



Integrale Planstudie Munnikenland

Hydraulische en Morfologische Effecten

Definitief rapport

Waterschap Rivierenland

5 november 2009



ROYAL HASKONING

thinking in
all dimensions

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 Integrale planstudie Munnikenland
 Hydraulische en Morfologische Effecten
Verkorte documenttitel Hydraulica en Morfologie Munnikenland
 Status Definitief rapport
 Datum 5 november 2009
 Projectnaam Planstudie Munnikenland
Projectnummer 9S9885.B2
Opdrachtgever Waterschap Rivierenland
 Referentie 9S9885.B2/R0004/901807/JEBR/Nijm

Auteur(s) Ir. W. (Wiebe) de Jong
Collegiale toets ir G.J. (Gert Jan) Akkerman
Datum/paraaf 5 november 2009
Vrijgegeven door Ir. J.M. (Gert-Jan) Meulepas
Datum/paraaf 5 november 2009

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	Hydraulica	3
2.2	Morfologie	3
3	INRICHTINGSPLAN MUNNIKENLAND	5
3.1	Streefbeeld	5
3.2	Baseline schematisatie	6
4	RIVIERKUNDIGE EFFECTEN BIJ MHW	13
4.1	Waterstanden	13
4.2	Afvoerverdeling	15
4.3	Stroomsnelheden	16
5	HYDRAULISCH EN MORFOLOGISCHE EFFECTEN UITERWAARD EN GEULEN	19
5.1	Wijziging inundatiefrequentie	19
5.2	Wijziging afvoerverdeling tussen zomer- en winterbed	21
5.3	Stroombeeld in de uiterwaard bij 10.000 m ³ /s	24
5.4	Stroombeeld bij in- en uitstroomopeningen	26
5.5	Aanzanding en erosie uiterwaarden	27
5.5.1	Erosie	27
5.5.2	Sedimentatie	28
6	MORFOLOGISCHE EFFECTEN ZOMERBED	31
6.1	Inleiding	31
6.2	Waterstanden en afvoeren	31
6.3	Bodemverandering als functie van tijd	32
6.4	Verandering diepte als functie van tijd	35
6.5	Minimum vaardiepte	36
6.6	Totaal hypothetisch baggerbezwaar	37
7	BESCHERMINGSMAATREGELEN GEVOELIGE OBJECTEN	41
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	43
8.1	Conclusies	43
8.2	Aanbevelingen	46

BIJLAGEN

- A. Stroomlijnen
- B. Afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed
- C. Stroomsnelheden
- D. Waterstanden en afvoeren
- E. Bodemverandering
- F. Verandering waterdiepte
- G. Dwarsstroming bij in- en uitstroomopeningen
- H. Bodemdiepte zomerbed Waal
- I. Rivierkilometers
- J. Gebiedskenmerken en naamgeving kaart Munnikenland

1 INLEIDING

1.1 Kader

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.

De verschillende beoordeelde aspecten zijn:

- MHW stand in de as van de rivier en in de uiterwaarden;
- inundatiefrequentie van de uiterwaard;
- stroombeeld in de uiterwaard;
- stroombeeld bij in- en uitstroomopeningen geulen;
- aanzanding en erosie van het zomerbed;
- aanzanding en erosie van uiterwaard en nevengeulen.

Het voorliggende rapport beschrijft de resultaten van deze beoordeling van het VKA voor het Ruimte voor de Rivier project Munnikenland. Een belangrijke doelstelling van het project is het realiseren van een dusdanige rivierverruiming dat op kmr 947,3 en 948,3 een waterstandverlaging wordt bereikt van tenminste 10 cm (taakstelling).

1.2 Doelstelling

De beoordeling heeft ten doel om de hydraulische en morfologische effecten van het VKA te toetsen aan de geldende beoordelingscriteria.

Daarnaast heeft de beoordeling ten doel om aanbevelingen te geven over locaties waar extra beschermings- of extra beheersmaatregelen noodzakelijk zijn.

1.3 Leeswijzer en definities

Dit rapport kent enkele lichte aanpassing op het rapport 'Hydraulische en Morfologische effecten Munnikenland' van Royal Haskoning van 24 april 2009. De lichte aanpassing betreft de definitieve WAQUA berekening bij MHW (16.000 m³/s). In deze definitieve WAQUA berekeningen zijn nog enkele aanpassingen gedaan in de Baseline Schematisatie van de ingreep. Deze aanpassingen betreffen:

- de jeugdaccommodatie is opgenomen in de Baseline schematisatie als een gebouw van 2.200 m²;
- de parkeerplaats bij Loevestein heeft een oppervlak overeenkomstig het oppervlak vermeld in het definitieve inrichtingsplan;
- de locatie van de bandijk is overeenkomstig gemaakt met de definitieve technische tekeningen van het nieuwe dijkontwerp. Dit houdt in dat t.o.v. het rapport uit april 2009 de bandijk nog ca. 30 meter in westelijke richting is verschoven;
- de schematisatie van de groepsschuilplaats is gecontroleerd in de Baseline schematisatie;
- de berekeningen bij andere afvoeren dan 16.000 m³/s zijn niet aangepast op bovenstaande punten sinds de rapportage van april 2009. Gezien de zeer geringe hydraulische effecten van deze wijzigingen (verschil in maximale waterstandsval van 0,1 cm) is dit niet noodzakelijk bevonden.

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de gevolgde werkwijze. De verwerking van het ontwerp van het VKA in het geldende modelinstrumentarium is in hoofdstuk 3 beschreven. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de hydraulische effecten van de het VKA bij maatgevend hoogwater (MHW). Hoofdstuk 5 gaat in op de hydraulische en morfologische effecten in de uiterwaard. De effecten in het zomerbed worden beoordeeld in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 worden enkele aanbevelingen gedaan over locaties waar extra beschermingsmaatregelen noodzakelijk kunnen zijn. Tenslotte volgen in hoofdstuk 8 de conclusies en aanbevelingen.

In dit rapport gelden de volgende definities:

- de aangegeven afvoerniveaus (m^3/s) zijn gerelateerd aan Lobith, tenzij anders beschreven;
- in dit rapport wordt naar het VKA verwezen. Dit VKA is ook wel het 'Verrijkt VKA' of het 'Inrichtingsplan Munnikenland' genoemd. In dit rapport wordt door middel van de afkorting 'VKA' verwezen naar dit plan;
- 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 $16.000 m^3/s$ te Lobith.

2 WERKWIJZE EN UITGANGSPUNTEN

2.1 Hydraulica

De effectbeoordeling 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 [1]. Dit beoordelingskader beschrijft de rivierkundige beoordelingsmethodiek voor onder andere PKB-RvdR projecten;
- Voor het vormgeven van het VKA is gebruik gemaakt van de GIS-applicatie Baseline 3.31. De ingrepen zijn geschematiseerd volgens de eisen en richtlijnen van Rijkswaterstaat voor Baseline-maatregelen [2];
- 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 m³/s bij Lobith met een vaste afvoerverdeling bij de splitsingspunten;
- Er zijn twee berekeningen gemaakt:
 - De referentiesituatie. De aangeleverde schematisatie is opnieuw gereproduceerd met Baseline en doorgerekend met WAQUA;
 - Het VKA. De aangemaakte Baseline maatregel van het VKA is in het referentie model gebracht. Deze modelschematisatie is omgezet naar WAQUA en hiermee hydraulisch doorgerekend.

Met behulp van bovenstaande berekeningen zijn de effecten van het VKA op de waterstand, afvoerverdeling en de stroomsnelheid beoordeelt.

2.2 Morfologie

De morfologische effectbepaling is uitgevoerd conform de geldende leidraad voor de bepaling van de morfologische effecten [3] en bestaat uit een aantal stappen. Onderstaand zijn de stappen kort beschreven.

- *Stap 1: 2D WAQUA berekeningen*

Het VKA is door middel van de GIS-applicatie Baseline geschematiseerd en omgezet naar het 2-dimensionale hydraulische rekenmodel WAQUA. Hiermee zijn de hydraulische condities bepaald (waterstanden, stroomsnelheden en stroomrichtingen) voor de situatie met en zonder ingreep voor een zestal stationaire afvoeren (zie tabel 2.1). Bij deze verschillende afvoeren is voor beide situaties bepaald wat de afvoerverdeling tussen het zomer- en het winterbed is. Deze gegevens vormen de basis voor de morfologische berekeningen met het 1-dimensionale hydraulische model SOBEK.

Tabel 2.1: Debiet in WAQUA berekeningen

Debiet Bovenrijn [m ³ /s]	Debiet Waal [m ³ /s]	Overschrijdingsfrequentie [jaar ⁻¹]
2.000	1.367	0.006 (180 dg/jaar)
4.000	2.695	0.04 (25 dg/jaar)
6.000	4.036	1
8.000	5.324	4
10.000	6.473	14
16.000	10.150	1250

- Stap 2: Bepalen uitwisseling afvoeren tussen zomer- en winterbed**
 De afvoerverdeling tussen zomer- en winterbed is verschillend voor de situatie met en zonder ingreep. Voor elk van de met WAQUA doorgerekende stationaire afvoeren is de uitwisseling van het water tussen zomer- en winterbed bepaald. Dit is gedaan door het definiëren van een lijn ter hoogte van de kribkopbakens, die de grens tussen zomer- en winterbed weergeeft. De denkbeeldige lijn is getrokken van kmr 925 tot kmr 961 en is opgedeeld in vakken van gemiddeld circa 200 meter, overeenkomstig met de gemiddelde lengte van een kribvak. Dit betekent dat ter hoogte van elke kribkop de gemiddelde in- of uitvoer tussen het zomer- en winterbed is bepaald.
- Stap 3: Schematisatie in SOBEK**
 In het SOBEK Rijntakkenmodel is vervolgens de verandering van de afvoerverdeling tussen zomer- en winterbed geschematiseerd door tussen kmr 943 en 954, elke 200 meter de met WAQUA berekende hoeveelheid water aan het systeem te onttrekken of te lozen door middel van laterale afvoeren. De grootte van deze laterale afvoer is afhankelijk van de afvoer bij Lobith. Totaal zijn er over een afstand van circa 11 km op 50 locaties (ter hoogte van elke kribkop) laterale afvoeren opgegeven in SOBEK. De laterale afvoeren zijn geschematiseerd door middel van een Q(h)-relatie, hierbij is het debiet als functie van de waterstand gegeven.
- Stap 4: SOBEK simulaties**
 Er zijn twee berekeningen uitgevoerd met het SOBEK model: (i) de referentiesituatie en (ii) het VKA, geschematiseerd aan de hand van de berekende onttrekkingen en lozingen. Voor beide toestanden geldt dat een periode van 16 jaar is doorgerekend. In deze periode van 16 jaar zitten variërende afvoeren op basis van 1-daags gemiddelde waarden. Deze reeks is aangeleverd door Rijkswaterstaat en wordt als representatief verondersteld voor het bepalen van morfologische ontwikkelingen.

3 INRICHTINGSPLAN MUNNIKENLAND

3.1 Streefbeeld

De rivierkundige effecten van het VKA zijn bepaald door middel van een rivierkundig model. Dit model is met behulp van de GIS-applicatie Baseline 3.31 gemaakt op basis van het streefbeeld (figuur 3.1).

Het streefbeeld bevat grof genomen twee belangrijke rivierverruimende elementen:

- Een grootschalige dijkteruglegging.
De primaire waterkering wordt in oostelijke richting teruggelegd om de rivier en de gewenste laagdynamische komnatuur (ondiepe plassen en moeras) maximaal de ruimte te geven.
De huidige bandijk wordt hiermee circa 1.200 m in oostelijke richting verplaatst. Dit zorgt dat water vanuit de Brakelse Benedenwaard gemakkelijker de polder van Munnikenland instroomt en het stroomprofiel bij Vuren toeneemt. De bodemhoogte van de verlaagde tussen de Brakelse Benedenwaard en de polder is verlaagd naar circa NAP+2,5 m.
- Twee geulen en maaiveldverlaging in de Brakelse Benedenwaarden.
In de Brakelse Benedenwaard zijn twee geulen gepland, één niet aangetakte geul in het bovenstroomse gedeelte met twee benedenstroomse takken en één benedenstrooms aangetakte geul met twee bovenstroomse takken.
De bovenstrooms gelegen geul/plas heeft een bodemdiepte van circa NAP-1,5 m. Het omliggende maaiveld varieert tussen NAP+1,5 m tot de huidige hoogte (NAP+3,0 m tot NAP+4,0 m). Bij de in- en uitstroomopening is de huidige zomerkade doorgestoken. De maaiveldhoogte bij de instroomopening (kvr 947,5) is NAP+2 m en NAP+1,5 m bij de uitstroomopening (kvr 948,8).
De benedenstrooms gelegen geul takt bij kvr 950,3 tussen twee kribben aan op het zomerbed van de Waal. Het diepste gedeelte van de geul is NAP-2,5 m en loopt in bovenstroomse richting op tot NAP-1,5 m. Direct rondom de geul varieert het maaiveld tussen NAP+0,75 m en NAP+1,5 m. Het gedeelte tussen het winterbed en de geul, de Bloemplaats, blijft onaangeroerd en ligt daarmee op een hoogte van NAP+3,0 m tot NAP+4,0 m.

In de uitgevoerde hydraulische en morfologische berekeningen is er van uitgegaan dat het inrichtingsplan voor de Gandelwaard (initiatief van Wienerberger BV) uitgevoerd zal worden. Op dit moment is er nog geen WBR-vergunning verleend voor dit plan. Echter, uit indicatieve berekeningen blijkt dat ook zonder de herinrichting van de Gandelwaard, de rivierkundige taakstelling van project Munnikenland nog steeds kan worden behaald.



Inrichtingsplan Munnikenland

Figuur 3.1: Streefbeeld Inrichtingsplan Munnikenland

Op basis van het hoogtemodel, de inundatiefrequentie, het gewenste streefbeeld en het bijpassende beheer zijn de te verwachten vegetatietypen bepaald. De vegetatietypen zijn ingedeeld op basis van de gedefinieerde typen in het handboek 'Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden' [4]. In het streefbeeld is de Brakelse Benedenwaard voornamelijk begroeid met een groot oppervlak natuurlijk grasland (50% tot 95%) en zacht hout ooibos (5% tot 50%). Langs de oevers van de geulen bevinden zich biez en natte ruigte. De zone tussen de Brakelse Benedenwaard en de polder bestaat voornamelijk uit een combinatie van 95% natuurlijk grasland en 5% zacht hout ooibos. In de polder bestaat de vegetatie hoofdzakelijk uit open water, biez en, natuurlijk grasland, zacht hout ooibos en hard hout ooibos. De bandijk is begroeid met productie (glad) grasland.

3.2 Baseline schematisatie

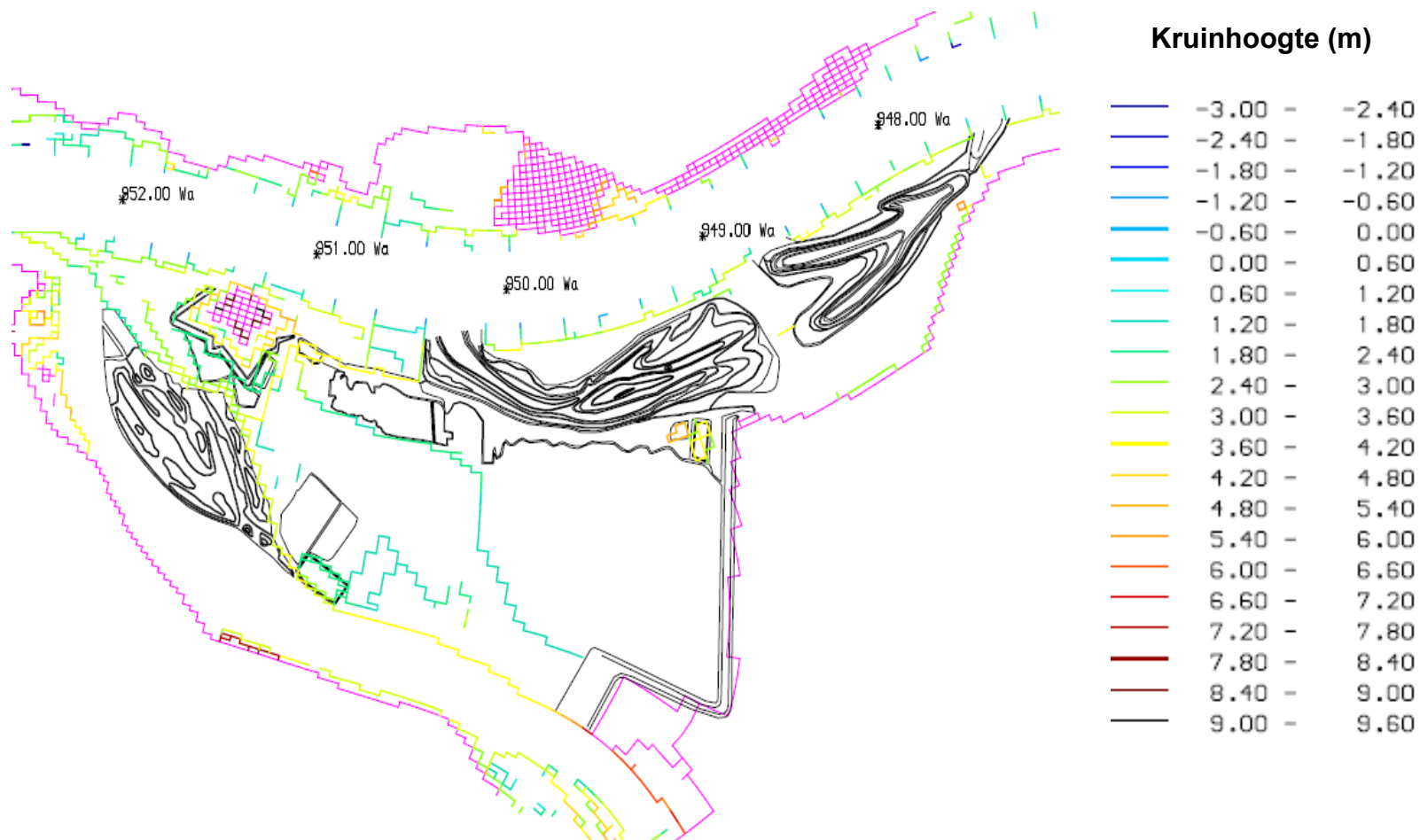
Op basis van het streefbeeld is een hoogtemodel gemaakt in de GIS-applicatie Baseline, versie 3.31. Dit hoogtemodel is gemaakt op basis van hoogtelijnen (contouren per circa 0,5 m) en lijnelementen zoals kades en steile taluds. Figuur 3.2 toont de bodemhoogtes (m+NAP) en figuur 3.3 de kruinhoogtes van de overlaten (lijnelementen waar energieverlies optreedt). Rondom de geulen zijn geen overlaten in het model aangebracht. De taludhellingen van de geulen worden natuurvriendelijk ingericht en zijn daarmee flauwer dan 1:7.

Figuur 3.4 toont de vegetatietypen zoals die in Baseline in het ruwheidvlakken-bestand zijn gedefinieerd.

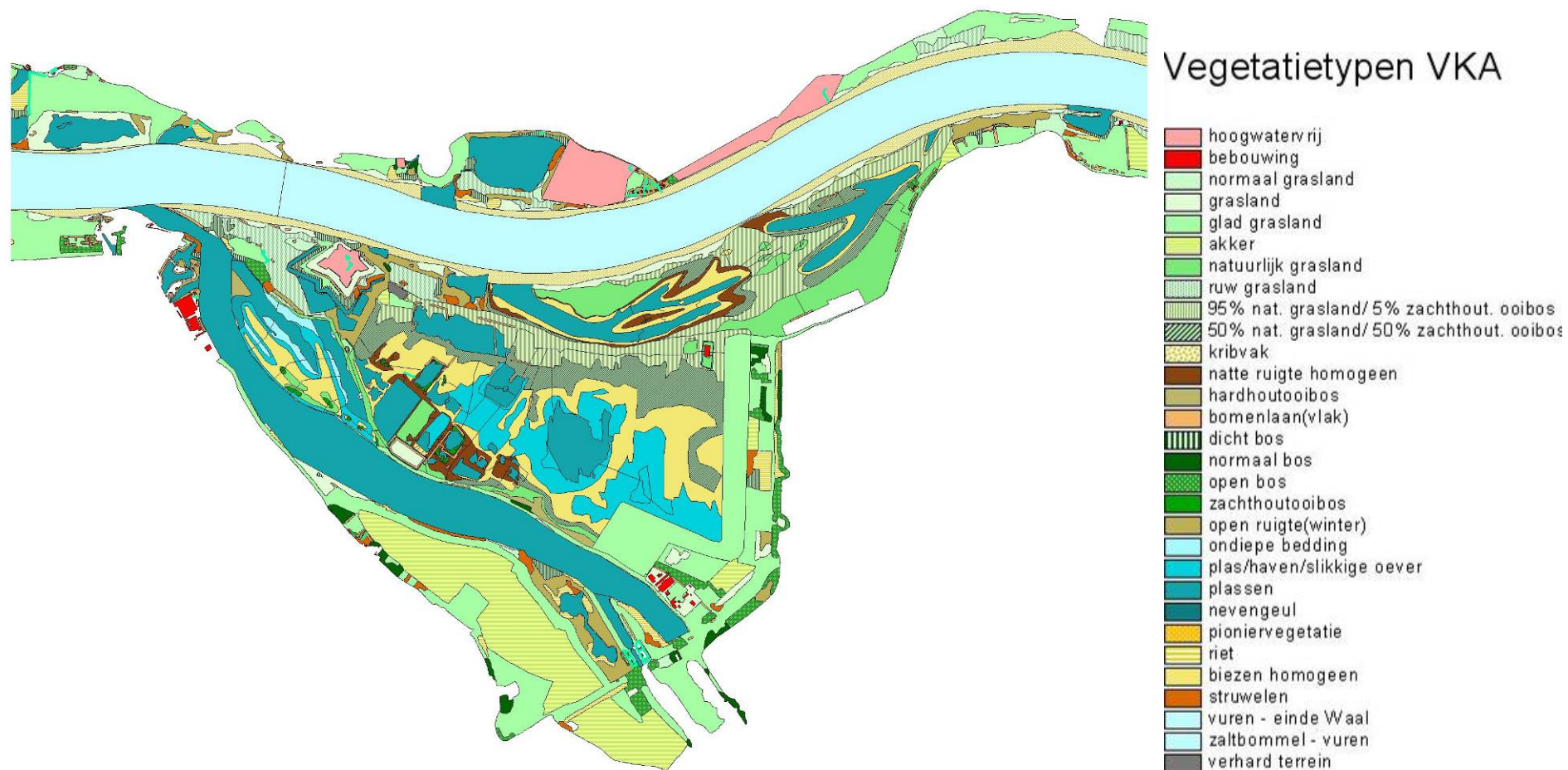
De definitieve Baseline schematisatie die is gebruikt voor het VKA heeft kenmerk 'wl_mun_vka3'. Om de ruwheid van de eilanden in de geul correct te schematiseren is vervolgens nog een reparatiemaatregel aangemaakt in Baseline met kenmerk 'wl_mun_ruwh1'.



Figuur 3.2: Bodemhoogtes en overlaten VKA (op basis van bodemhoogte- en overlatenbestand uit Baseline)



Figuur 3.3: Kruinhoogtes van overlaten (gekleurde lijnen) in het VKA (op basis van overlatenbestand in WAQUA)



Figuur 3.4: Vegetatietypen VKA (op basis van het gespecificeerde ruheidvlakken- en lijnenbestand uit Baseline)

4 RIVIERKUNDIGE EFFECTEN BIJ MHW

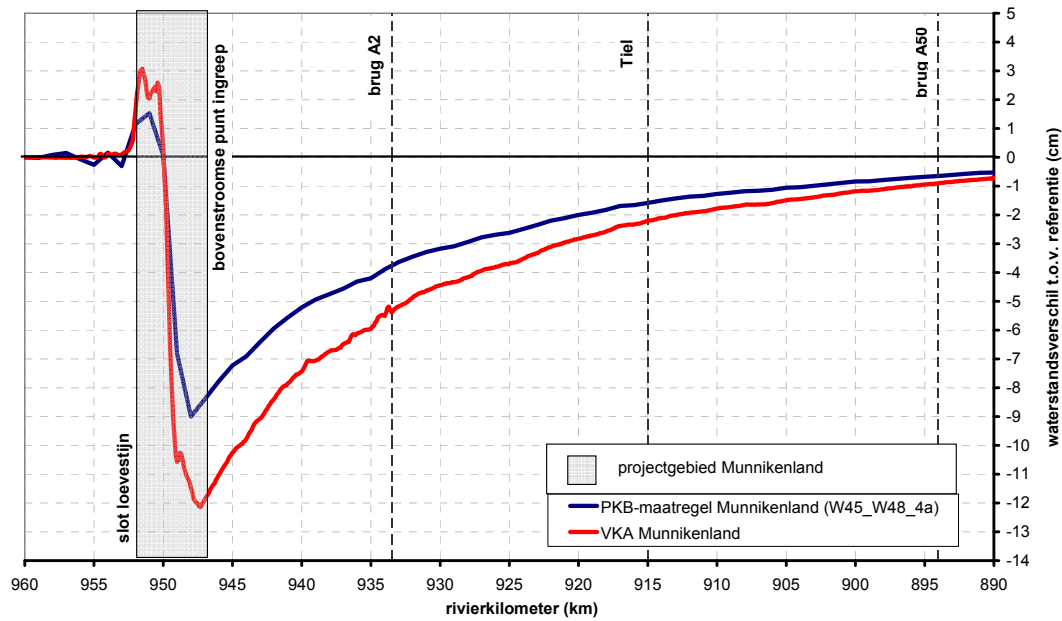
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de rivierkundige beoordeling bij een MHW-afvoer gepresenteerd. De resultaten tonen het effect van het VKA op de waterstand, afvoerverdeling en stroomsnelheid bij MHW (16.000 m³/s). De beschreven rivierkundige effecten gaan o.a. in op de MHW stand op de as van de rivier (aspect A) en de MHW stand in de uiterwaard (aspect B) uit het rivierkundig beoordelingskader [1].

4.1 Waterstanden

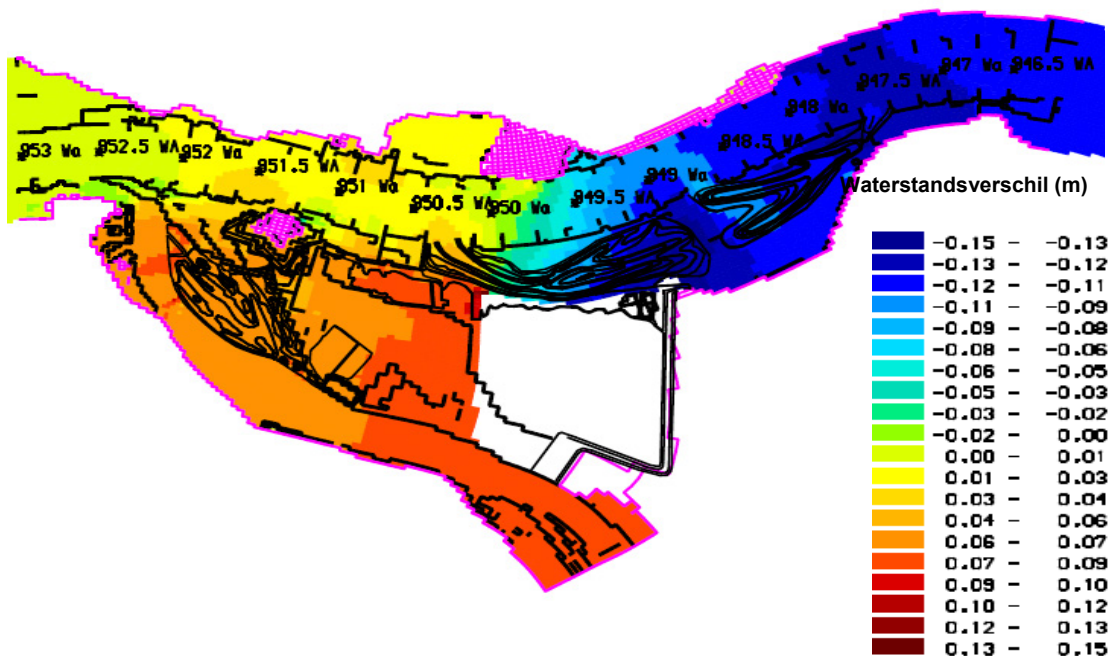
Bij een afvoer van 16.000 m³/s is de huidige waterstand circa NAP+6.47 m op kmr 950. De huidige waterstand bij een gemiddelde afvoer (2.200 m³/s) varieert bij een gemiddeld tij tussen NAP+0,99 m en NAP+1,23 m bij Vuren (kmr 951,8). Het tijverschil bij Vuren varieert tussen de 0,21 m bij doottij en 0,28 m bij springtij, de gemiddelde tijslag is 0,24 m.

Het VKA zorgt voor een maximale waterstandsverlaging van 12,0 cm in de as van de rivier op kmr 947,3 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 VKA ruim aan de gestelde taakstelling van 10,0 cm waterstandsvaling in de as van de rivier.

Figuur 4.1 toont de waterstandsverlaging in de as van de rivier per 100 meter voor het VKA en de PKB-maatregel (W45_W48_4a). Figuur 4.2 toont het verschil in waterstand tussen het VKA en de referentiesituatie voor het gehele plangebied. 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 opstuwung en verlaging van de waterstand in de as van de rivier en langs de bandijk zijn weergegeven in tabel 4.1.



Figuur 4.1: Effect op de waterstand (cm) t.g.v. het VKA (rode lijn) bij 16.000 m³/s. De blauwe lijn toont het effect van de PDR-maatregel welke is gebruikt voor de bepaling van de taakstelling



Figuur 4.2: Waterstandseffecten (m) t.g.v. het VKA bij 16.000 m³/s (figuur toont het WAQUA resultaat)

Tabel 4.1: Waterstandseffecten ten gevolge van het VKA ten opzichte van de referentiesituatie

Grootheid	Eenheid	rivierkilometer	Waterstandsverschil t.o.v. de referentie
Maximale verlaging in de as	[cm]	947,4	-12,0 ¹
Maximale opstuwung in de as	[cm]	951,5	+3,1
Maximale opstuwung langs de bandijk nabij Vuren	[cm]	951	+3,6
Maximale opstuwung langs de oude Maasdijk	[cm]	Afgedamde Maas	+8,3
Maximale verlaging in het projectgebied	[cm]	949	-20,7

Figuur 4.2 toont dat de maximale waterstandsvaling (-12,0 cm) in de as van de rivier aan de bovenstroomse rand van de bovenstroomse geul ligt. De maximale lokale waterstandsvaling (-20,7 cm) vindt plaats bij de hoek van de teruggelegde bandijk. Aan het benedenstroomse eind van de bovenstroomse geul neemt de waterstanddaling lokaal iets af. Dit komt doordat hier het bodemniveau weer oploopt naar de huidige maaiveldhoogte vanwege de aanwezige ondergrondse waterleiding van DZH.

Een effect van een waterstandsverlaging door het vergroten van het stroomvoerende oppervlak is altijd gekoppeld aan een waterstandsverhoging benedenstrooms van het projectgebied. In de as van de rivier is de maximale opstuwung 3,1 cm op kmr 951,5. Langs de Waaldijk tussen Dalem en Vuren treedt een opstuwung van maximaal 3,6 cm op en langs de Hoge Maasdijk nabij de Wilhelminasluis een opstuwung van maximaal 8,3 cm.

De hoge opstuwung 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 rivierverruiming. Als gevolg hiervan bouwt zich vanaf de uitmonding van de Afgedamde Maas in bovenstroomse richting meer verhang op. Doordat in het VKA aanzienlijk meer debiet via de Afgedamde Maas wordt afgevoerd wordt het water hier maximaal 8,3 cm extra opgestuwd langs de bandijk. Deze opstuwung 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.

4.2 Afvoerverdeling

Figuur 4.3 toont de verdeling van de afvoer voor het VKA over het winter- en zomerbed bij een afvoer van 16.000 m³/s door middel van stroomlijnen per 500 m³/s. Totaal stroomt er circa 3.600 m³/s water achter slot Loevestein langs bij een afvoer van 16.000 m³/s te Lobith. Dit betekent dat circa 35% van de Waalafvoer (10.165 m³/s) door de waarden rondom Loevestein stroomt.

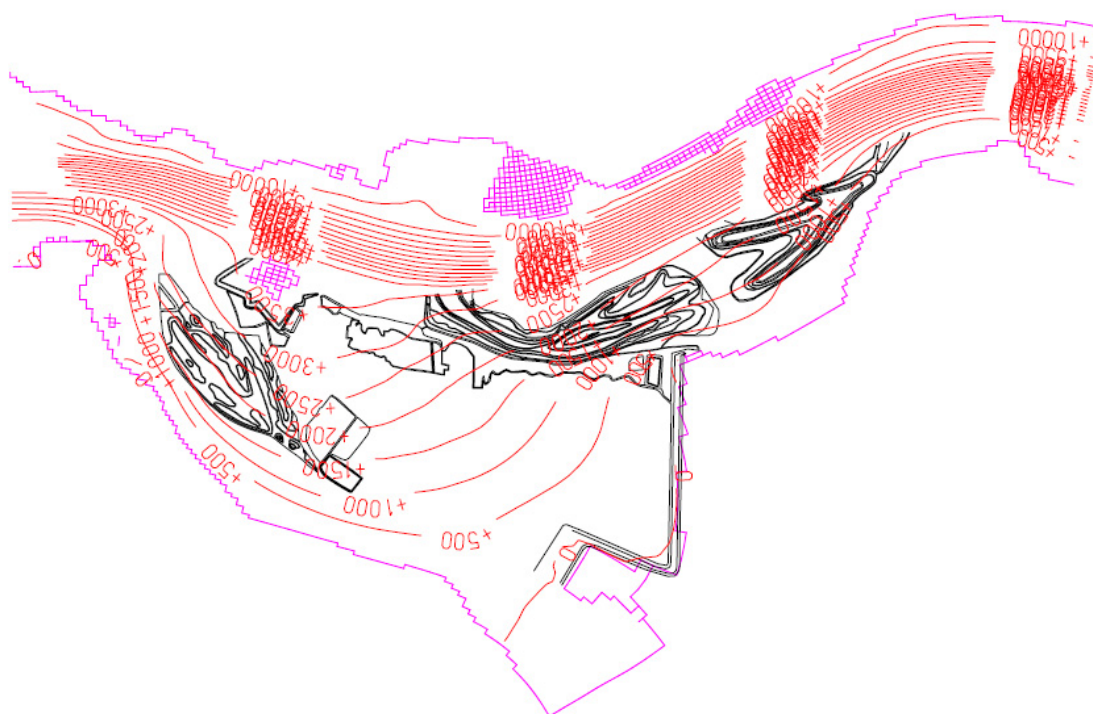
In de huidige situatie stroomt er circa 2.750 m³/s achter slot Loevestein langs. Door het VKA neemt dit dus met circa 850 m³/s toe. Tabel 4.2 geeft voor enkele locaties langs het projectgebied de verandering in de afvoerverdeling tussen zomer- en winterbed.

