



STERKE LEKDIJK

Notitie

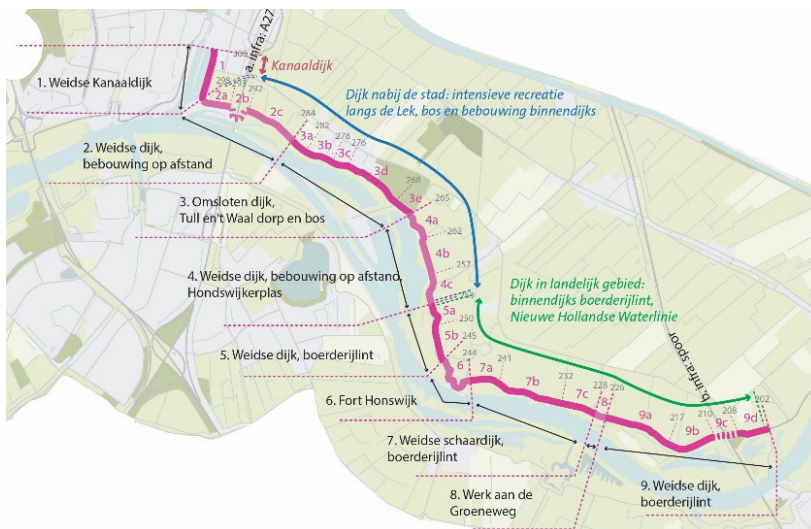
Datum: 14 december 2020
Aan: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR)
Van: Han de Jong (RHDHV)
Review: Erik Arnold, Marcel van den Berg (RHDHV)
Betreft : Rivierkundige analyse buitendijkse versterkingsalternatieven CUB
Referentie: SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0279
Status: Definitief

1. Inleiding

De Lekdijk beschermt een groot deel van Midden en West Nederland tegen overstroming. De dijk voldoet niet aan de waterveiligheidsnormen en daarom versterkt Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) de dijk tussen Amerongen en Schoonhoven over een totale lengte van 55 km. Zo is de dijk ook in de toekomst voldoende veilig en voldoet hij aan de normen die sinds 2017 gelden. De versterking van de Lekdijk is onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Hierbij werken de waterschappen samen met het Rijk om dijken – en dus Nederland – veilig te houden. De dijkversterking tussen Amerongen en Schoonhoven is een te grote klus om ineens te doen. Daarom is dit werk, project Sterke Lekdijk, verdeeld in zes deelprojecten. De dijkversterking Culemborgse Veer – Beatrixsluis is één van deze deelprojecten. Het dijktraject van het project Culemborgse Veer – Beatrixsluis is 10,8 km lang en loopt van de Veerweg van het Culemborgse Veer (dijkpaal 203) tot aan de Beatrixsluis van het Lekkanaal (dijkpaal 306).

STERKE LEKDIJK

Notitie



Figuur 1-1: Overzicht deeltrajecten en dijkvakken dijkversterking Culmborgse Veer – Beatrixsluis

2. Doel notitie

Deze notitie is opgesteld omdat een aantal buitenwaartse versterkingsmaatregelen zijn opgenomen in een kansrijk alternatief van dijkversterking Culmborgse Veer – Beatrixsluis (CUB). Het gaat dan om kansrijk alternatief 3 uit de verkenningsfase die mogelijk het VKA kan worden. In de andere alternatieven is er geen sprake van buitenwaartse dijkversterkingen. Het is dus nog de vraag of er uiteindelijk voor dit alternatief gekozen wordt tijdens de afweging voor het VKA.

In Kansrijk alternatief 3 gaat het om vier dijkvakken (2c, 3b, 3c en 9c) waarbij de as van de dijk enkele meters buitenwaarts is verlegd (richting de Lek).

