



Planstudie IJsseluitwaarden Olst

Achtergrondrapport Hydraulica en morfologie VKA

DLG

16 februari 2012
Definitief rapport
9T9170.A0



ROYAL HASKONING
Enhancing Society



HASKONING NEDERLAND B.V.
WATER

Barbarossastraat 35
Postbus 151
6500 AD Nijmegen
(024) 328 42 84 Telefoon
(024) 360 54 83 Fax
info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Planstudie IJsseluitwaarden Olst
Achtergrondrapport Hydraulica en morfologie
VKA
Verkorte documenttitel Achtergrondrapport Hydraulica en morfologie
VKA
Status Definitief rapport
Datum 16 februari 2012
Projectnaam Planstudie IJsseluitwaarden Olst
Projectnummer 9T9170.A0
Opdrachtgever DLG
Referentie 9T9170.A0/R0013/901807/VVDM/Nijm

Auteur(s) Ir. T. Driessen, Ir. W.de Jong, Ir. T. Vijverberg

Collegiale toets Ir. W. de Jong, Ir. R. van de Laar

Datum/paraaf 16 februari 2012  

Vrijgegeven door Ir. R. van de Laar

Datum/paraaf 16 februari 2012 



INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1 INLEIDING	1
1.1 Kader	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Leeswijzer en definities	1
2 WERKWIJZE EN UITGANGSPUNTEN	3
2.1 Taakstelling en autonome ontwikkeling	3
2.2 Instrumenten en uitgangspunten	3
2.3 Beheerruimte	4
3 VOORKEURSALETERNATIEF	7
3.1 Inleiding	7
3.2 Kenmerken VKA	7
4 WATERSTANDSEFFECTEN BIJ MHW	19
4.1 Effecten in de as van de rivier	19
4.1.1 Streefbeeld	20
4.1.2 Interventiewaardeniveau	21
4.2 Effecten buiten de as van de rivier	22
5 EFFECT OP AFVOERVERDELING BIJ MHW	25
6 EFFECTEN OP INUNDATIEFREQUENTIE	27
7 EFFECTEN OP STROOMBEELD UITERWAARD	29
8 EFFECTEN STROOMBEELD IN- EN UITSTROOMOPENINGEN	35
8.1 Dwarsstroming bij 2.000 m ³ /s en 4.000 m ³ /s	35
8.2 Dwarsstroming bij 6.000 m ³ /s	36
8.3 Dwarsstroming bij 8.000 m ³ /s	36
8.4 Dwarsstroming bij 10.000 m ³ /s en 16.000 m ³ /s	40
8.5 Samenvatting en conclusie	40
9 AANZANDING EN EROSIE	43
9.1 Aanzanding en erosie van het zomerbed	43
9.1.1 Huidige situatie en beoordelingseisen	43
9.1.2 Toekomstige situatie	44
9.2 Aanzanding en erosie van de nevengeul	48
9.2.1 Aanzanding in de geulen	49
9.2.2 Oever- en bodembescherming	49
10 CONCLUSIES	51
11 REFERENTIES	53



BIJLAGEN

- A. Stroomlijnen
- B. Stroomsnelheden
- C. Dwarsstroming
- D. Bodemkaarten
- E. Inrichtingsplankaart

1 Inleiding

1.1 Kader

Het project IJsseluiterwaarden Olst, de herinrichting en natuurontwikkeling van de Welsumer- en Fortmonderwaarden, is onderdeel van het NURG Programma (Nadere Uitwerking Rivieren Gebied van het ministerie EL&I). Tevens is het een autonoom project uit de vastgestelde Planologische Kernbeslissing "Ruimte voor de Rivier", en heeft daarmee de verplichting dat het uiterlijk in december 2015 een verlaging van 6-8 cm van het Maatgevend Hoog Water realiseert (werktaakstelling 7,8 cm).

Voor het project is in de afgelopen jaren op basis van een voorontwerp en actieve bewonersparticipatie gewerkt aan een inrichtingsplan. Het inrichtingsplan IJsseluiterwaarden Olst (DLG, 2005) is op 27 januari 2006 vastgesteld door de Stuurgroep. Het plan omvat de ontwikkeling van 450 ha riviergebonden natuur middels de aanleg van geulen en maaiveldverlaging en de versterking van recreatieve voorzieningen. Delen van dit plan zijn reeds uitgevoerd of zijn nog in uitvoering. Voor het realiseren van de resterende onderdelen zijn drie alternatieven ontwikkeld en beoordeeld in het MER.

Het voorliggende rapport beschrijft de resultaten van de hydraulische en morfologische effectbeoordeling van het voorkeursalternatief (VKA). Het rapport vormt een technisch inhoudelijk achtergronddocument bij het hydraulische en morfologische gedeelte in het MER van de Planstudie IJsseluiterwaarden Olst. Tevens dient dit rapport een technisch inhoudelijk achtergronddocument bij de aanvraag voor de waterwetvergunning voor dit VKA.

De rivierkundige effecten van het VKA zijn voor verschillende aspecten beoordeeld en getoetst aan het geldende beoordelingskader van Rijkswaterstaat [1]. De verschillende beoordeelde aspecten zijn:

- Beoordeling behalen rivierkundige taakstelling;
- MHW stand in de as van de rivier en in de uiterwaarden;
- afvoerverdeling bij het splitsingspunt;
- inundatiefrequentie van de uiterwaard;
- stroombeeld in de uiterwaard;
- stroombeeld bij de in- en uitstroomopeningen;
- aanzanding en erosie van het zomerbed;
- aanzanding en erosie van uiterwaarden en nevengeulen.

1.2 Doelstelling

De effectbeoordeling heeft ten doel om de hydraulische en morfologische effecten van het VKA van de Planstudie IJsseluiterwaarden Olst inzichtelijk te maken en te toetsen aan de geldende beoordelingscriteria uit het rivierkundig beoordelingskader [1].

1.3 Leeswijzer en definities

Dit rapport betreft de rivierkundige beoordeling van het VKA. Op 18 januari 2012 is een eerdere versie van dit rapport besproken met RWS-ON. Op basis van de bij het overleg geleverde vragen en opmerkingen is het VKA verder geoptimaliseerd met als doel het reduceren van de morfologische en scheepvaart effecten.

Op het gepresenteerde VKA in deze rapportage zijn in de periode tussen deze bespreking en de oplevering van dit rapport verdere optimalisatie in het ontwerp gedaan. Deze optimalisaties komen boven op de reeds tijdens het ontwerpproces gedane ontwerpoptimalisaties.

Het rapport is als volgt opgebouwd: Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de gevolgde werkwijze. Het ontwerp van het VKA is nader toegelicht in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 tot 8 wordt ingegaan op de beoordeelde hydraulische effecten. In hoofdstuk 9 volgt de beoordeling van de morfologische effecten van het VKA. Tenslotte volgen in hoofdstuk 10 de conclusies en aanbevelingen.

In dit rapport gelden de volgende definities:

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

De bijlagen betreffen aanvullende figuren, die behulpzaam zullen zijn bij het beoordelen van de effecten. Deze figuren bieden meer inzicht in de beoordeelde effecten. Er wordt in het rapport niet altijd expliciet verwezen naar deze bijlagen.

2 Werkwijze en uitgangspunten

Tijdens een gezamenlijk overleg tussen DLG, RWS en Royal Haskoning op 15 maart 2011 zijn de te hanteren uitgangspunten voor de rivierkundige beoordeling binnen de Planstudie IJsseluiterwaarden Olst door RWS-ON toegelicht.

2.1 Taakstelling en autonome ontwikkeling

Het model van het basisontwerp vormt de achtergrond voor de taakstelling. De taakstelling is 7,8 cm op de bovenstroomse projectrand, dit is nabij kmr 956 en 957. De rivierkilometer waarop de taakstelling bereikt dient te worden is niet vastgelegd en is daarmee geen eis.

In het basisontwerp is de waterstandsdeling beoordeeld op basis van het vegetatie streefbeeld. Echter in VKA dient gerekend te worden met het interventiewaardeniveau voor de vegetatie. Dit betekent dat de taakstelling van 7,8 cm gehaald dient te worden bij het interventiewaardenniveau. Hiermee laat het uiteindelijke inrichtingsplan ruimte voor vegetatiebeheer en mogelijke aanzanding.

Aangezien het basisontwerp is beoordeeld op basis van het streefbeeld, voldoet het basisontwerp eigenlijk niet meer aan de taakstelling. Het basisontwerp met interventiewaarde zal namelijk minder dan 7,8 cm waterstandsdeling geven bij MHW.

Voor de autonome ontwikkelingen geldt het volgende:

- De reeds gerealiseerde fases binnen het plangebied worden conform de definitieve ontwerptekeningen meegenomen in het plan. In de referentiesituatie worden deze reeds gerealiseerde fases niet meegenomen;
- De kribverlaging van circa 18 kribben wordt niet als onderdeel van het plan meegenomen. Het effect van de kribverlaging wordt niet dus toegerekend bij de planstudie;
- De aanpassing aan de kribben in de Duursche Waarden wordt niet meegenomen binnen de referentiesituatie en ook niet als onderdeel van het plan;
- De hoogwatergeul Veessen-Wapenveld wordt niet meegenomen binnen de referentiesituatie en ook niet als onderdeel van het plan. Mogelijk wordt er wel een controle gevraagd op gecombineerd effect van beide plannen. Dit valt buiten de scope van de huidige opdracht en zal daarom niet in dit rapport worden behandeld.

2.2 Instrumenten en uitgangspunten

Er dient gewerkt te worden met de volgende instrumenten of documenten:

- de rivierkundige beoordeling vindt plaats op basis van het Rivierkundig Beoordelingskader versie 2.0, juli 2009 [1];
- de schematisatie van het VKA is aangemaakt met behulp van Baseline versie 4.03, volgens de eisen en richtlijnen van RWS ON ("Baseline eisen - richtlijnen en maatregelen" [2]) geschematiseerd;
- het vigerende referentie model is 'Simona_Rijn_Olst_4_1'. Het volledige model van het basisontwerp (2008-2009) is 'Simona_Rijn_Olst_4_2'. De baseline maatregel van het basisontwerp heeft kenmerk 'ij_olst_c2'. De te gebruiken referentiemodellen en documenten zijn door RWS middels een DVD opgeleverd op 20 mei 2009. De DVD betreft de DVD HR2011-Olst;
- de te gebruiken WAQUA versie is Simona versie 2008-01;

- voor de ruwheids codering geldt de tabel 'Vegetatietypes en coderingen HR2006-20052009.xls' en ruwheidsfile 'roughkarak.y01'.
De vegetatietypen zijn ingedeeld op basis van de gedefinieerde typen in het handboek 'Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden' [4];
- de toetsing van de morfologische effecten dient plaats te vinden door gebruik te maken van het instrument WAQMORF. Er is bekend dat WAQMORF waarschijnlijk een overschatting van effect geeft. Voor de morfologische toetsing zijn de juiste vaardiepte gegevens opgevraagd bij Rijkswaterstaat en ook ontvangen;
- voor het aspect dwarsstroming dient dan voor verschillende afvoeren van 0 tot 16.000 m³/s inzichtelijk te worden wat de dwarsstroming is.

Tabel 2.1 toont het kenmerk van de uitgevoerde WAQUA berekeningen. Deze berekeningen zijn uitgevoerd om de rivierkundige effecten op de waterstand, afvoerverdeling en de stroomsnelheid getoetst.

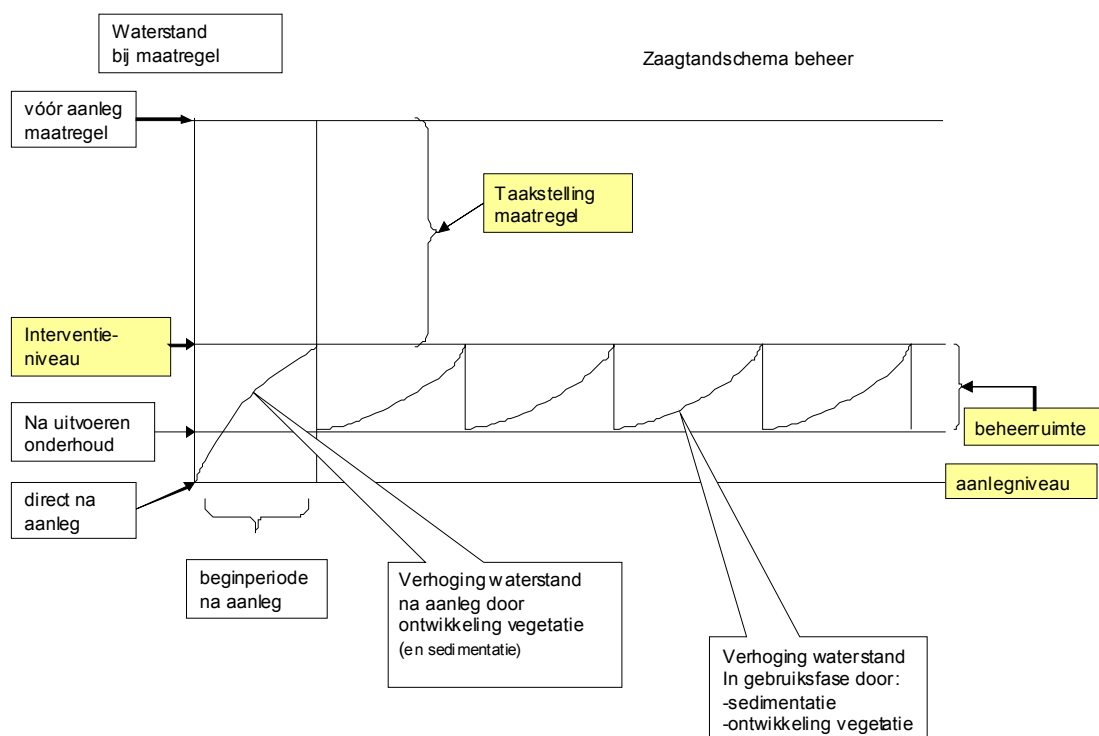
Tabel 2.1: Overzicht gemaakte WAQUA berekeningen met bijbehorende afvoer en kenmerk

Afvoer bij Lobith [m ³ /s]	Afvoer IJssel Kmr 931,3	Lateralen IJssel	Huidige situatie	VKA
16.000	2643	t1250	16i_ref	16i_vka (VKA met streefwaardeniveau) 16i_vkainv (VKA met interventiewaardeniveau)
10.000	1505	t1250	10i_ref	10i_vka
8.000	1147	-	8i_ref	8i_vka
6.000	841	-	6i_ref	6i_vka
4.000	567	-	4i_ref	4i_vka
2.000	282	-	2i_ref	2i_vka
15.000 (vrije afvoerverdeling)	-	T1250	15j_ref	15j_vka

2.3 Beheerruimte

Er is gekozen om het waterstandseffect (aspect 1.1 en 1.2 uit het RBK) te beoordelen voor 2 verschillende vegetatiebeelden om zo de beheerruimte beter te kwantificeren. De beheerruimte is het verschil in het hydraulisch effect van het interventiewaardeniveau en het niveau wat bereikt wordt na het uitvoeren van de voorgeschreven B&O-maatregelen. Het inrichtingsplan moet bij het interventiewaardeniveau (het niveau waarop door vegetatieontwikkeling het hydraulisch effect van de maatregel is teruggebracht tot de taakstelling) voldoen aan de gestelde 7,8 cm waterstandsverlaging bij Olst tijdens MHW.

Aangezien het vegetatiebeeld van het streefbeeld minder ruw is, zal het inrichtingsplan met de verwachte/gemiddelde vegetatie dan zeker voldoen aan de taakstelling. Figuur 2.1 geeft een schematische weergave van het begrip beheerruimte.



Figuur 2.1: Schematische weergave ter verduidelijking van begrippen omtrent beheerruimte en vegetatiebeelden. (bron: PDR)



3 Voorkeursalternatief

3.1 Inleiding

De rivierkundige effecten van het VKA zijn bepaald door middel van een rivierkundig model. Dit model is met behulp van de GIS-applicatie Baseline gemaakt op basis van het ontwerp van het VKA, zoals getoond in figuur 3.2 en beschreven in het MER [5]. Figuur 3.1 toont een luchtfoto van de huidige situatie.

In het voorliggende rapport wordt enkel vanuit de disciplines hydraulica en morfologie naar het VKA gekeken. Voor een gedetailleerde beschrijving van het ontwerp wordt verwezen naar het MER [5]. In onderstaande paragrafen is aangegeven welke kenmerken/objecten van/binnen het VKA relevant zijn voor de discipline hydraulica en morfologie. Verder is getoond hoe het VKA is geschematiseerd in het rivierkundig model. Op basis van het ontwerp is een hoogte- en vegetatiemodel gemaakt in de GIS-applicatie Baseline. Het hoogtemodel is gemaakt op basis van hoogtelijnen en lijnelementen zoals kades en steile taluds op basis van de CAD tekening van het VKA. Verder zijn de vegetatietypen met Baseline in het ruwheidvlakkenbestand gedefinieerd volgens de definities uit het vegetatie handboek [4].

Relevant voor de vergelijking en beoordeling van effecten is ook de schematisatie van de huidige situatie zoals opgenomen in de rivierkundige referentiemodel. Figuur 3.3 toont de huidige bodemhoogtes, figuur 3.4 de huidige kruinhoogtes van de kades en taluds en figuur 3.5 de huidige vegetatietypen in het projectgebied.

3.2 Kenmerken VKA

In het voorkeursalternatief (VKA) wordt zo weinig mogelijk gegraven, en blijven de onvergraven delen zoveel mogelijk in bestaand (agrarisch) gebruik. De aanleg van geulen en nieuwe natuur vindt hoofdzakelijk plaats in de Enk en in de Welsumerwaarden. Bij de vormgeving van de geulen is een optimum gezocht tussen het creëren van flauwe oevers en een geulbreedte die ondergeschikt is aan de IJssel en daardoor in het landschap past. Dit heeft geresulteerd in geulen van maximaal 100 meter breed, met oevertaluds van 1:10 en in de steilere delen 1:8.

In de Welsumerwaarden is een robuuste hoogwatergeul gepland in het lagere deel van de uiterwaard. Aan de bovenstroomse zijde heeft de geul een grazige drempel. De drempel is 15 tot 20 meter breed en is gelegen op de hoogte van het bestaande maaiveld (ca. NAP+3,8 m.). De geul wordt alleen onderbroken door de veerstoep, die ook op de bestaande hoogte gehandhaafd blijft (ca. NAP+4,3 m.). De benedenstroomse zijde van de kade naar de veerstoep wordt met een flauw talud (1:8) vorm gegeven ter plaatse van de geul. De oevers van de geul hebben een talud van 1:10 aan de westzijde, en 1:8 aan de oostzijde. De geul heeft een maximale bodemhoogte van NAP-1 m. en is bij gemiddelde waterstanden ca. 2,5 meter diep. Ten zuiden van de veerstoep ontstaat een geïsoleerde geul die met name door grond- en regenwater gevuld wordt. Ten noorden van de veerstoep staat de geul in directe verbinding met de IJssel. Nabij de uitstroom maakt de geul een bocht om water zoveel mogelijk op de stromingsrichting van de IJssel aan te laten sluiten en negatieve effecten op scheepvaart (dwarsstroming) te beperken.

De ligging van deze uitstroomopening is tijdens het ontwerpproces uiteindelijk uit verschillende varianten zo vormgegeven dat de nadelige effecten van dwarsstroming gereduceerd worden.

De zandwinplassen aan de oost- en westzijde blijven, net als in de eerdere alternatieven, aanwezig en worden verondiept ter bevordering van de natuurwaarden met grond die door de graafwerkzaamheden voor het project beschikbaar komt. Beide plassen krijgen aan de noordzijde een brede zone met ondiep water (0-2 meter diep), en aan de zuidzijde een dieper deel. Naast de bevordering van de natuurwaarden, kan de handhaving van het diepe deel in de Roetwaarden gaan functioneren als zandvang.

Bij de Roetwaarden wordt het zuidelijke instroompunt van de IJssel naar de plas iets verlegd en verruimd om de doorstroom van rivierwater bij hoogwater te bevorderen. De dwarsdam met bomen wordt verwijderd, zodat de doorstroming verbetert. De drempel bij het instroompunt is grazig en wordt licht verhoogd tot ca. NAP+4,2 m.. Het overige deel van de kade blijft gehandhaafd langs de gehele overlangs de Roetwaarden. De zandwinplassen van de Roetwaarden worden benedenstrooms aan de IJssel gekoppeld via een regelwerk (stuw) door de huidige zomerkade. De ligging van de zomerkade moet zorgen voor reductie van de mogelijke morfologische effecten in het zomerbed. Uit eerdere rivierkundige beoordeling is gebleken dat indien de kade niet gehandhaafd blijft of slechts ten dele, dat de aanzanding in het zomerbed te hoge negatieve waarden aanneemt. Ook dit betreft dus een optimalisatie in het ontwerp. In het gebied tussen de Roetwaarden en de IJssel mag zich vanuit reden van reductie van dwarsstroming geen oobos ontwikkelen. Dit gebied dient gemaaid of begraaasd te blijven zodat de instroming naar de Roetwaarden of een breder gedeelte van de oever blijft plaats vinden. Ook dit betreft een optimalisatie in het ontwerp ten einde de rivierkundige effecten te reduceren.

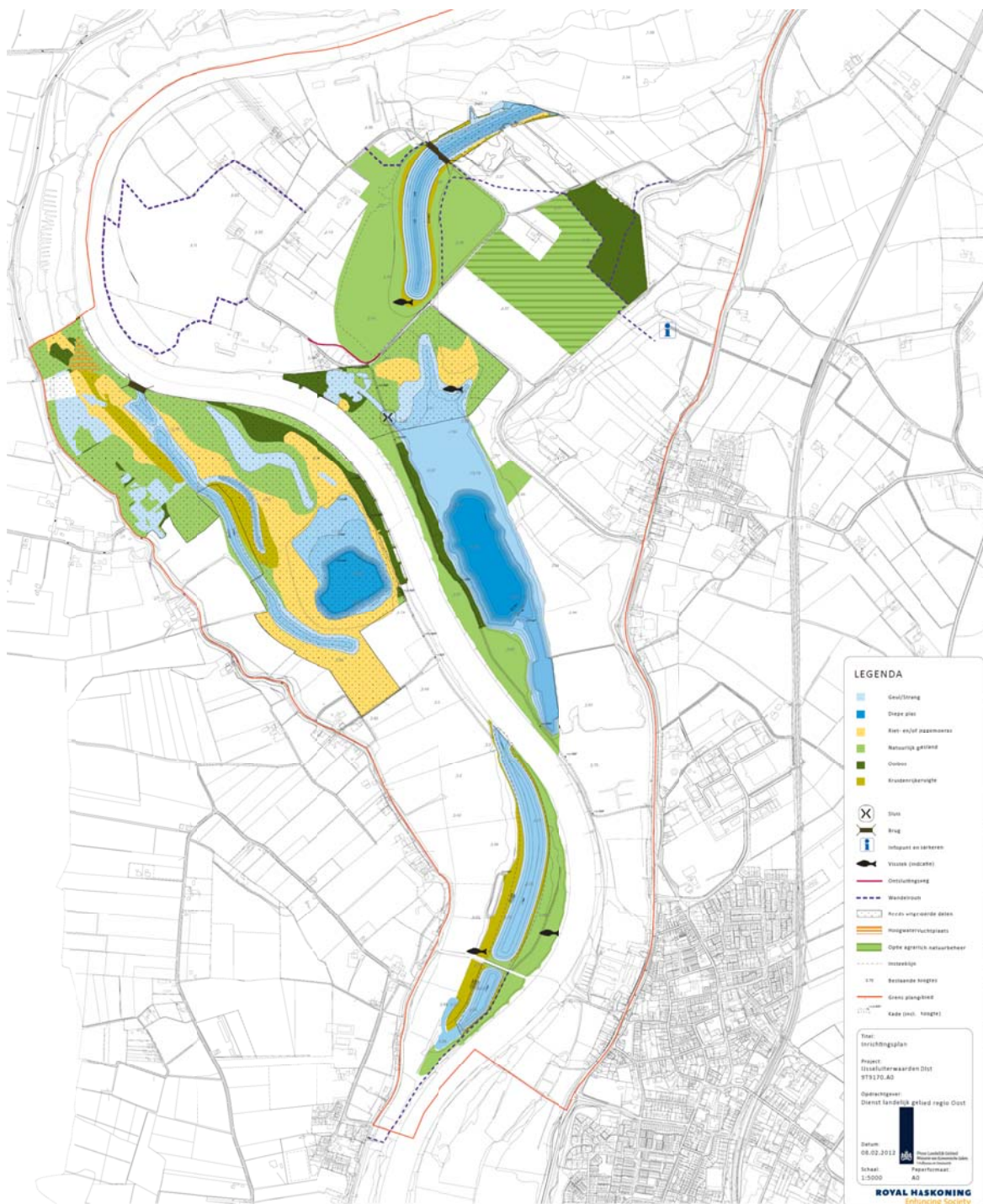
In het gebied de Enk is één geul gepland, die in het verlengde van de Roetwaarden ligt en doorloopt tot in de Duursche Waarden. De breedte van de geul bedraagt circa 100 meter, vergelijkbaar met de breedte van de geul in de Duursche Waarden. De oevers van de geul hebben taluds van 1:10. De geul heeft een maximale bodemhoogte van NAP-2,5 m. en is bij gemiddelde waterstanden ca. 4 meter diep. Rondom de geul wordt het maaiveld integraal verlaagd naar een hoogte van ca. NAP+3 m. Tussen de Enk en de Roetwaarden blijft de kade, de Fortmonderweg, gehandhaafd op de huidige hoogte. Deze hoogte varieert tussen NAP+4,7 en NAP+5,25 m, deze kade overstroomt vanaf afvoeren vanaf circa 8.000 tot 9.000 m³/s.

