

# Rivierkundige beoordeling Wolferen - Sprok

*Auteur:*

Laura Bergsma

*Versie:*

2.1

*Datum:*

8 april 2020

*Status:*

concept

*Unieke referentie:*

WOSPU-1672037726-1193

*Van belang voor:*

Projectplan Waterwet

*Bestemd voor:*

Rijkswaterstaat

*Gecontroleerd door:*

Marcel van den Berg en Jan Cirkel

## Inhoudsopgave

<b>1 Inleiding</b> .....	<b>3</b>
1.1 Aanleiding .....	3
1.2 Doel .....	3
1.3 Leeswijzer .....	3
<b>2 Rivierkundig beoordelingskader</b> .....	<b>4</b>
2.1 Wettelijk kader .....	4
2.2 Beleid .....	5
2.3 Beoordelingskader .....	5
<b>3 Uitgangspunten en werkwijze</b> .....	<b>8</b>
3.1 Opbouw geactualiseerde referentie .....	8
3.2 Optimalisatie variant .....	8
3.3 Opbouw variant .....	8
3.4 Conversie naar WAQUA .....	10
3.5 Doorrekenen van de schematisaties .....	10
<b>4 Beoordeling</b> .....	<b>11</b>
4.1 Hydraulische effecten .....	11
4.1.1 MHW op de as van de rivier .....	11
4.1.2 MHW buiten de as van de rivier .....	12
4.1.3 Afvoerverdeling bij MHW .....	12
4.1.4 Afvoerverdeling bij normaal hoog water .....	13
4.1.5 Hinder of schade door hydraulische effecten .....	13
4.2 Morfologische effecten .....	13
<b>5 Conclusie</b> .....	<b>14</b>
Bijlage 1 Stroombeeld in de uiterwaard .....	15

## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding

De Waaldijk tussen Wolferen en Sprok voldoet niet aan de wettelijke normen voor hoogwaterveiligheid. Waterschap Rivierenland kreeg daarom van het nationale Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) de opdracht om de dijk te versterken. Voor het project dijkversterking Wolferen-Sprok (WOS) is als resultaat van de verkenningsfase eind 2018 het voorkeursalternatief (VKA) tot stand gekomen in afstemming met Rijkswaterstaat als bevoegd gezag rivierkunde.<sup>1</sup> De rivierkundige waterstandseffecten voor het VKA zijn voor de verkenningsfase onderzocht. Het VKA zorgt voor 3 opstuwingspieken hoger dan 1 mm en voldoet daarmee niet aan het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK).<sup>2</sup>

In de planuitwerkingsfase, is het VKA geoptimaliseerd onder meer op basis van de rivierkundige effecten van het VKA. In het definitieve ontwerp zijn daarom de buitenwaartse versterkingen geminimaliseerd (alleen waar nodig) en is een dijkeruglegging opgenomen om netto waterstandsval te realiseren. In deze notitie worden de rivierkundige effecten voor het definitieve ontwerp beoordeeld.

### 1.2 Doel

Doel van deze rivierkundige beoordeling is het toetsen van de rivierkundige effecten van het definitieve ontwerp. Het definitieve ontwerp bestaat uit een aantal buitendijkse versterkingen welke zijn geoptimaliseerd in een uiteindelijke variant die een neutraal effect moet hebben op de criteria uit het RBK. In deze studie worden de bedoelde rivierkundige effecten inzichtelijk gemaakt om aan te tonen dat wordt voldaan aan de beoordelingscriteria.

### 1.3 Leeswijzer

Allereerst wordt in Hoofdstuk 2 het rivierkundig beoordelingskader en beleid voor de beoordeling van de rivierkundige effecten beschreven. Vervolgens worden in Hoofdstuk 3 de uitgangspunten beschreven waarna de referentiesituatie wordt gepresenteerd, de werkwijze en de uitgevoerde optimalisaties om tot het definitieve ontwerp te komen. In hoofdstuk 4 worden de rivierkundige effecten beoordeeld conform het vigerende rivierkundig beoordelingskader. Het verslag eindigt met een conclusie.

<sup>1</sup> Witteveen+Bos (2018). Notitie Voorkeursalternatief – Integrale verkenning Dijkversterking Wolferen-Sprok en Dijkteruglegging Oosterhout.

<sup>2</sup> Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren, versie 5.0, 4 juni 2019 Rijkswaterstaat

## 2 Rivierkundig beoordelingskader

### 2.1 Wettelijk kader

Activiteiten in het rivierbed kunnen leiden tot vermindering van de voor de rivier beschikbare ruimte en tot verhoging van de waterstanden. Om een goede afweging te maken bij een ingreep in het rivierbed is de Waterwet ingevoerd. Doel van de afweging in de Waterwet is dat de rivier de ruimte behoudt die zij nodig heeft voor het afvoeren van maatgevend hoogwater.

Bij de invoering van de Waterwet in 2009 is het uitvoeren van onderhoud, aanleg, wijziging of overig gebruik van waterstaatswerken door of in opdracht van de beheerder (artikel 6.12 Waterbesluit) vrijgesteld van de Waterwet vergunningsplicht. Er geldt wel een zorgplicht zoals vastgelegd in artikel 6.15 van het Waterbesluit.

