

Rapportage Hydraulisch en morfologisch onderzoek Definitief Ontwerp maatregel Doorwerthse waarden



Boskalis bv

Project: 4 Maatregelen Nederrijn
Zaaknummer: 31035845

Documentnummer:	NR-RAP-105
Werkpakketcode:	3.2.4
Documentstatus:	Definitief
Versie:	2a
Datum:	9 maart 2012

	Naam	Paraaf	Datum
Opgesteld:	A.de Joode	<i>A. de Joode</i>	9 maart 2012
Getoetst:	M. Balke	<i>M. Balke</i>	9 maart 2012
Getoetst:	R.J. Jonker	<i>R.J. Jonker</i>	9 maart 2012
Vrijgegeven:	D.J. Zwemmer	<i>D.J. Zwemmer</i>	9 maart 2012
Geaccepteerd OG:			

Document historie

<i>Revisienummer.</i>	<i>Revisie datum</i>	<i>Aanpassingen</i>
<i>0a</i>	<i>24 oktober 2011</i>	<i>Eerste concept</i>
<i>0b</i>	<i>11 december 2011</i>	<i>Tweede concept</i>
<i>0c</i>	<i>3 januari 2012</i>	<i>Derde concept</i>
<i>0d</i>	<i>6 januari 2012</i>	<i>Vierde concept</i>
<i>1a</i>	<i>10 januari 2012</i>	<i>Definitief gereed voor verzending</i>
<i>1b</i>	<i>5 maart 2012</i>	<i>Opmerkingen OG verwerkt</i>
<i>1c</i>	<i>8 maart 2012</i>	<i>Opmerkingen PM, OM en TM verwerkt</i>
<i>2a</i>	<i>9 maart 2012</i>	<i>Definitief</i>

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Leeswijzer	5
2	Rivierkundig beoordelingskader.....	6
3	Werkproces.....	7
3.1	<i>Uitgangspunten en randvoorwaarden bij de berekeningen</i>	<i>7</i>
3.2	<i>Herhalingsberekeningen</i>	<i>8</i>
4	Locatie Doorwerth	9
4.1	Huidige situatie	9
4.1.1	Geometrie.....	9
4.1.2	Beheer	9
4.1.3	Autonome ontwikkeling	10
4.1.4	Instroomgedrag	11
4.1.5	Morfologie en scheepvaart.....	11
4.2	De maatregel/variant	11
4.2.1	Hoe ziet de ingreep eruit?	13
5	Effecten van de maatregel Doorwerth	15
5.1	Waterstand effect op de as van de rivier(rivierkundig beoordelingskader aspect 1.1)	15
5.2	Beheerruimte.....	16
5.3	Waterstandeffect in de uiterwaard en nabij de hoge gronden (aspect 1.2)	17
5.4	Effect op de afvoerverdeling (aspect 1.3 en 1.4).....	18
5.5	Gevolgen voor overstromingsfrequentie	19
5.6	Scheepvaart	19
5.7	Morfologie: erosie en sedimentatie (aspect 3.1 en 3.2).....	22
5.7.1	Aanzanding en erosie van het zomerbed	22
5.7.2	Aanzanding en erosie van de uiterwaard	26
5.8	Samengevat	27
6	Conclusies en aandachtspunten	30
6.1	Aandachtspunten	30
7	Referenties	31

1 Inleiding

In het kader van Ruimte voor de Rivier worden 4 maatregelen langs de Nederrijn uitgevoerd. Het gaat om de volgende maatregelen:

1. Elst
2. De Tollewaard
3. Middelwaard
4. Doorwerthse waarden

Alle maatregelen hebben een individuele rivierkundige werктаakstelling meegekregen. Deze werктаakstellingen zijn als volgt (Tabel 1):

Ingreep	Werктаakstelling	Locatie (rkm)
Elst	5,0 cm	916,0 – 917,0
De Tollewaard	7,0 cm	910,7 - 911,7
Middelwaard	3,0 cm	907,2 - 908,2
Doorwerthse Waarden	3,0 cm	892,2 - 893,2

Tabel 1 Werктаakstelling en locatie per maatregel

In voorliggende rapportage wordt ingegaan op de rivierkundige aspecten van de maatregel Doorwerthse waarden (hierna aangeduid als Doorwerth). Voordat de maatregel daadwerkelijk uitgevoerd kan worden is op basis van een voorkeursvariant (VKV) en bijbehorende vraagspecificaties [ref 1] een aanbiedingsontwerp gemaakt. Vervolgens is het ontwerp verder uitgewerkt via een Voorlopig Ontwerp (VO) tot een Definitief Ontwerp (DO). In de ontwerpnota is het ontwerp uitgebreid beschreven. In voorliggend document worden de hydraulische en morfologische aspecten van het DO besproken. Deze aspecten komen overeen met de aspecten genoemd in het rivierkundig beoordelingskader [ref 2].

Met behulp van het 2D-stromingsmodel WAQUA-in-SIMONA (WAQUA) zijn voor het DO hydraulische berekeningen uitgevoerd. Op basis van de resultaten worden de aspecten van het rivierkundig beoordelingskader beoordeeld. Hierbij wordt ingegaan op veiligheid, hinder en schade en morfologie.

1.1 Leeswijzer

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 kort ingegaan op de beoordelingsaspecten uit het rivierkundig beoordelingskader. Daarna wordt in hoofdstuk 3 de gevolgde aanpak om tot de beoordeling van de verschillende aspecten te komen beschreven. Voordat de verschillende aspecten uit het rivierkundig beoordelingskader worden beoordeeld (hoofdstuk 5) wordt in hoofdstuk 4 eerst kort ingegaan op de locatie Doorwerth, waarbij in paragraaf 4.1 de huidige situatie van Doorwerth staat beschreven en in paragraaf 4.2 het DO. In hoofdstuk 6 staan de conclusies.

2 Rivierkundig beoordelingskader

In onderstaande tabel worden de verschillende beoordelingsaspecten genoemd met bijbehorend criterium.

		Te beoordelen effect	Criterium
VEILIGHEID	1.1	Maatregel in stroomvoerend deel rivier: MHW stand op de as van de rivier	Stroomvoerend: geen waterstandsverhoging (bij 16.000 m³/s Boven-Rijn)/realiseren van de werктаakstelling
		Maatregel in bergend deel rivier: volume waterberging ¹	Bergend: geen vermindering bergend volume
	1.2	MHW stand buiten as van de rivier	Toename waterstand (bij 16.000 m³/s Boven-Rijn)
	1.3	Afvoerverdeling bij MHW (bij Pannerdensch Kop en IJsselkop)	Project binnen enkele km splitsing: verandering afvoerverdeling < 5 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 16.000 m³/s
			Project verder weg: geen verandering waterstand bij splitsing
1.4	Afvoerverdeling bij normaal hoogwater (bij Pannerdensch Kop en IJsselkop)	Verandering afvoerverdeling < 20 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	
HINDER/SCHADE	2.1	Waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard	Verandering waterstanden en/of inundatiefrequentie bij afvoeren die afhankelijk zijn van lokale omstandigheden. Standaard is Boven-Rijn afvoer van 15.000 m ³ /s, plus vaak ook de Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s
	2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	Verandering grootte en richting stroomsnelheden bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s
	2.3	Stroombeeld in hoofdgeul bij de aan- en aftakking van nevengeul	Bankfull afvoer nevengeul < 50 m ³ /s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,3 m/s Bankfull afvoer nevengeul > 50 m ³ /s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,15 m/s
	2.4	Afvoerverdeling bij normaal hoogwater	Verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s
	2.5	Afvoerverdeling bij lage afvoeren	Afwijking afvoerverdeling < 1 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m ³ /s (OLR)
MORFOLOGIE	3.1	Aanzanding en erosie van het zomerbed (+ oevers)	Bij erosie: - geen verlaging gemiddelde bodemligging; - geen oevererosie; - beperkte ontgroning bij constructies per hoogwater; Bij sedimentatie: - geen vermindering vaargeulafmetingen bij lage tot gemiddelde rivierafvoeren; - geen verhoging MHW op lange termijn; In het algemeen: - beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten en behouden veiligheid scheepvaartverkeer; - geen onacceptabele terugschrijdende erosie of sedimentatie i.v.m. risico verandering afvoerverdeling bij MHW of OLR.
	3.2	Aanzanding en erosie van uiterwaard en nevengeulen	Bij sedimentatie: - beperkte sedimentatie t.o.v. beheerskosten; Bij erosie: - geen ongewenste zijdelingse verplaatsing van de nevengeul / nevengeul minimaal 50 - 200 m van waterkering / geen bodemerosie langs waterkering; - stroomsnelheid nevengeul bankfull < 0,3 m/s; geen bodemerosie langs waterkering

Tabel 2 beoordelingsaspecten en criteria uit het rivierkundig beoordelingskader [ref 2]

Op basis van berekeningsresultaten worden voor het DO de effecten beoordeeld op de hierboven genoemde criteria.

¹ Op de Rijntakken worden alle uiterwaarden als stroomvoerend beschouwd. Dit criterium speelt op de Nederrijn dus geen rol.

3 Werkproces

Om de hydraulische en morfologische aspecten te kunnen beoordelen zijn hydraulische berekeningen uitgevoerd met het 2D-stromingsmodel WAQUA. De onderliggende schematisaties zijn opgebouwd met behulp van Baseline (gebaseerd op ArcGis). De volgende stappen zijn doorlopen:

1. Het Civil 3d ontwerp is omgezet naar GIS;
2. Het GIS-ontwerp is geschematiseerd in de vorm van een Baseline-maatregel (nr_DWDO_a6²) en m.b.v. de maatregelen-mixer (tool in Baseline) opgenomen in de basisschematisatie;
3. Met behulp van Baseline (Baswaq) is de Baseline-schematisatie geconverteerd naar WAQUA-invoerbestanden;
4. Controle van de Baseline-schematisatie (door Claudia Michels, zie mapje metainfo van de Baseline-maatregel);
5. Uitvoeren van WAQUA-simulaties op rekencluster van Agtersloot Hydraulisch Advies;
6. Analyse van de resultaten wat betreft hydraulische en morfologische effecten.

Aan het tot stand komen van het DO is een ontwerpproces vooraf gegaan waarbij het ontwerp diverse malen, op basis van wensen vanuit de omgeving, ruimtelijke kwaliteit en berekeningsresultaten, is geoptimaliseerd en aangepast. Uiteindelijk heeft dit geleid tot het DO dat ter acceptatie is ingediend. In deze rapportage wordt een aantal belangrijke optimalisaties genoemd.

Nadat het DO is ingediend ter beoordeling zijn door de opdrachtgever opmerkingen gemaakt welke doorgevoerd moeten worden in het DO. Daarnaast zijn er adviezen, aandachtspunten en vragen gegeven c.q. gesteld. De noodzakelijk te verwerken opmerkingen zijn voor zover van toepassing in voorliggende rapportage verwerkt. Dit geldt ook voor de meeste adviezen. Het DO is derhalve gewijzigd ten opzichte van het DO dat is ingediend ter acceptatie. Voor de wijzigingen zijn wat morfologie betreft extra berekeningen gemaakt. Voor de overige wijzigingen is op basis van expert judgement bepaald wat de consequenties zijn. Hiervoor zijn dus geen aanvullende berekeningen gemaakt.

De belangrijkste wijzigingen voor Doorwerth als gevolg van de review door de opdrachtgever op het ter acceptatie ingediende DO welke van toepassing zijn voor hydraulica en morfologie betreffen: De aanlegsteiger is iets verplaatst in het Ei van Thijsse

- De aanlegsteiger is iets verplaatst in het Ei van Thijsse;
- De zomerkade welke was blijven liggen achter de te handhaven meidoornhaag is alsnog verwijderd;
- Bepalen van de aanzanding in het zomerbed als gevolg van de ingreep. Dit is gedaan m.b.v. WAQMORF. Er is onderzocht of er wordt voldaan aan de gegarandeerde vaardiepte van 3,5 m en de breedtegemiddelde vaardiepte van 4,9 m t.o.v. OLR (Overeengekomen Lage Rivierstand). Op basis van de resultaten is het baggerbezwaar bepaald;
- Omdat de Doorwerth één van de 4 maatregelen Nederrijn is, is ook een pakketberekening uitgevoerd. De effecten van deze gecombineerde berekening zijn bij de betreffende paragrafen opgenomen;
- Voor de locaties waar de dwarsstroming niet binnen de gestelde norm valt, zijn mitigerende maatregelen onderzocht. Deze zijn echter niet doorgerekend met WAQUA;
- De beheerruimte is beter in beeld gebracht.

3.1 Uitgangspunten en randvoorwaarden bij de berekeningen

Voor de Baseline schematisatie en hydraulische berekeningen gelden de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden:

² Gemaakte keuzes bij het schematiseren zijn opgenomen in het metadata-document welke te vinden is in het mapje metainfo van de maatregel.

Gebruikte software/rekenapparatuur:

- Baseline versie 3.31-PKB
- WAQUA-versie 2007-01

Randvoorwaarden berekeningen:

- Er is gebruik gemaakt van een deelmodel van het Rijntakken-model gelijk aan het deelmodel van HKV uit eerdere studies [ref 3]. Het deelmodel beschrijft de rivier van rkm 880,8 op de Nederrijn tot rkm 988,6 op de Lek.
- Een afvoer van 3.380 m³/s op de Nederrijn, wat overeenkomt met een Bovenrijn-afvoer van 16.000 m³/s. Voor een aantal situaties is ook met lagere afvoeren gerekend. Dit wordt in de tekst verder toegelicht.
- Op de benedenrand (Krimpen a/d Lek) is een vaste waterstand van 1,54 m+NAP opgelegd.

Gebruikte referentiemodel:

- Baseline schematisatie Simona_PKB_3_4³

3.2 Herhalingsberekeningen

Voordat de effecten van de maatregelen zijn bepaald zijn eerst reproductieberekeningen uitgevoerd. Het doel van deze berekeningen is om de kwaliteit en betrouwbaarheid van het gebruikte rekencluster (AHA) aan te tonen.

Hiervoor zijn 5 berekeningen uitgevoerd. Ten eerste voor de referentiesituatie simona_PKB_3_4 en daarnaast voor elke locatie de oorspronkelijke PKB-maatregel. Uit deze exercitie blijkt dat de berekeningen vergelijkbare resultaten opleveren en dat de uitkomsten betrouwbaar zijn. Een uitgebreide beschrijving van de berekeningen is te vinden in het rapport Reproductieberekeningen 4 maatregelen Nederrijn [ref 5].

³ In overleg met PDR en RWS-projecten is besloten dat de AO-maatregelen, die in een eerdere fase van het project (HKV/Witteveen+Bos) in de referentie zijn opgenomen, op een andere manier meegenomen moeten worden dan staat vermeld in het memo "2010-11-01 memo hydraulica.pdf" (bindend document [ref 4], e-mail modellenoverleg Koen Wouters d.d. 21 september 2011). Dit betekent dat voor alle locaties Simona_PKB_3_4 als referentie gebruikt wordt [ref 5].

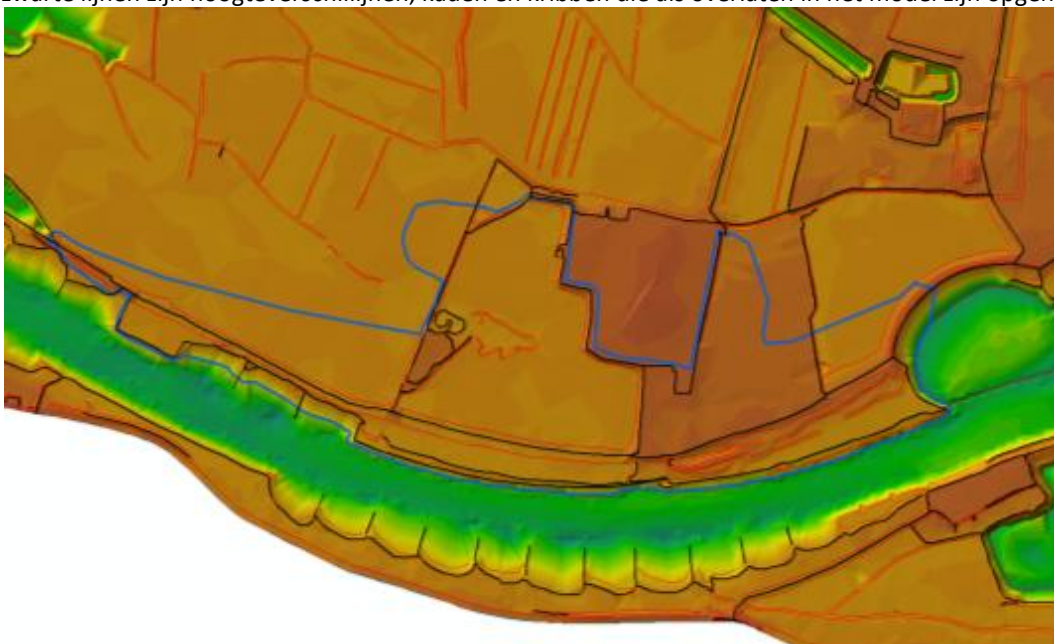
4 Locatie Doorwerth

4.1 Huidige situatie

De locatie Doorwerth ligt langs de Nederrijn op de rechteroever van rkm 892.6 tot 894.5. Het gebied ligt net benedenstrooms van het stuw- en sluiscomplex Driel. Aan bovenstroomse zijde grenst het projectgebied aan het Ei van Thijsse, dit is een sedimentatiekom. In de uiterwaard langs de hoge gronden aan de noordzijde bevindt zich Kasteel Doorwerth. Verder is er een steenfabrieksterrein dat vrijwel hoogwatervrij ligt met een tasveld tussen het terrein en het zomerbed van de rivier. Aan beide zijden van het relatief hooggelegen tasveld sluit een zomerkade aan. Op de oever ligt een losplaats. Aan benedenstroomse zijde van het gebied ligt de brug van de A50.

4.1.1 Geometrie

In de huidige situatie wordt de uiterwaard begrensd door een zomerkade. De kruin van deze kade ligt op een hoogte van 10,8 tot 11,1 m+NAP. Het maaiveld ligt rond de 8,7 m+NAP. Het tasveld ligt op een hoogte van 10,6 tot 11,0 m+NAP. De blauwe lijn in Figuur 1 geeft de omtrek van de ingreep aan. De zwarte lijnen zijn hoogteverschillijnen, kaden en kribben die als overlaten in het model zijn opgenomen.



Figuur 1 Bodemligging van de huidige situatie Doorwerth (simona_PKB_3_4)

4.1.2 Beheer

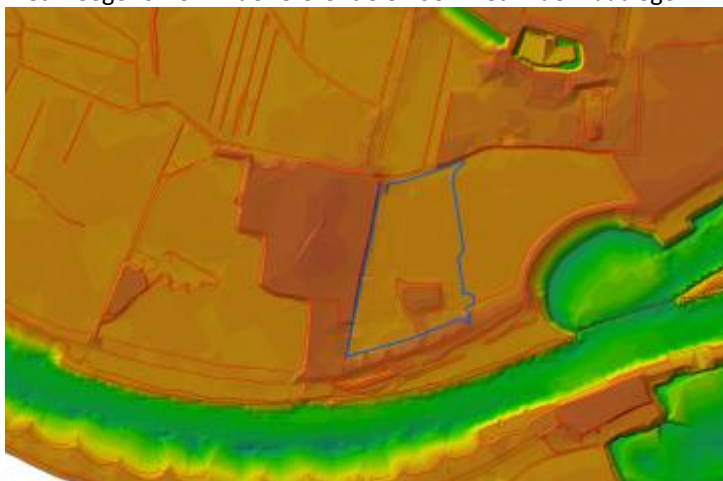
De Doorwerthse waarden is een landbouw gebied en bestaat grotendeels uit lage vegetatie in de vorm van graslanden. Op een aantal locaties zijn struwelen ontstaan en langs de zomerkade en op de oever staan meidoornhagen. De steenfabriek heeft een hoogwatervrije vergunning (zie Figuur 2).



Figuur 2 Vegetatie/beheer van de huidige situatie Doorwerth (simona_PKB_3_4)

4.1.3 Autonome ontwikkeling

Het terrein aan de oostzijde van de steenfabriek (zie blauwe contour in Figuur 3) is recentelijk afgegraven tot een hoogte van 8,5 tot 9,0 m+NAP. Er is een kleine terp met een gebouw blijven staan (in zuidelijk deel van blauwe contour van Figuur 3). Deze autonome ontwikkeling wordt meegenomen als onderdeel van de Ruimte voor de Rivier maatregel Doorwerth. De natuurontwikkeling (ook een autonome ontwikkeling) ten noorden van de steenfabriek en aan de westzijde van kasteel Doorwerth is niet meegenomen in de referentie en ook niet in de maatregel⁴.



Figuur 3 bodemligging van de autonome ontwikkeling (blauwe lijn geeft de begrenzing aan)

⁴ In overleg met PDR is afgesproken dat deze autonome ontwikkeling net als bij de maatregel Elst (deels) opgenomen wordt als onderdeel van de maatregel en niet in de referentie ([ref 4] en e-mail modellenoverleg Koen Wouters d.d. 21 september 2011).

4.1.4 Instroomgedrag

De uiterwaard wordt deels begrensd door een zomerkade die halverwege wordt onderbroken door het hoger gelegen tasveld van de steenfabriek. De hoogte van de zomerkade en tasveld (uitgaande van een instroomhoogte van 10,8 m+ NAP) zorgt ervoor dat de uiterwaard achter de zomerkade 1 keer in de 4 jaar overstroomt (wat overeenkomt met een Bovenrijn-afvoer van circa 8.200 m³/s [ref 6]). Het steenfabriekterreinen ligt vrij hoog en zal in de praktijk zelden (minder dan 1 keer per 100 jaar [ref 6]) overstroomd, een deel dat wat lager ligt zal 1 keer in de 10 jaar onder water staan. In de rekenmodellen is dit steenfabrieksterrein gedefinieerd als hoogwatervrije vergunning en zal daarom niet overstroomd.

4.1.5 Morfologie en scheepvaart

De bodemligging van het zomerbed van de Nederrijn vertoont een dalende trend [ref 3]. Op een groot deel van de Nederrijn zijn er in de huidige situatie geen grote problemen te verwachten wat betreft morfologie (baggeren) en scheepvaart. Echter, omdat Doorwerth in het bovenstroomse deel van het stuwpand ligt is de bodem van het zomerbed hier vanwege het verhang relatief hoog. In gestuwde situatie is de waterstand in het stuwpand vrijwel overal gelijk en levert dat in het bovenstroomse deel automatisch een lagere waterdiepte op, met grotere kans op problemen voor de scheepvaart als gevolg van ondieptes. Door aanleg van de maatregel Doorwerth kan deze situatie wijzigen. In paragraaf 5.7 worden de effecten van de maatregel op dit aspect beschreven.

4.2 De maatregel/variant

Voor de locatie Doorwerth is in het kader van de PKB een maatregel en werктаakstelling vastgesteld. Bij de verdere uitwerking van de maatregel is in 2009 een Voorkeursvariant (VKV) vastgesteld [ref 1]. Dit VKV bestaat uit een aantal objecten (zie Tabel 3) en er is een vraagspecificatie opgesteld waarin de eisen zijn beschreven waaraan de maatregel moet voldoen. Op basis van deze uitgangspunten is het ontwerp van het VKV verder geoptimaliseerd. Hierbij is eerst een Voorlopig Ontwerp (VO) gemaakt dat vervolgens verder is uitgewerkt tot een Definitief Ontwerp (DO).

De objecten van het VKV die van rivierkundige belang zijn, zijn in Tabel 3 in blauw weergegeven:

Objectnr.	Object
1.1.1	Ooibos
1.1.2	Weide buitenkaads
1.2.1	Terp
1.2.2	Overig binnenkaads gebied
1.3.1	Zomerkade
1.3.2	Rivieroever
1.3.3	Wegen en paden
1.3.4	Passantensteiger
1.3.5	Omgeving loswal

Tabel 3 Objecten Doorwerth [ref 1]



Figuur 4 systeem- en objectgrenzen [ref 1]

De VKV maatregel bestaat uit het verplaatsen van de zomerkade richting de uiterwaard. Hierdoor ontstaat een groter buitenkaads gebied. De hoogte van de kade blijft ongewijzigd waardoor de overstromingsfrequentie van het binnenkaadse gebied gelijk blijft. Het nog bestaande hogere deel van het tasveld wordt afgegraven tot omliggend maaiveld net als de kleine terp met gebouw (zie autonome ontwikkeling paragraaf 4.1.3), de weg naar de loswal en de loswal zelf. Aan de bestaande terp (steenfabrieksterrein) worden de taluds aan de oost- en westzijde aangevuld en hierop wordt oobos gesitueerd. De terp zelf wordt aan de zuidwestzijde uitgebreid zodat een vrijwel vierkant terrein ontstaat. Het binnenkaadse gebied wijzigt verder niet als het gaat om elementen die rivierkundig relevant zijn. De rivieroever wordt afgevlakt en loopt van bestaand maaiveld (ongeveer 9 m+NAP) schuin af naar 6 m+NAP (stuwpeil) nabij de oeverlijn. Een uitgebreide beschrijving van de maatregel is te vinden in de ontwerpnota van Doorwerth [ref 7]. De passantensteiger bestaat uit twee palen met een drijvende steiger. Doordat de steiger in de stroomluchte van het Ei van Thijsse ligt heeft het rivierkundig weinig invloed.

Tijdens het ontwerpproces is een aantal wijzigingen van het VKV voorgesteld en doorgevoerd. Het gaat hier om de volgende aanpassingen:

- Onder het bovenstroomse deel van het nieuwe buitenkaadse gebied ligt een gasleiding. Om deze voldoende te beschermen is er enige dekking nodig. Dit is opgelost door hier een verhoging te laten liggen. De hoogte is 10 m+ NAP en om extra energieverlies en mogelijke erosie te voorkomen heeft de dam flauwe taluds van 1:10.
- In de bestaande situatie ligt langs de zomerkade een meidoornhaag. De wens is om deze deel te behouden. Dit is gerealiseerd door direct bovenstrooms van de brug een deel van de kade en de meidoornhaag te behouden. De lengte van de behouden haag en kade is circa 300 meter. De zomerkade is iets verder landinwaarts verplaatst ten opzichte van het VKV (maximaal 5 meter).
- De breedte waarover afgraving van de rivieroever heeft plaatsgevonden is iets minder gemaakt op het deel tussen loswal en het Ei van Thijsse. Hierdoor komt de 9m-lijn verder richting het zomerbed te liggen.
- De punt aan zomerbedzijde van het Ei van Thijsse is behouden gebleven en zelfs iets verstevigd. Hierdoor blijft de functie van het Ei van Thijsse gehandhaafd (eis uit VS1).
- Het westelijke aangevulde talud van de terp heeft een iets minder puntige vorm gekregen vanwege het niet in eigendom krijgen van een aangrenzend perceel.
- De loswal is in oorspronkelijke toestand gehandhaafd.
- De passantensteiger was te dicht bij de vaargeul gesitueerd wat hinder oplevert voor de scheepvaart. Om deze reden is de steiger iets verder naar het noordwesten verplaatst waardoor de afstand tot de vaargeul is toegenomen⁵.

Bovenstaande wijzigingen zijn meegenomen in het DO.

Naar aanleiding van de opmerkingen op het ter acceptatie ingediende DO zijn hieraan toegevoegd⁶:

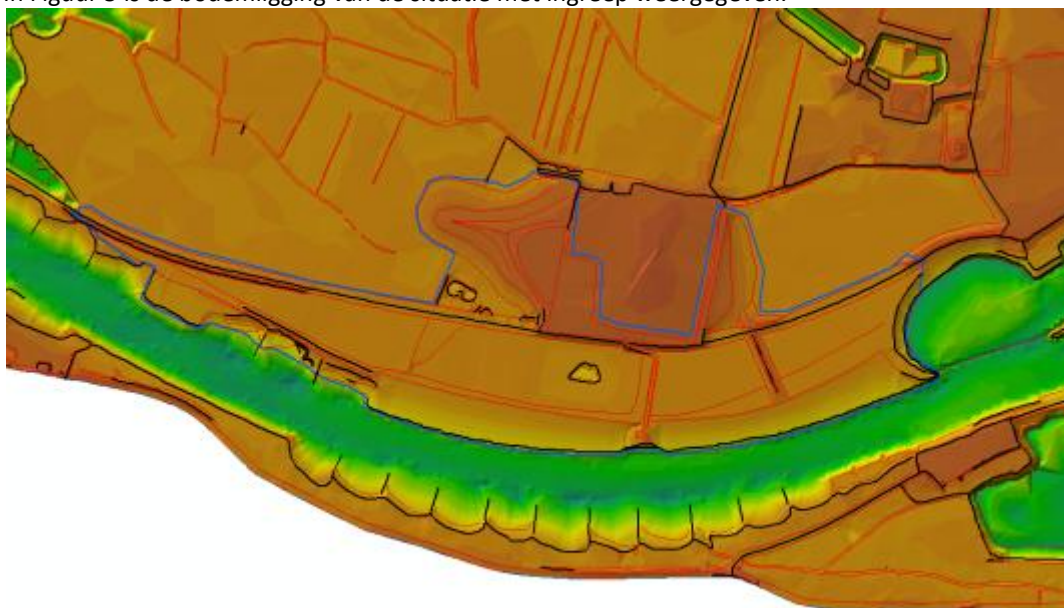
- De aanlegsteiger is nog iets verder verplaatst in het Ei van Thijsse;
- De zomerkade welke was blijven liggen achter de te handhaven meidoornhaag is alsnog verwijderd.

⁵ Deze aanpassing is niet opgenomen in de hier beschreven berekeningen. Daarin staan de palen van de aanlegsteiger nog op de oude plaats. Omdat het effect van de twee palen beperkt is, is een wijziging in de berekende waterstandsverlagende effecten niet te verwachten, en derhalve niet meer doorgerekend.

⁶ Deze aanpassingen zijn niet meer opgenomen in de in dit rapport beschreven berekeningen. Omdat het verwachte effect beperkt zal zijn, is een wijziging in de berekende waterstandsverlagende effecten niet te verwachten.

4.2.1 Hoe ziet de ingreep eruit?

In Figuur 5 is de bodemligging van de situatie met ingreep weergegeven.



Figuur 5 Bodemligging van de variant Doorwerth (Doorwerth_DO5)

De blauwe lijn in Figuur 5 geeft de omtrek van de ingreep aan. De zwarte lijnen zijn hoogteverschillijnen, kaden en kribben die als overlaten zijn meegenomen. De oever is verlaagd en loopt van bestaande hoogte bij de teen van de oorspronkelijke kade (ongeveer 9,0 m+NAP) schuin af tot 6 m+NAP bij de oeverlijn. Ter plaatse van de gasleiding is een verhoging meegenomen met een hoogte van 10,0 m+NAP. Het maaiveld van het nieuwe buitenkaadse gebied ligt op gemiddeld 8,8 m+NAP. Dat geldt ook voor de weg naar de loswal. De loswal zelf ligt op ongeveer 9,0 m+NAP zodat het bestaande materieel van de steenfabriek (pontons) daar goed op aansluiten. Aan de westzijde, net bovenstrooms van de brug, is een deel van de kade blijven liggen. Deze kade is naar aanleiding van de beoordeling verwijderd. De zomerkade is verplaatst in noordelijke richting en sluit aan op de hoge terp. Hiervoor is de kleine terp met gebouw oostelijk van het steenfabrieksterrein verwijderd. De kruinhoogte van de verplaatste zomerkade varieert van 10,8 tot 11,2 m+NAP en is daarmee vergelijkbaar met de hoogte van de bestaande kade. Bij het Ei van Thijsse is de oever niet gewijzigd.

In Figuur 6 is de kaart met vegetatiestructuurtypen opgenomen zoals deze met WAQUA is doorgerekend. Voor Doorwerth is de interventiekaart gelijk aan de inrichtingskaart. De inrichtingskaart laat zien hoe de vegetatie er na de inrichting naar verwachting uit komt te zien.

De interventiekaart geeft de vegetatiesituatie weer die maximaal haalbaar is als het gaat om ruwheden, waarbij de werктаakstelling wordt gerealiseerd. Ruwere vegetatie dan op de interventiekaart is aangegeven, is niet toelaatbaar. In dit geval wordt met de inrichtingskaart precies de taakstelling gerealiseerd. Dat betekent dat voor de interventiekaart alleen gezocht kan worden naar ruwere vegetatie in stromingsluwe zones. Op plaatsen waar de stroomsnelheid lager is dan 0,1 m/s heeft een ingreep vrijwel geen effect. Op deze locaties kan ruwere vegetatie toegestaan worden⁷.

⁷ Op de interventiekaart van het beheerplan van de Doorwerthse waarden [ref 9] zijn zones opgenomen waar de stroomsnelheid lager is dan 0,1 m/s. Op deze locaties wordt op de interventiekaart oibos toegestaan. De interventiekaart met deze extra ruwe zones is niet met WAQUA doorgerekend.



