

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water & Maritime

Aan: Projectteam RWS
Van: Danny Booij
Datum: 30 augustus 2021
Kopie:
Ons kenmerk: Bijlage bij BH8088-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0001
Classificatie: Projectgerelateerd
Goedgekeurd door: Wiebe de Jong

**Onderwerp: Bijlage Resultaten Rivierkundige Beschouwing
bij memo 'VKS Waal - Variantenanalyse M2 Ontgrondingskuil vaste laag
Nijmegen**

1 Inleiding

Deze memo is een bijlage bij de memo VKS Waal - Variantenanalyse M2 Ontgrondingskuil vaste laag Nijmegen.

De memo gaat in op de gehanteerde werkwijze voor de rivierkundige berekeningen in H2, toont de schematisaties van de varianten (H3) en toont de resultaten van de uitgevoerde berekeningen met WAQUA en WAQMORF (H4 en H5).

2 Werkwijze en uitgangspunten

De rivierkundige variantenanalyse is grotendeels uitgevoerd op basis van een kwantitatieve analyse door middel van modelberekeningen. Tevens is een kwalitatieve analyse (deskundigheidsoordeel) gebruikt om een beoordeling te geven over de effecten welke na modelberekeningen niet duidelijk werden geacht. De GIS-applicatie Baseline is gebruikt om de varianten te schematiseren en vervolgens is het 2D stromingsmodel WAQUA toegepast om deze schematisatie door te rekenen. Waqmorf is gebruikt om de morfologische effecten te bepalen. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij het maken van de rivierkundige modelberekeningen:

Referentie:

- Voor de Baseline referentieschematisatie is 'baseline-rijn-beno18_5-v1' en 'waqua-rijn-beno18_5_20m_waal-v1' uitgeleverd (mail door R. van Renswoude d.d. 21-07-2021);
- Op verzoek van RWS-ON is de referentieschematisatie uitgebreid met twee maatregelen: wl_nijmeg_a1 & wl_opekref_a1. Het kenmerk van deze nieuwe referentie is 'vksw_m2_ref_wl'.

Maatregel:

- Voor de maatregel 'opvullen erosiekuil Nijmegen' zijn drie Baseline-schematisaties (ontwerpvarianten) gemaakt met, respectievelijk, de kenmerken 'wl_eknijm_a1', 'wl_eknijm_b1' en 'wl_eknijm_c1';
- Het ontwerp en verschil tussen deze maatregelen wordt nader toegelicht in sectie 3 van deze notitie;
- Voor de bepaling van de ruwheid van het opvullen van de erosiekuil dient een ruwheidscode gekozen te worden met een vaste k-nikuradse die niet in gebruik is in de range van 101-300 (mail door R. van Renswoude d.d. 21-07-2021);
- De maatregelen zijn ingemixt op 'vksw_m2_ref_wl', de nieuwe varianten hebben respectievelijk de kenmerken: 'vksw_m2_a1_wl', 'vksw_m2_b1_wl' en 'vksw_m2_c1_wl'.

Model software: (zoals benoemd in de mail van RWS-ON (R. van Renswoude d.d. 21-07-2021)):

- Baseline versie 5.3.3;
- ArcGIS versie 10.5.1;
- WAQUA-versie SIMONA2019.

Werkwijze:

- Op 29 juni is er een werkatelier georganiseerd waarin de verschillende varianten (3 stuks) voor het aanvullen van de erosiekuil bij Nijmegen zijn vastgesteld.
- Zowel de varianten als de referentie zijn doorgerekend met afvoeren bij Lobith van 16.000 m³/s (MHW), 10.000 m³/s, 6.000 m³/s, 4.000 m³/s, 3.000 m³/s, 2.000 m³/s en 1.020 m³/s (OLR). Alle berekeningen zijn gemaakt met vaste afvoerverdeling op de splitsingspunten.
- Voor de keuze van een voorkeursvariant is conform het rekenrecept (Rico Tönis d.d. 15-07-2021) een optimum gezocht tussen de rivierkundige effecten bij lage waterstanden (opstuwung boven vaste laag en afvoerverschuiving), morfologische effecten en de rivierkundig effecten bij extreem hoge waterstanden (opstuwung boven vaste laag en afvoerverschuiving).
- Om een indruk te krijgen van de morfologische effecten van de varianten is door RWS-ON gevraagd om met WAQMORF een indruk te geven van het effect. Voor de analyse van de morfologische effecten moet de nadruk liggen op het mogelijke ontstaan van een nieuwe erosiekuil, het morfologische effect op de 2^e kuil aan de noordzijde van de vaste laag en op de nadelige morfologische effecten met betrekking tot infrastructuur (K&L, eventuele pijlers, kades, kribben).

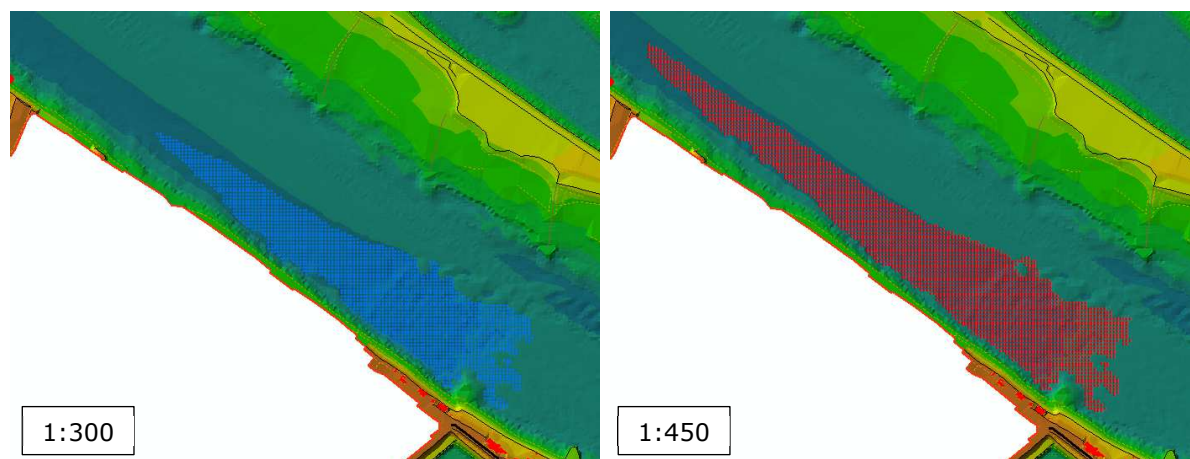
3 Schematisatie opvullen erosiekuil

Conform het ontwerpatelier op 29 juni (zie verslag BH8088TPMI2106291419) zijn de volgende varianten vastgesteld:

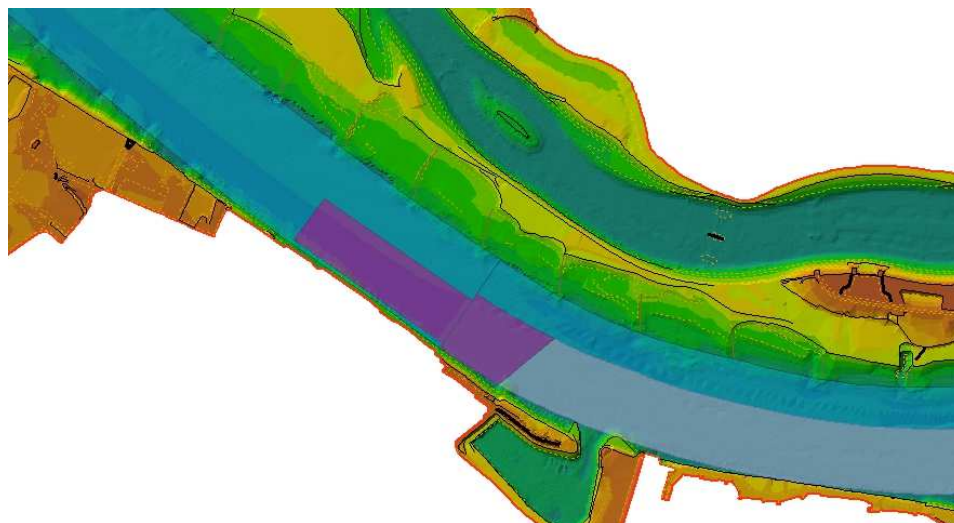
- a1. Aanvulling met als toplaag grind* ($k_n = 0,30$) en helling 1:300;
- b1. Aanvulling met als toplaag grind* ($k_n = 0,30$) en helling 1:450;
- c1. Aanvulling met als toplaag grind* ($k_n = 0,30$), helling 1:300 met herstel van de laatste 250 m vaste laag in ruw materiaal ($k_n = 0,63$).

** In de varianten is niet gerekend met een specifiek type materiaal maar met de zogenoemde Nikuradse ruwheidswaarde (K -ruwheid in het rivierkundig model). Het type materiaal/sortering volgt in de onderzoeksfase op basis van de voorkeursvariant.*

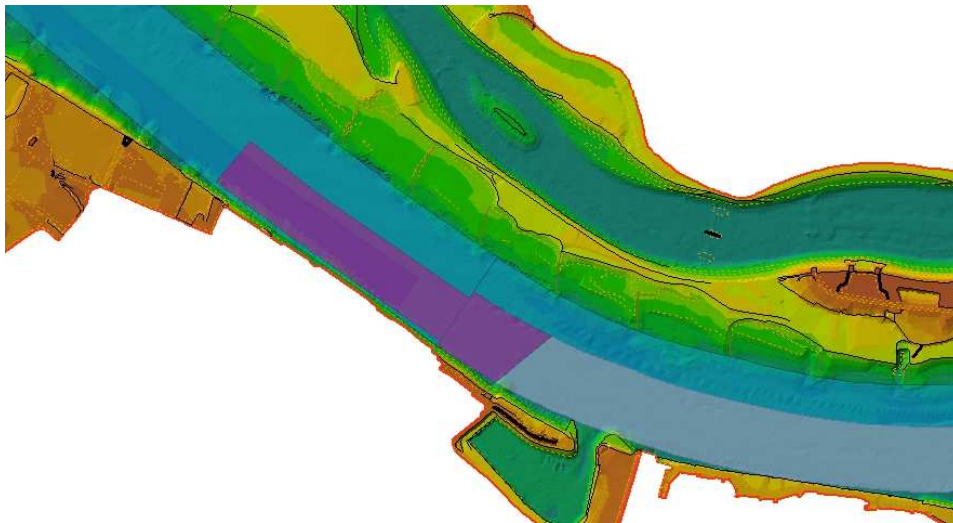
De ontwerpvarianten zijn in Baseline geschematiseerd met behulp van zomerbedhoogtepunten, zie Figuur 1, en zomerbedruwheidsvlakken, zie Figuur 2, Figuur 3 en Figuur 4.



