



# Rivierkundige beoordeling - RBK 5.0

## Planuitwerking Salmsteke Uiterwaard

Opdrachtgever:  
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Organisatie  
Lievense Milieu B.V.

Telefoon  
+31 (0)88 910 20 00

Projectnummer  
WAB010194

Adres  
Ringwade 41  
3439 LM Nieuwegein

Datum  
17 mei 2021

Documentnummer  
versie v4



## Colofon

### Rapporthistorie

V1	Mei-20	Concept VO
V2	Jun-20	Definitief VO
V3	Feb-21	Concept VO+
V4	Mei-21	Definitief VO+

### Contactgegevens

Merel Hendriksen  
+316 121 595 16  
merel.hendriksen@wsp.com

## Autorisatie

Projectnummer	Documentnummer	Versie	Status
WAB010194	050	V4	Definitief

Opgesteld door	Functie	Datum	Paraaf
M. Hendriksen	Adviseur Waterveiligheid en Rivierkunde	17-05-2021	
Geverifieerd door	Functie	Datum	Paraaf
R. Hoendervoogt	Adviseur Geo-informatie en Rivierkunde	17-05-2021	
Akkoord projectleider	Functie	Datum	Paraaf
B. de Groot	Senior Adviseur Waterveiligheid	17-05-2021	



## Inhoudsopgave

<b>1.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	Aanleiding	6
1.2	Plangebied	6
1.3	Ontwerpproces	8
1.4	Voorlopig Ontwerp Plus	9
1.5	Leeswijzer	13
<b>2.</b>	<b>Uitgangspunten</b>	<b>14</b>
2.1	Algemene uitgangspunten	14
2.2	Rivierkundig beoordelingskader	14
2.3	Hydraulische uitgangspunten	17
	2.3.1. Hoogwaterveiligheid	18
	2.3.2. Hinder en schade door hydraulische effecten	18
	2.3.3. Morfologische effecten	18
2.4	Ontwerp schematisatie	20
	2.4.1. Schematisatie Voorlopig Ontwerp Plus	20
	2.4.2. Optimalisaties	23
<b>3.</b>	<b>Rivierkundige analyses</b>	<b>26</b>
3.1	Hoogwaterveiligheid	26
	3.1.1. Hoogwaterreferentie op de as van de rivier	26
	3.1.2. Maatregel in bergend deel van de rivier	28
	3.1.3. Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier	28
	3.1.4. Afvoerverdeling bij maatgevende en hoge Boven-Rijn afvoer	28
	3.1.5. Ijsafvoer	29
3.2	Hinder en schade door hydraulische effecten	29
	3.2.1. Inundatiefrequentie	29
	3.2.2. Stroombeeld in de uiterwaard	31
	3.2.3. Stroombeeld in de vaarweg	31
	3.2.4. Afvoerverdeling bij maatgevende en hoge Boven-Rijn afvoer	32
	3.2.5. Onttrekking water uit zomerbed Rijntakken	32
3.3	Morfologische effecten	34
	3.3.1. Morfologie in het zomerbed	34
	3.3.2. Morfologie in het winterbed	41
<b>4.</b>	<b>Beoordeling RBK</b>	<b>45</b>
4.1	Beoordeling Voorlopig Ontwerp	45
	<b>Referenties</b>	<b>49</b>
<b>Bijlage A.</b>	<b>Morfologie in het winterbed</b>	<b>50</b>
A.1.	Uitgangspunten	50
A.2.	Getijdegeulen in nabijgelegen uiterwaarden	53

A.3.	Ondergrond uiterwaard	57
A.4.	Rivierafvoer	60
	i. Aanpak voor bepaling erosie ten gevolge van de afvoer	60
	ii. Onderdeel specifieke uitgangspunten voor bepaling erosie ten gevolge van de afvoer	61
	iii. Resultaat voor bepaling erosie ten gevolge van de afvoer	63
A.5.	Scheepvaart	64
	i. Aanpak voor bepaling erosie ten gevolge van passerende schepen	64
	ii. Onderdeel specifieke uitgangspunten bepaling erosie ten gevolge van passerende schepen	64
	iii. Resultaat voor bepaling erosie ten gevolge van passerende schepen	65
A.6.	Getij	68
A.7.	Geulmonding- en oeverconstructies	71
	i. Memo Geulmondingconstructie	71
	ii. Memo Trapoever	78
<b>Bijlage B.</b>	<b>Maatregelen, optimalisaties, mitigatie- en compensatiemaatregelen</b>	<b>82</b>
B.1.	Samenvatting	82
B.2.	Inleiding	83
B.3.	Verschillen Voorontwerp, VKA, VO en VO+	86
B.4.	VKA	89
B.5.	Dam tussen zwemplas en geul	90
	i. Damverlaging voor zwemplas verbinding	90
	ii. Verwijderen kade en hoogtelijnen in VO+	93
B.6.	Horeca	95
	i. VKA - Hoogwatervrijvlak toevoegen	95
	ii. VO+ - zonder horeca	96
B.7.	Instroomlocatie	98
	i. Vegetatie ter hoogte van de parkeerplaats	98
	ii. Vegetatie ter hoogte van de zwemplas	100
	iii. Kade ophoging tot oorspronkelijke hoogte	102
	iv. Kade ophoging tot instroomfrequentie eens in de 3 jaar	104
B.8.	Geulmonding	107
	i. Hoogte heggen	107
	ii. Dichtheid	109
	iii. Constructie als kades	112
	iv. Profiel oostkant kade geulmonding	114
B.9.	Vegetatie-ontwikkeling	117
	i. Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard ruw, struweel	117
	ii. Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard, deel struweel vervangen door bos	119
	iii. Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard, deel struweel en bos vervangen door gras en akker	121



iv.	Vegetatie-ontwikkeling (VO) – uiterwaard, groter deel struweel en bos vervangen door gras en akker	123
v.	Vegetatie ontwikkeling – uiterwaard glad, gras en akker	125
vi.	Vegetatie ontwikkeling – uiterwaard, optimalisatie tussen glad, ruw en VO	126
B.10.	Mitigerende en Compenserende maatregelen	129
i.	Variant kade-verlaging (Var_VOp_a2m2)	129
ii.	Variant verlaging van de krib (Var_VOp_a2m4):	132
iii.	Variant verlaging van 2 westelijke kades buiten plangebied (Var_VOp_a4i2):	135
B.11.	Overzicht resultaten	138
<b>Bijlage C.</b>	<b>VO+ Kaarten en uitwerking Hoogwaterveiligheid en Hinder en schade door hydraulische effecten</b>	<b>143</b>
C.1.	Schematisatie van de geul in Waqua	143
C.2.	Afvoer van 16.000 m <sup>3</sup> /s bij Lobith	145
C.3.	Afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s bij Lobith	149
C.4.	Afvoer van 8.000 m <sup>3</sup> /s bij Lobith	153
C.5.	Afvoer van 6.000 m <sup>3</sup> /s bij Lobith	157
C.6.	Dwarsstromingsdebiet bij 10.000 m <sup>3</sup> /s bij Lobith	161
C.7.	Dwarsstromingsdebiet bij 6.000 m <sup>3</sup> /s bij Lobith	163
<b>Bijlage D.</b>	<b>Kaarten en tabellen morfologisch effect</b>	<b>164</b>
D.1.	VKA (B.4)	164
D.2.	Voorlopig ontwerp (B.9.iv)	167
D.3.	Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard glad (B.9.v)	170
D.4.	Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard ruw (B.9.i)	172
D.5.	Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard optimaal (B.9.vi)	174
D.6.	Geulmonding - dichtheid (B.8.ii)	176
D.7.	Geulmonding - constructie als kades (B.8.iii)	178
D.8.	Voorlopig Ontwerp Plus	180
D.9.	Mitigatie – verlaging 2 westelijke kades (B.10.iii)	185
D.10.	Instroomkade ophoging tot instroomfrequentie eens in de 3 jaar (B.7.iv)	188
<b>Bijlage E.</b>	<b>Verschilkaarten VKA, VO en VO+ met referentie</b>	<b>191</b>
E.1.	Bodemhoogte- en overlatenkaart, en verschilkaart bodemhoogte	191
E.2.	Verschil in ruwheid	195
E.3.	Verschil in waterdiepte t.o.v. de norm (OLW-3,5 m)	199
<b>Bijlage F.</b>	<b>Bronbestanden</b>	<b>203</b>
F.1.	Voorlopig ontwerp (B.9.iv)	203

## 1. Inleiding

### 1.1 Aanleiding

Voor het programma Sterke Lekdijk van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) is door Lieveense|WSP (nu: WSP Nederland) het ontwerp voor het project Salmsteke gemaakt. Het project Salmsteke bestaat uit een twee kilometer lange dijkversterking aan de noordzijde van de Lek en herinrichting van de aangrenzende Salmsteke Uiterwaard.

Onderdeel van de planfase is het beoordelen van het ontwerp op rivierkundige effecten. Tijdens deze fase is het voorkeursalternatief (VKA) uit de verkenningsfase gedetailleerd uitgewerkt en zijn optimalisaties van de verschillende maatregelen ('bouwstenen') van het uiterwaardontwerp uitgevoerd om rivierkundige effecten te minimaliseren. De optimalisaties hebben geleid tot het Voorlopig Ontwerp (VO), welke in een eerdere rapportage medio juni 2020 aan bevoegd gezag is voorgelegd.

Voorliggende rapportage bevat de rivierkundige beoordeling van het Voorlopig Ontwerp Plus (VO+). Naar aanleiding van de reactie van bevoegd gezag op het VO zijn opmerkingen verwerkt, zijn aanvullende optimalisaties gedaan en zijn mitigatiemaatregelen onderzocht. Op basis hiervan is het VO+ tot stand gekomen<sup>1</sup>.

### 1.2 Plangebied

Het programma Sterke Lekdijk, waar het project Salmsteke onderdeel van uitmaakt, strekt zich uit van Amerongen tot Schoonhoven. In Figuur 1 is het plangebied van dit programma opgenomen. Figuur 2 toont het plangebied van het project Salmsteke, bestaande uit een dijkversterking tussen dijkpaal 90-108 en herinrichting van de uiterwaard nabij Lopik en Jaarsveld. De Salmsteke uiterwaard is gelegen in een binnenbocht, aan de noordzijde van de rivier de Lek tussen rivierkilometer 961-963.

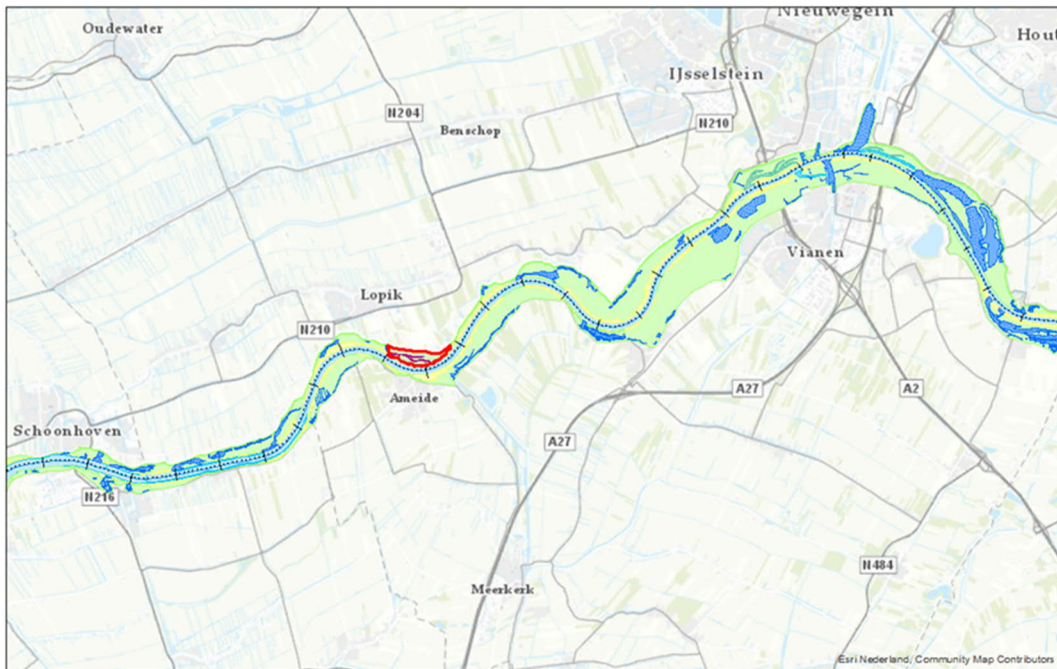
De rivier de Lek wordt intensief gebruikt door scheepvaart en staat in open verbinding met zee. Door de open verbinding is dit deel van de Lek onderhevig aan getij. Daarnaast is de rivierafvoer op de Lek bij afvoeren lager dan 3.630 m<sup>3</sup>/s sterk afhankelijk van de stuwen in de Nederrijn [8]. De meest nabij gelegen stuw, 15 km bovenstrooms van het plangebied, is de stuw bij Hagestein.

---

<sup>1</sup> Ten tijde van de aanvraag van de Waterwetvergunning is het DO nog niet definitief. Enkele aspecten met betrekking tot de dijk (pipingmaatregel / maatwerk Veerhuis) zijn nog onzeker en daarom wordt gesproken over een Voorlopig Ontwerp Plus (VO+). Deze maatregelen hebben geen invloed op het buitendijkse ruimtebeslag. Hierdoor kan worden gesteld dat eventuele aanpassingen in het DO geen effect meer hebben op de rivierkundige beoordeling.



Figuur 1: Overzicht plangebied Sterke Lekdijk



**Legenda**

omtrek\_maatregel

Figuur 2: Projectgebied Salmsteke

### 1.3 Ontwerpproces

Het ontwerp van het project Salmsteke is in verschillende fasen doorlopen. Hieronder is een korte toelichting per fase opgenomen.

In de verkenningsfase zijn voor de dijk verschillende alternatieven uitgewerkt en is een Voorkeursalternatief (VKA) gekozen. Voor de uiterwaard is een voorontwerp de basis geweest. Het voorontwerp is uitgewerkt tot het VKA-ontwerp. Het VKA-ontwerp is opgenomen in het document “Notitie Salmsteke Uiterwaard – Voorkeursalternatief” [9]. Dit is november 2018 opgeleverd. De verschillen tussen het Voorontwerp en het VKA-ontwerp zijn toegelicht in Bijlage B.

In de planfase is het VKA-ontwerp van zowel dijk als uiterwaard verder uitgewerkt tot een Voorlopig Ontwerp (VO). Deze uitwerking is medio juni 2020 voorgelegd aan bevoegd gezag. De verschillen tussen het VKA-ontwerp en het VO zijn eveneens toegelicht in Bijlage B. In deze fase zijn in eerste instantie bouwstenen uitgewerkt om te onderzoeken wat het effect daarvan is op de waterstand bij hoogwater en op de dwarsstroming. Dit onderzoek heeft geleid tot veel inzicht in het systeem en de omgeving van de uiterwaard. Vervolgens zijn meerdere optimalisaties van de bouwstenen uitgevoerd om negatieve effecten als een te hoge waterstandspiek of te hoge dwarsstroming te verminderen. Uiteindelijk is hieruit op basis van alle verschillende bouwstenen een optimaal ontwerp samengesteld. Van deze geoptimaliseerde variant is een gedetailleerde, rivierkundige beoordeling uitgevoerd die voldoet aan het Rivierkundig Beoordelingskader (5.0) [1].

In het vervolg van de planfase is het VO uitgewerkt tot een concept Voorlopig Ontwerp Plus (VO+), en verder rivierkundig geoptimaliseerd en beoordeeld. Hierin is ook de reactie van bevoegd gezag op het VO meegenomen. Om te komen tot het concept VO+ zijn optimalisaties uitgewerkt voor verschillende maatregelen uit het ontwerp. Daarnaast is een morfologische analyse uitgevoerd voor negen maatregelen die kansrijk werden geacht om de morfologische effecten te verkleinen en waarvan het effect inzicht geeft in de systeemwerking. In januari 2021 heeft extra afstemming plaatsgevonden met bevoegd gezag over tussentijdse resultaten. De uitkomsten hiervan zijn meegenomen in de uitwerking van het concept VO+. De verschillen tussen het VO en het concept VO+ zijn toegelicht in Bijlage B. Het concept VO+ is medio februari 2021 voorgelegd aan bevoegd gezag.

Na het concept VO+ heeft meermaals afstemming met bevoegd gezag plaatsgevonden en zijn aanvullend nog een aantal mogelijke optimalisaties, zowel mitigatie als compensatie, onderzocht. De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in Bijlage B.10. De resultaten van dit onderzoek hebben niet geleid tot aanpassingen van het concept VO+. Het VO+ blijkt de meest complete optimalisatie, waarin zowel negatieve rivierkundige en morfologische effecten zijn geminimaliseerd als projectdoelen worden behaald.

Voorliggende rapportage bevat de rivierkundige beoordeling van het Voorlopig Ontwerp Plus (VO+) (mei 2021). De schematisatie van het VO+ en de optimalisaties in het proces zijn per maatregel uitgebreid toegelicht in paragraaf 2.4

## 1.4 Voorlopig Ontwerp Plus

De plankaart van het Voorlopig Ontwerp Plus (VO+) van het project Salmsteke is opgenomen in Figuur 3. Zowel het ruimtebeslag van de dijk als de maatregelen in de uiterwaard worden hierin getoond.

### Salmsteke dijk

Het ontwerp van de dijkversterking bij Salmsteke is uitgewerkt in een Technisch Rapport [4]. Voor de rivierkundige beoordeling zijn buitendijkse aanpassingen ten opzichte van de vergunde situatie van belang. Het ontwerp van de huidige dijkversterking bestaat buitendijks uit het herstellen van het dijktaalud naar 1:3 in combinatie met het vervangen van de huidige kleibekleding door een nieuwe erosiebestendige kleilaag. Deze herstelmaatregelen vinden plaats binnen het oorspronkelijke profiel van de eerdere dijkversterking. Hierbij is dus geen sprake van buitendijks versterken of aanhelen. Het herstel van het buitendijks talud draagt hierdoor niet bij aan vermindering van ruimte voor de rivier en is dan ook geen onderdeel van deze rapportage.

### Salmsteke uiterwaard

Het ontwerp van de uiterwaard bij Salmsteke is uitgewerkt in een Technisch Rapport [4]. De maatregelen uit het ontwerp hebben invloed op de rivier en moeten worden beoordeeld in een rivierkundige beoordeling. In Figuur 3 is het ontwerp weergegeven. Het ontwerp van de uiterwaard bestaat uit het volgende aspecten:

- De meest omvangrijke maatregel in de uiterwaard is de KRW-getijdegeul. De aanleg van de getijdegeul in de Salmsteke Uiterwaard vormt een bijdrage aan het ecologisch herstel van de rivier en draagt derhalve bij aan de doelstellingen voor de Kader Richtlijn Water (KRW) [9]. De KRW-geul heeft geen rivierverruimende opgave. De getijdegeul is enkelzijdig, benedenstrooms van de uiterwaard aangetakt aan de rivier.
- De bodem van de geul is oplopend van NAP -1,5 m bij de uitstroom naar NAP -0,5 m aan het uiteinde. De geul vertakt in oostelijke, bovenstroomse richting in twee strangen. Aan het uiteinde van de zuidelijke strang bevindt zich een zwemplas voor recreatieve doeleinden.
- De geul is gescheiden van de zwemplas door een lage dam. De dam bestaat uit houten schotten die richting de oevers trapsgewijs hoger worden. Dit zorgt voor een visuele afscheiding tussen de geul en zwemplas. Een impressie van het ontwerp is weergegeven in Figuur 4.  
De hoogte van de schotten in het midden van de dam zijn gelijk aan de bodem van de geul (NAP -0,5 m) en vormt een drempel voor het waarborgen van een minimale waterdiepte in de zwemplas. Hierdoor staan de geul en zwemplas dagelijks met elkaar in verbinding en wordt het zwemwater continue ververs, ook bij lage, zomerse afvoeren<sup>2</sup>.
- In de geulmonding wordt een constructie aangebracht om de stroming en golven in de getijdegeul door invloed van scheepvaart, getij en rivierafvoer te beperken. Het ontwerp bestaat uit palenrijen met daartussen wiepen (wilgenhout), welke mogen uitgroeien

<sup>2</sup> Om de verversing te kunnen regelen en te kunnen inspelen op morfologische veranderingen in de geul worden de schotten in de scheidingsdam regelbaar gemaakt. Dit geeft robuustheid aan het ontwerp, ook in relatie tot zeespiegelstijging.

en/of waar begroeiing op mag ontstaan. Deze vormgeving zorgt enerzijds voor het behoud van de open verbinding tussen de getijdegeul en de rivier en anderzijds voor reductie van morfologische ontwikkelingen van de geul. De open verbinding is een meerwaarde voor de KRW doordat de continue verversing van het water een dynamisch milieu creëert in de geul. De vormgeving van de constructie is weergegeven in Figuur 5.

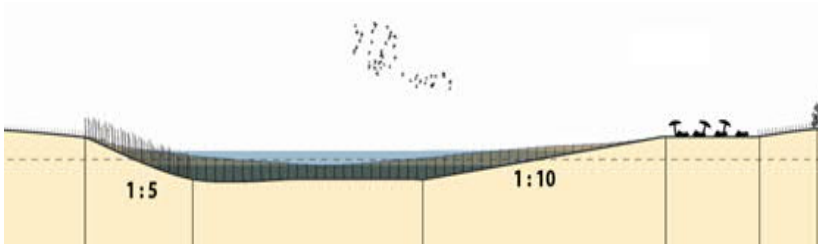
- Als laatste worden in de geul trapoevers aangelegd op de meest erosiegevoelige locaties. Dit is een natuurvriendelijke vorm van oeverbescherming, waardoor de oever stabiliseert (zie Bijlage A.7.ii). De locaties van de trapoevers zijn weergegeven in Figuur 3 en een voorbeeld is te zien in Figuur 6.
- Naast de getijdegeul is in het uiterwaardontwerp ook ruimte voorzien voor een horecagelegenheid, verplaatsing van de boothelling, vegetatie-ontwikkeling, verbetering van de routestructuur en herstel van het dijkvoetgebied (moeras). Ook deze maatregelen ('bouwstenen') zijn opgenomen in Figuur 3. Het VO+ bestaat uit meerdere geoptimaliseerde maatregelen in de uiterwaard, welke zijn beschreven in Bijlage B.

De Baseline-schematisatie van de bovenstaande aspecten uit het VO+ wordt toegelicht in paragraaf 2.4. Onderhoudsaspecten van de verschillende objecten worden separaat behandeld in het beheer- en onderhoudsplan [5].

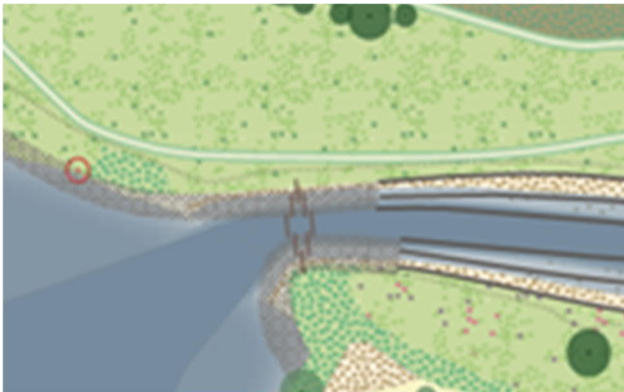




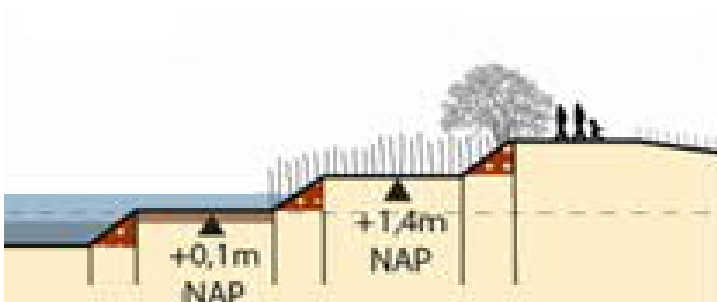
Figuur 3: Plankaart Voorlopig Ontwerp Plus project Salmsteke, d.d. maart 2021



Figuur 4: Dwarsdoorsnede van de constructie van de dam tussen getijdegeul en zwemplas



Figuur 5: Vormgeving geulmonding



Figuur 6: Vormgeving trapoever

## 1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat de uitgangspunten voor de rivierkundige beoordeling van het VO+. Hierin zijn zowel algemene uitgangspunten, rivierkundige uitgangspunten uit het Rivierkundig Beoordelingskader 5.0 (RBK) als andere hydraulische uitgangspunten opgenomen. Daarnaast zijn de uitgangspunten voor de schematisatie van het VO+ in Baseline opgenomen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de 'basismaatregelen' van het ontwerp en de optimalisatiemaatregelen, zodat het ontwerp (beter) voldoet aan het RBK.

Hoofdstuk 3 bevat de analyse naar rivierkundige effecten. In het hoofdrapport worden alleen de aanpassingen geanalyseerd en beoordeeld die ruimte van de rivier wegnemen. Hiertoe behoren de maatregelen in de uiterwaard. De dijkversterking beïnvloedt de rivier niet, zoals toegelicht in paragraaf 1.3, en maakt dus geen onderdeel uit van deze rapportage.

Hoofdstuk 4 geeft de beoordeling per rivierkundig beoordelingsaspect en -criteria in de Rijntakken, conform het RBK 5.0 [1].

In de bijlages wordt verder ingegaan op relevante informatie voor de rivierkundige beoordeling.

- In Bijlage A is achtergrondinformatie opgenomen voor de analyse naar morfologie in het winterbed. Onder andere informatie uit het Technisch Rapport van het project Salmsteke voor de uiterwaard [4] is hierin opgenomen.
- Bijlage B bevat de analyse naar optimalisatie- en mitigerende maatregelen om de rivierkundige effecten van de nevengeul te verkleinen en optimaliseren.
- Bijlage C bevat informatie voor de berekening van de dwarsstroming bij verschillende afvoeren.
- In Bijlage D zijn kaarten en tabellen van de morfologische effecten voor enkele optimalisaties opgenomen. Vanuit de optimalisaties in Bijlage B wordt hiernaar verwezen.
- In Bijlage E bevat verschilkaarten van de referentie met het VKA, VO en VO+. De kaarten bestaan uit bodemhoogte- en overlaten, ruwheden en waterdiepte t.o.v. de norm.
- In Bijlage F is een tabel opgenomen waarin bronbestanden van de varianten worden weergegeven. Hiermee zijn de Baselinemaatregelen en -varianten, en de bijbehorende Waqua- en WAQMorf berekeningen terug te leiden.

## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemene uitgangspunten

De algemene uitgangspunten die zijn gehanteerd bij de rivierkundige beoordeling zijn als volgt:

- Het VO+ wordt getoetst aan het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK), deel 5.0. De criteria worden toegelicht in paragraaf 2.2.
- Bij aanvang van het project is in oktober 2019 het referentiemodel uitgeleverd. De toegepaste Baseline-schematisatie is beno18\_5\_20m\_nrlk-v1 aangevuld met 5 maatregelen welke op 2-10-2019 zijn aangeleverd door RWS-ON. Dit resulteert in de Baseline-schematisatie "sterkelekdijken\_ref". Het toegepaste WAQUA-model is waqua-rijn-beno18\_5\_20m\_nrlk-v1.
- Voor de schematisatie is gebruikgemaakt van ArcGIS 10.5.2, Baseline versie 5.3.3 en WAQUA versie Simona 2017, revisie 7056.
- Voor de morfologische berekeningen is gebruikgemaakt van WAQMorf, versie 07-12-2017.

### 2.2 Rivierkundig beoordelingskader

In Tabel 1 zijn de te beoordelen aspecten uit het Rivierkundig Beoordelingskader, de onderliggende criteria en de gebruikte uitgangspunten voor de, in hoofdstuk 3 uitgewerkte, rivierkundige analyses opgenomen. De uitgangspunten worden in paragraaf 2.3 toegelicht.

Tabel 1: Criteria RBK en uitgangspunten voor de benodigde WAQUA-berekeningen

	<b>Te beoordelen effect</b>	<b>Eis/ Toelichting indien effect n.v.t.</b>	<b>Paragraaf</b>	<b>Afvoer</b>	<b>Afvoer- verdeling</b>
<b>Hoogwaterveiligheid</b>	Maatregel in stroomvoerend deel rivier: Hoogwaterreferentie op de as van de rivier	Geen waterstandsverhoging op de as van de rivier toegestaan.	3.1.1	16.000 m <sup>3</sup> /s	Vast
	Maatregel in bergend deel rivier: volume waterberging	Bergend: geen vermindering bergend volume.	3.1.2	N.v.t.	N.v.t.
	Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier	Geen waterstandsverhoging langs de banddijk.	3.1.3	16.000 m <sup>3</sup> /s	Vast
	Afvoerverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop) bij maatgevende Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij de splitsingspunten dient kleiner te zijn dan 5 m <sup>3</sup> /s bij de geldende Boven-Rijn afvoer van 16.000 m <sup>3</sup> /s.	3.1.4	16.000 m <sup>3</sup> /s	Vrij <sup>3</sup>

<sup>3</sup> Bij de modeluitgave is aangegeven dat dit bepaald moet worden met een vrije afvoer. Echter is dat hier niet van toepassing, zie ook toelichting bij paragraaf 2.3.1.

	Afvoerverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop bij hoge Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij de splitsingspunten dient kleiner te zijn dan 20 m <sup>3</sup> /s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s.	3.1.4	10.000 m <sup>3</sup> /s	Vrij <sup>3</sup>
	Ijsafvoer	Een goede geleiding van water en ijs dient gewaarborgd te blijven.	3.1.5	N.v.t.	N.v.t.
Hinder – Schade door hydraulische effecten	Inundatiefrequentie van de uiterwaard	De mate van verandering van de inundatiefrequentie van een of meerdere uiterwaarden.	3.2.1	6.000 m <sup>3</sup> /s	Vast
	Stroombeeld in de uiterwaard	De mate van verandering van de grootte en richting stroomsnelheden in een of meerdere uiterwaarden bij de voor de lokale situatie en representatieve omstandigheden.	3.2.2	16.000 m <sup>3</sup> /s 10.000 m <sup>3</sup> /s 8.000 m <sup>3</sup> /s 6.000 m <sup>3</sup> /s	Vast
	Stroombeeld in de vaarweg	Dwarsstroming niet groter dan 0,3 m/s, bij een debiet tot 50 m <sup>3</sup> /s. Of dwarsstroming niet groter dan 0,15 m/s, bij een geconcentreerde dwarsstroom van 50 m <sup>3</sup> /s of meer.	3.2.3	10.000 m <sup>3</sup> /s 8.000 m <sup>3</sup> /s 6.000 m <sup>3</sup> /s	Vast
	Afvoerverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop) bij maatgevende Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s. Voor dit aspect is er geen beoordelingscriterium.	3.2.4	16.000 m <sup>3</sup> /s	Vrij <sup>3</sup>
	Afvoerverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop bij hoge Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling mag niet groter zijn dan 1 m <sup>3</sup> /s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m <sup>3</sup> /s (OLA).	3.2.4	10.000 m <sup>3</sup> /s	Vrij <sup>3</sup>
	Onttrekking water uit zomerbed Rijntakken	Geen ongewenste afname van de waterdiepte t.g.v. de onttrekking van water uit het zomerbed bij lage en mediane Boven-Rijn afvoeren	3.2.5	1.020 m <sup>3</sup> /s 2.000 m <sup>3</sup> /s	Vast
	Morfologische effecten	Sedimentatie en erosie van het zomerbed (+ oevers)	Bij erosie: - geen verlaging gemiddelde bodemligging; - geen oevererosie; - beperkte ontgroning bij constructies per hoogwater;  Bij sedimentatie:	3.3.1	8.000 m <sup>3</sup> /s

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- geen vermindering vaargeulafmetingen bij lage tot gemiddelde rivierafvoeren;</li> <li>- geen verhoging MHW op lange termijn;</li> </ul> <p>In het algemeen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten en behouden veiligheid scheepvaartverkeer;</li> <li>- geen onacceptabele terugschrijdende erosie of sedimentatie i.v.m. risico verandering afvoerverdeling bij MHW of OLR.</li> </ul>			
	Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeulen	<p>Bij sedimentatie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- beperkte sedimentatie t.o.v. beheerskosten;</li> </ul> <p>Bij erosie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- geen ongewenste zijdelingse verplaatsing van de nevengeul/ nevengeul minimaal 50 - 200 m van waterkering/ geen bodemerosie langs waterkering;</li> <li>- stroomsnelheid nevengeul bankfull &lt; 0,3 m/s; geen bodemerosie langs waterkering</li> </ul>	3.3.2	Voor getij, scheepvaart en rivierafvoer	Vast



## 2.3 Hydraulische uitgangspunten

Salmsteke Uiterwaard is gelegen aan de Lek. De Lek staat in open verbinding met de Noordzee. Dit deel van de Lek is daardoor onderhevig aan het getij (ca. 1 m). Daarnaast wordt de rivierafvoer bij lage afvoeren gestuurd door de stuwen in de Nederrijn. De Nederrijn is volledig vrij afstromend bij een afvoer van ca. 3.630 m<sup>3</sup>/s [8].

Tabel 2 geeft een overzicht van de voorkomensfrequentie van de waterstanden bij verschillende Rijnafvoeren binnen het projectgebied. Deze zijn weergegeven voor de afvoeren:

- 16.000 m<sup>3</sup>/s, welke als hoogwaterreferentie wordt toegepast;
- 6.000, 8.000 en 10.000 m<sup>3</sup>/s, drie hogere rivierafvoeren;
- Voor 2.200 m<sup>3</sup>/s, mediane afvoer;
- En voor 600 m<sup>3</sup>/s, welke als laagste rivierafvoer is aangeleverd en wordt toegepast.

Tabel 2: Voorkomensfrequentie van de beschouwde afvoeren (RBK [1], Betrekkingslijnen 2018 – bij hoogtij, en Waterstandduurlijnen)

Afvoer bij Lobith	Waterstand op rivierkilometer 962	Herhalingstijd in jaren
16.000 m <sup>3</sup> /s	5,60	10.000
10.000 m <sup>3</sup> /s	3,58	20
8.000 m <sup>3</sup> /s	2,84	5,4
6.000 m <sup>3</sup> /s	2,15	Enkele dagen per jaar
2.200 m <sup>3</sup> /s	1,15	145 dagen per jaar
600 m <sup>3</sup> /s	<0,84	dagelijks

Bij een gemiddelde afvoer van 2.200 m<sup>3</sup>/s bij Lobith is bij laagtij NAP +0,27 m en bij hoogtij NAP +1,38 m bij Jaarsveld (rkm 961) [2]. Het jaar 2018 had een zeer droge zomer en de waterstandsgegevens uit dit jaar zijn gebruikt voor het bepalen van de zomerwaterstand bij droge zomers [3]. In 2018 was bij een lage zomerwaterafvoer van 700 m<sup>3</sup>/s de waterstand bij Jaarsveld NAP -0,46 m (laagwater) en NAP +0,82 m (hoogwater).

De bodem van de geul is oplopend van NAP -1,5 m bij de monding naar NAP -0,5 m aan het uiteinde van de vertakkingen. De voorkomende waterstanden zijn hoger, waardoor de geul permanent is aangetakt. Het maaiveld bovenstrooms van de zwemplas ligt op NAP +2,0 m. Dit begint te overstromen, en daarmee begint de geul mee te stromen, bij een afvoer van 5.400 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Deze afvoer heeft een voorkomensfrequentie van 8 dagen per jaar en is hoger dan de afvoeren (vanaf 3.630 m<sup>3</sup>/s) waarbij wordt gestuurd op de Nederrijn.

Het hoogste deel van de kade in de uiterwaard ligt op NAP +3,4 m, overeenkomend met een afvoer van 9.400 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Vanaf deze hoogte stroomt de gehele uiterwaard volledig mee.

Bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith stroomt 10 m<sup>3</sup>/s door de geul, wat slechts 1% onttrekking is van de afvoer in het zomerbed. Bij 8.000 m<sup>3</sup>/s stroomt 50 m<sup>3</sup>/s door de geul. Dit is

3,3% van de afvoer in de Lek door de geul. Vanaf dit punt kunnen morfologische effecten optreden.

Hieronder zijn de gehanteerde uitgangspunten voor de verschillende aspecten van de rivierkundige beoordeling beknopt toegelicht.

### **2.3.1. Hoogwaterveiligheid**

- Voor de hoogwaterreferentie is een maatgevende afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith gebruikt.
- Het effect van de maatgevende afvoer en van een hoogwaterafvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith op de afvoerverdeling bij de splitsingspunten is niet relevant, omdat de ingreep ver benedenstrooms, en dus buiten het invloedsgebied van de splitsingspunten ligt. Dit wordt ook duidelijk uit het waterstandseffect voor de hoogwaterreferentie, in Figuur 10 op pagina 27.

### **2.3.2. Hinder en schade door hydraulische effecten**

- Het stroombeeld in de uiterwaard is bekeken voor 16.000 m<sup>3</sup>/s, 10.000 m<sup>3</sup>/s, 8.000 m<sup>3</sup>/s en 6.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Voor deze afvoeren stroomt de geul mee met de rivier.
- Voor de bepaling van dwarsstromingseffecten wordt uitgegaan van rivierafvoeren van 6.000 m<sup>3</sup>/s, 8.000 m<sup>3</sup>/s en 10.000 m<sup>3</sup>/s. Bij deze afvoeren stroomt de uiterwaard mee met de rivier. Bij lagere afvoeren van 2.000 m<sup>3</sup>/s en 4.000 m<sup>3</sup>/s stroomt de geul niet mee en wijzigt de dwarsstroming niet ten opzichte van de referentie. Een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s is het maximum waarvoor dwarsstromingseffecten moeten worden bepaald conform RBK [1].
- Bij de afvoerverdeling wordt het effect van de maatgevende afvoer en een hoogwater afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith niet geanalyseerd, zie paragraaf 2.3.1.
- Het waterstandseffect in het zomerbed is doorgerekend met WAQUA bij een lage afvoer van 1.020 m<sup>3</sup>/s, en bij 2.000 m<sup>3</sup>/s, deze afvoeren lijken het meest op de mediane afvoer van de rivier. De benedenstroomse rand is de qh-relatie (bij hoogtij) behorend bij het uitgeleverde model (zie paragraaf 2.1).

### **2.3.3. Morfologische effecten**

#### **Zomerbed**

De ingreep in het winterbed door aanleg van de KRW-geul is van dusdanige omvang dat wordt verwacht dat dit impact heeft op de werking van het riviersysteem en dus ook op de morfologie van het zomerbed bij hoge afvoeren. De getijdegeul is circa 800 meter lang en eenzijdig, benedenstrooms aangetakt. Uit bijlage A.1 blijkt dat de stroomsnelheden door getij in de geul verwaarloosbaar zijn bij dagelijkse omstandigheden. Bij hoge afvoeren wordt meer water onttrokken door de geul, nemen de stroomsnelheden door invloed van de rivierafvoer sterk toe en de invloed door getij sterk af. Gemiddeld (bij dagelijkse afvoer) is de stroomsnelheid door het getij in bovenstroomse richting 0,2 m/s. Tijdens hoogwater (rivierafvoer) zal dit aanmerkelijk minder zijn.

Bij lage afvoeren is het effect van de geul op de onttrekking en stroomsnelheden nihil, zoals aangetoond in paragraaf 3.2.5. Uit het model volgt dat 1% wordt onttrokken van de afvoer in het zomerbed (ca. 10 m<sup>3</sup>/s) bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s. Dat is meer dan in de dagelijkse situatie (nihil). De maximale stroomsnelheid die volgt uit de WAQUA-berekening voor het getij (bijlage A.1/A.6) is in dezelfde orde grootte als de stroomsnelheid door scheepsbewegingen.

Aangezien het effect van het dagelijks meestromen van de KRW-geul zeer beperkt is in verhouding tot het effect bij hoogwater, kan WAQMorf (zonder getij) worden toegepast. Daarnaast heeft de maatregel een lengte van minder dan 5 kilometer buiten het zomerbed van de rivier en bevinden deze zich in dezelfde uiterwaard en voldoet daarmee ook op deze punten aan de voorwaarden voor gebruik van WAQMorf vanuit het RBK.

De onderstaande in- en output van WAQMorf zijn de basis voor de analytische beschouwing:

**Input WAQMorf:**

Het projectgebied bevindt zich langs de Lek tussen rkm 948-989.

De maatregel is niet stroomvoerend voor alle afvoeren met getrokken stuwen.

De maatregel wordt stroomvoerend voor afvoeren bij Lobith vanaf 5.400 m<sup>3</sup>/s.

**Output WAQMorf:**

Er is voor het schatten van morfologische effecten in het traject Lek km 948-989 de volgende WAQUA berekening nodig voor de situatie zonder en voor de situatie met ingreep hoogwaterblok met een afvoer bij Lobith van 6.400m<sup>3</sup>/s.

Als elke bodemverandering jaarlijks wordt verwijderd, dan wordt de lengte waarover dit plaatsvindt geschat op 100 m vanaf de bovenstroomse rand van het gebied met bodemverandering.

Voor het inschatten van de morfologische effecten in het zomerbed is dus alleen een hoogwaterblok van 6.400 m<sup>3</sup>/s benodigd.

Voor het model zijn WAQUA berekeningen van 6.000 m<sup>3</sup>/s beschikbaar (frequentie van enkele dagen per jaar). Deze afvoer komt het dichtst in de buurt van het benodigde hoogwaterblok van 6.400 m<sup>3</sup>/s. Bij deze afvoer valt op dat 10 m<sup>3</sup>/s door de geul stroomt, wat slechts 1% onttrekking is van de afvoer in het zomerbed. Het daaropvolgende beschikbare afvoerblok is 8.000 m<sup>3</sup>/s (frequentie eens per 5,4 jaar). Bij deze afvoer stroomt 50 m<sup>3</sup>/s door de geul. Dit is 3,3% van de afvoer in de Lek door de geul. Het is van belang dat de uiterwaard, c.q. de ingreep voldoende goed in- en meestroomt bij de toepassing van WAQMorf. Dit is afgestemd met bevoegd gezag (M. Reneerkens, RWS ON; A. Sieben, RWS WVL) d.d. 11 maart 2020. Daarbij is aangegeven dat het van belang is dat voldoende instroming benodigd is bij de toepassing van WAQMorf. Bij 6.000 m<sup>3</sup>/s is dit niet helemaal het geval, maar bij 8.000 m<sup>3</sup>/s wel. Daarnaast is aangegeven dat een enkel hoogwaterblok afdoende is. Daarom wordt voor de bepaling van de morfologie in het zomerbed met WAQMorf een bovenrand van 8.000 m<sup>3</sup>/s opgelegd, en daarmee afgeweken van hetgeen WAQMorf voorschrijft.

## Winterbed

Morfologische rekenmodellen voor nevengeulen zijn bijna niet beschikbaar, locatie-specifiek en bevatten veel onzekerheden. Voor het zomerbed is WAQMorf beschikbaar, maar dit is niet toepasbaar voor morfologie in uiterwaarden. Voor de beoordeling van de morfologie in het winterbed is daarom gebruikgemaakt van hydraulische analyses, expert judgement en praktijkvoorbeelden uit nabijgelegen uiterwaarden waarin nevengeulen zijn gerealiseerd.

## 2.4 Ontwerp schematisatie

In paragraaf 1.4 is aangegeven uit welke maatregelen het project Salmsteke bestaat. De Baseline-schematisatie van de maatregelen in de uiterwaard worden hieronder toegelicht voor het VO+. Het ontwerp bestaat uit meerdere maatregelen. De toelichting hieronder is opgedeeld in de ontwerp schematisatie in paragraaf 2.4.1, en vervolgens wordt in paragraaf 2.4.2 toegelicht hoe en welke maatregelen zijn geoptimaliseerd ten opzichte van het VO (d.d. juni 2020). De rivierkundige beschouwing van verschillende maatregelen en de optimalisaties van het ontwerp zijn opgenomen in Bijlage B. In deze bijlage is ook een toelichting gegeven op mogelijke mitigerende maatregelen, de rivierkundige effecten daarvan en hoe hiermee is omgegaan bij het tot stand komen van het VO+.

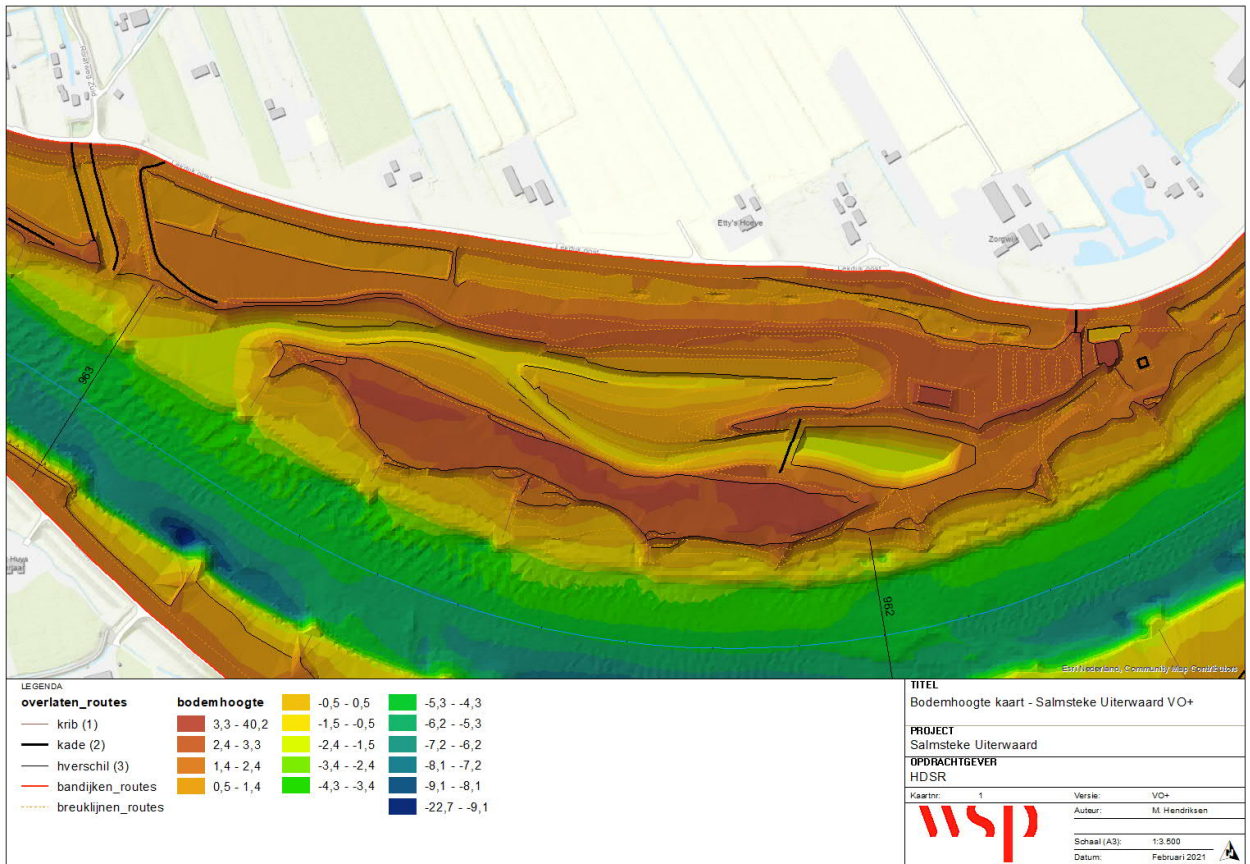
### 2.4.1. Schematisatie Voorlopig Ontwerp Plus

Het ontwerp is opgebouwd uit verschillende maatregelen die zijn geschematiseerd in Baseline, zie ook paragraaf 2.1. De baseline-schematisatie is hieronder toegelicht.

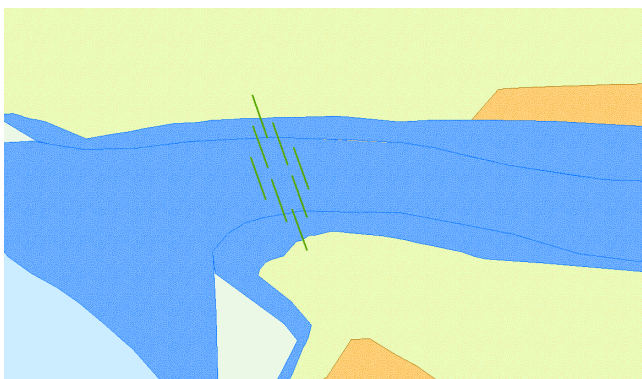
- KRW-Getijdegeul: De geul is enkelzijdig aangetakt en vertakt in twee strangen in bovenstroomse richting. De bodem van de geul loopt geleidelijk op van NAP -1,5 m bij de monding tot NAP -0,5 m bij het uiteinde van de vertakkingen, zie Figuur 7. Hierdoor is de geul permanent aangetakt aan de rivier (par. 2.2).
- Zwemplas: De bodem van de zwemplas ligt op NAP -2,0 m en de waterdiepte is in de zomer minimaal 1,5 m.
- Scheiding zwemplas en geul: de scheiding bestaat uit houten schotten die richting de oevers trapsgewijs verhogen, zie ook paragraaf 1.4, en is geschematiseerd als trapsgewijze kade. De drempelhoogte in het midden van de schotten is gelijk aan de bodemhoogte van het uiteinde van de geul (NAP -0,5 m) en vormt een drempel voor het waarborgen van de minimale waterdiepte in de zwemplas.
- Geulmonding: In de geulmonding ligt een constructie om de stroming en golven in de getijdegeul te beperken. De constructie is geschematiseerd als meerdere heggen met een dichte structuur, omdat de constructie bestaat uit palenrijen en wiepen. De heggen liggen op de hoogte uit het ontwerp (NAP +1,5 m).  
Aan de oostzijde van de geulmonding bevat het maaiveld een knik (verhoging). In het VO+ is geconstateerd dat deze locatie erosiegevoelig is bij hoogwater en daarom verlaagd en gestroomlijnd moet worden om dit te voorkomen.
- Instroomkade: bij hoogwater stroomt de geul gemiddeld 8 dagen per jaar met de rivier mee. Dit gebeurt via de instroomkade aan de oostzijde van de zwemplas. Deze kade ligt op NAP +2,0 m en overstroomt vanaf 5.400 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.

- Trapoevers: Deze oevers zijn geschematiseerd met hoogtelijnen.
- Horecagelegenheid: De horecavoorziening is geschematiseerd als een hoogwatervrijvlak van 450 m<sup>2</sup>. Tevens is het omliggende terras (200 m<sup>2</sup>) verhoogd tot NAP +3,7 m, zodat deze voldoet aan het ontwerpbesluit [6] waarin een overstromingsfrequentie van eens in de 20 jaar is opgenomen. Het aanwezige hoogwatervrije vlak voor de toiletten is verwijderd.
- Dijkvoetgebied: Voor het herstel van het dijkvoetgebied zijn enkele poeltjes langs de dijk in de uiterwaard met 1 meter verdiept.
- Boothelling: De huidige boothelling wordt verplaatst naar het zuidoosten van de uiterwaard, waarbij deze, net als in de huidige situatie, net bovenstrooms langs een krib komt te liggen. Voor de bereikbaarheid van de boothelling is een deel van de toegangsweg met 0,3 m opgehoogd naar NAP +1,70 m, met breuklijnen. De boothelling is ook toegevoegd door middel van breuklijnen.
- Vegetatieontwikkeling: Op flauwe oevers kan vegetatie ontwikkelen en in de schematisatie is op deze oevers vegetatieklasse riet en ruigte toegepast. Langs de dijk is het dijkvoetgebied geschematiseerd met vegetatieklasse riet en ruigte. Ook zijn in het gebied enkele solitaire bomen en kleine stroken struweel toegepast. Het geoptimaliseerde vegetatiebeeld (eindbeeld) in het VO+ is een compromis tussen KRW-doelen, rivierkundige effecten bij hoogwater, scheepvaart en morfologie en landschappelijke kwaliteit. Deze variant is besproken met een landschapsarchitect en aangepast door toevoeging van enkele solitaire bomen, verwijdering van al bestaande vegetatie uit de variant die ook niet in de referentie-schematisatie is opgenomen, aanpassingen van de rietoevers conform ontwerp en verplaatsing van vegetatie nabij de parkeerplaats.

Het is belangrijk dat het ontwerp van de geul, zoals geschematiseerd in Baseline, op de juiste wijze functioneert in WAQUA. Hierbij bestaat de mogelijkheid dat de geul te smal is geschematiseerd voor het WAQUA rooster en daardoor de berekeningen worden over- of onderschat. In bijlage C.1 is een figuur met de schematisatie van de geul in WAQUA opgenomen. Hieruit blijkt dat de geul over de gehele lengte open is en voldoende functioneert om de hydraulische en morfologische effecten in kaart te brengen en te beoordelen.

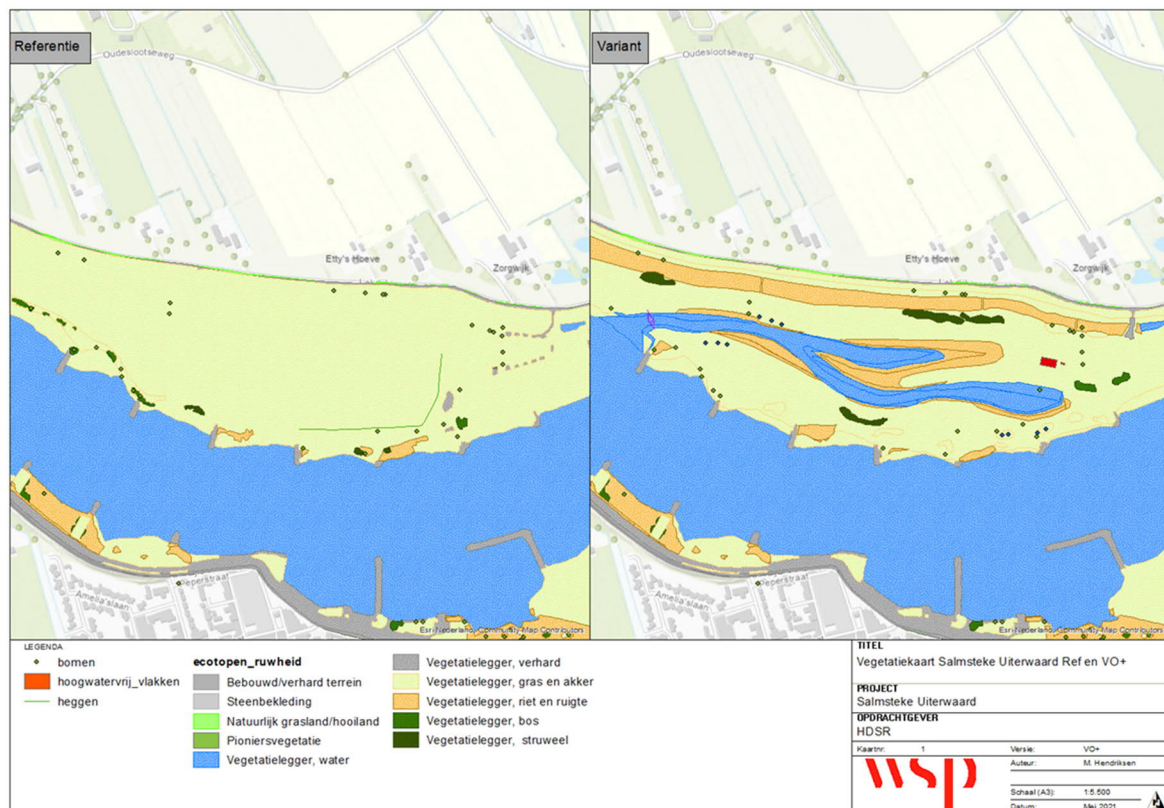


Figuur 7: Bodemligging kaart met overlaten, kaden, kribben en breuklijnen



Figuur 8: Schematisatie van de constructie in de geulmonding als heggen





Figuur 9: Ruwhedenkaart, met links het vegetatiebeeld in de referentie en rechts het (geoptimaliseerde) vegetatiebeeld in het VO+

## 2.4.2. Optimalisaties

Het VO+ is voor diverse maatregelen in de uiterwaard (bouwstenen) geoptimaliseerd ten opzichte van het VKA en VO. In Bijlage B zijn de optimalisaties toegelicht en de bijbehorende (relevant geachte) rivierkundige effecten geanalyseerd. Hieronder zijn de optimalisaties per bouwsteen samengevat en de verschillen kort toegelicht.

In bijlage B.3 is aanvullend nog een toelichting opgenomen over de verschillen tussen het VKA, VO en VO+ opgenomen. In Bijlage E zijn verschilkaarten van deze drie varianten opgenomen voor bodemhoogte en overlaten, ruwheden en waterdiepte t.o.v. de norm.

In totaal zijn 23 maatregelen beschouwd die inzicht hebben gegeven in de systeemwerking en in de rivierkundige effecten. Deze maatregelen zijn gebruikt als basis voor het uiteindelijke geoptimaliseerde ontwerp in het VO+.

- **Aansluiting getijdegeul en zwempas:**
  - In het VKA-ontwerp vindt de verversing van het zwempaswater via een duiker plaats. In het VO is dit aangepast naar verversing via een aansluiting met de getijdegeul (scheidingsdam). Het voordeel hiervan is dat de zwempas niet

direct verbonden is met de rivier en er geen hoge stroomsnelheden optreden rondom de duiker. In het VO is deze dam verlaagd om zowel de verversing van het zwemwater te bevorderen als het effect op de doorstroming, m.a.w. op de hoogwaterstand, te onderzoeken. Deze aanpassing heeft weinig effect op de waterstand bij hoogwater en op de dwarsstroming t.o.v. het VKA, zie bijlage B.5.i. Wel resulteert dit in hogere stroomsnelheden rondom de dam. De verwachting is echter dat door de verlaging van de scheidingsdam ook de turbulentie rondom de dam bij hoogwater minder is dan in het VKA. Hierdoor is de kans op schade aan de dam kleiner. Daarnaast is een bodembescherming rond de kade ontworpen. In het VO+ is de schematisatie uit het VO gehandhaafd.

- Op de dam is in het VO een visuele scheiding tussen de geul en zwemplas toegevoegd, bestaande uit houten schotten die richting de oevers trapsgewijs hoger worden. Deze scheiding is geschematiseerd als kade, zie ook paragraaf 1.4. De kade steekt nauwelijks uit t.o.v. het maaiveld. Onderzocht is welk effect het wel of niet aanleggen van deze kade heeft op de rivierkundige aspecten. De effecten op waterstand en dwarsstroming zijn nihil. Dit resultaat komt overeen met de bevindingen uit de eerdere optimalisatie van de damverlaging voor verbinding met de zwemplas op deze locatie uit de hoofd rapportage (bijlage B.5.i). Waterstands- en stroomsnelheidsverschillen ter plaatse ontstaan door het smalle doorstroomprofiel van de geul bij de dam t.o.v. profiel van de zwemplas. Daarnaast ligt het maaiveld ten noorden van de kade hoog waardoor het water daar samenkomt.

- **Constructie in de geulmonding:**

- In het VKA was de geulmonding helemaal geopend. In het VO is besloten om een constructie aan te brengen in de geulmonding om stroming en golven in de getijdegeul te beperken. De vormgeving van de constructie behoud enerzijds de open verbinding tussen de getijdegeul en de rivier, anderzijds verminderd het de morfologische ontwikkelingen in de geul. Verschillende optimalisaties van de constructie zijn geanalyseerd, zie ook bijlage B.8. Zowel de schematisatie als kades of heggen met een open of dichte structuur hebben niet de gewenste effecten op dwarsstroming en morfologie. Het verminderen van het aantal heggen geeft een kleine daling van de waterstandsopstuwung en een toename van de waterstandsdaling t.o.v. het VO. Minder heggen komt overeen met het VO+. De schematisatie van heggen met een dichte structuur uit het VO is daarom behouden, maar met een kleiner aantal.

- **Instroomkade:**

- Aan de oostzijde van de zwemplas ligt een instroomkade. Deze kade stroomt in het ontwerp over bij NAP +2,0 m. Bij het optimaliseren is de invloed van deze kade op de waterstand, dwarsstroming en morfologie geanalyseerd. Zowel terugbrengen naar de hoogte uit de referentie (NAP +3,0 m), als een kleine verhoging naar NAP +2,4 m is onderzocht. Door verhoging van de kade gaat de geul minder vaak meestromen met de rivier. Dit heeft weliswaar een beperkt gunstig effect op de aanzanding in het zomerbed en op de waterstandspiek, maar resulteert ook in minder waterstanddaling en een lagere

meestroomfrequentie van de geul. Daarnaast werkt regelmatige inundatie positief voor natuurontwikkeling. In de KRW-toets is de meestroomfrequentie meegenomen in de beoordeling van de KRW-doelen. Indien deze wijzigt dan zal ook de haalbaarheid van de KRW-doelen opnieuw moeten worden onderzocht.

- **Trapoevers:**

- In het VKA waren nog geen trapoevers langs de getijdegeul aanwezig. De trapoevers zijn ontworpen op de meest erosiegevoelige locaties om de oever te stabiliseren. De morfologie in de geul (het winterbed) wordt hiermee beperkt en beheersbaar gemaakt, zie ook paragraaf 3.3.2 en Bijlage A. In het VO+ is de schematisatie uit het VO behouden.

- **Horecagelegenheid:**

- In het VKA was nog geen maatregel voor de horecagelegenheid meegenomen. In het VO is deze maatregel toegevoegd. Deze maatregel vormt een hoogwatervrijvlak van 450 m<sup>2</sup> ten noorden van de zwemplas. Voor het ontwerp van het VO is gekeken wat het effect van de horeca is op hoogwater. Tijdens het optimaliseren naar het VO+ is ook nog gekeken wat het effect van het weghalen van de horeca is in combinatie met alle andere uiterwaardmaatregelen. Niet-rivier gebonden activiteiten behoeven een verruimingsopgave, in dit geval de horeca. Uit bijlage B.6 blijkt echter dat het effect van de horeca zeer klein is. Het toevoegen van de horeca heeft zelfs een lichtelijk gunstig effect op de hoogwaterreferentie. De horeca heeft daarnaast ook geen invloed op de morfologische effecten in het zomerbed, omdat het noordelijke deel van uiterwaard rond de horeca nog niet meestroomt bij 8.000 m<sup>3</sup>/s.

- **Vegetatie ontwikkeling:**

- De vegetatie-ontwikkeling in de uiterwaard is geoptimaliseerd in zowel het VO als het VO+. Bij de instroomkade bovenstrooms van de zwemplas is geanalyseerd welke invloed vegetatie heeft, zie ook bijlage B.7. Door de vegetatie gaat de waterstandspiek omlaag, maar ook de waterstandsverlaging neemt evenredig af. De vegetatie heeft geen significant effect op de dwarsstroming.
- De vegetatie in de gehele uiterwaard is geoptimaliseerd en geanalyseerd voor zowel de hoogwaterreferentie, dwarsstroming als morfologie in het zomerbed. Door in de uiterwaard minder vegetatie op te nemen stroomt meer water door de uiterwaard bij de hoogwaterreferentie, wat meer waterstandsval in het zomerbed oplevert (bijlage B.9.v). Echter leidt dit ook tot een verlaging van de stroomsnelheid in het zomerbed en daarmee tot meer sedimentatie. Een optimalisatie van de vegetatie van het VO naar een ruwere uiterwaard (bijlage B.9.i) draagt bij aan een kleiner baggervolume. Echter leidt dit ook tot meer waterstandsverhoging bovenstrooms bij hoogwater, en dit werkt verder door in bovenstroomse richting. Het VO+ bevat de meest geoptimaliseerde vegetatiesituatie, zoals opgenomen in Figuur 9.

### 3. Rivierkundige analyses

Het kaartmateriaal in dit hoofdstuk groter in de bijlage opgenomen. Voor de hoogwaterveiligheid en voor hinde en schade door hydraulische effecten is het opgenomen in Bijlage C en voor de Morfologische effecten in Bijlage D.

