

INRICHTINGSPLAN BOSSCHERWAARDEN: DEFINITIEF

Rivierkundige optimalisaties: uitvoeringsfase beide putten
open (UFWO)

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

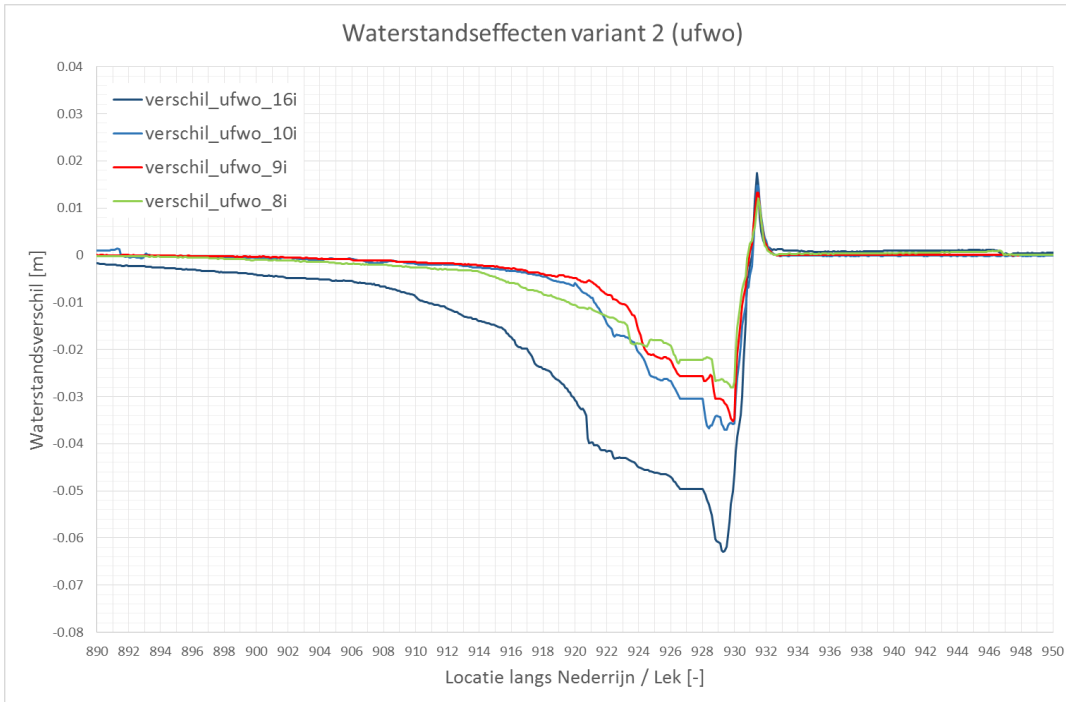
Arcadis Nederland B.V.
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
2	RIVIERKUNDIGE OPTIMALISATIES: WATERSTANDEN	5
2.1	Waterstandseffecten bij verhogen van de toegangsweg	5
2.2	Versmalling van de invaarten	7
3	RIVIERKUNDIGE OPTIMALISATIES: DWARSSTROMING	9
4	RIVIERKUNDIGE OPTIMALISATIES: MORFOLOGIE	11
5	CONCLUSIES & AANBEVLINGEN	12
5.1	Conclusies	12
5.2	Aanbevelingen	13

1 INLEIDING

Het oorspronkelijke ontwerp van de uitvoeringsfase “beide putten open” (UFWO) levert een waterstands­daling van 63,0 mm op de as van de rivier. De waterstands­verhoging bedraagt 17,5 mm (zie Figuur 1). Uitgedrukt in oppervlakte is de verhouding 98,6 (zie Tabel 1). Echter deze variant levert nog nadelige effecten op 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.



Figuur 1: Waterstandseffecten op de as van de rivier in het oorspronkelijke ontwerp van de uitvoeringsfase met “beide putten open” (UFWO)

2 RIVIERKUNDIGE OPTIMALISATIES: WATERSTANDEN

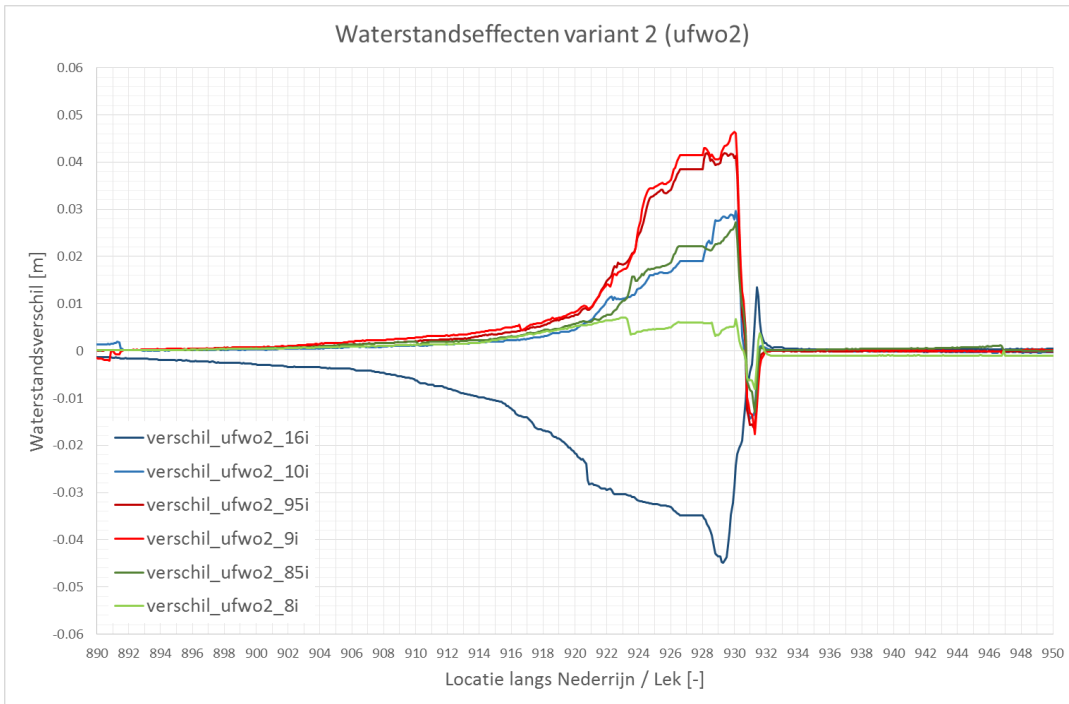
Om de rivierkundige effecten van UFWO te reduceren zijn er een tweetal type optimalisaties uitgevoerd:

- Ophogen van de toegangsweg:
 - 6,75 m +NAP ($\approx 9.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith): variant UFWO2
 - 6,40 m+NAP ($\approx 8.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith): variant UFWO1
- Smallere invaart: variant UFWO3

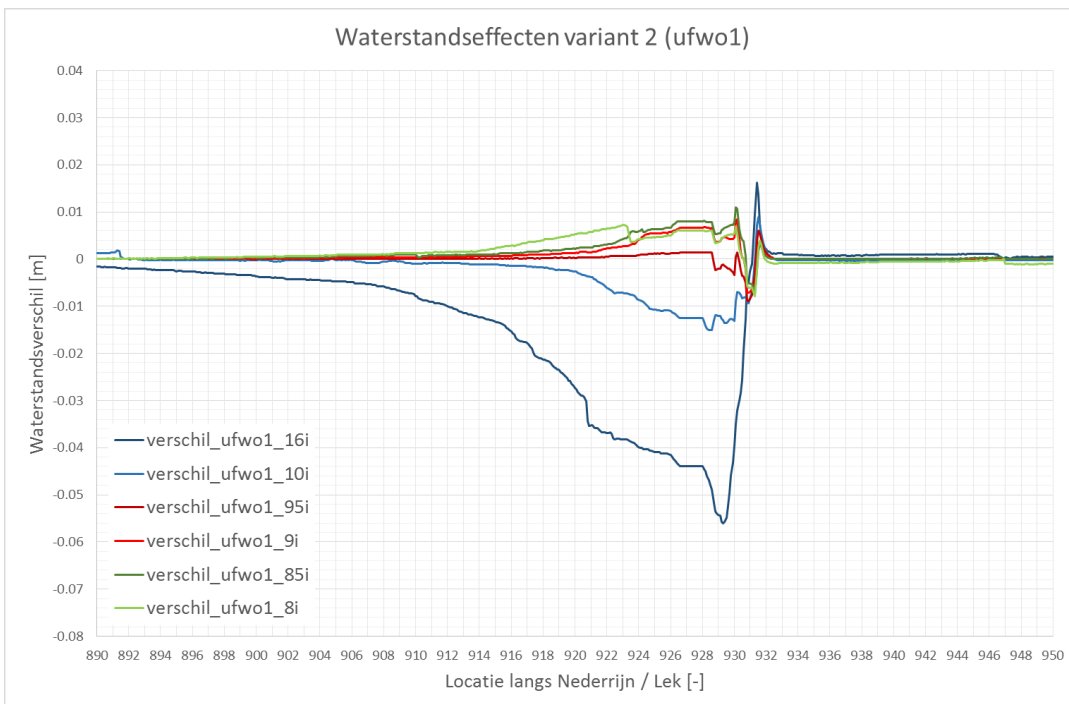
Bovenstaande optimalisaties zijn individueel doorgerekend op het oorspronkelijke ontwerp van de uitvoeringsfase “beide putten open” (UFWO). De waterstandseffecten op de as van de rivier zijn getoond in paragrafen 2.1 - 2.2. Een overzicht van de effecten is weergegeven in Tabel 1. De geometrie van deze optimalisaties (UFWO1, UFWO2 en UFWO3) zijn weergegeven in Bijlage A.

2.1 Waterstandseffecten bij verhogen van de toegangsweg

De toegangsweg op 6,75 m+NAP (UFWO2) levert bij relatieve hoge afvoeren een aanzienlijke opstuwning (Figuur 2). De opstuwning is maximaal bij een afvoer van $9.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith en bedraagt 4,6 cm. De toegangsweg op 6,40 (UFWO1) levert een beperkte opstuwning en is vrijwel beperkt tot 1 cm (Figuur 3). Het grote voordeel, ten aanzien van het oorspronkelijke ontwerp van de uitvoeringsfase (UFWO), 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 (UFWO1) levert bij MHW nog een waterstandsvaling van 56,0 mm op de as van de rivier. De waterstandsverhoging bedraagt maximaal 16,2 mm. Uitgedrukt in oppervlakte is de verhouding 94,9 (zie Tabel 1).