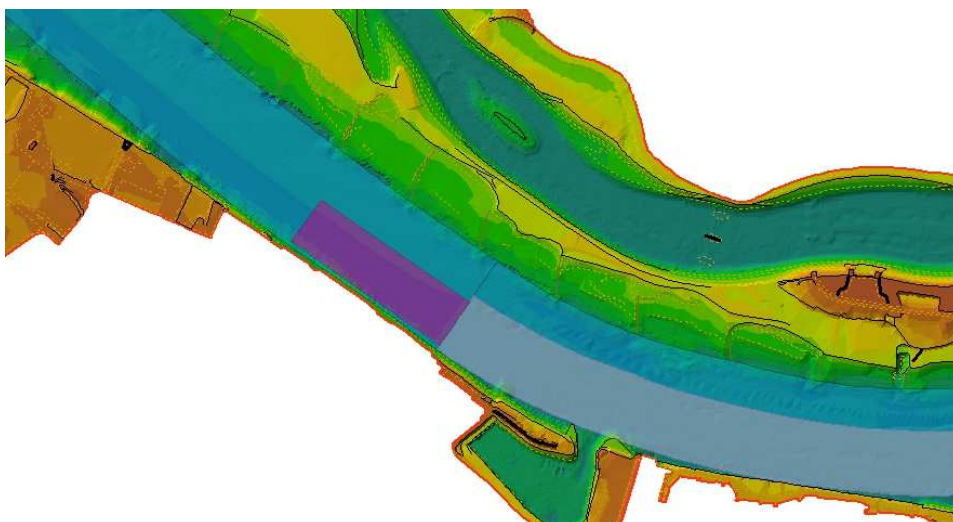
Figuur 1: Baseline schematisatie bodemhoogtepunten zomerbed. Links: nieuw toegevoegde punten voor de 1:300 helling van variant a1 en c1. Rechts: nieuw toegevoegde punten voor de 1:450 helling van variant b1.



Figuur 2: Baseline schematisatie variant a1. Paarse vlakken tonen de zomerbedruwheid $k_n = 0,30$. Lichtgrijze vlak toont huidige ruwheid van vaste laag Nijmegen.



Figuur 3: Baseline schematisatie variant b1. Paarse vlakken tonen de zomerbedruwheid $k_n = 0,30$. Lichtgrijze vlak toont huidige ruwheid van vaste laag Nijmegen.



Figuur 4: Baseline schematisatie variant c1. Paarse vlak toont de zomerbedruwheid $k_n = 0,30$. Lichtgrijze vlak toont huidige ruwheid van vaste laag Nijmegen.

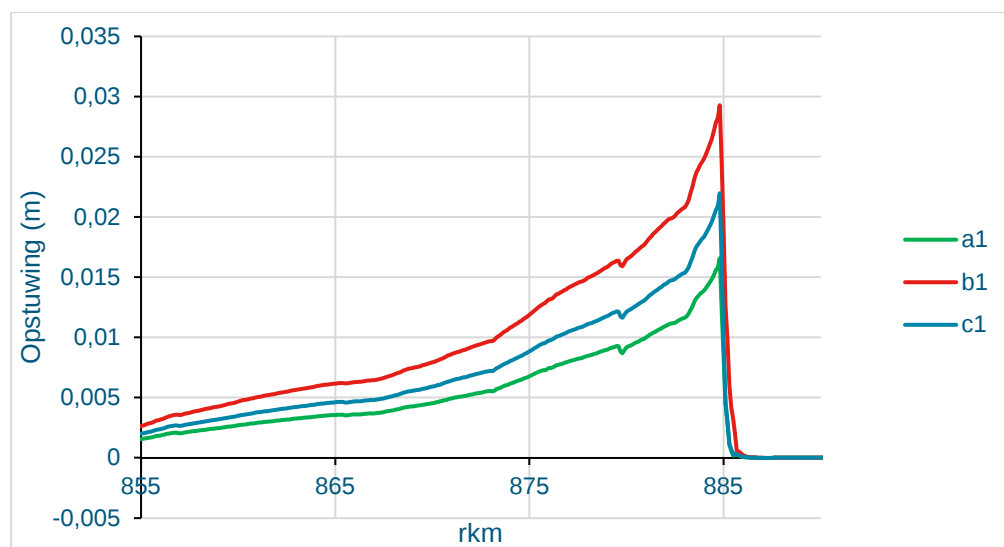
4 Rivierkundige analyse varianten

4.1 Waterstandseffect op as van de rivier

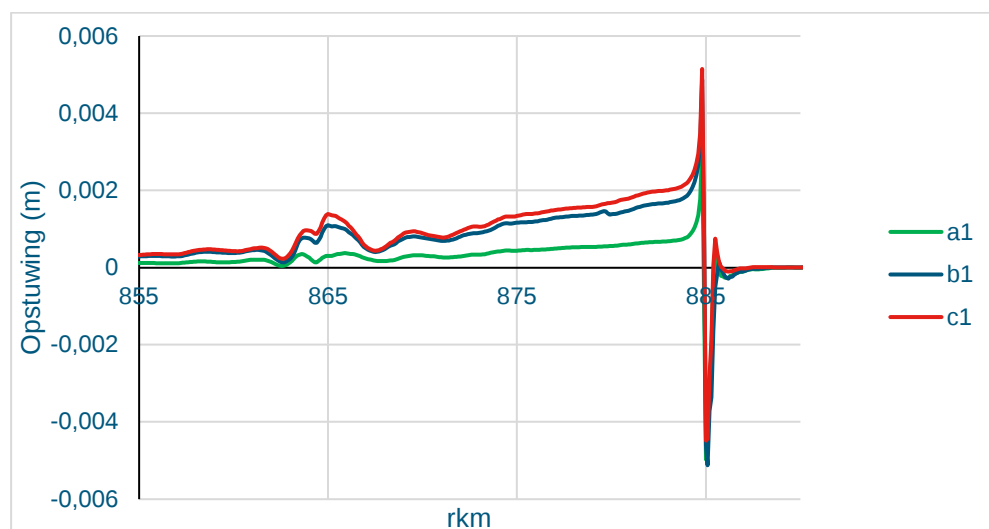
De paragraaf toont de waterstandseffecten in de as van de rivier bij OLR en bij 16.000 m³/s.

Tabel 1: effect op waterstand bij laag en hoogwater op rkm 885

	1020 m ³ /s	16.000 m ³ /s
Variant 1	1,7 cm	3,1 mm
Variant 2	2,9 cm	4,9 mm
Variant 3	2,2 cm	5,1 mm



Figuur 5: Stuwings effect (in mm) t.o.v. de referentie op de as van de rivier voor de drie varianten bij een afvoer van 1.020 m³/s.



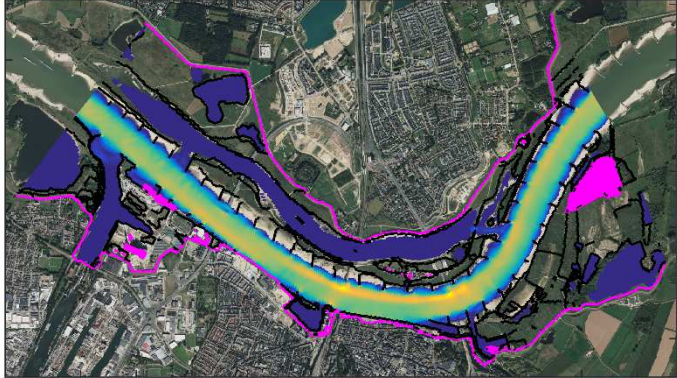
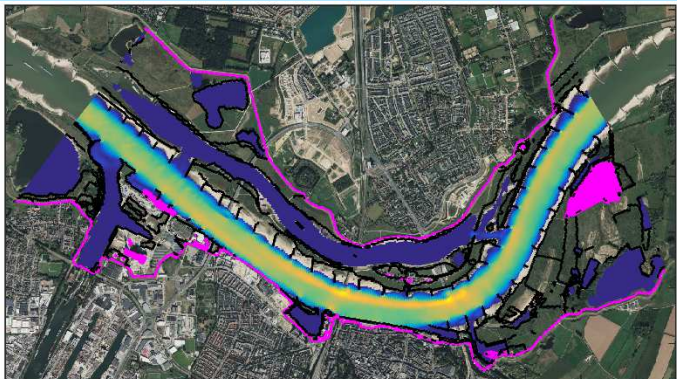
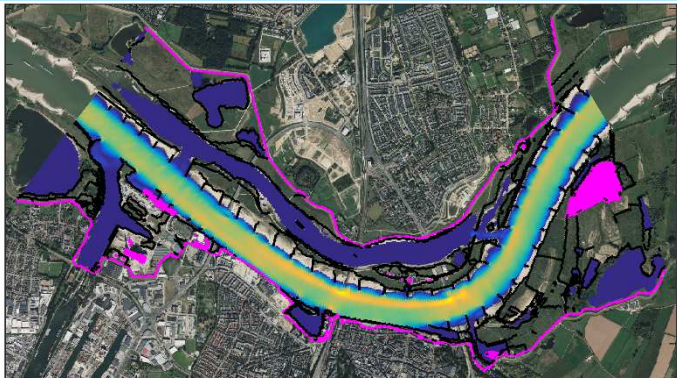
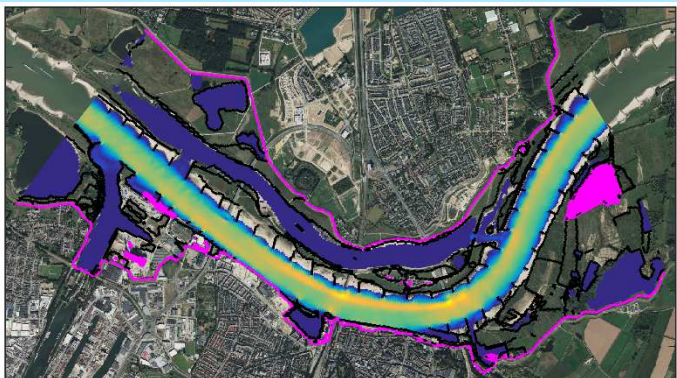
Figuur 6: Stuwings effect (in mm) t.o.v. de referentie op de as van de rivier voor de drie varianten bij een afvoer van 16.000 m³/s.