#### 3.1 Hoogwaterveiligheid

##### 3.1.1. Hoogwaterreferentie op de as van de rivier

In Figuur 10 is het waterstandseffect bij de hoogwaterreferentie gegeven. De stroombanenkaart is opgenomen in Figuur 11. Uit deze figuren kan het volgende worden geconcludeerd:

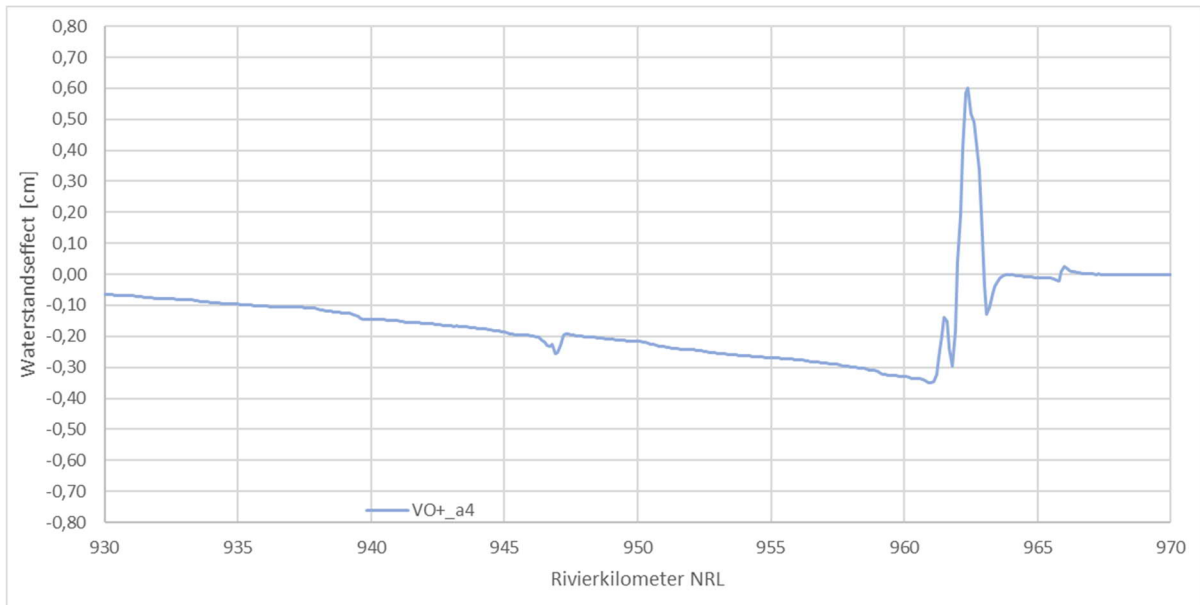
- Het ontwerp van de Salmsteke uiterwaard veroorzaakt een waterstandsval bovenstrooms van de uiterwaard. De waterstandsval is te verklaren door het grotere doorstroomvolume van de uiterwaard bij aanleg van de nevengeul. De waterstandsval bedraagt maximaal 3,5 mm en het effect is merkbaar tot circa 40 km bovenstrooms.
- Langs de Salmsteke Uiterwaard en de monding van de KRW-getijdegeul vindt opstuwingsplaats over een lengte van circa 1 km. De maximum opstuwingsplaats is hier circa 6,0 mm waar conform het RBK maximaal 1 mm wordt voorgeschreven.
- De kortstondige verlaging bij rkm 947 wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een neer die aanwezig is ter plaatse van de vistrap bij Stuw Hagestein.
- De waterstandspiek bij rkm 961 wordt veroorzaakt doordat onderdelen in het ontwerp in het noordelijk deel van de uiterwaard opstuwingsplaats veroorzaken.

Vanuit het RBK is de verplichting om de opstuwingspiek waar mogelijk te reduceren. Verschillende optimalisaties zijn beschouwd en aangepast in het VKA en VO om zowel de opstuwingspiek als andere effecten rondom dwarsstroming en morfologie te verkleinen. Hieruit is het VO+ ontstaan, zoals aangegeven in paragraaf 2.4 en beschouwd in Bijlage B. Ten opzichte van het Voorlopig Ontwerp is de waterstandsofstuwingsplaats verminderd met 0,6 mm en de waterstandsval toegenomen met 0,8 mm.

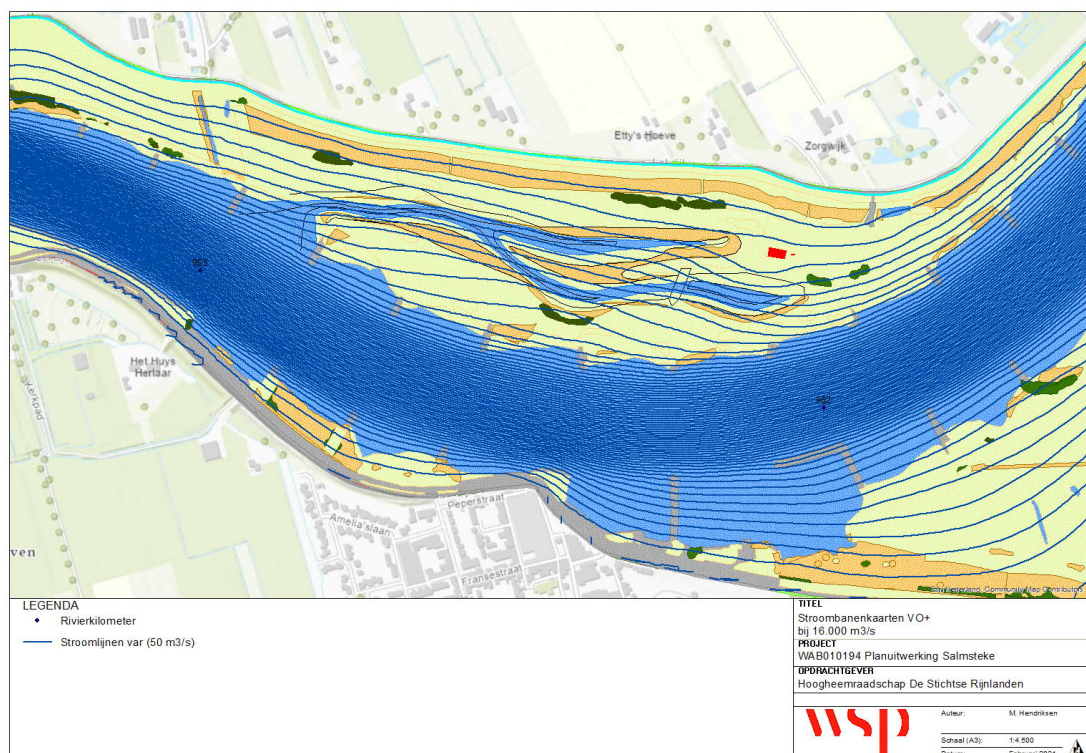
Het RBK schrijft voor dat het bevoegd gezag (na optimalisatie) kan instemmen met een hogere opstuwingsplaats als sprake is van een ruime netto waterstandsverlaging (zaagtand-principe), puur gekeken naar de oppervlakte verhouding (8x). Bij het VO+ is sprake van aanzienlijk meer oppervlakte aan waterstandsverlaging dan aan opstuwingsplaats. Het oppervlakte van de waterstandsval is meer dan 10 keer groter dan het oppervlakte van de waterstandsverhogingsplaats en voldoet daarmee aan het zaagtandprincipe.

Aanvullend kaartmateriaal met de stroomsnelheid en waterstand voor de hoogwaterreferentie zijn opgenomen in bijlage C.1.





Figuur 10: Waterstandseffect in centimeters op de as van de rivier van het (geoptimaliseerde) VO+ (VO+\_a4). Positief is opstuwing, negatief is daling.



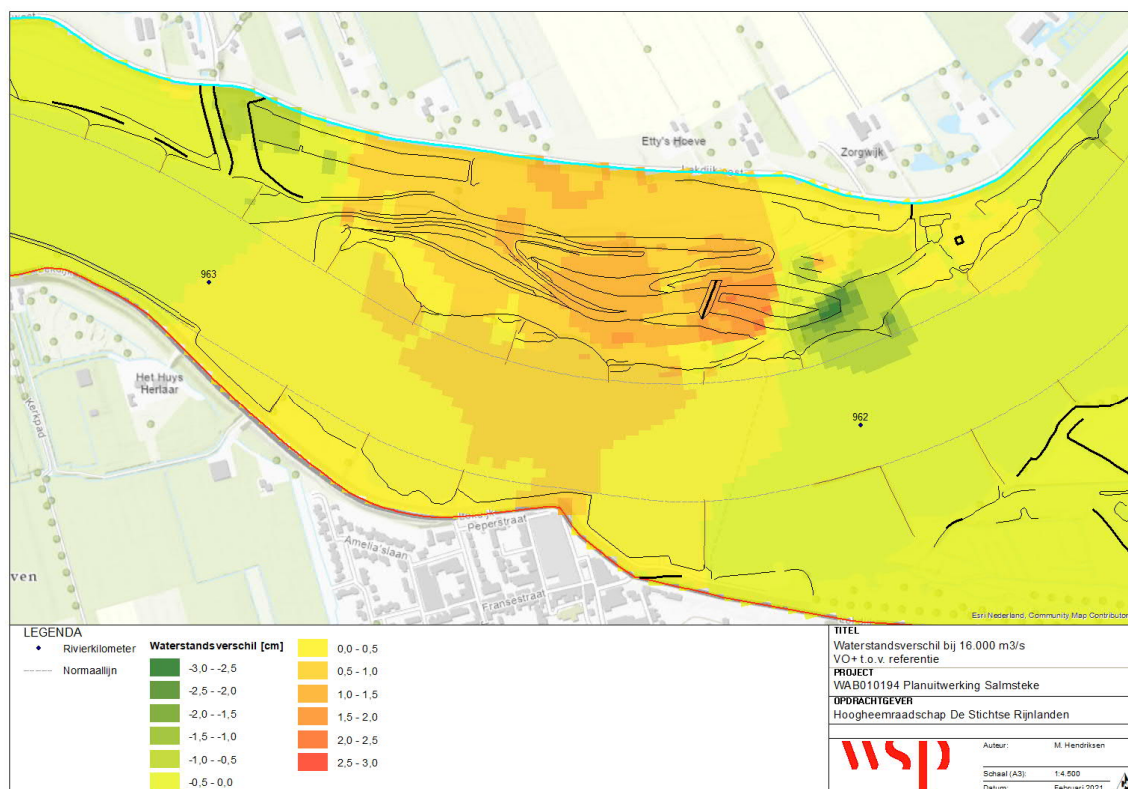
Figuur 11: Stroombaankaarten VO+

### 3.1.2. Maatregel in bergend deel van de rivier

De maatregel in de Salmsteke uiterwaard betreft de aanleg van een getijdegeul in de uiterwaard van de rivier de Lek en heeft geen negatieve effecten op het bergend volume.

### 3.1.3. Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier

Het waterstandseffect van het Voorlopig Ontwerp Plus bij hoogwaterreferentie is te zien in Figuur 12. Het effect buiten de as van de rivier is bovenstrooms van de uiterwaard verlagend. In de uiterwaard is het voornamelijk verhogend, wat te verklaren is door de aanleg van de geul waardoor meer water richting de uiterwaard stroomt dan in de referentie. Langs de dijk is de verhoging gemiddeld 0,9 cm over 500 meter. Dit is ter beoordeling aan de beheerder van de kering.



Figuur 12: Waterstandsverschil van het VO+ t.o.v. de referentie in centimeters

### 3.1.4. Afvoerverdeling bij maatgevende en hoge Boven-Rijn afvoer

Salmsteke Uiterwaard ligt benedenstrooms van stuw Hagestein en heeft geen invloed op de afvoerverdeling op het splitsingspuntengebied. Dit is ook terug te zien in Figuur 10 waar het splitsingspunt (IJsselkop, rkm 878,5) nog bovenstrooms van het invloedgebied van de waterstandsverlaging ligt bij de hoogwaterreferentie. Het waterstandseffect van lagere afvoeren is minder groot en reikt minder ver dan bij de hoogwaterreferentie afvoer. Dus ook bij normale afvoeren op de Boven-Rijn of een hoge afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s wordt de afvoerverdeling op het splitsingspunt niet beïnvloed.



### 3.1.5. IJsafvoer

Het ontwerp voor de Salmsteke Uiterwaard geeft ruimte aan de rivier. Hierbij zijn geen redenen om aan te nemen dat het ontwerp van de uiterwaard Salmsteke de ijsgang negatief beïnvloed, omdat:

- de normaalbreedte van de rivier niet verandert;
- de gestrekte oevers in stand worden gehouden;
- in het zomerbed geen dusdanige ondieptes worden verwacht, waar ijsgroei kan ontstaan.

In het ontwerp wordt weliswaar een nevengeul aangelegd, maar deze is eenzijdig aangetakt en dit deel van de Lek staat onder invloed van getij. Ook de verplaatsing van de boothelling naar het oosten, waarbij deze net als in de huidige situatie net bovenstrooms langs een krib komt te liggen, leidt niet tot (nieuwe) ondieptes of tot aantasting van de gestrekte oevers. IJsvorming is op deze locatie dan ook niet waarschijnlijk.

## 3.2 Hinder en schade door hydraulische effecten

### 3.2.1. Inundatiefrequentie

Het noordelijke deel van Salmsteke Uiterwaard bevat geen aanpassingen aan het maaiveld die de inundatiefrequentie veranderen. De inundatiefrequentie van het zuidelijke deel van de uiterwaard verandert door de aanleg van de getijdegeul. Figuur 13 geeft verschillende kades in de uiterwaard weer. Informatie over de inundatiefrequentie van deze kades wordt voor de referentie in Tabel 3 en voor het VO+ in Tabel 4 weergegeven.

De ontwerphoogten en -keuzen van de kadehoogten rondom de getijdegeul zijn onderstaand toegelicht:

- Bij de realisatie van de zwemplas wordt de instroomkade verlaagd van NAP +3,1 naar NAP +2,0 m (resp. eens in de 11 jaar naar 8 dagen per jaar). Hierdoor stroomt de zuidzijde van de uiterwaard, ter plaatse van de geul, bij lagere afvoeren mee dan in de referentie. Hierdoor neemt de frequentie van meestromen toe tot enkele dagen per jaar. Jaarlijks enkele dagen meestromen van de geul is gewenst voor uitspoeling van slib en het voorkomen van verlanding.
- De hoogte van de uitstroomkade in de referentiesituatie is NAP 3,0 m en komt overeen met een waterstand van eens in de 6 à 7 jaar. De geul is eenzijdig aangetakt aan de rivier bij de uitstroomkade. De bodem van de geulmonding ligt op NAP -1,5 m (par. 1.4). Door de open verbinding wordt de geul beïnvloed door rivierafvoer, getijdestroming en scheepvaart.
- Tussen de geul en de dijk is langs de gehele geul een oeverhoogte van NAP +2,8 m aanwezig. Bij een waterstand hoger dan NAP +2,8 m overstroomt de oever van de geul en gaat de gehele uiterwaard steeds meer in- en meestromen. Deze waterstand heeft een frequentie van ongeveer eens in de 5 jaar.

De verandering in inundatiefrequentie treedt alleen op in het zuidelijke deel van de uiterwaard, in het gebied van de getijdegeul. Door de aanleg van de geul krijgt het gebied een hogere

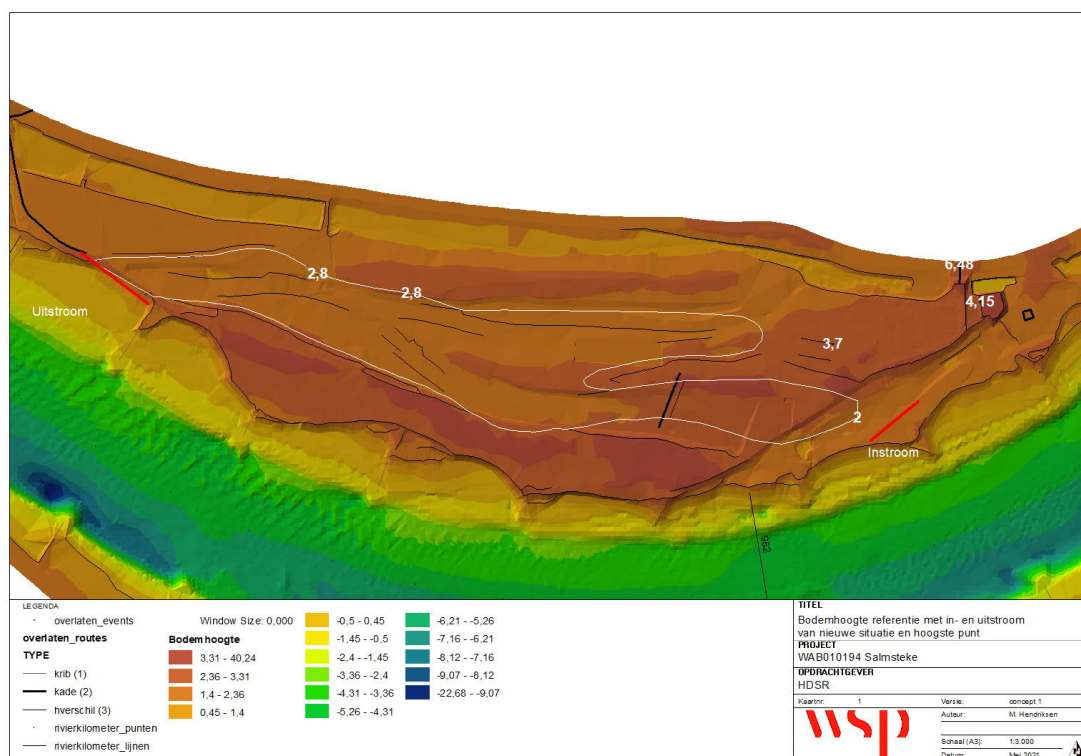
natuurwaarde en daarmee heeft verandering van de inundatiefrequentie geen directe gevolgen voor de gebruiker van de grond.

Tabel 3: Inundatiegegevens referentiesituatie, op basis van de betrekkinglijnen 2018 en waterstandsduurlijn 2018

Referentie	Hoogteligging	Afvoer bij Lobith	Voorkomensfrequentie
Instroomkade	NAP +3,10-3,40 m	8.700-9.400 m <sup>3</sup> /s	eens in de 11 jaar
Hoogste punt: - <i>Terp</i> - <i>Rond de geul</i>	NAP +4,15 m NAP +3,70 m	11.400 m <sup>3</sup> /s 10.460 m <sup>3</sup> /s	eens in de 40 jaar eens in de 20 jaar
Uitstroomkade	NAP +3,00-3,10 m	8.600-8.700 m <sup>3</sup> /s	eens in de 6-7,5

Tabel 4: Inundatiegegevens van het VO+, op basis van de betrekkinglijnen 2018 en waterstandsduurlijn 2018

Voorlopig Ontwerp	Hoogteligging	Afvoer bij Lobith	Voorkomensfrequentie
Instroomkade	NAP +2,00 m	5.380 m <sup>3</sup> /s	8 dagen per jaar
Geuloever noordzijde	NAP +2,80 m	7.813 m <sup>3</sup> /s	eens in de 5 jaar
Uitstroomhoogte	NAP -1,50 m	-	permanent aangetakt



Figuur 13: In- en uitstroomlocaties uiterwaard in de referentiesituatie, met rode lijnen voor aanpassing van kades in het VO+

### 3.2.2. Stroombeeld in de uiterwaard

Het stroombeeld in de uiterwaard is gegeven voor 16.000 m<sup>3</sup>/s, 10.000 m<sup>3</sup>/s, 8.000 m<sup>3</sup>/s en 6.000 m<sup>3</sup>/s. Bij deze afvoeren stroomt de geul mee met de rivier. De absolute stroomsnelheden van het VO+, het snelheidsverschil t.o.v. de referentie en de bijbehorende stroombaankaarten zijn opgenomen in Bijlage C, Figuur 95 t/m Figuur 109.

In het noordelijk deel van de uiterwaard, ten noorden van de geul, neemt de stroomsnelheid bij alle afvoeren af ten opzichte van de referentiesituatie als gevolg van de ruwere vegetatie. Dit is gunstig met betrekking tot eventuele erosie van de dijk door hoge stroomsnelheden.

Bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s nemen de stroomsnelheden in de getijdegeul overal toe, wat te verklaren is door de toename van het doorstroomvolume. Alleen bij de zwemplas nemen de stroomsnelheden af, doordat de plas achter de instroomkade relatief diep is. De snelheden liggen tussen de 0,6 en 0,9 m/s in de diepe delen van de geul, en 0,3 tot 0,6 m/s in de ondiepe delen en in de zwemplas. Verwacht wordt dat eventuele erosieschade die bij deze afvoer ontstaat, tijdig kan worden hersteld door de lange herhalingsstijd (eens per 10.000 jaar) van deze afvoer.

Bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s is het beeld van het stroomsnelheidsverschil gelijk aan die bij 16.000 m<sup>3</sup>/s. De snelheden liggen tussen de 0,6 en 0,9 m/s in de diepe delen van de geul, en 0,3 tot 0,6 m/s in de ondiepe delen en in de zwemplas. Hierbij kan erosie ontstaan, maar verwacht wordt dat dit tijdig kan worden hersteld in relatie tot de voorkomingsfrequentie (eens per 20 jaar) van deze afvoer.

De stroomsnelheid in de geul bij 8.000 m<sup>3</sup>/s (eens in de 5,4 jaar) is bijna overal lager dan 0,3 m/s, waardoor erosie slechts beperkt optreedt. Alleen in de geulmonding is de snelheid iets hoger, maar hier is oeverbescherming ontworpen. Zowel harde bekleding in de monding als aansluitend trapoevers zijn op deze locatie ontworpen om de oever te stabiliseren en morfologische effecten te beperken. Hogere stroomsnelheden zijn hier minder kritisch. Ook achter de dam tussen de geul en zwemplas treden hogere stroomsnelheden op. Rond deze kade is ook bodembescherming ontworpen.

Bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s (enkele dagen per jaar) stroomt 10 m<sup>3</sup>/s door de geul, wat slechts 1% onttrekking is van de afvoer in het zomerbed. Hierdoor is de stroomsnelheid in de geul veelal lager dan 0,1 m/s. Op een enkele locatie is het hoger, tussen de 0,1 en 0,25 m/s. Dit is nog altijd lager dan 0,3 m/s, de kritieke stroomsnelheid voor zandtransport, c.q. oevererosie [12].

### 3.2.3. Stroombeeld in de vaarweg

Het stroombeeld in de vaarweg is geanalyseerd voor 10.000 m<sup>3</sup>/s, 8.000 m<sup>3</sup>/s en 6.000 m<sup>3</sup>/s, zie ook paragraaf 2.3.2. In het kader van de dwarsstroming wordt alleen ingegaan op de dwarsstroming op de oever van de uiterwaard. Dit is de rechteroever van de rivier. De effecten van de herinrichting van de uiterwaard op de dwarsstroming bij de linkeroever zijn verwaarloosbaar.

In Bijlage C is de dwarsstroming per afvoerklasse gegeven voor de referentie en het VO+. In deze bijlage is ook het stroomsnelheidsverschil tussen de referentie en het VO+ gegeven per afvoerklasse. Het verschil is alleen relevant als de stroomsnelheid groter wordt dan 0,15 m/s. De belangrijkste bevindingen worden hieronder toegelicht:

- Voor een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s is de verandering van de dwarsstroming ten opzichte van de referentie klein en in het plangebied voor het grootste deel ruim onder de grens van 0,15 m/s. Op rkm 961,6 en 962,3 wordt dit criterium overschreden, maar dit is ook al het geval in de referentie:
  - Bij rkm 961,6 neemt de stroomsnelheid zeer beperkt toe, met 0,005 m/s, maar het dwarsstroomdebiet is 25,8 m<sup>3</sup>/s (minder dan 50 m<sup>3</sup>/s, zie ook bijlage C.7).
  - Bij rkm 962,3 wordt de stroomsnelheid lager met 0,006 m/s.
  - De nieuwe situatie voldoet, en wordt bij rkm 962,3 bij 6.000 m<sup>3</sup>/s zelfs iets beter.
- Voor een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s is de dwarsstroming nergens hoger dan 0,15 m/s.
- Voor een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s ontstaat bij de instroom, rond rkm 961,7 en bij de uitstroom rond 963,0 een dwarsstroming van 0,16 m/s, net iets hoger dan de toegestane 0,15 m/s. Om te voldoen aan het RBK is bepaald of het debiet hierbij kleiner dan 50 m<sup>3</sup>/s is. Uit de berekening volgt dat bij rkm 961,7 het instroomdebiet 74 m<sup>3</sup>/s en bij 963 is het uitstroomdebiet 75 m<sup>3</sup>/s. Beiden hoger dan 50 m<sup>3</sup>/s. De onderbouwing voor de bepaling van het dwarsstroomdebiet is opgenomen in bijlage C.6. Het is aan bevoegd gezag om te beslissen of dit toelaatbaar is. Hierbij wordt opgemerkt dat deze afvoer een voorkomensfrequentie van eens in 20 jaar heeft.

### 3.2.4. Afvoerverdeling bij maatgevende en hoge Boven-Rijn afvoer

Het plangebied Salmsteke Uiterwaard bevindt zich langs de Lek benedenstrooms van stuw Hagestein en heeft geen invloed op de afvoerverdeling in het splitsingspuntengebied. Dit is ook terug te zien in Figuur 10 waar het splitsingspunt nog bovenstrooms van het invloedgebied van de waterstandsdaling is gelegen (zie ook paragraaf 3.1.1). Het waterstandseffect bij lagere afvoeren is minder groot en reikt minder ver dan bij de hogere, maatgevende afvoer. Dus ook bij hoge Boven-Rijn afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s wordt de afvoerverdeling bij het splitsingspunt niet beïnvloed.

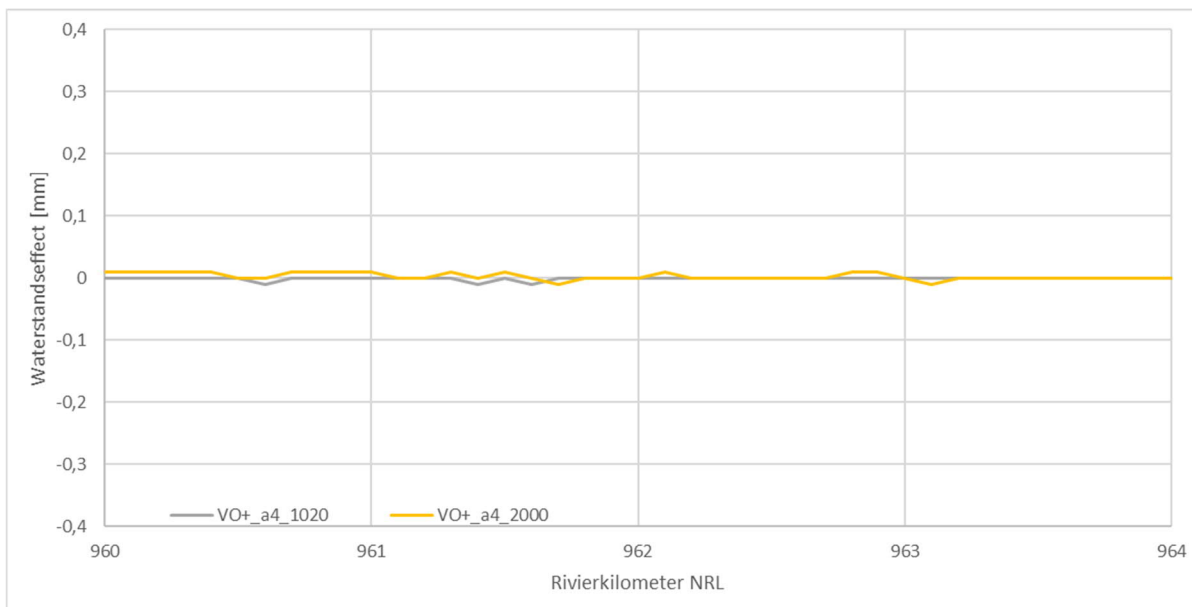
### 3.2.5. Onttrekking water uit zomerbed Rijntakken

Een nevengeul kan leiden tot verlaging van de waterdiepte in het zomerbed bij lage en mediane afvoeren. Dit is nadelig voor gebruikers van de rivier. De geul bij Salmsteke is eenzijdig aangetakt en stroomt alleen bij hoge rivierafvoeren<sup>4</sup> mee, dus het waterstandseffect bij lage afvoeren is naar verwachting zeer klein.

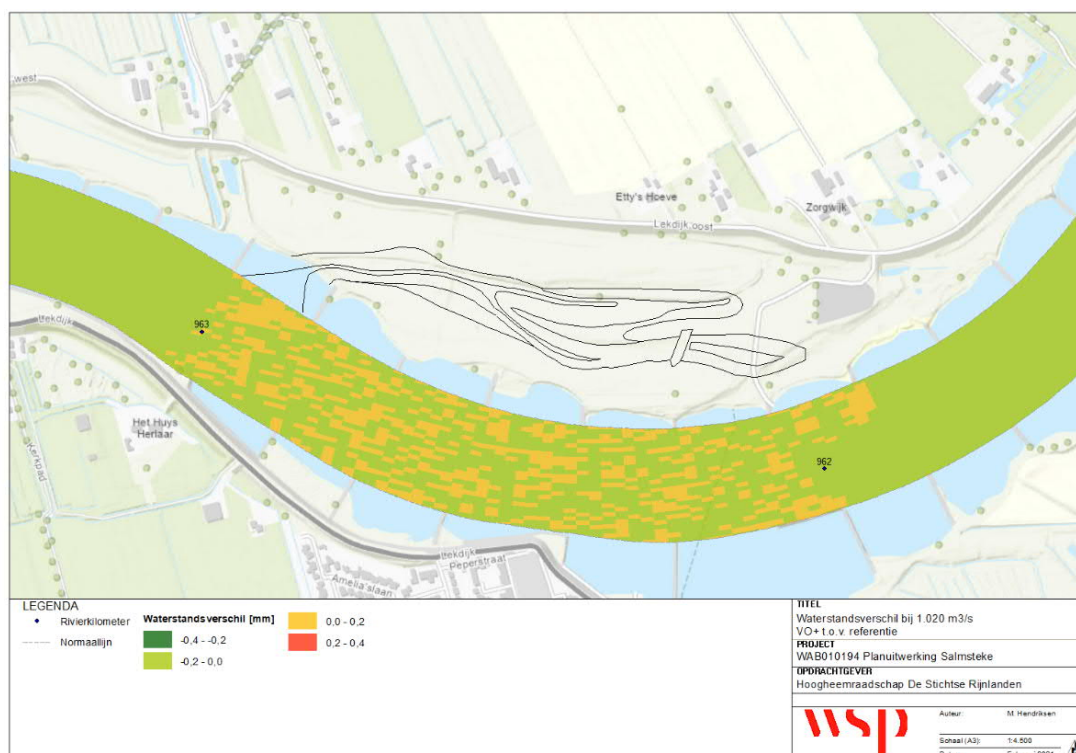
De onttrekking is inzichtelijk gemaakt voor een afvoer van 1.020 m<sup>3</sup>/s, en voor 2.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith, zie ook paragraaf 2.3. Figuur 14 toont het waterstandseffect voor beide afvoeren langs de as van de rivier. Het effect is bij beide afvoeren verwaarloosbaar klein. De waterstand bij 1.020 m<sup>3</sup>/s is ter hoogte van de uiterwaard NAP +0,97 m en bij 2.000 m<sup>3</sup>/s is het NAP +1,18 m.

<sup>4</sup> Dit betreft afvoeren bij Lobith boven de 5.380 m<sup>3</sup>/s (NAP +2,00 m) met een gemiddelde voorkomensfrequentie van 8 dagen per jaar

Figuur 15 en Figuur 16 tonen het effect op de waterdiepte in het zomerbed. Ook hieruit blijkt dat het effect zeer klein is, en dat lokale waterstandsverlaging vaak gepaard gaat met nabijgelegen waterstandsverhoging. Dit komt overeen met het effect langs de as van de rivier.

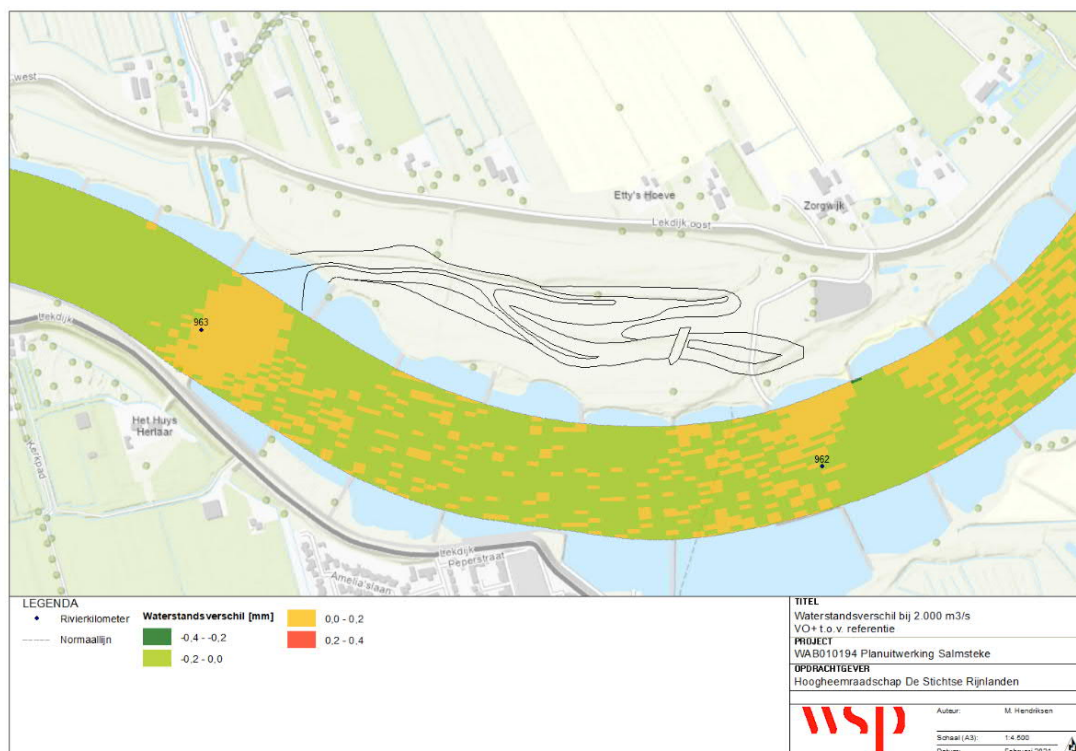


Figuur 14: Waterstandseffect bij lage (1.020 m³/s) en mediane (2.000 m³/s) afvoer bij Lobith



Figuur 15: Waterstandsverschil [mm], effect op de waterdiepte, t.o.v. de referentiesituatie bij lage (1.020 m³/s) afvoer bij Lobith





Figuur 16: Waterstandsverschil [mm], effect op de waterdiepte, t.o.v. de referentiesituatie bij mediane (2.000 m<sup>3</sup>/s) afvoer bij Lobith

### 3.3 Morfologische effecten

#### 3.3.1. Morfologie in het zomerbed

De ingreep in het winterbed door aanleg van de KRW-geul is van dusdanige omvang (zie paragraaf 2.3.3) dat wordt verwacht dat dit impact heeft op de werking van het riviersysteem en dus ook op de morfologie van het zomerbed.

In deze paragraaf wordt het VO+ besproken. Het VO+ is geoptimaliseerd op basis van een morfologische analyse van verschillende maatregelen. De morfologische effecten van deze analyse zijn toegelicht in Bijlage B. De bijbehorende 2D-kaarten en effecttabellen zijn opgenomen in Bijlage D.

#### Kwalitatieve beschouwing

De morfologie in het zomerbed is conform het RBK eerst kwalitatief beschouwd. Het effect van de nevengeul op sedimentatie in de hoofdgeul is beschouwd in de "Notitie rivierkundige beoordeling" [3] die tijdens de verkenningsfase van het project is opgesteld. Hieronder is een samenvatting van deze notitie opgenomen.

**“Notitie rivierkundige beoordeling” [3]:**

Het voornaamste morfologisch effect dat kan optreden bij de aanleg van de nevengeul is door een reductie van de afvoer door de hoofdgeul. De hierbij geldende vuistregel is dat de nevengeul onder gemiddelde stroomcondities maximaal 3% van de afvoer uit het zomerbed mag onttrekken [7] om (significante) verandering in het bodemlengteprofiel te voorkomen.

De nevengeul is eenzijdig aangetakt en stroomt daarom alleen mee bij een (lagere) hoogwater afvoer. De relatief lage frequentie van meestromen van de nevengeul beperkt de mogelijke morfologische veranderingen in de hoofdgeul. Uit de notitie blijkt dat de afname van de afvoer ca. 2% is voor een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s. De verwachting is dat zeker voor lagere afvoeren dit percentage nog lager ligt. Hogere afvoeren dan 10.000 m<sup>3</sup>/s spelen door de beperkte frequentie van voorkomen slechts een beperkte rol.

**Kwantitatieve beschouwing**

Na deze kwalitatieve beoordeling is de morfologie in het zomerbed analytisch beschouwd, om meer inzicht te krijgen in de omvang van de morfologische effecten. Voor deze analyse is gebruik gemaakt van WAQMorf. Hiermee wordt een inschatting gemaakt van de morfologische effecten in het zomerbed op basis van WAQUA-stroombeelden.

De uitgangspunten voor het gebruik van WAQMorf zijn opgenomen in paragraaf 2.3.3. Voor het inschatten van de morfologische effecten in het zomerbed is een hoogwaterblok van 8.000 m<sup>3</sup>/s toegepast (zie par. 2.3.3).

Bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s geeft WAQMorf de volgende output:

Als elke bodemverandering jaarlijks wordt verwijderd, dan wordt de lengte waarover dit plaatsvindt geschat op 28 meter, vanaf de bovenstroomse rand van het gebied waar bodemverandering optreedt.

De resultaten zijn verwerkt in 2D-kaarten met morfologische effecten en tabellen waaruit sedimentatie en erosie is af te leiden zoals uitgevraagd in het RBK 5.0, bijlage 8, hoofdstuk 5 [1].

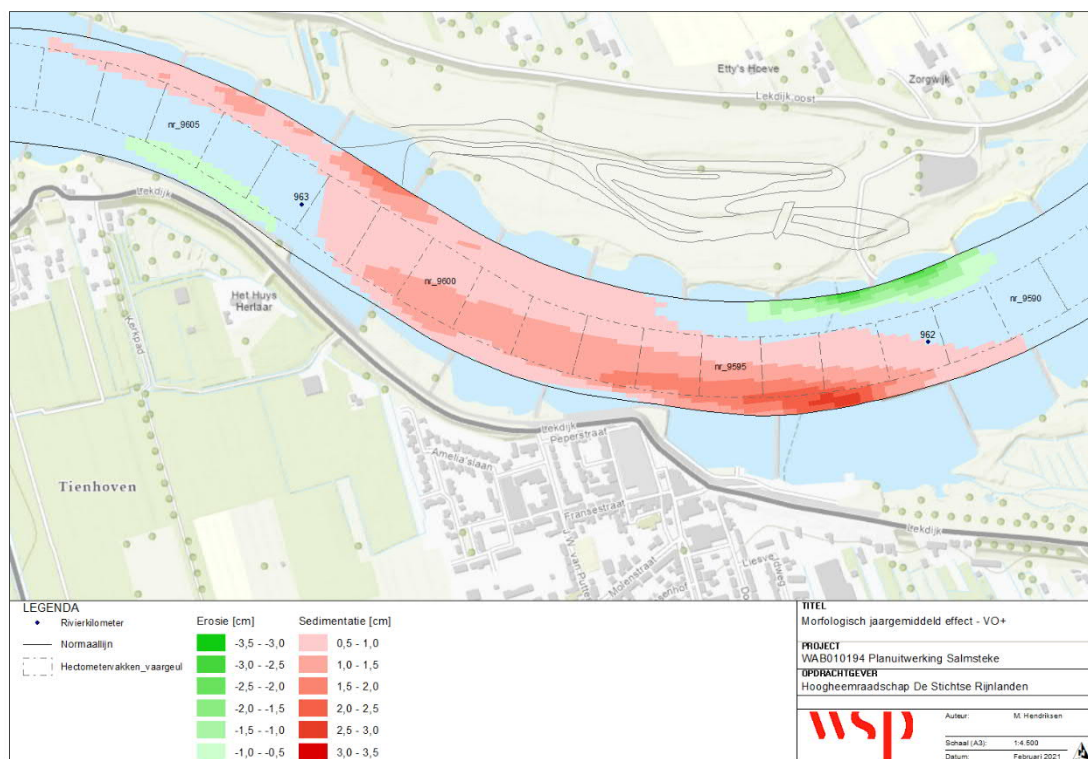
**Resultaten WAQMorf en analyse**

Hieronder worden de resultaten van het VO+ voor de Salmsteke Uiterwaard besproken. Om te komen tot dit ontwerp zijn optimalisaties gedaan op basis van een morfologische analyse voor verschillende maatregelen in de uiterwaard, zie ook paragraaf 2.4.2 en Bijlage B (B.3).

Figuur 17 toont een 2D-kaart van de morfologische effecten in het zomerbed van het VO+ in de evenwichtssituatie (die pas na een langere periode wordt bereikt)<sup>5</sup>. Hieruit wordt het volgende duidelijk:

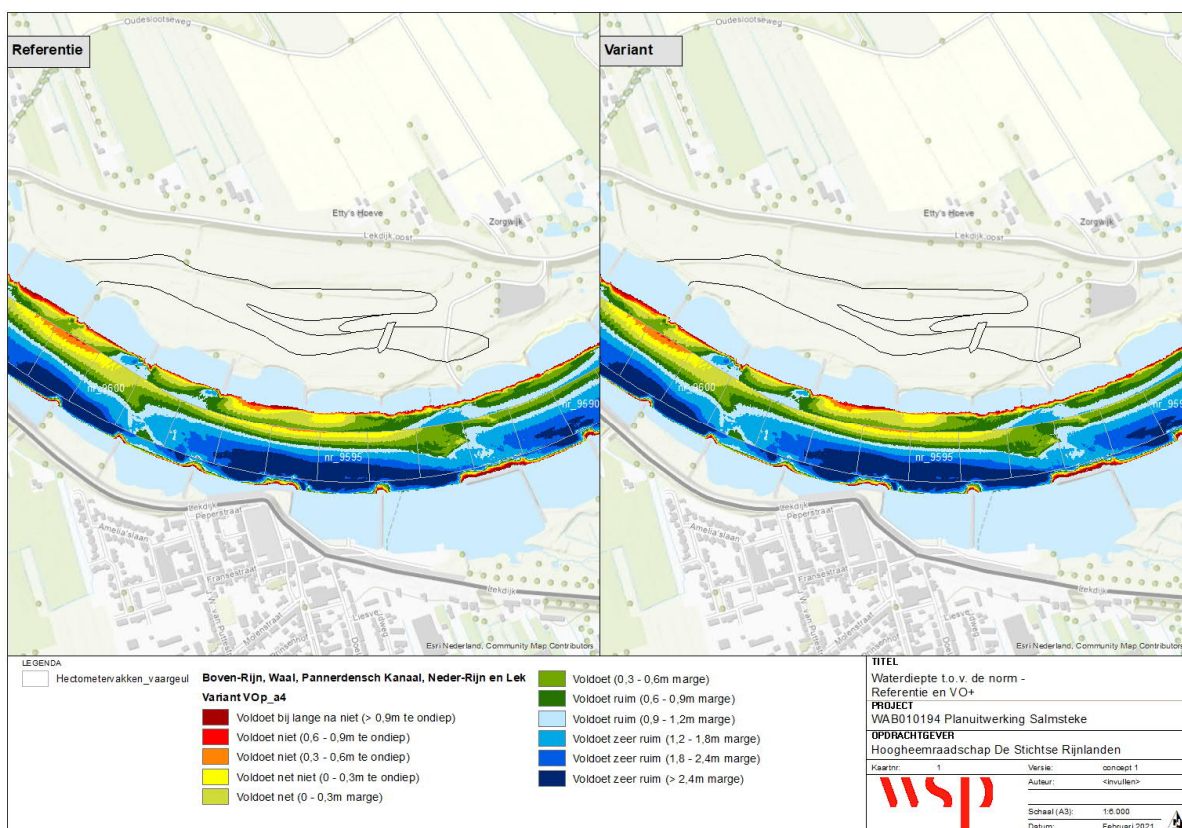
<sup>5</sup> Het gaat hierbij om een evenwichtssituatie, waarbij het tijdsverloop in de ontwikkeling van effecten niet wordt beschouwd. Een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s waarmee wordt gerekend heeft een voorkomenskans van eens in de 5,4 jaar.

- Erosie ontstaat bij de instroom van de zwemplas aan de oostzijde van de geul. Figuur 103 in bijlage C.3 toont ook dat hier de stroomsnelheid toeneemt doordat de kade is verlaagd t.o.v. de referentie om jaarlijks enkele dagen meestromen van de geul te bevorderen. Door het meestromen wordt verlanding van de geul voorkomen. De toename in stroomsnelheid veroorzaakt de erosie.
- Het grootste deel van de aanzanding ontstaat in de buitenbocht, ter hoogte van rkm 962,1. Meer water stroomt door de uiterwaard dan in de referentie en daardoor treedt verlagening van de stroomsnelheid op. Zoals te zien in Figuur 103 (bijlage C.3) is bij de instroom het stroomsnelheidsverschil gelijk in het midden van de vaargeul tot aan de buitenzijde van de bocht. In de ondiepere buitenbocht is de stroomsnelheid lager dan op de as van de rivier en is het effect van het stroomsnelheidsverschil op sedimentatie groter. Hierdoor vindt meer aanzanding plaats aan de buitenzijde van de bocht dan in het midden van de vaargeul. Het hoogste punt van de aanzanding ligt rond rkm 962,1, in het zomerbed, maar buiten de vaargeul.
- Een deel van de aanzanding vindt ook ter hoogte van de geulmonding plaats. Hier stroomt een groot deel van de stroming door de uiterwaard terug richting het zomerbed, zoals te zien in Figuur 104 (bijlage C.3). Daardoor ontstaat waterstandsverhoging, met als gevolg een daling van de stroomsnelheid ten opzichte van de referentie en sedimentatie. De grootste aanzanding ligt in het zomerbed, maar buiten de vaargeul.



Figuur 17: Jaargemiddeld morfologisch effect [cm] VO+ in evenwichtssituatie in het zomerbed bij 8.000 m<sup>3</sup>/s, vanaf een effect van 0,5 cm

Figuur 18 toont in de referentiesituatie en het VO+ de waterdiepte t.o.v. de norm, en de beoordeling aan de norm hiervoor [14]. In de referentie is de waterdiepte t.o.v. de norm onvoldoende net bovenstrooms van de geulmonding, ter hoogte van rkm 962,7 en in de binnenbocht net benedenstrooms van de instroom van de geul, ter hoogte van rkm 962,2. Op deze locaties heeft de sedimentatie effect op de doorvaart en het benodigde baggervolume. Echter is tussen de twee figuren niet direct een verschil van de beoordeling te zien.



Figuur 18: Waterdiepte t.o.v. de norm [14] en de beoordeling met bijbehorende marges in waterdiepte voor de referentie en VO+

De jaargemiddelde morfologische effecten per hectometervak worden in Tabel 5, op pagina 39, gepresenteerd voor het VO+<sup>6</sup>. Hieronder is de tabel samengevat:

- In het gebied tussen rkm 961,2 - 964,1 ontstaat 1.354 m<sup>3</sup> aan sedimentatie en 107 m<sup>3</sup> aan erosie bij het VO+. Dit is respectievelijk 19 m<sup>3</sup> en 1 m<sup>3</sup> minder dan bij het VO.
- Het effect op de maximale bodemhoogte t.o.v. norm is maximaal 2,3 cm, op rkm 962,0 en 962,1. Uit Figuur 17 blijkt dat dit in de buitenbocht gelegen is en uit Figuur 18 volgt dat op deze locatie de waterdiepte ruim voldoet voor de referentie. Uit de waterdieptekaart voor het VO+ volgt niet dat de beoordeling van de waterdiepte aan de norm verandert op deze locatie.
- Het extra volume boven de norm<sup>7</sup> bedraagt 69 m<sup>3</sup>, over één kilometer verspreid tussen rkm 962-963. Dit is 1 m<sup>3</sup> minder dan bij het VO.

<sup>6</sup> De tabel is ook opgenomen in Bijlage D, bij de informatie van de morfologische analyse en optimalisaties

<sup>7</sup> OLW-3,5 m

- D. Het baggervolume effect incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de norm te voldoen is 151 m<sup>3</sup>.
- E. Het effect op de gemiddelde bodemhoogte is maximaal 1,1 cm, bij rkm 962,3. Het gemiddelde bodemhoogteverschil over het traject met sedimentatie is 0,7 cm. Het baggervolume effect in de kielspeling dat verwijderd moet worden voor vlotte en veilige scheepvaart bedraagt 513 m<sup>3</sup>.



Tabel 5: Morfologische effecten per hectometer voor het Voorlopig Ontwerp Plus bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s, op basis van het jaargemiddelde evenwichtsbodemligging, de evenwichtssituatie (tijdsafhankelijk)<sup>8</sup>

		A1	A2	B3	B4	C5	C6	D7	D8	E9	E10	F11	F12
Rivierkilometer	Hectometerveek	Totale erosie en sedimentatie		Bodemhoogte t.o.v. de norm		Het volume dat niet voldoet aan de norm		Baggervolume incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de norm te voldoen		Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. de norm (c.q. beschikbare kielspeeling voor faciliteren van vlotte vaart)		Baggervolume in de kielspeeling dat verwijderd zou moeten worden voor vlotte en veilige scheepvaart	
		Sedimentatie [m <sup>3</sup> ]	Erosie [m <sup>3</sup> ]	Maximum bodemhoogte tov de norm [cm]	Maximaal effect [cm]	Volume boven de norm [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm [m <sup>3</sup> ]	Volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Effect op gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Volume boven de norm min kielspeeling [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm min kielspeeling [m <sup>3</sup> ]
961.2	nr_9585	0	0	-70	0,1	35	0	145	0	132	-0,14	6201	0
961.3	nr_9586	4	0	-41	0,2	38	0	101	0	124	-0,11	5291	1
961.4	nr_9587	13	0	-33	0,3	48	0	289	0	146	-0,03	5084	5
961.5	nr_9588	16	0	23	0,3	0	0	1	0	163	0,01	3784	6
961.6	nr_9589	11	-1	17	0,3	0	0	3	0	181	-0,04	2514	1
961.7	nr_9590	10	-4	27	0,5	0	0	0	0	179	-0,08	1974	-3
961.8	nr_9591	21	-4	17	0,9	0	0	13	0	227	0,02	2304	-4
961.9	nr_9592	66	0	0	1,8	0	0	23	0	138	0,41	2932	31
962	nr_9593	99	0	15	2,3	0	0	18	2	128	0,82	5001	54
962.1	nr_9594	116	0	-30	2,3	74	3	453	9	169	1,02	4377	34
962.2	nr_9595	123	0	-44	2,1	181	5	831	10	191	1,06	4087	31
962.3	nr_9596	129	0	-47	1,9	262	8	729	14	206	1,11	4084	37
962.4	nr_9597	125	0	-40	1,8	135	6	488	12	201	1,08	3414	35
962.5	nr_9598	115	0	-26	1,4	17	1	145	6	158	0,98	2810	47
962.6	nr_9599	117	0	-15	1,2	8	1	179	10	116	0,92	5335	97
962.7	nr_9600	121	0	-40	1,3	65	7	738	31	134	0,91	6732	71
962.8	nr_9601	113	0	-74	1,2	810	24	1774	34	159	0,82	7619	61
962.9	nr_9602	68	0	-51	1	334	13	1025	21	153	0,48	5916	40
963	nr_9603	14	-7	-5	0,7	0	0	59	2	198	-0,07	2545	10
963.1	nr_9604	5	-22	88	0,6	0	0	0	0	196	-0,30	425	1
963.2	nr_9605	12	-19	61	0,9	0	0	0	0	207	-0,21	474	-9
963.3	nr_9606	14	-13	28	1	0	0	0	0	230	-0,12	1442	-9
963.4	nr_9607	13	-9	15	0,6	0	0	10	0	219	-0,10	1898	-6
963.5	nr_9608	10	-8	5	0,4	0	0	34	0	211	-0,11	2155	-6
963.6	nr_9609	10	-7	-6	0,5	0	0	91	0	281	-0,12	2355	-5
963.7	nr_9610	7	-5	-31	0,3	1	0	59	0	238	-0,12	2345	-3
963.8	nr_9611	4	-4	10	0,2	0	0	22	0	218	-0,14	1906	-3
963.9	nr_9612	3	-3	17	0,1	0	0	6	0	188	-0,13	1705	-2
964	nr_9613	2	0	-30	0,1	61	0	339	0	176	-0,12	3859	0
964.1	nr_9614	1	0	-41	0,1	180	0	593	0	196	-0,13	4010	0
<b>Totaal</b>		<b>1354</b>	<b>-106</b>			<b>2246</b>	<b>69</b>	<b>7963</b>	<b>151</b>			<b>104619</b>	<b>513</b>

<sup>8</sup> Maximum bodemhoogte t.o.v. de norm [cm]: negatief is bodemhoogte boven de norm, positief is onder de norm.

## Aanzandingslengte

Met de aanzandingslengte uit WAQMorf kan worden geschat hoeveel volume jaarlijks moet worden verwijderd op locaties die niet voldoen aan de norm. De aanzandingslengte is onderdeel van het veroorzakersbeginsel dat alleen hoeft te worden toegepast indien de morfologische effecten als niet voldoende worden beoordeeld en moeten worden gecompenseerd door te baggeren. Voor het project Salmsteke is gekeken wat het gevolg daarvan zou zijn, m.a.w. hoeveel zou jaarlijks gebaggerd moeten worden.

Het volume van de geschatte bodemverandering dat jaarlijks in de vaargeul verwijderd zou moeten worden, als vanwege criteria lokaal geen ruimte is voor aanzanding, moet worden bepaald met de aanzandingslengte uit WAQMorf. De aanzandingslengte is 28 m, en moet worden toegepast vanaf de bovenstroomse rand van het bodemeffect<sup>9</sup>. Dit wordt voor twee gebieden bepaald, zoals aangegeven in Figuur 19:

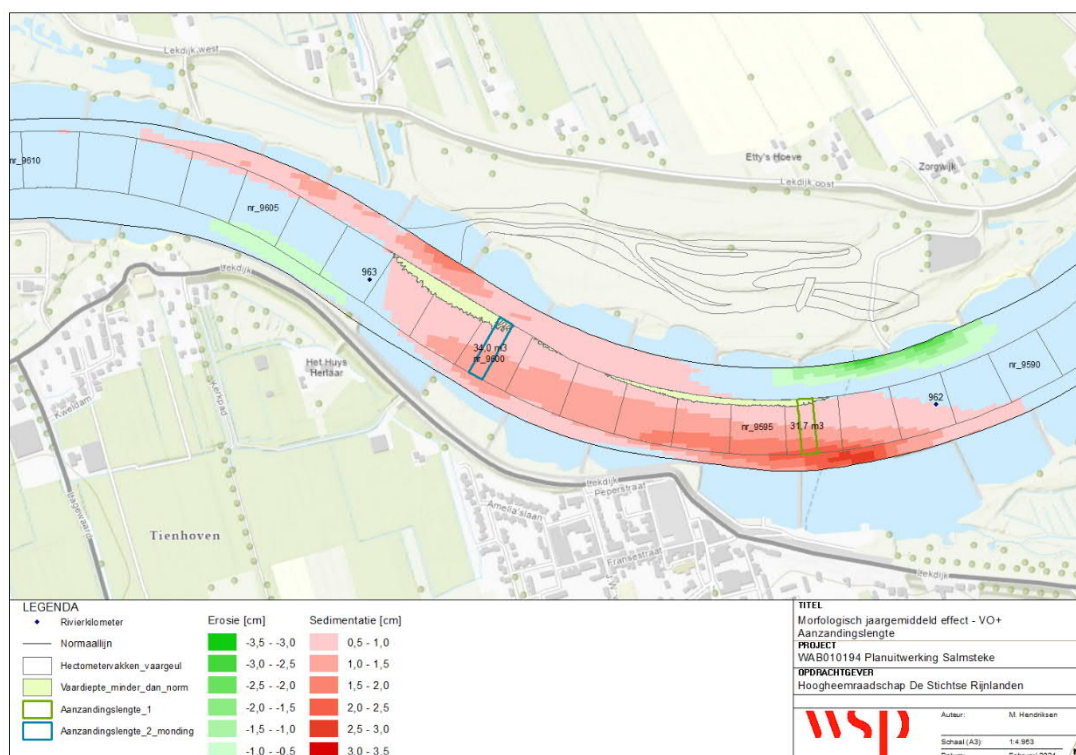
- Het meest bovenstroomse gebied waar de vaardiepte minder is dan de norm en het effect significant ( $> 0,5$  cm) is. Dit gebied bevindt zich na de instroom in de buitenbocht, ter hoogte van rkm 962,2.
- Het tweede gebied bevindt zich in de binnenbocht nabij de geulmonding, ter hoogte van rkm 962,7. Bovenstrooms van het begin van het effect, waar de vaardiepte minder is dan de norm wordt de aanzandingslengte toegepast.

Het jaarlijks te verwijderen volume is bepaald en opgenomen in Tabel 6. Het aanzandingsvolume op de bovenstroomse rand na de instroom bedraagt  $31 \text{ m}^3$  en bij de geulmonding  $34 \text{ m}^3$ . In dit volume is ook de aanzanding meegenomen waar wel ruimte is voor aanzanding. Zoals in het figuur te zien is maar 10-20% van de vaargeul “vaardiepte minder van de norm” en dat is het gebied waar het jaarlijks te verwijderen volume moet worden bepaald. Als wordt uitgegaan van 20% van het gebied dan is het volume na de instroom is  $6 \text{ m}^3$  en bij de monding  $7 \text{ m}^3$ .

Tabel 6: Jaarlijks te verwijderen volume op basis van aanzandingslengte voor het VO+ bij een afvoer van  $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , op basis van de jaargemiddelde evenwichtsbodem.

Morfologisch effect	MHW-opstuwing [mm]	Sedimentatie [m <sup>3</sup> ]	Sedimentatie bij minder dan de norm [m <sup>3</sup> ]
1. Na de instroom	6,0	32	6
2. Geulmonding	6,0	34	7

<sup>9</sup> Conform het RBK [1], bijlage 8, pagina 89, toepassing-punt 4.



Figuur 19: Aanzandingslengte over 28 m (WAQMorf output), volumebepaling van geschatte bodemverandering dat jaarlijks in de vaargeul verwijderd zou moeten worden, als vanwege criteria lokaal geen ruimte is voor aanzanding; net na de instroom (1 - groen) en voor de geulmonding (2 - blauw)

### 3.3.2. Morfologie in het winterbed

De aanleg van de KRW-getijdgeul in de Salmsteke Uiterwaard is een ingreep in het winterbed van de rivier. Door de ingreep wordt verwacht dat morfologische effecten optreden in de uiterwaard. Door de eenzijdige aantakking met de rivier heeft getij, scheepvaart en rivierafvoer hierop invloed. Het is wenselijk om een indicatie te geven van de morfologische ontwikkelingen van de geul onder invloed deze aspecten. Het geulontwerp dient te voldoen aan de beoogde KRW-doelen en aan het RBK. Daarnaast moet de beheerinspanning acceptabel zijn, ook in relatie tot andere functies in het ontwerp (recreatie en terrestrische natuur).

Met diverse morfologische experts is gesproken over de geulmorfologie van vergelijkbare geulen en over het ontwerp en beheer van de KRW-geul bij Salmsteke. De kennis en ervaring die in deze gesprekken is gedeeld, alsmede de informatie over nabijgelegen geulen, is verwerkt in de morfologische analyse voor het winterbed en opgenomen in Bijlage A. Een beknopte samenvatting van de analyse voor het ontwerp en de beoordeling is hieronder beschreven. Daarnaast wordt toegelicht welke optimalisaties in het ontwerp zijn toegepast om morfologische effecten (waar nodig) te beperken.

Verwacht wordt dat erosie van de geul optreedt na het optreden van afvoeren waarbij de geul meestroomt met de rivier (zie paragraaf 2.3). Deze erosie veroorzaakt geen kortsluiting met de rivier door voldoende afstand tussen de geul en de zomerkade in het ontwerp. Zowel bij de

instroomkade tussen de zwemplas en rivier, als tussen de zuidelijke tak en de rivier wordt minimaal voldaan aan de vastgestelde erosielimietlijn (15 meter). Daarnaast zijn in het ontwerp op de meest erosiegevoelige plaatsen erosiebeperkende maatregelen opgenomen (zie volgende pagina: optimalisaties). Ook wordt verwacht dat eventuele schade die bij hogere afvoeren ontstaat beheermatig kan worden hersteld voordat de volgende hoogwaterafvoergolf plaatsvindt.

De kritieke stroomsnelheid voor zandtransport is in bijlage A.4 afgeleid en bedraagt ca. 0,3 m/s. De stroomsnelheden door scheepvaart benaderen of overschrijden op alle locaties in de geul deze kritieke stroomsnelheid, zie ook bijlage A.5. De stroomsnelheden door getij zijn in dezelfde orde grootte als de stroomsnelheden door scheepvaart. De analyse hiervan is opgenomen in bijlage A.6.

De verwachting is dat de erosiesnelheid van het ontwerp, zonder mitigerende maatregelen voor erosie (zie volgende pagina: optimalisaties) gelijk is aan de erosiesnelheid van 1 tot 2 meter per jaar in nabijgelegen uiterwaarden. De ondergrond in de Salmsteke Uiterwaard laat toe dat natuurlijke oeverbescherming een optie is.

De geometrie van de geul beïnvloedt de stroomsnelheid door de geul. Uit de analyse van stroomsnelheden (bijlage A.4) blijkt dat de snelheden nabij de geulmonding groter zijn dan aan het uiteinde. De kans op erosie is dan ook groter in het eerste deel van de geul en de verwachting is dat sedimentatie vooral optreedt verderop in de geul. Op basis van de berekende stroomsnelheden van het VKA-ontwerp in de verkenningsfase en de expertinschattingen, worden morfologische veranderingen verwacht waarbij de oevers eroderen en het sediment verspreid over de geul. Hierdoor ontstaat een brede ondiepe geul. Dit proces is ook te zien in de praktijkvoorbeelden De Horde en De Pontwaard.

De morfologische ontwikkelingen in de geul zijn op verschillende manieren (deels) te beheersen of te beperken, voor zover wenselijk vanuit KRW-doeleinden. Hiervoor is het ontwerp geoptimaliseerd tot het VO+, zoals toegelicht in paragraaf 2.4.2. Van de optimalisaties die specifiek bijdragen aan beheersbare of beperkte morfologische ontwikkeling in het winterbed wordt hieronder toegelicht op welke manier het daaraan bijdraagt.

## Ontwerptimalisaties

- **Geulmonding:**

De morfologische ontwikkelingen in de geul kunnen onder andere worden beïnvloed door de stroomsnelheden en scheepsgolven bij de geulmonding te reduceren. Het ontwerp van de getijdegeul is hiervoor geoptimaliseerd door de oevers bij de geulmonding te stabiliseren met harde oeverbescherming en door het reduceren van stroomsnelheden en golfimpact met een constructie in de geulmonding. Het gaat hierbij om meerdere palenrijen met wiepen en takken die weer uitgroeien, en waar bovenop begroeiing mogelijk is. Figuur 5 op pagina 12 toont het ontwerp, overgenomen vanuit het VO in het VO+.

