

INRICHTINGSPLAN

BOSSCHERWAARDEN: DEFINITIEF

Rivierkundige optimalisaties: eindvariant agrarisch (GLN2)

Opdrachtgever: Bosscherwaarden B.V.

28 JUNI 2016

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

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

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

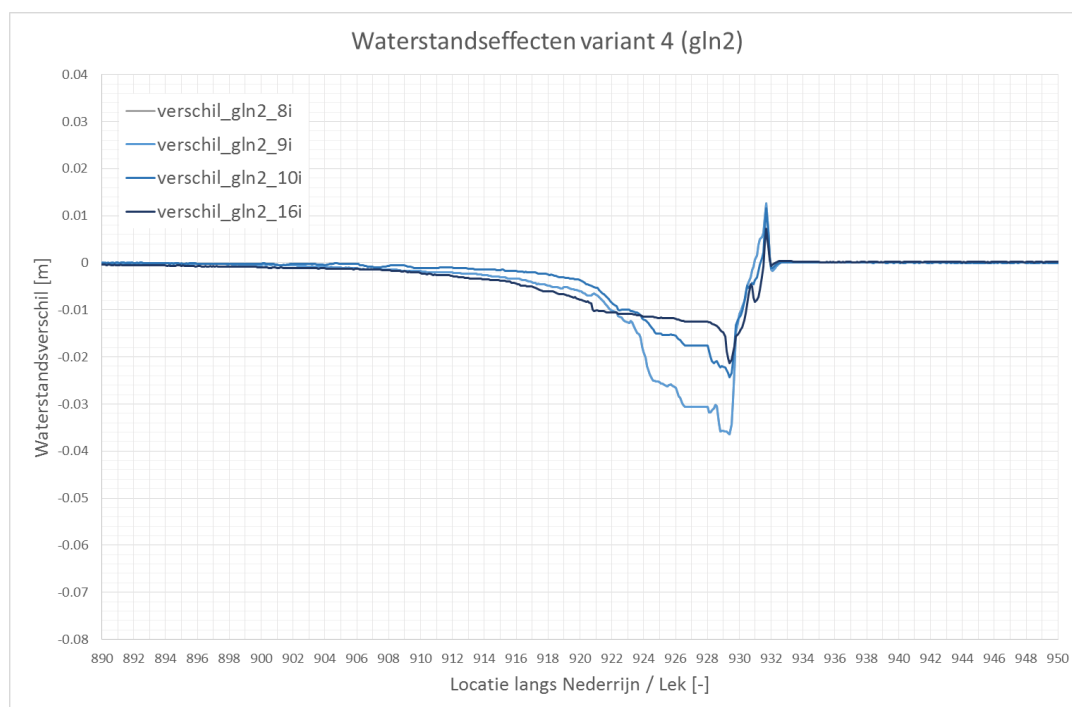
Arcadis Nederland B.V.
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
2	RIVIERKUNDIGE OPTIMALISATIES: WATERSTANDEN	5
2.1	Waterstandseffecten bij verhogen van de toegangsweg	5
2.2	Benedenstroomse drempel	8
2.3	Behoud van zomerkade bij instroompunt geul	9
2.4	Gestapelde optimalisatie	10
3	RIVIERKUNDIGE OPTIMALISATIES: DWARSSTROMING	12
4	RIVIERKUNDIGE OPTIMALISATIES: MORFOLOGIE	14
5	CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	15
5.1	Conclusies	15
5.2	Aanbevelingen	16

1 INLEIDING

Het oorspronkelijke eindontwerp “agrarisch” (GLN2) levert een waterstandsval van 21,4 mm op de as van de rivier. De waterstandsverhoging bedraagt 7,3 mm (zie Figuur 1). Uitgedrukt in oppervlakte is de verhouding 129,4 (zie Tabel 1). Echter deze variant GLN2 levert nog nadelige effecten op de aspecten dwarsstroming en morfologie. Om deze reden zijn optimalisaties uitgevoerd om deze rivierkundige effecten zoveel mogelijk te beperken. In de referentiesituatie begint de uiterwaard effectief mee te stromen vanaf afvoeren van 8.000 m³/s te Lobith. De waterstandseffecten van GLN2 bij 8.000 m³/s en 9.000 m³/s te Lobith zijn vergelijkbaar en zijn in Figuur 1 niet goed van elkaar te onderscheiden.



Figuur 1: Waterstandseffecten op de as van de rivier in het oorspronkelijke eindontwerp “agrarisch” (GLN2)

2 RIVIERKUNDIGE OPTIMALISATIES: WATERSTANDEN

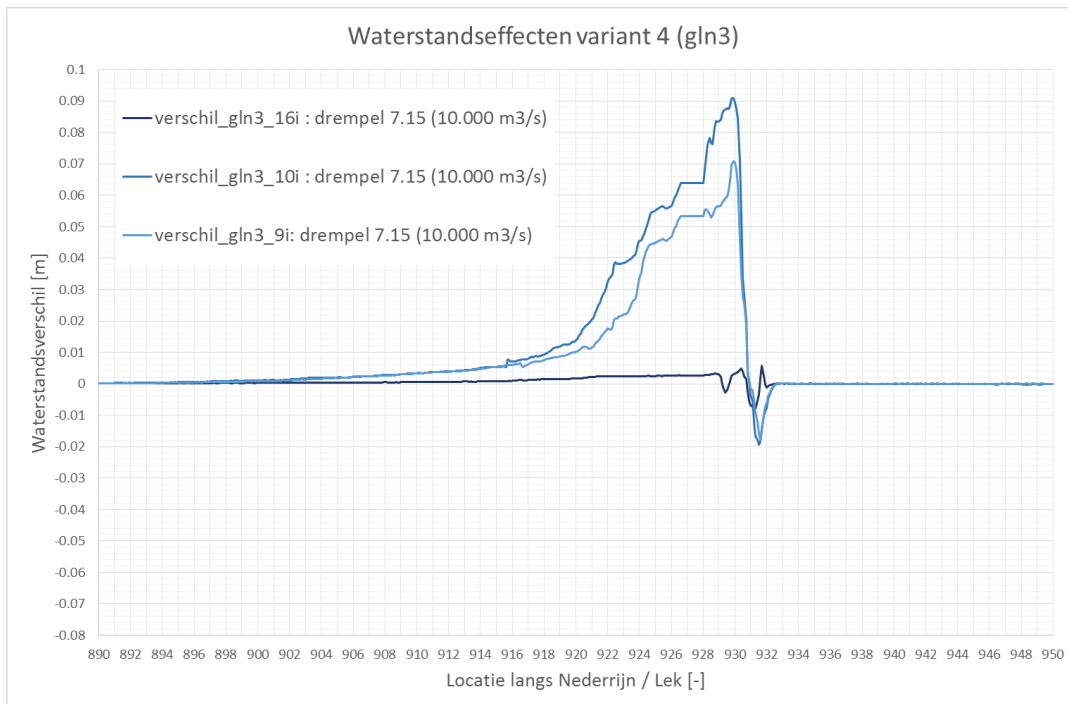
Om de rivierkundige effecten van GLN2 te reduceren zijn er een drietal type optimalisaties uitgevoerd:

- Ophogen van de toegangsweg
 - 7,15 m +NAP ($\approx 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith): variant GLN3
 - 6,75 m +NAP ($\approx 9.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith): variant GLN4
 - 6,40 m+NAP ($\approx 8.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith): variant GLN6
- Benedenstroomse drempel op 2 m+NAP: variant GLN5
- Behoud van zomerkade bij instroomopening geul: variant GLN7

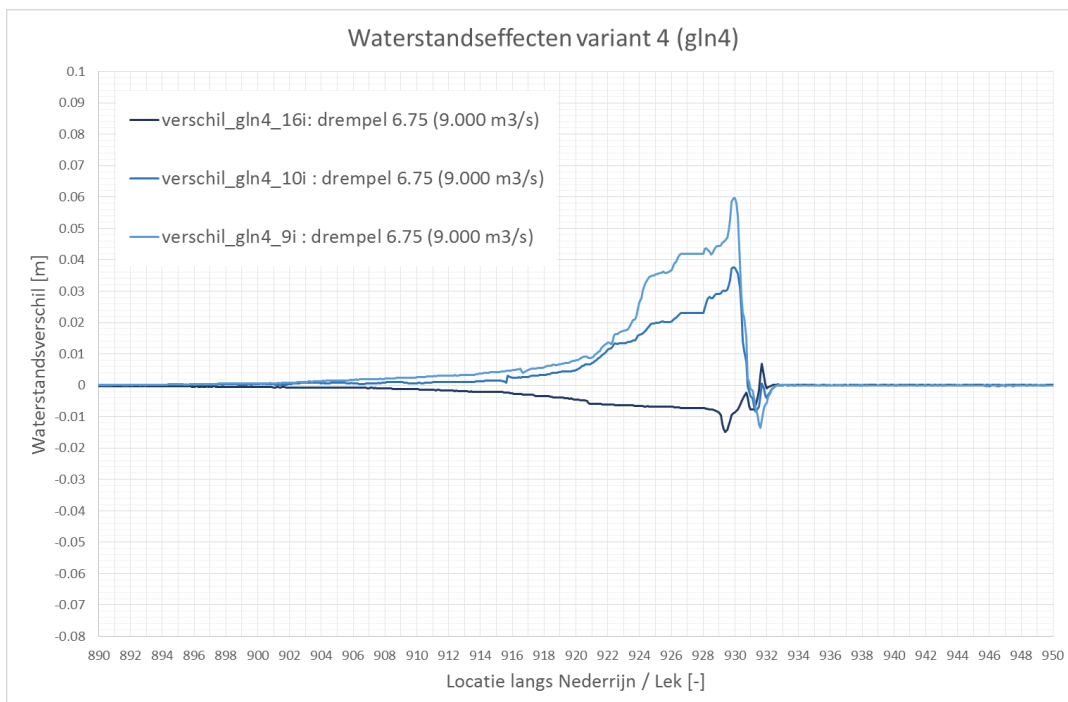
Bovenstaande optimalisaties zijn in eerste instantie individueel doorgerekend op het oorspronkelijke ontwerp “agrarisch” (GLN2). De waterstandseffecten op de as van de rivier zijn getoond in paragrafen 2.1 - 2.3. Aanvullend zijn de optimalisaties (GLN5, GLN6 en GLN7) gestapeld doorgerekend in variant GLN8. Deze waterstandseffecten op de as van de rivier worden getoond in paragraaf 2.4. Een overzicht van de effecten is ook weergegeven in Tabel 1. De lokale geometrie van deze optimalisaties (GLN5, GLN6 en GLN7) zijn weergegeven in Bijlage A.