Het landschapsbeeld van het VKA verandert in grote delen van de uiterwaarden nauwelijks. Plaatselijk ontwikkelt zich meer natuur, zoals natuurlijke graslanden en hier en daar oobos. Ook wordt op sommige plekken meer water zichtbaar in de uiterwaard.

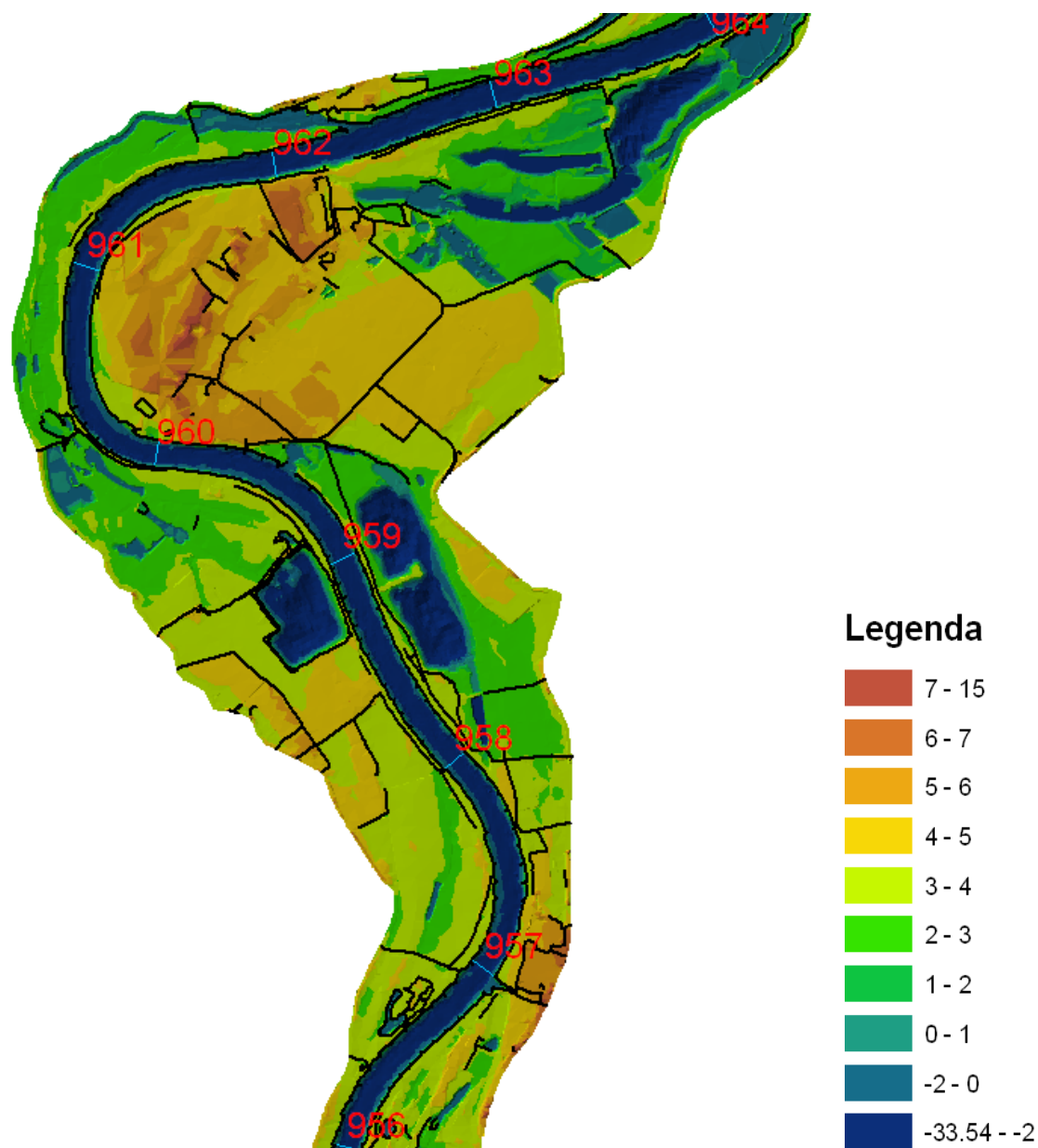
Figuur 3.6 toont de in Baseline geschematiseerde bodemhoogte van het VKA. Figuur 3.7 toont de kruinhoogte van de kades en taluds zoals deze in WAQUA zijn omgezet. Figuur 3.8 en 3.9 toont de in Baseline geschematiseerde vegetatietypen in het projectgebied voor het interventiewaardeniveau en het streefbeeld.



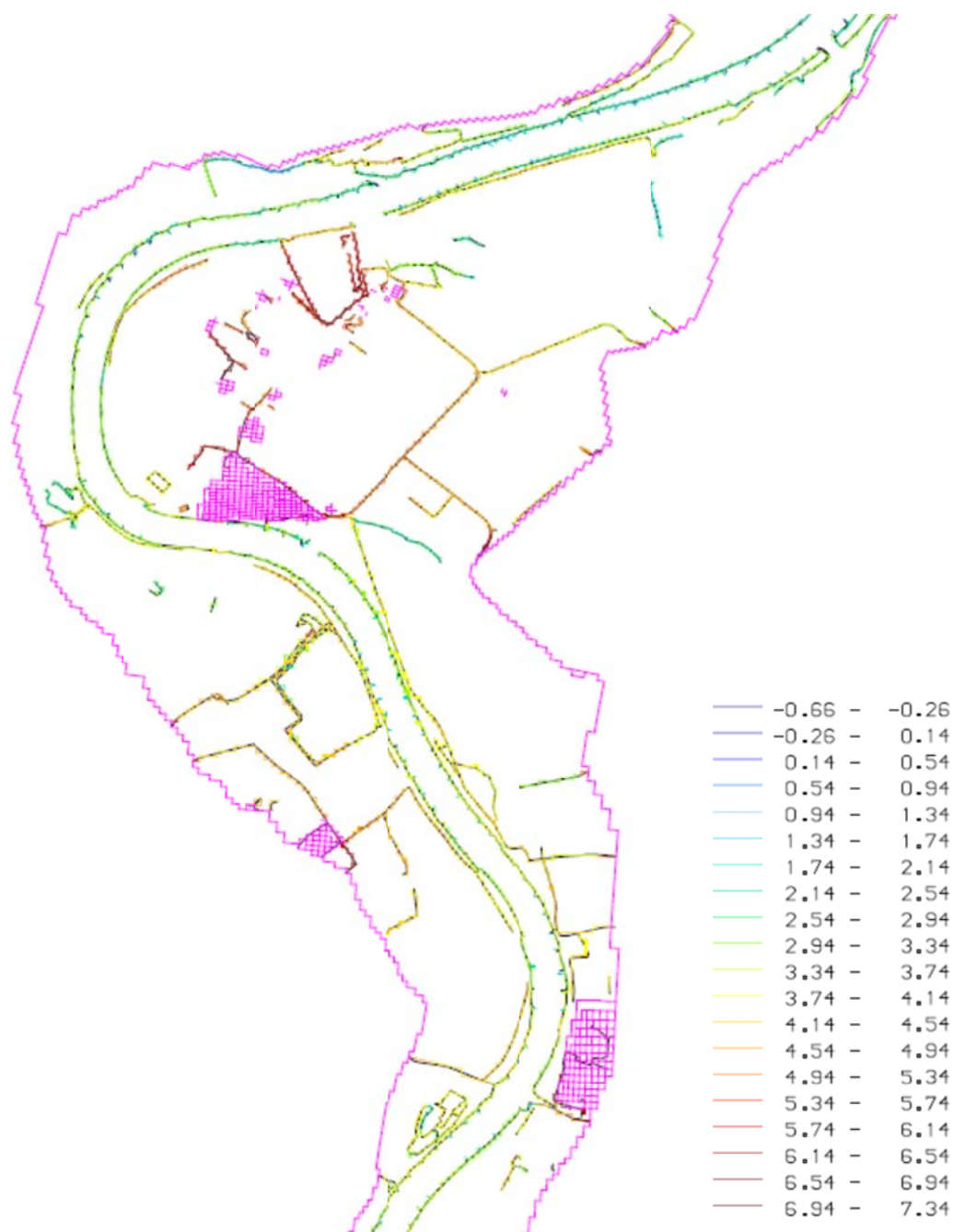
Figuur 3.1: Luchtfoto huidige situatie



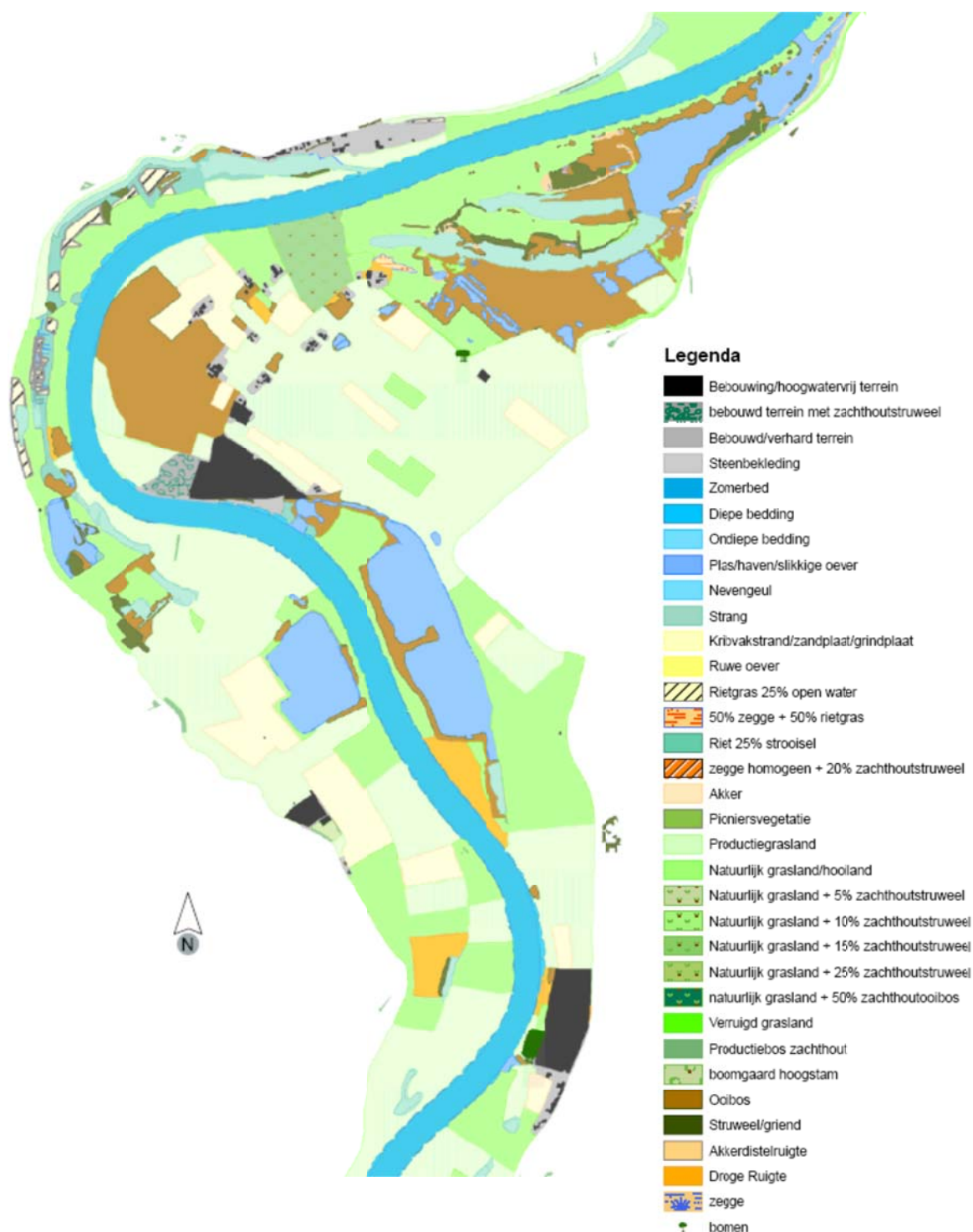
Figuur 3.2: Plankaart VKA (voor een grote versie van deze kaart, zie bijlage E)



Figuur 3.3: Bodemhoogtes (m) en hoogte sprongen in huidige situatie
(op basis van bodemhoogte- en overlatenbestand uit Baseline)

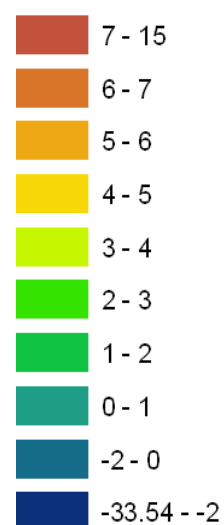


Figuur 3.4: Kruinhoogtes van overlaten (gekleurde lijnen) in huidige situatie
(op basis van overlatenbestand in WAQUA)

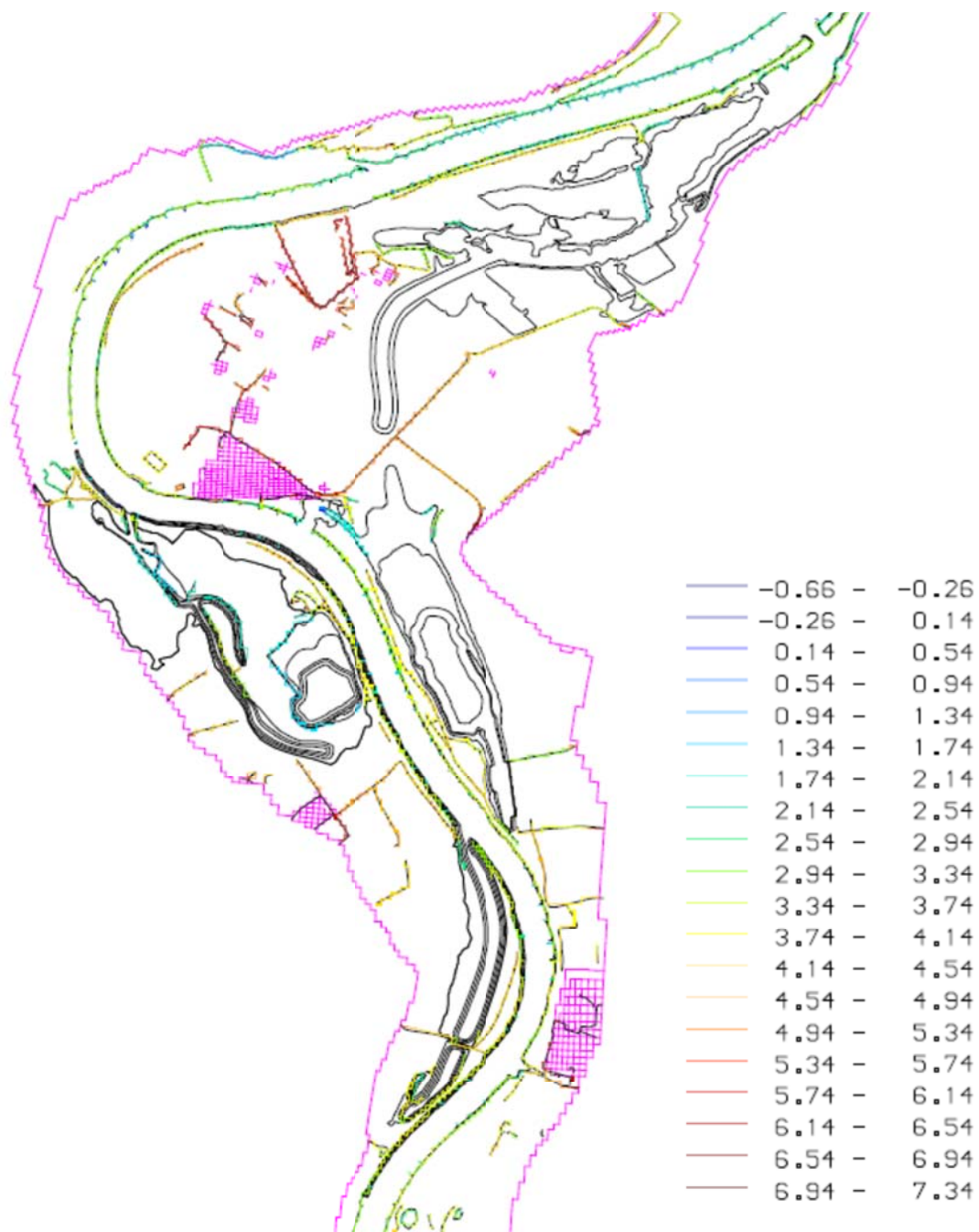


Figuur 3.5: Vegetatietypen huidige situatie (op basis van de gespecificeerde ruwheidvlakken- en lijnen bestand uit Baseline)

Legenda



Figuur 3.6: Bodemhoogtes en hoogte sprongen (zwarte lijnen) in het VKA (op basis van bodemhoogte- en overlatenbestand uit Baseline)



Figuur 3.7: Kruinhoogtes van overlaten in het VKA (gekleurde lijnen op basis van overlatenbestand in WAQUA)

Legenda

- Bebouwing/hoogwaterrijn terrein
- bebouwd terrein met zachthoutstruweel
- Bebouwd/verhard terrein
- Steenbekleding
- Zomerbed
- Diepe bedding
- Ondiepe bedding
- Plas/haven/slikkige oever
- Nevengeul
- Strang
- Kribvakstrand/zandplaat/grindplaat
- Ruwe oever
- Rietgras 25% open water
- 50% zegge + 50% rietgras
- Riet 25% strooisel
- zegge homogeen + 20% zachthoutstruweel
- Akker
- Pioniersvegetatie
- Productiegrasland
- Natuurlijk grasland/hooiland
- Natuurlijk grasland + 5% zachthoutstruweel
- Natuurlijk grasland + 10% zachthoutstruweel
- Natuurlijk grasland + 15% zachthoutstruweel
- Natuurlijk grasland + 25% zachthoutstruweel
- natuurlijk grasland + 50% zachthoutoobos
- Vervuigd grasland
- Productiebos zachthout
- boomgaard hoogstam
- Oobos
- Struweel/griend
- Akkerdistelruigte
- Droge Ruigte
- zegge



Figuur 3.8: Gewijzigde vegetatietypen volgens het streefbeeld in het VKA (op basis van de gespecificeerde ruwheidvlakken- en lijnen bestand uit Baseline)

Legenda

- Bebouwing/hoogwaterdijg terrein
- bebouwd terrein met zachthoutstruweel
- Bebouwd/verhard terrein
- Steenbekleding
- Zomerbed
- Diepe bedding
- Ondiepe bedding
- Plas/haven/slikkige oever
- Nevengeul
- Strang
- Kribvakstrand/zandplaat/grindplaat
- Ruwe oever
- Rietgras 25% open water
- 50% zegge + 50% rietgras
- Riet 25% strooisel
- zegge homogeen + 20% zachthoutstruweel
- Akker
- Pioniersvegetatie
- Productiegrasland
- Natuurlijk grasland/hooiland
- Natuurlijk grasland + 5% zachthoutstruweel
- Natuurlijk grasland + 10% zachthoutstruweel
- Natuurlijk grasland + 15% zachthoutstruweel
- Natuurlijk grasland + 25% zachthoutstruweel
- natuurlijk grasland + 50% zachthoutoobos
- Verruigd grasland + 15% struweel
- Productiebos zachthout
- boomgaard hoogstam
- Ooibos
- Struweel/griend
- Akkerdistelruigte
- Droge Ruigte
- zegge



Figuur 3.9: Gewijzigde vegetatietypen volgens het interventiewaardeniveau in het VKA (op basis van de gespecificeerde ruheidvlakken- en lijnen bestand uit Baseline)



4 Waterstandseffecten bij MHW

In dit hoofdstuk zijn de waterstandseffecten bij een MHW-afvoer gepresenteerd voor het VKA met 2 verschillende vegetatiebeelden; het interventiewaardeniveau en het streefbeeld. De resultaten tonen de maximale waterstandsval en maximale opstuwing in de as van de rivier bij MHW (16.000 m³/s). Dit is aspect 1.1 uit tabel 4 van het rivierkundig beoordelingskader [2]. Daarnaast is gekeken naar de MHW-stand buiten de as van de rivier, aspect 1.2 uit tabel 4 van het beoordelingskader.

4.1 Effecten in de as van de rivier

Voor het project geldt een taakstelling van 7,8 cm waterstandsval bij MHW nabij Olst, rond rivierkilometer 956-957. Daarbij dient de benedenstroomse opstuwingspiek zo min mogelijk te zijn.

Bij een afvoer van 16.000 m³/s is de huidige waterstand ca. NAP+7,0 m op kmr 956. Bij een gemiddelde afvoer (2.200 m³/s) is de waterstand op kmr 956 ca. NAP+2,20 m. In tabel 4.1 (betrekkingslijnen tabel RWS, 2010) zijn de waterstanden op kmr 960 (midden projectgebied) weergegeven voor verschillende afvoerniveaus.