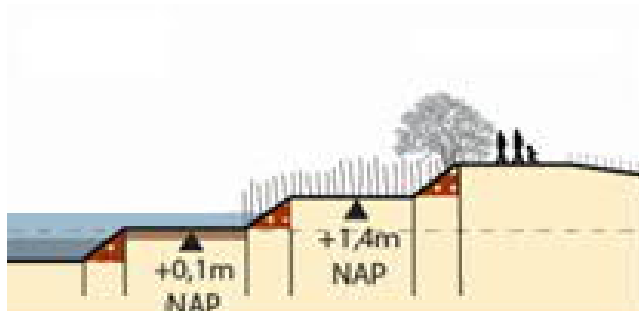
- **Oevers:**

Het talud van de zandige oevers van de geul varieert tussen 1:2,5 tot meer dan 1:10. De steile oevers uit het VKA-ontwerp zijn naar verwachting morfologisch niet stabiel. Toepassing van vegetatie op de oevers kan de stabiliteit vergroten. Oevervegetatie, en ook rivierhout zijn tevens een belangrijke aanvulling van de habitat. Vegetatie op de oevers heeft echter tijd nodig om te groeien en de oever te verstevigen. Als hoogwater te snel optreedt, of de impact van scheepvaart te snel de oevers beschadigd, biedt vegetatie geen sterkte aan de oevers. Om de jonge vegetatie te beschermen kunnen oevers tijdelijk worden afgeschermd met wiepen of drijvende objecten zodat vegetatie kans krijgt om te ontwikkelen.

Steile taluds in het ontwerp komen voornamelijk voor op de locatie van bochten in het ontwerp. Op deze locaties is de ruimte tevens beperkt, zie ook Figuur 3 voor de ontwerp-tekening. Daarnaast is de oever nabij de geulmonding onderhevig aan erosie door scheepsgolven. Het risico bestaat dat de bochten na verloop van tijd steeds verder eroderen en dat de meander die in het VKA-ontwerp is opgenomen vergroot. Daarmee verschuift mogelijk ook de zuidelijke bocht richting de zomerkade en dat is niet wenselijk in verband met het risico op kortsluiting. Het proces van het steeds verder 'uitbochten' is zichtbaar in de nabijgelegen uiterwaard "De Horde".

Om dit te voorkomen zijn de oevers in het VO+ versterkt met een natuurlijke trapoever. Het ontwerp is weergegeven in Figuur 20 en wordt verder toegelicht in bijlage A.7. Door een trapoever behoudt de geul een natuurlijke uitstraling, wordt de KRW-waarde verhoogd en de erosiegevoeligheid van de oevers verlaagd ten opzichte van een zandige oever. Een trapoever bestaat uit twee terrassen van enkele meters breed. De terrassen zijn gescheiden door een constructie van bomen/hout. Dit ontwerp is behouden uit het VO.





*Figuur 20: Voorbeeld ontwerp trapoever*

- **Beheer:**

Een erosielimietlijn van 15 m t.o.v. het ontwerp is opgenomen in het ontwerpbesluit, voor het beheer van gebiedseigendom en het garanderen van de dijkveiligheid. Het is een middel om erosie te monitoren en kan tevens als beheerinstrument worden gebruikt.

De verwachting is dat de erosiesnelheid van het geoptimaliseerde ontwerp in de Salmsteke Uiterwaard lager is dan 1 tot 2 meter per jaar, zoals in de getijdegeulen van nabijgelegen uiterwaarden. De lagere erosiesnelheid ontstaat door het aanbrengen van een constructie in de geulmonding en versterking van de oevers (zie bovenstaand), waardoor de stroomsnelheid in de geul wordt verlaagd.

Op basis van de resultaten uit de analyse naar de morfologische ontwikkelingen in de getijdegeul bij de Salmsteke Uiterwaard, wordt gesteld dat in het geoptimaliseerde ontwerp voor het VO de morfologische ontwikkelingen in de geul beperkt en beheersbaar zijn.

De optimalisaties in het Voorlopig Ontwerp zijn hierbij het aanbrengen van een constructie in de geulmonding en versteviging van de oevers op zwakke plekken door toepassing van getrapte oevers. Het ontwerp is daarnaast geoptimaliseerd met behoud van de ruimte voor natuurlijke ontwikkelingen in de geul en toegevoegde KRW-waarde van de geul. De optimalisaties uit het VO zijn behouden en overgenomen in het VO+.

## 4. Beoordeling RBK

### 4.1 Beoordeling Voorlopig Ontwerp

Het VO+ voor Salmsteke Uiterwaard is een compromis tussen KRW-doelen, waterstandsdeling, minimalisatie van de opstuwingspiek en beperking van de morfologische effecten die optreden. Het ontwerp is meerdere malen geoptimaliseerd op basis van meerdere fases met analyses naar zowel effecten op waterstand, dwarsstroming als morfologie. Dit proces is toegelicht in paragraaf 1.3. De verschillende maatregelen, optimalisaties en mitigerende-/compenserende maatregelen, en rivierkundige effecten zijn opgenomen in Bijlage B. Aangezien dit de basis is van het VO+ is een samenvatting hiervan opgenomen in paragraaf 2.4.2.

Bevoegd gezag heeft mei 2021 aangegeven drie mogelijke mitigerende-/compenserende maatregelen te zien:

- Instroomkade naar oorspronkelijk hoogte van NAP+3,0 m (zie bijlage E.1)
  - o Deze variant is uitgewerkt in bijlage B.7.iii. Door verhoging van de kade gaat de geul minder vaak meestromen met de rivier. Dit heeft weliswaar een beperkt gunstig op de waterstandspiek en dwarsstroming, maar resulteert ook in minder waterstanddaling en een lagere meestroomfrequentie van de geul. Deze verhoging van de kade heeft geen effect op de morfologie bij de beschouwde afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s, maar moet dan met een hoger afvoerblok worden beschouwd. Daarnaast werkt regelmatige inundatie positief voor natuurontwikkeling. In de KRW-toets is de meestroomfrequentie tevens meegenomen in de beoordeling van de KRW-doelen. Indien deze wijzigt dan zal ook de haalbaarheid van de KRW-doelen opnieuw moeten worden onderzocht.
- Aanpassingen aan de ruwheid in de binnenbocht (meer stroomsnelheid in ondiepe binnenbocht)
  - o Het VO+ is o.a. geoptimaliseerd voor vegetatie-ontwikkeling in de uiterwaard, zie ook bijlage B.7 en B.9. Een uiterwaard met veel ruwe vegetatie draagt bij aan een kleiner baggervolume, maar leidt ook tot een hogere piek en minder waterstandsdeling bij de hoogwaterreferentie. Bij een gladde uiterwaard stroomt meer water door de uiterwaard bij hoogwater, wat een grotere waterstandsdeling oplevert bij de hoogwaterreferentie en een toename van de piek. De morfologische effecten zijn evenredig.
  - o Het struweel tussen de rivier en bocht in de zuidelijke tak van de getijdegeul (zie Figuur 9, paragraaf 2.4.1) zorgt voor minder onttrekking en een betere verdeling van de uitstroom van het water in het zomerbed. De verwachting is dat de ruwheid in de binnenbocht dezelfde invloed heeft. Het weghalen zal dan leiden tot een kleine toename van het morfologische effect door meer onttrekking van water uit het zomerbed.
- Verondieping van de diepe buitenbocht in het zomerbed waardoor de stroming in de ondiepe binnenbocht toeneemt en de aanzanding reduceert
  - o Dit is een ingrijpende aanpassing buiten het projectgebied waarvan de invloed eerst goed onderzocht moet worden. Deze aanpassing van het zomerbed past niet binnen het project maar kan wellicht wel een oplossing bieden voor dit al bestaande scheepvaartknelpunt.

De aanpassing aan de instroomkade en de ruwheid in de uiterwaard zijn uitgewerkt, maar hebben geen significante effecten of hebben zelfs negatieve effecten in relatie tot de KRW-doelen van het project. De mitigerende variant met het verlagen van de twee westelijke kades heeft een klein positief effect voor het waterstandseffect en dwarsstroming t.o.v. het VO+, maar is negatief voor morfologie. Daarnaast leidt het tot een extra opgave voor het benedenstroomse dijktraject aangezien meer water door de Salmsteke uiterwaard, en de benedenstroomse uiterwaard gaat stromen. De effecten zijn klein in relatie tot het effect dat de aanpassing van het VO+ voor de variant heeft.

We zien dan ook geen aanvullende optimalisaties of mitigaties meer binnen het ontwerp die significant kunnen bijdragen om de rivierkundige effecten op al deze vlakken te verbeteren. Het ontwerp van het VO+ biedt ons inziens een compromis tussen KRW-doelen, rivierkundige effecten op hoogwater, scheepvaart en morfologie en landschappelijke kwaliteit.

In Tabel 7 zijn de effecten toegelicht en de conclusies met betrekking tot de rivierkundige beoordelingscriteria gegeven. De onderbouwing voor de beoordeling is in hoofdstuk 3 uitgewerkt. Het is aan bevoegd gezag om te beslissen of de effecten toelaatbaar zijn.

Tabel 7: Conclusies VO+ met betrekking tot het rivierkundig beoordelingscriteria uit paragraaf 2.2

	Te beoordelen effect	Effect	Paragraaf	Oordeel
Hoogwaterveiligheid	Maatregel in stroomvoerend deel rivier: Hoogwaterreferentie op de as van de rivier	Waterstandsverhoging van 6,0 mm. Verschillende optimalisaties zijn beschouwd (zie Bijlage B) en toegepast in het ontwerp om zowel de opstuwingspiek als andere effecten rondom dwarsstroming en morfologie te verkleinen. Hieruit is het VO+ ontstaan.  Conform het RBK is een waterstandsverhoging te rechtvaardigen indien een waterstandsvaling optreedt over een traject dat vele malen langer is dan de waterstandsverhoging (zaagtand-methode). Dat is hier het geval. Het oppervlak van de waterstandsvaling is meer dan 10 keer groter dan het oppervlak van de waterstandsverhoging.	3.1.1	Zaagtand is van toepassing. Ter beoordeling bevoegd gezag.
	Maatregel in bergend deel rivier: volume waterberging	De maatregel betreft de aanleg van een getijdegeul en heeft geen negatieve effecten op het bergend volume.	3.1.2	Voldoet
	Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier	Het effect buiten de as van de rivier is bovenstrooms van de uiterwaard verlagend. In de uiterwaard is het voornamelijk verhogend. Langs de dijk is de verhoging circa 0,9 cm over 500 meter.	3.1.3	Overleg met kering beheerder
	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselkop) bij maatgevende Boven-Rijn afvoer	De maatregel heeft geen invloed op de afvoerverdeling in het splitsingspuntengebied.	3.1.4	Voldoet

	Afvoerverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop bij hoge Boven-Rijn afvoer	De maatregel heeft geen invloed op de afvoerverdeling in het splitsingspuntengebied.	3.1.4	Voldoet
	Ijsafvoer	In het ontwerp wordt een nevengeul aangelegd, maar deze is eenzijdig aangetakt en de Lek staat op deze locatie onder invloed van getij. Hierdoor is ijsvorming niet waarschijnlijk.	3.1.5	Voldoet
Hinder – Schade door hydraulische effecten	Inundatiefrequentie van de uiterwaard	De verandering van de inundatiefrequentie is voornamelijk in het zuidelijke deel van de uiterwaard, rond de getijdegeul. Door de aanleg van de geul krijgt het gebied natuurwaarde en daarmee heeft verandering van de inundatiefrequentie geen directe gevolgen voor de gebruiker van de grond. Daarnaast is het jaarlijks enkele dagen meestromen van de geul gewenst voor uitspoeling van slib in de geul.	3.2.1	Voldoet
	Stroombeeld in de uiterwaard	In het noordelijk deel van de uiterwaard neemt de stroomsnelheid bij alle afvoeren af ten opzichte van de referentiesituatie. De stroomsnelheid in het zuidelijke deel van de uiterwaard, in de getijdegeul neemt overal toe.  De stroomsnelheden bij een afvoer van 16.000 m <sup>3</sup> /s en 10.000 m <sup>3</sup> /s zijn voornamelijk in de diepe delen van de geul tussen de 0,6 en 0,9 m/s. Hierbij kan erosie ontstaan, maar verwacht wordt dat dit tijdig kan worden hersteld in relatie tot de voorkomingsfrequentie van deze afvoer.  De stroomsnelheid in de geul bij 6.000 en 8.000 m <sup>3</sup> /s is voornamelijk lager dan 0,3 m/s, waardoor erosie beperkt optreedt. Alleen bij 8.000 m <sup>3</sup> /s is de stroomsnelheid in de geulmonding en achter de getrapte dam bij de zwemplas iets hoger. Om de morfologische effecten te beperken is daarom is bij de monding is oeverbescherming en bij de dam bodembescherming aangebracht.	3.2.2	Voldoet
	Stroombeeld in de vaarweg	Voldoet voor 6.000 en 8.000 m <sup>3</sup> /s. Voor 10.000 m <sup>3</sup> /s ontstaat bij de instroom, rond rkm 961,7 en 963 een dwarsstroming van 0,16 m/s, net iets hoger dan de toegestane 0,15 m/s.	3.2.3	Voldoet voor 6.000 en 8.000 m <sup>3</sup> /s. Voldoet nagenoeg voor 10.000 m <sup>3</sup> /s. Ter beoordeling bevoegd gezag.
	Afvoerverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop) bij maatgevende Boven-Rijn afvoer	De maatregel heeft geen invloed op de afvoerverdeling in het splitsingspuntengebied.	3.2.4	Voldoet
	Afvoerverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop bij hoge Boven-Rijn afvoer	De maatregel heeft geen invloed op de afvoerverdeling in het splitsingspuntengebied.	3.2.4	Voldoet

	Onttrekking water uit zomerbed Rijntakken	De maatregel heeft geen invloed op de waterdiepte bij lage en mediane afvoer.	3.2.5	Voldoet
Morfologische effecten	Sedimentatie en erosie van het zomerbed (+ oevers)	<p>Bij de jaargemiddelde evenwichtsbodem voor een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith is de sedimentatie 1.345 m<sup>3</sup> en de erosie 107 m<sup>3</sup>.</p> <p>De maximale bodemverhoging 2,3 cm, op een locatie waar de waterdiepte ruim voldoet.</p> <p>Het volume effect in de vaargeul dat niet voldoet aan de norm is 69 m<sup>3</sup>, over één kilometer verspreid tussen rkm 962-963.</p> <p>Het baggervolume effect incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de norm te voldoen is 151 m<sup>3</sup>.</p> <p>Het effect op de gemiddelde bodemhoogte is maximaal 1,1 cm en gemiddeld over het traject met sedimentatie is het 0,7 cm.</p> <p>Het baggervolume effect in de kielspeling dat verwijderd moet worden voor vlotte en veilige scheepvaart is 513 m<sup>3</sup>.</p> <p>Het jaarlijks te verwijderen volume is bepaald over een aanzandingslengte van 28 m op twee locaties. Het volume na de instroom is 6 m<sup>3</sup> en bij de monding 7 m<sup>3</sup>.</p>	3.3.1	Geen kwantitatieve normen vastgesteld in RBK. Ter beoordeling bevoegd gezag.
	Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeulen	<p>De morfologische ontwikkelingen in de geul van het geoptimaliseerde ontwerp (VO) zijn beperkt en beheersbaar.</p> <p>Het ontwerp is op dit aspect geoptimaliseerd door de constructie in de geulmonding en de versteviging van de oevers op zwakke plekken door toepassing van trapoevers.</p>	3.3.2	Voldoet



## Referenties

- [1] Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren, versie 5.0, Rijkswaterstaat WVL, 4 juni 2019
- [2] WAB005593-D-040-v2-Notitie waterstanden, Gebiedsontwikkeling Uiterwaard Salmsteke, Lievense, 10 april 2019
- [3] WAB005593-D-012-v2-Notitie rivierkundige beoordeling, LievenseCSO, 16 november 2018
- [4] WAB010194-D-004-Technisch Rapport Uiterwaard Salmsteke, Lievense|WSP, mei 2020
- [5] Beheer- en onderhoudsplan Salmsteke, Lievense|WSP, 10 maart 2021
- [6] Ontwerpbesluit Pleisterplaats, WAB010194-D-045, Lievense|WSP, april 2020
- [7] Morfologie en herinrichting, HKV, TU Delft en WL Delft Hydraulics, augustus 2001
- [8] Watersysteemrapportage rijntakken 1990-2015, Rijkswaterstaat Oost-Nederland, 5 april 2017
- [9] Gebiedsontwikkeling Uiterwaard Salmsteke, nota voorkeursalternatief, Lievense-Strootman, april 2019
- [10] Verkenning mogelijkheden stabiliseren N2000-areaal & verhoging KRW-uiteerwaarden bij de Horde, Rijkswaterstaat, mailconversatie A. Sieben d.d. 10 januari 2020
- [11] Grip op nevengeulen, Rijkswaterstaat GPO, 19 maart 2019
- [12] Handreiking sedimentbeheer nevengeulen, Rijkswaterstaat, 8 februari 2010
- [13] The Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering. CIRIA, CUR, CETMEF, juni 2007
- [14] Waterdiepte kaarten, Rijkswaterstaat ON, geraadpleegd op 27 maart 2020
- [15] Detailtoetsing A-keringen van de Nederrijn en Lekdijk ten behoeve van het project Centraal Holland – Uiterwaarde Lek Salmsteke Lopik, Inpijn-Blokpoel, december 2015
- [16] Onderzoeksrapport WAB003344, VLG-laboratorium i.o.v. LievenseCSO, 24 juli 2018
- [17] Voor initiatiefnemers en uitvoerders, Afwegingen bij het plaatsen van Rivierhout, Rijkswaterstaat, december 2016
- [18] Golf remmende constructie in de monding van de getijdengeul (Memo monding getijdengeul v2), Lievense | WSP, december 2019

## Bijlage A. Morfologie in het winterbed

### A.1. Uitgangspunten

Door de eenzijdige, benedenstroomse aantakking van de geul met de rivier is stroming in de geul altijd aanwezig. Het huidige ontwerp van de KRW-getijdegeul in de uiterwaard Salmsteke wordt beïnvloed door scheepvaart, getij en (hoogwater) rivierafvoeren. Deze factoren beïnvloeden de stroming, waterstand en het sedimenttransport in de geul.

Morfologische rekenmodellen voor nevengeulen zijn bijna niet beschikbaar, locatie-specifiek en bevatten daarnaast veel onzekerheden. Voor het zomerbed is WAQMorf beschikbaar, maar dit is niet toepasbaar voor morfologie in uiterwaarden. Voor de beoordeling van de morfologie in het winterbed is daarom gebruik gemaakt van hydraulische analyses, expert judgement en praktijkvoorbeelden uit nabijgelegen uiterwaarden waarin nevengeulen zijn gerealiseerd. Voor de nabijgelegen uiterwaarden is gekeken naar de ontwikkelingen van en onderzoeken naar “De Horde” en “Pontwaard”. De informatie hierover is opgenomen in bijlage A.2.

In de Handreiking Sedimentbeheer Nevengeulen [12] is aangegeven dat stroomsnelheden van 0,3 m/s vaak als ontwerpwaarde worden gehanteerd. Deze waarde is laag genoeg om zand op de bodem niet in beweging te brengen en hoog genoeg voor ecologische doeleinden.

- **Ondergrond:**

De Lek transporteert in dit deel van de rivier voornamelijk zand en slib. De verwachting is dat de dagelijkse stroming in de geul voornamelijk het slib vanuit de Lek naar binnen transporteert in de geul. Het slib sedimenteert op plekken in de geul waar stroming afneemt. Op plekken in de geul waar de stroming toeneemt, vindt mogelijk erosie van de oevers plaats. Ook ontstaat oevererosie door de golfimpact van voorbijvarende schepen.

De ondergrond van de uiterwaard is onderzocht. Deze informatie is opgenomen in bijlage A.3. Uit het bodemonderzoek blijkt dat op de locatie van de geul zand aanwezig is met een  $d_{70}$  van ca. 500  $\mu\text{m}$ . Dit loopt uiteen van 446  $\mu\text{m}$  tot 724  $\mu\text{m}$ , over het gehele oevertalud, waarbij het talud zich bevindt tussen NAP -1,5 m en NAP +2,0 m.

Fijn zand van 150  $\mu\text{m}$  spoelt naar verwachting uit bij gebruik van natuurlijke oeverbescherming in de vorm van wilgen of bomen. In de Salmsteke Uiterwaard is het zand echter grover, waardoor natuurlijke oeverbescherming hier wel een optie is.

Op basis van de expert inschattingen is naar verwachting een talud vanaf circa 1:10, maar liefst flauwer, stabiel voor een zandondergrond [10]. Tevens is een flauw talud gunstig voor ecologische ontwikkelingen. Echter zonder oeververdediging blijft het mogelijk dat beperkte erosie en sedimentatie plaatsvindt.

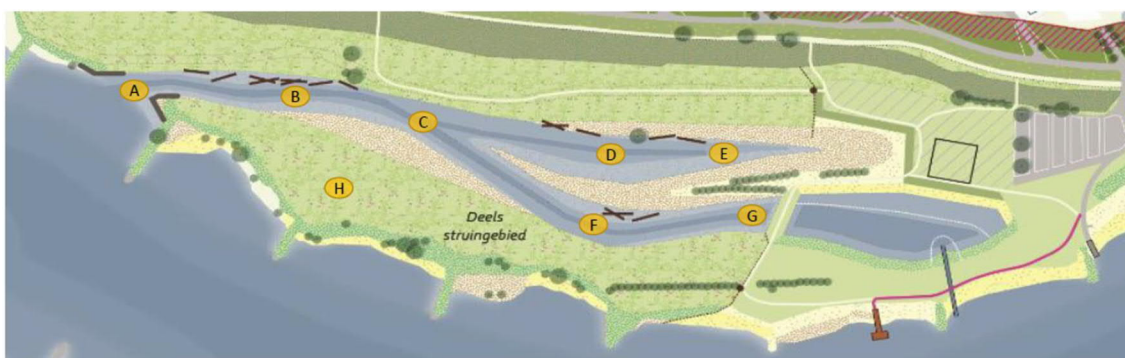
De aanname is dat de erosiesnelheid van het ontwerp gelijk is aan de erosiesnelheid van 1-2 meter per jaar in nabijgelegen uiterwaarden.

- **Stroomsnelheden door rivierafvoer:**

Bij afvoeren hoger dan 5.400 m<sup>3</sup>/s begint de geul en de uiterwaard met de rivier mee te stromen (par. 2.2). Voor het bepalen van morfologische effecten door hogere rivierafvoeren is uit WAQUA stroombeelden de stroomsnelheid bij verschillende afvoeren en op meerdere locaties in de geul bepaald. De methode is uitgewerkt in het Technisch Rapport [4], en is ook opgenomen in bijlage A.4. Hieronder zijn de belangrijkste conclusies toegelicht.

De locaties in de geul waar stroomsnelheden bepaald zijn, is weergegeven in Figuur 21. Bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s is de stroomsnelheid in de gehele geul lager dan 0,1 m/s. Dit is onder de kritieke stroomsnelheid voor zandtransport.

Bij afvoeren hoger dan 8.000 m<sup>3</sup>/s vindt de eerste erosie plaats op locatie G, stroomafwaarts van de drempel tussen zwemplas en geul. Bij afvoeren hoger dan 10.000 m<sup>3</sup>/s vindt op meerdere locaties erosie plaats, met name in het eerste gedeelte van de geulmonding (locaties A, B en C). In de MHW-situatie van 16.000 m<sup>3</sup>/s vindt in vrijwel de gehele geul erosie plaats.



Figuur 21: Locaties waarvoor de optredende stroomsnelheden bepaald zijn bij verschillende debieten<sup>10</sup>

- **Stroomsnelheden door scheepsbewegingen:**

De geul is dagelijks onderhevig aan scheepvaart. De stroomsnelheden in de geul veroorzaakt door scheepvaart zijn analytisch bepaald in Technisch Rapport Uiterwaard Salmsteke [4]. Een samenvatting hiervan is opgenomen in bijlage A.5. De stroomsnelheden zijn weergegeven met onder- en bovengrenswaarden. De meest conservatieve (ongunstige) inschatting van de bovengrenswaarde bedraagt 1,4 m/s in de gehele geul. De ondergrenswaarde varieert over de geul van 0,46 m/s bij de monding tot 0,21 m/s nabij het geuleinde (en tot 0 m/s bij de oever).

De stroomsnelheid door rivierafvoer is voor de afvoeren onder de 10.000 m<sup>3</sup>/s kleiner dan de stroomsnelheid door scheepvaart. Bij hogere afvoeren is de stroomsnelheid hoger. Echter hebben deze afvoeren een kleine voorkomenskans, terwijl scheepvaart dagelijks, met hogere frequentie aanwezig is.

<sup>10</sup> De stroomsnelheden zijn indicatief bepaald voor het VO-ontwerp en representatief voor het VO+. Een zelfde analyse is eerder uitgevoerd voor het VKA-ontwerp. Het figuur toont nog het ontwerp uit het VKA En is niet aangepast voor het VO+.

- **Stroomsnelheden door getij**

Voor het bepalen van de bovengrens van de stroming in de geul door het getij en het effect daarvan op morfologische ontwikkelingen is geanalyseerd hoe groot stroomsnelheden door getij worden. De stroming van het getij in de geul is het grootst bij vloed in combinatie met een lage rivierafvoer. Dit is gesimuleerd in een WAQUA-berekening. De uitwerking hiervan is opgenomen in bijlage A.6. Daarnaast is data uit 2018 geanalyseerd. De uitwerking en resultaten hiervan zijn eveneens opgenomen in deze bijlage.

Uit de WAQUA-berekening blijkt dat voor een afvoer van 600 m<sup>3</sup>/s en springvloed een maximale stroomsnelheid van 0,6 m/s op de as van de rivier kan voorkomen bij Salmsteke. De verwachting is echter dat dit (bijna) niet, en anders alleen over een zeer korte periode, voorkomt.

Uit de data van 2018, een zeer droog jaar in de zomer, is bepaald dat het effect van het getij (vloed) op de stroomsnelheid bij Salmsteke maximaal 0,5 m/s is in bovenstroomse richting. Gemiddeld is de stroomsnelheid door het getij in bovenstroomse richting 0,2 m/s.

Voor het bepalen van de invloed van het getij in de geul is het niet mogelijk om de stroomsnelheid uit het zomerbed één-op-één over te nemen. De weerstand van de bodem, de aanwezigheid van krib(vakken) en ondiepten in de geul verlagen de stroomsnelheid. Tabel 12 in bijlage A.6 geeft de stroomsnelheden in de geul weer.

De maximale stroomsnelheid die volgt uit de WAQUA-berekening voor het getij is in dezelfde ordegrrootte als de stroomsnelheid door scheepsbewegingen. Daarom is het uitgangspunt voor het ontwerpen en beoordelen op stroomsnelheid hetzelfde als de stroomsnelheid door scheepsbewegingen.

Het getijdenverschil zorgt dat erosieprocessen verticaal, maar ook horizontaal op een groot gedeelte van de oever invloed hebben. Daarnaast zorgt deze dagelijkse variatie in waterstand door het getij ervoor dat oevers twee keer per dag droogvallen en verzadigen. Een expertinschatting is dat hierdoor de oevers mogelijk meer verzadigd zijn en daardoor minder stabiliteit hebben dan bij een geul zonder getij. Het is onbekend welke invloed dit exact heeft op de erosiesnelheid.

## **A.2. Getijdegeulen in nabijgelegen uiterwaarden**

Voor het inzichtelijk maken van mogelijke morfologische activiteit in de ontworpen getijdegeul Salmsteke wordt gekeken naar getijdegeulen in nabijgelegen uiterwaarden. Voorbeelden zijn de Horde, ca. 5 kilometer stroomopwaarts vanaf Salmsteke en de Pontwaard bij Vianen, zie ook Figuur 22.

Bij beide uiterwaarden is zowel aanzanding van de geul als erosie van de oevers geconstateerd. Door de rivier de Lek wordt volgens experts niet zoveel zand getransporteerd als in de geulen is gesedimenteerd, en vrijwel zeker niet in de richting van de geul. Het zandtransport in de rivier vindt voornamelijk over de bodem plaatsvindt en de geulen hebben vaak toch een bepaalde drempelhoogte. De conclusie bij deze voorbeelden is dat het geërodeerde materiaal van de oevers van de geul zich voornamelijk herverdeelt over de geul en dat nauwelijks tot geen sedimentuitwisseling plaatsvindt tussen het zomer- en winterbed. De erosiesnelheid is circa 1-2 meter per jaar.





Figuur 22: Geulen in nabijgelegen uiterwaarden van de uiterwaard Salmsteke (meest westelijk op de kaart)

## De Horde

De Horde is een nevengeul in de Lek bovenstrooms van Salmsteke. De Horde is aangelegd eind jaren '80 en eenzijdig aangetakt. Deze geul ligt in het uiteinde van een buitenbocht. De uiterwaard tussen de geul en de rivier stroomt gemiddelde één maand per jaar mee en de uiterwaard tussen de geul en de dijk stroomt eens per 2 tot 5 jaar mee.

De erosie in de geul is duidelijk zichtbaar door de jaren heen. Dit blijkt ook uit Figuur 23. De geul was in het begin van de meting in 1996 (gele lijn) duidelijk rechter van vorm en is na verloop van tijd gaan meanderen. Uit een onderzoek naar de ontwikkelingen van de Horde [10] blijkt dat de erosie in de eerste 5 jaar (1999-2004, in een periode met veel stroming door de strang, sneller ging dan de 5 jaar daarna (2005-2010), in een periode met minder stroming door de strang. De erosie varieerde van 1 tot 5 meter per jaar, respectievelijk van 1 tot 2 meter per jaar.



Figuur 23: Opname de Horde, 2012 met indicatie oeverlijn 1996 en 2011 [10]

### **Pontwaard, te Vianen**

De pontwaard is tweezijdig aangetakt en direct benedenstrooms van Hagestein gelegen. De geul is in 2015 aangelegd.

Uit een onderzoek naar de Pontwaard [11] blijkt dat de geul erg is aangezand en dat afkalving van beide oevers plaatsvindt. Ook de duiker, aan het eind van de geul, is aangezand en niet meer watervoerend. De erosie wordt voornamelijk veroorzaakt door scheepvaart. Door de erosieproblemen is de stenen oeverbescherming op de zuidoever uitgebreid van de monding verder richting het oosten.

Uit een verschilkaart van de Pontwaard is te zien dat de oevers over 10 à 30 meter een verschil in bodemhoogte van meer dan één meter tonen in circa drie jaar tijd. Per jaar is hierdoor meer dan 3 meter van de oever aangetast. Drie jaar na de aanleg is geconstateerd dat de linkeroever al voorbij de erosielimietlijn ligt en beheer (oeverherstel) benodigd is. Het doorstroomoppervlak is echter niet aangetast.



*Figuur 24: De Pontwaard te Vianen*

### A.3. Ondergrond uiterwaard

Voor het project Salmsteke is bodemonderzoek uitgevoerd in de uiterwaard. Enkele handboringen [15] en grondmonsters [16] geven informatie over de samenstelling van de ondergrond in de uiterwaard.

Voor de morfologie in het winterbed is gekeken wat de d70-waarde van het zand ter plaatse van de geul is. Hiervoor is gebruikgemaakt van de data van twee handboringen waarvan de korrelverdeling is bepaald, b-05 en b-08, zie Figuur 26 voor de locatie. Ook is gebruikgemaakt van data van twee mechanische boringen met ieder twee monsters, 08 en 10, zie Figuur 25 voor de locatie. De d70-waarde per monster is opgenomen in Tabel 8 en Tabel 9.

Tabel 8: D70- en D50-waardes handboringen [15]

Handboringen		Bovenkant/onderkant zandlaag [m NAP]		d90 [mm]	d70 [mm]	d50 [mm]
b-05	mg-02/03	1,91	0,21	0,239	0,181	0,149
	mg-05/06	-0,69	-2,89	0,998	0,724	0,481
b-08	mg-02/06	2,12	-2,58	0,812	0,466	0,362

Tabel 9: D70-waarde grondmonsters [16]

Boorpunt	boordiepte	monster	d70 [mm]	d50 [mm]	NAP onderkant [m]
02	2,46	4D 1,50-2,00 m -mv	0,465	0,318	0,96
02	2,46	5D 2,00-2,50 m -mv	0,675	0,521	
02	2,46	6D 2,50-3,00 m -mv	0,59	0,436	-0,54
08	2,48	10D 3,00-3,50 m -mv	0,69	0,510	-0,52
08	2,48	11D 3,50-4,00 m -mv	0,446	0,306	-1,52
10	2,91	6D 2,00-2,50 m -mv	0,518	0,331	0,91
10	2,91	7D 2,50-3,00 m -mv	0,684	0,482	-0,09
11	2	7D 2,40-2,90 m -mv	0,526	0,378	-0,4
11	2	8D 2,90-3,40 m -mv	0,526	0,398	-1,4





Figuur 25: Boorplan Veldonderzoek dijkzone [16]



Figuur 26: Grondonderzoek Salmsteke - overzicht locaties [15]

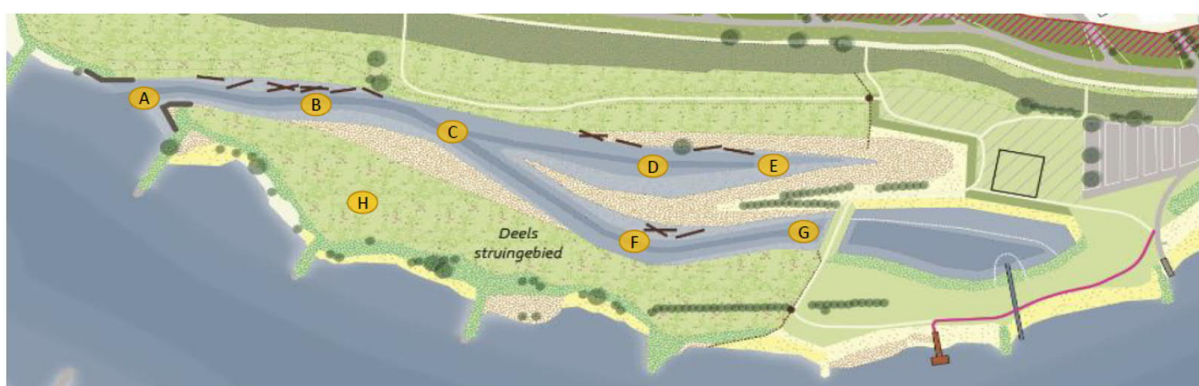


## A.4. Rivierafvoer

### i. Aanpak voor bepaling erosie ten gevolge van de afvoer

De aanpak voor het bepalen van de erosie ten gevolge van de afvoer gedreven stroming wordt in vier delen opgesplitst:

1. Het formuleren van de juiste formules;
2. Het selecteren van de relevante parameters;
3. Het berekenen van de kritieke stroomsnelheid voor de aanwezige grondsoorten;
4. Het doen van een uitspraak over de kans op erosie voor de locaties zoals aangegeven in Figuur 27.



Figuur 27: Locaties waarvoor de optredende stroomsnelheden bepaald zijn bij verschillende debieten.

Tabel 10: Vlakken per locatie waarvoor de stroomsnelheden berekend zijn met WAQUA.

Situering van locaties R, M en L waarvoor de stroomsnelheden bepaald zijn			
A	B	C	D
E	F	G	H

## ii. Onderdeel specifieke uitgangspunten voor bepaling erosie ten gevolge van de afvoer

### Grondonderzoek

Grondonderzoek van INPIJN-BLOKPOEL laat zien dat de ondergrond van de uiterwaard grotendeels bestaat uit grof zand waarbij lokaal een kleilaag aanwezig kan zijn welke al dan niet aan het oppervlak ligt.

### Formules

Onder constante stroming kan de kritische schuifspanning op een zandbed worden berekend met:

$$\tau_{cr} = \rho_w * g * \frac{U_{cr}^2}{C^2} = \text{kritische schuifspanning} \quad (\text{N/m}^2) \quad [\text{RM 5.107}]$$

Waarbij:

$$\rho_w = 1000 = \text{dichtheid water} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$g = 9,81 = \text{gravitatieconstante} \quad (\text{m/s}^2)$$

$$U_{cr} = \text{dieptegemiddelde kritische stroomsnelheid} \quad (\text{m/s})$$

$$C = 18 * \log\left(\frac{12 * h}{k_s}\right) = \text{Chézy coëfficiënt} \quad (\text{m}^{0,5}/\text{s}) \quad [\text{RM 4.132}]$$

$$h = \text{waterdiepte} \quad (\text{m})$$

$$k_s = 3 * D_{90} = \text{bodemuwheid} \quad (\text{m}) \quad [\text{RM 4.134}]$$

De kritische waarde voor de Shields parameter kan nu worden berekend met:

$$\psi_{cr} = \frac{\tau_{cr}}{(\rho_s - \rho_w) * g * D_{50}} = \text{kritische Shields parameter} \quad (-) \quad [\text{RM 5.103}]$$

Waarbij:

$$\rho_s = 2650 = \text{dichtheid zand} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$D_{50} = \text{diameter zandkorrel} \quad (\text{m})$$

Samengevoegd wordt dit:

$$\psi_{cr} = \frac{\rho_w * U_{cr}^2}{(\rho_s - \rho_w) * C^2 * D_{50}} = \text{kritische Shields parameter} \quad (-)$$

De kritische waarde voor de Shields parameter is afhankelijk van de dimensieloze diameter van de zandkorrel  $d_*$  welke gegeven wordt door

$$D_* = D_{50} * \left(\frac{\Delta * g}{\nu^2}\right)^{1/3} = \text{dimensieloze korreldiameter} \quad (-) \quad [\text{RM 5.106}]$$

Waarbij

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 = \text{relatieve dichtheid} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$\nu = 1 * 10^{-6} = \text{kinematische viscositeit water} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

De kritische waarde voor de Shields parameter dient vermenigvuldigt te worden door een factor  $k_{sl}$  wanneer er een helling aanwezig is:

$$k_{sl} = \cos(\beta) * \sqrt{1 - \left(\frac{\tan(\beta)}{\tan(\phi)}\right)^2} \quad (-) \quad [\text{RM 5.116}]$$

$\beta$  = taludhelling (°)

$\phi = 30$  = hoek van inwendige wrijving (°) [RM Box 5.9]

Dit resulteert in:

$$U_{cr} = \sqrt{\frac{\psi_{cr} * k_{sl} * (\rho_s - \rho_w) * C^2 * D_{50}}{\rho_w}} = \text{kritische stroomsnelheid} \quad (\text{m/s})$$

### Parameters

De parameters welke vastgesteld moeten worden zijn de waterdiepte  $h$ , de korrelgroottes  $D_{90}$  en  $D_{50}$  en de taludhelling  $\beta$ .

### Waterdiepte $h$

De waterdiepte  $h$  is afhankelijk van het debiet, de locatie in de getijdegeul en de locatie in de dwarsdoorsnede van de getijdegeul.

### Korrelgroottes $D_{90}$ en $D_{50}$

De korrelgroottes  $D_{90}$  en  $D_{50}$  zijn bepaald in het grondradar onderzoek van INPIJN-BLOKPOEL. Relevante handboringen:

- B-04 (relevant voor locaties A, B en C)
  - $D_{50} = 0,000477$  m
  - $D_{90} = 0,000937$  m
- B-05 (relevant voor locaties D, E en F)
  - $D_{50} = 0,000481$  m
  - $D_{90} = 0,000998$  m
- B-08 (relevant voor locatie G)
  - $D_{50} = 0,000362$  m
  - $D_{90} = 0,000812$  m

Voor locatie H is er geen relevante boring. Op basis van het grondradar onderzoek wordt er geconcludeerd dat er zich op deze locatie een 0,4-0,7 m dik kleipakket bevindt waarvan de toplaag zich op 0,7-0,8 m onder maaiveld niveau bevindt. Aangezien deze locatie begroeid is met gras is de bovenstaande formule hier niet geldig.

### Taludhelling $\beta$

De taludhelling  $\beta$  is afhankelijk van de locatie in de dwarsdoorsnede van de getijdegeul. Er zijn drie taludhellingen mogelijk:

- $\beta = 0$  voor de bodem van de getijdegeul;
- $\beta = 11,6$  voor de rechter helling;
- $\beta = 9,6$  voor de linker helling.

### iii. Resultaat voor bepaling erosie ten gevolge van de afvoer

#### Zandbodern

Voor de locaties A t/m G is voor de debieten 6.000, 8.000, 10.000 en 16.000 m<sup>3</sup>/s de kritieke stroomsnelheid bepaald. Deze kritieke stroomsnelheden zijn weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11: Berekende kritische stroomsnelheden

	Berekende kritieke stroomsnelheden														
	600 m <sup>3</sup> /s			6000 m <sup>3</sup> /s			8000 m <sup>3</sup> /s			10000 m <sup>3</sup> /s			16000 m <sup>3</sup> /s		
	L	M	R	L	M	R	L	M	R	L	M	R	L	M	R
A	0,329	0,354	0,329	0,348	0,368	0,346	0,356	0,374	0,353	0,363	0,381	0,360	0,374	0,391	0,370
B	0,308	0,354	0,304	0,337	0,368	0,332	0,347	0,374	0,342	0,356	0,380	0,351	0,369	0,391	0,364
C	0,320	0,351	0,336	0,343	3,660	0,350	0,352	0,373	0,357	0,360	0,380	0,363	0,378	0,390	0,367
D	0,300	0,328	0,328	0,333	0,351	0,345	0,344	0,361	0,352	0,369	0,369	0,357	0,368	0,382	0,370
E	0,257	0,319	0,306	0,320	0,347	0,332	0,335	0,357	0,342	0,347	0,367	0,351	0,363	0,380	0,364
F	0,335	0,345	0,315	0,351	0,361	0,337	0,358	0,369	0,346	0,365	0,376	0,354	0,376	0,387	0,366
G	0,315	0,319	n.v.t	0,316	0,322	0,284	0,324	0,332	0,301	0,332	0,341	0,314	0,344	0,353	0,330
H		n.v.t			n.v.t			n.v.t			n.v.t			n.v.t	

#### Verwachte erosie

De stroomsnelheden welke op de locaties zoals weergegeven in Figuur 27 en Tabel 10 zijn berekend met WAQUA voor het VKA-ontwerp zijn weergegeven in Tabel 12. Deze stroomsnelheden zijn vergeleken met de kritische stroomsnelheden in Tabel 11 en waar de stroomsnelheid hoger is dan de kritische stroomsnelheid is dit aangegeven door de waarde rood te kleuren.

Tabel 12: Stroomsnelheden per locatie en debiet zoals berekend met WAQUA, rood is een overschrijding van de kritische stroomsnelheid

	Berekende stroomsnelheden (m/s)														
	600 m <sup>3</sup> /s			6000 m <sup>3</sup> /s			8000 m <sup>3</sup> /s			10000 m <sup>3</sup> /s			16000 m <sup>3</sup> /s		
	L	M	R	L	M	R	L	M	R	L	M	R	L	M	R
A	0,014	0,011	0,010	0,070	0,070	0,070	0,270	0,230	0,220	0,440	0,430	0,440	0,740	0,740	0,770
B	0,013	0,013	0,002	0,060	0,060	0,040	0,190	0,200	0,170	0,460	0,480	0,430	0,810	0,810	0,810
C	0,007	0,009	0,005	0,040	0,040	0,040	0,150	0,150	0,130	0,400	0,400	0,340	0,720	0,700	0,630
D	0,002	0,002	0,003	0,020	0,010	0,010	0,070	0,050	0,040	0,280	0,280	0,270	0,580	0,560	0,530
E	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,190	0,220	0,210	0,460	0,460	0,450
F	0,003	0,003	0,002	0,040	0,040	0,040	0,170	0,180	0,150	0,290	0,330	0,320	0,600	0,640	0,640
G	0,001	0,000	0,000	0,160	0,120	0,040	0,480	0,360	0,180	0,630	0,600	0,490	0,830	0,800	0,750
H		0,000			0,000			0,000			0,190			0,640	

Hieruit blijkt dat:

- er bij de locaties A, B en C erosie optreedt bij een debiet dat hoger is dan 8.000 tot 10.000 m<sup>3</sup>/s.
- er bij de locaties D, E en F erosie optreedt bij een debiet dat hoger is dan 10.000 tot 16.000 m<sup>3</sup>/s.
- er bij locatie G erosie optreedt bij een debiet dat hoger is dan 6.000 tot 8.000 m<sup>3</sup>/s.

Daarnaast is het niet waarschijnlijk dat erosie optreedt bij locatie H.

#### Verklaring

De reden dat er bij locaties A, B en C erosie optreedt bij een lager debiet dan bij D, E en F is de afstand tot de monding van de getijdegeul.

De reden dat er bij locatie G eerder erosie optreedt dan bij de andere locaties is waarschijnlijk te wijten aan de aanwezigheid van de dam waar het water overheen gestuwd wordt.

## A.5. Scheepvaart

### i. Aanpak voor bepaling erosie ten gevolge van passerende schepen

Voor het bepalen van het effect van de scheepvaart zijn er hydraulische berekeningen in Excel uitgevoerd. Er is gebruikgemaakt van de formule van Manning. De waterspiegeldaling als gevolg van scheepvaart betreft een kortstondige waterstandsverlaging. De formule van Manning is echter bedoeld voor evenwichtssituaties en dus impliciet langdurige effecten. Om dit kortstondige effect van de waterspiegeldaling t.g.v. scheepvaart mee te nemen in de berekeningen is een spreadsheet gemaakt waarin in kleine tijdstappen naar het effect van de waterspiegeldaling is gekeken. Tijdens de uitvoering van deze beschouwing is geconstateerd dat de grootte van de tijdstappen  $\Delta t$  niet van grote invloed is op de uitkomst. Wat wel van grote invloed is, is het bepalen van het verhang en dus de lengte waar de formule van Manning voor wordt toegepast. Om de invloed van het aan te houden verhang te onderzoeken (gevoeligheidsanalyse) zijn er 6 berekeningen gemaakt. In elke berekening is de geul in aantal delen met een lengte  $\Delta L$  gesplitst. Bij 1 deel is  $\Delta L$  gelijk aan 500m, bij 2 delen is  $\Delta L$  gelijk aan 250m, enz. In de spreadsheet wordt in elke tijdstap evenwicht bereikt zowel binnen de geuldelen als tussen de geuldelen onderling. Hiervoor is in elk geuldeel voor elke tijdstap het volume water in het begin en aan het eind in beeld gebracht. De waterstand in het begin van elke tijdstap is op basis van het aanwezige volume water berekend waarin rekening is gehouden met het getransporteerde water vanuit het naastgelegen deel in de voorgaande stap. Er is een tijdstip van  $\Delta t = 0,07$  s aangehouden.

### ii. Onderdeel specifieke uitgangspunten bepaling erosie ten gevolge van passerende schepen

#### *Waterspiegeldaling door passerend schip*

De snelheid waarmee de waterspiegel van de rivier ter plaatse van de monding van de geul daalt, is ook een belangrijk uitgangspunt dat bepalend is voor de uitkomst van de berekeningen. In deze berekeningen is er aangenomen dat de waterspiegeldaling gedurende 20 seconden de waarde 0,38 meter bereikt. Dit betekent dat de waterstand ter plaatse van de geulmonding niet abrupt 0,38 meter zakt, maar dat de daling geleidelijk plaatsvindt. Hiervoor is een lineair verloop aangehouden. De waarde van 0,38 volgt uit een berekening met een geverifieerd Excel blad dat op de formules voor scheepsgolven uit de Rock Manual [13] gebaseerd is.

#### *Formules*

De formule van Manning wordt gebruikt om de stroomsnelheid te bepalen:

$$u = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * \sqrt{I}$$

Waarbij

$R$	=	hydraulische straal van de doorsnede	(m)
$I$	=	hydraulisch verhang	(-)
$n$	=	ruwheidsparameter	

Voor  $n$  is een waarde van 0,0225 aangehouden. Dit komt overeen met de onderstaande tabel (Chow, 1959)

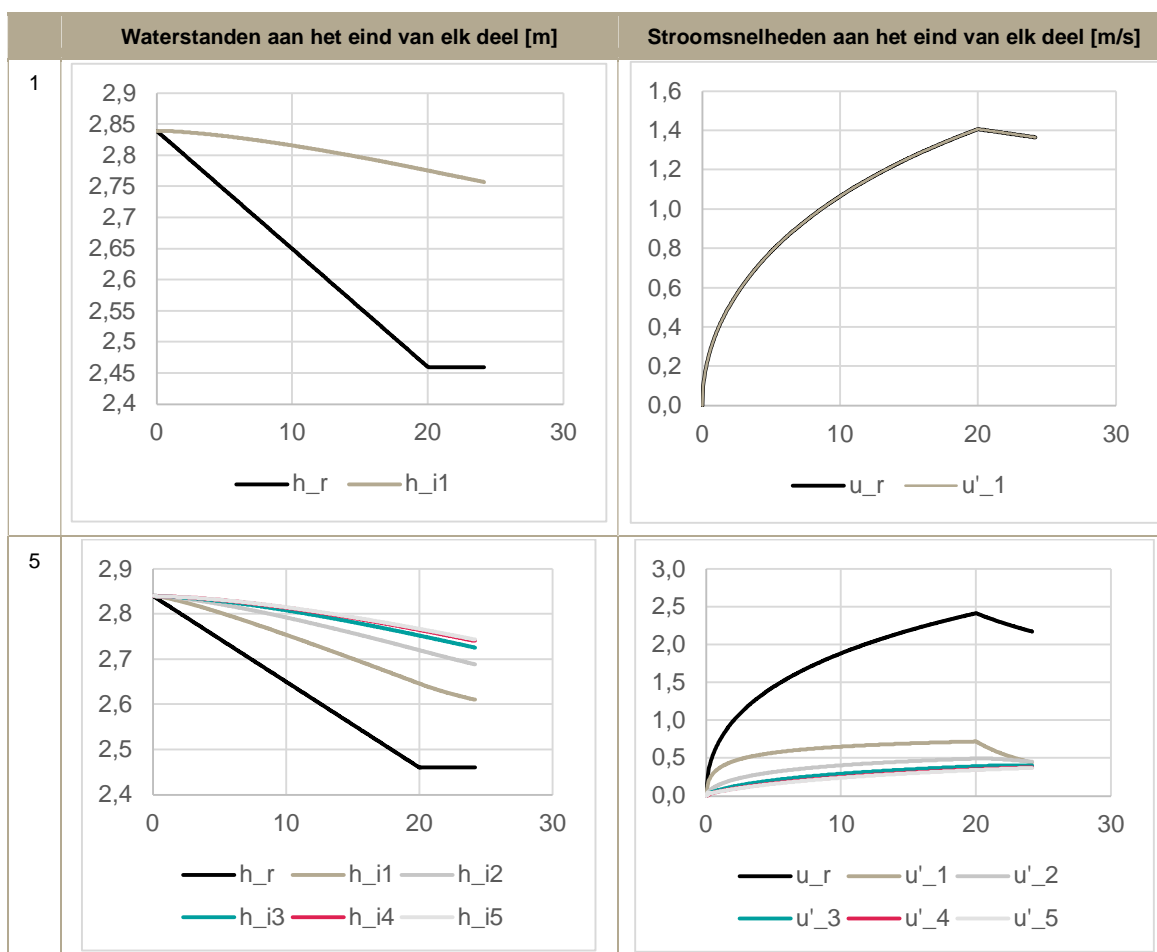
Manning n-waarde voor ontgraven of gebaggerde kanaal/geul			
1. clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
2. clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
3. gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
4. with short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033

De berekeningen zijn met een waterdiepte van 1,06 m, behorend bij een afvoer van 700 m<sup>3</sup>/s, uitgevoerd. De reden dat de situatie met laag water is gebruikt is omdat hoge gemiddelde stroomsnelheden bij een kleine waterdiepte tot een hogere stroomsnelheid aan de bodem leiden dan bij een grote waterdiepte.

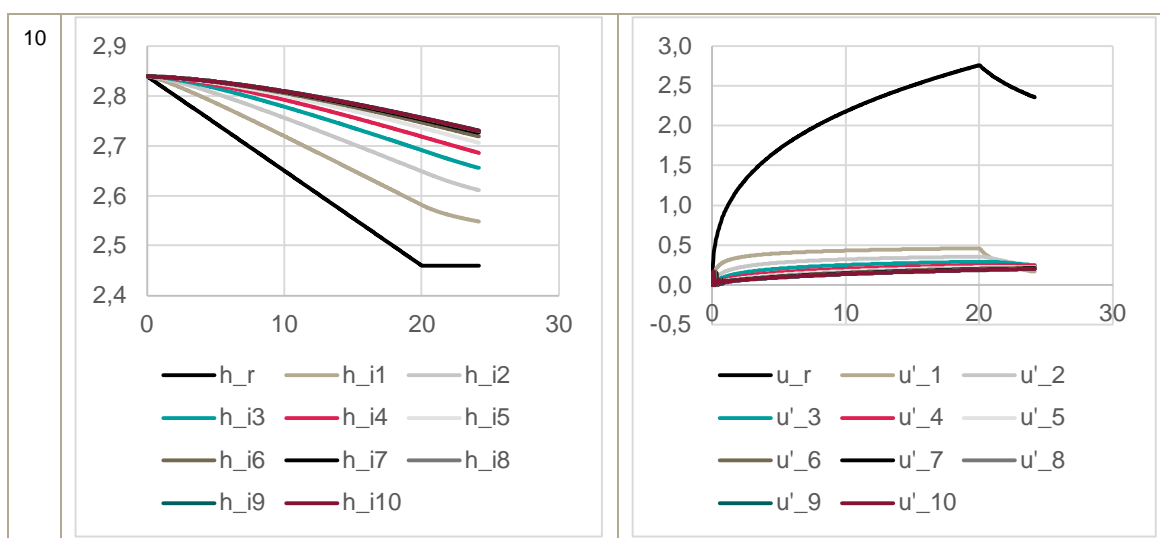
### iii. Resultaat voor bepaling erosie ten gevolge van passerende schepen

#### Verwachte stroomsnelheden

De waterstanden en stroomsnelheden aan het eind van elk geuldeel (voor  $\Delta L = 500$  m, gemiddeld over de lengte van elk deel) zijn in de onderstaande grafieken weergegeven.  $h_r$  en  $u_r$  zijn respectievelijk de waterstand en stroomsnelheid bij de monding van de geul. De horizontale as duidt de tijd aan in seconden.







Zoals hierboven aangegeven, is de uitkomst sterk afhankelijk van het hydraulische verhang en de gekozen  $\Delta L$ . Daarom zijn er meerdere berekeningen gemaakt om een onder- en bovengrens te kunnen bepalen. Logischerwijs zullen de berekeningen met kleinere  $\Delta L$  een nauwkeuriger beeld geven van de stroomsnelheden, maar de berekeningen met grote  $\Delta L$  geven ook nuttige informatie over de stroomsnelheden.

In de bovenstaande grafieken is  $u_r$  ter plaatse van de monding van de geul en met de waterstand net buiten de geul (die onder de directe invloed van de waterspiegeldaling binnen 20 seconden 0,38 m daalt) berekend. Daarom geeft  $u_r$  aanzienlijk grotere stroomsnelheden dan de stroomsnelheden in de geul die met de waterstand in de geul zijn berekend.

De conclusie is dat de stroomsnelheid bij de monding van de geul ergens tussen 1,4 m/s en 2,7 m/s ligt.

- Stroomsnelheid 50 m vanaf de monding ligt tussen 0,46 m/s en 1,4 m/s
- Stroomsnelheid 100 m vanaf de monding ligt tussen 0,35 m/s en 1,4 m/s (maar waarschijnlijk tussen 0,35 m/s en 0,69 m/s)
- Stroomsnelheid 125 m vanaf de monding ligt tussen 0,30 m/s en 1,4 m/s (maar waarschijnlijk tussen 0,30 m/s en 0,71 m/s)
- Stroomsnelheid 167 m vanaf de monding ligt tussen 0,27 m/s en 1,4 m/s (maar waarschijnlijk tussen 0,27 m/s en 0,93 m/s)
- Stroomsnelheid 250 m vanaf de monding ligt tussen 0,22 m/s en 1,4 m/s (maar waarschijnlijk tussen 0,30 m/s en 1,10 m/s)
- Stroomsnelheid 500 m vanaf de monding ligt tussen 0,21 m/s en 1,4 m/s (uiteraard is de stroomsnelheid aan het eind van de geul ca. 0 m/s)

De bandbreedte bij grotere afstanden vanaf de monding van de geul is groter. Uiteraard kan het niet zo zijn dat de stroomsnelheid over 250 meter groter is dan bijvoorbeeld de stroomsnelheid over 125 meter. De conclusie is daarom dat de ondergrenzen dichterbij de werkelijkheid zitten.

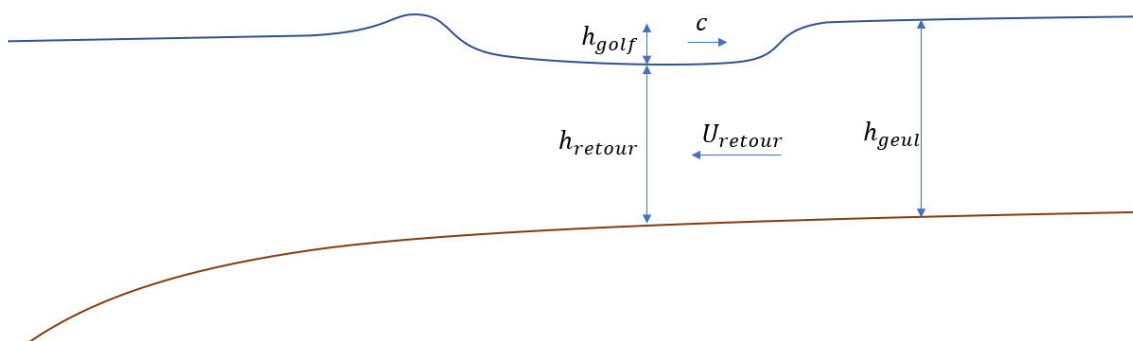
Voor de monding is daarom een eenvoudige controleberekening gedaan waarbij is aangenomen dat de verlaging van de golf zorgt voor een retourstroom in de geul, zie Figuur 28.

Verdere aannames zijn:

- Het waterniveau is NAP -0,75 m (eens per jaar onderschreden).
- De golfsnelheid gelijk is aan de snelheid van het schip ( $c = 3,28$ )
- De golfhoogte  $h_{golf}$  is 0,38 m
- De waterdiepte in de geul is 1,25 m

Hieruit volgt een retourstroom van 1,38 m/s, hetgeen goed aansluit op de ondergrens van de berekende stroomsnelheid met het eerste model.

$$c * h_{golf} = U_{retour} * h_{retour} = U_{retour} * (h_{geul} - h_{golf})$$



Figuur 28: Schematisatie van de retourstroom welke door de waterstandsverlaging van het schip wordt veroorzaakt

#### Verwachte erosie

Uit bovenstaande resultaten blijkt dat erosie vooral kan optreden bij de monding van de geul. Verder de getijdegeul in is het effect van scheepvaart kleiner en de mate van erosie neemt bij toenemende afstand tot de monding af.

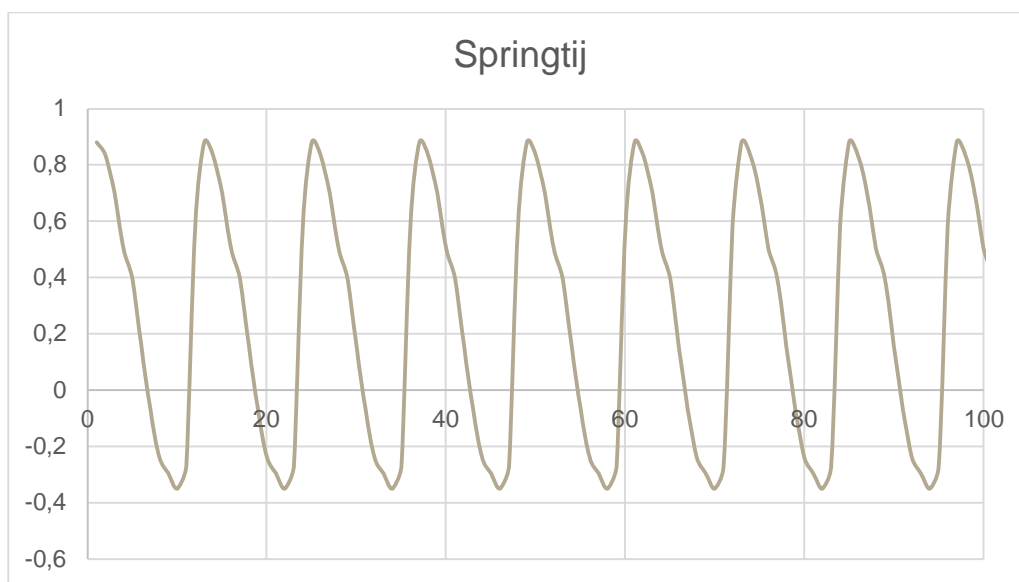
## A.6. Getij

Om de bovengrens van getijstroming in de geul en het effect op de morfodynamiek in de nevengeul van de Salmsteke te bepalen is met RWS-ON de onderstaande aanpak afgestemd<sup>11</sup>. Het effect van het getij werkt het verste bovenstreams op de rivier bij een zo laag mogelijke afvoer. Hiermee kan worden bepaald hoe groot de stroomsnelheid door getij wordt in de Lek en of terugstroming als gevolg van een lage rivierafvoer in combinatie met getij plaatsvindt.

Voor de aanpak wordt het uitgeleverde WAQUA model gebruikt met op de benedenrand bij Krimpen aan de Lek een tijdsafhankelijke waterstandsrand in plaats van de uitgeleverde QH-relatie. Om het grootste effect te bepalen is gekozen voor een lage afvoer van 600 m<sup>3</sup>/s, de laagst aangeleverde rivierafvoer op de bovenrand, en een springtij op de benedenrand. Voor de getijderand is het volgende aangehouden:

Locatie	rkm	Vloed (m NAP)	Eb (m NAP)
Krimpen a/d Lek	988,640	0,88	-0,35

De getijdencyclus vertoont asymmetrie in tijdsduur bij Krimpen aan de Lek. Conform data van waterinfo.rws.nl (d.d. 11 en 12 maart 2020) duurt het ca. 9 uur voordat het laagwater is en ca. 3 uur voordat het hoogwater is. De vloed-situatie is dus langer merkbaar dan de eb-situatie. Met deze informatie is een springtij gedefinieerd zoals bij Krimpen aan de Lek voorkomt, zie ook Figuur 29.