Buitendijkse versterkingen zorgen voor een vernauwd doorstroomoppervlak en kunnen lokaal een opstuwning van het water veroorzaken bij maatgevend hoogwater (MHW). Het watersysteem van de Lek valt onder het stroomvoerend regime van de Beleidslijn Grote Rivieren. Dat betekent dat de afvoercapaciteit gewaarborgd zal moeten blijven tijdens MWH om het risico op overstroming niet te verhogen. Daarnaast zijn er regels dat deze versterkingen in de rivier geen dwarsstroming in de vaargeul mogen veroorzaken en geen enorm baggerbezwaar opleveren. Dit laatste kan veroorzaakt worden door ongewenste morfologische effecten bij lagere afvoeren. Aan deze criteria zullen de versterkingen getoetst worden. Deze initiële effectbeoordeling is gedaan conform het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) 5.

STERKE LEKDIJK

Notitie

Deze notitie geeft dus antwoord de volgende hoofdvraag: voldoen de buitendijkse dijkversterkingen aan de eisen die gesteld zijn in het RBK?

3. Buitendijkse dijkversterkingsvarianten

Figuur 3.1 geeft een overzicht van de locaties waar de buitendijkse versterking is toegepast (2c, 3b, 3c en 9c) en over welke lengte de buitendijkse versterking plaatsvindt. In Figuur 3.2 is vervolgens schematisch weergegeven hoe de dijk zal worden versterkt. Het gaat om een as-verschuiving van ca. 6 meter in buitenwaartse richting (naar de Lek). Er wordt geen gebruik gemaakt van een buitenberm of een taludverflauwing. Voor het gemak en om enige marge in het ontwerp te hebben, is er gerekend met een as-verschuiving van 10-13 meter over de lengtes uit Figuur 3.1. Dit is gelijk aan de breedte van een cel in het WAQUA-rooster.

Er zijn vijf varianten gedefinieerd die getoetst zullen worden op de criteria. De varianten zijn genoemd naar het dijkvak waar ze in liggen. Ook is er een totaalvariant gemaakt waar alle varianten in zitten:

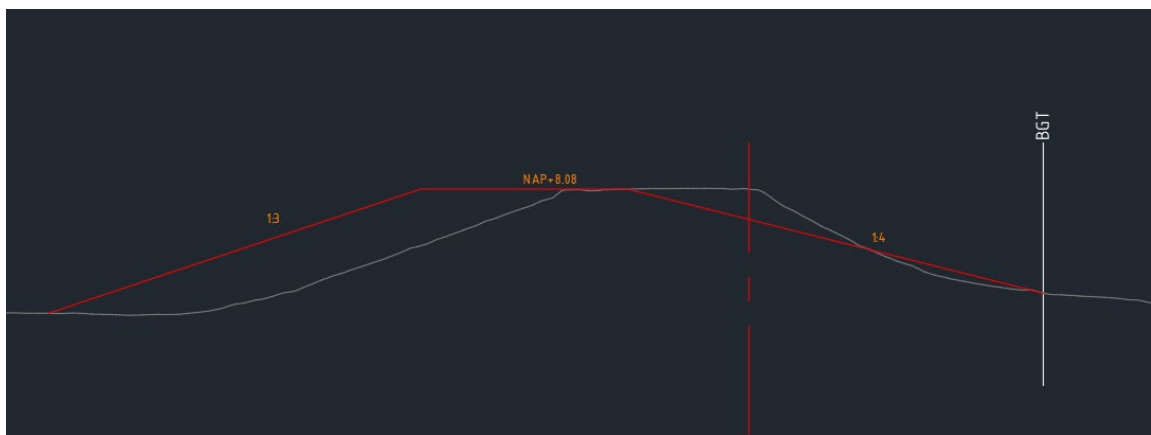
- variant 2c
- variant 3b
- variant 3c
- variant 9c
- variant combinatie (2c, 3b, 3c, 9c)