Het Waterbesluit heeft voor de dijkversterkingen langs de rivieren dus belangrijke invloed op de oplossingsrichtingen en de keuze van het ontwerp. Dit is van belang bij buitendijkse versterkingen waarbij in het bestaande rivierbed maatregelen worden getroffen. Indien buitendijks (rivierwaarts) wordt versterkt geldt een algemene zorgplicht.

De zorgplicht houdt in dat maatregelen zo moeten worden uitgevoerd dat:

- Er geen vermijdbare nadelige gevolgen optreden voor het veilig en doelmatig gebruik van het oppervlaktewaterlichaam overeenkomstig de daaraan toegekende functies, voor de ecologische toestand van het oppervlaktewaterlichaam en voor het kustfundament;
- Er geen feitelijke belemmering optreedt voor vergroting van de afvoercapaciteit van het oppervlaktewaterlichaam, en
- De waterstandsverhoging of afname van het bergend vermogen van het oppervlaktewaterlichaam ten gevolge van het gebruik zo klein mogelijk moet zijn, en de resterende onvermijdelijke effecten moeten worden gecompenseerd.

Voor dijkversterking geldt dus dat de afvoercapaciteit gewaarborgd moet blijven en de waterstandsverhoging (of afname bergend vermogen) gecompenseerd moet worden. Deze beoordeling vindt plaats met rivierkundige modellen en in overleg met de rivierbeheerder (RWS-ON). Dat betekent concreet dat deze beoordeling wordt uitgevoerd conform het vigerende RBK.

Als eventuele onacceptabele negatieve effecten optreden is het mogelijk om compenserende maatregelen te nemen binnen het project. Bij compenserende maatregelen is de Waterwet van toepassing, en geldt de vergunningsplicht wel. Zodoende is het RBK voor ingrepen in de Grote Rivieren dan ook van toepassing.

## 2.2 Beleid

Bij dijkversterkingsmaatregelen moet een afweging gemaakt worden tussen binnendijkse- of buitendijkse (rivierwaartse) verbreding van de dijk. De ruimte buitendijks is schaars en dient zo veel mogelijk beschikbaar te blijven voor de afvoer en de berging van rivierwater. In de Redeneerlijn buitendijks (rivierwaarts) versterken<sup>3</sup> (vastgesteld door RWS/DGWB in samenspraak met Unie van Waterschappen/HWBP op 26 februari 2018) is toegelicht hoe te handelen indien binnendijkse maatregelen redelijkerwijs niet mogelijk zijn.

In het afwegingsproces van het ontwerp is een onderbouwing nodig waarom een binnenwaartse versterking redelijkerwijs niet mogelijk is. Daarbij is de zorgplicht (zoals bedoeld in artikel 6.15 Waterbesluit) van toepassing voor de buitenwaartse dijkversterkingen waarmee de nadelige gevolgen voor de rivier zo minimaal mogelijke moeten blijven. Als geen treffende compensatie kan worden gevonden biedt de redeneerlijn ruimte om dit plaats- en tijdonafhankelijk uit te voeren.

## 2.3 Beoordelingskader

Het winterbed van de Waal bij de dijkversterking Wolferen-Sprok is aangewezen als stroomvoerend (niet bergend). Het is daarom niet nodig om afname van het bergend vermogen te beoordelen, om aan de zorgplicht te voldoen is het rivierkundig van belang dat er geen waterstandsverhoging op de as van de rivier wordt gerealiseerd. Als er significante waterstandsverhogende effecten<sup>4</sup> zijn, zal het ontwerp geoptimaliseerd moeten worden of, indien dit niet mogelijk blijkt, zullen die effecten gecompenseerd moeten worden. De overige rivierkundige effecten worden beoordeeld conform het RBK. In Tabel 2-1 zijn de te beoordelen aspecten uit het RBK weergegeven.

<sup>3</sup> Dijkversterkingen langs de grote rivieren, redeneerlijn buitendijks versterken. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Unie van Waterschappen. Versie maart 2018

<sup>4</sup> Het rivierkundig beoordelingskader geeft als norm: een berekende waterstandsverhoging tot 1 mm in de as van de rivier wordt geaccepteerd. Een berekende waterstandsverhoging van 1 mm of meer wordt niet zonder meer geaccepteerd

Tabel 2-1: Te beoordelen aspecten uit het Rivierkundig Beoordelingskader.