Figuur 6 Vegetatiekaart (inrichtingskaart) Doorwerth met per vlak de ruw_code en vegetatiestructuurtype aangegeven

In de interventiekaart die opgenomen is in het beheerplan [Ref 8] zijn ook de vlakken waar de stroomsnelheid kleiner is dan 0,1 m/s aangemerkt als ooibos. Er wordt vanuit gegaan dat extra ruwheid op deze locaties geen invloed heeft op de waterstanden. Deze vlakken liggen op de hogere delen zoals op de terp en zijn niet met WAQUA doorgerekend. Deze verschillen tussen de interventiekaart van het beheerplan en de met WAQUA doorgerekende interventie-/inrichtingskaart hebben geen invloed op het behalen van de werktakstelling.

Het verschil tussen de inrichtingskaart en de interventiekaart is in de beheerruimte. Deze kan uitgedrukt worden in millimeter waterstandverschil. Omdat er bij Doorwerth geen sprake is van beheerruimte wordt de overruimte uit benedenstroomse projecten in Doorwerth ingezet als beheerruimte. Voor een gedetailleerde toelichting over beheer- en overruimte wordt verwezen naar paragraaf 5.2.

Voor elk object van de objectenkaart (Figuur 4) is in de vraagspecificatie [ref 1] een Natuurdoeltype (NDT) aangegeven. Om deze natuurdoeltypen om te zetten naar ruwheden voor WAQUA (in de vorm van ruw_codes) is een conversietabel gemaakt (bijlage 2 [ref 8]). Hierbij is op basis van de lokale omstandigheden bekeken welke ecotopen/vegetatiestructuurtypen met de diverse NDT's overeenkomen:

Natuurdoeltype (NDT)	Vegetatiestructuurtype	Ruw_code (WAQUA)
NDT verlaagde oeverzone NDT 3.32 'nat grasland'	natuurlijk gras/hooiland	212
NDT laaggelegen weide NDT 3.39 'Bloemrijk grasland van het rivierenge- bied'	natuurlijk gras/hooiland	212
Ooibos NDT 3.61	Zachthoutooibos/hardhoutooibos	776/775
NDT 3.66 'bos van vochtige, voedselrijke gronden'	hardhoutooibos	775
NDT 3.53 'mantel rivierengebied'	doornstruweel	771
Watergang NDT 3.10 Langzaam stromende rivier of nevengeul	nevengeul	54
NDT noordelijke oever watergang NDT 3.17 geïsoleerde meander en petgat	zeggen	764
NDT Moeras NDT 3,24	biezen	766

Tabel 4 Gebruikte natuurdoeltypen en vertaling naar vegetatiestructuurtype en ruw_code voor WAQUA

In de ontwerpnota [ref 7] zijn de ontwerptekeningen van het Definitief Ontwerp opgenomen.

5 Effecten van de maatregel Doorwerth

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de aspecten die beoordeeld worden in het kader van het Rivierkundig beoordelingskader (Tabel 2). In dit hoofdstuk worden de verschillende aspecten beoordeeld op basis van berekeningsresultaten.

Zoals in paragraaf 3.1 is aangegeven is een simulatie uitgevoerd voor een afvoer die overeenkomt met een Bovenrijn-afvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Hiermee wordt bepaald of de werктаakstelling gerealiseerd wordt (Tabel 5). Voor het bepalen van andere effecten bijvoorbeeld voor scheepvaart en morfologie zijn ook simulaties met lagere afvoeren uitgevoerd. Voor Doorwerth gaat het om de volgende Bovenrijn-afvoeren:

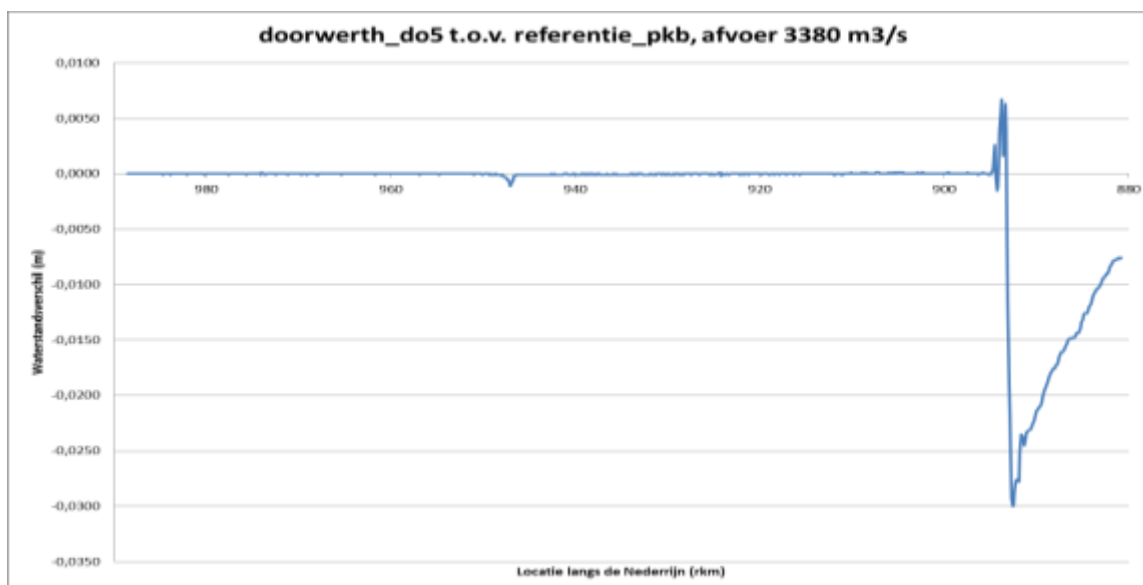
- $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- $9.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Voor alle simulaties is voor de vegetatie/ruwheden de vertaling van de inrichtingskaart gebruikt. Daarnaast is met de vegetatiesituatie volgens de interventiekaart een “pakketberekening” uitgevoerd waarbij de 4 maatregelen langs de Nederrijn (naast Doorwerth ook Elst, De Tollewaard en Middelwaard) in combinatie zijn doorgerekend om te kijken hoe de 4 maatregelen elkaar beïnvloeden. De resultaten van deze simulaties zijn geanalyseerd en op basis daarvan zijn de effecten van de maatregel Doorwerth bepaald. Deze worden hieronder beschreven. Paragraaf 5.8 geeft een samenvatting van de effecten voor de aspecten van het beoordelingskader.

5.1 Waterstand effect op de as van de rivier(rivierkundig beoordelingskader aspect 1.1)

Maatregel	Omschrijving	Werктаakstelling (cm)	Waterstandsding (cm)
DW_DO5	DO Doorwerth – inrichtingskaart	3,0 (rkm 892,2 - 893,2)	$3,0^8$ (rkm 892,6)

Tabel 5 werктаakstelling en waterstandsding Doorwerth



Figuur 7 Waterstandseffect op de as van de rivier bij een Bovenrijnafvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$. DO Doorwerth t.o.v. referentie

⁸ Vanwege grotere verschillen in bodemhoogte en kadehoogte tussen het WAQUA-model (simona_PKB_3_4) en het huidige DTB-nat (wat als basis is gebruikt voor het DO), ontstaan verschillen op plaatsen die in principe niet wijzigen. Dit heeft gevolgen voor het waterstandsverlagend effect. In deze berekening van het DO is uitgegaan van de hoogte zoals deze in het oorspronkelijke WAQUA-model opgenomen is. Zie voor een uitgebreide toelichting [ref 10].

Met een Bovenrijn-afvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is het waterstandsverlagende effect van de maatregel t.o.v. de huidige situatie bepaald. In de grafiek van Figuur 7 is het effect op de as van de rivier weergegeven. De maximale waterstandsverlaging is 3,0 cm op rkm 892,6. Hiermee wordt de werктаakstelling gerealiseerd. De maximale opstuwing (benedenstrooms en als gevolg van de rivierverruiming) is 6 mm.

5.2 Beheerruimte

In Figuur 6 is de inrichtingskaart gegeven. Deze situatie voldoet precies aan de werктаakstelling. Dat betekent dat er geen beheerruimte is als naar de maatregel individueel wordt gekeken. Voor het winterseizoen zal een groot deel van het buitenkaadse gebied kort gemaaid moeten worden. Wel is het langs de oever mogelijk gemaakt om een deel van de bestaande meidoornhaag te laten bestaan. Ook op de terp kan ruwere vegetatie ontwikkelen omdat deze zones stromingsluw zijn en ruwere vegetatie daardoor weinig tot geen effect heeft op de waterstanden.

Zoals aangegeven is er ook een pakketberekening uitgevoerd om te kijken hoe de 4 maatregelen langs de Nederrijn elkaar beïnvloeden. Omdat de effecten van een ingreep in bovenstroomse richting doorwerken, kunnen waterstandsverlagende effecten van de projecten die benedenstrooms van de Doorwerthse waarden liggen extra verruiming opleveren ter hoogte van de Doorwerthse waarden. Deze 'overruimte' kan ingezet worden voor beheer.

Om te bepalen wat deze overruimte ter plaatse van de Doorwerthse waarden is, moet rekening gehouden worden met de volgende uitgangspunten:

1. Het individuele effect van de PKB-maatregel die als basis heeft gediend voor het bepalen van de taakstelling is 2,0 cm. De uiteindelijk opgelegde werктаakstelling is 3,0 cm.
2. Alleen de extra ruimte die de maatregelen van het DO opleveren t.o.v. de waterstandsverlaging van de PKB-maatregelen mag meegenomen worden als overruimte.
3. In de pakketberekening is voor Middelwaard niet de interventiekaart opgenomen. Dit effect dient wel meegenomen te worden bij het bepalen van de overruimte bij Doorwerth. Het bovenstroomse effect als gevolg van een beheerruimte van 0,15 cm bij Middelwaard [Ref 14] is bepaald op basis van eerdere berekeningsresultaten.

In onderstaande tabel (Tabel 6) zijn, voor het traject waarbinnen de taakstelling van Doorwerth gehaald moet worden, de effecten van verschillende situaties en uitgangspunten op een rijtje gezet.

rkm	effect pakket- berekening PKB	extra opgelegde taakstelling	totaal effect PKB-maatregelen	pakketberekening 4 maatregelen NR DO	effect interventiekaart Middelwaard (VO2-VO3)	totaal effect DO interventiekaart	overruimte (cm)
892,2	-0,0491	-0,01	-0,0591	-0,0620	0,0006	-0,0614	-0,23
892,3	-0,0495	-0,01	-0,0595	-0,0624	0,0006	-0,0618	-0,23
892,4	-0,05	-0,01	-0,0600	-0,0630	0,0006	-0,0624	-0,24
892,5	-0,0511	-0,01	-0,0611	-0,0644	0,0006	-0,0638	-0,27
892,6	-0,0501	-0,01	-0,0601	-0,0651	0,0006	-0,0645	-0,44
892,7	-0,0477	-0,01	-0,0577	-0,0646	0,0006	-0,0640	-0,63
892,8	-0,0442	-0,01	-0,0542	-0,0610	0,0006	-0,0604	-0,62
892,9	-0,0417	-0,01	-0,0517	-0,0574	0,0006	-0,0568	-0,51
893,0	-0,0399	-0,01	-0,0499	-0,0549	0,0006	-0,0543	-0,44
893,1	-0,0347	-0,01	-0,0447	-0,0478	0,0006	-0,0472	-0,25
893,2	-0,0307	-0,01	-0,0407	-0,0416	0,0006	-0,0410	-0,03

Tabel 6 Vergelijking totaal PKB effect (taakstelling) met het effect van de pakketberekening (in m). De extra ruimte (overruimte in cm) kan ingezet worden voor beheer.

Behalve voor de DO's is ook voor de PKB-maatregelen een pakketberekening uitgevoerd. Deze geeft de overruimte bij Doorwerth aan die al was voorzien (uitgangspunt 2, Tabel 6 kolom 2). Daarnaast is voor het hele traject 1 cm taakstelling extra in rekening gebracht als gevolg van uitgangspunt 1 (Tabel 6 kolom 3) en dit geeft samen het totale effect van de PKB-maatregelen (Tabel 6 kolom 4). Deze waarde wordt vergeleken met de effecten van de pakketberekening van het DO, gecorrigeerd voor de interventiewaarde van Middelwaard (uitgangspunt 3, Tabel 6 kolom 7). Het verschil is de overruimte die bij Doorwerth beschikbaar is voor beheer.

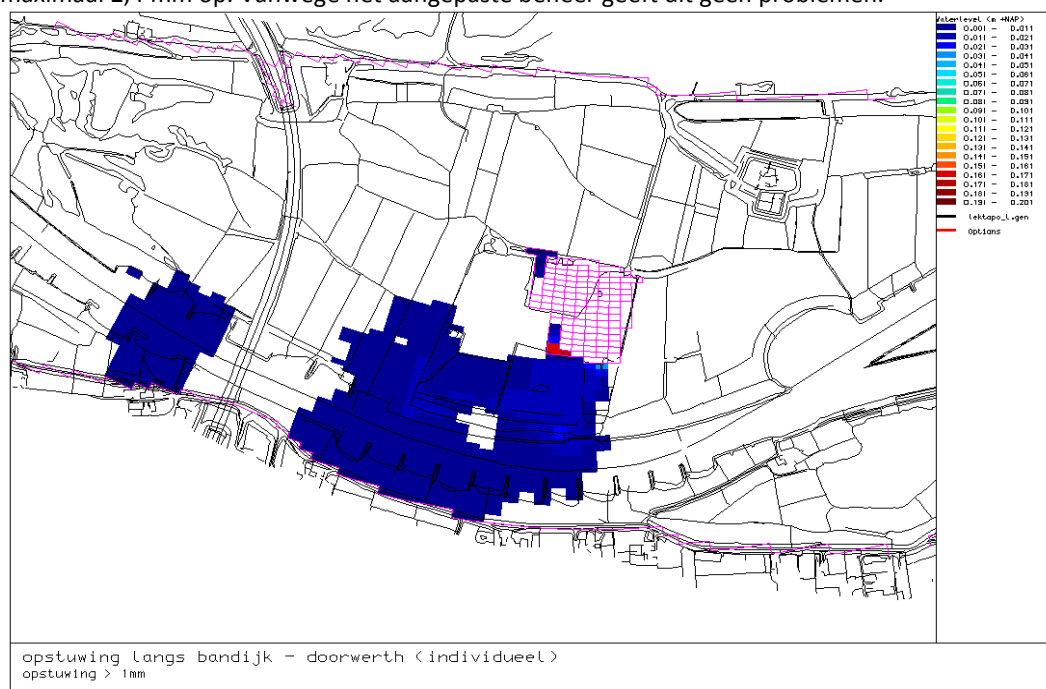
Voor de Doorwerthse Waarden is er vanuit de maatregelen Elst, Tollewaard en Middelwaard op rkm 892,6 een overruimte van 0,4 cm beschikbaar voor beheer. Dit mits de overruimte in de benedenstroomse maatregelen niet wordt ingezet voor beheer of iets dergelijks. Wanneer in een van deze benedenstroomse gebieden (een deel van) de daar beschikbare overruimte benut wordt als beheerruimte, levert dat een verkleining op van de overruimte in de Doorwerthse waarden met als

gevolg dat als hier de beheerruimte volledig wordt benut de werktakstelling niet meer wordt gehaald. Harde voorwaarde voor het inzetten van de totale de overruimte ter plaatse van de Doorwerthse waarden is dat de de overruimte in de andere benedenstroomse maatregelen niet benut worden..

De totale beheerruimte voor de Doorwerthse waarden is dus gelijk aan de overruimte: 0,4 cm. Deze 0,4 cm is nog niet in de interventiekaart verwerkt. Voordat de intentieverklaring van de beheerovereenkomst met de toekomstige beheerder getekend wordt, zal een interventiekaart als onderdeel van het beheerplan worden opgesteld waarmee de beschikbare overruimte in de vorm van beheer wordt vastgelegd. Na uitvoering dient de beheerruimte nauwkeurig gemonitord te worden door de beheerder. Het beheerplan in combinatie met de interventiekaart zal gebruikt worden voor toetsing van het behalen van de taakstelling.

5.3 Waterstandeffect in de uiterwaard en nabij de hoge gronden (aspect 1.2)

Door het verplaatsen van de zomerkade en het tasveld treden in het nieuwe buitenkaadse gebied de grootste wijzigingen in waterstanden op. Net ten zuidwesten van het nieuwe tasveld, ter plaatse van de buitenweidse kade, treedt zeer lokaal een opstuwing van 17 cm op ten opzichte van de huidige situatie. Dit is het gevolg van het ophogen van het nieuwe tasveld. Zowel in de huidige als in de toekomstige situatie stroomt er water over dit terrein tijdens maatgevende condities en de terreinophoging heeft daarom opstuwing tot gevolg. Daarnaast wijzigen de waterstanden als gevolg van het verwijderen van het huidige tasveld. Hierdoor nemen de stroomsnelheden ter plaatse van het huidige tasveld toe en verlagen de waterstanden. Benedenstreams van het huidige tasveld nemen de waterstanden toe doordat er in de toekomstige situatie meer water via het buitenkaadse gebied stroomt i.p.v. achter de steenfabriek langs. In het nieuwe buitenkaadse gebied treedt een lichte opstuwing in de orde van maximaal 2,4 mm op. Vanwege het aangepaste beheer geeft dit geen problemen.

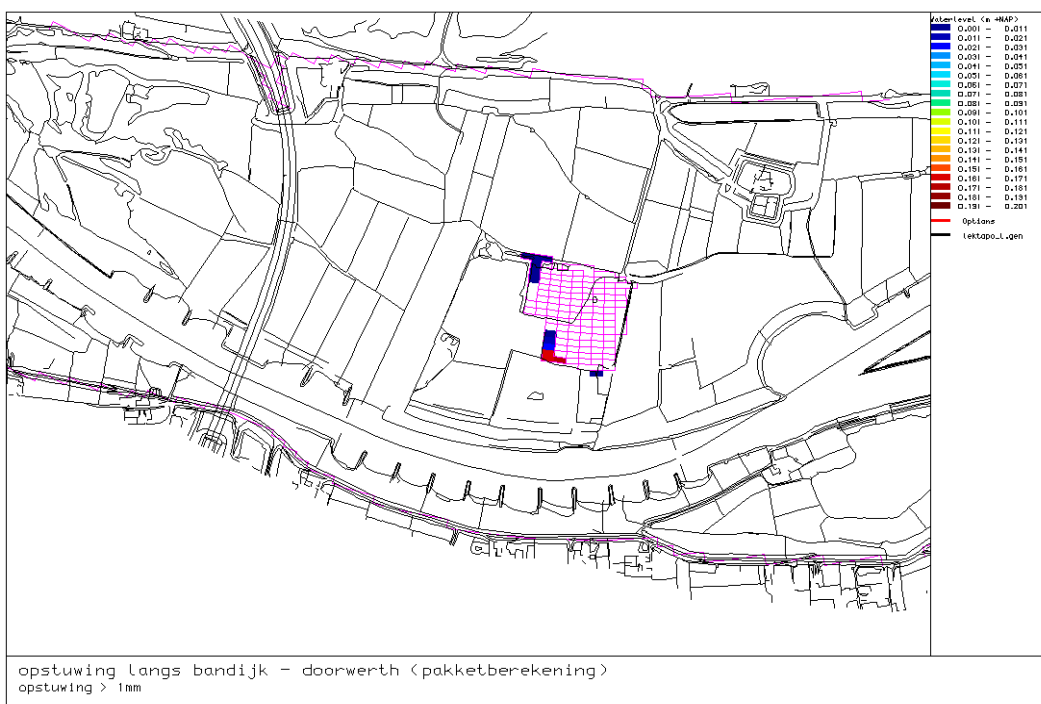


Figuur 8 Lokale opstuwing groter dan 1 mm (norm rivierkundig beoordelingskader) voor het individuele effect van Doorwerth

In het noordelijke deel van de uiterwaard en nabij de hoge gronden treden in de toekomstige situatie lagere waterstanden op.

Voor een gedetailleerder 2D-beeld wordt verwezen naar bijlage 4.

Ook voor de waterstanden in de uiterwaarden kan bekeken worden wat het effect van de 3 benedenstreams gelegen projecten is. Wanneer het gecombineerde effect van de 4 maatregelen bepaald wordt blijkt dat de lokale (benedenstroomse) opstuwing van de maatregel Doorwerth grotendeels gecompenseerd wordt door de waterstandsverlagende werking van de 3 benedenstreams gelegen projecten. Alleen de grotere opstuwing nabij het nieuwe tasveld blijft bestaan.



Figuur 9 Lokale opstuwing in de Doorwerthse waarden (pakketberekening)

5.4 Effect op de afvoerverdeling (aspect 1.3 en 1.4)

Op het splitsingspunt IJsselkop is bij rkm 880 nog sprake van 8 mm waterstandsverlaging. Uit berekeningen met vrije afvoerverdeling blijkt dat er op het splitsingspunt IJsselkop t.o.v. de beleidsmatige afvoerverdeling bij een maatgevende Bovenrijn-afvoer van 16.000 m³/s 3,8 m³/s meer naar de Nederrijn gaat (zie Tabel 8). Dit valt binnen de norm van 5 m³/s. Op het splitsingspunt Pannerdense Kop is er nog een zeer beperkt effect in de orde van 1 m³/s merkbaar.

Als gevolg van de afvoertoe name richting de Nederrijn, neemt ook de waterstand iets toe. Doordat Doorwerth relatief dicht bij het splitsingspunt ligt is deze waterstandstoename in het projectgebied merkbaar. Bij een vrije afvoerverdeling is het waterstandsverlagende effect bij Doorwerth nog maar 2,7 i.p.v. 3,0 cm. Er wordt vanuit gegaan dat na uitvoering van alle Ruimte voor de Rivier maatregelen op de verschillende takken, de afvoerverdeling weer gelijk is aan de beleidsmatige afvoerverdeling. Afhankelijk van de volgorde van uitvoering van de verschillende projecten is er eventueel sprake van een tijdelijk ongunstige situatie.

Rijntak	Q referentie (m ³ /s)	Q DW_DO5 (m ³ /s)	Vershil afvoer (m ³ /s)
Q-Lobith	16.000	16.000	0,0
Q-Waal	9.994	9.993	-1,0
Q-Pankanaal	6.006	6.007	0,9
Q-Nederrijn	3.424	3.427	3,8
Q-Yssel	2.589	2.586	-2,9

Tabel 7 afvoerverdeling over de Rijntakken voor de referentiesituatie (beleidsmatig vastgesteld) en DO Doorwerth (DO5) voor een Bovenrijnafvoer van 16.000 m³/s.

Rijntak	Q referentie (m ³ /s)	Q DW_DO5 (m ³ /s)	Vershil afvoer (m ³ /s)
Q-Lobith	10.000	10.000	0,0
Q-Waal	6.499	6.498	-0,8
Q-Pankanaal	3.501	3.502	0,8
Q-Nederrijn	2.073	2.077	3,4
Q-Yssel	1.428	1.425	-2,5

Tabel 8 afvoerverdeling over de Rijntakken voor de referentiesituatie (beleidsmatig vastgesteld) en DO Doorwerth (DO5) voor een Bovenrijnafvoer van 10.000 m³/s.

Ook bij een Bovenrijn-afvoer van $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is er een beperkt effect van $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ richting de Nederrijn, ook dit valt ruim binnen de norm van $20 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.5 Gevolgen voor overstromingsfrequentie

Door het verplaatsen van de zomerkade zal het nieuwe buitenkaadse gebied vaker overstromen. Was dit in de huidige situatie ongeveer 1 keer per 4 jaar (o.b.v. betrekkinglijnen [ref 6]), in de toekomstige situatie zal dat voor het hogere deel van het nieuwe buitenkaadse gebied ongeveer 15 dagen per jaar zijn (o.b.v. waterstandsduurlijnen [ref 11], Bovenrijn-afvoer is $4.500 \text{ m}^3/\text{s}$). Het tasveld wordt verplaatst naar de zuidwestzijde van de bestaande terp en wordt gemiddeld hoger dan de bestaande hoogte en zal daardoor minder vaak overstromen. De terp zelf blijft verder ongewijzigd. De loswal, die in de huidige situatie via het tasveld bereikbaar is, zal in de toekomstige situatie minder vaak bereikbaar zijn omdat de weg naar de loswal verlaagd wordt naar de hoogte van het benedenstroomse maaiveld. De hoogte van de loswal zelf blijft ongewijzigd. De overstromingsfrequentie van het binnenkaadse gebied verandert niet aangezien de huidige kadehoogte wordt gehandhaafd.

5.6 Scheepvaart

Als gevolg van de maatregel zal het stromingsgedrag in het zomerbed wijzigen vanaf het moment dat het maaiveldniveau ter plaatse van de verwijderde zomerkade overstroomt en de uiterwaard gaat mee stromen. Op de locaties waar water de uiterwaarden in- of uitstroomt treedt dwarsstroming op. De scheepvaart heeft last van dwarsstroming wanneer deze plotseling optreedt en daarom worden er eisen gesteld aan de grootte van de dwarsstroming (zie Tabel 11). De grootste effecten treden op bij in- en uitstroomopeningen van nevengeulen totdat 'bankfull' niveau wordt bereikt. Daarna gaat de hele uiterwaard in principe mee stromen en neemt de kans op plotseling optredende dwarsstroming af.

Bij Doorwerth is er geen sprake van nevengeulen die aan het zomerbed aantakken. Wel wijzigt bij lagere afvoeren het doorstroomprofiel (aanpassing rivieroever en zomerkade) en zorgt de verplaatste zomerkade mogelijk voor veranderingen in dwarsstroming. Omdat er in de toekomstige situatie meer water de uiterwaard instroomt t.o.v. de referentiesituatie is er voor deze locatie toch gekeken wat de effecten van dwarsstroming zijn. Dit is gedaan voor de volgende afvoeren:

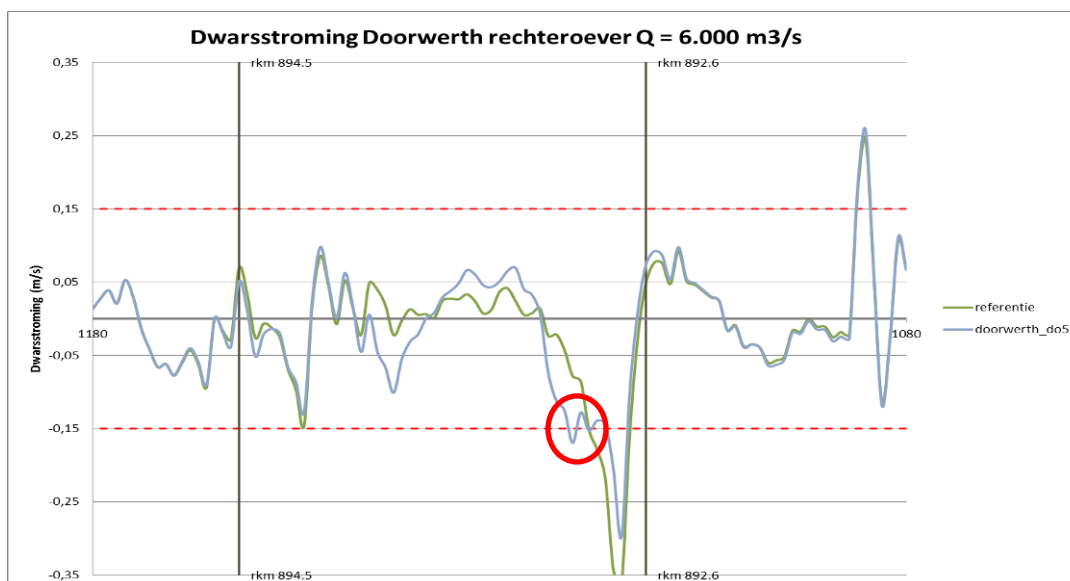
- $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$: Bij deze afvoer stroomt het buitenkaadse gebied al een tijdje mee. Dit zal mogelijk wat wijzigingen in dwarsstroming opleveren;
- $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$: bij deze afvoer stroomt de zomerkade nog net niet over;
- $9.000 \text{ m}^3/\text{s}$: vanaf ongeveer $8.200 \text{ m}^3/\text{s}$ zal de zomerkade gaan overstromen. Op dat moment treedt er een extra verandering op met mogelijke gevolgen voor scheepvaart. Deze verandering zal bij $9.000 \text{ m}^3/\text{s}$ goed merkbaar zijn;
- $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$: Bij deze afvoer zijn de meeste zomerkaden in de uiterwaarden overstroomd. Daardoor zal bij hogere afvoeren de dwarsstroming niet veel meer wijzigen. Een afvoer van $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt daarom representatief geacht voor het bepalen van de effecten op dwarsstroming bij hogere afvoeren.

De dwarsstroming is bepaald ter plaatse van de normaallijn. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de linker- en de rechteroever. De werkwijze is beschreven in bijlage 6. Hier zijn ook alle grafieken en figuren m.b.t. dwarsstroming voor de verschillende oevers en afvoeren gegeven.

In onderstaande grafieken is te zien hoe groot de dwarsstroming is langs de rivier. Omdat Doorwerth op de rechteroever ligt zijn hier alleen grafieken gegeven voor de rechteroever. Voor overige figuren wordt verwezen naar bijlage 6.

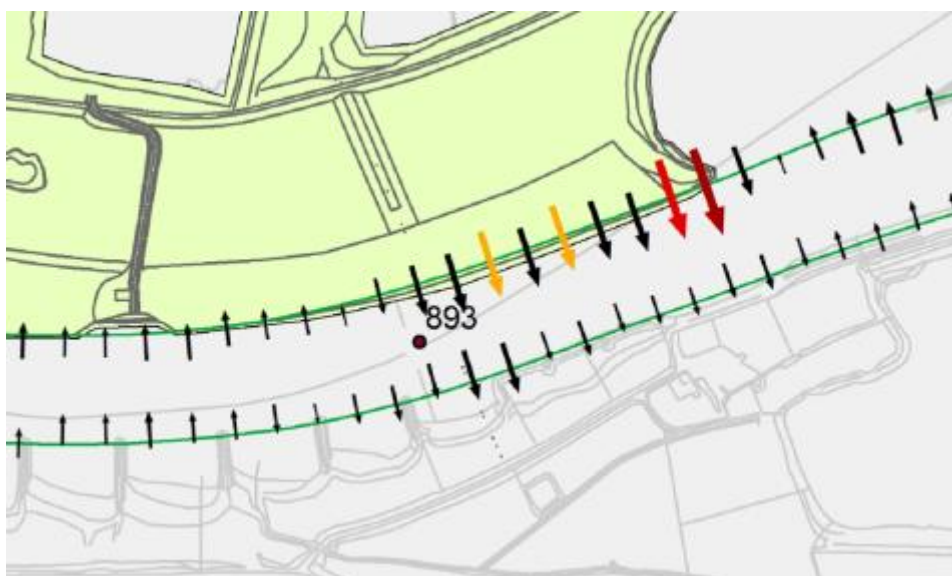
Uit de grafieken blijkt dat er over het algemeen sprake is van beperkte dwarsstroming kleiner dan $0,15 \text{ m/s}$. Alleen bij het benedenstroomse deel van het Ei van Thijsse treedt in de huidige situatie grotere dwarsstroming op die zelfs groter is dan $0,3 \text{ m/s}$. Door aanpassing van de punt van het Ei van Thijsse in het DO wordt de dwarsstroming hier teruggebracht tot onder de $0,3 \text{ m/s}$ (Figuur 13). Een voor de scheepvaart gunstig effect.

Het hierboven beschreven effect is bij alle afvoeren merkbaar. Alleen bij een afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is ook net benedenstrooms van de punt van het Ei van Thijsse een dwarsstroming van $0,17 \text{ m/s}$, wat een zeer lokale verslechtering van de referentiesituatie is (Figuur 10).



Figuur 10 dwarsstroming ter plaatse van de normaallijn voor de referentie en DO Doorwerth bij een Bovenrijn-afvoer van 6.000 m³/s

Deze verslechtering ligt ter hoogte van rkm 892,9 (de meest linker gele pijl in Figuur 11), dus direct bovenstrooms van de gastransportleiding in de buitenkaadse weide. Alleen op deze locatie is de situatie verslechterd t.o.v. de referentiesituatie. De oorzaak ligt in het deel van de buitenweidse kade waar het oorspronkelijke maaiveld wordt gehandhaafd op 10,0 m+NAP t.b.v. de bescherming van de daar aanwezige gastransportleiding. Het omliggende maaiveld wordt verlaagd met als gevolg dat bij lagere hoogwaters het water via het verlaagde maaiveld, om de dekking van de gastransportleiding zal stromen.