Figuur 2: Waterstandseffecten op de as van de rivier in het oorspronkelijke ontwerp van de uitvoeringsfase “beide putten open” met de verhoging van de toegangsweg naar 6,75 m+NAP (UFWO2)

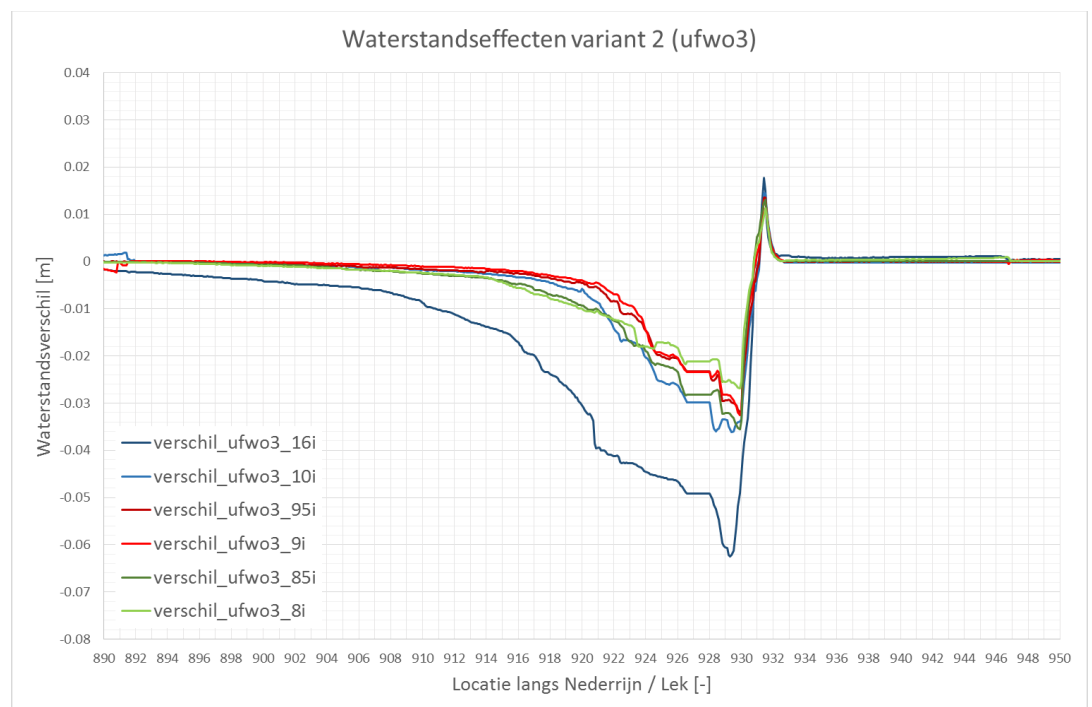


Figuur 3: Waterstandseffecten op de as van de rivier in het oorspronkelijke ontwerp van de uitvoeringsfase “beide putten open” met de verhoging van de toegangsweg naar 6,40 m+NAP (UFWO1)

2.2 Versmalling van de invaarten

Het is belangrijk om op te merken dat hier de versmalling van de invaart bedoeld is om het doorstroomoppervlak van de invaart uit CAD-ontwerp min of meer gelijk te maken met het doorstroomoppervlak in WAQUA (bakjesmodel), zie ook Bijlage A.

Het oorspronkelijke ontwerp aanvullend met smallere invaarten (UFWO3) levert bij een MHW-situatie een waterstandsval van 62,4 mm op de as van de rivier. De waterstandsverhoging bedraagt 17,7 mm (zie Figuur 4). Uitgedrukt in oppervlakte is de verhouding 105,5 (zie Tabel 1). De waterstandseffecten zijn min of meer vergelijkbaar met het oorspronkelijke ontwerp (UFWO), echter het doel van deze optimalisatie is het reduceren van de dwarsstroming.



Figuur 4: Waterstandseffecten op de as van de rivier in het oorspronkelijke eindontwerp "agrarisch" met smallere invaarten (UFWO3).

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 [-]
UFWO	Oorspronkelijk ontwerp met beide putten open	63,0	753,02 m ²	17,5	7,64	98,6
UFWO1	Ophogen toegangsweg naar 6,40 m+NAP	56,0	664,14 m ²	16,2	7,00	94,9
UFWO2	Ophogen toegangsweg naar 6,75 m+NAP	44,9	525,41 m ²	13,5	4,98	105,5
UFWO3	Smallere invaarten naar de zandwinputten	62,5	745,86 m ²	17,7	7.86	94,9

3 RIVIERKUNDIGE OPTIMALISATIES: DWARSTROMING

In Tabel 2 en Tabel 3 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 invaarten bij de zandwinputten (de meest kritische locaties voor 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 invaart van de tijdelijke zandwinputten (max. twee rekencellen in WAQUA).

Bij een afvoer van 8.000 m³/s is de debietflux bij het oorspronkelijke ontwerp (UFWO) groter dan 50 m³/s en wordt de norm van 0,15 m/s bij de invaart van de oostelijke zandwinput overschreden. Door het ophogen van de toegangsweg neemt de dwarsstroming bij de oostelijke invaart af tot beneden de 0,15 m/s. Daarentegen neemt de dwarsstroming bij de invaart bij de westelijke zandwinput juist toe. Dit heeft te maken doordat de waterstanden benedenstrooms van de verhoogde toegangsweg afnemen, waardoor de stroming van de hoofdgeul naar de uiterwaard op dit deel van de uiterwaard juist toeneemt. De toename in dwarsstroming ten aanzien van het oorspronkelijke ontwerp UFWO bedraagt 0,08 m/s.

Bij een afvoer van 9.000 m³/s is de debietflux bij het oorspronkelijke ontwerp (UFWO) groter dan 50 m³/s en wordt de norm van 0,15 m/s bij de invaart van de oostelijke zandwinput significant overschreden. Door het ophogen van de toegangsweg neemt de dwarsstroming bij de oostelijke invaart af. Bij UWFO1 neemt deze af tot 0,17 m/s en wordt de norm van 0,15 lichtelijk overschreden. Bij UFWO2 neemt deze af tot 0,07 m/s. Bij de westelijke invaart neemt de dwarsstroming juist weer lichtelijk toe. Bij UFWO1 voldoet de westelijke put aan de norm en blijft beneden de 0,15 m/s. Bij UFWO2 is de dwarsstroming gelijk aan 0,19 m/s en wordt de norm van 0,15 m/s lichtelijk overschreden.

Bij een afvoer van 10.000 m³/s is de debietflux bij het oorspronkelijke ontwerp (UFWO) groter dan 50 m³/s en wordt de norm van 0,15 m/s bij de invaart van de oostelijke zandwinput wederom significant overschreden. Door het ophogen van de toegangsweg neemt de dwarsstroming bij de oostelijke invaart af. Bij UWFO1 neemt deze af tot 0,22 m/s en wordt de norm van 0,15 lichtelijk overschreden. Bij UFWO2 is deze ook gelijk aan 0,22 m/s maar geldt de norm van 0,30 m/s (debietflux ≈ 50 m³/s). Bij de westelijke invaart van de zandwinput neemt de dwarsstroming nu ook af ten aanzien van het oorspronkelijke ontwerp UFWO. Bij UFWO1 en UFWO2 blijft de dwarsstroming beneden de 0,15 m/s.

Met UFWO3 (versmalling van invaart) blijft de dwarsstroming kritisch bij de oostelijke invaart van zandwinput. Dit duidt erop dat het onoverkomelijk is om de toegangsweg alsmede op te hogen. Bij hogere afvoeren neemt de dwarsstroming bij UFWO3 wel af ten aanzien van het oorspronkelijke ontwerp UFWO.

Door het ophogen van de toegangsweg neemt de dwarsstroming wel juist toe bij de westelijke invaart van de zandwinput. Om deze reden is het aan te bevelen om de optimalisaties UFWO1 en UFWO3 gestapeld door te rekenen.

Tabel 2: Dwarsstroomeffecten bij de oostelijke invaart van zandwininput

	put oost [930,06 - 930,10] = 2 waqua cellen = 2 waqua cellen = 100 m = deelafvoer									
afvoer te Lobith [m3/s]	REF		UFWO		UFWO1		UFWO2		UFWO3	
	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m3/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m3/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m3/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m3/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m3/s]
8000	0,07	n.v.t.	0.21		0.08	7	0.08	7	0.24	122
9000	0,11	n.v.t.	0.30		0.17	70	0.07	0	0.29	198
10000	0,11	n.v.t.	0.27		0.22	104	0.14	53	0.19	158

Tabel 3: Dwarsstroomeffecten bij de westelijke invaart van zandwininput

	put west [931,42 - 931,46]: 2 WAQUA cellen = 100 m = deelafvoer									
afvoer te Lobith [m3/s]	REF		UFWO		UFWO1		UFWO2		UFWO3	
	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m3/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m3/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m3/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m3/s]	dwarsstroom [m/s]	deelafvoer [m3/s]
8000	0,05		0.11		0.19	129	0.19	129	0.11	50
9000	0,02		-0.09		0.12	85	0.19	148	-0.08	1
10000	0,05		-0.17		-0.10	24	0.12	99	-0.15	43

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 de varianten (UFWO en UFWO1) 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 (zie Tabel 4). Voor de variant UFWO2 (drempelhoogte 6,75 m+NAP) ligt de drempelafvoer om nabij 9.000 m³/s. Hierdoor bedraagt de afvoer van de hoogwaterblok 10.000 m³/s te Lobith (zie Tabel 5).

In Tabel 6 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 (UFWO en UFWO1)

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: Afvoeren gebruikt voor WAQMORF (UFWO2)

Afvoer	Definitie afvoer	Afvoer bij Lobith [m ³ /s]	Toelichting
Q1	Drempelafvoer	9.000	De afvoer waarbij de ingreep een hydraulisch begint te vertonen.
Q3	Afvoer hoogwaterblok	10.000	De afvoer die gevraagd wordt door WAQMORF op basis van de drempelafvoer

Tabel 6: Morfologische effecten binnen de vaargeul tussen kilometers 929 - 933

Aspect		Volume	Volume	Volume
		Variant UFWO [m ³]	Variant UFWO1 [m ³]	Variant UFWO2 [m ³]
Jaarlijks gemiddelde	Vaargeul-Sedimentatie	2.342	230	132
	Vaargeul-Erosie	250	442	815

5 CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

Onderstaand volgen de conclusies en aanbevelingen.