	#	Beoordelingsaspect	Beoordelingscriteria Waterwet	Beoordeling
HYDRAULISCHE EFFECTEN	1.1	MHW op de as van de rivier	Waterstandverhoging op de as van de rivier bij een Boven-Rijn afvoer van bij 16.000 m <sup>3</sup> /s < 1mm.	Zie hoofdstuk 4.1.1
	1.2	MHW buiten de as van de rivier	Geen waterstandverhoging > 1 mm langs de primaire kering of hoge grondenlijn bij een Boven-Rijn afvoer van 16.000 m <sup>3</sup> /s.	Zie hoofdstuk 4.1.2
	1.3	Afvoerverdeling bij MHW (bij Pannerdensch Kop en IJsselkop)	Verandering afvoerverdeling bij de splitsingspunten dient kleiner te zijn dan 5 m <sup>3</sup> /s bij Boven-Rijn afvoer van 16.000 m <sup>3</sup> /s	Zie hoofdstuk 4.1.3
	1.4	Afvoerverdeling bij normaal hoogwater (bij Pannerdensch Kop en IJsselkop)	Verandering afvoerverdeling bij de splitsingspunten dient kleiner te zijn dan 20 m <sup>3</sup> /s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s	Zie hoofdstuk 4.1.4
	1.5	Ijsafvoer	Een goede geleiding van water en ijs dient gewaarborgd te blijven.	N.v.t. Het veilig afvoeren van ijs werd in de MER ingeschat dat de frequentie van optreden dermate laag is, dat dit effect niet relevant is. Dit aspect is alleen relevant bij krib- of oevermaatregelen.
HINDER OF SCHADE	2.1	Inundatiefrequentie van de uiterwaard	De mate van verandering van de inundatiefrequentie van één of meerdere uiterwaarden.	N.v.t. De waterstanden in de uiterwaarden worden alleen lokaal en zeer beperkt beïnvloedt, dit heeft geen significante invloed op de inundatie frequentie
	2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	De mate van verandering van de grootte en richting stroomsnelheden in een of meerdere uiterwaarden bij de voor de lokale situatie representatieve omstandigheden.	Zie paragraaf 0
	2.3	Stroombeeld in vaarweg	Dwarsstroming in vaarweg niet groter dan 0,15 m/s.	N.v.t. Er worden geen negatieve effecten verwacht op de dwarsstroming op basis van de stroomsnelheidsverschillen.
	2.4	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselkop bij hoge Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s. Voor dit aspect is er geen beoordelingscriterium.	N.v.t
	2.5	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselkop bij een lage Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling mag niet groter zijn dan 1 m <sup>3</sup> /s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m <sup>3</sup> /s.	N.v.t
MORFOLOGISCHE	3.1	Sedimentatie en erosie van het zomerbed (+ oevers): 1. door ingrepen zomerbed 2. door ingrepen winterbed	Bij erosie: - geen verlaging zomerbed beneden de minimale bodemligging t.a.v. erosie en infrastructuur (o.a. kabels, leidingen en waterkeringen); Bij sedimentatie:	Zie paragraaf 4.2

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- geen vermindering van vaargeulafmetingen);</li> <li>- geen verhoging van de maatgevende waterstanden op lange termijn;</li> </ul> <p>Generiek:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten;</li> <li>- behouden vlotheid en veiligheid scheepvaartverkeer;</li> <li>- geen onacceptabele sedimentatie of terugschrijdende erosie;</li> </ul>	
	3.2	<p>Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeulen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. sedimentatie winterbed</li> <li>2. erosie winterbed</li> </ol>	<p>Bij sedimentatie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Acceptabele beheerskosten voor baggeren nevengeulen;</li> </ul> <p>Bij erosie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- geen bodemerosie langs primaire waterkering;</li> <li>- stabiliteit van belangrijke constructies in de uiterwaard mag niet verminderen;</li> </ul>	Zie paragraaf 4.2

### 3 Uitgangspunten en werkwijze

De werkwijze om de rivierkundige beoordeling uit te voeren bestaat uit de volgende stappen:

1. Opbouw geactualiseerde referentie;
2. Optimalisatie variant
3. Opbouw van de variant met de buitenwaartse versterkingen (wos\_do\_v1);
4. Conversie van de schematisatie naar WAQUA;
5. Doorrekenen van de schematisatie, en
6. Het bepalen van de waterstandsverschillen en de rivierkundige effecten (zie Hoofdstuk 4).

#### 3.1 Opbouw geactualiseerde referentie

Het geactualiseerde referentiemodel is opgebouwd vanuit de BASELINE referentieschematisatie Rijnbeno18\_5-v1. De referentieschematisatie is uitgebreid met de aangeleverde maatregel wl\_wosrf\_a1 om de ligging van de bandijklijn op de buitenkruinlijn te leggen. Het geactualiseerde BASELINE referentieschematisatie heet wos\_ref.

#### 3.2 Optimalisatie variant

In de optimalisatie van het ontwerp zijn de buitenbermen geheel vervallen en zijn de buitenwaartse versterkingen gereduceerd tot de locatie Waalbandijk 131, Wolferen en zijn de locatie Slijk – Ewijk en Waaldijk 6 toegevoegd. De buitendijkse versterking bij Wolferen is veranderd naar een as-verschuiving en geeft een versterking zowel binnenwaarts als buitenwaarts. Ter hoogte van Waaldijk 3 vindt een buitenwaartse verplaatsing plaats waardoor de aanwezige bebouwing behouden kunnen worden. Omdat de dijk opschuift, wordt de bovenstrooms gelegen bocht in de dijk landinwaarts verlegd. Door de gedeeltelijke dijkeruglegging ontstaat er per saldo meer ruimte in de uiterwaard wat zorgt voor compensatie van de waterstandseffecten van de buitendijkse verplaatsing.

In de verdere uitwerking van het VKA-ontwerp is gekozen voor vierkant te versterken over het gehele traject waardoor er een beperkte buitenwaartse verschuiving van het buitentalud optreedt. In de verdere optimalisatie is gekeken waar mogelijk het buitentalud behouden kan blijven en is het traject waarover vierkant versterkt wordt gereduceerd naar de locaties zichtbaar in Figuur 3-1. Vierkant versterken betekent in dit geval dat de kruin op zijn plek blijft liggen waardoor zowel op het binnen- als buitentalud grond wordt aangebracht (en eventueel verflauwing van het talud).

