



# **Hydraulische en Morfologische effecten**

Munnikenland, aanvullend onderzoek projectplan

29 oktober 2010  
Conceptrapport  
9S9885.D3



A COMPANY OF



**ROYAL HASKONING**

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

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

Documenttitel   Hydraulische en Morfologische effecten  
Munnikenland, aanvullend onderzoek  
projectplan  
Verkorte documenttitel   Hydraulische en Morfologische effecten  
Status   Conceptrapport  
Datum   29 oktober 2010  
Projectnaam   Projectplan Munnikenland  
Projectnummer   9S9885.D3  
Opdrachtgever  
Referentie   9S9885D3/R0001/901807/VvdM/Nijm

Auteur(s)   Wiebe de Jong  
Collegiale toets   Gert Jan Akkerman (H4)  
Datum/paraaf   29 oktober 2010   
Vrijgegeven door   Roel van de Laar  
Datum/paraaf   29 oktober 2010 



## INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
1.1	Kader	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Leeswijzer en definities	1
2	UITGANGSPUNTEN	3
3	MITIGERENDE MAATREGELEN DWARSSTROMING	5
3.1	Inleiding	5
3.2	Dwarsstroming inrichtingsplan 2009	5
3.3	Mitigerende maatregelen	10
3.4	Effecten Mitigerende maatregelen	15
3.5	Dwarsstroming op de Afgedamde Maas	21
4	STROOMBEELD BOCHT AFGEDAMDE MAAS	26
4.1	Inleiding	26
4.2	Stroomsnelheden bij verschillende afvoeren	26
4.3	Situatie ter plaatse	31
4.4	Inschatting bodemveranderingen	32
5	WATERSTANDEFFECT BIJ MHW	35
6	CONCLUSIES	39



## 1 INLEIDING

### 1.1 Kader

In 2009 is in opdracht van Waterschap Rivierenland is in het kader van het MER Munnikenland, fase SNIP3, een hydraulische en morfologische beoordeling uitgevoerd van het Voorkeursalternatief (VKA). De effecten van het VKA zijn voor verschillende aspecten beoordeeld en getoetst aan de geldende beoordelingskaders van Rijkswaterstaat. Deze effectbeoordeling is gerapporteerd in het rapport 'Hydraulische en Morfologische effecten Munnikenland' (5 november 2009, 9S9885.B2/R0004/901807/JEBR/Nijm)

Op 3 juni 2010 zijn door Rijkswaterstaat Oost-Nederland in een hernieuwde bouwstenen memo (aanvulling op de memo van 15 oktober 2009) de bevindingen van de SNIP3 toets gepresenteerd. In deze memo staan nog enkele hydraulische en morfologische aspecten die nader uitgewerkt moeten worden. In de voorliggende rapportage wordt op deze aspecten ingegaan. De aspecten bevatten:

- een nadere uitwerking van mitigerende maatregelen om de dwarsstroming te reduceren;
- een nadere analyse van het stroombeeld en mogelijke bodemverandering in de bocht van de Afdamde Maas bij Woudrichem;
- herberekening van het waterstandseffect bij MHW voor het interventieniveau en het streefbeeld. Hierbij wordt de herinrichting van de Gandelwaard buiten beschouwing gelaten, om zo enkel het daadwerkelijke effect van de RvR maatregel Munnikenland inzichtelijk te maken.

Deze rapportage behoort als bijlage bij het projectplan Waterwet voor de RvR maatregel Munnikenland.

### 1.2 Doelstelling

Deze aanvullende hydraulische en morfologische beoordeling heeft ten doel om:

- De dwarsstroming bij de in- en uitstroomopeningen voor het VKA meer gedetailleerd inzichtelijk te maken en indien noodzakelijk mitigerende maatregelen te nemen.
- Het stroombeeld en de mogelijke bodemverandering in de bocht van de Afdamde Maas bij Woudrichem inzichtelijk te maken. Indien noodzakelijk worden mitigerende maatregelen gepresenteerd
- Waterstandseffecten van het inrichtingsplan (zonder Gandelwaard, maar met mitigerende maatregelen) inzichtelijk te maken voor het interventieniveau en het streefbeeld.

### 1.3 Leeswijzer en definities

Dit rapport is een aanvulling op de rapportage van 5 november 2009. Het rapport vormt samen met dit eerdere rapport een bijlage bij het projectplan Waterwet. In dit voorliggende rapport zijn de aanvullende vragen van RWS-ON uit de bouwstenen memo van 3 juni 2010 uitgewerkt.

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de uitgangspunten die zijn gebruikt bij de modelberekeningen in deze studie. In Hoofdstuk 3 zijn de mitigerende maatregelen betreffende de dwarsstroming bij de in- en uitstroomopeningen uitgewerkt. Het stroombeeld en bodemverandering in de bocht van de Afgedamde Maas zijn uitgewerkt in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 zijn de waterstandseffecten van het inrichtingsplan bij maatgevend hoogwater uitgewerkt voor het interventieniveau en voor het streefbeeld. Tenslotte volgen in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen.

In dit rapport gelden de volgende definities:

- De aangegeven afvoerniveaus ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) zijn gerelateerd aan Lobith, tenzij anders beschreven;
- In dit rapport wordt naar het Inrichtingsplan (IP) verwezen. Dit IP is ook wel het 'Verrijkt VKA' of het 'Inrichtingsplan Munnikenland' genoemd. In dit rapport wordt door middel van de afkorting 'IP' verwezen naar dit plan;
- In dit rapport wordt het in 2009 gepresenteerde Inrichtingsplan geactualiseerd met enkele mitigerende maatregelen tenen dwarsstroming. Als naar het inrichtingsplan van 2009 wordt verwezen, dan wordt dit gedaan door de afkorting IP 2009. Naar het geactualiseerde inrichtingsplan wordt verwezen d.m.v. de benaming 'IP met mitigerende maatregelen';
- 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.



## 2 UITGANGSPUNTEN

De effectbeoordeling van het IP is uitgevoerd volgens de door de PDR gestelde eisen en richtlijnen. Dit houdt concreet het volgende in:

- De rivierkundige beoordeling is uitgevoerd conform het geldende beoordelingskader voor ingrepen in de Rijntakken. Dit beoordelingskader beschrijft de rivierkundige beoordelingsmethodiek voor onder andere PKB-RvR projecten;
- Voor het vormgeven van het IP is gebruik gemaakt van de GIS-applicatie Baseline 3.31. De ingrepen zijn geschematiseerd volgens de eisen en richtlijnen van Rijkswaterstaat voor Baseline-maatregelen;
- De rivierkundige berekeningen zijn uitgevoerd met het 2-dimensionale hydraulische rekenmodel WAQUA (SIMONA 2006\_01, versie 9.25);
- Als basis van de rivierkundige berekeningen is het Rijntakkenmodel (Simona\_rijn\_pkb\_3\_4) met het uitgebreide rooster (rijn40m\_41.rgf) gebruikt;
- De WAQUA-berekeningen zijn uitgevoerd bij een constante maatgevende afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith met een vaste afvoerverdeling bij de splitsingspunten;
- Er zijn twee schematisaties gemaakt:
  - De referentiesituatie. De aangeleverde schematisatie is opnieuw gereproduceerd met Baseline en doorgerekend met WAQUA;
  - Het IP. De aangemaakte Baseline maatregel van het IP is in het referentie model gebracht. Deze modelschematisatie is omgezet naar WAQUA en hiermee hydraulisch doorgerekend. Het gaat hier om het IP 2009.

Voor de beoordeling van het waterstandseffect bij MHW is het project Munnikenland beoordeeld zonder de herinrichting van de Gandelwaard als autonome ontwikkeling mee te nemen. In de hydraulische effectbeoordeling die is uitgevoerd t.b.v. het MER Munnikenland, is in overleg met PDR, de herinrichting van de Gandelwaard meegenomen als autonome ontwikkeling binnen het plan. De (geringe) effecten van de Gandelwaard zijn daarmee altijd geïntegreerd geweest met de (grote(re)) effecten van RvR project Munnikenland.

Voor het projectplan is het waterstandseffect van het IP met mitigerende maatregelen nogmaals definitief inzichtelijk gemaakt. Om enkel het waterstandseffect van het project Munnikenland inzichtelijk te krijgen, heeft RWS-ON gevraagd om de Gandelwaard buiten beschouwing te laten. In H5 wordt het waterstandseffect beoordeeld voor het streefbeeld 2025 en het interventieniveau. Beide situaties zijn uitgevoerd zonder de herinrichting van de Gandelwaard. Dit is dus anders dan ten tijde van het MER is gedaan.

De beoordeling van de dwarsstroming en de beoordeling van de stroomsnelheden in de Afgedamde Maas zijn beoordeeld met de herinrichting van de Gandelwaard. Dit doet recht aan de effectbeoordeling zoals deze tijdens de MER fase is uitgevoerd. Daarnaast is het de meest conservatieve situatie. Door de herinrichting van de Gandelwaard neemt de stroming door de Afgedamde Maas toe. Hierdoor zijn de dwarsstromingen bij de geleidingsdam van de Afgedamde Maas en de stroomsnelheden in de bocht bij Woudrichem hoger als de herinrichting van de Gandelwaard wordt uitgevoerd, dan in de situatie dat de Gandelwaard blijft zoals in de huidige situatie.

Voor de beoordeling van de dwarsstroming en de beoordeling van de stroomsnelheden in de Afgedamde Maas is het PKB referentiemodel aangepast. Het referentiemodel bevat niet de ten noordwesten van Woudrichem gelegen jachthaven. De jachthaven is op een grove wijze geschematiseerd in Baseline op basis van de dtb hoogte gegevens. Daarnaast is het referentiemodel ook geüpdate met een meer recente bodemmeting van de Afgedamde Maas. De bodemgegevens zijn afkomstig uit het Baseline Wbr2008 model.

### 3 MITIGERENDE MAATREGELEN DWARSSTROMING

#### 3.1 Inleiding

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

De dwarsstrooming is beoordeeld over de denkbeeldige kribbaken-lijn tussen kmr 946 en 954. Dit is gedaan bij afvoeren van 2.000, 4.000, 6.000, 8.000, 10.000 en 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith. Voor elk van deze afvoeren is weergegeven wat de grootte van de dwarsstroom is in de huidige situatie en in de toekomstige situatie met streefbeeld 2025. Er is gerekend met het streefbeeld 2025 omdat dit de verwachte situatie is en daarbij ook de maatgevende conservatieve situatie voor dwarsstrooming. Daarbij is de beoordeling uitgevoerd voor de situatie met herinrichting van de Gandelwaard, aangezien dit de maatgevende conservatieve situatie is en deze situatie in lijn is met de effectbeoordeling in het MER.

In paragraaf 3.2 is de dwarsstrooming van het IP 2009 beoordeeld. In paragraaf 3.3 zijn de mitigerende maatregelen en haar reducerende effecten beschreven.

#### 3.2 Dwarsstrooming inrichtingsplan 2009

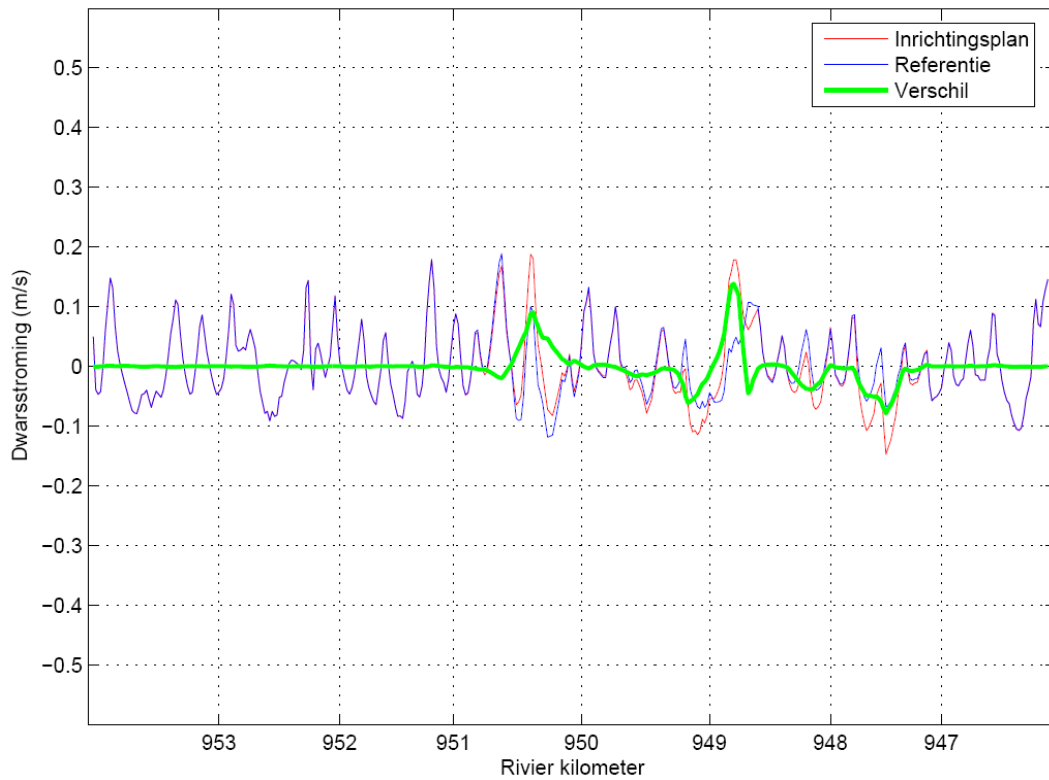
In tabel 3.1 zijn de dwarsstroomsnelheden en afvoeren samengevat voor verschillende afvoersituaties voor het IP 2009, dit is zonder mitigerende maatregelen. De rode cijfers in de tabel wijzen op een overschrijding van de beoordelingseis.

Tabel 3.1: Dwarsstroomsnelheden IP november 2009

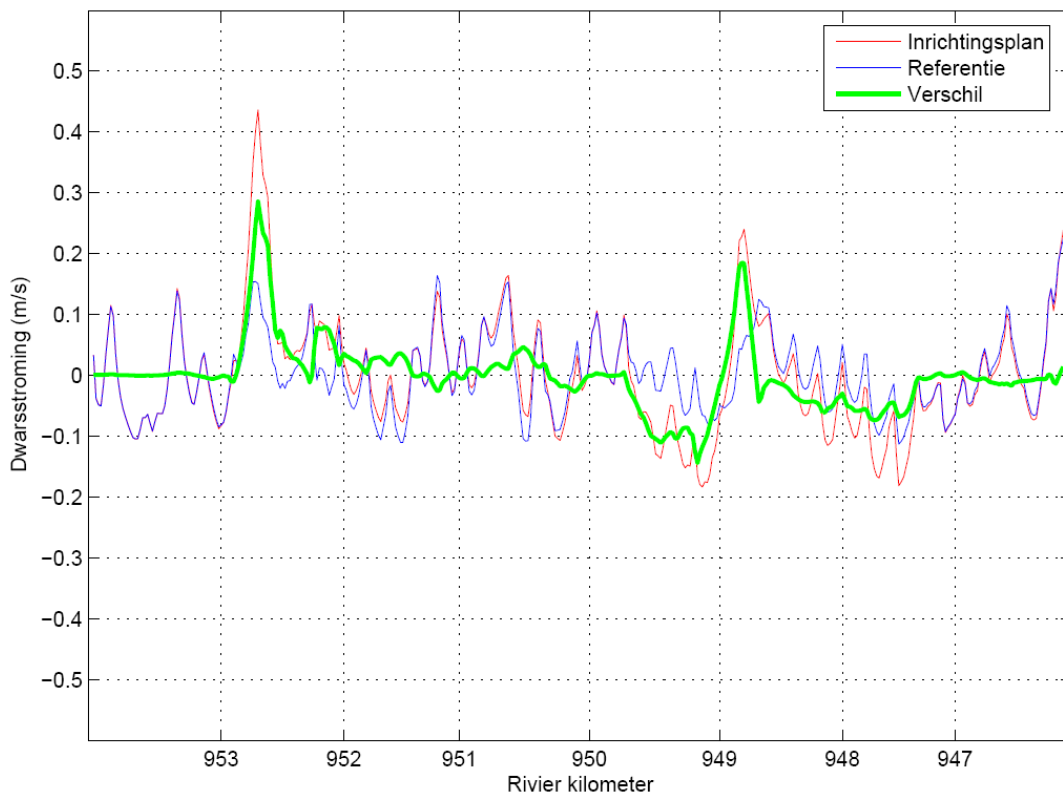
locatie	4.000 m <sup>3</sup> /s	5.000 m <sup>3</sup> /s	6.000 m <sup>3</sup> /s	8.000 m <sup>3</sup> /s	10.000 m <sup>3</sup> /s	16.000 m <sup>3</sup> /s
Instroomopening bovenstroomse geul (kmr 947,5)	0,10 m/s (< 20 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking 0,10-0,15 m/s (50 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking 0,14 m/s (100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking <b>0,18 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking <b>0,2 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking <b>0,28 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)
uitstroomopening bovenstroomse geul (kmr 948,8)	0,15 m/s (< 20 m <sup>3</sup> /s)	lozing 0,10-0,15 m/s (50 m <sup>3</sup> /s)	lozing <b>0,18 m/s</b> (100 m <sup>3</sup> /s)	lozing <b>0,24 m/s</b> (>50 m <sup>3</sup> /s)	lozing <b>0,2 m/s</b> (>50 m <sup>3</sup> /s)	lozing <b>0,16 m/s</b> (>50 m <sup>3</sup> /s)
instroomlocatie benedenstroomse geul (kmr 949,1)	0,10 m/s (nauwelijks debiet)	0,10 m/s (nauwelijks debiet)	onttrekking 0,11 m/s (100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking <b>0,18 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking <b>0,18 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking <b>0,2 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)
uitstroomopening benedenstroomse geul (kmr 950,2)	0,10 m/s (nauwelijks debiet)	0,10 m/s (nauwelijks debiet)	lozing <b>0,19 m/s</b> (100 m <sup>3</sup> /s)	lozing 0,1 m/s (>50 m <sup>3</sup> /s)	lozing 0,15 m/s (>50 m <sup>3</sup> /s)	lozing 0,1 m/s (>50 m <sup>3</sup> /s)
Opening Afgedamde Maas (kmr 952,6)	0,10-0,15 m/s (nauwelijks debiet)	0,10-0,15 m/s (nauwelijks debiet)	0,10-0,15 m/s (nauwelijks debiet)	<b>0,43 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)	<b>0,52 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)	<b>0,45 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)

Geconcludeerd wordt dat:

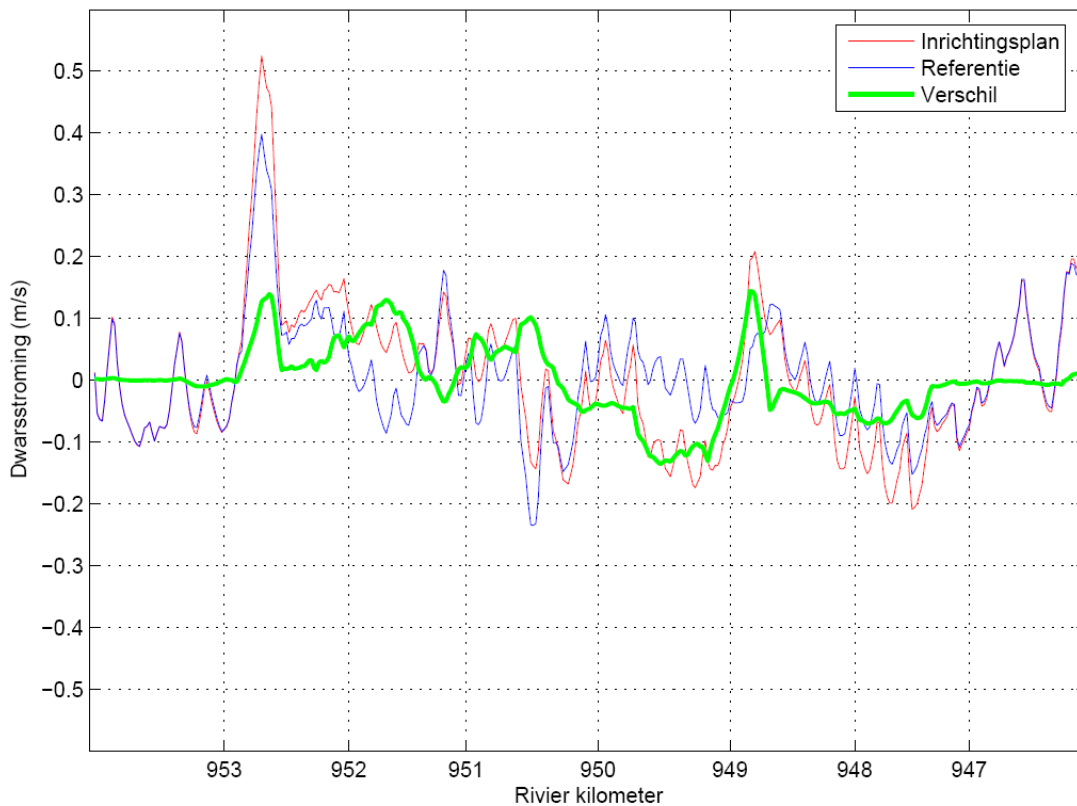
- bij een afvoer t/m 5.000 m<sup>3</sup>/s geen sprake is van hinderlijke dwarsstroming voor de scheepvaart bij de in- en uitstroomopeningen. Bij deze afvoeren is er nauwelijks verschil tussen de huidige situatie en de toekomstige situatie. Bij 5.000 m<sup>3</sup>/s stroomt de bovenstrooms gelegen geul mee (circa 50 m<sup>3</sup>/s) met dwarsstroming van ca 0,10-0,15 m/s tot gevolg.
- bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s komen er volgens de beoordelingseis wel significante dwarsstromingen voor bij de in- en uitstroomopeningen. Door de boven- en benedenstroomse nevengeul stroomt ca 100 tot 125 m<sup>3</sup>/s. Hierdoor voldoen de dwarsstromingen niet meer aan de norm van 0,15 m/s. Op kmr 948,8 leidt de lozing (ca.100 m<sup>3</sup>/s) tot een dwarsstroom van ca 0,2 m/s. Ook is voornamelijk de gradiënt tussen de dwarsstroming op kmr 948,8 (lozing) en kmr 949,1 (onttrekking) groot, ca 0,3 m/s. Dit kan hinderlijk zijn voor de scheepvaart. Nabij de opening naar de Afgedamde Maas (kmr 952,6) is er bij deze afvoer geen verschil in dwarsstroom. Figuur 3.1 toont de dwarsstroming bij deze afvoer op de kribbaken-lijn.
- bij 8.000 m<sup>3</sup>/s stroomt er ca 700 tot 800 m<sup>3</sup>/s door de Brakelse Benedenwaard. Bij deze afvoer wordt ook de oeverwal naar de polder overstromt en stroomt de Afgedamde Maas dus ook mee. Figuur 3.2 toont de dwarsstroming bij deze afvoer op de kribbaken-lijn. Bij 8.000 m<sup>3</sup>/s wordt de dwarsstroming overschreden bij de delen van het traject bij de instroomopening op kmr 947,5 en op kmr 950,2. Ook bij de uitstroomopening op kmr 948,8 en bij de Afgedamde Maas wordt de eis overschreden. De gradiënt (ca 0,5 m/s) in dwarsstroom tussen kmr 948,8 en 949,1 kan hinderlijk zijn voor de scheepvaart. Bij afvoeren vanaf 7.000 a 8.000 m<sup>3</sup>/s begint de Afgedamde Maas mee te stromen, waardoor de dwarsstroming bij de verbinding tussen Afgedamde Maas en Waal toeneemt tot ca. 0,43 m/s bij 8.000 m<sup>3</sup>/s.
- De situatie bij 10.000 m<sup>3</sup>/s (figuur 3.3) is minder hinderlijk dan de situatie bij 8.000 m<sup>3</sup>/s. Over het traject van de Brakelse Benedenwaarden blijven de absolute dwarsstromingen nagenoeg gelijk, maar de gradiënten tussen onttrekking en lozing nemen af. Bij de Afgedamde Maas wordt de situatie wel hinderlijker, de dwarsstroom neemt hier zelfs toe tot 0,52 m/s.
- Bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s (figuur 3.4) stroomt er ca 2.500 tot 3.500 m<sup>3</sup>/s door de Brakelse Benedenwaard, naar de polder en de Afgedamde Maas. Op het traject tussen kmr 947,4 en 948,5 neemt de dwarsstroom ten gevolge van extra onttrekking nauwelijks toe (tot 0,05 m/s) t.o.v. de huidige situatie. De dwarsstroming op kmr 950,2 tot 951 neemt af t.o.v. de huidige situatie, doordat het water in de toekomstige situatie meer via de Afgedamde Maas gaat terugstromen. Nabij de verbinding met de Afgedamde Maas, neemt de dwarsstroming over het traject tussen kmr 951,5 tot kmr 953 toe met max. 0,15 m/s tot een dwarsstroomsnelheid van 0,45 m/s. Door de hogere waterstand stroomt het water nu minder geconcentreerd terug naar de Waal, waardoor de dwarsstroming lager is dan bij 10.000 m<sup>3</sup>/s.



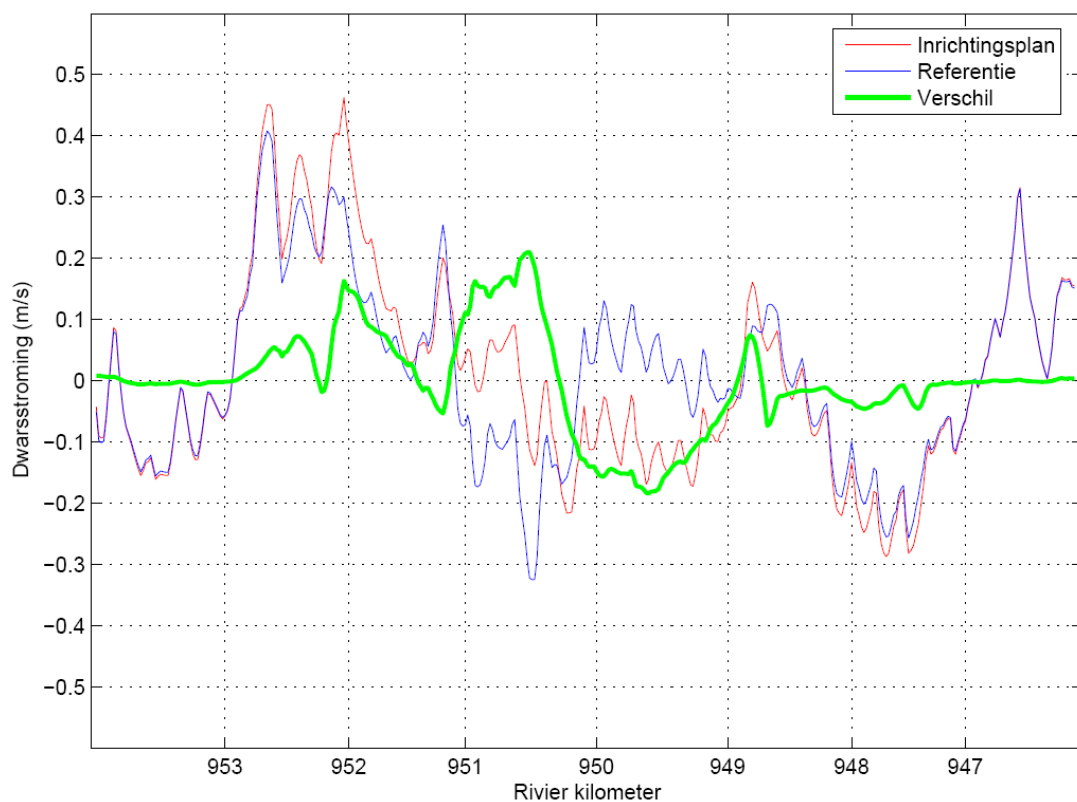
**Figuur3.1: dwarsstroming bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s tussen kmr 946-954 voor het IP 2009**



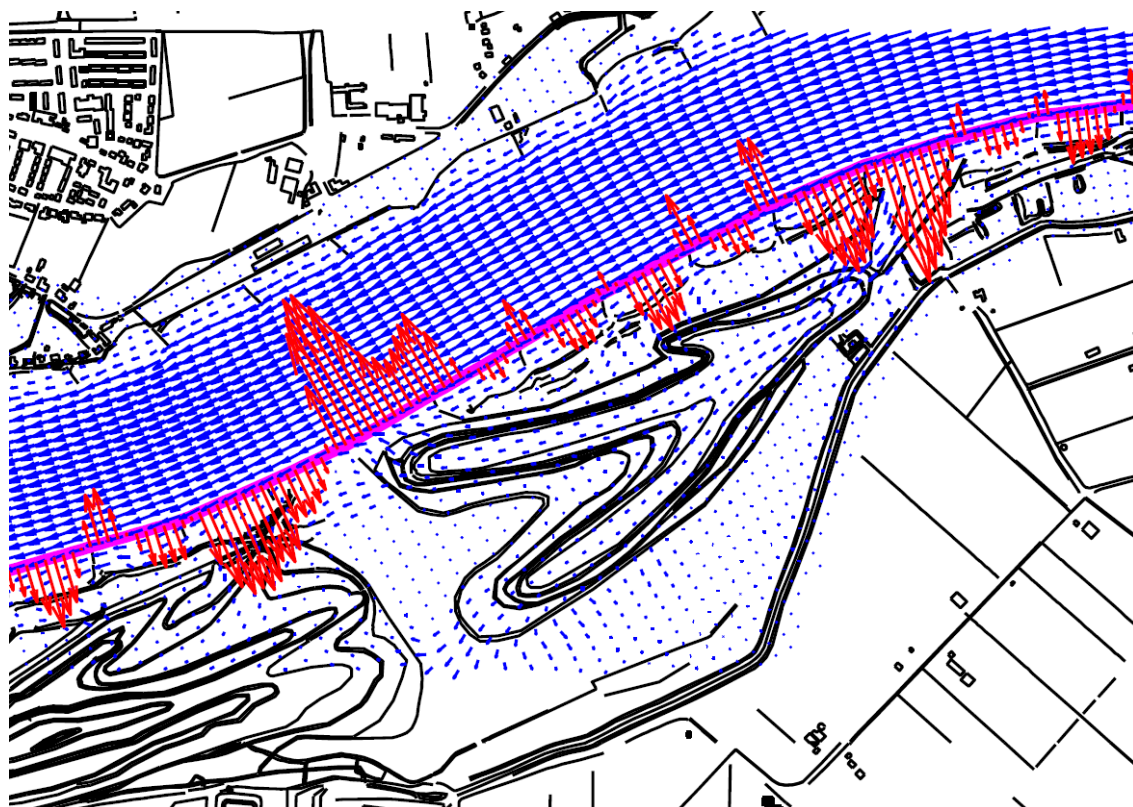
**Figuur 3.2: dwarsstroming bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s tussen kmr 946-954 voor het IP 2009**



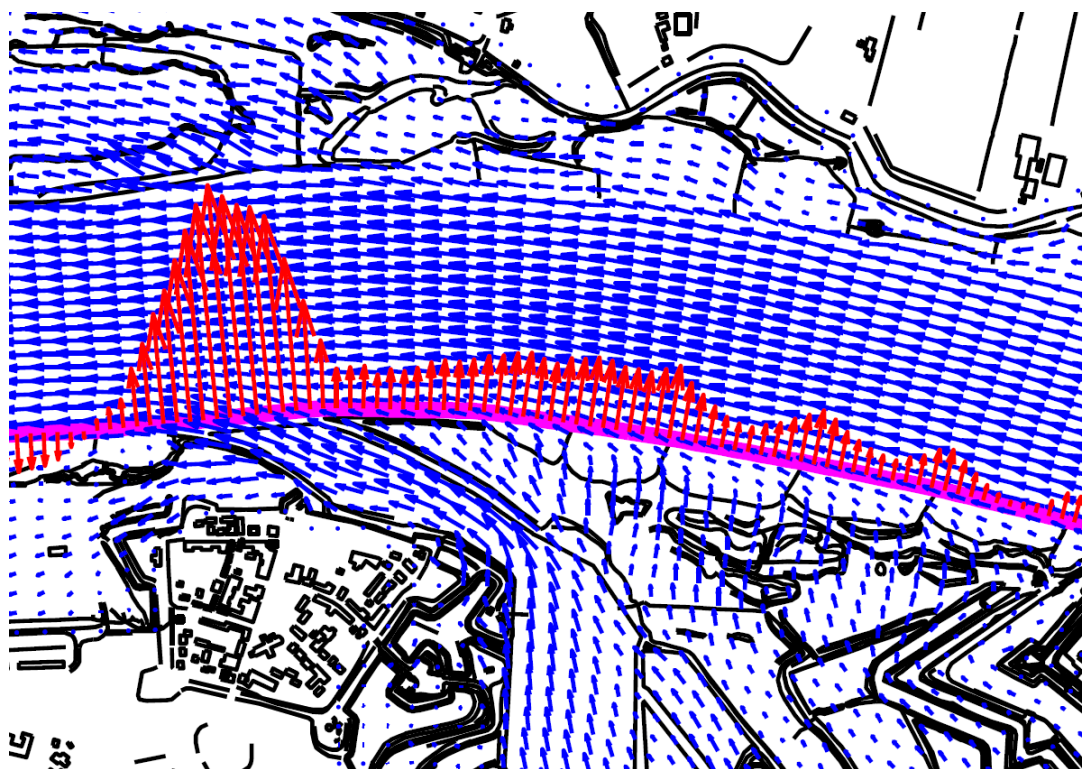
Figuur 3.3: dwarsstroming bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s tussen kmr 946-954 voor het IP 2009



Figuur 3.4: dwarsstroming bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s tussen kmr 946-954 voor het IP 2009



Figuur 3.5: detail van stroombeeld bij 6.000 m<sup>3</sup>/s tussen kmr 947 en 950 voor het IP 2009



Figuur 3.6: detail van stroombeeld bij 10.000 m<sup>3</sup>/s bij de uitstroomopening van de Afgedamde Maas voor het IP 2009

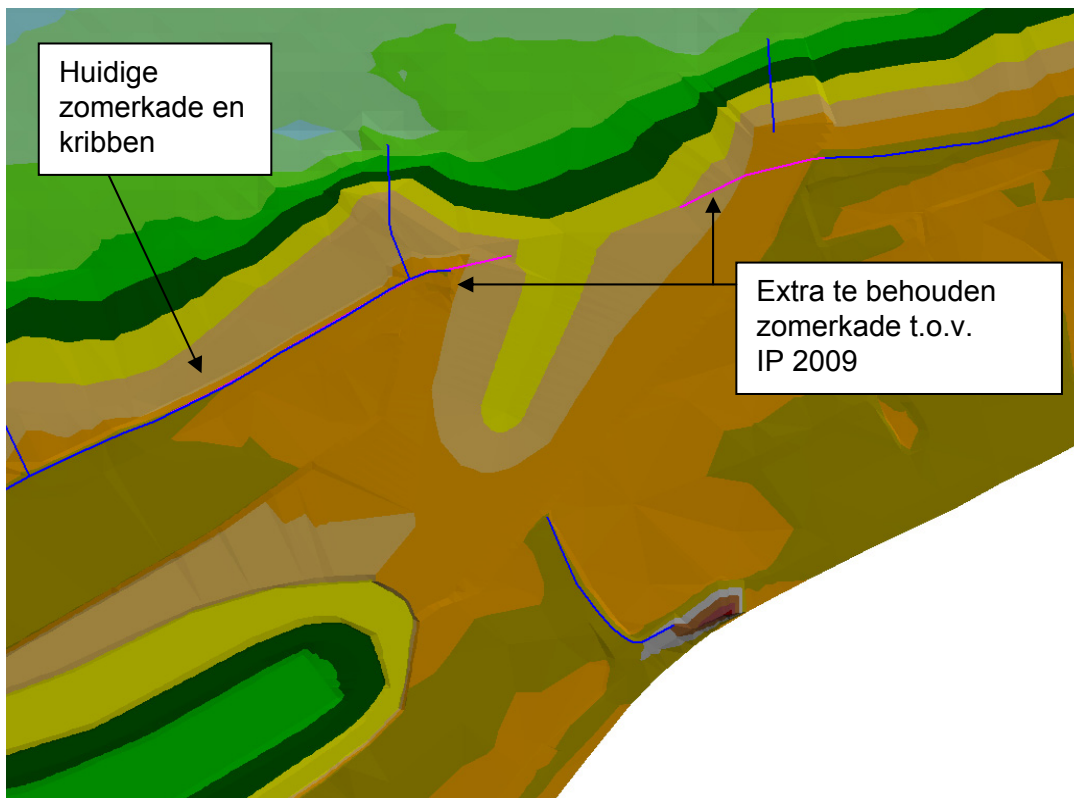
### 3.3 Mitigerende maatregelen

Uit nadere analyse van de dwarsstroming bij de Afgedamde Maas is gebleken dat de bodemligging van de Afgedamde Maas en de schematisatie van de ten noordwesten van Woudrichem gelegen jachthaven, niet correct zijn in het PKB referentie model. Omdat dit invloed heeft op de dwarsstroming bij de verbinding van de Afgedamde Maas, wordt de Baseline schematisatie op deze punten aangepast. De wijze van schematiseren van de jachthaven en de bodemligging zijn beschreven in hoofdstuk 2.

#### *Mitigerende maatregel 1: kmr 947,5*

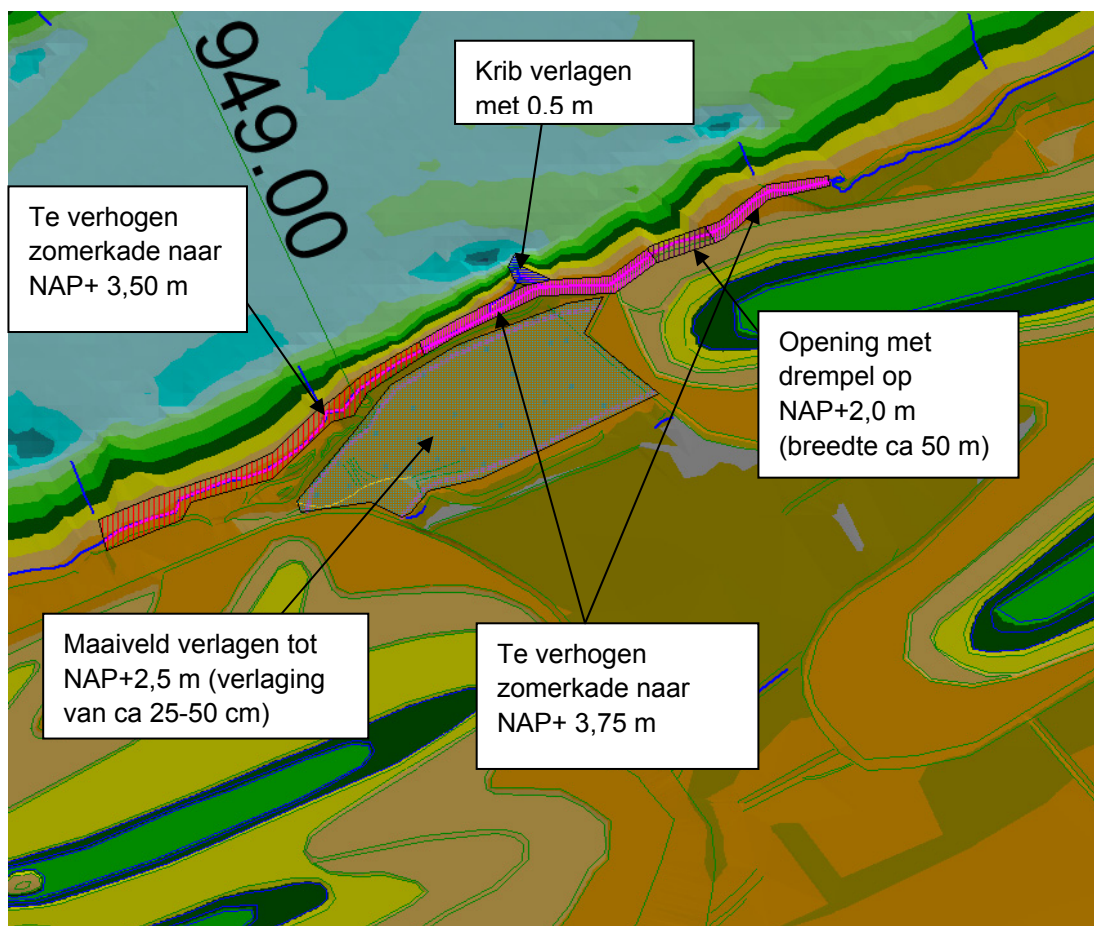
Om de dwarsstroming bij de instroomopening op kmr 947,5 te reduceren is de zomerkade bij de instroomopening over een grotere breedte in stand gehouden. Oftewel de instroomopening van de opening wordt minder breed. Deze was in het IP 2009 over een breedte van ca. 190 m afgegraven.

De voorgestelde mitigerende maatregel is om de opening slechts over een breedte van 80 m af te graven. Hiermee wordt de instroomopening gekneld en zal er minder water door de nevengeulen gaan stromen bij een lager hoogwater. Dit zal echter wel effect hebben op de maximale waterstandsval bij MHW en daarmee op het behalen van de taakstelling (dit wordt in H5 gecontroleerd). De hoogte van de zomerkade op deze locatie is ca NAP+3,30 m.



Figuur 3.7: Mitigerende maatregel bij kmr 947,5; de bovenstroomse instroomopening





**Figuur 3.8: Mitigerende maatregel bij kmr 948,7 tot 949,2; de bovenstroomse uitstroomopening en het benedenstroomse instroompunt**

*Mitigerende maatregel 2: kmr 948,8 tot kmr 949,2*

Bij de uitstroomopening van kmr 948,8 is om de gradiënt in dwarsstroming tussen kmr 948,8 en 949,2 bij afvoeren van 6.000 tot 8.000 m<sup>3</sup>/s te verkleinen. Dit betekent het reduceren van de lozing op kmr 948,8 en het reduceren van de onttrekking op kmr 949,2. In figuur 3.5 is deze gradiënt tussen onttrekking en lozing goed te zien.

Om de gradiënt te verminderen is gekozen voor een pakket van drie maatregelen:

- Het verlagen van een deel van het maaiveld direct achter de zomerkade. Doel is om een betere geleiding te creëren van de stroming vanuit de bovenstroomse geul naar de benedenstroomse geul. In figuur 3.8 is aangegeven welk deel verlaagd moet worden naar een niveau van NAP+2,5 m. Het gaat om een deel van ca 250 m lengte en 100 m breed, direct achter de te verhogen zomerkade. In deze zone ligt de waterleiding voldoende diep om een dergelijke ontgraving mogelijk te maken. Wel mag er niet verder dan 100 meter uit de zomerkade ontgraven worden.
- Het verhogen van de oeverwal of zomerkade tussen ca. kmr 948,7 – 949,2 tot een niveau dat hoger is dan het onvergraven maaiveld ter plaatse van de ondergrondse waterleiding. In figuur 3.8 is getoond over welk traject van de oeverwal dit gaat.