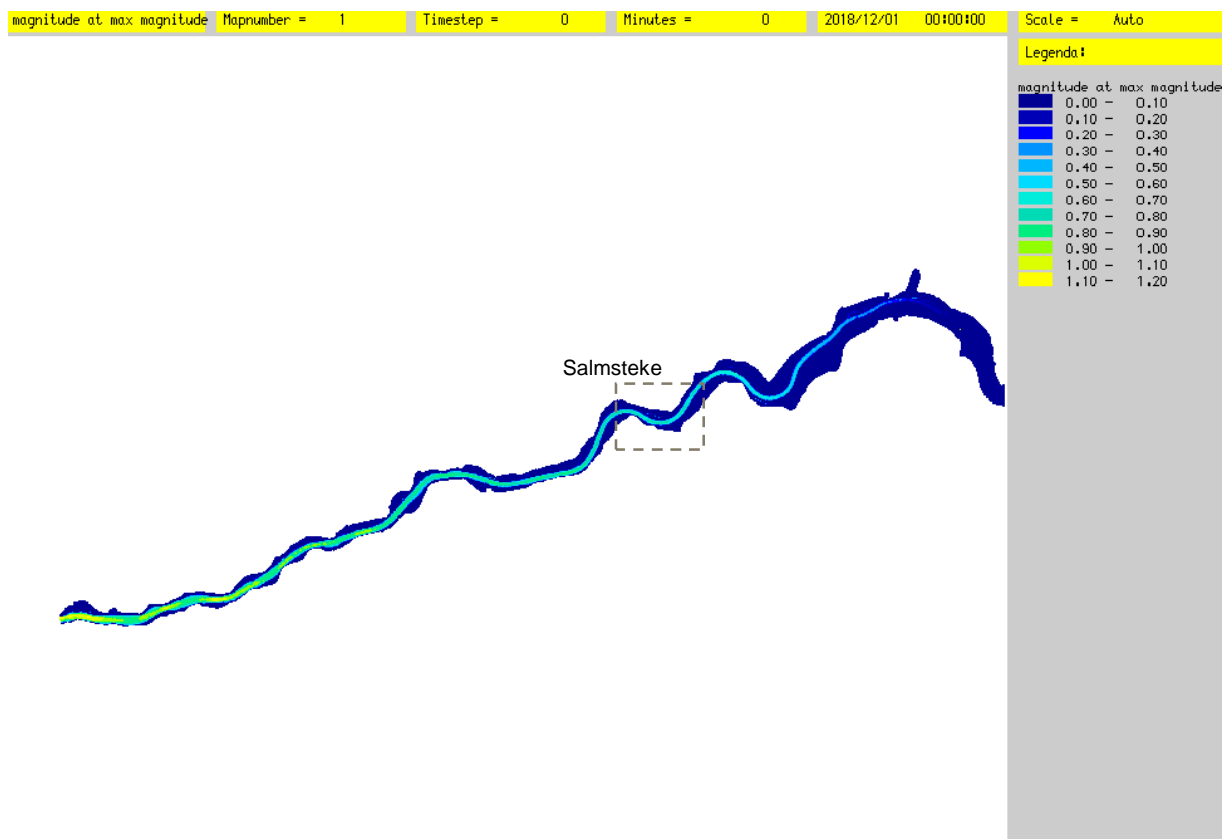


Figuur 29: Opgelegd springtij bij Krimpen aan de Lek aan de hand van de afgestemde vloed en eb waterstand.

<sup>11</sup> Mailconversatie d.d. 13 maart 2020 met M. Reneerkens

Uit de WAQUA-berekening wordt informatie over de maximaal voorkomende stroomsnelheid afgelezen. Het resultaat hiervan is weergegeven in Figuur 30 voor de Lek.

Hieruit blijkt dat de hoogste stroomsnelheid voorkomt bij Krimpen aan de Lek en de laagste bovenstrooms bij Hagestein. De maximale stroomsnelheid die voorkomt bij Salmsteke bedraagt ongeveer 0,6 m/s. De verwachting is echter dat dit alleen over een zeer korte periode voorkomt, waardoor het weinig effect heeft op de erosie en een overschatting is van de maatgevende stroomsnelheid. Daarnaast is het niet realistisch om de stroomsnelheid uit het zomerbed één-op-één over te nemen voor stroomsnelheden in de geul. De weerstand van de bodem, de aanwezigheid van krib(vakken) en ondiepte van de geul verlaagd de stroomsnelheid.

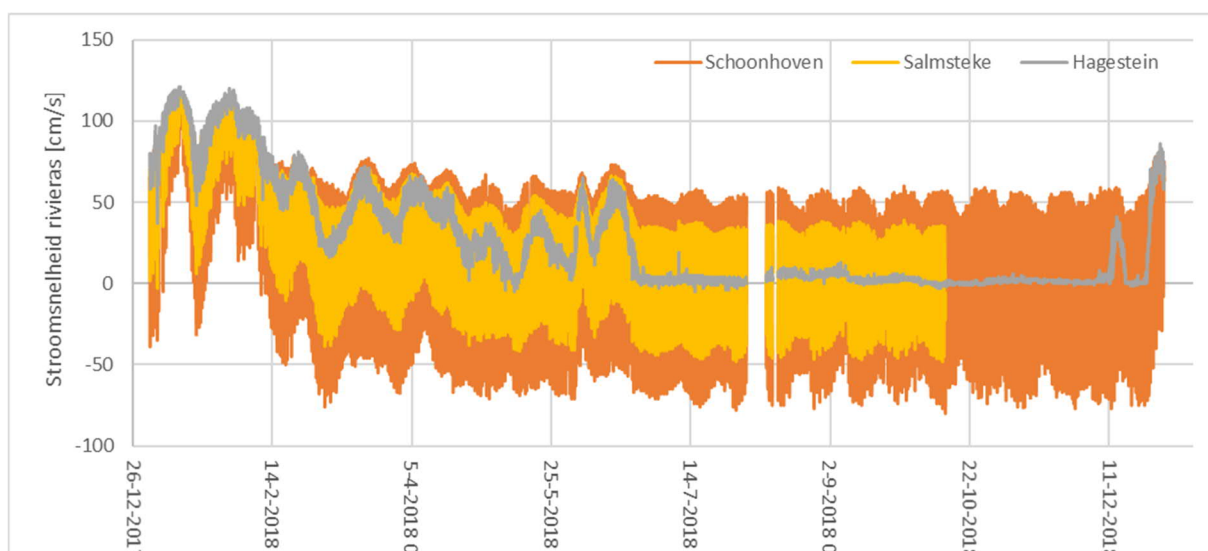


Figuur 30: Maximaal voorkomende (diepte-gemiddelde) stroomsnelheid op de Lek, van Hagestein Beneden tot Krimpen aan de Lek

### Resultaten stroomsnelheid - data 2018

Via Rijkswaterstaat VWM<sup>12</sup> is data verkregen over opgetreden stroomsnelheden in de Lek over het jaar 2018, bij de meetstations Krimpen aan de Lek, Schoonhoven en Hagestein Beneden. Door middel van interpolatie is de stroomsnelheid bij Salmsteke bepaald. De stroomsnelheid over het jaar 2018 is weergegeven in Figuur 31. Stroming richting zee, in benedenstroomse richting is positief. Om de invloed van het getij te bepalen kan dus alleen gekeken worden naar negatieve waarden wanneer alleen wordt gekeken naar de stroomsnelheid.

Uit de data wordt afgeleid dat het effect van het getij op de stroomsnelheid bij Salmsteke maximaal -0,5 m/s is geweest. Gemiddeld is het effect van het getij op de stroomsnelheid (negatieve waarden) -0,2 m/s geweest.



Figuur 31: Stroomsnelheid over het jaar 2018 bij Schoonhoven, Salmsteke en Hagestein beneden

<sup>12</sup> Mailconversatie d.d. 29 februari 2020 met P. Bijkerk

## A.7. Geulmondning- en oeverconstructies

### i. Memo Geulmondningconstructie

Onderwerp	Uitwerking constructie geulmondning voor Voorlopig Ontwerp
Aan	Team Uiterwaard
Auteur	Lievens WSP
Datum	12 maart 2020

#### Inleiding

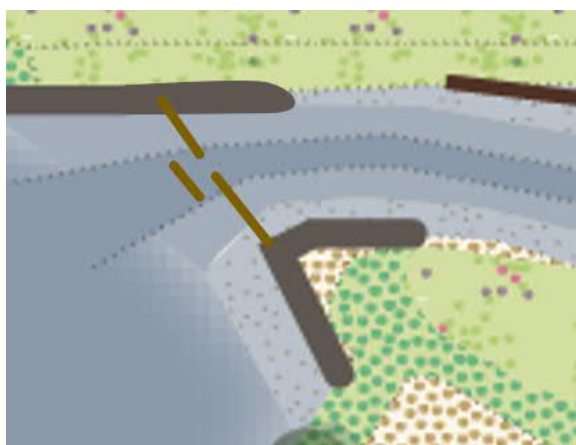
De getijdengeul in de uiterwaard bij Salmsteke heeft onder andere het doel bij te dragen aan het ecologisch herstel van de rivier.

Schepen die de monding van de getijdengeul passeren creëren golven en een waterstandsverlaging. Dit heeft nadelige gevolgen voor de oevers en bodem van de getijdengeul alsmede voor het leven in de getijdengeul dat gebaat is bij onverstoorde water.

Door het plaatsen van een golf remmende constructie in of voor de monding van de getijdengeul is het mogelijk deze nadelige gevolgen te beperken.

Tijdens de ontwerpsessie van 29 januari 2020 is de voorkeur uitgesproken voor een golf remmende constructie in de vorm van schermenrijen.

De maximaal aanvaardbare stroomsnelheid in de getijdengeul ten gevolge van scheepsvaart is ongeveer 0,30 m/s. Tegelijkertijd dient het debiet door de constructie heen zo groot mogelijk te zijn om vertraging van het getij tussen de rivier en de getijdengeul zo klein mogelijk te houden.



Figuur 32: Principeschets van de schermenrij met smalle opening voor berekeningen



### Randvoorwaarden, uitgangspunten en aannames

De bodem ter plekke van de monding van de geul is gesitueerd op NAP -1,50 m.

De korte golven (hek/haalgolf, boeggolf en secundaire scheepsgolf) kunnen de constructie niet passeren waardoor alleen het effect van de waterspiegeldaling beheerst moet worden. Voor deze waterspiegeldaling worden de waarden aangehouden die in de memo "Golf remmende constructie in de monding van de getijdengeul" [18] vastgesteld zijn.

De vaarsnelheid van het maatgevende schip (lengte van 165 m) bij deze situatie is ongeveer 5 m/s waardoor de duur van de waterstandsverlaging ongeveer een halve minuut duurt.

Tabel 13: Parameters uit randvoorwaarden en uitgangspunten

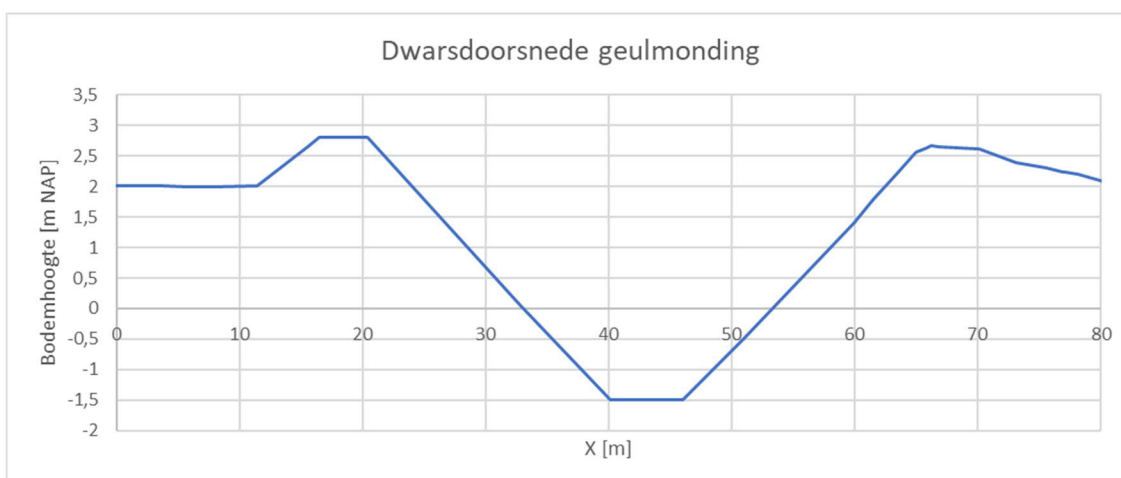
Parameter	Symbool	Waarde
Bodemhoogte	$h_{bodem}$	NAP +1,50 m
Extreme waterspiegeldaling bij een waterstand van NAP -0,46 m	$\Delta\hat{h}$	0,43 m
Gemiddelde waterspiegeldaling bij een waterstand van NAP -0,46 m	$\Delta h$	0,24 m
Extreme waterspiegeldaling bij een waterstand van NAP +1,38 m	$\Delta\hat{h}$	0,51 m
Gemiddelde waterspiegeldaling bij een waterstand van NAP +1,38 m	$\Delta h$	0,31 m
Duur waterstandsverlaging	$t$	30 s

De bovenkant van de constructie is aangenomen op NAP +2,0 m. De onderbouwing voor deze aanname is dat de constructie zo hoog dient te zijn als het achterliggende land. Indien de constructie lager zou zijn dan zouden de golven de constructie kunnen passeren en de oevers alsnog belasten. Indien de constructie hoger zou zijn dan nemen de kosten en afmetingen toe, daarnaast zou een hogere constructie niet veel toevoegen omdat bij hoog water het land aan weerszijde van de constructie onder water staat en de golven daarlangs de getijdengeul binnen kunnen dringen.

De dikte van een scherm is aangenomen op 0,50 m. De onderbouwing voor deze aanname is dat de constructie gerealiseerd wordt met boomstammen met een diameter van ongeveer een halve meter.

Er zijn drie schermen aanwezig. De onderbouwing voor deze aanname is twee schermen nodig zijn om een smalle opening in het midden van de geul te realiseren en dat het derde scherm de secundaire scheepsgolven buiten houdt. Voor de afmetingen van de constructie wordt uitgegaan van twee schermen van 21 m lengte en een derde scherm van 7 m lengte.

De opening en afstand tussen de schermen is aangenomen op 1,5 m.



Figuur 33: Dwarsdoorsnede van de geulmondning

Voor de getijdengeul achter de constructie is aangenomen dat deze een bodem van 6,0 m breed heeft en taluds van 1:5.

Parameter	Symbool	Waarde
Bovenkant constructie	$h_{top}$	NAP +2,0 m
Dikte individueel scherm	$d_{scherm}$	0,50 m
Opening en afstand tussen schermen	$b$	1,5 [m]
Breedte bodem achter constructie	$b_{bodem}$	6,0 [m]
Taludhelling achter constructie	$\alpha$	5 [1:n]

### Stroomsnelheidsreductie

De stroomsnelheid ten gevolge van passerende schepen dient beperkt te worden tot maximaal 0,30 m/s. Een eenvoudige vorm waarmee het debiet door de opening bepaald kan worden is die van een 'verticaal slot' zoals deze ook gebruikt wordt bij vis-passages:

$$Q = C_d * b * h_0 * \sqrt{2 * g * \Delta h}$$

Waarbij:

$Q$	= debiet door de opening	[m <sup>3</sup> /s]
$C_d$	= afvoercoëfficiënt	[-]
$b$	= breedte doorgang	[m]
$h_0$	= waterdiepte geulzijde	[m]
$g$	= valversnelling	[m/s <sup>2</sup> ]
$\Delta h$	= verval over de constructie	[m]

De waarde voor de afvoercoëfficiënt is onzeker en varieert in de literatuur tussen  $C_d = 0,65$  voor scherpe openingen en  $C_d = 0,85$  voor afgeronde openingen. In dit ontwerp is een waarde van  $C_d = 0,70$  aangehouden.

Uit het berekende debiet door de opening volgen de stroomsnelheden in de opening en in de geul:

$$V_{opening} = \frac{Q}{b \cdot h_0} = C_d * \sqrt{2 * g * \Delta h} \quad [\text{m/s}]$$

$$V_{geul} = \frac{Q}{b_{bodem} * h_0 + \alpha * h_0} = \frac{C_d * b * \sqrt{2 * g * \Delta h}}{b_{bodem} + \alpha} \quad [\text{m/s}]$$

Hieruit is zichtbaar dat de stroomsnelheid door de opening afhankelijk is van het verval over de constructie en dat de stroomsnelheid in de geul afhankelijk is van de breedte van de opening, het verval over de constructie, en de afmetingen van de geul.

	Waterstand NAP -0,46 m	Waterstand NAP +1,38 m
Breedte doorgang $b$	1,5 m	1,5 m
Waterdiepte $h_0$	1,04 m	2,88 m
Afvoercoëfficiënt $C_d$	0,70	0,70
Verval over de constructie $\Delta h$	0,43 m	0,51 m
Debiet $Q$	3,17 m <sup>3</sup> /s	9,57 m <sup>3</sup> /s
Stroomsnelheid opening $V_{opening}$	2,03 m/s	2,21 m/s
Stroomsnelheid geul $V_{geul}$	0,29 m/s	0,31 m/s

Het ontwerp van de constructie wordt beïnvloed door de volgende tegenstrijdige wensen:

- De opening tussen de twee schermen dient zo klein mogelijk te zijn om de stroomsnelheid in de geul ten gevolge van passerende schepen te beperken.
- De opening tussen de twee schermen dient zo groot mogelijk te zijn om het verschil tussen de waterstand in de geul en op de rivier te beperken.

Er is een controleberekening gemaakt met een opening van 1,5 m breed om een inschatting te maken van het verhang dat over de constructie ontstaat en van de vertraging van het getij in de getijdengeul. Het verloop van de waterstanden is in Figuur 34 en Figuur 35 gegeven voor de laagst voorgekomen waterstand van 2018 en de hoogst voorgekomen zomerwaterstand van 2017. Het optredende verhang is bij de lage waterstand maximaal 0,31 m en bij de hoge waterstand is deze maximaal 0,52 m. De optredende stroomsnelheden zijn hierbij vergelijkbaar aan de stroomsnelheden bij de waterstandsverlaging door scheepsvaart. In het definitieve ontwerp moet de opening tussen de twee schermen geoptimaliseerd worden of moet er naar een andere methode gezocht worden om de optimale middenweg tussen de twee tegenstrijdige wensen te vervullen. Hierbij kan gedacht worden aan:

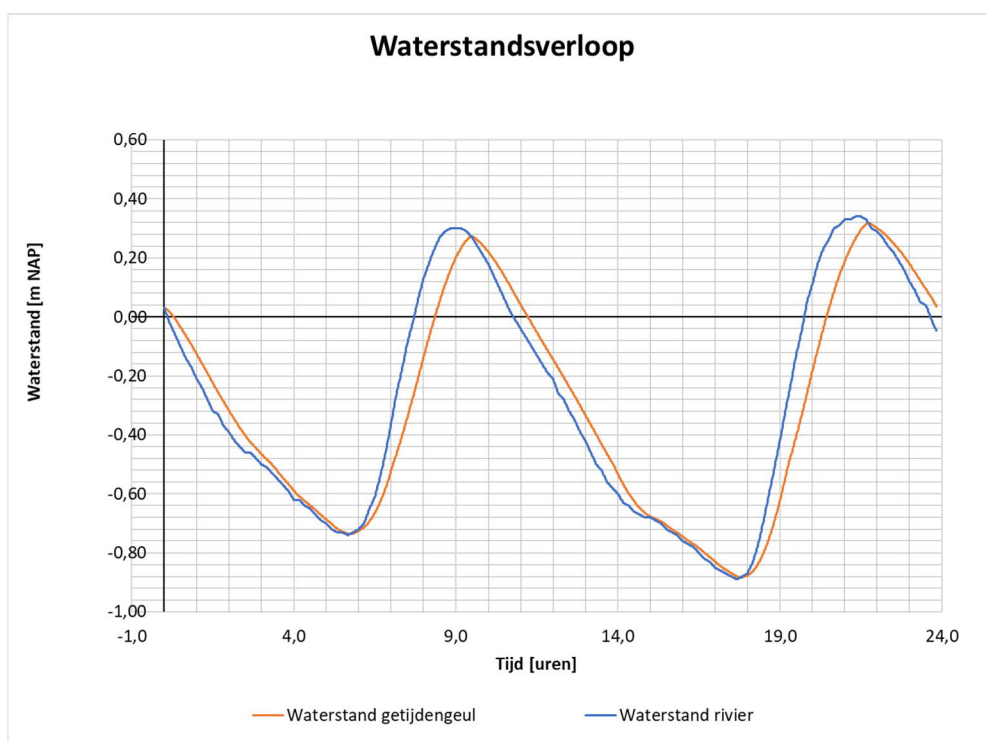
- Het construeren van twee doorgangen achter elkaar (met daartussen een bassin). Hierdoor neemt het verval  $\Delta h$  per opening af met een factor 2 waardoor de stroomsnelheid in de geul afneemt met een factor  $\sqrt{2}$ . Het nadeel hiervan is dat het debiet ook met een factor  $\sqrt{2}$  afneemt waardoor er een grotere vertraging van het getij tussen de rivier en de getijdengeul ontstaat.

- Het verbreden van het vergroten van het stroomvoerend oppervlak van de getijdengeul. Dit oppervlak dient dus zo groot mogelijk te zijn zodat de opening tussen de schermen ook groot kan zijn en de vertraging van het getij tussen de rivier en de getijdengeul beperkt blijft.

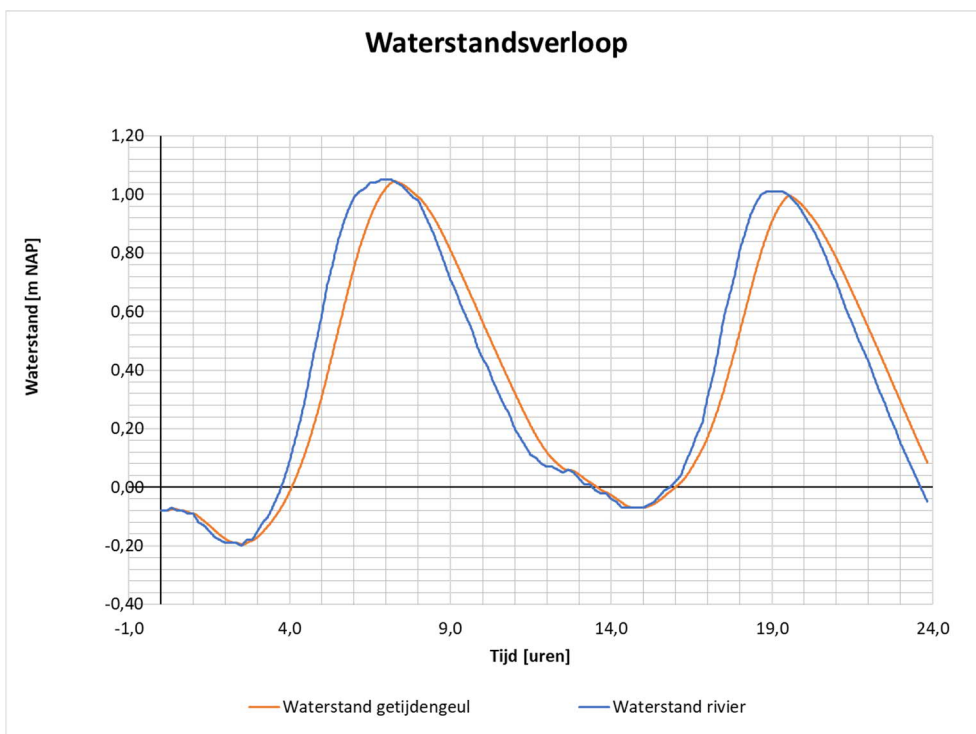
### Afvoercoëfficiënt

In de huidige berekeningen is een afvoercoëfficiënt van  $C_d = 0,70$  aangehouden. Deze waarde kan echter variëren tussen  $C_d = 0,65$  en  $C_d = 0,85$  afhankelijk van de afwerking van de opening.

	Waterstand NAP -0,46 m		Waterstand NAP +1,38 m	
	$C_d = 0,65$	$C_d = 0,85$	$C_d = 0,65$	$C_d = 0,85$
Debiet $Q$	2,95 m <sup>3</sup> /s	3,85 m <sup>3</sup> /s	8,88 m <sup>3</sup> /s	11,62 m <sup>3</sup> /s
Stroomsnelheid opening $V_{opening}$	1,89 m/s	2,47 m/s	2,06 m/s	2,69 m/s
Stroomsnelheid geul $V_{geul}$	0,27 m/s	0,35 m/s	0,29 m/s	0,38 m/s
Maximaal optredend verhang	0,33 m	0,26 m	0,55 m	0,44 m



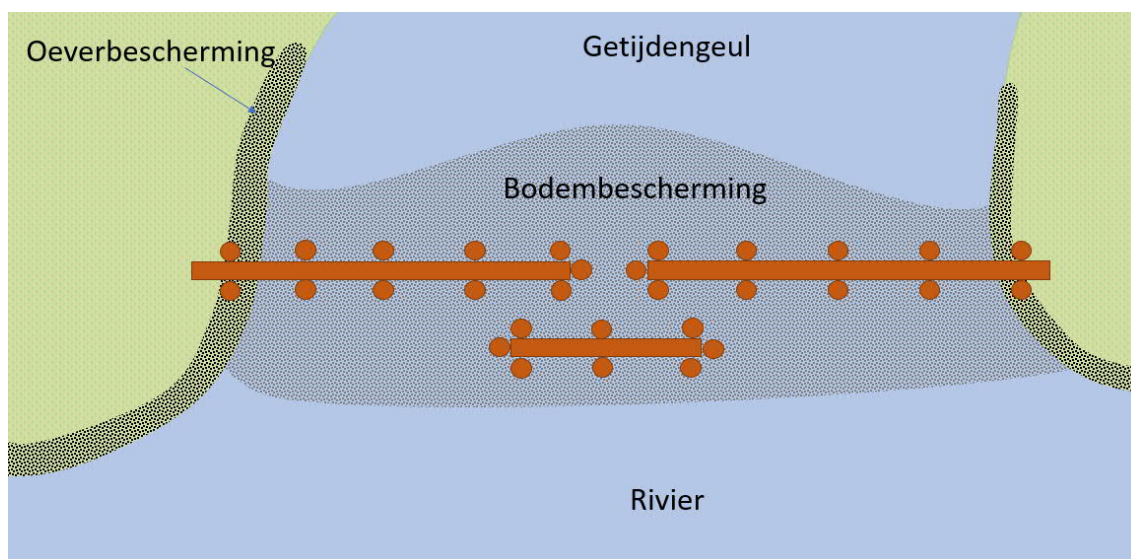
Figuur 34: Waterstandsverloop op de rivier en in de getijdengeul met aanwezigheid van de constructie bij de laagst voorgekomen waterstand van 2018



Figuur 35: Waterstandsverloop op de rivier en in de getijdengeul met aanwezigheid van de constructie bij de hoogst voorgekomen zomer waterstand van 2017

### Ontwerp

Het ontwerp bestaat uit de constructie zelf en aanvullende elementen zoals bodembescherming.



Figuur 36: Principeschets van de constructie en aanvullende elementen voor berekeningen

## Constructie

Als materiaal is voor hout gekozen. Voor de onderbouwing van het ontwerp wordt het document "Afwegingen bij het plaatsen van Rivierhout" [17] van Rijkswaterstaat aangehouden. Hierin wordt een project bij Culemborg beschreven waar vier schermen zijn aangebracht om de stroming meer naar het midden van de rivier te dirigeren.

Ontwerpprincipe:

- Houten palen worden 4,5 m in de bodem getrild (Indien de grond dit niet toelaat kunnen stalen profielen gebruikt worden) de onderlinge afstand tussen de palen is 3,5 m;
- Tussen de palen worden bomen (bv Lariks, 50 cm diameter, 7 m lang) geplaatst;
- De bomen worden aan elkaar en aan de palen gekoppeld met stalen verbindingen;

## Bodembescherming

Behalve de constructie zelf dient ook de bodem beschermd te worden. De bodembescherming dient te bestaan uit breuksteen met een granulaire filter. Aangenomen wordt dat een gradering van 40-200 kg voldoet. Deze aanname is gebaseerd op een conservatieve indicatieve berekening volgens de methode van Pilarczyk [13]. Er wordt aangenomen dat er ongeveer 240 m<sup>2</sup> aan bodembescherming benodigd is. Voor een laag van 0,5 m (inclusief filter) staat dit gelijk aan 120 m<sup>3</sup>. Er van uit gaande dat 35 % van de ruimte ingenomen wordt door poriën komt dit overeen met ca. 200 ton breuksteen.

Formule van Pilarczyk:

$$D_{n50} = \frac{\phi_{sc}}{\Delta} * \frac{0,035}{\psi_{cr}} * k_h * k_{sl}^{-1} * k_t^2 * \frac{U^2}{2 * g}$$

Tabel 14: Parameters voor de berekening van de benodigde nominale steendiameter

Parameter	Waarde	Eenheid	Toelichting	Onderbouwing
U	2,03	m/s	diepte gem stroomsnelheid	
h	1,04	m	diepte	
g	9,81	m/s <sup>2</sup>	gravitatie	
k <sub>t</sub>	1,41	-	turbulentiefactor	zie tabel 5,67 Rock Manual [13]
ψ	0	°	stroming over talud	geen talud
β	0	°	taludhelling	horizontale bodem
φ	40	°	hoek van inwendige wrijving	zie tabel 5,67 Rock Manual [13]
k <sub>sl</sub>	1,00	-	hellingsfactor	
k <sub>h</sub>	1	-	snelheidsprofiel factor	zie tabel 5,53 Rock Manual [13]
φ <sub>sc</sub>	1	-	stabiliteit correctiefactor	zie tabel 5,53 Rock Manual [13]
ρ <sub>steen</sub>	2650	kg/m <sup>3</sup>	dichtheid steen	
ρ <sub>water</sub>	1000	kg/m <sup>3</sup>	dichtheid water	
Δ	1,65	-	relatieve dichtheid	zie tabel 5,53 Rock Manual [13]
ψ <sub>cr</sub>	0,035	-	kritische mobiliteitsfactor	zie tabel 5,53 Rock Manual [13]
D <sub>n50</sub>	0,255	m	steendiameter	



## ii. Memo Trapoever

Projectnummer	WAB010194
Onderwerp	Trapoever getijdegeul Salmsteke Uiterwaard – voor Voorlopig Ontwerp
Auteur	Lievensse   WSP
Datum	25 februari 2020

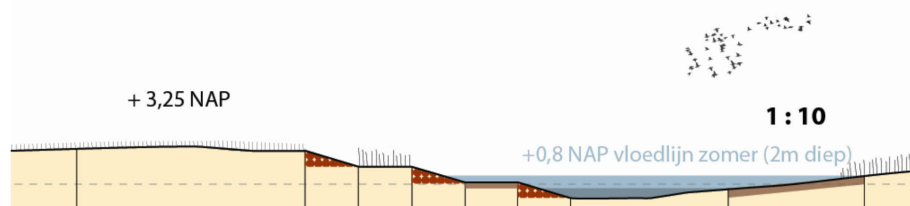
Enkele oevers van de getijdegeul bij Salmsteke Uiterwaard zijn gevoelig voor morfologische ontwikkelingen. Deze oevers kunnen eroderen onder hoogwater afvoer en door scheepvaart. De effecten door scheepvaart wordt gereduceerd door een constructie in de geulmonding. Deze constructie reduceert de golfimpact en de stroomsnelheden door scheepvaart. Tijdens hoogwater zijn de oevers ook gevoelig voor erosie door de hoge stroomsnelheden door de geul.

De ondergrond van de geul bestaat uit zand. Het is wenselijk om de zandige oevers stabiel aan te leggen. Dit is bij een talud van 1:15 à 1:20. Echter leidt dit ook tot meer ruimte beslag. De oevers waarbij het talud steiler is dan 1:15 nemen minder ruimte in maar zijn ook gevoeliger voor morfologische ontwikkelingen.

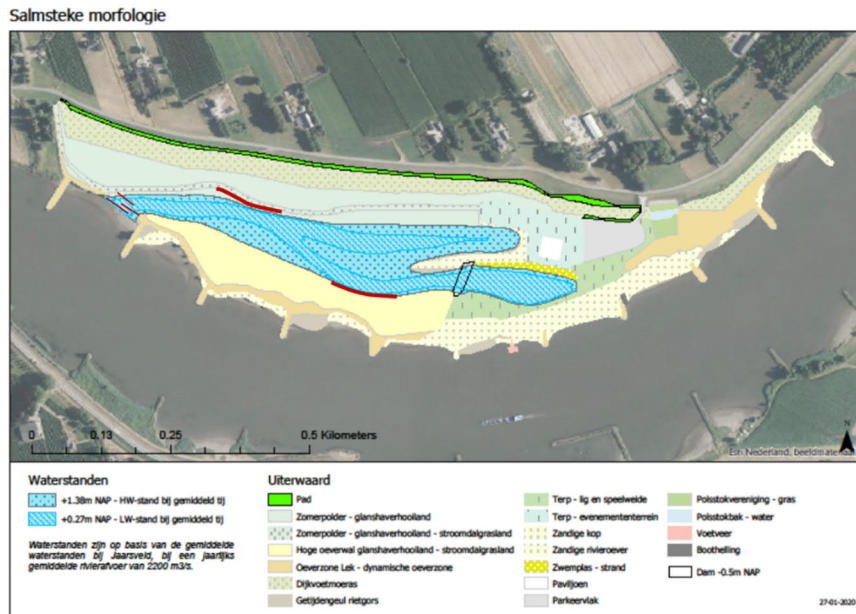
Op twee locaties in de getijdegeul is de ruimte beperkt én is de geul bochtig. De locaties van de trapoever zijn weergegeven in Figuur 38. Hier is een oever van resp. 1:4 en zelfs 1:2 gewenst. Echter zijn deze oevers zeer gevoelig voor erosie. Hierom moeten de oevers op worden versterkt. De wens is een natuurlijke oeverbescherming, waardoor de geul zo natuurlijk mogelijk kan ontwikkelen, de KRW-waarde zo hoog mogelijk wordt en erosiegevoeligheid van de oevers minder wordt dan een zandig oever.

Als natuurlijke oeverbescherming wordt een trapoever ontworpen. Een trapoever bestaat uit twee terrassen van enkele meters breed. De terrassen zijn gescheiden door een constructie van bomen/hout. Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 37.

Door de toepassing van terrassen wordt het ruimte beslag beperkt en is meer ecologie mogelijk en gegarandeerd. Het onderste terras ligt op een gunstige hoogte voor planten en dieren en is dagelijks tijdelijk onder water. Het middelste terras wordt de helft van de tijd gevoed. Tijdens de zomer valt het droog en tijdens de winter overstroomt het af en toe. Het bovenste terras is gelijk aan maaiveld. De houtlinies zijn wisselend nat en droog en zou daarom wel eens minder lang stand kunnen houden. Dat betekent dat riet- en of wilgvegetatie op de terrassen moet ontwikkelen om na het vervallen van deze middelste houtlinie de oever toch stabiel te houden. Alle stapels/bundels moeten worden verankerd om op- & wegdrijven te voorkomen.

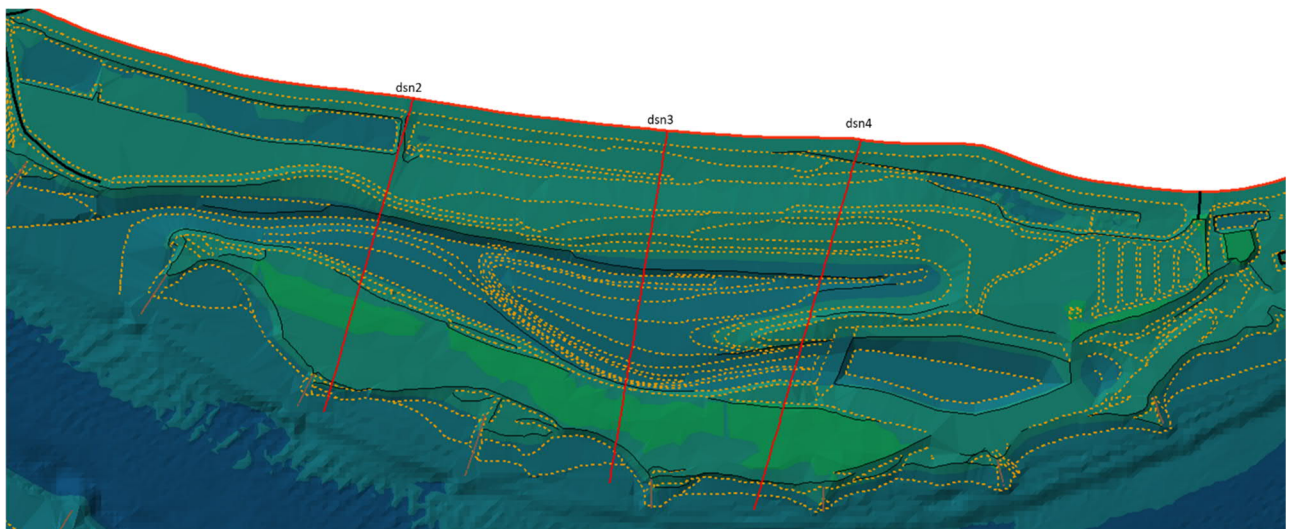


Figuur 37: Voorbeeld ontwerp trapoever



Figuur 38: Locatie zandig, steil talud en daarom toepassing natuurvriendelijke oeverbescherming

Het ontwerp van de trapoevers is hieronder uitgewerkt. Daarbij is het huidige geplande ruimtebeslag behouden. De locaties van de dwarsdoorsneden van de trapoevers in het hoogtemodel zijn ter hoogte van doorsnede 2 (dsn2) en 3 (dsn3) in Figuur 39.



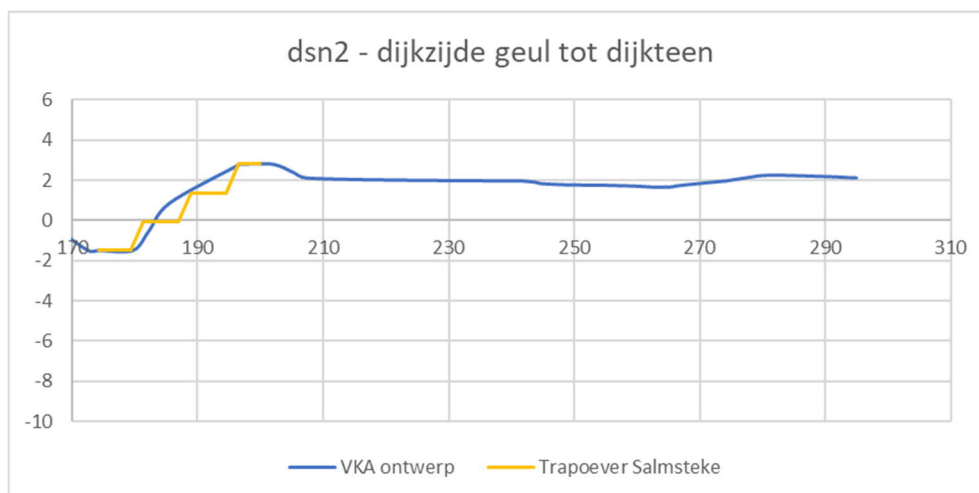
Figuur 39: Dwarsdoorsnede locaties

## Doorsnede 2

Hieronder zijn de uitgangspunten van het ontwerp voor doorsnede 2 opgenomen in de tabel en het resultaat weergegeven in het onderstaande figuur. In dit ontwerp kan het ruimtebeslag blijven behouden. Daarbij is dan een 5,6 m breed terras mogelijk.

### UITGANGSPUNTEN DSN2 UITGAANDE VAN 2 TERRASSEN + ZOMERDIJK OP MV (NAP +2,8 M):

<b>HOOGTE TERRAS 1:</b>	NAP + 0,1 m	o.b.v. lage zomerafvoer: -0,4 m NAP en +0,8 m; halverwege, waardoor het tenminste dagelijks wordt gevoed voor langere periode, ook in de zomer
<b>HOOGTE TERRAS 2:</b>	NAP + 1,4 m	o.b.v. gemiddelde afvoer: +0,27 m NAP en +1,38 m NAP, maximaal, zodat het de helft van het jaar wel lichtelijk wordt gevoed, soms overstroomt maar in de zomer droogvalt
<b>TRAPTREDEHOOGTE:</b>	1,4 m	
<b>TALUD:</b>	1:4	Van bodem geul tot maaiveld.
<b>RUIMTE KRW-HOUT:</b>	2 m	
<b>BREEDTE TERRASSEN:</b>	5,6 m	



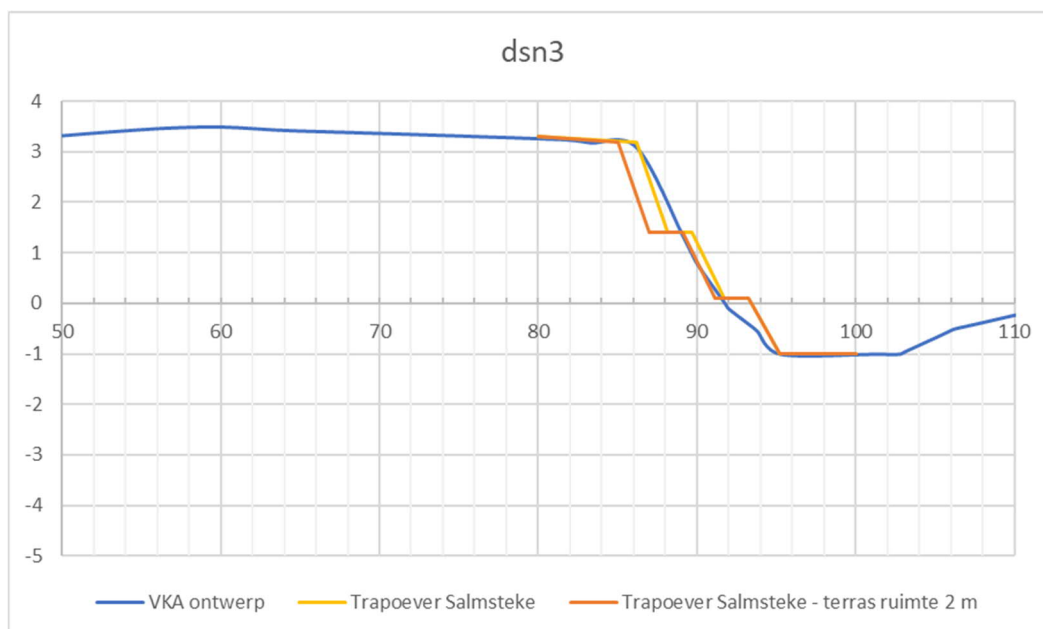
### Doorsnede 3

Hieronder zijn de uitgangspunten van het ontwerp voor doorsnede 3 opgenomen in de tabel en het resultaat weergegeven in het onderstaande figuur. In dit ontwerp blijft het ruimtebeslag behouden als een terras breedte van 1,5 m wordt toegepast. Een iets breder terras is wenselijk. Het toepassen van 2,0 breed terras leidt tot een vergroting van het ruimtebeslag tot 1 m. Dit is ook weergegeven in het figuur.

Iets meer ruimtebeslag lijkt haalbaar in dit deel van de geul gebied, ervan uit gaande dat bij dit ontwerp geen erosie plaatsvindt en het ruimtebeslag niet groter wordt door erosie. Veel meer ruimtebeslag is minder wenselijk doordat het dan steeds meer richting de zomerdijk gaat en het ontwerp mag niet de stabiliteit van de zomerdijk beïnvloeden.

#### UITGANGSPUNTEN DSN3 UITGAANDE VAN 2 TERRASSEN + ZOMERDIJK OP MV (NAP +3,2 M):

<b>HOOGTE TERRAS 1:</b>	NAP + 0,1 m	o.b.v. lage zomerafvoer: -0,4 m NAP en +0,8 m; halverwege, waardoor het tenminste dagelijks wordt gevoed voor langere periode, ook in de zomer
<b>HOOGTE TERRAS 2:</b>	NAP + 1,4 m	o.b.v. gem. afvoer: +0,27 m NAP en +1,38 m NAP, maximaal, zodat het de helft van het jaar wel lichtelijk wordt gevoed, soms overstroomt maar in de zomer droogvalt
<b>TRAPTREDEHOOGTE:</b>		Van bodem tot oever: 1,1 m; 1,3 m; 1,8 m
<b>TALUD:</b>	1:2,2 m	Van bodem geul tot maaiveld.
<b>RUIMTE KRW-HOUT:</b>	2 m	
<b>BREEDTE TERRASSEN:</b>	1,5 m	



## Bijlage B. Maatregelen, optimalisaties, mitigatie- en compensatiemaatregelen

### B.1. Samenvatting

De variant VO+ uit het hoofdrapport is een compromis tussen KRW-doelen, rivierkundige effecten op hoogwater, scheepvaart en morfologie en landschappelijke kwaliteit. Deze variant is uitgewerkt op basis van de analyse in deze bijlage naar verschillende maatregelen, optimalisaties en mitigerende/compenserende maatregelen.

Uit de analyse naar de drie mitigerende/compenserende maatregelen blijkt dat de effecten t.o.v. het VO+ gering zijn. Hierbij wordt geen significante afname van de waterstandsverhoging bij de hoogwaterreferentie behaald of een grotere waterstandsdeling gerealiseerd. Ook de effecten op de morfologie in het zomerbed zijn klein in relatie tot het effect dat de aanpassing van het VO+ naar de variant heeft. De instroomkade verhogen leidt tot een kleiner morfologisch effect bij 8.000 m<sup>3</sup>/s.

De instroomkade verhogen heeft effect, maar indien het daadwerkelijk wordt verhoogd moet vanuit ecologie worden getoetst, of het niet jaarlijks meer meestromen van de geul (wijziging van de meestroomfrequentie naar eens per 3 jaar), effect heeft op het behalen van de KRW-doelen. Het nog verder verhogen van de kade heeft geen effect op de morfologie bij deze afvoer, maar moet dan met een hoger afvoerblok worden beschouwd. Het nadeel is dat de geul in dat geval nog minder vaak gaat meestromen met de rivier, terwijl het overstromen van de uiterwaarden ook gunstig is voor natuurontwikkeling.

In de hoofdrapportage van de rivierkundige beoordeling van het VO+ is opgenomen welke effecten voor welke optimalisaties zijn beschouwd. In tabel 15, bijlage B.1 is dit verder uitgewerkt. Voor morfologie zijn meerdere varianten met vegetatie-aanpassingen in de uiterwaarden beschouwd en is de invloed van verschillende ontwerpen van de constructie van de geulmonding onderzocht. Ook is het morfologisch effect van het VKA bepaald, van verhoging van de instroomkade bij de zwemplas en van een mitigatiemaatregel ten westen van de uiterwaard uitgewerkt. In totaal zijn 9 varianten morfologisch uitgewerkt. In geen van deze varianten is een verbetering van zowel het waterstandseffect bij hoogwater, de dwarsstroming en morfologische effecten gevonden t.o.v. het VO+.

Wij zien ook geen aanvullende optimalisaties meer binnen het ontwerp die kunnen bijdragen om de rivierkundige effecten op al deze vlakken te verbeteren. Het ontwerp van het VO+ biedt ons inziens een compromis tussen waterstandsdeling, de opstuwing die ontstaat en de morfologische effecten die optreden.

## B.2. Inleiding

Het ontwerp van het project Salmsteke is in verschillende fases aangescherpt, zie ook paragraaf 1.3. Vanuit het RBK bestaat de plicht om het ontwerp waar mogelijk te optimaliseren, en indien noodzakelijk mitigerende-/compenserende maatregelen te treffen. Hiervoor zijn van de verschillende maatregelen in de uiterwaard meerdere varianten beschouwd om de effecten, optimalisaties en werking van het systeem inzichtelijk te maken. De optimalisaties hebben geleid tot het VO+, zoals beschreven in paragraaf 2.4. Het VO+ is beoordeeld in het hoofdrapport.

In bijlage B.3 zijn de belangrijkste verschillen tussen de ontwerpen uit de verschillende fases toegelicht (Voorontwerp, VKA, VO en VO+). Daarna worden in bijlage B.4 t/m B.7 de verschillende optimalisaties/varianten voor meerdere maatregelen uit het ontwerp toegelicht en de rivierkundige effecten uiteengezet. Naast optimalisaties zijn ook enkele mitigerende maatregelen onderzocht. De rivierkundige effecten hiervan zijn toegelicht in bijlage B.10. Als laatste wordt in bijlage B.11 een overzicht van alle maatregelen, bijbehorende optimalisaties en mitigerende-/compenserende maatregelen gegeven met daarin het effect op de hoogwaterreferentie, dwarsstroming en morfologie in het zomerbed.

Een overzicht van de maatregelen en bijbehorende varianten is opgenomen in Tabel 15. De maatregelen en bijbehorende optimalisaties zijn als volgt:

1. Dam tussen zwemplas en geul (bijlage B.5);
  - Voor het VO is gekeken naar het effect van verlagen van de dam tussen de getijdegeul en de zwemplas. Hierdoor kan uitwisseling plaatsvinden tussen de geul en de zwemplas waardoor het water in de zwemplas ververst kan worden. Dit dient ter vervanging van de duiker uit het VKA. De dam wordt verlaagd tot NAP -0,5 m.
  - N.a.v. de reactie van bevoegd gezag op het VO+ is ook gekeken wat het effect is als de houten scheidingsconstructie voor hoogwater zou worden verwijderd (verwijdering geschematiseerde kade).
2. Horeca (bijlage B.6);
  - een horecagelegenheid is gepland in de uiterwaard. Deze maatregel vormt een hoogwatervrijvlak van 450 m<sup>2</sup> en een maaiveldverhoging voor het terras van 200 m<sup>2</sup> ten noorden van de zwemplas.
  - Voor het ontwerp van het VO is gekeken wat het effect van de horeca is.
  - Tijdens het optimaliseren van het VO naar VO+ is ook nog gekeken wat het waterstandseffect is van het niet opnemen van de horeca, in combinatie met alle andere maatregelen in de uiterwaard.
3. Instroomlocatie (bijlage B.7);
  - hierbij is ruwere vegetatie toegepast in de vorm van riet en ruigte nabij het instroomgebied van de uiterwaard, van verschillende omvang.
  - Daarnaast is gekeken naar het effect van het ophogen van de kade bij de instroom.
4. Geulmonding (bijlage B.8);



- bij deze optimalisatie is de geulmonding aangepast om de stroming en golfimpact te dempen. Hierbij is geanalyseerd wat de verschillende schematisatiewijzen voor effect hebben. Verschillen in dichtheid van heggen, hoeveelheid heggen en toepassing van kades zijn hierbij onderzocht.
- 5. Vegetatie in de uiterwaard (bijlage B.9);**
- de vegetatie in de uiterwaard is geoptimaliseerd om de opstuwingspiek in het zomerbed te minimaliseren en de morfologische effecten te verkleinen.
  - Tijdens het optimaliseren is gebleken dat met name vegetatie in de uiterwaard sturend is voor de optredende waterstandseffecten en dat andere maatregelen binnen het plangebied slechts een gering effect sorteren. Om te komen tot een optimale variant is rekening gehouden met zowel de behoefte vanuit KRW (o.a. voldoende riet), het ruimtelijk en landschappelijk beeld (inpassing) als de rivierkundige effecten.
- 6. Mitigerende maatregelen (bijlage B.10);**
- na het voorleggen van het VO+ zijn een drietal mitigerende maatregelen, buiten het plangebied besproken met bevoegd gezag en uitgewerkt. Het gaat hierbij om een verlaging van de kade van de effluentleiding ten oosten van de geulmonding, verlaging van de krib bij de geulmonding en verlaging van 2 westelijke kades, met cultuurhistorische waarde.

Per variant verschilt het welk rivierkundige effect is geanalyseerd, omdat dit afhangt van de impact op het waterstandseffect en de fase van het project waarin de maatregel en/of optimalisatie is onderzocht. Bij kleine effecten op hoogwater, is geen morfologische analyse uitgevoerd. In onderstaande tabel is een overzicht opgenomen van de (optimalisaties van) maatregelen en welk rivierkundig effect is beschouwd. Een morfologische analyse is uitgevoerd voor negen maatregelen die kansrijk werden geacht om de morfologische effecten te verkleinen en waarvan het effect inzicht geeft in de systeemwerking.

Tabel 15: Overzicht van beschouwde rivierkundig effect per maatregel en/of optimalisatie

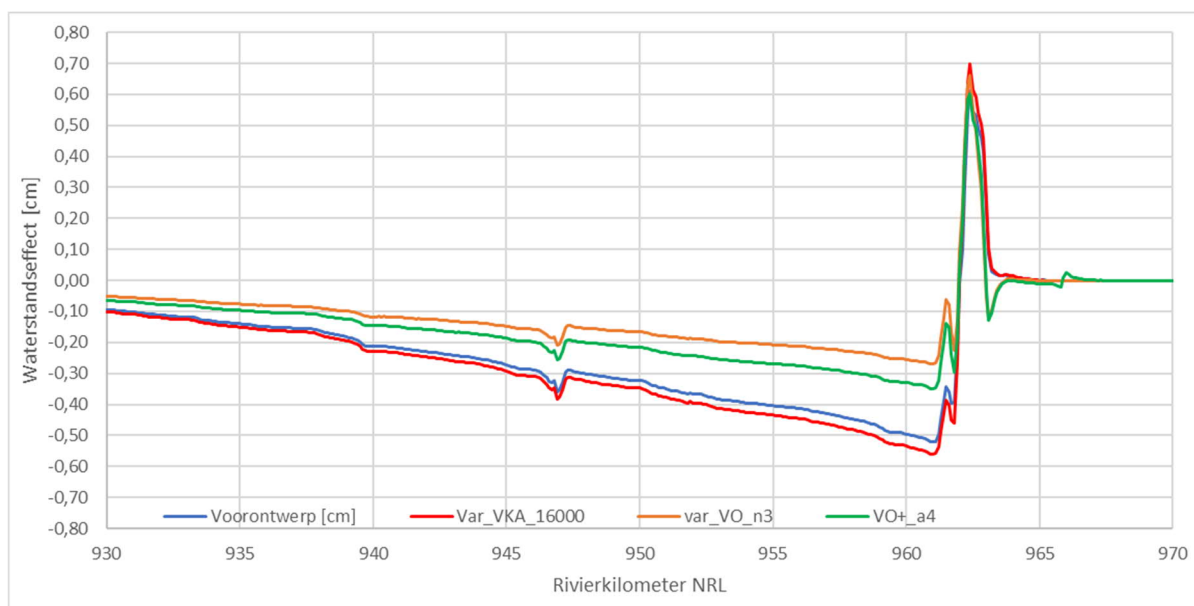
Maatregel/optimalisatie	MHW-effect [cm]	Dwarsstromingseffect [m/s]	Morfologische effect [m <sup>3</sup> ]
<b>VKA (0)</b>	Ja	Ja	Nee
Damverlaging (B.5.i)	Ja	Ja	Nee
VKA - Horeca (B.6.i)	Ja	Nee	Nee
Instream - Vegetatie 1 (B.7.i)	Ja	Ja	Nee
Instream - Vegetatie 2 (B.7.ii)	Ja	Ja	Nee
Instream - Kade ophoging (B.7.iii)	Ja	Ja	Nee
Geulmonding laag (B.8.i)	Ja	Ja	Nee
Geulmonding hoog (B.8.i)	Ja	Ja	Nee
Vegetatie ontwikkeling – ruw (B.9.i)	Ja	Ja	Ja
Vegetatie ontwikkeling – 1 (B.9.ii)	Ja	Ja	Nee
Vegetatie ontwikkeling – 2 (B.9.iii)	Ja	Ja	Nee
<b>Vegetatie ontwikkeling – VO (B.9.iv)</b>	Ja	Ja	Ja
Geulmonding dichtheid dicht (B.8.ii)	Ja	Ja	Nee
Geulmonding dichtheid open (B.8.ii)	Ja	Ja	Ja
Geulmonding kades (B.8.iii)	Ja	Ja	Ja
Geulmonding profiel oostkant kade (B.8.iv)	Ja	Nee	Nee
Vegetatie ontwikkeling – glad (0)	Ja	Nee	Ja
Vegetatie ontwikkeling – optimaal (B.9.vi)	Ja	Ja	Ja
VO+ zonder horeca (B.6.ii)	Ja	Nee	Nee
<b>VO+</b>	Ja	Ja	Ja
Kades buiten plangebied verlagen (B.10.iii)	Ja	Ja	Ja
Zonder kade zwemplas/geul (B.5.ii)	Ja	Ja	Nee
Verhoging instroomkade (B.7.iv)	Ja	Ja	Ja

### B.3. Verschillen Voorontwerp, VKA, VO en VO+

Het effect van de vier ontwerpen op de hoogwaterreferentie is weergegeven in Figuur 40. Een samenvatting is opgenomen in Tabel 16. In Bijlage E zijn verschilkaarten van het VKA, VO en VO+ opgenomen, voor de bodemhoogte en overlaten, ruwheden en waterdiepte t.o.v. de norm.

Tabel 16: Samenvatting waterstandseffect Voorontwerp, VKA, VO en VO+

Variant	Opstuwingspiek	Waterstandsdeling
Voorontwerp	6,1 mm	5,2 mm
VKA	7,0 mm	5,6 mm
VO	6,6 mm	2,7 mm
VO+	6,0 mm	3,5 mm



Figuur 40: Waterstandseffect (hoogwaterreferentie) voor zowel het Voorontwerp, het VKA-ontwerp en het Voorlopig Ontwerp (VO\_n3) t.o.v. de referentiesituatie

Tussen het Voorontwerp en het VKA is het belangrijkste verschil dat de locatie, hoogteligging en vormgeving van de zwemplas zijn aangepast. De verschillen in hoogteligging staan in Tabel 17 en de geografische verschillen zijn weergegeven in Figuur 41.

Het VO is het geoptimaliseerde ontwerp van het VKA voor de getijdegeul inclusief alle (geoptimaliseerde) maatregelen voor het gehele plan voor uiterwaard Salmsteke. Het VKA waren de maatregelen nog niet meegenomen. Voor de optimalisatie tot het VO zijn alle maatregelen los beschouwd en geoptimaliseerd t.o.v. het VKA. Dit is toegelicht in paragraaf 2.4, i.c.m. de optimalisaties voor het VO+. In

De opstuwingspiek van het VO is iets kleiner dan in het VKA en iets groter dan het Voorontwerp. De waterstandsdeling van het VO is kleiner. Dit is te verklaren doordat bij de

eerste twee ontwerpen alleen is uitgegaan van de getijdegeul en bij het VO ook de andere maatregelen zijn geschematiseerd, zoals de horeca, vegetatie-ontwikkeling en een constructie in de geulmonding. Daarnaast is in het VO de zuidoever van de zwemplas aangepast en verflauwd tot 1:5 waardoor rietontwikkeling op de oever mogelijk is (KRW-doel). Dit riet is daaropvolgend ook geschematiseerd in de ruwheidsvlakken. Daarnaast zijn trapoevers in de geul toegevoegd voor stabiliteit van de oevers en het beperken van erosie in de buitenbochten. Door deze maatregelen zijn de oevers van de geul stabiel en is de KRW-waarde hoger. Daartegenover is het doorstroomoppervlak van de geul iets afgenomen, wat het verschil in waterstandsval tussen het VKA deels verklaart.

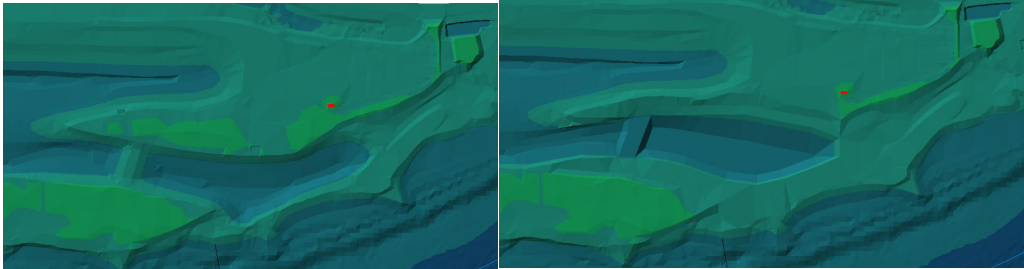
Het VO+ is het geoptimaliseerde ontwerp van het VO. In het VO+ is de schematisatie uit het VO behouden voor de zwemplas, de trapoever en de horeca. De constructie in de geulmonding is geschematiseerd als hekken met een dichte structuur, maar een kleiner aantal en de juiste locatie conform ontwerp. In de bodemstructuur van de geul is een geleidelijk aflopende bodemhoogte richting de geulmonding toegepast, wat leidt tot minder morfologische effecten in de geul door een natuurlijker verloop. Door deze maatregel is de geul natuurlijker, maar is het doorstroomoppervlak van de geul iets afgenomen. Hierdoor is een verschil in waterstandsval met het VKA te verklaren.

In het VO+ is ook het vegetatiebeeld aangepast zodat het waterstandseffect gunstiger wordt en de morfologische effecten afnemen. Het geoptimaliseerde vegetatiebeeld (eindbeeld) in het VO+ is een compromis tussen KRW-doelen, rivierkundige effecten bij hoogwater, scheepvaart, morfologie en landschappelijke kwaliteit. Deze variant is besproken met een landschapsarchitect en aangepast door toevoeging van enkele solitaire bomen, verwijdering van al bestaande vegetatie uit de variant die ook niet in de referentie-schematisatie is opgenomen, aanpassingen van de rietoevers conform ontwerp en verplaatsing van vegetatie nabij de parkeerplaats.

Na het concept VO+ heeft meermaals afstemming met bevoegd gezag plaatsgevonden en zijn aanvullende een aantal mogelijke optimalisaties (mitigatie/compensatie) onderzocht. De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in Bijlage B.10. De resultaten van dit onderzoek hebben niet geleid tot aanpassen van het concept. Het VO+ blijkt de meest complete optimalisatie, waarin zowel rivierkundige effecten zijn geminimaliseerd als projectdoelen worden behaald.

Tabel 17: Verschillen in het ontwerp van de zwemplas tussen het Voorontwerp, het VKA en het VO

	Voorontwerp	VKA	VO / VO+
Bodemligging	NAP -1,5 m	NAP -2,0 m	NAP -2,0 m
Damhoogte	NAP +2,0 m	NAP +1,0 m	NAP -0,5 m



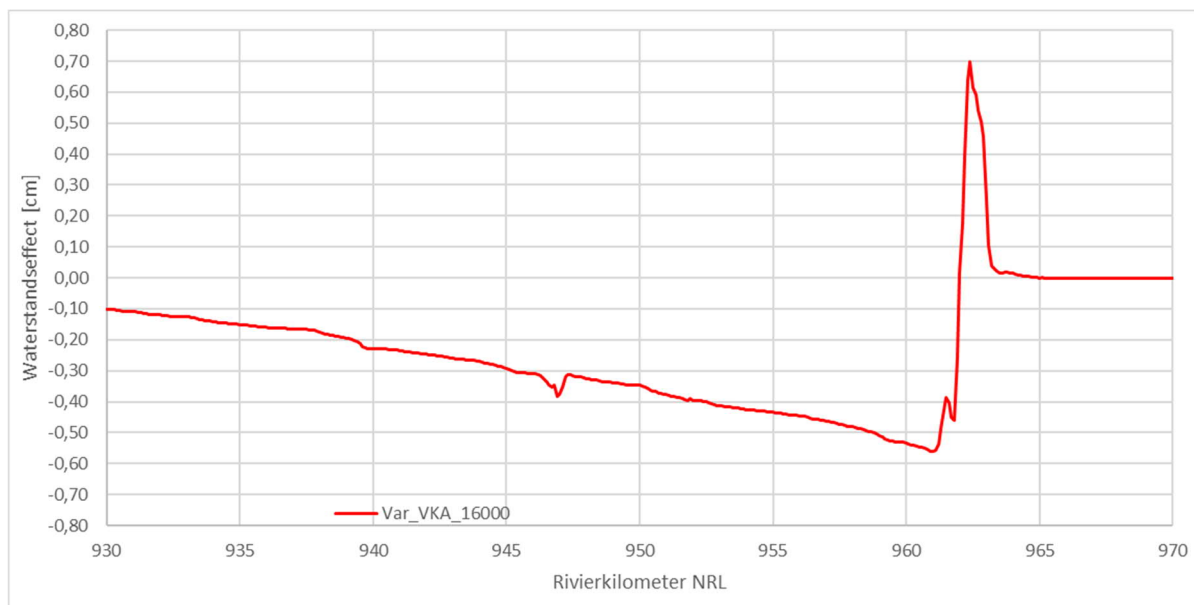
*Figuur 41: Ontwerp zwemplas in het Voorontwerp (links) en VKA (rechts)*

## B.4. VKA

De schematisatie van het VKA bevat alleen de zwemplas en getijdegeul.