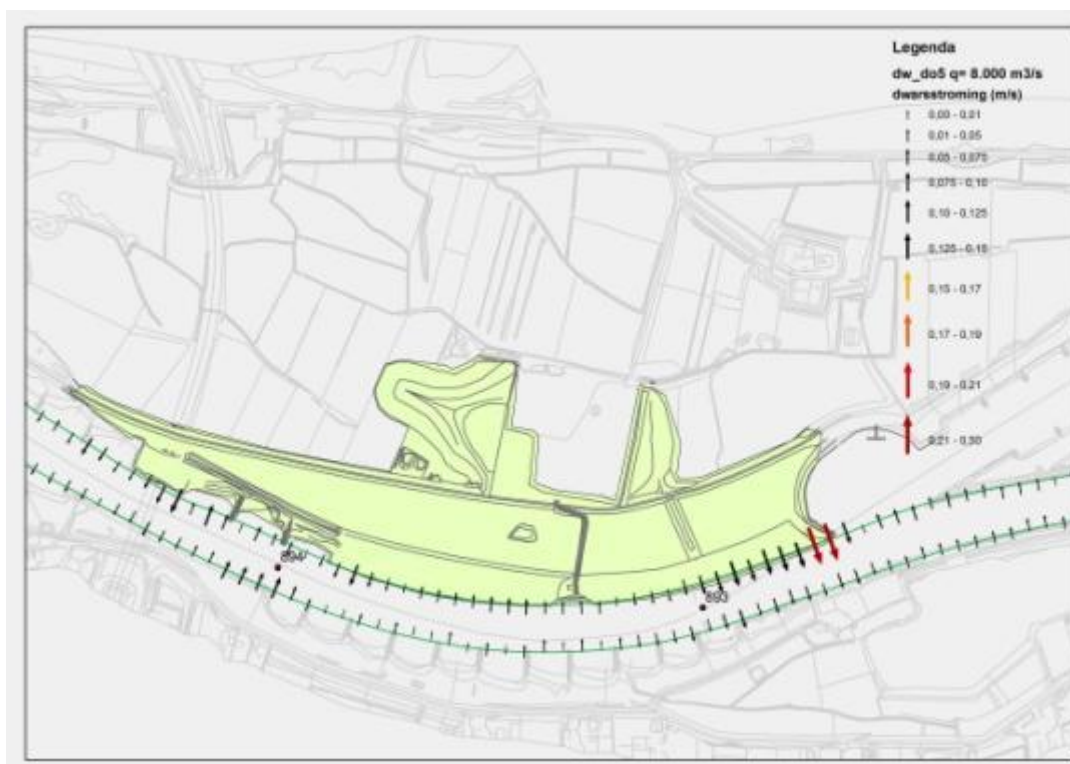
Figuur 11 Toename dwarsstroming ten opzichte van de referentie ter hoogte van rkm 892,9 als gevolg van de ophoging t.b.v. de gasleiding

Pas na 6.000 m³/s zijn de waterstanden hoog genoeg en zal water over de gastransportleiding heen stromen. In Figuur 12 is te zien dat de stroombanen bij lagere afvoeren om de gastransportleiding (binnen blauwe contour) heen buigen. Dit is ongunstig voor de dwarsstroming en deze neemt hier dan ook lokaal toe. Bij hogere afvoeren kan het water dus ook over het grondlichaam van de gastransportleiding stromen en verdwijnt deze lokale verhoogde dwarsstroming.



Figuur 12 Stroombanen bij lagere afvoeren rondom de ophoging t.b.v. de bedekking van de gasleiding benedenstrooms van het Ei van Thijsse in Doorwerth

Een oplossing voor het beperken van de dwarsstroming kan gezocht worden in het aanpassen van het grondlichaam van de gastransportleiding. Aanpassen van dit grondlichaam heeft echter gevolgen voor de sedimentatie in het zomerbed (zie paragraaf 5.7.1). Juist door de aanwezigheid van deze verhoging wordt sedimentatie in de vaargeul beperkt. Daarnaast treedt de dwarsstroming over het hele traject tussen het Ei van Thijsse en het grondlichaam ter plaatse van de gastransportleiding in de richting van het zomerbed op, waardoor er geen sprake is van een 'plotseling' optredende dwarsstroming. Ten slotte is de dwarsstroming ter plaatse van de gastransportleiding praktisch 2x zo klein als die bij het Ei van Thijsse waardoor verminderen van deze dwarsstroming voor het scheepvaartverkeer niet van toegevoegde waarde wordt geacht.



Figuur 13 Grootte, richting en locatie van dwarsstroming voor DO Doorwerth bij een Bovenrijn-afvoer van 8.000 m³/s

Om deze redenen en vanwege het risico van een minder goede bedekking van de gastransportleiding wordt afgeraden het grondlichaam (bedekking) van de gastransportleiding aan te passen ten behoeve van een beperking van de dwarsstroming.

Verder is in de grafiek met dwarsstroming met 6.000 m³/s (Figuur 10) te zien dat er ter plaatse van het projectgebied meer wijzigingen in dwarsstroming optreden. Behalve bij het Ei van Thijsse treden er ook verder benedenstrooms verschillen op, al blijven deze binnen de norm van 0,15 m/s. Net bovenstrooms van de behouden kade en meidoornhaag stroomt het water meer richting het zomerbed, in de huidige situatie ligt hier de zomerkade en is deze dwarsstroming beperkter. Het verwijderen van de zomerkade naar aanleiding van de opmerkingen op het ter acceptatie ingediende DO zal hier waarschijnlijk ook een positief effect hebben op de dwarsstroming omdat er meer ruimte is om richting zomerbed te stromen.

De dwarsstroming neemt ten gevolge van de uitvoering van de maatregel Doorwert plaatselijk significant af. Met name bij het Ei van Thijsse wordt een forse reductie van de dwarsstroming bereikt. Op één locatie, net benedenstrooms van het Ei van Thijsse, neemt de dwarsstroming wel toe waarbij de toename er voor zorgt dat de dwarsstroming net boven de norm komt. Aanpassingen zijn echter niet mogelijk of wenselijk. Aangezien deze dwarsstroming net benedenstrooms van het ei van Thijsse optreedt waar reeds een grote dwarsstroming aanwezig is wordt de toename acceptabel geacht ondanks dat de norm enigszins wordt overschreden.

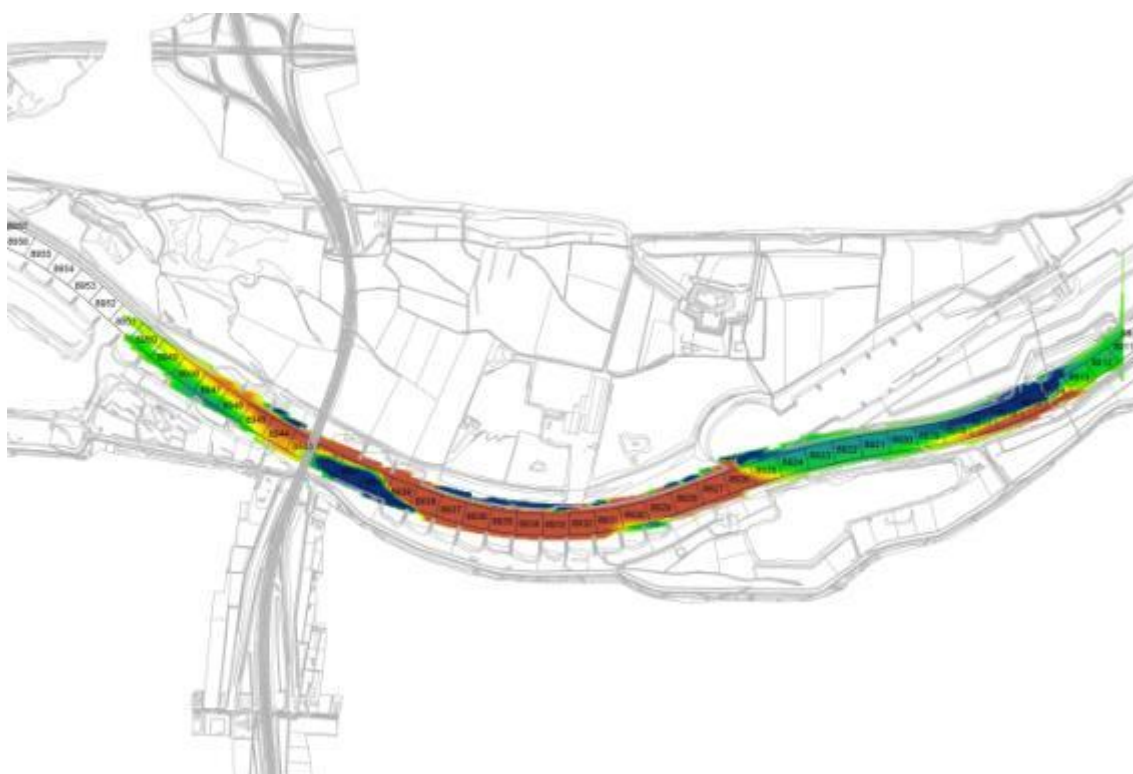
5.7 Morfologie: erosie en sedimentatie (aspect 3.1 en 3.2)

Behalve hydraulische aspecten spelen ook morfologische aspecten een rol. Er wordt onderscheid gemaakt tussen sedimentatie en erosie in het zomerbed en in de uiterwaarden.

5.7.1 Aanzanding en erosie van het zomerbed

Vanwege de mogelijke problemen wat betreft aanzanding van het zomerbed in het bovenstroomse deel van het stuwpand Driel - Amerongen, zijn voor de locatie Doorwerth WAQMORF berekeningen uitgevoerd. Daarnaast is onderzocht hoe het ontwerp te optimaliseren is om extra sedimentatie te beperken. Zie hiervoor de memo morfologische effecten locatie Doorwerthse Waarden [ref 12].

In Figuur 14 zijn de locaties met jaargemiddelde aanzanding en erosie in het zomerbed na uitvoering van het DO Doorwerth weergegeven. De maximale sedimentatie is lokaal 0,77 m. De aanzanding vindt plaats ter hoogte van het ingreepgebied, benedenstrooms van het Ei van Thijsse.



Figuur 14 Locaties met aanzanding en erosie als gevolg van de maatregel Middelwaard t.o.v. de huidige situatie

Om te beoordelen wat het effect is op de scheepvaart wordt naar twee normen gekeken:

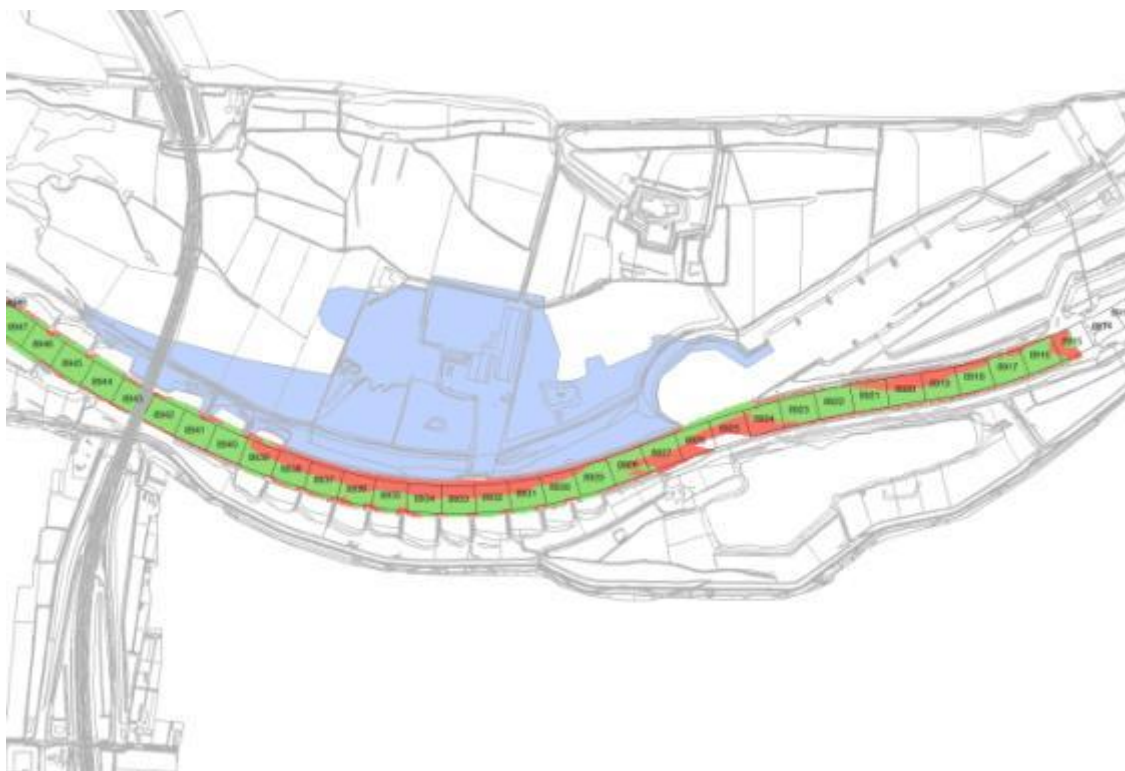
1. Voor dit traject geldt een minimale vaardiepte van 3,5 meter. Hierbij wordt uitgegaan van OLR (Overeengekomen Lage Rivierstand) die gelijk is aan et stuwpeil van 6,0 m+NAP. Al het sediment dat in de vaargeul van 80 m breed boven deze hoogte ligt dient weggebaggerd te worden.
2. De breedtegemiddelde vaardiepte moet 4,9 meter zijn t.o.v. OLR. Dit is de minimale vaardiepte + 40% i.v.m. kielspeling. Bij dit doorstroomprofiel is er voldoende ruimte om de waterverplaatsing als gevolg van de scheepvaart op te vangen.

Op dit traject zijn bij OLR de stuwen gesloten waardoor de minimale en gemiddelde vaardiepte langs het hele traject gelijk zijn. De minimale en gemiddelde bodemligging bij een vaardiepte van 3,5 respectievelijk 4,9 meter voor het traject bij de Doorwerthse waarden is gegeven in Tabel 9.

Locatie (rkm)	Waterstand (m+NAP bij OLR)	Minimale bodemhoogte (m+NAP bij vaardiepte van 3,5 m)	Gemiddelde bodemhoogte (m+NAP bij vaardiepte van 4,9 m)
891,5–896,5	6,00	2,50	1,10

Tabel 9 Bodemhoogte bij minimale en gemiddelde vaardiepte traject Doorwerthse waarden

Om het baggerbezwaar bij een vaardiepte van 3,5 meter te bepalen is de bodemligging na uitvoering van de maatregel Doorwerth vergeleken met de minimale bodemhoogte bij een vaardiepte van 3,5 meter.



Figuur 15 Ligging van de gebieden waar de bodemligging na uitvoering van de maatregel Doorwerth boven (roze) en onder (groen) de bodemligging bij een vaardiepte van 3,5 m ligt. De vlakken geven de hectometervakken van de vaargeul van 80 m breed weer.

In Figuur 15 zijn in groen de gebieden weergegeven waarbij de bodemligging na uitvoering van de maatregel onder de minimale bodemligging van 3,5 m vaardiepte ligt. In roze zijn de locaties weergegeven waar de bodemligging hoger is dan de minimale bodemligging. In de figuur is de vaargeul, verdeeld in hectometervakken, opgenomen. Te zien is dat ter hoogte van het projectgebied de meeste vakken zowel roze als groene delen bevatten. Dit betekent dat er sprake is van een baggerbezwaar om de vaardiepte van 3,5 m te kunnen garanderen. Dit is ook het geval in de huidige situatie. In de huidige situatie is er sprake van een baggerbezwaar van 18.269 m^3 over het traject van rkm 891,5 tot 895,2. In de toekomstige situatie komt daar voor het hele traject 6.716 m^3 bij (zie bijlage 7a). Wanneer dit baggerbezwaar vertaald wordt naar een jaarlijks baggerbezwaar als gevolg van de ingreep, wordt de eerste kilometer met toenemend baggervolume beschouwd (rkm 892,5 t/m 893,4). Het jaarlijkse baggerbezwaar om een minimale vaardiepte van 3,5 m te garanderen is dan 3.675 m^3 .

Daarnaast is per hectometervak bepaald wat de gemiddelde bodemhoogte is in de huidige situatie en na uitvoering van de maatregel Doorwerth. Deze bodemhoogten zijn vergeleken met de gewenste breedtegemiddelde bodemhoogte bij een vaardiepte van 4,90 m. In de tabel van bijlage 7b is de bodemhoogte per hectometervak opgenomen. Indien de gemiddelde bodemhoogte van de huidige situatie en na uitvoering van de maatregel hoger is dan de breedtegemiddelde bodemhoogte is per hectometervak een volume baggerbezwaar opgegeven. Wanneer de gemiddelde bodemhoogte lager is, dan is er geen volume opgenomen.

Omdat de voortplantingssnelheid van het sediment ter plaatse van het projectgebied maximaal 1 km per jaar is wordt het jaarlijkse baggerbezwaar beschouwd als het totale volume van de meest bovenstroomse kilometer waar sedimentatie plaats vindt. Dit is van rkm 892,6 tot en met 893,5. In de huidige situatie is er sprake van een baggerbezwaar van 85.441 m^3 . In de toekomstige situatie komt daar 14.354 m^3 bij. Deze 14.354 m^3 kan beschouwd worden als het maximale jaarlijkse extra baggerbezwaar als gevolg van de maatregel Doorwerth. Hierin is ook het baggerbezwaar opgenomen voor het garanderen van een vaardiepte van 3,5 meter.

In Figuur 16 zijn in roze de gebieden weergegeven die hoger liggen dan de bodemligging bij een vaardiepte van 4,90 m. De vakken met een gemiddelde vaardiepte kleiner dan 4,90 m zijn met groen weergegeven.



Figuur 16 Ligging van de gebieden waar de bodemligging na uitvoering van de maatregel Doorwerth boven (roze) en onder (groen) de bodemligging bij een vaardiepte van 4,9 m ligt. De vlakken geven de hectometervakken van de vaargeul van 80 m breed weer.

Wanneer eenzelfde exercitie voor het VKV [Ref 3] wordt uitgevoerd, blijkt dat het VKV een jaarlijks baggerbezwaar van 26.853 m³ geeft (zie bijlage 7c). Dit betekent dat het DO een flinke verbetering van het VKV is. Dit is te danken aan het behoud van de punt van het Ei van Thijsse en het grondlichaam ter hoogte van de gastransportleiding.

Ondanks dat er sprake is van een sterke verbetering t.o.v. het VKV blijkt uit bovenstaande dat de effecten fors zijn, zowel in de huidige situatie alsook in de toekomstige situatie. Er is sprake van een totaal jaarlijks baggerbezwaar van maximaal 14.354 m³ als gevolg van DO Doorwerth.

5.7.1.1 Optimalisatie mogelijkheden en gevolgen voor sedimentatie

Vanwege de problemen met aanzanding op het traject van de Doorwerthse waarden is een aantal morfologische optimalisaties onderzocht. Daarbij is met name gekeken wat de effecten zijn van het richting het zomerbed verplaatsen en verhogen van de kniklijn rivieroever - buitenkaadse weide. Deze lijn ligt op ongeveer 9 m+NAP (hoogte teen bestaande zomerkade). Door deze meer richting het zomerbed te verplaatsen en op te hogen naar 10 m+NAP wordt bij lagere hoogwaters het doorstroomprofiel verkleind t.o.v. het VKV en DO. Deze aanpassing levert een positief effect op en de aanzanding wordt beperkt. Echter, deze aanpassing geeft een minder grote waterstandsverlaging. Dit kan worden opgelost door tussen de hoge oever en de verplaatste zomerkade het nieuwe buitenkaadse gebied verder af te graven. Behalve dat dit grote gevolgen heeft voor de grondbalans en de kosten voor de voorbereiding, levert dit ook een ongunstige situatie op ter plaatse van de gasleiding en de weg naar de loswal, aangezien deze moeten worden behouden en daardoor de ingreep minder effectief is. Daarnaast neemt als gevolg van de hoge oever de dwarsstroming net benedenstrooms van het Ei van Thijsse fors toe tot ongeveer 0,5 m/s [Ref 15].

Desondanks is ook voor deze, ten behoeve van morfologie, geoptimaliseerde variant onderzocht wat het jaarlijks baggerbezwaar is. In bijlage 7d is de aanzanding per hectometervak aangegeven. Het jaarlijkse baggerbezwaar is in de orde van 3.500 tot 4.500 m³/s. De sedimentatie begint iets verder benedenstrooms.

In Tabel 10 geeft een overzicht van het jaarlijks baggerbezwaar voor de verschillende situaties.

Situatie	Extra jaarlijks baggerbezwaar > OLR - 4,9 m t.o.v. huidige situatie (m ³)
DO	14.354
VKV	26.853
DO20 (geoptimaliseerd DO)	3.500 - 4.500

Tabel 10 overzicht van het baggerbezwaar en de gemiddelde bodemligging van de huidige situatie, het VKV en het DO [ref 12]

5.7.2 Aanzanding en erosie van de uiterwaard

Op basis van stroomsnelheden en waterdiepten bij verschillende afvoerniveaus is bekeken of er risico's zijn wat betreft erosie en sedimentatie in het winterbed. In bijlage 7 is de rapportage van de morfologische analyse opgenomen.

Uit de analyse blijkt dat er geen grote risico's te verwachten zijn. De volgende aandachtspunten worden genoemd:

- Alleen op de zuidwestelijke punt van het Ei van Thijssse worden de stroomsnelheden op de oever zodanig hoog (>1 m/s) dat bij een afvoer met een herhalingstijd van 10 jaar (10.000 m³/s) en bij maatgevende afvoer (16.000 m³/s) significante erosie op kan treden. Bovendien betreft het hier een stroomhappende rand. In vergelijking met de referentiesituatie zijn de stroomsnelheden na uitvoer van de maatregelen hier niet veranderd. Er wordt vanuit gegaan dat de oever hier afdoende is beschermd. De bescherming hoeft daarmee niet aangepast te worden ten opzichte van de huidige situatie.
- De uiterwaard achter de verplaatste zomerkade loopt onder vanaf een afvoer van circa 10.000 m³/s. Stroomsnelheden zijn op de uiterwaard ten noorden van de terp bij maatgevend hoogwater maximaal 1 m/s. In de referentiesituatie worden vergelijkbare stroomsnelheden gevonden. Doordat dit gebied niet wijzigt zijn er geen risico's wat betreft erosie anders dan in de huidige situatie. Ten zuiden van de terp en de verplaatste zomerkade treedt onderlopen van het gebied op bij normale jaarlijkse hoogwaterperioden. Stroomsnelheden zijn hierbij niet problematisch en lopen op tot 1 m/s bij maatgevende afvoer. De kleiige ondergrond met grasbekleding biedt afdoende bescherming.
- Stroomsnelheden zijn aan de westkant van het Ei van Thijssse hoog genoeg voor erosie van onbeschermd bodem bij afvoerscenario's met een herhalingstijd van 10 jaar en bij maatgevende condities. De klei houdende bodem met grasmat biedt voldoende bescherming hiertegen.
- Over de kade ten zuidwesten van de terp zijn stroomsnelheden rond 1m/s aanwezig bij afvoeren groter dan 10.000 m³/s. De kleiige ondergrond met klei houdende bodem en grasbekleding biedt afdoende bescherming.
- Waterdiepte en stroomsnelheid zijn nabij de hoge gronden laag en vormen geen risico's.
- Er zijn 3 kribben aanwezig. Stroomsnelheden rondom de kribben zijn alleen bij maatgevende afvoer ongeveer 1m/s en hoog genoeg voor lichte erosie achter de kribben. Uit de verschillenanalyse van de stroomsnelheden blijkt dat ten opzichte van de huidige situatie geen veranderingen optreden. De kribben zijn rondom beschermd met kleiig materiaal. De aansluitingen van de kribben worden zonodig aangevuld met kleiig materiaal. Het beheer dient, net als nu het geval is - middels controles na hoogwater rekening te houden met de kans op erosie en zal bestaan uit het opvullen van mogelijke erosiegaten. Bij lagere waterstanden is geen risico op achterloopsheid.
- Bij de pijlers van de brug van de A50 in het benedenstroomse deel van het projectgebied kunnen stroomsnelheden van 1 tot 1,5 m/s optreden bij maatgevende afvoer. Verschillenanalyse laat zien dat de stroomsnelheden gelijk zijn aan die in de referentiesituatie. Er hoeven daarom geen aanvullende maatregelen genomen te worden.

- Ten zuidoosten van de terp loopt een gasleiding. Deze behoudt na uitvoering van de werkzaamheden een dekking van minimaal een meter. Het maaiveld is boven de leiding ongeveer een halve meter hoger dan het omliggende land. De taluds aan weerszijden van de gasleiding zijn flauw, om een vloeiende overgang te creëren voor de stroming. De kop van de verhoging wordt beschermd met grasbetontegels om erosie als gevolg van een stroomhappend effect te voorkomen [ref 13].

Aandachtspunten voor erosie zijn de westelijke oever van het Ei van Thijssen en de extra bodembescherming boven de gasleiding.

5.8 Samengevat

		Te beoordelen effect	Criterium	Effect	Verwijzing	Conclusie
VEILIGHEID	1.1	Maatregel in stroomvoerend deel rivier: MHW stand op de as van de rivier	Stroomvoerend: geen waterstandsverhoging (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn)	3,0 cm waterstands daling bij rkm 892.6. 6 mm opstuwung net bovenstrooms van ingreep als gevolg van de rivierverruiming	Figuur 7	Werktaakstelling van 3,0 cm wordt gerealiseerd
		Maatregel in bergend deel rivier: volume waterberging	Bergend: geen vermindering bergend volume	n.v.t.	-	n.v.t.
	1.2	MHW stand buiten as van de rivier	Toename waterstand (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn)	Net ten zuidwesten van het nieuwe tasveld treedt zeer lokaal een opstuwung van 17 cm op. Dit is het gevolg van het ophogen van het nieuwe tasveld. In het nieuwe buitenkaadse gebied treedt een lichte opstuwung in de orde van maximaal 2,4 mm op. Vanwege het aangepaste beheer geeft dit geen problemen. Wanneer het effect van benedenstroomse projecten wordt meegenomen wordt de opstuwung in de buitenkaadse weide gecompenseerd.	Bijlage 4	Opstuwung is groter dan 1 mm. Geen bezwaar i.v.m. aanpassing beheer.
	1.3	Afvoerverdeling bij MHW (bij Pannerdensch Kop en IJsselkop)	Project binnen enkele km splitsing: verandering afvoerverdeling < 5 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 16.000 m ³ /s Project verder weg: geen verandering waterstand bij splitsing	De verandering in waterstand bij het splitsingspunt IJsselkop is kleiner dan 3,8 m ³ /s.	Tabel 8	Beperkt effect, geen bezwaar (< 5 m ³ /s)
	1.4	Afvoerverdeling bij normaal hoogwater (bij Pannerdensch Kop en IJsselkop)	Verandering afvoerverdeling < 20 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	De verandering in waterstand bij het splitsingspunt IJsselkop is kleiner dan 3,4 m ³ /s.	Tabel 8	Beperkt effect, valt ruim binnen de norm.

HINDER/SCHADE	2.1	Waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard	Verandering waterstanden en/of inundatiefrequentie bij afvoeren die afhankelijk zijn van lokale omstandigheden.	Het nieuwe buitenkaadse gebied overstroomt eerder. Vanwege het aangepaste beheer van de uiterwaard is dit geen probleem. De hoogte van de verplaatste zomerkade wijzigt niet, hierdoor neemt de overstromingsfrequentie van het achterliggende gebied niet toe.	Paragraaf 5.5	Wel effect, geen bezwaar.
	2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	Verandering grootte en richting stroomsnelheden bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	Als gevolg van de ingreep nemen stroomsnelheden op de westelijke oever van het Ei van Thijsse toe.	Bijlage 4 en paragraaf 5.7	Door toepassen van de huidige kleiige bovengrond wordt een situatie bereikt gelijk aan de huidige. Het beheer dient hierop te zijn afgestemd.
	2.3	Stroombeeld in hoofdgeul bij de aan- en aftakking van nevengeul	Bankfull afvoer nevengeul < 50 m ³ /s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,3 m/s Bankfull afvoer nevengeul > 50 m ³ /s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,15 m/s	Er is hier geen sprake van een nevengeul. De dwarsstroming bij het Ei van Thijsse wordt sterk verbeterd. Echter, de dwarsstroming blijft op deze locatie boven 0,15 m/s. Op 1 locatie is er bij 6.000 m ³ /s een verslechtering van de huidige situatie. Aanpassing van ontwerp voor verbetering heeft negatieve gevolgen voor sedimentatie in zomerbed. Voor het overige traject geldt dat de dwarsstroming binnen de norm van 0,15 m/s blijft.	Figuur 10 en Figuur 13	Verbetering van de dwarsstroming en verder zeer beperkt effect binnen de norm. Op één locatie is sprake van een verslechtering van de huidige situatie. Aanpassingen zijn echter niet mogelijk of wenselijk. Vanwege omliggende grotere dwarsstroming wordt de beperkte toename als acceptabel beschouwd.
	2.4	Afvoerverdeling bij normaal hoogwater	Verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	Zie 2.1	Tabel 8	Geen effect
	2.5	Afvoerverdeling bij lage afvoeren	Afwijking afvoerverdeling < 1 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m ³ /s (OLR)	Doordat onder deze omstandigheden (Q 1020 m ³ /s, stuwpeil op nederrijn) het maaiveld bij de verwijderde zomerkade nog niet is overstroomd zijn er geen effecten van de ingreep merkbaar op de afvoerverdeling.	-	Geen effect

MORFOLOGIE	3.1	Aanzanding en erosie van het zomerbed (+ oevers)	<p>Bij erosie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - geen verlaging gemiddelde bodemligging; - geen oevererosie; - beperkte ontgroning bij constructies per hoogwater; <p>Bij sedimentatie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - geen vermindering vaargeulafmetingen bij lage tot gemiddelde rivierafvoeren; - geen verhoging MHW op lange termijn; <p>In het algemeen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten en behouden veiligheid scheepvaartverkeer; - geen onacceptabele terugschrijdende erosie of sedimentatie i.v.m. risico verandering afvoerverdeling bij MHW of OLR. 	In het zomerbed treedt aanzanding op als gevolg van de ingreep. Baggerbebaar bij minimale vaardiepte van 3,5 m is 4.500 m ³ . Bij breedtegemiddelde vaardiepte van 4,9 m is er sprake van een toename van ongeveer 14.000 m ³ . Optimalisatie van het ontwerp is mogelijk. In alle gevallen is er ook in de huidige situatie een fors baggerbebaar. De gemiddelde vaardiepte van OLR -4,9 m kan niet worden gegarandeerd.	Paragraaf 5.7.1	Baggerbebaar minimale vaardiepte valt binnen de norm. Echter, gemiddelde vaardiepte van OLR -4,9m kan niet gegarandeerd worden binnen het onderzochte traject.
	3.2	Aanzanding en erosie van uiterwaard en nevengeulen	<p>Bij sedimentatie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - beperkte sedimentatie t.o.v. beheerskosten; <p>Bij erosie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - geen ongewenste zijdelingse verplaatsing van de nevengeul / nevengeul minimaal 50 - 200 m van waterkering / geen bodemerosie langs waterkering; - stroomsnelheid nevengeul bankfull < 0,3 m/s; geen bodemerosie langs waterkering 	Aandachtspunten voor erosie zijn de westelijke oever van het Ei van Thijssen en de extra bodembescherming boven de gasleiding.	Paragraaf 5.7.2	Door toepassen van de huidige kleiige bovengrond wordt een situatie bereikt gelijk aan de huidige. Het beheer dient hierop te zijn afgestemd.

Tabel 11 Overzicht van de effecten van DO Doorwerthse waarden op de aspecten van het rivierkundig beoordelingskader

6 Conclusies en aandachtspunten

Het DO van Doorwerth voldoet indien aan de eisen uit de vraagspecificatie [ref 1] wordt voldaan. Voor hydraulica en morfologie gaat het om de volgende aspecten:

1. Verlagen MHW met 3,0 cm op 892,2 - 893,2
2. Er is beheerruimte aanwezig bij MHW

Op basis van de analyses die zijn uitgevoerd voor het bepalen van de effecten zoals genoemd in het rivierkundig beoordelingskader (hoofdstuk 5) kunnen de eisen geverifieerd worden. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de eisen en de verificatie:

Eis	Verwijzing	Voldoet
Verlagen MHW met 3,0 cm 892,2 - 893,2	Paragraaf 5.1	Ja
Beheerruimte MHW	Paragraaf 5.2	Ja, maar beperkt. In combinatie met benedenstroomse maatregelen is er voldoende beheerruimte.

6.1 Aandachtspunten

Behalve de eisen uit de vraagspecificatie, zijn ook de effecten van het ontwerp bepaald voor de aspecten van het rivierkundig beoordelingskader. Paragraaf 5.8 geeft een overzicht van de effecten. Uit de analyses van de resultaten blijkt dat het DO Doorwerth voldoet aan de eisen en voor de meeste aspecten geen nadelig effect heeft. Voor een aantal aspecten is sprake van een (zeer) beperkt effect. De volgende aandachtspunten worden genoemd:

1. Uit de morfologische analyses (WAQMORF) blijkt dat het DO een sterke verbetering is van het VKV. Ook is aangetoond dat het DO nog verder te optimaliseren is waardoor het baggerbezwaar verder afneemt. Voor deze verdere optimalisatie is niet gekozen vanwege hoge kosten en nadelige effecten voor de loswal en de gasleiding en toenemende dwarsstroming net benedenstrooms van het Ei van Thijsse. Het jaarlijkse baggerbezwaar bij een minimale vaardiepte van 3,5 m is 4.500 m³. Bij de breedtegemiddelde vaardiepte van 4,9 m is er sprake van een jaarlijks baggerbezwaar van ongeveer 14.000 m³.
2. Op een aantal locaties in de uiterwaard nemen stroomsnelheden toe met een beperkte kans op erosie. Erosie wordt voorkomen door het toepassen van kleiige grond met een grasbekleding en ter plaatse van de gasleiding met grasbetonstenen.