¹ In de rapportage van 25 augustus 2009 werd een waterstandsvaling van 12,1 cm gegeven. Na vernieuwde inzichten na de beoordeling van Deltares (Deltares, Toetsing hydraulische berekeningen, 9 oktober 2009) is dit getal naar beneden bijgesteld tot 12,0 cm. De berekening is echter (op voorspraak van PDR) niet opnieuw uitgevoerd, de figuren in deze rapportage tonen nog de berekeningsresultaten zoals deze op 25 augustus 2009 aanwezig waren.

In bijlage 1 zijn de stroomlijnen voor het VKA bij afvoeren van 2.000 m³/s, 4.000 m³/s, 6.000 m³/s, 8.000 m³/s en 10.000 m³/s weergegeven.

Tabel 4.2: Effecten op de afvoer door het winterbed ten gevolge van het VKA

locatie	eenheid	VKA	referentie	Vershil
Afvoer achter Loevestein langs	[m ³ /s]	3.600	2.750	+850
Afvoer t.p.v. de uitstroomopening van de bovenstroomse geul	[m ³ /s]	2.100	2.350	+250
Afvoer t.h.v. de hoek van de teruggelegde bandijk (kvr 949,2)	[m ³ /s]	1.850	2.200	+350
Afvoer t.p.v. de uitstroomopening van de benedenstroomse geul	[m ³ /s]	3.800	1.850	+1.950



Figuur 4.3: Afvoerlijnen (m³/s) voor het VKA bij een afvoer van 16.000 m³/s.

4.3 Stroomsnelheden

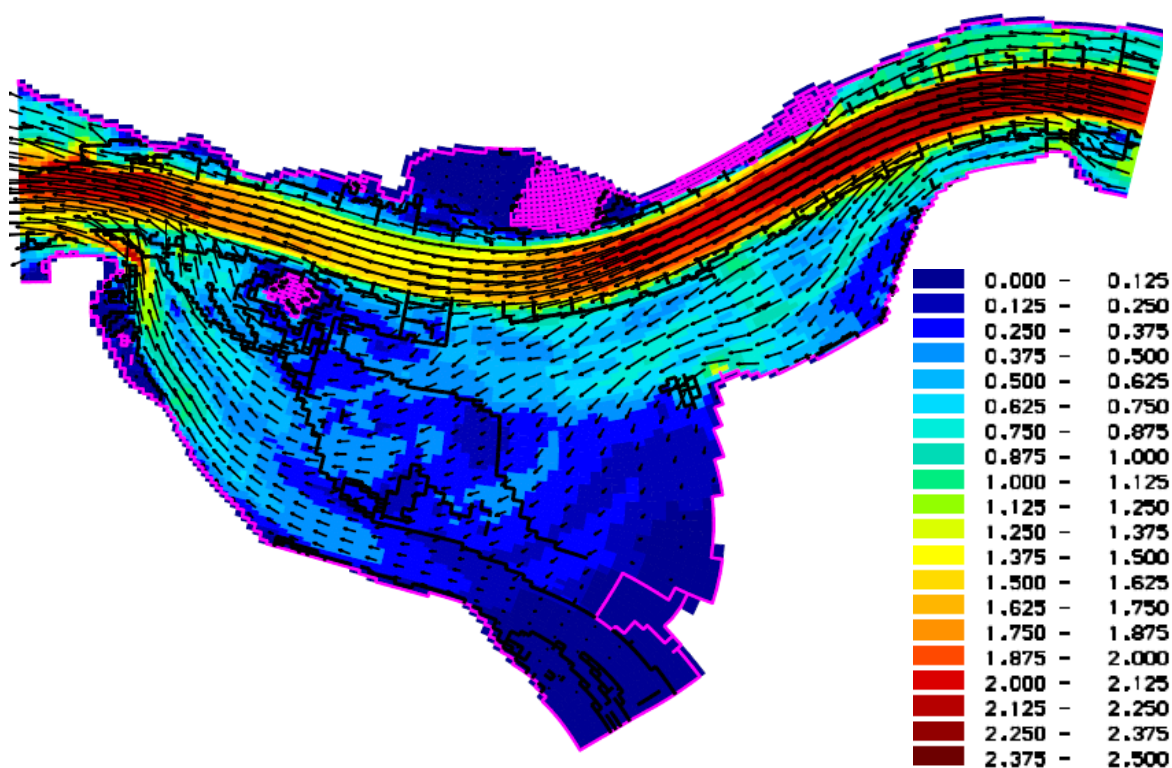
Figuur 4.4 toont de optredende stroomsnelheden voor het VKA in het projectgebied bij een afvoer van 16.000 m³/s. Figuur 4.5 toont de verandering in stroomsnelheden ten gevolge van het VKA.

In de Brakelse Benedenwaard en in de geulen variëren de snelheden tussen de 0,7 tot 1,0 m/s. In en langs de geulen nemen de stroomsnelheden hier overwegend af met circa -0,1 tot -0,5 m/s. Dit wordt veroorzaakt door de toegenomen bodemdiepte in de geulen en de ruwere vegetatie langs de geulen. In de gedeelten waar geen maaiveldverlaging heeft plaatsgevonden en minder ruwe vegetatietypen staan, nemen de stroomsnelheden toe met circa 0,1 tot 0,3 m/s.

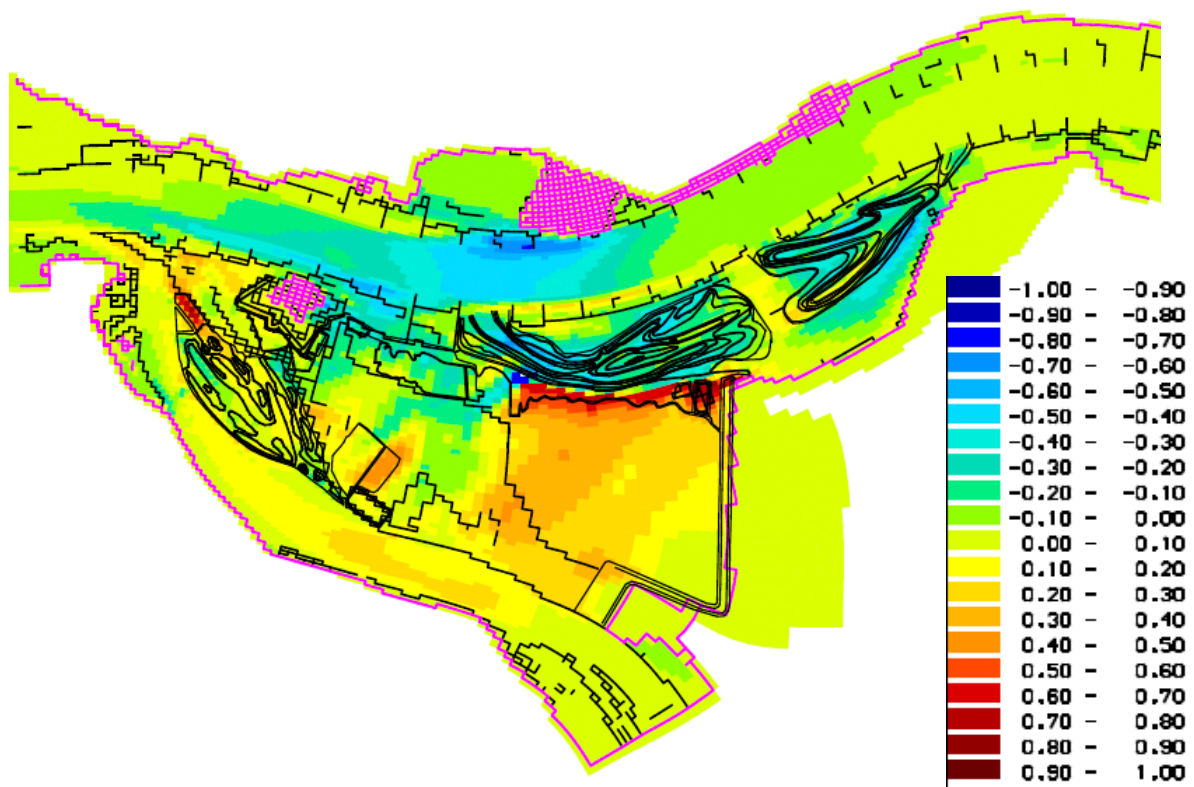
In de voormalige polder, te weten de Waarden bij Loevestein en de buitenpolder 'het Munnikenland', liggen de stroomsnelheden veel lager, rond de 0,2 tot 0,4 m/s. De stroomsnelheden over de oeverwal tussen de Brakelse Benedenwaard en deze polder variëren rond de 0,5 tot 0,9 m/s. Door de dijkteruglegging nemen de stroomsnelheden in de polder van Munnikenland logischerwijs toe doordat dit gebied verandert van binnendijks naar buitendijks. De toename in de stroomsnelheid is hier gelijk aan de absolute stroomsnelheid. Ter plaatse van de DZH leiding nemen de stroomsnelheden met circa 0,1 tot 0,3 m/s toe tot absolute snelheden van circa 0,8 tot 0,9 m/s. Op de hoek van de teruggelegde dijk komen de hoogste stroomsnelheden in het winterbed voor, maximaal 1,3 m/s. Dit is een toename van circa 0,4 m/s.

In de Afgedamde Maas nabij de nauwe bocht voor Woudrichem nemen de stroomsnelheden toe met circa 0,2 tot 0,3 m/s tot maximaal 2,2 m/s. In het zomerbed variëren de stroomsnelheden bij 16.000 m³/s tussen de 1,5 en 2,5 m/s. Door het VKA nemen de stroomsnelheden in het zomerbed tussen kmr 948 en 952 af met circa -0,1 tot -0,5 m/s. De grootste verandering bij 16.000 m³/s vindt plaats bij kmr 950 tot 951, hier daalt de stroomsnelheid met circa 0,5 m/s tot snelheden van circa 1,5 m/s.

In bijlage 3 zijn de stroomsnelheden voor het VKA weergegeven bij afvoeren van 2.000 m³/s, 6.000 m³/s, 8.000 m³/s en 10.000 m³/s.



Figuur 4.4: Stroomsnelheden (m/s) en -richtingen voor het VKA bij een afvoer van 16.000 m³/s.



Figuur 4.5: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen het VKA en de referentiesituatie bij een afvoer van 16.000 m³/s

5 HYDRAULISCH EN MORFOLOGISCHE EFFECTEN UITERWAARD EN GEULEN

In dit hoofdstuk worden de overige resultaten van de rivierkundige beoordeling gepresenteerd. De resultaten tonen het effect van het VKA bij afvoeren van 2.000 m³/s, 4.000 m³/s, 6.000 m³/s, 8.000 m³/s en 10.000 m³/s. De beschreven rivierkundige effecten gaan onder andere in op de inundatiefrequentie (aspect E), het stroombeeld in de uiterwaard (aspect F), het stroombeeld bij de in- en uitstroomopeningen (aspect G) en de morfologie van uiterwaarden en nevengeulen (aspect K) uit het rivierkundig beoordelingskader [1].

5.1 Wijziging inundatiefrequentie

Als gevolg van het VKA zal de inundatiefrequentie van de Brakelse Benedenwaard gaan veranderen. Bij het bepalen van de inundatiefrequenties is gebruik gemaakt van de Q-H tabellen van RWS. In deze tabellen wordt de waterstand per rivierkilometer voor verschillende afvoeren getoond. In deze waterstanden is geen rekening gehouden met getij en stormopzet. Om toch een inschatting te geven van het effect van getij op de inundatiefrequentie kunnen de getijverschillen zoals in tabel 5.1 gebruikt worden. Uiteindelijk is voor de bepaling van de inundatiefrequentie uitgegaan van de situatie bij gemiddeld tij. Door de aanwezigheid van getij invloed ligt de inundatiefrequentie hoger dan op basis van de QH-tabel is aangegeven.

Tabel 5.1: waterstandsverschil tussen hoog- en laagwater ter plekke van Vuren (kmr 951,8) bij gemiddeld tij, springtij en doottij

Afvoer (m ³ /s)	waterstandsverschil bij gemiddeld tij (m)	waterstandsverschil bij springtij (m)	waterstandsverschil bij doottij (m)
700	35	37	30
984	33	36	30
1.400	32	34	27
2.200	24	28	21
3.500	21	24	19
5.000	14	15	13
6.800	8	9	8
10.000	6	5	5

In de huidige situatie inundeert het bovenstroomse gedeelte van de Brakelse Benedenwaard bij waterstanden vanaf circa NAP+2,75 m op kmr 947. Dit komt overeen met een afvoer van ca. 4.500 m³/s. Het getijverschil is dan circa 16 cm. Met deze getijslag meegenomen komt deze waterstand gemiddeld circa 15-20 dg/jaar voor. Het benedenstroomse gedeelte van de Brakelse Benedenwaard, nabij de Bloemplaats, begint te inunderen bij waterstanden vanaf NAP+2,25 m op kmr 950,5, het getijverschil is dan 18 cm. Met dit getijverschil in ogenschouw wordt dit niveau circa 20-25 dg/jaar overschreden. Bij deze genoemde waterstanden lopen slechts de laag gelegen gedeeltes van de uiterwaard onder water, zoals te zien is op de foto in figuur 5.1 en op de voorkant van dit rapport.

In het VKA ligt de instroomhoogte van de bovenstrooms gelegen geul aan de bovenstrooms zijde op NAP+2,0 m en aan de benedenstroomse zijde op NAP+1,5 m.

Dit betekent dat deze geul begint vol te lopen via de benedenstroomse opening bij een afvoerniveau van circa 2.700 m³/s. Het getijverschil is dan circa 23 cm. Met het getijverschil in gedachten, wordt dit niveau gemiddeld circa 100 dagen per jaar overschreden. Bij een afvoer van circa 3.500 m³/s (getijverschil 21 cm) gaat ook de bovenstroomse opening meestromen en is er sprake van een meestromende nevengeul. Met het getijverschil in gedachten wordt een afvoer van 3.500 m³/s gemiddeld circa 40-45 dagen per jaar overschreden.

In het VKA is de benedenstrooms gelegen geul bij de uitmonding, bij kmr 950,3, direct aangetakt op het zomerbed. Deze geul is dus permanent eenzijdig benedenstrooms aangetakt. De geul begint vanaf bovenstroomse zijde mee te stromen bij waterstanden vanaf NAP+2,75 m tot 3 m (circa 5.000 tot 5.500 m³/s) op kmr 949. Het getijverschil is dan 14 cm. Deze afvoer wordt gemiddeld 5 tot 12 dagen per jaar overschreden. De oeverwal tussen de polder en de Brakelse Benedenwaard krijgt een hoogte van circa NAP+2,5 m. Deze oeverwal zal gaan overstromen bij afvoeren vanaf circa 4.600 m³/s (getijverschil van circa 16 cm). Deze afvoer wordt circa 15 dagen per jaar overschreden.

De inundatiefrequentie van de Brakelse Benedenwaarden zal door uitvoering van het VKA dus veranderen. Voor het bovenstroomse gedeelte (bovenstrooms van de DZH-leiding) geldt dat de inundatiefrequentie toeneemt van circa 15-20 dg/jaar naar circa 70 dg/jaar. Het geïnundeerde oppervlak beperkt zich echter onder normale afvoeren (<5.000 m³/s) tot de locatie van de geul. Het benedenstroomse gedeelte (benedenstrooms van DZH-leiding) staat continu in verbinding met de hoofdgeul. Hier wijzigt de inundatiefrequentie van circa 20-30 dg/jaar naar 365 dg/jaar. Ook hier beperkt het geïnundeerde oppervlak zich echter tot de locatie van de geul onder normale afvoeren (<5.000 m³/s).

Tabel 5.2: Inundatiefrequentie van de uiterwaarden in de huidige situatie en in het VKA

Locatie	Inundatiefrequentie huidige situatie	Inundatiefrequentie VKA
Bovenstroomse gedeelte van de Brakelse Benedenwaard	circa 15-20 dg/jaar	circa 100 dg/jaar
Benedenstroomse gedeelte van de Brakelse Benedenwaard	circa 20-25 dg/jaar	365 dg/jaar
Buitenpolder 'het Munnikenland'	binnendijks	circa 15 dg/jaar

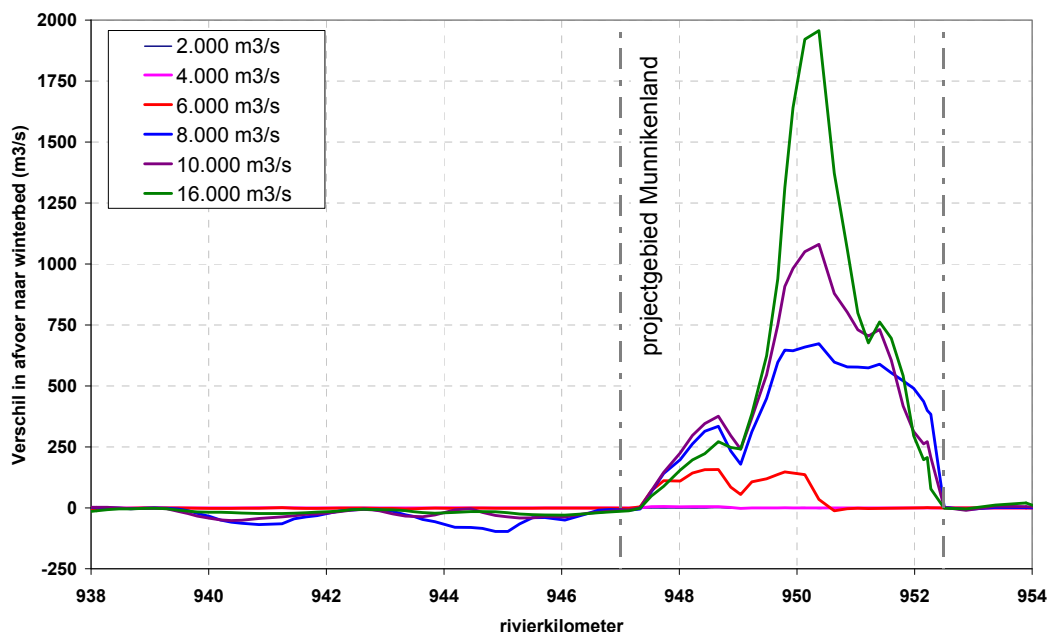


Figuur 5.1: Overzichtsfoto benedenstroomse gedeelte Brakelse Benedenwaard. De Bloemplaat is duidelijk zichtbaar op de foto

5.2 Wijziging afvoerverdeling tussen zomer- en winterbed

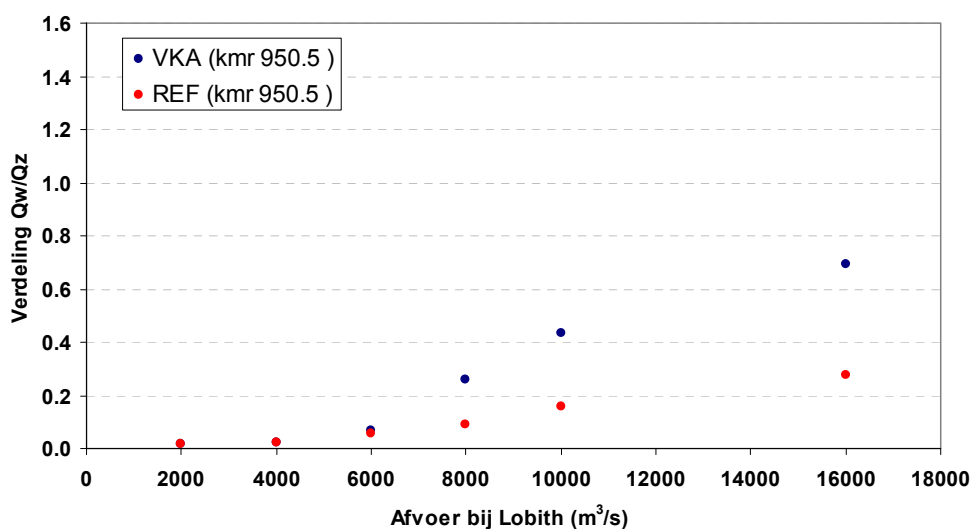
Als gevolg van het VKA zal de verdeling tussen de afvoer door het winter- en zomerbed bij het projectgebied gaan veranderen. Door de rivierverruiming zal er lokaal extra water van het zomerbed richting het winterbed gaan stromen.

Figuur 5.2 en 5.3 geven bij verschillende afvoeren de verdeling tussen winter- en zomerbed. Figuur 5.2 laat zien dat er bij afvoeren van 2.000 m³/s en 4.000 m³/s geen tot nauwelijks wijziging optreedt in de hoeveelheid water welke door het winterbed van het projectgebied stroomt. Bij een afvoer van 6.000 m³/s is een verschil zichtbaar tussen kmr 947,3 en 950,3: de afvoer door het winterbed neemt toe t.o.v. de referentiesituatie met circa 125-150 m³/s. Bij hogere afvoeren (8.000 m³/s, 10.000 m³/s en 16.000 m³/s) is er groter verschil (tot 1.950 m³/s) over een groter traject, van kmr 947,3 tot 952,5. De kleine bovenstroomse verschillen bij kmr 940-946 worden veroorzaakt door de gerealiseerde waterstandsdaling.



Figuur 5.2: Verschil in afvoer door het winterbed (linkeroever) tussen het VKA en de referentiesituatie bij verschillende afvoeren te Lobith

Figuur 5.3 geeft de verandering in afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed op kmr 950,5. Bij gemiddelde tot bedvullende afvoeren van 2.000 en 4.000 m³/s wijzigt er niets. Vanaf 6.000 m³/s begint de afvoerverdeling op deze km-raai te wijzigen. Bij 16.000 m³/s is de verdeling tussen winter- en zomerbed zelfs gewijzigd van circa 0,25 naar 0,7. In bijlage 2 is de verandering in afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed voor meerdere locaties in het projectgebied weergegeven.

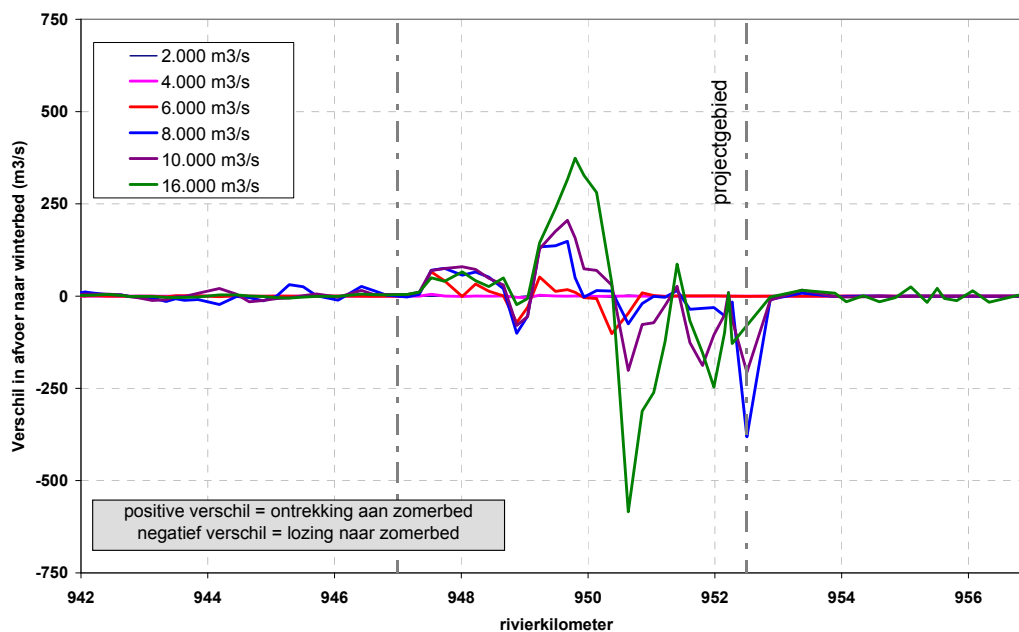


Figuur 5.3: Afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed op rkm 950,5 voor het VKA en de referentiesituatie bij verschillende afvoeren te Lobith

Figuur 5.4 geeft het verschil in afvoer richting het winterbed tussen het VKA en de referentiesituatie bij verschillende afvoeren per 200 meter (ter hoogte van de kribkopbakens). De figuur toont dat er grote verschillen zijn tussen de locaties waar deze extra lozingen naar het zomerbed en onttrekkingen naar het winterbed plaatsvinden bij verschillende afvoeren:

- Bij afvoeren van 2.000 m³/s en 4.000 m³/s ontstaat nauwelijks een verschil door de ingreep. Bij dezen afvoeren stroomt geen extra water van of naar het winterbed.
- Bij 6.000 m³/s wordt er extra water onttrokken naar het winterbed tussen kmr 947,3 en 948,6 en tussen 949,2 en 949,9. Op kmr 948,8 tot 949,1 en op kmr 950,1 tot 950,8 (uitstroomopeningen geulen) vindt een extra lozing op het zomerbed plaats.
- Bij 8.000 m³/s vindt de extra lozing met name plaats op kmr 952,5, bij de Afgedamde Maas. In vergelijking met de huidige situatie stroomt er dan dus extra water achter Loevestein langs.
- Bij 10.000 m³/s en 16.000 m³/s vindt extra onttrekking plaats op het traject tussen kmr 947,3 en 950,3. Extra lozing vindt bij 16.000 m³/s voornamelijk plaats op kmr 950,6 en kmr 952. Bij 10.000 m³/s is deze extra lozing voornamelijk op kmr 950,6, kmr 951,8 en bij kmr 952,5.

Deze verschillen in onttrekkingen en lozingen tussen het VKA en de referentiesituatie zijn gebruikt om de bodemverandering van het zomerbed te bepalen met behulp van SOBEK (zie stap 3, paragraaf 2.2). De resultaten van deze effectbepaling zijn beschreven in hoofdstuk 6.



Figuur 5.4: Verschil in afvoer door het winterbed (linkeroever) tussen het VKA en de referentiesituatie bij verschillende afvoeren te Lobith

5.3 Stroombeeld in de uiterwaard bij 10.000 m³/s

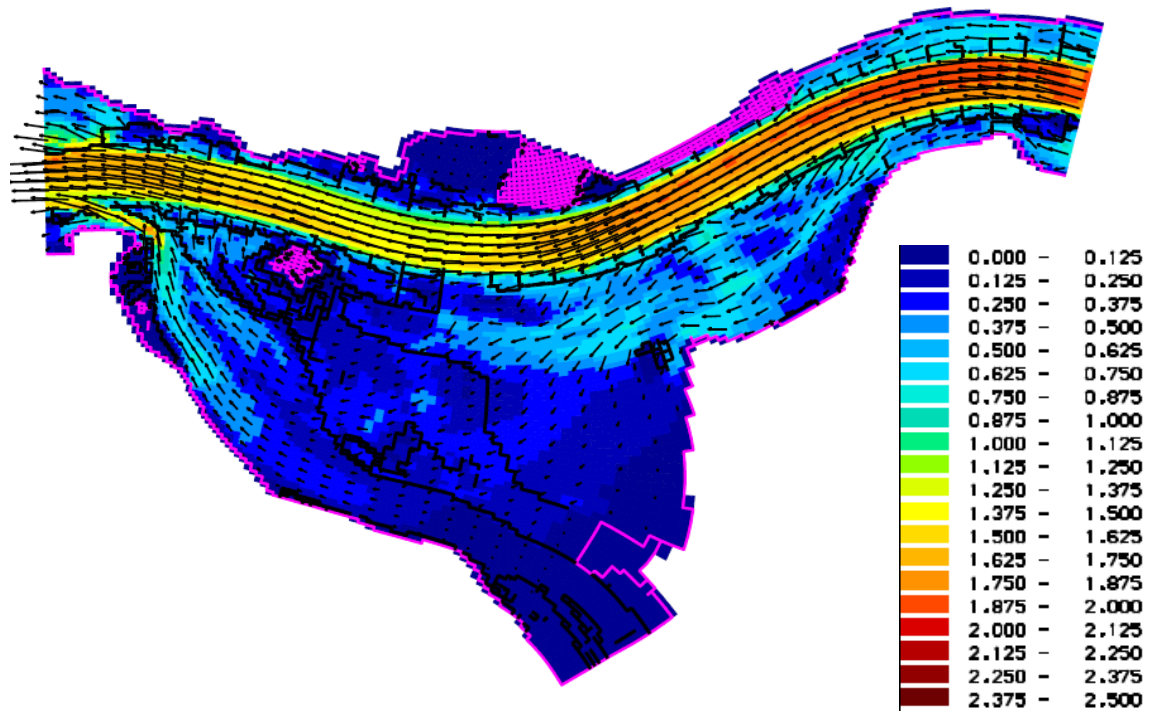
Door het VKA zullen de stroomsnelheden in het projectgebied gaan veranderen. Dit kan resulteren in lokale erosie bij constructies zoals kribben, kaden en langs de geulen. Voor de beoordeling van deze mogelijke effecten is de verandering van de stroomsnelheid bij een afvoer van 10.000 m³/s beoordeeld.

Figuur 5.5 toont de optredende stroomsnelheden in het projectgebied bij een afvoer van 10.000 m³/s. Figuur 5.6 toont de verandering in stroomsnelheden ten gevolge van het VKA bij deze afvoer.

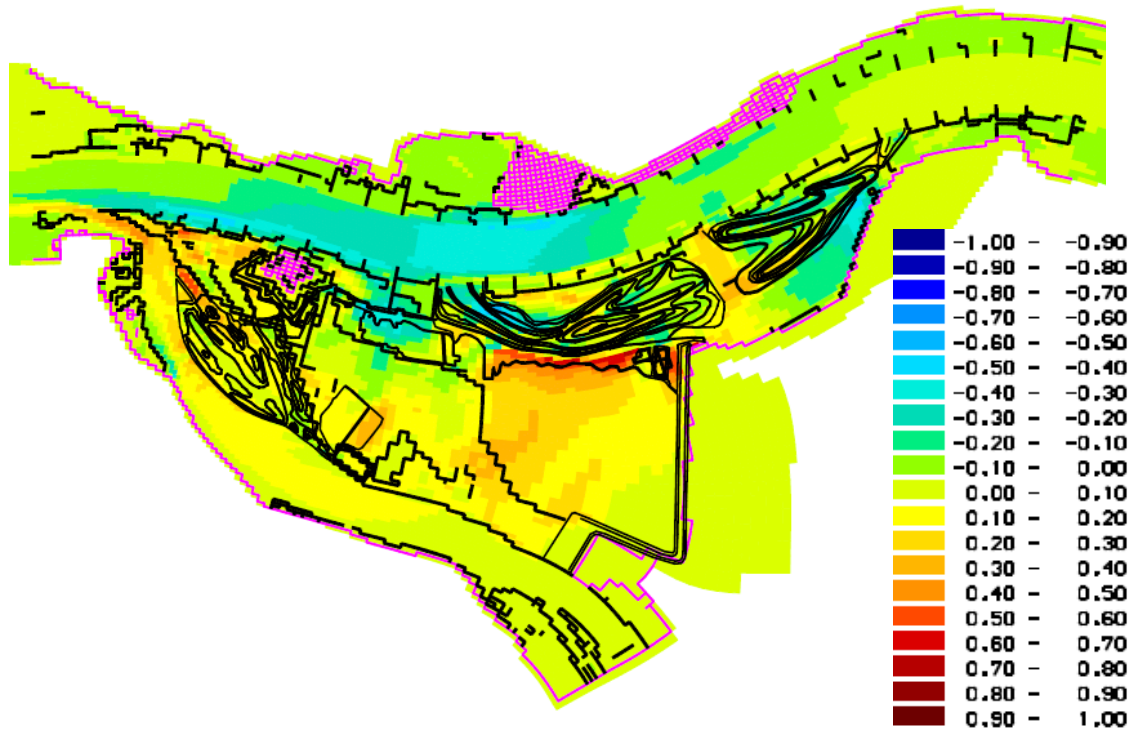
In de Brakelse Benedenwaard en in de geulen variëren de snelheden tussen de 0,5 tot 0,75 m/s. In en langs de geulen nemen de stroomsnelheden hoofdzakelijk af met circa -0,1 tot -0,4 m/s. Dit wordt veroorzaakt door de toegenomen bodemdiepte in de geulen en de ruwere vegetatie langs de geulen. In de gedeelten waar geen maaiveldverlaging heeft plaatsgevonden en minder ruwe vegetatietypen staan, nemen de stroomsnelheden toe met circa 0,2 tot 0,4 m/s.

In de polder liggen de stroomsnelheden veel lager, rond de 0,2 tot 0,3 m/s. De stroomsnelheden over de oeverwal tussen de Brakelse Benedenwaard en de polder variëren rond de 0,4 tot 0,7 m/s. Ter plaatse van de DZH leiding nemen de stroomsnelheden met circa 0,2 tot 0,4 m/s toe tot absolute snelheden van circa 0,7 tot 0,9 m/s.

In de Afdamde Maas nabij de nauwe bocht voor Woudrichem nemen de stroomsnelheden toe met circa 0,3 tot 0,5 m/s tot een maximale waarde van 1,8 m/s. In het zomerbed variëren de stroomsnelheden tussen de 1,25 en 2,0 m/s. Door het VKA nemen de snelheden in het zomerbed tussen kmr 948 en 952 af met circa -0,1 tot -0,4 m/s. De grootste verandering bij 10.000 m³/s vindt plaats bij kmr 950 tot 951, hier daalt de stroomsnelheid met circa 0,35 m/s tot maximale waarden van circa 1,4 m/s tot 1,6 m/s.



Figuur 5.5: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor het VKA bij een afvoer van 10.000 m³/s



Figuur 5.6: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen het VKA en de referentiesituatie bij een afvoer van 10.000 m³/s

5.4 Stroombeeld bij in- en uitstroomopeningen

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 stroomsnelheden loodrecht op de vaargeul niet hoger mogen zijn dan 0,3 m/s bij een geulvullende (nevengeul) afvoer van maximaal 50 m³/s. Bij afvoeren hoger dan 50 m³/s is nader onderzoek nodig, waarbij als vuistregel geldt dat de stroomsnelheid loodrecht op de vaargeul niet hoger mag zijn dan 0,15 m/s.