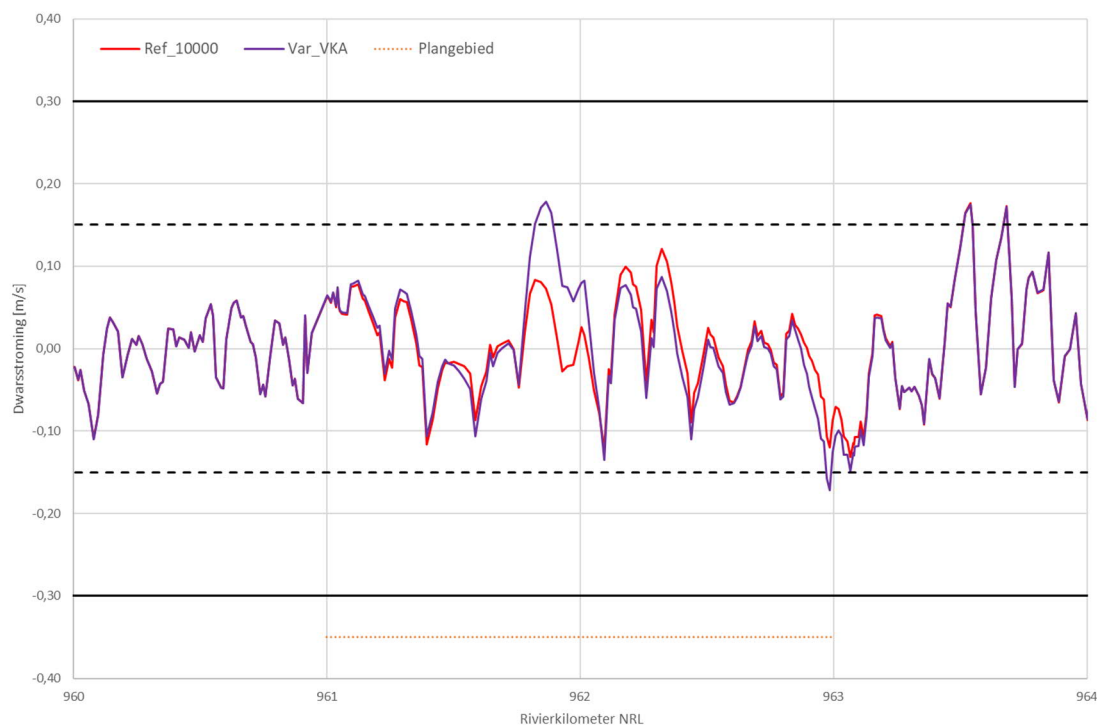
*Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect in Figuur 42: De waterstandsverhoging is 7,0 mm en de waterstandsverlaging is 5,6 mm.
- Dwarsstromingseffect in Figuur 43: De dwarsstroming resulteert in een verhoging bij zowel de in- als uitstroom van de geul bij hoogwater. Instroom wordt 0,18 m/s en uitstroom wordt 0,17 m/s.
- Morfologisch effect zomerbed: De volledige tabel met resultaten is weergegeven in bijlage D.1. Hieruit blijkt dat de sedimentatie in het gebied tussen rkm 961,2 en 964,1 toeneemt met 1.478 m<sup>3</sup>. Het effect op de maximale bodemhoogte t.o.v. norm is maximaal 2,5 cm en op de gemiddelde bodemhoogte is het 1,2 cm. Het extra volume boven de norm bedraagt 75 m<sup>3</sup>, over één kilometer verspreid tussen rkm 962-963. Het baggervolume effect incl. 30 cm baggermarge dat moet worden verwijderd om aan de norm te voldoen is 165 m<sup>3</sup>. Het baggervolume effect in de kielspeling dat verwijderd moet worden voor vlotte en veilige scheepvaart is 561 m<sup>3</sup>.



*Figuur 42: Waterstandseffect bij MHW op de as van de rivier ten opzichte van de referentie in cm voor het VKA*





Figuur 43: Dwarsstroming op de rechteroever bij 10.000 m<sup>3</sup>/s voor het VKA

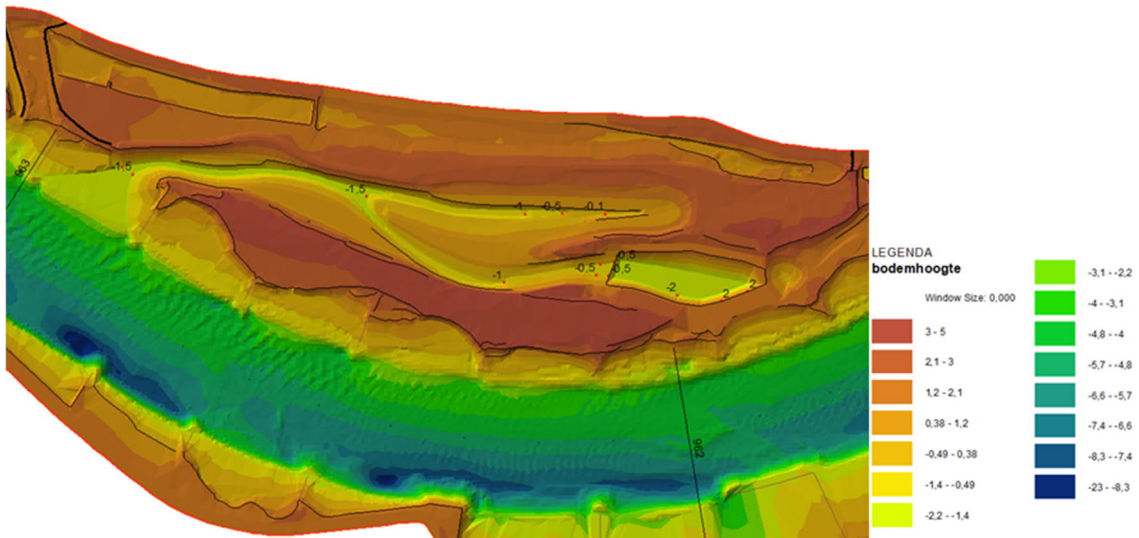
## B.5. Dam tussen zwemplas en geul

### i. Damverlaging voor zwemplas verbinding

#### *Uitgangspunten*

In het VKA-ontwerp is de zwemplas gescheiden van de getijdegeul door middel van een dam. In het VKA is deze dam gelegen op NAP +1,0 m. Een variant hierop is dat de dam wordt verlaagd tot NAP -0,5 m, zie Figuur 44. De drempelhoogte is hierbij gelijk aan de bodemhoogte van het uiteinde van de geul en vormt een drempel tegen het leeglopen van de zwemplas.

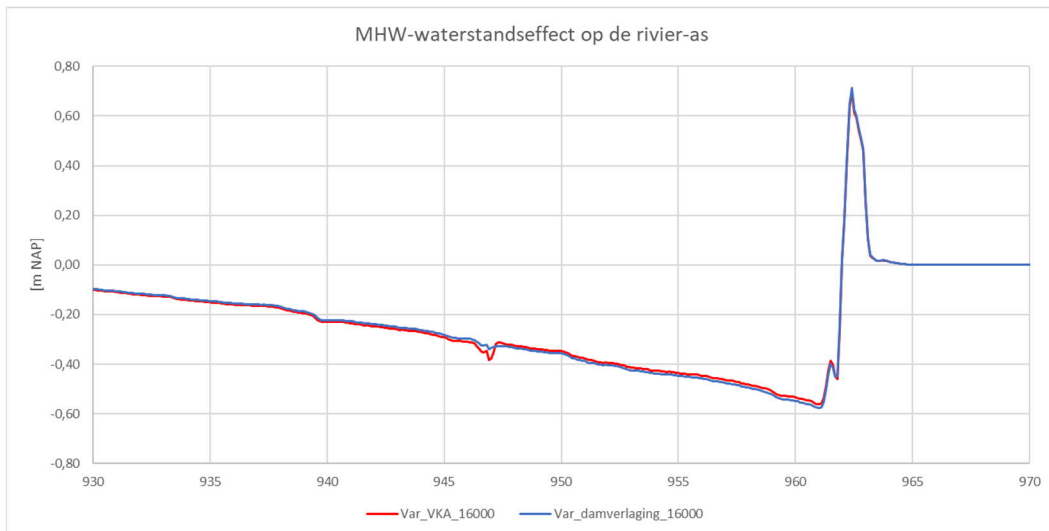
De verlaagde dam heeft een drempelhoogte waardoor de geul en de zwemplas dagelijks met elkaar in verbinding staan. Dit geldt ook voor de lage afvoeren, waardoor verversing van het water in de zomer plaatsvindt (zie par. 2.2). Hierdoor is geen open verbinding met de rivier via een duiker meer nodig, zoals in het VKA-ontwerp het geval was.



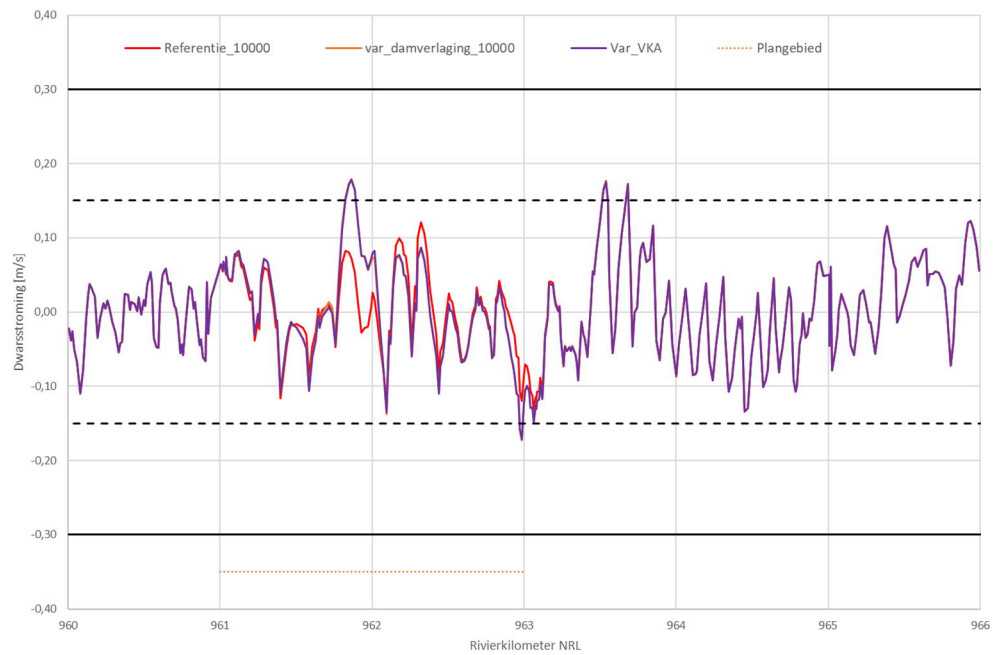
Figuur 44: Variant VKA met damverlaging

Effect op rivierkundige aspecten:

- MHW-effect in Figuur 45: De verlaging van de dam van NAP +1,0 m naar NAP -0,5 m heeft weinig effect op het MHW-waterstandeffect. De waterstandsdeling en -verhoging zijn beiden 0,1 mm groter.
- Dwaarsstromingseffect in Figuur 46: In vergelijking met de variant verlaging van de dam valt op dat de verlaging van NAP +1,0 m naar NAP -0,5 m weinig invloed heeft op de dwarsstroming.



Figuur 45: Waterstandseffect bij MHW op de as van de rivier ten opzichte van de referentie in cm voor het VKA en de damverlaging

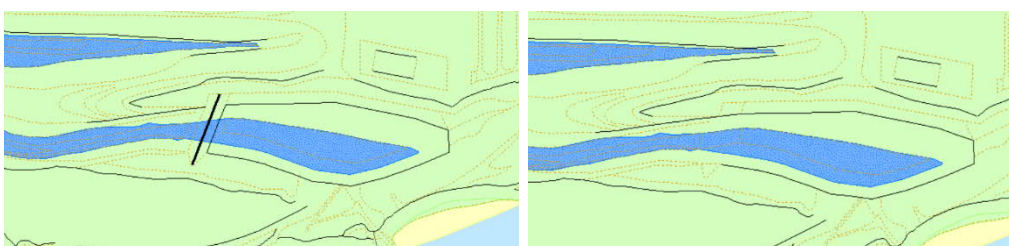


Figuur 46: Dwarsstroming op de rechteroever bij 10.000 m<sup>3</sup>/s voor het VKA en de damverlaging

## ii. Verwijderen kade en hoogtelijnen in VO+

De scheiding van de dam tussen zwemplas en geul is in het VO+ geschematiseerd als kade en een hoogtelijn. Deze kade is trapsgewijs geschematiseerd en is in het midden gelijk aan de bodemhoogte van NAP -0,5 m. Van daaruit loopt het trapsgewijs langs de oevers. Op deze manier is het bij laag water visueel duidelijk waar de grens tussen zwemplas en getijdegeul ligt.

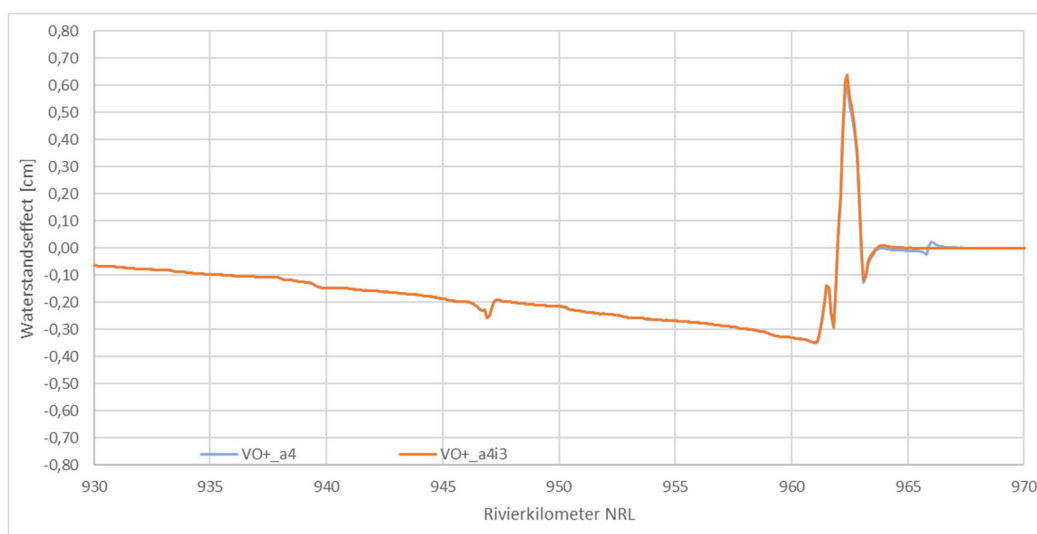
Op deze locatie is bij het VO+ een verschil in waterstand/stroomsnelheid opgemerkt. Om het effect van de scheidingsdam te onderzoeken wordt hier een vloeiende overgang geschematiseerd, zie verschilfiguur hieronder.



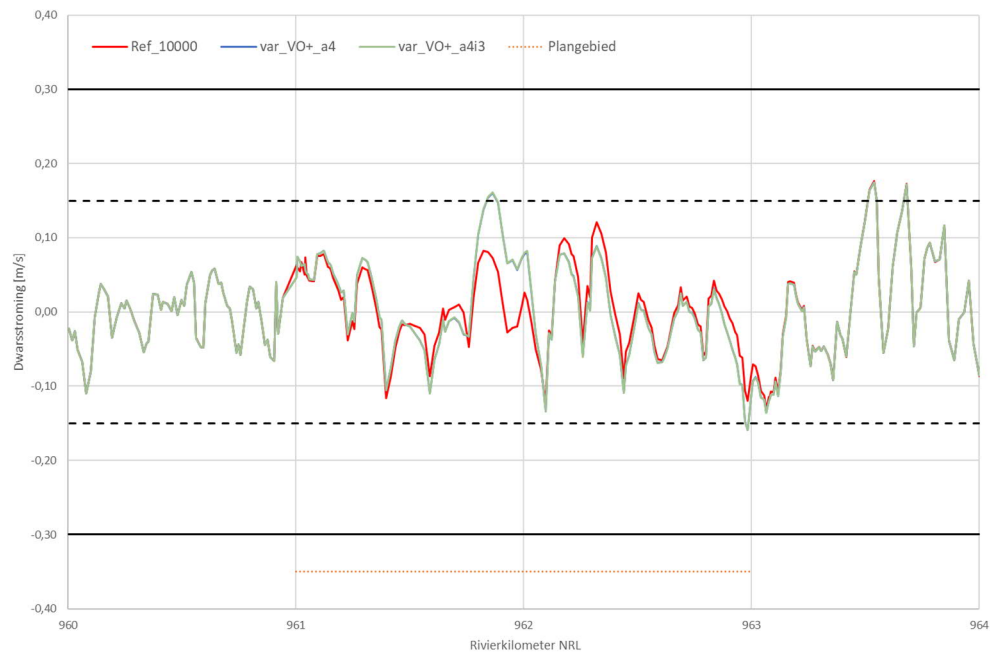
Figuur 47 – schematisatie dam tussen geul en zwemplas, links is VO+ en rechts is variant 2

- Effect op waterstand in Figuur 48: Geen effect t.o.v. VO+.
- Effect op dwarsstroming in Figuur 49: Geen effect t.o.v. VO+.

Waterstands-/stroomsnelheidsverschillen ter plaatse ontstaan vermoedelijk door het smalle doorstroomprofiel van de geul/bij de dam t.o.v. profiel van de zwemplas. En daarnaast ligt het maaiveld ten noorden van de kade hoog en in de stroomrichting. Het resultaat en het vermoeden komt overeen met de bevindingen uit de eerdere optimalisatie van de damverlaging voor zwemplas verbinding op deze locatie uit de hoofdrapportage (bijlage B.5.i).



Figuur 48: MHW-effect variant verwijderend kade (VO+\_a4i3)



Figuur 49: Dwarsstroming voor variant verwijderen kade (VO+\_a4i3)

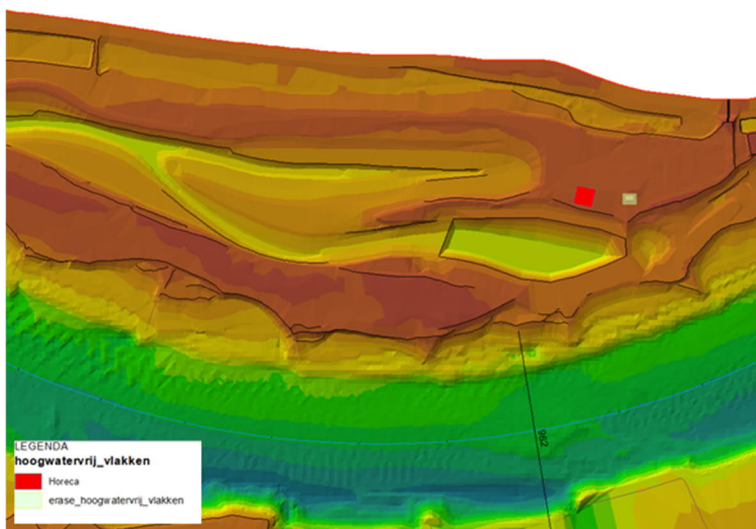
## B.6. Horeca

### i. VKA - Hoogwatervrijvlak toevoegen

#### *Uitgangspunten:*

Eén van de maatregelen in de uiterwaard is een horecagelegenheid. Om deze maatregel te onderzoeken is in het VKA-ontwerp een hoogwatervrijvlak van 450 m<sup>2</sup> toegepast ten noorden van de zwemplas. De schematisatie van de maatregel is getoond in Figuur 50. De horecavoorziening vervangt het toiletgebouw, welke iets westelijker staat. Daarom wordt het hoogwatervrijvlak voor het toiletgebouw uit de referentie verwijderd.

Deze optimalisatie is uitgevoerd in combinatie met het VKA-ontwerp inclusief de damverlaging. Bij uitvoering van deze variant was al tijdens de ontwerpessie d.d. december 2019 besloten dat de zwemplas wordt gevoed vanuit de geul door verlaging van de dam. Daarom is dit direct toegepast in alle verdere optimalisaties.

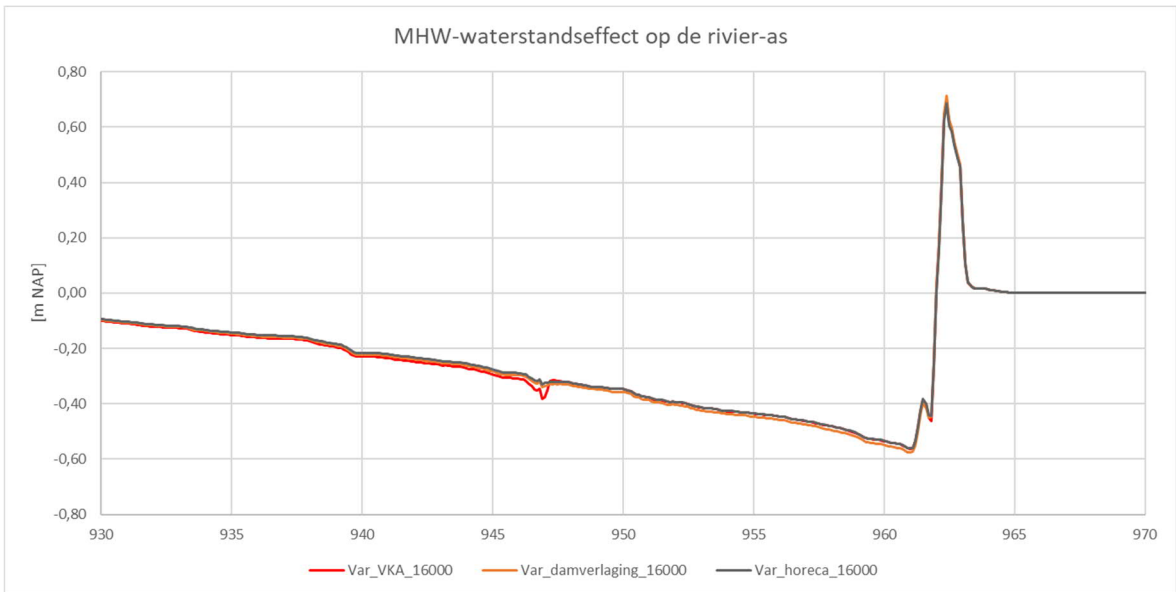


*Figuur 50: Variant VKA met damverlaging en horecavoorziening*

#### *Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect in Figuur 51: De piek is 6,9 mm en de waterstandsdeling is 5,6 mm. Bij beide varianten is het effect ten opzichte van het VKA verkleind met 0,2 mm. De verlaging ontstaat doordat in deze maatregel het toiletgebouw wordt verwijderd en het horecagebouw op een andere locatie, meer benedenstrooms, wordt toegevoegd.





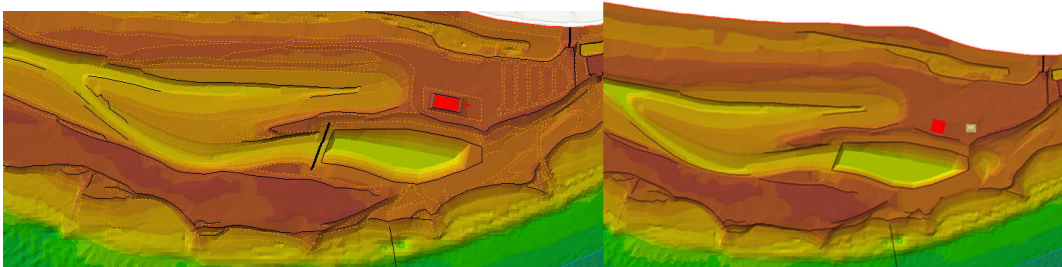
Figuur 51: MHW-effect horecagelegenheid als hoogwatervrijvlak

## ii. VO+ - zonder horeca

### *Uitgangspunten:*

Eén van de maatregelen in de uiterwaard is een horecagelegenheid. Uit meerdere gesprekken is naar voren gekomen dat vanuit wordt gegaan dat de horecagelegenheid een obstakel vormt en significant negatieve effecten heeft voor rivierkunde. Met de variant van de horeca in het VKA is al aangetoond dat de horeca nagenoeg geen effect heeft op de hoogwaterreferentie. Bij de optimalisatie van het VO naar VO+ is nogmaals naar het effect van de horeca gekeken, maar nu in combinatie met alle andere maatregelen in de uiterwaard. De variant bestaat uit het volledige VO+ met uitzondering van de maatregel voor de horeca.

De schematisatie van de maatregel in het VO+ met en zonder horeca is getoond in Figuur 52. De horecavoorziening in het VO+ vervangt het toiletgebouw, welke iets westelijker staat. In deze variant blijft het toiletgebouw behouden, omdat de horeca niet wordt toegevoegd.



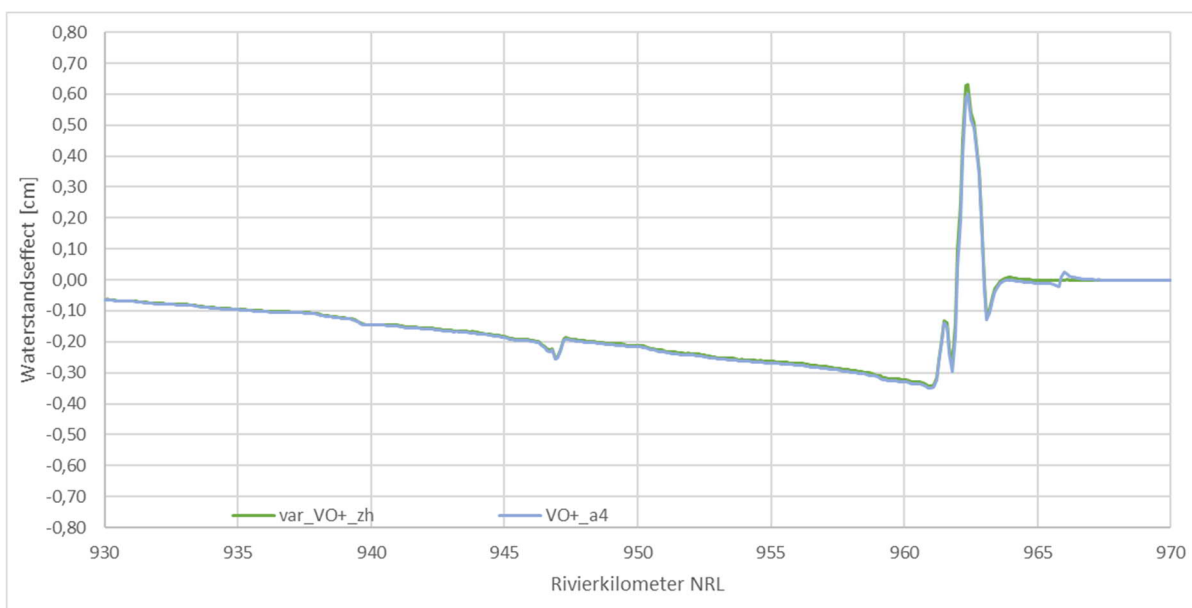
Figuur 52: Schematisatie VO+ met (links) en zonder (rechts) horeca (rode vlak)

*Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect in Figuur 53: De variant met horeca heeft een opstuwingspiek van 6,0 mm en zonder horeca is de piek 6,3 mm. De waterstandsval is 3,5 mm met horeca en 3,4 mm zonder horeca.

De horeca weghalen leidt juist tot een beperkte verhoging van de piek, terwijl de waterstandsval niet toeneemt. Dit komt overeen met het beeld uit de VKA variant met horeca, waar het verschil ook maar 0,2 mm was. De horeca zorgt voor een hogere stroomsnelheid bij de zwemplas, en daardoor stroomt juist iets meer water door de uiterwaard. Die toename leidt bij de uitstroom tot een hogere piek. De horeca ligt bij de instroomlocatie en beperkt lichtelijk de hoeveelheid water die richting de uiterwaard stroomt.

- Morfologisch effect zomerbed: De horeca heeft geen invloed op de morfologische effecten in het zomerbed. Deze worden bepaald bij 8.000 m<sup>3</sup>/s en dan stroomt het gebied aan de noordelijke kant van de uiterwaard rond de horeca niet mee.



*Figuur 53: MHW-effect VO+ met (VO+\_a4) en zonder horeca (var\_VO+\_zh) als hoogwatervrijvlak*

## B.7. Instroomlocatie

### i. Vegetatie ter hoogte van de parkeerplaats

#### *Uitgangspunten:*

Voor het optimaliseren van het MHW-effect en dwarsstroming is gekeken naar het aanbrengen van ruwere vegetatie rondom de instroomlocatie. Verwacht wordt dat door deze maatregel minder water richting de uiterwaard stroomt bij hoogwater, met als gevolg dat waterstands- en dwarsstromingseffecten kleiner worden. De maatregel is weergegeven in Figuur 54. Voor de maatregel is ongeveer een gebiedsgrootte van 1,4 ha toegepast in de vorm van riet en rugte. In het VKA-ontwerp staat hier gras en akker. De vegetatie wordt geschematiseerd in het instroomgebied van de uiterwaard, ten oosten van de uiteinden van de vertakkingen van de geul.

Deze optimalisatie is uitgevoerd in combinatie met het VKA, zonder damverlaging.



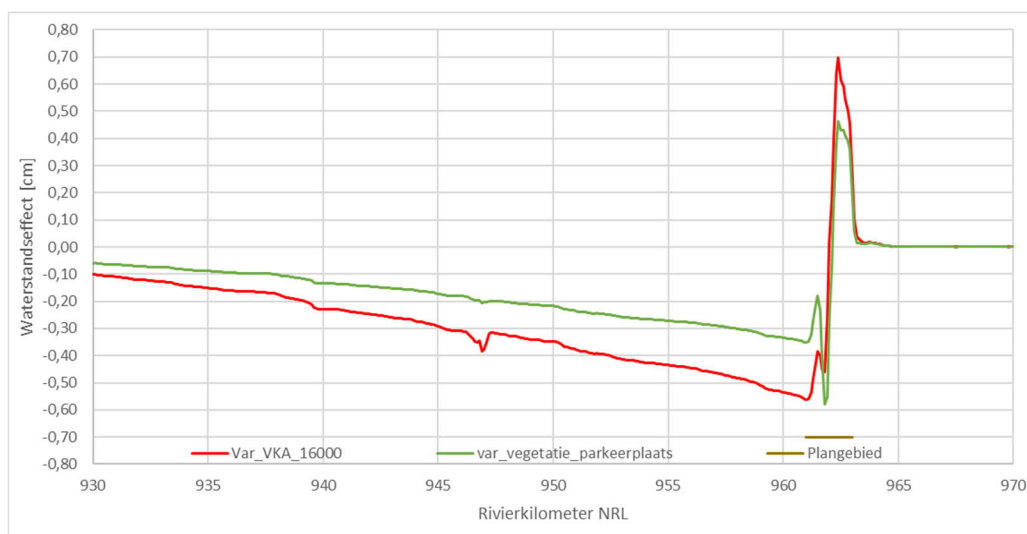
Figuur 54: Locatie van de verruwing ter hoogte van de parkeerplaats, nabij het instroomgebied van de uiterwaard

#### *Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect in Figuur 55: De ruwere vegetatie resulteert in een MHW-effect van 5,8 mm waterstandsval en een -verhoging van 4,6 mm. Dit is voor beiden een reductie van 2,5 mm ten opzichte van het VKA.
- Dwarsstromingseffect in Tabel 18: Bij 10.000 m<sup>3</sup>/s is de dwarsstroming in de geulmonding 0,16 m/s en het uitstroomdebiet 77 m<sup>3</sup>/s. Het effect ten opzichte van het VKA is een kleine stroomsnelheidsreductie van 0,01 m/s en debietreductie van 4 m<sup>3</sup>/s.

Tabel 18: Stroomsnelheden en debiet bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s

Variant	Max. snelheid instroom	Debiet instroom	Max. snelheid uitstroom	Debiet uitstroom
VKA	0,18 m/s	82 m <sup>3</sup> /s	0,17 m/s	81 m <sup>3</sup> /s
Verruwing VKA	0,17 m/s	79 m <sup>3</sup> /s	0,16 m/s	77 m <sup>3</sup> /s



Figuur 55: MHW-effect voor het VKA-ontwerp met vegetatie ter hoogte van de parkeerplaats

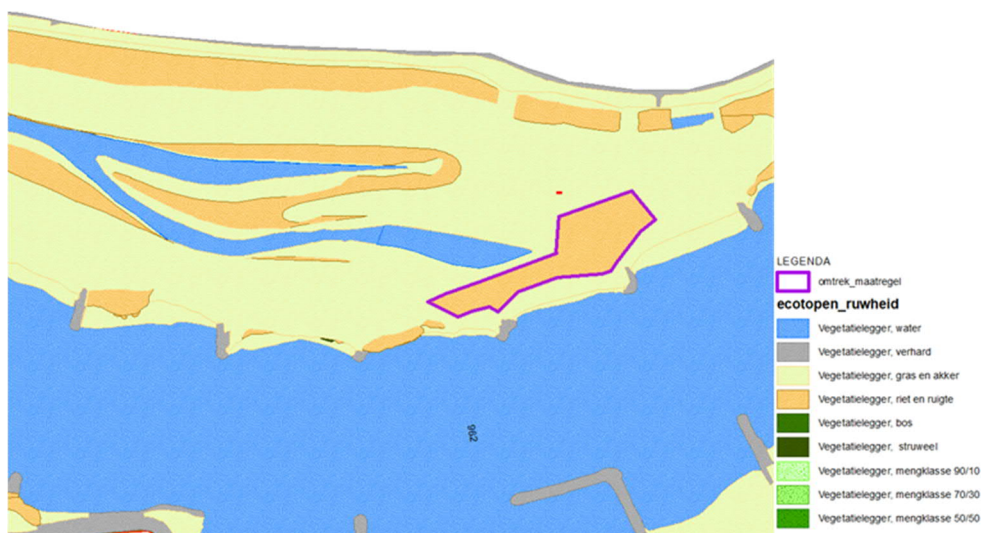
## ii. Vegetatie ter hoogte van de zwemplas

### *Uitgangspunten:*

Voor de vegetatie ter hoogte van de zwemplas is het uitgangspunt de optimalisatie in bijlage B.7.i. Echter wordt voor deze variant de verruingsstrook smaller gemaakt en in zuidelijke richting verlengd, zoals weergegeven in Figuur 56. Het noordelijke deel van de ruwere vegetatie wordt smaller en minder lang. De gebiedsgrootte van deze variant is 1,0 ha en de vegetatie is in de vorm van riet en ruigte. In de referentie staat hier gras en akker.

De verwachting is dat door deze variant de zwemplas en geul minder water trekken tijdens hoogwater, waardoor het MHW-effect verkleind, terwijl minder oppervlak aan riet en ruigte benodigd is.

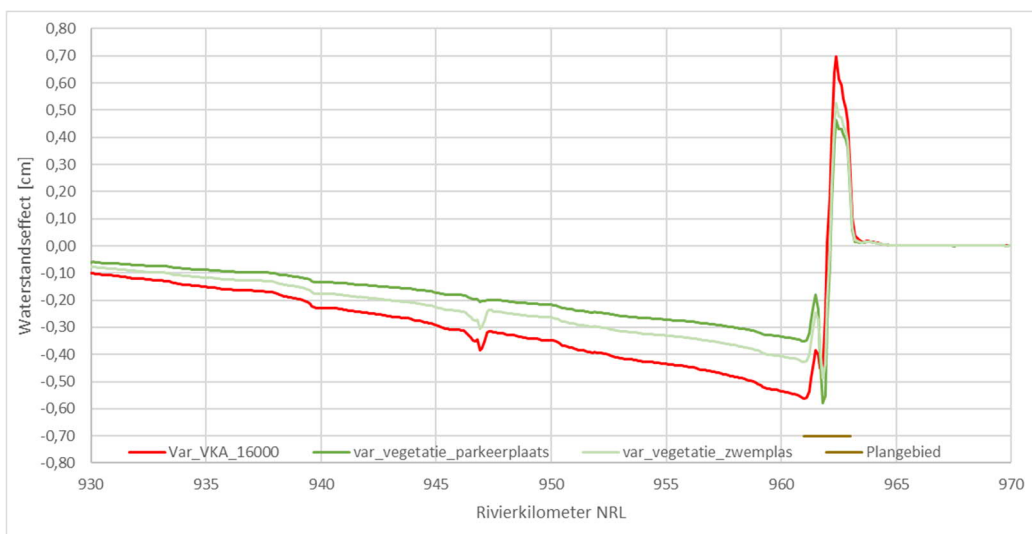
Deze optimalisatie is uitgevoerd in combinatie met het VKA-ontwerp inclusief de damverlaging. Toen deze optimalisatie werd doorgerekend, was tijdens de ontwerpssessie d.d. december 2019 besloten dat de zwemplas gevoed wordt vanuit de geul door de verlaging van de dam. Daarom is dit direct toegepast in alle verdere optimalisaties.



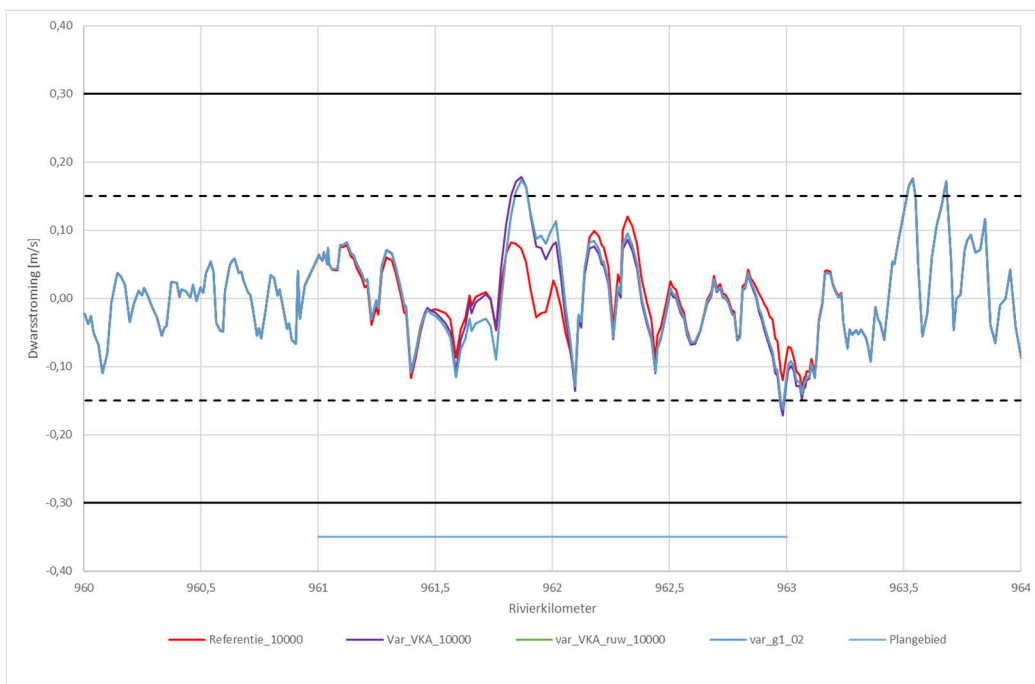
Figuur 56: Locatie van de verruwing ter hoogte van de zwemplas, nabij het instroomgebied van de uiterwaard

### *Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect in Figuur 57: De vegetatie resulteert in een opstuwingspiek van 5,3 mm. Dit is een reductie van 1,7 mm ten opzichte van het VKA. Het effect is niet kleiner dan bij de optimalisatie met vegetatie ter hoogte van de parkeerplaats. Daartegenover is wel minder vegetatieoppervlak toegepast en het effect is wel sterk verkleind ten opzichte van het VKA.
- Dwarsstromingseffect in Figuur 58: Bij 10.000 m<sup>3</sup>/s heeft deze optimalisatie geen invloed op de locaties waar de dwarsstroming hoger is dan 0,15 m/s voor het VKA-ontwerp.



Figur 57: MHW-effect voor variant damverlaging met vegetatie ter hoogte van de zwemplas



Figur 58: Dwarsstroming voor variant damverlaging met verruwing (g1\_o2)

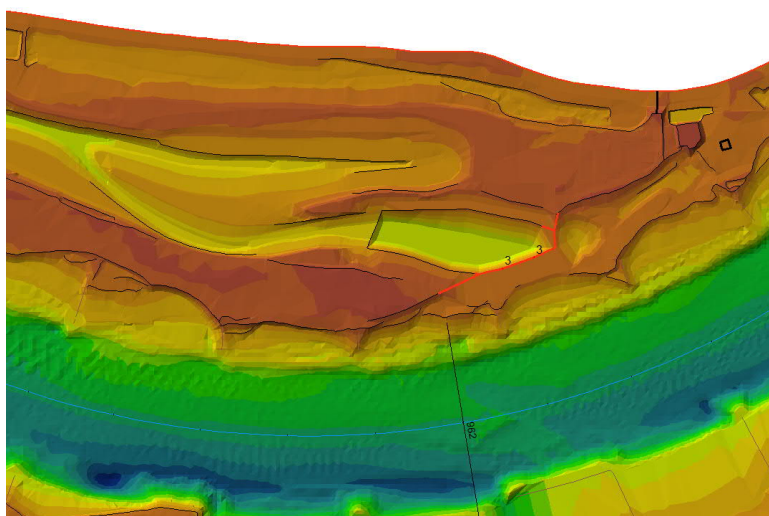


### iii. Kade ophoging tot oorspronkelijke hoogte

#### *Uitgangspunten:*

Ten oosten van de zwemplas ligt het maaiveldniveau in de referentie hoger dan in het VKA. Om de invloed hiervan te bepalen, wordt de bestaande maaiveldhoogte behouden. Dit houdt in dat het maaiveld in het VKA-ontwerp wordt verhoogd van NAP +2,0 m naar NAP +3,0 m, zie ook Figuur 59.

Voor dit ontwerp is uitgegaan van de variant met de verlaagde dam.

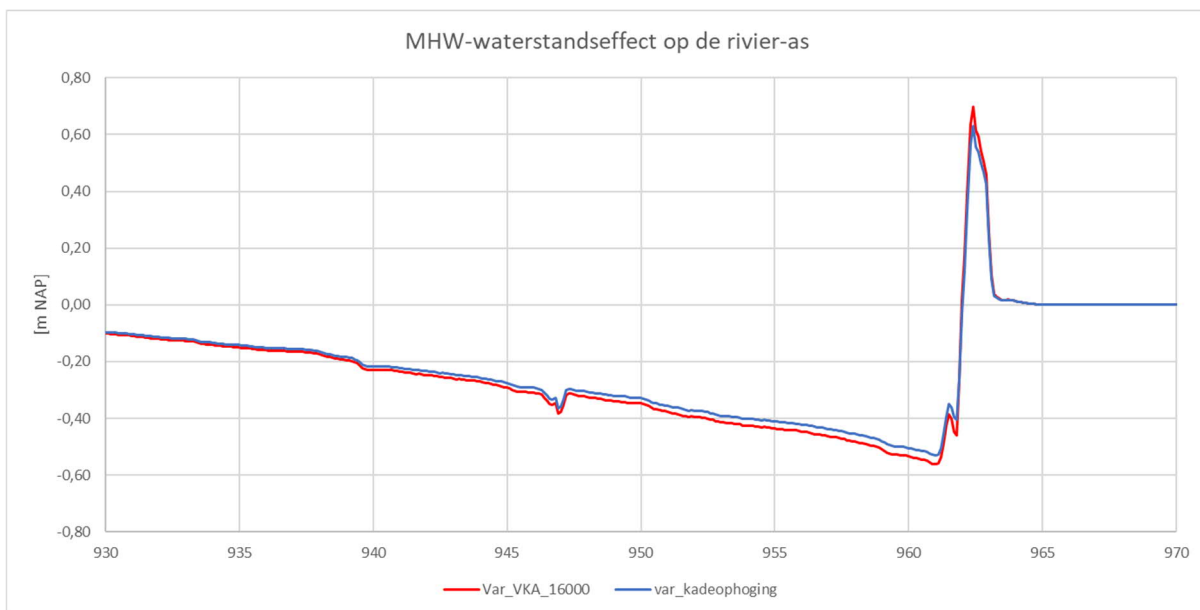


Figuur 59: Optimalisatie van het VKA met damverlaging en kade ophoging

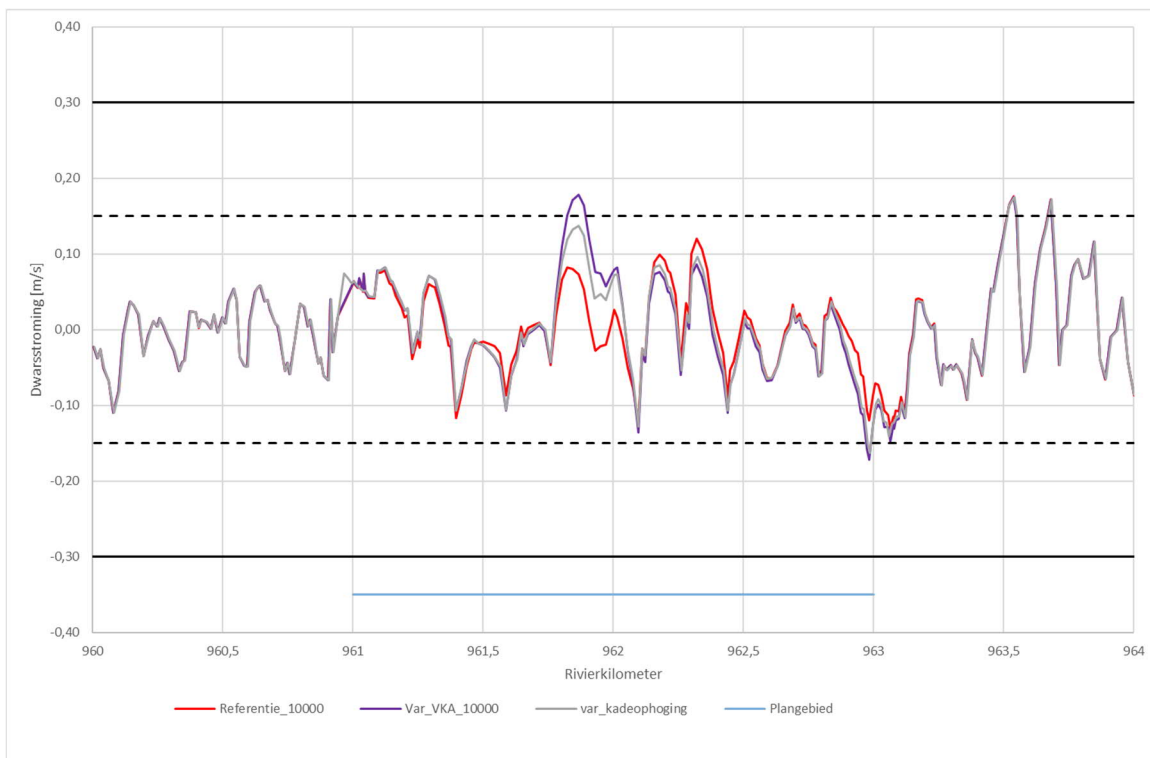
#### *Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect in Figuur 60: De ophoging resulteert in een opstuwingspiek van 6,3 mm. Dit is een reductie van 0,7 mm ten opzichte van het VKA.
- Dwarsstromingseffect in Figuur 61: Bij 10.000 m<sup>3</sup>/s geeft deze optimalisatie een verlaging van de stroomsnelheid bij rkm 961,9 van 0,16 m/s naar 0,12 m/s. Bij de uitstroom rond rkm 963 heeft deze maatregel geen effect.

Deze optimalisatie optimaliseert zowel het MHW-effect als het dwarsstromingseffect. Echter nog niet voldoende om te voldoen aan het RBK. Daarnaast beïnvloedt deze optimalisatie de meestroomfrequentie van de geul bij hogere rivierafvoeren. Door de verhoging gaat de geul minder vaak meestromen met de rivier, terwijl het overstromen gunstig is voor natuurontwikkeling. Daartegenover resulteert het wel in kleine verbeteringen van het rivierkundig effect. In de KRW-toets is de meestroomfrequentie meegenomen op de KRW-doelen. Vanuit daar is geconcludeerd dat verminderd meestromen van de geul dan eens per jaar niet wenselijk is.



Figuur 60: MHW-effect ophogen instroomkade tot referentieniveau

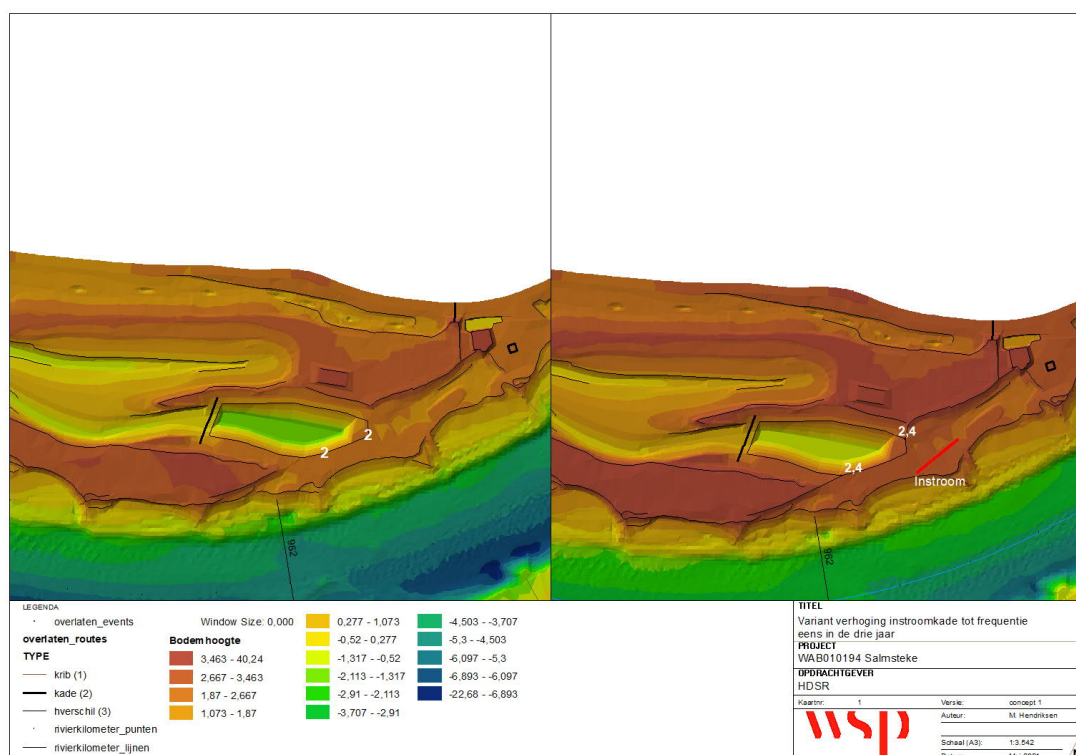


Figuur 61: Dwaarsstromingseffect ophogen instroomkade tot referentieniveau

#### iv. Kade ophoging tot instroomfrequentie eens in de 3 jaar

##### Uitgangspunten:

In deze variant wordt de instroomkade aan de westzijde van de zwemplas verhoogd van NAP +2,0 m naar NAP +2,4 m, zie ook het figuur hieronder. Hiermee verandert de inundatiefrequentie van de getijdegeul van 8 dagen per jaar (afvoer 5.380 m<sup>3</sup>/s bij Lobith) naar eens in de drie jaar (afvoer 6.857 m<sup>3</sup>/s bij Lobith).



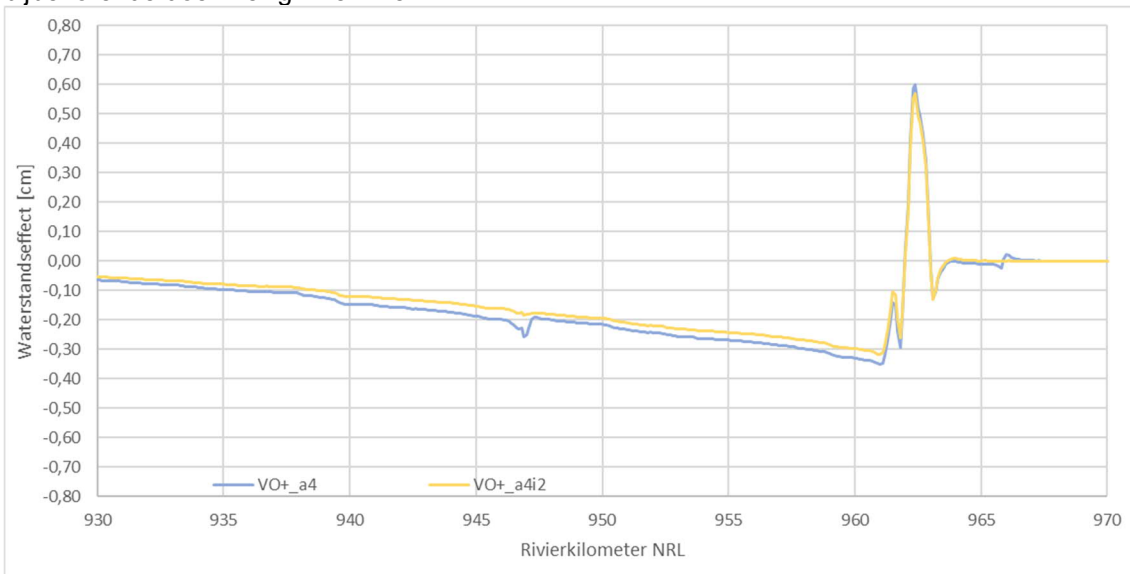
Figuur 62: Schematisatie van variant VO+ (links) en VO+ kadeverhoging (rechts)

##### Effect op rivierkundige aspecten:

- Effect op waterstand in Figuur 63: waterstandpiek is 5,7 mm, dit is 0,3 mm lager dan in VO+. De waterstandsvaling bedraagt nog 3,2 mm, dit is 0,3 mm minder dan in het VO+.
- Effect op dwarsstroming in Figuur 64: het verhogen van de kade met 0,4 m ten opzichte van het VO+ (VO+\_a4) resulteert in een lagere dwarsstroming bij de instroom (rkm 961,8) bij 10.000 m<sup>3</sup>. Hierdoor verlaagt de stroomsnelheid op deze locatie met 0,01 m/s tot 0,15 m/s.
- Effecten op morfologie: De volledige tabel met resultaten en de grafische weergave is opgenomen in bijlage D.10. Hieronder worden de belangrijkste resultaten opgesomd.

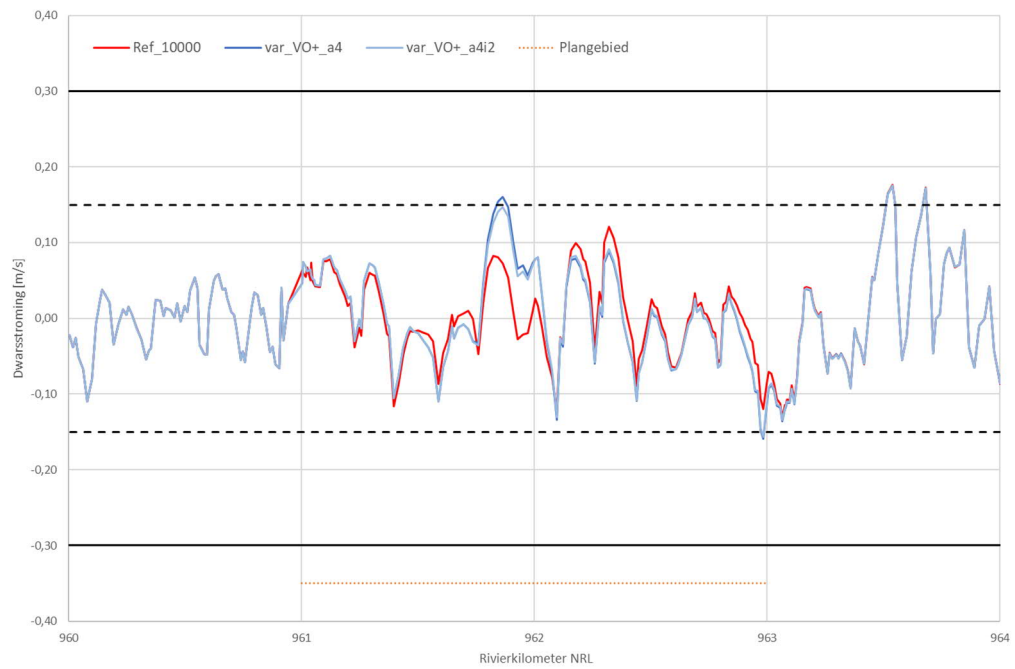
- De beperkte morfologische effecten in het zomerbed nemen af door deze maatregel. De sedimentatie en erosie nemen af. De sedimentatie werkt minder lang door benedenstreams van de buitenbocht.
- De sedimentatie bedraagt 1.095 m<sup>3</sup> in het gebied tussen rkm 961,2 en 964,1 Dit is 259 m<sup>3</sup> minder dan bij het VO+. Daartegenover ontstaat 88 m<sup>3</sup> erosie. Dit is 18 m<sup>3</sup> meer dan bij het VO+.
- Het effect op de maximale bodemhoogte t.o.v. de norm is maximaal 1,9 cm (0,4 cm lager dan in VO+) en op de gemiddelde bodemhoogte is het 0,9 cm (0,2 cm lager dan in VO+).
- Het extra volume boven de norm bedraagt 56 m<sup>3</sup>, over één kilometer verspreid tussen rkm 962-963. Dit is 13 m<sup>3</sup> lager dan in VO+.

De stroomsnelheid bij 6.000 m<sup>3</sup>/s is het hoogst aan het eind van de zuidelijke tak van de geul, ten westen van de scheiding zwemplas/geul > 0,16 m/s. Dit is lager dan de kritieke stroomsnelheid voor slib en zand (0,3 m/s). Door de kade zo laag mogelijk te houden neemt de kans op stroming in de geul toe, en daarmee kans op enige doorspoeling van de geul<sup>13</sup>. De stroming in de geul is namelijk zeer laag bij dagelijkse omstandigheden, doordat het aan de uiteinde van de geul ligt. Deze lage stroomsnelheid is gunstig voor de zwemplas en het bijbehorende doel “veilig zwemmen”.



Figuur 63: MHW-effect VO+ en kade ophoging t.o.v. referentie

<sup>13</sup> Verversing vindt dagelijks plaats via de monding (uitstroomzijde) door getijwerking



Figuur 64: Dwarsstroming VO+ en kade ophoging

## B.8. Geulmondning

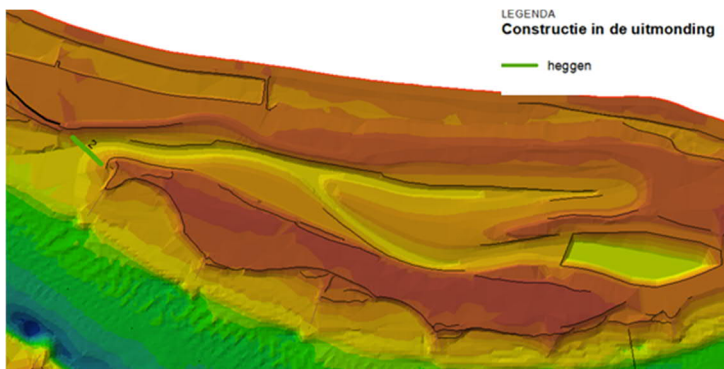
### i. Hoogte heggen

#### *Uitgangspunten:*

Ten behoeve van het beperken van de stroomsnelheid bij de monding van de getijdegeul wordt hier een constructie ontworpen bestaande uit natuurlijk materiaal (palenrijen met wiepen). De constructie remt de stroomsnelheid veroorzaakt door getij.

De constructie is gelegen in de uitstroommondning en reikt tot het omliggende maaiveldniveau van NAP +2,0 m. De constructie is in Baseline geschematiseerd als een "heg"-lijnelement met een dichte structuur. Om de gevoeligheid van de constructie te analyseren is ook een lagere heg op NAP +0,5 m doorgerekend. Deze variant is weergegeven in Figuur 65.

Voor beide ontwerpen is uitgegaan van de variant met de verlaagde dam.

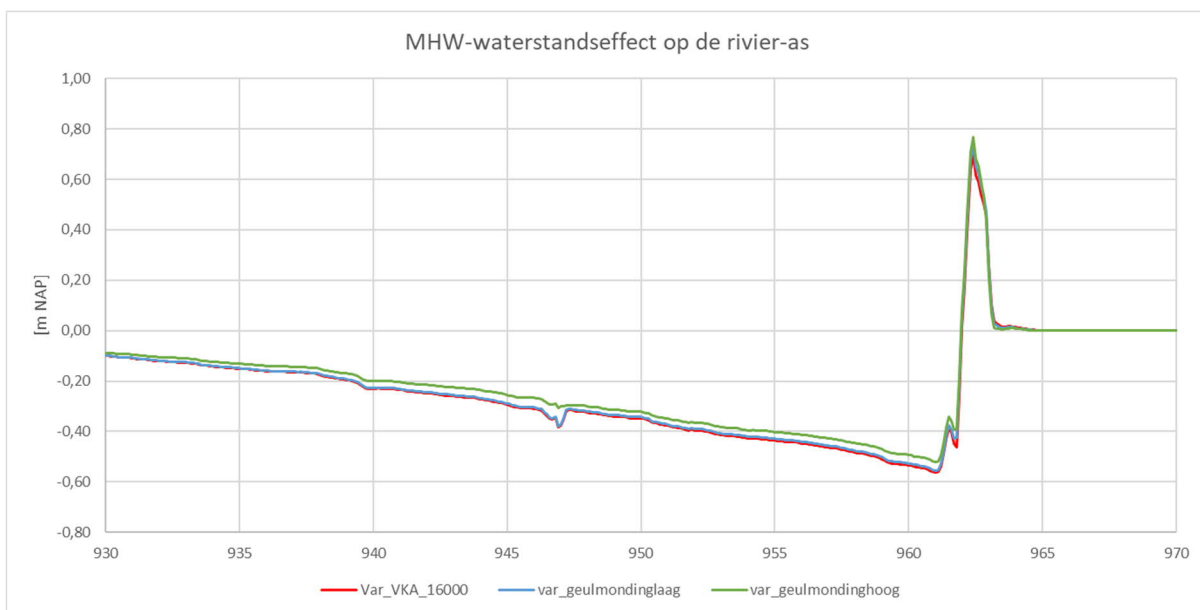


Figuur 65: Optimalisatie geulmondning door constructie heg tot NAP +0,5 m (hoogte 2,0 m) en tot NAP +2,0 m (hoogte 3,5 m)

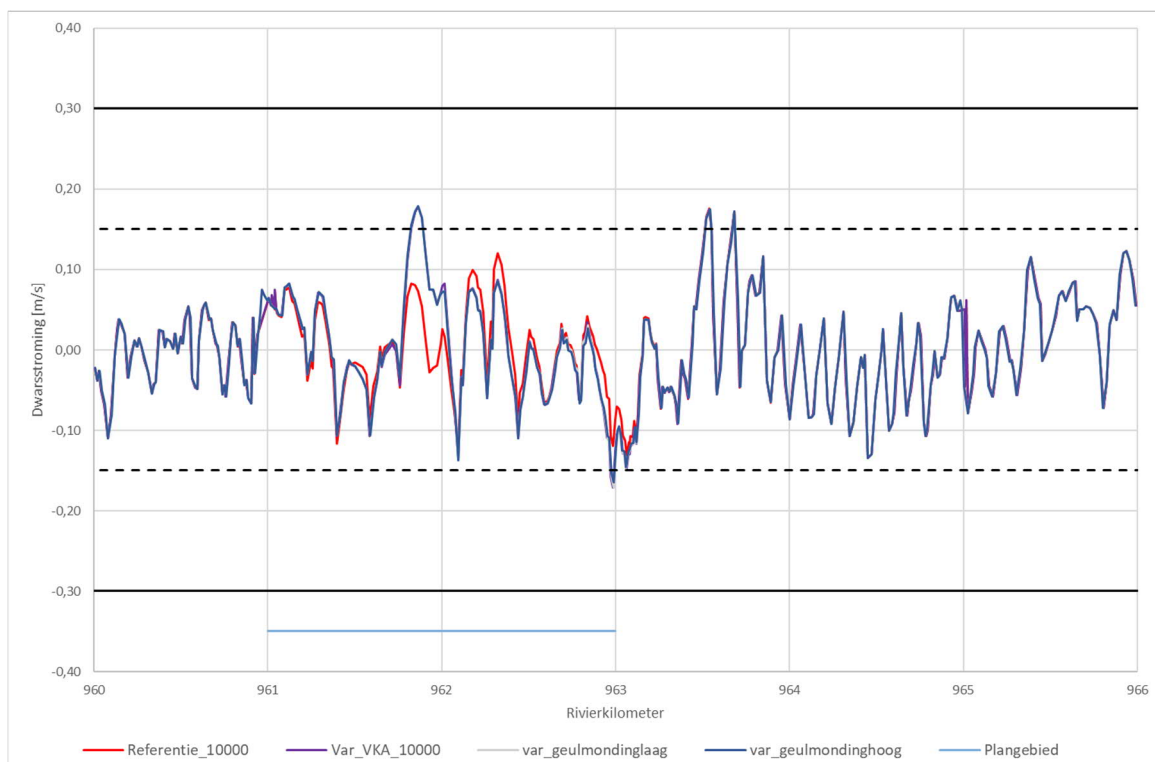
#### *Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect in Figuur 66: De opstuwingspiek is hoger dan bij het VKA-ontwerp. De hogere constructie veroorzaakt meer opstuwning dan de lagere constructie. Daartegenover is de waterstandsval minder bij de hogere dan bij de lagere constructie.
- Dwarsstromingseffect in Figuur 67: Bij 10.000 m<sup>3</sup>/s verandert het effect op de dwarsstroming nauwelijks. De hogere constructie veroorzaakt iets minder dwarsstroming dan de lagere constructie bij de geulmondning.