4.2 Effect op stroombeeld in vaarweg

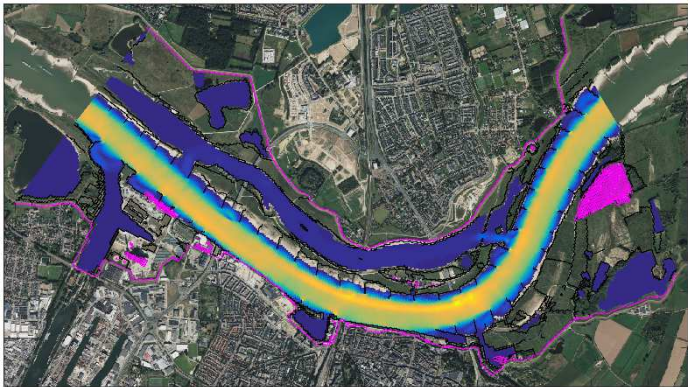
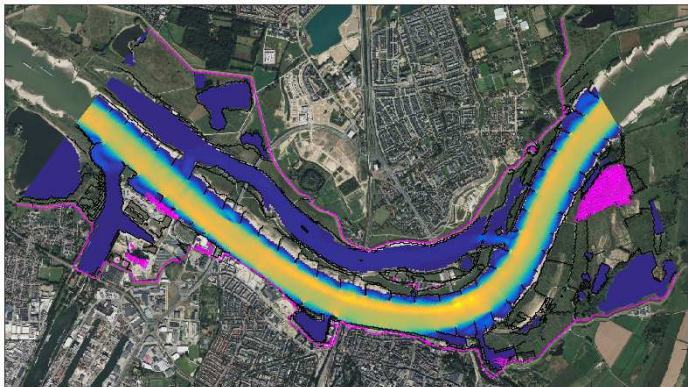
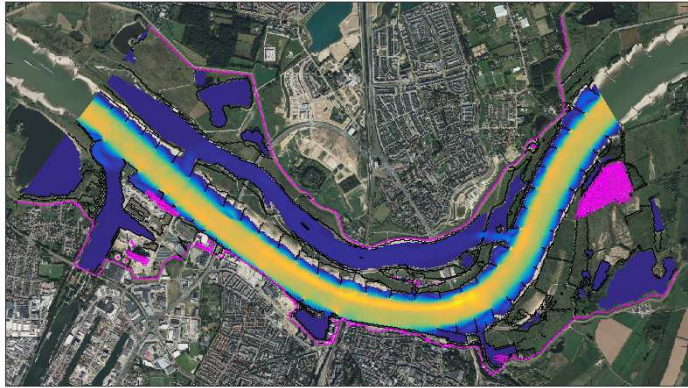
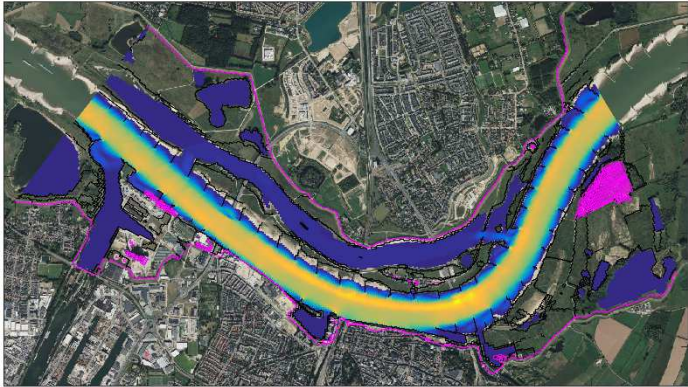
4.2.1 Absolute stroombeeld

Deze paragraaf toont de figuren met de door WAQUA berekende absolute stroomsnelheid in de vaarweg. Deze figuren zijn per berekende afvoer gemaakt en tonen op elk blad de stroomsnelheid voor referentie en de 3 varianten.

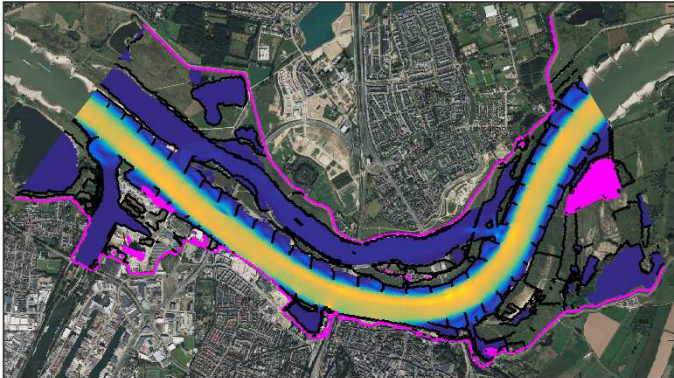
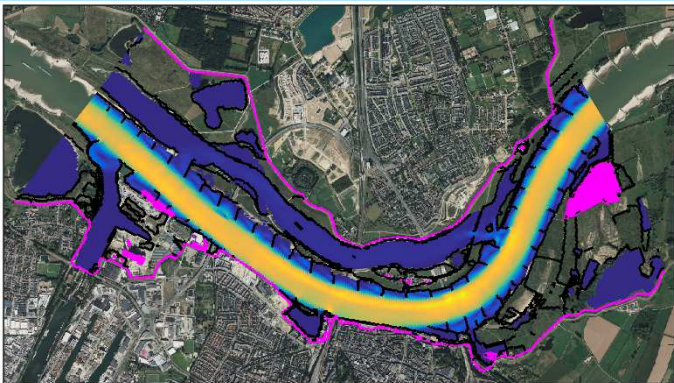
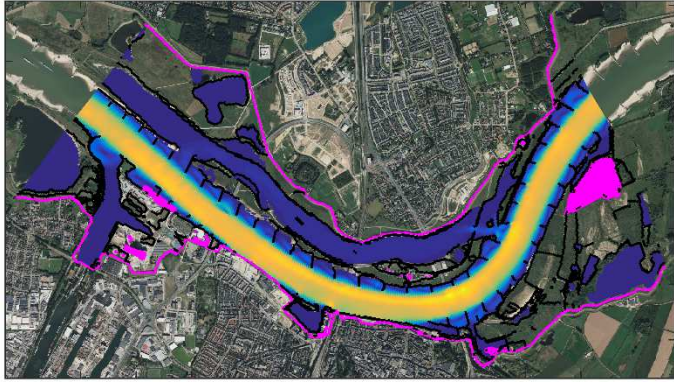
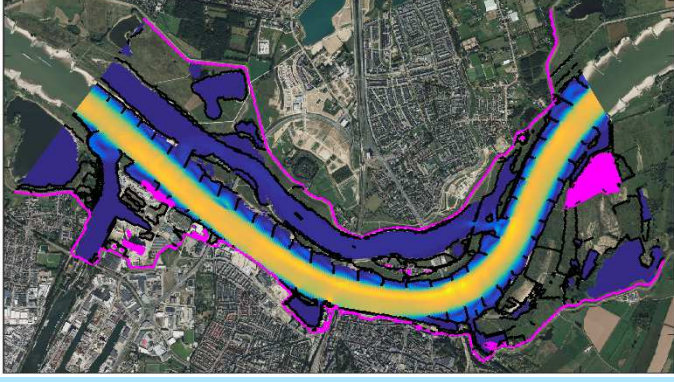
Tabel 2: Absolute stroomsnelheden bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 1.020 m³/s

Variant	Afvoer: 1.020 m ³ /s
Referentie	 Stroomsnelheid (m/s)
a1	 Stroomsnelheid (m/s)
b1	 Stroomsnelheid (m/s)
c1	 Stroomsnelheid (m/s)