STERKE LEKDIJK

Notitie



Figuur 3.1: Locaties en lengtes beoogde buitendijkse dijkversterkingen CUB



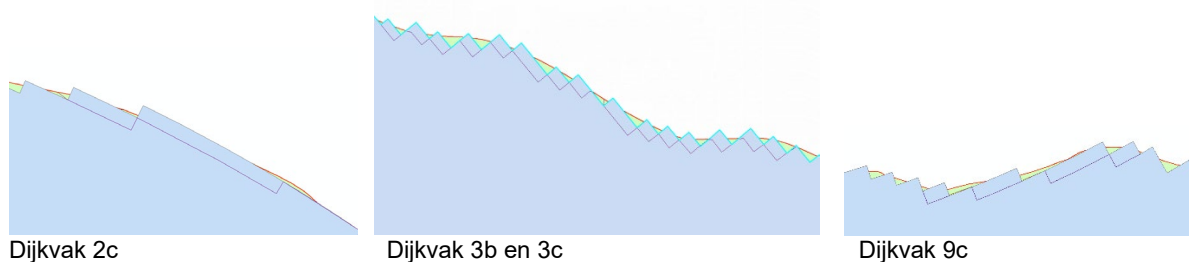
Figuur 3.2: Beoogde buitenwaartse dijkversterking bij alle dijkvakken (2c, 3b, 3c en 9c)

STERKE LEKDIJK

Notitie

Resultaat Baseline schematisaties:

In Figuur 3.3 zijn de schematisaties te zien. In rood de banddijk (de rand van het model). De afgeleide modelranden van het Waqua-rooster zijn ook te zien (blauwe vlak). Er is conform het RBK 5 een hoogwatervrije lijn getrokken die in dit geval de rand met 1 cel opschuift (paarse lijn). Een cel breedte op alle onderzochte trajecten varieert tussen de 10 en 13 meter. Omdat het zulke korte trajecten zijn, kunnen we er niet vanuit gaan dat het gemiddeld wel goed gaat.



Figuur 3.3: Schematisaties dijkversterking m.b.v. een hoogwatervrije lijn in baseline.

4. Uitgangspunten modellering

Om de effectbeoordeling van deze varianten in kaart te brengen is een WAQUA-model gebruikt. De uitgangspunten van de modellering zijn hieronder puntsgewijs neergezet:

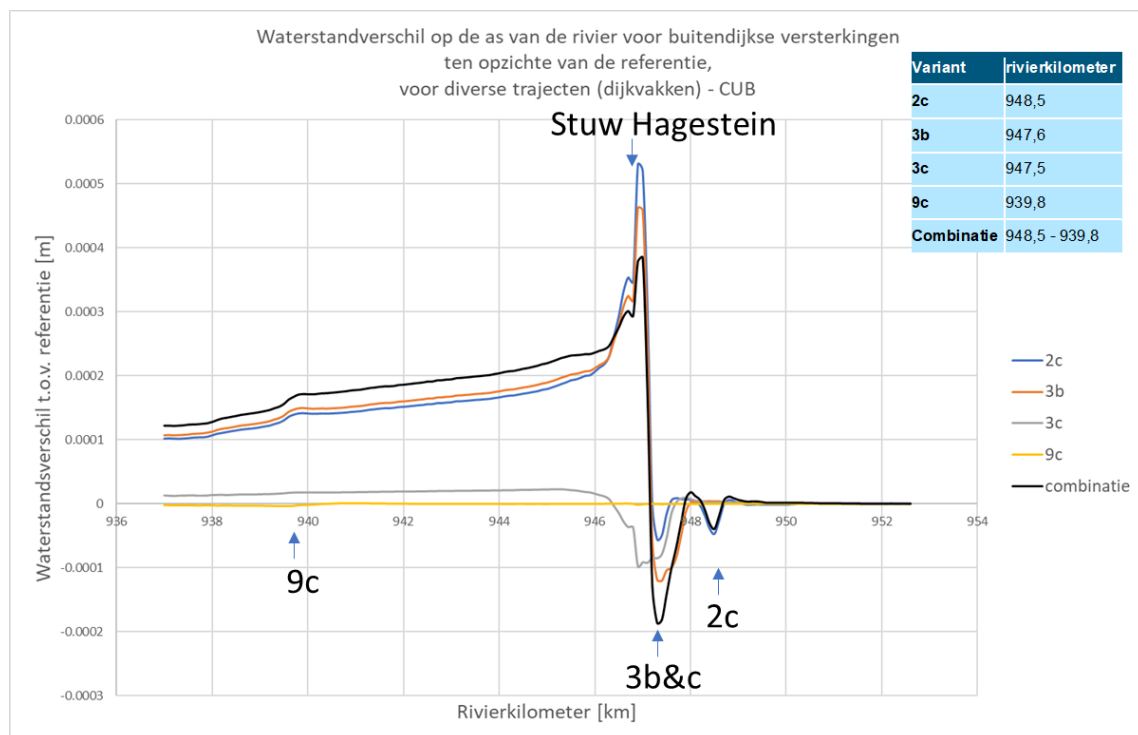
- Voor het genereren van de referentie (stlekdijk_ref) is gebruik gemaakt van het aangeleverde benomodel Rijn-beno18_5-v1. De volgende maatregelen zijn hier op ingemixt om de referentie te verkrijgen:
 - Le_beatrix_a1
 - Le_hdsrrf_a1
 - Le_lekwr_d_c1
 - Le_nieuweg_a1
 - Le_rvdl_a1
- Waqua-berekeningen zijn uitgevoerd met Simona 2017 patch nr 2 op Windows 10;
- De maatregelen zijn gegenereerd en ingemixt met baseline 5.3.3 op Windows 10;
- De buitendijkse dijkversterking in Baseline is geschematiseerd conform bijlage 15 van het Rivierkundig Beoordelingskader 5 (RBK);
- Als maatgevend hoogwater (MHW) is er gerekend met een debiet van: 16000 m³/s bij Lobith;
- Op basis van de resultaten van de MHW som zijn ook de effecten voor dwarsstroming en morfologie ingeschat.

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van één rekencluster.

5. Resultaten

5.1 Waterstandsverschil

Het waterstandsverschil van de berekende varianten (t.o.v. de referentie) op de as van de rivier is te zien in Figuur 5.1. Ter verduidelijking is in de figuur een tabel opgenomen (rechtsboven) met daarin aangegeven de rivierkilometer waar de buitendijkse versterkingen liggen.



Figuur 5.1: Waterstandsverschil van alle varianten t.o.v. de referentie in de as van de rivier

De eerste observatie is dat de waterstandsverschillen **allemaal onder de 1 mm** liggen met een maximaal effect van 0.53 mm bij variant 2c. Het RBK stelt een marge van 1 mm voor mogelijke onnauwkeurigheden in de modelberekeningen. Dit betekent dat een berekende waterstandsverhoging tot 1 mm in de as van de rivier wordt geaccepteerd. Op basis van deze resultaten kan worden geconcludeerd dat de buitendijkse dijkversterkingsvarianten voldoen aan de MHW-eisen uit het Rivierkundig Beoordelingskader.

Wel wekt dit resultaat nog wat vragen op zoals: waarom is de piek van de gecombineerde variant (2c, 3b, 3c, 9c) lager dan bijvoorbeeld alleen variant 2c of 3b? Waarom treden de pieken op dezelfde locatie

