

INRICHTINGSPLAN BOSSCHERWAARDEN: EINDCONCEPT

Rivierkundige uitwerking

Opdrachtgever: Bosscherwaarden B.V.

Contactpersonen

Auteur 1: **WARD KLOP**
Advisor Water Management

M +31 6 2706 0010
E ward.klop@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

Auteur 2: **BAS VAN DONGEN**
Advisor Water Management

M +31 6 6507 36691
E bas.vandongen@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

Gecontroleerd: **PASCAL WEIDEMA**
Senior Advisor GIS and Water
Management

M +31 6 5073 6693
E pascal.weidema @arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING	5
1.1 Aanleiding en doel	5
1.2 Uitgangspunten	6
1.2.1 Referentie-schematisatie	6
1.2.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden WAQUA-berekeningen	6
1.2.3 Software	7
2 INRICHTINGSPLAN	8
2.1 Beoordeelde varianten	8
2.1.1 Baseline-maatregelen en varianten	9
2.1.2 Beschrijving van de varianten	9
2.1.3 Beschrijving van de uitvoeringsfase	11
3 RIVIERKUNDIGE BEOORDELING	12
3.1 Veiligheid	12
3.1.1 MHW-stand en NHW-stand op de as van de rivier	12
3.1.2 MHW-stand en NHW-stand buiten de rivieras	14
3.1.3 Afvoerverdeling bij MHW en NHW	15
3.2 Hinder en schade	15
3.2.1 Inundatiefrequentie van de uiterwaard	15
3.2.2 Overige standen op de as van de rivier	18
3.2.3 Stroombeeld in de uiterwaard	19
3.2.4 Dwarsstroming	22
3.3 Bodemligging en morfologie	27
3.3.1 Karakteristieken van de varianten	27
3.3.2 Streef- en minimale dieptes in de referentiesituatie	28
3.3.3 Morfologische effecten in de vaargeul	28
4 CONCLUSIES	33
4.1 Samenvatting rivierkundige beoordeling	33
4.2 Aanbevelingen	39

4.3 Referenties	40
-----------------	----

Bijlagen

BIJLAGE A : KAARTEN REFERENTIE	41
BIJLAGE B : KAARTEN VARIANT 1	44
BIJLAGE C : KAARTEN VARIANT 2	47
BIJLAGE D : KAARTEN VARIANT 3	50
BIJLAGE E : KAARTEN VARIANT 4	53
BIJLAGE F : KAARTEN VARIANT 5	57
BIJLAGE G MHW & NHW-STAND OP RIVIERAS	60
BIJLAGE H OVERIGE STANDEN OP RIVIERAS	63
BIJLAGE I MHW & NHW-STAND OVERIG	66
BIJLAGE J STROOMBEELD IN UITERWAARD	77
BIJLAGE K DWARSSTROMING	93
BIJLAGE L MORFOLOGIE	104
BIJLAGE M MINIMALE & STREEFDIEPTE	115

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding en doel

Bosscherwaarden B.V. heeft het initiatief genomen om de uiterwaard Bosscherwaarden te herontwikkelen tot toegankelijke riviernatuur, door een combinatie van zand- en kleiwinning aanvullend met opslag en het toepassen/hergebruiken van baggerspecie en grond. Dit gebeurt op een innovatieve en duurzame manier, met oog voor de omgeving. Het doel van het project kan daarmee vanuit drie invalshoeken worden gezien:

- Zandwinning:

Vanuit de bouwsector leeft de vraag voor metselzand ophoogzand, industriezand en klei. Vanuit het waterbeheer leeft de vraag voor berging van baggerspecie. Op beide vragen wil Bosscherwaarden B.V. ingaan.

- Water en natuur:

Water en natuur zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Natuurlijk water geeft een positieve natuurbeleving en het water bepaalt welke natuur voor zal komen. Onze werkzaamheden zorgen voor een integrale verbetering van de water- en bodemkwaliteit.

- Recreatie:

Recreatie is van groot maatschappelijk belang. Vaak gaan natuur en recreatie uitstekend samen. Bosscherwaarden B.V. willen daarmee bijdragen aan de ontwikkeling van een toegankelijk gebied met een eigentijds, duurzaam en natuurlijk karakter.

Dit rapport betreft een onderzoek naar de rivierkundige effecten naar de zandwinning van Bosscherwaarden. Tijdens de uitvoering zullen in de uiterwaarden gefaseerd twee zandwinputten gerealiseerd worden. Na de zandwinning wordt de uiterwaard opnieuw heringericht. In deze eindfase wordt een (hoog)watergeul in de uiterwaard gerealiseerd in combinatie met natuurontwikkeling. Tijdens de uitvoering en de eindfase wordt de vergunning voor het hoogwatervrije terrein nabij de steenfabriek opgeheven. De uiterwaard Bosscherwaarden ligt in het stuwpand van Hagestein.

De rivierkundige toetsing wordt gedaan aan de hand van het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) voor ingrepen in de Grote Rivieren versie 3.0, om te bepalen of de ingreep geen ongewenste rivierkundige effecten veroorzaakt. Een beschrijving van de herinrichting en fasering van de uiterwaard Bosscherwaarden staat in Hoofdstuk 2. De beoordeling van de rivierkundige toetsing aan de hand van het RBK zijn te vinden in Hoofdstuk 3. Voor de opzet van de rapportage is het indelingsformat gebruikt van RWS-ON.

1.2 Uitgangspunten

1.2.1 Referentie-schematisatie

Het Baseline-referentiemodel dat voor dit onderzoek is gebruikt is het model rij-beno13_5-v1, aangevuld met vier actualisatiemaatregelen (zie Tabel 1). De maatregelen zijn in het model rij-beno13_5-v1 ingemixt in de volgorde zoals weergegeven in Tabel 1. De naam van het nieuwe referentiemodel is bosschw_ref.

Tabel 1: Maatregelen opgenomen in het referentiemodel

Naam	Beschrijving
le_bosch95_a1	Bevat noodzakelijke verbeteringen van de referentie-schematisatie voor Bosscherwaarden.
le_bwref_a1	Betreft een actualisatie van de oever en een aanpassing van de vegetatie in de Bosscherwaarden.
le_boschw_v01	Betreft de vigerende vergunning voor het steenfabrieksterrein en de beperkte ophoging voor kleiberging benedenstrooms van het fabrieksterrein.
rt_hectom_a1	Uitvoerpunten om de 100 meter in de as van de rivier op te nemen.

1.2.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden WAQUA-berekeningen

De rivierkundige toetsing wordt gedaan aan de hand van het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) voor ingrepen in de Grote Rivieren versie 3.0.

Er is voor gekozen om de berekeningen uit te voeren voor het gehele Rijntakken model. Dit om de stuwwerking van de stuw te Driel (rkm 891,4), Amerongen (rkm 922,30) en Hagestein (rkm 946,80) niet te beïnvloeden ten opzichte van het oorspronkelijke model. Dit geldt ook voor de aansturing van de afvoerverdeling op de splitsingspunten van het Rijntakken model.

De relatie tussen het debiet bij Lobith en de Nederrijn (splitsingspunt IJsselkop) is weergegeven in Tabel 2. De instellingen voor de WAQUA-berekeningen (tijdstep, TIROUC, TIHISTO, TICVAL) zijn vastgesteld op 0,1 minuut. De waarde voor THETAC is vastgesteld op 0,95.

Tabel 2: Overzicht afvoerverdeling Lobith ~ Nederrijn / Lek op basis van model

Afvoer te Lobith [m ³ /s]	Afvoer Nederrijn / Lek [m ³ /s]	Lateraal
16.000	3.380	q_lateraal-stat.T_1250_handm
10.000	2.111	q_lateraal-stat.10000
9.500	1.971	q_lateraal-stat.8000
9.000	1.826	q_lateraal-stat.8000
8.500	1.678	q_lateraal-stat.8000
8.000	1.541	q_lateraal-stat.8000
7.000	1.313	q_lateraal-stat.6000
6.000	1.099	q_lateraal-stat.6000
4.000	729	q_lateraal-stat.4000
2.000	238	q_lateraal-stat.2000

1.2.3 Software

Voor het schematiseren van het inrichtingsplan is het programma Baseline 5.2.4. (ArcGIS 10.2.2.) gebruikt. De rivierkundige berekeningen zijn uitgevoerd met WAQUA in Simona versie 2013 (patch 19). Een inschatting van de morfologische effecten is gemaakt met WAQMORF-versie februari 2012 (WAQmorfFeb2012.exe).

2 INRICHTINGSPLAN

2.1 Beoordeelde varianten

De zandwinning in Bosscherwaarden zal gefaseerd uitgevoerd worden (zie Tabel 3). Het project zal in fase 1 starten met zandwinning in het westelijk deel van de uiterwaard (variant 1). Nadat hier de zandwinning is voltooid zal men in fase 2 starten met de zandwinning in het oostelijk deel van de uiterwaard (variant 3). In dezelfde fase zal men ook starten met de uitvoering van de herinrichting van het westelijk deel van de uiterwaard. Doordat de doorlooptijden van deze faseringen niet exact is vast te stellen is er een fictief (worst)case scenario (variant 2) gedefinieerd waarbij beide zandwinputten zijn ontgraven. Dit scenario is representatief voor de rivierkundige beoordeling van diverse momentopnames tussen de uitvoeringsfase 1 en uitvoeringsfase 2. Nadat ook de zandwinning in het oostelijk deel van de uiterwaard is voltooid zal men in fase 3 overgaan tot herinrichting van dit deel van de uiterwaard. Voor de totale herinrichting zijn er twee alternatieven opgesteld die zich onderscheiden in het landgebruik van de uiterwaard. Het eerste alternatief vormt een combinatie tussen agrarisch gebruik en natuurontwikkeling (variant 4). Het tweede alternatief is gericht op volledige natuurontwikkeling (variant 5). Hiermee wordt variant 4 ook wel de “gladde variant” en variant 5 “de ruwe variant” genoemd. In beide herinrichtingen zal een (hoog)watergeul in de uiterwaard worden gerealiseerd. De basisontwerpen van de eindfasen zijn ontworpen door Bureau Stroming B.V. Door Meet B.V. zijn de ontwerpen van de eind- en uitvoeringsfasen vertaald naar CAD-ontwerpen.

Tabel 3: Fasen inrichtingsplan Bosscherwaarden

Variantnummer	Fase	Toelichting
1	Uitvoeringsfase 1	Ontgraving van westelijke zandwinput.
2	Uitvoeringstussenfase (worst-case scenario)	Ontgraving van zowel oostelijke en westelijke zandwinput.
3	Uitvoeringsfase 2	Ontgraving oostelijke zandwinput + herinrichting westelijk deel van de uiterwaard.
4	Eindfase 3 “gladde variant” (worst-case scenario)	Herinrichting totale uiterwaard (combinatie agrarisch en natuur).
5	Eindfase 3 “ruwe variant”	Herinrichting totale uiterwaard (natuur).

In dit rapport wordt elke variant getoetst aan het rivierkundig beoordelingskader versie 3.0 (RBK). Voorafgaand aan deze toetsing hebben er rivierkundige optimalisaties plaatsgevonden aan de tweetal worst-case scenario's. Dit om de nadelige rivierkundige effecten zoveel mogelijk te beperken. De beschouwde optimalisaties van deze worst-case varianten staan beschreven in een tweetal afzonderlijke rapportages:

- ARCADIS (2016), Inrichtingsplan Bosscherwaarden Definitief: Rivierkundige optimalisaties: uitvoeringsfase beide putten open (UFWO), 078962633, versie 0.8.
- ARCADIS (2016), Inrichtingsplan Bosscherwaarden Definitief: Rivierkundige optimalisaties: eindvariant “glad” (GLN2), 078959976, versie 0.9.

Deze optimalisaties zijn vervolgens ook toegepast op de overige varianten. Voor variant 1 en variant 3 is aanvullend ook een gronddepot gereserveerd in het ontwerpplan.

2.1.1 Baseline-maatregelen en varianten

In Tabel 4 staan de rivierkundige Baseline-maatregelen en Baseline-varianten weergegeven voor de verschillende uitvoeringsvarianten.

Tabel 4: Baseline-maatregelen en Baseline-varianten

Uitvoeringsvariant	Baseline-maatregel	Baseline-variant
1: UFW1	le_bw_ufw_a1 opt_3_ufwo_a2 le_bw_ufd_a1 opt_1_ufwo_a1	boschw_ufw1
2: UFWO4	le_bw_ufwo_a1 opt_1_ufwo_a1 opt_3_ufwo_a2 opt_3_ufwo_b2	bosschw_ufwo4
3: UFO1	le_bw_ufo_a1 opt_3_ufwo_b2 le_bw_ufd_a1 opt_1_ufwo_a1	bosschw_ufo1
4: GLN9	le_bw_gln_a2 opt_3_gln_a2 opt_4_gln_a2	bosschw_gln9
5: GLA3	le_bw_gla_a2 opt_3_gln_a2 opt_4_gln_a2	bosschw_gla3

2.1.2 Beschrijving van de varianten

In Bijlage A tot en met Bijlage F zijn kaarten opgenomen die de geometrie van de referentie en de uitvoeringsvarianten inzichtelijk maken. In Tabel 5 is een overzicht gegeven van de informatie uit deze bijlagen. Voor de variant 1 en variant 3 is er aanvullend ook een gronddepot gereserveerd in het ontwerpplan. Voor variant 2 is deze reservering van het gronddepot niet meegenomen.

Het is belangrijk om op te merken dat de ontwerpen van alle varianten ook deels een vigerende vergunning overlappen van de voormalige steenfabriek (hoogwatervrije terrein). In deze rivierkundige uitwerking is als uitgangspunt genomen dat deze vergunning (hoogwatervrije terrein) komt te vervallen bij alle varianten. In het geactualiseerde referentiemodel "bosschw_ref" is een depot (momentopname) opgenomen ter plaatse van deze vergunning. Dit depot wordt bij alle varianten verwijderd tot omliggend maaiveld en geldt de nieuwe geometrie zoals deze volgt uit de ontwerptekeningen voor de uitvoeringsvarianten. In het overige deel van de vergunning blijft de geometrie ongewijzigd ten aanzien van het referentiemodel. De gebouwen zoals de voormalige steenfabriek zijn toegevoegd aan het model op basis van het topografisch bestand Top10vector.

Variant 1:

In deze uitvoeringsvariant wordt alleen de westelijke zandwininput ontgraven. Deze put heeft een maximale diepte van -22,5 m+NAP. Deze put wordt gelijkwaardig aangetakt met het zomerbed nabij rivierkilometer 931,44. Ook de toegangsweg naar de voormalige steenfabriek wordt opgehoogd naar 6,40 m+NAP, corresponderend met een drempelafvoer van 8.000 m³/s te Lobith ($T \approx 4$). Ook is er een gronddepot gereserveerd in het ontwerpplan, gelegen in het Noordoosten van de uiterwaard tegen de bandijk aan en de kering van het AR-kanaal.

Variant 2:

In deze uitvoeringsvariant zijn zowel de oostelijke en de westelijke zandwininput ontgraven. Beide putten hebben een maximale diepte van -22,5 m+NAP. De oostelijke put wordt gelijkwaardig aangetakt aan het zomerbed om nabij rivierkilometer 930,08. De westelijke put wordt gelijkwaardig aangetakt aan het zomerbed om nabij rivierkilometer 931,44. Ook de toegangsweg naar de voormalige steenfabriek wordt opgehoogd naar 6,4 m+NAP, corresponderend met een drempelafvoer van 8.000 m³/s te Lobith ($T \approx 4$).

Variant 3:

In deze uitvoeringsvariant wordt alleen de oostelijke zandwininput ontgraven. De oostelijke put wordt gelijkwaardig aangetakt aan het zomerbed om nabij rivierkilometer 930,08. In het westelijk deel van de uiterwaard wordt reeds een deel van de (hoog)watergeul gerealiseerd. De uitstroom van deze geul is aangetakt op het zomerbed op 0,0 m+NAP om nabij rivierkilometer 931,82. In het westelijk deel van de uiterwaard wordt lokaal de oeverzone tevens opgehoogd tot een hoogwatervrije vluchtplaats. Ook de toegangsweg naar de voormalige steenfabriek wordt opgehoogd naar 6,40 m+NAP, corresponderend met een drempelafvoer van 8.000 m³/s te Lobith ($T \approx 4$). Ook is er een gronddepot gereserveerd in het ontwerpplan, gelegen in het Noordoosten van de uiterwaard tegen de bandijk aan en de kering van het AR-kanaal.

Variant 4:

In deze eindvariant is de (hoog)watergeul (eenzijdig aangetakt) volledig gerealiseerd in de uiterwaard van Bosscherwaarden. De uitstroom van deze geul wordt aangetakt op het zomerbed op 0,0 m+NAP om nabij rivierkilometer 931,82. Buiten het tracé van de geul worden delen van de uiterwaard lichtelijk opgehoogd. Ook wordt de zomerkade in het oostelijk deel van de uiterwaard geactualiseerd met een recente inmeting van de kruinhoogte. Met deze actualisatie ligt de kruinhoogte van de zomerkade grotendeels lichtelijk hoger dan de referentiesituatie. In het westelijk deel van de uiterwaard wordt lokaal de oeverzone tevens opgehoogd tot een hoogwatervrije vluchtplaats. In de oostelijke punt van de uiterwaard wordt een uitkijkpunt gerealiseerd. Ook de toegangsweg naar de voormalige steenfabriek wordt opgehoogd naar 6,55 m+NAP, corresponderend met een drempelafvoer van 8.500 m³/s te Lobith ($T \approx 5,5$). De inrichting van de uiterwaard is een combinatie tussen agrarisch gebruik en natuurontwikkeling en vormt hiermee de gladde eindvariant.

Variant 5:

In deze eindvariant is de (hoog)watergeul vrijwel identiek aan de (hoog)watergeul zoals beschreven bij variant 4. De inrichting van de uiterwaard is daarentegen volledig gericht op natuurontwikkeling en vormt hiermee de ruwe eindvariant.

Tabel 5: Informatie bijlagen inrichtingsplan

Bijlage	Bladzijde	Informatie
Bijlage A	41	Kaarten referentie
		Kaart bodemhoogte + overlaten referentie
Bijlage B	44	Kaart uitvoeringsvariant 1
		Kaart bodemhoogte + overlaten variant 1
Bijlage C	47	Kaart uitvoeringsvariant 2
		Kaart bodemhoogte + overlaten variant 2
Bijlage D	50	Kaart uitvoeringsvariant 3
		Kaart bodemhoogte + overlaten variant 3
Bijlage E	53	Kaart eindvariant 4
		Kaart bodemhoogte + overlaten variant 4
Bijlage F	57	Kaart eindvariant 5
		Kaart bodemhoogte + overlaten variant 5
		Kaart landgebruik variant 5

2.1.3 Beschrijving van de uitvoeringsfase

Naar verwachting zal het gehele project binnen een termijn van 8 jaar worden uitgevoerd. Merk op dat dit termijn relatief is en mede afhankelijk is van de marktvraag naar bouwgrond. Het project zal in de voorbereidingsfase beginnen met het aanpassen van natte en droge infrastructuur gevolgd door opruimingswerkzaamheden van beplanting en overige obstakels. Voordat er met zandwinning kan worden gestart zal eerst het kleidek in de uiterwaard worden ontgraven. Tijdens de zandwinning zal de uiterwaard gefaseerd worden heringericht. Het grondtransport tijdens de gehele uitvoering zal hoofzakelijk plaatsvinden via scheepsvracht. Naar inschatting gaat het om 28 vaartbewegingen in één enkele dag periode. Hierbij vaart telkens maar 1 schip tegelijk naar binnen of naar buiten door de tijdelijke invaarten. Voor meer informatie over de uitvoering wordt verwezen naar de rapportage van het uitvoeringsplan.

3 RIVIERKUNDIGE BEOORDELING

3.1 Veiligheid

3.1.1 MHW-stand en NHW-stand op de as van de rivier

In Bijlage G zijn de waterstandseffecten getoond van de vijftal uitvoeringsvarianten bij afvoeren van 16.000 m³/s (MHW) en 10.000 m³/s (NHW) te Lobith. In Tabel 6 en Tabel 7 zijn de maximale waterstandseffecten en de locatie weergegeven. Aanvullend is het verhoudingsgetal berekend dat het quotiënt tussen het oppervlak waterstands-daling en het oppervlak waterstandsstijging weergeeft op de as van de rivier. Voor het verhoudingsgetal is geen harde norm gekwantificeerd, maar in het algemeen worden verhoudingsgetallen in de range van 50 – 100 geaccepteerd door RWS.

Tabel 6: Waterstandseffecten MHW op de as van de rivier

Aspect	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5
Max. waterstands-daling MHW [cm]	-3,83	-5,59	-2,78	-1,52	-1,43
Locatie Waterstands-daling MHW [-]	929,8	929,3	929,3	929,4	929,4
Max. waterstands-verhoging MHW [cm]	1,42	1,60	0,78	0,70	0,68
Locatie Waterstands-verhoging MHW [-]	931,4	931,4	931,7	931,7	931,7
Verhoudingsgetal [-]	88,9	92,9	197,3	84,5	81,9

Tabel 7: Waterstandseffecten NHW op de as van de rivier

Aspect	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5
Max. waterstands-daling NHW [cm]	-0,96	-1,54	-1,00	-0,48 (lokaal effect)	-0,47 (lokaal effect)
Locatie Waterstands-daling NHW [-]	930,9	928,4	928,5	931,3	931,3
Max. waterstands-verhoging NHW [cm]	0,79	0,87	0,96	1,13	1,15
Locatie Waterstands-verhoging NHW [-]	931,5	931,5	931,7	929,9	929,9

Variant 1

Variant 1 levert bij MHW een waterstandsval van 3,83 cm op de as van de rivier. Bij NHW heeft deze variant ook nog een waterstandsval van 0,96 cm tot gevolg. De maximale waterstandsverhoging bedraagt bij MHW 1,42 cm. Deze vindt plaats bij de invaart van de westelijke plas bij km 931,4. De opstuwing bij NHW bedraagt maximaal 0,79 cm. De verhouding tussen waterstandsval en –stijging is bij MHW 88,9.

Variant 2

Variant 2 levert bij MHW een waterstandsval van 5,59 cm op de as van de rivier. Bij NHW heeft deze variant ook nog een waterstandsval van 1,54 cm tot gevolg. De maximale waterstandsverhoging bedraagt bij MHW 1,60 cm. Deze vindt plaats bij de invaart van de westelijke plas bij km 931,4. De opstuwing bij NHW bedraagt maximaal 0,87 cm. De verhouding tussen waterstandsval en –stijging is bij MHW 92,9.

Variant 3

Variant 3 levert bij MHW een waterstandsval van 2,78 cm op de as van de rivier. Bij NHW heeft deze variant ook nog een waterstandsval van 1,00 cm tot gevolg. De maximale waterstandsverhoging bedraagt bij MHW 0,78 cm. Deze vindt plaats bij de uitstroom van de geul bij km 931,7. De opstuwing bij NHW bedraagt maximaal 0,96 cm. De verhouding tussen waterstandsval en –stijging is bij MHW 197,3.

Variant 4

Bij MHW ontstaat een maximale waterstandsval van 1,52 cm op rkm 929,4. Door verhoging van de toegangsweg ontstaat er bij NHW juist een opstuwing in stroomopwaartse richting tot aan rkm 920. Inherent aan dit effect wordt de afvoer op het zomerbed verhoogd in vernauwd profiel van de rivier nabij de voormalige steenfabriek. Door een snelheidshoogte effect ontstaat hier lokaal toch een waterstandsval op de as van de rivier. Deze bedraagt 0,48 cm op rkm 931,3. Bij MHW bedraagt de maximale waterstandsverhoging (ofwel zaagtand) 0,70 cm op rkm 931,7 bij de uitstroom van de geul. De opstuwing bij NHW bedraagt maximaal 1,13 cm op de as van de rivier op rkm 929,9. Bij MHW is de waterstandsval groter dan de waterstandsverhoging met een verhoudingsgetal van 84,5.

Variant 5

Bij MHW ontstaat een maximale waterstandsval van 1,43 cm op rkm 929,4. Door verhoging van de toegangsweg ontstaat er bij NHW juist een opstuwing in stroomopwaartse richting tot aan rkm 920. Inherent aan dit effect wordt de afvoer op het zomerbed verhoogd in vernauwd profiel van de rivier nabij de voormalige steenfabriek. Door een snelheidshoogte effect ontstaat hier lokaal toch een waterstandsval op de as van de rivier. Deze bedraagt 0,47 cm op rkm 931,3. Bij MHW bedraagt de maximale waterstandsverhoging (ofwel zaagtand) 0,68 cm op rkm 931,7 bij de uitstroom van de geul. De opstuwing bij NHW bedraagt maximaal 1,15 cm op de as van de rivier op rkm 929,9. Bij MHW is de waterstandsval groter dan de waterstandsverhoging met een verhoudingsgetal van 81,9.

3.1.2 MHW-stand en NHW-stand buiten de rivieras

De MHW-stand en NHW-stand buiten de rivieras is weergegeven in Bijlage I van de vijftal uitvoeringsvarianten bij afvoeren van 16.000 m³/s en 10.000 m³/s te Lobith. In Tabel 8 en Tabel 9 zijn de kengetallen weergegeven. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de maximale effecten in het ruimtelijk vlak en langs de bandijk op de rechter- en linkeroever (RO & LO) in stroomafwaartse richting van de Nederrijn / Lek.

Tabel 8: MHW-effecten buiten de rivieras, RO (rechteroever) en LO (linkeroever) bij 16.000 m³/s te Lobith

Aspect	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5
Max. waterstandsverhoging MHW [cm]	4,3	4,5	1,8 / 3,0	1,8 / 3,0	1,8 / 2,9
Max. waterstandsverhoging MHW RO-bandijk [cm]	2,9	3,6	1,5	1,4	1,4
Max. waterstandsverhoging MHW LO-bandijk [cm]	1,0	1,2	0,2	0,1	0,1

Tabel 9: NHW-effecten buiten de rivieras bij 10.000 m³/s te Lobith

Aspect	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5
Max. waterstandsverhoging NHW [cm]	3,2	3,4	2,7	5,1	5,1

Variant 1

De maximale waterstandsverhoging bedraagt bij MHW 4,3 cm en vindt plaats in de westelijke punt van de westelijke plas (ter hoogte van km 931,6). Bij de rechteroever van de bandijk bedraagt de maximale waterstandsverhoging bij de bandijk maximaal 2,9 cm. Bij de linkeroever is de waterstandsverhoging bij de bandijk maximaal 1,0 cm. Bij NHW is de maximale waterstandsverhoging 3,2 cm, op dezelfde locatie als de maximale verhoging bij MHW.

Variant 2

De maximale waterstandsverhoging bedraagt bij MHW 4,5 cm en vindt plaats in de westelijke punt van de westelijke plas (ter hoogte van km 931,6). Bij de rechteroever bedraagt de maximale waterstandsverhoging bij de bandijk maximaal 3,6 cm. Bij de linkeroever is de waterstandsverhoging bij de bandijk maximaal 1,2 cm. Bij NHW is de maximale waterstandsverhoging 3,4 cm, op dezelfde locatie als de maximale verhoging bij MHW.

Variant 3

De maximale waterstandsverhoging bedraagt 3,0 cm ter hoogte van de oude fabrieksterrein bij MHW. Bij de uitstroomopening van de geul bedraagt deze 1,8 cm. Langs de rechteroever van de bandijk bedraagt de verhoging maximaal 1,5 cm. Langs de linkeroever van de bandijk bedraagt de verhoging maximaal 0,2 cm. Bij NHW is de maximale verhoging 2,7 cm bovenstrooms van de toegangsweg.

Variant 4

De maximale waterstandsverhoging bedraagt 3,0 cm ter hoogte van de oude fabrieksterrein bij MHW. Bij de uitstroomopening van de geul bedraagt deze 1,8 cm. Langs de rechteroever van de bandijk bedraagt de verhoging maximaal 1,4 cm. Langs de linkeroever van de bandijk bedraagt de verhoging maximaal 0,1 cm. Bij NHW is de maximale verhoging 5,1 cm net bovenstrooms van de toegangsweg.

Variant 5

De maximale waterstandsverhoging bedraagt 2,9 cm ter hoogte van de oude fabrieksterrein bij MHW. Bij de uitstroomopening van de geul bedraagt deze 1,8 cm. Langs de rechteroever van de bandijk bedraagt de verhoging maximaal 1,4 cm. Langs de linkeroever van de bandijk bedraagt de verhoging maximaal 0,1 cm. Bij NHW is de maximale verhoging 5,1 cm net bovenstrooms van de toegangsweg.

3.1.3 Afvoerverdeling bij MHW en NHW

Op het splitsingspunt IJsselkop (rivierkilometer 878) zijn er geen waterstandseffecten (zie Bijlage G en Bijlage H). De ingrepen hebben dus ook geen effect op de afvoerverdeling bij MHW en NHW.

3.2 Hinder en schade

3.2.1 Inundatiefrequentie van de uiterwaard

Onderstaand wordt per uitvoeringsvariant de verandering van de inundatiefrequentie beschreven. De inschatting hiervan wordt gedaan op basis van betrekings- en duurlijnen van het jaar 2012.

Variant 1:

Ter plaatse van rivierkilometer 931,44 wordt de zomerkade / oeverwal doorgebroken door de westelijke zandwininput gelijkwaardig aan te takken op het zomerbed. De referentiekruinhoogte van de zomerkade ter plaatse van de westelijke invaart ligt gemiddeld op 5,45 m+NAP (T ≈ 2 jaar). De gemiddelde kruinhoogte van de insteeklijn van de westelijke zandwinplas ligt op 5,00 m+NAP. Het laagste punt van de insteeklijn van de westelijke zandwinplas bedraagt 3,45 m+NAP (overstromingsfrequentie ≈ 45 d/j). De inundatiefrequentie van het westelijk deel van de uiterwaard neemt hierdoor dus behoorlijk toe. Ook een bestaande strang gelegen langs de bandijk tussen rkm 931,5 en 932,5, die verbinding staat met het westelijk deel van de uiterwaard, zal met deze frequentie onder water komen te staan. Er wordt niet verwacht dat dit hinder zal geven voor de omgeving, doordat deze strang in de huidige situatie ook al relatief een nat gebied is.

De toegangsweg wordt verder opgehoogd naar 6,40 m+NAP en vormt hiermee een lichtelijke ophoging ten aanzien van de referentie. Deze opgehoogde toegangsweg raakt overstromd vanaf afvoeren van 8.000 m³/s te Lobith (T ≈ 4 jaar). In de referentiesituatie is de kruinhoogte van deze toegangsweg variabel en varieert tussen de 5,50 m+NAP en 6,00 m+NAP. In de referentie raakt de toegangsweg overstromd vanaf afvoeren van 7.500 m³/s te Lobith (T ≈ 3 jaar). De algehele stroomvoerendheid van de uiterwaard neemt dus iets af.

Variant 2:

Ter plaatse van rivierkilometers 930,08 en 931,44 wordt de zomerkade / oeverwal doorgebroken door de tijdelijke zandwinputten gelijkwaardig aan te takken op het zomerbed. De referentiekruinhoogte van de zomerkade bij de oostelijke invaart ligt op 6,35 m+NAP ($T \approx 5$ jaar). De referentiekruinhoogte van de zomerkade bij de westelijke invaart ligt op 5,45 m+NAP ($T \approx 2$ jaar). De gemiddelde kruinhoogte van de insteeklijn van de oostelijke zandwinplas ligt op 5,14 m+NAP. Het laagste punt van de insteeklijn van de oostelijke zandwinplas bedraagt 4,5 m+NAP (overstromingsfrequentie ≈ 15 d/j). De gemiddelde kruinhoogte van de insteeklijn van de westelijke zandwinplas ligt op 5,00 m+NAP. Het laagste punt van de insteeklijn van de westelijke zandwinplas bedraagt 3,45 m+NAP (overstromingsfrequentie ≈ 45 d/j). Ook een bestaande strang gelegen langs de bandijk tussen rkm 931,5 en 932,5, die verbinding staat met het westelijk deel van de uiterwaard, zal met deze frequentie onder water komen te staan. De inundatiefrequentie van zowel het westelijk en oostelijk deel van de uiterwaard neemt dus behoorlijk toe. Er wordt niet verwacht dat dit hinder zal geven voor de omgeving.

De toegangsweg wordt opgehoogd naar 6,40 m+NAP en vormt hiermee een lichtelijke ophoging ten aanzien van de referentie. Deze opgehoogde toegangsweg raakt overstromd vanaf afvoeren van 8.000 m³/s te Lobith ($T \approx 4$ jaar). In de referentiesituatie is de kruinhoogte van deze toegangsweg variabel en varieert tussen de 5,50 m+NAP en 6,00 m+NAP. In de referentie raakt de toegangsweg overstromd vanaf afvoeren van 7.500 m³/s te Lobith ($T \approx 3$ jaar). De algehele stroomvoerendheid van de uiterwaard neemt dus iets af.

Variant 3:

Ter plaatse van rivierkilometer 931,44 wordt de zomerkade / oeverwal doorgebroken door de oostelijke zandwinput gelijkwaardig aan te takken op het zomerbed. De referentiekruinhoogte van de zomerkade ter plaatse van de oostelijke invaart ligt gemiddeld op 6,35 m+NAP ($T \approx 5$ jaar). De gemiddelde kruinhoogte van de insteeklijn van de oostelijke zandwinplas ligt op 5,14 m+NAP. Het laagste punt van de insteeklijn van de oostelijke zandwinplas bedraagt 4,50 m+NAP (overstromingsfrequentie ≈ 15 d/j). De inundatiefrequentie van het oostelijk deel van de uiterwaard neemt dus behoorlijk toe. Er wordt niet verwacht dat dit hinder zal geven voor de omgeving.

Ter plaatse van rivierkilometer 931,8 ligt de uitstroomopening van de geul. De uitstroomopening ligt op 0,0 m+NAP (onder stuwpaand Hagestein 3,0 m+NAP). De gemiddelde referentiekruinhoogte ligt hier lokaal op 5,40 m+NAP ($T \approx 2$ jaar). De inundatiefrequentie van de uiterwaard binnen de contour van de geul neemt dus significant toe doordat in de geul permanent water staat. Buiten de contour van de geul is het gemiddelde maaiveld in het westelijk deel van de uiterwaard opgehoogd naar 5 m+NAP ($T \approx 1$ jaar). De bestaande strang gelegen langs de bandijk tussen rkm 931,5 en 932,5, die verbinding staat met het westelijk deel van de uiterwaard, zal met deze frequentie ook onder water komen te staan. De inundatiefrequentie van deze strang neemt dus lichtelijk toe. Aanvullend wordt in het westelijk deel van de uiterwaard, tussen de oeverzone en de geul, een hoogwatervluchtplaats gerealiseerd in vorm van een heuvelrug. De hoogwatervluchtplaats ligt ca. 3,5 m hoger dan de referentiesituatie.

De toegangsweg wordt opgehoogd naar 6,40 m+NAP en vormt hiermee een lichtelijke ophoging ten aanzien van de referentie. Deze opgehoogde toegangsweg raakt overstromd vanaf afvoeren van 8.000 m³/s te Lobith ($T \approx 4$ jaar). In de referentiesituatie is de kruinhoogte van deze toegangsweg variabel en varieert tussen de 5,50 m+NAP en 6,00 m+NAP. In de referentie raakt de toegangsweg overstromd vanaf afvoeren van 7.500 m³/s te Lobith ($T \approx 3$ jaar). De algehele stroomvoerendheid van de uiterwaard neemt dus iets af.

Variant 4:

Ter plaatse van rivierkilometer 931,8 ligt de uitstroomopening van de geul. De uitstroomopening ligt op 0,0 m+NAP (onder stuwpannd Hagestein 3,0 m+NAP). De gemiddelde referentiekruinhoogte ligt hier lokaal op 5,40 m+NAP ($T \approx 2$ jaar). De inundatiefrequentie van de uiterwaard binnen de contour van de geul neemt dus significant toe doordat in de geul permanent water staat. Dit geldt ook voor de geul in het oostelijk deel van de uiterwaard. Door middel van een aantal duikers in de toegangsweg staat de geul in beide delen van de uiterwaard in verbinding met elkaar. Tijdens stuwpannd omstandigheden staan de duikers gedeeltelijk (ca. 60%) onder water. Buiten de contour van de geul is het gemiddelde maaiveld in het westelijk deel van de uiterwaard opgehoogd naar 5 m+NAP ($T \approx 1$ jaar). De bestaande strang gelegen langs de bandijk tussen rkm 931,5 en 932,5, die verbinding staat met het westelijk deel van de uiterwaard, zal met deze frequentie ook onder water komen te staan. De inundatiefrequentie van deze strang neemt dus lichtelijk toe. Aanvullend wordt in het westelijk deel van de uiterwaard, tussen de oeverzone en de geul, een hoogwatervluchtplaats gerealiseerd in vorm van een heuvelrug. De hoogwatervluchtplaats ligt ca. 3,5 m hoger dan de referentiesituatie.

Naast realisatie van de geul wordt de zomerkade in het oostelijk deel van de uiterwaard geactualiseerd met een recente inmeting. In deze actualisatie ligt de zomerkade (met name bij de voormalige steenfabriek) lichtelijk hoger dan de referentiesituatie. Bij de monding van de geul ligt de zomerkade juist iets lager. De gemiddelde referentiekruinhoogte bij de monding van de geul ligt globaal op 6,55 m+NAP ($T \approx 6$ jaar). De gemiddelde kruinhoogte in variant 4 bij de geulmonding ligt globaal op 6,47 ($T \approx 5,5$ jaar). De overstromingsfrequentie van de zomerkade zelf van het oostelijk deel van de uiterwaard neemt dus lichtelijk toe (ten aanzien van de referentie).

Ook wordt de toegangsweg naar de voormalige steenfabriek opgehoogd naar 6,55 m+NAP met een bijhorende drempelafvoer van 8.500 m³/s te Lobith ($T \approx 5,5$ jaar). In de referentiesituatie is de kruinhoogte van deze toegangsweg variabel en varieert tussen de 5,50 m+NAP en 6,00 m+NAP. In de referentie raakt de toegangsweg overstroomt vanaf afvoeren van 7.500 m³/s te Lobith ($T \approx 3$ jaar). De algehele stroomvoerendeheid van de uiterwaard neemt dus iets af ten aanzien van de referentie.

Variant 5:

Variant 5 is vrijwel identiek met variant 4 en zal een vergelijkbare inundatiefrequentie vertonen. In variant 5 vindt wel iets meer vergraving plaats in het oostelijke gedeelte van de uiterwaard ter plaatse van het ooibos areaal.

3.2.2 Overige standen op de as van de rivier

In Bijlage H zijn de overige waterstanden op de as van de rivier weergegeven voor de verschillende uitvoeringsvarianten. Dit voor het afvoerbereik van 7.000 – 9.500 m³/s te Lobith. Onderstaand wordt per uitvoeringsvariant het stroomsnelheidsbeeld kort toegelicht.

Variant 1

Bij een afvoer van 7.000 m³/s te Lobith is er vrijwel geen rivierkundig effect zichtbaar, afgezien van een lokale piek nabij de westelijke invaart bij rkm 931,6. Bij een afvoer van 8.500 m³/s te Lobith, waarbij het water net iets boven de toegangsweg uitkomt, ontstaat de grootste opstuwung in stroomopwaartse richting, die 1,19 cm op de as van de rivier is. Tot aan rkm 926 bedraagt deze nog 1,0 cm. De opstuwung (> 1mm) is zichtbaar tot ongeveer aan rkm 911. Bij afvoeren boven de 9.000 m³/s neemt de opstuwung als gevolg van de toegangsweg weer af, waarbij bij afvoeren boven de 9.500 m³/s te Lobith pas netto waterstandsding ontstaat.

Variant 2

Bij een afvoer van 7.000 m³/s te Lobith is er vrijwel geen rivierkundig effect zichtbaar, afgezien van een lokale piek nabij de westelijke invaart bij rkm 931,6. Bij een afvoer van 8.500 m³/s te Lobith, waarbij het water net iets boven de toegangsweg uitkomt, ontstaat de grootste opstuwung in stroomopwaartse richting, die lokaal 1,08 cm op de as van de rivier is. In het overige traject op de as van de rivier is de opstuwung kleiner dan 1,0 cm. De opstuwung (> 1 mm) is zichtbaar tot ongeveer aan rkm 915. Bij afvoeren boven de 9.000 m³/s neemt de opstuwung als gevolg van de toegangsweg weer af, waarbij bij afvoeren boven de 9.500 m³/s te Lobith pas netto waterstandsding ontstaat.

Variant 3

Bij een afvoer van 7.000 m³/s te Lobith is er nauwelijks een rivierkundig effect te onderscheiden. Nabij de uitstroomopening van de geul (rkm 931,8) zijn de lokale waterstandseffecten beperkt tot 1 - 2 mm. Bij een afvoer van 8.500 m³/s te Lobith, waarbij het water net iets boven de toegangsweg uitkomt, ontstaat de grootste opstuwung in stroomopwaartse richting, die 1,82 cm op de as van de rivier is. Tot aan rkm 923,5 bedraagt deze nog 1,0 cm. De opstuwung (> 1mm) is zichtbaar tot ongeveer aan rkm 910. Bij afvoeren boven de 9.000 m³/s neemt de opstuwung als gevolg van de toegangsweg weer af, waarbij bij afvoeren boven de 9.500 m³/s te Lobith pas netto waterstandsding ontstaat.

Variant 4

Bij een afvoer van 7.000 m³/s te Lobith is er nauwelijks een rivierkundig effect te onderscheiden. Nabij de uitstroomopening van de geul (rkm 931,8) zijn de lokale waterstandseffecten beperkt tot 1 - 2 mm. Bij de drempelafvoer van 8.500 m³/s te Lobith ontstaat de grootste opstuwung in stroomopwaartse richting en bedraagt 3,44 cm op de as van de rivier. Tot aan ongeveer rkm 922,5 bedraagt deze nog 1 cm. De opstuwung (> 1mm) is zichtbaar tot ongeveer aan rkm 904. Bij afvoeren boven de 9.000 m³/s neemt de opstuwung als gevolg van de toegangsweg weer af, waarbij bij afvoeren boven de 10.000 m³/s te Lobith pas netto waterstandsding ontstaat.

Variant 5

Bij een afvoer van 7.000 m³/s te Lobith is er nauwelijks een rivierkundig effect te onderscheiden. Nabij de uitstroomopening van de geul (rkm 931,8) zijn de lokale waterstandseffecten beperkt tot 1 - 2 mm. Bij de drempelafvoer van 8.500 m³/s te Lobith ontstaat de grootste opstuwing in stroomopwaartse richting en bedraagt 3,44 cm op de as van de rivier. Tot aan rkm 922,7 bedraagt deze nog 1 cm. De opstuwing (> 1mm) is zichtbaar tot ongeveer aan rkm 904. Bij afvoeren boven de 9.000 m³/s neemt de opstuwing als gevolg van de toegangsweg weer af, waarbij bij afvoeren boven de 10.000 m³/s te Lobith pas netto waterstandsdeling ontstaat.

3.2.3 Stroombeeld in de uiterwaard

In Bijlage J zijn kaarten opgenomen die het stroombeeld (waterdiepte gemiddeld) weergegeven bij een afvoer van 16.000 m³/s (MHW) en 10.000 m³/s (NHW) te Lobith. Aanvullend zijn de stroombeelden bij een afvoer van 9.000 m³/s en 8.000 m³/s weergegeven. Onderstaand wordt per uitvoeringsvariant het stroomsnelheidsbeeld kort toegelicht.

Variant 1

Door de verruiming van de westelijke zandwininput neemt de stroomsnelheid bij NHW in het westelijk gedeelte van de uiterwaard toe tot 0,2 m/s. Door de toename van de waterdiepte in de westelijke zandwininput neemt de stroomsnelheid in de plas zelf af. In het oostelijk gedeelte van de uiterwaard neemt de stroomsnelheid toe met maximaal 0,1 m/s. Ook direct stroomafwaarts van de voormalige steenfabriek nemen de stroomsnelheden toe tot maximaal 0,41 m/s langs de oever van de Nederrijn. Ook ter plaatse van de gereserveerde gronddepot in het Noordoosten van de uiterwaard neemt de stroomsnelheid in de uiterwaard af bij NHW.

Bij MHW is het patroon van stroomsnelheidsverschillen vergelijkbaar met NHW. De toename van de stroomsnelheid bij MHW direct stroomafwaarts van de voormalige steenfabriek neemt wat af en blijft beperkt tot 0,2 m/s. De stroomsnelheden net bovenstrooms van de toegangsweg nemen juist toe tot 0,4 m/s. Lokaal direct stroomafwaarts van de toegangsweg loopt de toename van de stroomsnelheid op tot 0,5 – 0,7 m/s. De stroomsnelheid absoluut bij de toegangsweg (niet op de kruin) blijft beperkt tot ca. 1,0 m/s. In de westelijke zandwinplas zelf blijft de stroomsnelheid beperkt tot 0,3 – 0,4 m/s. Stroomafwaarts hiervan, in de westelijke punt van de uiterwaard, loopt de stroomsnelheid weer op tot maximaal 1,1 m/s.

Bij een afvoer van 9.000 m³/s blijft de absolute stroomsnelheid voor een groot deel in de uiterwaard beneden de 0,3 m/s. Langs de gehele oever is de stroomsnelheid wat hoger en ligt in orde van 0,4 – 0,5 m/s. In de meeste westelijke punt van de uiterwaard (direct stroomafwaarts van de westelijke zandwininput) is de stroomsnelheid 0,5 – 0,6 m/s.

Variant 2

Door de verruiming nemen de stroomsnelheden sterk af ter plaatse van de zandwinputten. In de rest van de uiterwaard nemen de stroomsnelheden bij NHW over het algemeen wat toe. Op de oever bij tussen km 930,8 en 931,2 is de toename het sterkst met een maximale toename van 0,4 m/s. Dit is eveneens de absolute stroomsnelheid doordat het in de referentie hier niet stroomt vanwege de ligging van de voormalige hoogwatervrije terrein / vergunning. Ook direct ten westen van de noordwestelijke punt van de westelijke plas is een sterke toename van ruim 0,2 m/s. De absolute stroomsnelheid is hier met ruim 0,8 m/s ook relatief groot. Rond de toegangsweg is er bij NHW geen significante toename van de stroomsnelheid te zien. De stroomsnelheden (niet op kruin) lopen dan op tot 0,75 m/s.

Bij MHW is het patroon van stroomsnelheidsverschillen vergelijkbaar, behalve dat bij de toegangsweg een sterkere toename van de stroomsnelheid is te zien. De stroomsnelheden nemen hier met ongeveer 0,2 m/s toe tot maximaal 0,7 m/s. De absolute stroomsnelheid (niet op kruin) is dan maximaal 1,2 m/s. De stroomsnelheden direct ten westen van de westelijk plas zijn met ruim 0,9 m/s ook iets groter dan bij NHW. Lokaal kan de stroomsnelheid hier ook oplopen tot 1,2 m/s.

Bij een afvoer van 9,000 m³/s is de stroomsnelheid in de gehele uiterwaard kleiner of gelijk aan 0,4 m/s.

Variant 3

Door de verruiming van de oostelijke zandwinput neemt hier de stroomsnelheid in het algemeen af. In het westen van de uiterwaard is de hoogwatergeul gerealiseerd en hier nemen de stroomsnelheden toe. Ook rondom de voormalige steenfabriek nemen de stroomsnelheden in het algemeen wat toe.

De afname van de stroomsnelheid bij NHW bij de oostelijke zandwinput is maximaal 0,4 m/s. De toename rondom de voormalige steenfabriek is kleiner dan 0,05 m/s. Lokaal is de toename wat hoger en ligt in orde van 0,1 – 0,2 m/s. Bij de uitstroom van de geul is de toename kleiner of gelijk aan 0,2 m/s. Ten oosten van de toegangsweg blijft de absolute stroomsnelheid beneden de 0,3 m/s bij NHW. Nabij de toegangsweg is de stroomsnelheid 0,6 – 0,7 m/s. Ten westen van de toegangsweg blijven de stroomsnelheden beneden de 0,5 m/s.

De afname van de stroomsnelheid bij MHW bij de zandwinput is maximaal 0,6 m/s. De toename rondom de voormalige steenfabriek ligt in orde van 0,2 – 0,3 m/s. Lokaal kan de toename oplopen tot 0,7 m/s. Bij de uitstroom van de geul is de toename nog steeds kleiner of gelijk aan 0,2 m/s. Ten oosten van de toegangsweg blijft de absolute stroomsnelheid beneden de 0,4 m/s bij MHW. Nabij de toegangsweg is de stroomsnelheid 0,7 – 1,0 m/s. Ten westen van de toegangsweg blijven de stroomsnelheden beneden de 0,8 m/s. In het tracé van de geul loopt de stroomsnelheid op tot 1,0 m/s.

Bij een afvoer van 9.000 m³/s blijft de absolute stroomsnelheid voor een groot deel in de uiterwaard beneden de 0,3 m/s. Nabij de toegangsweg en bij de uitstroompunt van de geul is de stroomsnelheid wat hoger.

Variant 4

In het algemeen nemen de stroomsnelheden in de uiterwaarden toe binnen de contour van de geul. Echter door de opstuwing van de verhoogde toegangsweg blijft deze toename bij NHW ruimtelijk beperkt tot in de westelijke gedeelte van de uiterwaard van de geul. Deze toename is nog steeds relatief klein en bedraagt maximaal 0,08 m/s. De absolute stroomsnelheid in de geul is kleiner of gelijk aan 0,7 m/s. Buiten de geul nemen de stroomsnelheden af in de uiterwaard. De stroomsnelheid rondom de toegangsweg (niet bovenkant kruin) bedraagt globaal 0,5 m/s.

Bij MHW is het stromingspatroon vergelijkbaar. De stroomsnelheid in de geul is het grootst in de westelijke gedeelte van de uiterwaard en bedraagt 1,0 m/s. De stroomsnelheid rondom de toegangsweg (niet bovenkant kruin) bedraagt globaal 1,0 m/s. De absolute stroomsnelheid in het oostelijk gedeelte van de uiterwaard ligt dan tussen de 0,5 m/s en 0,7 m/s.

Bij een afvoer van 9.000 m³/s is de stroomsnelheid in de gehele uiterwaard kleiner of gelijk aan 0,3 m/s.

Variant 5

In het algemeen nemen de stroomsnelheden in de uiterwaarden toe binnen de contour van de geul. Echter door de opstuwing van de verhoogde toegangsweg blijft deze toename bij NHW ruimtelijk beperkt tot in de westelijke gedeelte van de uiterwaard van de geul. Deze toename is nog steeds relatief klein en bedraagt maximaal 0,08 m/s. De absolute stroomsnelheid in de geul is kleiner of gelijk aan 0,7 m/s. Buiten de geul nemen de stroomsnelheden af in de uiterwaard. De stroomsnelheid rondom de toegangsweg (niet bovenkant kruin) bedraagt globaal 0,5 m/s.

Bij MHW is het stromingspatroon vergelijkbaar. De stroomsnelheid in de geul is het grootst in de westelijke gedeelte van de uiterwaard en bedraagt 1,0 m/s. De stroomsnelheid rondom de toegangsweg (niet bovenkant kruin) bedraagt globaal 1,0 m/s. De absolute stroomsnelheid in het oostelijk gedeelte van de uiterwaard ligt dan tussen de 0,5 m/s en 0,7 m/s.

Bij een afvoer van 9.000 m³/s is de stroomsnelheid in de gehele uiterwaard kleiner of gelijk aan 0,3 m/s

3.2.4 Dwarsstroming

In Bijlage K worden de veranderingen in dwarsstroming (tussen het zomer- en winterbed) haaks op de normaallijn (rechter) inzichtelijk gemaakt voor afvoeren van 10.000 m³/s, 9.000 m³/s, 8.000 m³/s en 7.000 m³/s te Lobith. Deze effecten worden berekend ter grootte van de resolutie van het rekenrooster. Een positieve dwarsstroming is gerelateerd aan een stroom uit de hoofdgeul richting de uiterwaard. Omgekeerd geldt een negatieve dwarsstroming waarbij een stroom van de uiterwaard richting de hoofdgeul wordt getransporteerd. Wanneer deze neutraal is (dwarsstroming = 0) dan is de stroom evenwijdig aan de normaallijn.

Voor de scheepvaart is een dwarsstroming van 0,15 m/s toegestaan. Deze mag oplopen tot 0,30 m/s wanneer het debiet/deelafvoer kleiner is dan 50 m³/s. In andere gevallen mag de dwarsstroming niet verslechteren ten opzichte van de referentiesituatie.

