

# **Ruimte voor de Waal - Nijmegen**

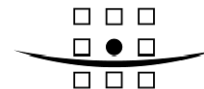
## Hydraulische effecten varianten

Gemeente Nijmegen

1 oktober 2010  
Definitief rapport  
9V0718.05



A COMPANY OF



**ROYAL HASKONING**

**HASKONING NEDERLAND B.V.**  
**KUST & RIVIEREN**

Barbarossastraat 35  
Postbus 151  
6500 AD Nijmegen  
(024) 328 42 84 Telefoon  
(024) 360 54 80 Fax  
info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail  
www.royalhaskoning.com Internet  
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Ruimte voor de Waal - Nijmegen  
Verkorte documenttitel Hydraulische effecten varianten  
MER Lent Hydraulica varianten  
Status Definitief rapport  
Datum 1 oktober 2010  
Projectnaam Ruimte voor de Waal - Nijmegen  
Projectnummer 9V0718.05  
Opdrachtgever Gemeente Nijmegen  
Referentie 9V0718.05/R0009/901807/SEP/Nijm

Auteur(s) Ir. W. (Wiebe) de Jong  
Collegiale toets T. Vijverberg M.Sc., drs. M.C. de Vriend  
Datum/paraaf 1 oktober 2010   
Vrijgegeven door Ir. J.M. Meulepas  
Datum/paraaf 1 oktober 2010 



## INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	7
1.1	Kader	7
1.2	Doelstelling	7
1.3	Leeswijzer en definities	7
2	WERKWIJZE EN UITGANGSPUNTEN	9
2.1	Hydraulica	9
3	INRICHTINGSVARIANTEN	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Klassiek	11
3.3	Mozaïek	12
3.4	Dynamiek	13
4	WATERSTANDSEFFECTEN BIJ MHW	31
4.1	Effecten in de as van de rivier (aspect 1.1)	31
4.2	Effecten buiten de as van de rivier (aspect 1.2)	32
5	EFFECT OP AFVOERVERDELING BIJ MHW (ASPECT 1.3)	37
6	EFFECTEN OP INUNDATIEFREQUENTIE (ASPECT 2.1)	39
7	EFFECTEN OP STROOMBEELD UITERWAARD (ASPECT 2.2)	41
8	EFFECTEN STROOMBEELD IN- EN UITSTROOMOPENINGEN (ASPECT 2.3)	53
9	ROBUUSTHEID RIVIERVERRUIMING LANGE TERMIJN	67
10	CONCLUSIES	69

## BIJLAGEN

- A. Stroomlijnen
- B. Stroomsnelheden
- C. Gebiedskenmerken en naamgeving kaart Lent



## 1 INLEIDING

### 1.1 Kader

De programmadirectie Ruimte voor de Rivier (PDR) heeft de gemeente Nijmegen opdracht gegeven om een MER (SNIP 3) op te stellen voor het Ruimte voor de Rivier (RvR) project Dijkteruglegging Lent. De belangrijkste doelstelling van het project is het realiseren van 27 cm waterstandsdeling tussen kmr 881,5 en 882,5 bij een maatgevend hoogwater (MHW). MHW is overeenkomstig met een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith. Deze doelstelling wordt de rivierkundige taakstelling genoemd.

In het MER Lent zijn 3 verschillende MER inrichtingsvarianten opgesteld en worden de mogelijke effecten voor verschillende disciplines beoordeeld. Deze 3 varianten zijn een detailuitwerking van het in 2007 opgestelde Ruimtelijk Plan Nijmegen (RPN). Het RPN is een verdere uitwerking van het PDR-ontwerp door de Gemeente Nijmegen. Hierin is de rivierkundige taakstelling gecombineerd met de ruimtelijke plannen van de gemeente Nijmegen.

Het voorliggende rapport beschrijft de resultaten van de hydraulische effectbeoordeling van de 3 inrichtingsvarianten. Het rapport vormt een technisch, inhoudelijk achtergronddocument bij het hydraulische gedeelte uit het MER. De effecten van deze varianten zijn voor verschillende aspecten beoordeeld en getoetst aan het geldende beoordelingskader van Rijkswaterstaat [1]. De verschillende beoordeelde aspecten zijn:

- MHW stand in de as van de rivier en in de uiterwaarden;
- Afvoerverdeling bij het splitsingspunt;
- inundatiefrequentie van de uiterwaard;
- stroombeeld in de uiterwaard;
- stroombeeld bij in- en uitstroomopeningen;
- robuustheid rivierverruiming lange termijn.

### 1.2 Doelstelling

De effectbeoordeling heeft ten doel om de hydraulische effecten van de 3 varianten te toetsen aan de geldende beoordelingscriteria en de verschillen in effecten tussen de 3 varianten inzichtelijk te maken.

### 1.3 Leeswijzer en definities

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de gevolgde werkwijze. De verwerking van het ontwerp van de 3 inrichtingsvarianten naar de geldende modelinstrumentaria is in hoofdstuk 3 beschreven. In hoofdstuk 4 tot 9 wordt ingegaan op de beoordeelde hydraulische effecten van de 3 varianten. Tenslotte volgen in hoofdstuk 10 de conclusies en aanbevelingen.

In dit rapport gelden de volgende definities:

- de aangegeven afvoerniveaus (m<sup>3</sup>/s) zijn gerelateerd aan Lobith, tenzij anders beschreven;
- de beschreven bodemhoogtes en waterstanden zijn gegeven ten opzichte van NAP;
- als maatgevend hoogwater (MHW) afvoer geldt in dit rapport de MHW afvoer van na 2015, oftewel een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith.



## 2 WERKWIJZE EN UITGANGSPUNTEN

### 2.1 Hydraulica

De effectbeoordeling is uitgevoerd volgens de door de PDR gestelde eisen en richtlijnen, vastgesteld en afgestemd tijdens een onderling overleg op 30 juni 2009. De vastgestelde eisen en richtlijnen zijn als volgt:

- de schematisatie van de inrichtingsplannen is aangemaakt met behulp van Baseline versie 3.31 PKB met batch. De plannen zijn volgens de eisen en richtlijnen van RWS ON ("Baseline eisen - richtlijnen en maatregelen" [2]) geschematiseerd;
- het vigerende referentie model is 'Simona\_Rijn\_PKB\_3\_4', versie 14-03-2008;
- het te gebruiken SOBEK model voor mogelijke 1-dimensionale berekeningen is het "SOBEK PKB RvdR referentie morfologie model Rijntakken";
- de te gebruiken WAQUA versie is Simona 2006\_01;
- de werktaakstelling van het RvR project Dijkteruglegging Lent is door de PDR bepaald op 27 cm waterstandsaling te behalen tussen kilometer 881,5 en 882,5;
- de Rivierkundige beoordeling vindt plaats op basis van het Rivierkundig Beoordelingskader versie 2.0, 1 januari 2009 [1], zie tabel 2.2;
- de geldende codering voor de vegetatietypen is gegeven in de Excel file 'HR2001-PKB-HR2006 060921' en het bestand 'ruw.k416jul07.txt'. De vegetatietypen zijn ingedeeld op basis van de gedefinieerde typen in het handboek 'Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden' [4];
- het gebruikte rekenrooster is het rooster 'rijn40m\_Lent.rgf'. Dit rekenrooster is aangemaakt door Royal Haskoning in 2007 en is gebaseerd op het 'rijn40m\_1.rgf' rooster uit het PKB3\_2 model. Dit rooster is aangemaakt omdat is gebleken dat het domein van het rooster te klein is om de gehele dijkteruglegging goed te modelleren.
- er zijn 4 verschillende schematisaties gemaakt:
  - de referentiesituatie. Het referentiemodel 'Simona\_Rijn\_PKB\_3\_4' is opnieuw omgezet naar WAQUA. Het kenmerk van de huidige situatie is 'ref';
  - klassiek. Een baseline maatregel van variant 'Klassiek' is in het referentie model gebracht en omgezet naar WAQUA. Het kenmerk van deze variant is 'kla';
  - mozaïek. Een baseline maatregel van 'Mozaïek' is in het referentie model gebracht en omgezet naar WAQUA. Het kenmerk van deze variant is 'moz';
  - dynamiek. Een baseline maatregel van variant 'Dynamiek' is in het referentie model gebracht en omgezet naar WAQUA. Het kenmerk is 'dyn'.

Met behulp van de in tabel 2.1 genoemde berekeningen zijn de effecten van de varianten op de waterstand, afvoerverdeling en de stroomsnelheid beoordeeld.

**Tabel 2.1: Overzicht gemaakte WAQUA berekeningen met bijbehorende afvoer en kenmerk.**

Afvoer bij Lobith	Huidige situatie	Klassiek	Mozaïek	Dynamiek
18.000 m <sup>3</sup> /s	Ref-18i	Kla-18i	Moz-18i	Dyn-18i
16.000 m <sup>3</sup> /s	Ref-16i	Kla-16i	Moz-16i	Dyn-16i
10.000 m <sup>3</sup> /s	Ref-10i	Kla-10i	Moz-10i	Dyn-10i
8.000 m <sup>3</sup> /s	Ref-8i	Kla-8i	Moz-8i	Dyn-8i
6.000 m <sup>3</sup> /s	Ref-6i	Kla-6i	Moz-6i	Dyn-6i
4.000 m <sup>3</sup> /s	Ref-4i	Kla-4i	Moz-4i	Dyn-4i
2.000 m <sup>3</sup> /s	Ref-2i	Kla-2i	Moz-2i	Dyn-2i
15.000 m <sup>3</sup> /s (vrije afvoerverdeling)	Ref-15j	Kla-15j	Moz-15j	Dyn-15j

Tabel 2.2: Beoordelingscriteria bij te beoordelen aspecten voor ingrepen/activiteiten in de Rijntakken (bron: Rivierkundig beoordelingskader versie 2.0, tabel 4, p13)

		Beoordelingscriteria			
	§	Te beoordelen effect	Wbr-aanvragen	Aanvullende criteria PDR RvdR	Beoordelaar toelaatbare effecten <sup>1)</sup>
Hydraulische effecten	1.1	Stroomvoerend deel rivier: MHW stand op de as van de rivier Bergend deel rivier: Watervolume berging	Stroomvoerend: geen waterstandverhoging <sup>2)</sup> (bij 15.000 m <sup>3</sup> /s Boven-Rijn) Bergend: geen vermindering bergend volume	Waterstandverlaging ≥ taakstelling (bij 16.000 m <sup>3</sup> /s Boven-Rijn <sup>3)</sup> )	RvdR: PDR Wbr: RWS-ON
	1.2	MHW stand buiten as van de rivier	Toename waterstand (bij 15.000 m <sup>3</sup> /s Boven-Rijn).	Toename waterstand (bij 16.000 m <sup>3</sup> /s Boven-Rijn <sup>3)</sup> )	Beheerder waterkering RvdR: PDR
	1.3	Afvoerverdeling bij MHW (bij Pannerdensch Kop en IJsselkop)	Project binnen enkele km splitsing: verandering afvoerverdeling < 5 m <sup>3</sup> /s bij Boven-Rijn afvoer van 15.000 m <sup>3</sup> /s Project verder weg: geen verandering waterstand bij splitsing	Correctie tussentijdse verandering afvoerverdeling met (tijdelijke) maatregelen, ter beoordeling bevoegd gezaag (bij 15.000 m <sup>3</sup> /s Boven-Rijn <sup>3)</sup> ). Voor details: zie toelichting R3 in deel 1C.	Wbr: RWS-ON
	1.4	Afvoerverdeling bij normaal hoogwater (bij Pannerdensch Kop en IJsselkop)	Verandering afvoerverdeling < 20 m <sup>3</sup> /s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s	Correctie tussentijdse verandering afvoerverdeling met (tijdelijke) maatregelen, ter beoordeling bevoegd gezaag (bij 10.000 m <sup>3</sup> /s Boven-Rijn). Voor details: zie toelichting R3 in deel 1C.	RvdR: PDR Wbr: RWS-ON
Hinder of schade	2.1	Waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard	Verandering waterstanden en/of inundatiefrequentie bij afvoeren die afhankelijk zijn van lokale omstandigheden <sup>4)</sup> , - standaard is Boven-Rijn afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s - bij 1/250 <sup>5)</sup> , 1/500 <sup>5)</sup> of 1/1250	idem Wbr	Terrein-Eigenaar
	2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	Verandering grootte en richting stroomsnelheden bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s	idem Wbr	Terrein-Eigenaar
	2.3	Stroombeeld in hoofdgeul bij de aan- en aftakking van nevengeul	Bankfull afvoer nevengeul < 50 m <sup>3</sup> /s; dwarsstroming vaarweg ≤ 0,3 m/s Bankfull afvoer nevengeul > 50 m <sup>3</sup> /s; dwarsstroming vaarweg ≤ 0,15 m/s	idem Wbr	RWS-ON
	2.4	Afvoerverdeling bij normaal hoogwater	Verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s	idem Wbr	Terrein-Eigenaar
	2.5	Afvoerverdeling bij lage afvoeren	Afwijking afvoerverdeling < 1 m <sup>3</sup> /s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m <sup>3</sup> /s (OLR <sup>6)</sup> )	idem Wbr	RWS-ON
Bodemligging en morfologie	3.1	Aanzanding en erosie van het zomerbed (+ oevers) 1. door ingrepen zomerbed 2. door ingrepen winterbed	Bij erosie: geen verlaging gemiddelde bodemligging; beperkte <sup>7)</sup> ontgronding bij constructies per hoogwater Bij sedimentatie: geen vermindering vaargeulafmetingen <sup>7)</sup> ; beperkte <sup>8)</sup> hinder door baggeren; behouden veiligheid scheepvaartverkeer;	idem Wbr	RWS-ON
	3.2	Aanzanding en erosie van uiterwaard en nevengeulen: 1. sedimentatie winterbed 2. erosie winterbed	Beperkte sedimentatie t.o.v. beheerskosten <sup>8)</sup> Stroomsnelheid nevengeul bankfull < 0,3 m/s; geen bodemerosie langs bandijk	idem Wbr	Wbr: RWS-ON / terrein-Beheerder / dijkbeheerder

## 3 INRICHTINGSVARIANTEN

### 3.1 Inleiding

De rivierkundige effecten van de 3 varianten zijn bepaald door middel van een rivierkundig model. Dit model is met behulp van de GIS-applicatie Baseline gemaakt op basis van de ontwerpen van de inrichtingsvarianten, zoals getoond in figuur 3.1 tot 3.3.

In dit rapport wordt enkel vanuit de discipline hydraulica, en morfologie naar deze ontwerpen gekeken. In onderstaande paragrafen is per variant aangegeven welke kenmerken relevant zijn voor hydraulica, en morfologie. Verder wordt getoond hoe deze varianten zijn geschematiseerd in het rivierkundig model. Op basis van de ontwerpen is een hoogte- en vegetatiemodel gemaakt in de GIS-applicatie Baseline. Het hoogtemodel is gemaakt op basis van hoogtelijnen en lijnelementen zoals kades en steile taluds. Verder zijn de vegetatietypen met Baseline in het ruwheidvlakkenbestand gedefinieerd volgens de definities uit het vegetatie handboek [4].

Relevant voor de vergelijking en beoordeling van effecten is ook de schematisatie van de huidige situatie, deze is getoond in figuur 3.4 tot 3.6. Figuur 3.4 toont de huidige bodemhoogtes, figuur 3.5 de huidige kruinhoogtes van de kades en taluds en figuur 3.6 de huidige vegetatietypen in het projectgebied.

### 3.2 Klassiek

Ontwerpvariant Klassiek lijkt, van de drie varianten, qua hydraulisch en morfologische relevante bouwstenen, het meest op het RPN uit 2007. De relevante kenmerken zijn:

- de inlaatdrempel heeft een kruinhoogte van NAP+10,50 m en ligt op de locatie van de huidige bandijk. De lengte van de drempel is ca. 650 m gemeten van het hoogwatervrije eiland tot de bandijk;
- de Lentse uiterwaard rondom de Lentse strang blijft onvergraven;
- langs het stadseiland liggen enkele drijvende elementen en een jachthaven. Deze elementen zullen voor extra stromingsweerstand zorgen in de geul bij een hoge afvoer. Om deze extra stromingsweerstand mee te nemen in de hydraulische berekeningen zijn deze elementen d.m.v. bomerijen en een lokale bodemverhoging van één meter verdisconteerd in Baseline en WAQUA;
- de breedte van de geul tussen de getrapte kade en het stadseiland is vanaf de drempel minimaal 200 meter. Bij de spoorbrug neemt de breedte af tot minimaal 150 m. De bodemdiepte van de geul is NAP+2 m. benedenstrooms van de spoorbrug neemt de geul breedte verder af tot ca. 100 m en een bodemdiepte van NAP+4 m;
- het fietspad tussen het stadseiland en het evenementeneiland wordt verhoogd aangelegd op NAP+12 m. Dit is ca. 1 tot 2 meter hoger dan het omliggende (huidige) maaiveldniveau;
- het evenementeneiland heeft een hoogte van NAP+12 m, dit is ca. 1 tot 2 meter hoger dan het omliggende (huidige) maaiveldniveau;
- de vegetatie in het projectgebied bestaat voornamelijk uit natuurlijk gras- en hooiland. In de Lentse Waard blijft de vegetatie als in de huidige situatie;
- de variant kent 3 nieuwe bruggen. De verlengde Waalbrug heeft 4 pijlers in de geul, de brug Veer Lent heeft 4 pijlers in de geul en de brug Westtong heeft 13 pijlers; De pijlers zijn in Baseline en WAQUA verdisconteerd.

Figuur 3.7 toont de in Baseline geschematiseerde bodemhoogte van variant Klassiek. Figuur 3.8 toont de kruinhoogtes van de kades en taluds zoals deze in WAQUA voor variant Klassiek. Figuur 3.9 toont de in Baseline geschematiseerde vegetatietypen in het projectgebied voor variant Klassiek.

### 3.3 Mozaïek

Ontwerpvariant Mozaïek kenmerkt zich qua hydraulisch en morfologische relevante bouwstenen door een andere oplossingsrichting. De drempel bij de instroomopening van de geul ligt direct op de oeverwal van de Lentse Waard in plaats van op de locatie van de huidige bandijk. De relevante kenmerken van inrichtingsvariant Mozaïek zijn:

- de strang in de Lentse Waard is aangetakt aan de hoogwatergeul waardoor één lange doorgaande geul ontstaat. De drempel is verlegd naar de oeverwal tussen de rivier en de nevengeul, direct achter de kribwortels. De stenen constructie, die moet voorkomen dat de rivier door de oeverwal heen breekt, ligt in de bodem verborgen. De hoogte van de drempel ligt op 10,5 m, wat overeen komt met het grootste deel van de huidige hoogte van de oeverwal. De instroombreedte van de geul wordt hierdoor breder dan in het RPN;
- het eiland wordt ingericht als wateiland met bebouwing op palen en drijvende woningen te midden van oobos en ruigte. Om de stromingsweerstand van de drijvende woningen en palen mee te nemen zijn in de hydraulische berekeningen deze elementen d.m.v. bomerijen en een lokale bodemverhoging van één meter verdisconteerd in Baseline en WAQUA. De hoogte van het eiland is NAP+10 m. De ontsluitingswegen op de huidige bandijk liggen op NAP+15 m;
- de stromingsweerstand van de jachthaven zijn in de hydraulische berekeningen d.m.v. bomerijen verdisconteerd in Baseline en WAQUA;
- de breedte van de geul tussen de groene kade en het wateiland is vanaf de Waalbrug minimaal 200 meter. Bij de spoorbrug neemt de breedte af tot minimaal 150 m. Benedenstrooms van de spoorbrug tot aan de Oosterhoutse Waard heeft de geul een variërende breedte van ca. 125 tot 200 m. Dit benedenstroomse gedeelte bestaat uit natuurlijk ingerichte oevers met een groot aantal lagunes. De bodem van de geul ligt over de gehele lengte op NAP+2 m
- het fietspad tussen het stadseiland en het evenementeneiland wordt op huidig maaiveldniveau aangelegd;
- het evenementeneiland heeft een hoogte van NAP+12 m, dit is ca. 1 tot 2 meter hoger dan het omliggende (huidige) maaiveldniveau;
- de vegetatie in het projectgebied bestaat uit gebieden met natuurlijk gras- en hooiland, strandjes in de lagunes, gebieden met glad grasland en gebieden met zachthoutoobos. In de Lentse Waard blijft de vegetatie grotendeels als in de huidige situatie;
- de variant kent 3 nieuwe bruggen. De verlengde Waalbrug heeft 2 pijlers in de geul, de brug Veur Lent heeft 9 pijlers in de geul en de brug Westtong heeft 10 pijlers; De pijlers zijn in Baseline en WAQUA verdisconteerd.

Figuur 3.10 toont de in Baseline geschematiseerde bodemhoogte voor variant Mozaïek. Figuur 3.11 toont de kruinhoogtes van de kades en taluds zoals deze in WAQUA voor variant Mozaïek. Figuur 3.12 toont de in Baseline geschematiseerde vegetatietypen in het projectgebied voor variant Mozaïek.

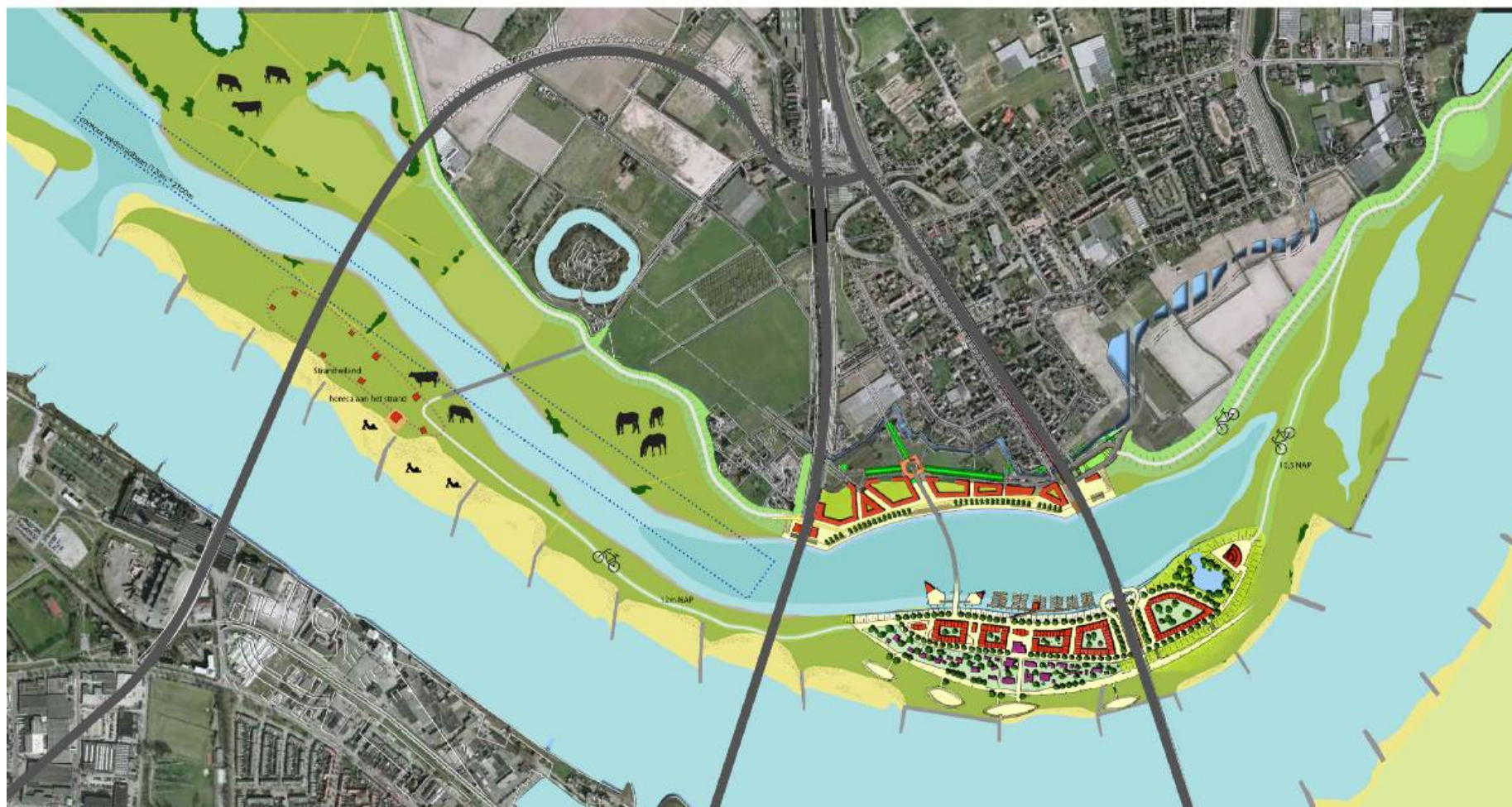
### 3.4 Dynamiek

Ontwerpvariant Dynamiek kenmerkt zich qua hydraulisch en morfologische relevante bouwstenen door enkele extra in- en uitstroomopeningen en een doorlaatbare drempel. De relevante kenmerken van inrichtingsvariant Dynamiek zijn:

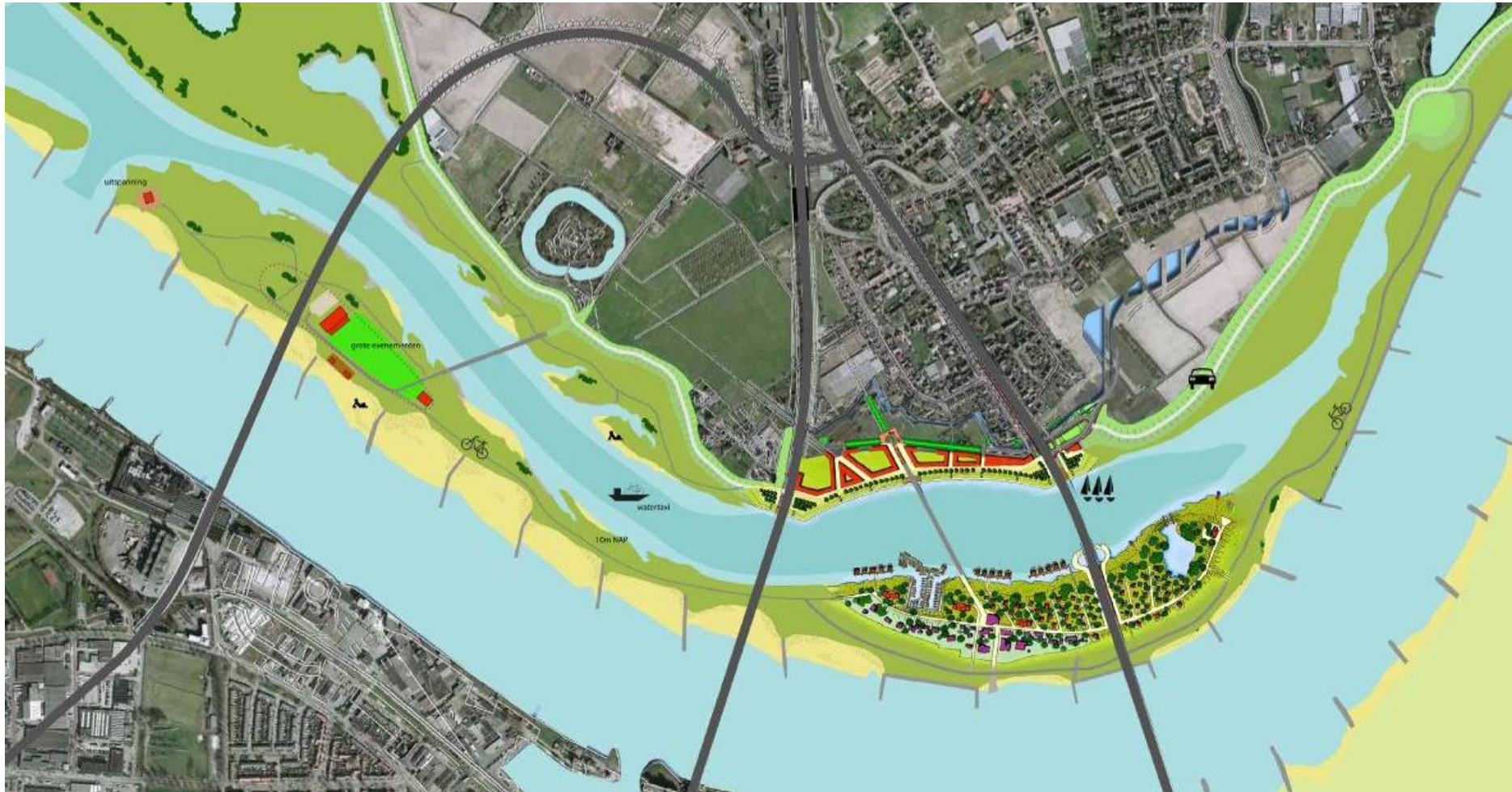
- de drempel is doorlaatbaar via 6 kleine kanaaltjes van elk 3 meter breed. De hoogte ligging van de kanaaltjes is voor elk kanaaltje anders. Het diepste kanaaltje heeft een bodemniveau van NAP+5 m en de ondiepste een bodemniveau van NAP+10 m. De kruinhoogte van de rest van de drempel is NAP+10,5 m;
- in de drempel komt tegen de zuidelijke oever een ca. 10 m breed en 25 m lang sluisje te liggen. De bodem van de sluis komt op ca. 3 m NAP te liggen;
- de strang in de Lentse Waard is tweezijdig aangetakt aan de hoofdgeul. Bovenstrooms ligt een smalle opening van ca. 10 m met een bodemniveau van ca. NAP+6 m. De benedenstroomse opening van de strang is ca. 100 m breed en heeft een minimaal bodemniveau van NAP+3 m;
- het eiland wordt ingericht als Parkeiland. De hoogte van het eiland is NAP+15 m. Het eiland heeft een groen karakter met veel begroeiing;
- langs het Parkeiland ligt een jachthaven en enkele drijvende elementen in de vorm van het voormalige fort. Om de resulterende extra stromingsweerstand mee te nemen in de hydraulische berekeningen zijn deze elementen als bomerijen en een lokale bodemverhoging van één meter verdisconteerd in Baseline en WAQUA;
- de breedte van de geul tussen de Terrassenkade en het Parkeiland is vanaf de Waalbrug minimaal 200 meter. Bij de spoorbrug neemt de breedte af tot minimaal 150 m. Benedenstrooms van de spoorbrug tot aan de Oosterhoutse Waard heeft de geul een variërende breedte van ca. 125 tot 200 m. In het breedste gedeelte van de geul is een zandig eiland uitgespaard, dat bij gemiddeld peil net boven water uitsteekt (ca. NAP+7,5 m). De bodem van de geul ligt op gemiddeld NAP+4 m. Ook is er over het traject een vaargeul tot NAP+2 m met een minimale breedte van 50 m;
- direct benedenstrooms van de spoorbrug is een doorsteek door de oever naar het zomerbed gemaakt. De opening heeft een bodemhoogte van NAP+7 m en een breedte van ca. 25 m. Bij een gemiddelde rivierafvoer zal de geul via deze opening meestromen, waardoor een permanent meestromende nevengeul ontstaat;
- het evenementeneiland heeft een kleiner oppervlak dan in variant Klassiek en Mozaïek. De hoogte is NAP+12 m, dit is ca. 1 tot 2 meter hoger dan het omliggende (huidige) maaiveldniveau;
- de vegetatie in het projectgebied bestaat uit gebieden met ruw grasland, zandstrandjes langs de geul en een zone met open ruigte. In de Lentse Waard blijft de vegetatie grotendeels als in de huidige situatie;
- de variant kent 3 nieuwe bruggen. De verlengde Waalbrug heeft 2 pijlers in de geul, de brug Veur Lent heeft 2 pijlers in de geul en 2 langs de oevers. Deze pijlers zijn in Baseline en WAQUA verdisconteerd. De brug Westtong is een tijdelijke drijvende brug. Deze brug zal bij te hoge en te lage waterstanden als een rij "pontons" naast elkaar worden gestald. De brug is echter in Baseline conservatief verdisconteerd door over het tracé in de geul de bodem te verhogen met 2,5 meter.

