

Witteveen+Bos
 Van Twickelostraat 2
 Postbus 233
 7400 AE Deventer
 0570 69 79 11
www.witteveenbos.nl

onderwerp milieueffectrapport Overnachtingshaven Lobith -
 deelrapportage rivierkunde
 opdrachtgever projectteam Overnachtingshaven Lobith
 referentie AH660-1-225/15-018.673
 opgemaakt door drs. W.M. Zuiderwijk
 goedgekeurd door drs. J.M. van Nieuwpoort
 status definitief
 datum opmaak 13 november 2015

paraaf


INHOUDSOPGAVE
blz.

1. KADERS VOOR HET MER	1
1.1. Wet- en regelgeving rivierkunde	1
1.2. Beleidskader	1
1.3. Richtlijnen	1
1.4. Beoordelingskader - MER	3
1.5. Werkwijze	5
1.5.1. Methode ter beoordeling inrichtingsvarianten (MER fase)	5
1.5.2. Methode ter beoordeling Voorkeursvarianten	7
1.5.3. Studiegebied	8
2. HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELINGEN TUINDORP	10
2.1. Beschrijving huidige situatie	10
2.2. Beschrijving autonome ontwikkelingen	13
2.2.1. Ruimtelijke ontwikkelingen en plannen	13
2.2.2. Bodemdaling	15
2.3. Referentiesituatie	17
3. EFFECTEN VARIANTEN EN MITIGATIE EN COMPENSATIE TUINDORP	17
3.1. Effecten varianten	17
3.1.1. Effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	17
3.1.2. Afvoerverdeling bij Pannerdensche kop	19
3.1.3. Dwarsstroming	19
3.1.4. Morfologie	20
3.1.5. Overzicht effectbeoordeling	23
3.1.6. Conclusies	23
3.2. Mitigatie en compensatie	24
3.2.1. Aanzet mitigerende en compenserende maatregelen	24
3.2.2. Verwachte resteffecten na toepassing maatregelen	24
4. GEHONOREERDE MITIGATIE EN COMPENSATIE EN EFFECTEN VOORKEURSVARIANT TUINDORP	24
4.1. Gehonoreerde mitigatie en compensatie	24

4.2.	Effecten voorkeursvariant	24
4.2.1.	Effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	24
4.2.2.	Hinder en/of schade door hydraulische effecten	26
4.2.3.	Morfologische effecten	31
4.2.4.	Overzicht RBK toets en conclusie	32
4.2.5.	Overzicht MER beoordeling en conclusie	34
5.	HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELINGEN SPIJK	35
5.1.	Beschrijving huidige situatie	35
5.2.	Beschrijving autonome ontwikkelingen	40
5.3.	Referentiesituatie	40
6.	EFFECTEN VARIANTEN SPIJK	40
6.1.	Overzicht definities en gehanteerde hoogten havendammen	40
6.2.	Effecten varianten	41
6.2.1.	Effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	41
6.2.2.	Afvoerverdeling bij Pannerdensche kop	46
6.2.3.	Dwarsstroming	47
6.2.4.	Morfologie	50
6.2.5.	Overzicht effectbeoordeling	57
6.2.6.	Conclusies	58
6.3.	Mitigatie en compensatie Spijk	58
6.3.1.	Aanzet mitigerende en compenserende maatregelen	58
6.3.2.	Verwachte resteffecten na toepassing maatregelen	59
7.	GEHONOREERDE MITIGATIE EN COMPENSATIE EN EFFECTEN VOORKEURSARIANT SPIJK	60
7.1.	Gehonoreerde mitigatie en compensatie	60
7.2.	Effecten referentieontwerp	60
7.2.1.	Hoogwaterveiligheid	60
7.2.2.	Hinder en/of schade door hydraulische effecten	63
7.2.3.	Morfologische effecten	71
7.2.4.	Overzicht RBK toets en conclusie	79
7.2.5.	Overzicht MER beoordeling en conclusie	82
7.3.	Compenserende maatregelen	83
8.	REFERENTIES	84
9.	AFKORTINGEN EN BEGRIPPEN	85
	laatste bladzijde	86

BIJLAGEN	aantal blz.
I	WAQUA bodemschematisaties varianten Spijk
II	Uitvoerpunten langs de primaire waterkering
III	Baseline schematisatie (Bodem en Ruwheid) VKV's
IV	WAQUA bodem schematisatie VKV's
V	Afbeeldingen dwarsstroming VKV Tuindorp en Spijk
VI	Notitie optimalisatie inrichtingsvarianten
VII	Notitie Rivierkundige effecten VKV's
VIII	Notitie Geleidende oever
IX	Notitie Morfologische effecten langsdam Tuindorp
X	RBK toetsing Tussenvariant

Leeswijzer

Deze deelrapportage maakt integraal deel uit van het milieueffectrapport Overnachtingshaven Lobith. Het doel van het project en de beschrijving van de varianten is opgenomen in de hoofdtekst van het milieueffectrapport.

1. KADERS VOOR HET MER

In dit hoofdstuk is eerst ingegaan op het wettelijk en beleidskader vanuit het thema rivierkunde. Vervolgens op het gehanteerde beoordelingskader, de methodiek en het studiegebied vanuit dit thema.

Het doel van het rapport is tweeledig:

1. effectbeoordeling ten behoeve van het MER;
2. rivierkundige toetsing van de voorkeursvariant (VKV) conform Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) in het kader van de Waterwetvergunning.

1.1. Wet- en regelgeving rivierkunde

Waterwet (Wtw)

Initiatiefnemers die maatregelen willen nemen in het zomer- of winterbed van de Rijnakken, de Maas, de Rijn-Maasmonding of het Zwarte Water moeten hiervoor bij Rijkswaterstaat een vergunning aanvragen in het kader van de Waterwet (een watervergunning). De gekozen voorkeursvariant (VKV) dient te voldoen aan de Waterwet.

1.2. Beleidskader

Beleidslijn Grote Rivieren

De doelstelling van de Beleidslijn is om de beschikbare afvoer- en bergingscapaciteit van het rivierbed te behouden en ontwikkelingen tegen te gaan die de mogelijkheid tot rivierversuiming door verbreding en verlaging nu en in de toekomst feitelijk onmogelijk maken. De Beleidslijn stelt regels aan de toelaatbaarheid van activiteiten en indien toelaatbaar, aan de voorwaarden aan de uitvoering van deze activiteiten. Het Rivierkundig Beoordelingskader is deels een uitwerking van deze voorwaarden voor activiteiten die toelaatbaar én vergunningplichtig zijn. De Beleidslijn Grote Rivieren schrijft voor welke activiteiten zijn toegestaan in het projectgebied en onder welke voorwaarden.

1.3. Richtlijnen

Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren 3.0 (Rijkswaterstaat Water, Verkeer en leefomgeving, RWS Oost-Nederland, 2014)

Het kader gaat in op de te toetsen rivierkundige aspecten van een vergunningaanvraag, de hierbij te gebruiken rivierkundige modellen en randvoorwaarden en de te hanteren normering (criteria). De VKV zal worden getoetst aan de eisen omtrent hydraulica, hinder of schade door hydraulische effecten en morfologische effecten zoals voorgeschreven in het RBK 3.0 (lit. 1.). Afbeelding 1.1 bevat de beoordelingscriteria bij de te beoordelen aspecten voor ingrepen in de Rijnakken.

Afbeelding 1.1. Beoordelingscriteria bij te beoordelen aspecten voor ingrepen in de Rijntakken [lit. 1.]

		Beoordelingscriteria			Beoordelaar toelaatbare effecten
	§	Te beoordelen aspect	Aanvragen vergunning Waterwet	Aanvullende criteria PDR RvdR	
Hoogwaterveiligheid	1.1	Maatregel in stroomvoierend deel rivier: MHW stand op de as van de rivier Maatregel in bergend deel rivier: Volume waterberging	Stroomvoierend: geen waterstandverhoging ¹⁾ (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn) Bergend: geen vermindering bergend volume	Waterstandverlaging ≥ taakstelling (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn ³⁾)	Taakstelling: PDR Waterwet: RWS-ON
	1.2	MHW stand buiten as van de rivier	Toename waterstand (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn).	Toename waterstand (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn)	Beheerder waterkering
	1.3	Afvoerverdeling bij MHW (bij Pannerdensche Kop en IJsselkop)	Verandering afvoerverdeling < 5 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 16.000 m ³ /s	Correctie tussentijdse verandering afvoerverdeling met (tijdelijke) maatregelen, ter beoordeling bevoegd gezag (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn). Voor details: zie toelichting R3 in deel 1C.	Taakstelling: PDR Waterwet: RWS-ON
	1.4	Afvoerverdeling bij normaal hoogwater (bij Pannerdensche Kop en IJsselkop)	Verandering afvoerverdeling < 20 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	-	RWS-ON
Hinder of schade door hydraulische effecten	2.1	Waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard	Verandering waterstanden en/of inundatiefrequentie bij afvoeren die afhankelijk zijn van lokale omstandigheden ²⁾ . Standaard is Boven-Rijn afvoer van 16.000 m ³ /s, plus vaak ook de Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	-	Terrein-Eigenaar
	2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	Verandering grootte en richting stroomsnelheden bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	-	Terrein-Eigenaar
	2.3	Stroombeeld in hoofdgeul	Geconcentreerde dwarsstrooming < 50 m ³ /s: dwarsstroom-snelheid vaarweg ≤ 0,3 m/s; Geconcentreerde dwarsstrooming > 50 m ³ /s: dwarsstroom-snelheid vaarweg ≤ 0,15 m/s of aantonen dat toename padbreedte schip t.g.v. dwarsstroom kleiner is dan 1/2B	-	RWS-ON
	2.4	Afvoerverdeling bij normaal hoogwater	Verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	-	RWS-ON
	2.5	Afvoerverdeling bij lage afvoeren	Afwijking afvoerverdeling < 1 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m ³ /s (OLR ³⁾)	-	RWS-ON

Morfologische effecten	3.1	Sedimentatie en erosie van het zomerbed (+ oevers) 1. door ingrepen zomerbed 2. door ingrepen winterbed	Bij erosie: -geen verlaging gemiddelde bodemligging⁴⁾; -geen oevererosie⁴⁾; -Beperkte ontgronding bij constructies per hoogwater⁵⁾; Bij sedimentatie: -geen vermindering vaargeulafmetingen bij lage tot gemiddelde rivierafvoeren³⁾; -geen verhoging MHW op lange termijn; In het algemeen: -beperkte hinder door baqqueren en/of terugstorten en behouden vlotheid en veiligheid scheepvaartverkeer; -geen onacceptabele terugschrijdende erosie of sedimentatie i.v.m. risico verandering afvoerdeling bij MHW of OLR;	-	RWS-ON
	3.2	Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeulen: 1. sedimentatie winterbed 2. erosie winterbed	Bij sedimentatie: - Beperkte beheerskosten⁶⁾ Bij erosie: -geen ongewenste zijdelingse verplaatsing van de nevengeul (nevengeul minimaal 50-100 m van waterkering of indien nodig meer); -stroomsnelheid in nevengeul bankfull < 0,3 m/s⁷⁾; - geen bodemerosie langs waterkering;	-	RWS-ON / terrein- beheerder / waterkering- beheerder

¹⁾ In de praktijk wordt een waterstandsverhoging tot 1 mm toegestaan om rekening te houden met mogelijke "numerieke instabiliteit" in WAQUA (dit zijn kleine fluctuaties van het numerieke rekenproces). Gemiddeld mag er geen waterstandsverhoging optreden.

²⁾ Keuze afvoerniveaus in overleg met rivierbeheerder.

³⁾ In bijzondere gevallen kan de beheerder de verdeling van de afvoer bij een ingreep ook opvragen bij andere afvoeren van de Boven-Rijn dan OLR, bijvoorbeeld bij een gemiddelde Boven-Rijn afvoer.

⁴⁾ Bij erosie in zomerbed en op oevers geldt het principe 'nee, tenzij', om het belang van het functioneren van het waterstaatswerk i.r.t. veiligheid en scheepvaart te borgen. Gecontroleerde erosie kan wel worden toegestaan als aan deze voorwaarden wordt voldaan. Een voorbeeld hiervan zijn de aanleg van natuurvriendelijke oever t.b.v. de Kaderrichtlijn Water. Een ander voorbeeld is de Ruimte voor de Rivier maatregel 'zomerbedverdieping'. Deze is alleen in het overgangsgebied van de Rijn takken mogelijk met aanvullend sedimentbeheer, o.a. om terugschrijdende erosie tegen te gaan.

⁵⁾ Voor specifieke criteria en afmetingen: zie *Bijlage 3* en *Bijlage 5*.

⁶⁾ Hoeveel 'beperkte beheerskosten' zijn, kan van dienst tot dienst verschillen en is ter beoordeling van het bevoegd gezag.

⁷⁾ Richtlijn voor zandige rivierbodem. Exacte waarde hangt af van lokale bodemsamenstelling en -ruwheid.

1.4. Beoordelingskader - MER

Tabel 1.4 presenteert het beoordelingskader dat wordt gehanteerd voor het thema rivierkunde in het MER. Voor de effectbeoordeling is aangesloten bij de rivierkundige aspecten van MIRT2 (lit. 7.).

Tabel 1.4. Beoordelingskader Rivierkunde

aspect	criterium	methode
effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	geen waterstandsverhoging op de rivieras (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn) geen toename waterstand (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn) t.p.v. de waterkering ¹ .	kwantitatief (WAQUA som bij 16.000 m ³ /s)
afvoerverdeling bij MHW	verandering afvoerverdeling bij de Pannerdensche Kop < 5 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 16.000 m ³ /s	kwalitatief
dwaarsstroming	Geconcentreerde dwaarsstroming < 50 m ³ /s: dwaarsstroomsnelheid vaarweg ≤ 0,3 m/s; Geconcentreerde dwaarsstroming > 50 m ³ /s: dwaarsstroomsnelheid vaarweg ≤ 0,15 m/s of aantonen dat toename padbreedte schip t.g.v. dwarsstroom kleiner is dan ½B	kwantitatief (WAQUA som bij 6.000 m ³ /s)
morfologie	beperkte aanzanding (uitgaande van overdiepte en baggerkosten) in het zomerbed, havenmond en haven	kwalitatieve beschouwing op basis van stroomsnelheidsverschillen bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 m ³ /s.

Onderstaande tabellen geven de beoordeling van de vier aspecten weer.

Tabel 1.5. Beoordeling effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)

score	maatlat
--	sterk negatief, waterstand neemt toe (> 1 mm)
-	negatief, er is beperkte stijging van de waterstand (tussen 0 mm en 1 mm)
0	neutraal, geen verhoging van de waterstand
+	positief, verlaging van de waterstand (tussen 0 en 1 mm)
++	sterk positief, sterke verlaging van de waterstand (> 1 mm)

Tabel 1.6. Beoordeling afvoerverdeling

score	maatlat
--	sterk negatief, verandering van de afvoerverdeling is groter dan 5 m ³ /s
-	negatief, verandering van de afvoerverdeling is tussen de 0 en 5 m ³ /s
0	neutraal, geen verandering van de afvoerverdeling

Tabel 1.7. Beoordeling dwaarsstroming

score	maatlat
--	sterk negatief, dwaarsstroming neemt toe en absolute waarde* > 0,30 m/s
-	negatief, dwaarsstroming neemt toe, absolute waarde < 0,30 m/s
0	neutraal, dwaarsstroming wijzigt niet
+	positief, dwaarsstroming neemt af (> 5 %)
++	sterk positief, dwaarsstroming neemt sterk af (> 10 %)

* Het gaat hier om de absolute waarde van de dwaarsstroming van de variant en niet het effect t.o.v. de referentie.

¹ Ter beoordeling beheerder waterkering, waterschap Rijn & IJssel.

Tabel 1.8. Beoordeling morfologie

score	maatlat
--	sterk negatief, significante sedimentatie in het zomerbed (> 20 cm) of dusdanige erosie dat stabiliteit van constructies in gevaar komt.
-	negatief, enige sedimentatie in het zomerbed (tot 20 cm)
0	neutraal, stabiele situatie
+	positief, lichte erosie van het zomerbed (enkele cm's)
++	sterk positief, erosie van het zomerbed, mits de stabiliteit van constructies niet in gevaar komt

1.5. Werkwijze

1.5.1. Methode ter beoordeling inrichtingsvarianten (MER fase)

RWS-ON heeft tijdens de start van dit project aangegeven dat een up-to-date Baseline en WAQUA versie niet tijdig geleverd kan worden. Daarom is tijdens de PSU besloten in eerste instantie te rekenen met een reeds beschikbaar Baseline en WAQUA schematisatie uit 2014 (beno14_5-v2). Dit model bevat onder andere de recent aangelegde harde laag. De varianten zijn in Baseline versie 5 geschematiseerd volgens (lit. 6.) en daarna naar WAQUA geëxporteerd.

Voor het bepalen van de hydraulische en morfologische effecten zijn simulaties met WAQUA uitgevoerd van de referentiesituatie en voor de situatie met de havens Spijk en Tuindorp voor de afvoeren 6.000 m³/s en 16.000 m³/s. De effecten zijn bepaald door de verschillen tussen de referentiesituatie en nieuwe situatie in de waterstand, afvoerdeling, stroomsnelheid te analyseren. De stroomsnelheidsverschillen zijn gebruikt om de morfologische effecten in te schatten.

Effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)

Het effect op de hoogwaterveiligheid (MHW) is bepaald bij een Boven-Rijnafoer van 16.000 m³/s. Hiervoor zijn de waterstandverschillen op de rivieras per rivierkilometer (rkm) voor de inrichtingsvarianten en elke 100 m voor de Voorkeursvarianten bepaald. Daarnaast zijn ook de waterstandverschillen bij MHW in kaart gebracht in het 2D-vlak.

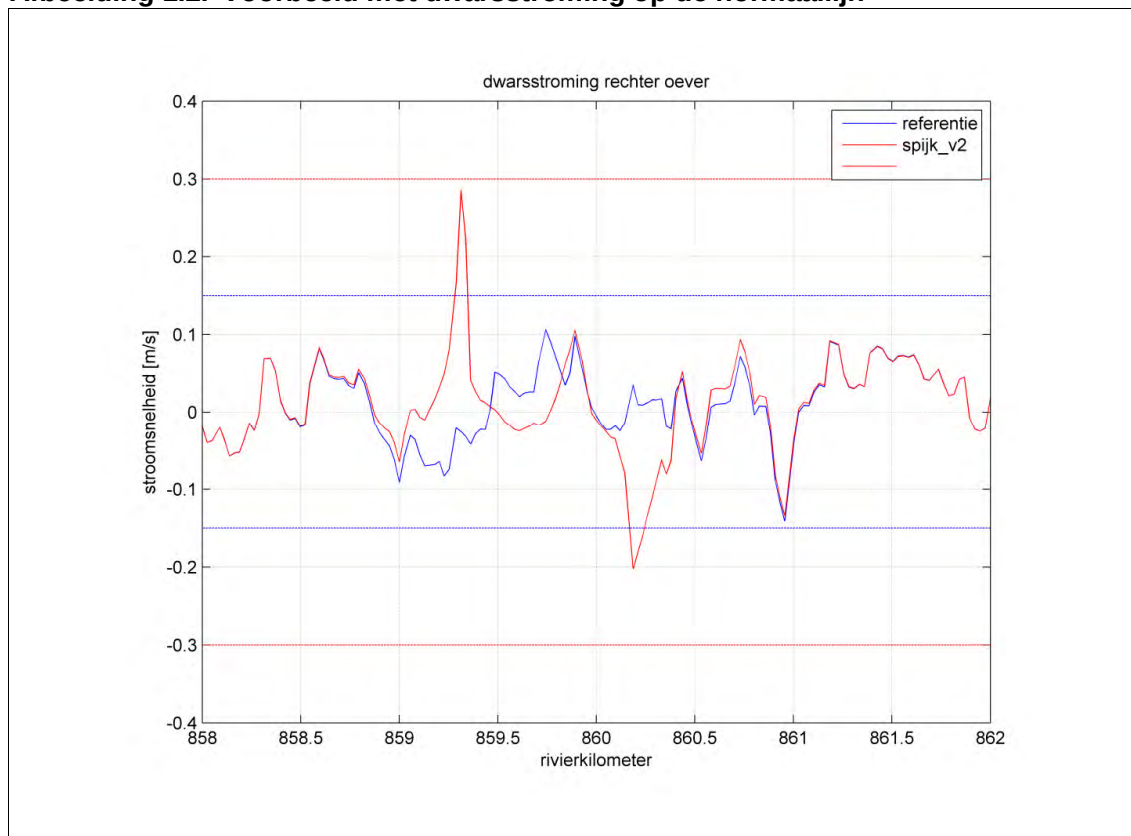
Dwarsstroming

De dwarsstroming op de normaallijn van de referentie en de varianten is bepaald met WAQUA bij een Boven-Rijnafoer van 6.000 m³/s. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in afbeelding 1.2. Een positieve waarde betekent een dwarsstroming richting de rivier en een negatieve waarde een dwarsstroming richting de uiterwaard. In de afbeeldingen met de dwarsstroming zijn tevens 2 criteria voor de dwarsstroming weergegeven:

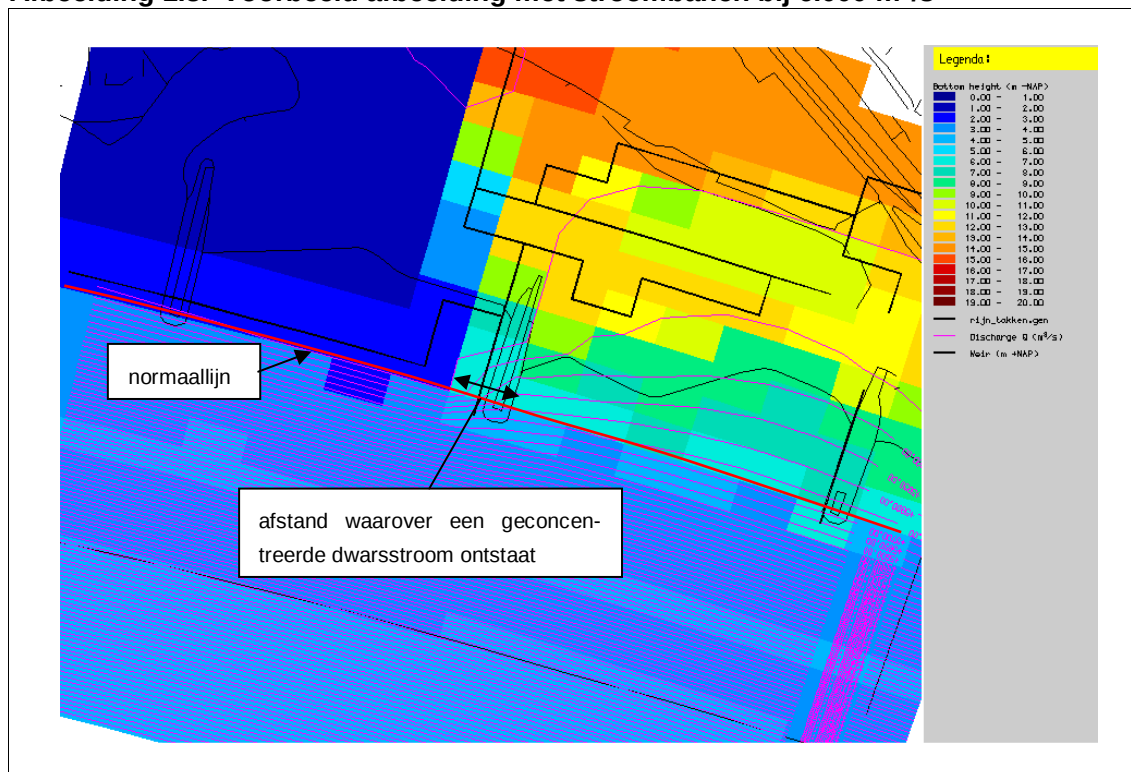
- dwarsstroming < 0,15 in het geval het dwarsdebiet groter is dan 50 m³/s;
- dwarsstroming < 0,30 in het geval het dwarsdebiet kleiner is dan 50 m³/s.

Het dwarsdebiet (m³/s) is afgeleid uit de stroombanen bij 6.000 m³/s. Afbeelding 1.3 bevat een voorbeeld van de stroombaananalyse voor de West variant bij Spijk. Door de stroombanen elke 50 m³/s weer te geven is het debiet wat haaks op de bakenlijn staat af te leiden. Het totale debiet haaks op de bakenlijn wordt verkregen door het aantal stroombanen bij elkaar op te tellen. Uit afbeelding 1.3 is af te leiden dat de dwarsstroom groter is dan 50 m³/s waardoor hier het criterium geldt dwarsstroming < 0,15. Dezelfde analyse is uitgevoerd ter plaatse van de benedenstroomse zijde van de haven waar de stroming in de richting van de uiterwaard uitwaaiert.

Afbeelding 1.2. Voorbeeld met dwarsstroming op de normaallijn



Afbeelding 1.3. Voorbeeld afbeelding met stroombanen bij 6.000 m³/s



Afvoerverdeling

De effecten op de afvoerverdeling bij de Pannerdensche kop zijn kwalitatief geschat. Over het algemeen geldt dat de havens relatief ver bovenstrooms van het splitsingspunt liggen waardoor ze de afvoerverdeling niet zullen beïnvloeden. Voor Tuindorp geldt dat tot ongeveer 6.000 m³/s. Bij een afvoer groter dan 6.000 m³/s ontstaat een stroombaan door de Bijlandse Waard waardoor als gevolg van het ontwerp wijzigingen kunnen ontstaan in de afvoerverdeling ter plaatse van de Pannerdensche Kop.

Morfologie

De morfologische effecten zijn bepaald aan de hand van stroomsnelheidsverschillen bij een Boven-Rijnaafvoer van 6.000 m³/s (circa 1/1 jaar afvoer). Bij deze afvoer zijn de kribben overstroomd. Een positief snelheidsverschil duidt op erosie terwijl een afname van de stroomsnelheid leidt tot aanzanding.

Om de beheer en onderhoudinspanning voor de verschillende haven varianten in te schatten is gebruikgemaakt van SILTHAR. De aanslibbing in een haven wordt veroorzaakt doordat de stroomsnelheden in het havenbekken veel geringer zijn dan in de rivier. Hierdoor is ook de capaciteit van het sedimenttransport binnen de haven veel kleiner dan er buiten en zet een deel van het sediment, dat met water van buiten in de haven doordringt, zich daar af. De mate van sedimentatie in de haven wordt bepaald door:

- het sedimentgehalte van het binnendringende water;
- de stroomsnelheidsverhouding binnen en buiten de haven;
- de valsnelheid van het zwevend sediment; en
- de verblijftijd van het water in de haven.

Voor de mate van uitwisseling is een belangrijk aspect van het totale sedimentatiemechanisme, waaraan bovendien het meest kan worden gedaan om sedimentatie te reduceren. Met het model, wat gebaseerd is op empirische formules, is een inschatting gemaakt van de totale aanslibbing van de haven per jaar. Omdat aanslibbing met name bepaald wordt door de dagelijkse condities is uitgegaan van een constante afvoer (de mediane afvoer 1.960 m³/s). Dit wordt vaker voor MER studies gedaan, zie bijvoorbeeld (lit. 14). De onzekerheidsmarge rondom de baggervolumes bedraagt ongeveer 30% (lit. 9). De onzekerheid wordt veroorzaakt door aannames in de sedimentconcentratie, negeren van processen (meestromen haven, 2D en 3D effecten, scheepvaartbewegingen, uitwisseling op basis van 1 afvoer).

De in dit rapport beschreven morfologische effecten op havenmond en havenbassin worden niet betrokken in de beoordeling van de varianten. Bijgevolg telt dus ook het effect op de beheer en onderhoudinspanning niet mee in de score; alleen de morfologische effecten in het zomerbed worden beoordeeld.

1.5.2. Methode ter beoordeling Voorkeursvarianten

De beoordeling van de Voorkeursvarianten wordt gedaan op basis van het Rivierkundig Beoordelingskader (lit. 1.). De beoordelingscriteria zijn weergegeven in afbeelding 1.1.

Daarnaast zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- baseline 5.2.4 en schematisatie volgens (lit. 6.);
- WAQUA simulaties zijn uitgevoerd met modelschematisatie beno_14_5-v2 geactualiseerd met meest recente maatregelen in het projectgebied.

Om de opstuwing te beoordelen zijn de waterstandsverschillen tussen de VKV en referentiesituatie bepaald op de rivieras en in het 2D-vlak.

Het effect van de VKV op de dwarsstroming ter plaatse van de bakenlijn is bepaald voor de Boven-Rijnafvoeren 4.000, 6.000, 8.000 en 10.000 m³/s. Hiervoor is de bakenlijn ter plaatse van de haven Spijk verschoven tot ongeveer halverwege het talud van de langsdam aan de rivierzijde omdat op de kruin van de langsdam niet gevaren wordt vanwege de beperkte waterdiepte. De bepaling van het dwarsstroomdebiet en of de strenge (0,15 m/s bij een dwarsstroomdebiet > 50 m³/s) of minder strenge eis (0,30 m/s bij dwarsstroomdebiet < 50 m³/s) gehanteerd moet worden, is op een andere manier uitgevoerd als voor de inrichtingsvarianten: voor de VKV's is het dwarsstroomdebiet bepaald door de stroomsnelheid haaks op de bakenlijn te bepalen en deze te vermenigvuldigen met de lokale waterdiepte. Het dwarsdebiet is geïntegreerd over de lengte van het maatgevend schip (L=110 m). De dwarsstroming is gepresenteerd in grafiekvorm en in het 2D-vlak voor de referentiesituatie en de VKV.

De morfologische effecten zijn bepaald met behulp van het programma Waqmorf. Het resultaat van Waqmorf is de verwachte verandering van evenwichtsbodemligging ten opzichte van de referentiesituatie.

1.5.3. Studiegebied

In afbeelding 1.4 is het studiegebied per aspect van het rivierkundig onderzoek, te weten hoogwaterveiligheid, afvoerverdeling, dwarsstroming en morfologie weergegeven.

Effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)

Het studiegebied strekt zich uit van de locaties van de havens tot 5-10 km in stroomopwaartse richting (afhankelijk van de totale grootte van het effect).

Afvoerverdeling

Het studiegebied strekt zich uit tot enkele kilometers stroomop -en afwaarts van het splitsingspunt.

Dwarsstroming

Het studiegebied bestaat de bakenlijn grofweg enkele honderden meters boven- en benedenstrooms van de haventoeegangen van Tuindorp en Spijk.

Morfologie

Het studiegebied behelst ongeveer het gedeelte van de Boven-Rijn vanaf de Duitse grens tot aan het splitsingspunt (afhankelijk van de totale grootte van het effect) inclusief de havenmond en bassin van Tuindorp en Spijk. Verwacht wordt dat er geen significante effecten zullen optreden in de uiterwaarden in de nabijheid van het projectgebied.

Afbeelding 1.4. Plangebied modernisering Tuindorp (A) en nieuwe insteekhaven Spijk (B)



2. HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELINGEN TUINDORP

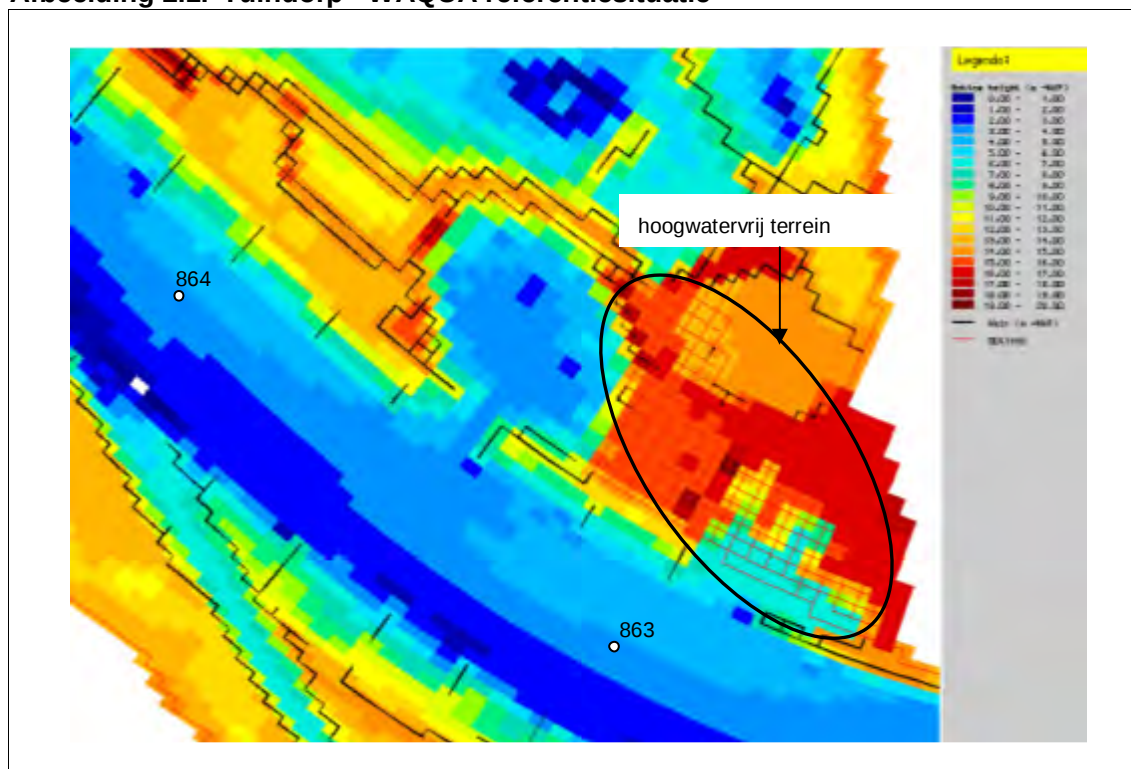
2.1. Beschrijving huidige situatie

WAQUA referentie

Afbeelding 2.1 geeft de referentiesituatie weer in WAQUA voor de locatie Tuindorp. De havenmond ligt ter hoogte van rkm 863,5 en is ingeklemd tussen twee kribben; een boven- en een benedenstroomse krib. De haven is gesitueerd in de binnenbocht van de rivier. Hierdoor sedimenteert de havenmond en toegangsgeul. De volgende informatie is afkomstig uit het aangeleverde WAQUA model (lit. 11.):

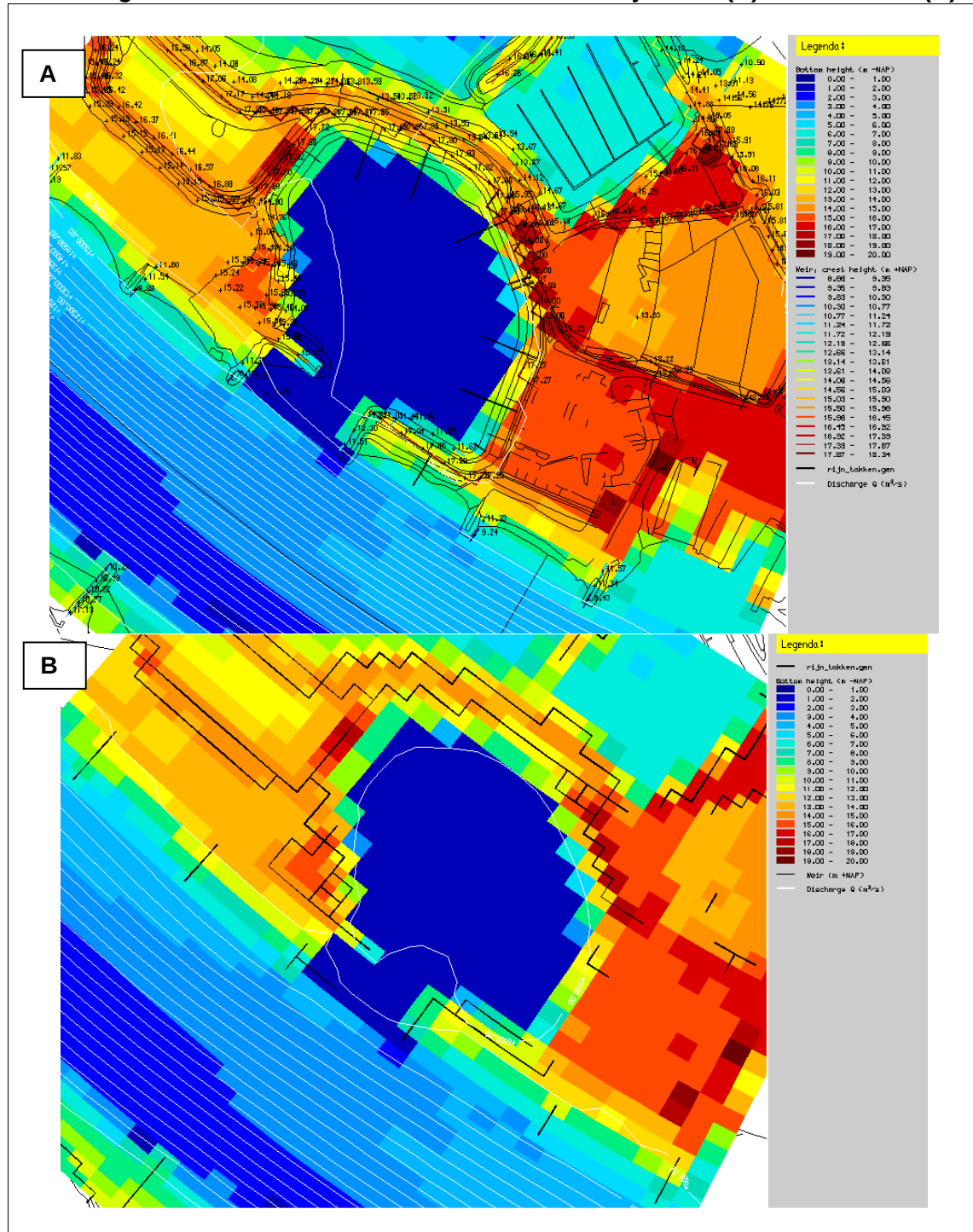
- de bodem van de haven ligt in de referentiesituatie op ongeveer 3,00 -4,00 m +NAP;
- de uiterwaard aan de bovenstroomse zijde van de haven is een hoogwatervrij terrein;
- rondom de haven is een havendam met een hoogte van 18 m +NAP aanwezig.

Afbeelding 2.1. Tuindorp - WAQUA referentiesituatie



Afbeelding 2.2 geeft de stroombanen bij een Boven-Rijnafvoer van 16.000 en 6.000 m³/s. Bij 16.000 m³/s stroomt de hele uiterwaard en haven mee. Bij 6.000 m³/s vormt zich een neer terwijl de havenmond tijdens deze situatie overstroomd is.

Afbeelding 2.2. Stroombanen in de referentiesituatie bij 16.000 (A) en 6.000 m³/s (B)



Waterstanden

De ontwerpwaterstanden ter plaatse van de haven Tuindorp (rkm 859,5) zijn weergegeven in tabel 2.1 en zijn afkomstig uit (lit. 2.).

Tabel 2.1. Tuindorp - Ontwerpwaterstanden (m +NAP)

	Tuindorp (kmr 863,5)	Lobith (kmr 862,18)	Lobith afvoer (m³/s)
concept OLR 2012	7,31	7,39	1.020
OLR 2012 +0,7 m	8,01	8,09	1.363
Mediaan	8,96	9,04	1.960
insteekhoogte kribben	11,01	11,15	3.485
MHW (6 dgn. overschreden)	13,30	13,41	5.791
1/1/ jaar	13,52	13,64	6.070
1/10 jaar	15,45	15,67	9.613
Marke I	13,40	13,51	5.912
Marke II	15,03	15,20	8.569
MHW 2006 (1/1.250 jaar)	17,55**	17,89***	16.000

** Op basis van toetspeil (lit. 4.).

*** Uit (lit. 5.).

Waterdiepte in de vaarweg

De sedimentatieruimte om te voldoen aan de minimale vaardiepte ten opzichte van OLR en de streefdiepte zijn weergegeven in afbeelding 2.3. Hierin is tevens de indicatieve ligging van de vaste laag aangegeven. De waterdiepte dient bij OLR minimaal 2,8 m te zijn en de streefdiepte minimaal 4,0 m. Uit afbeelding 2.3 blijkt dat er in de huidige situatie tussen rkm 862-864 voldoende waterdiepte in de vaarweg beschikbaar is.

Door het aanbrengen van de vaste laag zal de stroomsnelheid en sedimenttransport zowel boven de vaste laag daar buiten toenemen. Hierdoor zal er vooral erosie van het alluviale deel van het zomerbed plaatsvinden (ook na aanleg van de haven). De kans op aanzanding van de vaste laag is op lange termijn minimaal.

Tabel 2.2. Algemene beschrijving autonome ontwikkelingen

autonome ontwikkeling	beschrijving	relevantie voor project
Stroomlijn	Programmadirectie Ruimte voor de Rivier (PDR) werkt aan het vergroten van de doorstroming van uiterwaarden in het Nederlandse rivierengebied door het uitvoeren van een inhaalslag op het vegetatiebeheer, project Stroomlijn genaamd. Ze verwijderen bomen en struiken op plekken waar het water het hardst stroomt (de stroombaan). Met deze aanpak kan bij hoogwater het vele water ook via de uiterwaarden onbelemmerd naar zee stromen. Rijkswaterstaat doet dit in afstemming met eigenaren en beheerders van de uiterwaarden, rekening houdend met beschermde planten en dieren in het gebied.	Deze ontwikkeling is van belang voor de effectstudie rivierkunde, omdat de maatregelen uit deze ontwikkeling van invloed kunnen zijn op de doorstroming in het projectgebied.
Beddingstabilisatie langs de Boven-Rijn	In dit Nederlands-Duitse project werken Rijkswaterstaat en de federale Wasser- und Schifffahrtsverwaltung samen aan het tegengaan van de steeds verder voortschrijdende erosie van de rivierbodem ¹ . De bestaande kolkaten tussen rivierkilometer 858 en 862 worden opgevuld met natuursteen en afgedekt met sediment. Op deze manier blijven vaarwegbreedte en -diepte beter gewaarborgd en worden grondwaterverlagingen bij lage en middelgrote rivierafvoer tegengegaan. Het project is momenteel in uitvoering.	Deze ontwikkeling is van belang voor de effectstudie morfologie, omdat ze invloed heeft op de sedimentatie ter plekke van de nieuwe overnachtingshaven.
Voorontwerp bestemmingsplan Spijkse dijk en Loosjespolder	De gemeente Rijnwaarden is bezig om het viigerende bestemmingsplan voor het bedrijventerrein Spijkседijk en de Loosjespolder te actualiseren en heeft een nieuw voorontwerpbestemmingsplan vrijgegeven ² . Met het nieuwe bestemmingsplan krijgen de verschillende percelen die deel uitmaken van het bedrijventerrein een bedrijvenbestemming en wordt verdere ontwikkeling als watergebonden bedrijventerrein mogelijk gemaakt. Het voorontwerpbestemmingsplan omvat ook het buitendijks gelegen sorteer- en overslagterrein grenzend aan de Beijenwaard.	Het voorontwerpbestemmingsplan omvat ook het buitendijks gelegen sorteer- en overslagterrein grenzend aan de Beijenwaard.
Ontwikkeling Millingerwaard (waterstandsdeling, invloed op splitsingspunt)	De Millingerwaard (ruim 400 hectare) ligt in de Gelderse Poort aan de zuidkant van de Waal, bij Millingen a/d Rijn. De uiterwaard wordt gekenmerkt door oobossen, moerassen, kruidenrijke graslanden, plassen en rivierduinen; mede ontstaan door de delfstoffenwinning. De uiterwaard speelt een belangrijke rol bij het afvoeren van rivierwater naar zee. Met het oog	Deze ontwikkeling bewerkstelligt, een waterstandsdeling die mogelijk van invloed is op de rivierkundige en morfologische effecten morfologie.

¹ Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein, 2012.

² Gemeente Rijnwaarden, 2013.

autonome ontwikkeling	beschrijving	relevantie voor project
	op de stijging van de (hoog)waterstanden in de rivier is rivierverruiming noodzakelijk. Dienst Landelijk Gebied heeft opdracht gekregen van Rijkswaterstaat en van het ministerie van Economische Zaken om deze waterstandverlaging te realiseren én nieuwe natuur te ontwikkelen.	
Deltaprogramma: retentie Rijnstrangen	In het kader van het Deltaprogramma Rivieren is een aantal kansrijke strategieën verkend. Eén van deze strategieën maakt onderdeel uit van het idee Ruimte voor de Rivier plus. Daarin wordt het Rijnstrangengebied ingezet als retentiegebied/bypass. Ook zijn er natuur- en landbouwopgaven. Voor het Rijnstrangengebied wordt een pilot ontwikkelingsgericht reserveren gestart.	Deze strategie bestaat uit maatregelen die de rivier meer ruimte geven. Hiertoe behoren buitendijkse maatregelen, waaronder in een aantal regio's ook zomerbedverlaging en binnendijkse maatregelen, zoals dijkverlegging en retentie.
Rijnwaardense uiterwaarden	Het project Rijnwaardense uiterwaarden is de overkoepelende benaming van zeven projecten van verschillende initiatiefnemers in het buitendijkse gebied langs het Bijlandsch kanaal en het Pannerdensch kanaal. Het project is onderdeel van het programma Nadere Uitwerking Riviereengebied en opgenomen in de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier. De coördinatie is in handen van Dienst Landelijk Gebied (www.rijnwaardenseuiterwaarden.nl). De projectgebieden van Rijnwaardense Uiterwaarden zijn weergegeven in onderstaande figuur. 	De projecten zijn primair gericht op hoogwaterveiligheid en natuurontwikkeling en zorgen in totaliteit voor een geprogrammeerde waterstandsdeling van 11 cm en voor de goede waterverdeling bij het splitsingspunt. De waterstandsdeling kan relevant zijn voor de effectstudies scheepvaart, rivierkunde en morfologie. Verder zal dit project naar verwachting van weinig invloed zijn, vanwege de geografische afstand tot de bestaande havens in Tuindorp en de nieuwe te ontwikkelen haven bij Spijk.

2.2.2. Bodemdaling

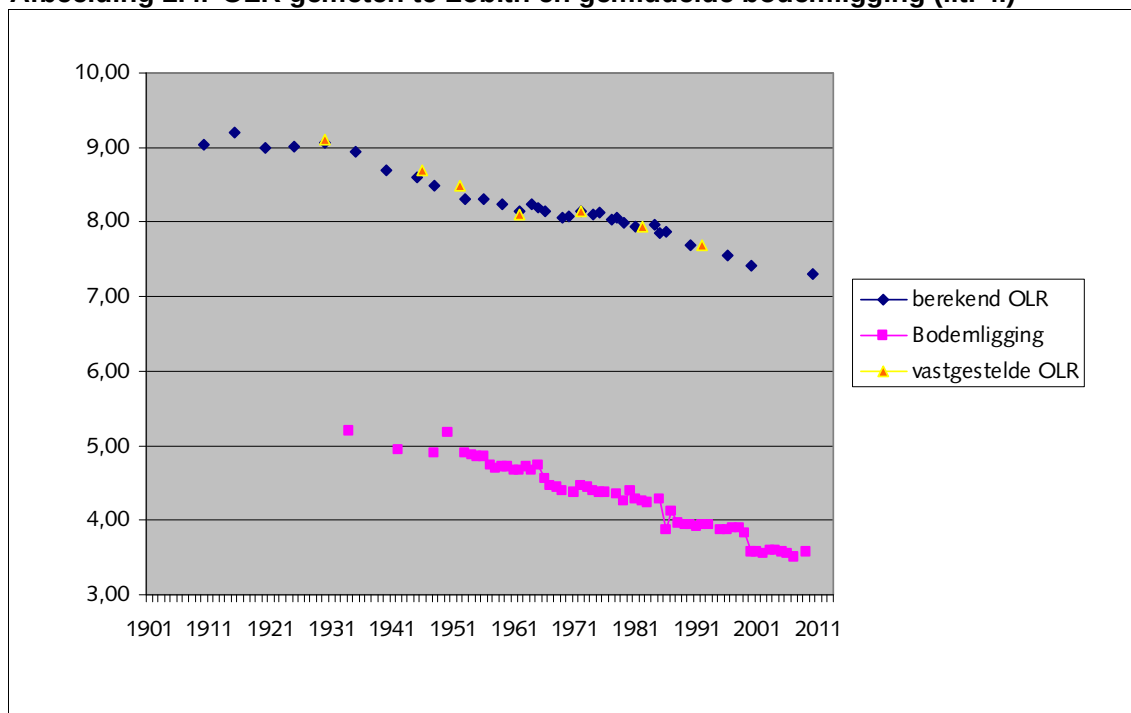
Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR)

Vanaf de jaren 30 van de vorige eeuw daalt het zomerbed van de rivier. Deze daling heeft gevolgen voor de waterstand, zo ook voor de OLR. Dit is relevant voor het project omdat de havens dit proces zouden kunnen beïnvloeden.

De veranderingen hiervan staan voor het meetstation Lobith weergegeven in afbeelding 2.4 (lit. 3.). Hierin staat de berekende OLR waarden op basis van de verschillende Qh-relaties bij een afvoer van 984 m³/s, de vastgestelde OLR waarden door De Centrale commissie voor de Rijnvaart CCR en de gemiddelde bodemhoogte voor het traject Boven-Rijn. Hieruit

blijkt dat de OLR tijdens de afgelopen eeuw met circa 2 m gedaald is, oftewel gemiddeld 2 cm per jaar.

Afbeelding 2.4. OLR gemeten te Lobith en gemiddelde bodemligging (lit. 4.)



Deze dalende trend moet meegenomen worden in het ontwerp van de havens. Om een inschatting te krijgen hoe snel de lage waterstanden dalen is voor beide locaties gekeken naar de OLR 2002 (lit. 4.) en Concept OLR 2012 (lit. 5.). Deze zijn weergegeven in tabel 2.3. Uit tabel 2.3 blijkt dat de OLR over een periode van 10 jaar gemiddeld met 1,7 cm bij Tuindorp en 2,3 cm bij Spijk daalt.

De OLR 2002 is gebaseerd op de gemeten waterstanden uit 1998, 1999, 2000. De concept OLR 2012 is gebaseerd op gemeten waterstanden uit de periode 2008-2010. Daarnaast is bij het bepalen van de OLR 2012 per rkm rekening gehouden met het verhang in de rivier terwijl dit voor de OLR 2002 met behulp van lineaire interpolatie tussen de meetstations is gebeurd. Dit vertekent het beeld van de trend in de OLR enigszins maar heeft geen significant effect op de geconstateerde trend.

Tabel 2.3. Verschil OLR2002 en OLR2012 (m +NAP)

	Tuindorp (krm 863,5)	Lobith (krm 862,18)	Spijk (rkm 859,5)
OLR2002 (m +NAP)	7.470	7.520	7.850
OLR2012 (m +NAP)	7.305	7.390	7.625
verschil (OLR2012-OLR2002) (m)	-0.165	-0.130	-0.225
verschil per jaar (m)	-0.017	-0.013	-0.023

2.3. Referentiesituatie

De hierboven beschreven huidige situatie en autonome ontwikkelingen vormen samen de referentiesituatie. De referentieschematisatie zoals door Deltares aangeleverd heten Baseline en WAQUA beno14_5-v2. De effecten van de inrichtingsvarianten worden vergeleken met deze referentiesituatie.

3. EFFECTEN VARIANTEN EN MITIGATIE EN COMPENSATIE TUINDORP

Dit hoofdstuk presenteert de effectbeoordeling van de Tuindorpvarianten Basis en Uitgebreid voor de aspecten hoogwaterveiligheid, afvoerdeling, dwarsstroming en morfologie. Daarnaast worden mitigerende en compenserende maatregelen voorgesteld om nadelige effecten te beperken, of als dat niet lukt, te compenseren.

3.1. Effecten varianten

3.1.1. Effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)

Basisvariant

De basisvariant gaat uit van minimale aanpassingen aan de haven. Daarnaast wordt de ingang van de haven niet aangepast. Er worden voor deze variant geen hydraulische en morfologische effecten verwacht.

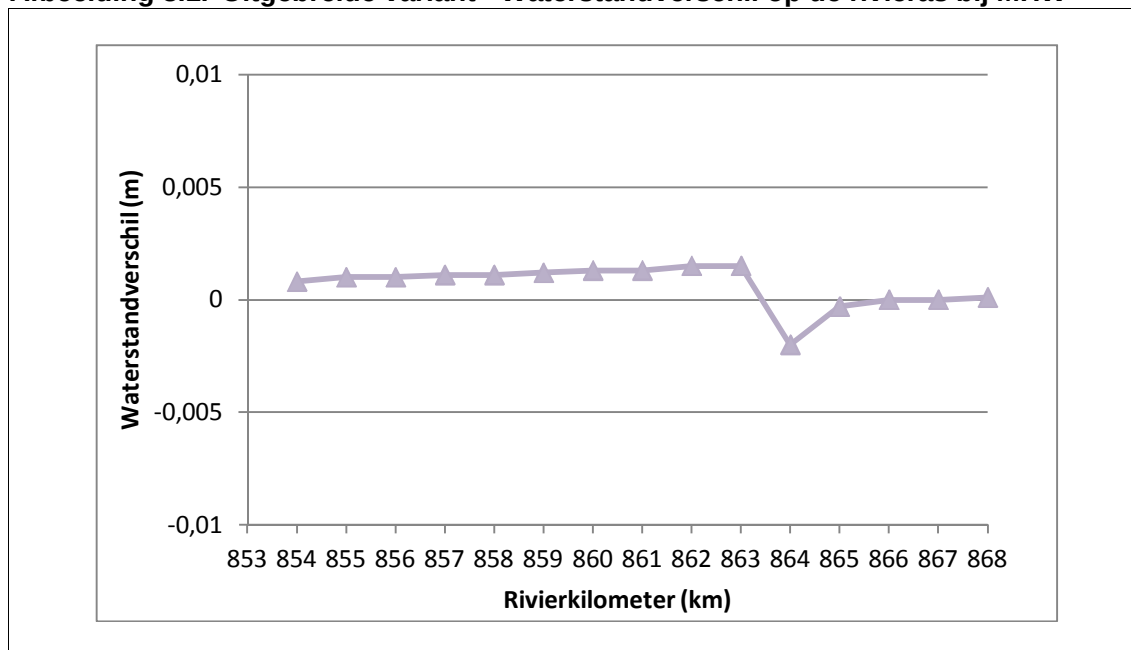
Oordeel: neutraal, geen verhoging van de waterstand op de rivieras.

Uitgebreide variant

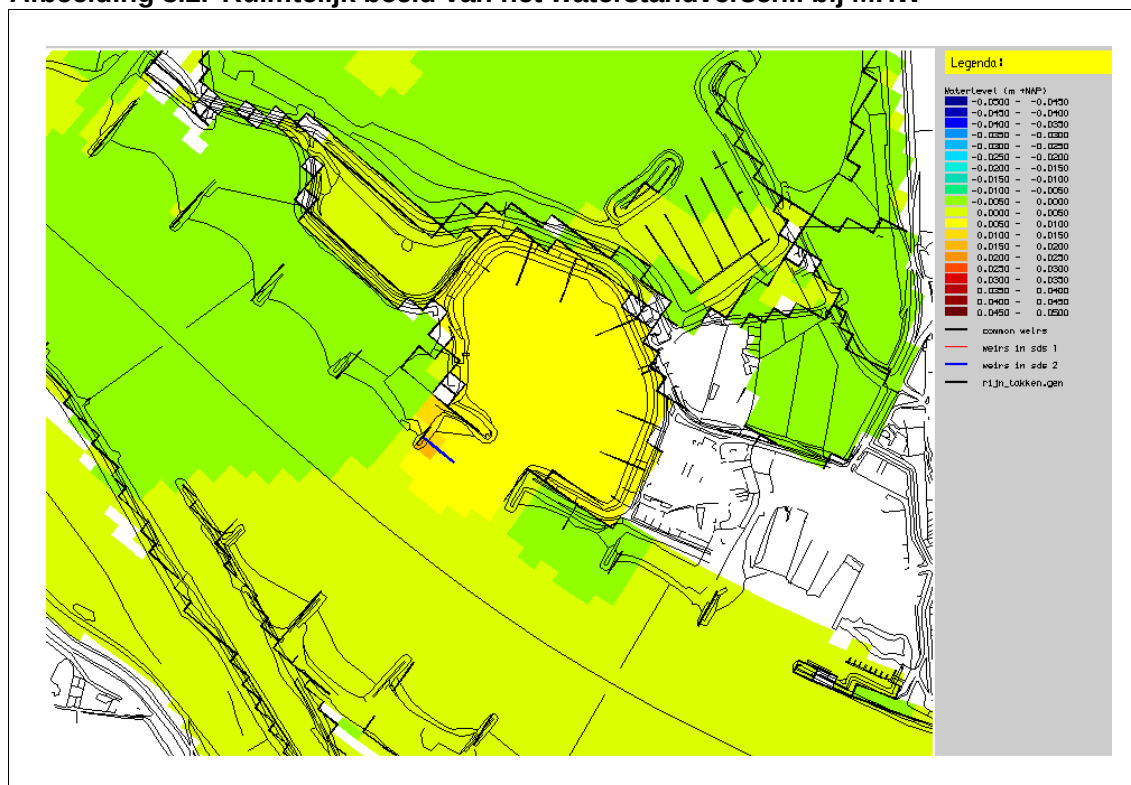
Afbeelding 3.1 geeft de waterstandverandering weer van de uitgebreide variant. De variant veroorzaakt een verhoging van de MHW-stand op de rivieras van 1,5 mm. Afbeelding 3.2 laat zien dat lokaal bij de benedenstroomse krib de waterstandverhoging maximaal 1,5 cm bedraagt. Nabij de locatie Tuindorp treden schommelingen op. Dit duidt op numerieke instabiliteiten. Na analyse van resultaten bleek dat deze schommelingen nauwelijks invloed hebben.

Oordeel: sterk negatief, waterstand neemt toe (> 1 mm). Optimalisatie mogelijk (zie hoofdstuk 7).

Afbeelding 3.1. Uitgebreide variant - Waterstandverschil op de rivieras bij MHW



Afbeelding 3.2. Ruimtelijk beeld van het waterstandverschil bij MHW



3.1.2. Afvoerverdeling bij Pannerdensche kop

Basisvariant

Zoals aangegeven in hoofdstuk 1.5.1 kunnen er vanaf 6.000 m³/s als gevolg van ingrepen bij Tuindorp effecten ontstaan op de afvoerverdeling. De aanpassingen aan de haven zijn echter dermate klein dat er geen wijziging in de afvoer tussen de Bijlandse Waard en het zomerbed zal ontstaan. Er worden daarom geen effecten op de afvoerverdeling verwacht.

Oordeel: neutraal, geen verandering van de afvoerverdeling.

Uitgebreide variant

Ook voor deze variant geldt dat de aanpassingen aan de haven dermate klein zijn en geen aanpassingen aan kades rondom de haven betreffen. Naar verwachting zal er geen wijziging in de afvoer tussen de Bijlandse Waard en het zomerbed ontstaan. Er worden daarom geen effecten op de afvoerverdeling verwacht.

Oordeel: neutraal, geen verandering van de afvoerverdeling.

3.1.3. Dwarsstroming

Basisvariant

Er worden geen effecten op de dwarsstroming verwacht omdat de basisvariant uitgaat van de huidige havenmond.

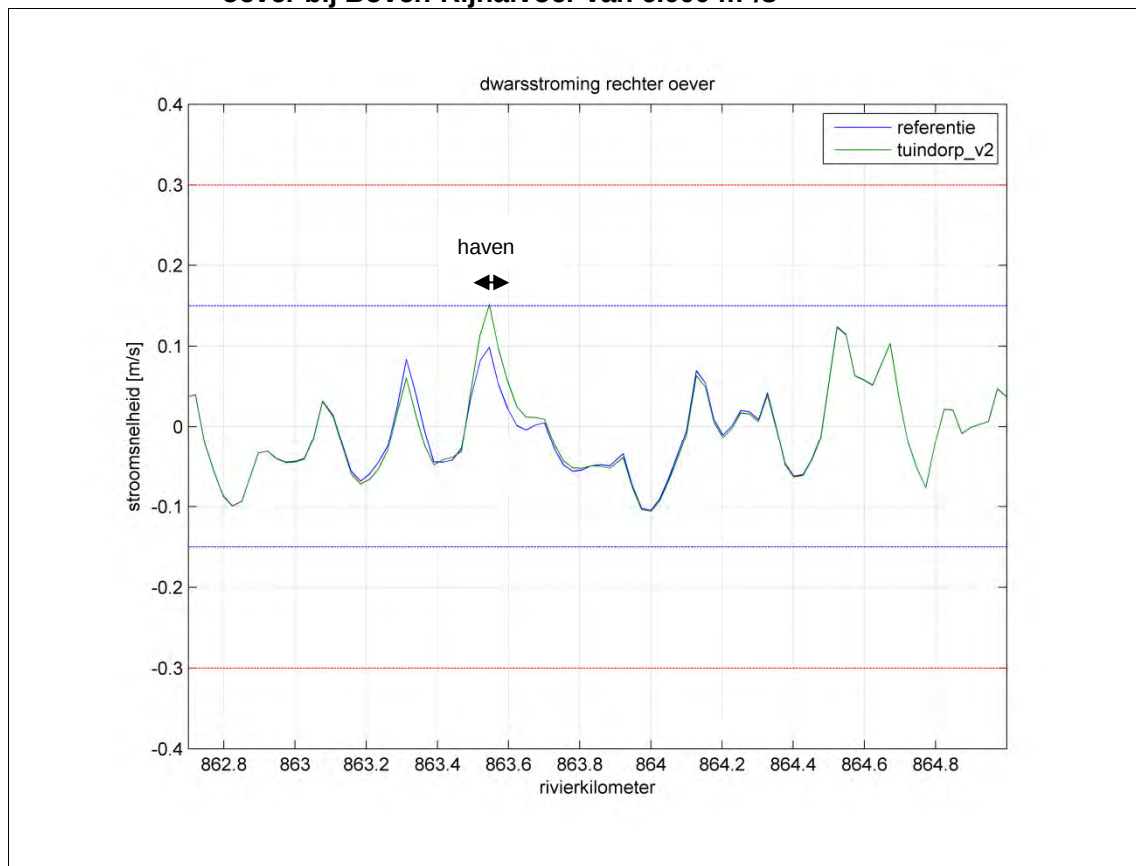
Oordeel: neutraal, dwarsstroming wijzigt niet.

Uitgebreide variant

Afbeelding 3.3 geeft de dwarsstroming weer van Tuindorp de uitgebreide variant. De maximale dwarsstroming bij kmr 863,5 neemt als gevolg van de langsdam toe van 0,1 naar 0,15 m/s. Uit analyse van de stroombanen blijkt dat de dwarsstroom kleiner is dan 50 m³/s waardoor hier het criterium dwarsstroming < 0,3 m/s geldt. De uitgebreide variant voldoet daarmee aan het dwarsstroming criterium.

Oordeel: negatief, dwarsstroming neemt toe, absolute waarde < 0,30 m/s.

Afbeelding 3.3. Tuindorp - Dwarsstroming (m/s) op de normaallijn van de rechter oever bij Boven-Rijnaafvoer van 6.000 m³/s



3.1.4. Morfologie

Basisvariant

Er worden geen morfologische effecten verwacht.

Oordeel: neutraal, stabiele situatie.

Uitgebreide variant

Zomerbed

Door gedeeltelijk afsluiten van het kribvak met een langsdam benedenstrooms van de havenmond en scherm aan de bovenstroomse zijde worden de stroombanen in het zomerbed meer geconcentreerd (er vindt minder 'uitbuiging' van de stroombanen plaats). Hierdoor zal de effectieve stroombreedte van het zomerbed versmallen. Uit literatuur (lit.12) blijkt dat de hoofdstroom met circa 6 graden het kribvak inloopt, oftewel de morfologische breedte na de krib neemt met 0,2 maal de kribvaklengte toe. In de huidige situatie neemt de morfologische breedte over de kribvaklengte van 180 m toe met 36 m en neemt deze na aanleg van de langsdam en scherm af met 14 m naar 22 m. De evenwichtswaterdiepte zal hierdoor met circa 5 % toenemen (orde 5-10 centimeter erosie) ten opzichte van de huidige situatie. Dit wordt voor het aspect morfologie als positief beoordeeld.

Havenmond

In de huidige situatie vindt er aanzanding plaats in de havenmond. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door situering van de haven in de binnenbocht waardoor er bodemmateriaal uit de rivier als gevolg van spiraalstroming wordt getransporteerd naar de binnenbocht. Dit is ook de oorzaak van de zandbank die net bovenstrooms van de haven aan de rechteroever aanwezig is.

Omdat de haveningang zich niet direct aan de rivier bevindt, maar aan een kribvak is er hier sprake van een meervoudig nerenstelsel; één in de havenmond en één in de haven. Hierdoor zal de uitwisseling tussen de rivier en de haven veel minder sterk zijn dan bij een directe aansluiting van de haven op de rivier zoals bij Spijk het geval is.

Naast de ligging van de haven in de binnenbocht van de rivier spelen nog een aantal andere processen een rol die de erosie/sedimentatie van de havenmond bepalen:

- stroming langs het kribvak en neervorming in het kribvak;
- scheeps- en windgolven;
- overstromen van kribvak;
- stroming door in/uitvarende en langsvarende schepen.

Afbeelding 3.4 bevat de stroomsnelheid bij een afvoer van 6.000 m³/s voor de referentiesituatie (A) en de uitgebreide variant (B). Hierin is te zien dat er zich in de havenmond een neer vormt die door aanleg van de langsdam iets versterkt wordt. Dit is gunstig omdat hierdoor de stroombanen meer het zomerbed in worden gedrukt. Nadeel is dat hierdoor meer uitwisseling met het bassin plaatsvindt waardoor hier de aanslibbing toe zal nemen (zie onder Havenbassin).

Door scheeps- en windgolven wordt bodemmateriaal opgewoeld waardoor voorkomen wordt dat een gedeelte hiervan bezinkt. Omdat een gedeelte de havenmond afgeschermd wordt voor scheeps- en windgolven zal dit proces waarschijnlijk in invloed afnemen.

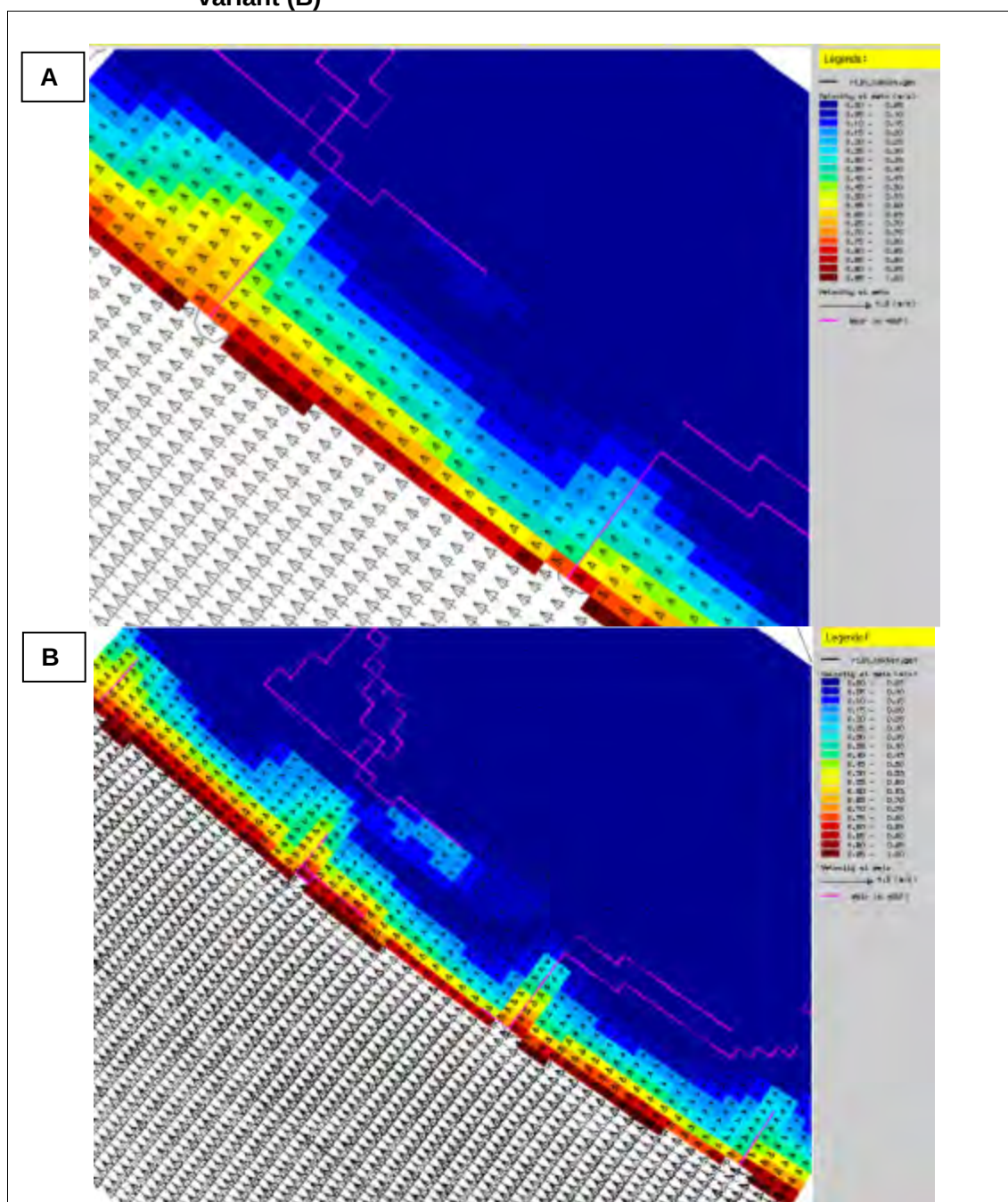
Overstromen van de havenmond zorgt waarschijnlijk voor aanzanding van de havenmond. Een hogere benedenstroomse kribhoofd zorgt voor het minder frequent meestromen van de havenmond waardoor de aanzanding gereduceerd wordt ten opzichte van de huidige situatie.

Stroming door schroefwerking van in/uitvarende schepen zorgt er voor dat de vorming van een drempel tussen de havenmond en de rivier voorkomen wordt. Verwacht wordt dat de aanzuigwerking en retourstroming van langsvarende schepen beperkt zal zijn. Dit omdat de vaarweg langs de linkeroever ligt en de rivier vrij breed is. Verwacht wordt dat dit proces niet zal veranderen na aanleg van de langsdam.

Uit onderzoek van Deltares (lit. 1.) blijkt dat een damwandscherm aan de bovenstroomse krib zorgt voor een scherpe en verticaal loslaatpunt voor de rivierstroom en beperkt de menging en uitwisseling van relatief sedimentrijk rivierwater met sediment-arm havenwater (beperkt aanzanding in haven).

Uit bovenstaande blijkt dat de erosie en sedimentatie van de havenmond (en kribvakken in het algemeen) bepaald wordt door een complexe interactie van verschillende processen waarvan het effect moeilijk is in te schatten. Het meest dominante proces die de aanzanding in het kribvak veroorzaakt is waarschijnlijk de aanvoer van bodemmateriaal naar de binnenbocht. Dit wordt door aanleg van de langsdam en het scherm gedeeltelijk geblokkeerd waardoor de aanzanding van de havenmond zal afnemen vergeleken met de huidige situatie.

Afbeelding 3.4. Stroomsnelheid in de referentiesituatie (A) en voor de uitgebreide variant (B)



Havenbassin

Aanslibbing van de haven wordt bepaald door het contactoppervlak tussen de haven en de rivier, de stroomsnelheid op de rivier (of in dit geval de stroming in de kribvak), de sedimentconcentratie, de vangstfactor en de uitwisselingsfactor (wordt bepaald door de oriëntatie van de haven ten opzichte van de rivier).

Door toename van de neerstroomsnelheid zal de uitwisseling toenemen tussen de rivier en het havenmond en -bassin. Hierdoor zal meer slib het bassin in worden getransporteerd wat voor een groot gedeelte zal bezinken in het bassin. Dit is mede afhankelijk in hoeverre de vangstfactor door de versterkte neer in de havenmond beïnvloed wordt.

Oordeel: positief, lichte erosie van het zomerbed (enkele cm's).

3.1.5. Overzicht effectbeoordeling

Een samenvatting van de effecten van de Tuindorpvarianten is opgenomen in tabel 3.1.

Tabel 3.1. Rivierkundige effecten varianten Tuindorp

aspect	criterium	variant 1 'Basis'	variant 2 'Uitgebreid'
effect op waterstanden (hoogwater- veiligheid)	maximale opstuwing op de rivieras	0 mm	1,5 mm
afvoerverdeling	verandering afvoerverdeling bij de Pannerdensche Kop	0 m ³ /s	0 m ³ /s
dwaarsstroming	dwaarsstroomsnelheid bakenlijn	0 m/s	0,15 m/s (+0,05)
morfologie	erosie zomerbed	0 cm	5-10 cm

Vergelijkingstabel varianten

In tabel 3.2 is een samenvattende beoordeling opgenomen van de inrichtingsvarianten voor Tuindorp op het gebied van rivierkunde. De basis variant scoort het best. Dit komt omdat de uitgebreide variant sterk negatief scoort op de hoogwaterveiligheid. Dit effect kan echter gemitigeerd worden (zie paragraaf 3.4).

Tabel 3.2. Effectbeoordeling varianten Tuindorp

aspect	variant 1 'Basis'	variant 2 'Uitgebreid'
effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	0	--
afvoerverdeling	0	0
dwaarsstroming	0	-
morfologie	0	+

3.1.6. Conclusies

De modernisering van de haven Tuindorp heeft in geen van de varianten effect op de afvoerverdeling bij de Pannerdensche kop. De varianten zijn hierin niet onderscheidend.

De basisvariant scoort het best voor wat betreft de hydraulische en morfologische effecten. Dit komt omdat deze variant nauwelijks afwijkt van de referentiesituatie.

De uitgebreide variant scoort sterk negatief op het onderdeel hoogwaterveiligheid en negatief op het onderdeel dwaarsstroming. Dit komt omdat de benedenstroomse krib met langsdam de doorstroming enigszins beperkt en opstuwing veroorzaakt. In hoofdstuk 7 worden mogelijke mitigerende maatregelen genoemd.

Door het verkleinen van de havenmond zal er minder uitbuiging van de stroombanen plaatsvinden waardoor deze meer geconcentreerd in het zomerbed blijven. Dit leidt tot een lichte erosie van het zomerbed. De uitgebreide variant scoort op morfologie daarom positief.

De beheer en onderhoudsinspanning in de havenmond (baggeractiviteiten welke niet onder de beoordeling vallen) van de uitgebreide variant zal vanwege deze zelfde dwarsdam afnemen vanwege het blokkeren van bodemmateriaal wat naar de binnenbocht wordt

getransporteerd. Verwacht effect is dat de aanslibbing van het havenbassin iets zal toene-
men.

3.2. Mitigatie en compensatie

3.2.1. Aanzet mitigerende en compenserende maatregelen

De uitgebreide variant scoort sterk negatief op het aspect hoogwaterveiligheid omdat de benedenstroomse krib en langsdam van de havenmond een opstuwing van de maatgeven-
de hoogwaterstand veroorzaken van meer dan 1 mm (1,5 mm). De opstuwing kan geredu-
ceerd worden door het krib talud wat te verflauwen of de kruinhoogte te verlagen.

De neervorming in de havenmond kan verder versterkt worden door de mond meer eivor-
mig te maken, zie hiervoor de aanbevelingen uit het rapport Adviesmonding Valeplas aan
de IJssel (lit. 8.).

3.2.2. Verwachte resteffecten na toepassing maatregelen

Het talud van de krib verflauwen (bijvoorbeeld naar 1:4) of kruinhoogte verlagen.

4. GEHONOREERDE MITIGATIE EN COMPENSATIE EN EFFECTEN VOORKEURSVARIANT TUINDORP

4.1. Gehonoreerde mitigatie en compensatie

In de voorkeurvariant zijn de volgende voorgestelde maatregelen meegenomen om de
beschreven negatieve effecten (opstuwing en dwarsstroming) te reduceren:

- talud aan havenmondzijde van de benedenstroomse krib 1:3 maken;
- bodemhoogte in havenmond verhoogd naar 3,0 m +NAP.

Beide maatregelen zorgen voor een minder abrupte overgang van de havenmondbodem
naar de benedenstroomse krib waardoor de opstuwing en dwarsstroming zal verminderen.

De morfologische effecten van de langsdam uit de uitgebreide varianten zijn onderzocht en
gerapporteerd in een separate notitie (Bijlage IX). De langsdam zorgt voor een reductie van
de aanzanding en aanslibbing van de havenmond en -kom. Gezien de grote onzekerheid in
de morfologische berekening wordt aanbevolen om de langsdam optioneel op te nemen in
het ontwerp (zie hoofdstuk 4.2.3).

De Baseline en Waqua schematisatie van het ontwerp van de haven Tuindorp is gepresen-
teerd in Bijlage III en IV. In de volgende paragraaf worden de effecten van deze voorkeurs-
variant besproken.

4.2. Effecten voorkeursvariant

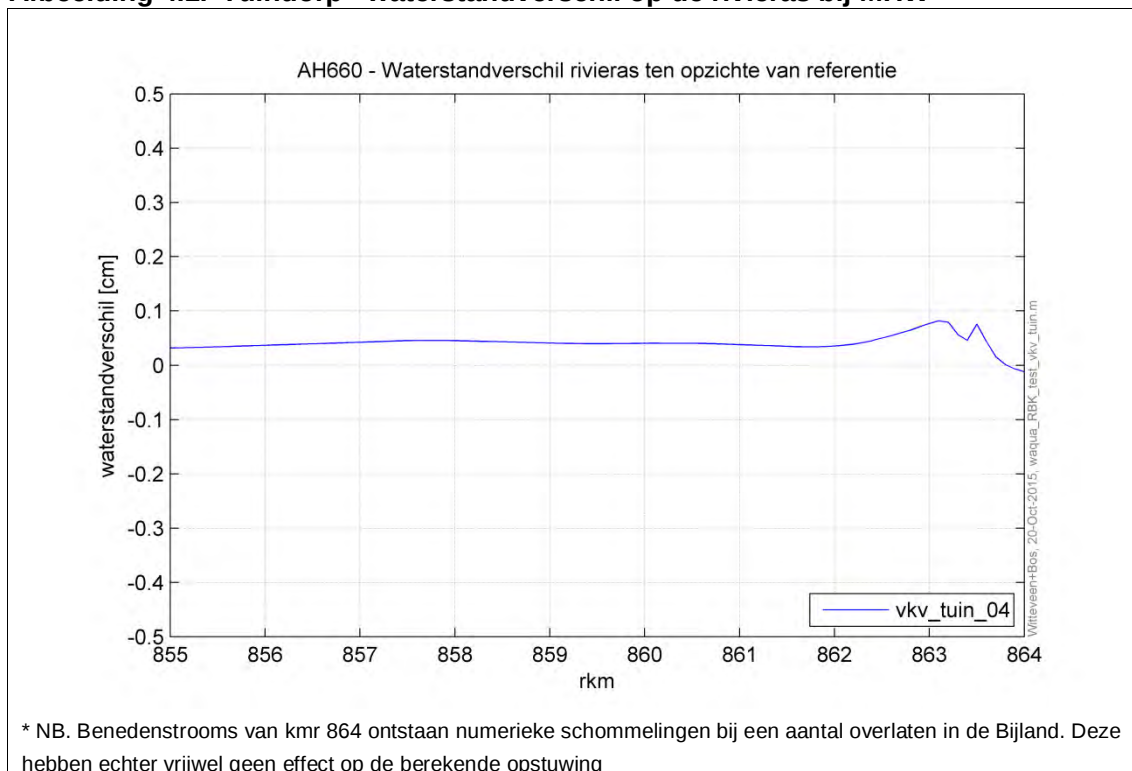
4.2.1. Effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)

MHW verandering op de rivieras

Afbeelding 4.1 toont de opstuwing op de rivieras bij MHW. De opstuwing bedraagt maxi-
maal 0,8 mm op rkm 863. De opstuwing op de rivieras voldoet daarmee aan de eis omtrent
maximale opstuwing op de rivieras.

Conclusie: de opstuwing op de rivieras is kleiner dan 1 mm en voldoet daarmee aan het
Rivierkundig Beoordelingskader.

Afbeelding 4.1. Tuindorp - waterstandverschil op de rivieras bij MHW

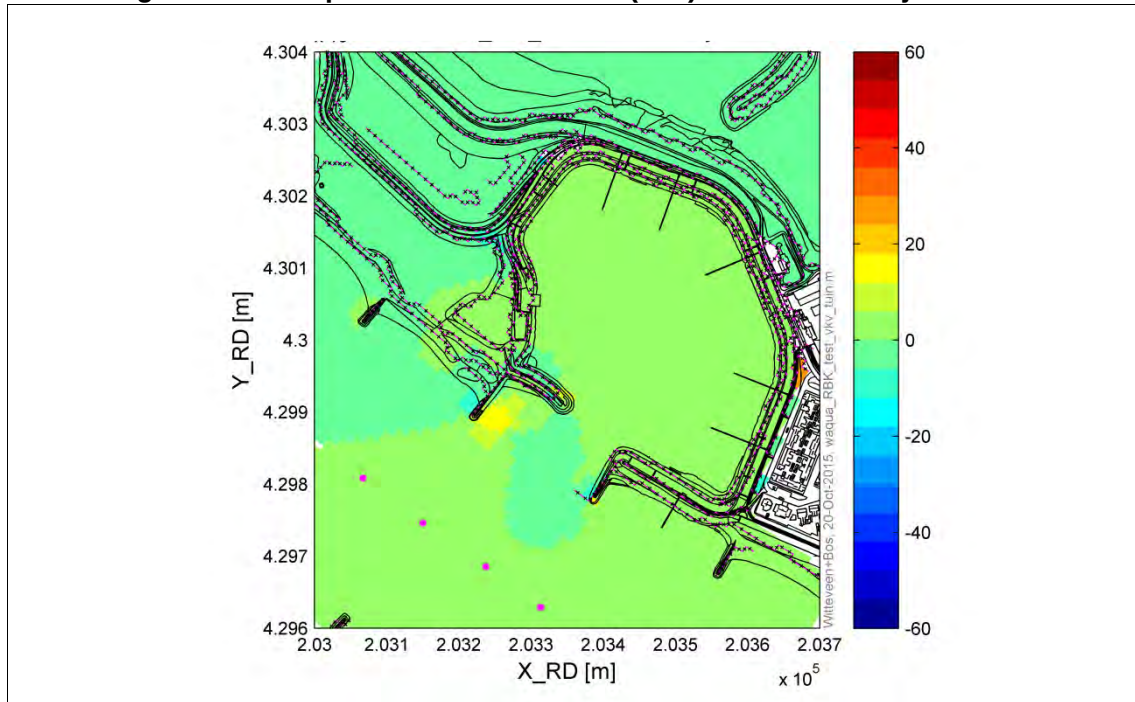


MHW verandering buiten de rivieras

Afbeelding 4.2 toont de waterstandverandering in het 2D-vlak. Hierin is te zien dat de opstuwing net bovenstrooms van de krib ongeveer 20 mm bedraagt. Deze opstuwing wordt veroorzaakt door het uitdiepen van de havenmond waardoor de overgang van havenmond bodem naar de krib abrupter verloopt. De opstuwing langs de waterkering bedraagt maximaal 3 mm.

Conclusie: de waterstandverandering langs de primaire waterkering bij MHW is groter dan 1 mm en dient te worden voorgelegd ter acceptatie van het waterschap.

Afbeelding 4.2. Tuindorp - waterstandverschil (mm) 2D-vlak VKV bij 16.000 m³/s



Afvoerverdeling bij Pannerdensche kop

Voor de VKV geldt dat de aanpassingen aan de haven dermate klein zijn en geen aanpassingen aan kades rondom de haven betreffen. Naar verwachting zal er geen wijziging in de afvoer tussen de Bijlandse Waard en het zomerbed ontstaan. Er worden daarom geen effecten op de afvoerverdeling bij de Pannerdensche Kop verwacht.

Conclusie: de VKV voldoet aan de eis omtrent de wijziging van de afvoerverdeling.

4.2.2. Hinder en/of schade door hydraulische effecten

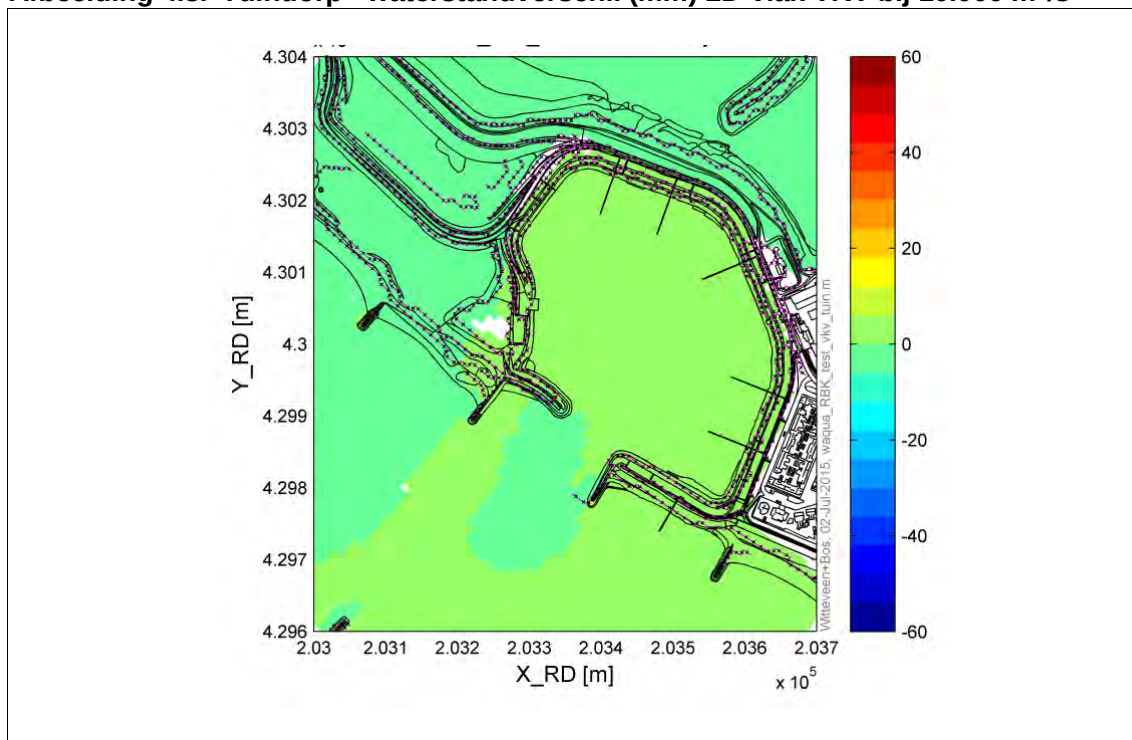
Waterstanden en/of inundatiefrequentie

Als gevolg van de aanleg van de haven kan de frequentie van overstromen van (delen van) de uiterwaard veranderen. Een ingreep kan betekenen dat wegen in de omliggende uiterwaard van de haven vaker onder water komen te staan waardoor (bedrijfs)terreinen minder goed bereikbaar zijn. Daarentegen kan het minder vaak overstromen van de uiterwaard juist nadelig zijn voor de natuur.

Afbeelding 4.3 toont het waterstandverschil bij 10.000 m³/s. Hierin is te zien dat de waterstandveranderingen beperkt zijn tot 10 mm. Doordat de geometrie niet wezenlijk verandert, is het niet aannemelijk dat de instroomfrequentie van de uiterwaard wijzigt. Daarnaast zijn de waterstandveranderingen zeer lokaal. Kortom, geen hinder voor derden te verwachten.

Conclusie: de VKV voldoet aan de eis uit het RBK aangaande de hinder door een wijziging in de waterstanden en/of inundatiefrequentie.

Afbeelding 4.3. Tuindorp - waterstandverschil (mm) 2D-vlak VKV bij 10.000 m³/s

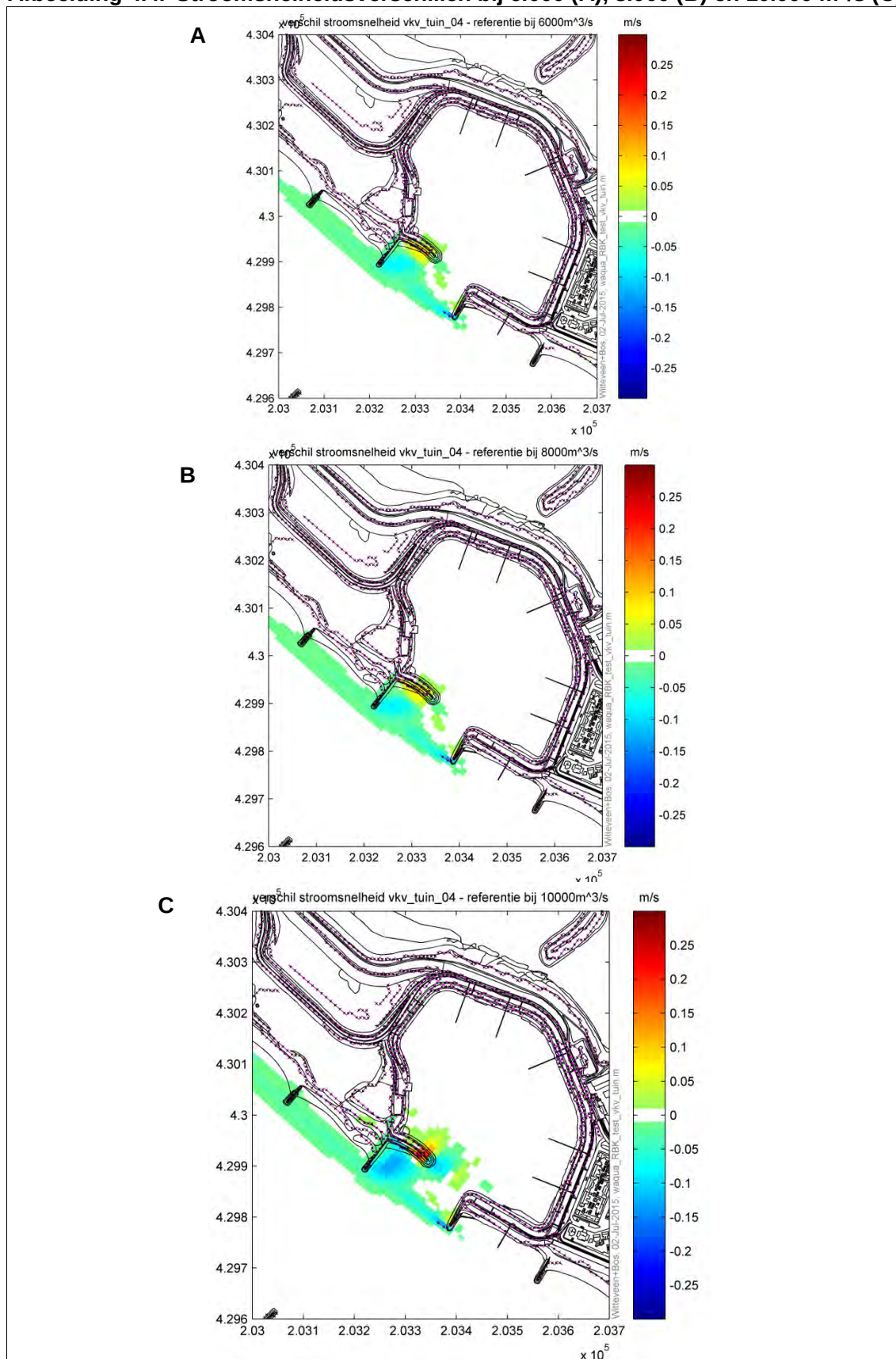


Stroombeeld uiterwaard (haven)

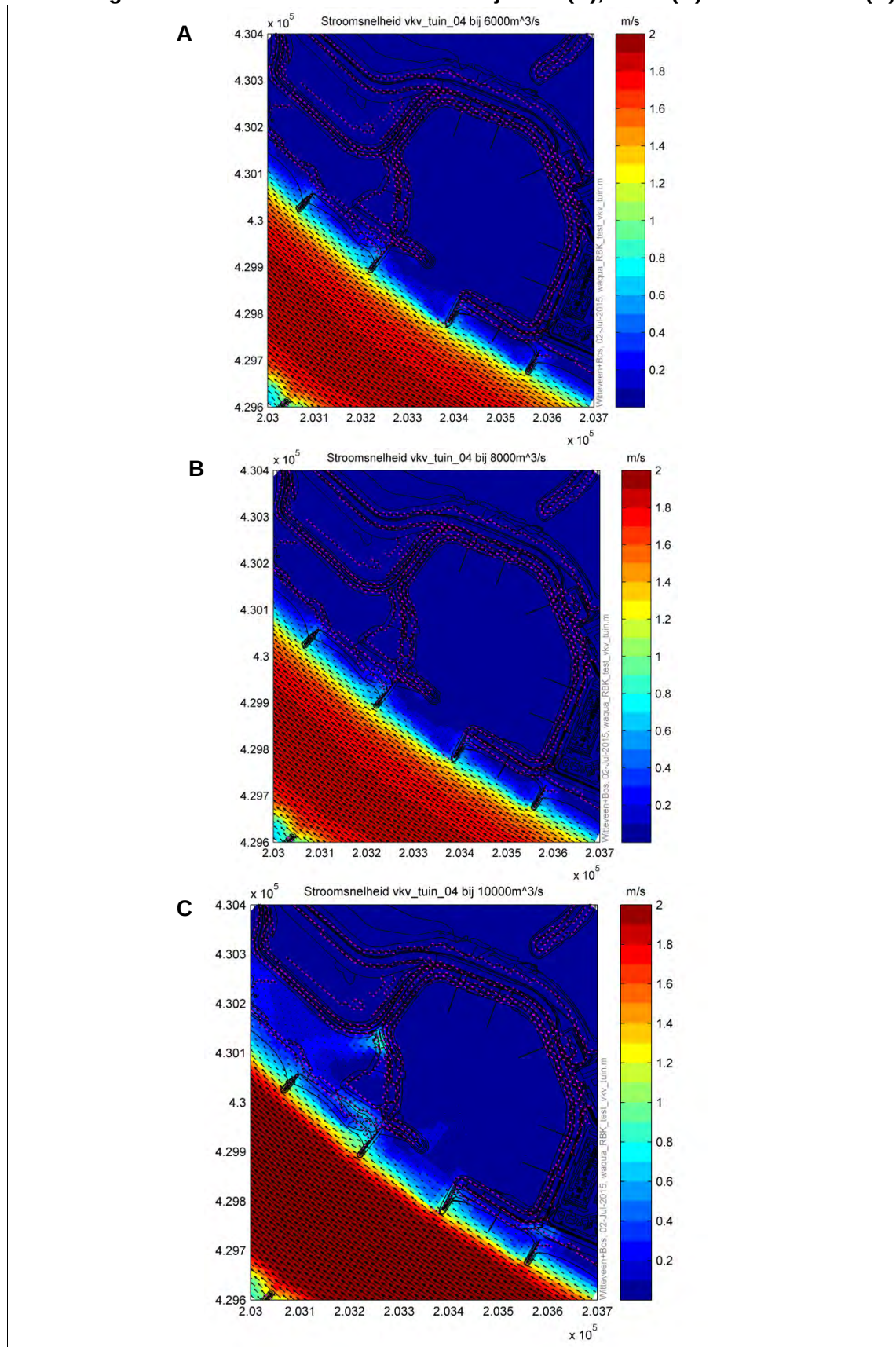
Afbeelding 4.4 en afbeelding 4.5 tonen de stroomsnelheidsverschillen en absolute stroomsnelheden in de haven bij de afvoeren 6.000, 8.000 en 10.000 m³/s. Hieruit blijkt dat de stroomsnelheden bij de ingekorte havendam toenemen met maximaal ongeveer 0,2 m/s bij een afvoer van 10.000 m³/s. De stroomsnelheden in de havenmond en benedenstrooms daarvan neemt de stroomsnelheid af als gevolg van het damwandscherm en verdieping van de havenmond. De absolute stroomsnelheden in de haven zijn nagenoeg nul bij afvoeren tot 8.000 m³/s. Bij 10.000 m³/s is de stroomsnelheid langs de benedenstroomse havendam 0,1 m/s. De stroomsnelheden in de haven zijn dermate laag dat er geen hinder voor de afgemeerde schepen verwacht wordt. Bij het damwandscherm treedt lokaal ontgroning op. Het ontwerp van het damwandscherm dient hiermee rekening te houden.