In de memo Verantwoording Buitenwaartse versterking WOS<sup>5</sup> is het afwegingsproces onderbouwd voor de noodzakelijke buitenwaartse maatregelen voor de dijkversterking WOS.

#### 3.3 Opbouw variant

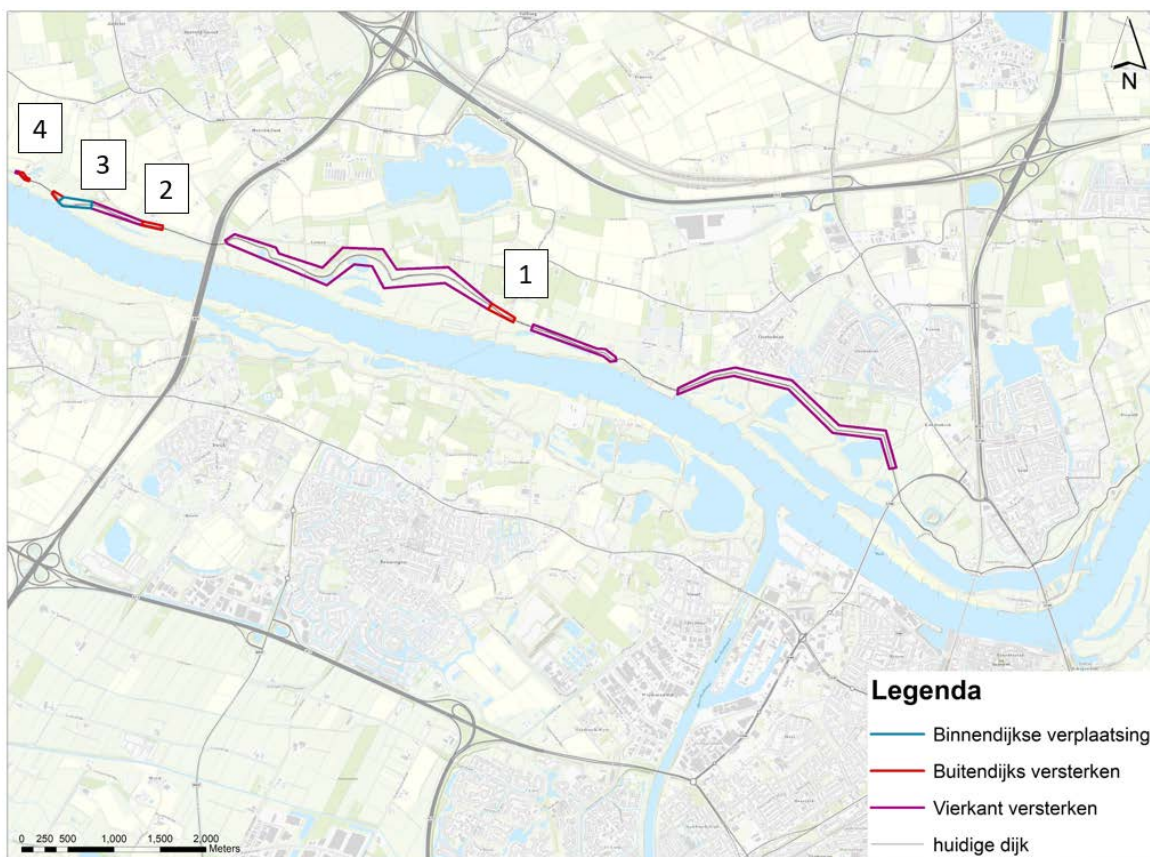
In het definitieve ontwerp (DO) bestaat uit 4 buitenwaartse versterkingslocaties. Bij 3 van de 4 locaties gaat het om een kruinverschuiving van maximaal circa 3 meter en een verflauwing van het buitentalud. Bij Wolferen bij rkm 985 gaat het om een as-verschuiving met een versterking zowel binnenwaarts als buitenwaarts tot max. circa 33 m naar binnen en buiten. Om netto waterstandsdaling te creëren is ervoor gekozen om op deze locatie ook een stuk dijkeruglegging te realiseren met per saldo meer m<sup>2</sup> buitendijks dan voor de as-verschuiving. Figuur 3-1 geeft de locaties van de 4 buitenwaartse aanpassingen.

<sup>5</sup> Verantwoording Buitenwaarts versterken, versie 2.1, 8 april 2020



De effecten van de rivierwaartse dijkversterking op de waterstand zijn bepaald met behulp van de zogenaamde “schotjesmethode”. Deze methode houdt in dat de gewijzigde ligging van de buitenkruinlijn met een maatregel is opgenomen in de referentieschematisatie en dat BASELINE bepaalt waar de schotjes voor de rekenroosterbegrenzing geplaatst worden en wat dus het effect is van de versterking. Het doorstroomoppervlak dat verloren gaat door de buitenwaartse dijkversterking wordt uitgedrukt in een rivierwaartse verplaatsing van de buitenkruinlijn. De gewijzigde ligging van de buitenkruinlijn is geschematiseerd met een hoogwatervrije lijn die op een dusdanige afstand van de oude buitenkruin is gelegd zodat het volume dat aan de rivier wordt ontnomen overeenkomt met het volume dat in werkelijkheid aan de rivier wordt ontnomen.