Figuur 3.13 toont de in Baseline geschematiseerde bodemhoogte van variant Dynamiek. Figuur 3.14 toont de kruinhoogtes van de kades en taluds zoals deze in WAQUA voor variant Dynamiek. Figuur 3.15 toont de in baseline geschematiseerde vegetatietypen in het projectgebied voor variant Dynamiek.

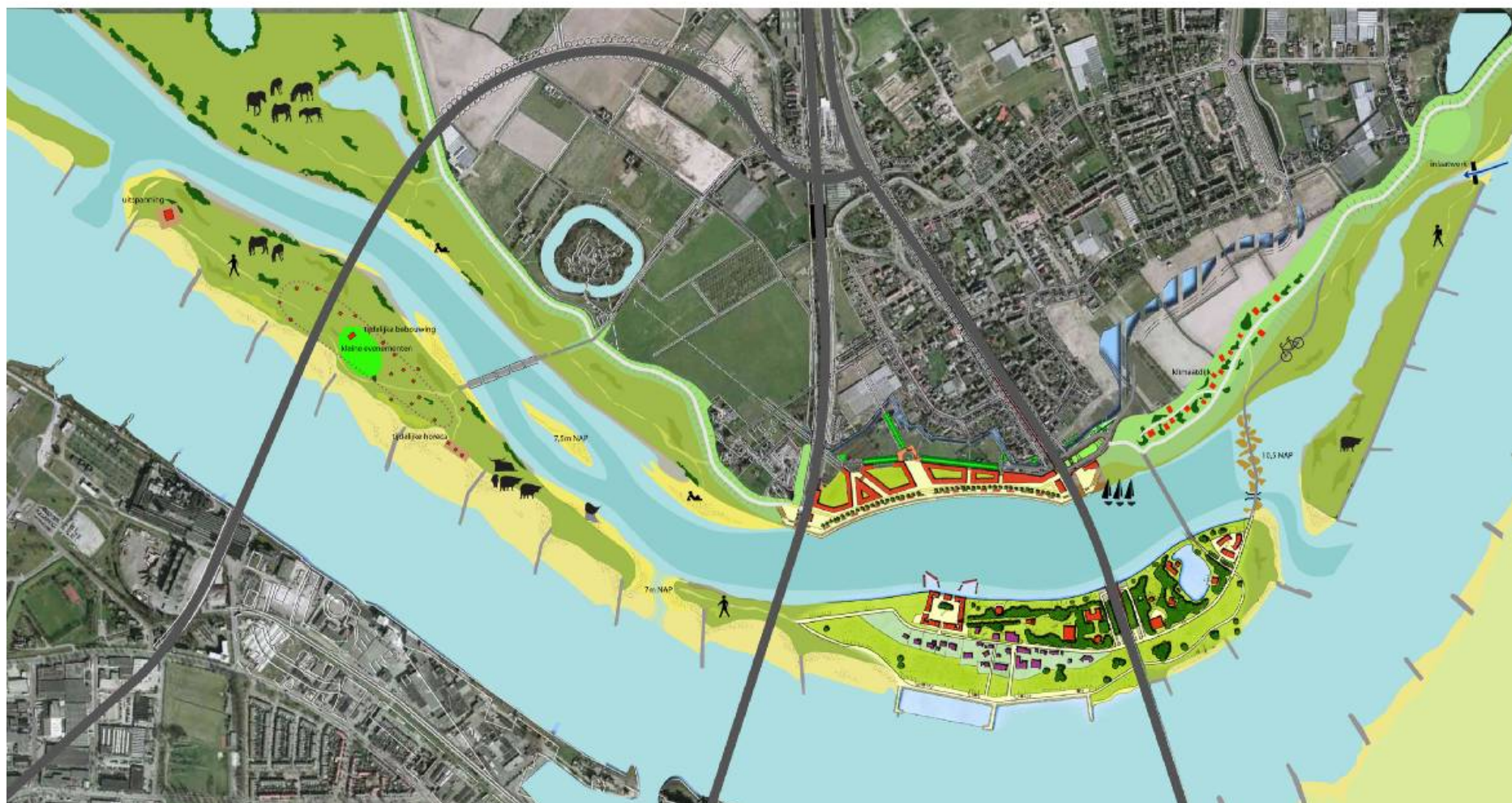




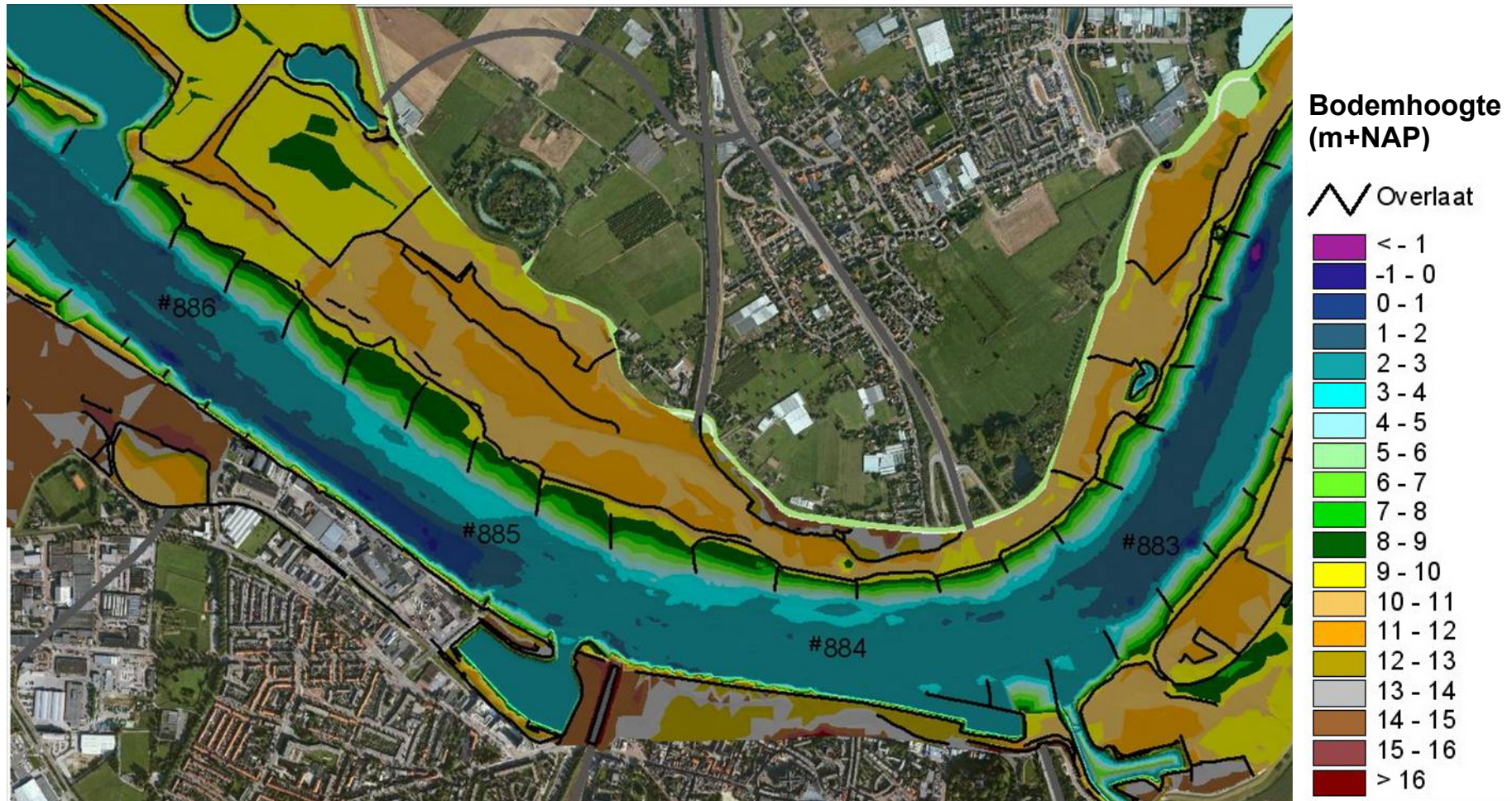
Figuur 3.1: Ontwerp inrichtingsvariant Klassiek



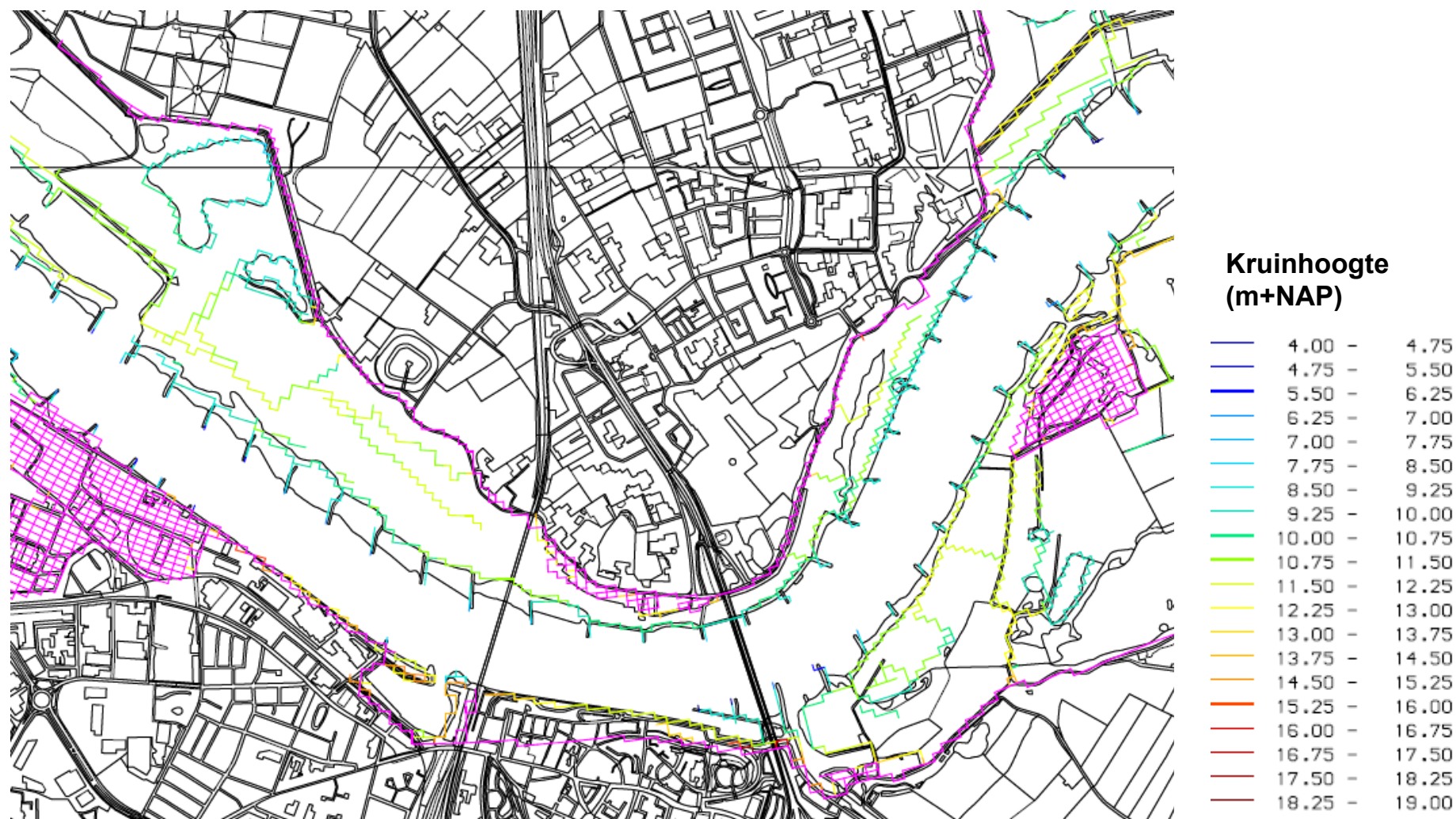
Figuur 3.2: Ontwerp inrichtingsvariant Mozaïek



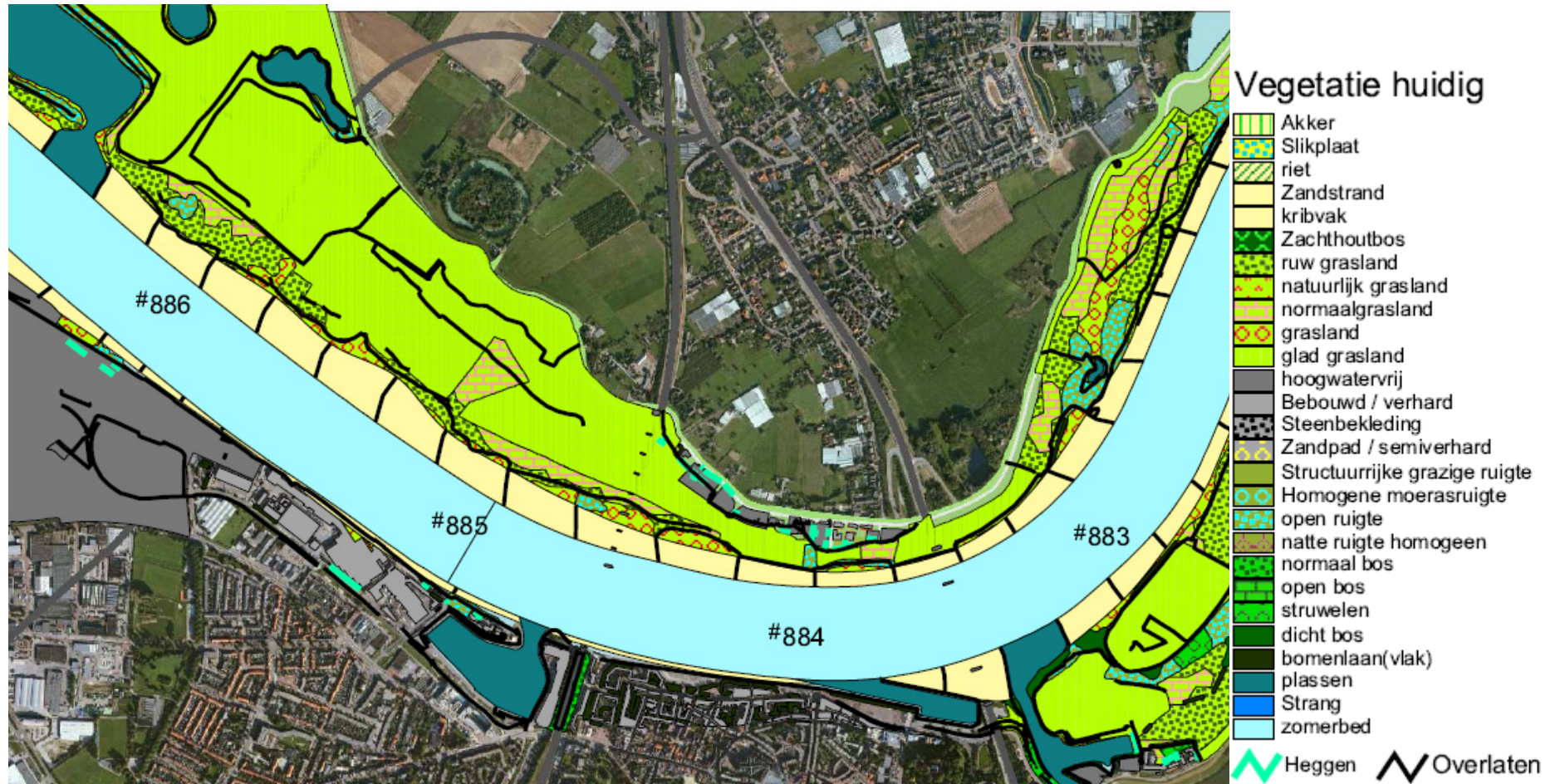
Figuur 3.3: Ontwerp inrichtingsvariant Dynamiek



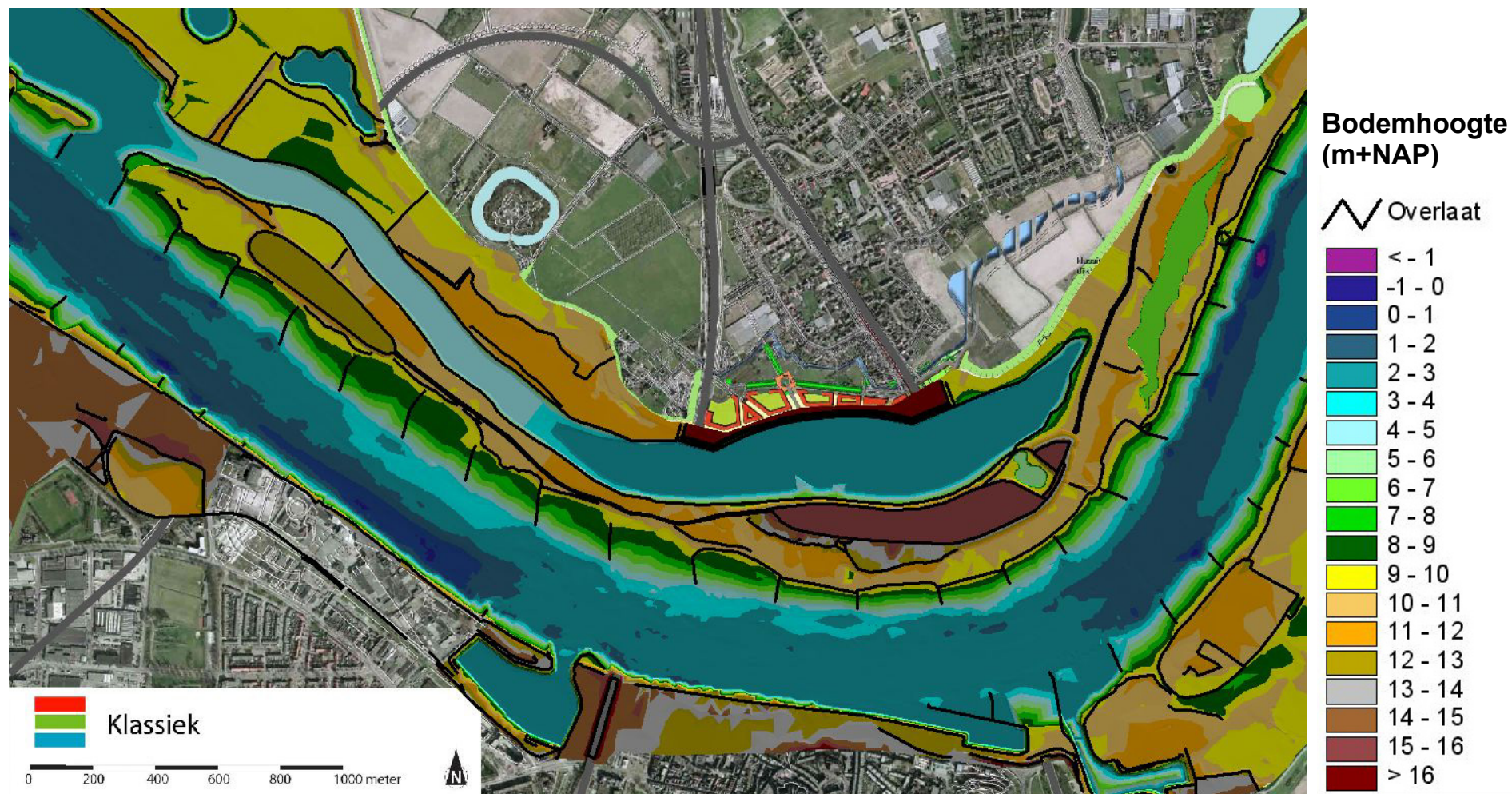
Figuur 3.4: Bodemhoogtes en hoogte sprongen in huidige situatie (op basis van bodemhoogte- en overlatenbestand uit Baseline)



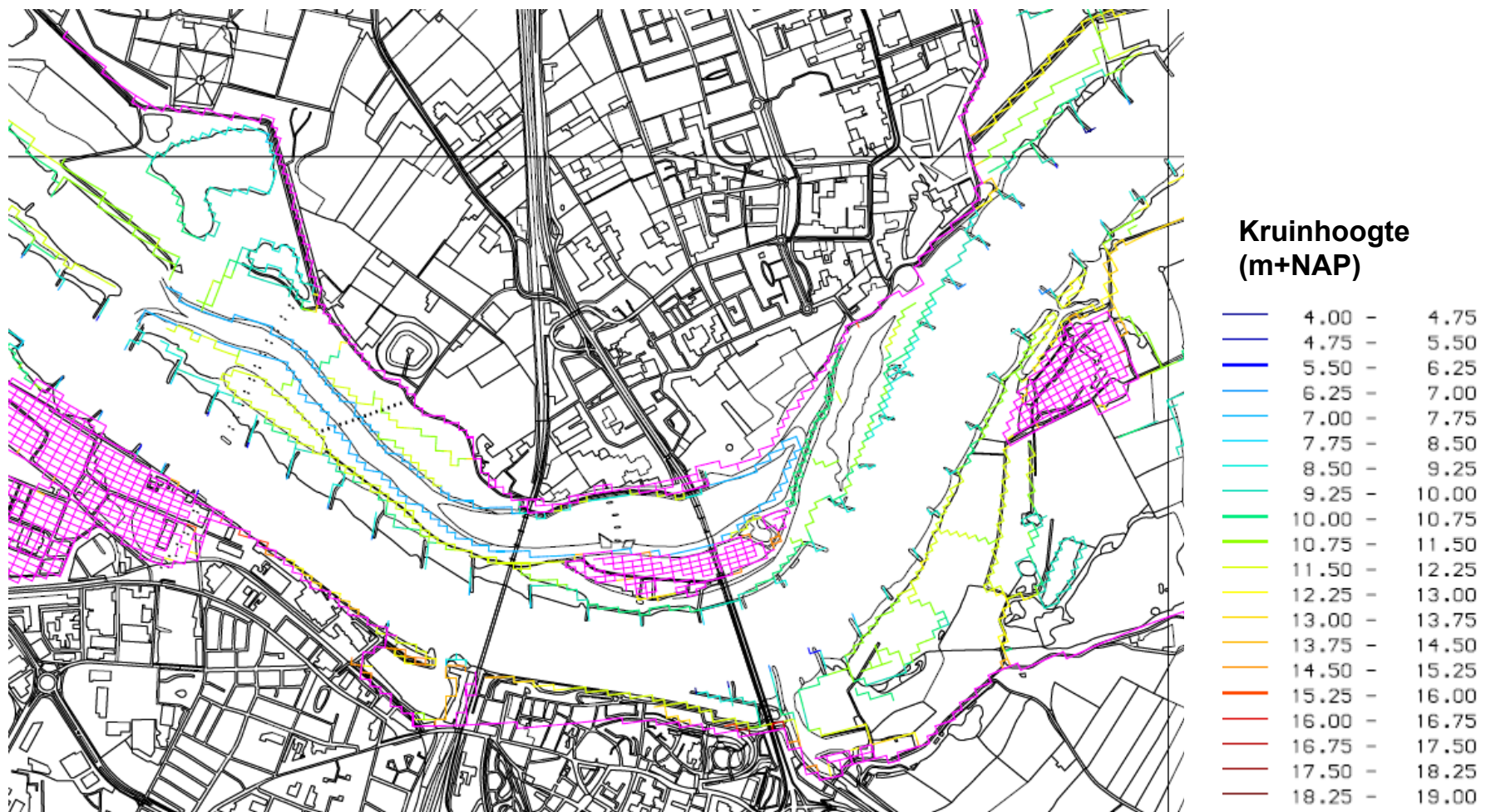
Figuur 3.5: Kruinhoogtes van overlaten (gekleurde lijnen) in huidige situatie (op basis van overlatenbestand in WAQUA)



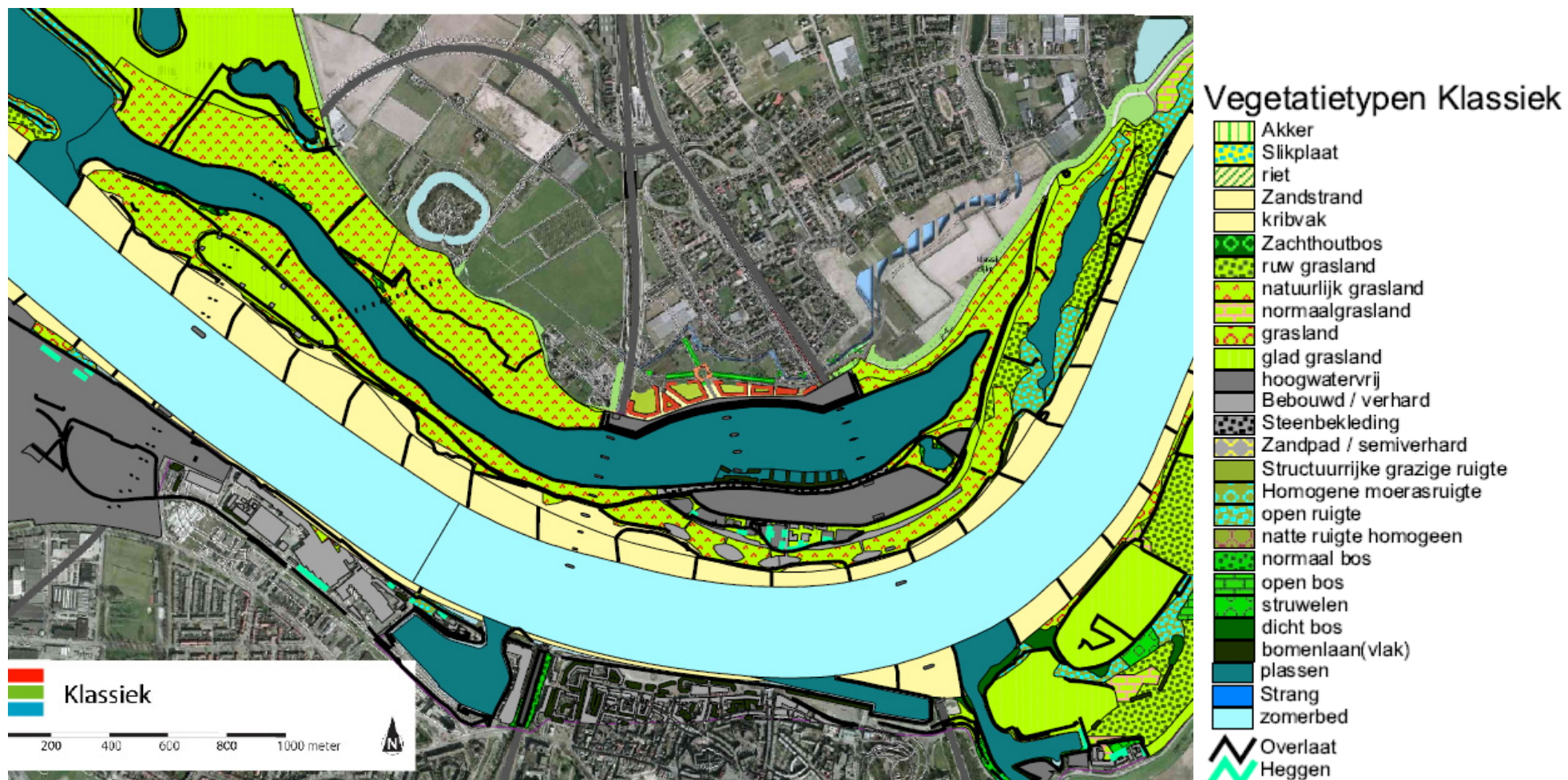
Figuur 3.6: Vegetatietypen huidige situatie (op basis van het gespecificeerde ruwheidvlakken- en lijnen bestand uit Baseline)



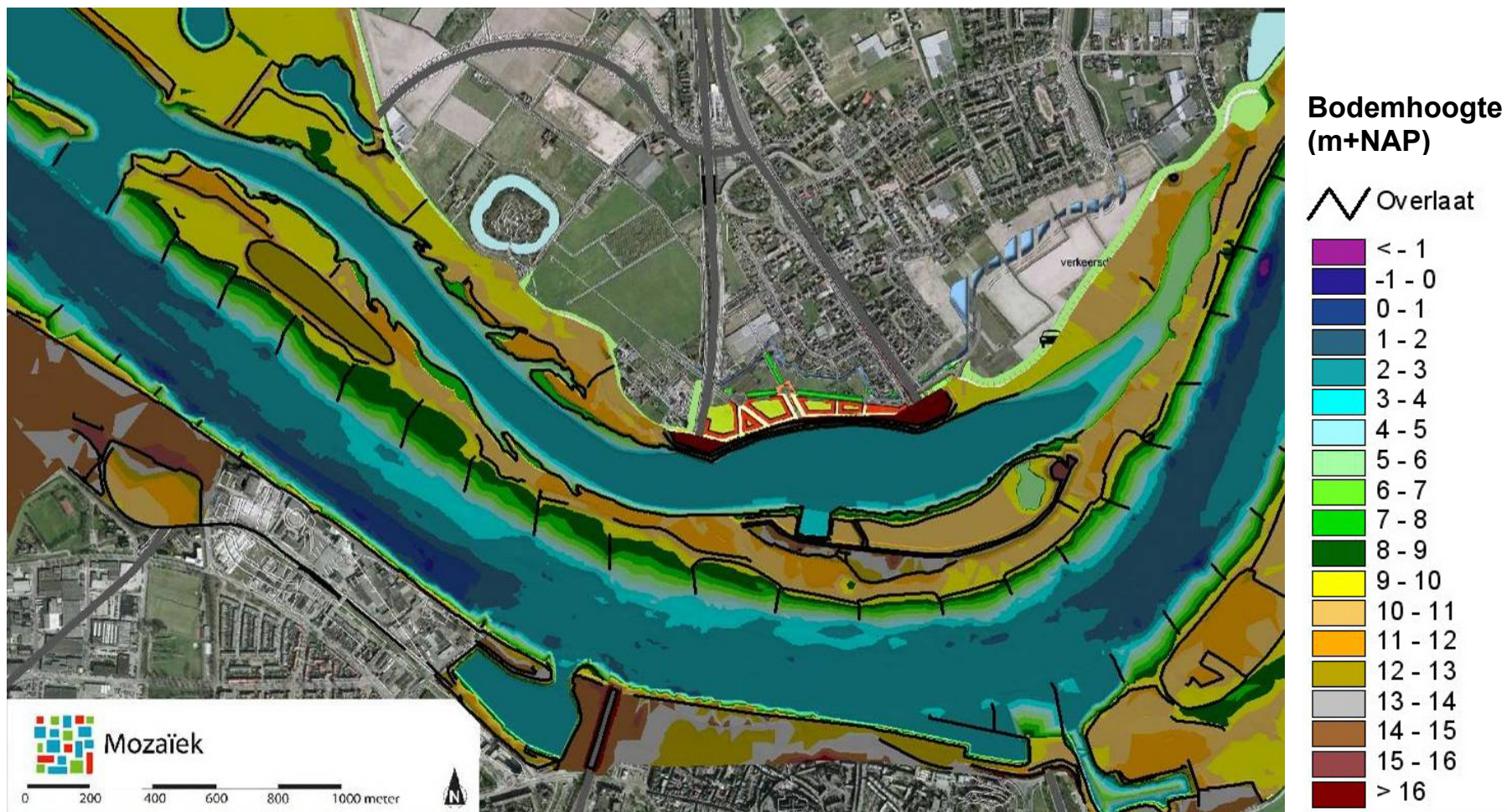
Figuur 3.7: Bodemhoogtes en hoogte sprongen in variant Klassiek (op basis van bodemhoogte- en overlatenbestand uit Baseline)