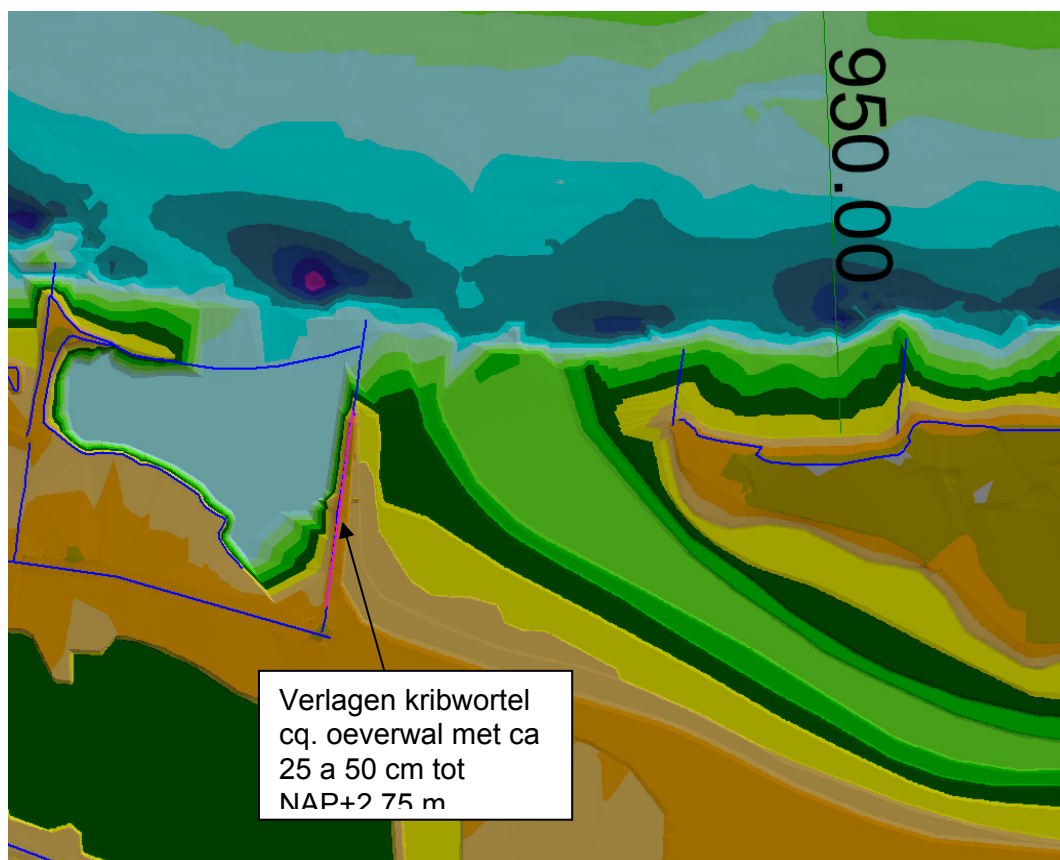
De oeverwal heeft een wisselende huidige hoogte van ca NAP+2,25 m in het westelijke gedeelte bij kmr 949,2 en een hoogte van maximaal NAP+3,4 m in het oostelijke gedeelte bij kmr 948,7. De maatregel behelst het verhogen van de kade naar NAP+3,75 m in het oostelijke gedeelte en naar NAP+3,5 m in het westelijke gedeelte.

- Om de dwarsstroming bij het uitstroompunt verder te reduceren onder de kritische grens van 0,15 m/s is het noodzakelijk om ook de kleine krib op kmr 948,9 te verlagen met 0,5 m. De kop komt dan op ca NAP+1,2 a 1,5 m te liggen. Deze mitigerende maatregel is voornamelijk nodig om de dwarsstroming van ca 0,25 m/s op kmr 948,9 bij 8.000 m<sup>3</sup>/s te reduceren.

#### *Mitigerende maatregel 3: kmr 950,2*

Om de dwarsstroming bij het uitstroompunt op kmr 950,2 te verlagen bij afvoeren van 6.000 m<sup>3</sup>/s is een maatregel genomen die ten doel heeft om het water over een bredere sectie terug naar het zomerbed te laten stromen. Dit is gedaan door de wortel van het kriblichaam op kmr 950,4 te verlagen. Hierdoor kan het water dat door de benedenstrooms gelegen geul stroomt, via twee kribvakken terugstromen in plaats van één. De verlaging bedraagt ca 25 tot 50 cm over een lengte van 150 m. De kruin van de kribwortel komt op NAP+2,75 m te liggen.

Onbekend is of dit over de gehele lengte nog een kriblichaam is of dat de krib op dit gedeelte reeds is overgegaan in een oeverwal of zomerkade. Het werkelijke kriblichaam dat in het kribvak ligt blijft onaangetast.



**Figuur 3.9: Mitigerende maatregel bij kmr 950,2; de benedenstroomse uitstroomopening**

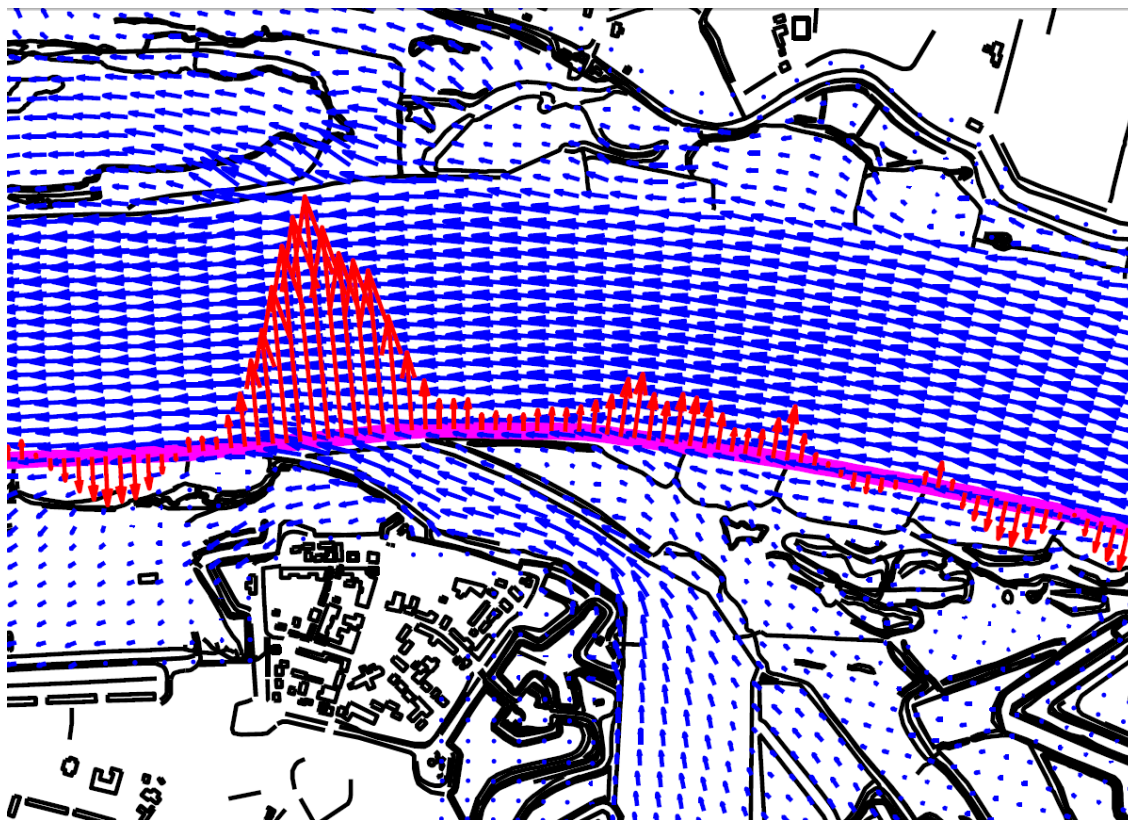
*Mitigerende maatregel: Afgedamde Maas*

In de Afgedamde Maas zijn een tweetal maatregelen geïnventariseerd, daarnaast is er een aanpassing gedaan in de modelschematisatie van de referentiesituatie.

Aangezien het referentiemodel niet de ten noordwesten van Woudrichem gelegen jachthaven bevat, is dit aangepast. De jachthaven is op een grove wijze geschematiseerd in Baseline op basis van de dtb-hoogte gegevens. Daarnaast is het referentiemodel ook geüpdate met een meer recente bodemmeting van de Afgedamde Maas. De bodemgegevens zijn afkomstig uit het Baseline Wbr2008 model. Deze aanpassingen leiden tot een (licht) gunstiger beeld van de dwarsstroming dan vermeld in paragraaf 3.2

De twee geïnventariseerde maatregelen zijn:

- een verlaging van het maaiveld op een gedeelte van het geleidingswerk ter hoogte van de bocht bij Woudrichem;
- het verlengen van het geleidingswerk met een extra 'krib' of geleidingsdam.



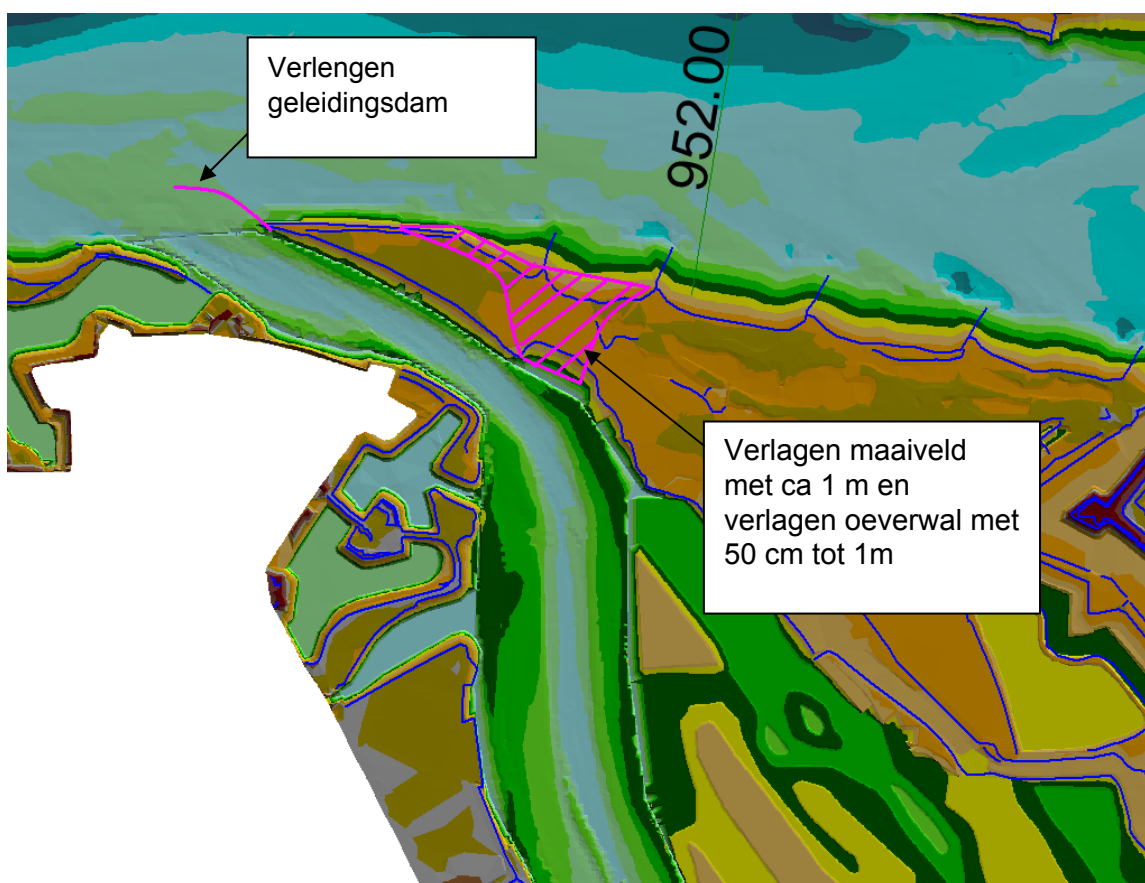
Figuur 3.10: detail van stroombeeld bij 8.000 m<sup>3</sup>/s

Het verlagen van het maaiveld en een deel van de oever van het geleidingswerk moet opleveren dat de stroming, bij 8.000 m<sup>3</sup>/s en 10.000 m<sup>3</sup>/s, meer gespreid terugstroomt naar het zomerbed. In figuur 3.10 is te zien dat in het IP 2009 het water voornamelijk terug stroomt via de Afgedamde Maas en nauwelijks via de oeverwal bij het geleidingswerk.

Uit een gevoeligheidsanalyse blijkt echter dat het verlagen van de oeverwal nauwelijks effect heeft op de dwarsstroming. Dit komt voornamelijk omdat door het verlagen van een deel van het maaiveld, slechts een kleine hoeveelheid water van het totaal dat door de Afgedamde Maas stroomt, via deze verlaging terug gaat stromen.

Een vingeroefening m.b.v. Chezy leert dat er slechts ca 40 a 60 m<sup>3</sup>/s door deze maaiveldverlaging extra naar de Waal zal stromen. Dit is nog geen 10% van de totale hoeveelheid water die bij 8.000 m<sup>3</sup>/s door de Afgedamde Maas terugstroomt naar de Waal. Bij 8.000 m<sup>3</sup>/s stroomt er ca 650 m<sup>3</sup>/s door de Afgedamde Maas terug naar het zomerbed. Het verlagen van het maaiveld heeft daarmee nauwelijks effect op de grootte van de dwarsstroming. Meer dan 90% van het debiet door de Afgedamde Maas blijft via de hoofdgeul terugstromen.

Een WAQUA berekening met daarin een maaiveldverlaging onderstreept dit nogmaals. De dwarsstroming reduceert met slechts ca 0,01 m/s bij 8.000 m<sup>3</sup>/s en 10.000 m<sup>3</sup>/s. Dit is slechts een zeer minimaal effect, terwijl er wel een grote ingreep noodzakelijk is> de ingreep vraagt om het verwijderen van verontreinigde grond en daarnaast moet een groep bomen verdwijnen, zie figuur 3.12.



**Figuur 3.11: Mitigerende maatregel bij Afgedamde Maas**



**Figuur 3.12: foto van bomenrijen en geleidingswerk**

Het effect van het verlengen van het geleidingswerk is niet in WAQUA onderzocht. De vraag is of een dergelijke ingreep gewenst is door RWS en of het de problemen van dwarsstroming op een adequate manier mitigeert. De dwarsstroming zal weliswaar afnemen, maar de scheepvaart zal hinder ondervinden van de langere dam. Daarnaast brengt een dergelijke maatregel zeer veel kosten met zich mee.

Wat betreft de dwarsstroming heeft Rijkswaterstaat (Egbert Ijmker en Hans Veldman, RWS-ON) ook genoemd dat de dwarsstroming bij een vaarwegsplitsing anders beoordeeld mag worden als de dwarsstroming bij in- en uitstroomopeningen van nevengeulen. Bij een splitsing van vaarwegen is de schipper al meer bewust van stromingen en tegemoet tredende scheepvaart. Bij in- en uitstroomopeningen van nevengeulen kunnen dwarsstromingen voor de schipper veel meer onverwacht optreden.

Wat betreft de dwarsstroming op het splitsingspunt van Afdamde Maas en Waal worden nu dus geen mitigerende maatregelen opgenomen. De twee voorgestelde maatregelen worden niet opgenomen in het inrichtingsplan.

### **3.4 Effecten Mitigerende maatregelen**

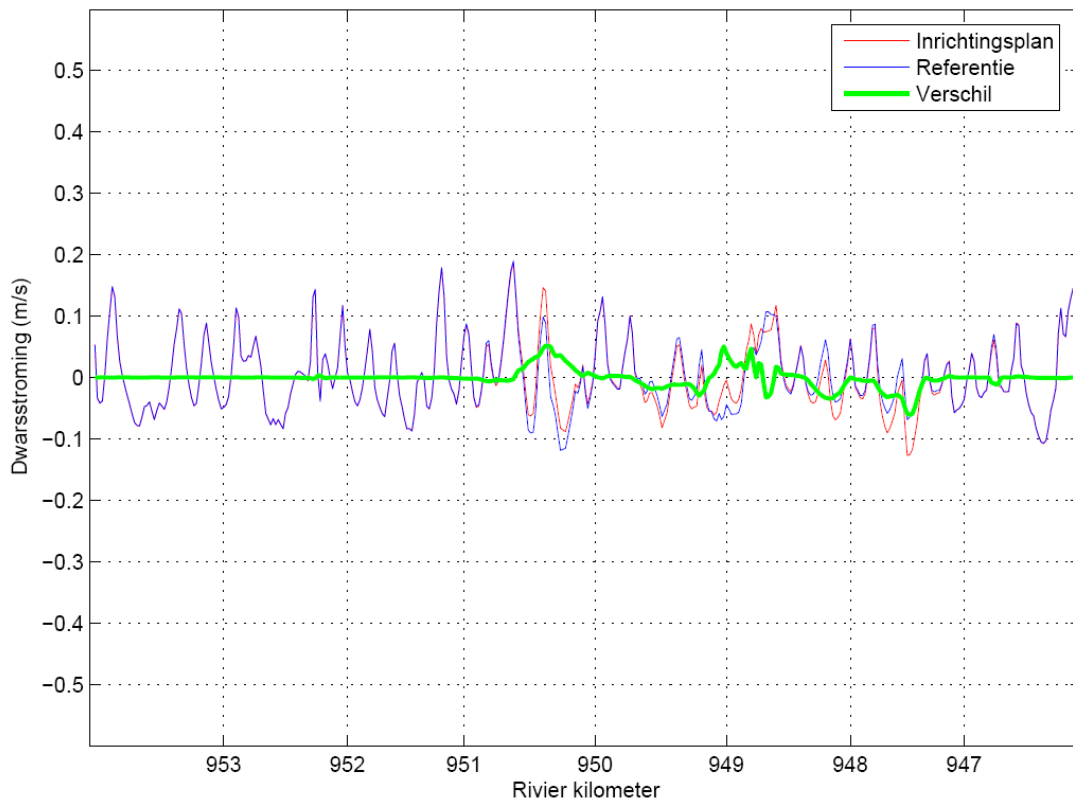
In tabel 3.2 zijn de stroomsnelheden en afvoeren samengevat voor het IP met de mitigerende maatregelen. Bij de Afdamde Maas is enkel de referentiesituatie kloppend gemaakt (jachthaven en bodemligging) waardoor de grootte van de dwarsstroming minder is dan in het IP 2009.

Geconcludeerd kan worden dat de dwarsstroming bij afvoeren t/m 6.000 m<sup>3</sup>/s voldoet aan de beoordelingseis. Bij afvoeren van 8.000 m<sup>3</sup>/s wordt de beoordelingseis (0,15 m/s) nipt overschreden bij de benedenstroomse uitstroomopening op kmr 950,2. Bij afvoeren van 10.000 en 16.000 m<sup>3</sup>/s neemt de dwarsstroming bij de in- en uitstroomopeningen in de Brakelse Benedenwaard verder toe tot waarden tussen de 0,15 en 0,2 m/s. De nadelige gradiënt tussen in- en uitstroomopening nabij kmr 949 neemt hierdoor af. Bij 8.000 m<sup>3</sup>/s was deze gradiënt ca 0,5 m/s, door de maatregelen is deze gradiënt afgenomen tot nog geen 0,3 m/s. Bij de Afgedamde Maas blijft de dwarsstroming hoog met 0,4 tot 0,43 m/s bij afvoeren van 8.000 tot 16.000 m<sup>3</sup>/s.

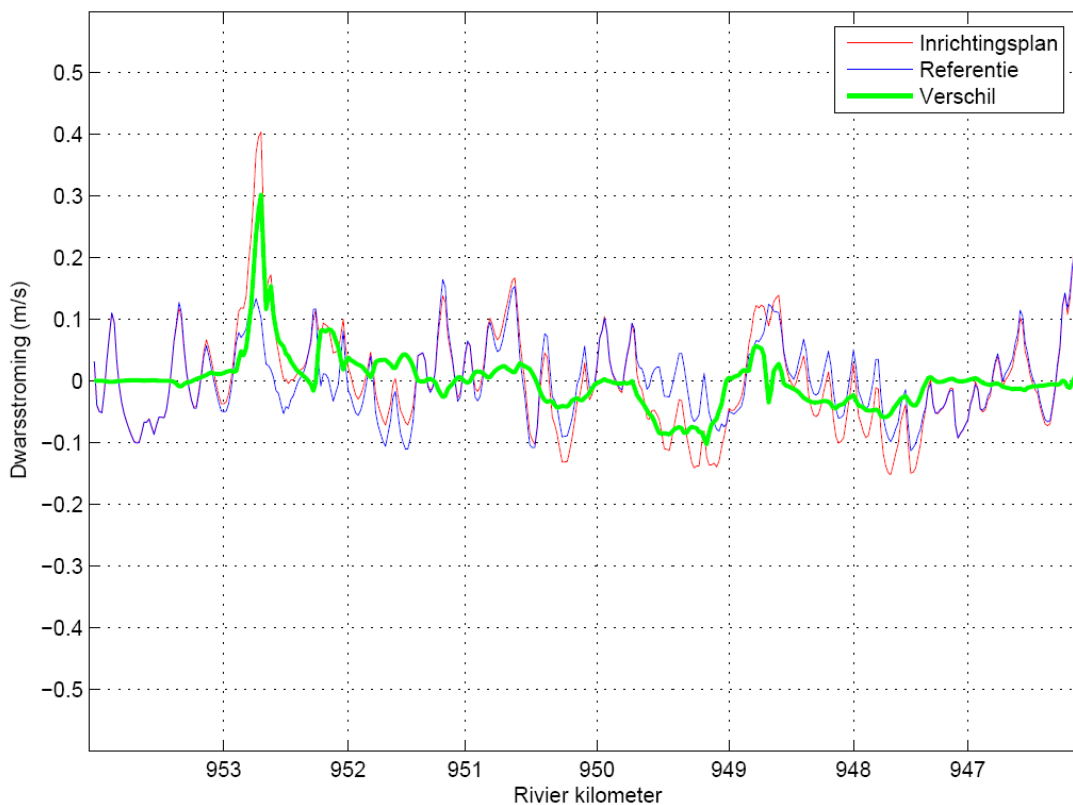
Figuur 3.13 t/m 3.16 toont de dwarsstroming op de denkbeeldige kribbaken-lijn voor het inrichtingsplan met mitigerende maatregelen en de aangepaste referentiesituatie. In figuur 3.17 t/m 3.20 is het verschil tussen het IP 2009 en het inrichtingsplan met mitigerende maatregelen getoond, hieruit is het directe effect van de mitigerende maatregelen (inclusief verbetering referentiesituatie) af te leiden. In figuur 3.21 is een detailbeeld opgenomen van de stroming bij kmr 949 bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s.

