

WETERING

FluviaTiel fase 1

Rivierkundige beoordeling van het Definitief Ontwerp

WETERING

FluviaTiel fase 1

Rivierkundige beoordeling van het ontwerp

Projectnummer:	VDW002
Rapportnummer:	1
Status:	Definitief
Datum:	17-02-2017

Opsteller:
Caspar Cluitmans

Verificatie:
Ron Agtersloot

Validatie:
Jos Rademakers

Inhoudsopgave

1	Achtergrond.....	1
1.1	Beschrijving van het initiatief	1
1.2	Gebiedsbeschrijving van het plan.....	1
1.3	Uitgangspunten en aanpak van modellering	2
1.4	Leeswijzer	2
2	Beschrijving van het ontwerp	3
2.1	Het Definitieve Ontwerp	3
2.1.1	De waterkering.....	3
2.1.2	Het ooibos	4
2.1.3	De zomerkade.....	5
2.1.4	Voorlandverbetering & ontwikkeling kruidenrijk grasland	6
2.1.5	Geulsystemen	7
2.2	Het ontwerp, Baseline-modellering.....	9
2.3	Het ontwerp, WAQUA-modellering.....	12
3	Beoordeling Definitief Ontwerp (kwp7l) conform het RBK	13
3.1	Aspect veiligheid, hoogwater (MHW en 10.000 m ³ /s Boven-Rijn)	13
3.1.1	Effecten bij MHW, as van de rivier.....	13
3.1.2	Effecten bij MHW, 2D-veld.....	13
3.1.3	Effecten bij MHW, afvoerverdeling	14
3.1.4	Effecten bij 10.000 m ³ /s, waterstanden en afvoerverdeling.....	14
3.2	Aspect hinder en schade, uiterwaarden en stroombeeld	16
3.2.1	Inundatie verandering uiterwaard	16
3.2.2	Stroombeeld in de uiterwaard.....	16
3.2.3	Stroombeeld in de rivier.....	18
3.2.4	Effecten bij OLR, waterstanden en afvoerverdeling.....	21
3.3	Aspect morfologie, zomerbed en uiterwaard	21
3.3.1	Sedimentatie en erosie van het zomerbed	22
3.3.2	Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeul.....	24
3.4	Conclusie.....	27
4	Optimalisatie en mitigatie van het ontwerp	31
4.1	Optimalisatieslagen kwp6.....	31
4.1.1	Kwp6a.....	32
4.1.2	Kwp6b.....	32
4.2	Optimalisatieslagen kwp7.....	33
4.2.1	Kwp7a.....	34
4.2.2	Kwp7b.....	35
4.2.3	Kwp7c.....	36
4.2.4	Kwp7d.....	36
4.2.5	Kwp7e.....	37
4.2.6	Kwp7g.....	38
4.2.7	Kwp7h	40
4.2.8	Kwp7j.....	41

4.2.9	Kwp7l	42
5	Conclusies	43

Bijlagen

Bijlage 1	Situatietekening.....	1
Bijlage 2	Metadata Baseline schematisatie kwp7d.....	2

Tabellenlijst

Tabel 1: Overzicht van de toetsing van het ontwerp kwp7l aan het RBK 3.0.	28
---	----

Afbeeldingenlijst

Afbeelding 1: De Kleine Willemspolder (omkaderd) en de omgeving.	1
Afbeelding 2: Verkleinde weergaven van het Definitieve Ontwerp (kwp7l).	3
Afbeelding 3: Principedetail van de dijk.	4
Afbeelding 4: Schets van het te ontwikkelen bos, geprojecteerd over het dwarsprofiel van het VO, om een indruk te krijgen van de boomhoogte t.o.v. de dijkkrui. N.B.: De hoogtes en breedte van de verbrede dijkteen bij benadering.	5
Afbeelding 5: Interventiekaart van het Definitief Ontwerp (kwp7l).	7
Afbeelding 6: Bodemhoogtes van de referentie Baseline-schematisatie <i>fluviaal ref</i> , zie afbeelding 7 voor de bijbehorende legenda.	10
Afbeelding 7: Legenda behorende bij de bodemhoogtes kaarten.	10
Afbeelding 8: Bodemhoogtes van de Baseline-schematisatie van het DO (<i>fluviaal kwp7l</i>).	11
Afbeelding 9: Ecotopenkaart van de referentie Baseline-schematisatie <i>fluviaal ref</i> .	11
Afbeelding 10: Ecotopenkaart van de Baseline-schematisatie van het DO (<i>fluviaal kwp7l</i>).	12
Afbeelding 11: Legenda behorende bij de ecotopenkaarten.	12
Afbeelding 12: Waterstandsverschil bij een afvoer van 16.000 m ³ /s a.g.v. het Definitief Ontwerp (kwp7l).	13
Afbeelding 13: Waterstandsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij een afvoer van 16.000 m ³ /s (MHW).	14
Afbeelding 14: Waterstandsverschil bij een afvoer van 10.000 m ³ /s a.g.v. het Definitief Ontwerp (kwp7l).	15
Afbeelding 15: Waterstandsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij een afvoer van 10.000 m ³ /s.	15
Afbeelding 16: Het Definitief Ontwerp van de Kleine Willemspolder met daarin een verschillende gebieden aangegeven t.b.v. onderscheid inundatiegebieden.	16
Afbeelding 17: Stroomsnelheidsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij een afvoer van 6.000 m ³ /s.	17
Afbeelding 18: Stroomsnelheidsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij een afvoer van 8.000 m ³ /s.	17
Afbeelding 19: Stroomsnelheidsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij een afvoer van 10.000 m ³ /s.	18
Afbeelding 20: Stroomsnelheidsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij 16.000 m ³ /s (MHW).	18
Afbeelding 21: Stroombeeld van het Definitief Ontwerp (kwp7l) bij 16.000 m ³ /s (MHW).	19
Afbeelding 22: Stroombeeld van het Definitief Ontwerp (kwp7l) bij 10.000 m ³ /s.	19
Afbeelding 23: Dwarsstroming (referentiesituatie en Definitief Ontwerp) bij een afvoer van 6.000 m ³ /s.	20
Afbeelding 24: Dwarsstroming (referentiesituatie en Definitief Ontwerp) bij een afvoer van 8.000 m ³ /s.	20

Afbeelding 25: Dwarsstroming (referentiesituatie en Definitief Ontwerp) bij een afvoer van 10.000 m ³ /s.	21
Afbeelding 26: Waterstandseffecten (DO t.o.v. referentiesituatie) bij OLR (1.020 m ³ /s).	21
Afbeelding 27: Jaargemiddelde erosie (rood) en sedimentatie (oranje) [m] a.g.v. kwp7l, gebaseerd op een afvoer van 6.000 m ³ /s bij Lobith.	22
Afbeelding 28: Grootte van de jaargemiddelde erosie en sedimentatie [m] a.g.v. kwp7l, gebaseerd op een afvoer van 6.000 m ³ /s bij Lobith.	23
Afbeelding 29: Maximale erosie (rood) en sedimentatie (oranje) [m] a.g.v. kwp7l, gebaseerd op een afvoer van 6.000 m ³ /s bij Lobith.	23
Afbeelding 30: Grootte van de maximale erosie en sedimentatie [m] a.g.v. kwp7l, gebaseerd op een afvoer van 6.000 m ³ /s bij Lobith.	24
Afbeelding 31: De absolute stroomsnelheden van kwp7l tussen de 0 en 0,1 m/s (oranje) en boven de 1,0 m/s in de polder bij een afvoer van 4.000 m ³ /s.	25
Afbeelding 32: De absolute stroomsnelheden van kwp7l tussen de 0 en 0,1 m/s (oranje) en boven de 1 m/s in de polder bij een afvoer van 6.000 m ³ /s.	25
Afbeelding 33: De absolute stroomsnelheden van kwp7l tussen de 0 en 0,1 m/s (oranje) en boven de 1 m/s bij een afvoer van 8.000 m ³ /s.	26
Afbeelding 34: De absolute stroomsnelheden van kwp7l tussen de 0 en 0,1 m/s (oranje) en boven de 1 m/s bij een afvoer van 10.000 m ³ /s.	27
Afbeelding 35: Het eerste herontwerp (kwp6).	31
Afbeelding 36: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het eerste herontwerp (kwp6).	32
Afbeelding 37: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het eerste herontwerp (kwp6a), waarbij ruwere vegetatie naar vervuigd grasland is omgezet.	32
Afbeelding 38: Locatie van taludverflauwing aan de binnendijkse zijde van de kanaaldijk ter hoogte van het bos (oranje cirkel).	33
Afbeelding 39: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het eerste herontwerp (kwp6b), waarbij een plaatselijke taludverflauwing is doorgevoerd.	33
Afbeelding 40: Het tweede herontwerp (kwp7).	34
Afbeelding 41: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het tweede herontwerp (kwp7).	34
Afbeelding 42: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het tweede herontwerp (kwp7a), waarbij de 90/10 vervangen zijn met de ruwheden uit <i>fluviatie_ref</i> .	35
Afbeelding 43: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het tweede herontwerp (kwp7b), waarbij het bos is teruggezet is naar oorspronkelijke kwp6 grootte.	35
Afbeelding 44: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het tweede herontwerp (kwp7c), waarbij alle ruwheden zijn teruggezet naar die van de <i>fluviatie_ref</i> schematisatie.	36
Afbeelding 45: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. kwp7d, waarbij de 90/10 vervangen zijn met de ruwheden uit <i>fluviatie_ref</i> en het bos uit kwp6 is overgenomen.	37
Afbeelding 46: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. kwp7e, t.o.v. kwp7d is de drempel van de instroom van de nevengeul verhoogd naar NAP +8,6 meter.	37
Afbeelding 47: Dwarsstroming (referentiesituatie en kwp7e) bij een afvoer van 6.000 m ³ /s.	38
Afbeelding 48: Dwarsstroming (referentiesituatie en kwp7e) bij een afvoer van 8.000 m ³ /s.	38
Afbeelding 49: De vernauwing van de instroom van de nevengeul die in optimalisatieslag kwp7g is mee genomen.	39
Afbeelding 50: Dwarsstroming (referentiesituatie en kwp7g) bij een afvoer van 6.000 m ³ /s.	39
Afbeelding 51: Dwarsstroming (referentiesituatie en kwp7g) bij een afvoer van 8.000 m ³ /s.	40
Afbeelding 52: Jaargemiddelde morfologische sedimentatie, ontwerp kwp7h (12 meter brede instroom).	41
Afbeelding 53: Jaargemiddelde morfologische sedimentatie, ontwerp kwp7h2 (geen instroom).	41

1 Achtergrond

1.1 Beschrijving van het initiatief

Voor de gemeente Tiel is aannemerscombinatie Wetering / Visser's Ploegmakers / F.P.H. Ploegmakers bezig met het ontwerp en realisatie van het project FluviaTiel fase 1. Het projectgebied behelst de Kleine Willemspolder en de noordelijke dijk, inclusief ontwikkelingen rondom deze dijk. Het doel van FluviaTiel is meerledig: het realiseren van een klimaatdijk, geïntegreerd in een waterkerend landschap. Het project heeft meerdere subdoelen:

- Dijkveiligheid: het realiseren van een super robuuste waterkering, die voldoet aan de toekomstige eisen rond dijkveiligheid.
- Kwelvermindering: het verminderen van kwelwateroverlast in Tiel-Oost.
- Natuurontwikkeling: het realiseren van 32 ha nieuwe natuur.
- Recreativeive ontsluiting: het aantrekkelijk recreatief ontsluiten van de Kleine Willemspolder.
- Stedelijke ontwikkeling: inrichten van het binnendijkse gebied zodat er optimale uitgangspunten worden gerealiseerd voor woningbouwontwikkeling door derden.

Dit rapport richt zich op de herontwikkeling van de Kleine Willemspolder en de rivierkundige effecten hiervan. Zaken als stedelijke ontwikkeling en dergelijke komen niet aan bod, omdat deze geen direct effect hebben op de rivierkundige situatie. Ten behoeve van de Waterwetvergunning verzorgt Kragten de rivierkundige toetsing van het ontwerp.

1.2 Gebiedsbeschrijving van het plan

De Kleine Willemspolder (kwp) ligt in het (zuid)oosten van Tiel. In Afbeelding 1 is een luchtfoto weergegeven waarin de kwp is aangegeven.

Afbeelding 1: De Kleine Willemspolder (omkaderd) en de omgeving.



Aan de zuidzijde van de polder ligt de Waal. Westelijk wordt de polder begrensd door de Vluchthaven, oostelijk door het Amsterdam-Rijnkanaal. De polder is gescheiden van het kanaal middels een dijk. In dit rapport noemen we deze dijk de kanaaldijk. Aan de noordzijde van de polder ligt de (legger) waterkering die onderdeel uitmaakt van de ontwikkelingen van het FluviaTiel project.

1.3 Uitgangspunten en aanpak van modellering

Voor de rivierkundige toetsing heeft de rivierbeheerder, voor dit project Rijkswaterstaat Oost-Nederland (RWS-ON), een basisschematisatie beschikbaar gesteld. Hierbij hebben we eerst, conform afspraak met RWS-ON, de basisschematisatie bijgewerkt met de door hun aangeleverde maatregelen. De bijgewerkte basisschematisatie vormt de referentieschematisatie voor dit project.

- De basisschematisatie is *baseline-beno15_5-v2*.
- De basisschematisatie is geactualiseerd met zes maatregelen (e-mail Tijmen Vos, 25-11-2016) zodat het als referentieschematisatie gebruikt kan worden. De naam van de referentieschematisatie is *fluviatiel_ref*.
- Het getoetste ontwerp draagt als naam *fluviatiel_kwp7*.
- Morfologische effecten worden in kaart gebracht met het programma Waqmorf, versie februari 2012.
- De gebruikte versie van het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) is 3.0 (RWS-WVL, 2014).
- De Maatgevend Hoogwater (MHW)-toetsing wordt uitgevoerd met een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith. Voor de andere rivierkundige aspecten (afvoerverdeling, dwarsstroming, morfologie) wordt gebruik gemaakt van simulaties die zijn uitgevoerd met lagere afvoeren.
- De gebruikte BASELINE-versie is 5.3.0.
- De gebruikte WAQUA-versie is SIMONA2015 (patch 8).
- Belangrijk criterium voor de toetsing is dat de waterstandsverhoging van 1 millimeter van het ontwerp van Arcadis terug wordt gebracht naar 0 millimeter.
- Daarnaast moeten de effecten van de ingreep bij MHW vallen binnen de grenzen die gesteld worden door het RBK.
- Het rekenrooster is niet verder verfijnd.

Het ontwerp is uitsluitend opgesteld in leggerklassen (water, verhard, gras & akker, riet & ruigte, bos, struweel, mengklasse 90/10, mengklasse 70/30 en mengklasse 50/50). De vegetatielegger is afgestemd op het project Stroomlijn.

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 geven we een korte beschrijving van het ontwerp. Verder beschrijven we de verwerking in Baseline en de vertaling naar WAQUA. Hoofdstuk 3 beschrijft de rivierkundige toetsing conform RBK 3.0 aan de hand van drie thema's: veiligheid, hinder/schade en morfologie. Op basis van het ontwerp Arcadis hebben we gezocht naar mogelijke optimalisatieslagen. Daarnaast zijn we door een aantal ontwerpiteraties gegaan, zoekende naar een ontwerp dat geen nadelige effecten heeft op de Waal. Alle optimalisatieslagen hebben we beschreven in Hoofdstuk 4. De conclusies van het rivierkundige onderzoek en de toetsing zijn te vinden in Hoofdstuk 5.

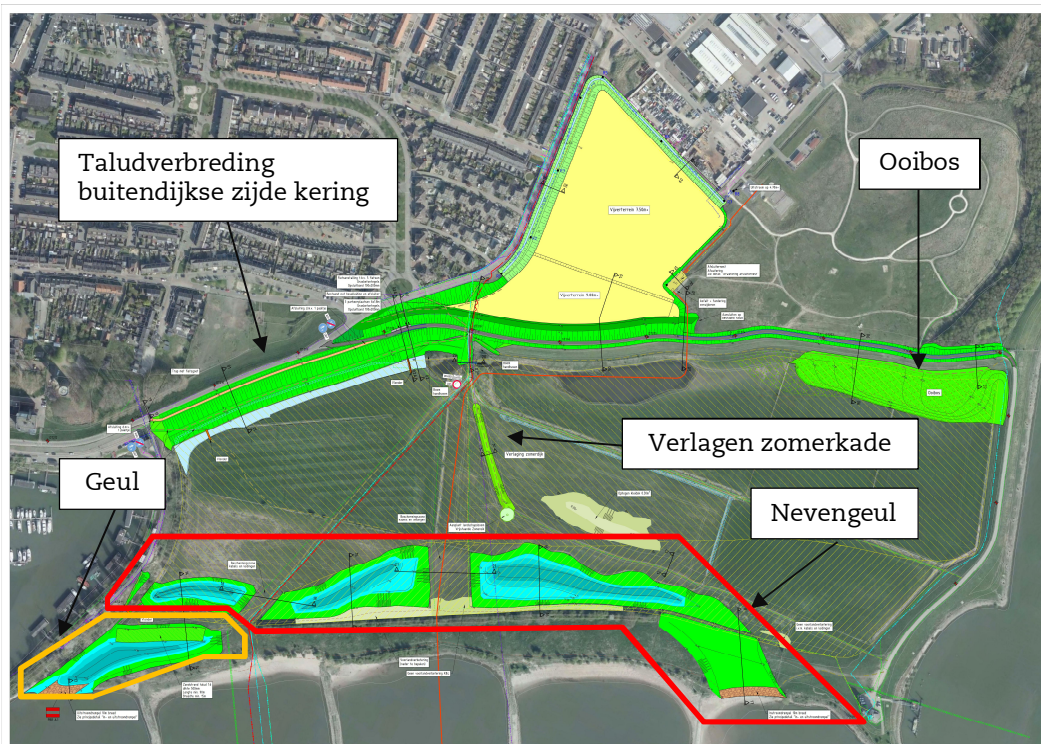
2 Beschrijving van het ontwerp

In dit hoofdstuk wordt het ontwerp beschreven. Hierbij zullen we alleen naar de voor de rivierkundige beoordeling relevante aspecten kijken.

2.1 Het Definitieve Ontwerp

In Bijlage 1 is de situatietekening bijgevoegd, zie Afbeelding 2 voor een verkleinde weergave. In deze tekening staat aangegeven hoe de waterkering aangepast gaat worden; waar een ooibos aangelegd gaat worden; waar de zomerkade verlaagd wordt; de aanleg van een nevengeul en de voorlandverbetering inclusief ontwikkeling van een kruidenrijk grasland. Deze aspecten zullen hieronder één voor één aan bod komen.

Afbeelding 2: Verkleinde weergave van het Definitieve Ontwerp (kwp7l).



In dit hoofdstuk wordt het ontwerp besproken dat in dit rapport aangeduid wordt als kwp7l. Dit is het Definitief Ontwerp. Het eerste herontwerp, kwp6, staat beschreven in sectie 4.1. De uiteindelijk getoetste variant in Hoofdstuk 3 is kwp7l.

2.1.1 De waterkering

De Klimaatdijk betreft het één kilometer lange dijktraject van DT201 (Amsterdam-Rijnkanaal) tot en met DT211 (Echteldsedijk ter hoogte van de Lijsterstraat/Groene krib).

Het uitgangspunt voor het ontwerp is dat de Klimaatdijk toekomstbestendig en robuust moet zijn. In het voortraject is bepaald dat deze ambitie wordt ingevuld door op drie punten hogere eisen te stellen dan de destijds geldende dijkontwerpnormen:

- Er wordt uitgegaan van een ontwerpwaterstand die 1 m hoger is dan de leggerwaterstand volgens het Hydraulische Randvoorwaarden 1996.
- Voor macrostabiliteit wordt een 100x lagere faalkans geëist.
- Ten aanzien van piping wordt uitgegaan van de nieuwe rekenregel van Sellmeijer (Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, RWS, 2012), zonder aanvullende verzwarende ten aanzien van de faalkans.

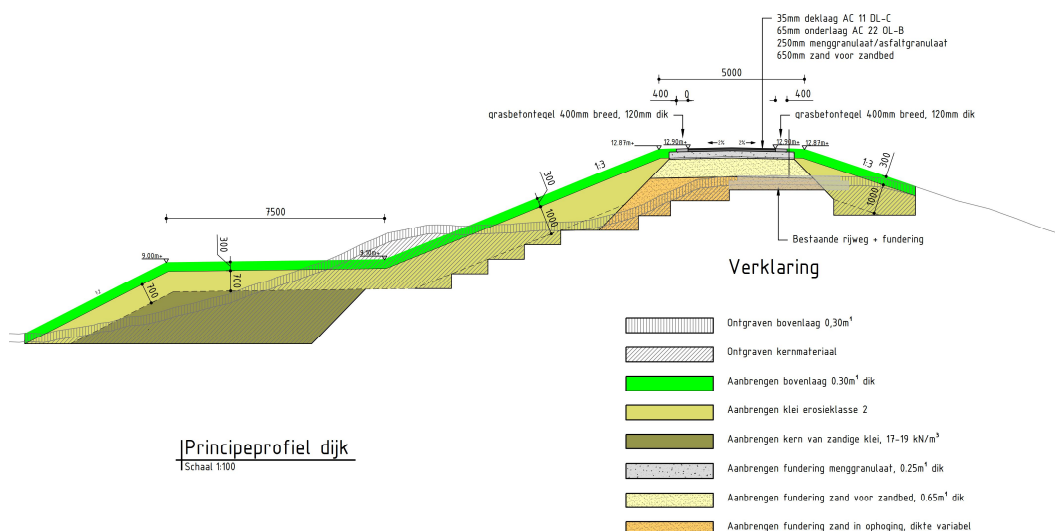
Voor de waakhogte (het verschil tussen de ontwerpkuinhoogte en de ontwerpwaterstand) wordt uitgegaan van dezelfde waarde die nu in de legger is aangehouden (0,5 meter).

Conform het Voorontwerp (VO) worden in het Definitief Ontwerp (DO) ten behoeve van de dijkversterking drie hoofdmaatregelen uitgevoerd:

- Verhoging van de dijk naar een ontwerphoogte van NAP +12,90 meter.
 - Op het oostelijke deel voor middel van een kruinverhoging (DT 201 t/m 208). De nieuwe kruin wordt versmald naar 5,0 meter.
 - Op het westelijke deel (DT 208 t/m DT 211) door middel van een tuimelkade aan de rivierzijde naast de bestaande weg. De tuimelkade krijgt een kruin van 4,0 meter breedte.
- Taludverbreding:
 - Aan de binnendijkse zijde op het oostelijke deel (DT 201 t/m 208).
 - Aan de buitendijkse zijde op het westelijk deel (DT 208 t/m DT 211)
- Aanbrengen brede steunberm op NAP +9 meter aan de binnendijkse zijde op het middelste deel van het dijktraject (DT 204 t/m 208).