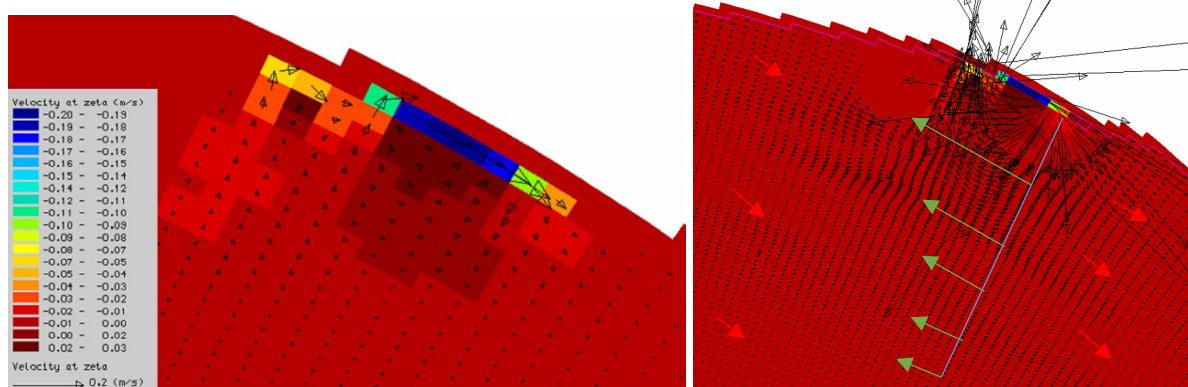
op terwijl de buitendijkse versterkingen op andere locaties liggen? En waarom is het effect van variant 3b zo hoog en 3c zo laag terwijl dit buitendijkse versterkingen zijn van dezelfde grootte op dezelfde locatie?

De afwijkingen zijn (na onderzoek) toe te schrijven aan modelonnauwkeurigheden ter hoogte van stuw Hagestein en de overlaat bij de Ossenwaard die er bij hoogwater ontstaat. Dit is in paragraaf 5.2 nader toegelicht.

5.2 Verklaring afwijkingen

Variant 2c

Ter hoogte van dit dijkvak (rkm 948,5) is het waterstandseffect van de buitendijkse versterking te zien in Figuur 5.1; er is sprake van een zeer lokale waterstandverhoging van 0.005 mm en vervolgens een verlaging van 0.03 mm. De daling is significant groter dan de stijging. Dit komt mogelijk doordat ter plaatse van de dijkversterking er over een groot deel van de rivier een stroomversnelling optreedt. Het verhogende effect spreid zich meer uit over het bovenstroomse traject en is daardoor kleiner.



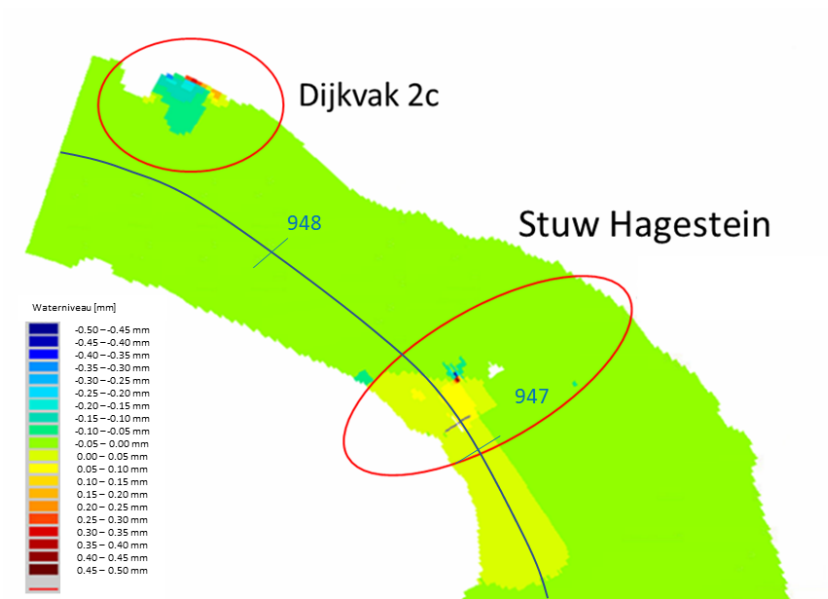
Figuur 5.2: Stroomsnelheidsverschil rondom dijkvak 2c.