Tabel 4.1: Waterstanden en overschrijdingsfrequentie voor afvoerniveaus in de huidige situatie

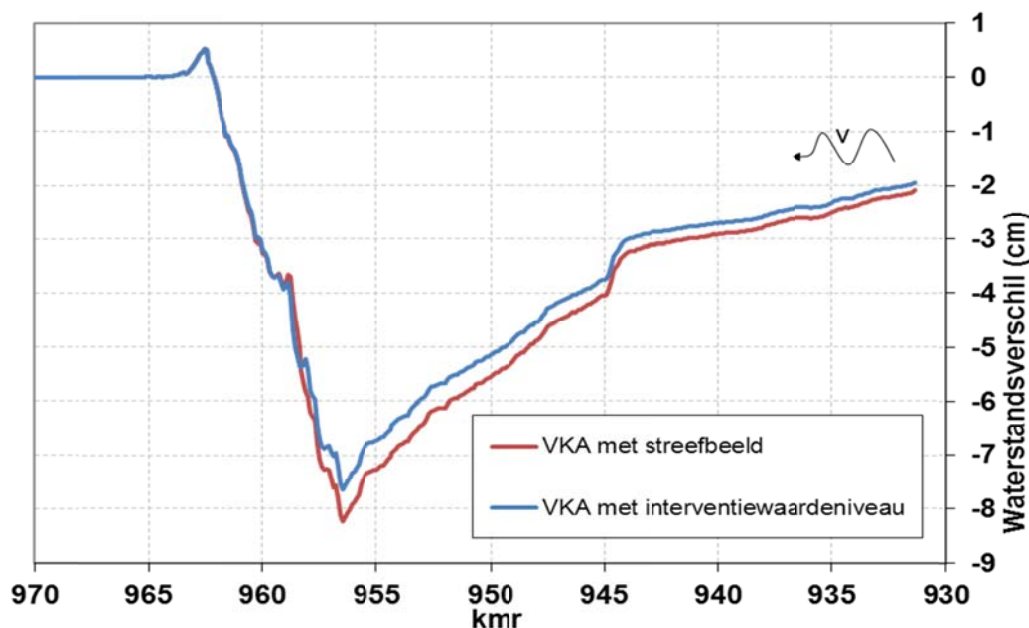
Afvoer bij Lobith (m ³ /s)	Afvoer op IJsselkop (m ³ /s)	Overschrijdingskans (gem. aantal dagen/jaar)	Gemiddelde duur afvoergolf (aantal dagen)	Waterstand bij kmr 960, Fortmond (m. t.o.v. NAP)
1.250	218	312	-	1,04
1.500	249	264	-	1,53
2.000	287	166	-	1,82
2.500	319	100	-	2,19
3.000	389	59	-	2,65
3.500	452	37	-	3,1
4.000	502	26	-	3,4
4.500	562	17	-	3,72
5.000	632	3	-	3,93
5.500	703	2	-	4,16
6.000	776	1	-	4,33
		Frequentie topafvoeren		
7.000	935	1/2 jaar	5	4,6
8.000	1.094	1/4 jaar	10	4,87
9.000	1.287	1/7 jaar	15	5,07
10.000	1.465	1/14 jaar	15	5,24
13.000	1.975	1/125 jaar	20	5,91
16.000	2.593	1/1250 jaar	25	6,74

4.1.1 Streefbeeld

Het VKA met het vegetatie streefbeeld zorgt bij MHW voor een maximale waterstandsverlaging van 8,24 cm in de as van de rivier op kmr 956,5¹. Hiermee voldoet het VKA met streefbeeld met een extra 0,4 cm waterstandsdeling aan de rivierkundige taakstelling. De benedenstroomse opstuwingspiek in de as van de rivier is maximaal 0,5 cm op kmr 962,6. Dit is ter hoogte van de Duursche Waarden.

Bij 16.000 m³/s stroomt er ca. 1.577 m³/s (59%) door de Enk, in de huidige situatie was dit 1.376 m³/s (51%). Een verschil van 201 m³/s aan afvoer dat extra door de Enk stroomt.

De maximale opstuwung en verlaging van de waterstand in de as van de rivier zijn overzichtelijk samengevat in tabel 4.2. Figuur 4.1 toont de waterstandsverlaging in de as van de rivier per 100 meter rivieras. Figuur 4.2 toont het verschil in waterstand in het projectgebied.



Figuur 4.1: Effect op de waterstand (cm) in de as van de rivier t.g.v. het VKA bij 16.000 m³/s

Tabel 4.2: Waterstandseffecten in de as van de rivier bij MHW voor VKA met het streefbeeld

	VKA met streefbeeld
Maximale verlaging in de as	-8,24 cm (kmr 956,5)
Maximale opstuwung in de as	+0,53 cm (kmr 962,6)

¹De rivierkundige optimalisaties om de morfologische en scheepvaart effecten te reduceren zorgen voor een lichte reductie in de maximale waterstandsdeling. Eerder berekeningen van het VKA gaven een maximale waterstandsdeling van circa 8,3 a 8,4 cm.

4.1.2 Interventiewaardeniveau

Het VKA met het vegetatie interventiewaardeniveau zorgt bij MHW voor een maximale waterstandsverlaging van 7,64 cm in de as van de rivier op kmr 956,5. Hiermee voldoet het VKA met interventiewaardeniveau niet aan de taakstelling. De benedenstroomse opstuwingspiek in de as van de rivier is maximaal 0,52 cm op kmr 962,9.

Het interventiewaardeniveau is voor de meeste gebieden gelijk aan het streefbeeld. Het verschil in vegetatiebeeld ligt bij de oeverzone van de Welsumerwaard.

Hier is het natuurlijk gras- en hooiland verruigd naar verruigd grasland en de zone van verruigd grasland met 5% zachthoutstruweel verruigd naar verruigd grasland met 25% zachthoutstruweel.

Het interventiewaardeniveau voldoet net niet aan de taakstelling. Om te zorgen dat het interventiewaardeniveau ook voldoet aan de taakstelling moet het gedeelte met zachthoutstruweel zo beheerst worden dat hier niet meer dan 15% zachthoutstruweel aanwezig is. Indien dit niveau op 15% wordt gehandhaafd zal de waterstandsvaling bij interventiewaardeniveau naar verwachting voldoen aan de taakstelling. Deze situatie is weergegeven in figuur 3.9. Hiervoor is echter geen berekening uitgevoerd.

Voor de doorstroombaarheid van het gebied kunnen een aantal gevoelige locaties worden geïdentificeerd. Deze locaties mogen niet verruigen ten opzichte van het aangegeven streefbeeld. Een verruiging van deze gebieden betekent dat de gewenste waterstandsvaling bij MHW niet meer wordt gehaald ter plaatse van Olst. Het gaat hierbij om de volgende gebieden:

- De oevers langs de geulen en plassen. Deze oevers zijn van belang voor de doorstroombaarheid naar de plassen en hoogwatergeulen;
- De zone langs de Fortmonderweg, naar de geul door de Enk en de noordelijke uiteinden van de Roetwaard. Dit gebied moet open blijven zodat water bij extreme afvoeren door de geul naar de Enk kan gaan stromen;
- De uiterwaarden bij de Welsumer waarden en nabij de veerstoeper. Deze locatie vormt het smalste gedeelte van de IJssel met uiterwaarden in dit gebied. Verruiging levert hier een extra bottleneck binnen dit reeds smalle gedeelte. De doorstroombaarheid van deze locatie is daarmee van dubbel belang.

De maximale opstuwing en verlaging van de waterstand in de as van de rivier zijn overzichtelijk samengevat in tabel 4.3. Figuur 4.1 toont de waterstandsverlaging in de as van de rivier per 100 meter rivieras. Figuur 4.3 toont het verschil in waterstand in het projectgebied.

Tabel 4.3: Waterstandseffecten in de as van de rivier bij MHW voor het VKA met het interventiewaardeniveau

	VKA met interventiewaardeniveau
Maximale verlaging in de as	-7,64 cm (kmr 956,5)
Maximale opstuwing in de as	+0,52 cm (kmr 962,9)

4.2 Effecten buiten de as van de rivier

Door de ingreep kan de waterstand in de uiterwaarden van het projectgebied en langs de bandijk lokaal toenemen. Dit kan resulteren in mogelijke schade voor de bewoners en gebruikers van de uiterwaarden en een afname van het veiligheidsniveau van het dijktracé.

Een verhoging van de MHW-stand bij de bandijk is slechts toegestaan na acceptatie door de beheerder van de waterkering, het waterschap. De benedenstroomse maximale opstuwing is beoordeeld ter plaatse van de bandijk, de IJsseldijk ten westen van de IJssel bij Veessen en de Groene dijk en de Rijksstraatweg aan de oostelijke zijde van de IJssel.

Voor het streefbeeld is de maximale opstuwing langs de westelijke dijk ter hoogte van de Smeestraat in Veessen, nabij kmr 962,6. Deze maximale opstuwing is 0,6 cm. De maximale opstuwing aan de oostelijke dijk is ter hoogte van de Koetsweg. Deze maximale opstuwing is 1,1 cm. De maximale opstuwing in het projectgebied is 1,9 cm en wordt gevonden tussen de Koetsweg en de Fortmonderweg.

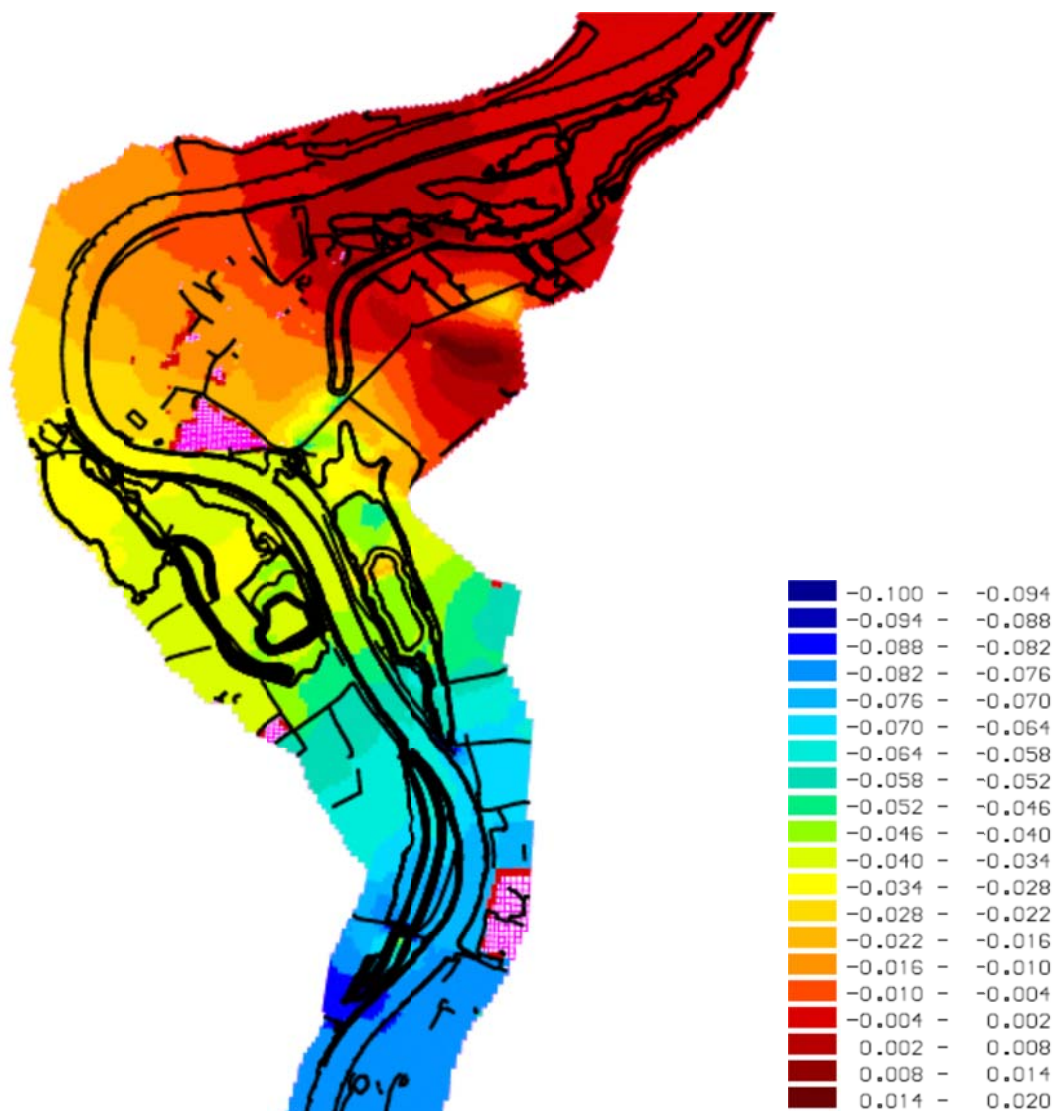
Voor het interventiewaardeniveau is de maximale opstuwing langs de westelijke dijk ter hoogte van de Smeestraat in Veessen, nabij kmr 962,6. Deze maximale opstuwing is 0,6 cm. De maximale opstuwing aan de oostelijke dijk is ter hoogte van de Koetsweg. Deze maximale opstuwing is 1,0 cm. De maximale opstuwing in het projectgebied is 1,8 cm en wordt gevonden net ter hoogte van de Tichelstraat.

De maximale waterstandverhoging van de waterstand buiten de as van de rivier zijn samengevat in tabel 4.3. De opstuwing langs de oostelijke dijk is significant is ter acceptatie voorgelegd aan de dijkbeheerder. Op moment van oplevering van deze rapportage is hier nog geen reactie op terug gekomen.

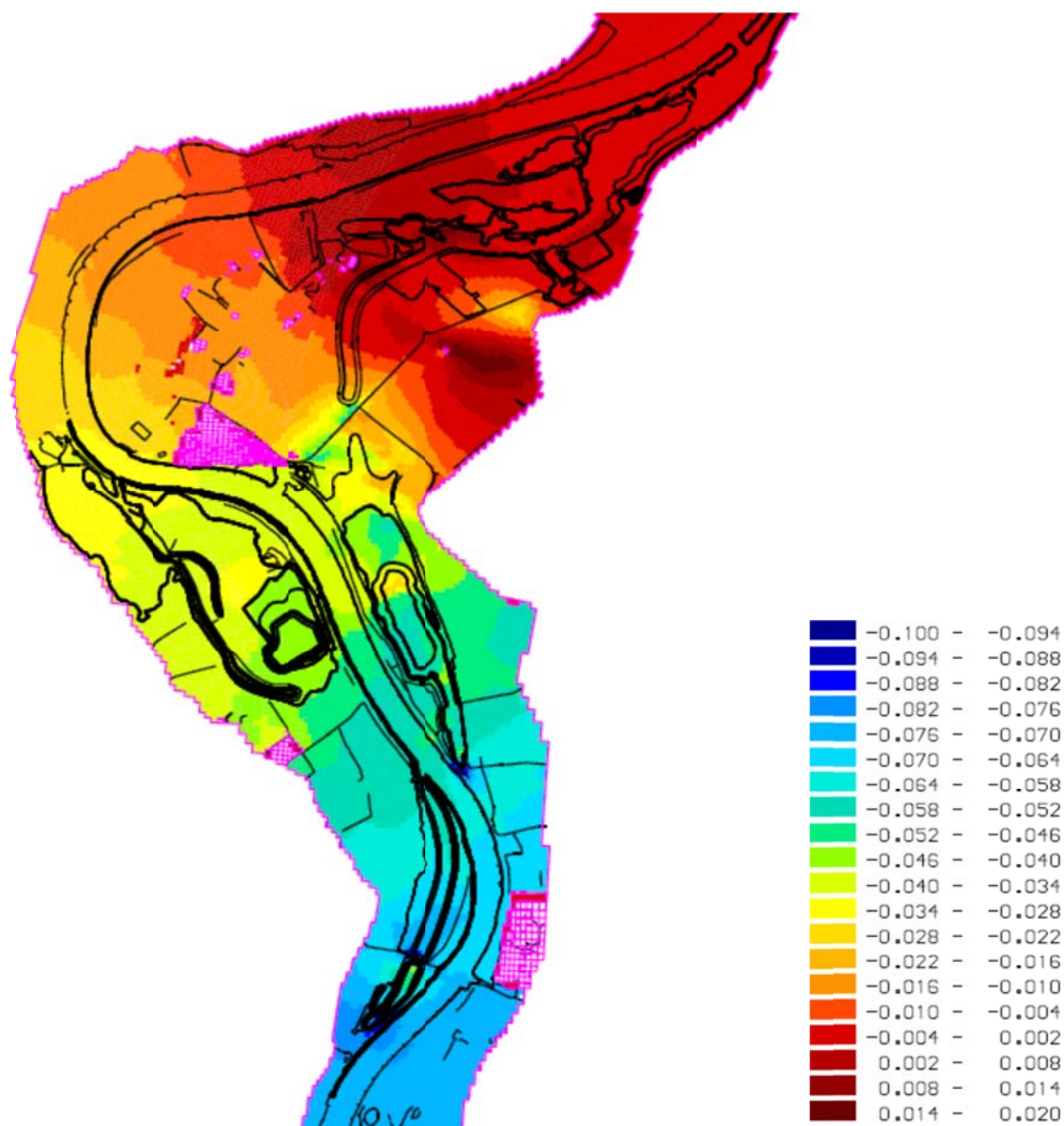
Bij het beoordelen van de opstuwingen door de dijkbeheerder, het Waterschap, moet worden meegenomen, dat andere RvR-projecten op de IJssel, zoals hoogwatergeul Veessen-Wapenveld, de zomerbedverlaging en IJsseldelta Zuid, zullen leiden tot een waterstandsdeling van enkele centimeters bij Olst bij MHW. Dit zal een deel tot de gehele opstuwing langs de bandijk (waarschijnlijk) teniet (moeten) doen.

Tabel 4.3: Waterstandseffecten buiten de as van de rivier bij MHW

Grootheid	VKA met Streefbeeld	VKA met interventieniveau
Maximale opstuwing langs de oostelijke dijk	1,1 cm (nabij Koetsweg)	+ 1,0 cm (nabij Koetsweg)
Maximale opstuwing langs de westelijke dijk	0,6 cm (nabij kmr 962,6)	+ 0,6 cm (nabij kmr 962,6)
Maximale opstuwing in het projectgebied	1,9 cm (in de Enk)	+1,8 cm (in de Enk)



Figuur 4.2: Waterstandsverschil ten opzichte van de referentie (m) t.g.v. het VKA met het streefbeeld bij 16.000 m³/s (figuur toont het WAQUA resultaat)



Figuur 4.3: Waterstandsverschil ten opzichte van de referentie (m) t.g.v. het VKA met het interventiewaardeniveau bij 16.000 m³/s (figuur toont het WAQUA resultaat)

5 Effect op Afvoerverdeeling bij MHW

Een verschuiving in de afvoerverdeeling kan resulteren in hogere waterstanden op een bepaalde riviertak. Dat is geen acceptabele situatie. De Olster uiterwaarden liggen circa 75 km van de IJsselkop, gezien deze grote afstand is het onwaarschijnlijk dat de ingreep een significant effect zal hebben op de afvoerverdeeling op dit splitsingspunt. Om dit te beoordelen is voor het VKA met streefbeeld een WAQUA berekening gemaakt bij 16.000 m³/s met een vrije afvoerverdeeling. Hierbij is beoordeeld in hoeverre de afvoerverdeeling op de IJsselkop wijzigt. Deze toets is voorgeschreven in aspect 1.3 uit tabel 4 van het beoordelingskader [2].

Bij het VKA met het vegetatie streefbeeld wijzigt de afvoerverdeeling op de IJsselkop bij een afvoer van 16.000 m³/s met 2 m³/s. Door de rivierverruiming stroomt er 2 m³/s meer door de IJssel dan in de huidige situatie, een verschuiving van 2.662 m³/s naar 2.664 m³/s ter plaatse van Zutphen. Het waterstandsverschil bij 16.000 m³/s op de IJsselkop is 2 mm.

De zeer kleine wijziging in afvoerverdeeling ligt binnen de grenzen van het beoordelingscriterium (5 m³/s). Het projectgebied ligt voldoende ver van het splitsingspunt, waardoor er geen bezwaarlijk effect optreedt.



6 Effecten op inundatiefrequentie

Als gevolg van de ingrepen in het projectgebied wijzigt de frequentie van instromen van (delen van) de uiterwaard. Dit kan nadelig zijn voor de omwonenden, voor de bereikbaarheid of voor natuurontwikkeling. Aspect 2.1 uit tabel 4 van het 5beoordelingskader gaat op dit aspect in.

Tabel 6.1 toont de waterstanden (betrekkingslijnen tabel RWS, 2010) in de huidige situatie bij verschillende afvoerniveaus op kmr 960 in het projectgebied in de as van de rivier. De maaiveldhoogtes van de uiterwaarden in het plangebied variëren tussen de NAP+2,5 tot NAP+5,5 m.

Tabel 6.1: Waterstanden en overschrijdingsfrequentie voor afvoerniveau's in de huidige situatie

Afvoer bij Lobith (m ³ /s)	Afvoer op IJsselkop (m ³ /s)	Overschrijdingskans (gem. aantal dagen/jaar)	Gemiddelde duur afvoergolf (aantal dagen)	Waterstand bij kmr 960, Fortmond (m. t.o.v. NAP)
1.250	218	312	-	1,04
1.500	249	264	-	1,53
2.000	287	166	-	1,82
2.500	319	100	-	2,19
3.000	389	59	-	2,65
3.500	452	37	-	3,1
4.000	502	26	-	3,4
4.500	562	17	-	3,72
5.000	632	3	-	3,93
5.500	703	2	-	4,16
6.000	776	1	-	4,33
		Frequentie topafvoeren		
7.000	935	1/2 jaar	5	4,6
8.000	1.094	1/4 jaar	10	4,87
9.000	1.287	1/7 jaar	15	5,07
10.000	1.465	1/14 jaar	15	5,24
13.000	1.975	1/125 jaar	20	5,91
16.000	2.593	1/1250 jaar	25	6,74

Door de aanleg van de nevengeul in de Welsumerwaarden verandert de inundatiefrequentie van dit gebied. De geul is aan de benedenstroomse zijde verbonden met het zomerbed. Hierdoor fluctueert de waterstand in deze geul en de omliggende oevers met de waterstand van de IJssel mee. Als gevolg hiervan neemt de inundatiefrequentie van het omliggende maaiveld toe. De huidige en toekomstige oeverwal blijft onvergraven en ligt op circa NAP+3,5 m. Deze begint in de huidige situatie mee te stromen vanaf ca. 4.000 m³/s, ofwel ca. 26 dagen per jaar. De lagere maaiveld delen rondom de geul hebben een hoogte van ca. NAP+2,5 tot 3,0 m. Hier neemt de inundatiefrequentie toe van ca. 26 naar ca. 60 dagen per jaar. De landbouw functie verdwijnt echter in dit gebied, hierdoor veroorzaakt deze verandering geen overlast voor omwonenden of gebruikers.

De weg naar de veerstoep blijft op de huidige hoogte liggen, ook hier is dus geen verandering in het aantal dagen dat deze weg niet in gebruik is vanwege hoogwater.

Voor het gebied rondom de vergraven delen in de Roetwaard verandert er niets aan de inundatiefrequentie. De vergraven delen worden natter, de omliggende onvergraven delen houden dezelfde inundatiefrequentie omdat er geen wijzigingen aan de hoogte van de drempels en oevers plaats vindt. De zomerkade rondom de Roetwaard blijft gehandhaafd op de huidige hoogte. Aan de noordelijke zijde wordt de Roetwaard middels een duiker door de zomerkade aangetakt. Indien de duiker met een klep wordt uitgevoerd veranderen de inundatiefrequenties van de omliggende akkers niet.

In het gebied de Enk verandert de inundatiefrequentie door de aanleg van de hoogwatergeul. Deze staat in directe verbinding met het open water in de Duursche Waarden. Het omliggende maaiveld rondom de geul wordt verlaagd naar NAP+3,0 m, hetgeen een nieuwe inundatiefrequentie geeft van ca. 40 dagen per jaar.

De wegen door de Enk, de Tichelstraat en de Fortmonderweg, blijven op dezelfde hoogte liggen als in de huidige situatie. Hier vindt geen verandering van de inundatiefrequentie plaats. De hoogte van de Fortmonderweg varieert tussen NAP+4,7 m en NAP+5,25 m, deze belangrijke kade gaat zorgt ervoor dat er pas bij afvoeren vanaf circa 8.000 tot 9.000 m³/s water vanuit de Roetwaarden richting de hoogwatergeul in de Enk stroomt

Voor gebruikers van het gebied, zoals de recreatievoorzieningen en de agrariërs, neemt de inundatiefrequentie niet toe, de overlast bij hoogwater blijft tot dezelfde aantal dagen beperkt. Het gebied rondom de geul krijgt een natuurfunctie, waardoor er geen overlast is voor gebruikers.

In de Oenerdijker Waarden neemt de inundatiefrequentie wel toe door de vergravingen. Dit deel wordt aangetakt aan het zomerbed en zal gaan fluctueren met de stand in de rivier. Deze inundatie lijdt niet tot overlast, omdat het agrarisch gebruik wordt losgelaten en het gebied een natuurfunctie krijgt.