In Afbeelding 3 is een principedetail van de dijk weergegeven.

Afbeelding 3: Principedetail van de dijk.



2.1.2 Het ooibos

Aan de zijde van het Amsterdam-Rijnkanaal moet een hardhoutooibos gerealiseerd worden. In het VO werd voorgesteld om dit ooibos tegen het dijktaalud aan te leggen. In het DO wordt het bos echter gerealiseerd op een verbreding van de teen van de dijk.

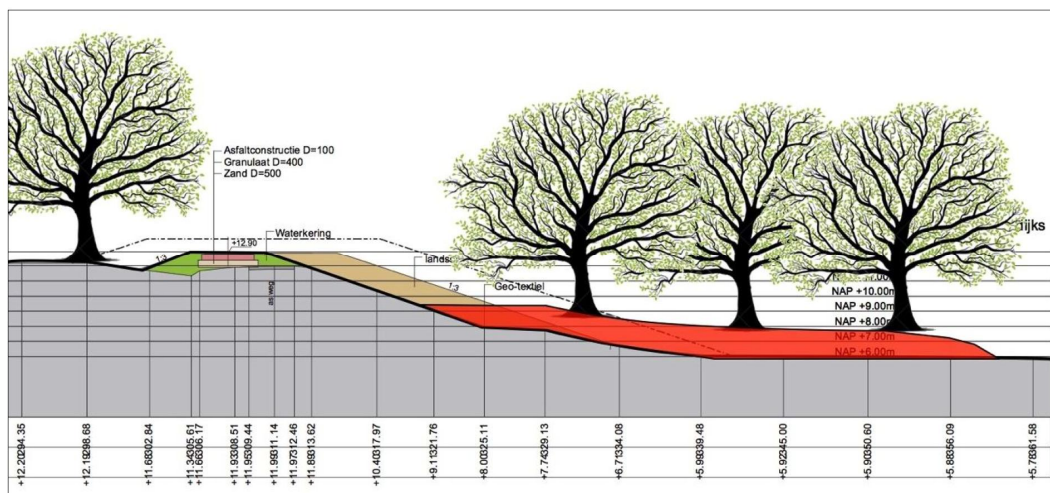
Doel is de ontwikkeling van zogenaamd “hardhoutooibos”, een overstromingstolerant bostype dat voor komt in de hogere delen van uiterwaarden en oeverwallen en zich kenmerkt door een zeer grote productiviteit (forse bomen), een rijke structuur (bloemrijke kruidlaag, dichte struiklaag, meerdere boomlagen en klimplanten) en een hoge biodiversiteit. Dit bostype is zeldzaam in Nederlandse uiterwaarden. De provincie Gelderland streeft naar uitbreiding (Natura 2000 beheerplan). In het VO (april 2013) is als ambitie genoteerd dat het nieuwe buitendijkse ooibos ruimtelijk één geheel gaat vormen met het binnendijkse parkbos op en rond de Vijverberg: “De dijk in het oostelijk deel ‘voert’ door een bosrijke omgeving. Voor Nederlandse begrippen een unieke ervaring” en “De realisatie van hardhout-ooibos in het oostelijke gedeelte van de polder is een hoog gewaardeerd element en uniek in het rivierengebied”. In het DO wordt dit planonderdeel ingevuld door de aanplant van hardhoutooibos te concentreren binnen de frequent overstroombare zone aan de dijkteen tussen maaiveldhoogtes van ± NAP +6,0 meter en NAP +8,5 meter. Deze zone komt overeen met de ecologische bandbreedte van hardhoutooibossen. Lagere delen staan te langdurig

onder water (gemiddeld > 50 dagen per jaar) en hogere delen te incidenteel (eens per 5 jaar) om de ontwikkeling van volwaardig hardhoutoibos mogelijk te maken. Om een goed ontwikkeld hardhoutoibos te bereiken, met een vruchtbare rulle bosbodem en een hoge en vitale boomgroei zijn zowel de periodieke grondwaterwisselingen als de overstromingen essentieel. Door het bos aan te leggen in de jaarlijks overstroombare zone wordt het risico verkleind op verminderde groei door zowel verdroging (boven NAP +9,0 meter) en vernatting (onder NAP +6,0 meter).

Omdat hoger dan NAP +8,5 meter de invloed van de overstromingen niet meer dominant is op de bosontwikkeling, worden de hogere delen van het dijktafval niet beplant. In plaats daarvan wordt de huidige dijkteen met 30 tot 40 meter verbreed. Over een oppervlak van ± 1,0 ha wordt de uiterwaard in drie trappen verhoogd tot respectievelijk ± NAP 7,0 meter (3 weken/jaar overstromend), ± NAP +8,0 meter (1 week/jaar) en NAP +8,5 meter. Die laatste zone valt deels over de bestaande dijkteen heen. De verhoogde dijkteen wordt samen met 0,25 hectare uiterwaard bebost conform de in de eisen weergegeven specificatie (eis SES-00005). De totaal te beplanten oppervlakte bedraagt 0,8 ha.

Doordat de bosontwikkeling geheel plaatsvindt buiten de bestaande onderhoudsberm van de dijk vervalt de noodzaak van een functiescheidend geotextiel (Technisch Overleg, 6 december 2016). Eis SES-00004 is niet meer aan doelmatig, waarmee ook het risico vervalt op mogelijke instabiliteit en afglijden van de leeflaag.

Afbeelding 4: Schets van het te ontwikkelen bos, geprojecteerd over het dwarsprofiel van het VO, om een indruk te krijgen van de boomhoogte t.o.v. de dijkkrui. N.B.: De hoogtes en breedte van de verbrede dijkteen bij benadering.



2.1.3 De zomerkade

De zomerkade wordt deels verlaagd, met als doel om zowel de natuurkwaliteit als de recreatieve functie van de uiterwaard te vergroten én de afvoercapaciteit bij hoogwater te vergroten. De overstromingsduur van de bekaide delen van de uiterwaard neemt daarmee toe tot ± 3 weken per jaar, wat een gunstige impact heeft op de beoogde ontwikkeling van kruidenrijke graslanden.

In het DO wordt de zomerkade alleen verlaagd over het gedeelte dwars op de dijk en de stromingsrichting bij hoogwater (115 meter). Het beperken van het te verlagen deel verkleint het risico op versterking van historische waarden. De kade is begin 19e eeuw aangelegd op de destijds directe rivieroever. In het archeologisch onderzoek (VUHbs Archeologie, 2015) is de zone waarin de kade ligt aangeduid als een voormalige oeverzone waar kribben en andere oeverconstructies verwacht kunnen worden.

Het geheel verlagen van de gehele zomerkade heeft geen toegevoegde waarde voor de verruiming van het hoogwaterprofiel.

De kade wordt conform VO verlaagd naar NAP +7,5 meter door aftopping van de kruin (huidige hoogte rond NAP +7,8 en +8,3 meter). De basis van de kade blijft onvergraven. Door de kadeverlaging ontstaat een kade met een relatief brede kruin op 0,5 tot 1,5 meter hoger dan het omringende maaiveld.

Door de kadeverlaging neemt de overstromingskans van de achterliggende uiterwaard toe (bij een gesloten inlaatwerk) van eens per 2 jaar naar jaarlijks gemiddeld 3 weken, wat gunstig (zo niet noodzakelijk) is voor de beoogde ontwikkeling van overstromingsgraslanden binnen het omkade deelgebied.

Op hoek de van de zomerkade, ter plekke van de voormalige kilometerpaal wordt een Zomereik (of Zomerlinde) als markante vrijstaande landschapsboom geplant.

2.1.4 Voorlandverbetering & ontwikkeling kruidenrijk grasland

Het primaire doel van het project FluviaTiel is om zowel de natuurkwaliteit als de recreatieve functie van de uiterwaard Kleine Willemspolder te vergroten. Om die kwaliteitsimpuls te bereiken wordt de zomerkade deels verlaagd, worden extra strangen en nevengeulen aangelegd, wordt de ontwatering aangepast en wordt het terreinbeheer aangepast met het oog op de ontwikkeling van kruidenrijke graslanden.

Voorlandverbetering

Het DO voorziet in een voorlandverbetering (waar nodig) in de hele uiterwaard vanaf de (nieuwe) dijkteen tot aan de voormalige langsdam. Daarmee wordt gegarandeerd dat in deze hele zone een aaneengesloten kleidek aanwezig is van minstens 1,0 m meter klei. Uit elektromagnetische radarmetingen blijkt dat deze nagenoeg overal aanwezig is. Om aan de hogere eis van 1,5 meter van het waterschap tegemoet te komen is in het DO zekerheidshalve als extra maatregel een aanvullende oppervlakkige terreinophoging opgenomen (zie situatietekening in Bijlage 1). Op een oppervlak van $\pm 0,4$ ha wordt hier een dunne kleilaag aangebracht van klei erosiebestendigheidsklasse 2, met een maximale dikte van 30 cm.

Ontwikkeling kruidenrijk grasland

De vegetatieruwheden van de toekomstige situatie is vastgelegd op een zogenaamde "interventiekaart". De interventiekaart beschrijft de bovengrens van vegetatieontwikkeling. Bij overschrijding van de dichtheid moeten aanvullende beheermaatregelen worden ingezet om de doorstroomcapaciteit voor hoogwater te blijven waarborgen. De interventiewaarden worden na vergunning opgenomen in de Vegetatielegger Uiterwaarden van Rijkswaterstaat.

De interventiekaart is opgesteld vanuit het uitgangspunt dat de maximale vegetatieruwheden (de interventiewaarden) in principe gerealiseerd kunnen worden met het dagelijkse, regulier landgebruik en terreinbeheer. Aanvullend beheer (b.v. maaibeheer) is hooguit lokaal en incidenteel noodzakelijk, daar waar de het primaire landgebruik ontoereikend blijkt te zijn. Het handhaven van kortere vegetaties louter ten behoeve van de rivierkundige veiligheid (door middel van aanvullende effectgerichte beheermaatregelen als maaien, snoeien, schonen, kappen) moet beperkt blijven tot zo klein mogelijke werkelijk essentiële deelgebieden. Dit aanvullend veiligheidsbeheer moet bovendien praktisch goed uitvoerbaar en qua kosten beperkt zijn.

Op de interventiekaarten is de maximale vegetatieruwheid vastgelegd in het winterhalfjaar: de hoogwaterperiode van 1 november tot 1 mei van het daaropvolgend jaar. De vegetatie is op de kaart (zie Afbeelding 5) in 5 klassen weergegeven: 4 homogene vegetatieklassen en 1 mengklasse met elk een eigen maximale hoeveelheid ruwe vegetatie. De interventiekaart toont het DO van december 2016. Mengklassen geven binnen een afgebakend gebied de oppervlakteverdeling van ruwe en gladde vegetaties, maar leggen de precieze locatie ervan niet vast. Een mengklasse wordt toegekend aan gebieden met een eenduidig aaneengesloten beheer:

- Gras en akker: Het dijktaalud en alle grote vlakke, goed maaibare delen van de uiterwaard. Hier geldt dat er open grazige vegetaties in stand moeten blijven met een gemiddelde hoogte van minder dan circa 50 cm in de winter. Dat kan variëren van onbegroeide delen (strand), korte graslanden, open kruidenvegetaties tot ruigtevegetaties die in de winter bovengronds afsterven of

plat liggen. Slechts in beperkte mate kan riet en/of ruigte en in zeer geringe mate bomen of struiken aanwezig zijn, in kleine eenheden van maximaal enkele vierkante meters.

- Riet en ruigte: De oeverzones van de geulen. Hier mogen hogere kruidachtige vegetaties met in de winter een gemiddelde vegetatiehoogte van meer dan circa 50 cm. Omvat moerasvegetaties, natte en droge ruigten, die in de winter bovengronds niet afsterven of platliggen. Bomen en struiken zijn afwezig of beslaan hooguit enkele vierkante meters.
- Bos: Op de langsdam en het te ontwikkelen ooibos. Vegetaties die gedomineerd worden door opgaande bomen. De hoogte varieert van circa 5 meter tot meer dan 15 meter. Belangrijkste onderscheidende kenmerk ten opzichte van struweel, is beperkte aanwezigheid van takken en stammen in de onderste meters.
- Struweel: Op de langsdam en op de groene krib. Vegetaties die gedomineerd worden door struikvormende soorten met een dichte structuur van takken en stammen over de gehele hoogte van circa 2 tot 5 meter. Er kan een ondergroei van ruigte aanwezig zijn. Het is de vegetatie met de hoogste ruwheid. Op deze vlakken gelden feitelijk geen eisen aan het vegetatiebeheer.
- Mengklasse 50/50: Het talud van de Groene krib. Dit gesloten vegetatie-mozaïek met een klein aandeel grasland (minimaal 10%) en overigens riet-ruigte, struweel en bos ontstaat bij een (zeer) extensief landgebruik (rommelbeheer).

De mengklassen 90/10 en 70/30 zijn op de interventiekaart van de Kleine Willemspolder niet toegepast. Deze mengklasse ontstaan respectievelijk bij een natuurgericht graslandbeheer (seizoensbegrazing, maaibeheer in geaccidenteerd terrein) en bij extensieve (jaarrond) begrazing.

Op de kaart zijn ook enkele solitaire boom aangegeven (bomen meer dan 5 meter hoog en een kruindiameter van meer dan 5 meter). Binnen de mengklassen maken bomen onderdeel uit van het mozaïek.

De buitenranden van de interventiekaart zijn bepaald op de project- en eigendomsgrenzen en de nieuwe dijkhoogte. Alle watervlakken zijn begrensd op het mediaan peil (NAP +4,25 meter).

Afbeelding 5: Interventiekaart van het Definitief Ontwerp (kwp7l).



2.1.5 Geulsystemen

In het DO worden twee geulsystemen gerealiseerd (in Afbeelding 2 'geul' en 'nevengeul' genoemd):

1. De eenzijdig met de rivier verbonden geul met zandige oevers. De vormgeving van deze geul is ten opzichte van het VO enigszins aangepast.
2. Een $\pm$ twee maanden per jaar mee stromende strang (in dit rapport 'nevengeul' genoemd), bestaande uit drie delen. Onderling en van de Waal gescheiden door lage erosiebestendige drempels boven de aanwezige kabels en leidingenstroken. Deze periodiek mee stromende strang is als "extra plusmaatregel" aan het Voorontwerp toegevoegd ("kans 2") om de ontwikkeling van riviernatuur kracht bij te zetten, de afvoercapaciteit van de uiterwaard bij hoogwater te vergroten, de historische ontwikkeling van de uiterwaard weer zichtbaar te maken én de landschappelijke variatie te vergroten.

1. De geul

De zandige geul aan de westzijde is ten opzichte van het VO aangepast. De noordelijke insteek is parallel aan de ligging van de langsdam gelegd. Dit deel van de langsdam is bij de aanleg van de haven en groene krib opgeruimd en nog herkenbaar als een lage rug in het terrein. Deze rug blijft onvergraven. De geul ligt aan rivierzijde. Door deze aanpassing is de uitstroom van geul ook veranderd. De uitstroom van de geul ligt in het DO iets westelijker en valt samen met de ter plekke reeds bestaande laagte in de oeverwal.

Op het noordelijke talud wordt een zandige oever gerealiseerd tussen de hoogtelijnen NAP +3,5 en +6,0 meter (strand). Waar nodig wordt de zandbodem aangevuld zodanig dat overall een dek van 50 cm zand aanwezig is. De overige oevers worden aangelegd in de bestaande ondergrond. Omdat de geul geheel buiten de zone van de voorlandverbetering ligt, wordt de bodem niet afgedicht met klei. De bodem van geul ligt op in het centrale deel op gemiddeld NAP +1,6 meter, om in stroomopwaartse richting geleidelijk op te lopen tot NAP +3,0 meter.

De geul wordt met een brede drempel gescheiden van het kribvak. De hoogte NAP +3,75 meter komt overeen met de gemiddelde zomerwaterstand ter plekke.

2. De nevengeul

De nevengeul is opgebouwd uit vier compartimenten: de instroom, de oostgeul, de middengeul en de westgeul. Deze geuldelen worden elk over de hele bodem voorzien van een 1,5 meter dikke onderafdichting van klei. Ter plekke van de tussenliggende drempels blijft de ondergrond onvergraven.

De nevengeul begint met een $\pm$ 140 meter lange instroom die wordt gerealiseerd door een vlaksgewijze verlaging van de bestaande oeverwal van $\pm$ 25 meter breedte:

- Ontwerppeil rond de NAP +5,5 meter ($\pm$ 2,5 maand per jaar overstromend).
- Uit te voeren door het ontgraven van het gehele kleidek tot de onderliggende zandondergrond.
- Na de kleiafgraving het maaiveld zodanig aanpassen dat er vanaf NAP +5,0 meter een doorgaande laagte ontstaat. Eventuele stroom belemmerende zandige koppen hoger dan NAP +6,0 meter afvlakken.
- Omdat de instroom geheel buiten de zone van de voorlandverbetering ligt wordt de bodem van de instroom niet afgedicht met klei. Dit levert een aanzienlijk betere uitgangspositie op voor de ontwikkeling van natuurwaarden.
- Relatief steile oevers (1:2) daar waar de kade wordt doorsneden.
- Tussen het kribvak en de instroom wordt een verdedigde instroomdrempel aangelegd.
- Op de overgang van de instroom naar de oostgeul wordt het maaiveld ter plekke van een tweetal leidingen naar de verkeerspost over een breedte van minstens 4 meter niet vergraven (2 meter uit leiding).
- De hoogte van deze onvergraven kleidrempel ligt op NAP +5,8 tot +6,4 meter. Het 2 meter dikke kleipakket ter plekke blijft onvergraven ($\pm$ 50 dagen per jaar overstromend). Doordat de ondergrond ter plekke niet vergraven en doordat het talud vanaf de instroom naar deze kleidrempel richting de geul zeer flauw ($\pm$ 1:50) is, is deze kleidrempel erosiebestendig.
- De instroom ligt buiten de zoekgebied van nog te detecteren niet gesprongen explosieven (NGE).

Voorbij de kleidrempel begint het oostelijke compartiment van de geul (de oostgeul):

- Het instroomtalud bedraagt 1:7 in de stroomrichting bij hoogwater (= 1:4 haaks op het talud).
- De insteek van de rechteroever valt samen met het talud van de reeds aanwezige hoogwatergeulresten, welke zijn ontstaan in de verzandingen achter de in 1845 aanlegde langsdam.
- De insteek van de linkeroever ligt op minstens 1 meter uit de ligging van de leidingen. Taluds stabiel voor betreffende ondergrond. Dat wil zeggen 1:3 in klei en 1:4 in zand of flauwer.
- Bodemlijn aflopend in westelijke richting van NAP +2,5 meter naar NAP +1,75 meter. De geul is daarmee nagenoeg permanent watervoerend.

Tussen de oostgeul en de middengeul ligt een ± 45 meter brede drempel waar meerdere leidingen (waaronder een gasleiding) de geul kruisen:

- De hoogte van deze onvergraven kleidrempel ligt op NAP +5,8 tot +6,4 meter (± 50 d/jr overstromend).
- Het 2 meter dikke kleipakket ter plekke blijft onvergraven
- Het taluds van de kleidrempel zeer flauw: 1 op 7 of flauwer in de stromingsrichting.
- De insteek van de drempel ligt op minstens 10 meter uit hoofdgasleiding en 2 meter uit de overige leidingen.

Het middendeel van de geul (± 0,94 ha) heeft een iets ondiepere bodem op NAP +2,5 meter. De breedte van de middengeul en ligging van insteken is min of meer hetzelfde als bij de oostgeul (continuïteit). De insteek volgt een bestaande laagte in het terrein.

Tussen de middengeul en de westgeul ligt de tweede kabel-drempel. Deze drempel is smaller (20 meter) en ligt iets lager dan de drempel ter plaatse van gasleiding: NAP +5,5 tot +6,0 meter. Specificaties gelijk aan de andere drempel.

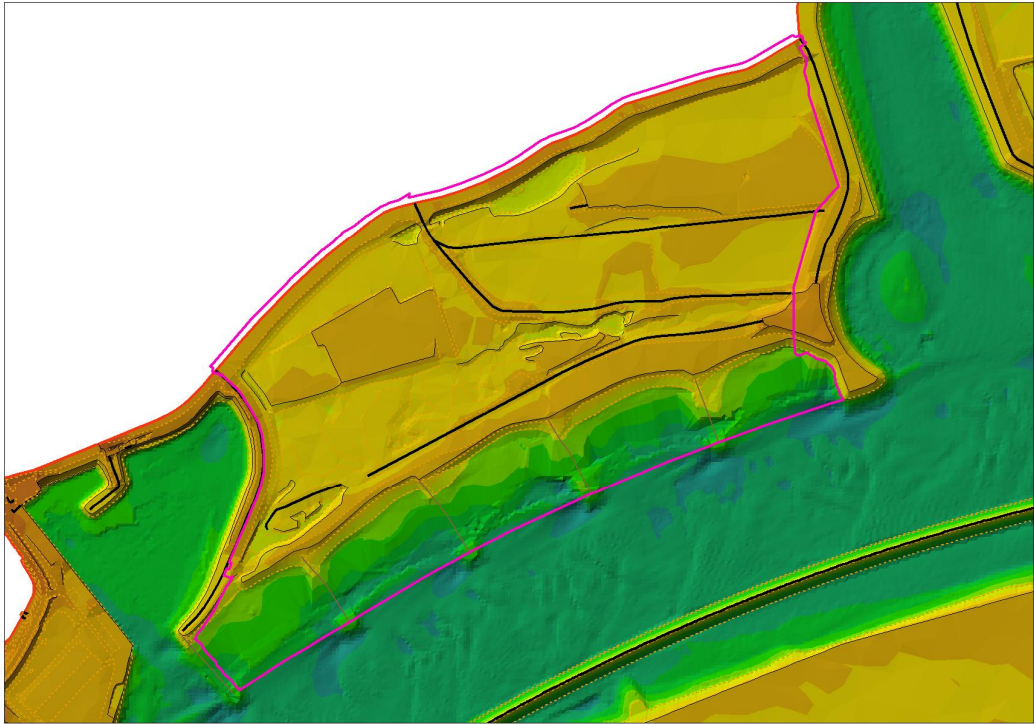
De kleinere westgeul is iets dieper dan de middengeul (NAP +2,0 meter) en volgt min of meer een bestaande laagte in het terrein. De geul mondt uit in de reeds bestaande afwateringsgeul aan de voet van de groene krib.