De stroomsnelheden bij de in- en uitstroomopeningen van de twee geulen zijn bij een afvoer van 4.000, 5.000 en 6.000 m³/s te Lobith beoordeelt. Door de verschillende geuldimensies en instroomhoogtes is er niet een eenduidige afvoer die als geulvullend geldt. Vandaar dat er voor 3 verschillende afvoerniveaus is beoordeeld. Bij een afvoer van 8.000 m³/s stromen de volledige uiterwaarden mee en is er geen sprake meer van enkel een geulvullende afvoer.

Bij 4.000 m³/s is het gehele zomerbed gevuld, maar stroomt er nog nauwelijks water door de geulen. In de benedenstrooms gelegen geul ontstaat bij de instroomopening een neer met stroomsnelheden van maximaal 0,4 m/s in het kribvak. De maximale stroomsnelheid in het betreffende 'kribvak' loodrecht op de as van de rivier is circa 0,15 m/s.

De bovenstrooms gelegen geul stroomt net mee (< 20 m³/s). Bij de instroomopening is de waterstand NAP+2,34 m waardoor de drempel van NAP+2 m net wordt overstroomd. De maximale stroomsnelheden dwars op de rivier bij de bakelijijn zijn bij de instroomopening circa 0,10 m/s en bij de uitstroomopening circa 0,20 m/s.

Bij 5.000 m³/s is het gehele zomerbed gevuld en stromen sommige uiterwaarden (zonder hoge zomerkade) mee. In de benedenstrooms gelegen geul ontstaat bij de instroomopening een neer met snelheden bij de bakelijijn loodrecht op de as van de rivier van circa 0,15 m/s.

De bovenstrooms gelegen geul stroomt mee (circa 50 m³/s). De maximale stroomsnelheden dwars op de rivier bij de bakelijijn zijn bij de instroomopening circa 0,10-0,15 m/s en bij de uitstroomopening circa 0,10-0,15 m/s.

Bij 6.000 m³/s zijn de geulen geheel gevuld, beide geulen stromen mee met de hoofdgeul. In de benedenstrooms gelegen geul stroomt het water (circa 120 m³/s) bijna parallel aan de hoofdstroom naar buiten. De maximale uitstroomsnelheden zijn circa 0,8 m/s bij de bakelijijn bij de uitstroomopening. De maximale stroomsnelheid in de uitstroomopening dwars op de hoofdgeul bij de bakelijijn is circa 0,20-0,25 m/s (0,8 m/s onder hoek van circa 15 graden).

Bij de instroomopening van de bovenstrooms gelegen geul is de waterstand circa NAP+3,50 m en stroomt er circa 100 m³/s door de geul.

De maximale stroomsnelheden dwars op de as van de rivier bij de bakelijns van de instroomopening is circa 0,2 m/s (0,95 m/s onder hoek van maximaal 10 graden) en bij de bakelijns van de uitstroomopening circa 0,15 m/s bij de bakelijns (0,7 m/s onder hoek van circa 10 graden).

In tabel 5.3 zijn de stroomsnelheden en afvoeren samengevat.

Tabel 5.3: Stroombeeld bij in- en uitstroomopeningen

locatie	4.000 m ³ /s	5.000 m ³ /s	6.000 m ³ /s
Instroomopening bovenstroomse geul	0,10 m/s (< 20 m ³ /s)	0,10-0,15 m/s (50 m ³ /s)	0,2 m/s (100 m ³ /s)
uitstroomopening bovenstroomse geul	0,20 m/s (< 20 m ³ /s)	0,10-0,15 m/s (50 m ³ /s)	0,15 m/s (100 m ³ /s)
uitstroomopening benedenstroomse geul	0,15 m/s (neervorming, nauwelijks onttrekking)	0,15 m/s (neervorming, nauwelijks onttrekking)	0,20-0,25 m/s (120 m ³ /s)

Geconcludeerd wordt dat:

- bij een afvoer van 4.000 m³/s geen sprake is van hinderlijke dwarsstroming. Echter deze afvoer is eigenlijk nog te laag om te spreken van een geulvullende afvoer.
- bij een afvoer van 5.000 m³/s ook geen sprake is (volgens de beoordelingseis) van hinderlijke dwarsstroming. Er is bij deze afvoer wel degelijk sprake van een geulvullende afvoer.
- Bij een afvoer van 6.000 m³/s komen er strikt volgens de beoordelingseis wel significante dwarsstromingen voor bij de in- en uitstroomopeningen. Het effect van deze stromingen dient echter wel in het juiste verband te worden gezien. De verwachting is dat de stroomsnelheden praktisch gesproken niet hinderlijk zullen zijn doordat:
 - de stroomrichting van de 'dwarsstromingen' vrij parallel aan de hoofdstroom is;
 - afvoeren van 6.000 m³/s slechts gemiddeld 3 dg/jaar voorkomen en dat een afvoer van 6.000 m³/s hoger is dan een strikt geulvullende afvoer;
 - op kmr 948,8 de vaargeul ligt niet direct langs de kribkoppen bij de uitstroomopening van de bovenstroomse geul.

De instroomopening van de benedenstroomse geul is niet beoordeeld, vanwege het feit dat er geen sprake is van een aangetakte opening. Hier treden bij geulvullende afvoeren dus geen dwarsstromingen op.

Ook de in- en uitstroomopeningen bij de Gandelwaard zijn niet beoordeeld. De Gandelwaard valt ten eerste buiten het inrichtingsplan en ten tweede stroomt deze geul bij geulvullende afvoeren allen mee ten gevolge van getij.

In bijlage 8 zijn enkele figuren opgenomen met de stroomsnelheden- en richtingen bij de in- en uitstroomopeningen bij een afvoer van 5.000 en 6.000 m³/s.

5.5 Aanzanding en erosie uiterwaarden

5.5.1 Erosie

De stroomsnelheden in de geulen bij geulvullende afvoer (6.000 m³/s) variëren tussen de 0,2 en 0,25 m/s (WAQUA resultaat). Op basis van deze stroomsnelheden worden de geulen als morfologisch stabiel beschouwd.

De stroomsnelheden, ook bij hogere afvoeren, geven geen aanleiding om een hoge morfologische activiteit te verwachten. De geulen zullen niet gaan wandelen en ook zullen ze op termijn niet de functie van de hoofdgeul gaan overnemen.

Rondom de oevers van de geulen en nabij de instroomopening op kmr 947,4 zijn de stroomsnelheden lokaal iets hoger, circa 0,3 tot 0,4 m/s bij geulvullende afvoer. Enkel bij de 'drempel' van de bovenstrooms gelegen geul (kmr 947,4) variëren de stroomsnelheden rond de 0,8 m/s. Deze stroomsnelheden zullen niet tot grootschalige oevererosie leiden als de oevers begroeid zijn. Lokaal zou er wel enige erosie langs de oevers en bij de 'drempel' kunnen optreden, maar een dergelijke erosie zal goed monitorbaar zijn.

Op het niet verlaagde gedeelte ter hoogte van de DZH-leiding zijn de stroomsnelheden bij 6.000 m³/s circa 0,4 tot 0,5 m/s tot circa 0,7 tot 0,9 m/s bij 10.000 m³/s en maximaal 1,3 m/s bij 16.000 m³/s langs de hoek van de bandijk. Deze stroomsnelheden zijn lager dan de kritische stroomsnelheid van 1,5 m/s voor grasachtige begroeide bodems (VTV, 2006, min. V&W). Ook hier is dus geen reden om erosie te verwachten.

In hoofdstuk 7 wordt nader ingegaan op extra bescherming van gevoelige locaties zoals de zones rondom de kribwortels. Mogelijke erosie wordt hier voornamelijk veroorzaakt door scheepsgolven tijdens lagere afvoeren en minder extreme hoogwaters. In hoofdstuk 7 wordt ook ingaan op mogelijke maatregelen in de bocht van de Afgedamde Maas bij Woudrichem.

5.5.2 Sedimentatie

De sedimentatie (aanzanding en aanslibbing) van de geulen op lange termijn is zeer lastig te voorspellen. Op basis van de ligging van de geulen en de inundatiefrequentie wordt op korte termijn geen grootschalige aanzanding verwacht. Op basis van ervaringsgetallen van bijvoorbeeld de nevengeul bij Gameren is de voorspelling dat forse aanzanding van de geulen, waarbij deze moeten worden opgeschoond, plaats vindt over een tijdsperiode van decennia (10-20 jaar)². Gezien de onzekerheid in deze voorspelling moet er in het beheerplan een goed monitoringsplan worden opgenomen over aanzanding van de geulen. Opgemerkt wordt hierbij dat de aanzanding sterk afhankelijk zal zijn van het optreden van forse hoogwaters. Daarmee is aanzanding over een tiental jaren sterk variabel.

Naast aanzanding speelt ook aanslibbing van de geulen een mogelijke rol. Ook de orde grootte van dit proces is zeer lastig te voorspellen. De aanslibbing zal relatief het grootst zijn in de benedenstrooms gelegen geul ter hoogte van de directe aantakking bij kmr 950. Voor aanslibbing wordt vaak met een ervaringsgetal van circa 1 cm/jaar gerekend, echter dit getal is niet staafbaar. Bij Munnikenland geldt dat er niet sprake is van stroomomkering door invloed van het getij, ook niet bij extreem lage afvoeren.

² RWS Oost-Nederland (Memo, dhr H. Meesters, 15-10-2009) geeft aan dat inschattingen op basis van de opgedane ervaringen bij Gameren tonen dat er in zo'n 10 jaar veel aanzanding kan plaatsvinden. In een lange periode van lage waterstanden is onderhoud nodig vanwege de groei van vegetatie, na een lange periode met hoge afvoeren is onderhoud nodig vanwege mogelijke zandafzettingen. Een periode langer dan 20 jaar is niet aan te bevelen, omdat de kans dan bestaat dat men "vergeet" dat onderhoud dient plaats te vinden. Ook Deltares geeft aan dat een sedimentatiesnelheid van 1 cm/jaar en onderhoud in tijdsperiode van 10-30 jaar realistische schattingen zijn voor uiterwaardsedimentatie (Mosselman, 19-10-2009)

Hierdoor zal er geen slib uit de Maasmond richting het projectgebied worden getransporteerd en zal aanslibbing naar verwachting beperkt blijven.

Ook hier geldt dat er gezien de onzekerheid in deze voorspelling, eventuele aanslibbing moet worden opgenomen in het monitoringsplan. Op korte termijn zal de waterstandverlagende functie van de geulen als gevolg van aanslibbing niet in gevaar komen. Naast aanzanding vormt verlanding door successie en accumulatie van dood organisch materiaal een bedreiging voor de afvoercapaciteit van de geulen. Het verwijderen van aanzanding en verlanding kan wat dat betreft worden opgenomen in het onderhouds- en monitoringsplan voor het grootschalige beheer, waarbij er veelal vanuit wordt gegaan dat eens in de 10-20 jaar de geulen weer op de ontwerpdiepte zullen worden gebracht.

Het bovenstroomse gedeelte van de Brakelse Benedenwaard met de instroomopening van de geul op kmr 947,3 ligt direct na een binnenbocht. Hierdoor kan er tijdens hoogwater zand afgezet worden op de oever tussen kmr 947-948. De mogelijkheid is dat dit zand ook in de uiterwaard en geul terecht komt. Deze rivierduinen worden over het algemeen als landschappelijke meerwaarde gezien. Het is echter niet te verwachten dat deze rivierduinen dezelfde dimensies zullen aannemen als de rivierduinen bij Millingen.

Naast aanzanding speelt ook aanslibbing van de uiterwaarden een mogelijke rol. Ook de orde grootte van dit proces is zeer lastig te voorspellen. De aanslibbing zal relatief het grootst zijn in de benedenstrooms gelegen gedeelte van de Brakelse Benedenwaard. Voor aanslibbing wordt vaak met een ervaringsgetal van circa 1 cm/jaar gerekend, echter dit getal is niet staafbaar. Ook hier geldt dat er gezien de onzekerheid in deze voorspelling, eventuele aanslibbing moet worden opgenomen in het monitoringsplan. Op korte termijn zal de waterstandverlagende functie van de uiterwaardverlaging als gevolg van aanslibbing niet in gevaar komen.

De aanslibbing van cohesief materiaal in de buitenpolder 'het Munnikenland' en in de 'Waarden bij Loevestein' zal nihil zijn. De inundatiefrequentie van de polder is te klein om betekenis te kunnen spelen en daarbij komt dan nog dat het meeste cohesieve materiaal al uitgezakt zal zijn in de Brakelse Benedenwaard. Aanslibbing van de polder is dus geen punt van aandacht.

6 MORFOLOGISCHE EFFECTEN ZOMERBED

6.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk zijn de effecten op de afvoerverdeling en op de stroomsnelheden beoordeeld. In dit hoofdstuk worden deze effecten doorvertaald naar de effecten op de bodemligging van het zomerbed. Eerst wordt in paragraaf 6.2 ingegaan op de opgelegde laterale afvoeren en resulterende waterstanden in SOBEK. Daarna zijn de morfologische effecten beoordeeld: de verandering van de bodemhoogte (paragraaf 6.3) en waterdiepte (paragraaf 6.4) als functie van tijd, het baggerbezwaar (paragraaf 6.5) en ten slotte de minimum vaardiepte (paragraaf 6.6).

6.2 Waterstanden en afvoeren

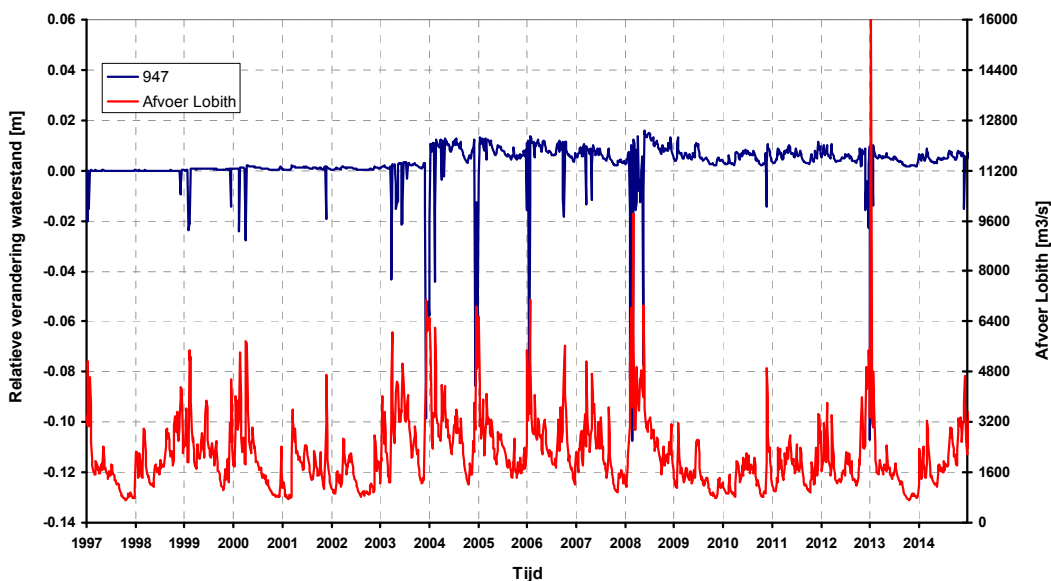
Middels de beschreven werkwijze in paragraaf 2.2 is het VKA geschematiseerd in SOBEK door middel van laterale afvoeren. Deze laterale afvoeren representeren het verschil in afvoerverdeling tussen het zomerbed en winterbed. Dit verschil is bepaald per kribkoppaken (circa 200 meter) en is als laterale afvoer (onttrekking of lozing) in SOBEK ingevoerd. De verandering in de afvoerverdeling is beschreven in paragraaf 4.3.

In SOBEK is gerekend met een 16-jarige afvoerreeks welke representatief wordt verondersteld voor de morfologische effectbepaling voor verandering van het zomerbed. De rode lijn in figuur 6.1 toont deze 16-jarige reeks bij Lobith. De reeks kent allerlei verschillende periodes van hoog, gemiddeld en laagwater en kent zelfs een afvoerpiek van 16.000 m³/s te Lobith. De jaartallen in de afvoerreeks hebben geen absolute betekenis, maar dienen slechts ter aansturing van het model.

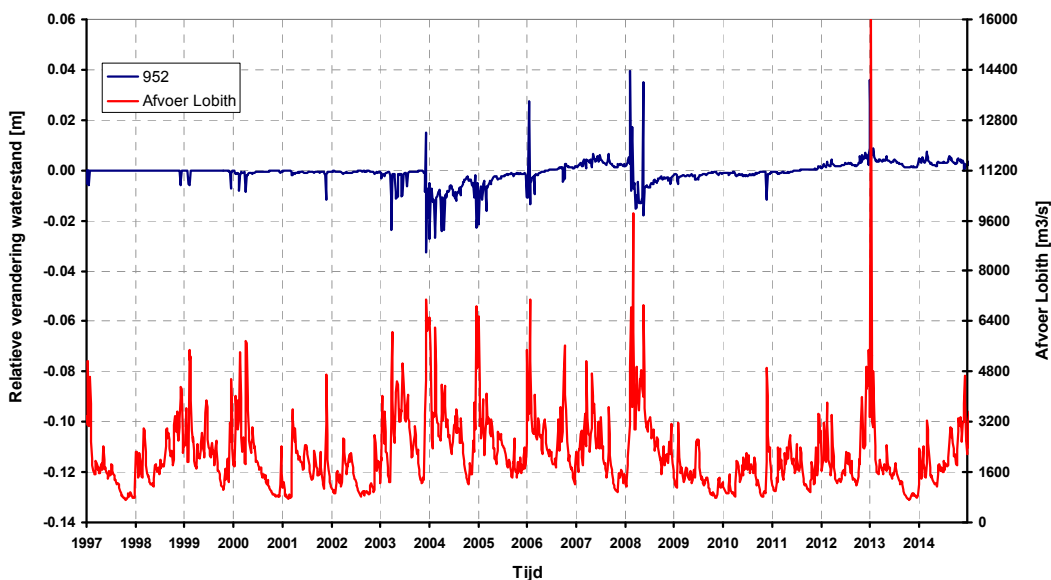
De blauwe lijn in figuur 6.1 toont de verandering van de waterstand tussen het VKA en de referentiesituatie op kmr 947, de bovenstroomse rand van het projectgebied. De blauwe lijn toont dat het VKA een rivierverruimend effect heeft; bij hogere afvoeren (>4.000 m³/s) toont de lijn een waterstandverlaging. Afhankelijk van de grootte van de afvoer is deze waterstandverlaging groter of kleiner. Daarnaast toont de lijn juist een waterstandsverhoging direct na de hoge afvoeren. Dit wordt veroorzaakt door de bodemverandering van het zomerbed, deze wordt in paragraaf 6.3 nader beschouwd.

De blauwe lijn in figuur 6.2 toont de verandering van de waterstand tussen het VKA en de referentiesituatie op kmr 952, de benedenstroomse rand van het projectgebied. De lijn toont hier een opstuwing tijdens hoge afvoeren (>4.000 m³/s) en juist waterstandverlaging direct na de hoge afvoeren. Deze waterstandsverlaging wordt veroorzaakt door de bodemverandering van het zomerbed, deze wordt in paragraaf 6.3 nader beschouwd.

De invloed van getij op de morfologische processen is buiten beschouwing gelaten. Tijdens hoogwater is het getijverschil slechts zeer minimaal (zie tabel 5.1), waardoor deze invloed beperkt is. Bij lagere afvoeren of gemiddelde afvoeren heeft het getij mogelijk wel invloed op de morfologische processen, echter bij deze afvoeren verandert er niks ten opzichte van de huidige situatie. Pas bij afvoeren hoger dan 3.500 m³/s is er sprake van een meestromende nevengeul en een effect op de stroomsnelheid in het zomerbed.



Figuur 6.1: Waterstandverschil (m) tussen het VKA en de referentiesituatie voor kmr. 947 en de bijbehorende afvoer (m³/s) bij Lobith



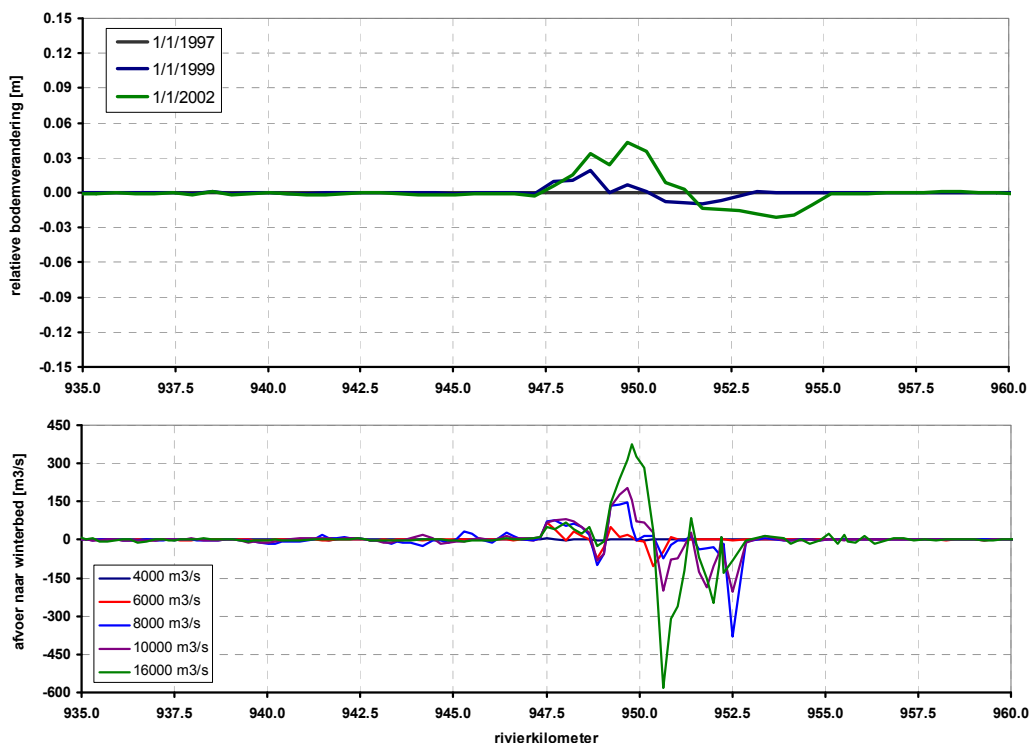
Figuur 6.2: Waterstandverschil (m) tussen het VKA en de referentiesituatie voor kmr. 952 en de bijbehorende afvoer (m³/s) bij Lobith

6.3 Bodemverandering als functie van tijd

Doordat de afvoerverdeling tussen zomer- en winterbed wijzigt ten gevolge van het VKA, wijzigen ook de waterstanden en stroomsnelheden in het zomerbed. Hierdoor zal de bodem zich gaan aanpassen. In het algemeen kan gezegd worden dat daar waar de afvoer naar het winterbed toeneemt (onttrekking) door de ingreep er sedimentatie van het zomerbed zal optreden. Daar waar de afvoer naar het zomerbed toeneemt (lozing), treedt erosie van het zomerbed op. Figuur 6.3 toont dit proces. Tussen kmr 947 en kmr 950,5 neemt de afvoer door het zomerbed af t.g.v. de ingreep.

Hierdoor neemt op dit traject de bodemhoogte toe (sedimentatie) na 2 jaar en na 5 jaar. Tussen kmr 950,5 en kmr 953 neemt de afvoer naar het zomerbed toe t.g.v. de ingreep, dit leidt tot erosie op dit traject.

De figuur toont ook dat het neergeslagen sediment zich stroomafwaarts verplaatst. De top van de aanzandingsgolf neemt af in hoogte in verloop van de tijd, maar spreidt zich over een grotere afstand uit; de zandgolf loopt als het ware door het zomerbed heen.



Figuur 6.3: bodemverandering in het zomerbed tussen kmr 935 en 960 (boven) na 2 jaar (blauwe lijn) en 5 jaar (groene lijn) ten gevolge van de verandering in de afvoer naar het winterbed (onder) bij verschillende afvoeren

Figuur 6.4 en 6.5 tonen de bodemverandering voor kmr 947, 948 en 949 en kmr 949,5, 950 en 950,5 als functie van de tijd. Tussen kmr 947 en 950,5 vindt een onttrekking plaats bij hogere afvoeren. De grafiek toont hier dan ook sedimentatie. Op kmr 950 zijn deze sedimentatiepieken het sterkst. Na een hoogwater kan de bodem daar met circa 25 tot 30 cm hoger komen te liggen.

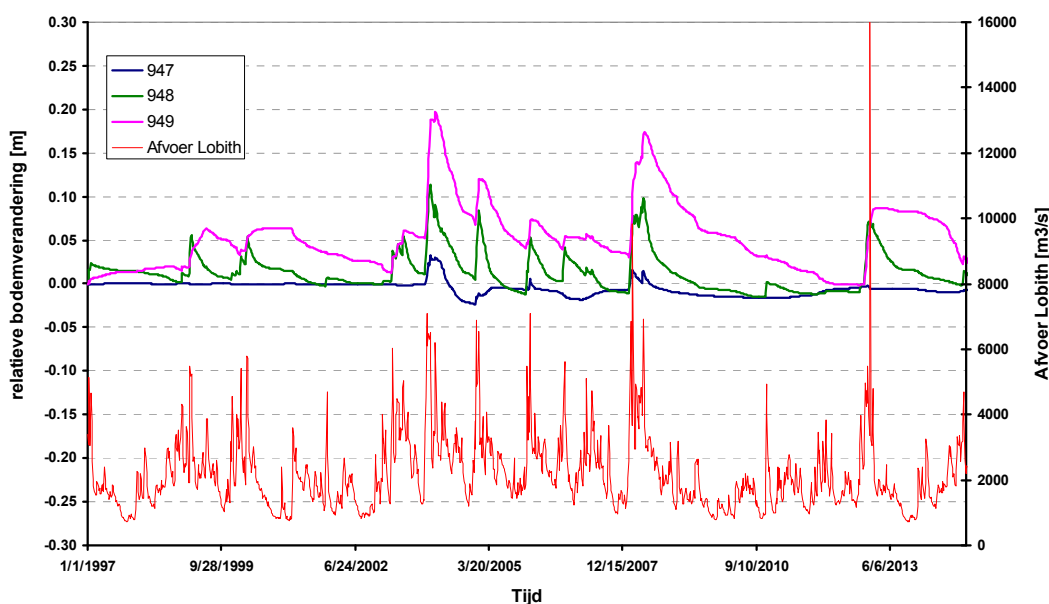
Aangezien SOBEK een 1-dimensionaal model is, zijn de getoonde bodemveranderingen in de onderstaande figuren een gemiddelde waarde over de zomerbedbreedte (200 m) en de lengte van een SOBEK rekenvak (500 m).

Figuur 6.6 geeft de bodemverandering voor kmr 951, 952 en 953 als functie van de tijd. Tussen kmr 951 en 953 vindt een lozing op het zomerbed plaats bij hogere afvoeren. Bij afvoeren t/m 6.000 m³/s vindt deze lozing voornamelijk plaats op kmr 951. Bij afvoeren t/m 8.000 m³/s op kmr 952,5 en bij afvoeren vanaf 10.000 m³/s vindt deze lozing plaats over een groter traject, kmr 951 tot 953.

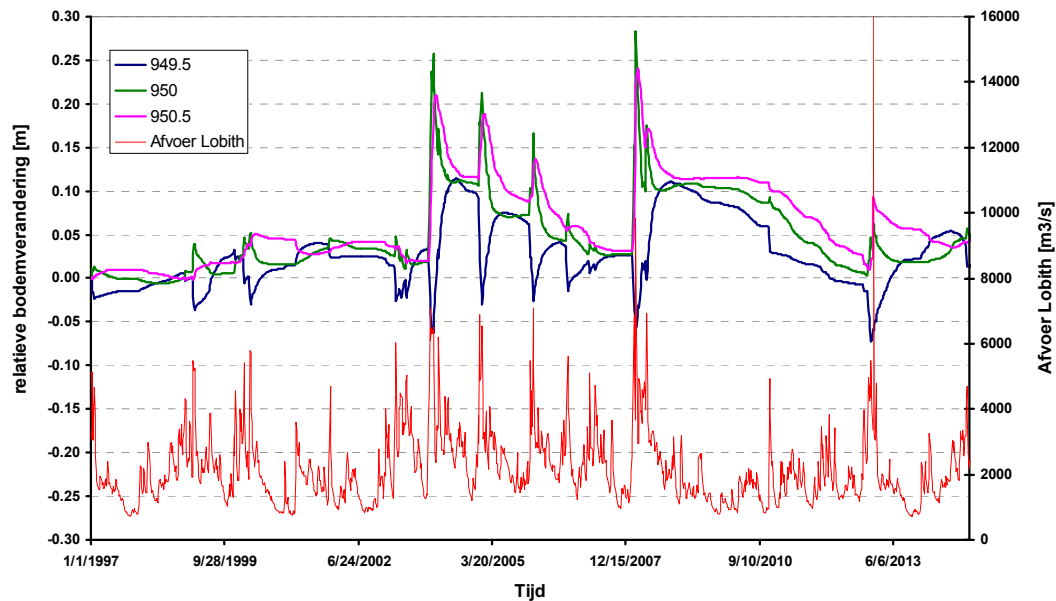
De figuur toont dat er na kleine hoogwatergolven een kleine bodemdaling plaats vindt op kmr 951. Bij afvoeren tussen de 6.000 en 8.000 m³/s, kan de maximale bodemdaling op kmr 953 circa 25 cm bedragen direct na hoogwater.

Figuur 6.6 toont ook dat langere tijd na afloop van een hoogwater er juist sedimentatie optreedt op kmr 951 tot 953. Door de opgetreden sedimentatie op het traject bovenstrooms tijdens een hoogwater is er veel zand in het systeem aanwezig, welke tijdens normale afveren weer in benedenstroomse richting wordt getransporteerd.

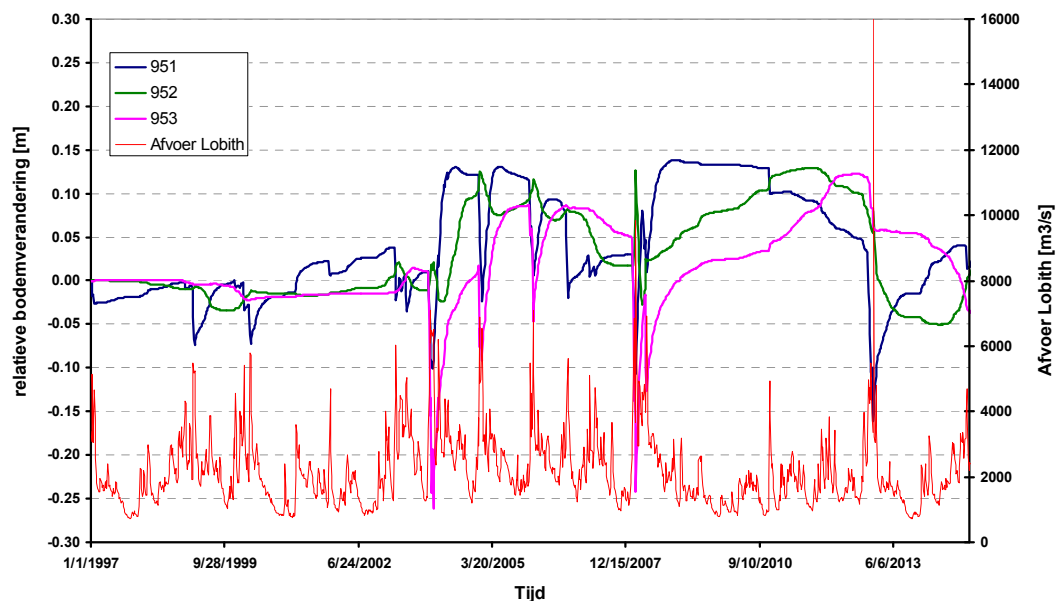
De figuren tonen dat bodemveranderingen (sedimentatie) plaats vinden bij afvoeren vanaf circa 4.000 - 6.000 m³/s. Deze afvoer wordt vrijwel jaarlijks bereikt. De figuur toont ook dat de zandgolven in circa 4 jaar tijd door de rivier zelf weer gedeeltelijk worden opgeruimd. Er is daarbij een duidelijke correlatie tussen de afvoer en de aanzandingen. Als gevolg van de ingreep stroomt bij hoogwater (vanaf 4.000 m³/s) meer water door de uiterwaarden. Hierdoor neemt bij hoogwater de morfologische evenwichtsdiepte af ten opzichte van de referentiesituatie. Dit resulteert in aanzanding over het traject tussen kmr 947 en 951. Bij lage afvoeren is de evenwichtsdiepte weer gelijk aan de referentiesituatie, waardoor de aanzanding geleidelijk aan verdwijnt.



Figuur 6.4: Bodemverandering in het zomerbed op kmr 947, 948, en 949 ten gevolge van het VKA



Figuur 6.5: Bodemverandering in het zomerbed op kmr 949,5, 950, en 950,5 ten gevolge van het VKA



Figuur 6.6: Bodemverandering in het zomerbed op kmr 951, 952 en 953 ten gevolge van het VKA

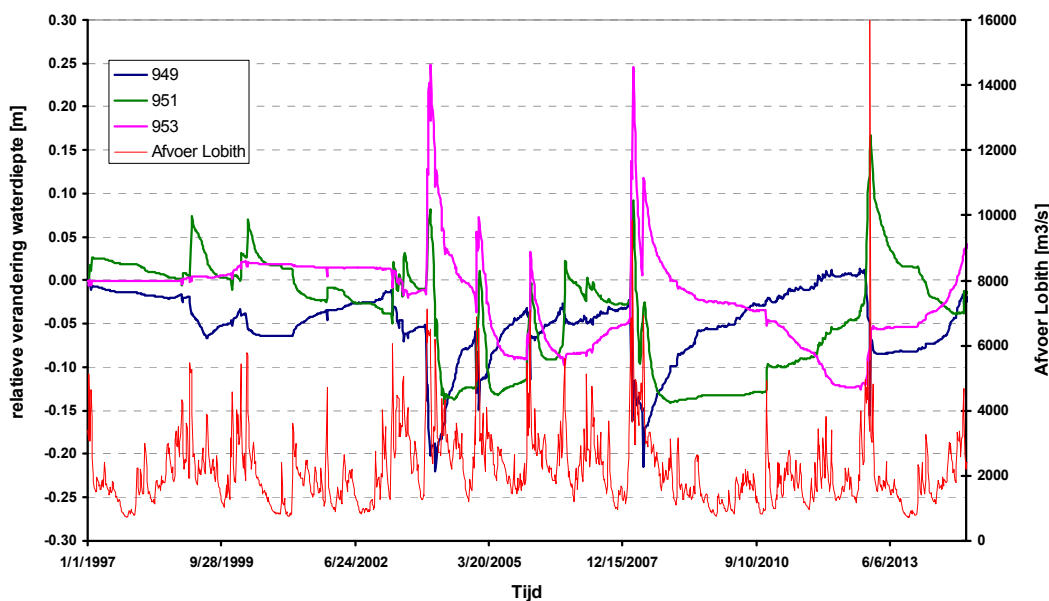
6.4 Verandering diepte als functie van tijd

Figuur 6.7 toont de verandering van de diepte op kmr 949, 951 en 953 als functie van de tijd. Op kmr 949 is de verandering in de diepte tijdens hoogwater negatief, hetgeen overeen komt met een afname van de vaardiepte. De maximale tijdelijke verandering in diepte in de periode van 16 jaar bedraagt daarbij circa 25 tot 30 cm op kmr 950.