De eenheid waarover de deelafvoer getoetst moet worden is niet eenduidig beschreven in het RBK. RWS-ON heeft mondeling aangegeven dat er rekening gehouden moet worden met een scheepvaart lengte van maximaal 100 m per deelafvoer. Deze breedte komt globaal overeen met de breedte van de uitstroomopening van de geul (max. twee rekencellen in WAQUA = deelafvoer). De monding van de geul is globaal 300 m (max. acht cellen in WAQUA). Voor de deelafvoer van deze monding is totale debietflux "instroompunt geul" dus gedeeld door drie. Wanneer de ruimtelijke eenheid kleiner is dan de scheepvaart lengte, zoals de in- en uitvaarten van de zandwinputten (1 WAQUA-cel) dan kan deze eenheid gehanteerd worden bij bepaling van de deelafvoer. Naast de scheepvaart lengte is in onderstaande analyse rekening gehouden met dat de schepen een maximale diepgang moeten hebben van 3,5 m.

Onderstaand worden de effecten op de dwarsstroming op de rechteroever per uitvoeringsvariant kort toegelicht.

Variant 1

Bij afvoeren van 7.000, 9.000 en 10.000 m³/s te Lobith is de dwarsstroming bij de westelijke zandwininput kleiner dan 0,15 m/s (zie Tabel 10). Bij een afvoer van 8.000 m³/s ($T \approx 4$) ontstaat er een overschrijding van 0,05 m/s ten aanzien van de norm van 0,15 m/s (deelafvoer > 50 m³/s). In de rest van de uiterwaard (buiten de invaarten) is de dwarsstroming ook kleiner dan 0,15 m/s.

Merk wel op dat in bovenstaande analyse de deelafvoer per afvoerniveau is berekend over de totale waterdieptekolom. De deelafvoeren lineair omgerekend naar een diepgang van 3,5 m, diepte van de waterkolom dat feitelijk invloed heeft op de vaartbeweging van een schip, levert een deelafvoer op die kleiner is dan 50 m³/s. Hierbij geldt de norm van 0,30 m/s waaraan te allen tijde aan wordt voldaan.

Verder is de dwarsstroming op rivierkilometer 929,18 erg hoog. Het betreft de meest oostelijke punt van de uiterwaard ter hoogte van de krib richting het AR-kanaal. In de referentie is deze dwarsstroming berekend op 0,39 m/s. Door de ingreep met zijn opstuwende werking neemt deze dwarsstroming lichtelijk af en treedt er een lichte verbetering op.

Tabel 10: Dwarsstroom effecten versus deelafvoer bij variant 1 (UFW1)

afvoer te Lobith [m ³ /s]	put west [931,42 - 931,46]: 2 WAQUA cellen = 100 m = deelafvoer					
	REF	UFW1				
	dwarsstroom [m/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	waterdiepte [m]	vaardiepte [m]	deelafvoer / vaardiepte [m ³ /s]
7000	-0.03	0.12	55	7.67	3.50	25
8000	0.05	0.20	100	8.18	3.50	43
9000	0.02	0.14	64	8.65	3.50	26
10000	-0.05	-0.08	14	9.05	3.50	5

Variant 2

Bij de oostelijke put is de dwarsstroming voor afvoeren van 7.000, 8.000 9.000 m³/s ($T \approx 2 \text{ t'm } T \approx 8$) kleiner of gelijk aan 0,15 m/s en wordt er voldaan aan de norm. Bij een afvoer van 10.000 m³/s bij Lobith ($T \approx 15$) is de debietflux bij de oostelijke zandwinput groter dan 50 m³/s en wordt de norm van 0,15 m/s met een dwarsstroming van 0,19 m/s lichtelijk overschreden.

Bij de westelijke zandwinput is de dwarsstroming bij een afvoer van 8.000 m³/s met 0,2 m/s het grootst, in vergelijking met de overige afvoeren van 7.000, 9.000 en 10.000 m³/s. Dit heeft te maken met dat de waterstanden in de uiterwaard, stroomafwaarts van de verhoogde toegangsweg, bij een afvoer van 8.000 m³/s dermate afnemen, waardoor de stroming van de hoofdgeul naar de uiterwaard op dit deel van de uiterwaard juist toeneemt.

Bij een afvoer van 8.000 m³/s ($T \approx 4$) is de afvoer door de invaart groter dan 50 m³/s en wordt dus de norm van 0,15 m/s dus iets overschreden (zie Tabel 11). Bij de overige afvoeren is de dwarsstroming kleiner dan 0,15 m/s en voldoen dus aan de norm.

Merk wel op dat in bovenstaande analyse de deelafvoer per afvoerniveau is berekend over de totale waterdieptekolom. De deelafvoeren lineair omgerekend naar een diepgang van 3,5 m, diepte van de waterkolom dat feitelijk invloed heeft op de vaartbeweging van een schip, levert een deelafvoer op die kleiner is dan 50 m³/s. Hierbij geldt de norm van 0,30 m/s waaraan te allen tijde aan wordt voldaan.

Bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith ($T \approx 15$) treedt er op locatie rkm 929,18 (buiten de invaarten) een lichte verslechtering op van de dwarsstroming ten aanzien van de referentie. In zowel de referentie als in de variant is de dwarsstroming groter dan 0,30 m/s. Echter de frequentie van voorkomen van een dergelijke afvoer komt zo weinig voor dat de daadwerkelijke hinder beperkt zal zijn.

Tabel 11: Dwarsstroom effecten versus deelafvoer bij variant 2 (UFWO4)

put oost [930,06 - 930,10] = 2 waqua cellen = 2 waqua cellen = 100 m = deelafvoer						
afvoer te Lobith [m ³ /s]	REF	UFWO4				
	dwarsstroom [m/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	waterdiepte [m]	vaardiepte [m]	deelafvoer / vaardiepte [m ³ /s]
7000	0.06	0.05	1	7.89	3.5	0
8000	0.07	0.07	14	8.41	3.5	6
9000	0.11	0.15	83	8.85	3.5	33
10000	0.11	0.19	116	9.22	3.5	44

put west [931,42 - 931,46] : 2 WAQUA cellen = 100 m = deelafvoer						
afvoer te Lobith [m ³ /s]	REF	UFWO4				
	dwarsstroom [m/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	waterdiepte [m]	vaardiepte [m]	deelafvoer / vaardiepte [m ³ /s]
7000	-0.03	0.12	55	7.67	3.5	25
8000	0.05	0.20	100	8.18	3.5	43
9000	0.02	0.13	60	8.65	3.5	24
10000	-0.05	-0.09	8	9.05	3.5	3

Variant 3

Bij de oostelijke invaart is de dwarsstroom tot aan afvoeren van 9.000 m³/s te Lobith kleiner of gelijk aan 0,15 m/s. Bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith (T ≈ 15) is er een overschrijding van 0,03 m/s ten aanzien van de norm van 0,15 m/s (deelafvoer > 50 m³/s).

Bij het uitstroompunt van de geul blijft de dwarsstroming tot aan afvoeren van 8.000 m³/s te Lobith kleiner of gelijk aan 0,15 m/s. Bij afvoeren van 9.000 m³/s (T ≈ 8) en 10.000 m³/s (T ≈ 15) ontstaat een overschrijding van 0,09 m/s en 0,21 m/s, ten opzichte van de norm van 0,15 m/s (deelafvoer > 50 m³/s).

Merk wel op dat in bovenstaande analyse de deelafvoer per afvoerniveau is berekend over de totale waterdieptekolom. De deelafvoeren lineair omgerekend naar een diepgang van 3,5 m, diepte van de waterkolom dat feitelijk invloed heeft op de vaartbeweging van een schip, levert in de meeste gevallen een deelafvoer op die kleiner is dan 50 m³/s. Hierbij geldt de norm van 0,30 m/s waaraan veelal aan wordt voldaan. Een uitzondering doet zich voor bij het uitstroompunt van de geul. Bij 10.000 m³/s (T ≈ 15) ontstaat bij de omrekening nog steeds een deelafvoer die groter is dan 50 m³/s, waardoor hier de norm van 0,15 m/s blijft gelden. Ook na correctie in deelafvoer treedt er dus een overschrijding op van 0,21 m/s. Echter de frequentie van voorkomen van een dergelijke afvoer komt zo weinig voor dat de daadwerkelijke hinder beperkt zal zijn.

Bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith (T ≈ 15) treedt er op locatie 929,18 (buiten de invaart en uitstroompunt geul) ook een lichte verslechtering op van de dwarsstroming ten aanzien van de referentie. In zowel de referentie als in de variant is de dwarsstroming groter dan 0,30 m/s. Echter de frequentie van voorkomen van een dergelijke afvoer komt zo weinig voor dat ook hier de daadwerkelijke hinder beperkt zal zijn.

Tabel 12: Dwarsstroom effecten versus deelafvoer bij variant 3 (UFO1)

put oost [930,06 - 930,10] = 2 waqua cellen = 2 waqua cellen = 100 m = deelafvoer						
afvoer te Lobith [m ³ /s]	REF	VAR3 (UFO1)				
	dwarsstroom [m/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	waterdiepte [m]	vaardiepte [m]	deelafvoer / vaardiepte [m ³ /s]
7000	0.06	0.05	1	7.89	3.50	0
8000	0.07	0.07	14	8.42	3.50	6
9000	0.11	0.15	81	8.86	3.50	32
10000	0.11	0.18	112	9.23	3.50	42

Uitstroompunt Geul [931,82]						
afvoer te Lobith [m ³ /s]	REF	VAR3 (UFO1)				
	dwarsstroom [m/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	waterdiepte [m]	vaardiepte [m]	deelafvoer / vaardiepte [m ³ /s]
7000	-0.09	-0.15	6	5.43	3.50	4
8000	-0.09	-0.10	12	5.94	3.50	7
9000	-0.14	-0.24	83	6.40	3.50	45
10000	-0.17	-0.36	171	6.78	3.50	88

Variant 4

In het afvoerbereik van 7.000 m³/s - 9.000 m³/s te Lobith ($2 \geq T \leq 8$) blijft de deelafvoer, bij de monding en uitstroompunt van de geul (locaties 929,62 en 931,82) in variant 4 (GLN9), beneden de 50 m³/s (zie Tabel 13). In deze gevallen geldt de norm van 0,30 m/s en in alle gevallen wordt hieraan voldaan.

Bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith ($T \approx 15$) is de deelafvoer groter dan 50 m³/s bij de monding en bij de uitstroom van de geul. De norm van 0,15 m/s wordt bij de monding van de geul lichtelijk overschreden met 0,02 m/s. Bij het uitstroompunt van de geul treedt een overschrijding op van 0,17 m/s.

Merk wel op dat in bovenstaande analyse de deelafvoer per afvoerniveau is berekend over de totale waterdieptekolom. De deelafvoeren lineair omgerekend naar een diepgang van 3,5 m, diepte van de waterkolom dat feitelijk invloed heeft op de vaartbeweging van een schip, levert in de meeste gevallen een deelafvoer die kleiner is dan 50 m³/s. Hierbij geldt de norm van 0,30 m/s waaraan veelal aan wordt voldaan. Een uitzondering doet zich voor bij het uitstroompunt van de geul. Bij 10.000 m³/s ontstaat bij de omrekening nog steeds een deelafvoer die groter is dan 50 m³/s, waardoor hier de norm van 0,15 m/s blijft gelden. Ook na correctie in deelafvoer treedt er dus een overschrijding op van 0,17 m/s. Echter de frequentie van voorkomen van een dergelijke afvoer komt zo weinig voor dat de daadwerkelijke hinder beperkt zal zijn.

Verder is de dwarsstroming op rivierkilometer 929,18 erg hoog bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith. Het betreft de meest oostelijke punt van de uiterwaard ter hoogte van de krib richting het AR-kanaal. In de referentie is deze dwarsstroming berekend op 0,39 m/s. Door de ingreep met zijn opstuwende werking neemt deze dwarsstroming lichtelijk af en treedt er een lichte verbetering op.

Tabel 13: Dwarsstroom effecten versus deelafvoer bij variant 4 (GLN9)

instroom geul [929,62] = 8 WAQUA cellen = 2 WAQUA cellen \approx 100 m \approx deelafvoer						
afvoer te Lobith [m ³ /s]	REF	GLN9				
	dwarsstroom [m/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	waterdiepte [m]	vaardiepte [m]	deelafvoer / vaardiepte [m ³ /s]
7000	0.04	0.04	3	5.57	3.50	2
8000	0.03	0.03	3	6.10	3.50	2
9000	0.08	0.11	42	6.56	3.50	22
10000	0.13	0.17	74	6.91	3.50	37

uitstroom geul [931,82]: 2 WAQUA cellen \approx 100 m \approx deelafvoer						
afvoer te Lobith [m ³ /s]	REF	GLN9				
	dwarsstroom [m/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	waterdiepte [m]	vaardiepte [m]	deelafvoer / vaardiepte [m ³ /s]
7000	-0.09	-0.15	6	5.43	3.50	4
8000	-0.09	-0.10	12	5.94	3.50	7
9000	-0.14	-0.18	47	6.40	3.50	26
10000	-0.17	-0.32	144	6.78	3.50	74

Variant 5

In het afvoerbereik van 7.000 m³/s - 9.000 m³/s te Lobith ($2 \geq T \leq 8$) blijft de deelafvoer, bij de monding en het uitstroompunt van de geul (locaties 929,62 en 931,82) in variant 5 (GLA3), beneden de 50 m³/s (zie Tabel 14). In deze gevallen geldt de norm van 0,30 m/s en in alle gevallen wordt hieraan voldaan.

Bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith ($T \approx 15$) is de deelafvoer groter dan 50 m³/s bij de monding en bij de uitstroom van de geul. De norm van 0,15 m/s wordt bij de monding van de geul lichtelijk overschreden met 0,02 m/s. Bij het uitstroompunt van de geul treedt een overschrijding op van 0,17 m/s.

Merk wel op dat in bovenstaande analyse de deelafvoer per afvoer is berekend over de totale waterdieptekolom. De deelafvoeren omgerekend naar een diepgang van 3,5 m, diepte van de waterkolom dat feitelijk invloed heeft op de vaartbeweging van een schip, levert in de meeste gevallen een deelafvoer op die kleiner is dan 50 m³/s. Hierbij geldt de norm van 0,30 m/s waaraan veelal aan wordt voldaan. Een uitzondering doet zich voor bij het uitstroompunt van de geul. Bij 10.000 m³/s ontstaat bij de omrekening nog steeds een deelafvoer die groter is dan 50 m³/s, waardoor hier de norm van 0,15 m/s blijft gelden. Ook na correctie in deelafvoer treedt er dus een overschrijding op van 0,17 m/s. Echter de frequentie van voorkomen van een dergelijke afvoer komt zo weinig voor dat de daadwerkelijke hinder beperkt zal zijn.

Verder is de dwarsstroming op rivierkilometer 929,18 erg hoog. Het betreft de meest oostelijke punt van de uiterwaard ter hoogte van de krib richting het AR-kanaal. In de referentie is deze dwarsstroming berekend op 0,39 m/s. Door de ingreep met zijn opstuwende werking neemt deze dwarsstroming lichtelijk af en treedt er een lichte verbetering op.

Tabel 14: Dwarsstroom effecten versus deelafvoer bij variant 5 (GLA3)

Monding Geul [929,62]						
afvoer te Lobith [m ³ /s]	REF	VAR5 (GLA3)				
	dwarsstroom [m/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	waterdiepte [m]	vaardiepte [m]	deelafvoer / vaardiepte [m ³ /s]
7000	0.04	0.04	3	5.57	3.50	2
8000	0.03	0.03	2	6.10	3.50	1
9000	0.08	0.11	42	6.56	3.50	22
10000	0.13	0.17	74	6.91	3.50	37

Uitstroompunt Geul [931,82]						
afvoer te Lobith [m ³ /s]	REF	VAR5 (GLA3)				
	dwarsstroom [m/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	waterdiepte [m]	vaardiepte [m]	deelafvoer / vaardiepte [m ³ /s]
7000	-0.09	-0.15	6	5.43	3.50	4
8000	-0.09	-0.10	12	5.94	3.50	7
9000	-0.14	-0.18	46	6.40	3.50	25
10000	-0.17	-0.32	144	6.78	3.50	74

3.3 Bodemligging en morfologie

Morfologische effecten van maatregelen treden op in een beperkt afvoerbereik. Lage afvoeren gaan gepaard met weinig morfologische activiteit en zijn derhalve weinig relevant. Bij toenemende afvoeren neemt de morfologische activiteit toe, maar de frequentie van voorkomen neemt daarentegen af. Bij zeer hoge afvoeren is de frequentie zo laag dat om die reden de resulterende gemiddelde morfologische ontwikkeling opnieuw zeer gering is. In WAQMORF wordt aangenomen dat voor de Rijntakken de relevante morfologische ontwikkelingen plaatsvinden in een afvoerbereik tot aan 10.000 m³/s te Lobith. Juist in dit bereik moet worden gekeken naar hydraulische effecten die morfologische effecten tot gevolg kunnen hebben.

Met WAQMORF (Sieben, 2011) kunnen afzonderlijke morfologische effecten van lokale ingrepen (maximaal een enkele uiterwaard van 5 km lang) inzichtelijk worden gemaakt. WAQMORF geeft hierbij een inschatting van evenwichtsbodemveranderingen in het zomerbed (hoofdgeul) die als gevolg van een ingreep en zonder aangepast beheer na lange tijd ontstaan. De programmatuur voert geen morfologische simulatie uit, maar past een methodiek toe voor de inschatting van morfologische effecten in het zomerbed door een lokale rivieringreep op basis van de hydrodynamische resultaten (WAQUA). Deze methodiek houdt rekening met een seizoensvariatie in maximaal drie karakteristieke afvoersituaties, (gewone afvoer, hoogwater en een overgang ertussen). Deze afvoersituaties worden vervolgens gewogen naar een karakteristieke tijdschaal, nadat ze vertaald zijn in een afvoer op de Bovenrijn. Naast gemiddelde morfologische evenwichtsveranderingen laat WAQMORF ook incidentele morfologische evenwichtsveranderingen zien, behorende bij een enkele hoogwatersituatie.

Het maximaal toegelaten hinder voor de scheepvaart door baggeren bedraagt, ongeacht het aantal ingrepen, 5 dagen per jaar per 15 km (RBK-versie 3.0). Voor de Nederrijn / Lek is dit criterium niet hard vertaald naar een toelaatbaar baggervolume maar als richtlijn wordt 500 m³/km binnen de vaargeul aangehouden. De hydraulische effecten van Bosscherwaarden treden hoofdzakelijk op over een traject van 4 km (929 – 933) en levert dus een aanvullend toelaatbare baggerinspanning op van 2.000 m³ binnen de vaargeul voor Bosscherwaarden.

3.3.1 Karakteristieken van de varianten

Om een goede inschatting van het morfologisch effect te maken is het belangrijk om de kenmerkende afvoeren van de varianten te weten. De hoogte van de toegangsweg is bepalend voor de karakteristieke drempelafvoer. In variant 1, variant 2 en variant 3 ligt de toegangsweg op een hoogte van 6,40 m+NAP en komt overeen met een drempelafvoer van 8.000 m³/s te Lobith ($T \approx 4$). In variant 4 en variant 5 ligt de toegangsweg op een hoogte van 6,55 m+NAP en komt overeen met een drempelafvoer van 8.500 m³/s te Lobith ($T \approx 5,5$). In Tabel 15 en Tabel 16 staan de afvoeren gedefinieerd die gebruikt zijn voor de afvoer van het hoogwaterblok.

Tabel 15: Afvoeren gebruikt voor WAQMORF bij variant 1, variant 2 en variant 3

Afvoer	Definitie afvoer	Afvoer bij Lobith [m ³ /s]	Toelichting
Q1	Drempelafvoer	8.000	De afvoer waarbij de ingreep een hydraulisch effect begint te vertonen.
Q3	Afvoer hoogwaterblok	9.000	De afvoer die gevraagd wordt door WAQMORF op basis van de drempelafvoer

Tabel 16: Afvoeren gebruikt voor WAQMORF bij variant 4 en variant 5

Afvoer	Definitie afvoer	Afvoer bij Lobith [m ³ /s]	Toelichting
Q1	Drempelafvoer	8.500	De afvoer waarbij de ingreep een hydraulisch effect begint te vertonen.
Q3	Afvoer hoogwaterblok	9.500	De afvoer die gevraagd wordt door WAQMORF op basis van de drempelafvoer

3.3.2 Streef- en minimale dieptes in de referentiesituatie

Voor de Rijntakken is de minimale eis waar de vaargeulbodem aan moet voldoen in diepte en breedte vastgelegd. Door veranderingen in de bodemligging (mede als gevolg van een rivierkundige ingreep) mag de waterdiepte bij de Nederrijn in de gehele vaargeul bij OLR (overeengekomen laagste rivierwaterstand) te allen tijde niet kleiner worden dan de gegarandeerde diepte van 3,50 m+NAP. Een tweede criterium is dat bij OLR in de vaargeul een gemiddelde waterdiepte (streefdiepte) van 1,4 x de gegarandeerde diepgang aanwezig is. Voor de streefdiepte van 4,90 m+NAP geldt een inspanningsverplichting. Op plaatsen waar de rivierbodem lager ligt dan de streefdiepte kan worden teruggestort en is sedimentatie als gevolg van ingrepen toelaatbaar tot de gegarandeerde diepte + 40% (gemiddeld over de breedte van de vaargeul).

Door RWS-ON is op 11 mei 2016 een peiling van de rivierbodem aangeleverd waar de toetsingen van minimale en streefdieptes op getoetst moeten worden. Deze peiling staat dan representatief voor de referentiesituatie. De kaarten van deze peiling zijn opgenomen in Bijlage M. Uit deze referentiekaarten is eenduidig af te leiden dat er geen sedimentatieruimte aanwezig is binnen de vaargeul (gegarandeerde diepte + 40%) en dat alle eventuele sedimentatie als gevolg van de rivierkundige ingreep bij Bosscherwaarden als baggerbezwaar beschouwd moet worden.

3.3.3 Morfologische effecten in de vaargeul

Onderstaand worden de morfologische effecten op het zomerbed per uitvoeringsvariant kort toegelicht. In Tabel 17 zijn de effecten weergegeven op de vaargeul. Dit voor zowel de jaarlijks gemiddelde (baggerbezwaar) en de maximale effecten na een incidentele enkele hoogwater. In Tabel 18 zijn de effecten op de hoofdgeul weergegeven. In beide tabellen zijn de effecten gesommeerd op het traject tussen rivierkilometers 929 – 933¹. De morfologische effecten worden in Bijlage L ruimtelijk getoond. Op basis van de jaarlijks gemiddelde effecten uit WAQMORF is het baggerbezwaar berekend. Aan de hand van deze effecten zijn ook de nieuwe minimale- en streefdieptes bepaald. Deze bepalingen zijn ruimtelijk getoond in Bijlage M.

¹ Bij variant 2 is tussen km 928,5 en 929 ook een hele lichte erosie te zien. Deze is ook meegenomen in de volumebepalingen.

Tabel 17: Morfologische effecten binnen de vaargeul tussen kilometers 929 - 933

Aspect		Volume	Volume	Volume	Volume	Volume
		Variant 1 [m ³]	Variant 2 [m ³]	Variant 3 [m ³]	Variant 4 [m ³]	Variant 5 [m ³]
Jaarlijks gemiddelde	Vaargeul-Sedimentatie	120	182	72	98	98
	Vaargeul-Erosie	616	492	635	927	930
Enkel hoogwater (max. effect)	Vaargeul-Sedimentatie	366	559	248	313	314
	Vaargeul-Erosie	1.853	1.514	1.915	2.784	2.791

Tabel 18: Morfologische effecten binnen de hoofdgeul tussen kilometers 929 - 933

Aspect		Volume	Volume	Volume	Volume	Volume
		Variant 1 [m ³]	Variant 2 [m ³]	Variant 3 [m ³]	Variant 4 [m ³]	Variant 5 [m ³]
Jaarlijks gemiddelde	Hoofdgeul-Sedimentatie	291	411	176	222	223
	Hoofdgeul-Erosie	994	790	1.076	1.531	1.536
Enkel hoogwater (max. effect)	Hoofdgeul-Sedimentatie	885	1.251	560	683	686
	Hoofdgeul-Erosie	3.004	2.421	3.235	4.600	4.609

Variant 1

Er ontstaat hoofdzakelijk erosie in het zomerbed. Dit als gevolg van de opstuwende werking van de verhoogde toegangsweg die tot aan afvoeren van 9.500 m³/s te Lobith nog steeds zichtbaar is. De jaarlijks gemiddelde erosie in de vaargeul varieert tussen de 0,1 - 1,2 cm en bevindt zich hoofdzakelijk in het verlengde van de toegangsweg op het zomerbed. Als gevolg van de opstuwung neemt de afvoer op dit traject van het zomerbed lichtelijk toe. De jaarlijks gemiddelde sedimentatie in de vaargeul varieert tussen de 0,1 – 0,9 cm en bevindt zich hoofdzakelijk tegenover de invaart van de westelijke zandwinput. De sedimentatie valt grotendeels buiten de plekken waar de vaardiepte al kritisch is (zie Bijlage M). Alleen tussen rkm 931,6 en 931,7 vindt er sedimentatie plaats op een plek waar de vaardiepte lokaal kritisch is. Al met al zijn deze orde effecten te verwaarlozen en doordat er hoofdzakelijk erosie ontstaat wordt de vaardiepte in het algemeen juist verbeterd.

De jaarlijks gemiddelde sedimentatie levert tezamen een potentieel baggervolume op van 120 m³ binnen de vaargeul op het traject tussen rivierkilometer 929 - 933. Dit volume ligt ruim binnen de toegestane hinder criterium voor de scheepvaart met betrekking tot het baggerbezwaar. De te verwachte jaarlijks gemiddelde erosie is berekend op een volume van 616 m³.

De stroomsnelheden in de westelijke zandwinput zijn bij een afvoer van 9.000 m³/s te Lobith nog steeds kleiner of gelijk aan 0,3 m/s. De verwachting is dus dat het sediment in de put veelal blijft liggen.

Variant 2

Er ontstaat hoofdzakelijk erosie in het zomerbed. Dit als gevolg van de opstuwende werking van de verhoogde toegangsweg die tot aan afvoeren van 9.500 m³/s te Lobith nog steeds zichtbaar is. De jaarlijks gemiddelde erosie in de vaargeul varieert tussen de 0,1 - 1,0 cm en bevindt zich hoofdzakelijk in het verlengde van de toegangsweg op het zomerbed. Als gevolg van de opstuwung neemt de afvoer op dit traject van het zomerbed lichtelijk toe. Door onttrekking van afvoer aan het zomerbed vindt bij de invaarten van de zandwinputten en in de zone direct benedenstrooms daarvan over een traject van 300 tot 400 meter sedimentatie plaats. De jaarlijks gemiddelde sedimentatie in deze zones blijven in de vaargeul overal kleiner dan 1 cm. De sedimentatie valt grotendeels buiten de plekken waar de vaardiepte al kritisch is (zie Bijlage M). Alleen tussen km 931,6 en 931,7 vindt er sedimentatie plaats op een plek waar de vaardiepte kritisch is. Het gaat hier om een gebied van ongeveer 350 m² met een sedimentatie in de orde van 0,2 – 0,4 cm, wat betekent dat dit qua volume ongeveer 1 m³ is. Al met al zijn deze orde effecten te verwaarlozen en doordat er hoofdzakelijk erosie ontstaat wordt de vaardiepte in het algemeen juist verbeterd.

De jaarlijks gemiddelde sedimentatie levert tezamen een potentieel baggervolume op van 182 m³ binnen de vaargeul op het traject tussen rivierkilometer 928,5 - 933. Dit volume ligt ruim binnen de toegestane hinder criterium voor de scheepvaart met betrekking tot het baggerbezwaar. De te verwachte jaarlijks gemiddelde erosie is berekend op een volume van 492 m³.

Variant 3

Er ontstaat hoofdzakelijk erosie in het zomerbed. Dit als gevolg van de opstuwende werking van de verhoogde toegangsweg die tot aan afvoeren van 9.500 m³/s te Lobith nog steeds zichtbaar is. De jaarlijks gemiddelde erosie in de vaargeul varieert tussen de 0,1 - 1,1 cm en bevindt zich hoofdzakelijk in het verlengde van de toegangsweg op het zomerbed. Als gevolg van de opstuwning neemt de afvoer op dit traject van het zomerbed lichtelijk toe. De jaarlijks gemiddelde sedimentatie in de vaargeul varieert tussen de 0,1 – 0,5 cm en bevindt zich hoofdzakelijk tegenover de invaart van de oostelijke zandwinput. De sedimentatie valt buiten de plekken waar de vaardiepte al kritisch is (zie Bijlage M). Al met al zijn deze orde effecten te verwaarlozen en doordat er hoofdzakelijk erosie ontstaat wordt de vaardiepte in het algemeen juist verbeterd.

De jaarlijks gemiddelde sedimentatie levert tezamen een potentieel baggervolume op van 72 m³ binnen de vaargeul op het traject tussen rivierkilometer 929 - 933. Dit volume ligt ruim binnen de toegestane hinder criterium voor de scheepvaart met betrekking tot het baggerbezwaar. De te verwachte jaarlijks gemiddelde erosie is berekend op een volume van 635 m³.

De stroomsnelheden in de oostelijke zandwinput zijn bij een afvoer van 9.000 m³/s te Lobith nog steeds kleiner of gelijk aan 0,3 m/s. De verwachting is dus dat het sediment in de put veelal blijft liggen.

Variant 4

Er ontstaat hoofdzakelijk erosie in het zomerbed. Dit als gevolg van de opstuwende werking van de verhoogde toegangsweg die tot aan afvoeren van 10.000 m³/s te Lobith nog steeds zichtbaar is. De jaarlijks gemiddelde erosie in de vaargeul varieert tussen de 0,1 - 1,4 cm en bevindt zich hoofdzakelijk in het verlengde van de toegangsweg op het zomerbed. Als gevolg van de opstuwning neemt de afvoer op dit traject van het zomerbed lichtelijk toe. De jaarlijks gemiddelde sedimentatie in de vaargeul varieert tussen de 0,1 – 0,4 cm en bevindt zich lokaal bij de monding van de geul. De sedimentatie valt buiten de plekken waar de vaardiepte al kritisch is (zie Bijlage M). Al met al zijn deze orde effecten te verwaarlozen en doordat er hoofdzakelijk erosie ontstaat wordt de vaardiepte in het algemeen juist verbeterd.

De jaarlijks gemiddelde sedimentatie levert tezamen een potentieel baggervolume op van 98 m³ binnen de vaargeul op het traject tussen rivierkilometer 929 - 933. Dit volume ligt ruim binnen de toegestane hinder criterium voor de scheepvaart met betrekking tot het baggerbezwaar. De te verwachte jaarlijks gemiddelde erosie is berekend op een volume van 927 m³.

De stroomsnelheden in de (hoog)watergeul zijn bij een afvoer van 9.000 m³/s te Lobith nog kleiner of gelijk aan 0,30 m/s. Bij een afvoer van 9.500 m³/s te Lobith varieert de stroomsnelheid in de geul tussen 0,30 – 0,50 m/s. Deze stroomsnelheden doen zich dan met name voor bij de in- en uitstroompunt van de geul. Met deze stroomsnelheden is de verwachting dat er geen significante zijdelingse erosie zal ontstaan van de (hoog)watergeul. Ook ligt de geul met een afstand van circa 200 m voldoende ver van de bandijk.

Variant 5

Er ontstaat hoofdzakelijk erosie in het zomerbed. Dit als gevolg van de opstuwende werking van de verhoogde toegangsweg die tot aan afvoeren van 10.000 m³/s te Lobith nog steeds zichtbaar is. De jaarlijks gemiddelde erosie in de vaargeul varieert tussen de 0,1 - 1,4 cm en bevindt zich hoofdzakelijk in het verlengde van de toegangsweg op het zomerbed. Als gevolg van de opstuwning neemt de afvoer op dit traject van het zomerbed lichtelijk toe. De jaarlijks gemiddelde sedimentatie in de vaargeul varieert tussen de 0,1 – 0,4 cm en bevindt zich lokaal bij de monding van de geul. De sedimentatie valt buiten de plekken waar de vaardiepte al kritisch is (zie Bijlage M). Al met al zijn deze orde effecten te verwaarlozen en doordat er hoofdzakelijk erosie ontstaat wordt de vaardiepte in het algemeen juist verbeterd.

De jaarlijks gemiddelde sedimentatie levert tezamen een potentieel baggervolume op van 98 m³ binnen de vaargeul op het traject tussen rivierkilometer 929 - 933. Dit volume ligt ruim binnen de toegestane hinder criterium voor de scheepvaart met betrekking tot het baggerbezwaar. De te verwachte jaarlijks gemiddelde erosie is berekend op een volume van 930 m³.

De stroomsnelheden in de (hoog)watergeul zijn bij een afvoer van 9.000 m³/s te Lobith nog kleiner of gelijk aan 0,30 m/s. Bij een afvoer van 9.500 m³/s te Lobith varieert de stroomsnelheid in de geul tussen 0,30 – 0,50 m/s. Deze stroomsnelheden doen zich met name voor bij de in- en uitstroompunt van de (hoog)watergeul. Met deze stroomsnelheden is de verwachting dat er geen significante zijdelingse erosie zal ontstaan van de geul. Ook ligt de geul met een afstand van circa 200 m voldoende ver van de bandijk.

4 CONCLUSIES

4.1 Samenvatting rivierkundige beoordeling

In onderstaande tabellen is een samenvatting gegeven van de rivierkundige beoordeling van de vijftal varianten die zijn onderzocht voor de totale herinrichting van de uiterwaard van Bosscherwaarden. In variant 1 (UFW1) is alleen de westelijke put ontgraven. In variant 2 (UFWO4) zijn zowel de westelijke en de oostelijke put ontgraven. Dit scenario is worst-case en is representatief voor de rivierkundige beoordeling van diverse momentopnames over de gehele uitvoeringsfase. In principe zal er in de praktijk geen zandwinning plaatsvinden gelijktijdig aan beide zandwinputten. In variant 3 (UFO1) is de oostelijke put ontgraven waarbij de (hoog)watergeul in het westelijk deel reeds is gerealiseerd. Variant 4 (GLN9) beschrijft de worst-case scenario voor de eindvariant en betreft de meest gladde situatie in vegetatieruwheden (agrarisch gebruik in combinatie met natuurontwikkeling). In variant 5 (GLA3) is het terrein en de (hoog)watergeul vrijwel identiek aan variant 4. De inrichting van de uiterwaard is daarentegen volledig gericht op natuurontwikkeling en vormt hiermee de ruwe eindvariant.

Op de worst-case varianten (variant 2 en variant 4) hebben optimalisaties plaatsgevonden om de ongewenste rivierkundige effecten zoveel mogelijk te reduceren / te beperken. Deze optimalisaties en bijhorende effecten zijn beschreven in twee aparte rapportages. Deze optimalisaties zijn vervolgens ook toegepast op de overige varianten. Voor variant 1 en variant 3 is aanvullend ook een gronddepot gereserveerd in het ontwerpplan.

Onderwerp	Variant 1 (UFW1)
MHW-stand in de as van de rivier	De max. waterstandsverlaging van 3,83 cm is groter dan de max. waterstandsverhoging van 1,42 cm. Het verhoudingsgetal in oppervlak is berekend op 88,9.
MHW-stand buiten de as van de rivier	De waterstandsverhoging langs de bandijk bedraagt 2,9 cm voor de rechteroever (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden) en 1,0 cm voor de linkeroever (Waterschap Rivierenland). Deze effecten moeten nog afgestemd worden met het waterschap.
Afvoerverdeling MHW en NHW	Ingreep ligt voldoende ver van het splitsingspunt, waardoor de effecten op de afvoerverdeling is te verwaarlozen.
Inundatiefrequentie	De westelijke zandwininput staat vanwege de invaart permanent in verbinding met de rivier. De insteek van deze put heeft op het laagste punt dan een overstromingsfrequentie van ongeveer 45 d/j. De bestaande strang gelegen langs de bandijk tussen rkm 931,5 en 932,5, die verbinding staat met het westelijk deel van de uiterwaard, zal met deze frequentie dan ook onder water komen te staan. Er wordt niet verwacht dat dit hinder zal geven voor de omgeving, doordat deze strang in de huidige situatie ook al relatief een nat gebied is. Bij MHW nemen de waterstanden lokaal in de westelijke zandwininput toe met maximaal 4,3 cm. Bij NHW is deze waterstandsverhoging 3,2 cm. Bij een afvoer van 8.500 m ³ /s te Lobith, als de waterstand net iets hoger is dan de toegangsweg, ontstaat de grootste opstuwning in stroomopwaartse richting, die 1,19 cm op de as van de rivier bedraagt. De opstuwning (> 1mm) bij lagere afvoeren reikt tot maximaal rivierkilometer 911.
Stroombeeld in de uiterwaard	De absolute stroomsnelheid tijdens MHW bij de toegangsweg (niet op de kruin) blijft beperkt tot ca. 1,0 m/s. In de westelijke zandwinplas zelf blijft de stroomsnelheid beperkt tot 0,3 – 0,4 m/s. Stroomafwaarts hiervan, in de westelijke punt van de uiterwaard, loopt de stroomsnelheid weer op tot maximaal 1,1 m/s. Bij NHW is dit patroon vergelijkbaar maar liggen de stroomsnelheden lager. Bij een afvoer van 9.000 m ³ /s te Lobith blijft de absolute stroomsnelheid voor een groot deel in de uiterwaard beneden de 0,3 m/s. Langs de gehele oever is de stroomsnelheid wat hoger en ligt in orde van 0,4 – 0,5 m/s. In de meeste westelijke punt van de uiterwaard (direct stroomafwaarts van de westelijke zandwininput) is de stroomsnelheid 0,5 – 0,6 m/s.
Dwarsstroming	Rekening houdend met een deelafvoer over een diepgang van 3,5 m wordt de norm van 0,30 m/s (deelafvoer < 50 m ³ /s) in geen enkel geval overschreden. Op locatie 929,18 treedt zelfs een lichte verbetering op van de dwarsstroming ten aanzien van de referentie.
Sedimentatie en erosie in de vaargeul	Er is geen sedimentatieruimte beschikbaar in de referentiepeiling waardoor de effecten uit WAQMORF in vorm van sedimentatie volledig als baggerbezwaar beschouwd moet worden. Door de opstuwende werking van de ingreep bij afvoeren lager dan 10.000 m ³ /s vindt er netto erosie plaats in het zomerbed. De jaarlijks gemiddelde sedimentatie levert tezamen een potentieel baggervolume op van 120 m ³ binnen de vaargeul. Dit volume ligt ruim binnen de toegestane hinder criterium van 2000 m ³ voor de scheepvaart met betrekking tot het baggerbezwaar. De te verwachte jaarlijks gemiddelde erosie in de vaargeul is berekend op een volume van 616 m ³ .

Onderwerp	Variant 2 (UFWO4)
MHW-stand in de as van de rivier	De max. waterstandsverlaging van 5,59 cm is groter dan de max. waterstandsverhoging van 1,60 cm. Het verhoudingsgetal in oppervlak is berekend op 92,9.
MHW-stand buiten de as van de rivier	De waterstandsverhoging langs de bandijk bedraagt 3,6 cm voor de rechteroever (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden) en 1,2 cm voor de linkeroever (Waterschap Rivierenland). Deze effecten moeten nog afgestemd worden met het waterschap.
Afvoerverdeling MHW en NHW	Ingreep ligt voldoende ver van het splitsingspunt, waardoor de effecten op de afvoerverdeling is te verwaarlozen.
Inundatiefrequentie	De zandwinputten staan vanwege de invaarten permanent in verbinding met de rivier. De overstromingsfrequentie van het westelijk deel van de uiterwaard zal toenemen naar 45 d/j. Met deze frequentie zal de bestaande strang in dit deel van de uiterwaard ook inunderen. De inundatiefrequentie van het oostelijk deel van uiterwaard zal toenemen naar 15 d/j. In beide gevallen wordt er geen hinder verwacht naar de omgeving. Bij MHW nemen de waterstanden lokaal in het noordwesten van de westelijke zandwinput toe met maximaal 4,5 cm. Bij NHW is deze waterstandsverhoging 3,4 cm. Bij een afvoer van 8.500 m ³ /s te Lobith, als de waterstand net iets hoger is dan de toegangsweg, ontstaat de grootste opstuwning in stroomopwaartse richting, die 1,08 cm op de as van de rivier bedraagt. De opstuwning (> 1mm) bij lagere afvoeren reikt tot maximaal rivierkilometer 915.
Stroombeeld in de uiterwaard	De grootste toename van de stroomsnelheid bij NWH van 0,4 m/s is op de oever op het traject tussen rivierkilometers 930,8 en 931,2. Doordat het in referentie hier niet stroomt is dit eveneens de absolute stroomsnelheid. Ook direct ten westen van de noordwestelijke punt van de westelijke plas is een sterke toename van ruim 0,2 m/s. De absolute stroomsnelheid is hier met ruim ongeveer 0,8 m/s ook relatief groot. Bij MHW is het patroon vergelijkbaar, maar bij de toegangsweg is een sterkere toename van de stroomsnelheid te zien. Bij MHW loopt de stroomsnelheid (niet op kruin) op tot 1,2 m/s. Bij een afvoer van 9,000 m/s is de stroomsnelheid in de gehele uiterwaard kleiner of gelijk aan 0,4 m/s.
Dwarsstroming	Rekening houdend met een deelafvoer over een diepgang van 3,5 m wordt de norm van 0,30 m/s (deelafvoer < 50 m ³ /s) in geen enkel geval overschreden bij de invaarten. Bij een afvoer van 10.000 m ³ /s te Lobith (T ≈ 15) treedt er op locatie 929,18 (buiten de invaarten) een lichte verslechtering op van de dwarsstroming ten aanzien van de referentie. Echter de frequentie van voorkomen van een dergelijke afvoer komt zo weinig voor dat de daadwerkelijke hinder beperkt zal zijn.
Sedimentatie en erosie in de vaargeul	Er is geen sedimentatieruimte beschikbaar in de referentiepeiling waardoor de effecten uit WAQMORF in vorm van sedimentatie volledig als baggerbezwaar beschouwd moet worden. Door de opstuwende werking van de ingreep bij afvoeren lager dan 10.000 m ³ /s vindt er netto erosie plaats in het zomerbed. De jaarlijks gemiddelde sedimentatie levert tezamen een potentieel baggervolume op van 182 m ³ binnen de vaargeul. Dit volume ligt ruim binnen de toegestane hinder criterium van 2000 m ³ voor de scheepvaart met betrekking tot het baggerbezwaar. De te verwachte jaarlijks gemiddelde erosie in de vaargeul is berekend op een volume van 492 m ³ .

Onderwerp	Variant 3 (UFO1)
MHW-stand in de as van de rivier	De max. waterstandsverlaging van 2,78 cm is groter dan de max. waterstandsverhoging van 0,78 cm. Het verhoudingsgetal in oppervlak is berekend op 197,3.
MHW-stand buiten de as van de rivier	De waterstandsverhoging langs de bandijk bedraagt 1,5 cm voor de rechteroever (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden) en 0,2 cm voor de linkeroever (Waterschap Rivierenland). Deze effecten moeten nog afgestemd worden met het waterschap.
Afvoerverdeling MHW en NHW	Ingreep ligt voldoende ver van het splitsingspunt, waardoor de effecten op de afvoerverdeling is te verwaarlozen.
Inundatiefrequentie	De uitstroomopening van de geul wordt aangetakt op het zomerbed op 0,0 m+NAP. De inundatiefrequentie van de uiterwaard (binnen de geulcontour) neemt dus sterk toe en staat permanent gevuld met water. Buiten de contour van de geul is het gemiddelde maaiveld in het westelijk deel van de uiterwaard opgehoogd naar 5 m+NAP (T ≈ 1 jaar). De oostelijke zandwinput staat vanwege de invaart permanent in verbinding met de rivier. De inundatiefrequentie van het oostelijk deel van uiterwaard zal toenemen naar 15 d/j. In beide gevallen wordt er geen hinder verwacht naar de omgeving. Bij MHW nemen de waterstanden lokaal toe ter plaatse van de voormalige steenfabriek en is maximaal 3,0 cm. Bij NHW is een opstuwning aanwezig vanaf de toegangsweg in bovenstroomse richting. De opstuwning net bovenstrooms van de toegangsweg bedraagt dan 2,7 cm. Bij een afvoer van 8.500 m ³ /s te Lobith, als de waterstand net iets hoger is dan de toegangsweg, ontstaat de grootste opstuwning in stroomopwaartse richting, die 1,82 cm op de as van de rivier bedraagt. De opstuwning (> 1mm) bij lagere afvoeren reikt tot maximaal rivierkilometer 910.
Stroombeeld in de uiterwaard	De absolute stroomsnelheid tijdens MHW nabij de toegangsweg (niet op de kruin) en uitstroompunt van de geul blijft beperkt tot ca. 1,0 m/s. Ten oosten van de toegangsweg blijft de absolute stroomsnelheid beneden de 0,4 m/s bij MHW. Bij NHW is dit patroon vergelijkbaar maar liggen de stroomsnelheden lager. Bij een afvoer van 9.000 m ³ /s blijft de absolute stroomsnelheid voor een groot deel in de uiterwaard beneden de 0,3 m/s, met uitzondering nabij de toegangsweg en bij de uitstroompunt van de geul. Hier ligt de stroomsnelheid bij deze afvoer iets hoger.
Dwarsstroming	Rekening houdend met een deelafvoer over een diepgang van 3,5 m wordt de norm van 0,30 m/s (deelafvoer < 50 m ³ /s) vrijwel niet overschreden. Een uitzondering doet zich voor bij de uitstroompunt van de geul waarbij een afvoer van 10.000 m ³ /s (T ≈ 15) de norm van 0,15 wordt overschreden met 0,21 m/s. Ook treedt er bij deze afvoer op locatie 929,18 een lichte verslechtering op van de dwarsstroming ten aanzien van de referentie. Echter de frequentie van voorkomen van een dergelijke afvoer komt zo weinig voor dat de daadwerkelijke hinder in beide gevallen beperkt zal zijn.
Sedimentatie en erosie in de vaargeul	Er is geen sedimentatieruimte beschikbaar in de referentiepeiling waardoor de effecten uit WAQMORF in vorm van sedimentatie volledig als baggerbezwaar beschouwd moet worden. Door de opstuwende werking van de ingreep bij afvoeren lager dan 10.000 m ³ /s vindt er netto erosie plaats in het zomerbed. De jaarlijks gemiddelde sedimentatie levert tezamen een potentieel baggervolume op van 72 m ³ binnen de vaargeul. Dit volume ligt ruim binnen de toegestane hinder criterium van 2000 m ³ voor de scheepvaart met betrekking tot het baggerbezwaar. De te verwachte jaarlijks gemiddelde erosie in de vaargeul is berekend op een volume van 635 m ³ .

Onderwerp	Variant 4 (GLN9)
MHW-stand in de as van de rivier	De max. waterstandsverlaging van 1,52 cm is groter dan de max. waterstandsverhoging van 0,70 cm. Het verhoudingsgetal in oppervlak is berekend op 84,5.
MHW-stand buiten de as van de rivier	De waterstandsverhoging langs de bandijk bedraagt 1,4 cm voor de rechteroever (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden) en 0,1 cm voor de linkeroever (Waterschap Rivierenland). Deze effecten moeten nog afgestemd worden met het waterschap.
Afvoerverdeling MHW en NHW	Ingrep ligt voldoende ver van het splitsingspunt, waardoor de effecten op de afvoerverdeling is te verwaarlozen.
Inundatiefrequentie	De uitstroombopening van de geul wordt aangetakt op het zomerbed op 0,0 m+NAP. De inundatiefrequentie van de uiterwaard (binnen de geulcontour) neemt dus sterk toe en staat permanent gevuld met water. Dit geldt ook voor de geul in het oostelijk deel van de uiterwaard. Door middel van een aantal duikers in de toegangsweg staat de geul in beide delen van de uiterwaard in verbinding met elkaar. Tijdens stuwpand omstandigheden staan de duikers gedeeltelijk (ca. 60%) onder water. Buiten de contour van de geul is het gemiddelde maaiveld in het westelijk deel van de uiterwaard opgehoogd naar 5 m+NAP ($T \approx 1$ jaar). Bij MHW nemen de waterstanden lokaal toe ter plaatse van de voormalige steenfabriek en is maximaal 3,0 cm. Bij NHW is een opstuwning aanwezig vanaf de toegangsweg in bovenstroomse richting. De opstuwning net bovenstrooms van de toegangsweg bedraagt dan 5,1 cm. Bij een afvoer van 8.500 m ³ /s te Lobith, als de waterstand net iets hoger is dan de toegangsweg, ontstaat de grootste opstuwning in stroomopwaartse richting, die 3,44 cm op de as van de rivier bedraagt. De opstuwning (> 1mm) bij lagere afvoeren reikt tot maximaal rivierkilometer 904.
Stroombeeld in de uiterwaard	De grootste stroomsnelheden bij MHW doen zich voor in het westelijk gedeelte van de geul en rondom de toegangsweg (niet bovenkant kruin) en bedragen op beide locaties 1,0 m/s. In het oostelijk gedeelte van de uiterwaard liggen de stroomsnelheden tussen de 0,5 en 0,7 m/s bij MHW. Door verhoging van de toegangsweg zijn de stroomsnelheden in de uiterwaard bij NHW relatief laag. De stroomsnelheden in de (hoog)watergeul zijn bij een afvoer van 9.000 m ³ /s te Lobith nog kleiner of gelijk aan 0,3 m/s. De verwachting is dus dat er geen significante zijdelingse erosie zal ontstaan van de geul. Ook ligt de geul met een afstand van circa 200 m voldoende ver van de bandijk.
Dwarsstroming	Rekening houdend met een deelafvoer over een diepgang van 3,5 m wordt de norm van 0,30 m/s (deelafvoer < 50 m ³ /s) vrijwel niet overschreden. Een uitzondering doet zich voor bij de uitstroompunt van de geul waarbij een afvoer van 10.000 m ³ /s ($T \approx 15$) de norm van 0,15 wordt overschreden met 0,17 m/s. Echter de frequentie van voorkomen van een dergelijke afvoer komt zo weinig voor dat de daadwerkelijke hinder in beide gevallen beperkt zal zijn. Op locatie 929,18 treedt een lichte verbetering op van de dwarsstroming ten aanzien van de referentie.
Sedimentatie en erosie in de vaargeul	Er is geen sedimentatieruimte beschikbaar in de referentiepeiling waardoor de effecten uit WAQMORF in vorm van sedimentatie volledig als baggerbezwaar beschouwd moet worden. Door de opstuwende werking van de ingrep bij afvoeren tot aan 10.000 m ³ /s vindt er netto erosie plaats in het zomerbed. De jaarlijks gemiddelde sedimentatie levert tezamen een potentieel baggervolume op van 98 m ³ binnen de vaargeul. Dit volume ligt ruim binnen de toegestane hinder criterium van 2000 m ³ voor de scheepvaart met betrekking tot het baggerbezwaar. De te verwachte jaarlijks gemiddelde erosie in de vaargeul is berekend op een volume van 927 m ³ .

Onderwerp	Variant 5 (GLA3)
MHW-stand in de as van de rivier	De max. waterstandsverlaging van 1,43 cm is groter dan de max. waterstandsverhoging van 0,68 cm. Het verhoudingsgetal in oppervlak is berekend op 81,9.
MHW-stand buiten de as van de rivier	De waterstandsverhoging langs de bandijk bedraagt 1,4 cm voor de rechteroever (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden) en 0,1 cm voor de linkeroever (Waterschap Rivierenland). Deze effecten moeten nog afgestemd worden met het waterschap.
Afvoerverdeling MHW en NHW	Ingreep ligt voldoende ver van het splitsingspunt, waardoor de effecten op de afvoerverdeling is te verwaarlozen.
Inundatiefrequentie	De uitstroomopening van de geul wordt aangetakt op het zomerbed op 0,0 m+NAP. De inundatiefrequentie van de uiterwaard (binnen de geulcontour) neemt dus sterk toe en staat permanent gevuld met water. Dit geldt ook voor de geul in het oostelijk deel van de uiterwaard. Door middel van een aantal duikers in de toegangsweg staat de geul in beide delen van de uiterwaard in verbinding met elkaar. Tijdens stuwpannd omstandigheden staan de duikers gedeeltelijk (ca. 60%) onder water. Buiten de contour van de geul is het gemiddelde maaiveld in het westelijk deel van de uiterwaard opgehoogd naar 5 m+NAP ($T \approx 1$ jaar). Bij MHW nemen de waterstanden lokaal toe ter plaatse van de voormalige steenfabriek en is maximaal 2,9 cm. Bij NHW is een opstuwning aanwezig vanaf de toegangsweg in bovenstroomse richting. De opstuwning net bovenstrooms van de toegangsweg bedraagt dan 5,1 cm. Bij een afvoer van 8.500 m ³ /s te Lobith, als de waterstand net iets hoger is dan de toegangsweg, ontstaat de grootste opstuwning in stroomopwaartse richting, die 3,44 cm op de as van de rivier bedraagt. De opstuwning (> 1mm) bij lagere afvoeren reikt tot maximaal rivierkilometer 904.
Stroombeeld in de uiterwaard	De grootste stroomsnelheden bij MHW doen zich voor in het westelijk gedeelte van de geul en rondom de toegangsweg (niet bovenkant kruin) en bedragen op beide locaties 1,0 m/s. In het oostelijk gedeelte van de uiterwaard liggen de stroomsnelheden tussen de 0,5 en 0,7 m/s bij MHW. Door verhoging van de toegangsweg zijn de stroomsnelheden in de uiterwaard bij NHW relatief laag. De stroomsnelheden in de (hoog)watergeul zijn bij een afvoer van 9.000 m ³ /s te Lobith nog kleiner of gelijk aan 0,3 m/s. De verwachting is dus dat er geen significante zijdelingse erosie zal ontstaan van de geul. Ook ligt de geul met een afstand van circa 200 m voldoende ver van de bandijk.
Dwarsstroming	Rekening houdend met een deelafvoer over een diepgang van 3,5 m wordt de norm van 0,30 m/s (deelafvoer < 50 m ³ /s) vrijwel niet overschreden. Een uitzondering doet zich voor bij de uitstroompunt van de geul waarbij een afvoer van 10.000 m ³ /s ($T \approx 15$) de norm van 0,15 wordt overschreden met 0,17 m/s. Echter de frequentie van voorkomen van een dergelijke afvoer komt zo weinig voor dat de daadwerkelijke hinder in beide gevallen beperkt zal zijn. Op locatie 929,18 treedt een lichte verbetering op van de dwarsstroming ten aanzien van de referentie.
Sedimentatie en erosie in de vaargeul	Er is geen sedimentatieruimte beschikbaar in de referentiepeiling waardoor de effecten uit WAQMORF in vorm van sedimentatie volledig als baggerbezwaar beschouwd moet worden. Door de opstuwende werking van de ingreep bij afvoeren tot aan 10.000 m ³ /s vindt er netto erosie plaats in het zomerbed. De jaarlijks gemiddelde sedimentatie levert tezamen een potentieel baggervolume op van 98 m ³ binnen de vaargeul. Dit volume ligt ruim binnen de toegestane hinder criterium van 2000 m ³ voor de scheepvaart met betrekking tot het baggerbezwaar. De te verwachte jaarlijks gemiddelde erosie in de vaargeul is berekend op een volume van 930 m ³ .