2.2 Het ontwerp, Baseline-modellering

Voor dit project moest de Baseline-schematisatie geactualiseerd worden. De basis voor dit ontwerp is de *baseline-beno15_5-v2* schematisatie. Deze schematisatie is bijgewerkt met een zetal maatregelen die aangeleverd zijn door RWS-ON. Dit heeft geleid tot de geactualiseerde referentieschematisatie *fluviatief_ref*. Op basis van deze referentieschematisatie en het ontwerp dat opgesteld is door Jos Rademakers en uitgewerkt is door Kragten, zijn de Baseline-modellen gemaakt voor de herontwerp van de kwp. Het uiteindelijke DO is vertaald naar GIS en vervolgens omgezet naar een Baseline model, *fluviatief_kwp7l*. In Bijlage 2 is de metadata betreffende baseline bijgevoegd. Hierin zijn ook de aannames ten aanzien van de schematisatie beschreven.

In Afbeelding 6 en in Afbeelding 8 zijn de bodemhoogtes weergegeven van de Baseline schematisatie, respectievelijk van de referentiesituatie en kwp7l ontwerp. In Afbeelding 7 is de bijbehorende legenda te zien van Afbeelding 6. In Afbeelding 9 en in Afbeelding 10 zijn de vegetatiekaarten uit baseline van de referentiesituatie en het Definitief Ontwerp (kwp7l) weergegeven. Afbeelding 11 laat de bijbehorende legenda zien.

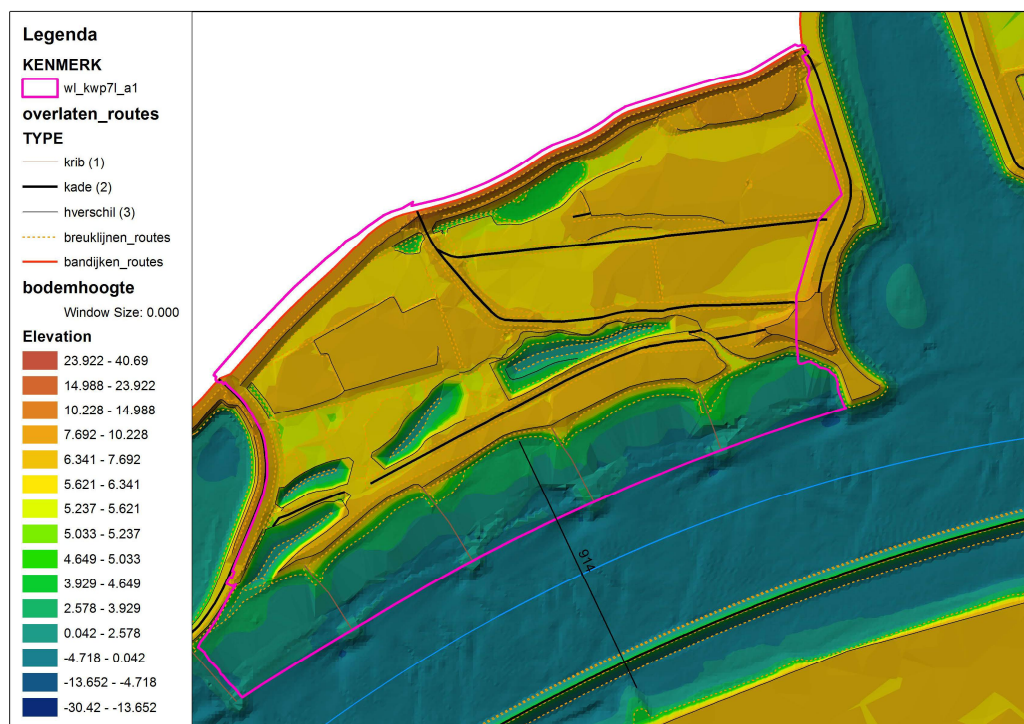
Afbeelding 6: Bodemhoogtes van de referentie Baseline-schematisatie fluviaal_ref, zie afbeelding 7 voor de bijbehorende legenda.



Afbeelding 7: Legenda behorende bij de bodemhoogtes kaarten.

Legenda	
overlaten_routes	
TYPE	
	krib (1)
	kade (2)
	hverschil (3)
	breuklijnen_routes
	bandijken_routes
bodemhoogte	
Window Size: 20,000	
Elevation	
	19,654 - 39,728
	13,313 - 19,654
	10,58 - 13,313
	8,363 - 10,58
	6,527 - 8,363
	5,25 - 6,527
	3,982 - 5,25
	2,636 - 3,982
	1,235 - 2,636
	-0,285 - 1,235
	-2,281 - -0,285
	-5,461 - -2,281
	-9,145 - -5,461
	-29,997 - -9,145
	-30,42 - -29,997

Afbeelding 8: Bodemhoogtes van de Baseline-schematisatie van het DO (fluviaal_kwp7l).



Afbeelding 9: Ecotopenkaart van de referentie Baseline-schematisatie fluviaal_ref.



Afbeelding 10: Ectopenkaart van de Baseline-schematisatie van het DO (fluviaal_kwp7l).



Afbeelding 11: Legenda behorende bij de ecotopenkaarten.

Legenda			
— hoogwatervrij_lijnen	115 Bebouwd terrein	HANDBOEK	1243 Productiebos (naaldbos)
• ruwheid_punten	116 Verhard terrein		1244 Hardhoutoobos
— ruwheid_lijnen	121 Akker		1245 Zachthoutoobos
ruwheid_vlakken	122 Strooisel		1246 Boomgaard (laagstam)
Overige waarden	131 Vaste laag Nijmegen		1247 Boomgaard (hoogstam)
BEBOUWING / HOOGWATERVRIJ	132 Vaste laag St. Andries		1250 Pioniervegetatie
1 Gebouw	133 Bodemkribben Erlecom		1300-1379 Aanvullende vegetatiehoogtes
2 Hoogwatervrij terrein	MANNING		1801-1807 Combinaties natte vegetatie
3 Pijler	301 Default		1808-1969 Overige combinaties
VASTE K-NIKURADSE	302 Diepe meerbodem	VEGETATIELEGGER	201 Water
101 Default	303 Ondiepe meerbodem		202 Verhard
102 Diepe bedding	304 Diep getijdewater		1981 Gras en akker
103 Ondiepe bedding	305 Ondiep getijdewater		1982 Riet en ruigte
104 Strang	402 Vossemeer		1983 Bos
105 Nevengeul	403 Ketelmeer (oost)		1984 Struweel
106 Plas/haven/slikkige oever	404 Ketelmeer (west)		1996 Mengklasse 90/10
111 Kribvakstrand/zandplaat/grindplaat	ZOMERBED		1997 Mengklasse 70/30
112 Ruwe oever	601-900 Zomerbed		1998 Mengklasse 50/50
113 Steenbekleding			
114 Bebouwd/verhard terrein			
		1201 Productiegrasland	
		1202 Natuurlijk grasland/hooiland	
		1203 Verruigd grasland	
		1211 Akkerdistelruigte	
		1212 Droge ruigte	
		1213 Dauwbraamruigte	
		1214 Wilgenroosjruigte	
		1215 Rietruigte	
		1221 Natte ruigte	
		1222 Zegge	
		1223 Rietgras	
		1224 Biezen	
		1225 Lisodde	
		1226 Riet	
		1231 Zachthoutstruweel	
		1232 Griend	
		1233 Doornstruweel	
		1241 Productiebos (hardhout)	
		1242 Productiebos (zachthout)	

2.3 Het ontwerp, WAQUA-modellering

Het WAQUA model is gebaseerd op het WAQUA deelmodel 'waua-rijn-beno15_5_20m_waal-v2', onderdeel van de Rijntakken. Het rekenrooster van het model is niet verder verfijnd (uitgangspunt van RWS-ON). Basis van het model vormt zowel het WAQUA deelmodel als de Baseline output.

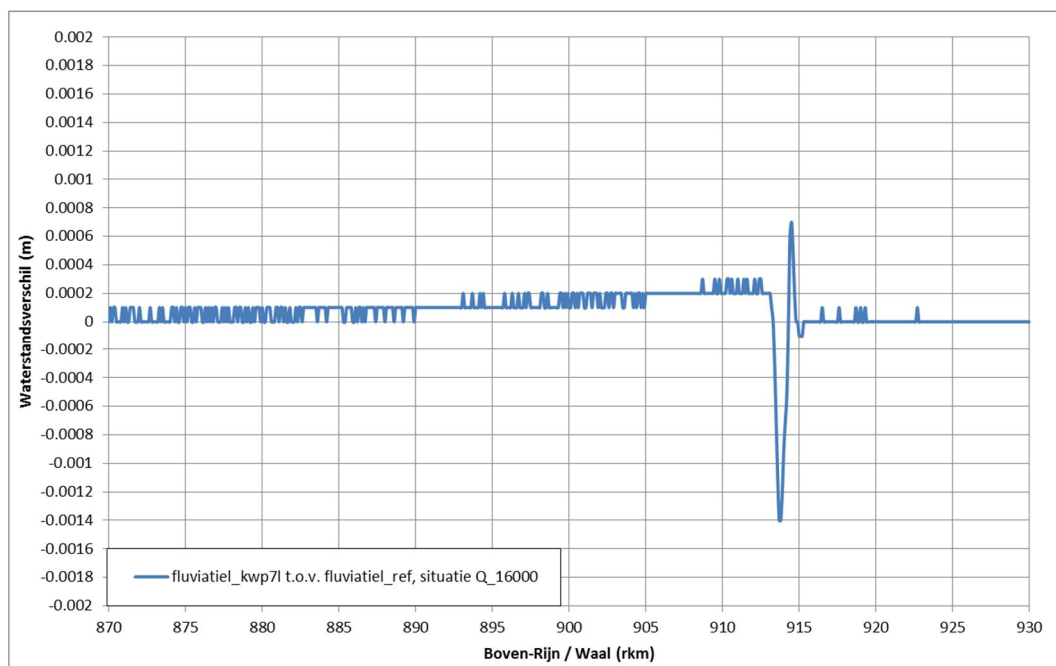
3 Beoordeling Definitief Ontwerp (kwp7l) conform het RBK

3.1 Aspect veiligheid, hoogwater (MHW en 10.000 m³/s Boven-Rijn)

3.1.1 Effecten bij MHW, as van de rivier

In Afbeelding 12 worden de waterstandsverschillen van het DO bij MHW (16.000 m³/s) ten opzichte van de referentiesituatie weergegeven.

Afbeelding 12: Waterstandsverschil bij een afvoer van 16.000 m³/s a.g.v. het Definitief Ontwerp (kwp7l).

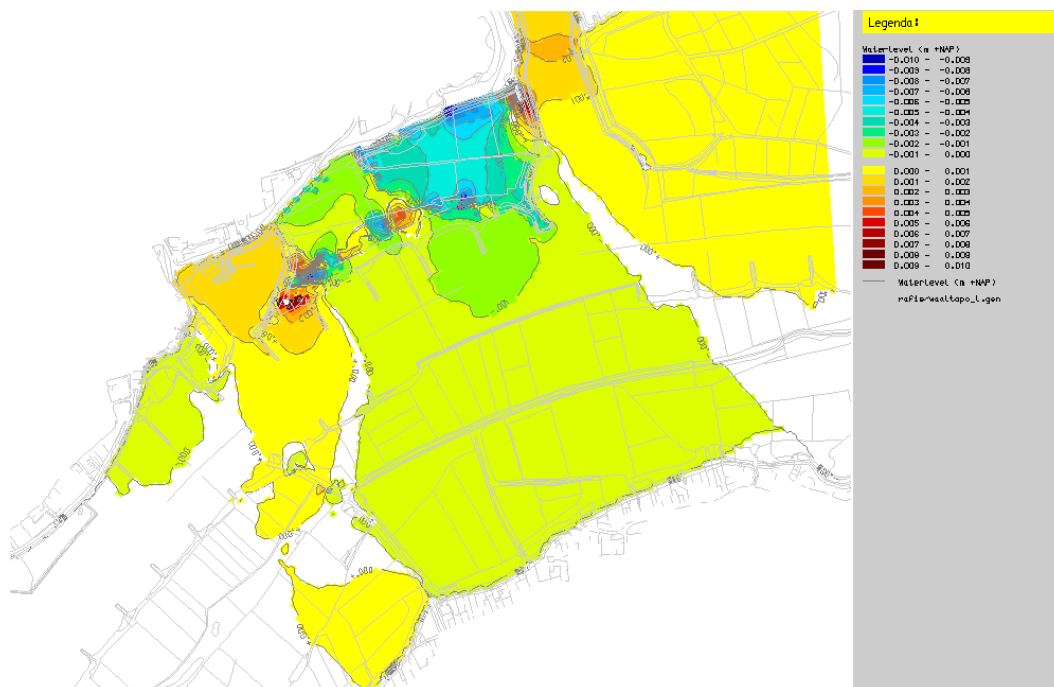


Vlak bovenstrooms van de polder leidt de ingreep tot een plaatselijke waterstandsverlaging in de as van de rivier. Ter hoogte van rkm 913,7, net bovenstrooms van de nevengeul in de polder, wordt een maximale verlaging van 1,4 millimeter verkregen. Ter hoogte van rkm 914,5, bij de uitstroom van de nevengeul, ontstaat een kleine, plaatselijke waterstandsverhoging (0,7 millimeter) in de as van de rivier. In de as van de rivier is bovenstrooms van de ingreep de opstuwing 0,2 mm. Rond rkm 880 zakt deze naar 0,0 mm. In het kwp7d ontwerp was sprake van een 0 mm-effect wat betreft opstuwing in de as van de rivier. De optimalisaties in dwarsstroming en sedimentatie resulteerden in een marginale opstuwing in de as van de rivier van 0,2 mm (zie Hoofdstuk 4).

3.1.2 Effecten bij MHW, 2D-veld

In Afbeelding 13 zijn de waterstandsverschillen van het ontwerp ten opzichte van de referentiesituatie bij MHW weergegeven. De meest uitgesproken waterstandsverschillen zijn te zien bij de nevengeul (o.a. bij de uitstroom) en in het noordoosten van het projectgebied bij het nieuw aan te planten oobos. De waterstandsverschillen die groter zijn dan 1 millimeter, beginnen bij de kleur oranje. In de watervoerende gebieden is onder andere in de Vluchthaven, bij de uitstroom van de nevengeul en in het begin van het Amsterdam-Rijnkanaal de waterstandsverhoging groter dan 1 millimeter. In die gevallen ligt de verhoging tussen de 1 en 2 millimeter. Dit zijn de enige locaties waar in het watervoerend gedeelte de waterstandsverhoging boven de 1 millimeter uitkomt.

Afbeelding 13: Waterstandsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij een afvoer van 16.000 m³/s (MHW).



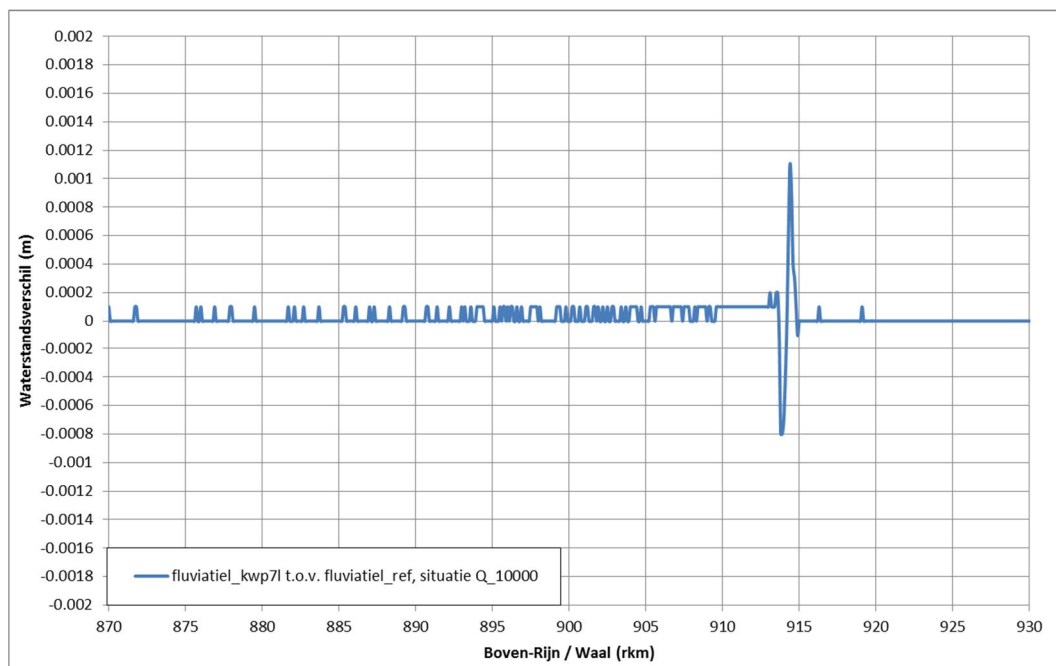
3.1.3 Effecten bij MHW, afvoerverdeling

In Afbeelding 12 is duidelijk te zien dat de ingreep ruim boven Pannerdenschkop (rkm 865,0) geen waterstandsverandering meer is te zien in de as van de rivier. De afvoerverdeling zal daarom dus niet beïnvloed worden bij MHW.

3.1.4 Effecten bij 10.000 m³/s, waterstanden en afvoerverdeling

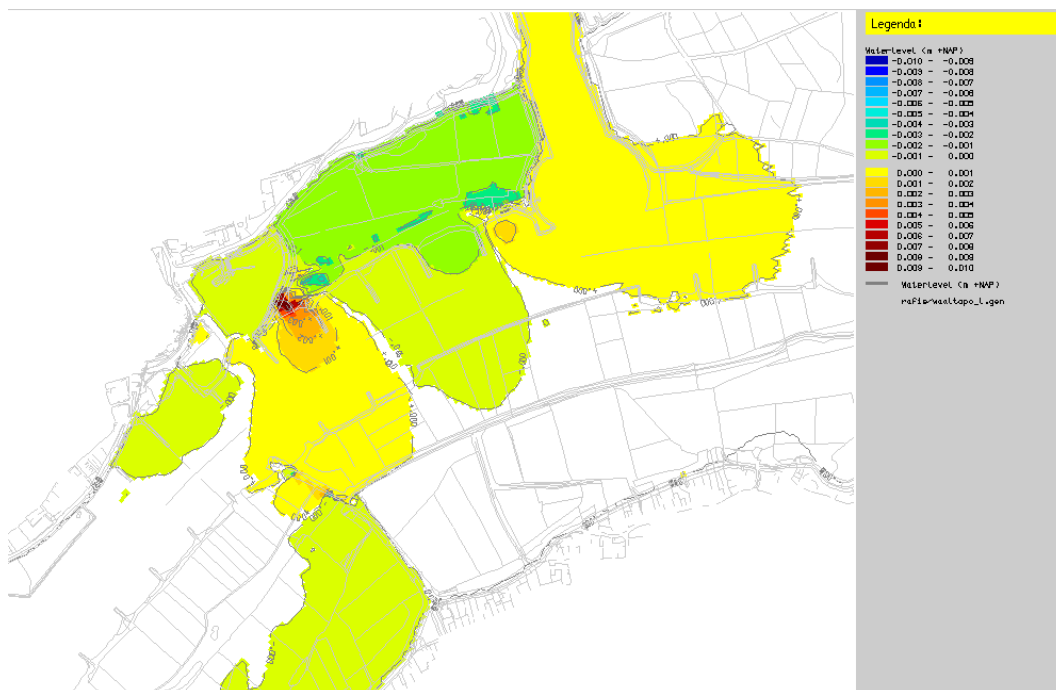
In Afbeelding 14 worden de waterstandsverschillen van het ontwerp bij 10.000 m³/s ten opzichte van de referentiesituatie weergegeven. Net bovenstrooms van de ingreep, ter hoogte van rkm 913,0 is de lokale verhoging in de as van de rivier 0,1 millimeter bij een afvoer van 10.000 m³/s. Er is dus nagenoeg geen stuwkromme. Ruim benedenstrooms van Pannerdenschkop (rkm 865,0) is geen sprake van opstuwing. De ingreep zal bij een afvoer van 10.000 m³/s bij Lobith daarom geen invloed hebben op de afvoerverdeling.

Afbeelding 14: Waterstandsverschil bij een afvoer van $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ a.g.v. het Definitief Ontwerp (kwp71).



In Afbeelding 15 zijn de waterstandsverschillen bij een afvoer van $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ weergegeven.

Afbeelding 15: Waterstandsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij een afvoer van $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$.



Vergeleken met de resultaten bij MHW is een waterstandsverlaging te zien in de Vluchthaven, bij een afvoer van $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. De waterstandsverhoging in het begin van het Amsterdam-Rijnkanaal is kleiner dan 1 millimeter. Bij de uitstroom van de nevengeul is nog steeds een vrij grote, maar zeer lokale, waterstandsverhoging te zien.

Ruim benedenstrooms van de Pannerdenschkop is bij een afvoer van 10.000 m³/s geen stuwkromme te zien in de as van de rivier. De ingreep zal dan ook, net zoals bij de MHW, in dit geval geen effect hebben op de afvoerverdeling.

3.2 Aspect hinder en schade, uiterwaarden en stroombeeld

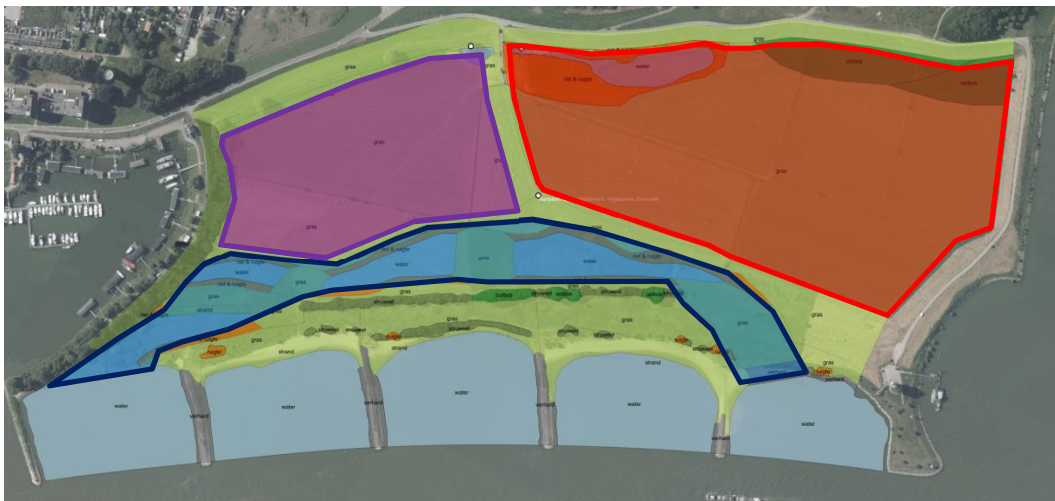
3.2.1 Inundatie verandering uiterwaard

In Afbeelding 16 is een bewerkt overzicht te zien van de kwp. Het rode gebied ligt achter een zomerkade. Deze kade zal gedeeltelijk verlaagd worden. Het laagste punt zal zakken van ca. NAP +8,15 meter naar NAP +7,50 meter. Dit gebied zal als gevolg van deze verlaging vaker gaan inunderen. In de huidige situatie zal het rode gebied bij 6.000 m³/s niet inunderen (het paarse omkaderde gebied wel). In de nieuwe situatie zal het rode gebied al bij een lagere afvoer inunderen.