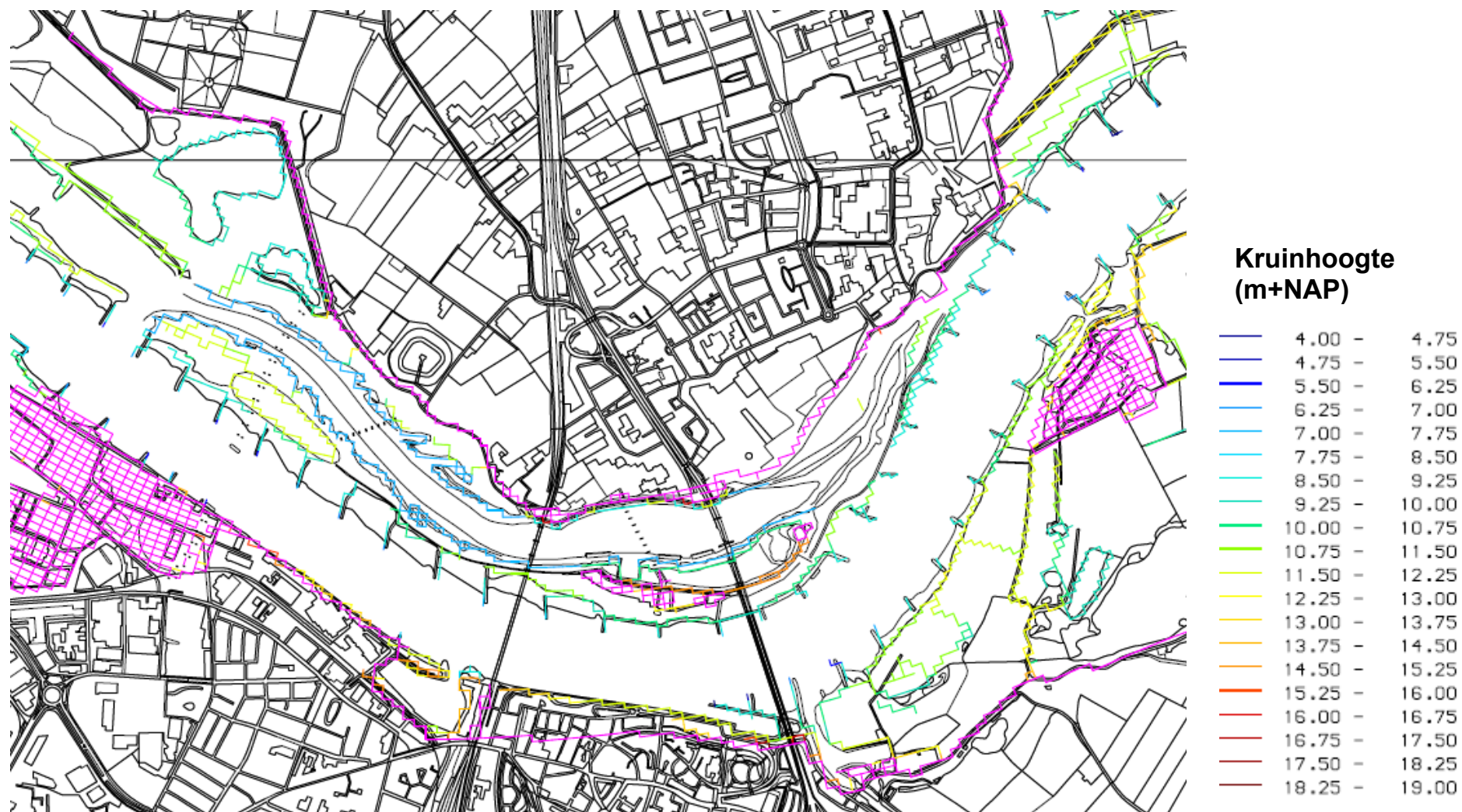
Figuur 3.8: Kruinhoogtes van overlaten (gekleurde lijnen) in variant Klassiek (op basis van overlatenbestand in WAQUA)



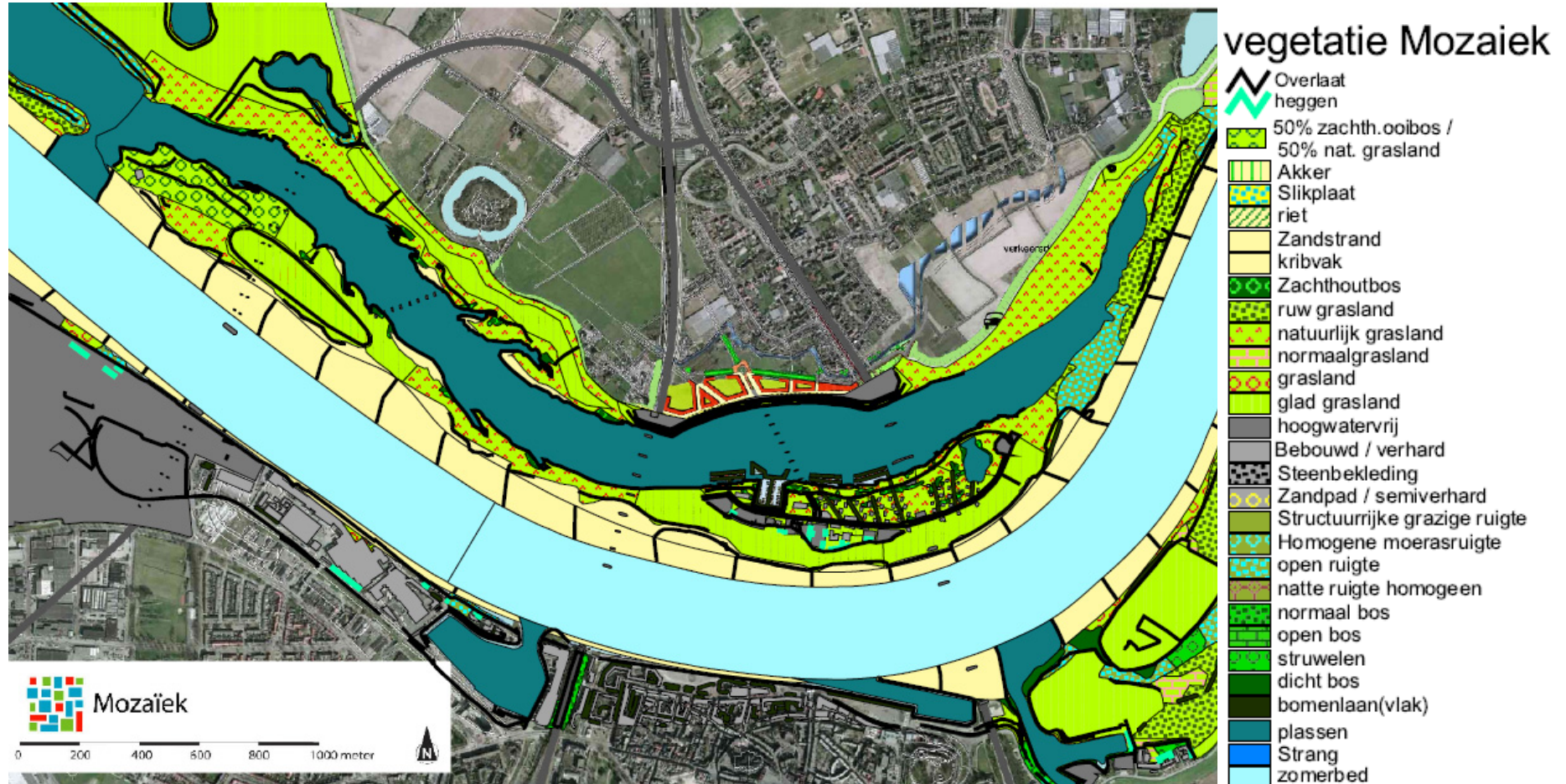
Figuur 3.9: Vegetatietypen variant Klassiek (op basis van het gespecificeerde ruwheidvlakken- en lijnen bestand uit Baseline)



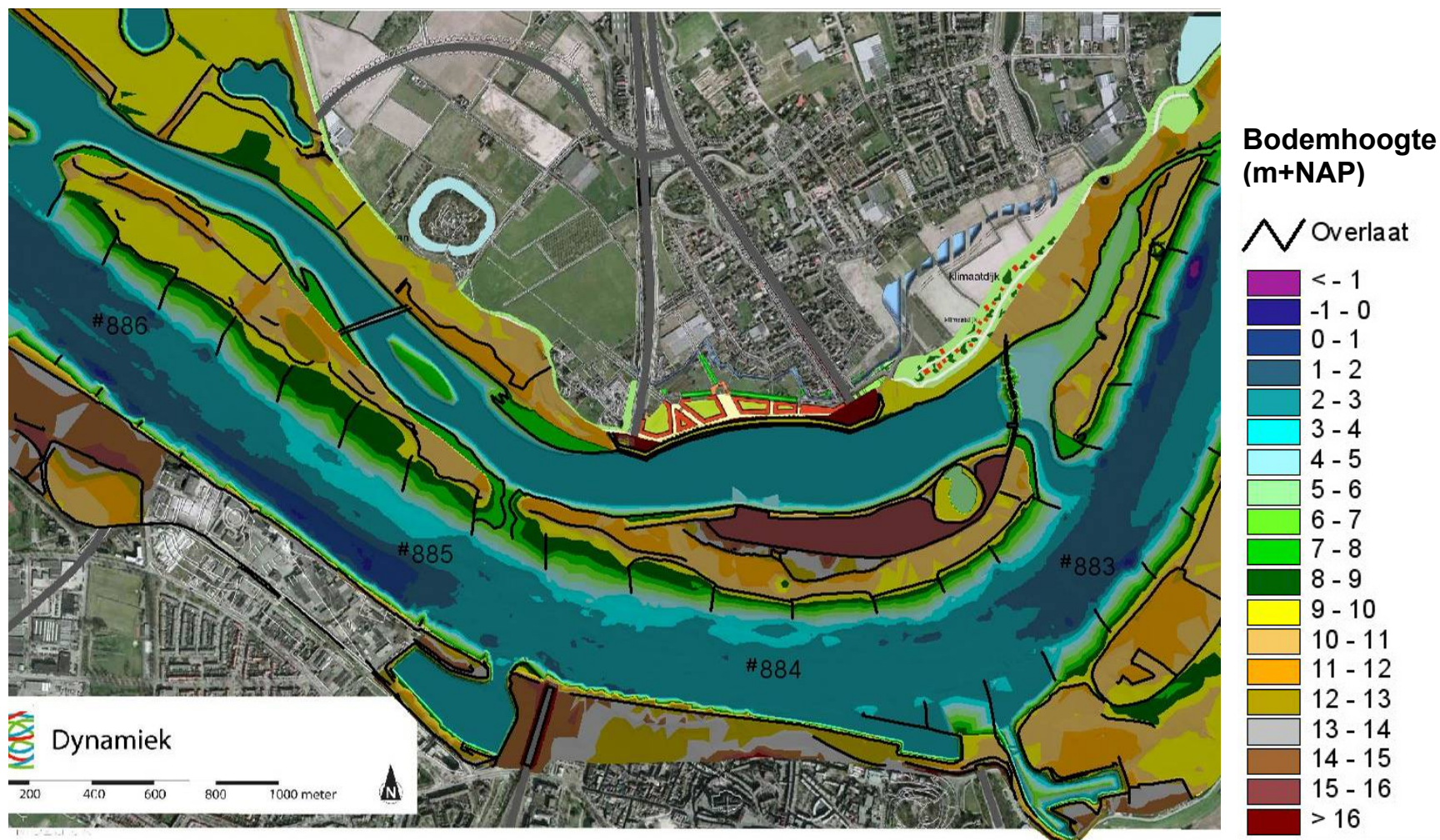
Figuur 3.10: Bodemhoogtes en hoogte sprongen in variant Mozaïek (op basis van bodemhoogte- en overlatenbestand uit Baseline)



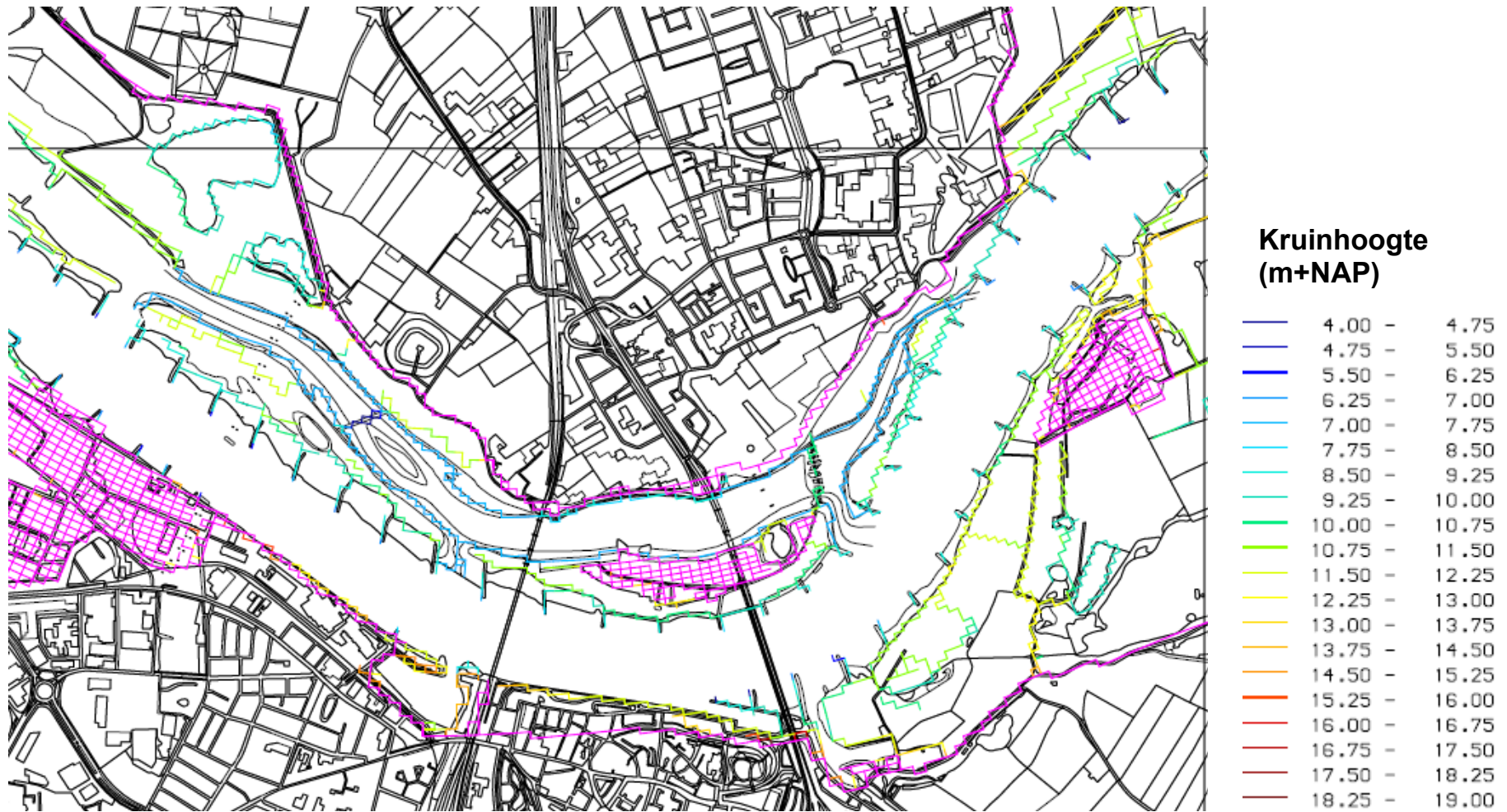
Figuur 3.11: Kruinhoogtes van overlaten (gekleurde lijnen) in variant Mozaïek (op basis van overlatenbestand in WAQUA)



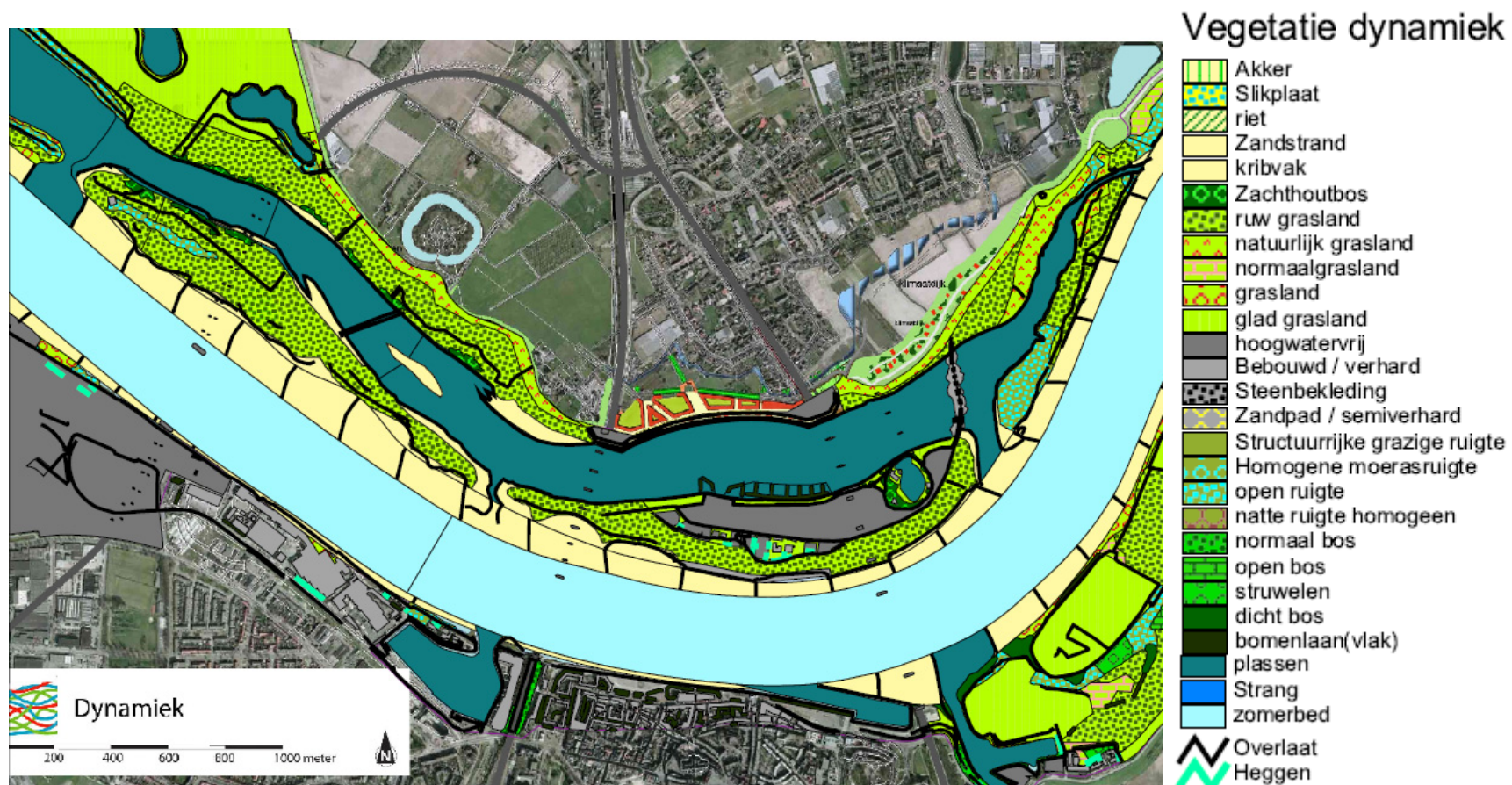
**Figuur 3.12: Vegetatietypen in variant Mozaïek (op basis van het gespecificeerde ruheidvlakken- en lijnen bestand uit Baseline)**



Figuur 3.13: Bodemhoogtes en hoogte sprongen in variant Dynamiek (op basis van bodemhoogte- en overlatenbestand uit Baseline)



Figuur 3.14: Kruinhoogtes van overlaten in variant Dynamiek (gekleurde lijnen) in het VKA (op basis van overlatenbestand in WAQUA)



Figuur 3.15: Vegetatietypen in variant Dynamiek (op basis van het gespecificeerde ruwheidvlakken- en lijnen bestand uit Baseline)



## 4 WATERSTANDSEFFECTEN BIJ MHW

In dit hoofdstuk zijn de waterstandseffecten bij een MHW-afvoer gepresenteerd. De resultaten tonen voor de 3 varianten de maximale waterstands­daling en maximale op­stuw­ing in de as van de rivier bij MHW (16.000 m<sup>3</sup>/s). Dit is aspect 1.1 uit tabel 4 van het rivierkundig beoordelingskader [1]. Daarnaast is gekeken naar de MHW-stand buiten de as van de rivier, aspect 1.2 uit tabel 4 van het beoordelingskader.

### 4.1 Effecten in de as van de rivier (aspect 1.1)

Voor het project geldt een taakstelling van 27 cm waterstands­daling bij MHW tussen kmr 881,5 en 882,5. Daarbij moet de beneden­stroomse op­stuw­ings­piek zo miniem mogelijk zijn.

Bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s is de huidige waterstand ca. NAP+15,58 m op kmr 882. Bij een gemiddelde afvoer (2.200 m<sup>3</sup>/s) is de waterstand op kmr 882 ca. NAP+7,99.

Variante Klassiek zorgt voor een maximale waterstands­ver­laging van 28,3 cm in de as van de rivier op kmr 881,9 bij MHW. Deze maximale waterstands­ver­laging valt binnen het in de PKB gestelde gebied. Hiermee voldoet variante Klassiek met een extra 1,3 cm waterstands­daling aan de taak­stelling. De beneden­stroomse op­stuw­ings­piek in de as van de rivier is maximaal 5,3 cm op kmr 884,4. Dit is net beneden­strooms van de spoorbrug.

Variante Mozaïek zorgt voor een maximale waterstands­ver­laging van 36,4 cm in de as van de rivier op kmr 881,9 bij MHW. Hiermee voldoet variante Mozaïek met een extra 9,4 cm waterstands­daling zeer ruim aan de taak­stelling. De beneden­stroomse op­stuw­ings­piek in de as van de rivier is maximaal 5,4 cm op kmr 885,4. Dit is ongeveer ter hoogte van het evenemententerrein.

Variante Dynamiek zorgt bij MHW voor een maximale waterstands­ver­laging van 33,3 cm in de as van de rivier op kmr 881,9. Hiermee voldoet variante Dynamiek met een extra 6,3 cm ook ruim waterstands­daling aan de taak­stelling. De beneden­stroomse op­stuw­ings­piek in de as van de rivier is maximaal 5,1 cm op kmr 885,4. Dit is ongeveer ter hoogte van het evenemententerrein.

De maximale op­stuw­ing en ver­laging van de waterstand in de as van de rivier zijn overzichtelijk samengevat in tabel 4.1.

**Tabel 4.1: Waterstandseffecten in de as van de rivier bij MHW voor de 3 varianten**

	Klassiek	Mozaïek	Dynamiek
Maximale ver­laging in de as	-28,3 cm (kmr 881,9)	-36,4 cm (kmr 881,9)	-33,3 cm (kmr 881,9)
Maximale op­stuw­ing in de as	+5,3 cm (kmr 884,4)	+5,4 cm (kmr 885,4)	+5,1 cm (kmr 885,4)

Figuur 4.1 toont de waterstands­ver­laging in de as van de rivier voor de 3 varianten. Figuur 4.2 tot 4.4 toont het verschil in waterstand in het project­gebied voor elk van de varianten. Hier dient op­ge­merkt te worden dat, daar waar de dijk terugge­legd is de waterstands­ver­schillen gelijk zijn aan de actuele waterstand. Deze waterstanden vallen buiten de schaal van de legenda van de figuur en worden daarom als een wit vlak aangegeven.

## 4.2 Effecten buiten de as van de rivier (aspect 1.2)

Door de ingreep kan de waterstand in de uiterwaarden van het projectgebied en langs de banddijk lokaal toenemen. Dit kan resulteren in mogelijke schade voor de bewoners en gebruikers van de uiterwaarden en een afname van het veiligheidsniveau van het dijktracé. Een verhoging van de MHW-stand bij de banddijk is slechts toegestaan na acceptatie door de beheerder van de waterkering, waterschap Rivierenland. Per variant is beoordeeld wat de maximale opstuwing is binnen het projectgebied en wat de maximale opstuwing is langs de Oosterhoutsedijk en de Waalkade.

Bij variant Klassiek is de maximale opstuwing langs de Oosterhoutse dijk 4,6 cm op kmr 885,2. De maximale opstuwing langs de kade in Nijmegen is 6,1 cm op kmr 885,3. De maximale lokale opstuwing binnen het projectgebied is 9,7 cm benedenstrooms van de spoorbrug, hier wordt de geul ondieper en smaller. In het hele gebied benedenstrooms van de spoorbrug, in de Oosterhoutse Waarden, neemt de waterstand bij MHW toe t.o.v. de huidige situatie. Deze toename varieert tussen de 0 tot 4 cm met waarden tot 10 cm nabij de spoorbrug.

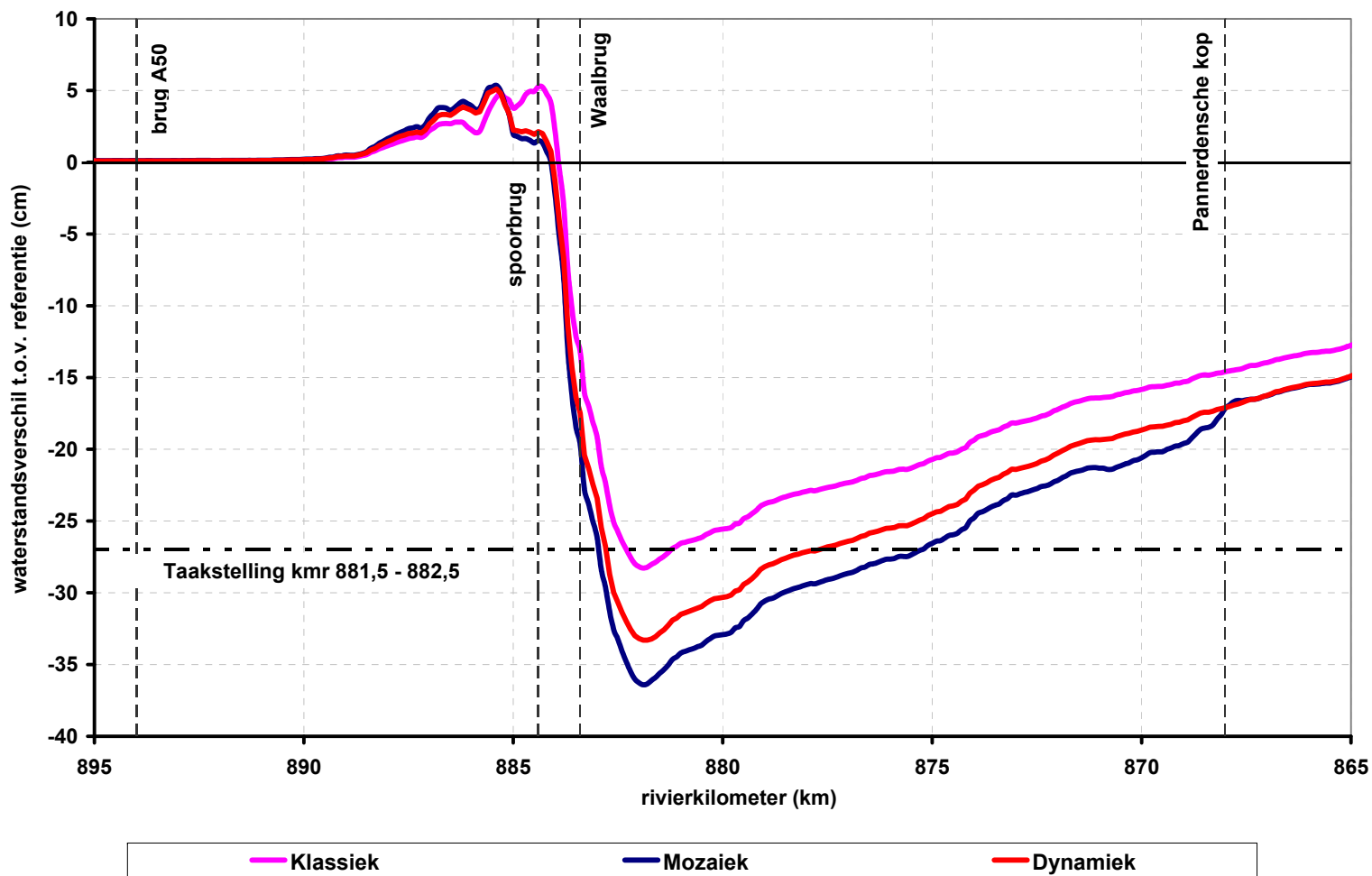
Bij variant Mozaïek is de maximale opstuwing langs de Oosterhoutse dijk 7,1 cm op kmr 885,5. De maximale opstuwing langs de kade in Nijmegen is 7,6 cm op kmr 885,3. De maximale lokale opstuwing binnen het projectgebied is 7,1 cm bij kmr 885,7. In het hele gebied benedenstrooms van de spoorbrug, in de Oosterhoutse Waarden, neemt de waterstand bij MHW toe t.o.v. de huidige situatie. Deze toename varieert tussen de 0 tot 4 cm met lokaal waarden tot 7 cm.

Bij variant Dynamiek is de maximale opstuwing langs de Oosterhoutse dijk 6,7 cm op kmr 885,5. De maximale opstuwing langs de kade in Nijmegen is 7,1 cm op kmr 885,3. De maximale lokale opstuwing binnen het projectgebied is 8,0 cm bij kmr 885,4. In het hele gebied benedenstrooms van de spoorbrug, in de Oosterhoutse Waarden, neemt de waterstand bij MHW toe t.o.v. de huidige situatie. Deze toename varieert tussen de 0 tot 4 cm met lokaal waarden tot 8 cm.

