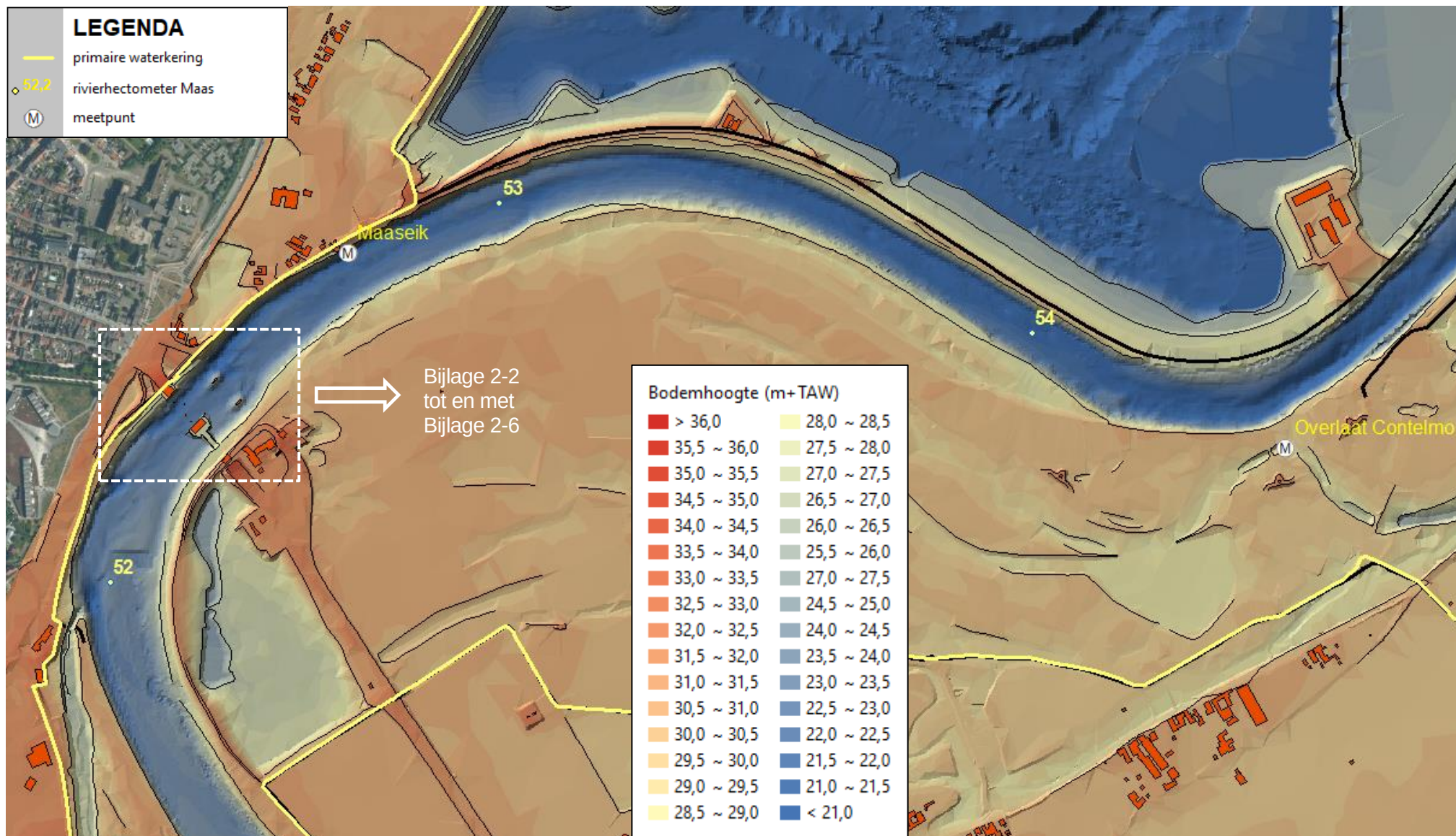
Referentie 1: Contelmo niet uitgevoerd, Heerenlaak deels uitgevoerd
Q = 4118 m³/s (T3000)

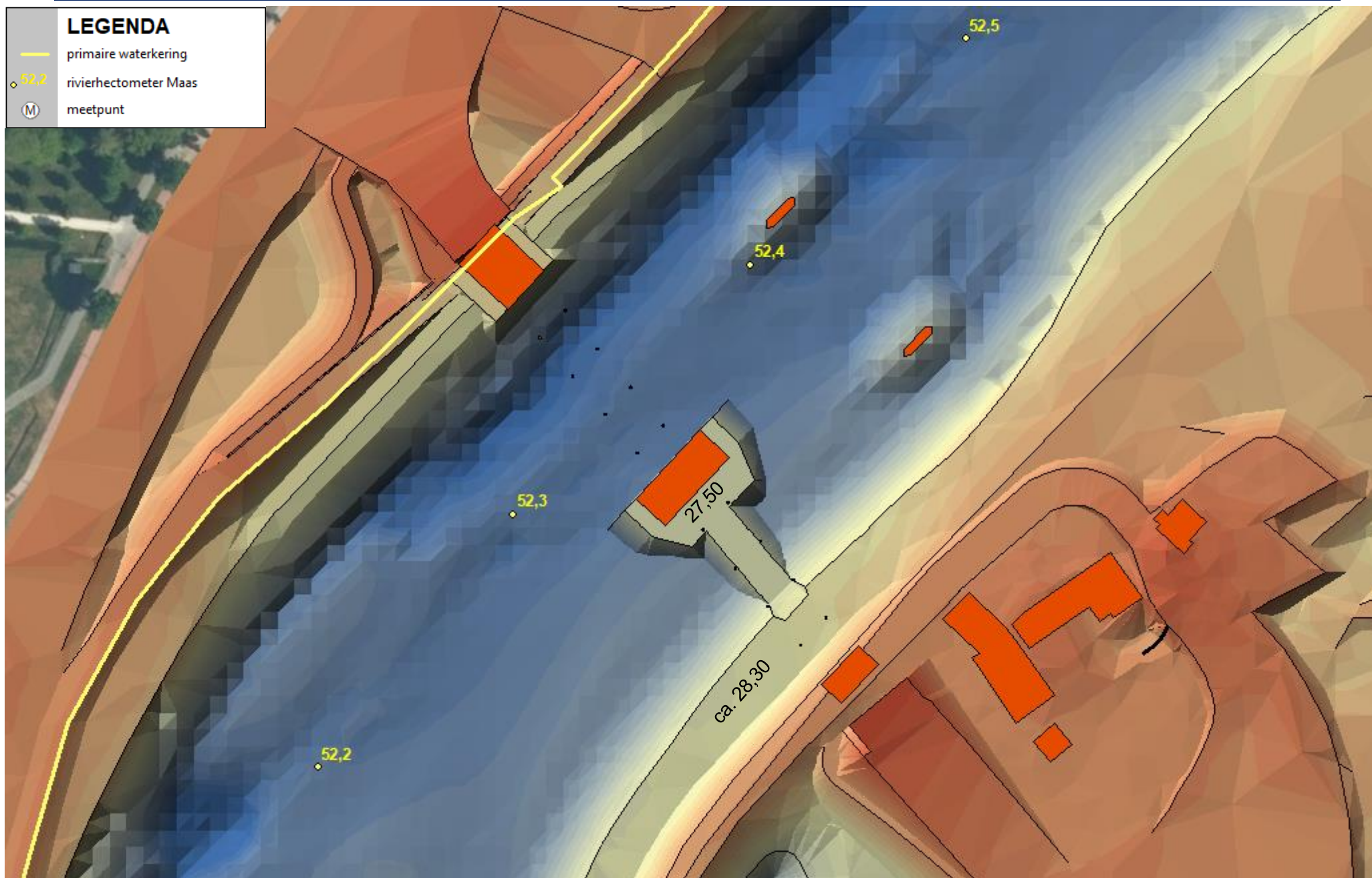


Q = 4118 m³/s (T3000)

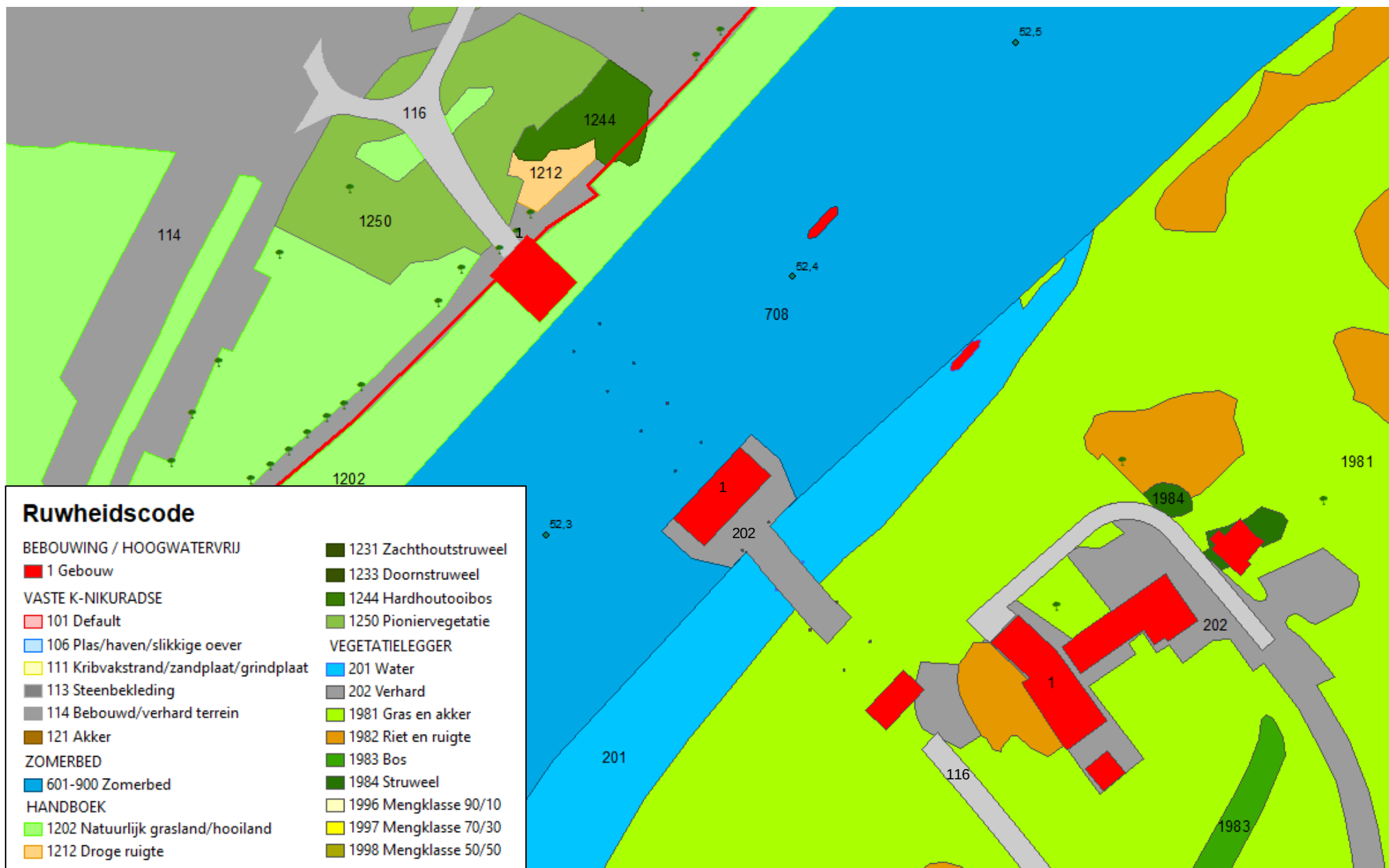
Stroomlijnenkaart (ΔQ = 25 m³/s)

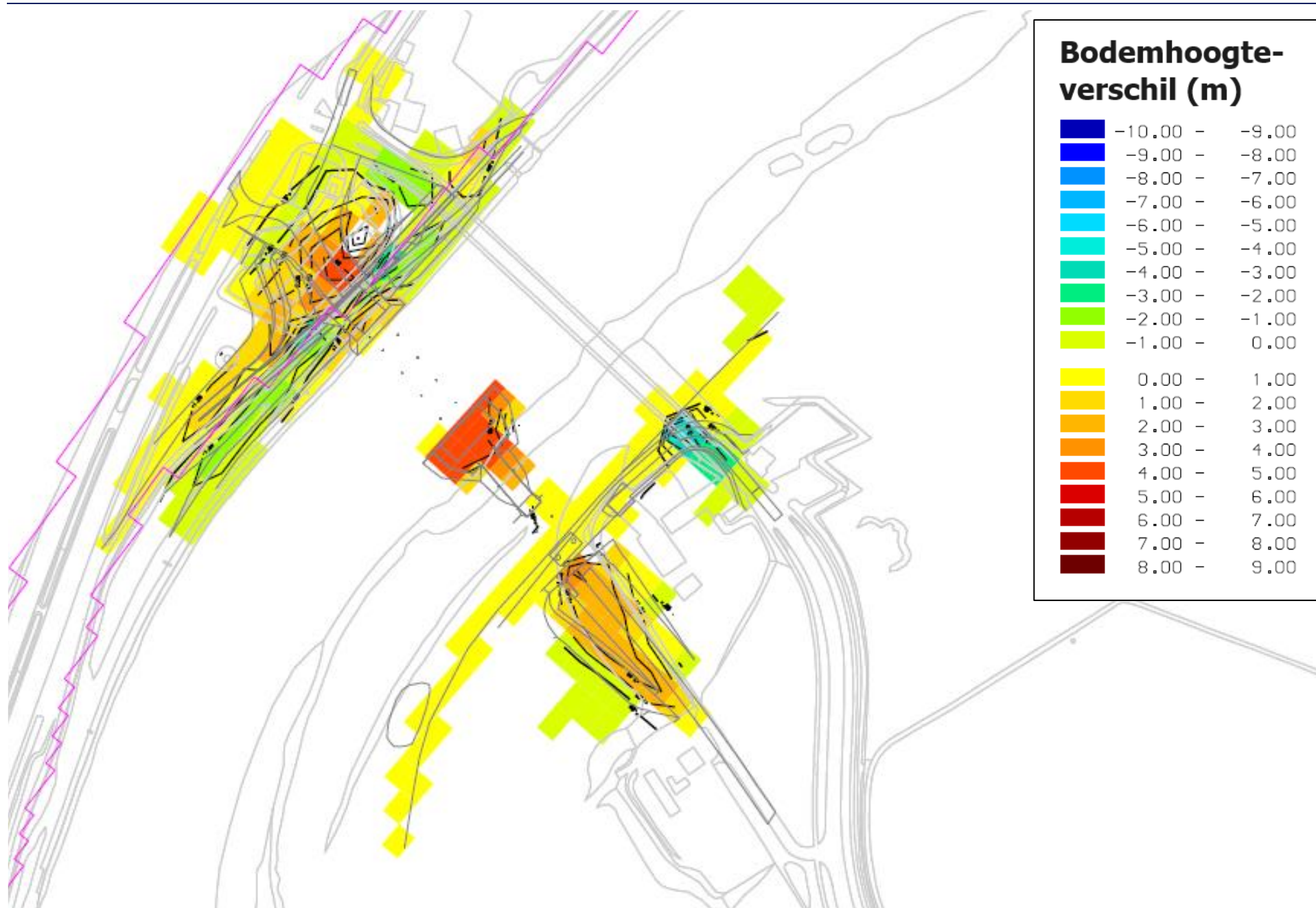


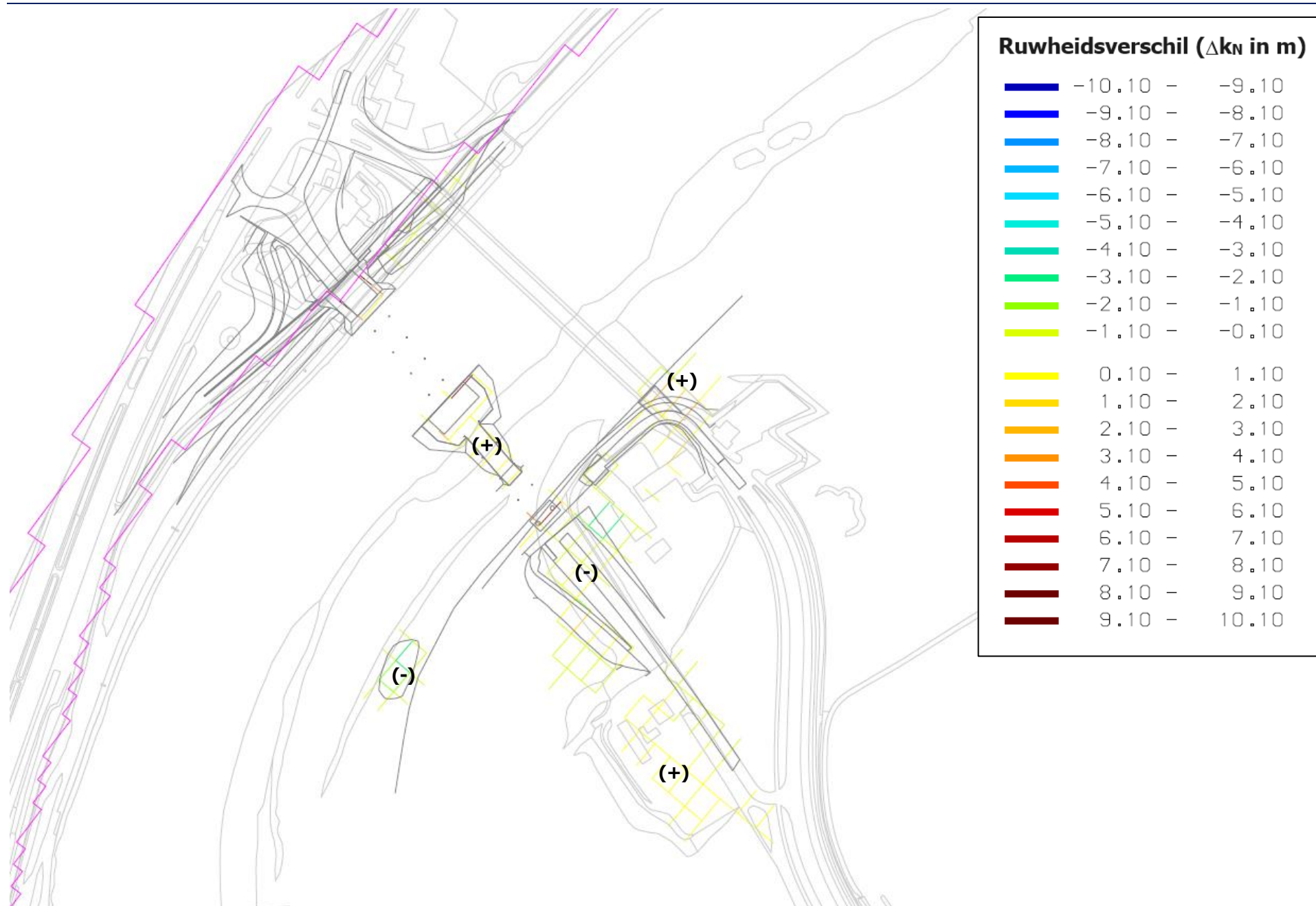
Bijlage 2 Bouwfase Pater Sangersbrug (op basis van referentie 1 zonder Heerenlaak): scenario 2



Hydraulische ruwheden scenario 2: bouwphase Pater Sangersbrug (op basis van referentie 1 zonder Heerenlaak)





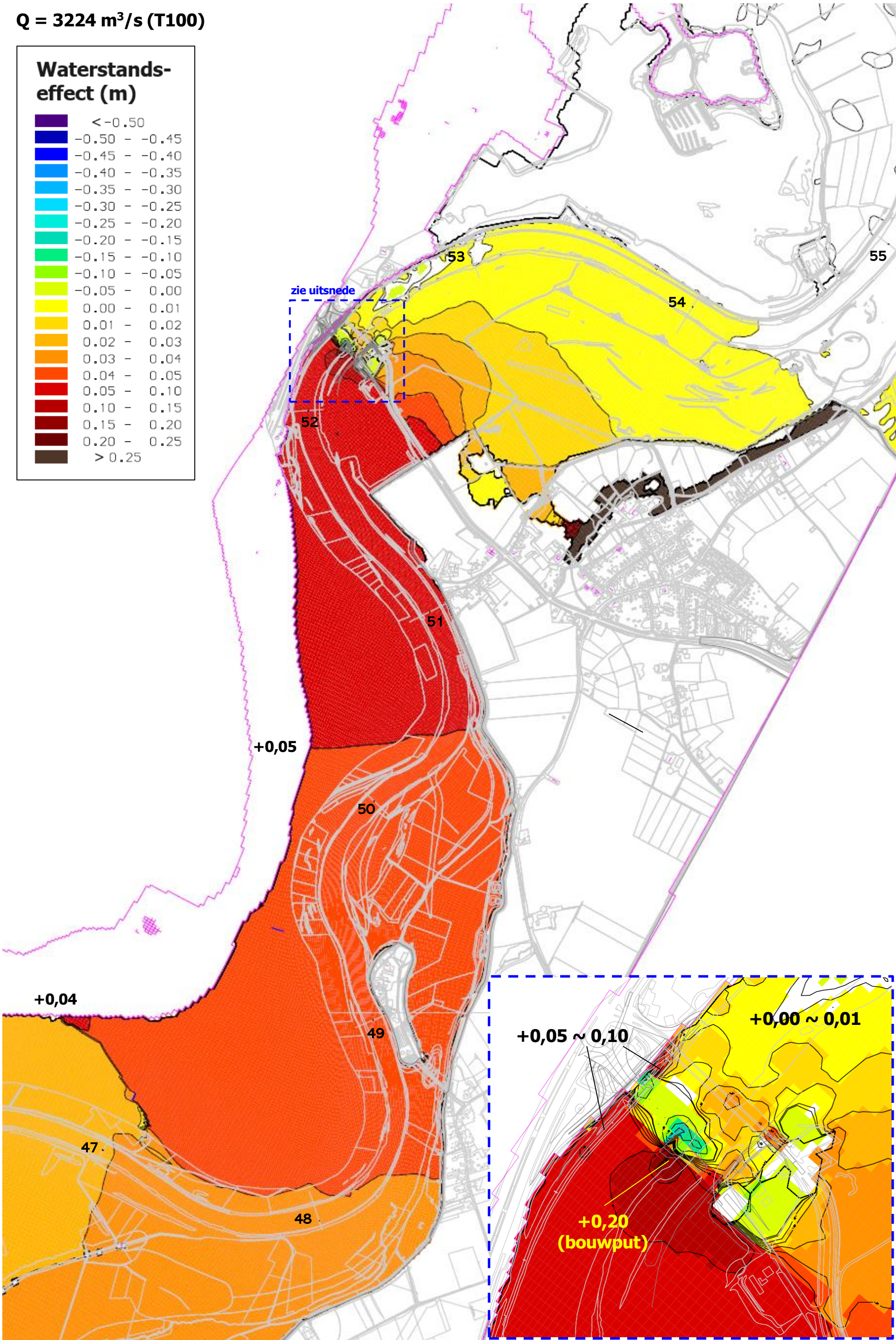
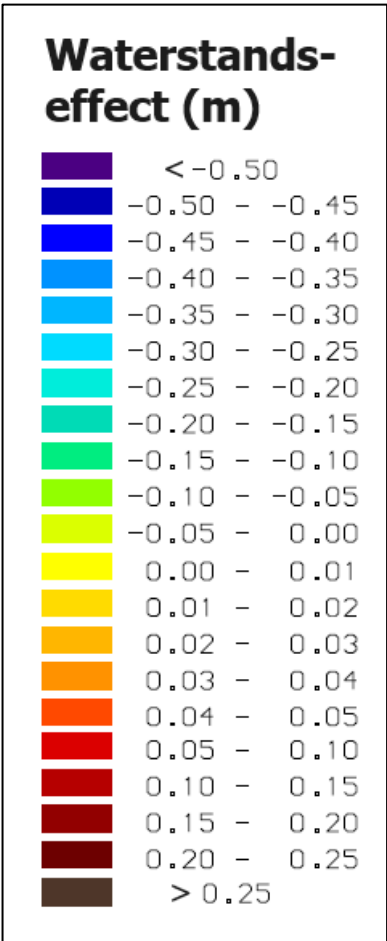


Overlaten

- alleen in referentie
- alleen in ontwerp

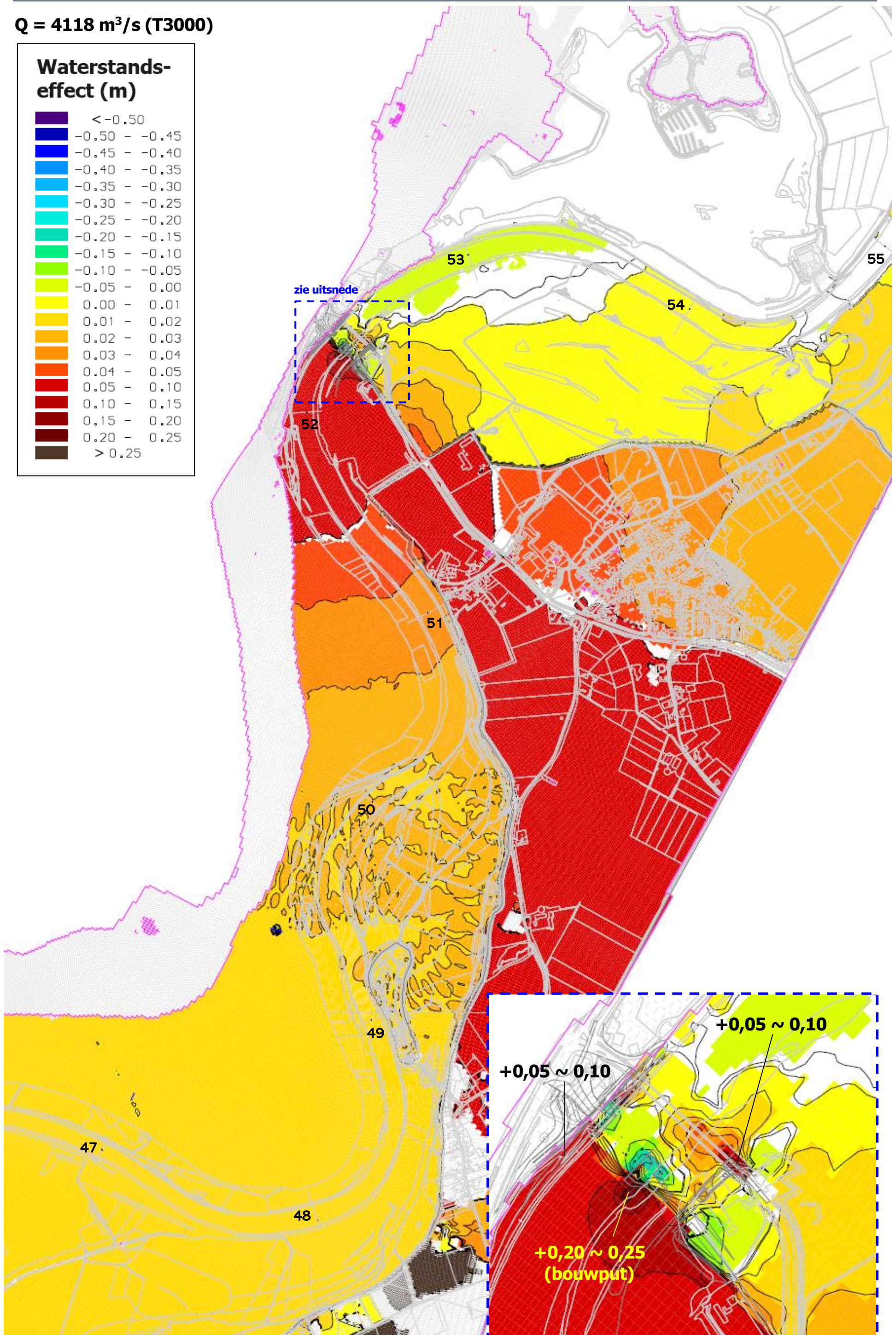


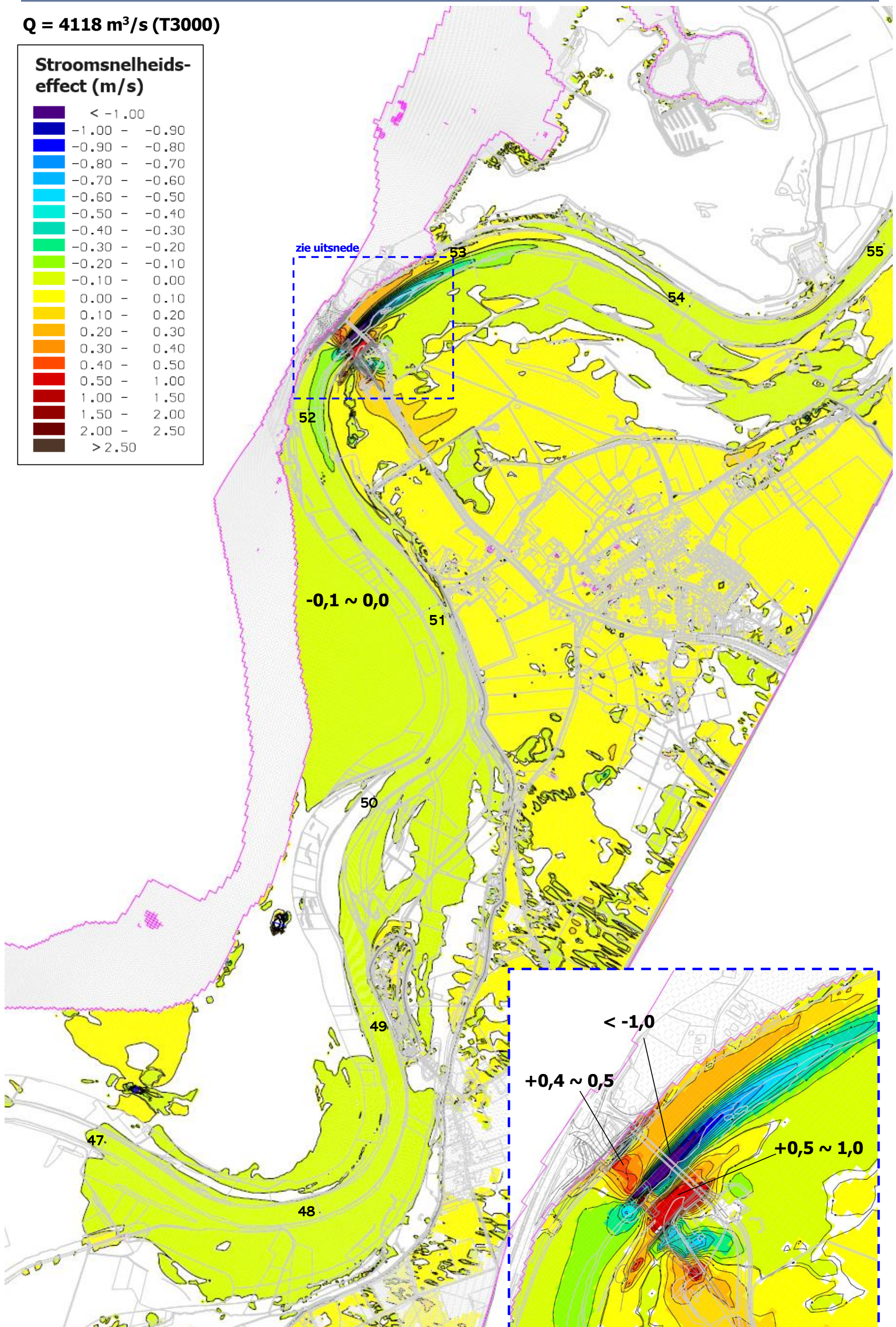
Q = 3224 m³/s (T100)