7 Referenties

Ref 1: 2010, Witteveen+Bos, Vraagspecificatie deel 1 Doorwerthsche waarden. Definitief, versie 4.0. Ministerie van Verkeer en Waterstaat Rijkswaterstaat, Zaaknummer: 31035845. 15 november 2010.

Ref 2: 2009, Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren. Versie 2.01. Rijkswaterstaat Waterdienst, 1 juli 2009.

Ref 3: 2010, Witteveen+Bos. Voorkeursvariant uiterwaardvergraving Doorwerthsche waarden effecten op hydraulica en morfologie. I.s.m. HKV Lijn in water. Definitief 02. 19 augustus 2010.

Ref 4: Memo hydraulica. Programma Ruimte voor de Rivier. 1 november 2011.

Ref 5: 2011, Boskalis. Reproductieberekeningen 4 maatregelen Nederrijn. Documentnummer NR-RAP-068-1a, versie 1a. 8 november 2011.

Ref 6: betrekkinglijnen Pannerdensch Kanaal, Nederrijn, Lek, 2010. Rijkswaterstaat Oost-Nederland.

Ref 7: 2011, Boskalis. Ontwerpnota Doorwerthse waarden, kenmerk NR-RAP-106-1a d.d. 13 januari 2012.

Ref 8: 2011, Boskalis. Notitie Natuurdoeltypen Inclusief stromingsweerstand. Documentnummer NR-RAP -057, concept. 4 oktober 2011.

Ref 9: 2012, Boskalis. Beheerplan Doorwerthse waarden

Ref 10: 2012, Boskalis. Memo over verschillen tussen de bodem- en kadehoogte in WAQUA en in het DO, met kenmerk NR-U-M-317/DJZ-MB-np d.d. 11-01-2012.

Ref 11: waterstandsduurlijn Pannerdensch Kanaal, Nederrijn, Lek, 2010. Rijkswaterstaat Oost-Nederland.

Ref 12: 2012, Boskalis. Memo morfologische optimalisatie Doorwerth met kenmerk NR-U-M-314/DJZ-MB-np, d.d. 10-01-2012.

Ref 13: 2011, Boskalis. Memo Toetsing gasleiding op erosie met kenmerk NR-U-M-316/SvR-MB-np, d.d. 16-12-2012.

Ref 14: 2012, Boskalis. Rapportage Hydraulisch en morfologisch onderzoek Definitief Ontwerp maatregel Middelwaard. Documentnummer NR-RAP-088, definitief. 12 maart 2012.

Ref 15: onderzoek optimalisatie Doorwerth DO20

Bijlagen:

1. Overzicht schematisaties en berekeningen de Tollewaard
2. Conversietabel NDT naar ruw_code
3. Overzicht invoer WAQUA-berekeningen per afvoer
4. 2d-figuren 16.000 m³/s
5. 2d-figuren 10.000 m³/s
6. Methode dwarsstroming
7. Rapportage morfologische analyse
8. Baggerbezwaar

Bijlage 1 Overzicht schematisaties en berekeningen Doorwerth

De Toellewaard	beschrijving	WAQUA-code	Baseline-variant	basis-schematisatie	Baseline-maatregelen	wie (Baseline)	wie (WAQUA)	Taakstelling ->	3,00
dw_pkb	oorspronkelijke PKB-maatregel	Doorwerth_PKB-q3380	pkb_3_4_DW_PKB	pkb_3_4	r24_1b	adj	ra		2,00
Voortlopij Ontwerp									
dw_vo11	VO waarbij een deel van het nieuwe buitenkaadse gebied productiegrasland krijgt i.p.v. natuurlijk grasland	dw_vo11-q3380	-	pkb_3_4_DW_V10 (overlaat, bodem, schoffes) pkb_3_4_DW_V06 (ruwteden)	op waqua-niveau	ra	ra		3,00
dw_vo12	dw_vo11 met verplaatste 9m-lijn richting de oever, in het nieuwe buitenkaadse gebied achter de 9m-lijn is de bodem verlaagd tot 7.5 m+ NAP. Groot deel van het buitenkaadse gebied is productiegrasland	dw_vo12-q3380				adj	ra		3,70
dw_vo12a	dw_vo12 met een verbetering ter plaatse van het ei van T. waar een deel van de hoge oever lager dan 9 m+ NAP lag.	dw_vo12a-q3380			op waqua-niveau	ra	ra		3,60
dw_vo13	dw_vo12 waarbij het buitenkaadse gebied afloopt 8,5 tot 8 m+ NAP. Ten oosten van losweg opening van 30 m in hoge oever op 8m+ NAP. Ook in benedenstrooms deel ter hoogte van eerste kribvak opening met bodem op 8m+ NAP. Vegetatie in buitenkaadse gebied uitgezonderd verlaagde oever (natuurlijk grasland) is productiegrasland.	dw_vo13-q3380				adj	ra		3,09
Definitief Ontwerp									
dw_d00	eerste DO Doorwerth	Doorwerth_D00-q3380	pkb_3_4_DW_D00	pkb_3_4	nr_doorwcl_a2, nr_DWDO_a1	adj	ra		2,88
dw_d01	aanpassing vegetatie onder brug A50 aangepast DO Doorwerth. Hoogte westelijk deel buitenkaads gebied is aangepast.	Doorwerth_D01-q3380	pkb_3_4_DW_D01	pkb_3_4	nr_doorwcl_a2, nr_DWDO_a2	adj	ra		2,99
dw_d02	aangepast DO Doorwerth. Buitenkads gebied is minder vergraven, lengte behouden deel bestaande kade ingekort en aanpassing west talud terp.	Doorwerth_D02-q3380	pkb_3_4_DW_D02	pkb_3_4	nr_doorwcl_a2, nr_DWDO_a3	adj	ra		2,81
dw_d03	Definitief DO Doorwerth, met oeverlijn en kade met WAQUA-hoogte	Doorwerth_D03-q3380	pkb_3_4_DW_D03	pkb_3_4	nr_doorwcl_a2, nr_DWDO_a4	adj	ra		2,89
dw_d04	Verbeterd definitief DO Doorwerth, met oeverlijn en kade met WAQUA-hoogte. Aanpassing lengte meidoornhaag op kade.	Doorwerth_D04-q3380	pkb_3_4_DW_D04	pkb_3_4	nr_doorwcl_a2, nr_DWDO_a5	adj	ra		2,98
dw_d05	Definitief DO Doorwerth, met oeverlijn en kade met WAQUA-hoogte	Doorwerth_D05-q3380	pkb_3_4_DW_D05	pkb_3_4	nr_doorwcl_a2, nr_DWDO_a6	adj	ra		3,00
dw_d05a	Definitief DO Doorwerth, met oeverlijn en kade met ontwerp-hoogte	Doorwerth_D05a-q3380	pkb_3_4_DW_D05a	pkb_3_4	nr_DWDO_a6a	adj	ra		2,90
dw_d05_qvar	Definitief DO Doorwerth, met oeverlijn en kade met WAQUA-hoogte	Doorwerth_D05-qvar2	pkb_3_4_DW_D05	pkb_3_4	nr_doorwcl_a2, nr_DWDO_a6	adj	ra	afvoer van 2.000 t/m 10.000 m3/s	n.v.t.
dw_d05_10j	Definitief DO Doorwerth, met oeverlijn en kade met WAQUA-hoogte	Doorwerth_D05a-10j	pkb_3_4_DW_D05	pkb_3_4	nr_doorwcl_a2, nr_DWDO_a6	adj	ra	vrije afvoer verdeling afvoer van 10.000 m3/s	n.v.t.
dw_d05_16j	Definitief DO Doorwerth, met oeverlijn en kade met WAQUA-hoogte	Doorwerth_D05a-16j	pkb_3_4_DW_D05	pkb_3_4	nr_doorwcl_a2, nr_DWDO_a6	adj	ra	vrije afvoer verdeling afvoer van 16.000 m3/s	n.v.t.

Bijlage 2 Conversietabel NDT naar ruw_code

natuurdoeltype	subtype of habitattype	bodemtype	waterregime	zuurgraad	voedselrijkdom	afkomst	GLG	overige randvoorwaarden	Structuurtype
NDT verlaagde oeverzone NDT 3.32 'nat grasland'	zilver schoongrasland	vaaggronden, zand leem zavel klei en veen	zeer nat tot vochtig	zwak zuur tot neutraal	matig eutroof	grond, regen en rivier	matig diep tot diep	regelmatige overstroming rivierwater	natuurlijk gras- en hooiland
NDT laaggelegen weide NDT 3.39 'Bloemrijk grasland van het rivierengebied'	Glanshaver- en vossenstaartheuillanden (H6510)	polder of ooi vaaggronden, vorst vaaggronden. Klein of zand	matig droog tot vochtig	neutraal	zwak tot matig eutroof	grond of regen, geen rivier	diep tot zeer diep	slechts incidentele overstroming	natuurlijk gras- en hooiland
Ooibos NDT 3.61 subtype 'zacht houtooibos' en subtype 'hard houtooibos' en NDT 3.66 'bos van vochtige, voedselrijke gronden' en NDT 3.53 'mantel rivierengebied'	3.61 subtype 'zacht houtooibos'	vaaggronden, zand, zavel en vooral op klei, meestal kalkhoudend, steeds nitraat en fosfaat rijk.	zeer nat tot vochtig	neutraal	zwak tot matig eutroof	regen en vooral grond en oppervlakte	ondiep tot diep	regelmatige overstroming rivierwater, voor vestiging kale bodem	zacht houtooibos
	3.61 hard houtooibos	min of meer kalkrijk zand, al of niet lemig of kleilig, nitraat rijk en min of meer humeus			zwak eutroof tot matig eutroof	regen en vooral grond, evt. ook oppervlakte		regelmatig tot nooit overstroming, rivierdynamiek en minder voedsel rijk water nodig	hard houtooibos
Watergang NDT 3.10 Langzaam stromende rivier of nevengeul	3.66 'bos van vochtige, voedselrijke gronden'	min of meer kalkrijk zand, al of niet lemig of kleilig, nitraat rijk en min of meer humeus	nat tot matig droog	matig zuur tot neutraal	zwak eutroof tot matig eutroof	regen en vooral grond, evt. ook oppervlakte	zeer diep	regelmatig tot nooit overstroming, rivierdynamiek en minder voedsel rijk water nodig	hard houtooibos
	3.53 'mantel rivierengebied'	zand, klei, veen (onderwaterbodem en steilrand)	open water en droogvallend	neutraal of basisch	zwak eutroof tot eutroof	regen, grond en oppervlakte		migratiemogelijkheden voor fauna d.m.v. verbindingen	doornstruweel
NDT noordelijke oever watergang NDT 3.17 'geïsoleerde meander en petgat'	a, matig tot zelden geïsoleerde rivier begeleidend water		open water en droogvallend	zwak zuur tot basisch	mesotroof zwak eutroof	regen en vooral grondwater. Max 20 dagen per jaar bijmenging oppervlakte		chloride <300 mg/l, breedte >30m, <1.5m, stroomsnelheid 30-50 m/s	waterbodem
NDT Moeras NDT 3.24	3.24 subtype a: droogvallend water en moeras	rivierklei en zand	droogvallend tot zeer nat	zwak zuur tot neutraal	zwak eutroof tot matig eutroof	regen en vooral oppervlakte water	zeer ondiep tot matig diep	EGV 200-500µS/cm, calcium 10-40 mg ca/l, sulfaat <60, Chloride ,300, breedte 30-60m, oppervlakte 5-20ha, diepte 1-3m	zeggen
	3.24 subtype e: grote zeggenmoeras	zand, leem, zavel, klein en veengrond	droogvallend tot zeer nat	zwak zuur tot neutraal	zwak eutroof tot matig eutroof	regen en vooral oppervlakte water	zeer ondiep tot matig diep	regelmatig overstroming met rivierwater	biezen
NDT natuurlijke gras- en hooilanden = geen natuurdoeltype conform Bal, 2001	niet verder gespecificeerd, geen NDT	zand, leem, zavel, klein en veengrond	droogvallend tot zeer nat	zwak zuur tot neutraal	zwak eutroof tot matig eutroof	vooral grondwater	zeer ondiep tot matig diep	zelden overstroming met rivierwater	zeggen

Toelichting in [ref 8]

Overzicht invoer WAQUA-berekeningen

aspect	simulaties Q 16.000	simulaties variabel	simulaties vrije afvoerverdeling
afvoer	16.000	2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 6.000, 8.000, 9.000 en 10.000	16.000 en 10.000
SIMONA	2007-01	2007-01	2007-01
rooster	r40m_41.rgf	r40m_41.rgf	r40m_41.rgf
rekenroosterbegrenzing	rrb.nr_lek	rrb.nr_lek	rrb.001
ruw.karak	ruw.k416jul07a	ruw.k416jul07a	ruw.k416jul07a
barriers	Driel, Amerongen, Hagestein	Driel, Amerongen, Hagestein	Driel, Amerongen, Hagestein
barrier sturing	geen (open stuwen)	geen (open stuwen)	geen (open stuwen)
Initiele condities	si_waterlevel.01b; si_velocity-u.01b; si_velocity-v.01b	si_waterlevel.nr_2i; si_velocity-u.nr_2i; si_velocity-v.nr_2i	si_waterlevel.01b; si_velocity-u.01b; si_velocity-v.01b
lateralen	q_lateraal-stat.t1250	q_lateraal-stat.Qvar2	q_lateraal-stat.pkb
instroomrand	Arnhem	Arnhem	Emmerich
benedenrand	Krimpen a/d Lek	Krimpen a/d Lek	Werkendam, Ketelmeer, Krimpen a/d Lek

afvoer Lobith (m3/s)	afvoer Nederrijn (m3/s)	Waterstand benedenrand (m+NAP)
2000	310	0,3
3000	540	0,39
4000	740	0,42
5000	930	0,5
6000	1120	0,57
8000	1590	0,76
9000	1820	0,84
10000	2010	0,9
16000	3380	1,54

Bijlage 3 2d-figuren 16.000 m³/s

Zie bijlagen bij rapport morfologische effecten met kenmerk NR-RAP-110-1a d.d. 9 januari 2012.

Bijlage 4 **2d-figuren 10.000 m³/s**

Zie bijlagen bij rapport morfologische effecten met kenmerk NR-RAP-110-1a d.d. 9 januari 2012.

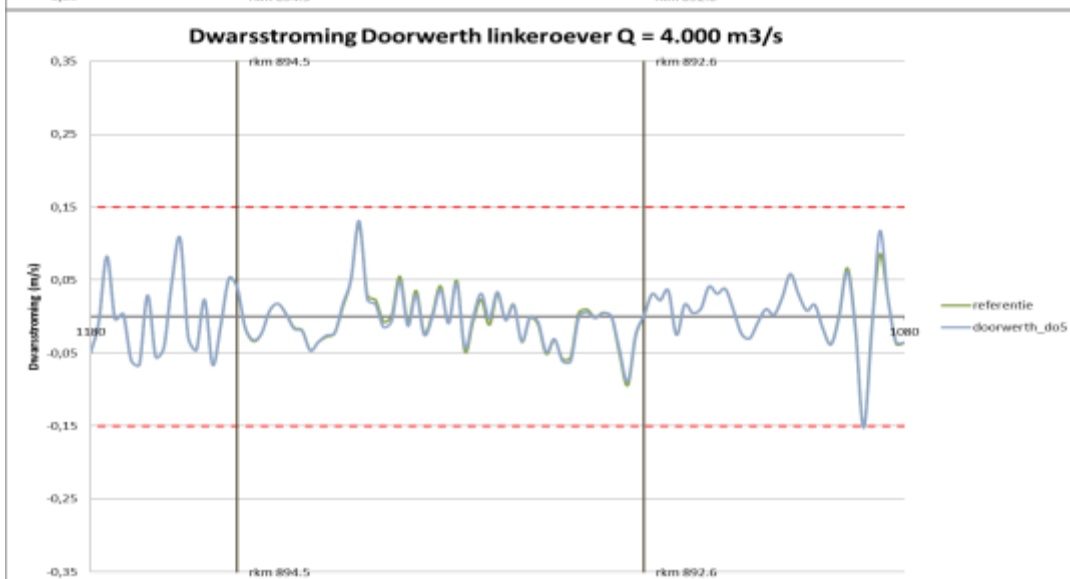
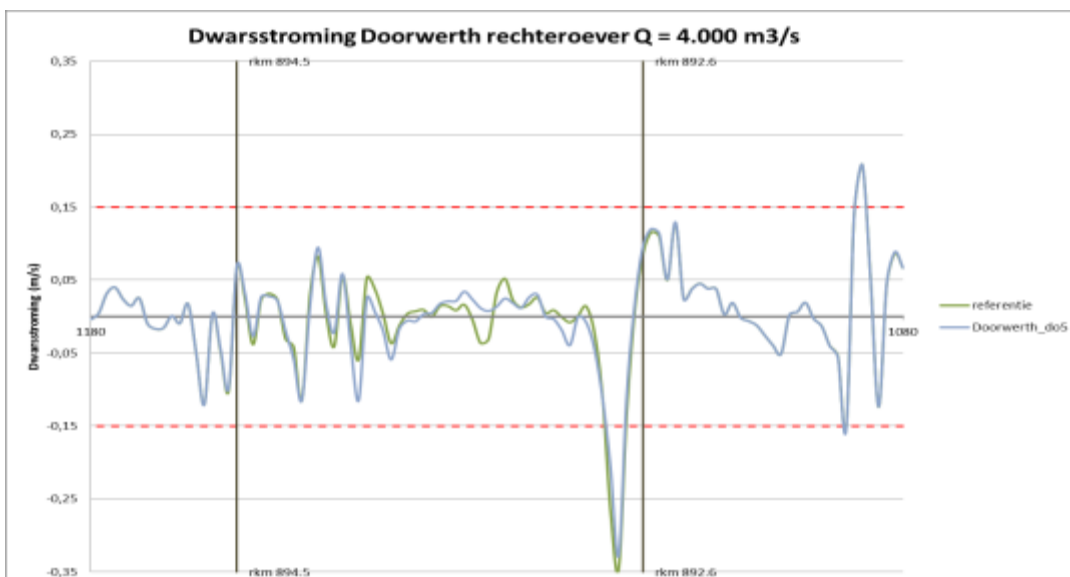
Bijlage 5 Methode dwarsstroming

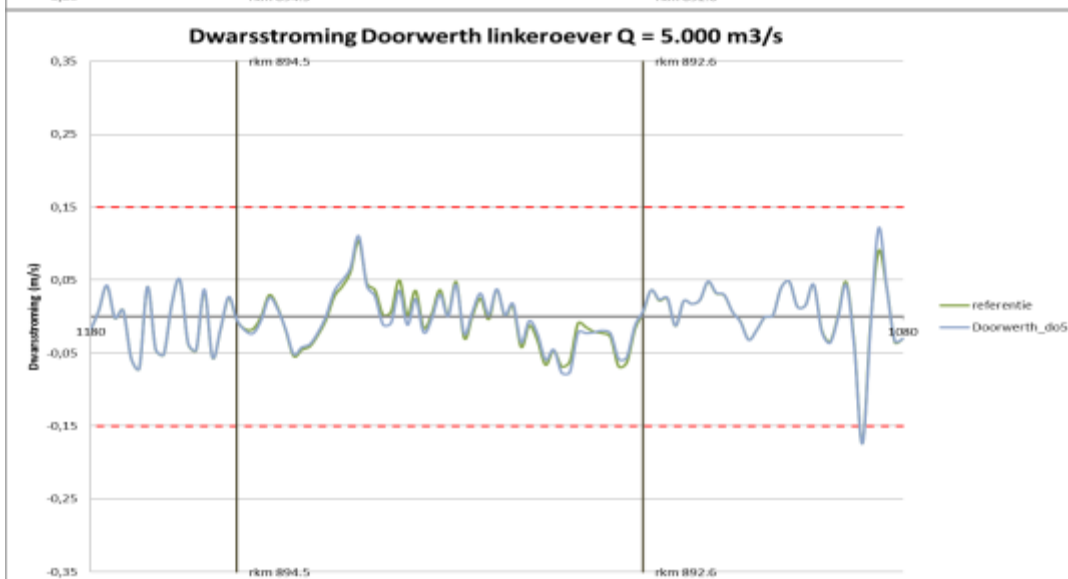
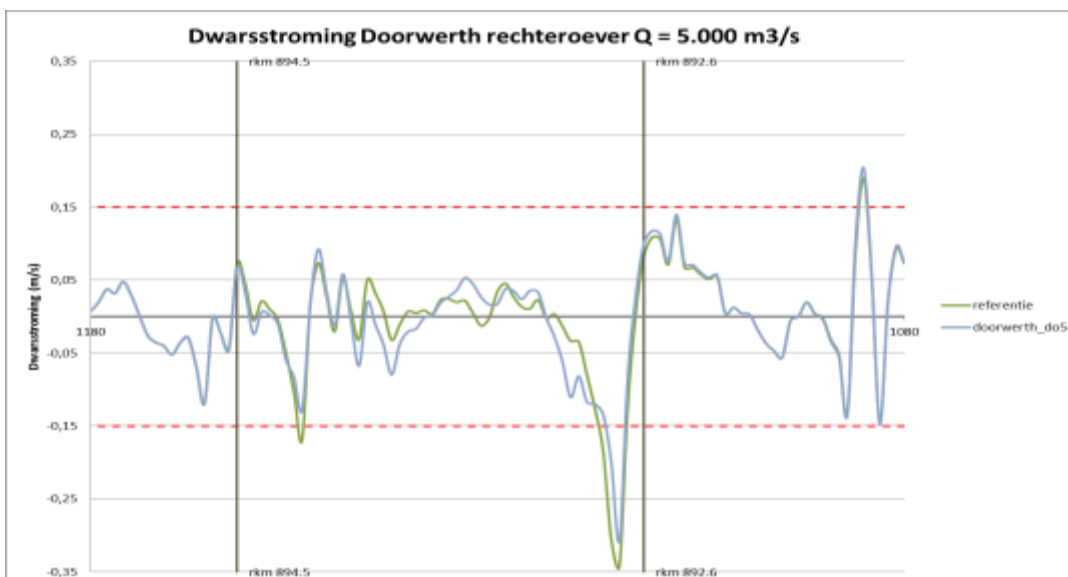
De dwarsstroming t.b.v. scheepvaart is als volgt bepaald:

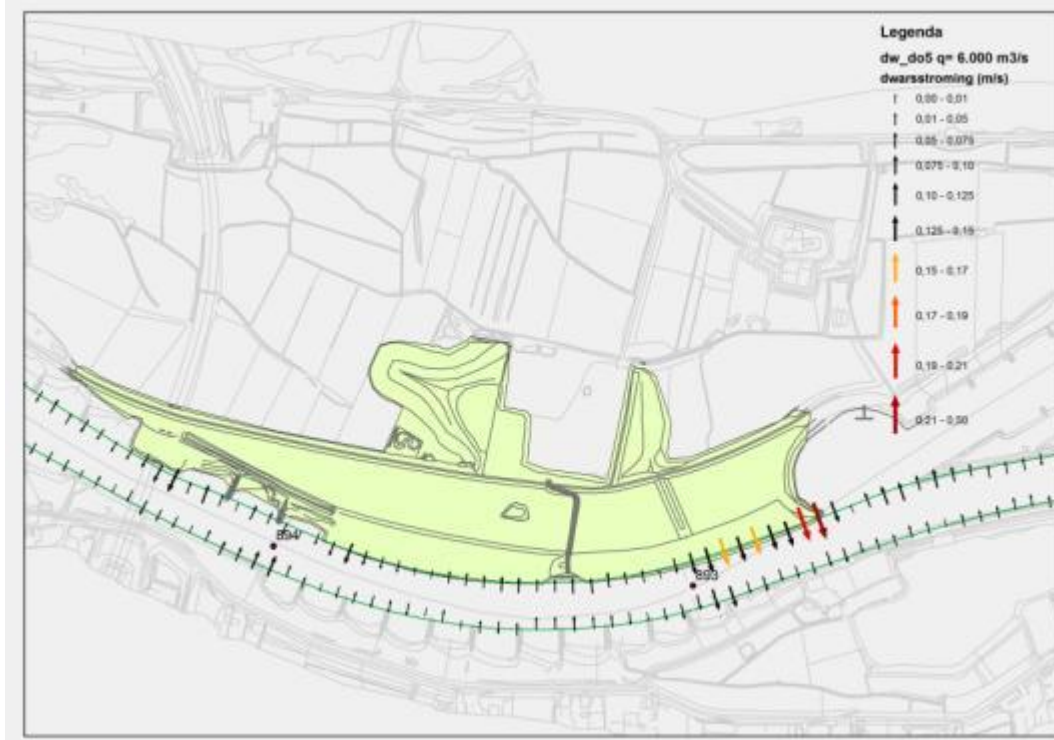
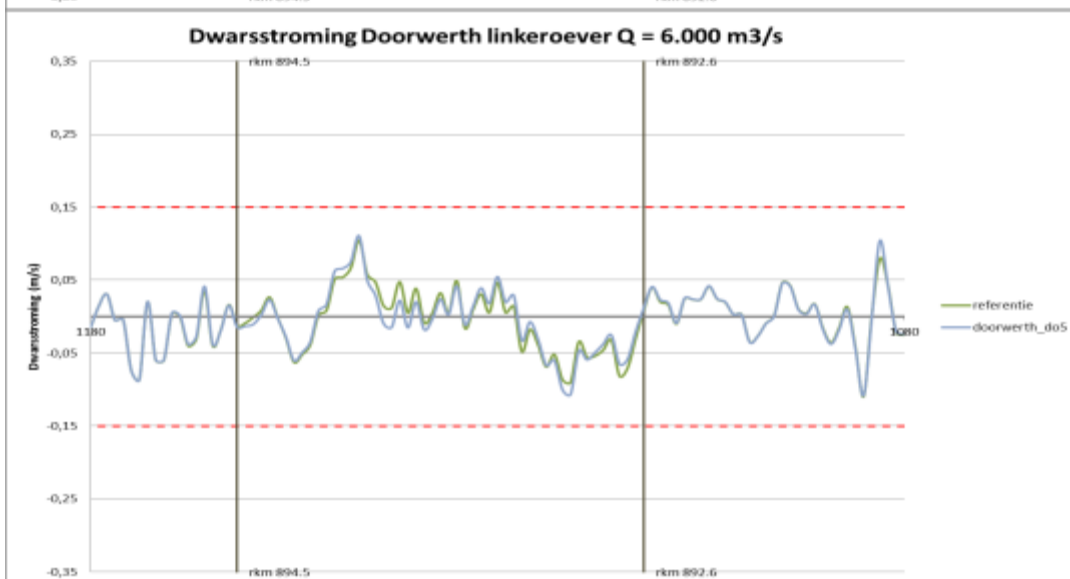
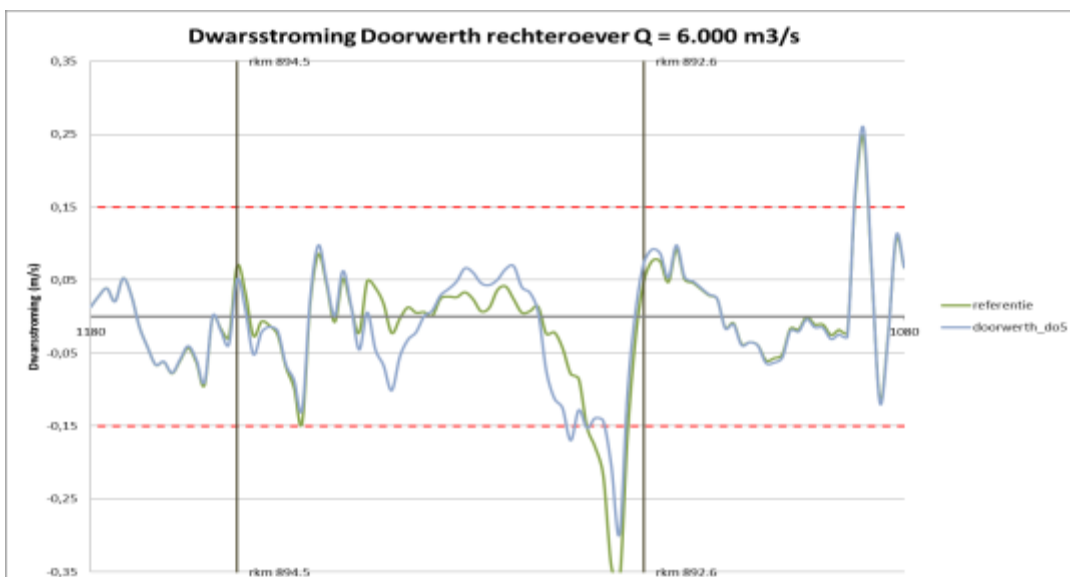
- M.b.v. Waqview zijn stroomsnelheden en -richting bepaald per roostercel voor de verschillende afvoeren
- M.b.v. een contour die de vaargeul weergeeft (Baseline-bestand 'zbedgebr') zijn alleen de waarden binnen de vaargeul geselecteerd
- De normaallijnen zijn in dezelfde richting gelegd (boven- naar benedenstrooms) en zijn geknipt met het rooster zodat er per roostercel (en dus per waarde) een stukje normaallijn is
- De richting van elk stukje normaallijn is bepaald
- Deze richting is gekoppeld aan de stroomsnelheidslocaties die het dichtst bij de normaallijnen liggen. Voor elke roostercel langs de normaallijn is nu één punt met stroomsnelheid, -richting en richting van de normaallijn beschikbaar
- Voor elk punt is de stroomsnelheid en –richting loodrecht op de normaallijn bepaald. Dit is de grootte en richting van de dwarsstroming.

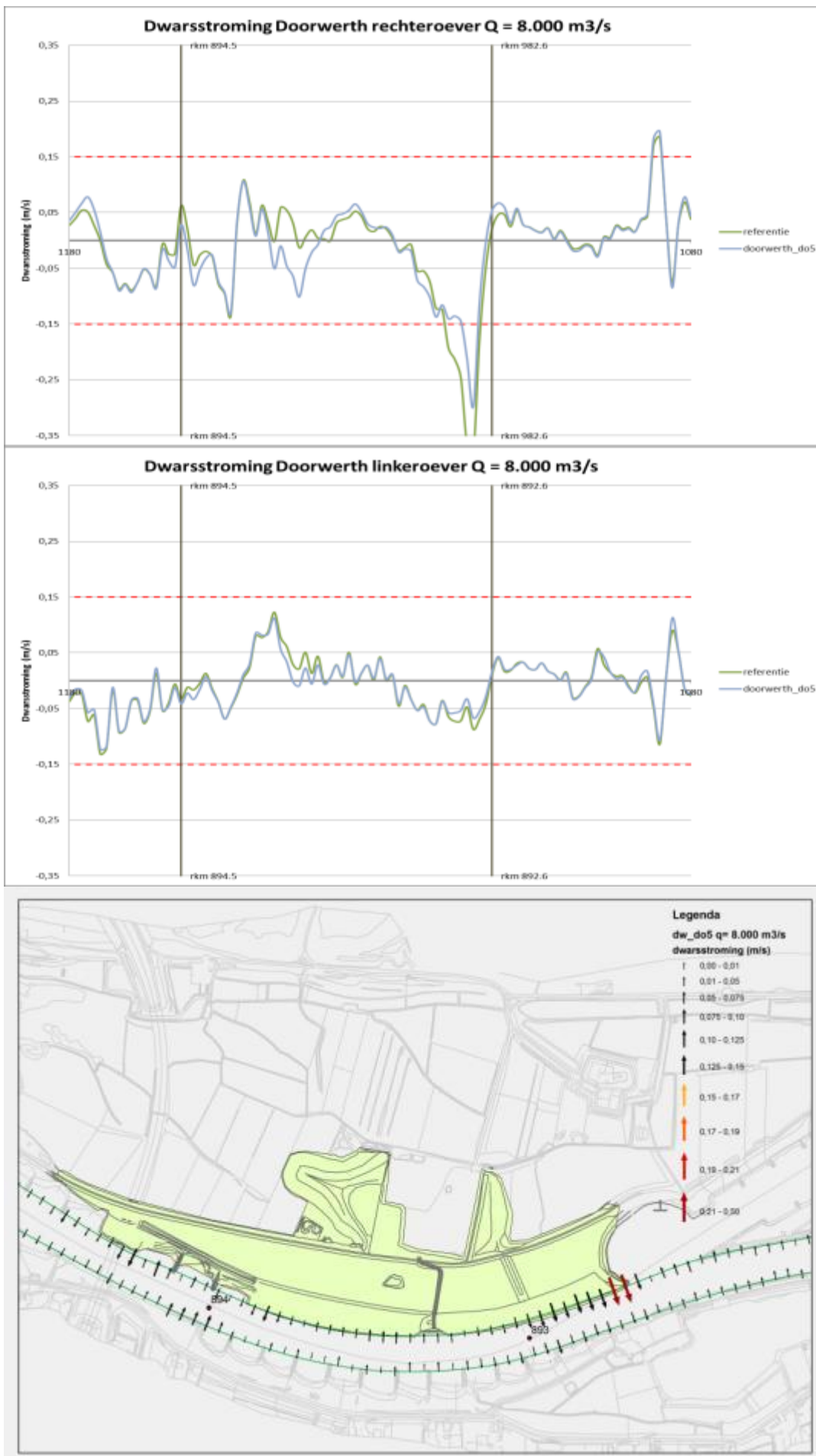
Vervolgens zijn deze waarden geplot in GIS en zijn in Excel grafieken gemaakt voor de linker- en rechteroever.