Kortom, de inundatiefrequentie van sommige delen neemt toe, echter dit heeft geen effect op de omwonenden of andere gebruikers. De functie van de gebieden waar een verandering optreedt, wijzigt van agrarisch naar natuur. De wegen en drempels in het gebied blijven op gelijke hoogte, waardoor de inundatiefrequentie gelijk blijft.

7 Effecten op stroombeeld uiterwaard

Door ingrepen in het gebied kunnen (lokale) stroomsnelheden in de uiterwaard veranderen. Dit kan resulteren in lokale erosie bij constructies als kribben, gebouwen, kaden, wegen maar ook langs randen van plassen en geulen. De mate van (verwachte) erosie wordt ingeschat door het beoordelen van de verandering van de grootte en richting van de stroomsnelheden bij een afvoer van 10.000 m³/s. Dit beoordelingsaspect is omschreven in aspect 2.2 uit tabel 4 van het beoordelingskader [2].

Figuur 7.1 toont de optredende stroomsnelheden in het projectgebied bij een afvoer van 10.000 m³/s voor de huidige situatie. De stroomsnelheden in de Welsumerwaarden variëren tussen de 0,3 en 0,75 m/s. In de Roetwaarden aan de overkant van de IJssel zijn de snelheden lager 0,2 – 0,3 m/s en in de plas van de Roetwaard zijn de snelheden laag, minder dan 0,2 m/s. In het gebied van de Enk zijn de snelheden tussen de 0,2 – 0,4 m/s met hier en daar hogere waarden van 0,5 – 0,7 m/s.

Figuur 7.2 en 7.3 tonen de stroomsnelheden voor het VKA met streefbeeld en de verandering van de stroomsnelheid ten opzichte van de huidige situatie. In het VKA (met streefbeeld) nemen de stroomsnelheden in het noordelijk deel van de geul in de Welsumer waarden toe, met ongeveer 0,1 – 0,2 m/s tot orde 0,6 m/s. In het zuidelijk deel (instroom) neemt de snelheid af met ongeveer 0,2 – 0,3 m/s. Ditzelfde geldt voor het gebied rondom de geul. Ook hier nemen de stroomsnelheden af ten opzichte van de referentie. De stroming wordt meer geconcentreerd in de nevengeul.

In de Roetwaarden nemen de stroomsnelheden toe, voornamelijk in de geul van de IJssel naar de plassen en in het gebied van de plassen zelf.

In de verbindingsgeul neemt de snelheid toe met maximaal 0,5 m/s naar orde 0,6 – 0,7 m/s. In de plassen neemt de snelheid toe, omdat de plassen worden verondiept. De toename is 0,4 – 0,5 m/s. Omdat er in de referentie situatie nauwelijks stroomsnelheid was is dit ook de stroomsnelheid die wordt gevonden in het VKA.

In de geul in het gebied van de Enk nemen de snelheden zowel toe als af. In het zuidelijk deel van die geul, en in gebied daarom heen, neemt de snelheid af met 0,1 – 0,4 m/s tot een waarde van 0,2 – 0,4 m/s. In het noordelijk deel van de geul neemt de snelheid juist toe met 0,1 – 0,2 m/s tot een waarde van 0,2 – 0,3 m/s.

In de Oenerdijker waarden, waar de vergravingen reeds zijn uitgevoerd nemen de stroomsnelheden toe rondom en boven de plas, met ongeveer 0,1 – 0,2 m/s. De snelheden in het VKA blijven daar echter wel laag, orde 0,1 – 0,2 m/s.

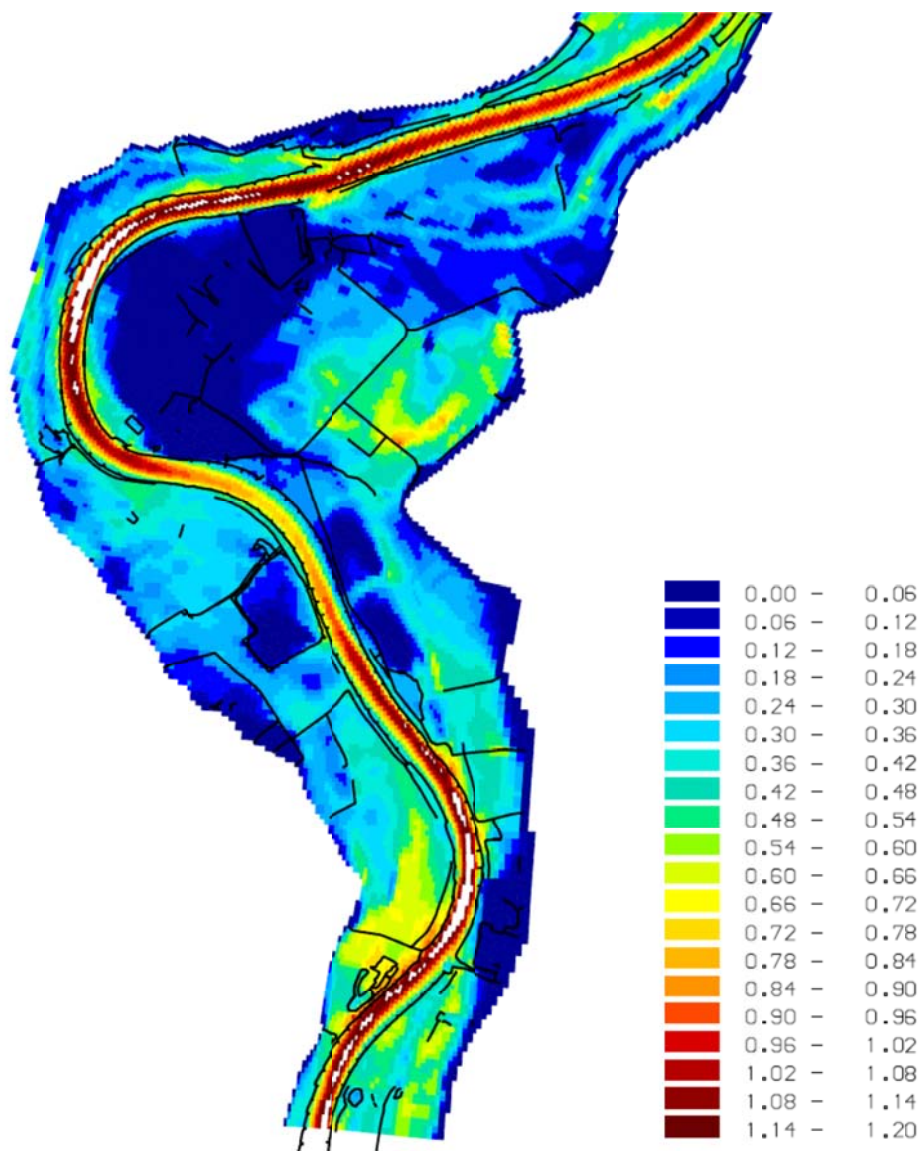
Tabel 7.1. Indicatieve waarden van de stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen

Locatie		Stroomsnelheid Huidige situatie [m/s]	Stroomsnelheid VKA [m/s]	Maximale toename stroomsnelheid [m/s]
Welsumer Waarden	Geul	0,6 – 0,7	0,5 – 0,6	-0,2 - + 0,2
	Drempel			
	Oeverzone			
Roetwaarden	Verbindingsgeul	0,1 – 0,2	0,6 – 0,7	0,5
	Plassen	nihil	0,4 – 0,5	0,4 – 0,5
Enk	Geul	0,2 – 0,3	0 – 0,3	-0,4 - + 0,2
	Uiterwaard	idem	idem	idem

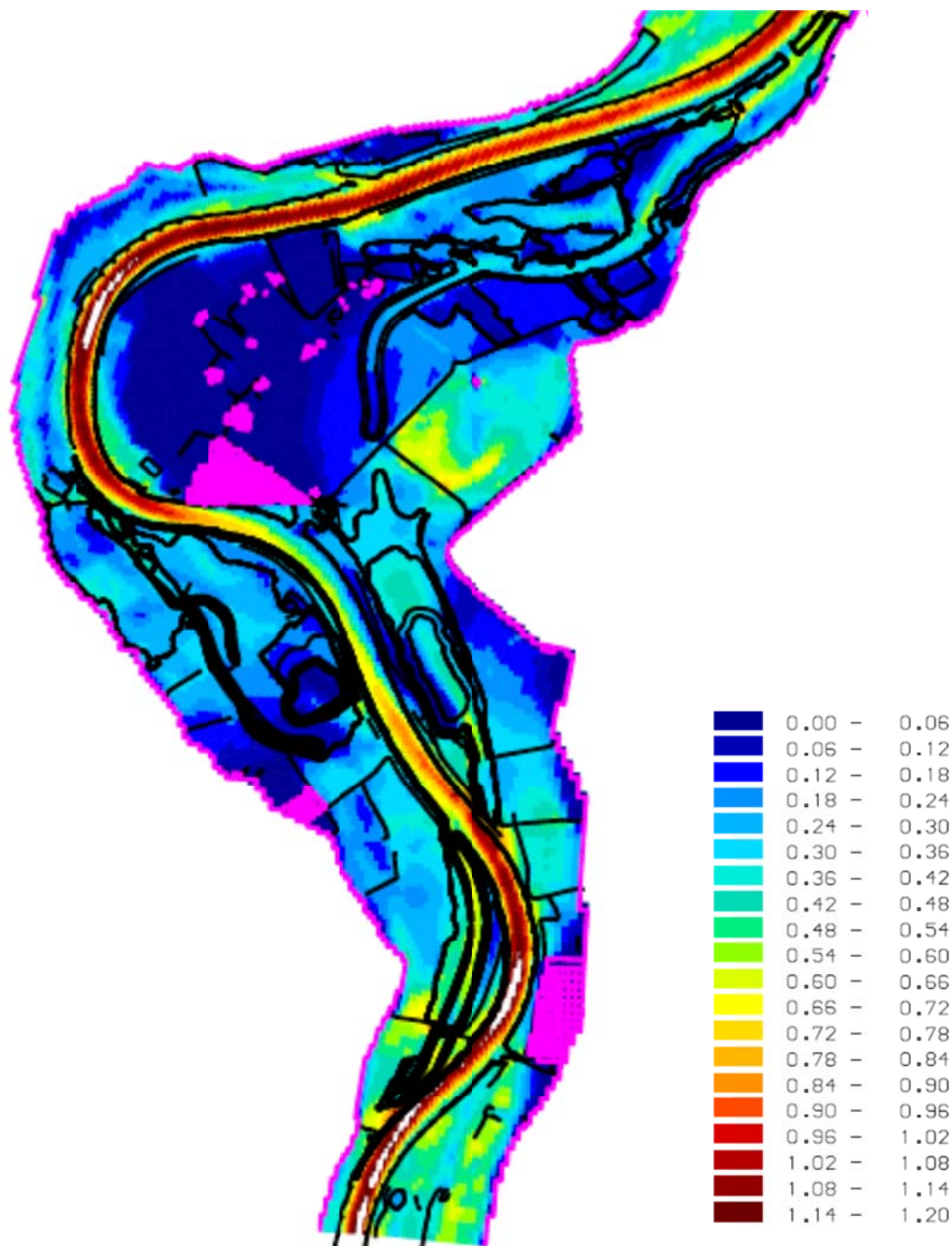
Op basis van de stroomsnelheden worden er geen hinderlijke effecten voor bewoners en gebruikers verwacht. Wel zijn er een paar aandachtspunten:

- Een belangrijk aandachtspunt ligt bij de weg naar de veerstoep in de Welsumerwaarden. Boven- en benedenstrooms van de weg wordt een geul gegraven. Dit zorgt ervoor dat bij hoge afvoeren meer water door de geul gaat stromen en meer water over de weg stroomt. Bij de weg op de kade kan er turbulente stroming ontstaan tijdens hoogwater, dit kan zorgen voor lokale erosie aan de grasbekleding van de kade. De WAQUA berekening bij 16.000 m³/s toont stroomsnelheden tot ca. 1,5 m/s. Deze snelheden tonen dat er een risico is op erosie aan de kade. Na hoogwater dient deze mogelijke schade door erosie te worden beoordeeld. Er kan ook gekozen worden om de kade te beschermen met erosie beschermende maatregelen zoals open steenbekleding;
- Tijdens hoogwater neemt de stroomsnelheid bij de uitstroomopening van de Roetwaard toe. Dit zorgt voor veranderende stroompatronen bij de camping bij Fortmond nabij kmr 959. Deze veranderingen kunnen zorgen voor lokale erosie en kunnen hinder veroorzaken voor de camping en recreatieterrein. De stroomsnelheden blijven lager dan 0,7 m/s, waardoor de erosie klein zal zijn en er waarschijnlijk geen steenbestorting noodzakelijk is. Een en ander is wel afhankelijk van het bodemmateriaal. Een nadere analyse voor een technisch ontwerp is noodzakelijk.

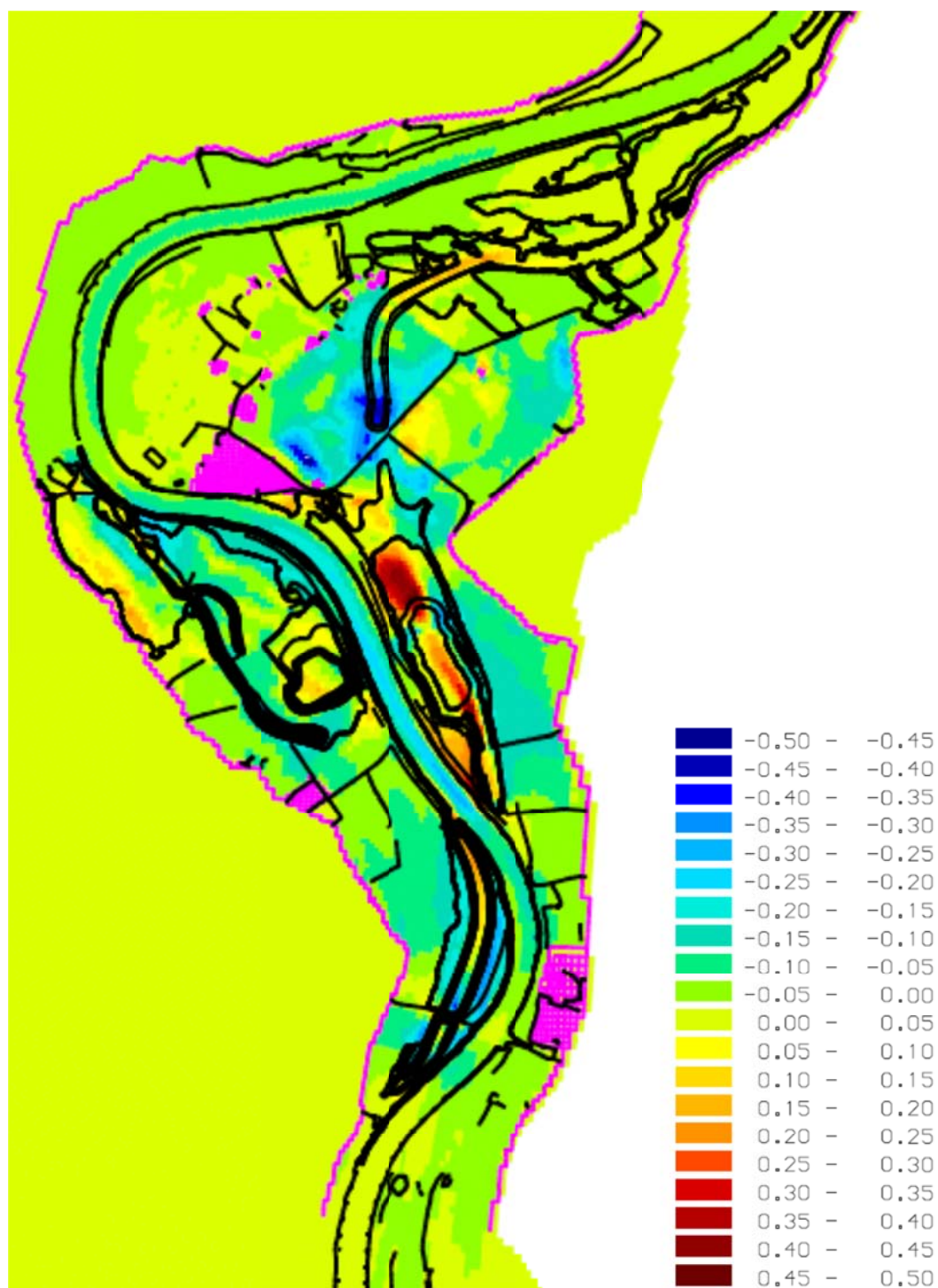
In paragraaf 9.2 is nader ingegaan op erosie beschermende maatregelen langs de geulen en in- en uitstroomopeningen.



Figuur 7.1: Stroomsnelheden (m/s) en richting in de huidige situatie bij een afvoer van 10.000 m³/s



Figuur 7.2: Stroomsnelheden (m/s) voor het VKA met streefbeeld bij een afvoer van 10.000 m³/s



Figuur 7.3: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen de VKA en de huidige situatie bij een afvoer van 10.000 m³/s



8 Effecten stroombeeld in- en uitstroomopeningen

Bij (aangetakte) nevengeulen kunnen bij lage afvoeren dwarsstromingen optreden bij de in- en uitstroomopeningen van de geulen. Deze dwarsstromingen kunnen hinderlijk zijn voor de scheepvaart en de veiligheid (navigatie) nadelig beïnvloeden. Een toename in dwarsstroming leidt mogelijk tot een toename van benodigde padbreedte voor de scheepvaart. Dit leidt dan mogelijk tot meer ongevallen en brengt de veiligheid en vlotheid in geding.

Als beoordelingseis (aspect 2.3 uit tabel 4 van het beoordelingskader [2]) geldt: Bij het meestromen van nevengeulen mag op de rand van de vaargeul de dwarsstroom bij een debiet $< 50 \text{ m}^3/\text{s}$ maximaal $0,30 \text{ m/s}$ bedragen. Bij debieten van meer dan $50 \text{ m}^3/\text{s}$ is nader onderzoek nodig, waarbij als vuistregel een maximale dwarsstroom van $0,15 \text{ m/s}$ geldt.

De vraag of er nadelige dwarsstroming optreedt, is beoordeeld door voor het gehele projectgebied bij verschillende afvoeren de dwarsstroming te beoordelen. De dwarsstroming is beoordeeld op de denkbeeldige kribbaken-lijn voor de oostelijke en westelijke oever van de IJssel, lopend vanaf ca. kmr 956 tot ca. kmr 964. Op deze lijn is de dwarsstroming loodrecht op de as van de rivier berekend uit de WAQUA resultaten van stationaire berekeningen bij een afvoer van 2.000, 4.000, 6.000, 8.000, 10.000, 16.000 m^3/s . Middels een analyse van de stroomsnelheden en stroomrichting bij deze afvoeren is voor zowel de huidige situatie als het VKA met vegetatie streefbeeld bepaald wat de dwarsstroming is per 20 meter. Vanaf een afvoer van circa $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (inschatting, berekeningen geven aan dat dit tussen de 4.000 en $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ligt) stroomt er meer dan $50 \text{ m}^3/\text{s}$ door de nevengeulen.

In bijlage C is een presentatie van diverse figuren voor de analyse van de dwarsstroming opgenomen. In deze figuren is ook duidelijk te zien waar de dwarsstroming optreedt en hoe deze zich ruimtelijk verdeelt. De gepresenteerde dwarsstromingen in de hierna volgende paragrafen zijn het resultaat na optimalisatie van het aspect dwarsstroming. In de optimalisatie zijn ten opzichte van een eerdere versie van het ontwerp van het VKA de zomerkades langs de Hooge Waard (plas) opgehoogd, zodat de oorspronkelijke situatie hersteld wordt. Ook langs de Roetwaard is de zomerkade hersteld tot de huidige hoogtes nabij de in- en uitstroompunten van de Roetwaard.

8.1 Dwarsstroming bij $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Bij een afvoer van $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ overstromen de oevers/drempels naar de nieuw aan te leggen geulen nog niet tot nauwelijks. Hierdoor vindt er geen wijziging plaats in dwarsstroming ten opzichte van de huidige situatie bij de Welsumerwaarden en de Roetwaard.

Bij 2.000 en $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn de dwarsstromingen die ontstaan ten gevolge van in- en uitstromen van de kribvakken ca. $0,1$ a $0,15 \text{ m/s}$ langs de westelijke en oostelijke kribbaken-lijn. Dit levert geen belemmering voor de scheepvaart en overschrijdt niet het criterium van $0,3 \text{ m/s}$.

8.2 Dwarsstroming bij 6.000 m³/s

Bij een afvoer van 6.000 m³/s overstromen de oevers en drempels, en stromen de nevengeulen mee. Dit zorgt voor extra dwarsstroming ten gevolge van extra onttrekking of lozing.

In de Welsumerwaarden vormt de weg naar de veerstoep nog een barrière, waardoor water eerst de uiterwaard instroomt en bovenstrooms van de veerstoep weer terug stroomt. Dit zorgt in het VKA met streefbeeld voor een onttrekking van 0,12 m/s en een lozing van 0,11 m/s. Dit valt nog binnen de beoordelingscriteria voor dwarsstroming. Door de geul in de Welsumerwaarden stroomt ca. 60 m³/s. Hierbij is de terugstroom naar het zomerbed bovenstrooms van de veerstoep niet meegenomen. Dit is ongeveer 7% van de IJsselafoer. Bij de uitstroomopening van de geul is de dwarsstroming ca. 0,16 m/s. Dit valt net buiten de beoordelingscriteria voor dwarsstroming.

Bij de Oenerdijker waarden neemt de dwarsstroming af. Op kmr 959 neemt door de onttrekking naar de Hoge Waard de dwarsstroming af naar ca. 0,02 m/s. De onttrekking naar de Oenerdijker waard is ca. 25 m³/s (3%). Bij kmr 960,2 wordt dit water weer geloosd, hetgeen tot een dwarsstroming van ca. 0,08 m/s leidt. Deze dwarsstromingen zijn lager dan de gestelde criteria en een afname ten opzichte van de huidige situatie.

Bij de Roetwaard stroomt er ca. 160 m³/s (19%) door de plas en geul. Op kmr 958 lijdt dit tot een onttrekking van 0,18 m/s, deze onttrekking is zeer lokaal en leidt tot een sterke gradiënt. Deze dwarsstroming is hinderlijk voor de scheepvaart en is een lichte overschrijding van het beoordelingscriterium. Door de hoge ligging van de kade door de Enk, stroomt het water in zijn geheel weer terug naar het zomerbed nabij kmr 959,5. Deze terugstroming gebeurt vrij gespreid, waardoor er geen hoge dwarsstroming ontstaat (orde 0,1 tot 0,15 m/s). De doorgevoerde optimalisatie van het VKA, het in stand houden van de zomerkade en het verwijderen van het ooibos bij de instroomlocatie, heeft tot een reductie in dwarsstroom geleid (van 0,28 m/s naar 0,18 m/s), maar nog niet tot een volledige oplossing waarbij de dwarsstroming binnen de beoordelingsseisen vallen.

Bij de Duursche Waarden verandert er niks aan de dwarsstroming. Het VKA heeft geen invloed hierop.