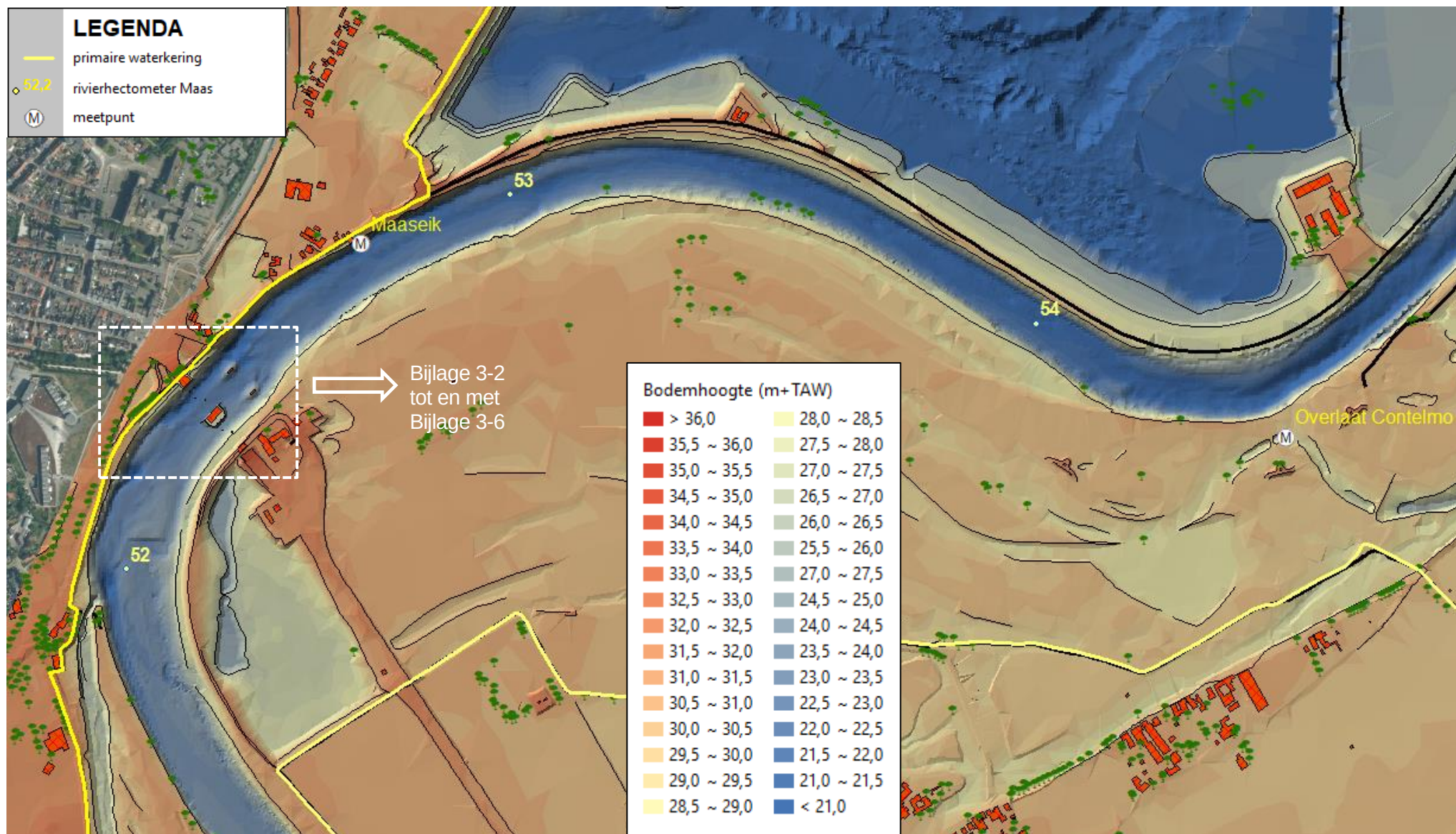


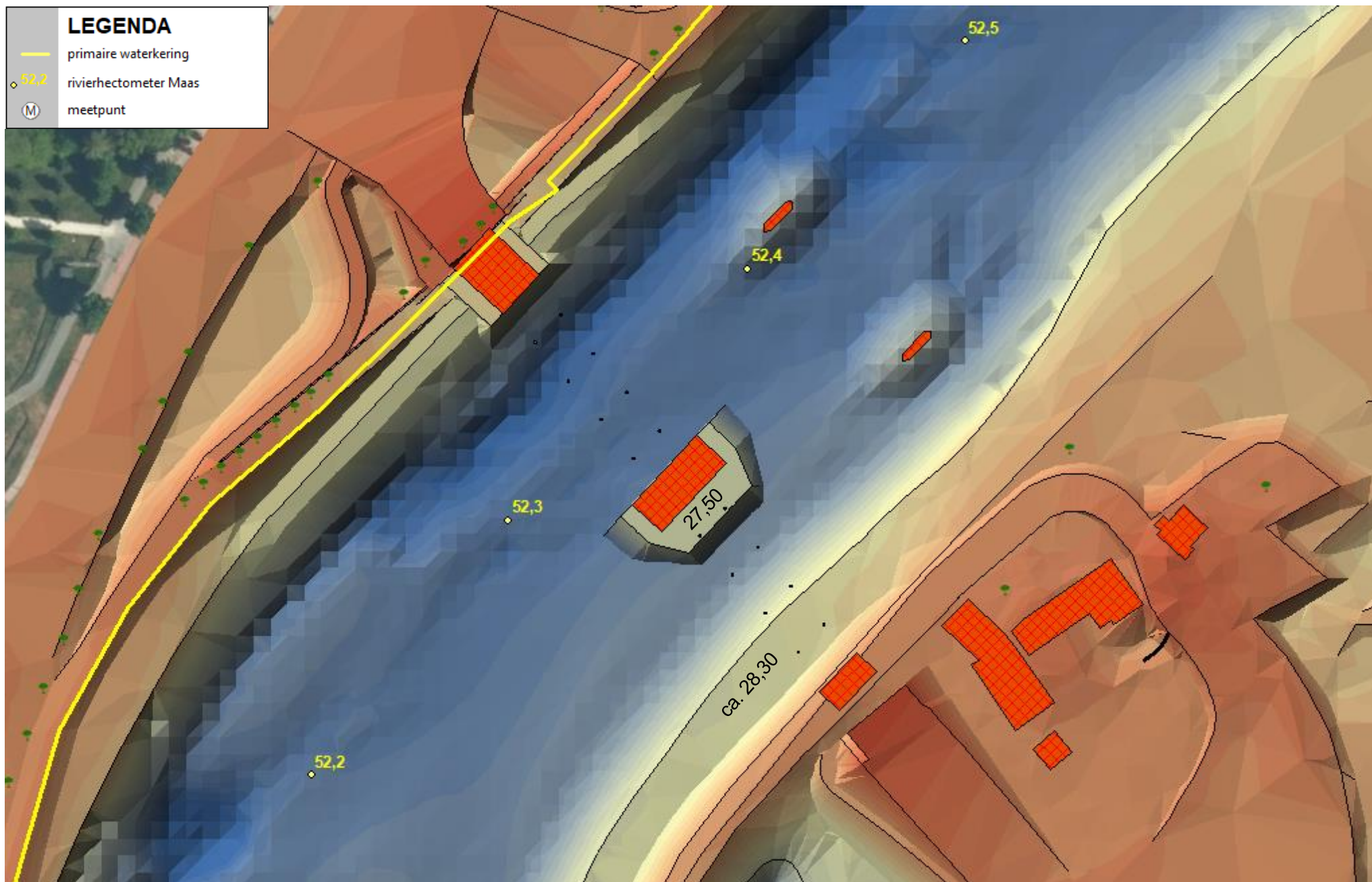
Q = 4118 m³/s (T3000)**Waterstands-
effect (m)**

	< -0.50
	-0.50 - -0.45
	-0.45 - -0.40
	-0.40 - -0.35
	-0.35 - -0.30
	-0.30 - -0.25
	-0.25 - -0.20
	-0.20 - -0.15
	-0.15 - -0.10
	-0.10 - -0.05
	-0.05 - 0.00
	0.00 - 0.01
	0.01 - 0.02
	0.02 - 0.03
	0.03 - 0.04
	0.04 - 0.05
	0.05 - 0.10
	0.10 - 0.15
	0.15 - 0.20
	0.20 - 0.25
	> 0.25

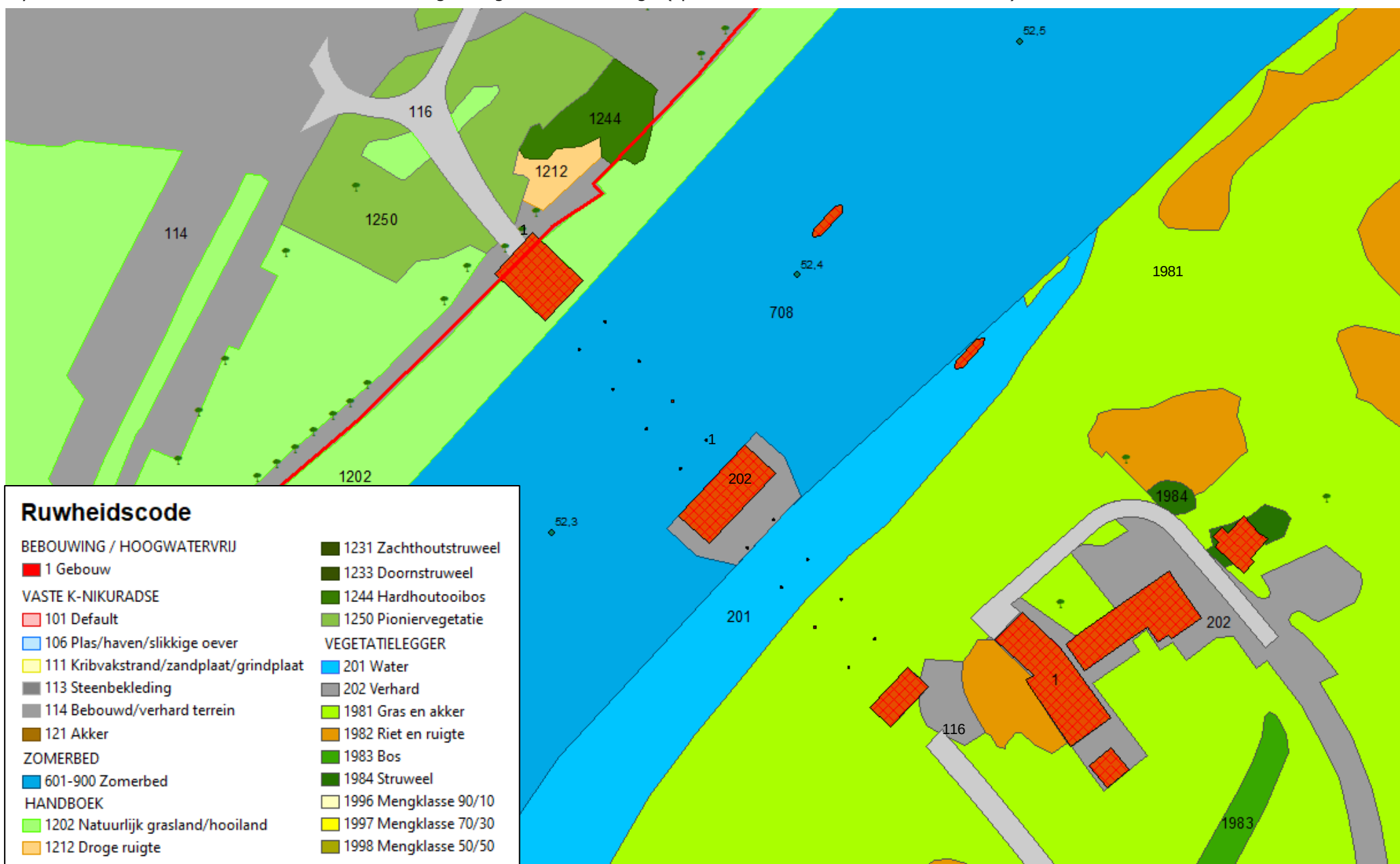


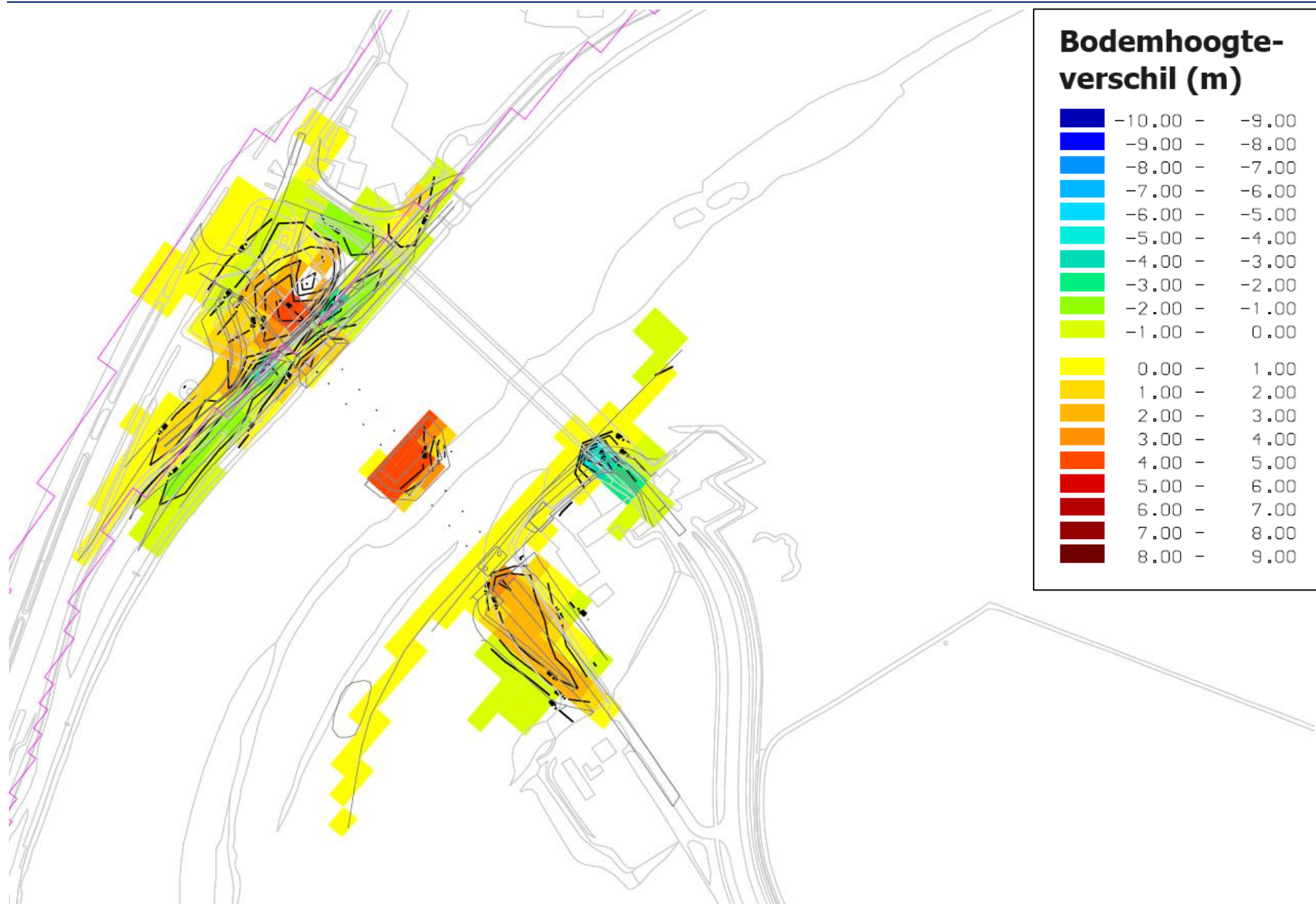
Q = 4118 m³/s (T3000)

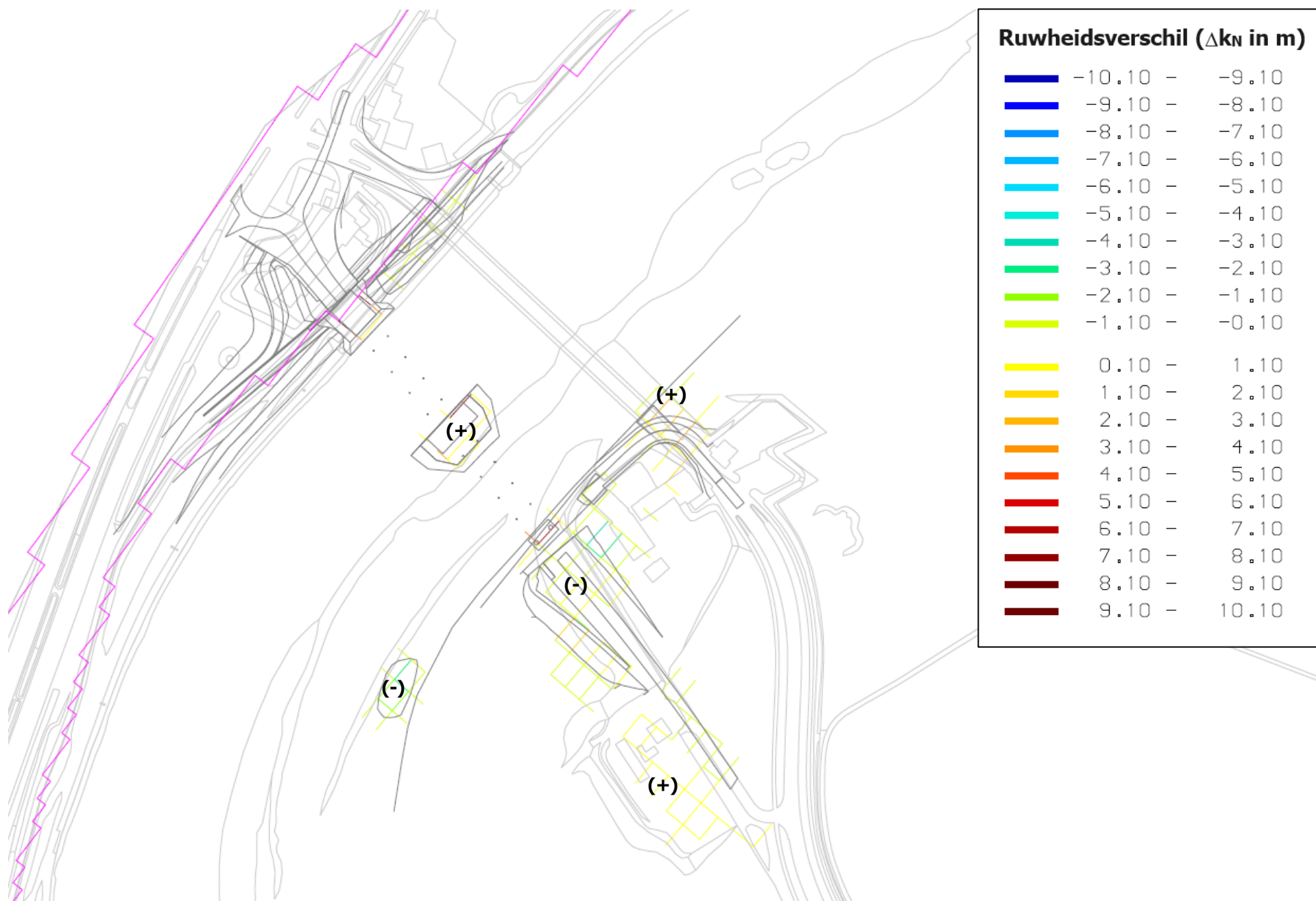
Bijlage 3 Bouwfase Pater Sangersbrug met noodmaatregel (op basis van referentie 1 zonder Heerenlaak): scenario 3



Hydraulische ruwheden scenario 3: bouwphase Pater Sangersbrug met noodmaatregel (op basis van referentie 1 zonder Heerenlaak)

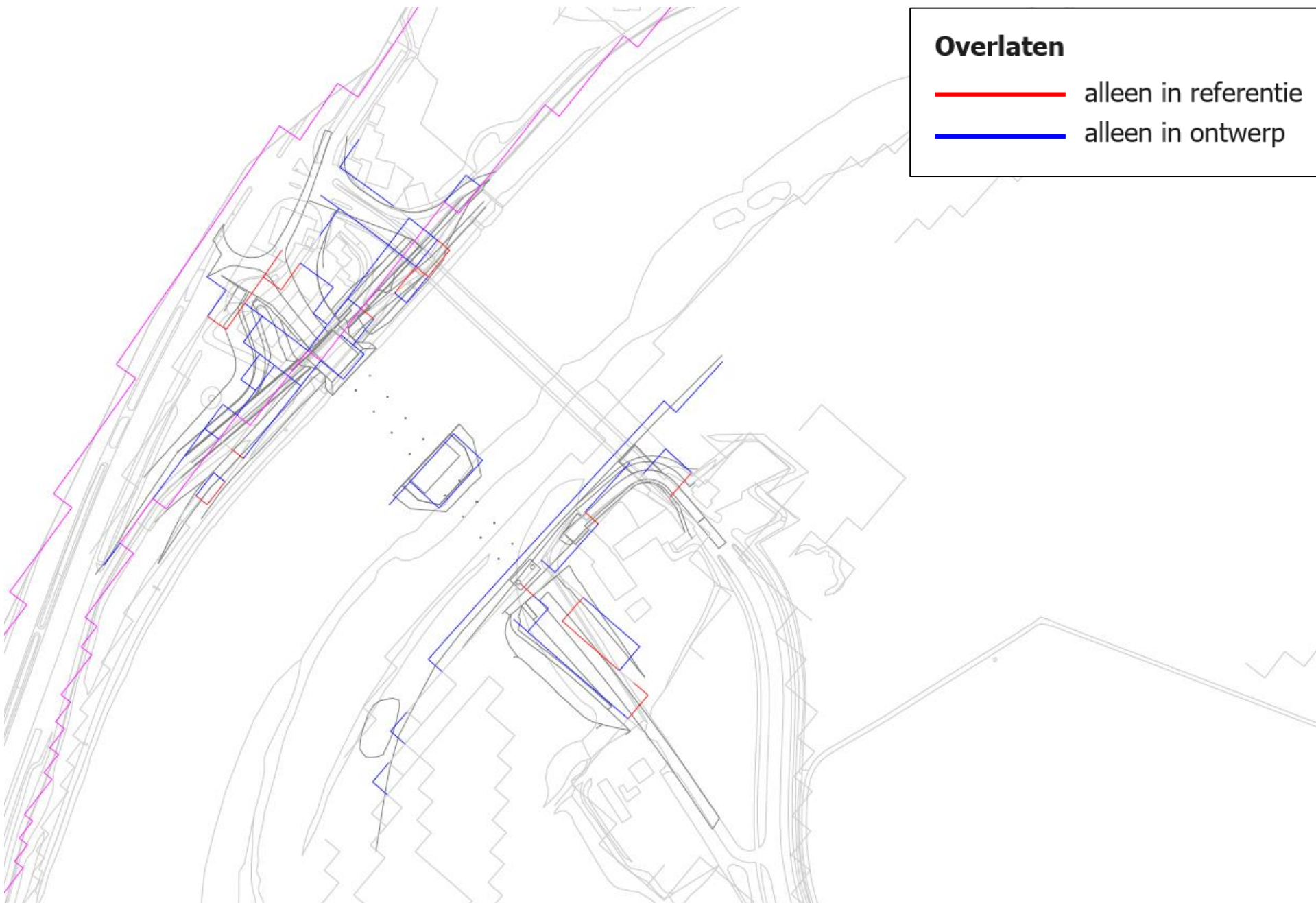




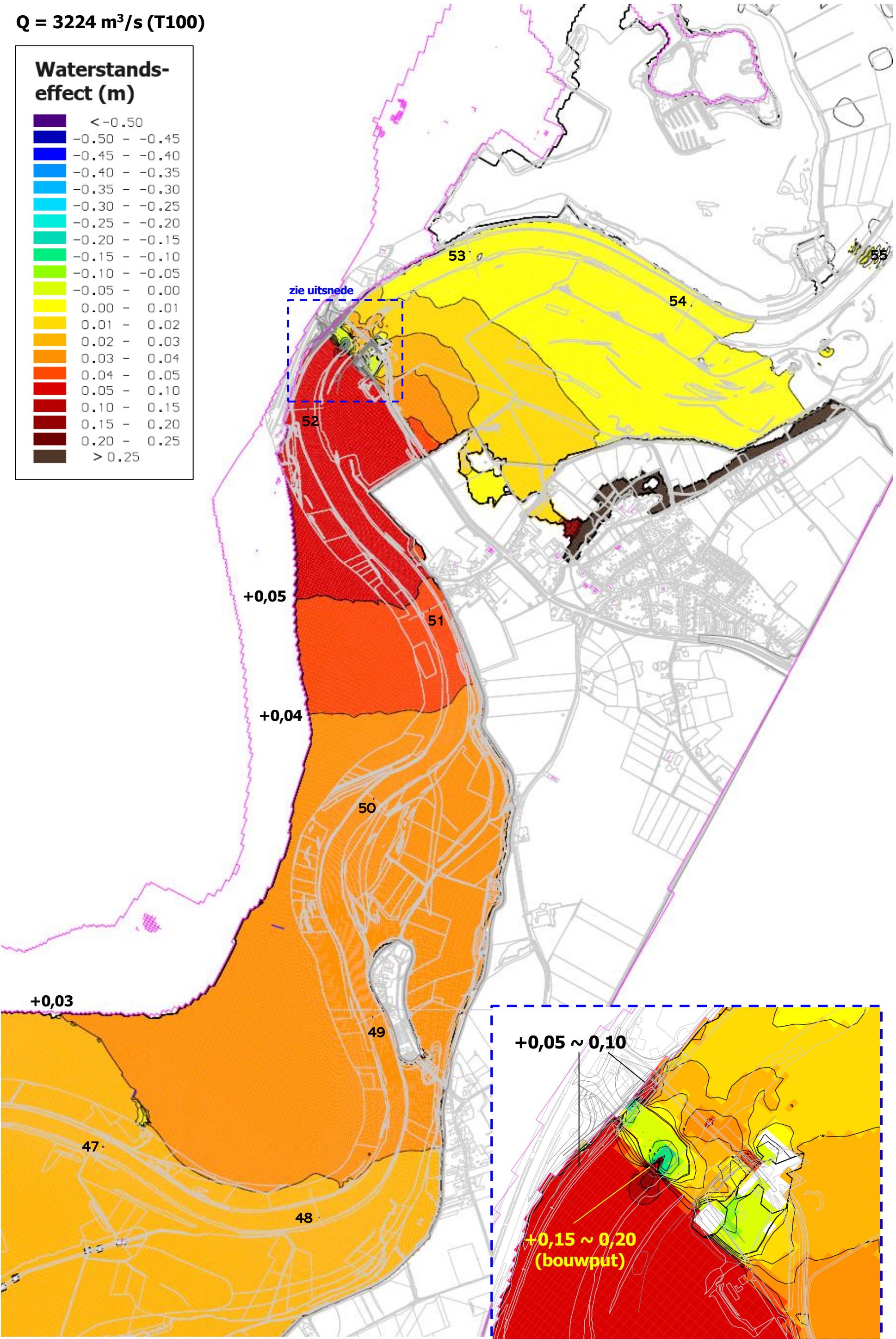
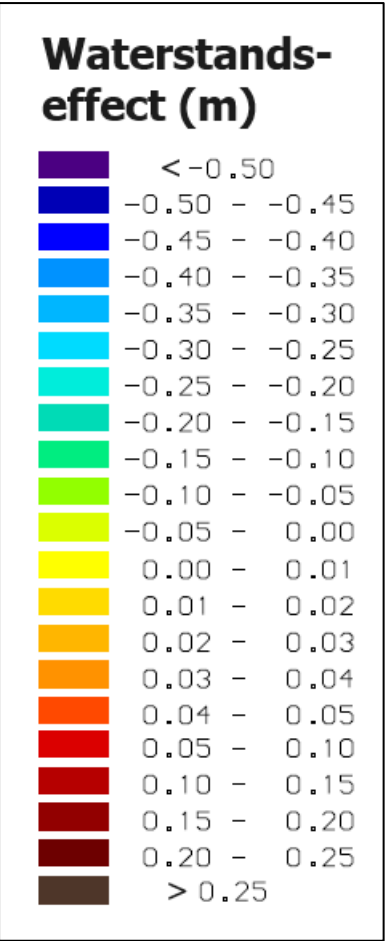


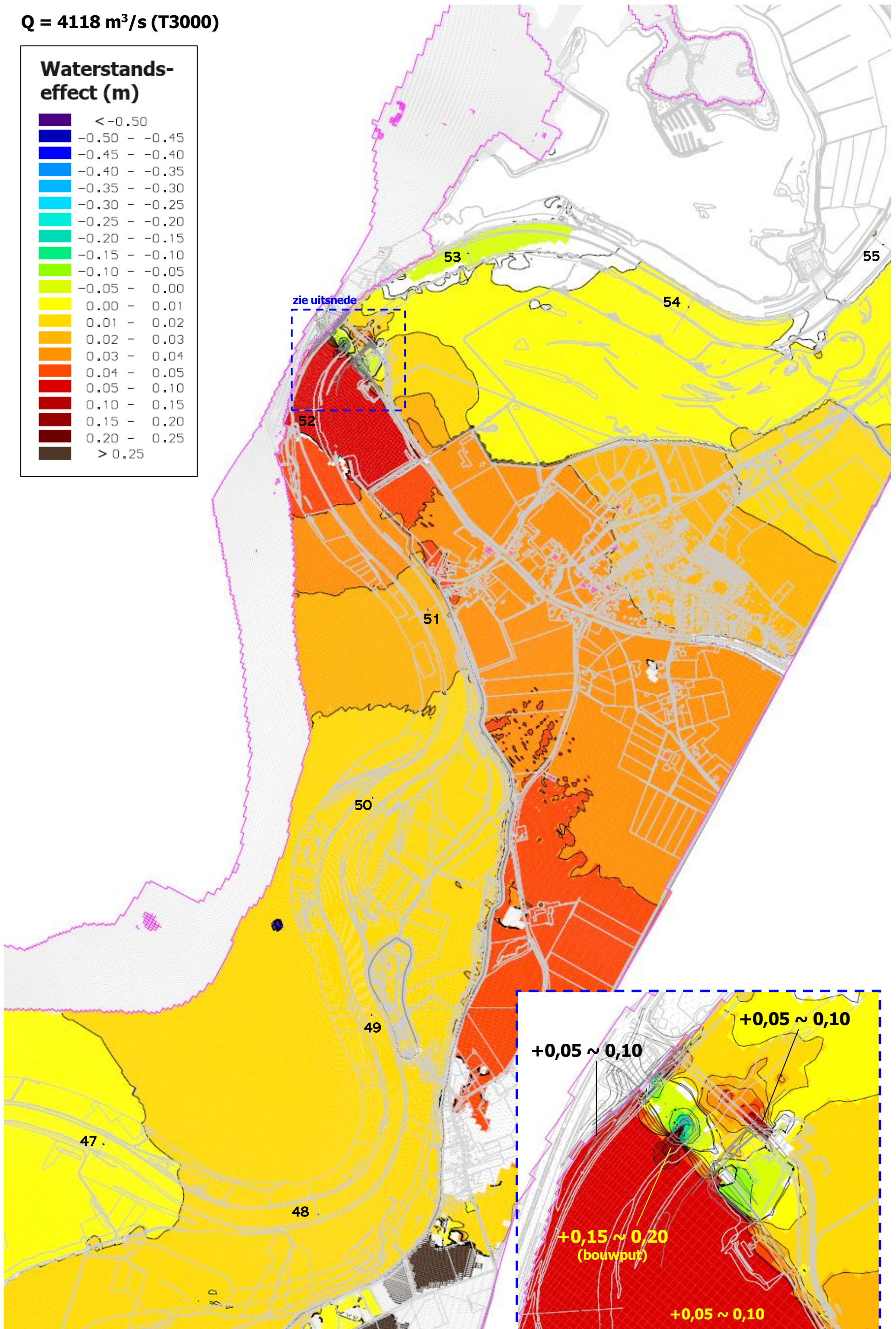
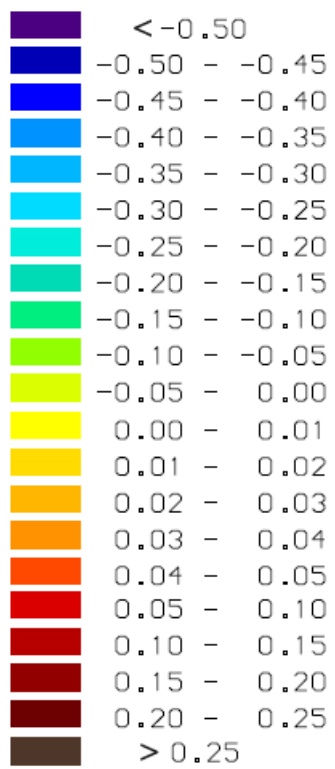
Overlaten