4.2 Aanbevelingen

- De ongewenste rivierkundige effecten op de varianten zijn zo goed mogelijk gereduceerd door middel van optimalisaties. Er treden hoofdzakelijk alleen overschrijdingen op van dwarsstromingen bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith. Hierbij uitgaande van een deelafvoer over een vaardiepte van 3,5 m. Gezien de lage frequentie van voorkomen van een dergelijke afvoer (eens per 15 jaar) zal de daadwerkelijke hinder hiervan beperkt zijn. Het dient aanbeveling om waarschuwborden te plaatsen bij de nieuwe tijdelijke invaarten en bij de in- en uitstroomopening van de hoogwatergeul om schippers erop te wijzen dat de dwarsstroming relatief hoog kan oplopen tijdens hoogwatersituaties
- Het dient aanbeveling om tijdens de uitvoeringsfase zoveel mogelijk een sluitende sedimentbalans te creëren door vrijgekomen sediment (baggeren van ondieptes om nabij de tijdelijke invaarten) weer terug te storten bij te ruime overdieptes in de hoofdgeul als gevolg van de te verwachten erosie.
- De inundatiefrequentie van de uiterwaard neemt ook toe tijdens de uitvoeringsfase. Verwacht wordt dat deze toename in inundatie geen hinder zal geven voor de omgeving, doordat de bestaande woningen op een relatief hoog terrein staan naast de voormalige steenfabriek. Ook de toename in inundatie van de bestaande strang tijdens uitvoering zal naar verwachting weinig hinder geven doordat deze strang ook in de huidige situatie al een relatief nat gebied is. Mocht er wel hinder ontstaan dan kan de inundatiefrequentie relatief eenvoudig gereduceerd worden door een tijdelijke kade aan te leggen rondom de tijdelijke zandwinputten (op de insteek waar deze lager ligt dan de huidige instroomfrequentie van de zomerkade).

5 REFERENTIES

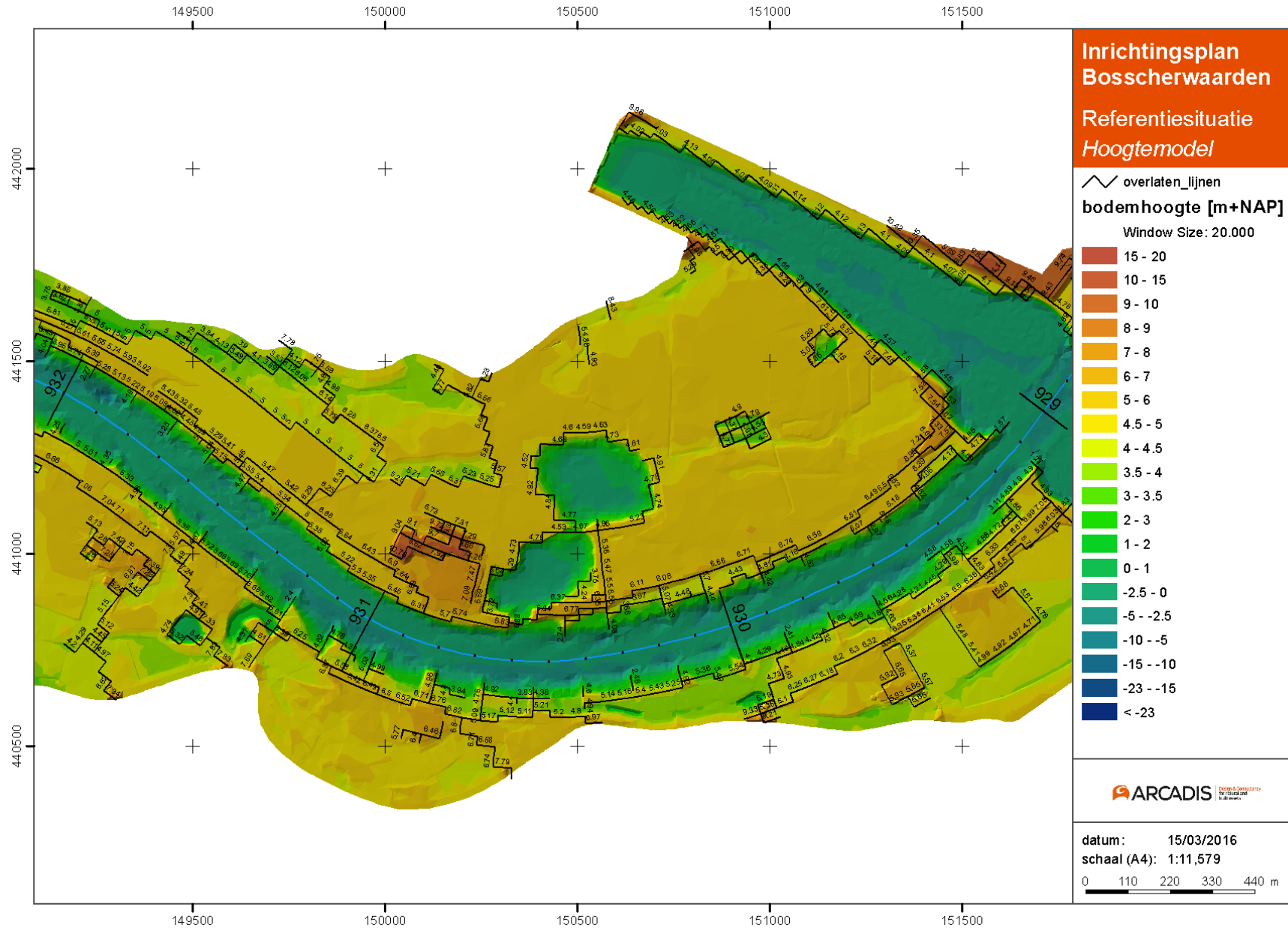
ARCADIS (2014), Gebiedsontwikkeling Bosscherwaarden Uitvoeringsplan: concept, 077992561, versie 0.15

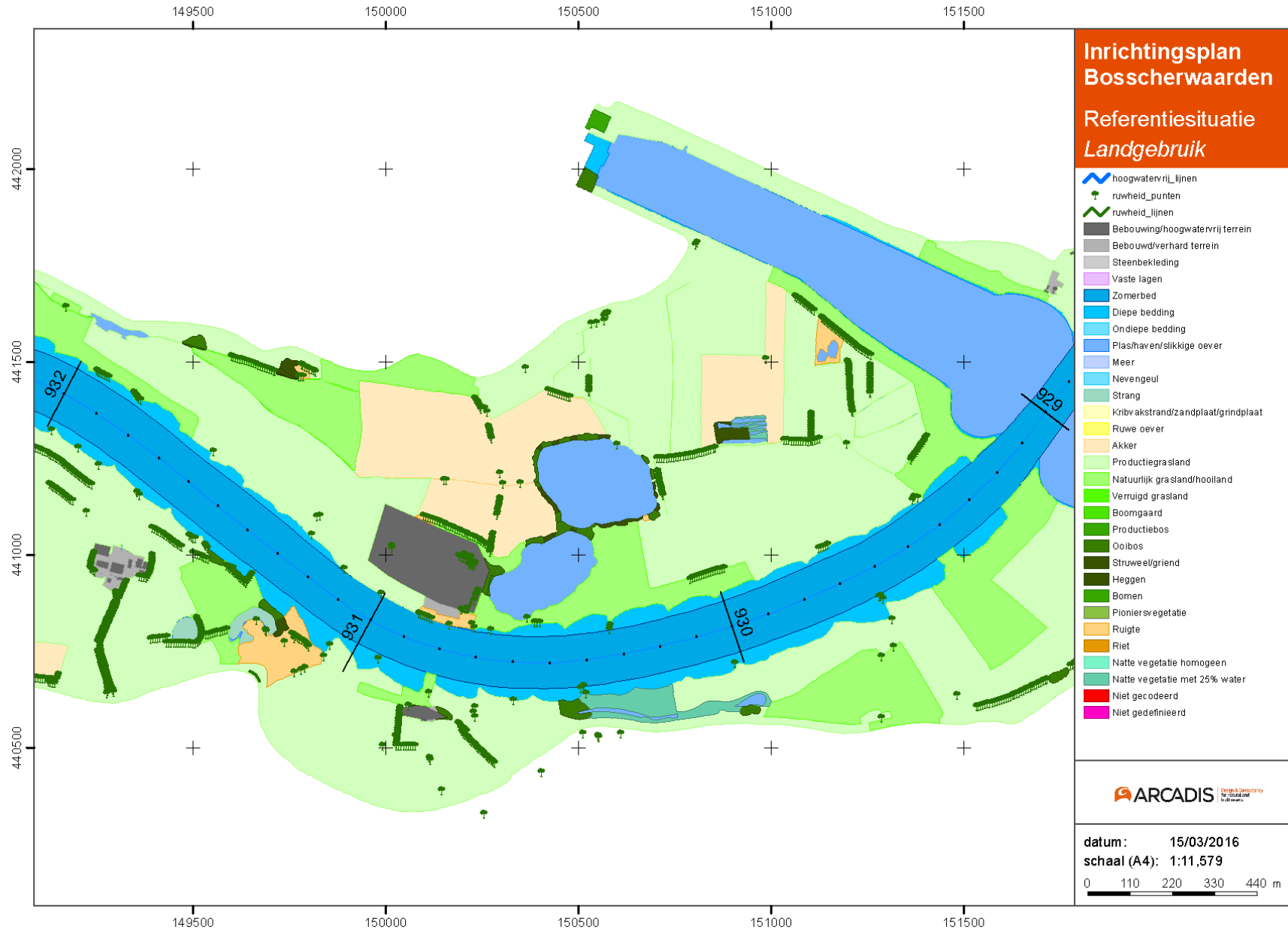
ARCADIS (2016), Inrichtingsplan Bosscherwaarden Definitief: Rivierkundige optimalisaties: uitvoeringsfase beide putten open (UFWO), 078962633, versie 0.8.

ARCADIS (2016), Inrichtingsplan Bosscherwaarden Definitief: Rivierkundige optimalisaties: eindvariant "glad" (GLN2), 078959976, versie 0.9.

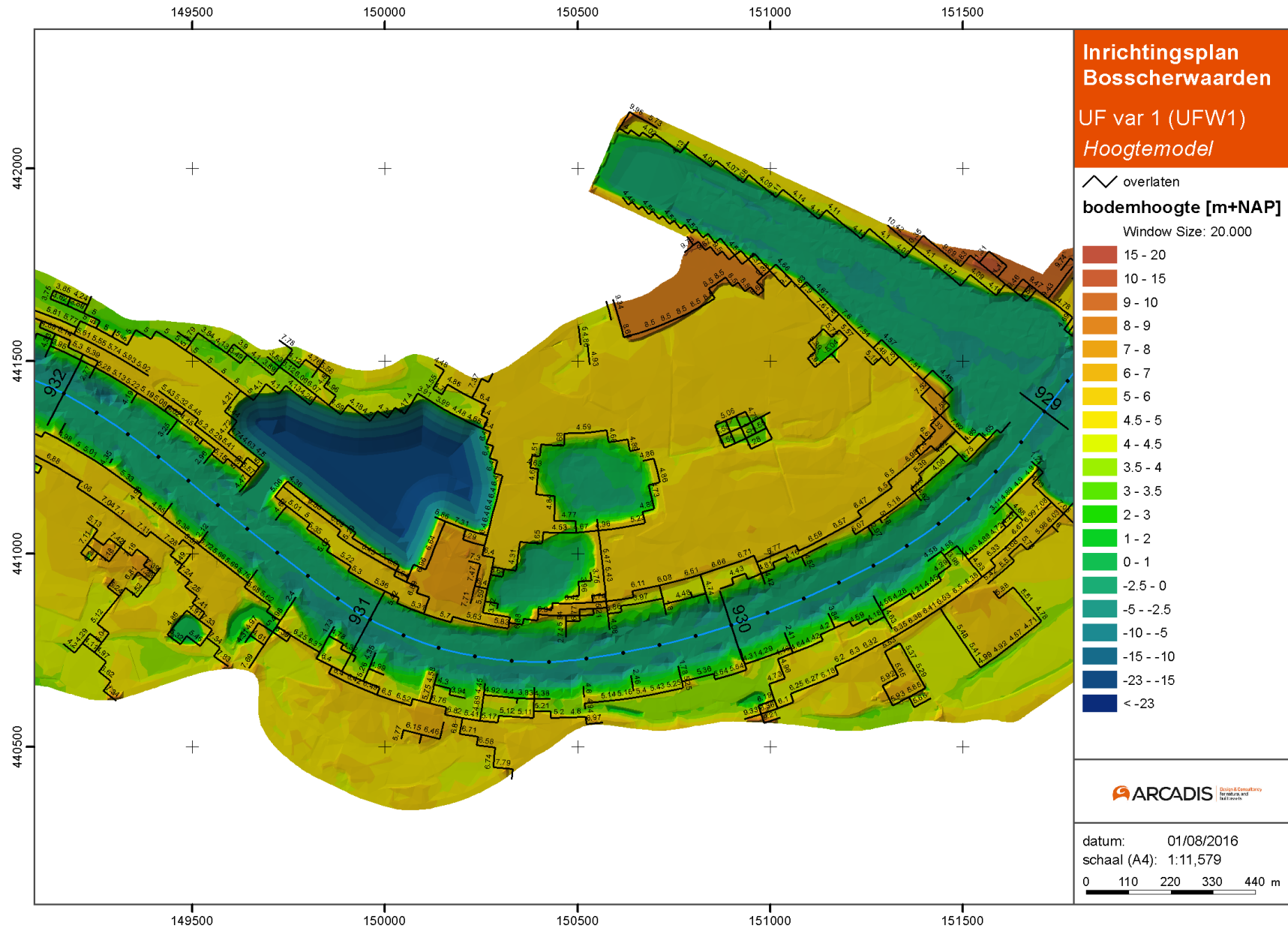
Sieben, J. (2011). Methodiek inschatting morfologische effecten in het zomerbed door lokale rivieringrepen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat

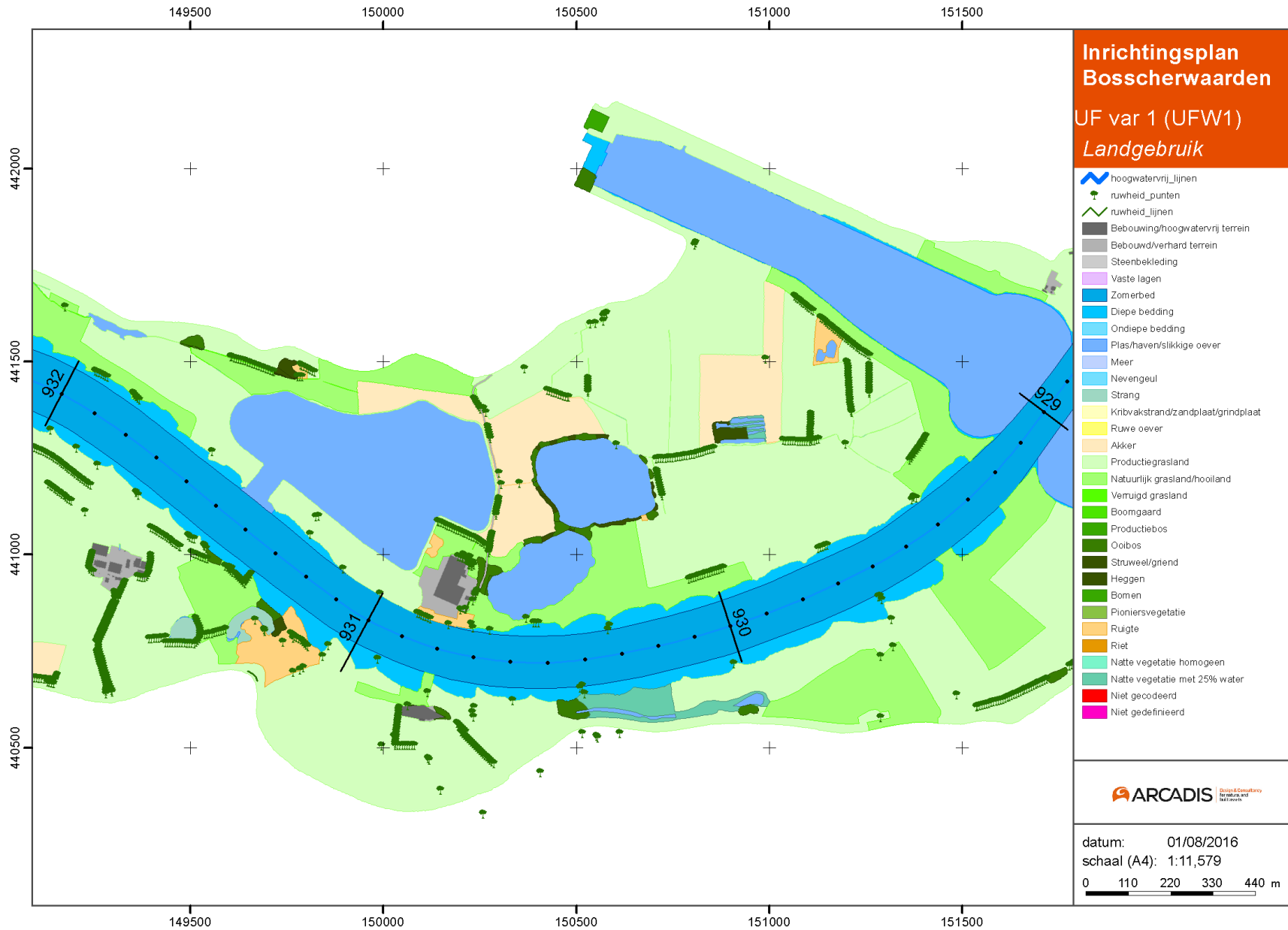
BIJLAGE A : KAARTEN REFERENTIE



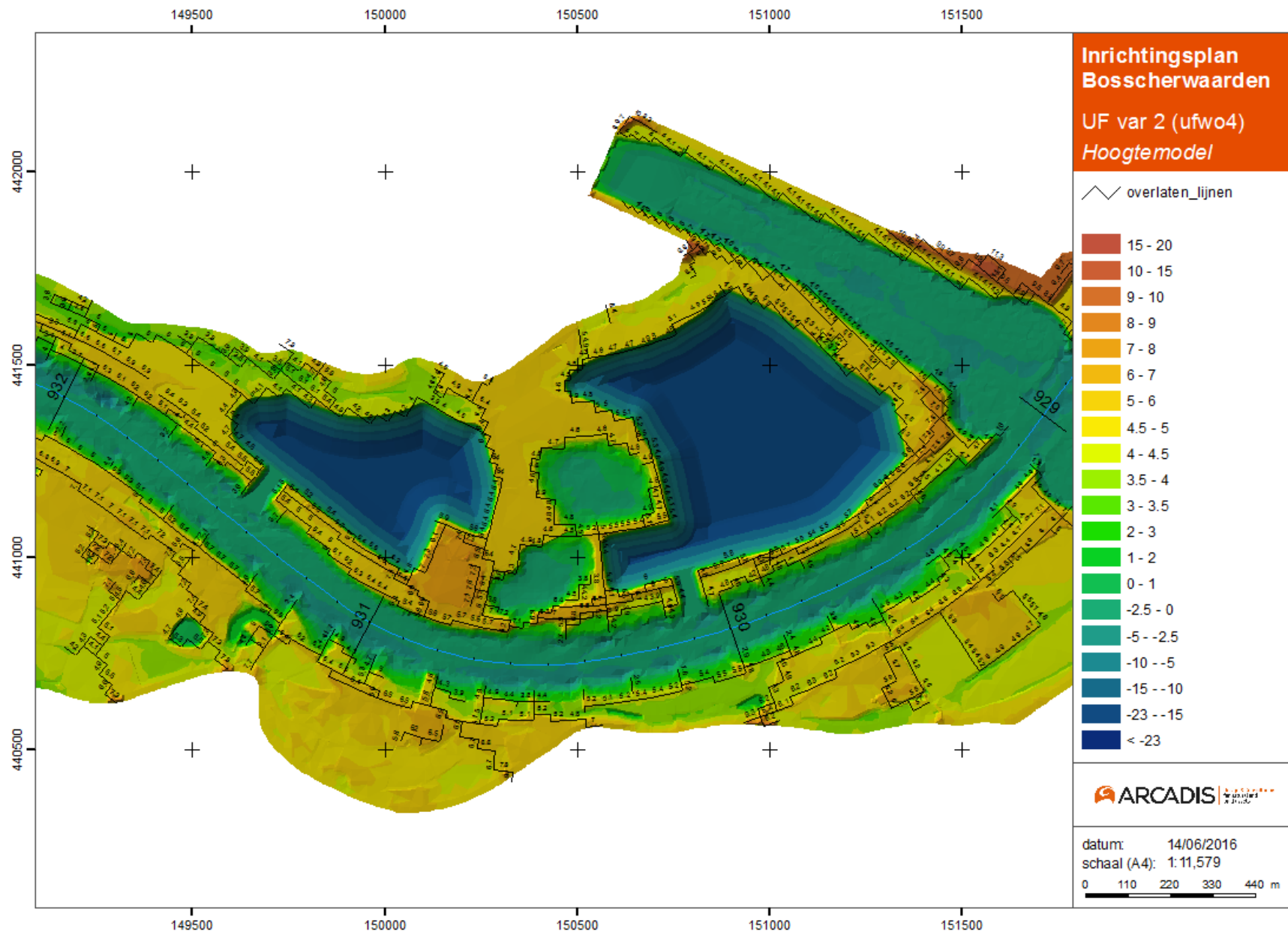


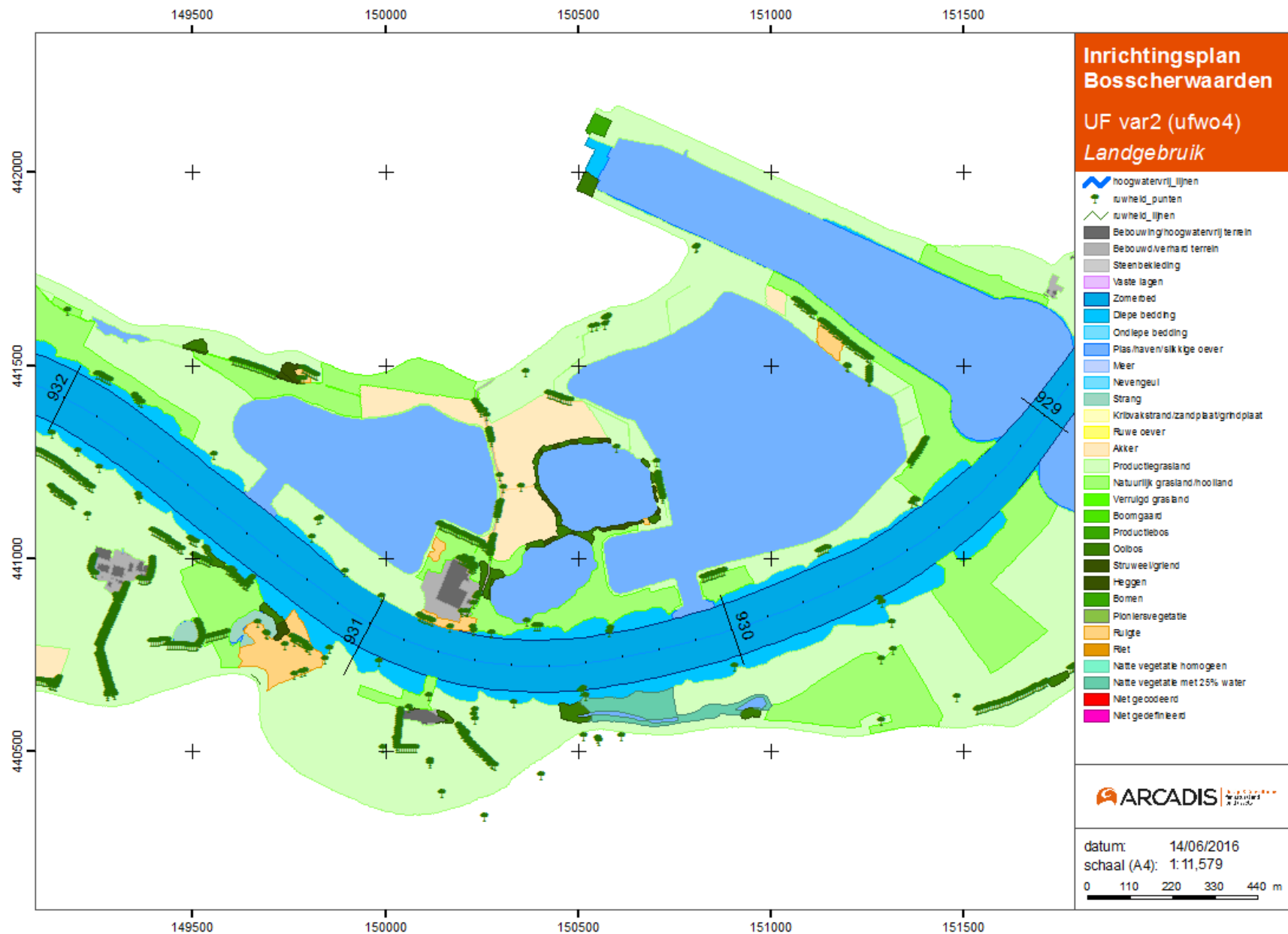
BIJLAGE B : KAARTEN VARIANT 1



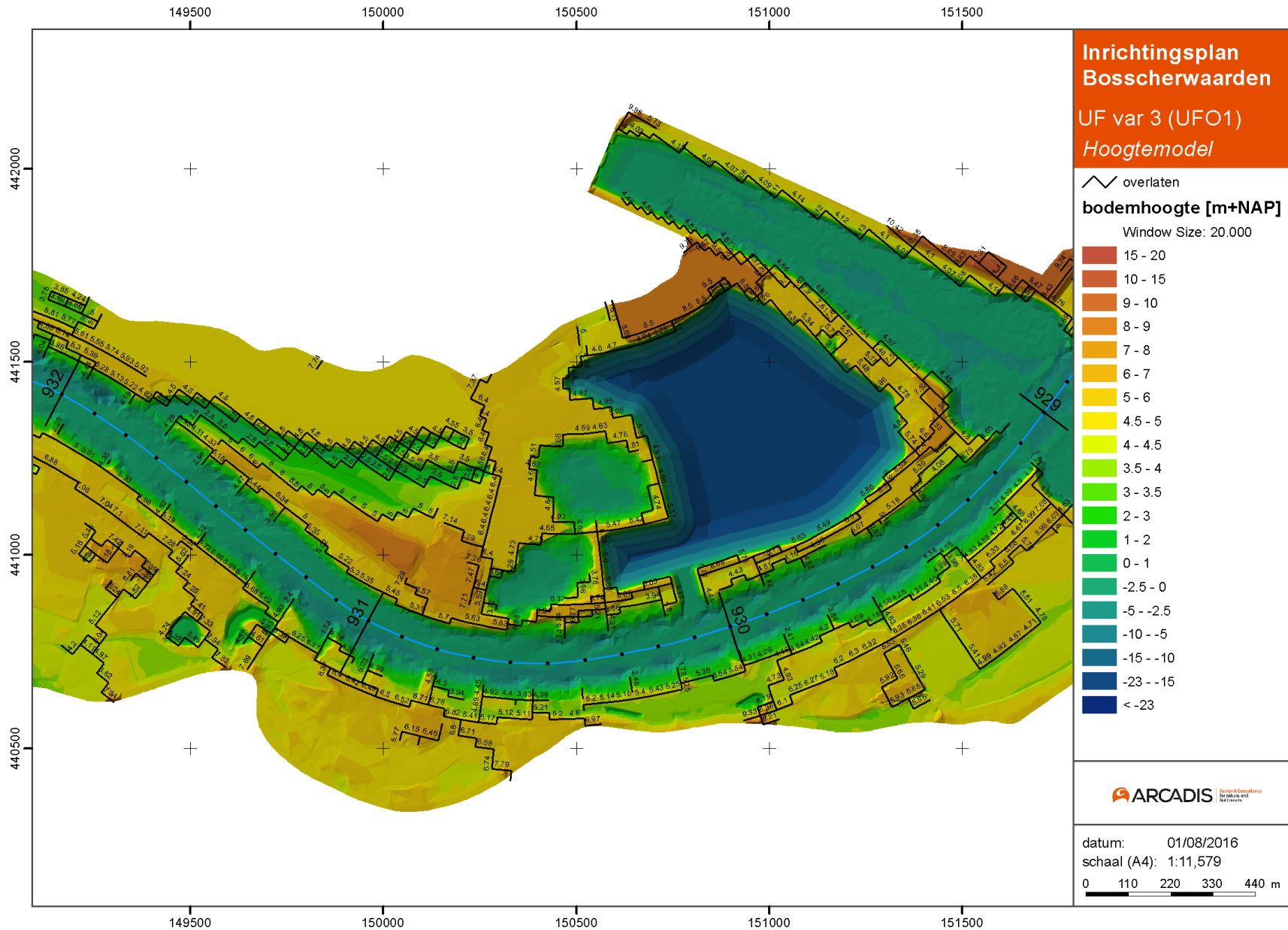


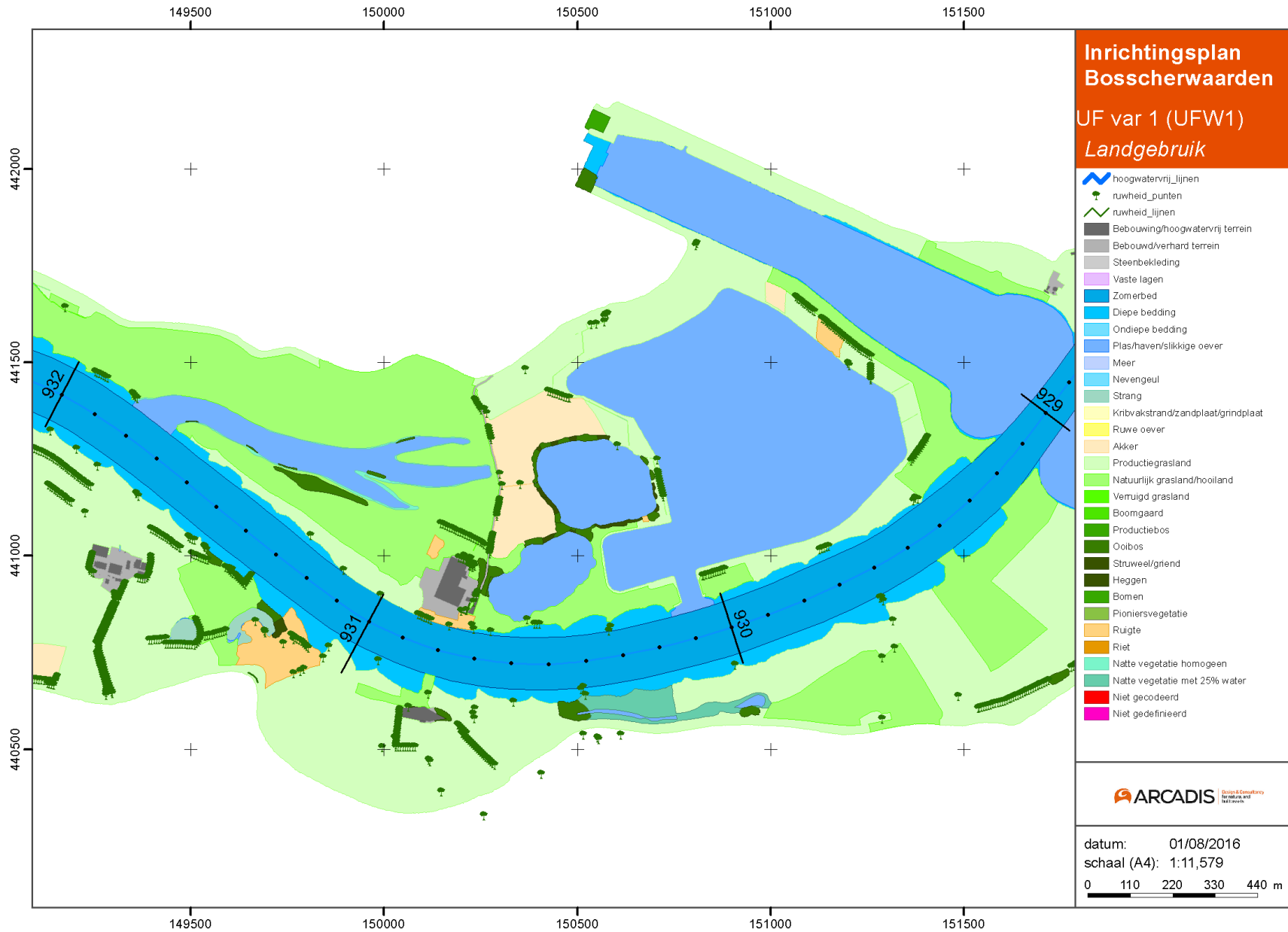
BIJLAGE C : KAARTEN VARIANT 2



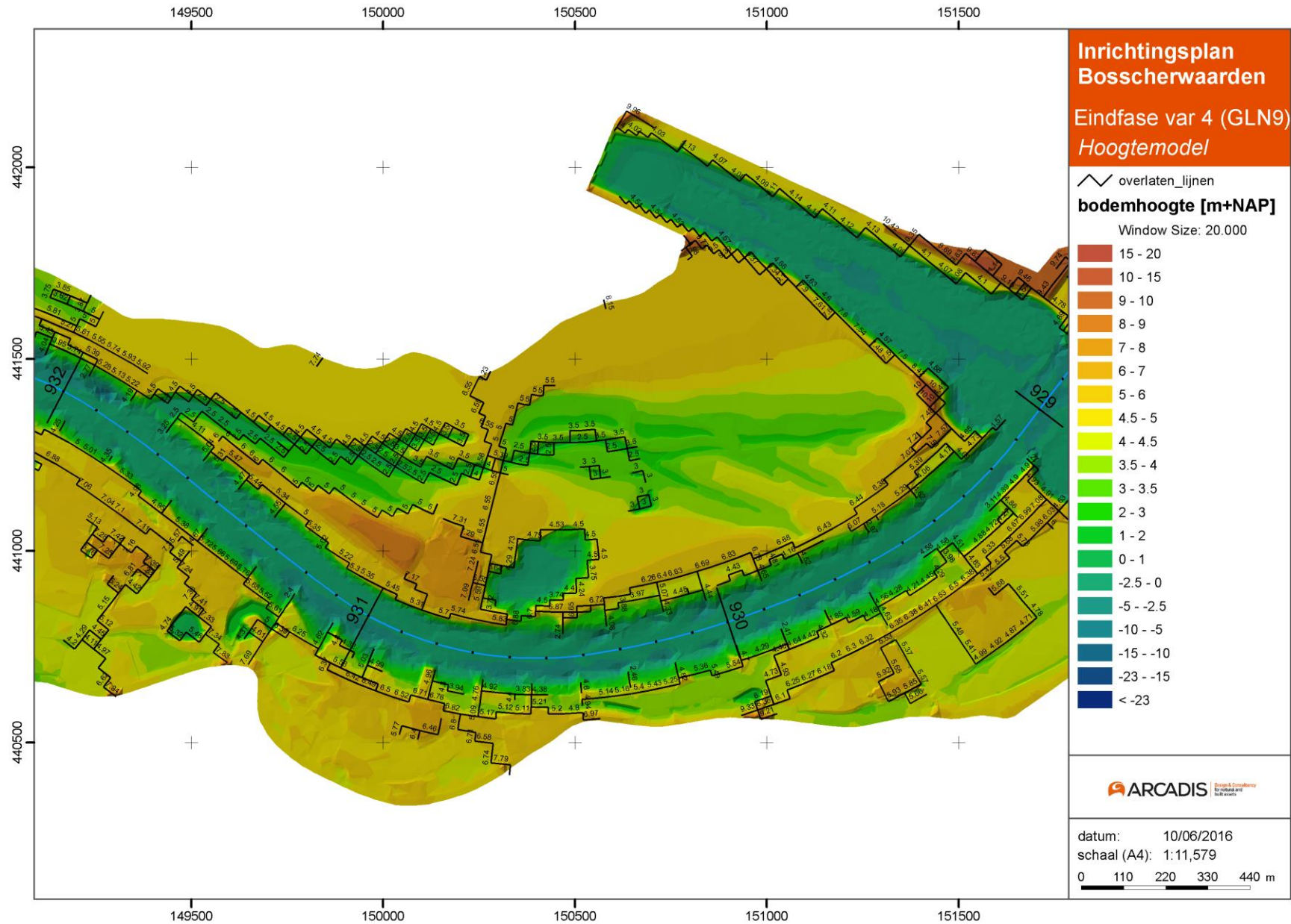


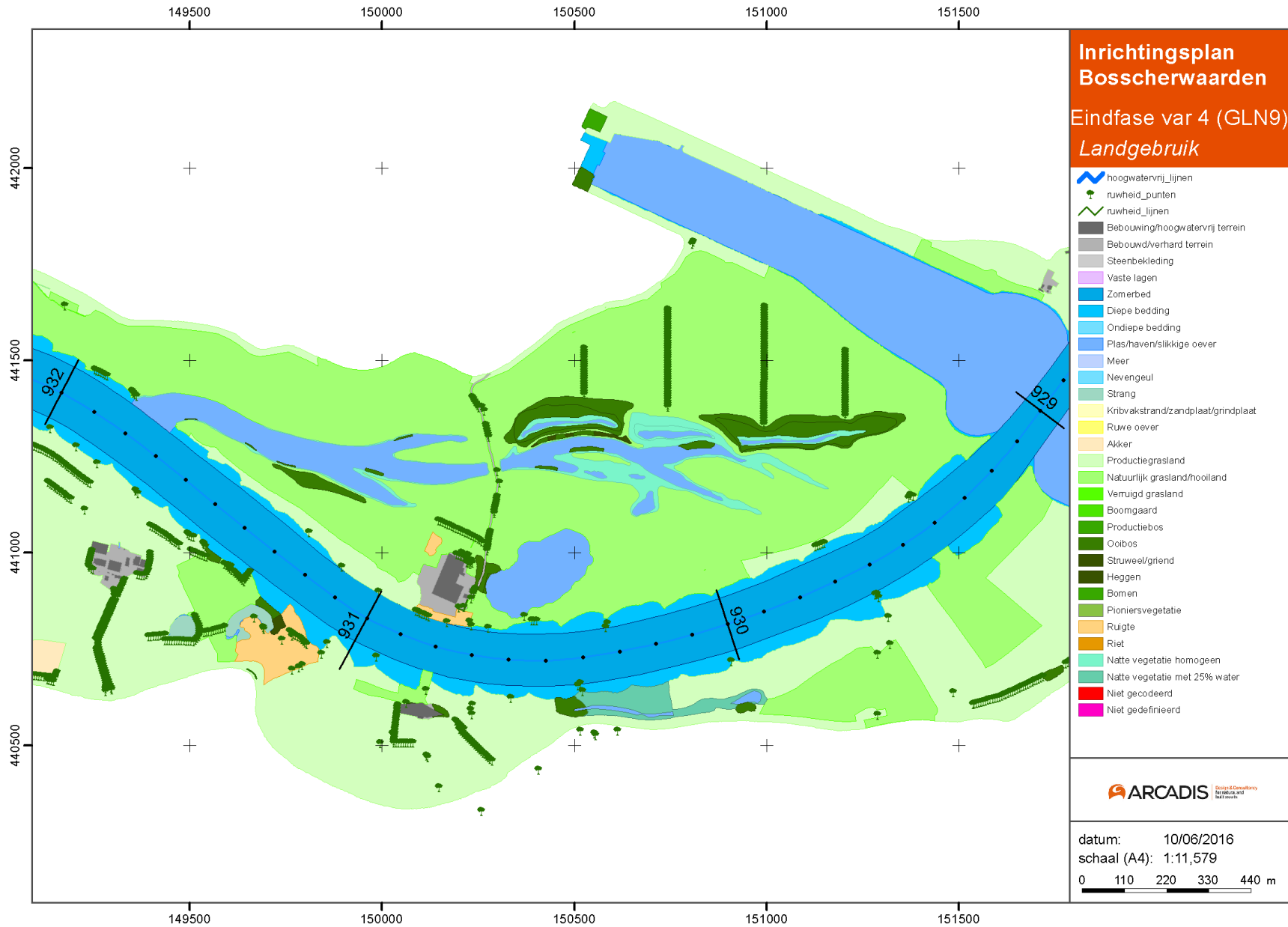
BIJLAGE D : KAARTEN VARIANT 3

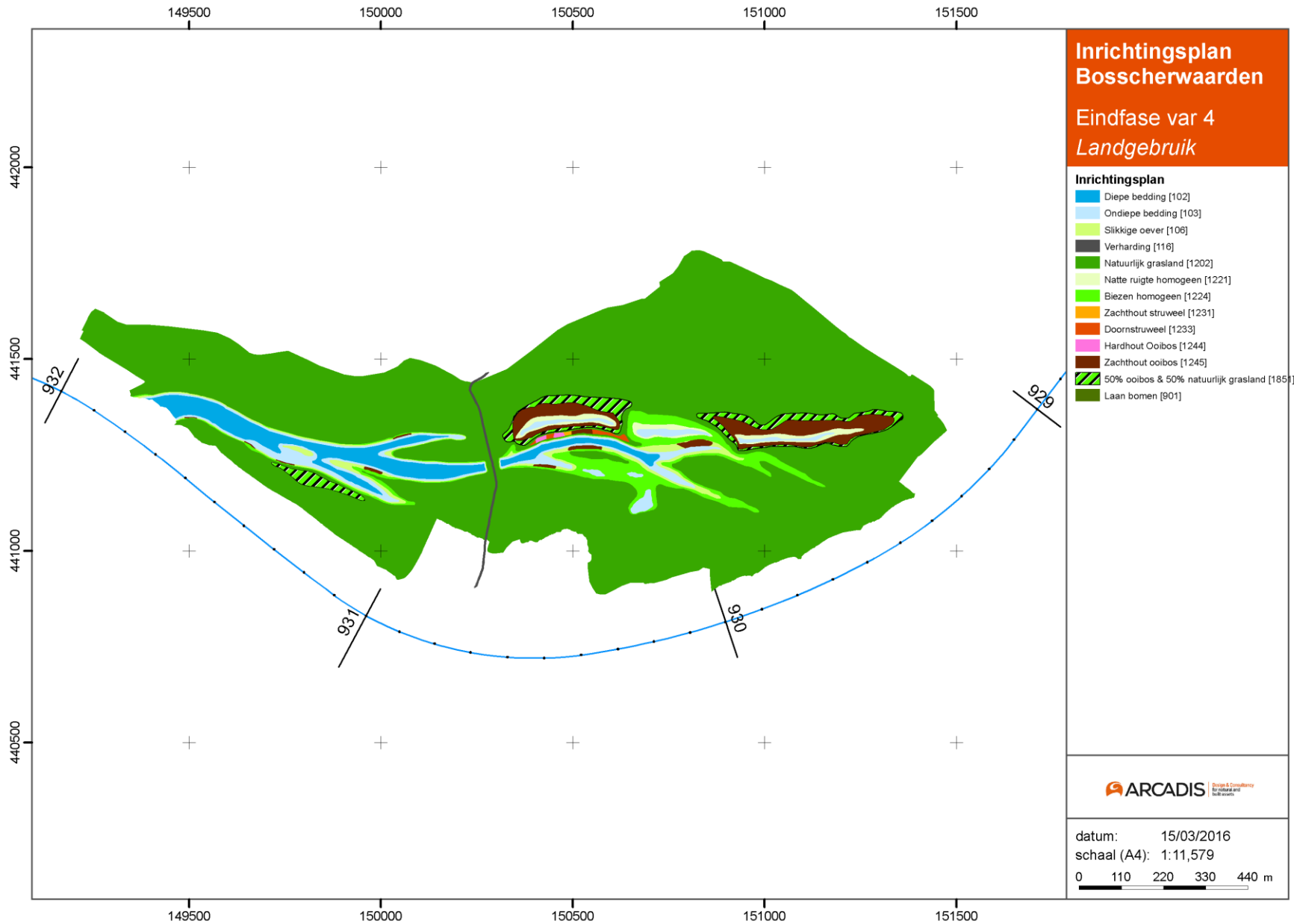




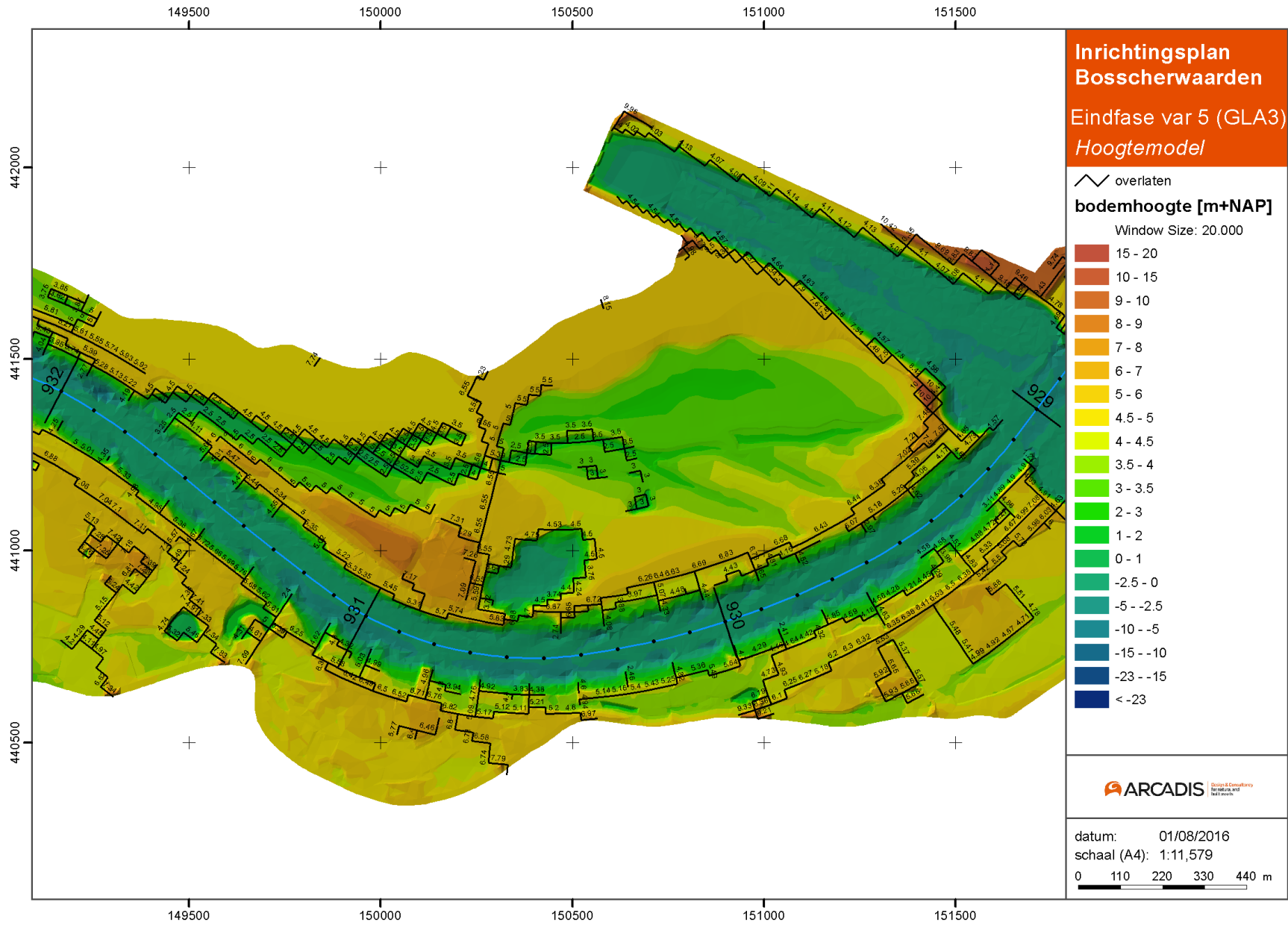
BIJLAGE E : KAARTEN VARIANT 4

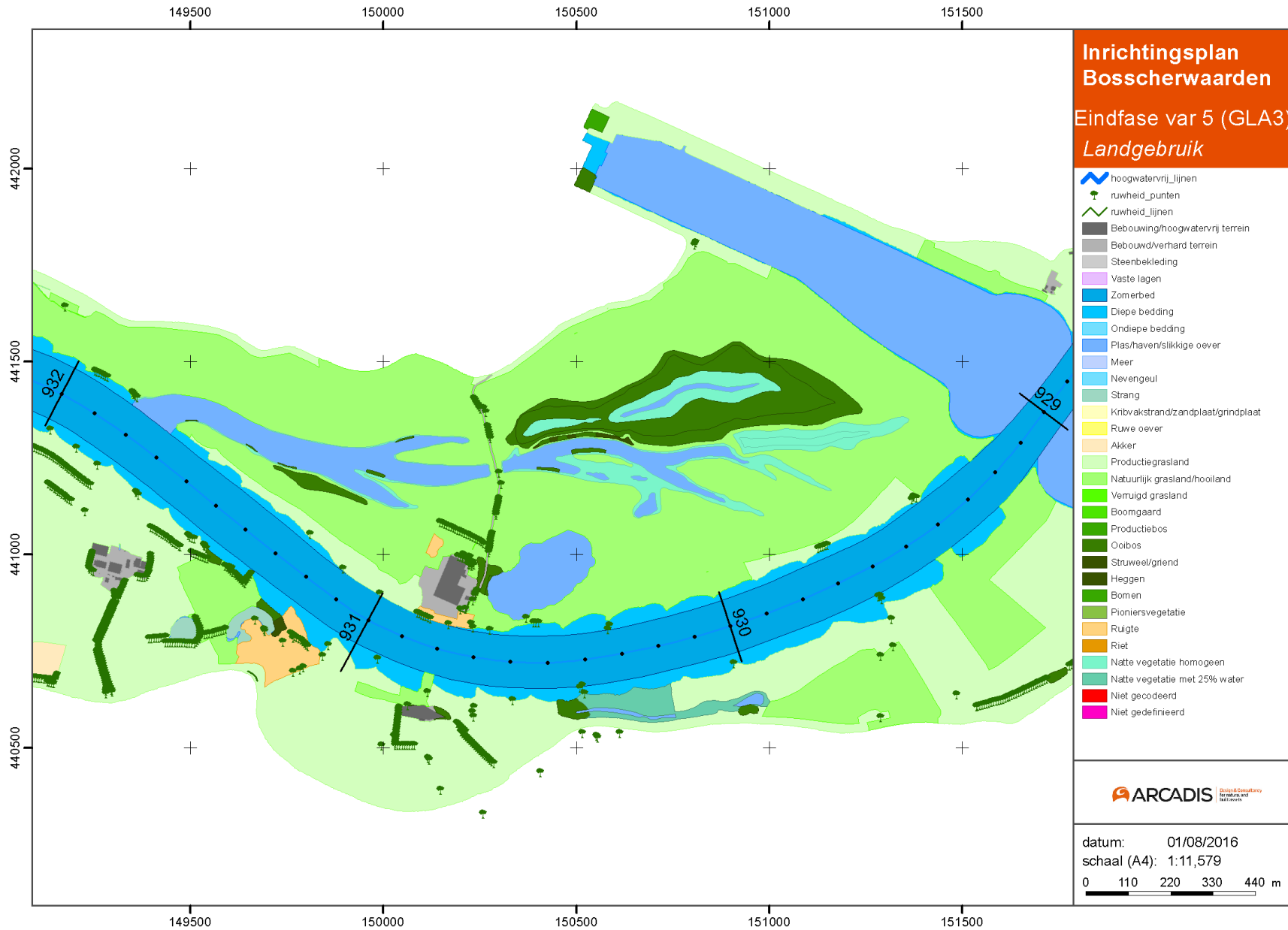






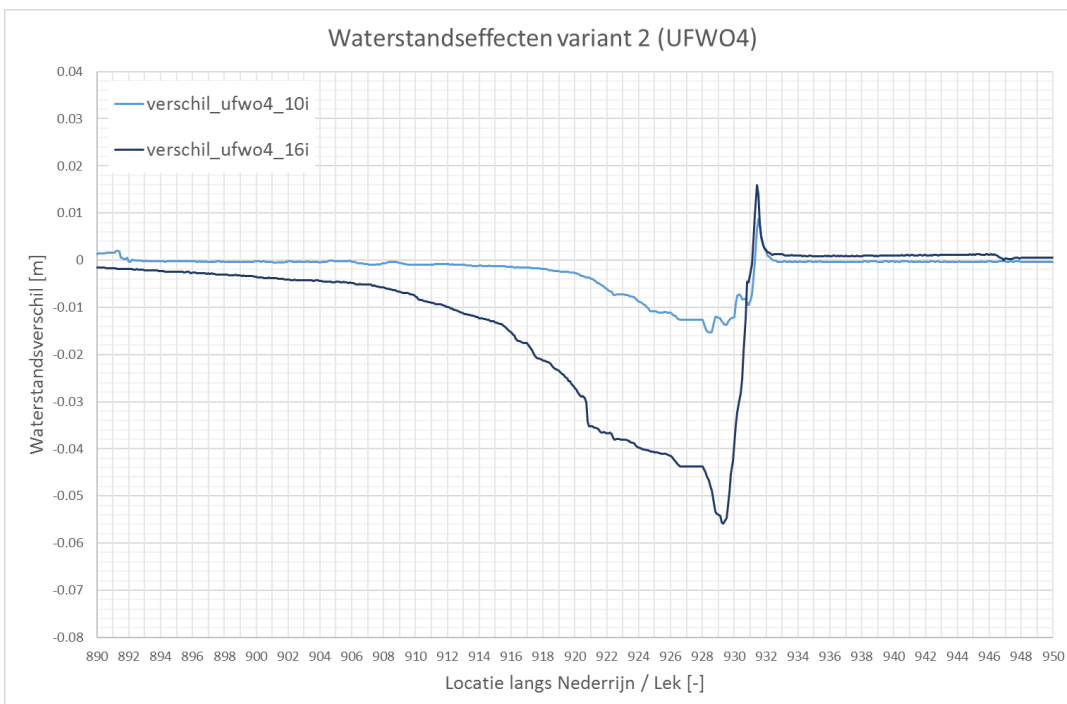
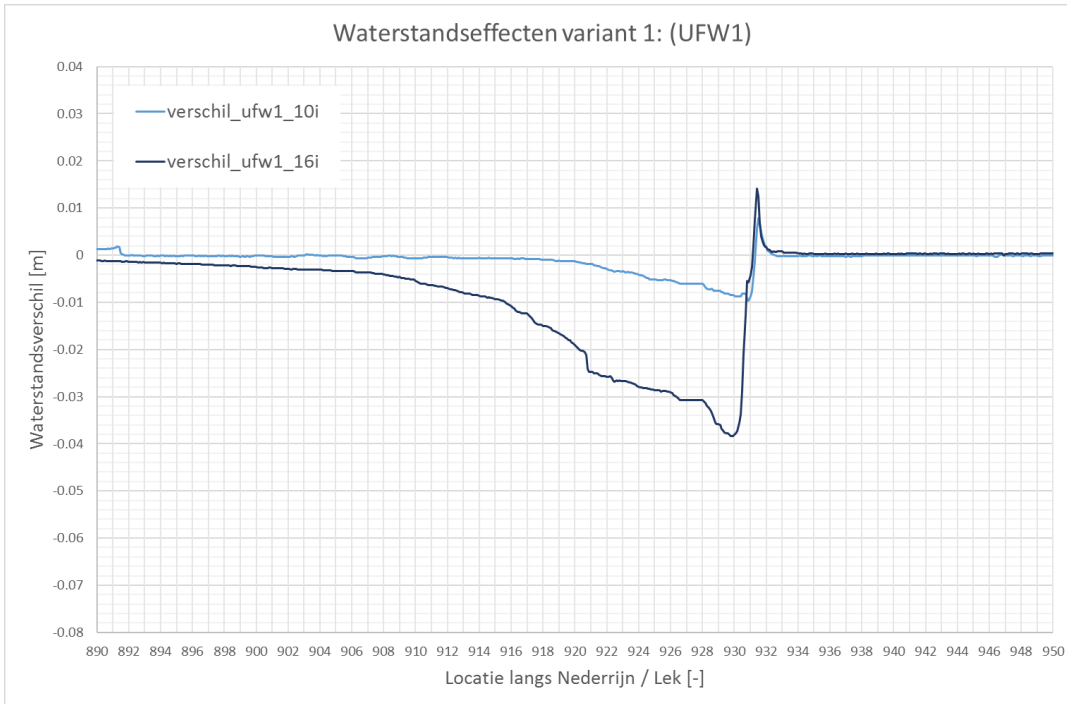
BIJLAGE F : KAARTEN VARIANT 5