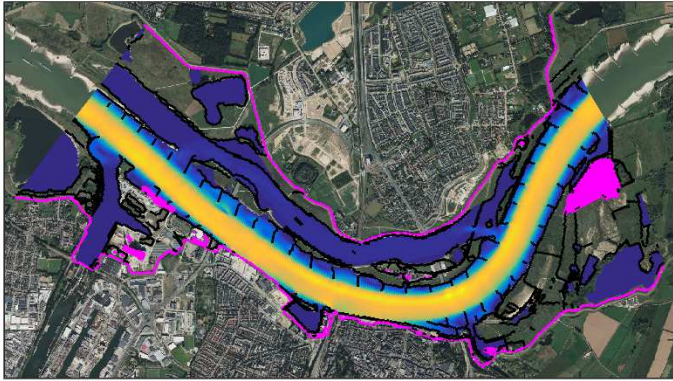
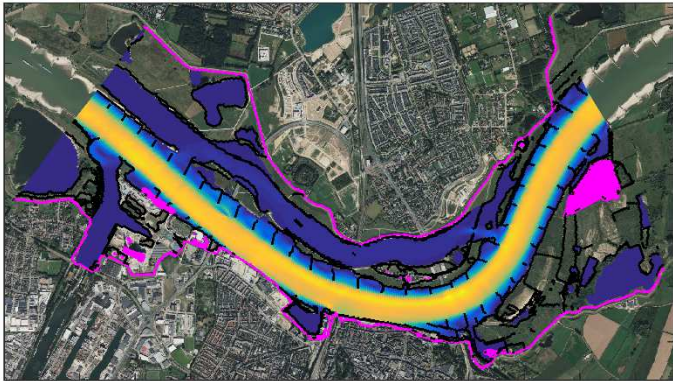
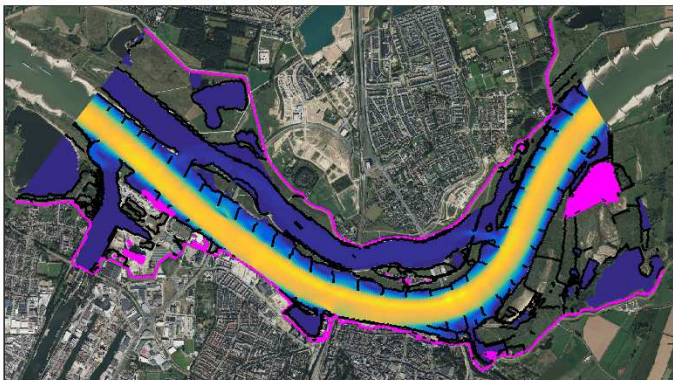
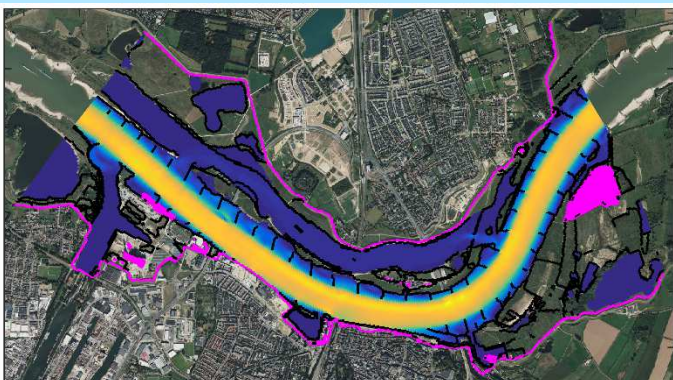
Tabel 3: Absolute stroomsnelheden bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 2.000 m³/s

Variant	Afvoer: 2.000 m ³ /s
Referentie	
a1	
b1	
c1	

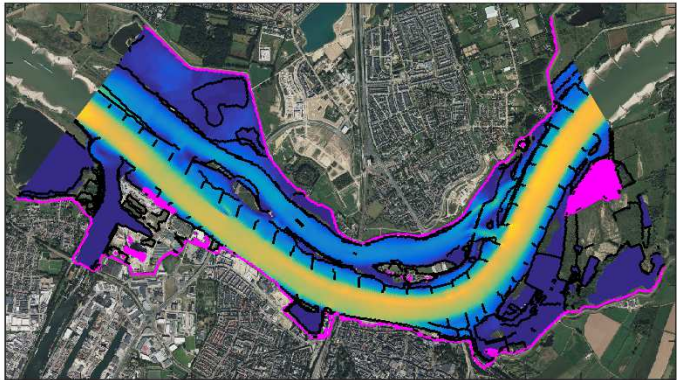
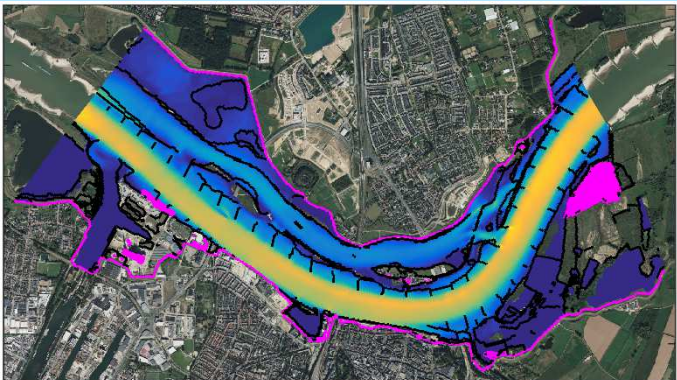
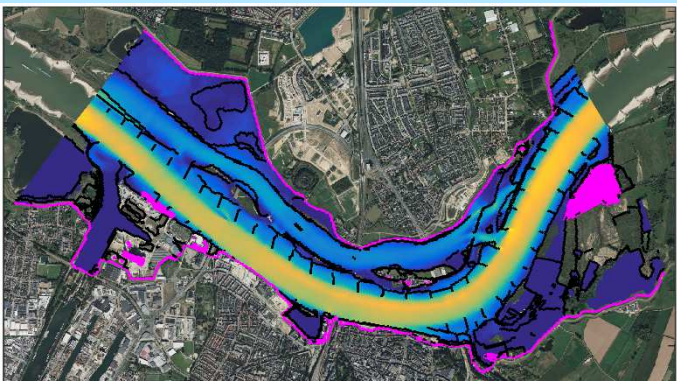
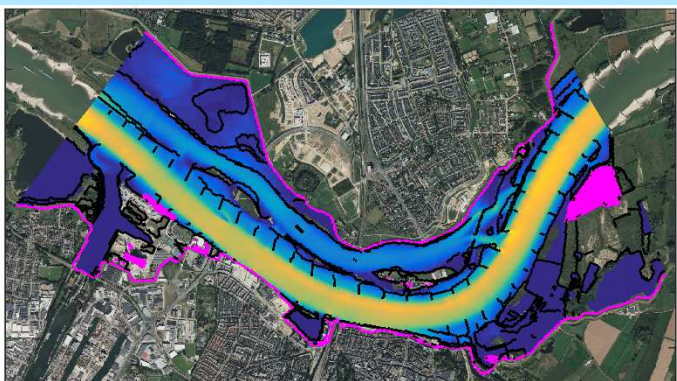
Tabel 4: Absolute stroomsnelheden bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 3.000 m³/s

Variant	Afvoer: 3.000 m ³ /s
Referentie	 Stroomsnelheid (m/s)
a1	 Stroomsnelheid (m/s)
b1	 Stroomsnelheid (m/s)
c1	 Stroomsnelheid (m/s)

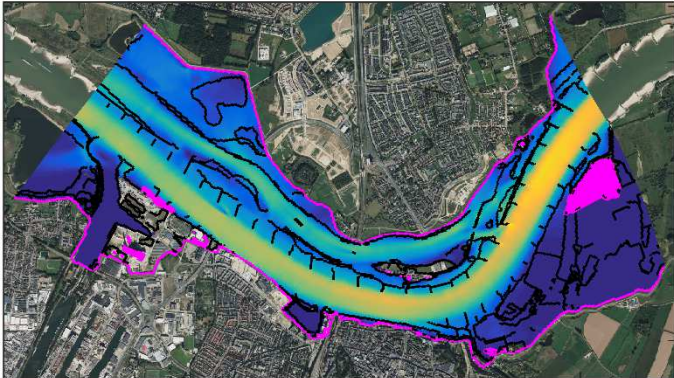
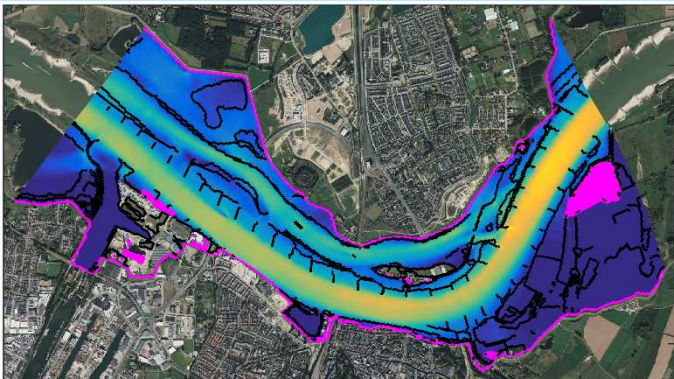
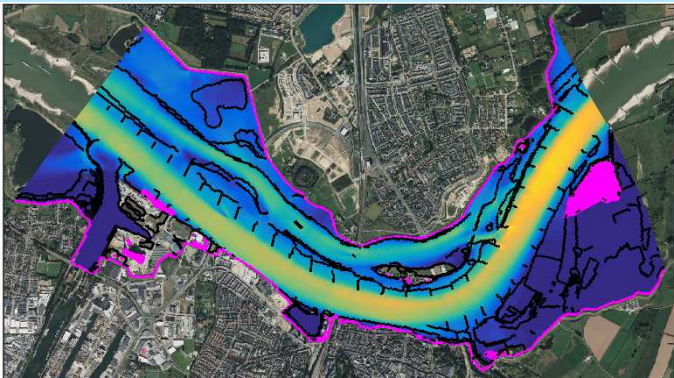
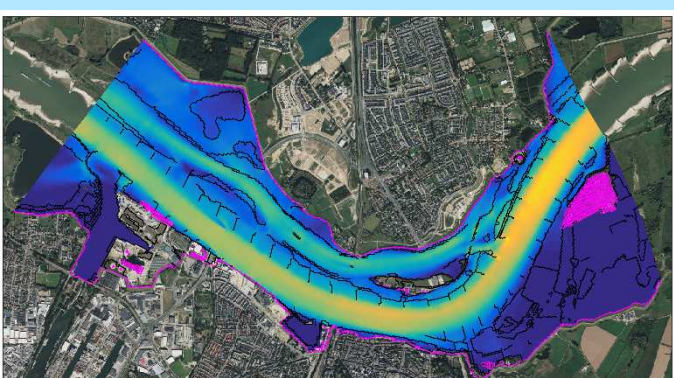
Tabel 5: Absolute stroomsnelheden bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 4.000 m³/s

Variant	Afvoer: 4.000 m ³ /s
Referentie	 Stroomsnelheid (m/s) 1.6 1.4 1.2 1 0.8 0.6 0.4 0.2
a1	 Stroomsnelheid (m/s) 1.6 1.4 1.2 1 0.8 0.6 0.4 0.2
b1	 Stroomsnelheid (m/s) 1.6 1.4 1.2 1 0.8 0.6 0.4 0.2
c1	 Stroomsnelheid (m/s) 1.6 1.4 1.2 1 0.8 0.6 0.4 0.2

Tabel 6: Absolute stroomsnelheden bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 6.000 m³/s

Variant	Afvoer: 6.000 m ³ /s
Referentie	 Stroomsnelheid (m/s)
a1	 Stroomsnelheid (m/s)
b1	 Stroomsnelheid (m/s)
c1	 Stroomsnelheid (m/s)