5.1 Conclusies

Tabel 7: Overzicht conclusies

Aspect	Beschrijving effecten	Voorlopige conclusie
Benedenstrooms piekje	In alle varianten is de max. waterstandsvaling minimaal op de as van de rivier een factor 3 groter dan de max. waterstandsverhoging. In oppervlaktes is de verhouding in alle varianten groter dan 90.	In het algemeen voldoet dit punt aan het RBK. Op basis hiervan is geen afweging mogelijk tussen optimalisaties op basis van de RBK-criteria.
Dwarsstroming 8.000 m ³ /s te Lobith (T ≈ 4)	In het oorspronkelijk ontwerp "UFWO" wordt er niet voldaan aan de norm van 0,15 m/s bij de oostelijke invaart van de zandwinput. De overschrijding is 0,06 m/s. Bij de westelijke invaart van de zandwinput wordt er wel voldaan aan de norm van 0,15 m/s. Bij verhogen van de toegangsweg (UFWO1 en UFWO2) neemt de dwarsstroming bij de oostelijke invaart af beneden de 0,15 m/s. Bij de westelijke invaart neemt de dwarsstroming juist toe tot 0,19 m/s en voldoet dus niet aan de norm van 0,15 m/s. De overschrijding is 0,04 m/s.	De overschrijding van de dwarsstroming verplaatst zich van de oostelijke invaart naar de westelijke invaart. Dit heeft te maken doordat de waterstanden in het westelijk deel van de uiterwaard afnemen als gevolg van de verhoogde toegangsweg. De overschrijding bij UFWO1 en UFWO2 is wel kleiner dan bij UFWO.
Dwarsstroming 9.000 m ³ /s te Lobith (T ≈ 8)	In het oorspronkelijk ontwerp "UFWO" wordt er niet voldaan aan de norm van 0,15 m/s bij de oostelijke invaart van de zandwinput. De overschrijding is 0,15 m/s. Bij de westelijke invaart van de zandwinput is de dwarsstroming kleiner dan 0,15 m/s. Bij UFWO1 is de dwarsstroming 0,17 m/s bij de oostelijke invaart en wordt de norm van 0,15 m/s lichtelijk overschreden met 0,02 m/s. De debietflux is dan 70 m ³ /s waardoor bijna de norm van 0,3m/s gaat gelden. Bij de westelijke invaart is deze beneden de norm van 0,15 m/s. Bij UFWO2 is dwarsstroming bij de oostelijke invaart kleiner dan 0,15 ms/s en voldoet hiermee aan de norm. Bij de westelijke invaart is de dwarsstroming gelijk aan 0,19 en voldoet hiermee niet aan de norm van 0,15 m/s. De overschrijding is 0,04 m/s.	De overschrijding van de dwarsstroming verplaatst zich van de oostelijke invaart naar de westelijke invaart. De overschrijding van de dwarsstromingsnorm is het kleinst bij UFWO1.
Dwarsstroming 10.0000 m ³ /s te Lobith (T ≈ 15)	In het oorspronkelijk ontwerp "UFWO" wordt er niet voldaan aan de norm van 0,15 m/s bij de oostelijke invaart van de zandwinput. De overschrijding is 0,12 m/s. Bij de westelijke invaart wordt de norm van 0,15 m/s ook overschreden. De overschrijding is 0,02 m/s. Bij UFWO1 is de dwarsstroming 0,22 m/s bij de oostelijke invaart en wordt de norm van 0,15 m/s overschreden. De overschrijding is 0,07 m/s. Bij de westelijke invaart is de dwarsstroming kleiner dan 0,15 m/s. Bij UFWO2 is de dwarsstroming 0,22 m/s (debietflux 53 m ³ /s) en wordt de norm van 0,15 m/s overschreden, maar is kleiner	Het verhogen van de toegangsweg reduceert de dwarsstroming bij de oostelijke en westelijke invaart ten aanzien van UFWO. UFWO2 voldoet bij deze afvoer lichtelijk beter dan UFWO1.

dan de norm van 0,3 m/s bij lage debietfluxen. Bij de westelijke invaart is de dwarsstroming kleiner dan 0,15 m/s.

	De algemene norm is maximaal 2.000 m ³ sedimentatie over een traject van 4 km.	In UFWO is de sedimentatie berekend op 2.157 m ³ . De erosie is berekend op 149 m ³ .
	Voor UFWO en UFWO1 is de drempelafvoer vastgesteld op 8.000 m ³ /s te Lobith. Voor UFWO2 is de drempelafvoer vastgesteld op 9.000 m ³ /s.	Met de optimalisaties (UFWO1 en/of UFWO2) wordt de algemene norm gehaald. Er is nog niet getoetst aan de streef- en minimale diepte van de vaargeil.
Morfologie	Bij UFWO is de sedimentatie in de vaargeul berekend op 2.342 m ³ . De erosie is berekend op 250 m ³ .	
	Bij UFWO1 is de sedimentatie in de vaargeul berekend op 230 m ³ . De erosie is berekend op 442 m ³ .	Het beste resultaat wordt behaald met UFWO1, waarbij de hoeveelheid sedimentatie en erosie het meest beperkt is.
	Bij UFWO2 is de sedimentatie in de vaargeul berekend op 132 m ³ . De erosie is berekend op 815 m ³ .	

5.2 Aanbevelingen

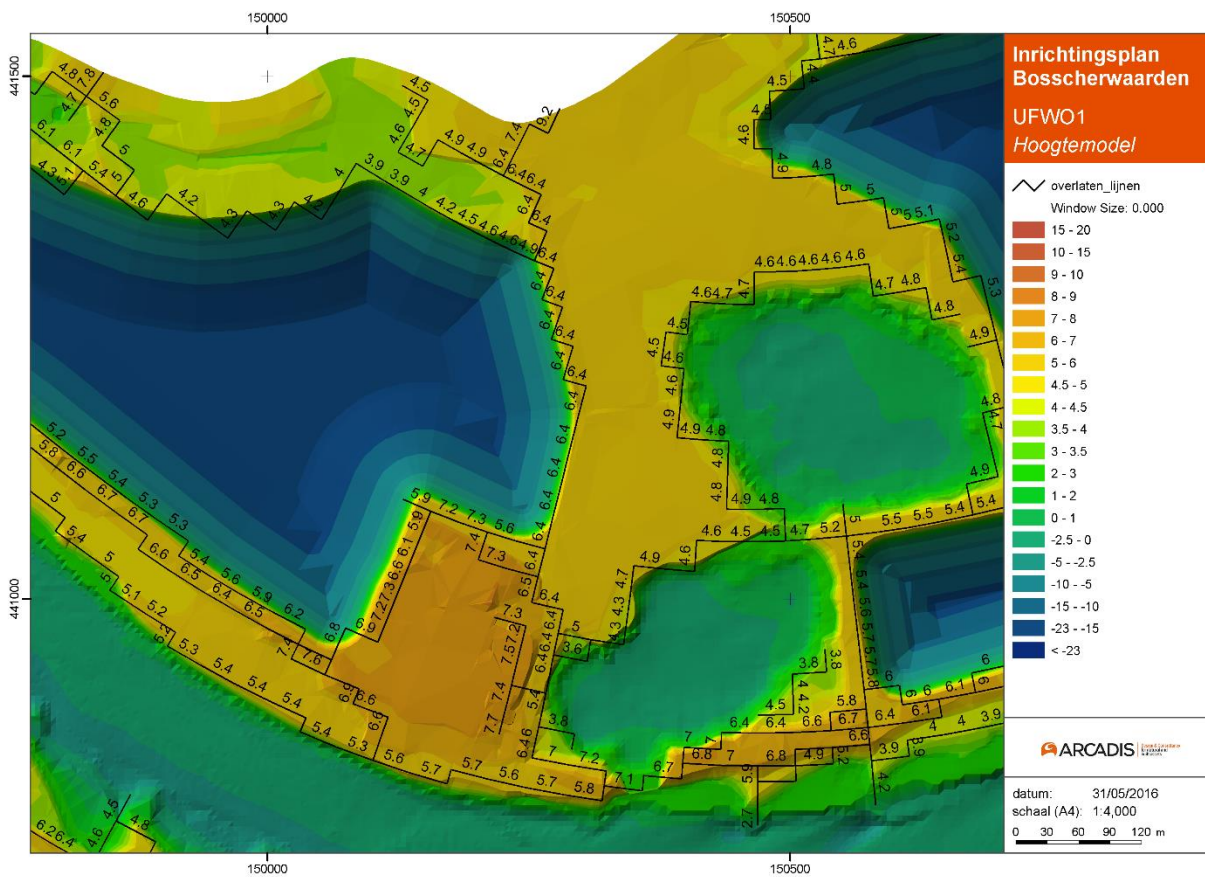
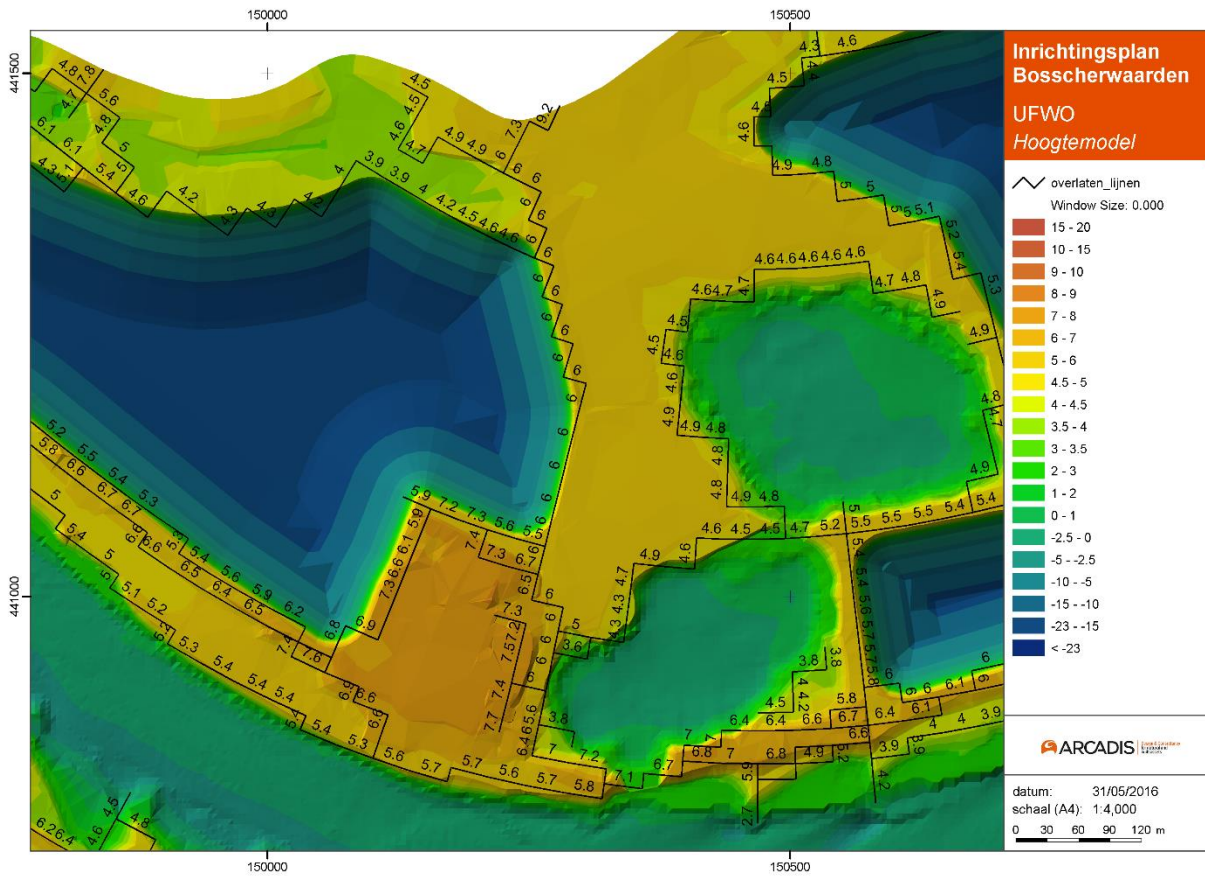
Voor de aspecten dwarsstroming en morfologie geeft de variant UFWO1 (toegangsweg op 6,40 m+NAP) het beste resultaat. Met UFWO1 ontstaat bij de oostelijke invaart van de zandwinput een overschrijding op van de dwarsstroming van 0,07 m/s bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith. Bij de westelijke invaart ontstaat een overschrijding 0,04 m/s bij een afvoer van 8.000 m³/s te Lobith. Bij overige afvoeren is de dwarsstroming kleiner dan 0,15 m/s. De hoeveelheid sedimentatie is sterk gereduceerd ten aanzien van het oorspronkelijke ontwerp UFWO. Bij een verdere ophoging van de toegangsweg ontstaat relatieve sterke erosie.