- alleen in referentie
- alleen in ontwerp

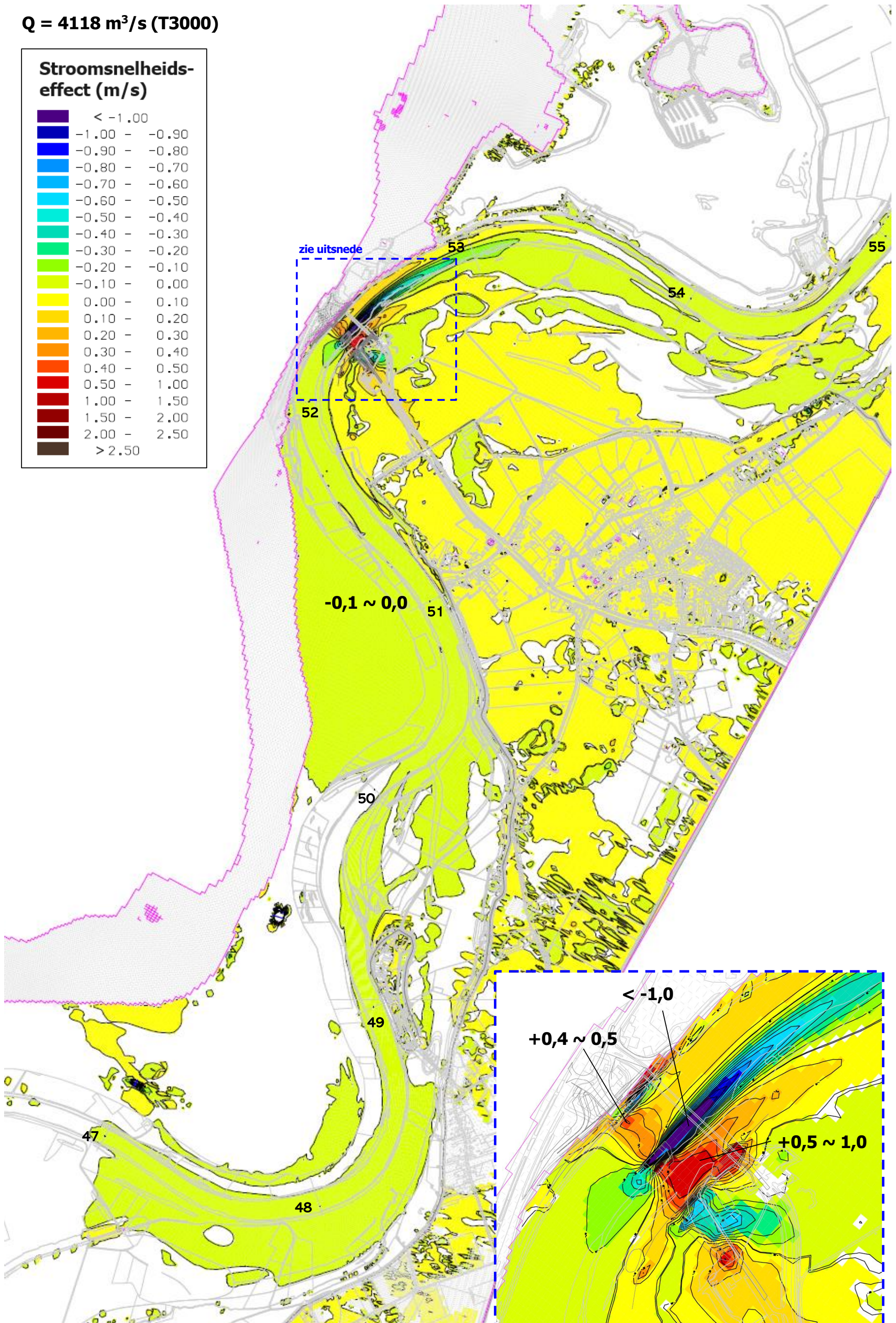
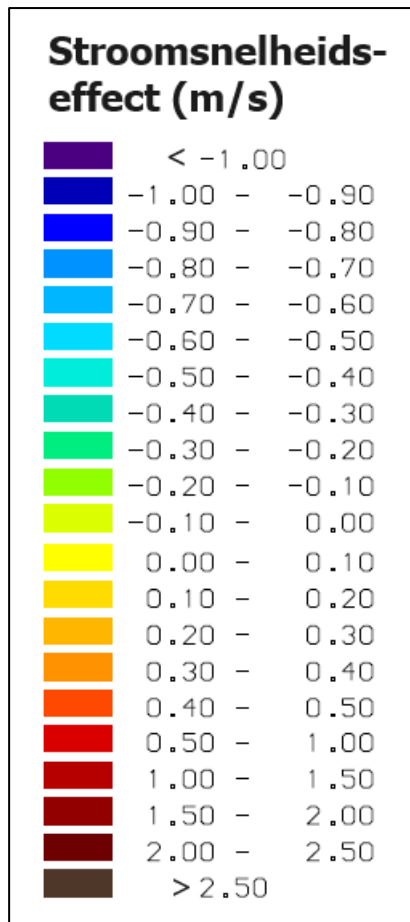


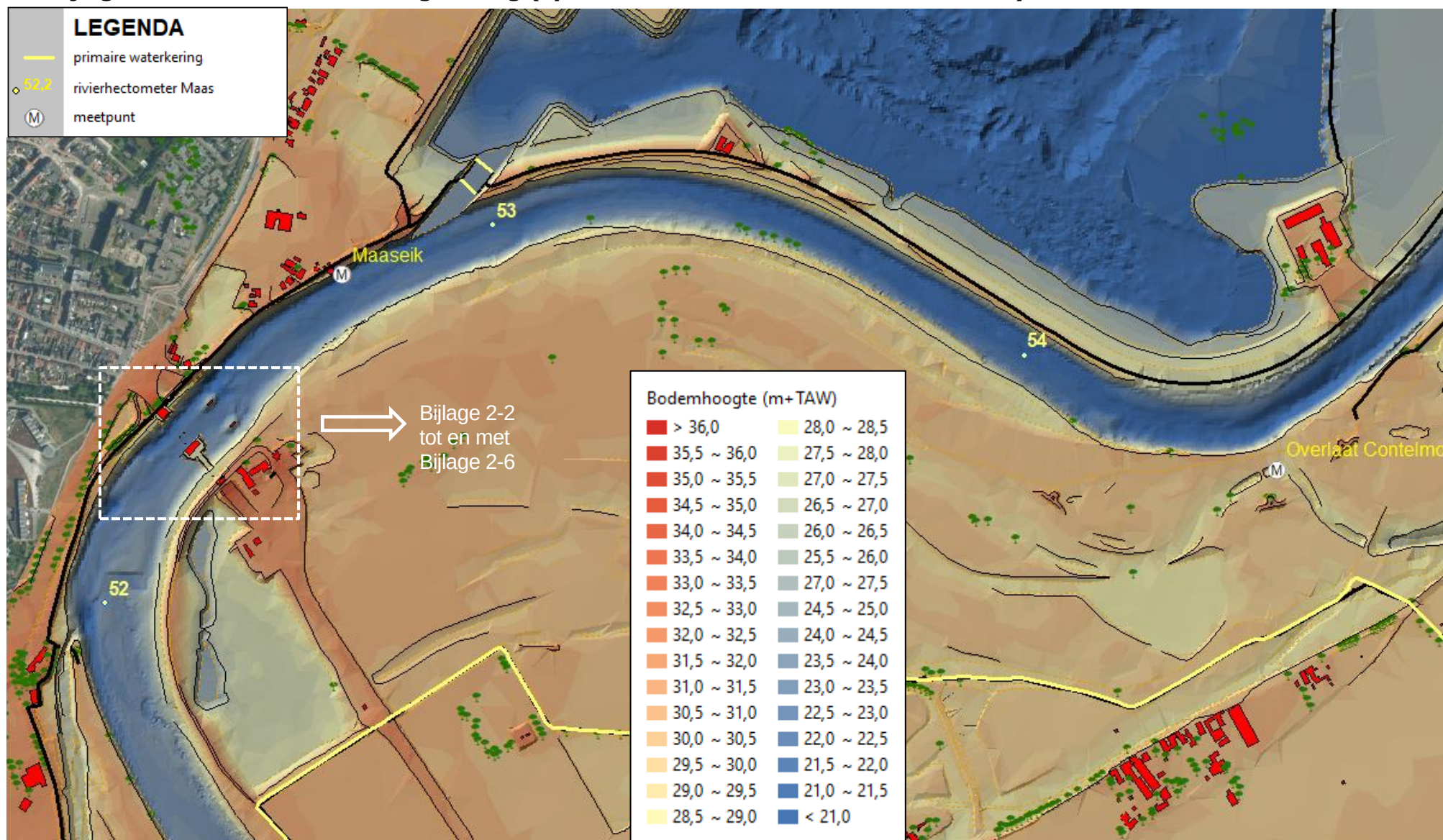
Q = 3224 m³/s (T100)



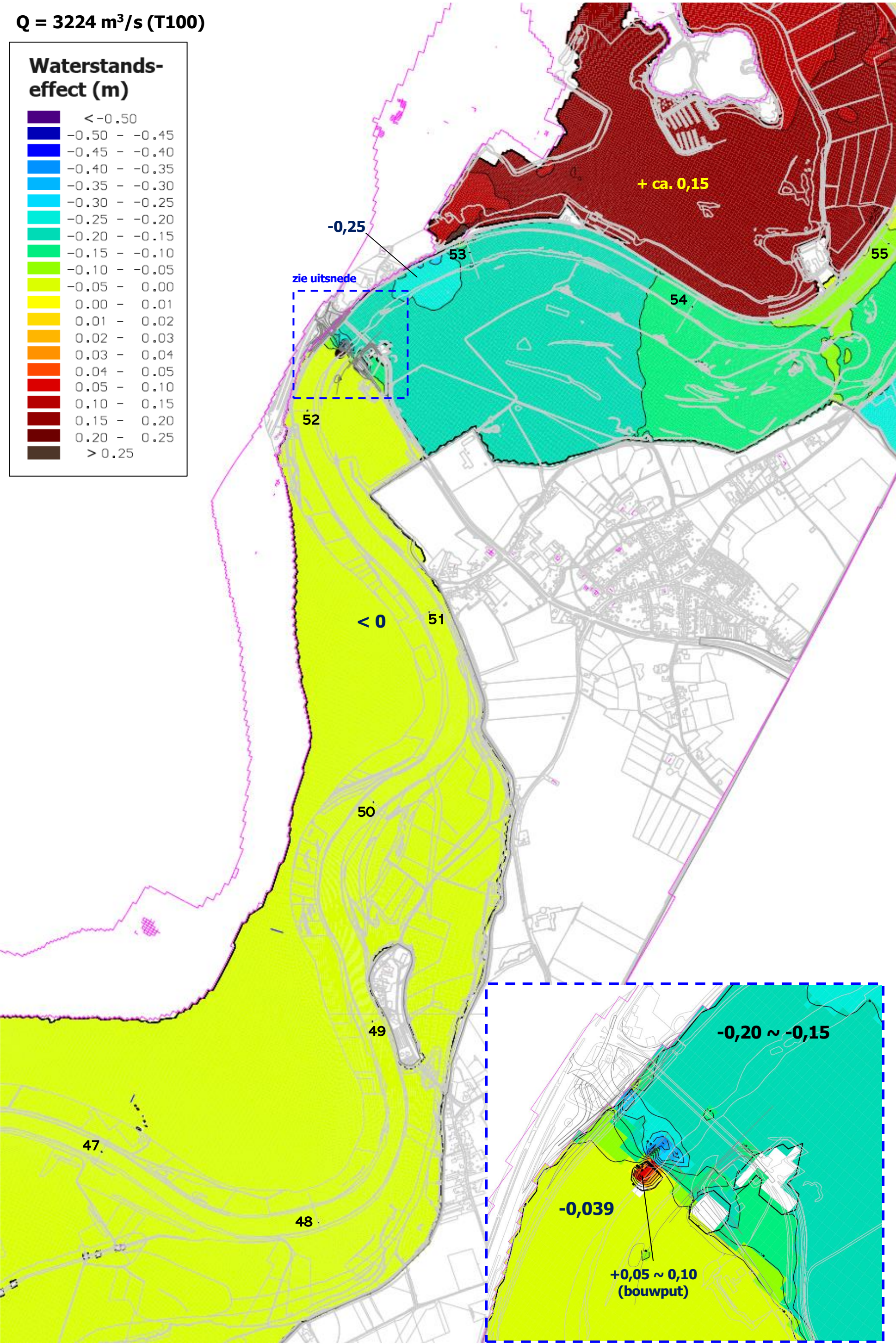
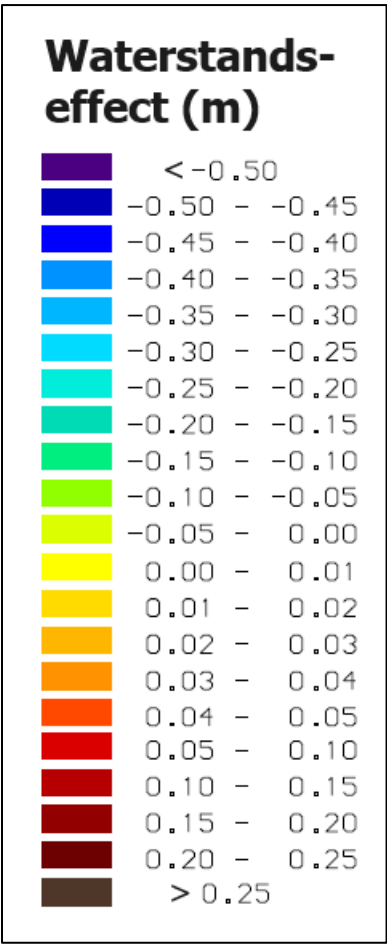
Q = 4118 m³/s (T3000)**Waterstands-
effect (m)**

Q = 4118 m³/s (T3000)

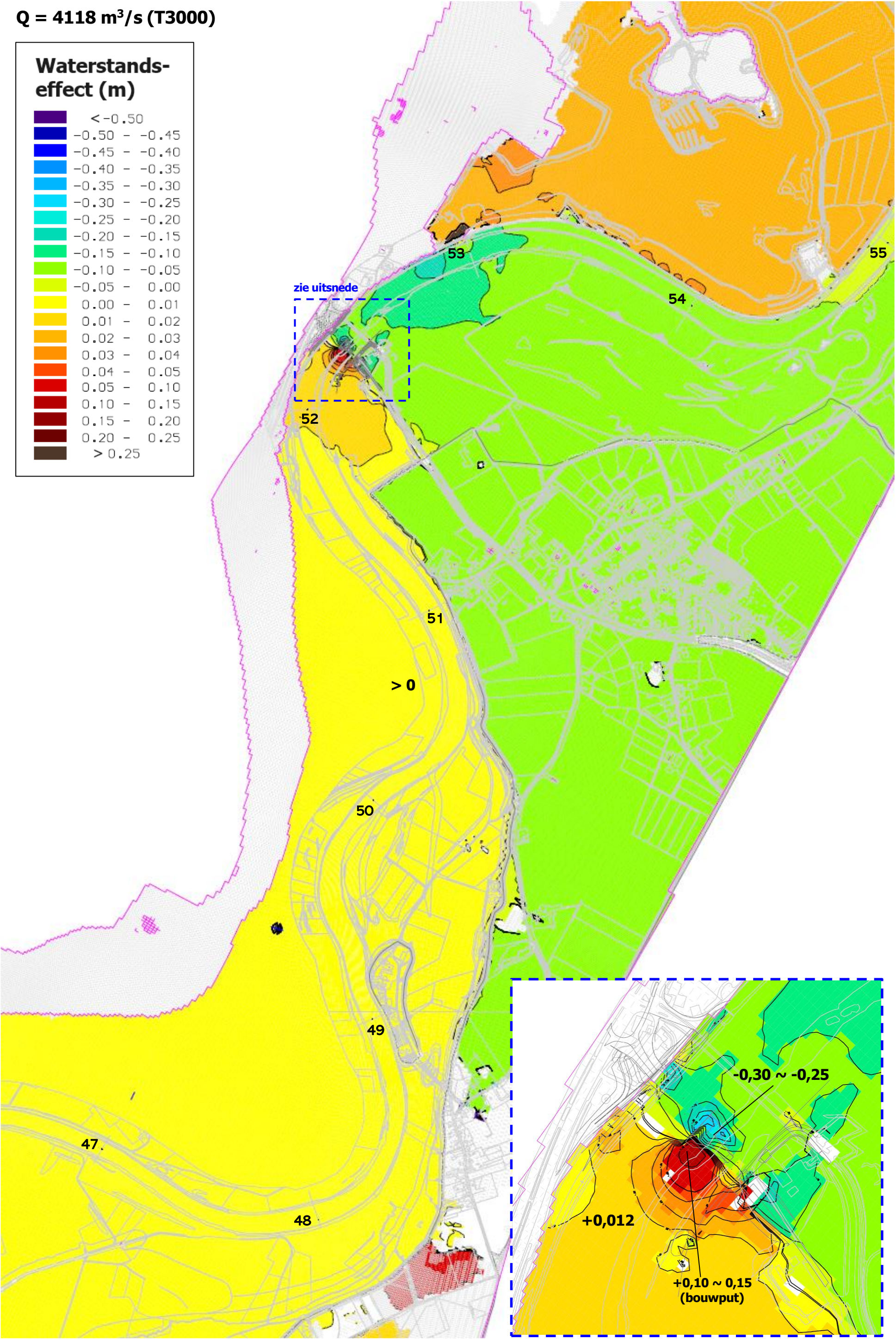
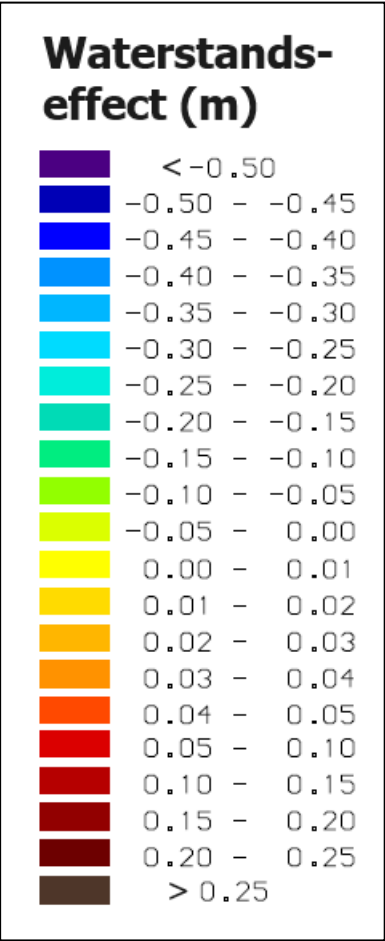


Bijlage 4 Bouwfase Pater Sangersbrug (op basis van referentie 2 met Heerenlaak): scenario 4

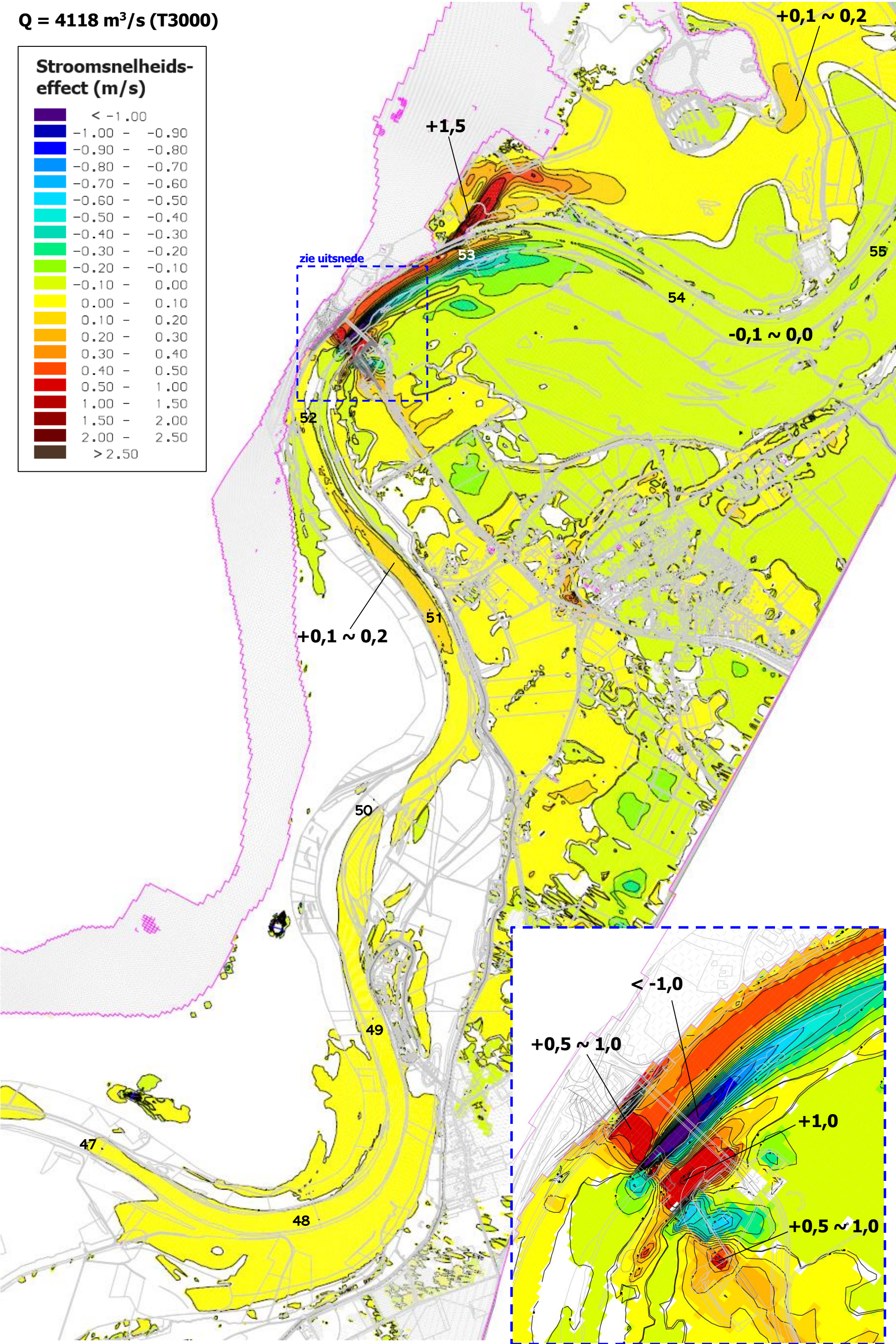
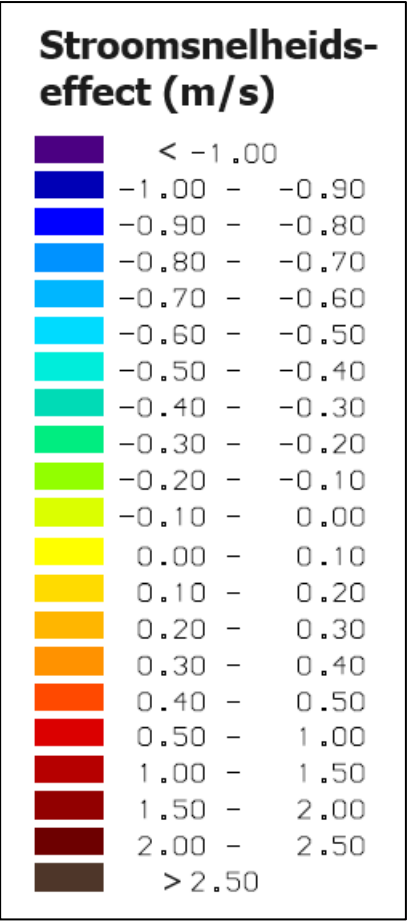
Q = 3224 m³/s (T100)

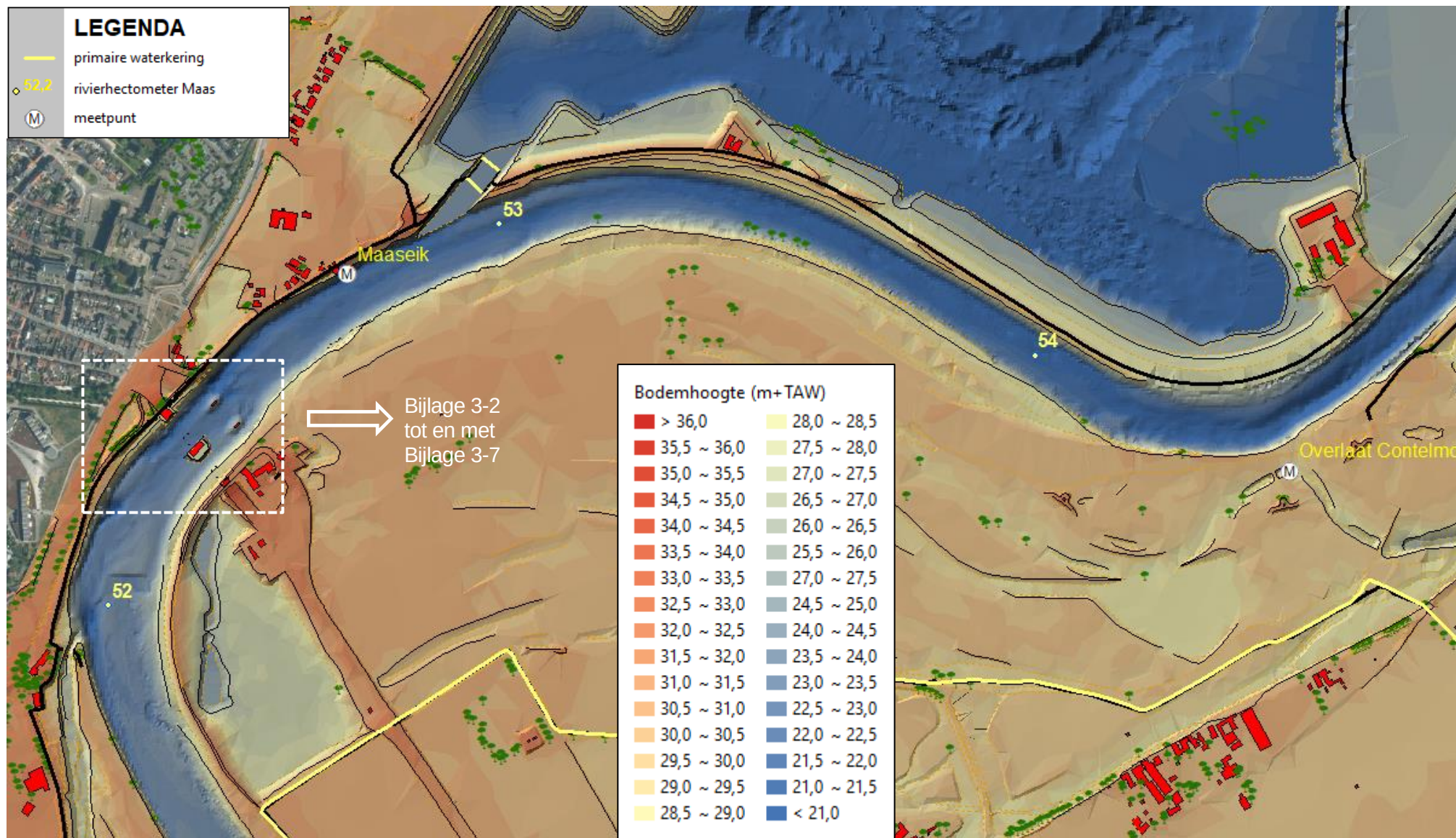


Q = 4118 m³/s (T3000)