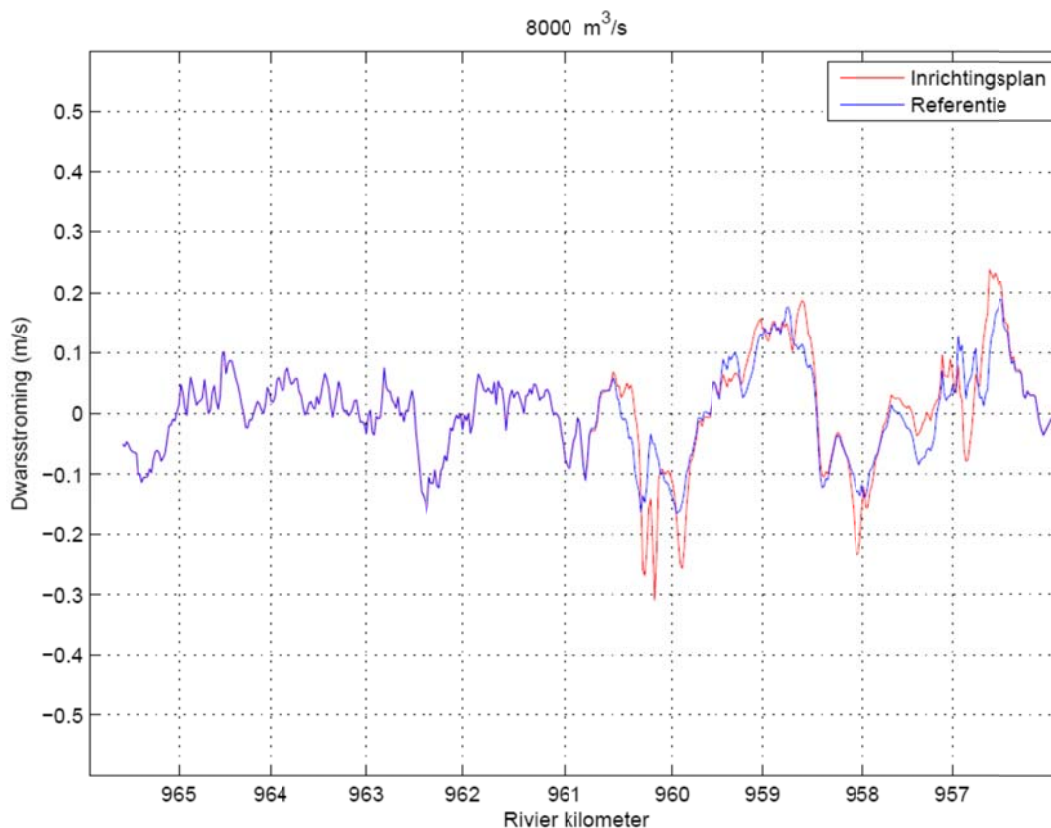
8.3 Dwarsstroming bij 8.000 m³/s

Bij een afvoer van 8.000 m³/s overstromen alle oevers en drempels, en stromen de nevengeulen volop mee. De geul in de Enk stroomt nog niet mee, doordat de Fortmonderweg nog niet overstroomt.

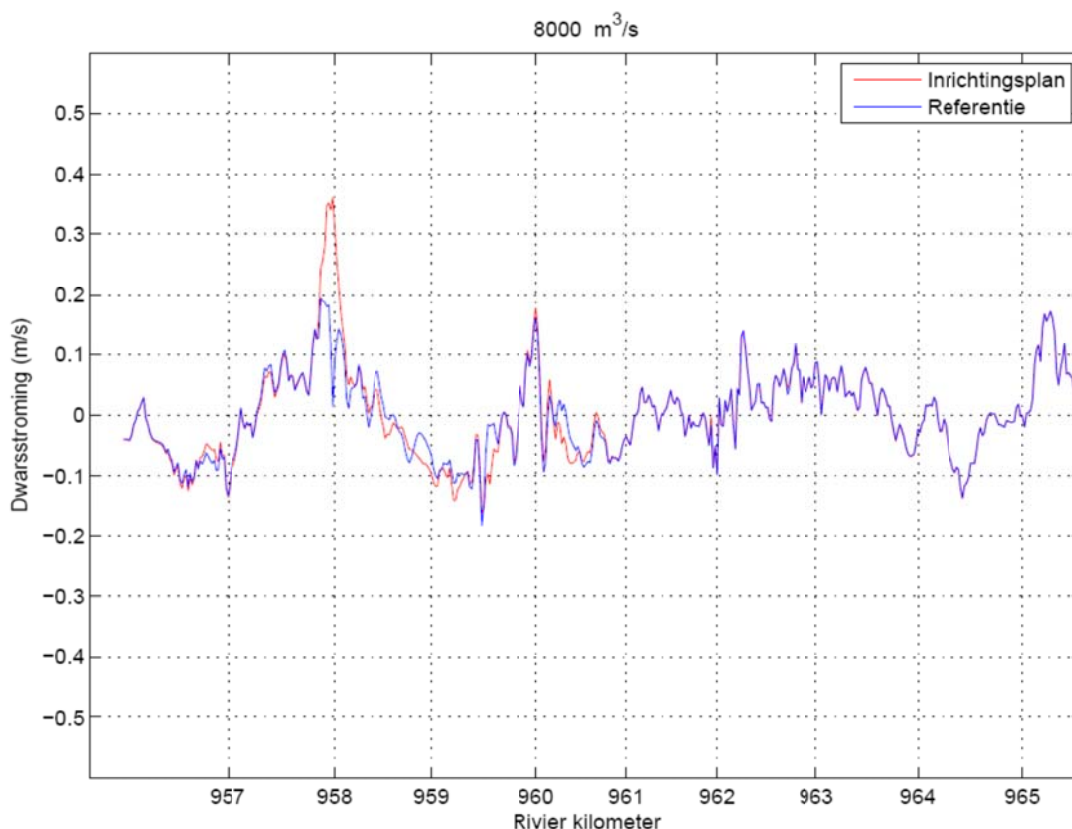
In de Welsumerwaarden stroomt bij een dergelijke afvoer water over de veerweg, totaal stroomt er ca. 280 m³/s (24%) door de geul. Dit zorgt ervoor dat de onttrekking bij kmr 956,8 toeneemt van 0,19 naar 0,24 m/s. Bij kmr 958 neemt de lozing toe van 0,14 m/s naar 0,23 m/s. Deze dwarsstromingen zijn hoger dan de beoordelingscriteria. De dwarsstroming bij de instroom van de geul overschrijdt in de huidige situatie ook het criterium van 0,15 m/s. Daarbij valt de lozing door de nevengeul samen met de onttrekking naar de Roetwaard, dit levert aan beide oevers een dwarsstroming op in dezelfde richting.

Bij de Oenerdijker waarden neemt de dwarsstroming Op kmr 959 neemt door de onttrekking naar de Hoge Waard toe naar ca. 0,19 m/s. De onttrekking vindt plaats over een grotere lengte van een paar honderd meter. De onttrekking naar de Oenerdijker Waard is ca. 400 m³/s (35%). Bij kmr 959,8 en 960,5 wordt dit water weer geloosd, hetgeen tot een dwarsstroming van 0,31 m/s leidt. Deze dwarsstromingen zijn hoger dan de gestelde beoordelingscriteria. Ten opzichte van de huidige situatie verandert de dwarsstroming niet bij de instroom, maar vooral bij de uitstroom.

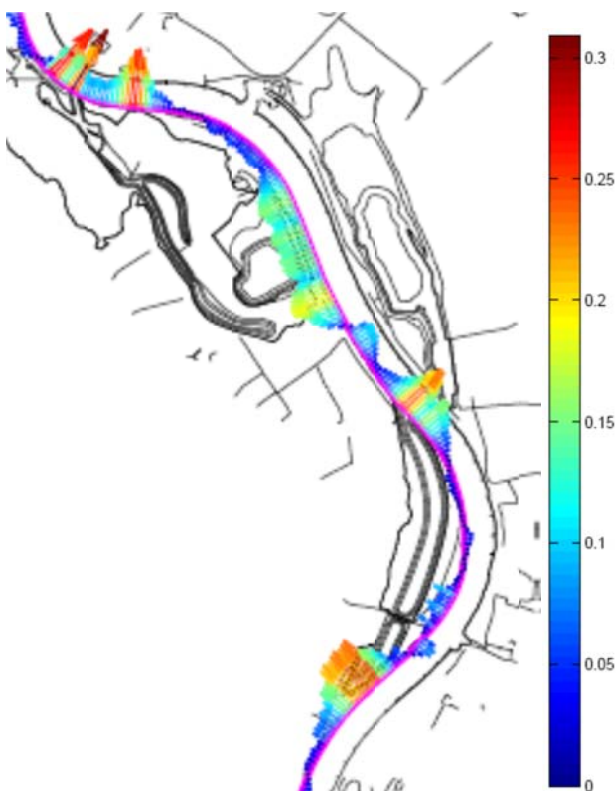
Bij de Roetwaard stroomt er ca. 450 m³/s (39%) door de plas en geul. Op kmr 958 lijdt dit tot een onttrekking van 0,36 m/s. Deze onttrekking is zeer lokaal en leidt tot een sterke gradiënt. Deze dwarsstroming is zeer hinderlijk voor de scheepvaart en is een fikse overschrijding van het beoordelingscriterium. Door de hoge ligging van de kade door de Enk, stroomt het water in zijn geheel weer terug naar het zomerbed nabij kmr 959,5. Deze terugstroming gebeurt vrij gespreid, waardoor er geen hoge dwarsstroming ontstaat (orde 0,1 tot 0,18 m/s). In tegenstelling tot de Oenerdijker Waarden verandert de dwarsstroming ten opzichte van de huidige situatie vooral bij de instroom en niet bij de uitstroom. Bij de Duursche Waarden verandert er niks aan de dwarsstroming. Het VKA heeft geen invloed hierop.



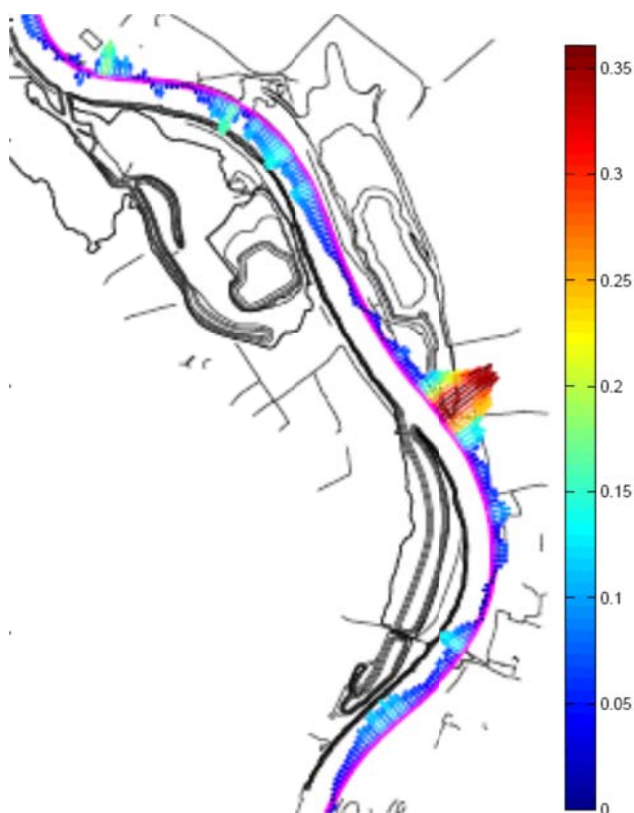
Figuur 8.1: Dwarsstroming bij 8.000 m³/s voor de huidige situatie en het VKA langs de westelijke oever. Positieve snelheden betekenen een onttrekking, negatieve snelheden een lozing



Figuur 8.2: Dwarsstroming bij 8.000 m³/s voor de huidige situatie en het VKA langs de oostelijke oever. Positieve snelheden betekenen een onttrekking, negatieve snelheden een lozing



Figuur 8.3: Dwarsstroming bij 8.000 m³/s voor het VKA langs de westelijke oever



Figuur 8.4: Dwarsstroming bij $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$ voor het VKA langs de oostelijke oever.

8.4 Dwarsstroming bij 10.000 m³/s en 16.000 m³/s

Bij een afvoer van 10.000 m³/s en 16.000 m³/s overstroomen alle oevers en drempels, en stromen de nevengeulen volop mee. Ook de geul in de Enk stroomt nu mee.

In de Welsumerwaarden stroomt bij 10.000 m³/s ca. 550 m³/s (35%) door de geul, bij 16.000 m³/s is dit ca. 1.200 m³/s (45%). Dit zorgt ervoor dat de onttrekking bij kmr 956,5 toeneemt van 0,29 naar 0,35 m/s, resp. van 0,48 naar 0,53 m/s. Bij kmr 958 neemt de lozing toe van 0,16 m/s naar 0,26 m/s, resp. van 0,25 naar 0,40 m/s. Deze dwarsstromingen zijn hoger dan de beoordelingscriteria. Ook in de huidige situatie is de dwarsstroming op deze locaties hoger dan deze criteria.

Bij de Oenerdijker waarden neemt de dwarsstroming bij de instroom niet verder toe in vergelijking tot de huidige situatie. Dit komt doordat de geul in de Enk mee gaat stromen en hierdoor minder water naar de Oenerdijker waarden stroomt. Op kmr 959 neemt de onttrekking naar de Hoge Waard af van 0,21 naar 0,17 m/s, resp. van 0,21 naar 0,18 m/s. De onttrekking naar de Oenerdijker Waard is ca. 450 m³/s (29%), resp. 300 m³/s (11%). Bij kmr 959,8 en 960,5 wordt dit water weer geloosd, hetgeen tot een dwarsstroming van ca. 0,23 m/s, resp. 0,17 m/s leidt. Deze dwarsstromingen zijn hoger dan de gestelde beoordelingscriteria.

Bij de Roetwaard stroomt er ca. 710 m³/s (46%) door de plas en geul bij een afvoer van 10.000 m³/s, bij een afvoer van 16.000 m³/s is dit 1.380 m³/s (51%). Op kmr 958 lijdt dit tot een onttrekking van 0,25 m/s naar 0,42 m/s, resp. van 0,35 naar 0,52 m/s. Deze dwarsstroming is zeer hinderlijk voor de scheepvaart en is een fikse overschrijding van het beoordelingscriterium. Doordat het water over de kade door de Enk wegstroomt, is er nauwelijks verandering in de lozing bij kmr 959. De dwarsstroming neemt hier af van 0,10 naar 0,06 m/s, resp. van 0,14 naar 0,10 m/s en is dus lager dan de gestelde beoordelingscriteria.

Bij de Duursche Waarden verandert er nauwelijks iets aan de dwarsstroming. Het VKA heeft geen invloed hierop. Dit ondanks dat het water dat via de geul in de Enk is afgevoerd, weer via de Duursche Waarden terugstroomt naar het zomerbed.

8.5 Samenvatting en conclusie

In tabel 8.1 zijn de maximale snelheden van de dwarsstroming bij de verschillende in- en uitstroomopeningen bij verschillende afvoeren overzichtelijk weergegeven. Deze dwarsstromingen betreffen de situatie met het reeds geoptimaliseerde VKA. De optimalisatie om de dwarsstroming te reduceren heeft bestaan uit:

- Herstellen van een kade langs de oever van het zomerbed nabij Hooge Waard;
- Verwijderen van een gebied met ooibos nabij de instroomlocatie van de Roetwaard;
- Aanbrengen en in stand houden van de zomerkade langs de oever van de Roetwaarden. De open verbinding bij de uitstroomlocatie is verwijderd, de kade wordt hier in stand gehouden. De benedenstroomse verbinding wordt gecreëerd door een duiker of opening door deze kade.

Tabel 8.1: Maximale dwarsstroomsnelheden (m/s) en -verschillen op de kribbakenlijn bij de in- en uitstroomopening van de geulen in het (geoptimaliseerde) VKA

Q-Iobith (m ³ /s)	Q-Olst (m ³ /s)	Welsumer Waard instroom		Welsumer Waard uitstroom		Oenerdijker Waard instroom		Oenerdijker Waard uitstroom		Roetwaard instroom		Roetwaard uitstroom	
	Ref	Ref	VKA	Ref	VKA	Ref	VKA	Ref	VKA	Ref	VKA	Ref	VKA
16.000	2.685	0,48	0,53	0,25	0,40	0,21	0,18	0,19	0,17	0,35	0,52	0,14	0,10
10.000	1550	0,29	0,35	0,16	0,26	0,21	0,17	0,18	0,23	0,25	0,42	0,10	0,06
8.000	1147	0,19	0,24	0,14	0,23	0,18	0,19	0,17	0,31	0,19	0,36	0,18	0,18
6.000	841	0,10	0,12	0,14	0,16	0,04	0,02	0,10	0,08	0,12	0,18	0,17	0,13
4.000	567	0,24	0,24	0,04	0,06	0,03	0,03	0,06	0,06	0,14	0,15	0,17	0,17

* Verschil met ref. is: >0,1 m/s, tussen 0,05 en 0,1 m/s, <0,05 m/s, positief. In gevallen boven 0,15 m/s.

De tabel toont dat de optimalisaties weliswaar de dwarsstroming hebben gereduceerd ten opzichte van eerdere versies van het VKA, maar dat de dwarsstroming op sommige locaties bij sommige afvoeren nog hoger dan de formele eis is.

De tabel toont dat de overschrijding van het beoordelingscriterium vooral plaats vinden bij de Welsumerwaarden bij afvoeren vanaf 8.000 m³/s. Bij de Oenerdijker Waard is de overschrijding met name bij de uitstroomopening bij afvoeren tussen de 8.000 en 10.000 m³/s. Bij de instroomopening blijft de dwarsstroming vrijwel gelijk of neemt licht af ten opzichte van de huidige situatie. Bij de Roetwaard is er overschrijding bij de instroomopening bij alle afvoeren vanaf 6.000 m³/s. Bij de uitstroomopening blijven de stroomsnelheden binnen de criteria of verslechteren ze niet ten opzichte van de huidige situatie.

De lozing vanuit de geul in de Welsumerwaarden en de onttrekking naar de roetwaard vallen samen op hetzelfde punt, nabij kmr 958. Dit levert aan beide oevers een dwarsstroming op in dezelfde richting, hetgeen extra bezwaarlijk kan zijn voor de scheepvaart.

Ondanks de optimalisaties aan het VKA is geconcludeerd is dat de dwarsstroming bij meerdere hoge afvoeren op verschillende locaties nog te hoog is. Onderstaand zijn enkele opties benoemd om de dwarsstroming te reduceren:

- De uitstroomopening van de geul in de Oenerdijkerwaard zou breder moeten worden of de oeverzone rondom de uitstroomopening zou moeten worden verlaagd over een grotere lengte. Beste oplossing zou zijn om de uitstroomopening te verleggen, zodat deze meer parallel aan de rivier aangetakt. Doordat de ingreep in de Oenerdijkerwaard reeds vergund en uitgevoerd is zijn deze mogelijkheden ongewenst;
- De uitstroomopening van de geul in de Welsumerwaarden kan worden verlegd zodat deze meer parallel aan de rivier takt. Ook kan de oeverzone rondom de uitstroomopening worden verlaagd zodat deze over een bredere sectie gaat uitstromen. Het verleggen van de geul is echter niet meer mogelijk binnen de huidige eigendomsrechten;



- De instroom naar de instroomlocatie naar de Roetwaard moet over een breder gedeelte worden verspreid. Dit kan door de huidige kleine plas gedeeltelijk of geheel te dempen, hierdoor zal het water meer gespreid naar de verondiepte plas van de Roetwaard stromen. Dit zal echter waarschijnlijk een negatief effect hebben op de maximale waterstandsaling. Daarnaast heeft dit invloed op de huidige landschappelijke en natuurwaarden van de plas.

Uit de bovenstaande verkenning is gebleken dat verdere optimalisatie afbreuk doet aan de doelstellingen van het project of beperkingen heeft vanuit de eigendomsrechten.

9 Aanzanding en erosie

9.1 Aanzanding en erosie van het zomerbed

Door de aanleg van planstudie IJssel uiterwaarden Olst neemt de afvoer door de uiterwaarden toe vanaf een bankfull situatie (afvoer Lobith is dan ongeveer 4.000 m³/s). Doordat er meer water door de uiterwaarden stroomt, stroomt er minder door het zomerbed, en hierdoor nemen de stroomsnelheden in het zomerbed af. Dit zal morfologische effecten veroorzaken; in het zomerbed zal aanzanding plaatsvinden over het traject waar meer water naar de uiterwaard stroomt.

In deze paragraaf is de aanzanding en erosie van het zomerbed onderzocht.

9.1.1 Huidige situatie en beoordelingseisen

In bijlage D zijn de kaarten met de waterdieptes bij OLR (Overeengekomen Lage Rivierstand) weergegeven. Deze kaarten zijn opgeleverd door Rijkswaterstaat. Deze kaarten laten zien dat tussen kmr 958 en 959 de diepte aan de rechteroever rond de 3 m is bij OLR. Aanzanding in dit gedeelte kan leiden tot extra baggerwerk. Dit is ook het geval in de binnenbocht tussen kmr 959 en 960. In de buitenbochten is over het algemeen voldoende waterdiepte aanwezig.

Wat betreft morfologische veranderingen in het zomerbed zijn de volgende toetscriteria in het rivierkundig beoordelingskader [2] opgenomen:

1. Vermindering diepte rivier en afvlakken rivierbodem:
 - a. de gegarandeerde diepte bij OLR dient te allen tijde gehandhaafd te worden. Voor de IJssel is dit OLR-2,50 m;
 - b. sedimentatie door ingrepen is toelaatbaar tot een gegarandeerde vaardiepte bij OLR + 40% genoemd niveau, op plaatsen waar de bodem lager ligt. Hierbij moet rekening worden gehouden met natuurlijke sedimentatie. De minimaal te handhaven gemiddelde diepte wordt dan voor de IJssel OLR-3,5 m. Daar waar de gemiddelde diepte al kleiner is, mag deze niet minder worden;
 - c. in het ontwerp moet het maximaal mogelijke worden gedaan om negatieve scheepvaarteffecten te voorkomen;
 - d. het meestromen van de nevengeulen mag niet een zodanig effect hebben dat als gevolg daarvan de waterstand in het zomerbed (vaardiepte in de geul) vermindert. Dit is van toepassing bij een waterstand van < NAP 9,24 m bij Lobith (median waterstand bij Q = 1.960 m³/s).
2. Hinder door baggeren:
 - a. de maximaal toelaatbare hinder voor de scheepvaart bedraagt 5 dagen per jaar per 15 km. In 5 dagen kan ongeveer 12.500 – 15.000 m³ worden gebaggerd op de Waal. Op de IJssel zijn deze waarden lager: 6.000 – 7.500 m³. Deze volumes zijn de volumes in de beun. De in situ volumes liggen ca. 40% lager.