**Tabel 3.2: dwarsstroming IP met mitigerende maatregelen**

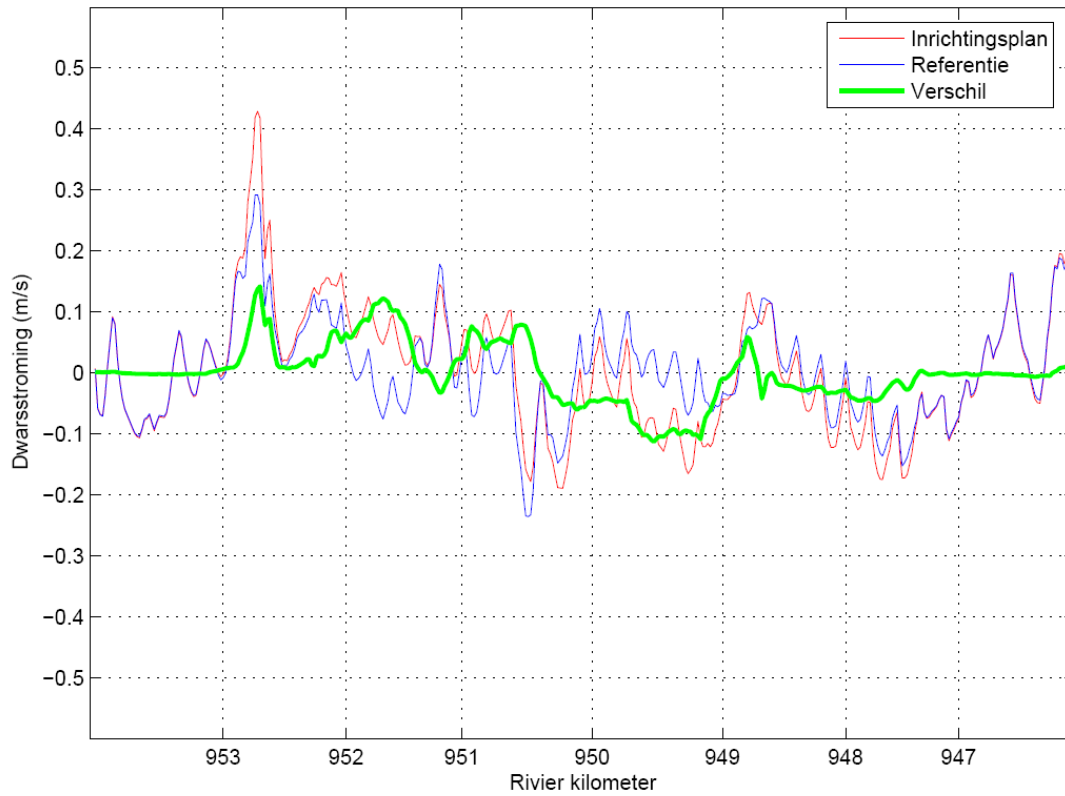
locatie	2.000 m <sup>3</sup> /s 4.000 m <sup>3</sup> /s	5.000 m <sup>3</sup> /s	6.000 m <sup>3</sup> /s	8.000 m <sup>3</sup> /s	10.000 m <sup>3</sup> /s	16.000 m <sup>3</sup> /s
Instroomopening bovenstroomse geul (kmr 947,5)	0,10 m/s (< 20 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking 0,10-0,15 m/s (50 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking 0,13 m/s (100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking 0,15 m/s (>100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking <b>0,17 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking <b>0,18 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)
uitstroomopening bovenstroomse geul (kmr 948,8)	0,15 m/s (< 20 m <sup>3</sup> /s)	lozing 0,10-0,15 m/s (50 m <sup>3</sup> /s)	lozing 0,11 m/s (100 m <sup>3</sup> /s)	lozing 0,13 m/s (>50 m <sup>3</sup> /s)	lozing 0,13 m/s (>50 m <sup>3</sup> /s)	lozing 0,13 m/s (>50 m <sup>3</sup> /s)
instroomlocatie benedenstroomse geul (kmr 949,1)	0,10 m/s (nauwelijks debiet)	0,10 m/s (nauwelijks debiet)	onttrekking 0,07 m/s (100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking 0,14 m/s (>100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking <b>0,17 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)	onttrekking <b>0,16 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)
uitstroomopening benedenstroomse geul (kmr 950,2)	0,10 m/s (nauwelijks debiet)	0,10 m/s (nauwelijks debiet)	lozing 0,15 m/s (100 m <sup>3</sup> /s)	lozing <b>0,16 m/s</b> (>50 m <sup>3</sup> /s)	lozing 0,1 m/s (>50 m <sup>3</sup> /s)	lozing 0,1 m/s (>50 m <sup>3</sup> /s)
Opening Afgedamde Maas (kmr 952,6)	0,10-0,15 m/s (nauwelijks debiet)	0,10-0,15 m/s (nauwelijks debiet)	0,10-0,15 m/s (nauwelijks debiet)	<b>0,40 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)	<b>0,42 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)	<b>0,46 m/s</b> (>100 m <sup>3</sup> /s)



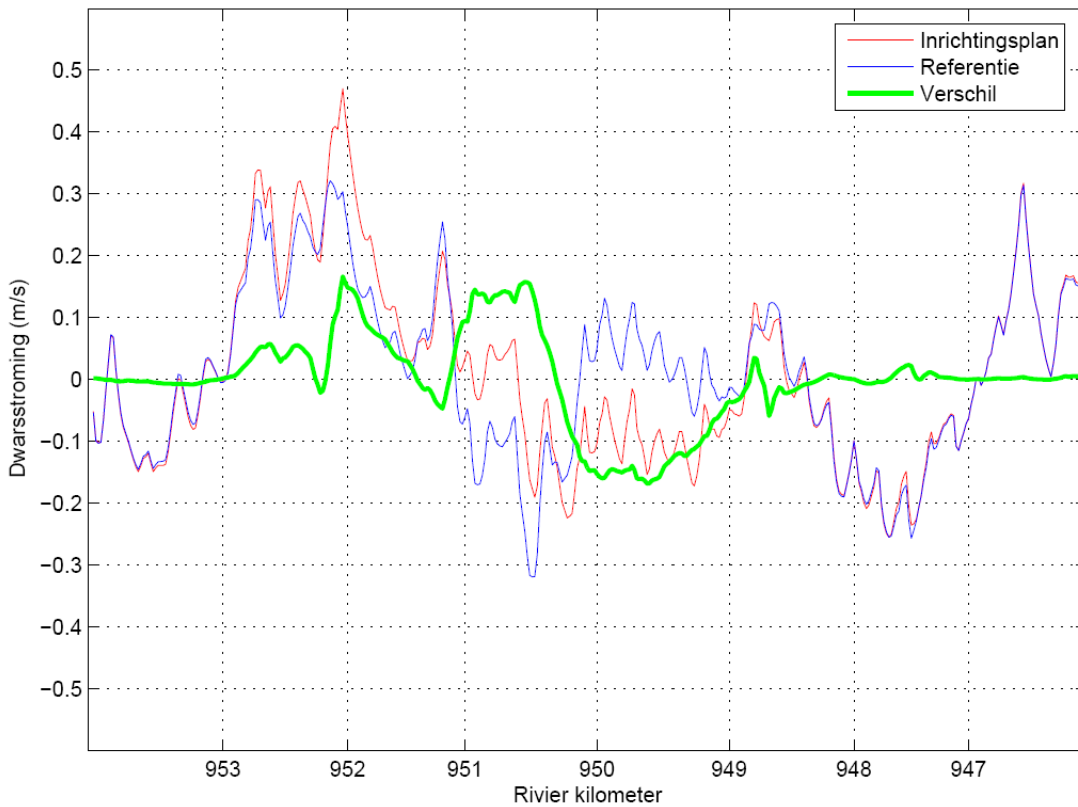
Figuur 3.13: dwarsstroming bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met mitigerende maatregelen



Figuur 3.14: dwarsstroming bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met mitigerende maatregelen

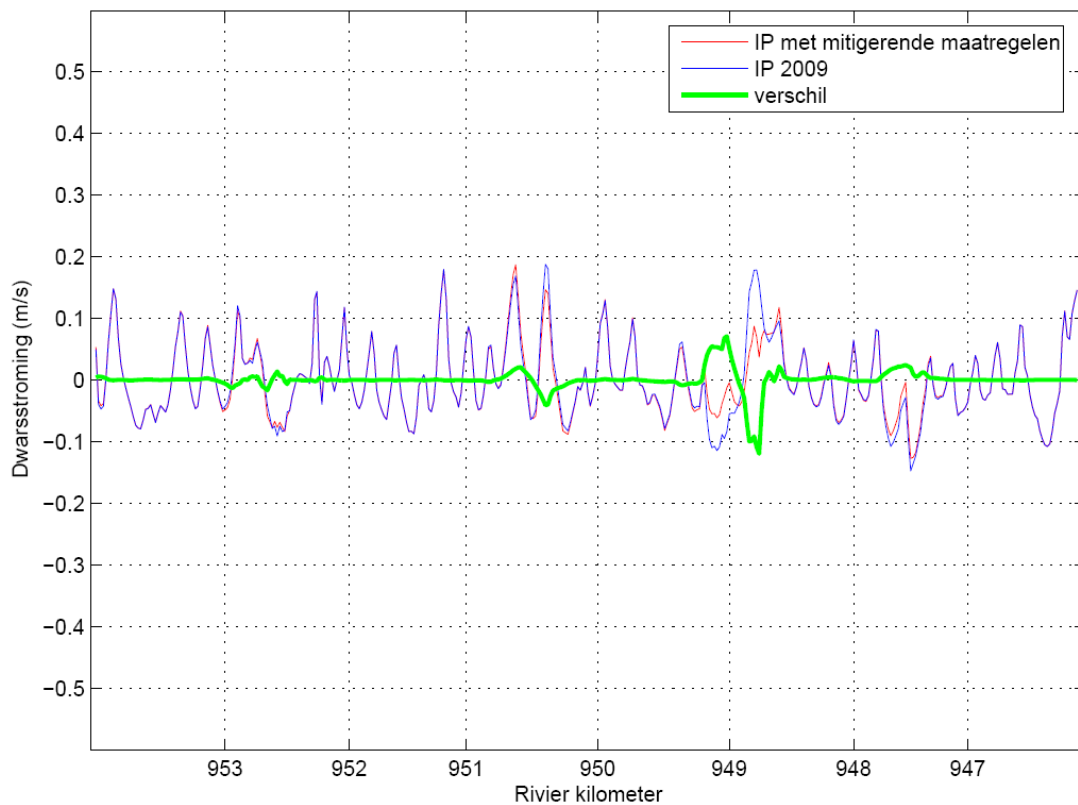


Figuur 3.15: dwarsstroming bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met mitigerende maatregelen



Figuur 3.16: dwarsstroming bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met mitigerende maatregelen





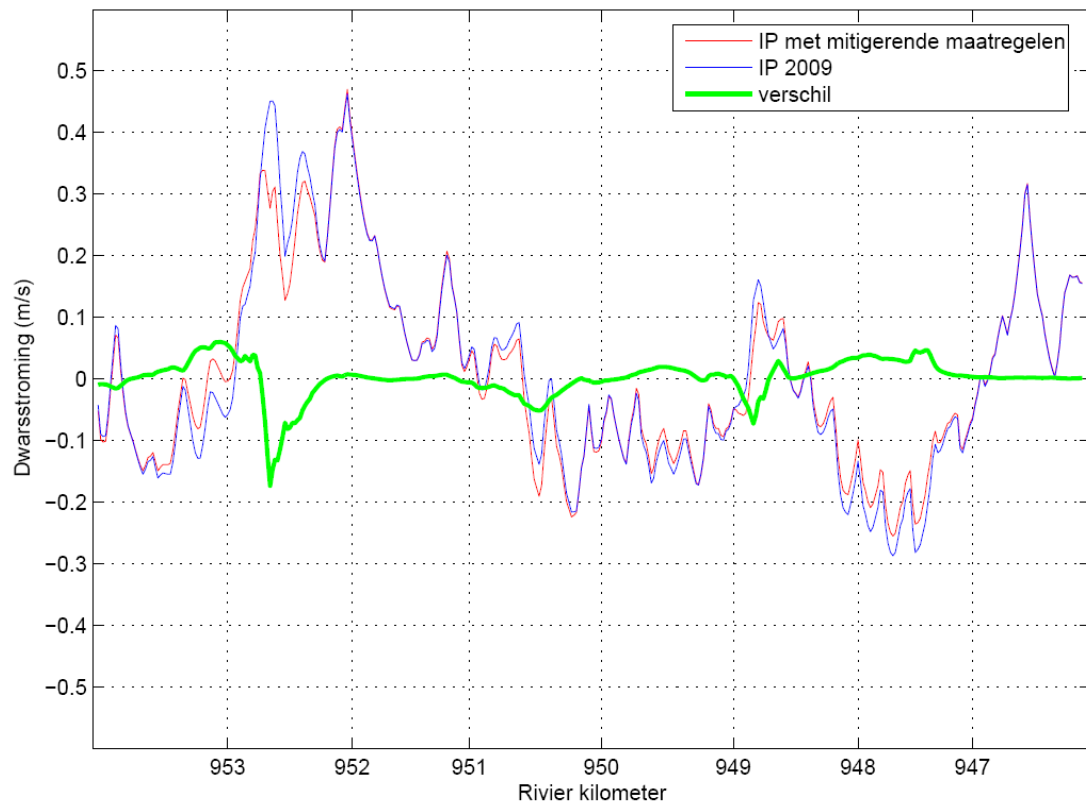
**Figuur 3.17: dwarsstroming bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met maatregelen en IP 2009**



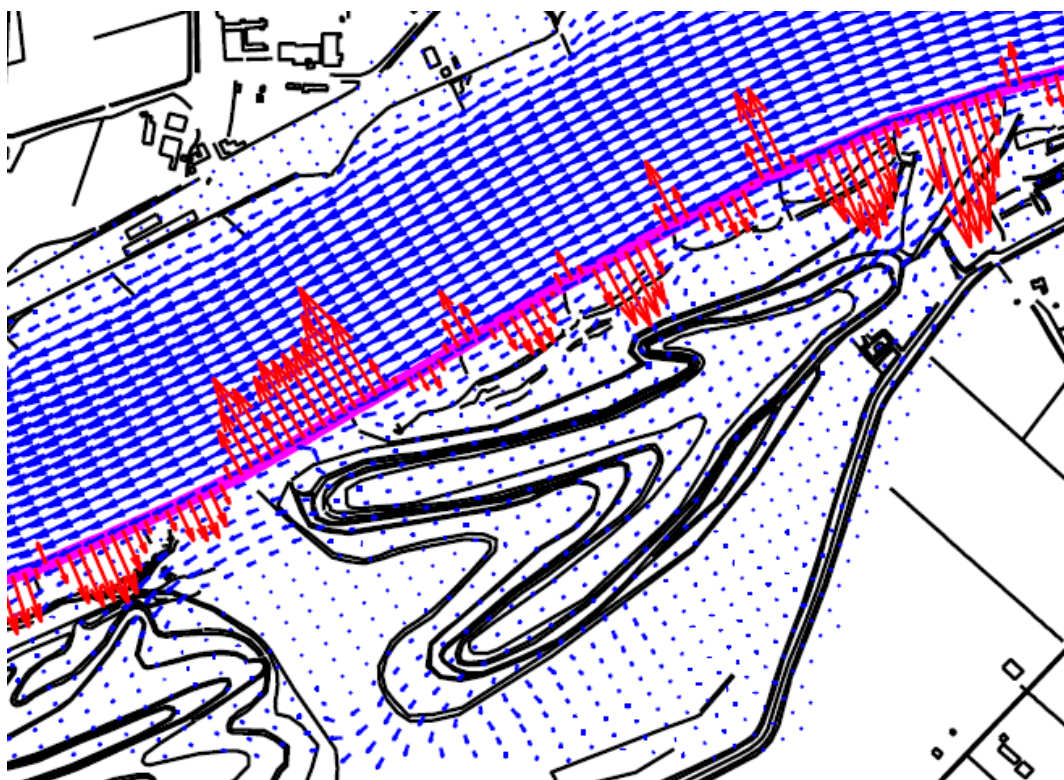
**Figuur 3.18: dwarsstroming bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met maatregelen en IP 2009**



**Figuur 3.19: dwarsstroming bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met maatregelen en IP 2009**



**Figuur 3.20: dwarsstroming bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met maatregelen en IP 2009**



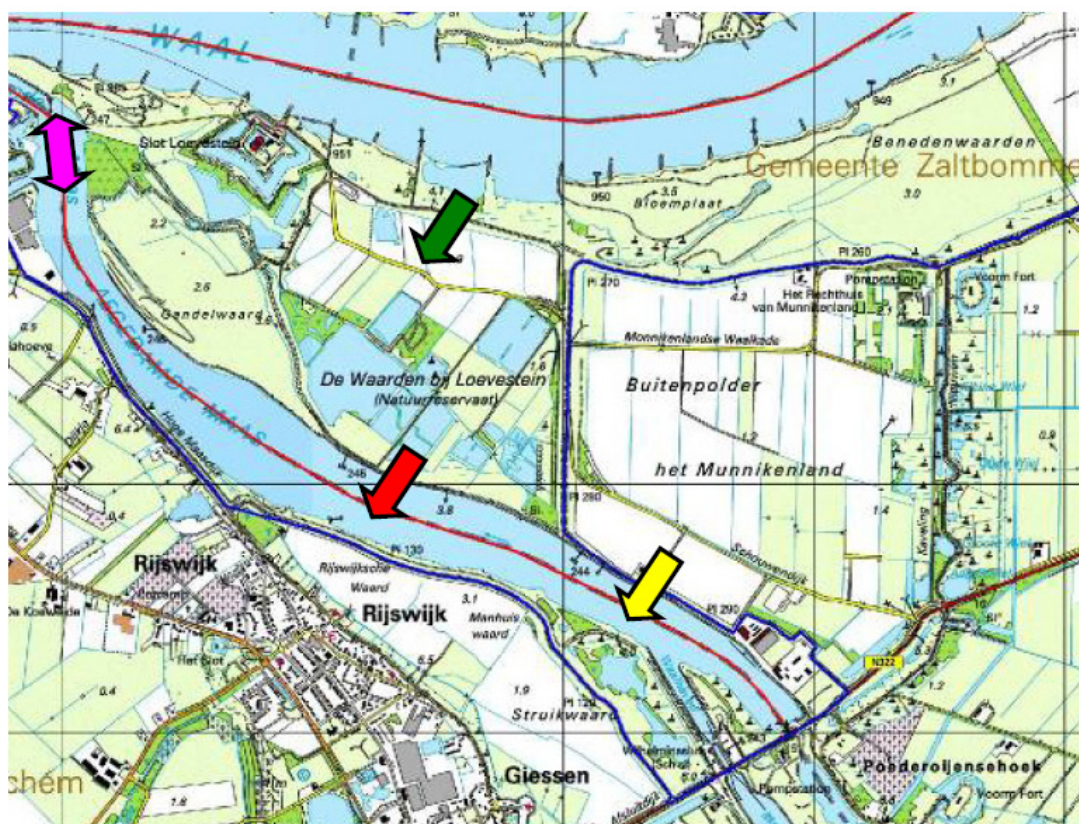
Figuur 3.21: Detail van stroombeeld bij 6.000 m<sup>3</sup>/s bij de bovenstroomse nevengeul voor het IP met mitigerende maatregelen

### 3.5 Dwarsstroming op de Afgedamde Maas

Door de toename in afvoer door de polder van Munnikenland bij hoge afvoeren, is het de vraag of er ook ongewenste dwarsstroming optreedt in de Afgedamde Maas zelf. De dwarsstroming op de Afgedamde Maas is ook beoordeeld voor de situatie met Gandelwaard. Deze situatie zal de maatgevende situatie zijn. De geulen in de herinrichting van de Gandelwaard zullen leiden tot een meer geconcentreerde toestroom van debiet uit de polder Munnikenland, dan de situatie zonder deze geulen.