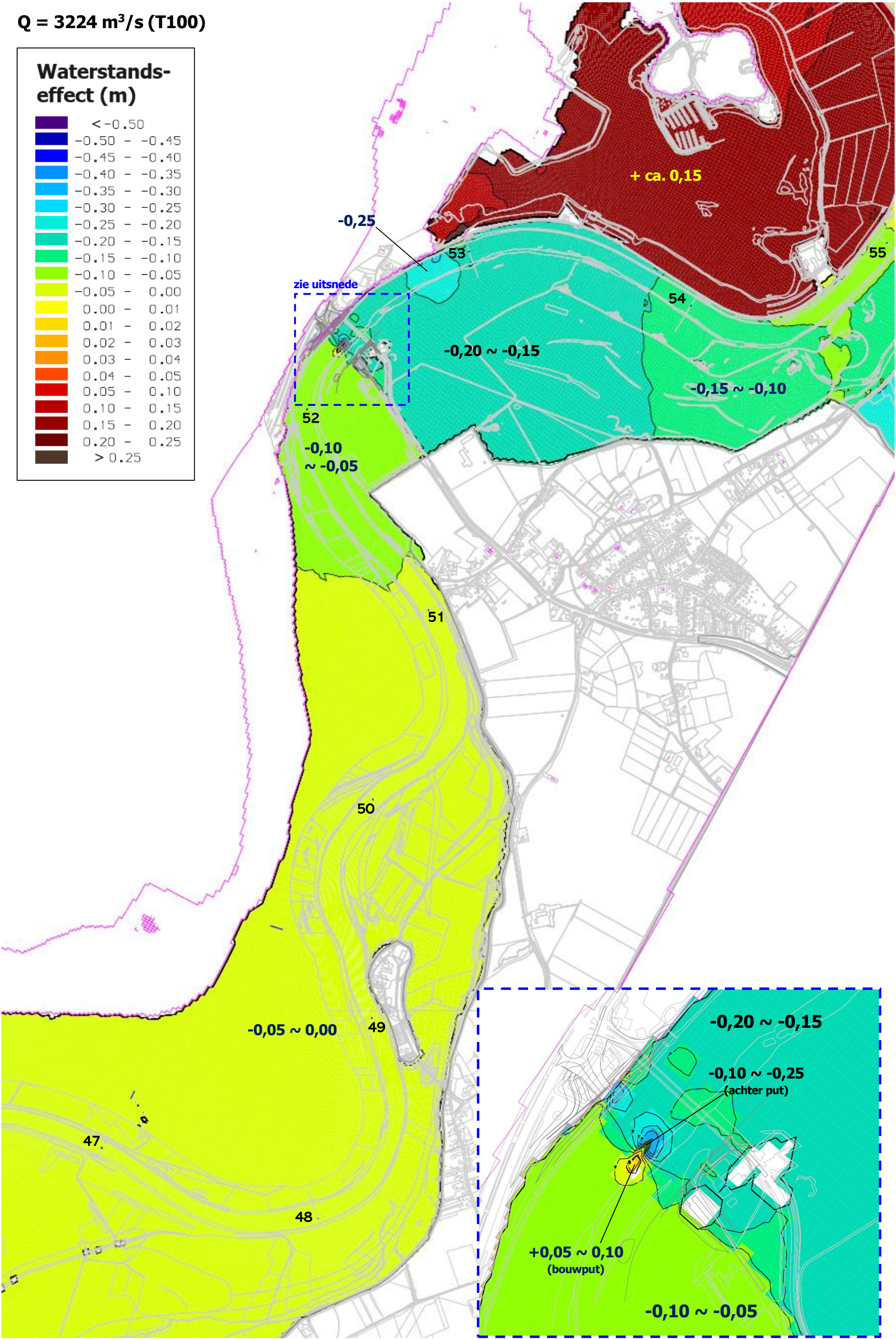
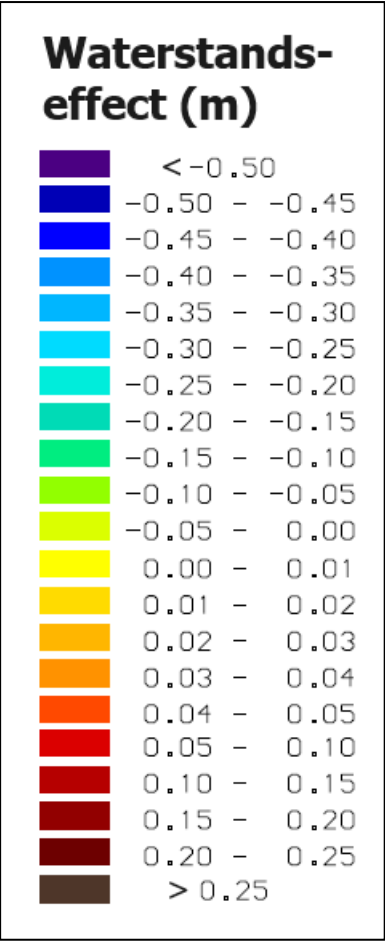


Q = 4118 m³/s (T3000)

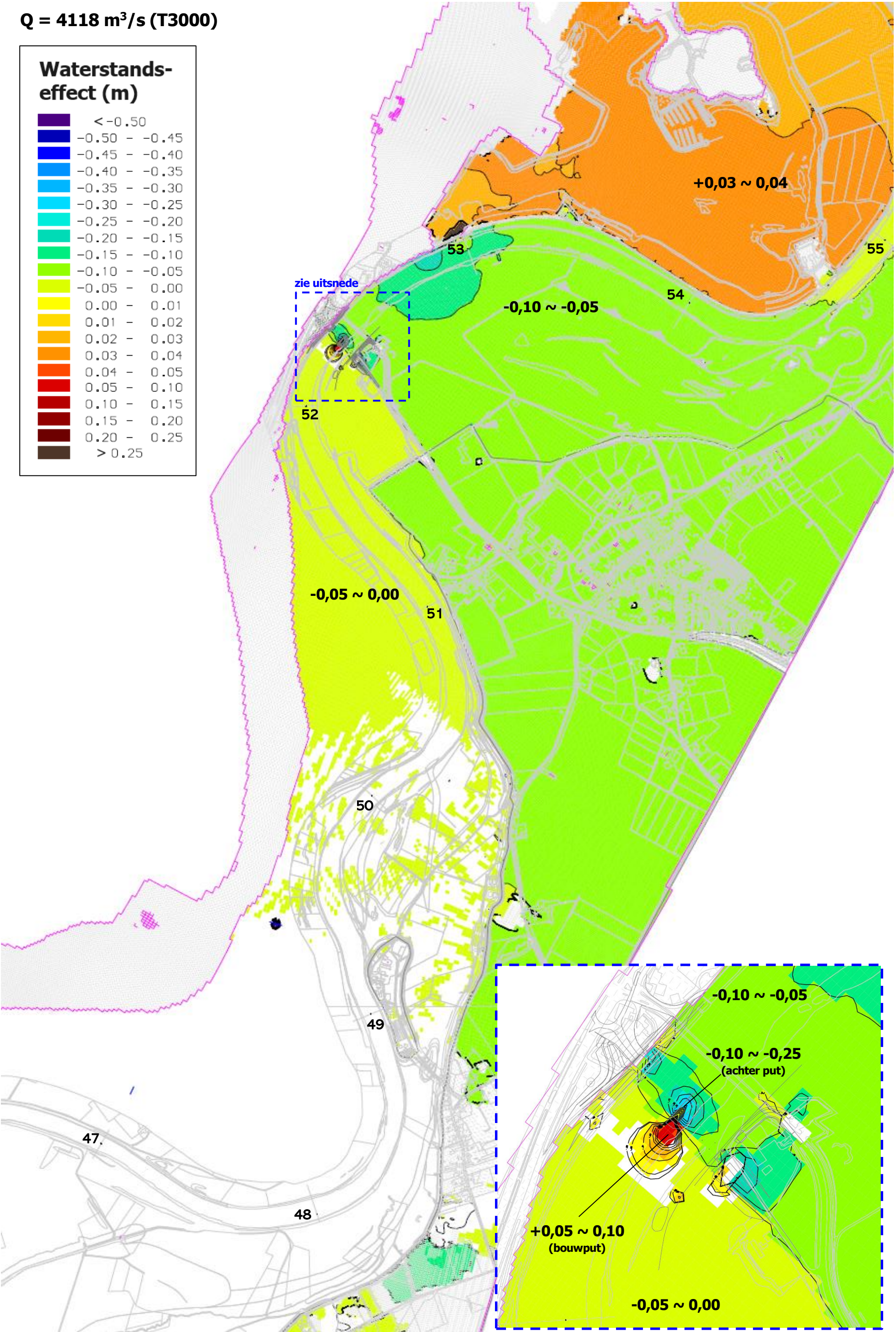
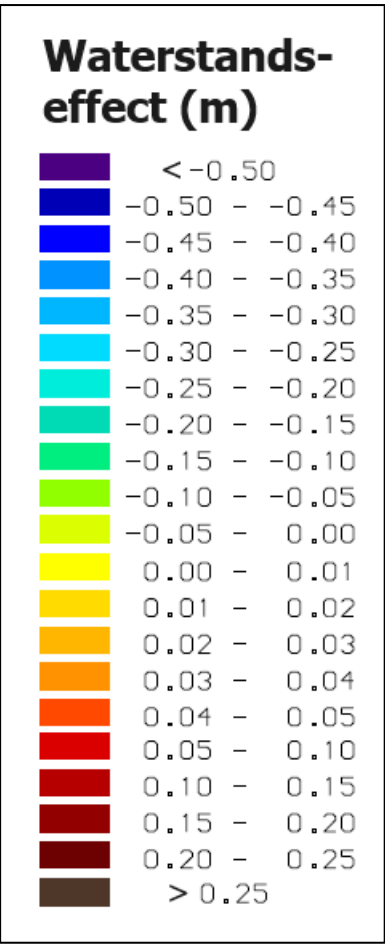


Bijlage 5 Bouwfase Pater Sangersbrug met noodmaatregel (op basis van referentie 2 met Heerenlaak): scenario 5

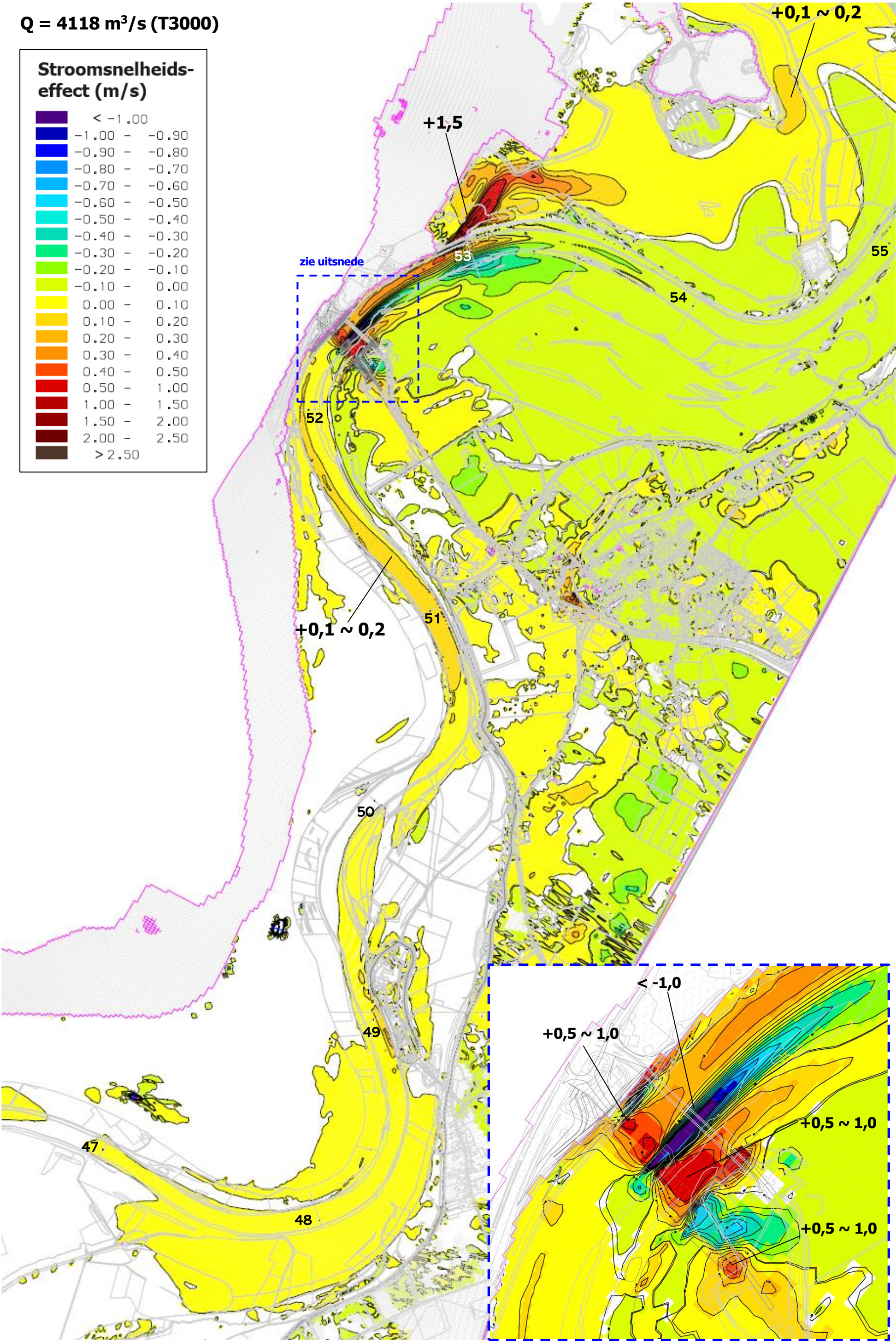
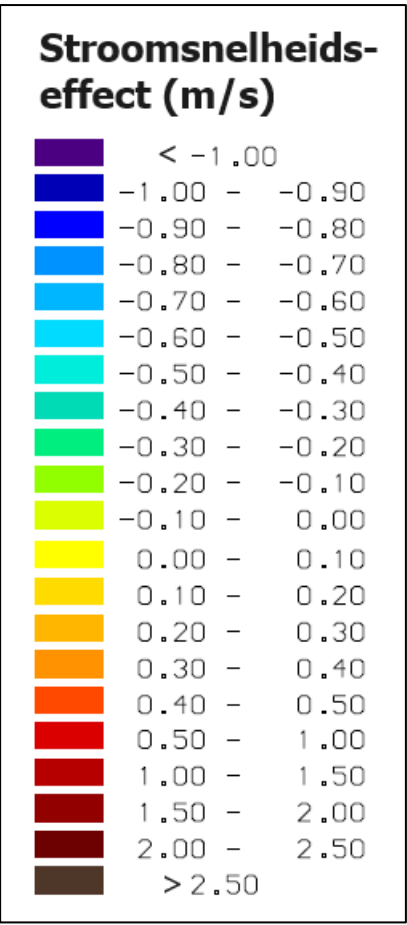
Q = 3224 m³/s (T100)

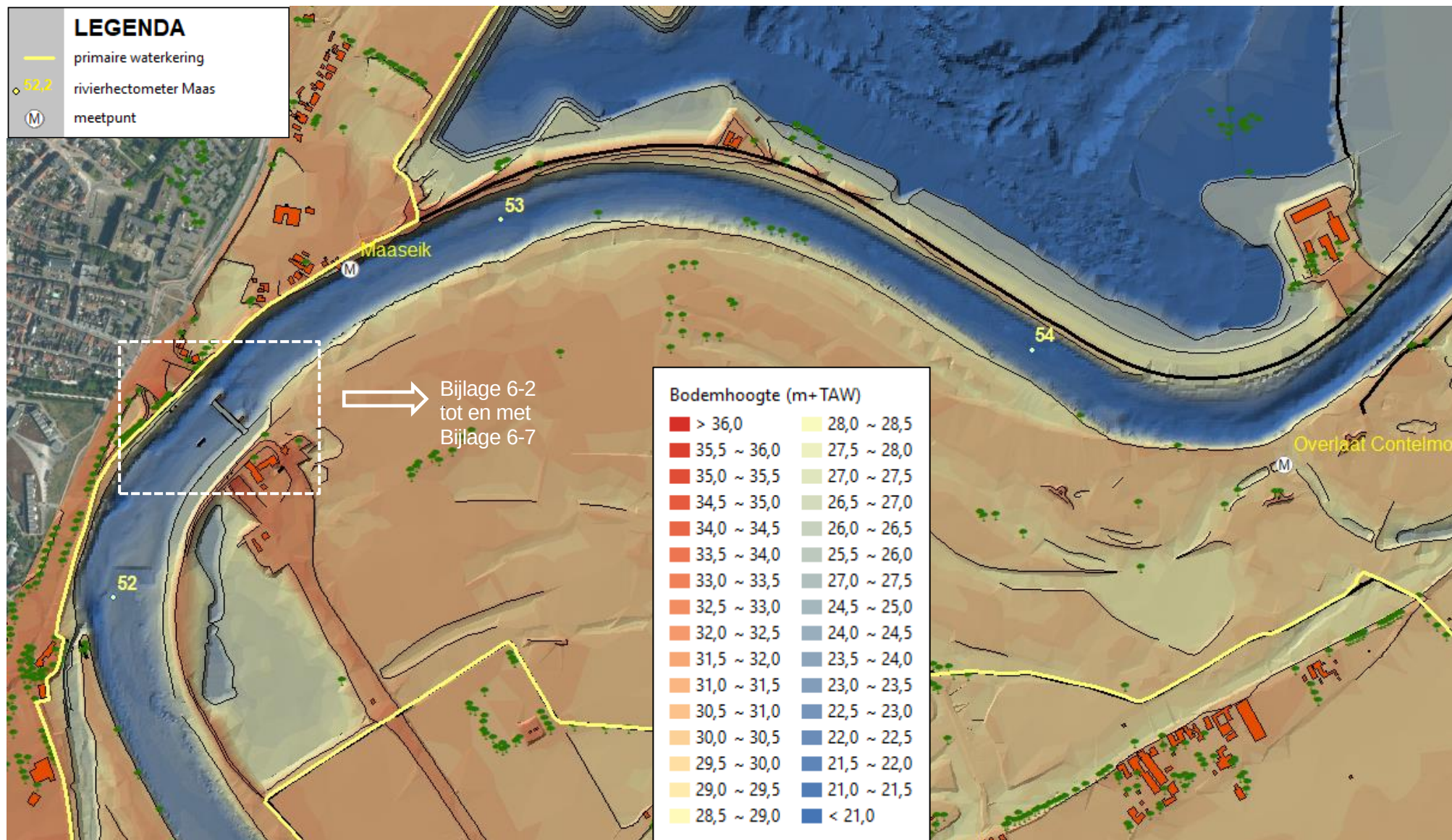


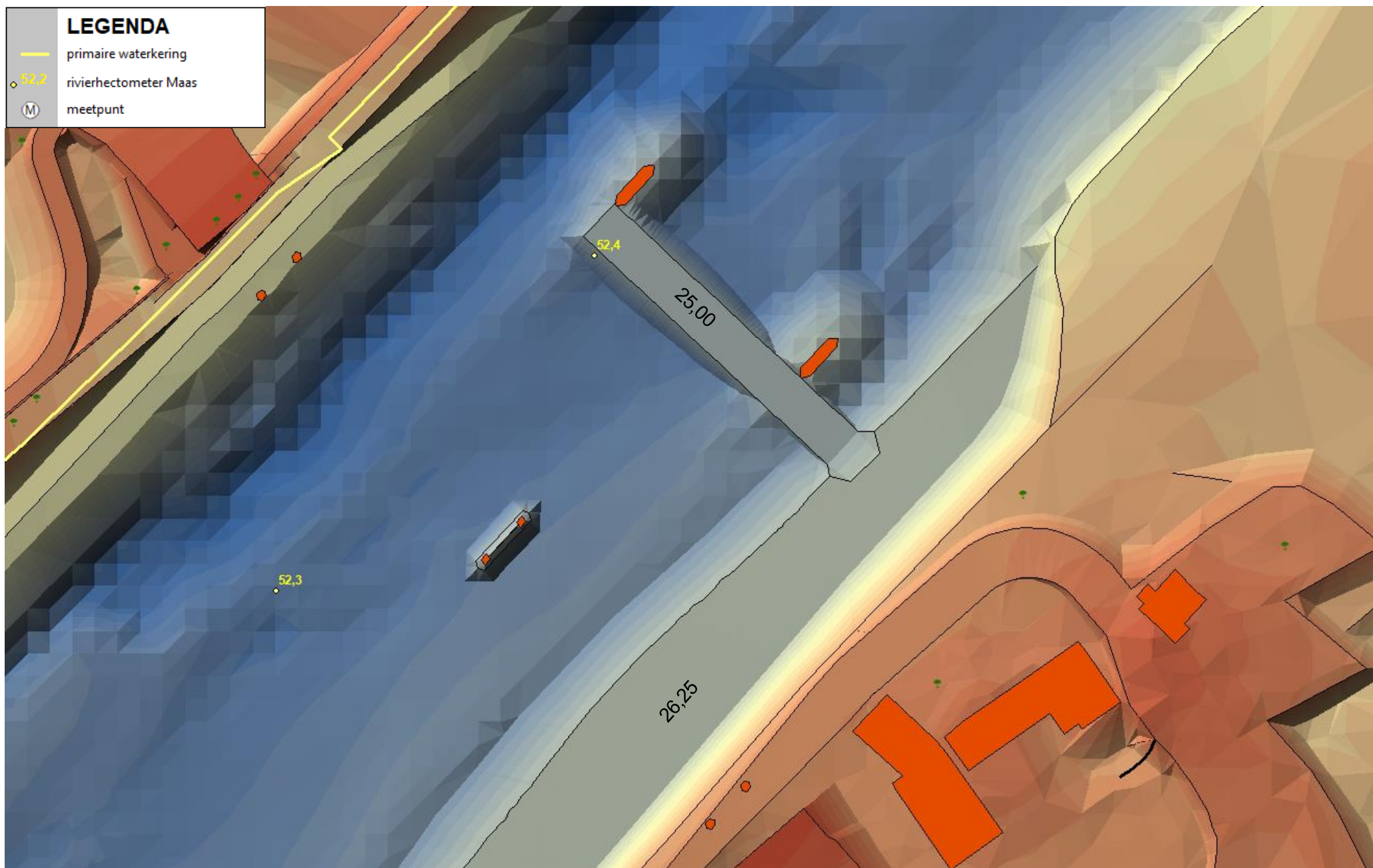
Q = 4118 m³/s (T3000)



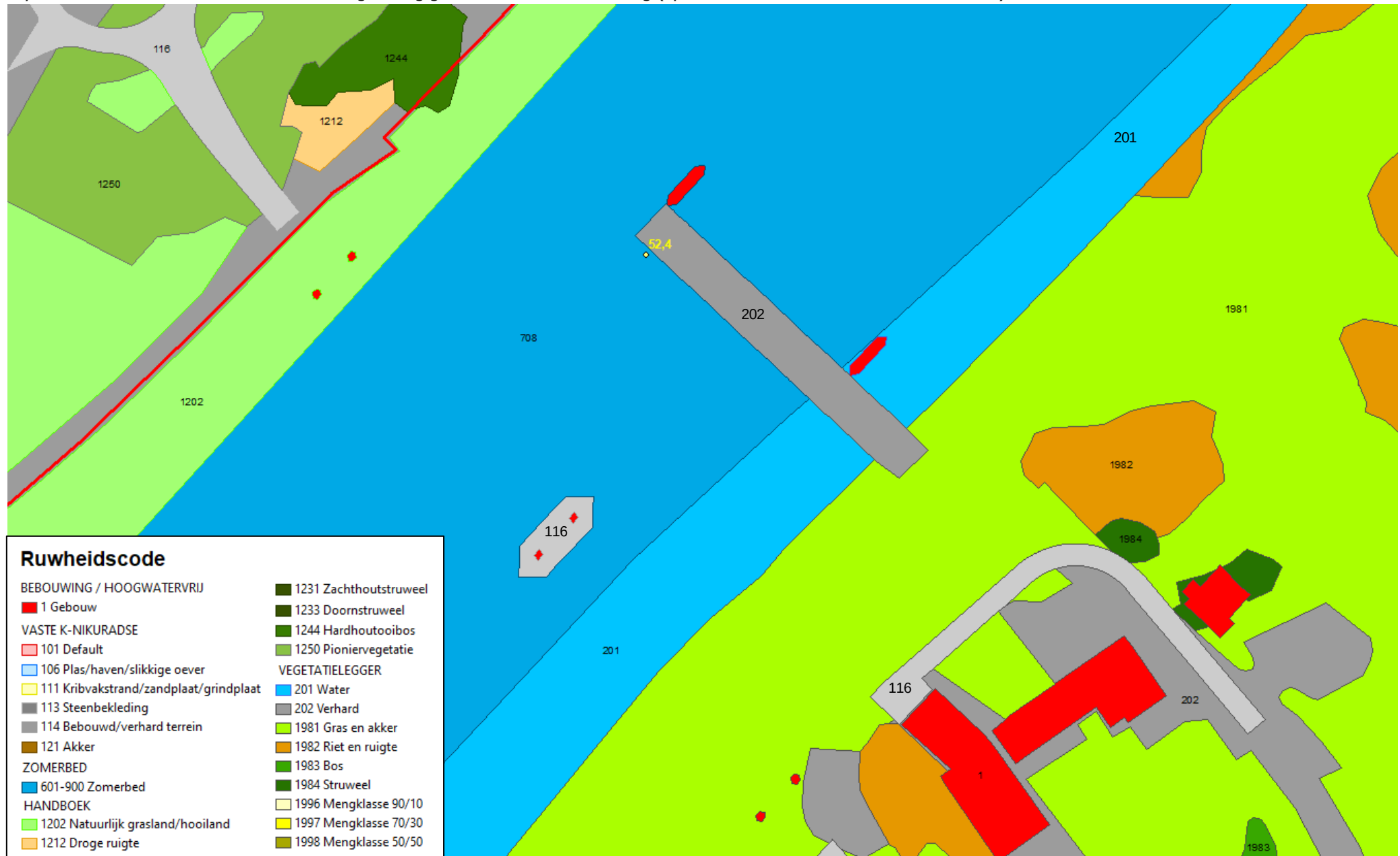
Q = 4118 m³/s (T3000)

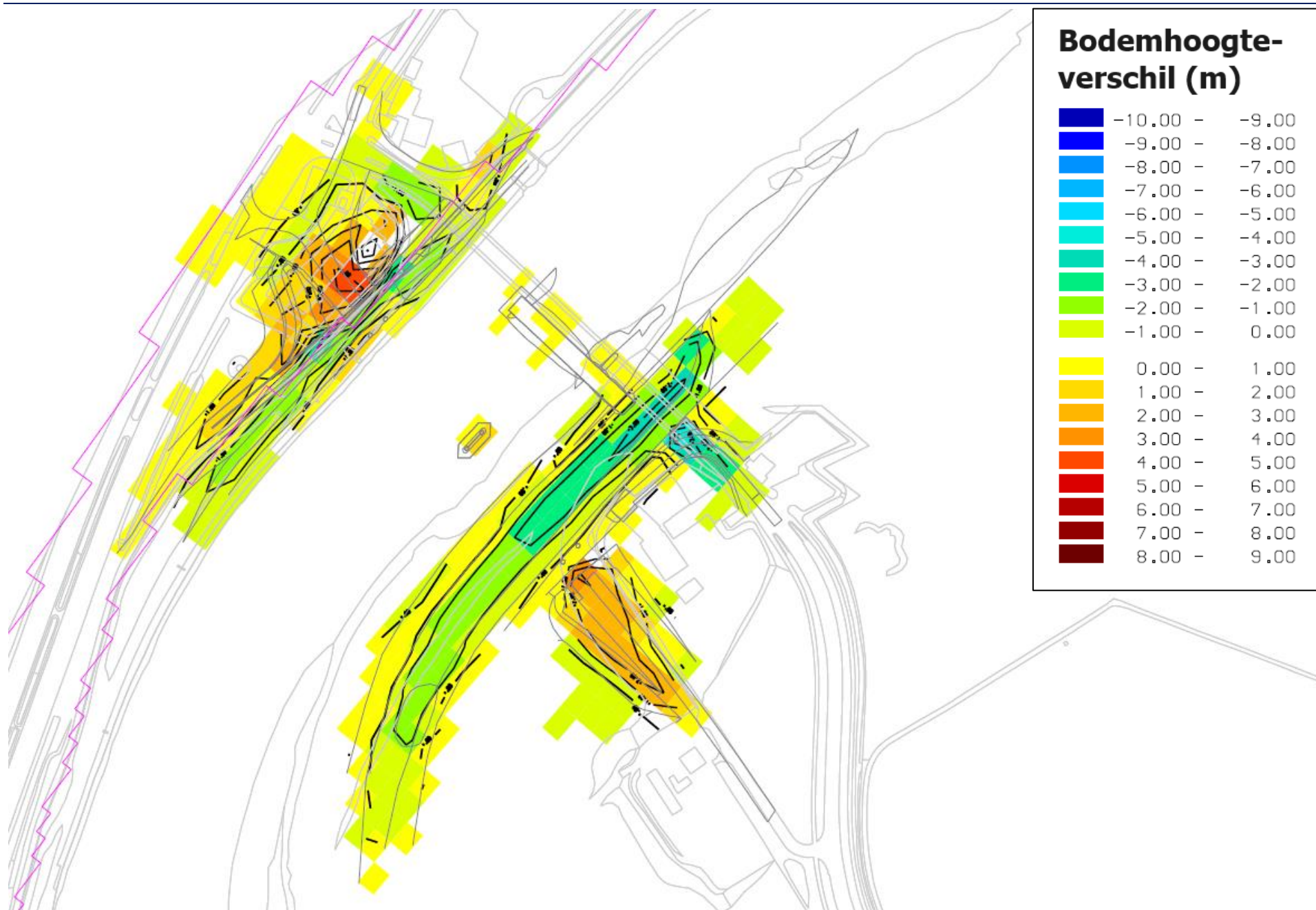


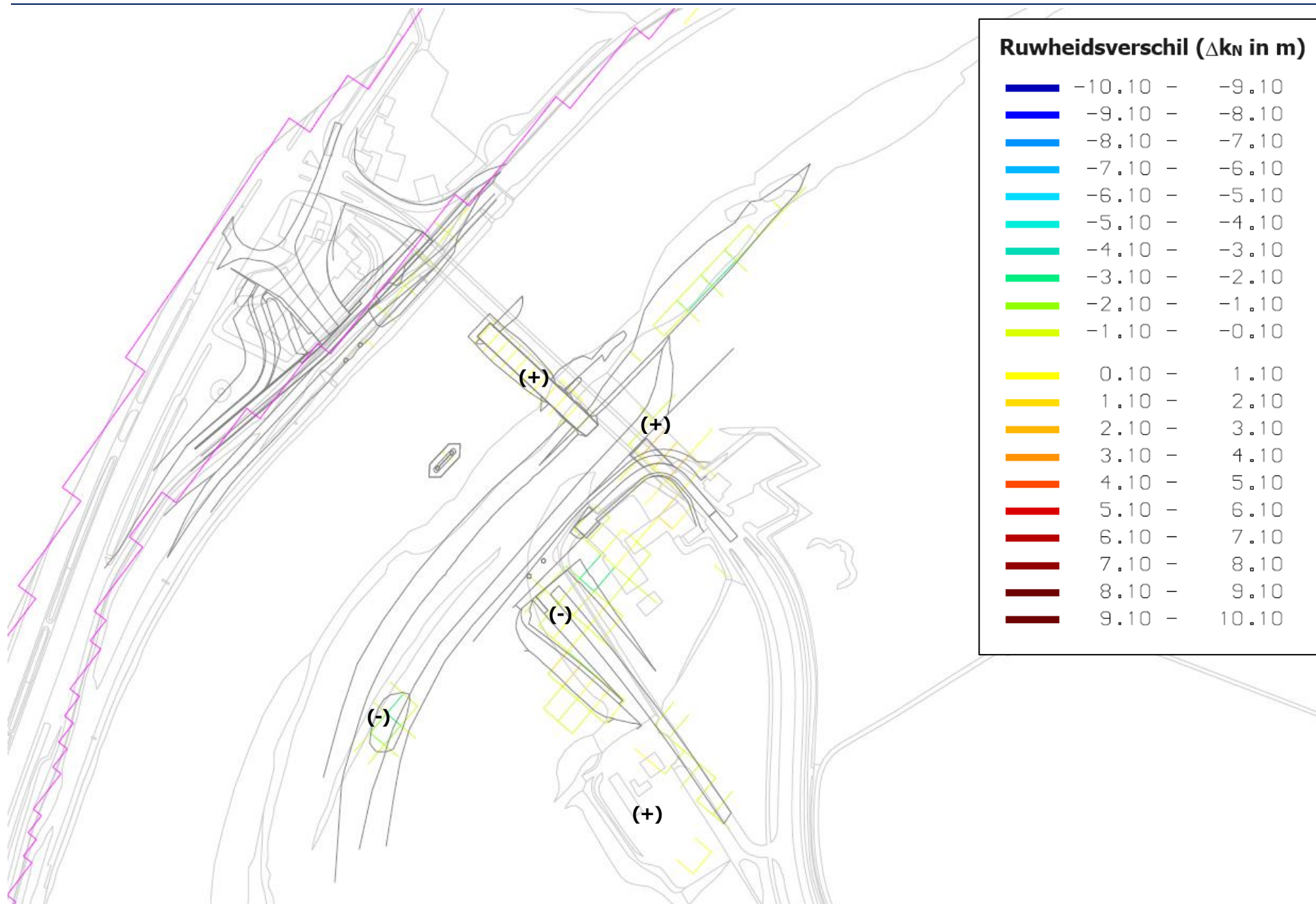
Bijlage 6 Pater Sangersbrug gereed en afbraak oude brug (op basis van referentie 1 zonder Heerenlaak): scenario 6