Op kmr 951 neemt de diepte zowel toe als af, afhankelijk van de afvoerreeks: direct tijdens en na hoogwater neemt de vaardiepte tijdelijk toe, echter na een periode van lagere afvoeren neemt de vaardiepte af ten gevolge van de sedimentatiegolven die door het systeem lopen.

Op kmr 953 neemt de diepte na hoogwaters toe. De maximale tijdelijke toename is 25 cm en vindt plaats direct na een hoogwater.

In figuur 6.7 is duidelijk te zien dat de afname in vaardiepte in de loop van de tijd weer door de rivier wordt uitgevlakt.



Figuur 6.7: Verandering van de diepte in het zomerbed op kmr 949, 951 en 953 ten gevolge van het VKA. Een negatieve verandering betekent dat de vaardiepte afneemt

6.5 Minimum vaardiepte

De morfologische analyse is uitgevoerd met een 1-dimensionaal SOBEK model, waarbij wordt uitgegaan van een zomerbed gemiddelde waterdiepte. Voor vaargeulafmetingen is het van belang bodemafmetingen juist ruimtelijk te analyseren. Om toch een inschatting te maken van de minimale vaardiepte is de gemiddelde waterdiepte vertaald naar een minimum vaardiepte conform de leidraad [3]. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het gaat om een kwalitatieve benadering. Voor een kwantitatieve effectbepaling is een model voor tweedimensionale riviermorfologie nodig.

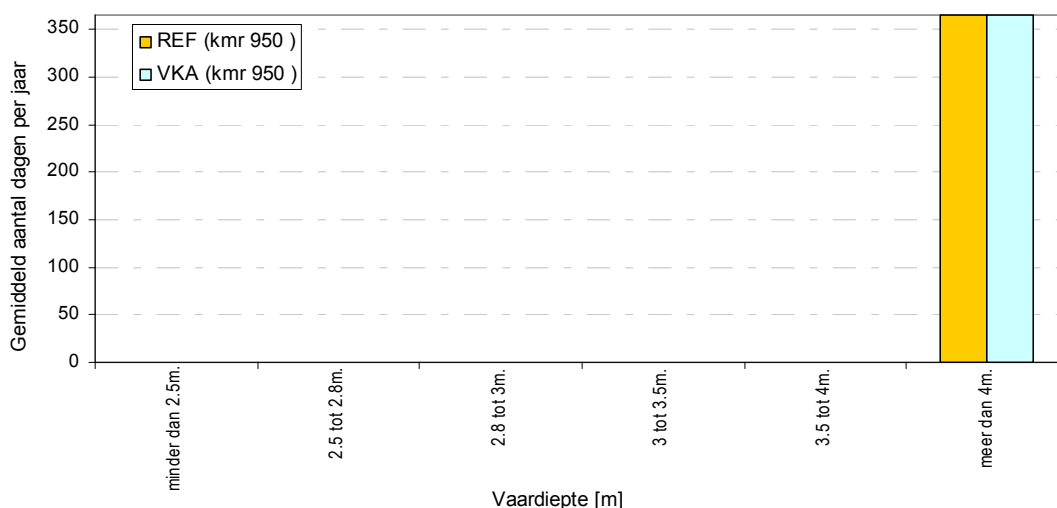
In Figuur 6.8 is de minimale vaardiepte gevisualiseerd door middel van een histogram. Hierbij zijn de veranderingen van de waterdiepte zichtbaar voor het VKA en de referentiesituatie. In het histogram is de vaardiepte in 5 klassen opgedeeld. Met behulp van de SOBEK resultaten van het VKA en de referentiesituatie is geteld hoeveel dagen een bepaalde waterdiepte voorkomt.

Voor de Waal geldt de eis dat de vaardiepte minimaal moet voldoen aan -2,8 m beneden OLR (de waterstand die 20 dagen per jaar wordt onderschreden). Aangezien de vaardiepte in de simulatie ruim groter is dan 2,8 m wordt aan bovenstaande eis voldaan. Over het geheel traject van het projectgebied komen er geen minimale vaardieptes voor van minder dan 4 m in de vaargeul.

Voor de bepaling van de minimale vaardieptes is gebruik gemaakt van de door RWS-ON (dhr. Meesters en dhr. Havinga) afgegeven vaardiepte kaarten, deze zijn in bijlage H toegevoegd. Op deze kaarten is de waterdiepte ten opzichte van BRV getoond voor het Waaltraject tussen kmr 947 en kmr 952,5 voor de jaren 2003 t/m 2006. De kaarten tonen een minimale aanwezige waterdiepte van 4 m in de vaargeul. Nabij de kribkoppen in de binnenbocht neemt de vaardiepte af tot lokaal minder dan 2,5 m. Dit laatste is echter buiten de vaargeul.

Dit betekent dat ondanks dat door de ingreep bodemveranderingen plaats vinden, het baggerbezwaar niet toeneemt. De minimale vaardiepte blijft ruim groter dan 2,8 m en zelfs meer dan 4 m.

De figuren met vaardiepte op kmr 947,5 t/m 954 (per 500 meter) zijn weggelaten. Deze figuren tonen exact hetzelfde beeld als figuur 6.8. De minimale vaardieptes zijn voor al deze km-raaien meer dan 4 meter.



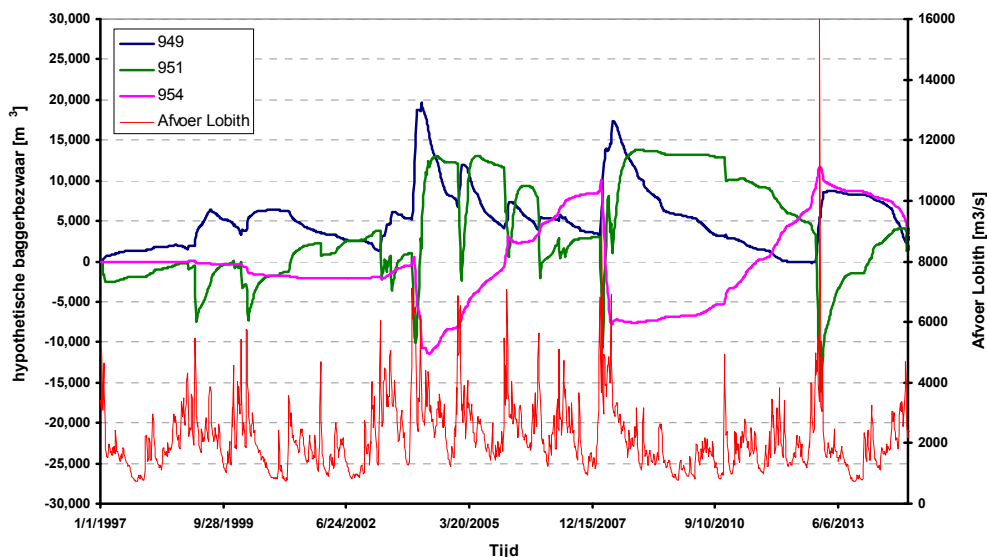
Figuur 6.8: Minimale vaardiepte bij kmr. 950

6.6 Totaal hypothetisch baggerbezwaar

De toename van het totale hypothetische geaccumuleerde baggerbezwaar in het zomerbed van de rivier is bepaald door de toename in bodemhoogte te vermenigvuldigen met de zomerbedbreedte (200 meter) en de lengte van het betreffende SOBEK-vak (500 meter). Er wordt in deze rapportage gesproken over het hypothetische baggerbezwaar vanwege het feit dat de minimale vaardiepte over het projectgebied meer is dan 4 meter. Deze minimale vaardiepte blijft 365 dagen per jaar gehandhaafd. Deze minimale vaardiepte maakt het onnodig om te baggeren, waardoor het hier genoemde baggerbezwaar hypothetisch kan worden beschouwd.

In figuur 6.9 is voor kmr 949, 951 en 954 het verloop van het netto hypothetische baggerbezwaar in de tijd weergegeven. In de figuren is wederom duidelijk te zien dat op kmr 949 en 951 de bodem bij hogere afvoeren de neiging heeft tot sedimentatie en op kmr 954 tot eroderen. Direct na een hoogwater is de aanzanding het grootst.

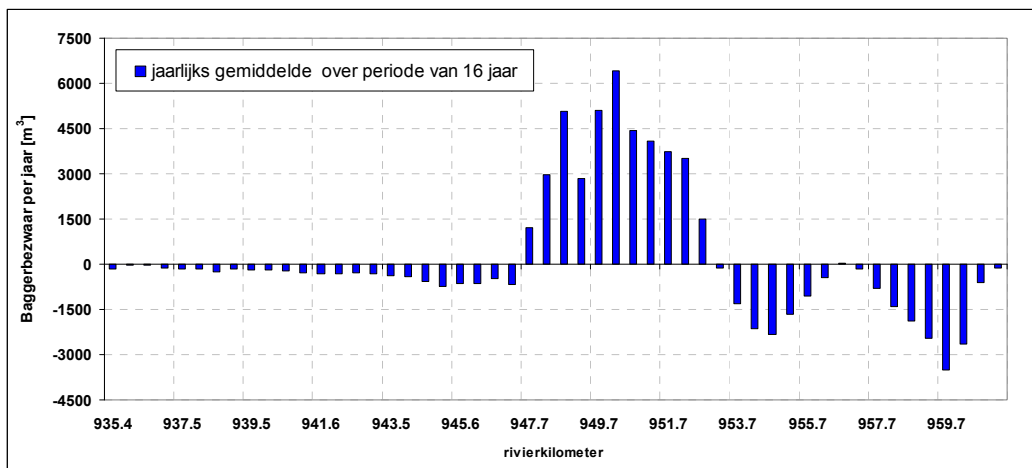
Op dat moment zou (theoretisch) gebaggerd moeten worden om bij de daarop volgende laagwater situatie voldoende vaardiepte te hebben, wanneer de vaardiepte kritisch zou zijn. De vaardiepte is echter bij lange na niet kritisch op dit traject van de Waal.



Figuur 6.9: Hypothetische baggerbezwaar op kmr 949, 951 en 953

Figuur 6.10 toont per locatie (per SOBEK rekenvak) het gemiddeld jaarlijkse geaccumuleerde, hypothetische baggerbezwaar gerekend over een periode van 16 jaar. De figuur toont duidelijk dat voornamelijk op het traject tussen kmr 947,5 en 952,5 sedimentatie optreedt en hiermee het baggerbezwaar toeneemt. Benedenstrooms van het projectgebied, vanaf kmr 952,5 treedt erosie op, hierdoor neemt het baggerbezwaar af. Het totale jaarlijkse hypothetische baggerbezwaar is circa 41.000 m³ en is bepaald door sommatie over de locaties waar aanzanding optreedt (kmr. 947,5 t/m 952,5).

Het gaat hier echter om een gemiddeld geaccumuleerd volume, dit betekent dat alle aanzandingen in een SOBEK rekenvak bij elkaar zijn opgeteld over een periode van 16 jaar en daarna zijn gemiddeld tot een jaarlijks volume. Er is dus niet verondersteld dat een aanzandingsgolf een erosiekuil opvult, waardoor deze dus gedeeltelijk vanzelf verdwijnt zonder baggerinspanning. Dit baggervolume is dus gebaseerd op het feit dat elke aanzanding direct wordt weggebaggerd, hetgeen in de praktijk natuurlijk niet wordt gedaan.



Figuur 6.10: Jaarlijks gemiddeld geaccumuleerd baggerbezwaar

7 BESCHERMINGSMAATREGELEN GEVOELIGE OBJECTEN

Op basis van de absolute stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen in de uiterwaarden bij 10.000 m³/s en 16.000 m³/s (paragraaf 5.3 en 4.3) is beoordeeld bij welke objecten in de uiterwaard extra erosie bescherming nodig is. Hierbij wordt opgemerkt dat de in deze paragraaf beschreven beschermingsmaatregelen geen ontwerp zijn, maar slechts aandachtsgebieden. Als beschermingsmaatregelen noodzakelijk worden geacht, dan zal in een later stadium een nader ontwerp moeten worden gemaakt.

De grootste kritische 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. Bij een afvoer van 16.000 m³/s nemen de absolute stroomsnelheden (uit WAQUA) toe met circa 0,2 tot 0,3 m/s tot een maximale waarde van 2,2 m/s. Bij 10.000 m³/s nemen de stroomsnelheden toe met circa 0,3 tot 0,5 m/s tot een maximale waarde van 1,8 m/s. Bij een afvoer van 8.000 m³/s is er zelfs een toename van 0,9 m/s, waardoor de maximale waarden toenemen tot 2,2 m/s in de bocht. Bij een afvoer van 6.000 m³/s treedt er geen verandering op in de stroomsnelheden en zijn de absolute stroomsnelheden laag (< 0,2 m/s) doordat de Afgedamde Maas niet meestroomt.

Deze hoge stroomsnelheden, ook bij minder extreme hoogwatergolven, zullen voor erosie in de bocht kunnen zorgen. Deze erosiekuilen kunnen de geleidingsdam mogelijk ondermijnen van de geleidingsdam.

We bevelen aan om in detail naar het ontwerp en de huidige situatie van de geleidingsdam te kijken om zonedig passende maatregelen te nemen zodat de dam goed beschermd blijft. Ook bij de haven bij Woudrichem nemen de stroomsnelheden bij afvoeren van 8.000 m³/s fors toe, waardoor het ook hier noodzakelijk is om het ontwerp in detail te toetsen aan de nieuwe condities en zo nodig stabiliserende maatregelen te treffen.

In paragraaf 5.3 zijn de stroomsnelheden in de uiterwaard beoordeeld. Uit deze beoordeling komen geen stroomsnelheden naar voren die het noodzakelijk maken om extra beschermende maatregelen te nemen in de uiterwaard, de stroomsnelheden blijven ruim onder de kritische stroomsnelheid van 1,5 m/s voor grasachtige begroeide bodems (VTV, 2006, min. V&W).

In paragraaf 5.4 zijn de stroomsnelheden bij de in- en uitstroomopeningen van de geulen beoordeeld. Uit deze beoordeling komen geen stroomsnelheden naar voren die het noodzakelijk maken om extra beschermende maatregelen te nemen. Bij hoge afvoeren zullen de geulen en oevers lokaal enigszins kunnen eroderen, echter die erosie zal goed monitorbaar blijven. De mogelijke erosie aan de geulen past binnen een dynamisch beheer. Er zal na een afvoergolf zeker geen sprake zijn van een dermate grote erosie, dat de hoofdgeulfunctie wordt overgenomen door de geulen. Hiervoor zijn de geuldimensies te klein, de drempel te hoog en is de lengte van de oeverzone tussen geul en zomerbed te lang. De mogelijke oevererosie bij de in- en uitstroomopeningen zal nooit zo groot kunnen zijn tijdens een hoogwater, dat deze oeverzone volledig erodeert.

De zone rondom de kribben en kribwortels bij de in- en uitstroomopeningen zal wel extra beschermd moeten worden door middel van stabilisatiewerken, bijvoorbeeld door middel van breuksteen. Scheepvaartgolven en de zuigende werking van passerende scheepvaart kunnen lokale erosie in deze zone geven. Dit zal voornamelijk het geval zijn bij lage en gemiddelde afvoeren bij de opening van de benedenstroomse geul (kvr 950) en de uitstroomopening van de bovenstroomse geul (kvr 949), aangezien de vaargeul hier direct langs de kribkoppen ligt. Bij de instroomopening van de bovenstroomse geul (kvr 947,3) ligt de vaargeul aan de andere zijde van het zomerbed en zal de golfaanval minder zijn. Ook hier geldt dat de erosie bij de in- en uitstroomopeningen goed monitorbaar is. Er wordt echter wel aanbevolen om bij de verschillende in- en uitstroomopeningen de oever te beschermen door stabilisatiewerken, bijvoorbeeld door een steenbestorting aan te brengen rondom de kribwortels. Hierdoor kan het achterloops raken van de kribben worden voorkomen.

Bij $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn de stroomsnelheden het hoogst langs de hoek van de bandijk (paragraaf 4.3). De absolute stroomsnelheden zijn op deze locatie tijdens de hoogwaterpiek maximaal $1,5 \text{ m/s}$. Bij deze stroomsnelheden wordt nog geen erosie verwacht aan een met gras begroeide bodem en aan de bandijk zelf (VTV, 2006, min. V&W). Hier zijn dan ook geen extra beschermende maatregelen nodig.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

8.1 Conclusies

De belangrijkste conclusies uit de hydraulische beoordeling zijn:

1. Het VKA zorgt voor een maximale waterstandsdeling van 12,0 cm in de as van de rivier op kmr 947,4. Hiermee voldoet het VKA ruim aan de taakstelling van 10 cm;
2. Op kmr 951,5 geeft het VKA een opstuwing van circa 3,1 cm op de as van de rivier;
3. De maximale opstuwing langs de bandijk is 8,3 cm langs de Hoge Maasdijk nabij de Wilhelminasluis en 3,6 cm aan de bandijk tussen Dalem en Vuren. Deze opstuwing moet ter acceptatie worden voorgelegd aan het betreffende waterschap;
4. Bij MHW stroomt er circa 3.600 m³/s achter Loevestein langs, door de polder. Ten opzichte van de huidige situatie is dit een toename van 850 m³/s;
5. De inundatiefrequentie van het bovenstroomse gedeelte van de Brakelse benedenwaard wijzigt van circa 15 tot 20 dg/jaar naar circa 70 dg/jaar. Het benedenstroomse gedeelte staat in het VKA continu in open verbinding met de hoofdgeul. Hier wijzigt de inundatiefrequentie van 20 tot 30 dg/jaar naar 365 dg/jaar;
6. bij afvoeren van 2.000 en 4.000 m³/s treedt er nauwelijks verandering op in de hoeveelheid water welke door de uiterwaarden van het projectgebied stroomt. Bij een afvoer van 6.000 m³/s stroomt er circa 125 tot 150 m³/s meer door de uiterwaarden tussen kmr 947,3 en 950,3. Bij hogere afvoeren (8.000, 10.000 en 16.000 m³/s) is er groter verschil (tot 1.950 m³/s) over een groter traject, van rkm 947,3 tot 952,5;
7. Bij 10.000 m³/s variëren de stroomsnelheden in de Brakelse Benedenwaard tussen de 0,5 tot 0,75 m/s. In en langs de geulen nemen de stroomsnelheden hoofdzakelijk af met circa -0,1 tot -0,4 m/s. In de gedeelten waar geen maaiveldverlaging heeft plaatsgevonden en minder ruwe vegetatietypen staan, nemen de stroomsnelheden toe met circa 0,2 tot 0,4 m/s;
8. Bij een afvoer van 6.000 m³/s komen er strikt volgens de beoordelingseis wel significante dwarsstromingen voor bij de in- en uitstroomopeningen. De stroomsnelheden dwars op de hoofdgeul nabij de bakelijns variëren rond de 0,15 tot 0,25 m/s. De verwachting is dat de dwarsstromingen echter praktisch gesproken niet hinderlijk zullen zijn doordat: de stroomrichting van de 'dwarsstromingen' vrij parallel aan de hoofdstroom is, afvoeren van 6.000 m³/s slechts gemiddeld 3 dg/jaar voorkomen en deze afvoeren strikt genomen hoger zijn dan een geulvullende afvoer. Bij een geulvullende afvoer van 5.000 m³/s voldoen de dwarsstromingen wel aan de beoordelingseis.

De belangrijkste conclusies uit de morfologische beoordeling van het zomerbed en de uiterwaarden zijn:

9. De gemiddelde vaardiepte neemt na een hoogwater met maximaal 25 tot 30 cm af op kmr 950. Verder benedenstrooms neemt de vaardiepte na een hoogwater toe met maximaal 25 cm op kmr 953. Op het traject tussen kmr 947,5 en kmr 952,5 treedt sedimentatie op. Benedenstrooms van kmr 952,5 treedt erosie op;
10. De minimale vaardiepte van de vaargeul blijft ondanks deze aanzandingen het gehele jaar dieper dan 4 m. Hiermee wordt ruim voldaan aan de eis dat de minimale vaardiepte groter dan 2,8 m moet zijn.

11. De aanzanding en aanslibbing van de geulen op lange termijn is zeer lastig te voorspellen. Op basis van ervaringsgetallen is de voorspelling dat significante aanzanding van de geulen plaats vindt over een tijdsperiode van enkele decennia (10-20 jaar). Gezien de onzekerheid in deze voorspelling moet er in het beheerplan een goed monitoringsplan worden opgenomen over aanzanding van de geulen. Opgemerkt wordt hierbij dat de aanzanding sterk afhankelijk zal zijn van het optreden van forse hoogwaters. Daarmee is aanzanding over een tiental jaren sterk variabel;
12. De aanslibbing van cohesief materiaal in de buitenpolder 'het Munnikenland' en in de 'Waarden bij Loevestein' zal nihil zijn. De inundatiefrequentie van de polder is te klein om betekenis te kunnen spelen en daarbij komt dan nog dat het meeste cohesieve materiaal al uitgezakt zal zijn in de Brakelse Benedenwaard.
13. Op basis van de stroomsnelheden (circa 0,20 tot 0,25 m/s) bij geulvullende afvoer worden de geulen als morfologisch stabiel beschouwd. Lokaal kan er wel erosie optreden langs de oevers en bij de 'drempel'. Deze erosie zal echter goed monitorbaar zijn en bijdragen aan een dynamisch beheer.
14. Op het niet verlaagde gedeelte ter hoogte van de DZH-leiding zijn de stroomsnelheden lager dan de kritische stroomsnelheid van 1,5 m/s voor met gras begroeide bodems (VTV, 2006, min. V&W).. Ook hier is dus geen reden om erosie te verwachten.

De belangrijkste conclusies over locaties waar mogelijk extra beschermingsmaatregelen noodzakelijk zijn, zijn:

15. Bij de geleidingsdam in de Afgedamde Maas en nabij de haven bij Woudrichem zijn mogelijk extra beschermingsmaatregelen nodig. De stroomsnelheden nemen hier toe tot circa 2,2 m/s. Deze hoge stroomsnelheden, ook bij minder extreme hoogwatergolven, zullen voor erosie in de bocht zorgen. Deze erosiekuilen kunnen zorgen voor ondermijning van de geleidingsdam. Er wordt aanbevolen om in detail naar het ontwerp van de geleidingsdam en haven te kijken om passende maatregelen te nemen;
16. De zone rondom de kribben en kribwortels bij de in- en uitstroomopeningen zal extra beschermd moeten worden door middel van stabilisatiewerken, bijvoorbeeld door middel van breuksteen. Scheepvaartgolven en de zuigende werking van passerende scheepvaart kunnen lokale erosie in deze zone geven.

In onderstaande tabel zijn de belangrijkste conclusies voor de verschillende beoordeelde aspecten overzichtelijk weergegeven.

Tabel 8.1: Conclusies beoordeelde aspecten

Beoordeeld aspect	Effect / voorwaarde	Conclusie
MHW stand op de as van de rivier	- Waterstandverlaging in rivieras \geq taakstelling	Maximale waterstandverlaging in de as is -12,0 cm op kmr 947,3 (paragraaf 4.1)
MHW stand binnen een uiterwaard	- Toename waterstand aan de bandijk	Maximale waterstandverhoging aan de bandijk is 8,3 cm aan de bandijk van de Afgedamde Maas en 3,6 cm aan de bandijk bij Vuren (paragraaf 4.1)
Afvoerverdeling bij MHW	- Afwijking afvoerverdeling < 5 m ³ /s t.o.v. referentie	Niet beoordeeld, effect is gering ingeschat waterstandsverlaging op splitsingspunt << 1 cm
Inundatiefrequentie van de uiterwaard	- Verandering inundatie frequentie	Inundatiefrequentie van bovenstroomse gedeelte BB stijgt van circa 15-20 dg/jaar in de huidige situatie naar circa 100 dg/jaar. De benedenstroomse geul is permanent watervoerend en heeft een inundatiefrequentie van 365 dg/jaar. Buitenpolder Munnikenland zal ca 15 dg/jaar inunderen. (Paragraaf 5.1)
Stroombeeld in de uiterwaard	- Verandering stroomsnelheden	Maximale verandering is toename tot absolute stroomsnelheid van 1,5 m/s langs de hoek van de bandijk. De stroomsnelheden in de uiterwaard variëren bij 10.000 m ³ /s tussen de 0,5 tot 0,75 m/s. (paragraaf 5.3)
Stroombeeld bij de in- en uitstroomopeningen van de nevengeulen	Stroomsnelheid dwars op vaarweg \leq 0,3 m/s als $Q_{geul} < 50$ m ³ /s of 0,15 m/s als $Q_{geul} > 50$ m ³ /s Beoordeeld bij afvoer van 4.000, 5.000 en 6.000 m ³ /s	Bij 4.000 en 5.000 m ³ /s is de stroomsnelheid dwars op vaarweg bij bakelijijn lager dan beoordelingseis. Bij 6.000 m ³ /s is de stroomsnelheid dwars op vaarweg bij bakelijijn hoger. Circa 0,15-0,25 m/s bij de in- en uitstroomopeningen (>100 m ³ /s). Dit komt echter slechts 3 dg/jaar voor en is hoger dan geulvullend. (paragraaf 5.4, zie tabel 5.3)
Aanzanding en erosie van het zomerbed	- Verandering vaardiepte	Gemiddelde vaardiepte neemt na hoogwater met max. 25 tot 30 cm af op kmr 950. De minimale vaardiepte van de vaargeul blijft desondanks het gehele jaar dieper dan 4 meter. (paragraaf 6.5)
Aanzanding en erosie van uiterwaard en nevengeulen	- Stroomsnelheden nevengeul maximaal 0,3 m/s. bij geulvullende afvoer - hoeveelheid sedimentatie	De stroomsnelheden in de geulen bij geulvullende afvoer variëren tussen de 0,2 tot 0,25 m/s. Lokaal bij de drempel zijn de stroomsnelheden hoger, circa 0,8 m/s. Op basis van ervaringsgetallen is de voorspelling dat aanzanding van de geulen plaats vindt over een tijdsperiode van enkele decennia (20-30 jaar). (paragraaf 5.5)

8.2 Aanbevelingen

17. Gezien de onzekerheid in de morfologische voorspelling van de erosie en sedimentatie in de geulen moeten deze aspecten goed worden bekeken er derhalve in een monitoringsplan worden opgenomen. Naast aanzanding vormt successie en accumulatie van dood organisch materiaal een bedreiging voor de afvoercapaciteit van de geulen. Het verwijderen van aanzanding en vegetatieresten kan wat dat betreft worden opgenomen in het grootschalige beheer en onderhoudsplan. Na verwachting zullen, na grootte orde, eens in de 10-20 jaar de geulen weer op de ontwerpdiepte worden gebracht om zo de afvoercapaciteit te waarborgen;
18. De hoge stroomsnelheden, ook bij minder extreme hoogwatergolven, in de bocht bij Woudrichem zullen daar voor erosie kunnen zorgen. Deze erosiekan de geleidingsdam en de waterbouwkundige constructies in de haven ondermijnen. Er wordt aanbevolen om in detail naar het ontwerp en de huidige gesteldheid van de geleidingsdam en de havenwerken te kijken om passende maatregelen te nemen zodat de dam goed beschermd blijft;
19. In de zone bij de in- en uitstroomopeningen van de nevengeulen kan rondom de kribben en kribwortels mogelijk erosie optreden door scheepsgolven en de zuigende werking van passerende scheepvaart. Deze mogelijke erosie bij de in- en uitstroomopeningen is goed monitorbaar. Er wordt echter wel aanbevolen om bij de verschillende in- en uitstroomopeningen de oever te beschermen door stabilisatiewerken, bijvoorbeeld door een steenbestorting aan te brengen rondom de kribwortels. Hierdoor kan het achterloops raken van de kribben worden voorkomen.

Referenties

- [1] Voorlopig rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Rijntakken, Rijkswaterstaat Oost-Nederland, versie 10 april 2006.
- [2] Baseline maatregelen, eisen en richtlijnen, Tijmen Vos, Rijkswaterstaat, 6 juli 2007.
- [3] Taal, Marco en Rico Tonis, Leidraad Bepaling Morfologische Effecten van Ruimte voor de Rivier Projecten (concept), 28 juni 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.

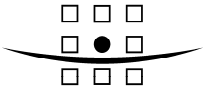
A COMPANY OF



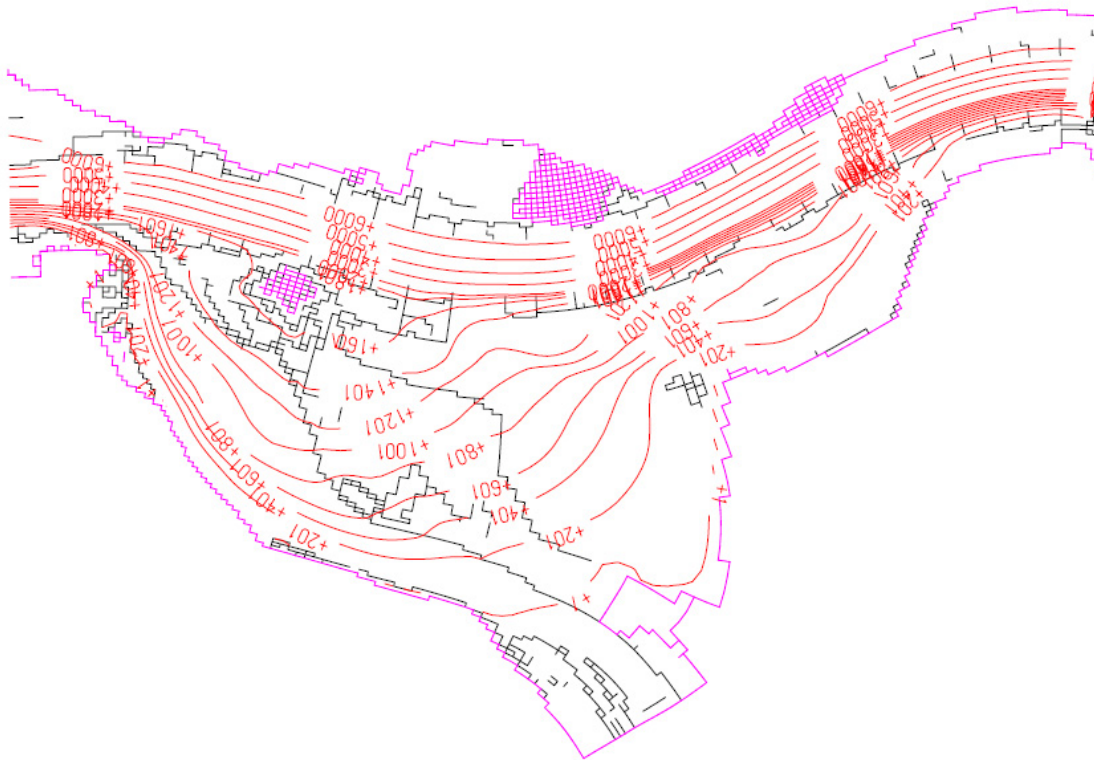
ROYAL HASKONING

Bijlage A Stroomlijnen

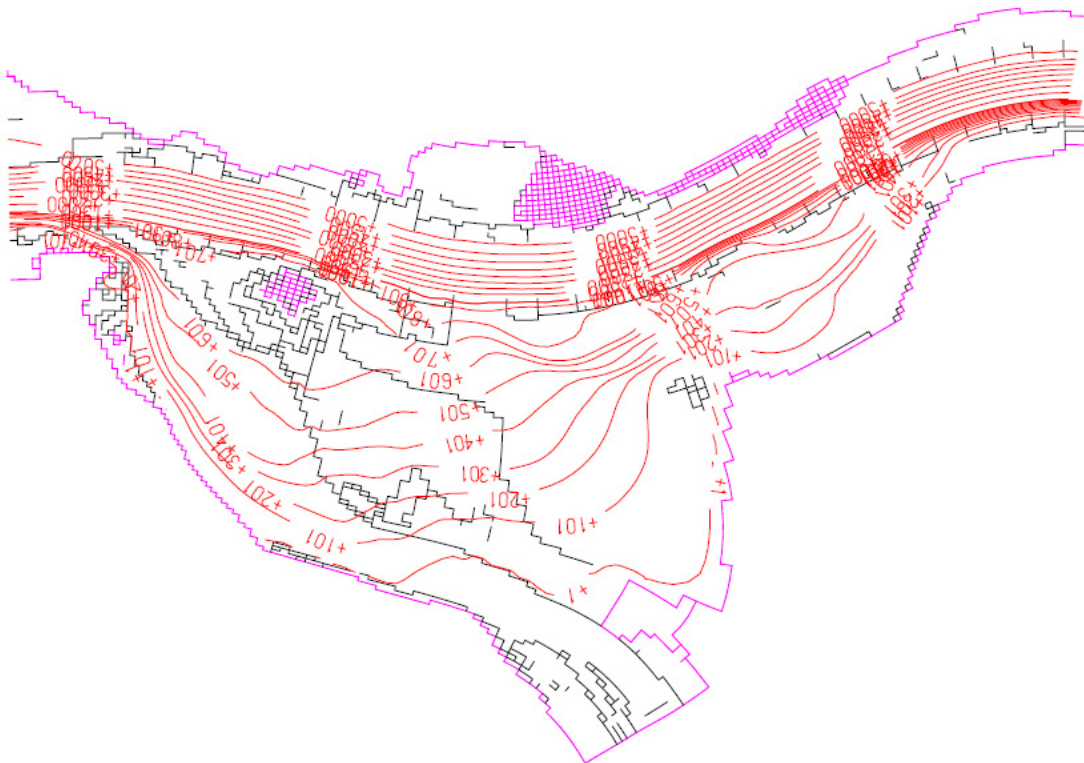
A COMPANY OF



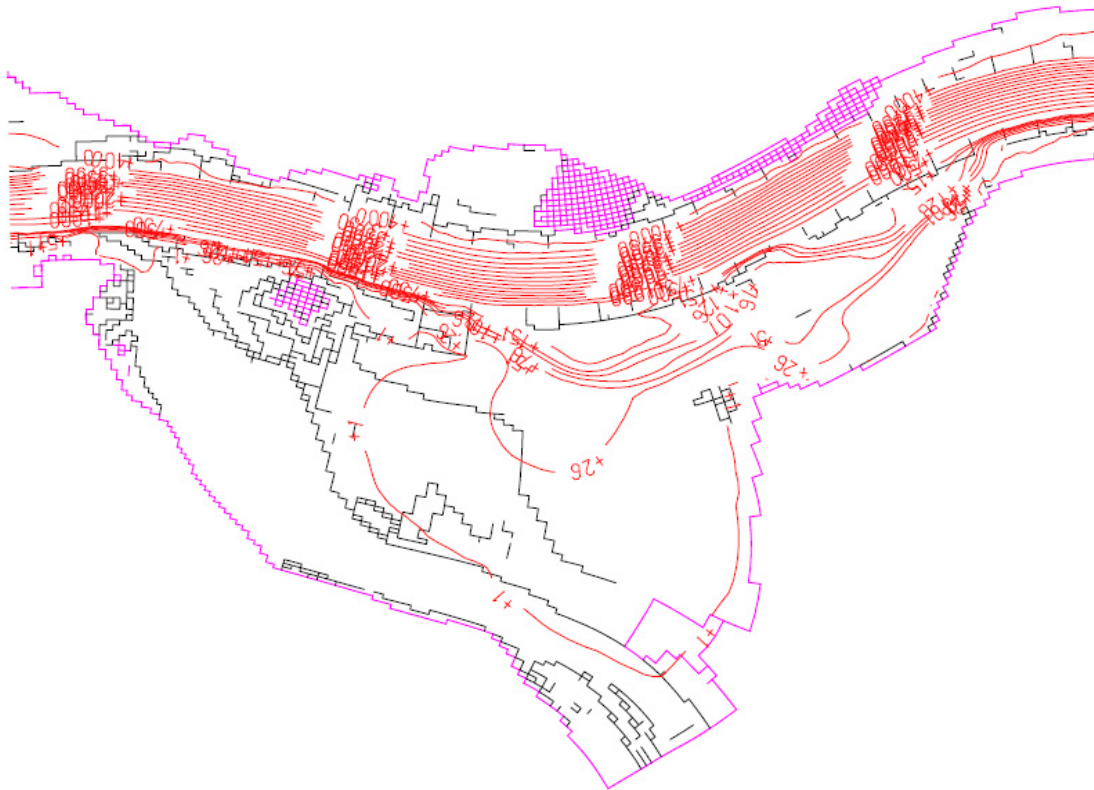
ROYAL HASKONING



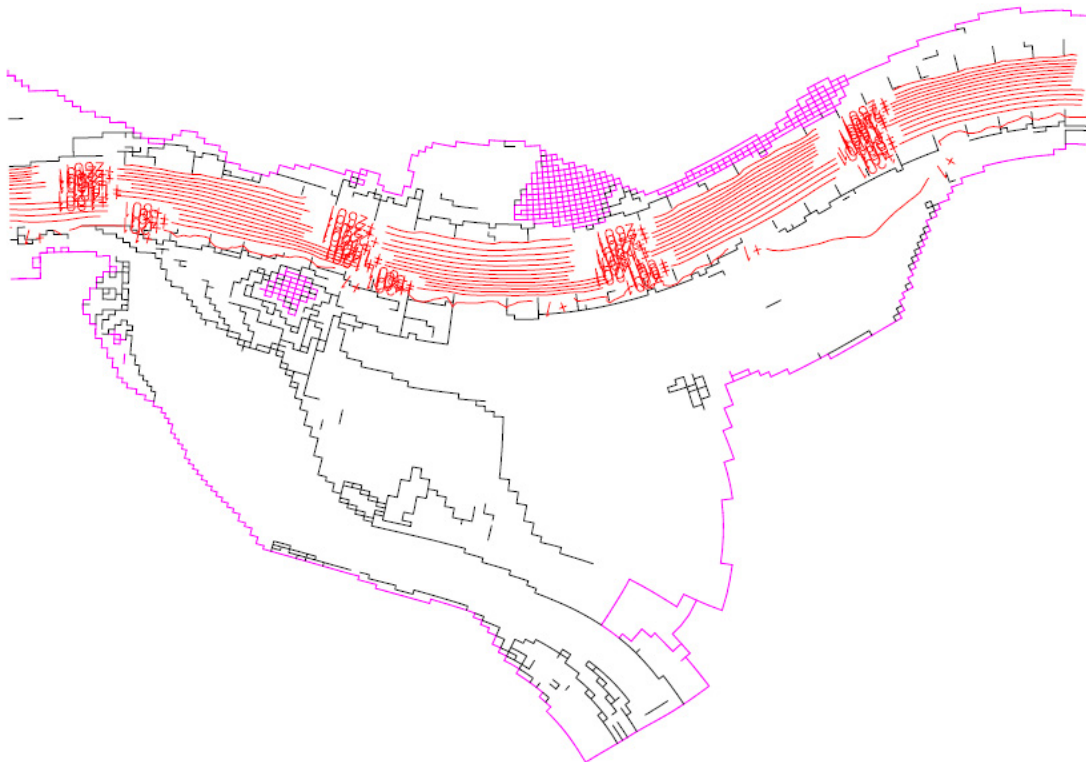
Figuur A.1: Afvoerlijnen (m^3/s) voor het VKA bij een afvoer van $10.000 m^3/s$