Qua inundatie zal het beeld in het donkerblauw omkaderde gebied ook veranderen. In de huidige situatie bevindt zich het laagste punt aan de benedenstroomse zijde van dit gebied zich op NAP +6,20 meter. In de nieuwe situatie zal de instroom aan de bovenstroomse zijde een hoogte krijgen van NAP +6,15 meter. Bij 2.000 m³/s zal dit nog niet leiden tot een verschil in inundatie beeld. Bij 4.000 m³/s echter zal de bovenstroomse zijde van het donkerblauw omkaderde gebied ook inunderen. De inundatiefrequentie van het donkerblauw omkaderde gebied zal echter niet significant veranderen. Ook de inundatiefrequentie van het paars omkaderde gebied verandert niet noemenswaardig.

Onderdeel van de opdracht voor het project FluviaTiel is dat het gebied vaker zal inunderen. De hierboven staande alinea's laten zien dat dit het geval zal zijn. Er zijn geen 3^e partijen die benadeeld worden als gevolg van de verandering in inundatiepatroon of -frequentie in de uiterwaarde.

Afbeelding 16: Het Definitief Ontwerp van de Kleine Willemspolder met daarin een verschillende gebieden aangegeven t.b.v. onderscheid inundatiegebieden.



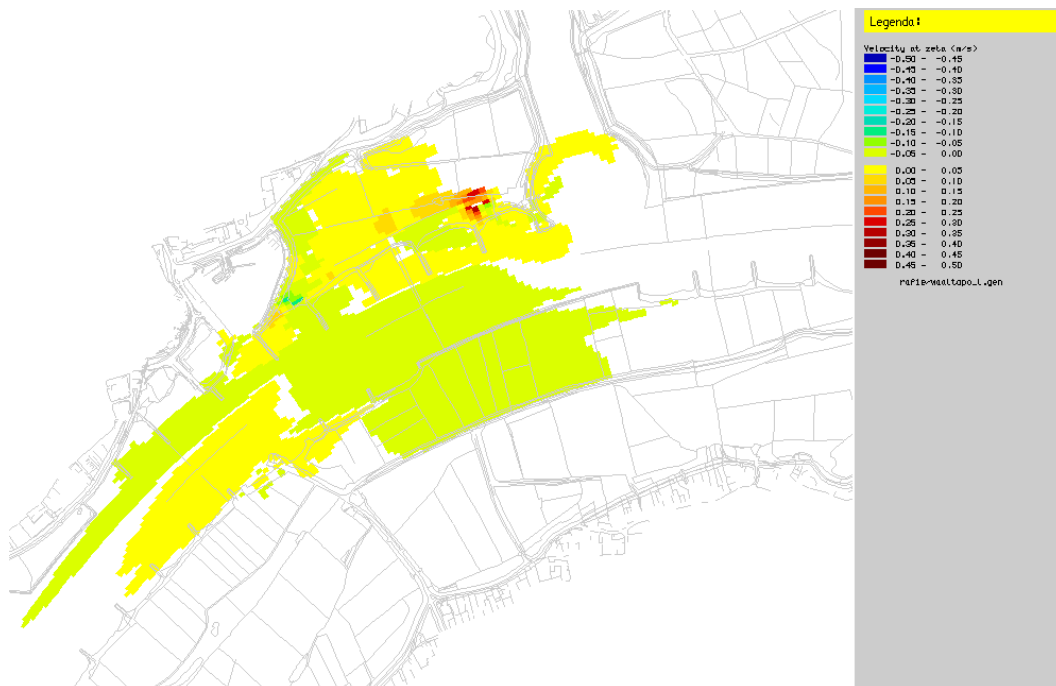
3.2.2 Stroombeeld in de uiterwaard

Belangrijk verschil tussen de huidige situatie en het ontwerp is de realisatie van een nevengeul. Bij 6.000 m³/s gaat deze nevengeul meestromen. Dit is duidelijk te zien in Afbeelding 17, waarin de stroomsnelheidsverschillen bij 6.000 m³/s zijn weergegeven¹. Het grote verschil bij de instroom van de nevengeul wordt veroorzaakt doordat in de referentiesituatie op die locatie nog geen sprake is van stroming. Bij 8.000 m³/s (zie Afbeelding 18) is dit ook nog enigszins te zien, maar is het verschil al sterk afgezwakt

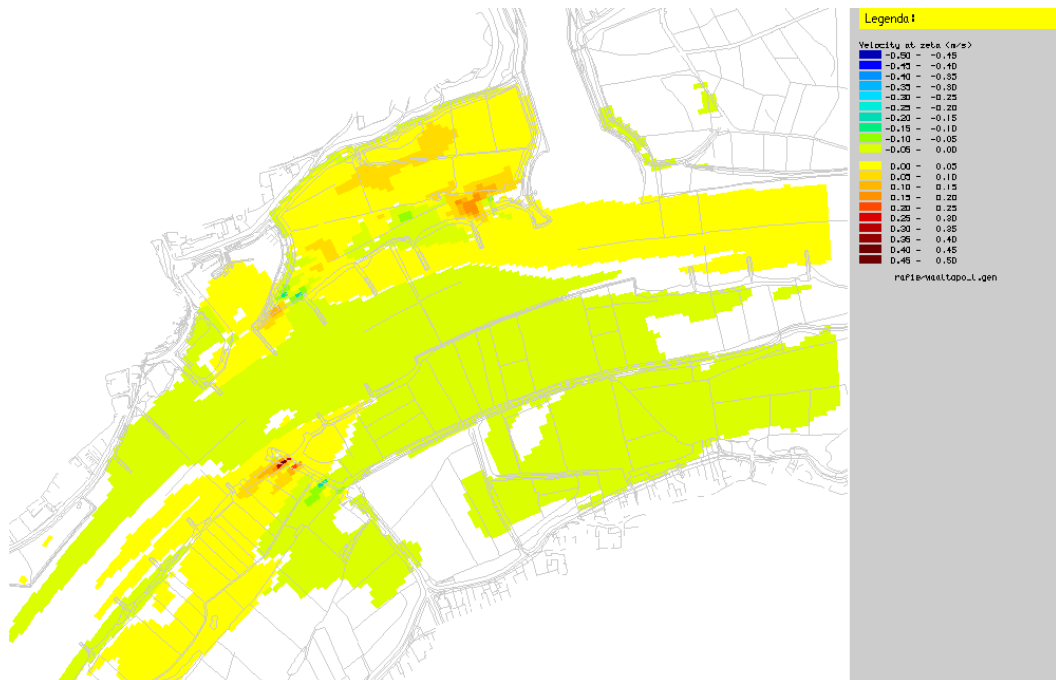
¹ Voor 6.000 m³/s is gebruikt gemaakt van het WAQUA model met modelcorrectie bij de instroom (zie sectie 4.2.9 voor verdere toelichting). Voor de overige afvoeren is gebruikt gemaakt van het model zonder correctie.

(oorzaak: in de referentiesituatie is bij 8.000 m³/s ook sprake van stroming). Zoals te verwachten, is bij 10.000 m³/s (zie Afbeelding 19) het verschil verder afgenomen.

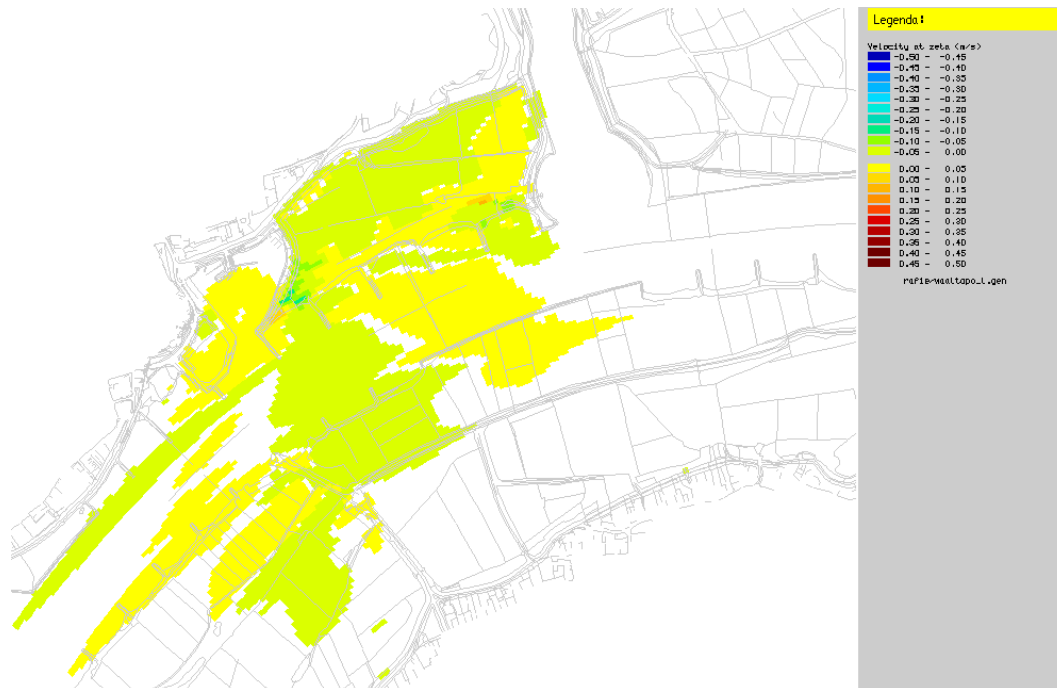
Afbeelding 17: Stroomsnelheidsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij een afvoer van 6.000 m³/s.



Afbeelding 18: Stroomsnelheidsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij een afvoer van 8.000 m³/s.



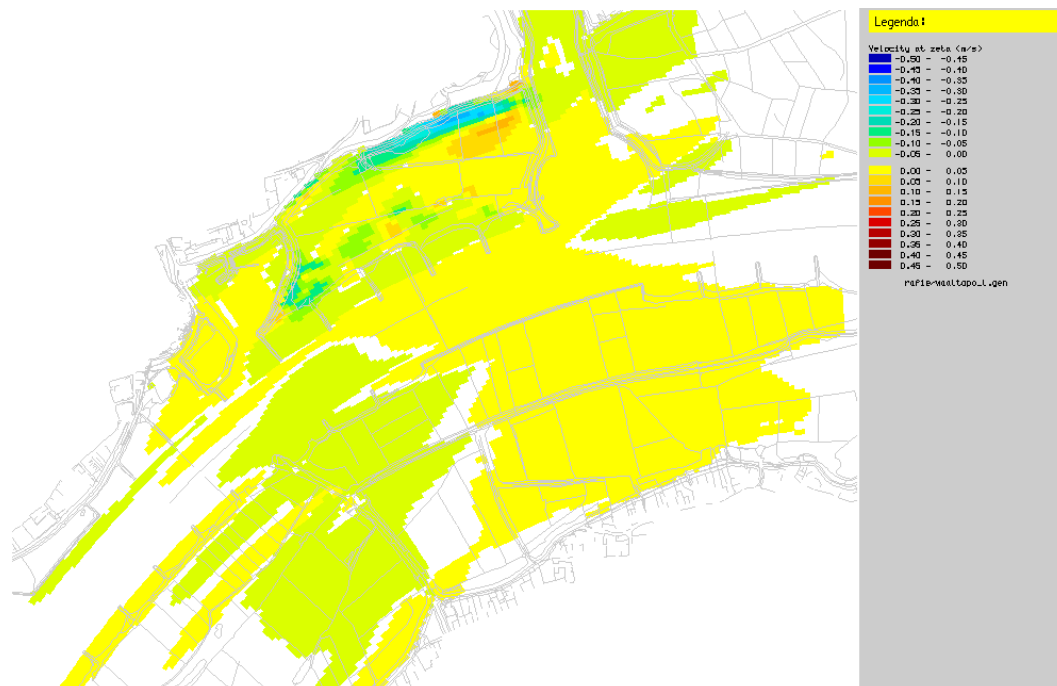
Afbeelding 19: Stroomsnelheidsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij een afvoer van 10.000 m³/s.

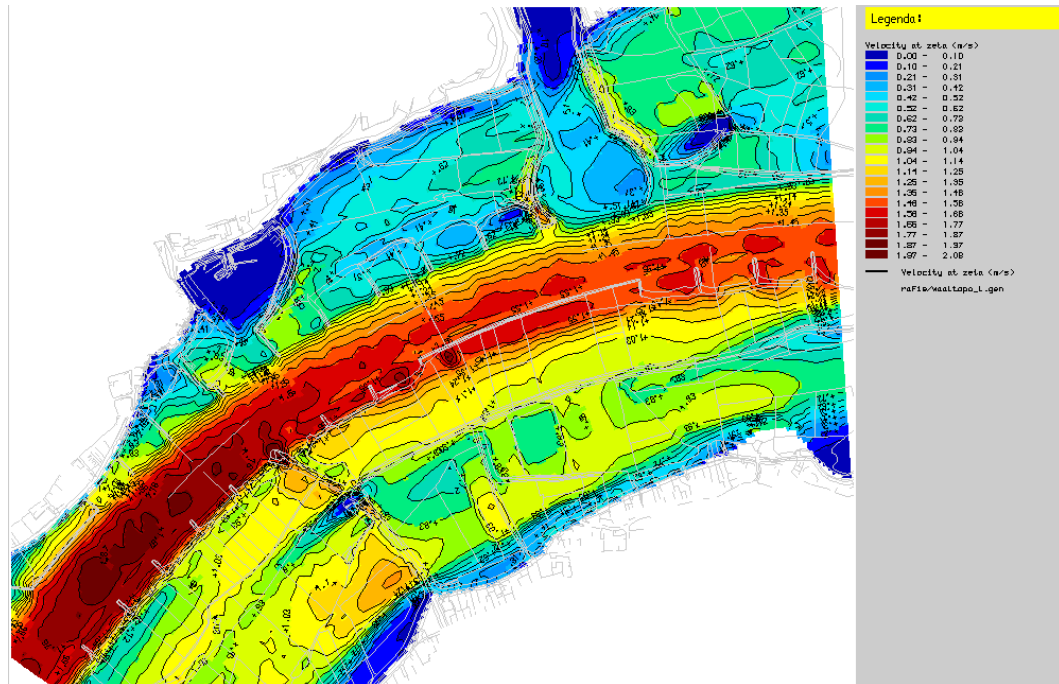
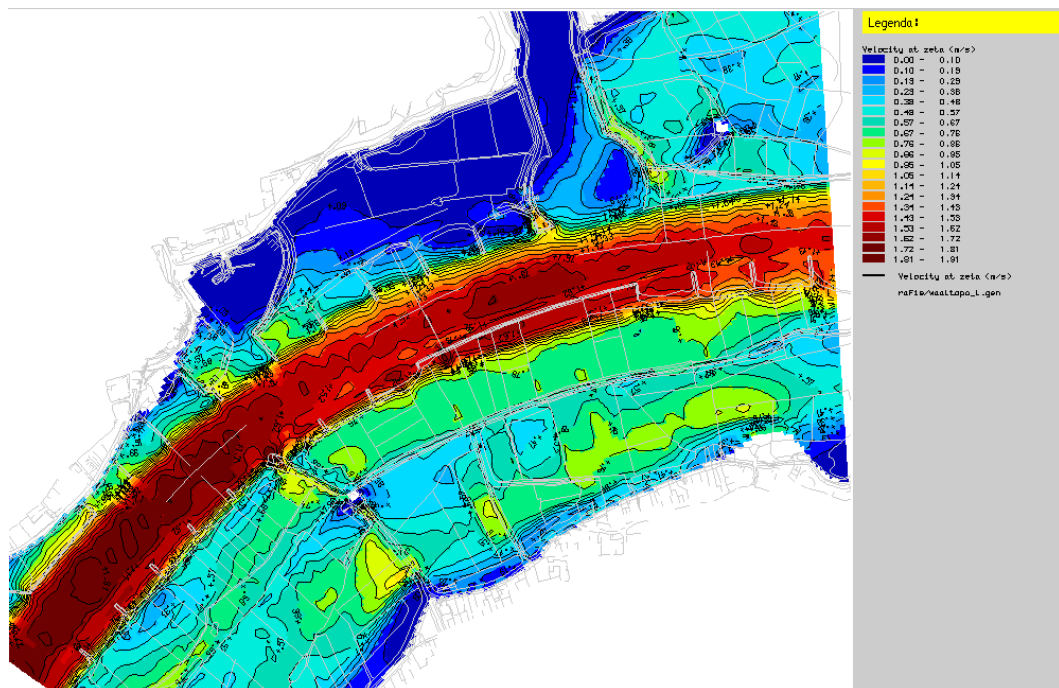


3.2.3 Stroombeeld in de rivier

In Afbeelding 20 zijn de stroomsnelheidsverschillen bij 16.000 m³/s weergegeven. In de rivier zelf is er beperkt sprake van stroomsnelheidsverschillen. De verschillen zitten tussen de aantal cm/s toename en een aantal cm/s afname. In Afbeelding 21 en in Afbeelding 22 zijn de stroombeelden weergegeven voor respectievelijk 16.000 m³/s (MHW) en 10.000 m³/s.

Afbeelding 20: Stroomsnelheidsverschillen (DO t.o.v. referentiesituatie) bij 16.000 m³/s (MHW).

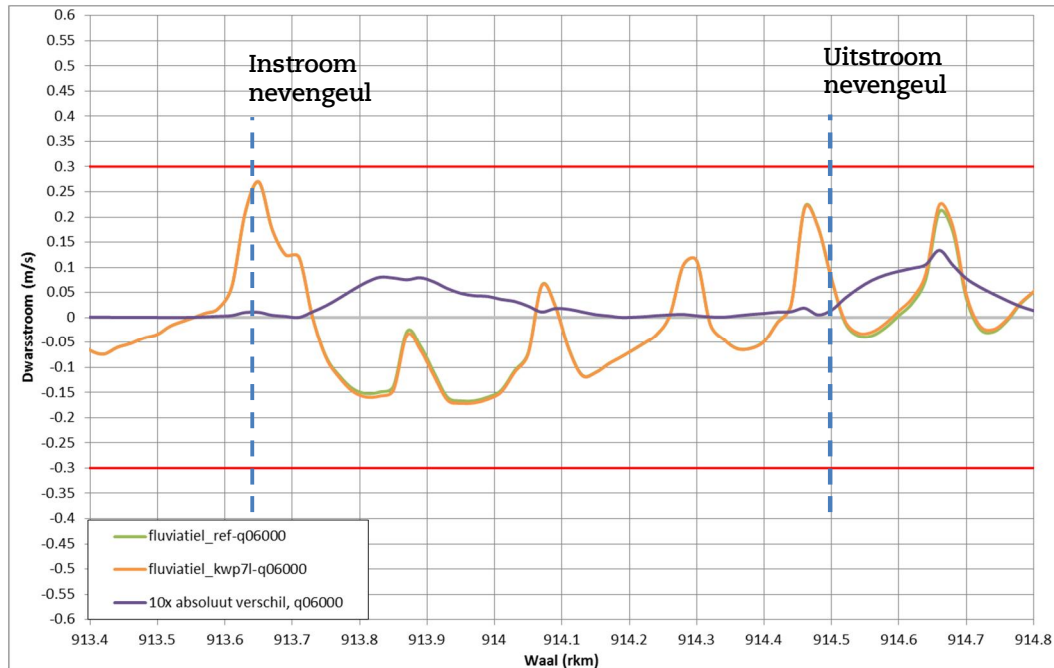


Afbeelding 21: Stroombeeld van het Definitief Ontwerp (kwp71) bij 16.000 m³/s (MHW).Afbeelding 22: Stroombeeld van het Definitief Ontwerp (kwp71) bij 10.000 m³/s.

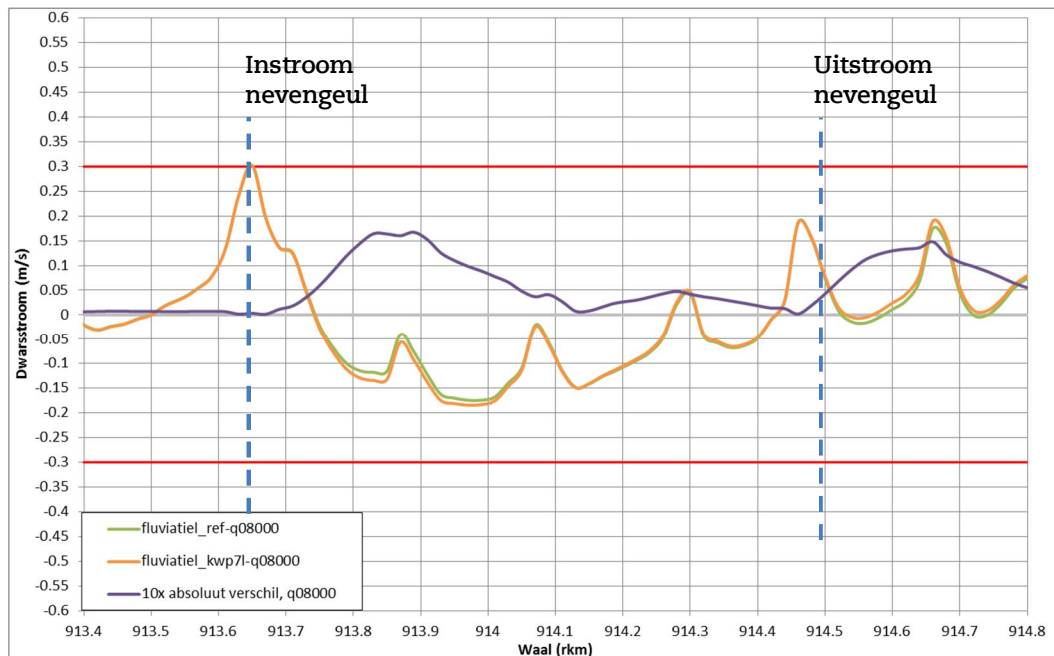
Voor de dwarsstroming bij 8.000 en 10.000 m³/s is gebruik gemaakt van het kwp71 ontwerp zonder modelcorrectie (zie voor toelichting op modelcorrectie sectie 4.2.9). Voor 6.000 m³/s is gebruik gemaakt van de resultaten van het kwp71 model met correctie. Bij een afvoer van 6.000 m³/s en 8.000 m³/s bij Lobith stroomt minder dan 50 m³/s door de nevengeul in de Kleine Willemspolder. Bij een debiet door de nevengeul lager dan 50 m³/s ligt het toetsingscriterium van de dwarsstroming op 0,30 m/s. Bij 10.000 m³/s is sprake van een afvoer van meer dan 50 m³/s door de nevengeul en is het criterium 0,15 m/s. Afbeelding 23, Afbeelding 24 en Afbeelding 25 laten zien dat sprake is van zeer beperkte verandering in de dwarsstroming. Op een aantal plaatsen leidt het ontwerp tot een kleine

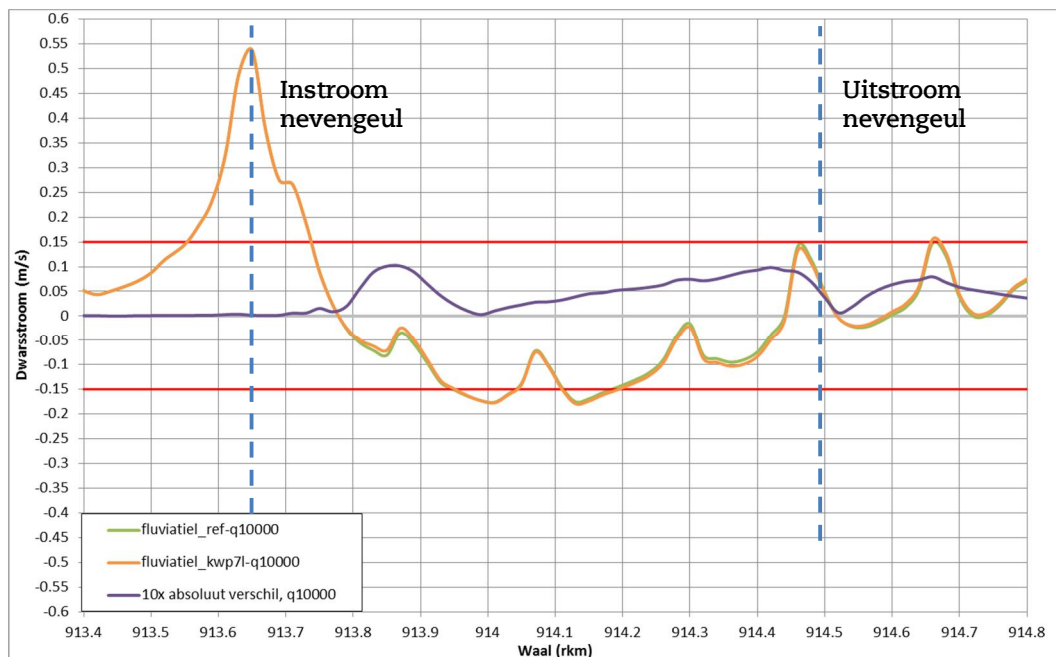
toename van de dwarsstroomsnelheid bij alle drie de afvoeren. Bij alle afvoeren is geen sprake van toename van dwarsstroming boven de grenswaarde (0,30 m/s of 0,15 m/s). Hiermee voldoet het Definitief Ontwerp aan de eisen rondom dwarsstroming.