In Figuur 5.3 is het waterstandsverschil te zien ten opzichte van de referentie (tweedimensionaal weergegeven). Het waterstandseffect is duidelijk te zien bij dijkvak 2c, maar rond stuw Hagestein is er ook een verstoring te zien. Deze verstoring is onverwacht, want deze variant bevat alleen de hoogwatervrije lijn van dijkvak 2c. Er is verder ook geen verschil te vinden in baseline input en de afgeleide Waqua-bestanden die zijn gebruikt bij de rivierkundige berekeningen. De stuw is in beide situaties helemaal getrokken en daarmee zijn er geen verschillen in het doorstroomprofiel bij de stuw. Aangezien het om een zeer kleine verstoring gaat ($< 1\text{mm}$), die hydraulisch niet is te verklaren rond de stuw Hagestein gaan we hier geen verder onderzoek naar doen.

Het waterstand verhogende effect op de as van de rivier is niet gerelateerd aan de as-verlegging, maar aan modelonnauwkeurigheid.

STERKE LEKDIJK

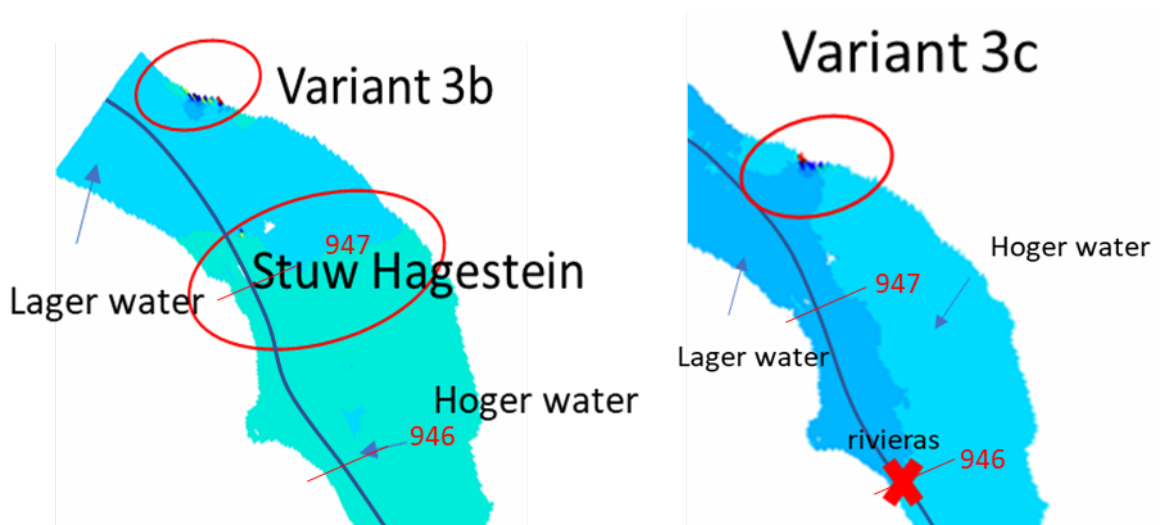
Notitie



Figuur 5.3: Waterstandsverschil variant 2c t.o.v. de referentie

Varianten 3b en 3c

De verstoring (toe te schrijven aan modelonnauwkeurigheden) zoals die optreedt bij variant 2c, is ook te zien variant 3b, maar niet bij variant 3c. De waterstandsverschillen van de varianten met de referentie zijn te zien in Figuur 5.4.



Figuur 5.4: Waterstandsverschil t.o.v. de referentie voor variant 3b en 3c.

STERKE LEKDIJK

Notitie

Er is ook te zien dat de waterstandverhoging van variant 3c pas veel verder bovenstrooms wordt gemeten op de rivier-as (punt x, rood). De versterking van variant 3c ligt immers rond rkm 947,6 terwijl het effect hiervan ligt rond rkm 946. Dit zien we goed terug in de waterstandsverschillijn in Figuur 5.1.