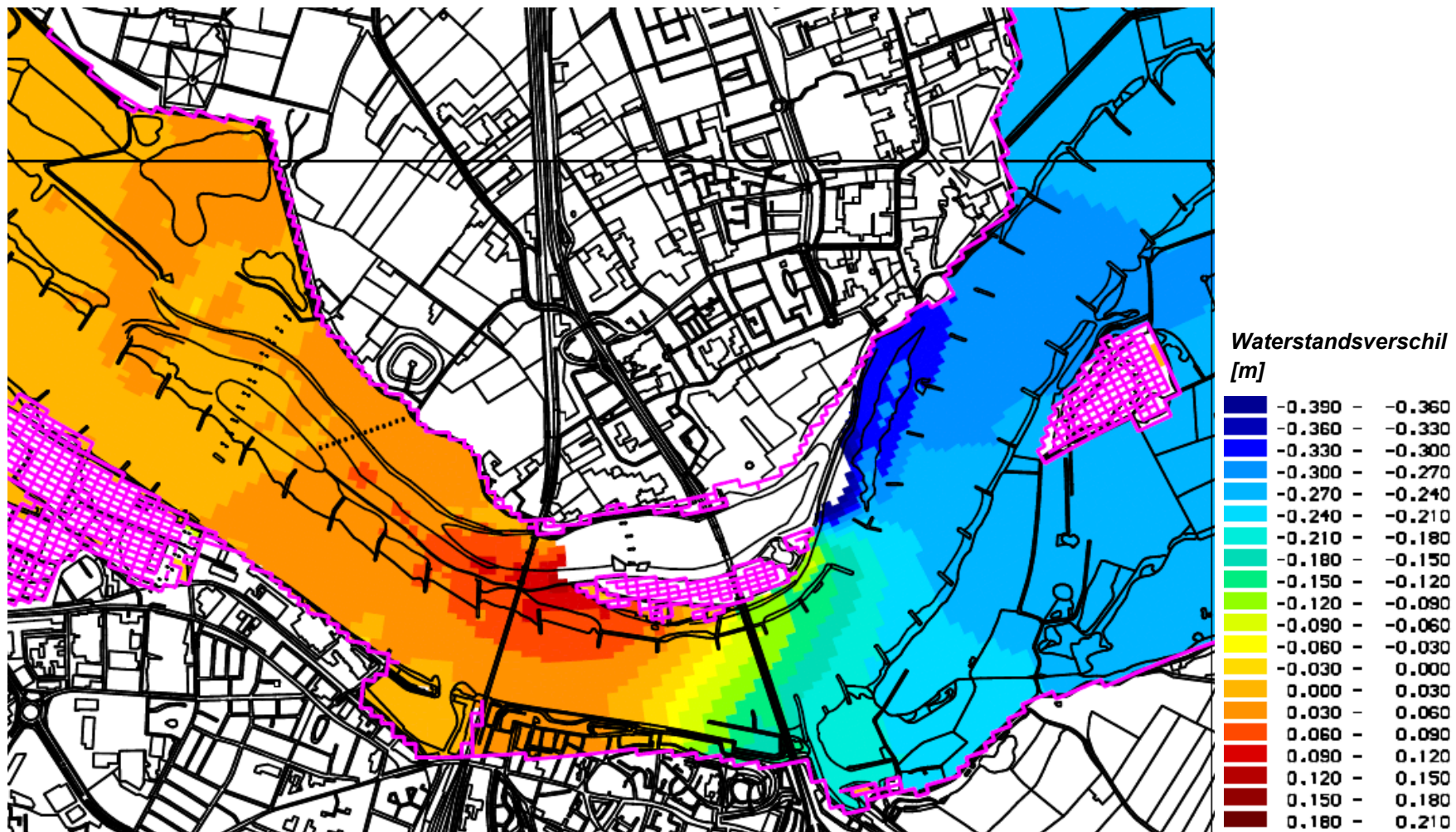
De maximale waterstandverhoging van de waterstand buiten de as van de rivier zijn overzichtelijk samengevat in tabel 4.2. De opstuwing langs de Oosterhoutsedijk en de Waalkade zijn significant en moeten zeker ter acceptatie worden voorgelegd aan de dijkbeheerder. Tussen de varianten zit weinig verschil in de hoeveelheid opstuwing, in variant Klassiek is de opstuwing het minst, in variant Mozaïek en Dynamiek is de opstuwing vergelijkbaar.

**Tabel 4.2: Waterstandseffecten buiten de as van de rivier bij MHW voor de 3 varianten**

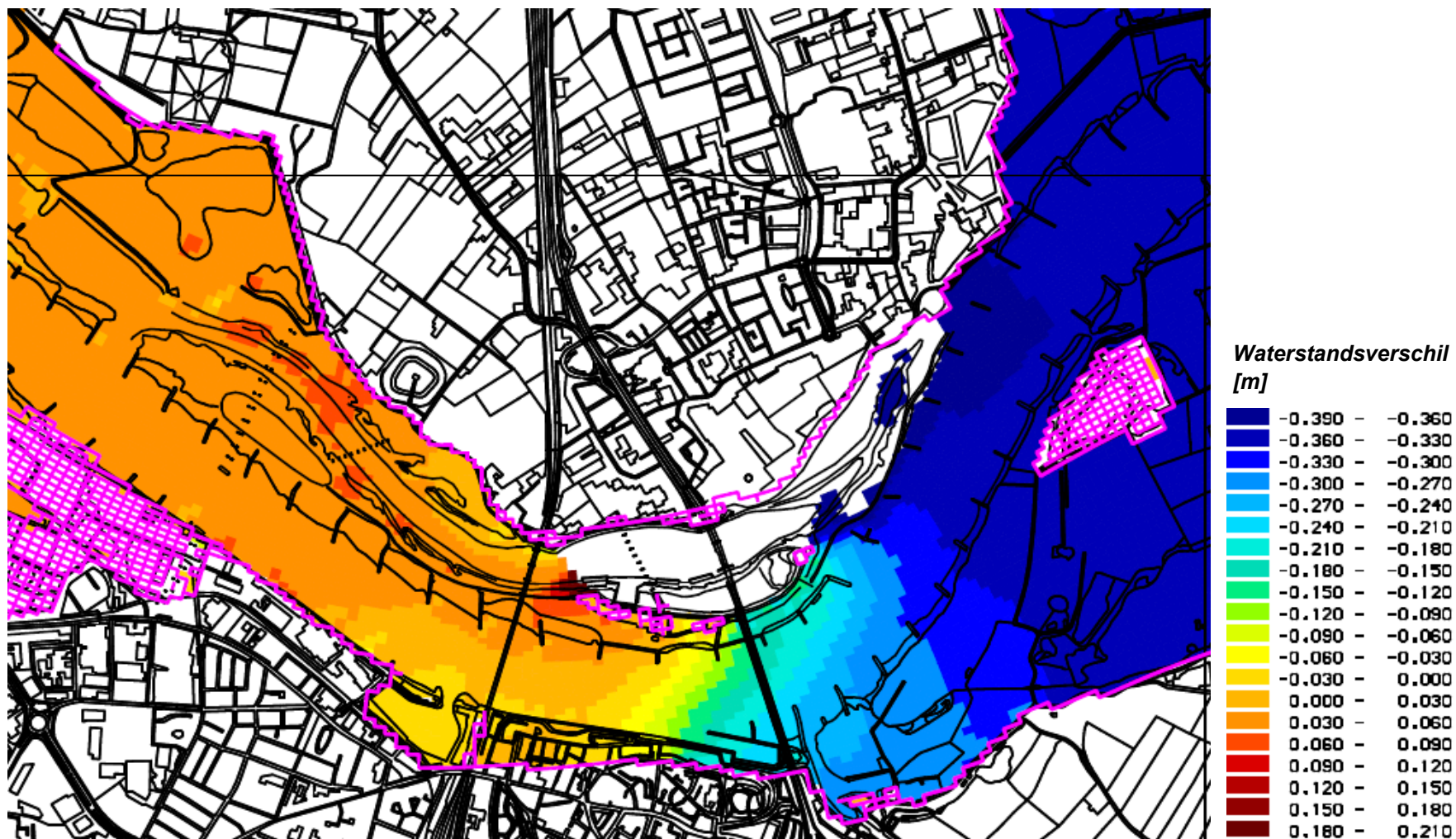
Grootheid	Klassiek	Mozaïek	Dynamiek
Maximale opstuwing langs de Oosterhoutsedijk	+4,6 cm (kmr 885,2)	7,1 cm (kmr 885,5)	6,7 cm (kmr 885,5)
Maximale opstuwing langs de Waalkade	+6,1 cm (kmr 885,3)	7,6 cm (kmr 885,3)	7,1 cm (kmr 885,3)
Maximale opstuwing in het projectgebied	+9,7 cm (884,5)	7,1 cm (kmr 885,7)	8,0 cm (kmr 885,4)



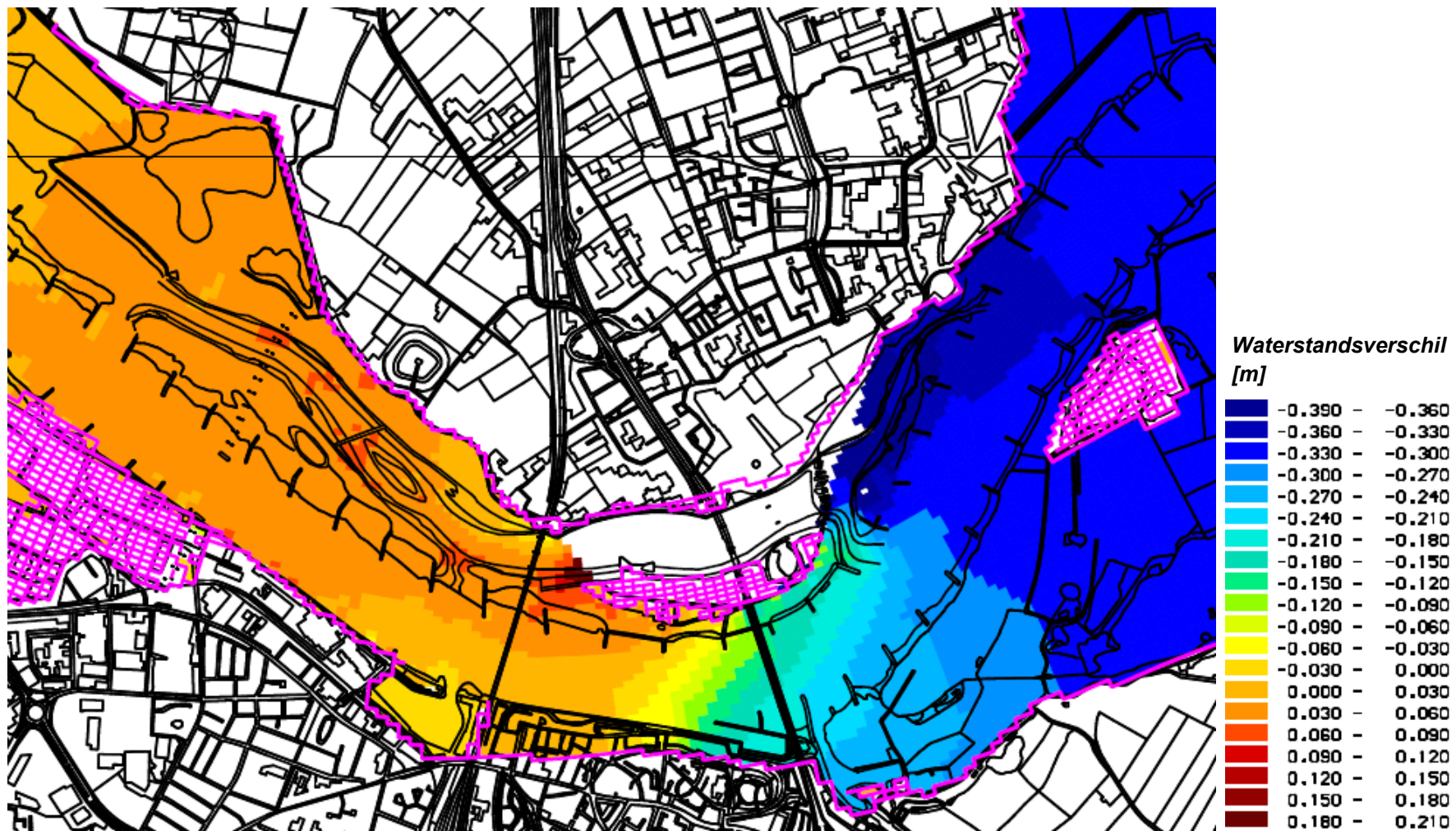
Figuur 4.1: Effect op de waterstand (cm) in de Waal en Boven-Rijn t.g.v. variant Klassiek (paars), variant Mozaïek (blauw) en variant Dynamiek (rood) bij 16.000 m<sup>3</sup>/s.



Figuur 4.2: Waterstandseffecten (m) t.g.v. variant Klassiek bij 16.000 m<sup>3</sup>/s (figuur toont het WAQUA resultaat). Bron lijnen: Top10Raster(c)TD Kadaster



Figuur 4.3: Waterstandseffecten (m) t.g.v. variant Mozaïek bij 16.000 m<sup>3</sup>/s (figuur toont het WAQUA resultaat). Bron lijnen: Top10Raster(c)TD Kadaster



Figuur 4.4: Waterstandseffecten (m) t.g.v. variant Dynamiek bij 16.000 m<sup>3</sup>/s (figuur toont het WAQUA resultaat). Bron lijnen: Top10Raster(c)TD Kadaster

## 5 EFFECT OP AFVOERVERDELING BIJ MHW (ASPECT 1.3)

Aangezien het projectgebied slechts ca. 15 km van 'de Pannerdenschse Kop' ligt, kan het zijn dat de ingreep effect heeft op de afvoerverdeling op dit splitsingspunt. Een hogere afvoer op een bepaalde riviertak resulteert in hogere waterstanden, wat niet acceptabel is. Het is dan ook van belang dat de afgesproken (beleidsmatige) afvoerverdeling wordt vastgehouden. Om dit mogelijke effect te beoordelen is voor elke variant een WAQUA berekening gemaakt bij 15.000 m<sup>3</sup>/s met een vrije afvoerverdeling. Hierbij is beoordeeld in hoeverre de afvoerverdeling op de Pannerdenschse Kop wijzigt. Dit is overeenkomstig met aspect 1.3 uit tabel 4 van het beoordelingskader [1].

Volgens de beleidsmatige afvoerverdeling stroomt er bij een afvoer van 15.000 m<sup>3</sup>/s, 9.530 m<sup>3</sup>/s door de Waal (63,5%), 3.165 m<sup>3</sup>/s Neder-Rijn (21,1%) en 2.305 (15,3%) door de IJssel. De gemaakte WAQUA berekening van de huidige situatie met een vrije afvoerverdeling geeft bij 15.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith een Waalafvoer van 9.456 m<sup>3</sup>/s (63,0%). Dit verschilt enigszins met de beleidsmatige afvoerverdeling. Omdat de varianten ook met dit model worden beoordeeld, wordt deze berekening van de huidige situatie wel als vergelijkingsbasis gebruikt.

Bij variant Klassiek wijzigt de afvoerverdeling op de Pannerdenschse Kop met 116 m<sup>3</sup>/s door de rivierverruiming stroomt er 9.572 m<sup>3</sup>/s door de Waal (63,8%) bij een afvoer van 15.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith.

Bij variant Mozaïek is dit effect het grootst, een toename van 151 m<sup>3</sup>/s door de Waal. De Waalafvoer wijzigt naar 9.607 m<sup>3</sup>/s, wat overeenkomt met 64% van de afvoer bij Lobith.

Bij variant Dynamiek neemt de Waalafvoer met 139 m<sup>3</sup>/s toe tot een Waalafvoer van 9.595 m<sup>3</sup>/s (64,0%).

De toename in Waalafvoer zou voorzien moeten zijn in het gehele RvR project. Alle RvR projecten samen moeten zorgen dat de afvoerverdeling op de splitsingspunten aan de gestelde eisen voldoet. Voor dit individuele RvR project Lent is een waterstandsdaling van 27 cm voorzien. Neveneffect van deze waterstandsdaling is een extra Waalafvoer. Op basis van 27 cm is een extra Waalafvoer van ca. 110 m<sup>3</sup>/s te verwachten. Variant Klassiek ligt hier met 116 m<sup>3</sup>/s extra licht (6 m<sup>3</sup>/s) boven, variant Dynamiek ligt hier 29 m<sup>3</sup>/s boven en variant Mozaïek zelfs 41 m<sup>3</sup>/s. Een extra waterstandsdaling heeft hiermee een negatief effect op de afvoerverdeling bij het splitsingspunt. Elke centimeter extra waterstandsdaling zorgt voor een verandering van de afvoer bij het splitsingspunt van ca. 4 tot 5 m<sup>3</sup>/s extra naar de Waal. Het gevolg hiervan kan zijn dat de eisen voor hoogwaterveiligheid op de Waal in het geding komen.

Tabel 5.1: Afvoerverdeling bij Pannerdenschse Kop voor de 3 varianten

	Lobith [m <sup>3</sup> /s]	Waal [m <sup>3</sup> /s]	Extra Waalafvoer bij splitsing (absoluut) [m <sup>3</sup> /s]	Extra Waalafvoer bij splitsing (relatief t.o.v. ontwerp met 27 cm waterstandsdaling [m <sup>3</sup> /s])
Beleidsmatige afvoerverdeling	15.000	9.530 (63,5%)	-	-
Huidige situatie (WAQUA)	15.000	9.456 (63,0%)	-	-
Klassiek	15.000	9.572 (63,8%)	+116	+6
Mozaïek	15.000	9.607 (64,0%)	+151	+43
Dynamiek	15.000	9.595 (64,0%)	+139	+29



## 6 EFFECTEN OP INUNDATIEFREQUENTIE (ASPECT 2.1)

Als gevolg van de ingrepen in het projectgebied kan de frequentie van instromen van (delen van) de uiterwaard veranderen. Dit kan nadelig zijn voor de omwonenden, voor de bereikbaarheid of voor natuurontwikkeling. Aspect 2.1 uit tabel 4 van het beoordelingskader schrijft voor dat de verandering van de inundatiefrequentie moet worden beoordeeld bij een representatieve afvoer.

Tabel 6.1 toont de waterstanden in de huidige situatie bij verschillende afvoerniveaus op verschillende locaties in het projectgebied in de as van de rivier. De maaiveldhoogtes van de uiterwaarden in het plangebied variëren tussen de NAP+9 tot NAP+13 m.

In de huidige situatie begint water de Lentse Waard in te stromen bij waterstanden vanaf ca. NAP+10,5 tot 11 m op traject tussen kmr 882 tot 883. Dit komt overeen met een afvoer van 4.500 tot 5.000 m<sup>3</sup>/s, welke gemiddeld ca. 10 tot 15 dg/jaar voorkomt. Er is geen zomerkade aanwezig langs de Lentse Waard. De waterstand in de Lentse strang komt overeen met de waterstand in het zomerbed.

De Oosterhoutse Waard heeft een variabele bodemhoogte van ca. NAP+ 9 tot 12 m. Het benedenstreams gedeelte, bij kmr 886, ligt lager dan het bovenstreams gedeelte bij kmr 885. Er is geen zomerkade aanwezig. Het gebied begint mee te stromen vanaf ca. 4.000 m<sup>3</sup>/s rondom kmr 886, dit komt ca. 25 dagen per jaar voor. Het bovenstroomse gedeelte rondom kmr 885 begint te inunderen vanaf ca. 5.000 m<sup>3</sup>/s, dit komt ca. 10 dagen per jaar voor.

**Tabel 6.1: Waterstanden in de as van de rivier bij verschillende afvoerniveaus te Lobith op 3 locaties in het projectgebied voor de huidige situatie. Door de dijkeruglegging dalen de waterstanden tijdens hoogwater in het bovenstroomse gedeelte van het plangebied.**

kmr	Globale ligging	maaiveldhoogte	Afvoer te Lobith (m <sup>3</sup> /s)							
			1.250	2.200	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	10.000
882	Wijnfort	NAP+ 10 – 12 m	6,67	7,99	9,98	10,81	11,43	11,91	12,29	12,92
884	Waalkade	NAP+ 10 – 13 m	6,46	7,78	9,72	10,58	11,28	11,79	12,17	12,79
886	Oosterhoutse Waard	NAP+ 9 – 12 m	6,22	7,54	9,48	10,36	11,08	11,62	12,01	12,64
Herhalingstijd (jaren)								2	4	14
Mate van voorkomen (dagen/jaar)			313	140	26	10	3			

Door de dijkeruglegging en de nevengeul zal de inundatiefrequentie van het projectgebied wijzigen. Hierbij is beoordeeld in welke mate het moment van instromen van water vanuit de hoofdgeul naar de uiterwaard wijzigt.

In variant Klassiek verandert er niets aan de inundatiefrequentie van de Lentse Waard. In de Oosterhoutse Waard verandert de inundatiefrequentie doordat er een nevengeul door het gebied komt te liggen. De waterstand in de nevengeul door de Oosterhoutse Waard varieert mee met de waterstand op de Waal op kmr 886,3. Vanuit de geul zal het omliggende maaiveld inunderen op het moment dat de waterstand hoger komt dan de oevers. De bovenstroomse drempel wordt overstroomd bij afvoeren vanaf ca. 4.600 m<sup>3</sup>/s (NAP+10,5 m op kmr 882,5), dit komt ca. 15 dagen per jaar voor. Het evenemententerrein, NAP+12 m, begint te inunderen vanaf ca. 8.000 m<sup>3</sup>/s, dit komt gemiddeld eens per 4 jaar voor. Het bovenstroomse gedeelte van het fietspad tussen het Stadseiland en het evenemententerrein begint te inunderen vanaf ca. 7.500 m<sup>3</sup>/s. Dit heeft een overschrijdingsperiode van gemiddeld eens per 3 jaar.

In variant Mozaïek verandert de inundatiefrequentie van de Lentse Waard licht doordat de oeverzone lokaal wordt verlaagd tot NAP+10,5 m. Ook wordt de strang verbonden met de nevengeul, waardoor de waterstand in de Lentse Waard varieert met de waterstand op de Waal op kmr 886,3. Bij waterstanden hoger dan NAP+10,5 op kmr 882,5 begint de Lentse Waard ook vanuit de Waal te inunderen, dit komt ca. 15 dagen per jaar voor. De inundatiefrequentie van de Oosterhoutse Waard en het evenemententerrein is gelijk aan die van variant Klassiek. Het fietspad tussen het watereiland en het evenemententerrein ligt op huidig maaiveld en begint te inunderen vanaf ca. 5.000 m<sup>3</sup>/s. Dit komt ca. 10 dagen per jaar voor.

In variant Dynamiek verandert de inundatiefrequentie van de Lentse Waard t.o.v. de huidige situatie doordat de strang permanent aangetakt is. Daarnaast wordt de nevengeul verbonden met de strang via openingen in de drempel. Hierdoor zal de waterstand in de Lentse Waard mee variëren met de waterstand op de Waal. De inundatiefrequentie van de Oosterhoutse Waard en het evenemententerrein is gelijk aan die van variant Klassiek en Mozaïek. Het eiland in de nevengeul (NAP+7,5 m) zal bij een jaargemiddelde afvoer nog net boven water uitsteken. Door de opening tussen het zomerbed en de nevengeul direct benedenstrooms van de spoorbrug zal er slechts bij zeer lage afvoeren, kleiner dan 1.500 m<sup>3</sup>/s, een mogelijke voetverbinding zijn tussen het parkeiland en het evenemententerrein. Dit komt ca. 90 dagen per jaar voor.

**Tabel 6.2: Frequentie van instromen van (delen van) de Lentse en Oosterhoutse uiterwaarden in de huidige situatie en voor de 3 varianten**

Locatie	huidige situatie	Klassiek	Mozaïek	Dynamiek
Lentse Uiterwaard	10 - 15 dagen/jaar	10 - 15 dagen/jaar	15 dagen/jaar	365 dg/jaar
Oosterhoutse Waard Bovenstroomse gedeelte	10 dagen/jaar	15 dagen/jaar	15 dagen/jaar	15 dagen/jaar
Oosterhoutse Waard Benedenstroomse gedeelte	25 dagen/jaar	25 dagen/jaar	25 dagen/jaar	25 dagen/jaar
Evenemententerrein	-	eens per 4 jaar	eens per 4 jaar	eens per 4 jaar
Verbinding evenemententerrein - stadseiland	-	eens per 3 jaar	10 dg/jaar	270 dg/jaar

In tabel 6.2 zijn de instroomfrequenties voor de drie varianten en de huidige situatie overzichtelijk weergegeven. Geconcludeerd kan worden dat in variant Klassiek, Mozaïek en Dynamiek de instroomfrequentie van het bovenstroomse gedeelte van de Oosterhoutse Waard toeneemt tot 15 dagen/jaar. De instroomfrequentie van het benedenstroomse gedeelte blijft gelijk voor de 3 varianten. De instroomfrequentie van de Lentse Waard verandert niet in variant Klassiek, in Mozaïek neemt de frequentie toe tot 15 dagen/jaar en in Dynamiek is de Lentse Waard het gehele jaar direct verbonden met het zomerbed.

Deze wijzigingen in instroomfrequentie hebben voornamelijk effect op de natuurontwikkeling in het gebied. De vegetatie rondom de geul zal veranderen door de aanleg van de geul. Daarnaast heeft de geul natuurlijk grote invloed op omwonenden. Een aantal huizen is of wordt zelfs verwijderd voor de aanleg van de geul. Daarbij wordt aangetekend dat door de ingreep de waterstand over een zeer groot gebied (van Lent tot de Duitse grens) bij MHW significant zal dalen.

## 7 EFFECTEN OP STROOMBEELD UITERWAARD (ASPECT 2.2)

Door ingrepen in het gebied kunnen (locale) stroomsnelheden in de uiterwaard veranderen. Dit kan resulteren in locale erosie bij constructies als kribben, gebouwen, kaden, wegen maar ook langs randen van plassen en geulen. De mate van (verwachte) erosie wordt ingeschat door het beoordelen van de verandering van de grootte en richting van de stroomsnelheden bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s. Dit beoordelingsaspect is omschreven in aspect 2.2 uit tabel 4 van het beoordelingskader.

Figuur 7.1 toont de optredende stroomsnelheden in het projectgebied bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s voor de huidige situatie. De stroomsnelheden in de Lentse Waard variëren tussen de 0,25 en 0,75 m/s. In de uiterwaard direct voor Veur-Lent tussen de Waalbrug en de spoorbrug zijn de stroomsnelheden hoger, ca. 0,8 tot 1,2 m/s. In de Oosterhoutse Waarden variëren de stroomsnelheden tussen de 0,3 en 0,6 m/s.

Figuur 7.2 en 7.3 tonen de stroomsnelheden voor variant Klassiek en de verandering van de stroomsnelheid ten opzichte van de huidige situatie. In Klassiek nemen de stroomsnelheden in de Lentse Waard toe met ca. 0,1 tot 0,8 m/s tot waarden tussen 0,3 tot 1,5 m/s. Met name in het gedeelte van de Lentse Waard nabij de drempel nemen de stroomsnelheden toe bovenstrooms van de drempel en bij de kribvakken en de oeverzone. In de oeverzone neemt de snelheid toe met maxima van ca. 0,5 m/s tot een maximale waarde van 1,0 m/s. Over de drempel zijn de stroomsnelheden volgens WAQUA ca. 1,6 m/s. De stroomsnelheden in de geul benedenstrooms van de drempel tot de spoorbrug zijn 0,8 tot 1,1 m/s. In de Oosterhoutse waarden variëren de snelheden tussen de 0,3 en 0,8 m/s op de onvergraven gedeeltes, in de geul is de stroomsnelheid ca. 1,0 tot 1,4 m/s. Dit betekent dat in de geul de stroomsnelheid toeneemt met maxima tot ca. 1,0 m/s. In de onvergraven gedeeltes neemt op sommige locaties de snelheid toe met ca. 0,1 tot 0,5 m/s en op andere gedeeltes (oeverzone, evenemententerrein en gedeelte langs bandijk) af met ca. -0,1 tot -0,4 m/s.

Figuur 7.4 en 7.5 tonen de stroomsnelheden voor variant Mozaïek en de verandering van de stroomsnelheid ten opzichte van de huidige situatie. In Mozaïek nemen de stroomsnelheden in de Lentse Waard toe met ca. 0,1 tot 0,8 m/s tot waarden tussen 0,1 tot 1,5 m/s. Met name in het gedeelte van de Lentse Waard nabij de oeverzone en het gedeelte tussen geul en bandijk nemen de stroomsnelheden toe. In de oeverzone, die in deze variant als drempel werkt, neemt de snelheid toe met maxima van ca. 0,9 m/s tot een maximale waarde van 1,5 m/s. Langs de bandijk zijn de maximale stroomsnelheden ca. 0,8 tot 0,9 m/s. De stroomsnelheden in het gedeelte van de geul tot de spoorbrug zijn 1,0 tot 1,55 m/s. De maximale stroomsnelheid van 1,55 m/s ligt bij het landhoofd van de spoorbrug, daar waar de geul het smalst is.

In de Oosterhoutse waarden variëren de snelheden tussen de 0,2 en 1,0 m/s op de onvergraven gedeeltes, in de geul is de stroomsnelheid ca. 1,2 tot 1,4 m/s. Dit betekent dat in de geul de stroomsnelheid toeneemt met maxima tot ca. 1,0 m/s. In de onvergraven gedeeltes neemt op sommige locaties de snelheid toe met ca. 0,1 tot 0,7 m/s en op andere gedeeltes (oeverzone, evenemententerrein en gedeelte langs bandijk) af met ca. -0,1 tot -0,35 m/s.

Figuur 7.5 en 7.6 tonen de stroomsnelheden voor variant Dynamiek en de verandering van de stroomsnelheid ten opzichte van de huidige situatie. In Dynamiek nemen de stroomsnelheden in de geul in de Lentse Waard toe met ca. 0,1 tot 1,0 m/s tot waarden tussen 0,3 tot 1,1 m/s. Met name in het gedeelte van de Lentse Waard nabij de drempel nemen de stroomsnelheden toe in de geul, de kribvakken en de oeverzone. In de oeverzone neemt de snelheid toe met maxima van ca. 0,6 m/s tot een maximale waarde van 1,1 m/s. Over de drempel zijn de stroomsnelheden volgens WAQUA ca. 1,5 m/s, echter dit kan in werkelijkheid groter zijn door de grove schematisatie van de drempel in WAQUA. De stroomsnelheden in de geul benedenstrooms van de drempel tot de spoorbrug zijn 1,0 tot 1,25 m/s. In de Oosterhoutse waarden variëren de snelheden tussen de 0,1 en 0,7 m/s op de onvergraven gedeeltes, in de geul is de stroomsnelheid ca. 1,0 tot 1,3 m/s. Bij en op het eiland variëren de stroomsnelheden rond de 1,3 m/s. Dit betekent dat in de geul de stroomsnelheid toeneemt met maxima tot ca. 1,0 m/s. In de onvergraven gedeeltes neemt op sommige locaties de snelheid toe met ca. 0,1 tot 0,3 m/s en op andere gedeeltes (oeverzone, evenemententerrein en gedeelte langs bandijk) af met ca. -0,1 tot -0,4 m/s.

Opvallend is ook de grote afname van stroomsnelheid in het zomerbed bij de drie varianten. Doordat ca. 20 tot 30% van de afvoer door de geul gaat, neemt de afvoer en daarmee de stroomsnelheid in het zomerbed af. Op de effecten hiervan wordt in de morfologische beoordeling nader ingegaan.