Hydraulische ruwheden scenario 6: Pater Sangersbrug gereed en afbraak oude brug (op basis van referentie 1 zonder Heerenlaak)





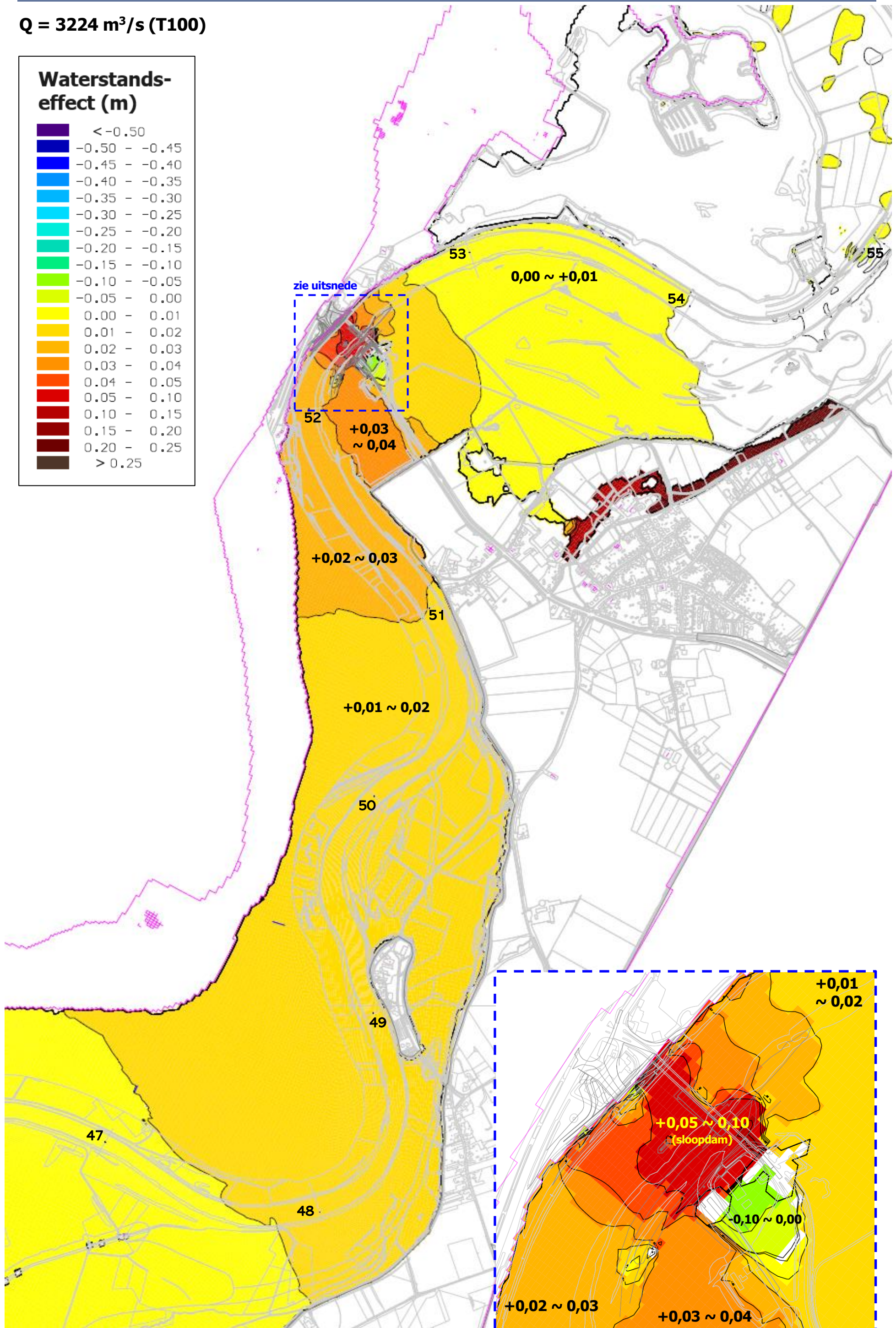


Overlaten

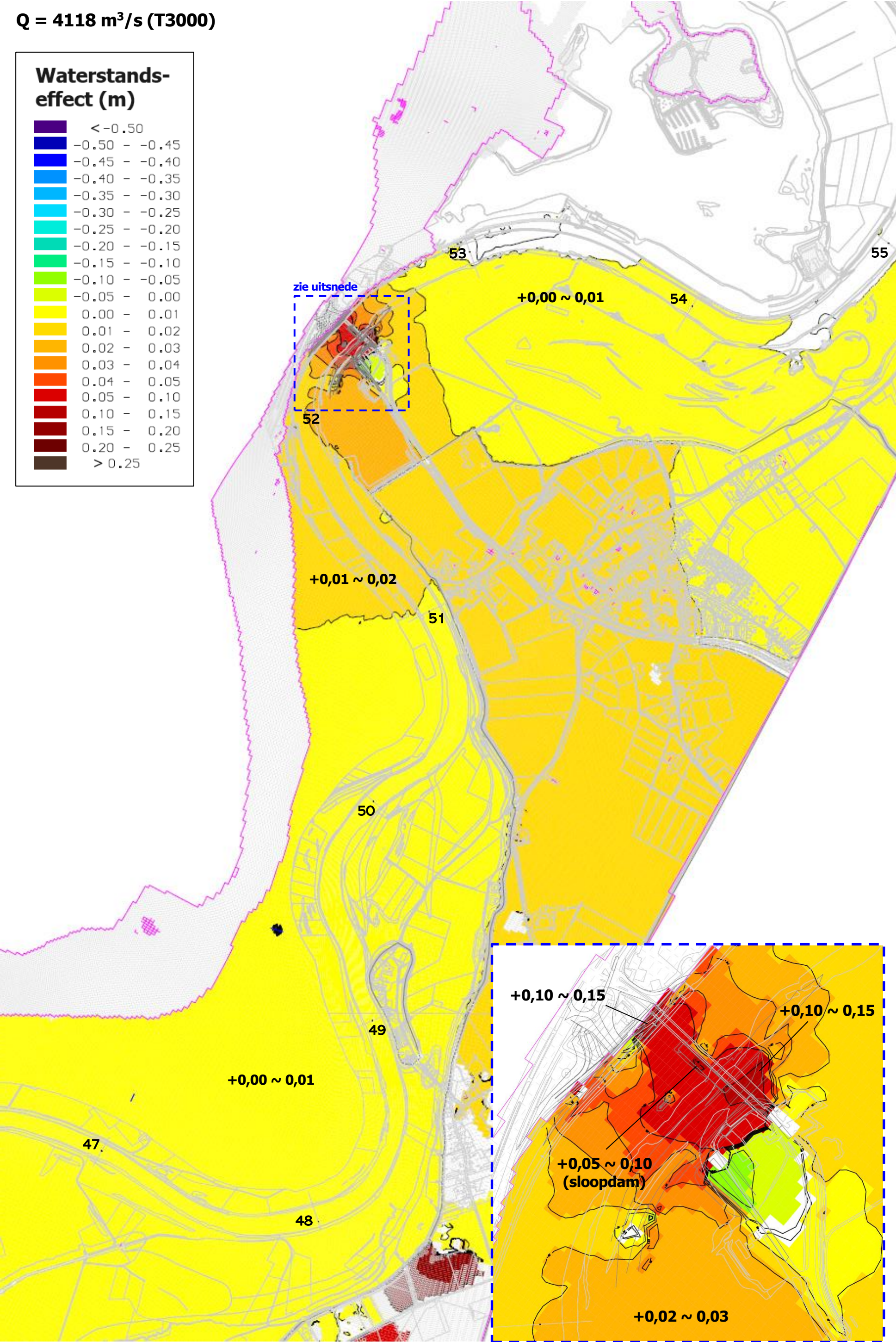
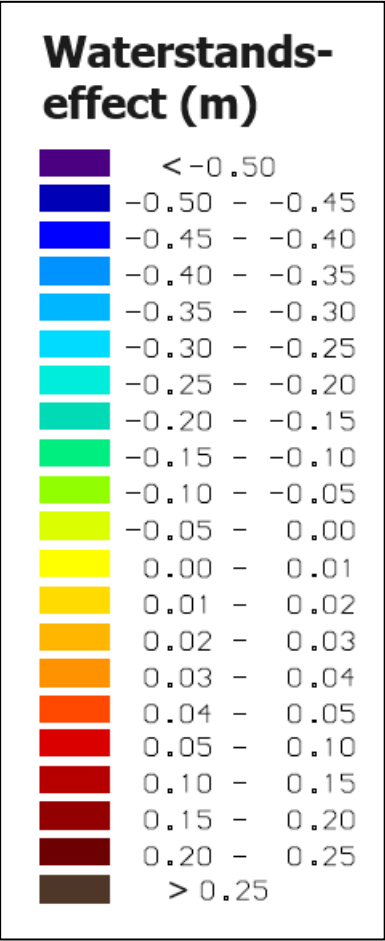
- alleen in referentie
- alleen in ontwerp



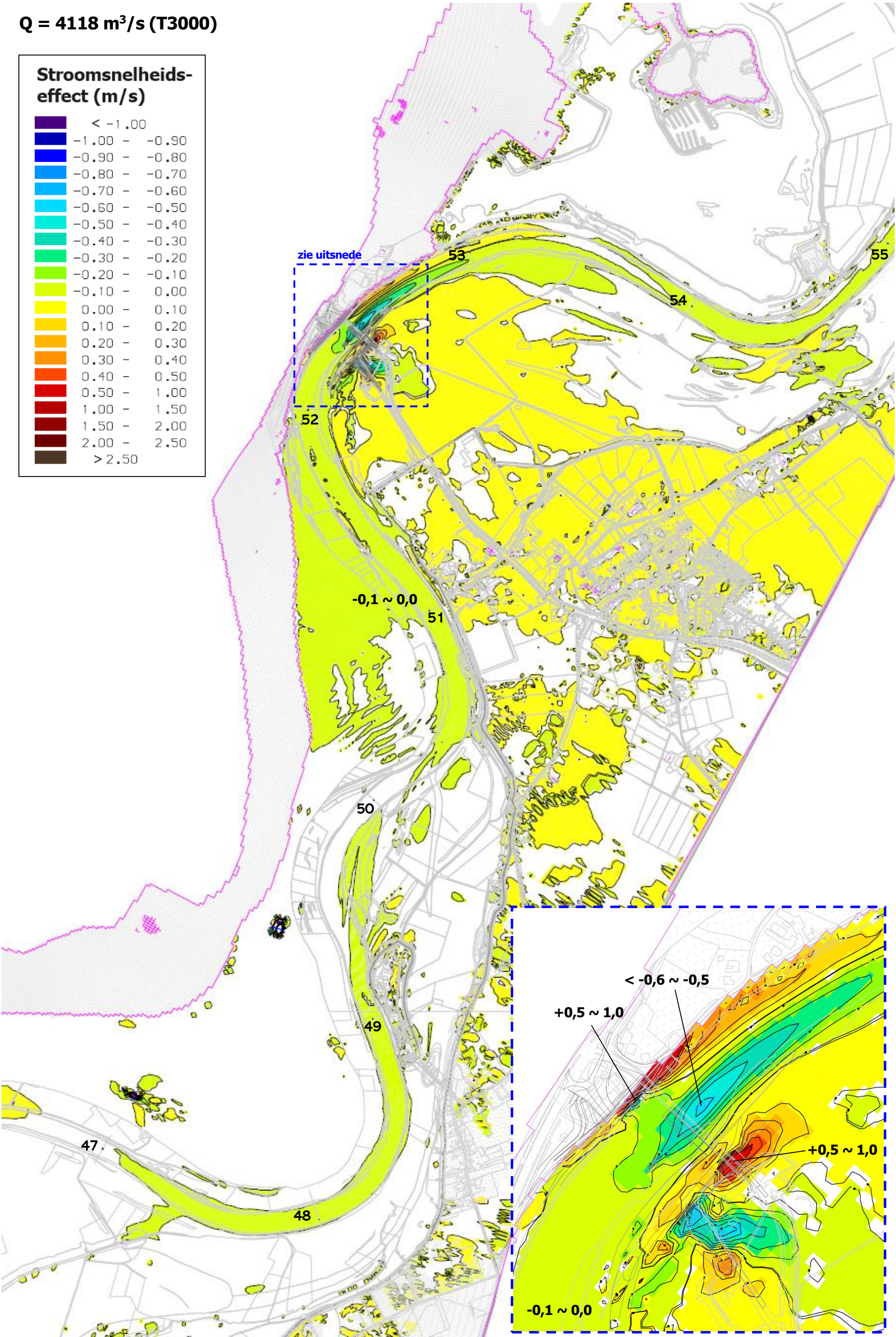
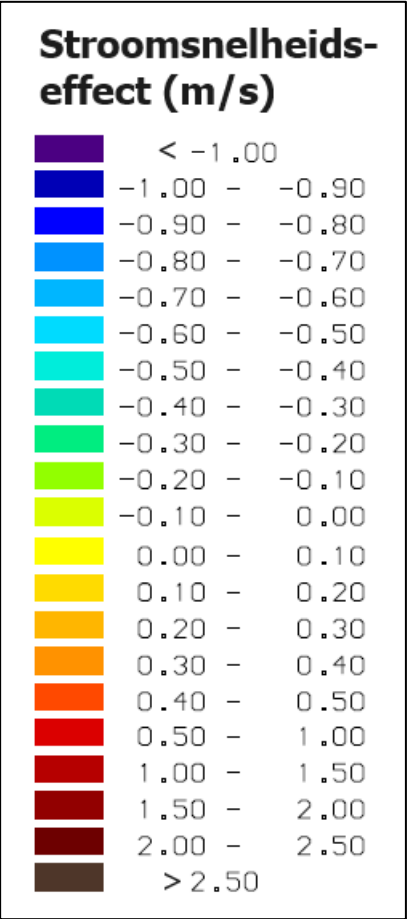
Q = 3224 m³/s (T100)

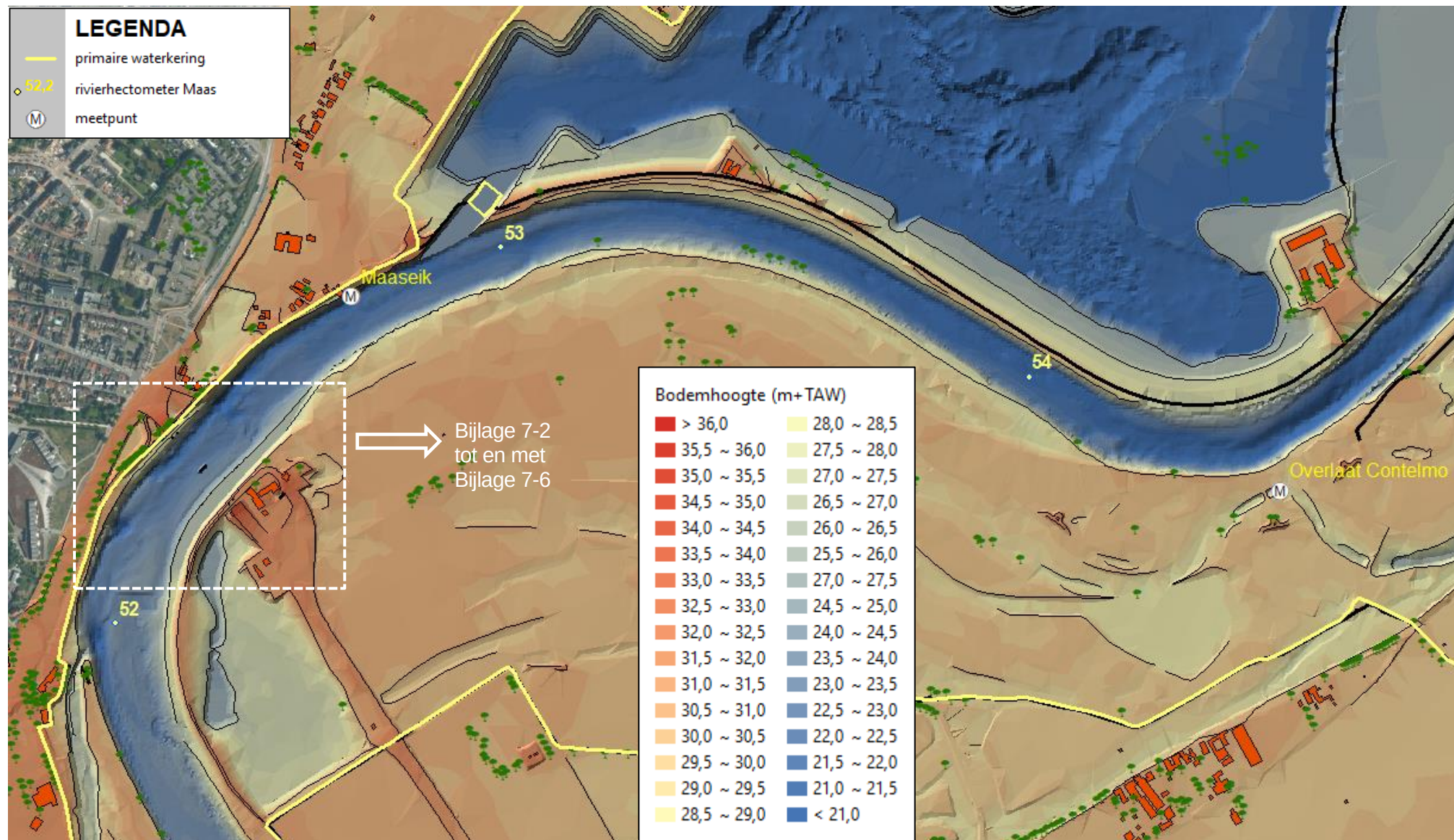


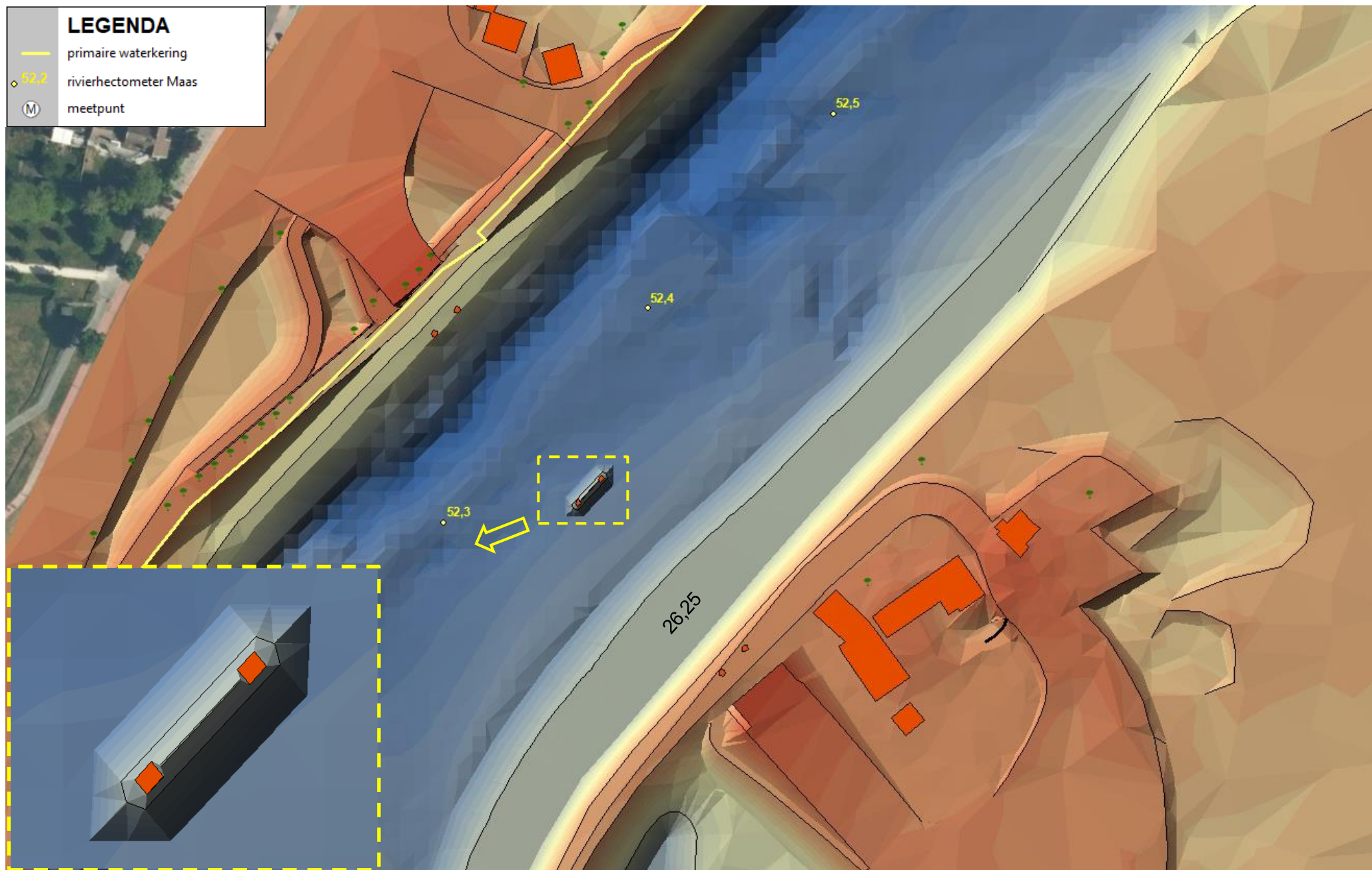
Q = 4118 m³/s (T3000)



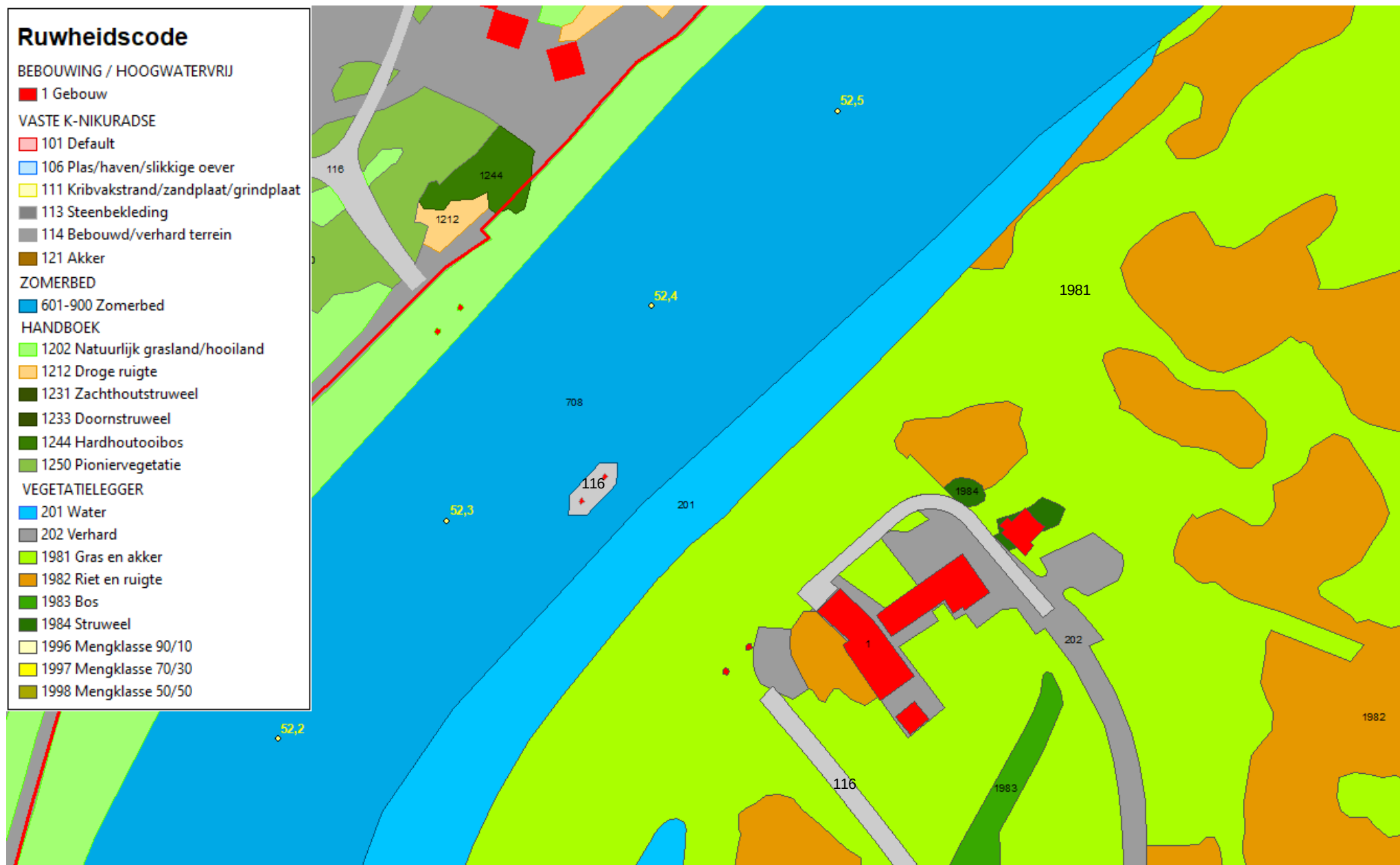
Q = 4118 m³/s (T3000)

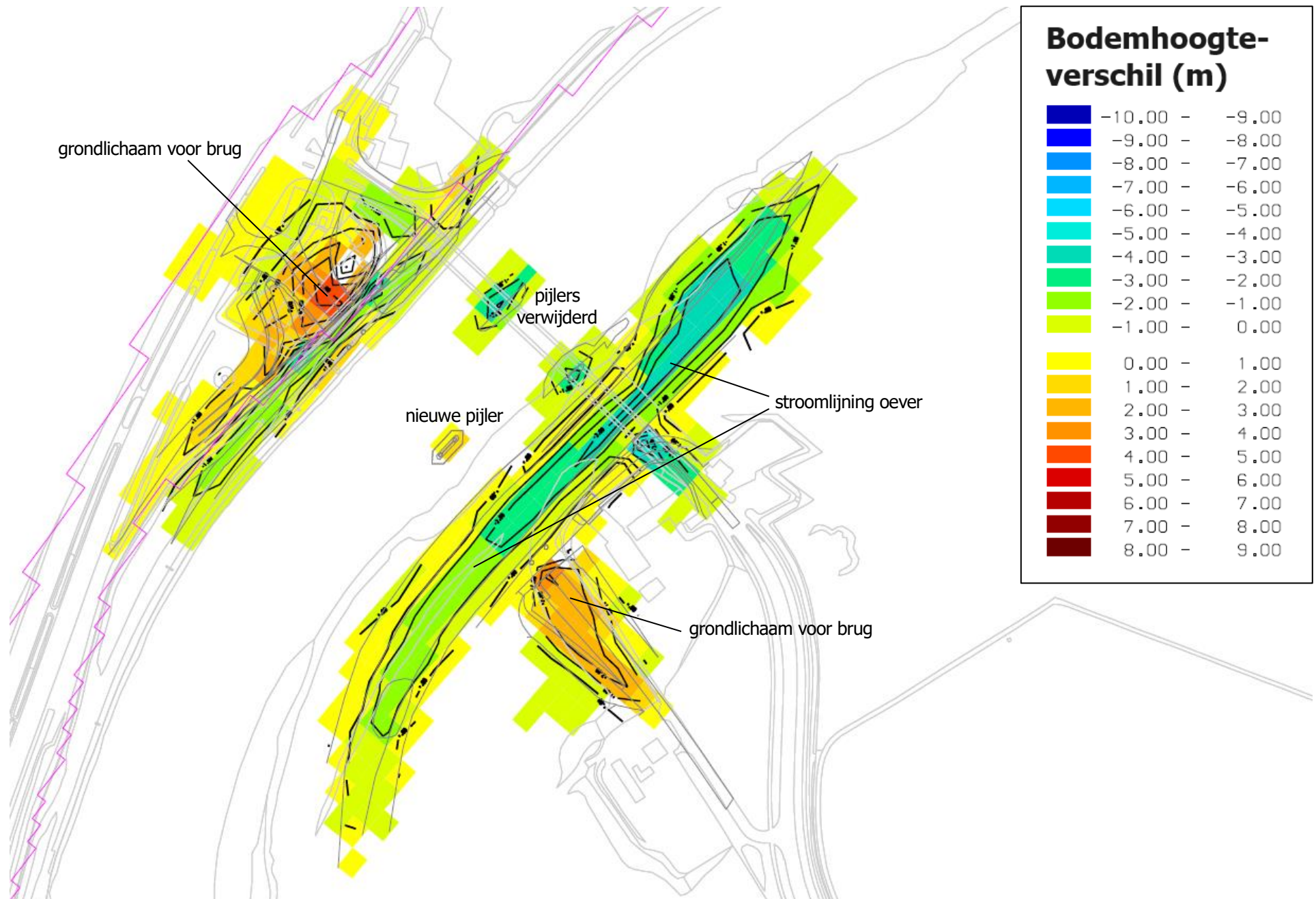


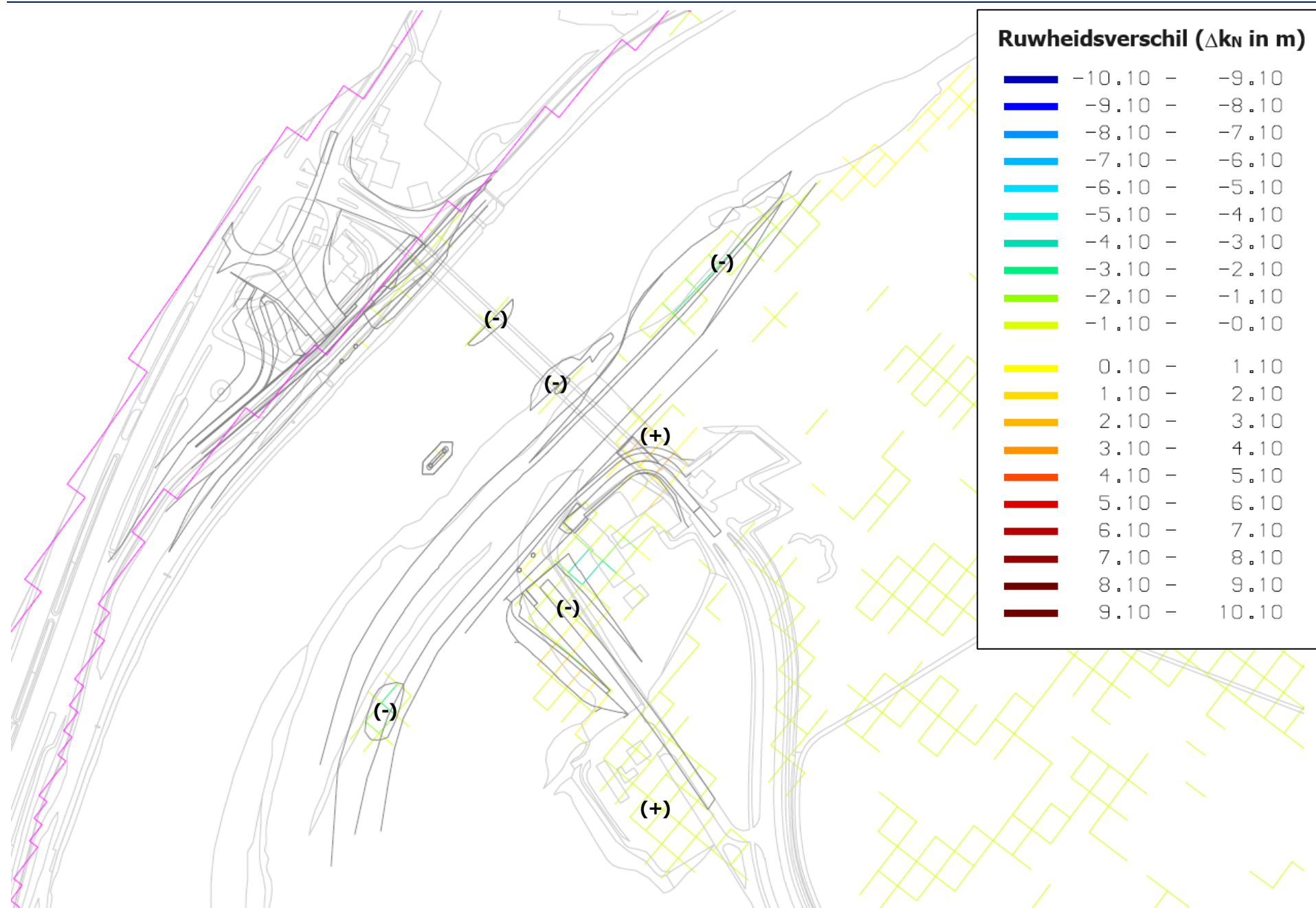
Bijlage 7 Pater Sangersbrug gereed (op basis van referentie 2 met Heerenlaak): scenario 7