Enkele feiten die relevant zijn voor de beoordeling van de dwarsstroming zijn:

- De polder in Munnikenland loopt gemiddeld ca 15 dagen/jaar vol met Waalwater, dit is gemiddeld 13 tot 14 dagen meer dan in de huidige situatie. Dit water zal via de bodem en via het uitlaatwerk weer wegzakken.
- De kade rondom de 'buitenpolder Munnikenland' overstroomt in de huidige situatie niet en in de toekomstige situatie slechts gemiddeld 1 dag per jaar. Dit is een toename van gemiddeld 1 dag per jaar. Bij hoogwater (10.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith) stroomt er circa 200 m<sup>3</sup>/s over dit gedeelte van de kade de Afgedamde Maas in
- De kade rondom de 'Waarden bij Loevestein' overstroomt gemiddeld 2 dagen per jaar in de huidige situatie en in de toekomstige situatie. De frequentie wijzigt niet, enkel de hoeveelheid water die over de kade de Afgedamde Maas instroomt neemt toe. In de huidige situatie stroomt circa 800 m<sup>3</sup>/s achter Loevestein langs bij hoogwater (10.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith), in de toekomstige situatie neemt dit toe tot 1.600 m<sup>3</sup>/s.
- Het getijvolume dat dagelijks in- en uit de Afgedamde Maas stroomt, verandert niet door het Inrichtingsplan Munnikenland.

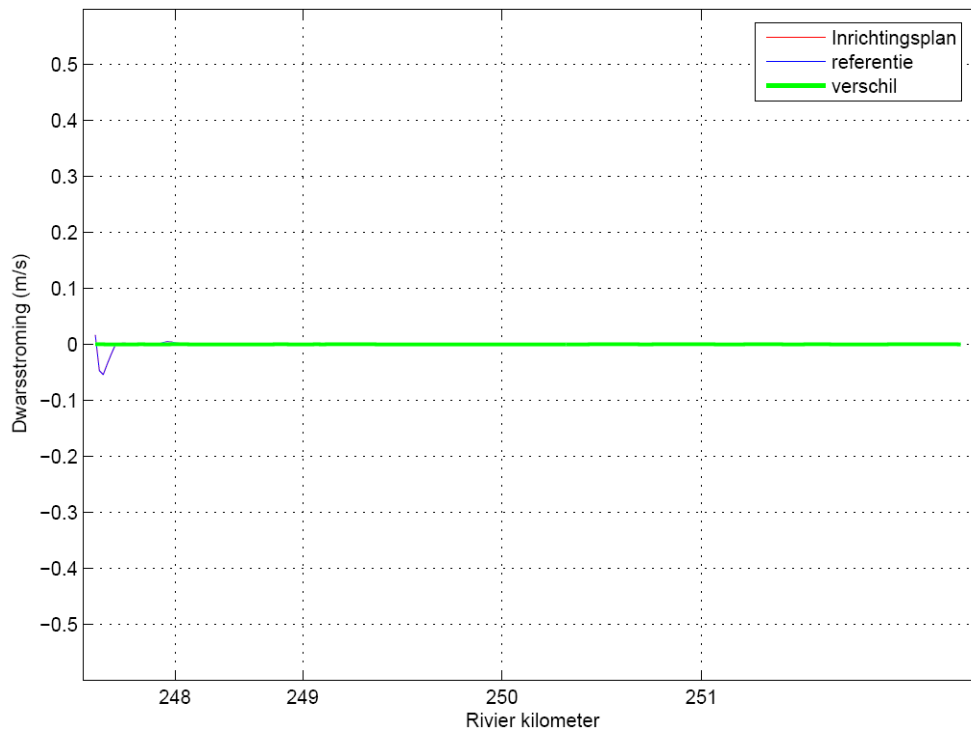


Figuur 3.22: Projectgebied Munnikenland (huidige situatie) (Bron: top25raster\_2003(©) TD kadaster)

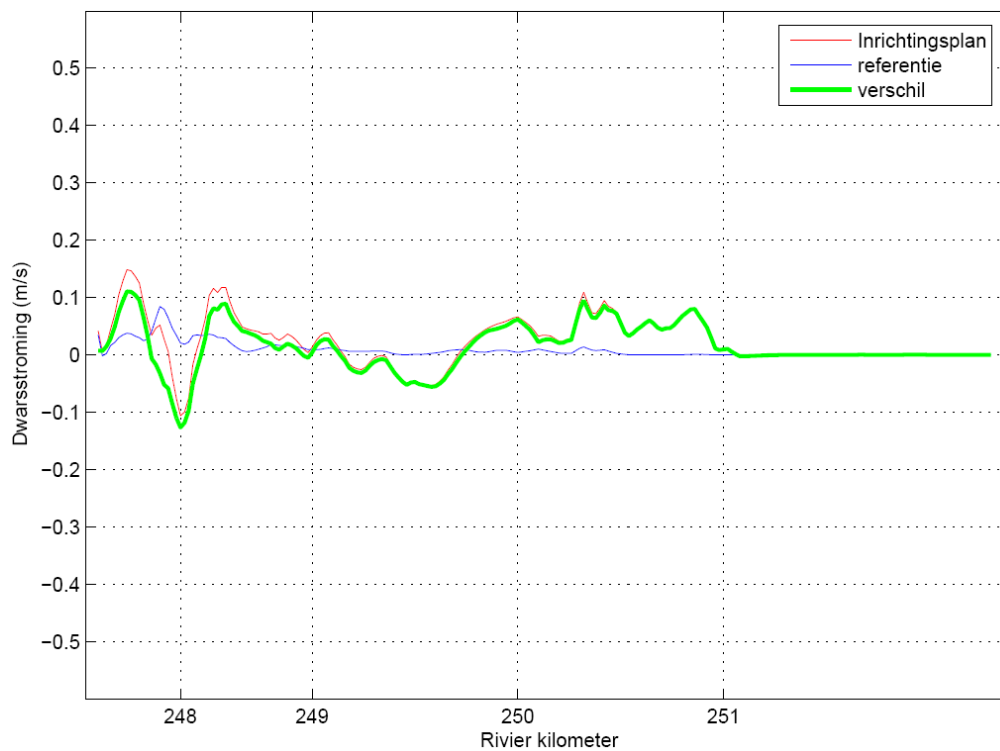
Figuren 3.23 t/m 3.26 tonen de dwarsstroming op de Afgedamde Maas. De Afgedamde maas heeft een kilometrering van kmr 247,4 op de kop van het geleidingswerk en kmr 251,8 bij de Wilhelminasluis. Het volgende wordt geconcludeerd:

- Bij een afvoer van  $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (figuur 3.23) is er nog geen dwarsstroming op de Afgedamde Maas. Er stroomt nog geen water vanuit de ondergelopen polder over de kade.
- Bij een afvoer van  $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (figuur 3.24) neemt het waterpeil in de polder dusdanig toe dat er water over de kades begint te stromen. Totaal stroomt er ca  $650 \text{ m}^3/\text{s}$  vanuit de polder naar de Afgedamde Maas. Dit zorgt voor een dwarsstroming van ca 0,05 tot 0,13 m/s op kmr 248-252. Dit is een toename van ca 0,05 tot 0,1 m/s. Opvallend is dat er door de Gandelwaard ook water onttrokken wordt. De dwarsstroming is het grootst bij kmr 247,5, hier stroomt water over het geleidingswerk terug naar de Afgedamde Maas, zie ook figuur 3.27.
- Bij  $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$  en  $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (figuur 3.25 en 3.26) neemt de dwarsstroming over de gehele Afgedamde maas verder toe. Met name in de bocht bij Woudrichem wordt de dwarsstroming hoger dan de norm van 0,15 m/s. Ook zijn de gradiënten hier groot. Een deel van deze gradiënten wordt veroorzaakt door de bocht in de Afgedamde Maas. Een deel van deze hoge dwarsstroming is reeds in de huidige situatie al aanwezig. Enkel bij de uitstroom opening van de Gandelwaard neemt de dwarsstroming ten gevolge van de extra lozing verder toe met ca 0,1 tot 0,15 m/s. Dit kan worden gereduceerd door de uitstroomopening te verbreden of te heroriënteren.

In de rest van de Afgedamde Maas (kmr 248,5 t/m 252) ligt de dwarsstroming rond de 0,1 tot 0,15 m/s. Hier zijn echter weinig gradiënten in, vanwege de goed verdeelde toestroom van water.



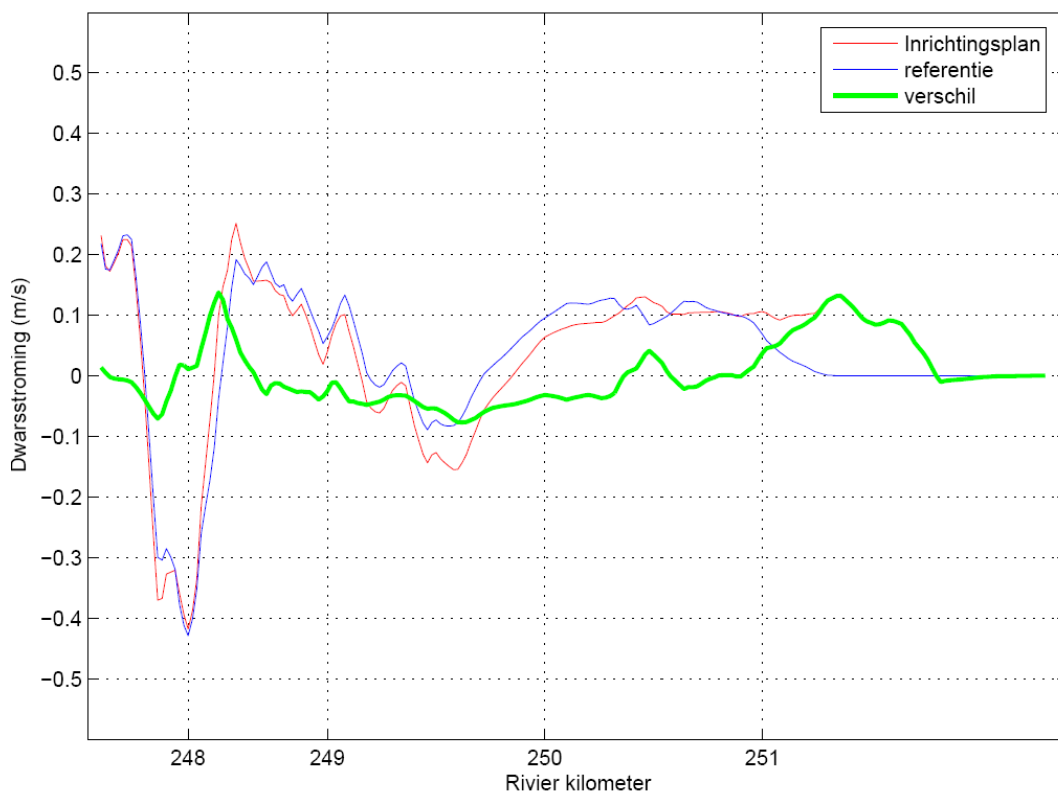
**Figuur 3.23: Dwarsstroming op de Afgedamde Maas bij 6.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met maatregelen**



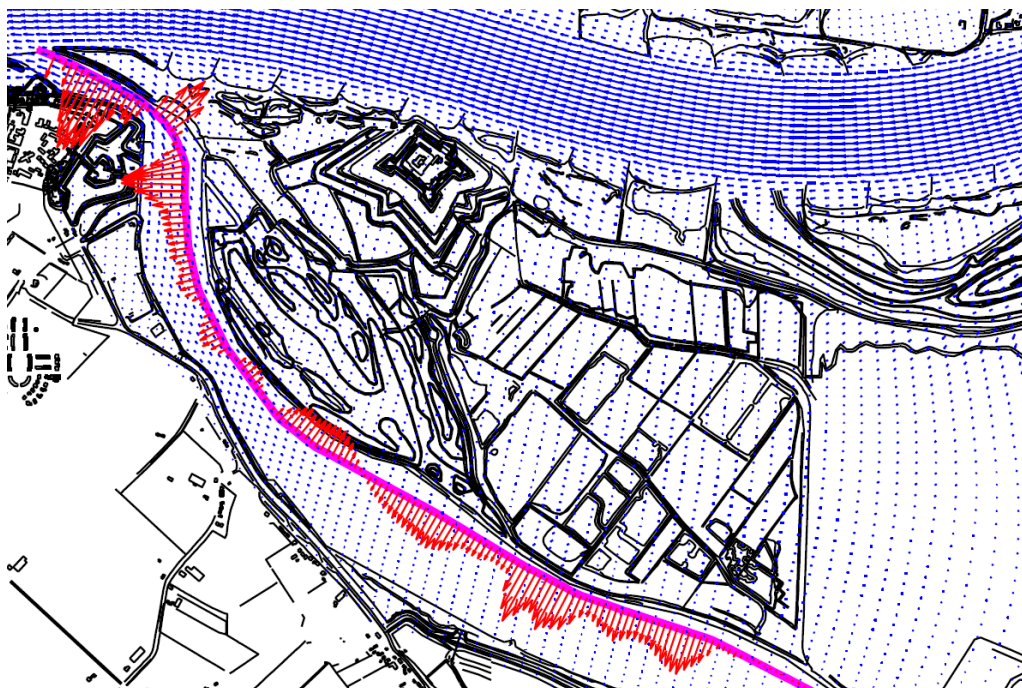
**Figuur 3.24: Dwarsstroming op de Afgedamde Maas bij 8.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met maatregelen**



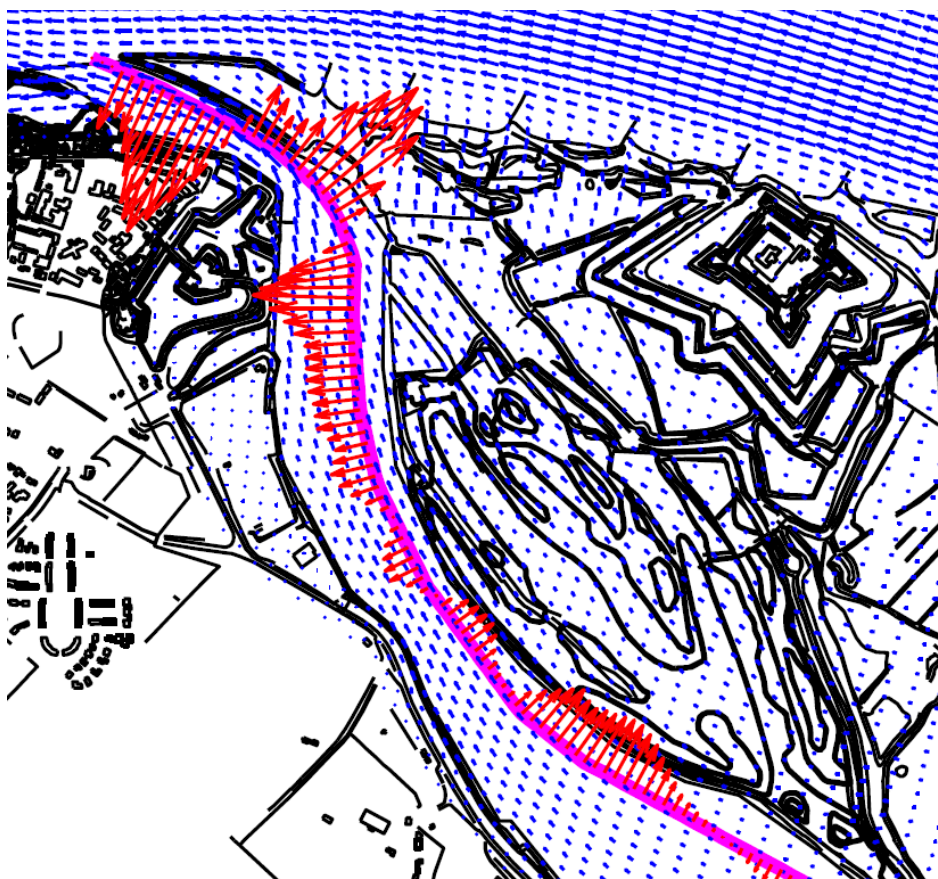
Figuur 3.25: Dwarsstroming op de Afgedamde Maas bij 10.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met maatregelen



Figuur 3.26: Dwarsstroming op de Afgedamde Maas bij 16.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met maatregelen



Figuur 3.27: Beeld van de dwarsstroming op de Afgedamde Maas bij 8.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met maatregelen



Figuur 3.28: Beeld van de dwarsstroming op de Afgedamde Maas bij 10.000 m<sup>3</sup>/s voor het IP met maatregelen

## 4 STROOMBEELD BOCHT AFGEDAMDE MAAS

### 4.1 Inleiding

De grootste veranderingen in stroomsnelheid treden op bij de geleidingsdam tussen de Afgedamde Maas en het zomerbed van de Waal bij kmr 952,5 en nabij de haven bij Woudrichem. Deze hoge stroomsnelheden, ook bij minder extreme hoogwatergolven, zouden mogelijk tot instabiliteit van de oevers en bodemerosie kunnen leiden.

In dit hoofdstuk worden de stroomsnelheden in de bocht bij Woudrichem voor verschillende afvoeren nader beoordeeld. Vervolgens is nagegaan of deze stroomsnelheden kunnen leiden tot ongewenste oeverinstabiliteit en ongewenste bodemerosie. Ingegaan wordt op het eventueel treffen van mitigerende maatregelen.

De stroomsnelheden zijn beoordeeld voor de referentiesituatie waarin de jachthaven bij Woudrichem en de recente bodemmeting van de Afgedamde Maas zijn opgenomen. Voor het inrichtingsplan is het inrichtingsplan met de maatregelen tegen dwarsstroming (zie H3) genomen inclusief de herinrichting van de Gandelwaard. De situatie met Gandelwaard is maatgevend voor deze beoordeling omdat in deze situatie de afvoer door de Afgedamde Maas het hoogst is en daarmee ook de stroomsnelheden.

### 4.2 Stroomsnelheden bij verschillende afvoeren

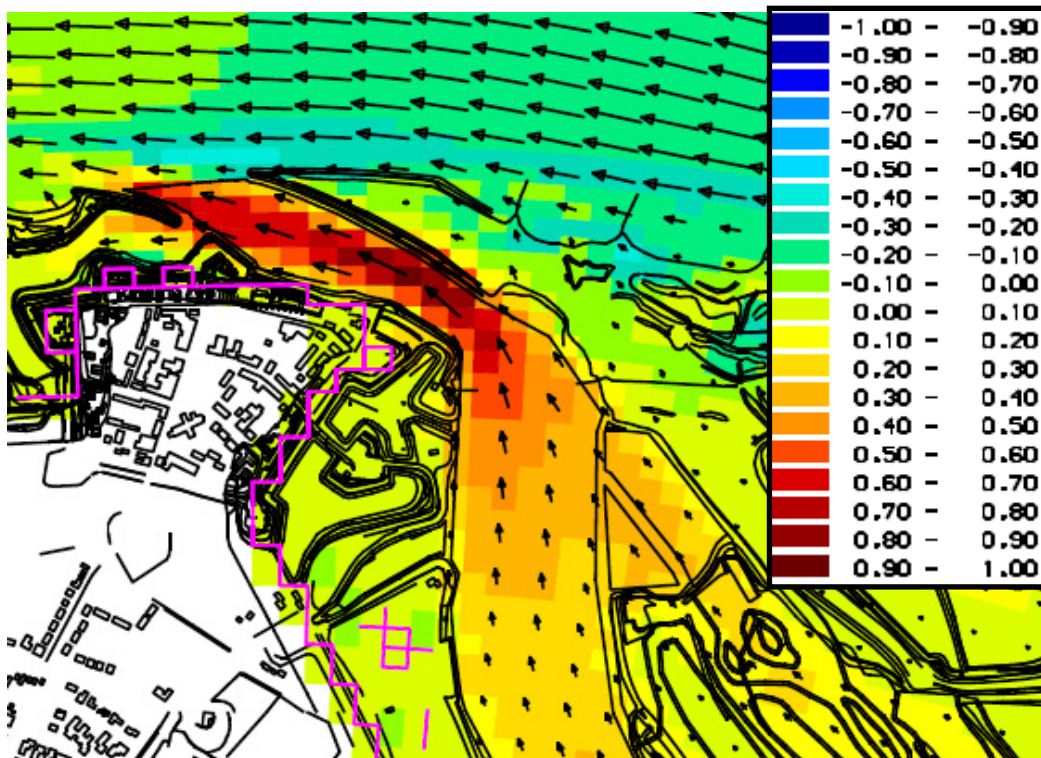
#### *Afvoeren lager dan 7.000 m<sup>3</sup>/s*

Bij afvoeren lager dan 7.000 m<sup>3</sup>/s stroomt de Afgedamde Maas nog niet mee. Pas bij afvoeren hoger dan 7.000 m<sup>3</sup>/s beginnen de kades tussen de Afgedamde Maas en de polder Munnikenland te overstromen. Bij de veelvoorkomende afvoeren en hoogwaters tot 7.000 m<sup>3</sup>/s treed dus geen verandering in stroomsnelheid in de Afgedamde Maas op.