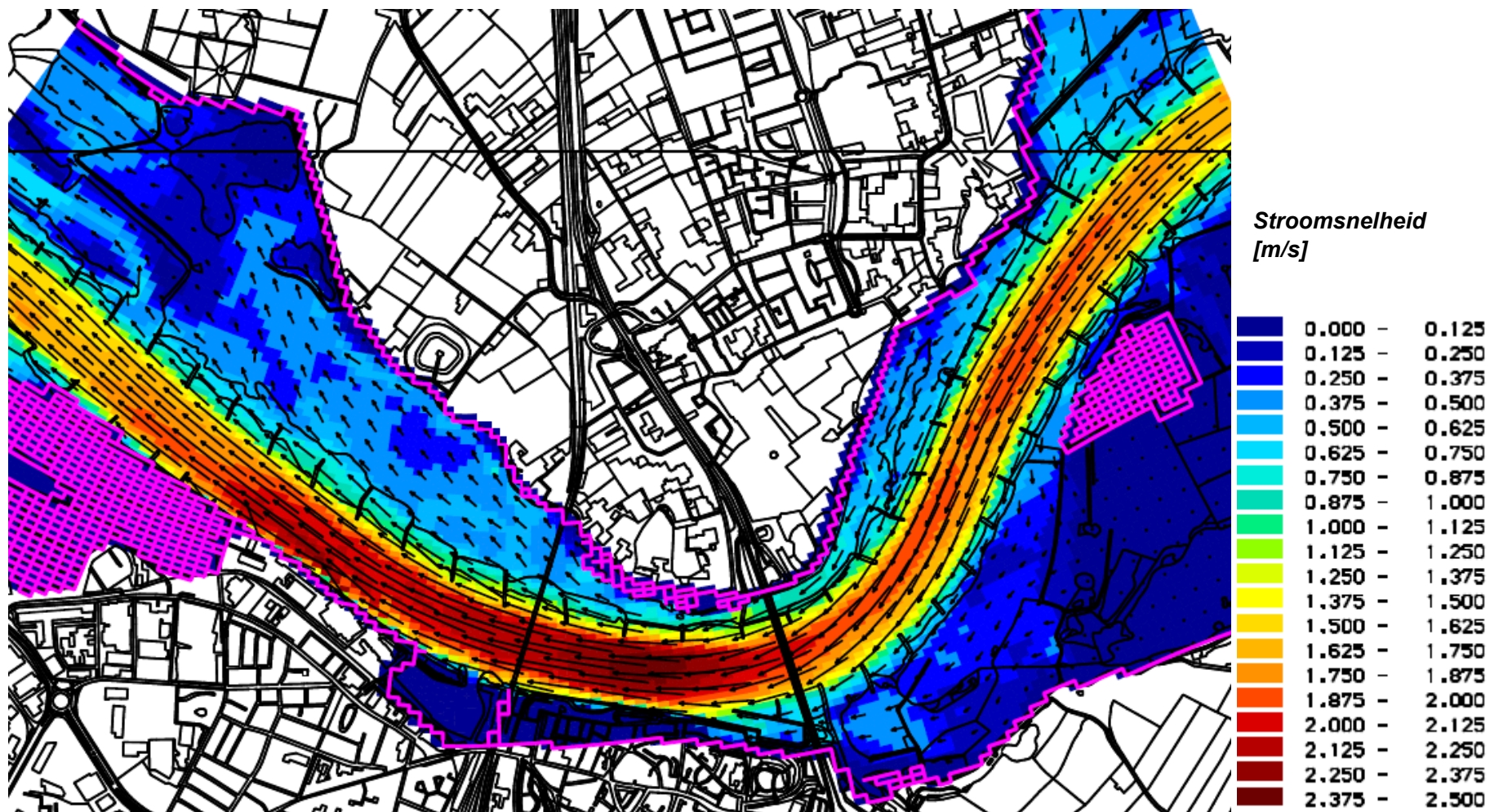
Op basis van de getoonde en opgesomde stroomsnelheden en veranderingen in stroomsnelheden t.o.v. de huidige situatie kunnen de varianten worden vergeleken qua locaties waar erosie kan gaan optreden<sup>1</sup>.

- In de Lentse waard geldt dat bij alle varianten de stroomsnelheden op de oeverzone tussen strang en kribvak toenemen. In variant Mozaïek is deze toename het grootst met maximale stroomsnelheden op de oever tot ca. 1,5 m/s. Maar ook in Klassiek en Dynamiek nemen de stroomsnelheden op de oever toe tot resp. 1,0 a 1,1 m/s.
- Langs het gedeelte van de Bemmelse dijk nabij de drempel neemt in variant Klassiek de snelheid toe tot 1,3 m/s. Bij Dynamiek en Mozaïek zijn de stroomsnelheden langs de Bemmelse dijk langer, ca. 0,9 m/s.
- De stroomsnelheden in de geul zijn het hoogst in Mozaïek, ca. 1,0 tot 1,55 m/s. In Mozaïek stroomt er ook het meeste water door de geul en is de waterstandsval het grootst. De hoogste stroomsnelheid vindt plaats nabij het landhoofd van de spoorbrug.
- De stroomsnelheden op de onvergraven delen in de Oosterhoutse waarden blijven onder de 1,0 m/s voor alle varianten. De hoogste stroomsnelheden vinden plaats bij de bocht in de geul direct benedenstrooms van de Stadsbrug. Bij Klassiek en Mozaïek zijn de stroomsnelheden hier maximaal 0,9 m/s. In dynamiek is dit 0,7 m/s.
- Het eiland in de geul in variant Dynamiek kent stroomsnelheden rond de 1,3 m/s. Zonder begroeiing zal het eiland door deze stroomsnelheden eroderen en zich gaan verplaatsen tijdens een hoogwater.

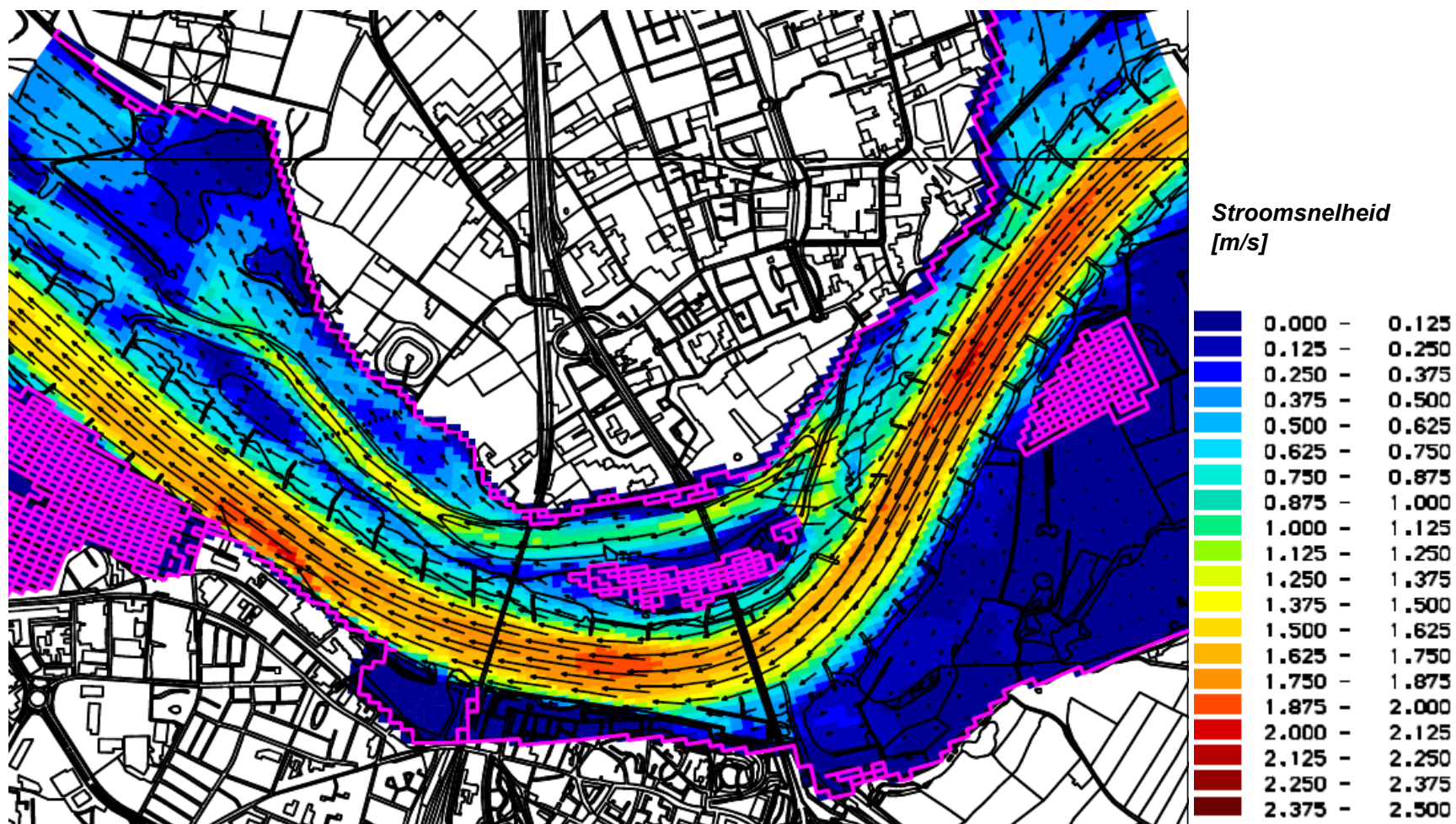
---

<sup>1</sup> Deze analyse is een eerste handreiking voor locaties met mogelijk morfologische gevolgen. In de morfologische beoordeling wordt hier in meer detail op ingegaan

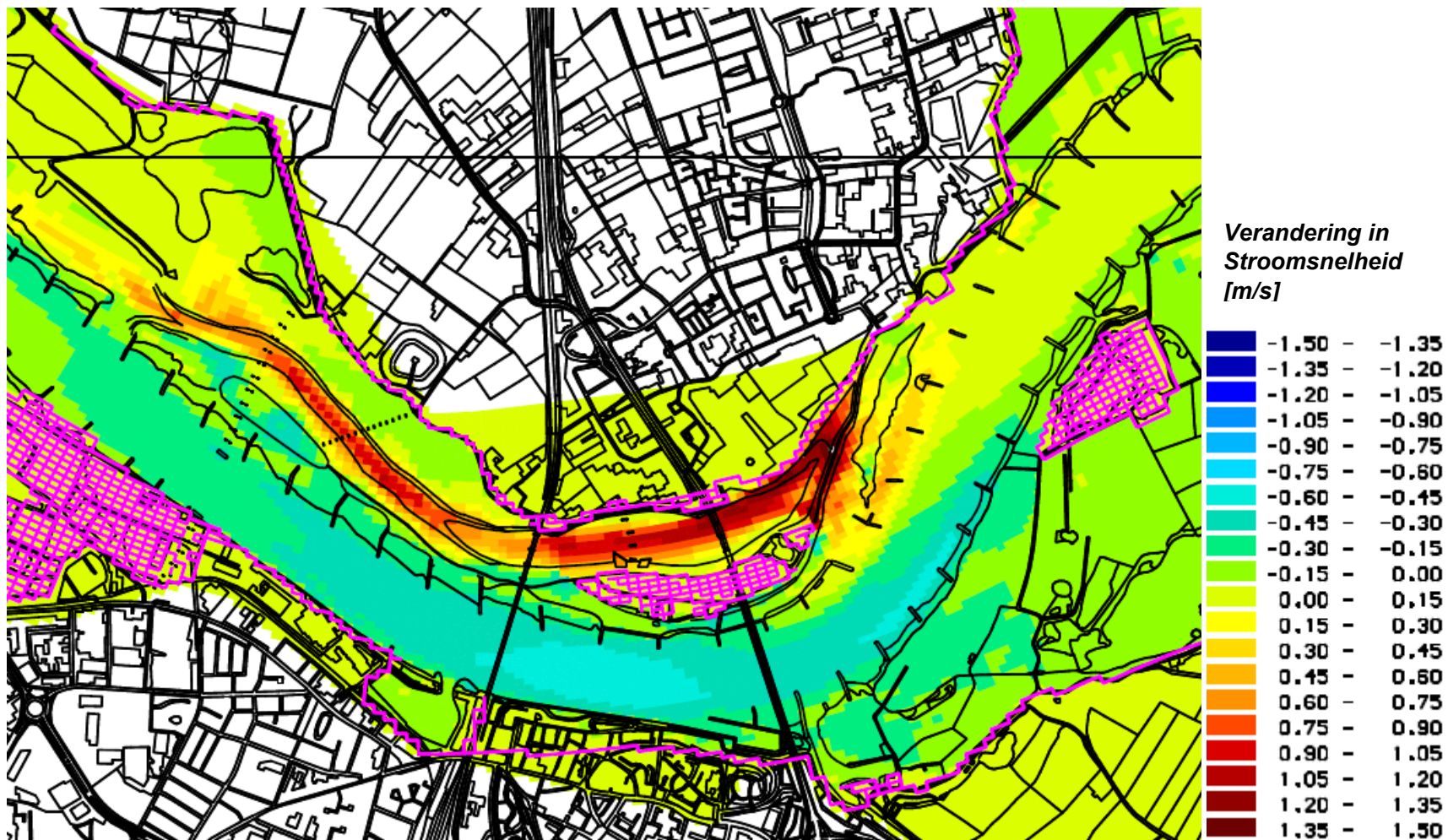
- Bij de oevers en de strandjes langs de geul bij Mozaïek en Dynamiek zijn de stroomsnelheden variërend tussen de 0,5 en 1,0 m/s. Op deze plekken bestaat het risico op afkalving van de oevers en erosie van strandjes. Dit zal met name afhankelijk zijn van de mate van begroeiing, de taludhelling van de oever en de hoek waaronder de oever wordt aangestroomd.



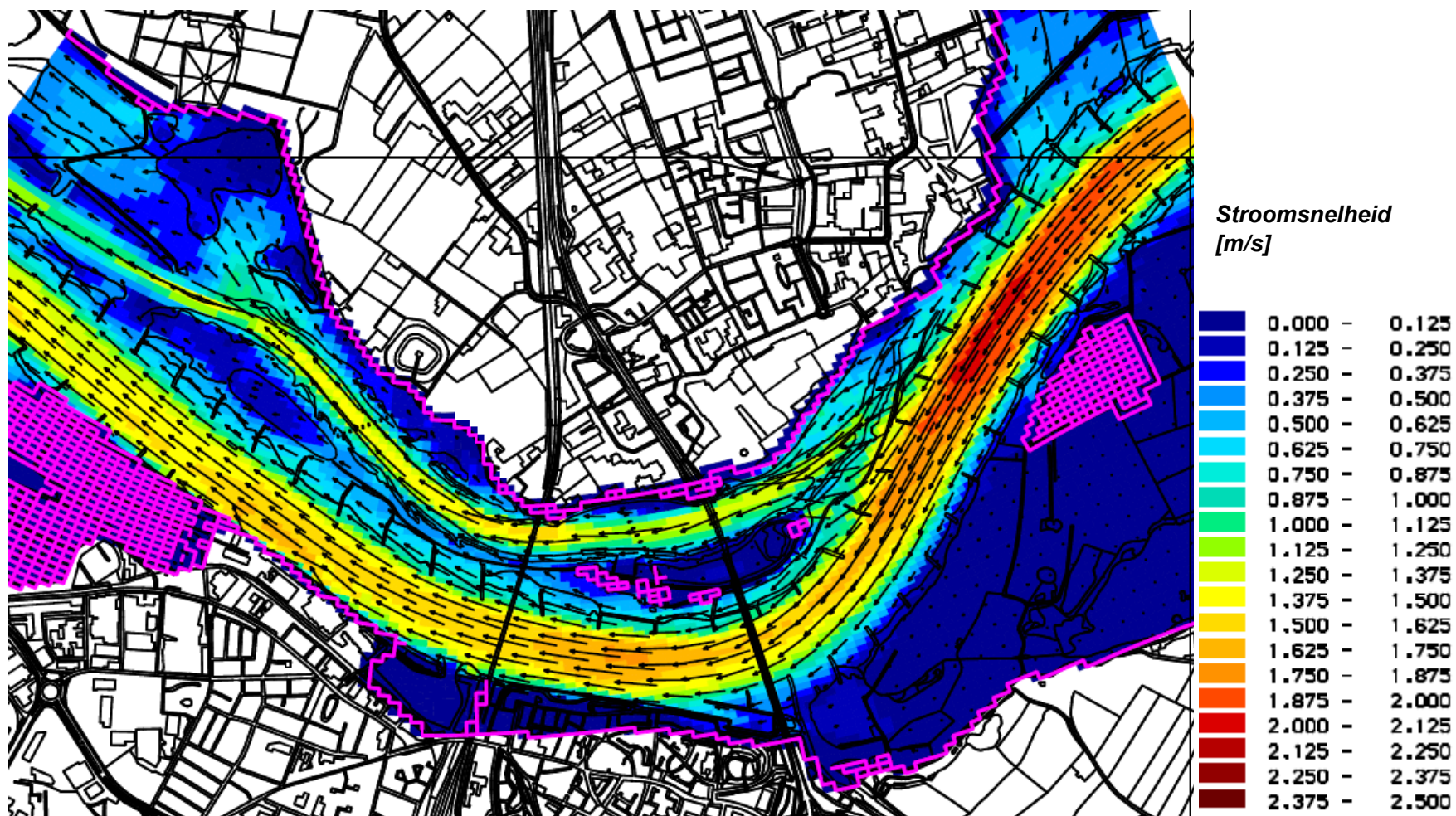
Figuur 7.1: Stroomsnelheden (m/s) en richting in de huidige situatie bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s. Bron lijnen: Top10Raster(c)TD Kadaster



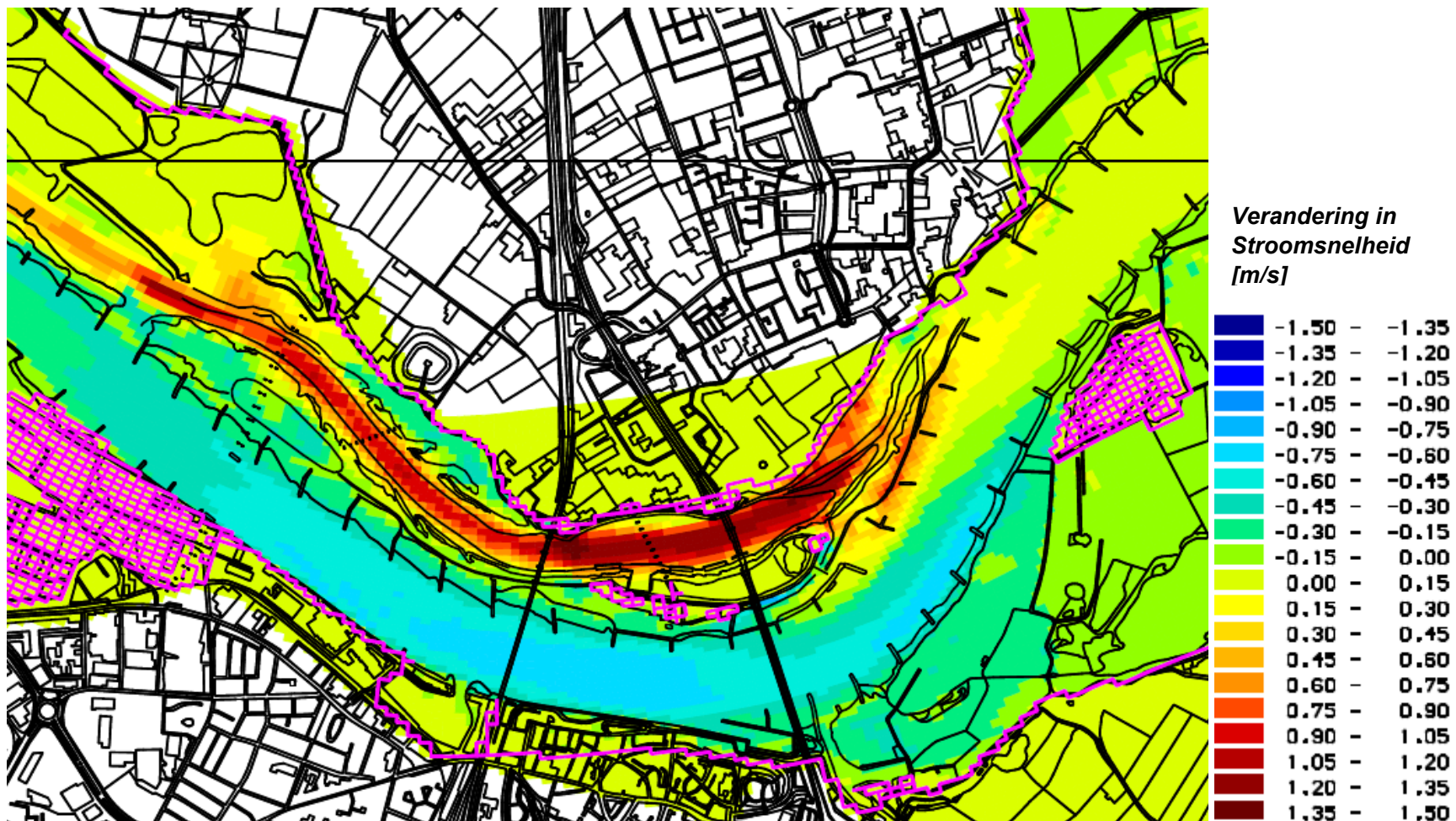
Figuur 7.2: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor variant Klassiek bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s. Bron lijnen: Top10Raster(c)TD Kadaster



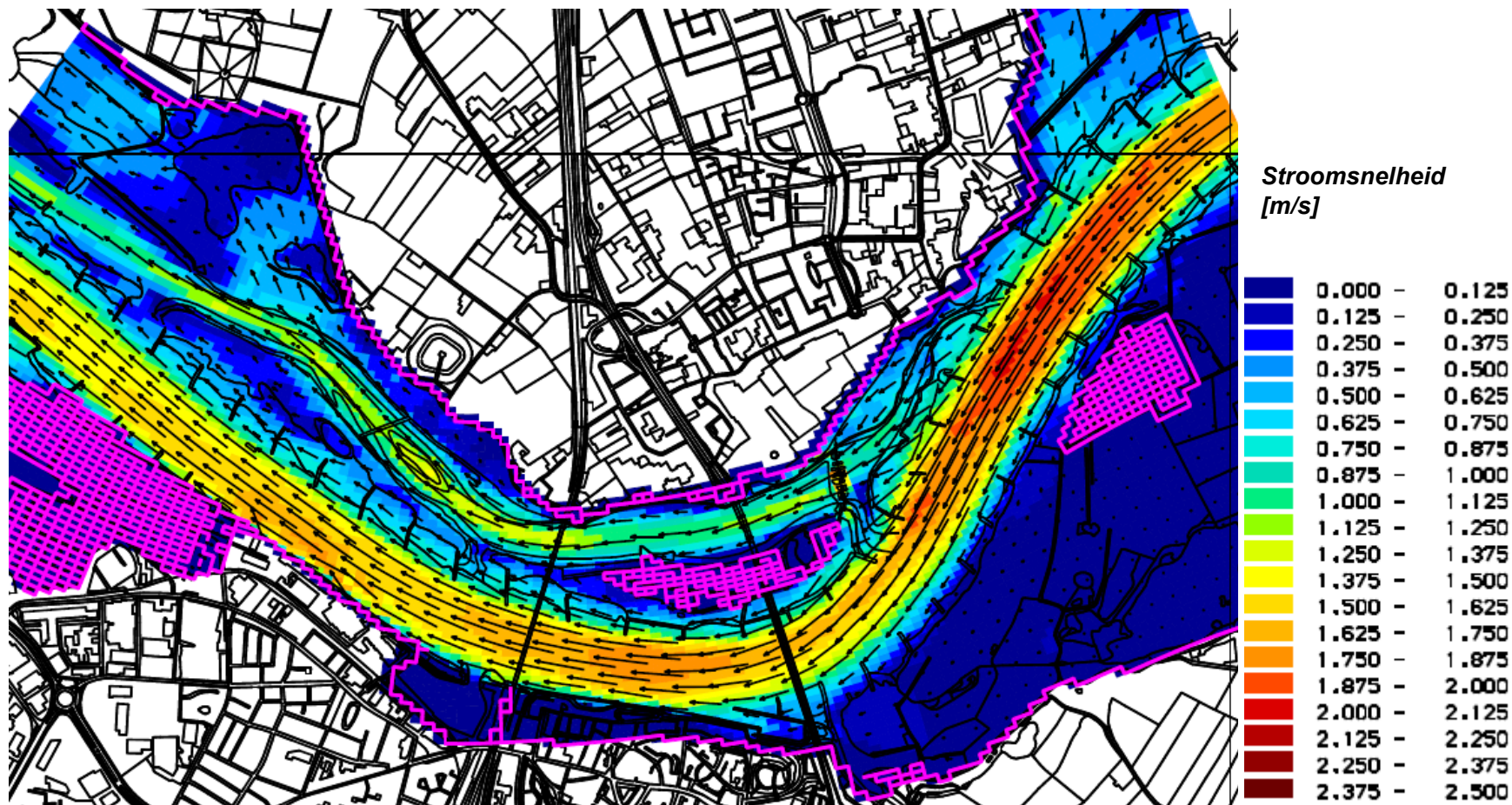
Figuur 7.3: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen variant Klassiek en de huidige situatie bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s. Bron lijnen: Top10Raster(c)TD Kadaster



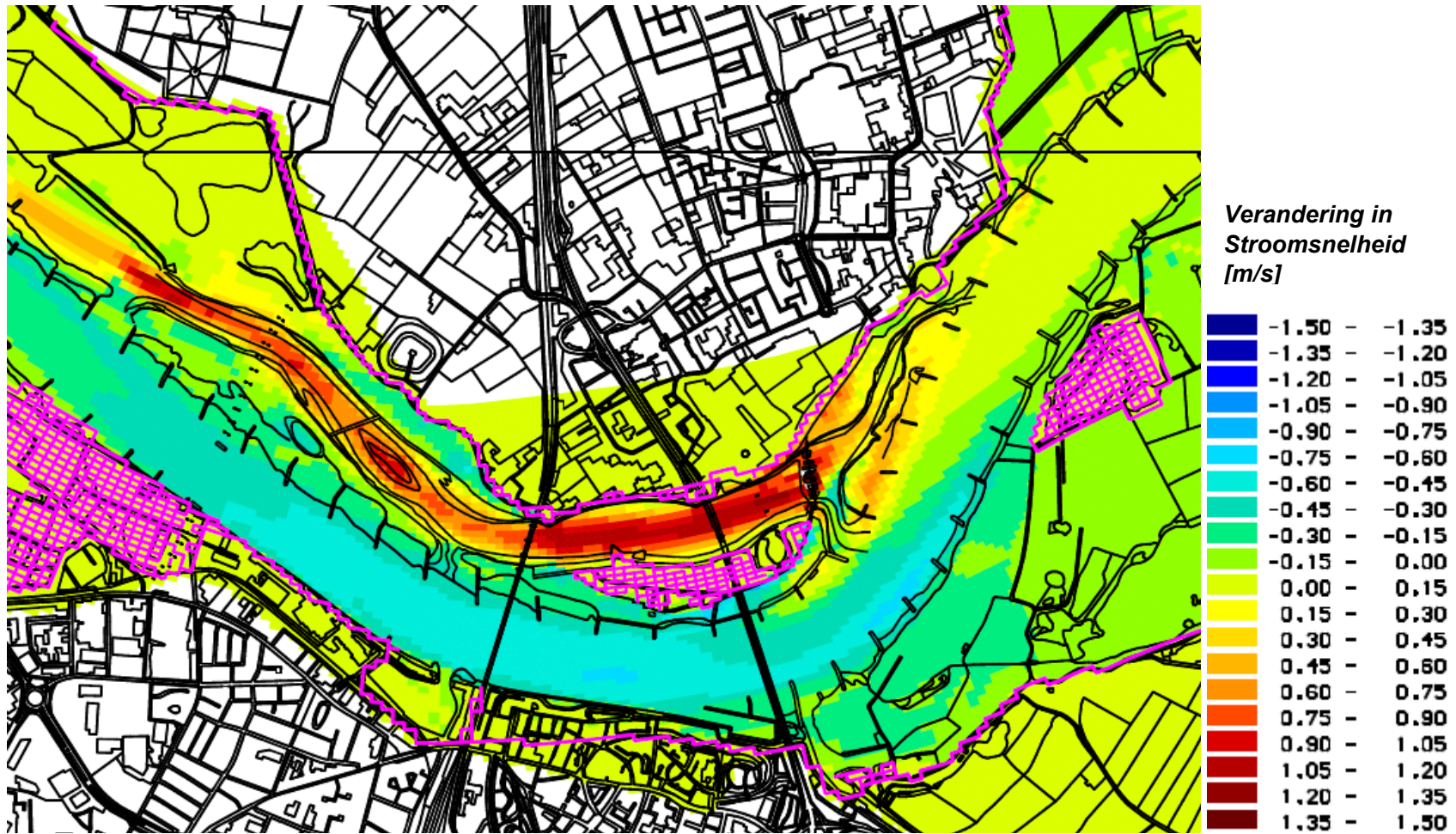
Figuur 7.4: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor variant Mozaïek bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s. Bron lijnen: Top10Raster(c)TD Kadaster



Figuur 7.5: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen variant Mozaïek en de huidige situatie bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s. Bron lijnen: Top10Raster(c)TD Kadaster



Figuur 7.6: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor variant Dynamiek bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s. Bron lijnen: Top10Raster(c)TD Kadaster



Figuur 7.7: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen variant Dynamiek en de huidige situatie bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s. Bron lijnen: Top10Raster(c)TD Kadaster





## 8 EFFECTEN STROOMBEELD IN- EN UITSTROOMOPENINGEN (ASPECT 2.3)

Bij aangetakte nevengeulen kunnen bij lage afvoeren dwarsstromingen optreden bij de in- en uitstroomopeningen van de geulen. Deze dwarsstromingen kunnen hinderlijk zijn voor de scheepvaart en de veiligheid (navigatie) nadelig beïnvloeden. Als beoordelingseis (aspect 2.3 uit tabel 4 van het beoordelingskader) geldt dat op de rand van de vaargeul (denkbeeldige lijn tussen de bakens op de kribkop) de lokale stroomsnelheden loodrecht op de vaargeul niet hoger mogen zijn dan 0,3 m/s bij een geulvullende (nevengeul) afvoer van maximaal 50 m<sup>3</sup>/s. Bij afvoeren hoger dan 50 m<sup>3</sup>/s is nader onderzoek nodig, waarbij als vuistregel geldt dat de stroomsnelheid loodrecht op de vaargeul niet hoger mag zijn dan 0,15 m/s.

De stroomsnelheden bij de in- en uitstroomopeningen zijn bij een afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s beoordeeld. Deze afvoer heeft een overschrijdingsfrequentie van 25 dagen per jaar. Bij deze afvoer is sprake van een geulvullende afvoer van het zomerbed (de kribvakken stromen mee) en daarmee, volgens de definitie, ook van de nevengeul. De nevengeul bij Mozaïek en Klassiek begint echter mee te stromen vanaf ca. 4.600 m<sup>3</sup>/s (NAP+10,5 m), deze afvoer is hoger dan de strikt geulvullende afvoer. Bij afvoeren hoger dan ca. 4.600 m<sup>3</sup>/s, waarbij de drempel overstroomt, is er sprake van één grote instroomopening waarbij water over de gehele oever van de Lentse Waard richting de nevengeul stroomt. Het water stroomt vervolgens beneden de bruggen over een grote oeverlengte van de Oosterhoutse waarden terug de hoofdgeul in.

In variant Klassiek is bij een geulvullende afvoer sprake van één opening bij de Oosterhoutse plassen en één smalle opening bij de Lentse strang. Deze openingen zijn onveranderd ten opzichte van de huidige situatie. Figuur 8.1 toont de stroomsnelheden in het projectgebied bij een afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s.

De opening van de Lentse strang is zo smal dat deze niet goed in WAQUA kan worden geschematiseerd. Omdat de strang eenzijdig aangetakt is en de opening zeer smal, zijn hier echter geen hinderlijke stroomsnelheden dwars op de vaargeul te verwachten.

Ook bij de opening van de Oosterhoutse waarden zijn de stroomsnelheidscomponenten loodrecht op de vaargeul nihil (< 0,05 m/s) (figuur 8.4).

De Oosterhoutse plas, met daaraan de nevengeul, onttrekt geen water bij deze afvoer. De stroomrichting is parallel aan de stroomrichting op de vaargeul.