Het is het overwegen waard om de smallere invaarten (UFWO3) te betrekken bij het ontwerp UFWO1. De resultaten (gestapelde optimalisatie) zullen dit nog nader moeten uitwijzen. Vermoedelijk is de smallere invaart nodig om het debiet te doen afnemen bij voornamelijk de westelijke invaart van de zandwinput. Het debiet door deze invaart wordt namelijk hoger wanneer de toegangsweg nog verder wordt opgehoogd.

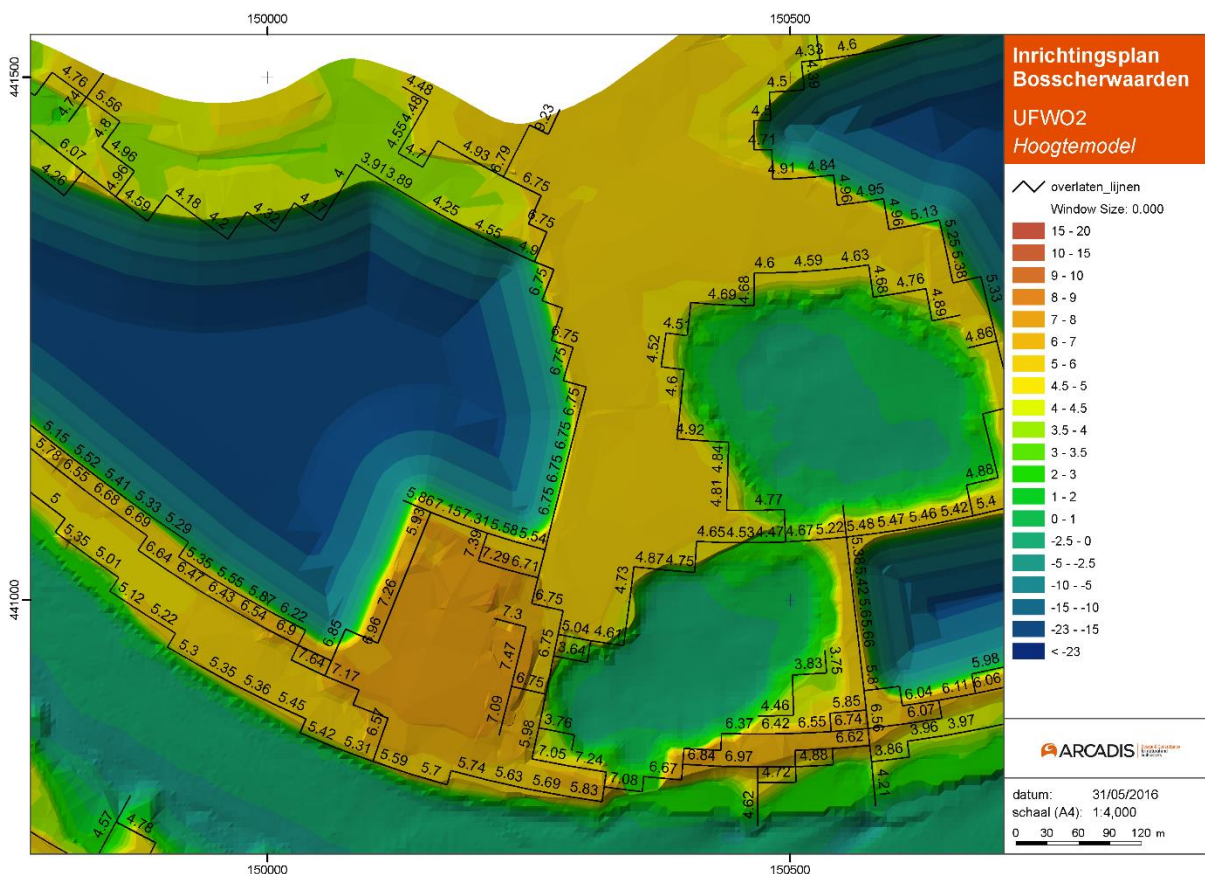
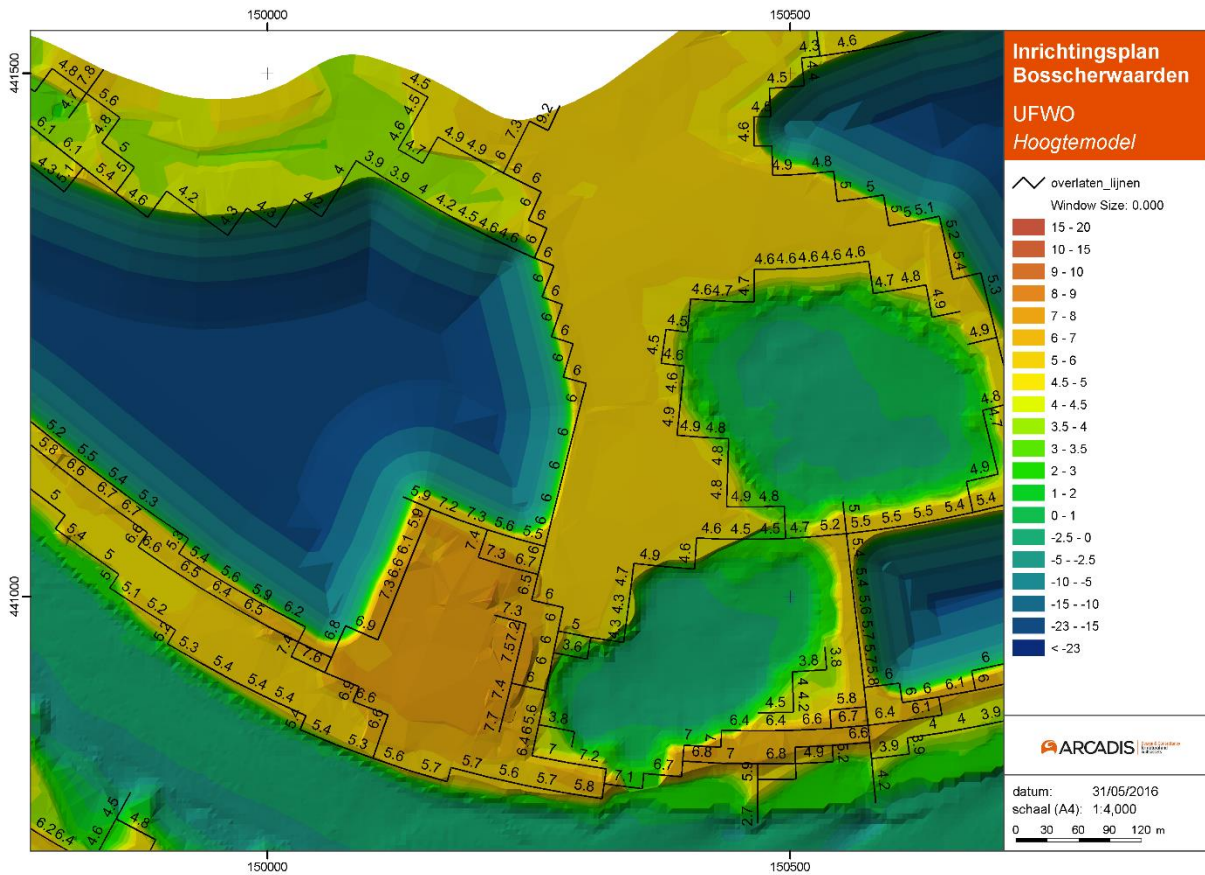
Het verhoudingsgetal (oppervlakwaterstandsvaling / waterstandsverhoging) van variant UFWO1 is berekend op 94,9. Deze verhouding zal door smallere invaarten (UFWO3) lichtelijk beïnvloedt worden. Verwachting is dat de verhoudingsfactor rond 89 zal uitkomen.

BIJLAGE A : OPTIMALISATIES

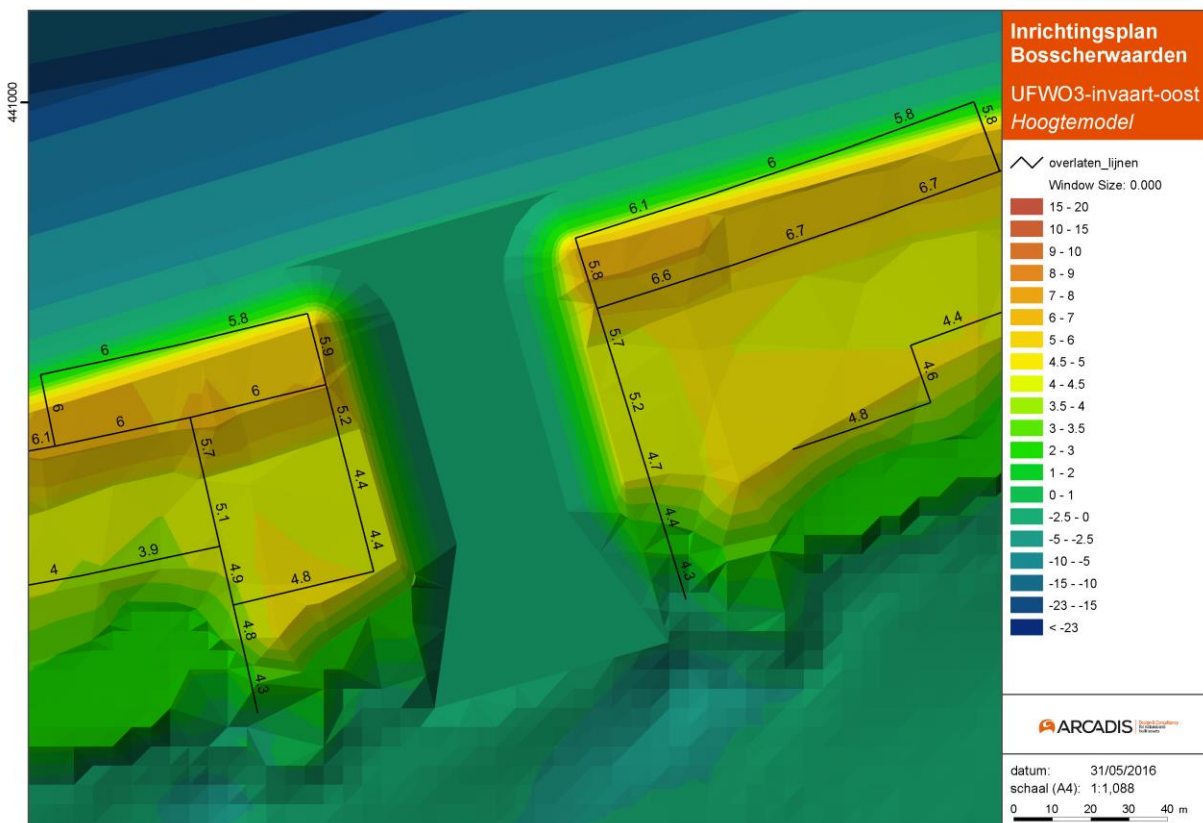
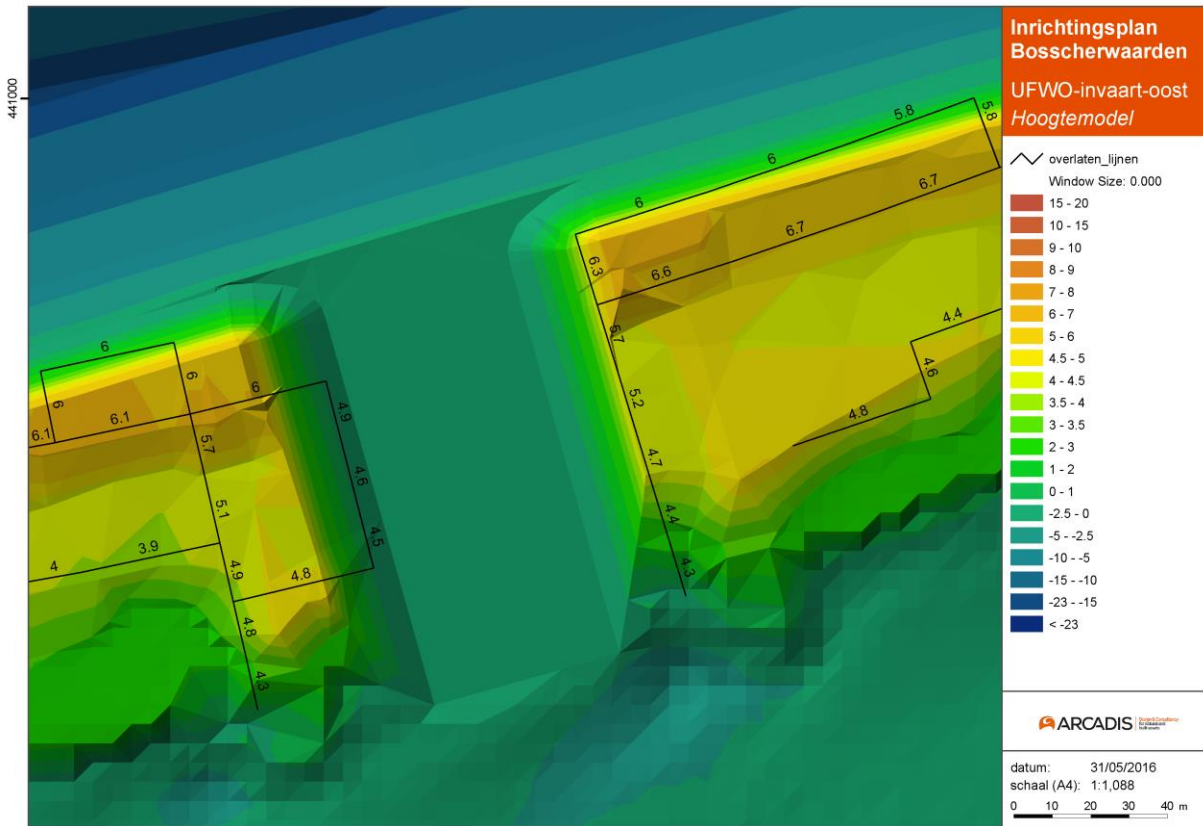
Optimalisatie: toegangsweg op 6,40 m+NAP (UFWO1)