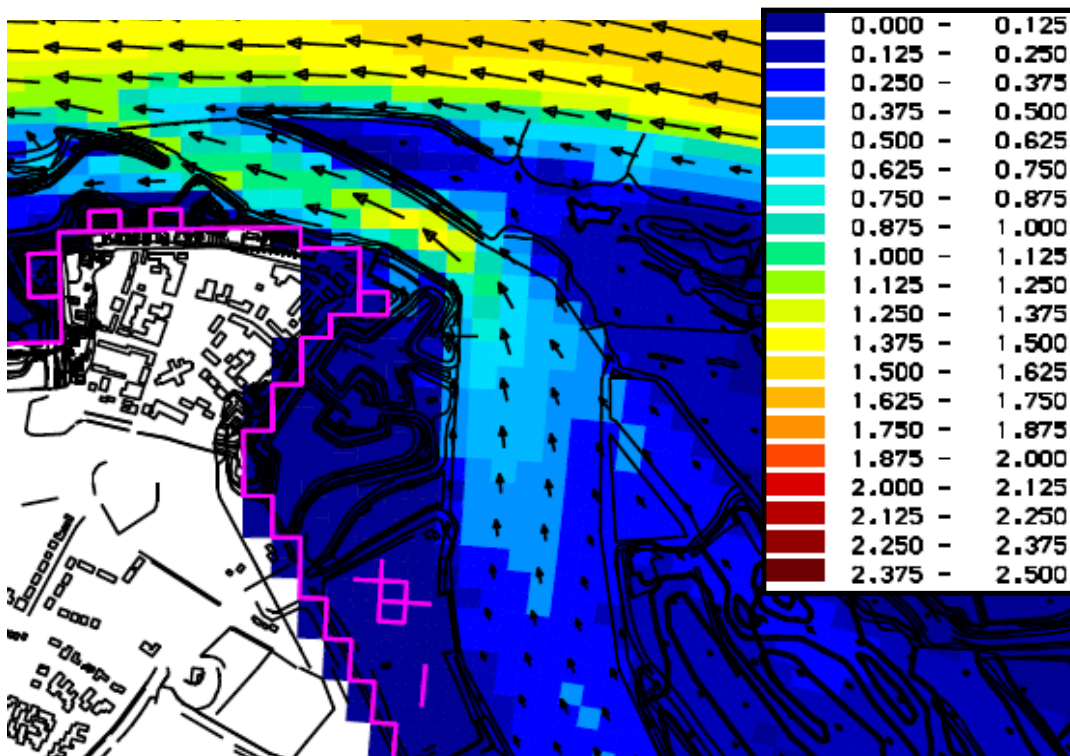
#### *8.000 m<sup>3</sup>/s*

Bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s is de waterstand in de bocht van de Afgedamde Maas ca NAP+3,65 m. In de jachthaven van Woudrichem is de waterstand NAP+3,70 en bij de geleidingsdam op de Waal NAP+3,61 m. De kades rondom de jachthaven hebben een hoogte die varieert tussen de NAP+2,8 m en de Nap+3,3 m. De bodemligging in de bocht is ca NAP-4,25 tot NAP-4,75 m. De waterdiepte in de geul is dus ca 8 m. De maximale stroomsnelheden in de bocht bij 8000 m<sup>3</sup>/s zijn ca 0,9 tot 1,3 m/s in de toekomstige situatie. In de huidige situatie zijn de stroomsnelheden in deze bocht bij deze afvoer ca. 0,15 tot 0,45 m/s. Dit is een toename van maximaal 0,9 m/s. Figuur 4.1 en 4.2 tonen de stroomsnelheden en de stroomsnelheidsverschillen. Een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s duurt gemiddeld ca 5 dagen en wordt gemiddeld eens per 4 jaar overschreden.





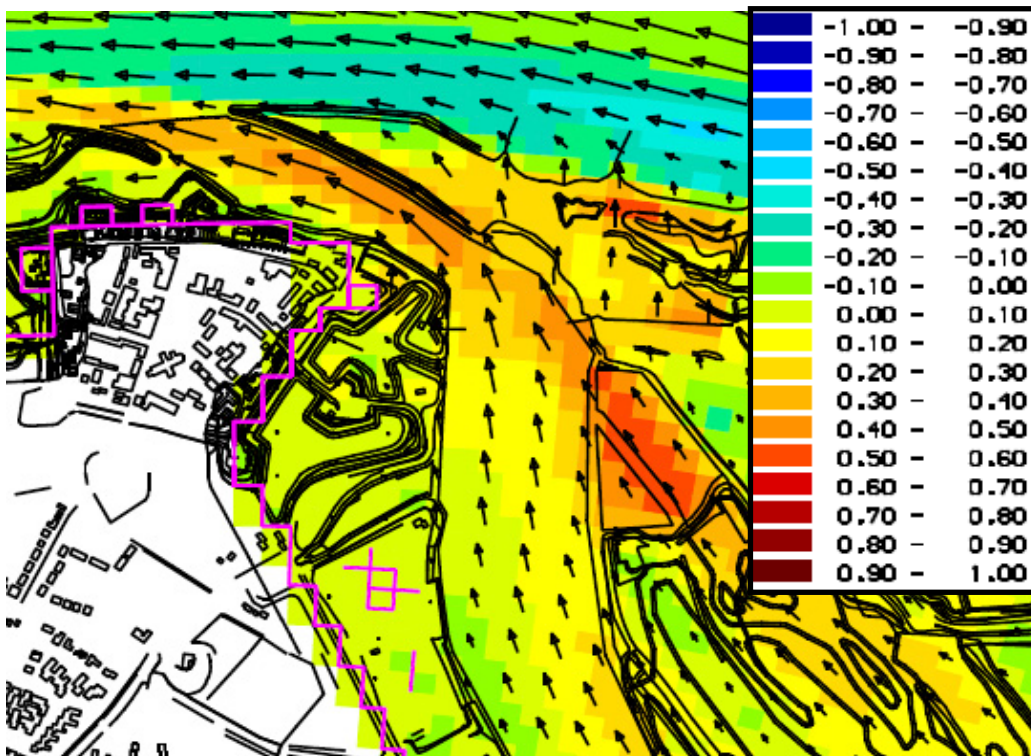
Figuur 4.1: Toename stroomsnelheid bocht Afgedamde Maas bij Woudrichem bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith tussen de toekomstige situatie en de huidige situatie.



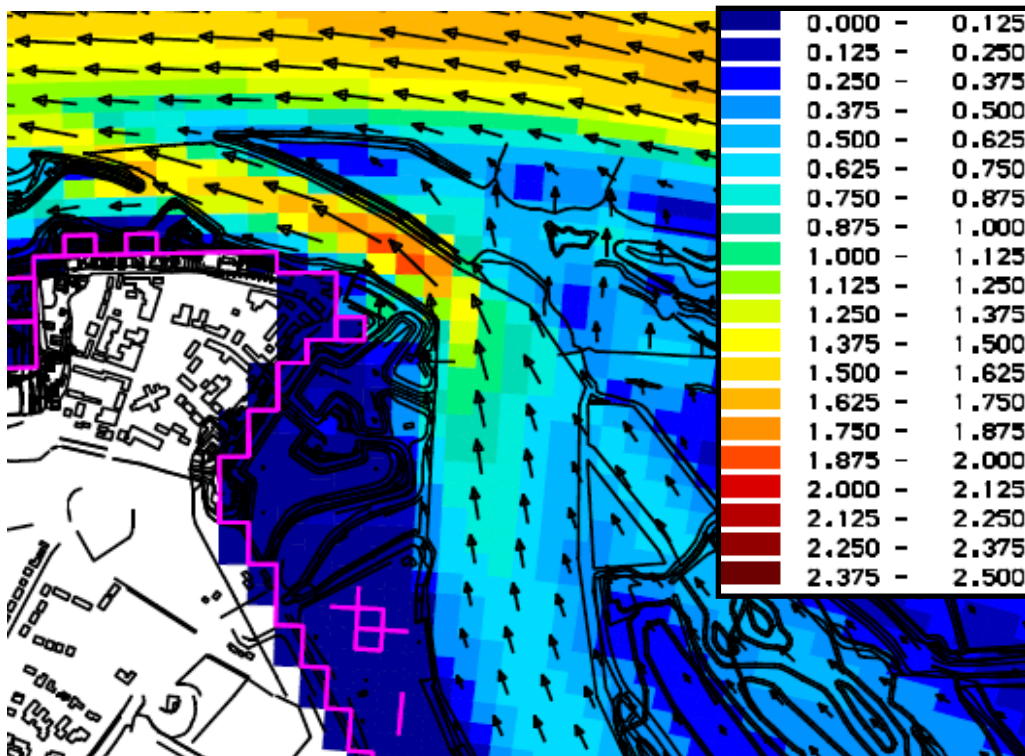
Figuur 4.2: absolute stroomsnelheid bocht Afgedamde Maas bij Woudrichem bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith in de toekomstige situatie.

### 10.000 m<sup>3</sup>/s

Bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s is de waterstand in de bocht van de Afgedamde Maas ca NAP+4,40 m. In de jachthaven van Woudrichem is de waterstand NAP+4,41 en bij de geleidingsdam op de Waal NAP+4,23 m. De waterdiepte in de geul is ca 8,5 m. Maximale stroomsnelheden in de bocht bij 10.000 m<sup>3</sup>/s zijn ca 1,0 tot 1,8 m/s in de toekomstige situatie. In de huidige situatie zijn de stroomsnelheden daar ca. 0,7 tot 1,4 m/s. Dit is een toename van maximaal 0,5 m/s. Een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s wordt gemiddeld eens per 8 jaar overschreden.



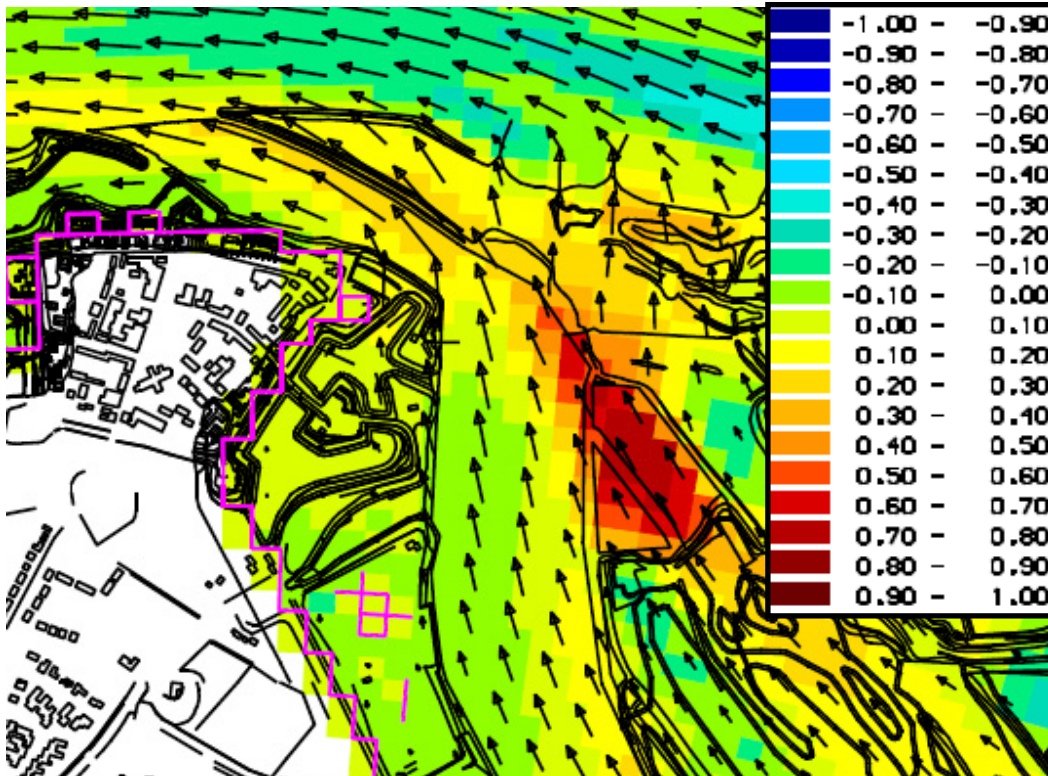
Figuur 4.3: Toename stroomsnelheid bocht Afgedamde Maas bij Woudrichem bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith tussen de toekomstige situatie en de huidige situatie.



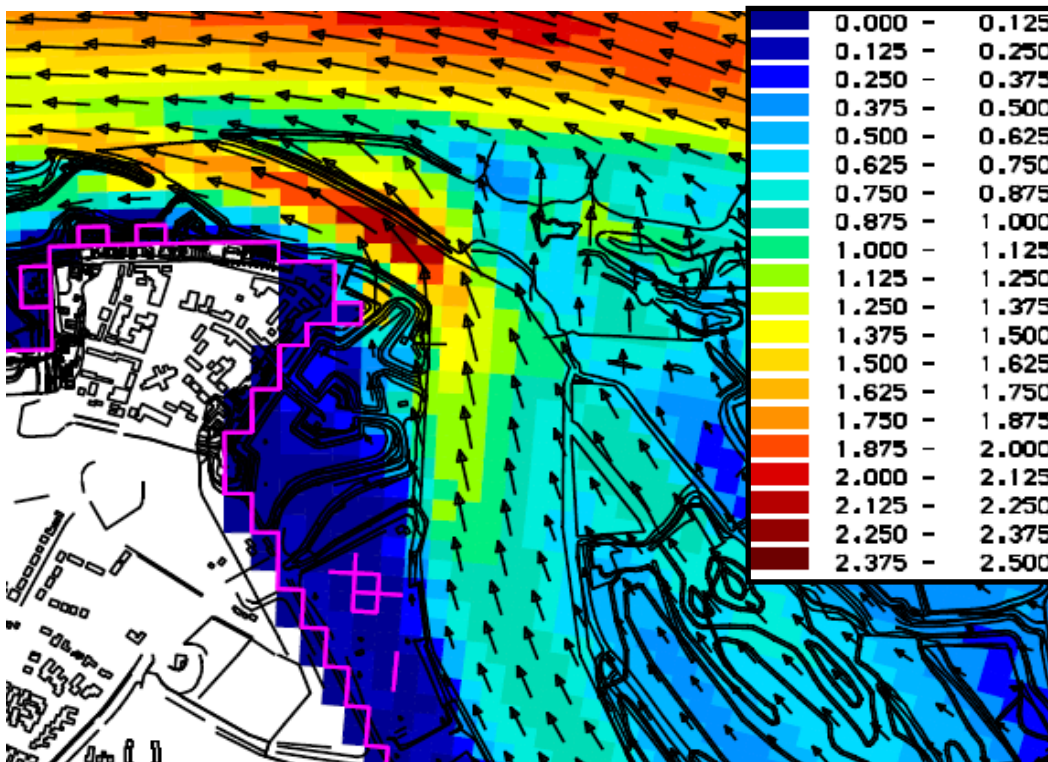
Figuur 4.4: absolute stroomsnelheid bocht Afgedamde Maas bij Woudrichem bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith in de toekomstige situatie.

#### 16.000 m<sup>3</sup>/s

Bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s is de waterstand in de bocht van de Afgedamde Maas ca NAP+6,35 m. In de jachthaven van Woudrichem is de waterstand NAP+6,33 m en bij de geleidingsdam op de Waal NAP+6,02 m. De waterdiepte in de geul is ca. 10,5 m. Maximale stroomsnelheden in de bocht bij 16.000 m<sup>3</sup>/s zijn ca 1,3 tot 2,2 m/s in de toekomstige situatie. In de huidige situatie zijn de stroomsnelheden 1,1 tot 2,0 m/s. Dit is een toename van maximaal 0,25 m/s.



Figuur 4.5: Toename stroomsnelheid bocht Afgedamde Maas bij Woudrichem bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith tussen de toekomstige situatie en de huidige situatie.

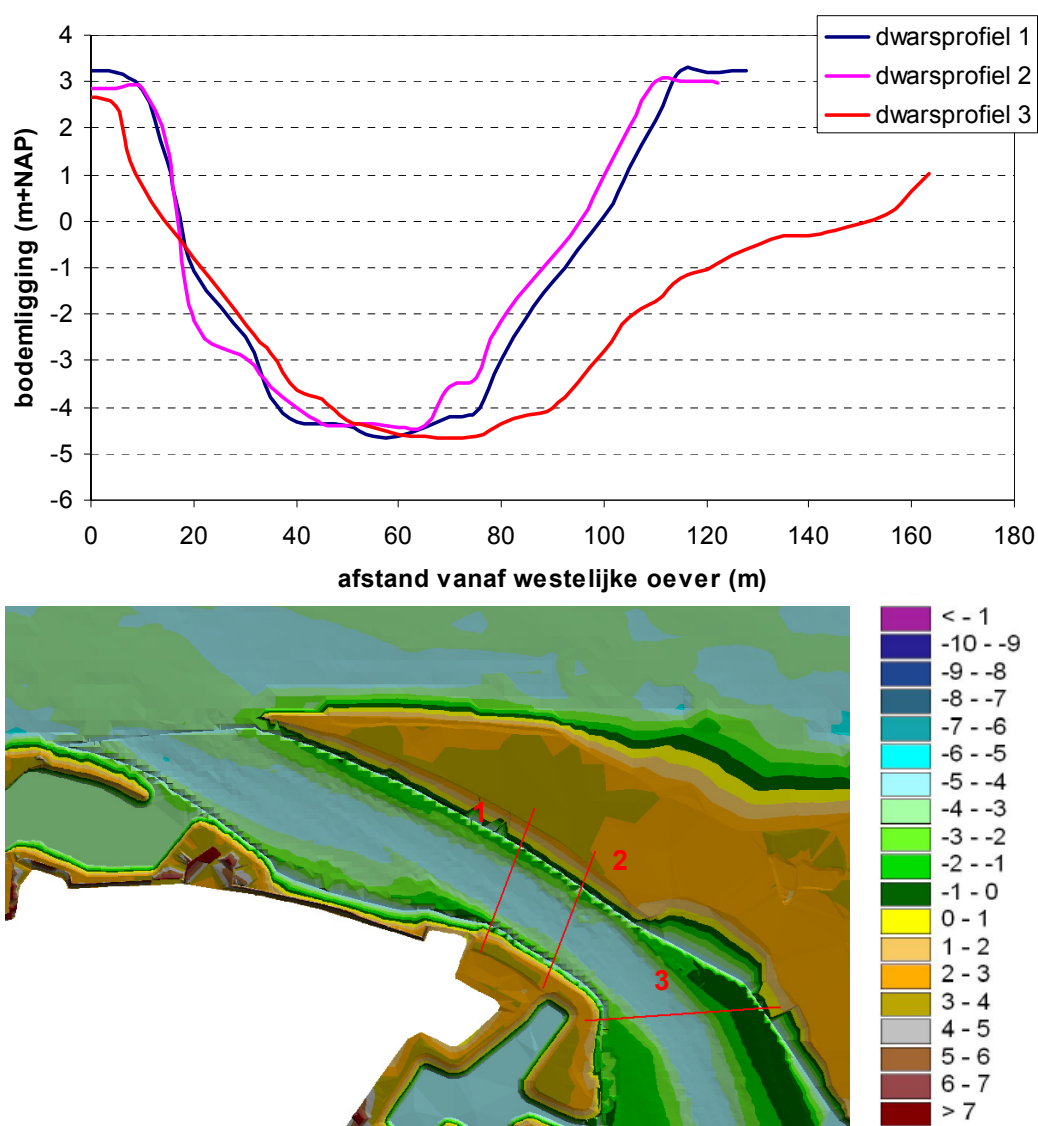


Figuur 4.6: absolute stroomsnelheid bocht Afgedamde Maas bij Woudrichem bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith in de toekomstige situatie.

### 4.3 Situatie ter plaatse

De verschillende foto's in bijlage 2 tonen de oeververdediging langs de bocht van de Afgedamde Maas. De foto's tonen dat de oevers rond de gemiddeld water lijn zijn aangestort met een vrij zware steenbestorting. Helaas zijn er geen specifieke gegevens van deze steenbestorting beschikbaar bij RWS-ZH. Onze inschatting is dat het om een oeververdediging bestaande uit tenminste een 10-60 kg sortering gaat, mogelijk zelfs 40-200 kg.

In figuur 4.7 zijn drie dwarsprofielen gegeven voor de bocht van de Afgedamde Maas op basis van de bodempeilingen uit het Wbr2008 Baseline model. Nabij dwarsprofielen 1 en 2 zijn de stroomsnelheden in de buitenbocht het hoogst. De oever heeft hier een talud van ca 1:5 a 1:6. Verder zuidwaarts, benedenstrooms van de bocht, neemt de breedte toe en zijn de oevers flauwer.



Figuur 4.7: Dwarsprofielen in de bocht van de afgedamde Maas

In bijlage 3 is een bodemmeting weergegeven die is genomen van 24 februari t/m 5 maart 2009. De gemeten bodemdiepte in de bocht is ca NAP-4,4 tot -4,8 m. Deze recent gemeten bodemdieptes komen goed overeen met de bodemdieptes gebruikt in de modelberekeningen met de bodem uit het Baseline wbr2008 model.

In het dwarsprofiel van figuur 4.7 en de bodemmeting in bijlage 3 valt op dat er niet sprake is van een duidelijk bocht profiel. Er is nauwelijks verschil in diepte tussen de binnen- en de buitenbocht. Het is onbekend wanneer de bodemmeting precies is uitgevoerd; waarschijnlijk is dit niet gebeurd na een fors hoogwater, omdat er in 2008 en 2009 niet een extreem hoogwater ( $>7.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ) is opgetreden. De Afgedamde Maas heeft in een langere periode voor de meting waarschijnlijk dus niet meegestroomd. De bodemmeting is daarmee een meting die waarschijnlijk de bodemligging in de normale dagelijkse situatie toont. Als er al buitenbochterosie zou zijn opgetreden, dan geven de gemeten profielen aan dat er in de periode daarna voldoende opvulling heeft plaatsgevonden tot een meer uniform profiel.

De buitenbocht heeft een flauw talud van ca 1:5 a 1:6. Het talud in de binnenbocht is steiler, ca 1:2. Dit wijst er op dat de stroming niet of niet sterk naar de buitenbocht zal toetrekken, zodat buitenbochterosie ofwel zwak zal zijn ofwel in het geheel niet optreedt.