Figuur A.2: Afvoerlijnen (m^3/s) voor het VKA bij een afvoer van $8.000 m^3/s$



Figuur A.3: Afvoerlijnen (m^3/s) voor het VKA bij een afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$



Figuur A.4: Afvoerlijnen (m^3/s) voor het VKA bij een afvoer van $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$

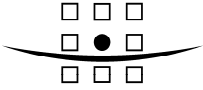


Figuur A.5: Afvoerlijnen (m^3/s) voor het VKA bij een afvoer van $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$

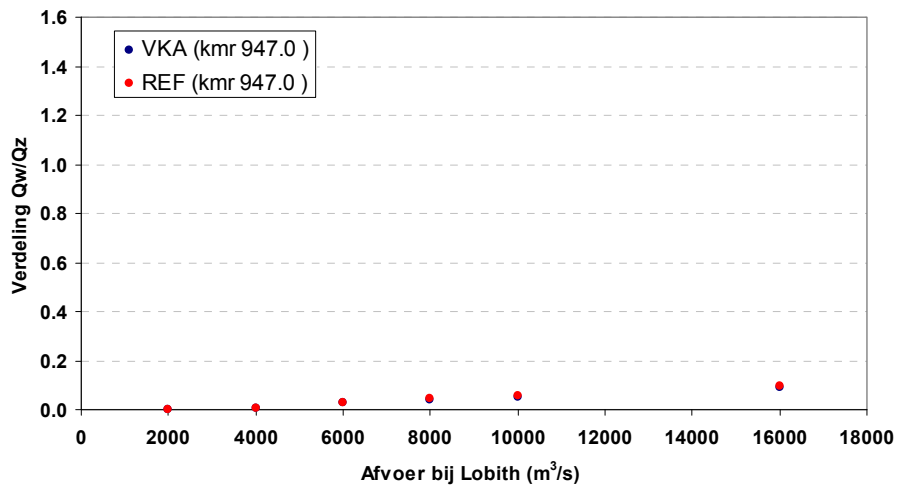
Bijlage B

Afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed

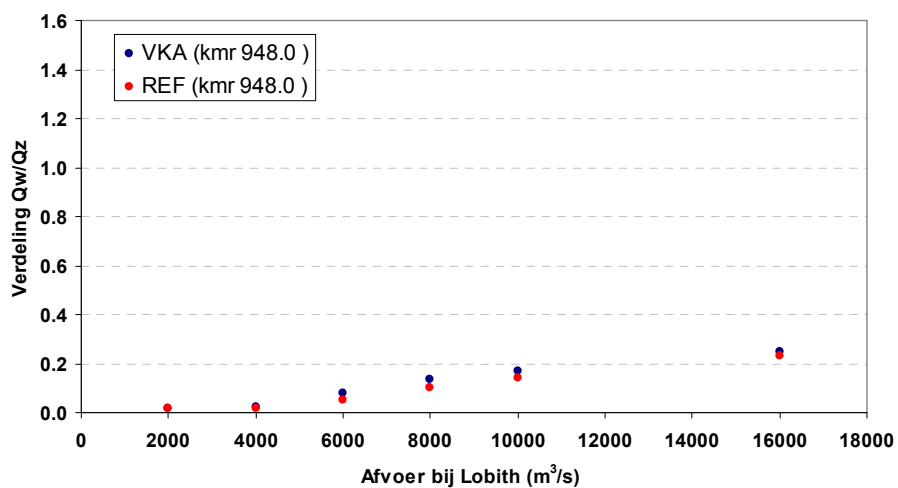
A COMPANY OF



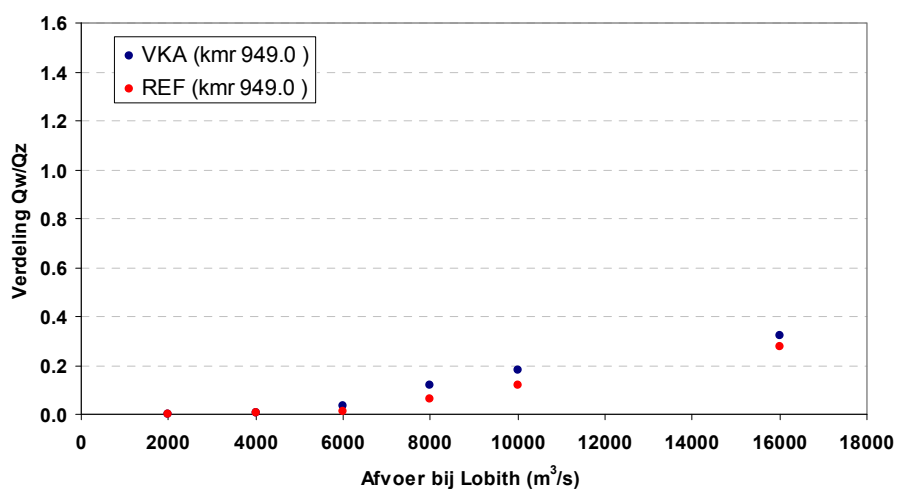
ROYAL HASKONING



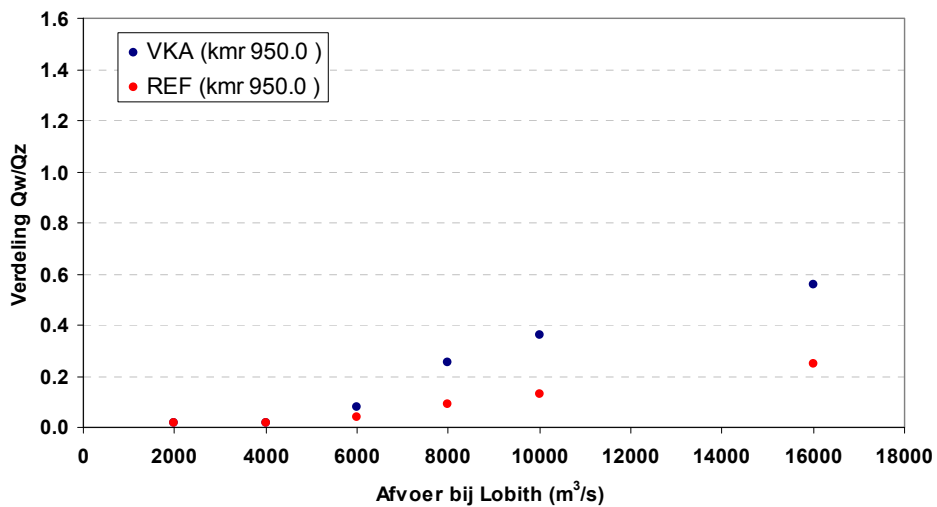
Figuur B.1: Afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed op rkm 947 voor het VKA en de referentie



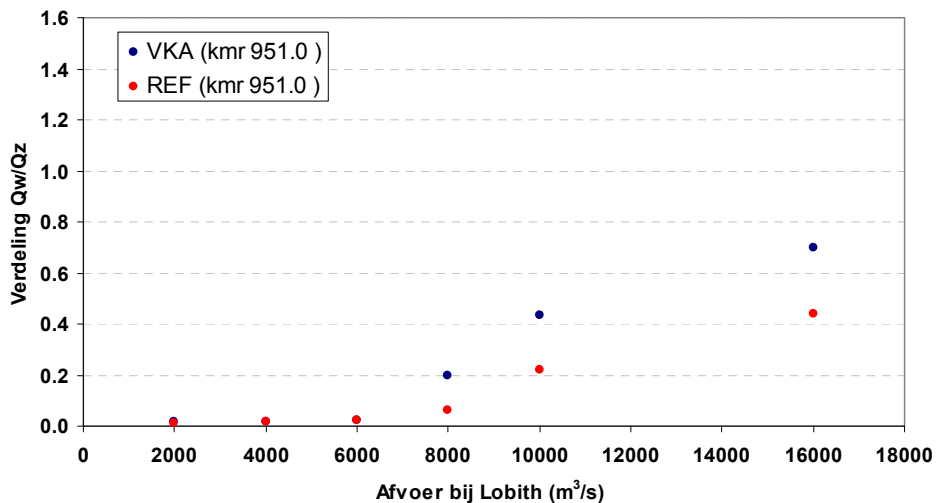
Figuur B.2: Afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed op rkm 948 voor het VKA en de referentie



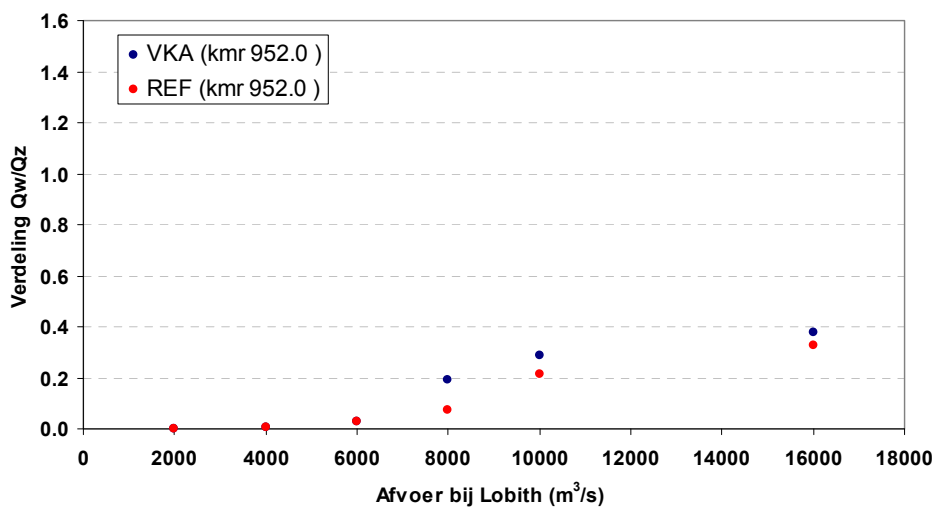
Figuur B.3: Afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed op rkm 949 voor het VKA en de referentie



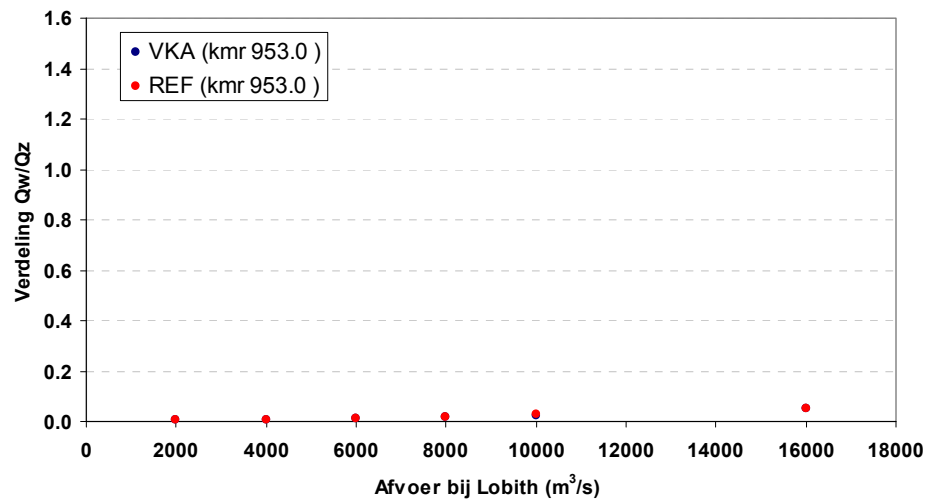
Figuur B.4: Afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed op rkm 950 voor het VKA en de referentie



Figuur B.5: Afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed op rkm 951 voor het VKA en de referentie



Figuur B.6: Afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed op rkm 952 voor het VKA en de referentie

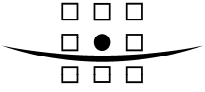


Figuur B.7: Afvoerverdeling tussen winter- en zomerbed op rkm 953 voor het VKA en de referentie

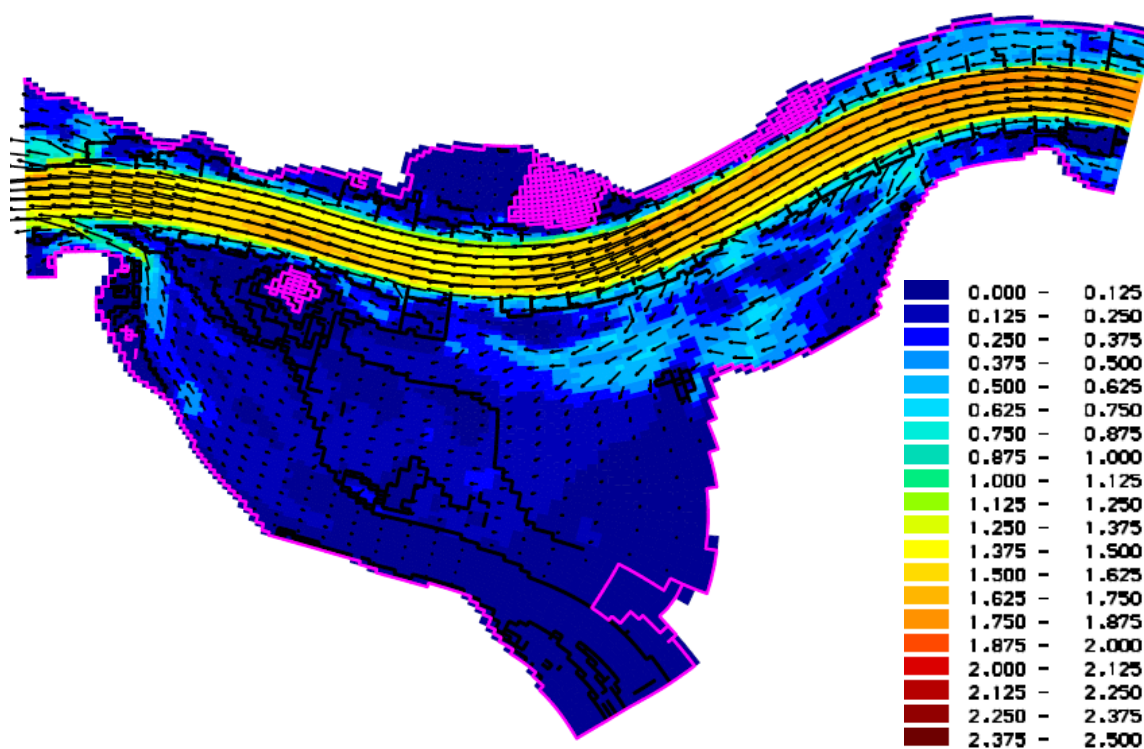
Bijlage C

Stroomsnelheden

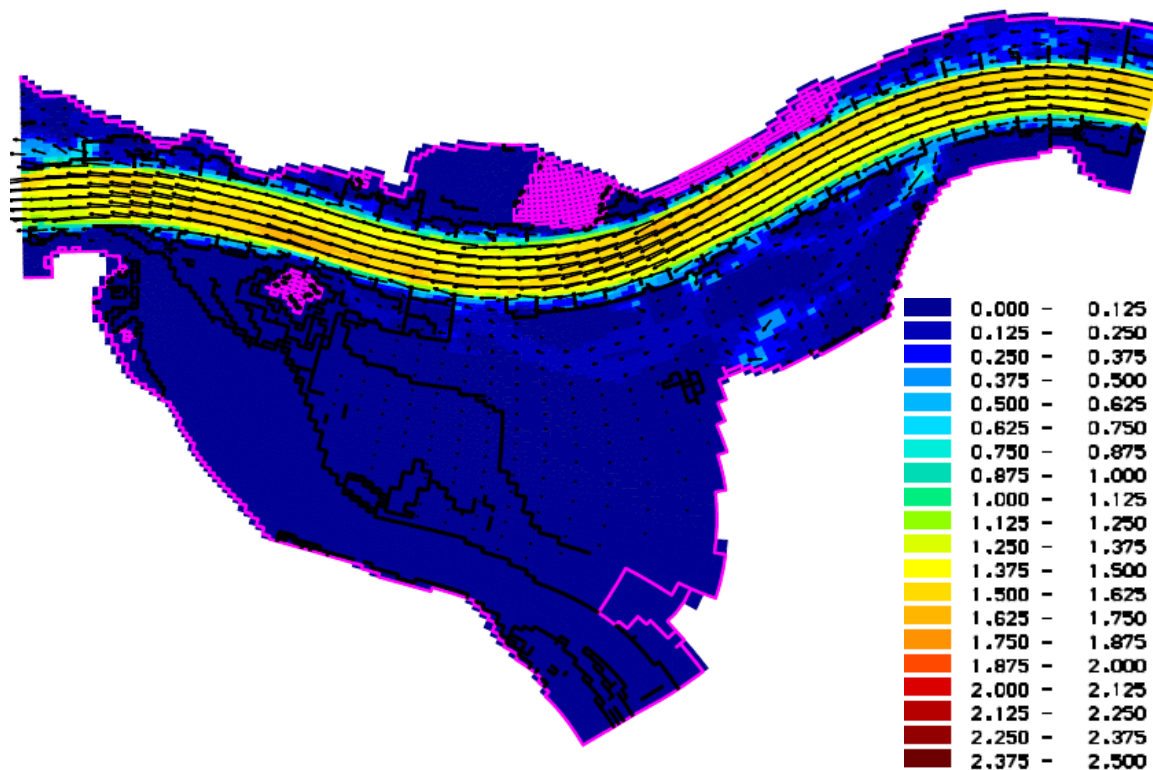
A COMPANY OF



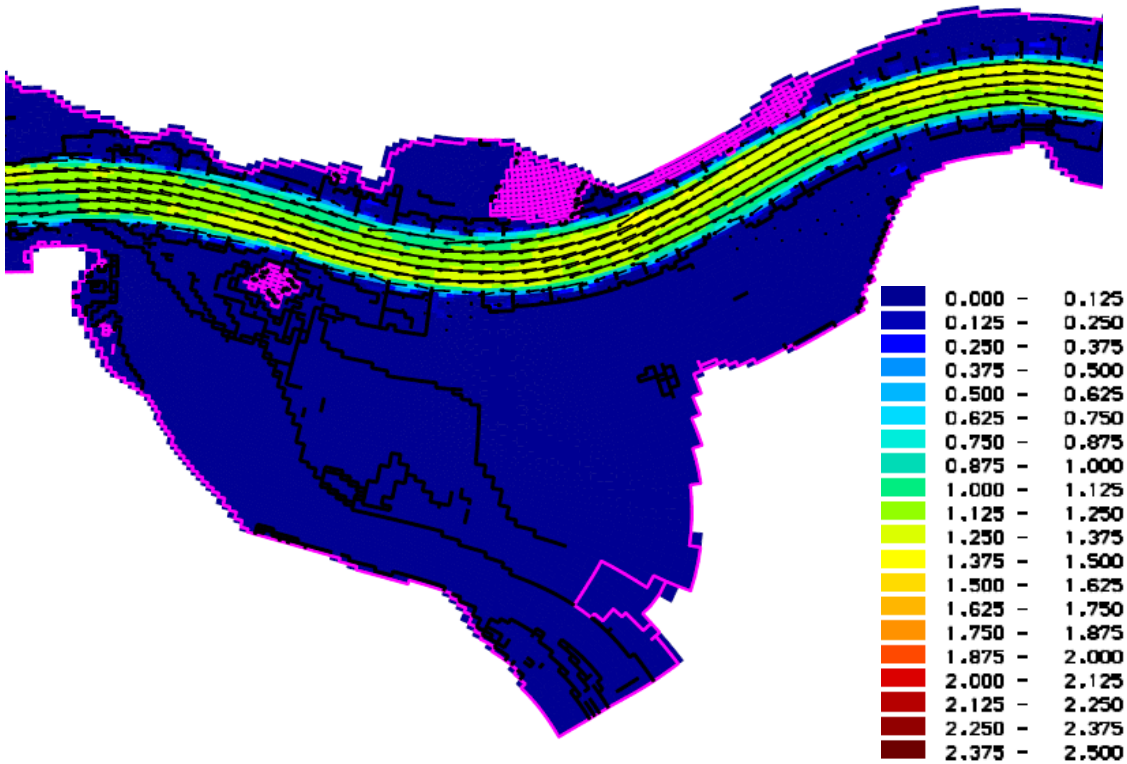
ROYAL HASKONING



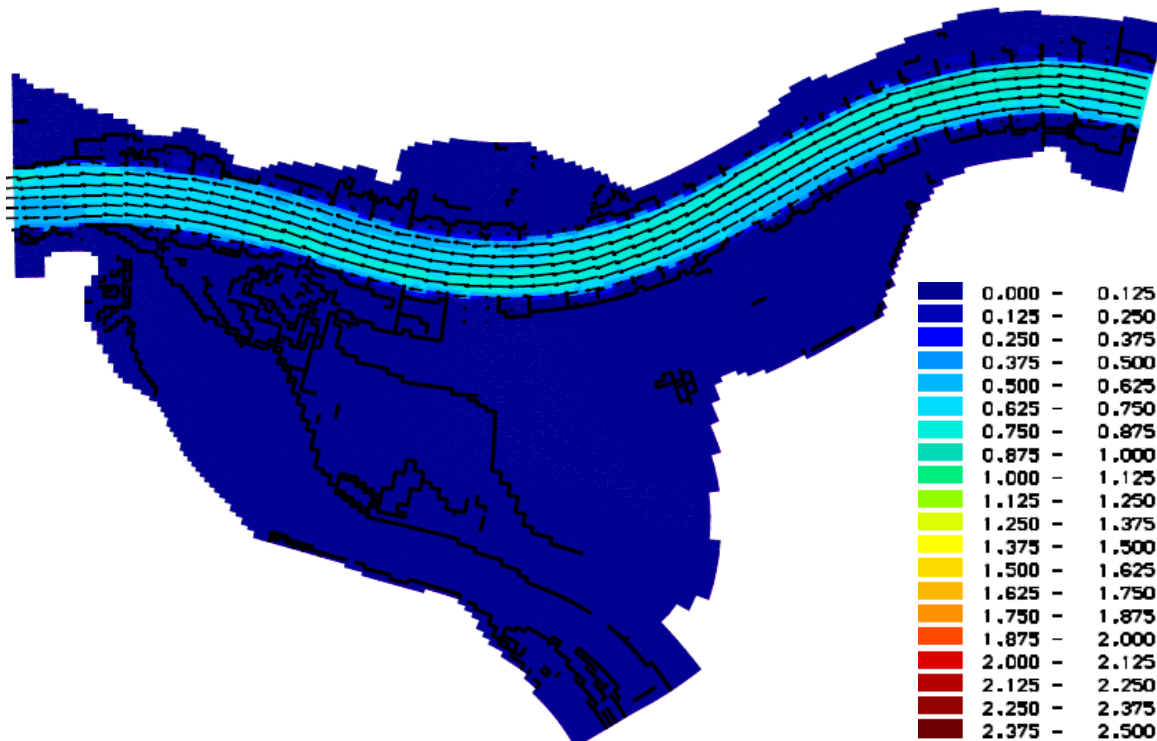
Figuur C.1: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor het VKA bij een afvoer van 8.000 m³/s



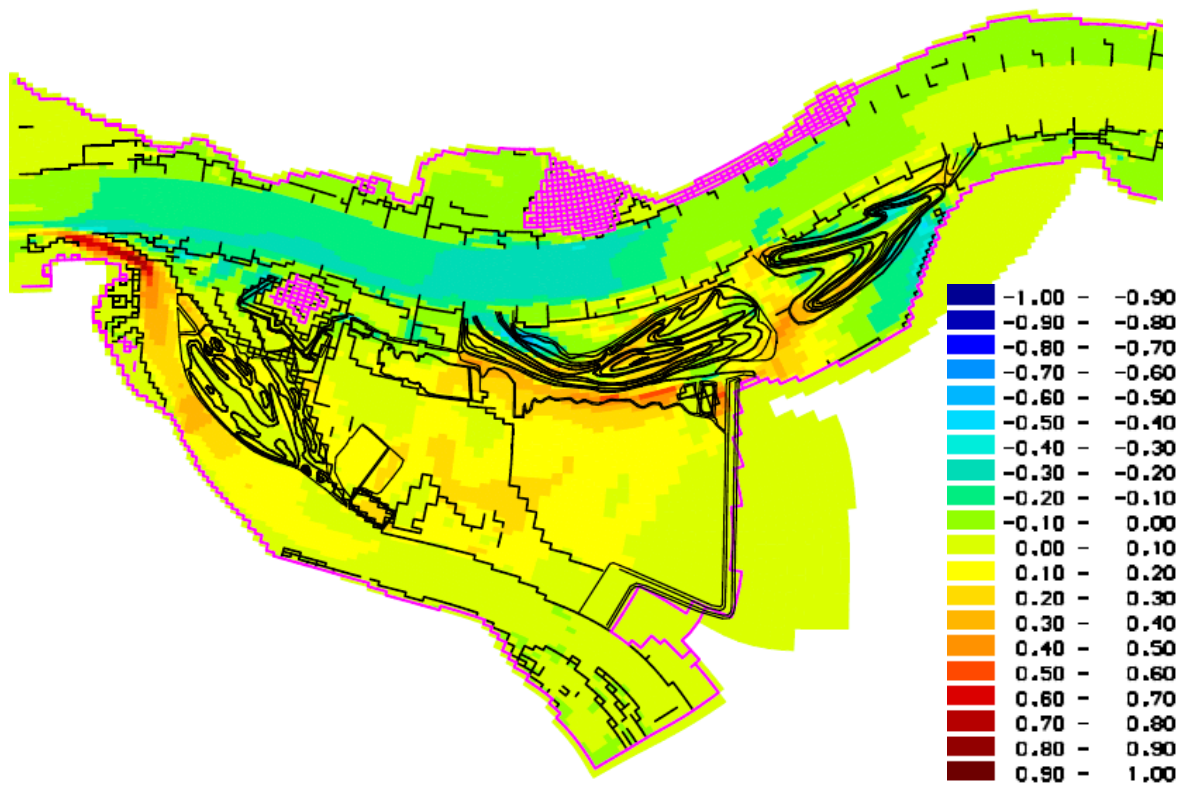
Figuur C.2: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor het VKA bij een afvoer van 6.000 m³/s



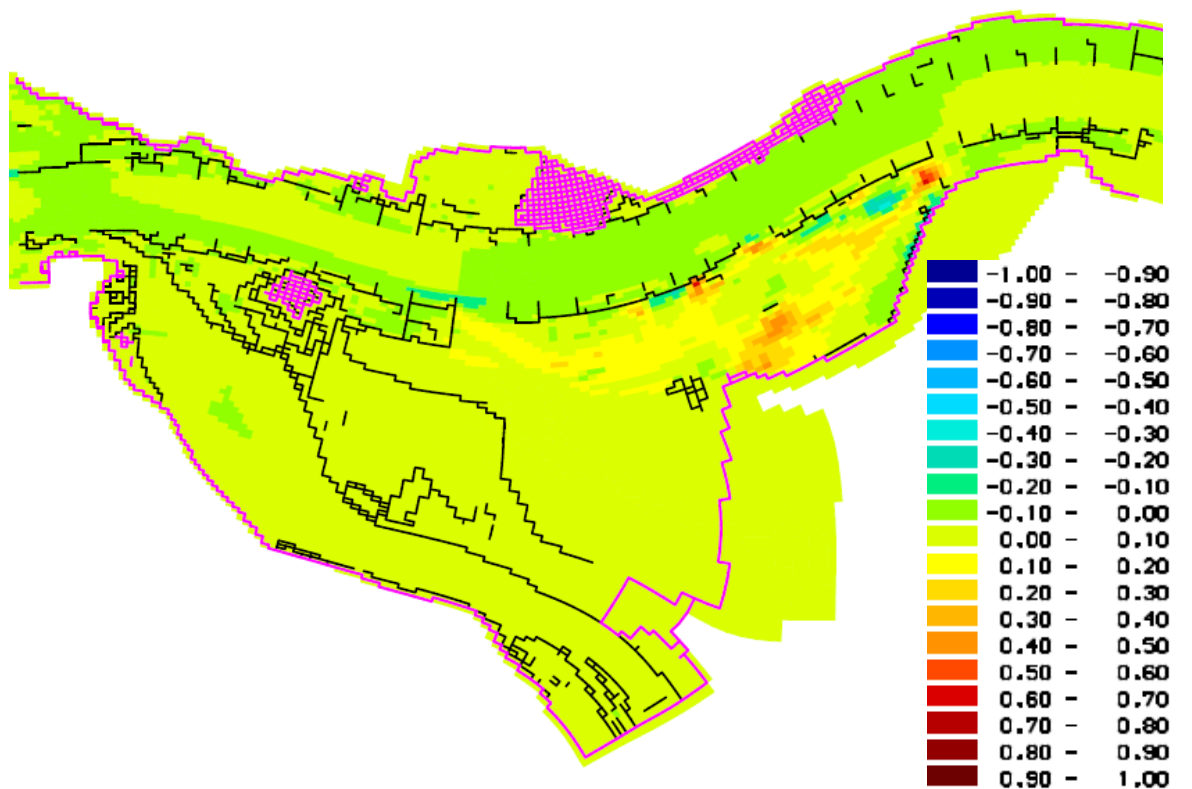
Figuur C.3: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor het VKA bij een afvoer van 4.000 m³/s