Conclusie: VKV voldoet aan de eis uit het RBK omtrent toename hinder en/of schade door een verandering van het stroombeeld.

Afbeelding 4.4. Stroomsnelheidsverschillen bij 6.000 (A), 8.000 (B) en 10.000 m³/s (C)



Afbeelding 4.5. Stroomsnelheid in de haven bij 6.000 (A), 8.000 (B) en 10.000 m³/s (C)



Stroombeeld zomerbed

Uit afbeelding 4.4 blijkt dat de stroomsnelheidseffecten in het zomerbed beperkt zijn tot de kribvakken en een klein gedeelte van het zomerbed langs de rechter oever. Dit zal verder geen hinder of schade veroorzaken.

Dwarsstroming

Afbeelding 4.6 toont de dwarsstroming bij 6.000 m³/s. Bijlage V bevat de afbeeldingen van de dwarsstroming voor de afvoeren 4.000, 8.000 en 10.000 m³/s. Tabel 4.1 geeft een samenvatting van de maximale dwarsstroming in de referentie en variant. Ter plaatse van de kribben stroomt water vanuit het kribvak het zomerbed in (negatieve waarde) waardoor hier de hoogste dwarsstroming ontstaat. In de kribvakken is de dwarsstroming voornamelijk richting de uiterwaard gericht (positieve waarde). Als gevolg van het baggeren van de haven en aanleg van het damwandscherm ontstaat een beperkte wijziging in het stroombeeld waardoor ook de dwarsstroming iets verandert.

De hoogste dwarsstroming komt voor bij een afvoer van 4.000 m³/s. De toename van de dwarsstroming is met 0,01 zeer klein te noemen. Hetzelfde geldt voor de dwarsstroming bij de hogere afvoeren (6.000, 8.000 en 10.000 m³/s). In de meeste gevallen moet voldaan worden aan het strenge dwarsstromingcriterium van 0,15 m/s behalve bij 6.000 m³/s waar uitgegaan mag worden van het mindere strenge criterium van 0,3 m/s. Bij 6.000 m³/s wordt voldaan aan het criterium aangaande de maximale dwarsstroming van 0,30 m/s. Bij 4.000, 8.000 en 10.000 m³/s wordt er niet voldaan het criterium. Echter, de toename ten opzichte van de referentie is zeer klein waardoor naar verwachting de scheepvaartveiligheid niet in het geding komt.

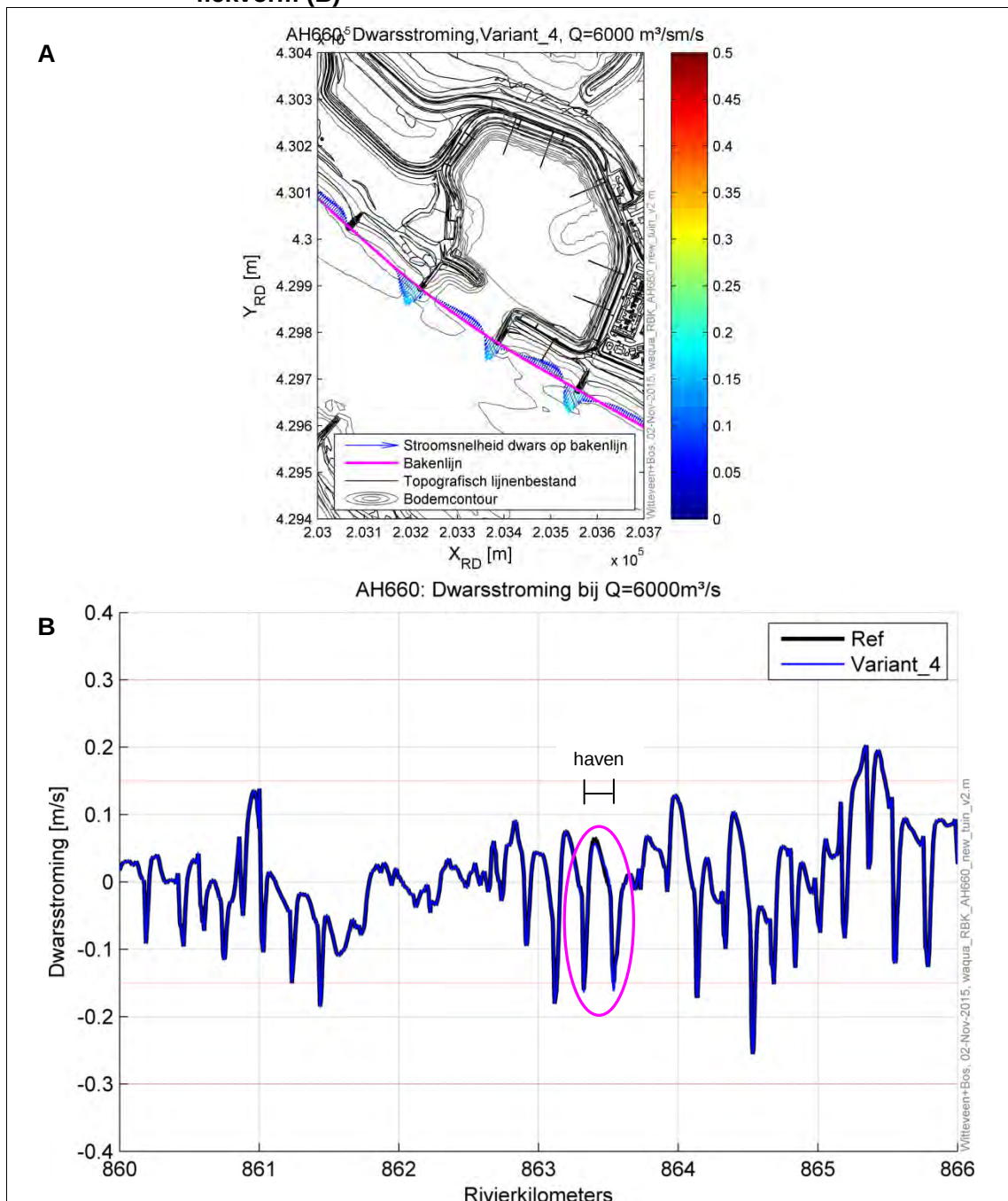
Tabel 4.1. Samenvatting dwarsstroming

afvoer	dwarsstroming (m/s) -		dwarsdebiet (m ³ /s)
	referentie	variant	
4.000	0,33	0,34	-55
6.000	0,15	0,16	-45
8.000	0,18	0,19	-70
10.000	0,17	0,18	-100

Conclusie: De dwarsstroming voldoet bij 6.000 m³/s aan de eisen uit het RBK omtrent de maximale dwarsstroming. Bij 4.000, 8.000 en 10.000 m³/s wordt hieraan niet voldaan maar zal het effect op de scheepvaartveiligheid niet noemenswaardig in het geding komen.

NB. Waqua houdt geen rekening met het blokkerend effect van de kribben. Dit effect is echter klein vergeleken met het energieverlies over de krib ten gevolge van het loslaten van de stroming.

Afbeelding 4.6. Tuindorp - dwarsstroming VKV bij 6.000 m³/s in 2D-vlak (A) en in grafiekvorm (B)



4.2.3. Morfologische effecten

De morfologische effectbeschrijving is onderverdeeld in sedimentatie en erosie van het zomerbed en van de haven. De morfologische effecten in de haven zijn gepresenteerd in een separate notitie die is opgenomen in bijlage IX. De sedimentatie van de haven is geen beoordelingscriterium in het MER.

Uit de stroomsnelheidsverschillen in afbeelding 4.4 blijkt dat deze beperkt zijn tot het gedeelte langs de rechteroever benedenstrooms van de haven. De stroomsnelheid neemt bij

6.000 m³/s (meest interessant voor inschatten morfologische effecten) af met ongeveer enkele cm/s. Dit zal naar verwachting leiden tot een beperkte sedimentatie van maximaal enkele cm's. Aangezien dit buiten de vaargeul plaatsvindt, zal dit niet leiden tot een afname van de vaargeulafmetingen.

Uit bijlage IX blijkt dat de aanzanding van de havenmond ten opzichte van de referentie zal afnemen terwijl de aanslibbing van de havenkom juist zal toenemen. Dit wordt met name veroorzaakt door het vergoten van het contactoppervlak tussen de havenmond en -kom. Hierbij wordt opgemerkt dat de berekende sedimentatie geldt voor een havenvariant waarbij de bodem van de havenmond en -kom tot dezelfde diepte worden gebaggerd. De VKV heeft een minder diepe havenmond dan de kom waardoor de gepresenteerde sedimentatie in bijlage IX wat lager zal uitvallen (havenmond 4.250 m³ en havenkom 8.000 m³). De verandering in sedimentatie vanuit de rivier naar de havenmond valt binnen de onzekerheid van de berekening.

Er is tevens gekeken naar de morfologische effecten van de aanleg van een langsdam als mitigerende maatregel van het baggeronderhoud. Het effect van de langsdam op de jaarlijkse sedimentatie van de havenmond en -kom bedraagt -2.000 en -200 m³/jaar. De berekende sedimentatie hebben een onzekerheidsmarge van +/-50 %, wat neerkomt op een besparing tussen 1.100 - 3.300 m³/jaar. Gezien de grote onzekerheid rondom de berekende effecten van de langsdam wordt aanbevolen eerst de havenmond en -kom te baggeren en de bodemontwikkeling te monitoren alvorens een besluit te nemen over de aanleg van de langsdam. Als rekening gehouden wordt met een bodemhoogte in de havenmond van 3,0 m+NAP wordt het verschil tussen met of zonder langsdam nog kleiner.

4.2.4. Overzicht RBK toets en conclusie

De tabellen 4.2 t/m 4.4 geven een samenvatting van de effectbeoordeling conform Rivierkundig Beoordelingskader voor de aspecten hoogwaterveiligheid, hinder en/of schade en morfologische effecten. De VKV voldoet niet aan het dwarsstromingscriterium bij een afvoer van 8.000 en 10.000 m³/s. Echter, de toename is zeer klein waardoor naar verwachting de scheepvaartveiligheid niet in het geding komt. Geconcludeerd wordt dat er geen verdere mitigerende maatregelen nodig zijn en dat het VKV vergunbaar is.

Tabel 4.2. Effectbeoordeling voorkeursvariant Tuindorp - Hoogwaterveiligheid

S*	te beoordelen effect	criterium	effect	conclusie
1.1	maatregel in stroomvoerend deel rivier: MHW stand op de as van de rivier	stroomvoerend: geen waterstandsverhoging (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn)	max. waterstandverhoging: +0,8 mm	voldoet
	maatregel in bergend deel rivier: volume waterberging	bergend: geen vermindering bergend volume		
1.2	MHW stand buiten as van de rivier	toename waterstand (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn)	langs primaire waterkering: max. waterstandverhoging: +3 mm	ter acceptatie van het waterschap
1.3	afvoerverdeling bij MHW (bij Pannerdensche Kop en IJsselkop)	project binnen enkele km splitting: verandering afvoerverdeling < 5 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 15.000 m ³ /s	Geen effect op de afvoerverdeling	voldoet

§*	te beoordelen effect	criterium	effect	conclusie
		project verder weg: geen verandering waterstand bij splitting		
1.4	afvoerverdeling bij normaal hoogwater (bij Panhardensche Kop en IJsselkop)	verandering afvoerverdeling < 20 m³/s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m³/s	Geen effect op de afvoerverdeling	voldoet

Tabel 4.3. Effectbeoordeling voorkeursvariant Tuindorp - Hinder en/of schade

§*	te beoordelen effect	criterium	effect	conclusie
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 m³/s, plus vaak ook de Boven-Rijn afvoer van 10.000 m³/s	16.000 m³/s: max. waterstandverhoging waterkering: +3 mm 10.000 m³/s: + 1mm	geen extra hinder door wijziging in waterstanden en/of overstroomingsfrequentie
2.2	stroombeeld in de uiterwaard (haven)	verandering grootte en richting stroomsnelheden bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m³/s	stroomsnelheid haven: max 0,1 m/s bij 10.000 m³/s	geen extra hinder door wijziging stroombeeld
2.3	stroombeeld in hoofdgeul bij de aan- en aftakking van nevengeul	bankfull afvoer nevengeul < 50 m³/s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,3 m/s (geldt voor 6.000 m³/s) Bankfull afvoer nevengeul > 50 m³/s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,15 m/s (geldt voor 4.000, 8.000 en 10.000 m³/s)	- 4000: 0,34 m/s (toename 0,01 m/s) - 6.000: 0,16 m/s (toename 0,01 m/s) - 8000: 0,19 m/s (toename 0,01 m/s) - 10.000: 0,18 m/s (toename 0,01 m/s)	dwarsstroming voldoet bij 6.000 m³/s maar niet bij 4.000, 8.000 en 10.000 m³/s. Gezien beperkte toename worden geen problemen voor scheepvaart verwacht
2.4	afvoerverdeling bij normaal hoogwater	verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m³/s	Geen effect op de afvoerverdeling	voldoet
2.5	afvoerverdeling bij lage afvoeren	afwijking afvoerverdeling < 1 m³/s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m³/s (OLR)	niet relevant bij afvoeren kleiner dan 6.000 m³/s	voldoet

Tabel 4.4. Effectbeoordeling voorkeursvariant Tuindorp - Morfologische effecten

S*	te beoordelen effect	criterium	effect	conclusie
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 terugschrijdende erosie of sedimentatie i.v.m. risico verandering afvoerdeling bij MHW of OLR.	enkele cm's (enkele honderden kuubs) aanzanding langs de rechteroever benedenstroms van de haven (ver buiten de vaargeul)	geen vermindering vaargeulafmetingen
3.2	aanzanding en erosie van uiterwaard (haven)	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	aanslibbing havenkom van ongeveer 8.000 m³/jaar aanzanding havenmond ca. 4.240 m³/jaar	toename aanslibbing haven

4.2.5. Overzicht MER beoordeling en conclusie

De tabellen 4.5 t/m 4.6 geven een samenvatting van de MER effectbeoordeling voor de aspecten hoogwaterveiligheid, afvoerdeling, dwarsstroming en morfologie. Ten opzichte van de uitgebreide variant is de opstuwing op de rivieras afgenomen met 0,7 mm van 1,5 mm naar 0,8 mm en is ook het effect op de dwarsstroming afgenomen (van 0,05 naar 0,01 m/s). Daar staat tegenover dat de VKV aanzanding in het zomerbed veroorzaakt van enkele cm's terwijl dit eerst enkele cm's erosie was in de uitgebreide variant. Er worden net als de uitgebreide variant geen effecten op de afvoerdeling verwacht.

Tabel 4.5. Rivierkundige effecten VKV Tuindorp

aspect	criterium	VKV
effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	maximale opstuwning op de rivieras	0,8 mm
afvoerverdeling	verandering afvoerverdeling bij de Pannerdensche Kop	0 m ³ /s
dwarsstroming	dwarsstroomsnelheid bakenlijn	0,16 m/s (+0,01)
morfologie	aanzanding zomerbed	enkele cm's

Effectbeoordeling VKV

In tabel 4.6 is een samenvattende beoordeling opgenomen van de VKV voor Tuindorp op het gebied van rivierkunde. De VKV scoort negatief op de aspecten hoogwaterveiligheid, dwarsstroming en morfologie en neutraal op het aspect afvoerverdeling. De effectbeoordeling van de hoogwaterveiligheid is positiever geworden (-- naar -) en morfologie juist negatiever (+ naar -). De effectbeoordeling van de afvoerverdeling en dwarsstroming zijn onveranderd gebleven.

Tabel 4.6. Effectbeoordeling VKV Tuindorp

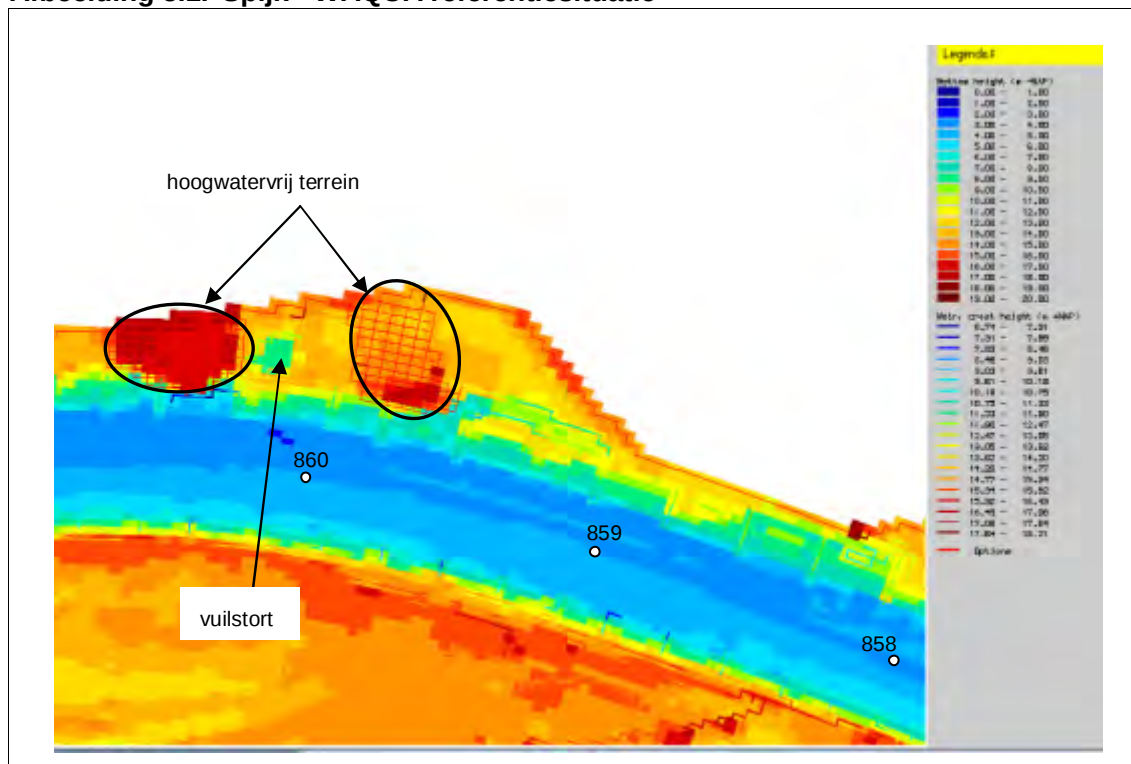
aspect	VKV
effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	-
afvoerverdeling	0
dwarsstroming	-
morfologie	-

5. HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELINGEN SPIJK**5.1. Beschrijving huidige situatie****WAQUA referentiesituatie**

De rivierkundige effecten zijn bepaald door verschillen in waterstanden en stroomsnelheden tussen de varianten en de referentiesituatie te analyseren. De referentiesituatie in WAQUA is weergegeven in afbeelding 5.1. De rivier maakt ter plaatse van Spijk een flauwe bocht naar links waardoor de haven aan de buitenbocht ligt. Het zomerbed in de buitenbocht, waar de vaargeul is gelegen, ligt op ongeveer 4,0 m +NAP. Over het riviertraject rkm 858-862 is de buitenbocht van het zomerbed vastgelegd met steenbestorting. Deze vaste laag is tevens in het model opgenomen.

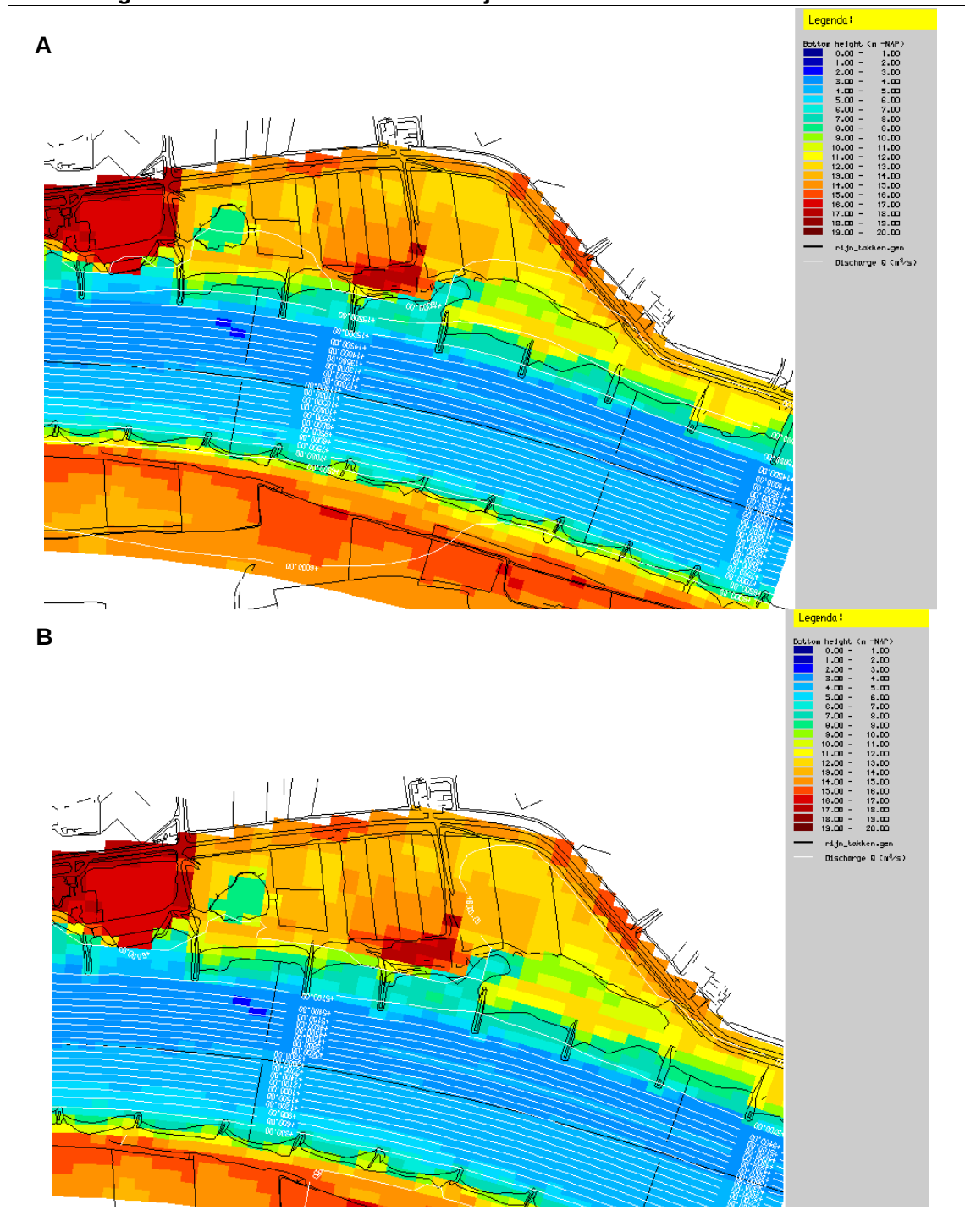
In de Beijenwaard, varieert de bodemhoogte tussen ongeveer 11,00 - 17,00 m +NAP. De Beijenwaard bevat een hoogwatervrij terrein ter hoogte van rkm 859,8 wat er voor zorgt dat de uiterwaard vrijwel niet meestroomt bij MHW. Daarnaast ligt aan de benedenstroomse zijde van het plangebied een hoogwatervrij terrein (Wezendonk) wat een bodemhoogte heeft van ongeveer 16 m +NAP. Langs de rivier liggen kribben die vanaf de huidige oeverlijn ongeveer 80 m het zomerbed insteken. De insteekhoogte is ongeveer 11,46 m +NAP (lit. 13.). In de plas heeft een bodemhoogte van ongeveer 9,00 m +NAP (lit. 11.).

Afbeelding 5.1. Spijk - WAQUA referentiesituatie



Afbeelding 5.2 bevat de stroombanen bij een Boven-Rijnafvoer van 16.000 m³/s en 6.000 m³/s. Bij 16.000 m³/s stroomt met alleen het zuidelijk gedeelte van de uiterwaard mee omdat het hoogwatervrije terrein de stroming voor een groot gedeelte blokkeert. In het noordelijk gedeelte van de uiterwaard ontstaan boven- en benedenstrooms van het hoogwatervrije terrein neren zodat dit gedeelte niet effectief meestroomt. Bij 6.000 m³/s stroomt het bovenstroomse gedeelte van de uiterwaard wel effectief mee, blijktens de stroombanen.

Afbeelding 5.2. Stroombanen referentie bij 16.000 m³/s en 6.000 m³/s



Waterstanden

De ontwerpwaterstanden ter plaatse van de haven Spijk (rkm 859,5) zijn weergegeven in tabel 5.1 en zijn afkomstig uit (lit. 2.).

Tabel 5.1. Spijk - Ontwerpwaterstanden (m +NAP)

	Lobith (kmr 862,18)	Spijk (kmr 859,5)	Lobith afvoer (m³/s)
concept OLR 2012	7,39	7,63	1.020
OLR 2012 +0,7 m	8,09	8,40	1.363
mediaan	9,04	9,37	1.960
insteekhoogte kribben	11,15	11,46	3.485
MHW (6 dgn. overschreden)	13,41	13,82	5.791
1/1 jaar	13,64	14,05	6.070
1/10 jaar	15,67	16,11	9.613
Marke I	13,51	13,92	5.912
Marke II	15,20	15,64	8.569
MHW 2006 (1/1.250 jaar)	17,89***	18,35**	16.000

** Op basis van toetspeil (lit. 4.).

*** Uit (lit. 5.).

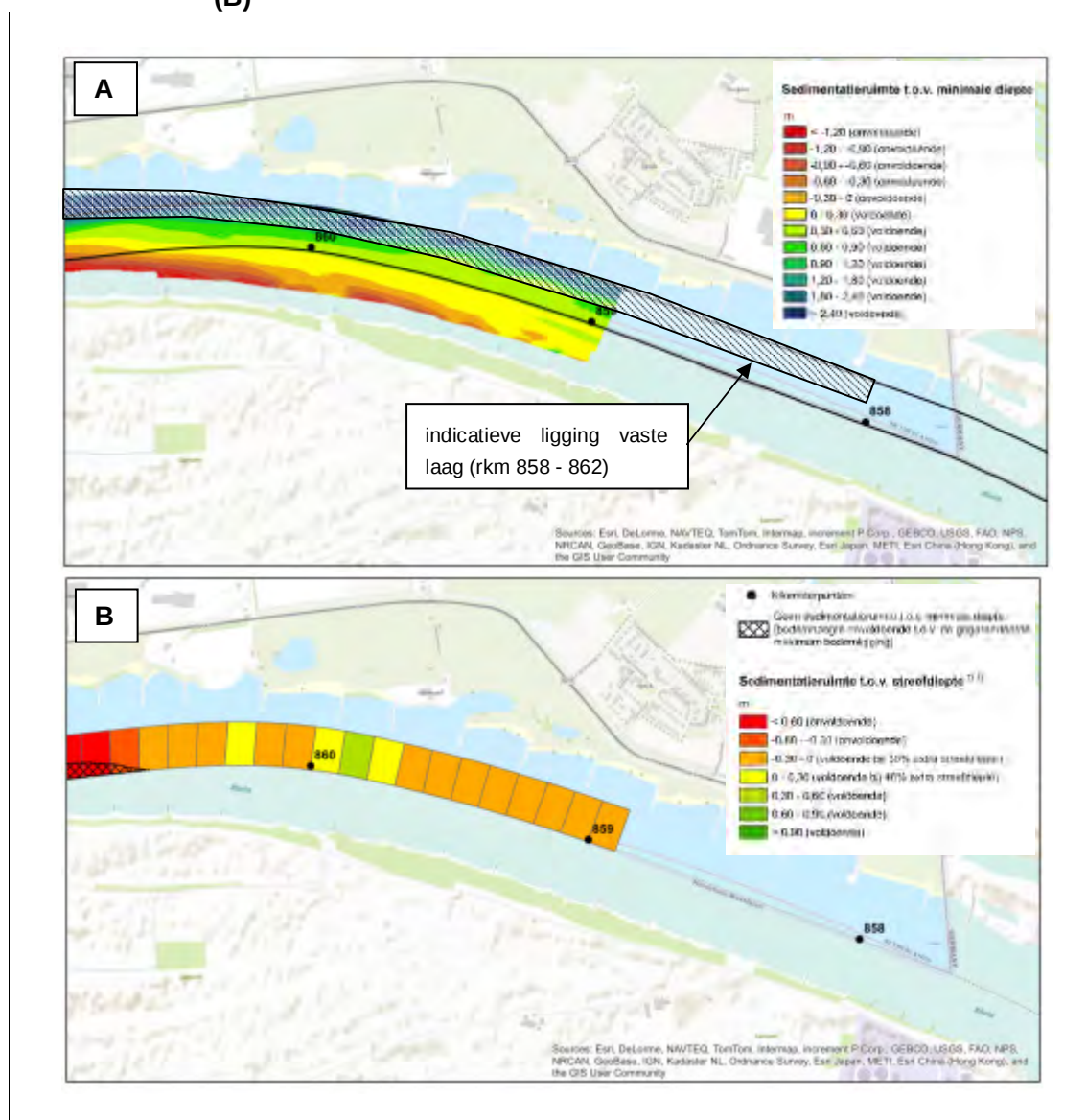
Waterdiepte

De waterdiepte ten opzichte van OLR en de streefdiepte zijn weergegeven in afbeelding 5.3. De waterdiepte dient bij OLR minimaal 2,8 m te zijn en de streefdiepte minimaal 4,0 m. Uit afbeelding 5.3A blijkt dat tussen rkm 859-860,7 voldoende waterdiepte beschikbaar is; er is 0 - 60 cm overdiepte aanwezig om enige sedimentatie op te kunnen vangen.

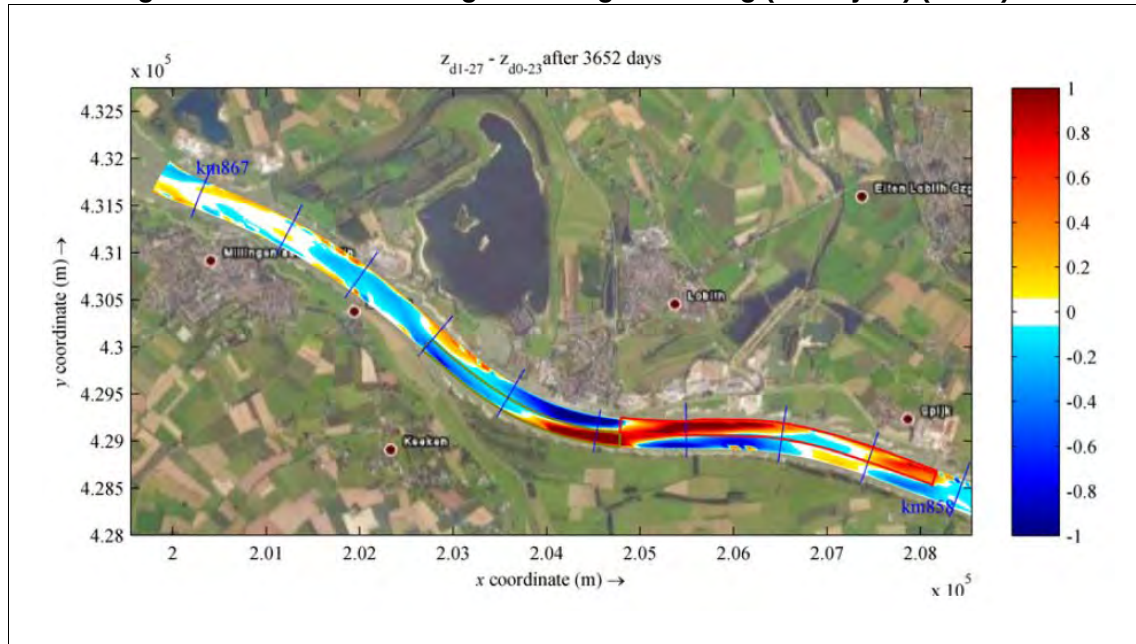
Vanaf rkm 860,7 wordt niet voldaan aan de minimale waterdiepte en is er geen sedimentatieruimte beschikbaar vanwege een zandbank aan de linkeroever.

Het effect van de vaste laag in de buitenbocht van rkm 858-862 is niet in de sedimentatieruimtekaart terug te zien, omdat deze gebaseerd zijn op de gemiddelde bodemligging uit 1999-2006 en de OLR2002. Uit lit. 17 blijkt dat na aanleg van de vaste laag de binnenbocht tussen kmr 860 - 861,6 gaat eroderen. Na 2 jaar is de bodem in de binnenbocht met ongeveer 0,5 m geërodeerd. Na 10 jaar bedraagt de erosie in de binnenbocht ongeveer 0,5-0,7 (afbeelding 5.4). Bovenstrooms van de vaste laag vindt er aanzanding plaats, terwijl benedenstrooms hiervan een erosiekuil ontstaat. Dit betekent dat de sedimentatieruimtekaarten een conservatiefbeeld geven van de huidige situatie in de vaarweg en dat de bevaarbaarheid van de Bovenrijn aanmerkelijk verbeterd door aanleg van de vaste laag.

Afbeelding 5.3. Spijk - Sedimentatieruimte t.o.v. minimale diepte (A) en streefdiepte (B)



Afbeelding 5.4. Bodemverandering na aanleg vaste laag (na 10 jaar) (lit. 17)



5.2. Beschrijving autonome ontwikkelingen

Hier wordt verwezen naar paragraaf 2.2.

5.3. Referentiesituatie

De hierboven beschreven huidige situatie en autonome ontwikkelingen vormen samen de referentiesituatie. De effecten van de inrichtingsvarianten worden vergeleken met deze referentiesituatie.

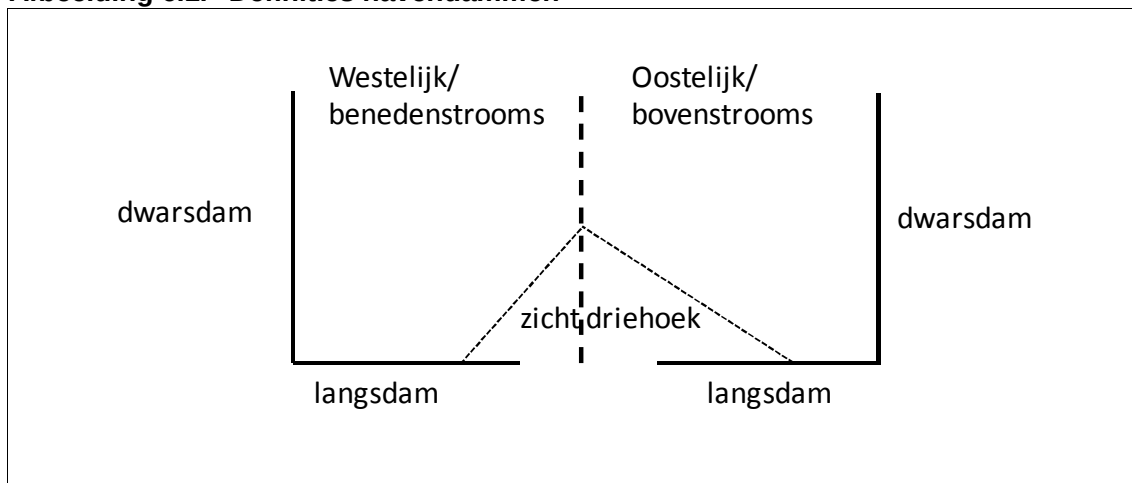
6. EFFECTEN VARIANTEN SPIJK

Dit hoofdstuk presenteert de effecten van de Spijk varianten Oost, West, Zuid en Bril voor de aspecten hoogwaterveiligheid, afvoerdeling, dwarsstroming en morfologie.

6.1. Overzicht definities en gehanteerde hoogten havendammen

In de effectenstudie rivierkunde vormen de havendammen een belangrijke bouwsteen. Om inzicht te verschaffen in deze bouwsteen en de relatie met de verschillende inrichtingsvarianten voor de nieuwe haven bij Spijk, is hieronder een overzicht gegeven van zowel de definities van de havendammen (afbeelding 6.1), als de hoogte van de havendammen (tabel 6.1).

Afbeelding 6.1. Definities havendammen



Tabel 6.1. Overzicht havendamhoogten

variant	oostelijke dwarsdam (m +NAP)	oostelijke langsdam (m +NAP)	westelijke langsdam (m +NAP)	westelijke dwars- dam (m +NAP)
oost	15,20 - 16,00	11,95 - 15,20	11,95 - 16,00	16,00
west	16,00	11,95 - 16,00	11,95 - 17,00	17,00
zuid	13,35 - 16,00	11,95 - 13,35	11,95 - 16,00	16,00
bril	15,20-16,00	11,95 - 15,20	11,95 - 15,20	16,00 - 17,00

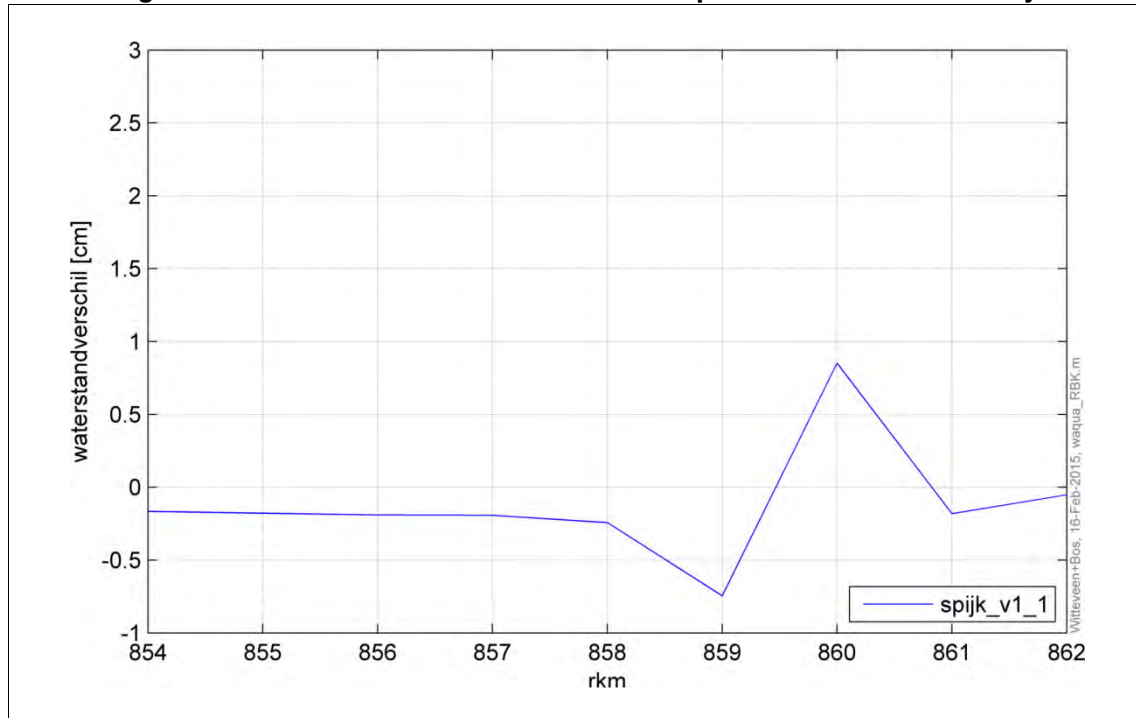
6.2. Effecten varianten

6.2.1. Effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)

Variant 1 'Oost'

Afbeelding 6.2 geeft voor de Oost variant het waterstandverschil weer op de rivieras bij MHW. De opstuwing is maximaal 9 mm op rkm 860. Vanaf rkm 859 vindt in bovenstroomse richting een daling van de waterstand plaats van maximaal 7 mm.

Afbeelding 6.2. Variant Oost - Waterstandverschil op de rkm in de rivieras bij MHW



Afbeelding 6.3 geeft het ruimtelijk beeld weer van het waterstandverschil ten opzichte van de referentiesituatie bij MHW. Hieruit wordt het volgende opgemaakt:

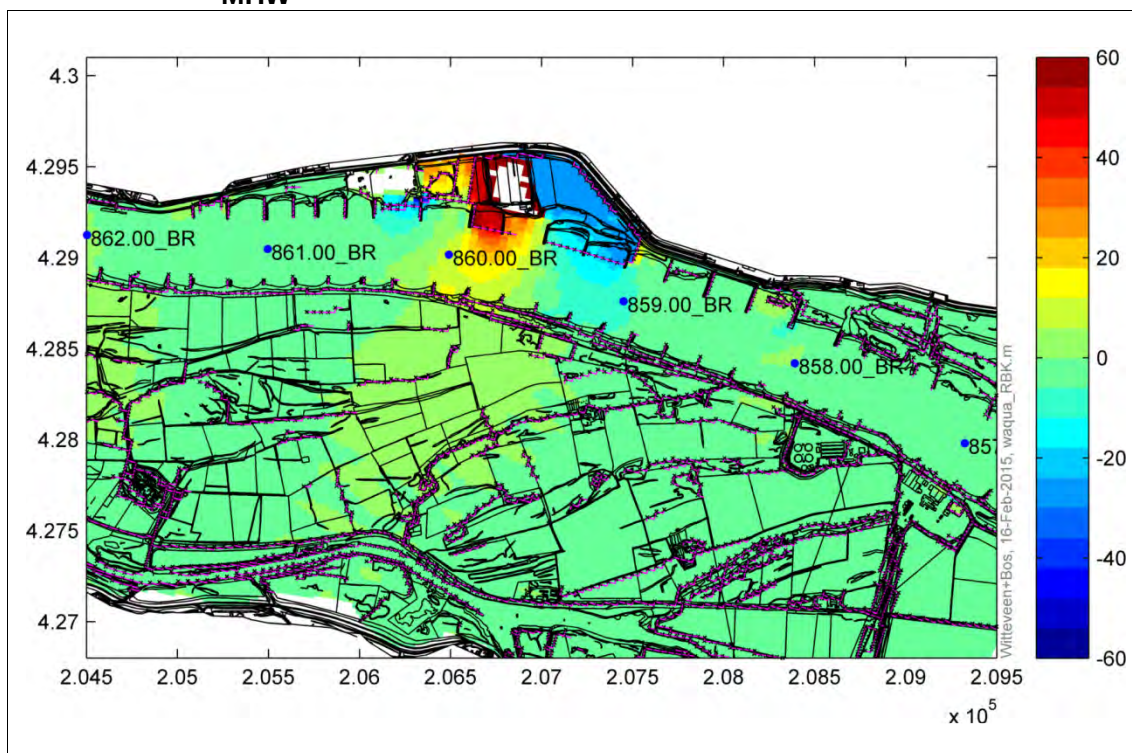
- de maximale waterstandverhoging in de haven nabij de waterkering bedraagt 5,0 cm. Bij de Duitse waterkering is deze kleiner dan een mm;
- aan de bovenstroomse kant van de oostelijke dwarsdam ontstaat een lokale opstuwing van maximaal 1,3 cm. Deze bereikt niet de rivieras;
- bij het uitstroompunt aan de westzijde van de haven (nabij rkm 860) ontstaat een opstuwing van maximaal 5,0 cm. Deze opstuwing 'straalt' uit richting de linkeroever en bedraagt op de rivieras bij rkm 860 9 mm.

Bij het in- en uitstroompunt van de haven vindt er opstuwing plaats door stromend water over de havendam. Deze opstuwing is afhankelijk van het volume water wat de haven instroomt en van het natte oppervlak van de uitstroomopening.

Daarnaast vindt er bij deze variant bij MHW een verruiming van het doorstromend oppervlak plaats waardoor de waterstand in de rivier daalt in bovenstroomse richting.

Oordeel: sterk negatief, waterstand neemt toe (> 1 mm). Optimalisatie mogelijk (zie paragraaf 6.3).

Afbeelding 6.3. Variant Oost - Ruimtelijk beeld van het waterstandverschil (mm) bij MHW



Variant 2 'West'

Afbeelding 6.4 geeft voor de West variant het waterstandverschil weer op de rivieras bij MHW. De opstuwing is maximaal circa 2,3 cm op rkm 860. Vanaf rkm 859 vindt in bovenstroomse richting een stijging van de waterstand plaats van maximaal 1 cm.

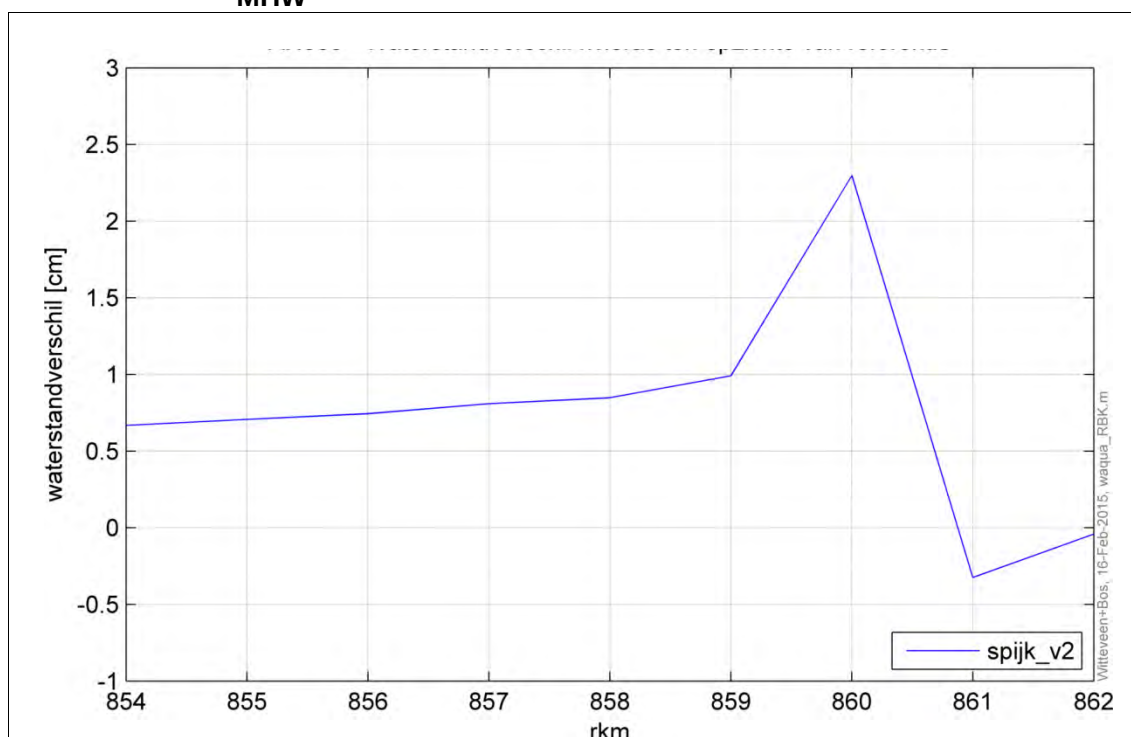
Afbeelding 6.5 geeft het ruimtelijk beeld weer van het waterstandverschil ten opzichte van de referentiesituatie bij MHW. Het beeld van de waterstandverschillen komt nagenoeg overeen met variant Oost. Uit afbeelding 10.4 wordt het volgende opgemaakt:

- de waterstandverhoging in de haven nabij de waterkering bedraagt 6,0 cm en bedraagt bij de Duitse waterkering 8 mm;
- aan de bovenstroomse zijde van de oostelijke dwarsdam ontstaat een opstuwing van 2,2 cm;
- bij het uitstroompunt aan de westzijde van de haven (nabij rkm 860) ontstaat opstuwing van maximaal 7,3 cm. Deze opstuwing 'straalt' uit richting de linkeroever en bedraagt op de rivieras bij rkm 860 circa 2,3 cm.

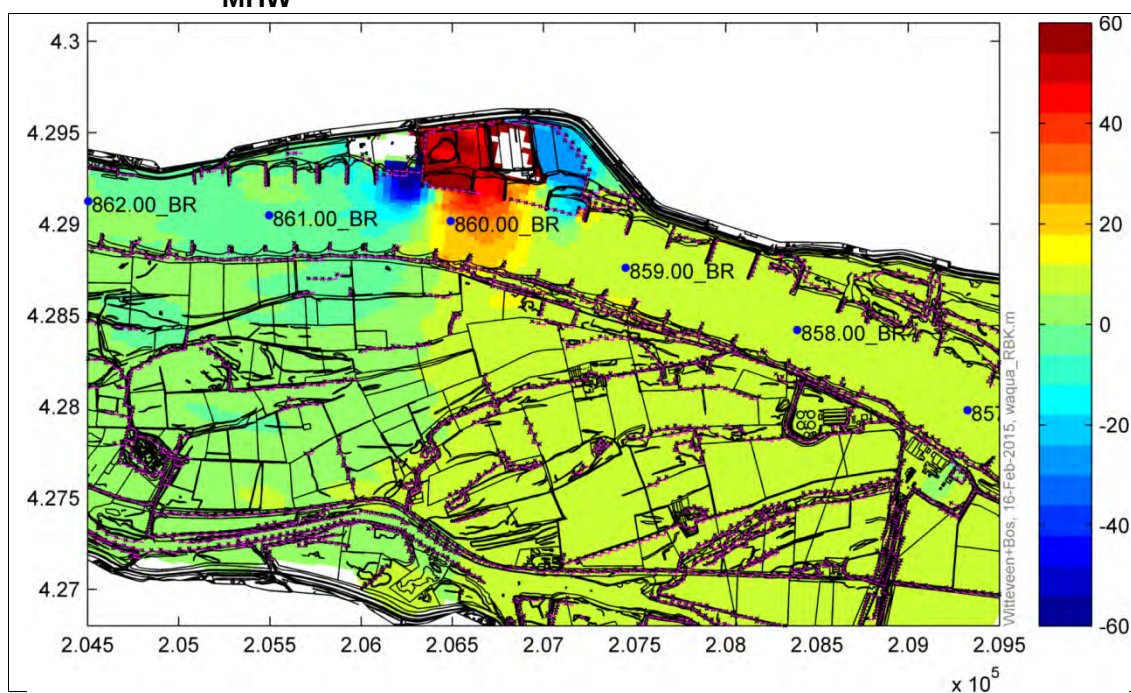
Zowel de opstuwing aan de bovenstroomse als de benedenstroomse dwarsdam dragen bij aan de opstuwing in de bovenstroomse richting.

Oordeel: sterk negatief, waterstand op de rivieras neemt toe (> 1 mm). Optimalisatie mogelijk (zie paragraaf 6.3).

Afbeelding 6.4. Variant West - Waterstandverschil (m) op de rkm in de rivieras bij MHW



Afbeelding 6.5. Variant West- Ruimtelijk beeld van het waterstandverschil (mm) bij MHW



Variante 3 'Zuid'

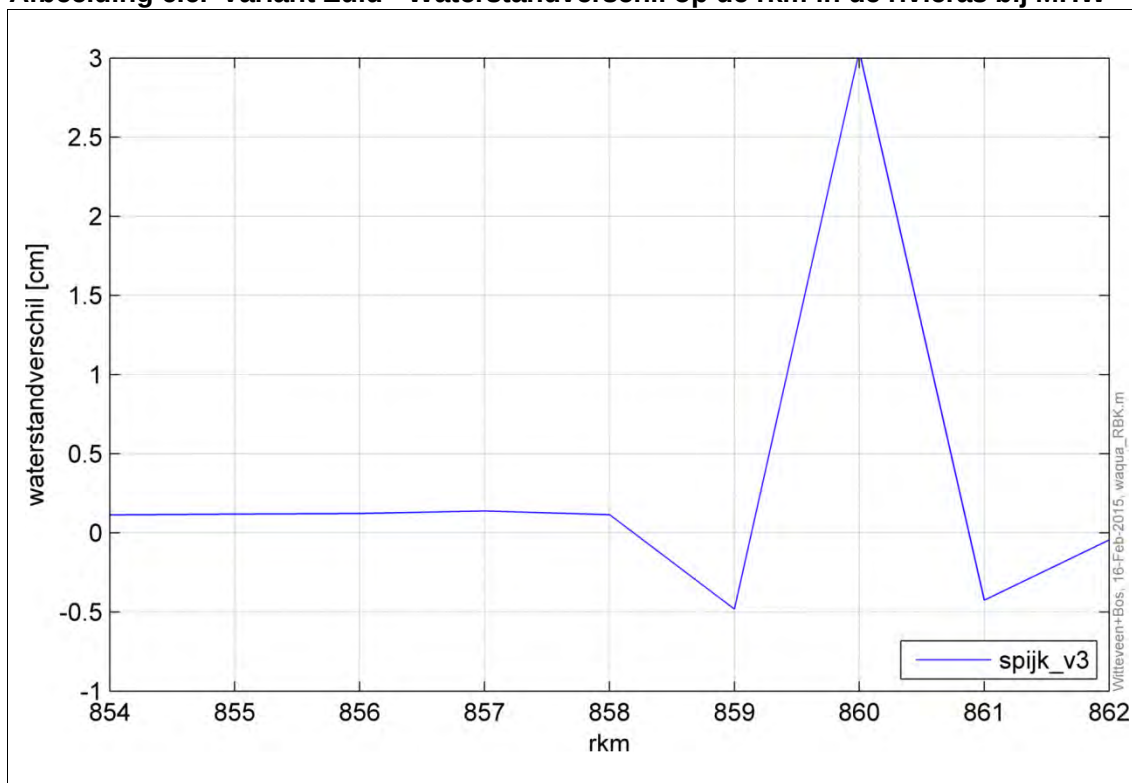
Afbeelding 6.6 geeft voor de Zuid variant het waterstandverschil weer op de rivieras bij MHW. De opstuwing is maximaal circa 3,1 cm op rkm 860. Vanaf rkm 859 vindt in bovenstroomse richting een stijging van de waterstand plaats van maximaal 1 mm.

Afbeelding 6.7 geeft het ruimtelijk beeld weer van het waterstandverschil ten opzichte van de referentiesituatie bij MHW. Het beeld van de waterstandverschillen komt nagenoeg overeen met variant Oost. Uit afbeelding 5.6 wordt het volgende opgemaakt:

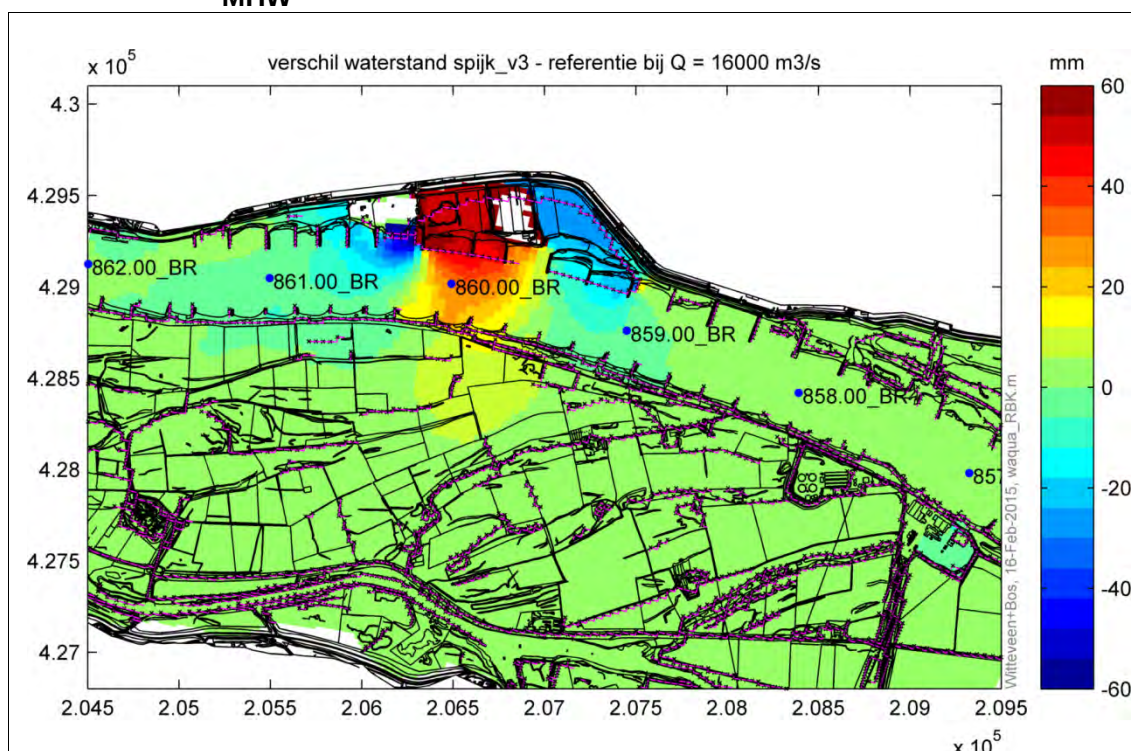
- de waterstandverhoging in de haven nabij de waterkering bedraagt 5,2 cm. Bij de Duitse waterkering bedraagt de maximale stijging 3 mm;
- aan de bovenstroomse zijde van de oostelijke dwarsdam ontstaat een lokale opstuwing van maximaal 3,2 cm;
- bij het uitstroompunt aan de westzijde van de haven (nabij rkm 860) ontstaat een opstuwing van maximaal 8,6 cm. Deze opstuwing 'straalt' uit richting de linkeroever en bedraagt op de rivieras bij rkm 860 3,1 cm.

Oordeel: sterk negatief, waterstand op de rivieras neemt toe (> 1 mm).

Afbeelding 6.6. Variante Zuid - Waterstandverschil op de rkm in de rivieras bij MHW



Abbeelding 6.7. Variant Zuid - Ruimtelijk beeld van het waterstandverschil (mm) bij MHW



Variant 4 'Brilvariant'

De effecten van de Brilvariant op de hoogwaterstand zijn niet met WAQUA bepaald maar gebaseerd op de MHW resultaten van de overige varianten. De brilvariant lijkt het meest op de Zuidvariant alleen zijn de dwarsdammen aan de boven- en benedenstroomse zijden hoger dan de Zuidvariant. Verwacht wordt dan ook dat de MHW-effecten van de Bril variant groter zijn dan de Zuidvariant. Het waterstandverschil in bovenstroomse richting zal ergens tussen die van de Zuid- en Westvariant in liggen en dus 0 - 1 mm bedragen. Waarschijnlijk zal de opstuwung bij het uitstroompunt en rkm 860 groter zijn dan de Zuid variant vanwege de hogere kruinhoogte van zowel de langsdam als de benedenstroomse dwarsdam.

Oordeel: sterk negatief, waterstand op de rivieras neemt toe (> 1 mm). Optimalisatie mogelijk (zie paragraaf 6.3).

6.2.2. Afvoerverdeling bij Pannerdensche kop

Variant 1 'Oost'

De variant Oost ligt ver bovenstrooms van het splitsingspunt waardoor er geen effect op de afvoerverdeling te verwachten valt.

Oordeel: neutraal, geen verandering van de afvoerverdeling.

Variant 2 'West'

De variant West ligt ver bovenstrooms van het splitsingspunt waardoor er geen effect op de afvoerverdeling te verwachten valt.

Oordeel: neutraal, geen verandering van de afvoerverdeling.

Variant 3 'Zuid'

De variant Zuid ligt ver bovenstrooms van het splitsingspunt waardoor er geen effect op de afvoerdeling te verwachten valt.

Oordeel: neutraal, geen verandering van de afvoerdeling.

Variant 4 'Brilvariant'

De variant Bril ligt ver bovenstrooms van het splitsingspunt waardoor er geen effect op de afvoerdeling te verwachten valt.

Oordeel: neutraal, geen verandering van de afvoerdeling.

6.2.3. Dwarsstroming

De dwarsstroming op de normaallijn voor de Spijk varianten Oost, West en Zuid zijn bepaald met WAQUA bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s en zijn weergegeven voor het riviertraject kmr 858-862. Een positieve waarde betekent een dwarsstroming richting de rivier en een negatieve waarde betekent een dwarsstroming richting de uiterwaard.

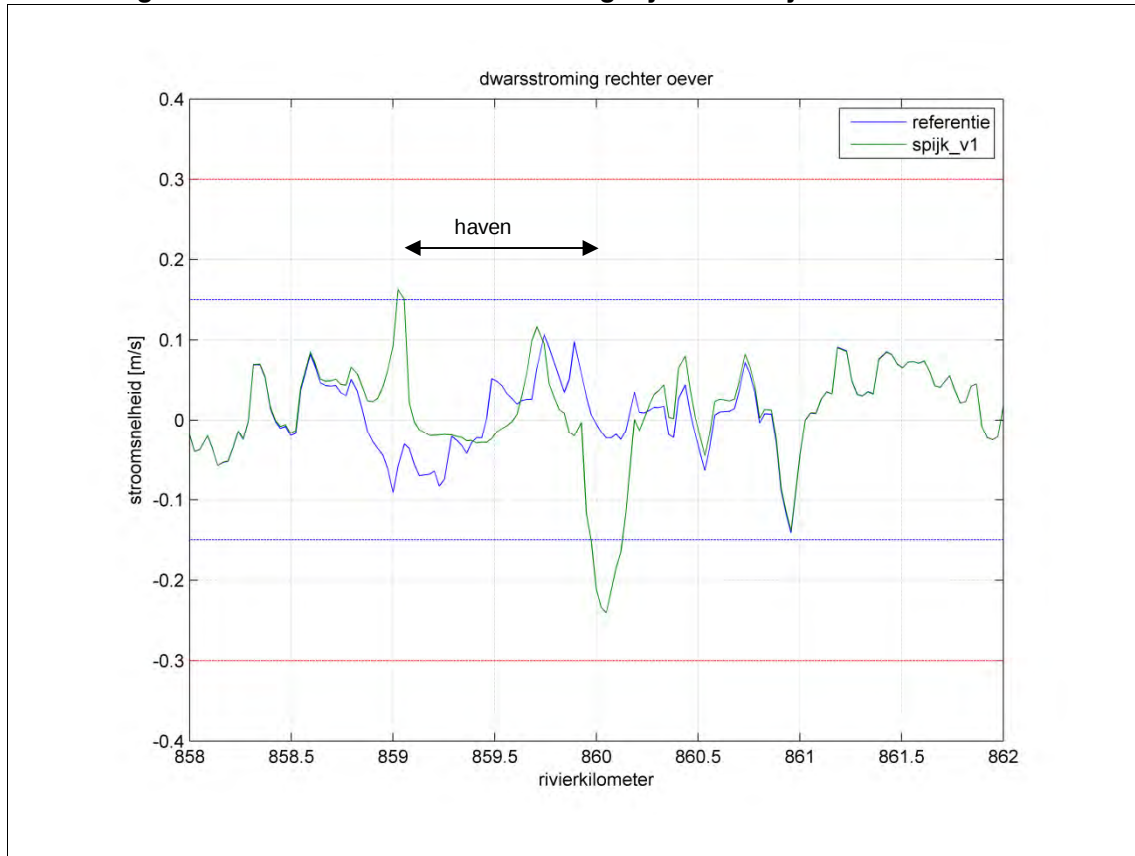
In de afbeeldingen zijn 2 criteria voor de dwarsstroming weergegeven: dwarsstroming < 0,15 in het geval de dwarsstroom groter is dan 50 m³/s; dwarsstroming < 0,30 in het geval de dwarsstroom kleiner is dan 50 m³/s. Uit analyse van de stroombanen van de met WAQUA gemodelleerde varianten blijkt dat bij de bovenstroomse dwarsdam de dwarsstroom relatief geconcentreerd is en benedenstrooms niet. Hierdoor geldt aan de bovenstroomse dwarsdam het strengere criterium dwarsstroming < 0,15 m/s en benedenstrooms het criterium dwarsstroming < 0,3 m/s.

Variant 1 'Oost'

Afbeelding 5.8 geeft de dwarsstroming weer van de Oost variant. De dwarsstroming richting de uiterwaard maximaal is ter plaatse van de bovenstroomse dwarsdam en maximaal richting de rivier ter plaatse van de benedenstroomse dwarsdam. De magnitude van de dwarsstroming wordt bepaald door de lengte en hoogte van de dwarsdam: hoe hoger en langer de dwarsdam des te groter is de dwarsstroming. Ter plaatse van de bovenstroomse dwarsdam bedraagt de dwarsstroming circa 0,17 m/s en wordt niet aan het criterium dwarsstroming < 0,15 m/s voldaan. Ter plaatse van de benedenstroomse dwarsdam bedraagt de dwarsstroming 0,25 m/s en wordt voldaan aan het criterium dwarsstroming < 0,3 m/s.

Oordeel: negatief, dwarsstroming neemt toe, absolute waarde < 0,30 m/s. Optimalisatie mogelijk (zie paragraaf 6.3).

Afbeelding 6.8. Variant Oost - Dwarsstroming bij Boven-Rijnafvoer 6.000 m³/s

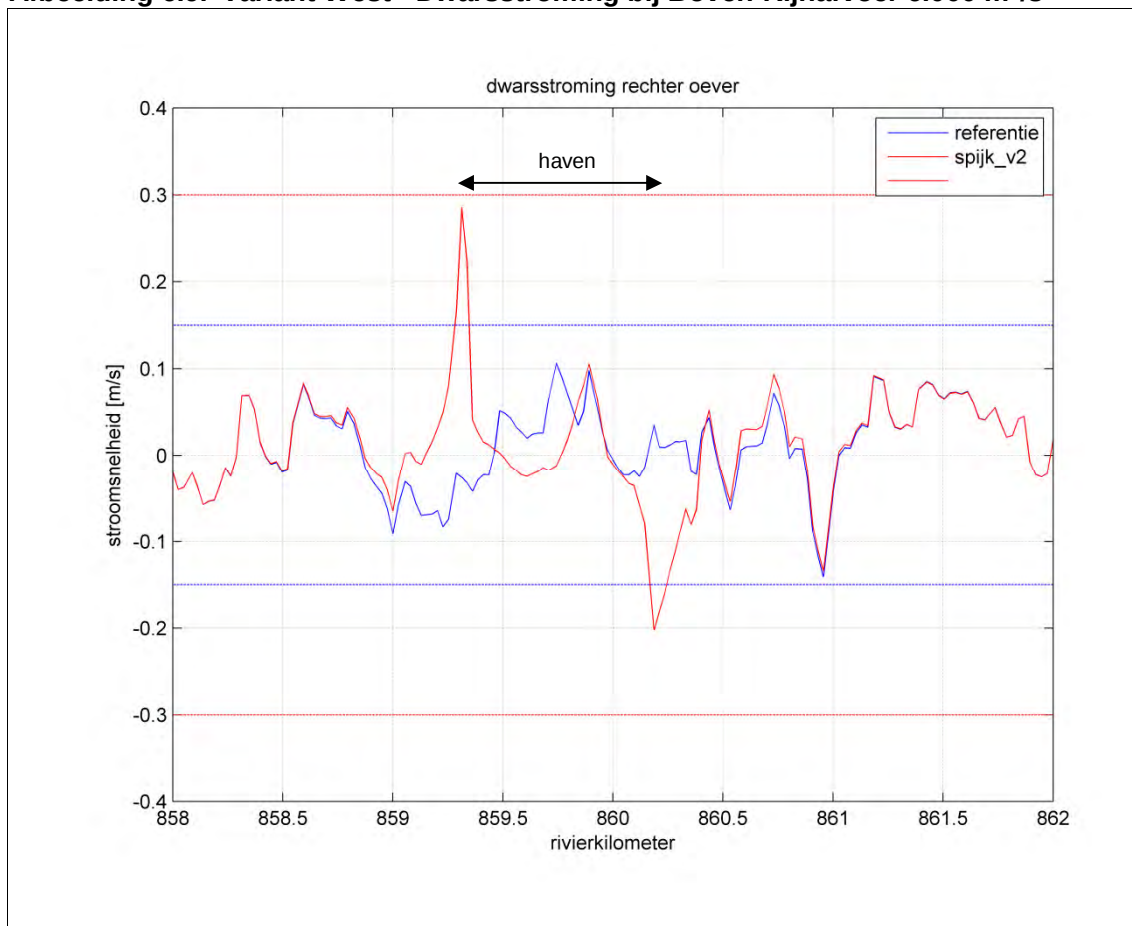


Variant 2 'West'

Afbeelding 6.9 geeft de dwarsstroming weer van de west variant. Ter plaatse van de bovenstroomse dwarsdam bedraagt de dwarsstroming circa 0,29 m/s en wordt niet aan het criterium dwarsstroming < 0,15 m/s voldaan. Ter plaatse van de benedenstroomse dwarsdam bedraagt de dwarsstroming < 0,20 m/s en wordt voldaan aan het criterium dwarsstroming < 0,3 m/s.

Oordeel: negatief, dwarsstroming neemt toe, absolute waarde < 0,30 m/s. Optimalisatie mogelijk (zie paragraaf 6.3).

Afbeelding 6.9. Variant West - Dwarsstroming bij Boven-Rijnafvoer 6.000 m³/s

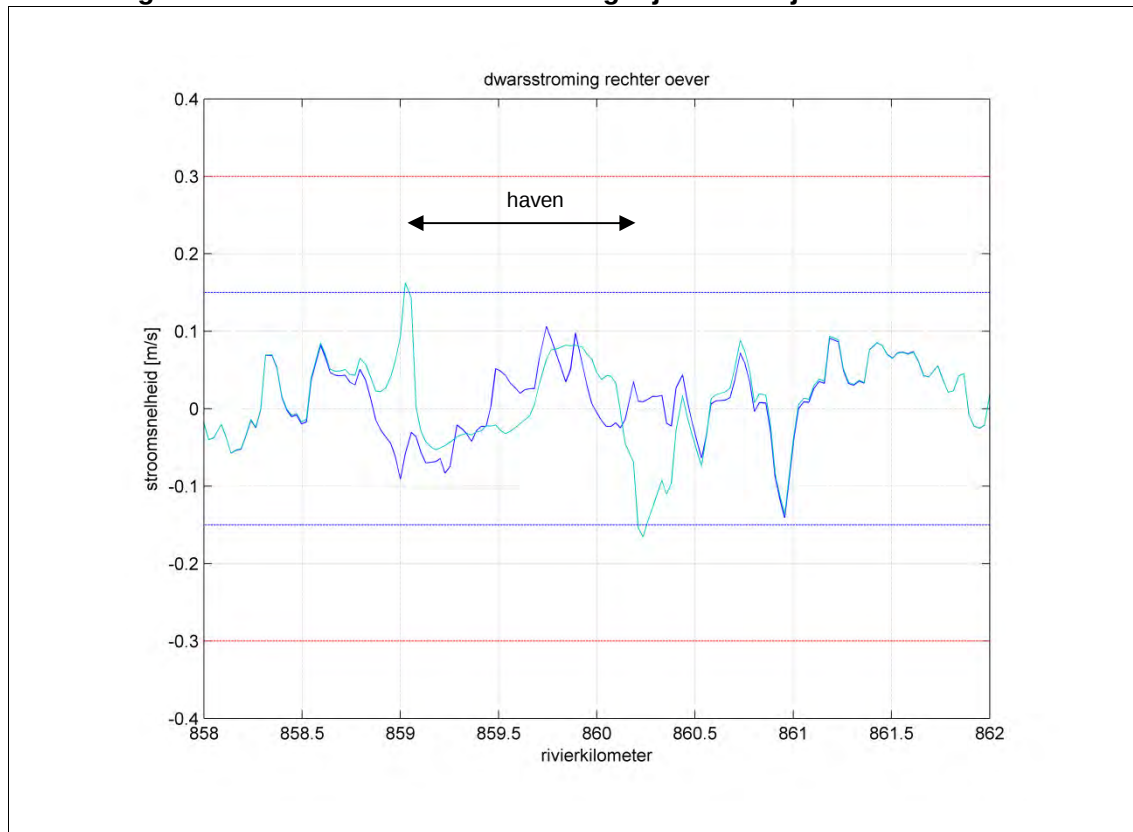


Variant 3 'Zuid'

Afbeelding 6.10 geeft de dwarsstroming weer van de west variant. Ter plaatse van de bovenstroomse dwarsdam bedraagt de dwarsstroming circa 0,17 m/s en wordt niet aan het criterium dwarsstroming < 0,15 m/s voldaan. Ter plaatse van de benedenstroomse dwarsdam bedraagt de dwarsstroming < 0,17 m/s en wordt voldaan aan het criterium dwarsstroming < 0,3 m/s.

Oordeel: negatief, dwarsstroming neemt toe, absolute waarde < 0,30 m/s. Optimalisatie mogelijk (zie paragraaf 6.3).

Afbeelding 6.10. Variant Zuid- Dwarsstroming bij Boven-Rijnafvoer 6.000 m³/s



Variant 4 'Brilvariant'

Het effect op de dwarsstroming van de Brilvariant is bepaald aan de hand van de berekende dwarsstromingseffecten van de varianten Oost, West en Zuid. Ter plaatse van de bovenstroomse dwarsdam ligt de dwarsstroming waarschijnlijk tussen de West en Zuid variant in (0,17 - 0,29 m/s) en wordt niet aan het criterium dwarsstroming < 0,15 m/s voldaan. Ter plaatse van de benedenstroomse dwarsdam wordt voldaan aan het criterium dwarsstroming < 0,3 m/s omdat bij deze variant minder water de haven uitstroomt als de Zuid variant.

Oordeel: negatief, dwarsstroming neemt toe, absolute waarde < 0,30 m/s. Optimalisatie mogelijk (zie paragraaf 6.3).

6.2.4. Morfologie

Variant 1 'Oost'

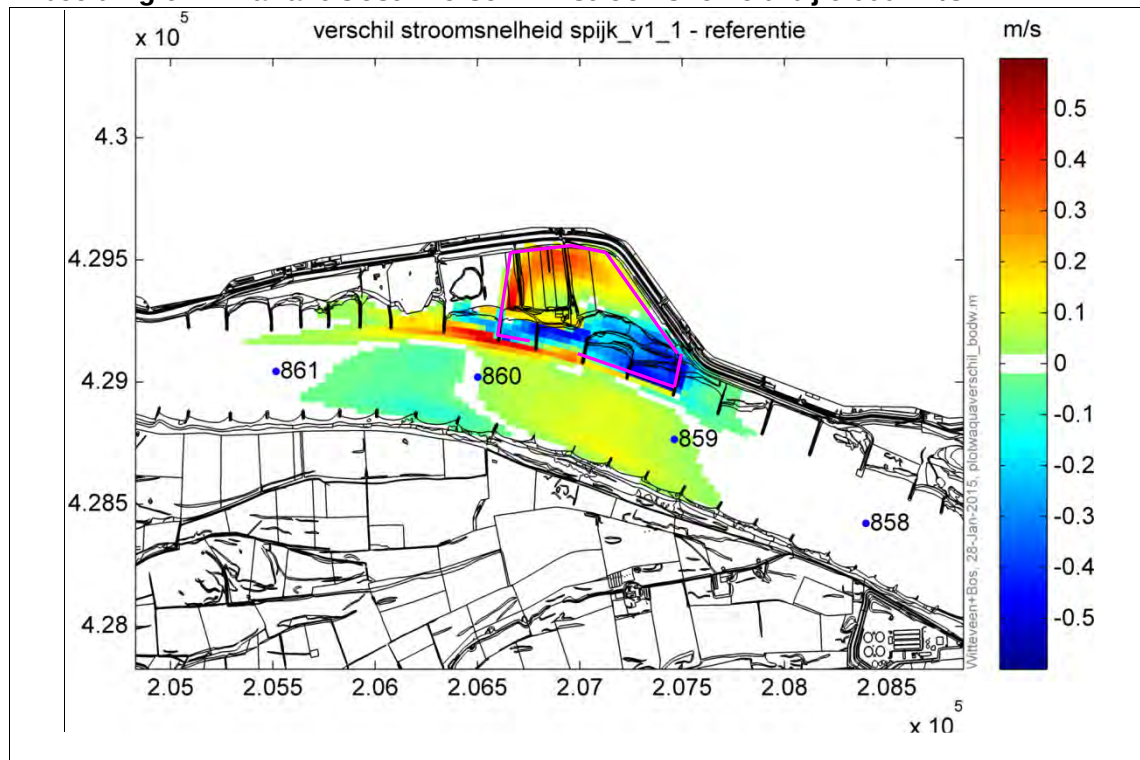
Zomerbed

Afbeelding 6.11 geeft het stroomsnelheidverschil weer tussen variant Oost en de referentiesituatie bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s. De variant veroorzaakt een toename van de stroomsnelheid van circa 0,1 - 0,12 m/s in het zomerbed over de lengte van de langsdam. Over deze riviersectie (kmr 858,8 - 860) vindt er bij deze afvoer (net als bij lagere afvoeren) een versmalling plaats van het zomerbed waardoor de stroomsnelheid toeneemt ten opzichte van de referentiesituatie. Door de toegenomen stroomsnelheid zal het zomerbed buiten de vaste laag eroderen met circa 0,1 m. Net benedenstrooms van de benedenstroomse dwarsdam vindt er stroomvertraging plaats vanwege de plotselinge verruiming van het dwarsprofiel. De vertraging van de stroming zal hier een (lichte) aanzanding

veroorzaken van ongeveer 0,1 m. Erosie van het zomerbed leidt in principe tot een daling van de (laag) waterstand, echter de erosie vindt plaats over een beperkte lengte van het zomerbed. Daarnaast zal het geërodeerde materiaal benedenstrooms weer afgezet worden waardoor hier het zomerbed hoger komt te liggen en de waterstand opgestuwd wordt. Verwacht wordt dat de haven de laagwaterstanden nauwelijks zal beïnvloeden.

Uit onderzoek van Deltares (lit. 8.) blijkt dat een damwandscherm aan de oostelijke langsdam zorgt voor een scherpe en verticaal loslaatpunt voor de rivierstroom en beperkt de menging en uitwisseling van relatief sedimentrijk rivierwater met sediment-arm havenwater (beperkt aanzanding in haven). Daarnaast zal het scherm aan de rivierzijde van de normaallijn duwt de stroomdraad richting rivier, waardoor de vertraging van de stroomsnelheid ter hoogte van de havenmond beperkt blijft (beperkt aanzanding in vaargeul). Het scherm wordt daarom als gunstig voor de morfologie beoordeeld.

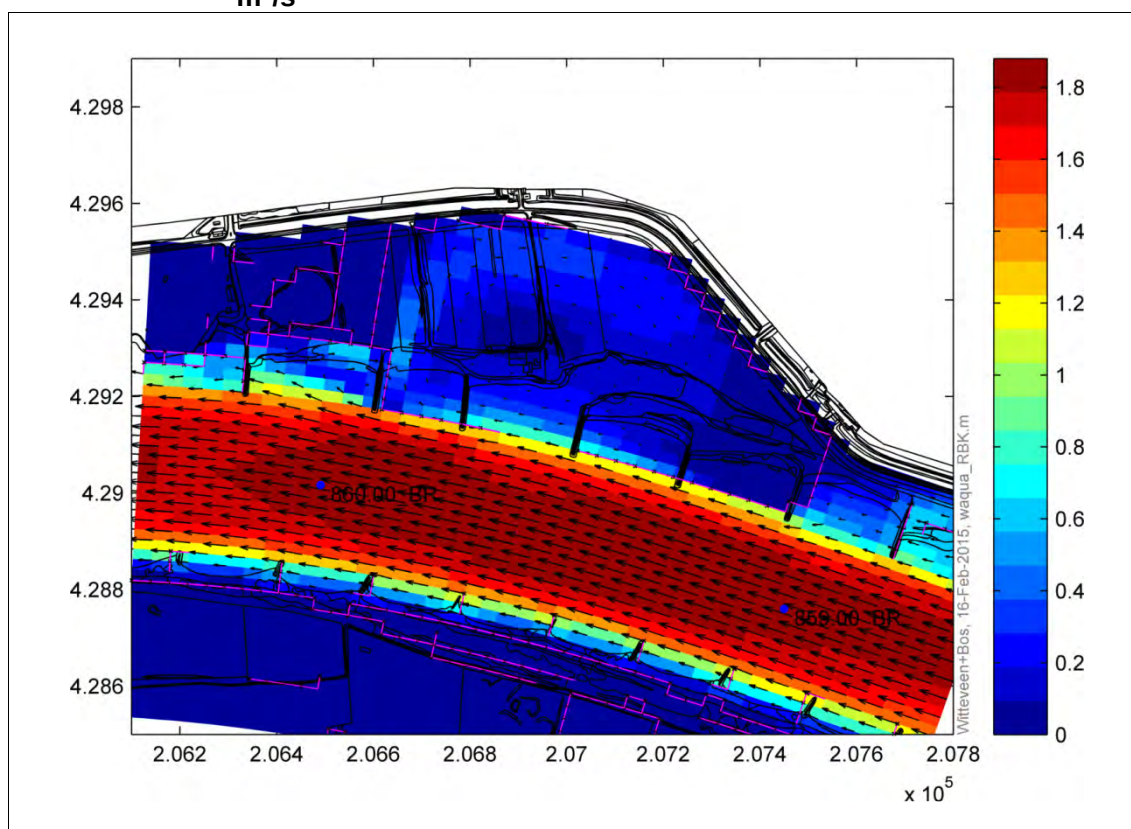
Afbeelding 6.11. Variant Oost - verschil in stroomsnelheid bij 6.000 m³/s



Havenmond en -bassin

Water dat langs de haven stroomt, zal loslaten op de kop van de oostelijke langsdam. Door het snelheidsverschil van het water op de rivier en het water in de haven ontstaat er in de havenmond een neer. De snelheid van het water neemt af naarmate de afstand tot de havenmond groter wordt. Door dit systeem van neren wordt sedimentrijk water vanuit de rivier de haven in getransporteerd en omdat de snelheid in de haven lager is, zakt het sediment uit. In de haven zal het slib met name bezinken in de oostelijke hoek, omdat hier de stroomsnelheden nagenoeg nul zijn (afbeelding 6.12).

Afbeelding 6.12. Variant Oost - stroomsnelheid (m/s) bij een Boven-Rijnafvoer 6.000 m³/s



Daarnaast kunnen voorbijvarende schepen ook uitwisseling van water met de haven kunnen veroorzaken. Door de zuiging van het schip wordt water de haven uitgetrokken en als het schip voorbij is, zal er weer water in de richting van de haven stromen. Verwacht wordt echter dat vanwege de breedte van de rivier dit effect beperkt zal zijn (verhouding natte oppervlak schip en rivier is klein).

Hierbij moet nog worden opgemerkt dat de scheepvaartbewegingen in de haven de verdeling van het slib in de haven wel significant kunnen beïnvloeden. Dit heeft echter geen directe gevolgen voor de uitwisseling.

Samengevat zijn de dominante processen die aanzanding en aanslibbing van de haven veroorzaken:

- meestromen van de haven bij hoogwater zodra de havendammen overstromen en er zand en slib houdend water de haven in getransporteerd worden. In de haven zal een gedeelte van het zand/slib bezinken. Hogere havendammen zorgen voor het minder frequent meestromen van de haven waardoor de uitwisseling ook zal verminderen;
- neerwerking als gevolg van het verschil tussen de stroomsnelheden in de havenmond en de Boven-Rijn; het verschil in snelheid veroorzaakt een turbulente menglaag in de mond van de haven, die een of meerdere ronddraaiende stromingen in de haven aandrijft. Aangezien de uitwisseling evenredig toeneemt met het natte oppervlak van de havenmond verdient het de voorkeur de havenmond zo klein mogelijk aan te leggen om zo het baggeronderhoud te beperken.

Met SILTHAR is voor een mediane afvoer (Boven-Rijnafoer van $1.960 \text{ m}^3/\text{s}$) de aanslibbing in de haven bepaald. Deze is voor de variant Oost berekend op 20.000 m^3 per jaar. Dit is gemiddeld over de haven 6,2 cm per jaar. In de havenmond moet rekening gehouden met enige aanzanding als gevolg van de toename van de morfologische breedte.

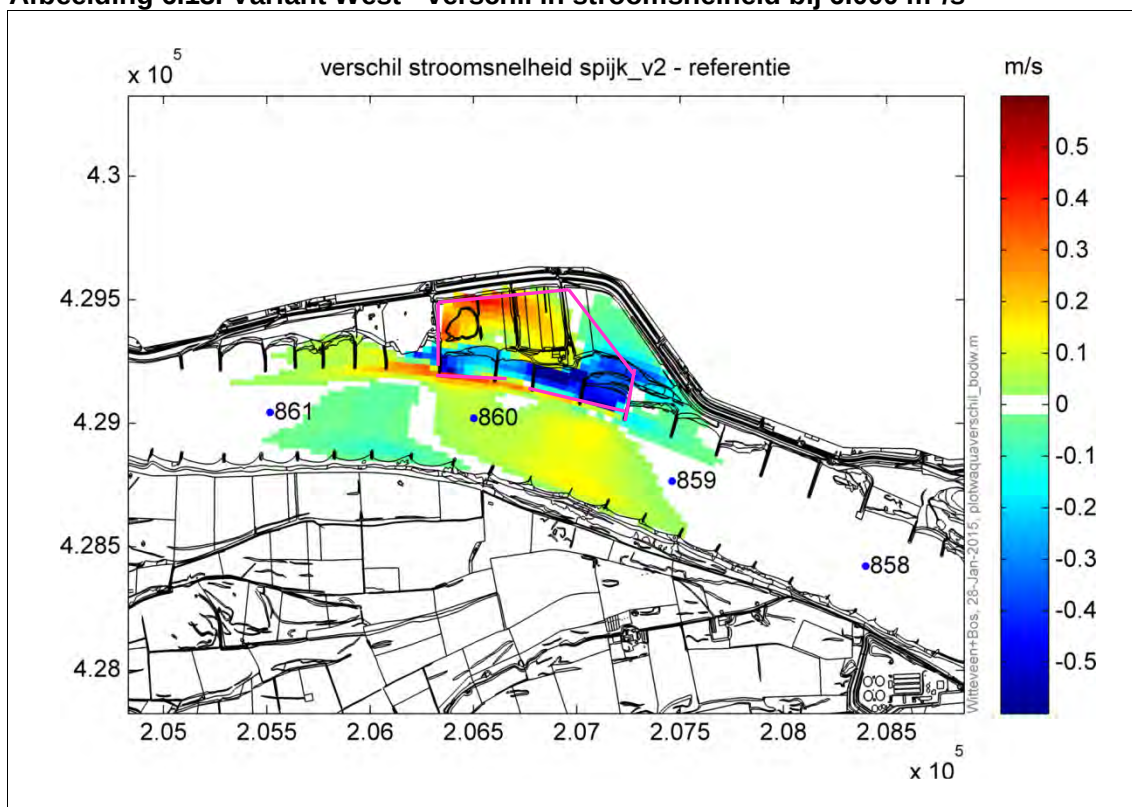
Oordeel: negatief, enige sedimentatie in het zomerbed (tot 20 cm). Optimalisatie mogelijk (zie paragraaf 6.3).

Variant 2 'West'

Zomerbed

Afbeelding 6.13 geeft het stroomsnelheidsverschil weer tussen variant West en de referentiesituatie bij een Boven-Rijnafoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$. De variant veroorzaakt een toename van de stroomsnelheid van circa 0,1 - 0,15 m/s in het zomerbed over het traject kmr 859-860,2. Over deze riviersectie vindt er bij deze afvoer een versmalling plaats van het zomerbed waardoor de stroomsnelheid toeneemt ten opzichte van de referentiesituatie. Door de toegenomen stroomsnelheid zal het zomerbed buiten de vaste laag eroderen met maximaal circa 0,12 m. Net benedenstrooms van de benedenstroomse dwarsdam vindt er stroomvertraging plaats vanwege de toegenomen stroomsnelheid in het zomerbed ter hoogte van de langsdam en de verruiming van het dwarsprofiel. De vertraging van de stroming zal hier een beperkte aanzanding veroorzaken van ongeveer 0,1 m. Het netto effect op de (laag)waterstanden zal nagenoeg nul zijn.

Afbeelding 6.13. Variant West - verschil in stroomsnelheid bij $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$

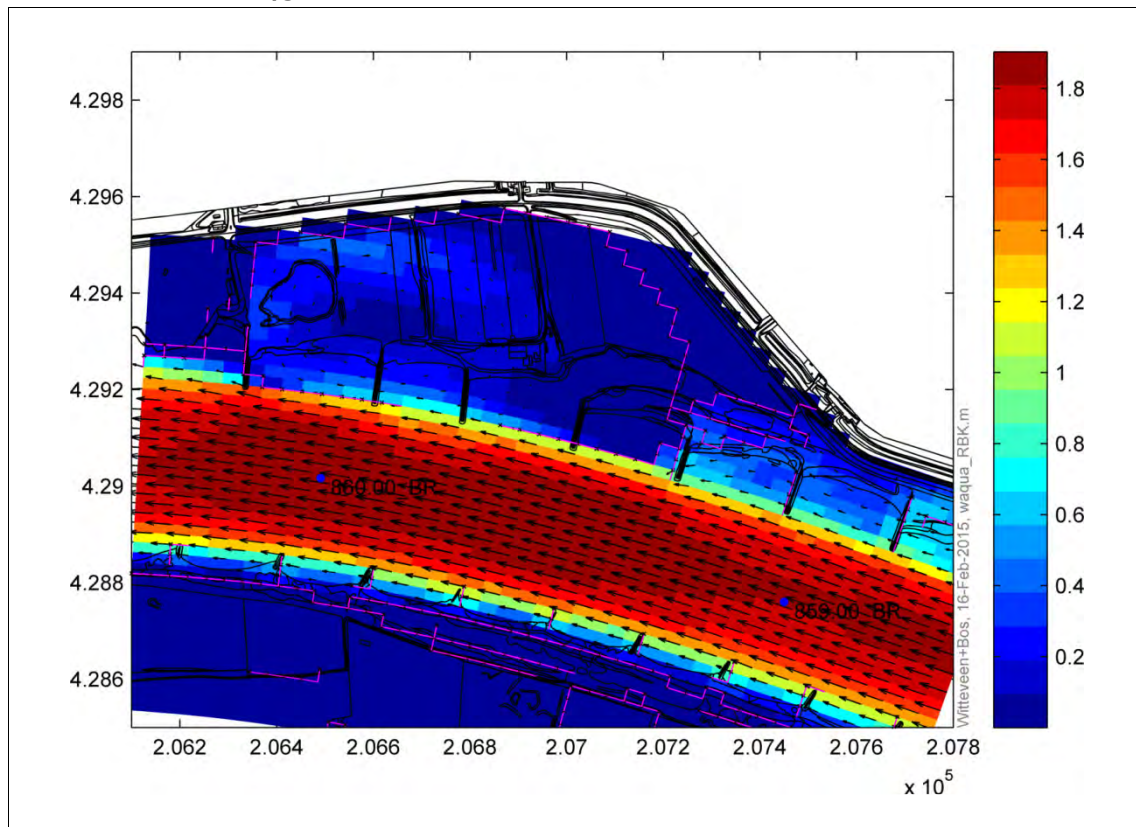


Havenmond en -bassin

Afbeelding 6.14 geeft de stroomsnelheid in de haven weer bij een Boven-Rijnafoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Hierin is te zien dat bijna de gehele oostkant van de haven stroomluw is waardoor hier sediment uitzakt.

Met SILTHAR is voor een mediane afvoer de aanslibbing in de haven bepaald. Deze is voor de variant West berekend op 20.000 m³ per jaar wat gemiddeld over het oppervlak van de haven 6,0 cm per jaar is. In de havenmond moet rekening gehouden met enige aanzanding als gevolg van de toename van de morfologische breedte.

Afbeelding 6.14. Variant West - stroomsnelheid (m/s) bij een Boven-Rijnafvoer 6.000 m³/s

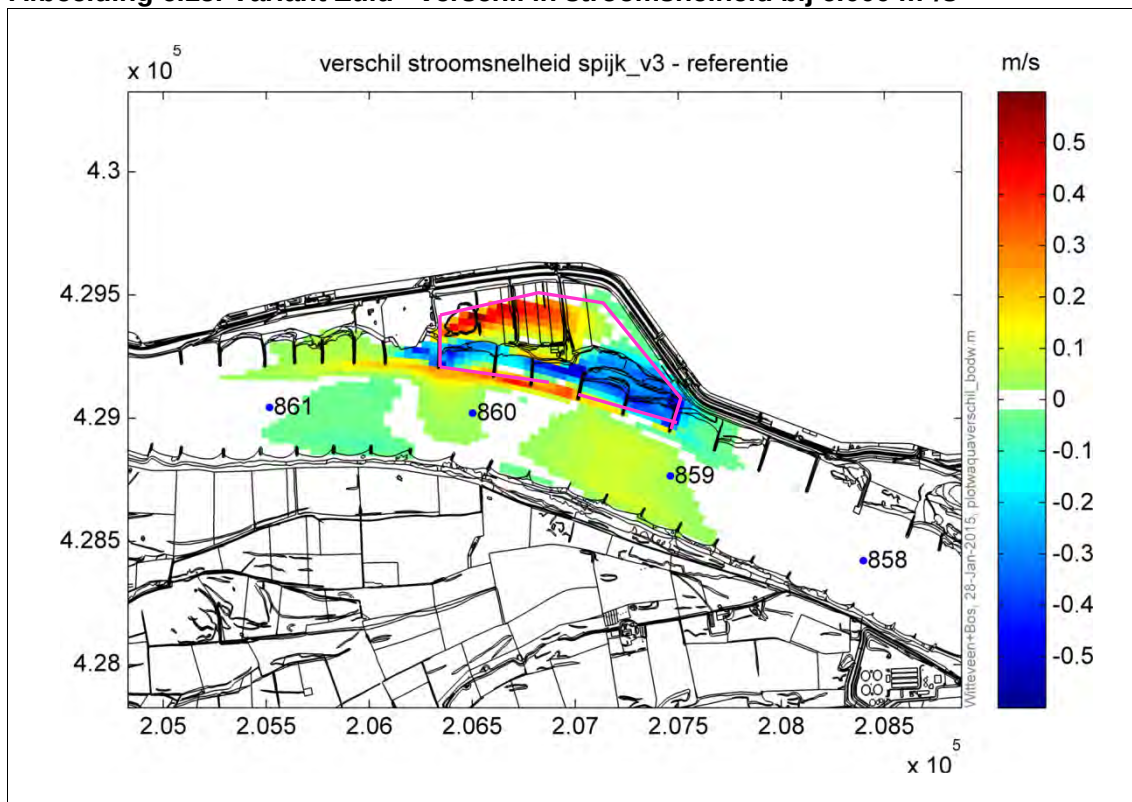


Oordeel: negatief, enige sedimentatie in het zomerbed (tot 20 cm). Optimalisatie mogelijk (zie paragraaf 6.3).

Variant 3 'Zuid'

Afbeelding 6.15 geeft het stroomsnelheidverschil weer tussen variant West en de referentiesituatie bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s. De variant veroorzaakt een toename van de stroomsnelheid van circa 0,1 m/s over 2 secties van het zomerbed tussen kmr 858,8-860,3. Het zomerbed zal buiten de vaste laag op deze plaatsen eroderen met circa 0,10 m. De stroomvertraging bij kmr 860,5 - 861 zal resulteren in een aanzanding van ongeveer 0,1 m. Het netto effect op de (laag)waterstanden zal nagenoeg nul zijn.