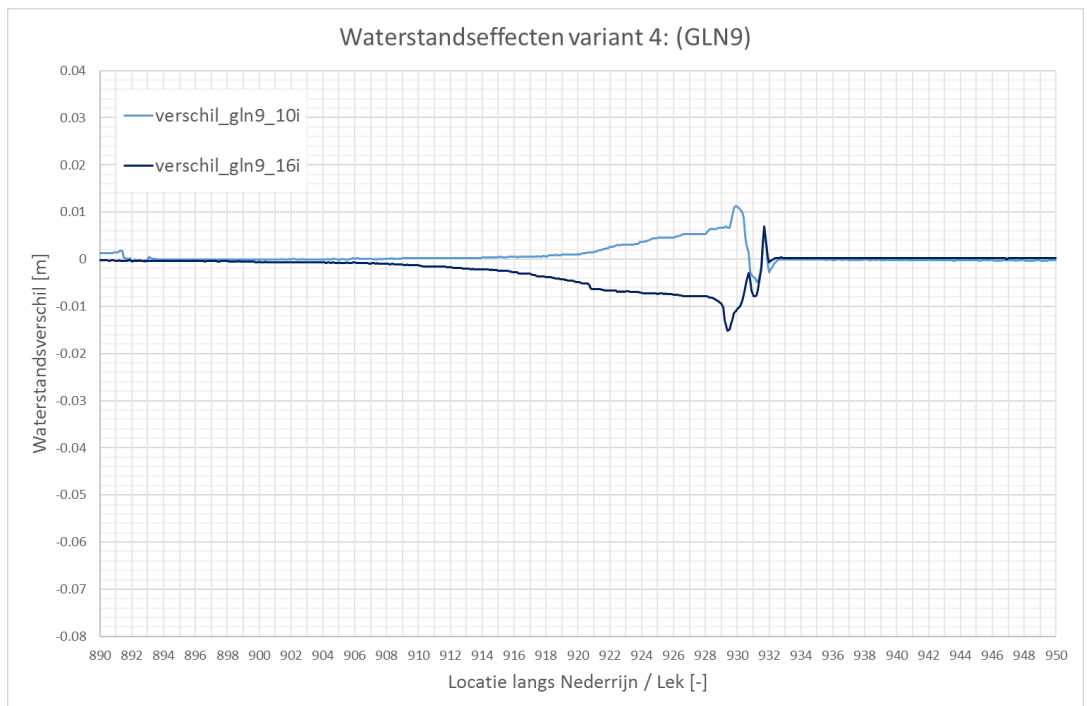
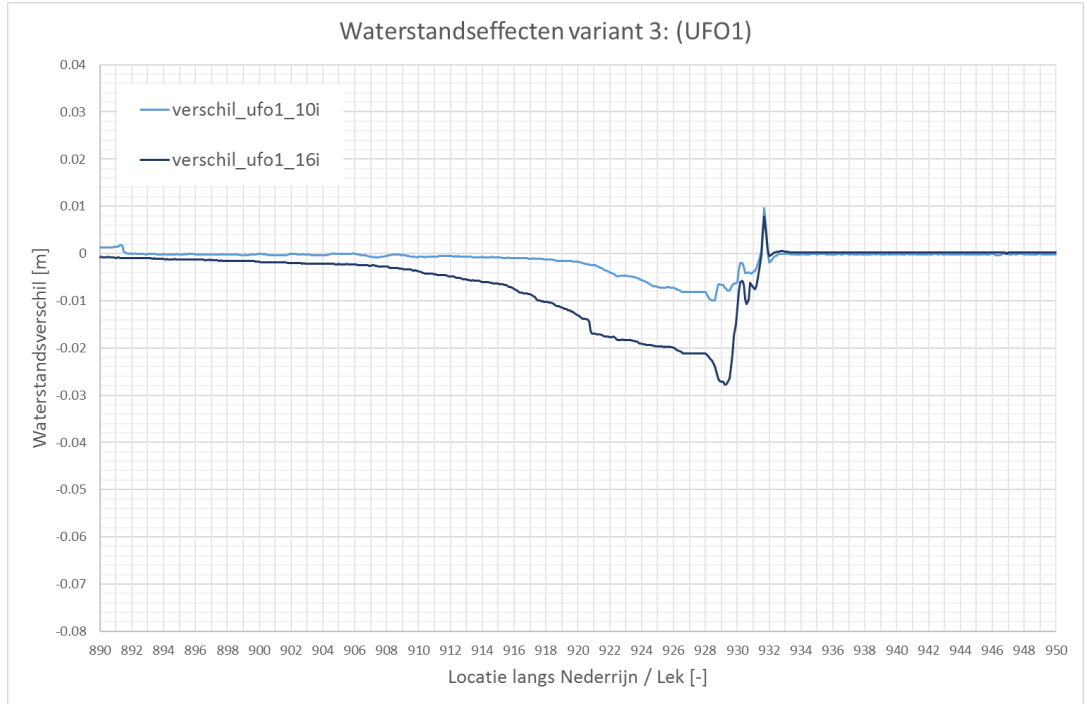


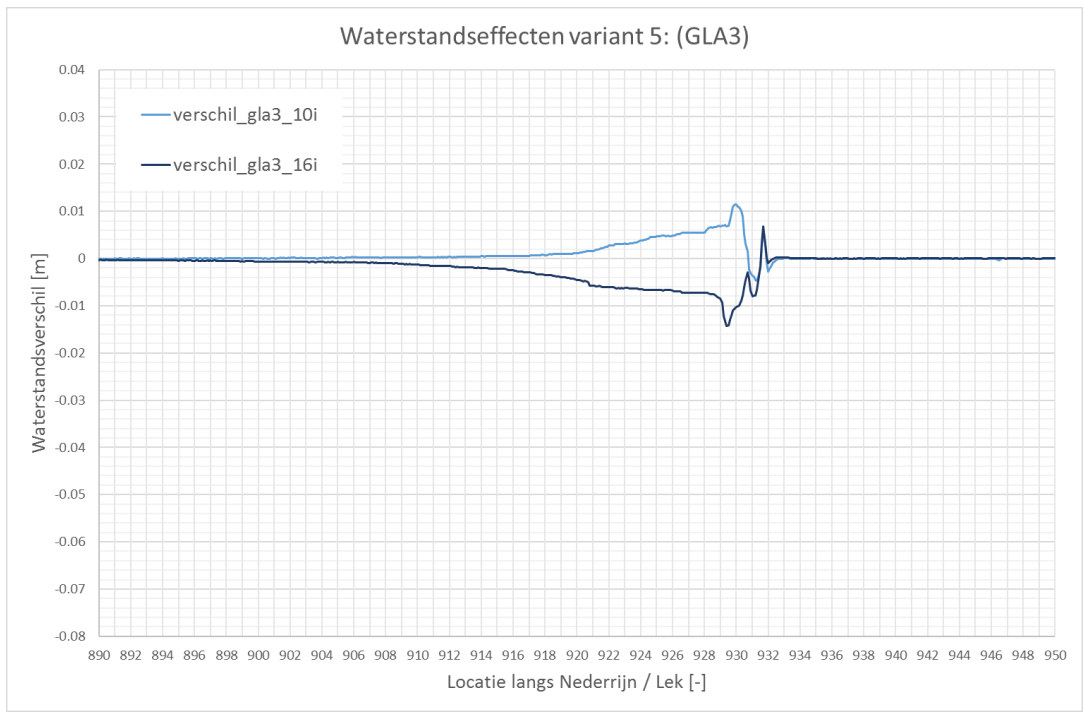


BIJLAGE G MHW & NHW-STAND OP RIVIERAS

Onderstaand zijn de waterstandseffecten weergegeven op de as van de rivier bij afvoeren van 16.000 en 10.000 m³/s te Lobith voor de verschillende uitvoeringsvarianten.

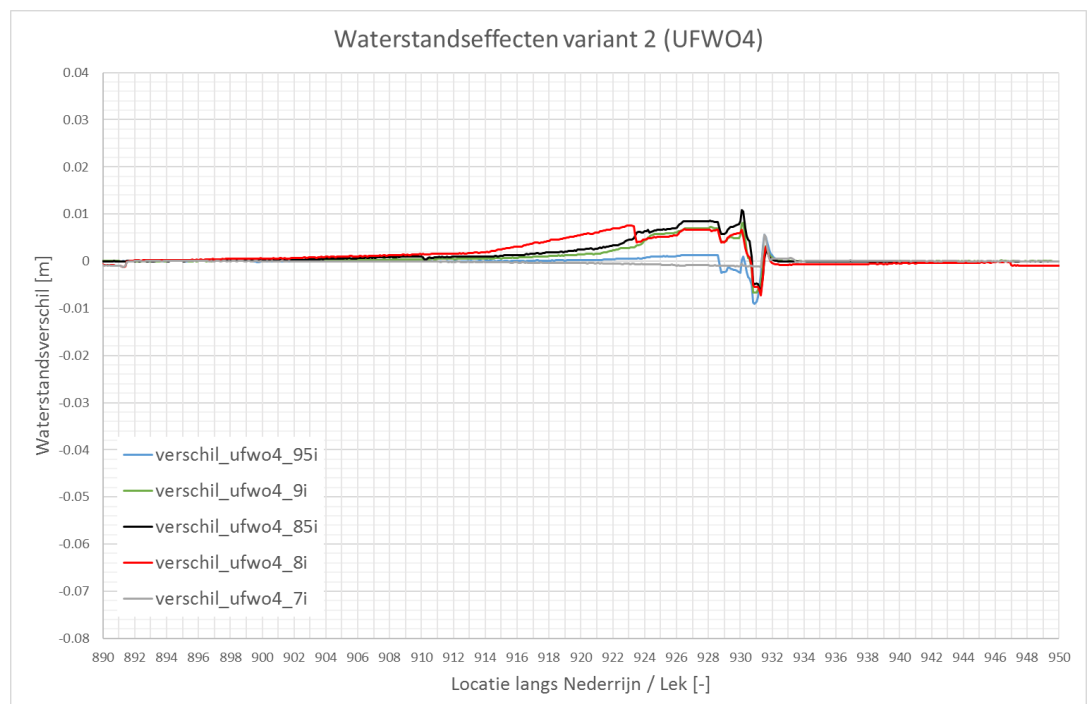
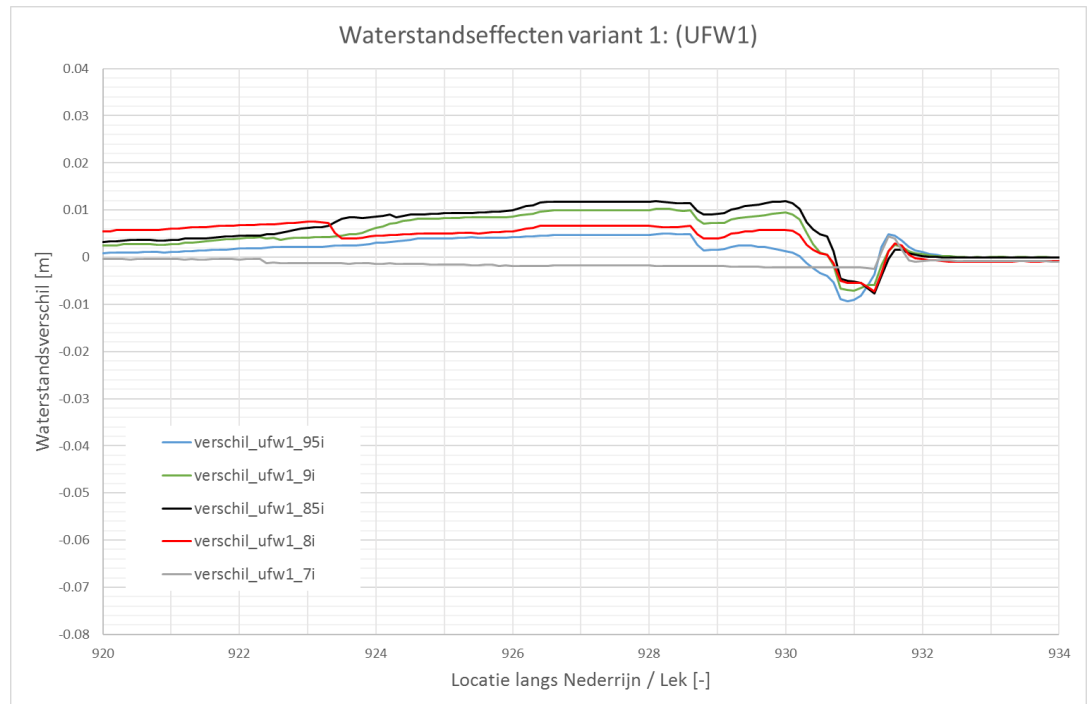


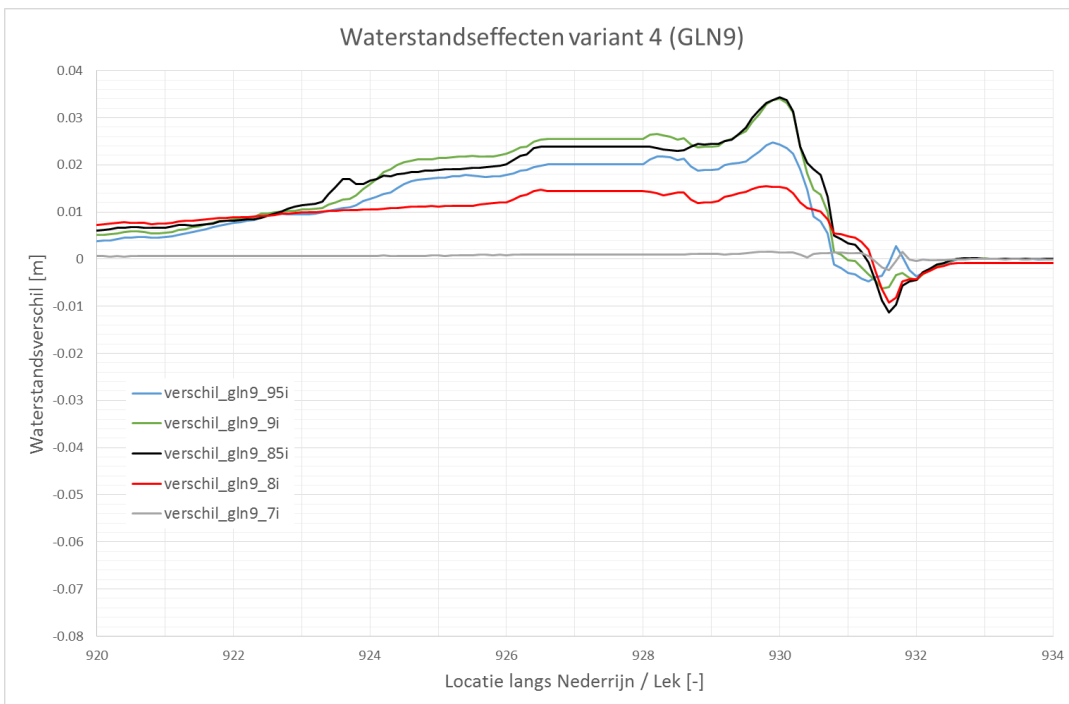
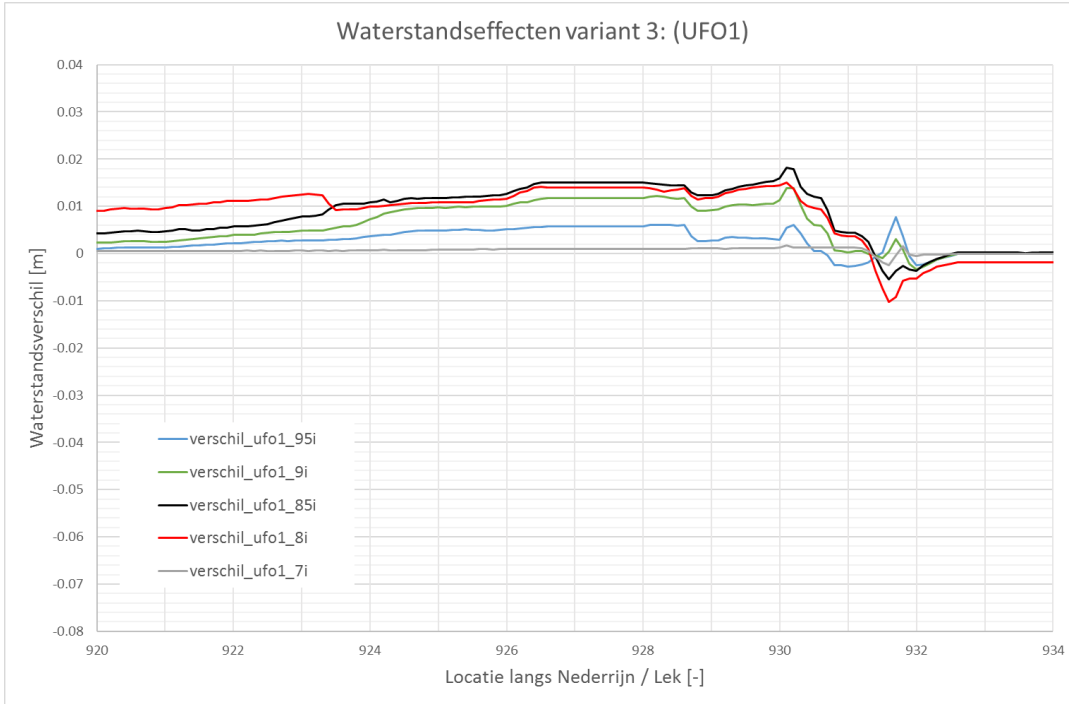


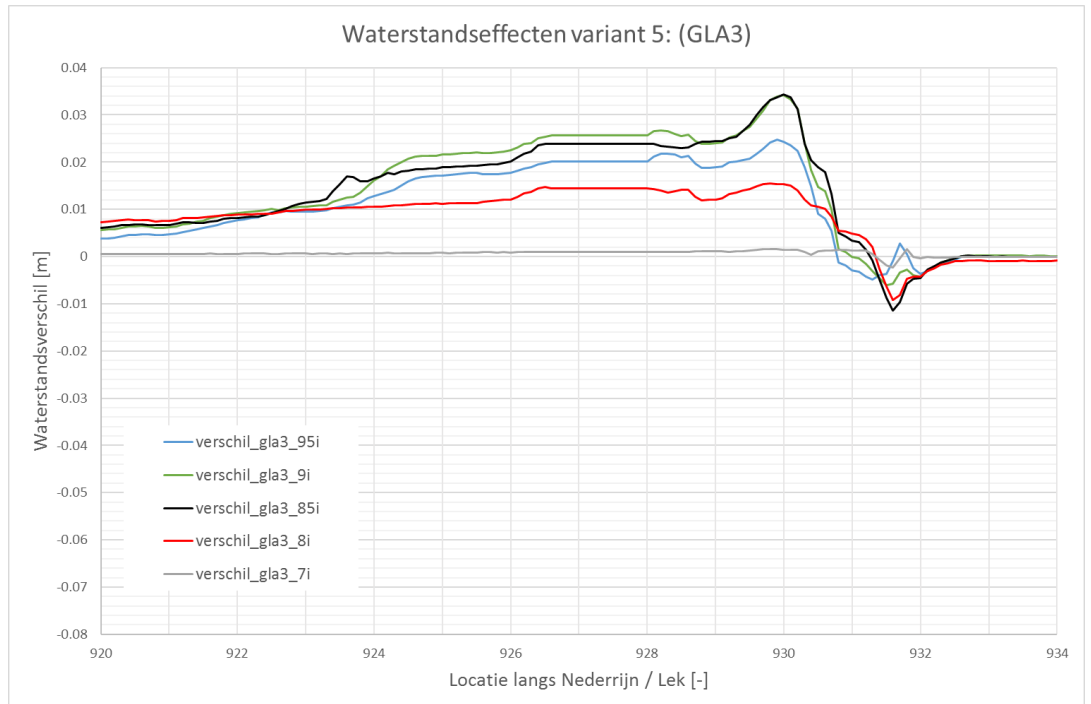


BIJLAGE H OVERIGE STANDEN OP RIVIERAS

Onderstaand zijn de waterstandseffecten weergegeven op de as van de rivier bij overige afvoeren te Lobith voor de verschillende uitvoeringsvarianten. Het betreft de afvoeren tussen 9.500 m³/s en 7.000 m³/s te Lobith.

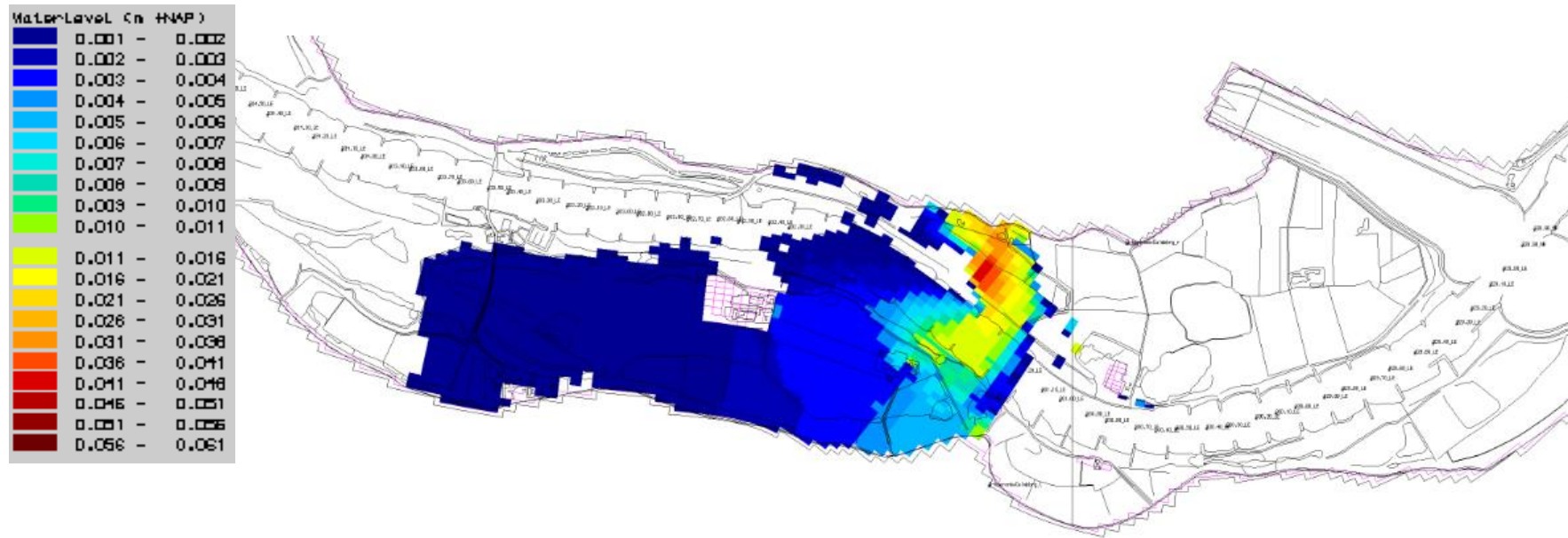






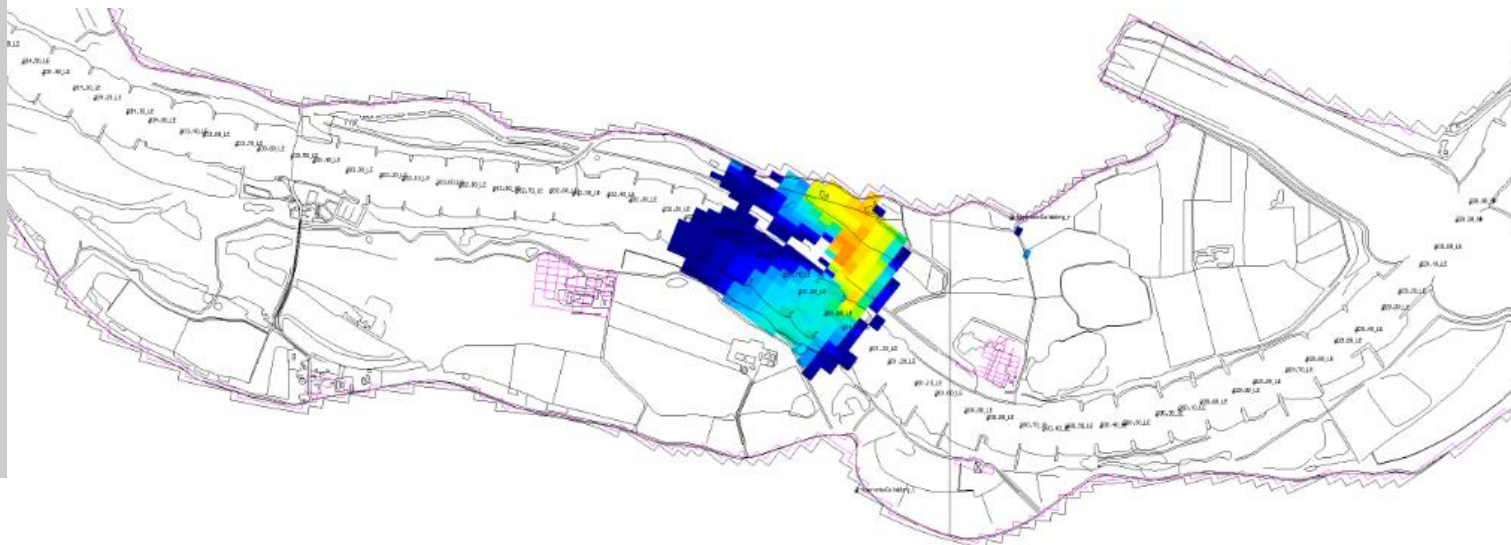
BIJLAGE I MHW & NHW-STAND OVERIG

Variant 1: MHW

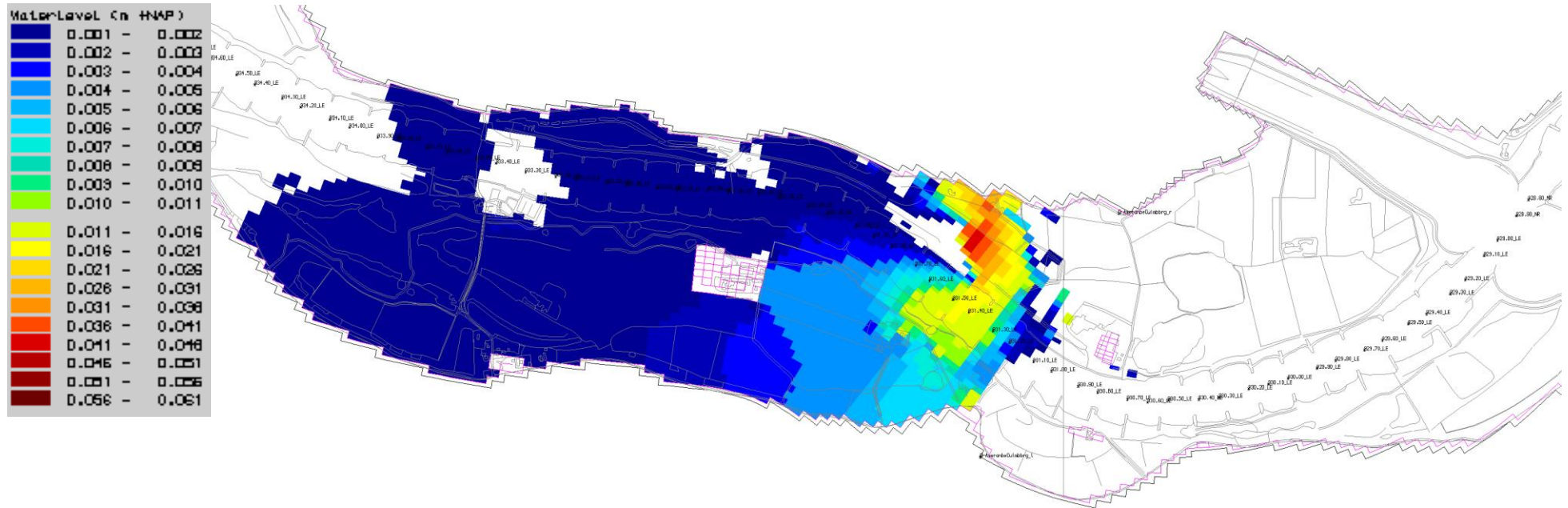


Variant 1: NHW

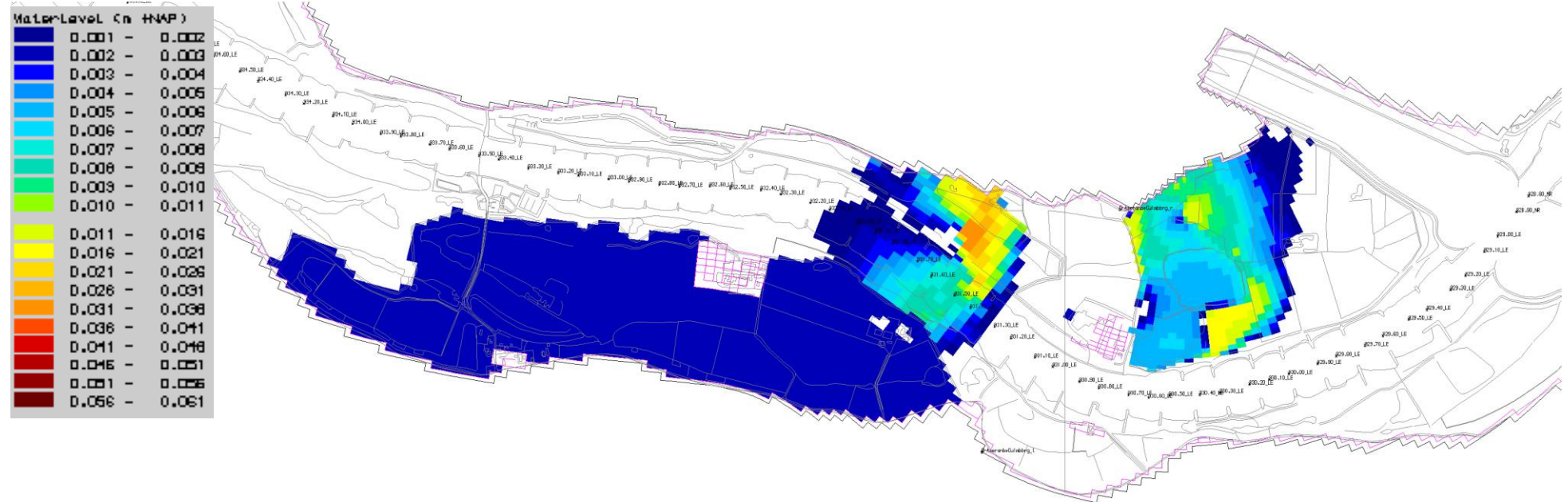
Water-Level (n HWP)	
Dark Blue	0.001 - 0.002
Blue	0.002 - 0.003
Light Blue	0.003 - 0.004
Cyan	0.004 - 0.005
Light Cyan	0.005 - 0.006
Green	0.006 - 0.007
Light Green	0.007 - 0.008
Yellow-Green	0.008 - 0.010
Yellow	0.010 - 0.011
Light Yellow	0.011 - 0.016
Yellow-Orange	0.016 - 0.021
Orange	0.021 - 0.026
Light Orange	0.026 - 0.031
Orange-Red	0.031 - 0.036
Red-Orange	0.036 - 0.041
Red	0.041 - 0.046
Dark Red	0.046 - 0.051
Brown-Red	0.051 - 0.056
Brown	0.056 - 0.061