Tabel 3-1 geeft de verschuiving van de buitenkruinlijn weer voor de buitenwaartse dijkversterkingen berekend met de dwarsprofielen. De verschuiving van de buitenkruinlijn voor de trajecten waar vierkant wordt versterkt zijn ook berekend met de dwarsprofielen. Een maatregel is aangemaakt voor de variant met de 4 buitenwaartse verplaatsingen, waaronder de as-verschuiving, en de verschuiving van het buitentalud door vierkant versterken (wos\_do\_v1).



Figuur 3-1: Overzicht locaties met buitenwaartse, binnenwaartse en vierkante versterkingen

Tabel 3-1: Overzicht van de buitenwaartse dijkversterkingen en de asverschuiving bij Wolferen (zie meegeleverde data van maatregel voor de berekening van de verschuiving buitenkruinlijn)

Nr.	Locatie	Rkm	Lengte (m)	Verschuiving buitenkruinlijn $\Delta x$ (m)
1	Slijk - Ewijk	890.2-890.5	300	0.7-3.7
2	Waaldijk 6	894.4-894.6	210	2.6-3.4
3	Wolferen - asverschuiving	895.2-895.6	450	7.9-33.0
4	Waalbandijk 131	895.9-896.1	130	2.7-4.7

### 3.4 Conversie naar WAQUA

De referentie schematisatie en variant zijn vervolgens geconverteerd naar WAQUA. Hiervoor zijn eerst de afgeleide bestanden opnieuw aangemaakt in Baseline. Het gebruikte WAQUA deelmodel is Rijn-beno18\_5\_20m\_splp-v1 met vrije afvoerverdeling en Rijn-beno18\_5\_20m\_waal-v1 met vaste afvoer verdeling. Voor de aangepaste WAQUA bestanden is de naamgeving gebruikt van de betreffende BASELINE schematisatie.

### 3.5 Doorrekenen van de schematisaties

De opgeleverde siminp voor een vaste afvoerverdeling bij een Lobith van 16.000 m<sup>3</sup>/s is gebruikt. Deze zijn aangepast door te verwijzen naar de nieuwe gewijzigde WAQUA bestanden.

Naamgeving geactualiseerde referentie: wos\_ref

Naamgeving variant: wos\_do\_v1

De berekeningen zijn uitgevoerd met simona2019. De berekeningen zijn uitgevoerd in Windows 7. Er is gerekend met 8 processoren.

Tabel 3-2: Overzicht gebruikte uitgangspunten

Uitgangspunten / versies	
Baseline versie	5.3.3
ArcGIS versie	10.3.1
WAQUA/Simona versie	Simona2019
Rooster	rijn20m_waal_5-v6.rgf (vaste afvoerverdeling)
WAQUA deelmodel	Rijn-beno18_5_20m_waal-v1 (vaste afvoerverdeling)
BASELINE referentieschematisatie	Rijn-beno18_5-v1
Gebruikte randvoorwaarden	conform bijgeleverde siminps
Afvoer	16.000 m <sup>3</sup> /s bij Emmerich

Er zijn geen andere aanpassingen in de opgeleverde invoerfiles uitgevoerd. Voor overige uitgangspunten, instellingen en log-files wordt verwezen naar de invoer en uitvoer-files van de betreffende WAQUA en BASELINE schematisaties.