Tevens geldt de initiatiefnemer het ontwerp zodanig dient te optimaliseren dat minimale aanzanding van het zomerbed optreedt (dus een duurzaam ontwerp):

- mocht daarmee toch niet helemaal kunnen worden voorkomen dat (beperkte) aanzanding van het zomerbed optreedt, en de te garanderen gemiddelde diepte bij OLR (2.80 m + 40% voor overige Waal) niet in stand wordt gehouden, dan geeft de nadere uitwerking aan dat dan:

- de initiatiefnemer inventariseert met welke infrastructurele maatregelen in het zomerbed (denk aan langsdammen, kribverlenging, zandvang) de aanzanding kan worden gemitigeerd;
- Is ook na het doorrekenen van bovengenoemde maatregelen nog steeds sprake van te veel aanzanding, dan moet deze worden weggebaggerd. Baggeren is dus de laatste maatregel in deze trits. Moet worden gebaggerd, dan moet i.k.v. zandsuppletiebeleid worden teruggestort. Dit kan alleen op die plaatsen in de rivier waar het dieper is dan de aan de scheepvaart gegarandeerde diepte (zie hiervoor).
(Bron: *Werkwijze Beoordelen Rivieringrepen, Criterium 6*)

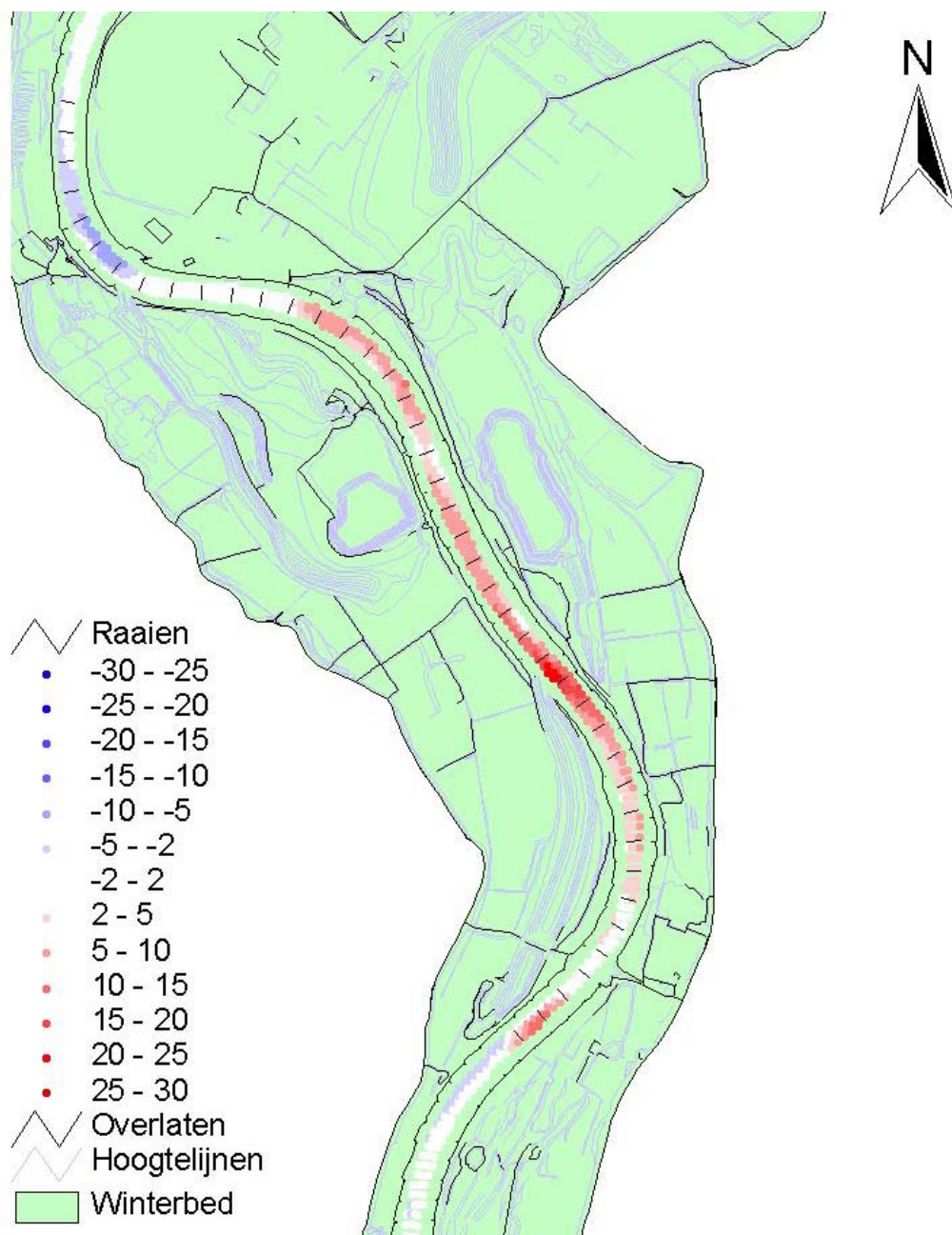
9.1.2 Toekomstige situatie

Het programma WAQmorf is gebruikt voor de bepaling van de morfologische bodemveranderingen in het zomerbed. WAQmorf is een nabewerking op de resultaten van WAQUA, waarmee op basis van de stroomsnelheden en de waterdiepte de verandering van de bodem in het zomerbed inzichtelijk wordt gemaakt. Van WAQmorf is bekend dat deze een bovengrens benadering geeft van het aanzandingsvolume.

Op 19 december 2011 zijn door RWS-ON ook de bodemhoogtes digitaal (GIS-format) naar Haskoning gestuurd. Op basis van de WAQmorf resultaten en de digitale bodemhoogtes is het morfologische effect bepaald en de toekomstige vaardiepte.

Voor de berekeningswijze van het programma WAQmorf [3] is aangegeven dat de nevengeul niet stroomvoerend is bij alle afvoeren bij Lobith boven 1.000 m³/s en dat de uiterwaard stroomvoerend wordt bij een afvoer vanaf 3.800 m³/s. Dit betekent voor de dit plan dat twee afvoersommen benodigd zijn voor een inschatting van de morfologische veranderingen in het zomerbed. Voor het laagwaterblok en het hoogwaterblok worden WAQUA berekeningen gebruikt met afvoeren bij Lobith van respectievelijk 4.000 m³/s en 6.000 m³/s.

De stroomsnelheden van voor en na de ingreep worden gebruikt, evenals de dieptefile van de referentie situatie. WAQmorf bepaalt vier karakteristieke bodemveranderingen; jaargemiddeld, maximaal (na hoogwater), minimaal (einde laagwaterseizoen) en het maximaal baggerbezwaar (volledig wegbaggeren na elk hoogwater).

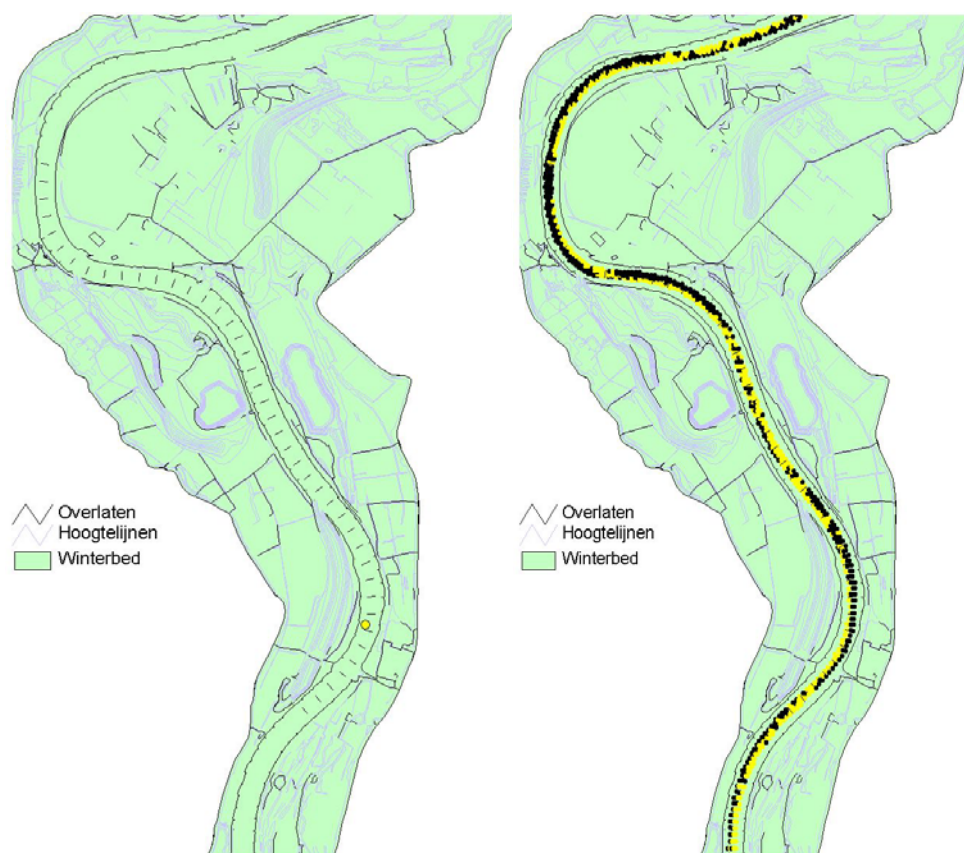


Figuur 9.1: Jaargemiddelde bodemverandering in de vaargeul t.g.v. het VKA (cm). Zwarte lijnen geven de raaien weer voor verdere analyse

Het gepresenteerde baggerbezwaar in deze paragraaf is het resultaat van een optimalisatie die is uitgevoerd voor het gebied. In figuur 9.1 is de jaargemiddelde bodemverandering in het zomerbed getoond met een range van 30 cm aanzanding en 30 cm erosie. De aanzanding vindt voornamelijk plaats over het traject waar water wordt onttrokken aan het zomerbed naar de Oenerdijkerwaard en de Roetwaarden, kmr 958 – 960. Benedenstrooms van kmr 960 stroomt bij de middelhoge afvoeren het water weer terug naar het zomerbed. In de bocht benedenstrooms van kmr 960 treedt lichte erosie op, dit is te verklaren door de ligging van de nieuwe hoogwatervluchtplaats bij benedenstroomse uiteinde van de Oenerdijker waard. Hierdoor neemt de stroming door het zomerbed toe t.o.v. de huidige situatie.

Op basis van de digitaal aangeleverde bodemligging is voor verschillende raaien over de oude vaargeul (50 m breed) de huidige en toekomstige bodemligging bepaald. Daarnaast is voor het zomerbed bepaald of ergens in de vaargeul de vaardiepte minder wordt dan $OLR - 2,5$ m en $OLR - 3,5$ m. Op basis van deze analyse is bepaald wat het mogelijke extra baggervolume is. Figuur 9.1 toont ook de ligging van de raaien.

Figuur 9.2 toont de locaties waar de vaardiepte (binnen de vaargeul (50m)) minder wordt dan $OLR - 2,5$ m en $OLR - 3,5$ m. Opvallend is dat de minimale waterdiepte van 2,5 maar op één locatie wordt onderschreden in het VKA. Het criterium van $OLR - 3,5$ m wordt op meer plaatsen, over het gehele traject, overschreden. Na uitvoer van het plan komen hier nog meer locaties bij.



Figuur 9.2: Locaties (gele punten) waar waterdiepte minder is dan $OLR - 2,5$ m (links) en $OLR - 3,5$ m (rechts)



Tabel 9.1: gemiddelde waterdiepte bij OLR, jaargemiddelde bodemverandering en jaargemiddelde baggervolume per raai breedte-gemiddeld over de vaargeul (50 m breed, lengte tussen raai 100 m)

Nummer raai	Huidige gemiddelde waterdiepte bij OLR over de raai	Bodemverandering en maximaal baggervolume	Toekomstige gemiddelde waterdiepte bij OLR over de raai	Baggervolume	
				Verplicht	Maximaal
(-)	(m)	(m)	(m)	(m ³)	(m ³)
956.60	3.44	0.04	3.41	176	176
956.70	3.11	0.07	3.05	348	348
956.80	3.35	0.02	3.32	119	119
956.90	3.45	0.00	3.44	20	20
957.00	3.45	0.01	3.44	41	41
957.10	3.54	0.02	3.52		119
957.20	3.50	0.02	3.48	119	124
957.30	3.66	0.04	3.62		219
957.40	4.19	0.05	4.14		233
957.50	3.94	0.04	3.90		200
957.60	3.66	0.05	3.61		237
957.70	3.53	0.05	3.48	104	250
957.80	3.85	0.07	3.78		356
957.90	3.54	0.12	3.42	415	591
958	3.88	0.19	3.69		950
958.1	3.34	0.14	3.20	702	702
958.2	3.71	0.10	3.60		517
958.3	3.36	0.08	3.27	420	420
958.4	3.33	0.08	3.26	381	381
958.5	3.43	0.07	3.36	333	333
958.6	3.66	0.08	3.58		400
958.7	3.43	0.07	3.36	331	331
958.8	3.41	0.04	3.37	188	188
958.9	3.46	0.02	3.43	115	115
959	3.10	0.05	3.06	231	231
959.1	3.60	0.08	3.52		385
959.2	3.39	0.06	3.32	323	323
959.3	3.64	0.05	3.59		235
959.4	3.70	0.06	3.64		296
959.5	3.62	0.08	3.54		388
959.6	3.81	0.02	3.79		98
959.7	3.96	0.01	3.95		54
959.8	3.76	0.01	3.76		43
959.9	3.57	0.01	3.56		65
960	3.21	0.00	3.21	0	0
960.1	4.17	0.00	4.17		15
960.2	4.03	-0.04	4.07		
960.3	4.41	-0.04	4.45		
960.4	4.47	-0.04	4.51		
960.5	4.37	-0.03	4.39		
960.6	4.14	-0.02	4.15		
960.7	3.95	-0.01	3.96		
960.8	3.50	-0.01	3.50		

Nummer raai	Huidige gemiddelde waterdiepte bij OLR over de raai	Bodemverandering en maximaal baggervolume	Toekomstige gemiddelde waterdiepte bij OLR over de raai	Baggervolume	
				Verplicht	Maximaal
		Totaal maximaal bezwaar	In situ		9.500 m ³
		Huidige vaargeul	In situ	4.365 m ³	
			In de beun	6.111 m ³	
		Nieuwe vaargeul (factor 65/50)	In situ	5.674 m ³	
			In de beun	7.944 m ³	

De resultaten van de analyse van de gemiddelde waterdiepte per raai over de vaargeul zijn in tabel 9.1 weergegeven. Voor de berekening van het baggerbezwaar is uitgegaan dat alleen wordt gebaggerd op locaties waar de vaardiepte minder is dan 3,5 m. De extra aanzanding wordt weggebaggerd als de gemiddelde diepte in de referentie situatie al kleiner is dan 3,5 m. Als de gemiddelde diepte in de referentie situatie groter is dan 3,5 m, dan wordt alleen de aanzanding ten opzichte van 3,5 m weggebaggerd.

Uit deze analyse kan het volgende worden geconcludeerd:

- Het baggerbezwaar neemt voornamelijk toe tussen kmr 957,5 en 959,2;
- De gemiddelde aanzanding per raai loopt op tot maximaal 19 cm;
- Het totale baggerbezwaar is ca. 4.400 m³ per jaar in situ. Dit is ongeveer ca. 6.100 m³ per jaar in de beun. Bij deze getallen is uitgegaan van de huidige vaargeul van 50 m breed;
- Als rekening wordt gehouden met de nieuwe vaargeul van 65 m breed dan is het baggerbezwaar groter: ca. 5.700 m³ per jaar in situ en ca. 7.900 m³ per jaar in de beun. Deze getallen zijn niet expliciet berekend uit de GIS bestanden, maar is bepaald als factor (65 / 50) bovenop de resultaten van de oude vaargeul;
- Het baggerbezwaar bij de huidige vaargeul voldoet aan de norm van Rijkswaterstaat. Het baggerbezwaar overschrijdt deze norm alleen na correctie voor de nieuwe vaargeul. In samenspraak met Rijkswaterstaat moeten worden bepaald hoe het verwachte baggerbezwaar voor de nieuwe vaargeul moet worden beoordeeld.

Geconcludeerd wordt dat de morfologische effecten van het project Olst aan de gestelde normen uit het beoordelingskader voldoen bij de huidige vaargeul. De optimalisaties in het VKA hebben gezorgd dat het baggervolume van circa 16.500 m³ in de beu naar circa 6.100 m³ in de beun bij een 50 m brede vaargeul. Het behouden en aanbrengen van een zomerkade langs de Roetwaarden en de plas in de Oenerdijker Waard zorgt voor een reductie in baggervolume van circa 10.000 m³, ofwel 60%. Het baggerbezwaar door uitvoering van het VKA bij de nieuwe vaargeul breedte zal met 400 m³ de gestelde norm overschrijden.

9.2 Aanzanding en erosie van de nevengeul

De aanzanding en erosie in de uiterwaard en in de nevengeul is kwalitatief beoordeeld op basis van de stroomsnelheden bij 6.000 m³/s, 10.000 m³/s en 16.000 m³/s.

9.2.1 Aanzanding in de geulen

De verwachting is dat er aanzanding zal gaan ontstaan in de geulen op de volgende locaties:

- In de Welsumerwaarden zal bovenstrooms van de kade van de veerweg aanzanding ontstaan. Bij afvoeren vanaf 4.000 m³/s begint dit bovenstroomse deel van de geul mee te stromen, echter vanwege de hoogte van de kade, stroomt dit water direct weer terug naar het zomerbed. De verwachting is dat hierbij zand wordt afgezet in de geul.
Bij hogere afvoeren zal dit zand er niet uitspoelen vanwege de ligging van de veerstoept. Het bovenstroomse deel van de geul is dus een aanzandingslocatie. De snelheid van aanzanding is lastig te bepalen;
- Direct benedenstrooms van de kade van de veerweg zal mogelijk ook aanzanding kunnen ontstaan. Na de turbulente zone achter de kade, slaat aanwezig sediment neer in de geul;
- De plassen in de Roetwaard zullen sediment invangen vanwege de sterke afname in stroomsnelheid in dit deel. Dit leidt niet tot een bezwaar vanwege de diepte van de Roetwaard;
- De geul in de Enk zal niet frequent meestromen door de hoge ligging van de Fortmonderweg en Tichelstraat. De verwachting is dat de geul gevoelig zal zijn voor aanslibbing. Echter dit proces zal een langzaam langdurig proces zijn. In het regulier onderhoud moet de aanslibbing worden verwijderd.

9.2.2 Oever- en bodembescherming

In hoofdstuk 7 is reeds het stroombeeld bij 10.000 m³/s beoordeeld. De conclusie uit deze stroombeelden is dat er mogelijk een erosie beschermende maatregel nodig is in de Welsumerwaarden bij de kade met de weg naar de veerstoept.

Ook in de buitenbocht van het benedenstroomse deel is van de geul door de Welsumerwaarden treden hoge stroomsnelheden (tot 0,8 m/s) op bij 10.000 m³/s. Bij 16.000 m³/s lopen deze snelheden op tot 1,0 m/s. Dit kan leiden tot erosie aan de oever. Om het natuurlijk karakter van de oevers te behouden is steenbestorting niet wenselijk. Doordat het talud ca. 1:8 is, zal erosie niet direct leiden tot instabiliteit. Na een hoogwater dient deze locatie te worden gemonitord en eventuele schade door erosie te worden hersteld. Erosie aan de oever leidt niet direct tot ongewenste schade.

Ook in de smalle instroomopening naar de Roetwaard treden stroomsnelheden op van ca. 1,0 a 1,1 m/s bij een afvoer van 16.000 m³/s. Ook hier ontstaat het risico van erosie. Echter ook hier geldt dat vanwege het natuurlijke karakter steenbestorting niet wenselijk is. De oevers moeten flauw uitgevoerd worden, waardoor erosie niet direct tot instabiliteit leidt. Daarnaast leidt erosie niet tot ongewenste schade.

Om de achterloopsheid van kribben te voorkomen is oeverbescherming bij de uitstroomopeningen van de aangetakte geulen noodzakelijk. Het is zaak de bescherming door te trekken tot de wortel van de kribben, zodat een goede aansluiting wordt gemaakt.



Nabij de uitstroomopening in de Welsumerwaarden, de uitstroomopening in de Roetwaard en de uitstroomopening in de Oenerdijker Waard vindt er stroomaanval plaats op de oevers ten gevolge van uitstroming bij hoogwater en ten gevolge van scheepsgolven. Ter bescherming van de aldaar gelegen kribben en oevers dient een steenbestorting te worden aangebracht.

10 Conclusies

De belangrijkste conclusies uit de hydraulische en morfologische beoordeling van het VKA met streefbeeld zijn weergegeven in tabel 10.1. Hierbij is gebruik gemaakt van de aspecten, zoals genoemd in het Rivierkundig Beoordelingskader [2].

Tabel 10.1 Conclusies Hydraulica en Morfologie van het VKA met streefbeeld

Beoordeeld aspect	Effect/voorwaarde	Conclusie	Voldoet
Aspect 1.1: MHW stand op de as van de rivier	Taakstelling is 7,8 cm bij Olst bij 16.000 m ³ /s	Maximale verlaging is 8,24 cm op kmr 956,5 Maximale opstuwing is 0,53 cm op kmr 962,9 Het interventiewaardeniveau in de Welsumerwaarden geeft een waterstandsdaaling van 7.64 cm op kmr 956.5.	Ja
Aspect 1.2: MHW stand buiten as van de rivier	Toename waterstand aan de bandijk. Ter acceptatie voorleggen aan dijkbeheerder	Max. opstuwing langs de oostelijke bandijk is 1,1 cm Max. opstuwing aan westelijke bandijk is 0,6 cm Maximale opstuwing in het projectgebied is 1,9 cm ter hoogte van de Tichelstraat in de Enk.	Ja, aandachtspunt
Aspect 1.3: Afvoerverdeling bij MHW	Afwijking van de afvoerverdeling <5 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 16.000 m ³ /s.	Wijziging van 2 m ³ /s extra afvoer naar de IJssel. Dit aspect voldoet aan de gestelde voorwaarde.	Ja
Aspect 1.4: Afvoerverdeling bij normaal hoogwater	Afwijking van de afvoerverdeling <20 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s.	Nauwelijks waterstandsdaaling op IJsselpop. Hierdoor geen wijziging in afvoerverdeling. Dit aspect voldoet aan de gestelde voorwaarde.	Ja
Aspect 2.1: Effecten op inundatiefrequentie	Verandering inundatiefrequentie t.o.v. de huidige situatie.	De inundatiefrequentie van de lagere delen rondom de geulen neemt toe. Dit levert echter geen bezwaar of hinder voor gebruikers of omwonenden. De toegangswegen en weg naar de veerstoep houdt zelfde inundatiefrequentie.	Ja
Aspect 2.2: Stroombeeld in de uiterwaard	Verandering grootte en richting van stroomsnelheden bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s.	De stroomsnelheden in het projectgebied variëren tussen 0,05 en 1,0 m/s. De snelheid in de geulen en plassen neemt toe, maar dit heeft geen hinderlijke effecten voor gebruikers of omwonenden. Twee aandachtspunten: Mogelijke erosie bij het aanstromen van de veerweg op de kade in de Welsumerwaarden. Toename van stroomsnelheden bij hoogwater bij uitstroomopening van de Roetwaard. Aandachtspunt voor recreatieterrein en camping bij Fortmond.	Ja

Beoordeeld aspect	Effect/voorwaarde	Conclusie	voldoet
Aspect 2.3: Stroombeeld in hoofdgeul bij de aan- en aftakking van de nevengeul	Stroomsnelheid dwars op vaarweg $\leq 0,3$ m/s als $Q_{\text{geul}} < 50 \text{ m}^3/\text{s}$ of $0,15$ m/s indien $Q_{\text{geul}} > 50 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor het VKA ontwerp is dwarsstroming bepaald voor 2.000, 4.000, 6.000, 8.000, 10.000 en 16.000 m^3/s.	Dwarsstromingscriterium wordt overschreden bij de in- en uitstroomopening van de geul in de Welsumerwaarden bij afvoeren vanaf 8.000 m^3/s. Snelheden liggen ca. $0,1$ m/s hoger dan de huidige situatie bij de uitstroom en ca. $0,05$ m/s hoger bij de instroom. Bij de Oenerdijker Waard wordt de dwarsstroming te hoog bij met name de uitstroomopening bij afvoeren tussen de 8.000 en $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. In de Roetwaard vindt een overschrijding plaats bij de instroomopening bij alle afvoeren vanaf $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$. De toename is ca. $0,15$ m/s t.o.v. huidige situatie. Bij de uitstroomopening blijven de stroomsnelheden binnen de criteria.	Dwarsstromi ng is geoptimali- seerd. Ter beoordeling van RWS.
Aspect 2.4: Afvoerdeling bij normaal hoogwater	Verandering afvoerdeling bij Boven- Rijn afvoer van $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$.	Nauwelijks waterstandsaling op IJsselkop. Hierdoor geen wijziging in afvoerdeling. Dit aspect voldoet aan de gestelde voorwaarde.	Ja
Aspect 3.1: Aanzanding en erosie van het zomerbed	Geen vermindering vaargeulafmetingen. Beperkte hinder door baggeren.	Bij de huidige vaargeul breedte (50m) voldoet het baggerbezwaar met 6.100 m^3 in de beun aan de gestelde norm. De optimalisaties in het VKA hebben voor een reductie van circa 60% gezorgd. Rekeninghoudend met de nieuwe vaargeul van 65 m breed dan is het baggerbezwaar ca. 5.700 m^3 per jaar in situ en 7.900 m^3 per jaar in de beun. Dit baggerbezwaar is een kleine hoeveelheid hoger dan de toegestane 6.000- 7.500 m^3 in de beun.	Baggerbezwa aar is geoptimali- seerd. Ter beoordeling van RWS.
Aspect 3.2: Aanzanding en erosie van uiterwaard en nevengeul	Beperkte sedimentatie t.o.v. beheerkosten.	- aanzanding van gedeelte van geul in Welsumerwaarden. Het gaat om gedeelte bovenstrooms van de kade met de veerweg; - aanzanding in de Roetwaard; - aanslibbing in de geul door de Enk; - erosiebeschermende maatregelen langs de oevers bij de uitstroomopeningen en verdediging van kribben; - mogelijke erosie langs oever van buitenbocht geul in welsumerwaarden en erosie bij instroomopening Roetwaard.	Ja, enkele aandachts- punten.