Afbeelding 6.15. Variant Zuid - verschil in stroomsnelheid bij 6.000 m³/s

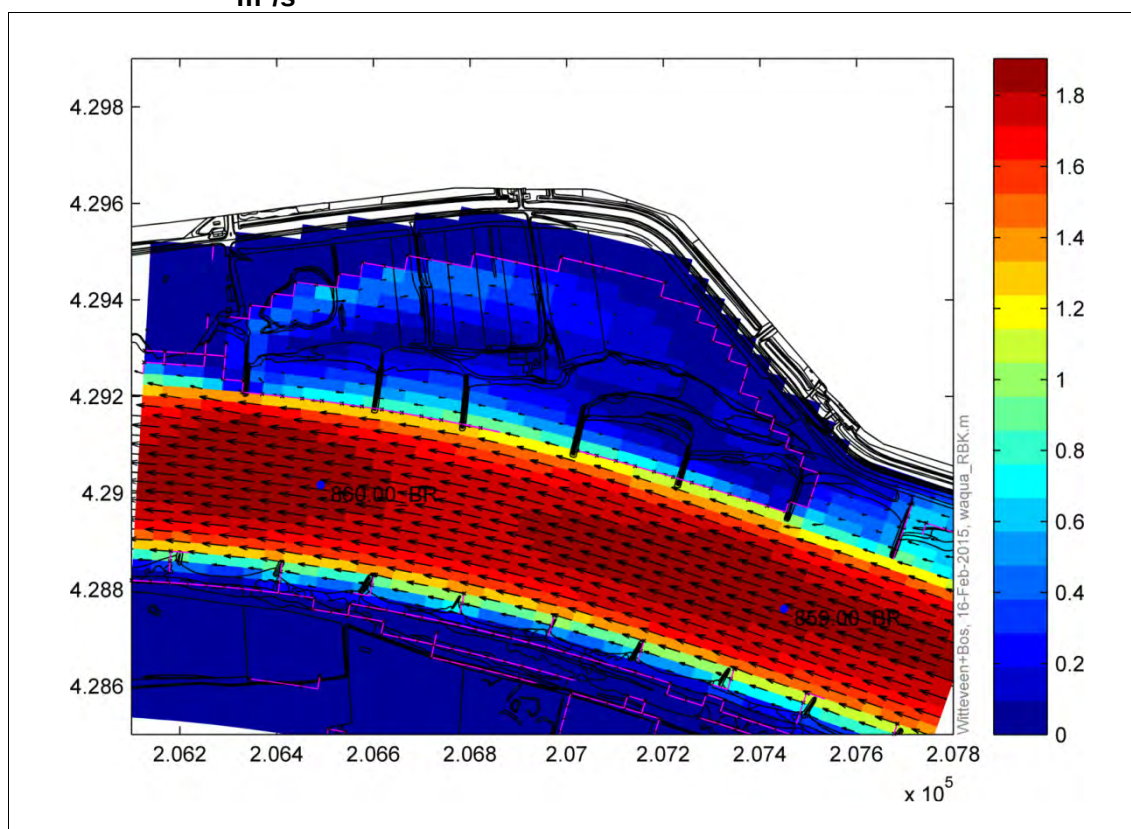


Havenmond en -bassin

Het stroombeeld in de haven bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s is weergegeven in afbeelding 6.16. De stroomsnelheid neemt af richting het oosten van de haven maar is hoger dan de varianten Oost en West.

Omdat de oostelijke langsdam van deze variant geen verticale beëindiging heeft maar een talud van 1:3 is het natte oppervlak bij een mediane afvoer groter dan de varianten Oost en West. Hierdoor vindt er meer uitwisseling plaats tussen de rivier en de haven waardoor er ook meer aanslibbing op zal treden. De aanslibbing is berekend op ongeveer 24.000 m³ per jaar. Dit is gemiddeld over de haven 6,4 cm per jaar.

Afbeelding 6.16. Variant Zuid - stroomsnelheid (m/s) bij een Boven-Rijnafvoer 6.000 m³/s



Oordeel: negatief, enige sedimentatie in het zomerbed (tot 20 cm). Optimalisatie mogelijk (zie paragraaf 6.3).

Variant 4 'Brilvariant'

De morfologische effecten van de Brilvariant zijn geschat aan de hand van de resultaten van de varianten Oost, West en Zuid. De stroomsnelheid in het zomerbed zal over de lengte van de langsdam een toenemen tot circa 0,15 m/s waardoor de bodem met circa 0,15 m zal eroderen. Benedenstrooms van de langsdam zal er een stroomvertraging optreden van circa 0,1 m/s wat leidt tot een aanzanding van 0,1 m.

De aanslibbing bedraagt net als de Zuid variant circa 24.000 m³ per jaar. Dit is gemiddeld over de haven 6,0 cm per jaar. Waarschijnlijk zal de aanslibbing minder zijn dan de Zuid variant omdat de havendammen hoger zijn waardoor de haven minder frequent mee zal stromen.

Oordeel: negatief, enige sedimentatie in het zomerbed (tot 20 cm). Optimalisatie mogelijk (zie paragraaf 6.3).

6.2.5. Overzicht effectbeoordeling

Vergelijkingstabel varianten

Een samenvatting van de effecten voor de Spijk varianten is opgenomen in tabel 6.2.

Tabel 6.2. Vergelijking effectbeoordeling Spijkvarianten

aspect	item	variant 1 'oost'	variant 2 'west'	variant 3 'zuid'	variant 4 'brilvariant'
effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	maximale opstuwing op de rivieras (kmr 860)	0,9 cm	2,3 cm	3,1 cm	ca 3 cm
	opstuwing waterkering NL	5,0 cm	6,0 cm	5,2 cm	ca 5,0 cm
	opstuwing waterkering DU	< 0,1 cm	0,8 cm	0,3 cm	ca 0,1 cm
dwarsstroming 6.000 m ³ /s	bij bovenstroomse dwarsdam	0,17 m/s	0,29 m/s	0,17 m/s	ca 0,2 - 0,3 m/s
	benedenstroomse dwarsdam	0,25 m/s	0,20 m/s	0,17 m/s	ca 0,10 - 0,15 m/s
morfologie	aanzanding zomerbed	tot 10 cm	tot 10 cm	tot 10 cm	tot 10 cm
	baggervolume haven-bassin (per jaar)	20.000 m ³	20.000 m ³	24.000 m ³	24.000 m ³

De vergelijking tussen de beoordeling van de varianten is opgenomen in tabel 6.3. Alle varianten scoren hetzelfde op de beschouwde aspecten. Echter als gekeken wordt naar de effecten onderling (tabel 6.2) dan heeft de Oostvariant duidelijk de voorkeur.

Tabel 6.3. Vergelijking effectbeoordeling Spijk varianten

aspect	variant 1 'oost'	variant 2 'west'	variant 3 'zuid'	variant 4 'brilvariant'
effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	--	--	--	--
afvoerverdeling	0	0	0	0
dwarsstroming	-	-	-	-
morfologie	-	-	-	-

Daarnaast wordt aanbevolen om in de Voorkeursvariant de volgende bouwstenen op te nemen:

1. beëindiging bovenstrooms havenhoofd met een (lang) scherm;
2. de kruinhoogte van de dwarsdam aan de westzijde van de haven aanleggen op ongeveer 12-14 m +NAP. Het benedenstroomse talud verflauwen tot 1:7;
3. de kruinhoogte van de dwarsdam aan de oostzijde van de haven aanleggen op ongeveer 15-16 m +NAP. Het benedenstroomse talud verflauwen tot 1:7;
4. Oostelijke en westelijke langsdam op 14-16 m + NAP.

6.2.6. Conclusies

Alle vier de varianten (Oost, West, Zuid en Bril) scoren hetzelfde op de aspecten hoogwaterveiligheid, afvoerverdeling, dwarsstroming en morfologie. Echter, als gekeken wordt naar de effecten onderling dan heeft de Oostvariant duidelijk de voorkeur vanwege de minste opstuwing, dwarsstroming en aanslibbing in de haven.

Door aanleg van de havendammen bovenstrooms en benedenstrooms ontstaat opstuwing. Doordat de haven zelf bij maatgevend hoogwater meestroomt wordt de opstuwing als gevolg van de dwarsdammen gedeeltelijk gecompenseerd. Bij de Oostvariant wordt de opstuwing in bovenstroomse richting volledig gecompenseerd. De opstuwing benedenstrooms blijft echter in alle varianten een issue en zorgt daar ook voor lokale opstuwing in de rivieras.

Als de benedenstroomse dam hoog wordt aangelegd of dicht bij het hoogwatervrije terrein, zal de stroming richting rivier meer loodrecht op de rivier plaatsvinden. Dit zorgt voor extra opstuwing en grotere dwarsstroming.

Vanuit beheer en onderhoudskosten voor het op diepte houden van de haven en vaargeul hebben de varianten met damwand scherm (Oost en West) de voorkeur boven de varianten Zuid en Bril.

Geen van de varianten voldoet aan de criteria uit het Rivierkundig Beoordelingskader (lit. 1.) en zijn zonder optimalisatie niet vergunbaar.

In paragraaf 6.3 wordt een voorstel gedaan voor optimalisaties.

6.3. Mitigatie en compensatie Spijk

6.3.1. Aanzet mitigerende en compenserende maatregelen

Aanbevolen wordt om de volgende optimalisaties nader te onderzoeken:

Opstuwing

- de benedenstroomse dwarsdam verlagen zodat de stroming wat geleidelijker verloopt en er hier minder opstuwing ontstaat. Dit zal ook de opstuwing ter plaatse van rkm 860 verminderen. Voor de varianten West, Zuid en Bril kan het kribvak ten zuiden van Wezendonk aangepast worden; de helling van het strandje kan verflauwd worden zodat hier minder energieverlies plaatsvindt. Voor de Oostvariant kan de uiterwaard benedenstrooms van de haven afgevlakt en eventueel verlaagd worden om de opstuwing te beperken;
- bovenstroomse dwars- en langsdam verhogen, zodat er minder water door de haven stroomt en dus minder opstuwing ter hoogte van de benedenstroomse dwarsdam ontstaat. Het verhogen van de bovenstroomse dwarsdam heeft wel een opstuwend effect bovenstrooms en dient geoptimaliseerd te worden zodat de waterstandverandering in bovenstroomse richting neutraal blijft. Deze optimalisatie zou tezamen met het verflauwen van het talud van de bovenstroomse dwarsdam genomen moeten worden omdat hierdoor meer ruimte gecreëerd wordt voor het ophogen van de dwarsdam. De optimalisatie is voor alle varianten relevant maar zonder het talud te verflauwen is er alleen bij de variant Oost ruimte aanwezig om de dwarsdam te verhogen totdat in de bovenstroomse richting de waterstandverandering neutraal is;

- het talud van de boven- en benedenstroomse dwarsdam verflauwen (flauwer dan 1:7) om de opstuwing te verminderen en de doorstroming te bevorderen. Deze maatregel heeft een waterstandverlagend effect. Deze maatregel is relevant voor alle varianten en wordt effectiever naarmate het talud over een langer gedeelte van de dwarsdam verflauwd wordt. Zo kan waarschijnlijk de opstuwing in bovenstroomse richting van de West variant sterk gereduceerd worden;
- de lengtes van de dwarsdammen dienen zo kort mogelijk te zijn om de opstuwing zoveel mogelijk te beperken en de instroom in de haven te reduceren. Dit speelt met name bij de West variant. Door de lange bovenstroomse dwarsdam ontstaat een forse opstuwing. Hier zou eventueel de dwarsdam uit de Oostvariant toegepast kunnen worden;
- de dwarsdammen meer te stroomlijnen. Hieronder wordt verstaan het geleidelijker laten verlopen van de dwarsdammen vanaf de oever richting de havenmond (gelegen op de normaallijn). Hierdoor zal ook de dwarsstroming afnemen. Deze maatregel is voor alle varianten relevant maar is met name effectief bij de Westvariant.

Dwarsstroming

- de dwarsstroming aan de bovenstroomse dwarsdam kan gemitigeerd worden door een aantal kribben bovenstrooms van de haven langs de rechteroever geleidelijk te verhogen. Hierdoor zal de stroming in de kribvakken geleidelijker richting de vaargeul worden gestuurd en zal de dwarsstroming ter plaatse van de bovenstroomse dwarsdam afnemen.

Morfologie

- door het ontwerp eerst hydraulisch te optimaliseren zullen de morfologische effecten in het zomerbed afnemen;
- de resterende morfologische effecten kunnen eventueel met een lokale versmalling bij rkm 860,5 verder gemitigeerd worden. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het verlengen van kribben zodat het doorstroomprofiel versmalt wordt.

6.3.2. Verwachte resteffecten na toepassing maatregelen

Door optimalisatie van de varianten kunnen de negatieve effecten voor een belangrijk deel verholpen worden. Echter de nadelige effecten kunnen niet volledig worden gemitigeerd.

Waterstanden

Alle varianten zijn zodanig te optimaliseren dat de waterstand bovenstrooms van de haven niet stijgt. Het is echter niet mogelijk de lokale waterstandeffecten ter hoogte van de haven volledig teniet te doen. Door het terugstromen vanuit de haven in de rivier zal de waterstand ter plaatse stijgen. Deze stijging is groter dan wordt toegestaan op grond van het Rivierkundig Beoordelingskader. Compensatiemogelijkheden door bijvoorbeeld het verruimen van de rivier zullen benedenstrooms en buiten het projectgebied genomen moeten worden.

Dwarsstroming

Door de voorgestelde mitigerende maatregelen is het mogelijk het effect op de dwarsstroming te verkleinen zodat voldaan wordt aan de criteria uit het Rivierkundig Beoordelingskader.

Morfologie

Benedenstrooms van de haven zal enige sedimentatie in het zomerbed optreden door de plaatselijke verruiming van het rivierbed. De verwachting is dat na het nemen van de mitigerende maatregelen de aanzanding voldoende afgenomen is voor vergunningverlening.

Door de haven zo goed mogelijk aan te sluiten op de bestaande geometrie van de rivier kan dit geminimaliseerd worden. Er zal altijd aanslibbing in de haven zelf plaatsvinden. Deze kan in feite alleen verkleind worden door het oppervlak van de haventoeegang te verkleinen.

7. GEHONOREERDE MITIGATIE EN COMPENSATIE EN EFFECTEN VOORKEURSVARIANT SPIJK

7.1. Gehonoreerde mitigatie en compensatie

In de voorkeursvariant zijn de volgende voorgestelde maatregelen meegenomen om het ontwerp te optimaliseren en de negatieve effecten te verzachten:

- opstuwing:
 - verhogen van de bovenstroomse dwars- en langsdam;
 - verlagen van de benedenstroomse dwars- en langsdam;
 - verflauwen van de benedenstroomse taluds van de boven- en benedenstroomse dwarsdam;
 - geleidelijke overgang van de rechter oever naar de bovenstroomse dam langsdam;
- dwarsstroming:
 - geleidelijke overgang van de rechter oever naar de bovenstroomse dam langsdam. Deze maatregel heeft de voorkeur boven het verhogen van kribben bovenstrooms van de haven omdat deze effectiever is dan het verhogen van kribben.

In bijlagen VI en VIII zijn de notities opgenomen die de optimalisatie van de havendammen en dwarsstroming beschrijven. Opgemerkt wordt dat deze berekeningen zijn uitgevoerd met een verouderd model. Uit de inrichtingsvarianten is een voorkeursvariant samengesteld die getoetst is conform Rivierkundig Beoordelingskader. Deze tussenvariant voldeed nog niet aan de eisen uit het RBK en daarnaast bleek dat negatieve effecten (opstuwing en dwarsstroming) nog verder beperkt konden worden. De resultaten van de tussenvariant zijn gepresenteerd in bijlage X. Daarnaast zijn naar aanleiding van ontwerpessie 3 nog een aantal wijzigingen in het referentieontwerp doorgevoerd:

- vaststellen van de oeverbescherming en toe te passen gradering;
- vaststellen van de aanlegdiepte van de haven (1,52 m +NAP);
- creëren van een opgang van de weg rondom de haven naar de primaire waterkering halverwege het uitloopgebied;
- verwijderen van de poel in het uitloopgebied;
- aanleg van een poel tussen de haven en het terrein Wezendonk.

De Baseline en Waqua schematisatie van het referentieontwerp van de haven Spijk is gepresenteerd in Bijlage III en IV. In de volgende paragraaf zijn de resultaten van de toetsing van het referentieontwerp gepresenteerd.

7.2. Effecten referentieontwerp

7.2.1. Hoogwaterveiligheid

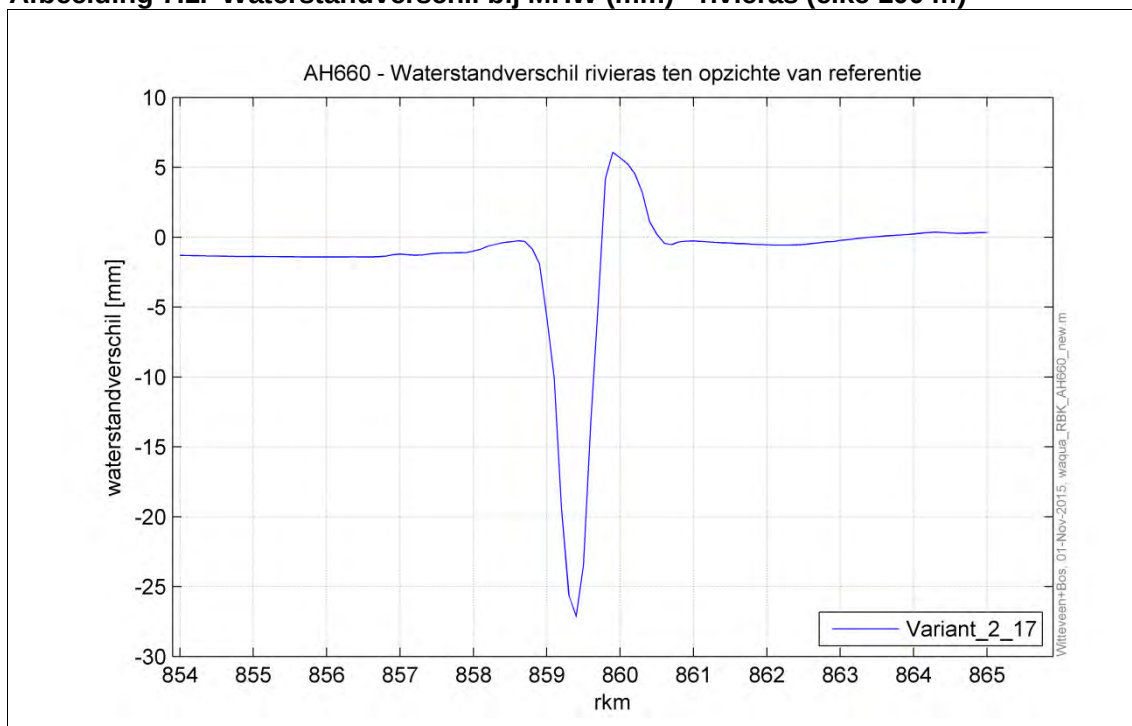
De effecten op de hoogwaterstanden zijn inzichtelijk gemaakt door de MHW verandering af te beelden op de rivieras (afbeelding 7.1), 2D-vlak (afbeelding 7.2), en langs de primaire waterkering (afbeelding 7.3).

MHW verandering op de rivieras

De opstuwing op de rivieras is maximaal 6 mm op rkm 860. Vanaf rkm 859,7 vindt in bovenstroomse richting een daling van de waterstand plaats van maximaal 27 mm (rkm 859,3). Bij rkm 854 bedraagt de waterstanddaling nog ongeveer 2 mm.

Conclusie: de opstuwing op de rivieras voldoet niet aan de eis omtrent maximale opstuwing op de rivieras. Er dienen compenserende maatregelen genomen te worden (nader beschreven in paragraaf 7.3).

Afbeelding 7.1. Waterstandverschil bij MHW (mm) - rivieras (elke 100 m)



MHW stand buiten de as van de rivier

Afbeelding 7.2 geeft het ruimtelijk beeld weer van het waterstandverschil ten opzichte van de referentiesituatie bij MHW. Hieruit wordt het volgende opgemaakt:

- de maximale waterstandverhoging in de haven nabij de primaire waterkering bedraagt 24 mm. Bij de Duitse waterkering is de verhoging kleiner dan een millimeter;
- aan de bovenstroomse kant van de oostelijke dwarsdam ontstaat een lokale opstuwing van maximaal ongeveer 5 millimeter. Deze bereikt niet de rivieras;
- bij de westelijke langsdam van de haven (nabij rkm 860) ontstaat een opstuwing van maximaal 30 mm. Deze opstuwing werkt door richting de rivieras en linkeroever.

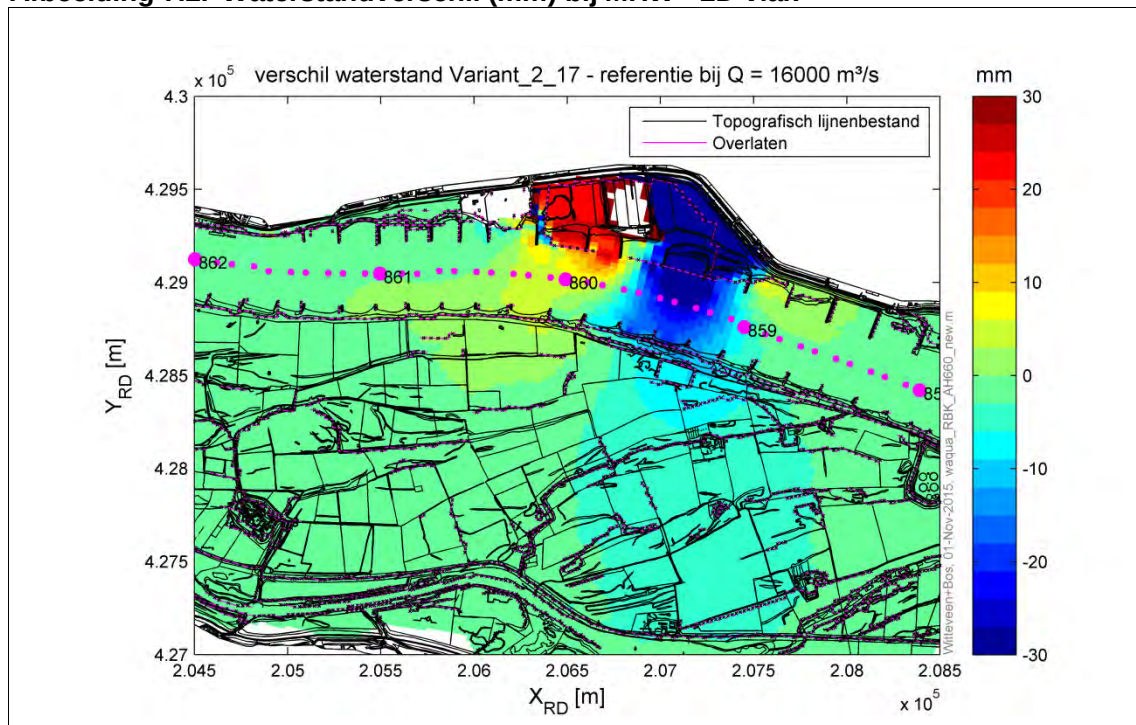
Bij het in- en uitstroompunt van de haven vindt er opstuwing ten opzichte van de huidige situatie plaats door stromend water over de havendam. Deze opstuwing is afhankelijk van het volume water wat de haven instroomt en van de vormgeving (hoogte en taludhelling) van de havendammen. Daarnaast vindt er bij deze variant bij MHW een verruiming van het doorstromend oppervlak plaats waardoor de waterstand in de rivier daalt in bovenstroomse richting.

De opstuwing is geminimaliseerd door de instroom van water door de haven zodanig te verminderen zodat er in bovenstroomse richting nog net geen opstuwing op de rivieras ontstaat. De ruwheid van het uitloopgebied komt overeen met natuurlijk grasland/hooiland wat

de dominante vegetatie is van het ecotoop stroomdalgrasland. De exacte inrichting van het uitloopgebied wordt pas na deze fase van het project uitgewerkt. De combinatie van inrichtingsmaatregelen en vegetatiebeeld kan dus nog wijzigen voor het uitloopgebied. Er dient rekening gehouden te worden met het feit dat een lagere ruwheid en een andere inrichting van het uitloopgebied kan leiden tot een hogere opstuwing op de rivieras bij rkm 860 maar ook tot een grotere waterstanddaling in bovenstroomse richting en vice versa. Gestreefd moet worden naar een inrichting die ongeveer 6 mm opstuwing benedenstrooms veroorzaakt, zodat daar de compensatieopgave op gebaseerd kan worden.

Compenserende maatregelen om de resterende opstuwing op de rivieras weg te nemen dienen benedenstrooms van het projectgebied, bij voorkeur langs de rechteroever genomen te worden.

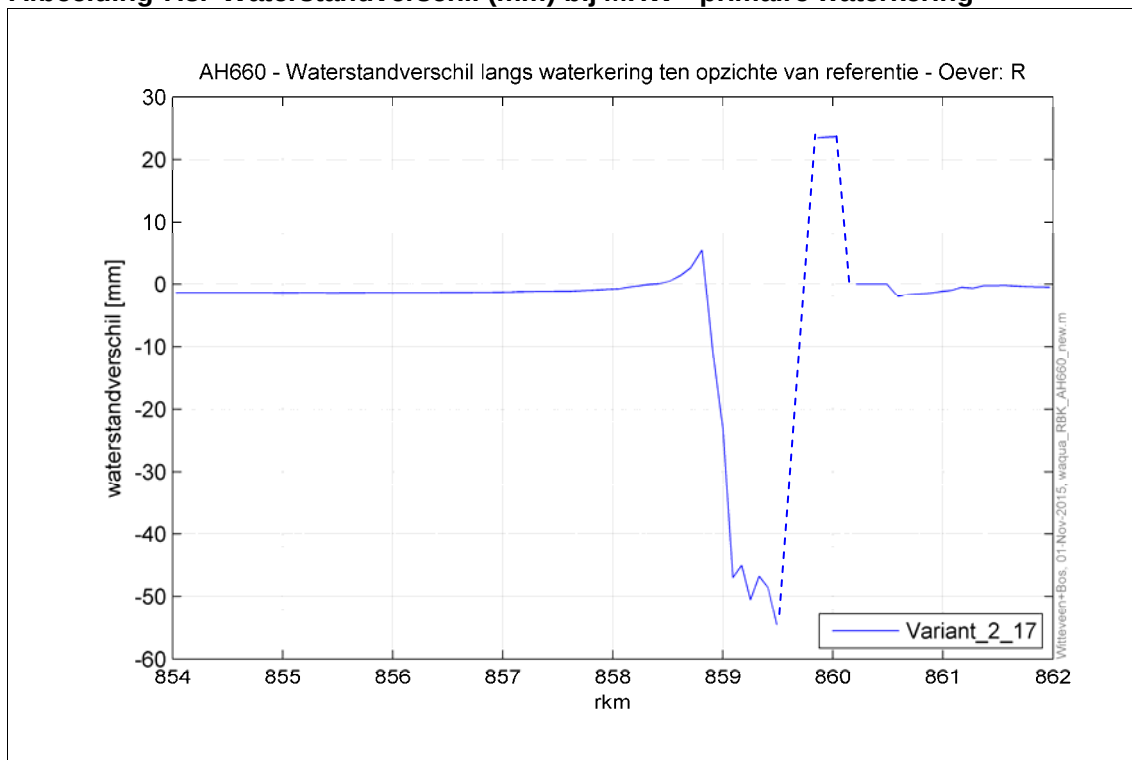
Afbeelding 7.2. Waterstandverschil (mm) bij MHW - 2D vlak



Langs de primaire waterkering is de opstuwing tussen kmr 859,8 en 860,0 maximaal 24 mm (afbeelding 7.3). Bijlage II geeft de locaties van de uitvoerpunten langs de primaire waterkering weer. Bovenstrooms hiervan vindt er een verlaging van de MHW-stand plaats van maximaal circa 55 mm.

Conclusie: langs de primaire waterkering vindt een verhoging van de MHW plaats van meer dan 1 mm (maximaal 24 mm). De MHW verhoging dient met het Waterschap overlegd te worden.

Afbeelding 7.3. Waterstandverschil (mm) bij MHW - primaire waterkering



Afvoerverdeling

De maatregel ligt ver bovenstrooms van het splitsingspunt waardoor er geen effecten op de afvoerverdeling te verwachten valt.

Conclusie: er worden geen effecten op de afvoerverdeling bij de Pannerdensche Kop verwacht.

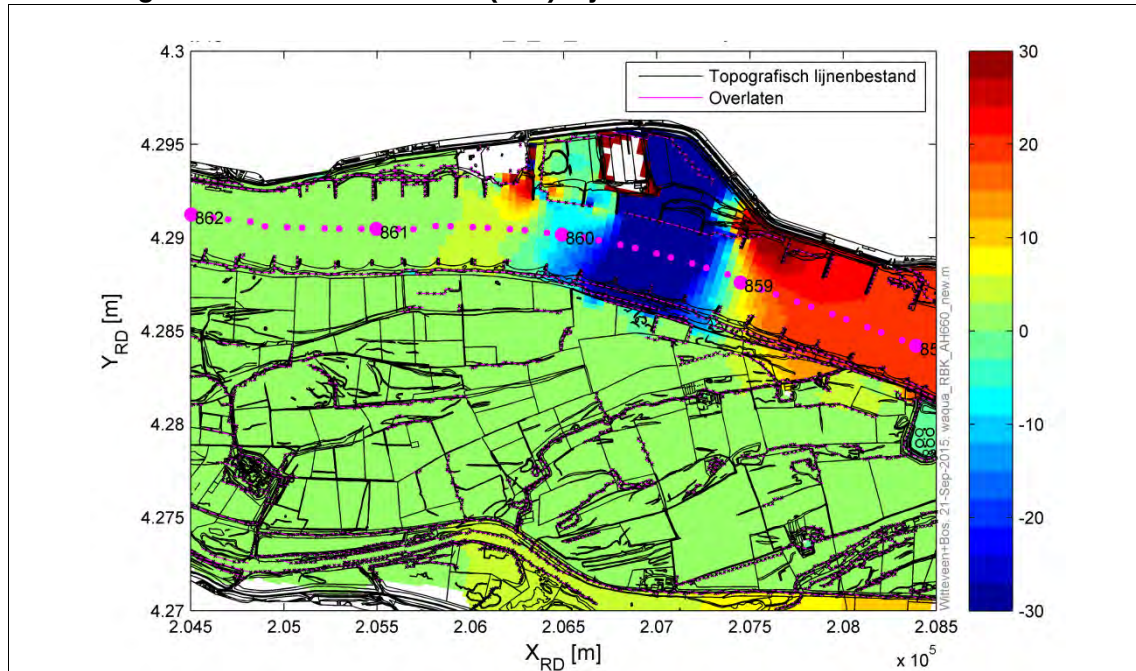
7.2.2. Hinder en/of schade door hydraulische effecten

Waterstanden en/of inundatiefrequentie uiterwaard

Als gevolg van de aanleg van de haven kan de frequentie van overstromen van (delen van) de uiterwaard veranderen. Een ingreep kan betekenen dat wegen in de omliggende uiterwaard van de haven vaker onder water komen te staan waardoor (bedrijfs-)terreinen minder goed bereikbaar zijn. Daarentegen kan het minder vaak overstromen van uiterwaarden juist nadelig zijn voor de natuur.

Afbeelding 7.4 toont het waterstandverschil bij 10.000 m³/s. Hierin is te zien dat er voornamelijk een waterstandverhoging in bovenstroomse richting en lokaal bij het terrein Wezendonk plaatsvindt. In bovenstroomse richting bedraagt de waterstandverhoging net bovenstrooms van de dwarsdam ongeveer 30 mm en neemt in bovenstroomse richting af tot 20 mm bij rkm 858,7. Verwacht wordt dat waterstandveranderingen van deze orde de overstromingsfrequentie niet noemenswaardig zal beïnvloeden (verschil waterstand 1/1 jr en 1/10 jr is 2,06 m, zie tabel 5.1). Nabij het terrein Wezendonk (bodemhoogte 16-16,5 m +NAP) neemt de waterstand toe met maximaal ongeveer 25 mm. Deze toename is relatief beperkt en zal naar verwachting niet leiden tot extra overlast. Logischerwijs zal door het aanleg van de haven de uiterwaard ter plekke permanent onder water staan.

Afbeelding 7.4. Waterstandverschil (mm) bij 10.000 m³/s



Conclusie: de waterstandveranderingen zijn dermate klein dat de overstromingsfrequentie van uiterwaarden en gebieden rondom de haven niet noemenswaardig zal veranderen. Derhalve wordt er geen extra hinder hieromtrent verwacht.

Stroombeeld in de uiterwaard (haven)

Door de ingreep kunnen de stroomsnelheden en -richtingen in het gebied veranderen waardoor schade en hinder kan ontstaan. In de referentiesituatie stroomt de uiterwaard vanwege het hoogwatervrije terrein in het midden van het projectgebied nauwelijks mee. Door aanleg van de haven kan dit voor bepaalde delen van de haven wel het geval zijn, al zorgen de havendammen ervoor dat dit beperkt zal zijn. De stroomrichting en grootte zijn van belang voor het inschatten van de hinder die schepen ondervinden in de haven.

De absolute stroomsnelheden en stroomrichting bij de afvoeren 6.000, 8.000 en 10.000 m³/s zijn weergegeven in afbeelding 7.5. In de haven is voor afvoeren tot 10.000 m³/s een neer te zien die wordt aangedreven door het stroomsnelheidsverschil tussen de rivier en de haven. Hierdoor zijn de stroomsnelheden aan de westzijde van de haven wat hoger dan de oostzijde die voornamelijk stroomluw is. De stroomrichting in de neer is westelijk georiënteerd in de zuidwesthoek van de haven en is noordelijk en oostelijk georiënteerd langs de west en noordzijde van de haven.

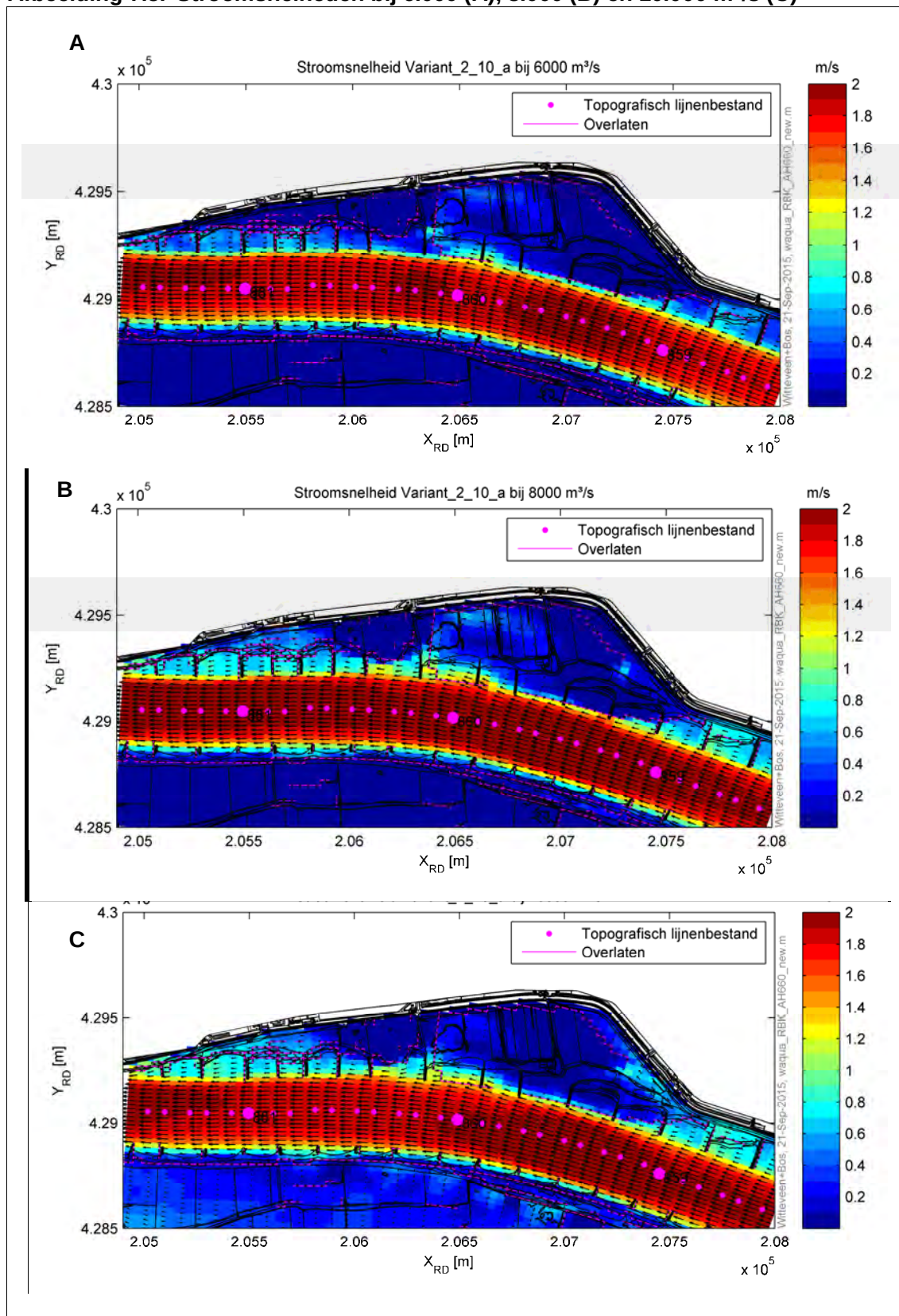
Bij 6.000 m³/s bedraagt de waterstand ongeveer 14 m +NAP. De langsdam ter plaatse van de uitzichtdriehoek en de benedenstroomse langs -en dwarsdam zijn dan overstroomt. De stroomsnelheid bij deze afvoer is maximaal 0,8 - 0,9 m/s in de zuidwesthoek van de haven. De stroomrichting is hier vrijwel parallel aan de geplande aanlegplaats van een twee-kegelschip waardoor de hinder als gevolg van de stroming beperkt zal zijn. De stroomsnelheid neemt af tot ongeveer 0,3 - 0,4 m/s langs de west -en noordzijde van de haven. Het dwarsdebiet bij deze maximale stroming bedraagt ongeveer 160 m³/s. De stroomsnelheden lijken daarmee beperkt, echter omdat de stroming haaks op de afgemeerde schepen liggen zou dit als hinderlijk ervaren kunnen worden. Hierbij wordt opgemerkt dat in werkelijkheid de neer wat minder sterk zal zijn vanwege afgemeerde schepen en de aanlegsteigers die neervorming blokkeren.

Bij 8.000 m³/s bedraagt de waterstand ongeveer 15 m +NAP. De bovenstroomse langsdam en benedenstroomse langs -en dwarsdam zijn dan overstroomd. De maximale stroomsnelheid bedraagt 1,1 m/s in de zuidwesthoek van de haven. Langs de west -en noordzijde van de haven bedraagt de stroomsnelheid maximaal 0,4 - 0,5 m/s en vallen daarmee wat hoger uit dan bij een afvoer van 6.000 m³/s. Het dwarsdebiet bij deze maximale stroming bedraagt ongeveer 240 m³/s. Deze afvoer komt ongeveer 1/3,5 jaar voor, waardoor de kans van optreden van deze stroming in de haven gering is.

Bij een afvoer van 10.000 m³/s stroomt de bovenstroomse dwarsdam over waardoor de gehele haven meestroomt. De neerwerking in de haven neemt hierdoor af waardoor de stroomsnelheden in de haven wat afnemen ten opzichte van de situatie bij 8.000 m³/s. De stroomsnelheden variëren tussen 0,8 m/s in de zuidwesthoek tot maximaal 0,3 m/s langs de west -en noordzijde van de haven.

Conclusie: De stroomsnelheid in het westelijke gedeelte van de haven wordt tot een afvoer van 8.000 m³/s bepaald door een neer met een maximale stroomsnelheid van ongeveer 0,5 m/s. In de zuidwesthoek van de haven zijn de stroomsnelheden hoger en bedragen maximaal ongeveer 1,1 m/s.

Afbeelding 7.5. Stroomsnelheden bij 6.000 (A), 8.000 (B) en 10.000 m³/s (C)



Stroombeeld in de hoofdgeul

De herverdeling van water tussen de uiterwaard en het zomerbed leidt tot stroomsnelheidsverschillen. Bij afvoeren tot 5.000 m³/s zorgen de havendammen voor een versmalling van het zomerbed. Het debiet dat in de referentiesituatie over de kribben stroomt, wordt nu aan de bovenstroomse dwarsdam richting het zomerbed geforceerd waardoor de stroomsnelheden hier zullen toenemen. Vanaf 5.000 m³/s beginnen de (benedenstroomse) havendammen te overstromen waardoor het doorstroomprofiel verruimd wordt.

Afbeelding 7.6A toont de stroomsnelheidsverschillen bij een afvoer van 6.000 m³/s. Bij deze afvoer vindt er in het zomerbed vooral een verhoging van de stroomsnelheid plaats van maximaal 0,3 m/s. Ter plaatse van de haveningang neemt de stroomsnelheid af met ongeveer 0,1 m/s. Benedenstrooms hiervan, langs de rechteroever, neemt de stroomsnelheid licht toe met maximaal ongeveer 0,1 m/s. Langs de linkeroever neemt de stroomsnelheid af met maximaal 0,1 m/s.

Bij een afvoer van 8.000 m³/s (afbeelding 7.6B) en 10.000 m³/s (afbeelding 7.6C) nemen de stroomsnelheden in het zomerbed ter hoogte van de bovenstroomse langsdam toe met maximaal ongeveer 0,3 m/s terwijl ze benedenstrooms van de haven afnemen met ongeveer 0,1 - 0,2 m/s (lokaal langs de linkeroever).

De stroomsnelheidsverschillen leiden tot bodemveranderingen welke zijn gepresenteerd in paragraaf 7.2.3.

Dwarsstroming

De dwarsstroming bij 6.000 m³/s is weergegeven in de afbeelding 7.7. Bijlage V toont de dwarsstroming voor de overige afvoeren in grafiekvorm en in het 2D-vlak voor de referentiesituatie en de VKV. Tabel 7.1 geeft een samenvatting van de dwarsstroming en -debiet bij de boven- en benedenstroomse dwarsdam. Uit de afbeeldingen en tabel 7.1 wordt het volgende opgemaakt:

- de dwarsstroming is het grootst bij de boven- en benedenstroomse dwarsdam. Hier stroomt water vanuit het kribvak en vanuit de haven het zomerbed in (aangegeven met een negatieve waarde). Uit analyse van het dwarsstroom debiet blijkt dat zowel bij de boven- als de benedenstroomse dwarsdam het strenge criterium geldt (0,15 m/s bij een dwarsdebiet > 50 m³/s);
- De dwarsstroming nabij de bovenstroomse dwarsdam voldoet bij de afvoeren 4.000 en 6.000 m³/s aan het criterium uit het RBK van 0,15 m/s. Bij afvoeren hoger dan 6.000 m³/s wordt niet meer voldaan aan het strenge criterium. De dwarsstroming is door het nemen van de mitigerende maatregel geleidende oever sterk gereduceerd (van 0,38 m/s naar 0,15 m/s bij 6.000 m³/s en van 0,61 naar 0,21 m/s bij 8.000 m³/s). Daarnaast geldt boven een afvoer van 8.569 m³/s (MARKE II) een vaarverbod in Duitsland waardoor de kans dat schepen bij deze afvoer of hoger langs de geleidende oever varen zeer klein is.
- Bij de benedenstroomse dwarsdam wordt niet voldaan aan het dwarsstromingscriterium van 0,15 m/s. De dwarsstroming is het hoogst op de kruin van de dwars- en langsdam en neemt langs het talud af tot nagenoeg nul aan de teen van de dam. De hoge dwarsstroming op deze locatie wordt met name veroorzaakt door de grove schematisatie van de havendam. Uit een berekening van de dwarsstroming met een verfijnd rekenrooster (factor 3 verfijnd) blijkt dat deze maximaal 0,15 m/s bedraagt bij een afvoer van 6.000 m³/s. Aangezien de dwarsstroming maximaal is bij een afvoer van 6.000 m³/s zal naar verwachting de dwarsstroming bij hogere afvoeren lager zijn dan 0,15 m/s waardoor er voldoen wordt aan het strenge dwarsstromingscriterium.

De dwarsstroming wordt bij de benedenstroomse havendam met name bepaald door de kruinhoogte van de benedenstroomse langsd- en dwarsdam. Hoe hoger deze dam-

men zijn des stroomlauer de zuidwesthoek van de haven en kleiner de aanzanding in het zomerbed wordt. Echter, hier staat tegenover een toename van de dwarsstroming op de bakenlijn en een toename van de opstuwing. De gekozen benedenstroomse havendamhoogte van 13 m +NAP is een optimum tussen de dwarsstroming, stroomluwte in de haven, opstuwing en morfologische effecten in het zomerbed.

- Ter plaatse van de haveninvaart bedraagt de dwarsstroming maximaal 0,14 m/s bij een afvoer van 8.000 m³/s. Het dwarsdebiet hierbij is 240 m³/s. Er wordt voldaan aan het strenge dwarsstromingscriterium.

Tabel 7.1. Samenvatting dwarsstroming op de bakenlijn

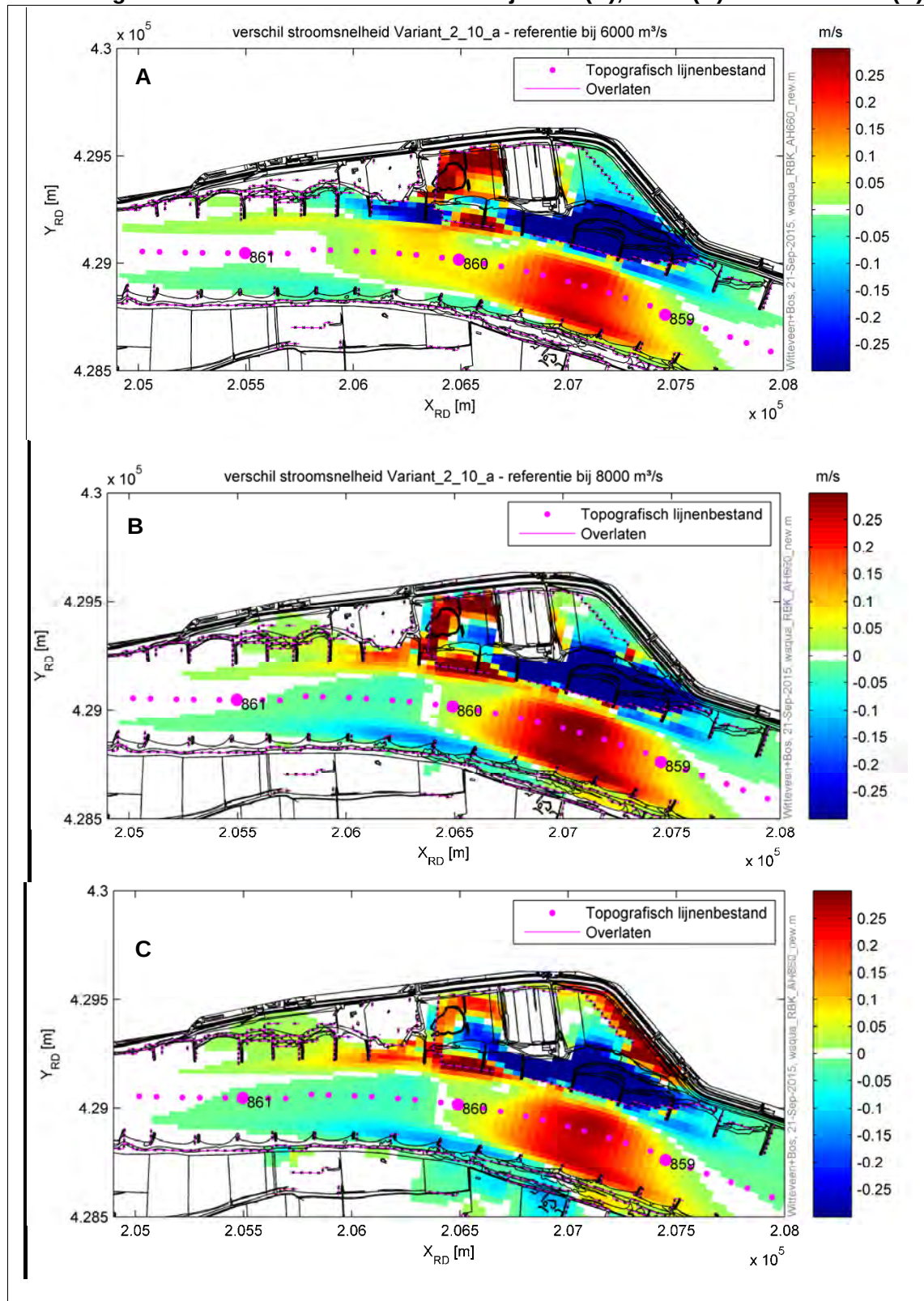
Boven- Rijnafvoer (m ³ /s)	bovenstroomse dwarsdam		benedenstroomse dwarsdam		haveninvaart	
	dwarsstroming (m/s) criterium: max 0,15 m/s	dwarsdebiet (m ³ /s)	dwarsstroming (m/s) criterium: max 0,15 m/s	dwarsdebiet (m ³ /s)	dwarsstroming (m/s) criterium: max 0,15 m/s	dwarsdebiet (m ³ /s)
4.000	-0,15	- 25	-	-	0,09	130
6.000	-0,15	-87	-0,23*	-300	0,11	155
8.000	-0,21	-182	-0,21*	-280	0,14	240
10.000	-0,20	-220	-0,20*	-280	0,12	190

* NB. Geldt voor het grove (standaard) rekenrooster. De dwarsstroming neemt af met 0,08 m/s als uitgegaan wordt van een verfijnd rekenrooster (factor 3 verfijnd)

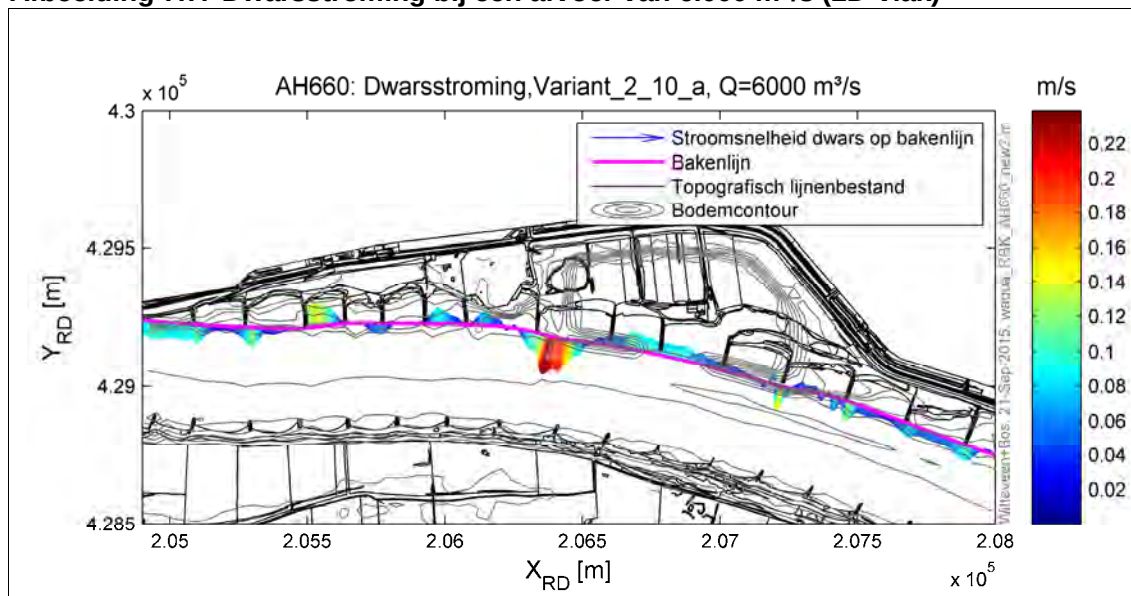
Conclusie: Uit de analyse van de dwarsstroming en -debiet blijkt dat bij:

- de bovenstroomse dwarsdam: er voldaan wordt aan het criterium bij afvoeren tot en met 6.000 m³/s. Daarboven wordt niet meer voldaan;
- de invaartopening: voldaan wordt aan het dwarsstromingscriterium;
- de benedenstroomse dwarsdam: er voldaan wordt aan het dwarsstromingscriterium.

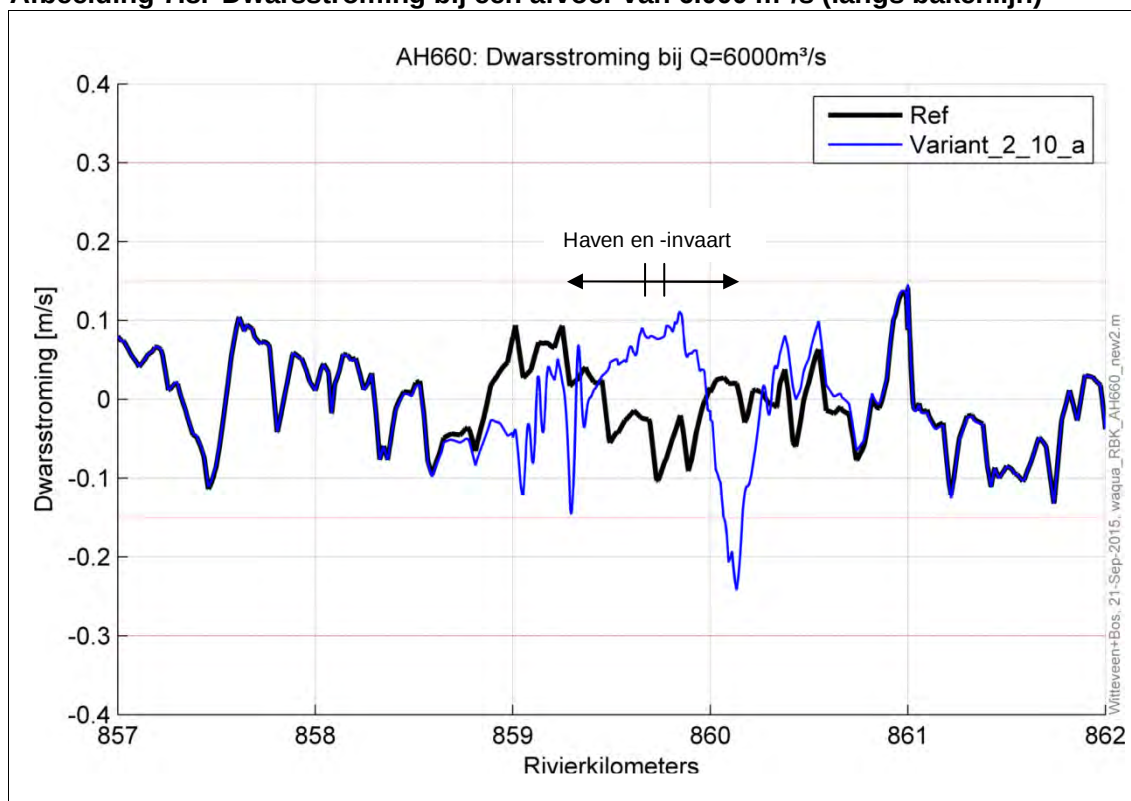
Afbeelding 7.6. Stroomsnelheidsverschillen bij 6.000 (A), 8.000 (B) en 10.000 m³/s (C)



Afbeelding 7.7. Dwarsstroming bij een afvoer van 6.000 m³/s (2D-vlak)



Afbeelding 7.8. Dwarsstroming bij een afvoer van 6.000 m³/s (langs bakenlijn)



7.2.3. Morfologische effecten

Erosie en sedimentatie

Een wijziging van stroomsnelheden kan leiden tot erosie en/of sedimentatie op plaatsen waar dit niet gewenst is. Zo kan erosie in het zomer- en winterbed leiden tot ondermijning van constructies en sedimentatie in de vaargeul leiden tot een onveilige situatie voor de scheepvaart.

De morfologische effecten zijn bepaald met behulp van het programma Waqmorf. Het resultaat van Waqmorf is de verwachte verandering van bodemligging ten opzichte van de referentiesituatie. Op basis van de stroomsnelheidsverschillen gepresenteerd in paragraaf 7.2 wordt verondersteld dat er in het zomerbed voornamelijk sprake zal zijn van erosie en alleen lokaal ter hoogte van de haveningang van sedimentatie. Zoals vermeld in hoofdstuk 5 is er in het diepe gedeelte van het zomerbed langs de rechteroever tussen kmr 858-862 een vaste laag aangebracht waardoor het niet beschermde gedeelte van de zomerbedbodem (meer) zal eroderen totdat er een nieuw bodemevenwicht bereikt is. Ter plaatse van de vaste laag zal de bodem vanwege de aangebrachte steenbestorting niet kunnen eroderen mits de gradering stabiel blijft bij de toegenomen stroomsnelheid. De kans op aanzanding van de vaste laag zal naar verwachting klein zijn vanwege de beperkte aanvoer van (bodem)sediment uit de bovenstroomse richting.

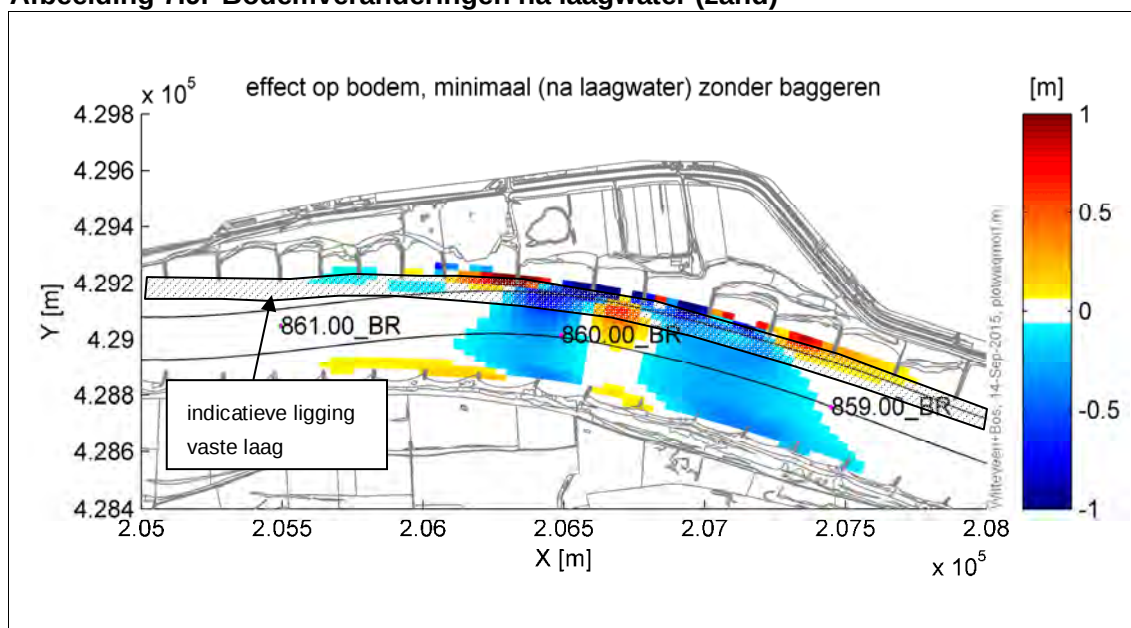
De minimale, maximale en jaargemiddelde bodemveranderingen zijn gepresenteerd in de afbeeldingen 7.9 t/m 7.11. Hierin is tevens de indicatieve ligging van de vaste laag aangegeven.

Uit afbeelding 7.9 blijkt dat de bodemveranderingen na een laagwater bestaan uit erosie van het zomerbed boven- en benedenstrooms van de haveningang en sedimentatie ter plaatse van de ingang (ca. 0,3-0,4 m) en langs de linker oever (ca. 0,2 m). Als gekeken wordt naar de maximale aanzanding in de vaargeul buiten de vaste laag dan bedraagt deze ongeveer 0,2 m.

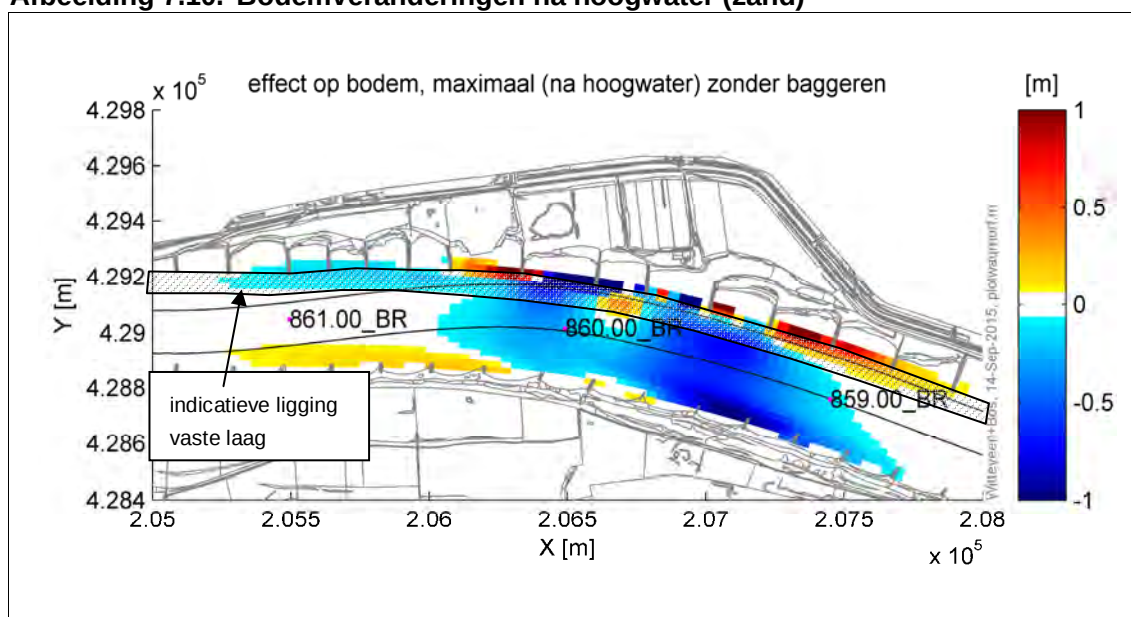
Na een hoogwatergolf (afbeelding 7.10) vindt er voornamelijk erosie plaats van het zomerbed (maximaal ongeveer 1,0 m langs de linker oever). Voor de haveningang is nog een beperkte sedimentatie van maximaal 0,2 m waarneembaar. Als gekeken wordt naar de maximale aanzanding in de vaargeul buiten de vaste laag na een hoogwater dan bedraagt deze 0,2 m. Jaargemiddeld (afbeelding 7.11) is het erosie- en sedimentatiepatroon vergelijkbaar met die van na een laagwater. De jaargemiddelde aanzanding in het zomerbed is ongeveer 20.000 m³ en de erosie van het zomerbed komt overeen met ongeveer 120.000 m³. Deze volumes vormen een bovengrens omdat hierbij geen rekening gehouden is met de vaste laag. Ter plaatse van de vaste laag vindt geen erosie plaats, maar waarschijnlijk zal hierdoor het niet-beschermde deel iets meer eroderen.

Uit de berekende maximale, minimale en jaargemiddelde erosie en sedimentatie van het zomerbed blijkt dat de morfologische effecten reiken tot ongeveer rkm 861,5. Tussen rkm 862 - 864,3 is een sedimentsuppletie langs de linkeroever voorzien. Verwacht wordt dat vanwege de beperkte morfologische effecten in het zomerbed de sedimentsuppletie niet beïnvloed zal worden door de voorkeursvariant van Spijk. Vanwege de verwachte erosie langs de linkeroever na een hoogwater wordt aanbevolen de kribben ter hoogte van rkm 859,5 te monitoren en indien nodig te verstevigen. Omdat er geen gegevens van de kribben langs de Duitse oever beschikbaar zijn kan er geen inschatting gemaakt worden of de kribben stabiel blijven als gevolg van de verwachte erosie na een hoogwater.

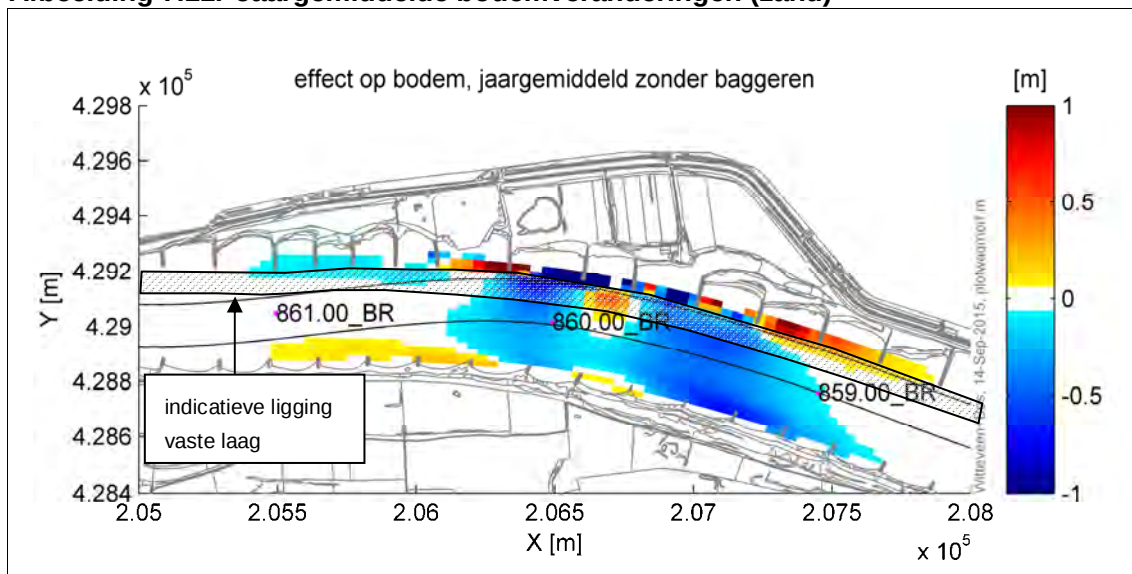
Afbeelding 7.9. Bodemveranderingen na laagwater (zand)



Afbeelding 7.10. Bodemveranderingen na hoogwater (zand)



Afbeelding 7.11. Jaargemiddelde bodemveranderingen (zand)



Toetsing gegarandeerde waterdiepte vaarweg en baggerbezwaar

Volgens het Rivierkundig Beoordelingskader gelden de volgende eisen omtrent de morfologische effecten in het zomerbed:

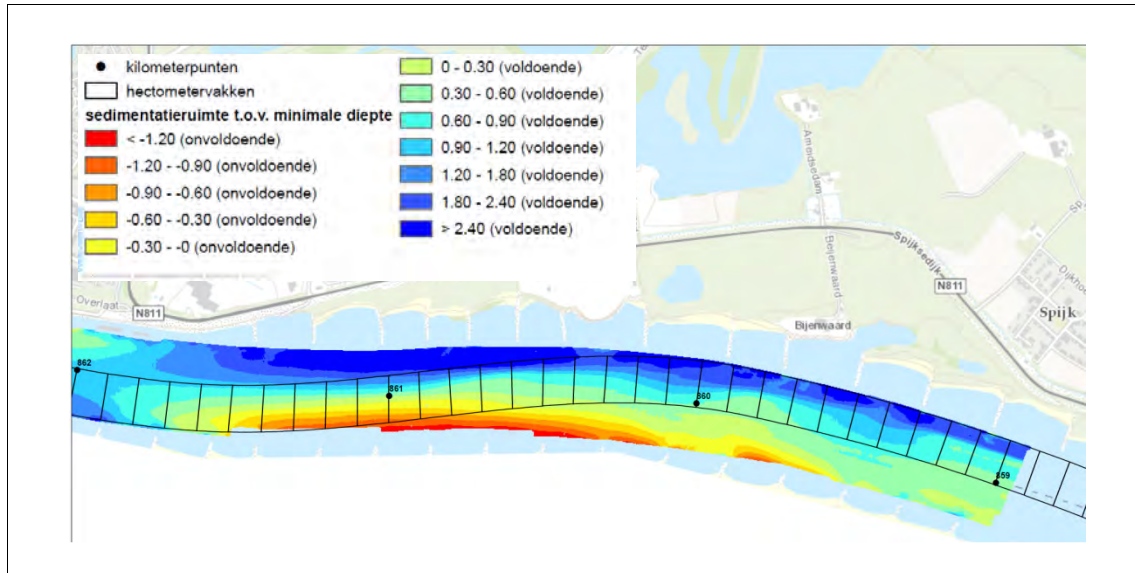
1. gegarandeerde waterdiepte bij OLR in gehele vaargeul:
 - voor de Boven-Rijn geldt een gegarandeerde waterdiepte van 2,8 m – OLR. De bodem van de gehele vaargeul dient hieraan te voldoen. Waar dat niet het geval is, dient gebaggerd te worden. Als door deze ingreep de bodem hoger dan 2,8 m – OLR komt te liggen, moet optimalisatie van de ingreep plaatsvinden.
2. gemiddelde waterdiepte + 40 % bij OLR:
 - deze voorwaarde voorziet in de noodzakelijke kielspeling. De toets hierop is anders dan bij de eerste voorwaarde: de bodemligging in de vaargeul wordt in vakken van 100 m lengte over de vaargeulbreedte gemiddeld. De bodem moet hierbij gemiddeld op tenminste 4,0 m – OLR liggen. Is dat in de huidige situatie al niet aan de orde, dan moet sedimentatie worden weggebaggerd. Als de bodem gemiddeld lager ligt dan 4,0 – OLR, dan is er nog ruimte in het systeem om eventuele aanzanding op te vangen.

Uit analyse van de sedimentatieruimtekaarten (hoofdstuk 5) wordt geconcludeerd dat er tussen rkm 859-860,7 voldoende waterdiepte beschikbaar is; er is 0 cm tot 60 cm overdiepte aanwezig om enige sedimentatie op te kunnen vangen. Vanaf rkm 860,7 wordt niet voldaan aan de minimale waterdiepte en is er geen sedimentatieruimte beschikbaar vanwege een zandbank aan de linkeroever. Het effect van de vaste laag in de buitenbocht van rkm 858-862 is niet in de sedimentatieruimtekaart terug te zien, omdat deze gebaseerd zijn op de gemiddelde bodemligging uit 1999-2006 en de OLR2002. De harde laag veroorzaakt erosie van de binnenbocht waardoor de bevaarbaarheid sterk zal verbeteren. Bovenstrooms van de vaste laag (krm 858) zal er aanzanding plaatsvinden, terwijl benedenstrooms (krm 858) er zich een erosiekuil zal vormen. Aangenomen wordt dat de situatie voor aanleg van de harde laag een conservatieve benadering is voor het bepalen van de effecten op de scheepvaartveiligheid.

Afbeelding 7.12 toont de sedimentatieruimte bij OLR inclusief de berekende jaargemiddelde erosie en sedimentatie uit afbeelding 7.13. Er vindt voornamelijk een vergroting van de waterdiepte plaats, behalve tussen rkm 859,7 - 860,0 en 860,2 - 860,4. Er wordt hier nog wel voldaan aan de gegarandeerde diepte OLR - 2,80 m. Benedenstrooms, tussen rkm

860,6 en rkm 861,6 wordt niet overal meer voldaan aan de gegarandeerde waterdiepte in de vaarweg. Hier wordt hier echter geen aanzanding verwacht en daarnaast zal de gemiddelde waterdiepte als gevolg van de aanleg van de vaste laag toenemen.

Afbeelding 7.12. Sedimentatieruimte bij OLR inclusief jaargemiddelde erosie/sedimentatie



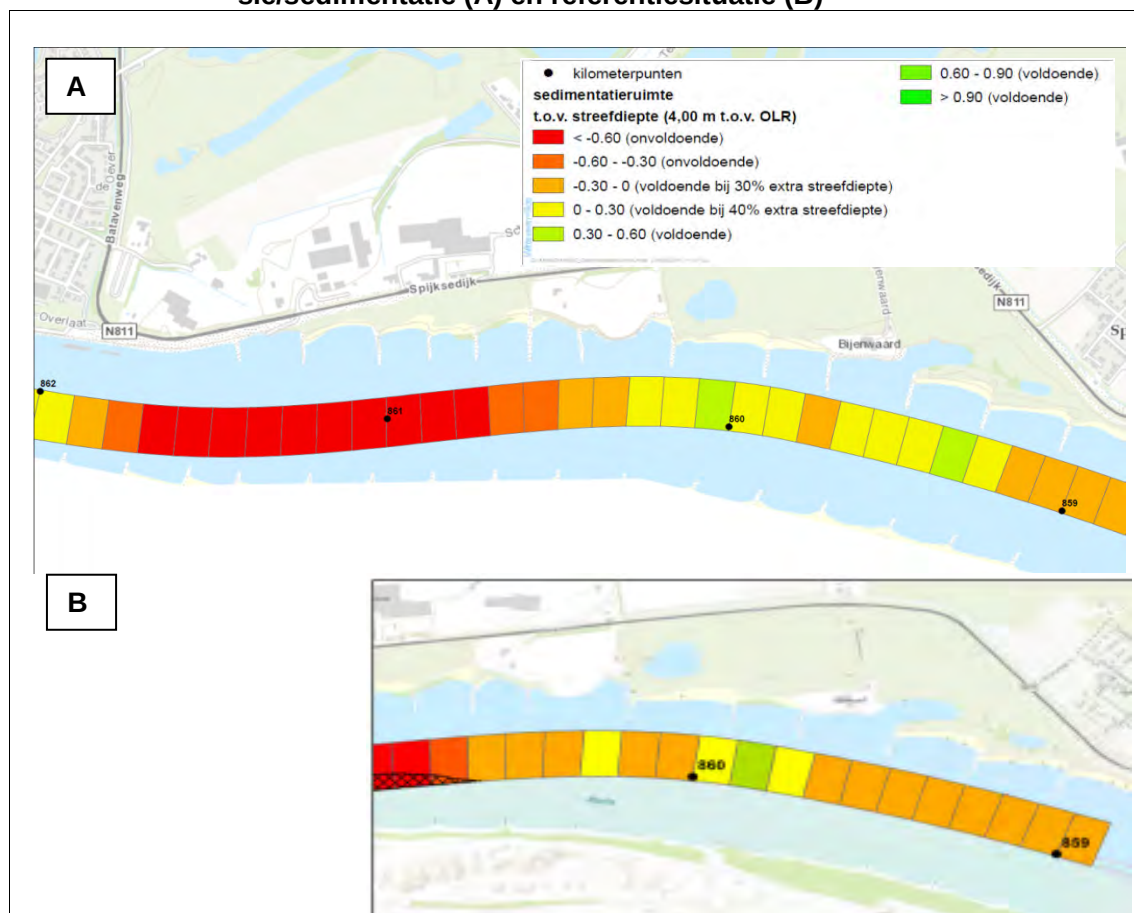
Ten aanzien van het streefdiepte criterium (afbeelding 7.13) kan geconcludeerd worden dat over het algemeen de streefdiepte in de vaargeul tussen rkm 858 - 860,2 zal toenemen. Benedenstrooms van de haven neemt de streefdiepte wat af als gevolg van de berekende aanzanding. Echter door de verwachte erosie van de binnenbocht na aanleg van de vaste laag wordt niet verwacht dat dit tot een extra baggerinspanning zal leiden.

Gevoeligheidsanalyse erosie/sedimentatie

Uit lit. 16 blijkt dat het sediment van de Bovenrijn ter plaatse van het projectgebied gegradeerd is (afbeelding 7.14). Afbeelding 7.15 toont de korrelgrootteverdeling van de Boven-Rijn (lit. 18). Hieruit valt af te leiden dat de d50 ongeveer 4 mm (grind) bedraagt. Om de gevoeligheid van de Waqmorf resultaten voor de korrelgrootte te bepalen is een Waqmorf berekening uitgevoerd waarbij een kritische stroomsnelheid van 1,2 m/s is gehanteerd. Dit is de stroomsnelheid waarbij sediment met een korrelgrootte van ongeveer 4 mm in beweging komt (lit. 19).

Afbeelding 7.16 toont de maximale, minimale en jaargemiddelde bodemverandering als uitgegaan wordt van grind. De morfologische effecten nemen in vergelijking met de Waqmorf resultaten voor zand (afbeelding 7.9-7.11) vooral langs de oevers af. Dit komt omdat de stroomsnelheid hier lager is dan 1,2 m/s waardoor het sediment niet in beweging komt en er dus geen bodemveranderingen ontstaan. Afbeelding 7.9 -7.11 geven dus een conservatief beeld.

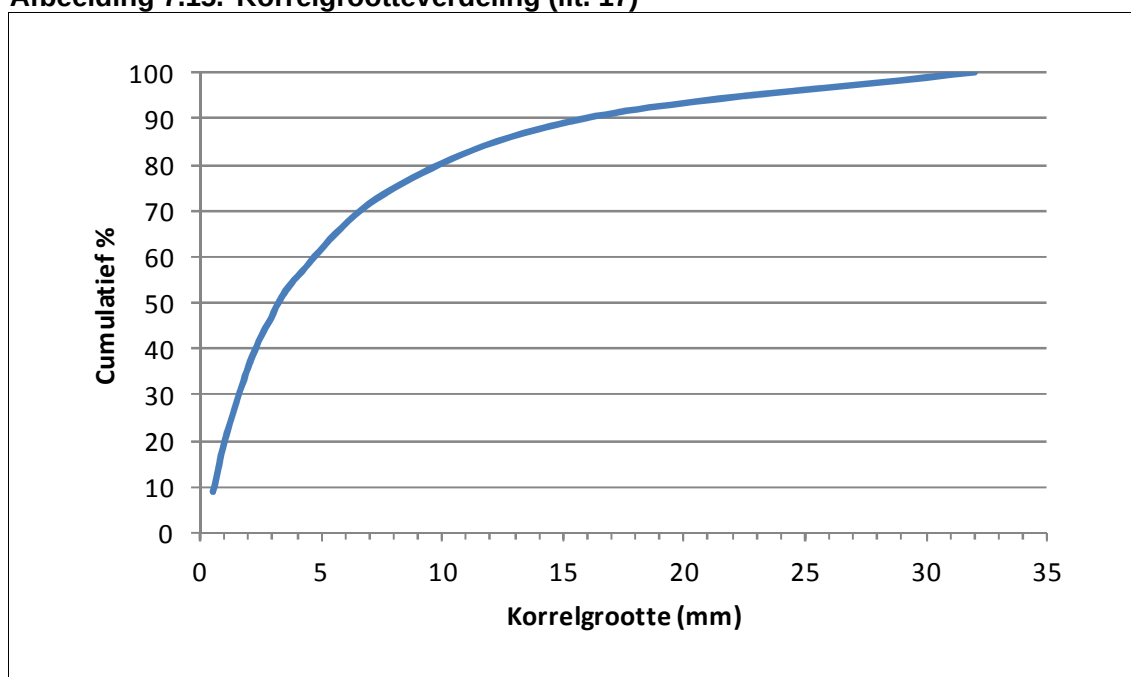
Afbeelding 7.13. Streefdiepte (OLR - 4 m) vaarweg inclusief jaargemiddelde erosie/sedimentatie (A) en referentiesituatie (B)



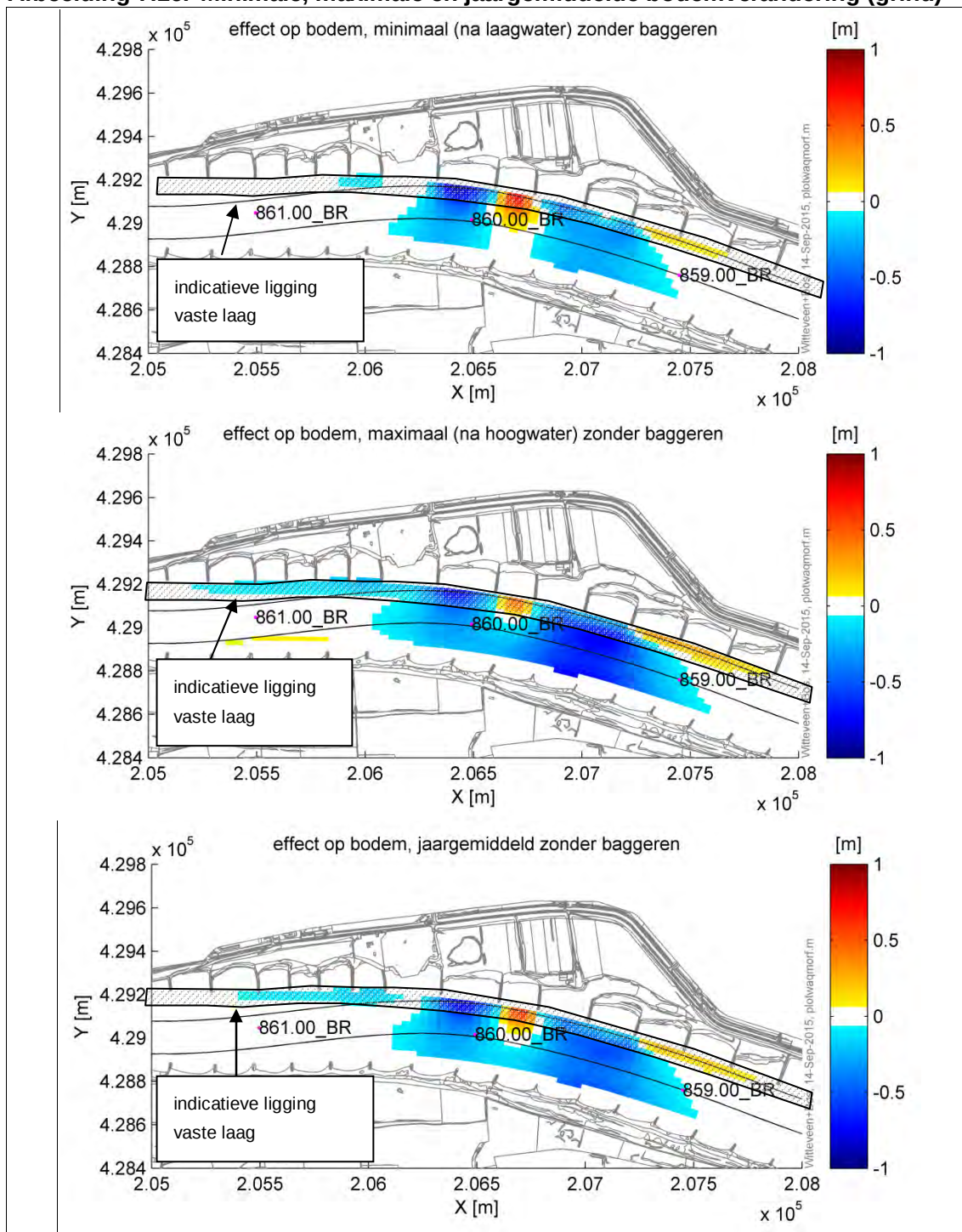
Afbeelding 7.14. Foto van gegradeerd sediment bij rkm 863 (lit. 17)



Afbeelding 7.15. Korrelgrootteverdeling (lit. 17)



Afbeelding 7.16. Minimale, maximale en jaargemiddelde bodemverandering (grind)



Effect op de Overeengekomen Lage Rivierwaterstand (OLR)

De morfologische effecten in het zomerbed kunnen leiden tot veranderingen in de (lage) waterstanden. Deltares heeft in een studie (lit. 16) het effect op de OLR bepaald van de haven Spijk in combinatie met een aanlegkade bij rkm 857. Het gecombineerde effect van de haven en aanlegkade op de OLR bedroeg een verlaging van 2 cm. Deze werd met name veroorzaakt door de aanlegkade. Het effect van de haven Spijk is waarschijnlijk aanzienlijk lager. Geconcludeerd wordt dat het effect van de haven op de OLR beperkt is.

Discussie van de morfologische effecten in het zomerbed

De sedimentatieruimtekaarten in combinatie met de door Waqmorf berekende erosie en sedimentatie in het zomerbed geven een vertekenend beeld van de gevolgen voor de scheepvaart. De volgende kanttekeningen worden gemaakt:

- Vaste laag
 - de sedimentatieruimtekaarten geven een conservatief beeld omdat het effect van de vaste laag hierin ontbreekt. Door erosie van de binnenbocht ontstaat er een gunstiger beeld van de beschikbare waterdiepte in de vaarweg. Uit modelberekeningen (lit. 17) blijkt dat in de riviersectie rkm 860,2 - 862,0 de waterdiepte in de vaarweg zal toenemen met ca 0,3-0,5 m. Dit geeft een te rooskleurig beeld van het morfologisch effect van de vaste laag. Uit gemeten bodemveranderingen bij rkm 860,5 blijkt dat het effect ter plaatse van de rivieras -0,4 m bedraagt (persoonlijke communicatie Arjan Sieben). Het effect loopt richting de linkeroever af en is 100 m vanaf de rivieras nagenoeg nul.
 - in de erosie/sedimentatie berekeningen is geen rekening gehouden met de vaste laag. Waqmorf veronderstelt dat overal waar gradiënten ontstaan in de stroomsnelheid morfologische effecten ontstaan. Boven de vaste laag resulteren deze gradiënten niet in bodemveranderingen omdat hier geen sprake is van een alluviale rivierbodem. Ook is de aanvoer van (bodem)sediment uit bovenstroomse richting relatief beperkt. Er ontstaan dus hoogstwaarschijnlijk geen morfologische effecten ter plaatse van de vaste laag.
 - door verschil in erosie tijdens hoog- en laagwater worden elk seizoen sedimentatiegolven (=het erosiemateriaal uit de ontgronding) opgewekt in het alluviale deel van de rivier. Deze golven met een hoogte direct benedenstrooms van de ontgronding van ongeveer 0,5 m (verschil tussen maximale en minimale erosie van de ontgronding), planten zich in benedenstroomse richting voort en passeren jaarlijks de ondiepte stroomafwaarts rkm 860 en veroorzaken daar sedimentatie. De sedimentatiegolven dempen volgens (lit. 20) nauwelijks uit waardoor het effect van de vaste laag op de bodem in de binnenbocht stroomafwaarts rkm teniet gedaan wordt of de situatie zelfs verslechterd. Dit dynamische proces kan niet met Waqmorf worden berekend. Het volume materiaal wat uit de erosiekuil in de benedenstroomse richting verplaatst en ter plaatse van de ondiepte in de vaarweg tussen rkm 860,6-861,6 tot een extra (jaarlijkse) baggerinspanning kan leiden is geschat op ongeveer 22.500 m³. Omdat de waterdiepte in de vaarweg hier al onvoldoende is moet deze aanzanding weggebaggerd worden. Het beunvolume wordt verkregen door de aanzanding te vermenigvuldigen met een factor 1,4 (1 m³ in-situ materiaal op de rivierbodem komt overeen met 1,4 m³ in de beun). Het beunvolume bedraagt dan 31.500 m³. Dit is een conservatieve inschatting van de extra baggerinspanning. Om een nauwkeurige bepaling van het extra baggeronderhoud te verkrijgen zou een dynamische berekening met een morfologisch model gemaakt moeten worden.
 - in/uitvarende schepen zullen de aanzanding in de ingang (als deze al ontstaat) tegengaan omdat het sediment wordt opgewoeld en in benedenstroomse richting getransporteerd wordt.
- Gegradeerd sediment
 - Het volume aanzanding in het zomerbed is bepaald uitgaande van een zandige rivierbodem (zonder vaste laag). Echter de rivierbodem bestaat uit gegradeerd sediment wat voor het overgrote deel bestaat uit grof zand en grind. Als hiermee rekening gehouden wordt dan bedraagt de volume aanzanding in het zomerbed, inclusief vaste laag ongeveer 14.000 m³.
- Gevolgen voor de OLR: De lange termijn OLR verandering is beperkt tot 2 cm (lit. 16) en is waarschijnlijk aanzienlijk lager omdat het effect met name wordt veroorzaakt door de morfologische effecten van een aanlegkade (krm 857).

Conclusie:

- De morfologische effecten zijn beperkt tot het alluviale gedeelte van de rivierbodem buiten de vaste laag;
- Effecten op de scheepvaart voor de riviersectie langs de haven zijn beperkt omdat de OLR verandering klein is en aanzanding ter plaatse van de haveningang niet of slechts gedeeltelijk optreedt;
- Benedenstrooms van de haven kan de bevaarbaarheid in de binnenbocht verslechteren als gevolg van sedimentatiegolven van maximaal 0,5 m. Gezien het beperkte effect van de vaste laag op de bodemligging van de binnenbocht leidt dit potentieel tot een extra (jaarlijkse) baggerinspanning van 31.500 m³ (beunvolume).

Sedimentatie in de haven

Met SILTHAR is in de vorige fase van het project voor een mediane afvoer de aanslibbing in de haven bepaald. Deze is voor de variant West berekend op 20.000 m³ per jaar. Dit is gemiddeld over de haven ongeveer 8,0 cm per jaar. De langsdammen van de VKV zijn wat lager dan de Westvariant maar bij lagere afvoeren (< 5.000 m³/s) is het natte oppervlak van de haveningang nagenoeg hetzelfde gebleven. Aangezien de mate van aanslibbing met name bepaald wordt door de omstandigheden tijdens dagelijkse condities, wordt verwacht dat de aanslibbing van vergelijkbare grootte zal zijn als berekend voor de Westvariant.

Conclusie: de morfologische effecten in het zomerbed zijn beperkt tot het gedeelte buiten de vaste laag. Er wordt geen extra baggerinspanning van de vaargeul verwacht. In de haven zal aanslibbing plaatsvinden van ongeveer 20.000 m³ per jaar.

7.2.4. Overzicht RBK toets en conclusie

De tabellen 7.2 t/m 7.4 geven een samenvatting van de effectbeoordeling voor de aspecten hoogwaterveiligheid, hinder en/of schade en morfologische effecten. De VKV voldoet niet aan de criteria aangaande de opstuwing en dwarsstroming. Het onderzoek naar de compensatie van de opstuwing op de rivieras loopt op dit moment. De verwachting is dat de opstuwing op de rivieras volledig gecompenseerd kan worden.

Tabel 7.2. Effectbeoordeling voorkeursvariant Spijk - Hoogwaterveiligheid

§*	te beoordelen effect	criterium	effect	hoofd-stuk	conclusie
1.1	maatregel in stroomvoerend deel rivier: MHW stand op de as van de rivier	stroomvoerend: geen waterstandsverhoging (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn)	max. waterstandverhoging: +6 mm max. waterstandverlaging: - 27 mm		voldoet niet
	maatregel in bergend deel rivier: volume waterberging	bergend: geen vermindering bergend volume			
1.2	MHW stand buiten as van de rivier	toename waterstand (bij 16.000 m ³ /s Boven-Rijn)	langs primaire waterkering: max. waterstandverhoging: +24 mm max. waterstandverlaging: -55 mm		ter acceptatie van het Waterschap

1.3	afvoerverdeling bij MHW (bij Pannerdensche Kop en IJsselkop)	project binnen enkele km splitsing: verandering afvoerverdeling < 5 m³/s bij Boven-Rijn afvoer van 15.000 m³/s	niet relevant omdat het project bovenstrooms ligt van het splitsingspunt met Pannerdensch kanaal		voldoet
		project verder weg: geen verandering waterstand bij splitsing			
1.4	afvoerverdeling bij normaal hoogwater (bij Pannerdensche Kop en IJsselkop)	verandering afvoerverdeling < 20 m³/s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m³/s	niet relevant omdat het project bovenstrooms ligt van het splitsingspunt met Pannerdensch kanaal		voldoet

Tabel 7.3. Effectbeoordeling voorkeursvariant Spijk - Hinder en/of schade

S*	te beoordelen effect	criterium	effect	bijlage	conclusie
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 m³/s, plus vaak ook de Boven-Rijn afvoer van 10.000 m³/s	16.000 m³/s: max. waterstandverhoging waterkering: +24 mm 10.000 m³/s: 30 mm bij bovenstroomse dwarsdam; 25 mm nabij terrein Wezendonk		geen extra hinder door wijziging in waterstanden en/of overstromingsfrequentie
2.2	stroombeeld in de uiterwaard (haven)	verandering grootte en richting stroomsnelheden bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m³/s	stroomsnelheid haven - neer - 6.000 m³/s: 0,4 m/s - 8.000 m³/s: 0,5 m/s - 10.000 m³/s: 0,3 m/s stroomsnelheid haven - zuidwesthoek - 6.000 m³/s: 0,9 m/s - 8.000 m³/s: 1,1 m/s - 10.000 m³/s: 0,8 m/s		beperkte hinder door neer in de haven bij afvoer 6.000 m³/s en meestromen zuidwesthoek haven
2.3	stroombeeld in hoofdgeul bij de aan- en aftakking van nevengeul	bankfull afvoer nevengeul < 50 m³/s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,3 m/s bankfull afvoer nevengeul > 50 m³/s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,15 m/s	bovenstroomse dwarsdam: max 0,21 m/s; invaart: 0,14 m/s; benedenstroomse dwarsdam: max 0,23 m/s (0,15 m/s op verfijnd rekenrooster)		dwarsstroming voldoet bij afvoeren t/m 6.000 m³/s daarboven niet meer

2.4	afvoerverdeling bij normaal hoogwater	verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	niet relevant omdat het project bovenstrooms ligt van het splitsingspunt met Pannerdensch kanaal		voldoet
2.5	afvoerverdeling bij lage afvoeren	afwijking afvoerverdeling < 1 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 1.020 m ³ /s (OLR)	niet relevant omdat het project bovenstrooms ligt van het splitsingspunt met Pannerdensch kanaal		voldoet

Tabel 7.4. Effectbeoordeling voorkeursvariant Spijk - Morfologische effecten

§*	te beoordelen effect	criterium	effect	bijlage	conclusie
3.1	aanzanding en erosie van het zomerbed (+ oevers)	bij erosie: - geen verlaging gemiddelde bodemligging; - geen oevererosie; - beperkte ontgroning bij constructies per hoogwater; bij sedimentatie: - geen vermindering vaargeulafmetingen bij lage tot gemiddelde rivierafvoeren; - geen verhoging MHW op lange termijn; In het algemeen: - beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten en behouden veiligheid scheepvaartverkeer; - geen onacceptabele terugschrijdende erosie of sedimentatie i.v.m. risico verandering afvoerverdeling bij MHW of OLR.	- jaargem maximale erosie buiten de vaste laag (zand) van 0,2 m (totaal - 120.000 m³) - jaargem maximale aanzanding buiten de vaste laag (zand): 0,2 m (totaal 20.000 m³) - max sedimentatie en erosie na hoogwater 0,2 m en -1 m (langs de linkeroever) - sedimentatiegolven van ca. 0,5 m kunnen benedenstrooms van de haven leiden tot een afname van de vaargeuldimensies waardoor jaarlijks extra baggeronderhoud nodig is. Beunvolume wordt geschat op 31.500 m³		vanwege maximale ontgroning van 1 m langs de linkeroever nabij rkm 859, constructies monitoren en indien nodig verstevigen Benedenstrooms haven nemen de vaargeuldimensies af en neemt de hinder door baggerwerkzaamheden in vaarweg toe.