2.1 Waterstandseffecten bij verhogen van de toegangsweg

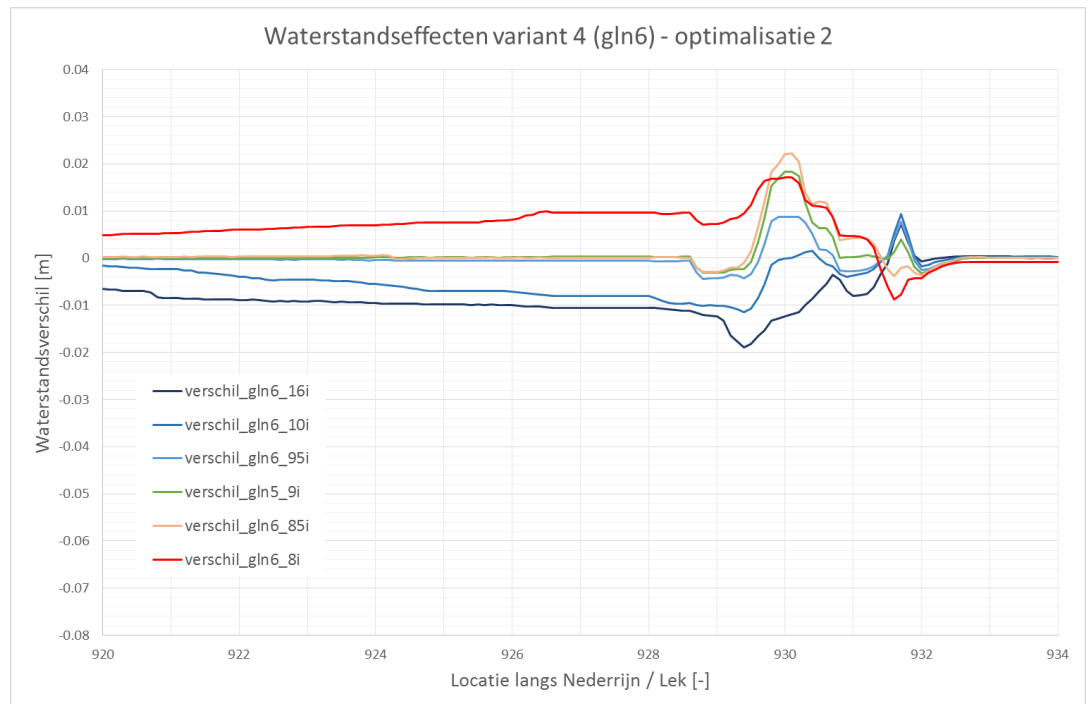
De toegangsweg op 7,15 m+NAP (GLN3) levert bij MHW-situatie nog een opstuwende werking (Figuur 2). De toegangsweg op 6,75 m+NAP (GLN4) is al aanzienlijk beter maar geeft nog steeds een aanzienlijke opstuwing in orde van 6 cm bij relatieve hoge afvoeren in stroomopwaartse richting (Figuur 3). Tot aan rivierkilometer 918 bedraagt de opstuwing nog 1 cm. Merk op dat de verhouding in oppervlakte gelijk is aan 81,3. Dit ligt wel in de gewenste factorrange van 50 – 100 dat gewenst is bij RWS-ON. De toegangsweg op 6,40 (GLN6) levert een beperkte opstuwing en is vrijwel beperkt tot 1 cm. Het grote voordeel, ten aanzien van het oorspronkelijke ontwerp GLN2, is dat er tot aan een afvoer van $9.500 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith geen waterstandsvaling ontstaat. Dit is positief voor de aspecten dwarsstroming en morfologie. Het ontwerp GLN6 levert een waterstandsvaling van 19,0 mm op de as van de rivier. De waterstandsverhoging bedraagt 7,2 mm. Uitgedrukt in oppervlakte is de verhouding 109,9 (zie Tabel 1).



Figuur 2: Waterstandseffecten op de as van de rivier in het oorspronkelijke eindontwerp “agrarisch” met de verhoging van de toegangsweg naar 7,15 m+NAP (GLN3)



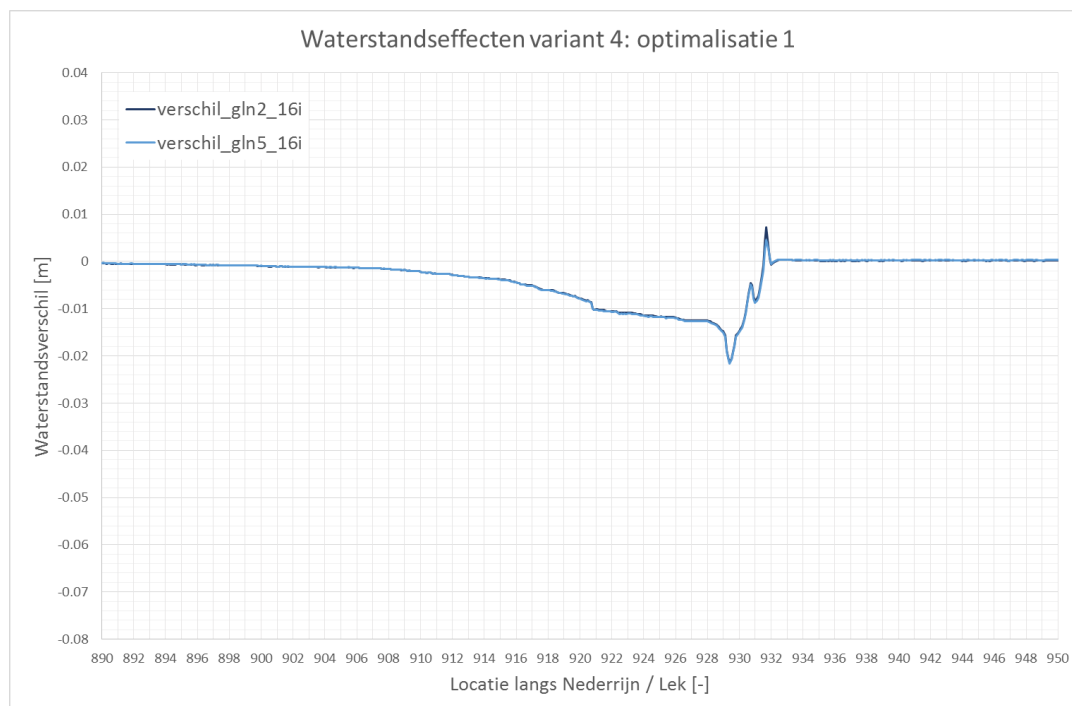
Figuur 3: Waterstandseffecten op de as van de rivier in het oorspronkelijke eindontwerp “agrarisch” met de verhoging van de toegangsweg naar 6,75 m+NAP (GLN4).



Figuur 4: Waterstandseffecten op de as van de rivier in het oorspronkelijke eindontwerp "agrarisch" met de verhoging van de toegangsweg naar 6,40 m+NAP (GLN6).

2.2 Benedenstroomse drempel

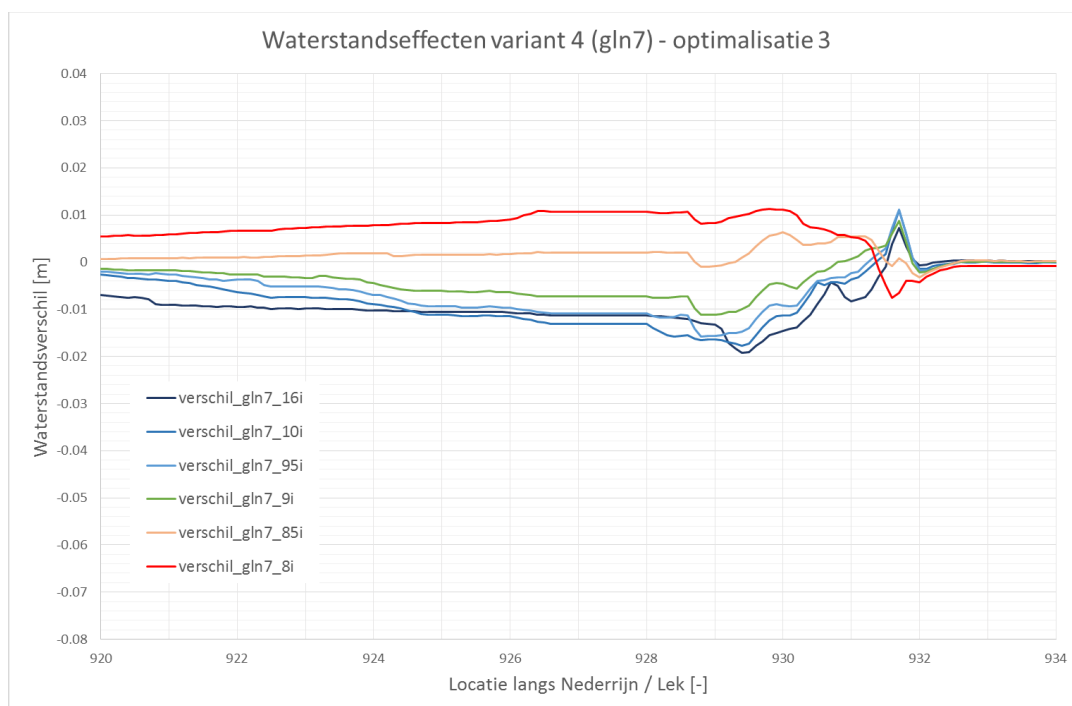
Het oorspronkelijke ontwerp aanvullend met een benedenstroomse drempel op 2 m+NAP (GLN5) levert een waterstandsval van 21,6 mm op de as van de rivier bij een MHW-situatie. De waterstandsverhoging bedraagt 4,6 mm (zie Figuur 5). Uitgedrukt in oppervlakte is de verhouding 203,4 (zie Tabel 1). Al met al wordt de benedenstroomse piek op de as van de rivier gereduceerd met 2,7 mm. De waterstandsval blijft min of meer gelijkwaardig. Hetzelfde geldt voor de effecten bij lagere afvoeren.



Figuur 5: Waterstandseffecten op de as van de rivier in het oorspronkelijke eindontwerp “agrarisch” met een benedenstroomse drempel op 2,0 m+NAP (GLN5).

2.3 Behoud van zomerkade bij instroompunt geul

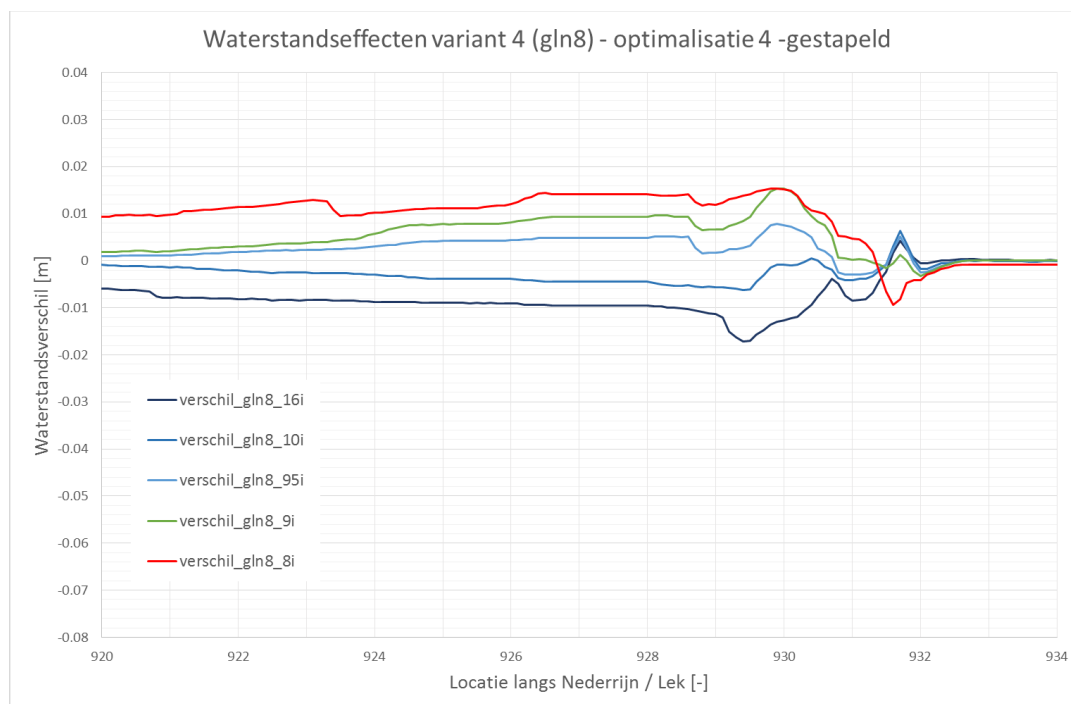
Bij behoud van de zomerkade bij het instroompunt van de geul ontstaat bij afvoeren tot aan 9.000 m³/s te Lobith een lichte opstuwing in stroomopwaartse richting tot 1 cm. Dit is verklaarbaar doordat hier de kruinhoogte van de zomerkade is geactualiseerd met een recente inmeting van Meet BV en ligt in het algemeen wat hoger (orde 20 cm) dan de referentie-schematisatie van RWS-ON. Bij afvoeren boven de 9.000 m³/s te Lobith ontstaat een waterstandsval. Het oorspronkelijke ontwerp met behoud van de zomerkade bij instroomopening van geul (GLN7) levert een waterstandsval van 19,3 mm op de as van de rivier bij een MHW-situatie. De waterstandsverhoging bedraagt 7,3 mm (zie Figuur 6). Uitgedrukt in oppervlakte is de verhouding 118,8 (zie Tabel 1).