Bij de geleidingsdam, bij de verbinding tussen Afgedamde Maas en zomerbed Waal, is lokaal een relatieve ondiepte te zien in bijlage 3. De bodemdiepte is hier ca NAP-3,0 tot NAP-3,1 m.

#### 4.4 Inschatting bodemveranderingen

##### Oevererosie in de bocht

Om een nadere inschatting te maken van de bodemverandering na een hoogwater is er ook een oriënterende berekening gemaakt met WAQMORF. De berekening is uitgevoerd bij een afvoer van  $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . De resultaten zijn achteraf echter als niet bruikbaar beoordeeld, omdat het een sterk onrealistisch, verspringend beeld geeft. Deze resultaten zijn niet fysisch te verklaren en zijn daarmee beoordeeld als onbetrouwbaar. WAQMORF lijkt niet geschikt in deze om een goede inschatting te maken van de morfologische verandering in de bocht van de Afgedamde Maas.

Ook is het mogelijk om de bodemverandering na een hoogwater in te schatten op basis van analytische formules. Om hier echter een betrouwbare analytische analyse van te maken zijn er gegevens nodig van de bodemligging na een hoogwater en een bodemligging na een lange periode van normale afvoeren. Daarnaast zijn dergelijke formuleringen complex vanwege de tertiaire bochtstroming. Op basis van de thans beschikbare gegevens is het daarmee op dit moment niet goed mogelijk om een betrouwbare inschatting te maken van de bodemverandering.

Hiervoor is opgemerkt dat de buitenbocht erosie, als die tijdens een hoogwater zou optreden, zwak zal zijn. Het gaat dan om naar verwachting hooguit 1 tot 2 m onder een niveau van NAP-5 m. Door het relatief flauwe talud van de buitenbochttoever is dan sprake van een grote erosiebuffer. Hierdoor mag worden verwacht dat het algehele talud niet instabiel zal worden.

Bovendien is een deel van het talud voorzien van de breukstenen oeververdediging. Deze zal alleen kunnen falen door afschuiving, wanneer er een sterke ondergraving van de oever optreedt. Hiervan lijkt dus geen sprake te zijn.

Mitigerende maatregelen achten wij op voorhand hiermee niet nodig. Wel adviseren wij om de bodemligging te monitoren, vooral na een fors hoogwater, en aldus de juistheid van bovengenoemde veronderstellingen te kunnen aantonen. In combinatie met een recente nulmeting kan dan de grootte van een (zo mogelijk tijdelijke) erosiekuil worden aangetoond.

Ook kan, voor de goede orde, daarbij kritisch worden gelet op eventuele schade aan de oeververdediging. Wat de oeververdediging betreft is ook een goede nulmeting gewenst: thans is bijvoorbeeld onduidelijk tot hoever de oeververdediging onder water doorloopt.

RWS-ZH (J. van Dalen, 14-10-2010) adviseert in haar brief om de rechteroever (zijde Loevestein) een vooroever constructie te maken met 3 lagen wilgentenen (ca 4 m breed) en een zekere steenbestorting tot ca NAP+0,8 m aan te leggen. Aan de zuidoever zou stortsteen aangestort moeten worden, daar waar dat nodig is.

Ons lijkt dit advies op dit moment voorbarig, mede gezien de hoge kosten die dat met zich mee brengt. Wij stellen daarom voor om te wachten tot de uitkomsten van de monitoring (nulmeting en een meting na een fors hoogwater). Op basis hiervan zou eventueel alsnog kunnen worden besloten om de oeververdediging te versterken. Op dit moment zijn er echter geen aanwijzingen die de noodzaak hiervan in voldoende mate aangeven.

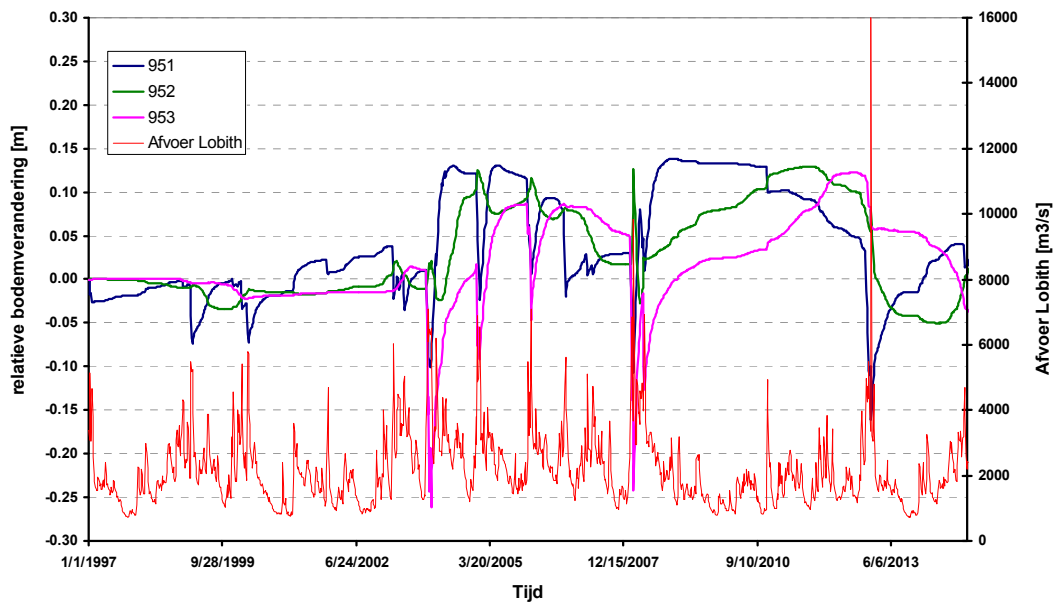
#### Aanzanding benedenstrooms

Bij een hoogwater is het zandtransport op de Waal vele malen hoger dan het transport op de Afgedamde Maas. Het materiaal dat mogelijk erodeert uit de Afgedamde Maas zal maar een klein percentage zijn, van het deel dat getransporteerd wordt door de Waal.

Vanwege de verbreding van het zomerbed aan het uiteinde van de geleidingsdam en bij Woudrichem, is deze locatie in de huidige situatie al een locatie waar de bodemligging ondieper is. Bij de geleidingsdam, bij de verbinding tussen Afgedamde Maas en zomerbed Waal, is lokaal een relatieve ondiepte te zien in bijlage 3. De bodemdiepte is hier ca NAP-3,0 tot NAP-3,1 m. De gemiddelde waterstand nabij de geleidingsdam is ca NAP+0,8 tot 1,0 m (getijverschil van ca 0,2 m). Hiermee is de vaardiepte daar nog ruim 3,5 m.

De SOBEK berekeningen in de studie van november 2009 tonen dat er na een hoogwater erosie is te verwachten ter plaatse van de geleidingsdam op kmr 953 (figuur 4.9). Overigens is er door de opgetreden sedimentatie op het traject bovenstrooms (bij de Brakelse Benedenwaard) tijdens een hoogwater wel veel zand in het systeem aanwezig; dit zand wordt tijdens normale afveren weer in benedenstroomse richting getransporteerd. De minimale vaardiepte van OLR-2,8 m blijft hierbij echter behouden.

Doordat het aandeel van het sedimentaanbod vanuit de Afgedamde Maas zo klein is ten opzichte van dat van de Waal zelf is de verwachting dat het uitgespoelde materiaal uit de Afgedamde Maas niet tot significante aanzanding zal leiden.



Figuur 4.9: Bodemverandering in het zomerbed op kmr 951, 952 en 953 ten gevolge van het IP



## 5 WATERSTANDEFFECT BIJ MHW

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de rivierkundige beoordeling bij een MHW-afvoer gepresenteerd. De resultaten tonen het effect van het IP op de maatgevende waterstand. Een belangrijke doelstelling van het RvR Munnikenland is het realiseren van een dusdanige rivierverruiming dat op kmr 947,3 en 948,3 een waterstandverlaging wordt bereikt van tenminste 10 cm (taakstelling). De beschreven rivierkundige effecten gaan in op de MHW stand op de as van de rivier (aspect 1.1) en de MHW stand in de uiterwaard (aspect 1.2) uit het rivierkundig beoordelingskader.

Het waterstandeffect is beoordeeld voor twee verschillende natuurbeelden:

- het Streefbeeld 2025  
In het streefbeeld is de Brakelse Benedenwaard voornamelijk begroeid met een groot oppervlak natuurlijk grasland (50% tot 95%) en zachthout oobos (5% tot 50%). Langs de oevers van de geulen bevinden zich biezten en natte ruigte. De zone tussen de Brakelse Benedenwaard en de polder bestaat voornamelijk uit een combinatie van 95% natuurlijk grasland en 5% zachthout oobos. In de polder bestaat de vegetatie hoofdzakelijk uit open water, biezten, natuurlijk grasland, zachthoutoobos en hardhoutoobos. De bandijk is begroeid met productie (glad) grasland. Het Streefbeeld 2025 is uitgangspunt voor het beheer en onderhoud. Figuur 2 in Bijlage 1 toont de vegetatiekaart voor het streefbeeld;
- het Interventieniveau of maximale scenario  
Voor het project Munnikenland moet een Waterwetvergunning aangevraagd. Deze zal worden aangevraagd op basis van het maximale interventieniveau waarbinnen de wettelijke veiligheidstaakstelling nog wordt behaald. In het interventieniveau is de vegetatieontwikkeling dermate dat het hydraulisch effect is geminimaliseerd tot de taakstelling. Verschil met het streefbeeld is voornamelijk een uitbreiding van het areaal oobos in de Brakelse Benedenwaarden en langs de oeverzone in het kommenlandschap. In het kommenlandschap is het open water uit het streefbeeld 2025 volledig dichtgegroeid met biezten. Daarnaast is ook een mogelijke versnelde sedimentatie van de geulen met 50 cm een belangrijk verschil. Figuur 4 in Bijlage 1 toont de vegetatiekaart voor het streefbeeld

Het IP met streefbeeld zorgt voor een maximale waterstandsverlaging van 11,49 cm in de as van de rivier op kmr 947,4 bij MHW. Deze maximale waterstandsverlaging valt binnen het in de PKB gestelde gebied dat ligt tussen kmr 947,3 en 948,3. Hiermee voldoet het IP ruim aan de gestelde taakstelling van 10,0 cm waterstandsverlaging in de as van de rivier.

In de rapportage van november 2009 werd een waterstandsverlaging van 12,0 cm op kmr 947,4 gerapporteerd. Door het niet meenemen van de herinrichting van de Gandelwaard en het meenemen van de mitigerende maatregelen tegen dwarsstroming neemt het waterstandeffect af met ca 0,5 cm, tot 11,49 cm op 947,4.

Het IP met interventieniveau zorgt voor een maximale waterstandsverlaging van 10,23 cm in de as van de rivier op kmr 947,7 bij MHW. Deze maximale waterstandsverlaging valt binnen het in de PKB gestelde gebied dat ligt tussen kmr 947,3 en 948,3. Hiermee voldoet het Interventieniveau nog aan de gestelde taakstelling van 10,0 cm waterstandsverlaging in de as van de rivier.

In de rapportage van november 2009 werd een waterstandsvaling van 10,1 cm gerapporteerd op kmr 947,4. Door het niet meenemen van de herinrichting van de Gandelwaard en het meenemen van de mitigerende maatregelen tegen dwarsstroming neemt het waterstandeffect af met ca 0,6 cm, tot 9,5 cm op 947,4. Om het interventieniveau toch te laten voldoen is het noodzakelijk om het interventieniveau aan te passen, oftewel het beheer te intensiveren. In de Brakelse Benedenwaarden zijn de arealen met 50% ooibos en 50% natuurlijk grasland verontruigd tot arealen met 20% ooibos en 80% natuurlijk grasland. Om de taakstelling dus te behalen is voor het interventieniveau een intensiever beheer in de Brakelse Benedenwaard noodzakelijk. De aanzanding in de geulen (50 cm) en het interventieniveau voor het kommenlandschap is gelijk gehouden aan die van het interventieniveau van 2009.

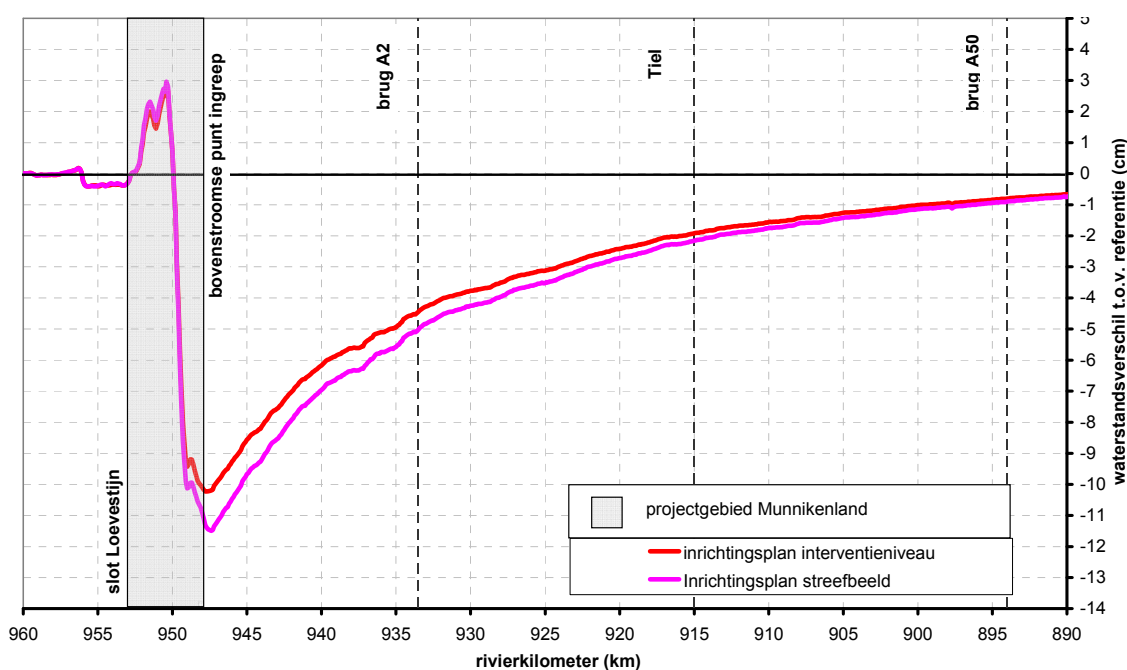
Figuur 5.1 toont de waterstandsverlaging in de as van de rivier per 100 meter voor het IP met streefbeeld 2025 en het interventieniveau. Figuur 5.2 toont het verschil in waterstand tussen het IP met streefbeeld 2025 en de referentiesituatie (PKB\_3\_4 model) voor het gehele plangebied. In figuur 5.3 is dit weergegeven voor het interventieniveau. Hier dient opgemerkt te worden dat, daar waar de dijk teruggelegd is de waterstandsverschillen gelijk zijn aan de actuele waterstand. Deze waterstanden vallen buiten de schaal van de legenda van de figuur en worden daarom als een wit vlak aangegeven. De maximale opstuwing en verlaging van de waterstand in de as van de rivier en langs de bandijk zijn weergegeven in tabel 5.1.

Een waterstandsverlaging door het vergroten van het stroomvoerende oppervlak is gekoppeld aan een waterstandsverhoging benedenstrooms van het projectgebied. Voor het streefbeeld 2025 is de maximale opstuwing in de as van de rivier 3,0 cm op kmr 950,4. Langs de Waaldijk tussen Dalem en Vuren treedt een opstuwing van maximaal 3,7 cm op en langs de Hoge Maasdijk nabij de Wilhelminasluis treedt een opstuwing van maximaal 9,1 cm op.

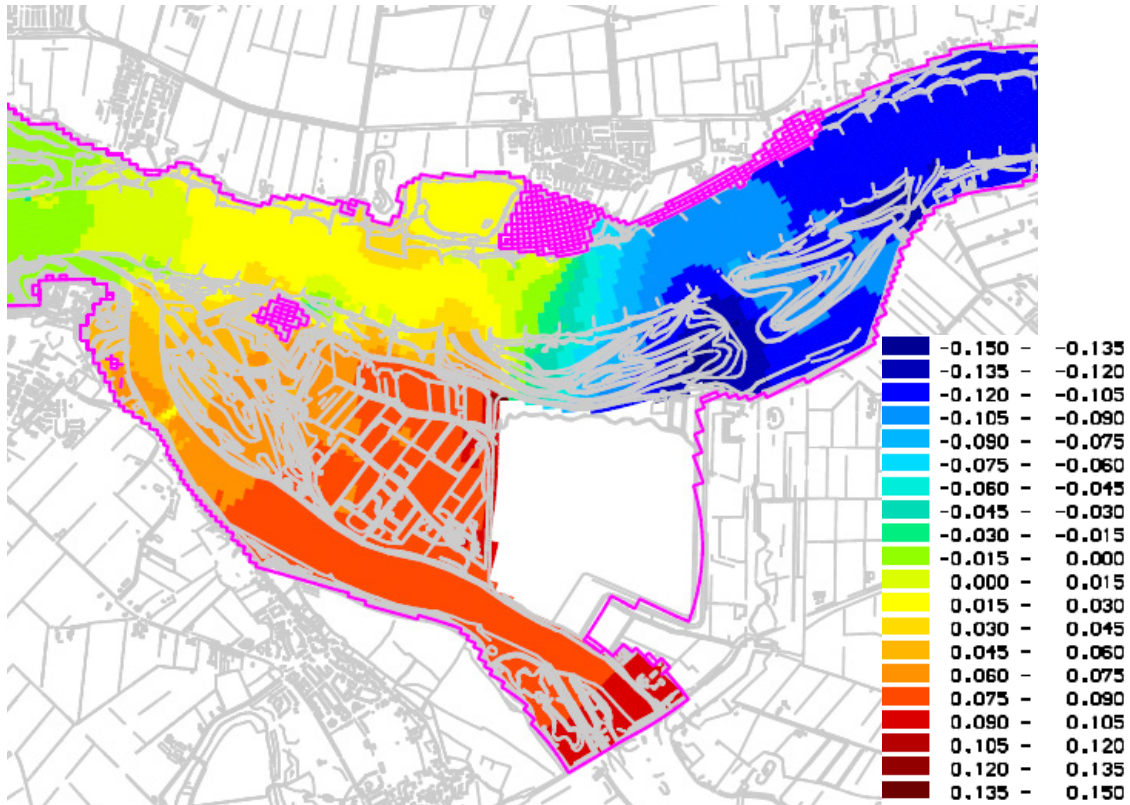
De hoge opstuwing langs de Hoge Maasdijk wordt veroorzaakt doordat er bij MHW meer water vanuit de Brakelse Benedenwaard, door Munnikenland, de Afgedamde Maas instroomt. Dit is een inherent gevolg van deze rivierversmalling. Als gevolg hiervan bouwt zich vanaf de uitmonding van de Afgedamde Maas in bovenstroomse richting meer verhang op. Doordat in het IP aanzienlijk meer debiet via de Afgedamde Maas wordt afgevoerd wordt het water hier maximaal 9,1 cm extra opgestuwd langs de bandijk. Deze opstuwing wordt voornamelijk bepaald doordat er in de bocht voor Woudrichem langs, een nauwe doorgang zit, waardoor het water, zowel in de huidige als in de toekomstige situatie daar sterk wordt opgestuwd.