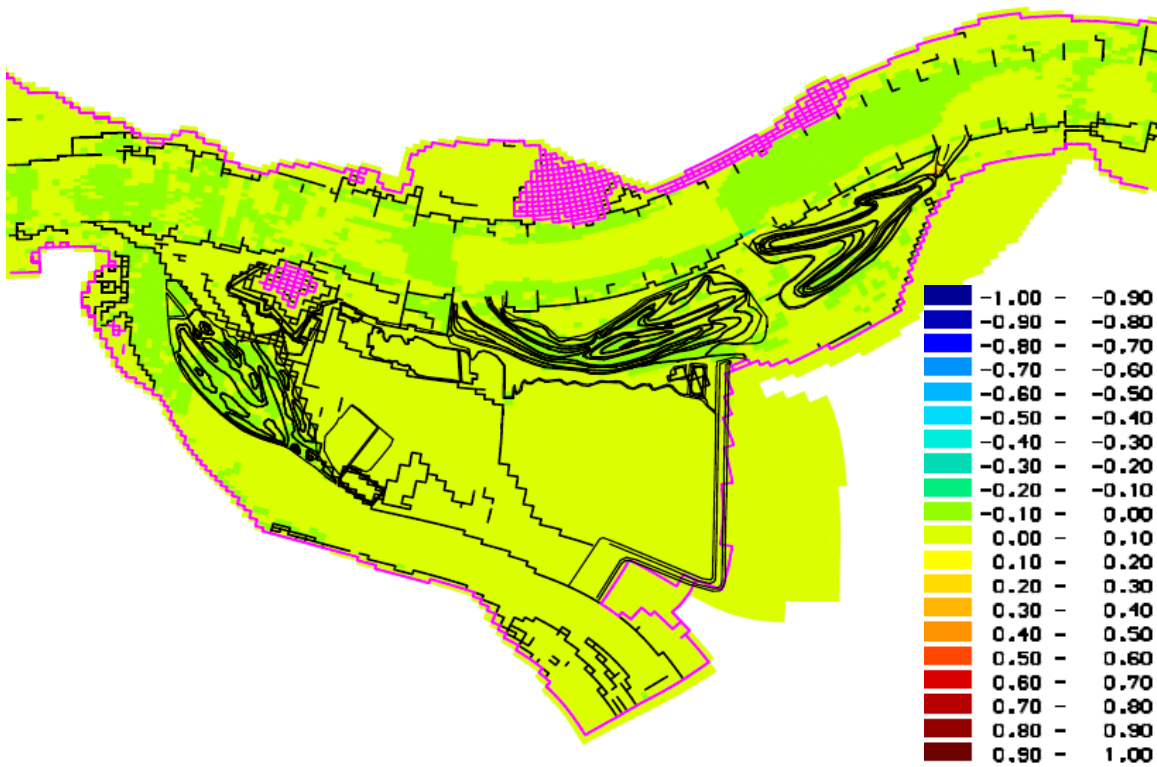
Figuur C.4: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor het VKA bij een afvoer van 2.000 m³/s



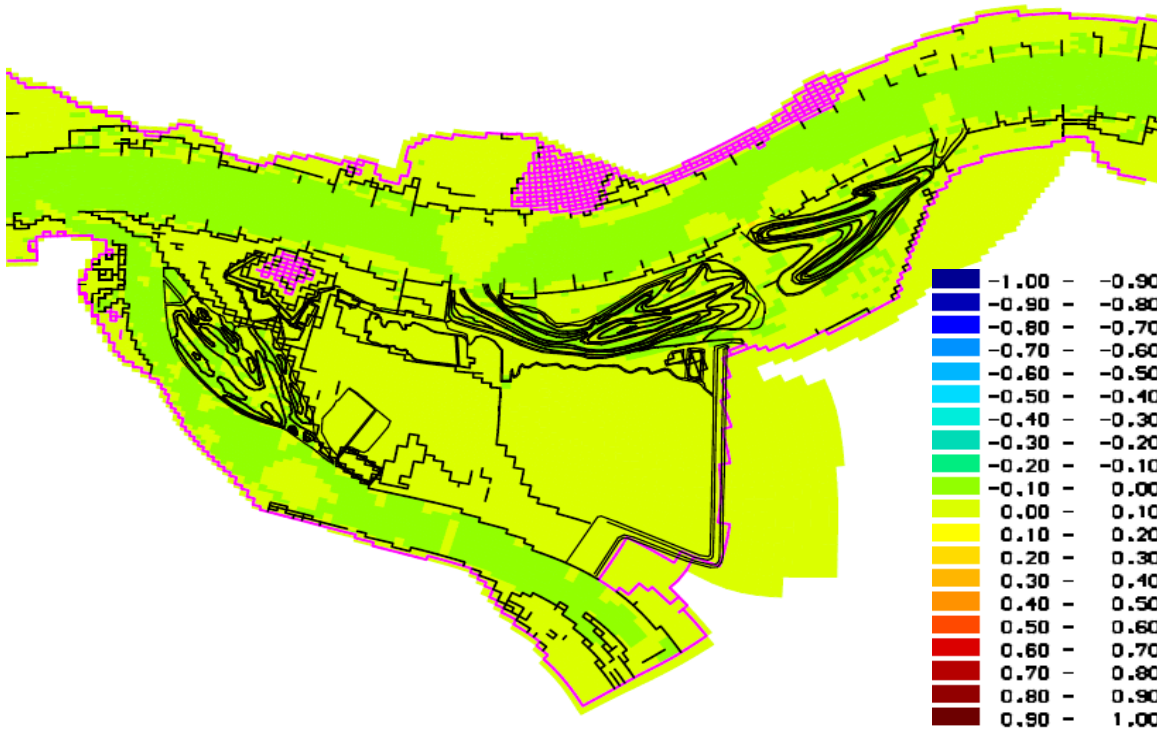
Figuur C.5: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen het VKA en de referentiesituatie bij een afvoer van 8.000 m³/s



Figuur C.6: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen het VKA en de referentiesituatie bij een afvoer van 6.000 m³/s



Figuur C.7: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen het VKA en de referentiesituatie bij een afvoer van 4.000 m³/s

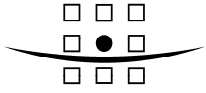


Figuur C.8: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen het VKA en de referentiesituatie bij een afvoer van 4.000 m³/s

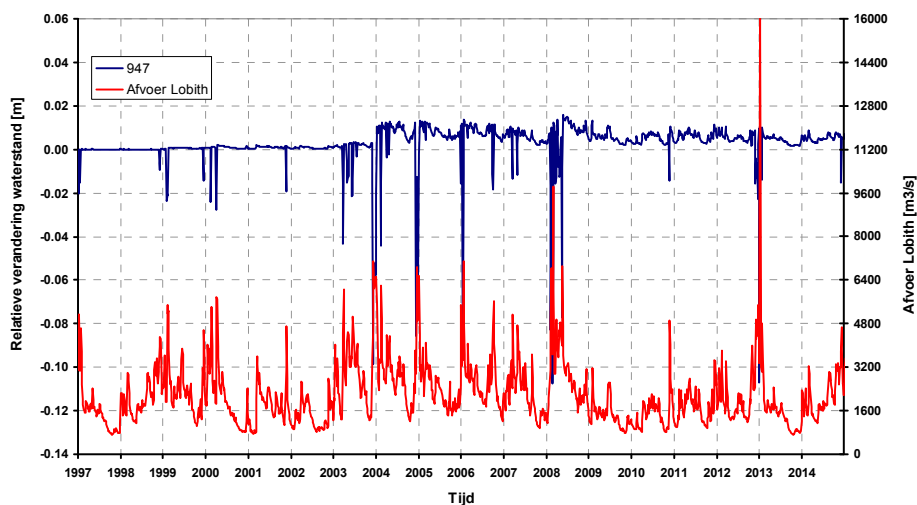
Bijlage D

Waterstanden en afvoeren

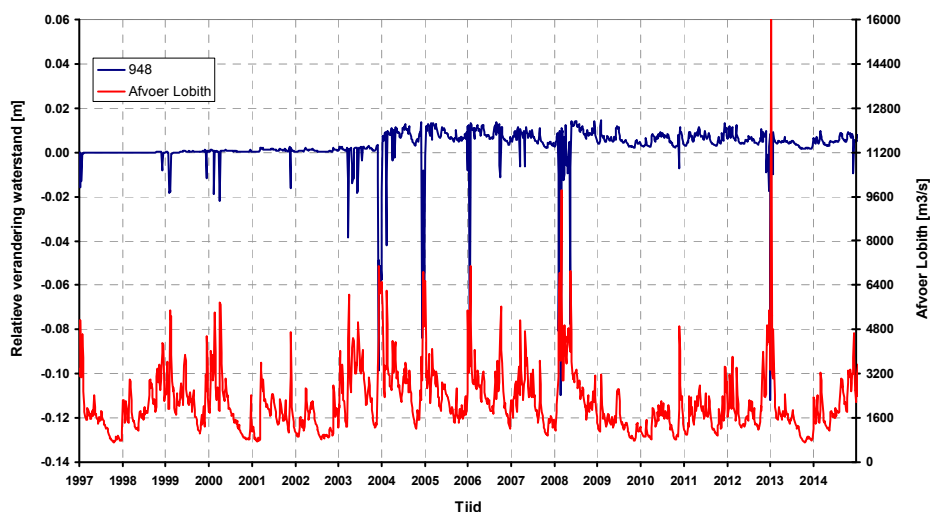
A COMPANY OF



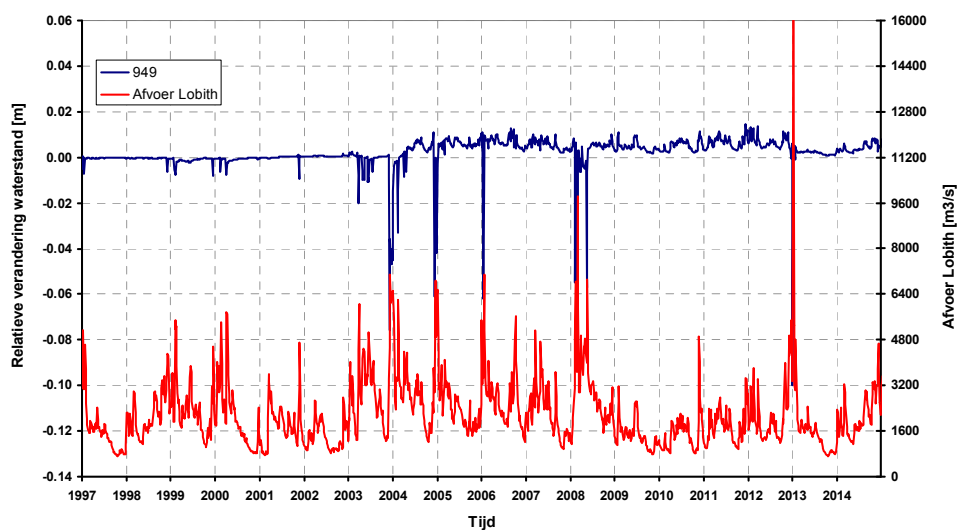
ROYAL HASKONING



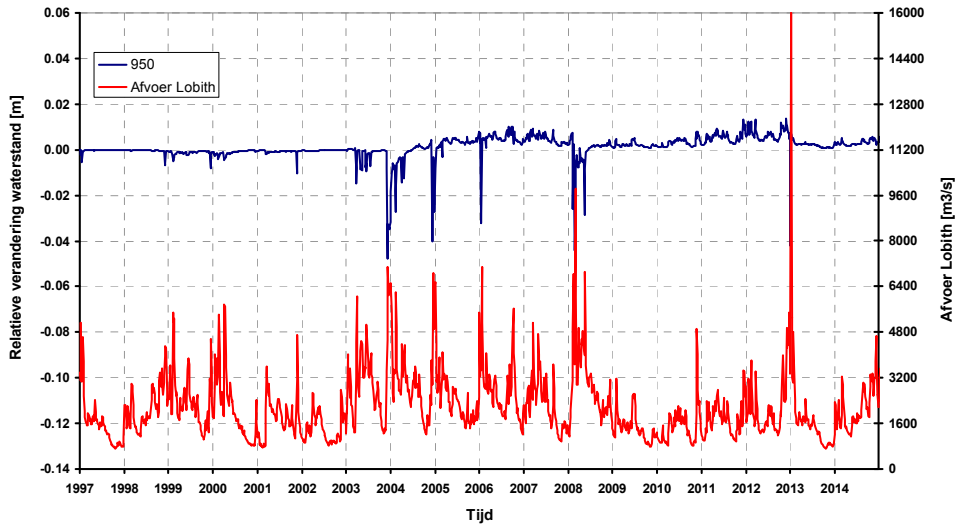
Figuur D.1: Relatieve verandering waterstand (m) op kmr 947 en afvoer (m³/s) te Lobith



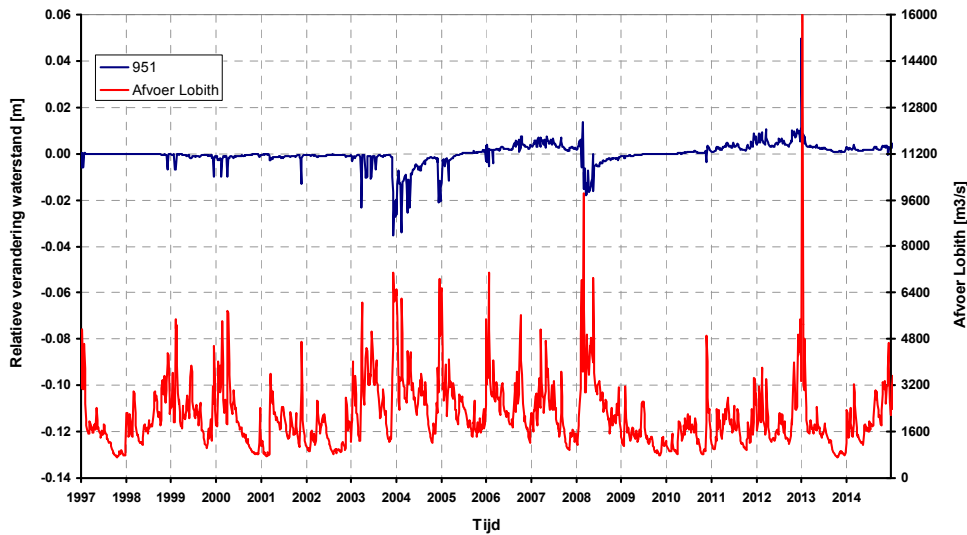
Figuur D.2: Relatieve verandering waterstand (m) op kmr 948 en afvoer (m³/s) te Lobith



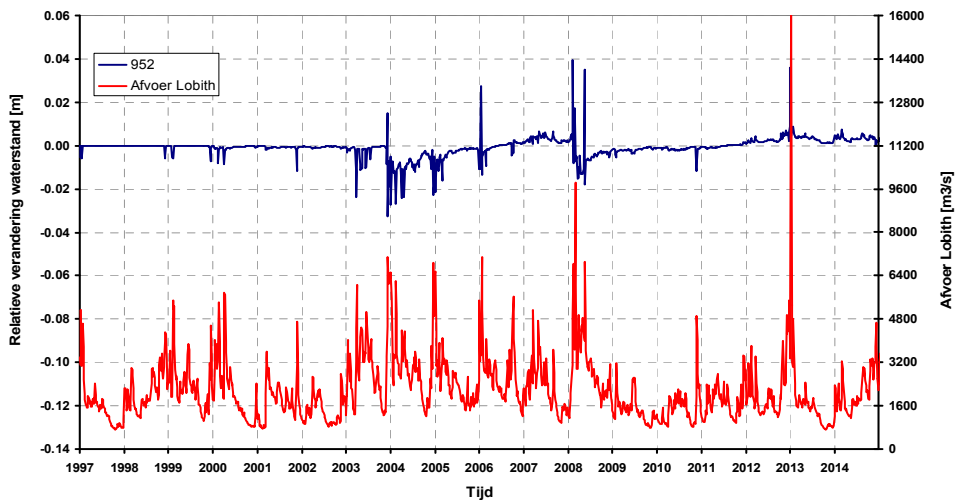
Figuur D.3: Relatieve verandering waterstand (m) op kmr 949 en afvoer (m³/s) te Lobith



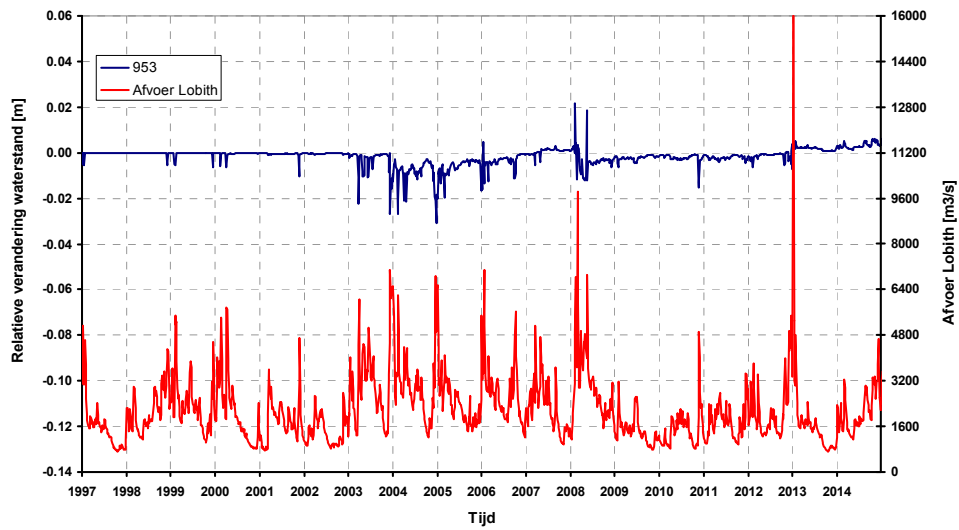
Figuur D.4: Relatieve verandering waterstand (m) op kmr 950 en afvoer (m³/s) te Lobith



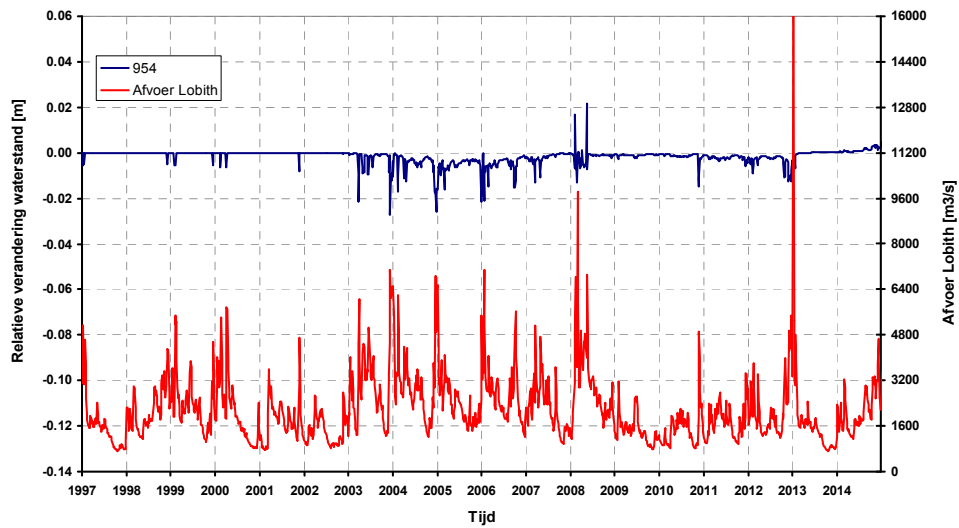
Figuur D.5: Relatieve verandering waterstand (m) op kmr 951 en afvoer (m³/s) te Lobith



Figuur D.6: Relatieve verandering waterstand (m) op kmr 952 en afvoer (m³/s) te Lobith



Figuur D.7: Relatieve verandering waterstand (m) op kmr 953 en afvoer (m³/s) te Lobith



Figuur D.8: Relatieve verandering waterstand (m) op kmr 954 en afvoer (m³/s) te Lobith

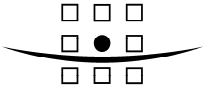
A COMPANY OF



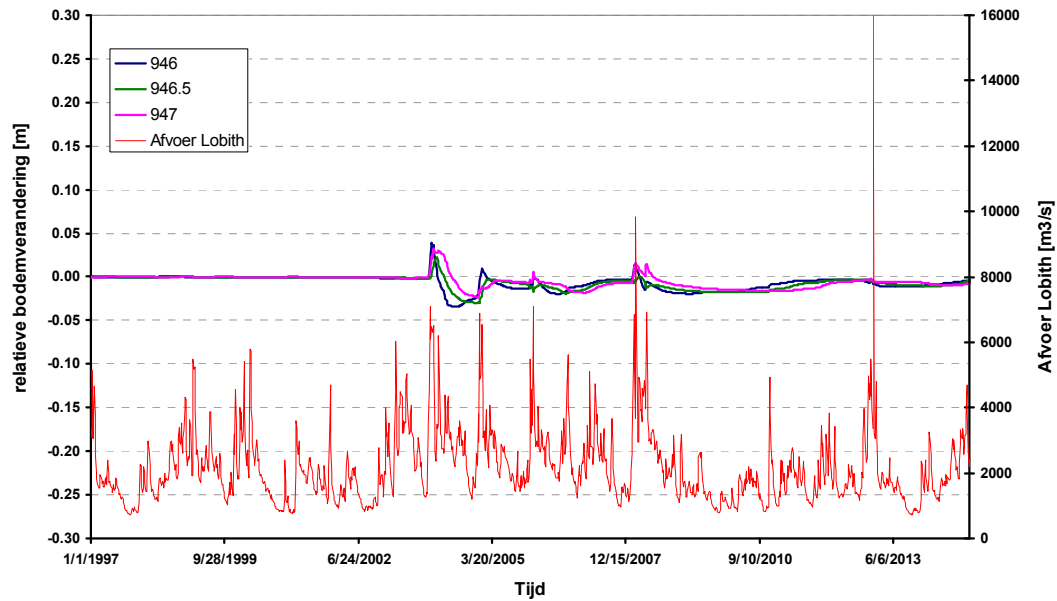
ROYAL HASKONING

Bijlage E Bodemverandering

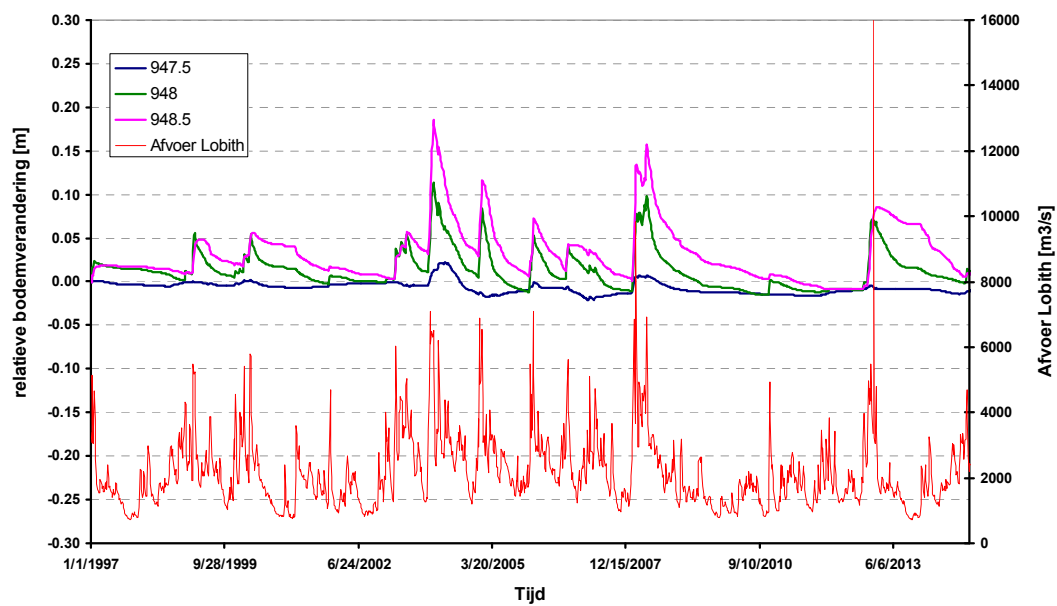
A COMPANY OF



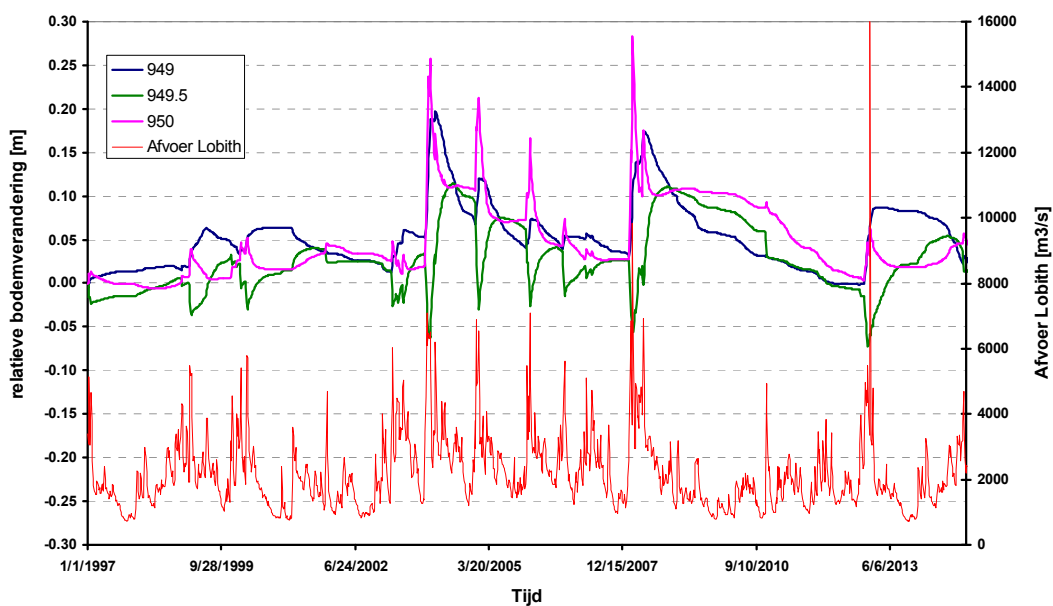
ROYAL HASKONING



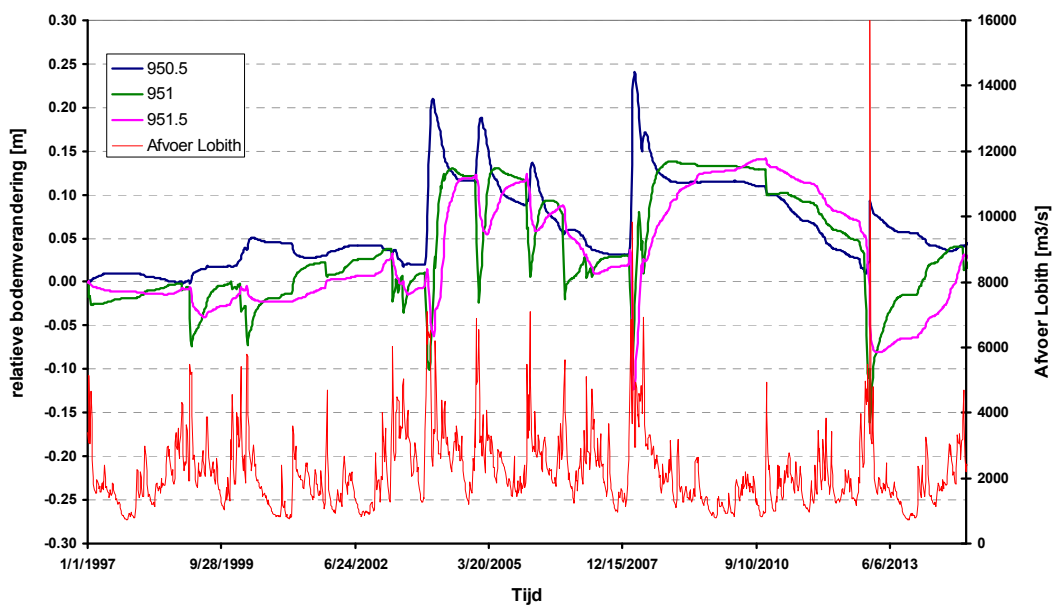
Figuur E.1: Bodemverandering in het zomerbed op kmr 946, 946,5, en 947 ten gevolge van het VKA



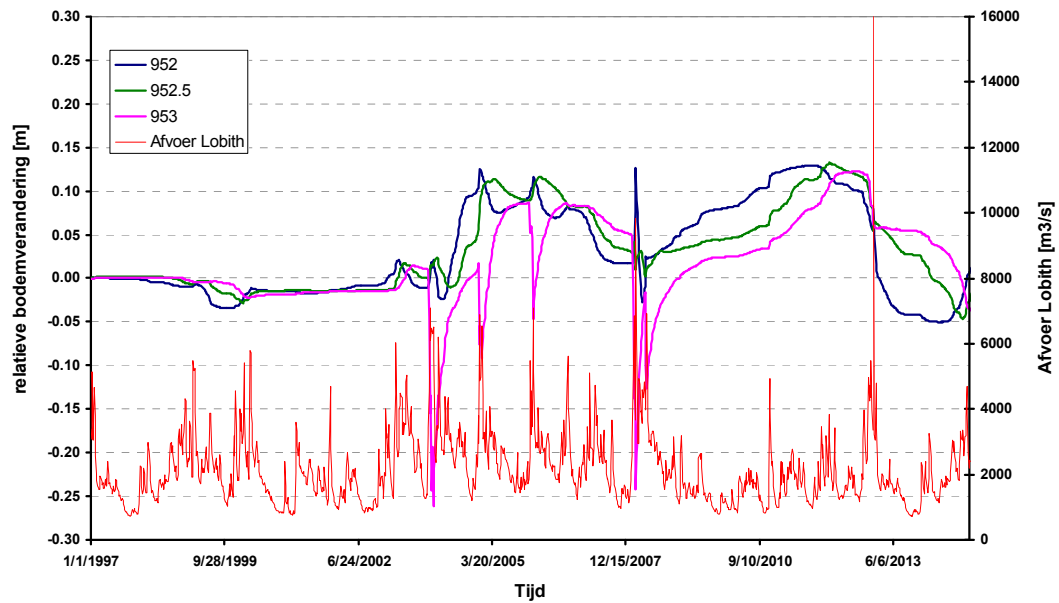
Figuur E.2: Bodemverandering in het zomerbed op kmr 947,5, 948, en 948,5 ten gevolge van het VKA



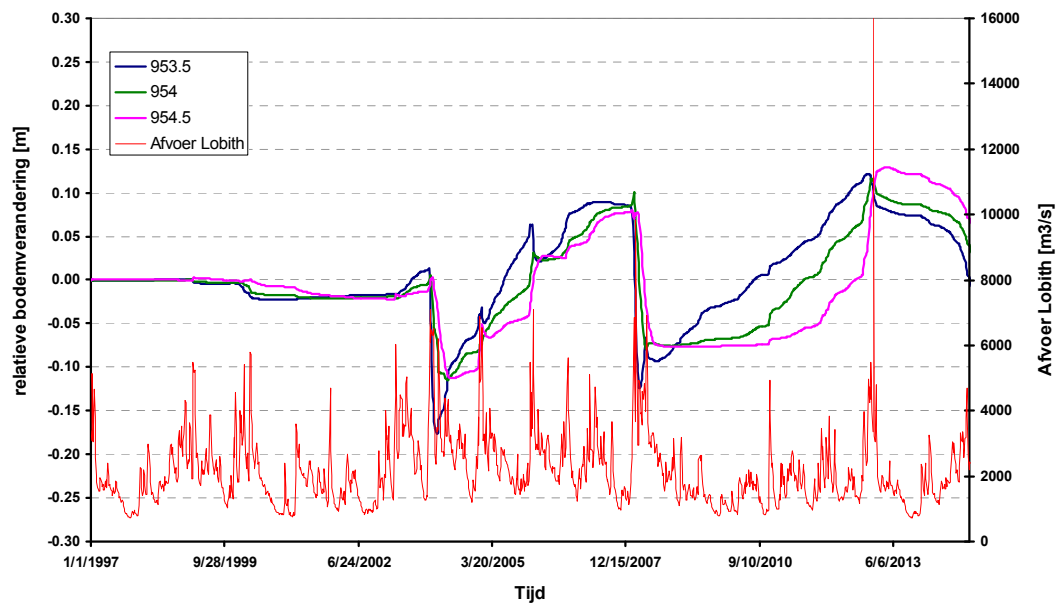
Figuur E.3: Bodemverandering in het zomerbed op kmr 949, 949,5, en 950 ten gevolge van het VKA



Figuur E.4: Bodemverandering in het zomerbed op kmr 950,5, 951, en 951,5 ten gevolge van het VKA



Figuur E.5: Bodemverandering in het zomerbed op kmr 952, 952,5, en 953 ten gevolge van het VKA

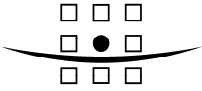


Figuur E.6: Bodemverandering in het zomerbed op kmr 953,5, 954 en 954,5 ten gevolge van het VKA