S*	te beoordelen effect	criterium	effect	bijlage	conclusie
3.2	aanzanding en erosie van uiterwaard (haven)	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 bodemerrosie langs waterkering; - stroomsnelheid nevengeul bankfull < 0,3 m/s; geen bodemerrosie langs waterkering	aanslibbing haven van ongeveer 20.000 m ³ /jaar (gemiddeld 8 cm)		Beperkte aanslibbing haven

7.2.5. Overzicht MER beoordeling en conclusie

De tabellen 7.5 t/m 7.6 geven een samenvatting van de MER effectbeoordeling voor de aspecten hoogwaterveiligheid, afvoerverdeling, dwarsstroming en morfologie. Ten opzichte van de inrichtingsvariant West is de opstuwing op de rivieras afgenomen met 17 mm van 23 mm naar 6 mm. De maximale dwarsstroming op de bakenlijn is afgenomen met 0,08 m/s van 0,29 naar 0,21 m/s. De maximale aanzanding (jaargemiddeld) in het zomerbed buiten de vaste laag is bepaald op 0,2 m. Hierbij wordt opgemerkt dat de aanzanding lokaal is en dat er ook gedeelten zijn in het zomerbed waar de bodem erodeert. Netto vindt er erosie van het zomerbed plaats.

Opgemerkt wordt dat een vergelijking met de effectbeoordeling van de inrichtingsvariant West maar ten dele gemaakt kan worden omdat er met een up-to-date modelinstrumentarium is gerekend. Daarnaast is de aanzanding van het zomerbed gekwantificeerd terwijl dit in de vorige fase op basis van expert judgement bepaald is.

Tabel 7.5. Rivierkundige effecten vkv Spijk

aspect	criterium	VKV
effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	maximale opstuwing op de rivieras	6 mm
afvoerverdeling	verandering afvoerverdeling bij de Pannerdensche Kop	0 m ³ /s
dwarsstroming	dwarsstroomsnelheid bakenlijn	0,21 m/s
morfologie	jaargemiddelde aanzanding zomerbed buiten de vaste laag	max 0,2 m

Effectbeoordeling VKV

In tabel 7.6 is een samenvattende beoordeling opgenomen van de VKV voor Spijk op het gebied van rivierkunde. De VKV scoort sterk negatief op de aspecten hoogwaterveiligheid, en dwarsstroming en negatief op morfologie. Het aspect afvoerverdeling scoort neutraal. De effectbeoordeling van de hoogwaterveiligheid, afvoerverdeling, dwarsstroming en morfologie zijn gelijk gebleven.

Tabel 7.6. Effectbeoordeling VKV Spijk

aspect	VKV
effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	--
afvoerverdeling	0
dwaarsstroming	-
morfologie	-

7.3. Compenserende maatregelen

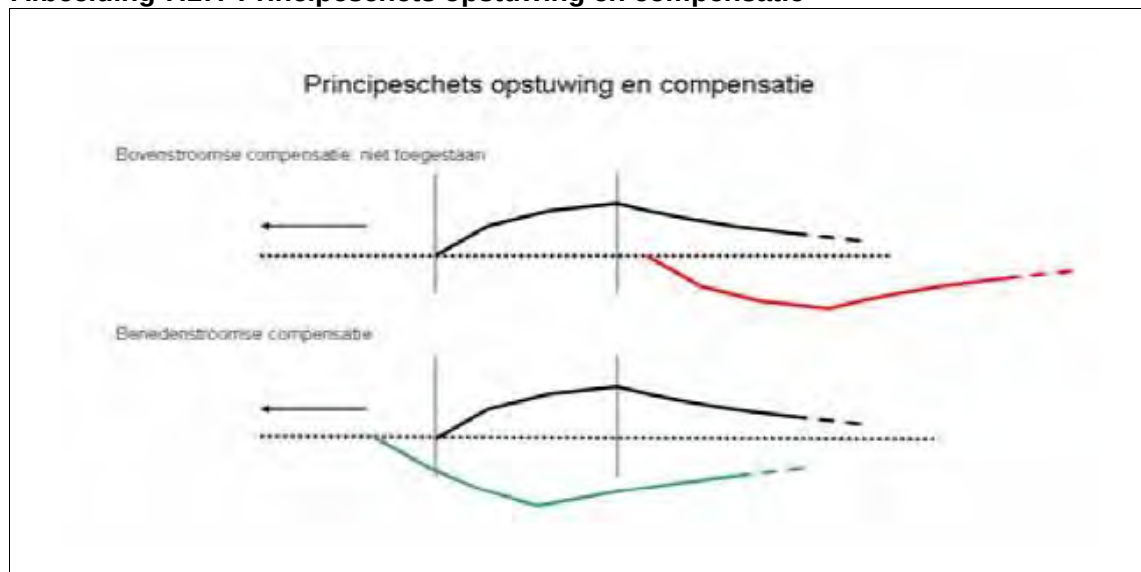
De na mitigatie resterende opstuwing op de rivieras dient gecompenseerd te worden. Afbeelding 7.17 laat een principe schets zien van de opstuwing en compensatie. Compensatie van de opstuwing dient vanwege het stuwkromme effect benedenstrooms genomen te worden om de opstuwing volledig te compenseren. Meest effectief zijn aanpassingen die genomen worden langs de rechteroever direct benedenstrooms van de haven

De volgende maatregelen zijn mogelijk:

- verlagen van de kribben benedenstrooms van het projectgebied;
- verflauwen van de benedenstroomse taluds van de kribben naar 1:7;
- inkorten van kribben;
- verwijderen van de kribben en aanleg van een langsdam;
- overstroombaar maken van het terrein Wezendonk.

Verwacht wordt dat de resterende opstuwing van 6 mm op de rivieras volledig gecompenseerd kan worden door bovenstaande maatregelen (al dan niet gecombineerd).

Afbeelding 7.17. Principeschets opstuwing en compensatie

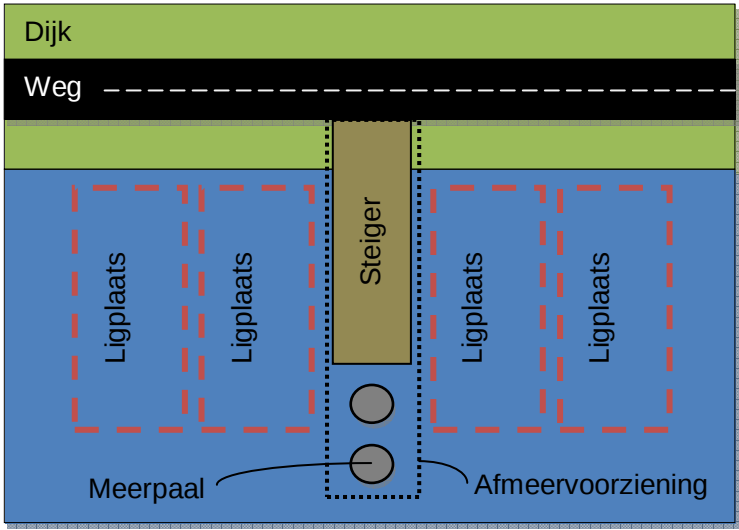


8. REFERENTIES

1. RBK(2014); Rivierkundig Beoordelingskader; Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, januari 2014.
2. Witteveen+Bos (2014), Ontwerpwaterstanden, AH660-1/14-020.787.
3. Rijkswaterstaat (2012). OLR2012, voorlopige resultaten.
4. Stuurman en Koolwijk (2003). OLR2002, Bepaling van de Overeengekomen Lage rivierstand 2002 voor de Nederlandse Rijntakken. Versie 3.
5. Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007). Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkeringen (HR2006).
6. Rijkswaterstaat DON (2012). Rivierwaterbouw. Tips en info voor ontwerpers in het bovenriviereengebied. Versie 29-8-2012.
7. Rijkswaterstaat, 6 juli 2007. Baseline maatregelen, eisen en richtlijnen.
8. CSO (2013). Beoordeling hydraulica en morfologie.
9. Deltares (2014). Adviesmonding Valeplas aan de IJssel. 1210098-000.
10. Marin (2002). Nautisch Morfologisch Onderzoek uitwijkhaven Lobith, Samenvattend.
11. Eysink, W.D., 2004. SILTHAR Version 4.2 - A mathematical program for the computation of siltation in harbour bassins. Report 8.6520, Delft Hydraulics, Delft.
12. WAQUA beno14_5 model.
13. Waterloopkundig Laboratorium (1997). Effectiviteit van Kribben (Q2360).
14. Oranjewoud (2007). DTM ONTWERP. OVERNACHTINGSHAVEN LOBITHDTM METTING METHOOGTELIJNEN EN PIPS, Definitief.
15. Rijkswaterstaat Directie Oost Nederland (1995). Projectnota/MER uitwijkhaven Weurt. Aanslibbing uitwijkhaven Weurt.
16. Deltares (2002). Grensproject Bovenrijn - Q2496 phase 3.
17. Deltares (2008). Voorspelinstrument Duurzame Vaarweg. Case Study: Fixed layer and sediment nourishment in the Bovenrijn (Q4357.30).
18. Deltares (2007). Case Studies Duurzame Vaardiepte Rijndelta (Q4245.00).
19. Van Rijn (1990). Principles of sediment transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Aqua Publications.
20. Rijkswaterstaat (1998). Voorontwerp van een nevengeul in de Oude Waal. RIZA werkdocument 98.166x.

9. AFKORTINGEN EN BEGRIPPEN

Begrippenlijst

begrip	definitie
afmeervoorziening	Voorziening in rivier, kanaal, meer of zee waaraan een schip tijdelijk kan afmeren. Een afmeervoorziening is het totaal van een steiger en afmeerpalen (zie ook Ligplaats). Een afmeervoorziening kan ook uit alleen een steiger of alleen afmeerpalen bestaan.
bebording en bebakening	Alle vormen van bebording en bebakening (denk bijvoorbeeld aan boeien, ballenlijnen, vuurtorens) ten behoeve van het gebruik van de Rijkswateren.
dijk	De dijk is een grondlichaam welke functioneert als primaire waterkering binnen een dijkkring.
haven	Locatie waar schepen kunnen aanmeren voor overslag van goederen of overnachting (overnachtingshaven). Ook alle voorzieningen om de haven veilig te bereiken (bijvoorbeeld, golfbrekers of leidammen) vallen binnen het object haven.
havendam	Dam tussen de rivier en de overnachtingshaven die bij bepaalde (gangbare) hogere waterstanden overstroomt.
havendijk	Dijk rondom de overnachtingshaven, eventueel ook tussen de rivier en de overnachtingshaven, die alleen onder zeer extreme omstandigheden overstroomt.
havenkom	Een verbreding van het vaarwater, dat als haven gebruikt wordt.
koppelverband	Een combinatie van een motorvrachtschip en een duwbak. In deze studie overigens een duweenheid in lange formatie.
krib	Stenen dam, min of meer dwars op de stroomrichting ter geleiding van de stroming van het water door een rivier.
ligplaats	Een ligplaats wordt gedefinieerd conform onderstaande afbeelding.  The diagram illustrates a cross-section of a river. At the top is a green bar labeled 'Dijk' (dike). Below it is a black bar labeled 'Weg' (road). The river area is shown in blue. A central brown vertical bar is labeled 'Steiger' (quay). On either side of the quay, there are dashed red rectangles labeled 'Ligplaats' (mooring areas). At the bottom, two circles represent 'Meerpaal' (mooring posts) and 'Afmeervoorziening' (mooring facilities).
meerpalenrij	Een meerpalenrij bestaat uit één of meerdere meerpalen, zie ook Ligplaats.
overige waterbodem	Dit is het onderwater gelegen deel van de bodem welke niet behoort tot de vaargeul.
scheepvaart verkeerspost	Locatie waar het scheepvaartverkeer over het hoofdvaarwegennet wordt begeleid.
steiger	Een steiger wordt gedefinieerd conform de afbeelding bij 'Ligplaats'.
strekdam	Dam in de rivier of aan de kust evenwijdig aan de waterkerende constructie welke functioneert als golfbreker voor de achterliggende waterkerende constructie.
uiterwaard	Overwegend droog gebied binnen het buitendijks gebied met meestal een functie voor landbouw, recreatie en of natuur. Bij hoge waterstanden (In de wintermaanden) voert de Uiterwaard water en heeft dan ook een waterafvoerfunctie.

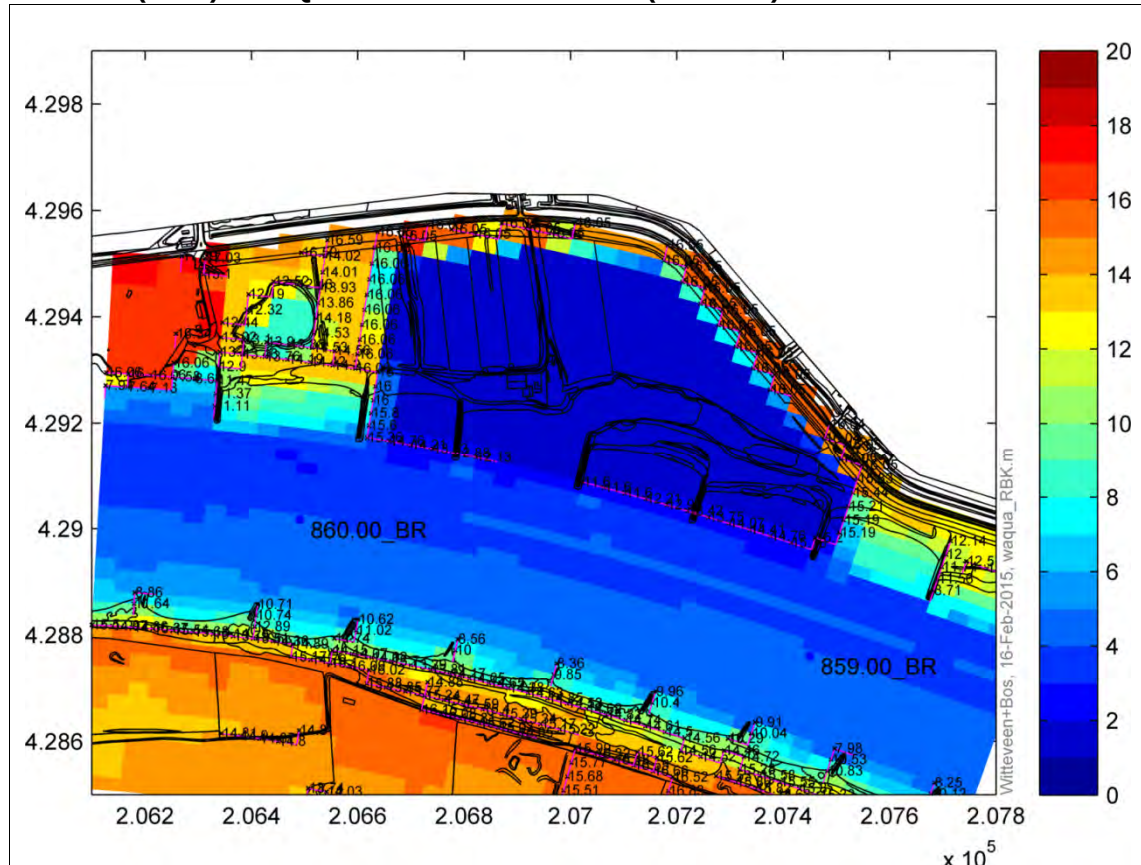
vaargeul	Dit is de verdieping binnen de waterbodem (bodem permanent onderwater) van het buitendijks gebied ten behoeve van de scheepvaart.
watersysteem	Definitieschets Watersysteem

Afkortingenlijst

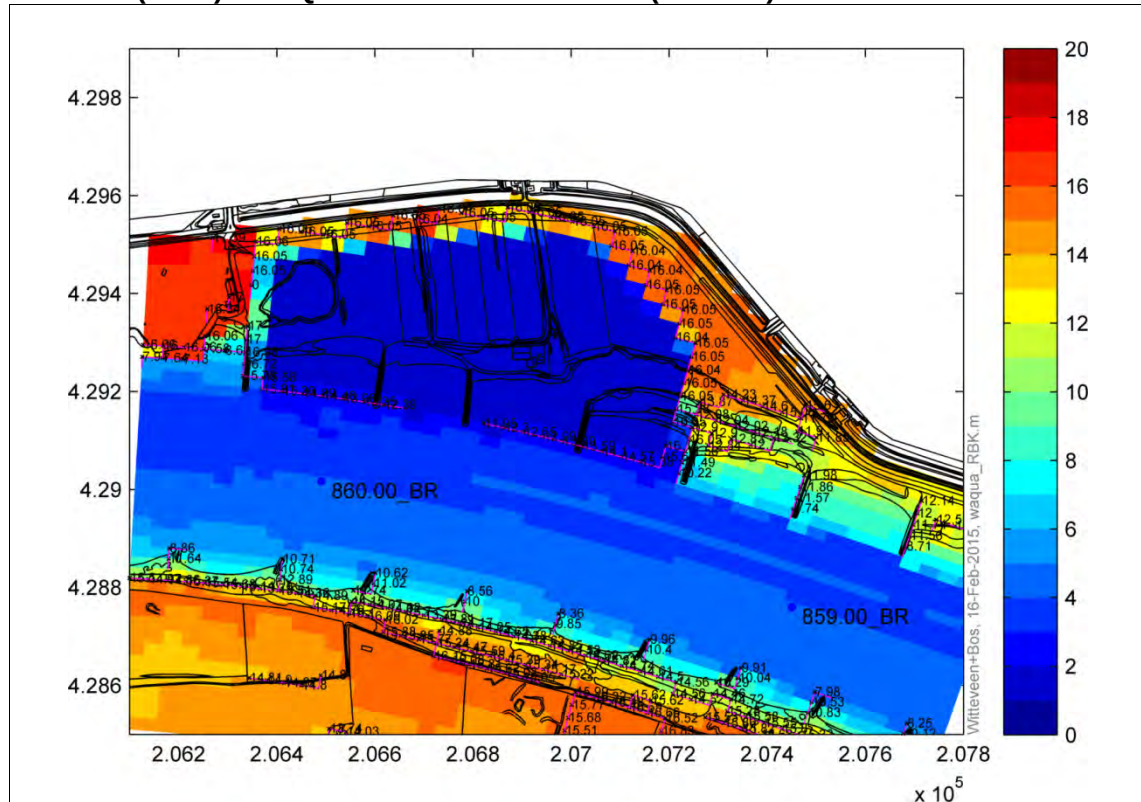
afkorting	betekenis
BPRW	Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren
CEMT	Conférence Européenne des Ministres de Transport
KRW	Kaderrichtlijn Water
NAW	Naam, adres, woonplaats
NGD	Nautisch gegarandeerde diepte
OLR	Overeengekomen Laagste Rivierstand
SES	Systeemspecificatie

BIJLAGE I WAQUA BODEMSCHEMATISATIES VARIANTEN SPIJK

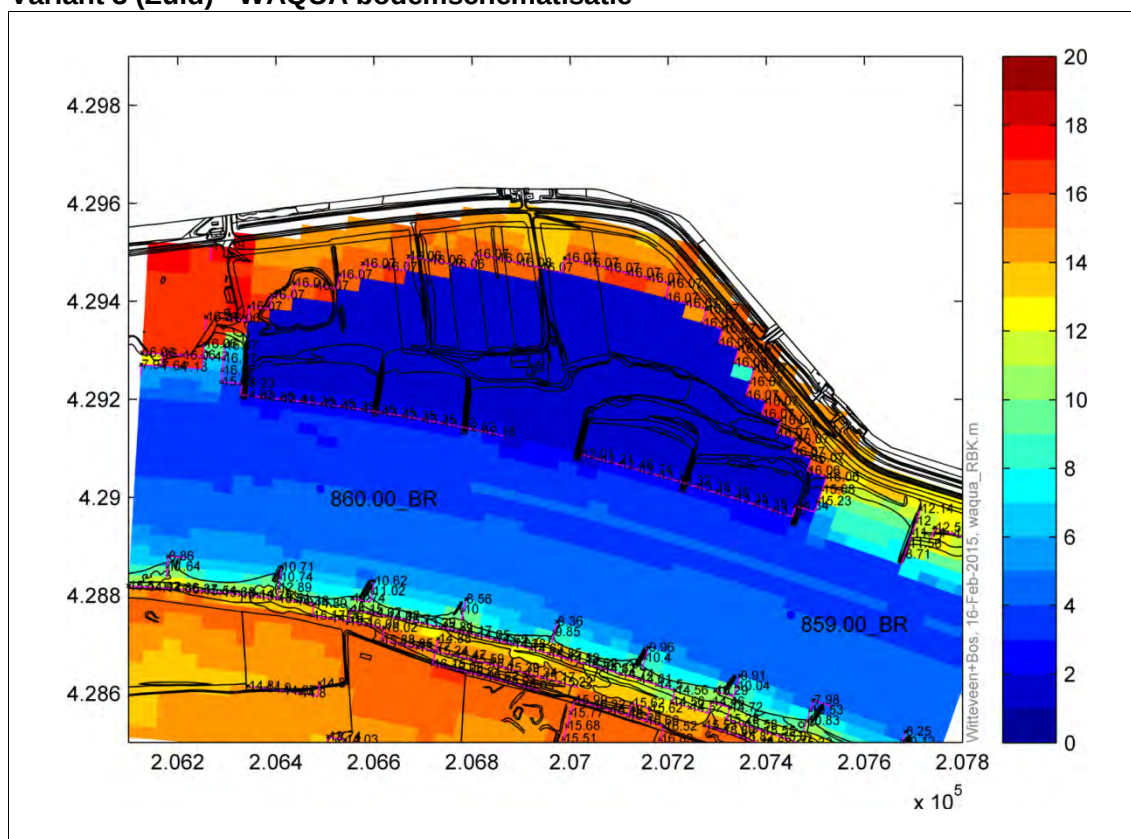
Variant 1 (Oost) - WAQUA bodemschematisatie (m + NAP)



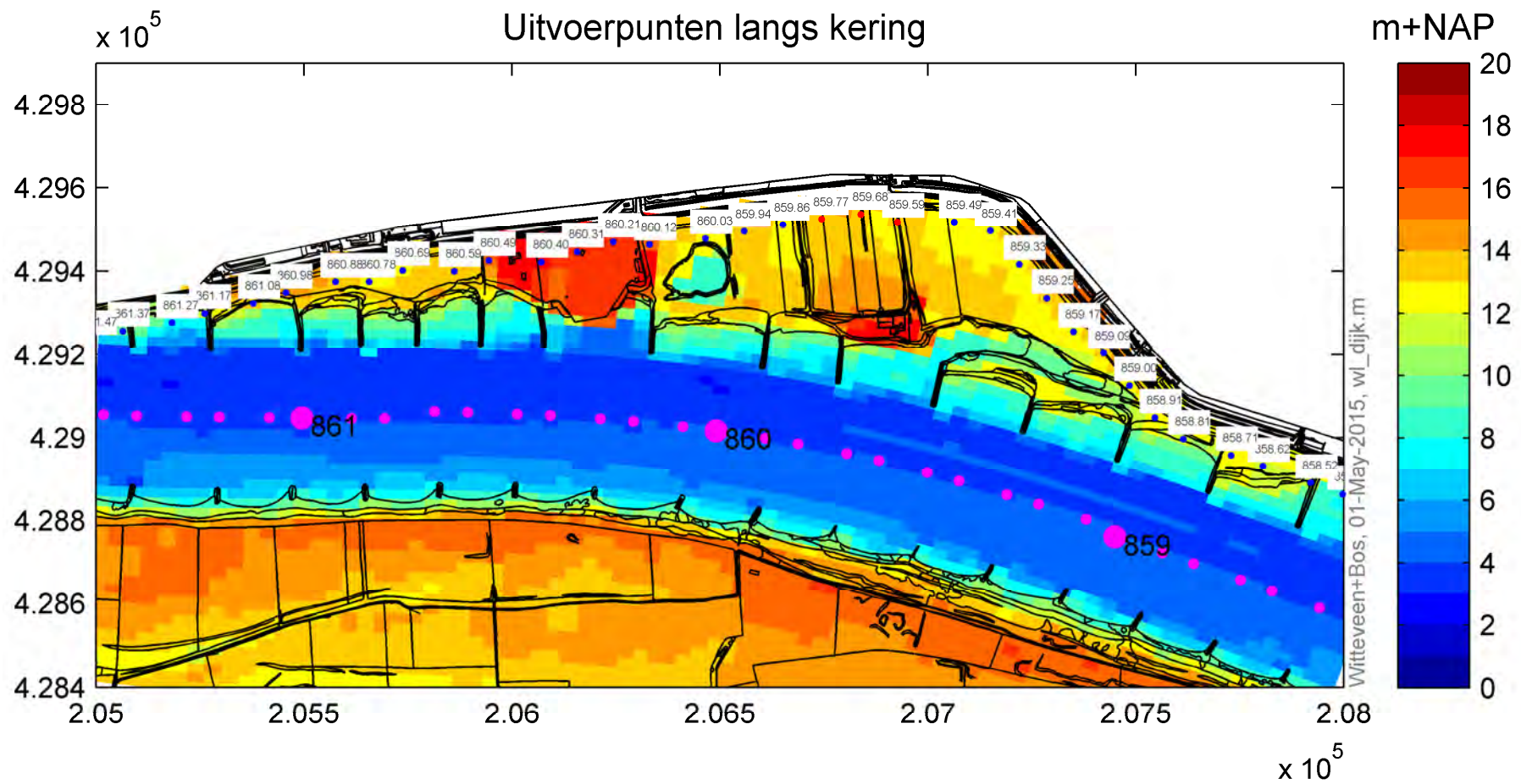
Variant 2 (West) - WAQUA bodemschematisatie (m + NAP)



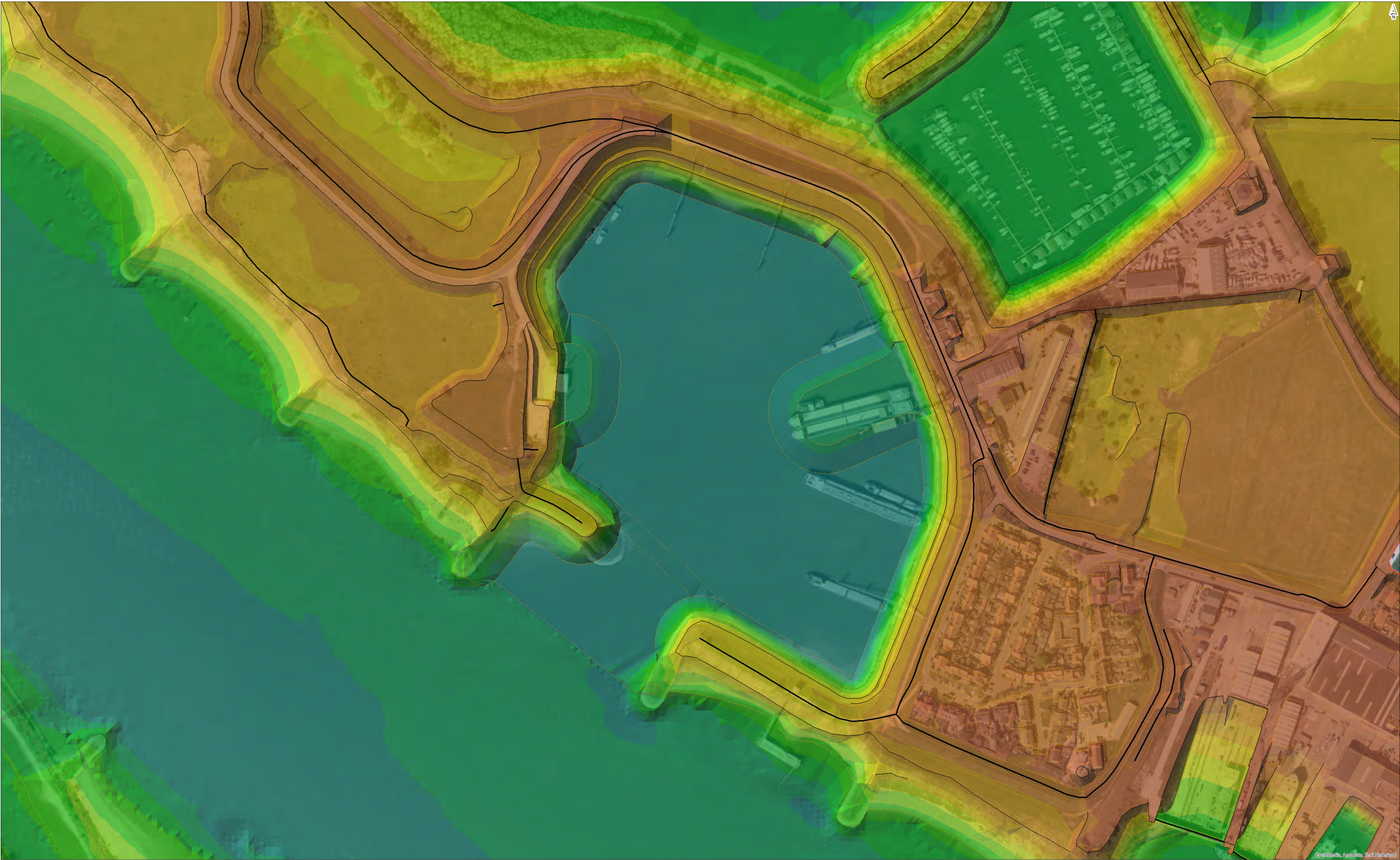
Variant 3 (Zuid) - WAQUA bodemschematisatie



BIJLAGE II UITVOERPUNTEN LANGS DE PRIMAIRE WATERKERING



BIJLAGE III BASELINE SCHEMATISATIE (BODEM EN RUWHEID) VKV'S



overlaten_routes

bodemhoogte

TYPE

Window Size: 0,000

krib (1)

kade (2)

hverschil (3)

breuklijnen_routes

bandijken_routes

Elevation

21,122 - 40,24

15,81 - 21,122

14,107 - 15,81

12,996 - 14,107

12,058 - 12,996

11,132 - 12,058

21,122 - 40,24

15,81 - 21,122

14,107 - 15,81

12,996 - 14,107

12,058 - 12,996

11,132 - 12,058

10,077 - 11,132

8,782 - 10,077

7,044 - 8,782

5,073 - 7,044

3,24 - 5,073

1,144 - 3,24

-4,354 - 1,144

-12,712 - -4,354

-22,68 - -12,712

10,077 - 11,132

8,782 - 10,077

7,044 - 8,782

5,073 - 7,044

3,24 - 5,073

1,144 - 3,24

-4,354 - 1,144

-12,712 - -4,354

-22,68 - -12,712

getekend: ing. C.Y. Vredevoort

gecontroleerd: ing. H.E.J. Nieuwland

goedgekeurd: drs. W.M. Zuidervijk

versie: definitief 1

datum: 02-07-2015

tekeningnr: 3

formaat: A1 liggend

schaal: 1:1500

0

20

40

60

80

100 m

Lobith

Maatregel: ij_tnd_5

opdrachtgever:

projectnaam: Lobith

projectcode: AH660

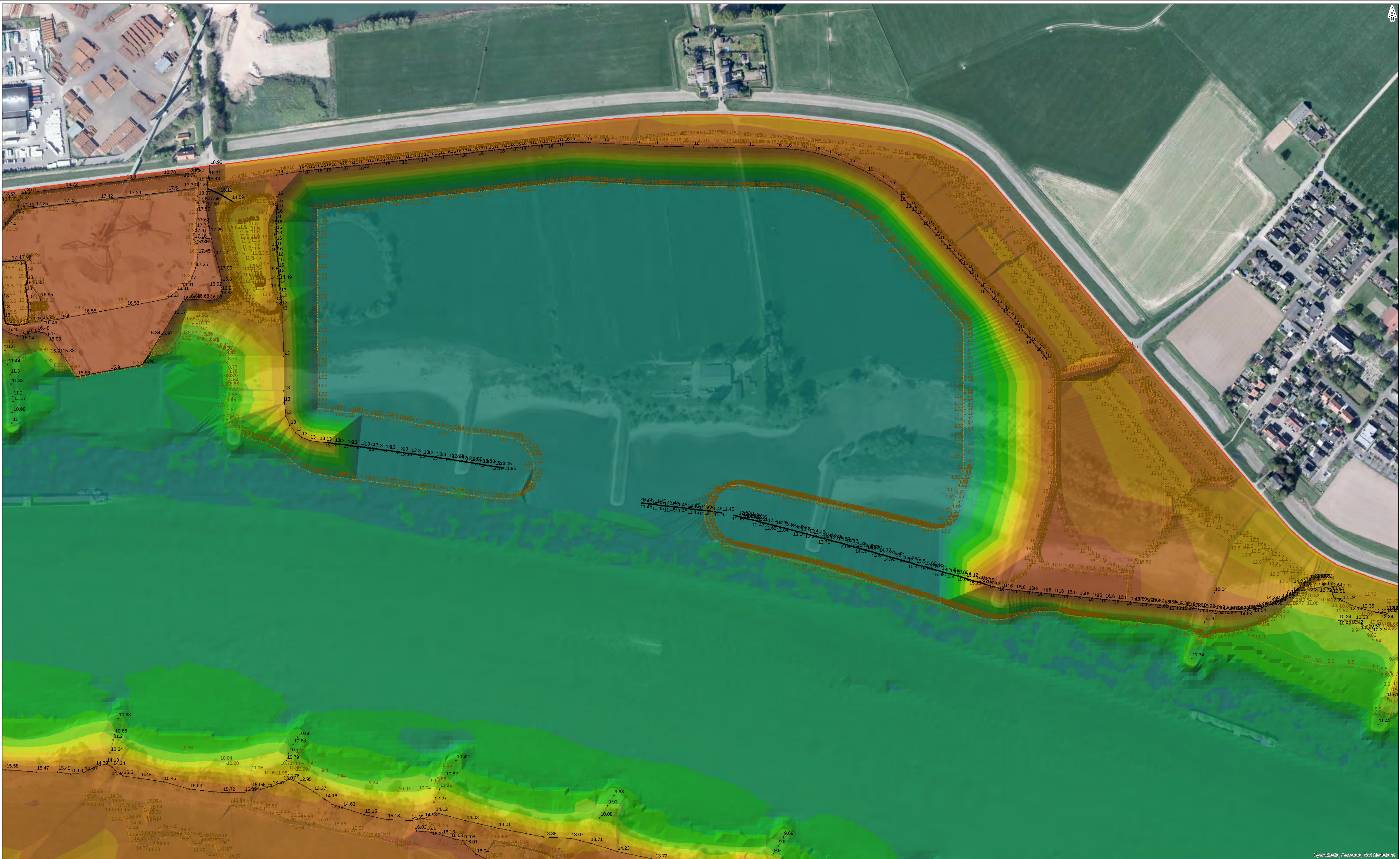
Witteveen

Bos



	hoogwaterrij_lijnen		Zomerbed		Akker		Bomen
	ruwheid_punten		Diepe bedding		Productiegrasland		Pioniersvegetatie
	ruwheid_lijnen		Ondiepe bedding		Natuurlijk grasland/hooiland		Ruigte
ruwheid_vlakken					Verruigd grasland		Riet
RUWHEIDSCODE					Boomgaard		Natte vegetatie homogeen
	Bebouwing/hoogwaterrij terrein		Nevengeul		Productiebos		Natte vegetatie met 25% water
	Bebouwd/verhard terrein		Strang		Ooibos		Niet gecodeerd
	Steenbekleding		Kribvakstrand/zandplaat/grindplaat		Struweel/griend		Niet gedefinieerd
	Vaste lagen		Ruwe oever		Heggen		

getekend: ing. C.Y. Vredevoort gecontroleerd: ing. H.E.J. Nieuwland goedgekeurd: drs. W.M. Zuidervijk versie: definitief 1 datum: 02-07-2015 tekeningnr: 2	Lobith Maatregel: ij_tnd_5
formaat: A1 liggend schaal: 1:1500 0 20 40 60 80 100 m	opdrachtgever: projectnaam: Lobith projectcode: AH660



• overlaten_events

overlatten_routes

TYPE

— krib (1)

— kade (2)

— hverschil (3)

— kades_routes

— kribben_routes

— hoogteverschillijnen_routes

• breuklijnen_events

breuklijnen_routes

bandijken_routes

bodemhoogte

Window Size: 0.000

Elevation

13 - 14.11

12.06 - 13

11.13 - 12.06

10.08 - 11.13

8.78 - 10.08

7.04 - 8.78

5.07 - 7.04

3.24 - 5.07

1.14 - 3.24

12,996 - 14,107

12,058 - 12,996

11,132 - 12,058

10,077 - 11,132

8,782 - 10,077

7,044 - 8,782

5,073 - 7,044

3,24 - 5,073

1,144 - 3,24

-4.35 - 1.14

-12.71 - -4.35

-22.68 - -12.71

-4,354 - 1,144

-12,712 - -4,354

-22,68 - -12,712

getekend: ing. H.E.J. Nieuwland

gecontroleerd: drs. W.M. Zuidervijk

goedgekeurd:

versie: groeitekening 1

datum: 04-09-2015

tekeningnr: 1

formaat: A1 liggend

schaal: 1:2000

04080120

Lobith

Maatregel: ben1453_v2_10

opdrachtgever:

projectnaam:

projectcode: AH660

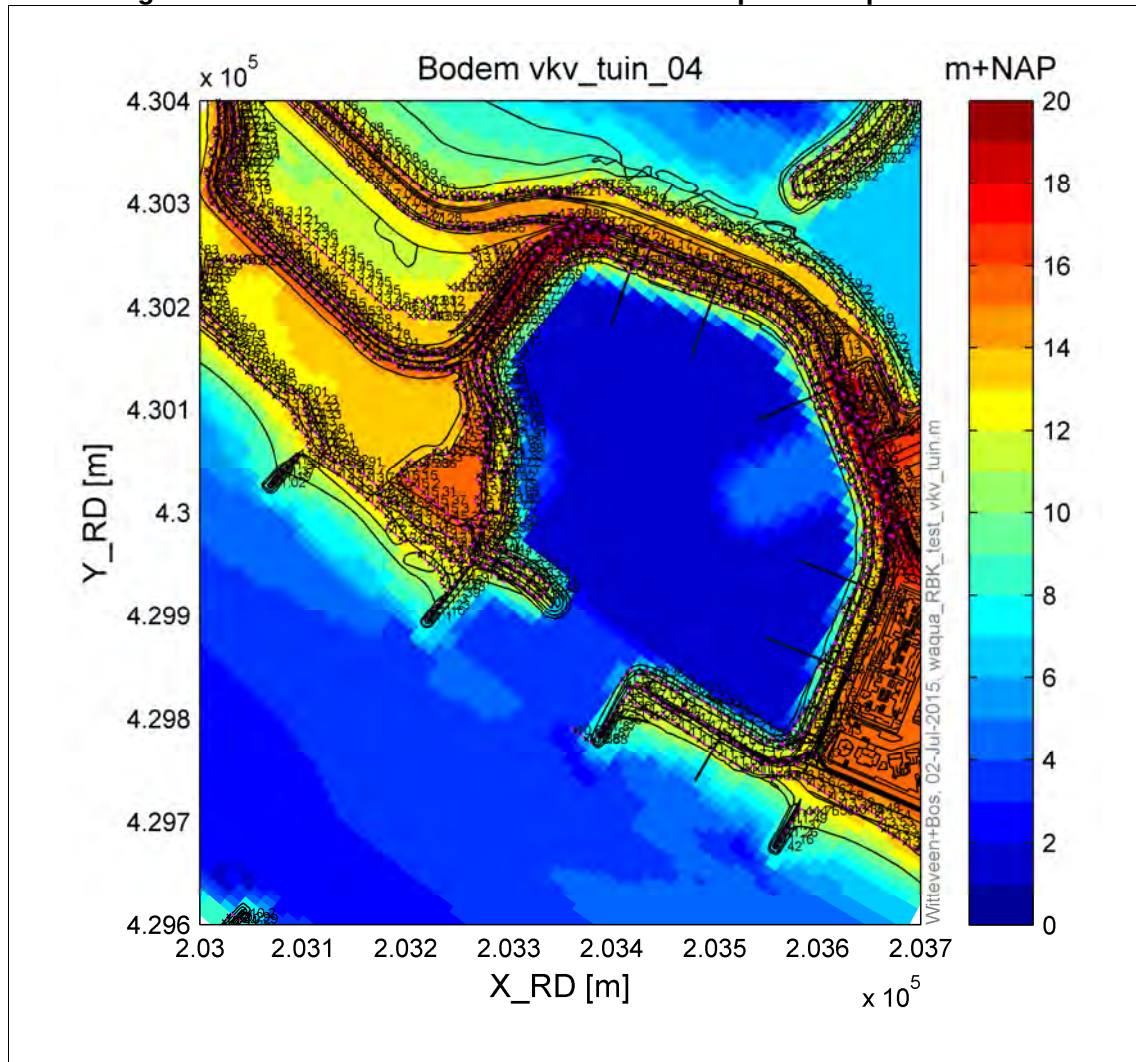
Witteveen

Bos

BIJLAGE IV WAQUA BODEM SCHEMATISATIE VKV'S

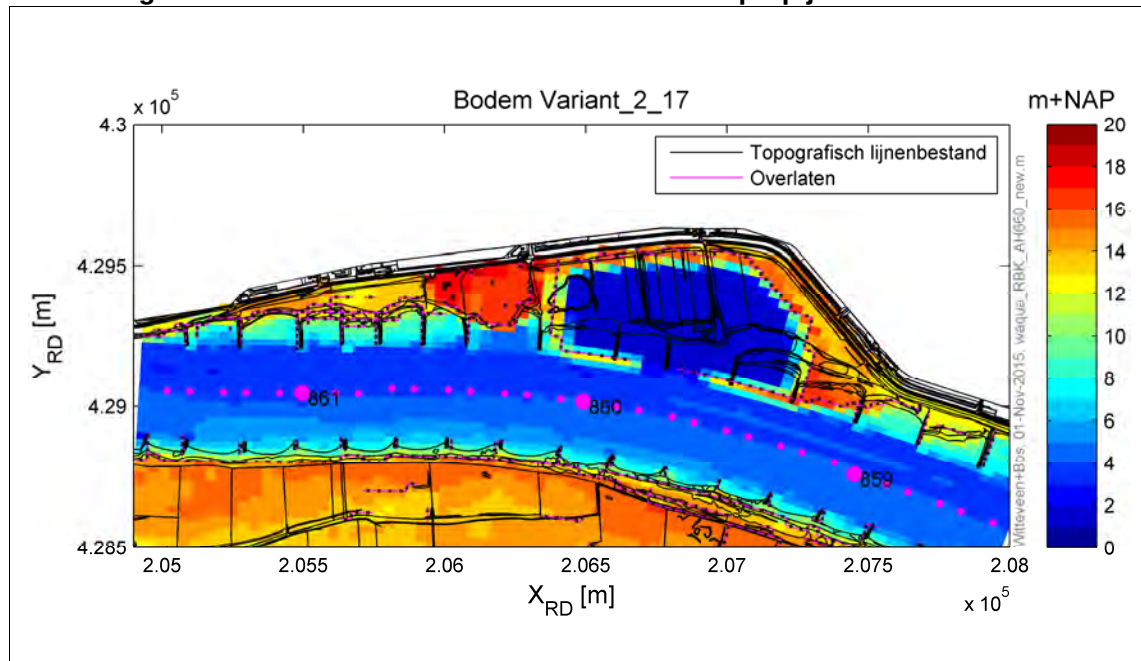
De baseline bodemschematisatie en ruwheid van het referentieontwerp van de haven Tuindorp is weergegeven in bijlage III. Het damwandscherm is geschematiseerd als een krib en is niet in de bodemhoogte meegenomen omdat het om een smal object gaat (kruinbreedte < 10 m). Afbeelding IV.1. toont de Waqua bodemschematisatie.

Afbeelding IV.1. Bodemschematisatie referentieontwerp Tuindorp

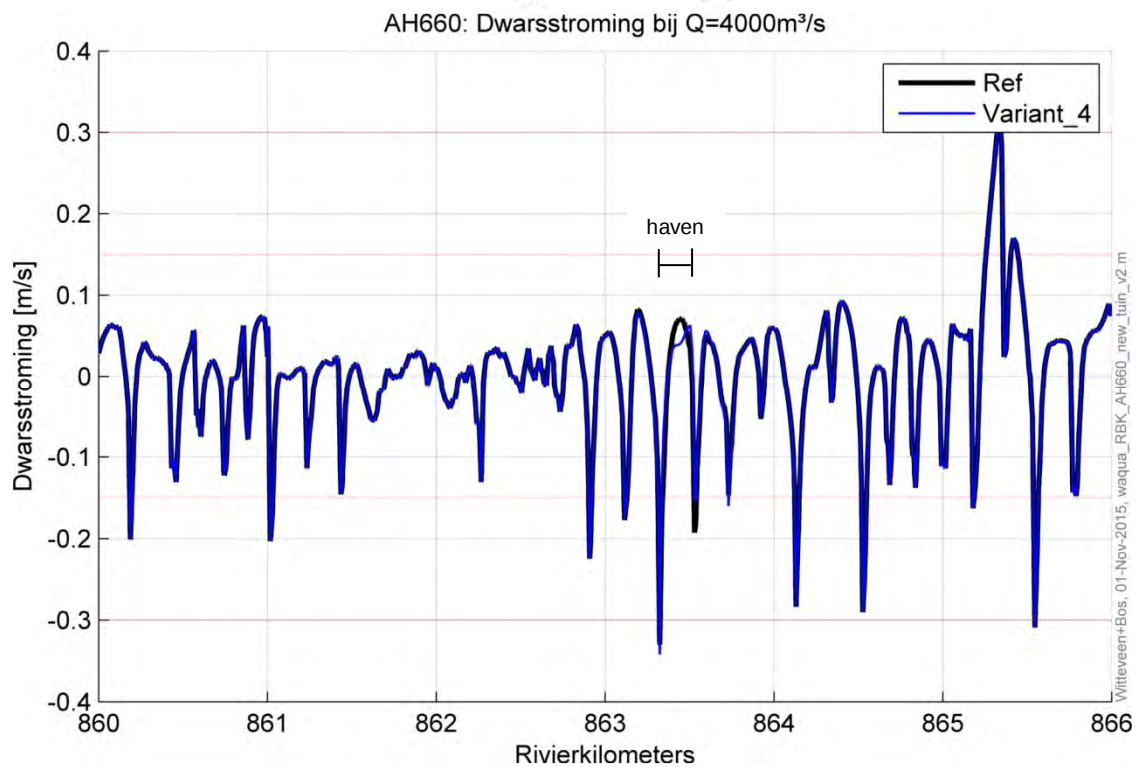
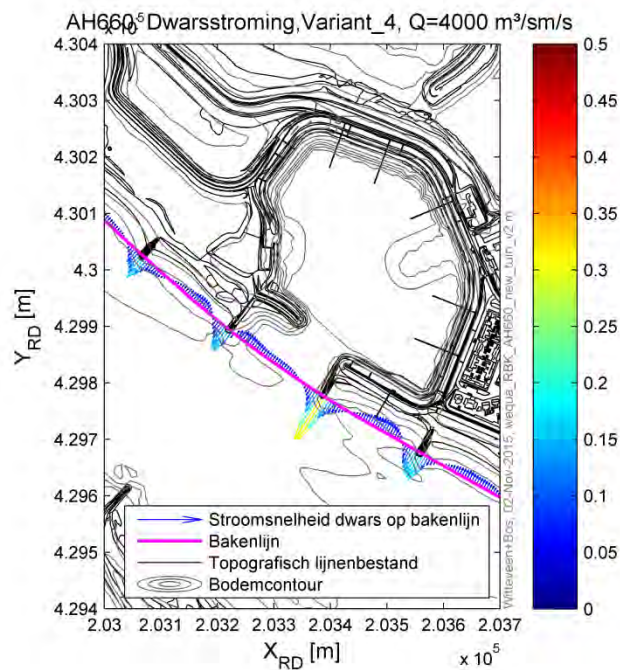


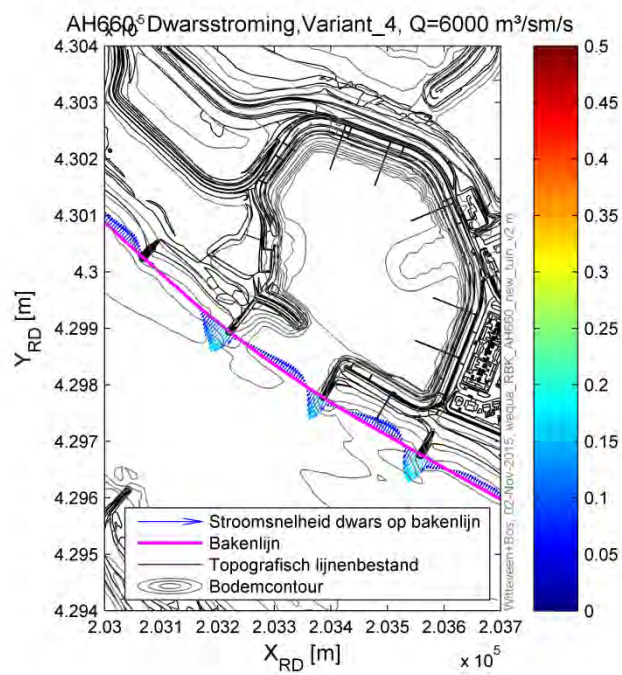
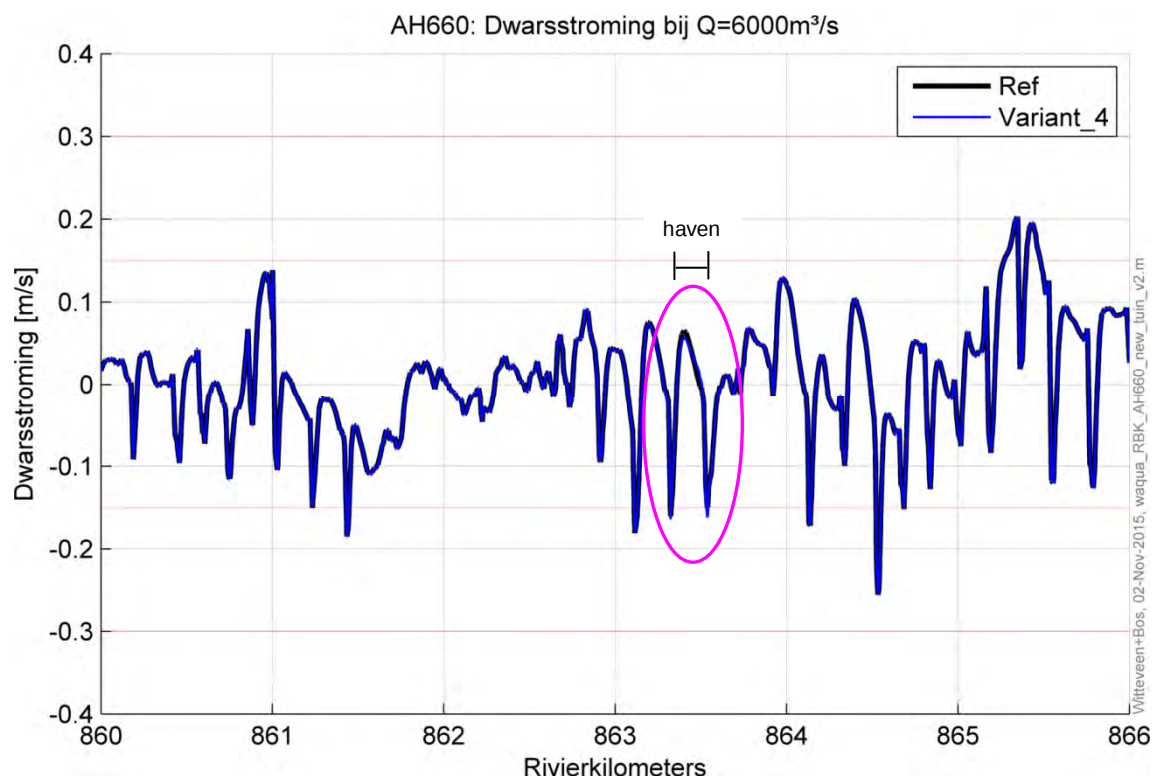
De baseline bodem- en ruwheidschematisatie van het referentieontwerp van de haven Spijk is weergegeven in bijlage III. De havendammen met een kruinhoogte < 10 m zijn als kade geschematiseerd. De havendammen met een talud flauwer dan 1:7 zijn als hoogteverschillijn geschematiseerd. Hiervoor is gekozen (na persoonlijke communicatie met Arjan Sieben) omdat ook bij taluds flauwer dan 1:7 de stroming loslaat en er dus energieverlies optreedt. Ook de oevers (talud 1:3) rondom de haven zijn als een hoogteverschillijn geschematiseerd. Het damwandscherm is geschematiseerd als een kade en is niet in de bodemhoogte meegenomen omdat het om een smal object gaat (kruinbreedte < 10 m). Voor de ruwheid van de havendammen en verharde oevers is steenbekleding aangehouden (Nikuradse ruwheid van 0,3 m). Afbeelding IV.2 toont de Waqua bodemschematisatie.

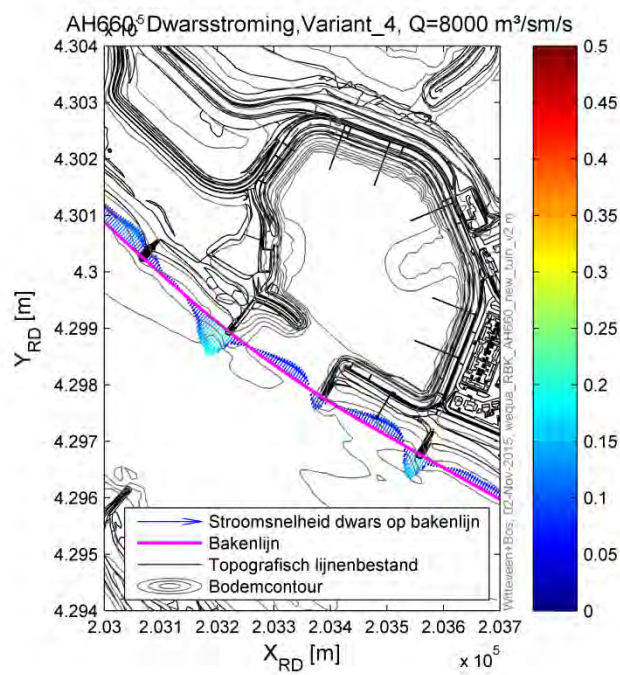
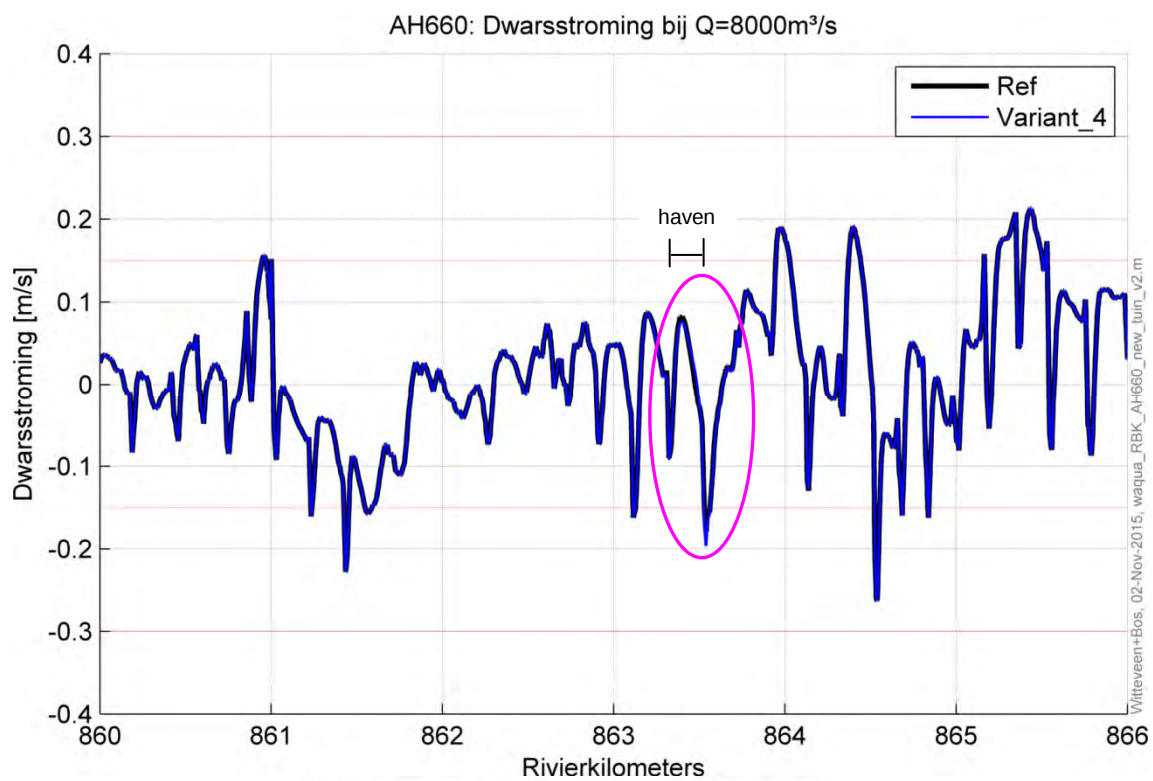
Afbeelding IV.2. Bodemschematisatie referentieontwerp Spijk

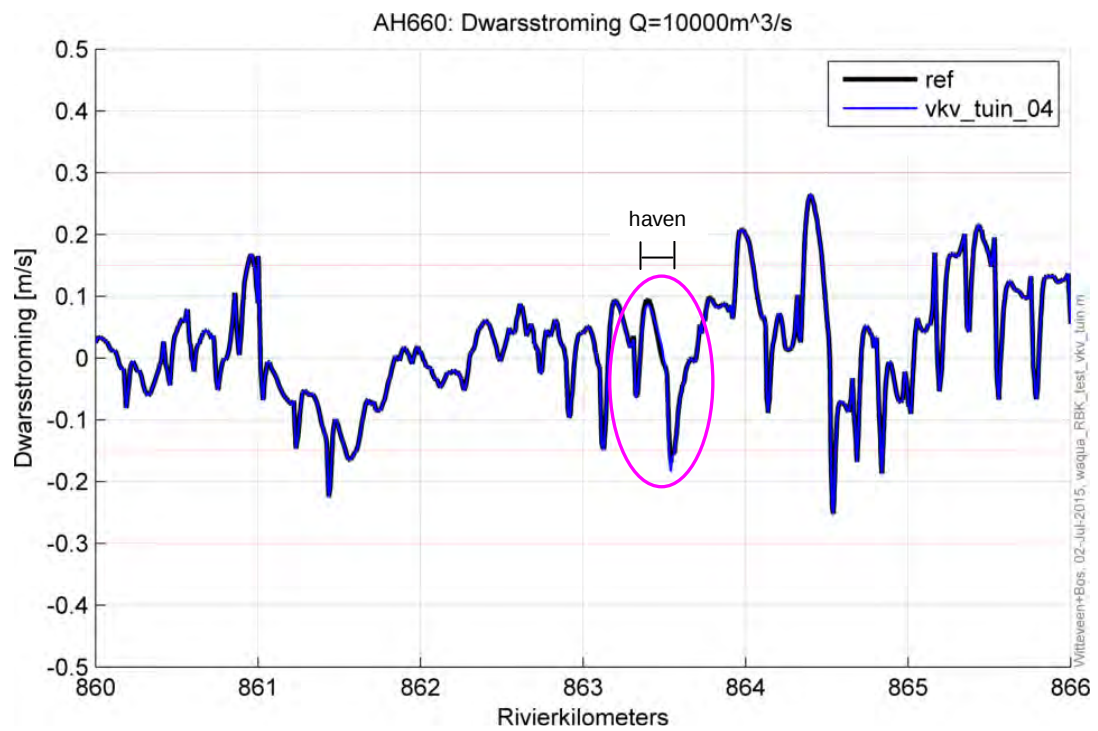
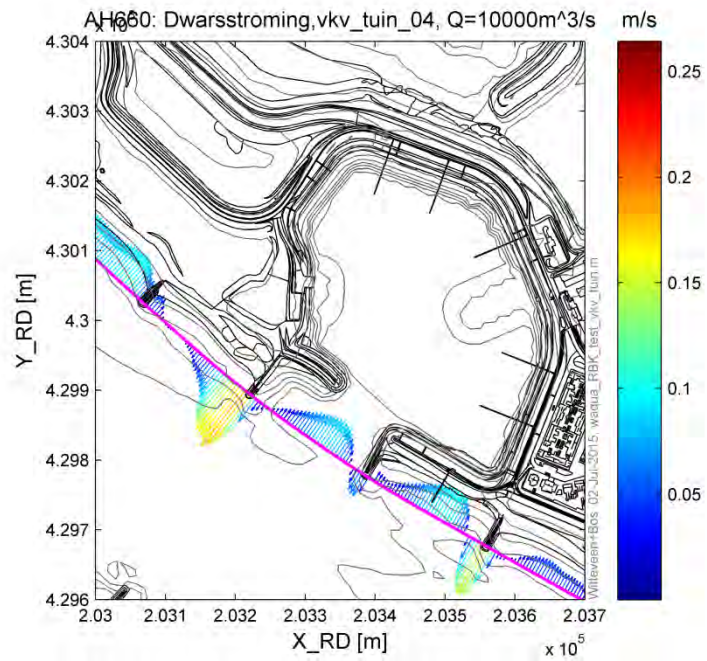


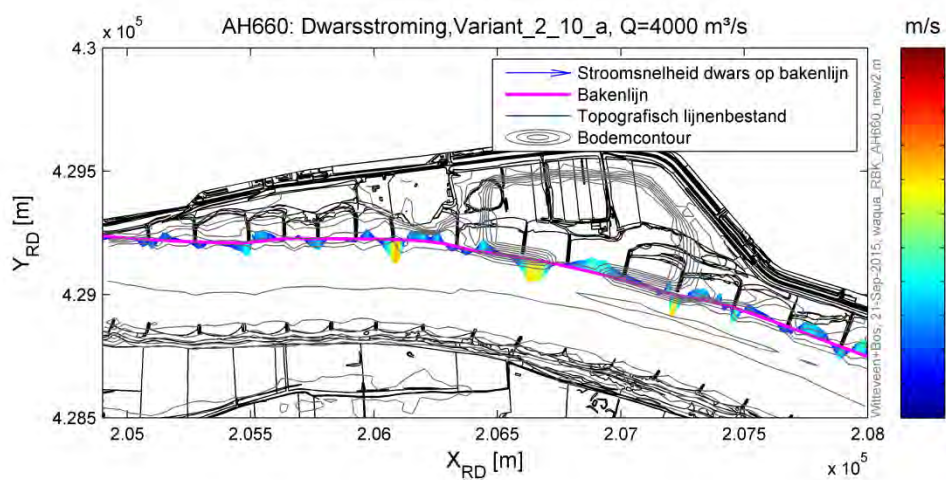
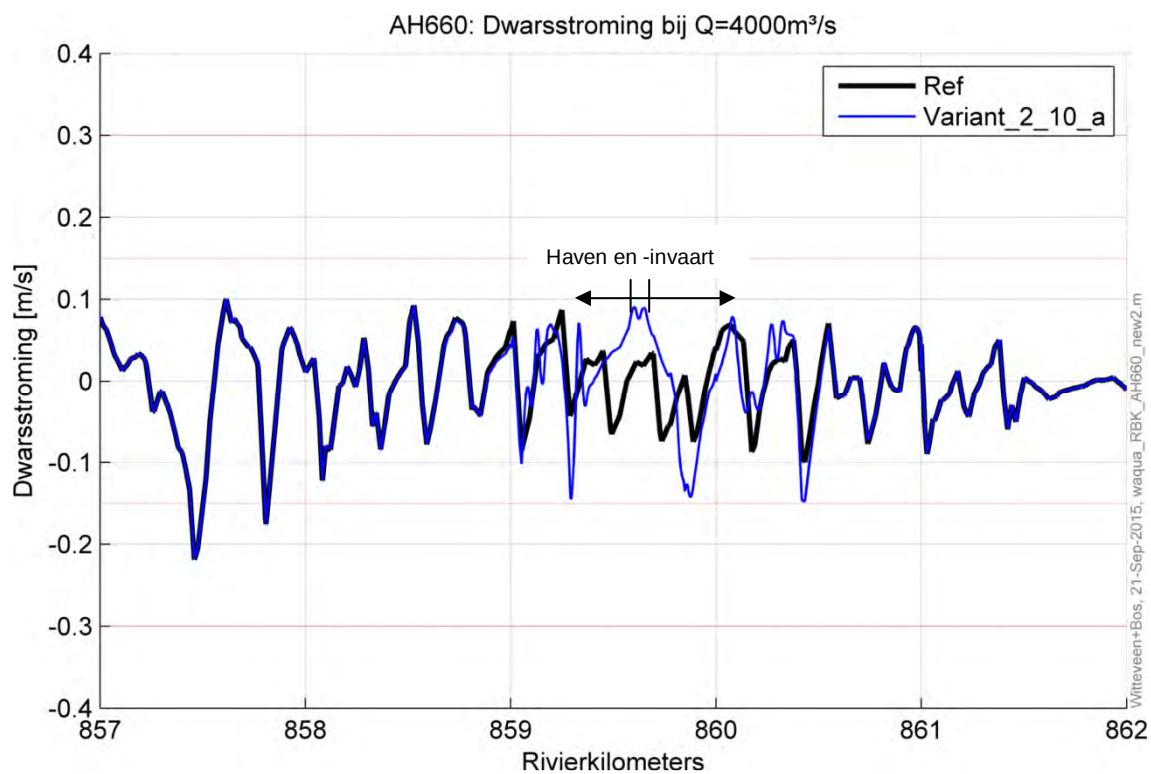
BIJLAGE V AFBEELDINGEN DWARSSTROMING VKV TUINDORP EN SPIJK

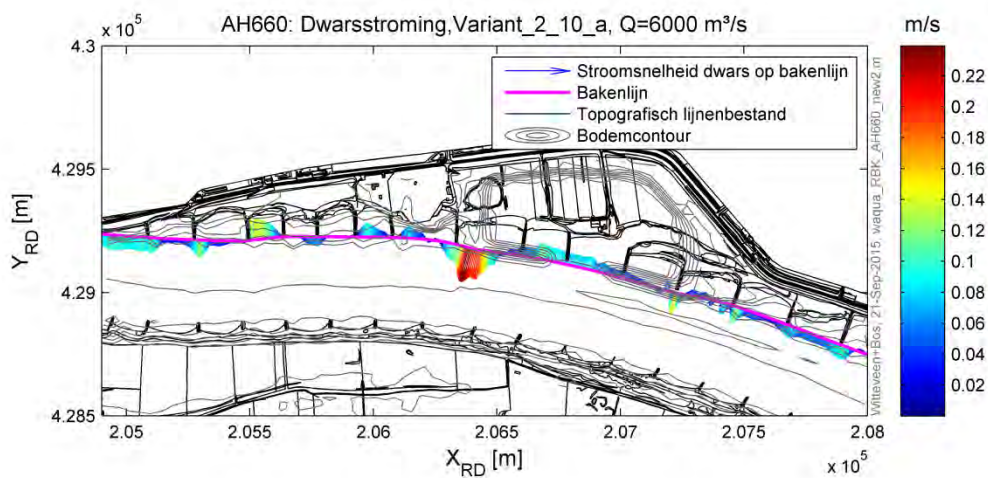
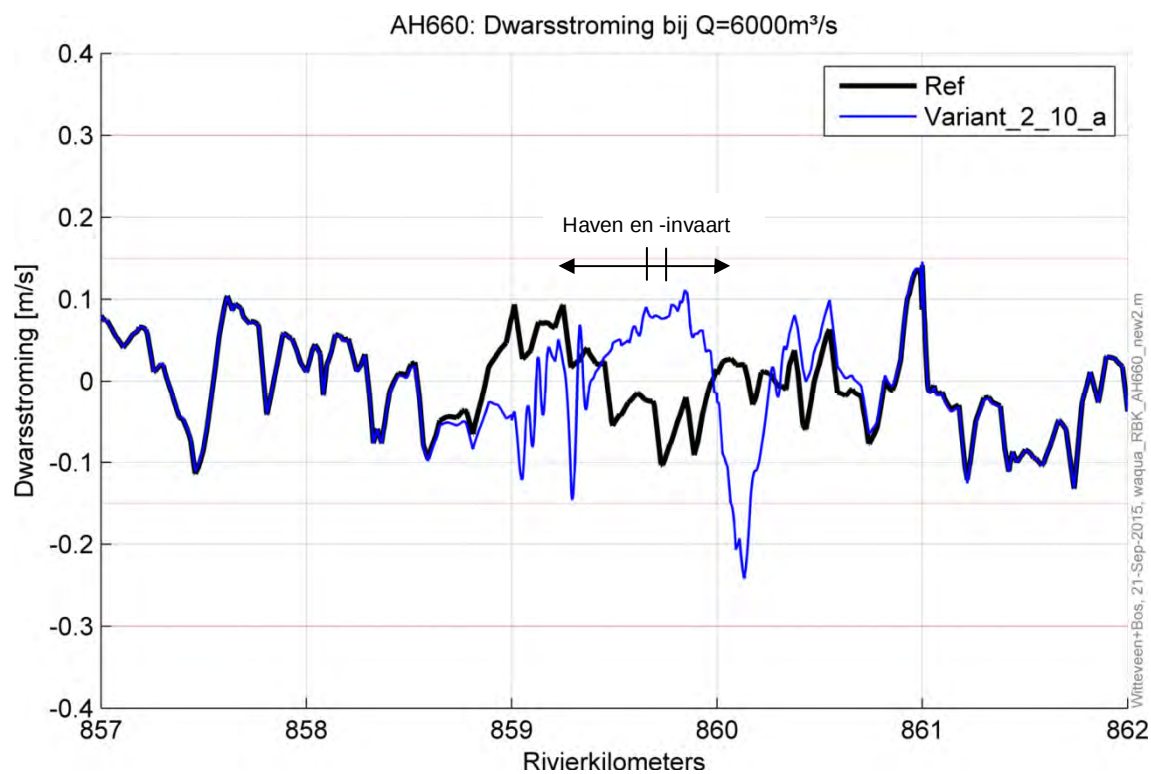


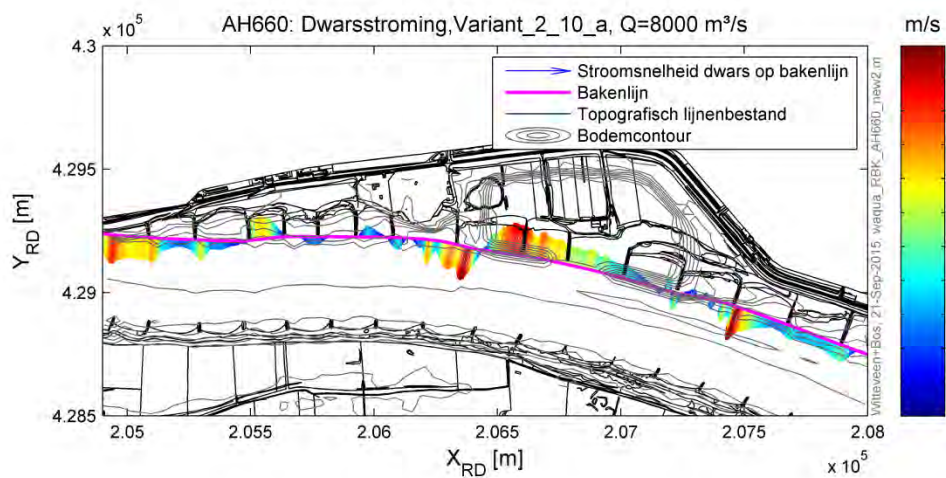
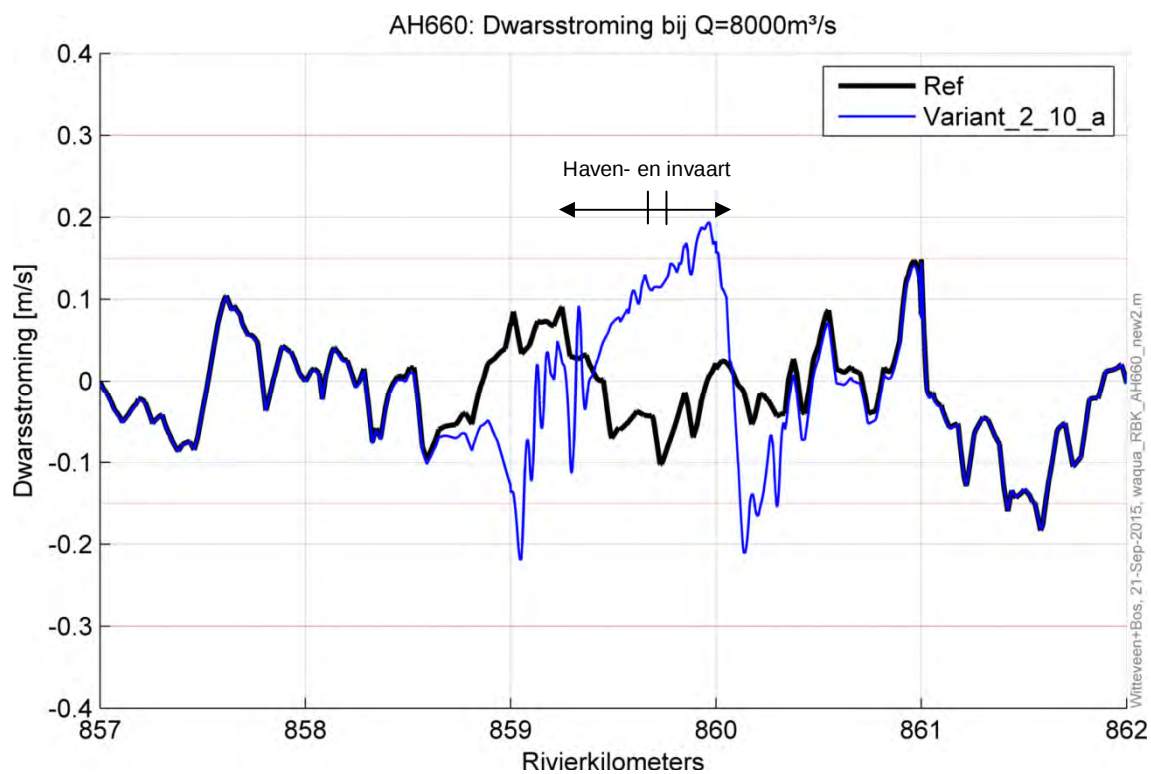


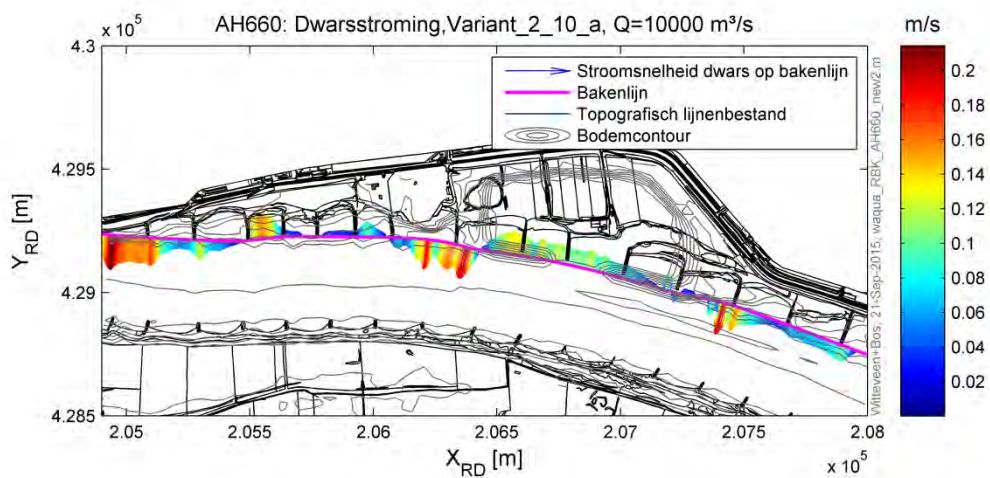
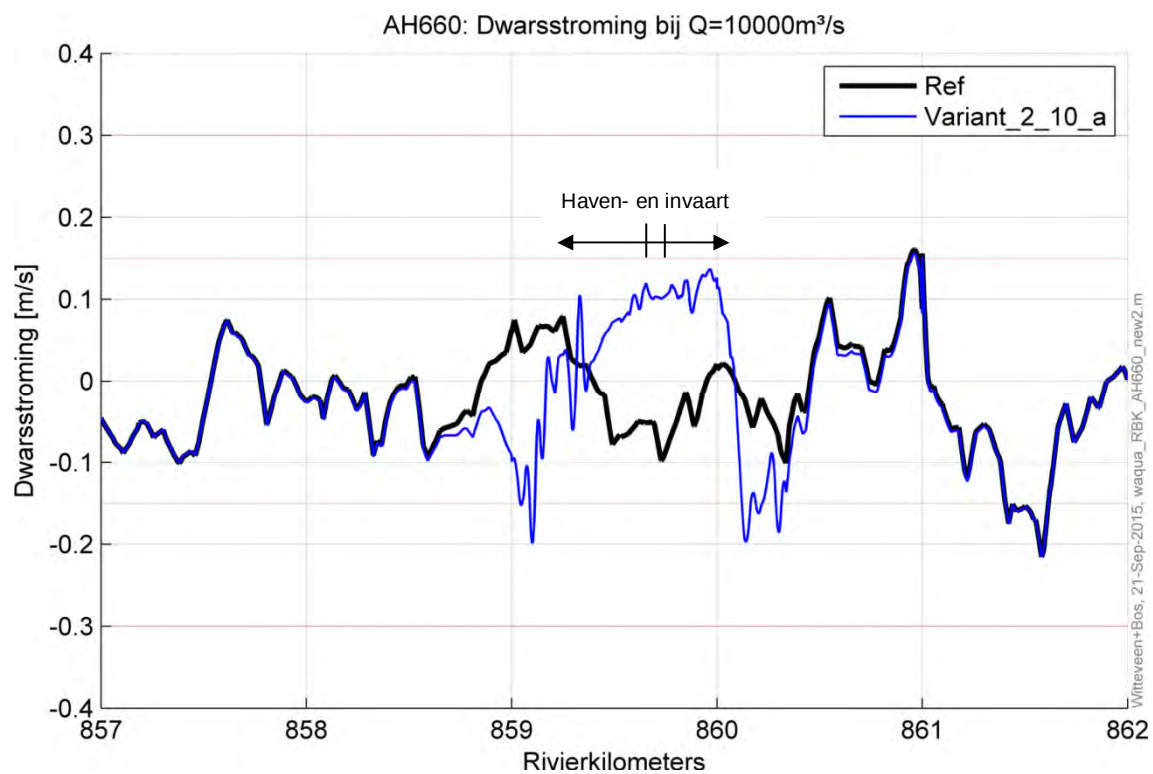












BIJLAGE VI NOTITIE OPTIMALISATIE INRICHTIINGSVARIANTEN

Witteveen+Bos
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
0570 69 79 11
www.witteveenbos.nl

onderwerp	optimalisatie West- en Oostvariant Spijk	
project	MIRT 3 Overnachtingshaven Lobith	
opdrachtgever	projectteam Overnachtingshaven Lobith	
projectcode	AH660-1	
referentie	AH660-1/15-005.736	
opgemaakt door	drs. M. Zuiderwijk	
goedgekeurd door	ir. M. Jansen	paraaf 
status	concept 02	
datum opmaak	3 april 2014	
bijlagen	I afbeeldingen bodemhoogte, waterstandverschillen en stroomsnelheden	

aan	projectteam Lobith	Jilles Schippers Menno Wilkens
kopie	Witteveen+Bos	Johan de Boer José van Nieuwkoop

1. INLEIDING

Om inzicht te krijgen in hoeverre de opstuwing van de varianten bij Spijk geminimaliseerd kan worden zijn optimalisaties uitgevoerd van de Westvariant. De verkregen inzichten zijn vervolgens gebruikt om voor de Oostvariant ook enkele optimalisatieslagen te maken. Daarnaast zijn de stroomsnelheden in de haven gepresenteerd om te bepalen of de optimalisatie niet leidt tot te veel hinder in de haven. De effecten op de dwarsstroming en morfologie zijn voor nu buiten beschouwing gelaten en worden in een separate notitie gepresenteerd.

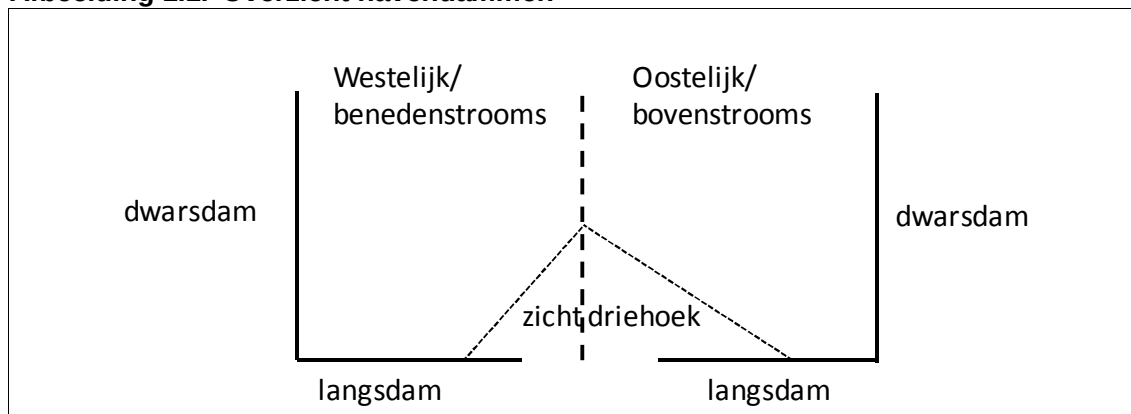
Tabel 1.1 geeft een overzicht van de uitgevoerde optimalisaties van de Westvariant. Afbeelding 1.1 geeft een overzicht van de verschillende havendammen bij Spijk. Tijdens de optimalisatie is gevarieerd met de havendamhoogten, talud van de dwarsdammen en oriëntatie van de dwarsdammen.

De optimalisaties zijn rechtstreeks in WAQUA geschematiseerd. Dit is een grovere manier van schematiseren dan de standaard methode waarbij de maatregel eerst in Baseline geschematiseerd wordt. De berekende waterstandveranderingen hebben daardoor een nauwkeurigheid van enkele millimeters. Dit is voldoende om effecten van optimalisaties onderling te kunnen vergelijken.

Deze notitie presenteert de resultaten van de optimalisaties. De afbeeldingen van de WAQUA bodemschematisaties, waterstandverschillen in het 2D vlak en de absolute stroomsnelheden zijn opgenomen in bijlage I.

Tabel 1.1. Overzicht optimalisaties

variant	bovenstrooms		benedenstrooms	
	kruinhoogte dwarsdam (m+NAP)	kruinhoogte langsdam (m+NAP)	kruinhoogte dwarsdam (m+NAP)	kruinhoogte langsdam (m+NAP)
2.1	16,0 (1:7 talud, volledige lengte)	niet aangepast ()	niet aangepast	buiten zichtdriehoek 13,35
2.2	16,0 (1:7 talud, volledige lengte)	niet aangepast ()	11,0 (1:7 talud)	11,0
2.3	huidige kribhoogte (ca.11,5)	niet aangepast ()	11,0 (1:7 talud, gedraaid)	buiten zichtdriehoek 13,35
2.4	huidige kribhoogte (ca.11,5)	buiten zichtdriehoek 16,0	11,0 (1:7 talud, gedraaid)	buiten zichtdriehoek 16,0
2.5_13m	13,0 (1:7 talud, volledige lengte)	buiten zichtdriehoek 16,0	11,0 (1:7 talud, gedraaid)	buiten zichtdriehoek 16,0
2.5_14m	14,0 (1:7 talud, volledige lengte)	buiten zichtdriehoek 16,0	11,0 (1:7 talud, gedraaid)	buiten zichtdriehoek 16,0
2.5_15m	15,0 (1:7 talud, volledige lengte)	buiten zichtdriehoek 16,0	11,0 (1:7 talud, gedraaid)	buiten zichtdriehoek 16,0
2.5_16m	16,0 (1:7 talud, volledige lengte)	buiten zichtdriehoek 16,0	11,0 (1:7 talud, gedraaid)	buiten zichtdriehoek 16,0
2.5_17m	17,0 (1:7 talud, volledige lengte)	buiten zichtdriehoek 16,0	11,0 (1:7 talud, gedraaid)	buiten zichtdriehoek 16,0
2.6_16m	16,0 (1:7 talud, volledige lengte)	buiten zichtdriehoek 16,0	11,0 (1:7 talud)	buiten zichtdriehoek 16,0
2.6_16m_12	16,0 (1:7 talud, volledige lengte)	buiten zichtdriehoek 16,0	12,0 (1:7 talud)	buiten zichtdriehoek 16,0
2.6_16m_13	16,0 (1:7 talud, volledige lengte)	buiten zichtdriehoek 16,0	13,0 (1:7 talud)	buiten zichtdriehoek 16,0
2.6_16m_14	16,0 (1:7 talud, volledige lengte)	buiten zichtdriehoek 16,0	14,0 (1:7 talud)	buiten zichtdriehoek 16,0
2.6_16m_14_v2	16,0 (1:7 talud, volledige lengte)	buiten zichtdriehoek 16,0	14,0 (1:7 talud) inclusief verwijderen overlaten in kribvak benedenstrooms	buiten zichtdriehoek 16,0
2.7	16 (tot 8 m+NAP 1:3, vanaf 8 m+NAP 1:7)	buiten zichtdriehoek 15,5	14,0 (tot 8 m+NAP 1:3, vanaf 8 m+NAP 1:7)	buiten zichtdriehoek 15,5

Afbeelding 1.1. Overzicht havendammen

2. RESULTATEN OPTIMALISATIES

2.1. Westvariant

Opstuwing

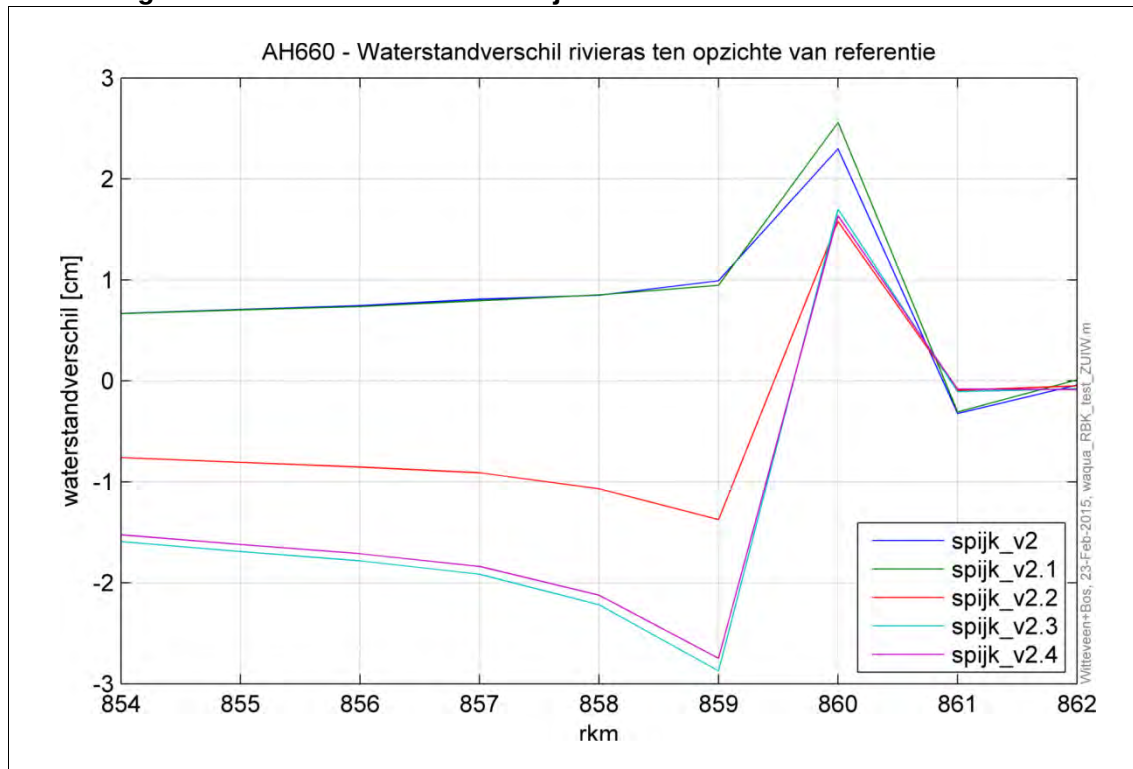
Afbeelding 2.1 toont de waterstandverschillen op de rivieras voor de verschillende varianten (zie tevens de samenvattende tabel 2.1):

- variant 2.1 bestaat uit het verflauwen van de taluds van de bovenstroomse dwarsdam naar 1:7, zonder daarbij de benedenstroomse dammen aan te passen. Hierdoor stroomt er meer water de haven in waardoor de opstuwing in bovenstroomse richting afneemt. De toegenomen stroming door de haven veroorzaakt bij de uitstroom benedenstrooms een hogere opstuwing: 2,6 cm in plaats van 2,3 cm bij de inrichtingsvariant (meer water door hetzelfde natte oppervlak zorgt voor hogere stroomsnelheden en daardoor meer energieverlies ter plaatse van de benedenstroomse dam);
- daarna is ook de benedenstroomse dwarsdam gedeeltelijk verflauwd (variant 2.2) en is deze samen met de langsdam verlaagd van 17 naar 11 m +NAP. Dit resulteert in een afname van de opstuwing bij rkm 860 van 2,3 naar 1,5 cm. In de bovenstroomse richting daalt de waterstand. Dit geeft extra ruimte om de bovenstroomse dwarsdam verder te verhogen waardoor de opstuwing benedenstroomse afneemt;
- de opstuwing in bovenstroomse richting neemt verder af als de bovenstroomse haven-dam verlaagd wordt zoals variant 2.3 aantoont. Hierin is ook de benedenstroomse dwarsdam gedraaid zodat deze haaks op de stroming staat;
- het effect van het verhogen van alleen de langsdam (variant 2.4) naar 16 m heeft vrijwel geen effect op de waterstand. Een hogere langsdam is gunstig vanuit nautisch oogpunt omdat dit minder overlast door golven en stroming in de haven oplevert.

Tabel 2.1. Samenvatting resultaten optimalisaties

variant	waterstandsverandering in rivieras (cm)		waterstandsverandering langs primair re kering rechteroever (cm)
	bovenstrooms (kmr 859)	benedenstrooms (kmr 860)	maximale toename
inrichtingsvariant	+1,0	+2,3	+5,3
2.1	+1,0	+2,6	+5,9
2.2	-1,3	+1,5	+3,0
2.3	-2,9	+1,5	+3,5
2.4	-2,8	+1,5	+3,6
2.5_13m	-2,6	+1,5	+3,3
2.5_14m	-2,5	+1,5	+3,2
2.5_15m	-2,1	+1,5	+2,9
2.5_16m	-1,3	+1,0	+2,2
2.5_17m	+1,7	0	+0,2
2.6_16m	-1,2	+1,0	+2,3
2.6_16m_12	-1,2	+1,0	+2,2
2.6_16m_13	-1,2	+1,0	+2,3
2.6_16m_14	-1,2	+1,0	+2,2
2.6_16m_14_v2	-1,2	+1,0	+2,3
2.7	-0,9	+1,5	+3,0

Afbeelding 2.1. Waterstandverschillen bij MHW



Naar aanleiding van de eerste serie optimalisatiesommen is verder geoptimaliseerd waarbij alleen de bovenstroomse dwarsdam stapsgewijs verhoogd is (van 13 naar 17 m +NAP). De benedenstroomse dwars- en langsdam zijn gehouden op 11 en 16 m +NAP). De dwarsdam heeft een flauw talud en is gedraaid (zoals variant 2.3).

Afbeelding 2.2 toont de waterstandverschillen van de optimalisatie van de bovenstroomse dwarsdam. Hieruit blijkt dat:

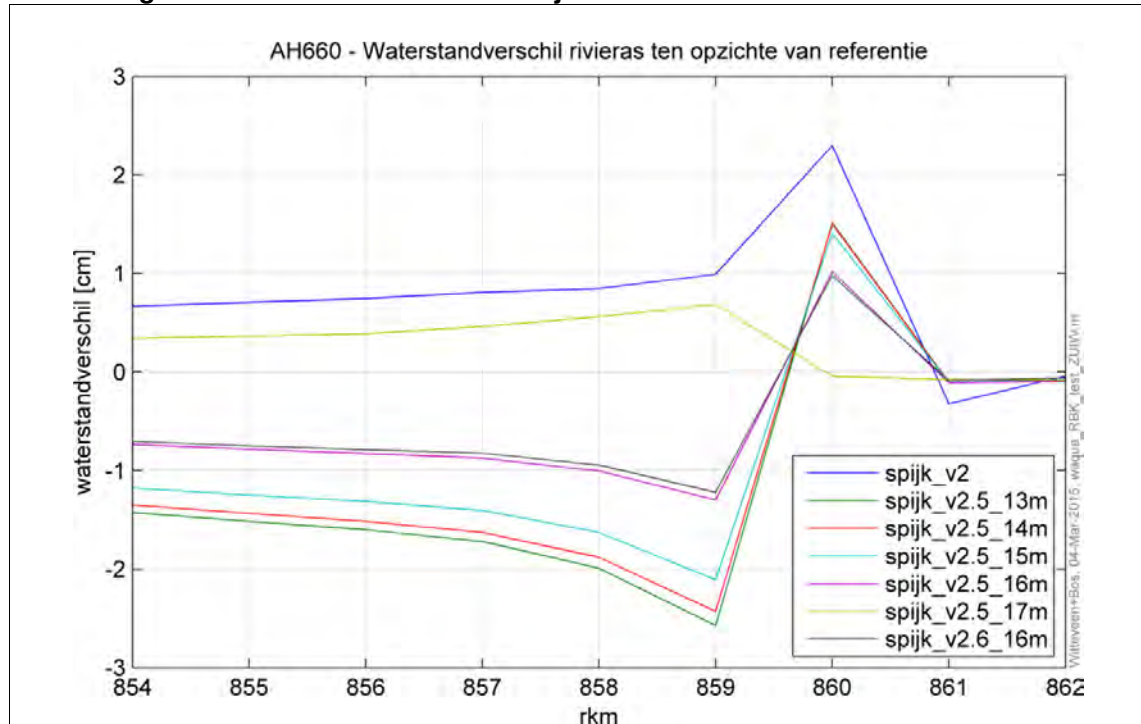
- in het algemeen een hogere bovenstroomse dwarsdam leidt tot een afname van de opstuwing bij rkm 860 maar ook tot een afname van de waterstanddaling in bovenstroomse richting;
- een bovenstroomse dwarsdamhoogte van 17 m +NAP resulteert in opstuwing in bovenstroomse richting en een minimale opstuwing ter plaatse van kmr 860 (afbeelding 2.3). Het omslagpunt tussen waterstanddaling en opstuwing in bovenstroomse richting ligt dus tussen een dwarsdamhoogte van 16 m +NAP en 17 m +NAP en is het optimum tussen opstuwing in bovenstroomse richting en de lokale opstuwing bij kmr 860;
- het draaien van de benedenstroomse dwarsdam richting de stroming heeft vrijwel geen effect;
- in alle varianten een opstuwing op de rivieras voorkomt;
- de opstuwing langs de Nederlandse primaire waterkering afneemt naarmate bovenstroomse dwarsdamhoogte toeneemt (waardoor de opstuwing bij rkm 860 afneemt). Bij een bovenstroomse en benedenstroomse dwarsdamhoogte van 16 m +NAP en 11 m +NAP bedraagt de opstuwing 2,2 cm (tabel 2.1). Bij een nog hogere bovenstroomse dwarsdam wordt de opstuwing langs de primaire waterkering in de haven lager maar neemt de opstuwing langs de primaire waterkering net bovenstrooms van de haven toe (afbeelding 2.5).