## 4 Beoordeling

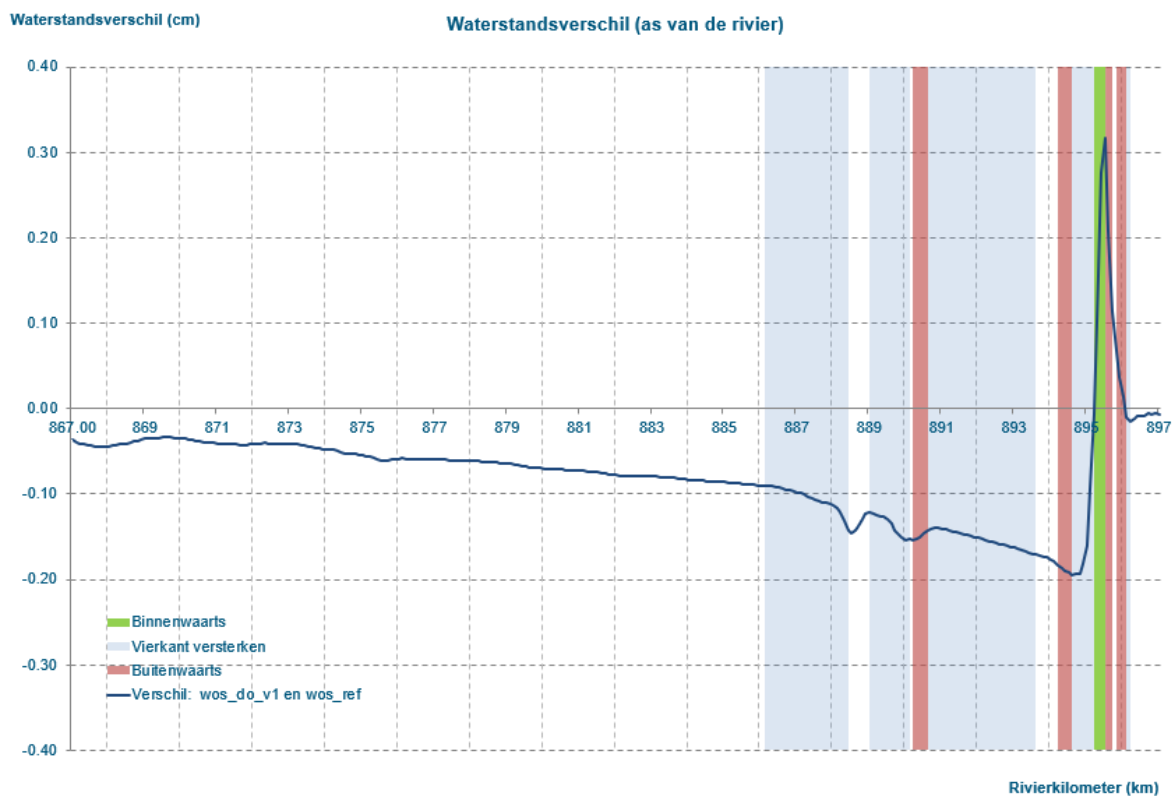
### 4.1 Hydraulische effecten

#### 4.1.1 MHW op de as van de rivier

De waterstand bij maatgevend hoogwater (MHW) op de rivieras voor het ontwerp t.o.v. de referentiesituatie is weergegeven in Figuur 4-1. Het grootste effect is zichtbaar bij rivierkilometer (rkm) 895 bij de as-verschuiving bij Wolferen. Lokaal zorgt de as-verschuiving voor een waterstandsverlagend effect van 1.9 mm. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de as-verschuiving bijdraagt aan het waterstandsverlagend effect op de as van de rivier. Er is ook een opstuwingspiek direct benedenstrooms van de binnenwaartse verplaatsing van de as-verschuiving te zien, deze is 3.1 mm. Hierover staat het volgende in het RBK5.0:

*“Bij ingrepen die een waterstandsverlagend effect hebben, ontstaat benedenstrooms van de waterstandsdeling in bijna alle gevallen een lokale opstuwung, de zogenaamde benedenstroomse piek. Het bevoegd gezag kan instemmen met een benedenstroomse piek in het geval deze 1 mm of meer bedraagt, indien er sprake is van een ruime netto waterstandsverlaging, dat wil zeggen dat de oppervlakte van de verlaging veel groter is dan de oppervlakte van de verhoging.”*

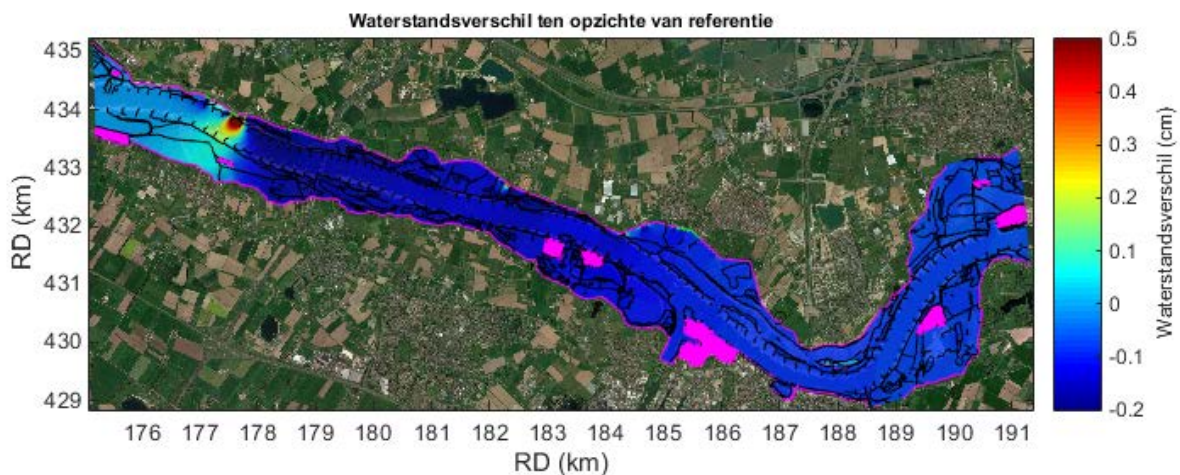
Het oppervlak van de verlaging (die merkbaar is tot aan de modelgrens op de Boven-Rijn) is groter dan de opstuwung. Ter plaatse van de andere buitenwaartse versterkingen is geen opstuwungseffect aanwezig door het waterstandsverlagend effect van de as-verschuiving bij Wolferen. Hiermee kan geconcludeerd worden dat het waterstandseffect op de as van de rivier voldoet aan de eisen uit het RBK.