Figuur 66: MHW-effect voor geulmondning constructie, met een hoogte tot NAP +0,5 m (laag) en NAP +2,0 m (hoog)

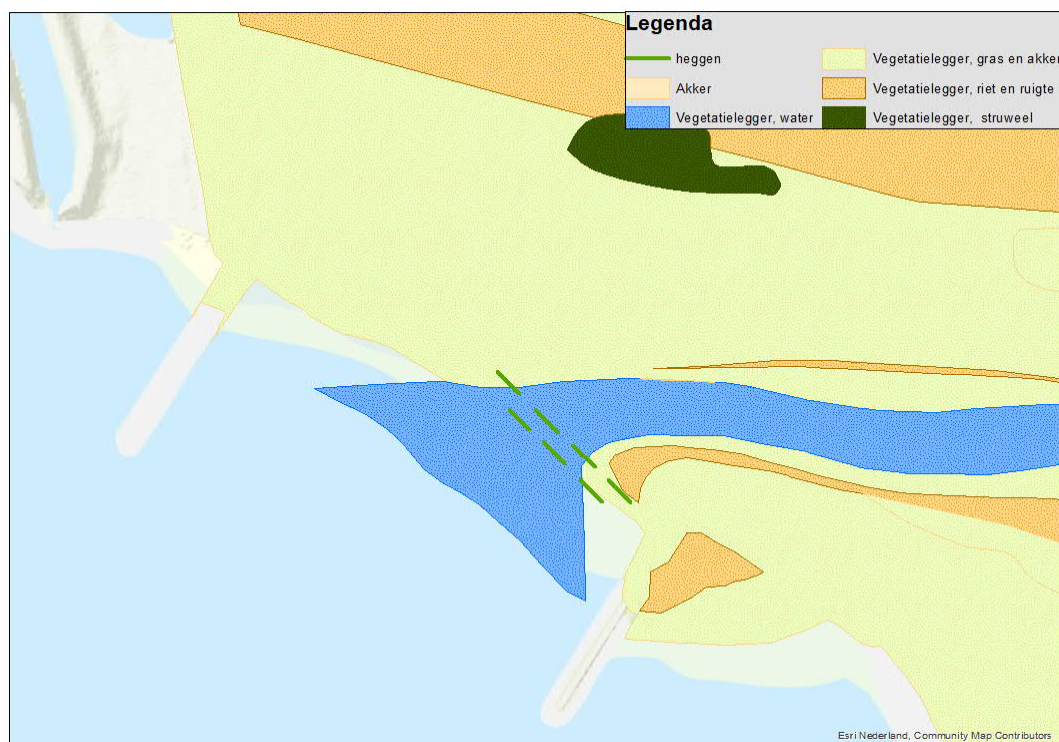


Figuur 67: Dwarsstromingseffect bij 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith voor geulmondning constructie, met een hoogte tot NAP +0,5 m (laag) en NAP +2,0 m (hoog)

## ii. Dichtheid

### *Uitgangspunten:*

De constructie in de geulmonding bestaat uit meerdere palenrijen met wiepen om de stroomsnelheid in de geul te verlagen. Deze constructie is in het VO opgenomen als een elftal heggen met een dichte structuur. Om het effect te optimaliseren is in deze maatregel de schematisatie aangepast naar een zevental heggen. De schematisatie is te zien in Figuur 68. Hierbij is zowel een maatregel met dichte als met open structuur doorgerkend.



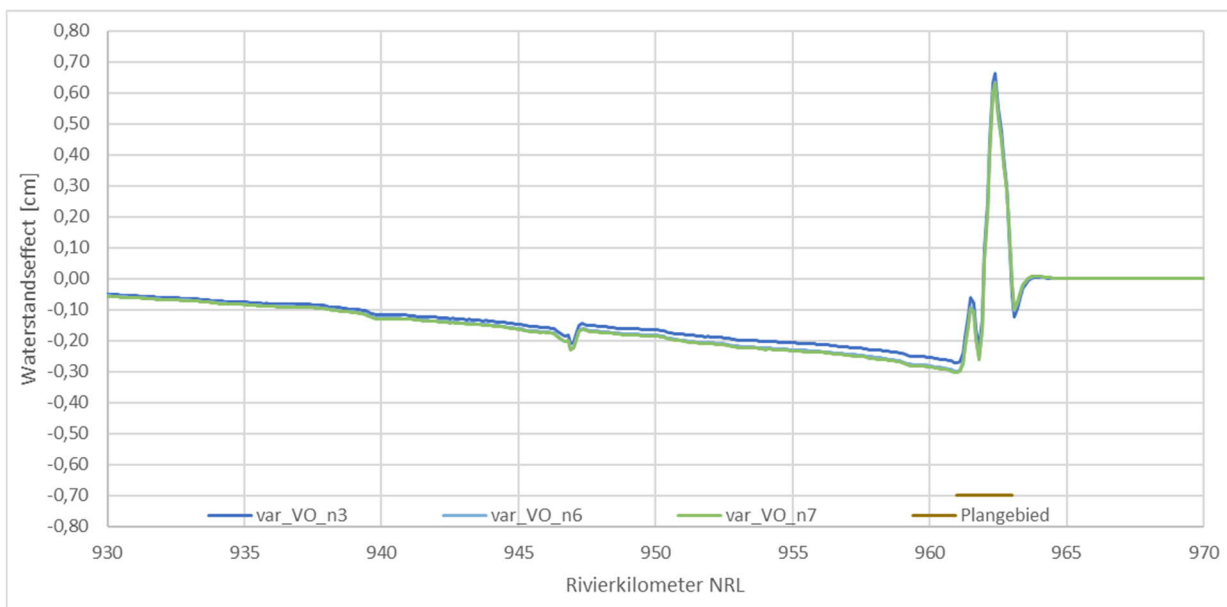
*Figuur 68: Optimalisatie constructie in de geulmonding, met 7 heggen en een dichte (var\_VO\_n6) en open (var\_VO\_n7) structuur.*

### *Effect op rivierkundige aspecten:*

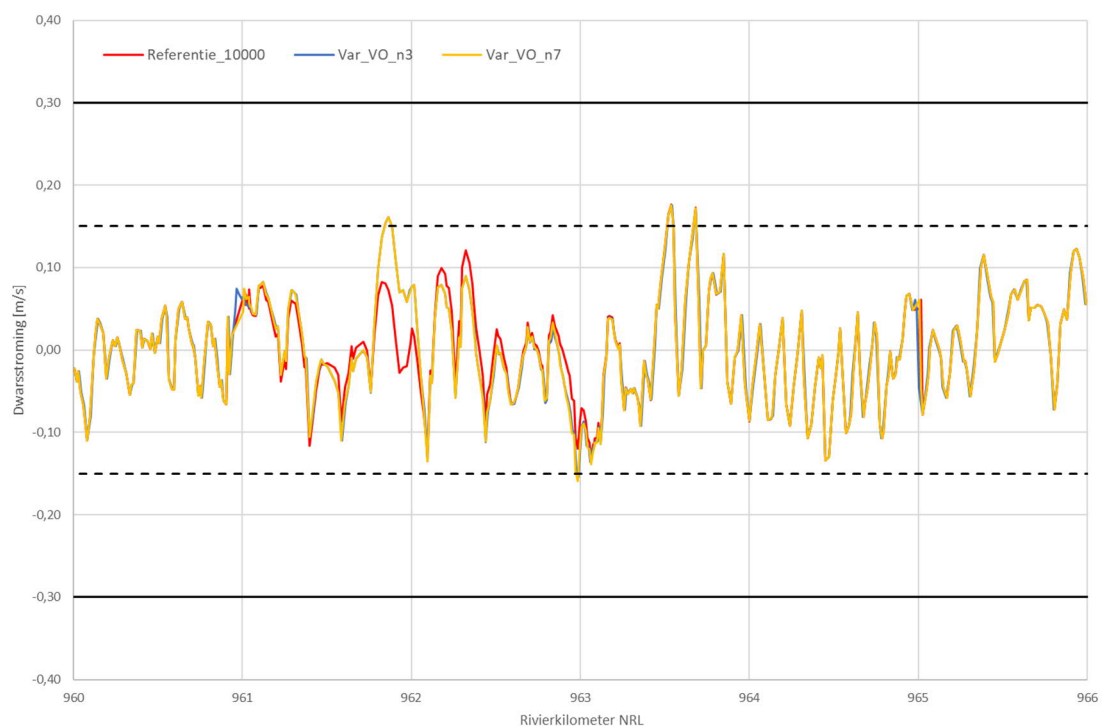
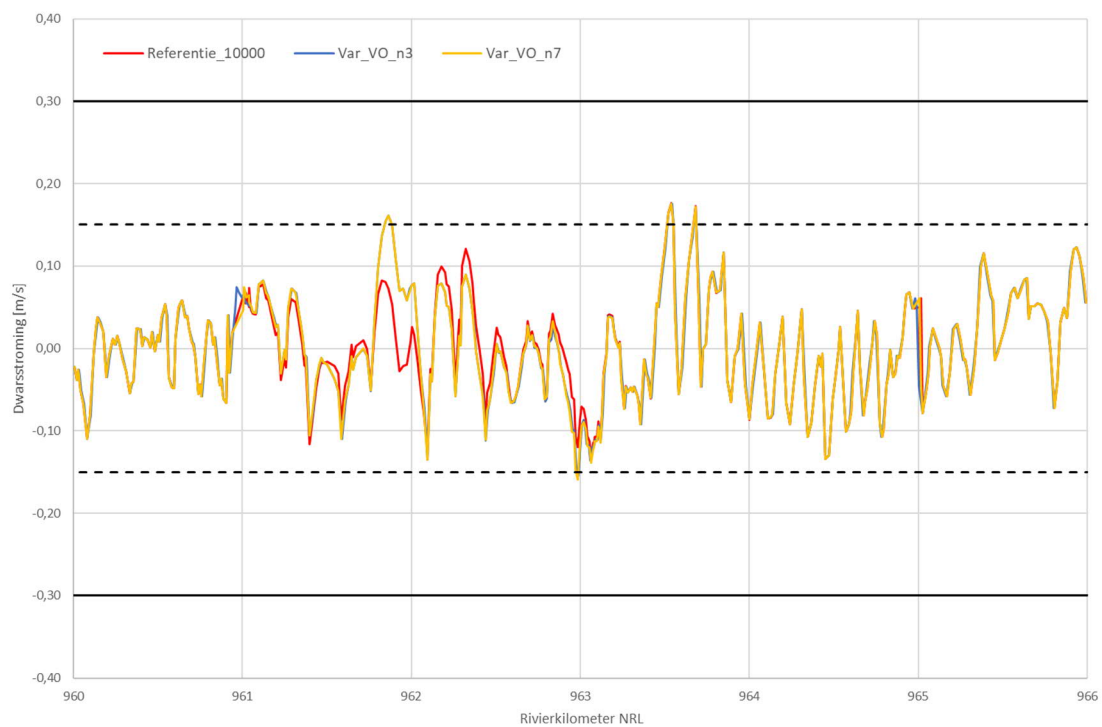
- MHW-effect: Figuur 69 laat zien dat het waterstandseffect tussen de variant met open en met dichte structuur bijna niet verschilt. De waterstandsverhoging is circa 6,4 mm voor de dichte structuur en 6,3 mm voor de open structuur. Dit is respectievelijk 0,2 en 0,3 mm lager dan bij het VO. De maximale waterstandsval is voor beide varianten 3,0 mm. Dit is 0,3 mm meer dan bij het VO.
- Dwarsstroming: Figuur 70 geeft de dwarsstroming bij 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith weer. Het toepassen van een open structuur en minder heggen veroorzaakt een kleine verhoging van de dwarsstroming bij de uitstroom van de geul ten opzichte van het VO. De dwarsstroming op deze locatie in het VO is precies op een acceptabele grens (~15 cm/s). Hoger is niet wenselijk bij de optimalisatie.

- Morfologisch effect zomerbed: De volledige tabel met resultaten is weergegeven in bijlage D.6. Hieruit blijkt dat de sedimentatie in het gebied tussen rkm 961,2 en 964,1 toeneemt met 1.390 m<sup>3</sup>. Het effect op de maximale bodemhoogte t.o.v. norm is maximaal 2,4 cm en op de gemiddelde bodemhoogte is het 1,1 cm. Het extra volume boven de norm bedraagt 71,0 m<sup>3</sup>, over één kilometer verspreid tussen rkm 962-963. Het baggervolume effect incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de norm te voldoen is 154 m<sup>3</sup>. Het baggervolume effect in de kielspeling dat verwijderd moet worden voor vlotte en veilige scheepvaart is 528 m<sup>3</sup>.

Het morfologisch effect van meer doorlatendheid en minder heggen dan bij het VO (zie ook B.9.iv) resulteert in meer sedimentatie (17 m<sup>3</sup>) en een lichte stijging in het baggervolume in de kielspeling (5 m<sup>3</sup>). Doordat daarnaast het MHW-effect zeer klein is, is deze variant geen wenselijke optimalisatie van het VO.



Figuur 69: MHW-effect voor geulmonding constructie, met 7 heggen en een dichte (var\_VO\_n6) en open (var\_VO\_n7) structuur.

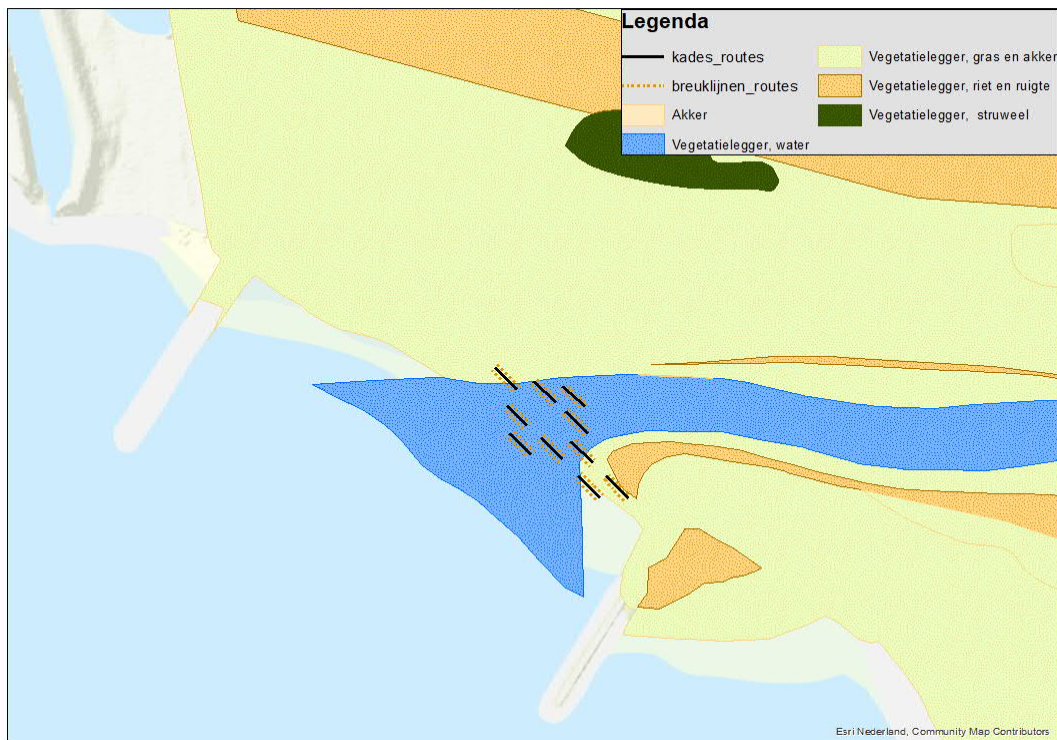


Figuur 70: Dwaarsstromingseffect bij 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith voor geulmondig constructie, met 7 heggen en een dichte (var\_VO\_n6) en open (var\_VO\_n7) structuur.

### iii. Constructie als kades

#### *Uitgangspunten:*

De constructie in de geulmonding bestaat uit meerdere palenrijen met wiepen om de stroomsnelheid in de geul te verlagen. Deze constructie is in het VO opgenomen als een elftal heggen met een dichte structuur. Om het effect te optimaliseren is in deze variant de schematisatie aangepast naar kades in plaats van heggen. De schematisatie is weergegeven in Figuur 71.



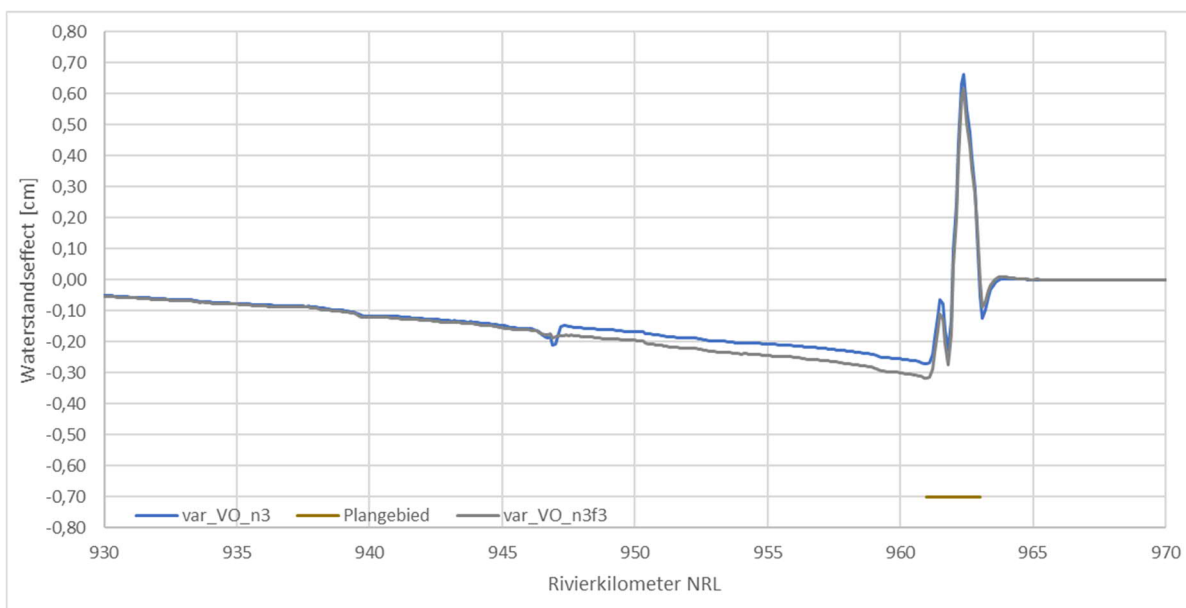
Figuur 71: Optimalisatie constructie in de geulmonding, met kades in plaats van heggen (var\_VO\_n3f3)

#### *Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect: Figuur 72 geeft het waterstandseffect van de variant op de hoogwaterreferentie weer. De waterstandsophoging is circa 6,2 mm en de maximale daling is 3,2 mm. De waterstandsdaling is 0,5 mm groter en de piek is 0,4 mm lager dan bij het VO.
- Dwarsstroming: Figuur 73 geeft de dwarsstroming bij 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith weer. De kades in plaats van heggen veroorzaken een lichte verhoging van de dwarsstroming bij de uitstroom van de geul ten opzichte van het VO. De dwarsstroming op deze locatie in het VO is precies op een acceptabele grens (~15 cm/s). Hoger is niet wenselijk bij de optimalisatie.
- Morfologisch effect zomerbed: De volledige tabel met resultaten is weergegeven in bijlage D.7. Hieruit blijkt dat de sedimentatie in het gebied tussen rkm 961,2 en 964,1 toeneemt met 1.375 m<sup>3</sup>. Het effect op de maximale bodemhoogte t.o.v. norm is maximaal 2,4 cm

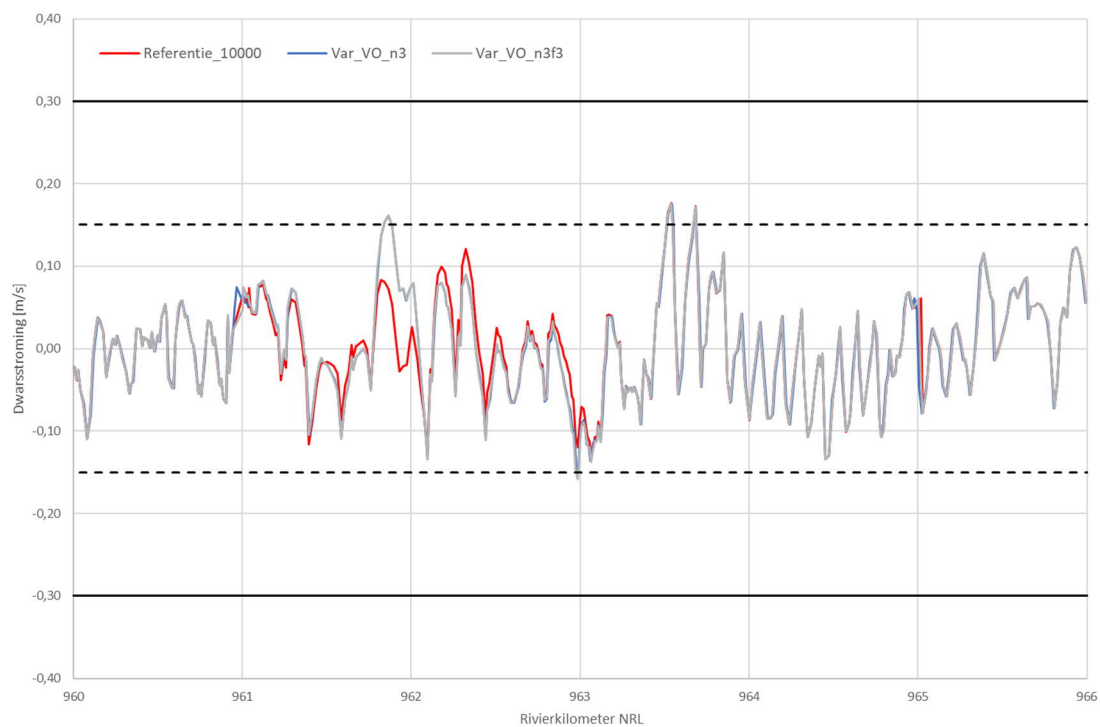
en op de gemiddelde bodemhoogte is het 1,1 cm. Het extra volume boven de norm bedraagt 70,1 m<sup>3</sup>, over één kilometer verspreid tussen rkm 962-963. Het baggervolume effect incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de norm te voldoen is 153 m<sup>3</sup>. Het baggervolume effect in de kielspeling dat verwijderd moet worden voor een vlotte en veilige scheepvaart is 524 m<sup>3</sup>.

Het morfologisch effect van de toepassing van kades in plaats van heggen is zeer klein, doordat de kades relatief laag zijn ten opzichte van de waterstand bij hoogwater.



Figuur 72: MHW-effect voor geulmonding constructie, met kades in plaats van heggen (var\_VO\_n3f3)



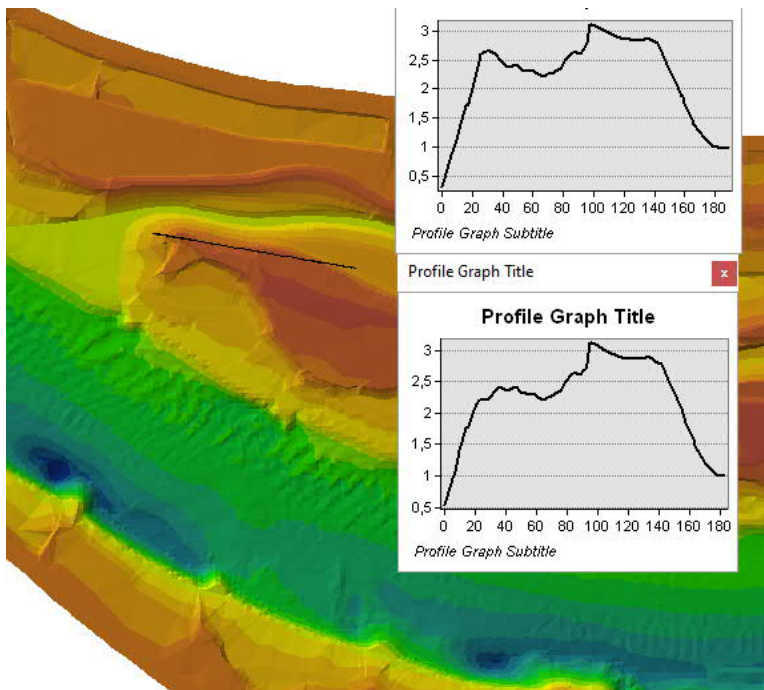


Figuur 73: Dwarsstromingseffect bij 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith voor geulmonding constructie, met kades in plaats van heggen (var\_VO\_n3f3)

#### iv. Profiel oostkant kade geulmonding

##### *Uitgangspunten:*

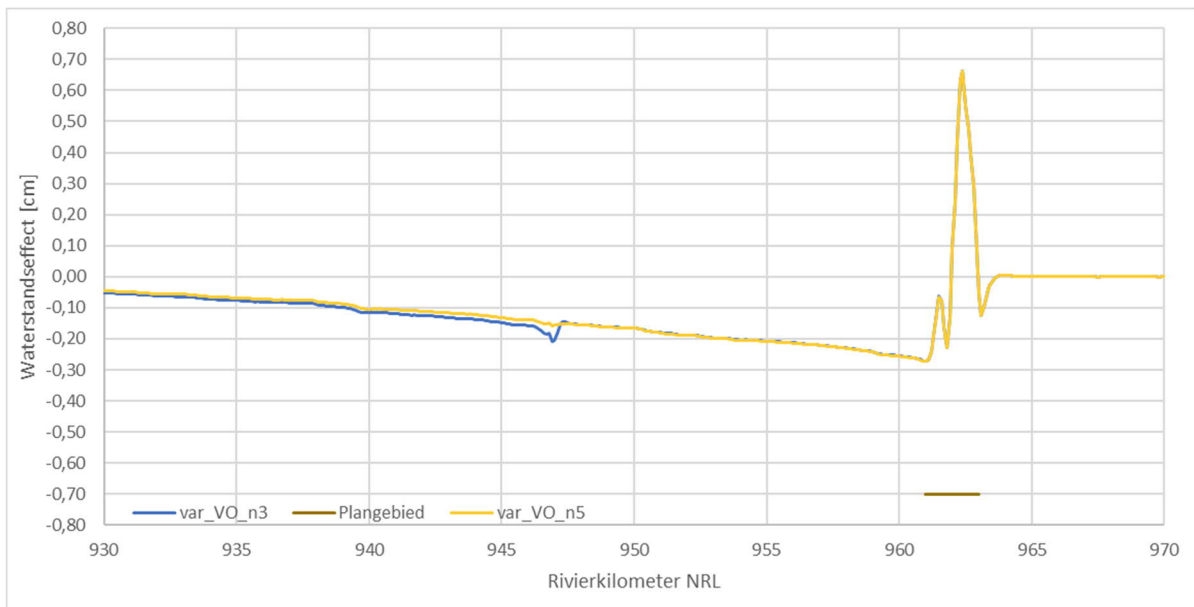
Aan de oostkant van de kade bij de geulmonding is in het ontwerp van het VO een redelijk steil talud ontstaan waarvan het vermoeden bestaat dat deze makkelijk erodeert bij hoogwater. Om het ontwerp robuuster te maken en de kans op eroderen te verkleinen wordt het hoogste punt verlaagd en daarmee het talud verflauwd. In Figuur 74 is een dwarsdoorsnede opgenomen van zowel het VO als de maatregel.



Figuur 74: Optimalisatie van het profiel van de oostkant kade bij de geulmonding, profiel boven is VO en profiel onder is geoptimaliseerde variant (var\_VO\_n5)

*Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect: geeft het waterstandseffect van de variant op de hoogwaterreferentie weer. De waterstandsverhoging bedraagt circa 6,6 mm en de maximale daling is 2,7 mm. Dit is hetzelfde als bij het VO. Echter draagt deze aanpassing van het ontwerp wel bij aan een verminderde kans op erosie rond dit punt bij hoge stroomsnelheden bij hoogwater. Daarom is deze maatregel opgenomen in het VO+.



Figuur 75: Waterstandseffect in centimeters op de as van de rivier van een variant met aanpassing van het profiel van de oostkant kade bij de geulmonding (var\_VO\_n5).

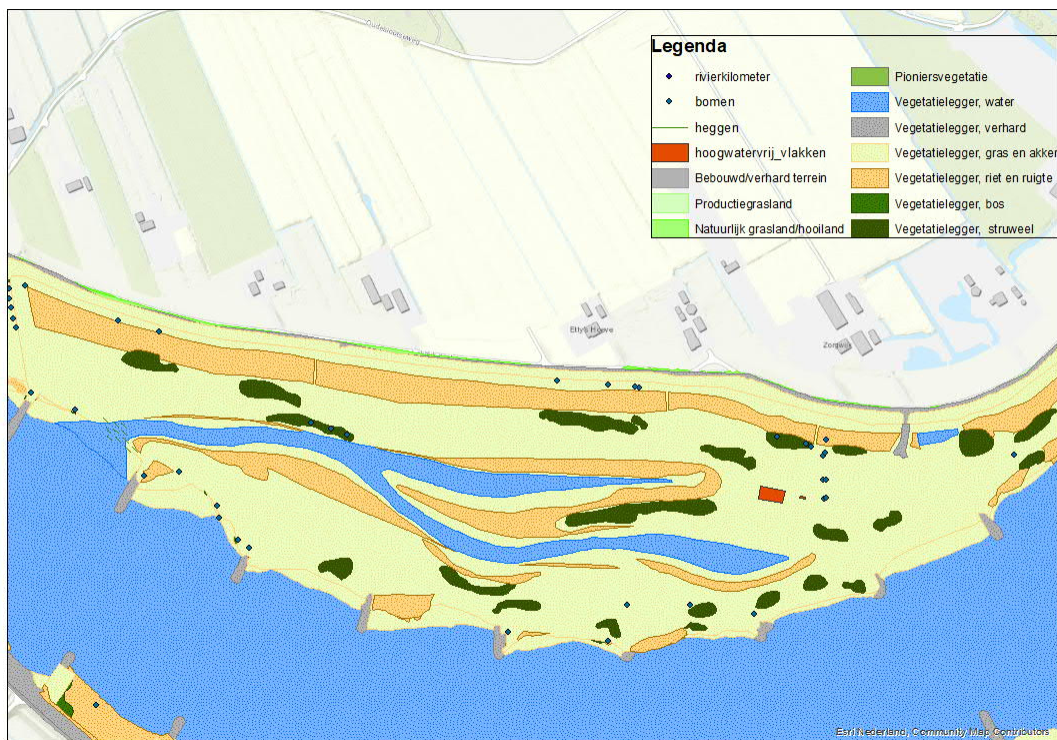
## B.9. Vegetatie-ontwikkeling

### i. Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard ruw, struweel

#### *Uitgangspunten:*

Een mogelijke vegetatie-ontwikkeling conform een tussenontwerp (dd. maart 2020) is in de schematisatie opgenomen als struweel. De schematisatie is weergegeven in Figuur 76.

Deze variant is geschematiseerd en doorgerekend met alle maatregelen uit het ontwerp, ook de vegetatie-ontwikkeling. Deze toepassing van de vegetatie blijkt echter zoveel effect te veroorzaken, dat deze maatregel vervolgens alsnog is geoptimaliseerd (zie bijlage B.9.ii, B.9.iii en B.9.iv) om te komen tot de vegetatie in het VO (B.9.iv).



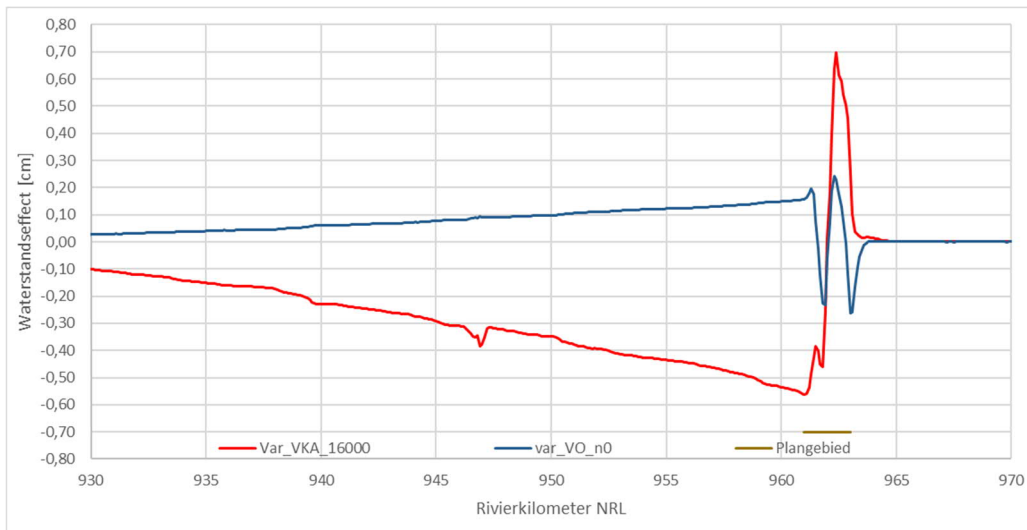
Figuur 76: Vegetatie-ontwikkeling conform een tussenontwerp (var\_VO\_n0) – maart 2020

#### *Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect: Figuur 77 geeft het waterstandseffect van de variant op de hoogwaterreferentie weer. Uit de voorgaande analyses naar maatregelen en optimalisaties (bijlages C.3, C.4., C.5. en C.6.) blijkt dat deze allemaal een beperkt effect hebben op de waterstand, met uitzondering van de vegetatie bij de geulmonding. In het effect van deze variant is te zien dat bovenstrooms van de uiterwaard geen waterstandsverlaging, maar -verhoging optreedt. De piek van de waterstandsverhoging bedraagt circa 2,4 mm. Het effect van de getijdegeul in het VKA-ontwerp wordt tenietgedaan door de vegetatie-ontwikkeling uit het ontwerp, welke nog niet eerder is toegepast. De opstuwning bovenstrooms van de uiterwaard wordt voornamelijk

veroorzaakt door de vegetatie ten noordoosten van de uiterwaard, rond rkm 961,5. Daarnaast zorgt ook de vegetatie rond de instroom van de zwemplas voor minder waterstandsval, zoals bekend uit de analyse naar maatregelen rond dit gebied (bijlage B.7). De waterstandsverhoging is niet wenselijk en het ontwerp wordt geoptimaliseerd. De optimalisatie is uitgewerkt in bijlage B.9.ii.

- **Morfologisch effect zomerbed:** De volledige tabel met resultaten is weergegeven in bijlage D.4. Hieruit blijkt dat de sedimentatie in het gebied tussen rkm 961,2 en 964,1 toeneemt met 1.252 m<sup>3</sup>. Het effect op de maximale bodemhoogte t.o.v. norm is maximaal 2,2 cm en op de gemiddelde bodemhoogte is het 1,1 cm. Het extra volume boven de norm bedraagt 65,7 m<sup>3</sup>, over één kilometer verspreid tussen rkm 962-963. Het baggervolume effect incl. 30 cm baggermarge dat moet worden verwijderd om aan de norm te voldoen is 144 m<sup>3</sup>. Het baggervolume effect in de kielspeling dat verwijderd moet worden voor vlotte en veilige scheepvaart is 472 m<sup>3</sup>.



Figuur 77: Waterstandseffect in centimeters op de as van de rivier van een variant met vegetatie ontwikkeling en de maatregelen van het Voorlopig Ontwerp (var\_VO\_n0)



## ii. Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard, deel struweel vervangen door bos

### Uitgangspunten:

Deze variant is een optimalisatie van de vegetatie-ontwikkeling van de variant uit bijlage B.9.i. De schematisatie is weergegeven in Figuur 78. Het struweel ten noordoosten van de uiterwaard, rond rkm 961,5, welke voor opstuwing bovenstrooms van de uiterwaard zorgt, is aangepast naar gras en akker, zoals in de VKA-schematisatie. Daarnaast is ook de vegetatie rond de instroom van de zwemplas aangepast van struweel naar bos.

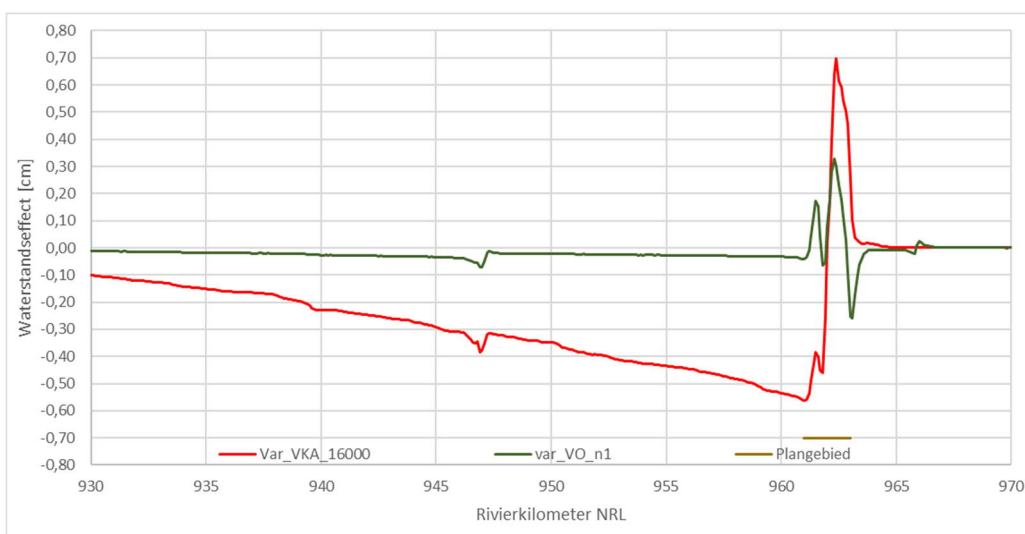


Figuur 78: Vegetatie-ontwikkeling conform ontwerp-tekening met vervanging struweel door bos (var\_VO\_n1)

### Effect op rivierkundige aspecten:

- MHW-effect: Figuur 79 geeft het waterstandseffect van de variant op de hoogwaterreferentie weer. De waterstandsverhoging is circa 3,3 mm en de maximale daling is 2,6 mm, benedenstrooms van de opstuwingspiek. De bovenstroomse daling is maximaal 0,4 mm. De variant veroorzaakt geen waterstandsverhoging meer bovenstrooms van de uiterwaard. De waterstandsverlaging is echter zeer klein t.o.v. de opstuwingspiek. De opstuwingspiek is 0,5 mm vergroot t.o.v. de variant in bijlage B.9.i. Het principe van een zaagtand kan hier niet worden toegepast en de opstuwingspiek voldoet niet aan de eis van 1 mm uit het RBK. Een volgende optimalisatie van het ontwerp is uitgewerkt in bijlage B.9.iii.





Figuur 79: Waterstandseffect in centimeters op de as van de rivier van een variant met vegetatie ontwikkeling en de maatregelen van het Voorlopig Ontwerp (var\_VO\_n1)

### iii. Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard, deel struweel en bos vervangen door gras en akker

#### *Uitgangspunten:*

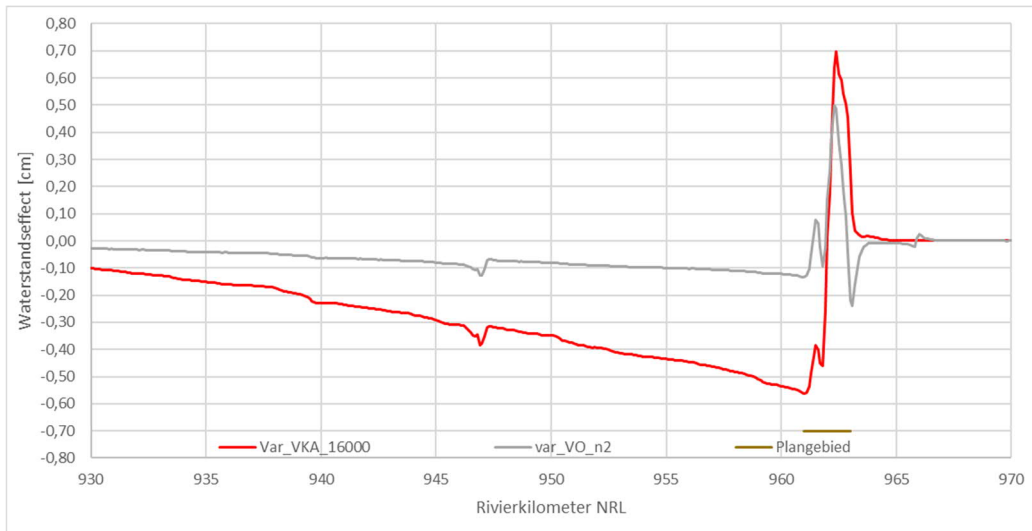
Om het ontwerp uit bijlage B.9.ii. verder te optimaliseren wordt de vegetatie bij de instroom van de zwemplas gladder gemaakt om de stroming te bevorderen, zodat de waterstandsdeling toeneemt. Een deel van het aanwezige struweel en bos wordt vervangen door de vegetatieklasse gras en akker. Figuur 80 toont de schematisatie van de vegetatie in het gebied.



*Figuur 80: Vegetatie-ontwikkeling conform ontwerp tekening met vervanging van een deel van het struweel en bos door gras (var\_VO\_n2)*

#### *Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect: Figuur 81 geeft het waterstandseffect van de variant op de hoogwaterreferentie weer. De waterstandsverhoging bedraagt circa 5,0 mm en de daling bedraagt circa 2,4 mm. Het verwijderen van het struweel zorgt voor een betere doorstroming richting de geul. De waterstandsverhoging wordt daarentegen ook weer hoger. Het principe van een zaagtand wordt al meer zichtbaar. Toch is nog een optimalisatie gedaan om het zaagtand-effect verder te versterken, zie bijlage B.9.iv.



Figuur 81: Waterstandseffect in centimeters op de as van de rivier van een variant met vegetatieontwikkeling, waarbij een deel van het struweel en bos is omgezet naar gras, en de maatregelen van het Voorlopig Ontwerp (var\_VO\_n2)

#### iv. Vegetatie-ontwikkeling (VO) – uiterwaard, groter deel struweel en bos vervangen door gras en akker

##### *Uitgangspunten:*

De variant uit bijlage B.9.iii is geoptimaliseerd door de vegetatie-ontwikkeling verder terug te brengen naar het ontwerp uit het VKA (verkenningfase). Het doel dat hiermee beoogd wordt is om een betere doorstroming van de geul en meer waterstandsverlaging te creëren. Het aanpassen van de vegetatie houdt in dat ook het struweel tussen de twee strangen van de geul en een stukje aan de noordzijde van de geul worden geschematiseerd als de vegetatieklasse gras en akker. De schematisatie is weergegeven in Figuur 82.



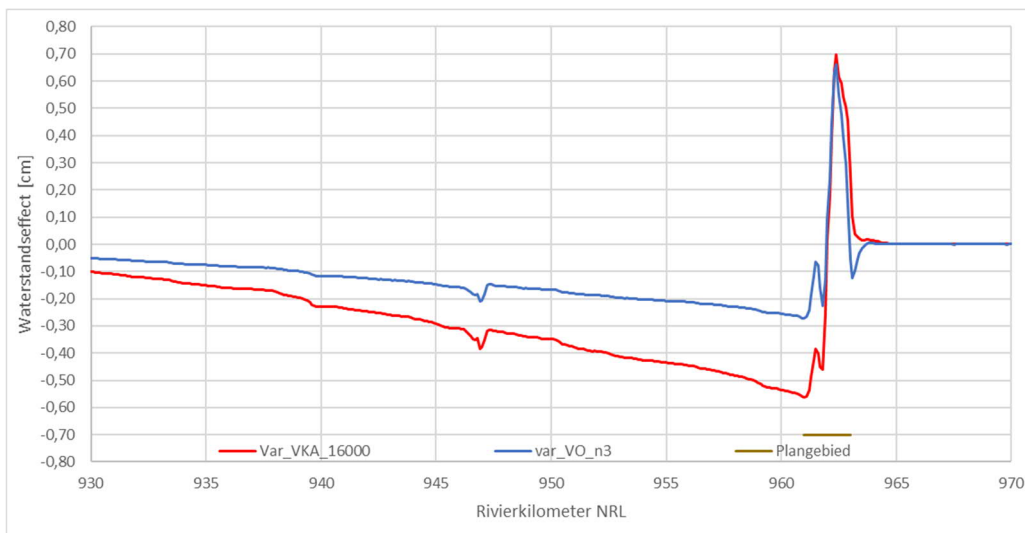
Figuur 82: Vegetatie-ontwikkeling Voorlopig Ontwerp (var\_VO\_n3, tevens ook het VO)

##### *Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect: Figuur 83 geeft het waterstandseffect van de variant op de hoogwaterreferentie weer. De waterstandsvaling bedraagt circa 2,7 mm en de verhoging is 6,6 mm. Deze variant bevat optimalisaties in de vegetatie-ontwikkeling en komt bij het waterstandseffect van de hoogwaterreferentie het meest in de buurt van een zaagtand-vorm. De voorgaande varianten van de vegetatie-ontwikkeling leiden tot minder opstuwing, maar ook tot minder waterstandsvaling. Hierdoor wordt zowel niet aan de toegestane waterstandsverhoging als aan de criteria voor toepassing van de zaagtand-methode voldaan. Deze variant voor het VO voldoet eveneens niet aan de waterstandsverhoging, maar wel aan de zaagtand-methode.
- Morfologisch effect zomerbed: De volledige tabel met resultaten is weergegeven in D.1. Hieruit blijkt dat de sedimentatie in het gebied tussen rkm 961,2 en 964,1 toeneemt met

1.373 m<sup>3</sup>. Het effect op de maximale bodemhoogte t.o.v. norm is maximaal 2,4 cm en op de gemiddelde bodemhoogte is het 1,1 cm. Het extra volume boven de norm bedraagt 70,0 m<sup>3</sup>, over één kilometer verspreid tussen rkm 962-963. Het baggervolume effect incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de norm te voldoen is 153 m<sup>3</sup>. Het baggervolume effect in de kielspeling dat verwijderd moet worden voor vlote en veilige scheepvaart is 523 m<sup>3</sup>.

Het morfologische effect is groter dan bij de ruwe variant (B.9.i). Dit komt doordat in de voorliggende variant (VO) meer water door de uiterwaard stroomt, waardoor waterstandsverlaging en lagere stroomsnelheden optreden in het zomerbed met als gevolg sedimentatie in het zomerbed.



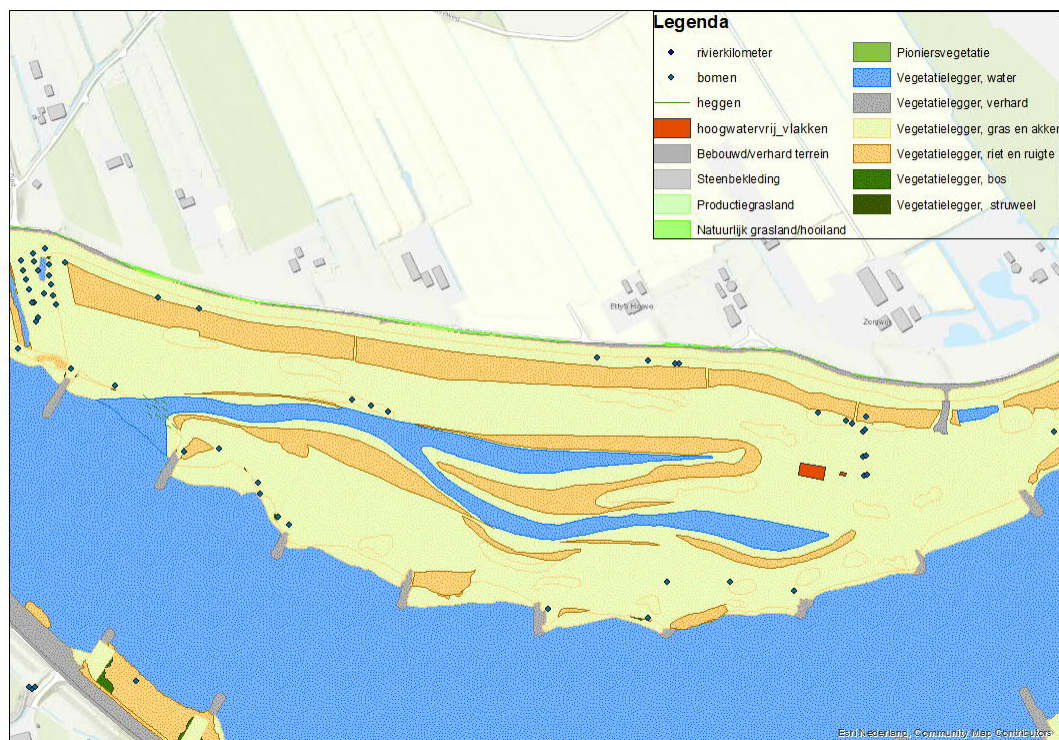
Figuur 83: Waterstandseffect in centimeters op de as van de rivier van een variant met vegetatie ontwikkeling en de maatregelen van het Voorlopig Ontwerp (var\_VO\_n3), tevens het Voorlopig Ontwerp



## v. Vegetatie ontwikkeling – uiterwaard glad, gras en akker

### Uitgangspunten:

Met deze variant is geanalyseerd wat het effect is van een gladde uiterwaard. Hiervoor is alleen de vegetatieklasse gras en akker toegepast, behalve op de locaties met riet en ruigte uit het VO. De schematisatie is weergegeven in Figuur 84.



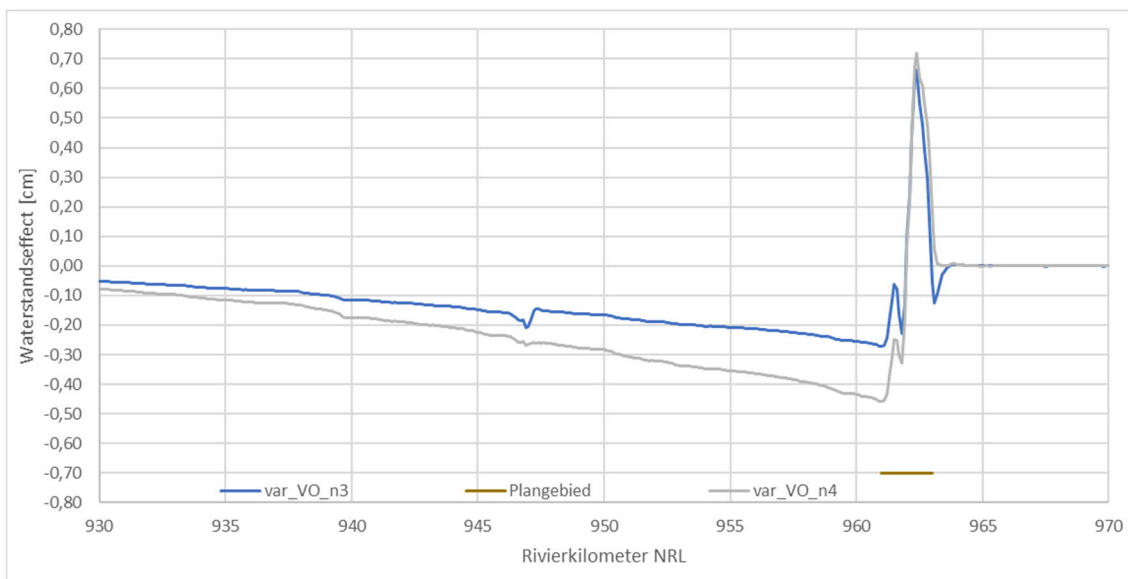
Figuur 84: Vegetatie ontwikkeling – uiterwaard glad, gras en akker (Var\_VO\_n4)

### Effect op rivierkundige aspecten:

- MHW-effect: Figuur 85 geeft het waterstandseffect van de variant op de hoogwaterreferentie weer. De waterstandsdaling is circa 4,6 mm en de -verhoging is 7,2 mm. De waterstanddaling neemt met 2 mm toe t.o.v. het VO en benadert daardoor beter de zaagtand-vorm. Echter neemt de waterstandspiek bij de monding ook toe met 0,6 mm. Door de gladde uiterwaard stroomt meer water door de uiterwaard bij hoogwater, wat een grotere waterstandsdaling oplevert bij de hoogwaterreferentie.
- Morfologisch effect zomerbed: De volledige tabel met resultaten is weergegeven in bijlage D.3. Hieruit blijkt dat de sedimentatie in het gebied tussen rkm 961,2 en 964,1 toeneemt met 1.384 m<sup>3</sup>. Het effect op de maximale bodemhoogte t.o.v. norm is maximaal 2,4 cm en op de gemiddelde bodemhoogte is het 1,1 cm. Het extra volume boven de norm bedraagt 70,4 m<sup>3</sup>, over één kilometer verspreid tussen rkm 962-963. Het baggervolume effect incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de norm te voldoen is 153 m<sup>3</sup>. Het baggervolume effect in de kielspeling dat verwijderd moet worden voor een vlotte en veilige scheepvaart is 527 m<sup>3</sup>.



Het morfologisch effect van deze gladde variant is dat de sedimentatie toeneemt met 11 m<sup>3</sup>, maar de toename in baggervolume is kleiner dan 1 m<sup>3</sup> t.o.v. het effect bij het VO. Het effect is niet groot doordat de uitstroom en daarmee de sedimentatie minder geconcentreerd is.



Figuur 85: Waterstandseffect in centimeters op de as van de rivier van een variant met vegetatie ontwikkeling op het Voorlopig Ontwerp (var\_VO\_n4)

#### vi. Vegetatie ontwikkeling – uiterwaard, optimalisatie tussen glad, ruw en VO

##### *Uitgangspunten:*

Deze variant is een optimalisatie van het VO op basis van alle voorgaande varianten. Een optimalisatie richting de ruwe variant (0) draagt bij aan een kleiner baggervolume, maar leidt tot een hogere piek en minder waterstandsval bij de hoogwaterreferentie. Beide effecten zijn niet wenselijk. Daarnaast leidt minder waterstandsval tot een groter waterstandseffect langs de dijk bovenstrooms van het project en moet de dijkversterking op termijn worden aangepast. Het meestromen van de uiterwaard bij hoogwaterafvoeren leidt tot morfologische effecten, met als gevolg meer baggeren in de rivier voor de functie scheepvaart. Echter is dit over een korte afstand ter hoogte van de uiterwaard. Daarnaast is het baggervolume beperkt t.o.v. de sedimentatie door de ruime marge t.o.v. de norm die in dit gebied aanwezig is. Als laatste is het frequent (minimaal enkele dagen per jaar) meestromen wel goed voor de KRW doelen waardoor slib uitspoelt en de KRW-geul beter functioneert.

Deze variant is een optimalisatie van het VO. Hierbij is meer richting de gladde variant geoptimaliseerd dan richting de ruwe variant, waarbij zowel de morfologische effecten, het hoogwatereffect en de dwarsstroming zo klein mogelijk zijn gehouden. Tevens zijn ook de ruimtelijke- en landschappelijke aspecten meegenomen. De schematisatie is weergegeven in Figuur 86.

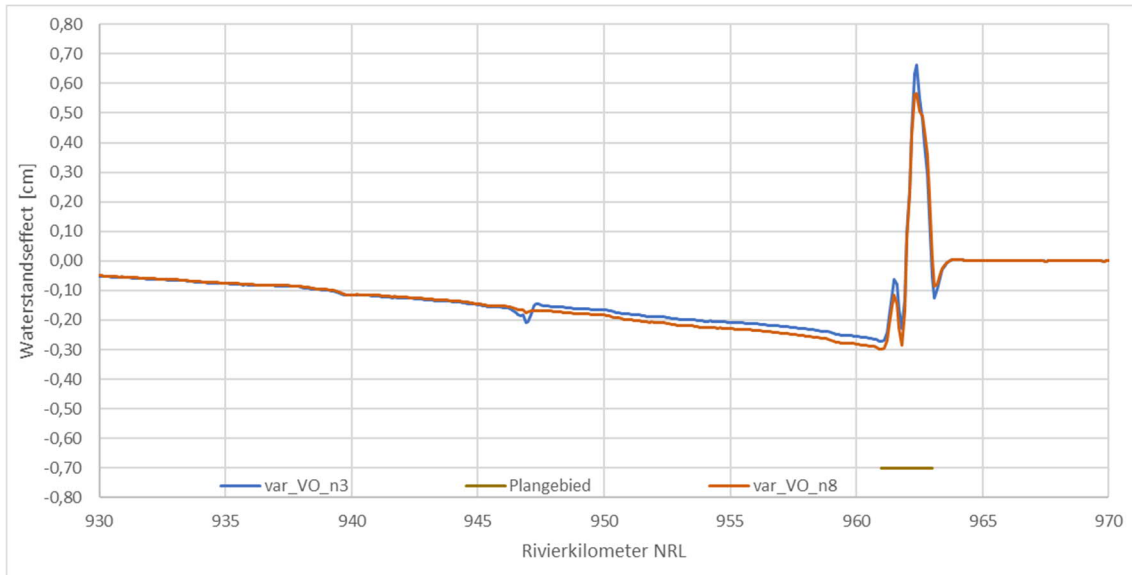


Figuur 86: Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard optimalisatie tussen glad, ruw en VO (var\_VO\_n8)

*Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect: Figuur 87 geeft het waterstandseffect van de variant op de hoogwaterreferentie weer. De waterstandsdaling is circa 3,0 mm en de -verhoging is 5,7 mm. De waterstanddaling neemt met 0,3 mm toe t.o.v. het VO en de waterstandsverhoging neemt af met 0,9 mm. De daling wordt veroorzaakt door beter doorstroming van de uiterwaard benedenstrooms waardoor de terugstroming richting het zomerbed beter wordt gespreid.
- Morfologisch effect zomerbed: De volledige tabel met resultaten is weergegeven in bijlage D.5. Hieruit blijkt dat de sedimentatie in het gebied tussen rkm 961,2 en 964,1 toeneemt met 1.376 m<sup>3</sup>. Het effect op de maximale bodemhoogte t.o.v. norm is maximaal 2,4 cm en op de gemiddelde bodemhoogte is het 1,1 cm. Het extra volume boven de norm bedraagt 70,3 m<sup>3</sup>, over één kilometer verspreid tussen rkm 962-963. Het baggervolume effect incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de norm te voldoen is 153 m<sup>3</sup>. Het baggervolume effect in de kielspeling dat verwijderd moet worden voor een vlotte en veilige scheepvaart is 524 m<sup>3</sup>.  
Het morfologisch effect van deze gladde variant verschilt niet heel veel met het effect bij het VO. Dit toont aan dat het gladder maken van de uiterwaard aan de noordzijde en benedenstrooms leidt tot een betere doorstroming van de uiterwaard. Dit resulteert in

een grotere waterstandsval en een kleinere opstuwingspiek bij de monding, maar leidt niet tot meer morfologische effecten.



Figuur 87: Waterstandseffect in centimeters op de as van de rivier van een variant met vegetatie ontwikkeling op het Voorlopig Ontwerp (var\_VO\_n8, tevens ook het VO+)

## B.10. Mitigerende en Compenserende maatregelen

Om het effect van het ontwerp in de Salmsteke Uiterwaard te verkleinen is onderzocht of mitigerende/compenserende maatregelen mogelijk zijn in de omgeving van het plangebied. Hierbij is op zoek gegaan naar het 'ventiel' van het gebied door:

- het verflauwen en deels weghalen van de kade en aanwezige begroeiing bij de effluentleiding (maatregel 1, bestaande uit nr.1, 2 in onderstaande figuur, zie voor uitwerking bijlage B.10.i),
- het verlagen van de krib bij de uitstroom (maatregel 2 – zie ook bijlage B.10.ii)
- het verlagen van de twee westelijke (cultuurhistorische) kades langs een uitwateringssloot richting de molenruïne (maatregel 3 – zie ook bijlage B.10.iii)

Andere maatregelen liggen verder buiten het projectgebied en/of zijn door externe factoren niet haalbaar of door andere belangen niet gemakkelijk in te passen.



### i. Variant kade-verlaging (Var\_VOp\_a2m2)

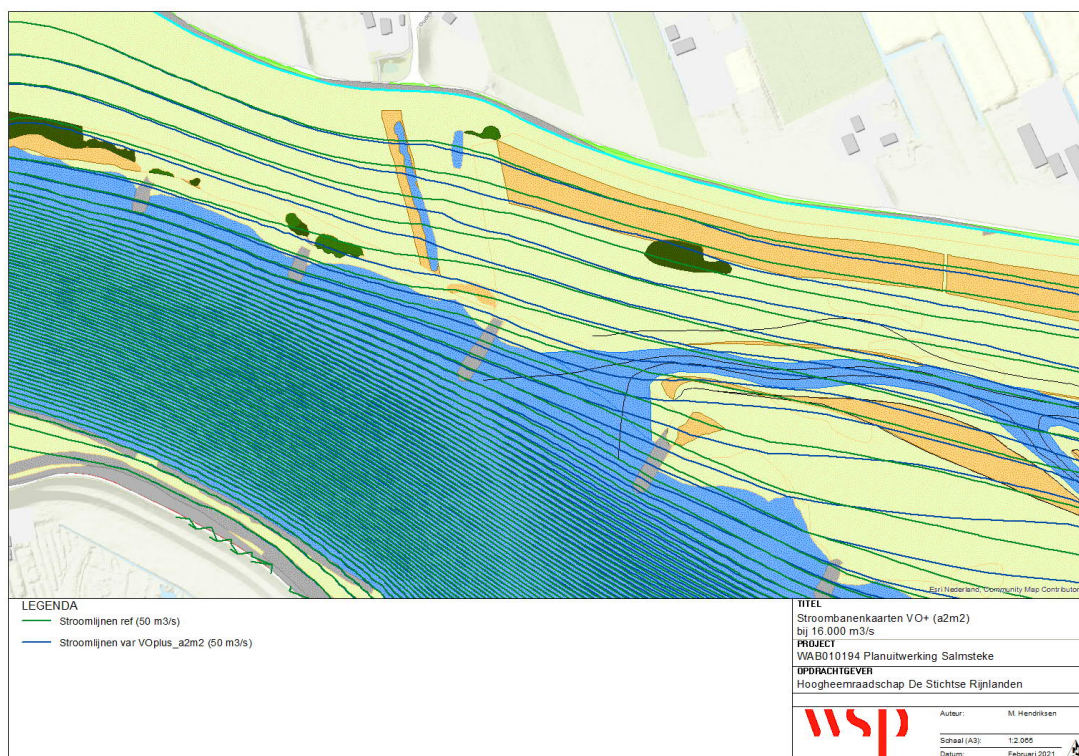
De kade is verwijderd en het maaiveld is circa 0,7 m verlaagd, tot NAP 2,8 m. Lager kan hier niet omdat anders de inundatiefrequentie van de uiterwaard wijzigt en dat is niet gewenst. Het noordelijke deel van deze kade verwijderen is niet mogelijk vanwege de aanwezige effluentleiding. De twee kades ten westen hiervan hebben cultuurhistorische waarde (oud uitwateringskanaal richting molenruïne) waardoor verwijdering onwenselijk is.