Afbeelding 23: Dwarsstroming (referentiesituatie en Definitief Ontwerp) bij een afvoer van 6.000 m³/s.



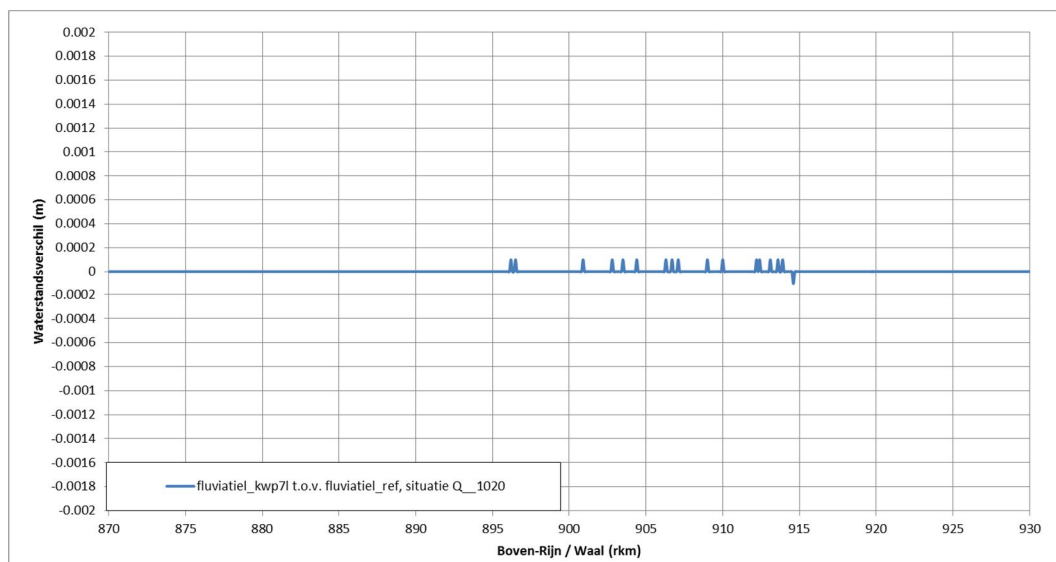
Afbeelding 24: Dwarsstroming (referentiesituatie en Definitief Ontwerp) bij een afvoer van 8.000 m³/s.



Afbeelding 25: Dwarsstroming (referentiesituatie en Definitief Ontwerp) bij een afvoer van 10.000 m³/s.

3.2.4 Effecten bij OLR, waterstanden en afvoerdeling

Het ontwerp heeft geen invloed op de waterstanden bij OLR (1020 m³/s), zie Afbeelding 26. Dit sluit op aan op de verwachtingen, aangezien het ontwerp geen veranderingen bevat in het zomerbed of aan de oever.

Afbeelding 26: Waterstandseffecten (DO t.o.v. referentiesituatie) bij OLR (1.020 m³/s).

De ingreep zal bij OLR ook geen invloed hebben op de afvoerdeling.

3.3 Aspect morfologie, zomerbed en uiterwaard

Voor de bepaling van de sedimentatie en erosie van het zomerbed is gebruik gemaakt van het programma Waqmorf van Rijkswaterstaat. Er is gekeken naar de verandering van het stroombeeld bij een afvoer van 6000 m³/s.

3.3.1 Sedimentatie en erosie van het zomerbed

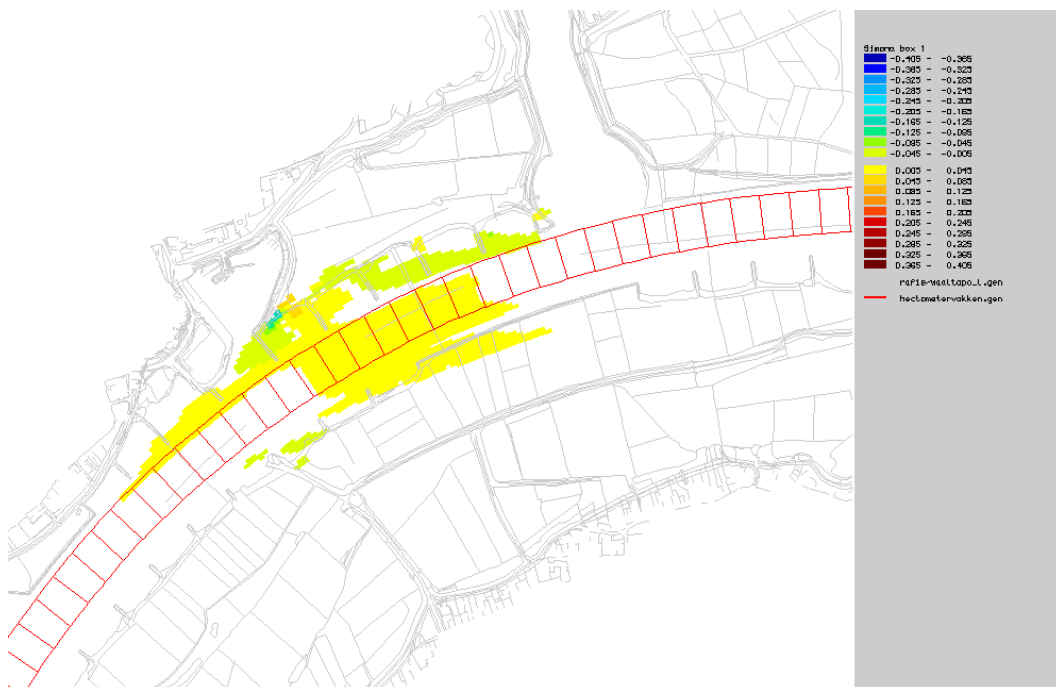
De sedimentatiekaarten van Rijkswaterstaat laten zien dat ter hoogte van kwp sprake is van een sedimentatieprobleem. Met behulp van Waqmorf hebben we gekeken naar effecten van de ingreep op de erosie en de sedimentatie bij een afvoer van 6.000 m³/s. We hebben ook gekeken naar de effecten bij 8.000 m³/s. Bij deze afvoer waren de effecten echter kleiner dan bij 6.000 m³/s. Er is sprake van een conservatieve aanname door de morfologische effecten enkel te beschouwen bij 6.000m³/s. Onder staande resultaten zijn op basis van het kwp7l model met correctie bij de instroom (zie sectie 4.2.9 voor verdere toelichting).

In Afbeelding 27 en in Afbeelding 29 zijn de locaties weergegeven waar erosie en sedimentatie optreedt wanneer respectievelijk naar de jaargemiddelde en de maximale morfologische effecten wordt gekeken. Afbeelding 28 en Afbeelding 30 laten de mate van sedimentatie en erosie in het zomerbed zien wanneer respectievelijk naar de jaargemiddelde en de maximale morfologische effecten wordt gekeken.

Afbeelding 27: Jaargemiddelde erosie (rood) en sedimentatie (oranje) [m] a.g.v. kwp7l, gebaseerd op een afvoer van 6.000 m³/s bij Lobith.



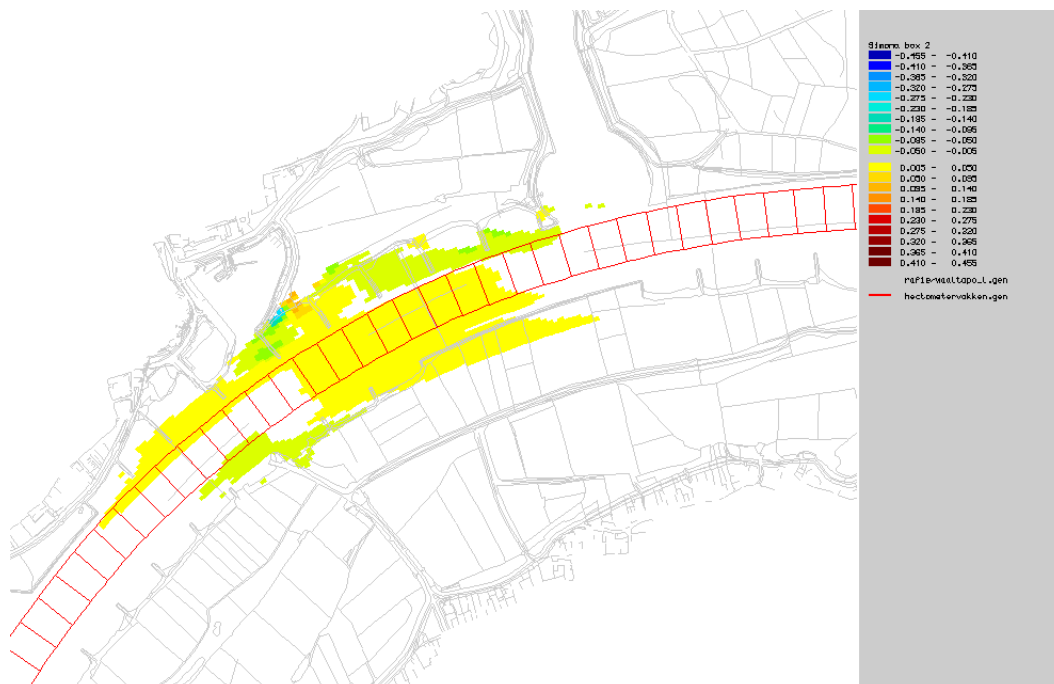
Afbeelding 28: Grootte van de jaargemiddelde erosie en sedimentatie [m] a.g.v. kwp71, gebaseerd op een afvoer van 6.000 m³/s bij Lobith.



Afbeelding 29: Maximale erosie (rood) en sedimentatie (oranje) [m] a.g.v. kwp71, gebaseerd op een afvoer van 6.000 m³/s bij Lobith.



Afbeelding 30: Grootte van de maximale erosie en sedimentatie [m] a.g.v. kwp7l, gebaseerd op een afvoer van 6.000 m³/s bij Lobith.

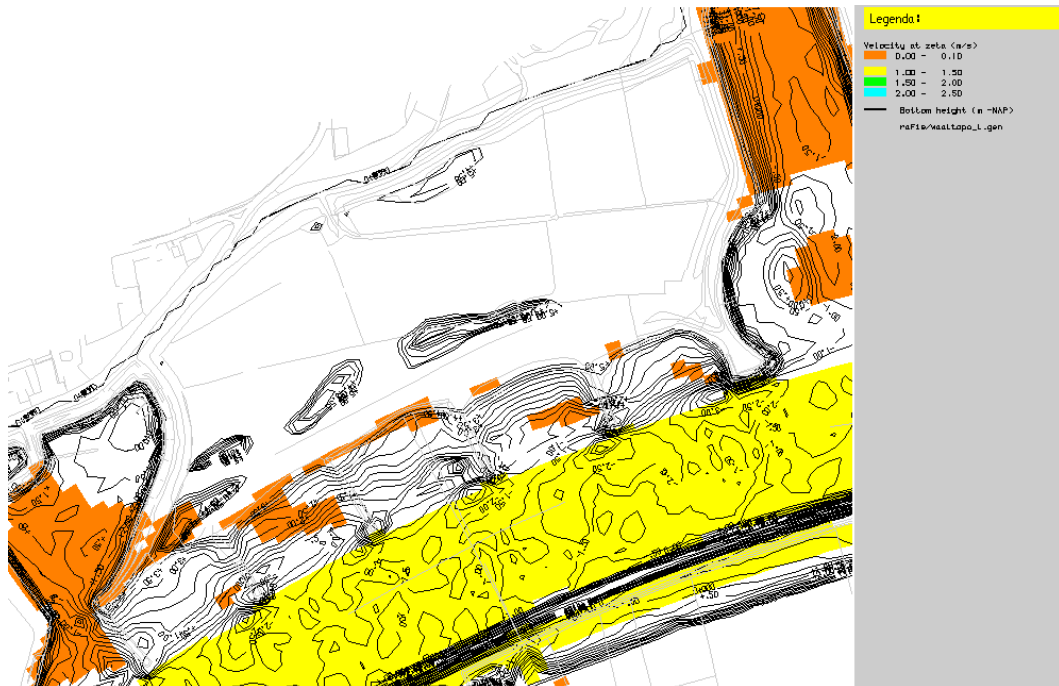


In de vaargeul zal circa 650 m³ extra sedimentatie optreden als gevolg van de ingreep. Aan de rechteroever ter hoogte van de Kleine Willemspolder zal beperkt erosie optreden. Deze erosie vindt met name plaats ter hoogte van de instroom en uitstroom van de nevengeul. Tot circa 800 meter benedenstrooms van de Klein Willemspolder heeft de ingreep in de oeverzone beperkt invloed op de sedimentatie en erosie.

3.3.2 Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeul

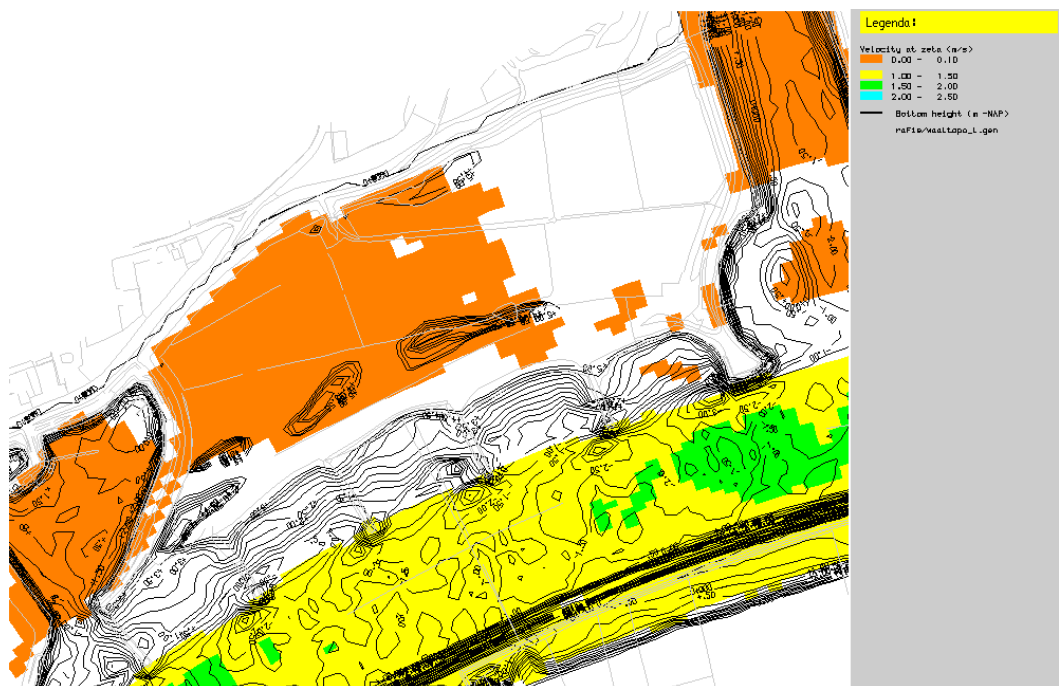
In het nieuwe ontwerp zal de Kleine Willemspolder vaker mee stromen. Bij 6.000 m³/s stroomt in de referentiesituatie de polder niet mee, in de ontwerpsituatie echter wel. Stroomsnelheidsverschillen tussen de referentiesituatie en de ontwerpsituatie zullen dus weinig inzage verschaffen in de mogelijkheid tot erosie of sedimentatie in de polder. We zullen daarom kijken naar de absolute stroomsnelheden. We nemen aan dat bij een stroomsnelheid tussen de 0,0 en 0,1 m/s sedimentatie zal optreden. Daarnaast gaan we er vanuit de erosie vanaf 1 m/s kan optreden. In Afbeelding 31 is de polder te zien met daarin alleen de absolute stroomsnelheden van de ontwerpsituatie tussen de 0,0 en 0,1 m/s en boven de 1 m/s.

Afbeelding 31: De absolute stroomsnelheden van kwp71 tussen de 0 en 0,1 m/s (oranje) en boven de 1,0 m/s in de polder bij een afvoer van 4.000 m³/s.



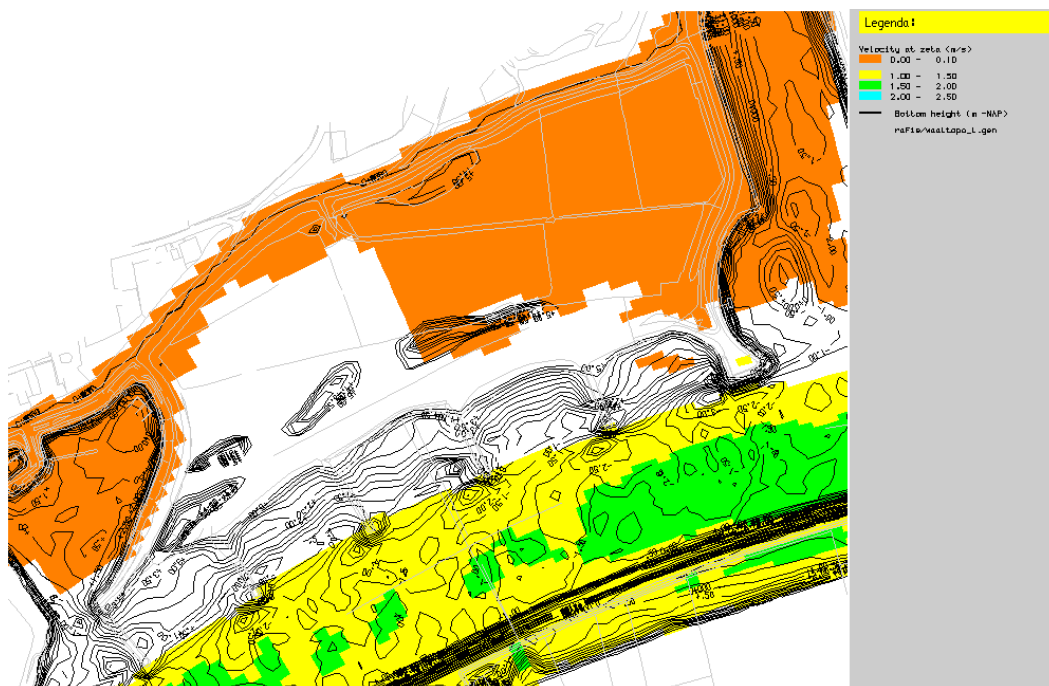
In Afbeelding 31 zijn de stroomsnelheden tussen de 0 en 0,1 m/s en boven de 1 m/s te zien ter plaatse van de polder bij een afvoer van 4.000 m³/s. In deze situatie gaat alleen de nevengeul in de polder mee stromen. Op basis van de stroomsnelheden kan geconcludeerd worden dat er nagenoeg geen sedimentatie zal optreden in de polder. Bij 4.000 m³/s zal waarschijnlijk geen erosie optreden in de polder.

Afbeelding 32: De absolute stroomsnelheden van kwp71 tussen de 0 en 0,1 m/s (oranje) en boven de 1 m/s in de polder bij een afvoer van 6.000 m³/s.



Het gedeelte achter de zomerkade (in het noordoosten van de kwp) zal waarschijnlijk enigszins sedimenteren bij 6.000 m³/s. Noordelijk van de nevengeul zal de meeste sedimentatie optreden. Afbeelding 32 laat zien dat de stroomsnelheden bij de nevengeul rond de 0,1 m/s zijn. Er zal bij deze afvoer waarschijnlijk enige sedimentatie optreden in de nevengeul.