Afbeelding 2.3 toont de waterstandverschillen van de optimalisatie van de bovenstroomse dwarsdam. Hieruit blijkt dat naarmate de dwarsdamhoogte toeneemt ook de opstuwing in

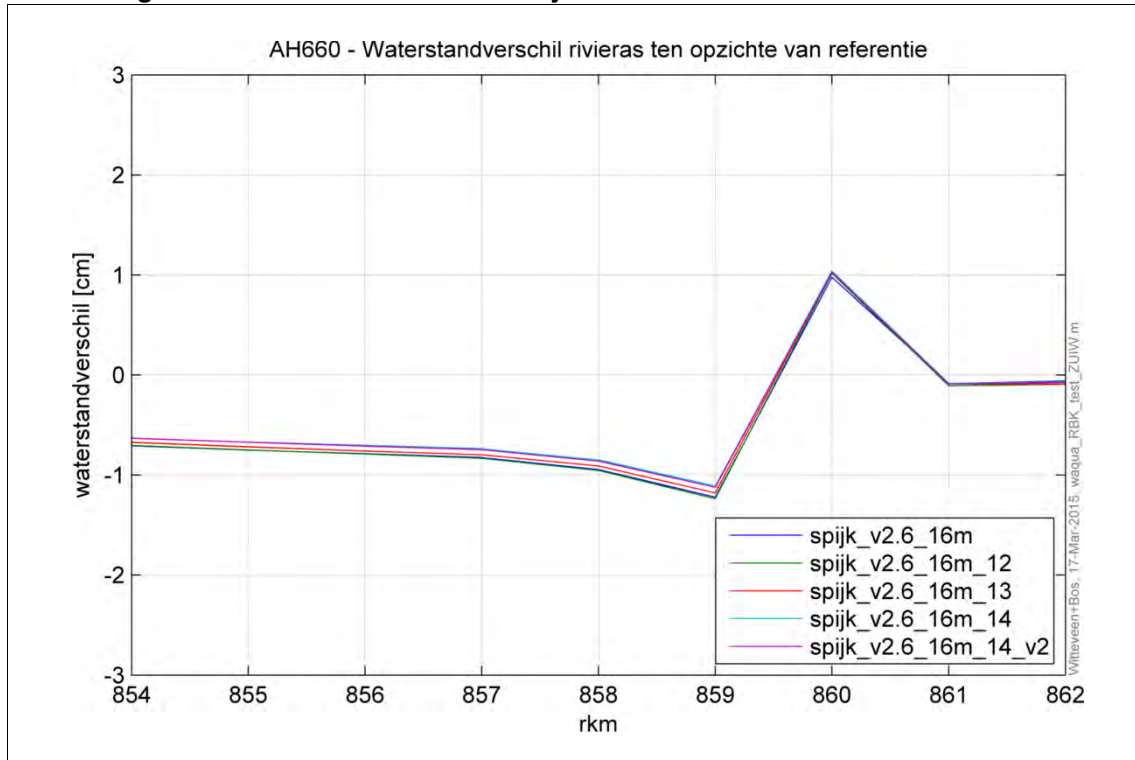
bovenstroomse richting toeneemt. Het effect van de verhoging is relatief beperkt maar wordt waarschijnlijk enkele millimeters onderschat.

Uit afbeelding 2.5 blijkt dat de overlast door stroming in de haven bij een bovenstroomse dwarsdamhoogte van 17 m +NAP beperkt is. De stroomsnelheid in de haven is over het algemeen lager dan 0,5 m/s. In de zuidwest hoek zijn de stroomsnelheden het hoogst en bedragen maximaal 1 m/s.

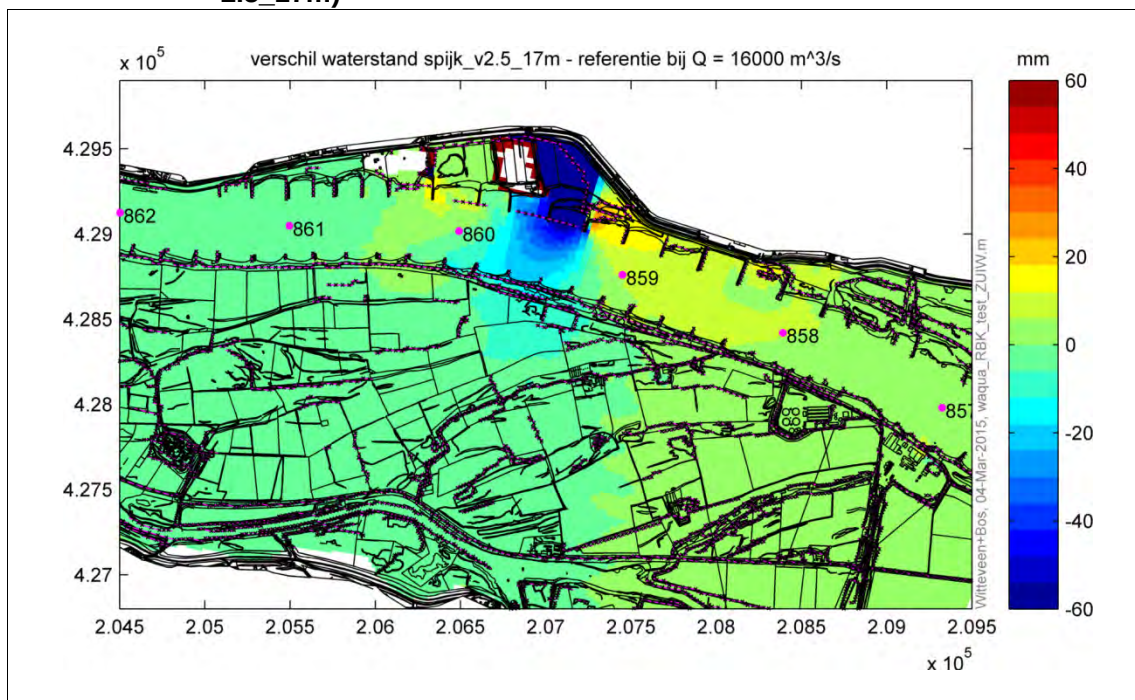
Afbeelding 2.2. Waterstandverschillen bij MHW



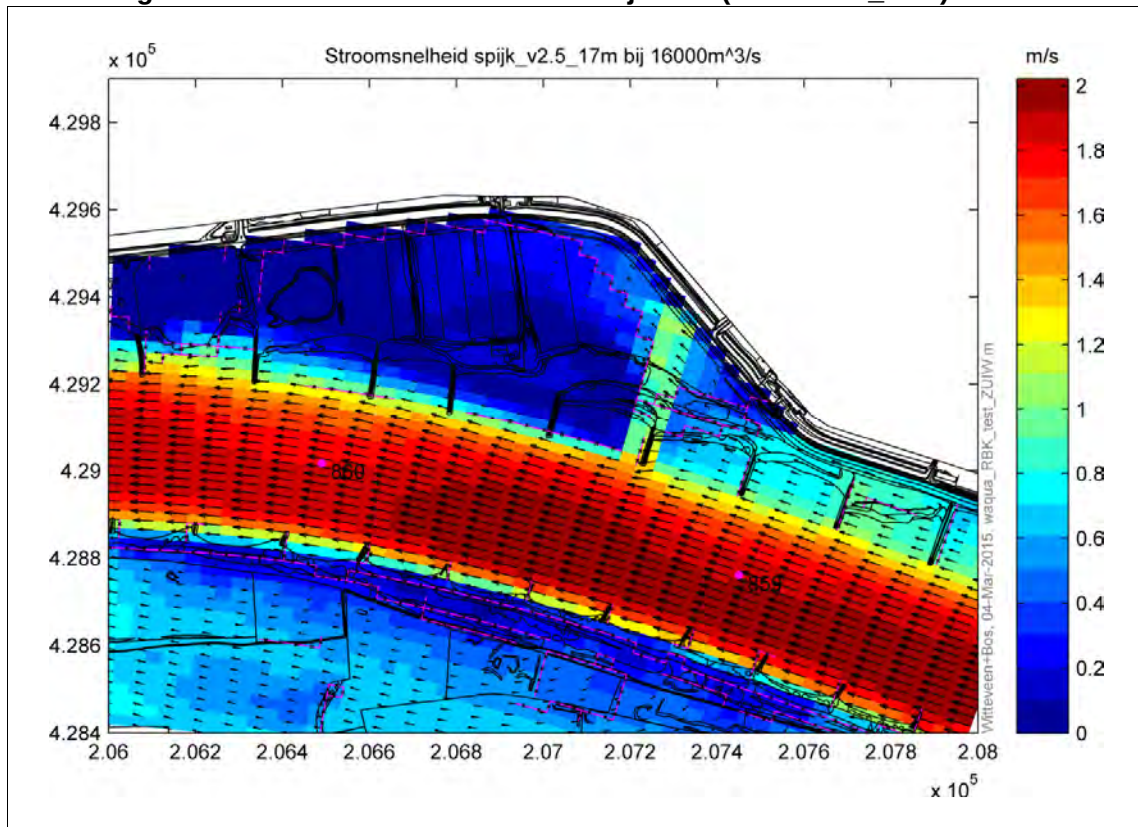
Afbeelding 2.3. Waterstandverschillen bij MHW



Afbeelding 2.4 Ruimtelijk beeld van het waterstandverschil bij MHW (variant 2.5_17m)



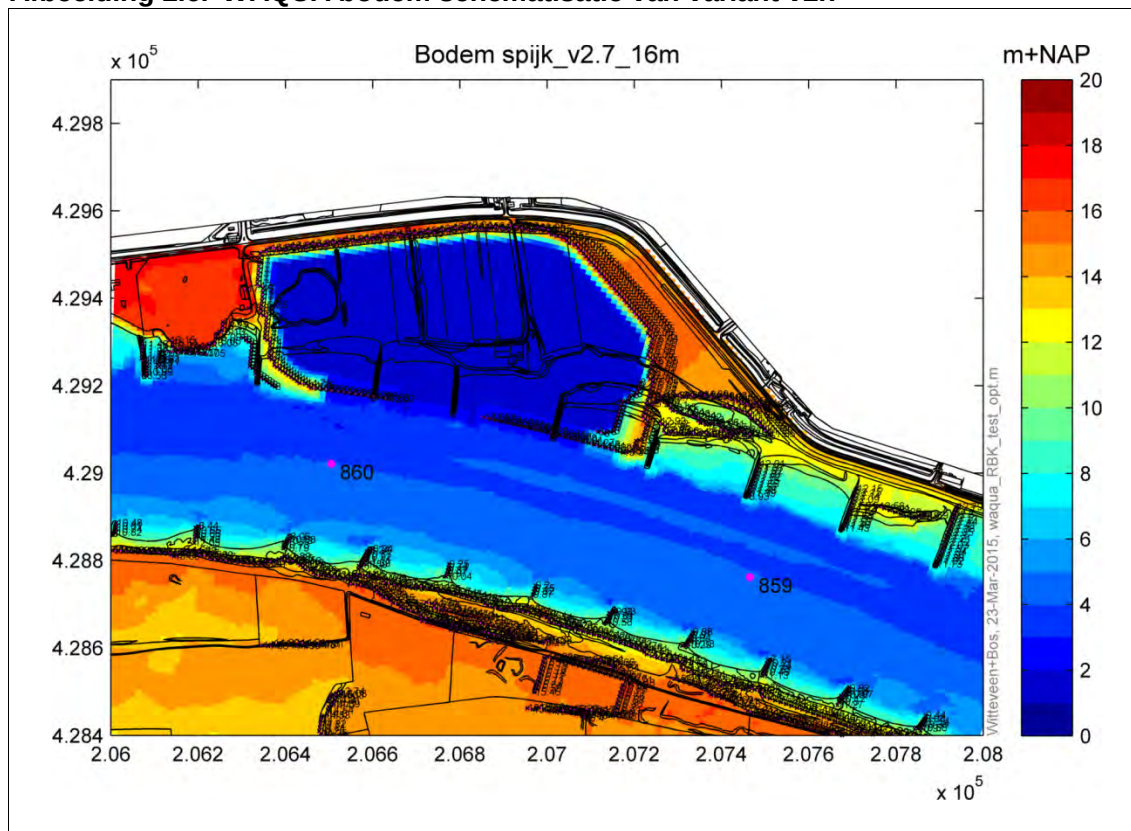
Afbeelding 2.5. Stroomsnelheid in de haven bij MHW (variant 2.5_17m)



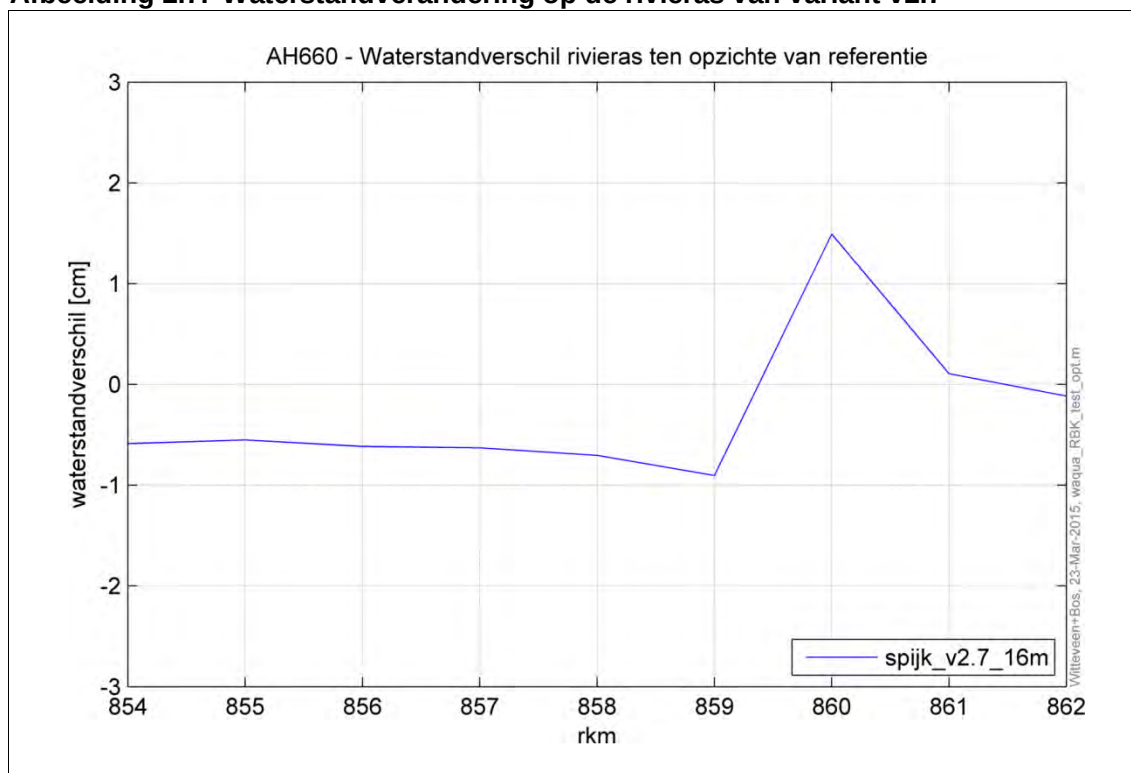
Naast de bovengenoemde optimalisaties waarbij het talud van de dwarsdammen over de hele lengte 1:7 is aangenomen, is ook gekeken naar een variant waarbij het gedeelte van het benedenstroomse talud boven 8 m +NAP 1:7 is en daaronder 1:3. Voordeel hiervan is dat dit minder ruimte in beslag neemt. Afbeelding 2.6 toont de bodemschematisatie in WAQUA. De variant is eerst in Baseline geschematiseerd waaruit vervolgens een WAQUA model met een fijn grid gegenereerd is. Afbeelding 2.6 toont de schematisatie in WAQUA. Dit model is voldoende nauwkeurig om de knik in het talud goed te kunnen schematiseren alsmede de waterbeging over de dammen.

De waterstandverandering op de rivieras is weergegeven in afbeelding 2.7. Te zien is dat bij rkm 860 de opstuwing 1,5 cm bedraagt terwijl in bovenstroomse richting de waterstand afneemt. De opstuwing bij rkm 860 is circa 0,5 cm hoger vergeleken met variant 2.6_16m_14_v2 (zelfde dwarsdamhoogte maar over de volledige taludlengte 1:7). Dit is een vrij groot effect waardoor deze variant niet positief beoordeeld wordt.

Afbeelding 2.6. WAQUA bodem schematisatie van variant v2.7



Afbeelding 2.7. Waterstandverandering op de rivieras van variant v2.7



Conclusie: De lokale opstuwing (bij krm 860) en opstuwing in bovenstroomse richting zijn minimaal bij een bovenstroomse dwarsdamhoogte tussen 16 - 17 m +NAP en een benedenstroomse dwarsdamhoogte van circa 11 m + NAP. Beide dwarsdammen dienen een talud te hebben die flauwer zijn dan 1:7. De langsdammen buiten de zichtdriehoek kunnen op 16 m +NAP worden aangelegd om zo overlast van golven en stroming in de haven te beperken. Na de optimalisatie blijft er naar verwachting nog een resteffect over van ongeveer enkele mm's.

2.2. Oostvariant

De inzichten die zijn verkregen tijdens de optimalisatie van de Westvariant zijn gebruikt om de Oostvariant te optimaliseren. De beschouwde optimalisaties zijn samengevat in tabel 2.2 en de resultaten in tabel 2.3. Afbeelding 2.8 toont de waterstandverandering bij MHW op de rivieras.

Uit tabel 2.3 en afbeelding 2.8 kan het volgende worden opgemaakt:

- verflauwen van de taluds naar 1:7 en verlagen benedenstroomse dam leidt tot minder opstuwing dan de inrichtingsvariant (v1.1) terwijl bij krm de opstuwing licht toeneemt. De toename van de benedenstroomse opstuwing wordt veroorzaakt omdat er meer water over de dwarsdam en vuilstort stroomt dan in de referentiesituatie en de inrichtingsvariant waardoor opstuwing ontstaat (afbeelding 2.6);
- verlagen van de kruinhoogte van de benedenstroomse dwarsdam ter hoogte van de vuilstort van 16 naar 14 m + NAP heeft een zeer klein effect (< 1 mm) op de opstuwing bij krm 860 (vergelijk v1.2 met v1.2_opt1);
- verhogen van de bovenstroomse dwarsdam van 16 m +NAP naar 17 m +NAP (v1.2_opt2) resulteert in een afname van de opstuwing bij krm 860 ten opzichte van v1.1 (inrichtingsvariant) met ongeveer 1,5 mm.

De stroomsnelheden in de haven nemen toe richting het zuiden van de haven en zijn maximaal 1 m/s in de zuidwest hoek (afbeelding 2.7).

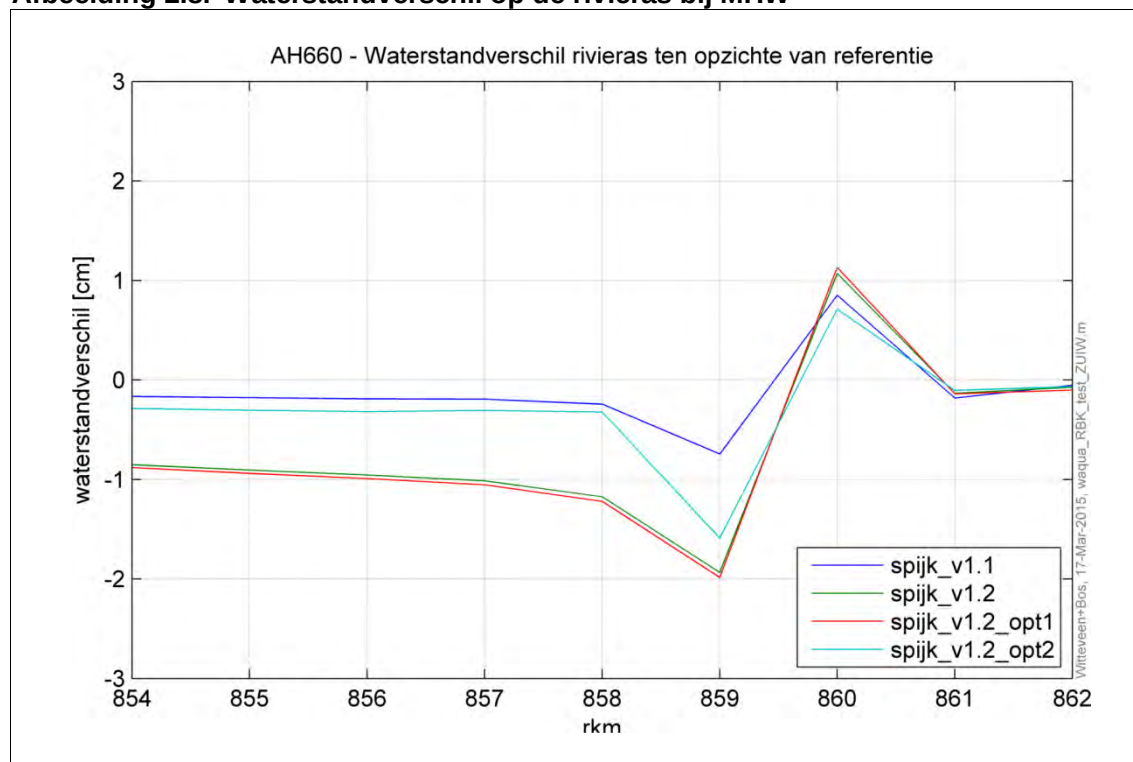
Tabel 2.2. Beschouwde optimalisaties Oost

variant	bovenstrooms		benedenstrooms	
	kruinhoogte dwarsdam (m+NAP)	kruinhoogte langsdam (m+NAP)	kruinhoogte dwarsdam (m+NAP)	kruinhoogte langsdam (m+NAP)
1.1 (inrichtingsvariant)	15,2 - 16,0	buiten zichtdriehoek 15,20	16,0	buiten zichtdriehoek 15,20 - 16,0
1.2	16,0 (1:7 talud)	buiten zichtdriehoek 16,0	ten zuiden vuilstort: 11,0 (1:7 talud) vuilstort: 16,0	buiten zichtdriehoek 16,0
1.2_opt1	16,0 (1:7 talud)	buiten zichtdriehoek 16,0	ten zuiden vuilstort: 11,0 (1:7 talud) vuilstort: 14,0	buiten zichtdriehoek 16,0
1.2_opt2	17,0 (1:7 talud)	buiten zichtdriehoek 16,0	ten zuiden vuilstort: 11,0 (1:7 talud) vuilstort: 14,0	buiten zichtdriehoek 16,0

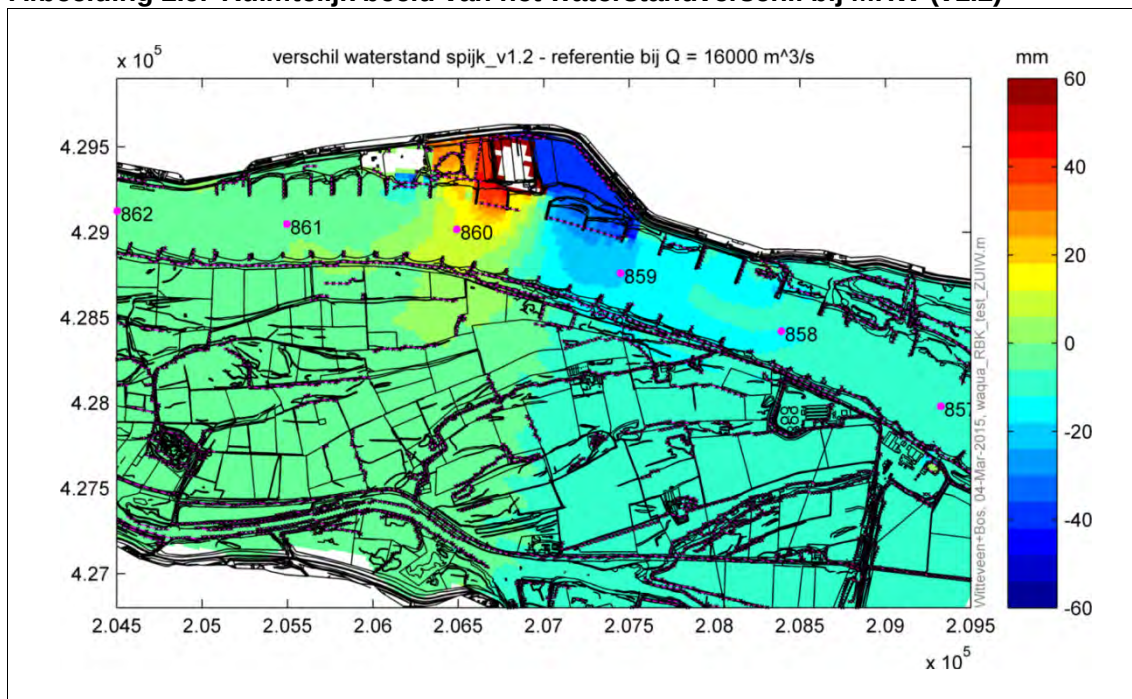
Tabel 2.3. Samenvatting resultaten Oost

variant	waterstandsverandering in rivieras (cm)		waterstandsverandering langs primair re kering rechteroever (cm)
	bovenstrooms (kmr 859)	benedenstrooms (kmr 860)	maximale toename
1.1	-0,8	+0,9	+5,0
1.2	-1,9	+1,1	+4,0
1.2_opt1	-2,0	+1,2	+4,0
1.2_opt2	-1,6	+0,7	+2,9

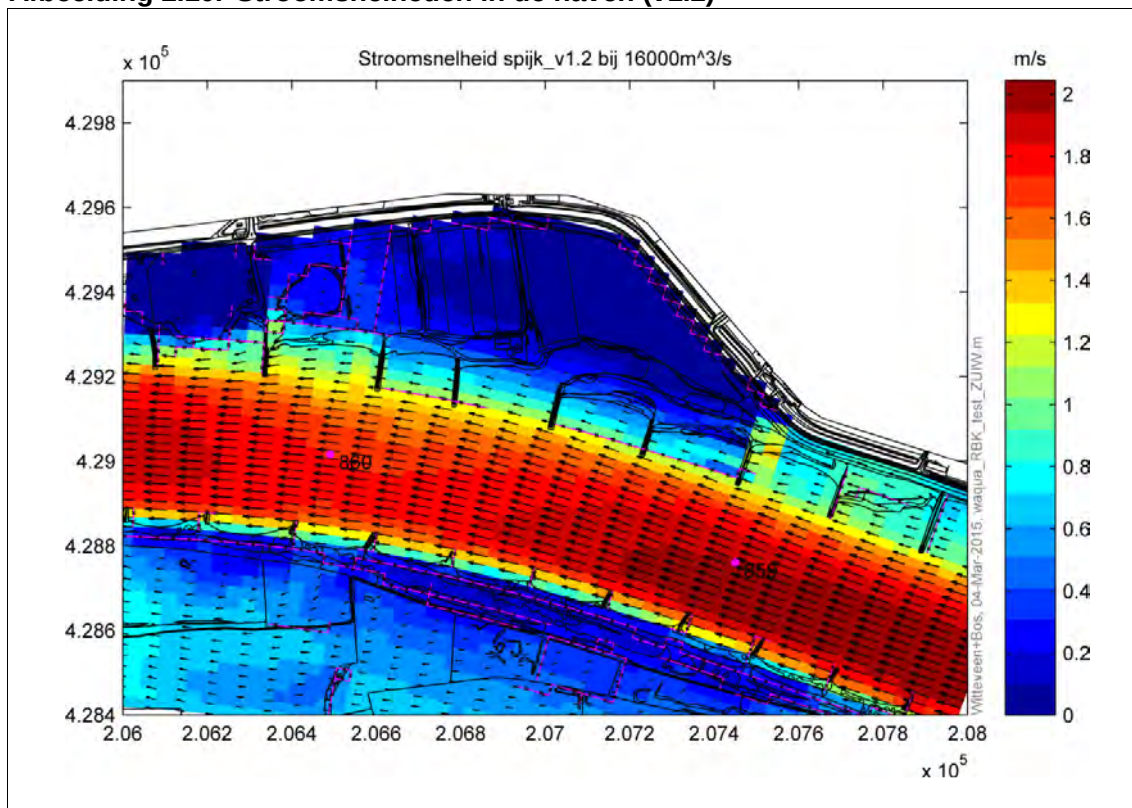
Afbeelding 2.8. Waterstandverschil op de rivieras bij MHW



Afbeelding 2.9. Ruimtelijk beeld van het waterstandverschil bij MHW (v1.2)



Afbeelding 2.10. Stroomsnelheden in de haven (v1.2)

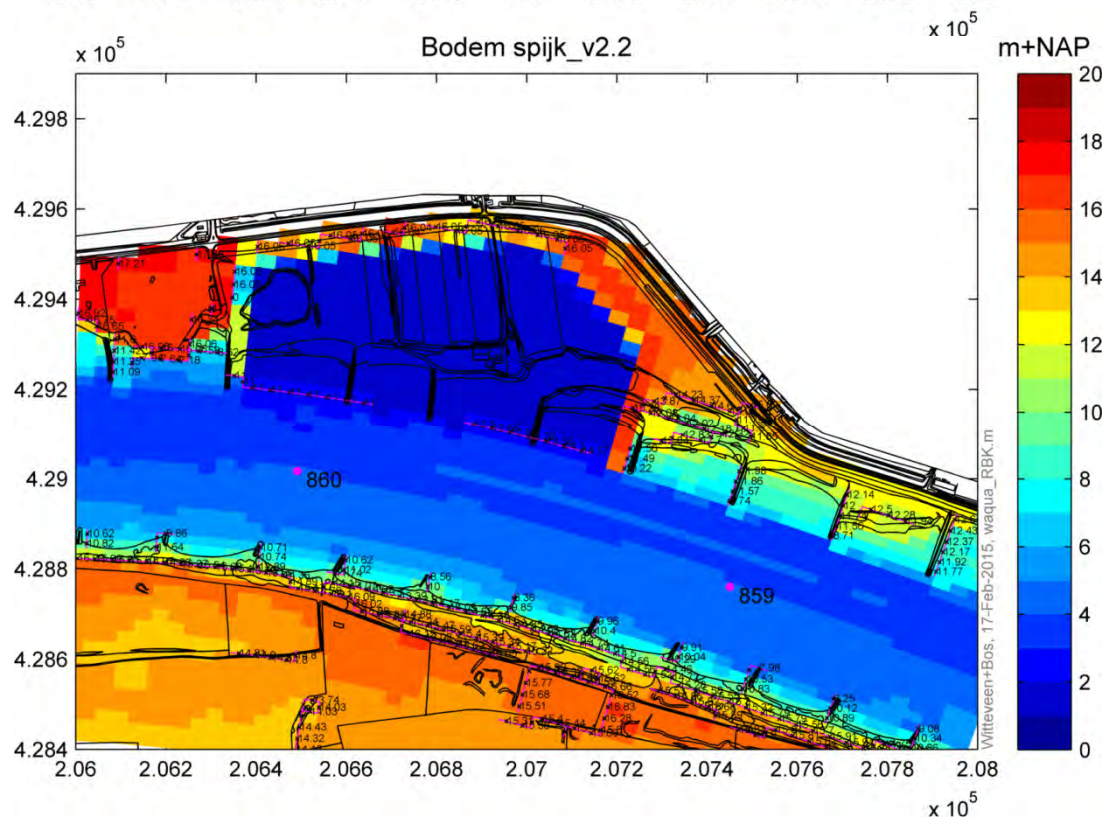
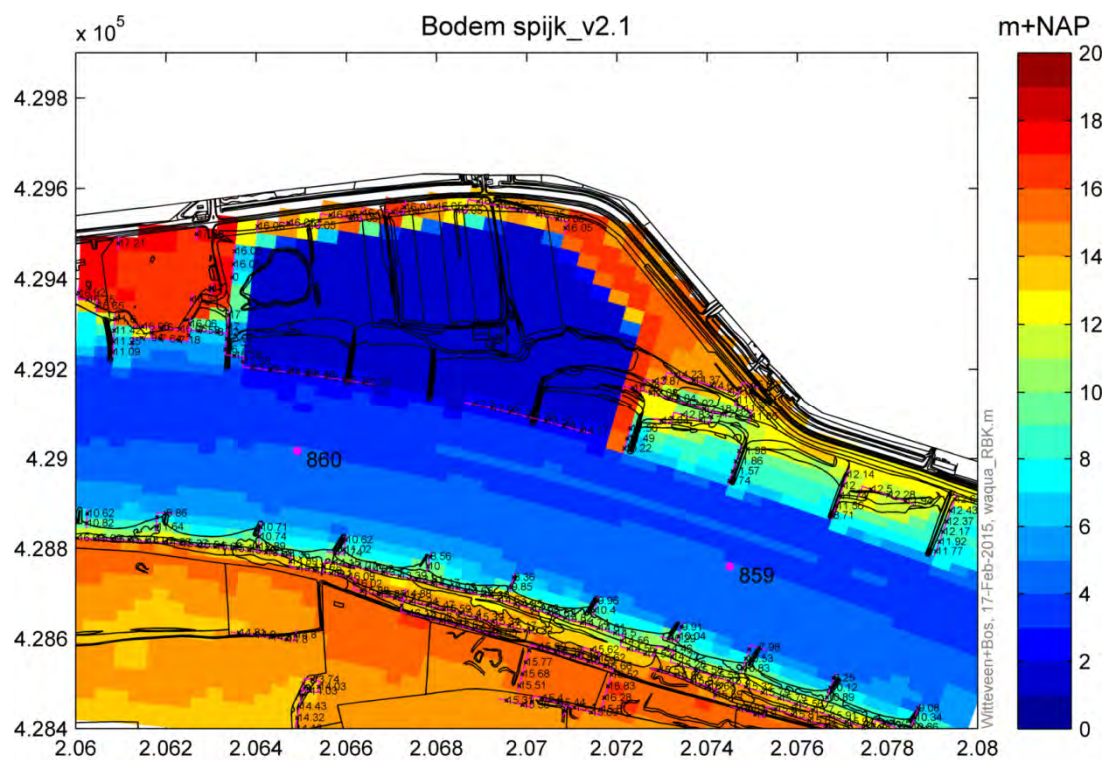


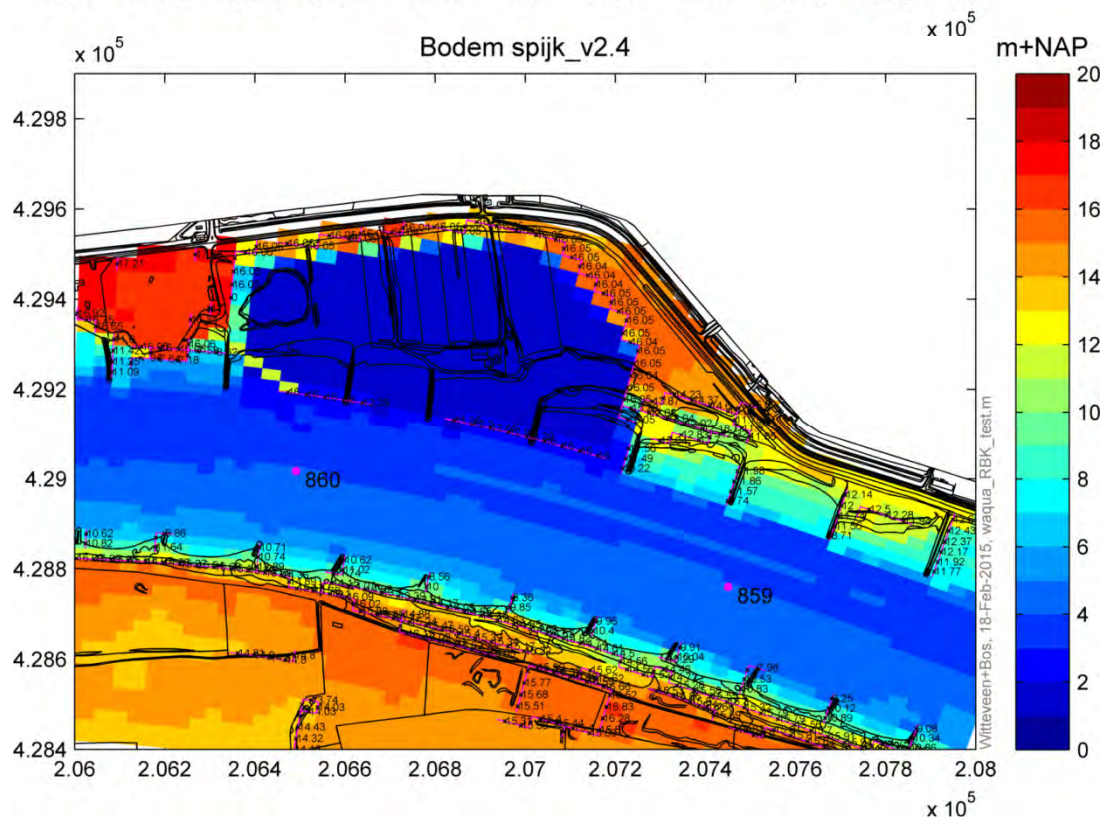
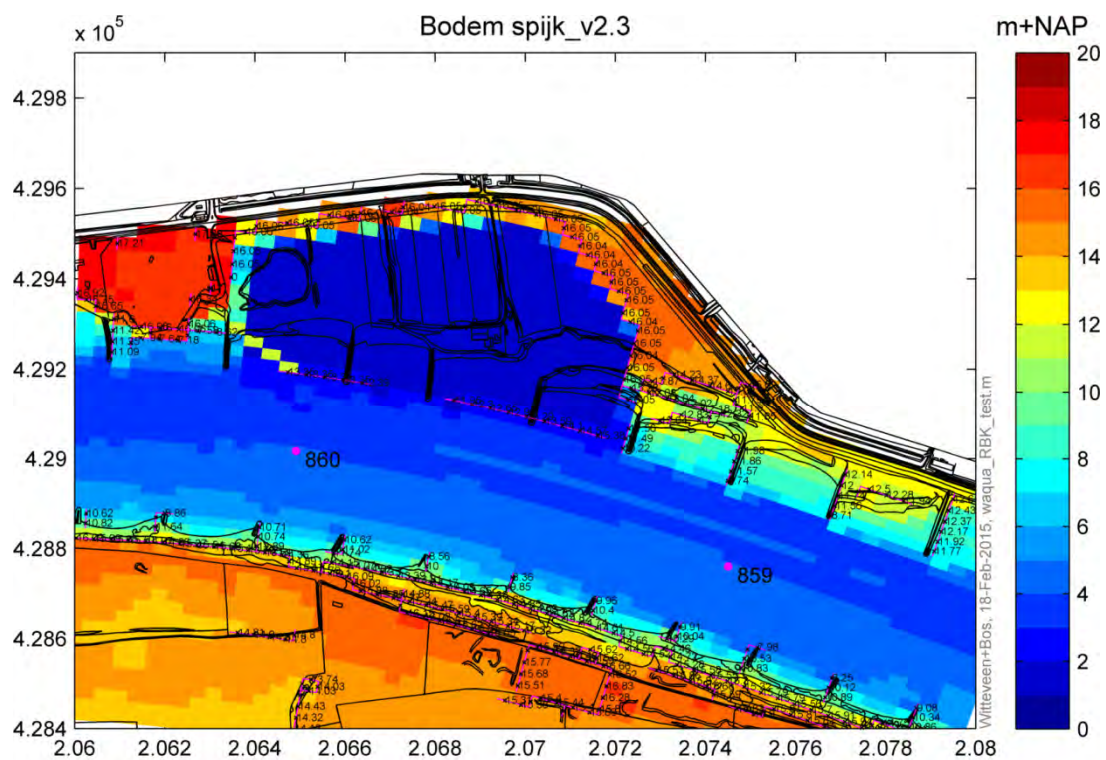
Conclusie: Op basis van expert judgement wordt geconcludeerd dat de opstuwing van de Oostvariant kan worden beperkt door de taluds van de dwarsdammen (alleen benedenstroomse talud) te verflauwen en door de bovenstroomse dwarsdam te verhogen naar circa 17 m +NAP. De kruinhoogte van de benedenstroomse dwarsdam ter hoogte van de vuil-

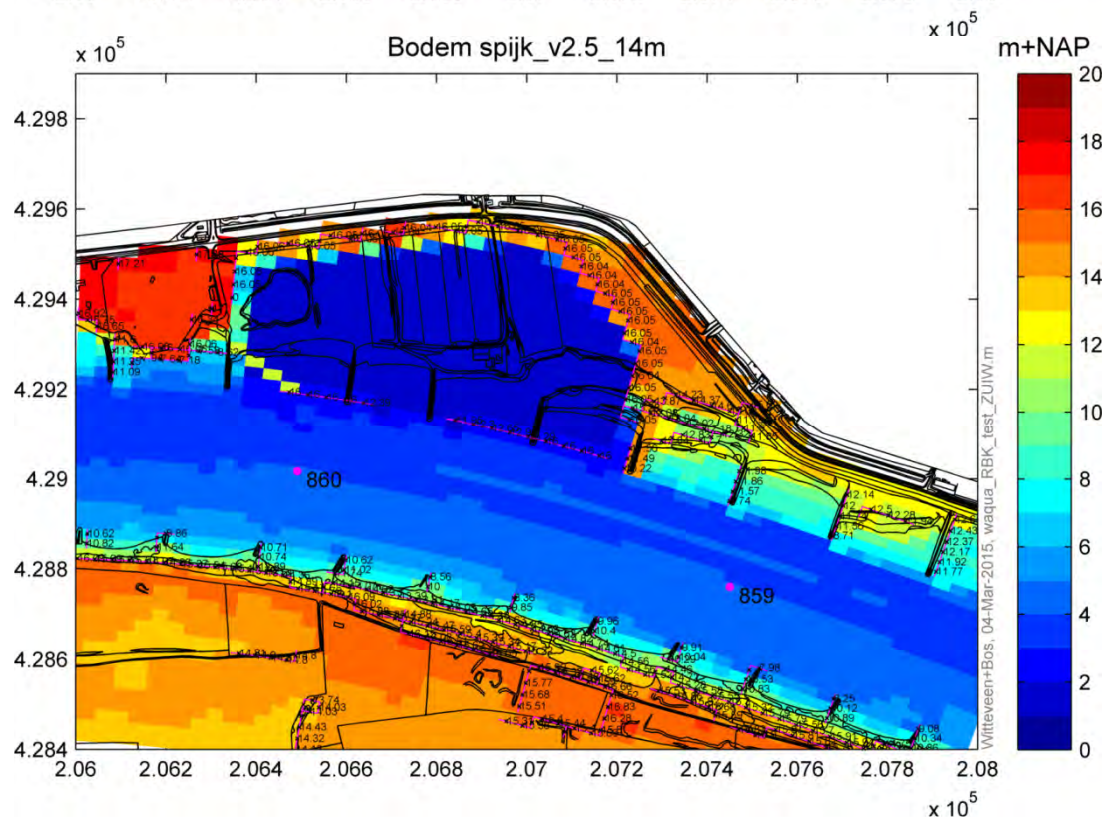
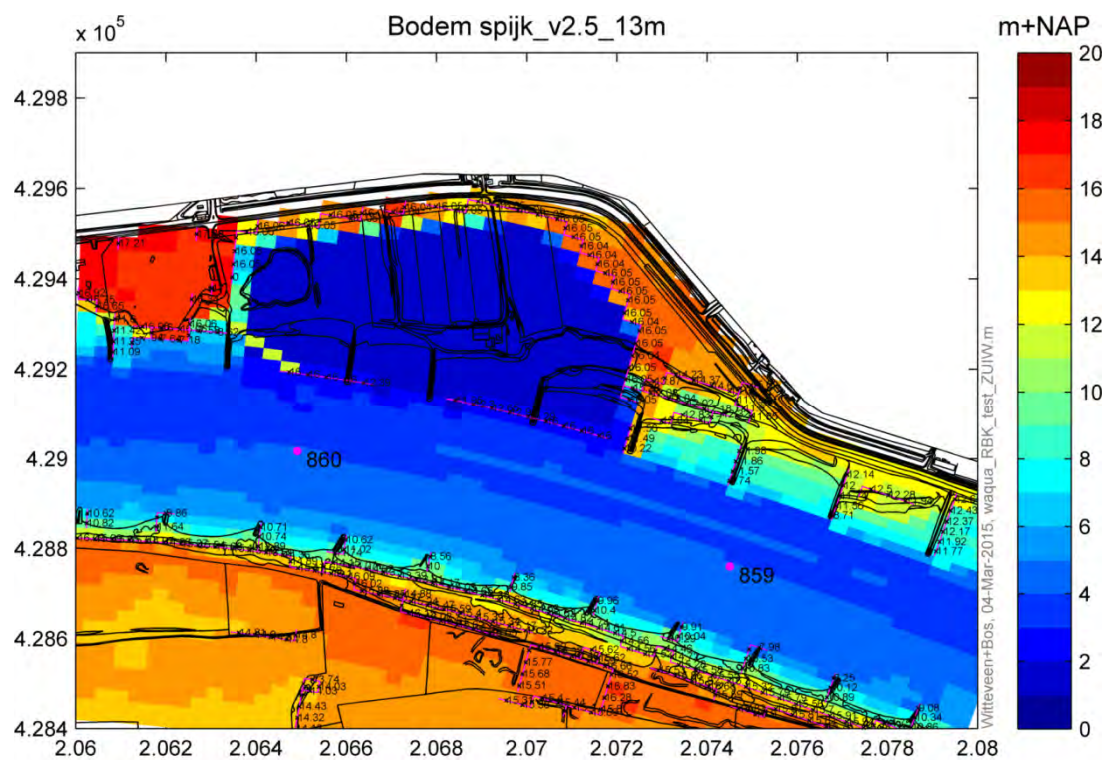
stort dient de huidige maaiveldhoogte te hebben. Het gedeelte ten zuiden van de vuilstort, waar in de huidige situatie een krib ligt, dient de kruinhoogte ongeveer 11 m +NAP te dragen.

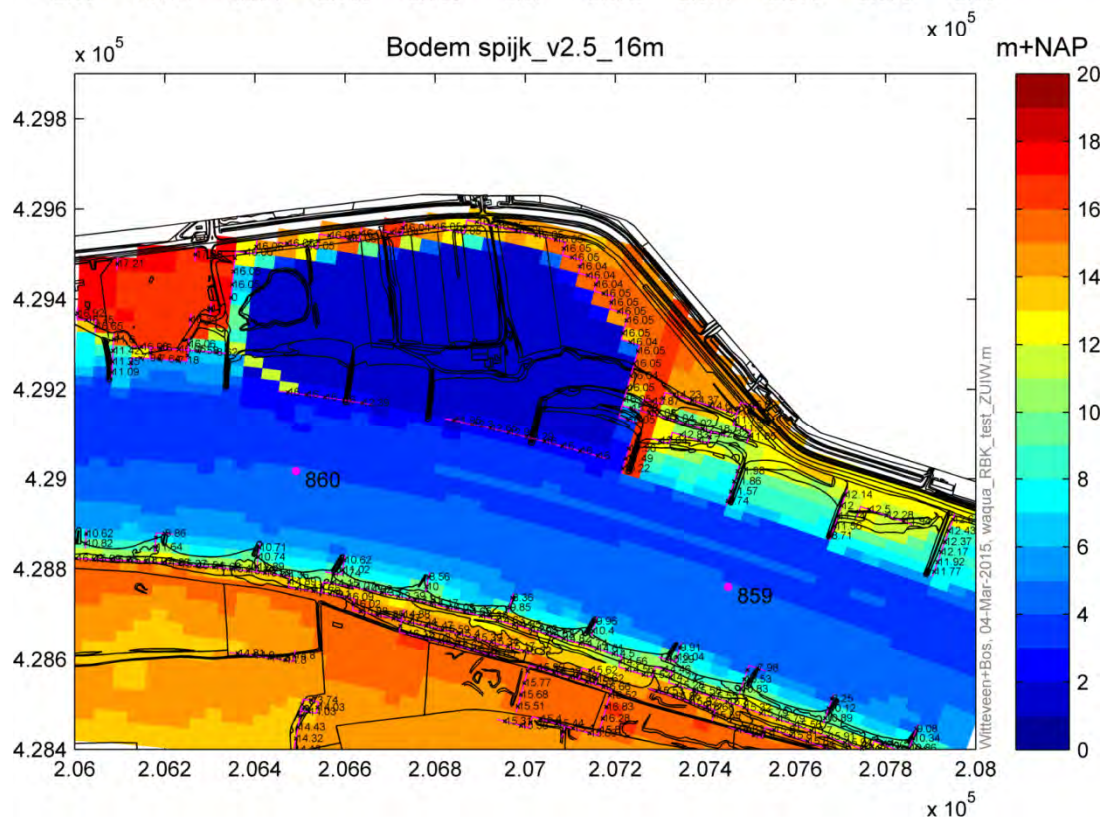
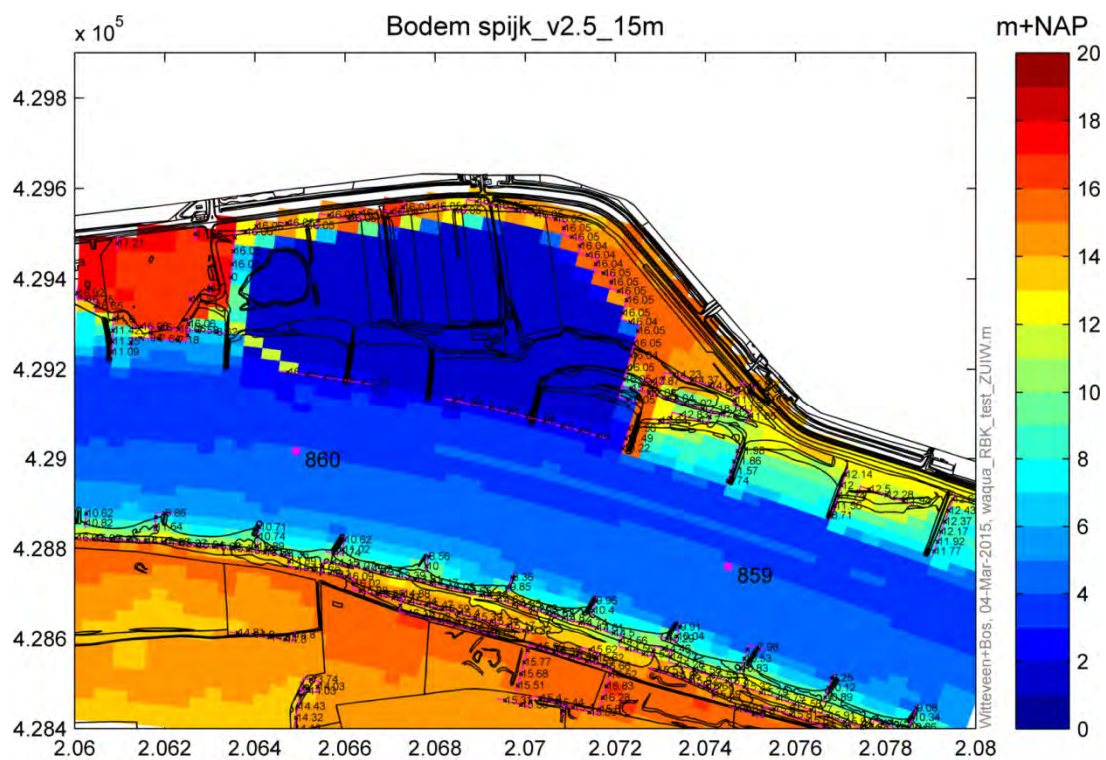
Daarnaast wordt geconcludeerd dat na optimalisatie van de havendammen de Oostvariant en Westvariant ongeveer een vergelijkbare opstuwing veroorzaken op de rivieras. Langs de primaire waterkering is de opstuwing ongeveer 1 cm lager voor de westvariant.

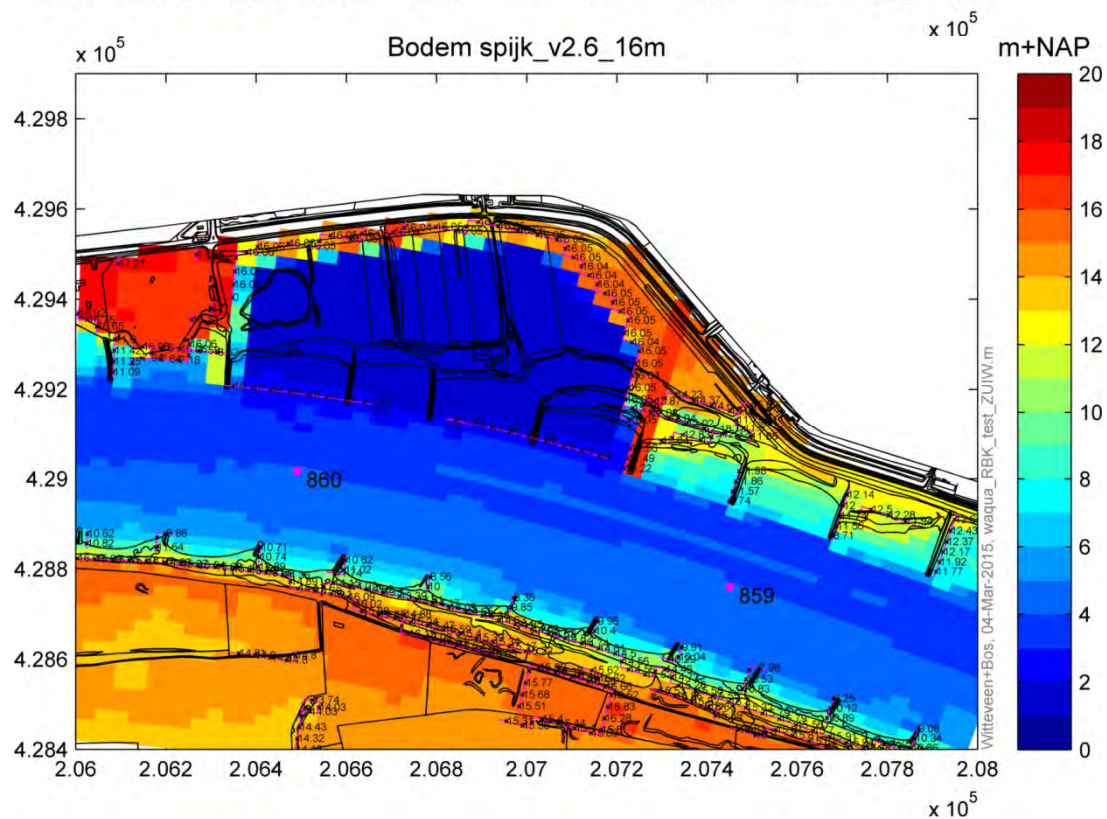
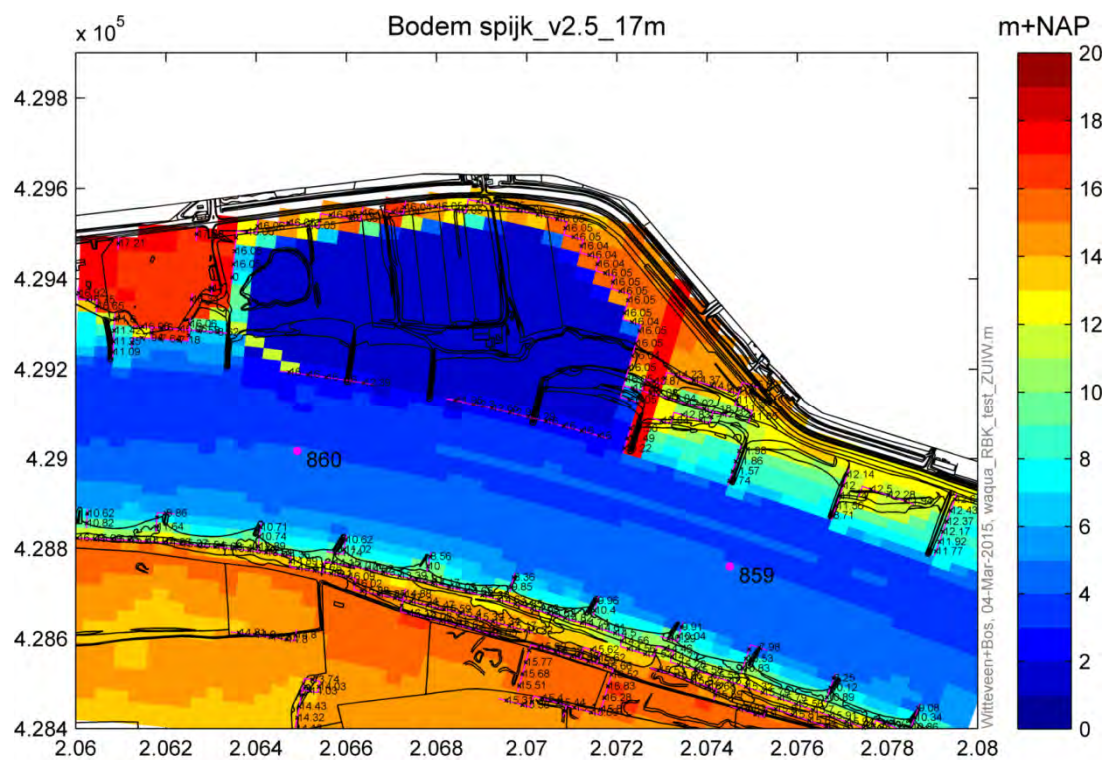
**BIJLAGE I AFBEELDINGEN VAN DE BODEMHOOGTE, WATERSTANDEN EN
STROOMSNELHEDEN**

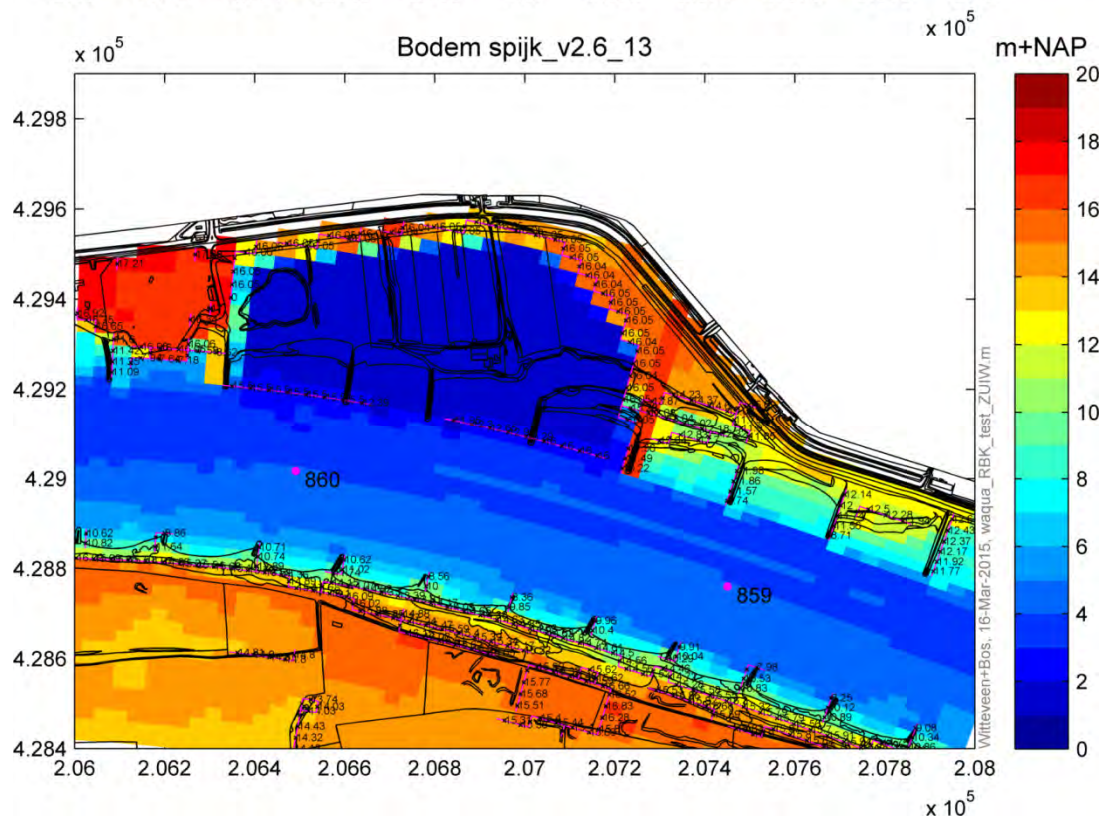
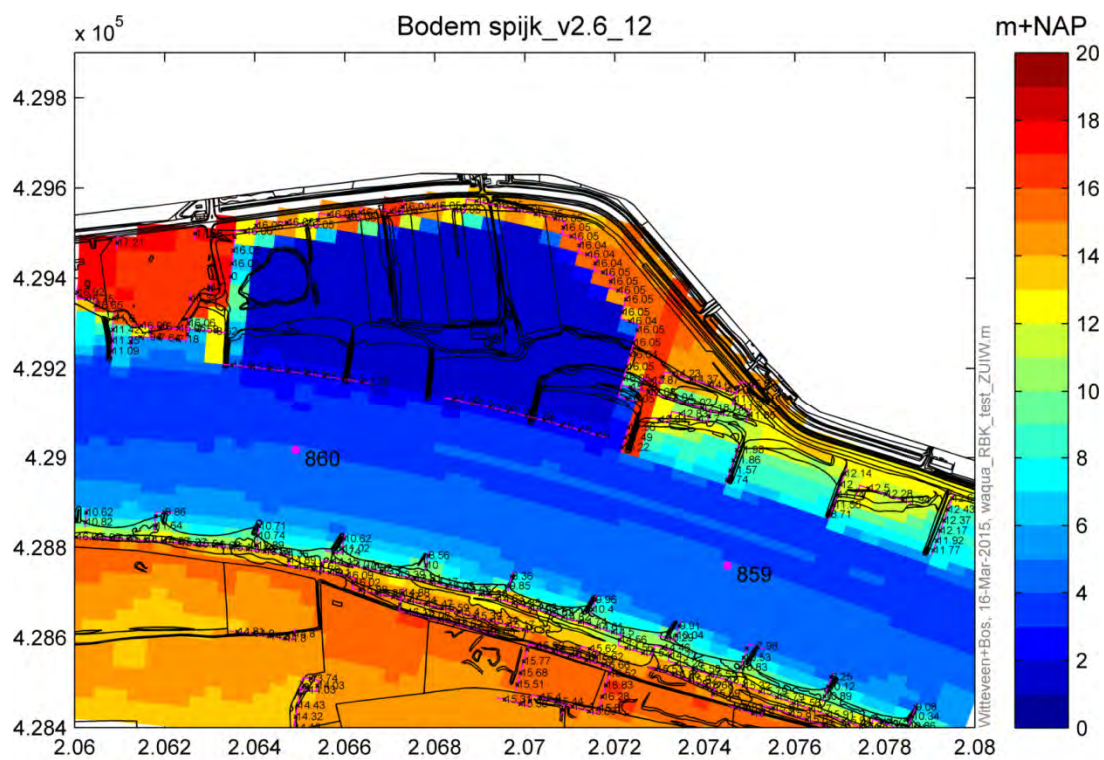


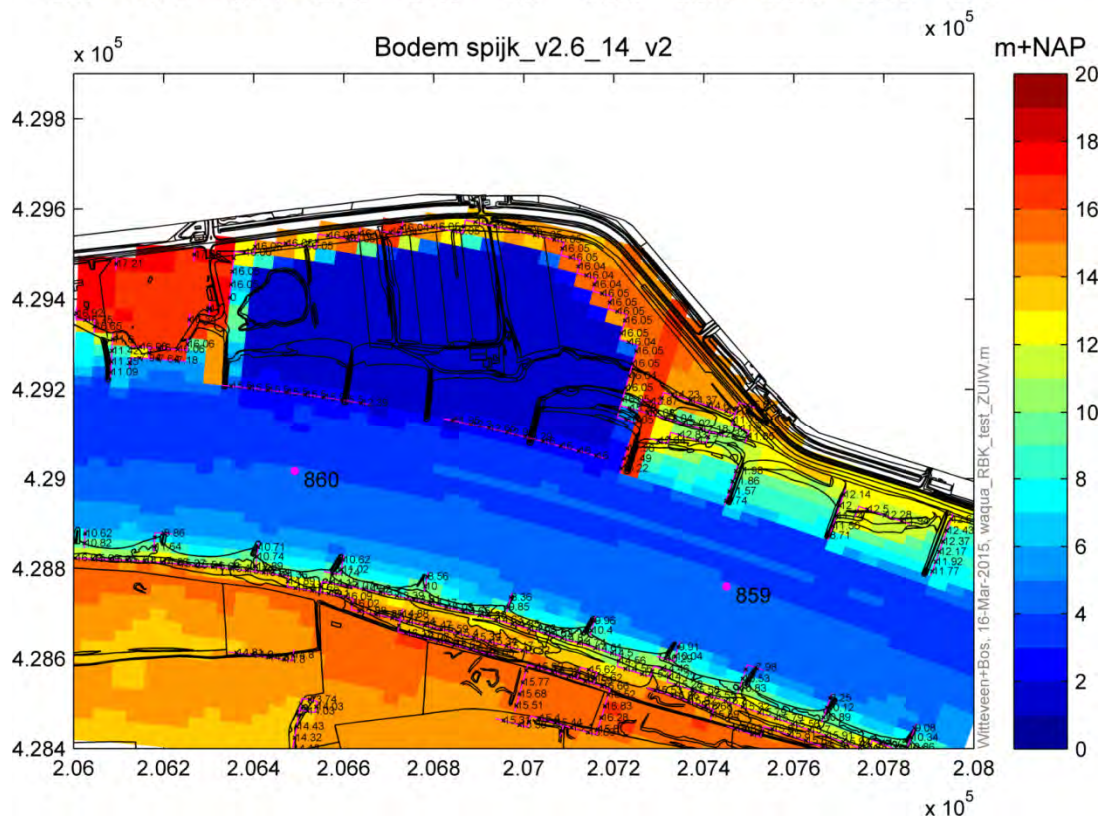
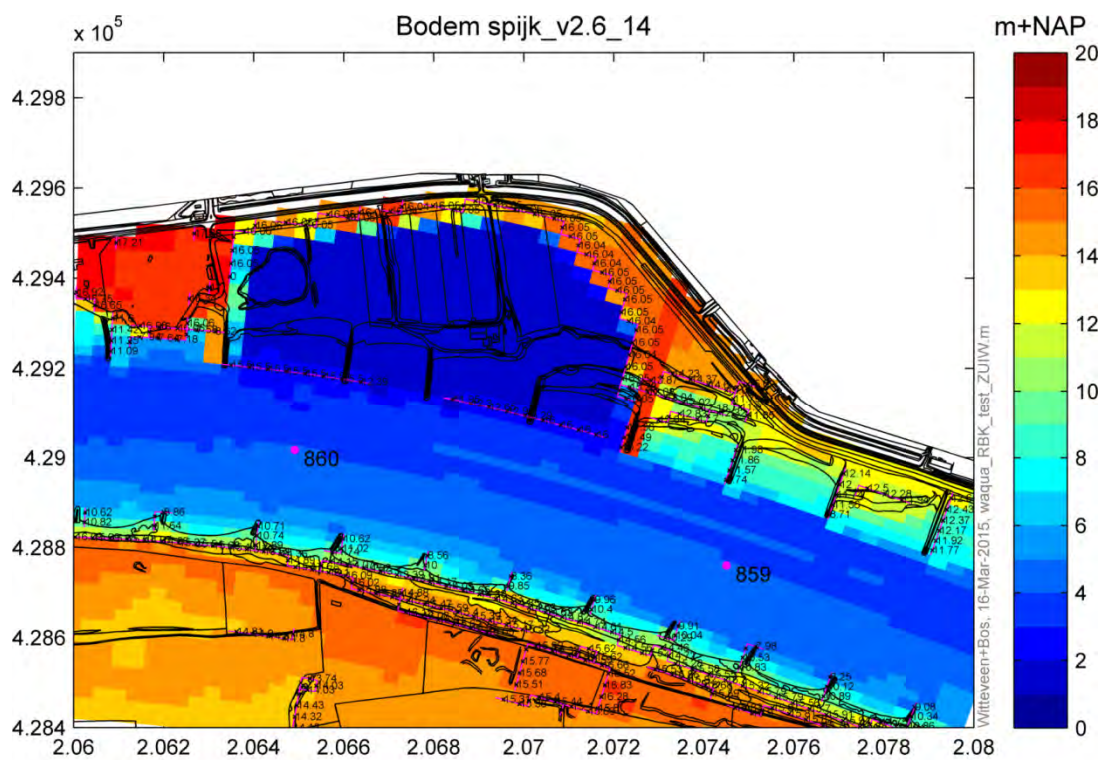


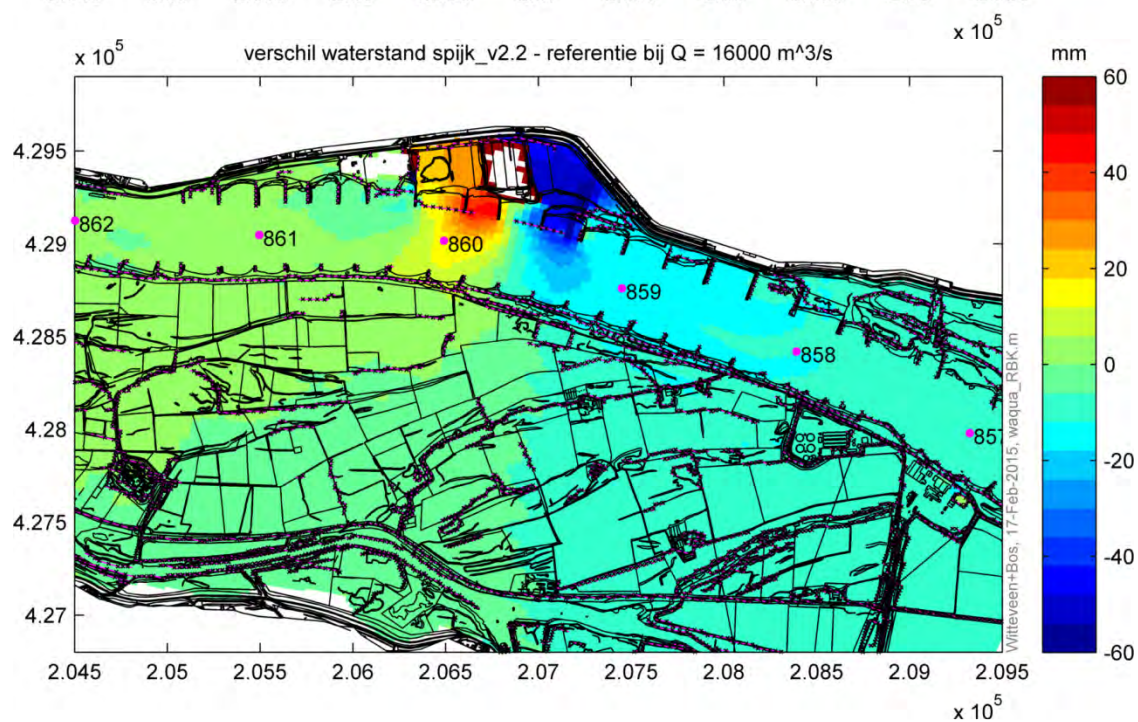
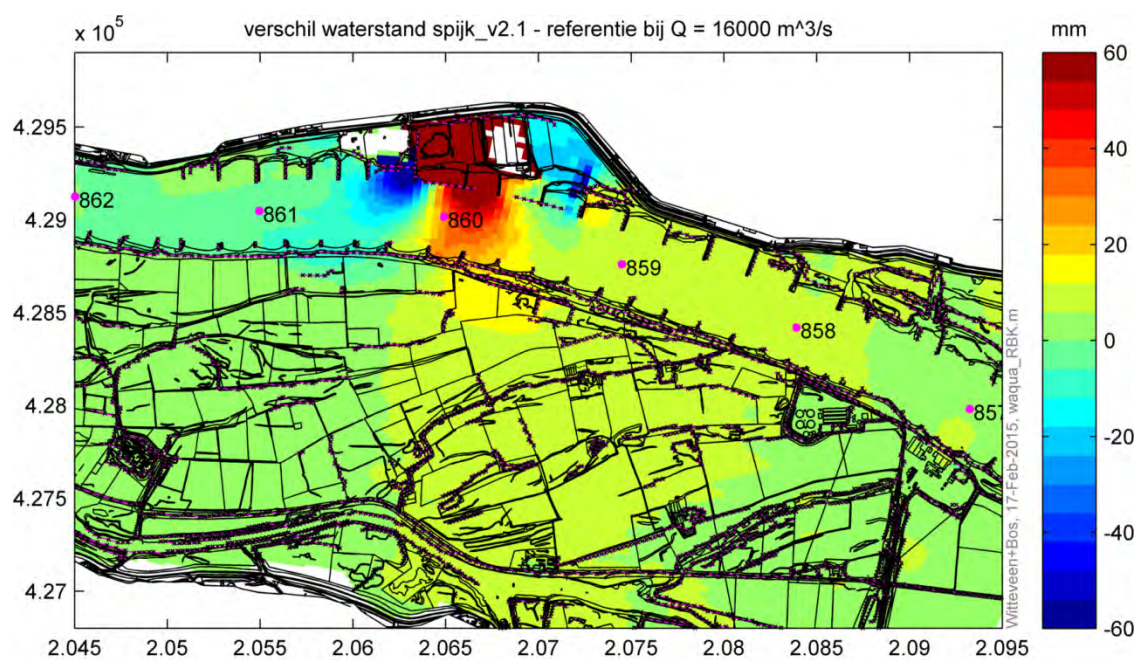


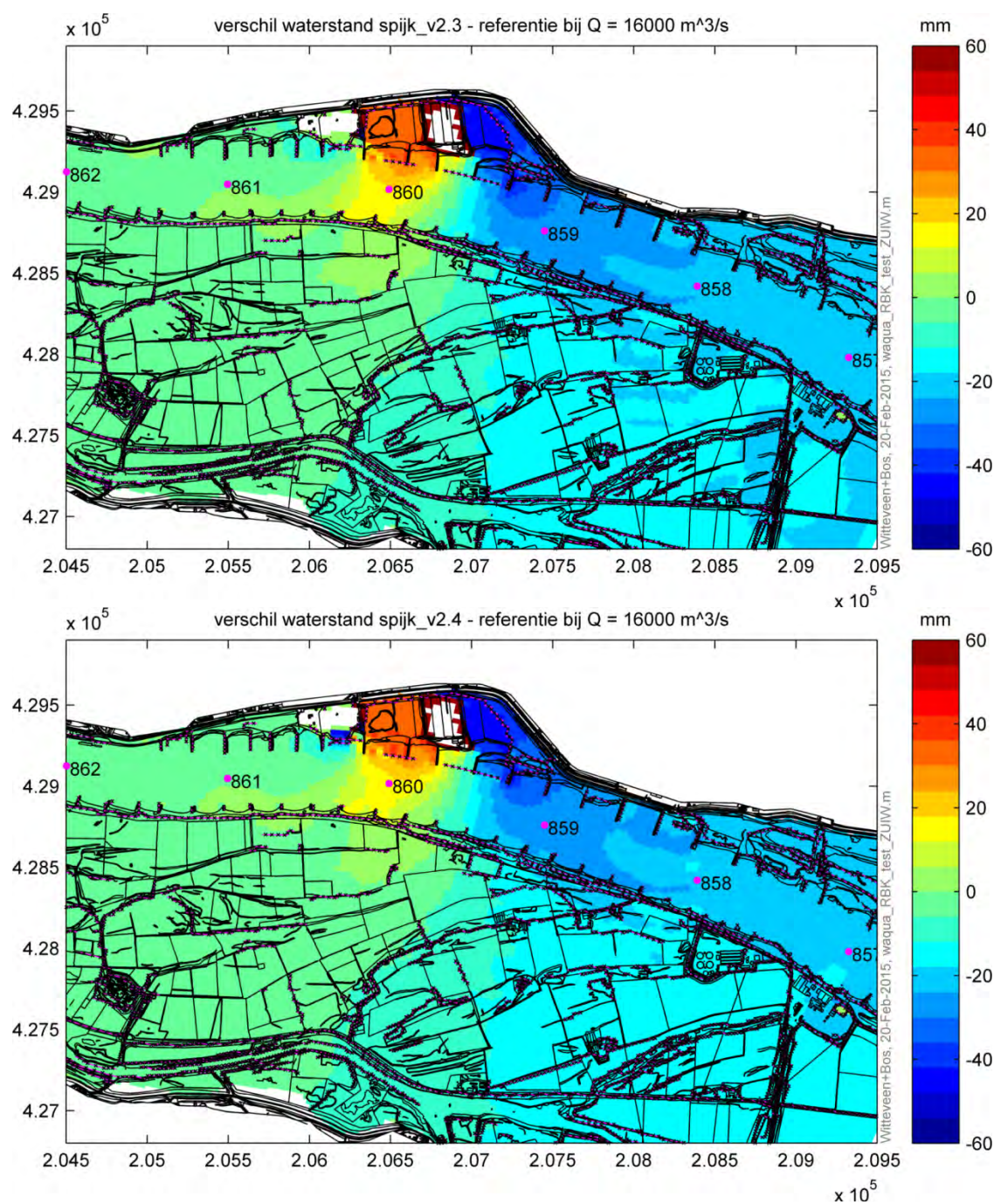


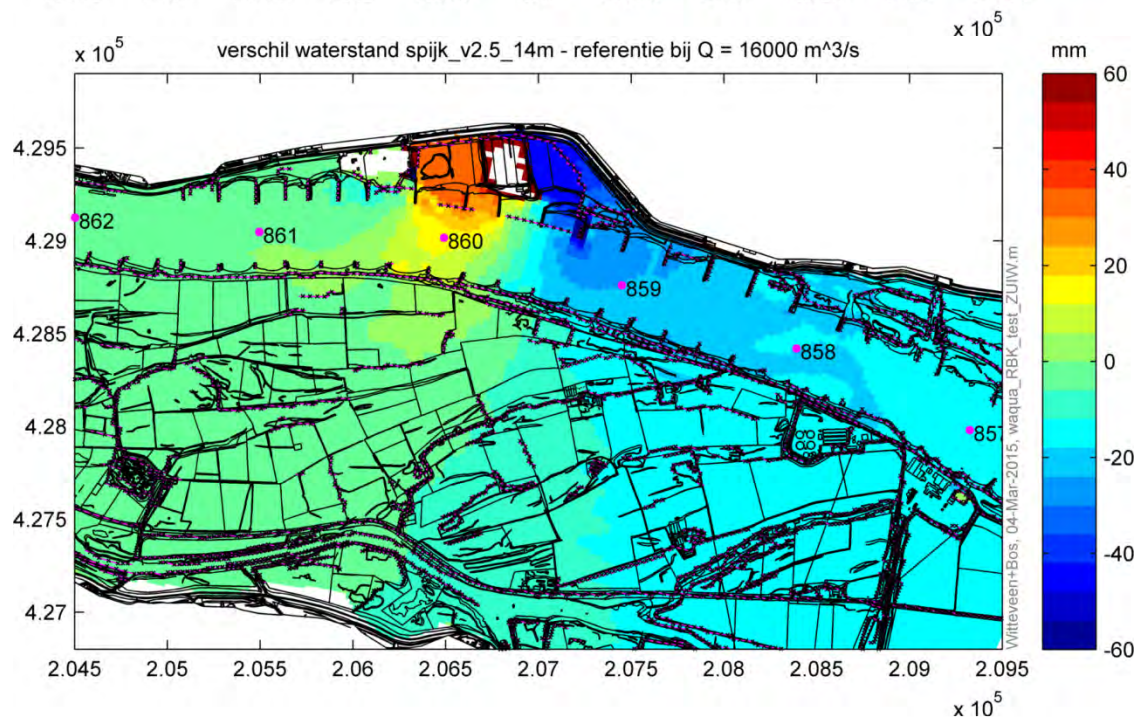
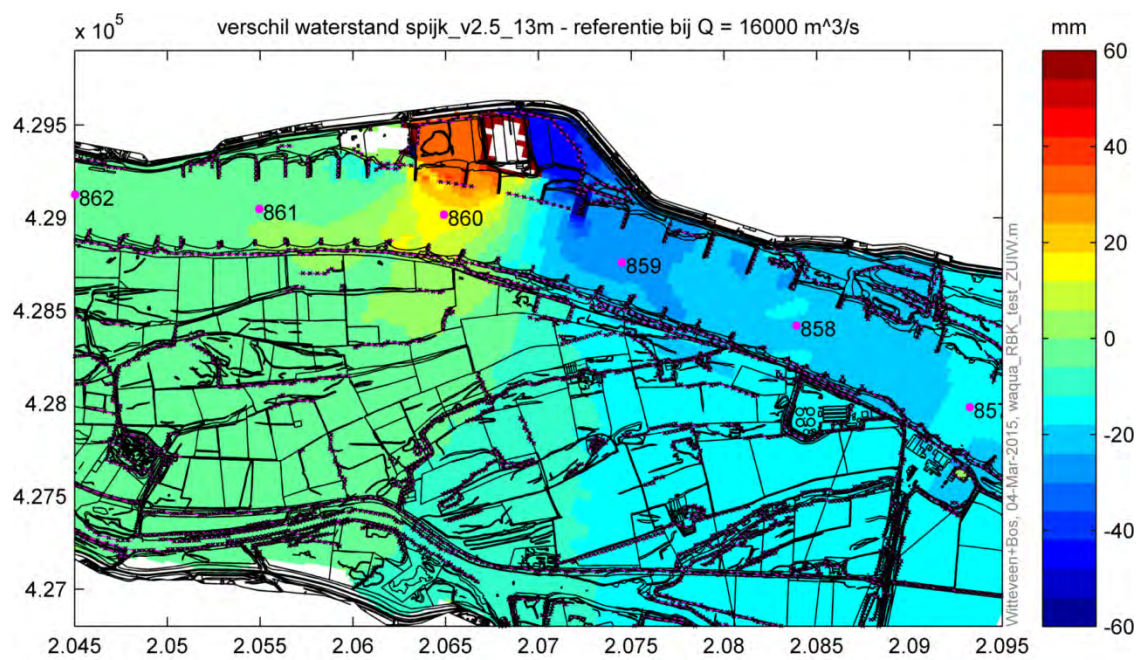


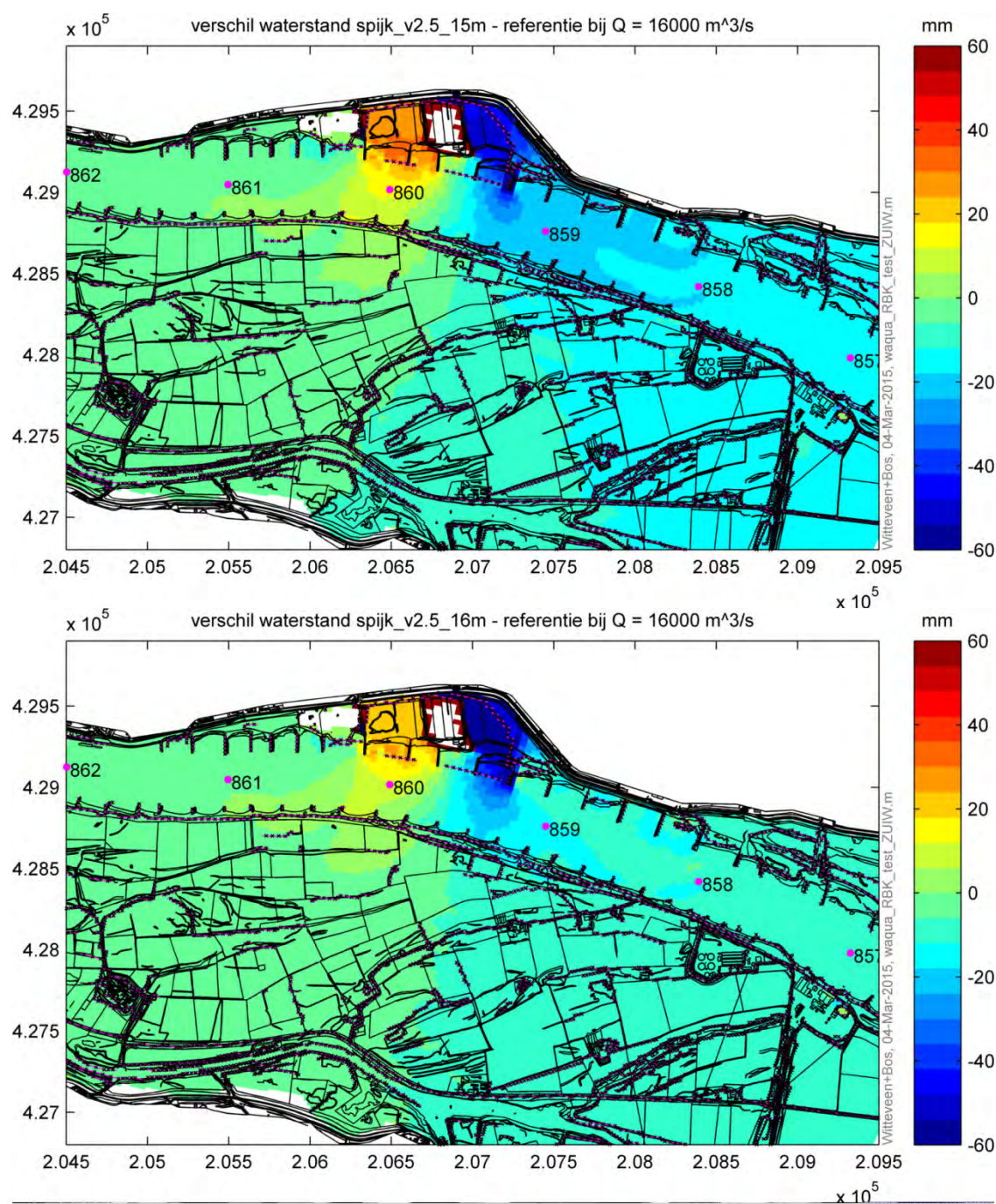


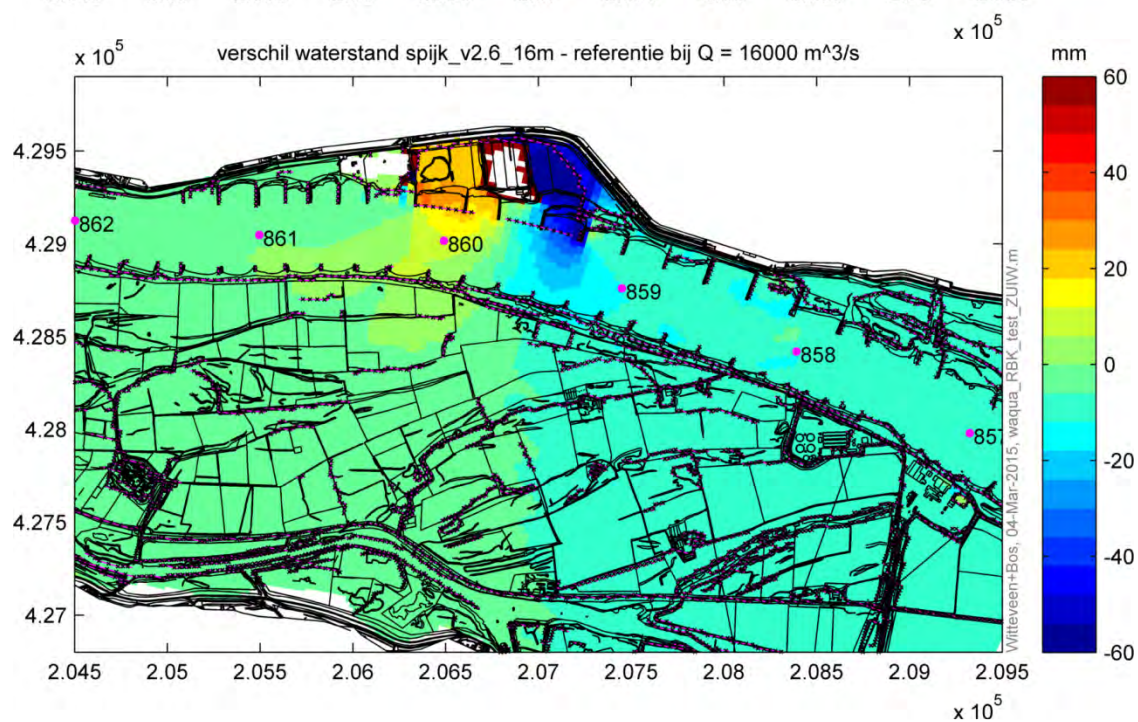
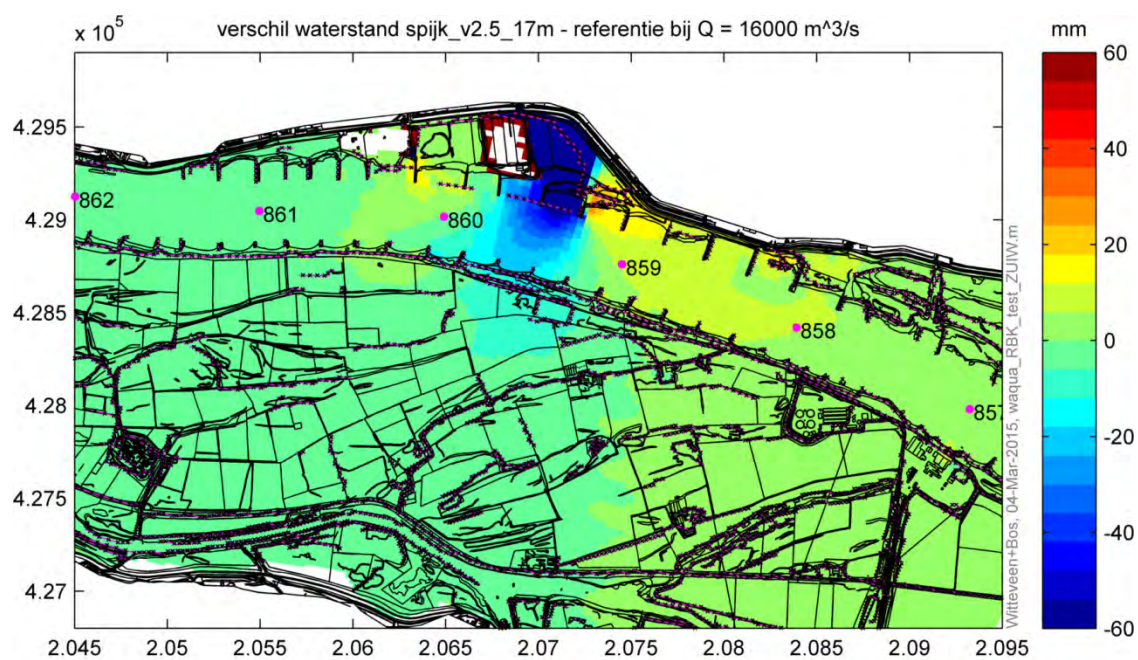


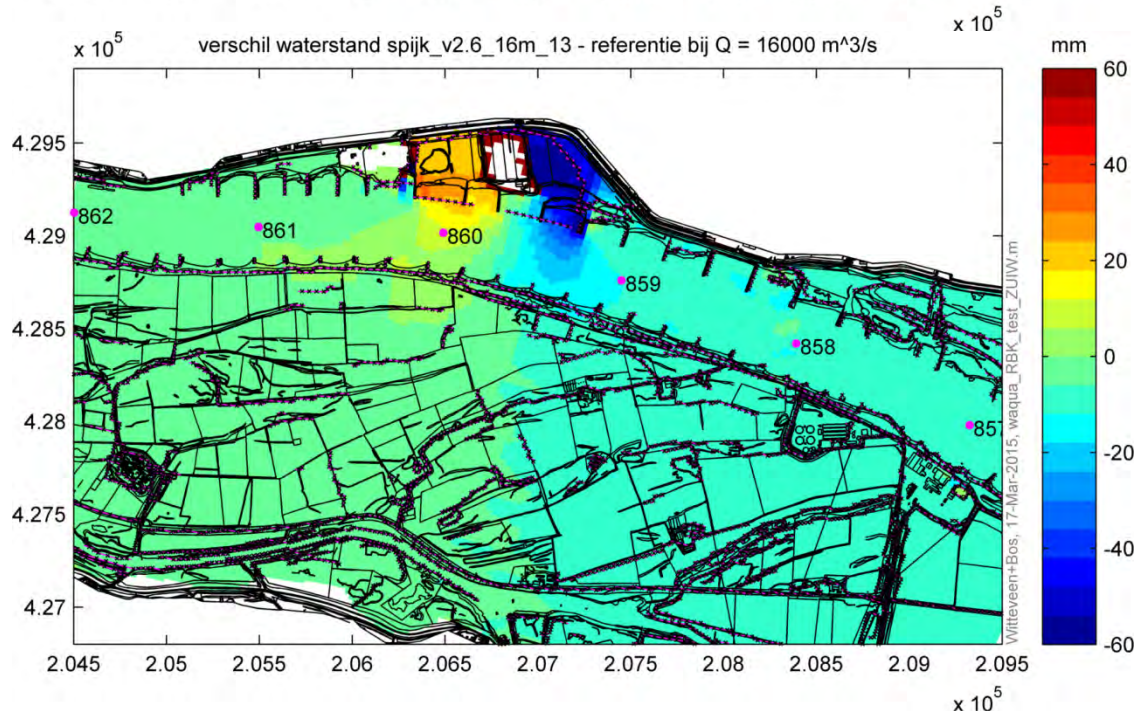
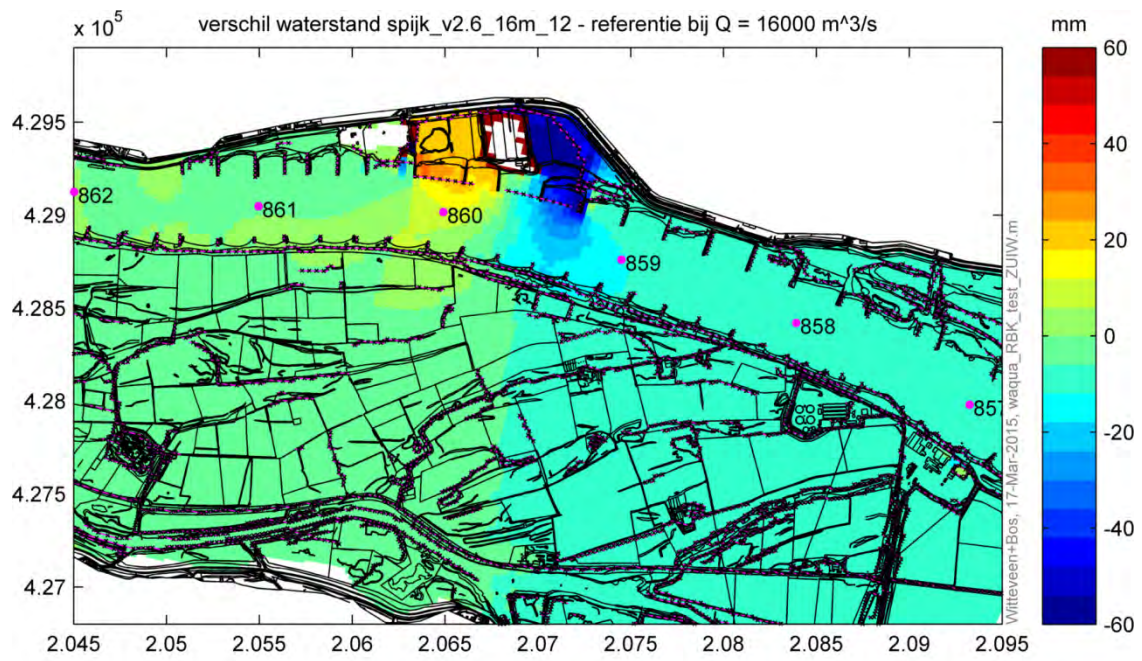