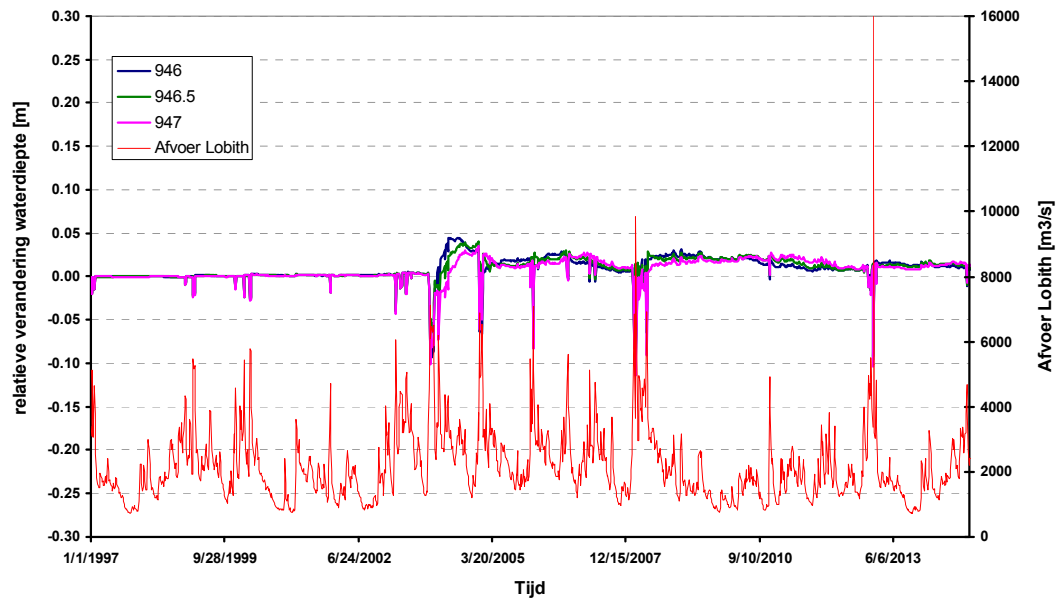
Bijlage F

Verandering waterdiepte

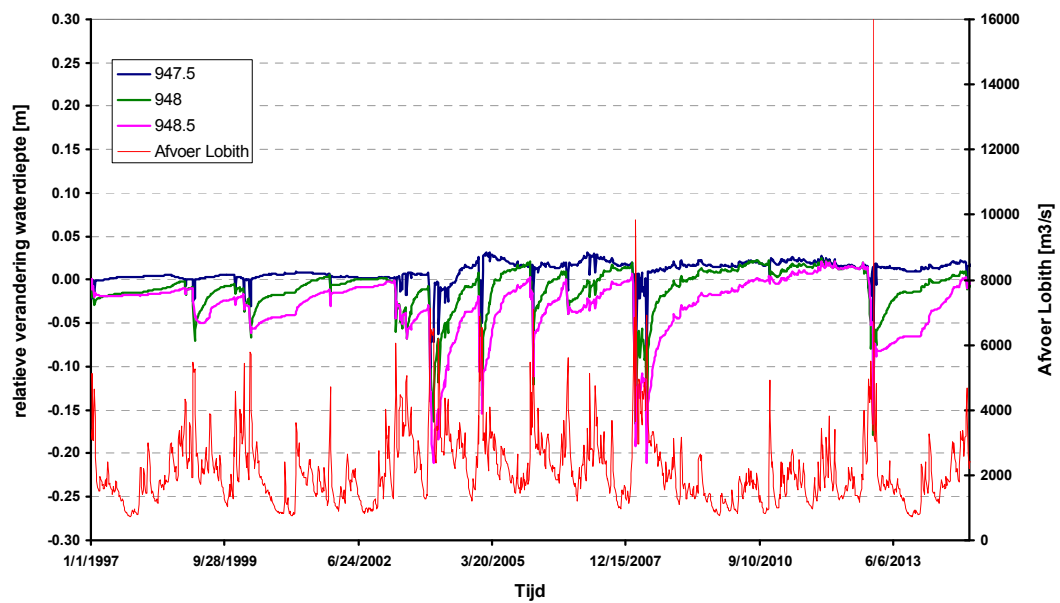
A COMPANY OF



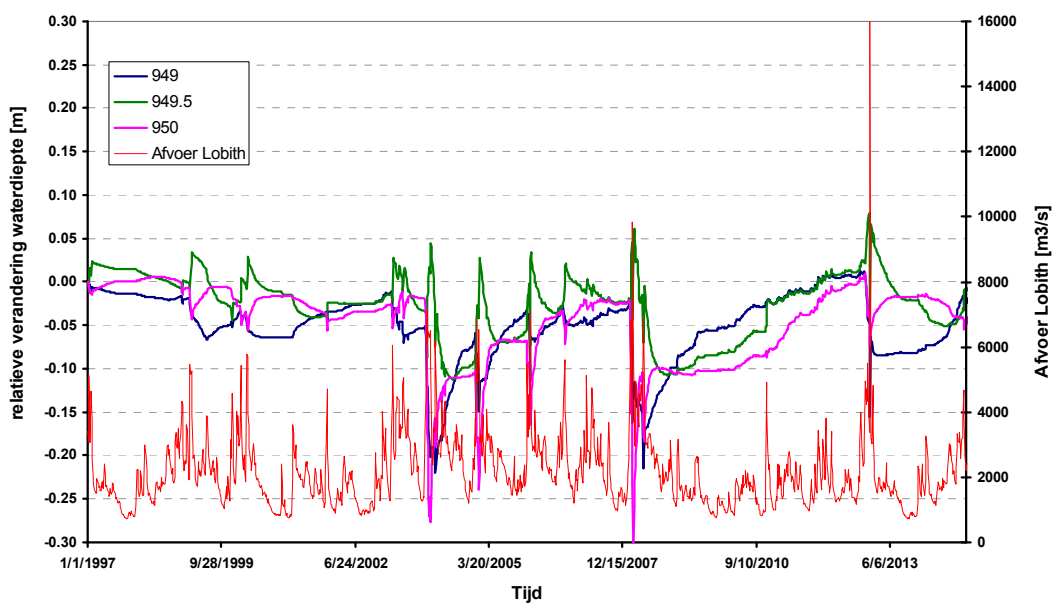
ROYAL HASKONING



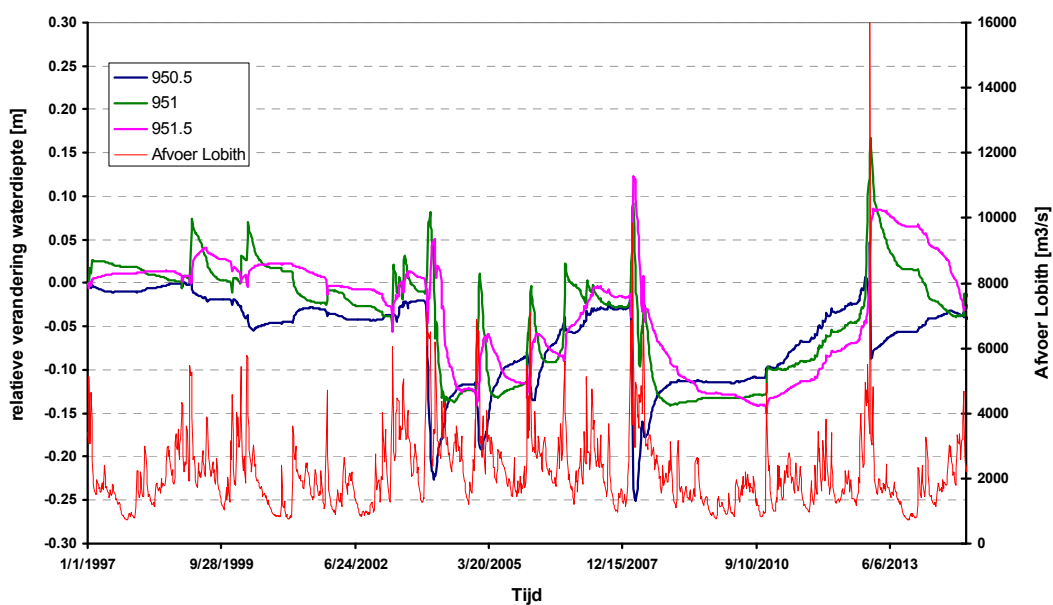
Figuur F.1: Verandering waterdiepte zomerbed op kmr 946, 946,5, en 947 ten gevolge van het VKA



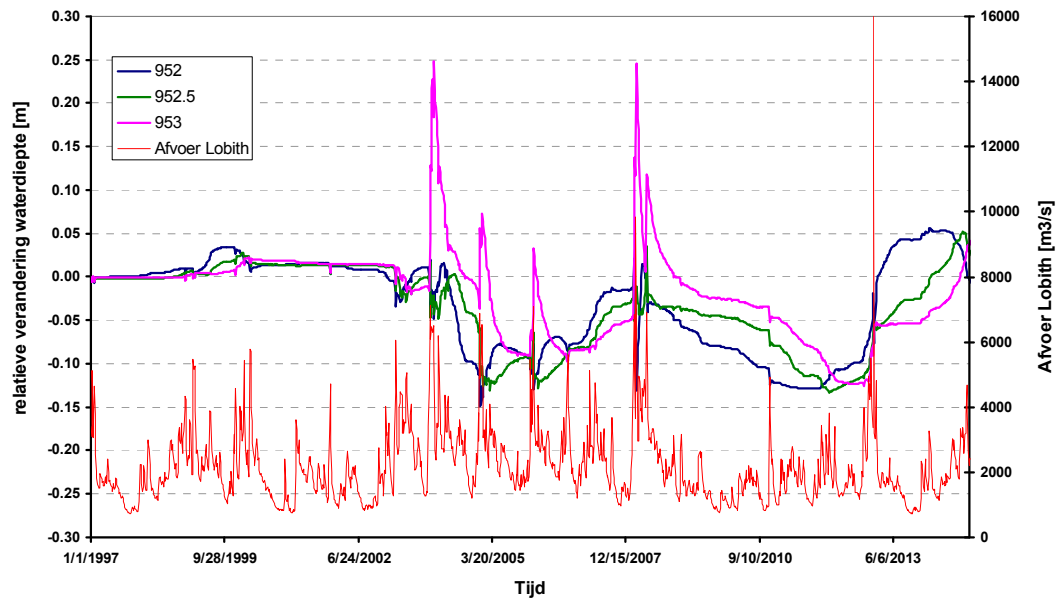
Figuur F.2: Verandering waterdiepte zomerbed op kmr 947,5, 948, en 948,5 ten gevolge van het VKA



Figuur F.3: Verandering waterdiepte zomerbed op kmr 949, 949,5, en 950 ten gevolge van het VKA



Figuur F.4: Verandering waterdiepte zomerbed op kmr 950,5, 951, en 951,5 ten gevolge van het VKA

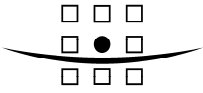


Figuur F.5: Verandering waterdiepte zomerbed op kmr 952, 952,5, en 953 ten gevolge van het VKA

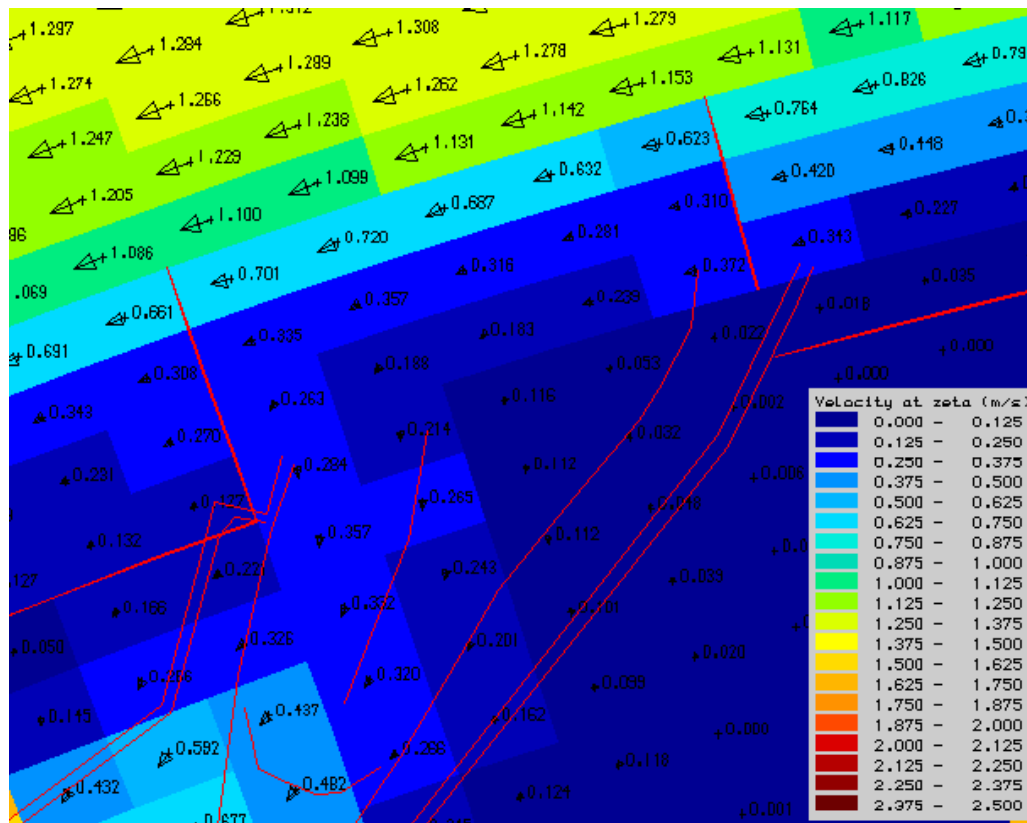
Bijlage G

Dwarsstroming bij in-en uitstroomopeningen

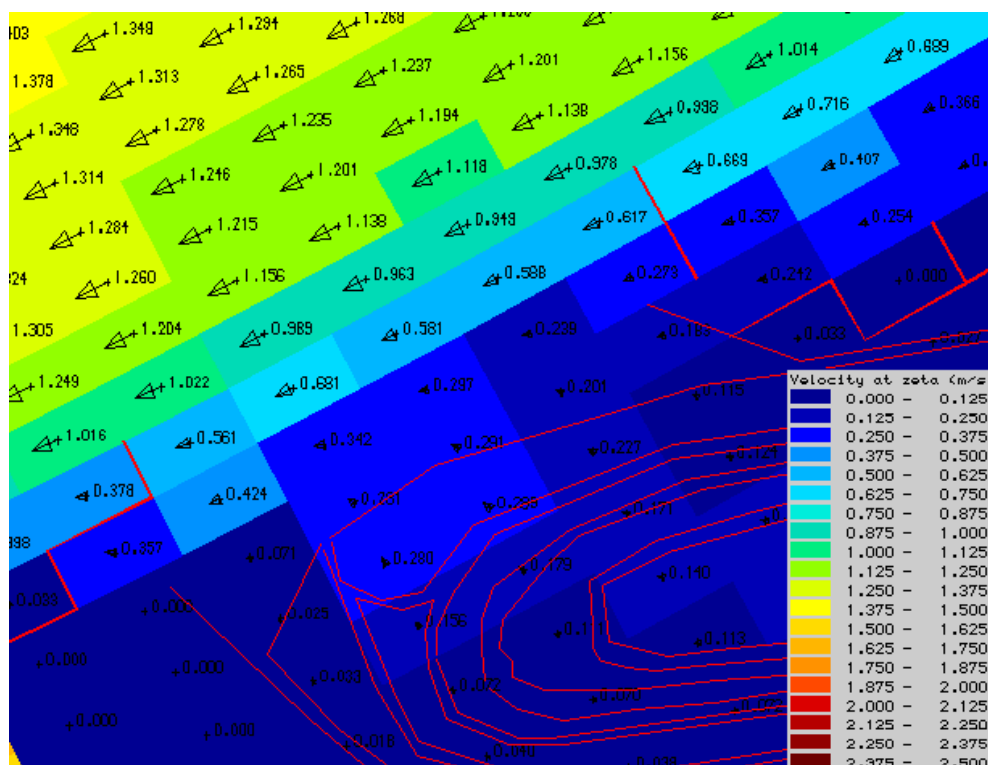
A COMPANY OF



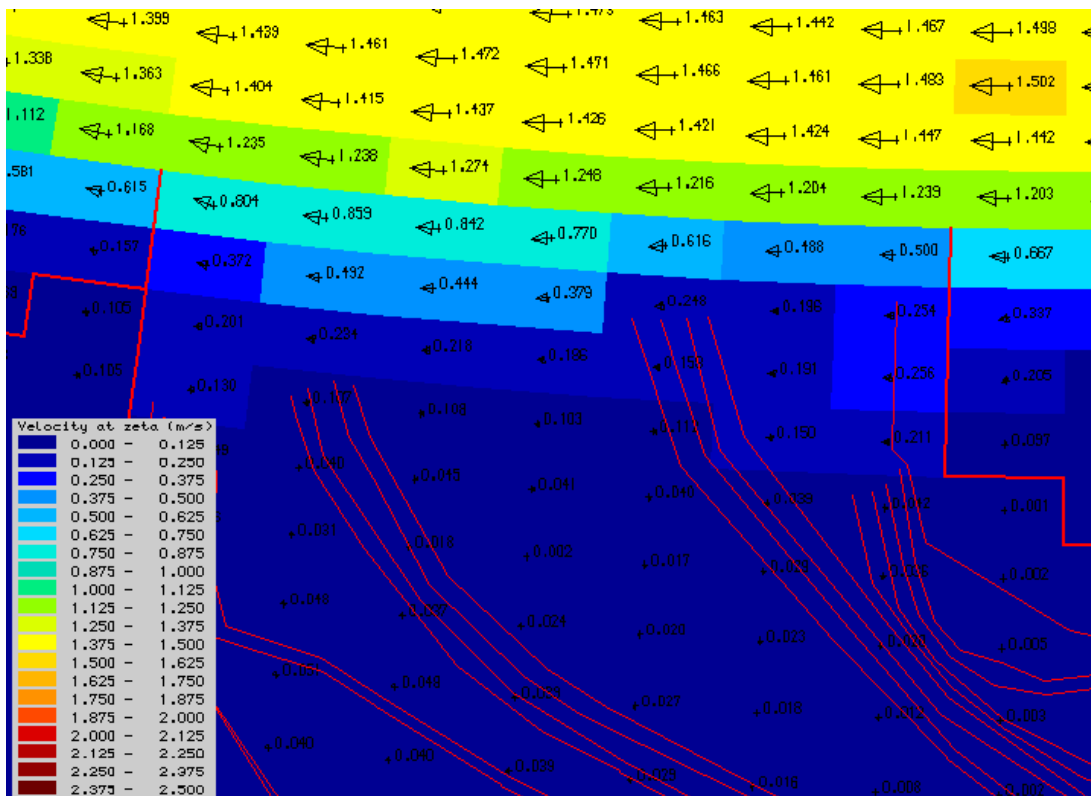
ROYAL HASKONING



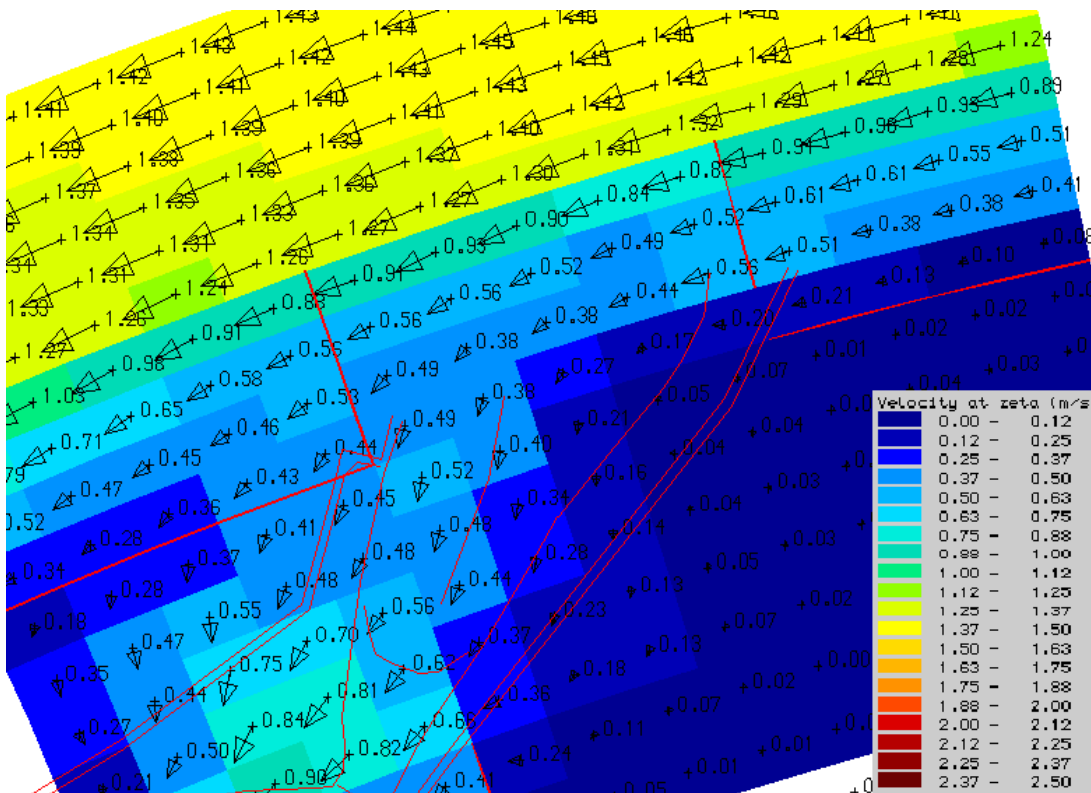
Figuur G.1: Stroomsnelheden en richting bij de instroomopening van de bovenstrooms gelegen geul bij 5.000 m³/s. De rode contouren tonen de ligging van de geul, de zomerkade en de kribben



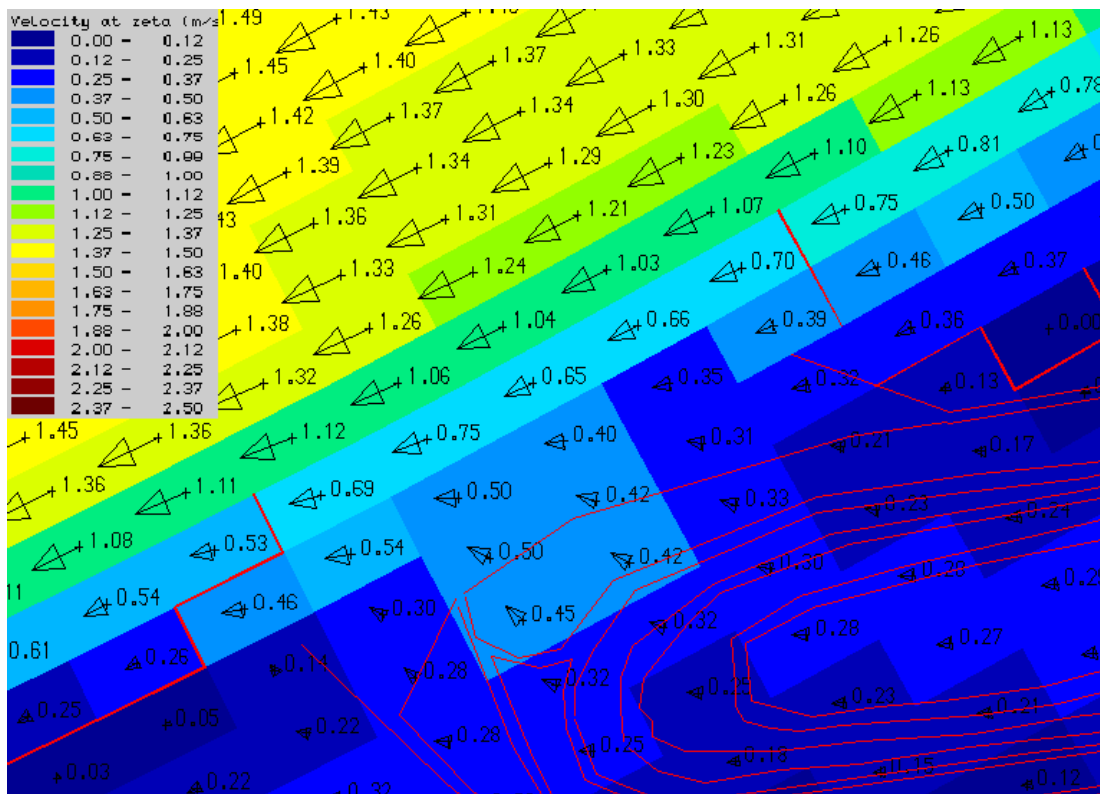
Figuur G.2: Stroomsnelheden en richting bij de uitstroomopening van de bovenstrooms gelegen geul bij 5.000 m³/s. De rode contouren tonen de ligging van de geul, de zomerkade en de kribben



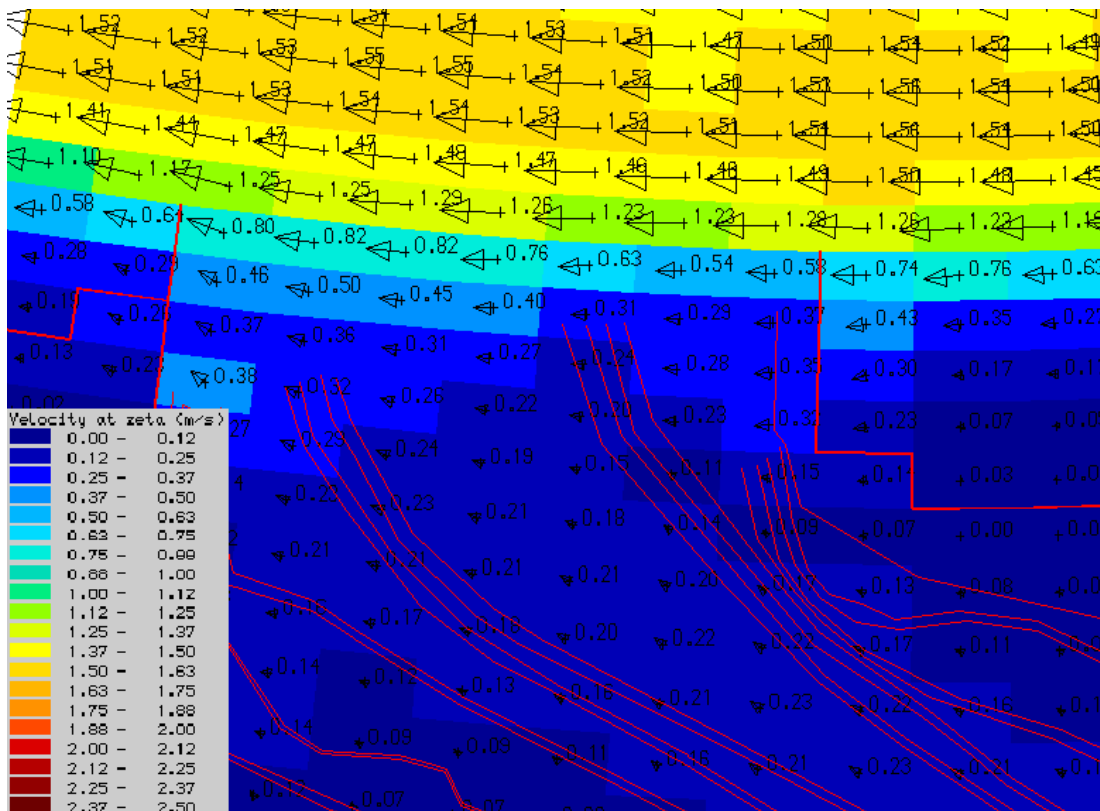
Figuur G.3: Stroomsnelheden en richting bij de uitstroomopening van de benedenstrooms gelegen geul bij 5.000 m³/s. De rode contouren tonen de ligging van de geul, de zomerkade en de kribben



Figuur G.4: Stroomsnelheden en richting bij de instroomopening van de bovenstrooms gelegen geul bij 6.000 m³/s. De rode contouren tonen de ligging van de geul, de zomerkade en de kribben



Figuur G.5: Stroomsnelheden en richting bij de uitstroomopening van de bovenstrooms gelegen geul bij 6.000 m³/s. De rode contouren tonen de ligging van de geul, de zomerkade en de kribben



Figuur G.6: Stroomsnelheden en richting bij de uitstroomopening van de benedenstrooms gelegen geul bij 6.000 m³/s. De rode contouren tonen de ligging van de geul, de zomerkade en de kribben

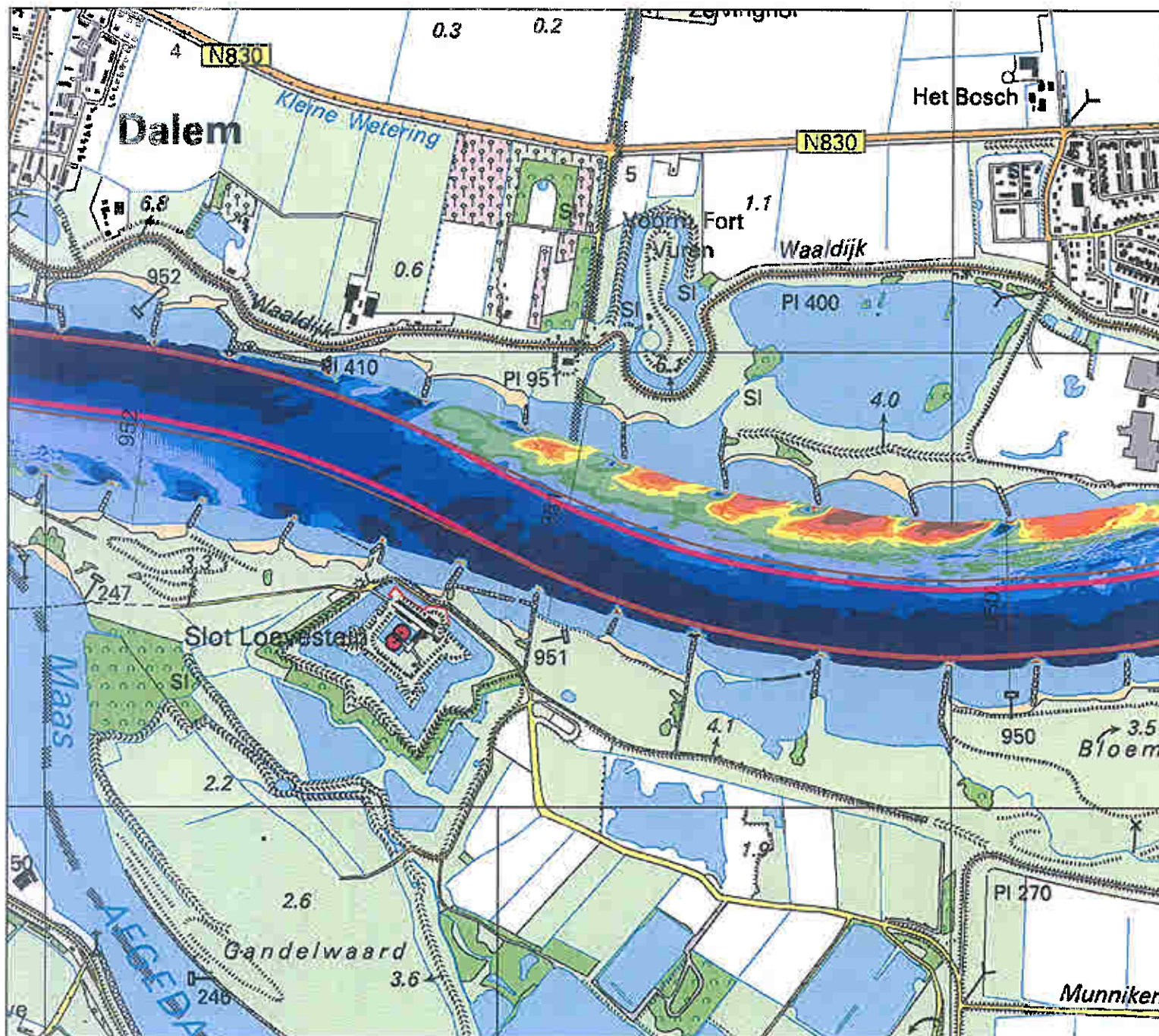
Bijlage H

Bodemdiepte zomerbed Waal

A COMPANY OF



ROYAL HASKONING



2003 t.o.v. BRV

BRV03_JMP03

Value

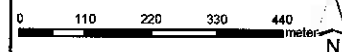
- 23 - 230
- 230 - 260
- 260 - 280
- 280 - 300
- 300 - 330
- 330 - 370
- 370 - 400
- 400 - 450
- 450 - 500
- 500 - 600
- 600 - 2.354

vaargeul 150 meter

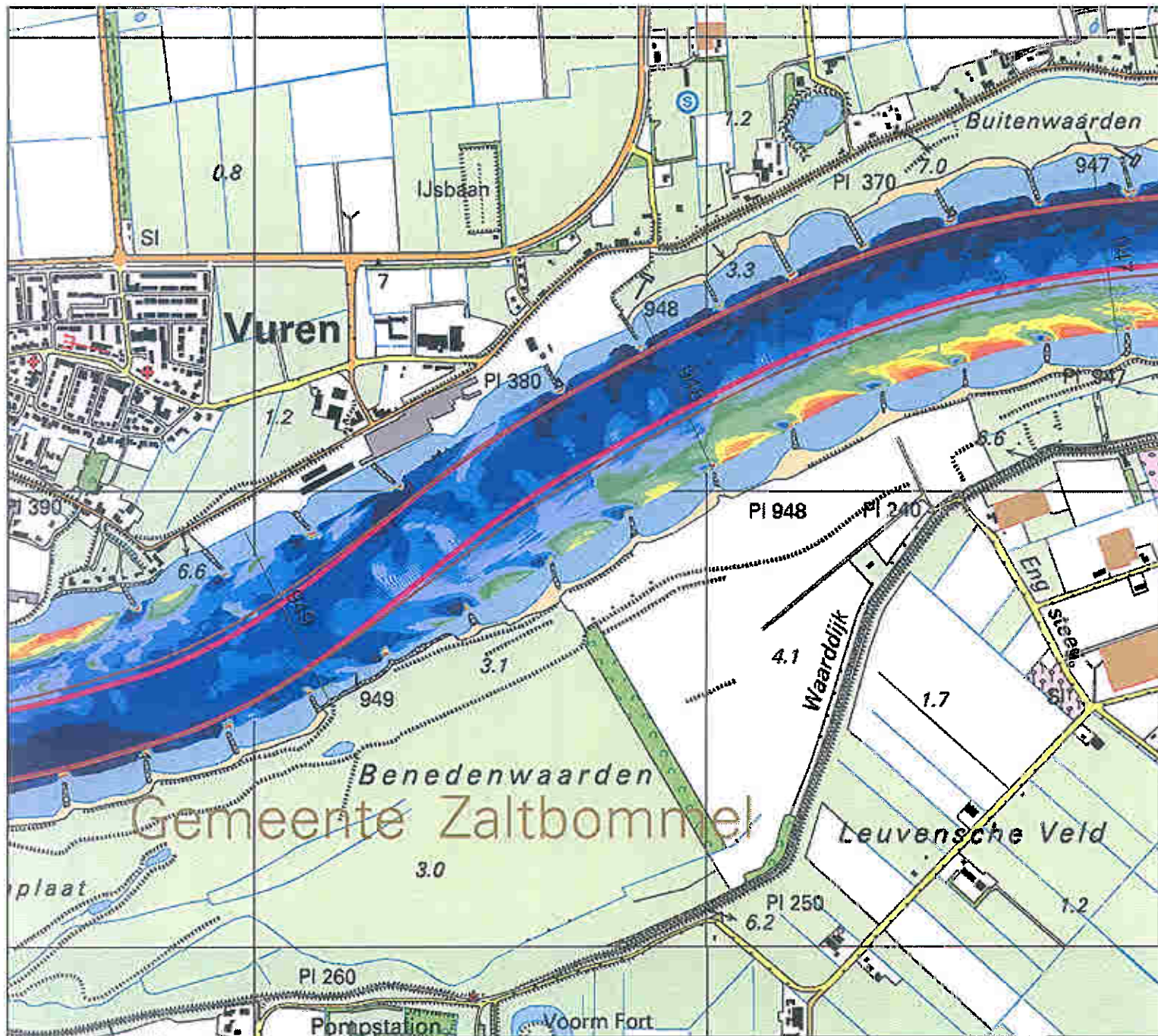
vaargeul 170 meter

Auteur: Hamilton
 Datum: 03-07-2008
 Kaartnummer:
 Referentie:

Schaal: 1:11.929
 Bron: WSM



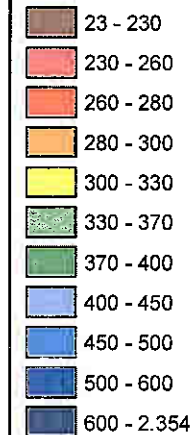
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Rijkswaterstaat
 Directie Oost-Nederland