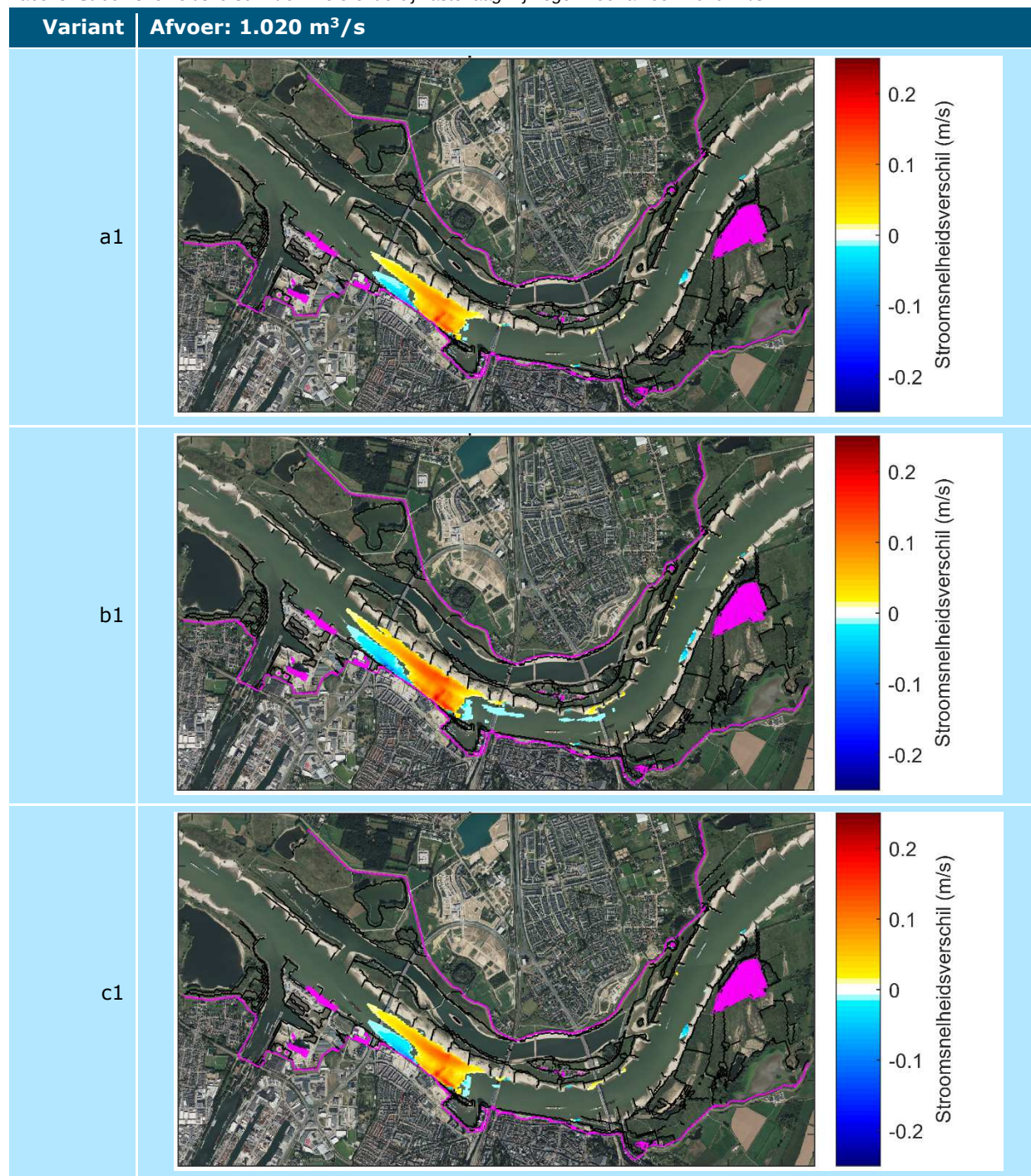
Tabel 7: Absolute stroomsnelheden bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 10.000 m³/s

Variant	Afvoer: 10.000 m ³ /s	
Referentie		 Stroomsnelheid (m/s)
a1		 Stroomsnelheid (m/s)
b1		 Stroomsnelheid (m/s)
c1		 Stroomsnelheid (m/s)

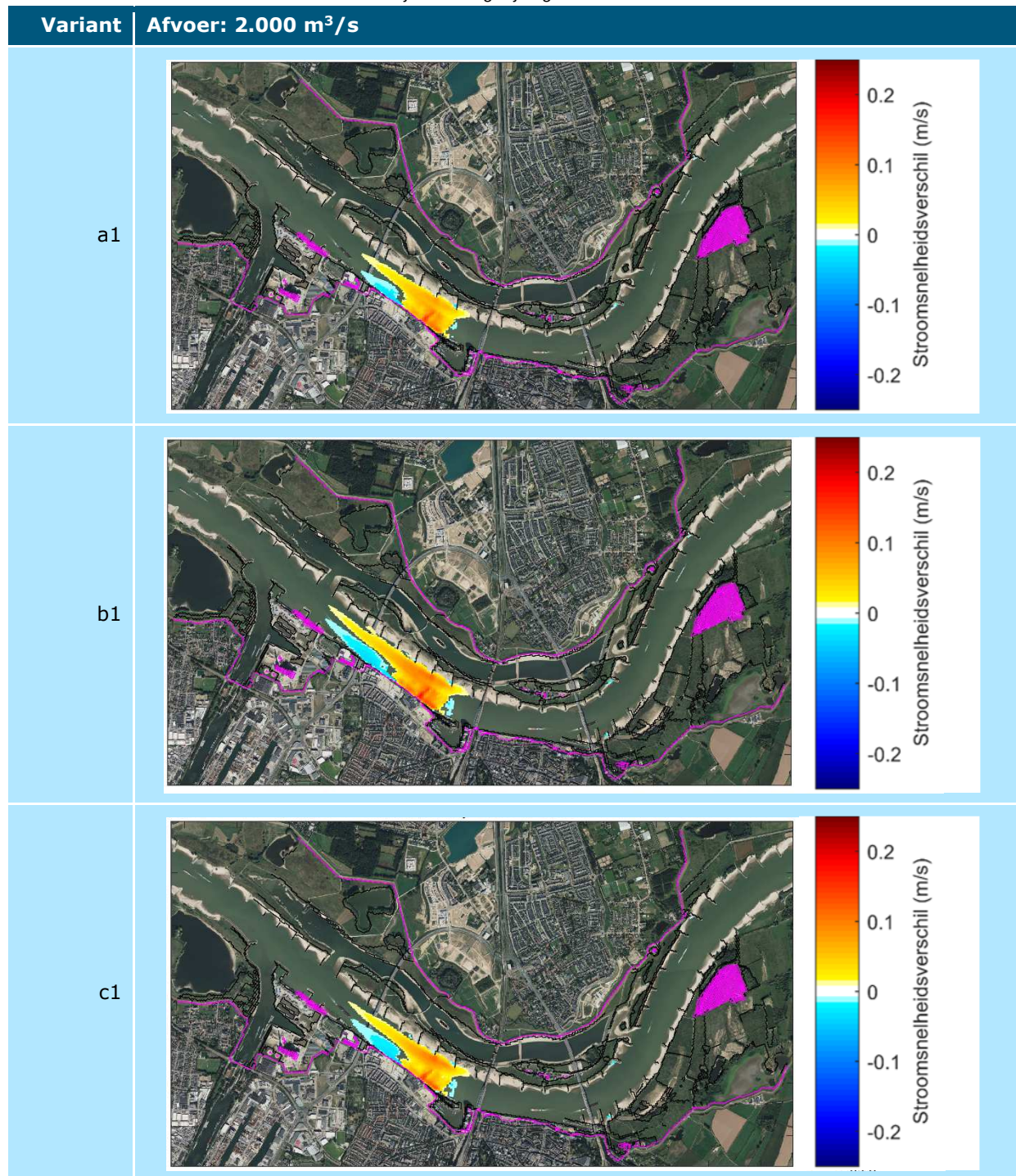
4.2.2 Stroomsnelheidsverschil t.o.v. referentie

Deze paragraaf toont de figuren met de verschillen in stroomsnelheid in de vaarweg. Deze figuren zijn per berekende afvoer gemaakt en tonen op elk blad het verschil in stroomsnelheid tussen de variant en de referentiesituatie.