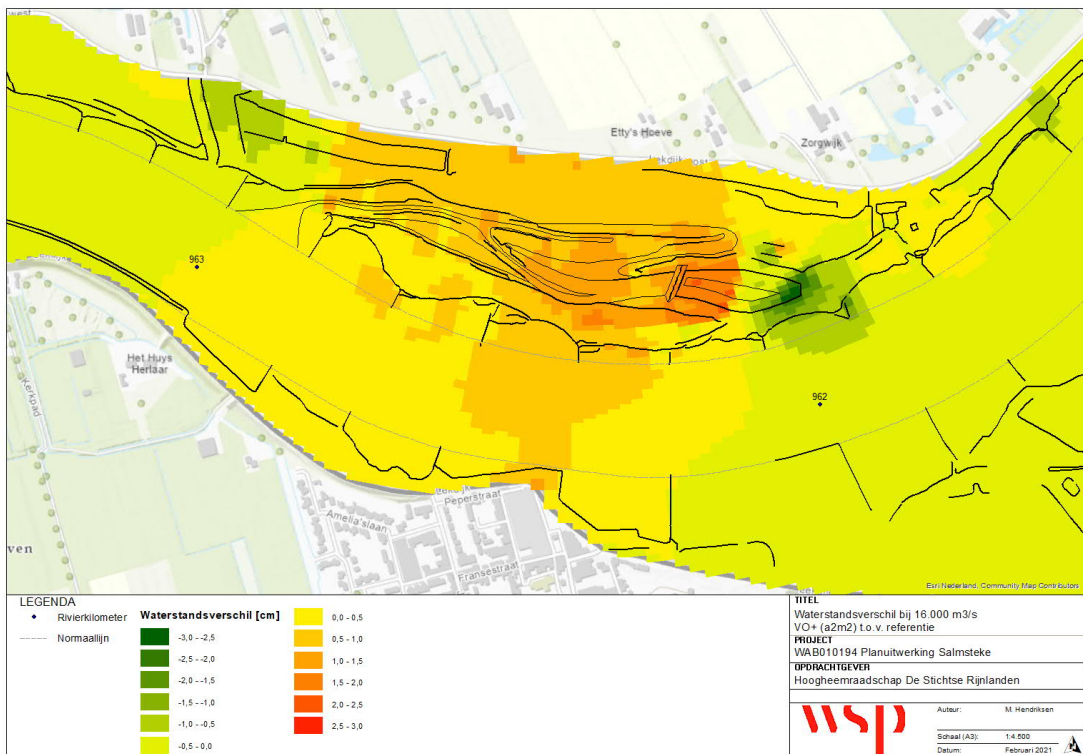
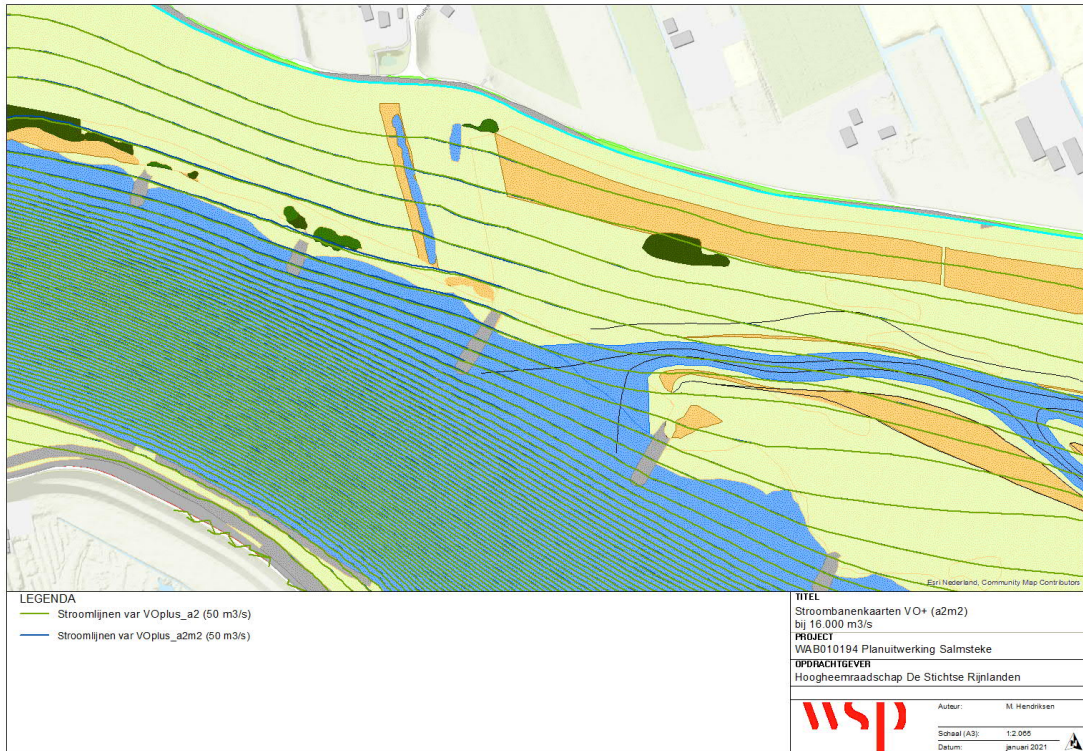


Het effect van de kadeverlaging is hydraulisch beperkt omdat het verwijderde deel van de kade min of meer parallel loopt aan de stroombanen en de westelijke kades dwars op de stroming, het water weer meer richting de rivier sturen. Het effect van de kade op morfologie is niet exact berekend, maar wel analytisch benaderd. Rond de kadeverwijdering neemt de stroomsnelheid iets toe, dit is nog in de uiterwaard. Rond de krib neemt het lichtelijk af, maar in het zomerbed zijn de stroomsnelheden bijna onveranderd t.o.v. de variant zonder kadeverwijdering. Er zijn daarom geen significante veranderingen in de morfologische effecten in het zomerbed te verwachten.

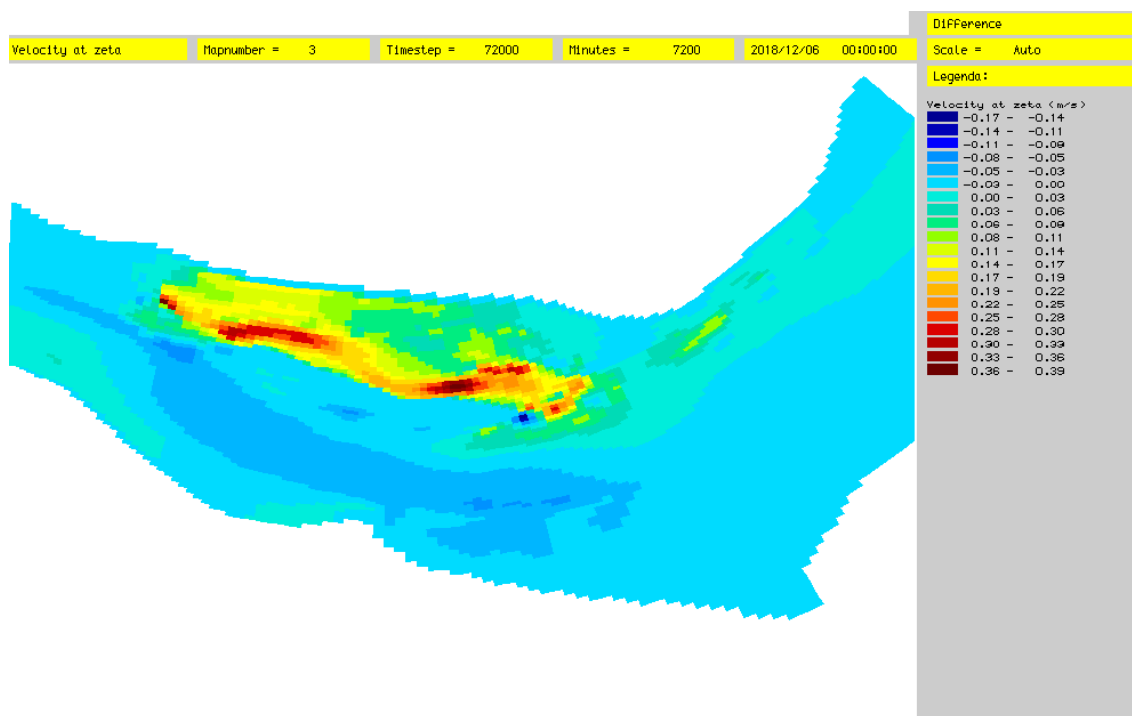
Hieronder zijn vier kaarten toegevoegd:

- 1) Debietlijnen referentie en variant
- 2) Debietlijnen VO+ en variant
- 3) Waterstandsverschil variant t.o.v. referentie
- 4) Stroomsnelheidsverschil variant t.o.v. referentie







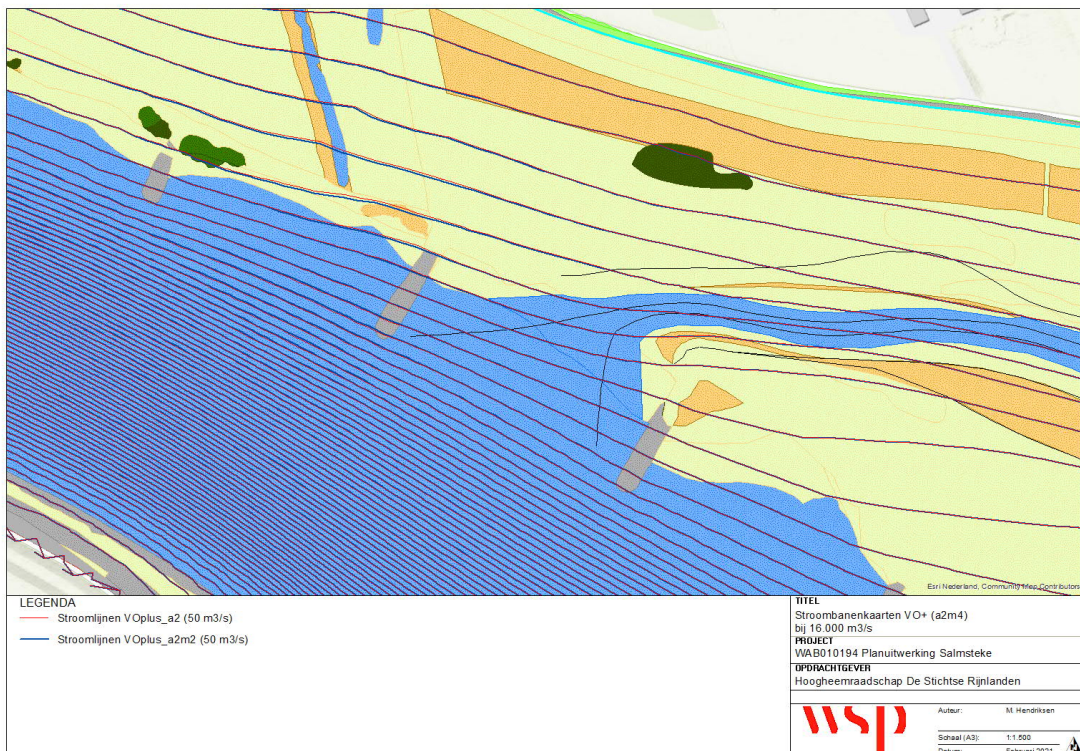
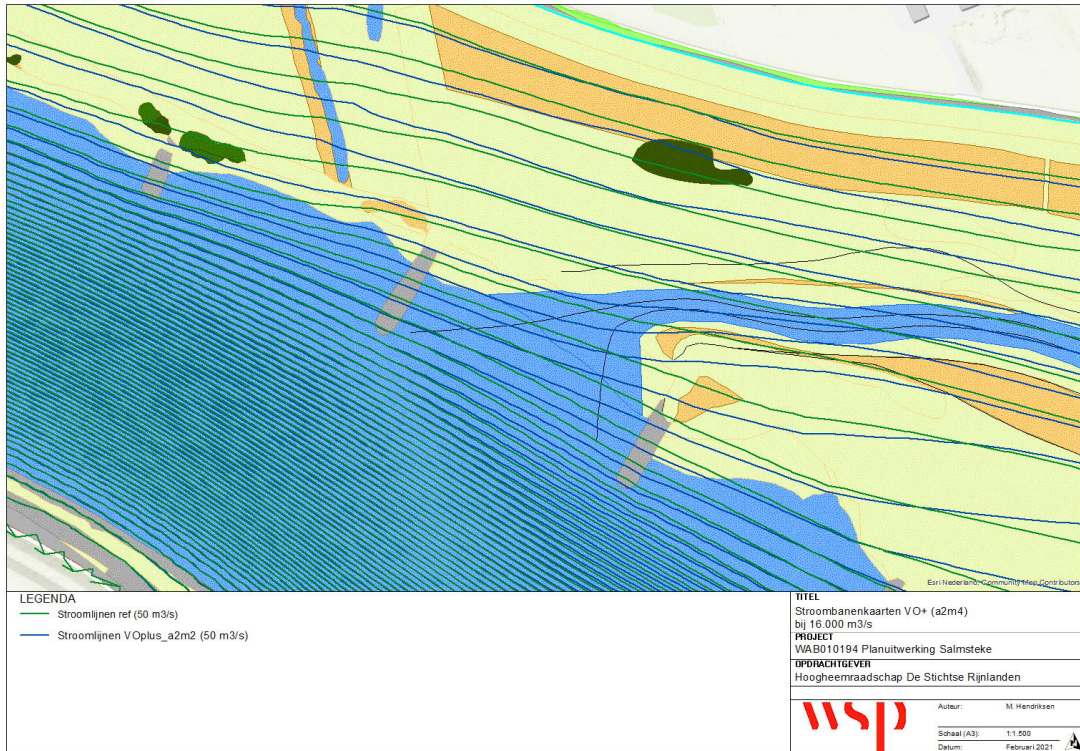


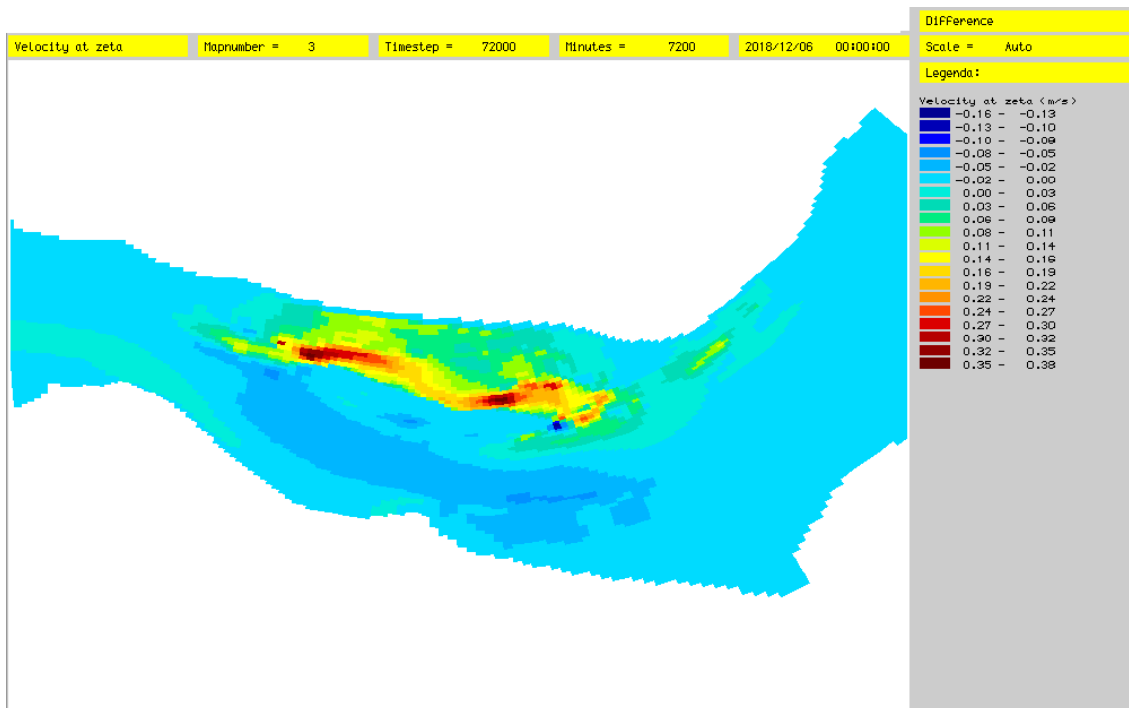
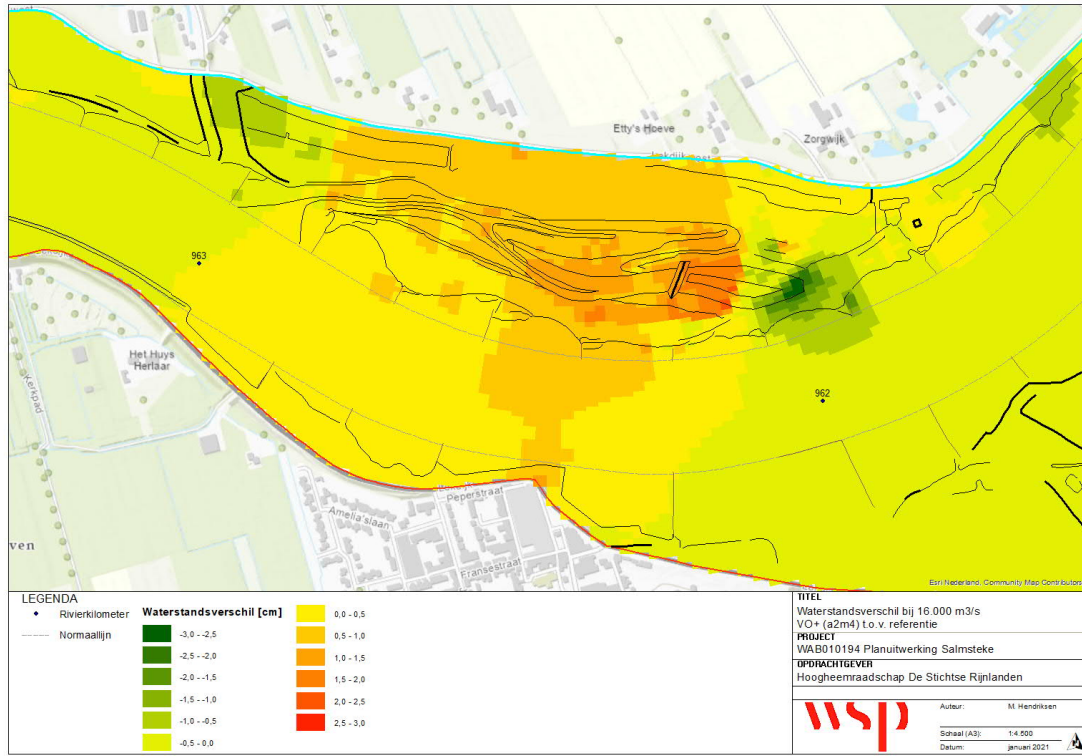
## ii. Variant verlaging van de krib (Var\_VOp\_a2m4):

De verlaging van de krib met 1 meter leidt tot een verlaging van de opstuwing met 0,6 mm. Een beperkt hydraulisch effect, maar wel iets meer dan de kade, doordat de krib dwars op de stroming ligt. Door de verlaging van de krib krijgt (ter hoogte van de krib) het water in het zomerbed meer ruimte. Rond de krib nemen de stroomsnelheden iets toe, waardoor bij de uitstroom een zeer beperkte afname van de sedimentatie wordt verwacht. De snelheidsverandering buiten het kribvak is nihil, en dus weinig tot geen ander effect op de volumes in de vaargeul dan bij de variant zonder aanpassing aan de krib.

Hieronder zijn vier kaarten toegevoegd:

- 1) Debietlijnen referentie en variant
- 2) Debietlijnen VO+ en variant
- 3) Waterstandsverschil variant t.o.v. referentie
- 4) Stroomsnelheidsverschil variant t.o.v. referentie



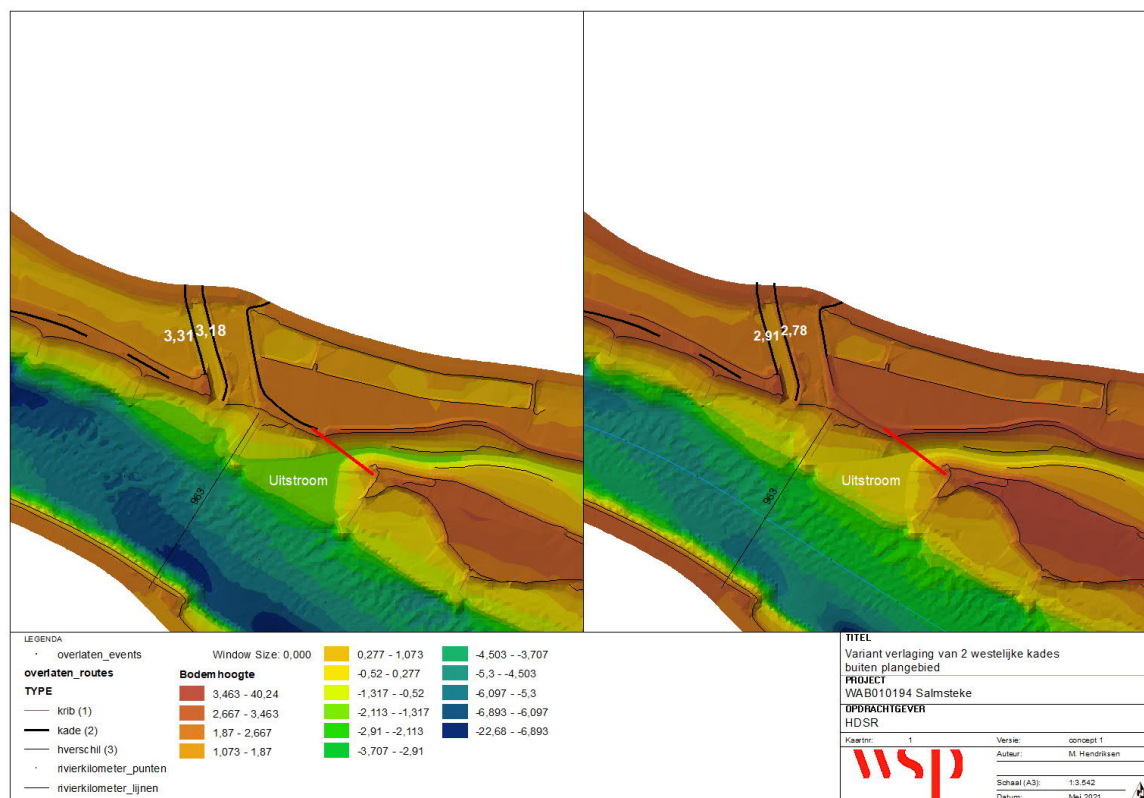




### iii. Variant verlaging van 2 westelijke kades buiten plangebied (Var\_VOp\_a4i2):

#### *Uitgangspunten:*

Twee kades net te westen, buiten het plangebied, met cultuurhistorisch waarde, worden verlaagd met 0,4 m tot gem. NAP +2,8 m. Daarnaast is het zuidelijke deel van de kade bij de effluentleiding, meest westelijk in het plangebied, verlaagd/verwijderd (mitigerende maatregel uit bijlage B.10.i). Deze maatregel is gebouwd op het VO+, zie ook het figuur hieronder.

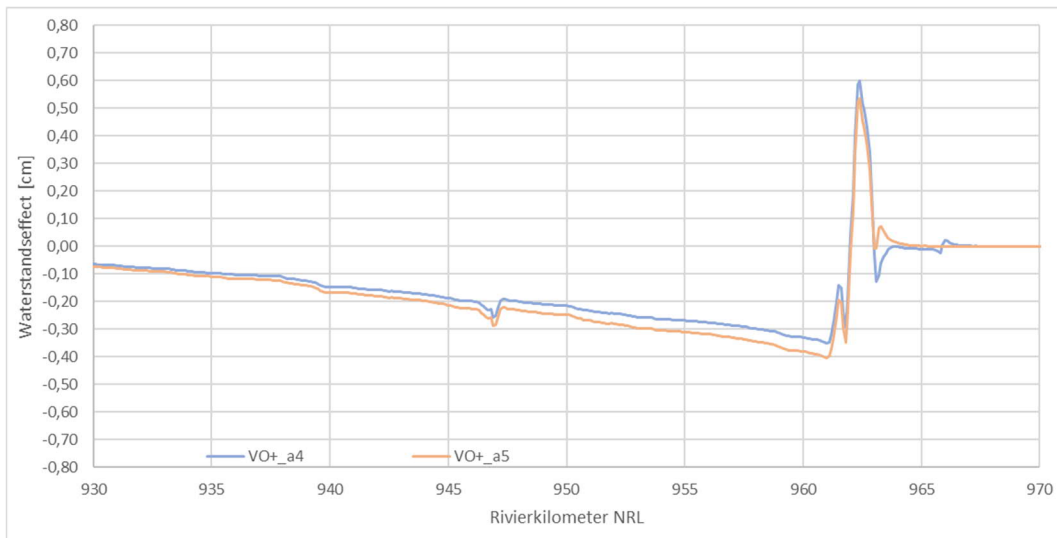


Figuur 88: Westelijke kruinverlaging van de kades met 0,4 m

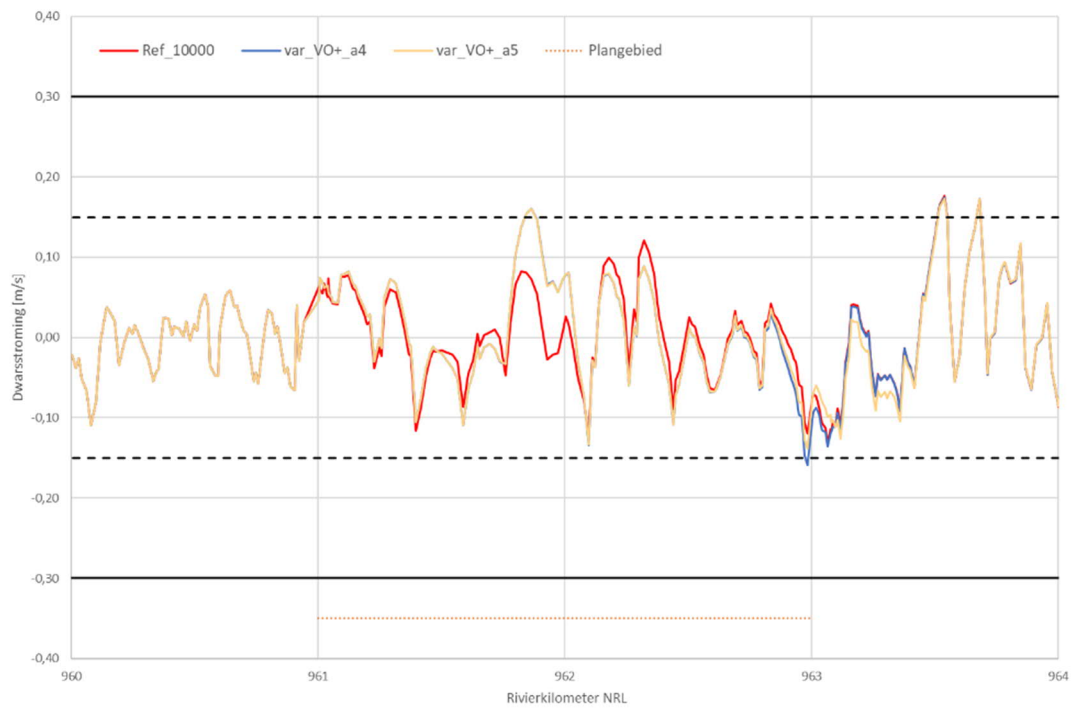
#### *Effect op rivierkundige aspecten:*

- MHW-effect in Figuur 89: waterstandspiek is 5,4 mm, dit is 0,6 mm lager dan in het VO+. De waterstandsval is 4,0 mm, dit is 0,5 mm meer dan in het VO+.
- Dwarsstroming in Figuur 90: Het verlagen van de kades benedenstrooms van het plangebied resulteert in een verlaging van de dwarsstroming bij de geulmonding (rkm 963) voor 10.000 m<sup>3</sup>/s. Hierdoor wordt de dwarsstroming minder dan 0,15 m/s.
- Morfologische effect zomerbed: De volledige tabel met resultaten en de grafische weergave zijn opgenomen in bijlage D.9.
  - o Door de uiterwaard stroomt 3 m<sup>3</sup>/s meer (zie ook Figuur 91), waardoor het morfologisch effect toeneemt: zowel de sedimentatie (bij de instroom (zuiden v.d. buitenbocht) en uitstroom) als de erosie nemen iets toe. Ook de sedimentatie benedenstrooms van de verlaagde kades neemt toe, wel voornamelijk buiten de vaargeul. Dit komt door de toename van onttrekking in de uiterwaard net na de kades (2 m<sup>3</sup>/s).

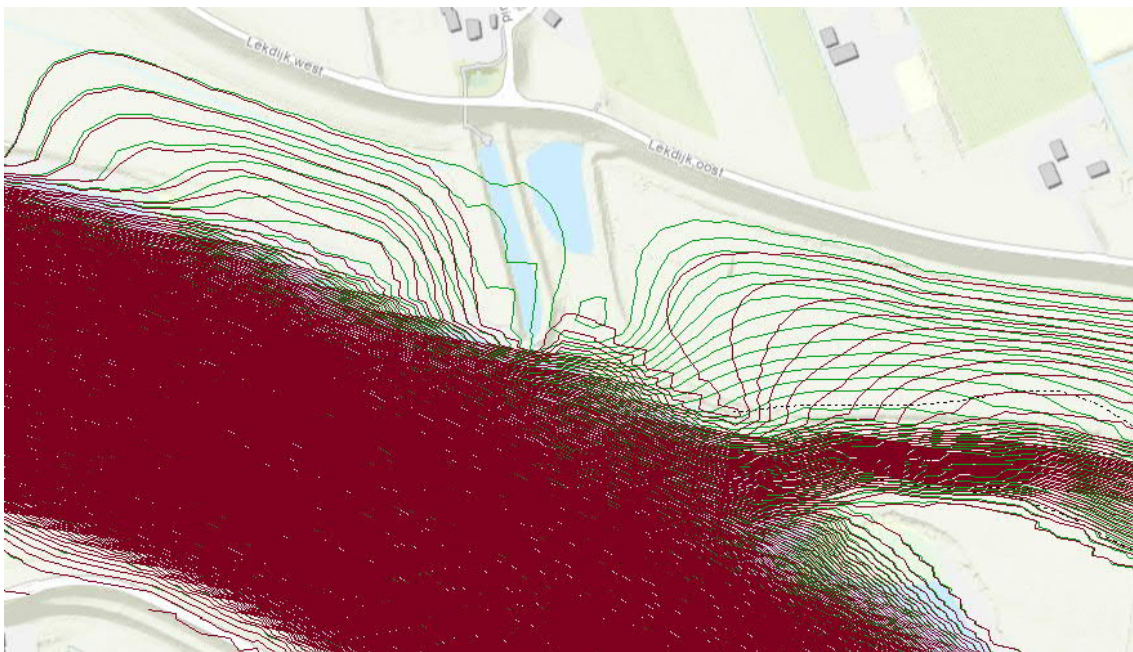
- De sedimentatie bedraagt 1.458 m<sup>3</sup> in het gebied tussen rkm 961,2 en 964,1 Dit is 105 m<sup>3</sup> meer dan bij het VO+. Daartegenover ontstaat 113 m<sup>3</sup> erosie. Dit is 6 m<sup>3</sup> minder dan bij het VO+.
- Het effect op de maximale bodemhoogte t.o.v. norm is maximaal 2,5 cm (0,2 cm hoger dan in VO+) en op de gemiddelde bodemhoogte is het 1,18 cm (0,07 cm hoger dan in VO+).
- Het extra volume boven de norm bedraagt 74 m<sup>3</sup>, over één kilometer verspreid tussen rkm 962-963. Dit is 5 m<sup>3</sup> hoger dan in VO+.



Figuur 89: MHW-effect VO+ en variant westelijke kade verlaging t.o.v. referentie



Figuur 90: Dwarsstroming VO+ en variant westelijke kade verlaging



Figuur 91: Debietlijnen bij 8.000 m<sup>3</sup>/s voor VO+ (rood) en variant 1 (groen)



## B.11. Overzicht resultaten

Een overzicht van het MHW-effect en dwarsstromingseffect van de verschillende varianten en optimalisaties is weergegeven in Tabel 19 en zijn onder het kopje overzicht op de volgende pagina kort toegelicht.

Binnen het plangebied heeft met name vegetatie invloed op de waterstandseffecten bij de hoogwaterreferentie, dwarsstroming en morfologische effecten. De aanpassing van de constructie en verflauwing van het profiel aan de oostkant van de geulmonding hebben slechts een zeer beperkt effect.

Een optimale variant met ruwere vegetatie draagt bij aan een kleiner baggervolume, maar leidt ook tot een hogere piek en minder waterstandsval bij de hoogwaterreferentie. Beiden zijn niet wenselijk. Minder waterstandsval leidt tevens tot een hoger waterstandseffect bovenstrooms van het project en moet de dijkversterking op termijn worden aangepast.

Het meestromen van de uiterwaard bij hoogwaterafvoeren leidt tot morfologische effecten, met als gevolg meer baggeren van het zomerbed voor de functie scheepvaart. Het morfologisch effect is over een korte afstand ter hoogte van de uiterwaard. Daarnaast is het baggervolume beperkt t.o.v. de totale sedimentatie. In totaal zijn 9 varianten morfologisch uitgewerkt. In geen van deze varianten is een verbetering van zowel het waterstandseffect bij hoogwater, de dwarsstroming en morfologische effecten gevonden.

Uit de analyse naar de drie mitigerende maatregelen blijkt dat de effecten t.o.v. het VO+ gering zijn. De instroomkade verhogen heeft geen effect op het waterstandseffect, maar leidt wel tot een kleiner morfologisch effect bij 8.000 m<sup>3</sup>/s. Indien de instroomkade daadwerkelijk wordt verhoogd moet vanuit ecologie worden getoetst, of het niet jaarlijks meer meestromen van de geul (wijziging van de meestroomfrequentie naar eens per 3 jaar), effect heeft op het behalen van de KRW-doelen. Het nog verder verhogen van de kade heeft geen effect bij deze afvoer, maar moet dan met een hoger afvoerblok worden beschouwd. Het nadeel is dat de geul in dat geval nog minder vaak gaat meestromen met de rivier, terwijl het overstromen van de uiterwaarden ook gunstig is voor natuurontwikkeling.

De mitigerende variant met het verlagen van de twee westelijke kades heeft een klein positief effect voor het waterstandseffect en dwarsstroming t.o.v. het VO+, maar negatief voor morfologie. Daarnaast leidt het tot een extra opgave voor benedenstroomse dijktraject aangezien meer water door de Salmsteke uiterwaard, en de benedenstroomse uiterwaard gaat stromen.

De optimale variant VO+ uit het hoofdrapport is een compromis tussen KRW-doelen, rivierkundige effecten op hoogwater, scheepvaart en morfologie en landschappelijke kwaliteit.

Tabel 19: Overzicht van de effecten van verschillende varianten en optimalisaties t.o.v. de referentiesituatie, dwarsstromingseffect bij 10.000 m<sup>3</sup>/s en morfologische effect bij 8.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith

Maatregel	MHW-effect [cm]		Dwarsstromingseffect [m/s]		Morfologische effect [m <sup>3</sup> ]	
	Verhoging	Verlaging	Instroom (961,7)	Uitstroom (963,0)	Sedimentatie	Volume effect boven de norm
<b>Referentie</b>	x	x	+0,08	-0,12	x	x
<b>VKA (0)</b>	+0,70	-0,56	+0,18	-0,17	1478	75
Damverlaging (B.5.i)	+0,71	-0,58	+0,18	-0,17	x	x
VKA - Horeca (B.6.i)	+0,69	-0,56	x	x	x	x
Instroom - Vegetatie 1 (B.7.i)	+0,46	-0,58	+0,17	-0,16	x	x
Instroom - Vegetatie 2 (B.7.ii)	+0,53	-0,49	+0,17	-0,16	x	x
Instroom - Kade ophoging (B.7.iii)	+0,63	-0,53	+0,14	-0,16	x	x
Geulmonding laag (B.8.i)	+0,74	-0,55	+0,18	-0,17	x	x
Geulmonding hoog (B.8.i)	+0,77	-0,52	+0,18	-0,16	x	x
Vegetatie ontwikkeling – ruw (B.9.i)	+0,24	-0,26	+0,15	-0,15	1252,4	65,7
Vegetatie ontwikkeling – 1 (B.9.ii)	+0,33	-0,26	+0,15	-0,15	x	x
Vegetatie ontwikkeling – 2 (B.9.iii)	+0,50	-0,24	+0,15	-0,15	x	x
<b>Vegetatie ontwikkeling – VO (B.9.iv)</b>	<b>+0,66</b>	<b>-0,27</b>	<b>+0,16</b>	<b>-0,15</b>	<b>1373,1</b>	<b>70,0</b>
Geulmonding dichtheid dicht (B.8.ii)	+0,64	-0,30	+0,16	-0,16	x	x
Geulmonding dichtheid open (B.8.ii)	+0,63	-0,30	+0,16	-0,16	1389,7	71,0
Geulmonding kades (B.8.iii)	+0,62	-0,32	+0,16	-0,16	1375,4	70,1
Geulmonding profiel oostkant kade (B.8.iv)	+0,66	-0,27	x	x	x	x

Vegetatie ontwikkeling – glad (B.9.v)	+0,72	-0,46	x	x	1384,0	70,4
Vegetatie ontwikkeling – optimaal (B.9.vi)	+0,57	-0,30	+0,16	-0,16	1376,4	70,3
VO+ zonder horeca (B.6.ii)	+0,63	-0,24	x	x	x	x
<b>VO+</b>	<b>+0,60</b>	<b>-0,35</b>	<b>+0,16</b>	<b>-0,16</b>	<b>1354</b>	<b>69</b>
Westelijke kades buiten plangebied verlagen (B.10.iii)	+0,54	-0,40	+0,16	-0,15	1458	74
Zonder kade zwemplas/geul (B.5.ii)	+0,60	-0,35	+0,16	-0,16	x	x
Verhoging instroomkade (B.7.iv)	+0,57	-0,32	+0,15	-0,16	1095	56

#### Overzicht:

- De damverlaging tussen de geul en de zwemplas heeft weinig tot geen rivierkundige effecten ten opzichte van het VKA-ontwerp.
- Het effect van het hoogwatervrijvlak voor de horeca:
  - is zeer klein voor de waterstand ten opzichte van het VKA-ontwerp van de geul zonder horecavoorziening. De horeca geeft geen extra opstuwingspiek, mits het in combinatie met de geul en vervanging van het huidige toiletgebouw wordt toegepast.
  - De horeca weghalen in het VO+ leidt tot een kleine verhoging van de piek, terwijl de waterstandsval niet toeneemt. Dit komt overeen met het beeld van de eerdere variant voor de horeca, zoals eerder toegelicht. De afwezigheid van de horeca zorgt voor hogere stroomsnelheden, waardoor juist iets meer water door de geul stroomt. Deze toename leidt bij de uitstroom tot een kleine verhoging van de piek met 0,3 mm. hogere piek. De horeca heeft geen invloed op de bepaling van de morfologische effecten in het zomerbed, want dat gebeurt bij 8.000 m<sup>3</sup>/s en dan stroomt het gebied aan de noordelijke kant van de uiterwaard maar net mee.
- Van de vegetatie op de instroomlocatie:
  - Beide varianten (vegetatie ter hoogte van de parkeerplaats respectievelijk vegetatie ter hoogte van de zwemplas) hebben een reducerend effect op de opstuwingspiek. De eerste variant heeft meer effect dan de tweede. Echter past de tweede variant beter bij het landschap en is makkelijker inpasbaar doordat het minder oppervlak beslaat.
  - De kadeophoging bij de instroom optimaliseert zowel het MHW-effect als het dwarsstromingseffect, echter nog niet voldoende om te voldoen aan het RBK. Daarnaast beïnvloedt deze optimalisatie de meestroomfrequentie van de geul

bij hogere rivierafvoeren. De meestroomfrequentie wordt minder dan jaarlijks en dat is niet wenselijk doordat de geul dan sneller dichtslibt.

- De constructie in de geulmonding is geoptimaliseerd en geanalyseerd. Uit de analyse kan worden geconcludeerd dat de schematisatie uit het VO de optimale variant is voor deze constructie:
  - De constructie in de geulmonding geeft een kleine verhoging van de opstuwingspiek. Dit is in het model wel zeer afhankelijk van de schematisatie:
  - Een grotere hoogte van de heggen reduceert het effect van de dwarsstroming, maar verhoogt het effect van de opstuwingspiek. De dwarsstroming kan verder verminderen bij toepassing van een bredere en/of hogere constructie.
  - Voor de opstuwingspiek leidt meer doorlatendheid tot minder opstuwing en meer waterstandsdeling, maar ook tot een kleine verhoging van de dwarsstroming. De dwarsstroming in het VO voldoet net aan het criterium van maximaal 0,15 m/s. Meer dwarsstroming in de optimalisatie moet derhalve worden voorkomen.
  - Ook het toepassen van kades met een hoogte op NAP +2 m leidt tot een kleine verhoging van de dwarsstroming. Hoger is niet wenselijk bij de optimalisatie.
- Door in de uiterwaard minder vegetatie op te nemen stroomt meer water door de uiterwaard bij hoogwater, wat meer waterstandsdeling oplevert bij de hoogwaterreferentie. Echter leidt dit ook tot een verlaging van de stroomsnelheid in het zomerbed en daarmee tot meer sedimentatie bij hoogwater. Een optimalisatie van de vegetatie van het VO richting de ruwe variant (0) draagt bij aan een kleiner baggervolume, maar leidt ook tot meer waterstandsverhoging bij de hoogwaterreferentie.
- In het VO is de zuidoever van de zwemplas aangepast en verflauwd tot 1:5 waardoor rietontwikkeling op de oever mogelijk is (KRW-doel). Dit riet is daaropvolgend ook geschematiseerd in de ruwheidsvlakken. Daarnaast zijn trapoevers in de geul toegevoegd voor stabiliteit van de oevers en het beperken van erosie in de buitenbochten. Als laatste is in het VO+ een geleidelijk aflopende bodemhoogte van de geul in de richting van de geulmonding toegepast. Dit leidt tot minder morfologische effecten in de geul door een natuurlijker verloop.  
Door deze maatregelen is de geul natuurlijker en de KRW-waarde hoger. Daartegenover is het doorstroomoppervlak van de geul iets afgenomen, wat het verschil in waterstandsdeling tussen het VKA en VO+ deels verklaard.

De mitigerende/compenserende maatregelen leveren de volgende resultaten op:

- Maatregel 1: Weghalen zuidelijk deel van de kade (nr. 2) verlaagd de opstuwingspiek met 0,2 mm piek en vergroot de waterstandsdeling met 0,2 mm. Bomen verwijderen (nr. 1) of kade verflauwen (nr. 3) heeft geen effect. Mitigatie van de negatieve effecten op de waterstandspiek is dusdanig klein dat deze maatregel niet is meegenomen in het VO+.
- Maatregel 2: Kribverlaging met 1 meter heeft een beperkt waterstandseffect. De opstuwingspiek neemt met 0,6 mm af en waterstandsverlaging neemt met 0,6 mm. Mitigatie van de negatieve effecten is dusdanig klein, en er is onzekerheid over mogelijke morfologische effecten, dat deze maatregel niet is meegenomen in het VO+

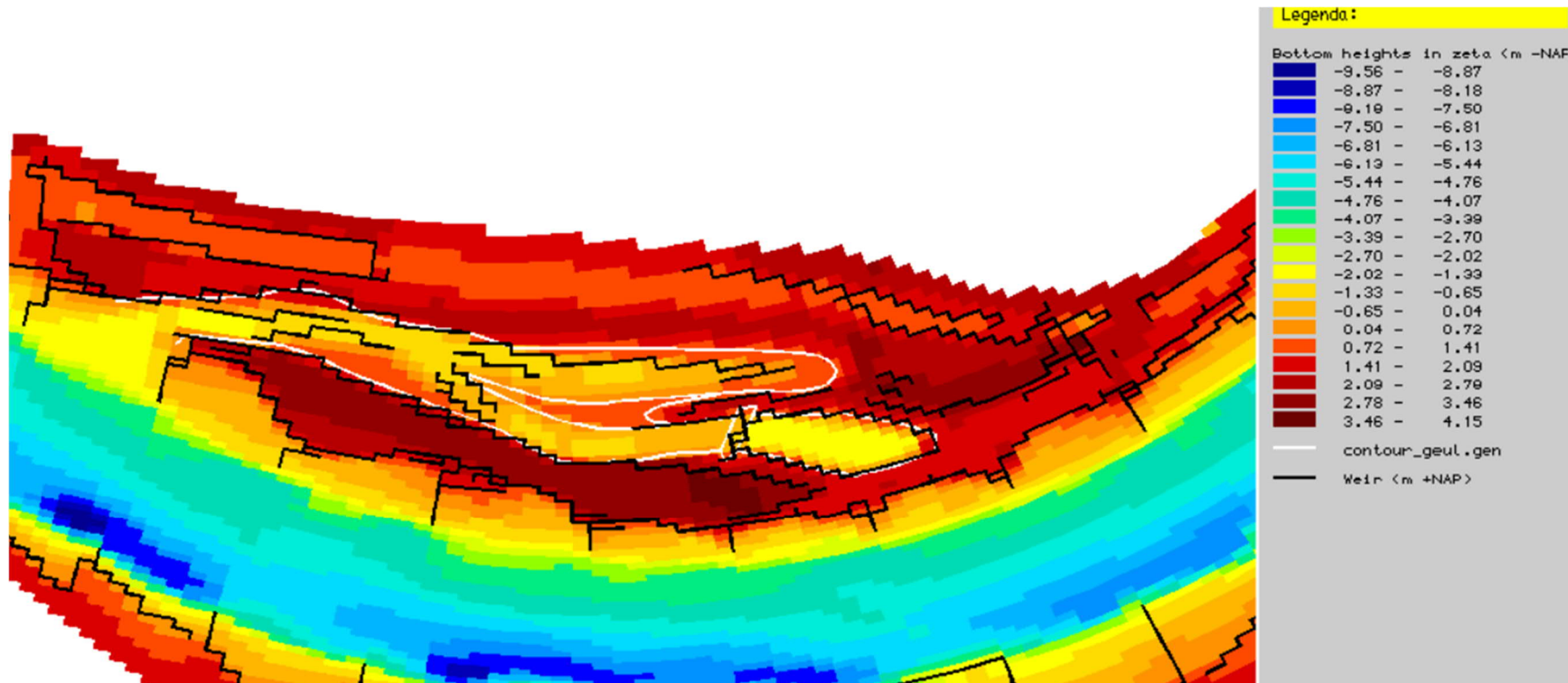


- Maatregel 3: het verlagen van de westelijke kades leidt tot verlaging van de waterstandspiek bij MHW t.o.v. het VO+ en tot meer waterstandsval. Echter leidt het ook tot meer volume boven de norm (+5 m<sup>3</sup> t.o.v. VO+).

## Bijlage C. VO+ Kaarten en uitwerking Hoogwaterveiligheid en Hinder en schade door hydraulische effecten

### C.1. Schematisatie van de geul in Waqua

In Figuur 92 zijn de bodemhoogte en overlaten van het VO+ in Waqua weergegeven. Daarnaast is een contour van de geul in baseline opgenomen. Uit dit figuur blijkt dat de monding van de geul open is bij uitvoering van de berekeningen in de Waqua. Op enkele locaties zijn hoogtelijnen gelegen binnen de contour. Deze zijn lager gelegen dan de insteeklijn en in Baseline als overlaat geschematiseerd omdat op deze locaties een relatief steil (onderwater)talud aanwezig is.



Figuur 92: Schematisatie van de geul in Waqua. De witte lijn geeft de insteeklijn van de geul vanuit Baseline weer





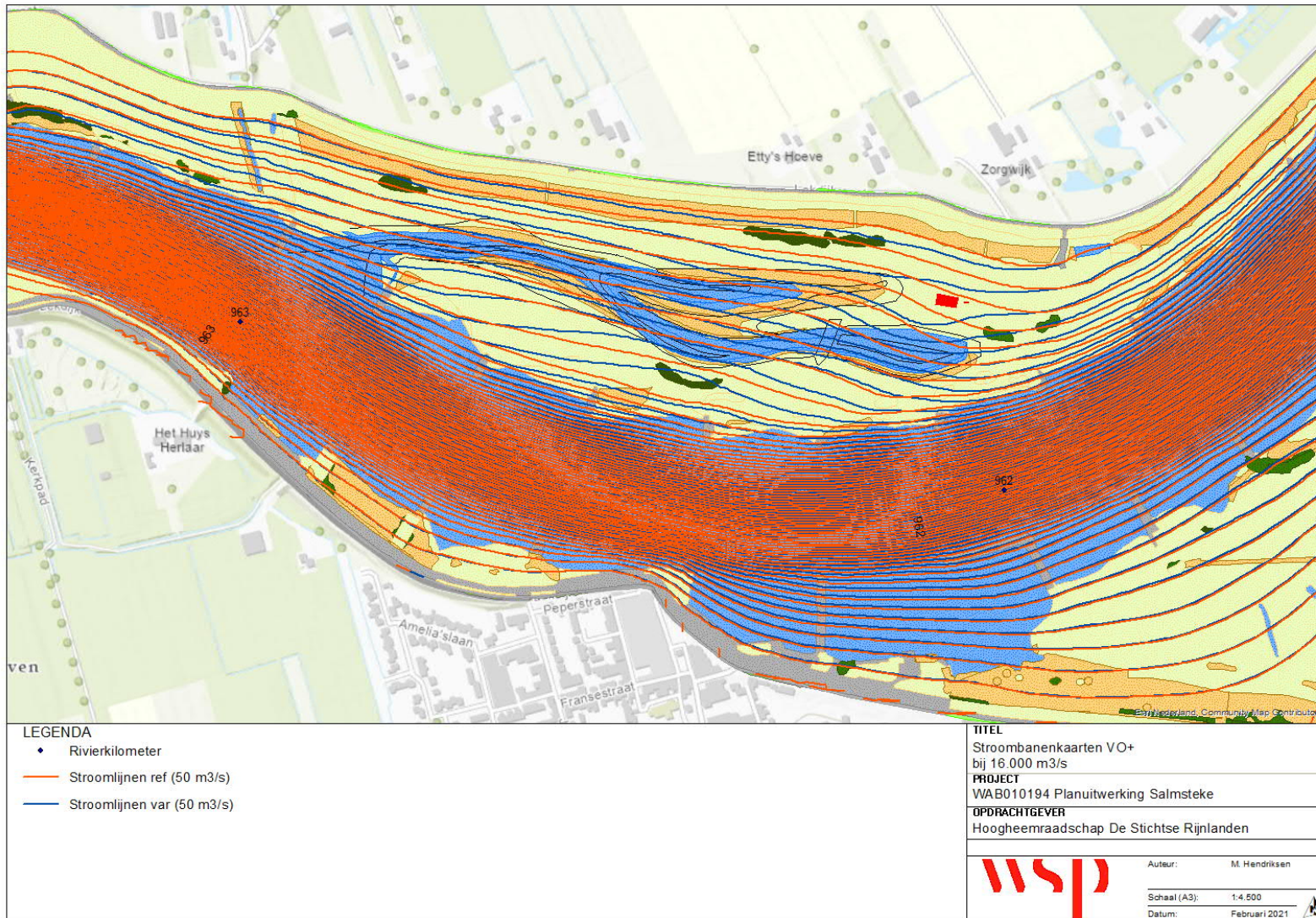
Wel ontstaat door het gebruik van rekenroosters bij de conversie van Baseline naar Waqua een verschil in het bergend volume van de geul. Door het volumeverschil ontstaat een verschil in de onttrekking van water uit het zomerbed. Mogelijk worden hierdoor de effecten in Waqua onder- of overschat ten opzichte van de schematisatie in Baseline. Onderzocht is wat de effecten zijn bij het VO+ van de schematisatie in baseline t.o.v. Waqua. Hiervoor is de waterstand van NAP +2,84 m aangehouden bij 8.000 m<sup>3</sup>/s bij rkm 962. Zie de resultaten in de tabel hieronder.

Door dit volumeverschil van 1,7% worden in Waqmorf de morfologische effecten iets onderschat, aangezien de onttrekking in Waqua minder is dan in de baseline-schematisatie. Bij de waterstandseffecten en de dwarsstroming zal dit effect verhoudingsgewijs nog beperkter zijn, omdat de waterkolom in deze gevallen toeneemt.

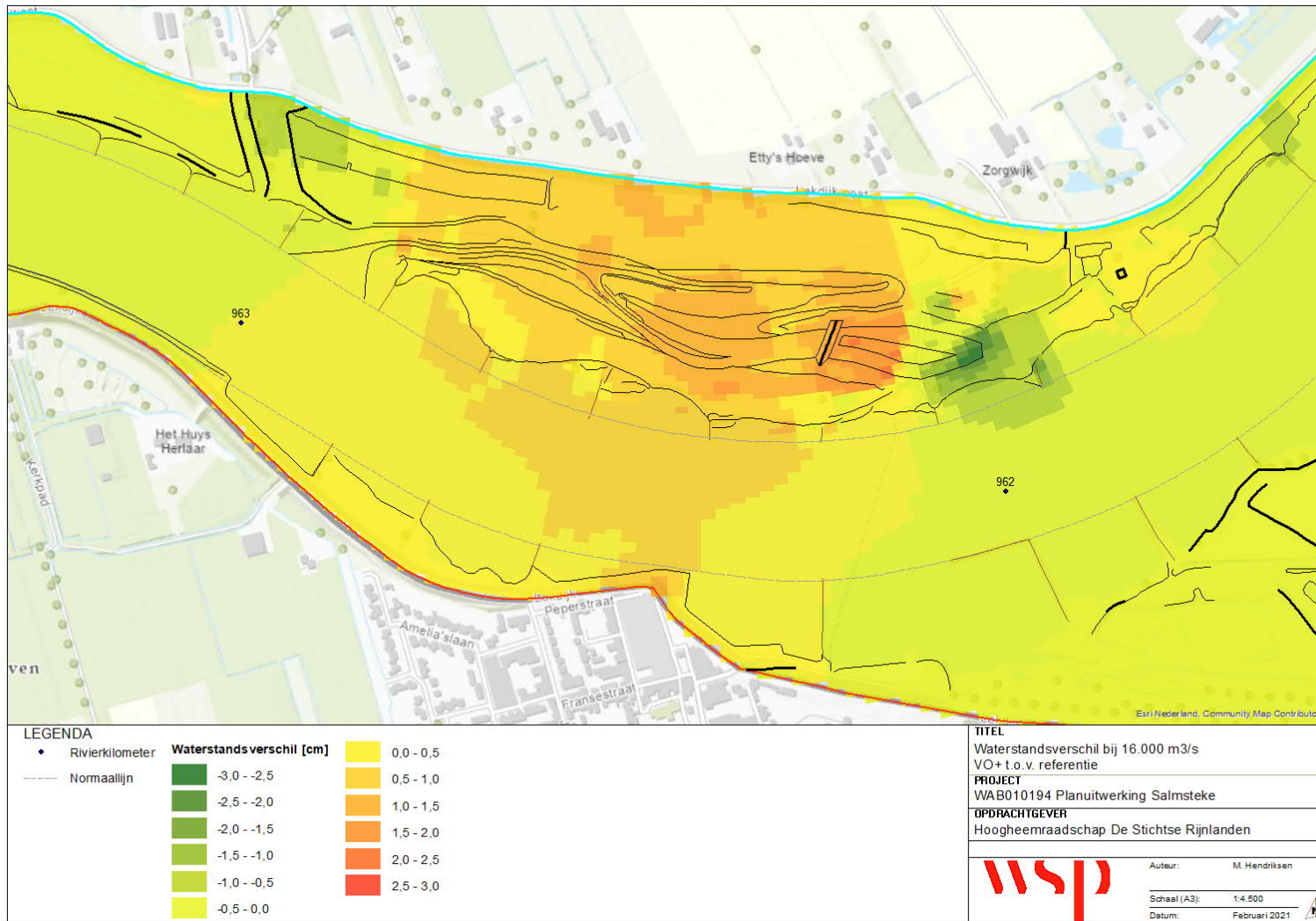
Tabel 20- Volumeverschil Baseline versus Waqua voor het VO+ bij een waterstand van NAP +2,84 m bij rkm 962, bij 8.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith

	<b>Baseline</b>	<b>Waqua</b>	<b>Vershil</b>	<b>Percentage tov baseline</b>
<b>VO+</b>	178.778 m <sup>3</sup>	175.658 m <sup>3</sup>	-3.120 m <sup>3</sup>	-1,7 %

C.2. Afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith

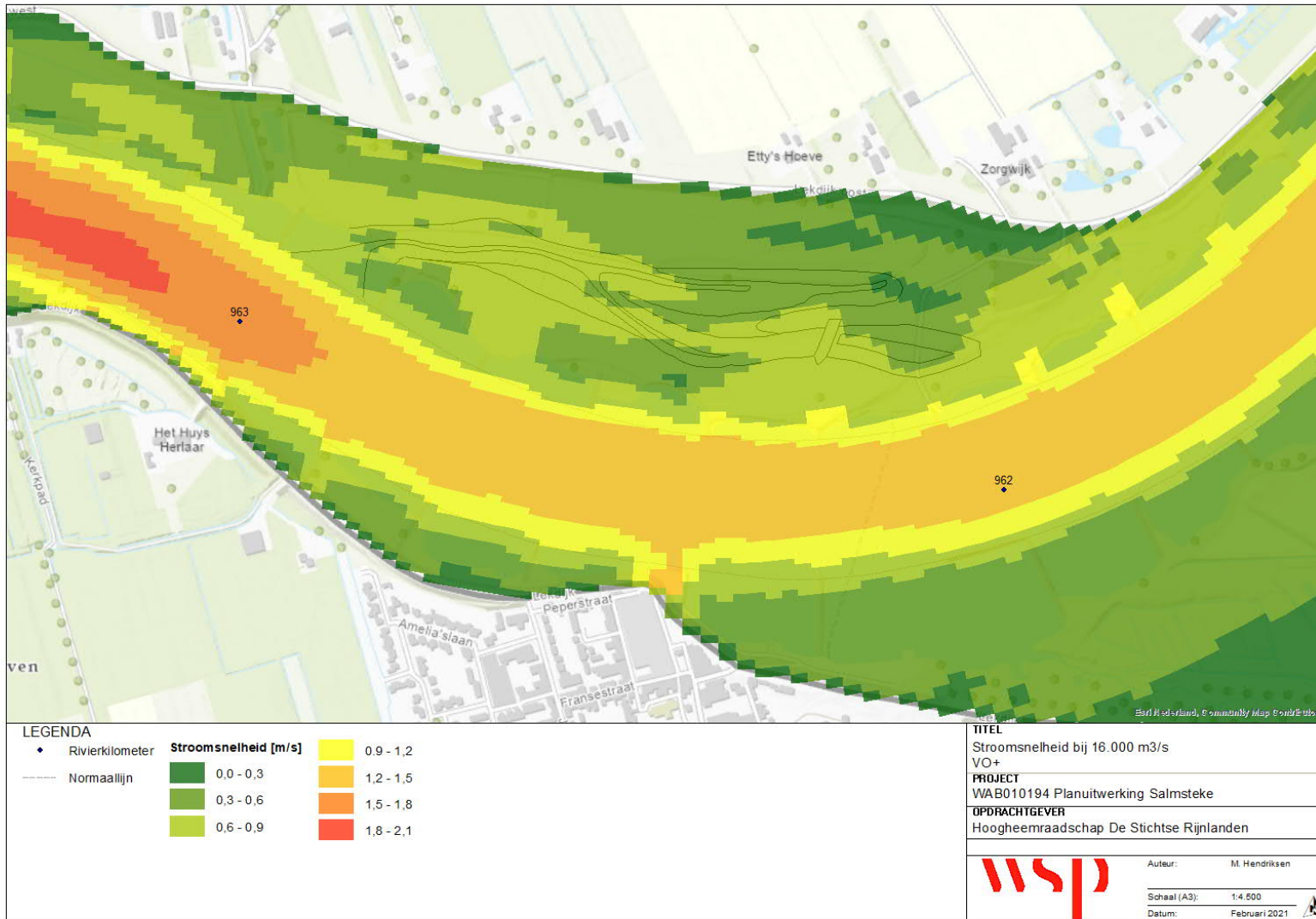


Figuur 93: Stroombanenkaart VO+ (interval tussen twee debietlijnen is 50 m<sup>3</sup>/s) bij een hoogwaterreferentie van 16.000 m<sup>3</sup>/s

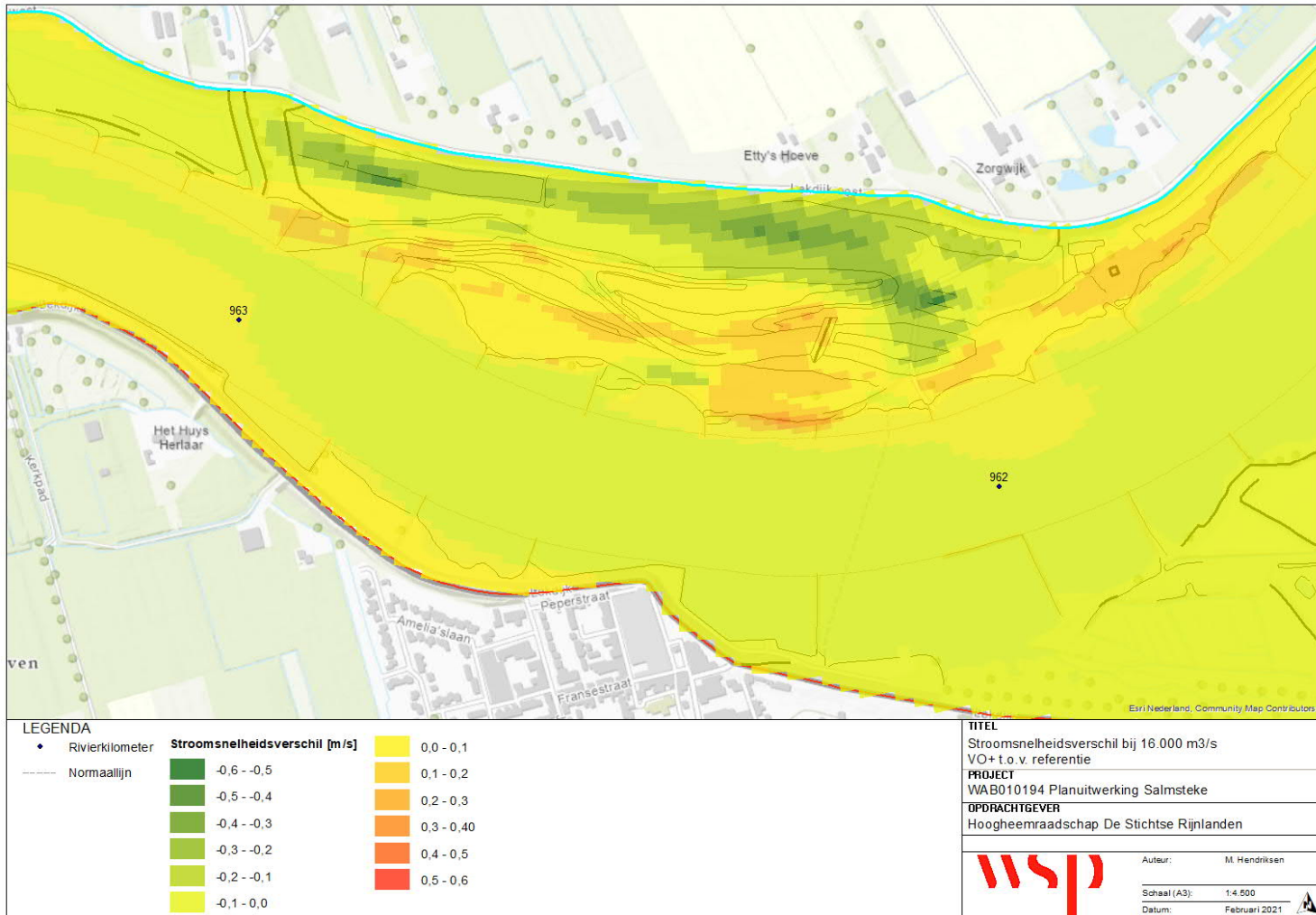


Figuur 94: Waterstandsverschil (cm) voor het VO+ t.o.v. de referentie bij een hoogwaterreferentie van 16.000 m<sup>3</sup>/s