Figuur 6: Waterstandseffecten op de as van de rivier in het oorspronkelijke eindontwerp “agrarisch” met behoud van zomerkade bij instroomopening geul (GLN7).

2.4 Gestapelde optimalisatie

In deze variant (GLN8) zijn de optimalisaties GLN5 (drempel 2,00 m+NAP) + GLN6 (toegangsweg 6,40 m+NAP) + GLN7 (behoud zomerkade bij instroompunt geul) gestapeld. In Figuur 7 zijn de waterstandseffecten op de as van de rivier weergegeven. Tot aan afvoeren van 9.500 m³/s te Lobith ontstaat er een opstuwing in bovenstroomse richting van de rivier en is maximaal 1,45 cm. Tot aan rivierkilometer 920 is deze opstuwing nog 1,00 cm. Bij afvoeren boven de 9.500 m³/s te Lobith ontstaat er een waterstandsval. Het oorspronkelijke ontwerp met de gestapelde optimalisaties (GLN8) levert een waterstandsval van 17,2 mm op de as van de rivier bij een MHW-situatie. De waterstandsverhoging bedraagt 4,3 mm (zie Figuur 7). Uitgedrukt in oppervlakte is de verhouding 168,7 (zie Tabel 1).



Figuur 7: Waterstandseffecten op de as van de rivier in het oorspronkelijke eindontwerp “agrarisch” met de gestapelde optimalisaties betreft GLN5 (drempel 2,0 m+NAP) + GLN6 (toegangsweg 6,4 m+NAP) + GLN7 (behoud zomerkade).

Tabel 1: Effecten optimalisaties op de as van de rivier

Optimalisaties	Toelichting	Max. Waterstands- daling [mm]	Max. Waterstands- daling [m ²]	Max. Waterstands- verhoging [mm]	Max. Waterstands- verhoging [m ²]	Verhouding Oppervlak [-]
GLN2	Oorspronkelijk ontwerp	21,4	188,90 m ²	7,3	1,46	129,4
GLN3	Ophogen toegangsweg naar 7,15 m+NAP	8,4 (lokaal)	5,44 m ²	5,7	32,41	0,2
GLN4	Ophogen toegangsweg naar 6,75 m+NAP	15,0	106,56 m ²	6,8	1,31	81,3
GLN5	Ophogen bodem bij uitstroompunt geul tot 2 m+NAP	21,6	191,17 m ²	4,6	0,94	203,4
GLN6	Ophogen toegangsweg naar 6,40 m+NAP	19,0	156,03 m ²	7,2	1,42	109,9
GLN7	Behoud van zomerkade bij instroomopening (kruinhoogtes op basis van inmeting Meet BV)	19,3	171,11 m ²	7,3	1,44	118,8
GLN8	Gestapelde optimalisatie GLN5 + GLN6 +GLN7	17,2	143,40	4,3	0,85	168,7

3 RIVIERKUNDIGE OPTIMALISATIES: DWARSSTROMING

In Tabel 1 en Tabel 2 zijn de effecten op dwarsstroming bij afvoeren van 10.000, 9.000 en 8.000 m³/s te Lobith weergegeven. Hierbij is alleen gericht gekeken naar de in- en uitstroom van de geul (de meest kritische locaties voor de dwarsstroming). In Bijlage B zijn de effecten van dwarsstroming per variant weergegeven over de gehele rechteroever. Een positieve dwarsstroming is van de hoofdgeul naar de uiterwaard georiënteerd. Een negatieve dwarsstroming is van de uiterwaard naar de hoofdgeul georiënteerd.

Bij debietfluxen van meer dan 50 m³/s mag de dwarsstroming in principe niet groter zijn dan 0,15 m/s. Bij debietfluxen van minder dan 50 m³/s mag de dwarsstroming niet groter zijn dan 0,30 m/s. In andere gevallen mogen de effecten ten aanzien van de referentie niet verslechteren. De eenheid waarover dit 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 / deelafvoer. Deze breedte komt globaal overeen met de breedte van de uitstroomopening van de geul (max. twee rekencellen in WAQUA = deelafvoer). De instroomopening van de geul is globaal 300 m (max. acht cellen in WAQUA). Voor de deelafvoer van de instroomopening is totale debietflux "instroompunt geul" dus gedeeld door drie.

Bij een afvoer van 8.000 m³/s zijn de deelafvoeren bij de in- en uitstroompunt van de geul kleiner dan 50 m³/s waarbij dus de norm van 0,30 m/s voor dwarsstroming geldig is. De dwarsstroming blijft in alle varianten beneden de 0,30 m/s.

Bij een afvoer van 9.000 m³/s is de geldende norm voor de dwarsstroming afwisselend (deelafvoer afhankelijk). Bij GLN2 wordt de norm van 0,15 zowel bij de in- en uitstroompunt van de geul overschreden. Bij GLN6 wordt de norm bij in- en uit stroompunt van geul lichtelijk overschreden. Bij GLN7 voldoet het aan de norm bij het instroompunt, maar wordt de norm bij het uitstroompunt significant overschreden. In variant GLN8 wordt de dwarsstroming het meest gereduceerd. Bij de instroom van de geul wordt voldaan aan de norm en treedt er een lichte overschrijding op bij de uitstroom.

Bij een afvoer van 10.000 m³/s treedt er bij GLN8 een significante overschrijding op bij de uitstroom van de geul. Echter deze afvoer komt relatief zo weinig voor dat de daadwerkelijke hinder beperkt zal blijven.

Tabel 2: Dwarsstroomeffecten bij het instroompunt van de geul

	instroom geul [929,62] = 8 WAQUA cellen = 2 WAQUA cellen $\approx$ 100 m $\approx$ deelafvoer									
afvoer te Lobith [m ³ /s]	REF		GLN2		GLN6		GLN7		GLN8	
	dwaarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	dwaarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	dwaarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	dwaarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	dwaarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]
8000	0.03	n.v.t.	0.13	52	0.05	14	0.03	2	0.03	2
9000	0.08	n.v.t.	0.21	99	0.18	84	0.11	41	0.11	42
10000	0.13	n.v.t.	0.20	105	0.19	101	0.18	78	0.17	76

Tabel 3: Dwarsstroomeffecten bij het uitstroompunt van de geul

	uitstroom geul [931,82]: 2 WAQUA cellen $\approx$ 100 m $\approx$ deelafvoer									
afvoer te Lobith [m ³ /s]	REF		GLN2		GLN6		GLN7		GLN8	
	dwaarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	dwaarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	dwaarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	dwaarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]	dwaarsstroom [m/s]	deelafvoer [m ³ /s]
8000	-0.09	n.v.t.	-0.22	49	-0.10	10	-0.11	5	-0.10	13
9000	-0.14	n.v.t.	-0.34	123	-0.25	88	-0.29	120	-0.23	65
10000	-0.17	n.v.t.	-0.38	152	-0.35	167	-0.37	183	-0.34	134

4 RIVIERKUNDIGE OPTIMALISATIES: MORFOLOGIE

Om een goede inschatting van het morfologisch effect te maken is het belangrijk om de kenmerkende afvoeren van de maatregelen te weten. In Tabel 4 staat welke afvoeren kenmerkend zijn voor de varianten en zijn ingevoerd in WAQMORF. De toegangsweg naar de voormalige steenfabriek is bepalend of de uiterwaard volledig stroomvoerend wordt. In de referentie wordt de uiterwaard stroomvoerend tussen afvoeren 7.500 – 8.000 m³/s te Lobith. Voor alle varianten (GLN2, GLN6, GLN7 en GLN8) zijn de kenmerkende afvoeren vergelijkbaar en ligt de drempelafvoer bij benadering rond 8.000 m³/s. Hierdoor bedraagt de afvoer van de hoogwaterblok 9.000 m³/s te Lobith.

In Tabel 5 zijn de jaarlijks gemiddelde effecten weergegeven op de vaargeul. De effecten zijn gesommeerd op het traject tussen rivierkilometers 929 – 933. De morfologische effecten zijn in Bijlage C ruimtelijk getoond.

Tabel 4: Afvoeren gebruikt voor WAQMORF

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

Tabel 5: Morfologische effecten binnen de vaargeul tussen kilometers 929 - 933

Aspect		Volume Variant GLN2 [m ³]	Volume Variant GLN6 [m ³]	Volume Variant GLN7 [m ³]	Volume Variant GLN8 [m ³]
Jaarlijks gemiddelde	Vaargeul-Sedimentatie	2.157	699	633	233
	Vaargeul-Erosie	149	596	124	718

5 CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

Onderstaand volgen de conclusies en aanbevelingen.

5.1 Conclusies

Tabel 6: Overzicht conclusies

Aspect	Beschrijving effecten	Voorlopige conclusie
Benedenstrooms piekje	Deze kan gereduceerd worden door een benedenstroomse drempel aan te leggen op 2,0 m+NAP (GLN5). Hiermee neemt de lokale piek af met 2,7 mm.	Afweging tussen waterstandsdeling versus ecologische waarde.
	Merk op dat de toepassing van deze ingreep twijfelachtig is, wetende dat in variant "GLN2" en "GLN6" de verhoudingsgetal al reeds boven de 100 ligt. Het projectinitiatief heeft geen specifieke taakstelling in het bereiken van een zekere waterstandsdeling.	
	De optimalisatie GLN5 heeft geen significant effect op de dwarsstroming en morfologie.	
Dwarsstroming 8.000 m ³ /s te Lobith (T ≈ 4)	Bij een afvoer van 8.000 m ³ /s te Lobith is de debietflux < 50 m ³ /s en voldoet alles aan de norm van 0,3 m/s.	Op basis hiervan is geen afweging mogelijk tussen optimalisaties op basis van de RBK-criteria.
Dwarsstroming 9.000 m ³ /s te Lobith (T ≈ 8)	Bij een afvoer van 9.000 m ³ /s te Lobith is de debietflux veelal > 50 m ³ /s en geldt de norm van 0,15 m/s.	De dwarsstroming in variant GLN2 bij instroom is 0,21 m/s, en bij uitstroom is 0,34 m/s.
	- Bij zomerkade (GLN7) voldoet de dwarsstroming bij de instroom (0,11 m/s versus 0,3 m/s), maar voldoet niet bij de uitstroom (0,29 m/s versus 0,15 m/s). - Bij toegangsweg (GLN6) voldoet de dwarsstroming niet bij de instroom (0,18 m/s versus 0,15 m/s) en voldoet niet bij de uitstroom (0,25 m/s versus 0,15 m/s). - Bij gestapelde optimalisaties (GLN8) voldoet de dwarsstroming bij de instroom (0,11 m/s versus 0,3 m/s), maar voldoet niet bij de uitstroom (0,23 m/s versus 0,15 m/s).	Er is dus wel een verbetering gerealiseerd ten aanzien van GLN2, maar niet voldoende tot aan de norm. De variant GLN8 geeft het beste resultaat. De deelaflow bij het uitstroompunt in deze variant is 65 m ³ /s, waardoor bijna de norm van 0,3 m/s gaat gelden.
Dwarsstroming 10.000 m ³ /s te Lobith (T ≈ 15)	Bij een afvoer van 10.000 m ³ /s te Lobith is de debietflux > 50 m ³ /s en geldt de norm van 0,15 m/s.	De dwarsstroming bij GL2 bedraagt bij de instroom 0,20 m/s en bij de uitstroom 0,38 m/s.
	- Bij zomerkade (GLN7) voldoet de dwarsstroming niet bij de instroom (0,18 m/s), maar voldoet ook niet bij de uitstroom (0,37 m/s). - Bij toegangsweg (GLN6) voldoet de dwarsstroming niet bij de instroom (0,19 m/s), en voldoet niet bij de uitstroom (0,35 m/s). - Bij gestapelde optimalisaties (GLN8) voldoet de dwarsstroming net niet bij de instroom (0,17 m/s versus 0,15 m/s), maar voldoet ook niet bij de uitstroom (0,34 m/s versus 0,15 m/s).	Er is dus wel een verbetering gerealiseerd ten aanzien van GLN2, maar niet voldoende tot aan de norm. Echter deze afvoer komt zo relatief weinig voor dat mogelijke hinder beperkt is. Het beste resultaat wordt verkregen met variant GLN8.