Het effect van variant 3c is extreem klein (0.02 mm). Aangezien de effecten in deze berekening voor een deel hydraulisch te onderbouwen zijn, is het aannemelijk dat deze orde van effect ook voor de andere buitendijkse versterkingsmaatregelen mag worden verwacht. De orde grootte van de verstoring bij stuw Hagestein is dus ongeveer 0.5 mm.

Variant 9c

Bij variant 9c is sprake van een zeer kleine waterstandverlaging van 0.001 mm. Ook bij variant 9c, welke gelegen is bovenstrooms van stuw Hagestein, is een verstoring te zien rondom de stuw. Aangezien het om een zeer kleine verstoring gaat (< 1mm), die hydraulisch niet is te verklaren, gaan we uit van een modelonnauwkeurigheid

5.3 Effecten op dwarsstroming en morfologie

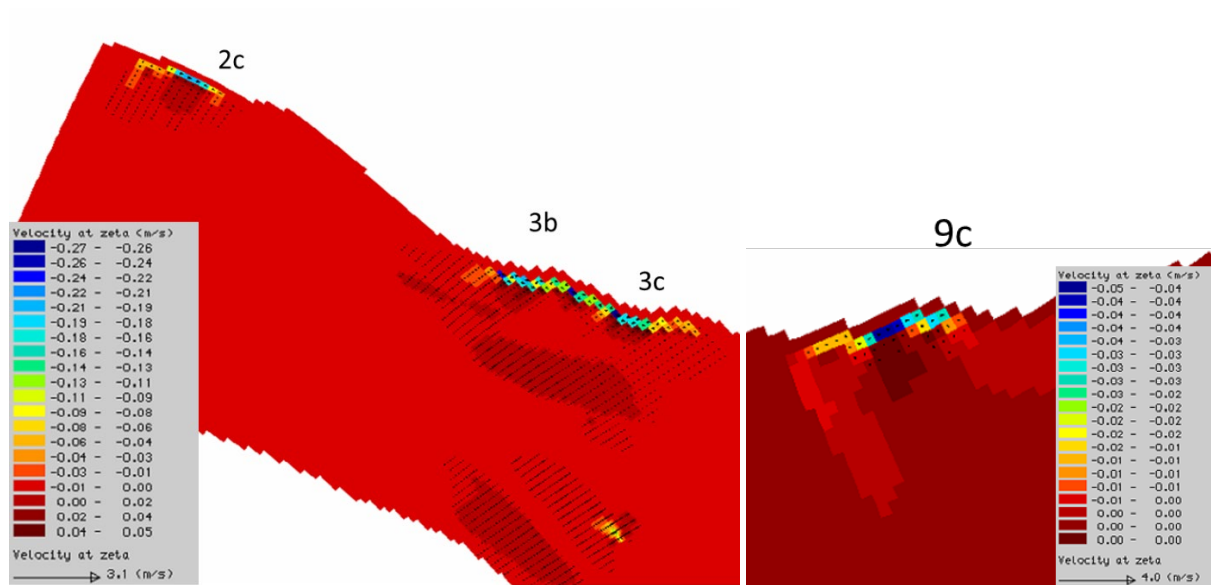
In Figuur 5.5 is het stroomsnelheidsverschil van de combinatievariant afgebeeld. Er is te zien dat er alleen zeer lokaal bij de buitendijkse versterkingsmaatregelen een afname in de stroomsnelheid is.

Op basis van deze resultaten kan er worden geconcludeerd dat er geen significante stroomsnelheidsverschillen optreden in het zomerbed en winterbed. Dit betekent dat er geen morfologische effecten en geen verandering van dwarsstroming in de vaargeul zijn te verwachten.

Wederom is in Figuur 5.5 de verstoring te zien rond de stuw Hagestein. Aangezien deze kleine verstoring hydraulisch niet is te verklaren, gaan we wederom uit van een modelonnauwkeurigheid die je normaal niet zou opmerken.

STERKE LEKDIJK

Notitie



Figuur 5.5: Stroomsnelheidsverschil van de combinatie (alle buitendijkse versterkingen) t.o.v. referentie op het hele traject.