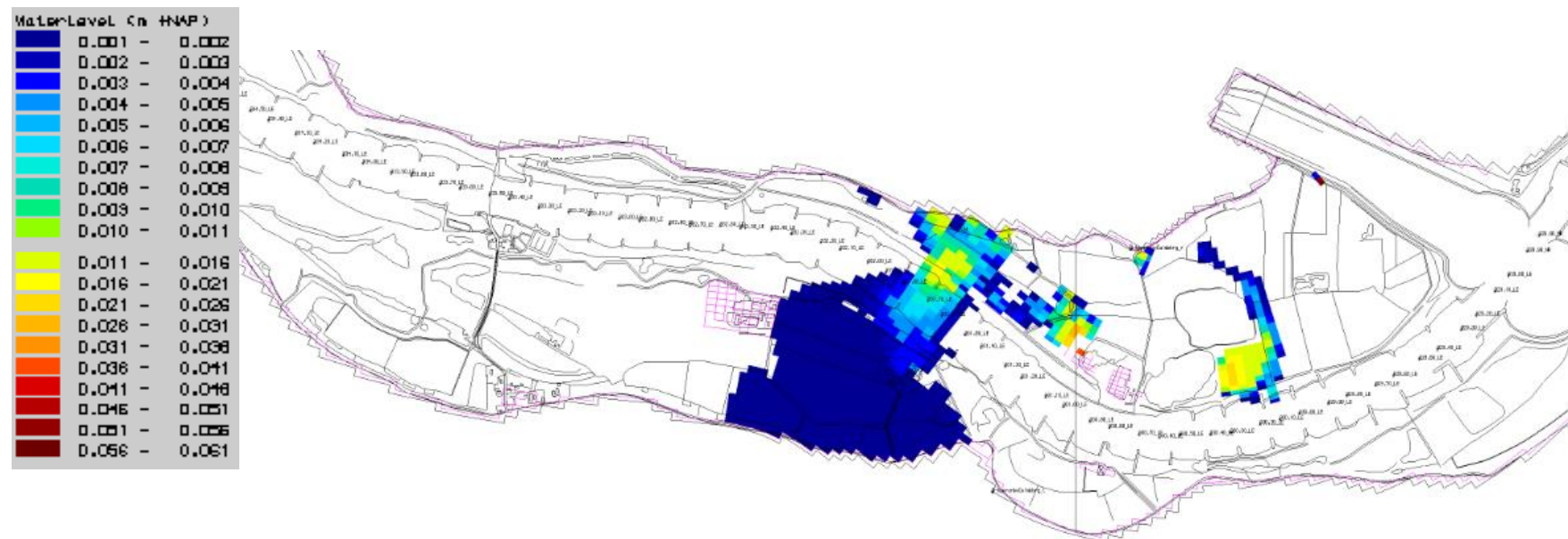
Variant 2: MHW



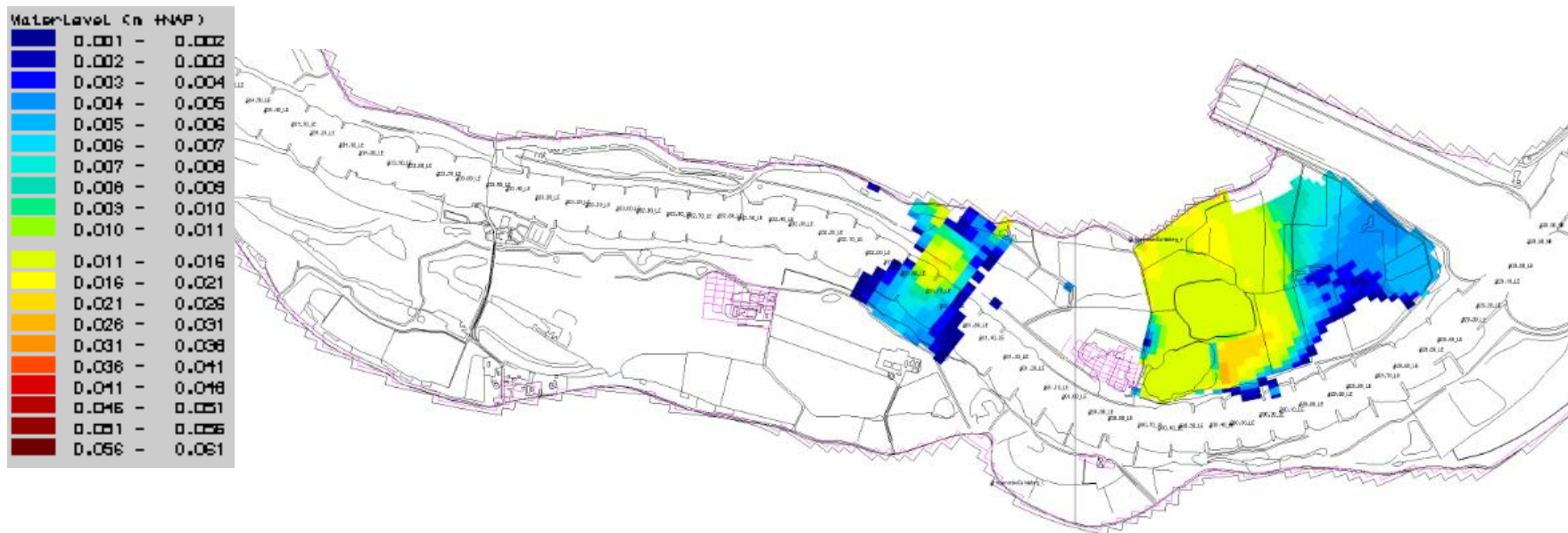
Variant 2: NHW



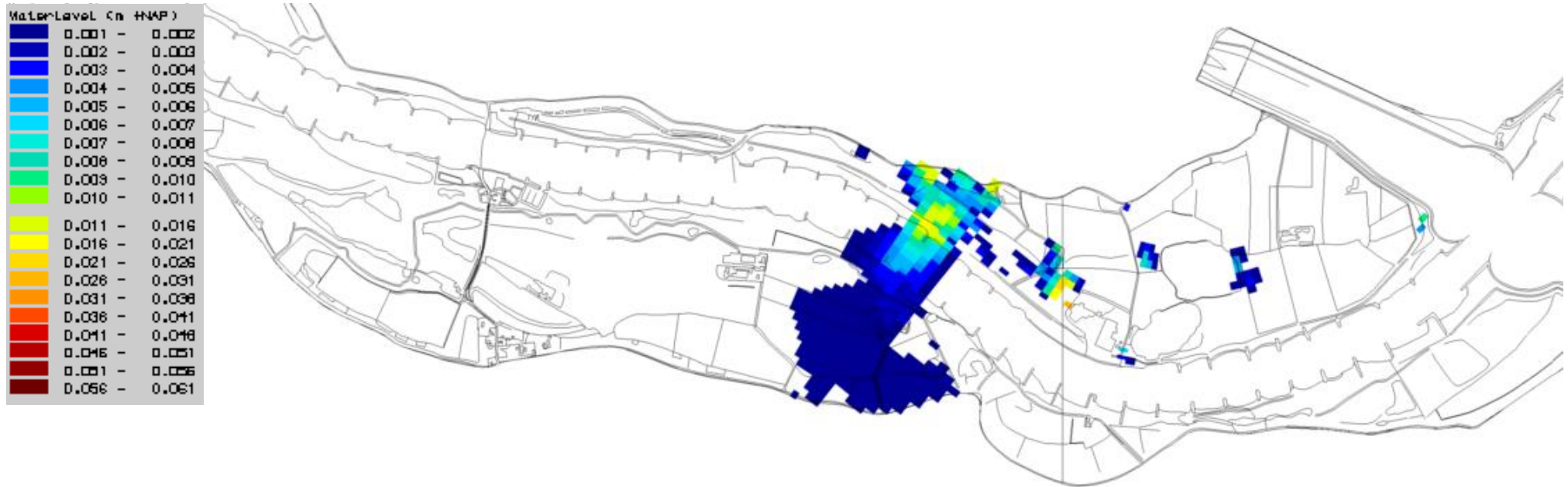
Variant 3: MHW



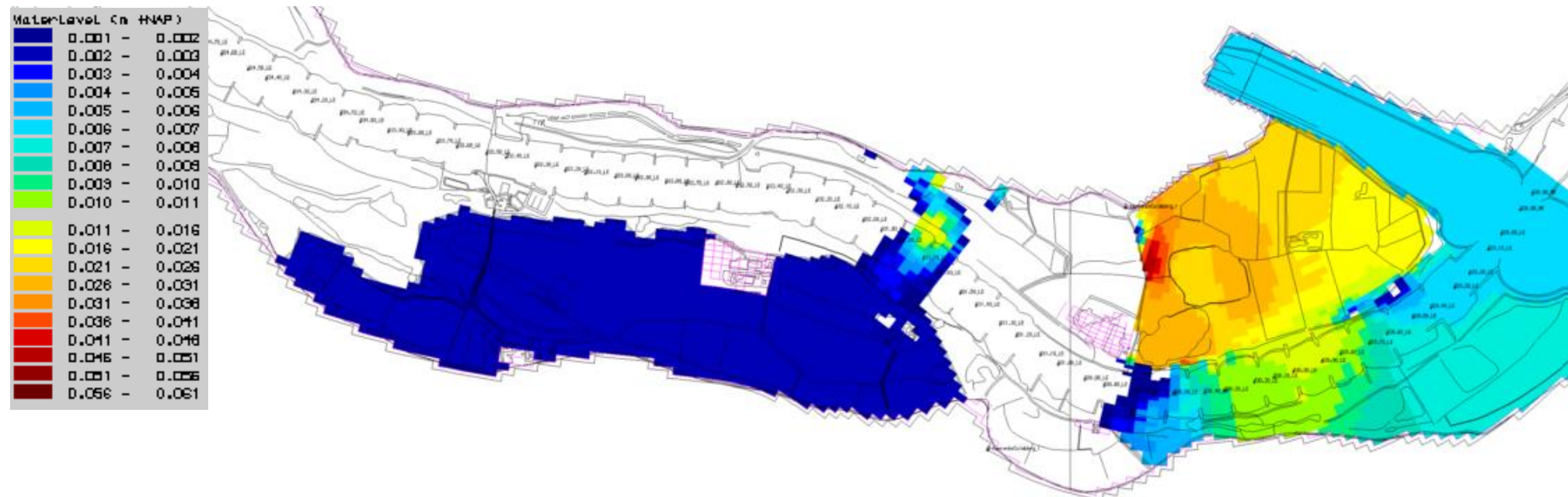
Variant 3: NHW



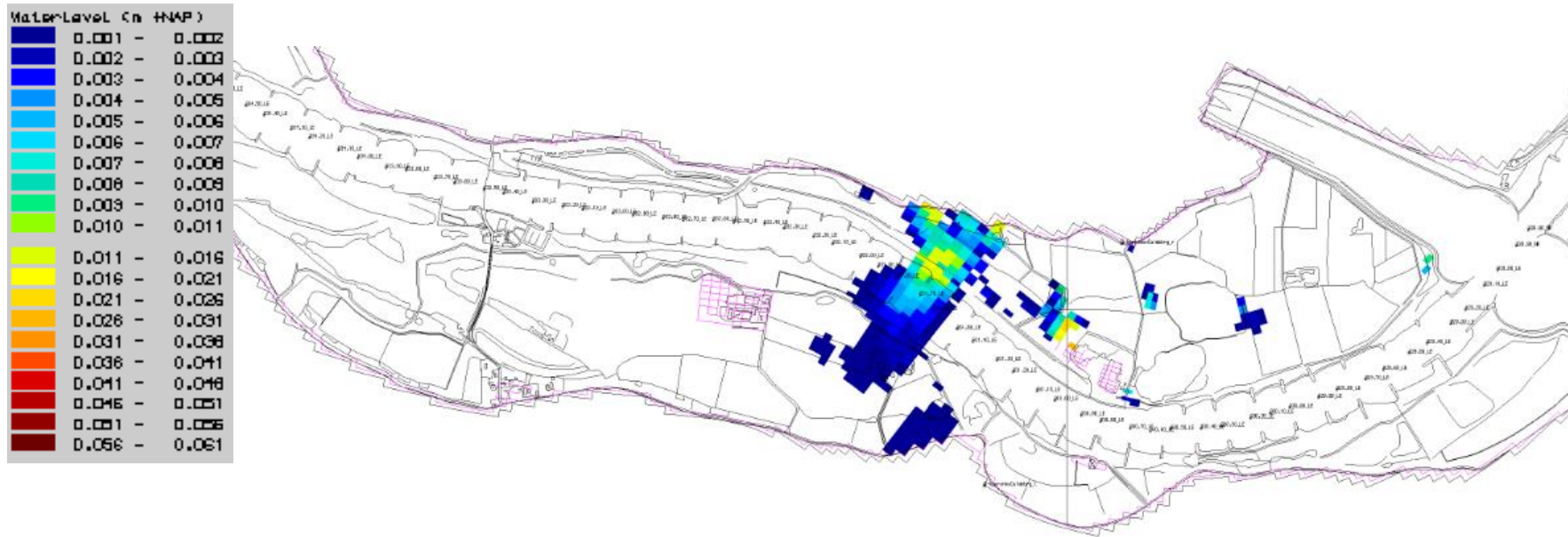
Variant 4: MHW



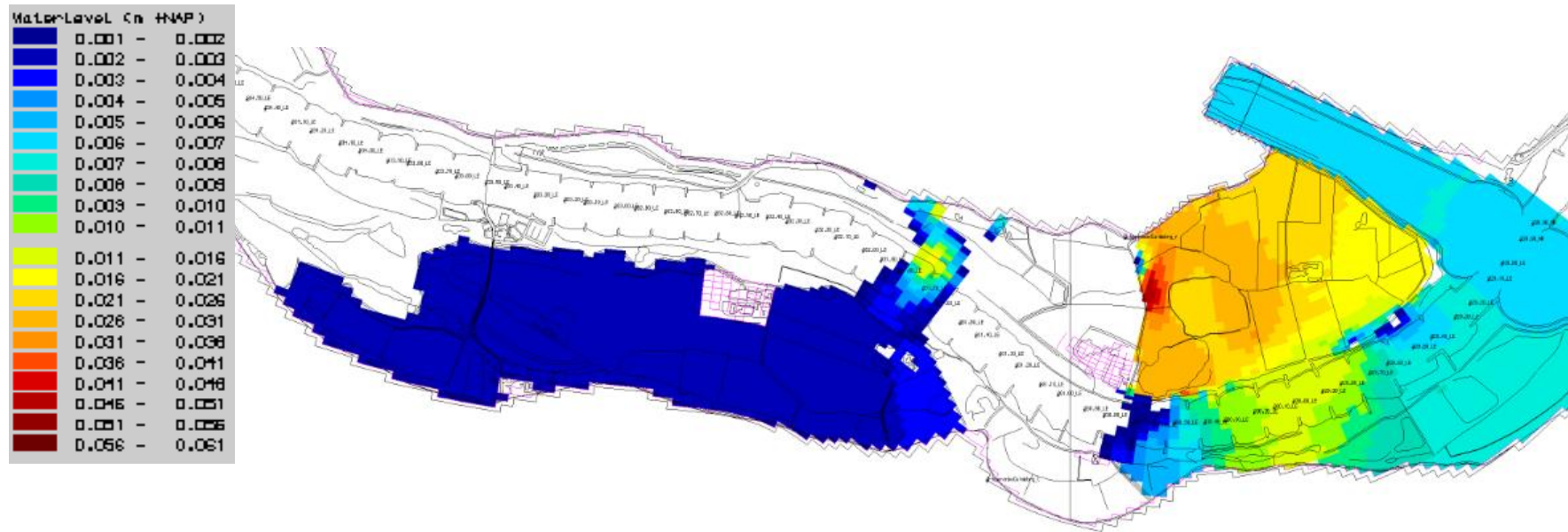
Variant 4: NHW



Variant 5: MHW

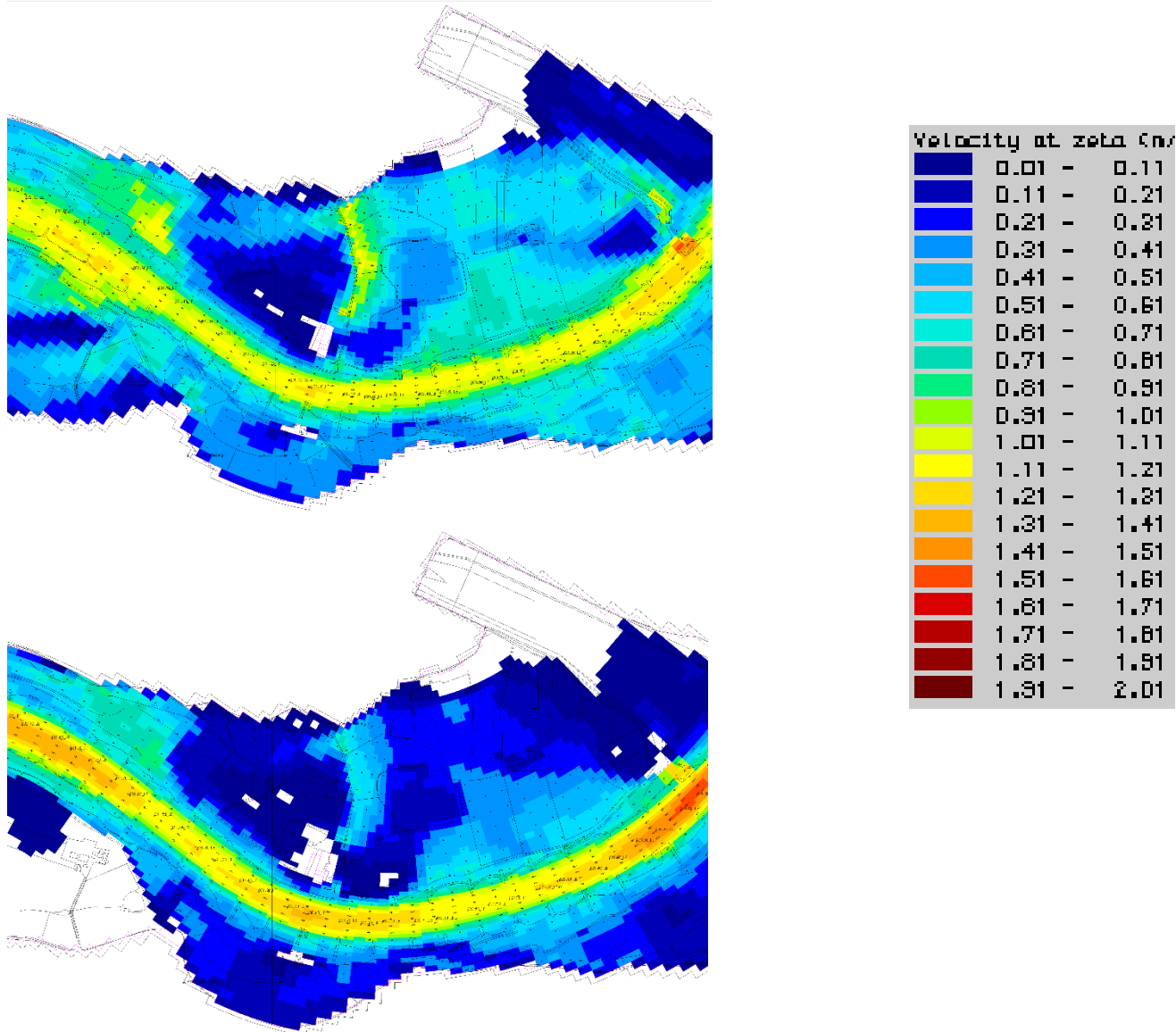


Variant 5: NHW

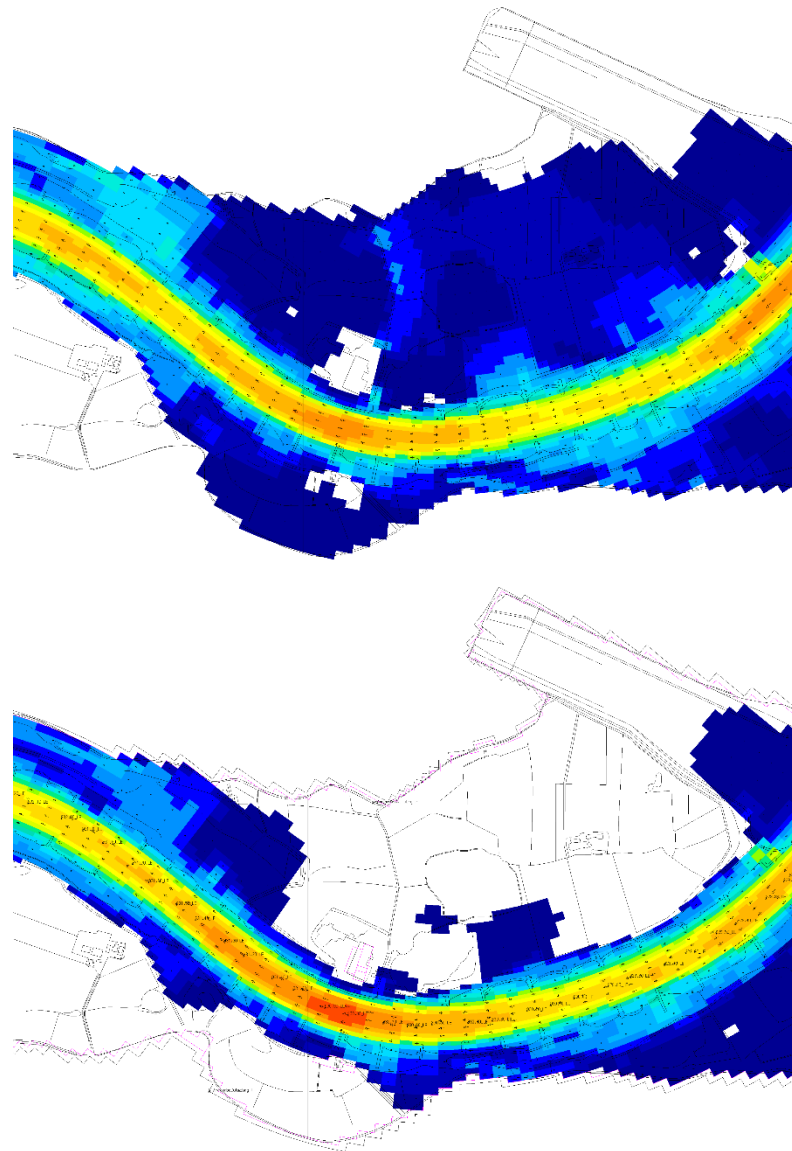


BIJLAGE J STROOMBEELD IN UITERWAARD

Variant 1: Stroomsnelheid absoluut [m/s] bij MHW en NHW



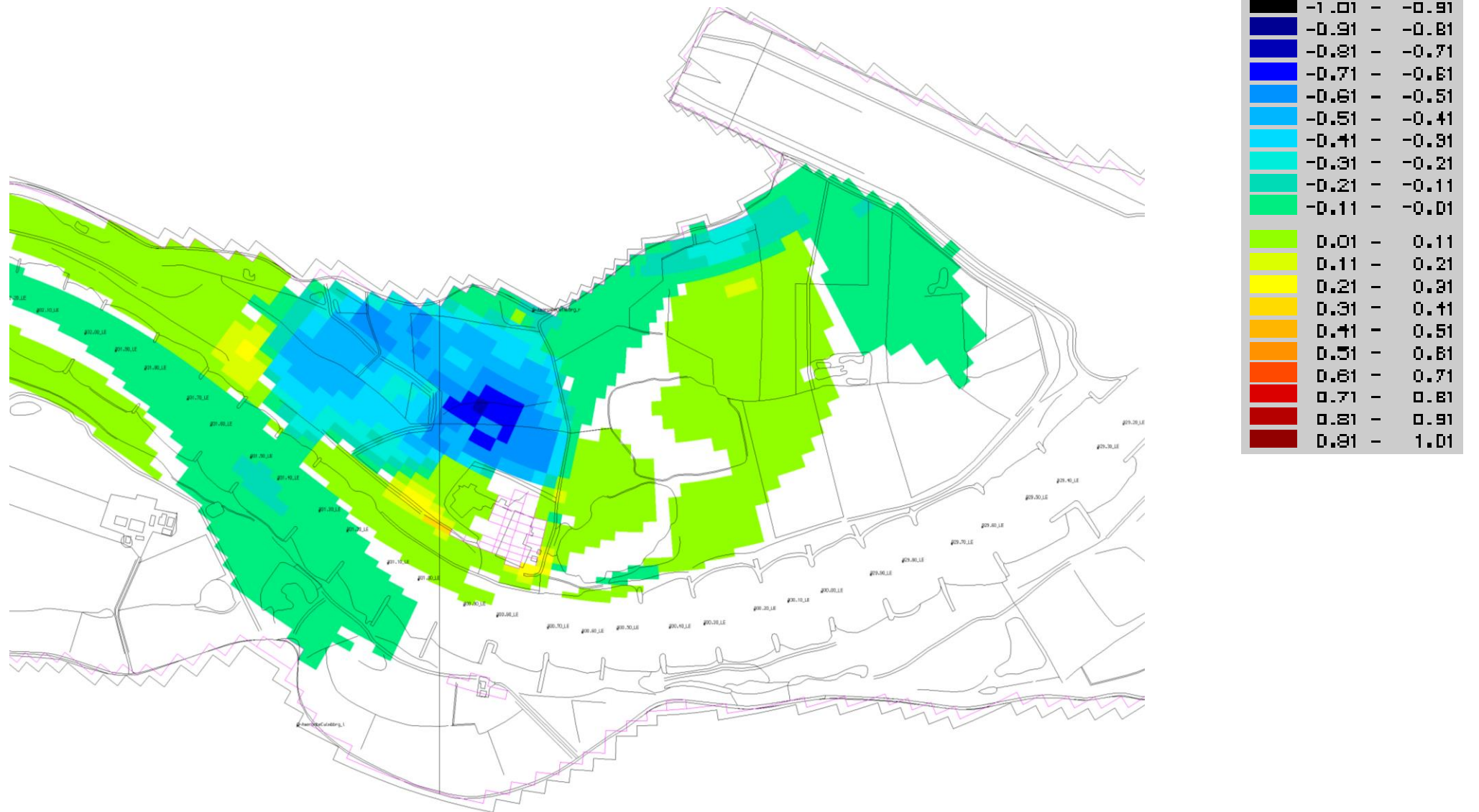
Variant 1: Stroomsnelheid absoluut [m/s] bij 9.000 en 8.000 m³/s te Lobith



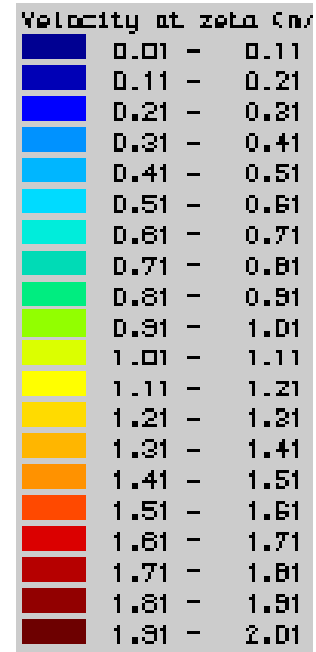
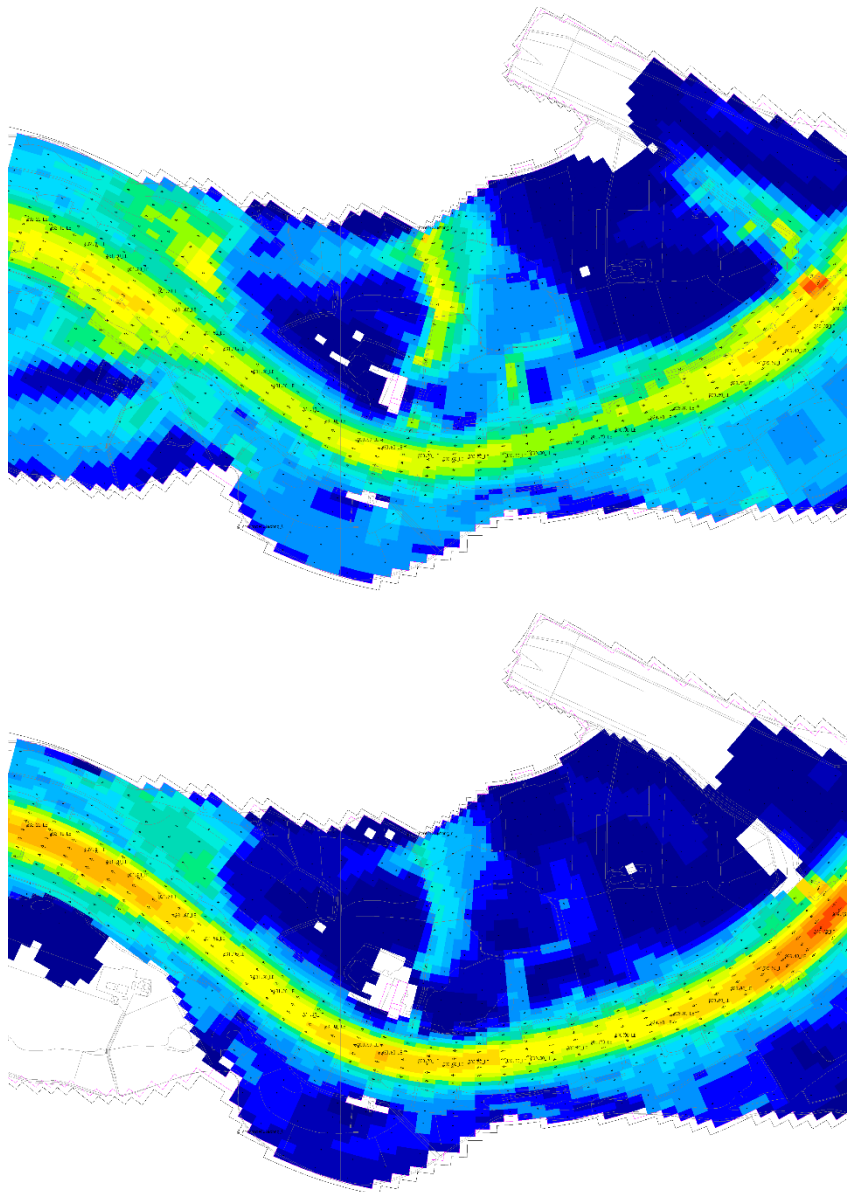
Velocity at zeta (m/s)

0.01 - 0.11
0.11 - 0.21
0.21 - 0.31
0.31 - 0.41
0.41 - 0.51
0.51 - 0.61
0.61 - 0.71
0.71 - 0.81
0.81 - 0.91
0.91 - 1.01
1.01 - 1.11
1.11 - 1.21
1.21 - 1.31
1.31 - 1.41
1.41 - 1.51
1.51 - 1.61
1.61 - 1.71
1.71 - 1.81
1.81 - 1.91
1.91 - 2.01

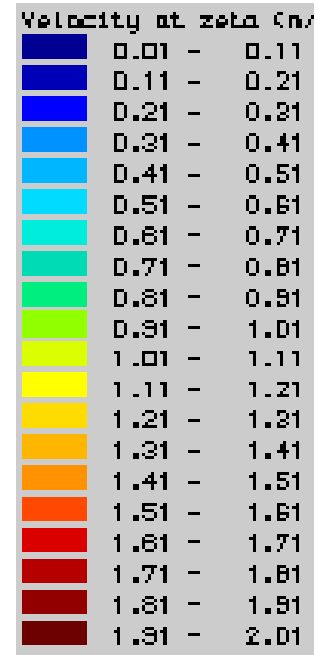
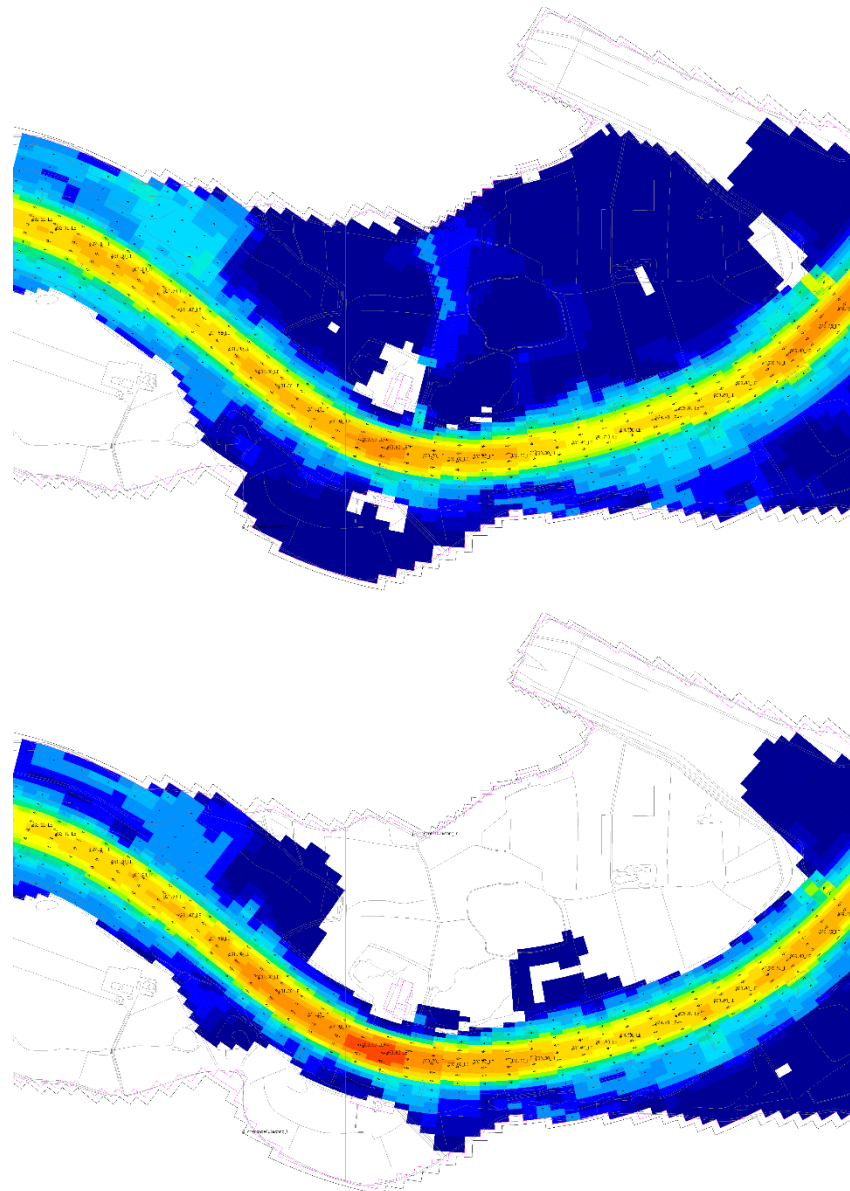
Variant 1: Stroomsnelheidsverschil [m/s] bij NHW



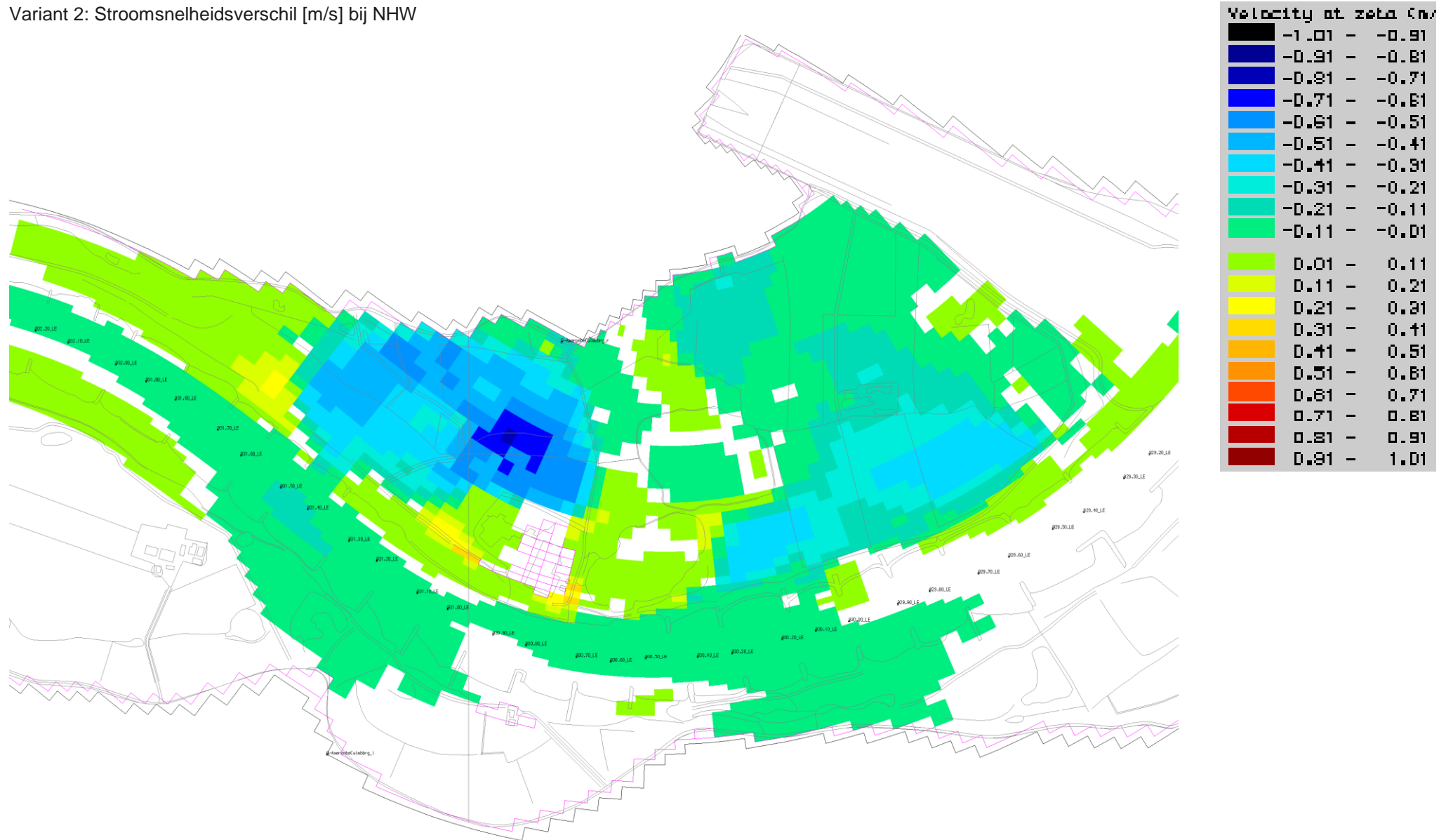
Variant 2: Stroomsnelheid absoluut [m/s] bij MHW en NHW



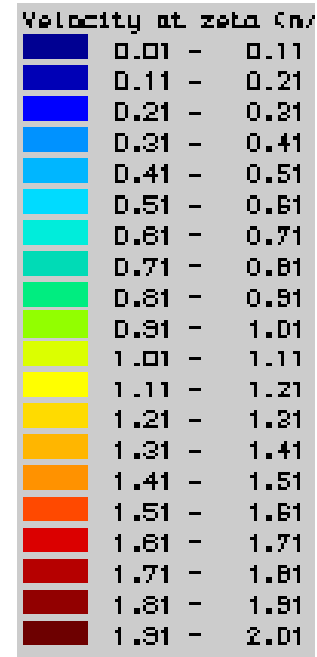
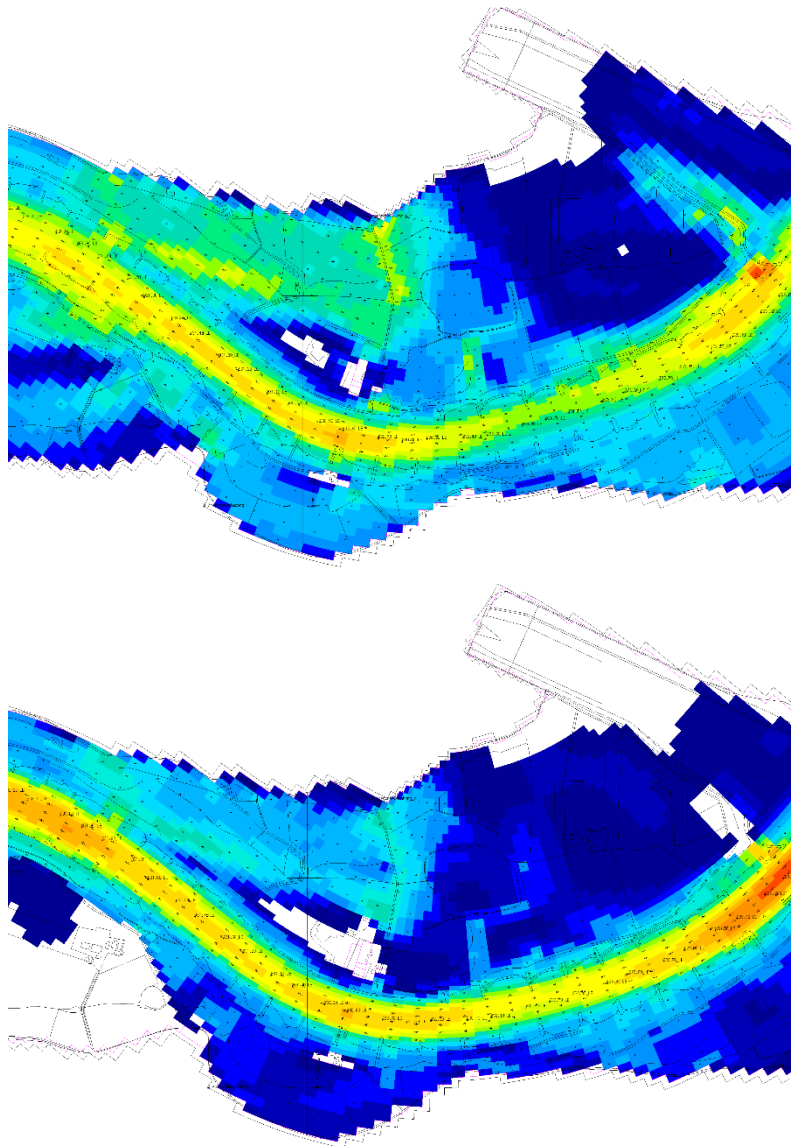
Variant 2: Stroomsnelheid absoluut [m/s] bij 9.000 en 8.000 m³/s te Lobith



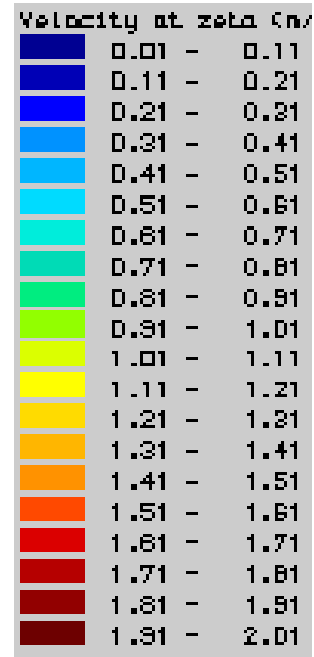
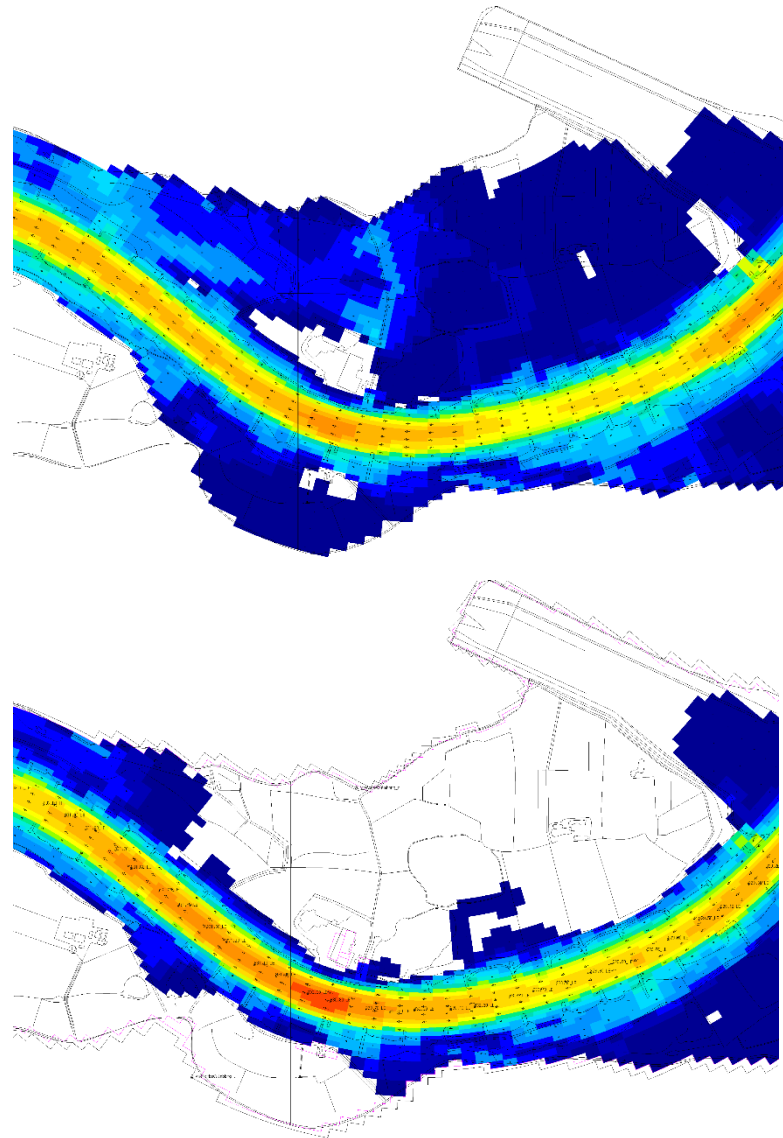
Variant 2: Stroomsnelheidsverschil [m/s] bij NHW



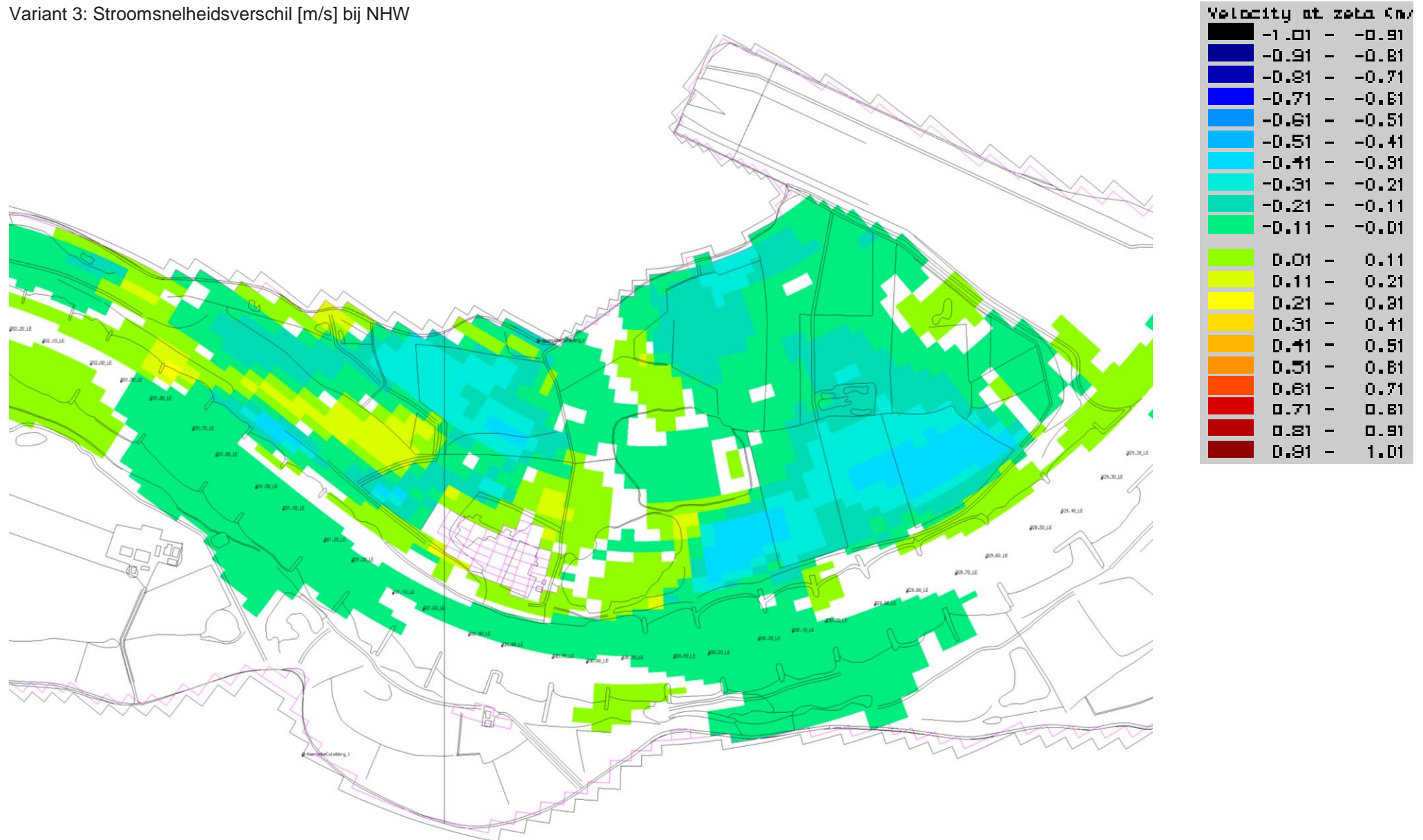
Variant 3: Stroomsnelheid absoluut [m/s] bij MHW en NHW



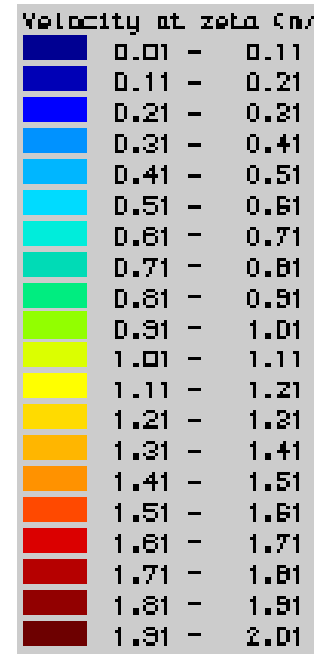
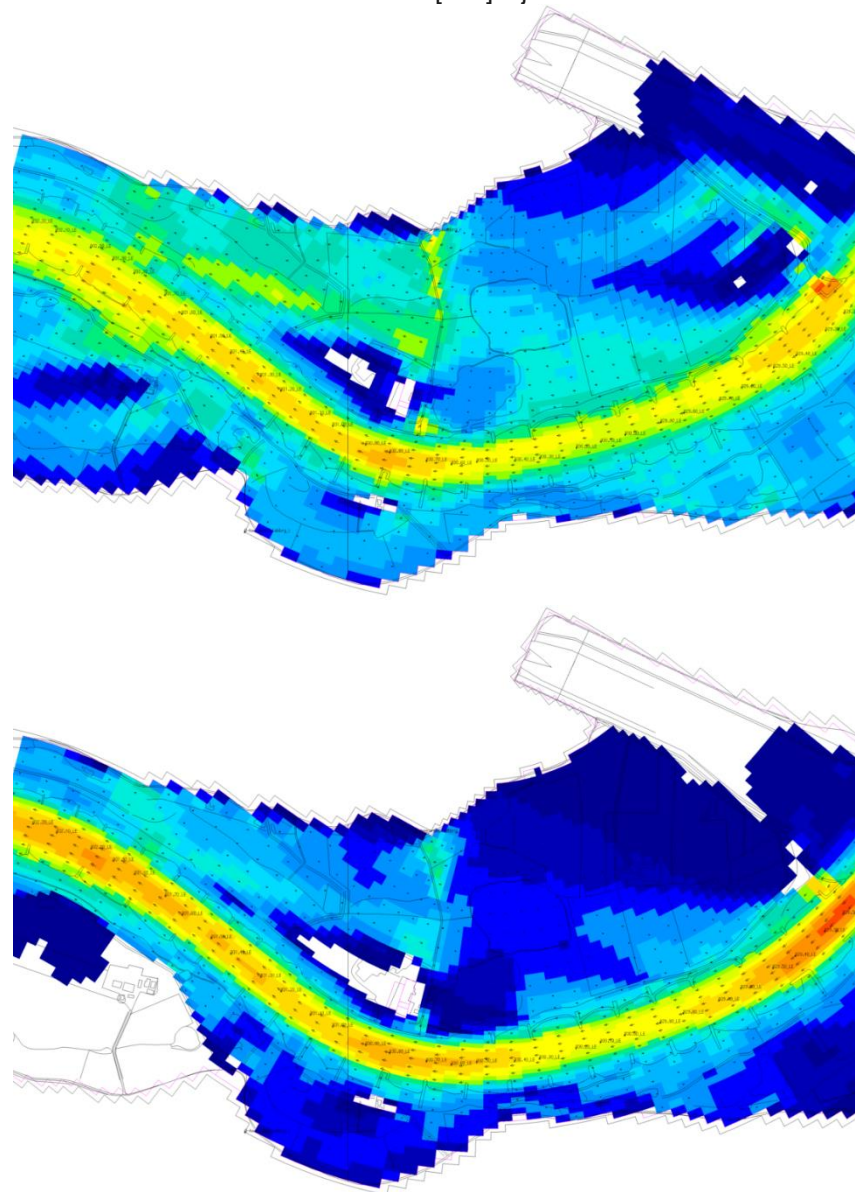
Variant 3: Stroomsnelheid absoluut [m/s] bij 9.000 en 8.000 m³/s te Lobith



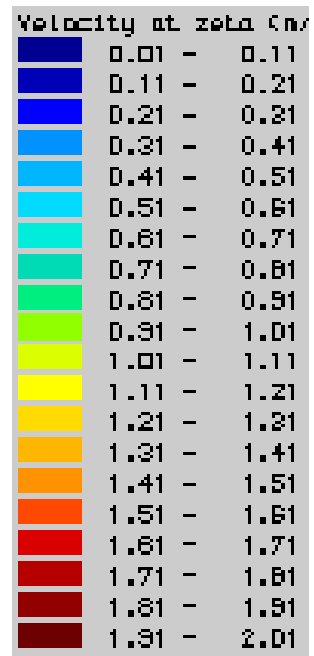
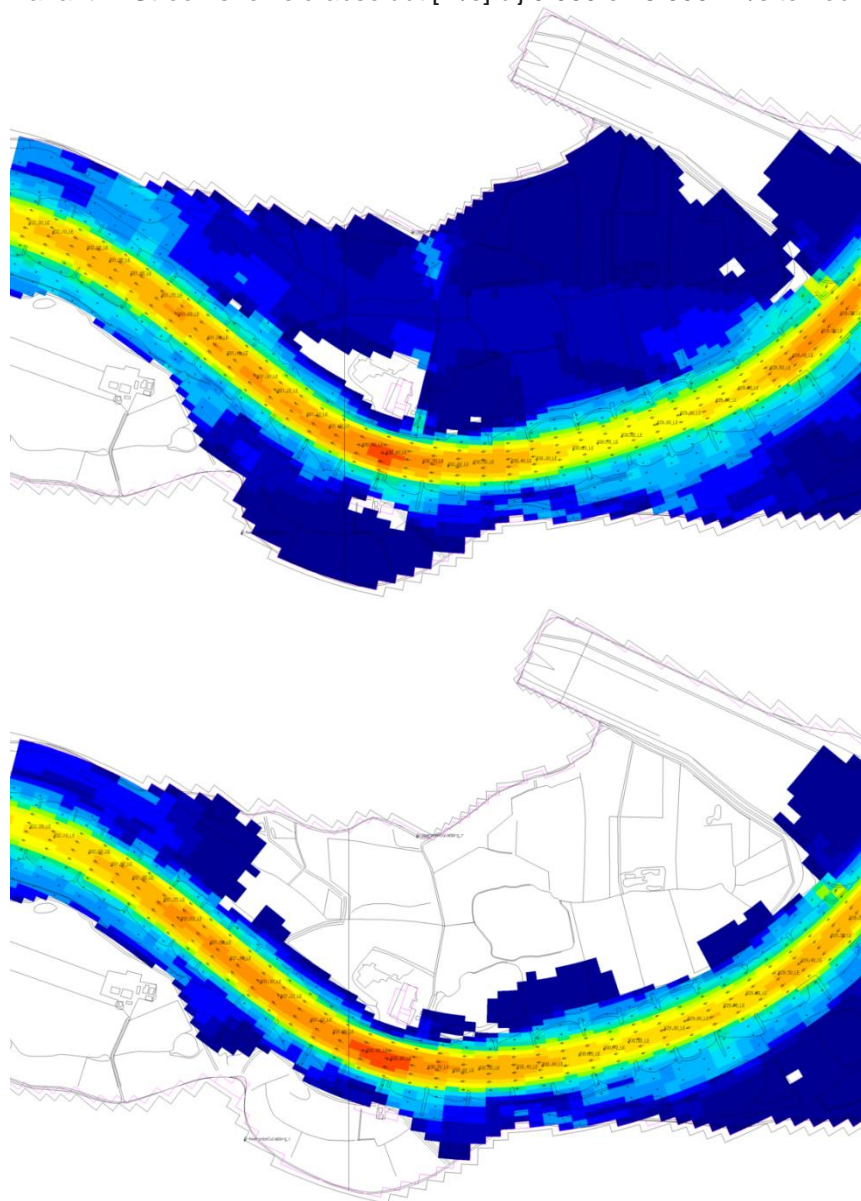
Variant 3: Stroomsnelheidsverschil [m/s] bij NHW



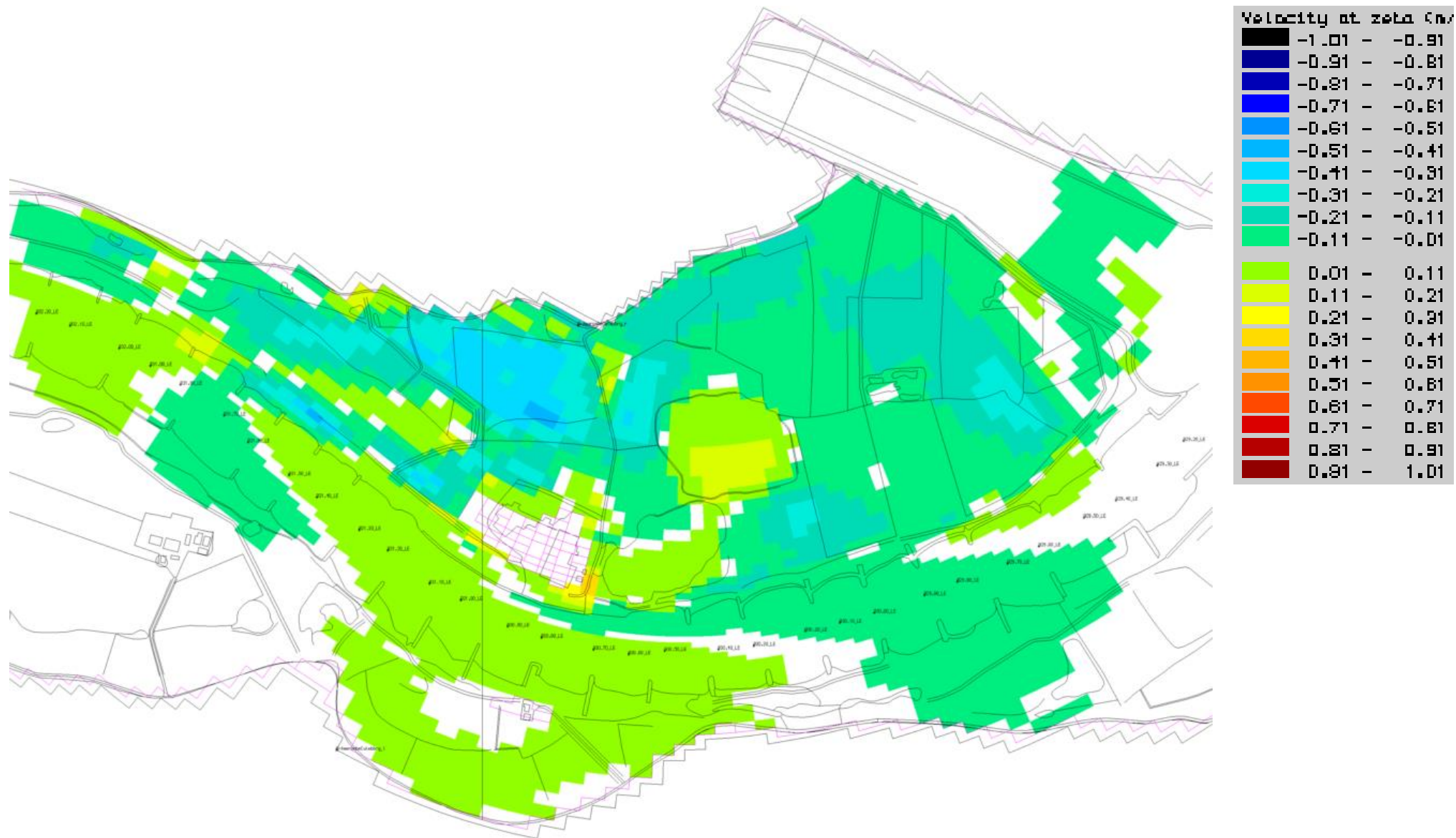
Variant 4: Stroomsnelheid absoluut [m/s] bij MHW en NHW



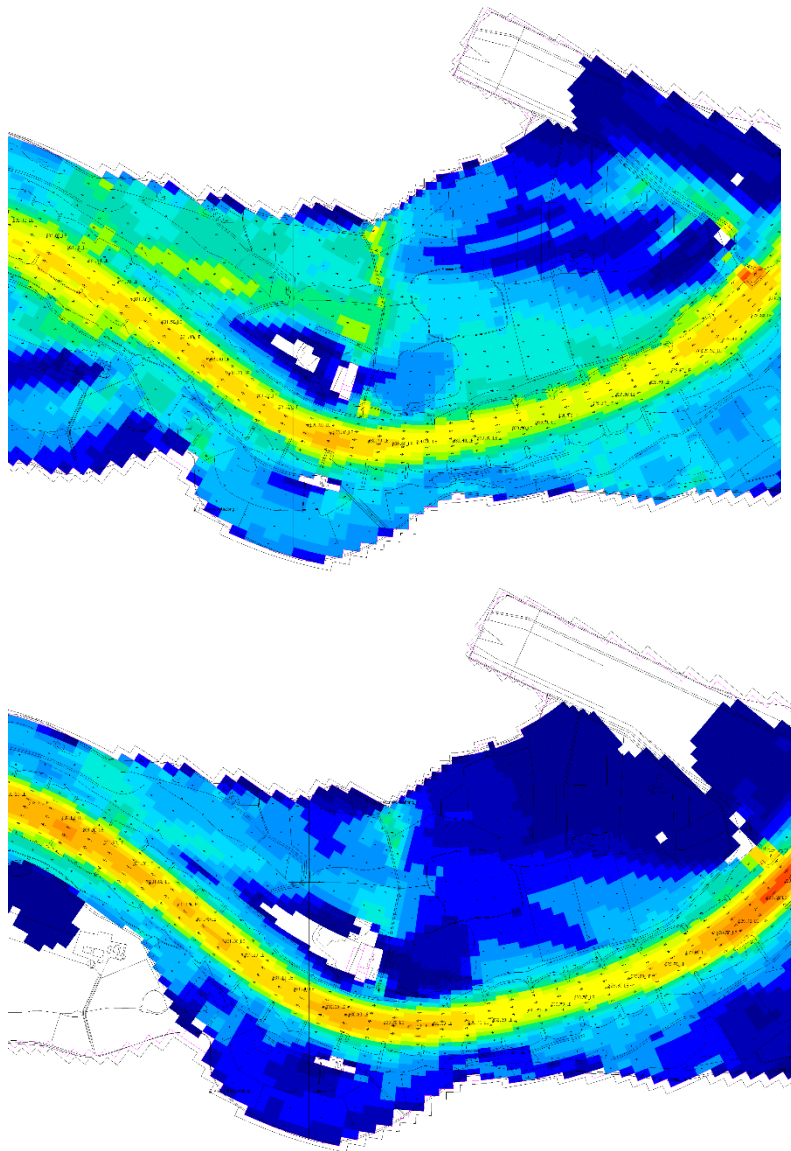
Variant 4: Stroomsnelheid absoluut [m/s] bij 9.000 en 8.000 m³/s te Lobith



Variant 4: Stroomsnelheidsverschil [m/s] bij NHW



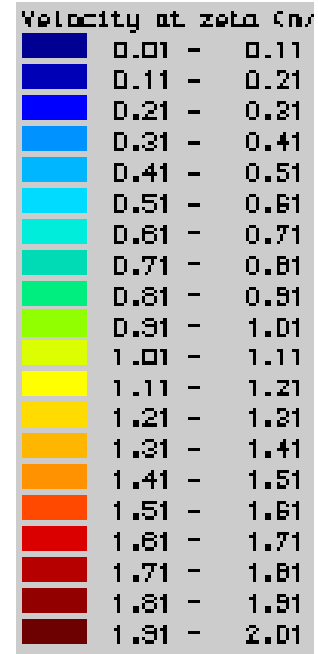
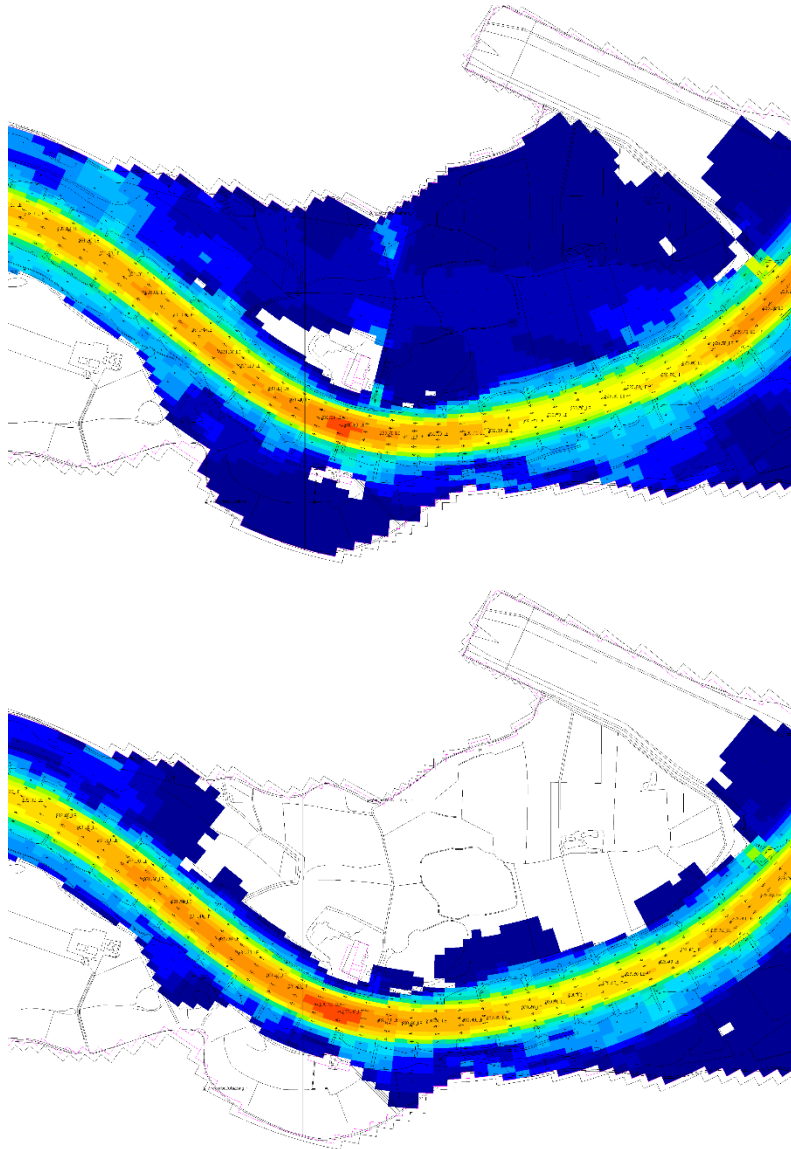
Variant 5: Stroomsnelheid absoluut [m/s] bij MHW en NHW