De drempelafvoer is 8.000 m³/s te Lobith.

De algemene norm is maximaal 2.000 m³ sedimentatie over een traject van 4 km.

Bij behoud van zomerkade (GLN7) is de sedimentatie in de vaargeul berekent op 633 m³. De erosie is berekent op 124 m³. Bij 9.000 m³/s ontstaat waterstandsvaling.

Morfologie

Bij verhogen van de toegangsweg (GLN6) is de sedimentatie in de vaargeul berekent op 700 m³. De erosie is berekent op 600 m³. Bij 9.000 m³/s is nog steeds waterstandsverhoging merkbaar.

Bij de drie optimalisaties samen (GLN8) is de sedimentatie in de vaargeul berekent op 233 m³. De erosie is berekent op 718 m³. Bij 9.000 m³/s is nog steeds waterstandsverhoging merkbaar.

In GLN2 is de sedimentatie berekent op 2157 m³. De erosie is berekent op 149 m³.

Met de optimalisaties GLN7, GLN7 en GLN8 wordt de algemene norm gehaald. Er is nog niet getoetst aan de streef- en minimale diepte van de vaargeul.

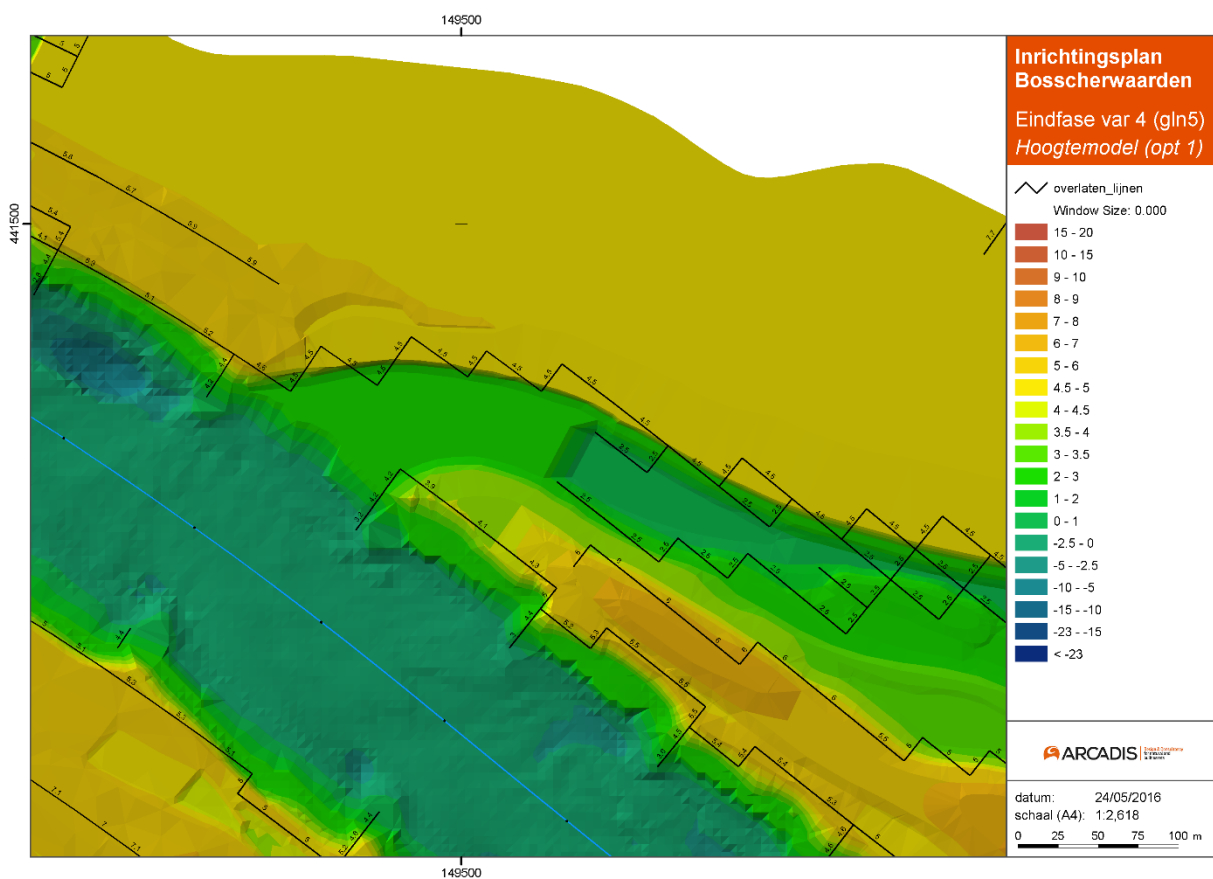
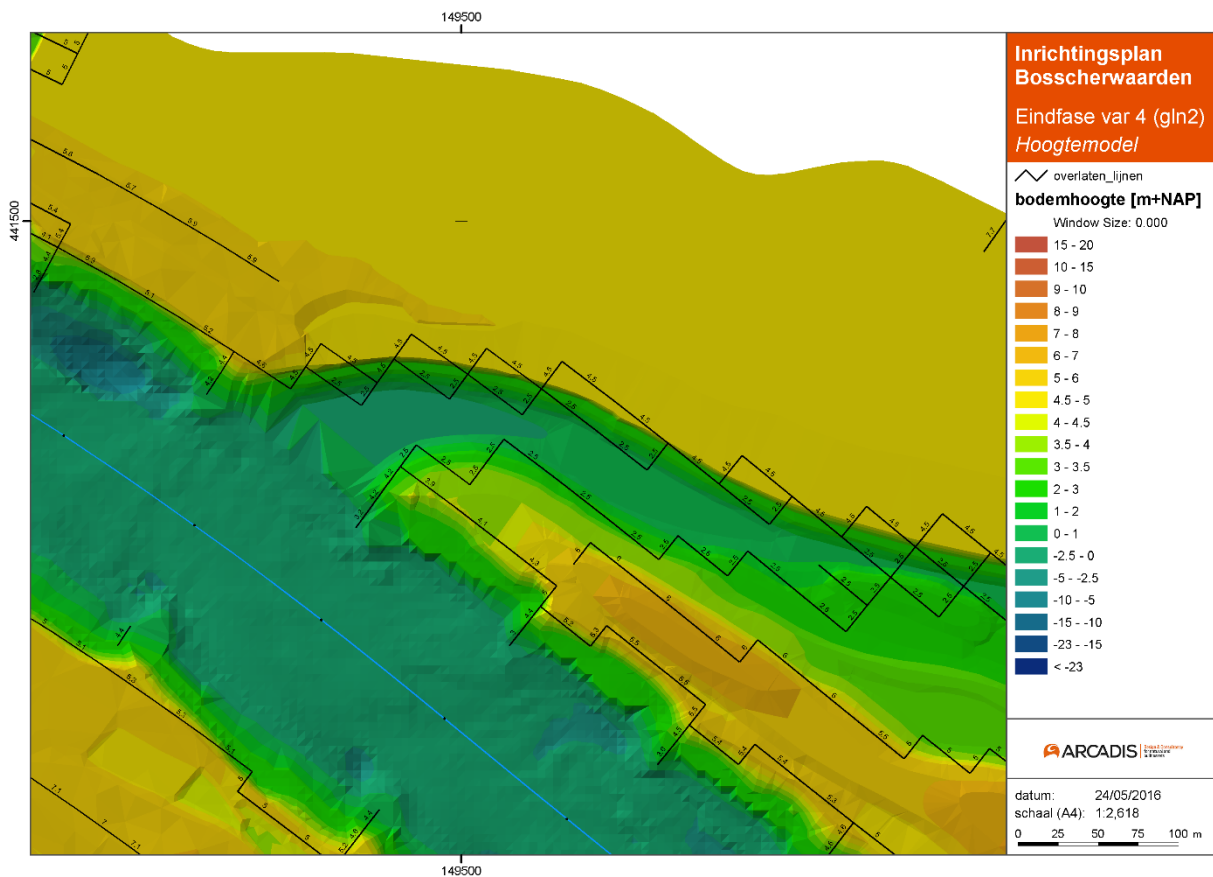
Het beste resultaat wordt behaald met GLN8.