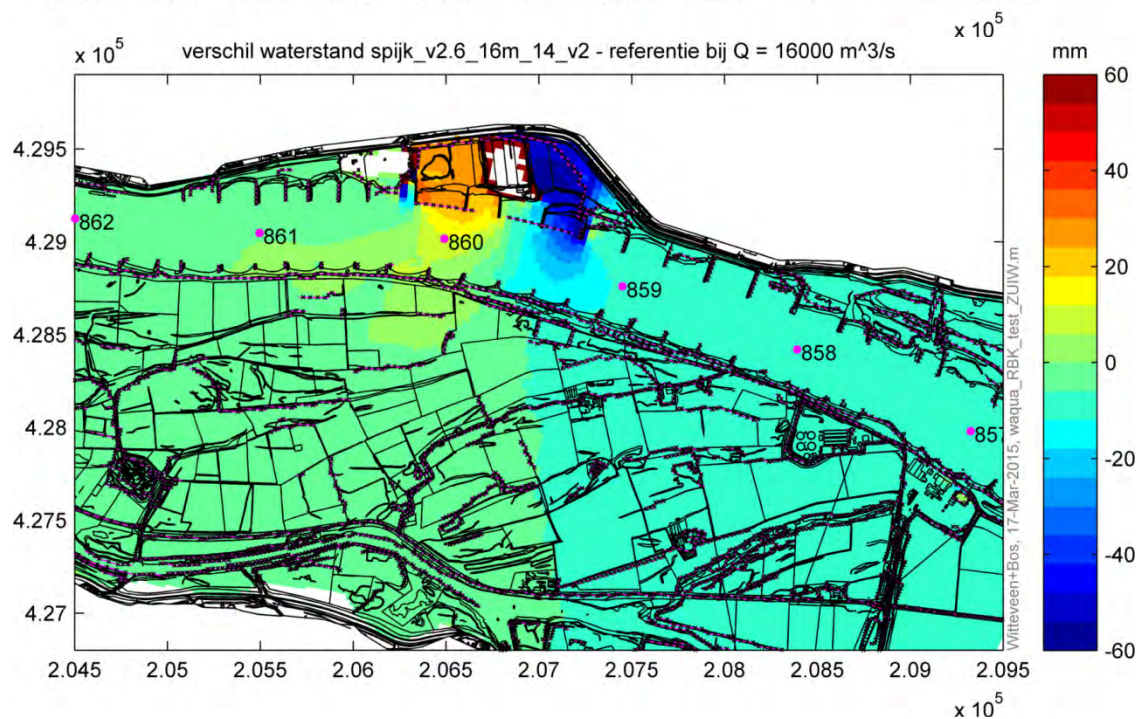
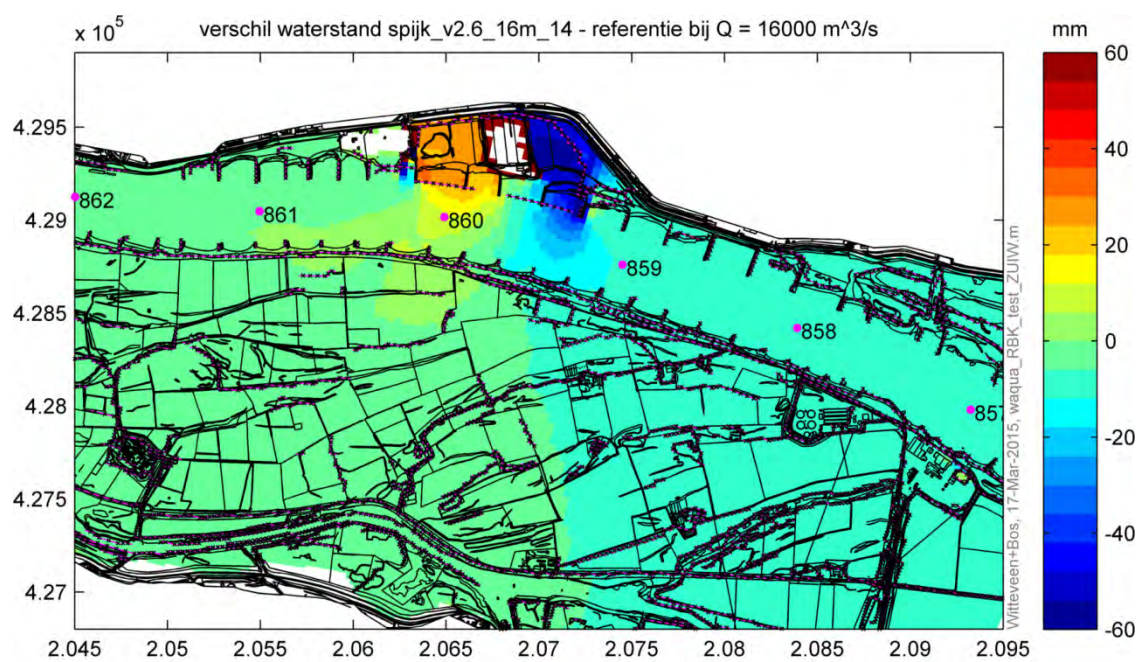


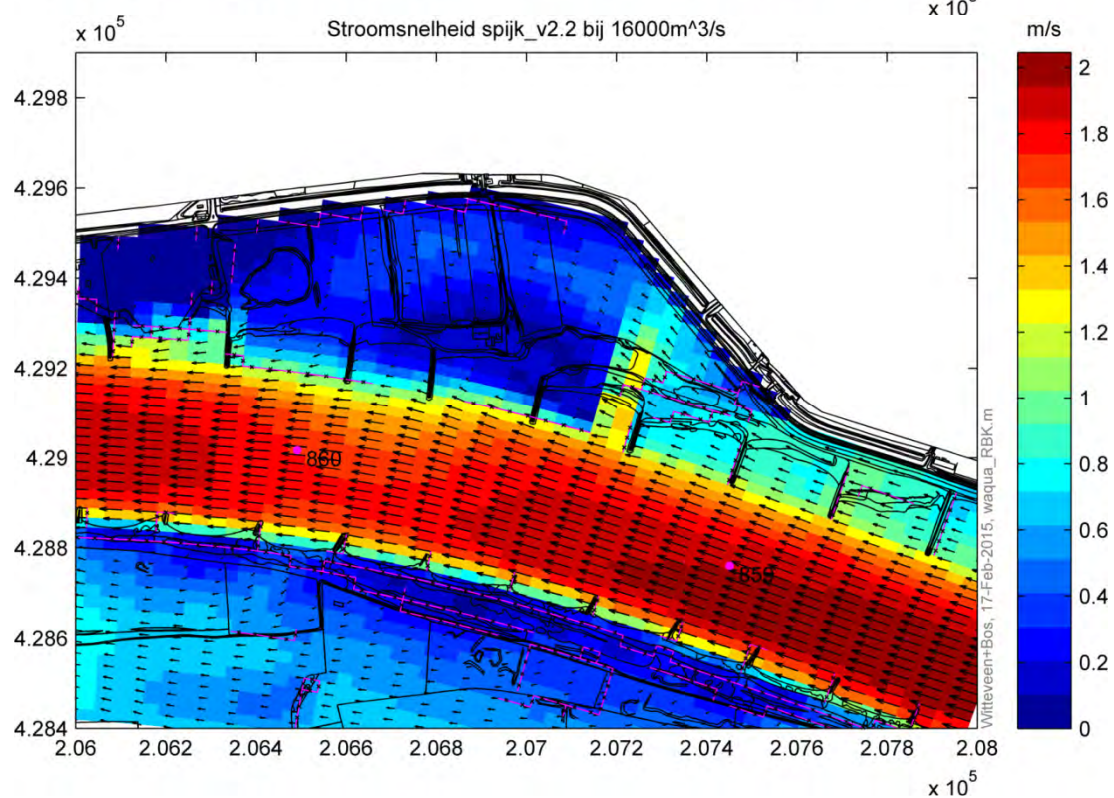
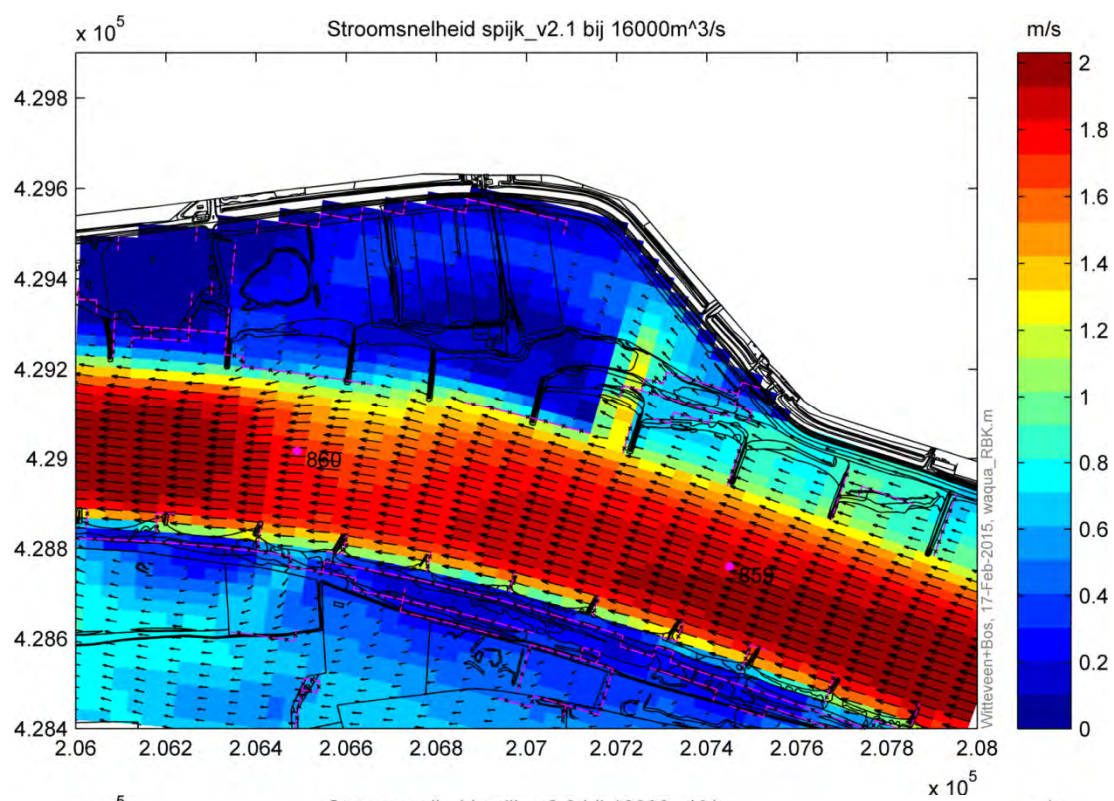


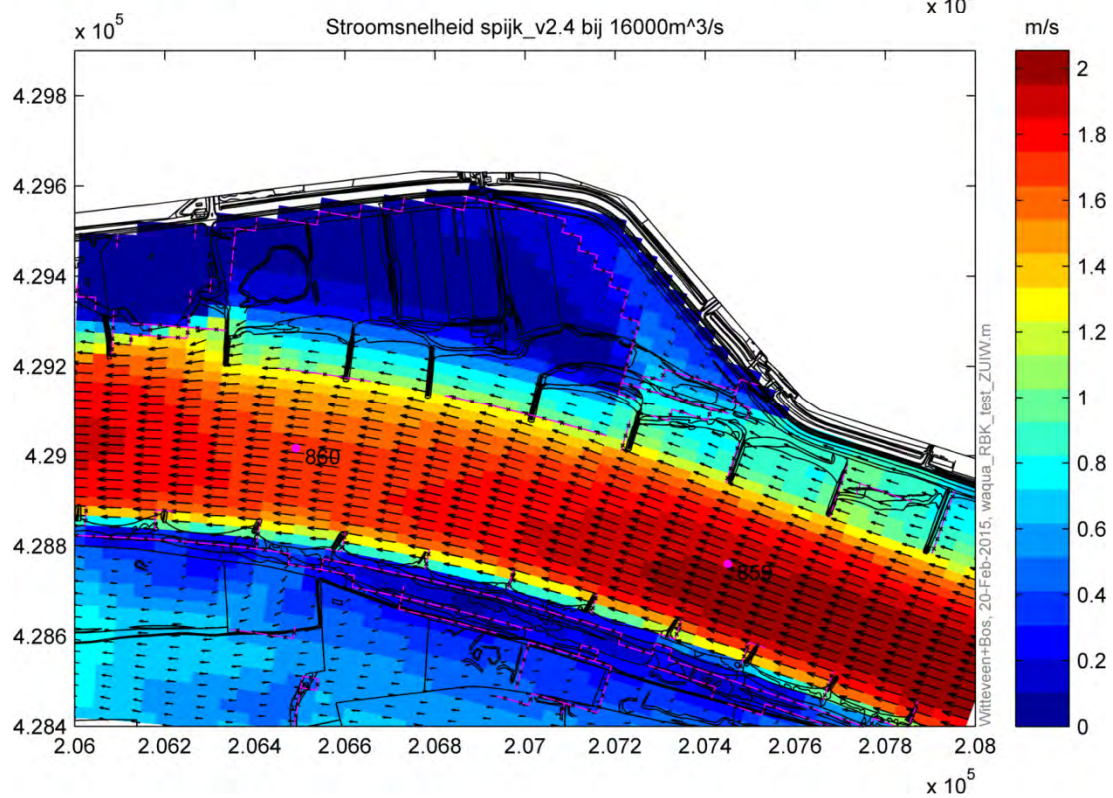
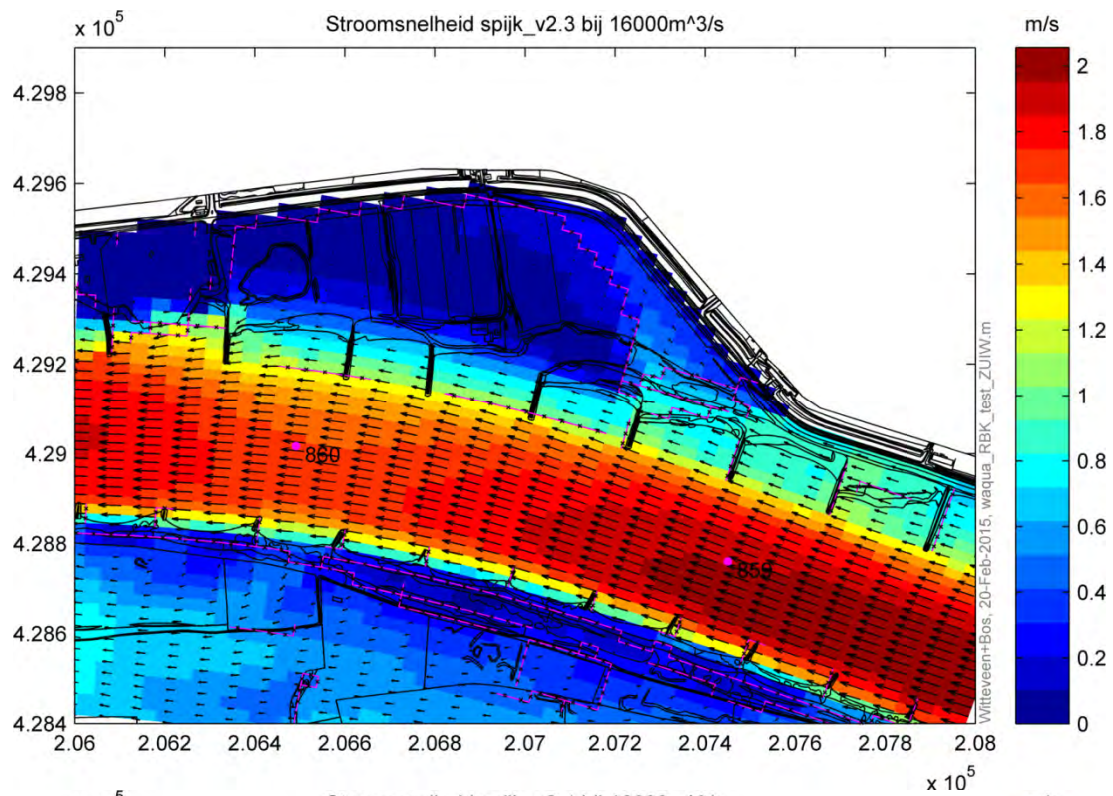


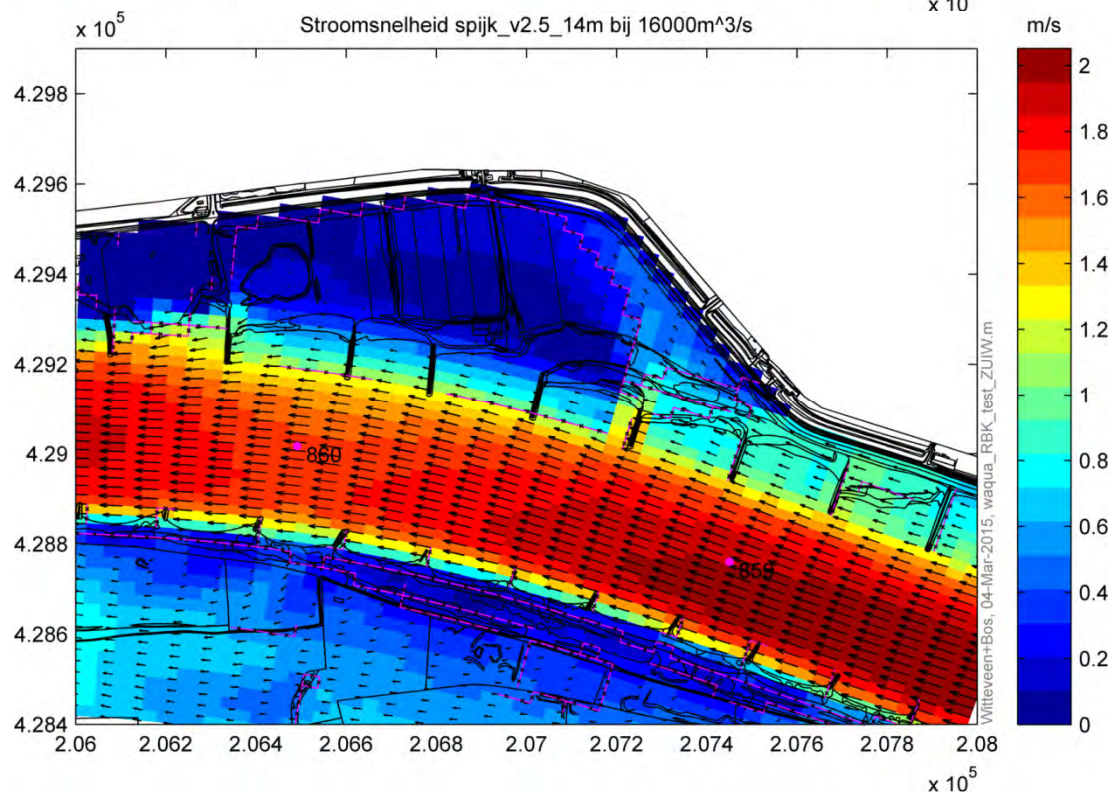
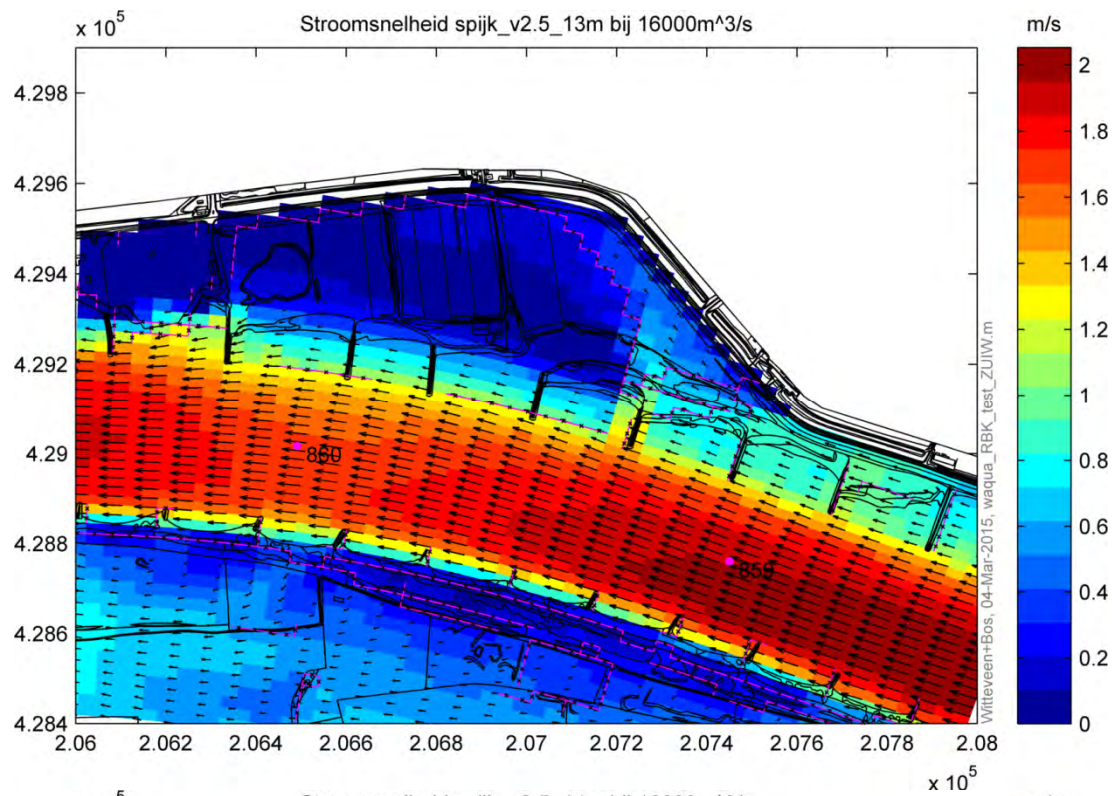


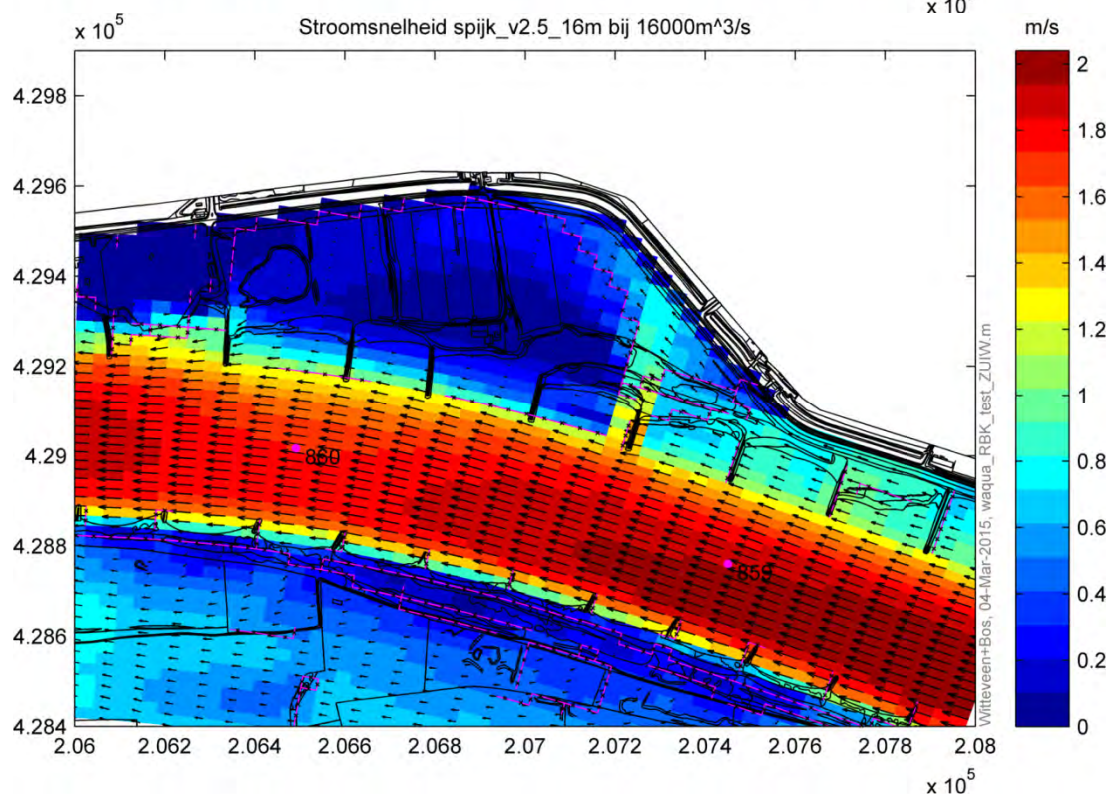
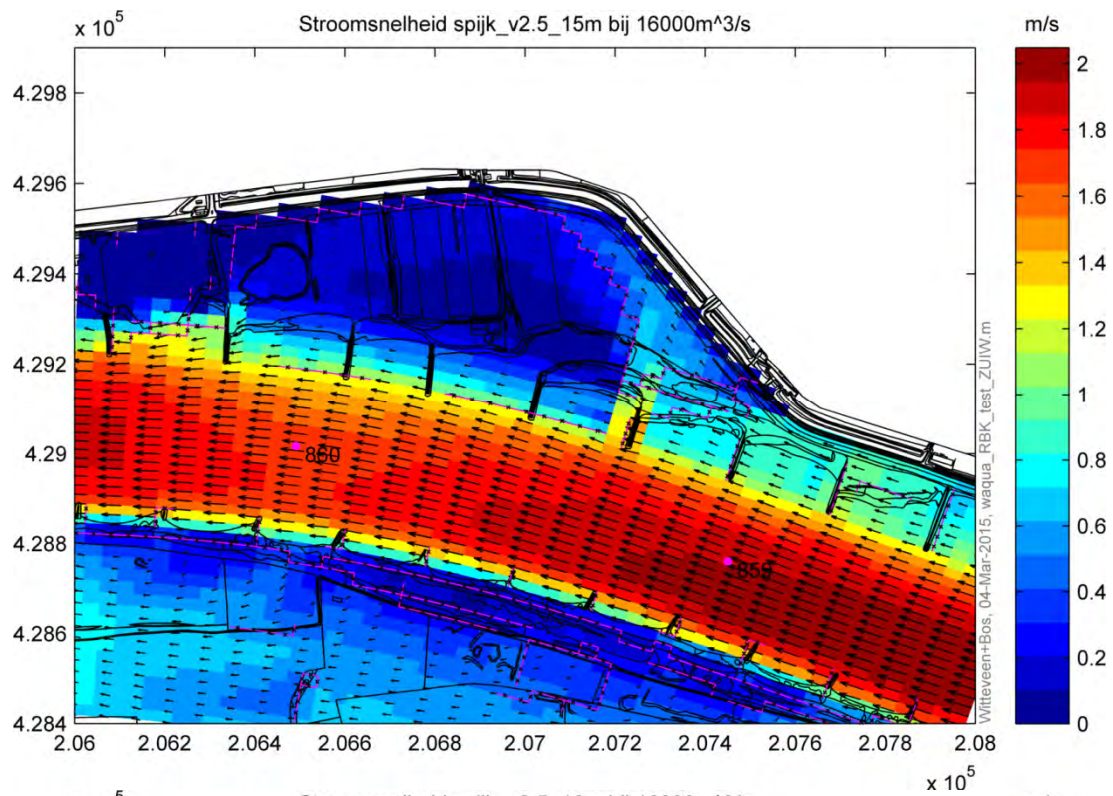


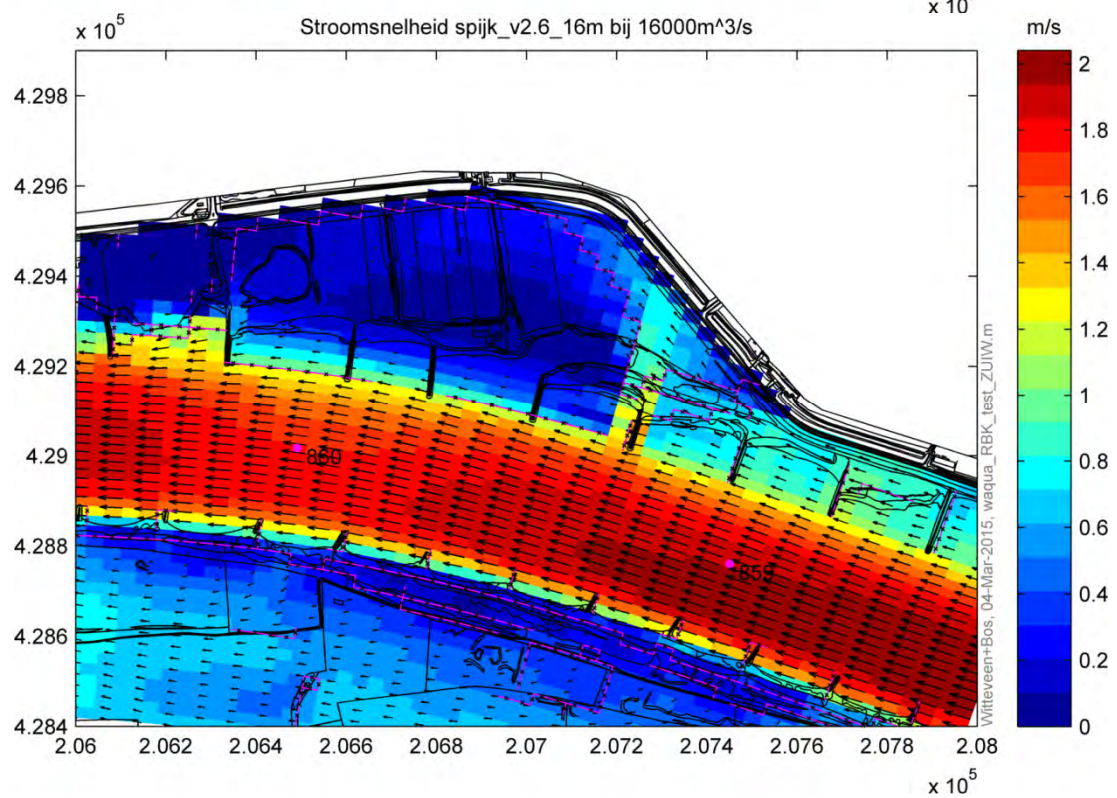
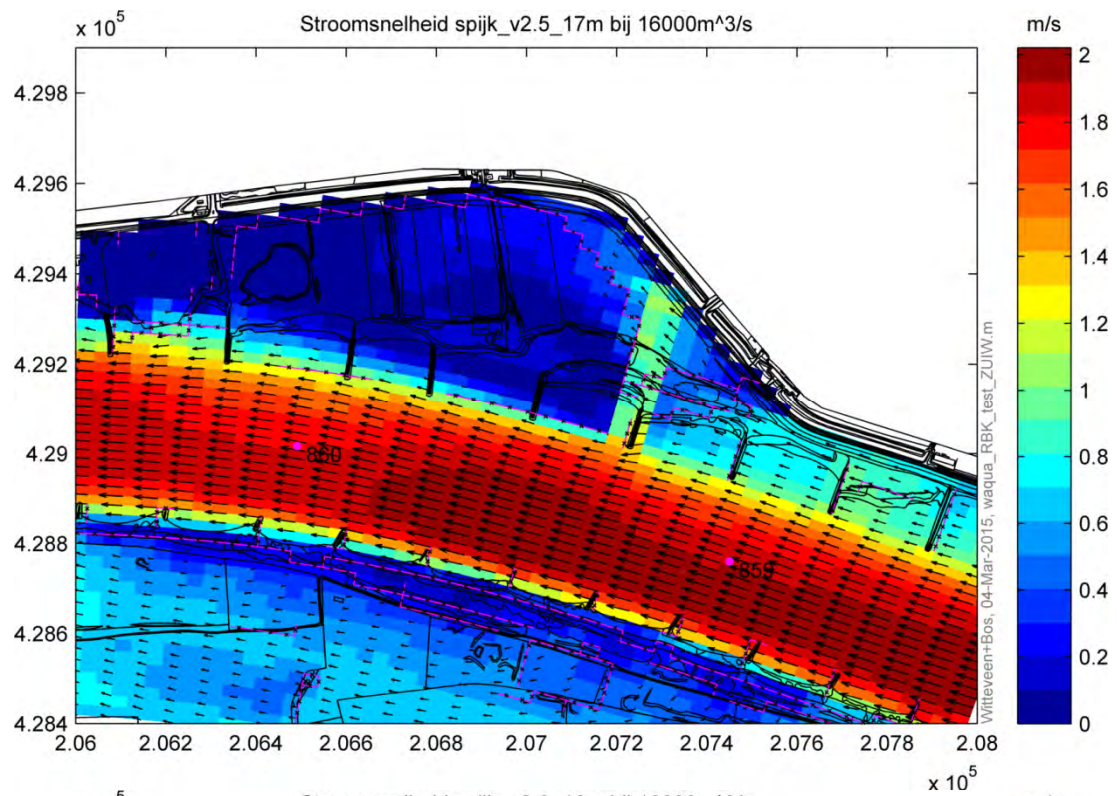


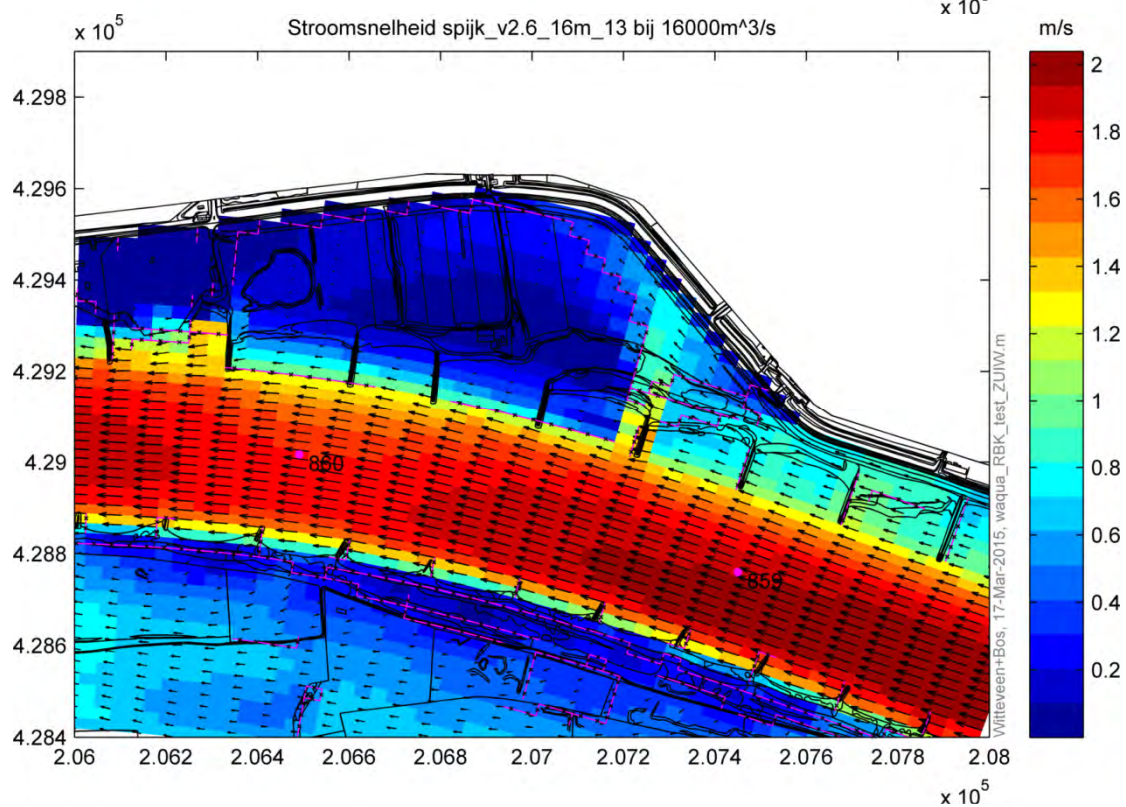
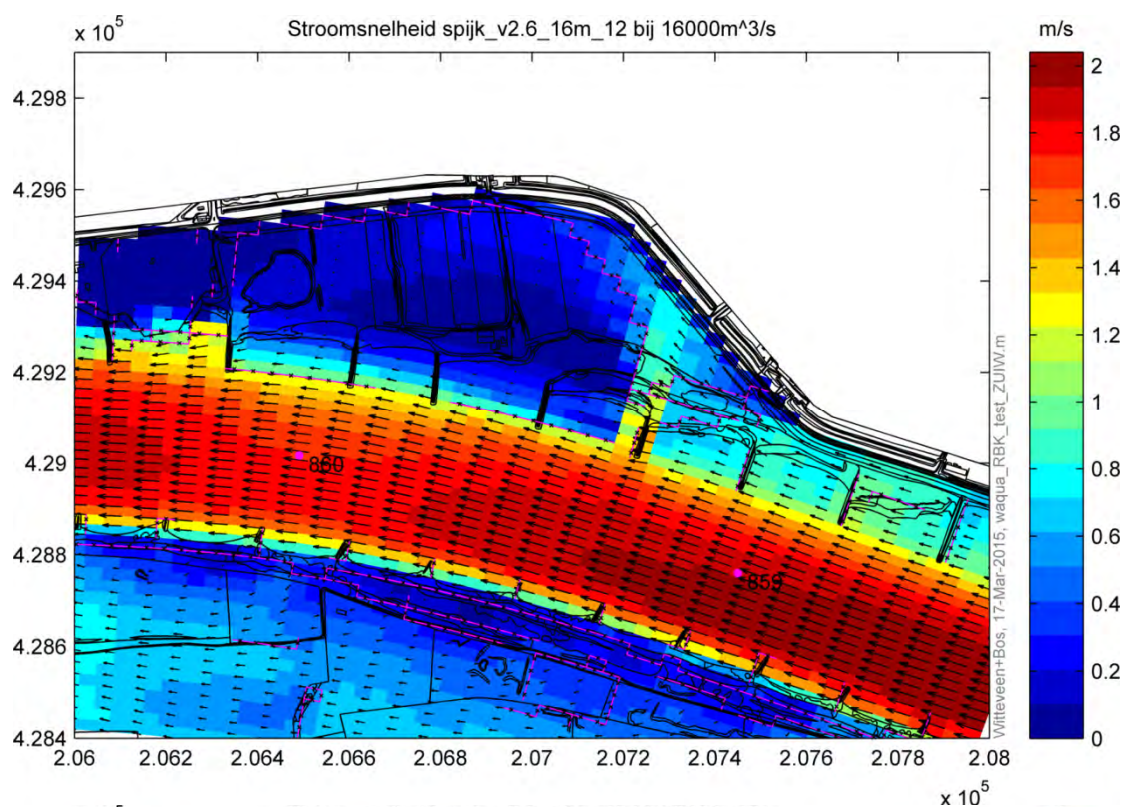


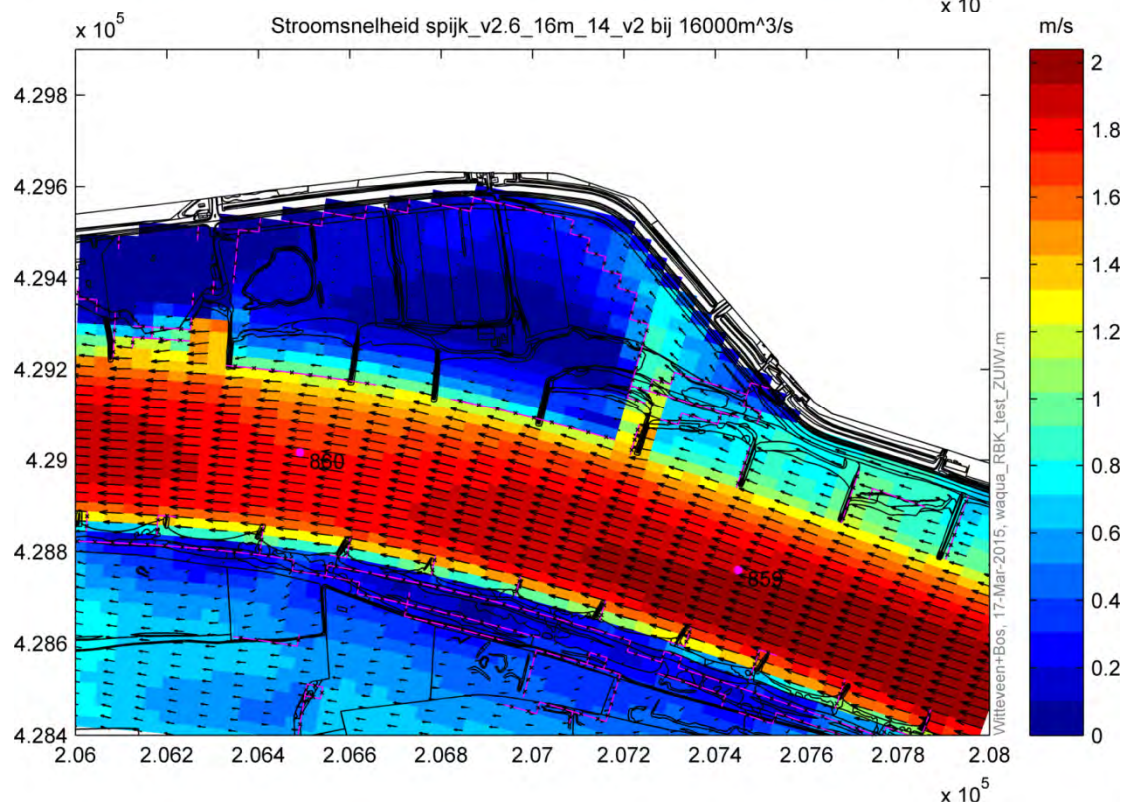
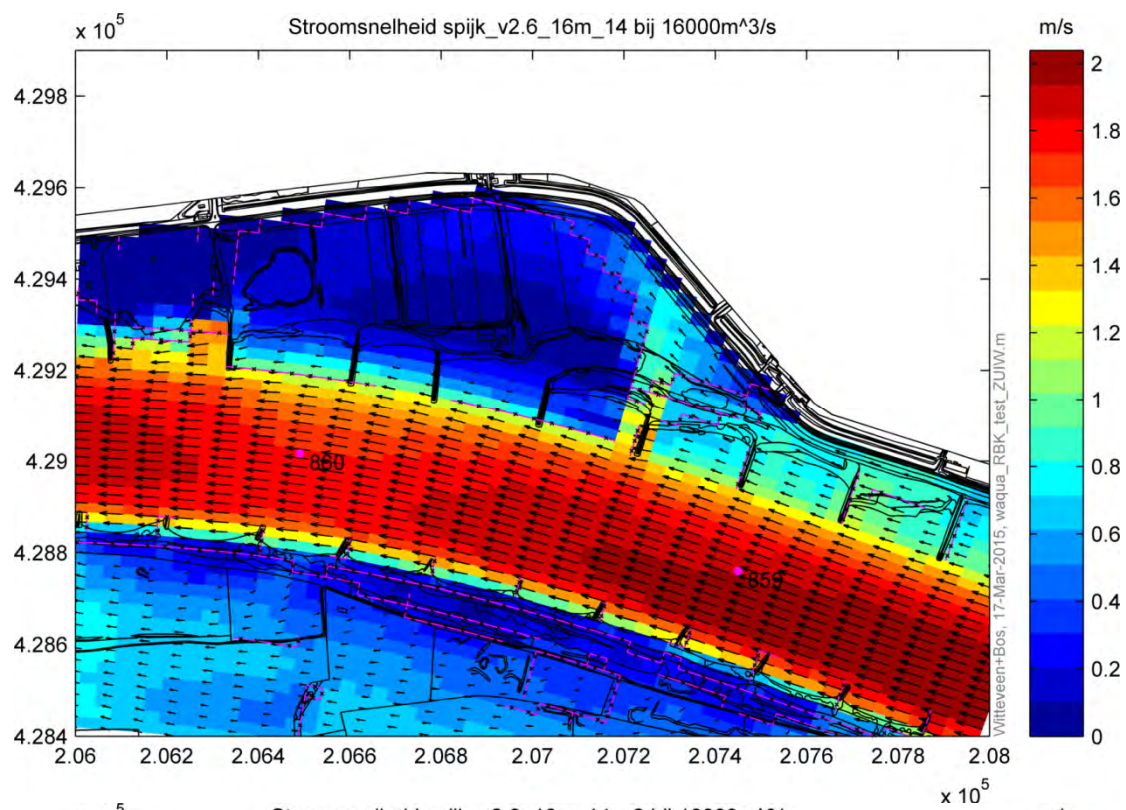




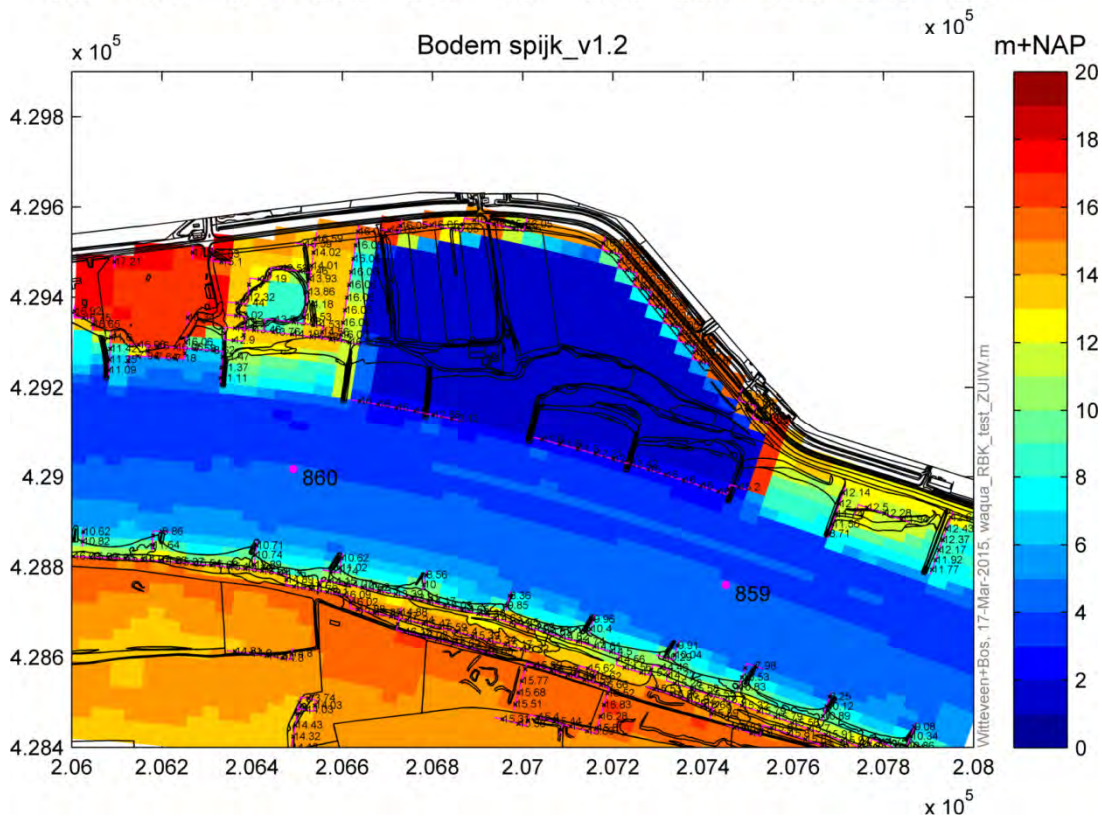
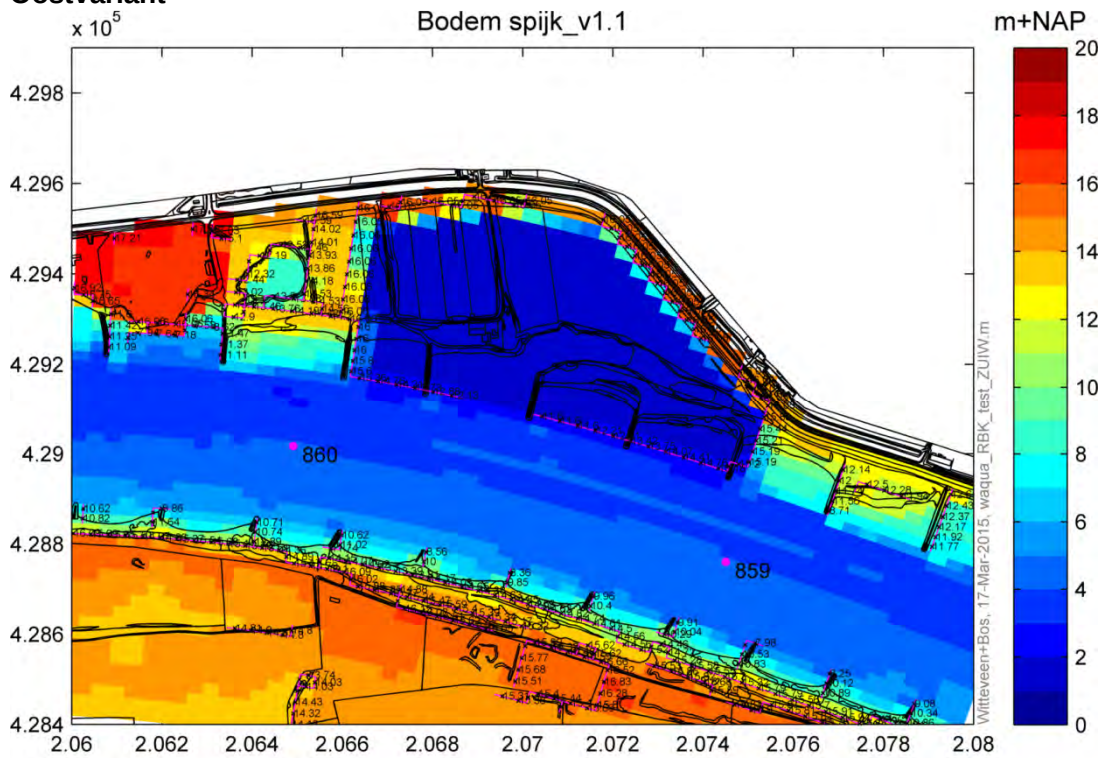


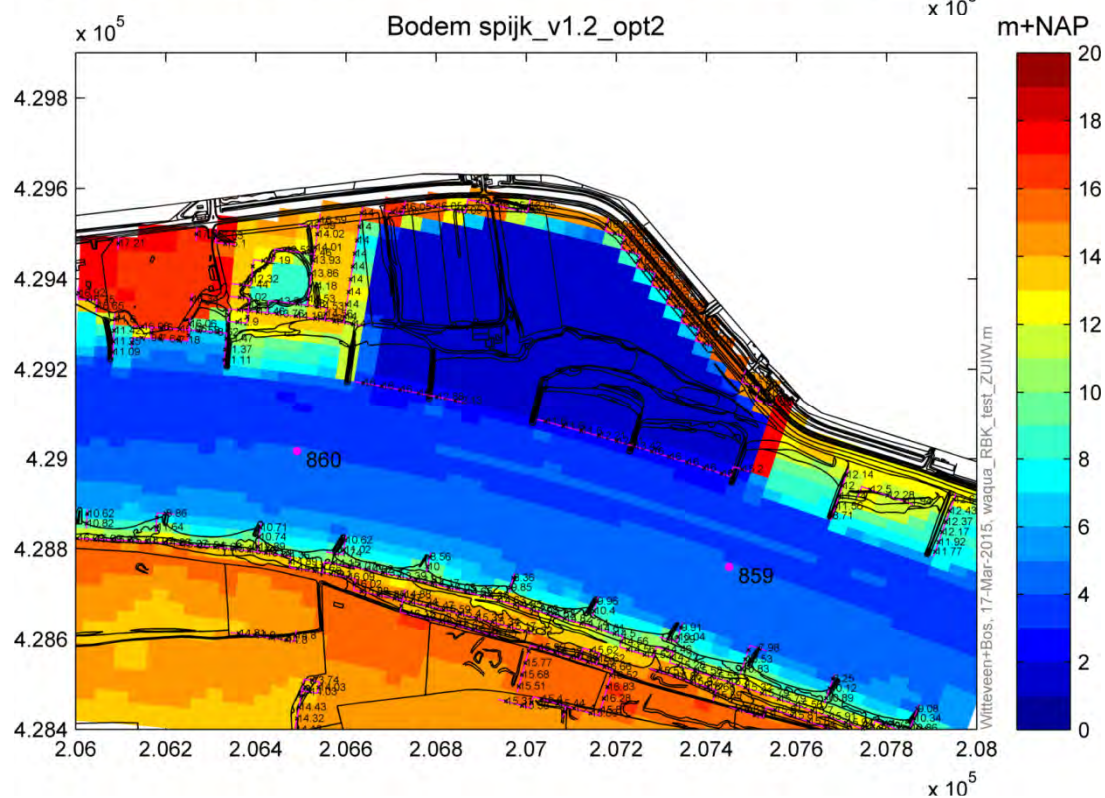
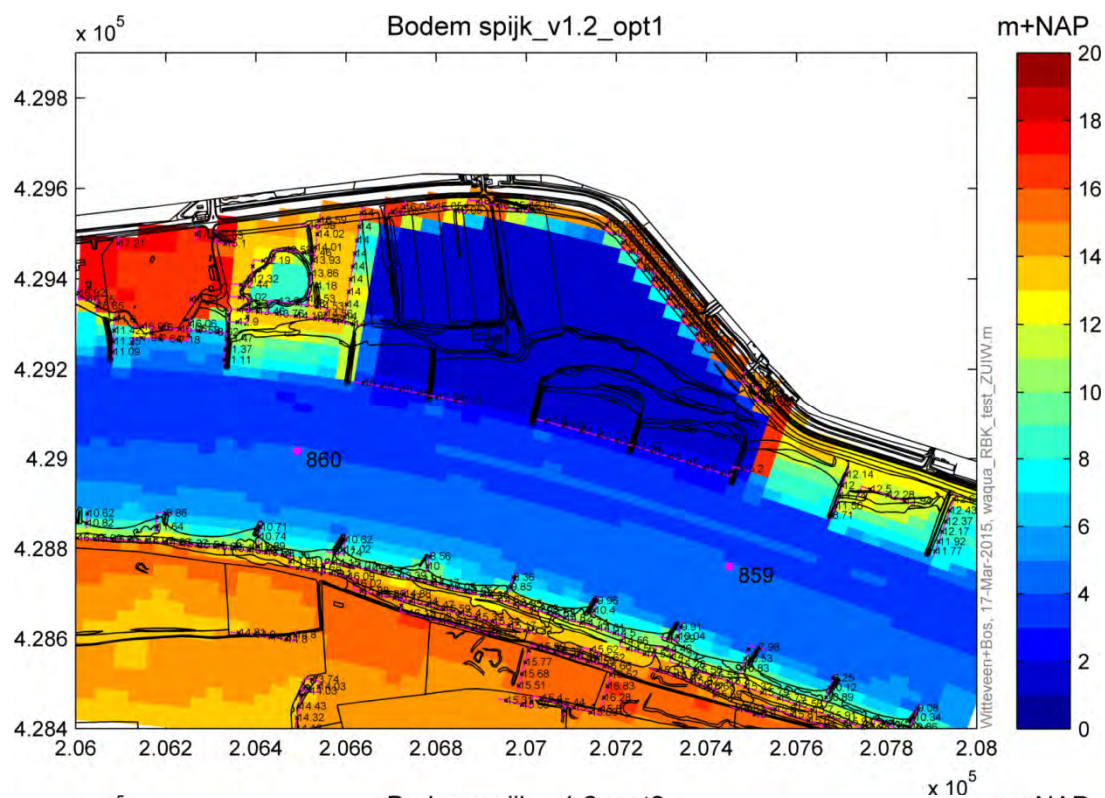


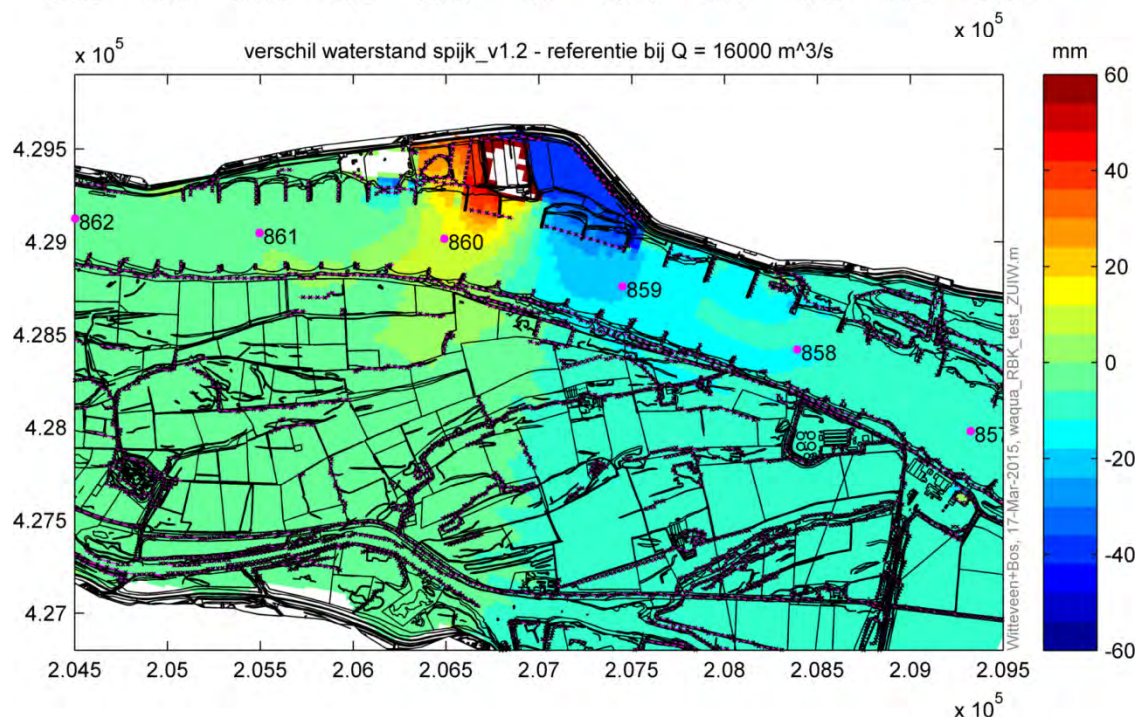
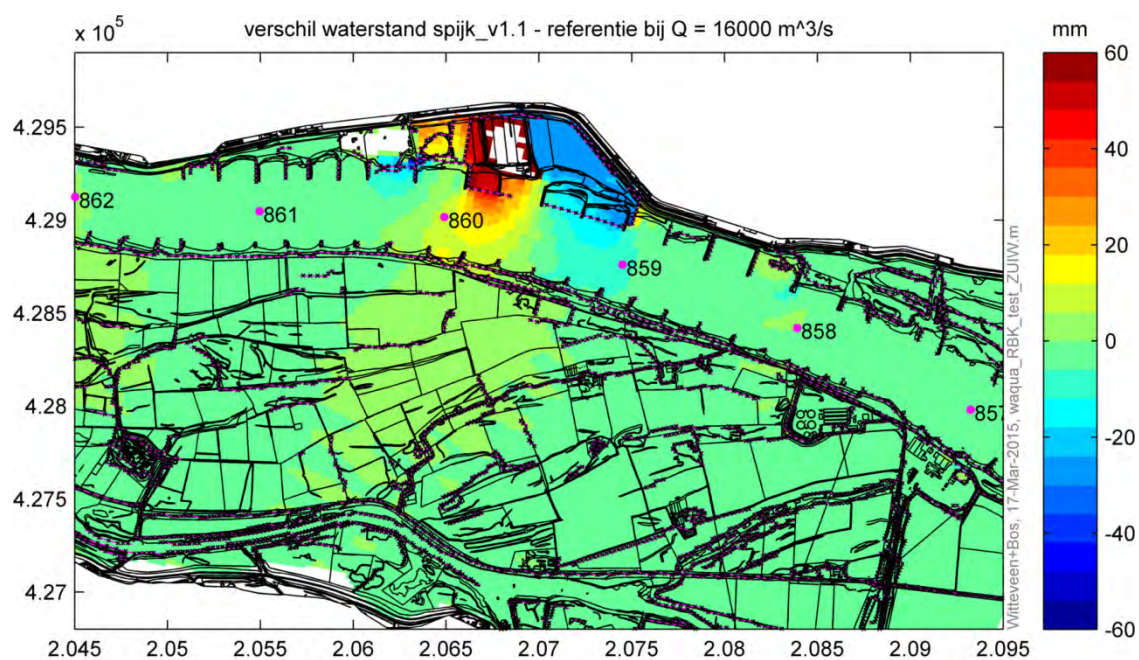


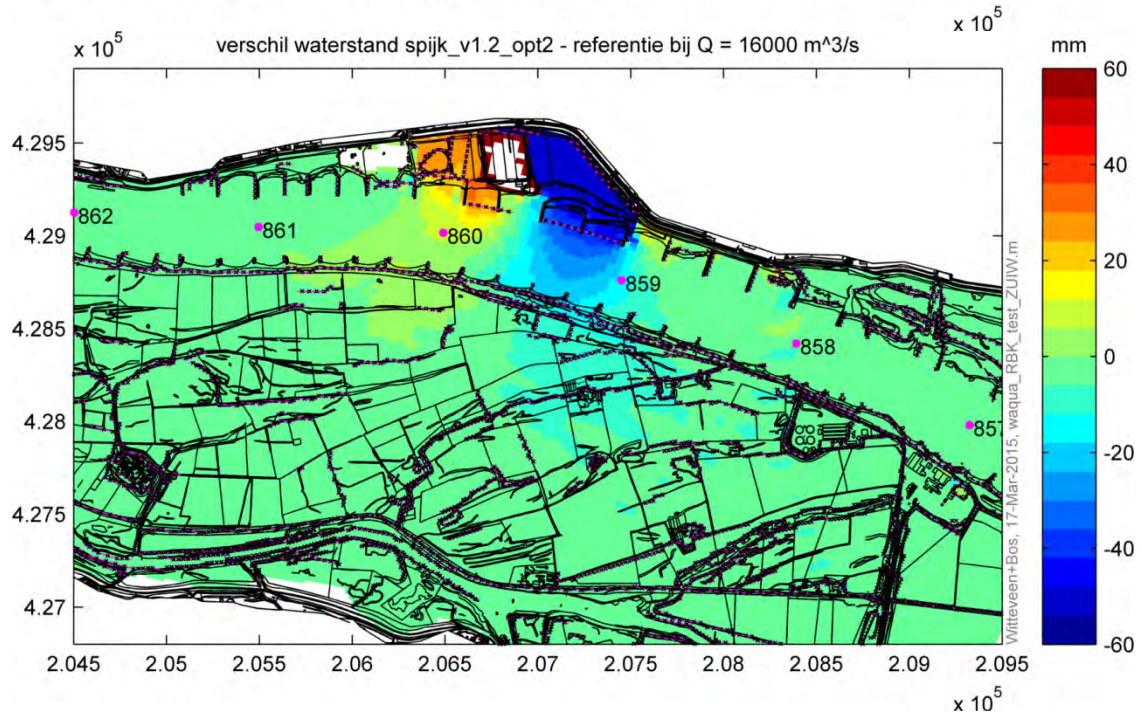
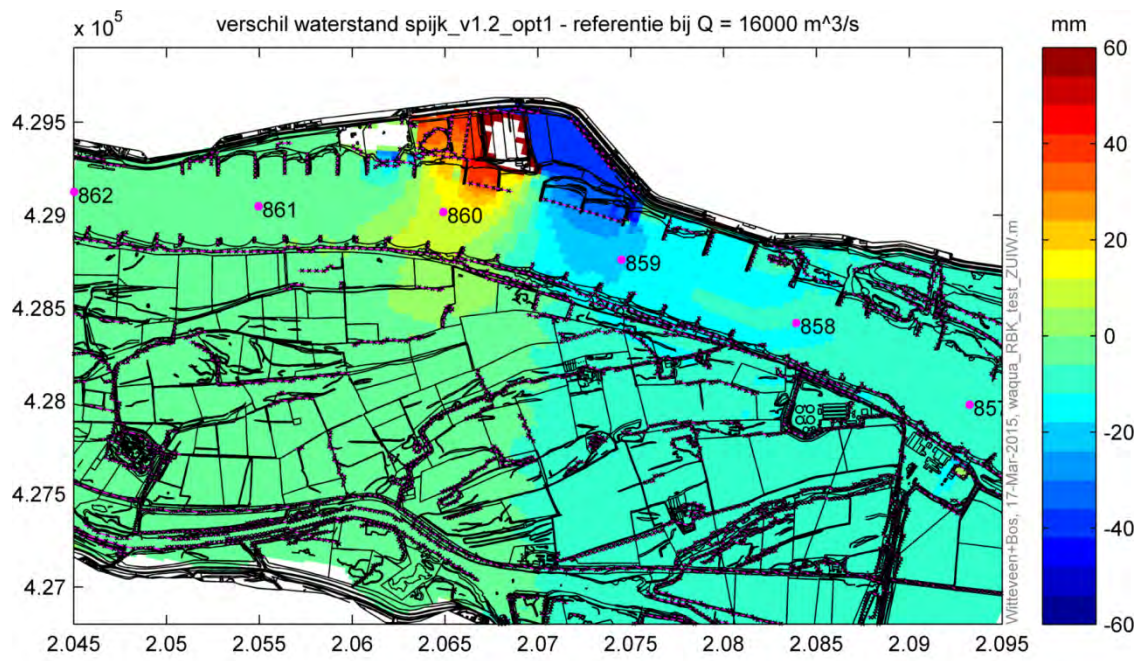


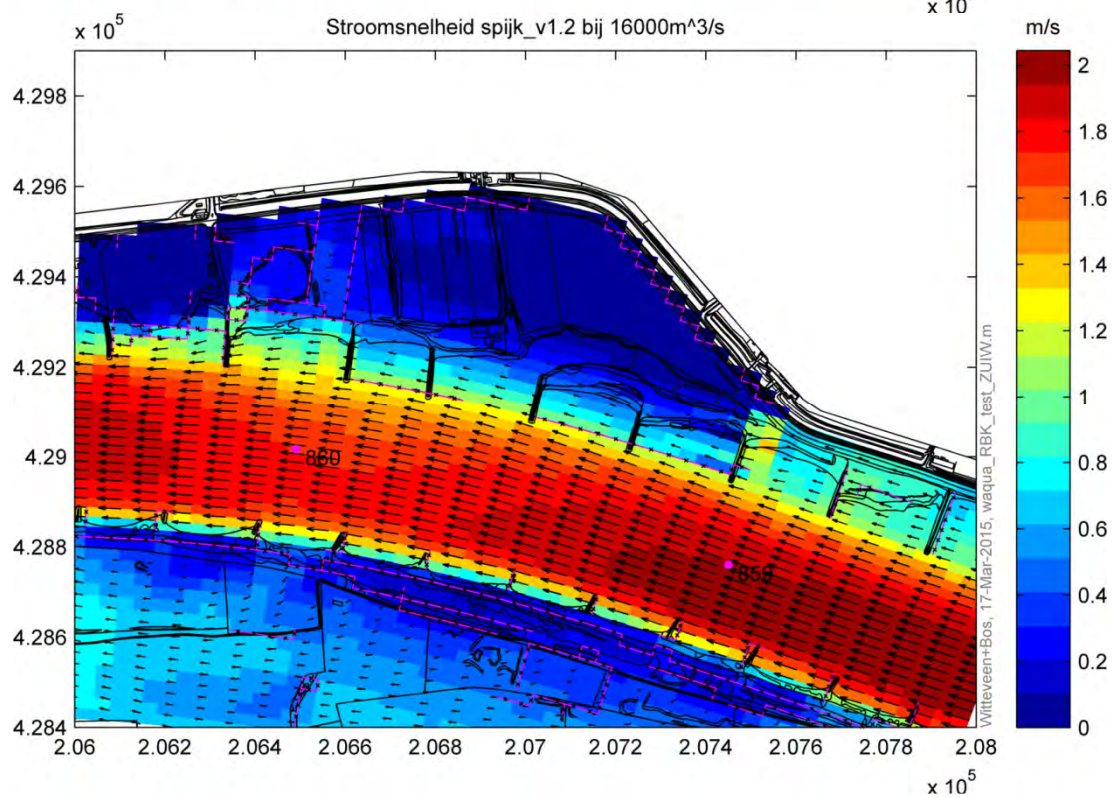
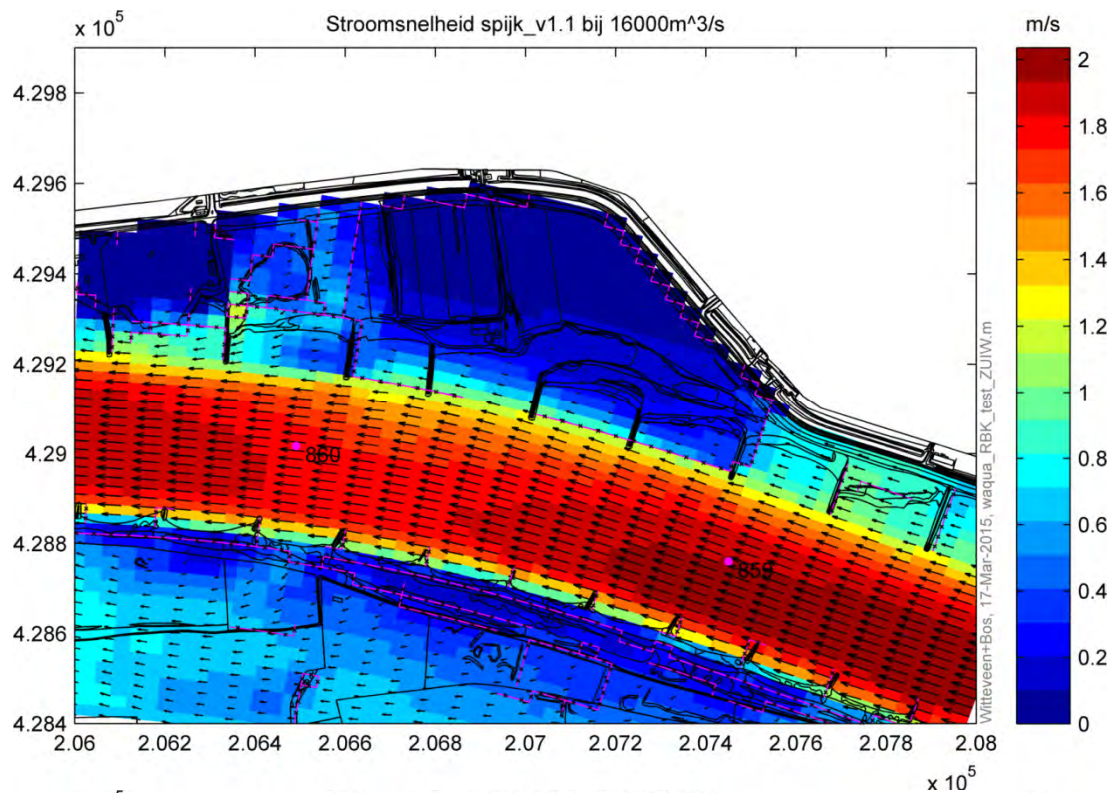
Oostvariant

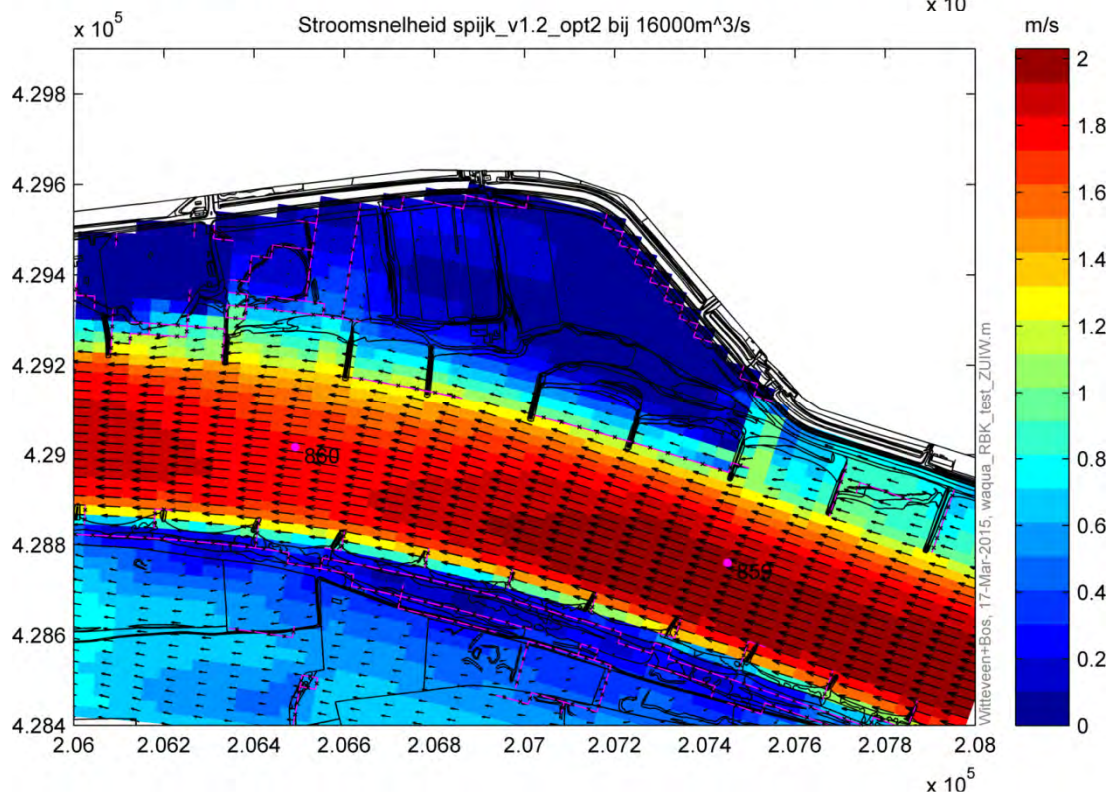
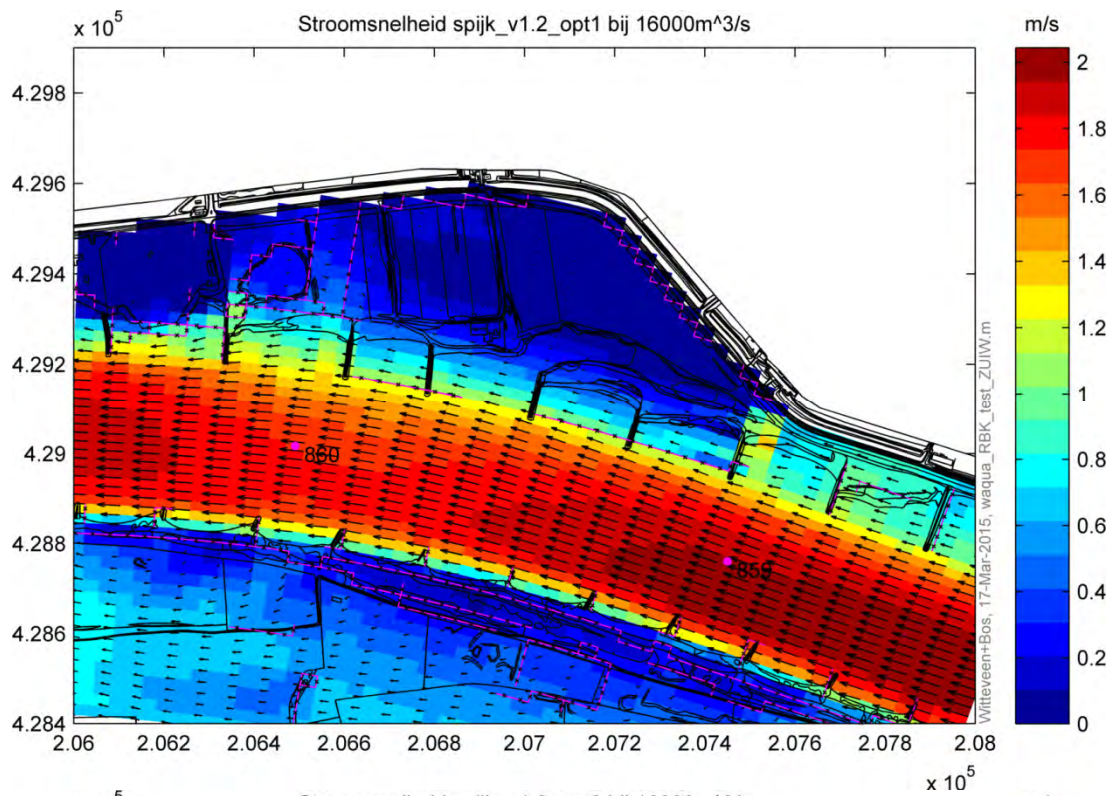












BIJLAGE VII NOTITIE RIVIERKUNDIGE EFFECTEN VKV'S

Witteveen+Bos
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
0570 69 79 11
www.witteveenbos.nl

onderwerp	rivierkundige effecten geoptimaliseerde inrichtingsvarianten
project	MIRT 3 Overnachtingshaven Lobith
opdrachtgever	provincie Gelderland
projectcode	AH660-1
referentie	AH660-1-225/15-009.882
opgemaakt door	drs. W.M. Zuiderwijk
goedgekeurd door	A. Zoon MSc.
status	definitief 02
datum opmaak	11 juni 2015
bijlagen	uitvoerpunten langs de primaire waterkering

paraaf 

aan	projectteam Lobith	J. Schippers M. Wilkens
kopie	Witteveen+Bos	mw. J. van Nieuwpoort J. de Boer

1. INLEIDING

De hydraulische en morfologische effecten van de inrichtingsvarianten van Spijk zijn tijdens de effectenstudie bepaald met WAQUA [ref. 4.]. Het destijds gebruikte WAQUA-model was nog niet up-to-date gemaakt met de meest recente maatregelen in het projectgebied. Daarnaast bleek uit de effectenstudie (deelrapport rivierkunde) dat er nadelige effecten optreden mbt opstuwung, dwarsstroming en morfologie. Deze kunnen door middel van optimalisaties beperkt worden. Ten einde een goede afweging te maken tussen de inrichtingsvarianten en om uiteindelijk een voorkeursvariant samen te stellen, is het wenselijk om inzicht te krijgen in mogelijke optimalisaties van de inrichtingsvarianten. Daarom zijn de Oost- en Westvariant van Spijk geoptimaliseerd en gerapporteerd in [ref. 3.].

Inmiddels heeft er een update van het Baseline- en WAQUA-model plaatsgevonden wat de berekende hydraulische en morfologische effecten van de inrichtingsvarianten uit de effectenstudie waarschijnlijk iets zal beïnvloeden. Voor een goede onderbouwing van het Voorkeursalternatief is het daarom noodzakelijk de rivierkundige effecten van de geoptimaliseerde inrichtingsvarianten Oost, West en Zuid bij Spijk alsmede de uitgebreide variant (variant 2) van Tuindorp met het nieuwe model te bepalen. De resultaten hiervan worden in deze notitie gepresenteerd. Daarnaast zijn van de Westvariant nog twee varianten doorge-rekend met een bovenstroomse dwarsdam die meer parallel aan de rivier ligt ter reductie van de dwarsstroming (variant 2_1) en met de noordzijde van de haven meer richting de rivier verlegd ter vergroting van het uitloopgebied tussen de primaire waterkering en de haven (variant 2_2).

Deze notitie beschrijft in hoofdstuk 2 de uitgangspunten waarna in hoofdstuk 3 de beschouwde varianten worden gepresenteerd. De effecten op de opstuwung, dwarsstroming

en morfologie zijn gepresenteerd in hoofdstuk 4. De notitie eindigt met de conclusies in hoofdstuk 5.

2. UITGANGSPUNTEN

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- referentiemodel baseline-rijn-beno14_5-v2 geactualiseerd met 5 maatregelen [ref. 2]. De uitgebreide variant van Tuindorp is met een verfijnd rekenrooster (factor 3) doorge-rekend;
- baselineversie 5.2.4;
- baselineschematisatie volgens [ref. 1.];
- SIMONA2014_1;
- uitvoer waterstandverandering op elke 100 m van de rivieras;
- opstuwing is bepaald bij Boven-Rijnafoer van $Q_{br} = 16.000 \text{ m}^3/\text{s}$; dwarsstroming en morfologie op basis van Boven- Rijnafoer van $Q_{br} = 6.000 \text{ m}^3/\text{s}$. De effecten van de vkv's op de dwarsstroming en morfologie vkv's zullen in een later stadium ook getoetst worden voor andere afvoeren.

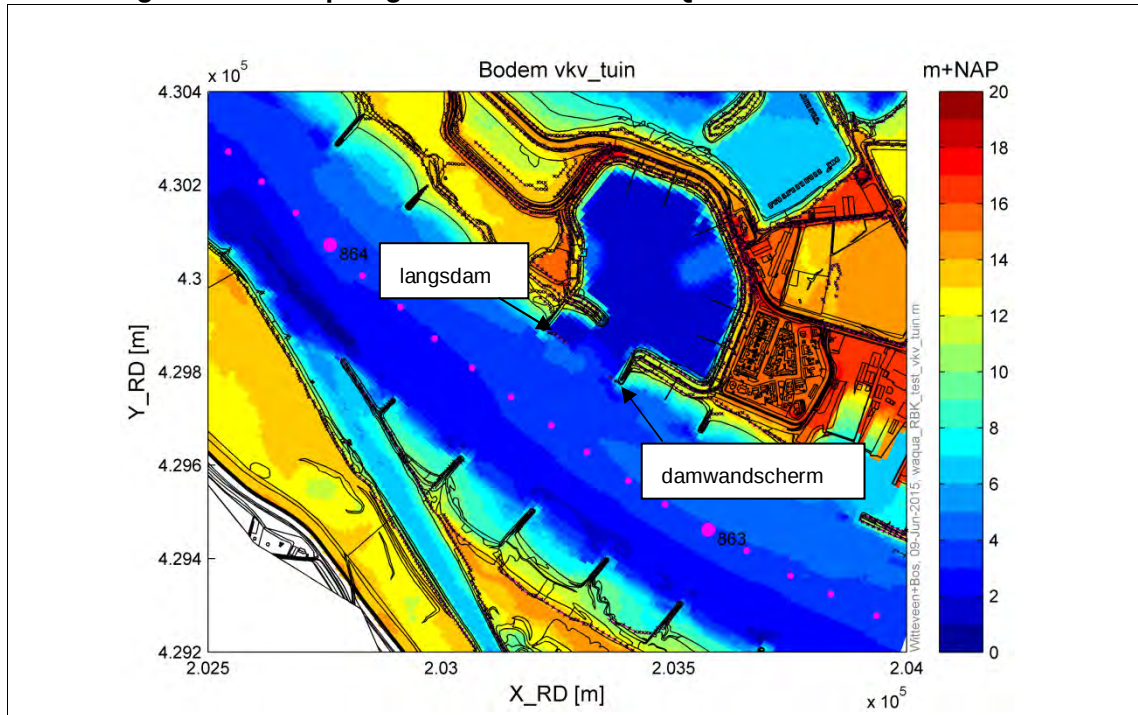
3. BESCHOUWDE VARIANTEN

3.1. Tuindorp

De basis voor de Baseline- en WAQUA-schematisatie van de uitgebreide variant (afbeelding 3.1) is de overzichtstekening AH660.1.1081. De dimensies van de kenmerkende elementen uit het ontwerp zijn als volgt:

- huidige situatie:
 - breedte tussen havendammen bij mediane afvoer: circa 95 m;
 - gemiddelde bodemhoogte havenmond: NAP +3 m;
- nieuwe situatie:
 - breedte tussen de havendammen bij mediane afvoer: 119,30 m;
 - bodemhoogte tussen de havendammen: NAP +1,45 m;
 - lengte nieuw damwandscherm: 25 m;
 - lengte langsdam: 85 m.

Afbeelding 3.1. Tuindorp uitgebreide variant - WAQUA bodemschematisatie



3.2. Spijk

De basis voor de beschouwde varianten zijn de inrichtingsvarianten uit de effectenstudie met de geoptimaliseerde havendamhoogtes uit [ref. 3.]. De definities van de havendammen zijn weergegeven in afbeelding 3.2. In [ref. 3.] wordt geadviseerd de bovenstroomse dwarsdam op circa NAP +17 m aan te leggen en de benedenstroomse dwarsdam op NAP +11 m. De nautisch expert van BMT Argoss heeft echter aangegeven dat NAP +11 m te laag is vanwege overlast van stroming en golven in de haven. Daarom is er voor gekozen de benedenstroomse dwarsdam te verhogen naar NAP +13 m. Omdat uit de optimalisaties [ref. 3.] bleek dat een bovenstroomse dwarsdamhoogte op NAP +17 m resulteerde in een opstuwning in bovenstroomse richting is ervoor gekozen deze op NAP +16 m aan te leggen. Voor de langsdamhoogte is uitgegaan van een hoogte van NAP +13 m omdat vanuit landschappelijk oogpunt een lage langsdam wenselijk is in verband met het zicht op de rivier. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de gehanteerde havendamhoogten.

De volgende varianten zijn met het geactualiseerde WAQUA model doorgerekend:

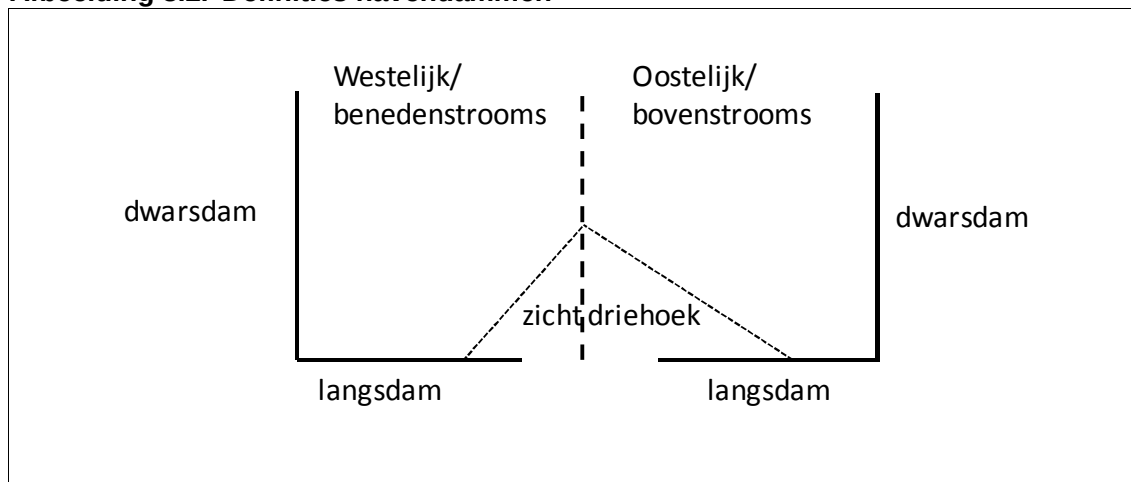
- geoptimaliseerde Oostvariant (alleen havendamhoogtes en helling zijn gewijzigd ten opzichte van inrichtingsvariant);
- geoptimaliseerde Westvariant (v2). De haven van de Westvariant is wat meer richting het oosten verschoven ten opzichte van de inrichtingsvariant vanwege de langere benedenstroomse taludhelling van de benedenstroomse dwarsdam in relatie tot het terrein Wezendonk;
- geoptimaliseerde Westvariant (v2_1) met gestroomlijnde bovenstroomse dwarsdam ter reductie van de dwarsstroming. De bovenstroomse langsdam loopt in deze variant door als oever richting de primaire waterkering. De opvulling van het uitloopgebied achter de oever heeft als hoogte NAP +15-16 m. Deze opvulling kan in een later stadium geoptimaliseerd worden afhankelijk van de functie;
- geoptimaliseerde Westvariant (v2_2) met de noordrand van de haven verschoven richting de rivier ter vergroting van de afstand tussen de primaire waterkering en de haven;

- geoptimaliseerde Zuidvariant (alleen havendamhoogtes en helling zijn gewijzigd ten opzichte van inrichtingsvariant).

Tabel 3.1. Dimensies havendammen

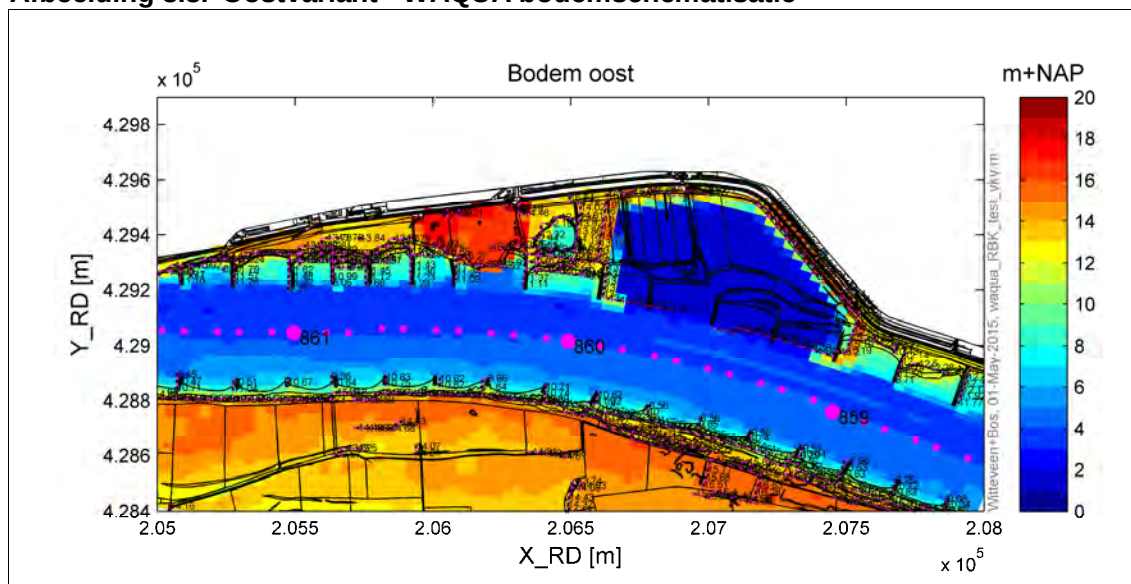
bovenstrooms		benedenstrooms	
kruinhoogte dwarsdam (m+NAP)	kruinhoogte langsdam (m+NAP)	kruinhoogte dwarsdam (m+NAP)	kruinhoogte langsdam (m+NAP)
16,0 (1:7 talud, volledige lengte)	13,0	13,0 (1:7 talud van dwarsdam ten zuiden van Wezendonk)	buiten zichtdriehoek 13,0

Afbeelding 3.2. Definities havendammen

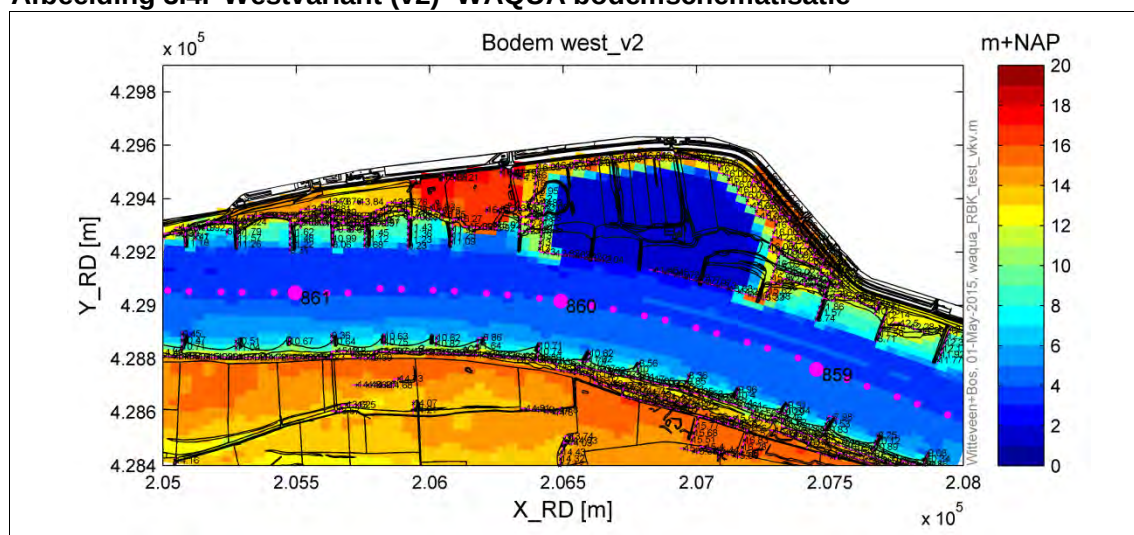


De afbeeldingen 3.3 tot en met 3.7 tonen de WAQUA bodemschematisaties van de beschouwde varianten.