In variant Mozaïek is bij een geulvullende afvoer sprake van enkel een opening bij de Oosterhoutse plassen. Deze opening is onveranderd ten opzichte van de huidige situatie. De situatie is hiermee vergelijkbaar met de situatie in variant Klassiek. Figuur 8.2 toont de stroomsnelheden in het projectgebied bij een afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s. De nevengeul begint nabij kmr 882,2 net mee te stromen (figuur 8.5). De waterstand (NAP+10,28 m) is hier lokaal net iets hoger dan maaiveldniveau, waardoor de geul begint mee te stromen. De geul onttrekt ca. 20 m<sup>3</sup>/s aan de hoofdgeul (<1%). De maximale stroomsnelheden zijn maximaal 0,25 m/s dwars op de vaargeul bij de kribwortel (0,4 m/s onder hoek van 45 graden). Op de rand van de vaargeul zijn de dwarsstroomsnelheden maximaal 0,1 m/s (0,55 m/s onder hoek van 10 graden). Bij de opening van de Oosterhoutse waarden zijn de stroomsnelheidscomponenten loodrecht op de vaargeul nihil (0,1 m/s), ondanks dat bij de opening 20 m<sup>3</sup>/s terugstroomt naar de hoofdgeul (figuur 8.6). De uitstroming beïnvloedt in de nabijheid van deze oever dus nauwelijks de richting van de (hoofd-) stroom.

In variant Dynamiek is bij een geulvullende afvoer sprake van meerdere permanent watervoerende openingen. De nevengeul is via een inlaatwerk direct gekoppeld aan de Lentse strang. De strang staat aan twee zijden in directe verbinding met de hoofdgeul. In de Oosterhoutse Waard heeft de nevengeul nog twee openingen, één direct benedenstrooms van de spoorbrug bij kmr 884,8 en de huidige opening bij de Oosterhoutse plassen. Figuur 8.3 toont de stroomsnelheden bij een afvoer van  $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ .

De bovenstroomse opening in de Lentse waard heeft een smalle opening van ca. 10 m met een bodemniveau van ca. NAP+6 m. Doordat deze opening zo smal is wordt deze in WAQUA niet correct geschematiseerd door het te grove rekengrid, zie figuur 8.7. Hierdoor wordt in WAQUA bij deze afvoer geen onttrekking door deze opening berekend. In werkelijkheid zal deze onttrekking er wel zijn. Een grove inschatting op basis van stromingsvergelijkingen is dat de onttrekking door deze opening maximaal ca.  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  (ca. 2%) zal zijn. De stroomsnelheidscomponenten loodrecht op de vaargeul, berekend op de rand van de vaargeul, zijn bij deze onttrekking zeer waarschijnlijk groter dan 0,15 m/s.

De benedenstroomse opening van de strang is ca. 100 m breed en heeft een bodemniveau van NAP+3 m. Bij deze opening zijn de stroomsnelheden dwars op de vaargeul op de rand van de vaargeul kleiner dan 0,15 m/s, zie figuur 8.8. WAQUA berekent een onttrekkingsdebiet van  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  welke door de doorlaatbare inlaatdrempel de nevengeul in stroomt. Dit zal wederom een onderschatting zijn door WAQUA, doordat de drempel te grof is geschematiseerd door het grove rekengrid. In werkelijkheid zal het debiet door de doorlaatbare drempel groter zijn. Het waterstandsverschil tussen de boven- en benedenstroomse zijde van de drempel is ca 30 tot 35 cm. Op basis van dit verval en op basis van een grove inschatting met stromingsvergelijkingen worden afvoeren door de geul verwacht van ca.  $150 - 200 \text{ m}^3/\text{s}$  (5-7%). De capaciteit (breedte en diepte) van de geul is zo hoog, dat zich nauwelijks verhang zal opbouwen in de geul. De stroomsnelheden ter plaatse van de geultjes in de doorlaatbare drempel zullen groot zijn, ca 3 - 4 m/s. Van de 150 tot  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  die door de doorlaatbare drempel de nevengeul zal instromen, wordt maximaal  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  aangeleverd via de bovenstroomse opening van de Lentse strang en ca  $100 - 150 \text{ m}^3/\text{s}$  door de benedenstroomse opening. Dit zal maken dat de stroomsnelheden op de rand van de vaargeul bij de benedenstroomse opening van de Lentse strang zeer waarschijnlijk ook groter zijn dan 0,15 m/s loodrecht op de vaargeul.

In de eerste opening naar de nevengeul in de Oosterhoutse Waard bij kmr 884,8 wordt (volgens WAQUA) een afvoer van  $190 \text{ m}^3/\text{s}$  onttrokken. De stroomsnelheden op de rand van de vaargeul zijn ca. 0,25 m/s (0,75 m/s onder hoek van 20 graden) dwars op de vaargeul. Deze stroomsnelheden zijn weergegeven in figuur 8.9. Doordat WAQUA de afvoer door de doorlaatbare drempel onderschat, kan de bijdrage door de opening bij de spoorbrug mogelijk een overschatting zijn. Echter de capaciteit van de geul is zo groot dat er mogelijk voldoende capaciteit is om én de  $150-200 \text{ m}^3/\text{s}$  door de doorlaatbare drempel en de  $190 \text{ m}^3/\text{s}$  door de opening bij de spoorbrug af te voeren.

Figuur 8.10 toont de stroomsnelheden bij de uitstroomopening bij de Oosterhoutse plassen. De berekende stroomsnelheden op de rand van de vaargeul zijn ca. 0,35 m/s dwars op de vaargeul (0,5 m/s onder hoek van 45 graden). WAQUA berekent bij deze opening een lozing van ca.  $230 \text{ m}^3/\text{s}$  op de hoofdgeul. In werkelijkheid zal dit groter zijn doordat de doorlaatbare drempel meer water zal onttrekken dan in WAQUA wordt berekend. De verwachting is dat dit een lozing zal zijn van ca.  $300 - 400 \text{ m}^3/\text{s}$  (10-14%).

Dit zal maken dat de werkelijke stroomsnelheden dwars op de vaargeul hoger zullen zijn.

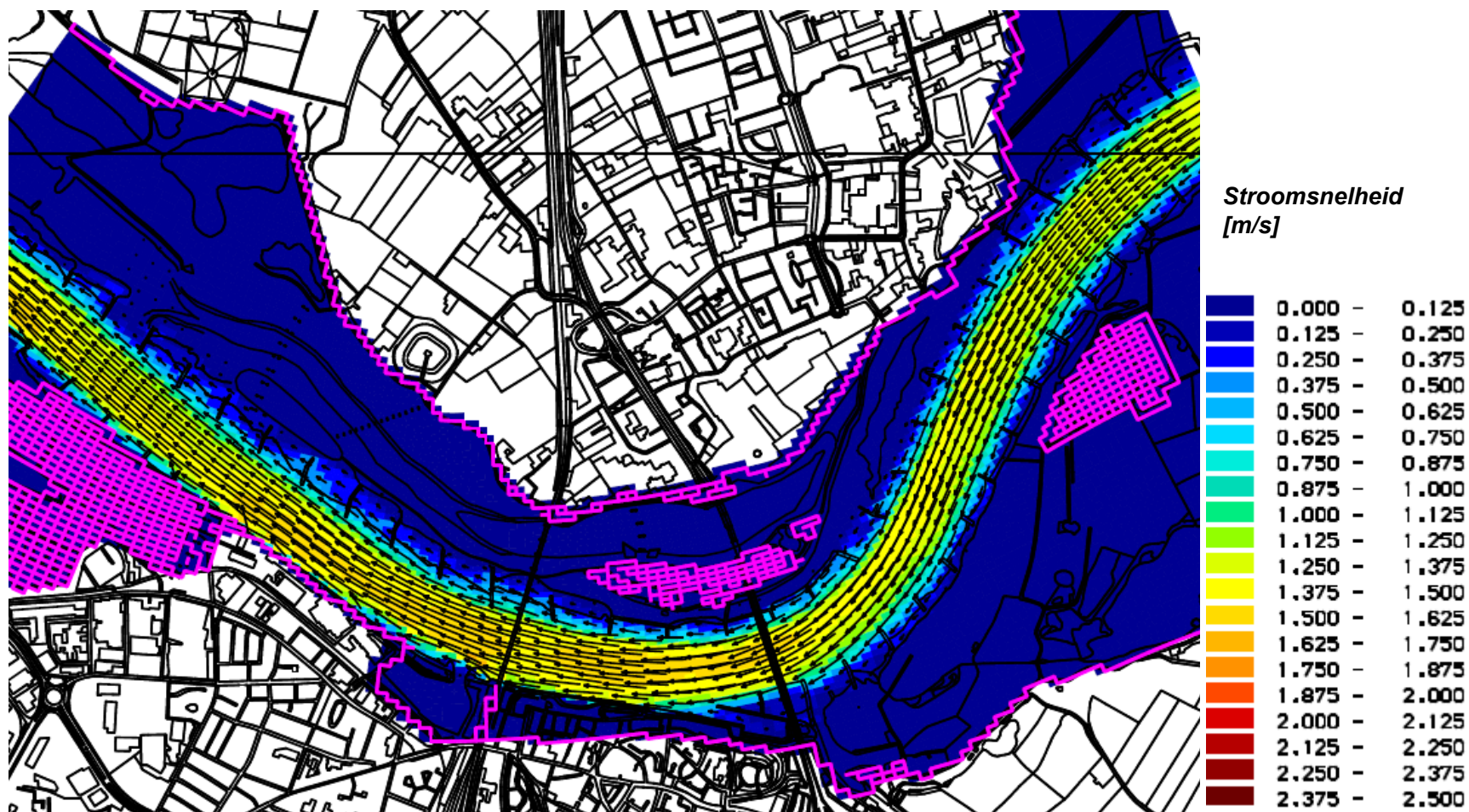
Op basis van de bovenstaande opgesomde stroomsnelheden en onttrekking- en lozingsdebieten kan het volgende over elk van de varianten worden geconcludeerd:

- bij Klassiek en Mozaïek treden bij een geulvullende afvoer geen hinderlijke stroomsnelheden op;
- bij Dynamiek zijn de stroomsnelheden dwars op de vaargeul gemeten op de rand van de vaargeul hoger dan de richtlijn aangeeft bij alle 4 de in- en uitstroomopeningen. Ook geldt dat het onttrekkingsdebiet of lozingsdebiet hoger is dan  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  voor elk van de openingen. Aandachtspunt is dat het grove rekengrid van WAQUA niet voldoende in staat is om het gedetailleerde ontwerp van de doorlaatbare drempel en de bovenstroomse opening in de Lentse waard correct te modelleren. Hierdoor onderschat WAQUA de hoeveelheid afvoer door de nevengeul. Hierdoor zijn ook de berekende snelheden bij de in- en uitstroomopeningen van deze variant een onderschatting. Ondanks deze onderschatting tonen de resultaten dat de stroomsnelheden al te hoog zijn. Variant Dynamiek zal daarom ongewenste dwarsstroming veroorzaken voor de scheepvaart die zeer dicht (orde 20-30m) langs de oever (kribkoppen) vaart.

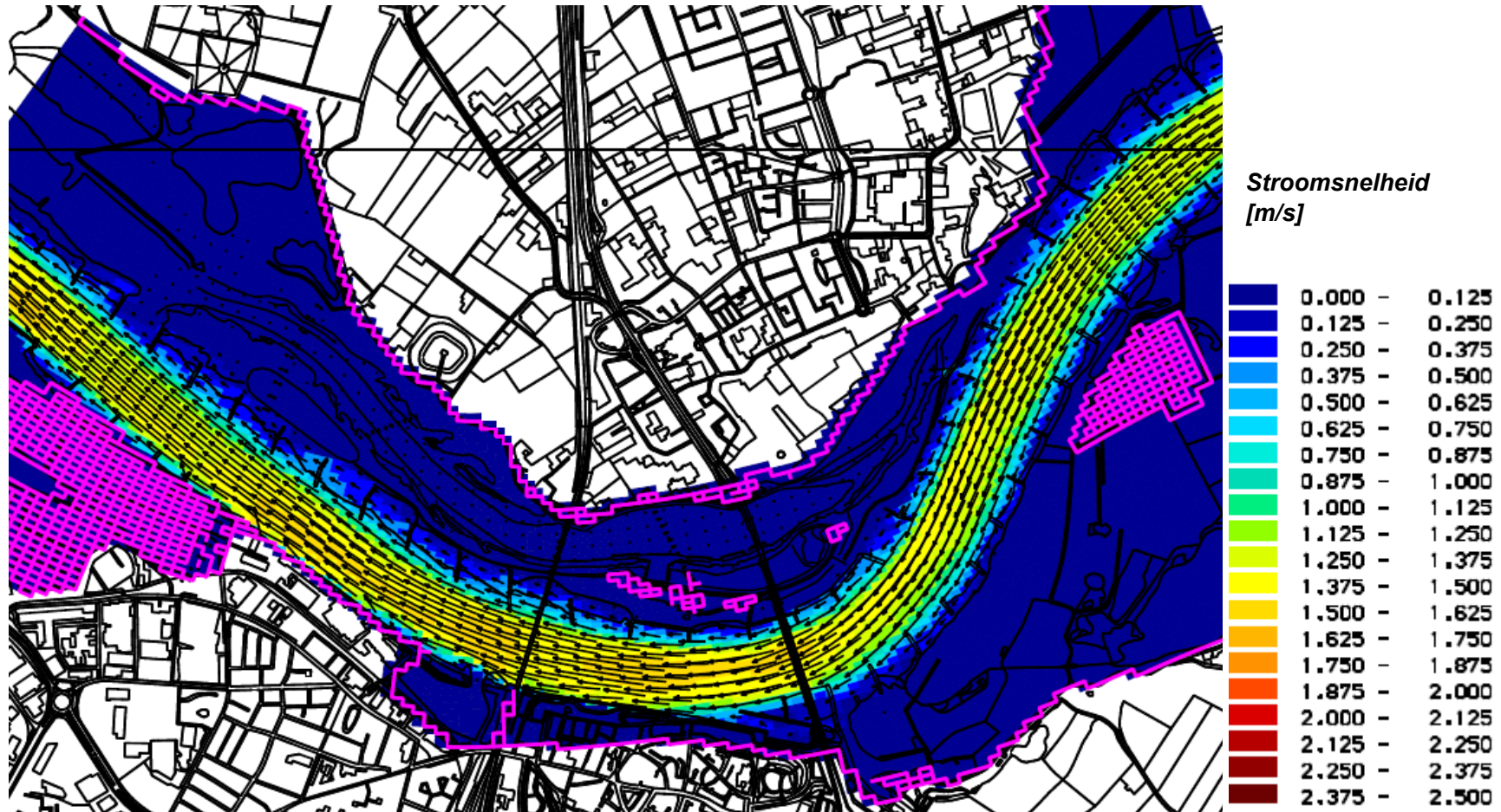
Bovenstaande punten zijn een theoretische beoordeling op basis van de beoordelingseisen. In de volgende punten wordt de beoordeling in een praktisch perspectief m.b.t. de gevolgen voor de scheepvaart geplaatst:

- het is te verwachten dat een schip dat op geringe afstand langs de (verdrongen) kribkoppen vaart nauwelijks iets zal voelen van de dwarsstroom; hij heeft daar immers ook al het veel sterkere patroon van wervelstraten en neren die elke krib veroorzaakt;
- gezien het pijltjespatroon (zie figuur 8.4 t/m 8.10) is de invloed van de stroomsnelheden dwars op de vaargeul echter heel lokaal, en het zet de schepen uit de oever (niet er naar toe). De afvaart vaart niet zo dicht langs de kribben, dus die merkt niets. De opvaart, die zo min mogelijk tegenstroom wil, vaart wel dicht langs de oever, maar wordt door de uitstroming juist uit de oever gezet, en dat geeft weinig risico (tenzij er toch afvaart is die te dicht langs komt, echter zeer kleine kans);
- op een rivier is iedereen alert op stroom, de beroepsvaart zal op de dwarsstroom, al dan niet overschrijdende de beoordelingseis, anticiperen;

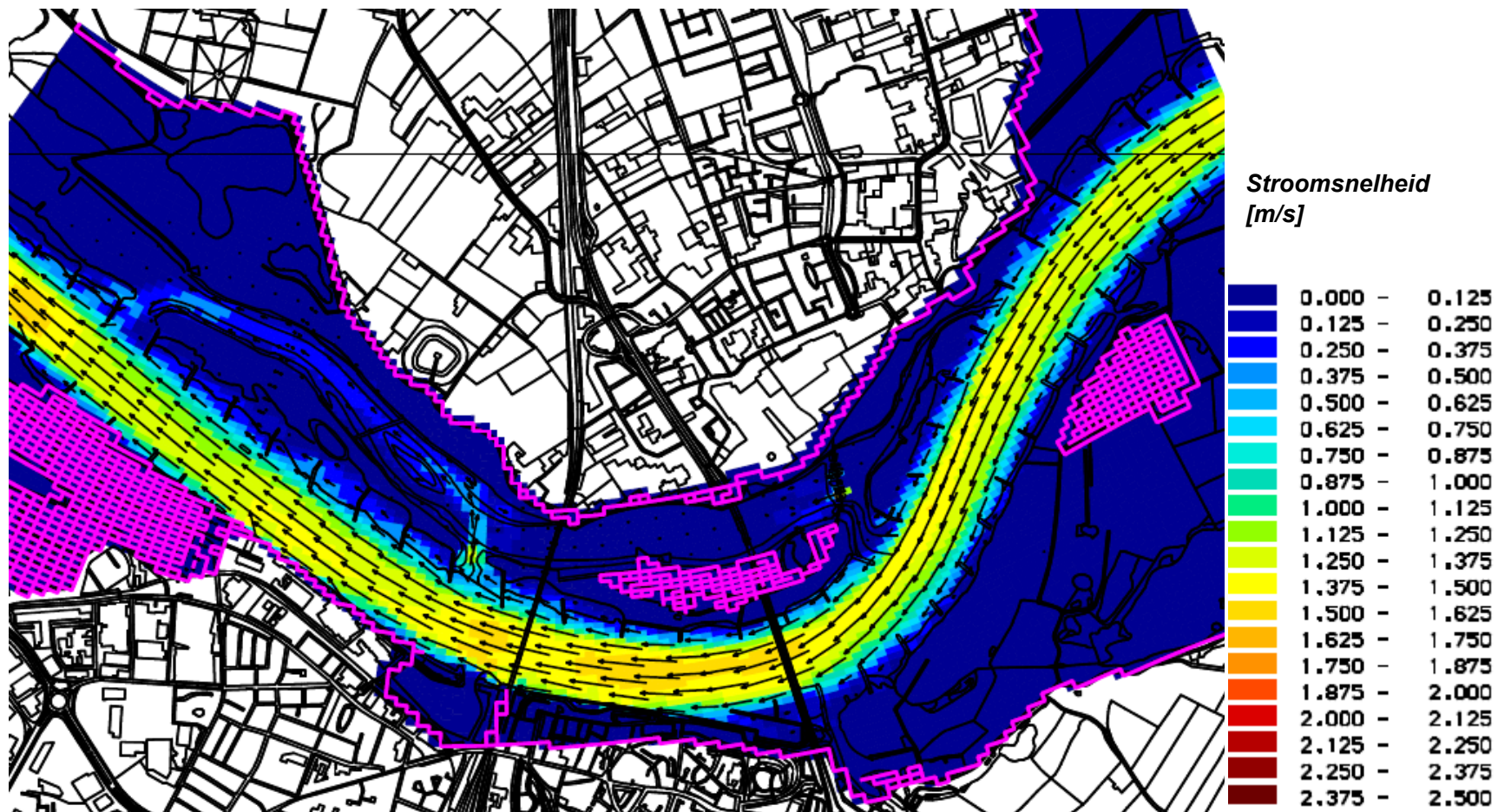




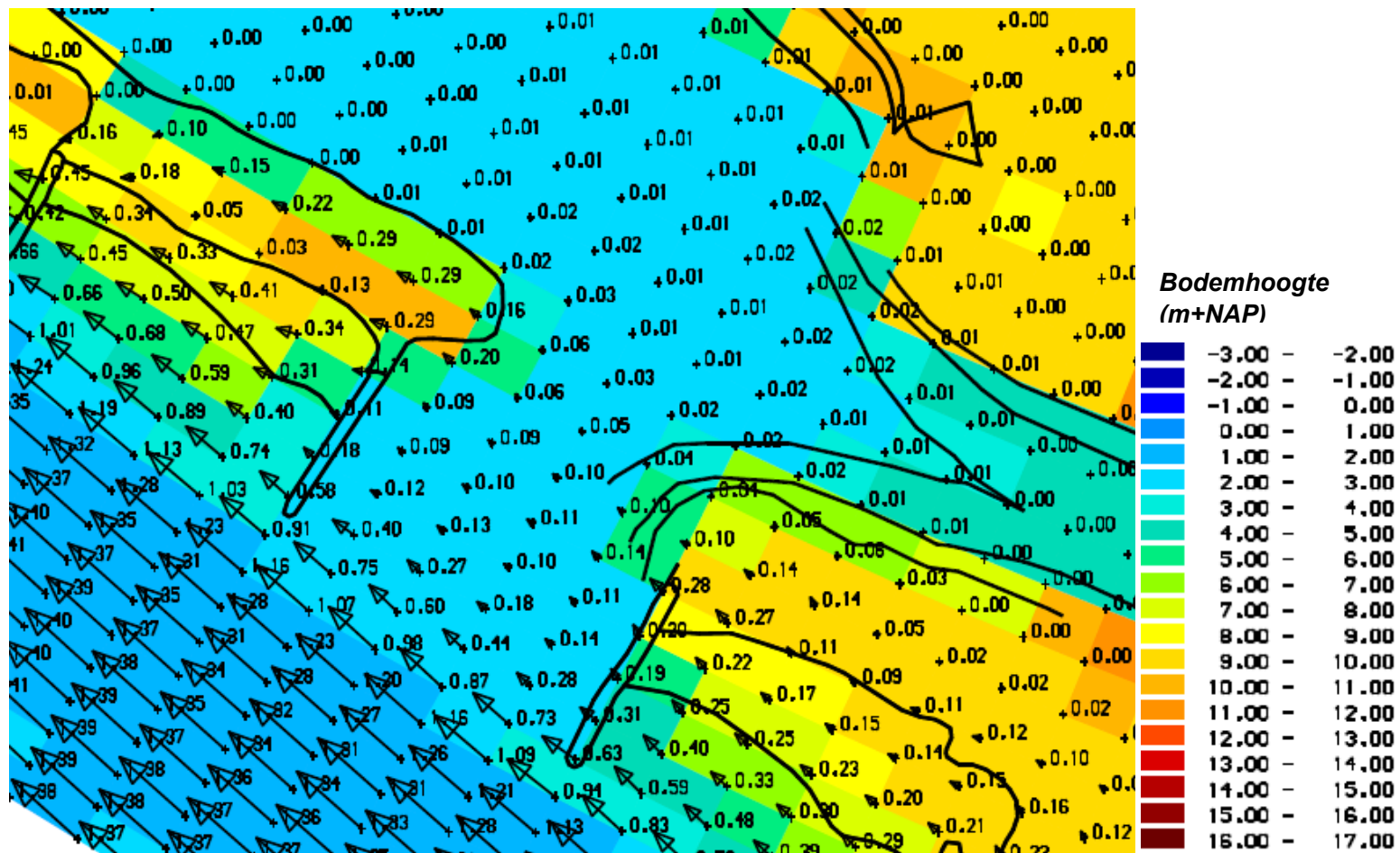
Figuur 8.1: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor variant Klassiek bij een afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s. Top10Raster(c)TD Kadaster



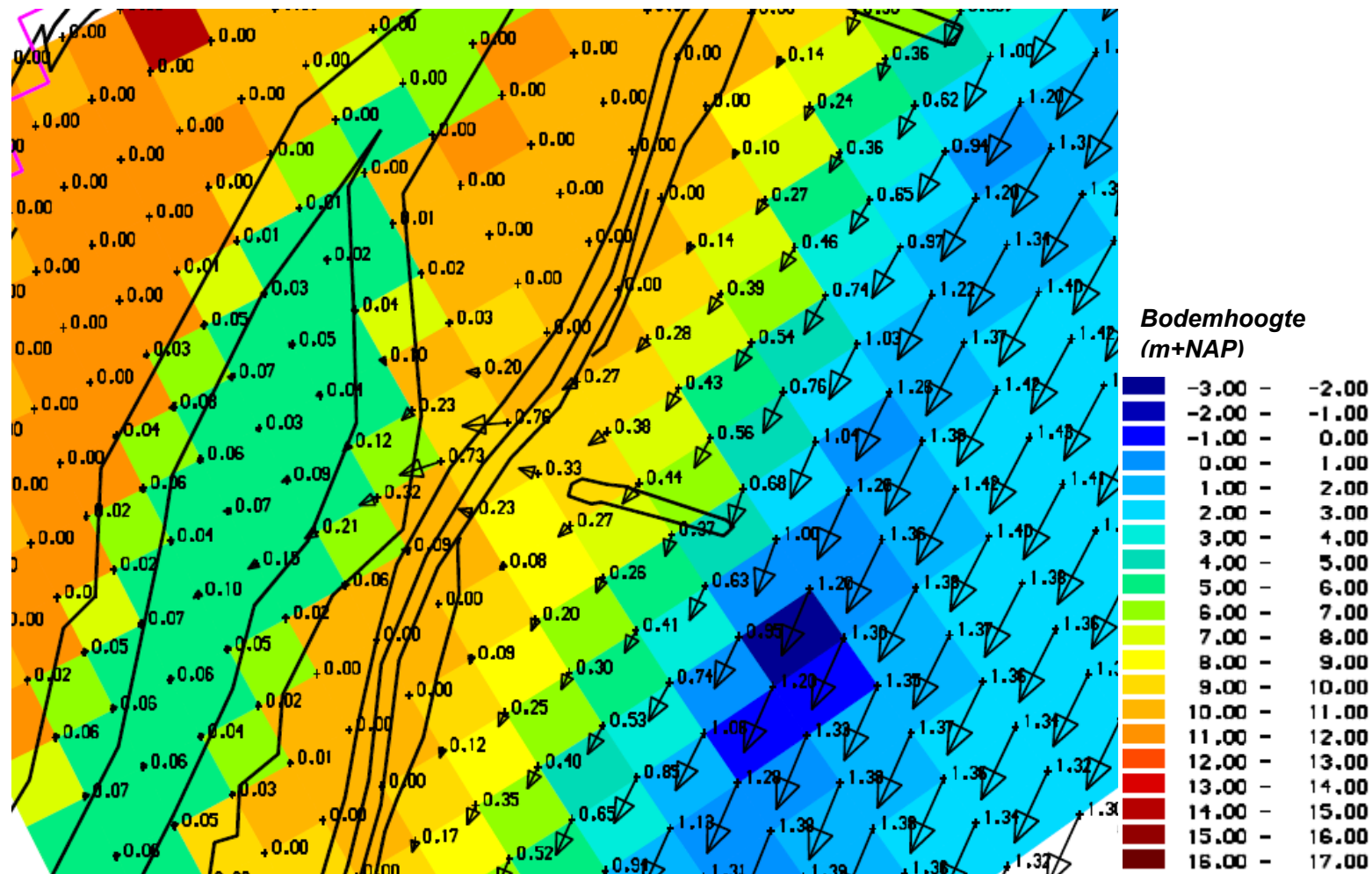
Figuur 8.2: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor variant Mozaïek bij een afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s. Top10Raster(c)TD Kadaster



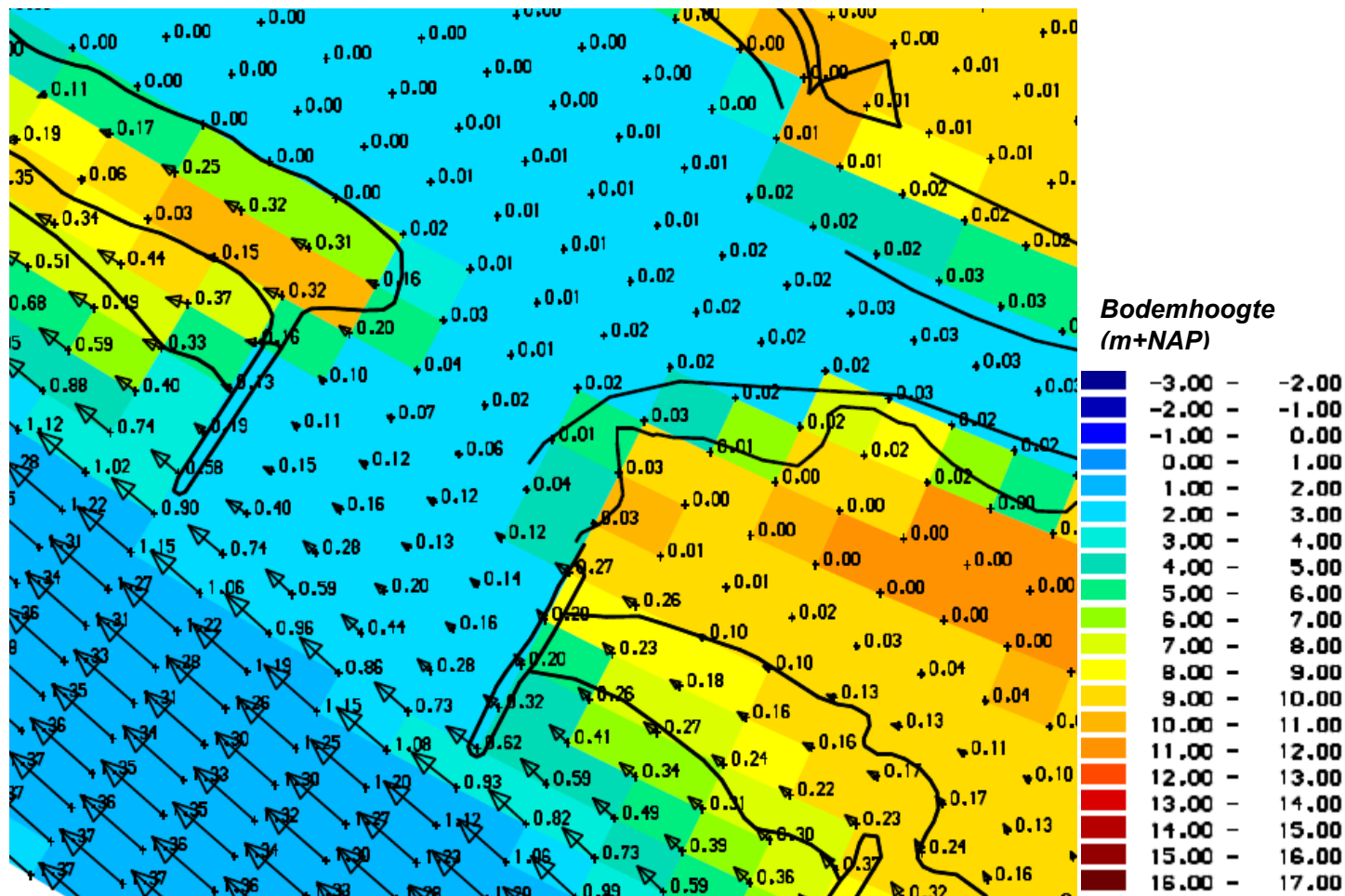
Figuur 8.3: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor variant Dynamiek bij een afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s. Top10Raster(c)TD Kadaster