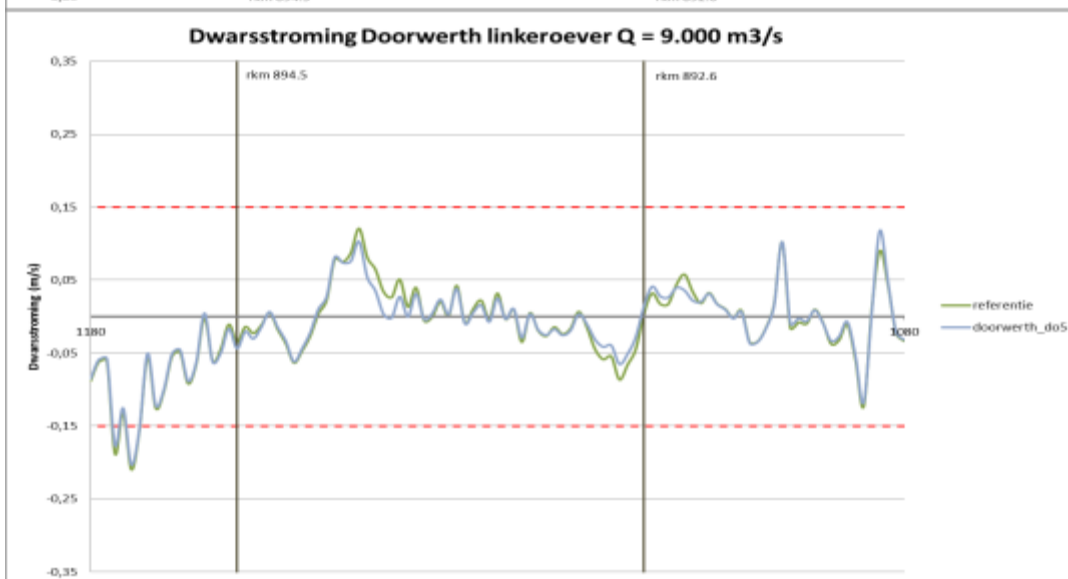
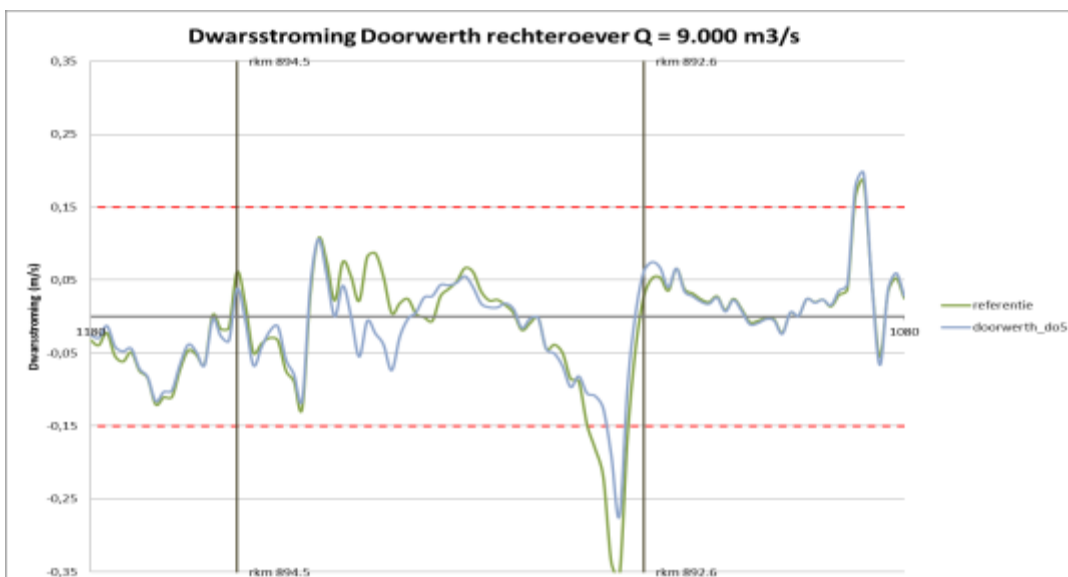
De resultaten zijn hieronder weergegeven voor afvoeren van 4.000 tot 10.000 m³/s.

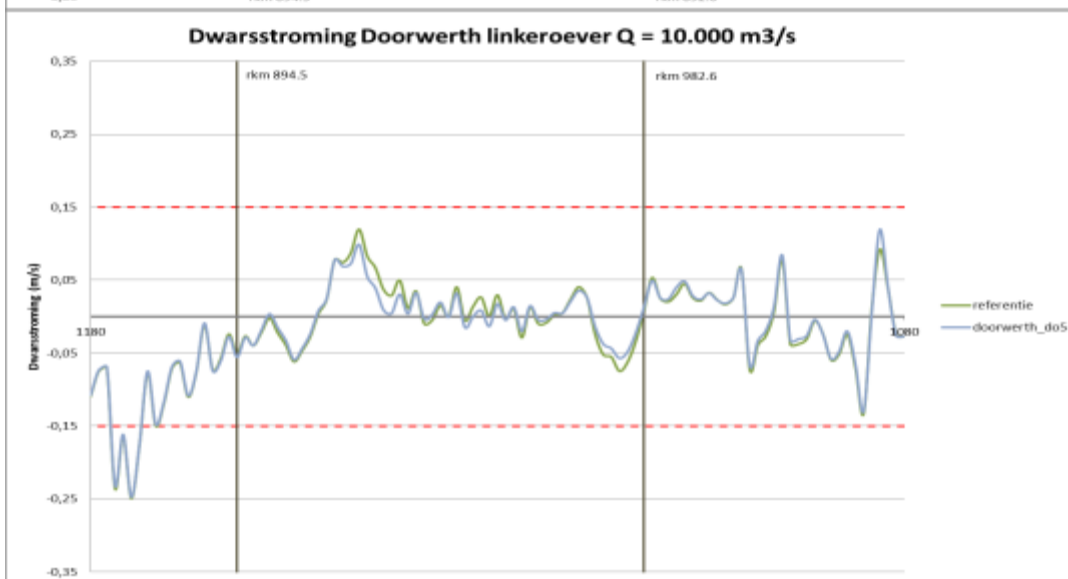
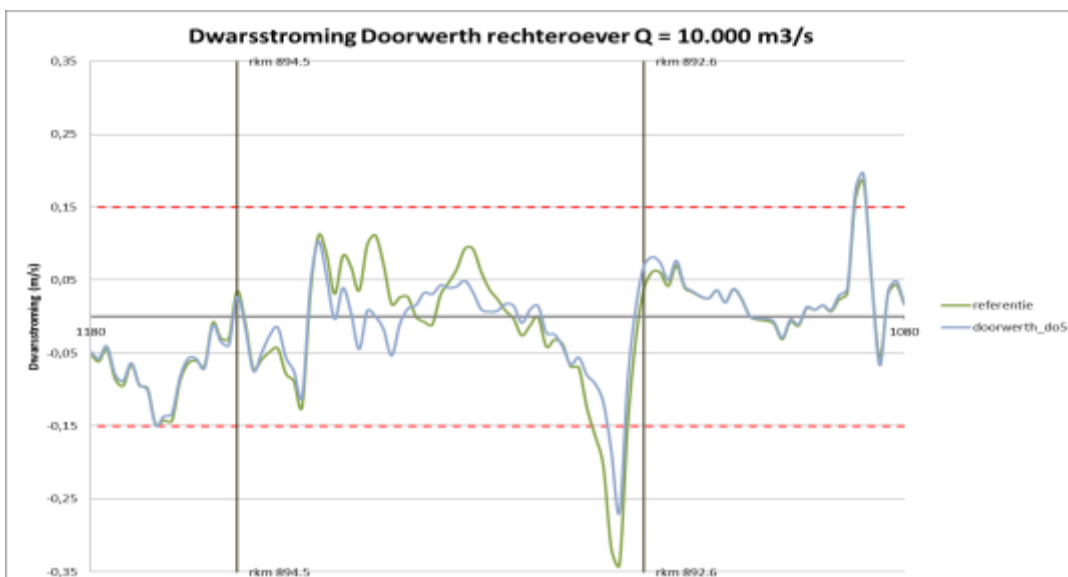












Bijlage 6 **Rapportage morfologische analyse NR-RAP-110-1a,**
dd 9-01-2012

Rapportage Morfologische effecten Doorwerthse Waarden



Boskalis bv

**Project: 4 Maatregelen Nederrijn
Zaaknummer: 31035845**

Documentnummer:	NR-RAP -110
Werkpakketcode:	3.3.4
Documentstatus:	Definitief
Versie:	2a
Datum:	9 maart 2012

	Naam	Paraaf	Datum
Opgesteld:	S. van Rooij	<i>bla</i> <i>SL</i>	9 maart 2012
Getoetst:	M. Balke	<i>MB</i>	9 maart 2012
Vrijgegeven:	D.J. Zwemmer	<i>DZ</i>	9 maart 2012
Geaccepteerd OG:			

Document historie

<i>Revisienummer.</i>	<i>Revisie datum</i>	<i>Aanpassingen</i>
<i>0a</i>	<i>9 januari 2012</i>	<i>Eerste concept</i>
<i>0b</i>	<i>9 januari 2012</i>	<i>Tweede concept, opmerkingen TM verwerkt</i>
<i>1a</i>	<i>9 januari 2012</i>	<i>Definitief, intern goedgekeurd</i>
<i>2a</i>	<i>9 maart 2012</i>	<i>Definitief</i>

Inhoudsopgave

1	Morfologische effecten	5
2	Grenzen voor bodemerosie.....	6
3	Onderdelen	7
4	Morfologische aandachtspunten uiterwaardvergraving Doorwerth.....	9
5	Conclusies	11
6	Bijlagen	12

1 Morfologische effecten

Deze rapportage handelt over de morfologische effecten ten gevolge van de uitvoering van het deelproject Doorwerthse Waarden als onderdeel van het project vier maatregelen Nederrijn. Het doel is om de morfologische effecten van het ontwerp in beeld te brengen en de daaraan verbonden risico's te benoemen. De effecten en risico's worden beschreven in vergelijking tot de voorkeursvariant (VKV) en de referentiesituatie.

De volgende scenario's van Waqua worden gebruikt:

Tabel 1-1: afvoerscenario's

Debiet bovenrijn m ³ /s		voorkomen
4000		± 20 dagen/jr
6000		1 / jr
10000		1/10 jr
16000	(MHW)	1/1250 jr

In elk gebied wordt beoordeeld op een aantal vooraf vastgestelde beoordelingspunten die volgen uit het rivierkundig beoordelingskader. Hierbij wordt er rekening mee gehouden dat de scenario's een verschillende herhalingsfrequentie hebben. Hierdoor kan het zijn dat bij lagere afvoeren kleine veranderingen in stroming een grotere invloed hebben op het beheer dan zeer grote veranderingen die slechts in scenario's van eens in 1250 jaar voorkomen.

Op voorhand is te stellen dat een 1/1250 jr scenario waarschijnlijk weinig invloed heeft op de jaarlijkse hoeveelheid baggeren. Als het gaat om onderhoud aan de uiterwaard of kade ligt de nadruk bij een 1/1250 jr scenario op het controleren op hoge stroomsnelheden in verband met ondermijning van constructies of kades. De 1/10 jr en 1/jr afvoer hebben een grotere invloed op het rivieronderhoud door hun grotere frequentie en doorgaans minder extreme morfologische gevolgen per hoogwater. Bij 4000 m³/s bij Lobith is doorgaans geen overstroming van de uiterwaard achter de kades aanwezig en bij 6000 m³/s bij Lobith loopt de uiterwaard doorgaans niet onder of is er slechts weinig water aanwezig. Op uiterwaarden zal dit vooral leiden tot het achterlaten van slib en drijvende takken en mogelijk drijvend vuil.

2 Grenzen voor bodemerosie

In de beoordeling van de morfologie wordt rekening gehouden met de erosiegevoeligheid van de bodem. De bestendigheid van bodemmateriaal tegen erosie is bij benadering bekend¹ en gegeven in Tabel 2-1. Daarnaast speelt de vegetatie een belangrijke rol. Van invloed zijn hierbij o.a.: type groeivorm, leeftijd, dekkinggraad, doorworteldiepte etc.² Getallen lopen hierbij ver uiteen. Daarom wordt hier Tabel 2-1 aangehouden. Daarnaast is bekend dat vaste klei met grasbekleding stroomsnelheden tot 1 m/s goed kan hebben. Dit wordt daarom doorgaans toegepast op dijken.

Tabel 2-1: Toelaatbare stroomsnelheden bij een natuurlijk evenwichtsprofiel

Grondsoort	toelaatbare (m/s)
Zand	0,30
Veen	0,50
Zandige klei	0,40
Slappe klei	0,60
Redelijk vaste klei	0,80 (1,0 bij kortdurende belastingen)
Vaste klei	1,00 (1,2 -1,5 bij kortdurende belastingen)

¹ CUR-rapport 201, natuurvriendelijke oevers – belasting en sterkte

² Vegetatiekundige inventarisatie en erosiebestendigheid van de waterkeringen in het beheersgebied van Waterschap Vallei en Eem. Alterra. 2009.

3 Onderdelen

In de ontwerpen worden de volgende punten beoordeeld volgens het morfologisch beoordelingskader:

Tabel 3-1: beoordelingspunten

1	<ul style="list-style-type: none"> ● Hydraulisch
	Het totale effect van de maatregelen op de waterstandverlaging bij Maatgevend Hoog Water (MHW) in vergelijking tot VKV en referentie.
	NVT ³
2	<ul style="list-style-type: none"> ● Onderhoud rivieras:
	Sedimentatie en erosie met als gevolg een systematische toename of afname van baggerwerk of uitdiepen van de rivier.
	NVT ³
3	<ul style="list-style-type: none"> ● Rivieroever:
	Erosie van de oever en het lage deel van het talud van de vaargeul met als gevolg geulverlegging, verandering geulafmeting, oeverafslag of oeverinstabiliteit.
	Input: Waqmorf rekenresultaat en bodemligging. Output: kaarten en analyse van rekenresultaat van Waqmorf. Inschatting risico's op basis van expert judgement.
4	<ul style="list-style-type: none"> ● Uiterwaard:
	Erosie en sedimentatie met als gevolg toe- of afname van de berging of stroomvoerende capaciteit, schade aan constructies of hinder.
	Input: Waqua en Waqmorf rekenresultaat in kaarten en getallen en bodemligging. Grenssnelheden voor erosie voor verschillende bodemtypen en begroeiing. Output: beoordeling risico's en effecten op basis van gegevens en expert judgement. Bepaling van verandering in bergend vermogen en effect op stroombeeld.
5	<ul style="list-style-type: none"> ● Nevengeulen en watergangen:
	Erosie en sedimentatie met als gevolg verandering van de geuldimensies en watervoerende capaciteit of risico's voor de waterkeringen.
	Input: Waqua en Waqmorf rekenresultaten en terreinhoogten. Grenssnelheden voor erosie voor verschillende bodemtypen en begroeiing. Output: analyse van veranderingen in geuldimensie en positie en inschatting van de effecten op hoogwaterafvoer en risico's voor schade aan objecten op basis van expert judgement.
6	<ul style="list-style-type: none"> ● Kades:
	Stroomsnelheid en erosie over, langs en achter de kade ivm stabiliteit van de kade en het risico op ondergraving van de constructie.
	Input: Waqua en Waqmorf rekenresultaat, terreinhoogten en grenssnelheden voor erosie voor verschillende bodemtypen. Output: analyse en overzicht van risicovolle locaties mbt erosie en het optreden van mogelijk risicovolle hoge stroomsnelheden.
7	<ul style="list-style-type: none"> ● Keringen:
	Erosie in nabijheid van de kering waardoor gevaar op afname van stabiliteit van de kering kan ontstaan.
	Input: Waqua en Waqmorf rekenresultaten, terreinhoogten en Output en grenssnelheden voor erosie voor verschillende bodemtypen en begroeiing. Output: Risico-inschatting op basis van expert judgement.

³ Dit wordt behandeld in de rapportage met betrekking tot het hydraulisch en morfologisch onderzoek.

8	● Kribben:
	Toename van stroomsnelheid of achterloopsheid van de kribben of erosie rondom de kribben met als gevolg instabiliteit van de kribben of afname van de werking.
	Input: Waqua en Waqmorf rekenresultaten, terreinhoogten en Output en grenssnelheden voor erosie voor verschillende bodemtypen en begroeiing. Output: Analyse van stroomsnelheden rondom de kribben en risico-inschatting op basis van expert judgement
9	● Constructies
	Erosie rondom constructies met als gevolg instabiliteit of schade.
	Input: resultaten van voorgaande analysestappen Output: beschrijving van risico's per object.

4 Morfologische aandachtspunten uiterwaardvergraving Doorwerth

De uiterwaardvergraving van Elst is beoordeeld op basis van Waqua berekeningen voor de afvoerscenario's zoals genoemd in rapportage hydraulisch en morfologisch onderzoek Definitief ontwerp maatregel Elst. Er zijn berekeningen uitgevoerd van de referentiesituatie, het VKV en VO. Onderstaande tabel geeft de bevindingen weer per beoordelingspunt. De beoordeling is uitgevoerd op basis van de gegevens in de volgende kaarten:

- Kaart Uiterwaardvergraving Doorwerth, waquarun voor D05: stroomsnelheden D05-q06;
- Kaart Uiterwaardvergraving Doorwerth, waquarun voor D05: stroomsnelheden D05-q10;
- Kaart Uiterwaardvergraving Doorwerth, waquarun voor D05: stroomsnelheden D05-q16;
- Kaarten 4 maatregelen Nederrijn. Locatie Doorwerth. Bijlagen 1-1 t/m 4-5;
- Kaart Uiterwaardvergraving Doorwerth waquarun voor D05: gebieden waar bepaalde stroomsnelheden voorkomen.

1	<ul style="list-style-type: none"> • Hydraulisch <p><i>Het totale effect van de maatregelen op de waterstandverlaging bij Maatgevend Hoog Water (MHW) in vergelijking tot VKV en referentie.</i></p> <p>Dit is geen onderdeel van onderhavig rapport. NVT ⁴</p>
2	<ul style="list-style-type: none"> • Onderhoud rivieras: <p><i>Sedimentatie en erosie met als gevolg een systematische toename of afname van baggerwerk of uitdiepen van de rivier.</i></p> <p>NVT ³</p>
3	<ul style="list-style-type: none"> • Rivieroever: <p><i>Erosie van de oever en het lage deel van het talud van de vaargeul met als gevolg geulverlegging, verandering geulafmeting, oeverafslag of oeverinstabiliteit.</i></p> <p>Er zijn 3 kribben aanwezig. Alleen op de zuidwestelijke punt van het Ei van Thijssen worden de stroomsnelheden op de oever zodanig hoog dat bij een 1/10 jr scenario en bij maatgevende afvoer significante erosie op kan treden (>1 m/s). bovendien betreft het hier een stroomhappende rand. Uit de verschilanalyse blijkt dat de stroomsnelheden na uitvoer van de maatregelen hier niet veranderen ten opzichte van de referentiesituatie. Er wordt vanuit gegaan dat de oever hier afdoende is beschermd. De bescherming hoeft daarmee niet aangepast te worden ten opzichte van de huidige situatie.</p>
4	<ul style="list-style-type: none"> • Uiterwaard: <p><i>Erosie en sedimentatie met als gevolg toe- of afname van de berging of stroomvoerende capaciteit, schade aan constructies of hinder.</i></p> <p>De uiterwaard loopt onder vanaf q10000. Stroomsnelheden zijn op de uiterwaard ten noorden van de terp bij maatgevend hoogwater maximaal 1 m/s. Uit de verschilanalyse blijkt dat de stroomsnelheden niet veranderen ten opzichte van de referentiesituatie. Door het terugbrengen van de kleiige bodem en het aanbrengen van een grasbedekking wordt de huidige situatie hersteld en is afdoende bescherming aanwezig. Ten zuiden van de terp en de verplaatste kade treedt onderlopen van het gebied op bij normale jaarlijkse hoogwaterperioden. Stroomsnelheden zijn hierbij niet problematisch en lopen op tot 1 m/s bij maatgevende afvoer. De kleiige ondergrond met grasbekleding biedt afdoende bescherming.</p> <p>Stroomsnelheden zijn aan de westkant van het ei van Thijssen hoog genoeg voor erosie van onbeschermd bodem bij afvoerscenario's van 1/10 jr en maatgevende waterstand. De kleihoudende bodem met grasmat biedt voldoende bescherming hiertegen.</p>
5	<ul style="list-style-type: none"> • Nevengeulen en watergangen: <p><i>Erosie en sedimentatie met als gevolg verandering van de geuldimensies en watervoerende capaciteit of risico's voor de waterkeringen.</i></p> <p>Nevengeulen zijn niet aanwezig</p>

⁴ Dit wordt behandeld in de rapportage met betrekking tot het hydraulisch en morfologisch onderzoek

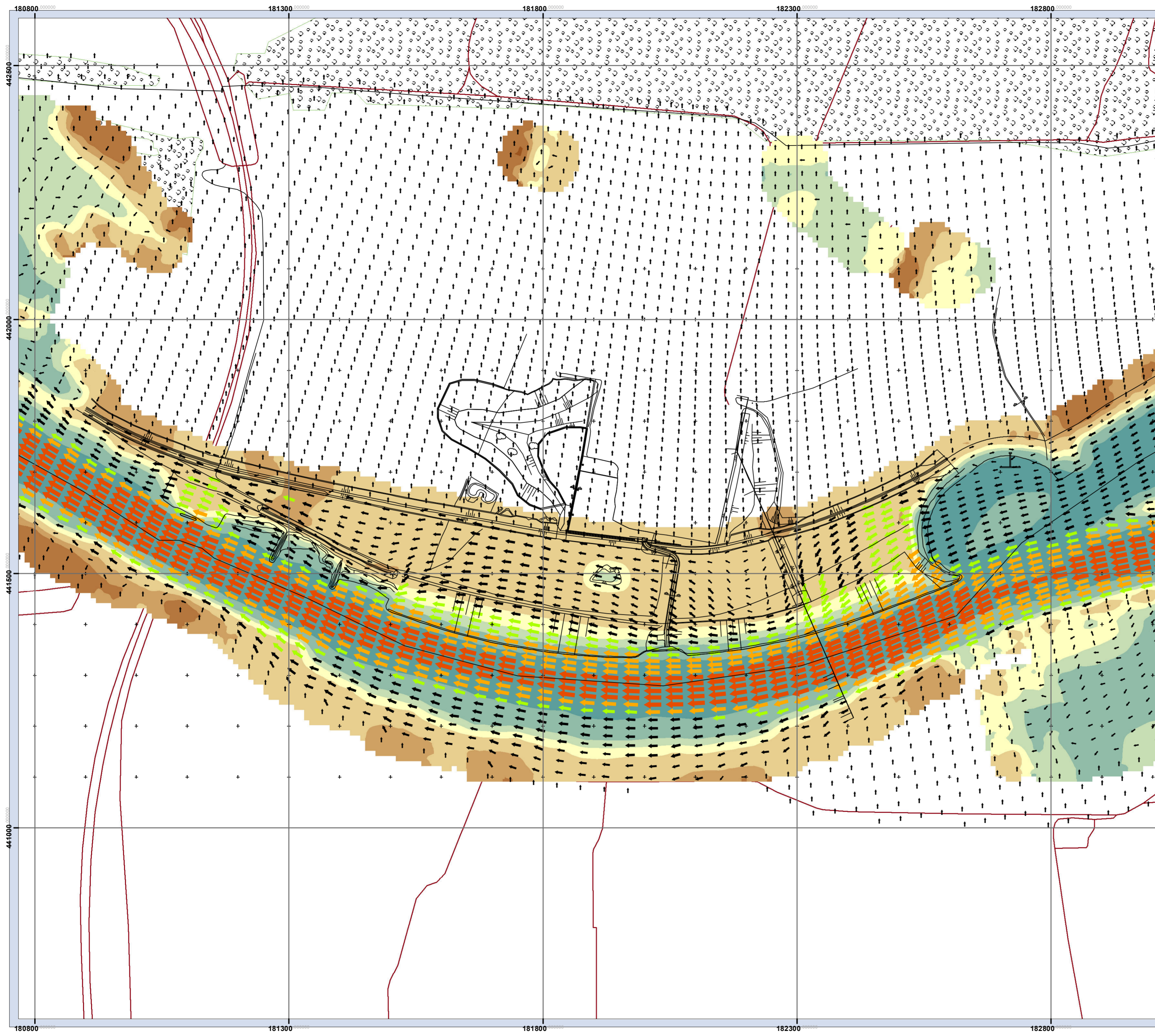
6	<ul style="list-style-type: none"> ● Kades:
	<i>Stroomsnelheid en erosie over, langs en achter de kade ivm stabiliteit van de kade en het risico op ondergraving van de constructie.</i>
	Over de kade ten zuidwesten van de terp zijn stroomsnelheden rond 1m/s aanwezig bij 1/10 jr en maatgevende afvoer. De kleiige ondergrond met kleihoudende bodem en grasbekleding biedt afdoende bescherming.
7	<ul style="list-style-type: none"> ● Keringen:
	<i>Erosie in nabijheid van de kering waardoor gevaar op afname van stabiliteit van de kering kan ontstaan.</i>
	Waterdiepte en stroomsnelheid zijn nabij de hoge gronden laag en vormen geen risico's.
8	<ul style="list-style-type: none"> ● Kribben:
	<i>Toename van stroomsnelheid of achterloopsheid van de kribben (stroming achter de kribben langs) of erosie rondom de kribben met als gevolg instabiliteit van de kribben of afname van de werking.</i>
	Stroomsnelheden rondom de kribben zijn alleen bij maatgevende afvoer ongeveer 1m/s en hoog genoeg voor lichte erosie achter de kribben. Uit de verschillenanalyse van de stroomsnelheden blijkt dat ten opzichte van de huidige situatie geen veranderingen optreden. De kribben zijn rondom beschermd met kleiig materiaal. De aansluitingen van de kribben worden zonodig aangevuld met kleiig materiaal. Het beheer dient, net als nu het geval is - middels controles na hoogwater rekening te houden met de kans op erosie en zal bestaan uit het opvullen van mogelijke erosiegaten. Bij lagere waterstanden is geen risico op achterloopsheid.
9	<ul style="list-style-type: none"> ● Constructies
	<i>Erosie rondom constructies met als gevolg instabiliteit of schade.</i>
	Over de rivier is een brug aanwezig. Bij de pijlers kunnen stroomsnelheden van 1-1,5 m/s optreden bij maatgevende afvoer. Verschillenanalyse laat zien dat de stroomsnelheden gelijk zijn aan die in de referentiesituatie. Er hoeven daarom geen aanvullende maatregelen genomen te worden. Ten zuidoosten van de terp loopt een gasleiding. Deze behoudt na uitvoering van de werkzaamheden een dekking van minimaal een meter. Het maaiveld is boven de leiding ongeveer een halve meter hoger dan het omliggende land. De taluds aan weerszijden van de gasleiding zijn flauw, om een vloeiende overgang te creëren voor de stroming. De kop van de verhoging wordt beschermd met grastegels om erosie als gevolg van een stroomhappend effect te voorkomen. Zie memo Toetsing gasleiding op erosie, kenmerk NR-U-M-316/SvR-MB-np d.d. 16-12-2011.

5 Conclusies

Aandachtspunten voor erosie zijn de westelijke oever van het Ei van Thijsen en de extra bodembescherming boven de gasleiding.

6 Bijlagen

- Kaart Uiterwaardvergraving Doorwerth, waquarun voor D05: stroomsnelheden D05-Q06;
- Kaart Uiterwaardvergraving Doorwerth, waquarun voor D05: stroomsnelheden D05-q10;
- Kaart Uiterwaardvergraving Doorwerth, waquarun voor D05: stroomsnelheden D05-q16;
- Kaarten 4 maatregelen Nederrijn. Locatie Doorwerth. Bijlagen 1-1 t/m 4-5;
- Kaart Uiterwaardvergraving Doorwerth waquarun voor D05: gebieden waar bepaalde stroomsnelheden voorkomen;
- Memo Toetsing gasleiding op erosie, kenmerk NR-U-M-316/SvR-MB-np d.d. 16-12-2011.



Legenda

stroomsnelheid DO5-q06
m/s

- ↑ 0,00 - 0,10
- ↑ 0,11 - 0,30
- ↑ 0,31 - 0,50
- ↑ 0,51 - 0,70
- ↑ 0,71 - 1,00
- ↑ 1,01 - 1,30
- ↑ 1,31 - 1,84

waterdiepte (m)

- droog
- 0,01 - 0,5
- 0,51 - 1
- 1,1 - 2
- 2,1 - 3
- 3,1 - 4
- 4,1 - 7
- 7,1 - 10
- 11 - 18

— Wegen_straten

ACAD-NR-TEK-San-188-0C.dwg Polyline

— alle lijnen

Vlakken

type

- forest
- park

Scenario voor waterdiepte en stroomsnelheid bij q=6000 m3/s

0 50 100 200 300 400 Meters

Uiterwaardvergraving Doorwerth
Waqua run voor DO5

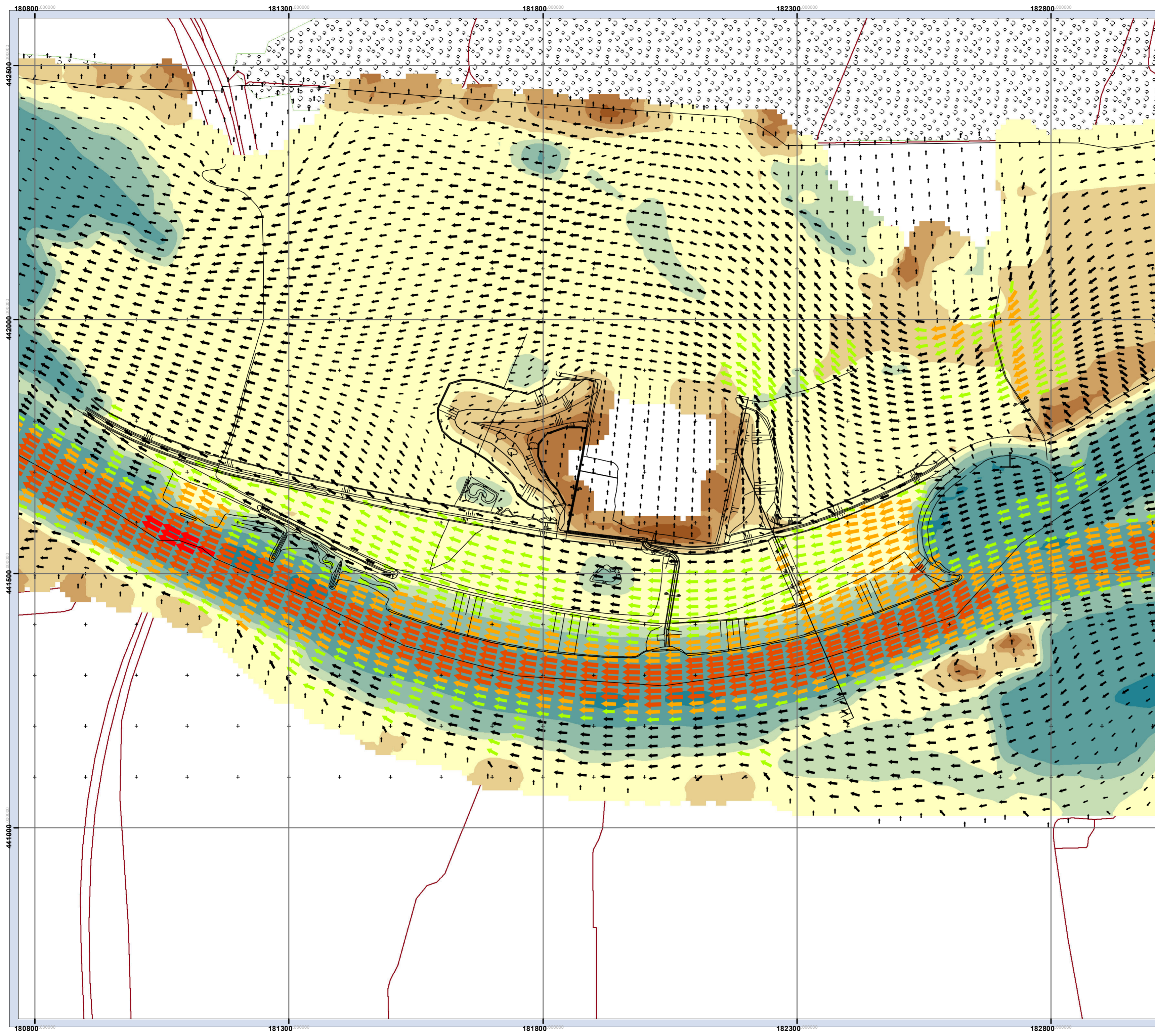
Projectnummer: 299493

Status: concept
Datum: 05-01-2012
Schaal: 1:5.000
Formaat: A2
Tekeningnummer: 4506

Grontmij

Hoofdkantoor
Locaties: De Bilt
De Holle Bilt 22
3732 HM, De Bilt
T 0302207556
waterbouw@grontmij.nl
www.grontmij.nl

© Grontmij Nederland bv. Alle rechten voorbehouden.