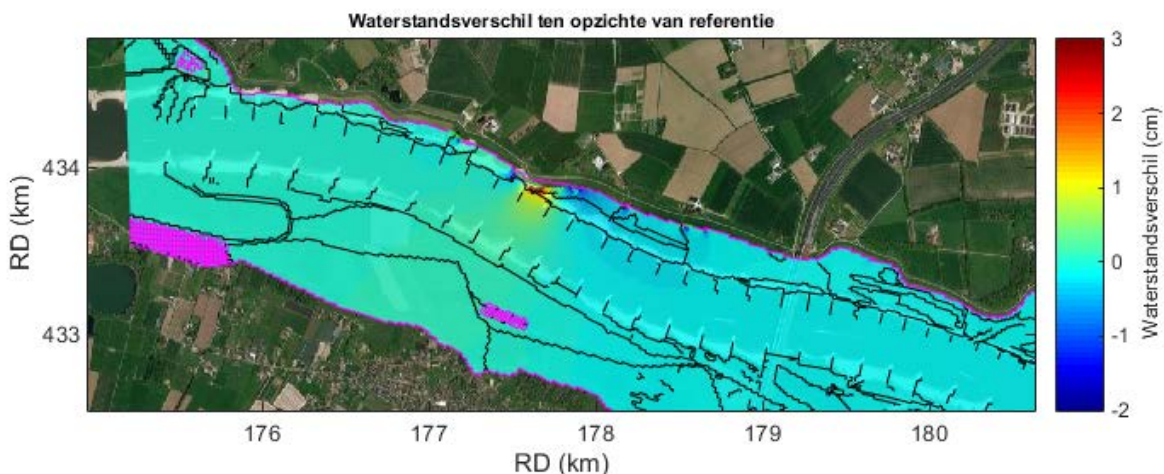
Figuur 4-1: Waterstandsverschil (cm) op de as van de rivier tussen het ontwerp en de referentie

#### 4.1.2 MHW buiten de as van de rivier

De MHW-stand in het 2D-vlak verandert minimaal t.o.v. de referentie zoals te zien in Figuur 4-2. Over het algemeen volgen de waterstandsverschillen in het 2D vlak het patroon dat het waterstandsverschil op de as van de rivier laat zien. Bij de as-verschuiving bij Wolferen zijn lokaal grotere waterstandsverschillen te zien. In Figuur 4-3 is de opstuwingspiek op de as van de rivier goed te zien. Daarnaast is lokaal direct tegen de dijk op de plek van de as-verschuiving een waterstverhogend effect van 3 cm zichtbaar. Rondom de buitenwaartse verplaatsing van de as-verschuiving is een waterstandsverlagend effect te zien van 2 cm. Lokale verschillen tegen de kering aan dienen aan het bevoegd gezag te worden voorgelegd. Dat is in dit geval WSRL. Er wordt aanbevolen om deze verschillen te accepteren en hier geen rekening mee te houden in het dijkontwerp. De verschillen zijn zeer lokaal en relatief klein ten opzichte van de onzekerheden in de hoogtebepaling van de dijk.



Figuur 4-2: Waterstandsverschil (cm) in het 2D-vlak tussen het ontwerp en de referentie



Figuur 4-3: Waterstandsverschil (cm) bij Wolferen in het 2D-vlak tussen het ontwerp en de referentie

#### 4.1.3 Afvoerdeling bij MHW

Het waterstandsverschil is circa 0 cm op de Pannerdensche Kop. Gezien dit zeer kleine waterstandeffect kunnen er geen effecten verwacht worden op de afvoerdeling op het splitsingspunt bij Pannerden. Als gebruikelijke vuistregel wordt een verschuiving van 2 m<sup>3</sup>/s per mm waterstandsvaling op het splitsingspunt gehanteerd. Dit betekent dat de verschuiving in de

afvoerverdeling met een waterstandsverschil van rond de 0 ruim onder de gestelde norm ( $< 5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) valt en er geen nadelige effecten zullen optreden.

#### **4.1.4 Afvoerverdeling bij normaal hoog water**

Het is de verwachting dat de verandering van de afvoerverdeling bij normaal hoog water net zoals de afvoerverdeling bij MHW zeer gering is. Daarbij voldoet ook de afvoerverdeling bij normaal hoog water aan de gestelde norm ( $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

#### **4.1.5 Hinder of schade door hydraulische effecten**

Voor drie verschillende relevante afvoeren zijn de stroomsnelheidsverschillen geploteerd in 5Bijlage 1. Bij lagere afvoeren heeft de maatregel geen invloed op het stroombeeld. De waterstandsverschillen zijn erg klein waardoor de inundatiefrequentie niet zal wijzigen. Het stroombeeld verandert niet of nauwelijks op de normaallijnen (rand van de vaarweg) waardoor er geen verschillen te verwachten zijn met betrekking tot dwarsstroming. Omdat er geen waterstandsverschillen nabij de Pannerdensche Kop zijn, zijn er ook geen veranderingen in de afvoerverdeling.

## **4.2 Morfologische effecten**

In de uiterwaard is het stroomsnelheidsverschil (bij de drie hierboven beschouwde afvoeren) maximaal  $0,1 \text{ m/s}$ , specifiek bij de asverschuiving bij Wolferen. De stroomsnelheidsverschillen zijn erg klein en bovendien zeer lokaal. Dit zal dus niet tot erosie of sedimentatie in de uiterwaard leiden en dus ook niet tot hinderlijke of schadelijke situaties.