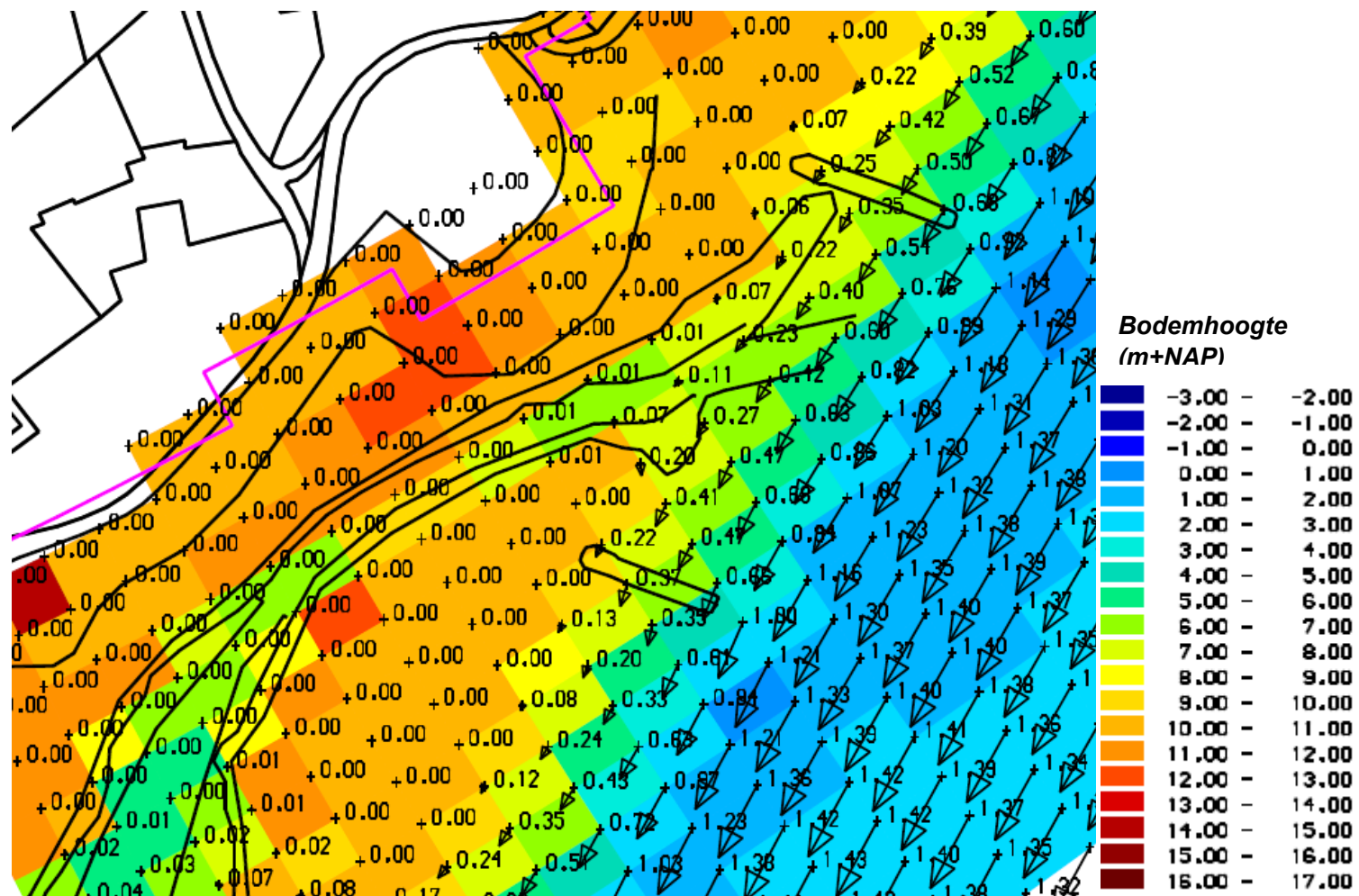
Figuur 8.4: Stroomsnelheden en richting bij de uitstroomopening van de Oosterhoutse Plas en nevengeul bij 4.000 m<sup>3</sup>/s voor variant Klassiek. Onderliggend is de bodemhoogte geplot



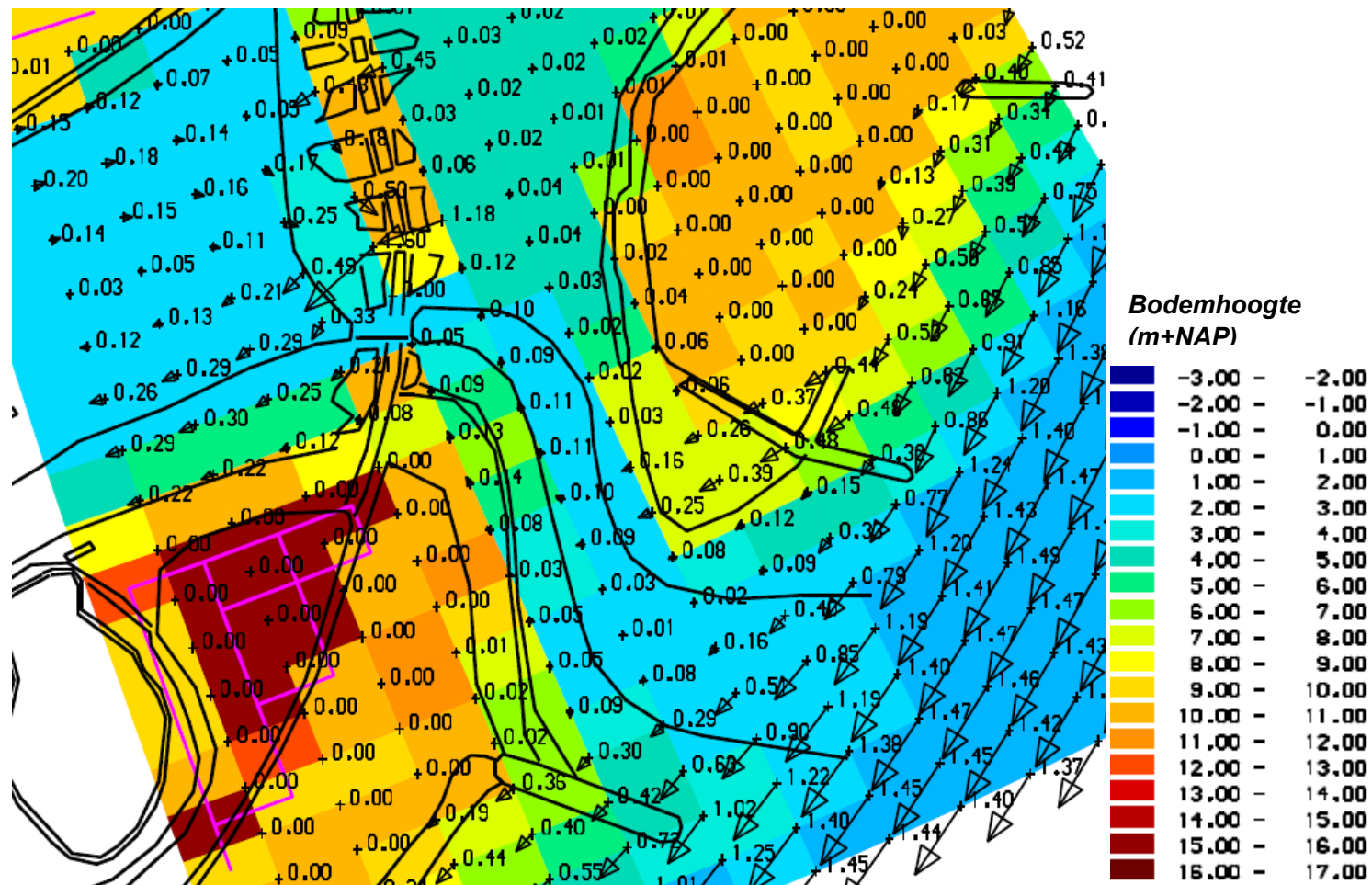
Figuur 8.5: Stroomsnelheden en richting bij een instroompunt in de Lentse Waard bij 4.000 m<sup>3</sup>/s voor variant Mozaïek. Onderliggend is de bodemhoogte geplot



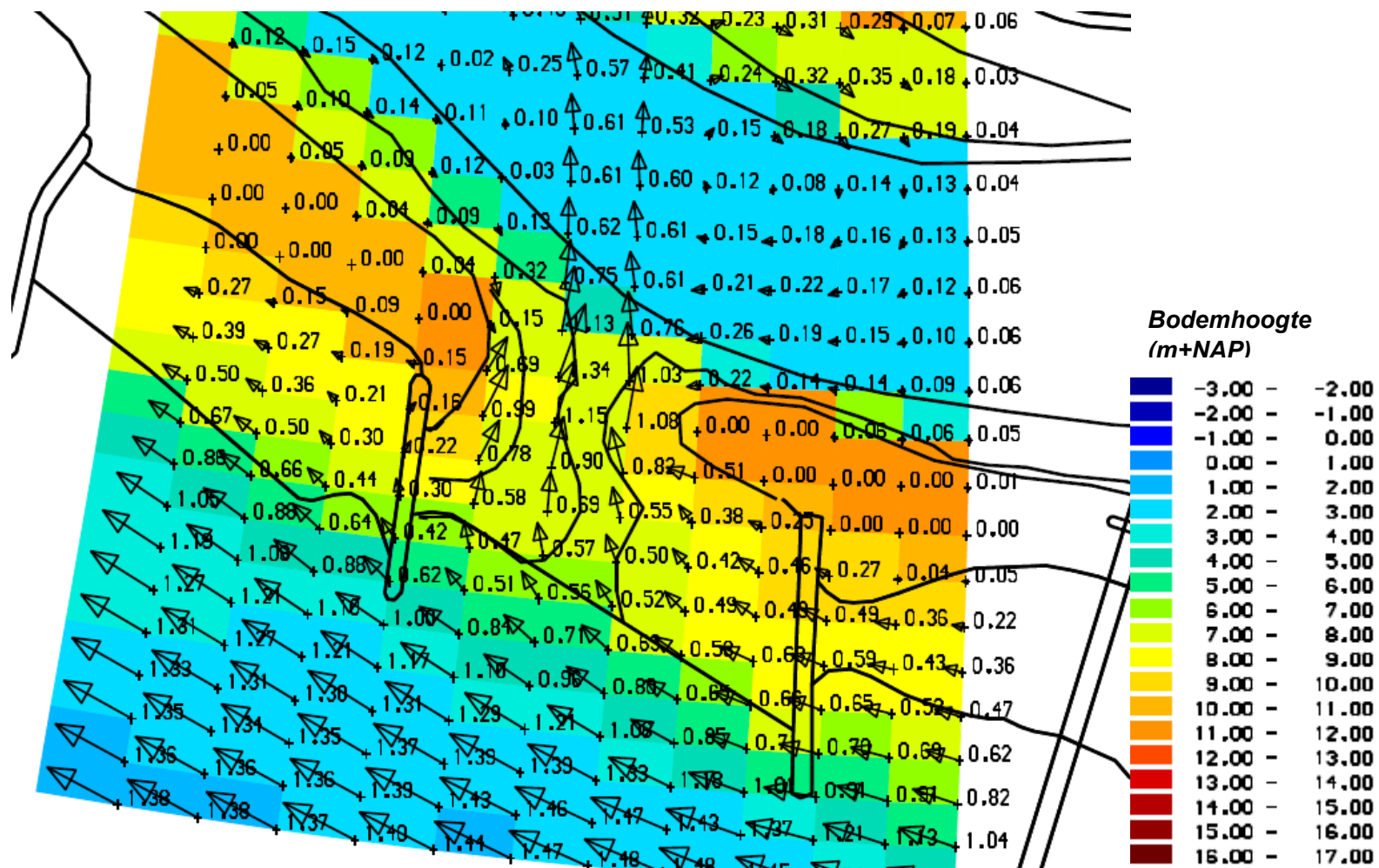
Figuur 8.6: Stroomsnelheden en richting bij de uitstroomopening van de Oosterhoutse Plas en nevengeul bij 4.000 m<sup>3</sup>/s voor variant Mozaïek. Onderliggend is de bodemhoogte geplot



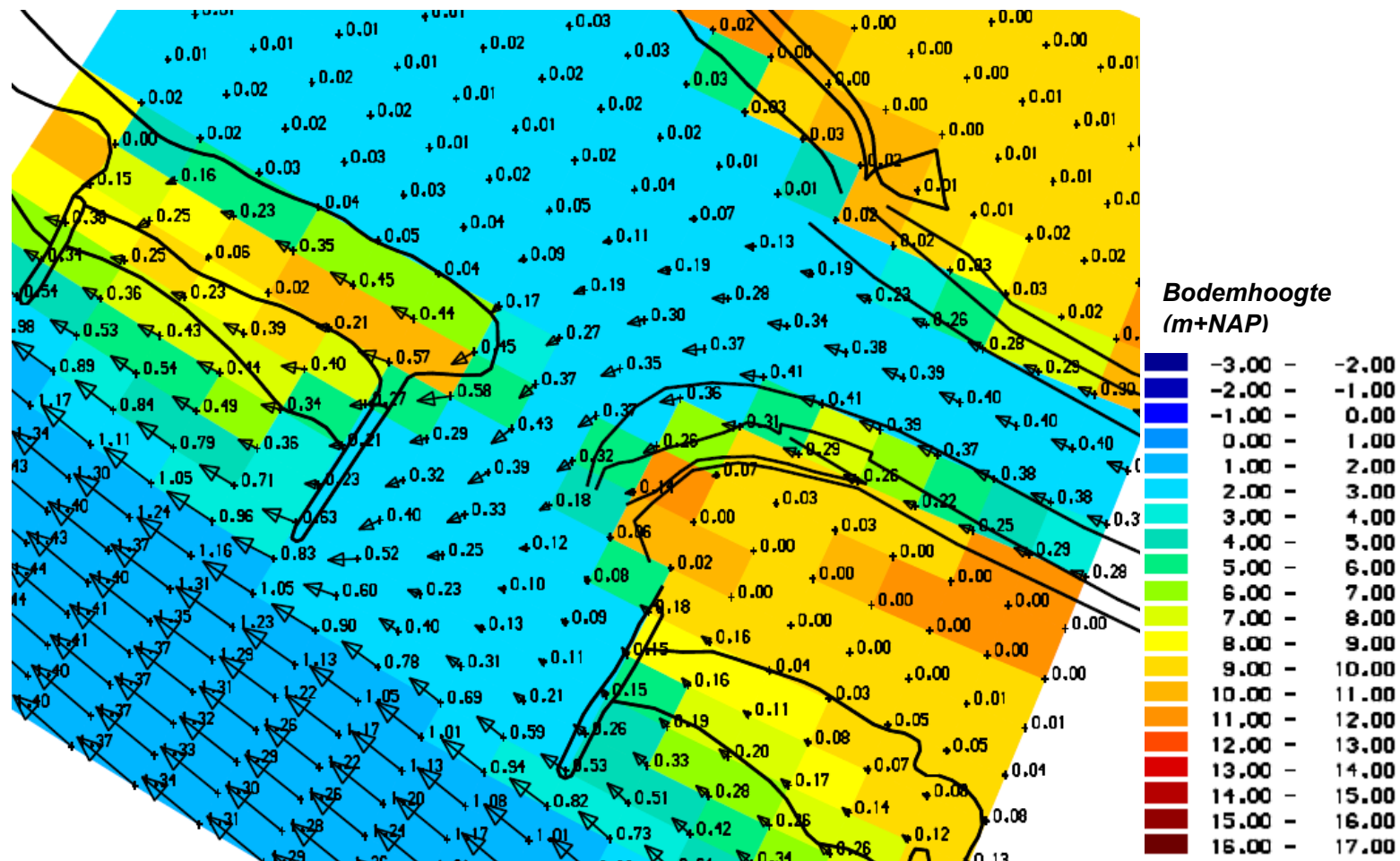
Figuur 8.7: Stroomsnelheden en richting bij de bovenstroomse instroomopening van de Lentse Waard bij 4.000 m<sup>3</sup>/s voor variant Dynamiek. Onderliggend is de bodemhoogte geplot



Figuur 8.8: Stroomsnelheden en richting bij de benedenstroomse opening (de 2<sup>e</sup> opening, toegankelijk voor scheepvaart) van de Lentse Waard bij 4.000 m<sup>3</sup>/s voor variant Dynamiek. Onderliggend is de bodemhoogte geplote



Figuur 8.9: Stroomsnelheden en richting bij de instroomopening in de Oosterhoutse waarden (direct benedenstrooms van de spoorbrug) naar de nevengeul bij 4.000 m<sup>3</sup>/s voor variant Dynamiek. Onderliggend is de bodemhoogte geplot



Figuur 8.10: Stroomsnelheden en richting bij de uitstroomopening van de Oosterhoutse Plas en nevengeul bij 4.000 m<sup>3</sup>/s voor variant Dynamiek. Onderliggend is de bodemhoogte geplott

## 9 ROBUUSTHEID RIVIERVERRUIMING LANGE TERMIJN

In de toekomst kan het zijn dat voor het handhaven van het beschermingsniveau de MHW-afvoer wijzigt van 16.000 m<sup>3</sup>/s naar bijvoorbeeld 18.000 m<sup>3</sup>/s of hoger. In de brief van de PDR betreffende het 'Kwalitatief oordeel Ruimtelijk plan dijkteruglegging Lent' (kenmerk: ZWS31722/Q4573.03/lj) is een lange termijn doelstelling van 40 tot 42 cm waterstandsverlaging op kmr 881,5 tot 882,5 genoemd bij een afvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s. Voor de 3 varianten is beoordeeld in welke mate de varianten voldoen aan deze lange termijn doelstelling. Daarnaast is beoordeeld welke optimalisatie mogelijkheden er zijn in het ontwerp of welke lange termijn maatregelen er mogelijk zijn om deze doelstelling als nog te bereiken.

Bij een afvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s is de waterstandsverlaging beoordeeld voor de 3 varianten op basis van WAQUA berekeningen. Deze berekeningen tonen dat de waterstandsverlaging bij 18.000 m<sup>3</sup>/s nagenoeg gelijk is aan de waterstandsval bij 16.000 m<sup>3</sup>/s. De berekeningsresultaten tonen een extra waterstandsverlaging van ca. 1 tot 2 cm voor elke variant t.o.v. de daling bij 16.000 m<sup>3</sup>/s, zie tabel 9.1.

**Tabel 9.1: Maximale waterstandsval in de rivieras bij 18.000 m<sup>3</sup>/s en 16.000 m<sup>3</sup>/s voor de 3 varianten**

Afvoer bij Lobith	Klassiek	Mozaïek	Dynamiek
16.000 m <sup>3</sup> /s	-28,3 cm (kmr 881,9)	-36,4 cm (kmr 881,9)	-33,3 cm (kmr 881,9)
18.000 m <sup>3</sup> /s	-30,1 cm (kmr 881,9)	-37,5 cm (kmr 881,9)	-34,6 cm (kmr 881,9)

Voor de 3 varianten geldt dat de waterstandsval bij 18.000 m<sup>3</sup>/s nog niet voldoet aan de lange termijn doelstelling. Variant Mozaïek is met 37,5 cm waterstandsval het meest robuust, variant Klassiek met 30,1 cm het minst.

Om de lange termijn doelstelling te halen zijn aanvullende maatregelen nodig. De maatregelen waar aangedacht kan worden zijn opgesplitst in grootschalige en kleinschalige maatregelen. In het algemeen geldt dat de grootschalige maatregelen een veel grotere kostenpost met zich mee zullen brengen, dan de kleinschalige. Het opnieuw terugleggen van de banddijk is uitgesloten als maatregel.

Voor Mozaïek geldt dat mogelijk met kleinschalige aanpassing de lange termijn doelstelling reeds kan worden behaald. Voor Klassiek zal het waarschijnlijk onmogelijk zijn om zonder grootschalige maatregelen deze doelstelling te bereiken. Dynamiek ligt hier tussen in.

Bij kleinschalige maatregelen kan gedacht worden aan:

- aanpassen vegetatiebeheer in gebied zodanig dat sprake is van glad grasland en weinig begroeiing. Bij Mozaïek is hierdoor mogelijk nog één cm extra waterstandsval te halen, bij Klassiek en met name Dynamiek zal dit meer zijn (orde 2 tot 3 cm);
- in variant Klassiek en Mozaïek kan de drempel verder verlaagd worden tot bijvoorbeeld NAP+10 m. De instroombreedte blijft dan echter beperkt tot de breedte van de drempel. Het verlagen van de inlaatdrempel zal ook extra morfologische effecten betekenen;
- verwijderen of minimaliseren van stroombelemmerende objecten, zoals jachthavens en drijvende woningen. Het effect hiervan zal niet heel groot zijn, tot orde één cm;

- verwijderen stroombelemmerende objecten in Lentse Waard en Oosterhoutse Waard. Hierbij is te denken aan bomerijen, lokale kades. Er zijn echter niet veel echt stroombelemmerende objecten in het gebied, het effect hiervan zal dus klein zijn.

Bij grootschalige maatregelen kan gedacht worden aan:

- uiterwaardverlaging tussen zomerbed en eiland waardoor de afvoercapaciteit van zomerbed in de bocht bij Nijmegen verder toeneemt. Deze maatregel is voor elke variant mogelijk, echter voor variant Mozaïek is deze maatregel waarschijnlijk niet noodzakelijk om 40cm waterstandsdeling te bereiken. Voor variant Klassiek is deze maatregel waarschijnlijk wel noodzakelijk om te voldoen aan de lange termijn doelstelling;
- vervangen van de kribben tegenover de Waalkade door een langskrib of eilandkrib;
- voor variant klassiek geldt dat het benedenstroomse gedeelte van de nevengeul (deel door Oosterhoutse waarden) verder verdiept en verbreed kan worden. Hierdoor zal het waterstandseffect meer in de lijn liggen met die van Dynamiek;
- verplaatsen drempel in variant Klassiek en Dynamiek zodat de effectieve instroombreedte van de nevengeul wordt vergroot. Hierdoor zal er meer water de geul in kunnen stromen, zoals bij Mozaïek het geval is.

De genoemde getallen, als maat voor de mogelijke waterstandsdeling in de as van de rivier, in bovenstaande opsomming, zijn een eerste inschatting. De uiteindelijke extra waterstandsdeling moet met modelberekeningen ondersteund worden.

## 10 CONCLUSIES

De belangrijkste conclusies uit de hydraulische beoordeling van de varianten Klassiek, Mozaïek en Dynamiek zijn in tabel 10.1 overzichtelijk weergegeven per beoordeeld aspect.

**Tabel 10.1: Conclusies beoordeelde aspecten**

Beoordeeld aspect	Effect / voorwaarde	Variante	Conclusie
Aspect 1.1: MHW stand op de as van de rivier (Hoofdstuk 4.1)	Waterstandverlaging in rivieras $\geq 27$ cm op kmr 881,5 tot 882,5	Klassiek	Maximale verlaging is 28,3 cm op kmr 881,9
		Mozaïek	Maximale verlaging is 36,4 cm op kmr 881,9
		Dynamiek	Maximale verlaging is 33,3 cm op kmr 881,9
Aspect 1.2: MHW stand binnen een uiterwaard (Hoofdstuk 4.2)	Toename waterstand aan de bandijk. Ter acceptatie voorleggen aan dijkbeheerder	Klassiek	Maximale opstuwing langs Oosterhoutsedijk is 4,6 cm Maximale opstuwing langs de Waalkade is 6,1 cm
		Mozaïek	Maximale opstuwing langs Oosterhoutsedijk is 7,1 cm Maximale opstuwing langs de Waalkade is 7,6 cm
		Dynamiek	Maximale opstuwing langs Oosterhoutsedijk is 6,7 cm Maximale opstuwing langs de Waalkade is 7,1 cm
Aspect 1.3 Afvoerverdeling bij MHW bij Pannerdensche Kop (Hoofdstuk 5)	Afwijking afvoerverdeling $< 5$ m <sup>3</sup> /s t.o.v. referentie Beoordeeld bij afvoer van 15.000 m <sup>3</sup> /s  <i>Note: Een project met een waterstandsvaling van 27 cm zal ca. 110 m<sup>3</sup>/s extra naar de Waal veroorzaken</i>	Klassiek	Wijziging van 116 m <sup>3</sup> /s extra naar de Waal Ten opzichte van een ontwerp dat precies de taakstelling bewerkstelligd (27 cm waterstandsvaling) is het relatieve verschil ca. 6 m <sup>3</sup> /s
		Mozaïek	Wijziging van 151 m <sup>3</sup> /s extra naar de Waal Ten opzichte van een ontwerp dat precies de taakstelling bewerkstelligd (27 cm waterstandsvaling) is het relatieve verschil ca. 41 m <sup>3</sup> /s
		Dynamiek	Wijziging van 139 m <sup>3</sup> /s extra naar de Waal Ten opzichte van een ontwerp dat precies de taakstelling bewerkstelligd (27 cm waterstandsvaling) is het relatieve verschil ca. 29 m <sup>3</sup> /s
Aspect 2.1: Inundatiefrequentie van de uiterwaard (Hoofdstuk 6)	Verandering inundatie frequentie t.o.v. de huidige situatie	Klassiek	Inundatiefrequentie van de Lentse Waard (LW) en het benedenstroomse gedeelte van de Oosterhoutse Waard (OW) blijft gelijk. De frequentie in het bovenstroomse gedeelte van OW verandert van 10 naar 15 dagen per jaar
		Mozaïek	Inundatiefrequentie van het benedenstroomse gedeelte van de OW blijft gelijk. In LW stijgt het van 10-15 naar 15 dagen per jaar en in het bovenstroomse gedeelte van OW verandert het van 10 naar 15 dagen per jaar
		Dynamiek	Inundatiefrequentie van het benedenstroomse gedeelte van de OW blijft gelijk. In LW stijgt het van 10-15 naar 365 dagen per jaar en in het bovenstroomse gedeelte van de OW verandert het van 10 naar 15 dagen per jaar

Beoordeeld aspect	Effect / voorwaarde	Variant	Conclusie
Aspect 2.2: Stroombeeld in de uiterwaard (Hoofdstuk 7)	Verandering stroomsnelheden beoordeeld bij een afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s	Klassiek	In LW nemen de snelheden toe met ca. 0,1 tot 0,8 m/s tot 0,3 tot 1,5 m/s. In OW variëren snelheden tussen de 0,3 en 0,8 m/s op onvergraven gedeeltes, en ca. 1,0 tot 1,4 m/s in de geul. Dit is toename van max. 1,0 m/s in de geul. Maximum snelheid in de geul is 1,1 m/s nabij het landhoofd van de spoorbrug
		Mozaïek	In LW nemen de snelheden toe met ca. 0,1 tot 0,8 m/s tot 0,3 tot 1,5 m/s. In oeverzone van LW nemen de snelheden toe met 0,9 m/s tot maxima van 1,5 m/s. In de OW variëren snelheden tussen de 0,2 en 1,0 m/s op onvergraven gedeeltes, en ca. 1,2 tot 1,4 m/s in de geul. Dit is toename van max. 1,0 m/s in de geul. Maximum snelheid in de geul is 1,55 nabij het landhoofd van de spoorbrug
		Dynamiek	In LW nemen de snelheden toe met ca. 0,1 tot 1,0 m/s tot tussen 0,3 tot 1,1 m/s. In oeverzone van LW nemen de snelheden toe met 0,6 m/s tot maxima van 1,1 m/s. In de OW variëren snelheden tussen de 0,1 en 0,7 m/s op onvergraven gedeeltes, en ca. 1,0 tot 1,3 m/s in de geul. Dit is toename van max. 1,0 m/s in de geul. Maximum snelheid in de geul is 1,25 nabij het landhoofd van de spoorbrug
Aspect 2.3: Stroombeeld bij in- en uitstroomopening van de nevengeulen (Hoofdstuk 8)	Stroomsnelheid dwars op vaarweg $\leq 0,3$ m/s als $Q_{\text{geul}} < 50$ m <sup>3</sup> /s of 0,15 m/s als $Q_{\text{geul}} > 50$ m <sup>3</sup> /s Beoordeeld bij afvoer van 4.000 m <sup>3</sup> /s	Klassiek	Geen hinderlijke dwarsstroming
		Mozaïek	Geen hinderlijke dwarsstroming
		Dynamiek	De stroomsnelheden zijn bij alle 4 de openingen groter dan de beoordelingseis en lozings- en onttrekkings-debiet bij elke opening groter dan 50 m <sup>3</sup> /s
Robuustheid lange termijn (Hoofdstuk 9)	waterstandsding bij 18.000 m <sup>3</sup> /s > 40 cm  Onderzoeken optimalisatie maatregelen lange termijn	Klassiek	Waterstandsding bij 18.000 m <sup>3</sup> /s is 30,1 cm Meerder grootschalige maatregelen nodig om lange termijn doelstelling te halen
		Mozaïek	Waterstandsding bij 18.000 m <sup>3</sup> /s is 37,5 cm Lange termijn doelstelling kan waarschijnlijk behaald worden door kleinschalige optimalisatie maatregelen
		Dynamiek	Waterstandsding bij 18.000 m <sup>3</sup> /s is 34,6 cm Één grootschalige maatregel nodig om lange termijn doelstelling te halen

## Referenties

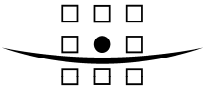
- [1] Voorlopig rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Rijntakken, Rijkswaterstaat Oost-Nederland, versie 10 april 2006.
- [2] Baseline maatregelen, eisen en richtlijnen, Tijmen Vos, Rijkswaterstaat, 6 juli 2007.
- [3] Taal, Marco en Rico Tonis, Leidraad Bepaling Morfologische Effecten van Ruimte voor de Rivier Projecten (concept), 28 juni 2008.
- [4] Handboek 'stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden, deel 1 en deel 2, handboek versie 1-2003, RIZA rapport 2003.028 en RIZA rapport 2003.029, november 2003.
- [5] Gemeente Nijmegen, Rapport Varianten MER, Factsheet 02, versie 1.0, 22 juli 2009, Royal Haskoning, Oranjewoud en Strooming
- [6] Gemeente Nijmegen, Rapport Bouwstenen MER, Factsheet 01, versie 2.0, 22 juli 2009, Royal Haskoning, Oranjewoud en Strooming



## **Bijlage A**

### **Stroomlijnen en afvoerverdeling geul**

A COMPANY OF



**ROYAL HASKONING**

## AFVOERVERDELING IN DE NEVENGEUL

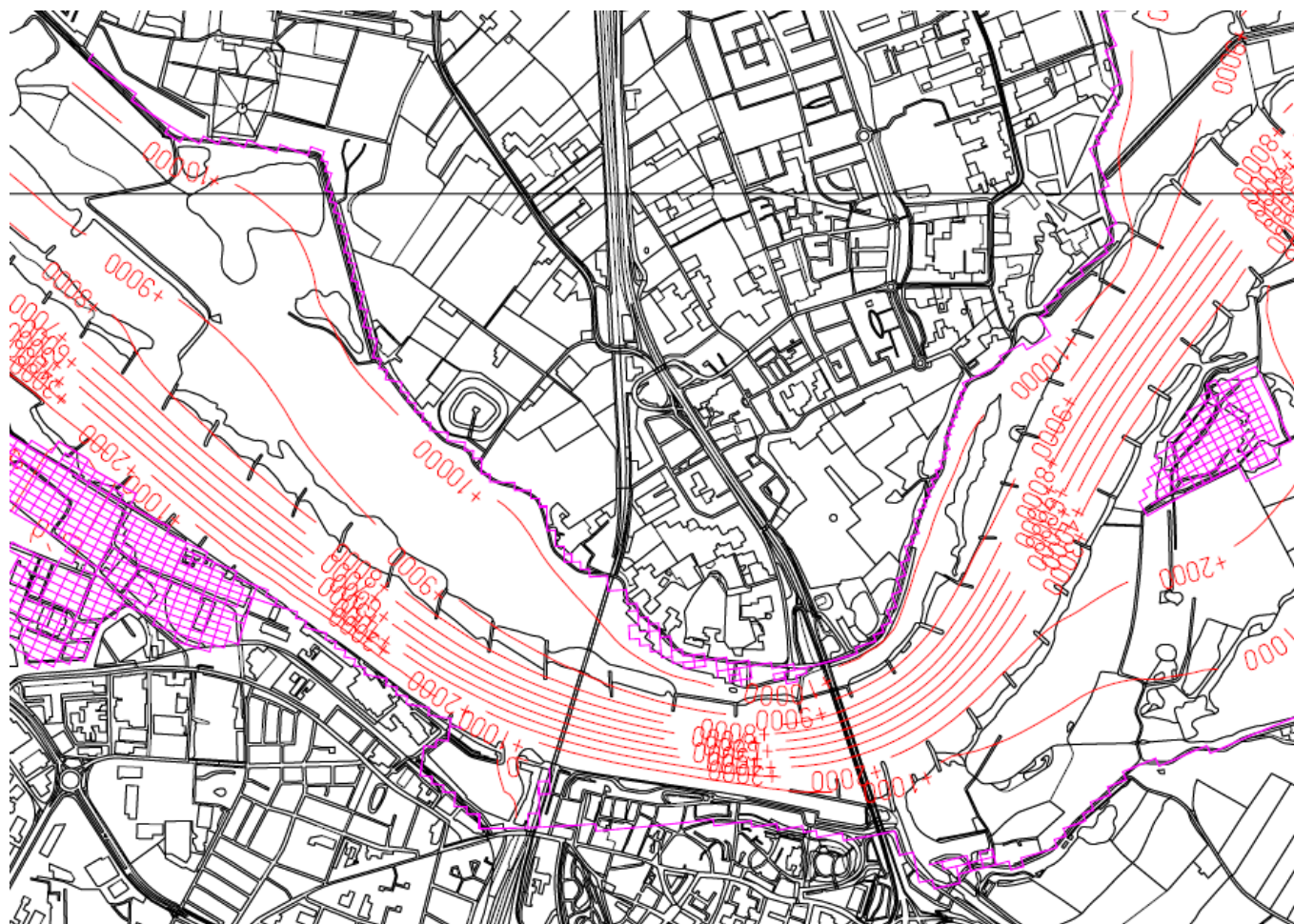
Door de dijkteruglegging en de aanleg van de nevengeul wijzigt de verdeling van de afvoer tussen het zomer- en het winterbed. Figuur A.1 tot A.4 toont de stroomlijnen bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s door middel van stroomlijnen per 1000 m<sup>3</sup>/s voor de huidige situatie en de drie varianten. De afvoeren door de geul en door het zomerbed zijn voor verschillende afvoerniveaus bij Lobith opgesomd in tabel A.1