Hydraulische ruwheden scenario 7: Pater Sangersbrug gereed (op basis van referentie 2 met Heerenlaak)





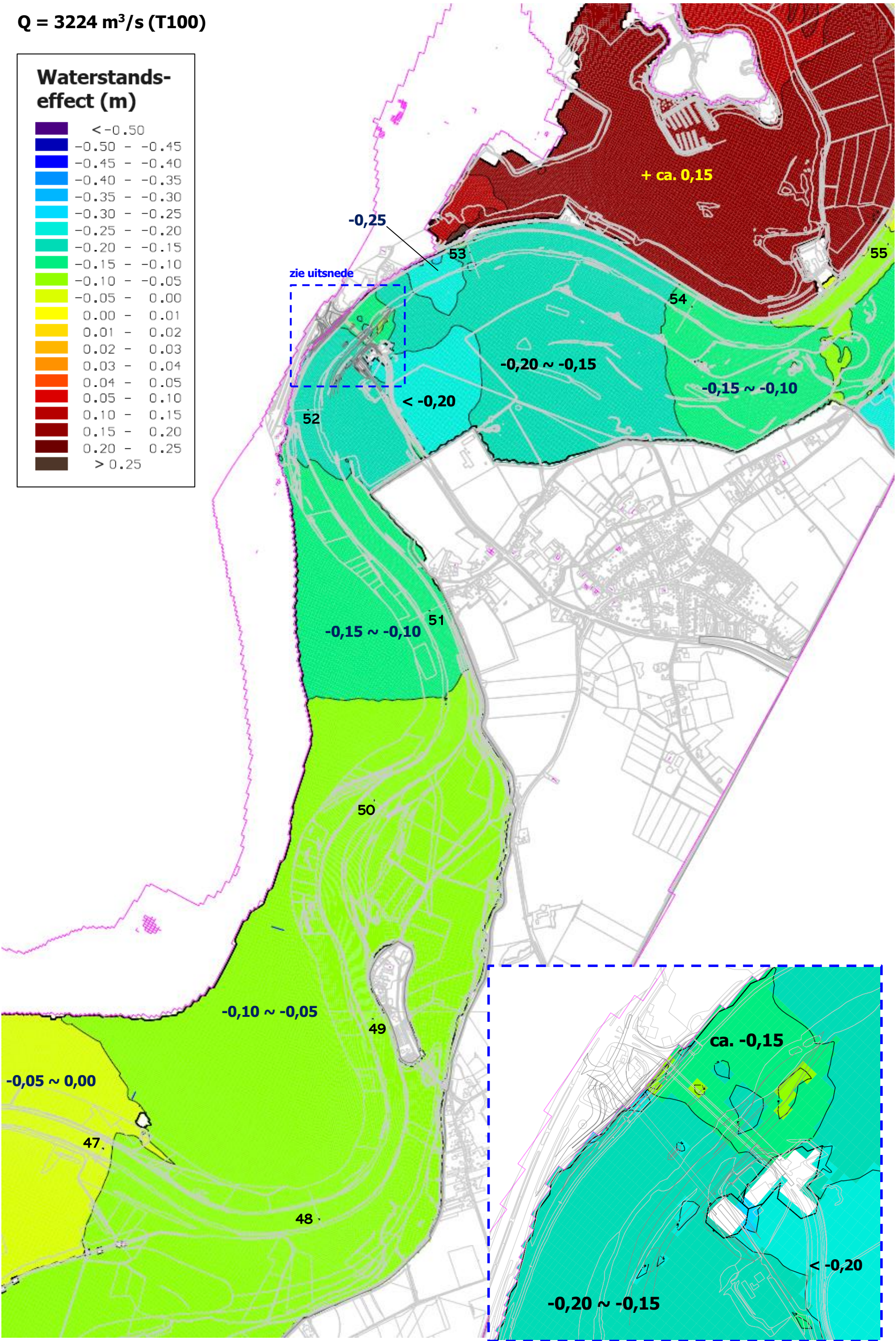
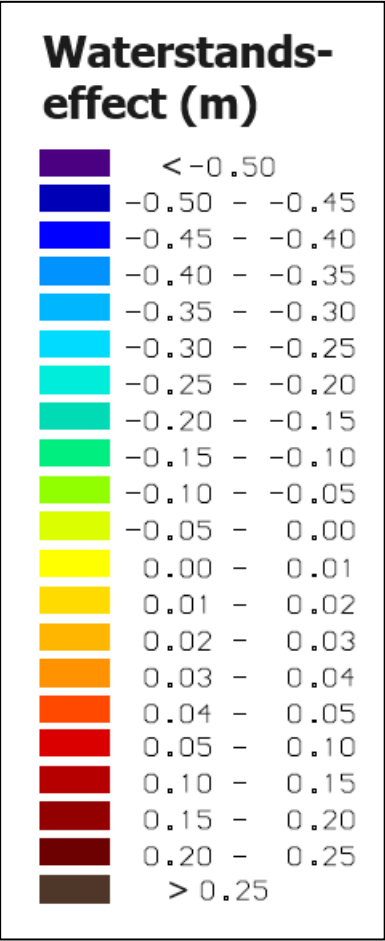


Overlaten

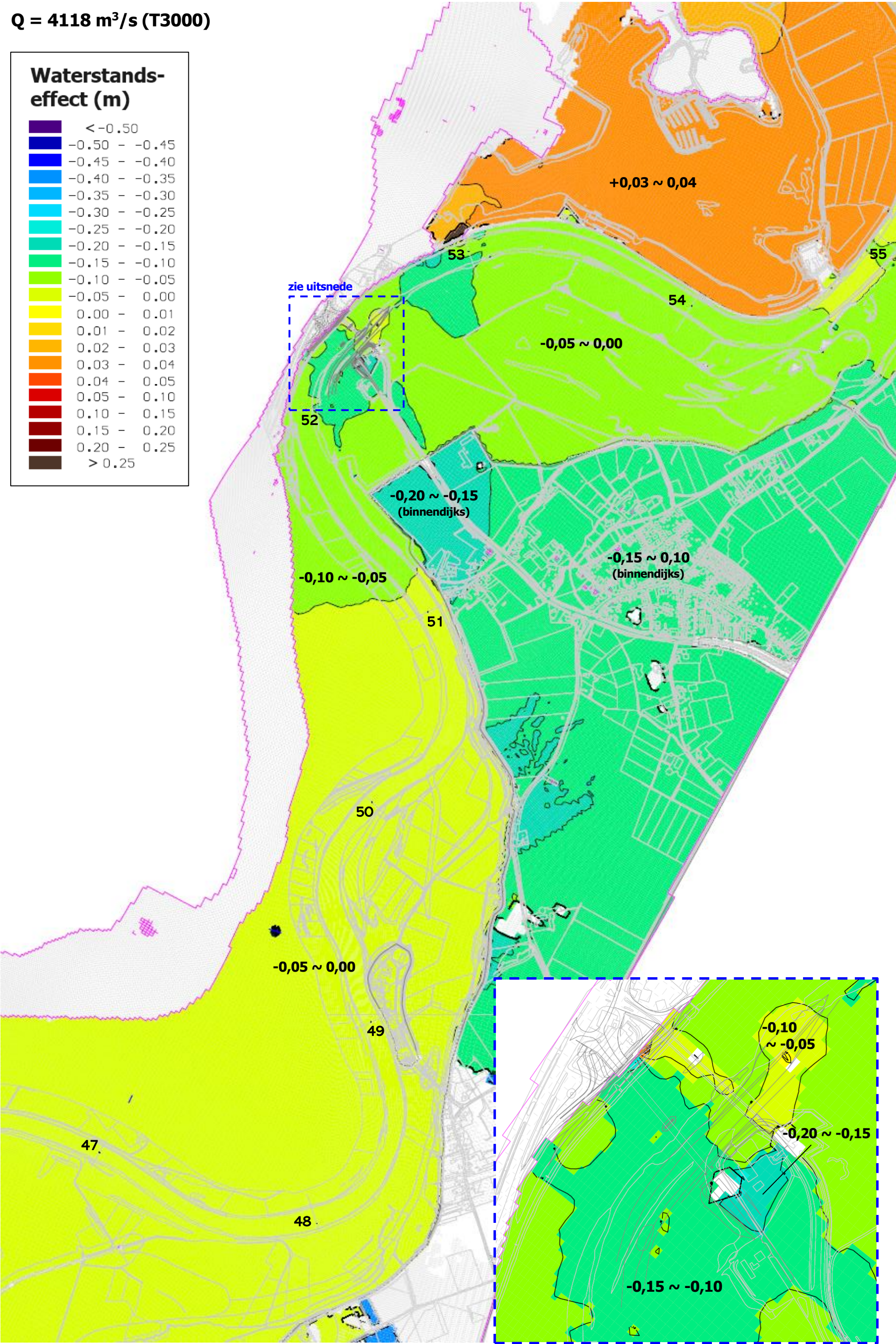
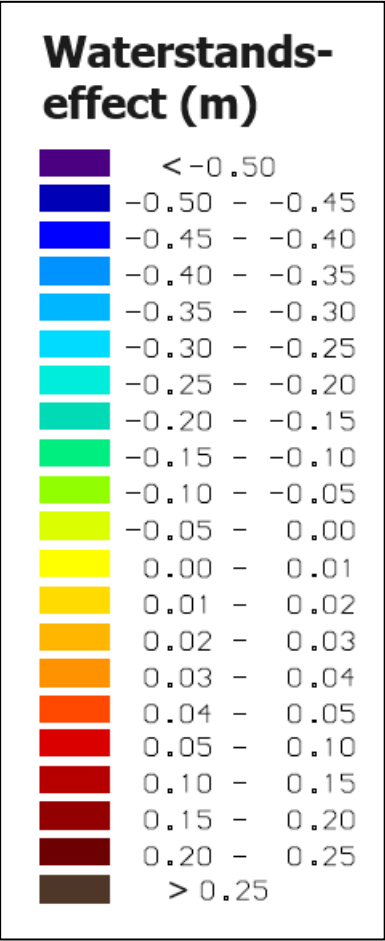
- alleen in referentie
- alleen in ontwerp



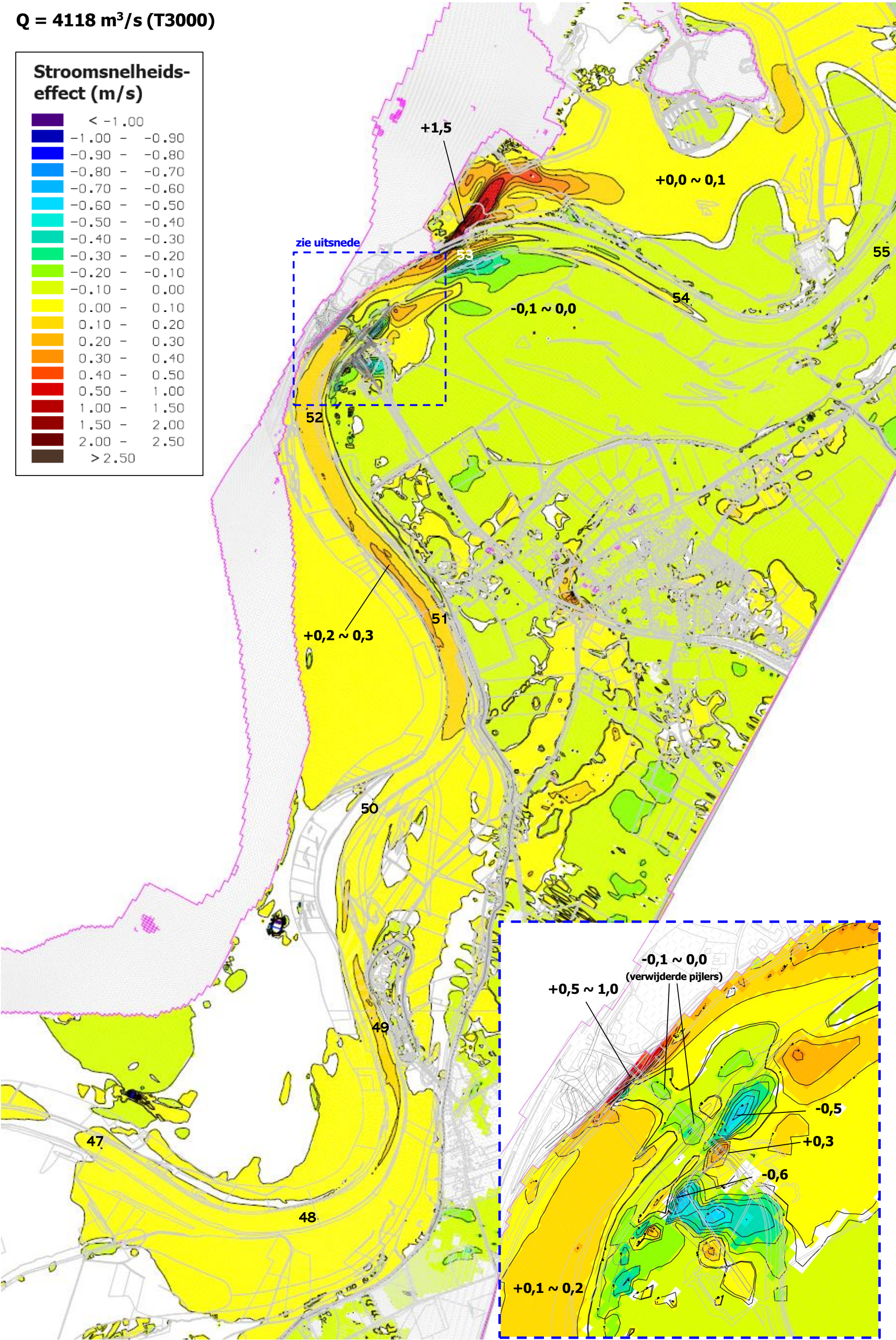
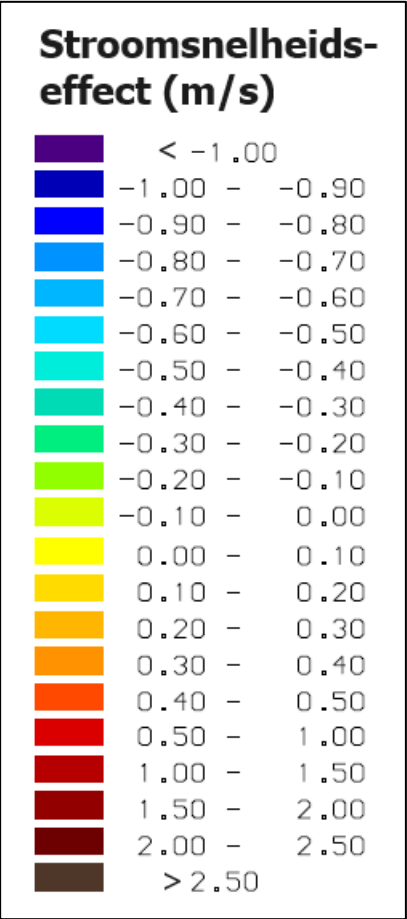
Q = 3224 m³/s (T100)



Q = 4118 m³/s (T3000)



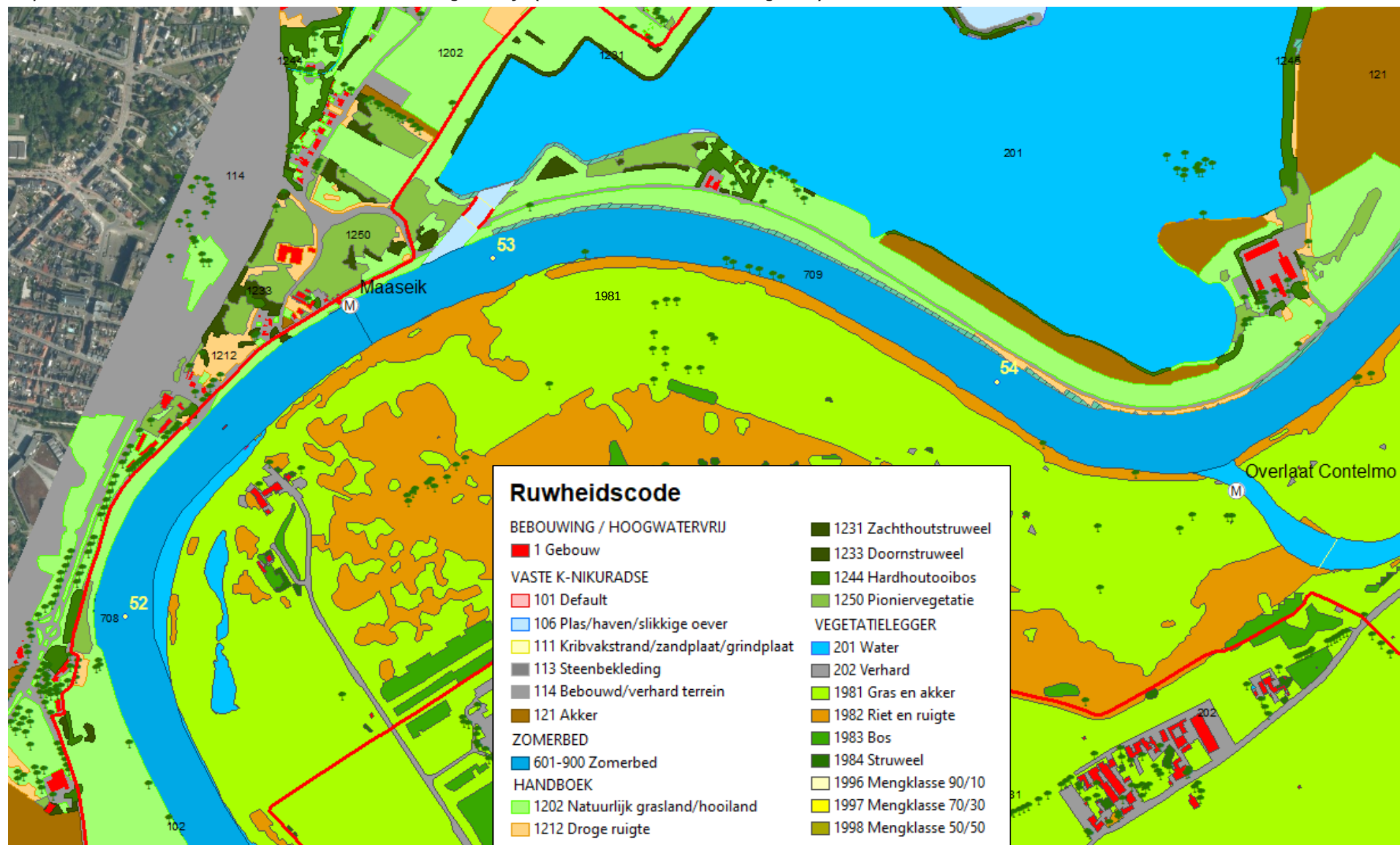
Q = 4118 m³/s (T3000)



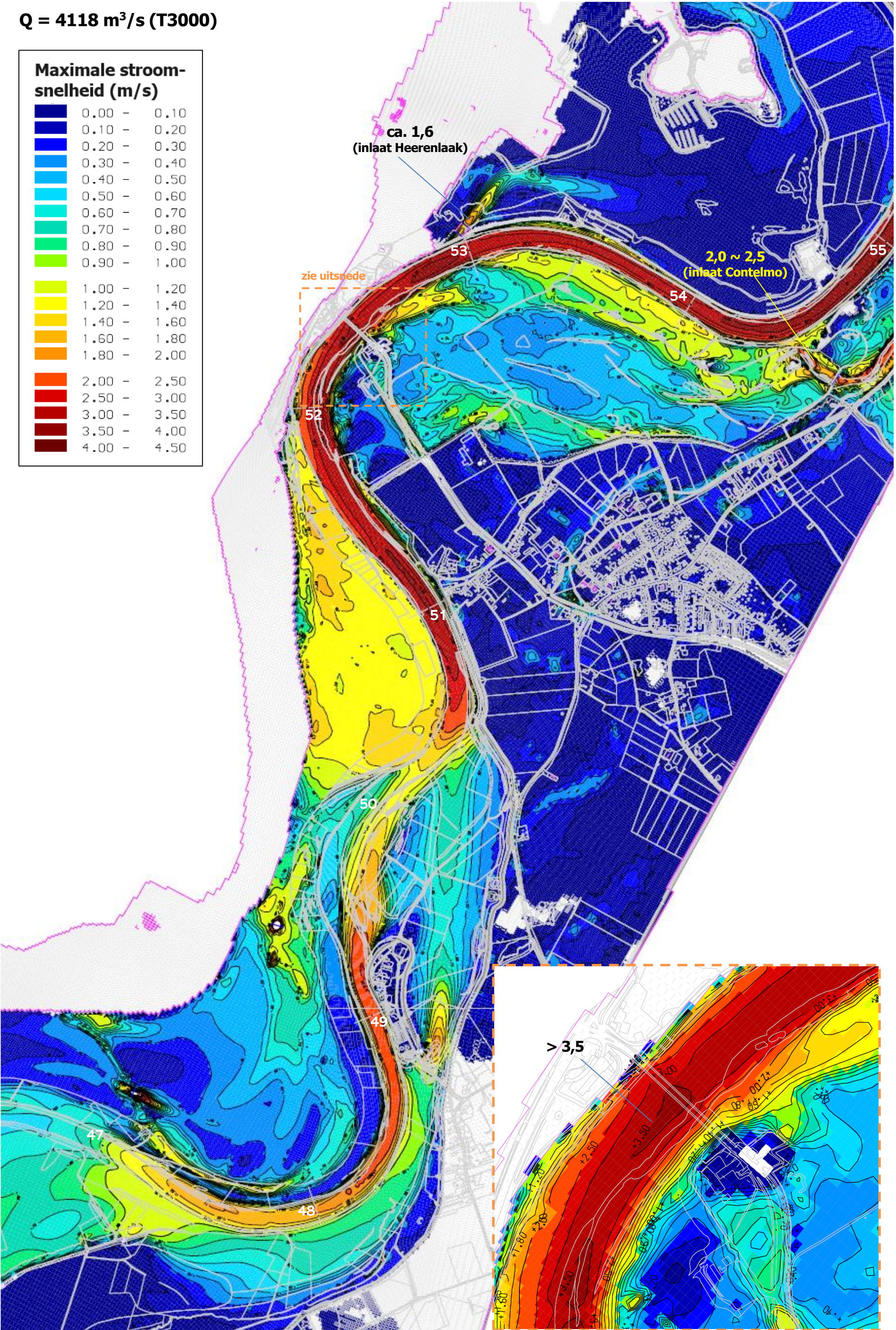
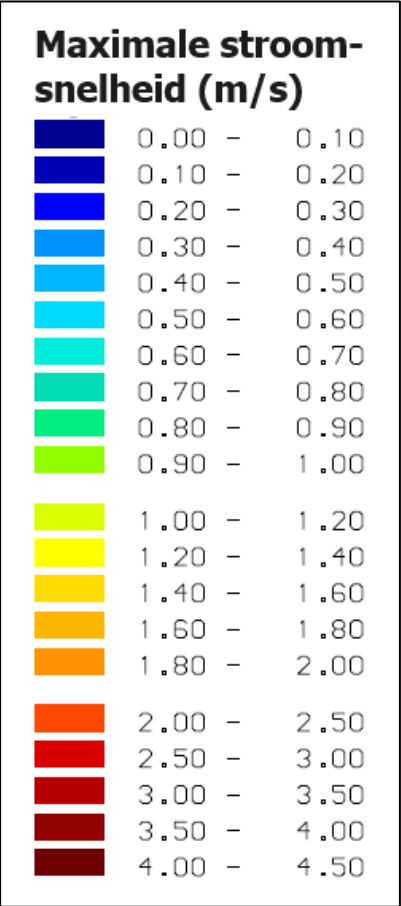
Bijlage 8 Referentiesituatie middellange termijn (met Heerenlaak en Contelmo gereed): scenario 8

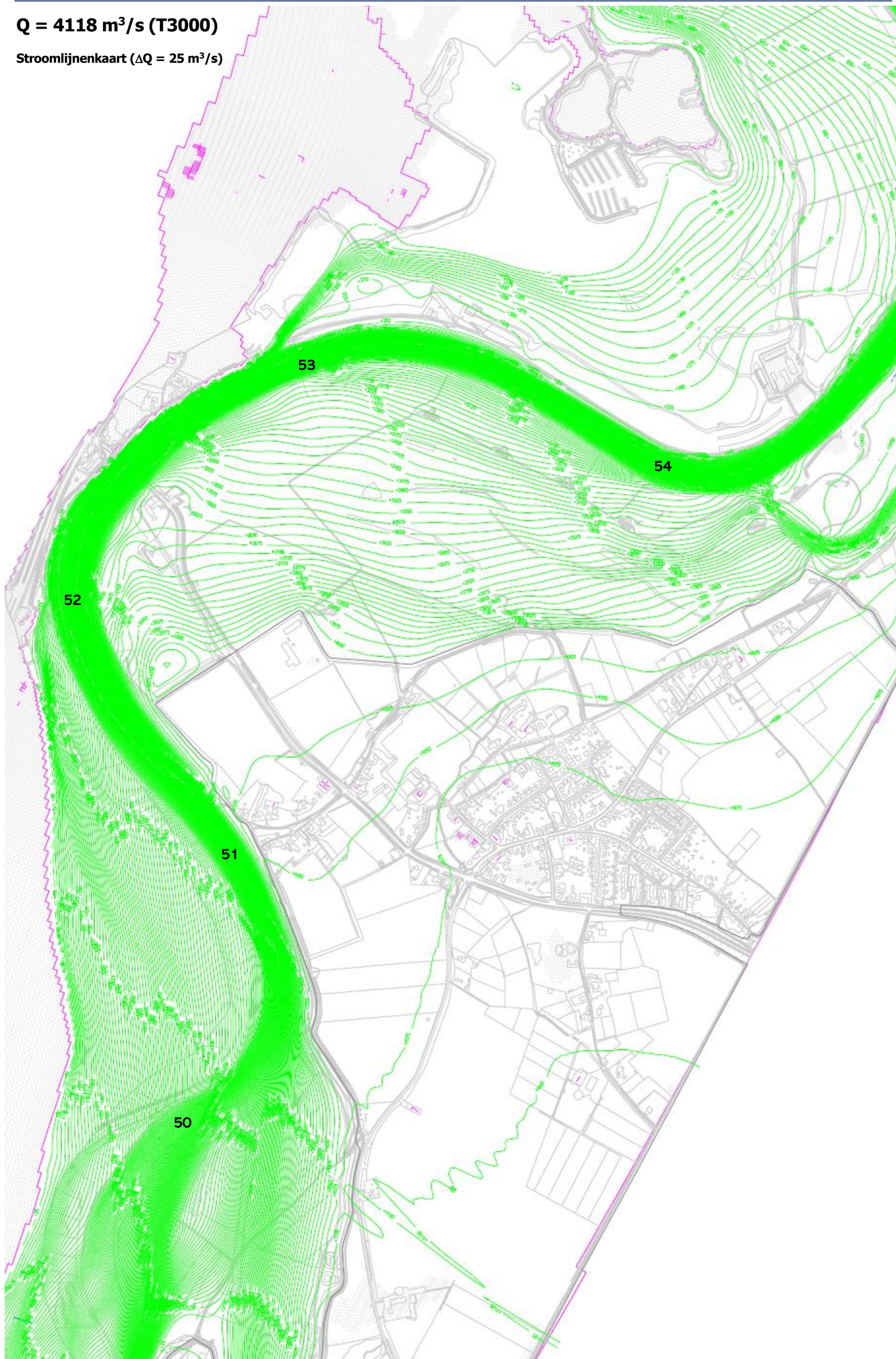


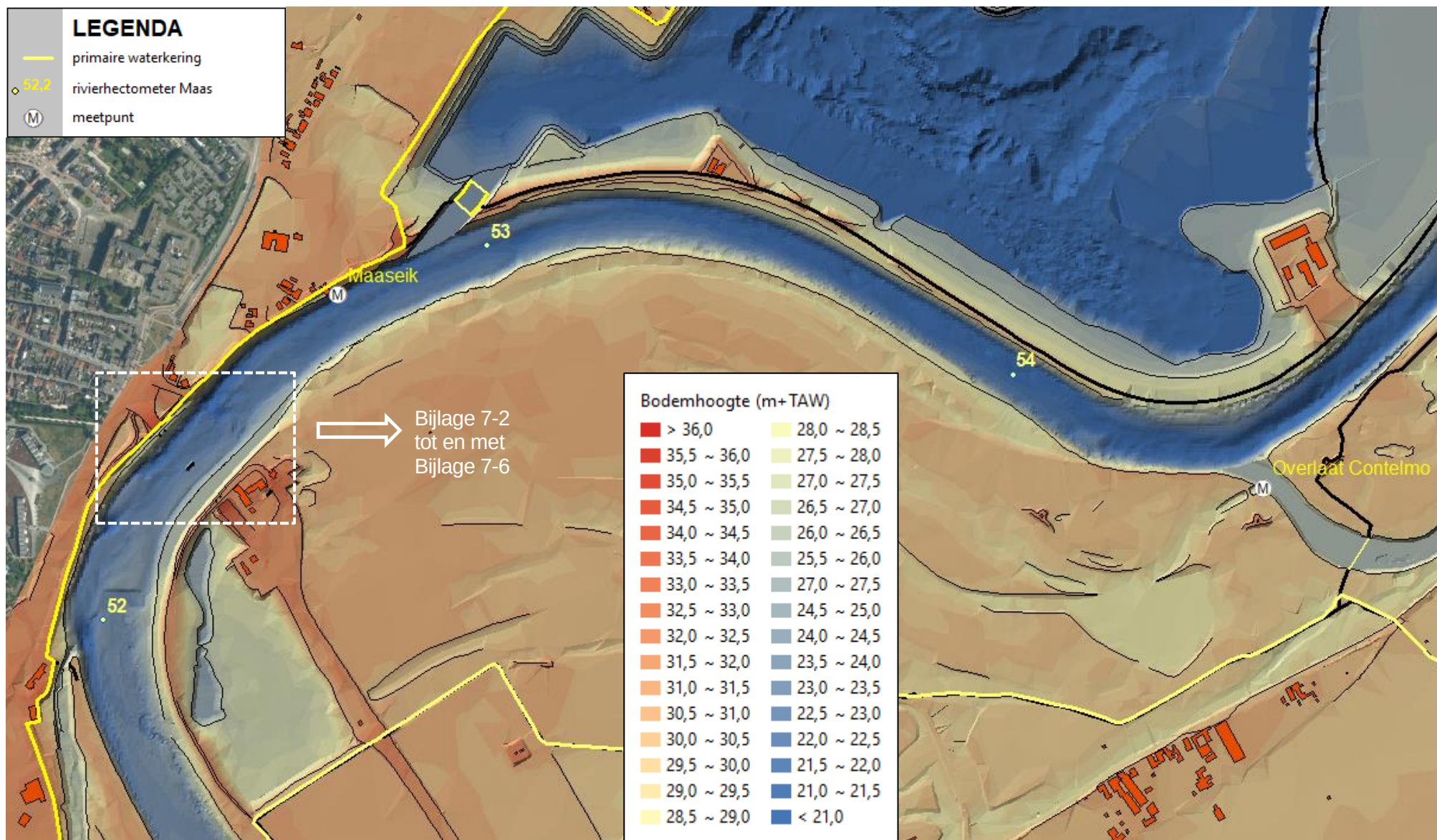
Hydraulische ruwheden scenario 8: Referentiesituatie lange termijn (met Heerenlaak en Contelmo gereed)