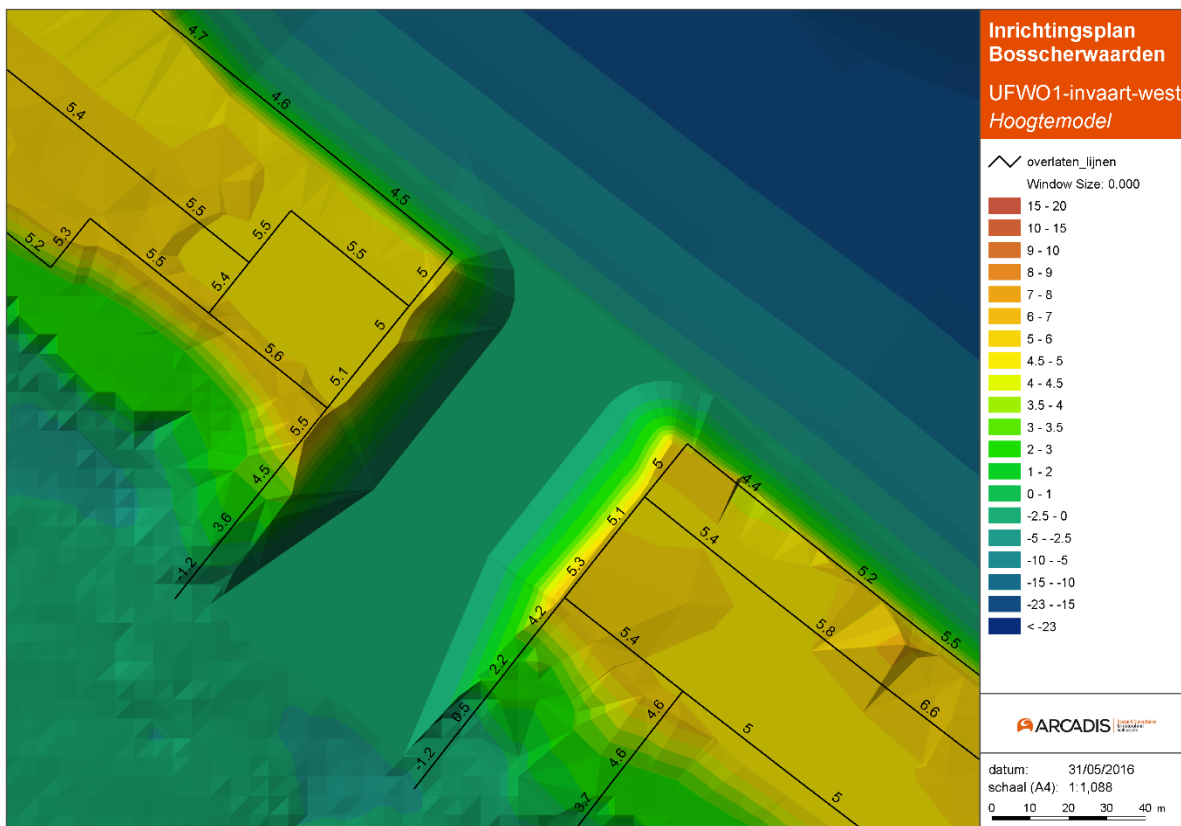
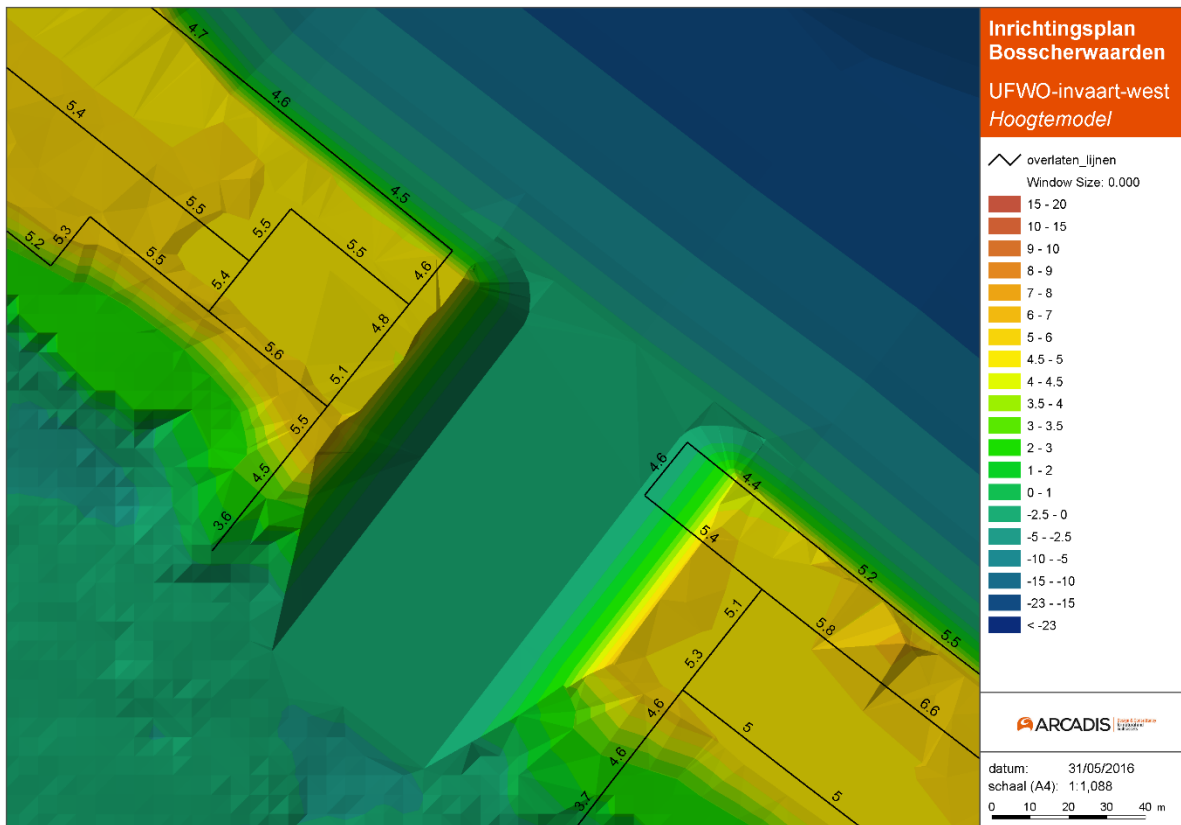