11 Referenties

[1] Baseline maatregelen – eisen en richtlijnen, Versie 1.0, Rijkswaterstaat, 14 december 2007.

[2] Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Rijntakken, Versie 2.01, Rijkswaterstaat, 1 juli 2009.

[3] Methodiek inschatting morfologische effecten in het zomerbed door lokale Rivieringrepen, Memo, Rijkswaterstaat, 25 september 2008.

[4] Handboek 'stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden, deel 1 en deel 2, handboek versie 1-2003, RIZA rapport 2003.028 en RIZA rapport 2003.029, november 2003.

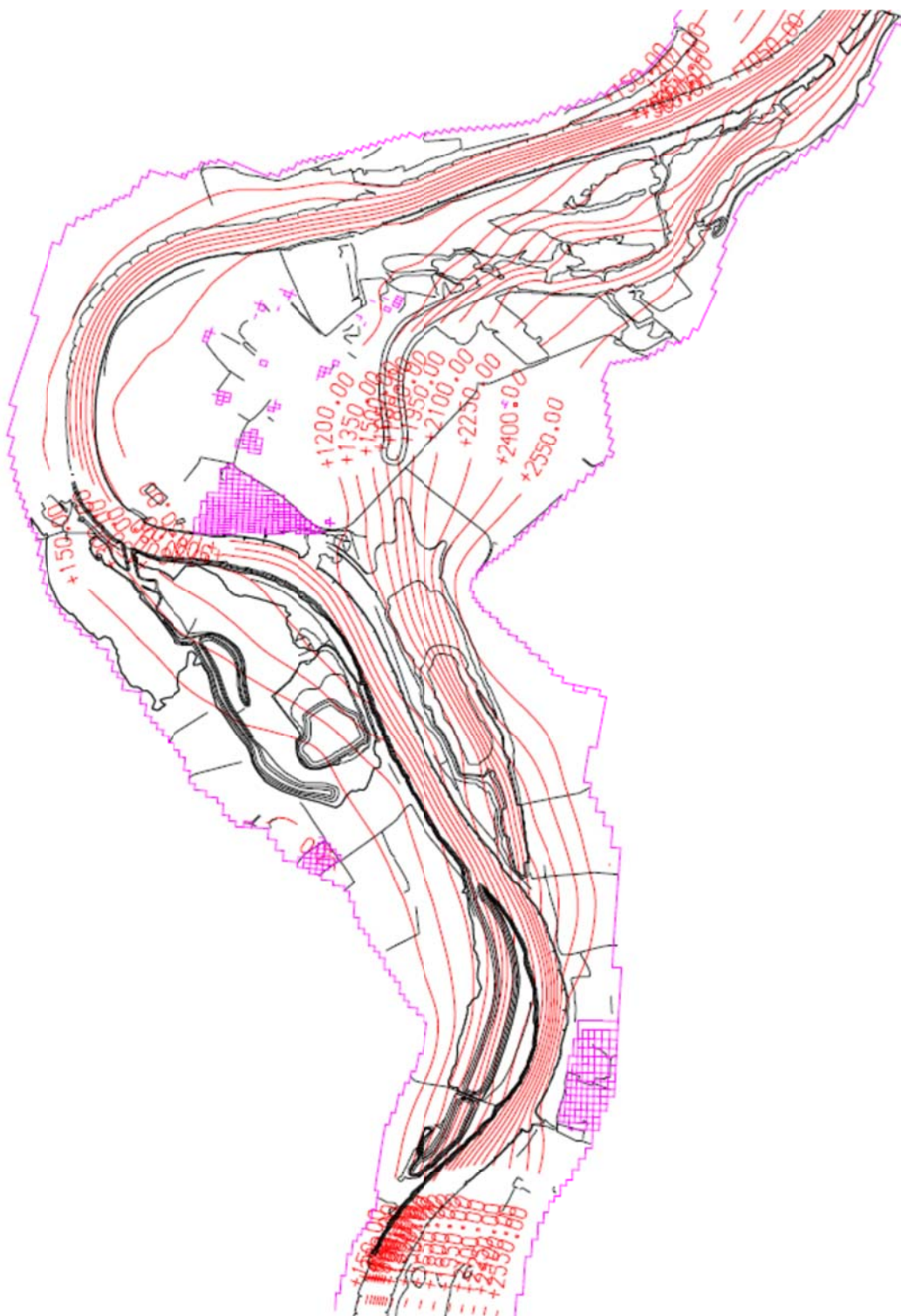
[5] Royal Haskoning, IJsseluitwaarden Olst, Milieueffectrapport, 9T9170/R0011/901971/VVDM/Nijm, 13 december 2011.



BIJLAGE A: STROOMLIJNEN



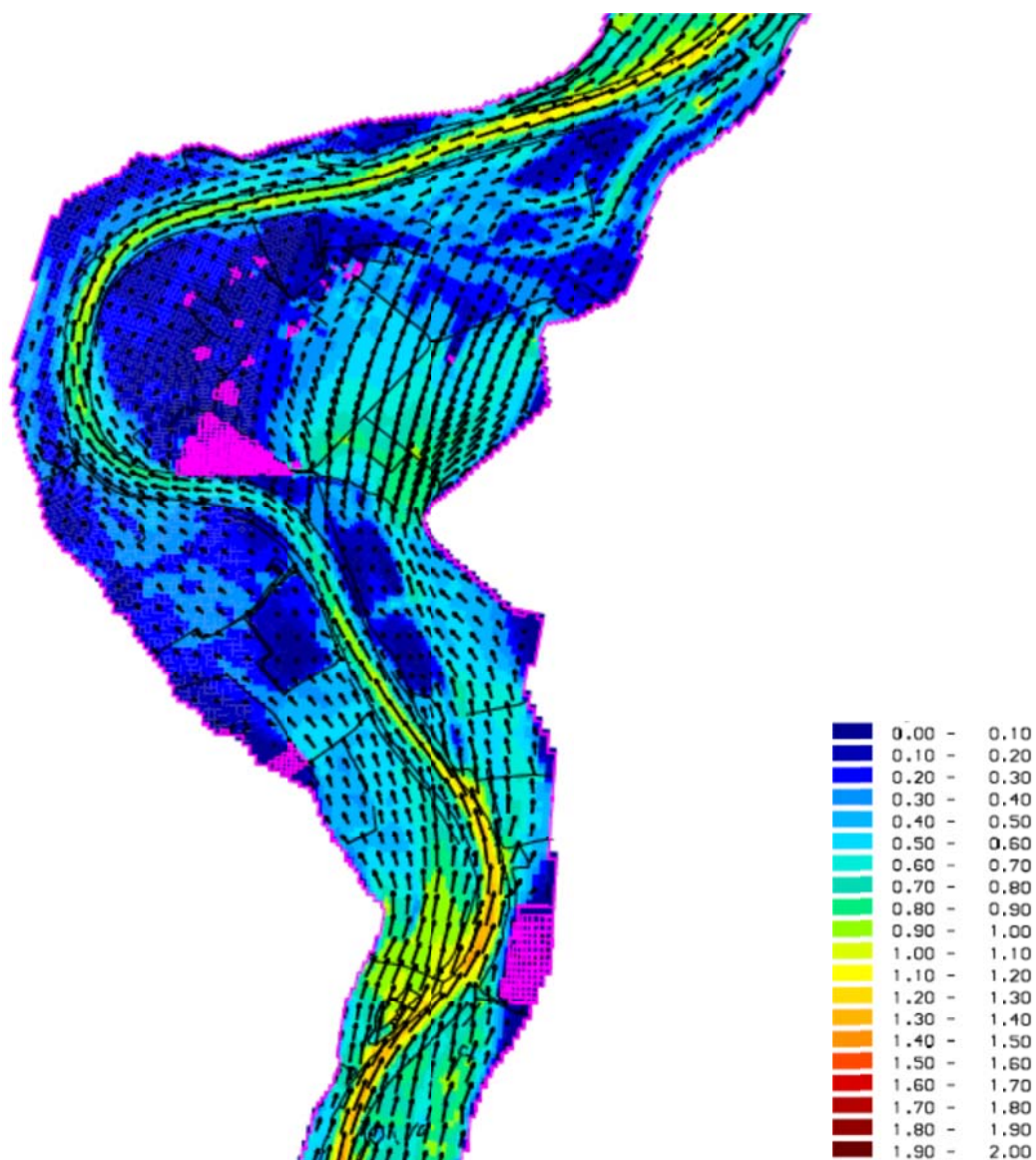
Figuur A.1: Stroomlijnen per 150 m³/s bij 16.000 m³/s te Lobith voor de huidige situatie



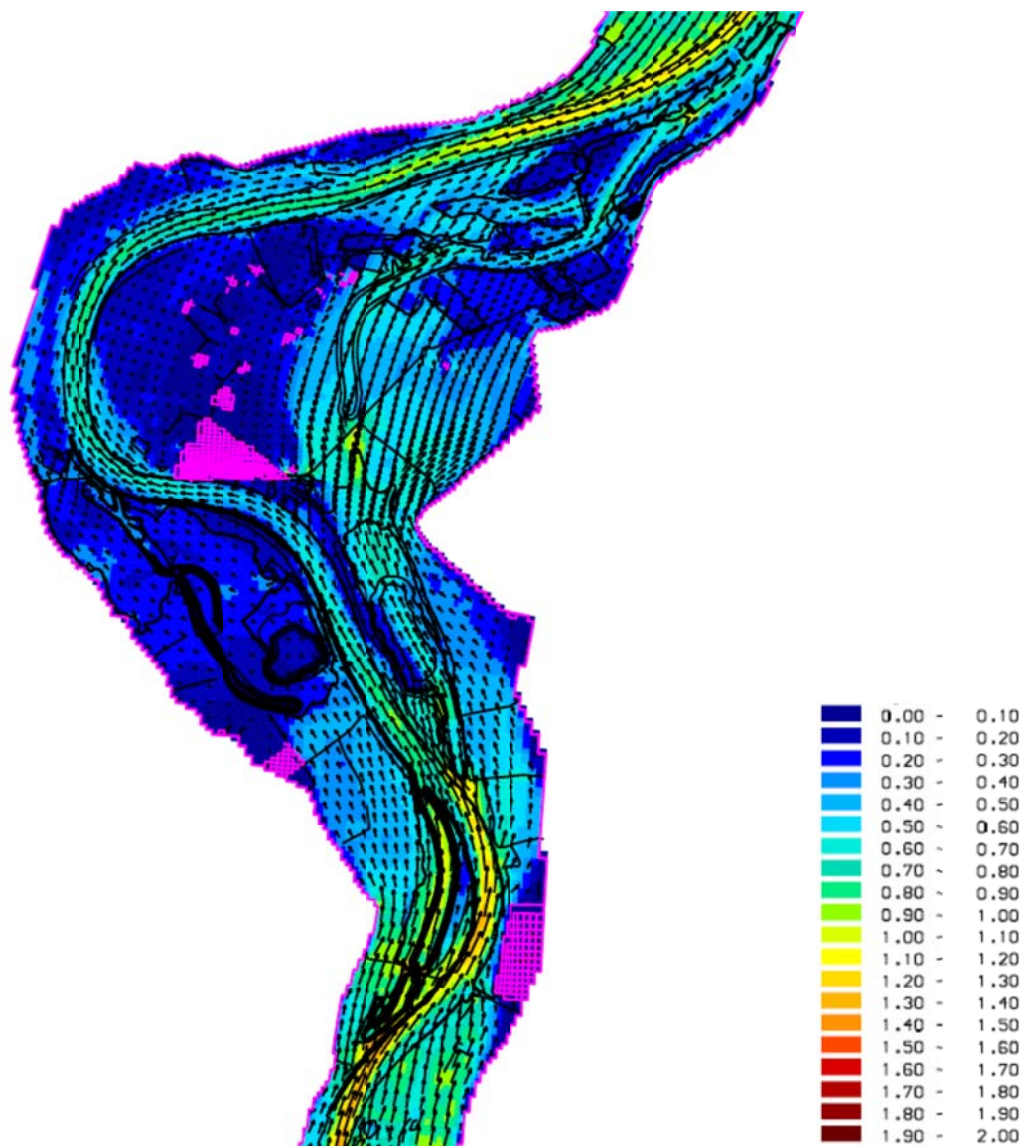
Figuur A.2: Stroomlijnen per 150 m³/s bij 16.000 m³/s te Lobith voor het VKA



BIJLAGE B: Stroomsnelheden



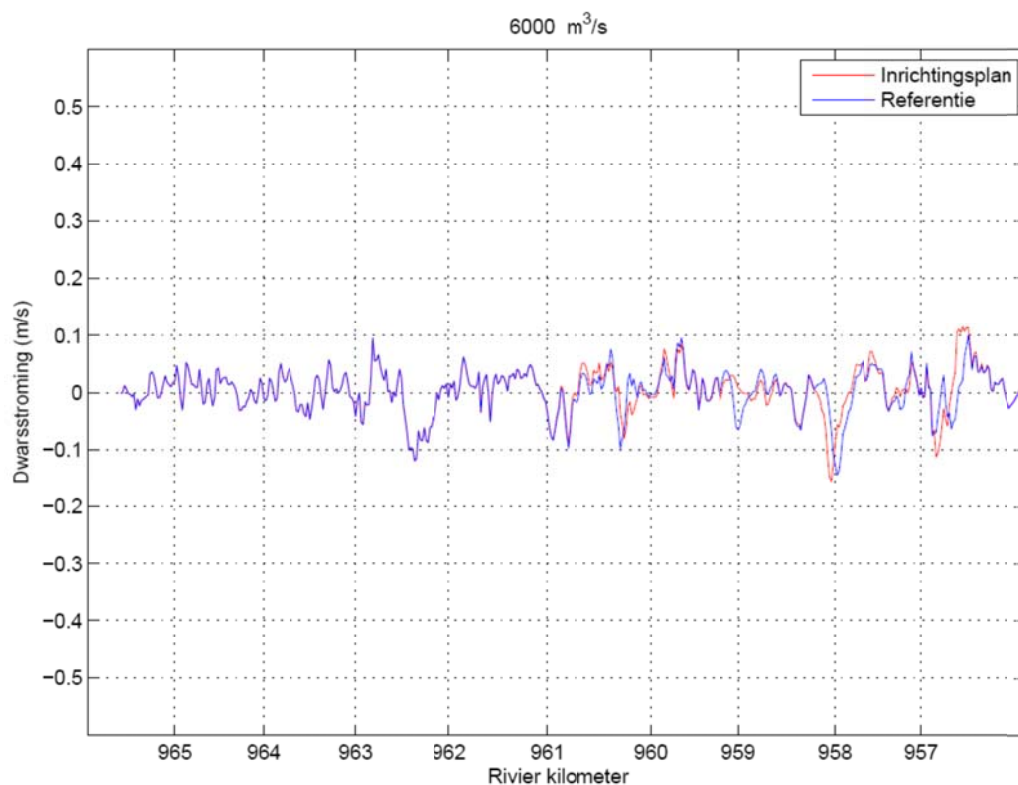
Figuur B.1: Stroomsnelheden (m/s) bij 16.000 m³/s te Lobith voor de huidige situatie



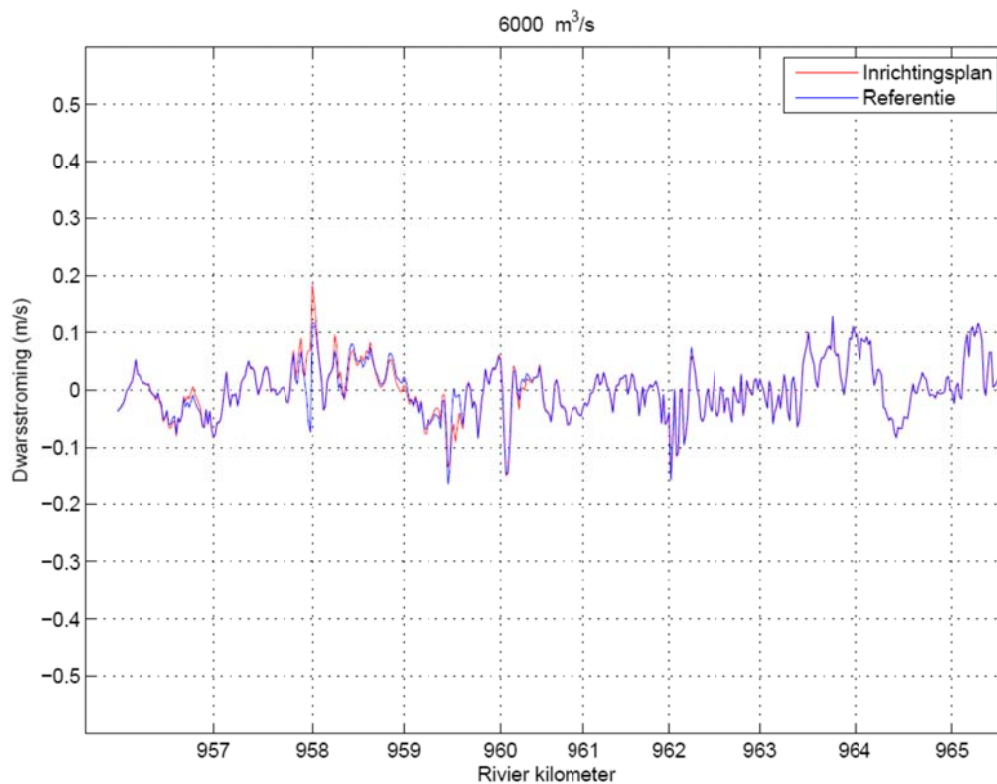
Figuur B.2: Stroomsnelheden (m/s) bij 16.000 m³/s te Lobith voor het VKA



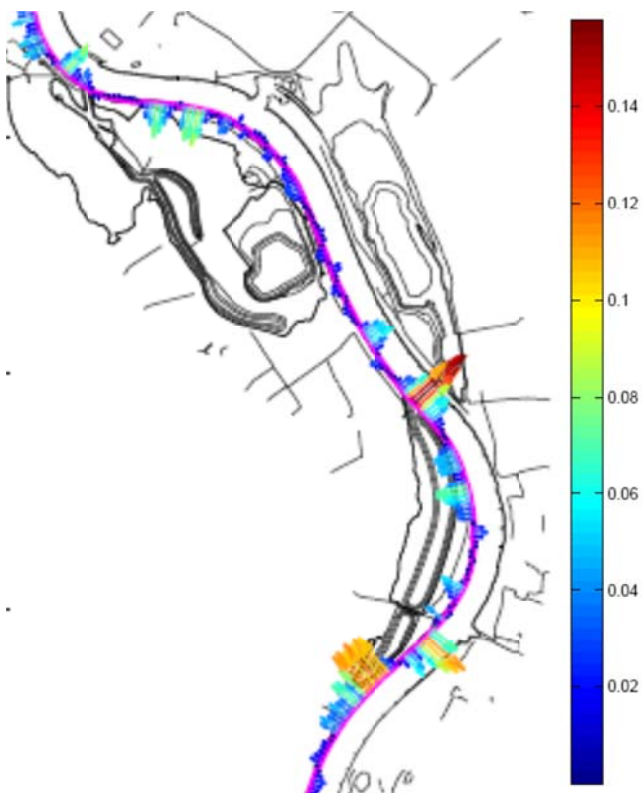
BIJLAGE C: Dwarsstroming



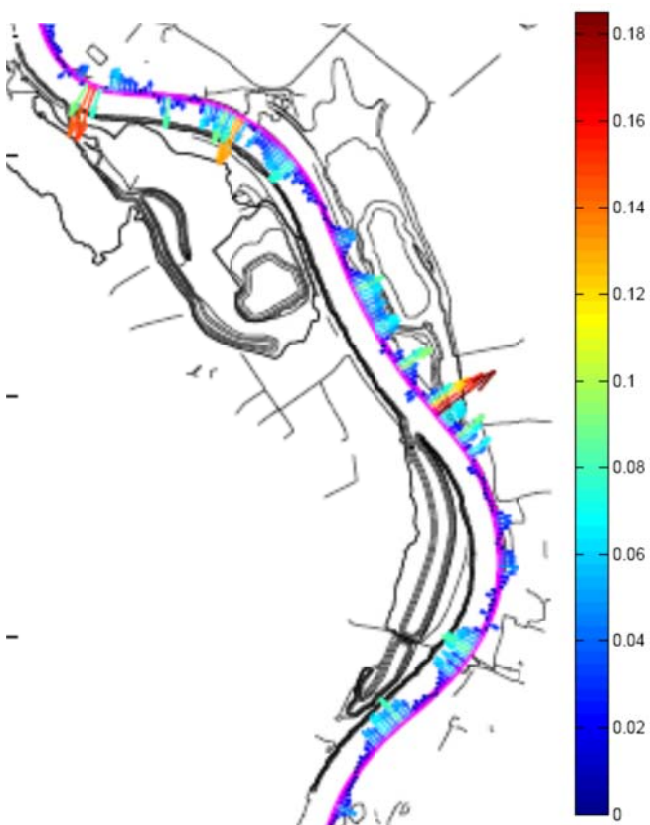
Figuur C.1: Dwarsstroming bij 6.000 m³/s voor de huidige situatie en het VKA langs de westelijke oever. Positieve snelheden betekenen een onttrekking, negatieve snelheden een lozing



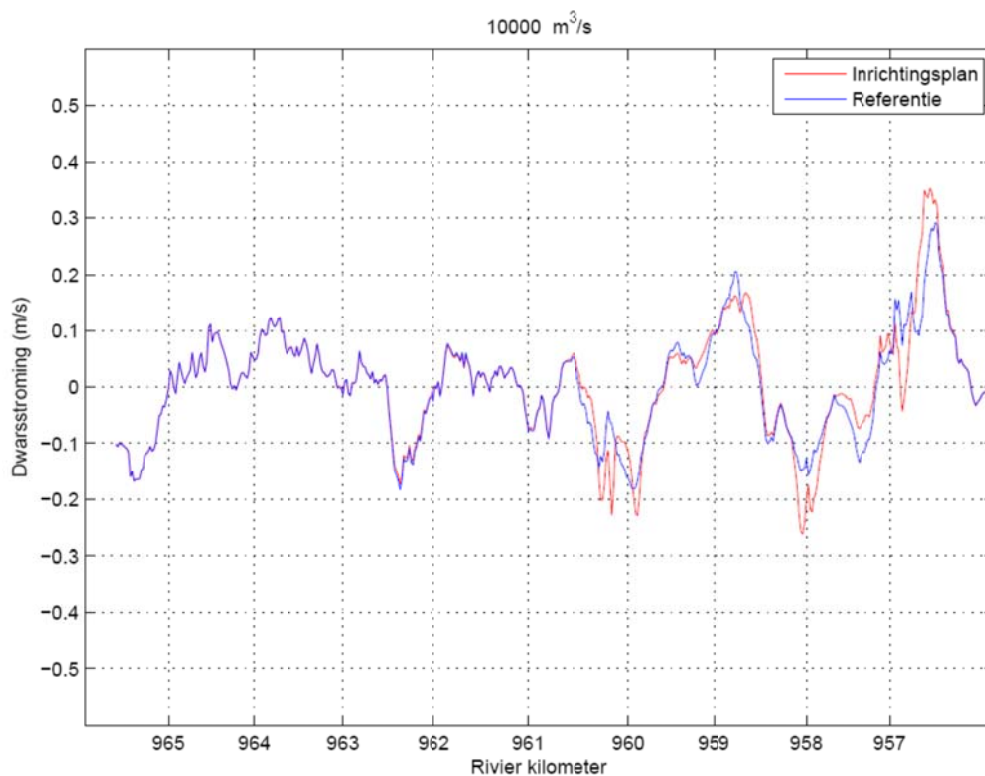
Figuur C.2: Dwarsstroming bij 6.000 m³/s voor de huidige situatie en het VKA langs de oostelijke oever. Positieve snelheden betekenen een onttrekking, negatieve snelheden een lozing