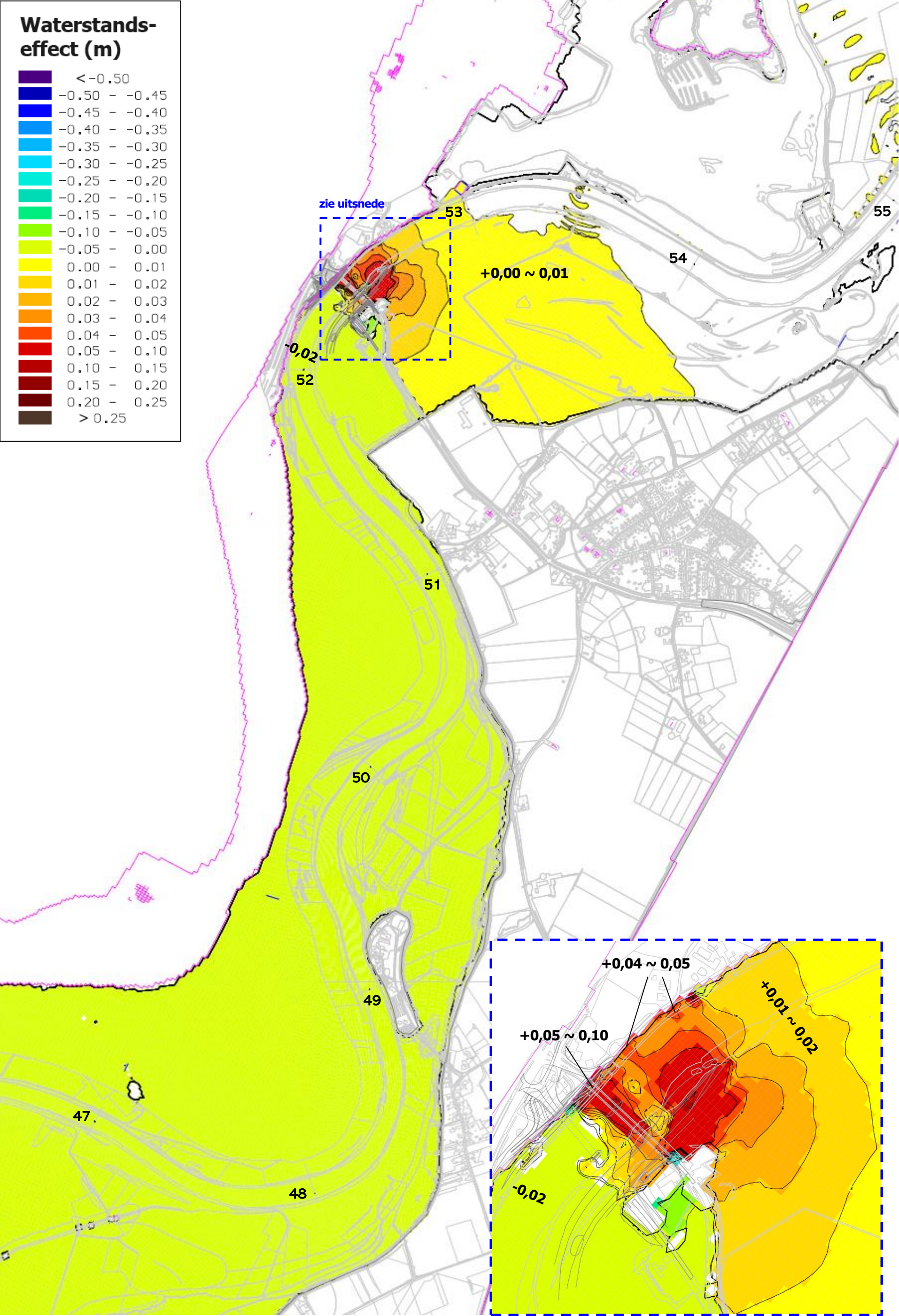
Q = 4118 m³/s (T3000)



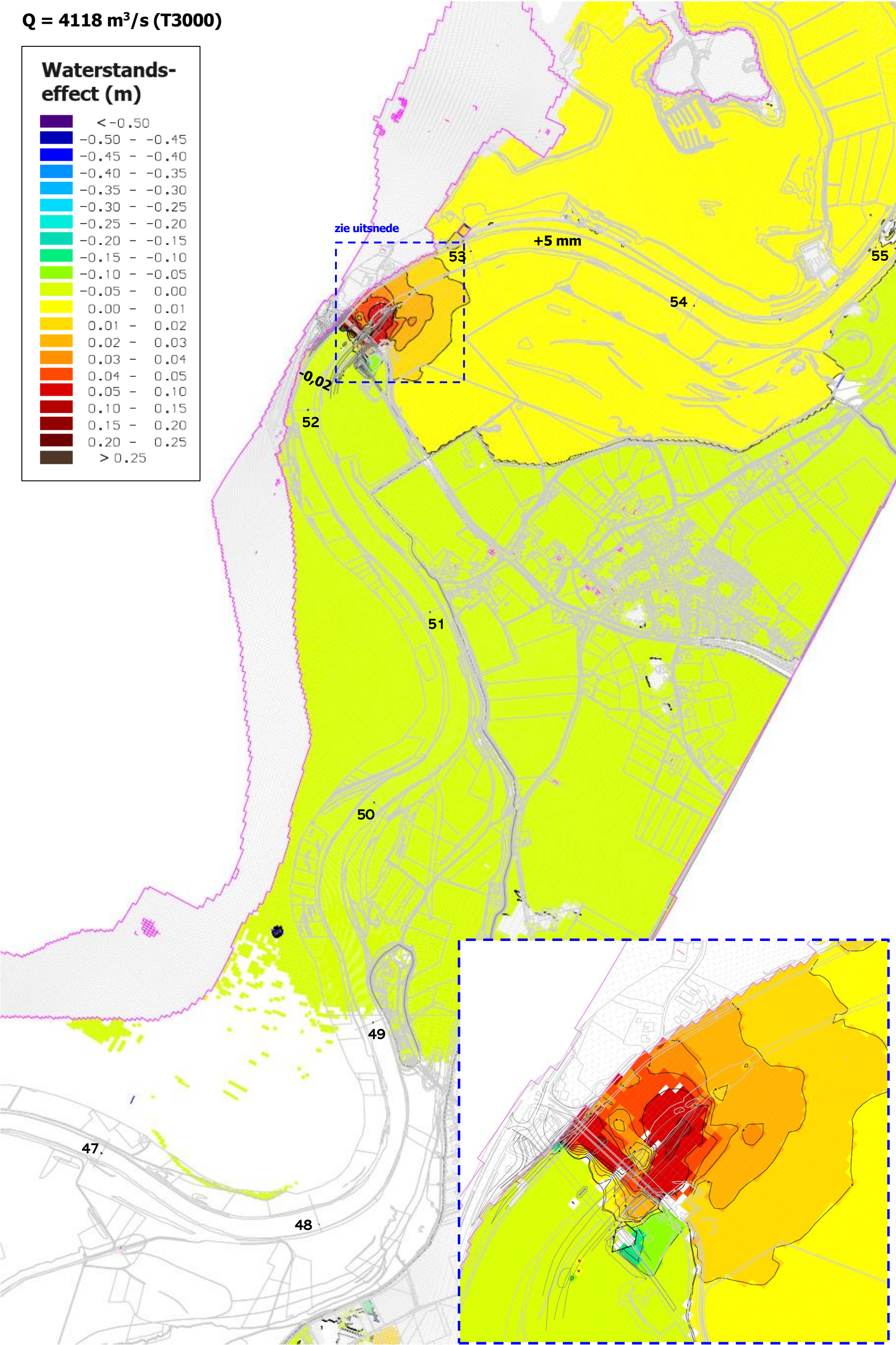
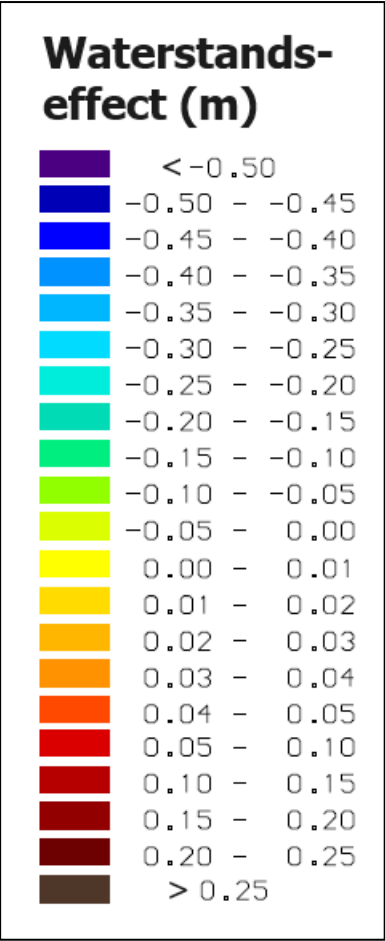
$Q = 4118 \text{ m}^3/\text{s}$ (T3000)**Stroomlijnenkaart ($\Delta Q = 25 \text{ m}^3/\text{s}$)**

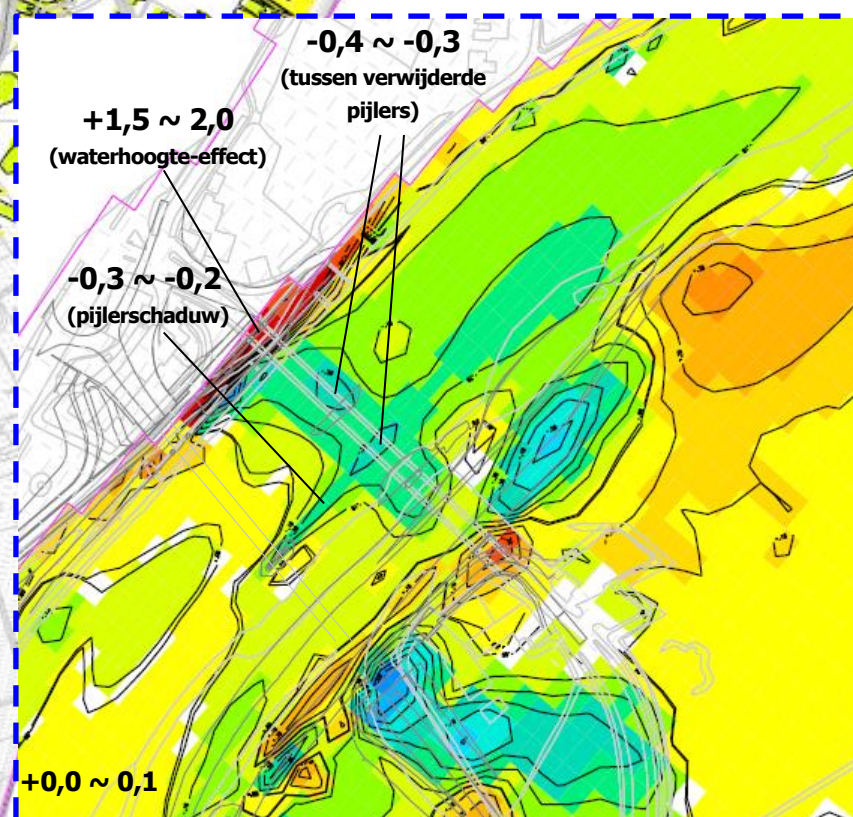
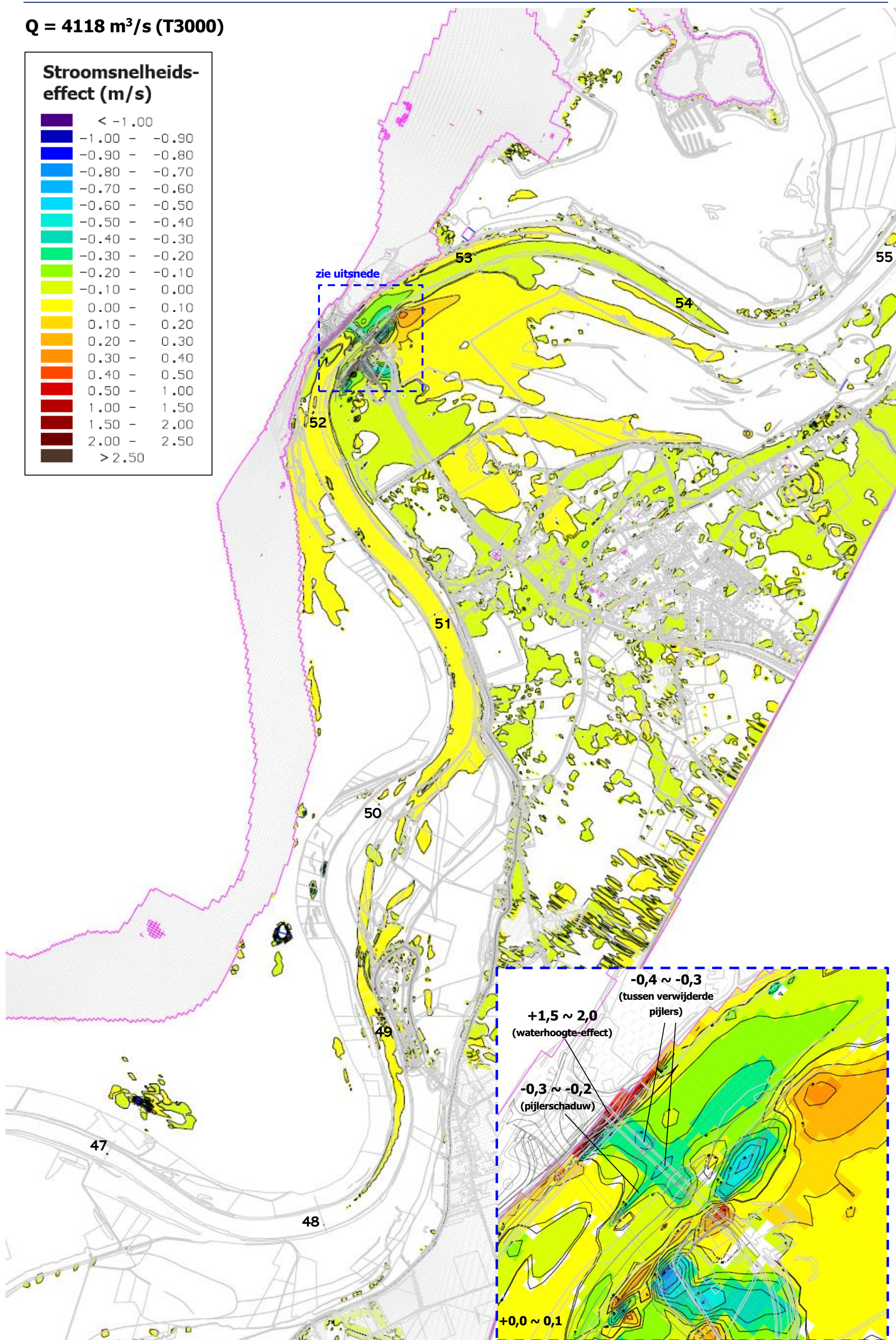
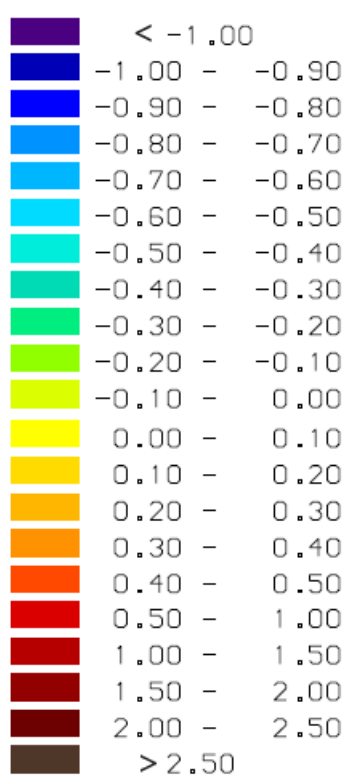
Bijlage 9 Pater Sangersbrug middellange termijn (met Heerenlaak en Contelmo gereed): scenario 9

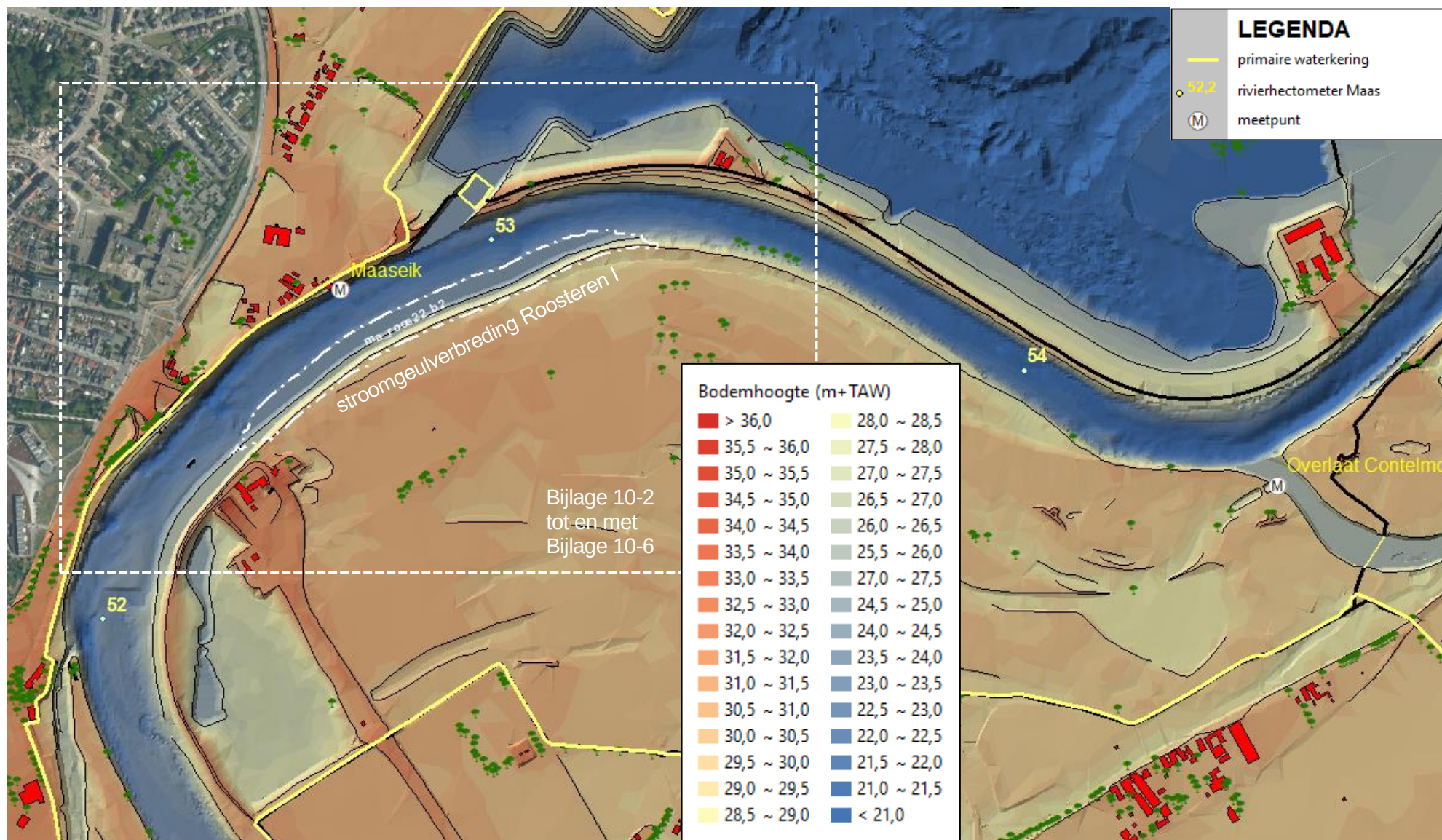
Q = 3224 m³/s (T100)

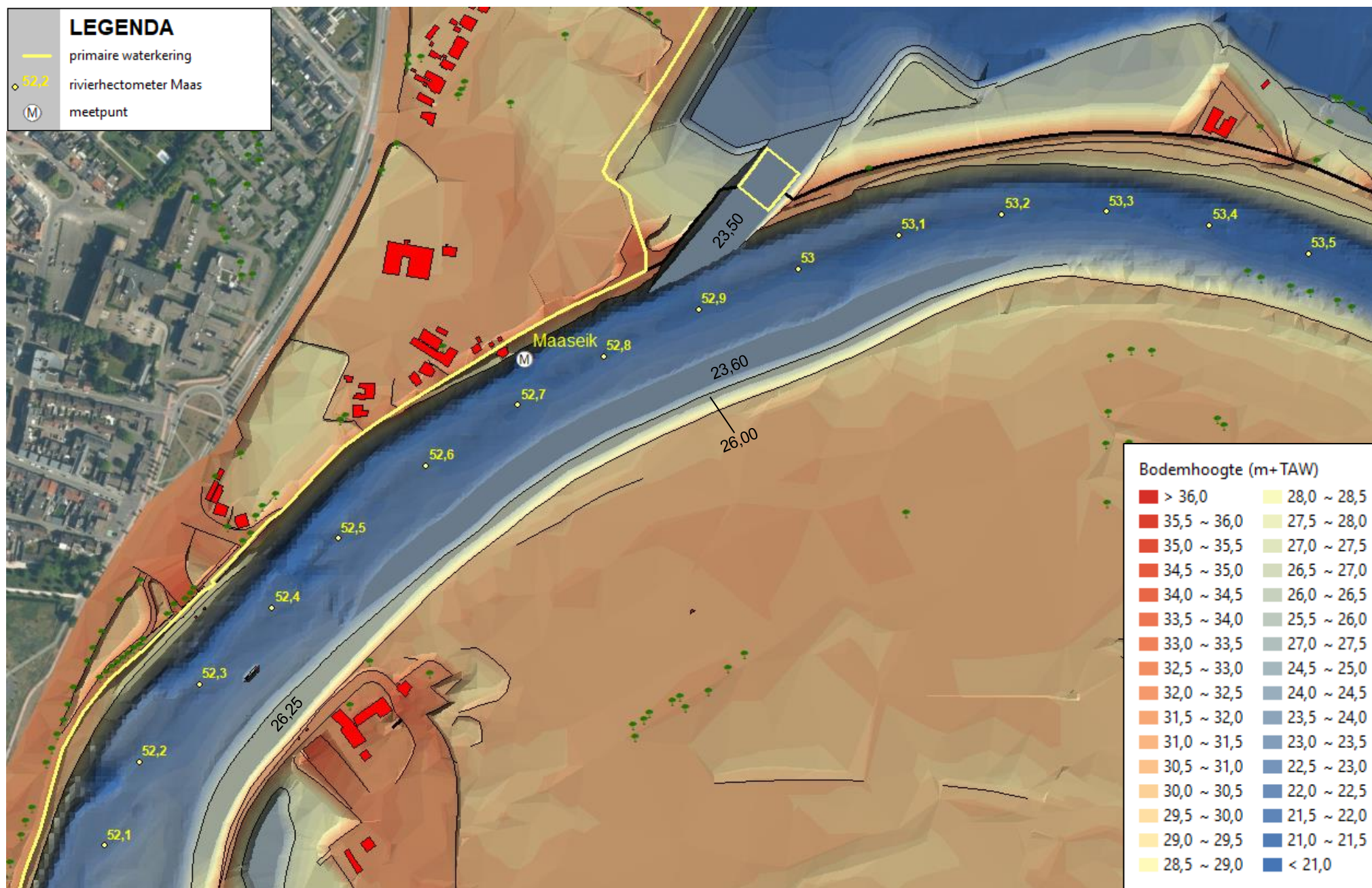


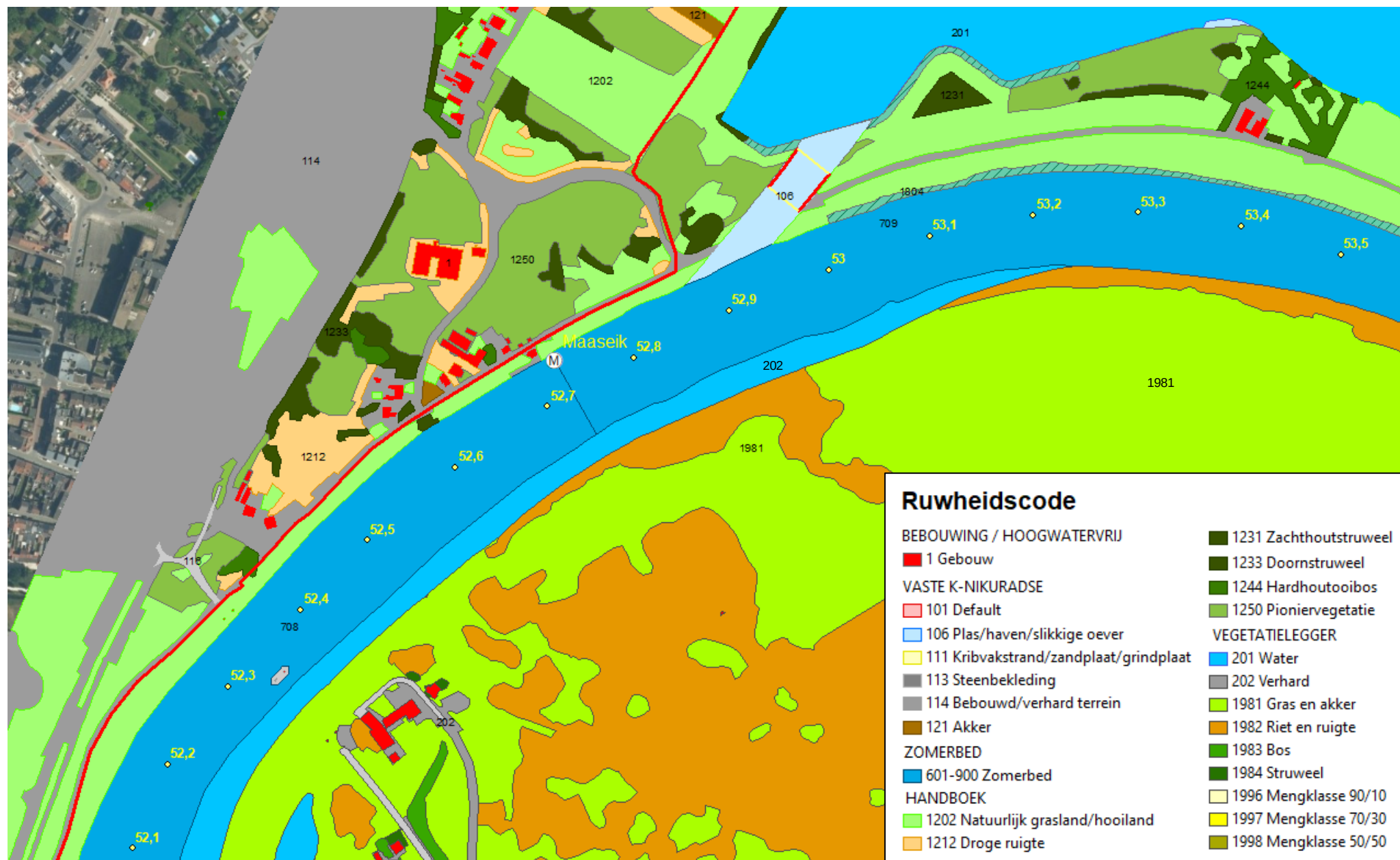
Q = 4118 m³/s (T3000)



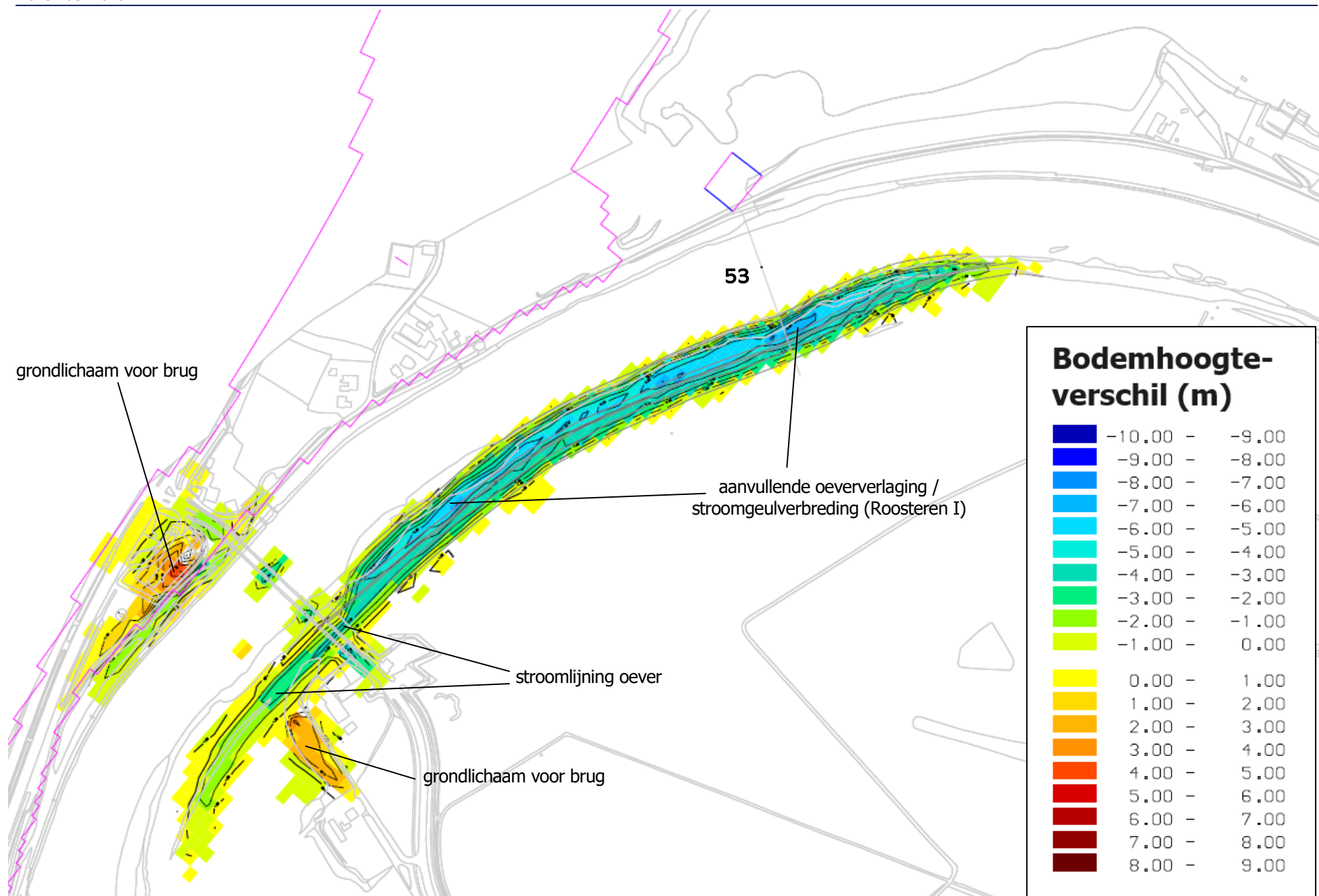
Q = 4118 m³/s (T3000)**Stroomsnelheids-
effect (m/s)**