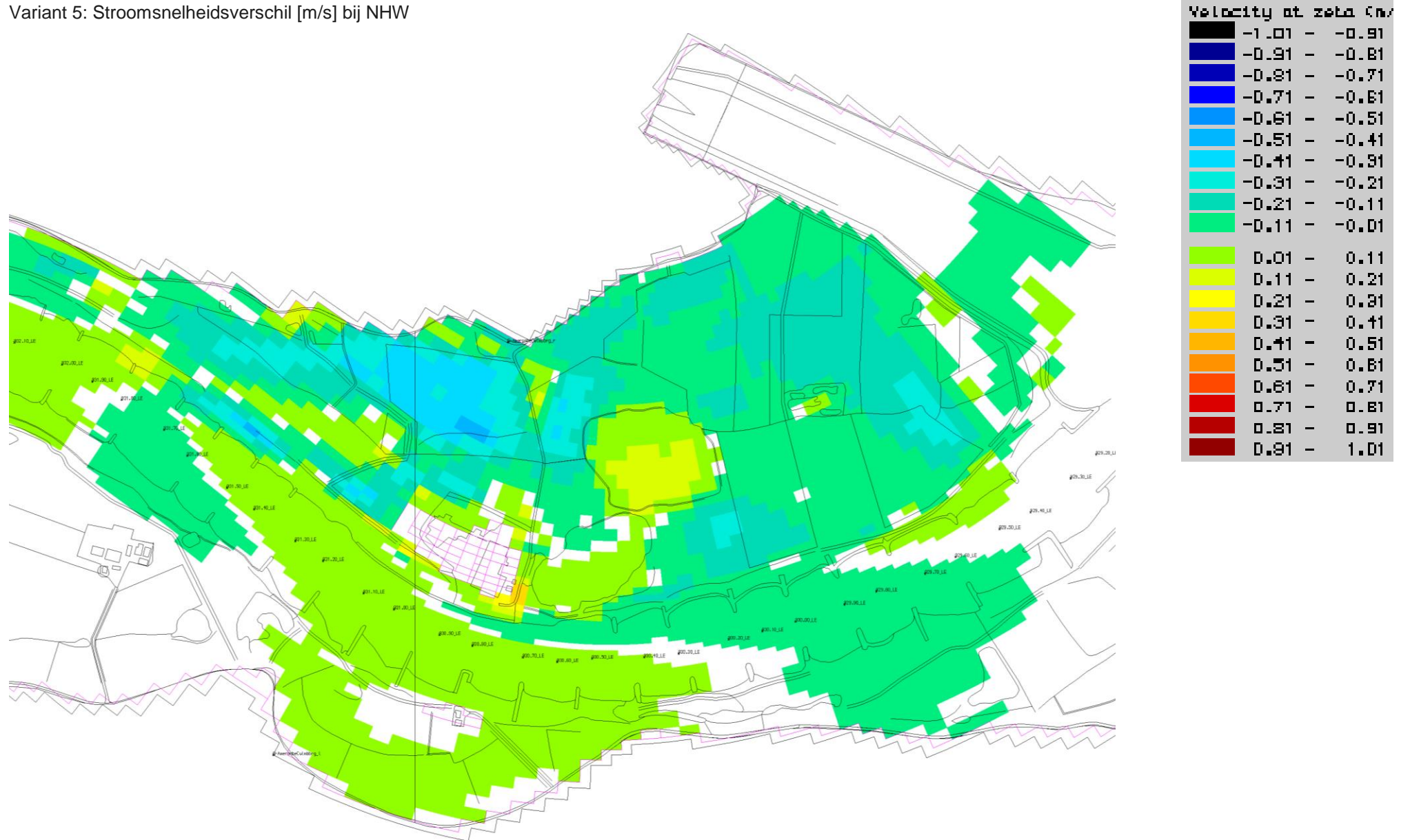
Velocity at zeta (m)

0.01 - 0.11
0.11 - 0.21
0.21 - 0.31
0.31 - 0.41
0.41 - 0.51
0.51 - 0.61
0.61 - 0.71
0.71 - 0.81
0.81 - 0.91
0.91 - 1.01
1.01 - 1.11
1.11 - 1.21
1.21 - 1.31
1.31 - 1.41
1.41 - 1.51
1.51 - 1.61
1.61 - 1.71
1.71 - 1.81
1.81 - 1.91
1.91 - 2.01

Variant 5: Stroomsnelheid absoluut [m/s] bij 9.000 en 8.000 m³/s te Lobith

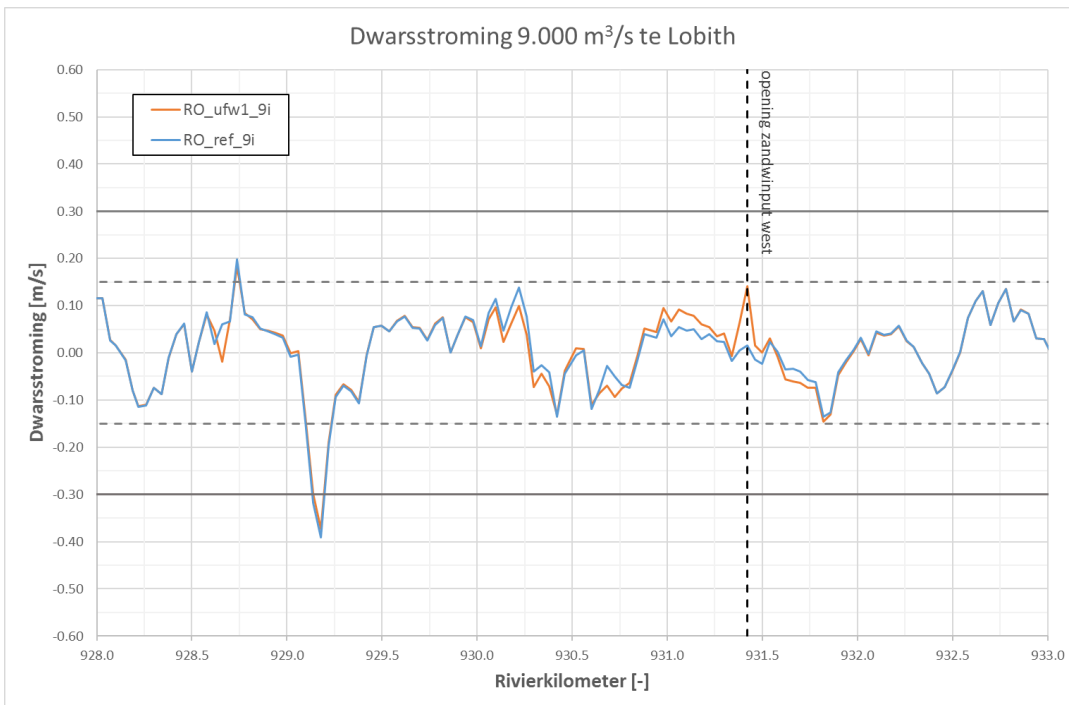
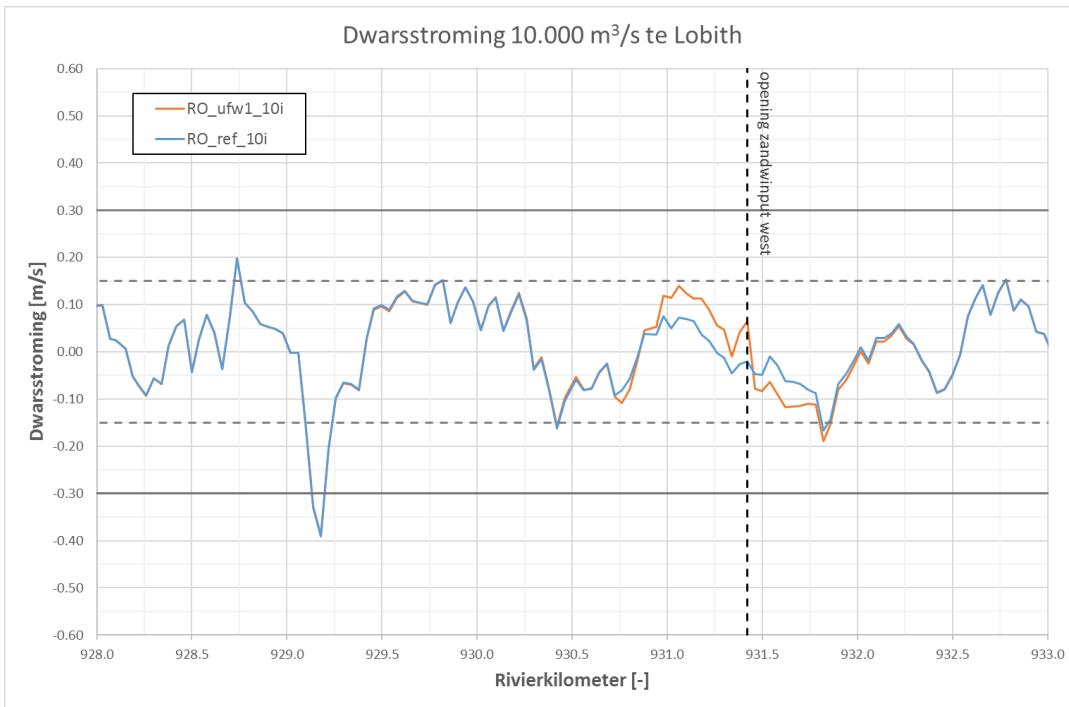


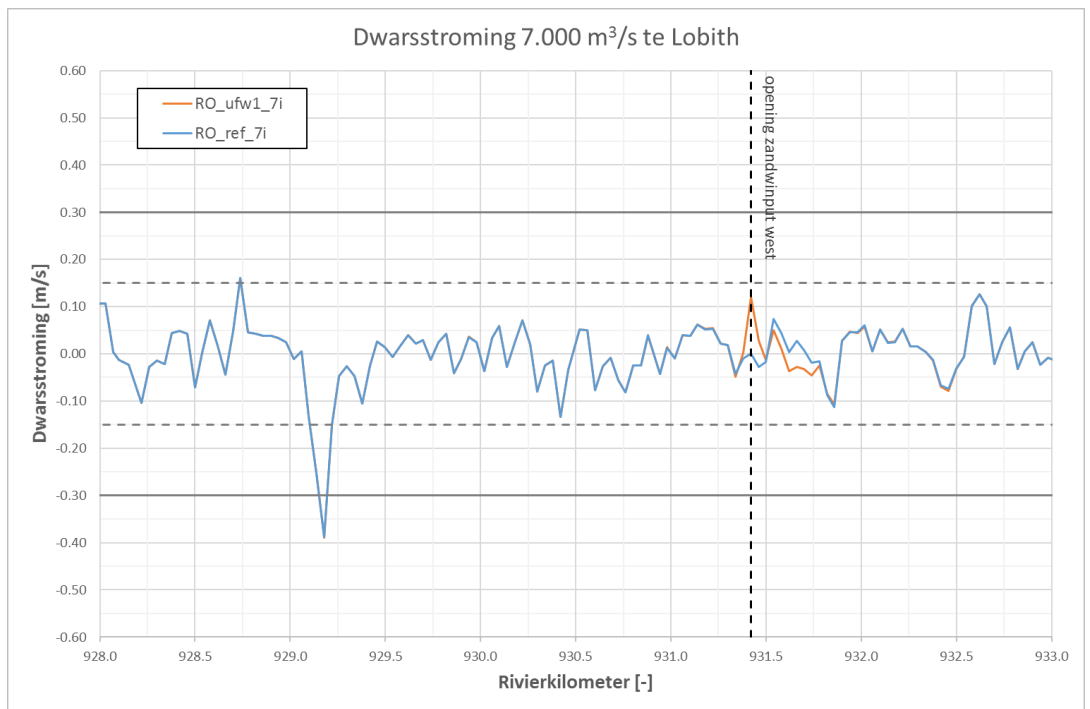
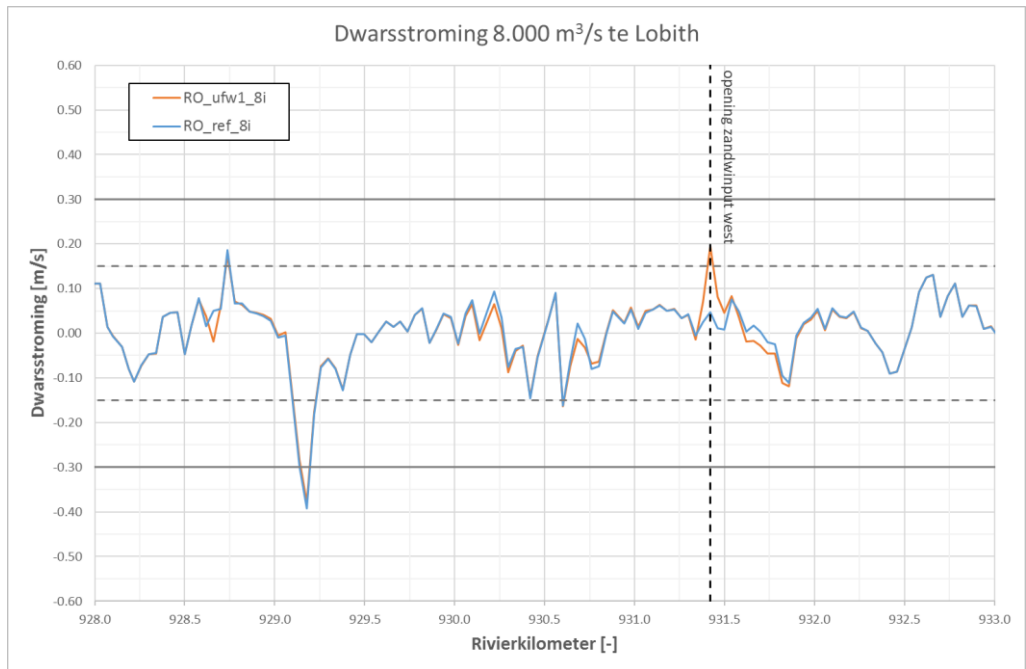
Variant 5: Stroomsnelheidsverschil [m/s] bij NHW



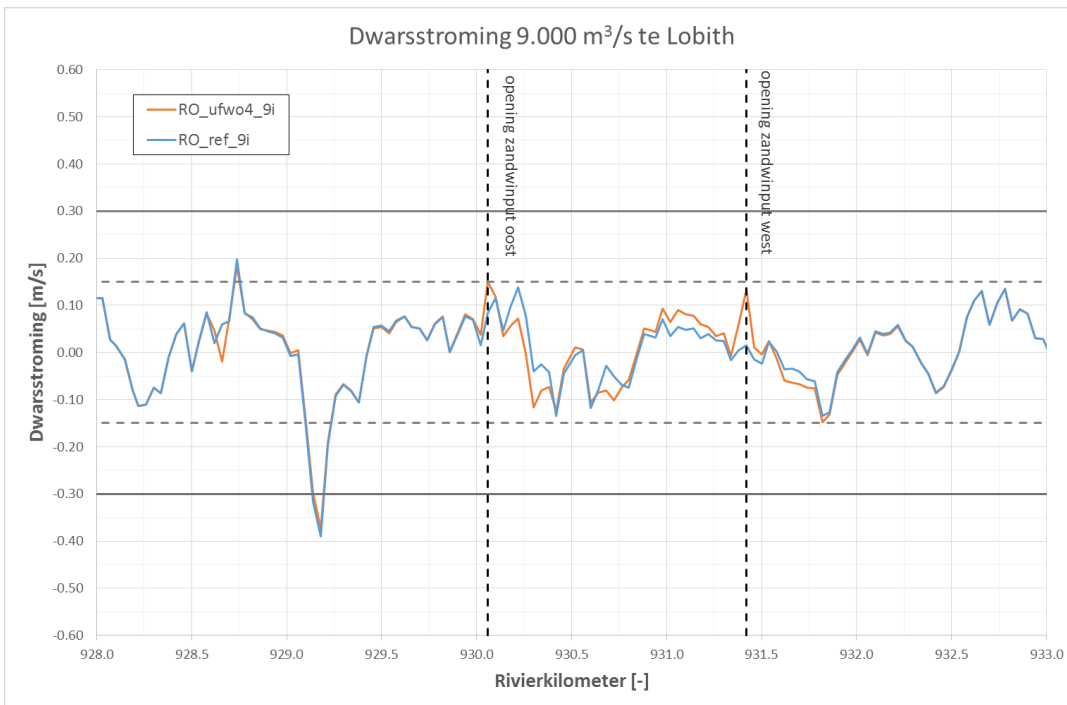
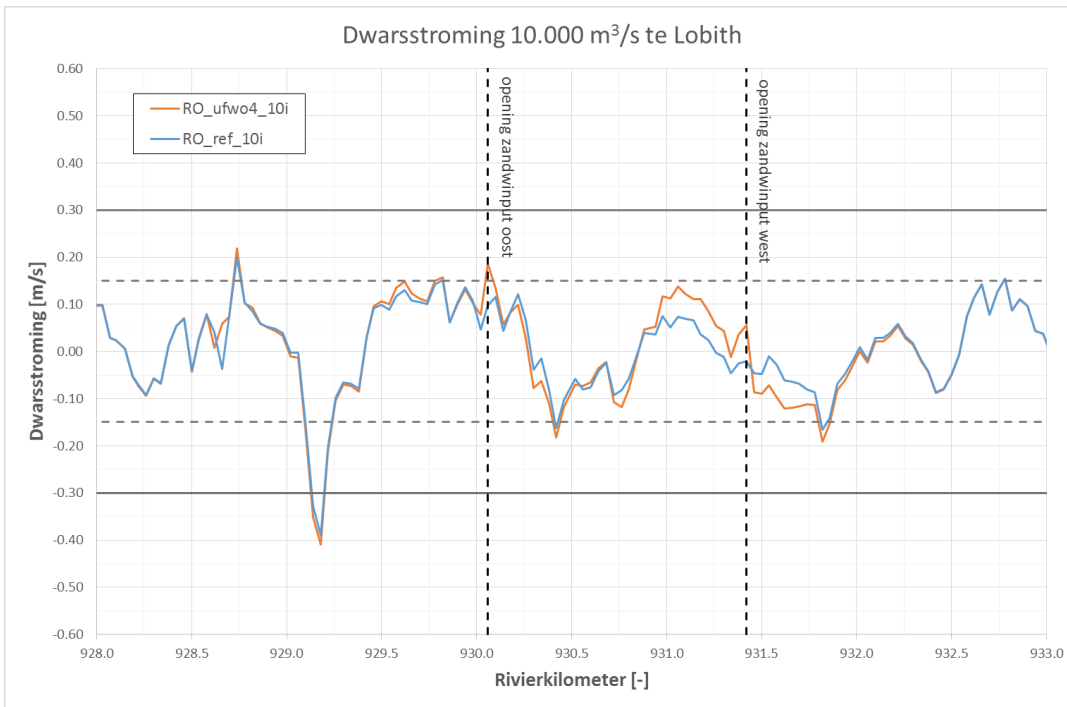
BIJLAGE K DWARSSTROMING

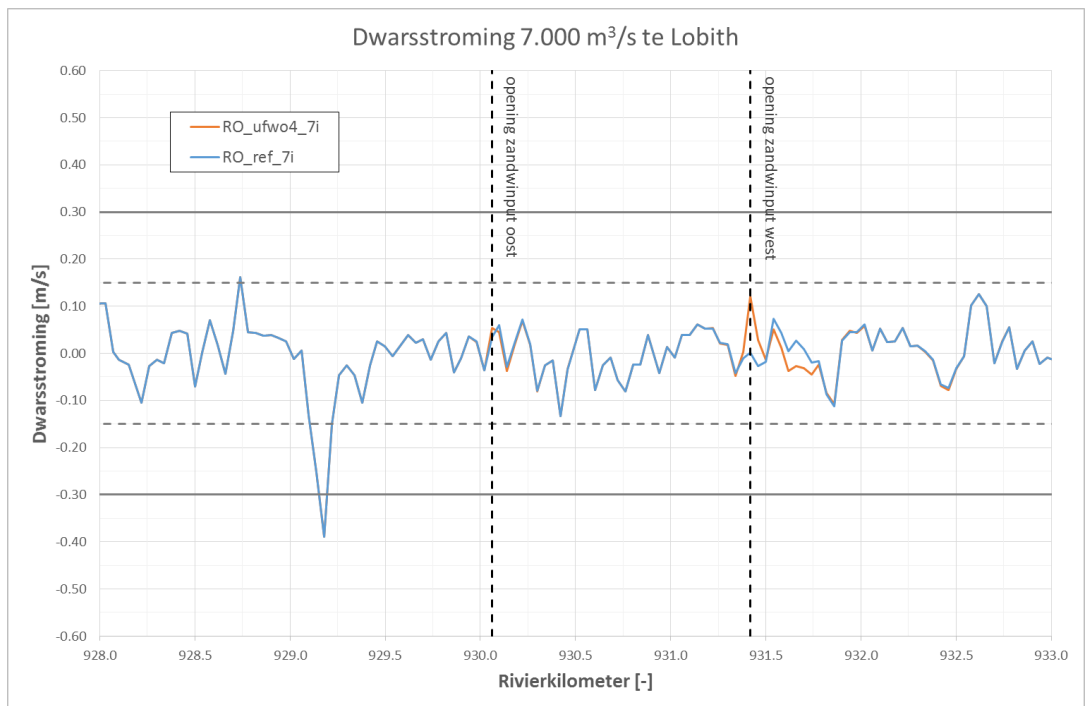
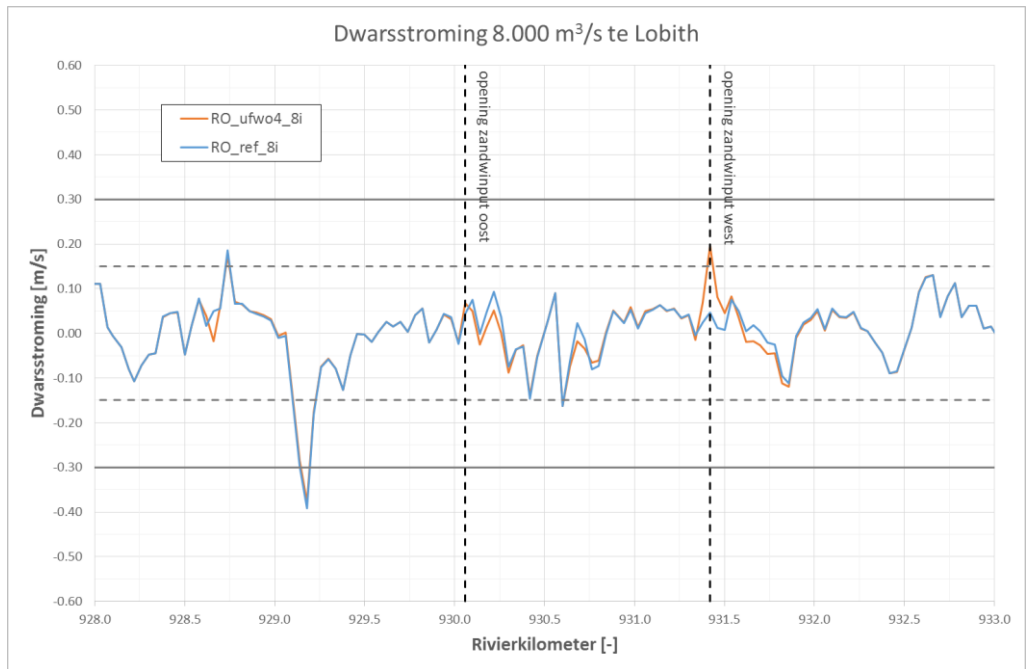
Variant 1:



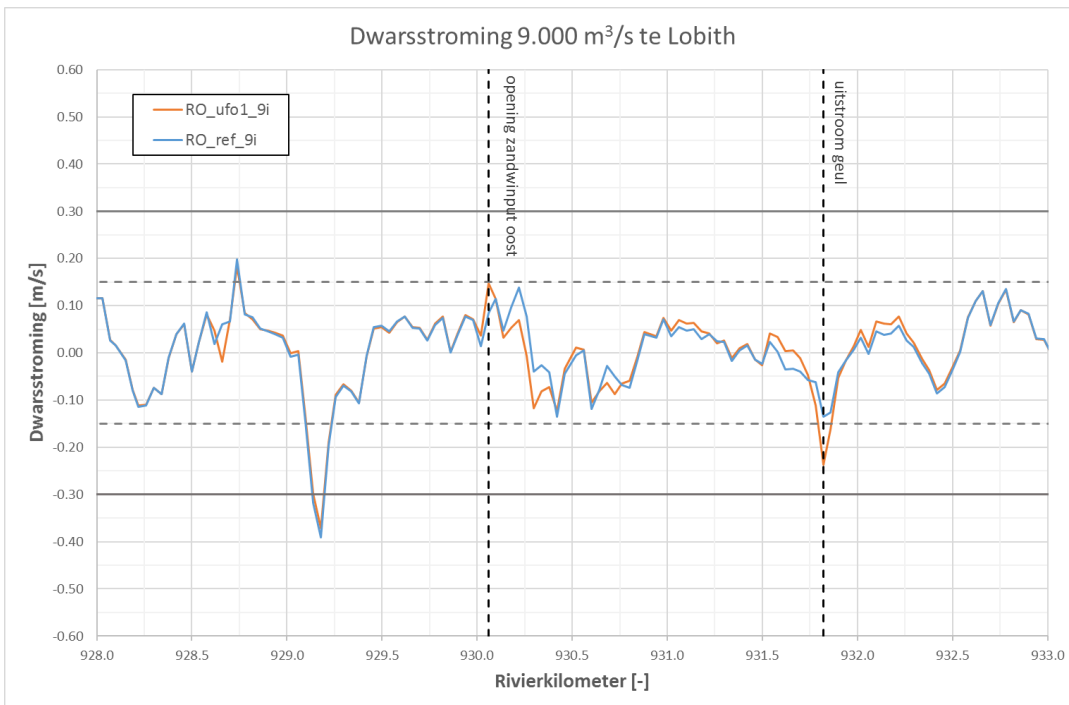
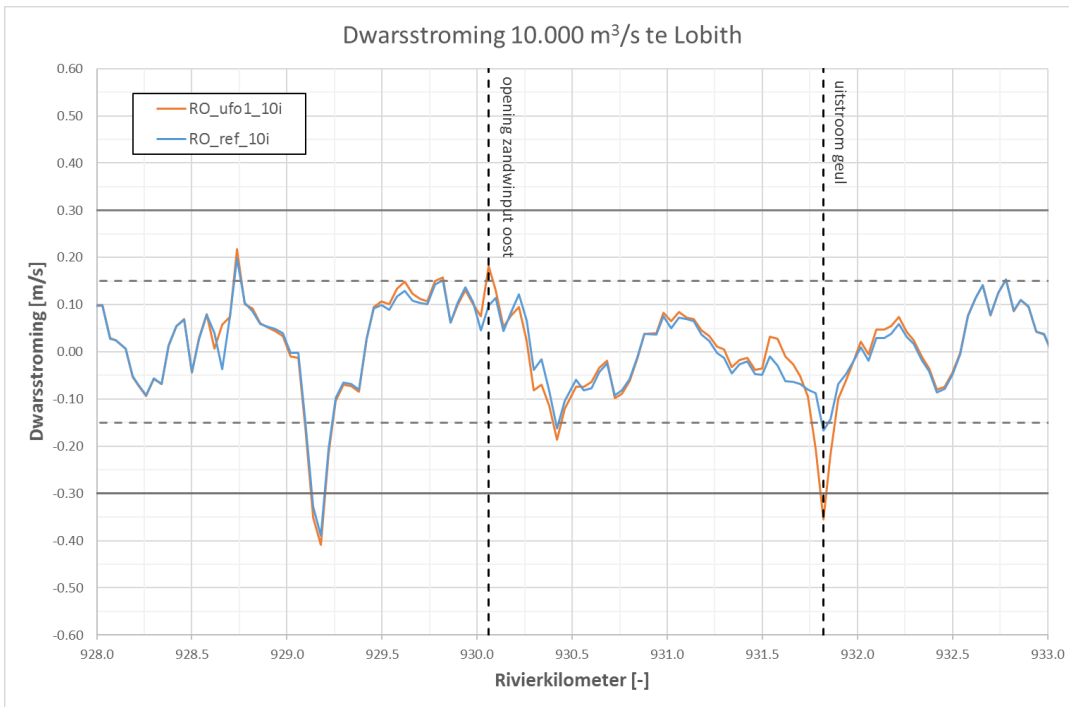


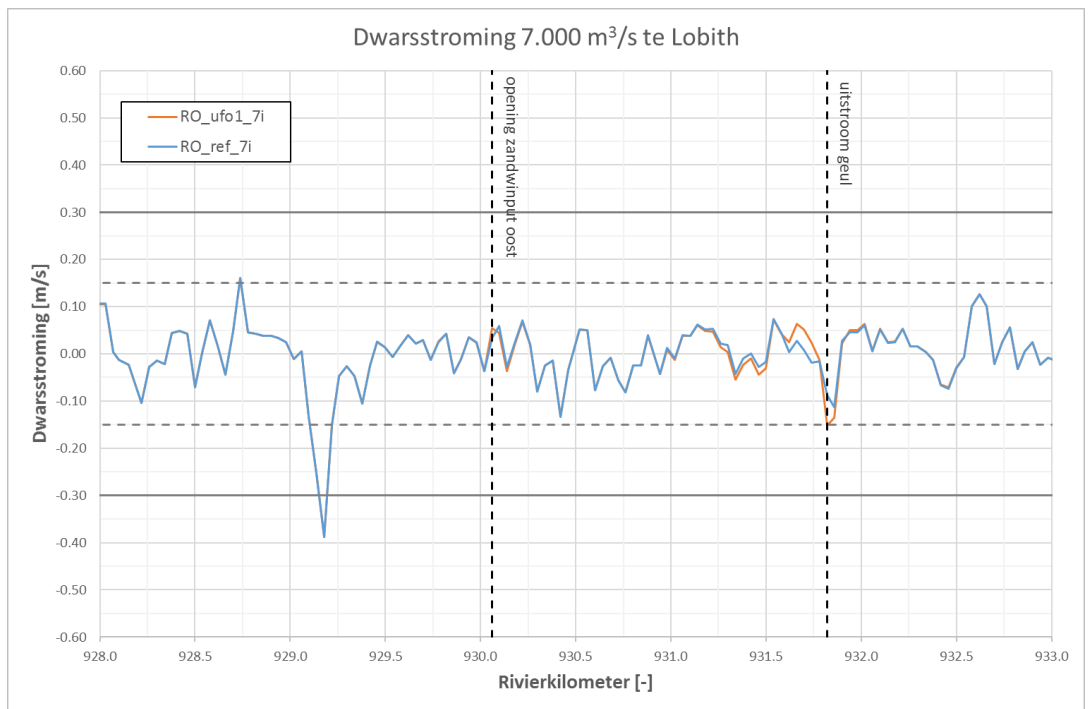
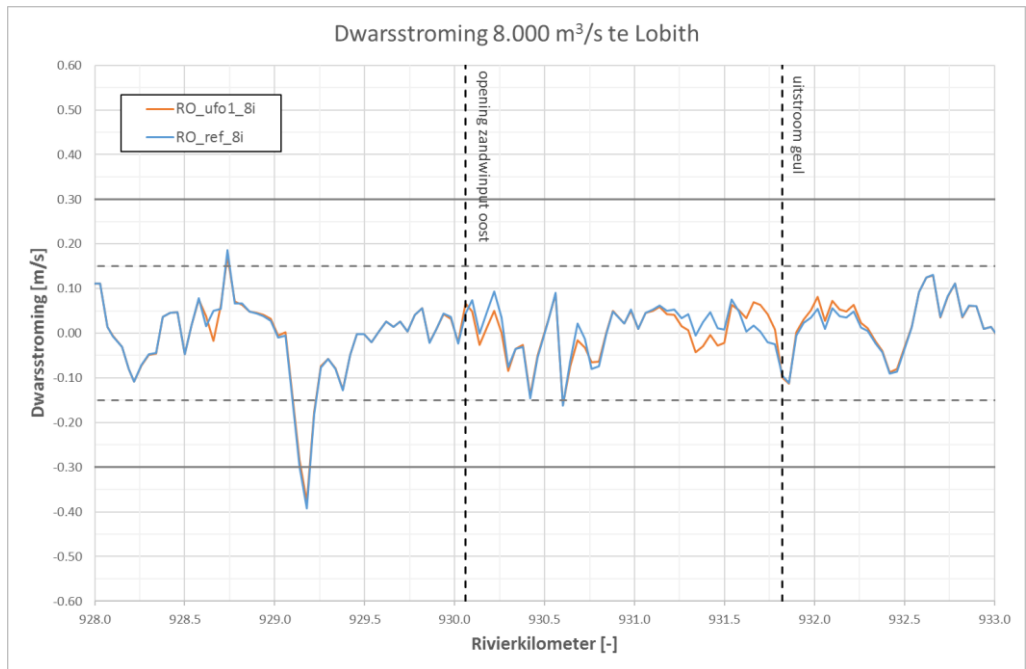
Variant 2:



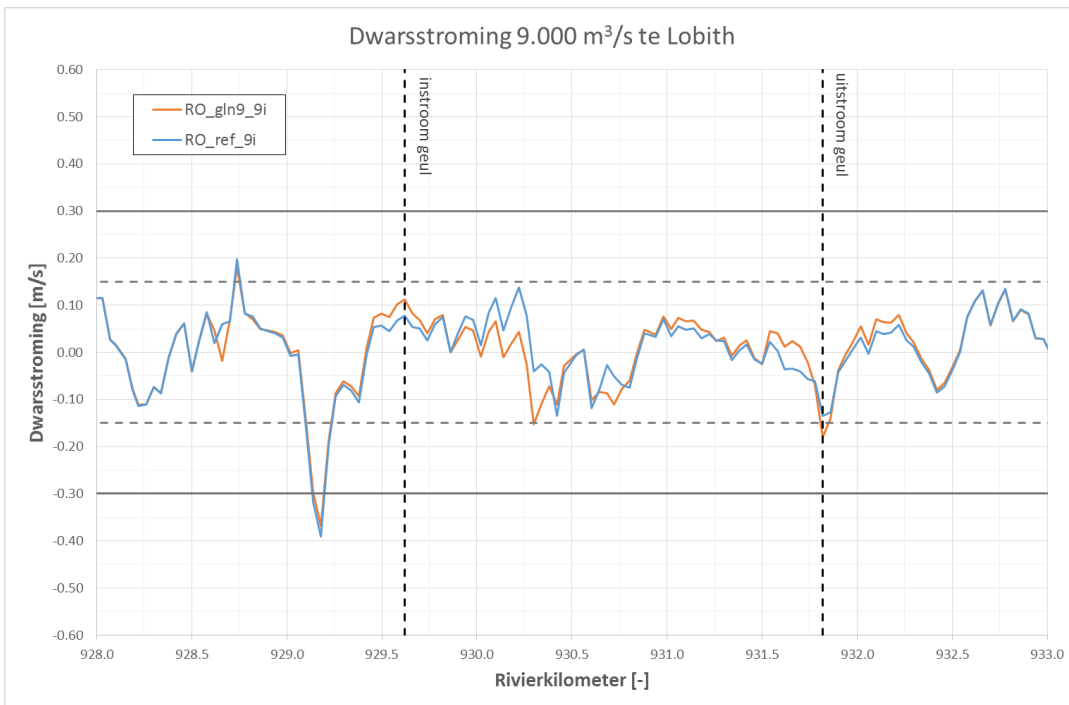
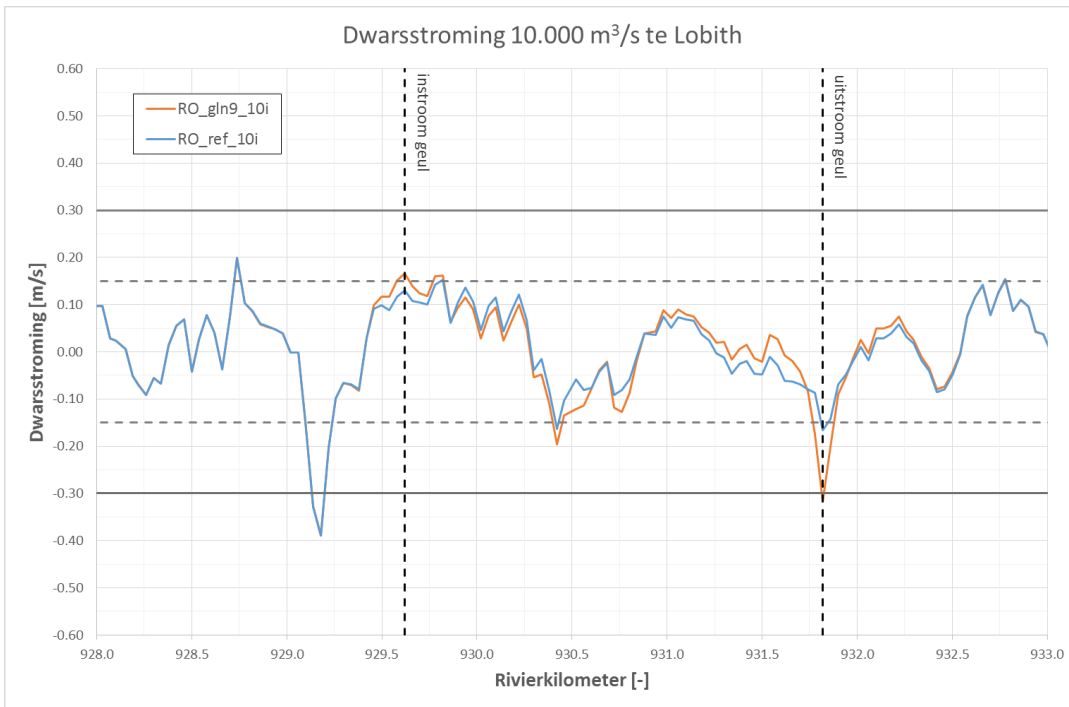


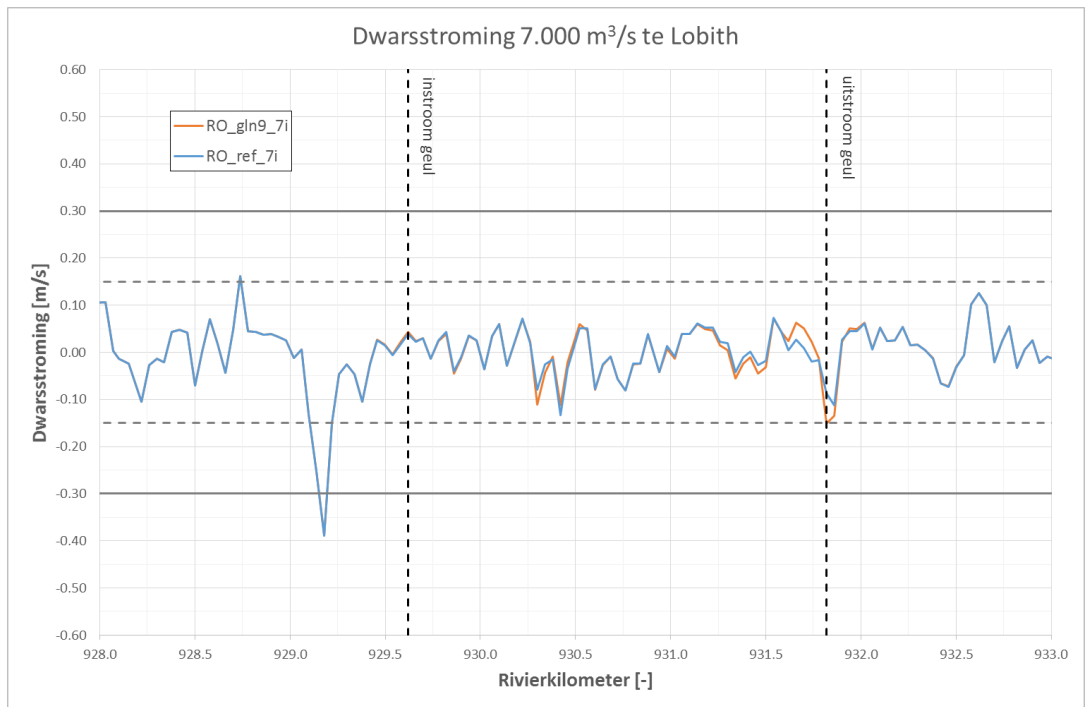
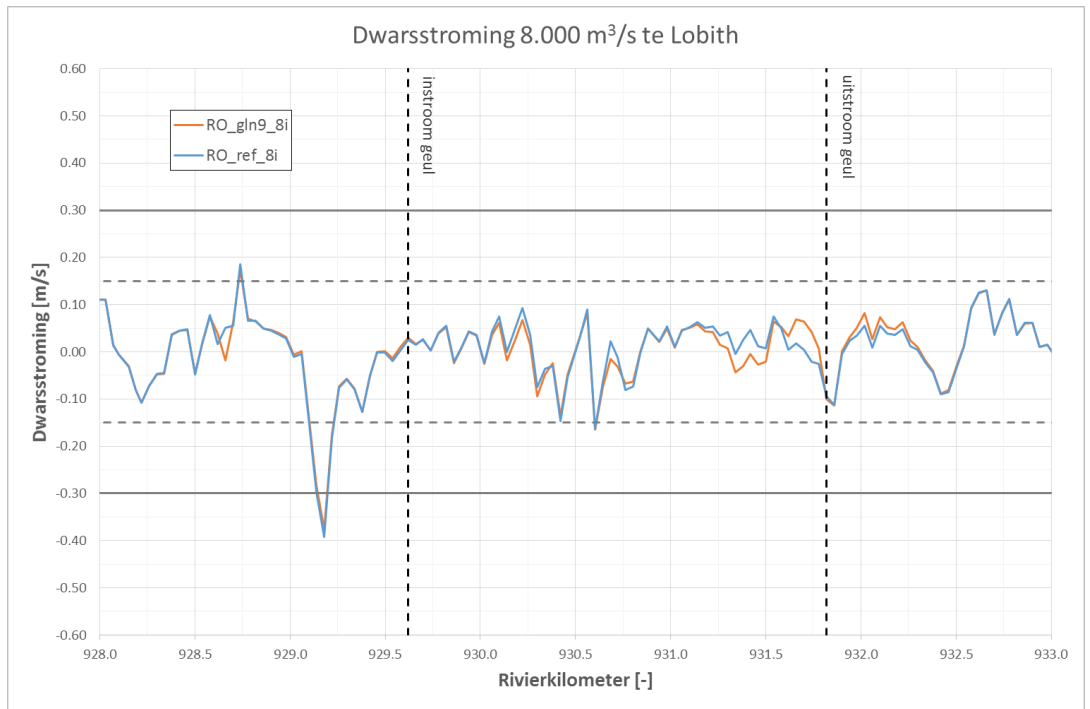
Variant 3:



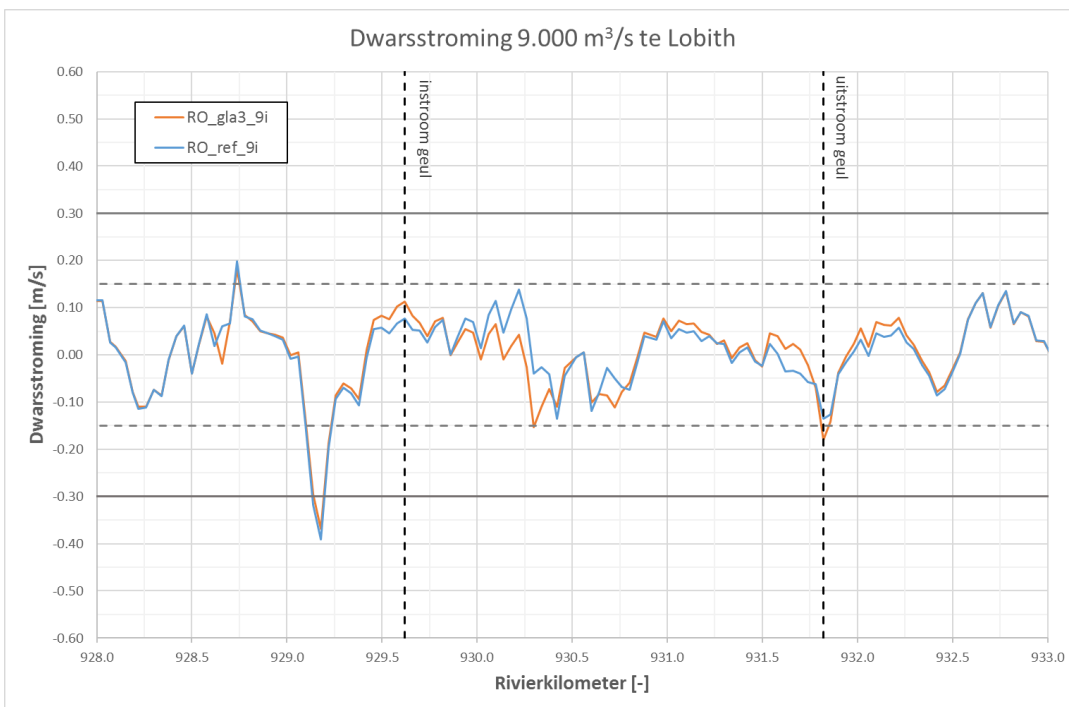
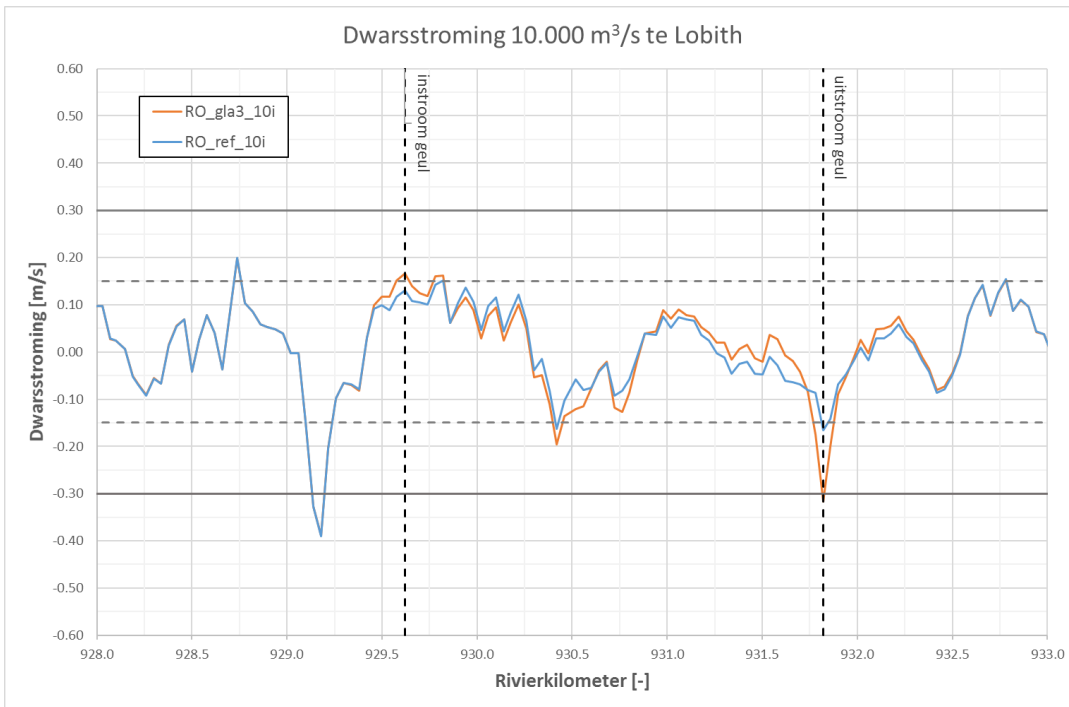


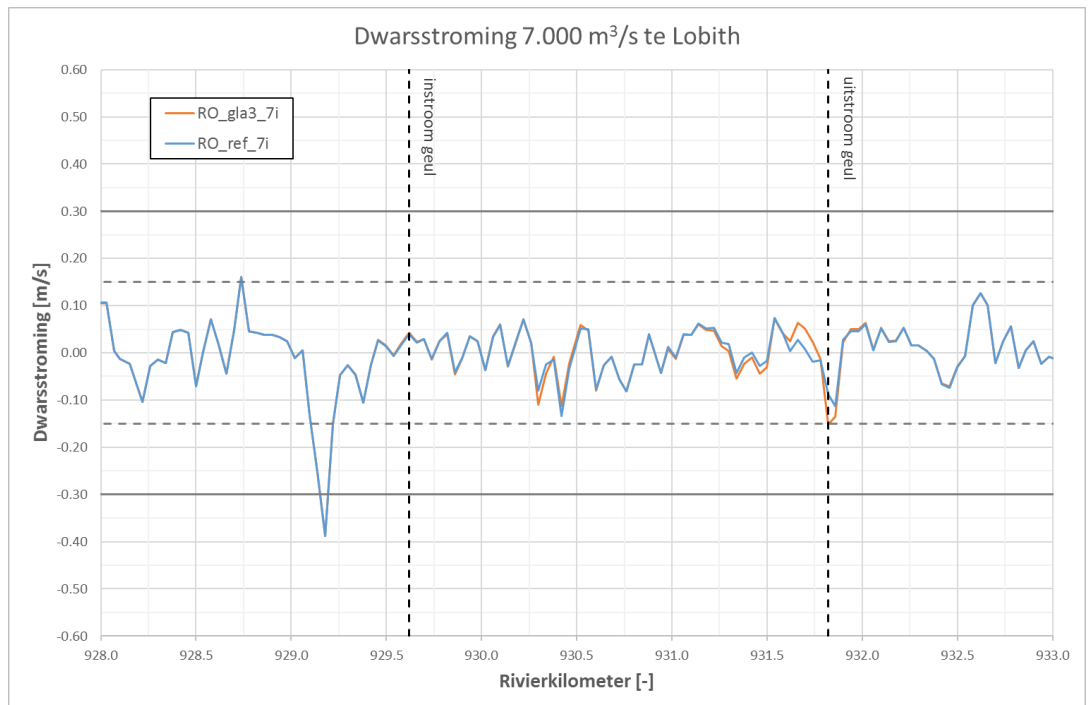
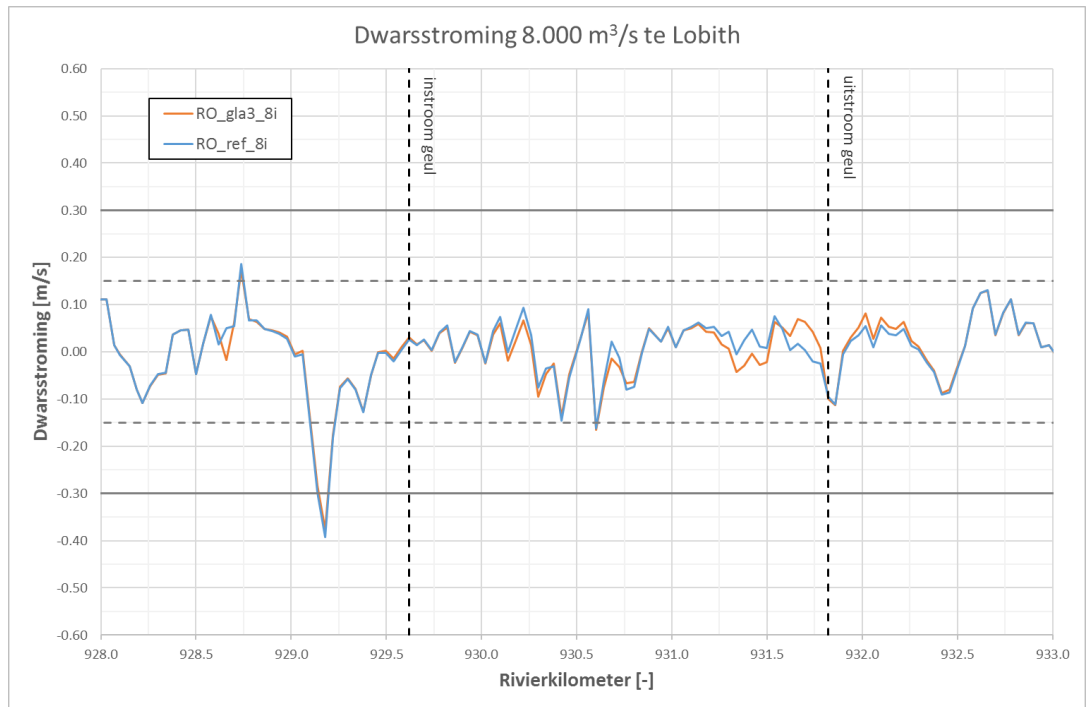
Variant 4:





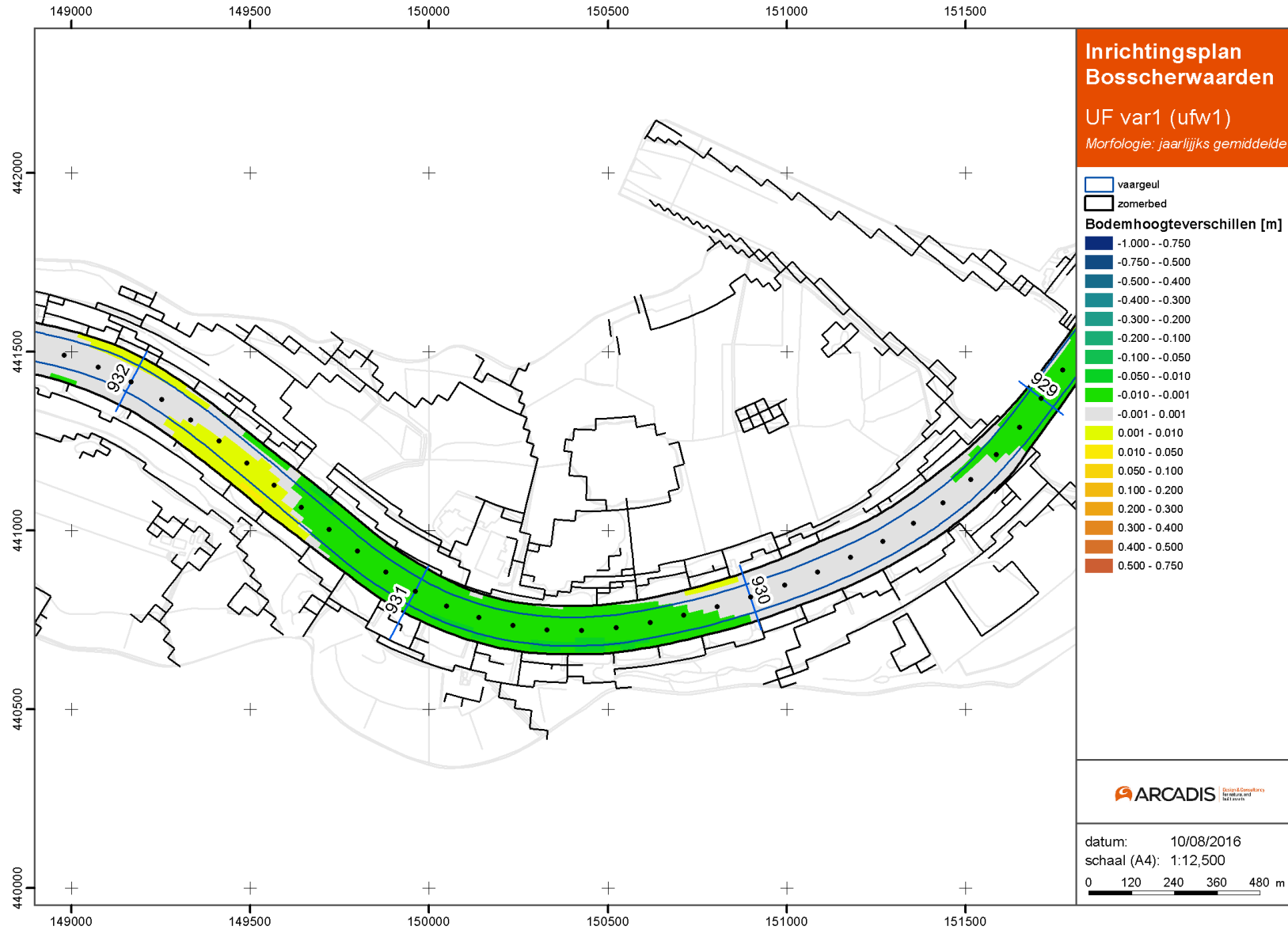
Variant 5:



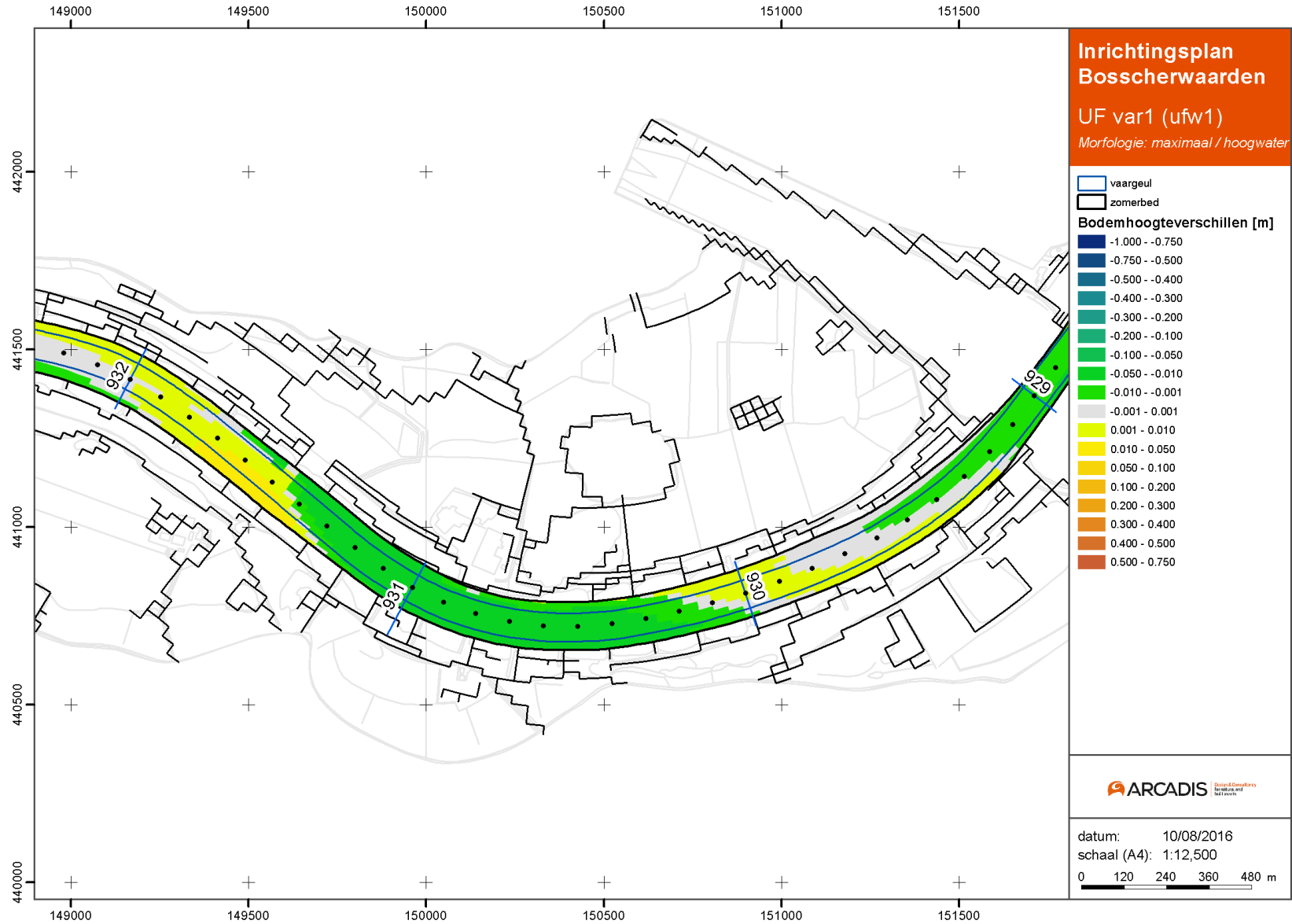


BIJLAGE L MORFOLOGIE

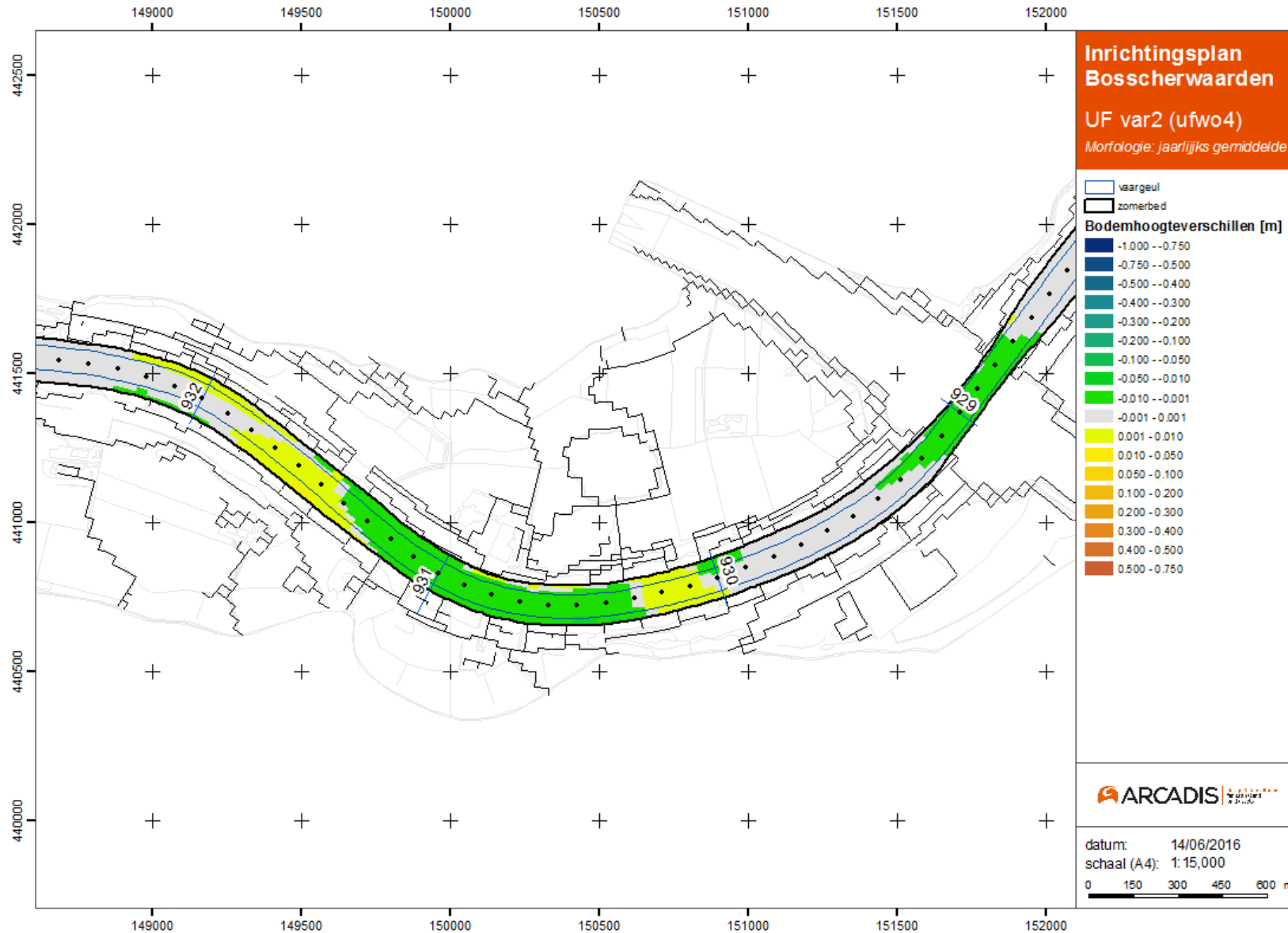
Variant 1: Jaarlijks gemiddelde



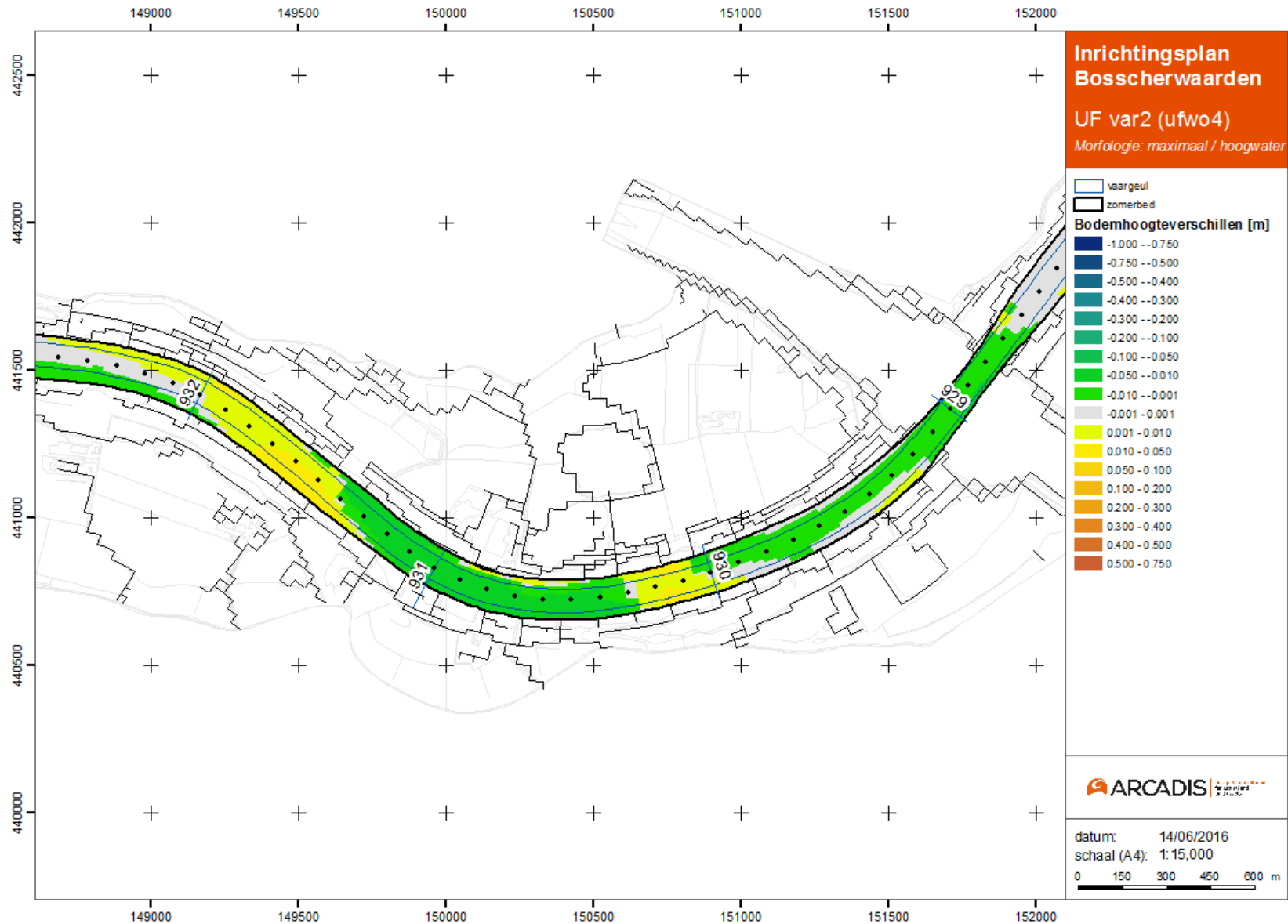
Variant 1: Incidenteel tijdens enkel hoogwater (max. morfologie)



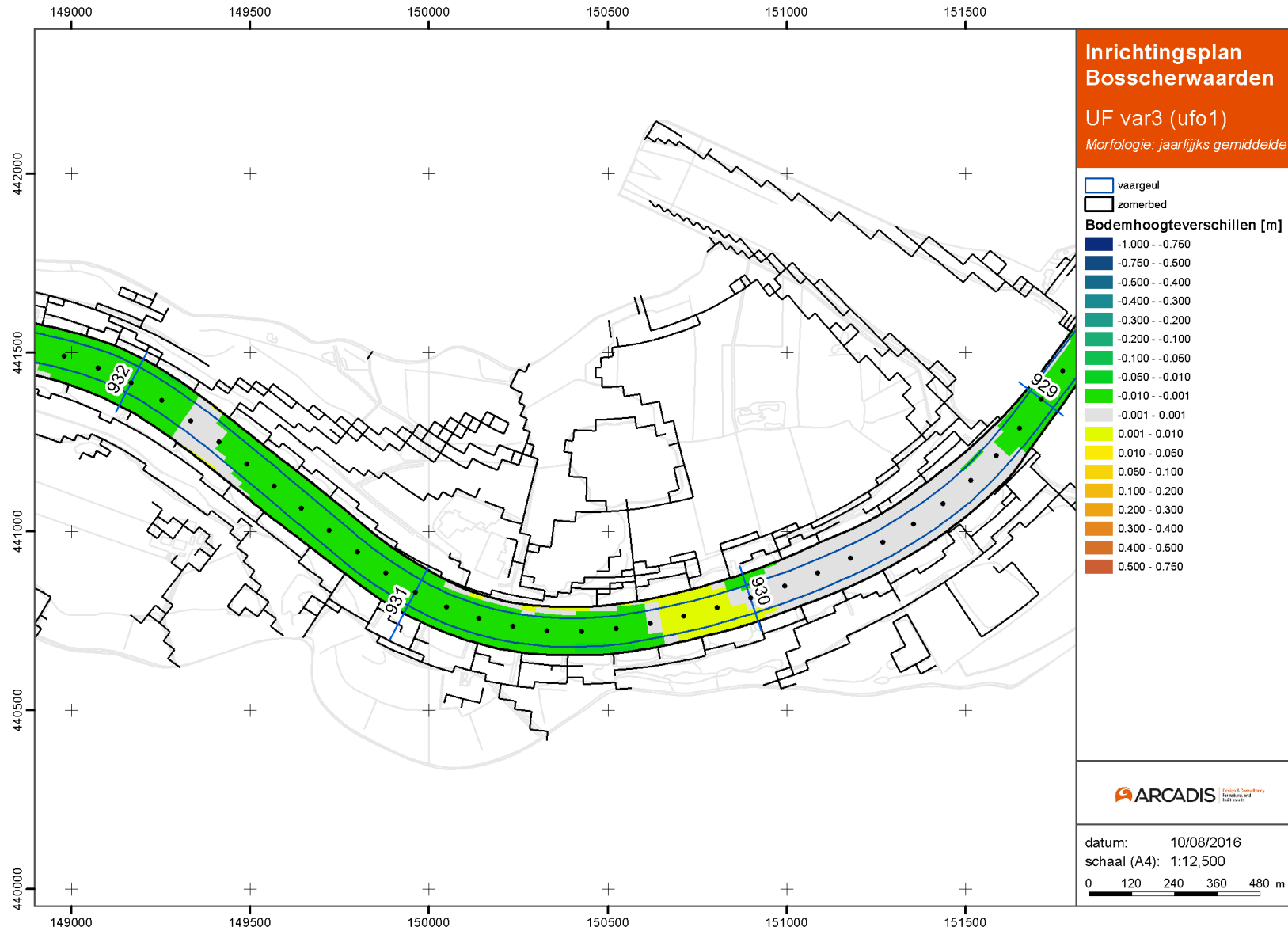
Variante 2: Jaarlijks gemiddelde aanzanding en erosie



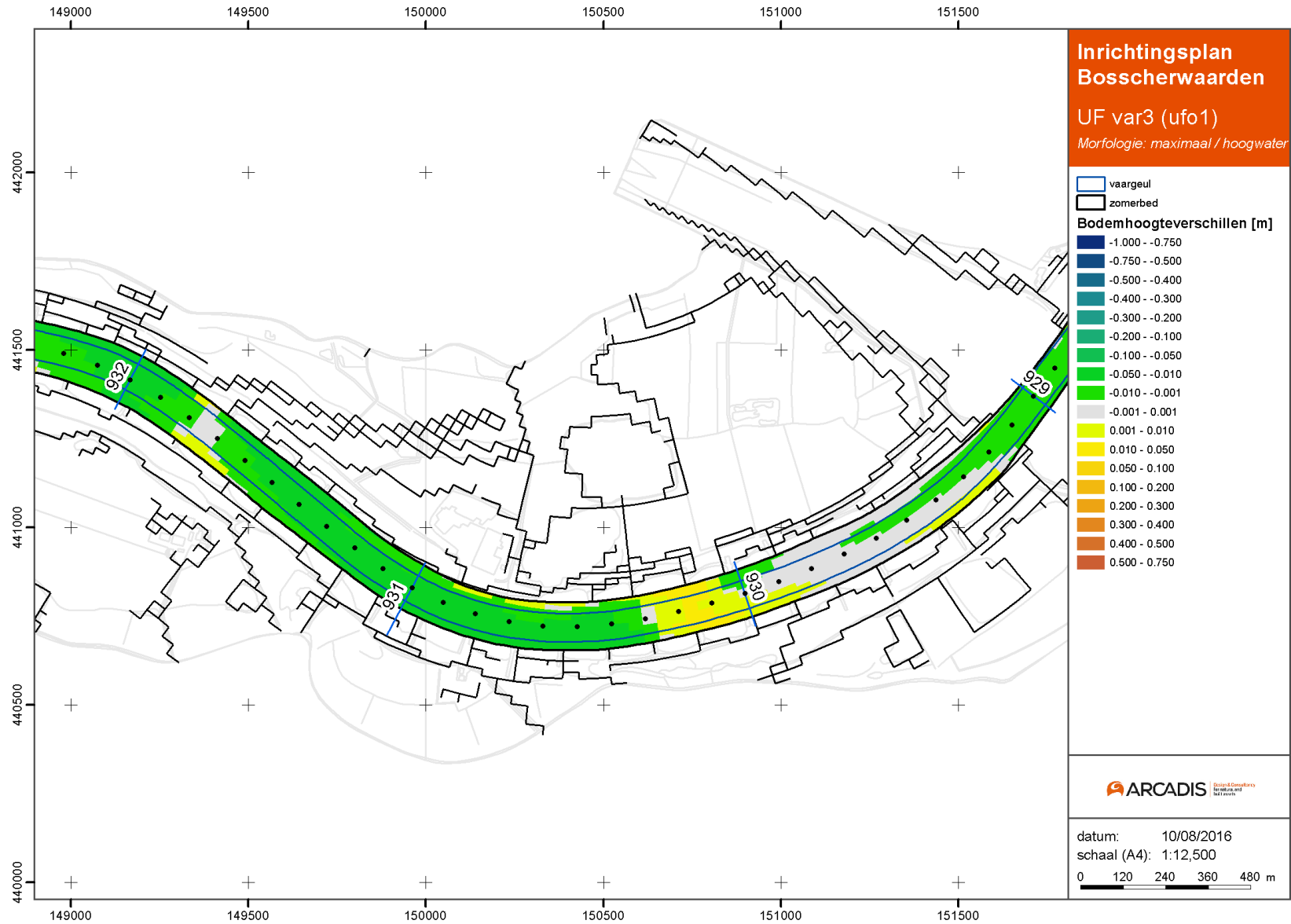
Variante 2: Incidenteel tijdens enkel hoogwater (max. morfologie)



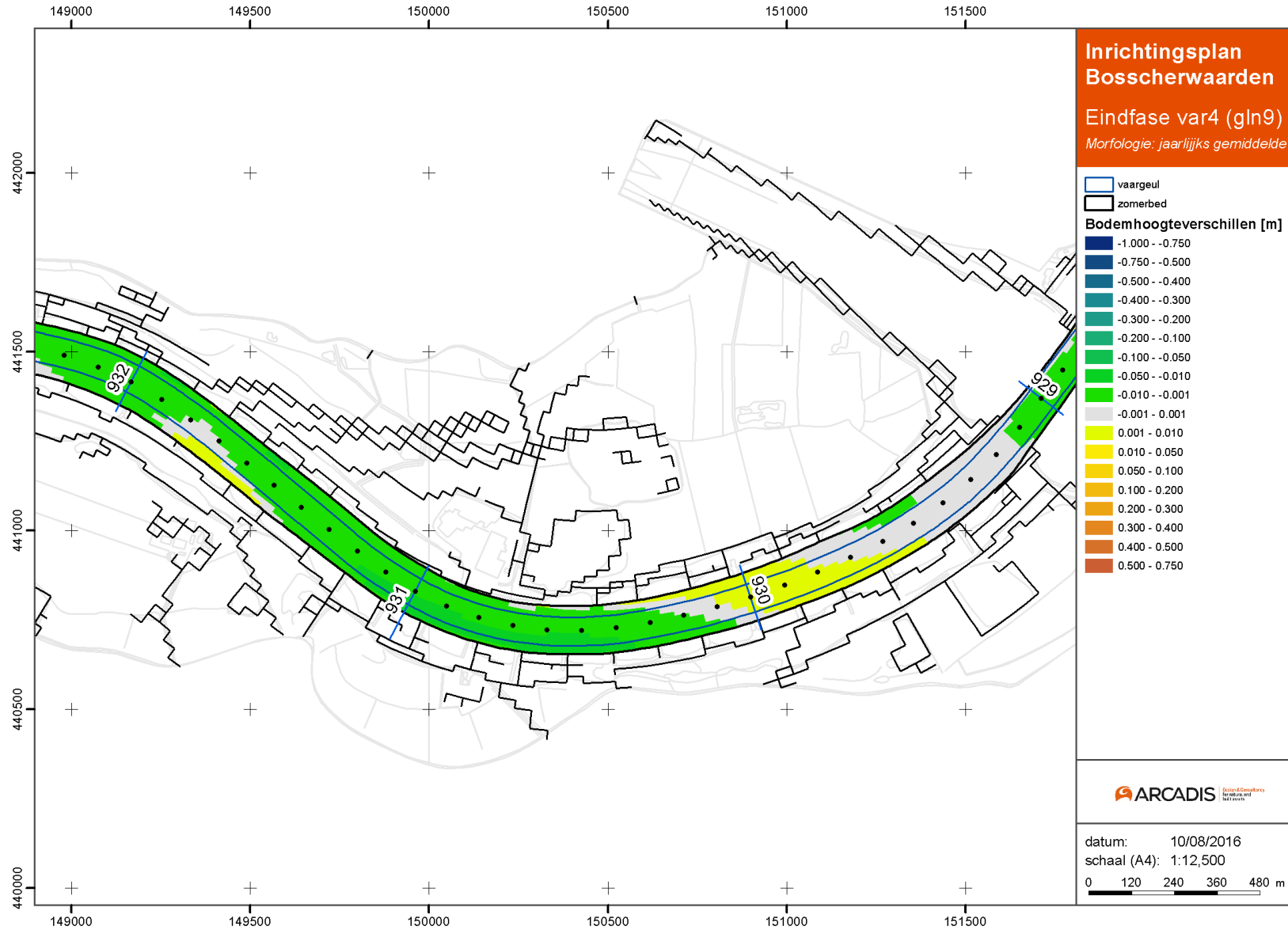
Variant 3: Jaarlijks gemiddelde



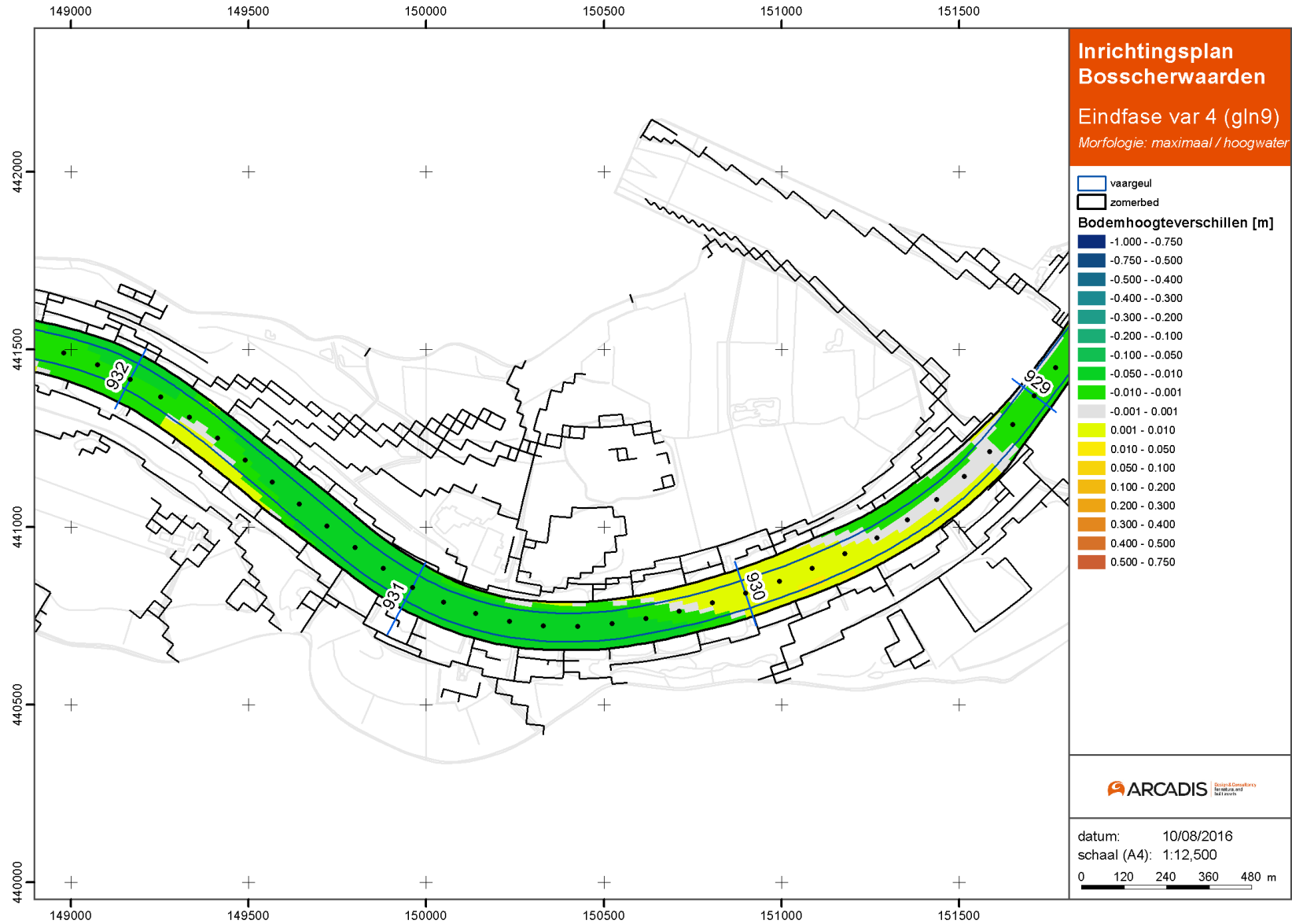
Variante 3: Incidenteel tijdens enkel hoogwater (max. morfologie)



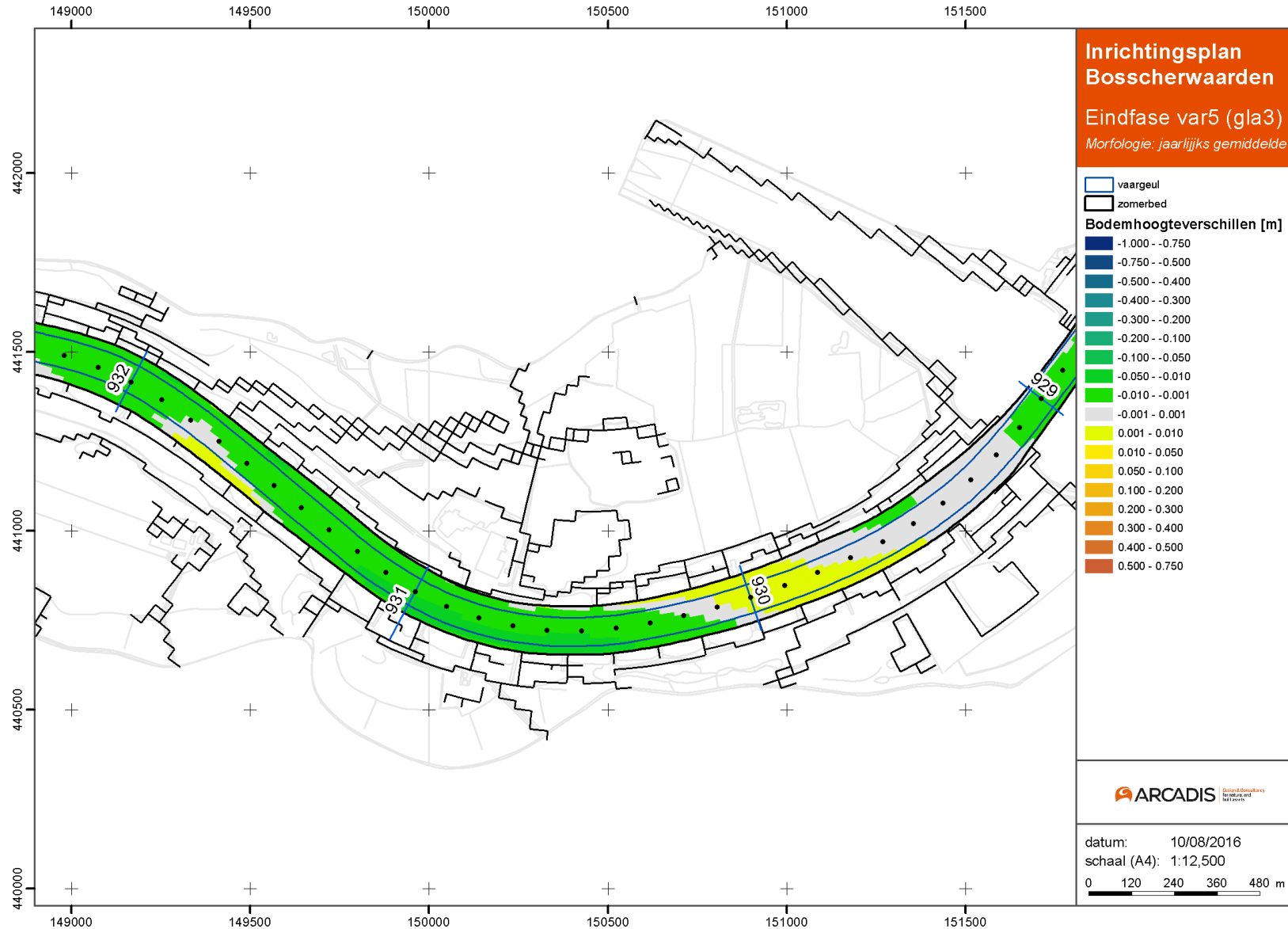
Variant 4: Jaarlijks gemiddelde



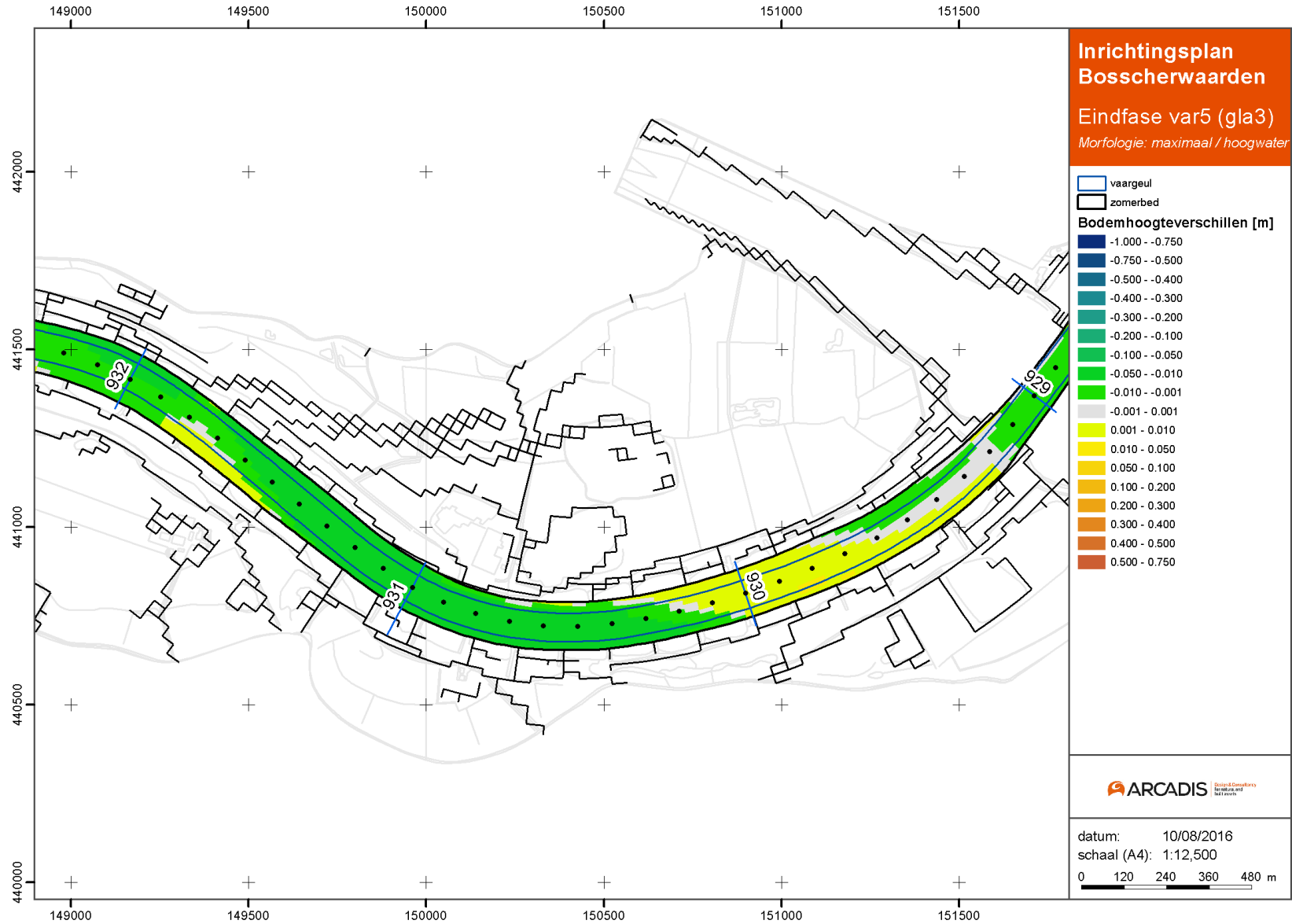
Variant 4: Incidenteel tijdens hoogwater



Variant 5: Jaarlijks gemiddelde

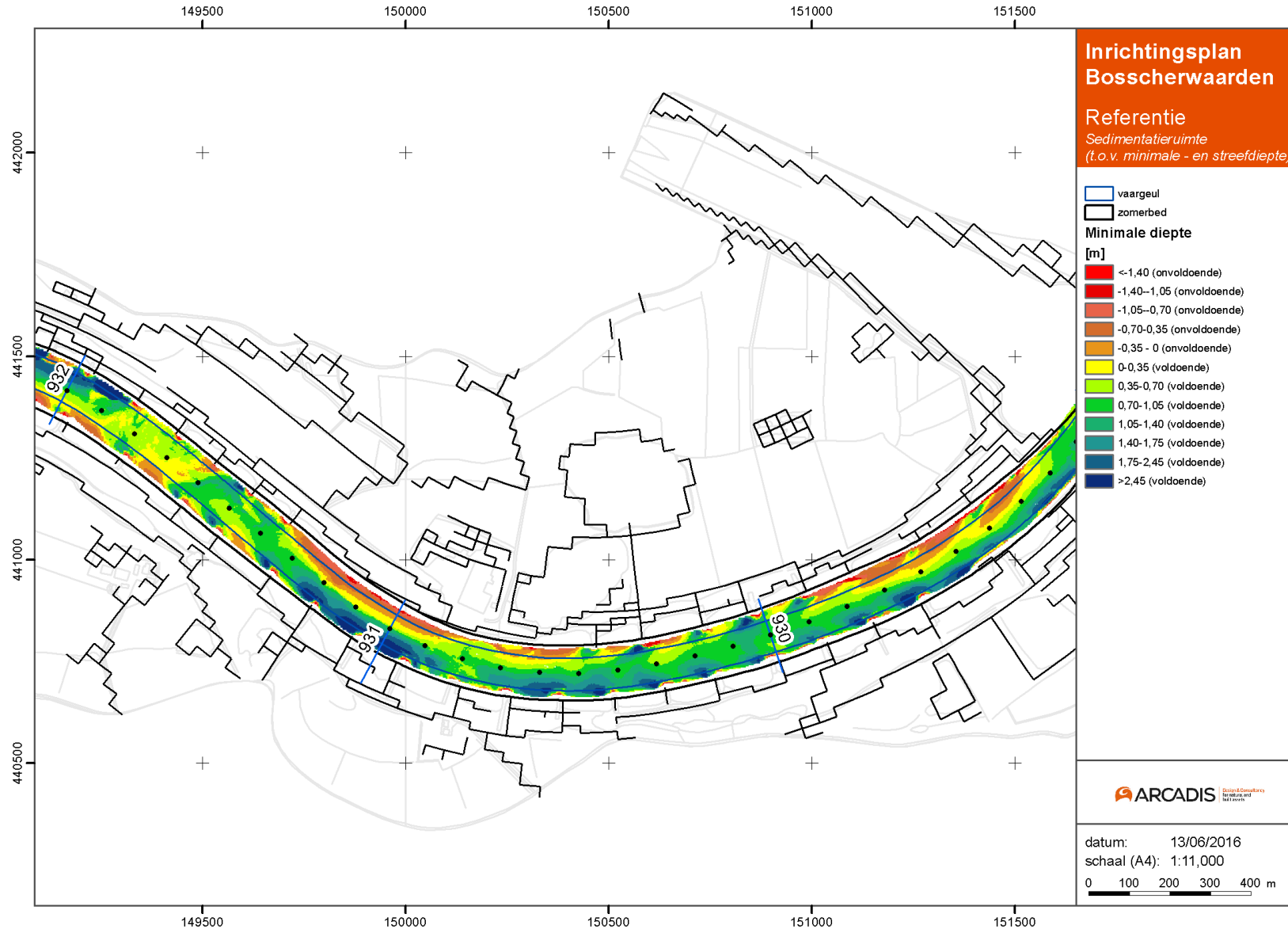


Variante 5: Incidenteel tijdens enkel hoogwater (max. morfologie)

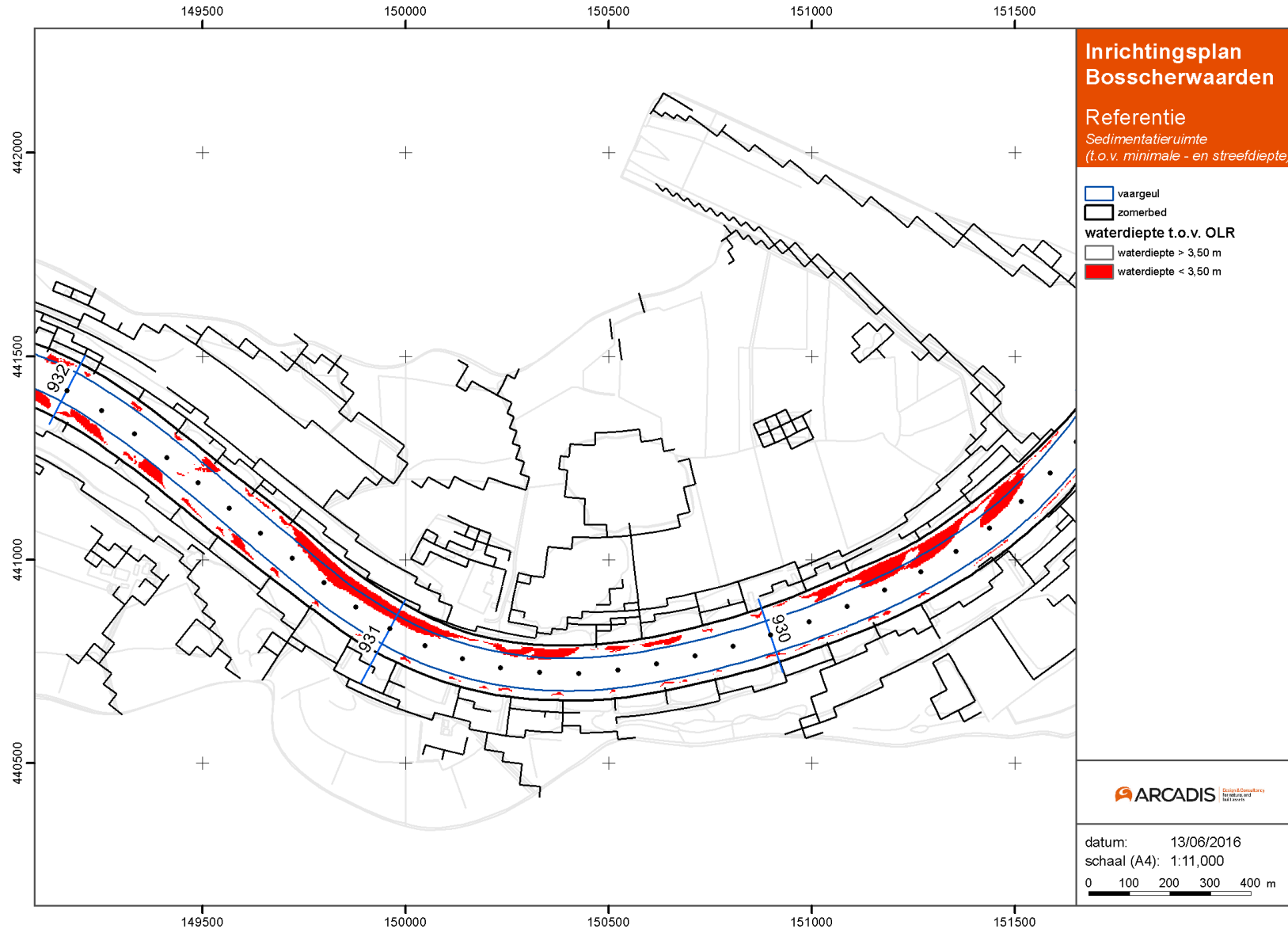


BIJLAGE M MINIMALE & STREEFDIEPTE

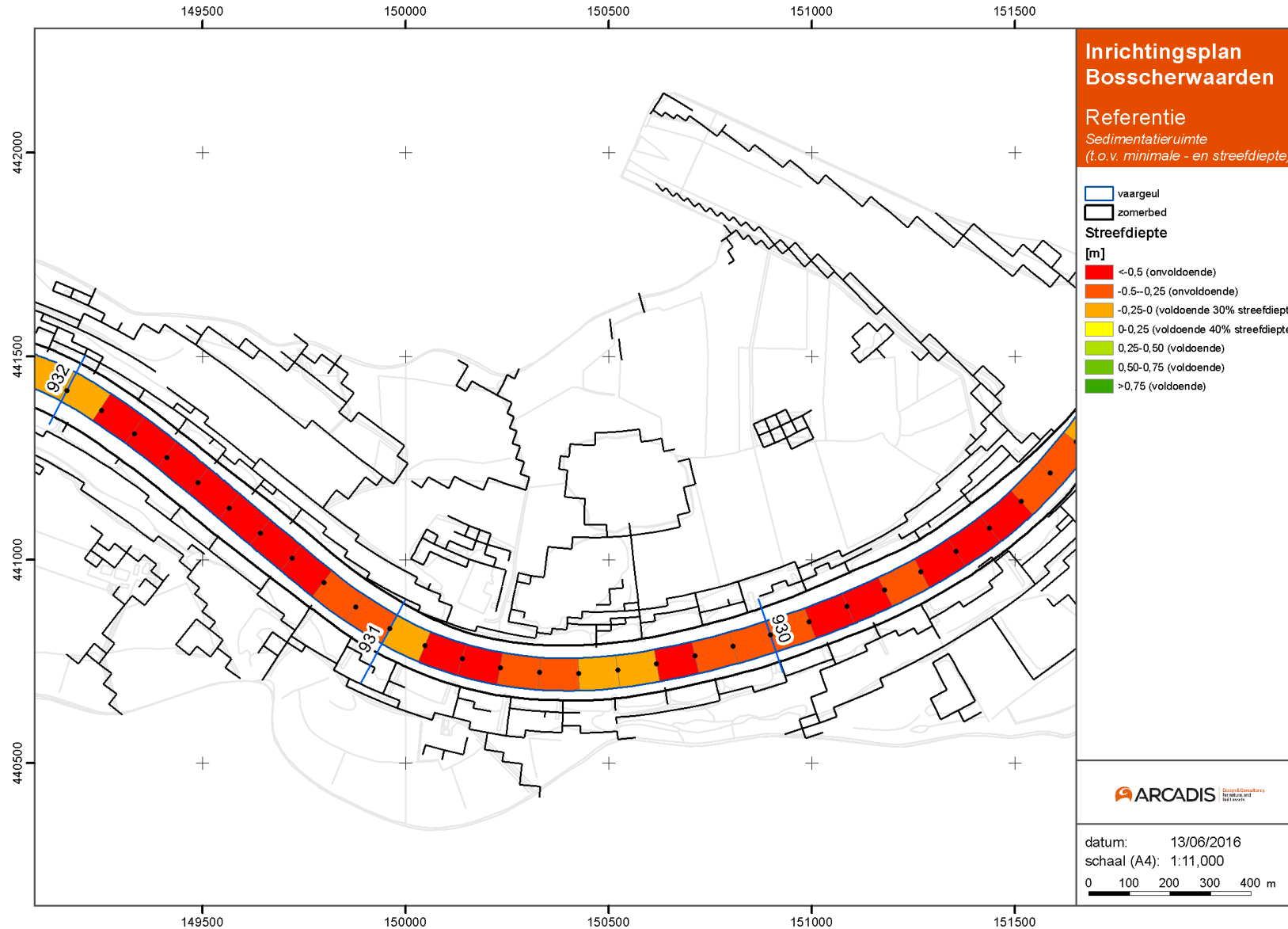
Referentie: minimale diepte



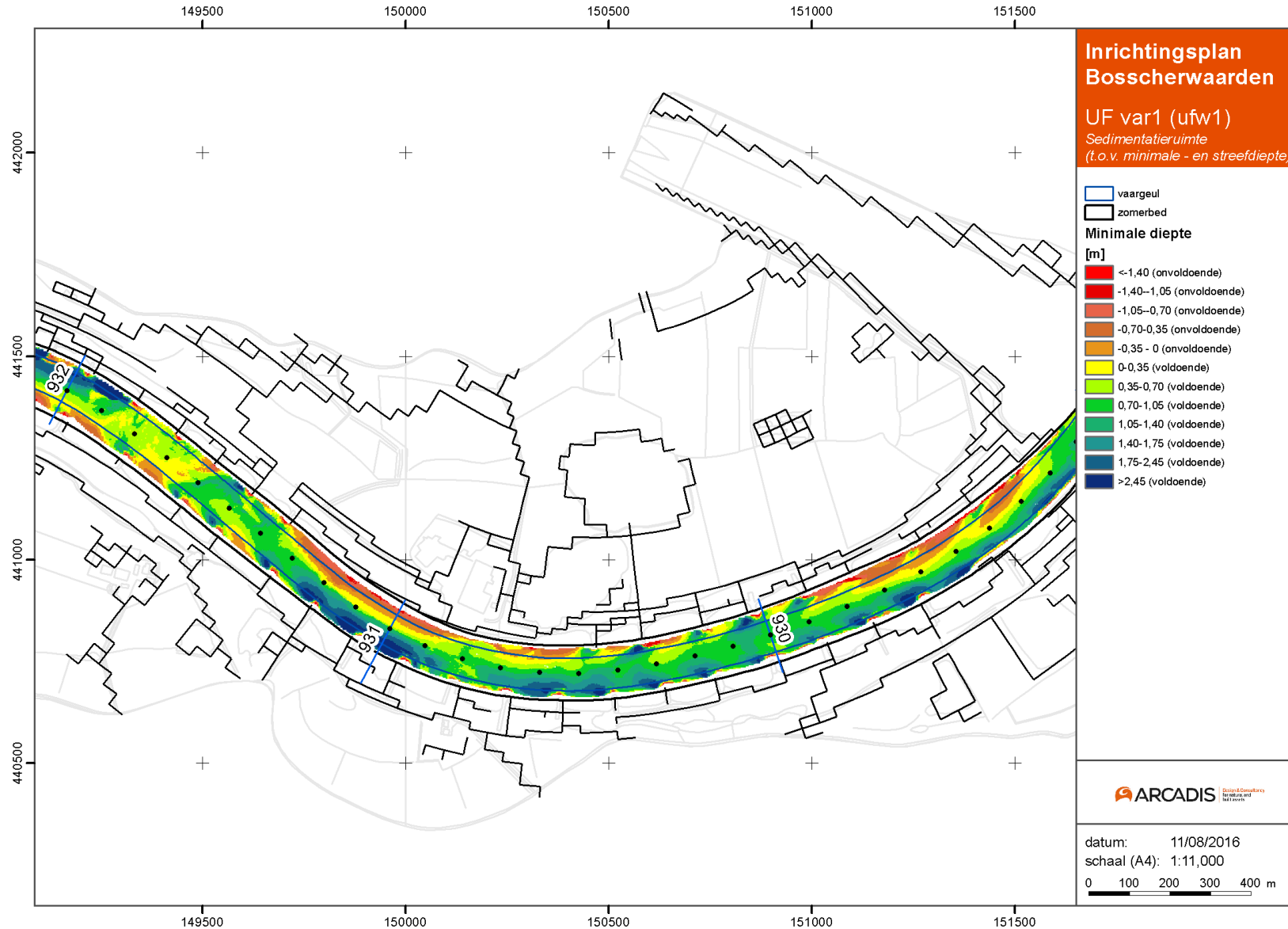
Referentie: kritische waterdiepte t.o.v. OLR