**Tabel 5.1: Waterstandseffecten ten gevolge van het IP met streefbeeld en met interventieniveau ten opzichte van de referentiesituatie (PKB\_3\_4 model)**

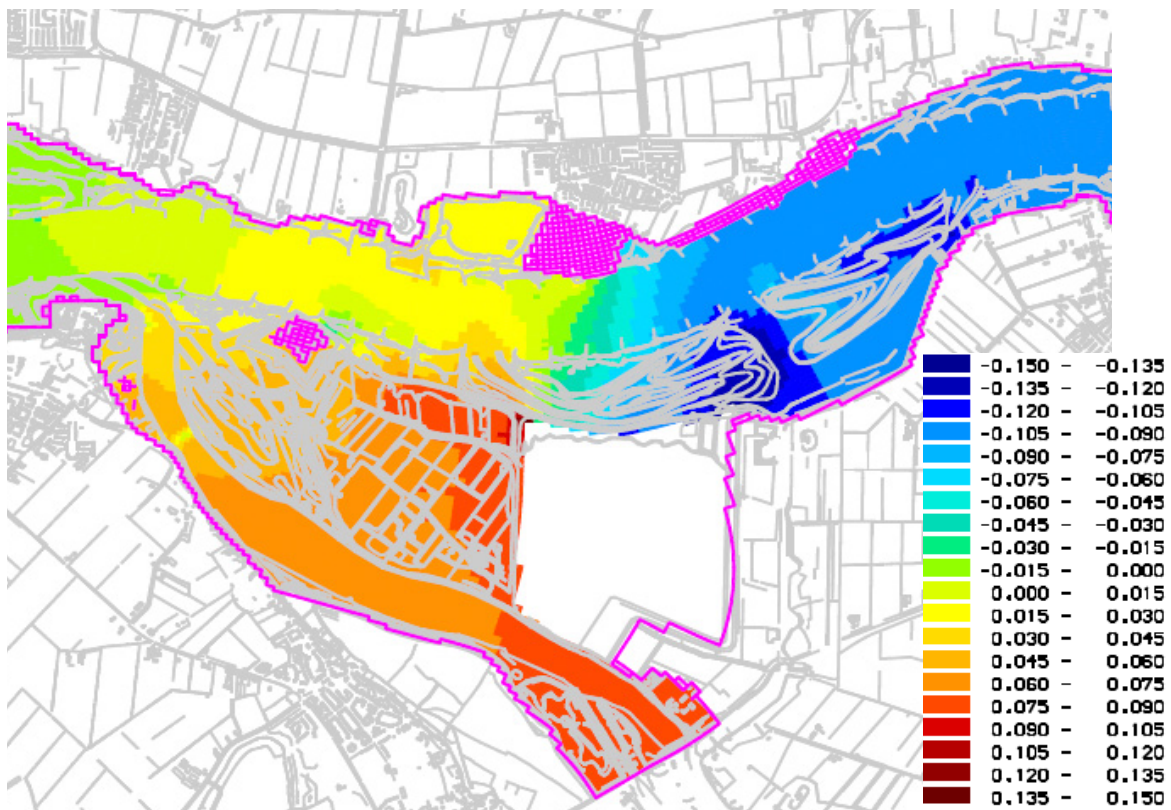
Grootheid	Eenheid	Waterstandsverschil interventieniveau	Waterstandsverschil streefbeeld 2025
Maximale verlaging in de as	[cm]	-11,5 (kmr 974,4)	-10,2 (kmr 947,7)
Maximale opstuwing in de as	[cm]	+3,0 (kmr 950,4)	+2,8 (kmr 950,4)
Maximale opstuwing langs de bandijk nabij Vuren	[cm]	+3,7 (kmr 950,8)	+3,3 (kmr 950,8)
Maximale opstuwing langs de oude Maasdijk	[cm]	+9,1 (Afgedamde Maas bij Wilhelminasluis)	+7,8 (Afgedamde Maas bij Wilhelminasluis)
Maximale verlaging in het projectgebied	[cm]	-20,0 (hoek teruggelegde dijk kmr 949)	-19,5 (hoek teruggelegde dijk kmr 949)



**Figuur 5.1: Effect op de waterstand (cm) t.g.v. het IP met streefbeeld 2025 (roze lijn) en IP met interventieniveau (rode lijn) bij 16.000 m<sup>3</sup>/s.**



Figuur 5.2: Waterstandseffecten (m) t.g.v. het IP met streefbeeld 2025 bij 16.000 m<sup>3</sup>/s



Figuur 5.3: Waterstandseffecten (m) t.g.v. het IP met interventieniveau bij 16.000 m<sup>3</sup>/s

## 6 CONCLUSIES

De conclusies betreffende de drie in dit rapport beoordeelde aspecten zijn:

### Dwarsstroming:

- In het IP treedt bij afvoeren vanaf 6.000 m<sup>3</sup>/s hinderlijk dwarsstroming op voor de scheepvaart bij de in- en uitstroomopeningen. Met name bij kmr 948,8 en kmr 950,2 leidt de lozing (ca. 100 m<sup>3</sup>/s) vanuit de bovenstroomse geul en vervolgens de onttrekking naar de benedenstroomse geul tot een te hoog dwarsstroming. Ook is de gradiënt tussen de dwarsstroming op kmr 948,8 (lozing) en kmr 949,1 (onttrekking) hinderlijk voor de scheepvaart.
- Bij een afvoer vanaf ca 7.000 m<sup>3</sup>/s gaat de Afgedamde Maas meestromen. Hierdoor ontstaat er een hinderlijke dwarsstroom bij de splitsing van de Afgedamde Maas en de Waal nabij de geleidingsdam. Deze dwarsstroming neemt toe tot ca 0,45 m/s bij 16.000 m<sup>3</sup>/s.
- Door het nemen van mitigerende maatregelen kan de dwarsstroming gereduceerd worden bij de in- en uitstroomopeningen in de Brakelse Benedenwaard. Met de mitigerende maatregelen voldoet de hoogte van de dwarsstroming aan de beoordelingseis bij 6.000 m<sup>3</sup>/s. Bij 8.000 m<sup>3</sup>/s wordt de beoordelingseis (0,15 m/s) nipt overschreden bij de benedenstroomse uitstroomopening op kmr 950,2. Ook neemt de hinderlijke gradiënt tussen kmr 948,8 en kmr 949,1 significant af tot 0,3 m/s bij 8.000 m<sup>3</sup>/s (dit was 0,5 m/s).
- Bij de Afgedamde Maas blijft de dwarsstroming hoog met 0,4 m/s tot 0,43 m/s bij afvoeren van 8.000 tot 16.000 m<sup>3</sup>/s. Hier zijn geen mitigerende maatregelen geïmplementeerd. Het blijkt dat het verlagen van een deel van het maaiveld van de geleidingsdam geen significante reductie in dwarsstroming oplevert. Andere maatregel is het verlengen van het geleidingswerk. De vraag is of een dergelijke ingreep gewenst is door RWS. De dwarsstroming zal weliswaar afnemen, maar de scheepvaart zal hinder ondervinden van de langere dam. Daarnaast brengt een dergelijke maatregel zeer veel kosten met zich mee. Daarnaast geldt dat de dwarsstroming bij een vaarwegsplitsing anders beoordeeld mag worden als de dwarsstroming bij in- en uitstroomopeningen van nevengeulen. Bij een splitsing van vaarwegen is de schipper al meer bewust van stromingen en tegemoet tredende scheepvaart.
- Op de Afgedamde Maas zelf nemen de dwarsstromingen ten gevolge van het project ook toe. Tot 7.000 m<sup>3</sup>/s is er nog geen dwarsstroming op de Afgedamde Maas. Bij de uitstroom opening van de Gandelwaard neemt de dwarsstroming ten gevolge van de extra lozing verder toe met ca 0,1 tot 0,15 m/s bij afvoeren van 10.000 m<sup>3</sup>/s. Dit kan worden gereduceerd door de uitstroomopening te verbreden of te heroriënteren. Dit is echter aan de initiatiefnemers van de herinrichting van de Gandelwaard. Op de rest van de Afgedamde Maas (kmr 248,5 t/m 252) ligt de dwarsstroming rond de 0,1 tot 0,15 m/s. Hier zijn echter weinig gradiënten in, vanwege de goed verdeelde toestroom van water.

#### *Oeverstabiliteit en bodemverandering bocht Afgedamde Maas*

- Het gemeten huidige dwarsprofiel toont dat als er in de huidige situatie al buitenbochtersosie zou zijn opgetreden, dat er in de periode na dit hoogwater voldoende opvulling plaats vindt tot een meer uniform profiel.
- Doordat de buitenbocht oever een flauw talud heeft, zal erosie in de buitenbocht niet snel leiden tot instabiliteit van de oever. Door het relatief flauwe talud van de buitenbochtoever is dan sprake van een grote erosiebuffer.
- De oevers langs de bocht van de Afgedamde Maas zijn momenteel goed beschermd middels een gedegen steenbestorting. Een goede nulmeting van de huidige situatie van de oeverbescherming wordt wel aangeraden.
- Mitigerende maatregelen achten wij op voorhand hiermee niet nodig. Wel adviseren wij om de bodemligging te monitoren, vooral na een fors hoogwater, en aldus de juistheid van de gemaakte analyse te kunnen aantonen. In combinatie met een recente nulmeting kan dan de grootte van een (zo mogelijk tijdelijke) erosiekuil worden aangetoond.
- De verwachting is dat het uitgespoelde materiaal uit de Afgedamde Maas niet tot problemen of ondieptes zal leiden op het splitsingspunt van beide vaarwegen.

#### *Waterstandeffecten bij MHW*

- Het IP met streefbeeld (zonder Gandelwaard, maar met mitigerende maatregelen) zorgt voor een maximale waterstandsverlaging van 11,49 cm in de as van de rivier op kmr 947,4 bij MHW. Hiermee voldoet het IP ruim aan de gestelde taakstelling van 10,0 cm waterstandsval in de as van de rivier.
- Het IP met interventieniveau (zonder Gandelwaard, maar met mitigerende maatregelen) zorgt voor een maximale waterstandsverlaging van 10,23 cm in de as van de rivier op kmr 947,7 bij MHW. Deze maximale waterstandsverlaging valt binnen het in de PKB gestelde gebied dat ligt tussen kmr 947,3 en 948,3. Hiermee voldoet het Interventieniveau nog aan de gestelde taakstelling van 10,0 cm waterstandsval in de as van de rivier.
- Om het interventieniveau te laten voldoen is het noodzakelijk om het interventieniveau, zoals gerapporteerd in november 2009, licht aan te passen, oftewel het beheer te intensiveren. In de Brakelse Benedenwaarden zijn de arealen met 50% ooibos en 50% natuurlijk grasland verontruigd tot arealen met 20% ooibos en 80% natuurlijk grasland. De rest van het vegetatie- en aanzandingsbeeld is gelijk gebleven.

## **Bijlage 1**

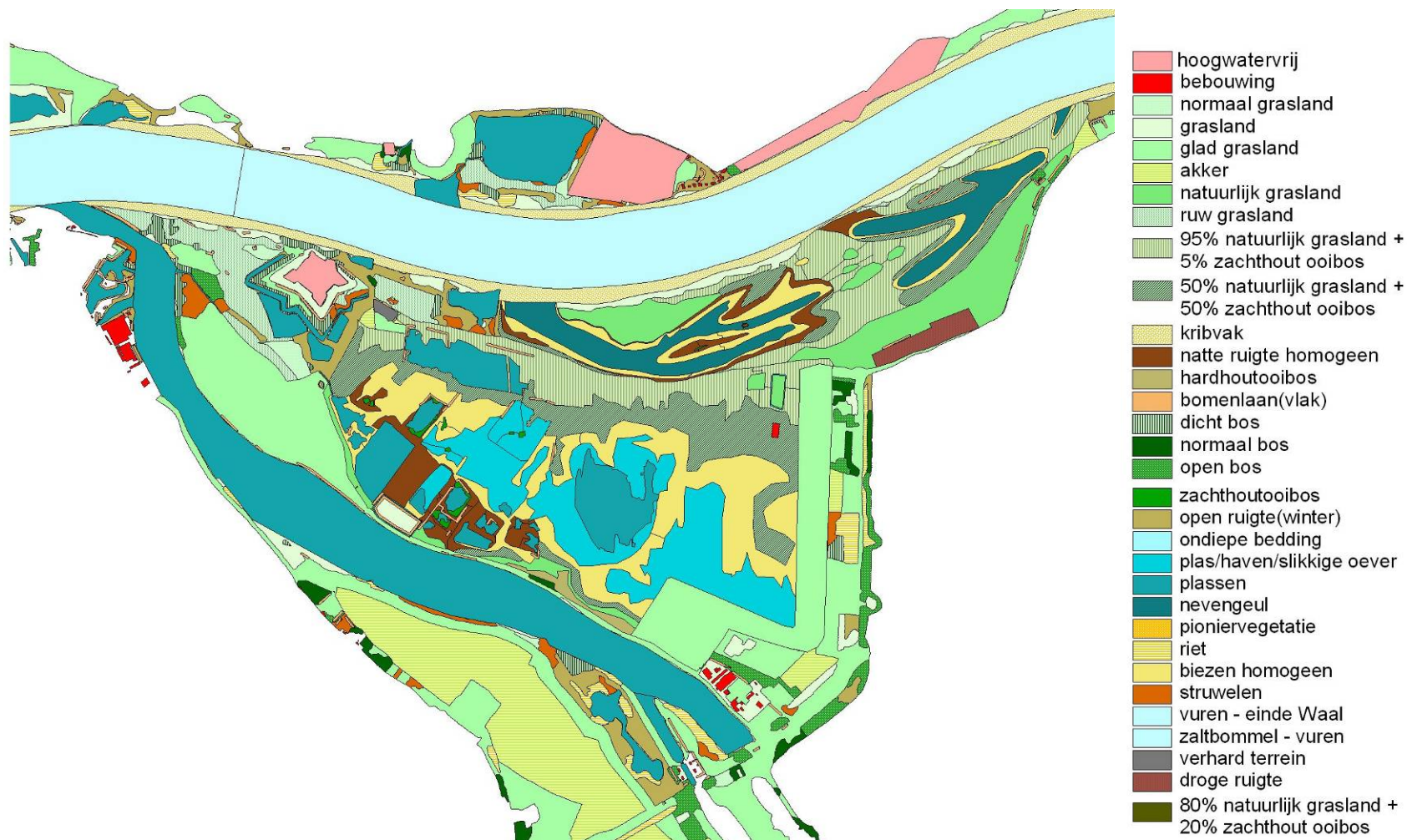
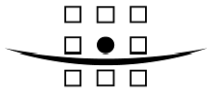
### **Bodemhoogte- en Vegetatiekaart**



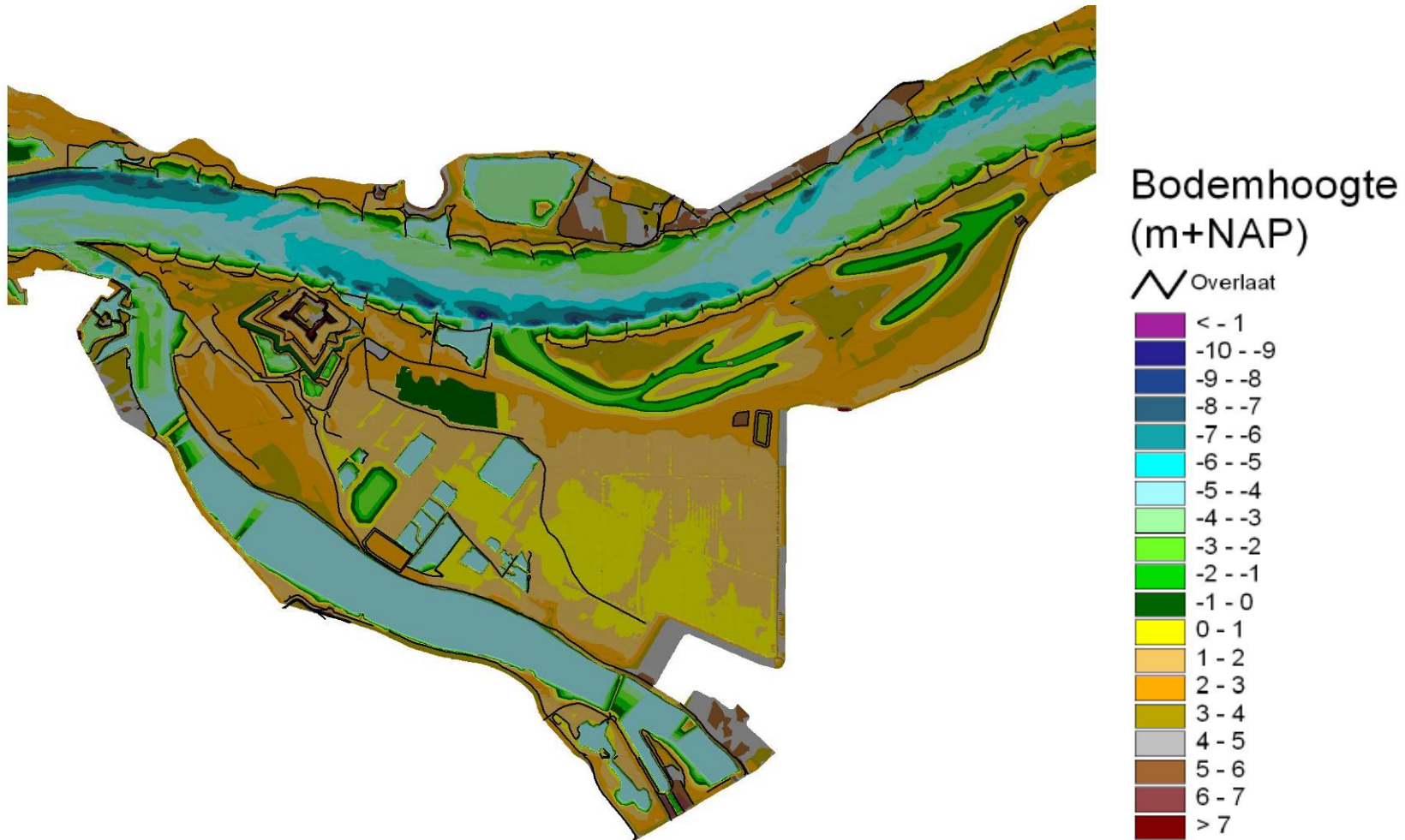




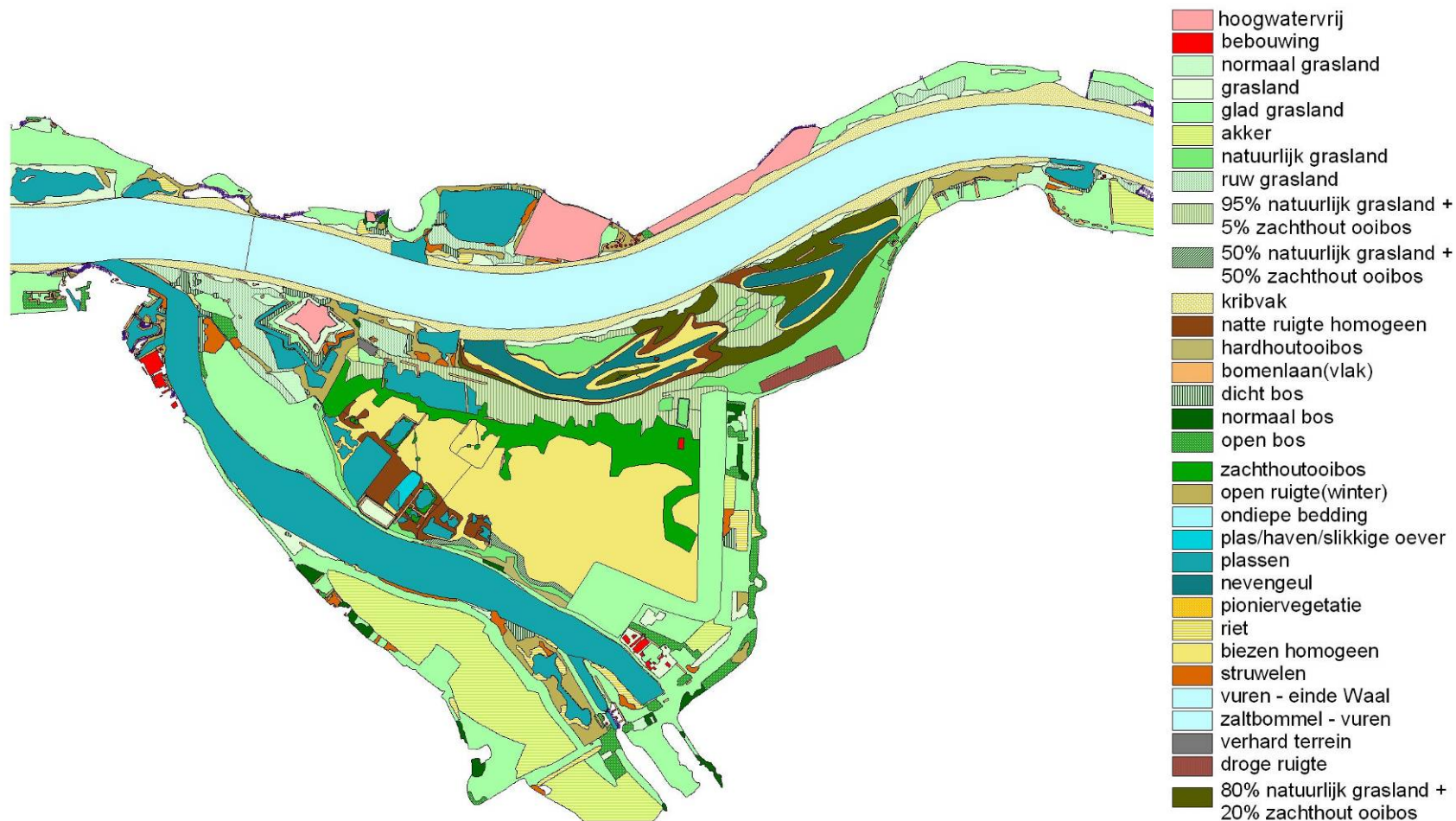
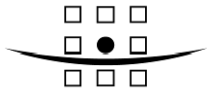
**Figuur A.1: Inrichtingsplan Munnikenland met streefbeeld 2025**



Figuur A.2: Vegetatietypen IP met streefbeeld 2025 (op basis van het gespecificeerde ruwheidvlakken- en lijnenbestand uit Baseline IP met streefbeeld 2025)



Figuur A.3: Bodemhoogtes en overlaten IP met streefbeeld 2025 (op basis van bodemhoogte- en overlatenbestand uit Baseline IP met streefbeeld 2025))



Figuur A.4: Vegetatietypen IP met interventieniveau (op basis van het gespecificeerde ruheidvlakken- en lijnenbestand uit Baseline IP met streefbeeld 2025))



**Figuur A.5: Bodemhoogtes en overlaten IP met interventieniveau (op basis van bodemhoogte- en overlatenbestand uit Baseline IP met streefbeeld 2025))**



## **Bijlage 2**

### **Oeververdediging Afgedamde Maas**







**Foto B.1: Oeververdediging langs de westelijke gelegen oever in de bocht bij Woudrichem**



**Foto B.2: Oeververdediging langs de westelijke gelegen oever in de bocht bij Woudrichem**



**ROYAL HASKONING**



**Foto B.3: Geleidingswerk langs de Afgedamde Maas met de bomenrijen voor de zichtbaarheid**



**Foto B.4: oeververdediging buitenbocht Afgedamde Maas**



Foto B.5: Oeververdediging in de binnenbocht van de Afgedamde Maas



## **Bijlage 3**

### **Bodemligging bocht bij Woudrichem**