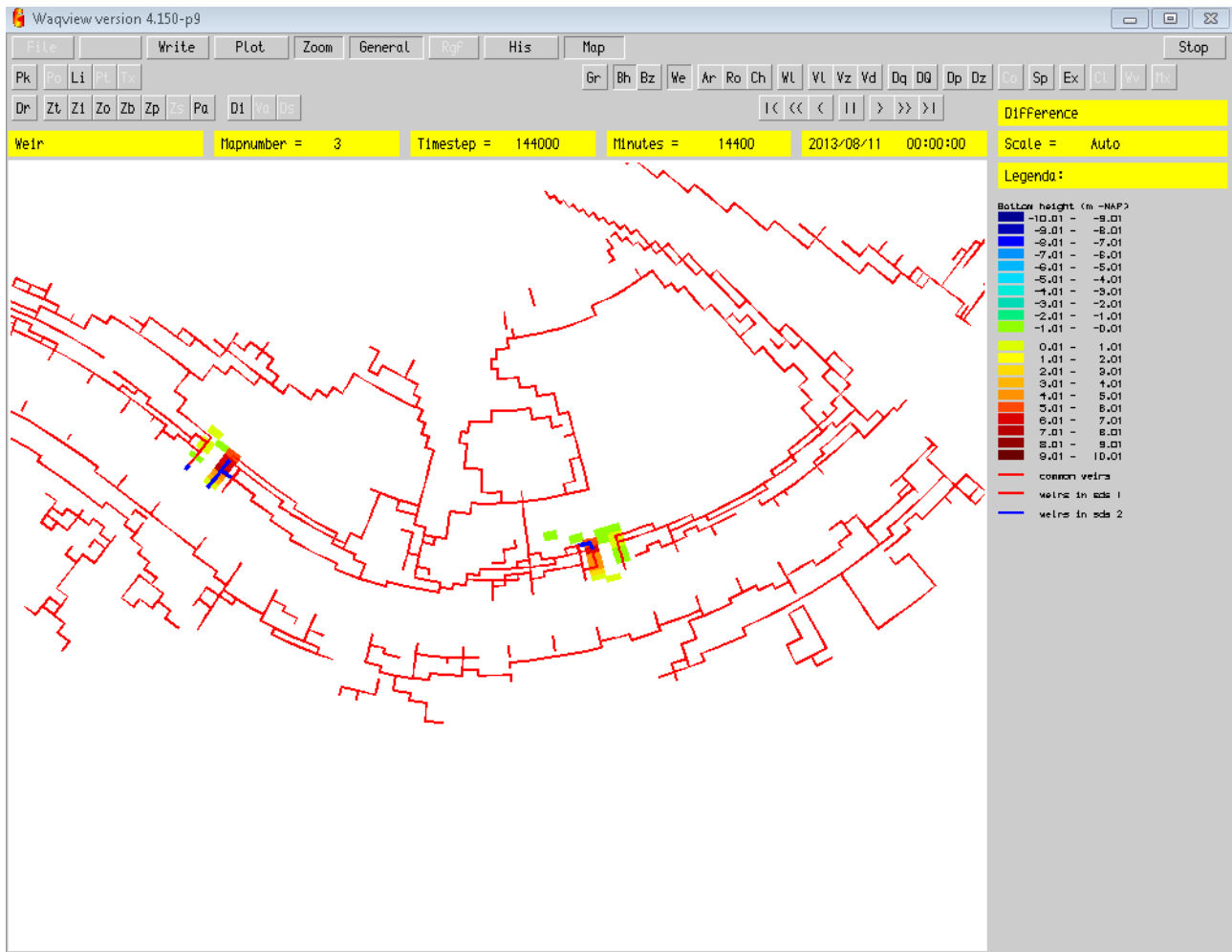
Optimalisatie: toegangsweg op 6,75 m+NAP (UFWO2)



Optimalisatie: versmallen invaarten bij zandwinputten (UFWO3)



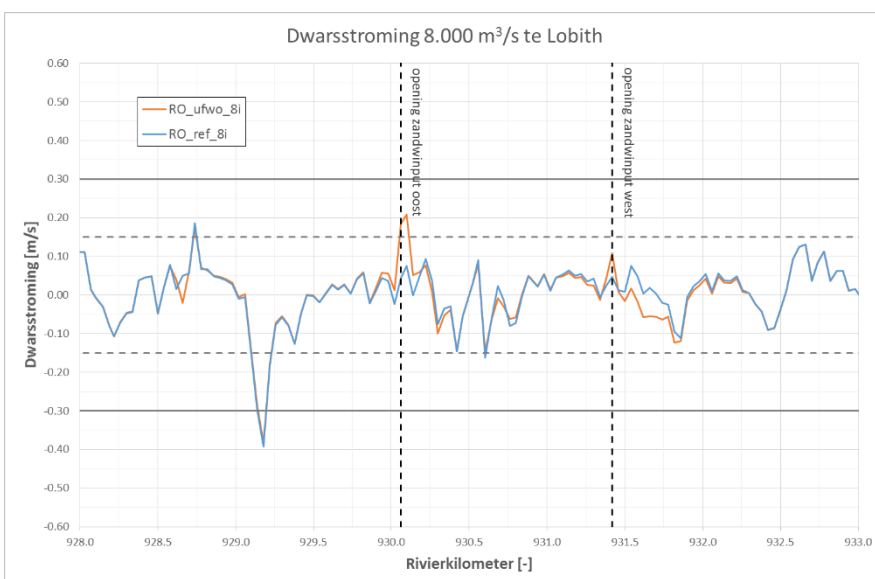
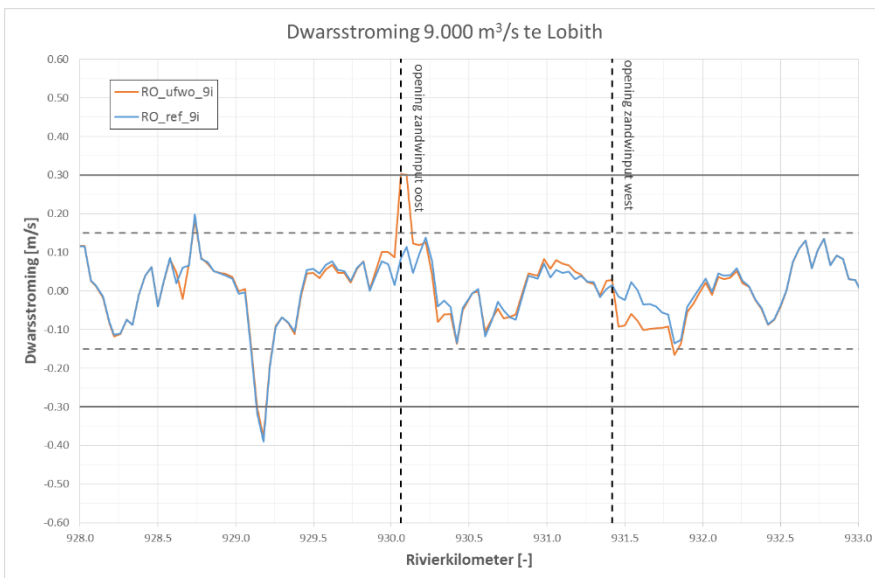
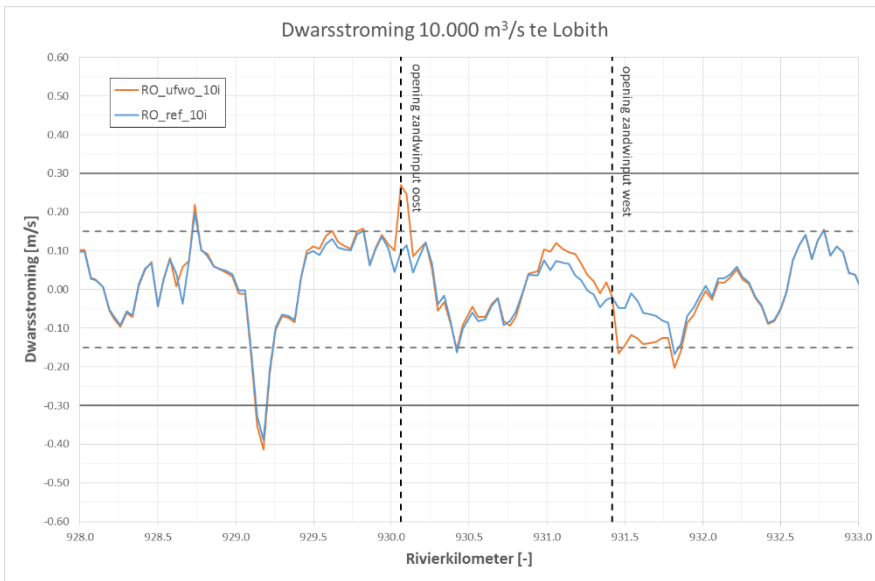




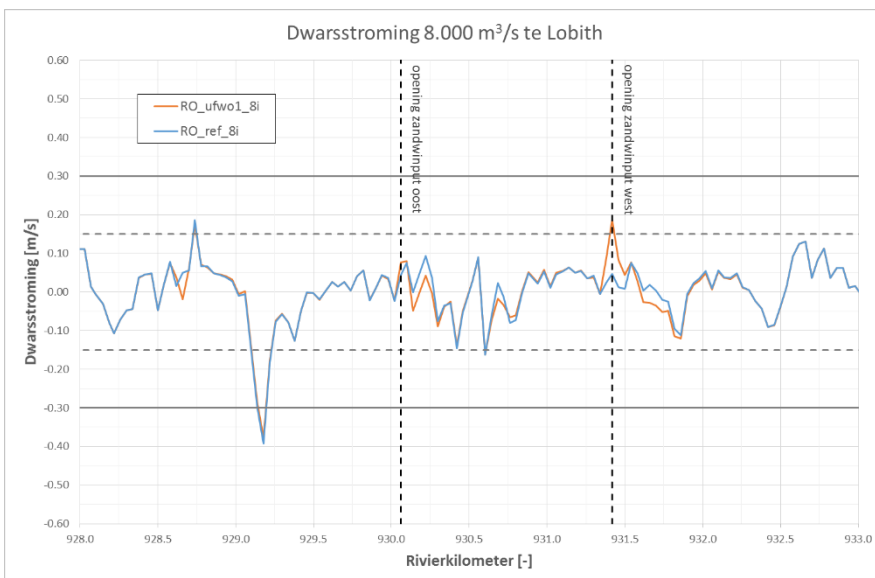
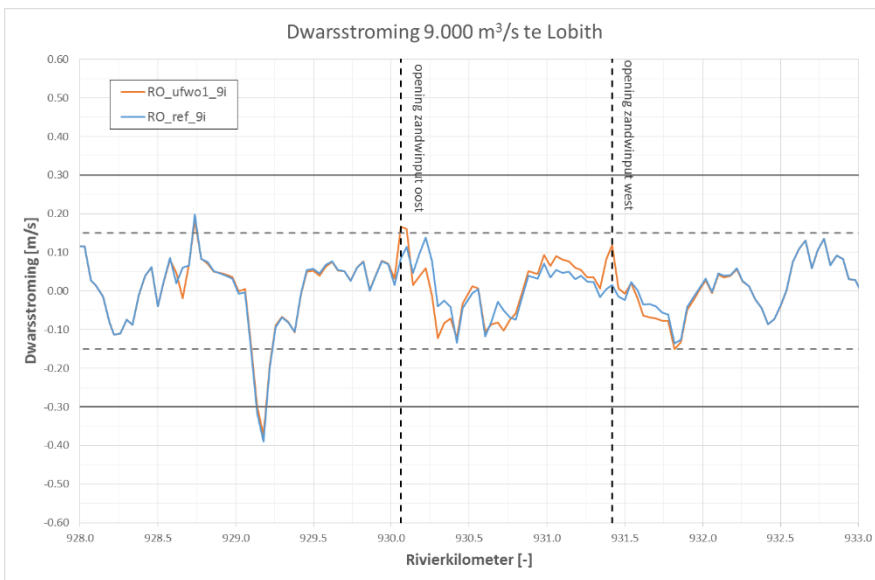
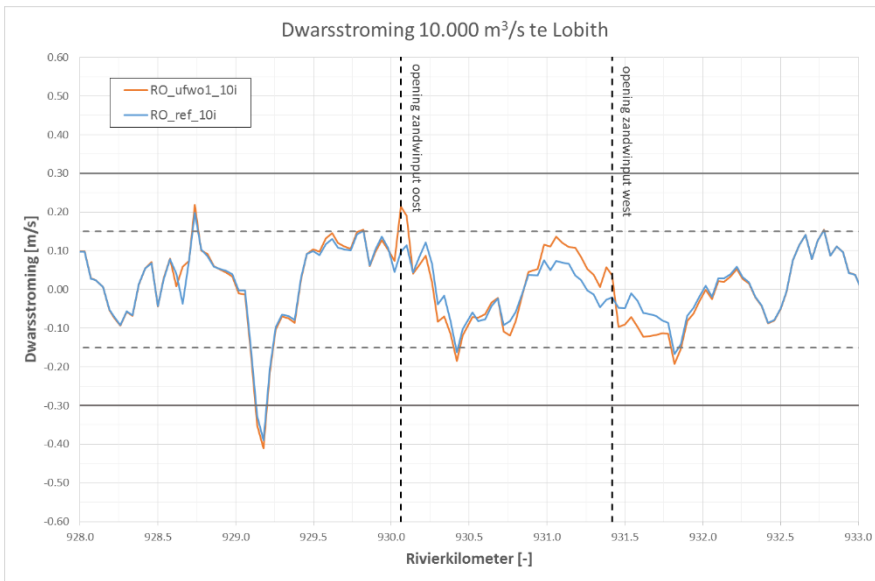
Vershilplot "bodemhoogte" tussen SDS-files UFWO3 en UFWO (versmallen van de invaart)