Legenda

stroomsnelheid DO5-q10

m/s

- ↑ 0,00 - 0,10
- ↑ 0,11 - 0,30
- ↑ 0,31 - 0,50
- ↑ 0,51 - 0,70
- ↑ 0,71 - 1,00
- ↑ 1,01 - 1,30
- ↑ 1,31 - 1,84

waterdiepte

- droog
- 0,01 - 0,5
- 0,51 - 1
- 1,1 - 2
- 2,1 - 3
- 3,1 - 4
- 4,1 - 7
- 7,1 - 10
- 11 - 18

— Wegen_straten

ACAD-NR-TEK-San-188-0C.dwg Polyline

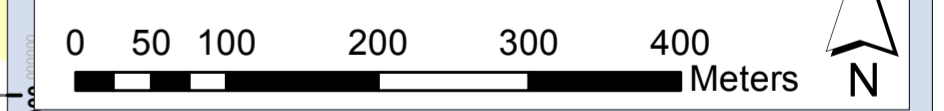
— alle lijnen

Vlakken

type

- forest
- park

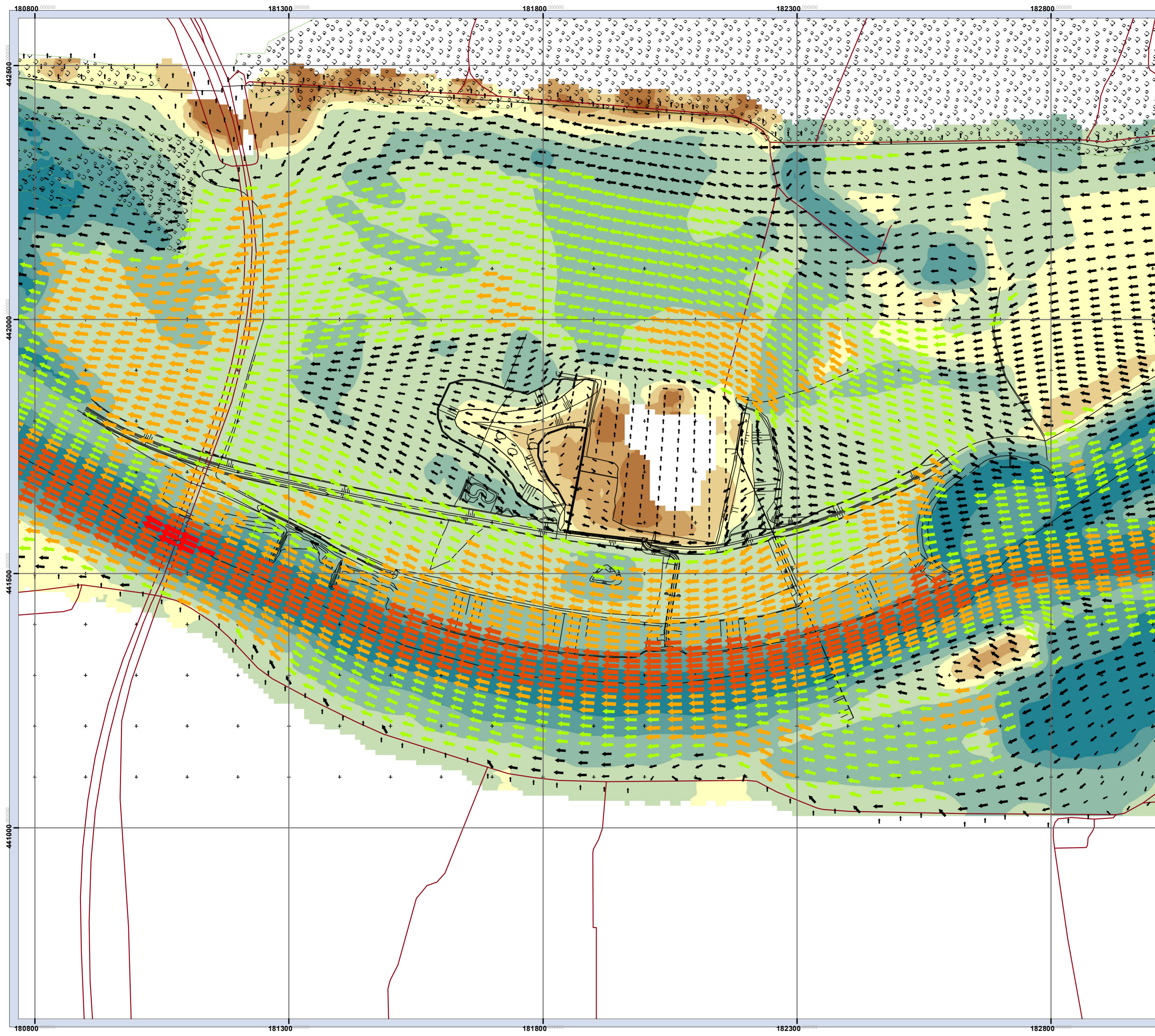
Scenario voor waterdiepte en stroomsnelheid bij q=10000 m3/s



**Uiterwaardvergraving Doorwerth
Waqua run voor DO5**

Projectnummer: 299493
 Status: concept
 Datum: 05-01-2012
 Schaal: 1:5.000
 Formaat: A2
 Tekeningnummer: 4510

Grontmij
 Hoofdkantoor
 Locaties: De Bilt
 De Holle Bilt 22
 3732 HM, De Bilt
 T 0302207556
 waterbouw@grontmij.nl
 www.grontmij.nl



Legenda

stroomsnelheid DO5-q16
m/s

- ↑ 0,00 - 0,10
- ↑ 0,11 - 0,30
- ↑ 0,31 - 0,50
- ↑ 0,51 - 0,70
- ↑ 0,71 - 1,00
- ↑ 1,01 - 1,30
- ↑ 1,31 - 1,84

dw-do5-q16
waterdiepte (m)

- droog
- 0,01 - 0,5
- 0,51 - 1
- 1,1 - 2
- 2,1 - 3
- 3,1 - 4
- 4,1 - 7
- 7,1 - 10
- 11 - 18

— Wegen_straten


ACAD-NR-TEK-San-188-0C.dwg Polyline

- alle lijnen

Vlakken
type

- forest
- park


Scenario voor waterdiepte en stroomsnelheid bij q=16000 m3/s

0 50 100 200 300 400 Meters 

Uiterwaardvergraving Doorwerth
Waqua run voor DO5

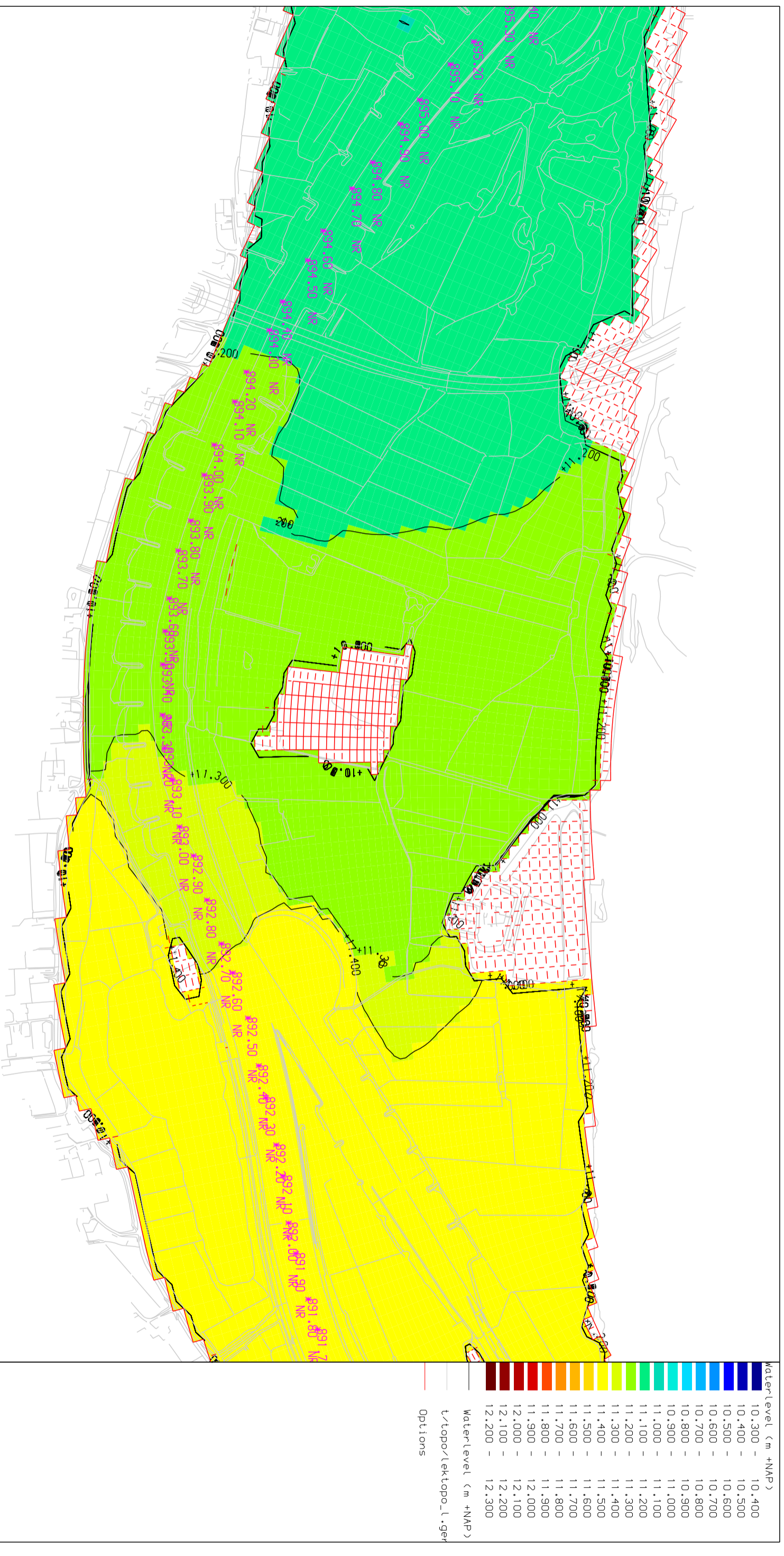
Projectnummer: 299493

Status: concept
Datum: 05-01-2012
Schaal: 1:5.000
Formaat: A2
Tekeningnummer: 4516

 **Grontmij**

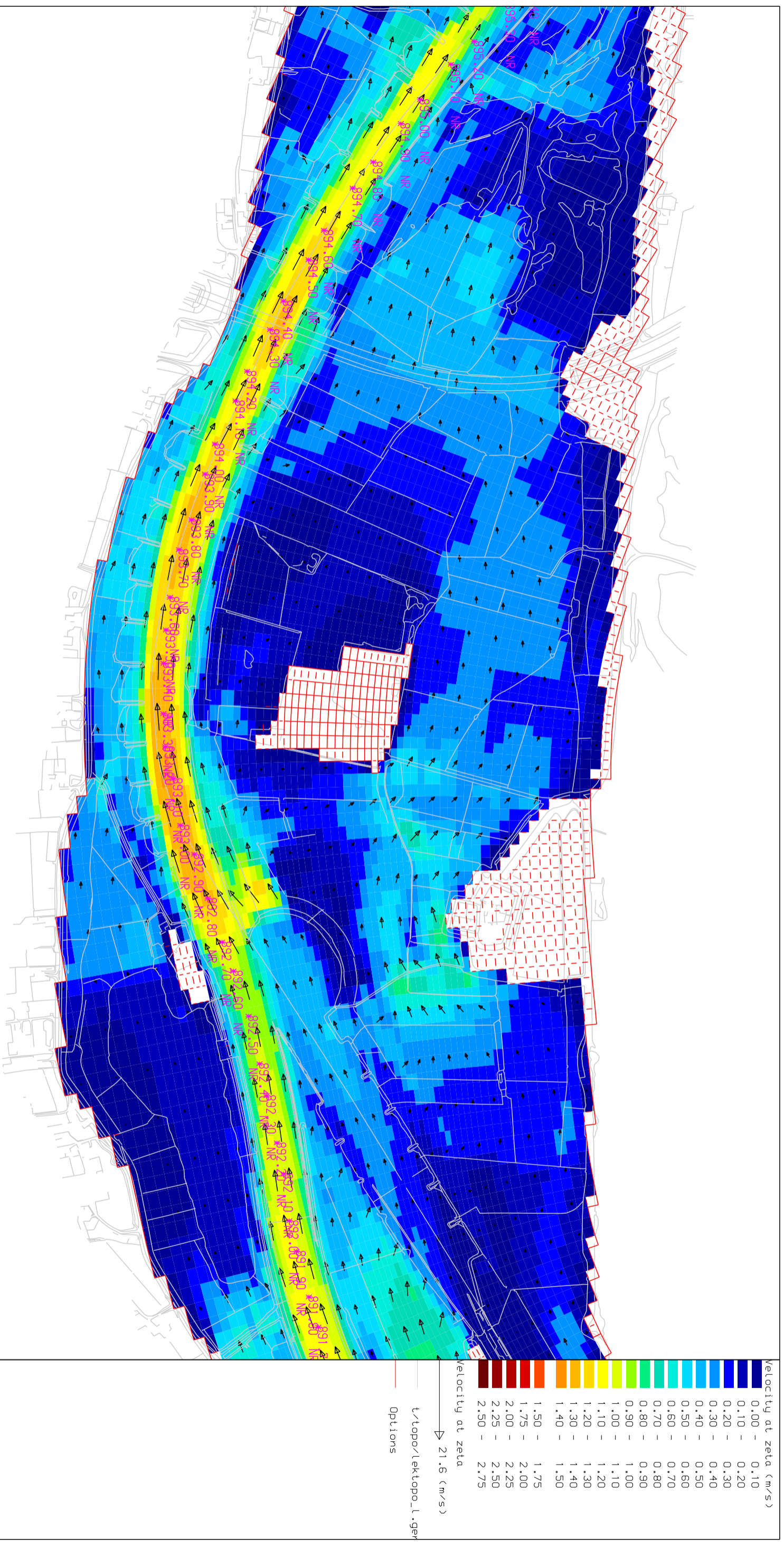
Hoofdkantoor
Locaties: De Bilt
De Holle Bilt 22
3732 HM, De Bilt
T 0302207556
waterbouw@grontmij.nl
www.grontmij.nl

© Grontmij Nederland bv. Alle rechten voorbehouden



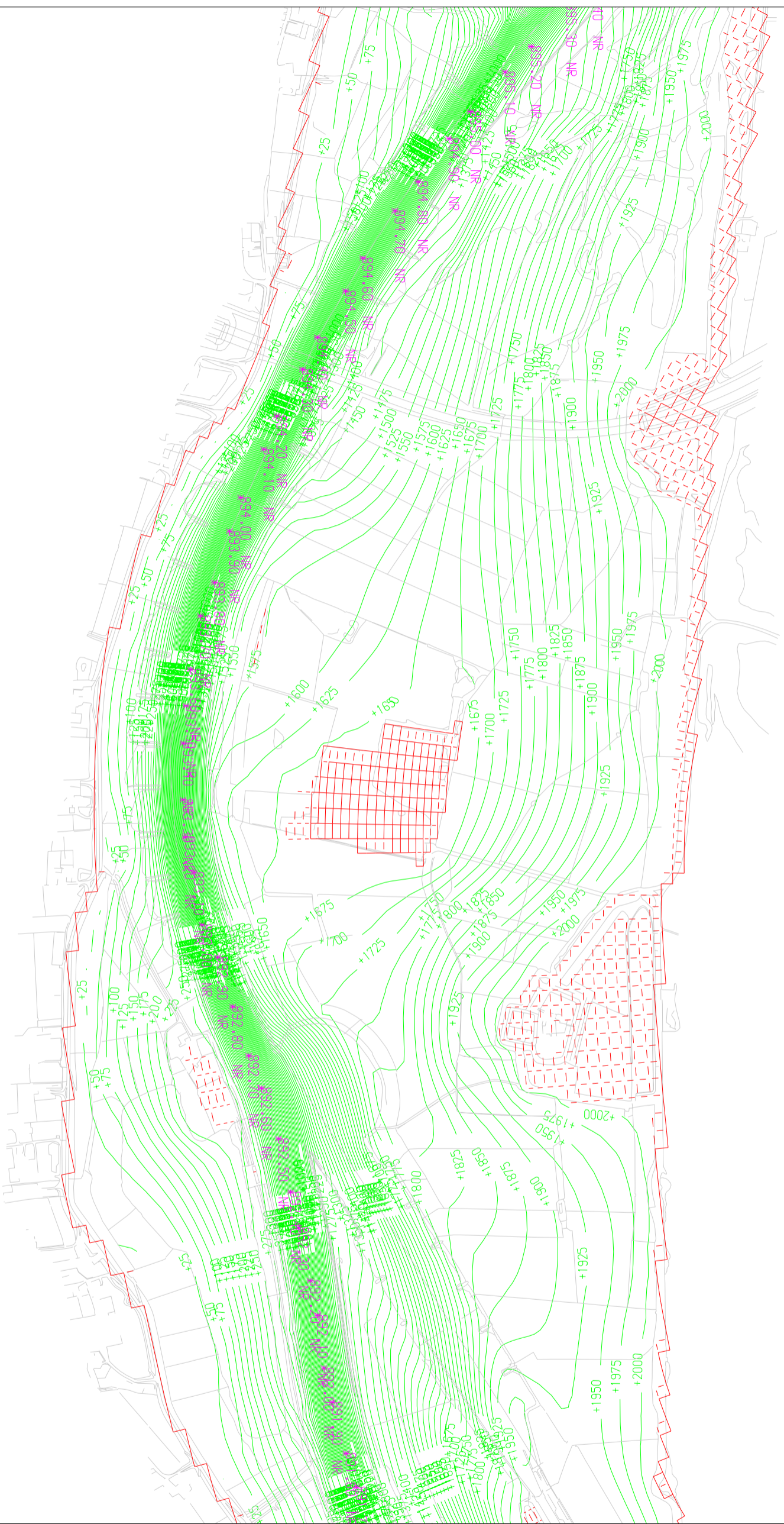
4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, Referentiesituatie, Q = 10.000 m³/s, traject rkm 891 - 895
 Waterstand (m+NAP)

Bijlage 1-1
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Oudrechtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, Referentiesituatie, Q = 10.000 m³/s, traject rkm 891 - 895
 Waterstand (m+NAP)

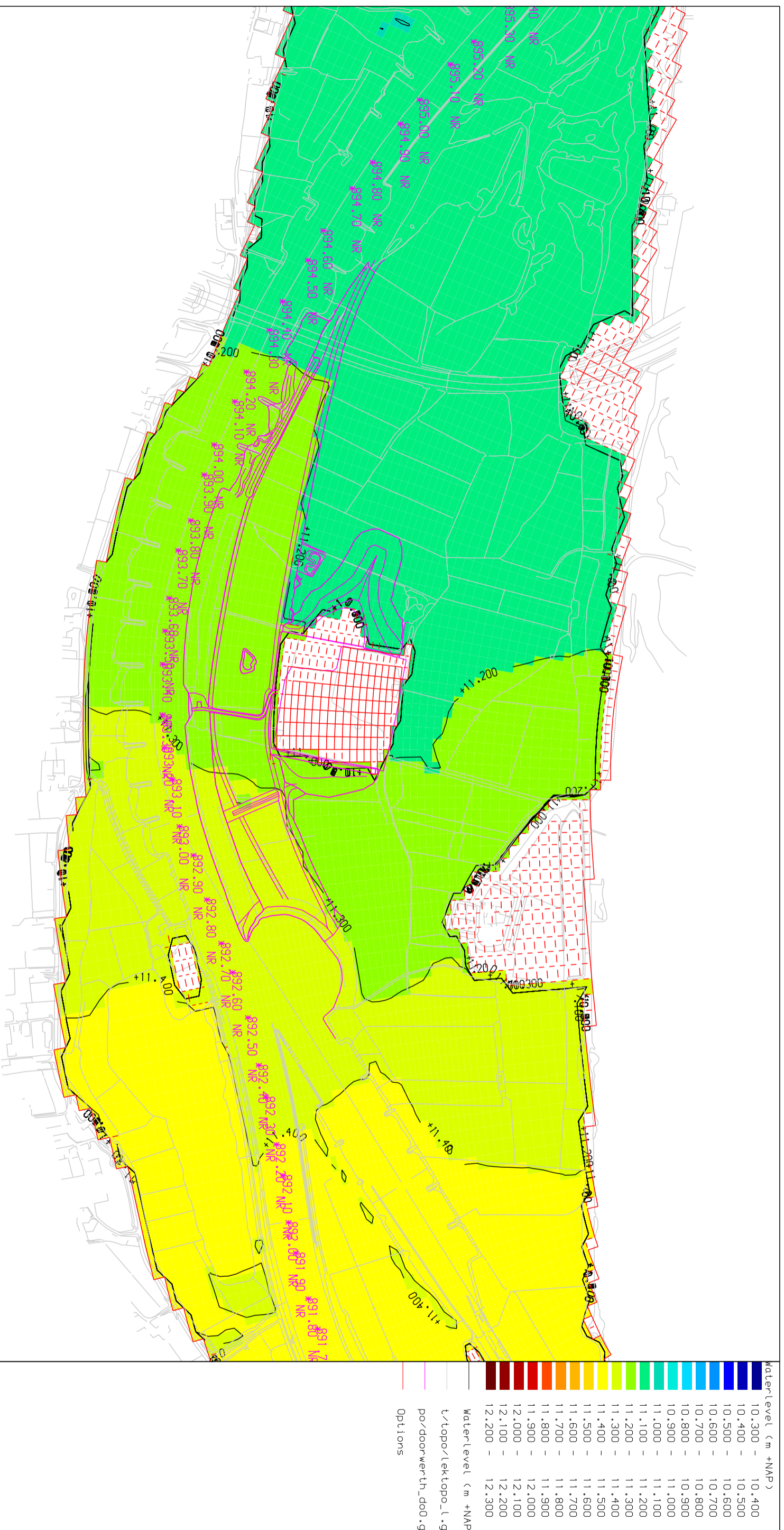
Bijlage 1-2
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleidend: Rivierkundig Advies



Discharge Q (m^3/s)
 t/Topo/Le topo_L.ger
 Options

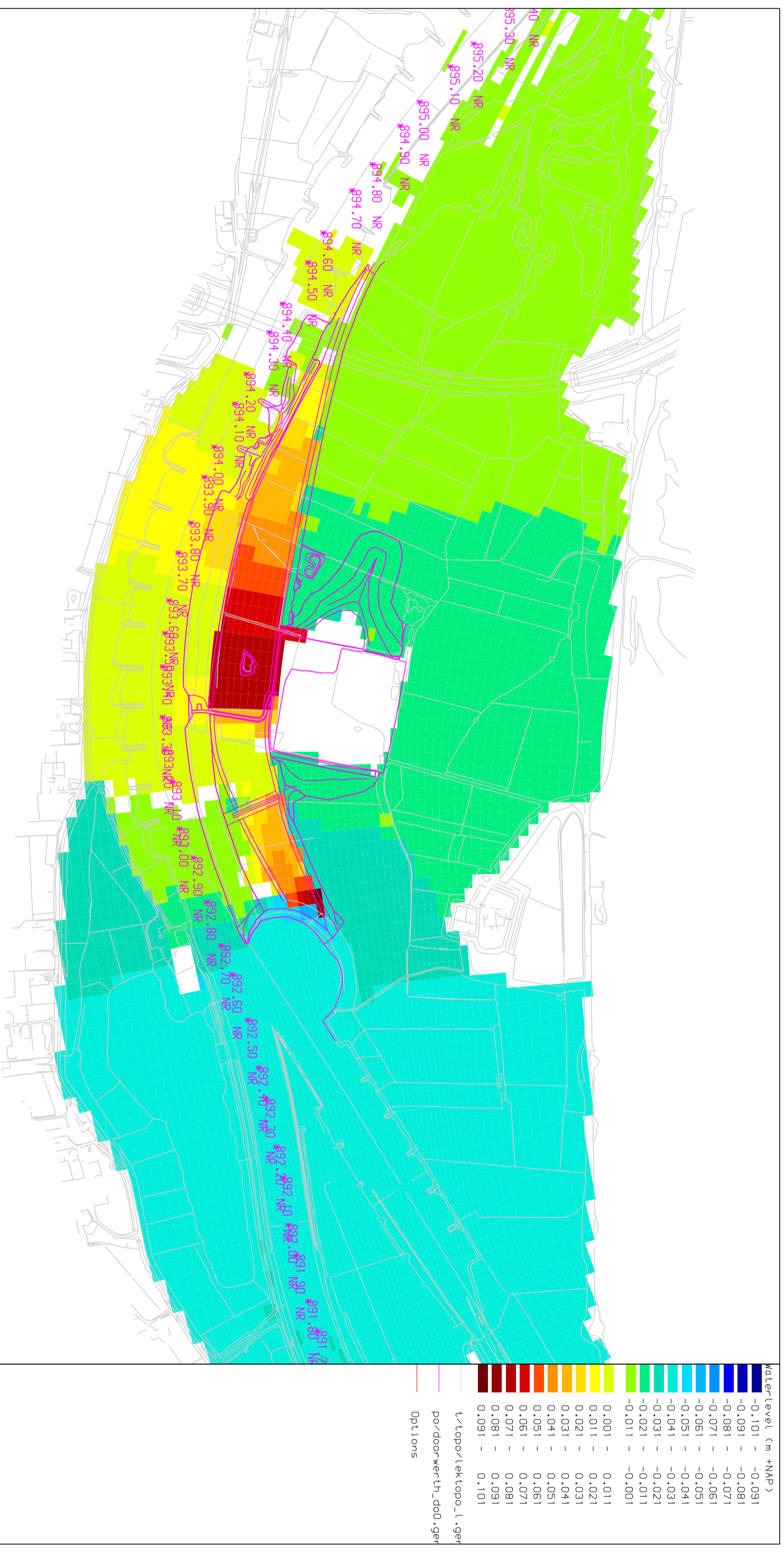
4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, Referentiesituatie, $Q = 10.000 m^3/s$, traject rkm 891 - 895
 Afvoerpotentiaalijnen (per 25 m^3/s)

Bijlage 1-3
 Schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, variant **DO5**, Q = 10.000 m³/s, traject rkm 891 - 895
 Waterstand (m+NAP)

Bijlage 2-1
 Schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies

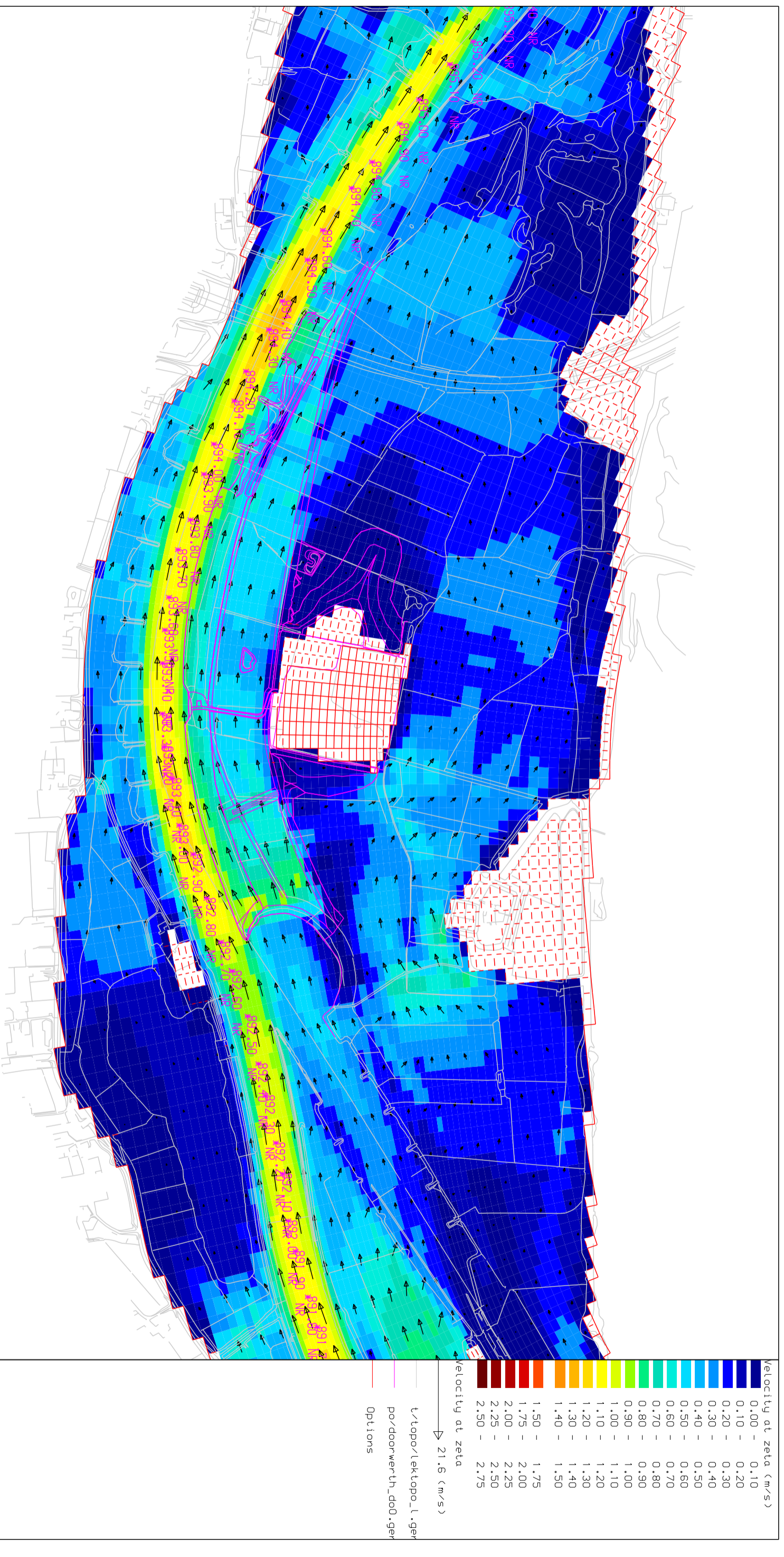


Waterlevel (m +NAP)	
-0.101	-0.091
-0.091	-0.081
-0.081	-0.071
-0.071	-0.061
-0.061	-0.051
-0.051	-0.041
-0.041	-0.031
-0.031	-0.021
-0.021	-0.011
-0.011	-0.001
0.001	0.011
0.011	0.021
0.021	0.031
0.031	0.041
0.041	0.051
0.051	0.061
0.061	0.071
0.071	0.081
0.081	0.091
0.091	0.101

t:/topo/lektopo_1.gem
 po-/doorwerth_d00.gem
 Options

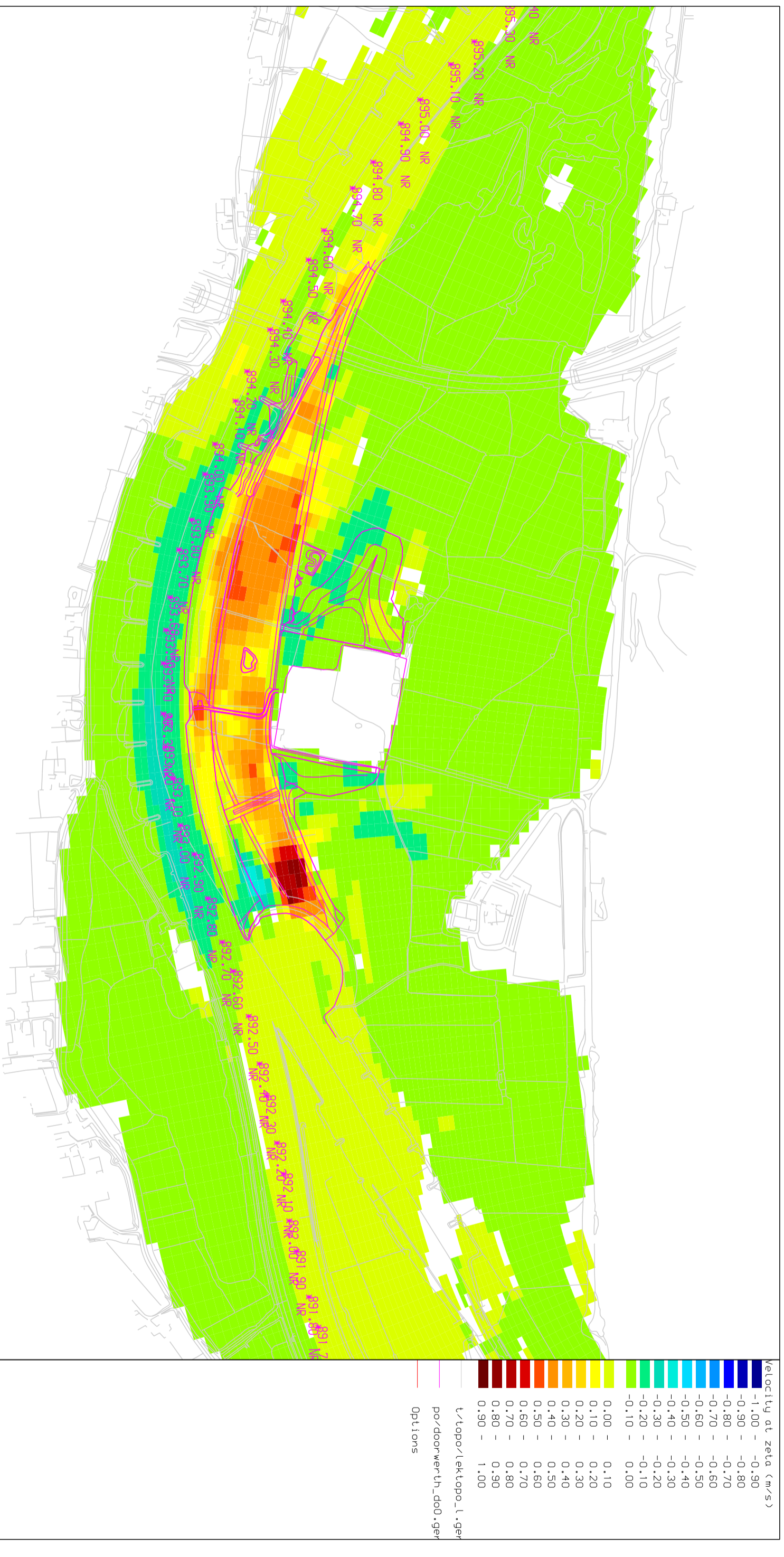
4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, variant **DO5**, Q = 10.000 m³/s, traject rkm 891 - 895
 Vergelijking met referentiesituatie, waterstandverschil (m))