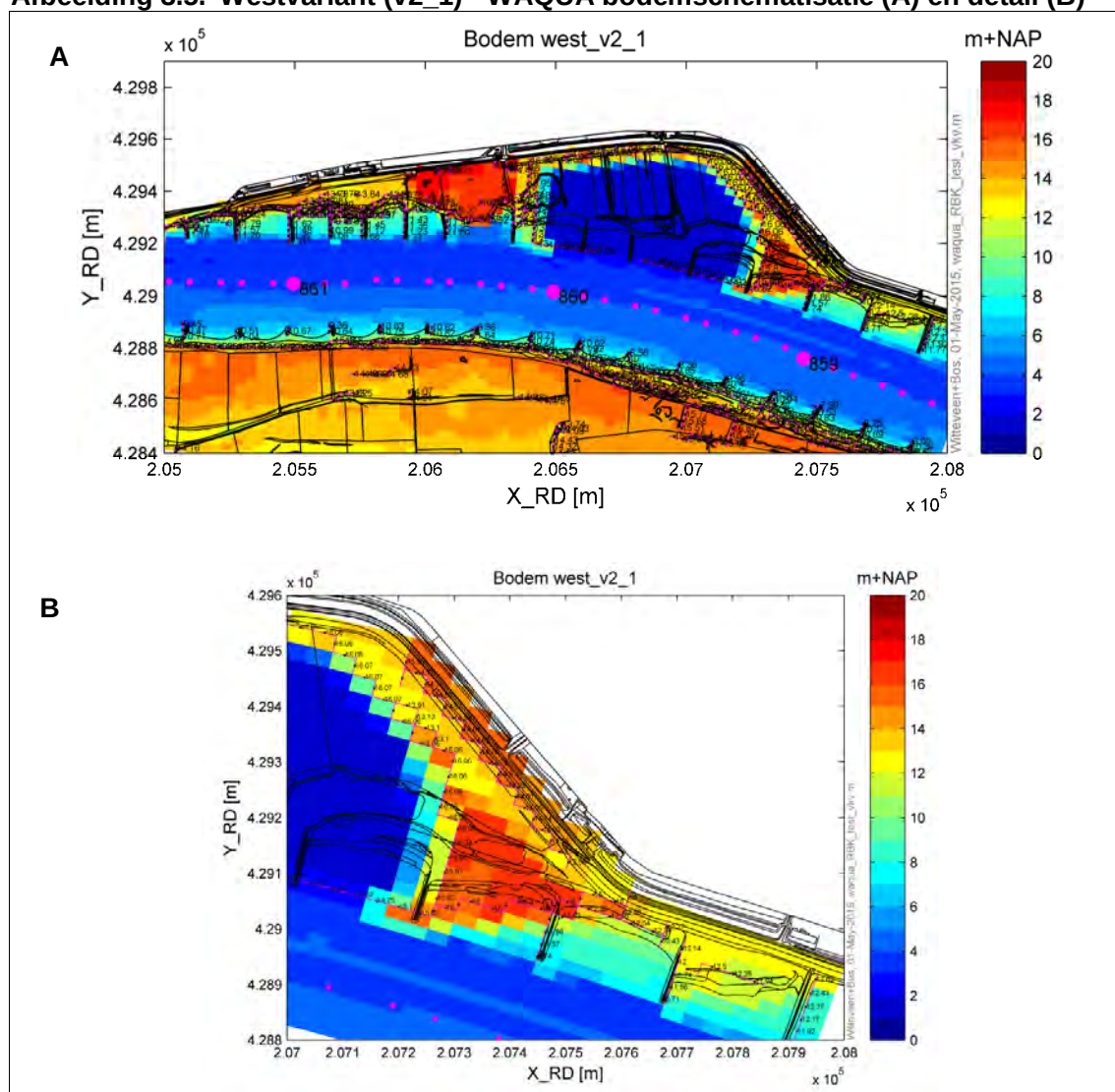
Afbeelding 3.3. Oostvariant - WAQUA bodemschematisatie



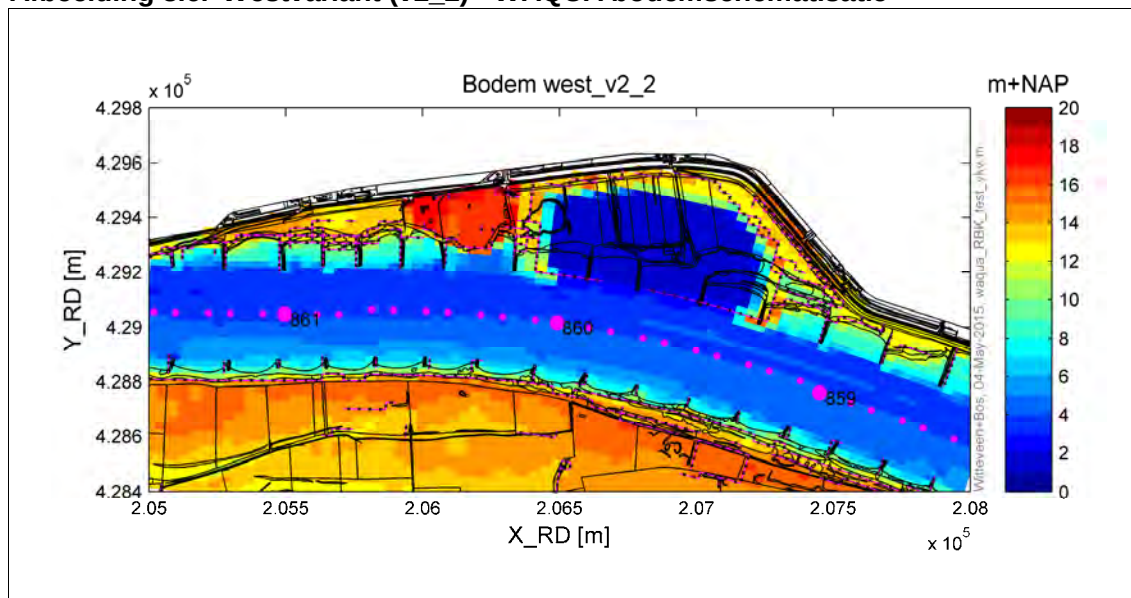
Afbeelding 3.4. Westvariant (v2)- WAQUA bodemschematisatie



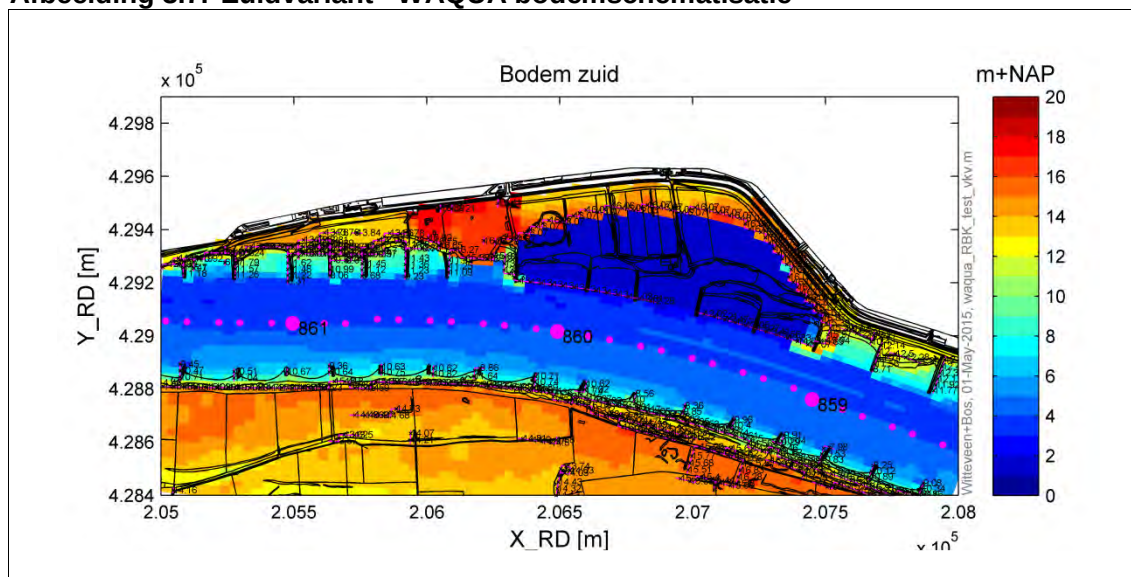
Afbeelding 3.5. Westvariant (v2_1) - WAQUA bodemschematisatie (A) en detail (B)



Afbeelding 3.6. Westvariant (v2_2) - WAQUA bodemschematisatie



Afbeelding 3.7. Zuidvariant - WAQUA bodemschematisatie



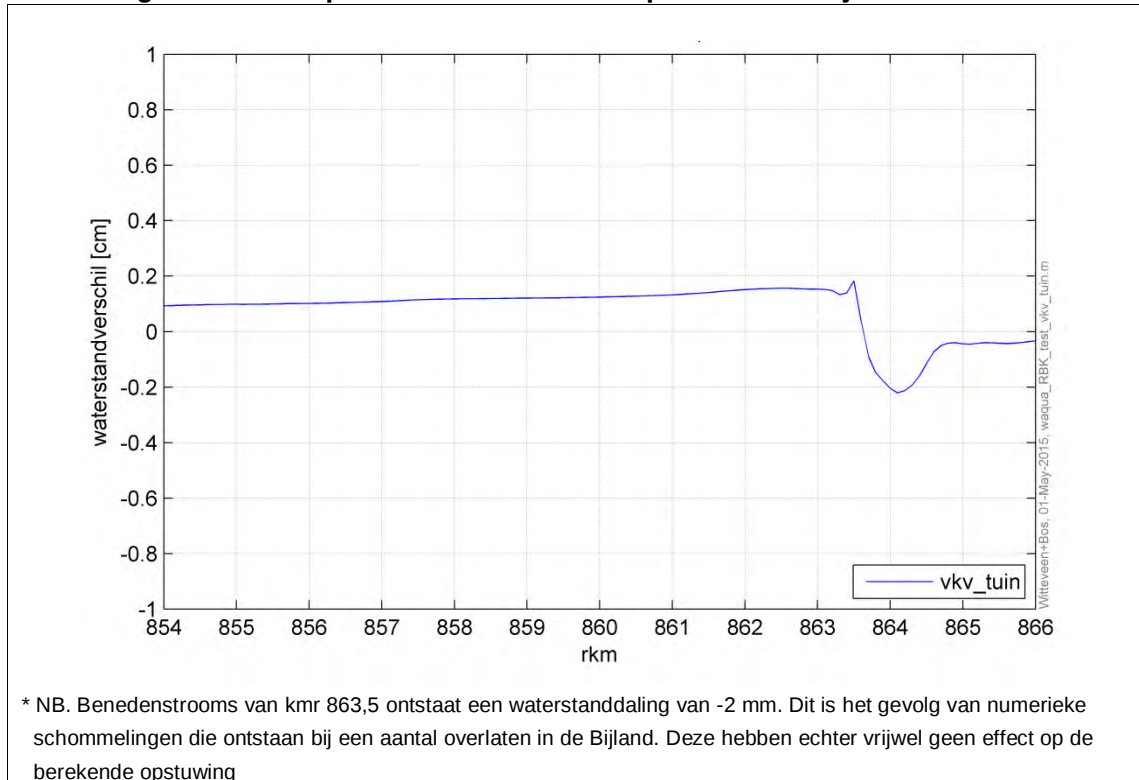
4. RESULTATEN

4.1. Tuindorp (uitgebreide variant)

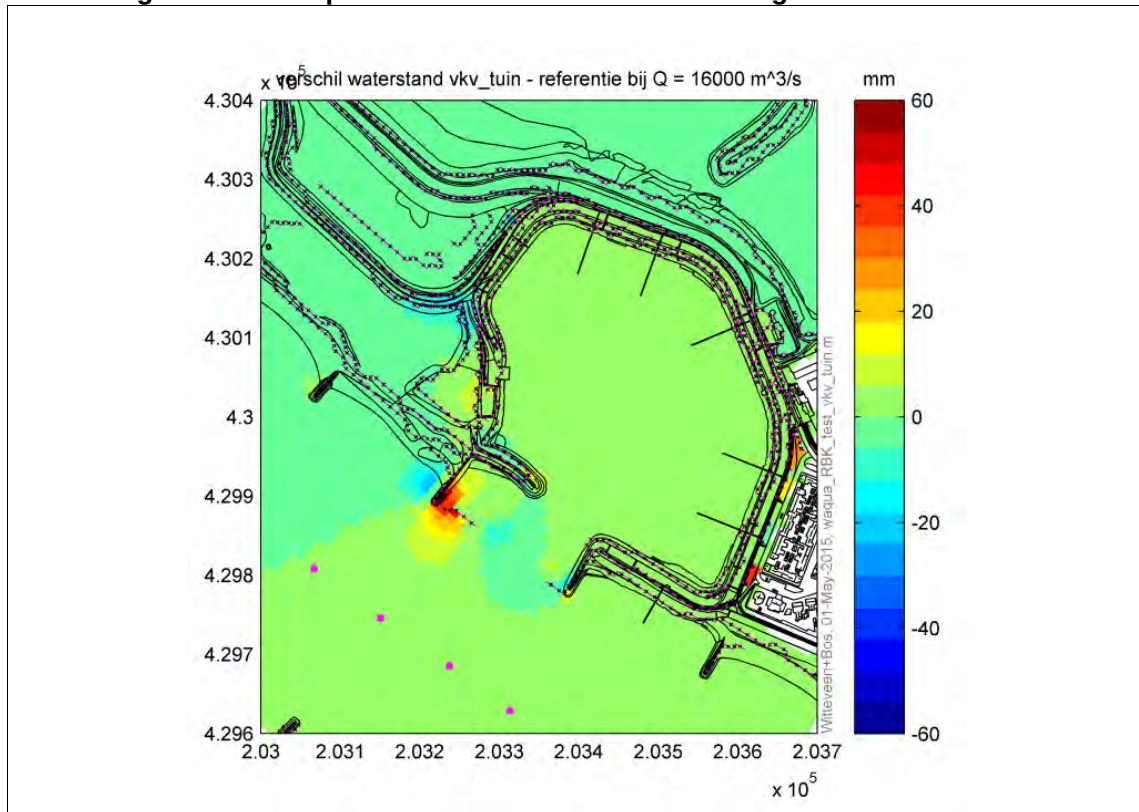
4.1.1. Opstuwing

Afbeelding 4.1 toont de opstuwing op de rivieras bij MHW. De opstuwing bedraagt maximaal 1,9 mm op rkm 863,5. Afbeelding 4.2 toont de waterstandverandering in het 2D-vlak. Hierin is te zien dat de opstuwing net bovenstrooms van de krib waar de langsdam aangelegd wordt 50 mm bedraagt. De opstuwing langs de waterkering bedraagt maximaal 5 mm. De verwachting is dat na het verflauwen van de taludhelling van de krib en/of verlaging van de kruin de opstuwing op de rivieras beperkt tot onder het criterium uit het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK, [ref. 5]) van maximaal 1 mm.

Afbeelding 4.1. Tuindorp - waterstandverschil op de rivieras bij MHW



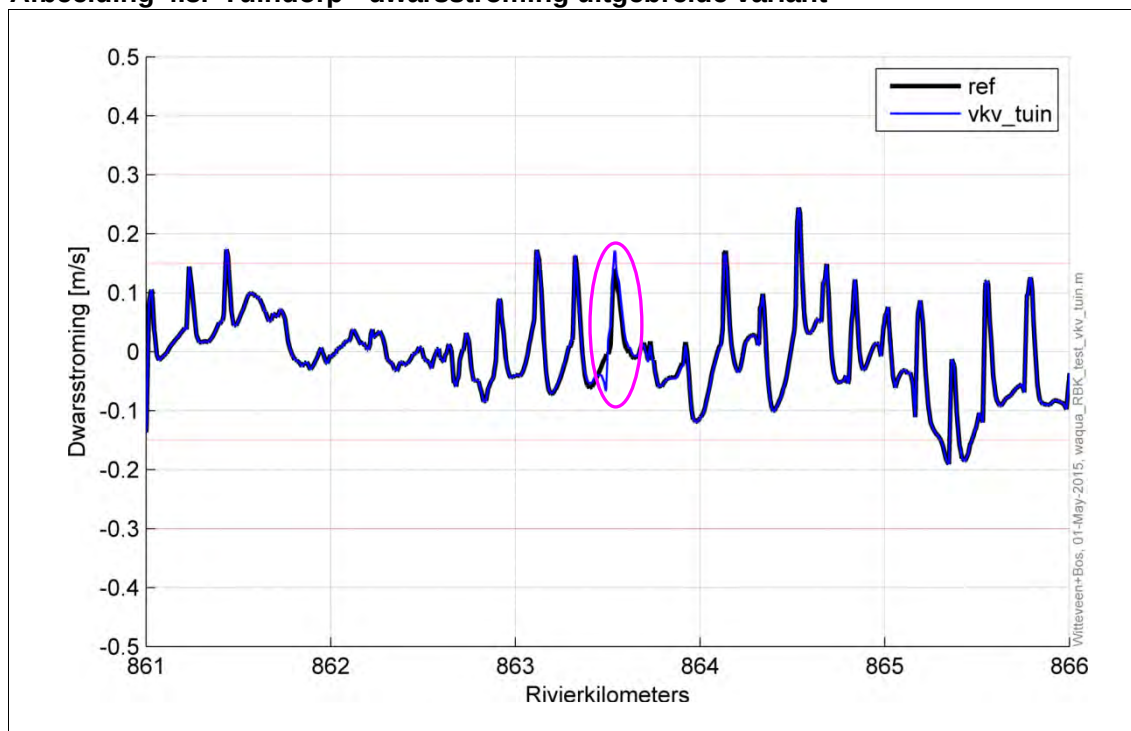
Afbeelding 4.2. Tuindorp - waterstandverschil 2D-vlak uitgebreide variant



4.1.2. Dwarsstroming

Afbeelding 4.3 toont de dwarsstroming bij 6.000 m³/s. De dwarsstroming neemt met maximaal 2 cm/s toe tot 0,17 m/s. De verwachting is dat door het nemen van de mitigerende maatregel ter reductie van de opstuwing, de dwarsstroming zal afnemen tot ongeveer 0,15 m/s (maximaal toelaatbare dwarsstroming [ref. 3.]).

Afbeelding 4.3. Tuindorp - dwarsstroming uitgebreide variant



4.1.3. Morfologie

De morfologische effecten van de uitgebreide variant zijn gerapporteerd in een separate notitie [ref. 6.]. Het effect van de langsdam op de jaarlijkse sedimentatie van de havenmond -en kom bedraagt -2.000 en -200 m³/jaar. De berekende sedimentatie hebben een onzekerheidsmarge van +/-50 %, wat neerkomt op een besparing tussen 1.100 - 3.300 m³/jaar.

4.2. Spijk

4.2.1. Opstuwing bij MHW

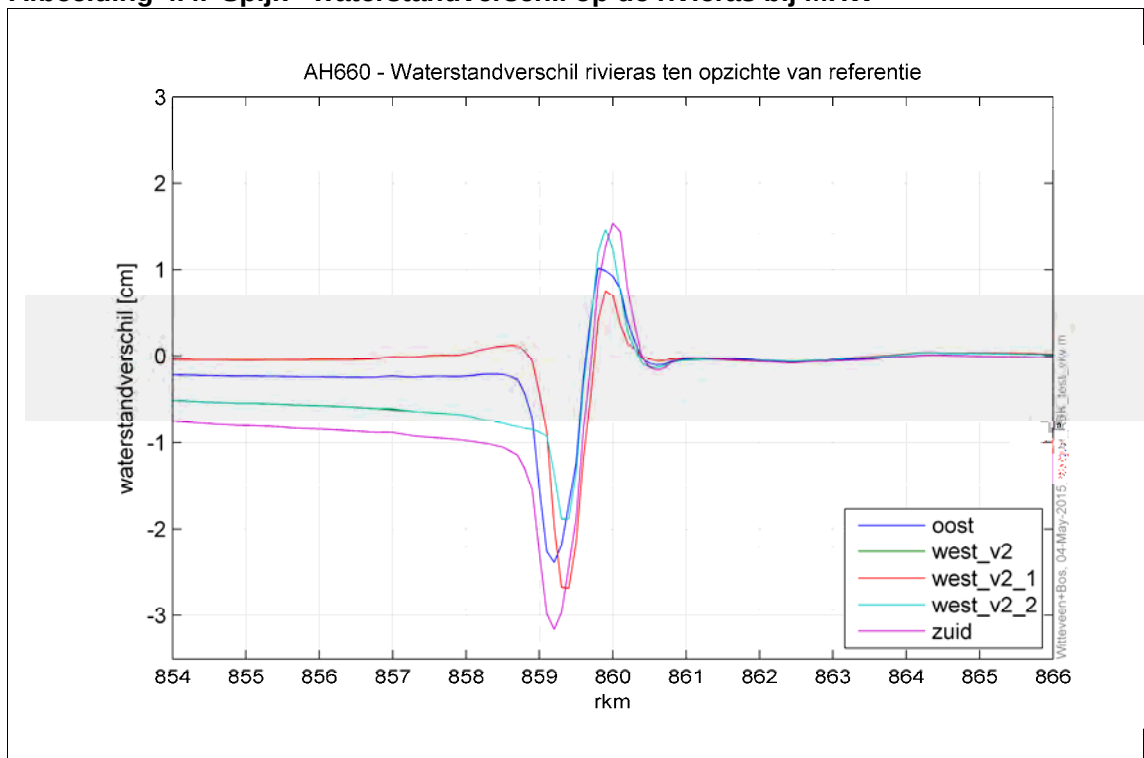
De waterstandverandering van de beschouwde varianten is gepresenteerd op de rivieras (afbeelding 4.4), het 2-D vlak (afbeelding 4.5 tot en met afbeelding 4.8) en langs de primaire waterkering (afbeelding 4.9 en 4.10). Een samenvatting van de waterstandeffecten is gegeven in tabel 4.1. Hieruit wordt het volgende opgemaakt:

- alle varianten veroorzaken een opstuwing van de waterstand op de rivieras nabij kmr 860. Deze is het kleinst voor de variant Westvariant v2_1 (8 mm). De opstuwing van de overige varianten ligt tussen de 10 en 15 mm. De opstuwing van de overige varianten (Oost, en Zuid) zou nog iets verder geoptimaliseerd kunnen worden maar de verwachting is dat dit tot een vergelijkbare opstuwing leidt als bij Westvariant v2_1;
- aan de oostzijde van de haven (bovenstrooms, grofweg tussen kmr 859 - 859,8 vindt er een waterstanddaling plaats omdat de rivier verruimd wordt. Dit waterstanddalend ef-

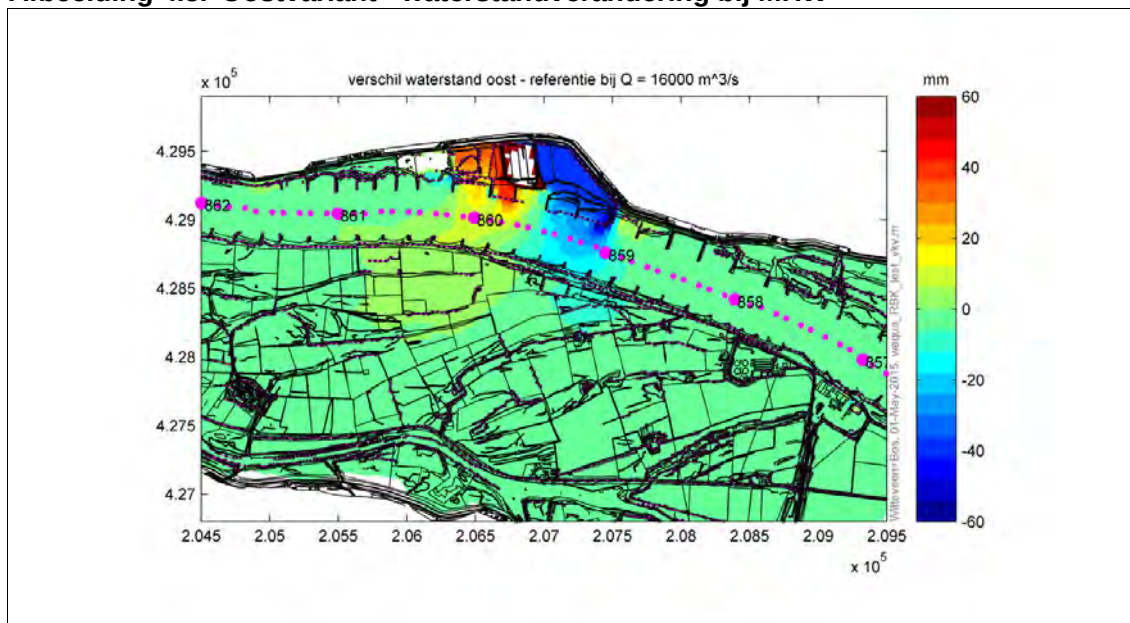
fect is het grootst voor de Zuidvariant omdat bij deze variant het havenoppervlak het grootst is en de rivier hier de meeste ruimte krijgt. Het RBK [ref. 5.] stelt dat een benedenstroomse piek in de waterstand als gevolg van het stromen van water vanuit de uiterwaard naar de rivier geaccepteerd kan worden mits die vooraf wordt gegaan door een beduidend grotere verlaging. Aangezien het oppervlak van de verlaging ongeveer 5 keer groter is dan de verhoging zou hieraan in principe voldaan worden. Daarnaast is de piek geoptimaliseerd en betreft het vooral een lokaal effect (opstuwing plant zich niet in bovenstroomse richting voort);

- in de bovenstroomse richting is de Westvariant v2_1 waterstandneutraal. Dit houdt in dat er bij deze variant een optimum gevonden is tussen de opstuwing in bovenstroomse richting en ter plaatse van de uitstroom bij kmr 860. De verwachting is dat de overige varianten waarschijnlijk een vergelijkbaar opstuwend effect zullen veroorzaken als de variant West_v2_1 indien de havendammen nog wat verder geoptimaliseerd zouden worden (dat wil zeggen waterstandneutraal effect in bovenstroomse richting en een kleine piek in de waterstand bij kmr 860). Met name de Zuidvariant kan verder geoptimaliseerd worden door de bovenstroomse dwars -en langsdam te verhogen zodat in bovenstroomse richting er sprake is van een neutrale waterstandverandering en benedenstrooms de opstuwingspiek gereduceerd wordt tot circa 8 mm;
- het effect van de verlegde noordrand van de haven richting de rivier (Westvariant v2_2) heeft vrijwel geen effect op de opstuwing ten opzichte van de geoptimaliseerde Westvariant v2. De resultaten van de v2_2 variant zijn vergelijkbaar met de variant v2 en zijn daarom niet verder behandeld in deze notitie;
- langs de primaire waterkering (afbeelding 4.9) is de opstuwing van de Westvariant v2_1 het kleinst en bedraagt maximaal 23 mm (afbeelding 4.10). Tussen kmr 859,0 en 859,5 vindt er een verlaging van de MHW-stand plaats van circa 57 mm. De overige varianten resulteren in een hogere opstuwing langs de primaire waterkering en kleinere verlaging van de MHW-stand kmr 859,0 en 859,5.

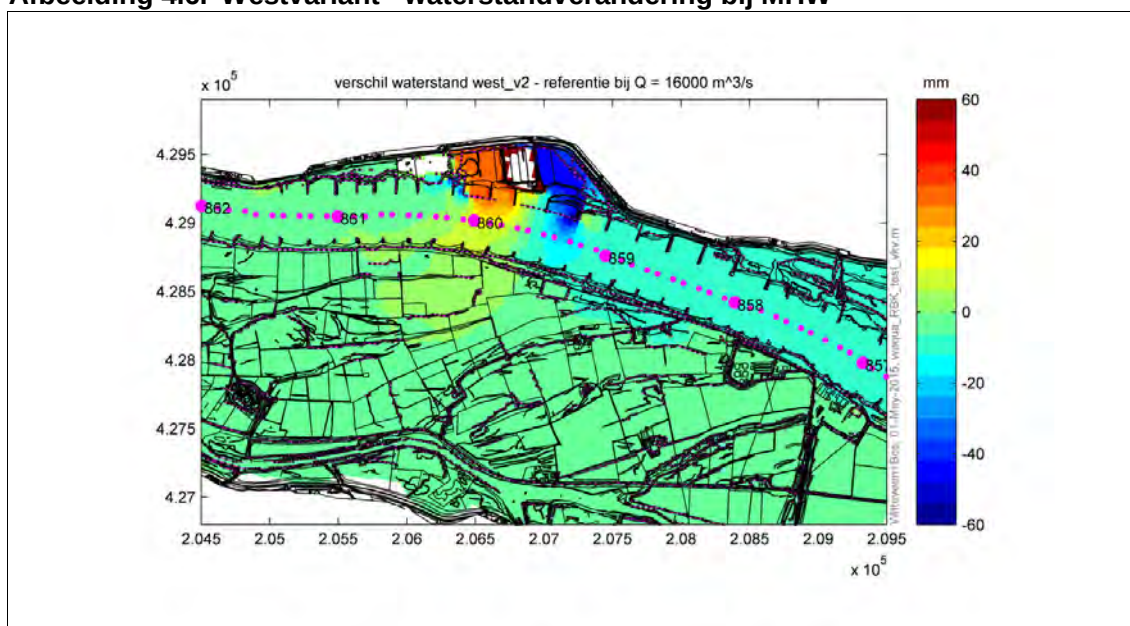
Afbeelding 4.4. Spijk - waterstandverschil op de rivieras bij MHW



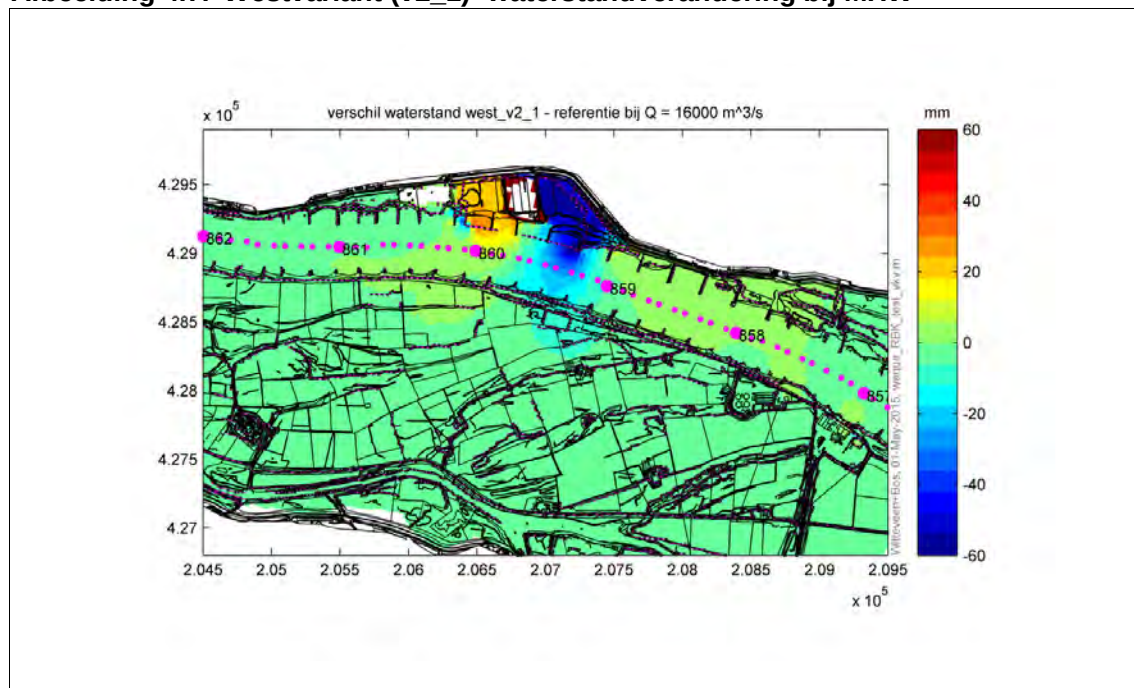
Afbeelding 4.5. Oostvariant - waterstandverandering bij MHW



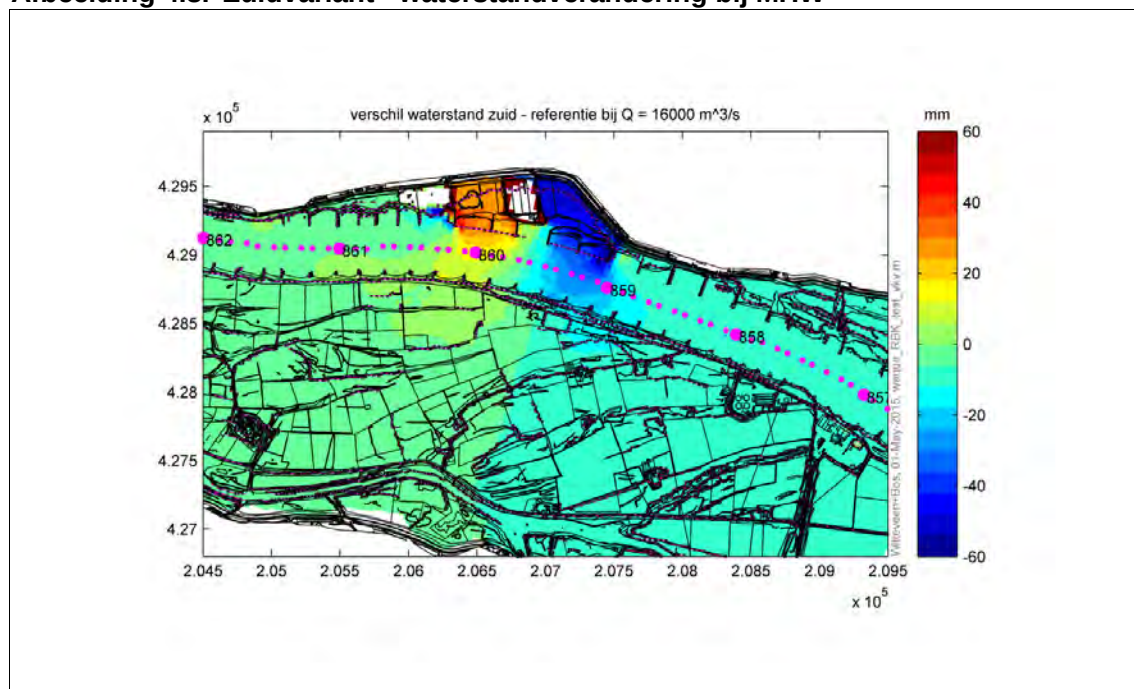
Afbeelding 4.6. Westvariant - waterstandverandering bij MHW



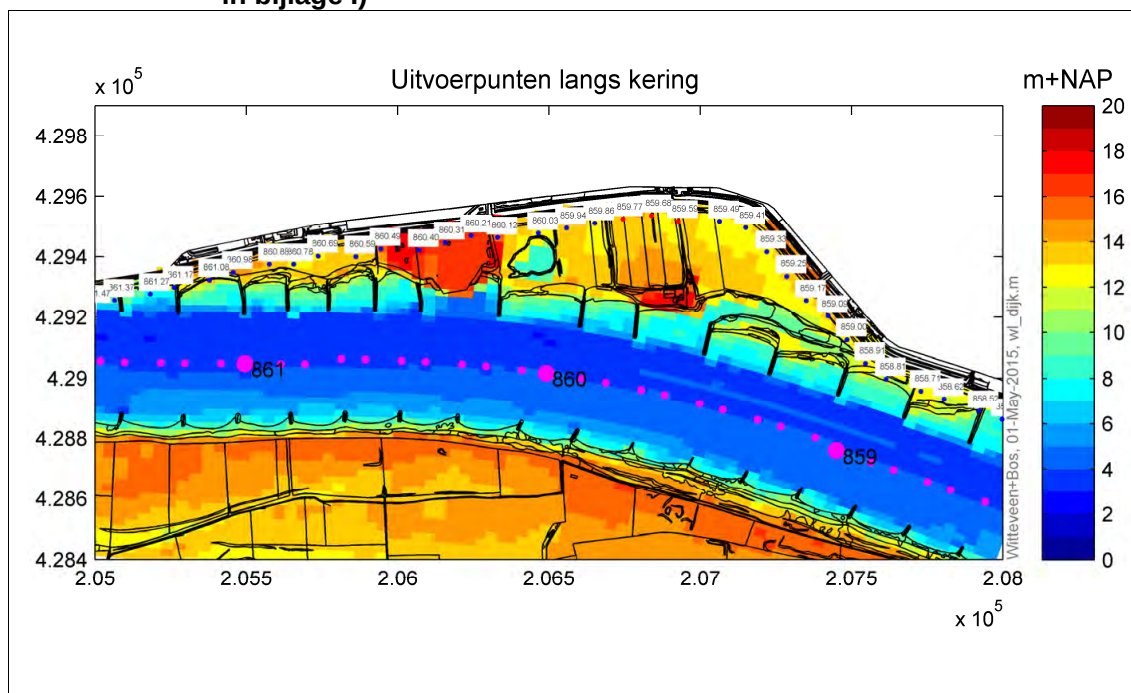
Afbeelding 4.7. Westvariant (v2_1)- waterstandverandering bij MHW



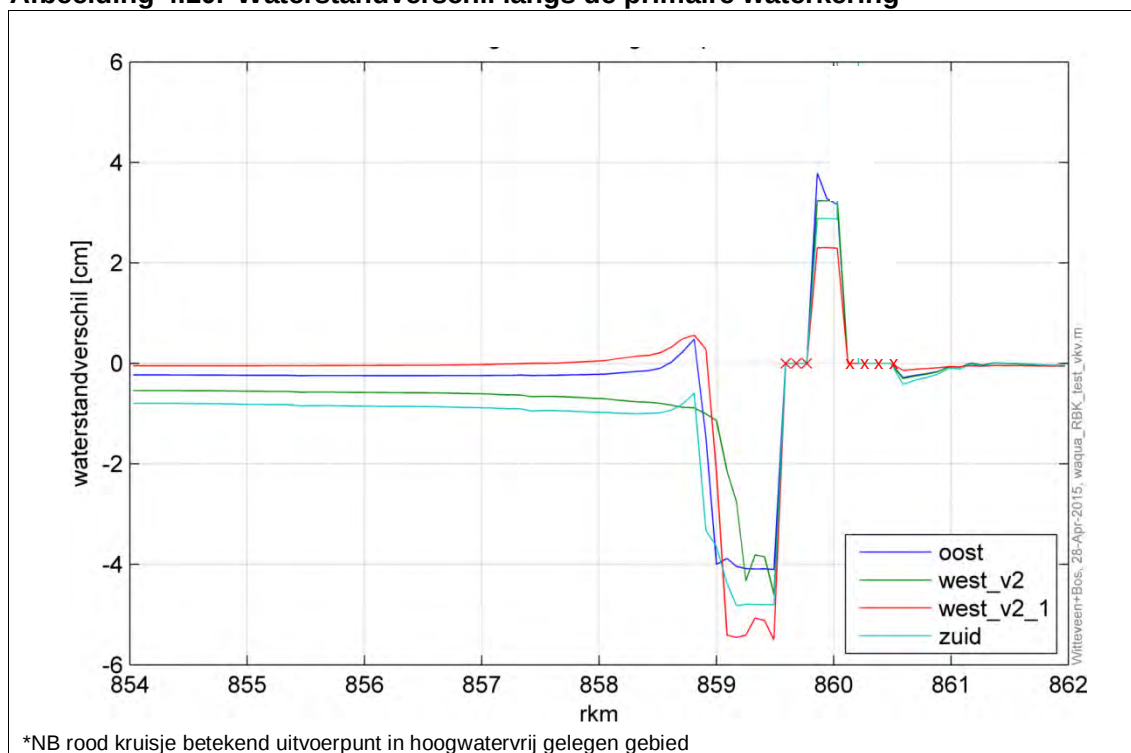
Afbeelding 4.8. Zuidvariant - waterstandverandering bij MHW



Afbeelding 4.9. Uitvoerpunten langs de primaire waterkering (vergoet weergegeven in bijlage I)



Afbeelding 4.10. Waterstandverschil langs de primaire waterkering



Tabel 4.1. Samenvatting waterstandeffecten

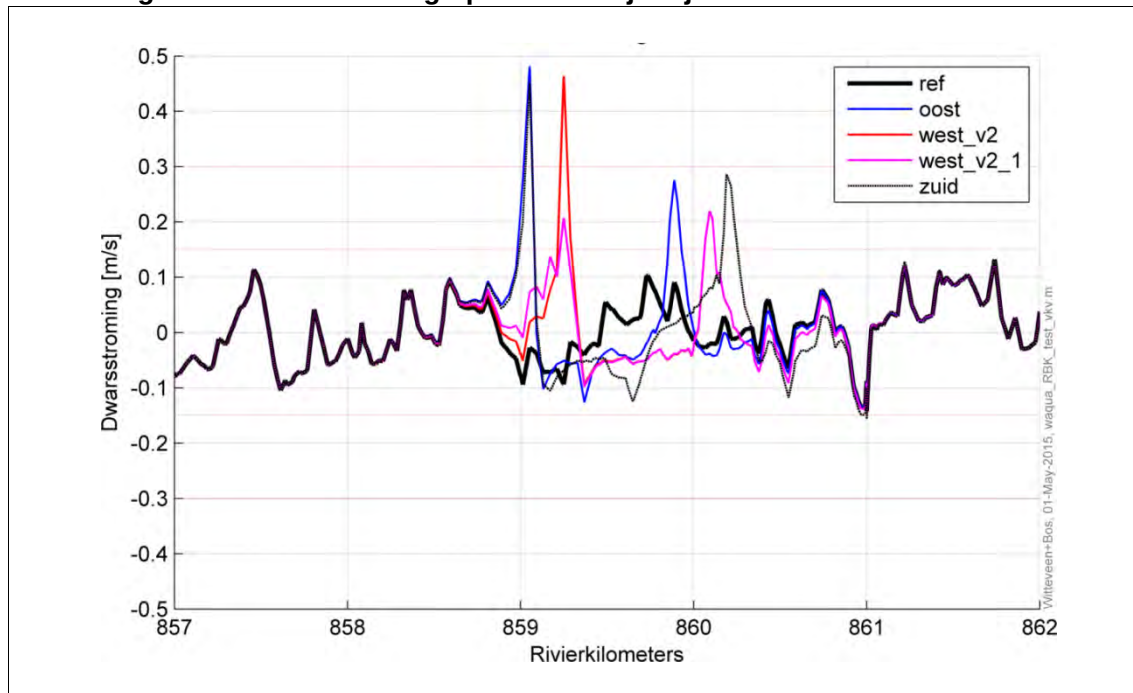
variant	waterstandsverandering in rivieras (mm)		waterstandsverandering langs primaire kering rechteroever (mm)
	bovenstrooms (kmr 858)	benedenstrooms (kmr 860)	maximale toename
Oost	-3	+10	+38
West (v2)	-8	+14	+32
West (v2_1)	0	+8	+23
West (v2_2)	-8	+14	+32
Zuid	-10	+15	+28

4.2.2. Dwarsstroming

De dwarsstroming op de bakenlijn is weergegeven in afbeelding 4.11. Een positieve waarde van de dwarsstroming betekent richting het zomerbed, een negatieve waarde is richting de uiterwaard. Ter plaatse van de bovenstroomse dwarsdam stroomt er water richting het zomerbed. Omdat dit in de meeste varianten een vrij abrupte overgang is, veroorzaakt dit een piek in de dwarsstroming van maximaal ongeveer 0,45 - 0,5 m/s (varianten Oost, West-v2 en Zuid).

De dwarsstroming kan sterk gereduceerd worden door de overgang van de rechteroever naar de havendam geleidelijk te laten verlopen zoals voor de West v2_1 variant gedaan is. De dwarsstroming bedraagt voor de West v2_1 variant bij de bovenstroomse dwarsdam maximaal 0,2 m/s. Bij het uitstroompunt stroomt het water vanuit de haven terug de rivier in. Ook hier ontstaat er een piek in de dwarsstroming, grofweg tussen rkm 859,8 en 860,3, afhankelijk van de locatie van de benedenstroomse dwarsdam. De piek bij de uitstroom is het kleinst voor de West v2_1 variant en bedraagt 0,22 m/s. Voor beide locaties geldt dat de dwarsstroming kleiner dan 0,15 m/s moet zijn om te kunnen voldoen aan het RBK. Daarom is verdere mitigatie nodig door bovenstrooms de overgang van de oever naar de langsdam nog wat flauwer te laten verlopen en/of door een krib langs de rechter oever te verhogen. Benedenstrooms kan de instroom van water over de langsdam beperkt worden door deze te verhogen. Hierdoor wordt de uitstroom waar de benedenstroomse piek in de dwarsstroming ontstaat gereduceerd.

Afbeelding 4.11. Dwarsstroming op de bakenlijn bij 6.000 m³/s



4.2.3. Morfologie

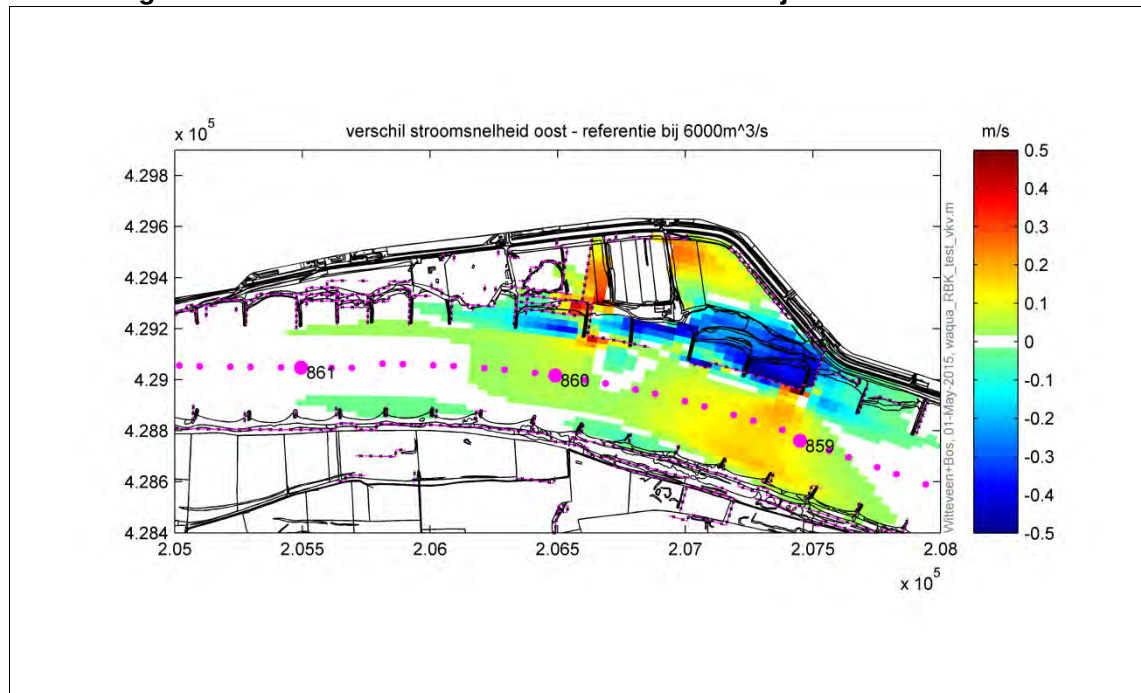
De morfologische effecten van de beschouwde varianten in het zomerbed zijn kwalitatief bepaald op basis van de verschillen in stroomsnelheid bij een Bovenrijnafvoer van 6.000 m³/s. Een toename van de stroomsnelheid duidt op erosie van de rivierbodem, een verlaging leidt tot aanzanding. De waterstand bij deze afvoer bedraagt bij kmr 859,5 NAP +13,82 m [ref. 3.]. Bij deze waterstand overstromen de langsdammen en benedenstroomse dwarsdam.

De stroomsnelheidsverschillen van de varianten zijn weergegeven in de afbeeldingen 4.12 tot en met 4.15. Het patroon van de stroomsnelheidsverschillen van de varianten is vergelijkbaar. De rivier versmalt aan de bovenstroomse zijde van de haven waardoor hier de stroomsnelheid toeneemt. In de benedenstroomse richting stroomt er geleidelijk meer water over de langsdam de haven in. Dit leidt halverwege de haven tot een afname van de stroomsnelheid in het zomerbed. Aan de benedenstroomse zijde van de haven neemt de stroomsnelheid toe langs de rechteroever terwijl langs de linkeroever de snelheid afneemt. Dit komt door een herverdeling van de stroming over het zomerbed.

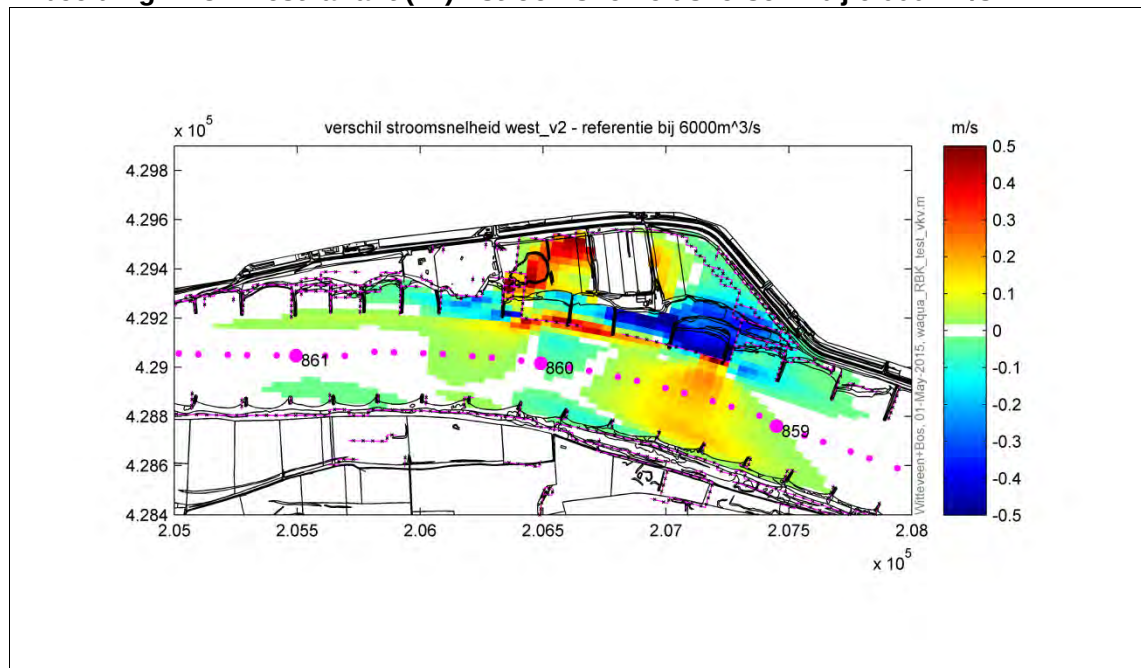
De morfologische effecten in het zomerbed zijn op basis van de verschillen in stroomsnelheden wat groter dan berekend tijdens de effectenstudie van de inrichtingsvarianten. Dit komt omdat de benedenstroomse langs- en dwarsdam nu lager is dan destijds aangenomen (nu 13 m +NAP in plaats van 15 - 16 m +NAP). Hierdoor vindt er nu een verruiming van het doorstroomprofiel plaats bij 6.000 m³/s ten opzichte van de referentiesituatie wat leidt tot een afname van de stroomsnelheid in het zomerbed. Dit leidt naar verwachting tot circa 10 - 20 cm aanzanding in de vaargeul (op basis van expert judgement).

Op basis van de afbeelding 4.12 tot en met 4.15 wordt geconcludeerd dat de kans op aanzanding van het zomerbed het grootst is bij de Zuidvariant. De morfologische effecten van de overige varianten zijn vergelijkbaar, zij het dat de Oostvariant waarschijnlijk iets minder aanzanding zal veroorzaken.

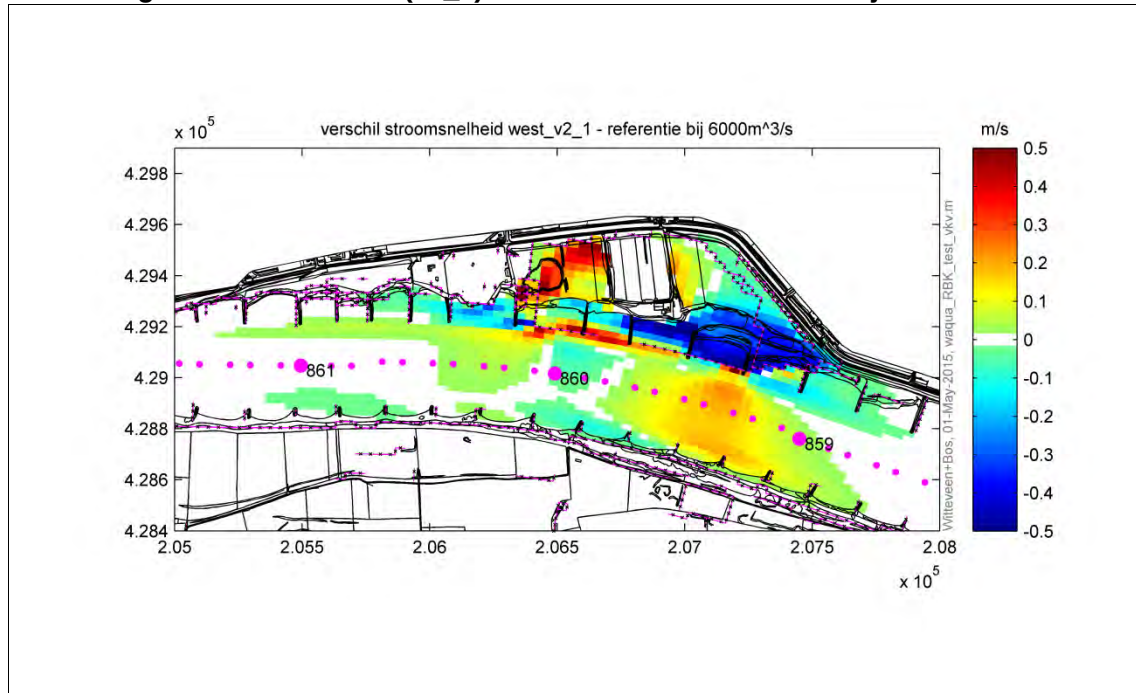
Afbeelding 4.12. Oostvariant - stroomsnelheidsverschil bij 6.000 m³/s



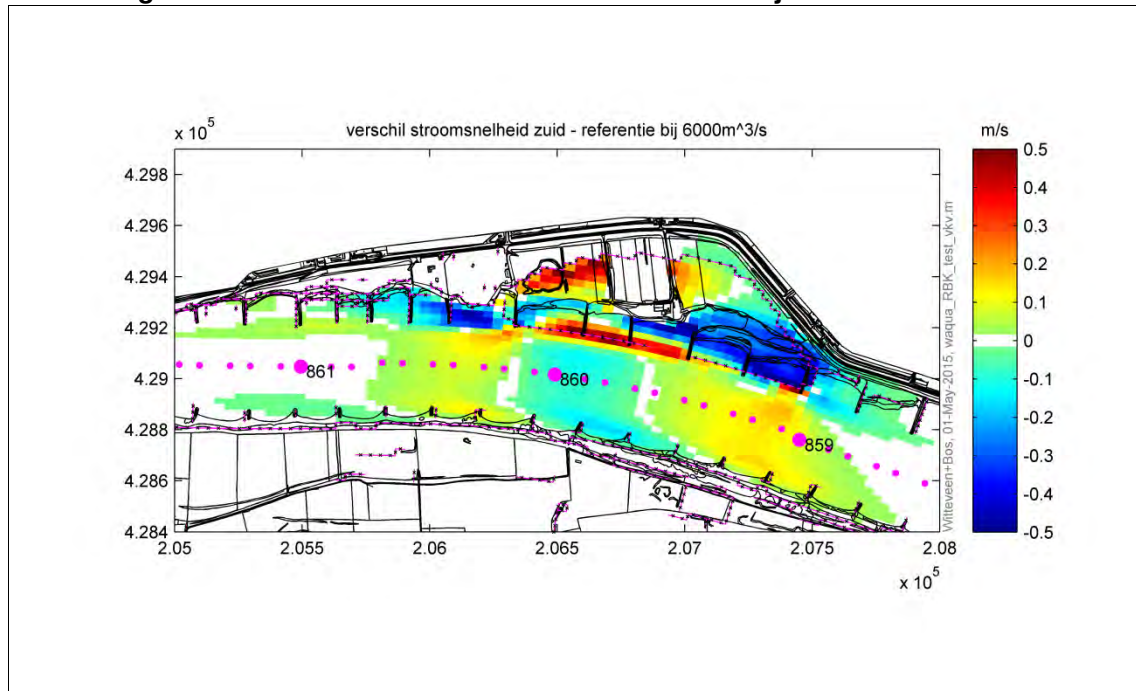
Afbeelding 4.13. Westvariant (v2) - stroomsnelheidsverschil bij 6.000 m³/s



Afbeelding 4.14. Westvariant (v2_1) - stroomsnelheidsverschil bij 6.000 m³/s



Afbeelding 4.15. Zuidvariant - stroomsnelheidsverschil bij 6.000 m³/s



5. CONCLUSIES

Uit de berekeningen van de geoptimaliseerde inrichtingsvarianten met het up-to-date WAQUA-model wordt het volgende geconcludeerd:

- de verwachting is dat na het nemen van de mitigerende maatregelen de opstuwing, dwarsstroming en morfologie zullen voldoen aan de criteria van het RBK;

- de effecten van de Spijk varianten zijn samengevat in tabel 5.1. De Westvariant (v2_1) veroorzaakt de minste hydraulische effecten. Hierbij wordt opgemerkt dat West v2_2 vergelijkbare effecten zou veroorzaken indien hierin ook de maatregelen stroomlijnen bovenstroomse dwarsdam en ophogen uitloopgebied opgenomen zouden zijn. De morfologische effecten zijn voor de Oost en West varianten het kleinst. De verwachting is dat de hydraulische en morfologische effecten van de beschouwde varianten na verdere optimalisatie van de havendammen nagenoeg gelijk zullen zijn aan elkaar.

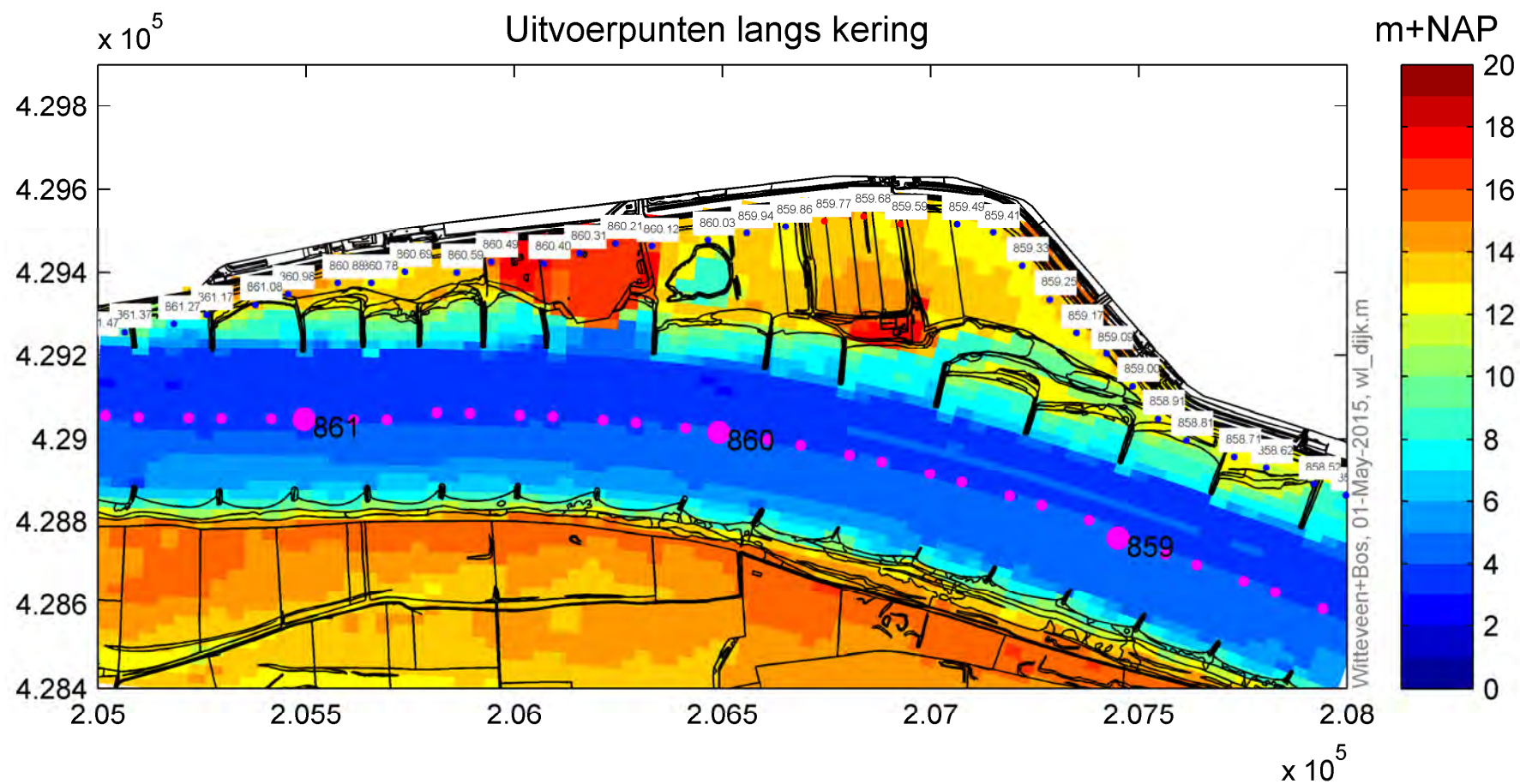
Tabel 5.1. Samenvatting effecten geoptimaliseerde varianten Spijk

variant	waterstandsverandering in (cm)			dwarsstroming (m/s)		morfologie
	rivieras bovenstrooms (kmr 858)	rivieras benedenstrooms (kmr 860)	primaire kering rechtoever maximale toename	dwarsdam oost	dwarsdam west	
Oost	-0,3	+1,0	+3,8	0,49	0,28	klein
West (v2)	-0,8	+1,4	+3,2	0,48	0,22	klein
West (v2_1)	0	+0,8	+2,3	0,20	0,22	klein
West (v2_2)	-0,8	+1,4	+3,2	0,48	0,22	klein
Zuid	-1,0	+1,5	+2,8	0,45	0,29	groter

6. REFERENTIES

1. Tijmen Vos (2007), Baseline maatregelen - Eisen en Richtlijnen.
2. Witteveen+Bos (2014). Ontwerpwaterstanden. AH660-1/14-020.787.
3. Witteveen+Bos (2015). Optimalisatie West- en Oostvariant Spijk. AH660-1/15-003.881.
4. Witteveen+Bos (2015). Milieueffectrapport Overnachtingshaven Lobith - deelrapportage rivierkunde. AH660-1-225-15-002.903.
5. Rijkswaterstaat (2014). Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivier versie 3.0.
6. Witteveen+Bos (2015). Morfologische effecten aanleg langsdam Tuindorp. AH660-1/15-007.088.

BIJLAGE I LOCATIE UITVOERPUNTEN LANGS PRIMAIRE WATERKERING



BIJLAGE VIII NOTITIE GELEIDENDE OEVER

Witteveen+Bos
Postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
010 244 28 00

onderwerp Mitigatie dwarsstroming door geleidende oever
projectcode MIRT 3 Overnachtingshaven Lobith
referentie -
opgemaakt door drs. Michel Zuijderwijk
datum opmaak 16 juni 2015
bijlagen -

aan Johan de Boer
Harro Wieringa
kopie José van Nieuwpoort
Maarten Jansen

1. INLEIDING

Eén van de beoordelingsaspecten uit het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) [ref. 1]] is de dwarsstroming op de bakenlijn. Deze mag niet meer dan 0,3 m/s bedragen indien het dwarsstroom debiet kleiner is dan 50 m³/s en maximaal 0,15 m/s indien het debiet groter is dan 50 m³/s bij afvoeren tussen 2.000 - 10.000 m³/s. Omdat de havendammen ter hoogte van de kribkoppen liggen en deze hoger dan de huidige kruinhoogte van de kribben worden aangelegd, wordt er meer water het zomerbed ingeduwd dan in de referentie. Hierdoor neemt de dwarsstroming toe ten opzichte van de referentiesituatie.

Afbeelding 1.1 geeft de dwarsstroming weer in de referentiesituatie bij een afvoer van 6.000 m³/s. De dwarsstroming aan de oostzijde van de haven is richting de uiterwaard en bedraagt maximaal 0,1 m/s. Uit de effectenstudie blijkt dat met name aan de bovenstroomse zijde de dwarsstroming te hoog is, benedenstrooms bij het uitstroompunt van de haven is de dwarsstroming ook te hoog. Om de dwarsstroming bovenstrooms te reduceren zijn er een aantal mitigerende maatregelen te nemen (zie afbeelding 1.2):

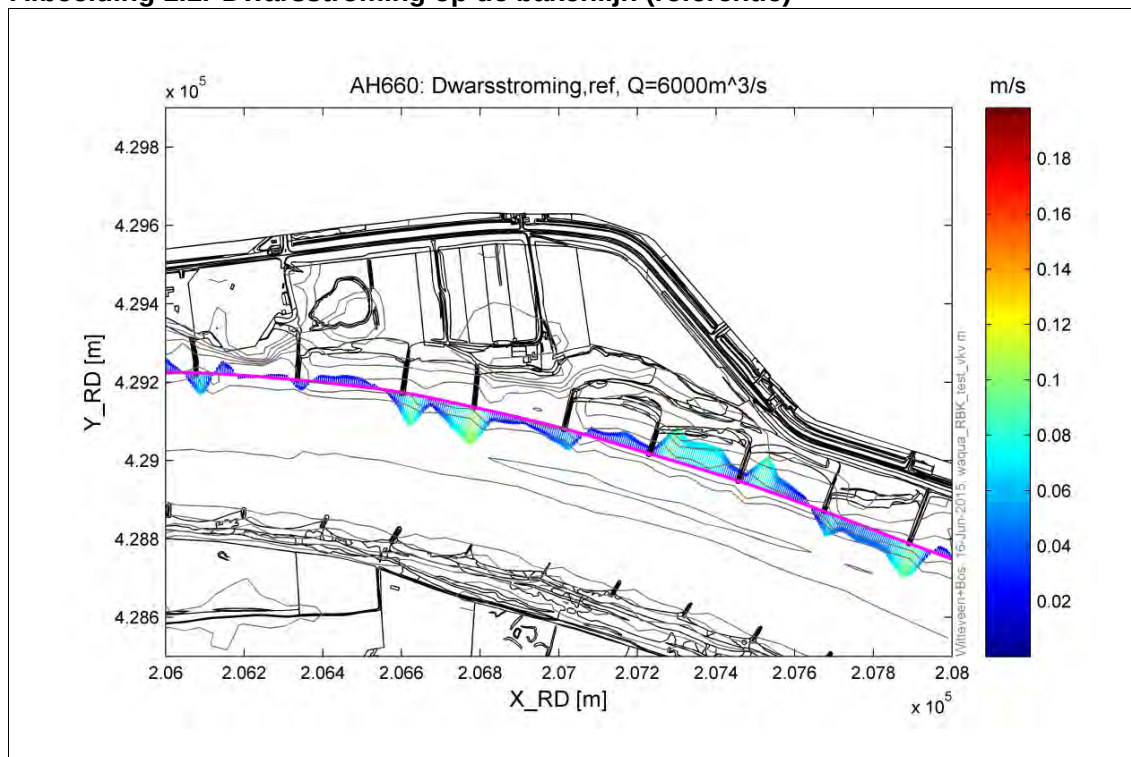
1. Een geleidelijke overgang van de oever naar de langsdam creëren;
2. Verhogen van de krib net bovenstrooms van de haven;
3. Verlagen van de overgang tussen de langsdam en de dwarsdam.

In eerste instantie wordt de effectiviteit van een geleidende oever bepaald. De overige 2 mitigerende maatregelen kunnen indien nodig in een later stadium beschouwd worden. De geleidende oever dient zo goed mogelijk landschappelijk te worden ingepast. Dit houdt in dat het wenselijk is de geleidende oever met een bepaalde kromming uit te voeren.

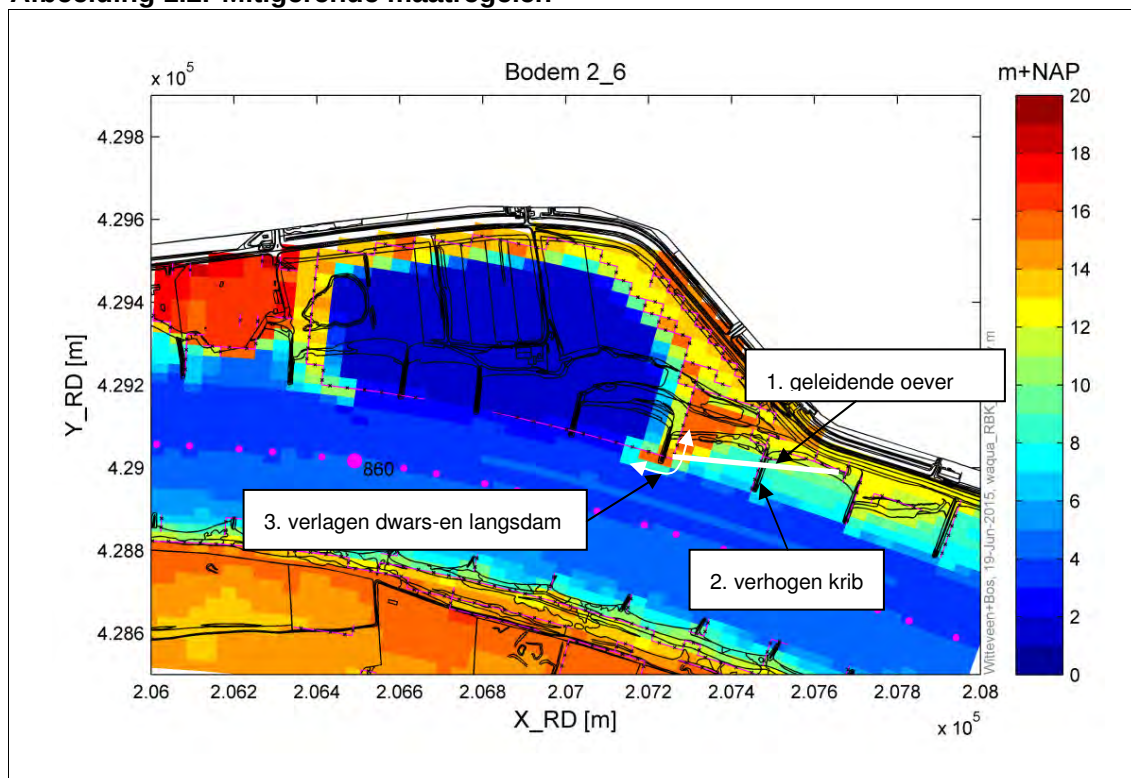
De voorliggende beschrijft de effectiviteit van een aantal varianten van de geleidende oever.

Hoofdstuk 2 bevat de gehanteerde uitgangspunten en hoofdstuk 3 de berekende dwarsstroming voor de 4 varianten. De notitie eindigt met de conclusies in hoofdstuk 5.

Afbeelding 1.1. Dwarsstroming op de bakenlijn (referentie)



Afbeelding 1.2. Mitigerende maatregelen

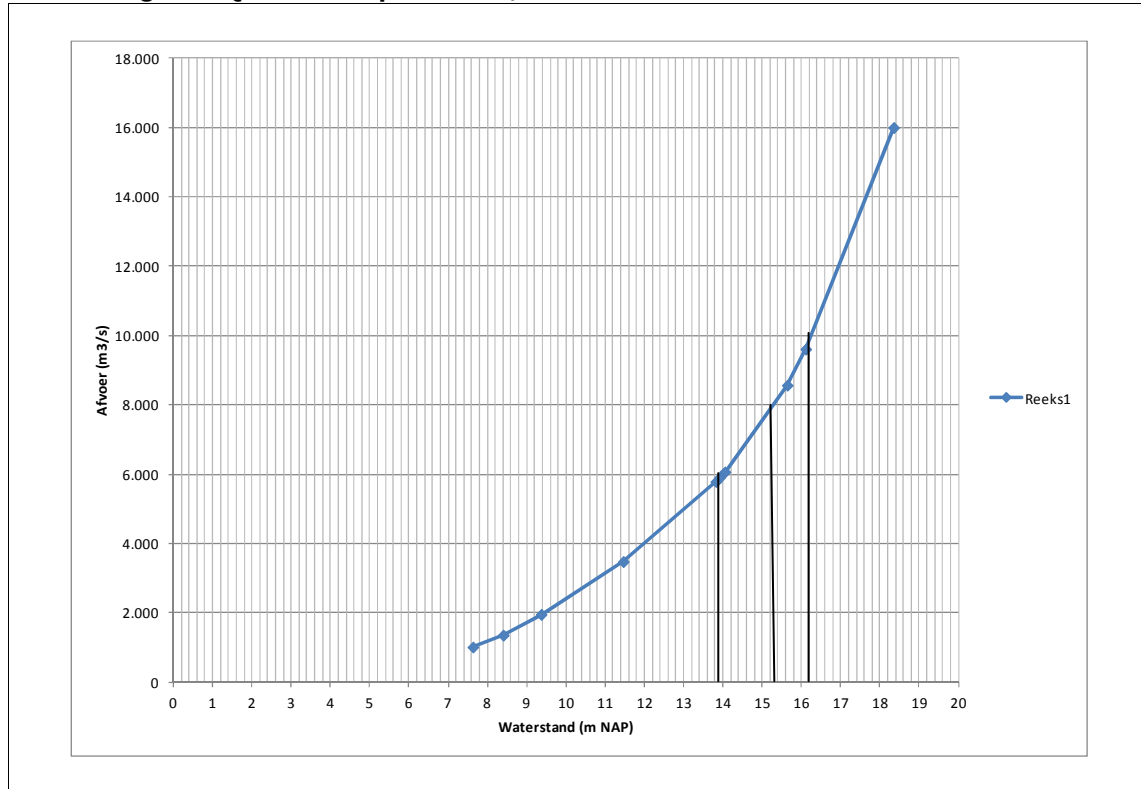


2. UITGANGSPUNTEN

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Dwarsstroming op de bakenlijn langs de rechteroever bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000, 8.000 en 10.000 m³/s;
- Schematisatie is rechtstreeks in WAQUA gedaan;
- Qh relatie ter plaatse van de kmr 859,5 uit [ref. 2.] en getoond in afbeelding 2.1;
- Schets landschappelijke inpassing geleidende oever uit email J. de Boer d.d. 10-06-2015 15:52.

Afbeelding 2.1. Qh-relatie op kmr 859,5



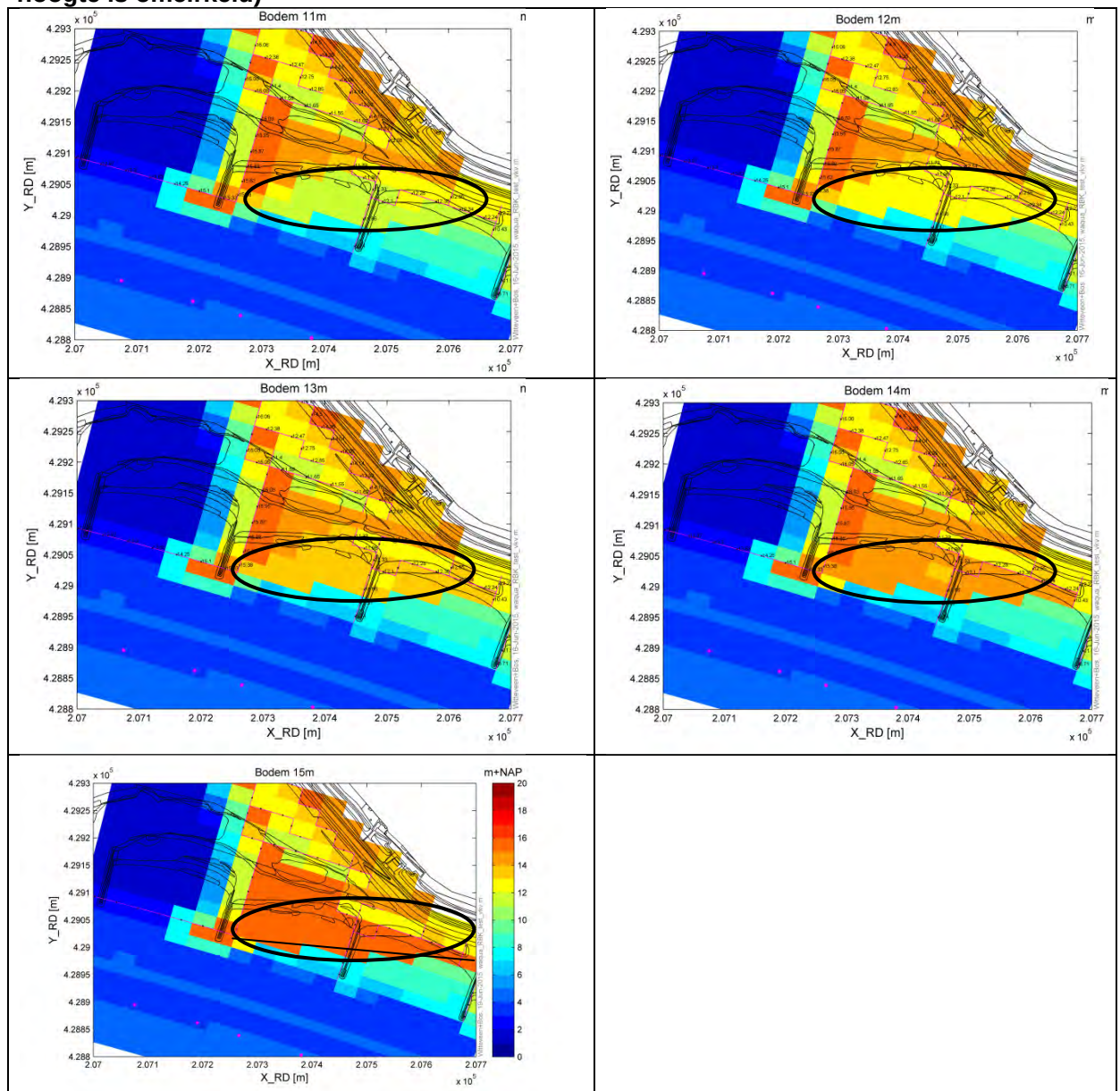
3. BESCHOUWDE VARIANTEN

Afbeelding 3.1 bevat een schets van de landschappelijke inpassing van de geleidende oever. Het plateau op 11 m+NAP draagt bij aan het beleven van de rivier vanuit het uitloopgebied. De geleidende oever van 12-14 m+NAP loopt vanaf de primaire waterkering richting de langsdam met een bocht die min of meer overeenkomt met de bochten die de primaire waterkering in het projectgebied maakt. De schets vormt de basis van 4 varianten waarbij de hoogte van het plateau met stapjes van 1 m verhoogd is tot 15 m+NAP (afbeelding 3.2).

Afbeelding 3.1. Schets van de inpassing van de geleidende oever



Afbeelding 3.2. Bodemhoogte van de beschouwde varianten (de gevarieerde bodemhoogte is omcirkeld)

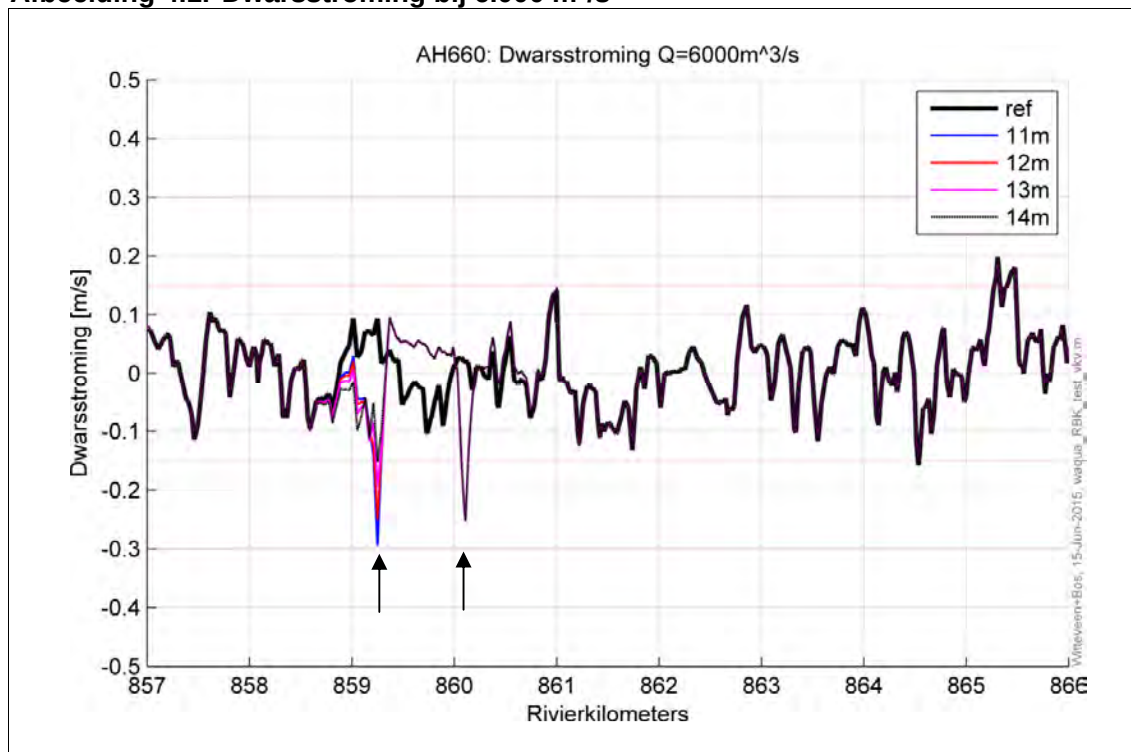


4. RESULTATEN

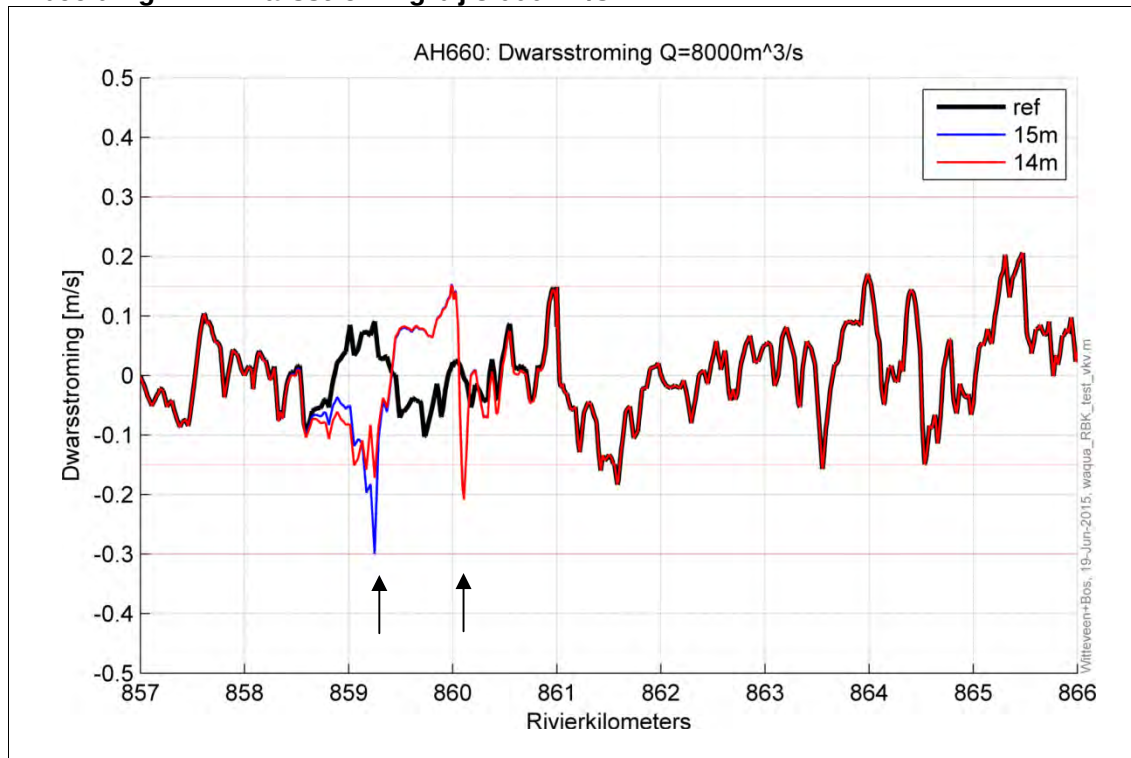
Afbeelding 4.1 toont de dwarsstroming van de vier varianten bij $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Hierin is te zien dat een plateauhoogte van 11 m+NAP resulteert in een dwarsstroming van $0,3 \text{ m/s}$. De piek in de dwarsstroming neemt af naarmate het plateau verhoogd wordt. Dit is logisch want er stroomt minder water over het plateau wat vervolgens door de dwarsdam het zomerbed in gedruwd wordt. Bij een plateauhoogte van 14 m+NAP wordt er voldaan het $0,15 \text{ m/s}$ criterium. Als gekeken wordt naar hogere afvoeren (8.000 en $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$) dan blijkt dat de dwarsstroming boven het criterium uitkomt (afbeelding 4.2 en 4.3). Dit houdt in dat de geleidende oever verder verhoogd zou moeten worden tot circa 16 m+NAP of het plateau moet ruwer gemaakt worden. Nadeel van het laatste is dat het de MHW opstuwt. De hoogte komt overeen met de waterstand bij $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Indien dit niet wenselijk is vanuit

ruimtelijke kwaliteit moet er gekeken worden naar andere mitigerende maatregelen waarbij het verlagen van de overgang dwarsdam en langsdam het meest effectief zal zijn.

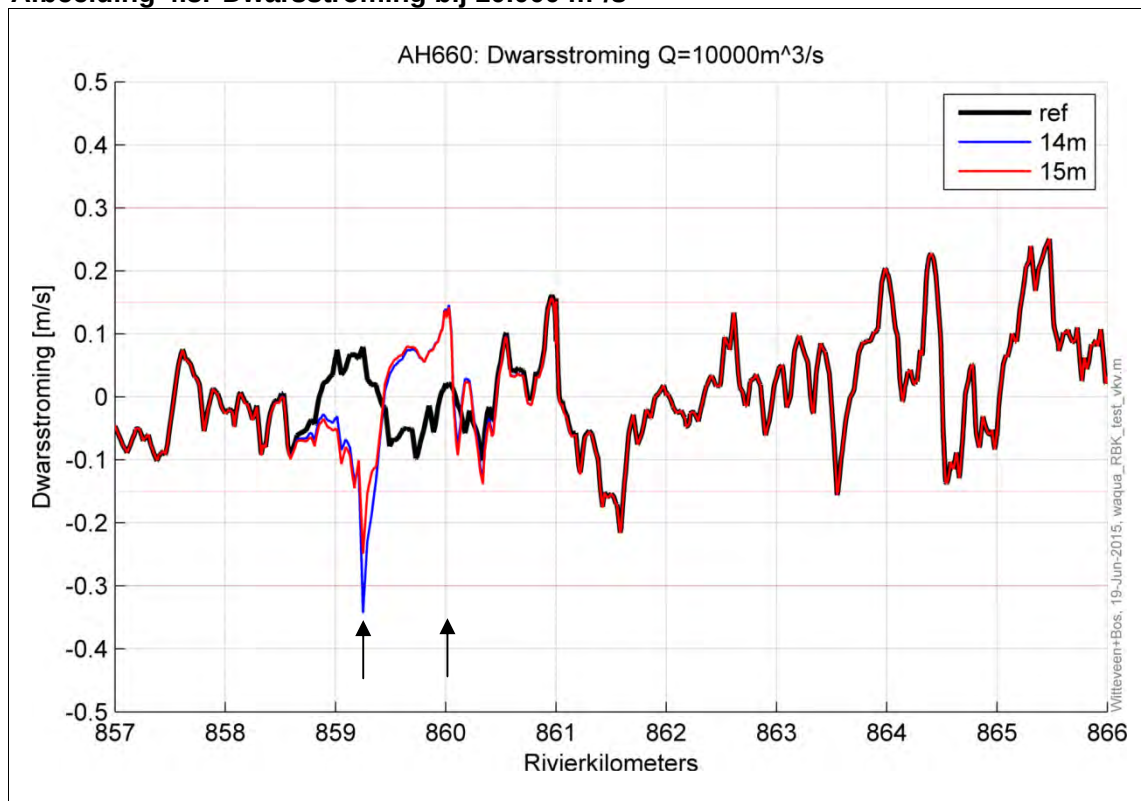
Afbeelding 4.1. Dwarsstroming bij 6.000 m³/s



Afbeelding 4.2. Dwarsstroming bij 8.000 m³/s



Afbeelding 4.3. Dwarsstroming bij 10.000 m³/s



5. CONCLUSIES

De geleidende oever dient recht te worden uitgevoerd en een kruinhoogte te hebben van ongeveer 15-16 m+NAP om te kunnen voldoen aan de eis uit het RBK omtrent maximale dwarsstroming van 0,15 m/s. Indien dit niet wenselijk is vanuit ruimtelijke kwaliteit moet er gekeken worden naar andere mitigerende maatregelen waarbij het verlagen van de kruinhoogte van de overgang dwarsdam en langsdam het meest effectief zal zijn.

6. REFERENTIES

1. RWS, 2014. Rivierkundig Beoordelingskader versie 3.0;
2. Witteveen+Bos (2014).Ontwerpwaterstanden. AH660-1/14-020.787

BIJLAGE IX NOTITIE MORFOLOGISCHE EFFECTEN LANGSDAM TUINDORP

Witteveen+Bos
Willemskade 19-20
Postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
010 244 28 00
www.witteveenbos.nl

onderwerp morfologische effecten aanleg langsdam Tuindorp
project MIRT3 Overnachtingshaven Lobith
opdrachtgever provincie Gelderland
projectcode AH660-1
referentie AH660-1/15-009.684
opgemaakt door drs. W.M. Zuiderwijk
goedgekeurd door ir. M.H.P. Jansen
status definitief
datum opmaak 9 juni 2015
bijlagen -

paraaf



aan	projectteam Lobith	Jilles Schippers Menno Wilkens
kopie	Witteveen+Bos	José van Nieuwpoort Johan de Boer

1. INLEIDING

Voor de haven bij Tuindorp zijn twee inrichtingsvarianten opgesteld: een basis variant en een uitgebreide variant. De uitgebreide variant behelst onder andere de aanleg van een langsdam die aan de bestaande benedenstroomse krib wordt vastgemaakt. De langsdam moet de aanzanding van de havenmond en havenkom (zie afbeelding 2.1) reduceren. De reductie van de sedimentatie (slib en zand) en daarmee baggerkosten dient groter te zijn dan de kosten van de aanleg van de langsdam om de investering te kunnen verantwoorden. De voorliggende notitie beschrijft de resultaten van de berekeningen van de sedimentatie in de havenmond -en kom voor de referentiesituatie, en variant met -en zonder langsdam (vkv_tuin en vkv_tuin_02).

De uitgangspunten worden beschreven in hoofdstuk 2 waarna de berekening van de sedimentatie in de haven en de gevoeligheid van de berekeningen in hoofdstuk 3 volgt. De notitie eindigt met de aanbevelingen (hoofdstuk 4) en de conclusies in hoofdstuk 5.

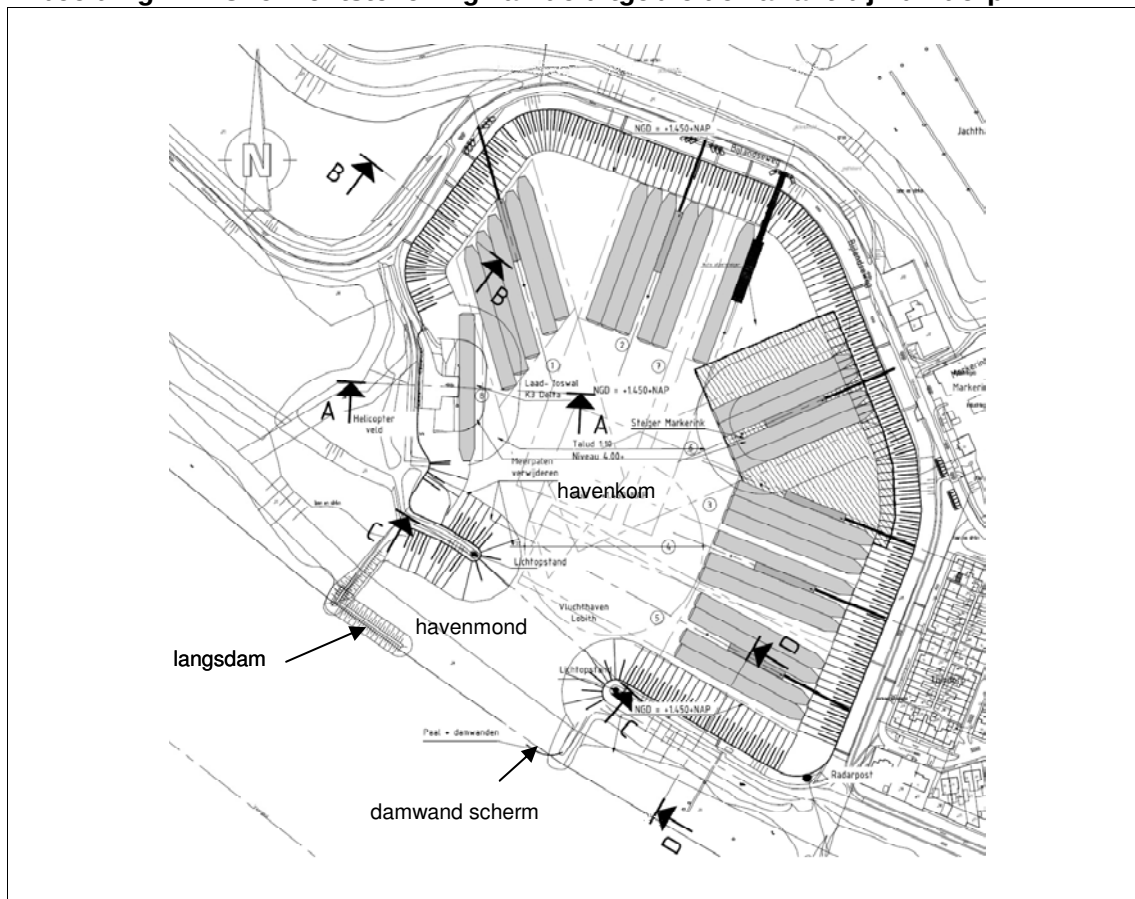
2. UITGANGSPUNTEN

- de sedimentatie in de haven is bepaald op basis van WAQUA model met een verfijnd rekenrooster (rijn40m_5-v4 een factor 3 verfijnd) bij een mediane afvoer (Boven-Rijnafvoer van 1.960 m³/s) waarbij de waterstand 8,96 m +NAP bedraagt (ref. 4);
- de effecten op het onderhoud van de hoofdvaargeul zijn buiten beschouwing gelaten omdat de haven langs de linkeroever ligt en de morfologische effecten van de langsdam en het damwandscherm zeer lokaal effecten in het zomerbed veroorzaken;
- gemiddelde concentratie sediment in de waterkolom is 29 mg/l (ref. 1);
- gemeten jaarlijks baggervolume havenkom 4.000 - 4.300 m³ (ref. 2) en toegangsgeul 1.000 m³ (ref. 3). De sedimentatie van de havenmond is waarschijnlijk vele malen gro-

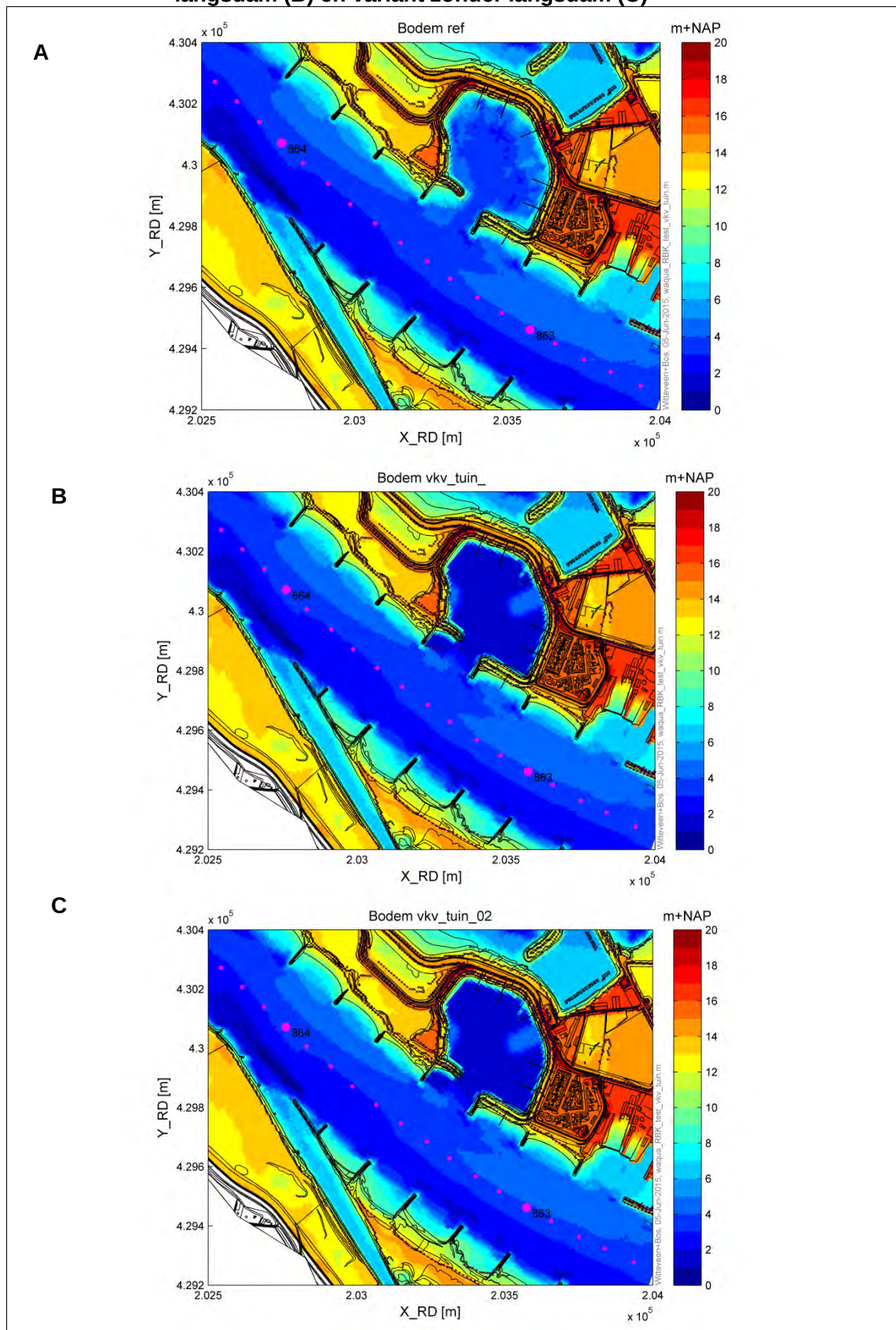
ter dan het gebaggerde volume zand uit de toegangsgeul, onder andere vanwege het effect van in- en uitvarende schepen die de geul openhouden. De totale sedimentatie in de havenmond wordt geschat op 5.000 - 7.000 m³ per jaar. Dit is een grove schatting en dient nader onderzocht te worden, zie aanbevelingen in hoofdstuk 4;

- de basis voor de Baseline en WAQUA schematisatie van de uitgebreide variant (afbeelding 2.2) is de overzichtstekening AH660.1.1081 (afbeelding 2.1). Een overzicht van de dimensies van de kenmerkende elementen uit het ontwerp zijn als volgt:
 - huidige situatie:
 - breedte tussen havendammen (tussen havenmond en haven) bij mediane afvoer: circa 95 m;
 - gemiddelde diepte havenmond bij mediane waterstand: 4 m;
 - kruinhoogte benedenstroomse krib als referentie (ca. 11,0 - 11,5 m +NAP);
 - nieuwe situatie:
 - breedte tussen de havendammen bij mediane afvoer wordt vergroot tot 119,30 m;
 - gemiddelde diepte havenmond bij mediane waterstand: ca. 6 m;
 - lengte nieuw damwandscherm: 25 m;
 - kruinhoogte en lengte langsdam: 11,07 m +NAP en 85 m;
- baseline 5.2.4 en schematisatie volgens [ref. 5];
- WAQUA simulaties zijn uitgevoerd met modelschematisatie beno_14_5-v2 geactualiseerd met meest recente maatregelen in het projectgebied.