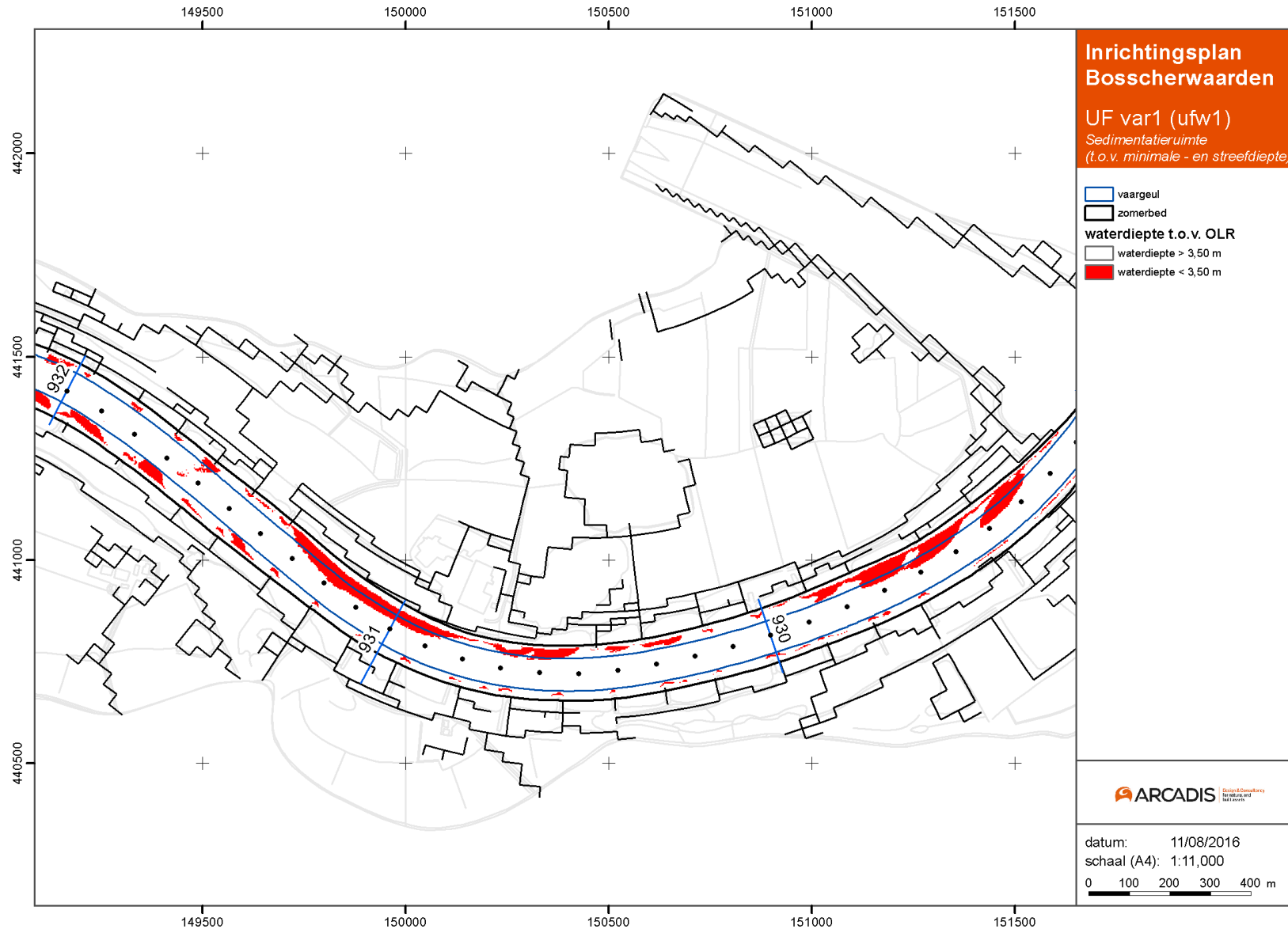
Referentie: streefdiepte



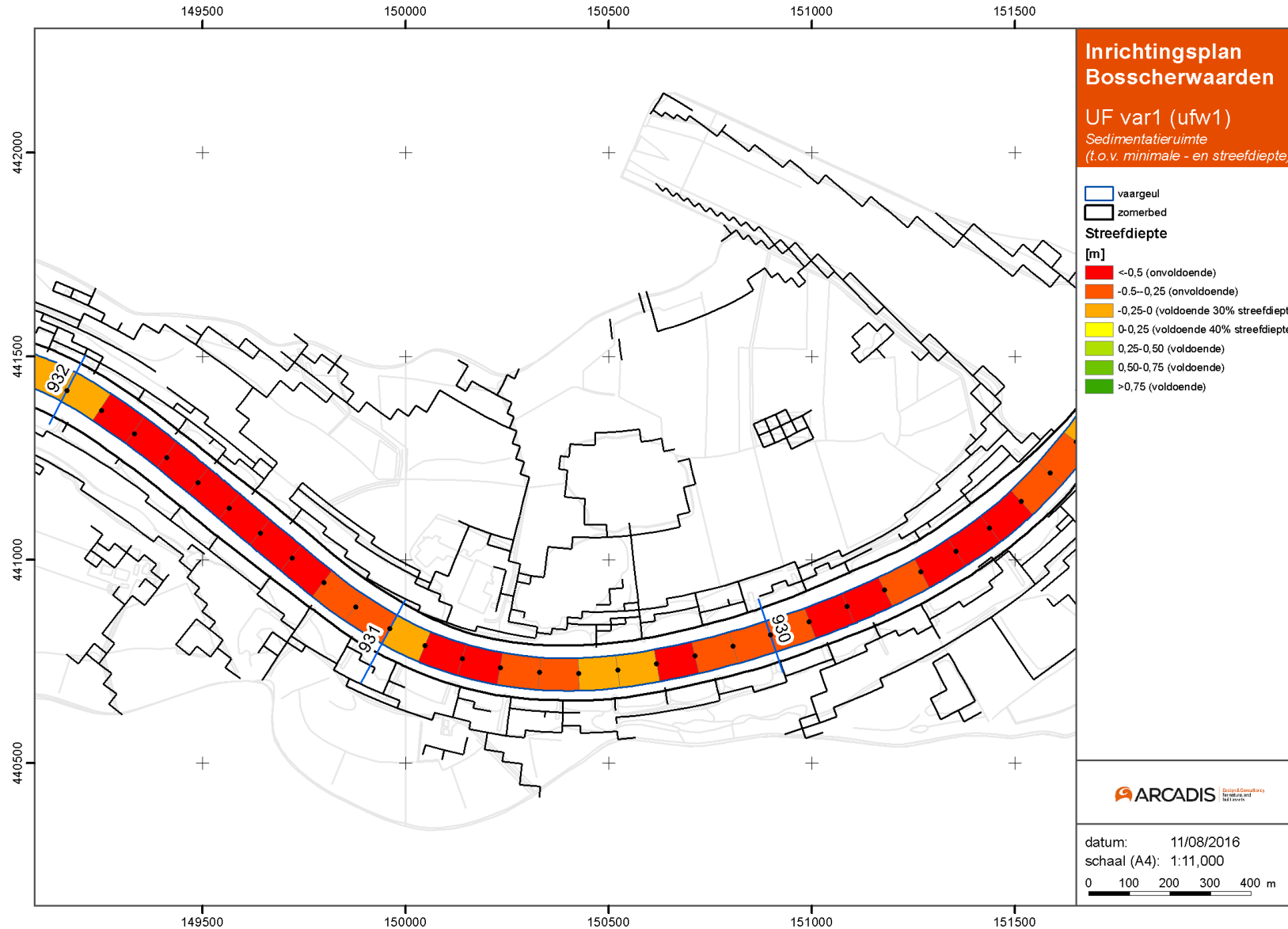
Variant 1: minimale diepte



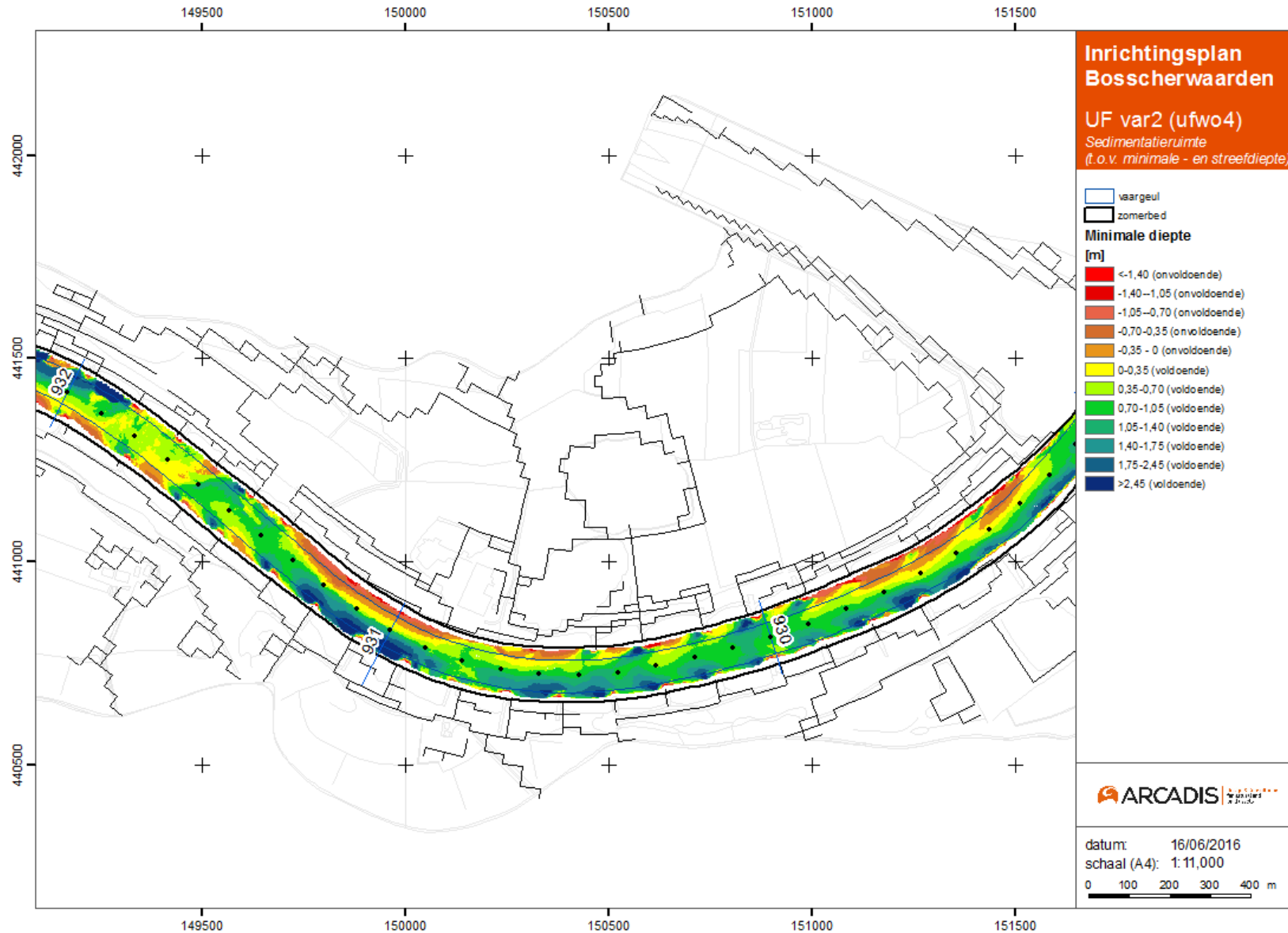
Variant 1: kritische waterdiepte t.o.v. OLR



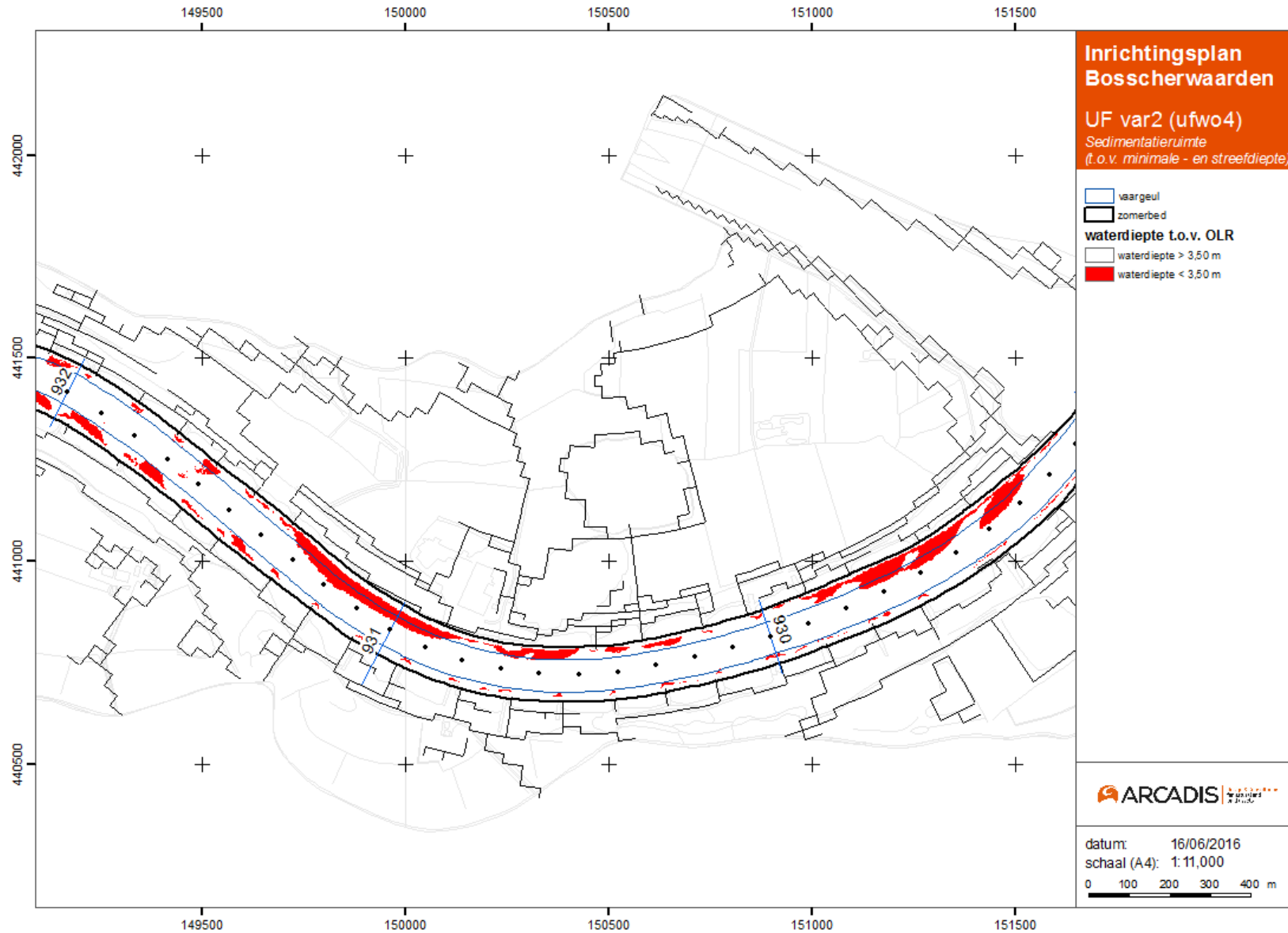
Variant 1: streefdiepte



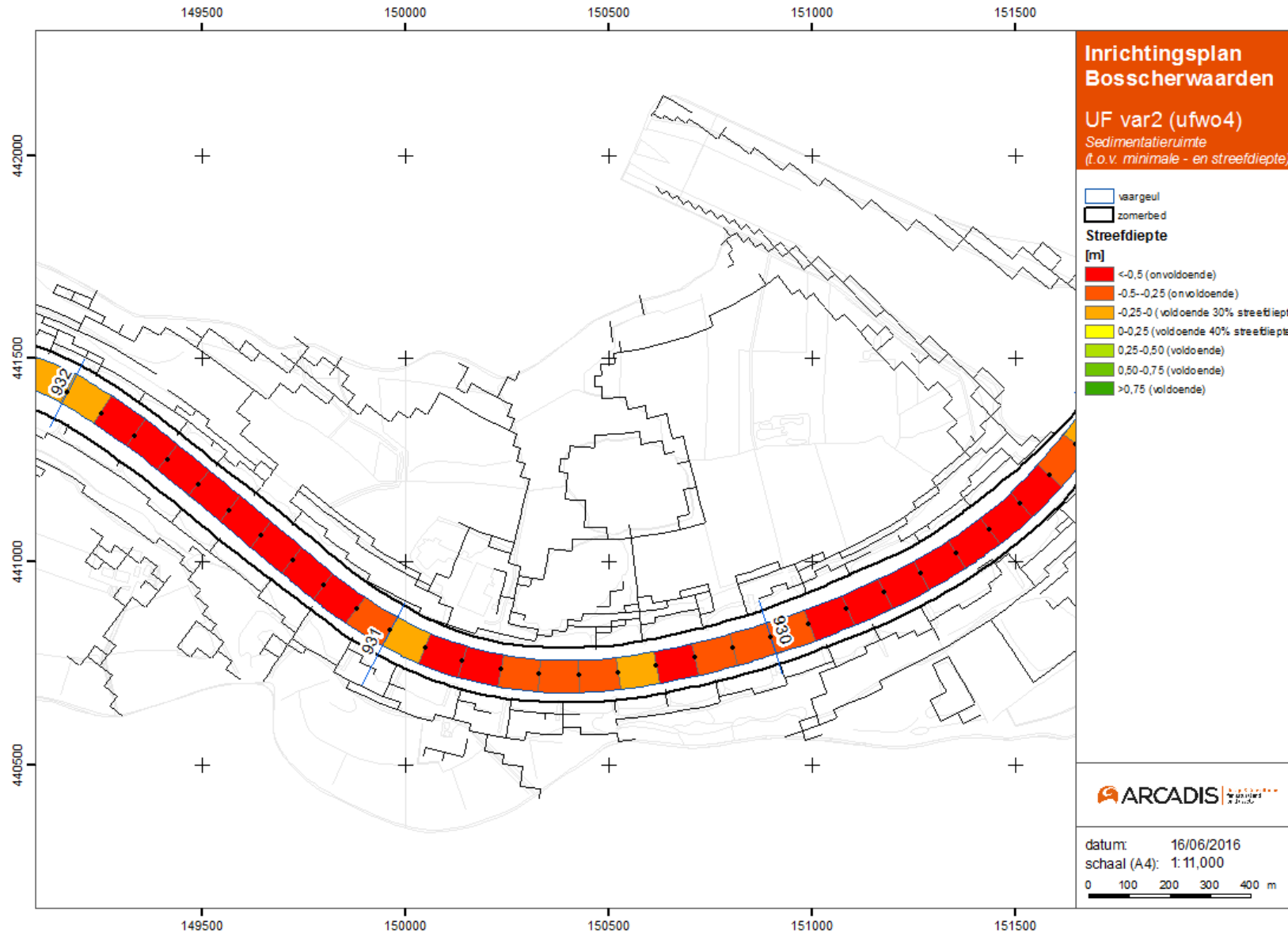
Variant 2: minimale diepte



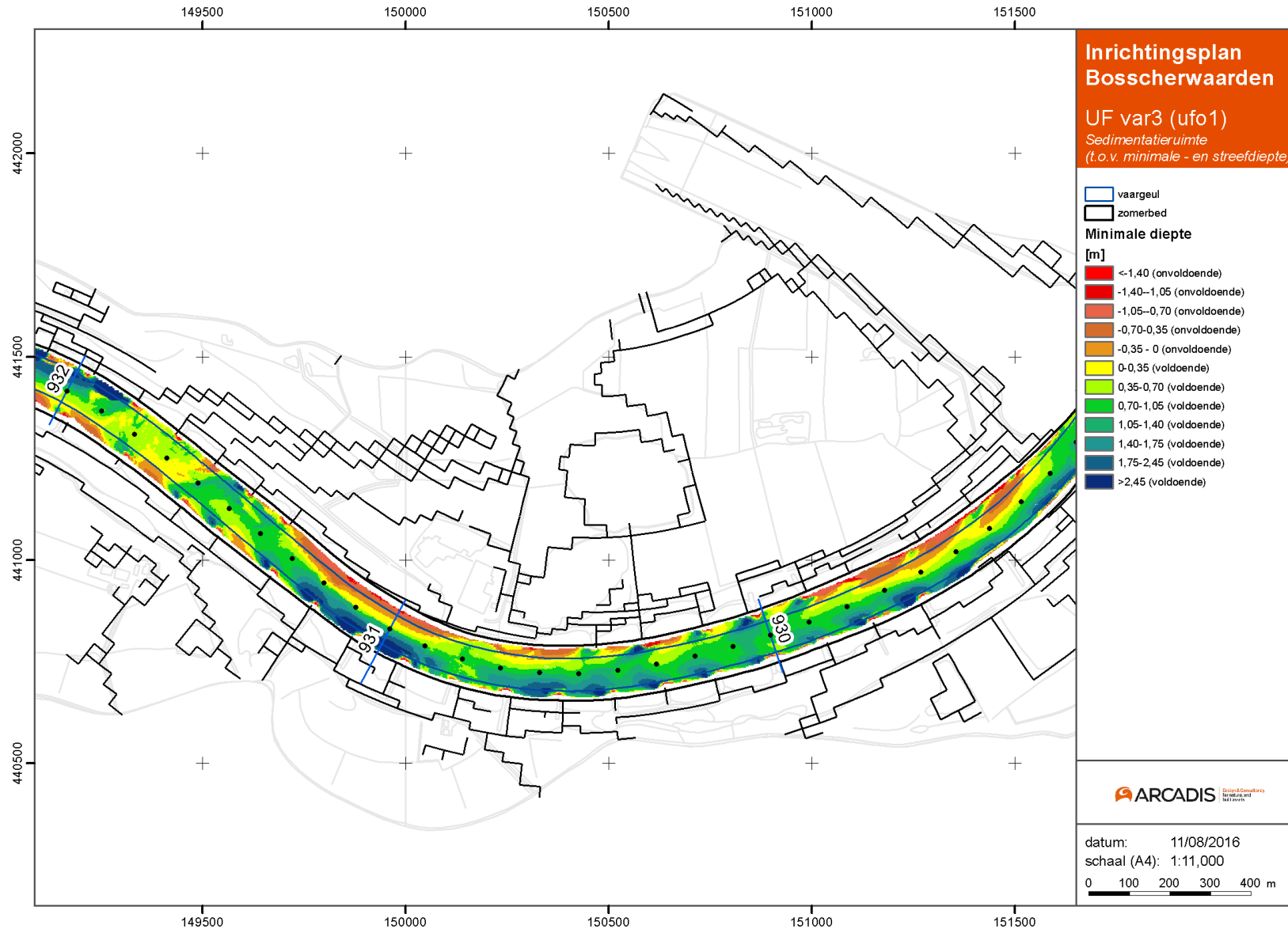
Variant 2: kritische waterdiepte t.o.v. OLR



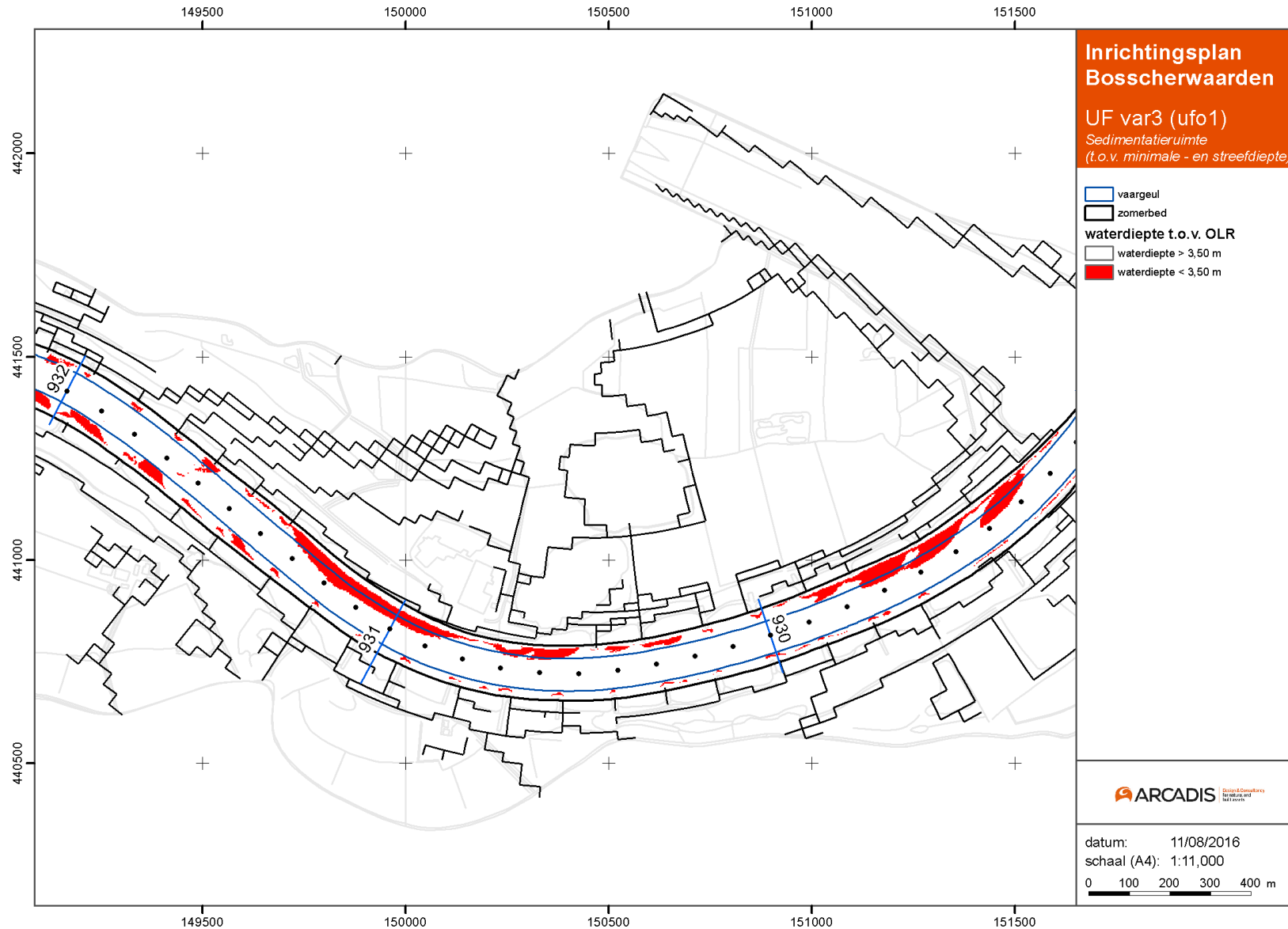
Variant 2: streefdiepte



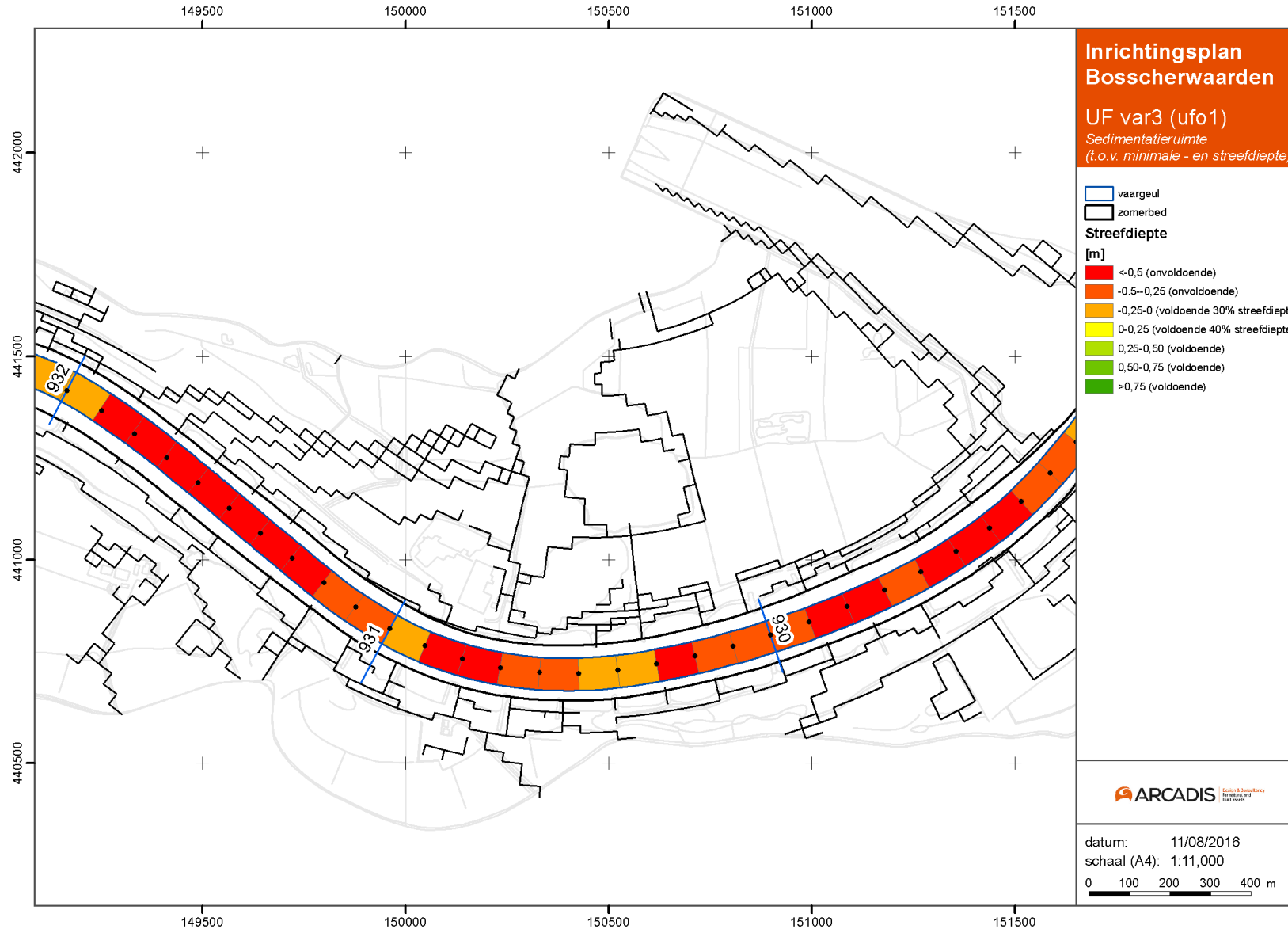
Variant 3: minimale diepte



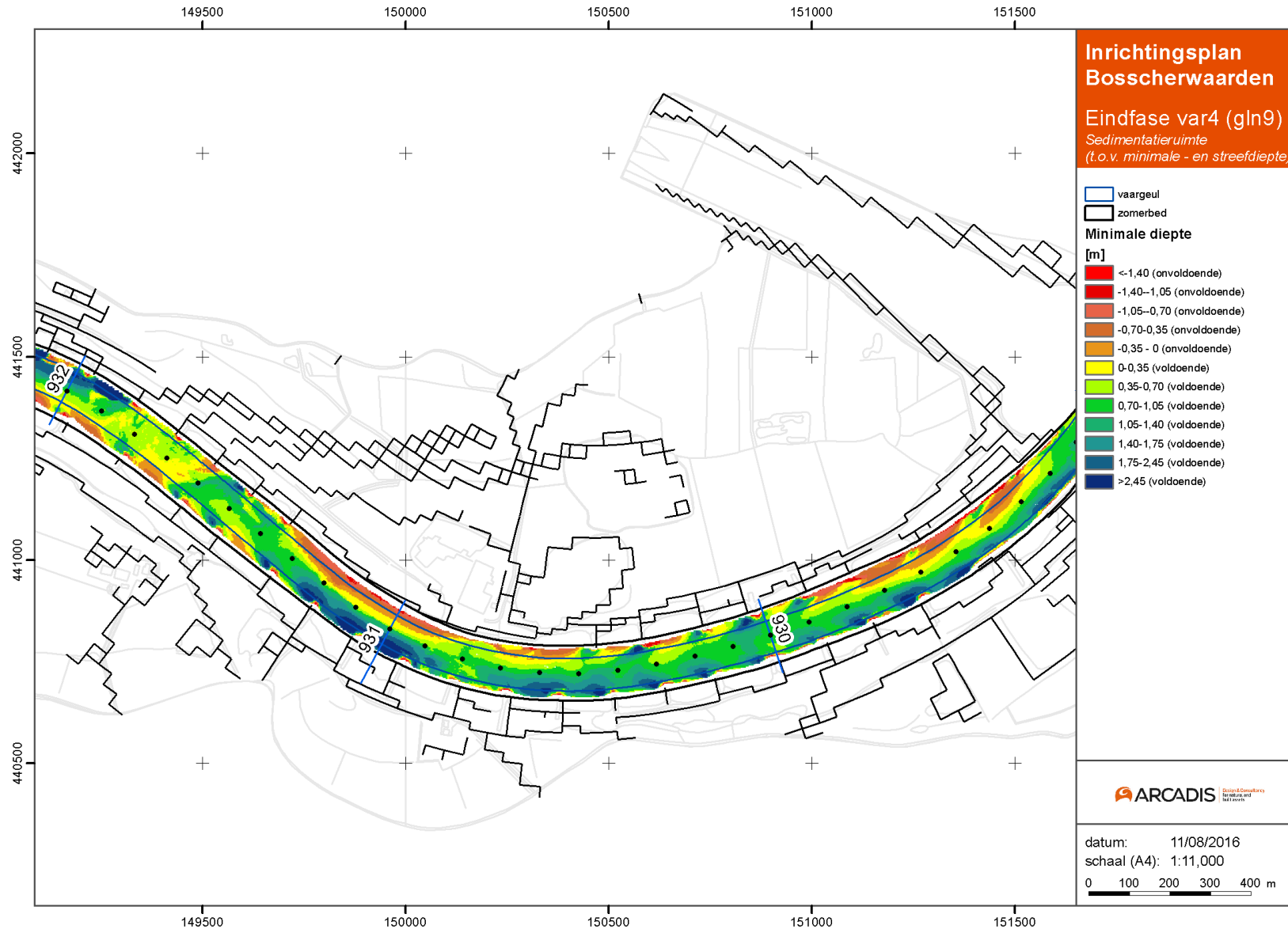
Variant 3: kritische waterdiepte t.o.v. OLR



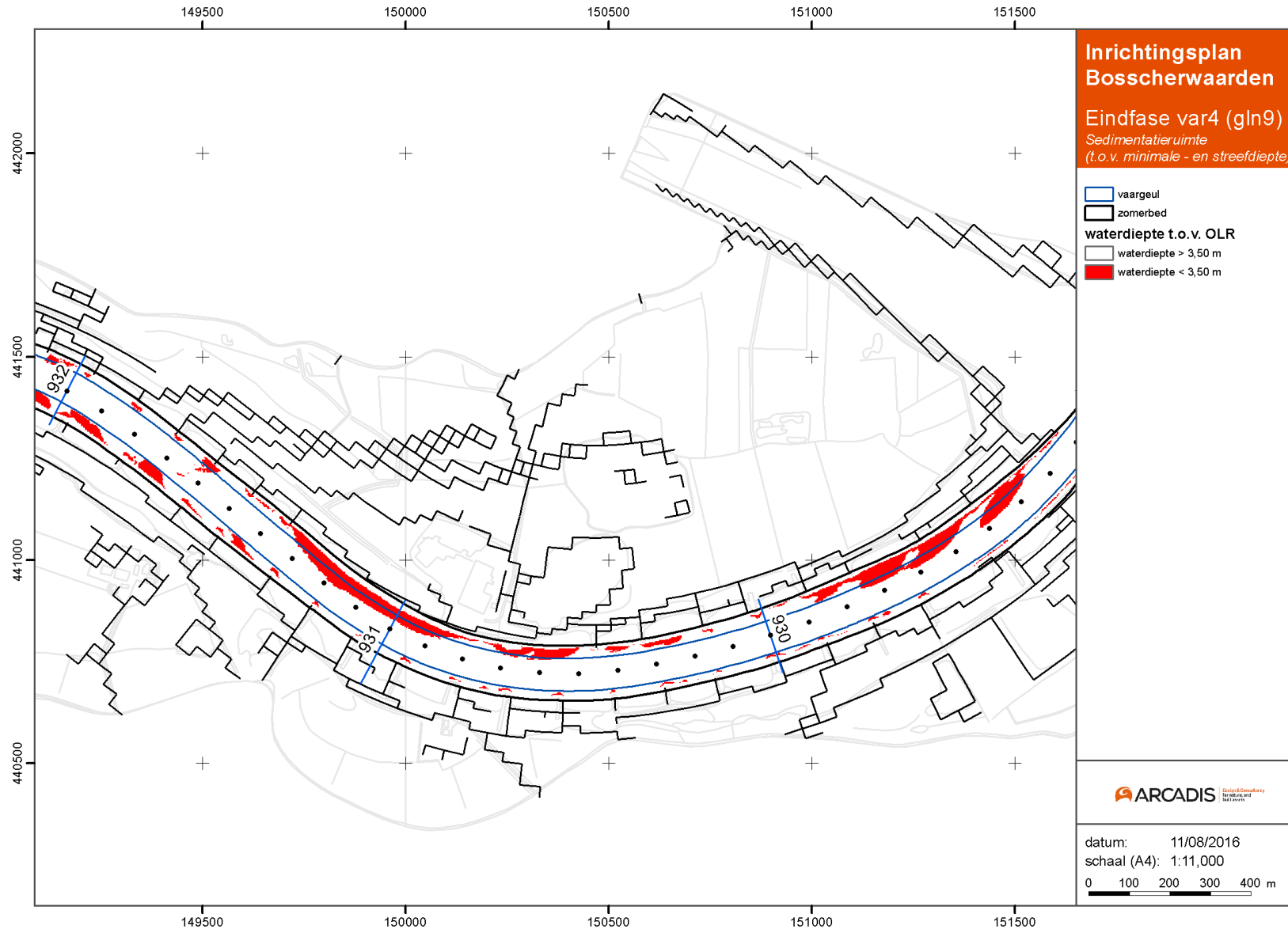
Variant 3: streefdiepte



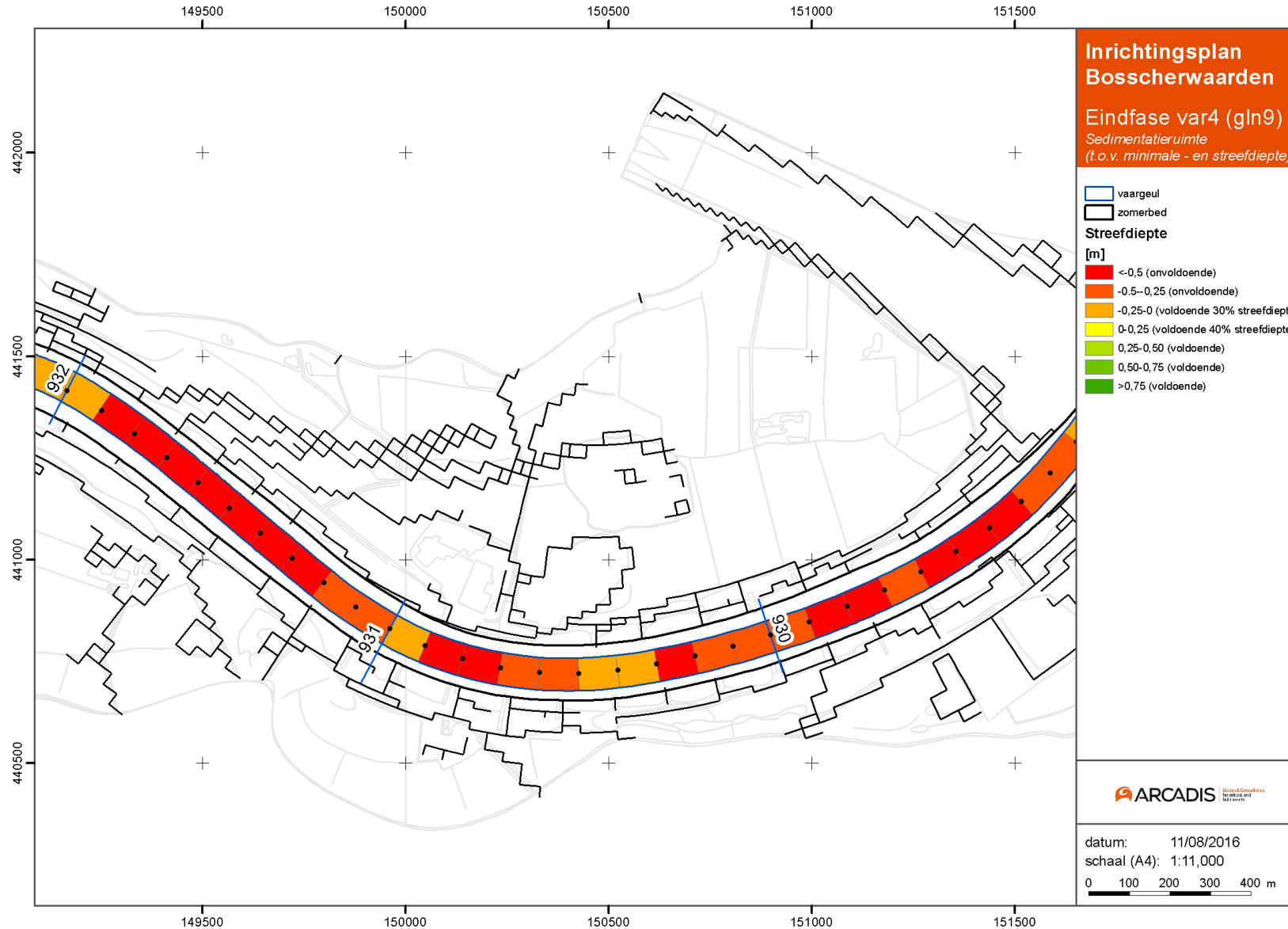
Variant 4: minimale diepte



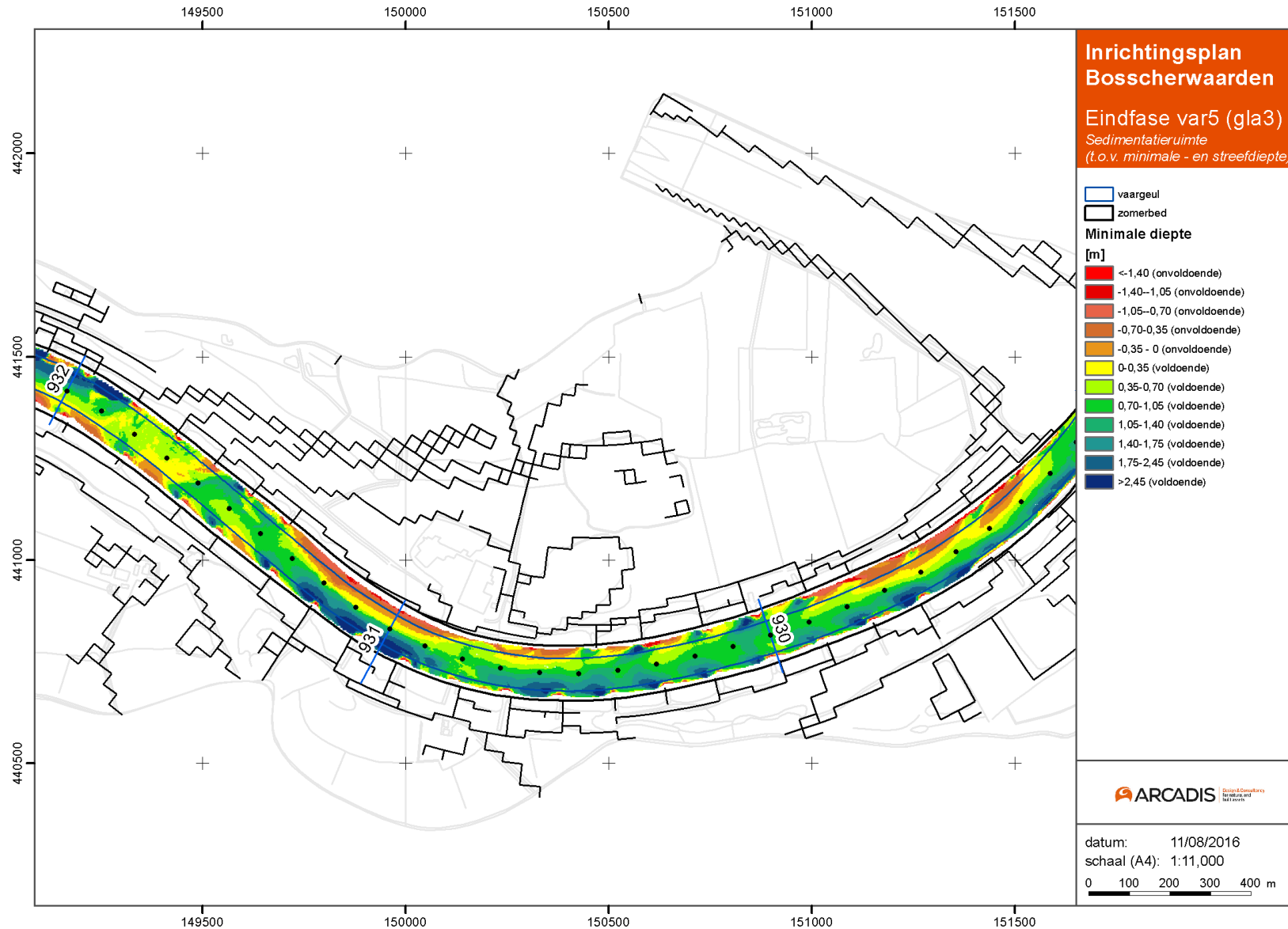
Variant 4: kritische waterdiepte t.o.v. OLR



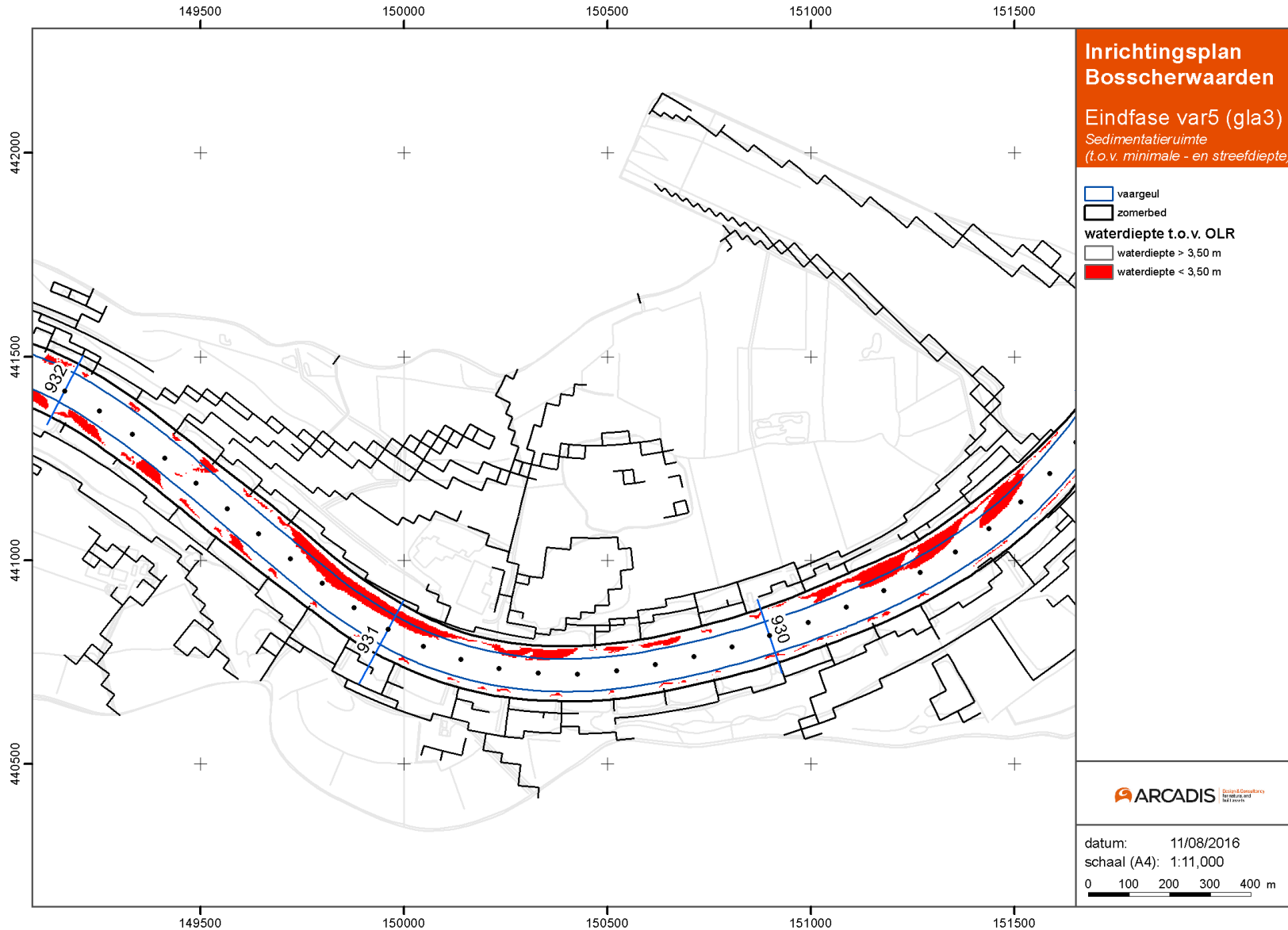
Variant 4: streefdiepte



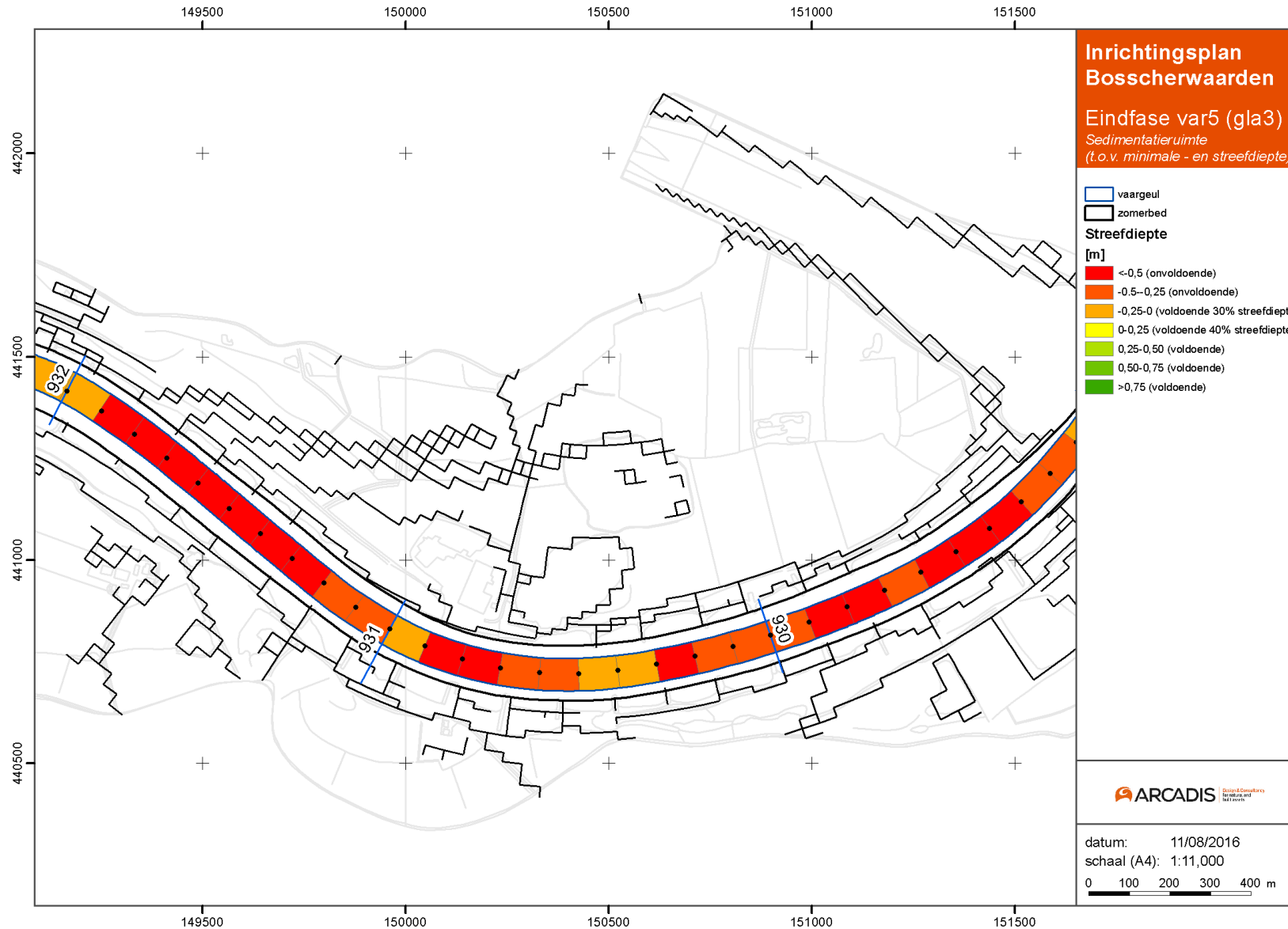
Variant 5: minimale diepte



Variant 5: kritische waterdiepte t.o.v. OLR



Variant 5: streefdiepte



Arcadis Nederland B.V.

Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland
+31 (0)88 4261261

www.arcadis.com

Projectnummer: C01023.000351.0300

Onze referentie: 078880154 0.34