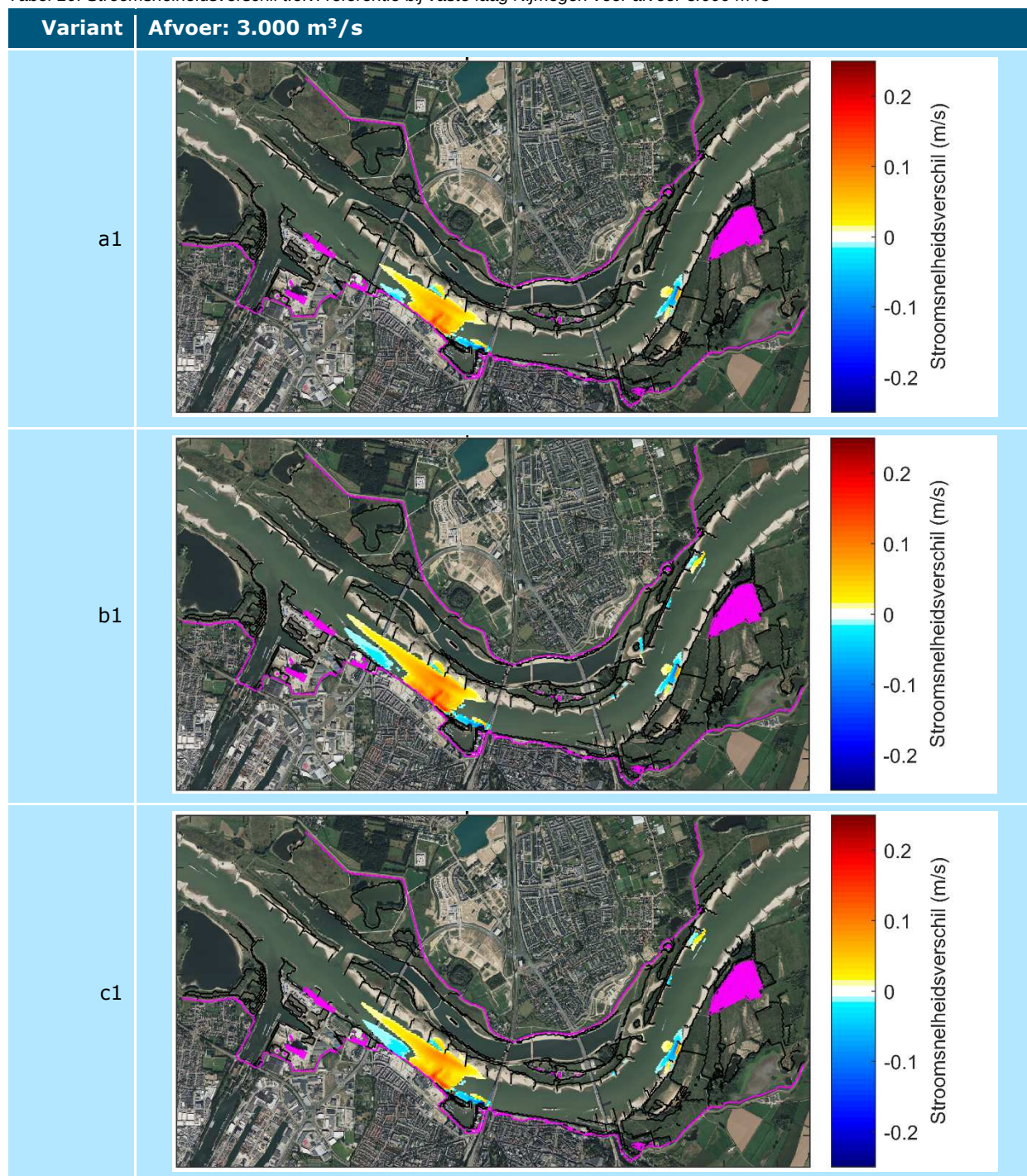
Tabel 8: Stroomsnelheidsverschil t.o.v. referentie bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 1.020 m³/s



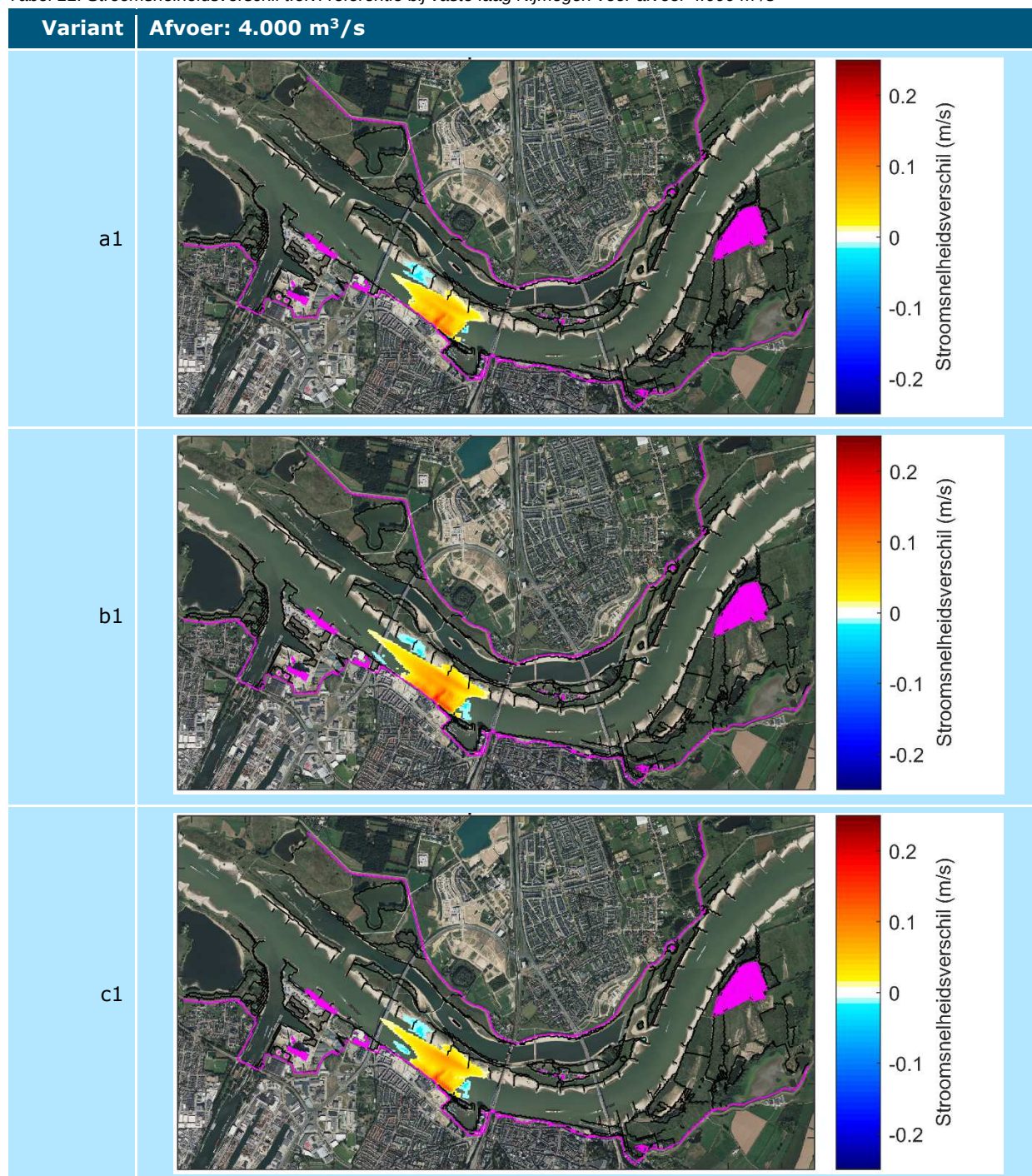
Tabel 9: Stroomsnelheidsverschil t.o.v. referentie bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 2.000 m³/s



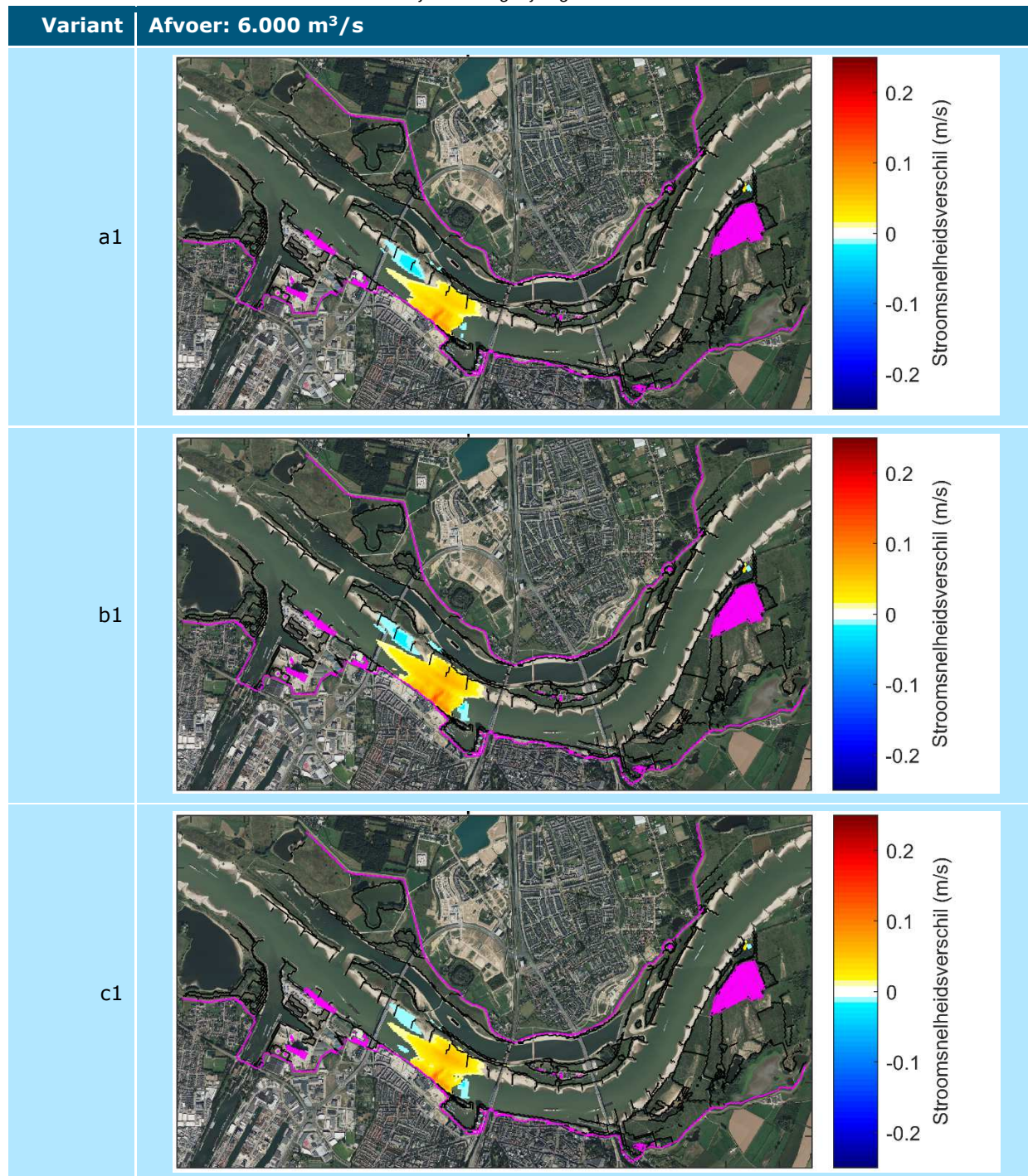
Tabel 10: Stroomsnelheidsverschil t.o.v. referentie bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 3.000 m³/s