6. Conclusie

De hoofdvraag luidde als volgt: voldoen de buitendijkse dijkversterkingen aan de eisen die gesteld zijn in het RBK?

De opstuwende werking van de buitenwaartse dijkversterkingsmaatregelen (bij dijkvak 2c, 3b, 3c en 9c) is beperkt en blijft onder de norm (< 1 mm) van het rivierkundig beoordelingskader. De resultaten bevatten kleine afwijkingen, maar deze vallen in dezelfde orde en zijn allemaal te verklaren. Er wordt geen effect op de dwarsstroming en morfologie in de vaargeul verwacht omdat er geen significante stroomsnelheidsverschillen in het zomerbed en winterbed optreden.

Volgens het Rivierkundig Beoordelingskader hoeven er bij deze versterkingen dus geen compenserende maatregelen worden getroffen als er voor dit kansrijke alternatief wordt gekozen.

De tabel uit het Rivierkundig beoordelingskader is met deze conclusies ingevuld en staat in Bijlage A

STERKE LEKDIJK

Notitie

7. Vervolg

Bij de keuze van kansrijk alternatief 3 als VKA, zal deze notitie worden uitgebreid met een dwarsstroming en morfologische analyse. Ook zal de baseline schematisatie worden aangepast zodat het precieze ontwerp (positie hoogwatervrije lijn) wordt nagebootst en niet een *worst case* ontwerp. De onderbouwing voor de buitenwaartse dijkversterking zal dan ook nog scherper worden toegelicht.

Deze notitie en Baseline schematisatie kunnen vervolgens als startpunt gebruikt worden voor de planuitwerkingsfase. In deze fase zal wel een nieuw BenO model moeten worden opgevraagd bij RWS om de analyses uit te voeren.

Bijlage A: Conclusietabel RBK

De tabel uit het Rivierkundig beoordelingskader is met deze conclusies als volgt ingevuld

Tabel 6.1: Conclusie vanuit Rivierkundig Beoordelingskader 5

		Aspect	Conclusie	Toelichting
Hoogwaterveiligheid	1.1	Ingrep in stroomvoerend deel	VOLDOET	Waterstandseffect kleiner dan 1mm voor alle opties apart en gezamenlijk
	1.2	Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier		
	1.3	Afvoerverdeling bij maatgevende Boven-Rijn afvoer	VOLDOET	De ingrep heeft geen effect op de Bovenrijn afvoerverdeling. Er is geen bovenstrooms waterstandsverschil.
	1.4	Afvoerverdeling bij hoge BovenRijn afvoer	VOLDOET	Zelfde redenering
	1.5	Ijsafvoer	N.V.T	Niet van toepassing
Hinder of schade door hydraulische effecten	2.1	Inundatiefrequentie van de uiterwaard	VOLDOET	Geen waterstandsverhogend effect
	2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	VOLDOET	Geen grote stroomsnelheidsverschillen in de uiterwaard
	2.3	Stroombeeld in vaarweg	VOLDOET	Geen stroomsnelheidsverschillen in de vaarweg
	2.4	Afvoerverdeling bij hoge BovenRijn afvoer	VOLDOET	Geen effect op deze locatie
	2.5	Afvoerverdeling bij lage Boven-Rijn afvoer	VOLDOET	Geen effect op deze locatie
	2.8	Onttrekking water uit zomerbed Rijntakken	Nvt	nvt
	2.9	Waterstand en stroombeeld in de vaargeul in de Nederlands-Duitse grensregio bij lage en mediane Boven-Rijn afvoeren	Nvt	Nvt
Morfologische effecten	3.1	Sedimentatie en erosie van het zomerbed (+ oevers)	VOLDOET	Geen stroomsnelheidsverschillen in het zomerbed
	3.2	Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeulen	VOLDOET	Geen grote stroomsnelheidsverschillen in het winterbed