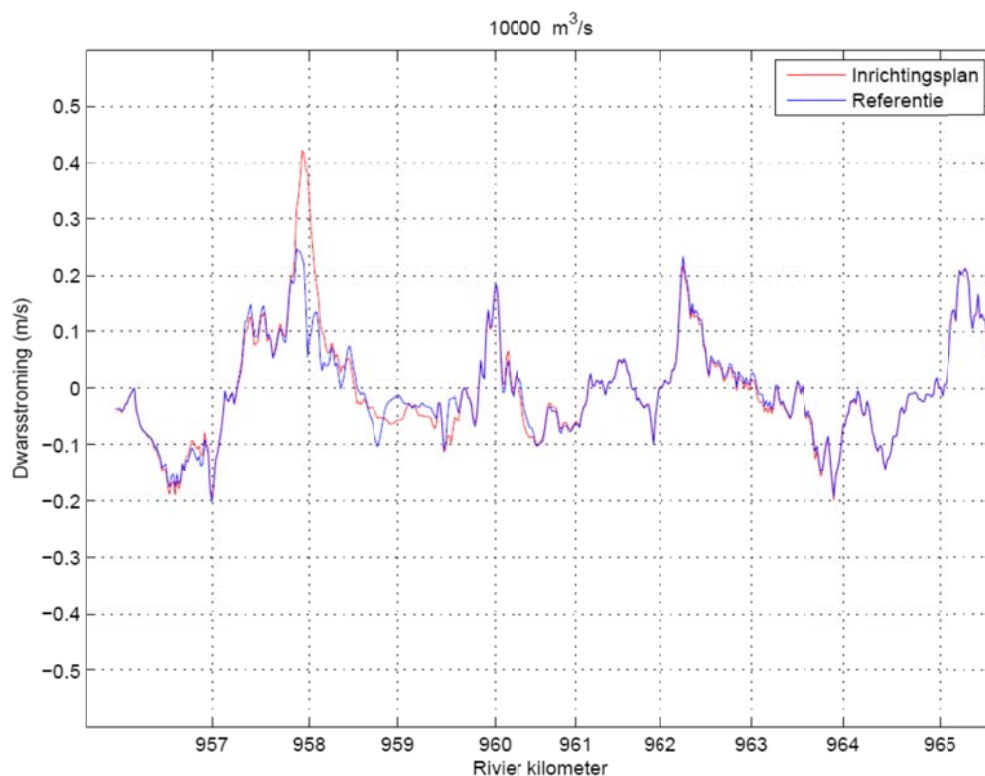
Figuur C.3: Dwarsstroming bij 6.000 m³/s voor het VKA langs de westelijke oever



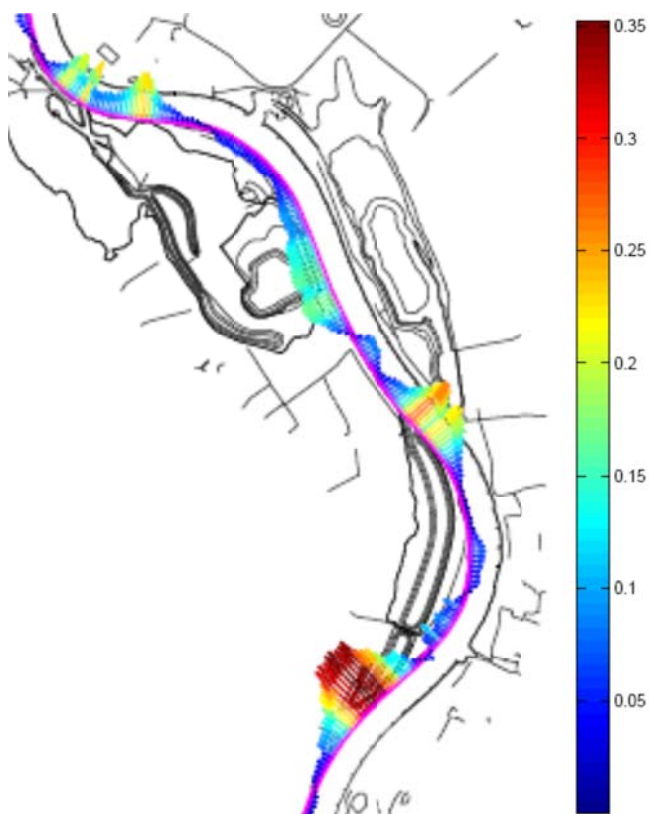
Figuur C.4: Dwarsstroming bij 6.000 m³/s voor het VKA langs de oostelijke oever



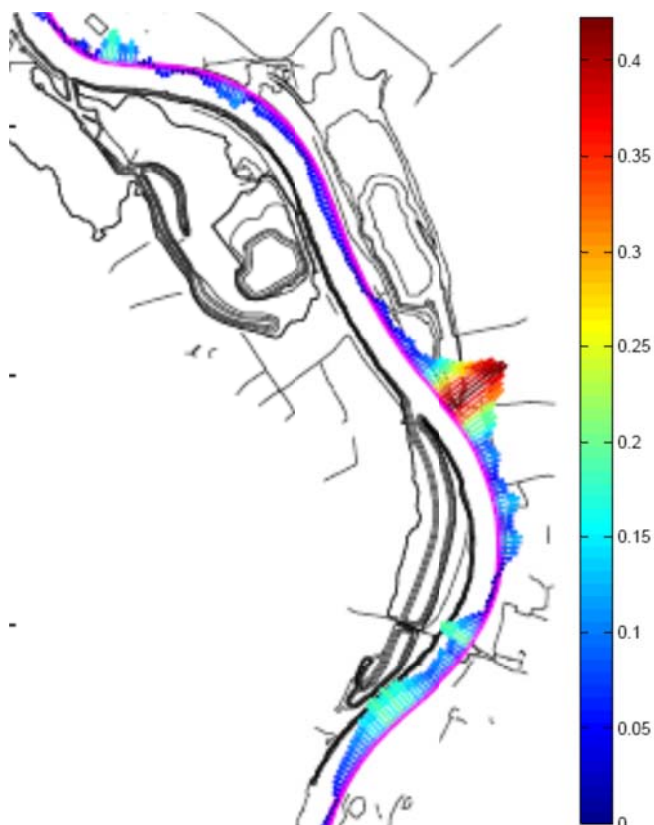
Figuur C.5: Dwarsstroming bij 10.000 m³/s voor de huidige situatie en het VKA langs de westelijke oever. Positieve snelheden betekenen een onttrekking, negatieve snelheden een lozing



Figuur C.6: Dwarsstroming bij 10.000 m³/s voor de huidige situatie en het VKA langs de oostelijke oever. Positieve snelheden betekenen een onttrekking, negatieve snelheden een lozing



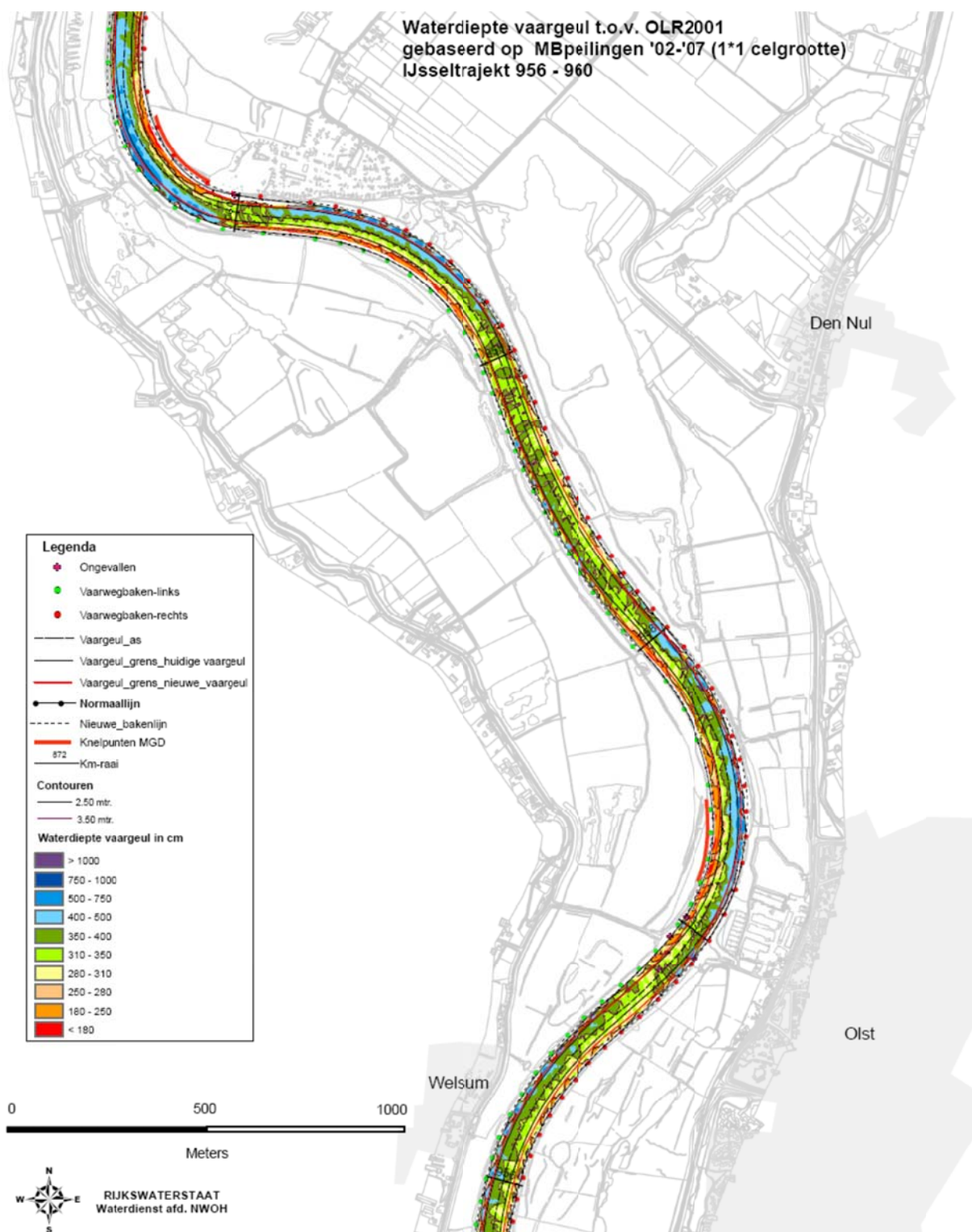
Figuur C.7: Dwarsstroming bij 10.000 m³/s voor het VKA langs de westelijke oever.



Figuur C.8: Dwarsstroming bij 10.000 m³/s voor het VKA langs de oostelijke oever.



BIJLAGE D: Bodemkaarten

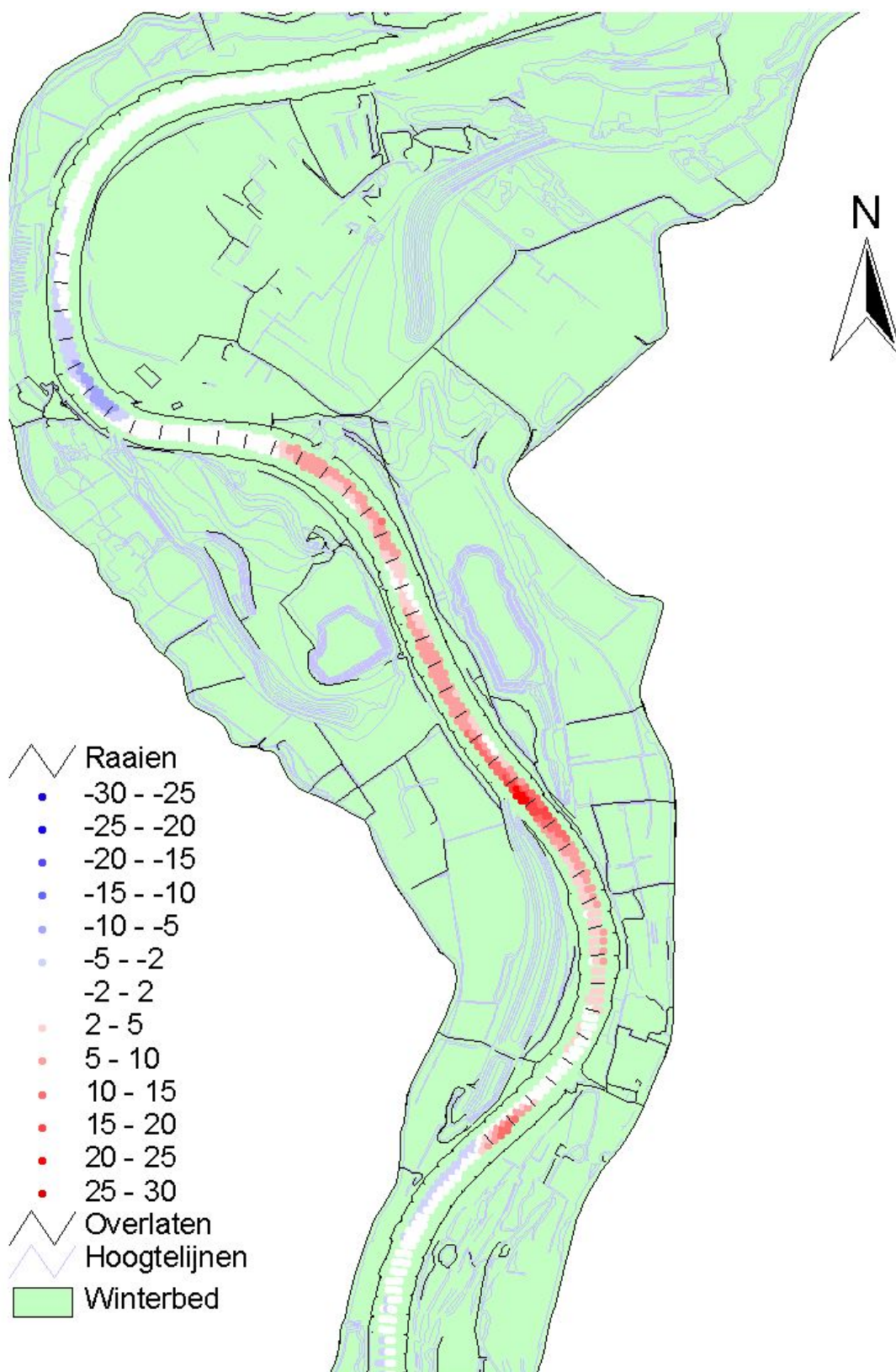


Figuur D.1: Bodemkaart bodemligging IJssel bij OLR, kmr 956-960

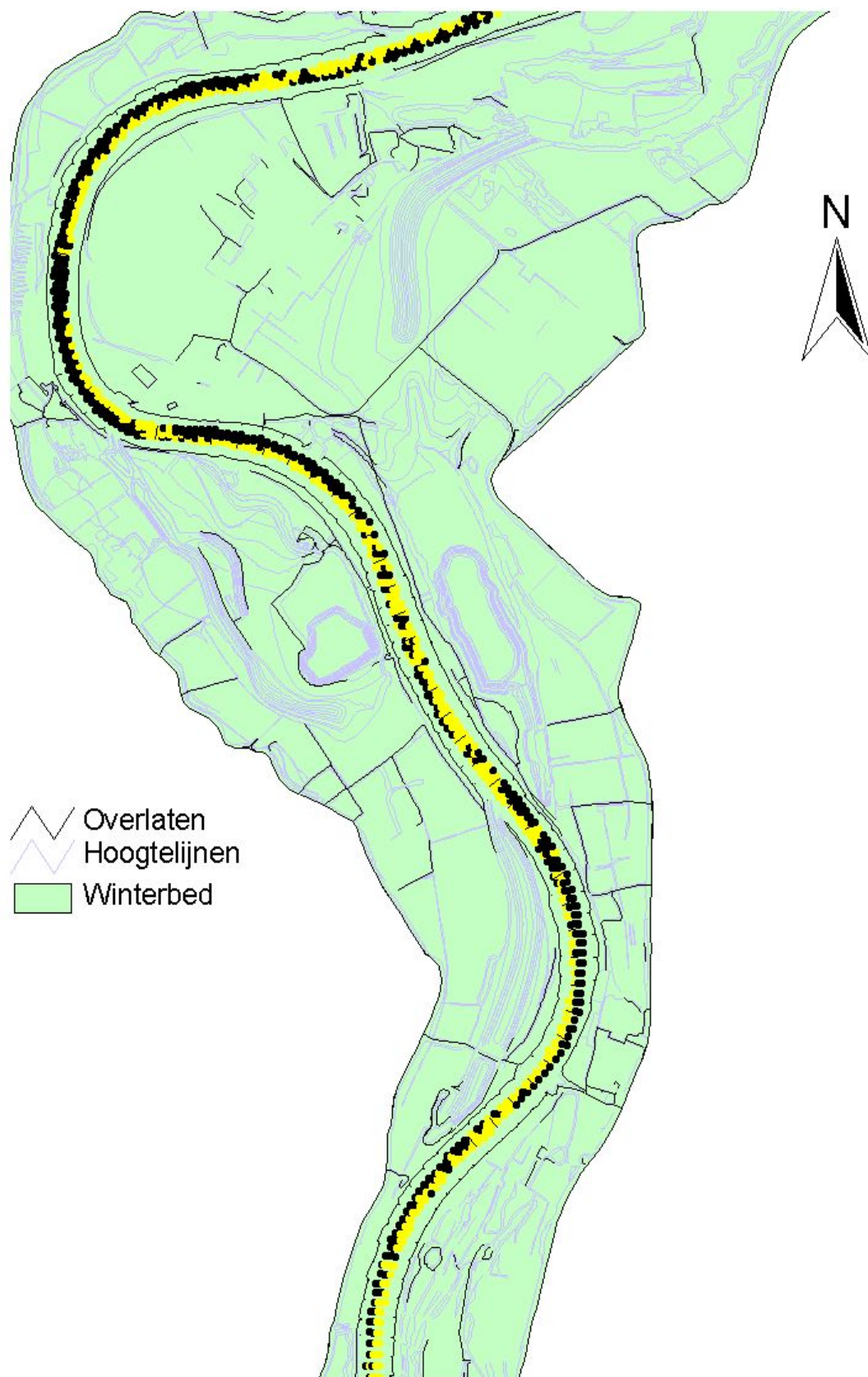
Waterdiepte vaargeul t.o.v. OLR 2001
gebaseerd op MBpeilingen '02-'07 (1*1 celgrootte)
IJsseltraject Kmr. 960 - 964



Figuur D.2: Bodemkaart bodemligging IJssel bij OLR, kmr 958-962



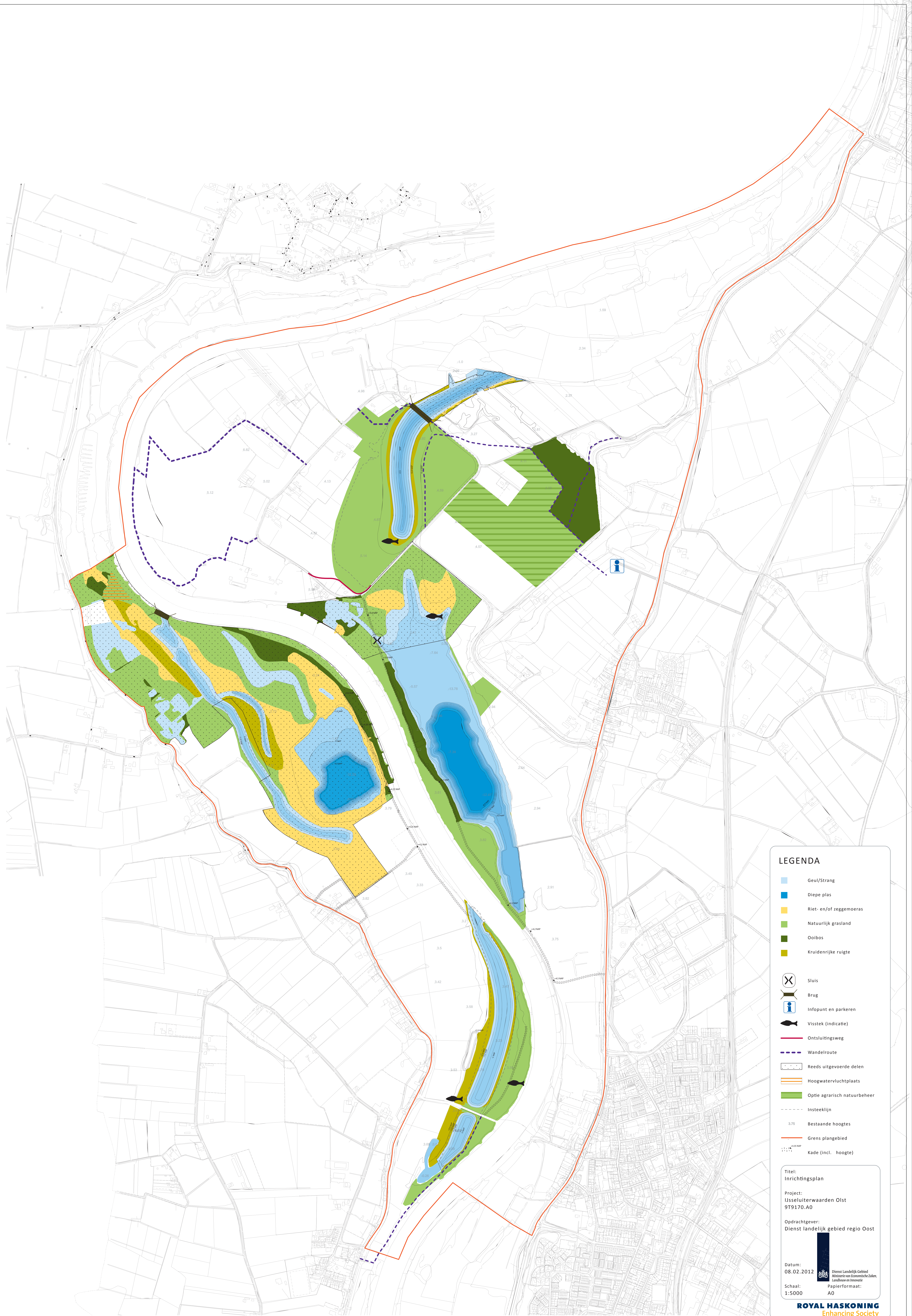
Figuur D.3: Jaargemiddelde bodemverandering in de vaargeul (50m), kmr 956-963



Figuur D.4: Lokaties (geel) waar waterdiepte minder is dan OLR-3,5 m in de vaargeul (50m), kmr 956-963



BIJLAGE E: Inrichtingsplankaart



LEGENDA

- | | |
|---|--------------------------|
|  | Geul/Strang |
|  | Diepe plas |
|  | Riet- en/of zeggenmoeras |
|  | Natuurlijk grasland |
|  | Ooibos |
|  | Kruidenrijke ruigte |
|
 | |
|  | Sluis |
|  | Brug |
|  | Infopunt en parkeren |
|  | Visstek (indicatie) |
|  | Ontsluitingsweg |
|  | Wandelroute |
|  | Reeds uitgevoerde delen |
|  | Hoogwatervluchtplaats |
|  | Opte agrarisch natuurbel |
|  | Insteeeklijn |
|  | Bestaande hoogtes |
|  | Grens plangebied |
|  | Kade (incl. hoogte) |

Titel:
Inrichtingsplan

Project:
IJsseluitwaarden Olst
9T9170.A0

Opdrachtgever:
Dienst landelijk gebied regio Oost

Datum:
08.02.2012

Schaal:
1:5000

 Dienst Landelijk Gebed
Ministerie van Economische Zaken
Landbouw en Innovatie

Papierformaat:
A0

ROYAL HASKONING
Enhancing Society