BIJLAGE B DWARSSTROMING

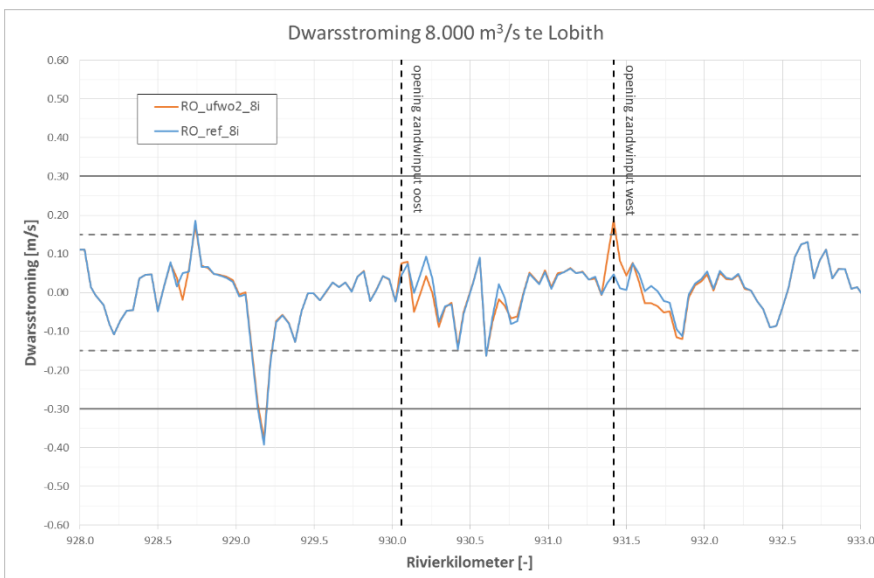
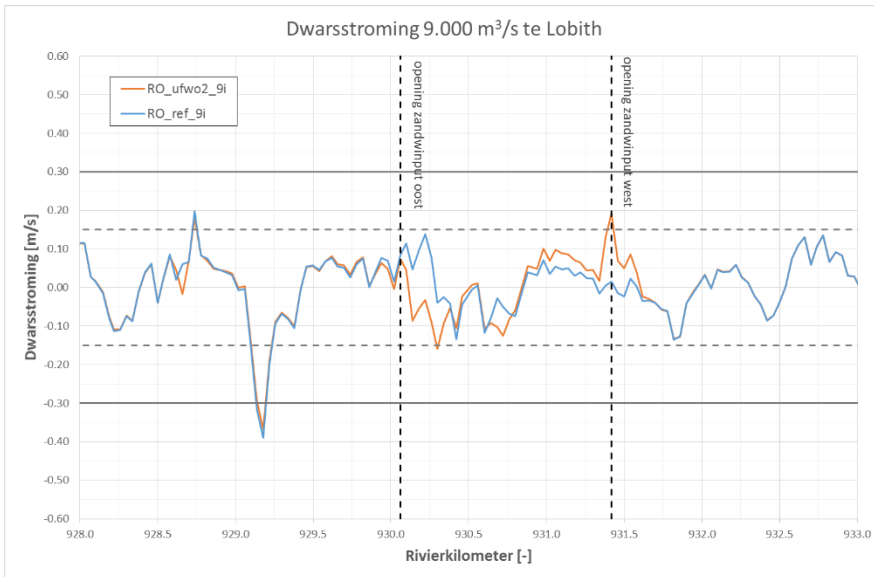
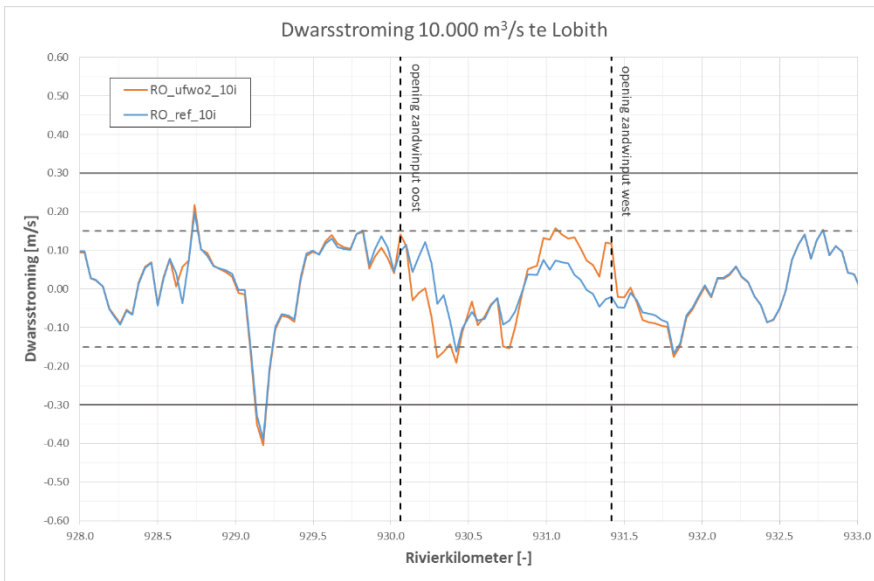
UFWO:



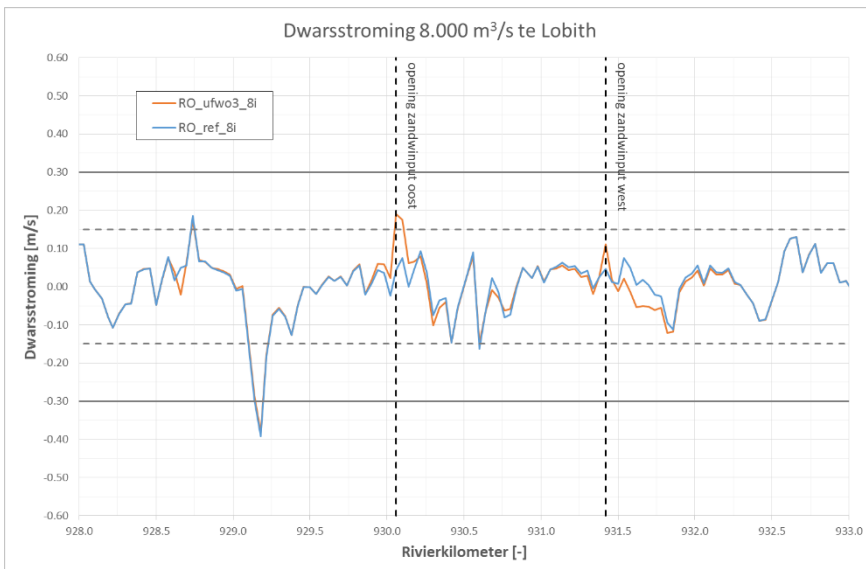
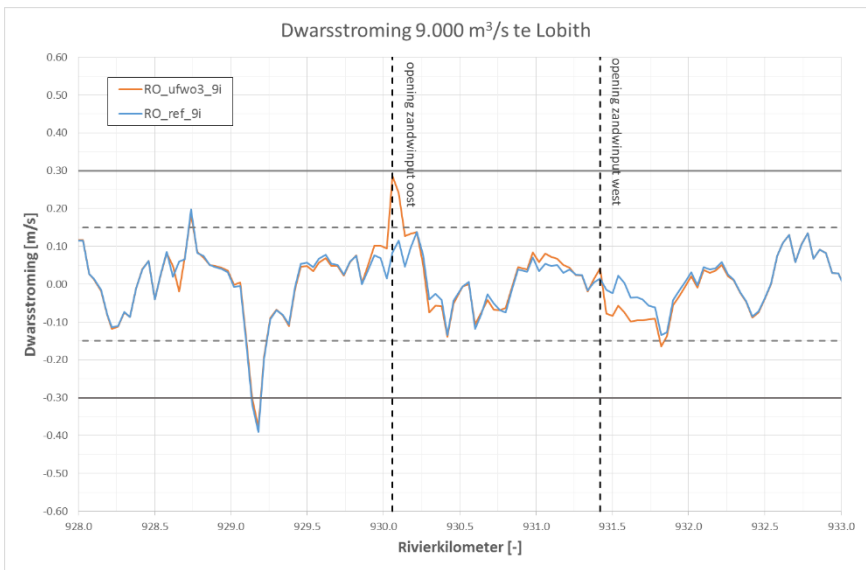
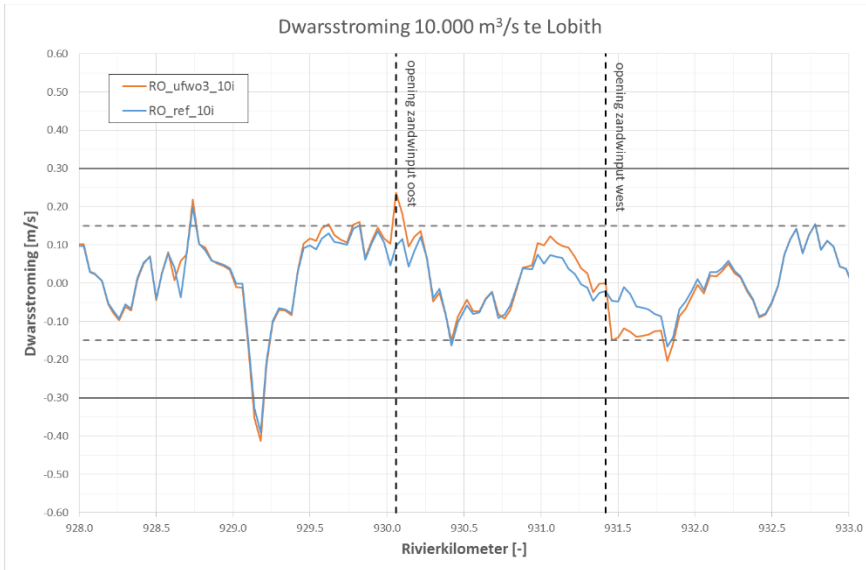
UFWO1:



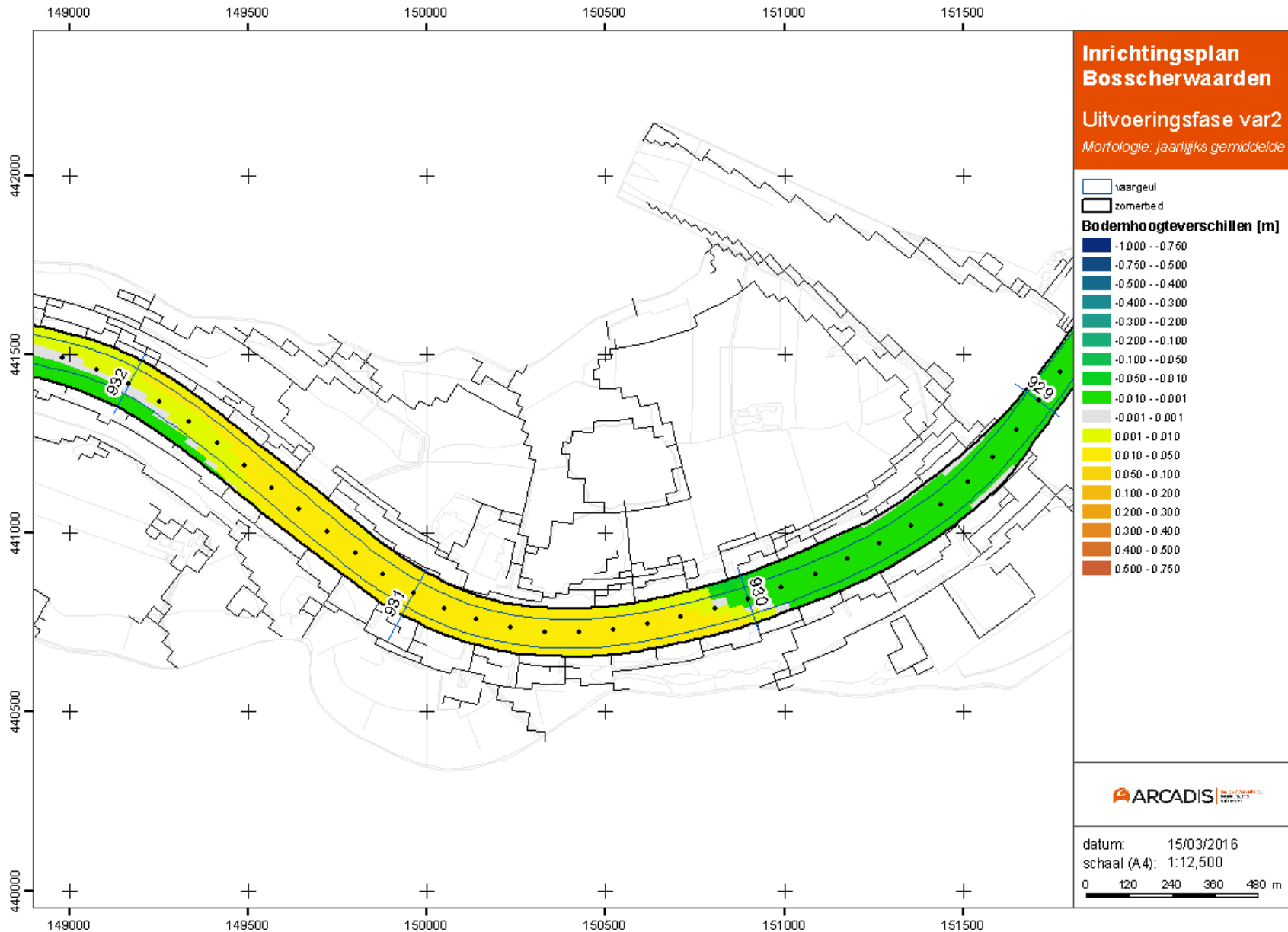
UFWO2:

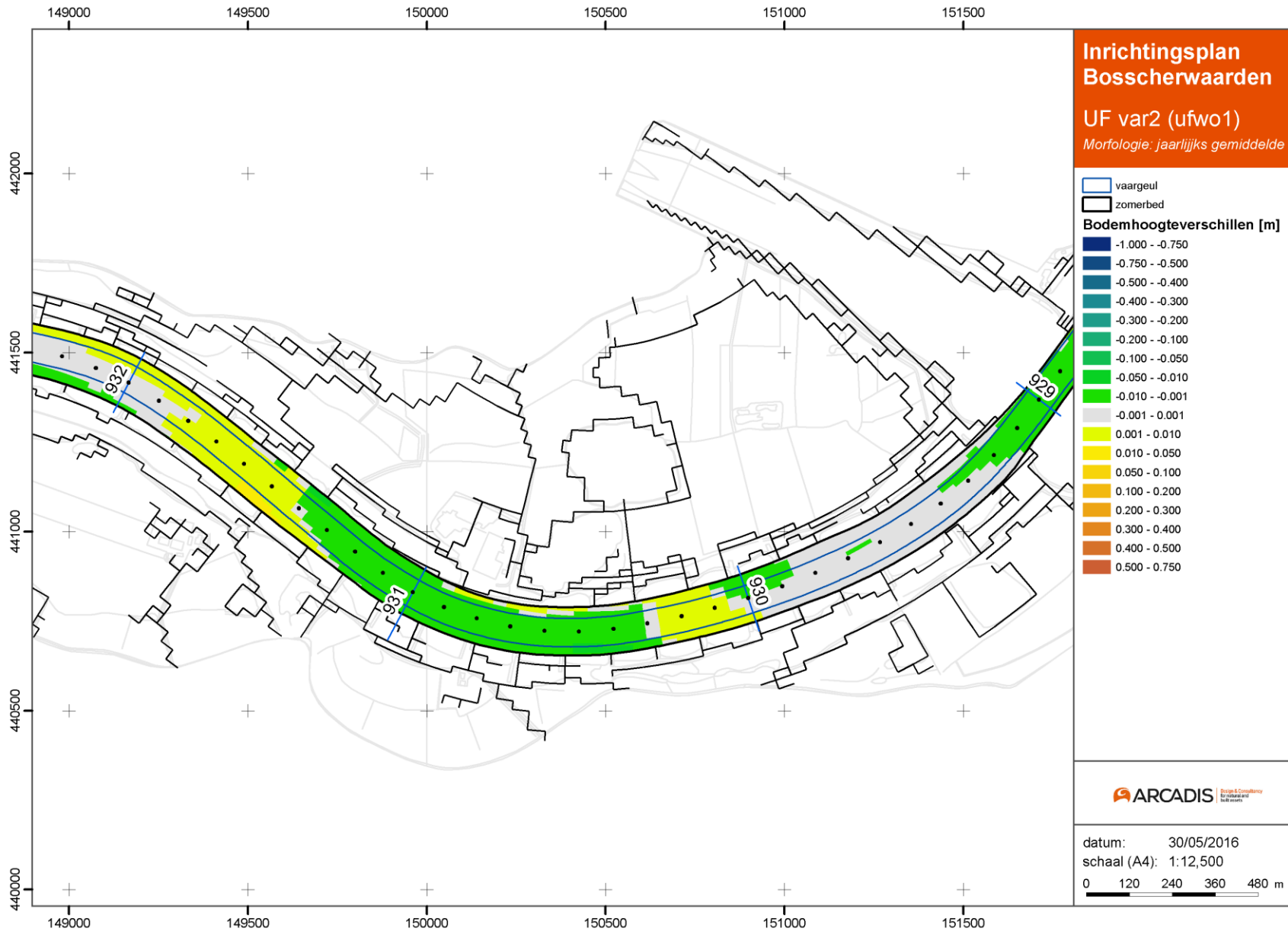


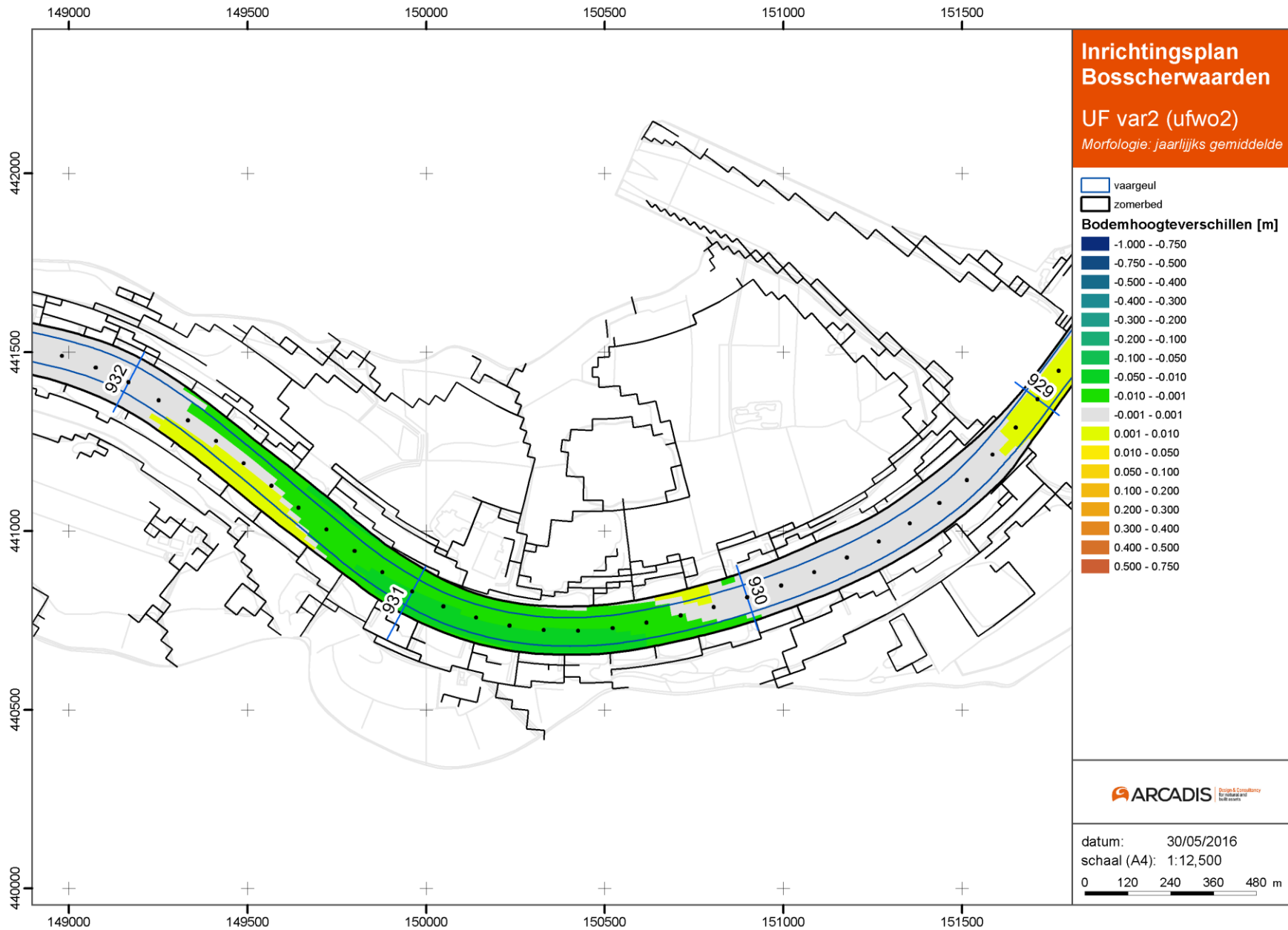
UFWO3:



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: 078962633 0.8