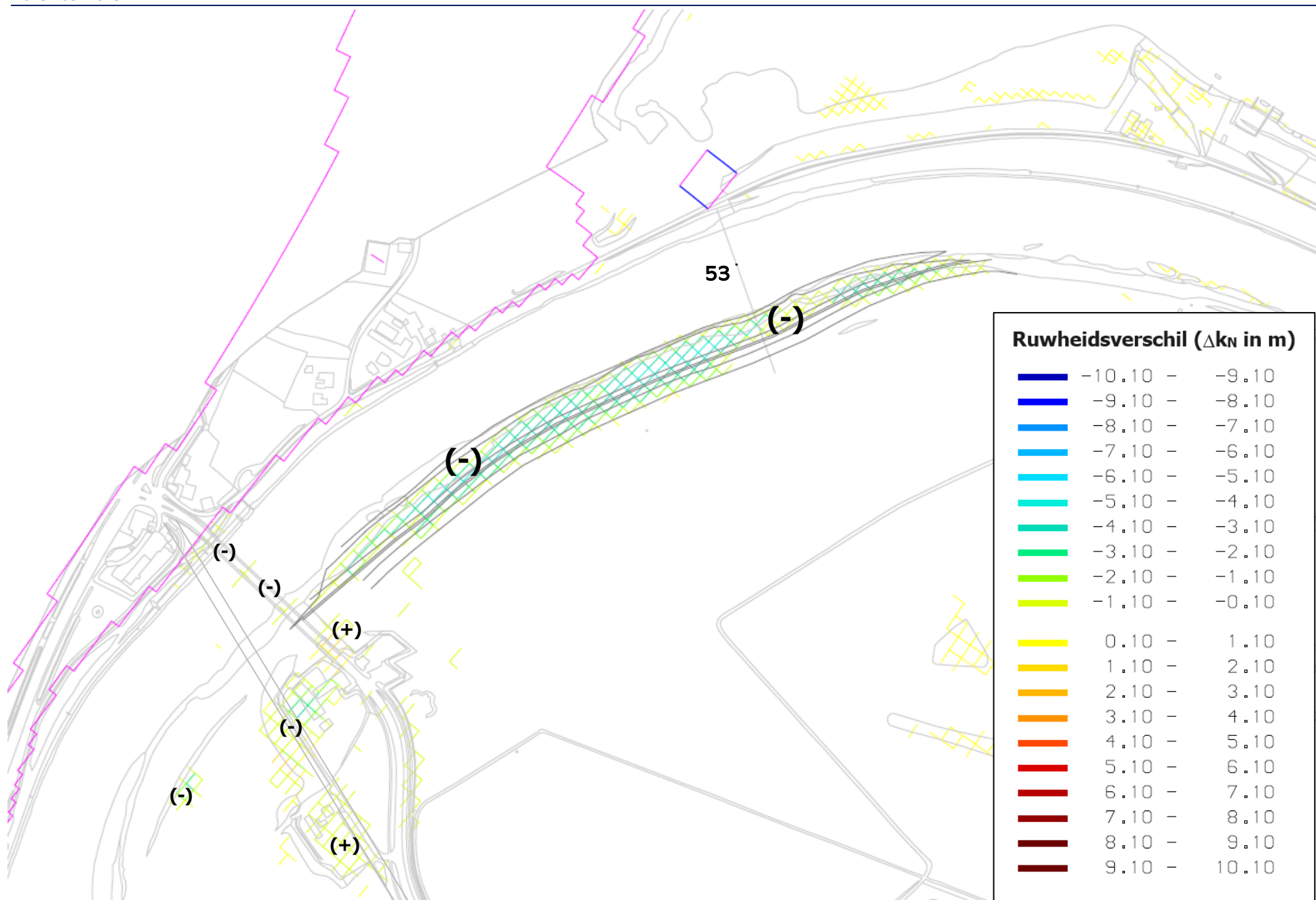
Bijlage 10 Pater Sangersbrug middellange termijn + Roosteren I (met Heerenlaak en Contelmo gereed): scenario 10

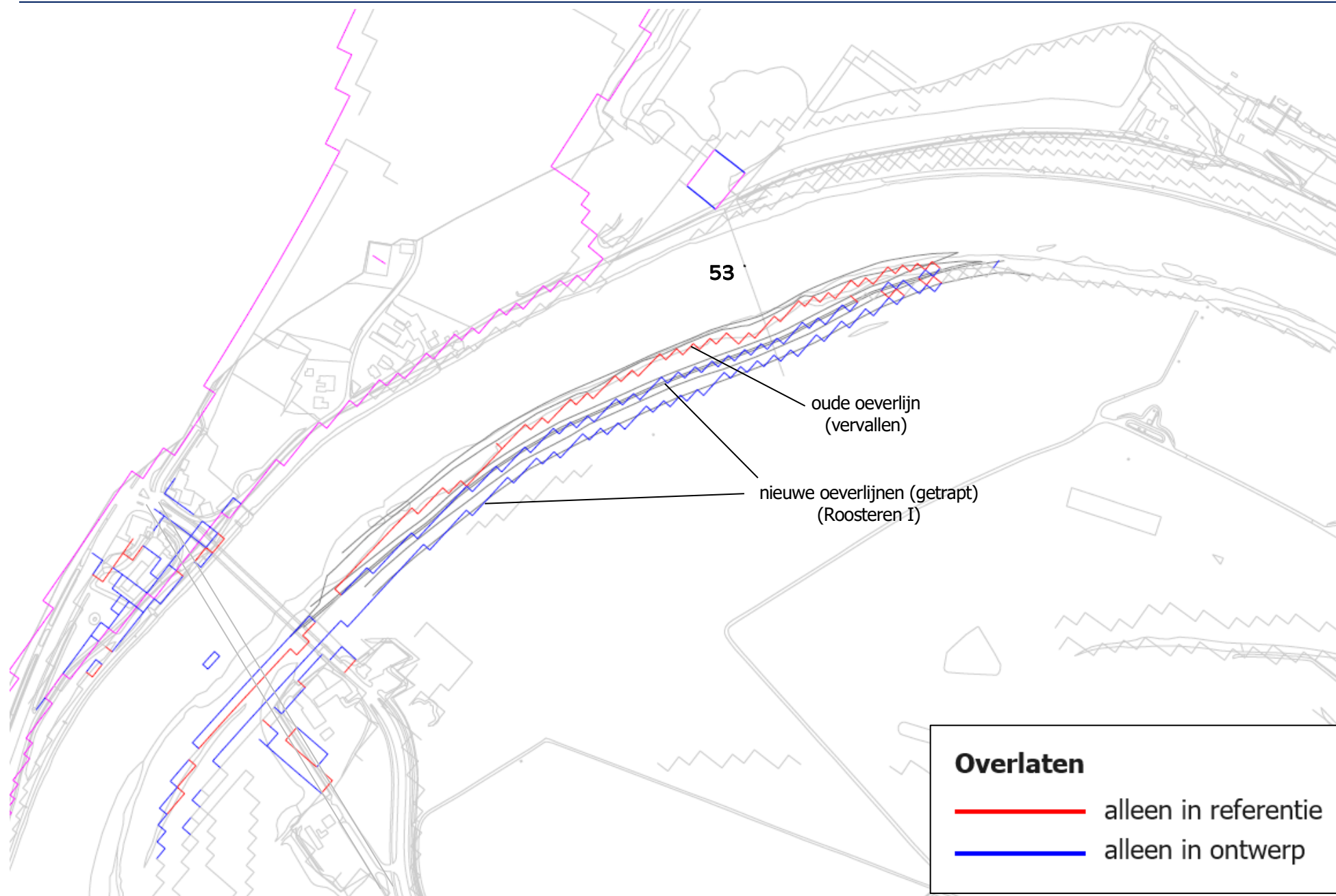




Hydraulische ruwheden scenario 10: Pater Sangersbrug lange termijn + Roosteren I (met Heerenlaak en Contelmo gereed)

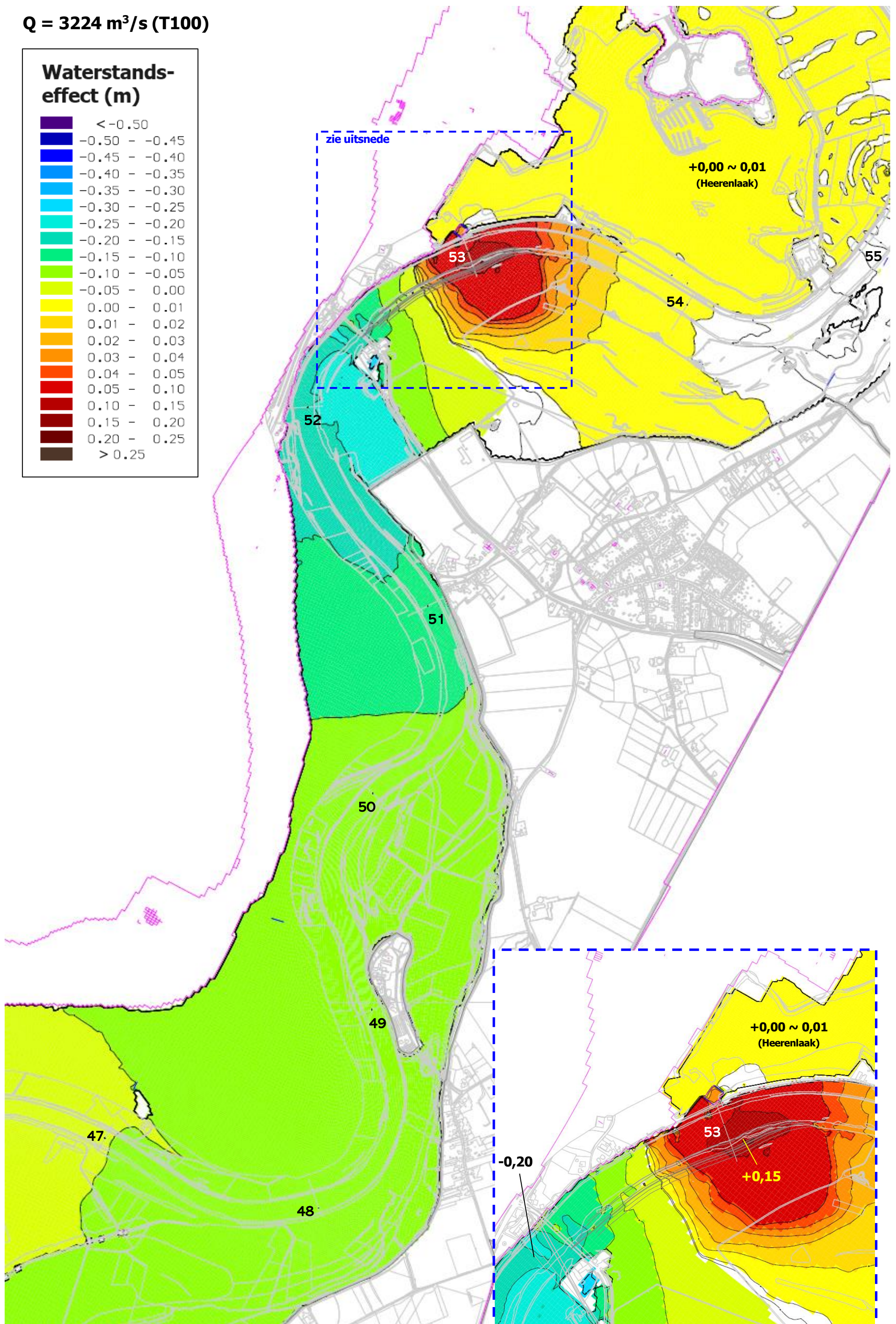
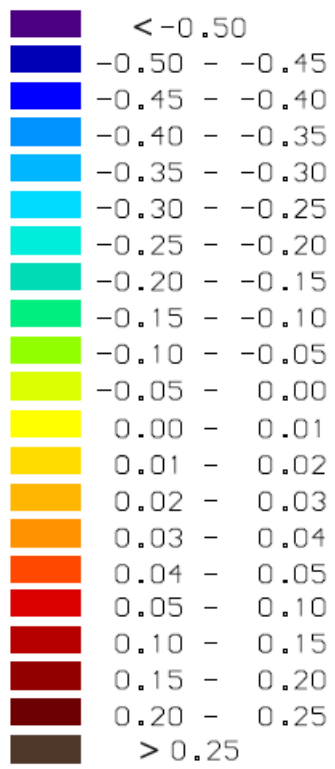




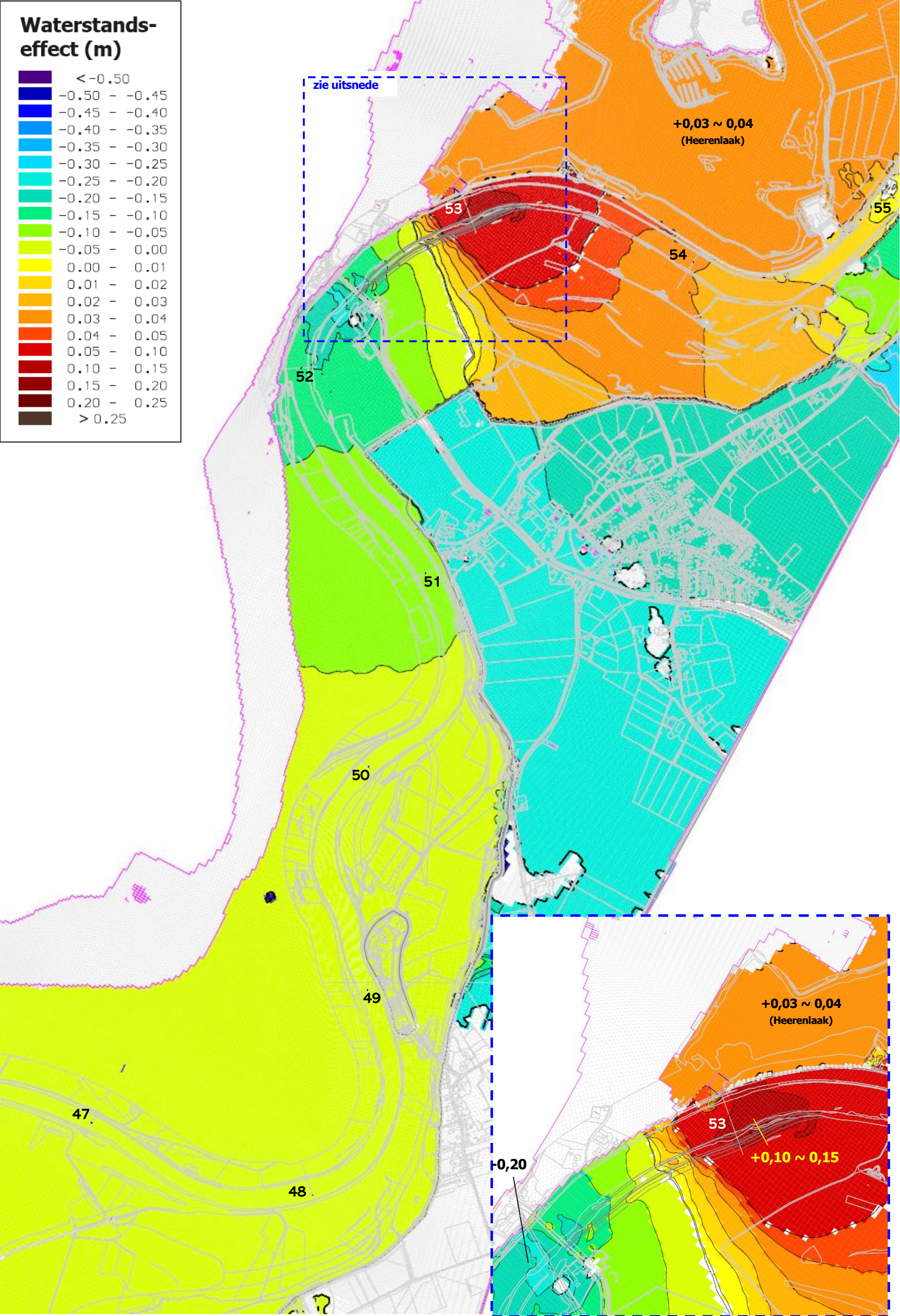


Q = 3224 m³/s (T100)

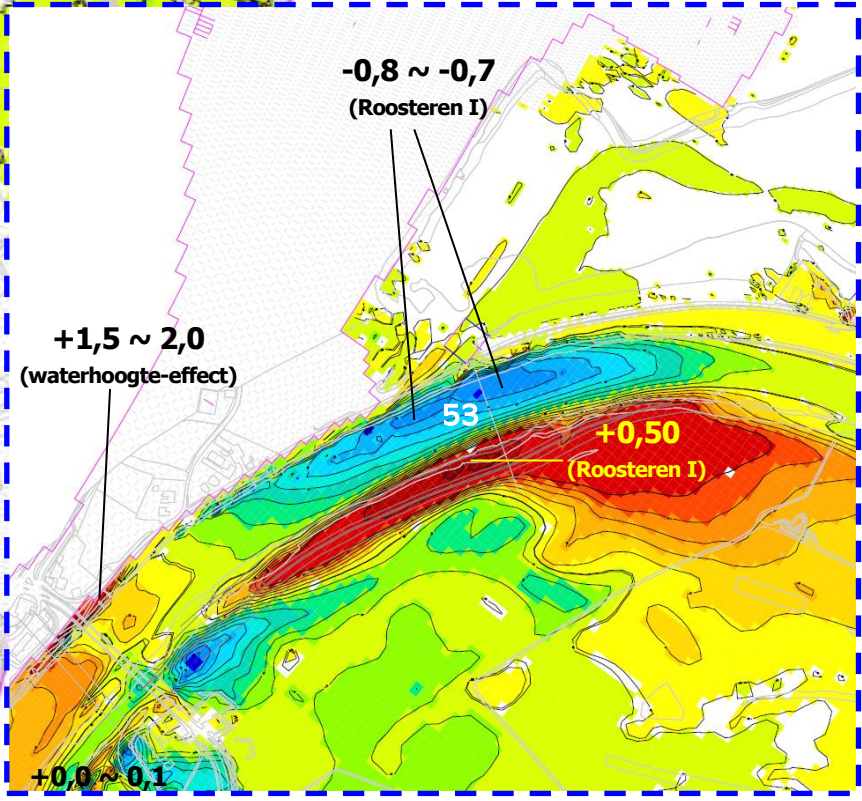
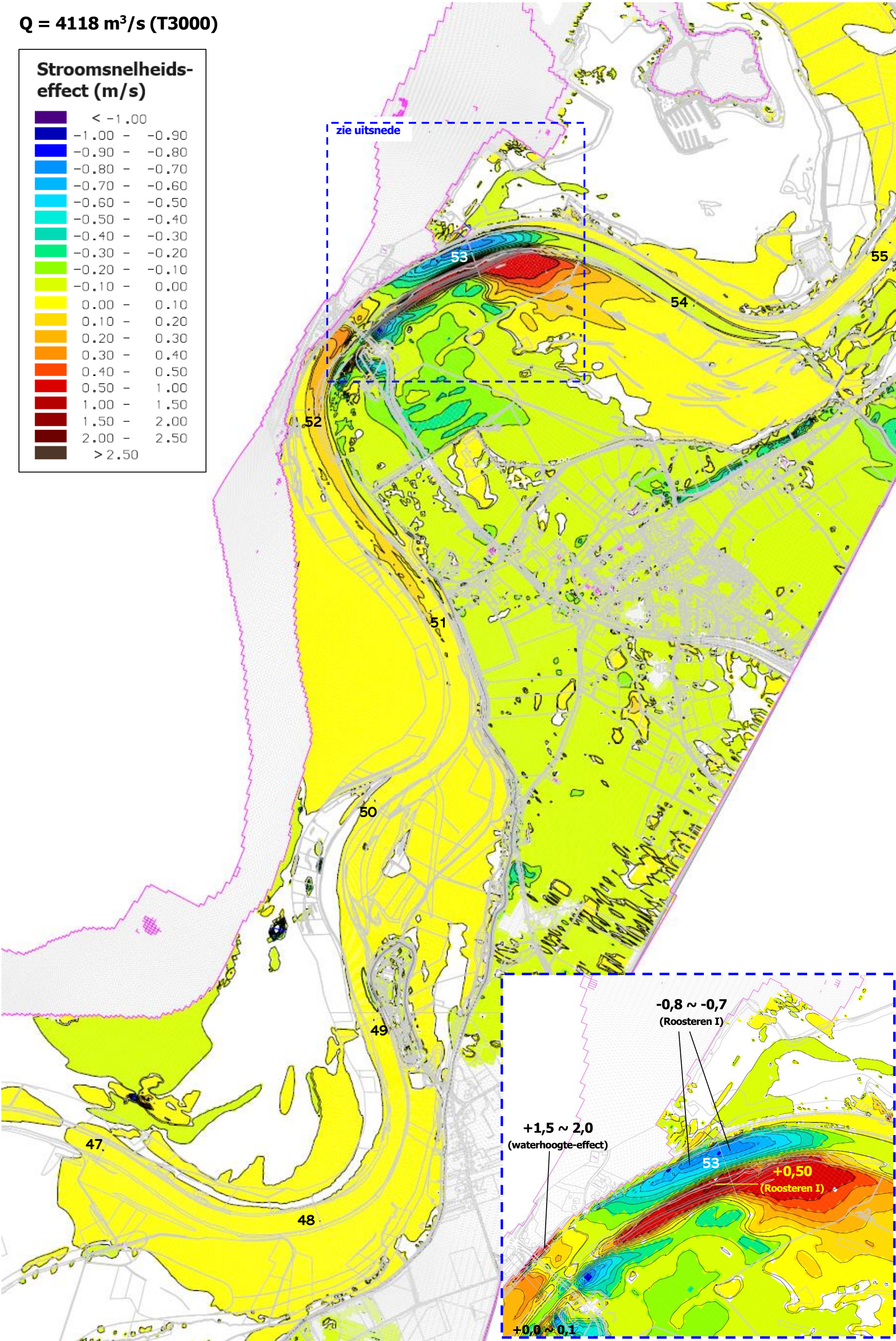
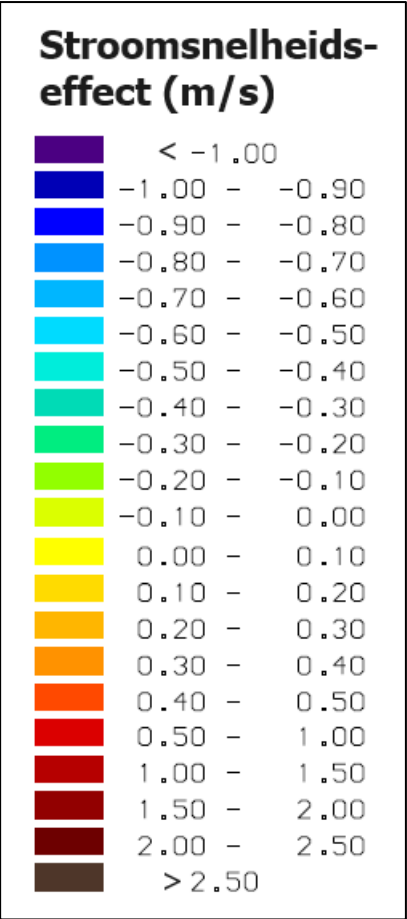
Waterstands- effect (m)



Q = 4118 m³/s (T3000)



Q = 4118 m³/s (T3000)



Bijlage 11 Overzicht van Baseline-maatregelen, Baseline-varianten en WAQUA-modelsimulaties

Nr. 3)	1. Korte termijn	Pater Sangersbrug	Roosteren I	Heerenlaak	Contelmo	Beschrijving	Baseline			Jaar
							basis	maatregel(en)	variant	
0	Referentiesituatie	-	-	2 kokers	-	gm01-model ²⁾ met deactualisaties in twee stappen	gm01_2023_5-v1	ma_invcont_a1 ⁴⁾	gm01_psb_ref2 (geen WAQUA-model)	2025
1			-	-	-		gm01_psb_ref2	ma_invhk_a1 ⁵⁾	gm01_psb_ref1	2024
2	Bouwfase zonder Heerenlaak	bouwfase	-	-	-	tijdelijke situatie 1a	gm01_psb_ref1	ma_psb-a_a1	gm01_psb1a_a1	2025
3		bouwfase + noodmaatregel	-	-	-	tijdelijke situatie 1b	gm01_psb_ref1	ma_psb-b_a1	gm01_psb1b_a1	2025
4	Bouwfase met Heerenlaak	bouwfase	-	2 kokers	-	tijdelijke situatie 2a	gm01_psb_ref2	ma_psb-a_a1	gm01_psb2a_a1	2025
5		bouwfase + noodmaatregel	-	2 kokers	-	tijdelijke situatie 2b	gm01_psb_ref2	ma_psb-b_a1	gm01_psb2b_a1	2025
6	Afbraak oude brug (uitvoeringsfase)	gereed oude in sloop	-	-	-	tijdelijke situatie 3	gm01_psb_ref1	ma_psb3_a1	gm01_psb3_a1	2025
7	Brug gereed	gereed	-	2 kokers	-	eindsituatie (= tijdelijke situatie 4 zonder Contelmo)	gm01_psb_ref2	ma_psb_a1	gm01_psb4_a1	2026

Nr. 3)	2. Lange termijn	Pater Sangersbrug	Roosteren I	Heerenlaak	Contelmo	Beschrijving	Baseline			Jaar
							basis	maatregel(en)	variant	
8	Referentiesituatie ³⁾	-	-	3 kokers	gereed	actueel gm01-model ²⁾	gm01_2023_5-v1	-	gm01_2023_5-v1	2030
9	Brug gereed	gereed	-	3 kokers	gereed	eindsituatie	gm01_2023_5-v1	ma_psb_a1	gm01_psb_a1	2030
10	Roosteren I uitgevoerd	gereed	gereed	3 kokers	gereed	situatie 5 (eindsituatie plus Roosteren I)	gm01_psb_a1	ma_roos22_b2 *	gm01_psb5_a1	2030

¹⁾ T1 tot en met T100 stationair, T3000 dynamisch; laag = een of twee nader te bepalen afvoerniveaus (100 en 500 m³/s)

* ingekorte versie van ma_roos22_b1 (Meijer, 2022)

²⁾ Model: gm01_2023_5-v1 [Grensmaasmodel van CG]. De deactualisaties voor de korte termijn betreffen Contelmo en Heerenlaak

(inlaatwerk, NIET de doorvaartopening want die zal wel gereed zijn). Eventuele aanvullende actualisaties uit nieuwe veldmetingen zijn geen onderdeel van de begroting.

³⁾ Scenario

⁴⁾ Verwijderen maatregel Contelmo

⁵⁾ Verwijderen maatregel Heerenlaak: alleen inlaatwerk, de verlegde doorvaartopening (rkm 57,4) is in alle scenario's aanwezig.

WAQUA-modelsimulaties (5G)

nr	1. Korte termijn	Pater Sangersbrug	Roosteren I	Heerenlaak	Contelmo	Beschrijving	Model	Jaar	Modelsimulaties ¹⁾						
									laag	T1	T2	T5	T10	T100	T3000
0	Referentiesituatie 2	-	-	2 kokers	-	gm01-model ²⁾ met deactualisaties in twee stappen	gm01_psb_ref2	2025	-	-	-	-	-	-	-
1	Referentiesituatie 1	-	-	-	-		gm01_psb_ref1	2024	x	x	x	x	x	x	x
2	Bouwfase zonder Heerenlaak	bouwfase	-	-	-	tijdelijke situatie 1a	gm01_psb1a_a1	2025	x	x	x	x	x	x	x
3		bouwfase + noodmaatregel	-	-	-	tijdelijke situatie 1b	gm01_psb1b_a1	2025					x	x	x
4	Bouwfase met Heerenlaak	bouwfase	-	2 kokers	-	tijdelijke situatie 2a	gm01_psb2a_a1	2025	x	x	x	x	x	x	x
5		bouwfase + noodmaatregel	-	2 kokers	-	tijdelijke situatie 2b	gm01_psb2b_a1	2025					x	x	x
6	Afbraak oude brug (uitvoeringsfase) met Heerenlaak	gereed oude in sloop	-	-	-	tijdelijke situatie 3	gm01_psb3_a1	2025	x	x	x	x	x	x	x
7	Brug gereed	gereed	-	2 kokers	-	eindsituatie (= tijdelijke situatie 4 zonder Contelmo)	gm01_psb4_a1	2026	x	x	x	x	x	x	x

nr	2. Lange termijn	Pater Sangersbrug	Roosteren I	Heerenlaak	Contelmo	Beschrijving	Model	Jaar	Modelsimulaties ¹⁾						
									laag	T1	T2	T5	T10	T100	T3000
8	Referentiesituatie ³⁾	-	-	3 kokers	gereed	actueel gm01-model ²⁾	gm01_2023_5-v1	2030						x	x
9	Brug gereed	gereed	-	3 kokers	gereed	eindsituatie	gm01_psb_a1	2030						x	x
10	Roosteren I uitgevoerd	gereed	gereed	3 kokers	gereed	situatie 5 (eindsituatie plus Roosteren I)	gm01_psb5_a1	2030						x	x

Instellingen regelwerken

De gm01-varianten voor de lange termijn hebben de volgende instellingen van de regelwerken (m+TAW):

gm01-varianten	Drempelhoogte (m+TAW)	Schuifhoogte (m+TAW)	Breedte (m)	Overstorthoogte (m+TAW)
Heerenlaak	26,70	27,70	176,40 ⁶	32,93
Contelmo-zuid	28,03	31,03	62,33	n.v.t.
Contelmo-noord	n.v.t.	n.v.t.	40,33	31,33

Controleer rood!

De gm01-varianten voor de lange termijn hebben de volgende instellingen van de regelwerken (m+NAP):

gm01-varianten	Drempelhoogte (m+NAP)	Schuifhoogte (m+NAP)	Breedte (m)	Overstorthoogte (m+NAP)
Heerenlaak	24,37	25,37	176,40 ⁶	30,60
Contelmo-zuid	25,70	28,70	60,00	n.v.t.
Contelmo-noord	n.v.t.	n.v.t.	38,00	29,00

⁶ totale lengte van de labyrinthstuw (de overstortbreedte bedraagt 36 m)

Anneke de Joode
rivierkundig advies

www.rivierkundigadvies.nl



www.agtersloot.nl

RiQuest

<https://riquest.nl>