5.2 Aanbevelingen

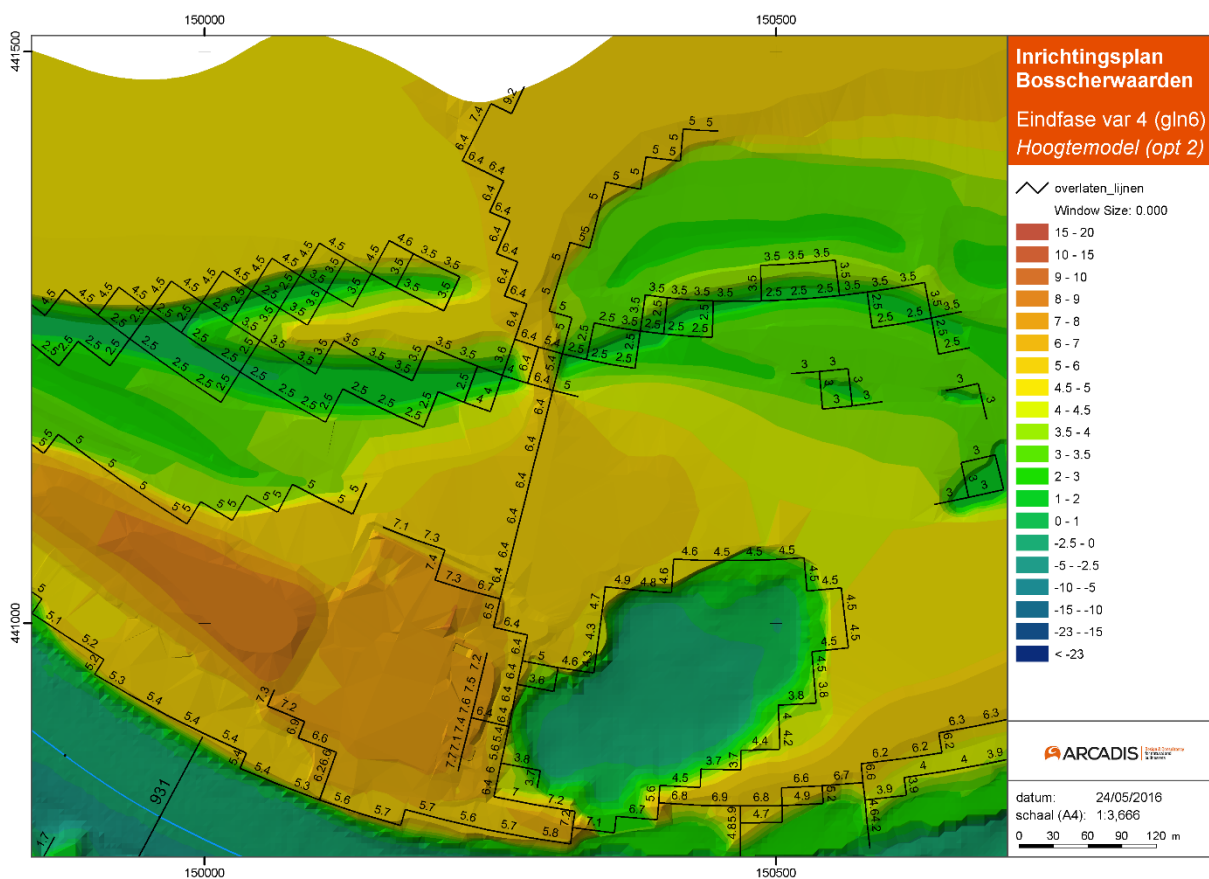
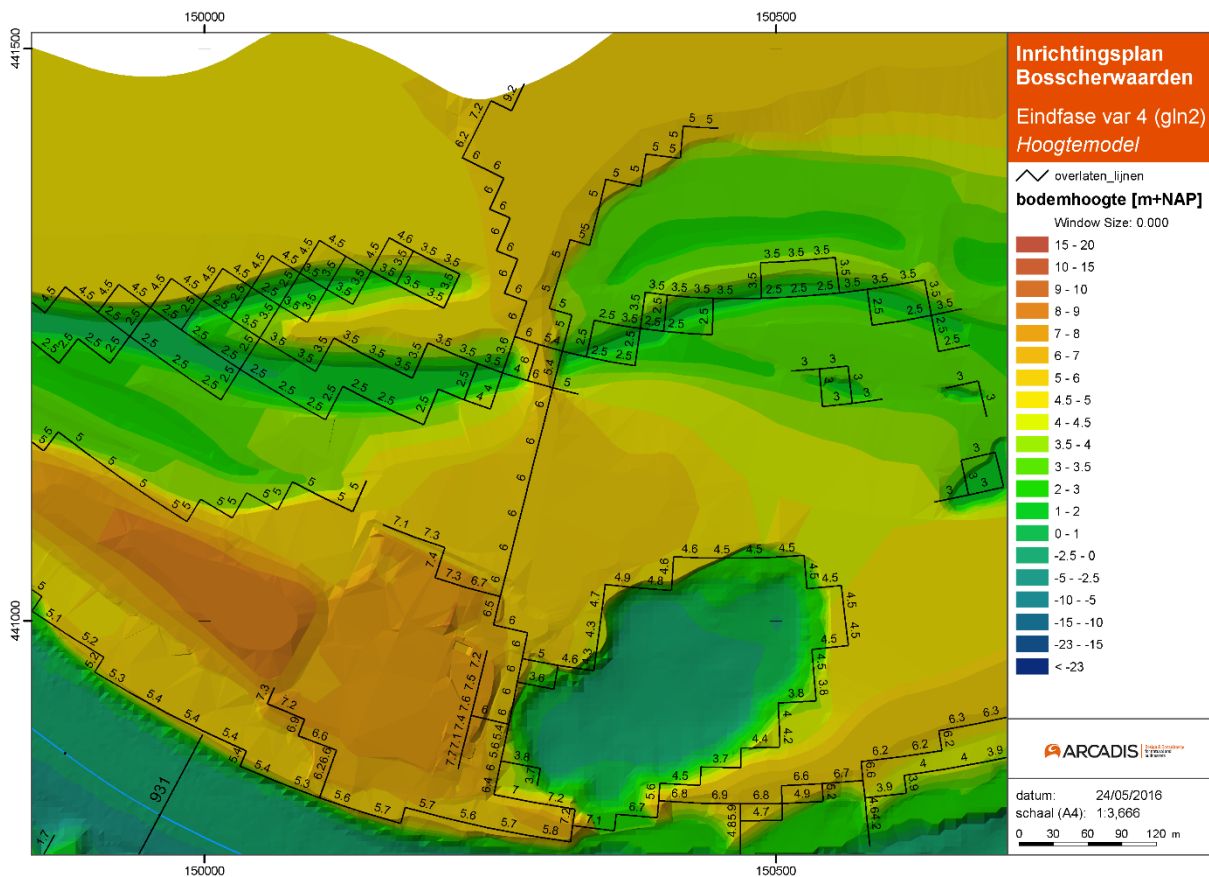
Voor de aspecten dwarsstroming en morfologie geeft de variant GLN8 het beste resultaat. Het is het overwegen waard om de benedenstroomse drempel niet op te nemen in het geoptimaliseerde eindontwerp GLN8. De benedenstroomse drempel heeft nagenoeg geen effect op de dwarsstroming en morfologie, slechts alleen op de zogenaamde zaagtandeffect. Hiermee blijft het specifieke ontwerp / contour van de geul zoveel mogelijk intact met het oorspronkelijke ontwerp. Hierdoor blijven er diepere en ondiepere delen bestaan in de geul en is positief voor de ecologie. Om de dwarsstroming verder te reduceren dient de aanbeveling om de toegangsweg verder te verhogen naar 6,55 m+NAP en correspondeert met een drempelafvoer van 8.500 m³/s te Lobith. Uit de resultaten van variant GLN4 is gebleken dat verdere verhoging van de toegangsweg tot een te grote opstuwing leidt.

BIJLAGE A : OPTIMALISATIES

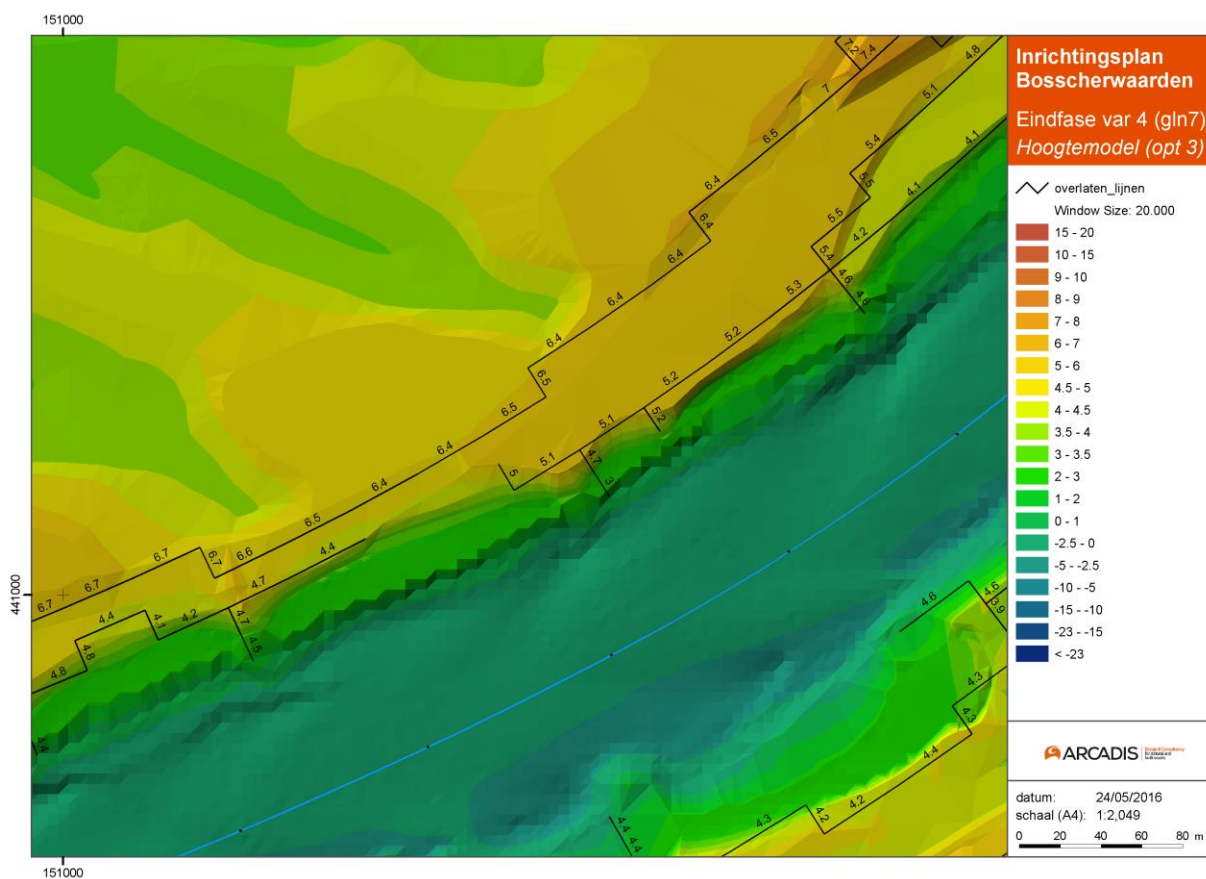
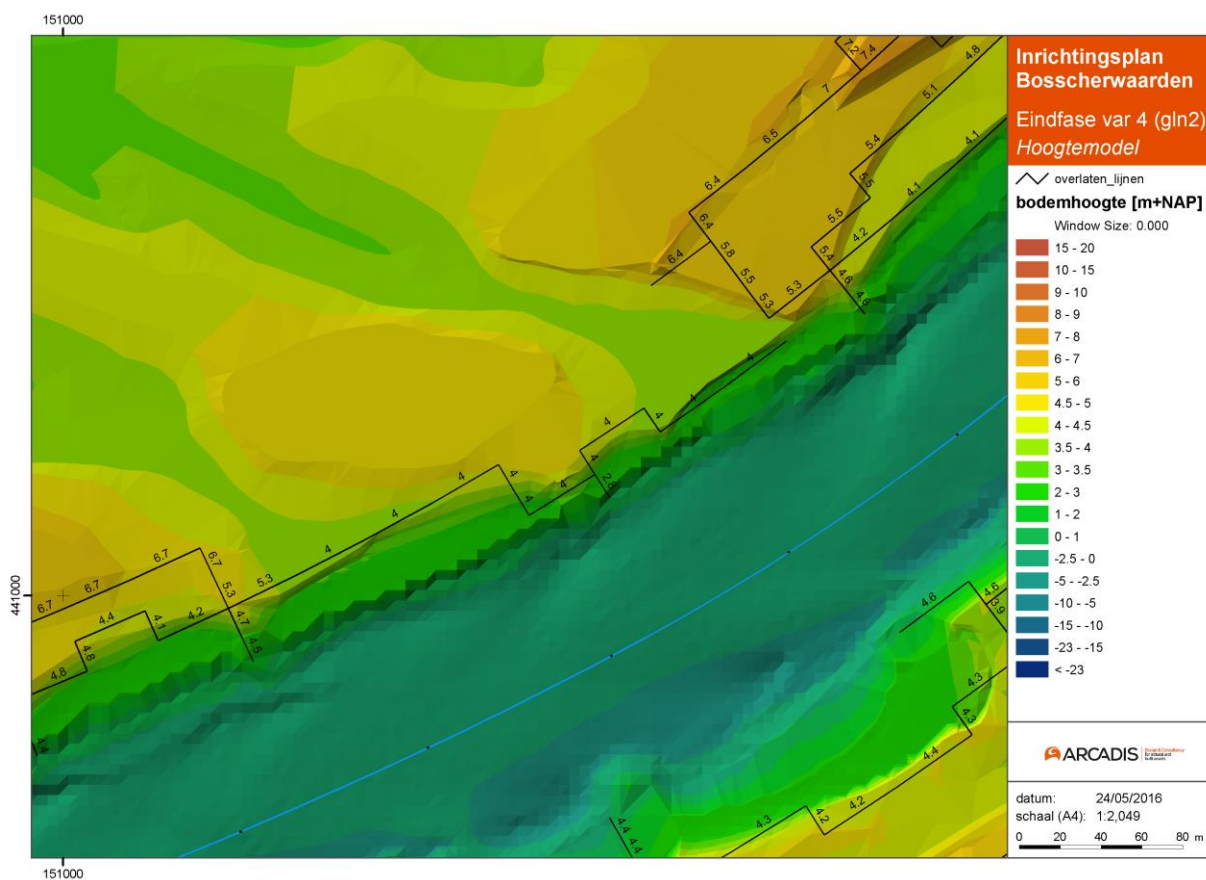
Optimalisatie: benedenstroomse drempel (GLN5)