Afbeelding 2.1. Overzichtstekening van de uitgebreide variant bij Tuindorp



Afbeelding 2.2. WAQUA bodemschematisatie van de referentie (A) variant met langsdam (B) en variant zonder langsdam (C)

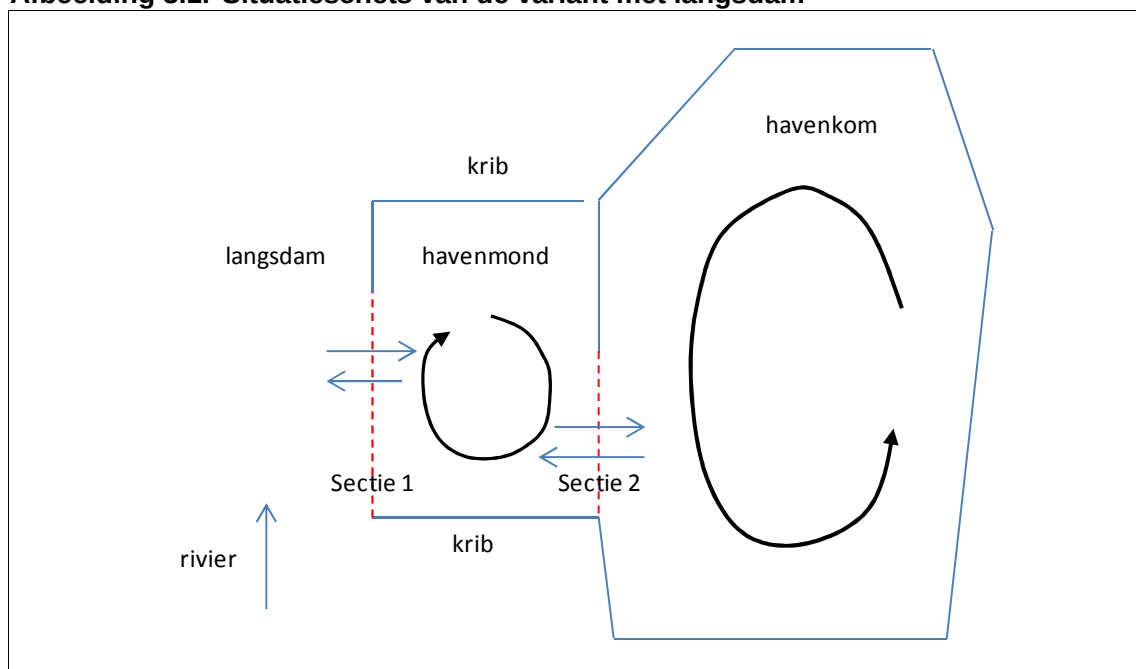


3. BEREKENING BAGGERONDERHOUD

3.1. Sedimentatieproces

Met het verfijnde WAQUA model is een simulatie van de mediane afvoer (Bovenrijnafvoer van $1.960 \text{ m}^3/\text{s}$) gemaakt van de referentiesituatie en variant met en zonder langsdam. Dit levert een beeld op van de uitwisseling van water en zand/slib tussen de rivier en de havenmond en de havenmond en havenkom. Afbeelding 3.2 toont de stroomsnelheid in de haven voor de variant met (A) en zonder de langsdam (B). Omdat de haveningang zich niet direct aan de rivier bevindt, maar aan een kribvak is er hier sprake van een meervoudig nerenstelsel; één in de havenmond en één in de haven. De uitwisseling is daarom bepaald voor 2 secties op het grensvlak tussen de rivier en havenmond en havenmond met havenkom (afbeelding 3.1). In de havenmond zal vooral sprake zijn van aanzanding terwijl in de havenkom voornamelijk aanslibbing zal plaatsvinden.

Afbeelding 3.1. Situatieschets van de variant met langsdam



Uit de afbeelding 3.2 en 3.3 blijkt dat de neer in de havenmond verzwakt als gevolg van de langsdam en het damwandscherm. Hierdoor neemt de uitwisseling tussen de rivier en de havenmond (sectie 1) af. De stroomsnelheid op het grensvlak tussen havenmond -en kom is nagenoeg onveranderd waardoor het effect op de uitwisseling nihil zal zijn.

Belangrijke factor voor de aanzanding en aanslibbing zijn de sedimentconcentratie en de vangstfactor. Voor de sedimentconcentratie is de gemiddelde sedimentconcentratie uit [ref. 1] aangenomen. In werkelijkheid varieert de sedimentconcentratie met de afvoer. De vangstfactor bepaald hoeveel van het inkomende sediment daadwerkelijk bezinkt in de havenmond en havenkom. Het model is voor de referentiesituatie gekalibreerd aan de hand van de aangenomen en gemeten baggervolumes in de havenmond -en kom (zie hoofdstuk 2).

3.2. Jaarlijkse sedimentatie in de haven

Tabel 3.1 bevat de waarden van de gebruikte parameters en baggervolumes voor de referentiesituatie en varianten met en zonder langsdam. De berekende sedimentatie in de havenmond en havenkom voor de referentiesituatie vallen na kalibratie binnen de aangenomen baggervolumes in hoofdstuk 2.

Door aanleg van de langsdam neemt de uitwisseling van water en sediment tussen de rivier en de havenmond af ten opzichte van de variant zonder langsdam. De uitwisseling tussen de havenmond -en kom neemt sterk af door het afzwakken van de neer in de havenmonding. Hierdoor neemt de aanzanding in de havenmond af met ongeveer 2.000 m³ per jaar. De aanslibbing in de havenkom neemt licht af (-200 m³ per jaar). Er mag er van uitgegaan worden dat de sedimentatie in de havenmond voornamelijk grof materiaal is (zand) en in de haven zelf fijner materiaal (slib). Dit moet echter wel geverifieerd worden met bodemonsters in huidige situatie.

De nauwkeurigheid van de berekening wordt geschat op +/- 50 % waardoor de totale netto besparing waarschijnlijk ligt tussen de 1.100-3.300 m³/jaar.

Tabel 3.1. Resultaten jaarlijkse aanzanding in de havenmond en aanslibbing in de havenkom in m³/jaar

	rivier naar havenmond			havenmond naar havenkom		
	referentie	zonder langsdam	met langsdam	referentie	zonder langsdam	met langsdam
uitwisselingsdebiet (m ³ /s)	24,4	29,0	22,7	4,3	11,1	10,9
sediment concentratie (kg/m ³)	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
duur (dagen)	365	365	365	365	365	365
dichtheid (kg/m ³)	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650
vangstfactor (-)	0,35	0,35	0,35	0,95	0,95	0,95
sedimentatie (m ³ /jaar)	6.871	6.251	4.180	4.000	10.259	10.068
afgerond verschil (met-sonder)		-2.000			-200	

3.3. Gevoeligheidsanalyse

De berekeningen van de sedimentatie voor de havenmond -en kom vormen een eerste schatting en een bovengrens van de te verwachte besparing op het baggeronderhoud. De resultaten hebben een onzekerheid van ongeveer +/- 50% welke wordt veroorzaakt door:

1. Model onzekerheden:

- uitwisseling op basis van een 2DH model (WAQUA). 3D effecten worden niet meegenomen. Met name bij de bovenstroomse damwand waar de stroming loslaat zal de stroming 3D zijn (dit beïnvloedt de uitwisseling);
- schematisatie van de bodem (dit beïnvloedt de uitwisseling), vanwege ontbreken van lokale variatie (grofheid van het model);
- het uitvoeren van de berekening voor 1 conditie (mediane afvoer en gemiddelde concentratie) (dit beïnvloedt de sediment concentratie en uitwisseling).

2. Meet- en systeemonzekerheden:

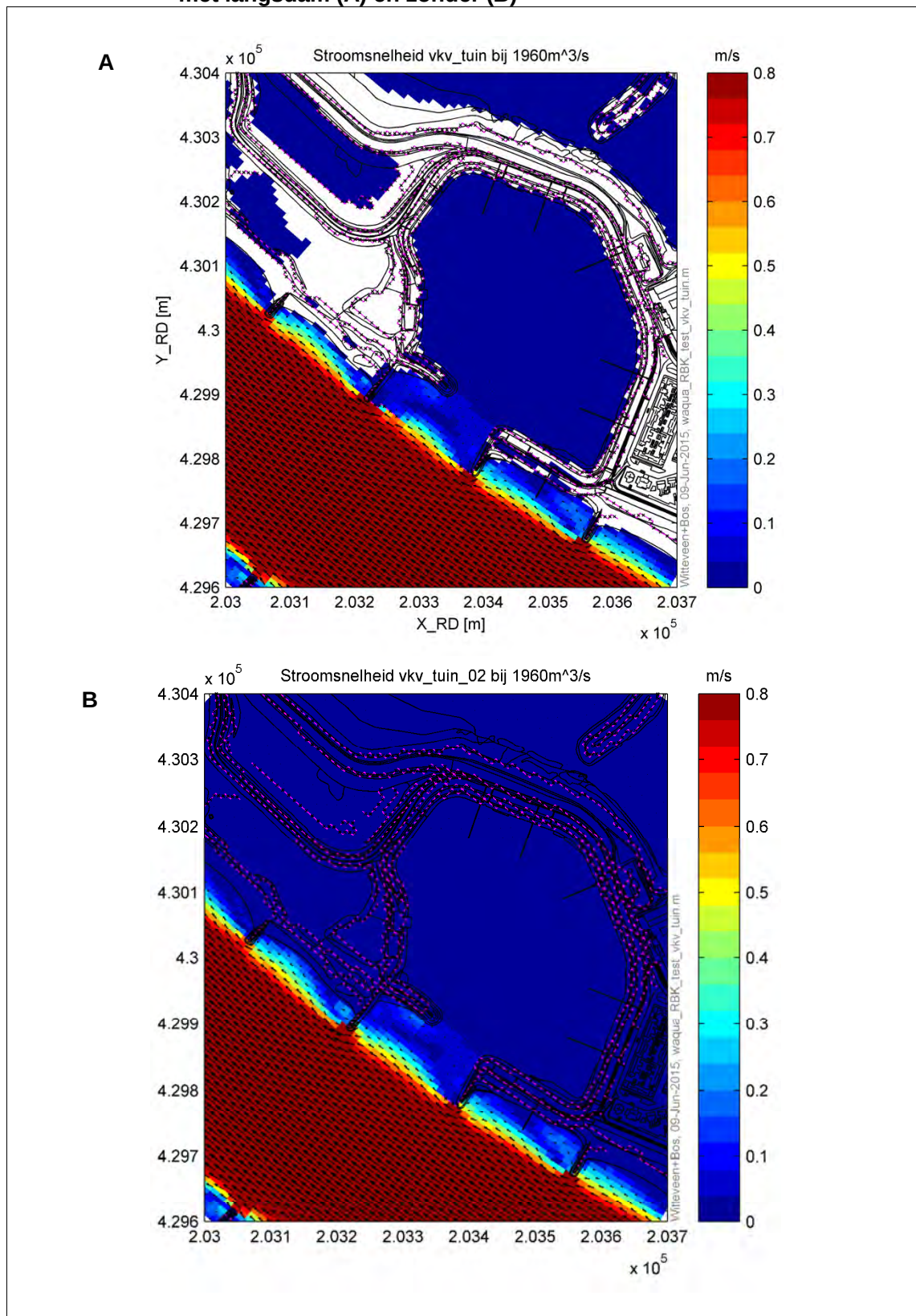
- onnauwkeurigheid in de gemeten baggervolumes. Met name de in de aangenomen aanzanding van de havenmond zit een grote onzekerheid. Dit is een belangrijke

factor in de berekening omdat op basis hiervan het model gekalibreerd is (dit beïnvloedt de vangstfactor);

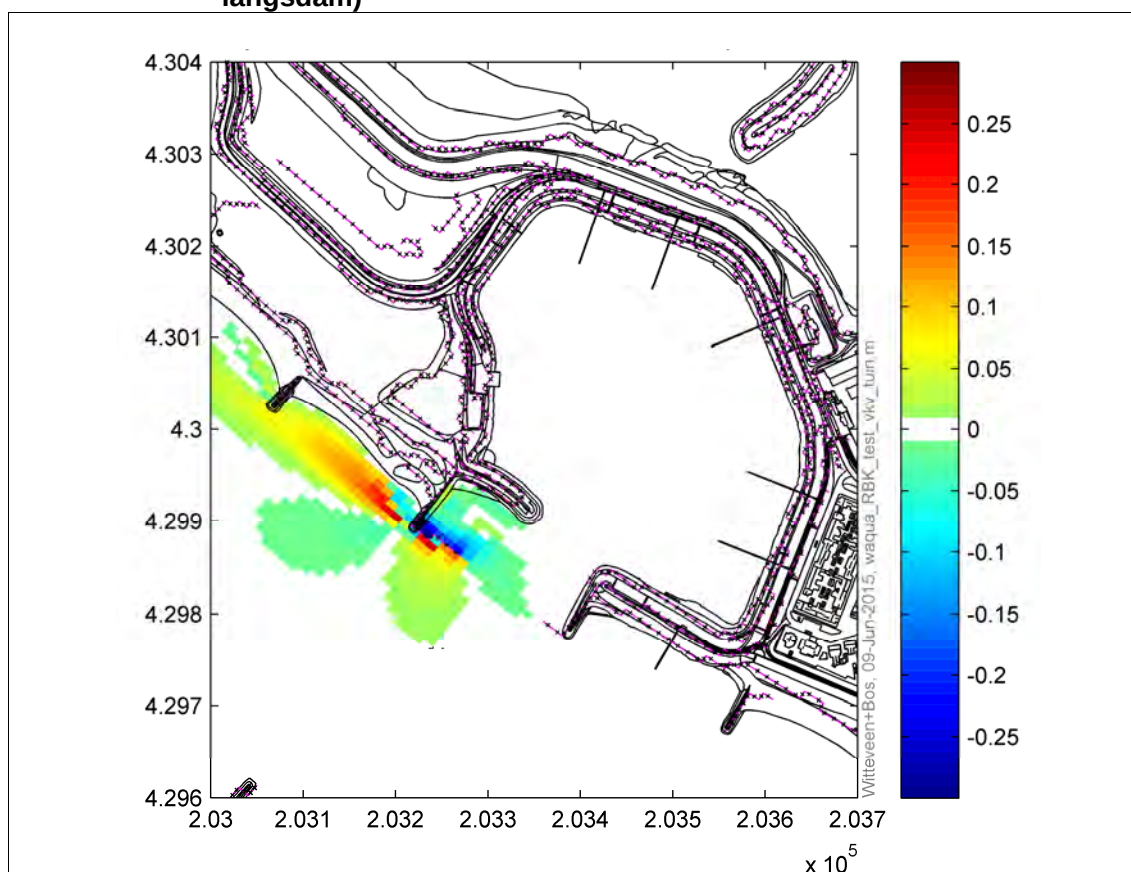
- het negeren van scheepvaarteffecten op de sedimentatie. In -en uitvarende schepen zorgen ervoor dat de bodem opgewoeld wordt waardoor sediment uit de havenmond-en kom getransporteerd wordt (dit beïnvloedt de vangstfactor).

De effecten van de bovenstaande aannames op de berekende sedimentatie in de haven zijn zeer lastig te kwantificeren en is derhalve achterwege gelaten.

Afbeelding 3.2. Stroomsnelheid in de haven van Tuindorp bij een mediane afvoer met langsdam (A) en zonder (B)



Afbeelding 3.3. Verschil in stroomsnelheid bij een mediane afvoer (met - zonder langsdam)



4. AANBEVELINGEN

De sedimentatie berekeningen zijn uitgevoerd voor een mediane afvoer van $1.960 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit geeft een eerste inschatting van de verwachte sedimentatie in de haven, maar is geen morfologische afvoer (die ligt tussen $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$). De nauwkeurigheid van de berekening kan verbeterd worden door de uitwisseling tussen de rivier en de haven te bepalen voor een tijdserie van afvoeren met een variërende sedimentconcentratie gemeten bij Lobith. Eventueel kan gebruik gemaakt worden van de SEDHAR-tool of een morfologisch model (bijvoorbeeld het DVR-model) waarmee nauwkeuriger de sedimentatie in de haven berekend kan worden.

Aanbevolen wordt om meer inzicht te verkrijgen in de aanzanding en aanslibbing van de havenmond -en kom. Dit kan door eerst de havenmond -en kom te baggeren en vervolgens de bodemontwikkeling gedurende een jaar tot enkele jaren te monitoren. Daarnaast dienen ook bodemonsters genomen te worden om zo de sedimentkarakteristieken te bepalen (korrelgrootte en dichtheid). Met deze gegevens kan de modelonzekerheid verkleint worden.

5. CONCLUSIES

Het berekende effect van de langsdam op de jaarlijkse sedimentatie van de havenmond -en kom bedraagt -2.000 en $-200 \text{ m}^3/\text{jaar}$. De berekende sedimentatie hebben een onzekerheidsmarge van $\pm 50 \%$, wat neerkomt op een $1.100 - 3.300 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

6. REFERENTIES

1. Arcadis (2014). Sedimentatie invaaropening en plas Waalwaard in bestaande en verdiepte en verbrede situatie (VARIANT 0+). C03021.000232.0300;
2. Marin, Samenvattend rapport nautisch morfologisch uitwijkhaven Lobith. Eindrapport Nr. 17235.600/4;
3. Email Menno Wilkens aan Johan De Boer aangaande Info baggeronderhoud haven Tuindorp, d.d. 10 Maart 2015;
4. Witteveen+Bos (2014), Ontwerpwaterstanden, AH660-1/14-020.787;
5. Tijmen Vos (2007), Baseline maatregelen - Eisen en richtlijnen.

BIJLAGE X RESULTATEN RBK TOETSING TUSSEN VARIANT

X. EFFECTEN TUSSENVARIANT

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van de RBK toets van de tussenvariant.

X.1. Hoogwaterveiligheid

De effecten op de hoogwaterstanden zijn inzichtelijk gemaakt door de MHW verandering af te beelden op de rivieras (afbeelding X.1), 2D-vlak (afbeelding X.2), en langs de primaire waterkering (afbeelding X.3).

MHW verandering op de rivieras

De opstuwing op de rivieras is maximaal 12 mm op rkm 860. Vanaf rkm 859,7 vindt in bovenstroomse richting een daling van de waterstand plaats van maximaal 23 mm. Bij rkm 854 bedraagt de waterstanddaling nog 5 mm. De maximale opstuwing nabij rkm 860 is te mitigeren door het ontwerp zodanig te optimaliseren dat er in bovenstroomse richting het waterstandeffect neutraal is waardoor de opstuwing bij rkm 860 afneemt. Deze optimalisatie is gepresenteerd in hoofdstuk X.6. Er blijft na mitigatie nog een resterende opstuwing over van ongeveer 8 mm. Compenserende maatregelen dienen benedenstrooms van het projectgebied, bij voorkeur langs de recheroever, genomen te worden (wordt nader beschreven paragraaf X.7).

Conclusie: de opstuwing op de rivieras voldoet niet aan de eis omtrent maximale opstuwing op de rivieras. Mitigatie is mogelijk en wordt beschreven in paragraaf X.6.

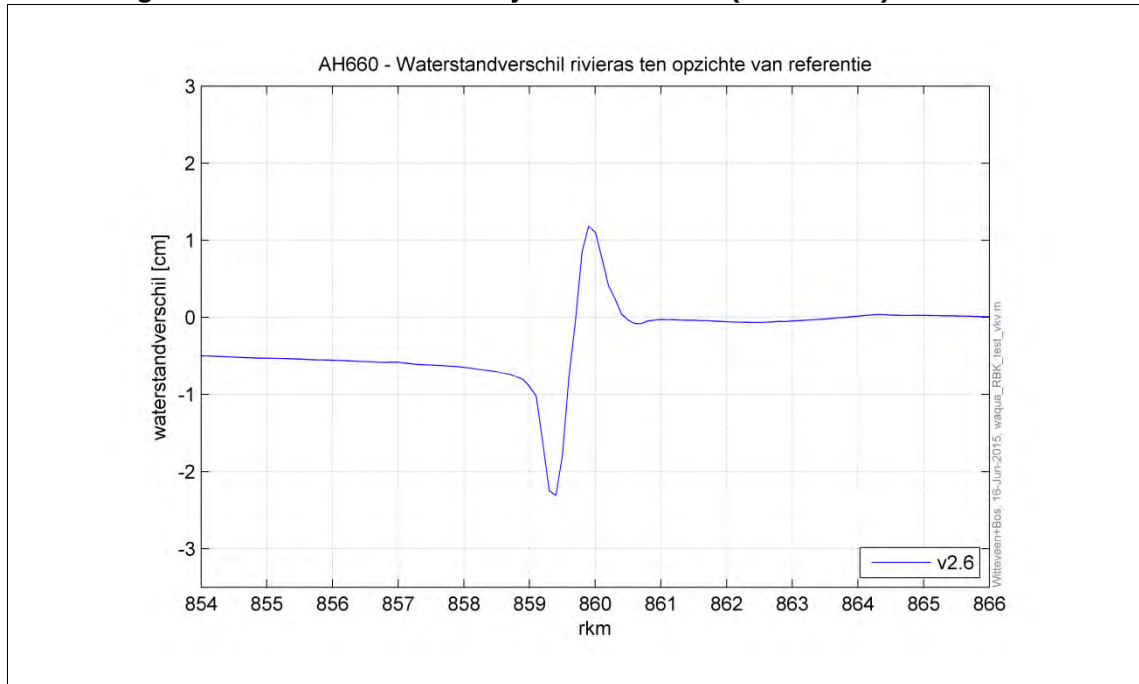
MHW stand buiten de as van de rivier

Afbeelding X.2 geeft het ruimtelijk beeld weer van het waterstandverschil ten opzichte van de referentiesituatie bij MHW. Hieruit wordt het volgende opgemaakt:

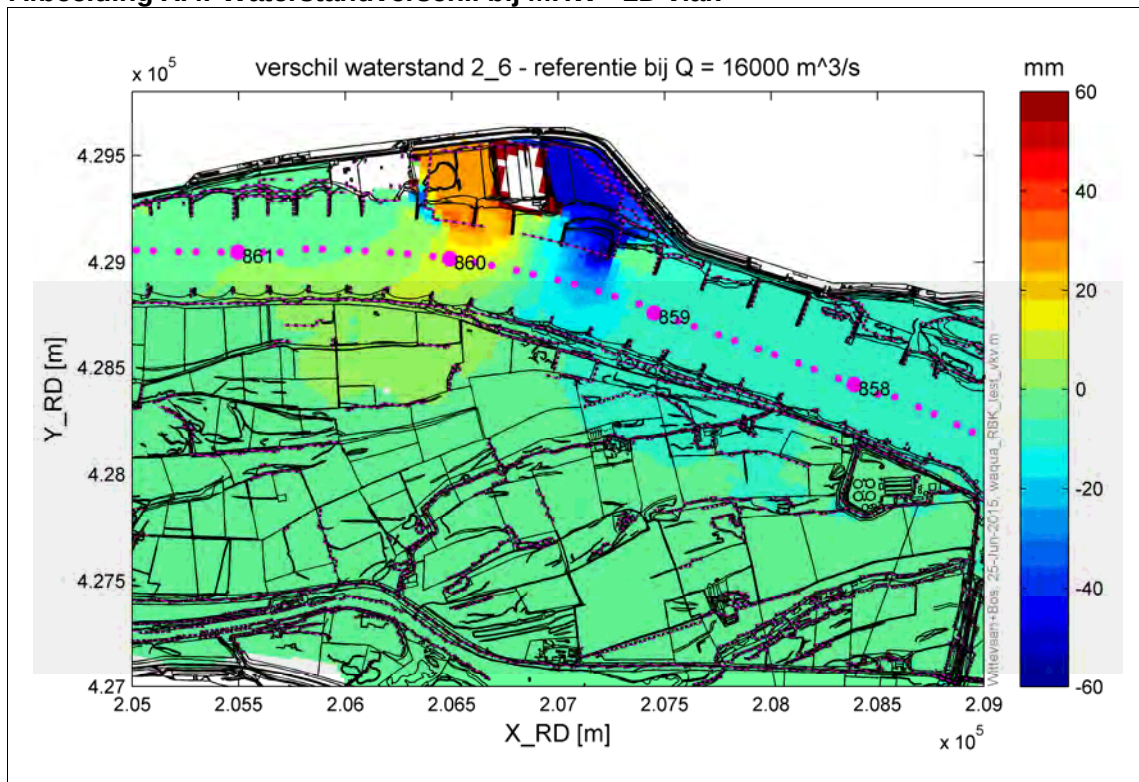
- de maximale waterstandverhoging in de haven nabij de primaire waterkering bedraagt 3,0 cm. Bij de Duitse waterkering is de verhoging kleiner dan een millimeter;
- aan de bovenstroomse kant van de oostelijke dwarsdam ontstaat een lokale opstuwing van maximaal enkele millimeters. Deze bereikt niet de rivieras;
- bij het uitstroompunt aan de westzijde van de haven (nabij rkm 860) ontstaat een opstuwing van maximaal 35 mm. Deze opstuwing werkt door richting de rivieras en linkerover;

Bij het in- en uitstroompunt van de haven vindt er opstuwing ten opzichte van de huidige situatie plaats door stromend water over de havendam. Deze opstuwing is afhankelijk van het volume water wat de haven instroomt en van de vormgeving (doorstroomoppervlak en taludhelling) van de uitstroomopening. Daarnaast vindt er bij deze variant bij MHW een verruiming van het doorstromend oppervlak plaats waardoor de waterstand in de rivier daalt in bovenstroomse richting.

Afbeelding X.3. Waterstandverschil bij MHW - rivieras (elke 100 m)

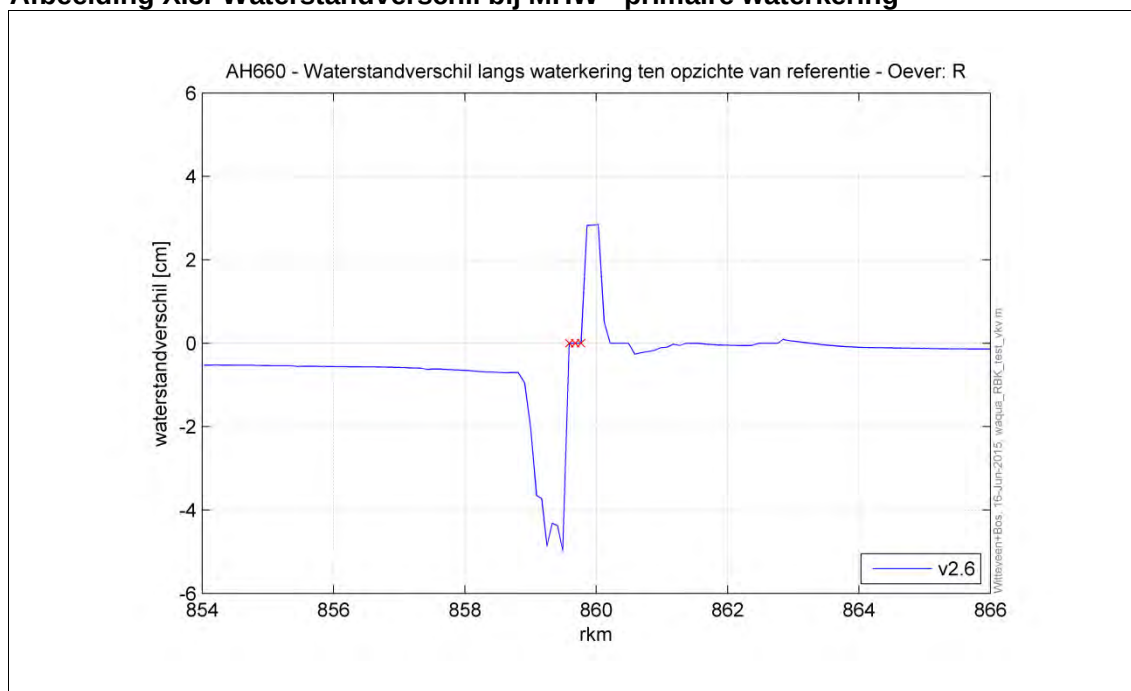


Afbeelding X.4. Waterstandverschil bij MHW - 2D vlak



Langs de primaire waterkering is de opstuwing tussen kmr 859,8 en 860,0 maximaal 30 mm (afbeelding X.3). Bijlage II geeft de locaties van de uitvoerpunten langs de primaire waterkering weer. Bovenstrooms hiervan vindt er een verlaging van de MHW-stand plaats van maximaal circa 50 mm.

Afbeelding X.5. Waterstandverschil bij MHW - primaire waterkering



Conclusie: langs de primaire waterkering vindt een verhoging van de MHW plaats van meer dan 1 mm (maximaal 3 cm). De MHW verhoging dient met het Waterschap overlegd te worden.

Afvoerverdeling

De maatregel ligt ver bovenstrooms van het splitsingspunt waardoor er geen effecten op de afvoerverdeling te verwachten valt.

Conclusie: er worden geen effecten op de afvoerverdeling bij de Pannerdensche Kop verwacht.

X.2. Hinder en/of schade door hydraulische effecten

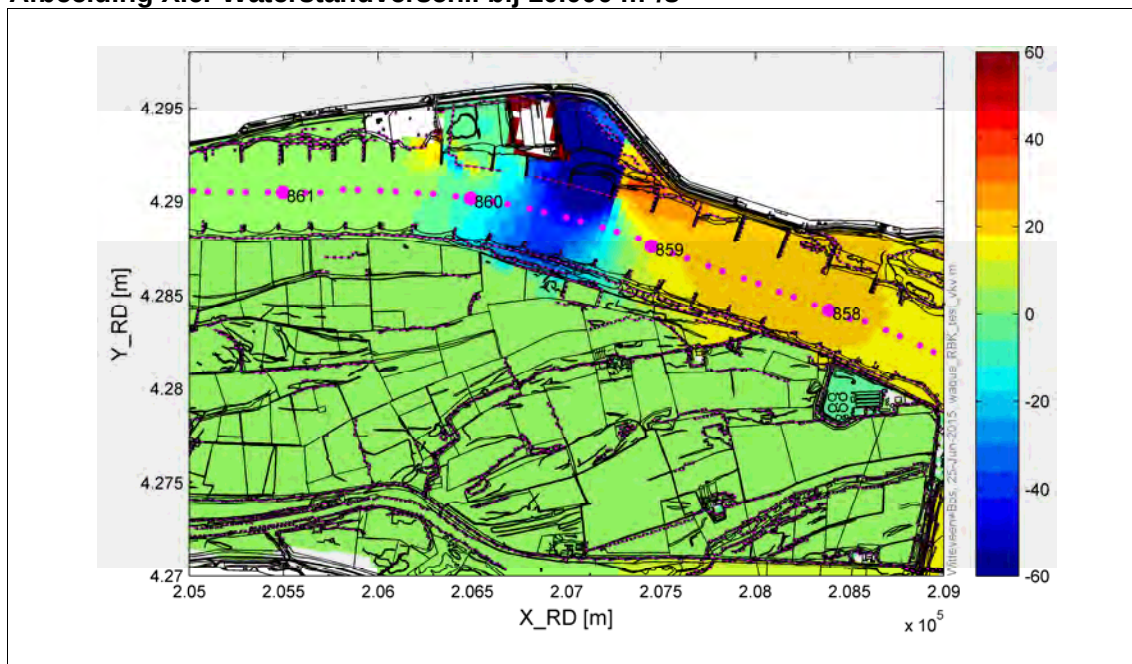
Waterstanden en/of inundatiefrequentie uiterwaard

Als gevolg van de aanleg van de haven kan de frequentie van overstromen van (delen van) de uiterwaard veranderen. Een ingreep kan betekenen dat wegen in de omliggende uiterwaard van de haven vaker onder water komen te staan waardoor (bedrijfs-)terreinen minder goed bereikbaar zijn. Daarentegen kan het minder vaak overstromen van uiterwaarden juist nadelig zijn voor de natuur.

Afbeelding X.4 toont het waterstandverschil bij 10.000 m³/s. Hierin is te zien dat er voornamelijk een waterstandverhoging in bovenstroomse richting en lokaal bij het terrein Wezendonk plaatsvindt. In bovenstroomse richting bedraagt de waterstandverhoging net bovenstrooms van de dwarsdam ongeveer 3 cm en neemt in bovenstroomse richting af tot 2 cm bij rkm 858,7. Verwacht wordt dat waterstandveranderingen van deze orde de overstromingsfrequentie niet noemenswaardig zal beïnvloeden (verschil waterstand 1/1 jr en 1/10 jr is 2,06 m, zie tabel X.1). Nabij het terrein Wezendonk (bodemhoogte 16-16,5 m +NAP) neemt de waterstand toe met maximaal 2 cm. Deze toename is relatief beperkt en

zal naar verwachting niet leiden tot extra overlast. Logischerwijs zal door het aanleg van de haven de uiterwaard ter plekke permanent onder water staan.

Afbeelding X.6. Waterstandverschil bij 10.000 m³/s



Conclusie: de waterstandveranderingen zijn dermate klein dat de overstromingsfrequentie van uiterwaarden en gebieden rondom de haven niet noemenswaardig zal veranderen. Derhalve wordt er geen extra hinder hieromtrent verwacht.

Stroombeeld in de uiterwaard (haven)

Door de ingreep kunnen de stroomsnelheden en -richtingen in het gebied veranderen waardoor schade en hinder kan ontstaan. In de referentiesituatie stroomt de uiterwaard vanwege het hoogwatervrije terrein in het midden van het projectgebied nauwelijks mee. Door aanleg van de haven kan dit voor bepaalde delen van de haven wel het geval zijn, al zorgen de havendammen ervoor dat dit beperkt zal zijn. De stroomrichting en grootte zijn van belang voor het inschatten van de hinder die schepen ondervinden in de haven.

De absolute stroomsnelheden en stroomrichting bij de afvoeren 6.000, 8.000 en 10.000 m³/s zijn weergegeven in afbeelding X.5. In de haven is voor afvoeren tot 10.000 m³/s een neer te zien die wordt aangedreven door het stroomsnelheidsverschil tussen de rivier en de haven. Hierdoor zijn de stroomsnelheden aan de westzijde van de haven wat hoger dan de oostzijde die voornamelijk stroomluw is. De stroomrichting in de neer is westelijk georiënteerd in de zuidwesthoek van de haven en is noordelijk en oostelijk georiënteerd langs de west en noordzijde van de haven.

Bij 6.000 m³/s bedraagt de waterstand ongeveer 14 m +NAP. De langsdam ter plaatse van de uitzichtdriehoek en de benedenstroomse langs -en dwarsdam zijn dan overstroomt. De stroomsnelheid bij deze afvoer is maximaal 0,8 - 0,9 m/s in de zuidwesthoek van de haven. De stroomrichting is hier vrijwel parallel aan de geplande aanlegplaats van een twee-kegelschip waardoor de hinder als gevolg van de stroming beperkt zal zijn. De stroomsnelheid neemt af tot ongeveer 0,3 - 0,4 m/s langs de west -en noordzijde van de haven. Het dwarsdebiet bij deze maximale stroming bedraagt ongeveer 160 m³/s. De stroomsnelheden lijken daarmee beperkt, echter omdat de stroming haaks op de afgemeerde schepen liggen

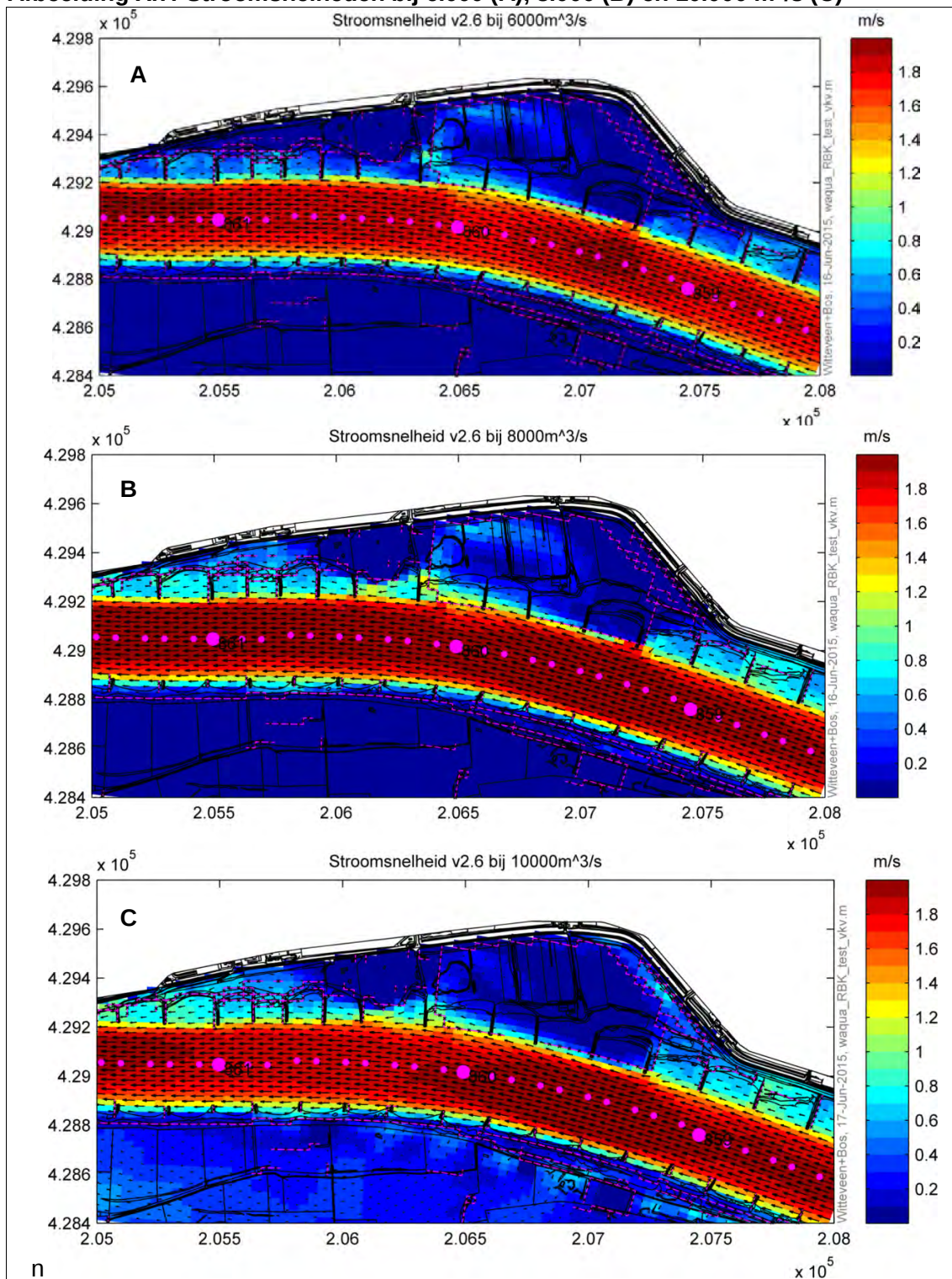
zou dit als hinderlijk ervaren kunnen worden. Hierbij wordt opgemerkt dat in werkelijkheid de neer wat minder sterk zal zijn vanwege afgemeerde schepen en de aanlegsteigers die neervorming blokkeren.

Bij 8.000 m³/s bedraagt de waterstand ongeveer 15 m +NAP. De bovenstroomse langsdam en benedenstroomse langs -en dwarsdam zijn dan overstroomd. De maximale stroomsnelheid bedraagt 1,1 m/s in de zuidwesthoek van de haven. Langs de west -en noordzijde van de haven bedraagt de stroomsnelheid maximaal 0,4 - 0,6 m/s en vallen daarmee wat hoger uit dan bij een afvoer van 6.000 m³/s. Het dwarsdebiet bij deze maximale stroming bedraagt ongeveer 240 m³/s. Deze afvoer komt ongeveer 1/3,5 jaar voor, waardoor de kans van optreden van deze stroming in de haven gering is.

Bij een afvoer van 10.000 m³/s stroomt de bovenstroomse dwarsdam over waardoor de gehele haven meestroomt. De neerwerking in de haven neemt hierdoor af waardoor de stroomsnelheden in de haven wat afnemen ten opzichte van de situatie bij 8.000 m³/s. De stroomsnelheden variëren tussen 0,8 m/s in de zuidwesthoek tot maximaal 0,3 m/s langs de west -en noordzijde van de haven.

Conclusie: De stroomsnelheid in het westelijke gedeelte van de haven wordt tot een afvoer van 8.000 m³/s bepaald door een neer met een maximale stroomsnelheid van ongeveer 0,6 m/s. In de zuidwesthoek van de haven zijn de stroomsnelheden hoger en bedragen maximaal ongeveer 1,1 m/s.

Afbeelding X.7. Stroomsnelheden bij 6.000 (A), 8.000 (B) en 10.000 m³/s (C)



Stroombeeld in de hoofdgeul

De herverdeling van water tussen de uiterwaard en het zomerbed leiden tot stroomsnelheidsverschillen. Bij afvoeren tot 5.000 m³/s zorgen de havendammen voor een versmalling van het zomerbed. Het debiet dat in de referentiesituatie over de kribben stroomt wordt nu aan de bovenstroomse dwarsdam richting het zomerbed geduwd waardoor de stroom-

snelheden hier zullen toenemen. Vanaf 5.000 m³/s beginnen de havendammen te overstroomen waardoor het doorstroomprofiel verruimd wordt.

Afbeelding X.6A toont de stroomsnelheidsverschillen bij een afvoer van 6.000 m³/s. Bij deze afvoer vindt er in het zomerbed vooral een verhoging van de stroomsnelheid plaats van maximaal 0,2 m/s. Ter plaatse van de haveningang neemt de stroomsnelheid af met ongeveer 0,15 m/s. Benedenstrooms hiervan, langs de rechteroever, neemt de stroomsnelheid licht toe met maximaal ongeveer 0,1 m/s.

Bij een afvoer van 8.000 m³/s (afbeelding X.6B) en 10.000 m³/s (afbeelding X.6C) nemen de stroomsnelheden in het zomerbed ter hoogte van de bovenstroomse langsdam toe met maximaal ongeveer 0,3 m/s terwijl ze benedenstrooms van de haven afnemen met ongeveer 0,1 m/s.

De stroomsnelheidsverschillen leiden tot bodemveranderingen en zijn gepresenteerd in de volgende paragraaf.

Dwarsstroming

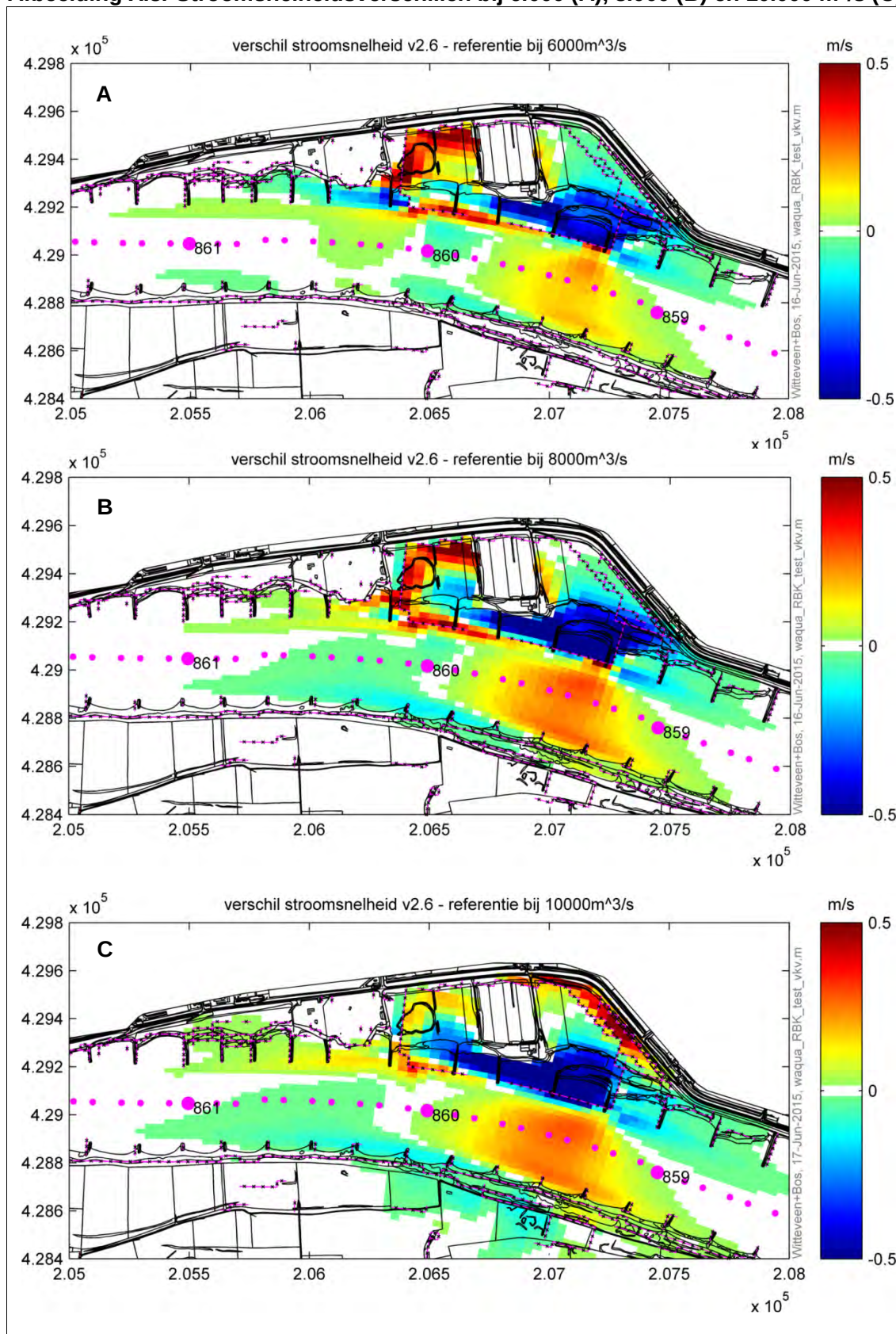
Het effect van de VKV op de dwarsstroming ter plaatse van de bakenlijn is bepaald voor de afvoeren 4.000, 6.000, 8.000 en 10.000 m³/s. De dwarsstroming bij 6.000 m³/s is weergegeven in de afbeelding X.7. Tabel X.1 geeft een samenvatting van de dwarsstroming- en debiet bij de bovenstroomse en benedenstroomse dwarsdam. Uit de afbeeldingen en tabel X.1 wordt het volgende opgemaakt:

- de dwarsstroming is het grootst bij de bovenstroomse -en benedenstroomse dwarsdam. Hier stroomt water vanuit het kribvak en vanuit de haven het zomerbed in. Uit analyse van het dwarsstroom debiet blijkt dat bovenstrooms het strenge criterium geldt (0,15 m/s bij een dwarsdebiet > 50 m³/s) en benedenstrooms het minder strenge 0,3 m/s omdat hier het dwarsdebiet < 50 m³/s;
- De dwarsstroming nabij de bovenstroomse dwarsdam voldoet bij de afvoeren 4.000 - 10.000 m³/s niet aan het criterium uit het RBK van 0,15 m/s. Verdere optimalisatie is nodig om de dwarsstroming te mitigeren. De mitigerende maatregelen zijn gepresenteerd in paragraaf X.3.

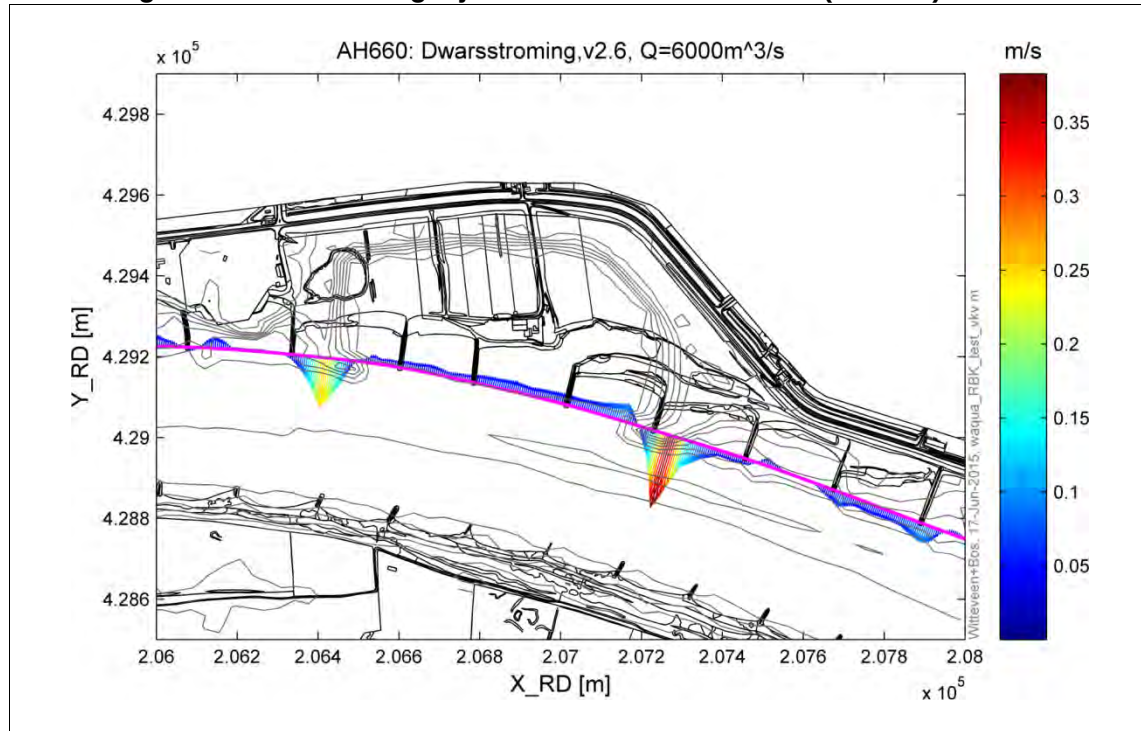
Tabel X.1. Samenvatting dwarsstroming op de bakenlijn

10. Boven-Rijnaivoer (m ³ /s)	11. bovenstroomse dwarsdam		benedenstroomse dwarsdam	
	dwarsstroming (m/s) criterium: max 0,15 m/s	dwarsdebiet (m ³ /s)	dwarsstroming (m/s) criterium: max 0,30 m/s	dwarsdebiet (m ³ /s)
4.000	-0,16	25	-	-
6.000	-0,38	200	-0,25	28
8.000	-0,61	380	-0,20	49
10.000	-0,52	330	0,15	33

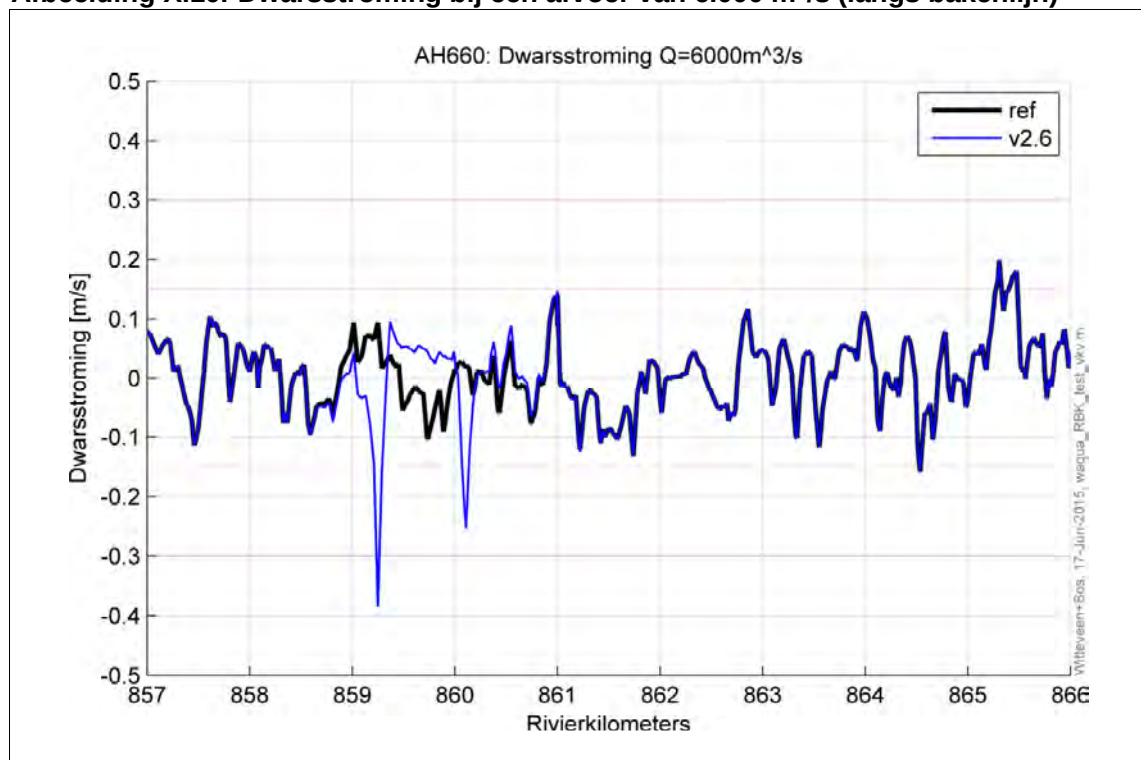
Afbeelding X.8. Stroomsnelheidsverschillen bij 6.000 (A), 8.000 (B) en 10.000 m³/s (C)



Afbeelding X.9. Dwarsstroming bij een afvoer van 6.000 m³/s (2D-vlak)



Afbeelding X.10. Dwarsstroming bij een afvoer van 6.000 m³/s (langs bakenlijn)



X.3 Morfologische effecten

Erosie en sedimentatie

Een wijziging van stroomsnelheden kan leiden tot erosie en/of sedimentatie op plaatsen waar dit niet gewenst is. Zo kan erosie in het zomer- en winterbed leiden tot ondermijning van constructies en sedimentatie in de vaargeul leiden tot een onveilige situatie voor de scheepvaart.

De morfologische effecten zijn bepaald met behulp van het programma Waqmorf. Het resultaat van Waqmorf is de verwachte verandering van bodemligging ten opzichte van de referentiesituatie. Op basis van de stroomsnelheidsverschillen gepresenteerd in de voorgaande paragraaf wordt verondersteld dat er in het zomerbed voornamelijk sprake zal zijn van erosie en alleen lokaal bij de haveningang van sedimentatie. Zoals vermeld in hoofdstuk 5 is er in het diepe gedeelte van het zomerbed langs de rechteroever tussen kmr 858-862 een vaste laag aangebracht waardoor het niet beschermde gedeelte van de zomerbedbodem zal eroderen totdat er een nieuw bodemevenwicht bereikt is. Ter plaatse van de vaste laag zal de bodem vanwege de aangebrachte steenbestorting niet kunnen eroderen mits de graddering stabiel blijft bij de toegenomen stroomsnelheid. De kans op aanzanding van de vaste laag zal naar verwachting klein zijn vanwege de beperkte aanvoer van (bodem)sediment uit bovenstroomse richting.

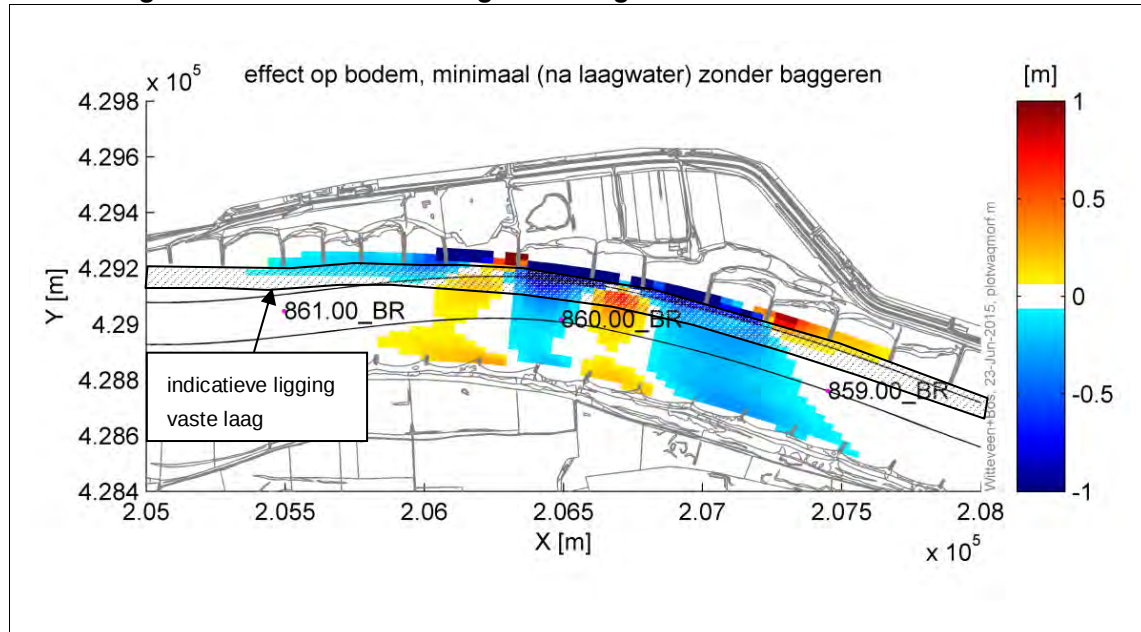
De minimale, maximale en jaargemiddelde bodemveranderingen zijn gepresenteerd in de afbeeldingen X.9 t/m X.11. Hierin is tevens de indicatieve ligging van de vaste laag aangegeven. Voor een realistische inschatting van de morfologische effecten is de langsdam ook in de WAQUA bodem (i.p.v. alleen als een kade) gezet.

Uit afbeelding X.9 blijkt dat de bodemveranderingen na een laagwater bestaan uit erosie van het zomerbed boven -en benedenstrooms van de haveningang en sedimentatie ter plaatse van de ingang (ca. 0,5 m) en net benedenstrooms van de haven (ca. 0,1 m). Het volume aanzanding en erosie in het zomerbed komt overeen met ongeveer 25.000 m³ en - 110.000 m³. Deze volumes vormen een bovengrens omdat hierbij geen rekening gehouden is met de vaste laag.

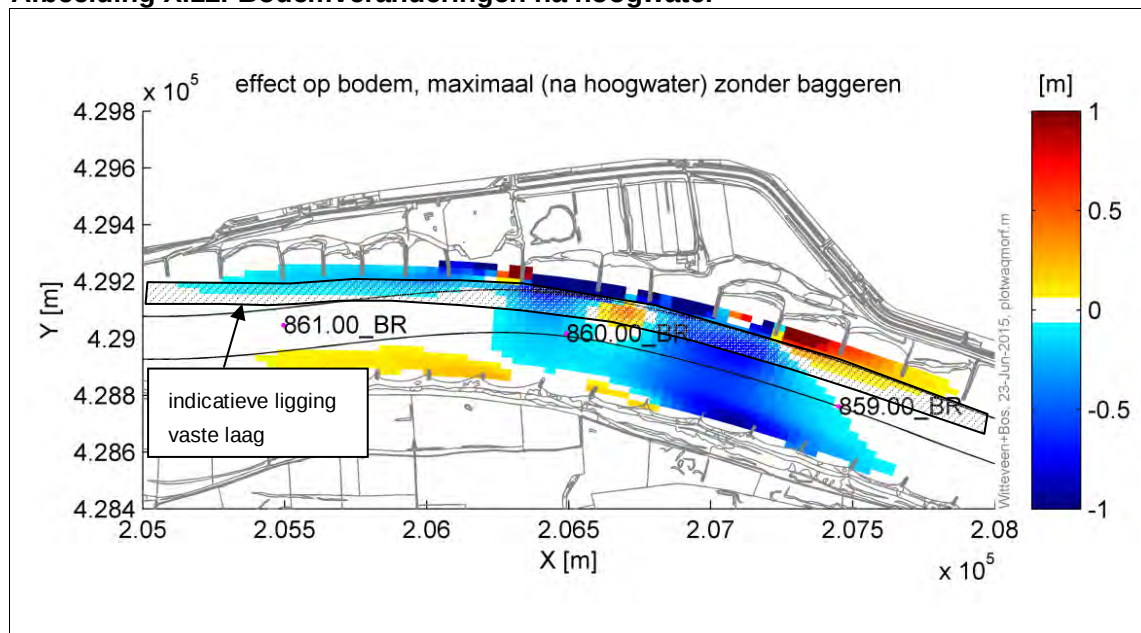
Na een hoogwatergolf (afbeelding X.10) vindt er voornamelijk erosie plaats van het zomerbed (maximaal ongeveer 1,0 m). Voor de haveningang is nog een beperkte sedimentatie van maximaal 0,2 m waarneembaar. Jaargemiddeld (afbeelding X.11) is het erosie -en sedimentatiepatroon vergelijkbaar met die van na een laagwater. De berekende erosie en sedimentatie zullen in werkelijkheid plaatsvinden in het onbeschermde, alluviale deel van de het zomerbed en niet ter plaatse van de vaste laag.

Uit de berekende maximale, minimale en jaargemiddelde erosie en sedimentatie van het zomerbed blijkt dat de morfologische effecten reiken tot ongeveer rkm 861,5. Tussen rkm 862 - 864,3 is een sedimentsuppletie langs de linkeroever voorzien. Verwacht wordt dat vanwege de beperkte morfologische effecten in het zomerbed de sedimentsuppletie niet beïnvloed zal worden door de voorkeursvariant van Spijk.

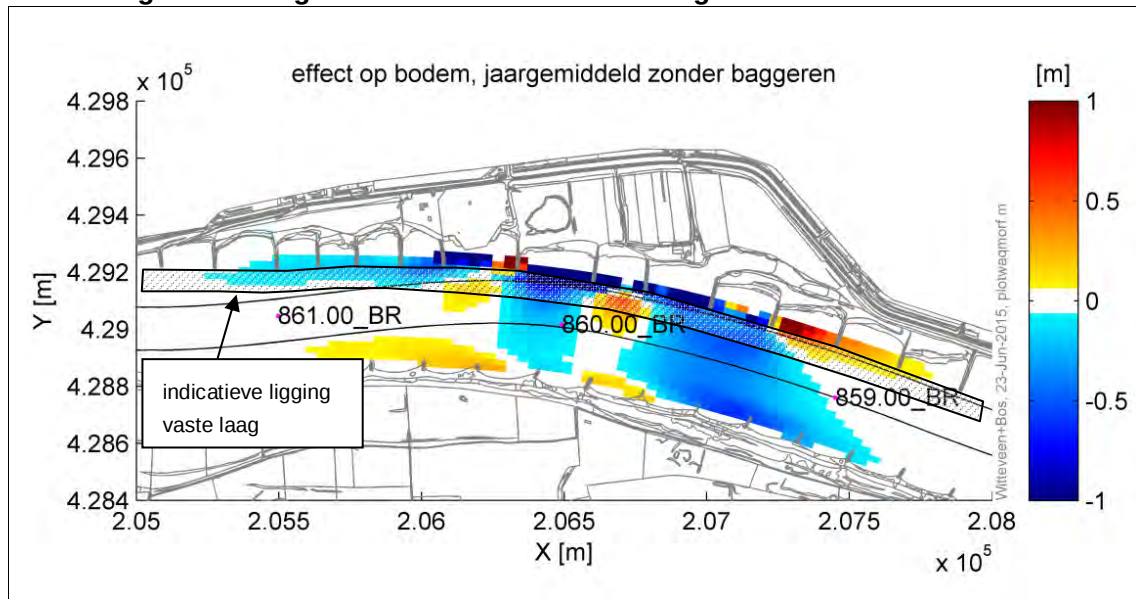
Afbeelding X.11. Bodemveranderingen na laagwater



Afbeelding X.12. Bodemveranderingen na hoogwater



Afbeelding X.13. Jaargemiddelde bodemveranderingen



Toetsing gegarandeerde waterdiepte vaarweg en baggerbezwaar

Volgens het Rivierkundig Beoordelingskader gelden de volgende eisen omtrent de morfologische effecten in het zomerbed:

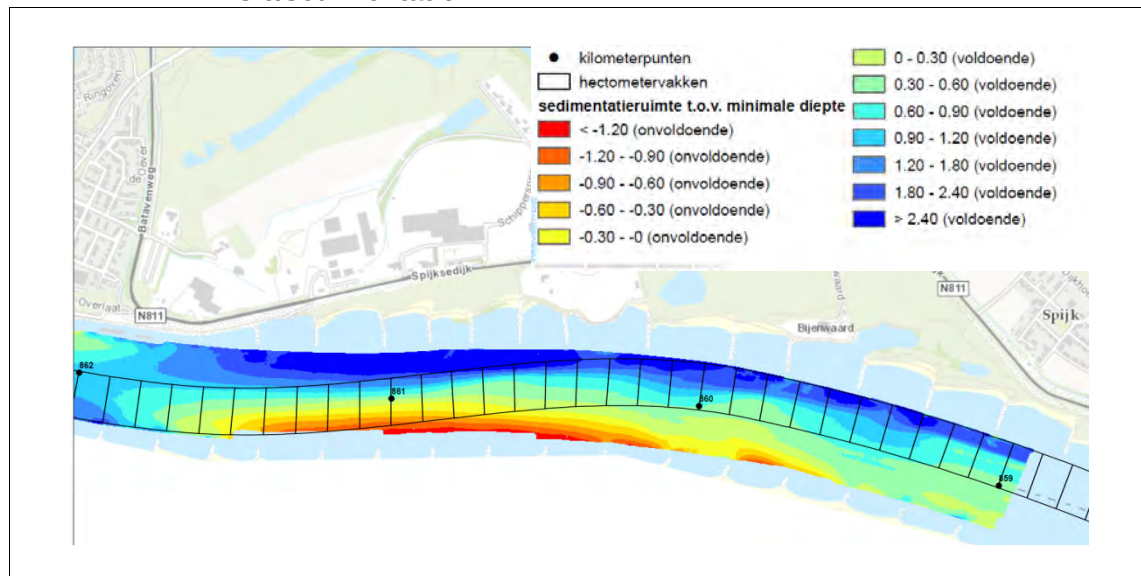
1. gegarandeerde waterdiepte bij OLR in gehele vaargeul:
 - voor de Boven-Rijn geldt een gegarandeerde waterdiepte van 2,8 m – OLR. De bodem van de gehele vaargeul dient hieraan te voldoen. Waar dat niet het geval is, dient gebaggerd te worden. Als door deze ingreep de bodem hoger dan 2,8 m – OLR komt te liggen, moet optimalisatie van de ingreep plaatsvinden.
2. gemiddelde waterdiepte + 40 % bij OLR:
 - deze voorwaarde voorziet in de noodzakelijke kielspeling. De toets hierop is anders dan bij de eerste voorwaarde: de bodemligging in de vaargeul wordt in vakken van 100 m lengte over de vaargeulbreedte gemiddeld. De bodem moet hierbij gemiddeld op tenminste 4,0 m – OLR liggen. Is dat in de huidige situatie al niet aan de orde, dan moet sedimentatie worden weggebaggerd. Als de bodem gemiddeld lager ligt dan 4,0 – OLR, dan is er nog ruimte in het systeem om eventuele aanzanding op te vangen.

Uit analyse van de sedimentatieruimtekaarten (hoofdstuk 5) wordt geconcludeerd dat er tussen rkm 859-860,7 voldoende waterdiepte beschikbaar is; er is 0 cm tot 60 cm overdiepte aanwezig om enige sedimentatie op te kunnen vangen. Vanaf rkm 860,7 wordt niet voldaan aan de minimale waterdiepte en is er geen sedimentatieruimte beschikbaar vanwege een zandbank aan de linkeroever. Het effect van de vaste laag in de buitenbocht van rkm 858-862 is niet in de sedimentatieruimtekaart terug te zien, omdat deze gebaseerd zijn op de gemiddelde bodemligging uit 1999-2006 en de OLR2002. Verwacht wordt dat de harde laag een positieve invloed heeft op de morfologie en dat de binnenbocht zal verdiepen. Bovenstrooms van de vaste laag (krm 858) zal er aanzanding plaatsvinden, terwijl benedenstrooms (krm 858) er zich waarschijnlijk een erosiekuil zal vormen. Aangenomen wordt dat de situatie voor aanleg van de harde laag een conservatieve benadering is voor het bepalen van de effecten op de scheepvaartveiligheid.

Afbeelding X.12 toont de sedimentatieruimte bij OLR inclusief de berekende jaargemiddelde erosie en sedimentatie uit afbeelding X.13. Er vindt voornamelijk een vergroting van de waterdiepte plaats, behalve tussen rkm 859,7 - 860,0 en 860, 2 - 860,4. Er wordt hier nog

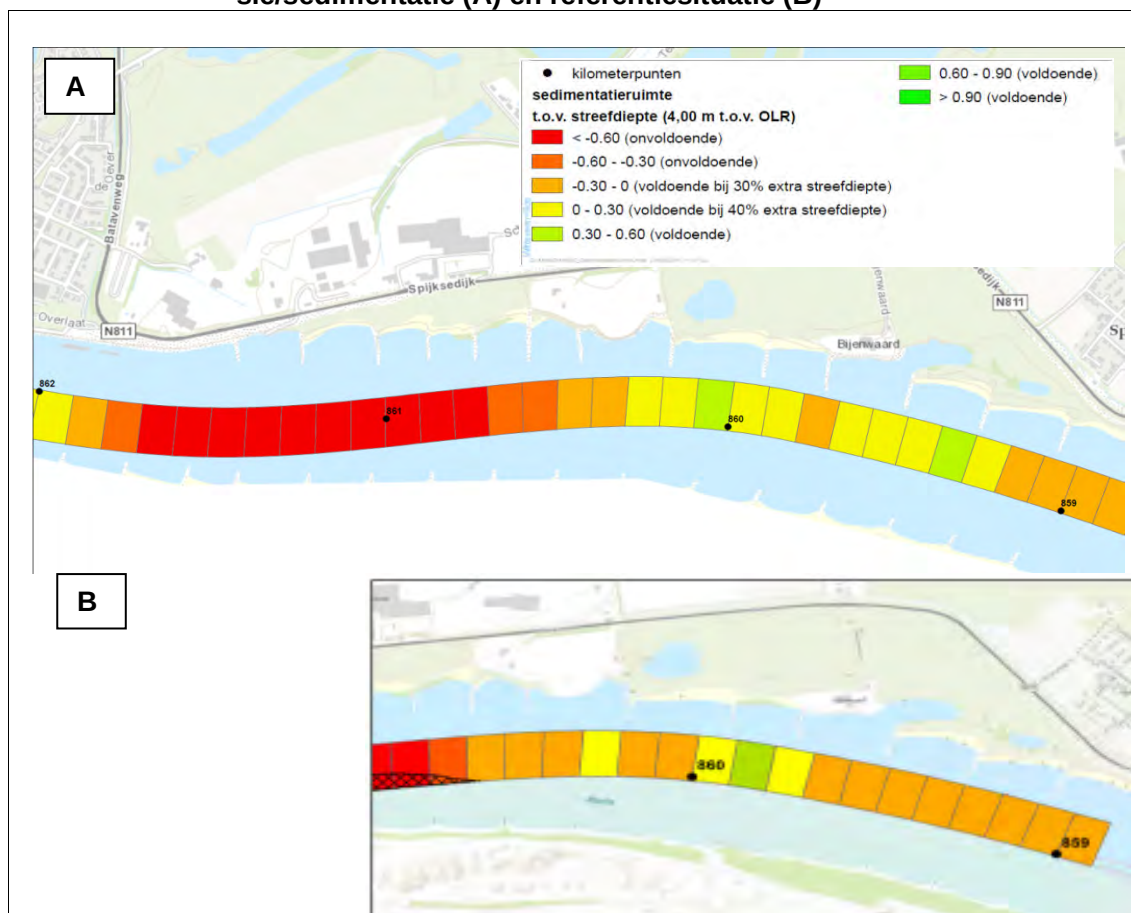
wel voldaan aan de gegarandeerde diepte OLR - 2,80 m. Benedenstrooms, tussen rkm 860,6 en rkm 861,6 wordt niet overal meer voldaan aan de gegarandeerde waterdiepte in de vaarweg. Hier wordt hier echter geen aanzanding verwacht en daarnaast zal de gemiddelde waterdiepte als gevolg van de aanleg van de vaste laag toenemen.

Afbeelding X.14. Sedimentatieruimte bij OLR inclusief jaargemiddelde erosie/sedimentatie



Ten aanzien van het streefdiepte criterium (afbeelding X.13) kan geconcludeerd worden dat over het algemeen de streefdiepte in de vaargeul tussen rkm 858 - 860,2 zal toenemen. Benedenstrooms van de haven neemt de streefdiepte wat af als gevolg van de berekende aanzanding. Echter door de verwachte erosie van de binnenbocht na aanleg van de vaste laag wordt niet verwacht dat dit tot een extra baggerinspanning zal leiden.

Afbeelding X.15. Streefdiepte (OLR - 4 m) vaarweg inclusief jaargemiddelde erosie/sedimentatie (A) en referentiesituatie (B)



Sedimentatie in de haven

Met SILTHAR is in de vorige fase van het project voor een mediane afvoer de aanslibbing in de haven bepaald. Deze is voor de variant West berekend op 20.000 m³ per jaar. Dit is gemiddeld over de haven ongeveer 8,0 cm per jaar. De langsdammen van de VKV zijn wat lager dan de Westvariant maar bij lagere afvoeren (< 5.000 m³/s) is het natte oppervlak van de haveningang nagenoeg hetzelfde gebleven. Aangezien de mate van aanslibbing met name bepaald wordt door de omstandigheden tijdens dagelijkse condities, wordt verwacht dat de aanslibbing van vergelijkbare grootte zal zijn als berekend voor de Westvariant.

Conclusie: de morfologische effecten in het zomerbed zijn beperkt tot het gedeelte buiten de vaste laag. Er wordt geen extra baggerinspanning van de vaargeul verwacht. In de haven zal aanslibbing plaatsvinden van ongeveer 20.000 m³ per jaar.

X.4. Overzicht RBK toets en conclusie

De tabellen X.2 t/m X.4 geven een samenvatting van de effectbeoordeling voor de aspecten Hoogwaterveiligheid, hinder en/of schade en morfologische effecten. De VKV voldoet niet aan de criteria aangaande de opstuwing en dwarsstroming. De opstuwing en de dwarsstroming kunnen nog verder gemitigeerd worden. De mitigerende en compenserende maatregelen zijn gepresenteerd in het navolgende paragraaf.

Tabel X.2. Effectbeoordeling voorkeursvariant Spijk - Hoogwaterveiligheid

§*	te beoordelen effect	criterium	effect	hoofdstuk	conclusie
1.1	maatregel in stroomvoerende deel rivier: MHW stand op de as van de rivier	stroomvoerend: geen waterstandsverhoging (bij 16.000 m³/s Boven-Rijn)	max. waterstandverhoging: +12 mm max. waterstandverlaging: - 23 mm		voldoet niet
	maatregel in bergend deel rivier: volume waterberging	bergend: geen vermindering bergend volume			
1.2	MHW stand buiten as van de rivier	toename waterstand (bij 16.000 m³/s Boven-Rijn)	langs primaire waterkering: max. waterstandverhoging: +30 mm max. waterstandverlaging: -50 mm		ter acceptatie van het Waterschap
1.3	afvoerverdeling bij MHW (bij Pannerdensche Kop en IJsselkop)	project binnen enkele km splitsing: verandering afvoerverdeling < 5 m³/s bij Boven-Rijn afvoer van 15.000 m³/s	niet relevant omdat het project bovenstrooms ligt van het splitsingspunt met Pannerdensch kanaal		voldoet
		project verder weg: geen verandering waterstand bij splitsing			
1.4	afvoerverdeling bij normaal hoogwater (bij Pannerdensche Kop en IJsselkop)	verandering afvoerverdeling < 20 m³/s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m³/s	niet relevant omdat het project bovenstrooms ligt van het splitsingspunt met Pannerdensch kanaal		voldoet

Tabel X.3. Effectbeoordeling voorkeursvariant Spijk - Hinder en/of schade

§*	te beoordelen effect	criterium	effect	bijlage	conclusie
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 m³/s, plus vaak ook de Boven-Rijn afvoer van 10.000 m³/s	16.000 m³/s: max. waterstandverhoging waterkering: +30 mm 10.000 m³/s: 3 cm bij bovenstroomse dwarsdam; 2cm nabij terrein Wezendonk		geen extra hinder door wijziging in waterstanden en/of overstromingsfrequentie
2.2	stroombeeld in de uiterwaard (haven)	verandering grootte en richting stroomsnelheden bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m³/s	stroomsnelheid haven - neer - 6.000 m³/s: 0,4 m/s - 8.000 m³/s: 0,6 m/s - 10.000 m³/s: 0,3 m/s stroomsnelheid haven - zuidwesthoek - 6.000 m³/s: 0,9 m/s - 8.000 m³/s: 1,1 m/s - 10.000 m³/s: 0,8		beperkte hinder door neer in de haven bij afvoer 6.000 m³/s en meestromen zuidwesthoek haven

S*	te beoordelen effect	criterium	effect	bijlage	conclusie
			m/s		
2.3	stroombeeld in hoofdgeul bij de aan- en aftakking van nevengeul	bankfull afvoer nevengeul < 50 m ³ /s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,3 m/s bankfull afvoer nevengeul > 50 m ³ /s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,15 m/s	bovenstroomse dwarsdam: max 0,6 m/s benedenstroomse dwarsdam: max 0,25 m/s		dwarsstroming voldoet niet
2.4	afvoerverdeling bij normaal hoogwater	verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	niet relevant omdat het project bovenstrooms ligt van het splitsingspunt met Pannerdensch kanaal		voldoet
2.5	afvoerverdeling bij lage afvoeren	afwijking afvoerverdeling < 1 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m ³ /s (OLR)	niet relevant omdat het project bovenstrooms ligt van het splitsingspunt met Pannerdensch kanaal		voldoet

Tabel X.4. Effectbeoordeling voorkeursvariant Spijk - Morfologische effecten

S*	te beoordelen effect	criterium	effect	bijlage	conclusie
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 terugschrijdende erosie of sedimentatie i.v.m. risico verandering afvoerverdeling bij MHW of OLR.	- jaargem maximale erosie van 0,2 m (totaal -110.000 m³) - jaargem maximale aanzanding: 0,5 m (totaal 25.000 m³)		beperkte morfologische effecten, geen toename baggeringspanning

S*	te beoordelen effect	criterium	effect	bijlage	conclusie
3.2	aanzanding en erosie van uiterwaard (haven)	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	aanslibbing haven van ongeveer 20.000 m ³ /jaar (gemiddeld 8 cm)		Beperkte aanslibbing haven

X.5. Overzicht MER beoordeling en conclusie

De tabellen X.5 t/m X.6 geven een samenvatting van de MER effectbeoordeling voor de aspecten hoogwaterveiligheid, afvoerverdeling, dwarsstroming en morfologie. Ten opzichte van de inrichtingsvariant West is de opstuwing op de rivieras afgenomen met 13 mm van 23 mm naar 12 mm. De dwarsstroming is toegenomen met 0,09 m/s van 0,29 naar 0,38 m/s. De maximale aanzanding in het zomerbed is berekend op 0,5 m. Hierbij wordt opgemerkt dat de aanzanding lokaal is en dat er ook gedeelten zijn in het zomerbed waar de bodem erodeert. Netto vindt er erosie van het zomerbed plaats.

Opgemerkt wordt dat een vergelijking met de effectbeoordeling van de inrichtingsvariant West maar ten dele gemaakt kan worden omdat er met een up-to-date model instrumentarium is gerekend. Daarnaast is de aanzanding van het zomerbed gekwantificeerd terwijl dit in de vorige fase op basis van expert judgement bepaald is.

Tabel X.5. Rivierkundige effecten varianten Tuindorp

aspect	criterium	VKV
effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	maximale opstuwing op de rivieras	12 mm
afvoerverdeling	verandering afvoerverdeling bij de Pannerdensche Kop	0 m ³ /s
dwarsstroming	dwarsstroomsnelheid bakenlijn	0,38 m/s (+0,24)
morfologie	aanzanding zomerbed (netto)	max 0,5 m

Effectbeoordeling VKV

In tabel X.6 is een samenvattende beoordeling opgenomen van de VKV voor Spijk op het gebied van rivierkunde. De VKV scoort sterk negatief op de aspecten hoogwaterveiligheid, en dwarsstroming en negatief op morfologie. Het aspect afvoerverdeling scoort neutraal. De effectbeoordeling van de hoogwaterveiligheid en afvoerverdeling is gelijk gebleven. De effectbeoordeling van de dwarsstroming en morfologie is negatiever geworden (- naar --).

Tabel X.6. Effectbeoordeling VKV Spijk

aspect	VKV
effect op waterstanden (hoogwaterveiligheid)	--
afvoerverdeling	0
dwarsstroming	--
morfologie	--

X.6 Mitigerende maatregelen voorkeursvariant

X.6.1 Geleidende oever

Uit de analyse van de dwarsstroming op de bakenlijn blijkt dat ondanks de geleidende oever de dwarsstroming ter plaatse van de bovenstroomse dwarsdam te hoog is. De oever vanaf de primaire waterkering naar de langsdam verloopt nog niet geleidelijk genoeg. Daarom is gekeken naar een oever die een flauwere hoek maakt met de rivier. Het debiet wat bij afvoeren vanaf ongeveer 3.500 m³/s over de kribben stroomt wordt dan over een langere afstand richting het zomerbed gestuurd en niet pas bij de dwarsdam, zoals nu in het VKV het geval is. Bijlage VIII bevat de notitie van de optimalisatie van de geleidende oever.

Hierin wordt geconcludeerd dat een oever met een kruinhoogte van 15 m +NAP die ongeveer vanaf 2 kribvakken bovenstrooms van de dwarsdam vanaf de waterkering naar de langsdam loopt voldoet aan het criterium van 0,15 m/s bij 6.000 m³/s. Bij 8.000 m³/s bedraagt de dwarsstroming maximaal 0,17 m/s. Omdat de dwarsstroming geleidelijk over een afstand van enkele honderden meters toeneemt, is sprake van een kleine gradiënt. De verwachting is dat dit niet zal leiden tot onveilige situaties voor de scheepvaart. Bij 10.000 m³/s geldt een vaarverbod in Duitsland waardoor de kans dat schepen vanaf de Duitse grens langs de geleidende oever varen klein is.

Conclusie:

De geleidende oever vanaf de primaire waterkering naar de bovenstroomse langsdam is een effectieve maatregel om de dwarsstroming te mitigeren. Aanbevolen wordt deze mitigerende maatregel in een definitieve versie van het VKV op te nemen.

X.6.2 Uitloopgebied

Uit de MHW berekening van de geleidende oever (variant v2_1), welke gepresenteerd is in Bijlage VII, blijkt bovendien het uitloopgebied ten noorden van de geleidende oever wordt aangevuld tot ongeveer 15 m +NAP (Bijlage VII, paragraaf 3.2), er sprake is van een neutraal effect op de opstuwing in bovenstroomse richting. Dit geeft de minste opstuwing benedenstrooms bij rkm 860. De opstuwing bedraagt dan nog 8 mm (ipv 12 mm) en geeft inzicht in de maximale mitigatie van de opstuwing bij rkm 860. Dit betekent dat er sprake is van een resteffect die wellicht gecompenseerd moet worden.

Conclusie:

Een aanvulling van het uitloopgebied tot ongeveer 15 m +NAP zorgt voor een afname van de opstuwing nabij rkm 860 van 12 mm naar 8 mm. Het resteffect kan eventueel gecompenseerd worden door benedenstrooms van de haven kribben aan te passen (verlagen en/of verflauwen).

X.6.3. Verlagen benedenstroomse dwarsdam

Ten einde de maximale opstuwing nabij kmr 860 van 12 mm verder te minimaliseren is als mitigerende maatregel voorgesteld de benedenstroomse dwarsdam te verlagen van 13 m +NAP naar 11 m +NAP. De effecten van deze mitigerende maatregel op de opstuwing, (dwars)stroming en morfologie zijn bepaald met WAQUA. De verlaagde dwarsdam is toegepast in de mitigerende maatregel van de geleidende oever om zo een inschatting te krijgen van de maximale reductie van de opstuwing nabij kmr 860.

Afbeelding X.14 toont het effect op de MHW op de rivieras. Het effect op de opstuwing bij de benedenstroomse dam is beperkt tot 1 mm. De maximale opstuwing nabij rkm 860 bedraagt nog ongeveer 7 mm.

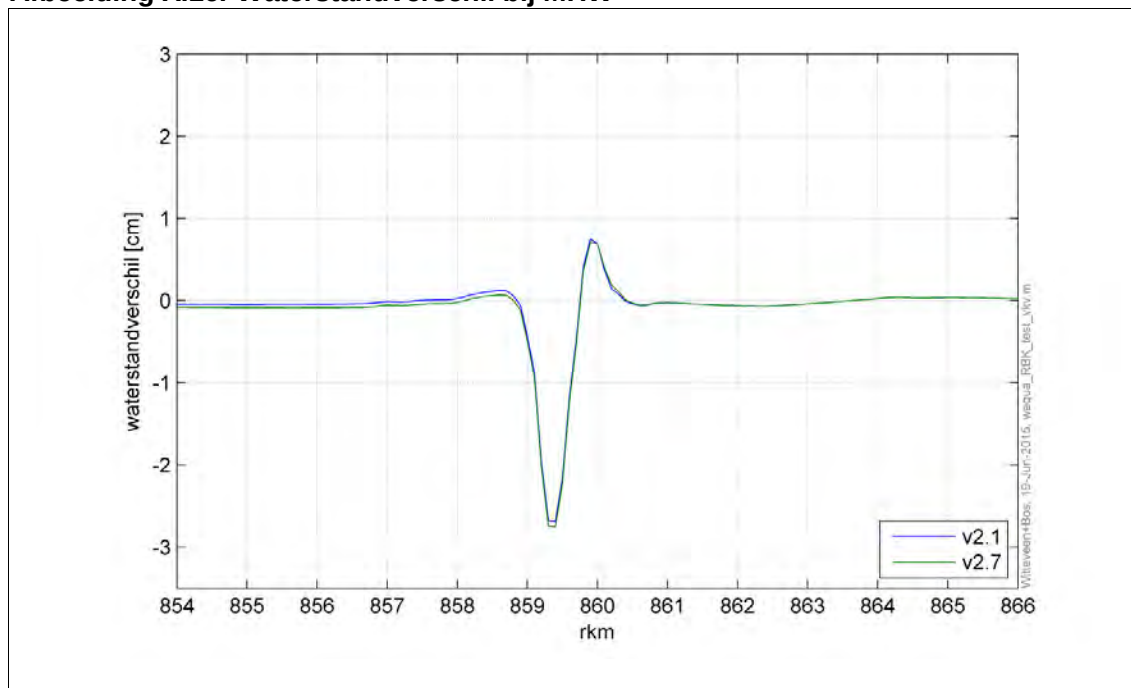
Het effect op de dwarsstroming bij een afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is weergegeven in afbeelding X.15. De maximale dwarsstroming bij de benedenstroomse dwarsdam (rkm 860) neemt af van 0,22 met 0,12 m/s naar 0,10 m/s.

De morfologische effecten zijn ingeschat op basis van de stroomsnelheidsverschillen bij een afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (afbeelding X.16). Vergeleken met afbeelding X.6A is er een grotere afname te zien van de stroomsnelheid. Dit komt omdat er meer water uit het zomerbed wordt onttrokken. Dit leidt potentieel tot meer aanzanding in de vaargeul en is daarom niet gunstig voor de scheepvaartveiligheid. Daarnaast zal de overlast in de zuidwesthoek van de haven toenemen door golven die vanuit de rivier de haven binnendringen en door een toename van de stroomsnelheid zodra de dwarsdam overstroomt is.

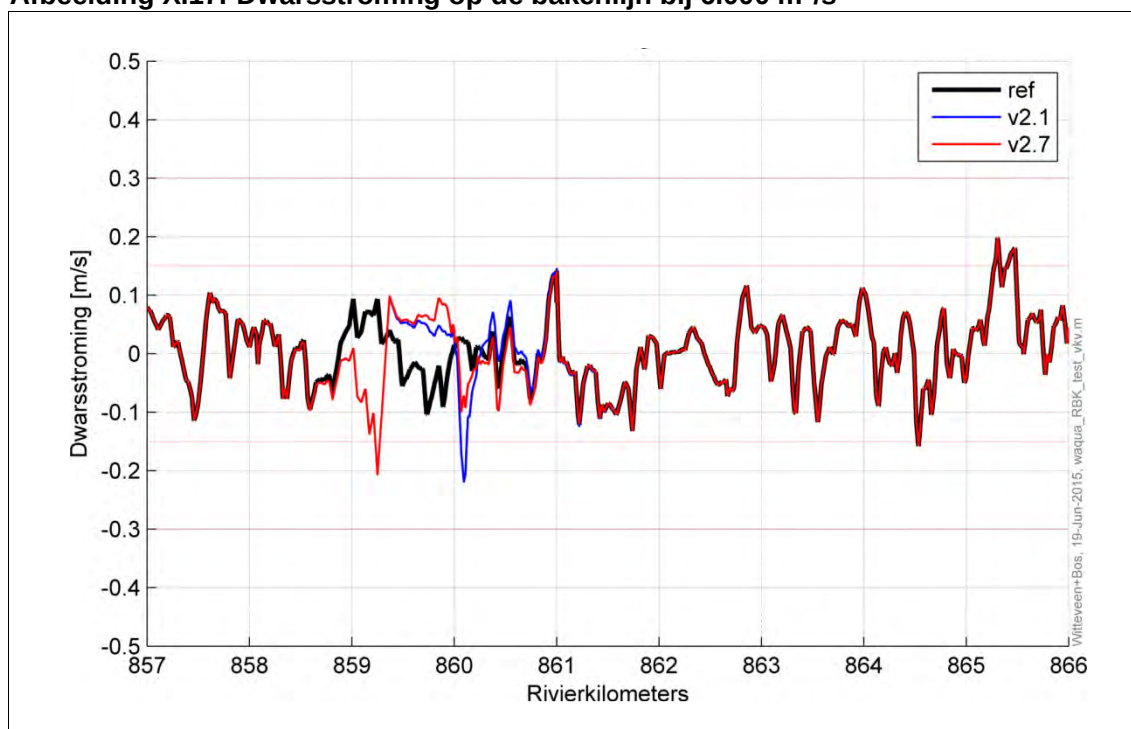
Conclusie:

Gezien het beperkte effect van het verlagen van de benedenstroomse dwarsdam op de opstuwing en de nadelige effecten op de morfologie van het zomerbed en overlast in de haven wordt aanbevolen om de hoogte van de benedenstroomse dwarsdam niet verder te verlagen dan 13 m +NAP.

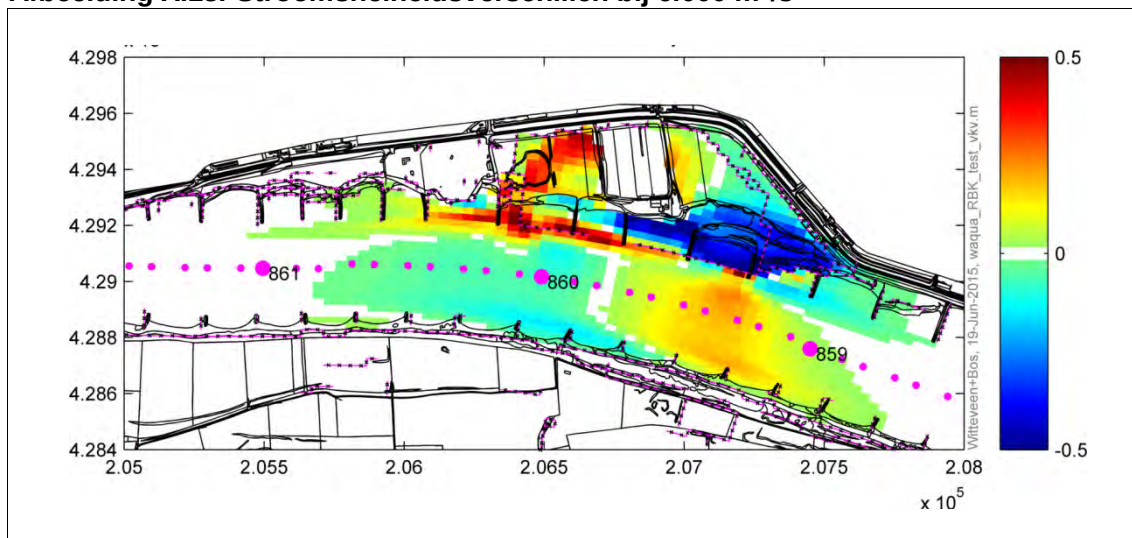
Afbeelding X.16. Waterstandverschil bij MHW



Afbeelding X.17. Dwarsstroming op de bakenlijn bij 6.000 m³/s



Afbeelding X.18. Stroomsnelheidsverschillen bij 6.000 m³/s



X.7. Compenserende maatregelen

De na mitigatie resterende opstuwing op de rivieras dient mogelijk gecompenseerd te worden. Afbeelding X.17 laat een principe schets zien van de opstuwing en compensatie. Compensatie van de opstuwing dient vanwege het stuwkromme effect benedenstrooms genomen te worden om de opstuwing volledig te compenseren. Meest effectief zijn aanpassingen die genomen worden langs de rechteroever direct benedenstrooms van de haven

De volgende maatregelen zijn mogelijk:

- verlagen van de kribben benedenstrooms van het projectgebied;
- verflauwen van de benedenstroomse taluds van de kribben naar 1:7;
- inkorten van kribben;
- verwijderen van de kribben en aanleg van een langsdam;
- overstroombaar maken van het terrein Wezendonk.

Verwacht wordt dat de resterende opstuwing van 12 mm op de rivieras volledig gecompenseerd kan worden door bovenstaande maatregelen (al dan niet gecombineerd).

Afbeelding X.19. Principeschets opstuwing en compensatie