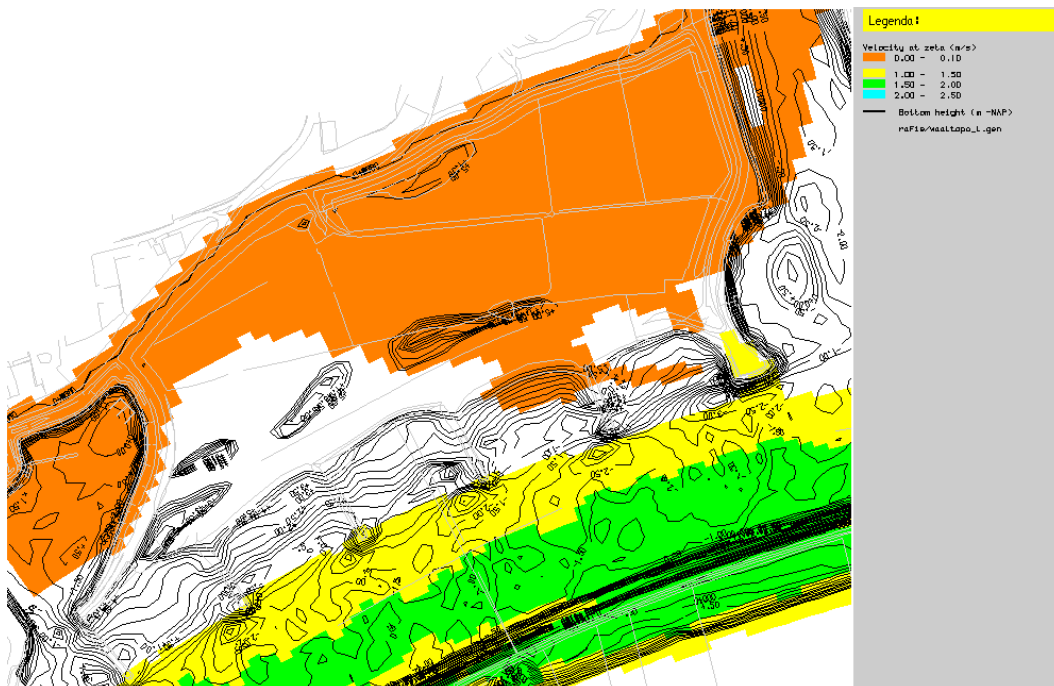
Afbeelding 33: De absolute stroomsnelheden van kwp7l tussen de 0 en 0,1 m/s (oranje) en boven de 1 m/s bij een afvoer van 8.000 m³/s.



In Afbeelding 33 zijn de stroomsnelheden tussen de 0 en 0,1 m/s en boven de 1 m/s te zien ter plaatse van de polder bij een afvoer van 8.000 m³/s. Met name in het gebied achter de zomerkade (noordoosten van de polder) zal naar alle waarschijnlijkheid sedimentatie optreden. Als gevolg van het mee gaan stromen van de volledige polder wordt het stromingspatroon anders. Gevolg hiervan is dat in de nevengeul ook mogelijk enige sedimentatie zal gaan optreden. Bij het zuidoostelijke puntje van de polder (ter hoogte van de Verkeerspost van RWS) komt de stroomsnelheid lokaal boven de 1 m/s uit. Mogelijk dat hier erosie optreedt in deze afvoersituatie.

In Afbeelding 34 zijn de stroomsnelheden tussen de 0 en 0,1 m/s en boven de 1 m/s te zien ter plaatse van de polder bij een afvoer van 10.000 m³/s. Zoals te zien in de afbeelding, zal op een zeer groot gedeelte van de polder sedimentatie kunnen optreden als gevolg van lage stroomsnelheden. Bij het zuidoostelijk punt van de polder (ter hoogte van de Verkeerspost van RWS) zal de stroomsnelheid boven de 1 m/s uit komen. Mogelijk dat hier erosie optreedt. Bij MHW (16.000 m³/s) stroomt de volledige polder dusdanig mee zodat er geen stroomsnelheden optreden tussen de 0 en 0,1 m/s. Het gebied bij de zuidoostelijke punt waar de stroomsnelheden boven de 1m/s uitkomen bij 10.000 m³/s, is bij de 16.000 m³/s afvoersituatie groter (uitgebreid richting het noorden).

Afbeelding 34: De absolute stroomsnelheden van kwp71 tussen de 0 en 0,1 m/s (oranje) en boven de 1 m/s bij een afvoer van 10.000 m³/s.



3.4 Conclusie

In Tabel 1 is het overzicht weergegeven van de toetsing van het ontwerp kwp71 aan het RBK 3.0.

Tabel 1: Overzicht van de toetsing van het ontwerp kwp7l aan het RBK 3.0.

§ RBK	Te beoordelen effect	Criterium	Effect	Toelichting	Conclusie
1.1	Maatregel in stroomvoerend deel rivier: MHW (16.000 m ³ /s) stand op de as van de rivier	Geen waterstandsverhoging	Bovenstrooms van ingreep 0,2 mm opstuwing. Lokaal, ter hoogte van ingreep, max. waterstandsverhoging 0,7 mm, max. waterstandsverlaging - 1,4 mm.	3.1.1	Geen bezwaar
1.2	MHW stand buiten as van de rivier	Toename waterstand (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn).	Tussen 1 en 2 mm waterstandsverhoging begin Amsterdam-Rijnkanaal en in Vluchthaven.	3.1.2	Voorleggen aan waterschap.
1.3	Afvoerverdeling bij MHW (bij Pannerdensche Kop)	Verandering afvoerverdeling < 5 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 16.000 m ³ /s	Geen effect: geen waterstandsverschil, ingreep ligt ver genoeg weg van splitsingspunt	3.1.3	Geen bezwaar
1.4	Afvoerverdeling bij normaal hoogwater (10.000 m ³ /s)	Verandering afvoerverdeling < 20 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	Geen effect: geen waterstandsverschil, ingreep ligt ver genoeg weg van splitsingspunt	3.1.4	Geen bezwaar
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 16.000 m ³ /s, plus vaak ook de Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	Gebied achter zomerkade zal vaker inunderen (als gevolg van kadeverlaging). Als gevolg van de aanleg van de nevengeul zal in de geul vaker water stromen. Inundatiefrequentie van nevengeul zal nagenoeg het zelfde blijven. Toename in inundatiefrequentie is een doel van FluviaTiel. Derden die schade of hinder zouden kunnen ondervinden bevinden zich niet in het projectgebied.	3.2.1	Geen bezwaar
2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	Verandering grootte en richting stroomsnelheden bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	Bij 6.000 m ³ /s lokaal toename stroomsnelheid in steek nevengeul met ca. 0,5 m/s. In totaal kleine	3.2.2	Geen bezwaar

			toename (tot 5 cm/s). Bij 10.000 m ³ /s kleine toename in nevengeul (tot ca. 5 cm/s) en kleine afname noordelijk daarvan (tot ca. 5 cm/s).		
2.3	Stroombeeld in de hoofdgeul	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	Op een aantal locaties is er een lichte afname of toename van dwarsstroming. Dit alles ligt echter onder het toetsingscriterium van 0,3 m/s.	3.2.3	Geen bezwaar
2.4	Afvoerverdeling bij normaal hoogwater	Verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	Geen effect: nagenoeg geen opstuwing, ingreep ligt ver genoeg weg van splitsingspunt	3.1.4	Geen bezwaar
2.5	Afvoerverdeling bij lage afvoeren	Afwijking afvoerverdeling < 1 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m ³ /s (OLR)	Geen effect: nagenoeg geen opstuwing, ingreep ligt ver genoeg weg van splitsingspunt	3.2.4	Geen bezwaar
3.1	Aanzanding en erosie van het zomerbed (+ oevers)	Bij erosie: - geen verlaging gemiddelde bodemligging; - geen oevererosie; - beperkte ontgronding 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	In riviervakken 913,50 tot en met 914.60 zal beperkt sedimentatie optreden. Deze ligt echter rond de 650 m ³ en voldoet daarmee aan de eisen van RWS-ON.	3.3.1	Geen bezwaar

		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	Gekeken naar stroomsnelheden zal er met name sedimentatie optreden. Enige erosie zal hoogstens kunnen optreden ter hoogte van de Verkeerspost van RWS.	3.3.2	Geen bezwaar

4 Optimalisatie en mitigatie van het ontwerp

Om de hinder en schade door hydraulische effecten zo veel als mogelijk te minimaliseren hebben we een aantal optimalisaties doorgerekend. Eerst hebben we gekeken naar het bestaande ontwerp van Arcadis. Hierbij heeft het kwp5 ontwerp van Arcadis gediend als basis. Omdat het een eis is van RWS-ON dat met 5^{de} generatie modellen wordt gewerkt ten behoeve van de Waterwetvergunningsaanvraag hebben we het kwp5 ontwerp van Arcadis omgezet van de 4^{de} generatie naar de 5^{de} generatie. Met dit model hebben we een drietal optimalisatieslagen doorgerekend (halvering bos, verlaging van zomerkade en taludverflauwing binnendijkse zijde kanaaldijk). De resultaten zijn vergeleken met de resultaten van het geactualiseerde referentiemodel (*fluviatiel_ref*). De inzichten die deze berekeningen hebben opgeleverd zijn gebruikt voor de herontwerpen kwp6 en kwp7.

4.1 Optimalisatieslagen kwp6

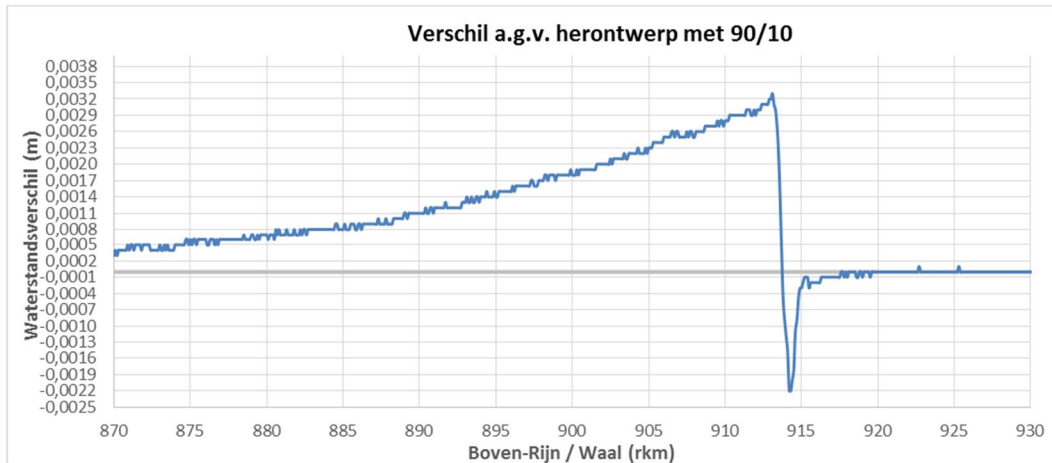
In Afbeelding 35 is een schematisatie van het eerste herontwerp (kwp6) weergegeven. In dit ontwerp zijn er relatief grote gebieden met vegetatietype 90/10 (grasland met 20% ruigere natuur). In het noordoosten van het ontwerp bevindt zich het bos op een ophoging.

Afbeelding 35: Het eerste herontwerp (kwp6).



Het eerste ontwerp leidt bij 16.000 m³/s tot een significante opstuwing. In Afbeelding 36 is de grafiek weergegeven waarin aangegeven staat tot hoeveel opstuwing dit ontwerp leidt ten op zichte van de referentiesituatie. Het kwp6 ontwerp leidt tot een maximale opstuwing van 3,3 millimeter in de as van de rivier. Omdat RWS-ON een opstuwing van 0 millimeter in de as van de rivier eist, is naar aanleiding van dit resultaat gezocht naar optimalisaties.

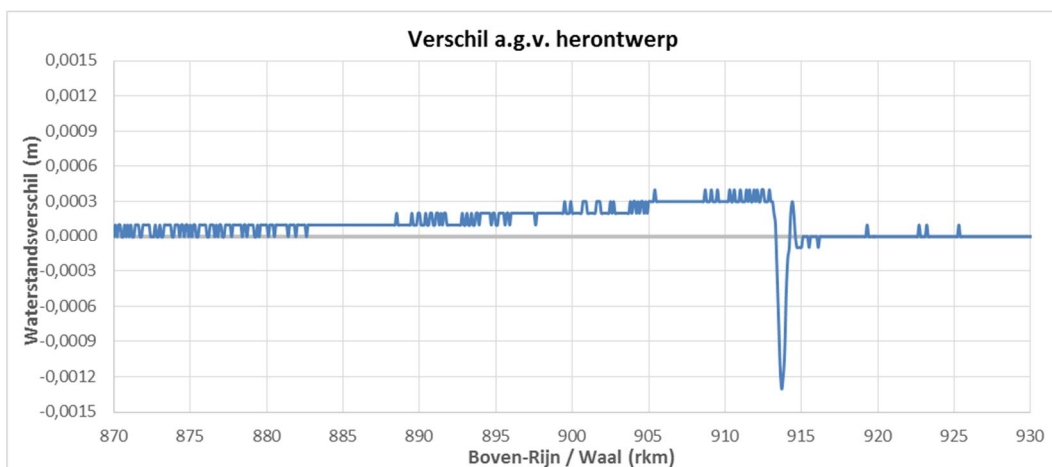
Afbeelding 36: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het eerste herontwerp (kwp6).



4.1.1 Kwp6a

De eerste optimalisatieslag die we hebben doorerekend is diegene waarbij we de vegetatieklasse 90/10 van het kwp6 ontwerp teruggezet hebben naar verruigd grasland. Dit betekent dus dat de ruwheidsvlakken een uniforme ruwheid hebben gekregen met een Nikuradse-waarde van 0,54 meter. Dit leidde tot de resultaten weergegeven in Afbeelding 37.

Afbeelding 37: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het eerste herontwerp (kwp6a), waarbij ruwere vegetatie naar verruigd grasland is omgezet.

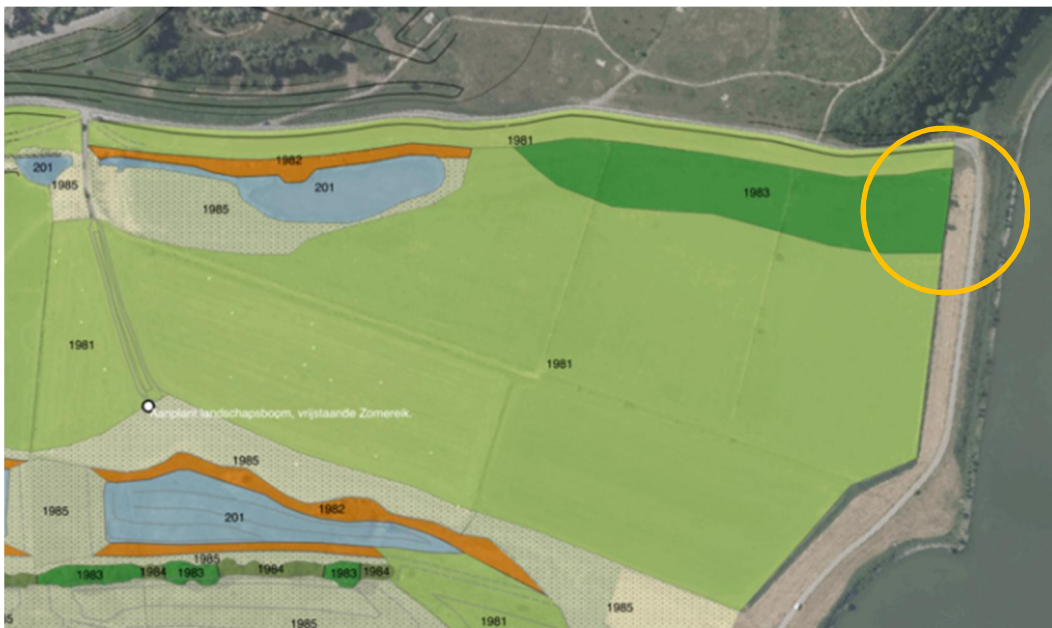


Als gevolg van deze optimalisatieslag is de opstuwing in de rivier as gereduceerd tot 0,3 millimeter.

4.1.2 Kwp6b

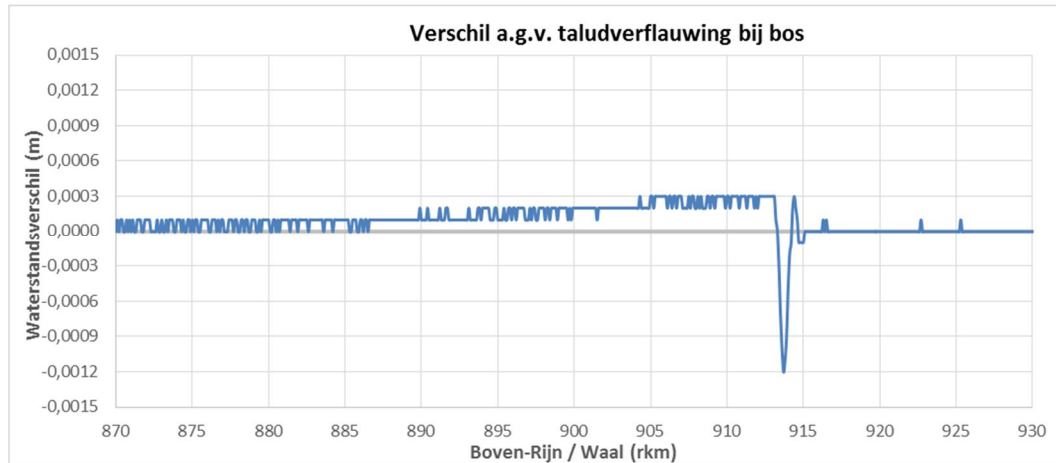
Op basis van kwp6a is gekeken of een plaatselijke taludverflauwing aan de binnendijkse zijde van de kanaaldijk ter hoogte van het oobos ook effect zou hebben op de opstuwing. In Afbeelding 38 is de locatie van de taludverflauwing globaal weergegeven.

Afbeelding 38: Locatie van taludverflauwing aan de binnendijkse zijde van de kanaaldijk ter hoogte van het bos (oranje cirkel).



In Afbeelding 39 is weergegeven tot welke opstuwing in de as van de rivier deze optimalisatieslag zou leiden.

Afbeelding 39: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het eerste herontwerp (kwp6b), waarbij een plaatselijke taludverflauwing is doorgevoerd.



De maximale opstuwing in de as van de rivier blijft bij deze variant 0,3 millimeter. De resultaten laten dus zien dat een taludverflauwing op die locatie nagenoeg geen effect heeft.

4.2 Optimalisatieslagen kwp7

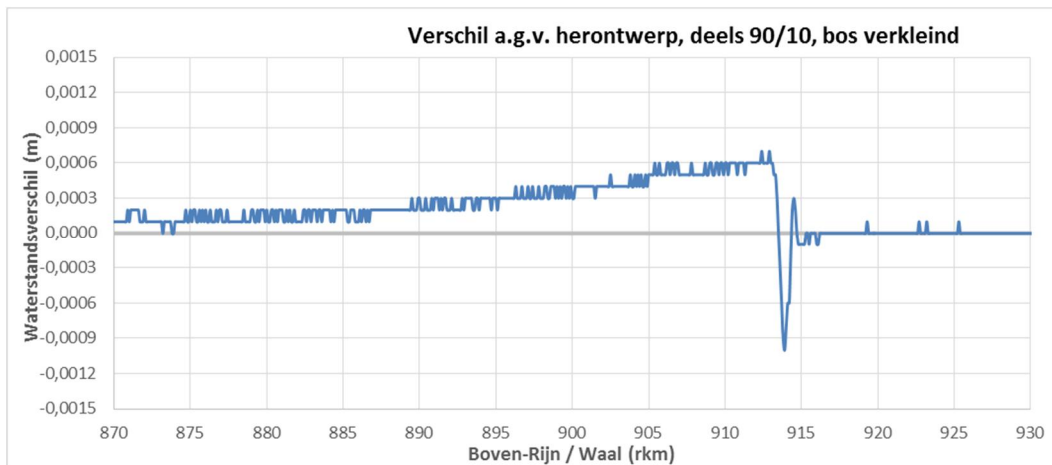
De resultaten van kwp6 en de bijbehorende optimalisatieslagen hebben geleid tot het kwp7 ontwerp. Ten opzichte van het kwp6 ontwerp is in dit ontwerp onder andere de omvang van de 90/10 vlakken beperkt tot bij de oevers van de rivier. Daarnaast is het bos in het noordoosten van de polder verkleind. Bij het verkleinen van het bos is rekening gehouden met de stromingspatronen ten tijde van hoogwater (wanneer de uiterwaard in zijn volledigheid mee stroomt). In Afbeelding 40 is het ontwerp van kwp7 weergegeven.

Afbeelding 40: Het tweede herontwerp (kwp7).



In Afbeelding 41 is de grafiek weergegeven met daarin de opstuwing in de as van de rivier die ontstaat als gevolg van het tweede herontwerp.

Afbeelding 41: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het tweede herontwerp (kwp7).

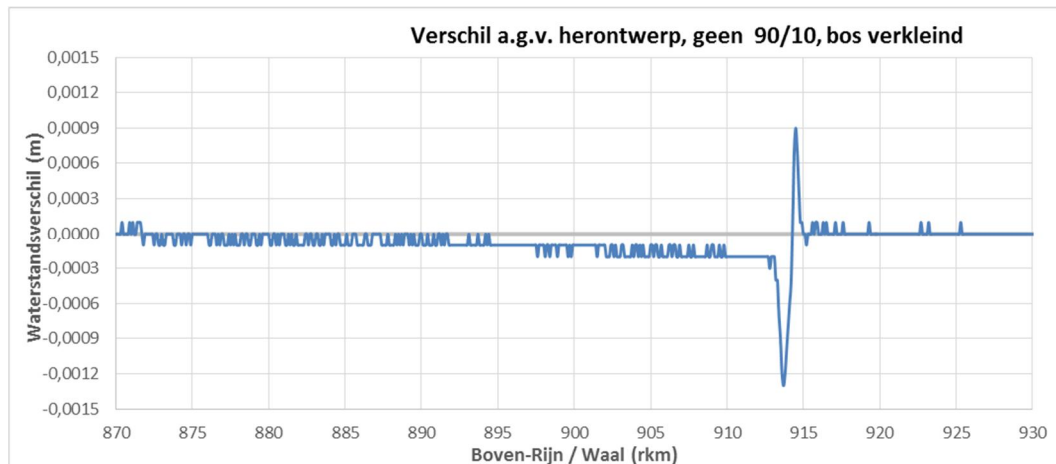


Het tweede herontwerp leidt tot een opstuwing van 0,6 millimeter in de as van de rivier. Omdat de opstuwing nog steeds te groot is zijn er extra berekeningen uitgevoerd om beter inzicht te krijgen in het ontwerp.

4.2.1 Kwp7a

Optimalisatieslag kwp6a heeft laten zien dat de 90/10 vlakken veel invloed hebben op de opstuwing. Daarom hebben we ervoor gekozen om in het kwp7a ontwerp de overgebleven 90/10 vlakken om te zetten naar de ruwheden van de referentiesituatie (*fluviatie1_ref*). De resultaten zijn te zien in Afbeelding 42.

Afbeelding 42: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het tweede herontwerp (kwp7a), waarbij de 90/10 vervangen zijn met de ruwheden uit fluviaal_ref.