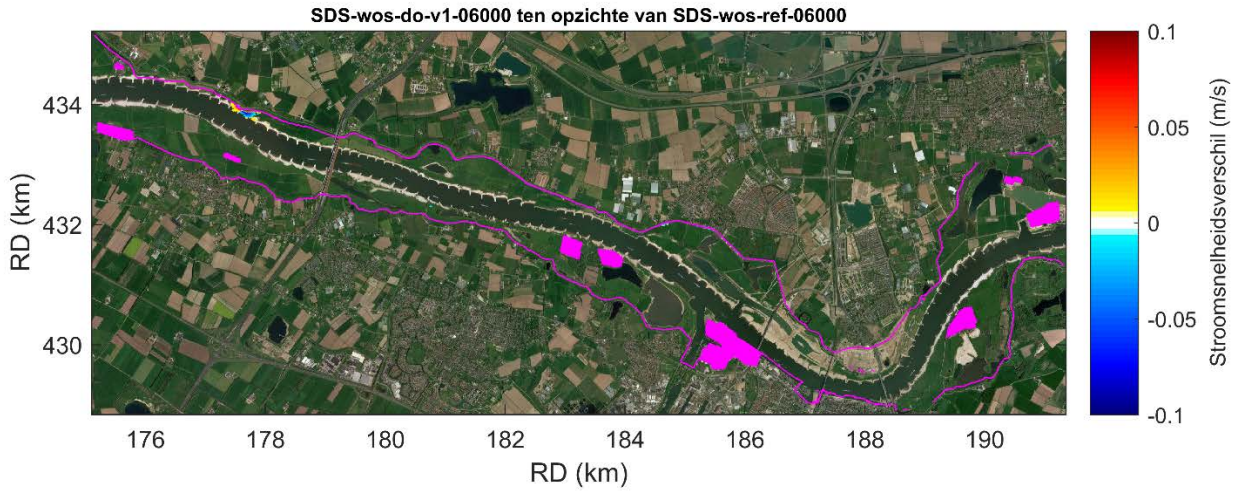
Er zijn geen stroomsnelheidsverschillen in het zomerbed zichtbaar (zie Bijlage 1). De dijkversterking heeft daarom geen invloed op de erosie en sedimentatiepatronen in het zomerbed.

## 5 Conclusie

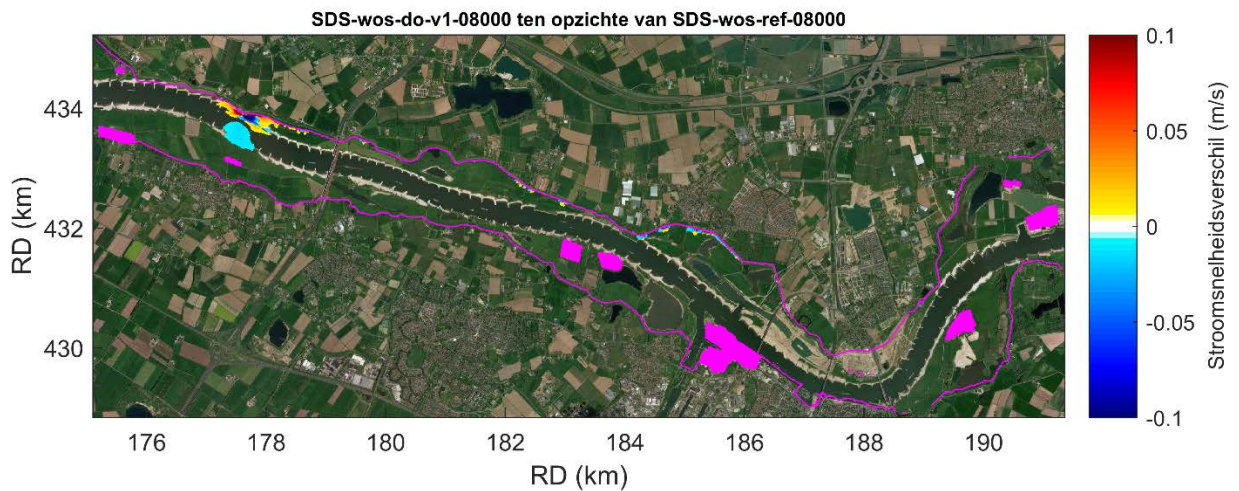
De beoordeling van de variant laat zien dat de rivierkundige effecten beperkt zijn als gevolg van de buitenwaartse verplaatsingen. De effecten van de buitenwaartse versterkingen zijn gering vergeleken met het effect van de binnenwaartse verplaatsing van de as-verschuiving bij Wolferen. De buitendijkse verplaatsing bij Wolferen was door de aanwezigheid van de bebouwing niet verder te optimaliseren zonder negatieve gevolgen te krijgen voor beheer en onderhoud van de dijk. Omdat alleen op noodzakelijke locaties voor een buitenwaartse versterking is gekozen en omdat deze zo minimaal mogelijk zijn uitgevoerd kan het ontwerp niet verder geoptimaliseerd worden. Netto wordt ook waterstandsdeling gerealiseerd, het enige negatieve effect betreft een opstuwingspiek van 3,1 mm waar een significante waterstandsdeling tegenover staat. De opstuwingspiek en stroomsnelheidsverschillen zijn alleen merkbaar direct tegen de dijk, buiten de vaargeul en zorgen daardoor niet voor hinder of schade door hydraulische of morfologische effecten. De dijkversterking heeft daarom geen rivierkundige effecten die niet voldoen aan het rivierkundig beoordelingskader en resulteert daarom in een vergunbaar ontwerp.

## Bijlage 1 Stroombeeld in de uiterwaard

Stroomsnelheidsverschil bij 6.000 m<sup>3</sup>/s



Stroomsnelheidsverschil bij 8.000 m<sup>3</sup>/s



Stroomsnelheidsverschil bij 10.000 m<sup>3</sup>/s