Optimalisatie: ophogen toegangsweg (GLN6)

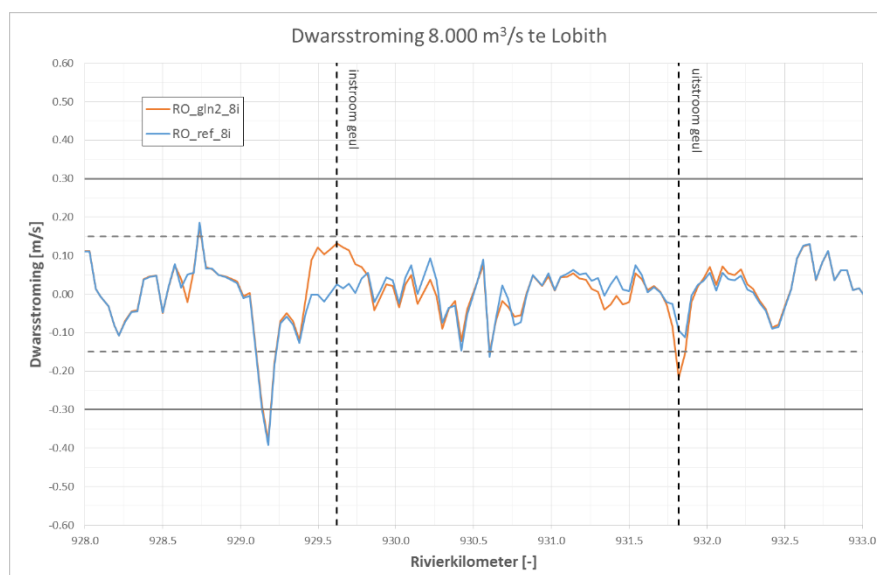
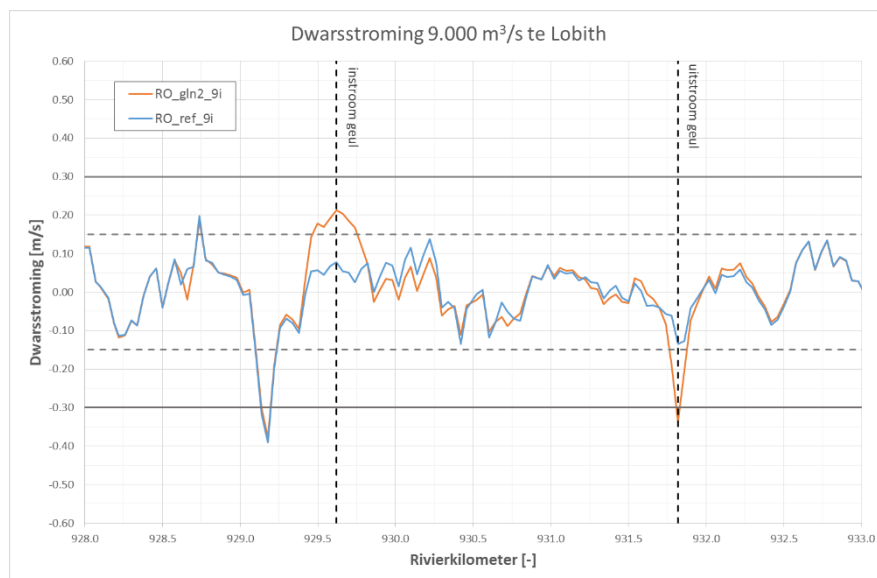
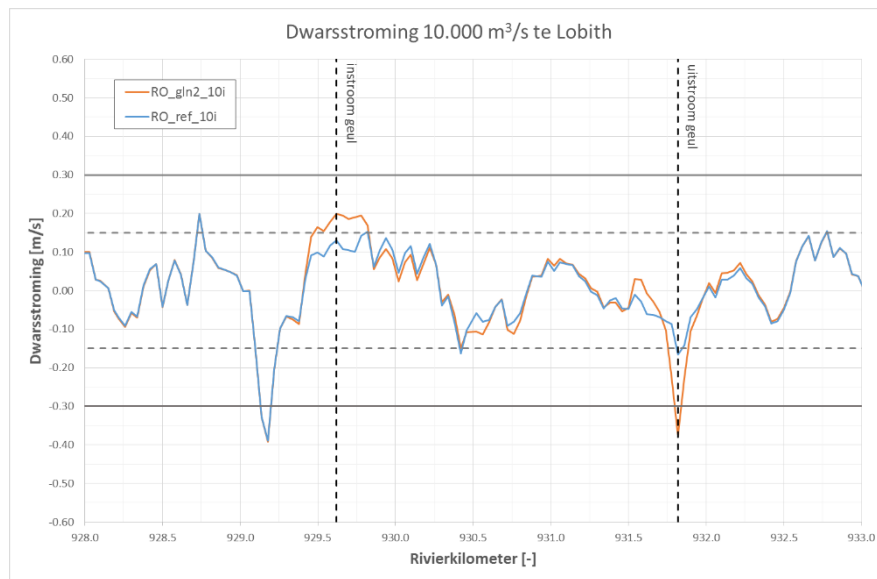


Optimalisatie: behoud zomerkade bij instroompunt geul

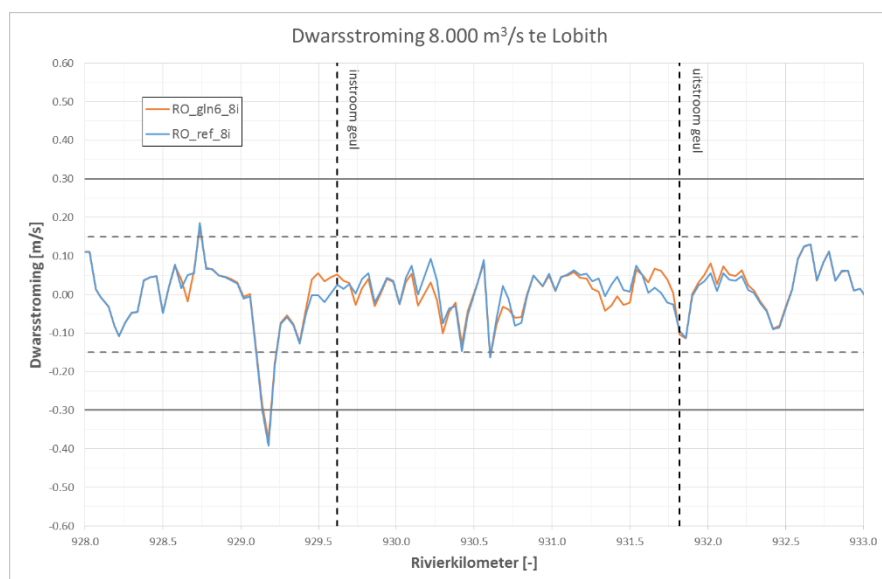
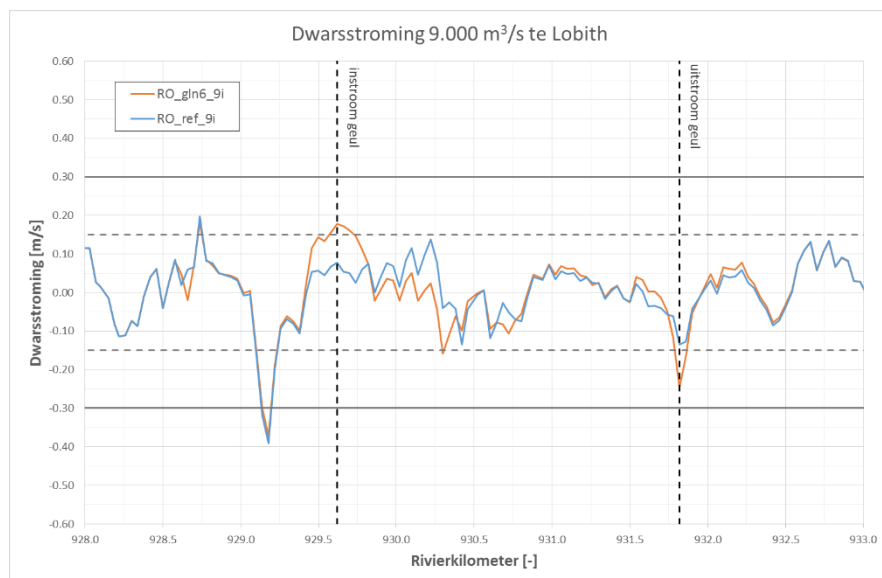
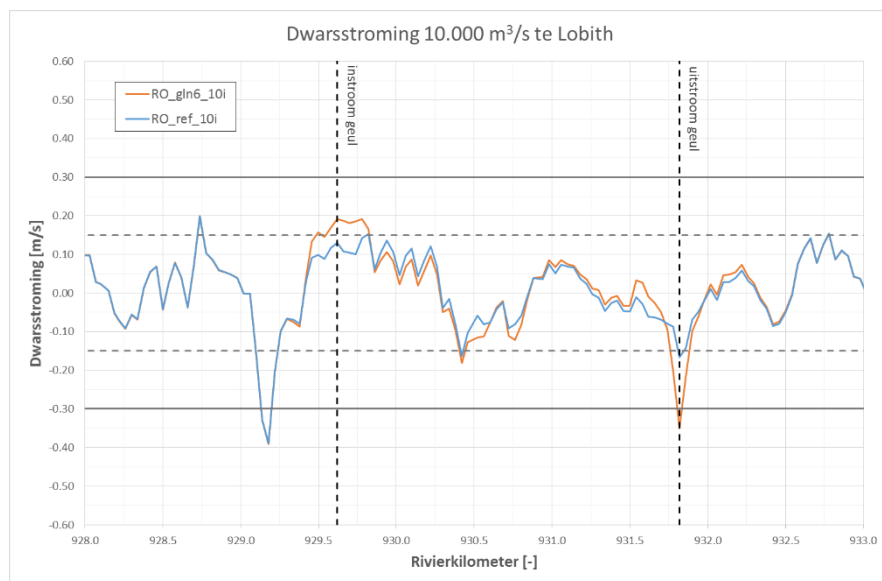