Bijlage 2-2
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleidend: Rivierkundig Advies



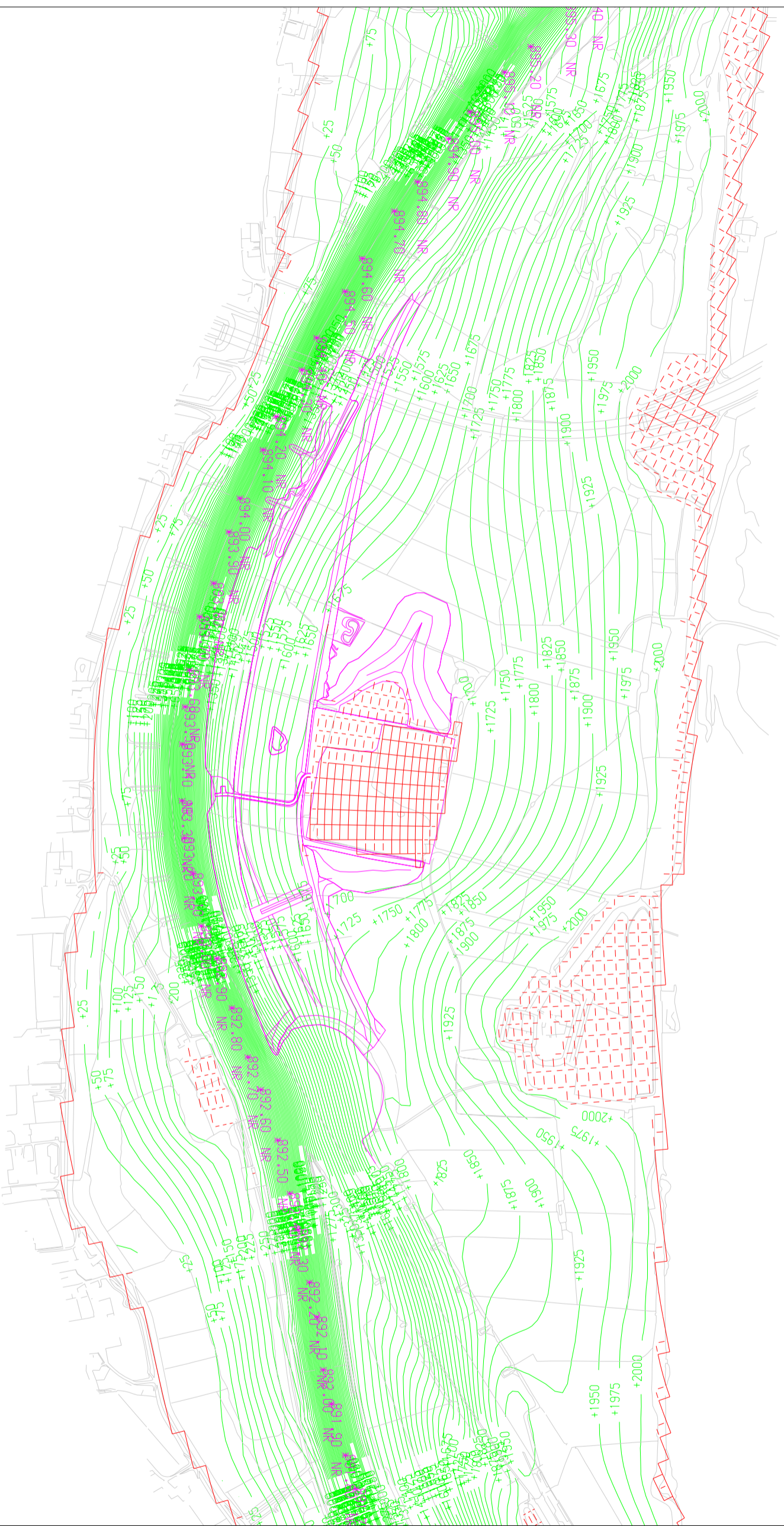
4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, variant **DO5**, $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$, traject rkm 891 - 895
 Stroomsnelheid-richting en -grootte (m/s)

Bijlage 2-3
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, variant **DO5**, $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$, traject rkm 891 - 895
 Vergelijking met referentiesituatie, stroomsnelheidsverschil (m/s)

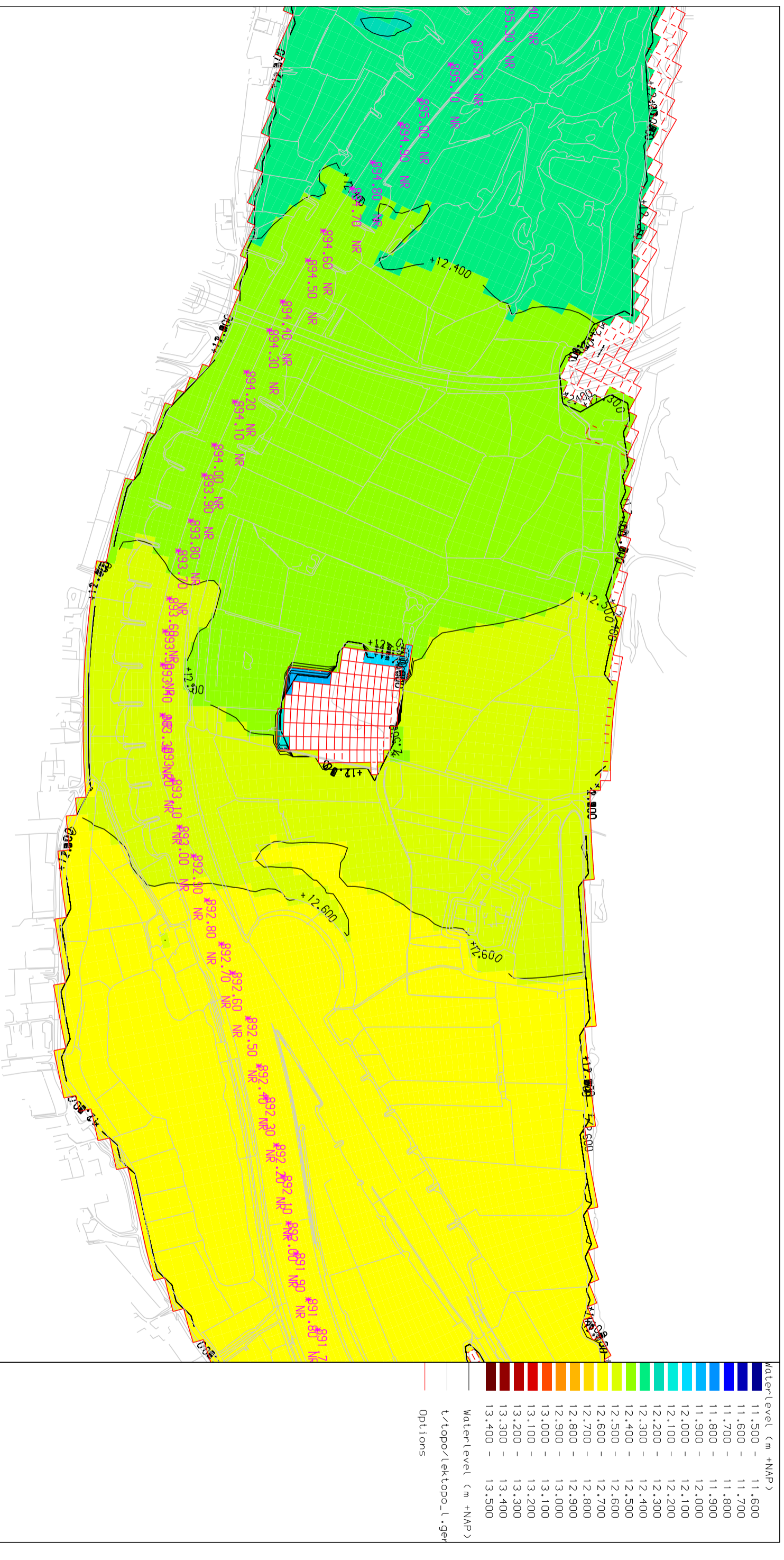
Bijlage 2-4
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 Januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



Discharge Q (m³/s)
 t:/topo/lektopo_1.ger
 po/doorwerth_d00.ger
 Options

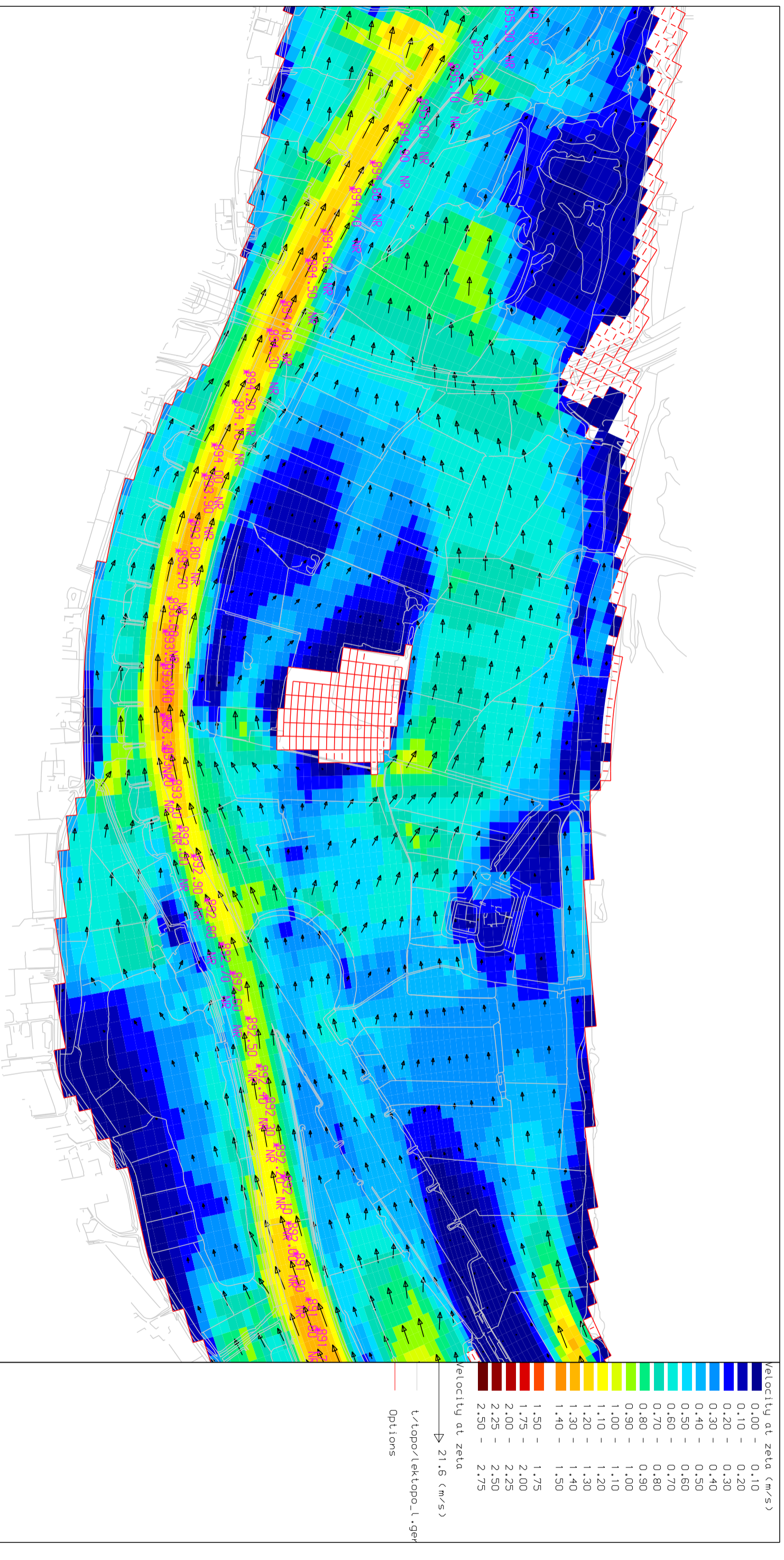
4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, variant **DO5**, Q = 10.000 m³/s, traject rkm 891 - 895
 Afvoerpotentiaalijnen (per 25 m³/s)

Bijlage 2-5
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



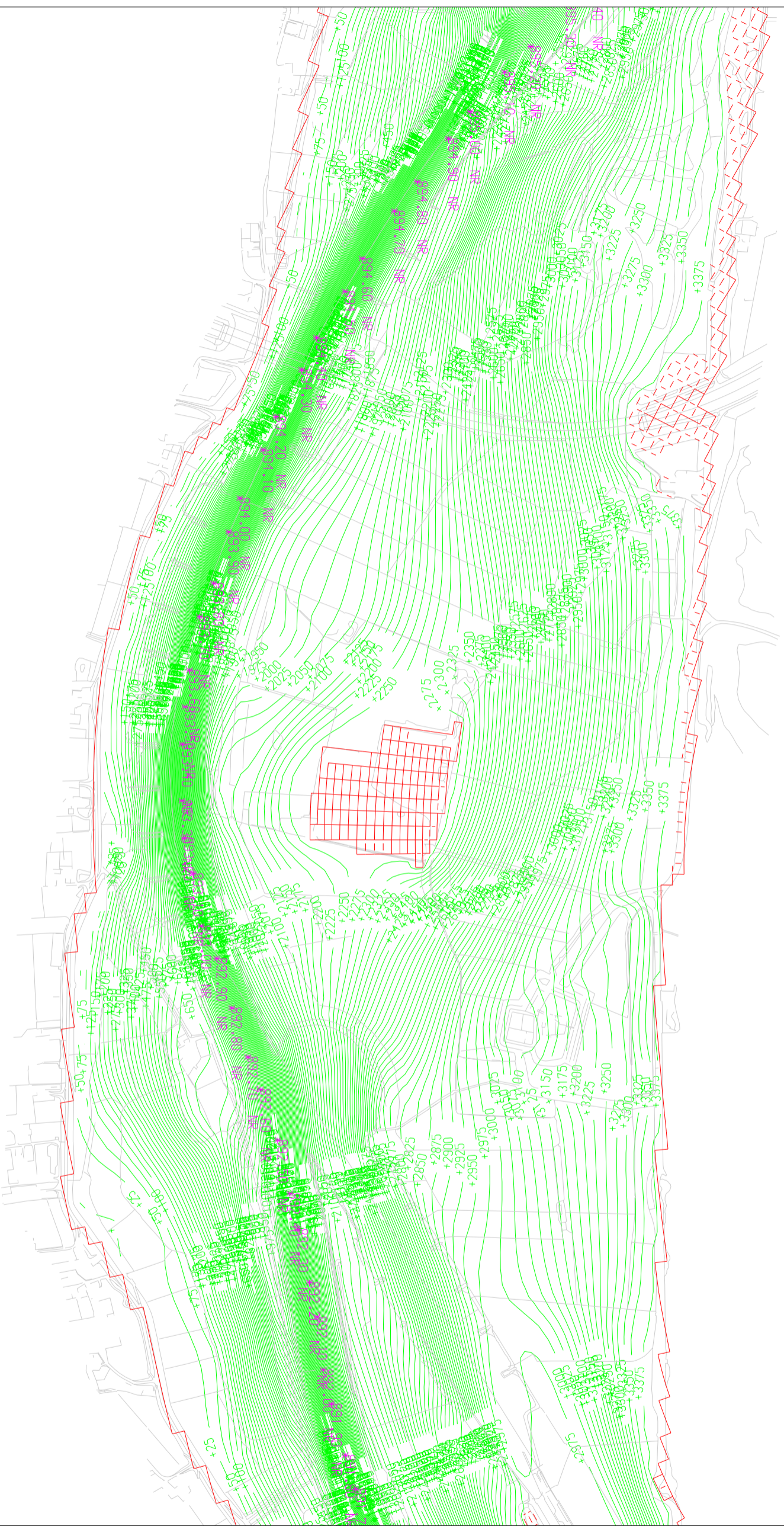
4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, Referentiesituatie, Q = 16.000 m³/s, traject rkm 891 - 895
 Waterstand (m+NAP)

Bijlage 3-1
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleidend: Rivierkundig Advies



4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, Referentiesituatie, Q = 16.000 m³/s, traject rkm 891 - 895
 Stroomsnelheid-richting en -grootte (m/s)

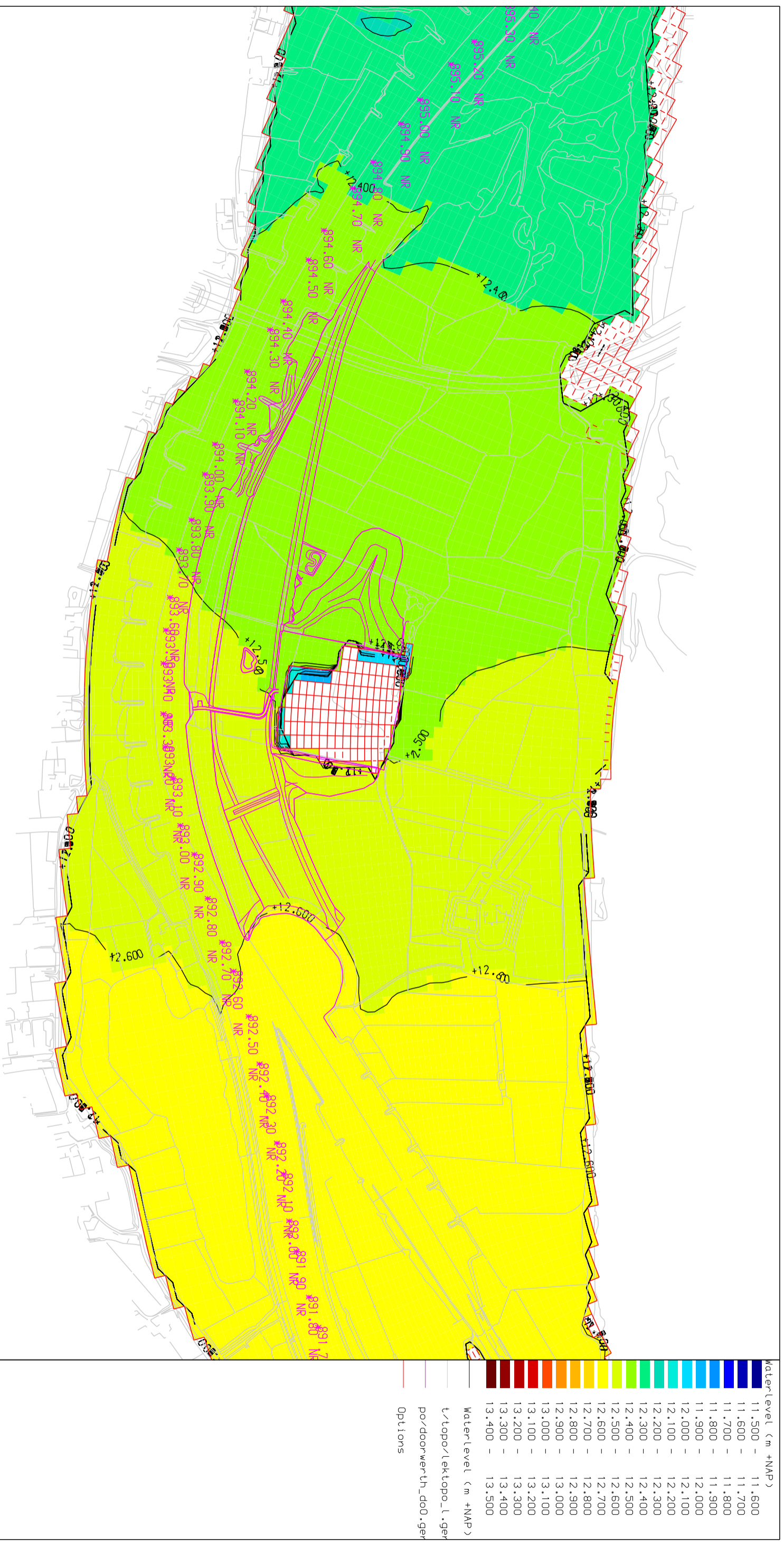
Bijlage 3-2
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



Discharge Q (m^3/s)
 t/Topo/Le topo_L.ger
 Options

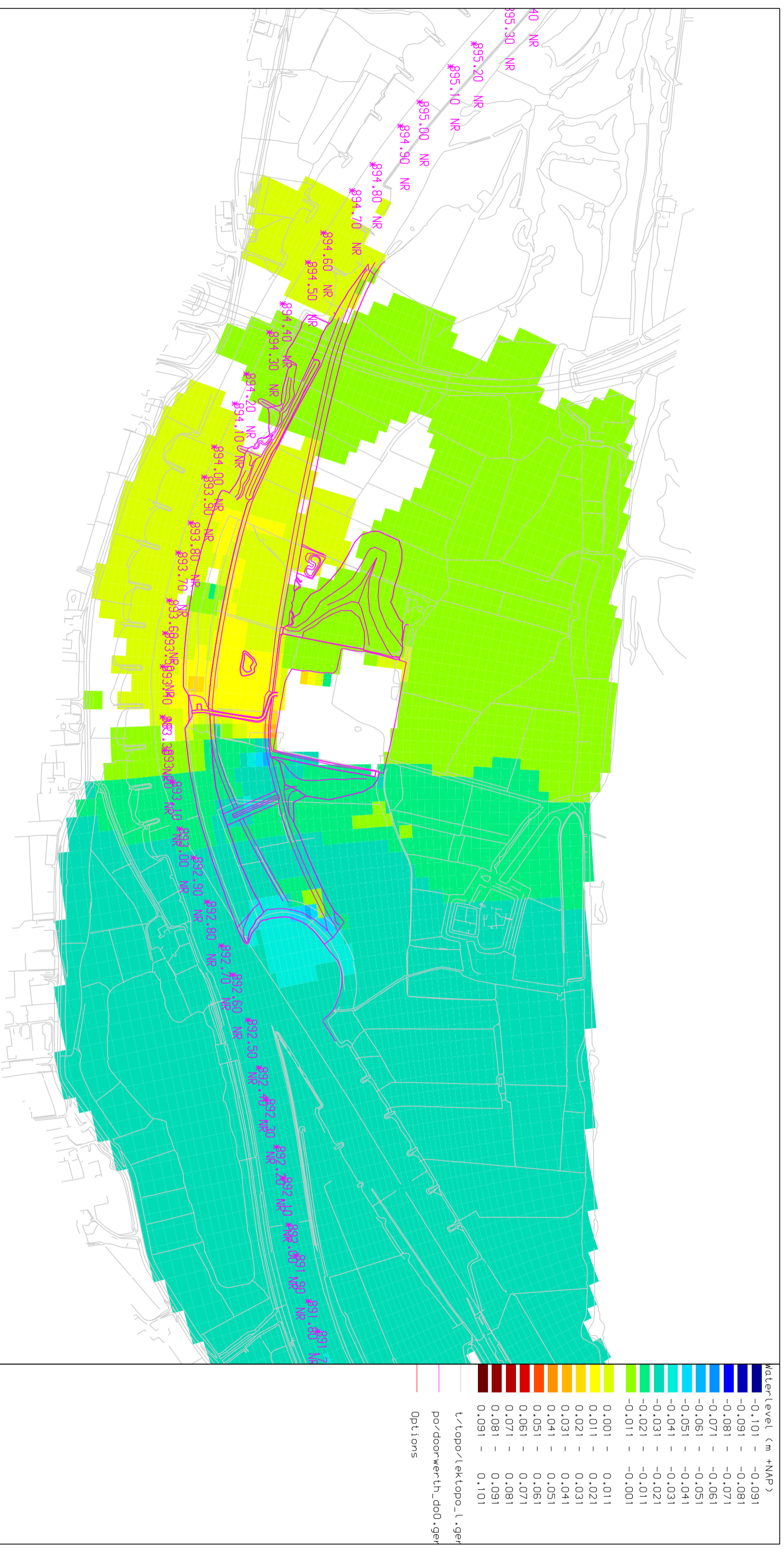
4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, Referentiesituatie, $Q = 16.000 m^3/s$, traject rkm 891 - 895
 Atvoerpotentiaalijnen (per $25 m^3/s$)

Bijlage 3-3
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Oudarchitect: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



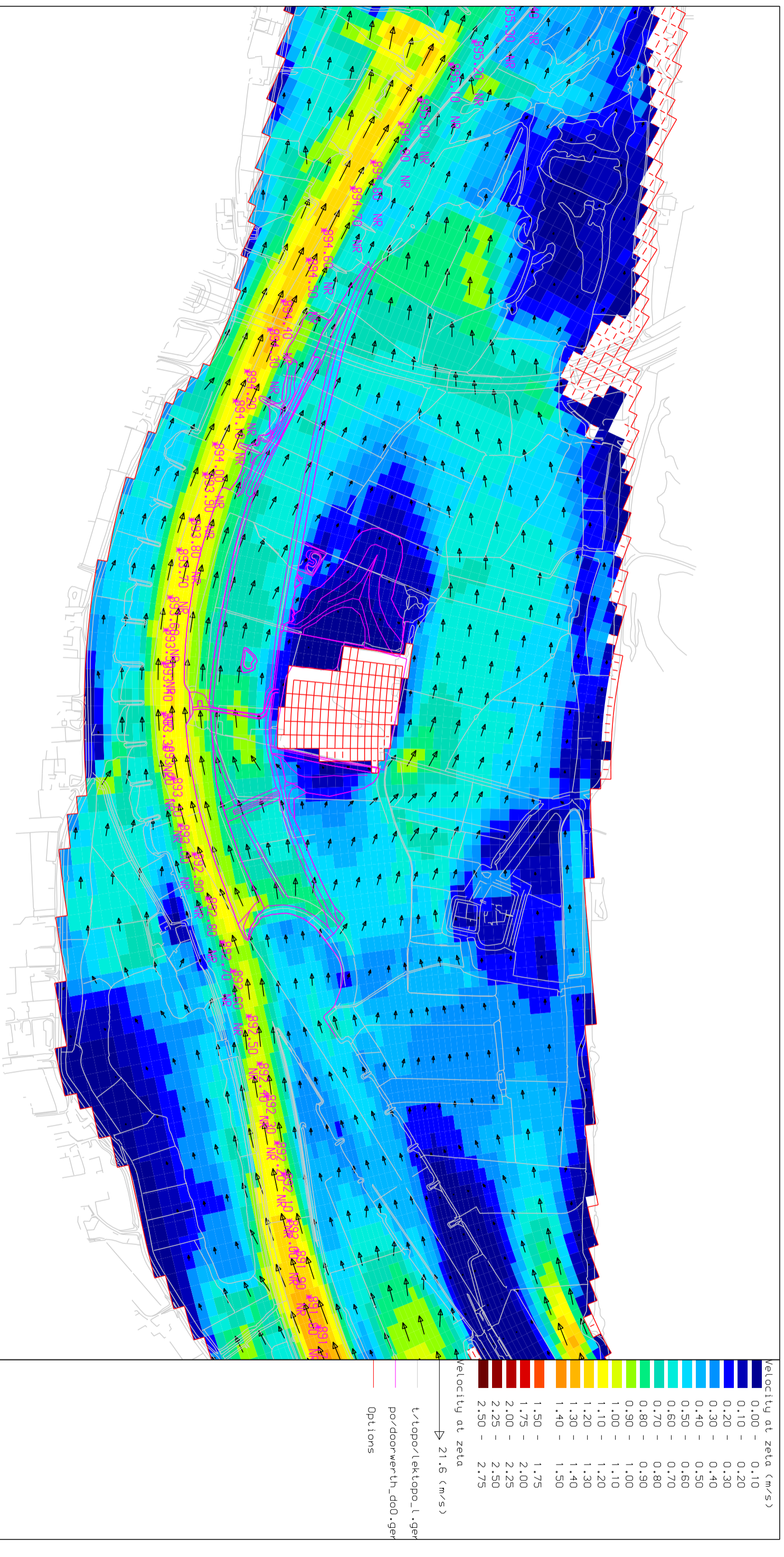
4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, variant **DO5**, Q = 16.000 m³/s, traject rkm 891 - 895
 Waterstand (m+NAP)

Bijlage 4-1
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



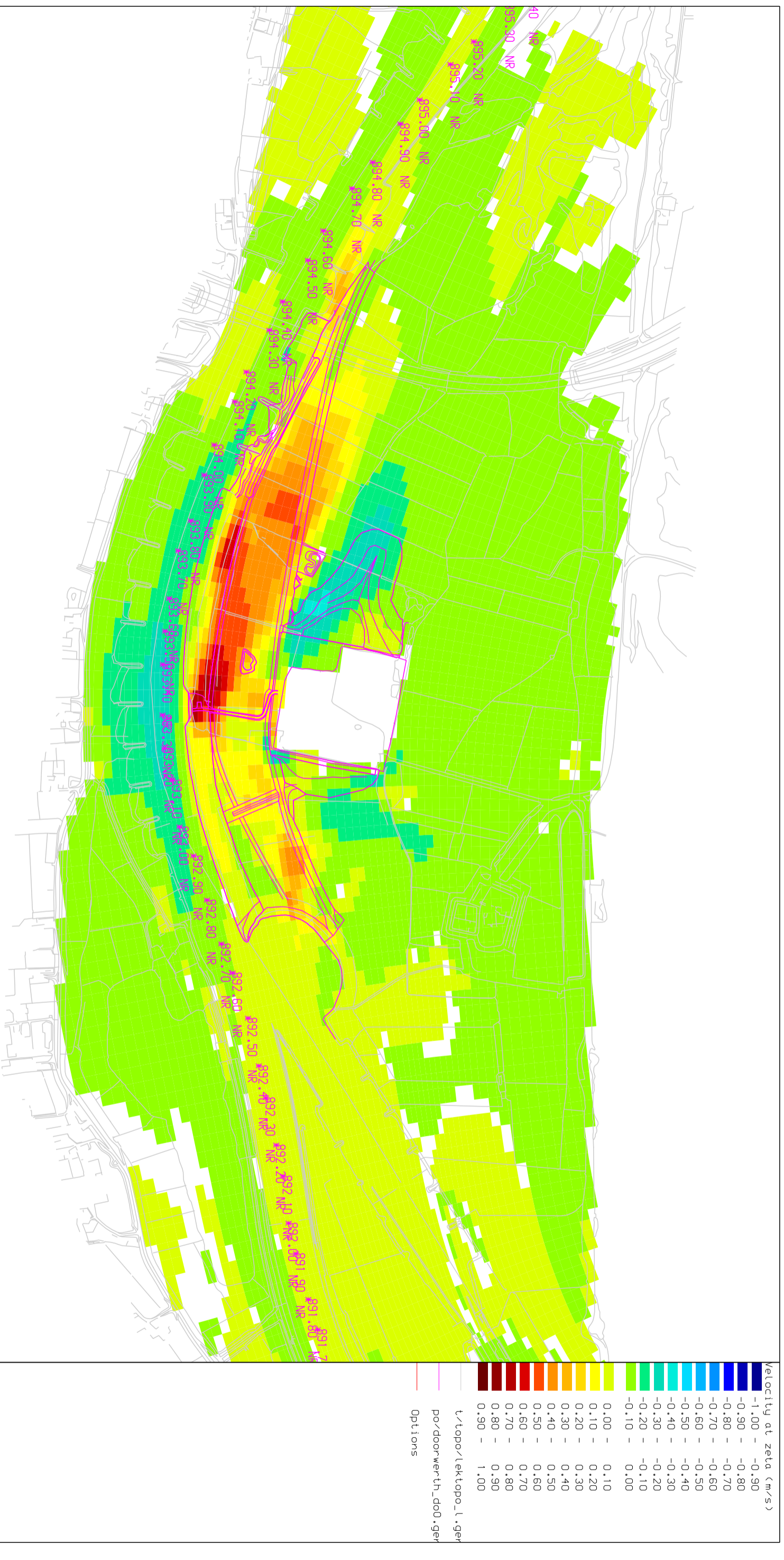
4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, variant **DO5**, Q = 16.000 m³/s, traject rkm 891 - 895
 Vergelijking met referentiesituatie, waterstandverschil (m))