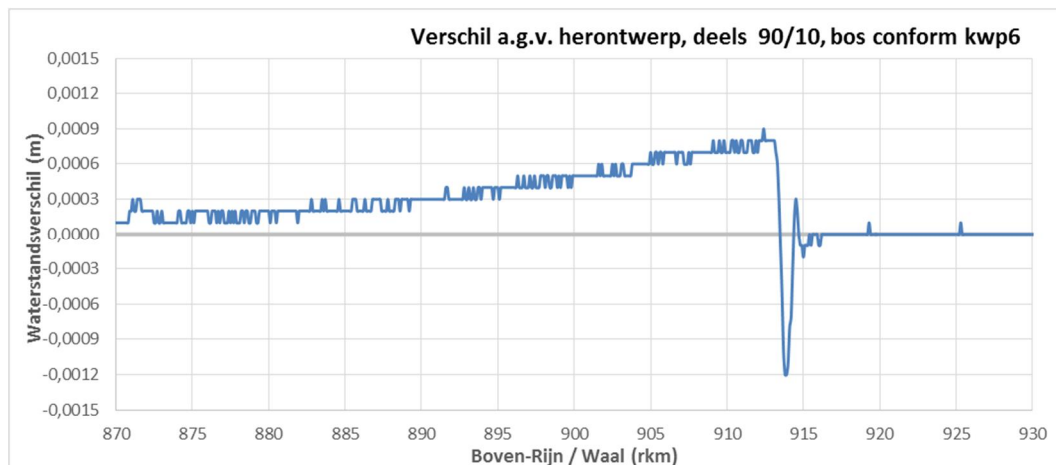


De resultaten laten duidelijk zien dat wanneer de 90/10 vlakken teruggezet worden naar de ruwheden uit de referentieschematisatie, bovenstrooms een waterstandsverlaging wordt gerealiseerd. Plaatselijk wordt in de as van de rivier, rond rkm 913,7, een verlaging van 1,3 millimeter gerealiseerd. Verder zal bij deze variant tot grofweg 30 kilometer een waterstandsverlaging gerealiseerd worden tot 0,1 millimeter. Als gevolg van de “vergladding” van de uiterwaard zal door toegenomen stroomsnelheden bovenstrooms van de ingreep een kleine waterstandsverhoging in de as van de rivier ontstaan. Hier zal plaatselijk de waterstand tijdens een 16.000 m³/s afvoer verhoogd worden met 0,9 millimeter.

4.2.2 Kwp7b

Bij optimalisatieslag kwp7b hebben we het kwp7 ontwerp (inclusief 90/10 vlakken) gebruikt en het bos teruggezet naar de kwp6 omvang. Dit hebben we gedaan om te kijken wat de invloed is van de bosverkleining. In Afbeelding 43 zijn de resultaten te zien van de WAQUA berekening.

Afbeelding 43: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het tweede herontwerp (kwp7b), waarbij het bos is teruggezet is naar oorspronkelijke kwp6 grootte.

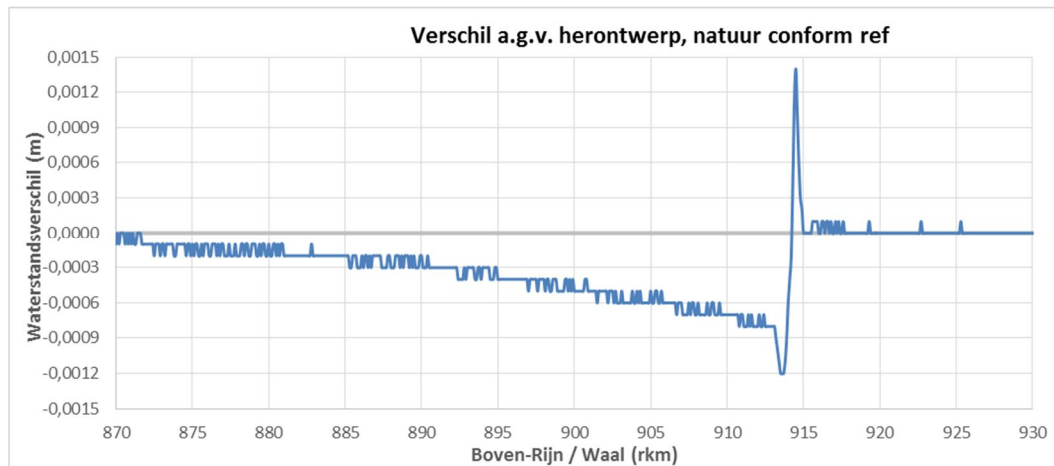


Bij dit ontwerp zal de waterstandsverhoging in de as van de rivier bovenstrooms van de ingreep 0,8 millimeter bedragen. De verkleining van het bos levert dus circa 0,2 millimeter waterstandsverlaging op.

4.2.3 Kwp7c

Bij optimalisatieslag kwp7c hebben we alle ruwheden teruggezet naar die van het referentieschematisatie *fluviatiel_ref*. Dit hebben we gedaan om een beeld te krijgen van wat de speelruimte is wat betreft aanpassingen in de vegetatie. Het geplande bos in het noordoosten van de Kleine Willemspolder is dus in deze variant ook niet aanwezig. Bij deze variant is de geplande rivierverruiming in de vorm van de aanleg van een nevengeul intact gebleven. In Afbeelding 44 zijn de resultaten weergegeven.

Afbeelding 44: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. het tweede herontwerp (kwp7c), waarbij alle ruwheden zijn teruggezet naar die van de *fluviatiel_ref* schematisatie.

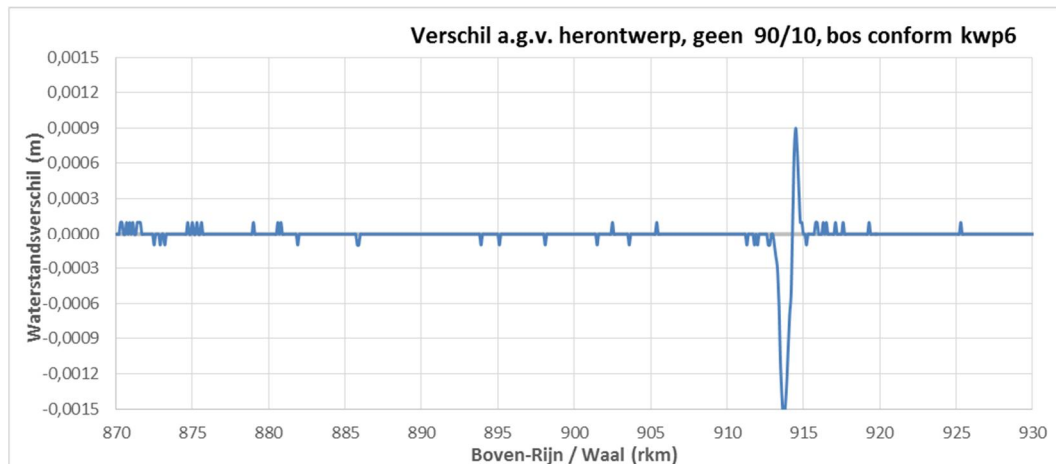


De resultaten laten zien dat er speelruimte is wat betreft natuurontwikkeling. Wanneer alle ruwheden worden teruggezet naar die van *fluviatiel_ref* leidt dit bovenstrooms tot een maximale waterstandsverlaging in de as van de rivier van 1,2 millimeter. Benedenstrooms van de ingreep leidt dit in de as van de rivier echter tot een piek van 1,4 millimeter waterstandsverhoging. Dit als gevolg van de toegenomen stroomsnelheden.

4.2.4 Kwp7d

Een combinatie van de optimalisatieslagen kwp7a en kwp7b lijkt veelbelovend. Daarnaast heeft optimalisatieslag kwp7c heeft laten zien dat er ruimte is voor natuurontwikkeling. Hierbij blijft een gedeelte van de geplande natuurontwikkeling intact (het bos uit het kwp6 ontwerp blijft behouden), maar wordt verdere extra ruwheid voorkomen (in plaats van de geplande 90/10 vlakken worden de ruwheden uit het referentieschema gehanteerd). In Afbeelding 45 zijn de resultaten van de kwp7d te zien (bij 16.000 m³/s bij Lobith).

Afbeelding 45: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. kwp7d, waarbij de 90/10 vervangen zijn met de ruwheden uit fluviaal_ref en het bos uit kwp6 is overgenomen.

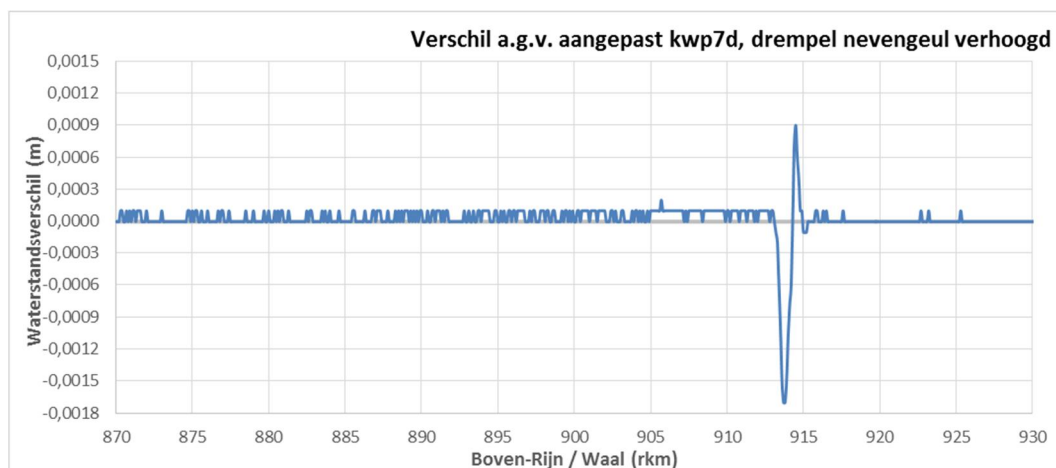


Zoals te zien leidt, op twee pieken rondom de ingreep na, deze variant niet tot extra opstuwing (zie Hoofdstuk 3 voor verdere beschrijving van deze variant).

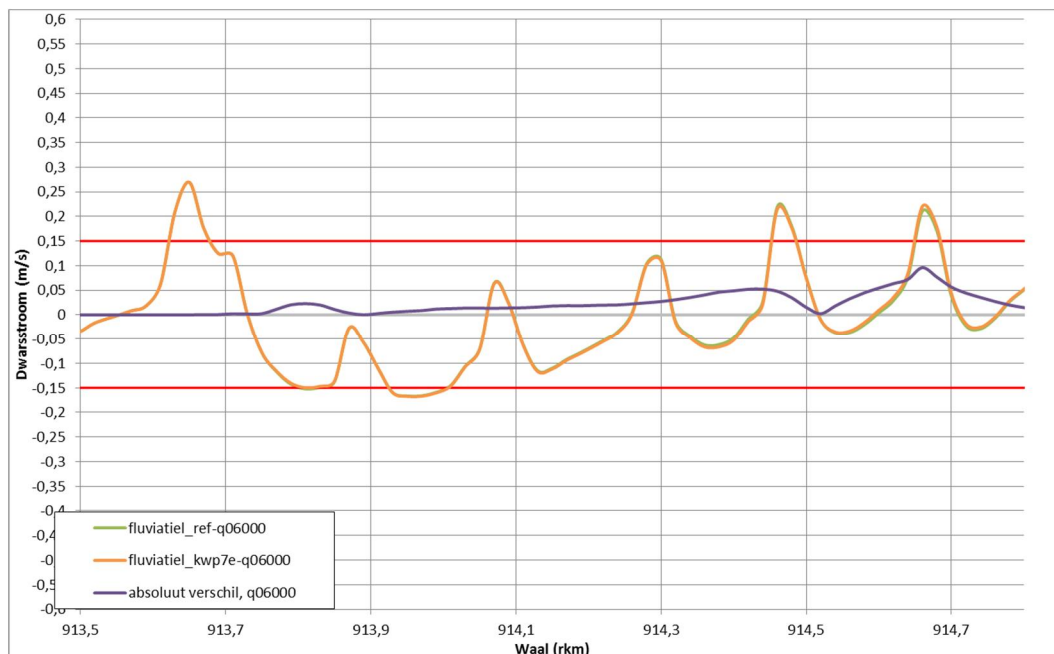
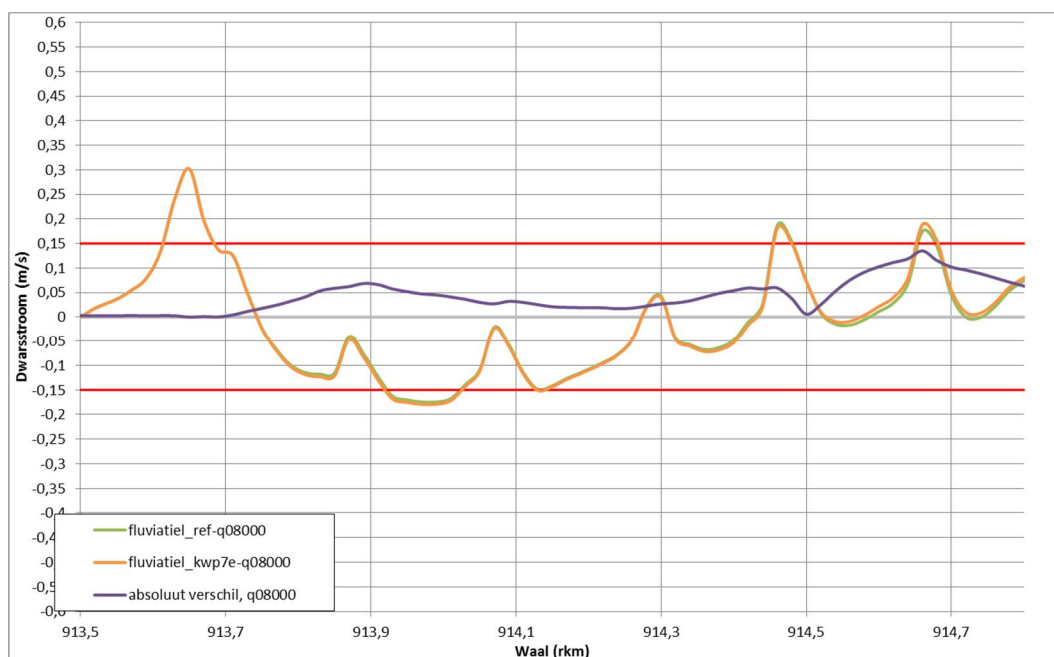
4.2.5 Kwp7e

Het ontwerp kwp7d voldoet niet aan de eisen betreffende dwarsstroming. Ter hoogte van rkm 913,8 en 914,66 is sprake van een beperkte toename met 0,03 m/s boven de 0,15 m/s. De grootste toename van dwarsstroming boven de 0,15 vindt plaats bij een afvoer van 6.000 m³/s bij Lobith. Iteratief is de langsdam (die in het ontwerp plaatselijk verlaagd is t.b.v. de nevengeul) verhoogd om te kijken bij welke hoogte de dwarsstroming voldoet aan de RBK3.0. Wanneer de drempel verhoogd wordt naar NAP +8,6 meter voldoet de dwarsstroming bij 6.000 m³/s aan de normen (zie Afbeelding 47). Bij 8.000 m³/s is er nog steeds sprake van een beperkte toename. Deze is echter kleiner dan bij het kwp7d (0,188 m/s, ten opzichte van 0,191 m/s). In Afbeelding 46 is de extra opstuwing ten opzichte van de referentiesituatie te zien.

Afbeelding 46: Opstuwing t.o.v. de referentiesituatie a.g.v. kwp7e, t.o.v. kwp7d is de drempel van de instroom van de nevengeul verhoogd naar NAP +8,6 meter.



De extra opstuwing in de as van de rivier ligt tussen de 0 en 0,1 mm ten opzichte van de referentiesituatie. Er ontstaat nagenoeg geen opstuwing als gevolg van deze aanpassing. Nadeel van deze variant is wel dat er geen mee stromende nevengeul wordt gerealiseerd, terwijl dit wel een ontwerp is.

Afbeelding 47: Dwaarsstroming (referentiesituatie en kwp7e) bij een afvoer van 6.000 m³/s.Afbeelding 48: Dwaarsstroming (referentiesituatie en kwp7e) bij een afvoer van 8.000 m³/s.

4.2.6 Kwp7g

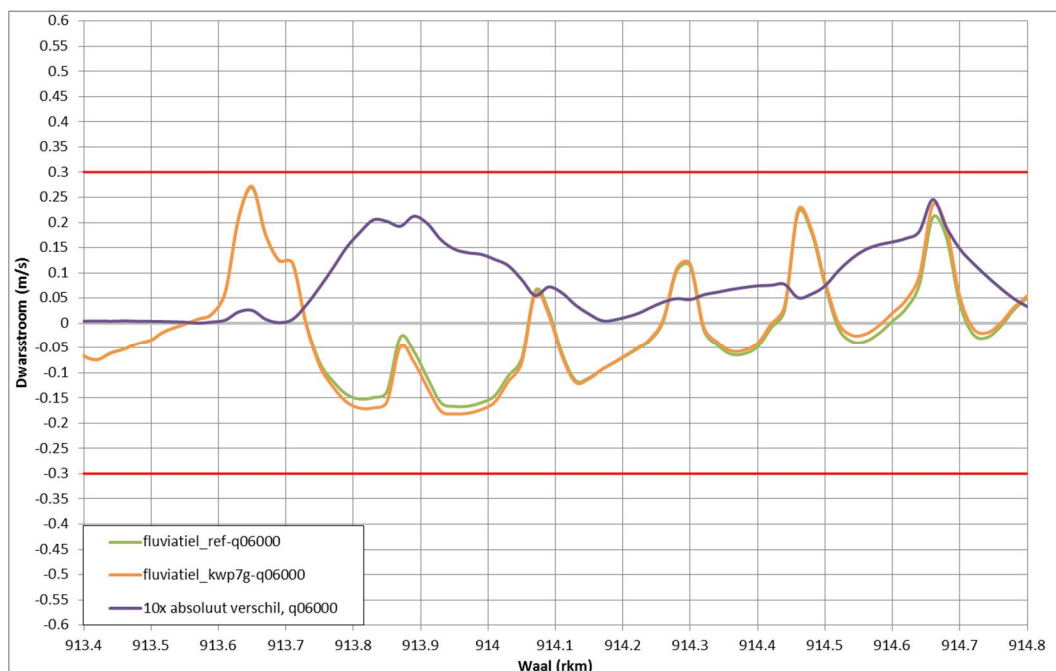
Optimalisatieslag kwp7e leidt tot de gewenste daling in dwarsstroming. Gekeken naar de projectdoelstellingen (mee stromende nevengeul) is deze variant echter minder aantrekkelijk. Daarom is (via tussen optimalisatieslag kwp7f) een optimalisatieslag kwp7g gemaakt. Bij deze variant is de instroom van de nevengeul vernauwd zoals aangegeven in Afbeelding 49.

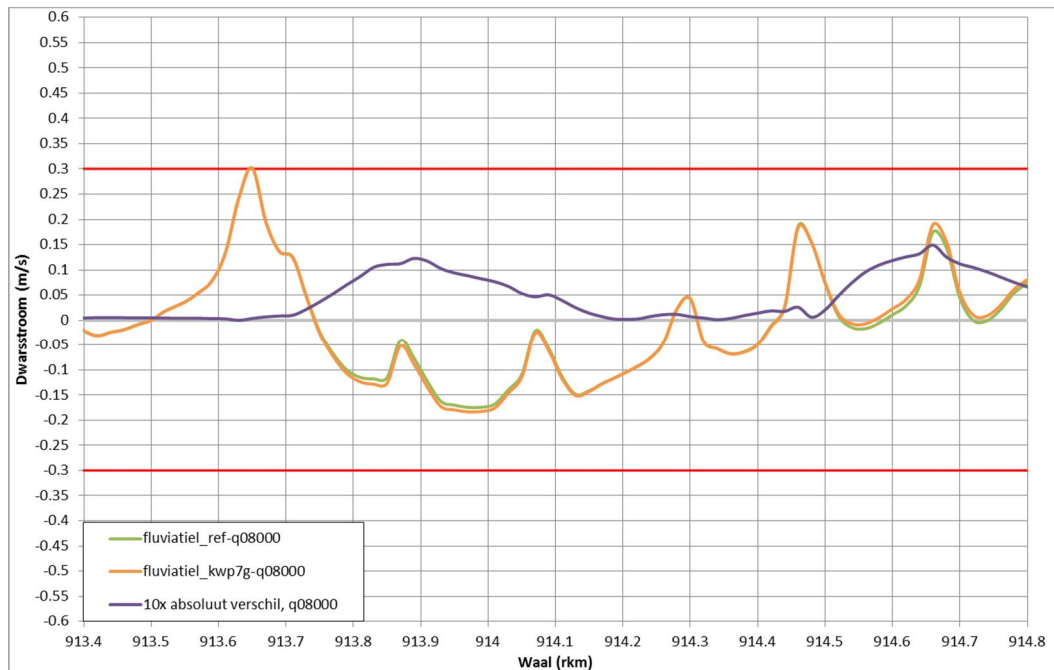
Afbeelding 49: De vernauwing van de instroom van de nevengeul die in optimalisatieslag kwp7g is mee genomen.



Als gevolg van deze optimalisatieslag wordt de bankfull-discharge verlaagd. Bij 6.000 m³/s, wanneer de nevengeul volledig mee stroomt, bedraagt het debiet in de nevengeul 40 m³/s (bij kwp7d is het debiet 55 m³/s). Als gevolg hiervan geldt een ander toetsingscriterium voor de dwarsstroming. In plaats van 0,15 m/s is deze nu 0,30 m/s. In Afbeelding 50 en in Afbeelding 51 is de dwarsstroming weergegeven bij respectievelijk 6.000 m³/s en 8.000 m³/s. De grafieken laten zien dat bij deze variant de dwarsstroming binnen de normen blijft. De verwachting is dat het MHW van kwp7g niet zal afwijken van kwp7d.

Afbeelding 50: Dwarsstroming (referentiesituatie en kwp7g) bij een afvoer van 6.000 m³/s.