2003 t.o.v. BRV

BRV03_JMP03

Value

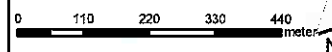


vaargeul 150 meter

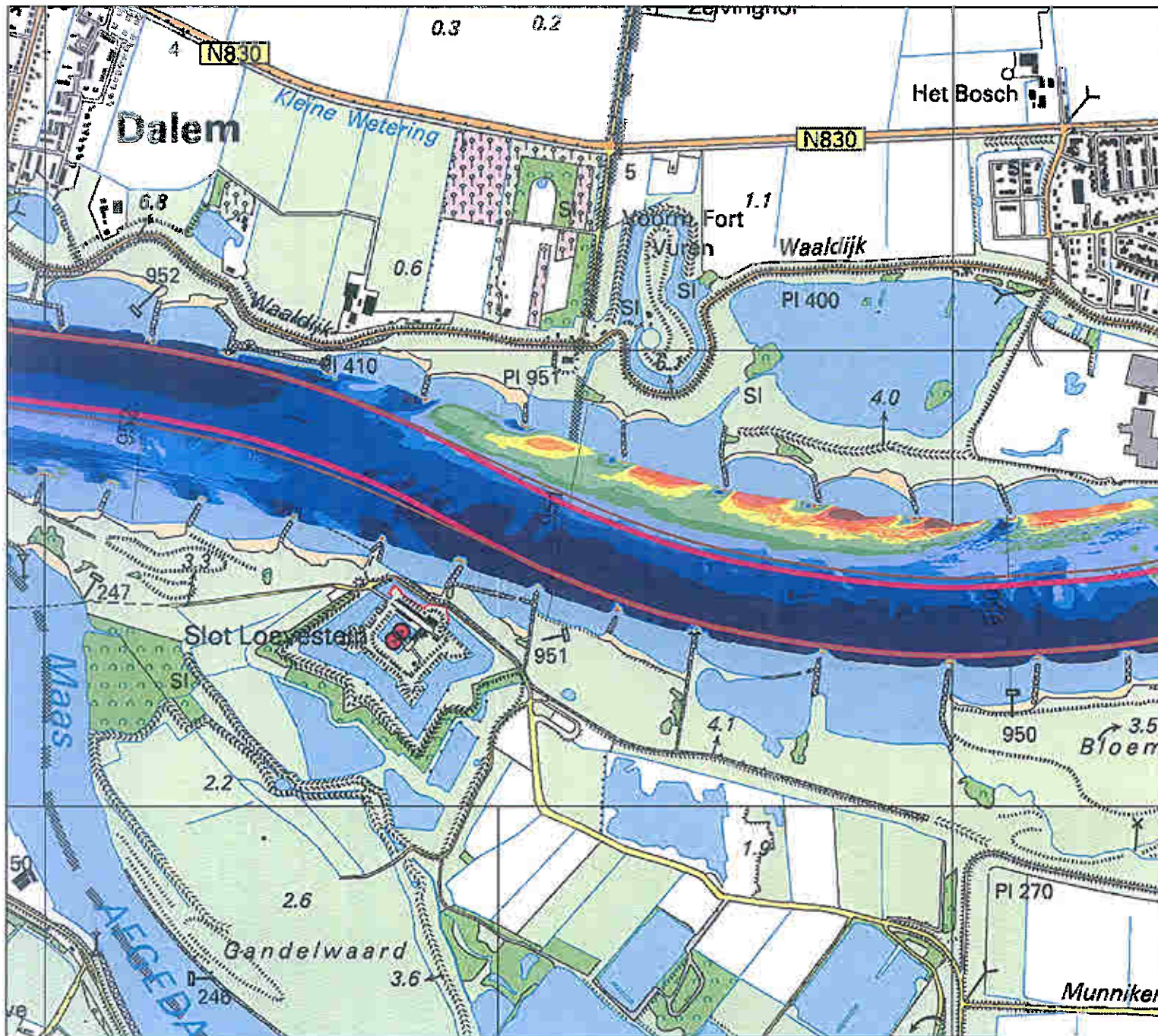
vaargeul 170 meter

Auteur: Hamilton
 Datum: 03-07-2008
 Kaartnummer:
 Referentie:

Schaal: 1:11.929
 Bron: WSM



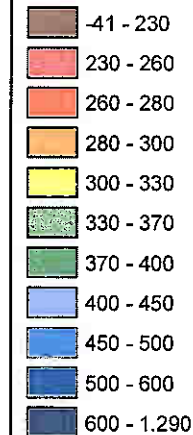
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Rijkswaterstaat
 Directie Oost-Nederland



2004 t.o.v. BRV

BRV03_JMP04

Value

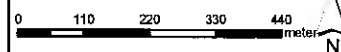


vaargeul 150 meter

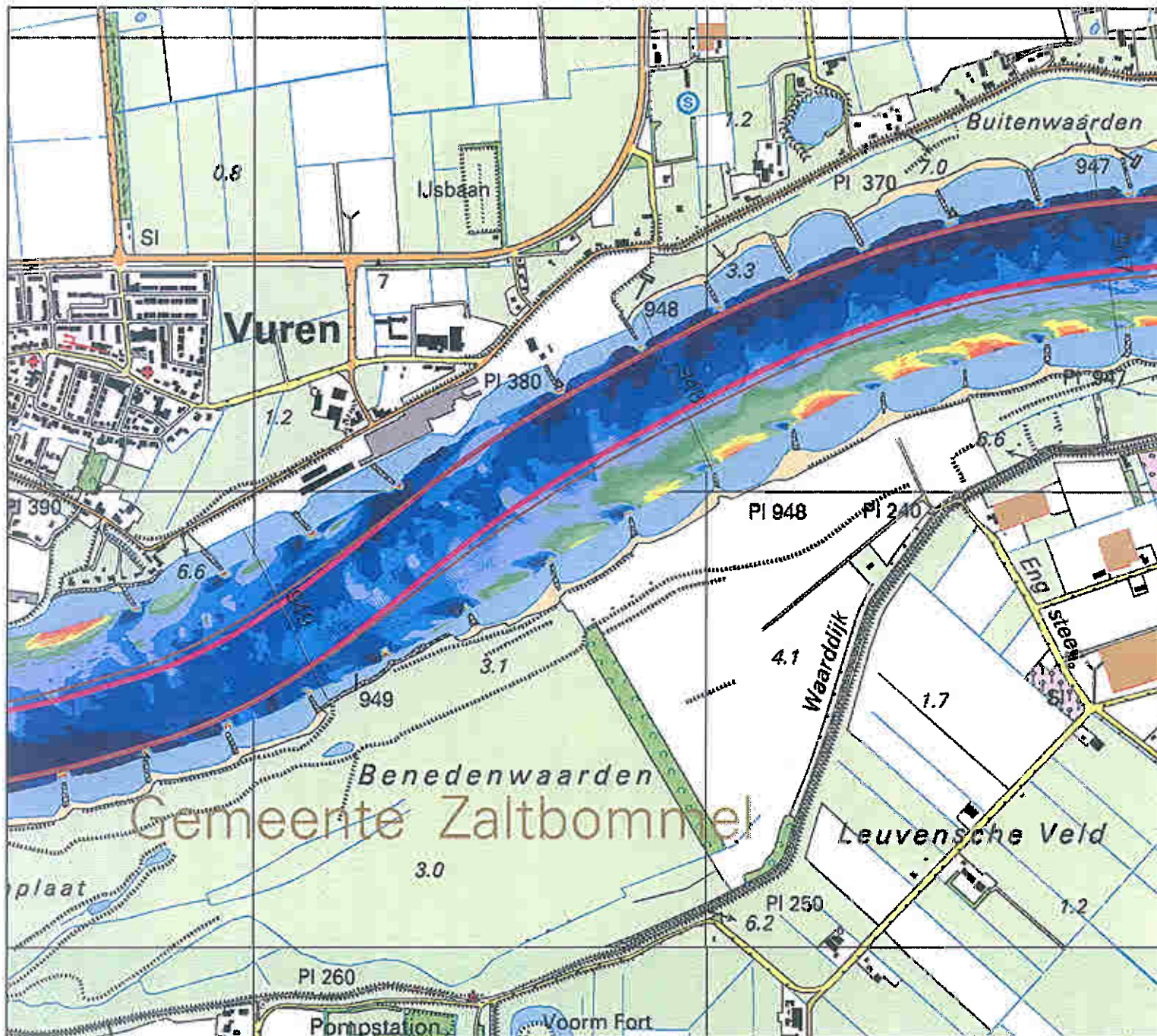
vaargeul 170 meter

Auteur: Hamilton
 Datum: 03-07-2008
 Kaartnummer:
 Referentie:

Schaal: 1:11.929
 Bron: WSM



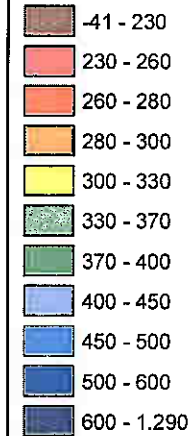
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Rijkswaterstaat
 Directie Oost-Nederland



2004 t.o.v. BRV

BRV03_JMP04

Value

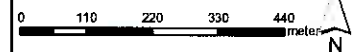


vaargeul 150 meter

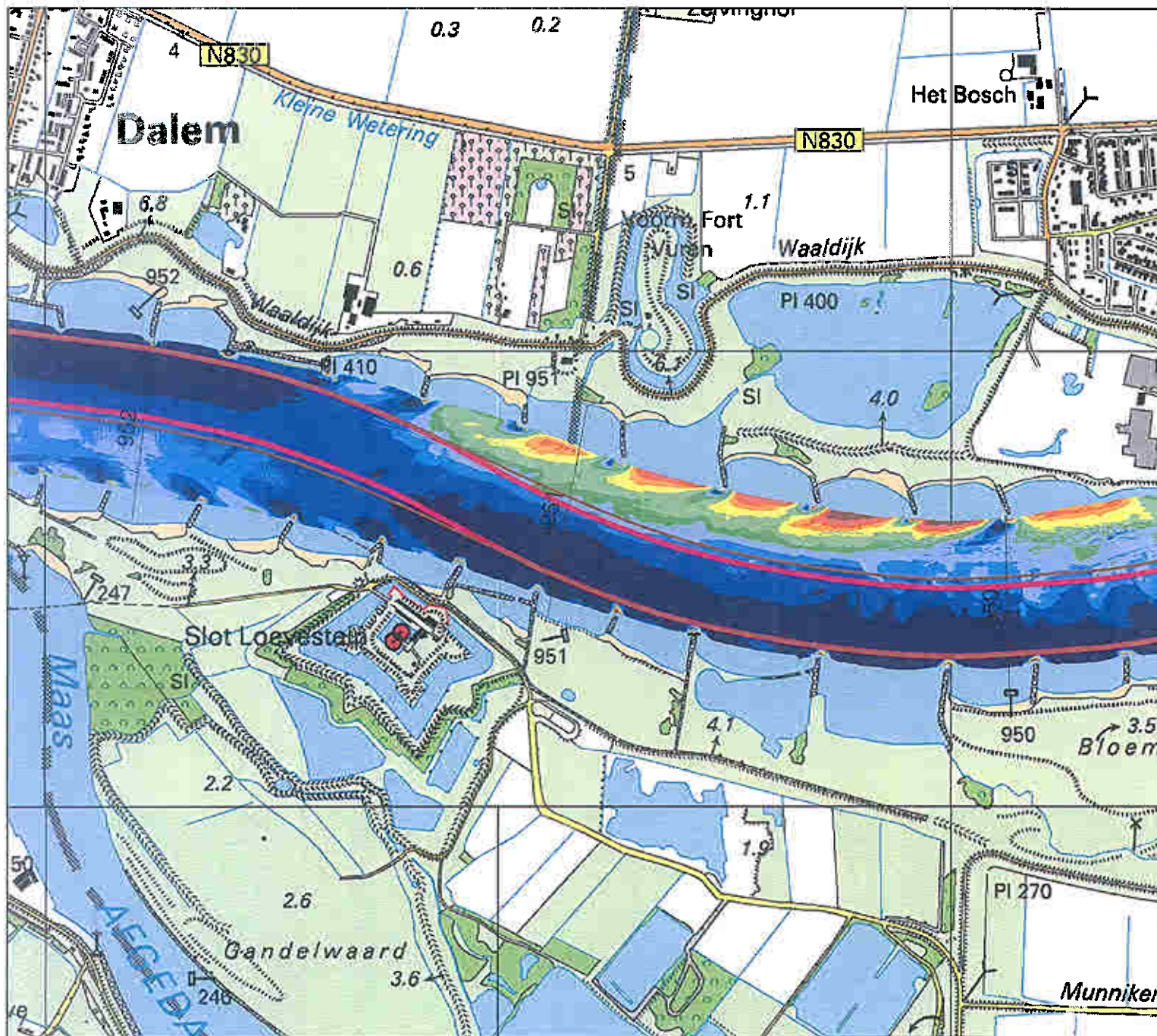
vaargeul 170 meter

Auteur: Hamilton
 Datum: 03-07-2008
 Kaartnummer:
 Referentie:

Schaal: 1:11.929
 Bron: WSM



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Rijkswaterstaat
 Directie Oost-Nederland



2005 t.o.v. BRV

BRV03_JMP05

Value

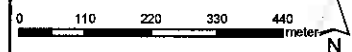


vaargeul 150 meter

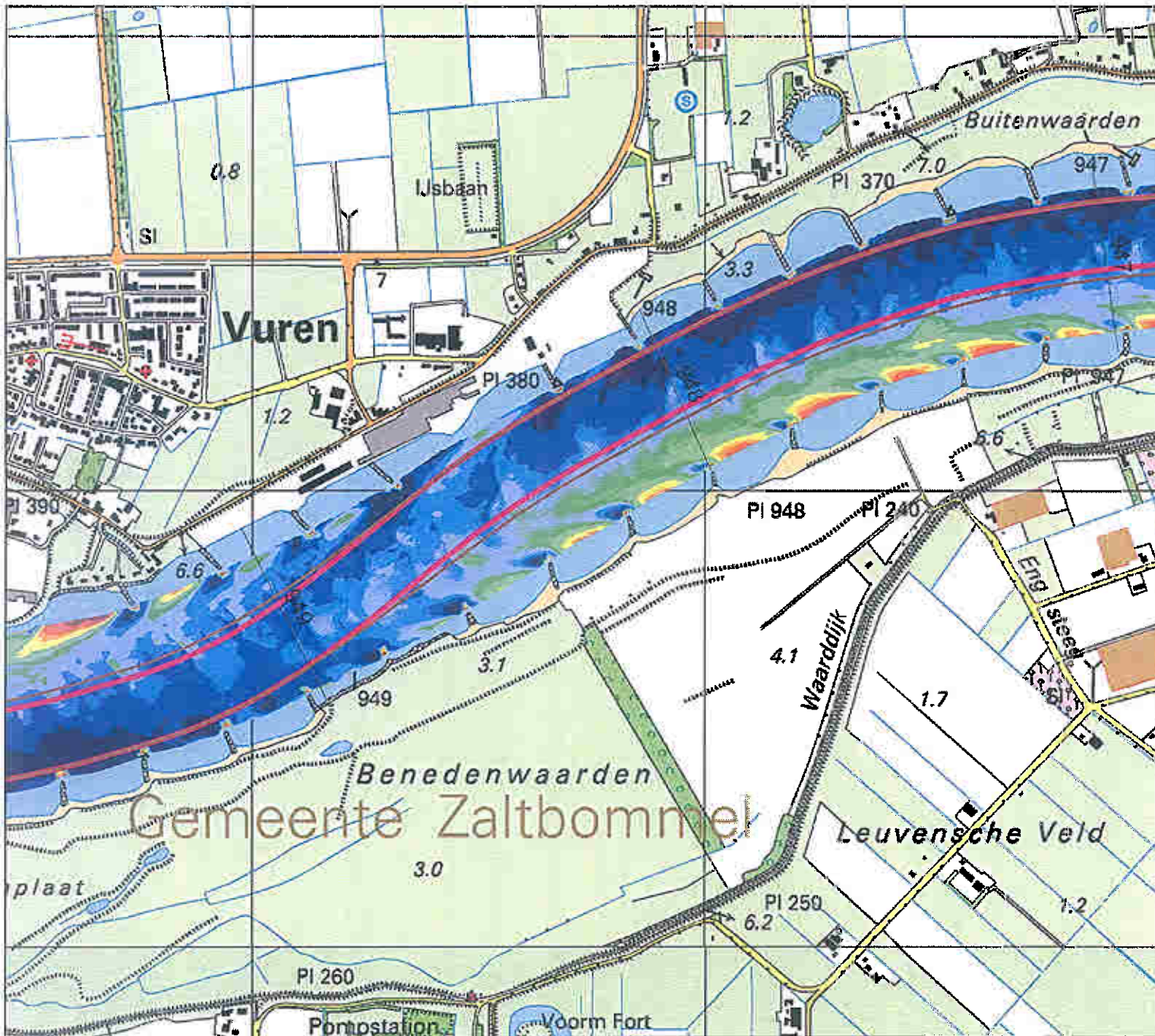
vaargeul 170 meter

Auteur: Hamilton
 Datum: 03-07-2008
 Kaartnummer:
 Referentie:

Schaal: 1:11.929
 Bron: WSM



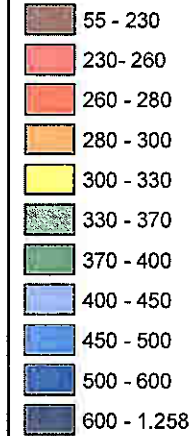
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Rijkswaterstaat
 Directie Oost-Nederland



2005 t.o.v. BRV

BRV03_JMP05

Value

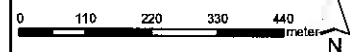


vaargeul 150 meter

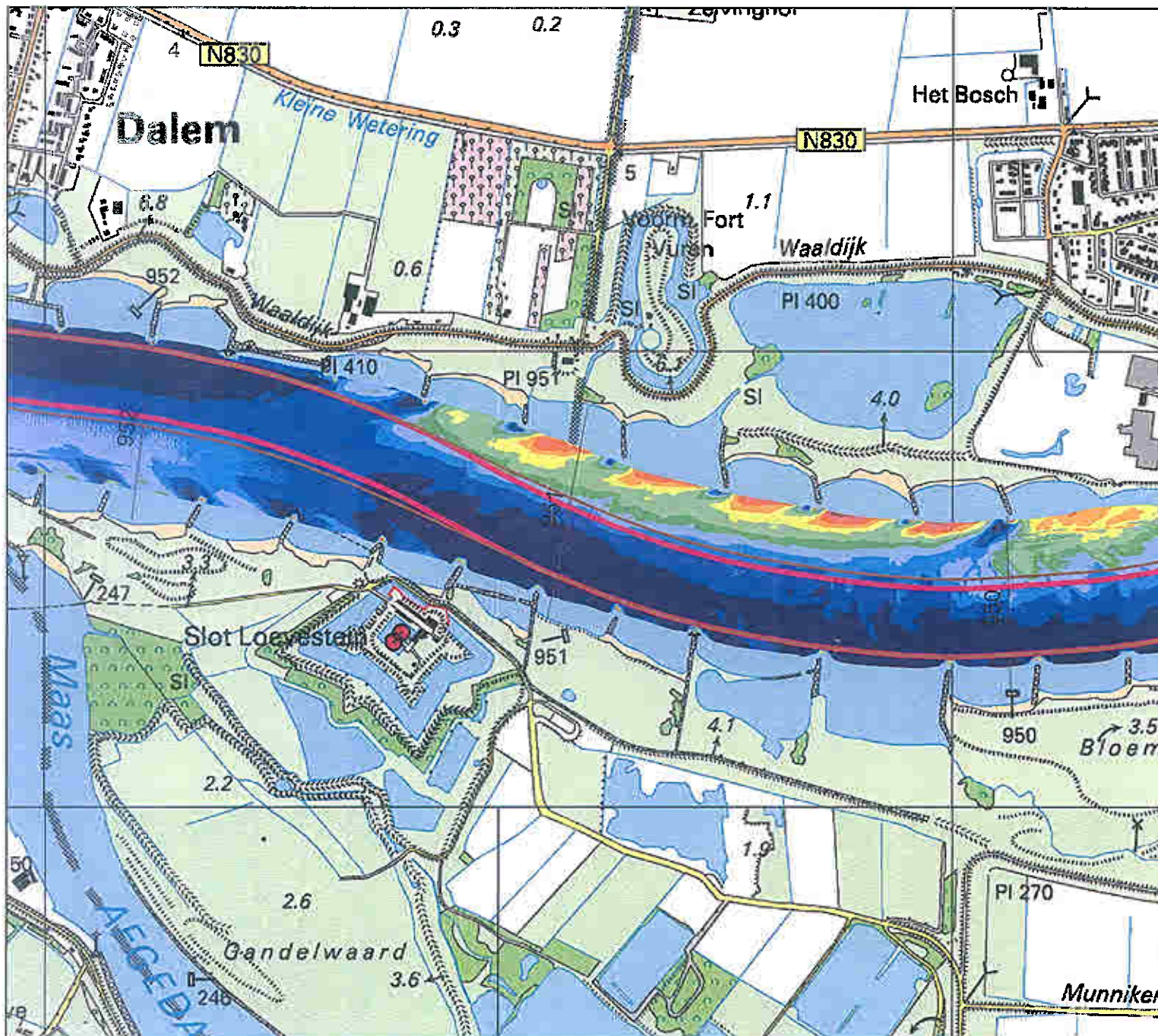
vaargeul 170 meter

Auteur: Hamilton
 Datum: 03-07-2008
 Kaartnummer:
 Referentie:

Schaal: 1:11.929
 Bron: WSM



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Rijkswaterstaat
 Directie Oost-Nederland



2006 t.o.v. BRV

BRV03_JMP06

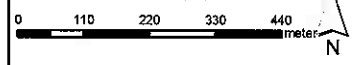
Value

- 120 - 230
- 230 - 260
- 260 - 280
- 280 - 300
- 300 - 330
- 330 - 370
- 370 - 400
- 400 - 450
- 450 - 500
- 500 - 600
- 600 - 1.301

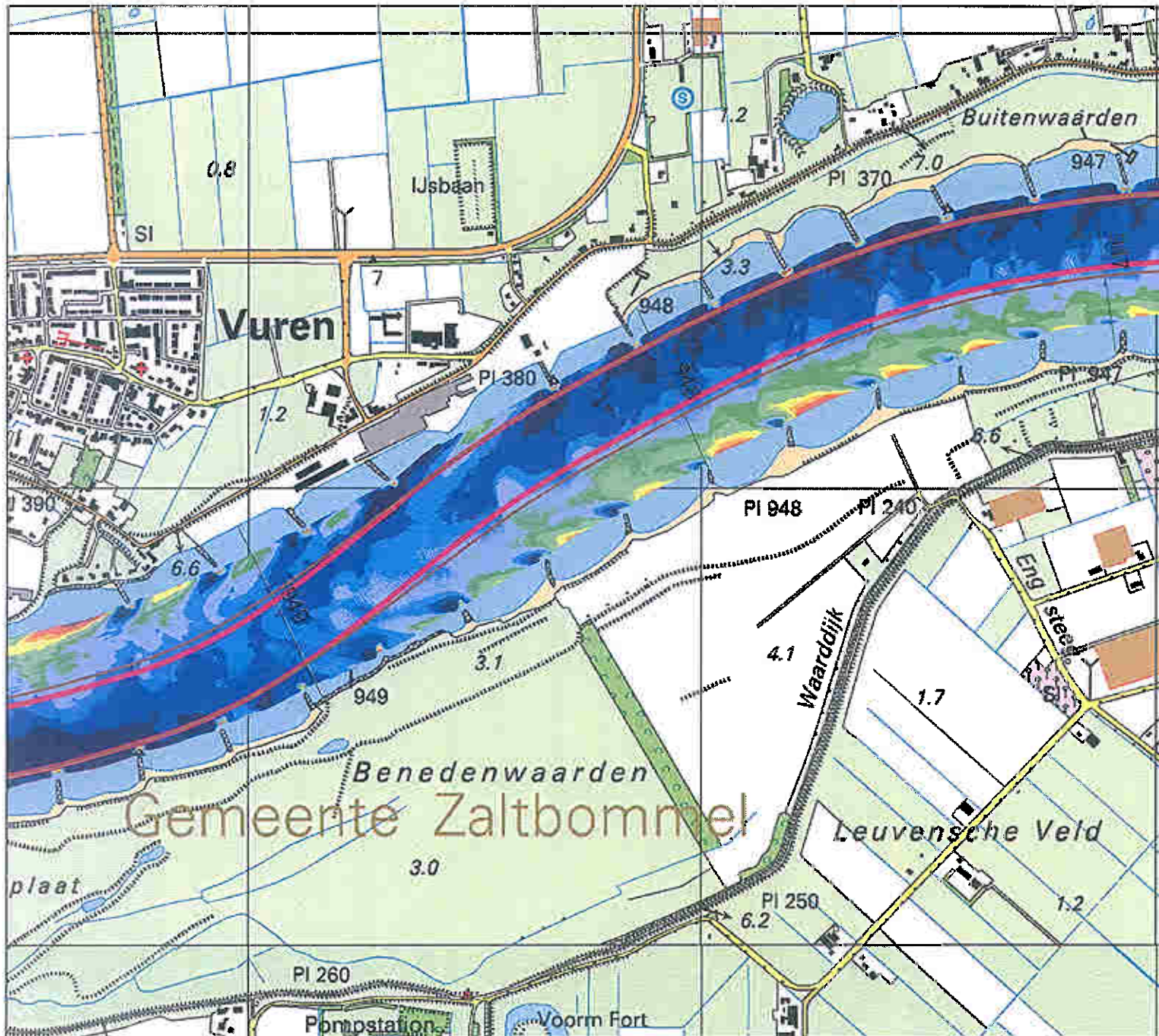
- vaargeul 150 meter
- vaargeul 170 meter

Auteur: Hamilton
 Datum: 03-07-2008
 Kaartnummer:
 Referentie:

Schaal: 1:11.929
 Bron: WSM



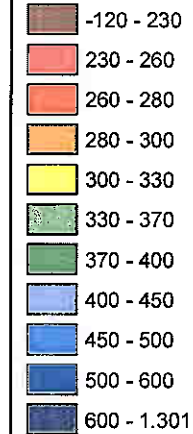
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Rijkswaterstaat
 Directie Oost-Nederland



2006 t.o.v. BRV

BRV03_JMP06

Value

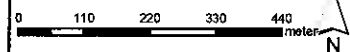


vaargeul 150 meter

vaargeul 170 meter

Auteur: Hamilton
 Datum: 03-07-2008
 Kaartnummer:
 Referentie:

Schaal: 1:11.929
 Bron: WSM



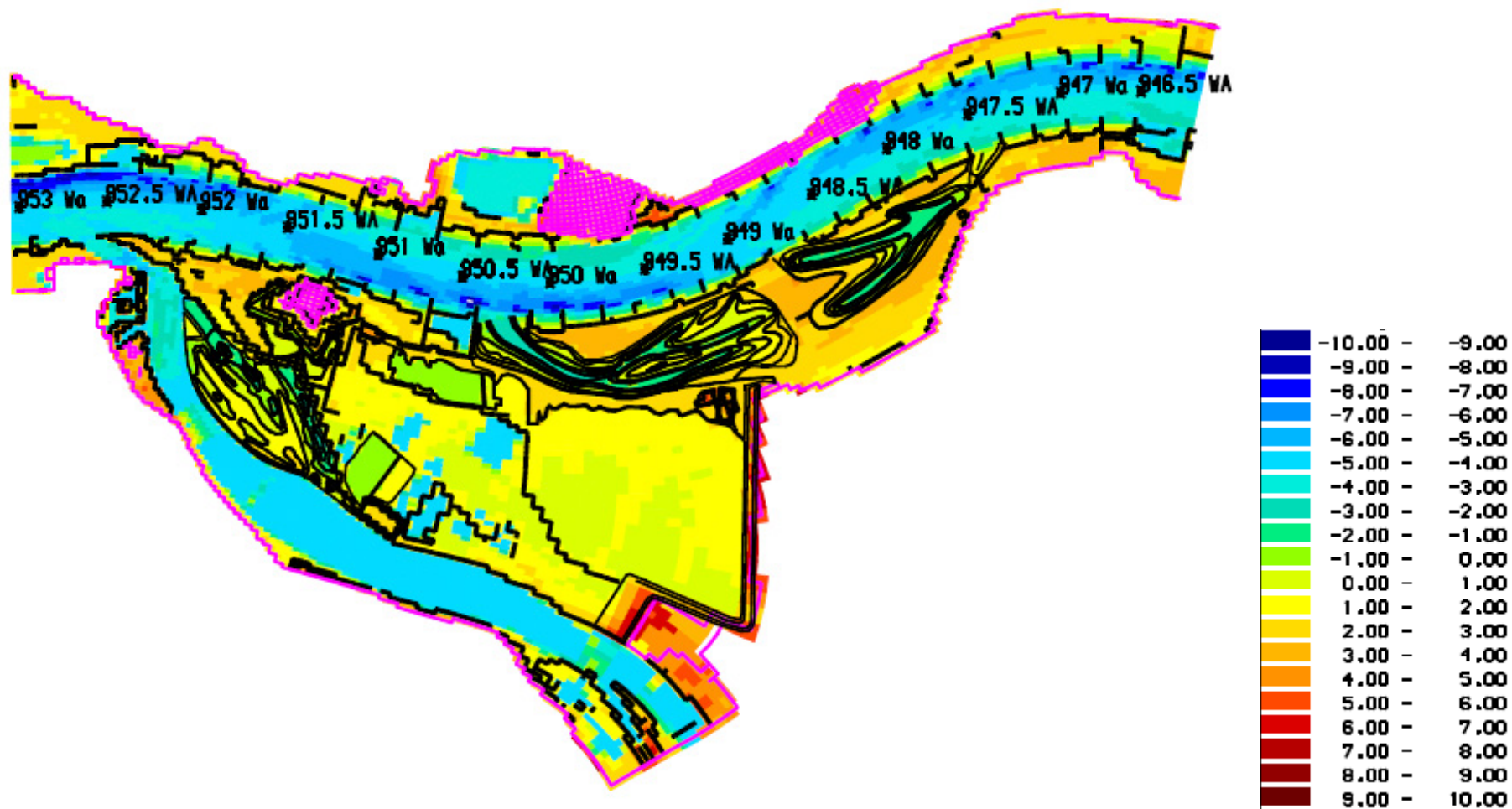
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Rijkswaterstaat
 Directie Oost-Nederland

Bijlage I Rivierkilometers

A COMPANY OF



ROYAL HASKONING



Figuur I.1: Projectgebied Munnikenland met de rivierkilometers op de Waal en de bodemhoogte (m+NAP) zoals geschematiseerd in WAQUA

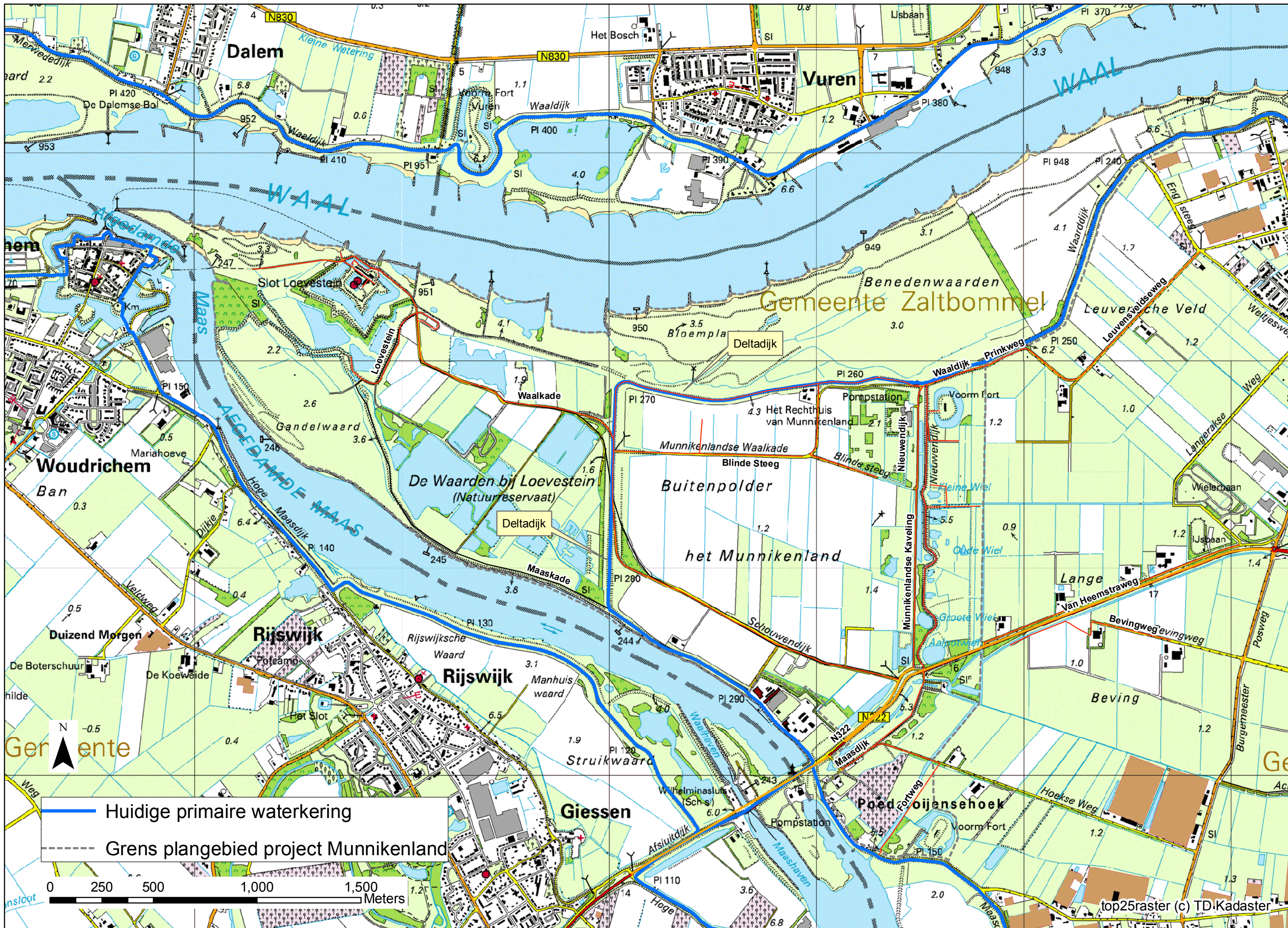
Bijlage J

Gebiedskenmerken en naamgeving kaart Munnikenland

A COMPANY OF



ROYAL HASKONING



— Huidige primaire waterkering
 Grens plangebied project Munnikenland

0 250 500 1,000 1,500
 Meters