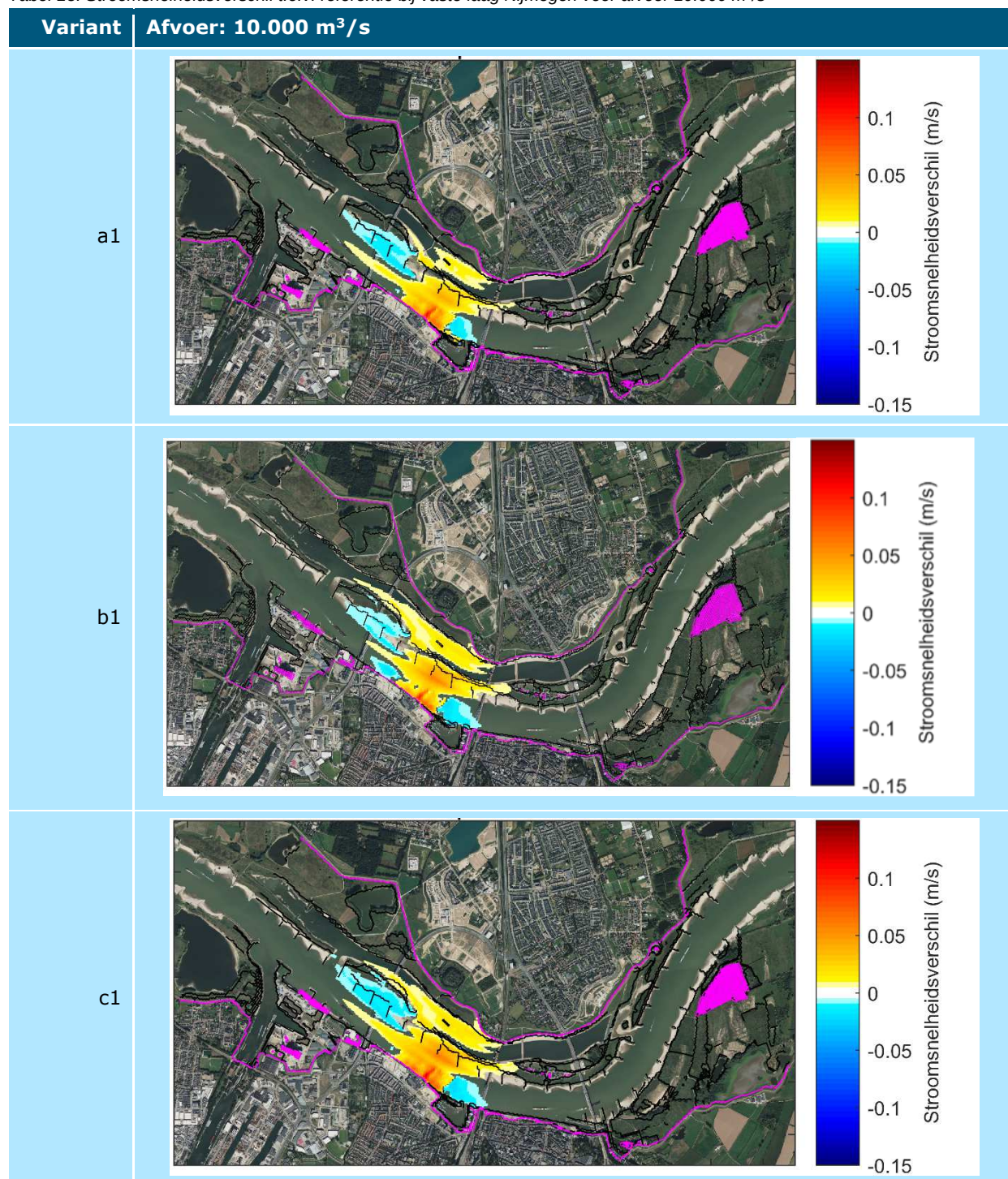
Tabel 11: Stroomsnelheidsverschil t.o.v. referentie bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 4.000 m³/s



Tabel 12: Stroomsnelheidsverschil t.o.v. referentie bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 6.000 m³/s



Tabel 13: Stroomsnelheidsverschil t.o.v. referentie bij vaste laag Nijmegen voor afvoer 10.000 m³/s

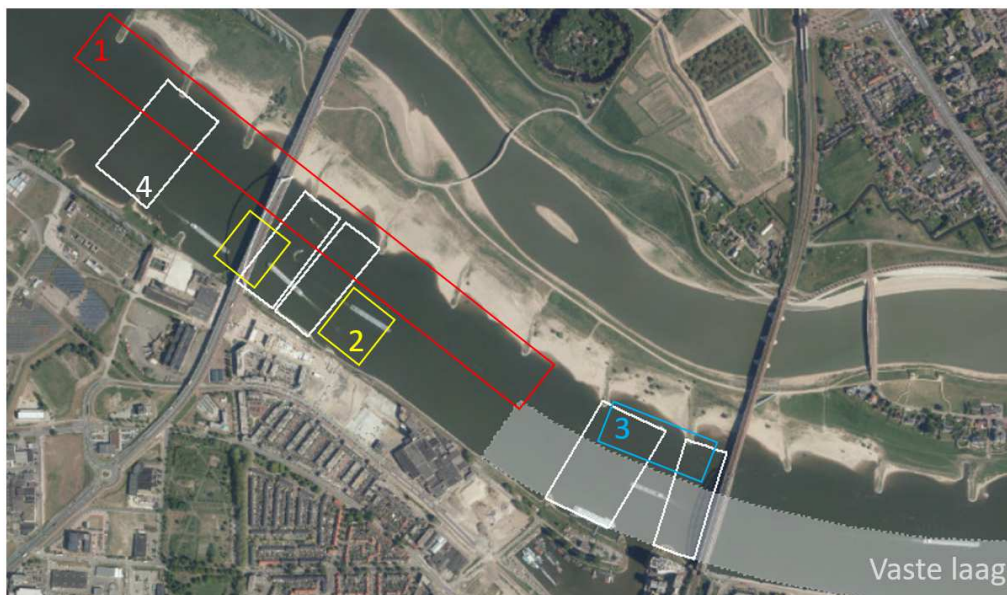


4.3 Morfologische effecten

Om een indruk te krijgen van de morfologische effecten is een WAQmorf-bewerking uitgevoerd om een indruk te geven van het effect van de verschillende varianten. Bij deze analyse ligt de nadruk op vier verschillende aspecten/interessegebieden:

1. Het morfologisch effect op de minst gepeilde dieptes (MGD) in de binnenbocht van de waal benedenstrooms van de vaste laag in Nijmegen;
2. Het morfologisch effect op het gebied direct benedenstrooms van de aanvulling van de erosiekuil waar een risico is op het ontstaan van een nieuwe erosiekuil;
3. Het morfologisch effect op de tweede kuil aan de noordzijde van de vaste laag;
4. De morfologische effecten met betrekking tot infrastructuur zoals kabels, leidingen, pijlers, kades en kribben.

Ter verduidelijking zijn de interessegebieden weergegeven in Figuur 7.



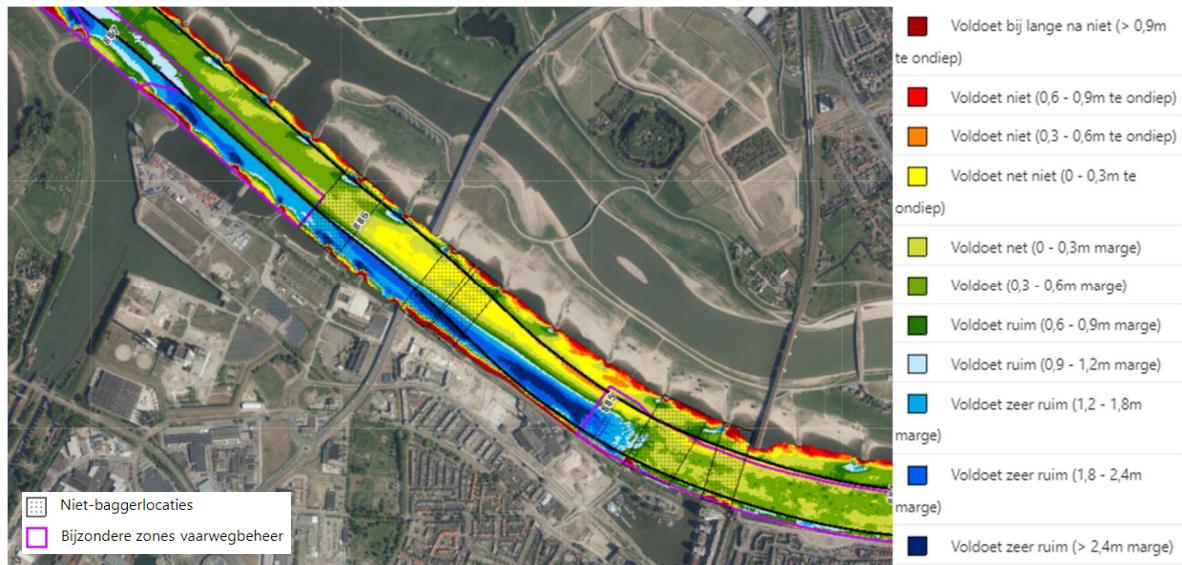
Figuur 7: Morfologische interessegebieden. Nummering conform bovenstaande opsomming.

Met behulp van de Shields curve (bron 1) is een kritische stroomsnelheid bepaald voor het zomerbed in de Waal bij Nijmegen. Omdat we geïnteresseerd zijn in de bodemveranderingen benedenstrooms en naast de vaste laag en aanvulling van de erosiekuil, is er een korrelgrootte (D_{50}) van de bodem aangehouden van 2,5mm (bron 2). Hieruit volgt dat de kritische stroomsnelheid in dit deel van de Waal op circa 0,8 m/s ligt.