Afbeelding 51: Dwaarsstroming (referentiesituatie en kwp7g) bij een afvoer van $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

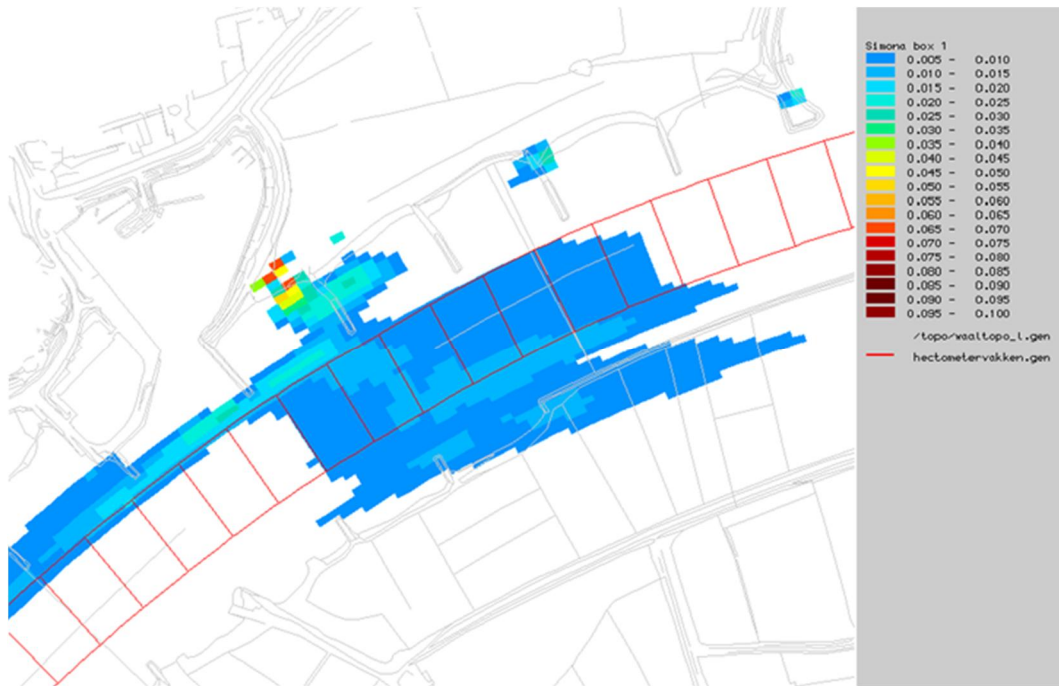
4.2.7 Kwp7h

Het programma Waqmorf berekent aanzanding in de vaargeul. Bij kwp7d wordt circa 2550 m^3 aanzanding in de vaargeul berekend. Bij kwp7g wordt circa 1950 m^3 aanzanding in de vaargeul berekend. Deze door Waqmorf berekende hoeveelheid aanzanding voor kwp7g is voor de toetsende instantie niet acceptabel. Naar aanleiding van deze resultaten is vanuit Rijkswaterstaat aangegeven (op 09-02-2017) dat de aanzanding in de vaargeul circa 500 m^3 mag bedragen. Dit mede als gevolg van de al zeer beperkte sedimentatie ruimte op die locatie. Als gevolg van deze eis is verder gezocht naar mogelijkheden om de aanzanding zoveel mogelijk te beperken.

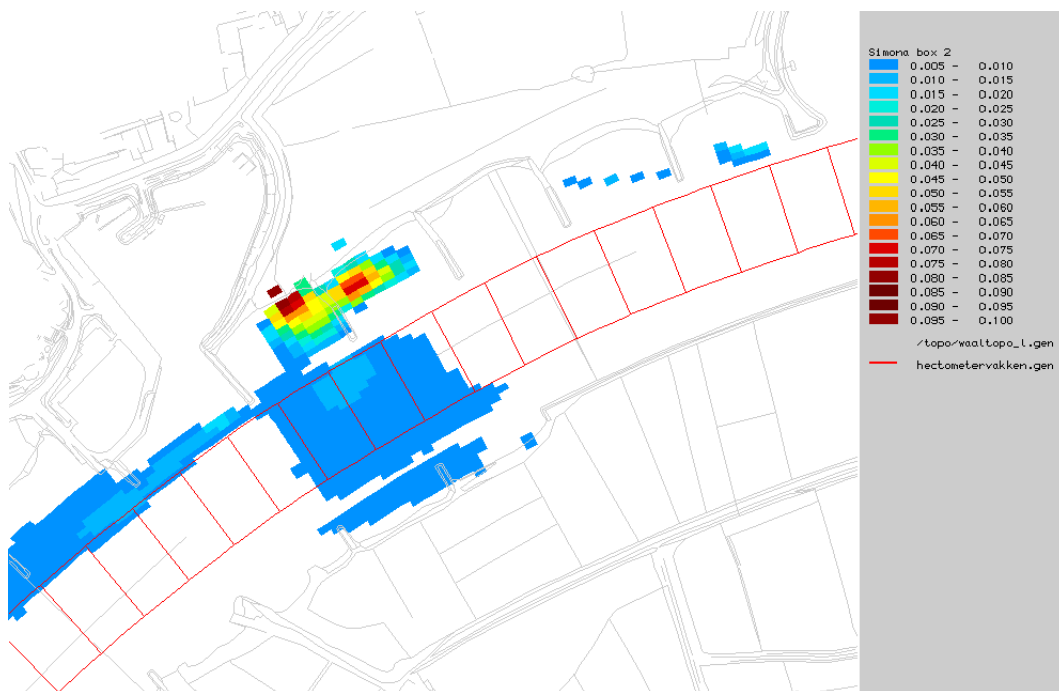
Voor de optimalisatieslag kwp7h zijn twee verschillende berekeningen gemaakt. Allereerst is de instroom van de nevengeul ten opzichte van kwp7g verder versmald. Voor de eerste berekening van kwp7h heeft deze instroom een breedte van 12 meter. In Afbeelding 52 is het jaargemiddelde van de eerste kwp7h berekening te zien. Als gevolg van deze optimalisatieslag zal nog maar 1 tot 1,5 centimeter aanzanding in de vaargeul zijn. In de vaargeul leidt deze ingreep tot circa 900 m^3 aanzanding in de vaargeul.

Om te kijken wat het effect is van de onttrekking door de nevengeul, is een tweede variant doorgerekend waarbij de instroom volledig dicht gezet is. Zoals te zien in Afbeelding 53 leidt deze variant duidelijk tot minder aanzanding. De aanzanding in deze variant ligt rond de 400 m^3 . Dit betekent dus dat de onttrekking door de nevengeul leidt tot circa 500 m^3 aanzanding.

Afbeelding 52: Jaargemiddelde morfologische sedimentatie, ontwerp kwp7h (12 meter brede instroom).



Afbeelding 53: Jaargemiddelde morfologische sedimentatie, ontwerp kwp7h2 (geen instroom).



4.2.8 Kwp7j

Via tussenoptimalisatieslag kwp7i zijn we uitgekomen bij optimalisatieslag kwp7j. Bij deze optimalisatieslag is de nadruk gelegd op het reduceren van aanzanding door aanpassingen aan de uitstroom. Bij deze variant is de instroom van de nevengeul nog steeds verkleind naar 12 meter (t.o.v. kwp7d en eerdere ontwerpen). Bij de uitstroom is onder andere aan de zuidzijde een overlaat circa 20 à 30 centimeter (afhankelijk van locatie) verlaagd. Als gevolg van dit ontwerp zal de aanzanding in de nevengeul circa 800

m³ bedragen. Dit betekent dus dat de aanpassingen bij de uitstroom de aanzanding daar van 400 m³ naar 300 m³ hebben verlaagd.

4.2.9 Kwp7l

Via tussen optimalisatieslag kwp7k (aanpassen van ruwheden bij de uitstroom) zijn we bij kwp7l uitgekomen. In kwp7l zijn een aantal optimalisatieslagen doorgevoerd. In het kwp7d ontwerp is bij de kribvakken alles onder de NAP +6 meter, omgezet is naar ecotoop 'water' (in tegenstelling tot het referentieontwerp, waar deze grens lager ligt). Dit is ook gebeurd in de kribvakken waar geen aanpassingen in plaats vinden. De ruwheden voor die kribvakken zijn daarom voor kwp7l teruggezet naar die van het referentieontwerp. Dit betekent dat de ruwheid omlaag gaat, de watersnelheid omhoog en dat dus als gevolg van deze wijziging een reductie in aanzanding moet plaats vinden. Daarnaast is de versmalde opening van kwp7h en de aanpassingen aan de uitstroom van kwp7j en kwp7k aangehouden.

De resultaten laten zien dat kwp7l voldoet aan RBK 3.0, gekeken naar de MHW en de dwarsstroming. Berekeningen hebben laten zien dat bij een instroomopening van 12 m (20 m² nat oppervlak) bij 6.000 m³/s, een beperkte maar acceptabele hoeveelheid sedimentatie in het zomerbed plaats vindt. Met dit uitgangspunt is een GIS en Baseline ontwerp gemaakt met de juiste instroomopening. Bij de vertaling naar het WAQUA model, wordt de instroomopening als gevolg van de ligging van de roosterpunten de instroomopening echter circa 30 m², dus ongeveer 50 % te groot. Dit leidt tot een te grote onttrekking door de nevengeul in het Waqua model en als gevolg daarvan te veel sedimentatie. Het is dus duidelijk dat het model erg gevoelig is voor de grootte van de instroomopening in relatie tot de sedimentatie.

Voor de hydraulische beoordeling is in het Waqua model een correctie gemaakt waardoor de instroomopening weer het juiste natte profiel heeft. In overleg met RWS-ON (telefonisch contact op 17-02-2017) is afgesproken dat er een model specifieke Baseline maatregel gemaakt gaat worden die voor dit rooster zorgt voor een instroomopening met de goede afmetingen.

5 Conclusies

De ingreep heeft geen negatief effect op de MHW. Ter plaatse van de Kleine Willemspolder zelf is sprake van twee kleine piekjes (verlaging en verhoging), maar deze zijn zeer lokaal. De afvoerverdeling bij Pannerdenschkop wordt bij geen enkele doorgerekende afvoer (MHW, 10.000 m³/s, OLR) beïnvloed.

De dwarsstroming voldoet aan de door RBK 3.0 gestelde eisen.

Als gevolg van deze ingreep zal gemiddeld genomen in de vaargeul nagenoeg geen extra sedimentatie optreden. Aan de rechterzijde van de vaargeul, ter hoogte van de Kleine Willemspolder, zal in beperkte mate erosie optreden.

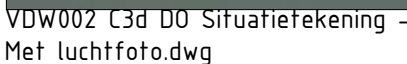
Het kwp7l ontwerp voldoet aan de RBK 3.0.

WETERING

FluviaTiel fase 1

Rivierkundige beoordeling van het ontwerp

Bijlage 1 Situatietekening



Bijlage 2 Metadata Baseline schematisatie kwp71

Metadata voor maatregel: wl_kwp7l_a1

Beschrijving van de dataset

Wijzigingsbestanden voor het schematiseren van “Klimaatdijk en herinrichting Kleine Willemspolder Tiel” langs de rechteroever van de Waal ter hoogte van km-raai 913,5 - 914,5.

Samenvatting

Het ontwerp bevat de volgende onderdelen:

- Klimaatdijk (hoogwaterveiligheid Lange Termijn en tegengaan kwel gemeente Tiel)
- Recreatiemogelijkheden Kleine Willemspolder
- Natuurontwikkeling Kleine Willemspolder

De bestaande dijk wordt verhoogd en verbreed. In de Kleine Willemspolder komt een nevengeul. Die geul zal gemiddeld twee maanden per jaar mee stromen met de Waal en daarnaast nog vier maanden water bevatten. Langs de waterkant worden kleilagen verwijderd en komen enkele zandstrandjes. Door de hele polder komen wandel- en struipaden. Door de verschillen in waterstand krijgen bijzondere planten een kans om zich te ontwikkelen. Om de kwel maximaal te beperken wordt een strook langs de Waalzijde van de dijk voorzien van een extra kleilaag. Een deel van het vijverterrein wordt door ophoging geschikt gemaakt voor woningbouw. FluviaTiel is een samenwerking van de gemeente met Waterschap Rivierenland, provincie Gelderland en de rijksoverheid.

Deze maatregel bevat de aanpassing naar de verhoogde en verbreedde Klimaatdijk, de aanleg van de nevengeul en het verlagen van de zomerkade naar 7,5 m+NAP en natuurontwikkeling. Het vijverterrein ligt binnendijs en valt daardoor buiten de schematisatie.

In versie “7l” is de instroom van de nevengeul gewijzigd om de dwarsstroming binnen de norm te brengen.

Doel van vervaardiging

WtW aanvraag FluviaTiel “Klimaatdijk en herinrichting Kleine Willemspolder Tiel”

Producent van de dataset

Acima (C.H. Michels)

Inhoudelijk contactpersoon

Carlo van Kempen (Kragten) , Claudia Michels (Acima) .

Type bestand

ArcInfo coverages voor gebruik met de maatregelenmixer in Baseline. Meegeleverde bestanden:

- ☐ Originele shapefiles (data/shapefiles).
- ☒ Gebruikte bronbestanden (data/source).
- ☐ Aanvulling voor ruw.karak (waqua).

Karakteristieken en toepassingseisen

Maatregel is gebaseerd op: Fluviaatref_ref (basis rij-beno15_5-v2).

Ingemixte maatregelen: wl_wamelrf_a1
wl_dreumrf_a1
wl_heerref_a1
wl_ldamref_a1
wl_wdhref_a1
wl_tielref_a1.

Dienstsificatie: ☒ Versie 4_v7_0
☐ N.v.t.

Baseline-protocol: ☐ Protocol 3
☐ Protocol 4
☒ Protocol 5

Vegetatiecodering: ☐ PKB
☒ Handboek stromingsweerstand
☒ Vegetatielegger

Geschikt voor conversie naar: ☒ WAQUA
☒ Delft3D
☒ Sobek

Dataset herkomst

Grenzen

- wc_omtrek ➤ Contour van alle erase-polygonen en toegevoegde elementen met een buffer van tenminste 0,1 meter.
- secties ➤ Het sectie bestand is aangepast naar de nieuwe middenlijn van de klimaatdijk en op 10 cm afstand landinwaarts neergelegd vanaf de nieuwe bandijk. Hiervoor zijn secties verwijderd en toegevoegd.

Hooglijn

- bandijk ➤ De ontwerp lijnen zijn vereenvoudigd met een tolerantie van 15 cm. De lengte van een lijnstuk (van vertice tot vertice) bedraagt maximaal 45 meter.
 - De bestaande dijk is zowel verhoogd met circa 1 meter ten opzichte van de bestaande dijk. De hoogten zijn overgenomen uit de CAD gegevens.
 - De dijk is eveneens verzwaaard waardoor de middenlijn van de kruin verplaatst.
 - De bestaande dijk ter plaatste van het ontwerp is vervangen door de klimaatdijk uit het ontwerp.
- breukl ➤ De ontwerp lijnen zijn vereenvoudigd met een tolerantie van 15 cm. Lijnstukken met een lengte groter dan 30 meter hebben een vertice om de 20 meter toegekend gekregen m een evenredige dataresolutie te waarborgen.
 - Het ontwerp is van de bandijk en geul is in twee verschillende CAD bestanden opgenomen.
 - Alle lijnen met een talud flauwer dan 1:7 zijn overgenomen als breuklijn.
 - De instroom bovenstrooms is later gewijzigd en opgenomen in CAD tekening "VDW002 Breaklines gewijzigde instroom 20170214.dwg". De teenlijn van de kade heeft als kruinhoogte actueel maaiveld uit de referentie gekregen. Het ontwerp gaat namelijk uit van 7,4 m+NAP, dat hoger is gelegen dan de referentie.
 - De breuklijnen ter plaatse van de ingreep zijn verwijderd.
 - De aansluitingen op de referentie kennen de hoogte uit beno15_5.
 - De bovenstroomse drempel van de geul kent een bodemhoogte van 5,5 m+NAP en is aangesloten op de isolijn van 5,5 m+NAP uit de referentie.
 - De benedenstroomse drempel kent een hoogte van 3,75 m+NAP en is eveneens aangesloten op de desbetreffende isolijn uit de referentie.
- hverschil ➤ De ontwerp lijnen zijn vereenvoudigd met een tolerantie van 15 cm. Lijnstukken met een lengte groter dan 30 meter hebben een vertice om de 20 meter toegekend gekregen m een evenredige dataresolutie te waarborgen.
 - Het ontwerp is van de bandijk en geul is in twee verschillende CAD bestanden opgenomen.
 - Alle lijnen met een talud steiler dan 1:7 en een kruin breder dan 10 meter zijn overgenomen als hoogteverschillijn.
 - De instroom bovenstrooms is later gewijzigd en opgenomen in CAD tekening "VDW002 Breaklines gewijzigde instroom 20170214.dwg".
 - Bij de uitstroomopening is aan de oostzijde van de opening de isolijn van 7 m+NAP uit het ontwerp gevolgd aan de plasrand om verhoging van de bodem ten opzichte van de referentie te voorkomen.
 - De hoogteverschillijnen ter plaatse van de ingreep verwijderd.
 - De oeverlijn is opnieuw als hoogteverschillijn toegevoegd en indien noodzakelijk verlaagd tot 2 m+NAP. Kruinhoogten lager dan 2,0 m+NAP uit de referentie zijn behouden.
 - De aansluitingen op de referentie kennen de teen- en kruinhoogte uit beno15_5.
- kade ➤ De ontwerp lijnen zijn vereenvoudigd met een tolerantie van 15 cm. Lijnstukken met een lengte groter dan 30 meter hebben een vertice om de 20 meter toegekend gekregen m een evenredige dataresolutie te waarborgen.

Dataset herkomst

	➤ De zomerkade midden in de kleine Willemsspoolder dwars gelegen op de stroomrichting is verlaagd tot 7,5 m+NAP. ➤ Een gasleiding tussen de bovenstroomse opening van de nevengeul is geschematiseerd als kade op maaiveldhoogte. ➤ Deze twee kaden hebben direct betrekking op het ontwerp. Het merendeel van de toegevoegde kaden zijn bestaande kaden die zijn aangesloten op het ontwerp. De aansluitingen op de referentie kennen de teen- en kruinhoogte uit beno15_5. ➤ De instroom bovenstrooms is later gewijzigd en opgenomen in CAD tekening "VDW002 Breaklines gewijzigde instroom 20170214.dwg". Daarin zijn het tracé en de hoogten van de kade aan de westzijde van de opening ongewijzigd ten opzichte van de referentie. De kade daar is enkel aangesloten op de insteeklijn (hverschil). De kade aan de westzijde van de opening heeft als kruinhoogte de ontwerpwaarde van 8 m+NAP gekregen. De teenhoogten zijn afkomstig uit de referentie (breukl) om verhogingen in het maaiveld te voorkomen.
krib	➤ N.v.t.
Hoogpunt	
oeverhgt	➤ N.v.t.
plashgt	➤ N.v.t.
winbedhgt	➤ Winterbedhoogtepunten ter plaatse van de ingreep zijn verwijderd. Er zijn geen nieuwe punten toegevoegd.
zombedhgt	➤ Bij de benedenstroomse drempel zijn een aantal punten verwijderd. Er zijn geen nieuwe punten toegevoegd.
Meetpunt	
meetpunt	➤ N.v.t.
Oppwater	
plassen	➤ Ter plaatse van de nevengeul en het westelijk gedeelte van de klimaatdijk zijn plassen verwijderd. Er zijn geen nieuwe plassen toegevoegd. Het water is opgenomen in ecoruw.
Overig	
bronput	➤ N.v.t.
kunstwrk	➤ N.v.t.
Ruwheid	
bomen	➤ Er zijn twee bomen ter plaatse van de bovenstroomse drempel verwijderd. ➤ Er is één boom toegevoegd ten zuiden van de verlaagde zomerkade (op de ontwerp-tekening aangemerkt als vrijstaande zomereik).
ecoruw	➤ De vegetatie binnen de contour van de ingreep is gewijzigd volgens: ○ Nevengeul (105) ○ Water (201) ○ Verhard terrein (202) ○ grasland en akker (1981) ○ riet en ruigte (1982) ○ bos (1983) ○ struweel (1984) ○ Mengklasse 50/50 (1998).
heggen	➤ N.v.t.
hwatvrij_l	➤ N.v.t.
hwatvrij_v	➤ Het hoogwaterterrein is verwijderd.
lanen	➤ N.v.t.

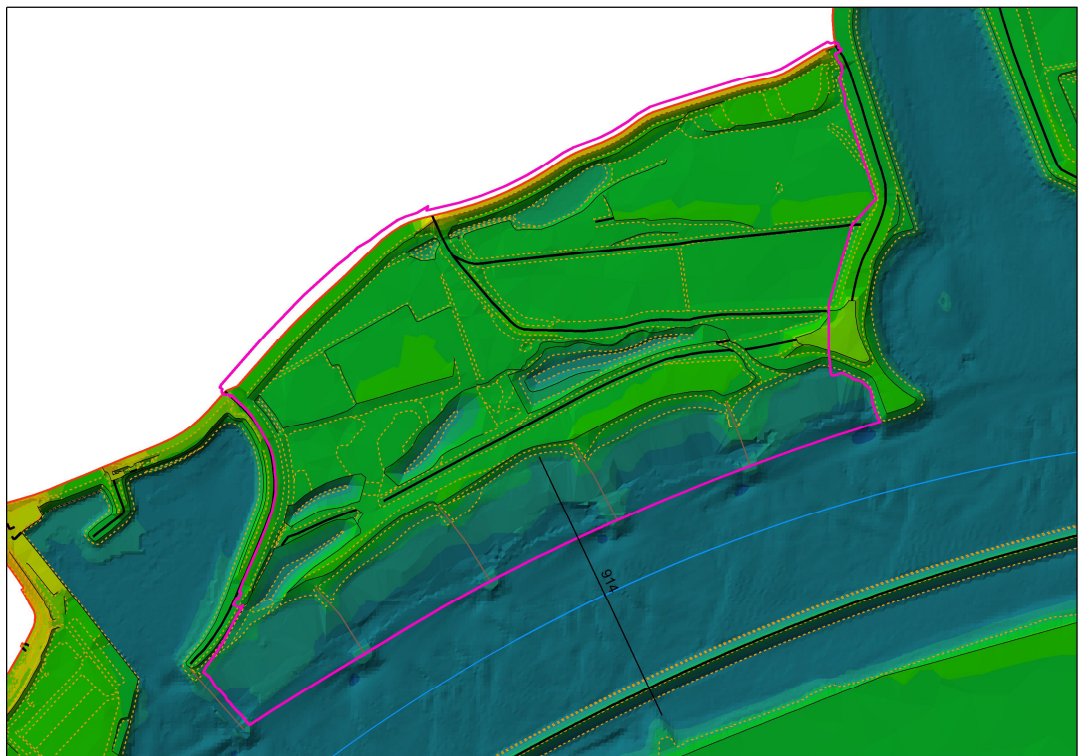
Dataset herkomst

zombed

➤ N.v.t.

Opmerkingen

1)



2)



Inwinningsdata

Bron: VDW002_C3d_DO_Ontwerp_Polyline_2D.shp	Inwinningsdatum: 15 december 2016
Bron: VDW002_C3d_DO_Ontwerp_Polyline_3D.shp	Inwinningsdatum: 15 december 2016
Bron: EXPORT_OUTPUT.SHP UIT VERSIE7_ECOTOPEN.ZIP	Inwinningsdatum: 19 december 2016
Bron: VDW002 BREAKLINES GEWIJZIGDE INSTROOM 20170214.DWG	Inwinningsdatum: 14 februari 2017
Bron:	Inwinningsdatum:
Bron:	Inwinningsdatum:
Bron:	Inwinningsdatum:
Bron:	Inwinningsdatum:
Bron:	Inwinningsdatum:
Bron:	Inwinningsdatum:

Leveringsdatum

16 februari 2017