**Tabel A.1: Afvoer door de hoofdgeul en de nevengeul bij verschillende afvoerniveaus bij kmr 884**

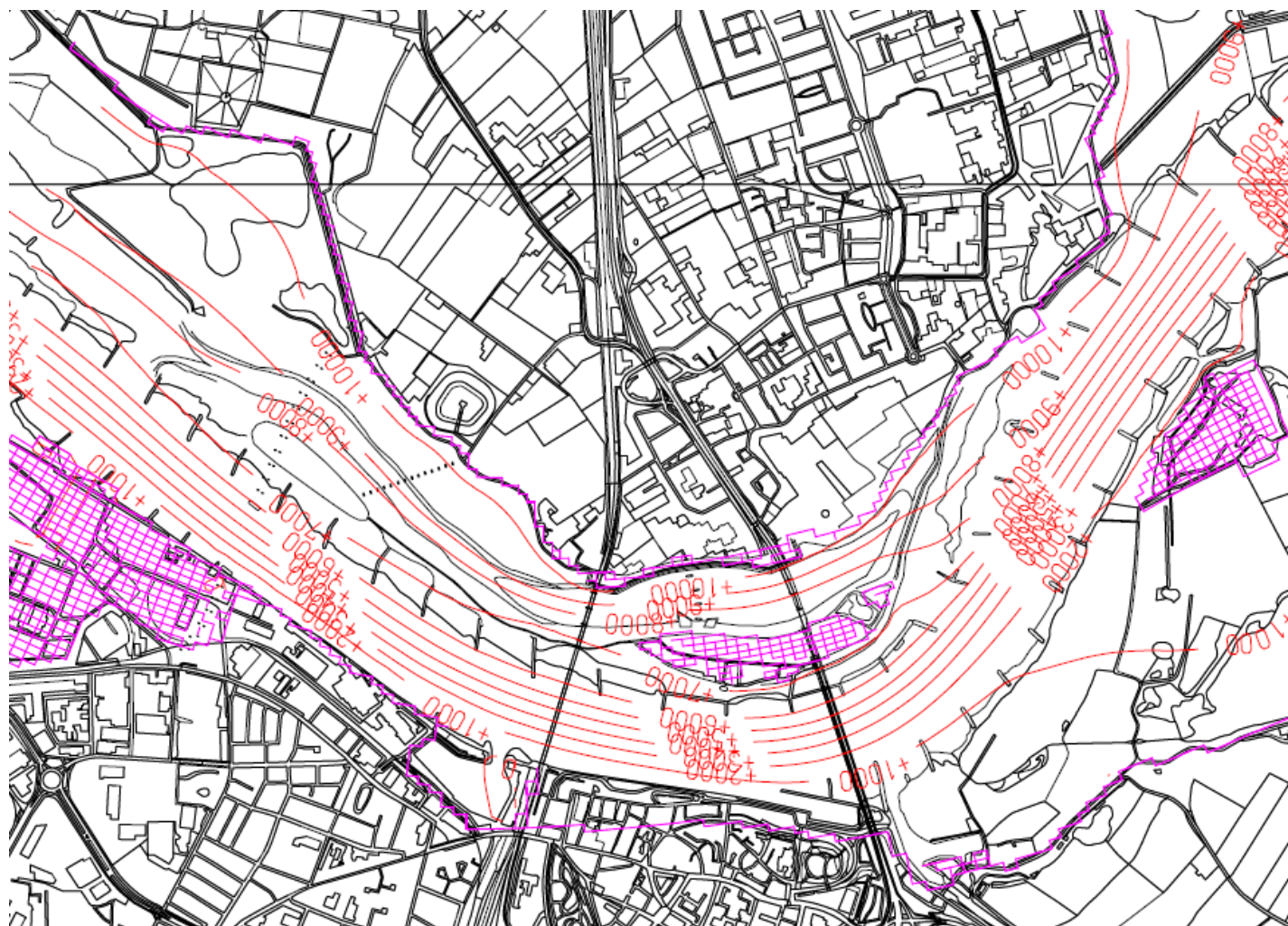
Afvoer Lobith	Huidig Hoofdgeul	Klassiek nevengeul	Mozaïek nevengeul	Dynamiek nevengeul
4.000 m <sup>3</sup> /s	2.827 m <sup>3</sup> /s	0 m <sup>3</sup> /s	20 m <sup>3</sup> /s (<1%)	40 m <sup>3</sup> /s (1%) volgens WAQUA 150 – 200 m <sup>3</sup> /s (5 - 7%) met handberekening
10.000 m <sup>3</sup> /s	6.507 m <sup>3</sup> /s	1.405 m <sup>3</sup> /s (21%)	1.919 m <sup>3</sup> /s (29%)	1.709 m <sup>3</sup> /s (26%)
16.000 m <sup>3</sup> /s	10.176 m <sup>3</sup> /s	3.078 m <sup>3</sup> /s (30,2%)	3.608 m <sup>3</sup> /s (35,4%)	3.413 m <sup>3</sup> /s (33,5%)

Bij MHW stroomt er in Klassiek 30,2% van de Waalafvoer door de nevengeul. Bij Mozaïek is dit zelfs 35,4% en in Dynamiek 33,5%. Ook bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s is de hoeveelheid water dat door de nevengeul stroomt aanzienlijk, bij Mozaïek is dat nog steeds ongeveer een derde deel.

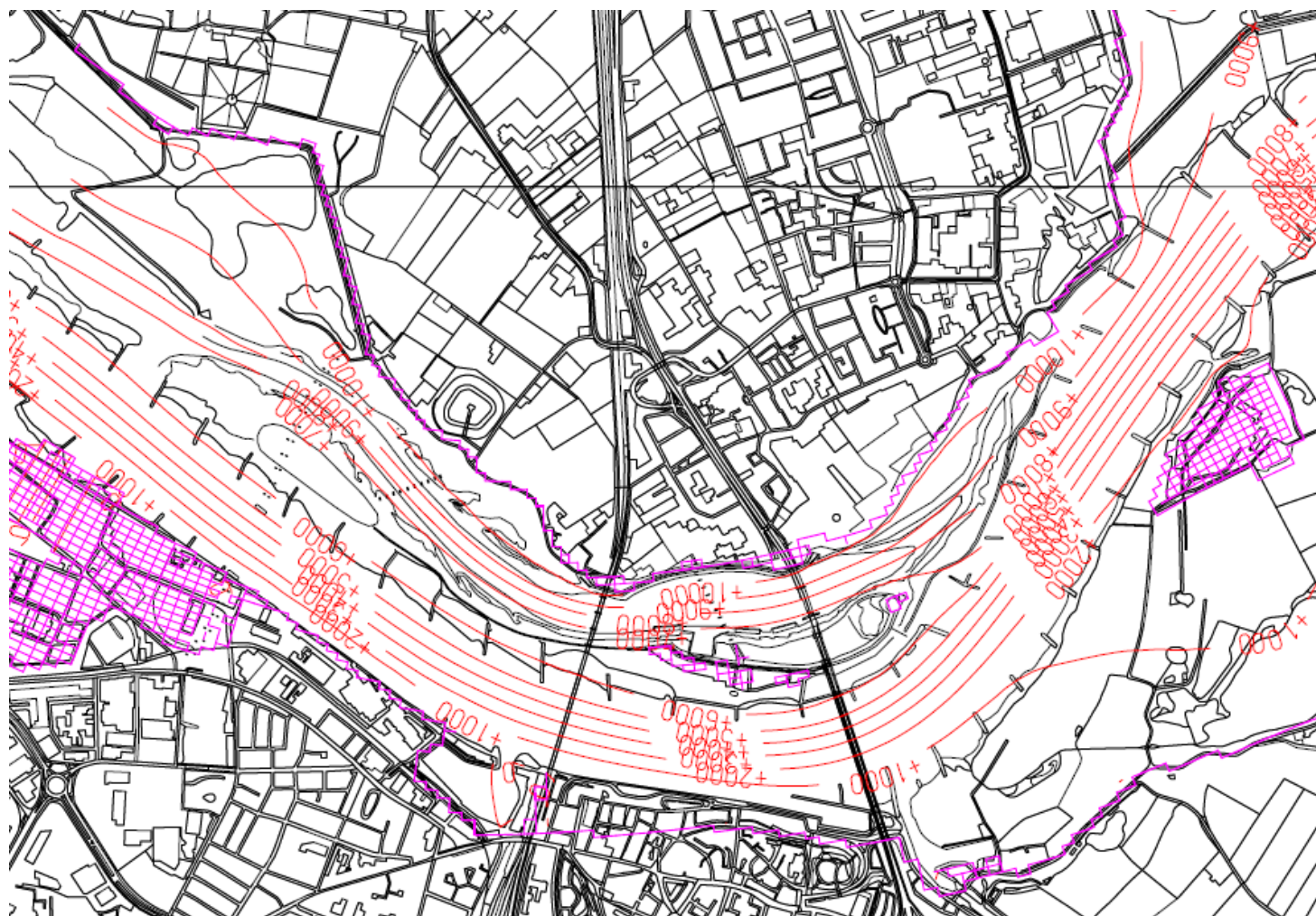




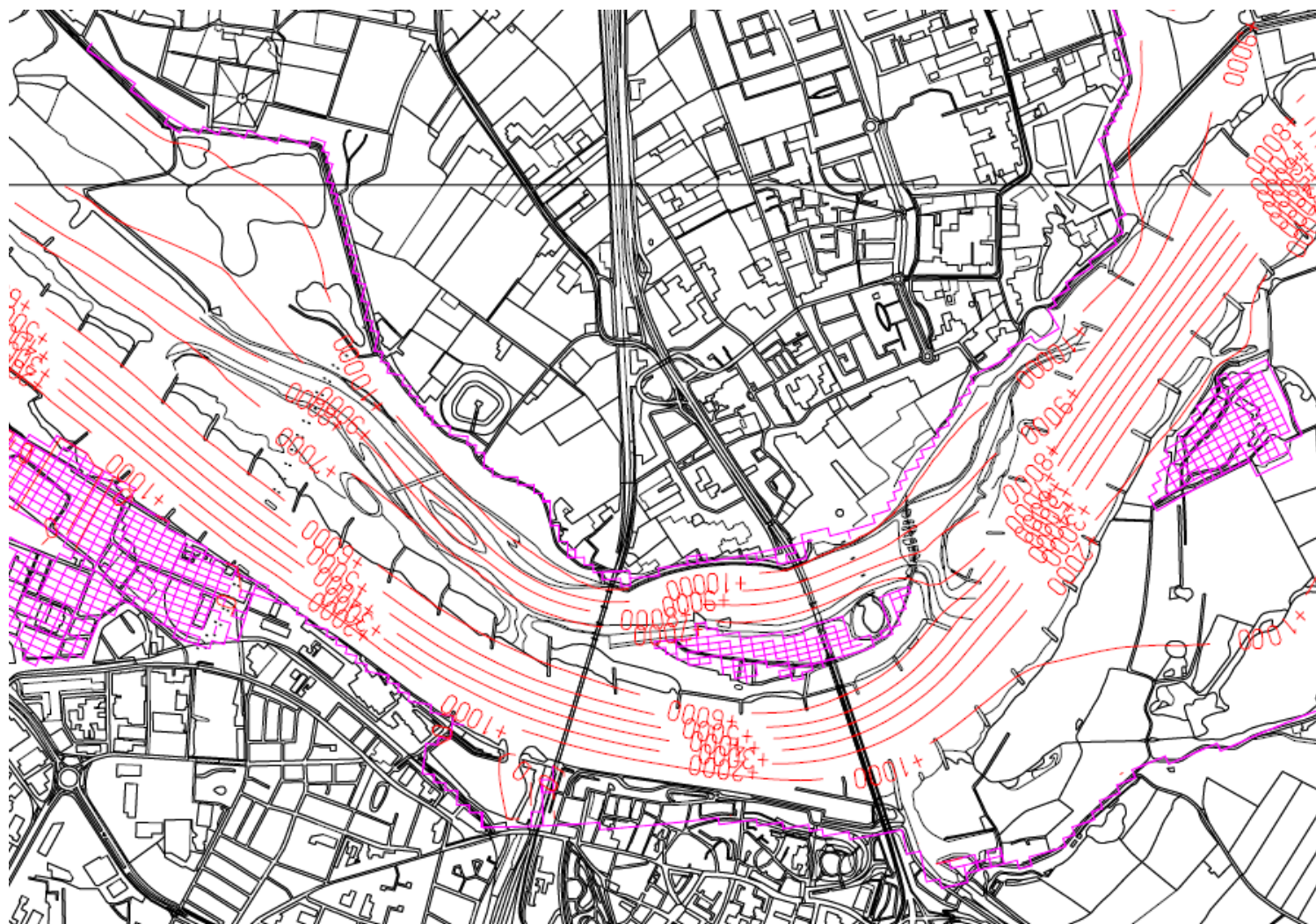
Figuur A.1: Afvoerlijnen (m<sup>3</sup>/s) voor de huidige situatie bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s. Top10Raster(c)TD Kadaster



Figuur A.2: Afvoerlijnen (m<sup>3</sup>/s) voor variant Klassiek bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s. Top10Raster(c)TD Kadaster



Figuur A.3: Afvoerlijnen ( $m^3/s$ ) voor variant Mozaïek bij een afvoer van  $16.000 m^3/s$ . Top10Raster(c)TD Kadaster



Figuur A.4: Afvoerlijnen (m<sup>3</sup>/s) voor variant Dynamiek bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s. Top10Raster(c)TD Kadaster

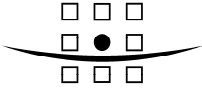
A COMPANY OF



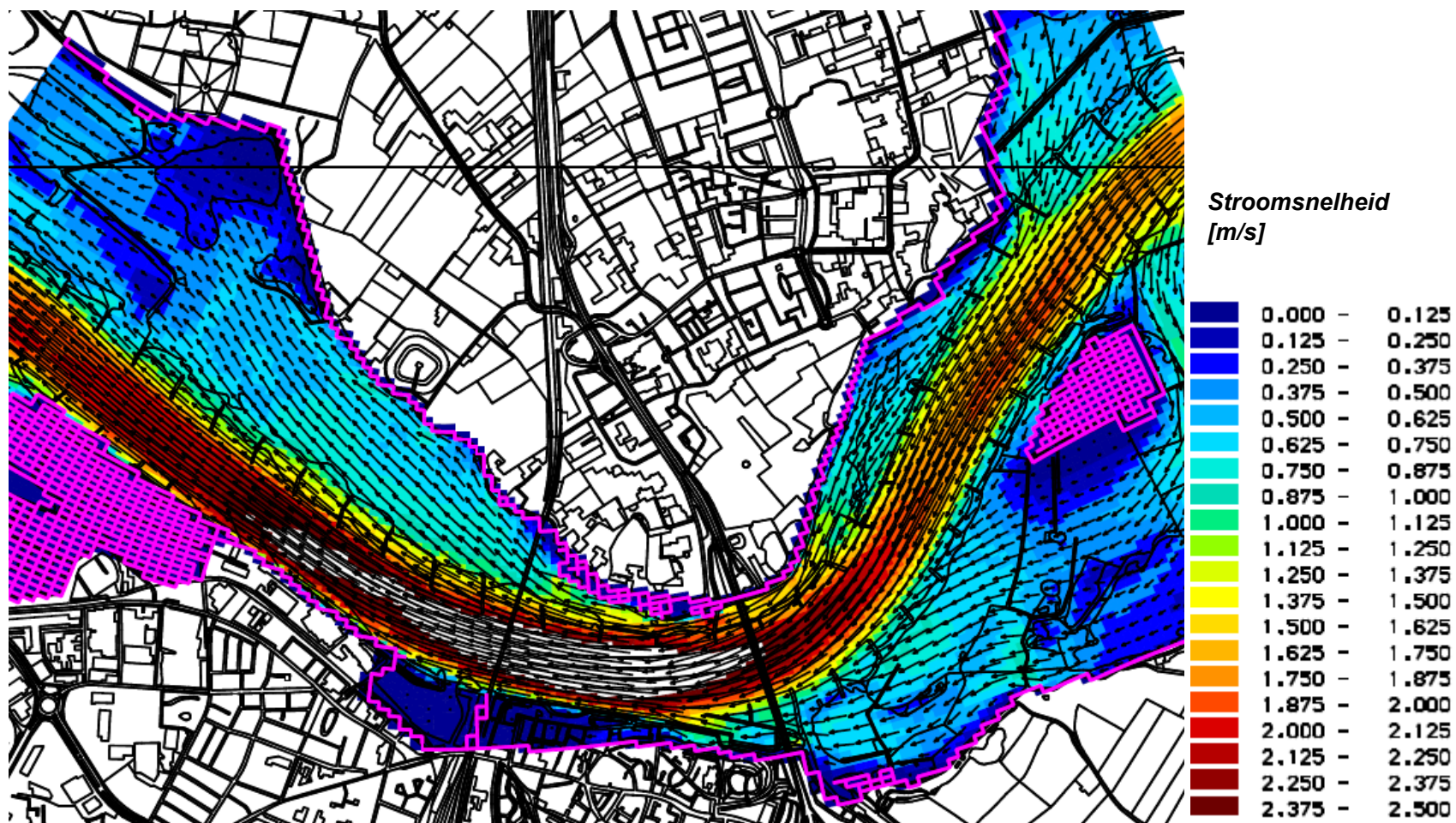
**ROYAL HASKONING**

## **Bijlage B Stroomsnelheden**

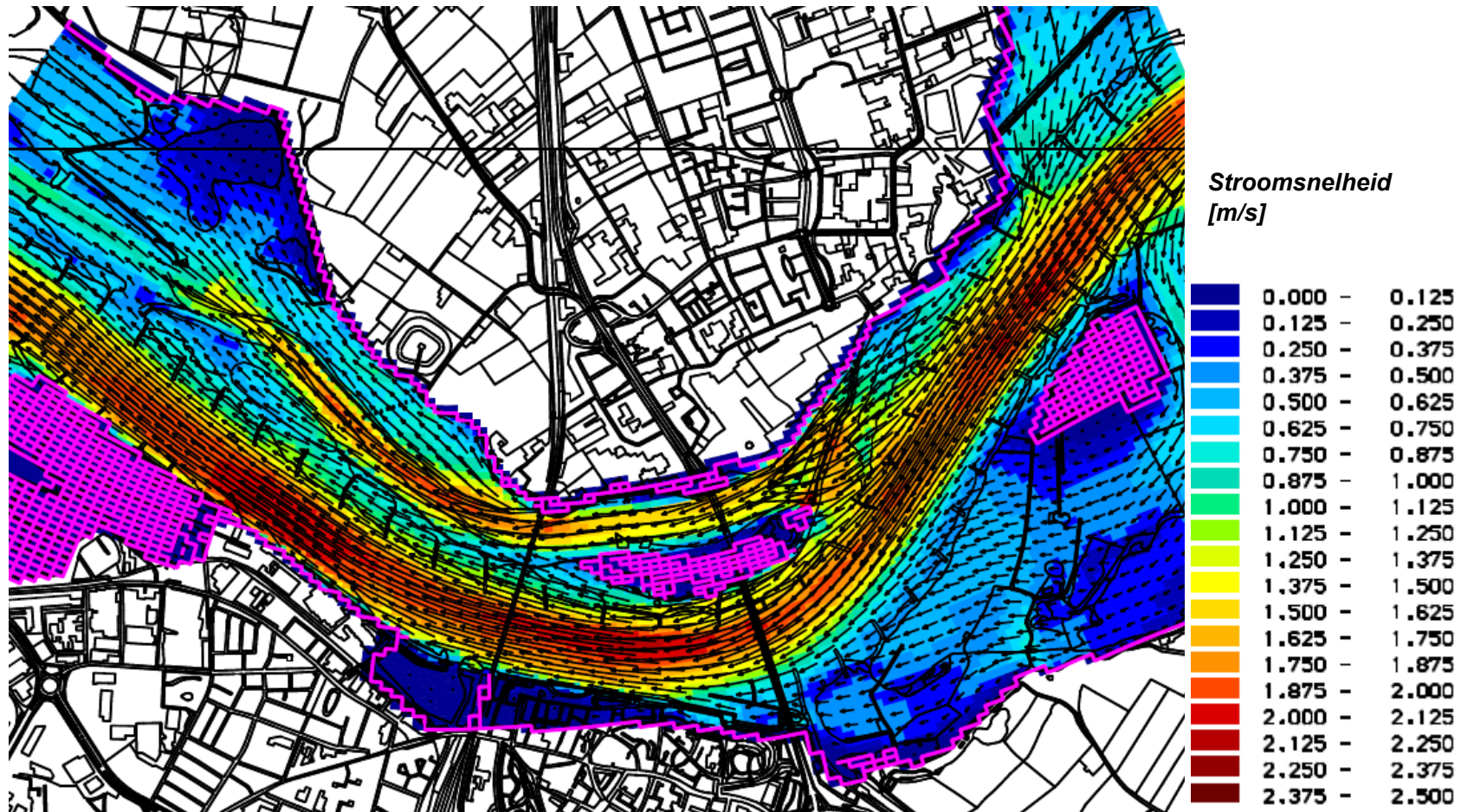
A COMPANY OF



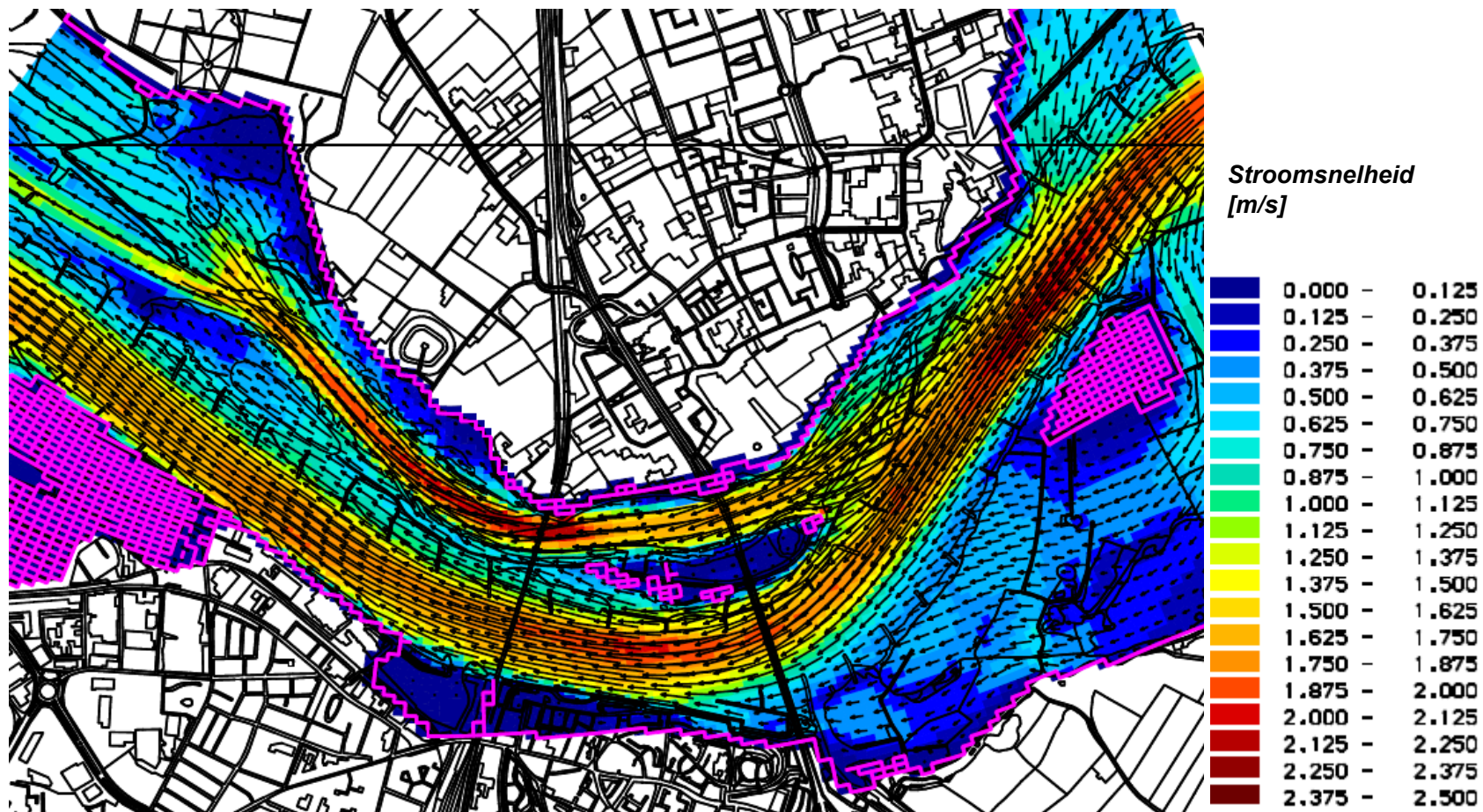
**ROYAL HASKONING**



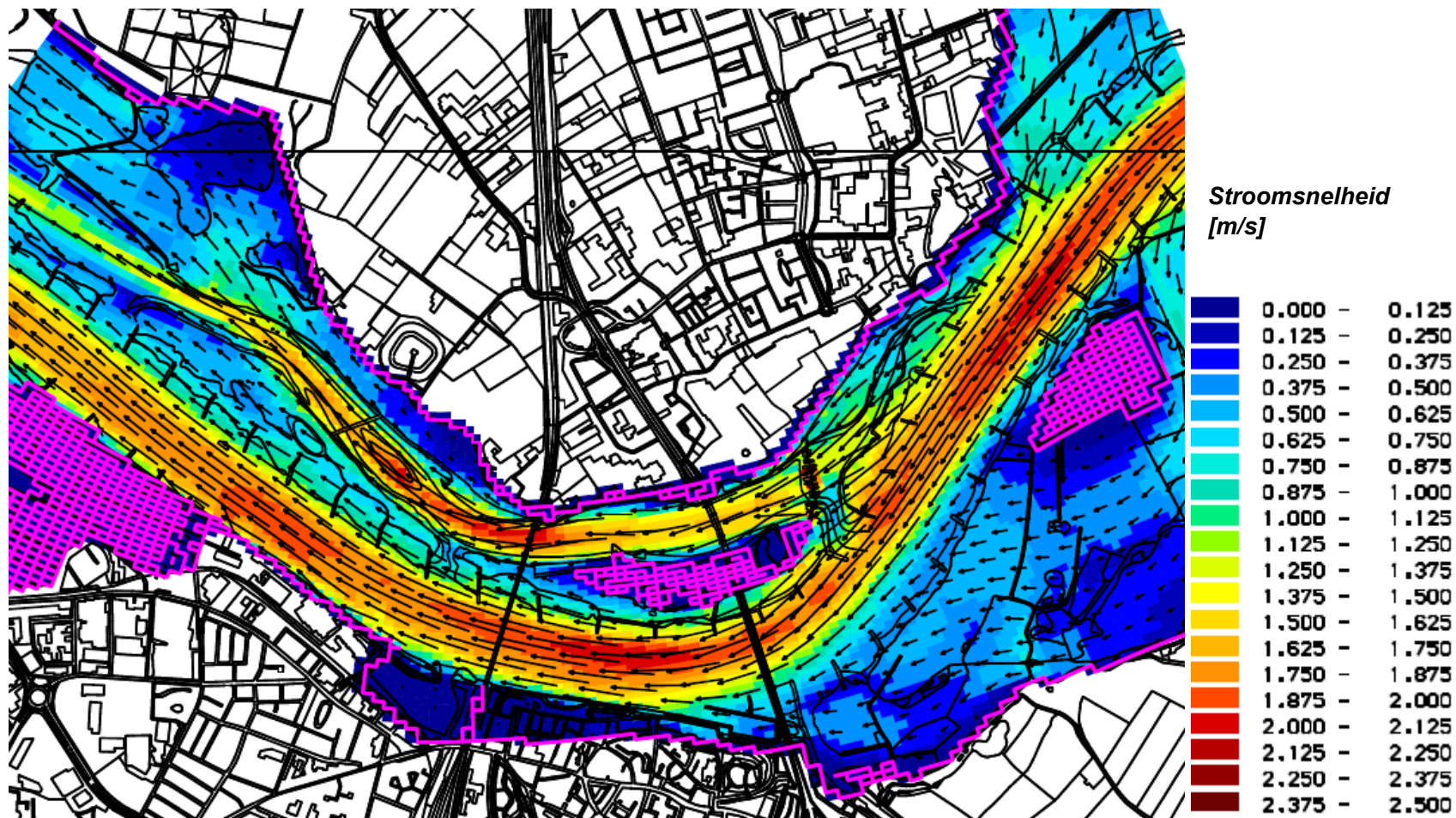
Figuur B.1: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor de huidige situatie bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s. In het witte vlak in het zomerbed zijn de stroomsnelheden hoger dan de gehanteerde schaal. De stroomsnelheden lopen hier op tot lokaal ca. 3 m/s. *Top10Raster(c)TD Kadaster*



Figuur B.2: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor variant Klassiek bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s. Top10Raster(c)TD Kadaster



Figuur B.3: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor variant Mozaïek bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s. Top10Raster(c)TD Kadaster

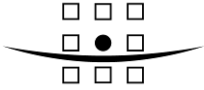


Figuur B.4: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor variant Dynamiek bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s. Top10Raster(c)TD Kadaster

## **Bijlage C**

### **Gebiedskenmerken en naamgeving kaart Lent**

A COMPANY OF



**ROYAL HASKONING**



Figuur C.1: Gebiedskenmerken en naamgeving projectgebied . . Top25Raster(c)TD Kadaster