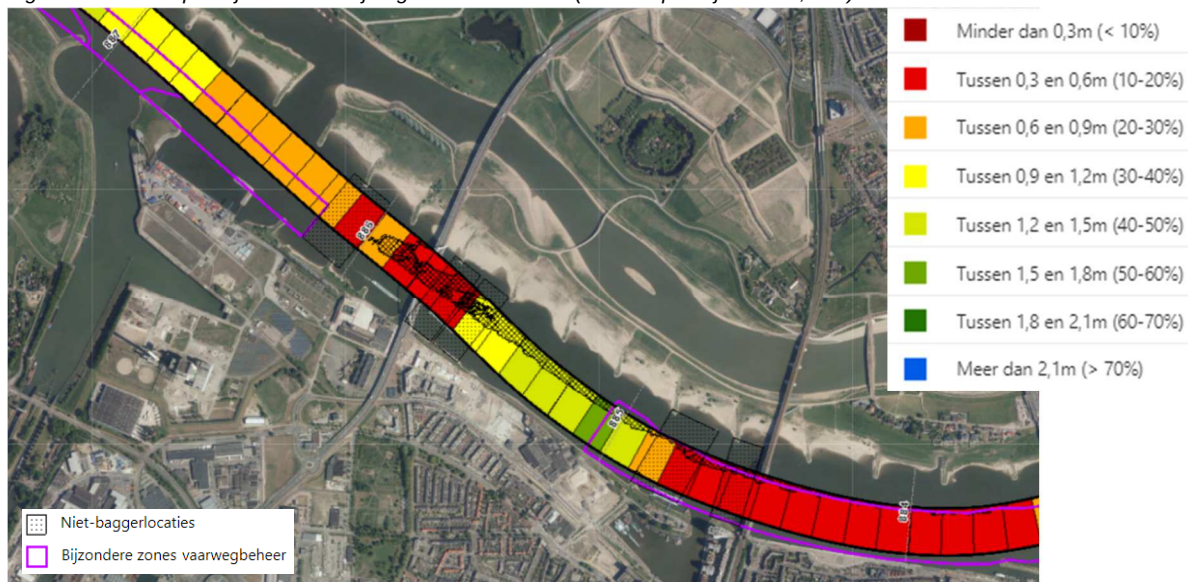
De kritische stroomsnelheid van het gesuppleerde materiaal is ca 1,8 m/s uitgaande van een D_{50} van 16 mm en D_{90} van 26 mm. Met deze waarde kunnen de figuren met de absolute stroomsnelheden op waarde worden geschat. Hiermee kan een eerste indicatie worden gemaakt van het morfologische effect van de varianten.

Bronnen:

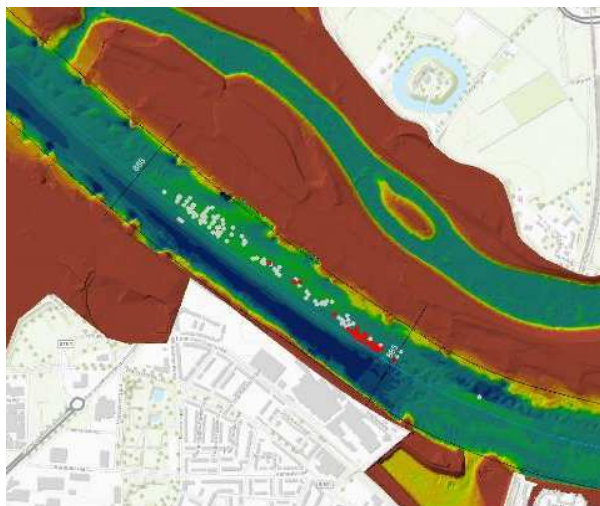
- 1: [Formulaesandtransport.pdf \(leovanrijn-sediment.com\)](#)
- 2: [Bed elevation and bed surface grain size \(\$D_{50}\$ \) Bovenrijn and Waal, 1926-2020 \(4tu.nl\)](#)



Figuur 8: Waterdiepte bij erosiekuil Nijmegen t.o.v. de norm (waterdiepte bij OLR - 2,80m).

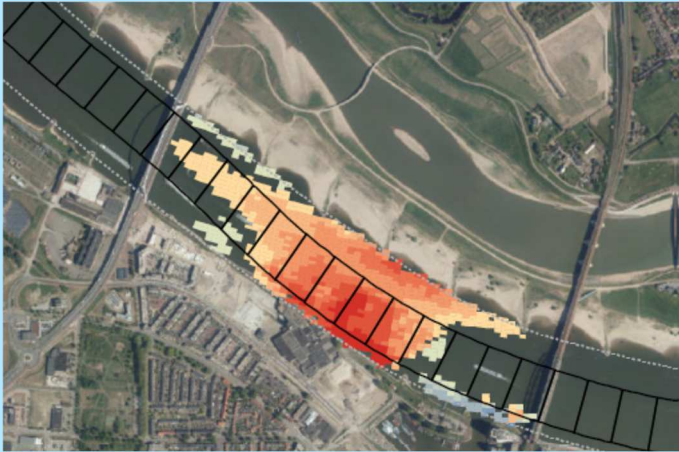
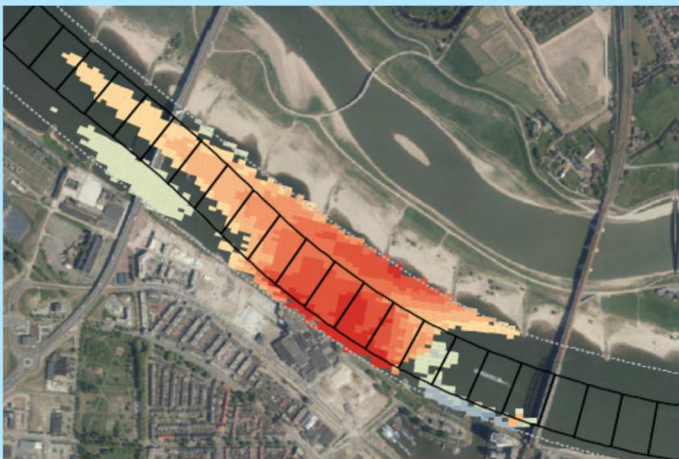


Figuur 9: Breedtegemiddelde diepte in de vaargeul bij erosiekuil Nijmegen t.o.v. de norm (waterdiepte bij OLR - 2,80m). Voor scheepvaart dient 1,2m beschikbaar te zijn voor voldoende kielspeling. In geruite gebied is waterdiepte onvoldoende.



Figuur 10: Locaties van de aanwezige ondieptes (MGD's)

Tabel 14: Jaargemiddelde aanzanding en erosie (m) in de vaargeul per variant bepaald met WAQmorf. Kleine bodemveranderingen ($< 0,5\text{cm}$) zijn niet getoond.

Variant	Jaargemiddelde bodemverandering (m)																						
a1	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">aanzanding/erosie</th> <th>-0,05 - 0,05</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-1,80 - -0,60</td> <td>0,05 - 0,10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,60 - -0,40</td> <td>0,10 - 0,20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,40 - -0,30</td> <td>0,20 - 0,30</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,30 - -0,20</td> <td>0,30 - 0,40</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,20 - -0,10</td> <td>0,40 - 0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,10 - -0,05</td> <td>0,60 - 0,80</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		aanzanding/erosie		-0,05 - 0,05	-1,80 - -0,60	0,05 - 0,10		-0,60 - -0,40	0,10 - 0,20		-0,40 - -0,30	0,20 - 0,30		-0,30 - -0,20	0,30 - 0,40		-0,20 - -0,10	0,40 - 0,60		-0,10 - -0,05	0,60 - 0,80	
aanzanding/erosie		-0,05 - 0,05																					
-1,80 - -0,60	0,05 - 0,10																						
-0,60 - -0,40	0,10 - 0,20																						
-0,40 - -0,30	0,20 - 0,30																						
-0,30 - -0,20	0,30 - 0,40																						
-0,20 - -0,10	0,40 - 0,60																						
-0,10 - -0,05	0,60 - 0,80																						
b1	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">aanzanding/erosie</th> <th>-0,05 - 0,05</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-1,80 - -0,60</td> <td>0,05 - 0,10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,60 - -0,40</td> <td>0,10 - 0,20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,40 - -0,30</td> <td>0,20 - 0,30</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,30 - -0,20</td> <td>0,30 - 0,40</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,20 - -0,10</td> <td>0,40 - 0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,10 - -0,05</td> <td>0,60 - 0,80</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		aanzanding/erosie		-0,05 - 0,05	-1,80 - -0,60	0,05 - 0,10		-0,60 - -0,40	0,10 - 0,20		-0,40 - -0,30	0,20 - 0,30		-0,30 - -0,20	0,30 - 0,40		-0,20 - -0,10	0,40 - 0,60		-0,10 - -0,05	0,60 - 0,80	
aanzanding/erosie		-0,05 - 0,05																					
-1,80 - -0,60	0,05 - 0,10																						
-0,60 - -0,40	0,10 - 0,20																						
-0,40 - -0,30	0,20 - 0,30																						
-0,30 - -0,20	0,30 - 0,40																						
-0,20 - -0,10	0,40 - 0,60																						
-0,10 - -0,05	0,60 - 0,80																						
c1	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">aanzanding/erosie</th> <th>-0,05 - 0,05</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-1,80 - -0,60</td> <td>0,05 - 0,10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,60 - -0,40</td> <td>0,10 - 0,20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,40 - -0,30</td> <td>0,20 - 0,30</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,30 - -0,20</td> <td>0,30 - 0,40</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,20 - -0,10</td> <td>0,40 - 0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-0,10 - -0,05</td> <td>0,60 - 0,80</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		aanzanding/erosie		-0,05 - 0,05	-1,80 - -0,60	0,05 - 0,10		-0,60 - -0,40	0,10 - 0,20		-0,40 - -0,30	0,20 - 0,30		-0,30 - -0,20	0,30 - 0,40		-0,20 - -0,10	0,40 - 0,60		-0,10 - -0,05	0,60 - 0,80	
aanzanding/erosie		-0,05 - 0,05																					
-1,80 - -0,60	0,05 - 0,10																						
-0,60 - -0,40	0,10 - 0,20																						
-0,40 - -0,30	0,20 - 0,30																						
-0,30 - -0,20	0,30 - 0,40																						
-0,20 - -0,10	0,40 - 0,60																						
-0,10 - -0,05	0,60 - 0,80																						