Bijlage 4-2
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



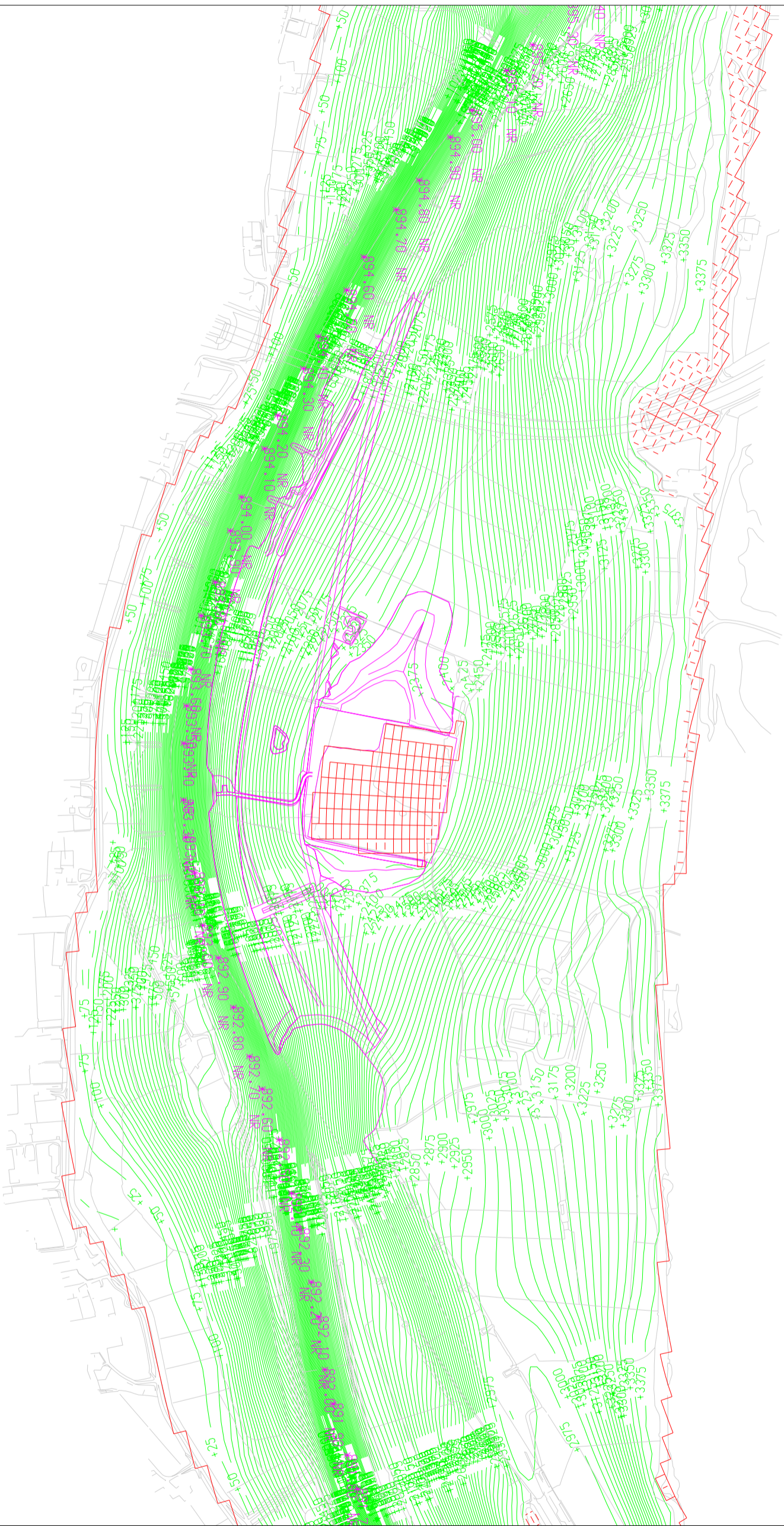
4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, variant **DO5**, Q = 16.000 m³/s, traject rkm 891 - 895
 Stroomsnelheidsrichting en -grootte (m/s)

Bijlage 4-3
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, variant **DO5**, $Q = 16.000 \text{ m}^3/\text{s}$, traject rkm 891 - 895
 Vergelijking met referentiesituatie, stroomsnelheidverschil (m/s)

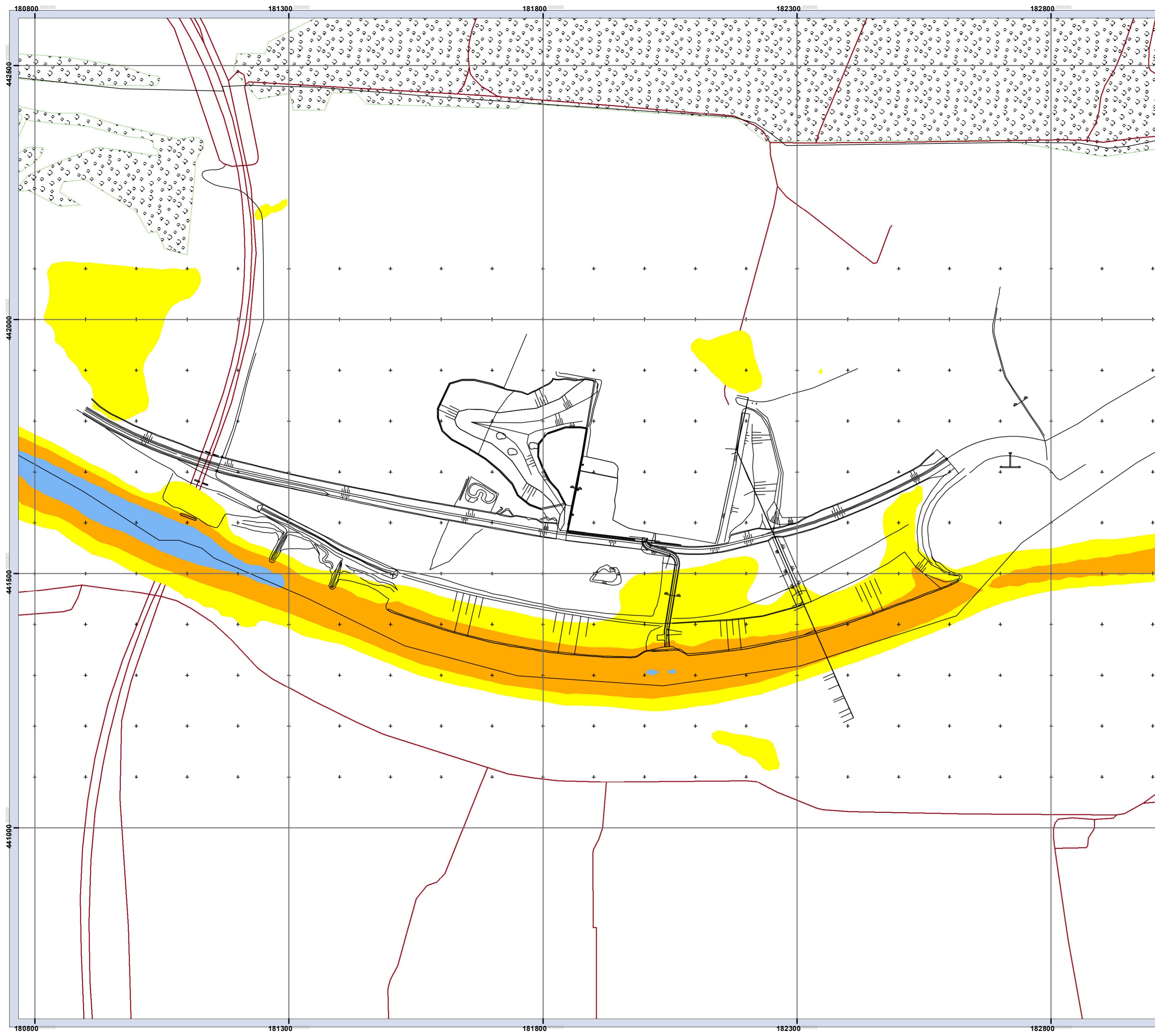
Bijlage 4-4
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



Discharge Q (m³/s)
 t/Topo/Le topo_L.ger
 po/doorwerth_d00.ger
 Options

4 werken Nederrijn, locatie Doorwerth, variant **DO5**, Q = 16.000 m³/s, traject rkm 891 - 895
 Afvoerpotentiaallijnen (per 25 m³/s)

Bijlage 4-5
 schaal 1:10.000
 Datum: 5 januari 2012
 Opdrachtgever: Combinatie Nederrijn
 Geleend: Rivierkundig Advies



Legenda

stroomsnelheid (klassen)

- 0 - 0,8
- 0,81 - 1
- 1,11 - 1,2
- > 1,2

— Wegen_straten

ACAD-NR-TEK-188-0C

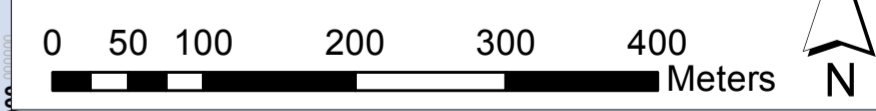
— alle lijnen

Vlakken

type

- forest
- park

Scenario voor waterdiepte
en stroomsnelheid bij
q=16000 m3/s



Uiterwaardvergraving Doorwerth Waqua run voor DO5

Projectnummer: 299493
Status: concept
Datum: 05-01-2012
Schaal: 1:5.000
Formaat: A2
Tekeningnummer: 1000



Hoofdkantoor
Locaties: De Bilt
De Holle Bilt 22
3732 HM, De Bilt
T 0302207556
waterbouw@grontmij.nl
www.grontmij.nl



Boskalis bv
4 Maatregelen Nederrijn

Bezoekadres
Veerweg 1, 6668 LJ Randwijk

Postadres
Postbus 164
6700 AD Wageningen

Contactpersoon
Projectsecretariaat
Tel: 0488-491999
[Info-nederrijn@boskalis.nl](mailto:info-nederrijn@boskalis.nl)
www.nederrijn.net

Datum
16 december 2012

Referentienummer
NR-U-M-316/SvR-MB-np

Bijlagen

Memo

Aan: Gasunie

Van: Sander van Rooij en Maarten Balke

CC : Onno Spanjer, Dirk-Jan Zwemmer, Robert Jan Jonker

Onderwerp: Toetsing gasleiding op erosie

1. Vraagstelling

De Gasunie wil weten of de maatregelen die worden genomen bij Doorwerth in het kader van het programma Ruimte voor de Rivier, gevolgen hebben voor de bodemdekking op de aanwezige gasleiding en het risico op blootlegging door erosie.

In de notitie wordt specifiek beschreven hoe de erosiegevoeligheid is van de gekozen oplossing. De notitie dient als onderlegger tbv de aanvraag richting Gasunie. De dwars- en lengteprofielen worden beoordeeld op diepte en optredende stromingscondities. Hierbij wordt gekeken naar de frequentie van overstromen en de verwachte (dieptegemiddelde) stroomsnelheden die hierbij optreden. De stroomsnelheden worden vergeleken met grenswaarden voor het optreden van bodemerosie.

2. Uitgangspunten en eisen

- De bodemdekking moet op de gasleiding ten minste 1 meter bedragen
- De kans op erosie wordt ingeschat op basis van expert judgement met behulp van de aangeleverde gegevens.
- De berekende stroomsnelheden met het hydraulische 2D model Waqua voor het voorontwerp (VO) van oktober 2011 worden als representatief verondersteld.
- De berekende jaarlijkse sedimentatie en erosie is berekend met Waqmorf (een uitbreiding op het eerder genoemde Waqua) voor de voorkeursvariant (VKV). Vanwege de zeer geringe verschillen in stromingspatroon en stroomsnelheid tussen de VKV en het VO worden deze Waqmorf resultaten als representatief beschouwd.

3. Brongegevens

- Tekening plattegrond grondwerk voorlopig ontwerp 4 maatregelen Nederrijn locatie Doorwerth, VO fase tek nr. NR-TEK-DWP-096-0C
- Tekening dwarsdoorsneden voorlopig ontwerp 4 maatregelen Nederrijn locatie Doorwerth, VO fase tek nr. NR-TEK-DWP-100-0C
- Rekenresultaten Waqua definitief ontwerp (DO) bij:
 - $q = 6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (jaarlijks voorkomend)
 - $q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (1:10 jr voorkomen)
 - $q = 16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (maatgevend hoogwater 1:1250 jr)
- Rekenresultaten Waqmorf, jaarlijkse sedimentatie en erosie voor de voorkeursvariant (VKV).
- Erosiegrenzen volgens CUR-rapport 201, *natuurvriendelijke oevers – belasting en sterkte*, zoals gegeven in de tabel hieronder:

Erosiegrenzen van verschillende bodemtypen bij stroming

Grondsoort	toelaatbare (m/s)
Zand	0,30
Veen	0,50
Zandige klei	0,40
Slappe klei	0,60
Redelijk vaste klei	0,80 (1,0 bij kortdurende belastingen)
Vaste klei	1,00 (1,2 -1,5 bij kortdurende belastingen)

4. Resultaten:

Analyse van de gegevens laten zien dat:

- Ter hoogte van profiel 1 wordt de dekking vergroot waardoor geen risico van erosie aanwezig is.
- Ter hoogte van profielen 2 t/m 4 wordt de bodemhoogte iets hoger of deze blijft gelijk. De stroomsnelheden zijn bij $q=10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en $q=16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ minder dan 0,2 m/s. Hierbij is geen gevaar voor erosie aanwezig.
- Ter hoogte van profiel 5 ligt de leiding onder de kade. Hierdoor is er geen risico van erosie.
- Ter hoogte van profiel 6 wordt de dekking iets vergroot tot ongeveer anderhalve meter. Dit gebied staat onder water bij afvoeren vanaf $q_{\text{lobith}}=6.000 \text{ m}^3/\text{s}$. De stroomsnelheden zijn dan zeer laag. Bij maatgevend hoog water en bij een eens per tien jaar waterhoogte ($q_{\text{lobith}} =16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$) zijn er stroomsnelheden over het talud en de leiding aanwezig tot 1 m/s. De taluds zijn flauw, zodat zo min mogelijk turbulentie ontstaat en de stroming vloeiend over de verhoging kan.
- Bij dwarsprofiel 7 is een bodemdekking van 1 meter aanwezig. Ter hoogte van dit profiel treden bij maatgevend hoogwater stroomsnelheden op tot 1 m/s. Het talud van 1:10 aan weerszijde van de gasleiding zorgen voor een vloeiende overgang van de verhoogde afdeklaag naar het omliggende terrein. De kans op erosie is daardoor klein, maar door de locatie kan hier niet worden uitgesloten dat op de kop hogere stroomsnelheden ontstaan boven de 1 m/s. Op de kop is aanvullende bescherming nodig in de vorm van grastegels of steenstort.
- Ter hoogte van profiel 8 is de dekking ongeveer 4 meter en is geen kans op erosie door stroming.

5. Erosie en sedimentatie in de geul

Uit de Waqmorf resultaten blijkt dat er een erosieve trend aanwezig is bij de oever. De verwachte erosie is ongeveer een halve meter. De dekking aan de oever is met 4 meter (profiel 8) ruim voldoende.

6. Conclusie

Ter hoogte van dwarsprofiel de kleinste bodemdekking aanwezig op de gasleiding. Deze bedraagt een meter. De stroomsnelheden kunnen voor erosie zorgen van de onbeschermd bodem. De leiding dient afgedekt te worden met klei en voorzien te zijn van een dekkende grasmatt. Deze maatregel is voldoende om erosie te voorkomen op de aanwezige rug. Rondom de kop en op de laatste 20 meters van de rug, aan stroomopwaartse zijde, is aanvullende bescherming nodig in de vorm van grastegels.

Bijlage 7 Baggerbezwaar

Bijlage 7a: Minimale vaardiepte van OLR -3,5 m voor DO Doorwerth

hecto meter vak	OLR (overeengekomen Lage Rivierstand in cm+NAP)	BRV bij vaardiepte 4,90 m (cm +NAP)	gemiddelde hoogte huidige situatie sediment boven OLR -3,50 m (cm)	Oppervlak gebied huidige situatie binnen vaargeul > OLR -3,5m (m2)	Volume baggerbezwaar huidige situatie (m3)	gemiddelde hoogte toekomstige situatie sediment boven OLR -3,50 m (cm)	Oppervlak gebied toekomstige situatie binnen vaargeul > OLR -3,5m (m2)	Volume baggerbezwaar toekomstige situatie (m3)	baggerbezwaar t.o.v. referentie (m3)	Jaarlijks baggerbezwaar (m3)
891,5	600	250	42	2975	1240	42	3175	1322	82	
891,6	600	250	22	975	215	21	975	204	-10	
891,7	600	250	12	1100	128	17	800	136	8	
891,8	600	250	19	1800	333	18	1800	323	-10	
891,9	600	250	30	3050	923	29	3200	937	14	
892,0	600	250	29	3975	1166	30	4075	1205	39	
892,1	600	250	15	2250	334	12	1725	207	-127	
892,2	600	250	43	600	260	37	50	18	-241	
892,3	600	250	38	1225	464	14	725	102	-362	
892,4	600	250	21	4600	953	16	4025	646	-306	
892,5	600	250	29	4375	1287	30	4350	1293	6	
892,6	600	250	56	4100	2303	58	4050	2344	41	41
892,7	600	250	54	2625	1409	48	3800	1841	431	431
892,8	600	250	21	100	21	11	1975	222	202	202
892,9	600	250	16	100	16	30	725	216	200	200
893,0	600	250	29	1225	361	24	2400	566	205	205
893,1	600	250	29	2600	751	37	3075	1133	382	382
893,2	600	250	36	2650	955	43	3400	1450	494	494
893,3	600	250	37	3275	1228	46	3850	1753	525	525
893,4	600	250	28	2450	675	37	3500	1308	633	633
893,5	600	250	26	1700	440	32	3100	1002	562	562
893,6	600	250	19	2050	394	29	3900	1136	741	3675
893,7	600	250	13	1525	195	26	3375	872	677	
893,8	600	250	11	800	89	22	3500	764	675	
893,9	600	250	10	1250	124	18	2650	466	342	
894,0	600	250	72	450	324	43	175	75	-248	
894,1	600	250	50	600	298	32	300	95	-203	
894,2	600	250	66	475	314	29	275	79	-235	
894,3	600	250	62	450	278	39	275	107	-171	
894,4	600	250	43	250	107	14	75	11	-96	
894,5	600	250	38	50	19	28	75	21	3	
894,6	600	250	32	150	48	37	225	83	35	
894,7	600	250	20	75	15	55	100	55	40	
894,8	600	250	19	50	9	37	250	93	83	
894,9	600	250	17	100	17	41	150	61	44	
895,0	600	250	36	150	54	31	300	92	38	
895,1	600	250	33	100	33	40	175	70	37	
895,2	600	250	43	50	22	24	175	42	21	
895,3	600	250	29	100	29	44	225	100	71	
895,4	600	250	31	175	54	23	175	40	-14	
895,5	600	250	24	150	35	16	125	20	-16	
895,6	600	250	41	50	21	31	225	69	49	
895,7	600	250	68	50	34	31	225	70	36	
895,8	600	250	26	150	38	3	25	1	-38	
895,9	600	250	40	300	121	11	75	8	-113	
896,0	600	250	22	100	22	47	25	12	-10	
896,1	600	250	51	225	116	14	25	4	-112	
 totaal baggerbezwaar (m3)									6716	

De uitgangspunten bij de analyses zijn:

- N-Rijn_Lek_BRV2002.doc toegeleverd door Hans Veldman (RWS-ON) op 27 februari 2012
 - ArcGis grid met de gemiddelde bodemligging (gembodemligging_pknrl.zip) toegeleverd door Rijn van Dixhoorn (RWS-ON) op 1 maart 2012
 - Vaalgeul.shp en inwinplan_basisinfo_nat_28042003.pdf;
 - theoretische vaargeul toegeleverd door Ger van Loo (RWS-ON) op 2 maart 2012
- Volume baggerbezwaar is bepaald m.b.v. oppervlakte hectometervak

Breedtegemiddelde vaardiepte van OLR -4,9 m voor DO Doorwerth

hecto meter vak	OLR (overeengekomen Lage Rivierstand in cm+NAP)	BRV bij vaardiepte 4,90 m (cm +NAP)	bodemhoogte huidige situatie (cm +NAP)	huidige bodemhoogte t.o.v. BRV 4,90 m (cm)	Volume baggerbezwaar huidige situatie (m3)	bodemhoogte na uitvoering Middelwaard (cm +NAP)	toekomstige bodemhoogte t.o.v. BRV 4,90 m (cm)	Volume baggerbezwaar toekomstige situatie (m3)	baggerbezwaar t.o.v. referentie (m3)	Jaarlijks baggerbe zwaar (m3)
891,5	600	110	314	204	9227	316	206	9343	116	
891,6	600	110	257	147	11613	258	148	11742	129	
891,7	600	110	229	119	9636	230	120	9659	23	
891,8	600	110	232	122	9662	230	120	9566	-96	
891,9	600	110	243	133	10572	242	132	10489	-84	
892,0	600	110	241	131	10834	241	131	10782	-52	
892,1	600	110	226	116	9555	223	113	9330	-225	
892,2	600	110	232	122	10043	228	118	9735	-309	
892,3	600	110	239	129	10726	236	126	10434	-291	
892,4	600	110	249	139	11427	246	136	11142	-285	
892,5	600	110	263	153	9164	262	152	9074	-90	
892,6	600	110	255	145	10156	263	153	10713	557	557
892,7	600	110	231	121	9928	249	139	11445	1517	1517
892,8	600	110	211	101	8335	239	129	10657	2321	2321
892,9	600	110	209	99	8258	227	117	9690	1432	1432
893,0	600	110	210	100	7865	220	110	8631	766	766
893,1	600	110	218	108	8500	228	118	9287	787	787
893,2	600	110	214	104	8135	228	118	9203	1067	1067
893,3	600	110	220	110	8650	237	127	9933	1283	1283
893,4	600	110	213	103	8058	240	130	10164	2105	2105
893,5	600	110	207	97	7555	239	129	10073	2518	2518
893,6	600	110	213	103	8090	248	138	10819	2729	14354
893,7	600	110	202	92	7215	236	126	9863	2647	
893,8	600	110	208	98	7729	236	126	9868	2139	
893,9	600	110	204	94	7417	215	105	8214	797	
894,0	600	110	167	57	4562	152	42	3359	-1202	
894,1	600	110	170	60	4827	156	46	3698	-1129	
894,2	600	110	170	60	4797	165	55	4416	-381	
894,3	600	110	155	45	3624	157	47	3809	185	
894,4	600	110	170	60	4769	173	63	5060	291	
894,5	600	110	179	69	5541	182	72	5779	238	
894,6	600	110	168	58	4677	170	60	4823	146	
894,7	600	110	159	49	3934	160	50	4024	90	
894,8	600	110	148	38	3084	151	41	3287	202	
894,9	600	110	141	31	2485	145	35	2772	287	
895,0	600	110	145	35	2813	148	38	3063	250	
895,1	600	110	147	37	2986	150	40	3162	176	
895,2	600	110	146	36	2893	147	37	3020	127	
895,3	600	110	146	36	2874	147	37	2972	98	
895,4	600	110	149	39	3120	149	39	3141	22	
895,5	600	110	150	40	3214	149	39	3188	-26	
895,6	600	110	149	39	3105	150	40	3213	108	
895,7	600	110	139	29	2389	141	31	2541	153	
895,8	600	110	127	17	1366	126	16	1299	-67	
895,9	600	110	156	46	3748	154	44	3515	-233	
896,0	600	110	132	22	1765	128	18	1474	-291	
896,1	600	110	114	4	290	111	1	48	-242	
896,2	600	110	118	8	561	118	8	544	-17	
896,3	600	110	113	3	221	114	4	293	72	
896,4	600	110	139	29	2322	139	29	2260	-63	
896,5	600	110	142	32	2528	143	33	2595	67	
896,6	600	110	146	36	2894	147	37	2964	70	
896,7	600	110	150	40	3163	150	40	3179	16	

De uitgangspunten bij de analyses zijn:

- N-Rijn_Lek_BRV2002.doc toegeleverd door Hans Veldman (RWS-ON) op 27 februari 2012
- ArcGis grid met de gemiddelde bodemligging (gembodemligging_pknrl.zip) toegeleverd door Rijn van Dixhoorn (RWS-ON) op 1 maart 2012
- Vaalgeul.shp en inwinplan_basisinfo_nat_28042003.pdf;
- theoretische vaargeul toegeleverd door Ger van Loo (RWS-ON) op 2 maart 2012 Volume baggerbezwaar is bepaald m.b.v. oppervlakte hectometervak

Bijlage 7c: Breedtegemiddelde vaardiepte van OLR -4,9 m voor VKV Doorwerth [Ref 7]

hecto meter vak	OLR (overeengekomen Lage Rivierstand in cm+NAP)	BRV bij vaardiepte 4,90 m (cm +NAP)	bodemhoogte huidige situatie (cm +NAP)	huidige bodemhoogte t.o.v. BRV 4,90 m (cm)	Volume baggerbebaar huidige situatie (m3)	bodemhoogte na uitvoering VKV DW (cm +NAP)	toekomstige bodemhoogte t.o.v. BRV 4,90 m (cm)	Volume baggerbebaar toekomstige situatie (m3)	baggerbebaar t.o.v. referentie (m3)	Jaarlijks baggerbebaar (m3)
891,5	600	110	314	204	9227	310	200	9062	-165	
891,6	600	110	257	147	11613	253	143	11318	-296	
891,7	600	110	229	119	9636	225	115	9316	-320	
891,8	600	110	232	122	9662	227	117	9323	-339	
891,9	600	110	243	133	10572	238	128	10194	-379	
892,0	600	110	241	131	10834	235	125	10338	-496	
892,1	600	110	226	116	9555	220	110	9036	-520	
892,2	600	110	232	122	10043	225	115	9480	-564	
892,3	600	110	239	129	10726	233	123	10176	-550	
892,4	600	110	249	139	11427	245	135	11034	-393	
892,5	600	110	263	153	9164	263	153	9149	-15	
892,6	600	110	255	145	10156	291	181	12739	2583	2583
892,7	600	110	231	121	9928	290	180	14818	4890	4890
892,8	600	110	211	101	8335	259	149	12298	3963	3963
892,9	600	110	209	99	8258	250	140	11610	3352	3352
893,0	600	110	210	100	7865	243	133	10430	2565	2565
893,1	600	110	218	108	8500	244	134	10536	2036	2036
893,2	600	110	214	104	8135	237	127	9927	1792	1792
893,3	600	110	220	110	8650	245	135	10579	1929	1929
893,4	600	110	213	103	8058	236	126	9834	1775	1775
893,5	600	110	207	97	7555	232	122	9523	1968	1968
893,6	600	110	213	103	8090	243	133	10409	2319	26853
893,7	600	110	202	92	7215	230	120	9369	2154	
893,8	600	110	208	98	7729	237	127	9944	2216	
893,9	600	110	204	94	7417	226	116	9096	1679	
894,0	600	110	167	57	4562	178	68	5476	915	
894,1	600	110	170	60	4827	179	69	5558	731	
894,2	600	110	170	60	4797	193	83	6677	1880	
894,3	600	110	155	45	3624	181	71	5745	2120	
894,4	600	110	170	60	4769	189	79	6290	1521	
894,5	600	110	179	69	5541	189	79	6327	786	
894,6	600	110	168	58	4677	171	61	4905	228	
894,7	600	110	159	49	3934	161	51	4063	129	
894,8	600	110	148	38	3084	148	38	3072	-12	
894,9	600	110	141	31	2485	139	29	2291	-194	
895,0	600	110	145	35	2813	143	33	2669	-144	
895,1	600	110	147	37	2986	146	36	2882	-104	
895,2	600	110	146	36	2893	145	35	2801	-92	
895,3	600	110	146	36	2874	144	34	2767	-107	
895,4	600	110	149	39	3120	150	40	3212	92	
895,5	600	110	150	40	3214	150	40	3262	49	
895,6	600	110	149	39	3105	149	39	3110	5	
895,7	600	110	139	29	2389	139	29	2353	-36	
895,8	600	110	127	17	1366	128	18	1443	76	
895,9	600	110	156	46	3748	158	48	3839	91	
896,0	600	110	132	22	1765	133	23	1872	107	
896,1	600	110	114	4	290	114	4	284	-6	
896,2	600	110	118	8	561	118	8	566	5	
896,3	600	110	113	3	221	114	4	263	42	
896,4	600	110	139	29	2322	139	29	2313	-10	
896,5	600	110	142	32	2528	143	33	2592	64	
896,6	600	110	146	36	2894	146	36	2890	-4	
896,7	600	110	150	40	3163	150	40	3183	20	

Bijlage 7d: Breedtegemiddelde vaardiepte van OLR -4,9 m voor geoptimaliseerd DO(20) Doorwerth

hecto meter vak	OLR (overeengekomen Lage Rivierstand in cm+NAP)	BRV bij vaardiepte 4,90 m (cm +NAP)	bodemhoogte huidige situatie (cm +NAP)	huidige bodemhoogte t.o.v. BRV 4,90 m (cm)	Volume baggerbebaar huidige situatie (m3)	bodemhoogte na uitvoering DW VO20 (cm +NAP)	toekomstige bodemhoogte t.o.v. BRV 4,90 m (cm)	Volume baggerbebaar toekomstige situatie (m3)	baggerbebaar t.o.v. referentie (m3)	Jaarlijks baggerbebaar (m3)
891,5	600	110	314	204	9227	310	200	9071	-156	
891,6	600	110	257	147	11613	253	143	11334	-279	
891,7	600	110	229	119	9636	227	117	9477	-159	
891,8	600	110	232	122	9662	230	120	9578	-84	
891,9	600	110	243	133	10572	242	132	10501	-72	
892,0	600	110	241	131	10834	241	131	10830	-4	
892,1	600	110	226	116	9555	226	116	9559	4	
892,2	600	110	232	122	10043	232	122	10094	51	
892,3	600	110	239	129	10726	240	130	10796	71	
892,4	600	110	249	139	11427	249	139	11371	-56	
892,5	600	110	263	153	9164	261	151	9015	-149	
892,6	600	110	255	145	10156	237	127	8946	-1210	
892,7	600	110	231	121	9928	200	90	7390	-2538	
892,8	600	110	211	101	8335	197	87	7202	-1134	
892,9	600	110	209	99	8258	197	87	7181	-1077	
893,0	600	110	210	100	7865	200	90	7050	-815	
893,1	600	110	218	108	8500	211	101	7897	-602	
893,2	600	110	214	104	8135	212	102	7954	-182	
893,3	600	110	220	110	8650	224	114	8975	325	325
893,4	600	110	213	103	8058	214	104	8126	67	67
893,5	600	110	207	97	7555	207	97	7589	34	34
893,6	600	110	213	103	8090	217	107	8411	321	321
893,7	600	110	202	92	7215	212	102	7951	736	736
893,8	600	110	208	98	7729	222	112	8781	1052	1052
893,9	600	110	204	94	7417	216	106	8286	869	869
894,0	600	110	167	57	4562	165	55	4377	-185	3404
894,1	600	110	170	60	4827	167	57	4606	-220	
894,2	600	110	170	60	4797	172	62	5023	226	226
894,3	600	110	155	45	3624	160	50	4038	414	414
894,4	600	110	170	60	4769	174	64	5141	372	372
894,5	600	110	179	69	5541	182	72	5786	245	1012
894,6	600	110	168	58	4677	170	60	4815	138	
894,7	600	110	159	49	3934	160	50	4001	67	
894,8	600	110	148	38	3084	151	41	3267	182	
894,9	600	110	141	31	2485	144	34	2745	260	
895,0	600	110	145	35	2813	147	37	3036	223	
895,1	600	110	147	37	2986	149	39	3140	154	
895,2	600	110	146	36	2893	147	37	3027	134	
895,3	600	110	146	36	2874	146	36	2929	55	
895,4	600	110	149	39	3120	150	40	3198	78	
895,5	600	110	150	40	3214	150	40	3198	-16	
895,6	600	110	149	39	3105	150	40	3181	76	
895,7	600	110	139	29	2389	141	31	2518	129	
895,8	600	110	127	17	1366	127	17	1348	-18	
895,9	600	110	156	46	3748	155	45	3599	-149	
896,0	600	110	132	22	1765	131	21	1679	-86	
896,1	600	110	114	4	290	113	3	258	-32	
896,2	600	110	118	8	561	118	8	555	-6	
896,3	600	110	113	3	221	113	3	208	-13	
896,4	600	110	139	29	2322	139	29	2285	-37	
896,5	600	110	142	32	2528	141	31	2489	-39	
896,6	600	110	146	36	2894	147	37	2936	42	
896,7	600	110	150	40	3163	150	40	3190	27	