BIJLAGE B DWARSSTROMING

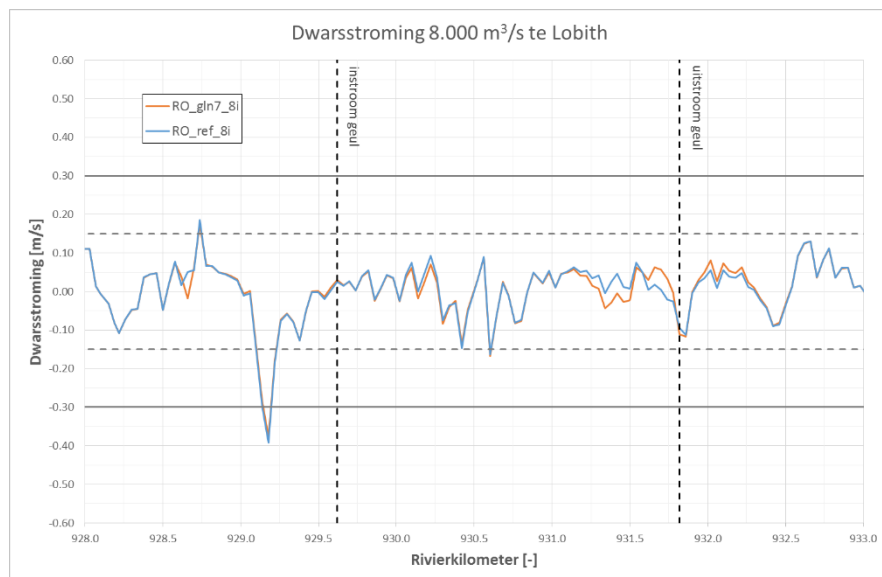
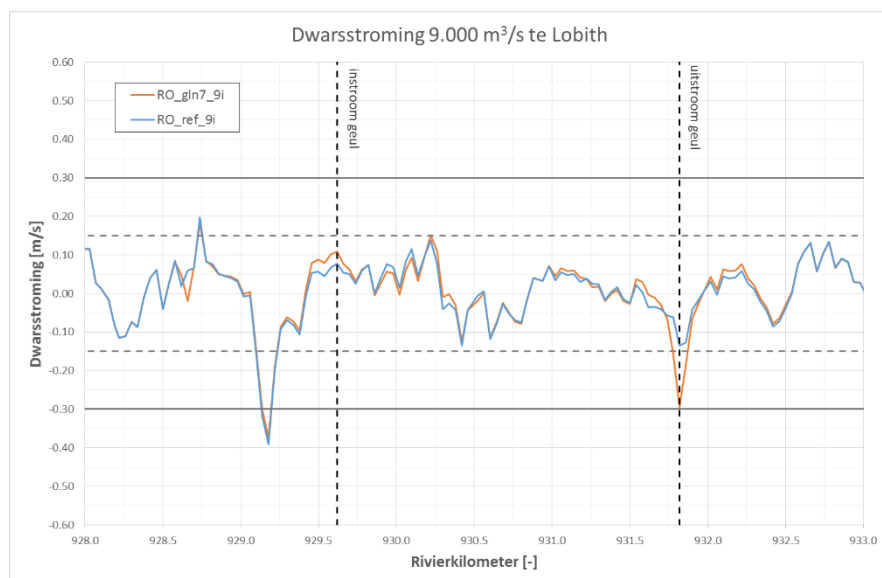
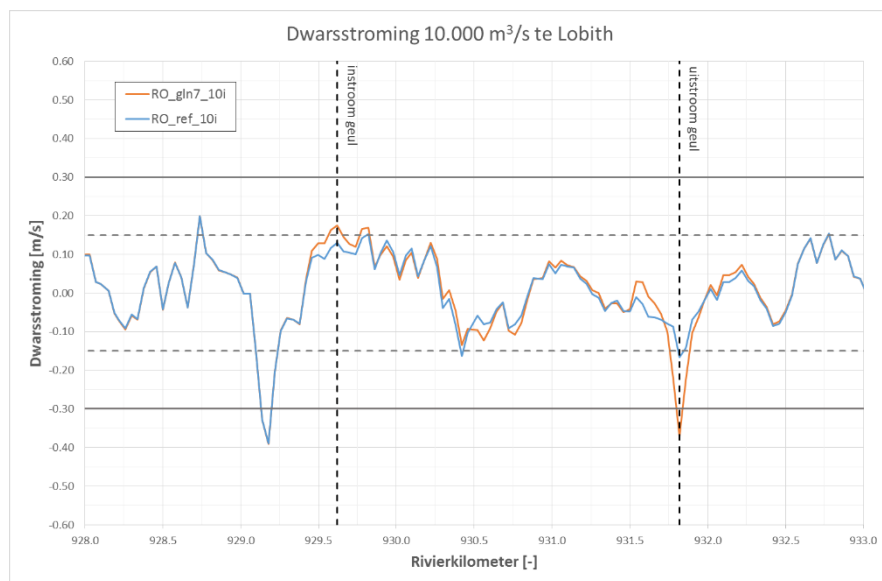
GLN2:



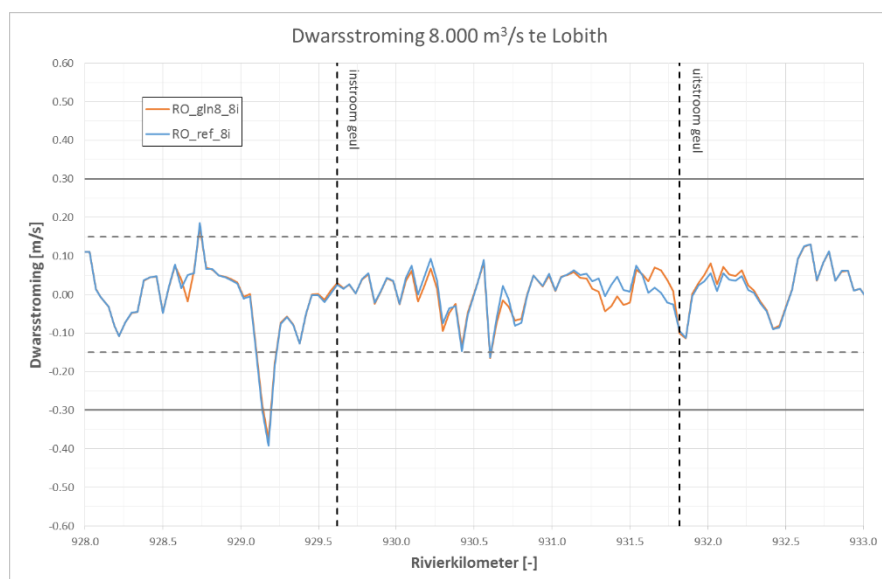
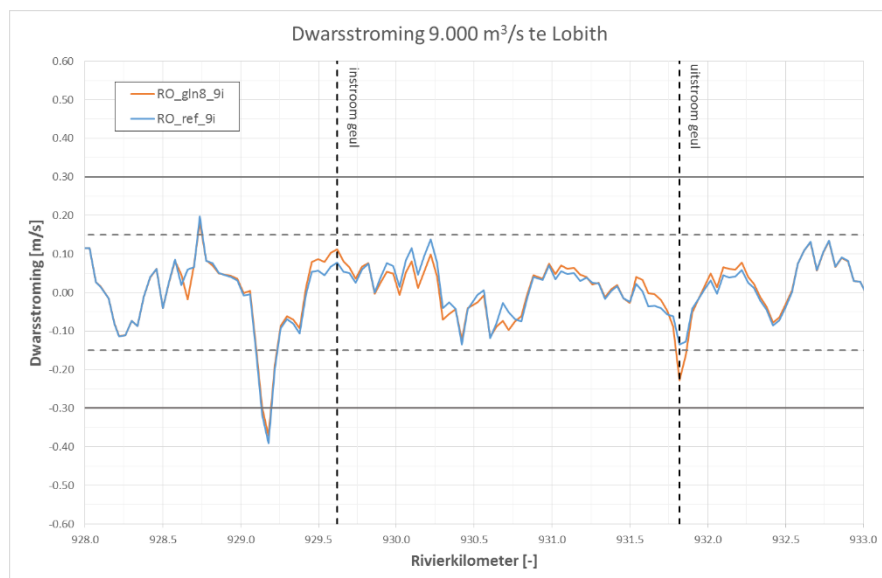
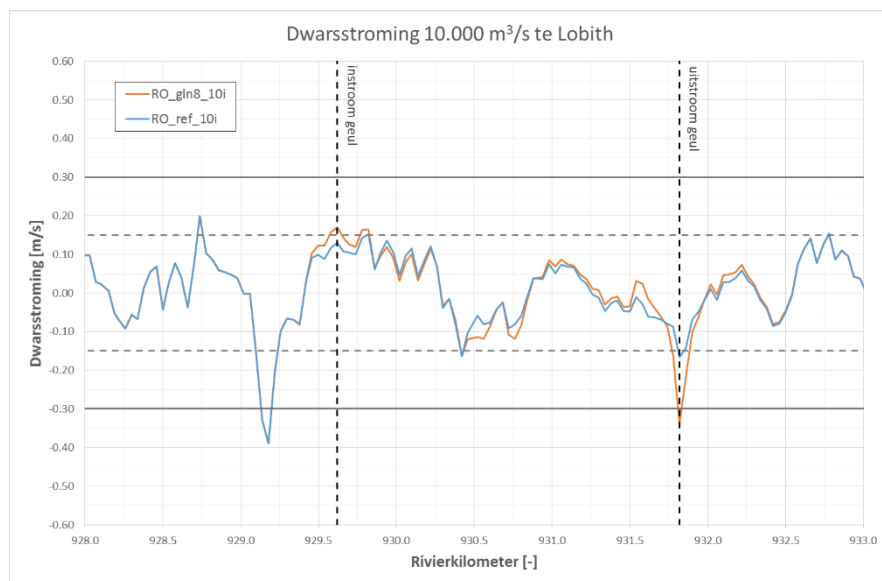
GLN6:



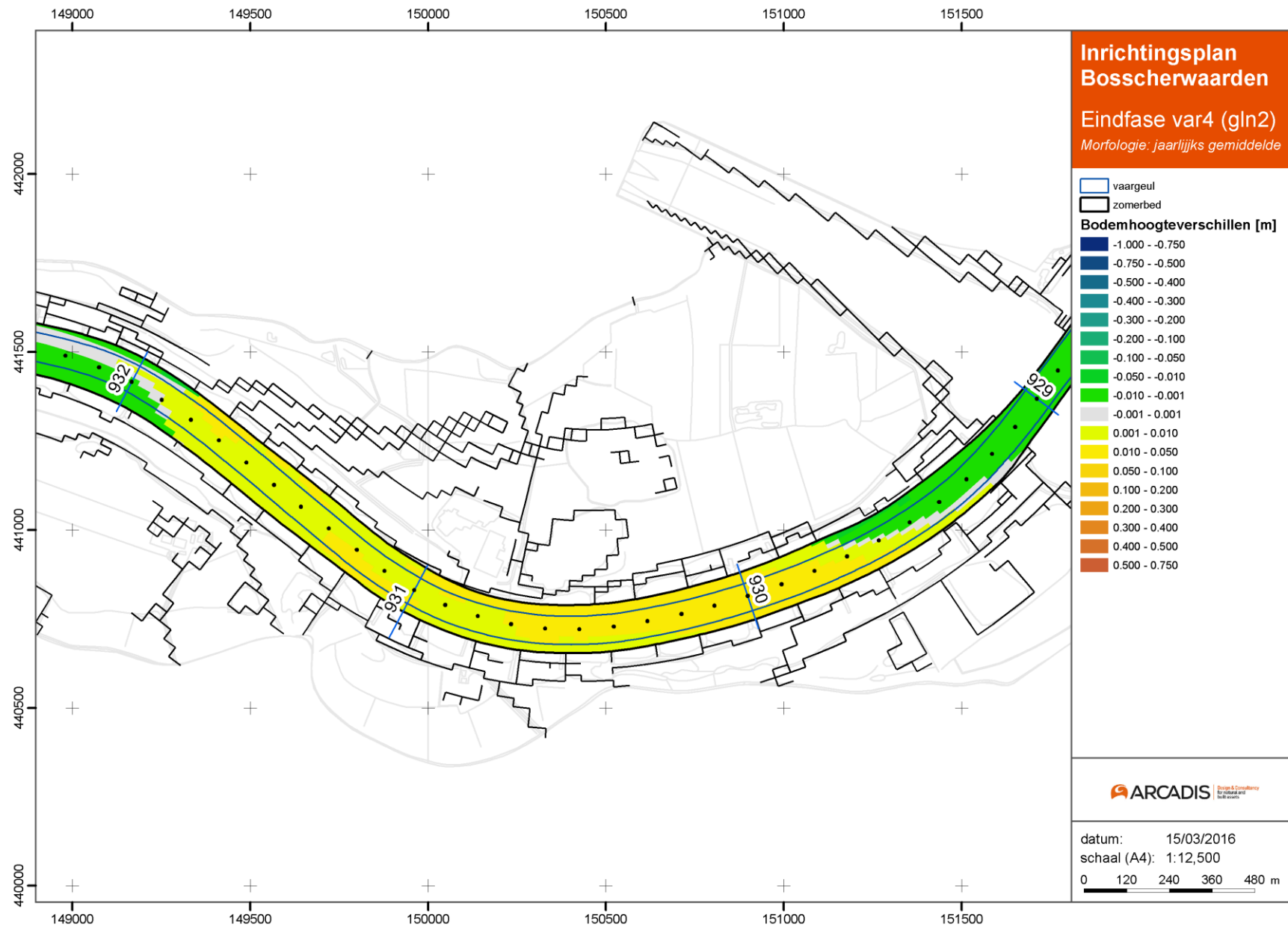
GLN7:

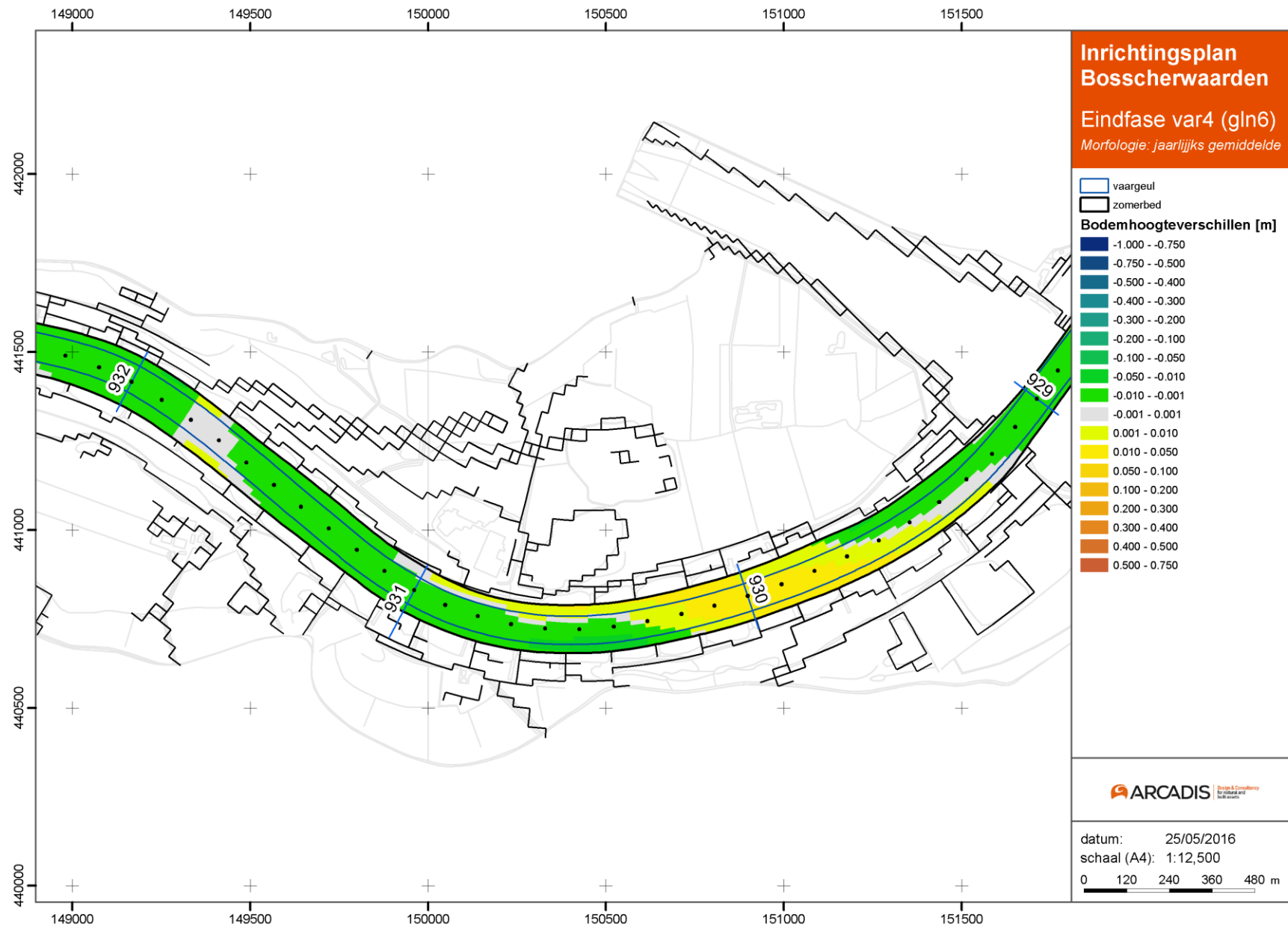


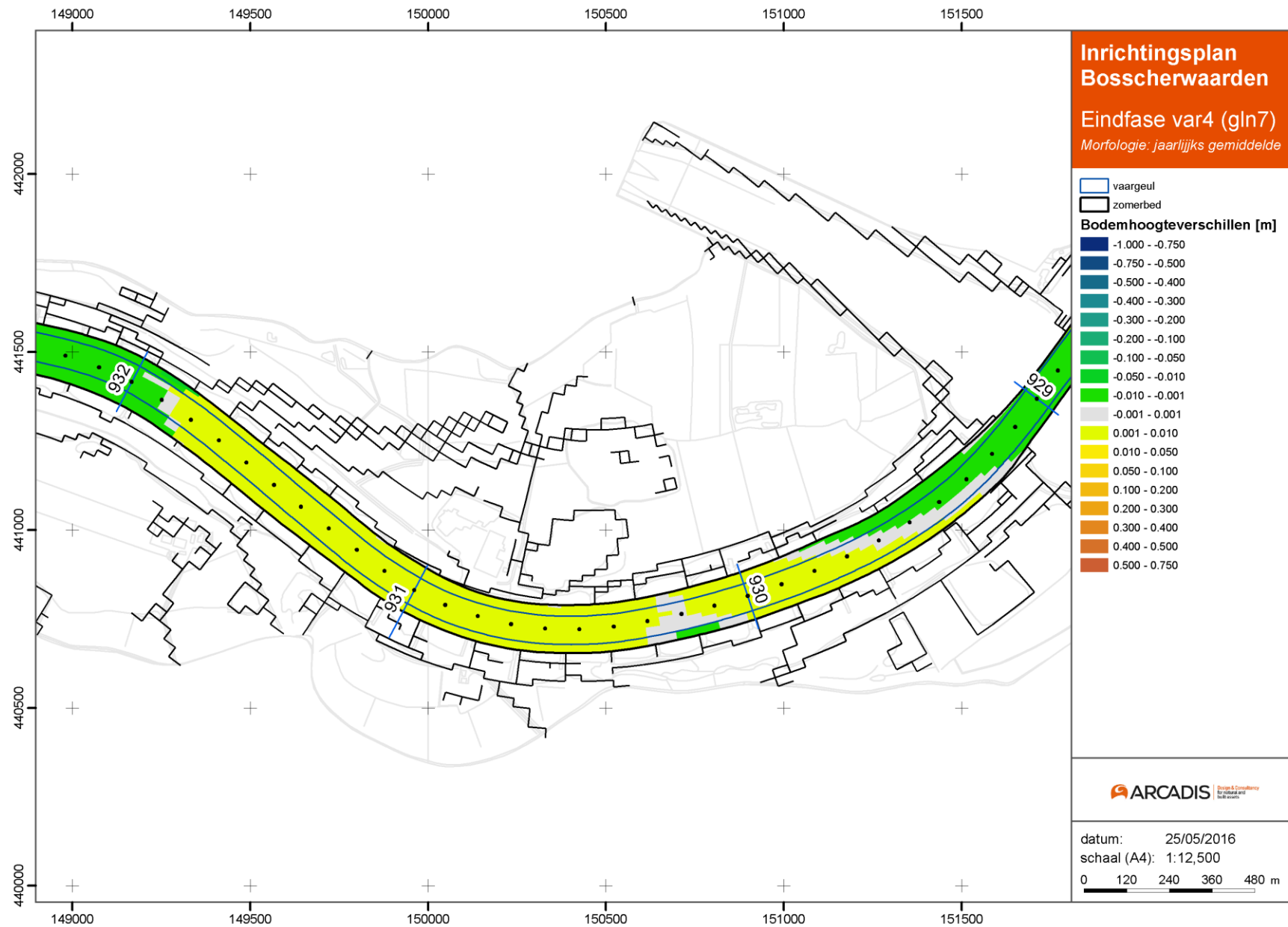
GLN8:

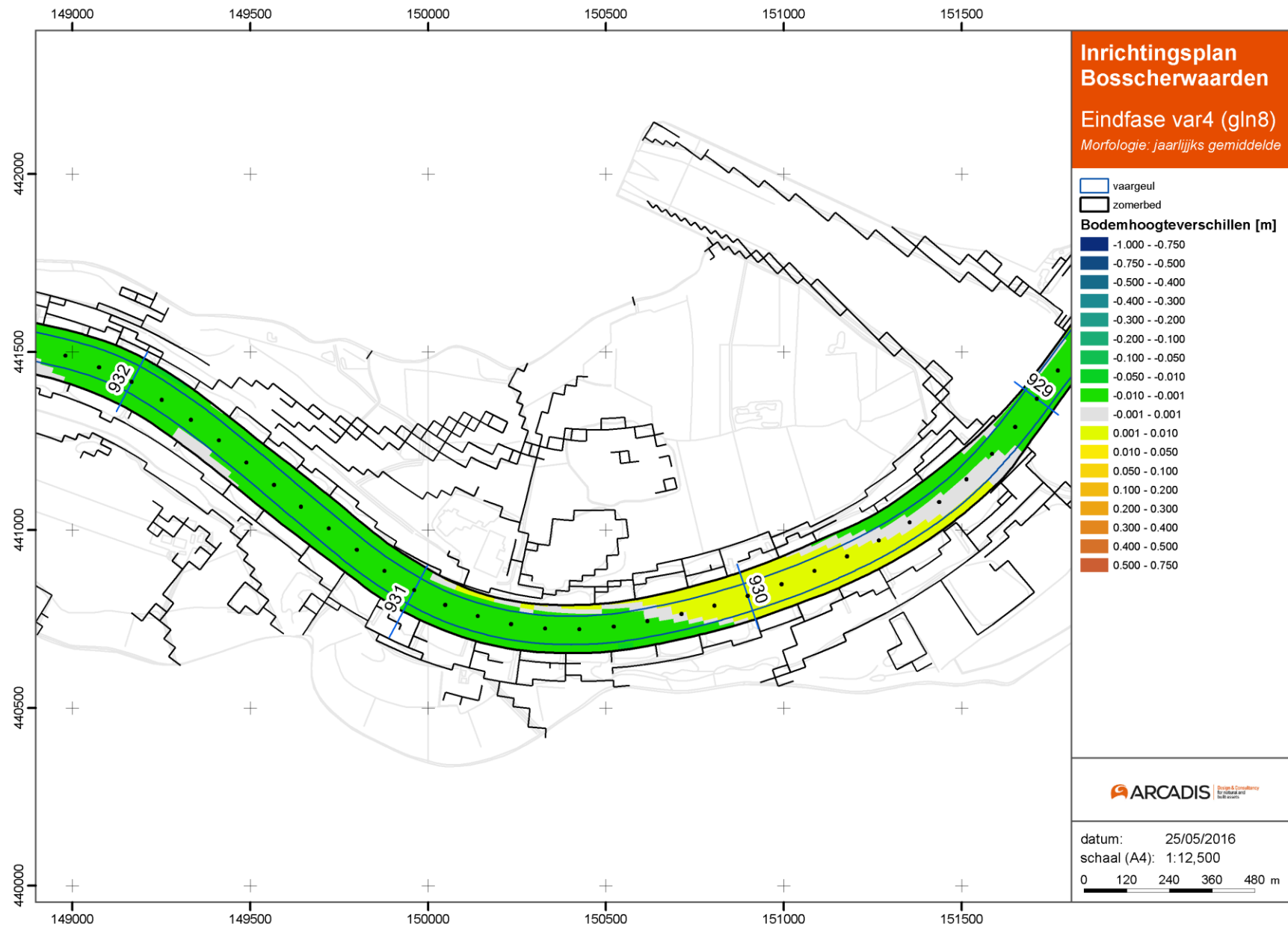


BIJLAGE C MORFOLGIE









Arcadis Nederland B.V.

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

www.arcadis.com

Projectnummer: C01023.000351.0300
Onze referentie: 078959976 0.8