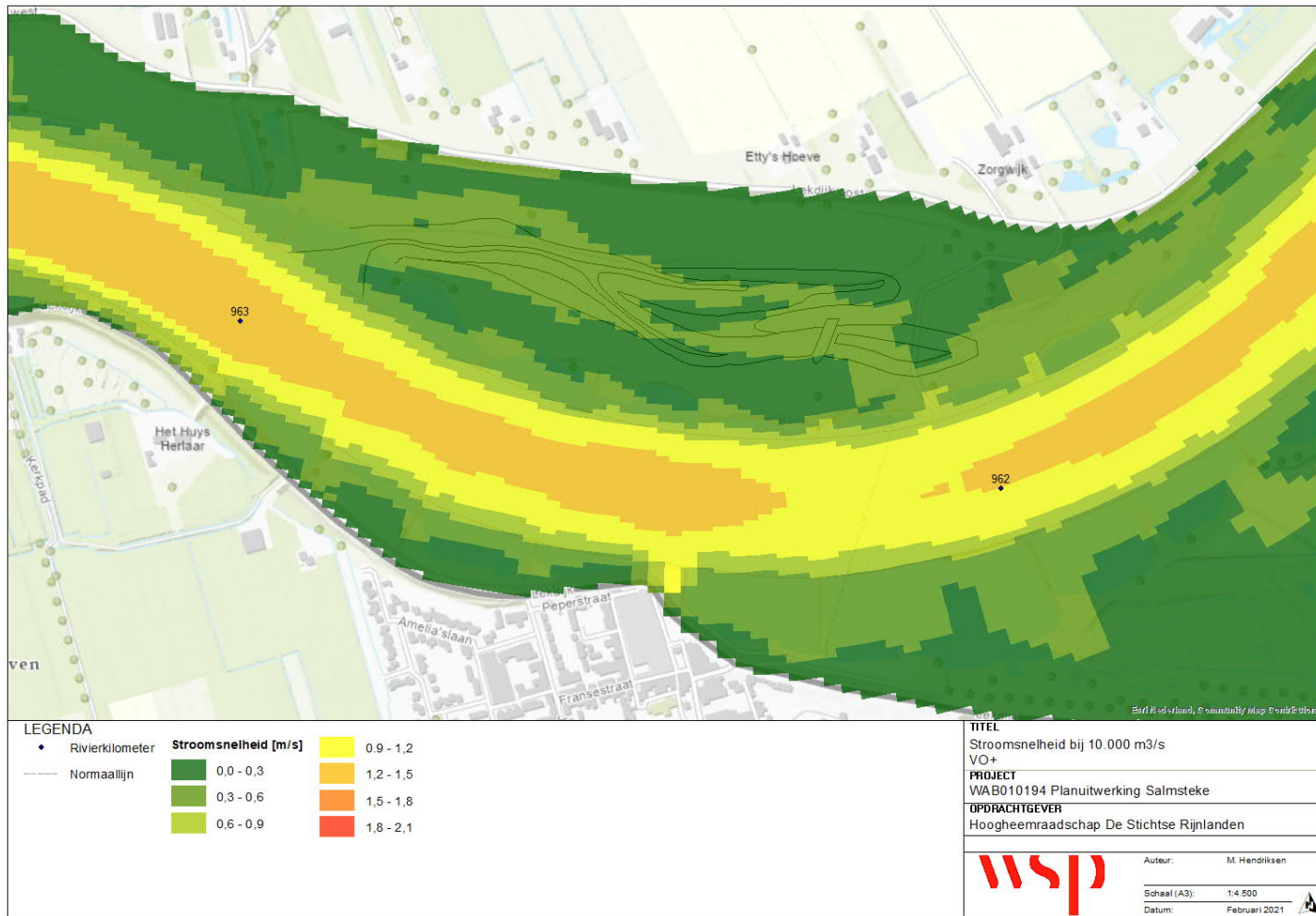


Figuur 95: Stroomsnelheid (m/s) voor het VO+ bij een hoogwaterreferentie van 16.000 m<sup>3</sup>/s



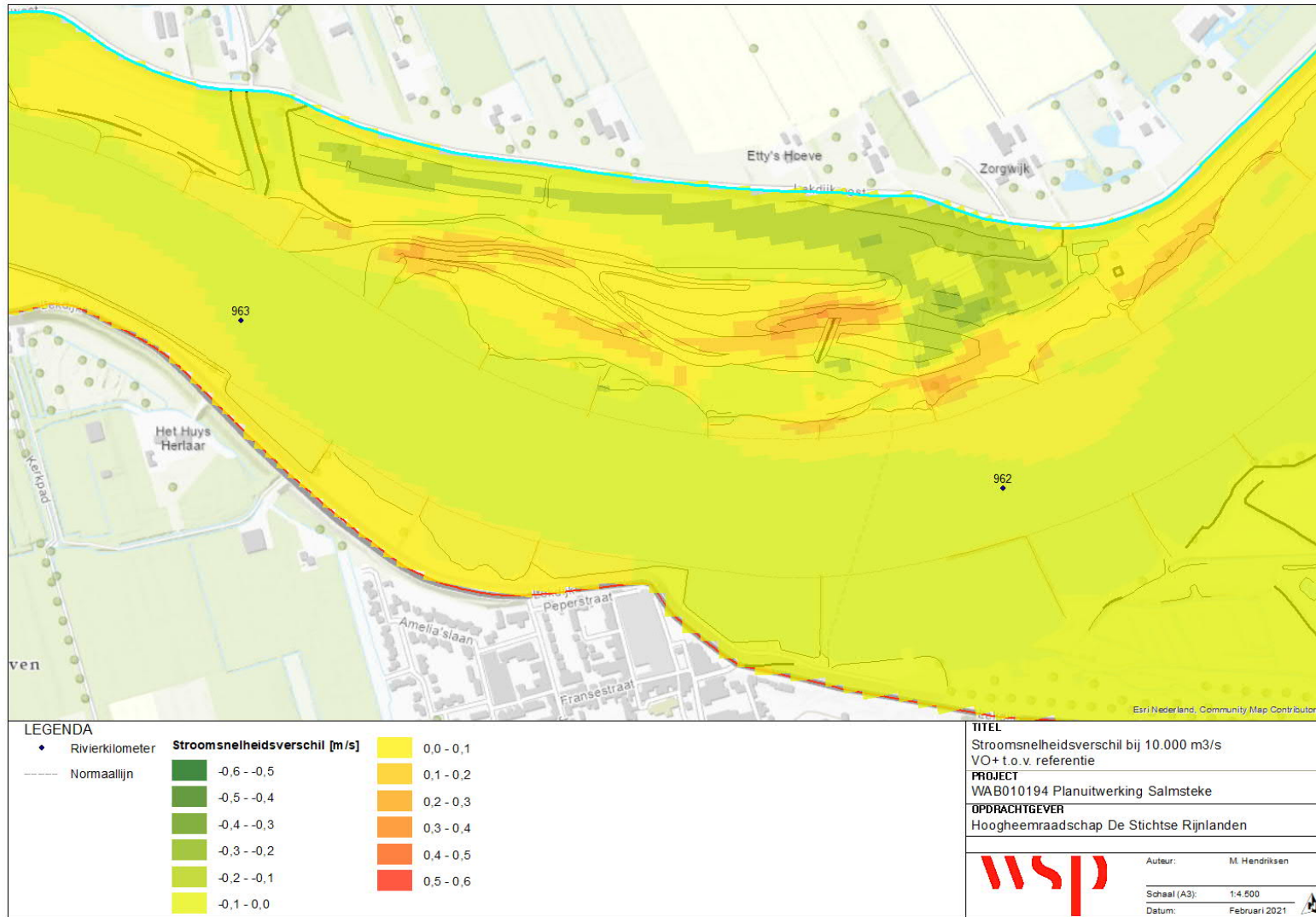
Figuur 96: Stroomsnelheidsverschil (m/s) voor het VO+ t.o.v. de referentie bij een hoogwaterreferentie van 16.000 m<sup>3</sup>/s

### C.3. Afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith

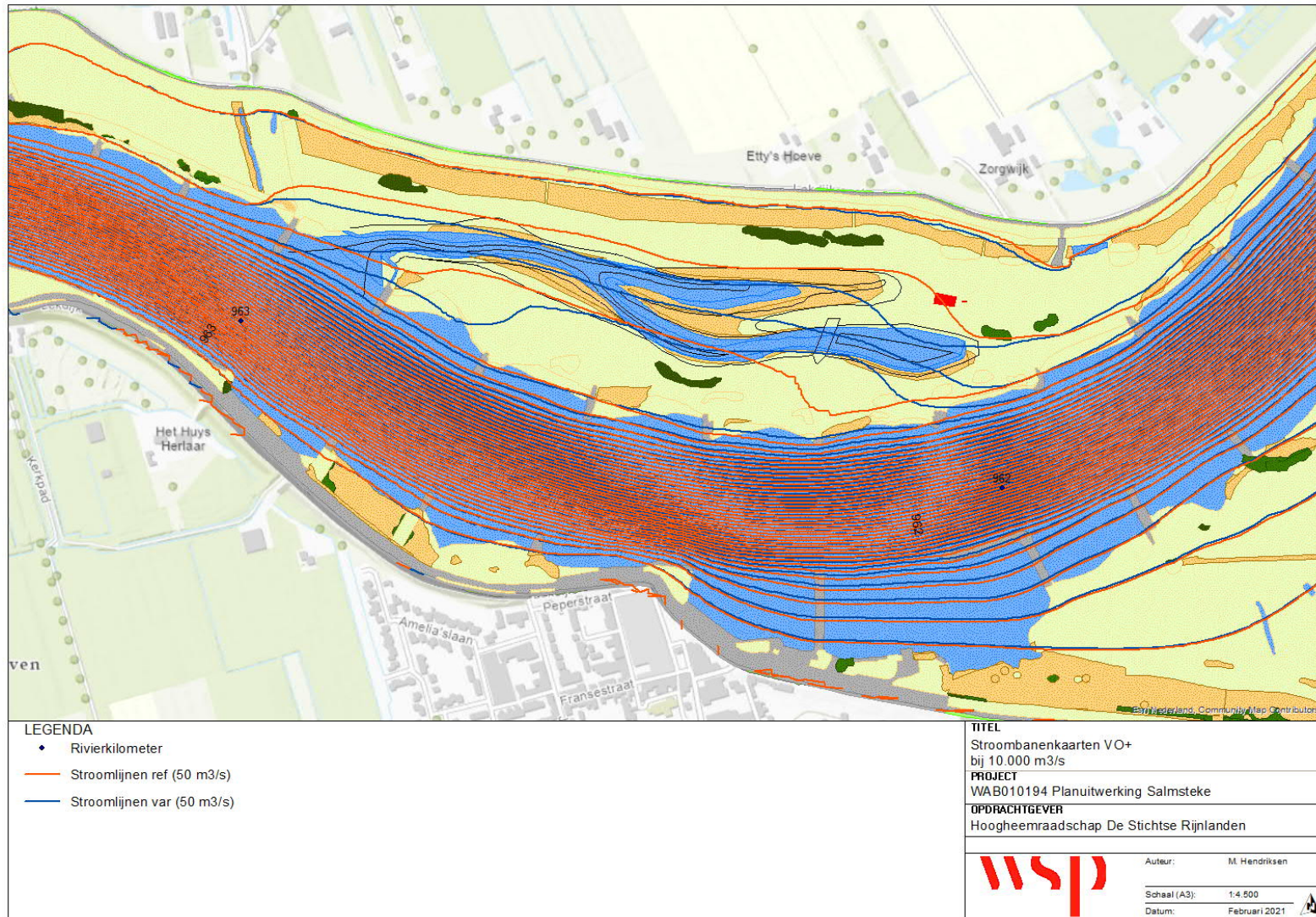


Figuur 97: Stroomsnelheid (m/s) voor het VO+ bij een hoogwaterreferentie van 10.000 m<sup>3</sup>/s



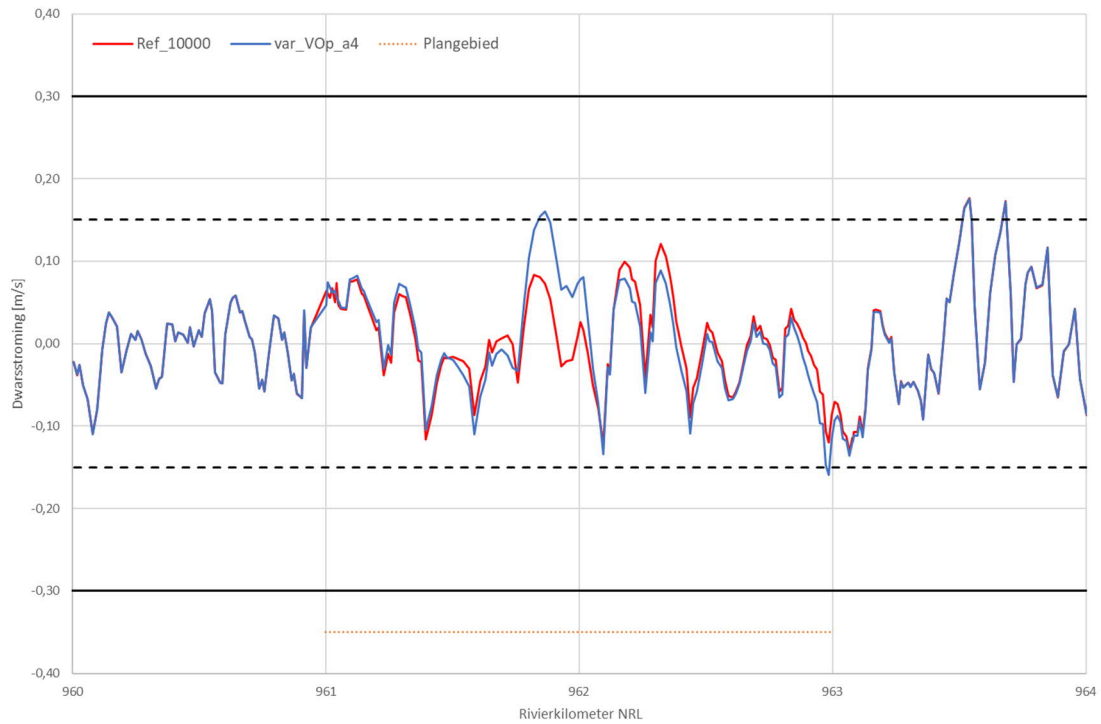


Figuur 98: Stroomsnelheidsverschil (m/s) voor het VO+ t.o.v. de referentie bij een hoogwaterreferentie van 10.000 m<sup>3</sup>/s

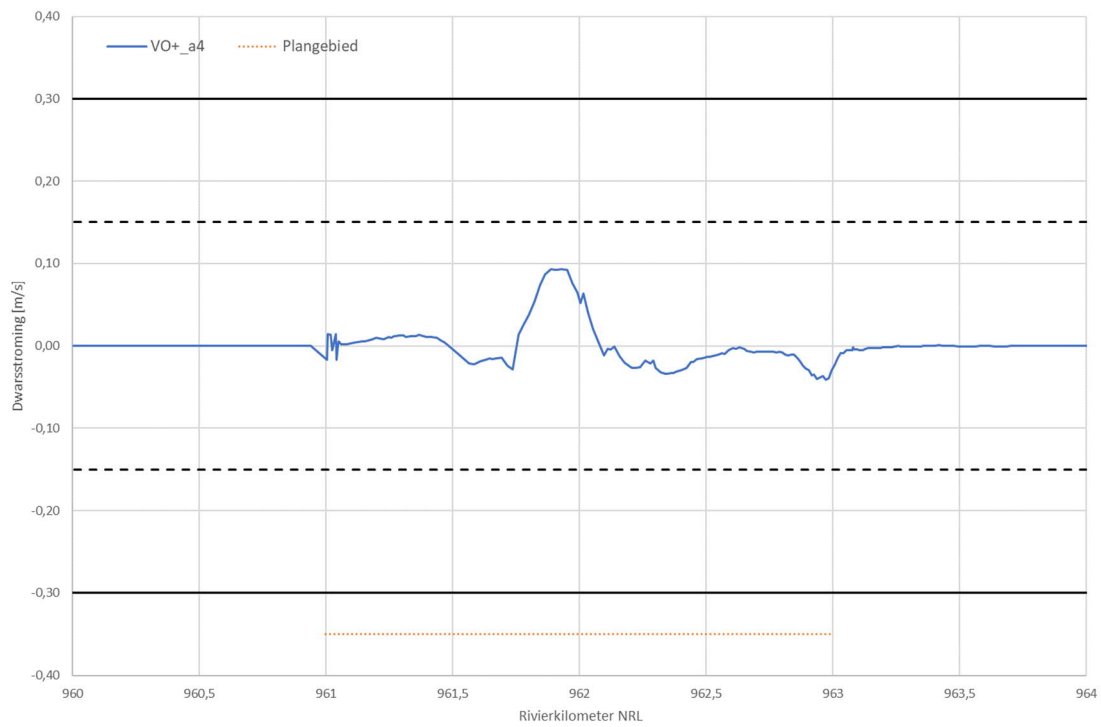


Figuur 99: Stroombanenkaart VO+ (interval tussen twee debietlijnen is 50 m<sup>3</sup>/s) bij een hoogwaterreferentie van 10.000 m<sup>3</sup>/s



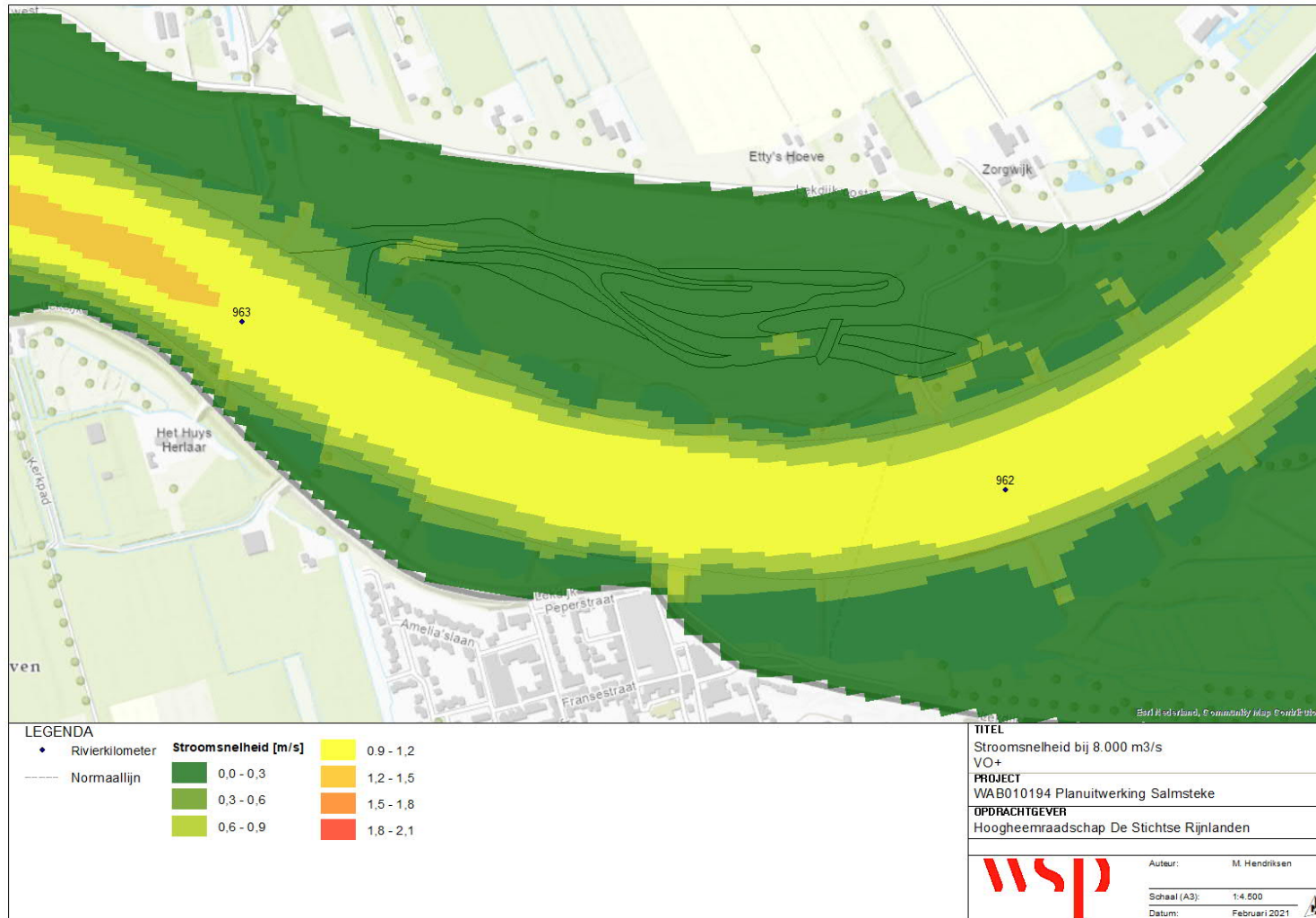


Figuur 100: Dwarsstroming rechteroever bij 10.000 m<sup>3</sup>/s voor de Referentie (ref) en het VO+ (VO+\_a4)

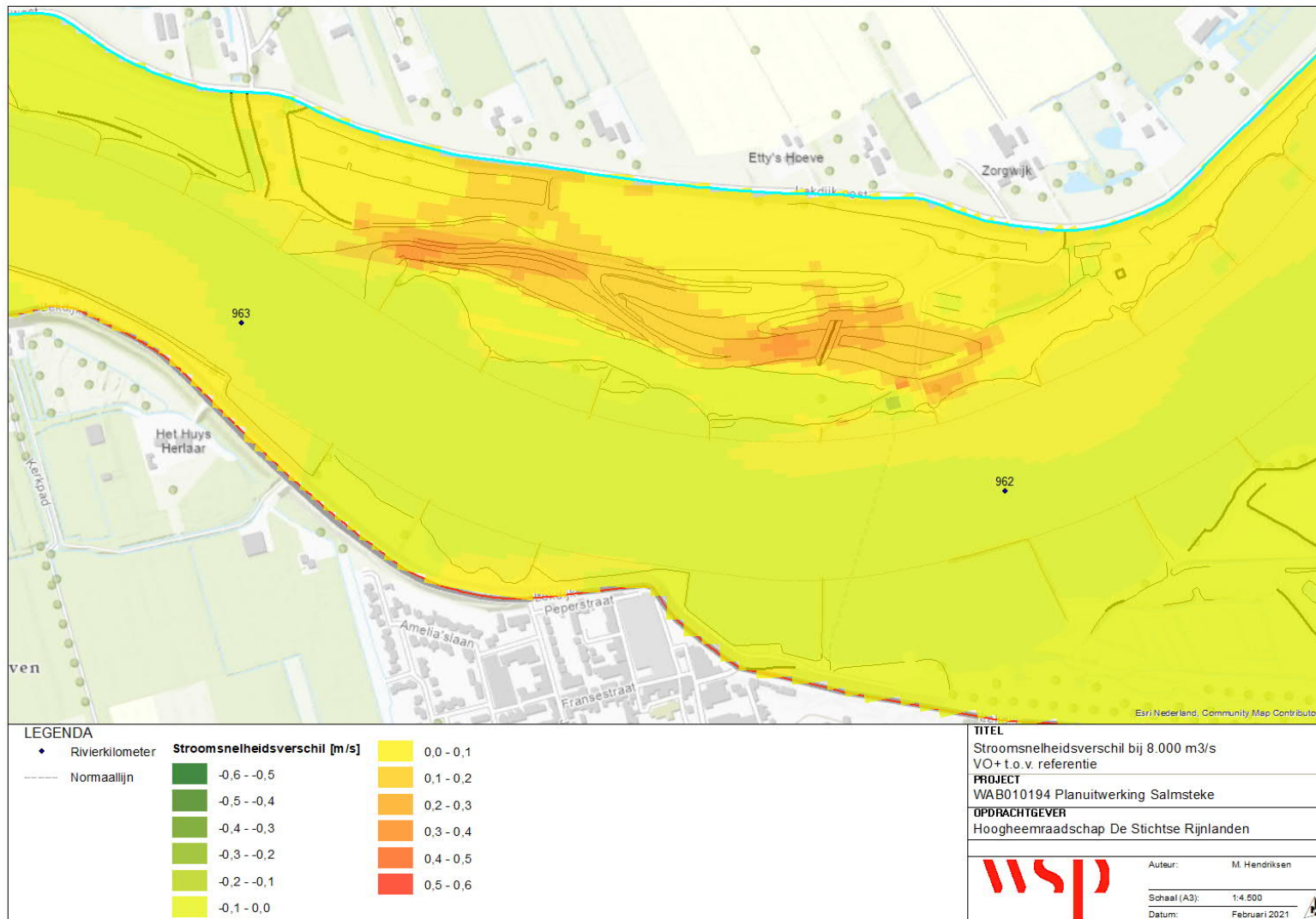


Figuur 101: Dwarsstromingsverschil rechteroever tussen Referentie en VO+ (VO+\_a4) bij 10.000 m<sup>3</sup>/s

C.4. Afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith

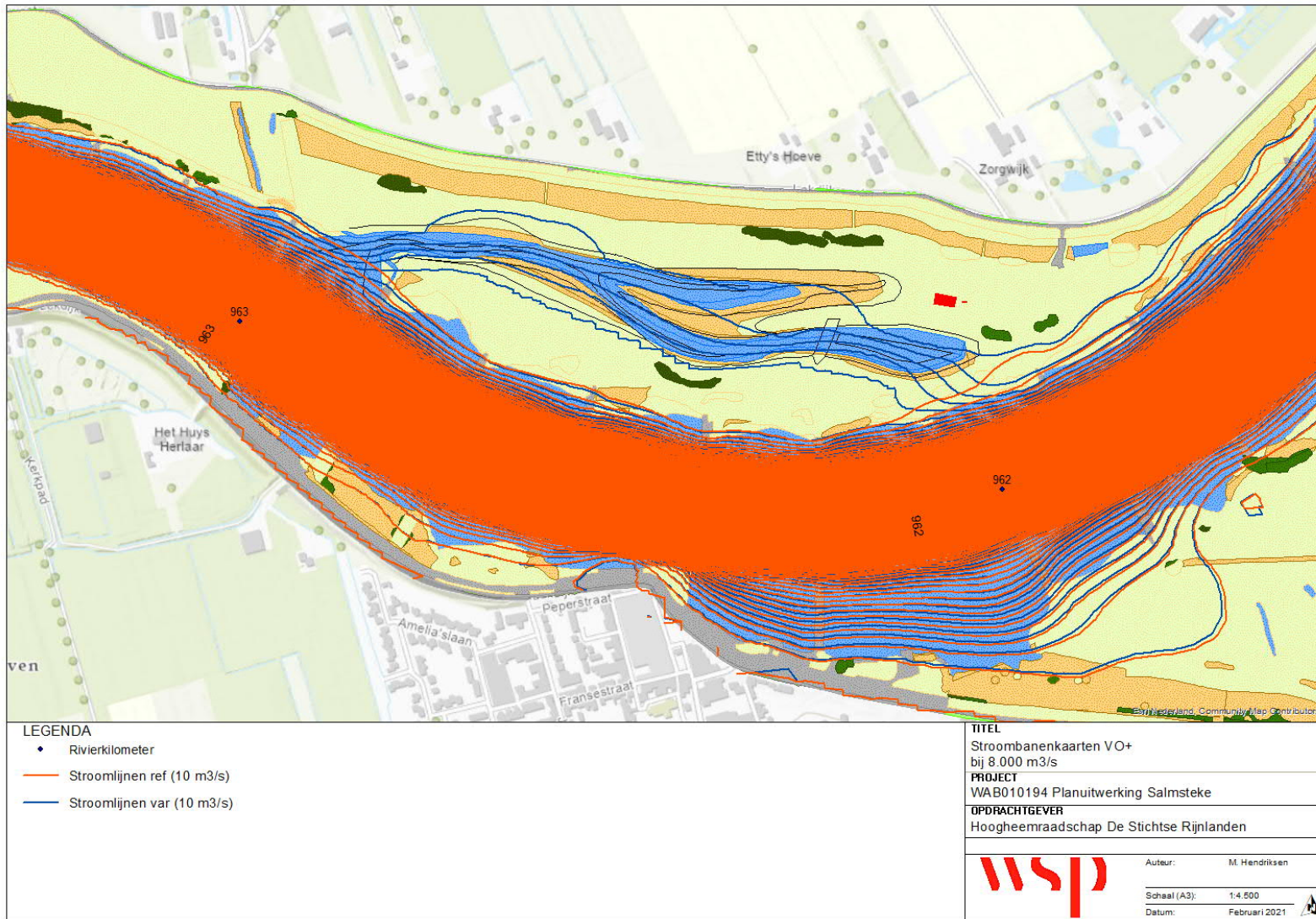


Figuur 102: Stroomsnelheid (m/s) voor het VO+ bij een hoogwaterreferentie van 8.000 m<sup>3</sup>/s

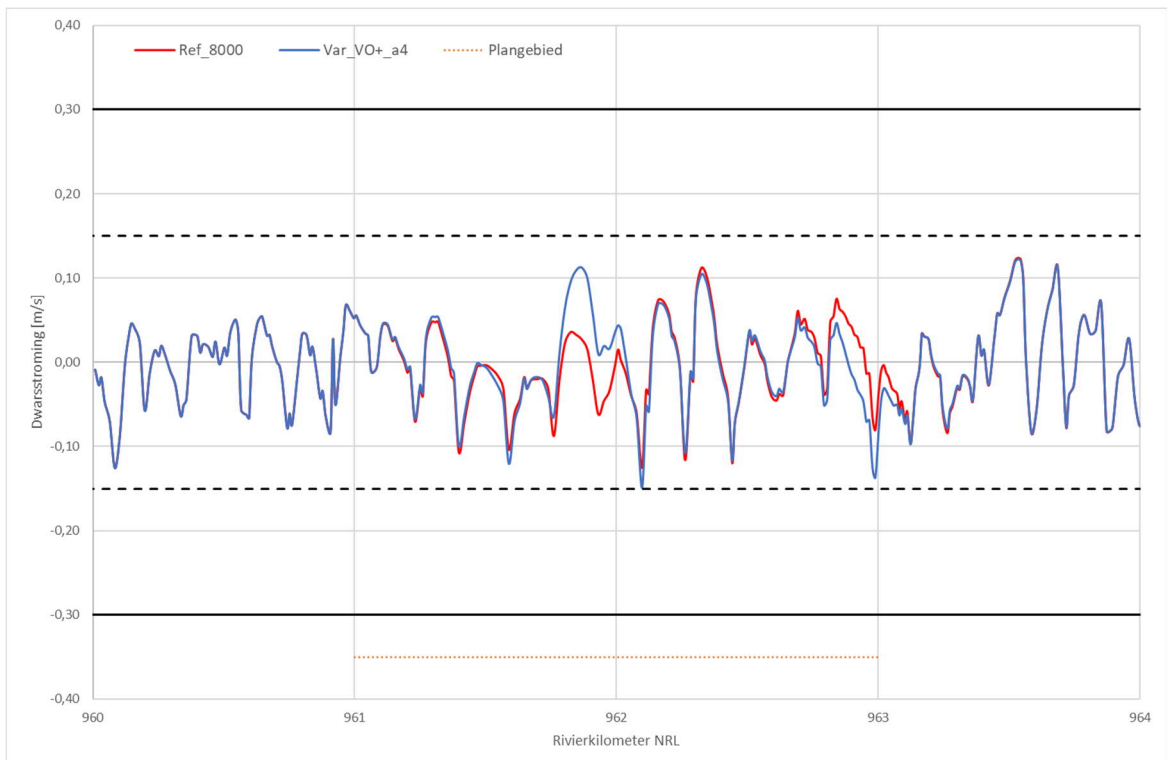


Figuur 103: Stroomsnelheidsverschil (m/s) voor het VO+ t.o.v. de referentie bij een hoogwaterreferentie van 8.000 m<sup>3</sup>/s

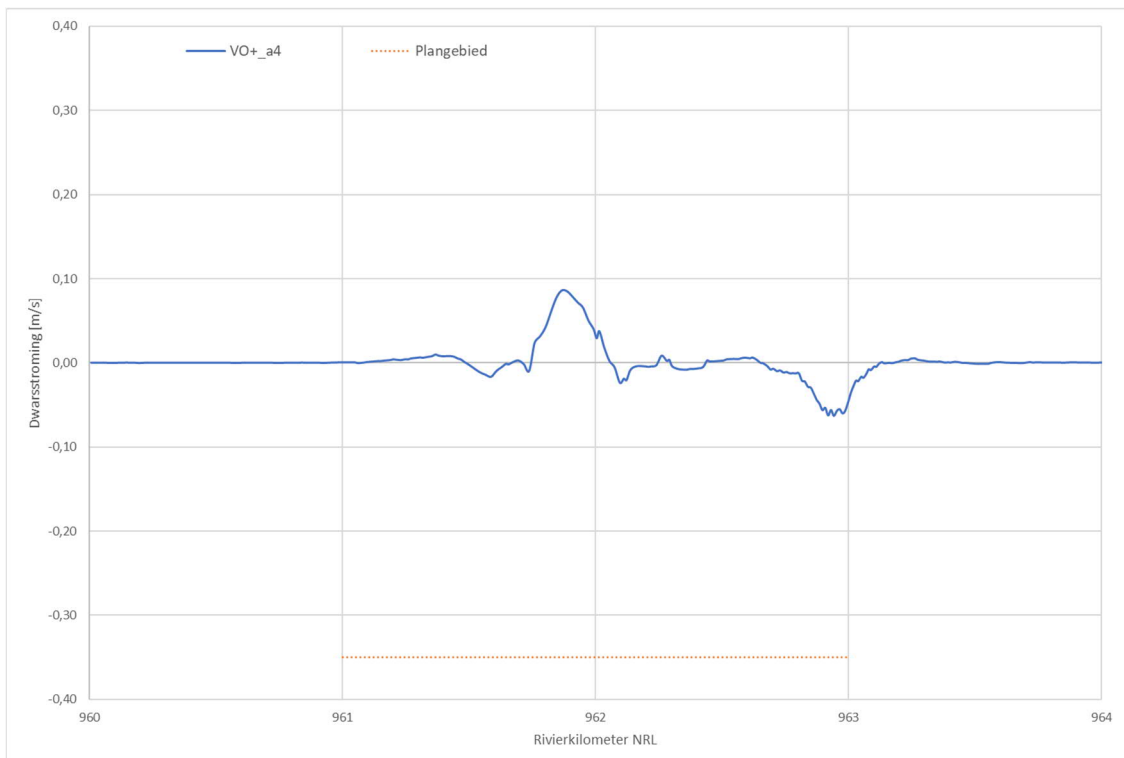




Figuur 104: Stroombanenkaart VO+ (10 m<sup>3</sup>/s) bij een hoogwaterreferentie van 8.000 m<sup>3</sup>/s

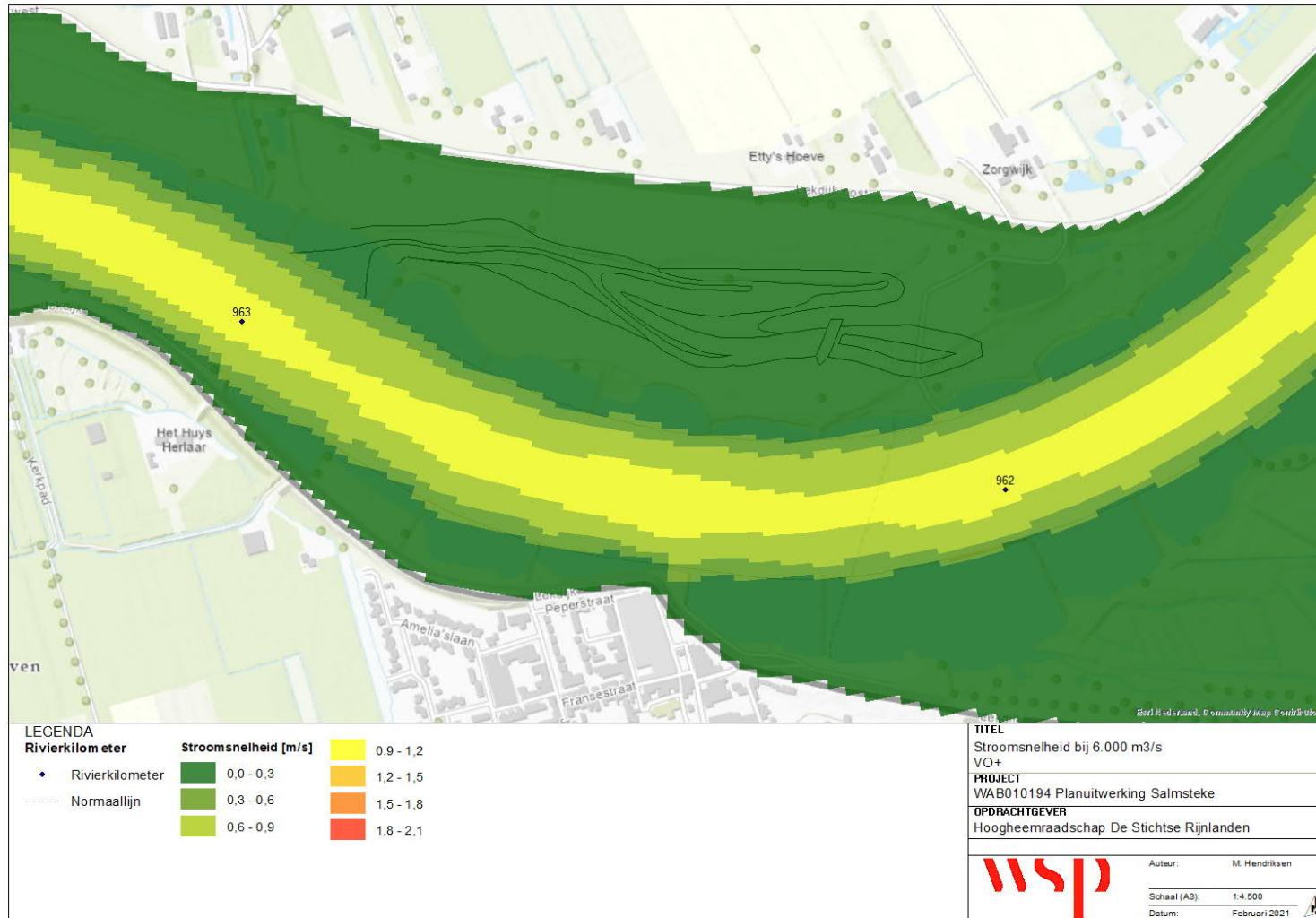


Figuur 105: Dwarsstroming rechteroever bij 8.000 m<sup>3</sup>/s voor de Referentie (ref) en het VO+ (VO+\_a4)



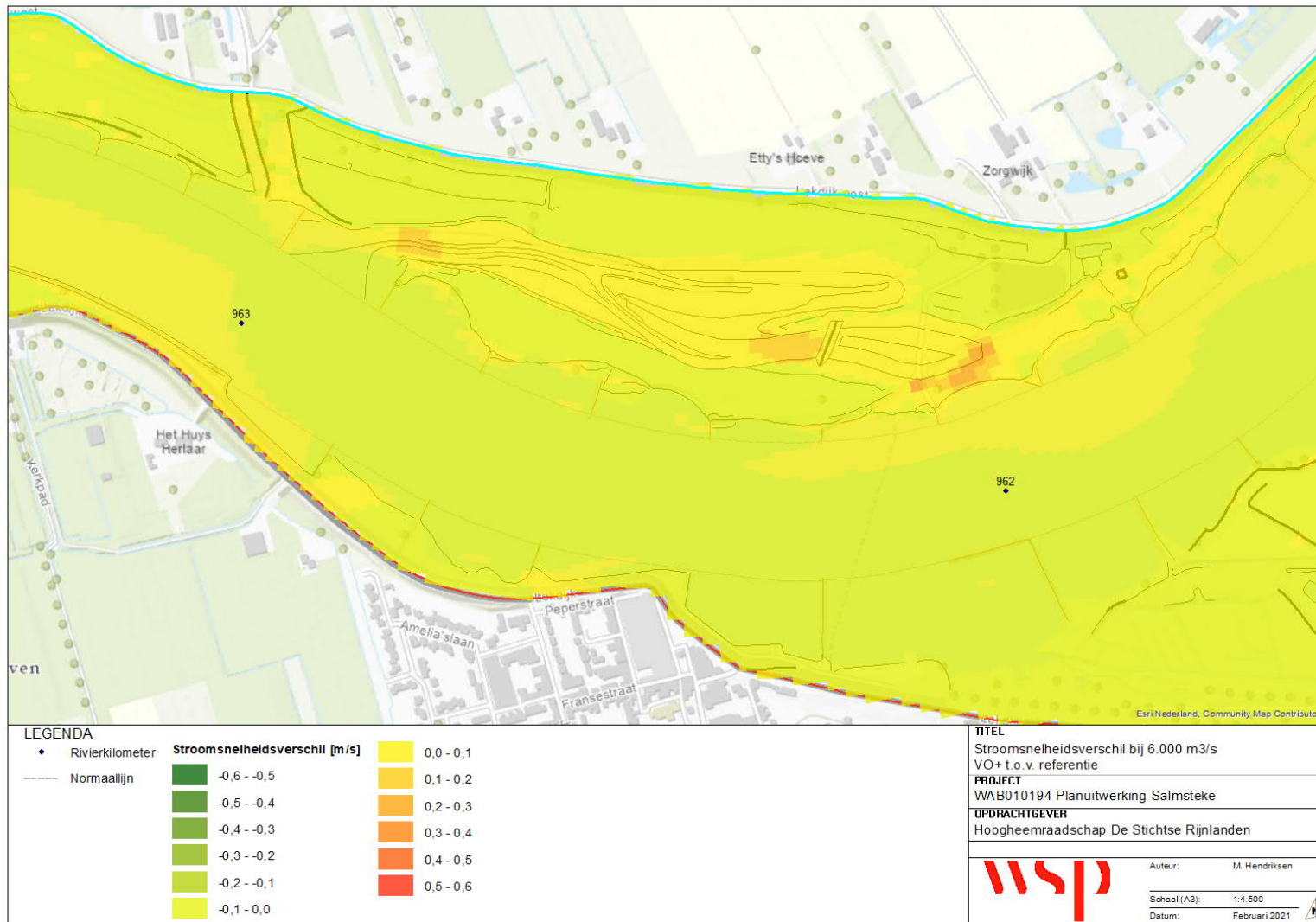
Figuur 106: Dwarsstromingsverschil rechteroever tussen Referentie en VO+ (VO+\_a4) bij 8.000 m<sup>3</sup>/s

C.5. Afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith

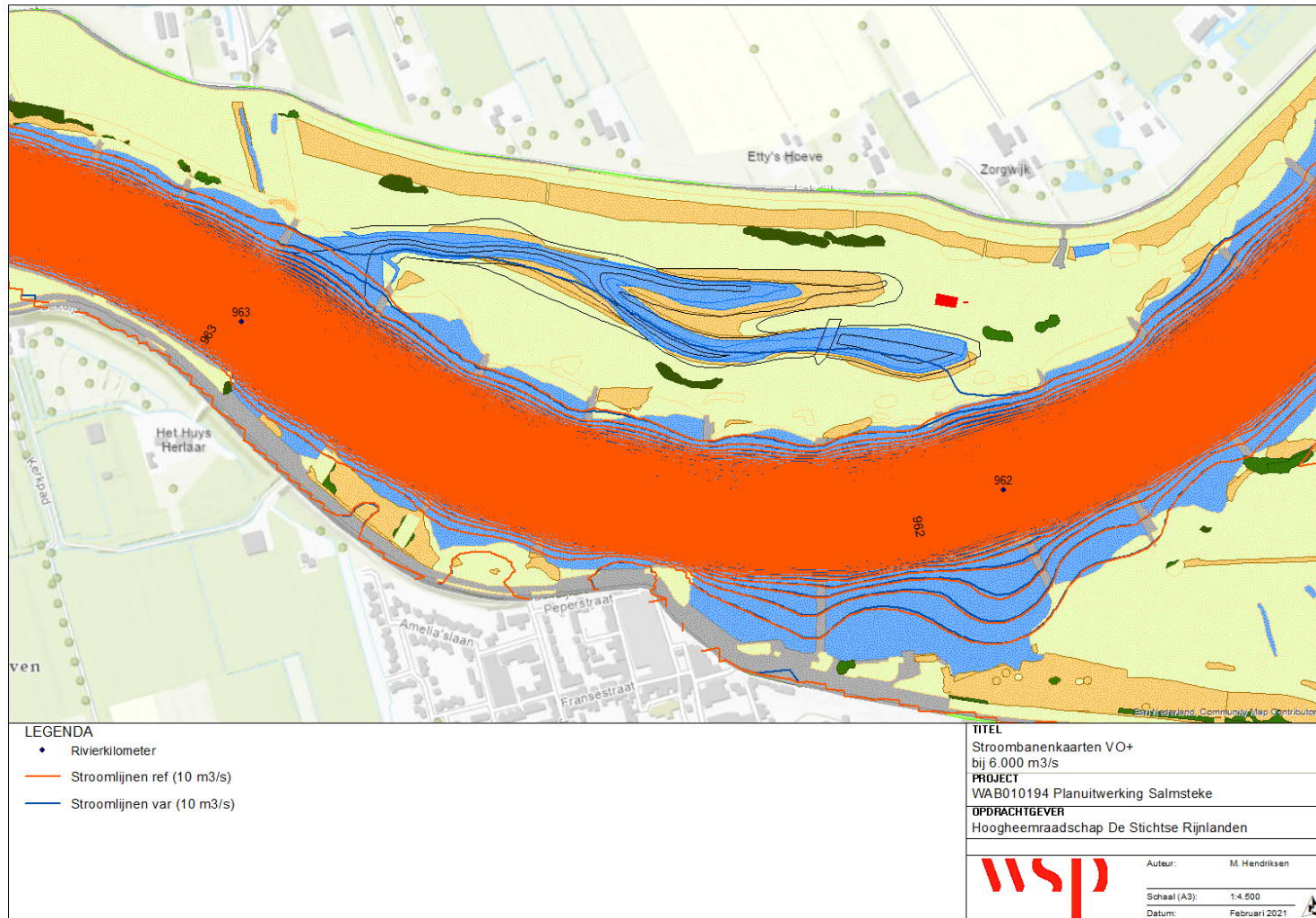


Figuur 107: Stroomsnelheid (m/s) voor het VO+ bij een hoogwaterreferentie van 6.000 m<sup>3</sup>/s



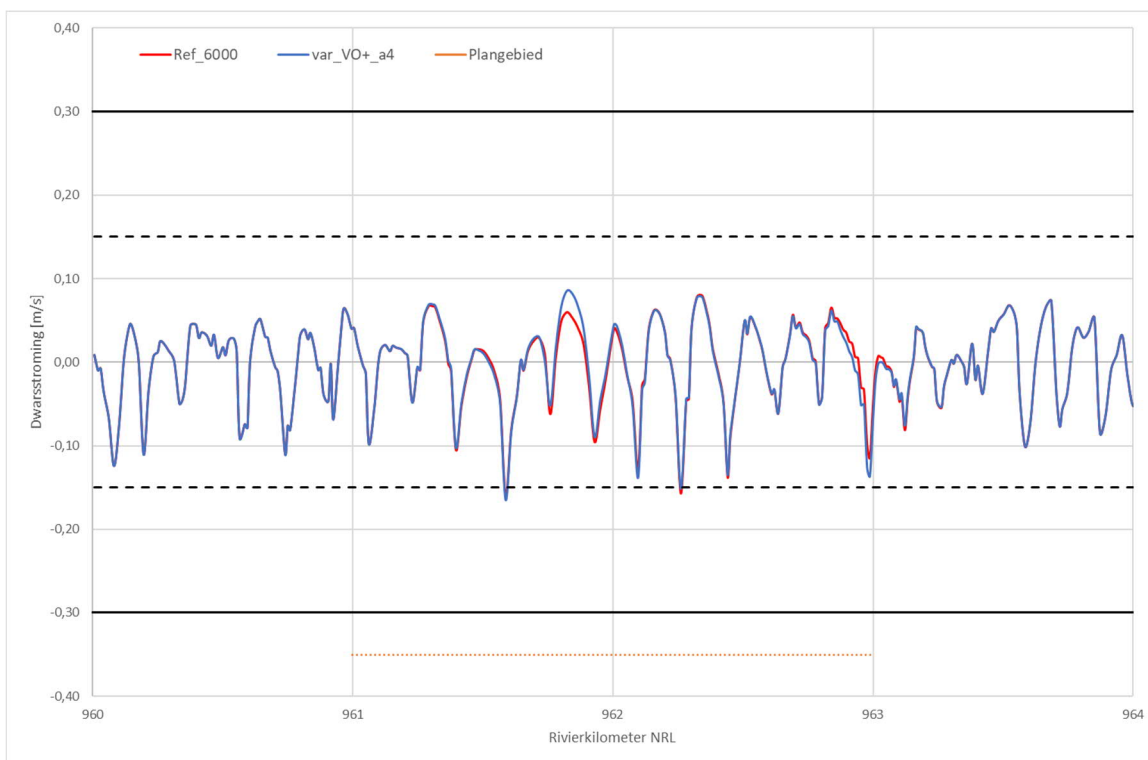


Figuur 108: Stroomsnelheidsverschil (m/s) voor het VO+ t.o.v. de referentie bij een hoogwaterreferentie van 6.000 m<sup>3</sup>/s

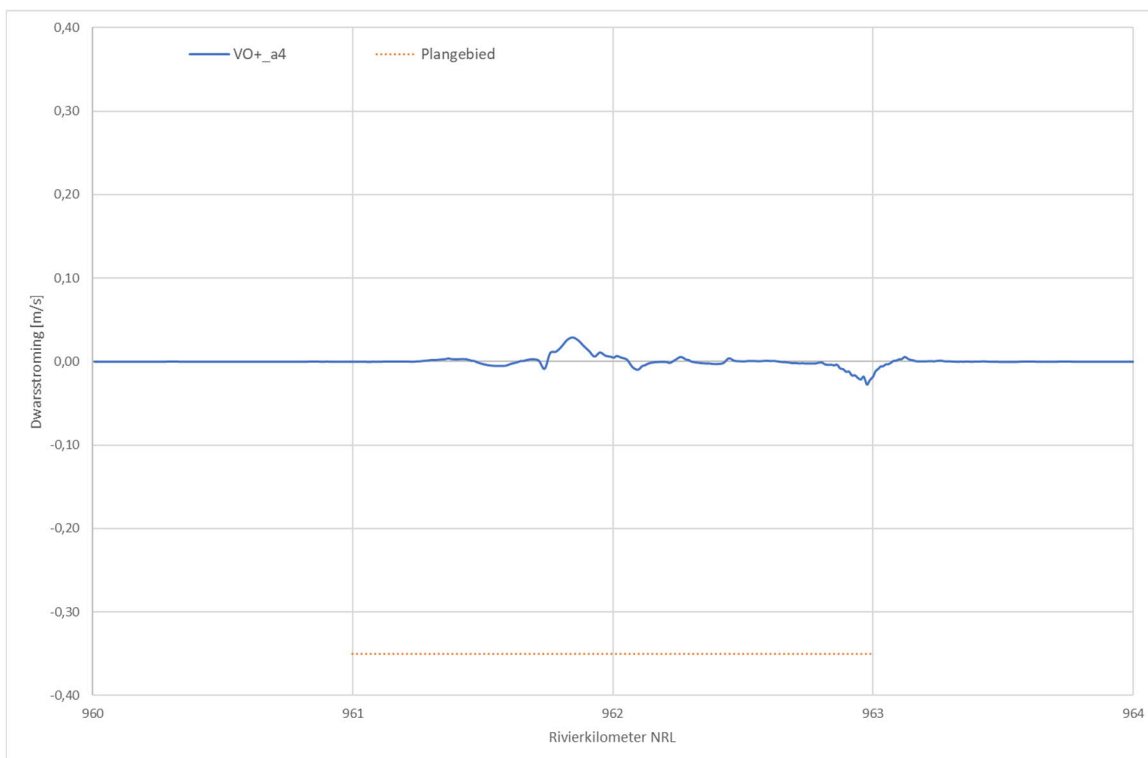


Figuur 109: Stroombanenkaart VO+ (interval tussen twee debietlijnen is 10 m<sup>3</sup>/s) bij een hoogwaterreferentie van 6.000 m<sup>3</sup>/s





Figuur 110: Dwarsstroming rechteroever bij 6.000 m<sup>3</sup>/s voor de Referentie (ref) en het VO+ (VO+\_a4)



Figuur 111: Dwarsstromingsverschil rechteroever tussen Referentie en VO+ (VO+\_a4) bij 6.000 m<sup>3</sup>/s

## C.6. Dwarsstromingsdebiet bij 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith

Voor de resultaten in de onderstaande tabel en figuren betekent een positieve dwarsstroming dat water de uiterwaard instroomt, terwijl een negatieve dwarsstroming betekent dat water vanuit de uiterwaard de rivier instroomt.

Voor het dwarsstromingsdebiet wordt bepaald of het stroomveld groter of kleiner is dan de lengte van een maatgevend schip. Op de Nederrijn-Lek is de lengte van een maatgevend schip 186,50 meter volgens het RBK (met een bijbehorende diepgang van 3,50 meter) [1].

Voor 10.000 m<sup>3</sup>/s is de breedte van het stroomveld groter dan 186,5 meter, namelijk 254 meter (verschil rkm 962,02-961,78). Dit houdt in dat het dwarsstroomdebiet bepaald wordt ter plaatse van de grootste dwarsstroming over een breedte die overeenkomt met de lengte van het maatgevende schip. Hiertoe is het dwarsstroomdebiet per cel bepaald.

Voor de bepaling van het debiet zijn de volgende formules gebruikt:

$$W_u = \Delta L * 1000$$

$$Q_{dwars} = D_{schip} * v_{dwars} * W_u$$

Tabel 21: Dwarsstroming en dwarsstroomdebiet bij 10.000 m<sup>3</sup>/s voor het VO+ bij rkm 961,7; de gearceerde cellen geven in totaal het hoogste dwarsstromingsdebiet (in totaal 74 m<sup>3</sup>/s)

Rivierkilometer	Dwarsstroming [m/s]	Wu per cel	Diepgang representatief schip [m]	Dwarsstroomdebiet [m <sup>3</sup> /s]
961,76	-0,03	21,39	3,5	-2,50
961,78	0,05	21,36	3,5	3,37
961,80	0,10	21,32	3,5	7,74
961,82	0,14	21,31	3,5	10,26
961,84	0,15	21,31	3,5	11,48
961,87	0,16	21,31	3,5	11,94
961,89	0,15	21,28	3,5	10,93
961,91	0,10	21,23	3,5	7,69
961,93	0,07	21,17	3,5	4,83
961,95	0,07	21,11	3,5	5,18
961,97	0,06	21,06	3,5	4,18
961,99	0,07	21,03	3,5	5,32
962,00	0,08	12,07	3,5	3,30

Tabel 22: Dwarsstroming en dwarsstroomdebiet bij 10.000 m<sup>3</sup>/s voor het VO+ bij rkm 963; de gearceerde cellen geven in totaal het hoogste dwarsstromingsdebiet (in totaal 75 m<sup>3</sup>/s)

Rivierkilometer	Dwarsstroming [m/s]	Wu per cel	Diepgang representatief schip [m]	Dwarsstroomdebiet [m <sup>3</sup> /s]
962,93	-0,06	11,29	3,5	-2,41
962,94	-0,07	11,30	3,5	-2,80
962,95	-0,10	11,67	3,5	-3,95
962,96	-0,10	10,99	3,5	-3,76
962,98	-0,15	12,36	3,5	-6,38
962,99	-0,16	10,72	3,5	-5,97
963,00	-0,12	12,84	3,5	-5,20
963,01	-0,09	8,90	3,5	-2,91
963,02	-0,09	10,00	3,5	-3,07
963,03	-0,10	10,19	3,5	-3,41
963,04	-0,12	8,63	3,5	-3,48
963,05	-0,12	11,90	3,5	-4,91
963,06	-0,14	8,53	3,5	-4,06
963,07	-0,12	12,29	3,5	-5,17
963,08	-0,12	8,63	3,5	-3,56
963,09	-0,11	8,46	3,5	-3,30
963,10	-0,11	13,15	3,5	-5,14
963,11	-0,09	8,50	3,5	-2,78
963,12	-0,11	12,18	3,5	-4,83
963,13	-0,08	10,54	3,5	-2,93
963,14	-0,03	8,59	3,5	-0,99
963,16	-0,01	15,23	3,5	-0,40

### C.7. Dwarsstromingsdebiet bij 6.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith

Voor 6.000 m<sup>3</sup>/s wordt neemt de stroomsnelheid bij rkm 961,6 met 0,005 m/s toe, tot een stroomsnelheid van 0,165 m/s. Aangezien de stroomsnelheid groter dan 0,15 m/s is, moet het dwarsstromingsdebiet worden bepaald en minder dan 50 m<sup>3</sup>/s zijn om te voldoen aan de eisen uit het RBK.

Voor de resultaten in de onderstaande tabel en figuren betekent een positieve dwarsstroming dat water de uiterwaard instroomt, terwijl een negatieve dwarsstroming betekent dat water vanuit de uiterwaard de rivier instroomt.

Voor het dwarsstromingsdebiet wordt bepaald of het stroomveld groter of kleiner is dan de lengte van een maatgevend schip. Op de Nederrijn-Lek is de lengte van een maatgevend schip, conform het RBK, 186,50 meter (met een bijbehorende diepgang van 3,50 meter) [1].

Bij 6.000 m<sup>3</sup>/s is de breedte van het stroomveld bij rkm 961,6 kleiner dan 186,5 meter, namelijk 12,9 m. Over deze breedte wordt het dwarsstroomdebiet per cel bepaald.

Voor de bepaling van het debiet zijn de volgende formules gebruikt:

$$W_u = \Delta L * 1000$$

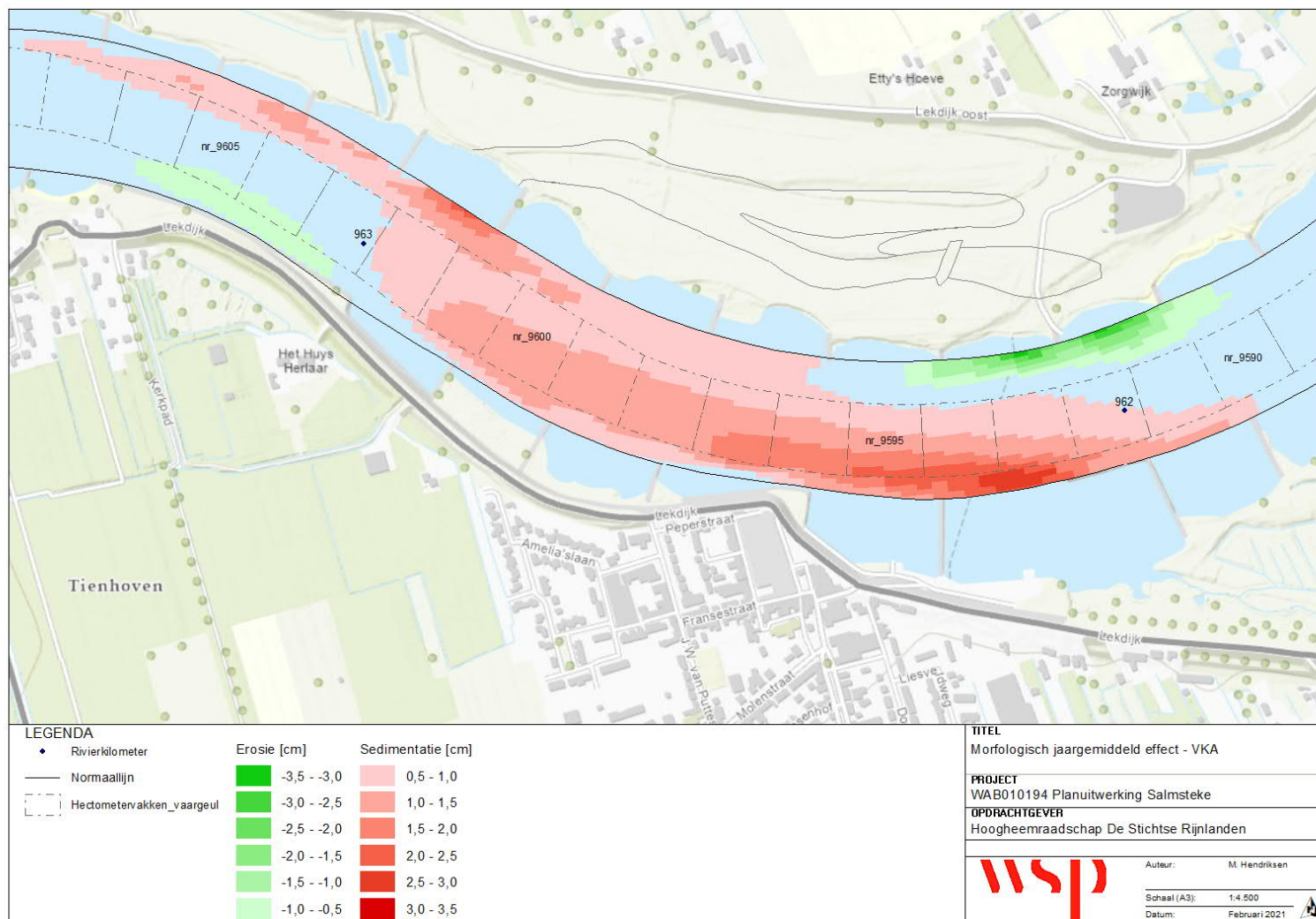
$$Q_{dwars} = D_{schip} * v_{dwars} * W_u$$

Tabel 23: Dwarsstroming en dwarsstroomdebiet bij 6.000 m<sup>3</sup>/s voor het VO+ bij rkm 961,6; de gearceerde cellen geven in totaal het hoogste dwarsstromingsdebiet (in totaal 25,8 m<sup>3</sup>/s)

Rivierkilometer	Dwarsstroming [m/s]	W <sub>u</sub> per cel	Diepgang representatief schip [m]	Dwarsstroomdebiet [m <sup>3</sup> /s]
961,50	0,01			
961,52	0,00	21,33	3,5	-0,04
961,54	-0,02	21,36	3,5	-1,23
961,57	-0,05	21,40	3,5	-3,65
961,59	-0,16	21,44	3,5	-12,36
961,61	-0,08	21,48	3,5	-6,31
961,63	-0,04	15,41	3,5	-2,25
961,65	0,00	10,76	3,5	0,09
961,66	-0,01	16,84	3,5	-0,54
961,67	0,02			

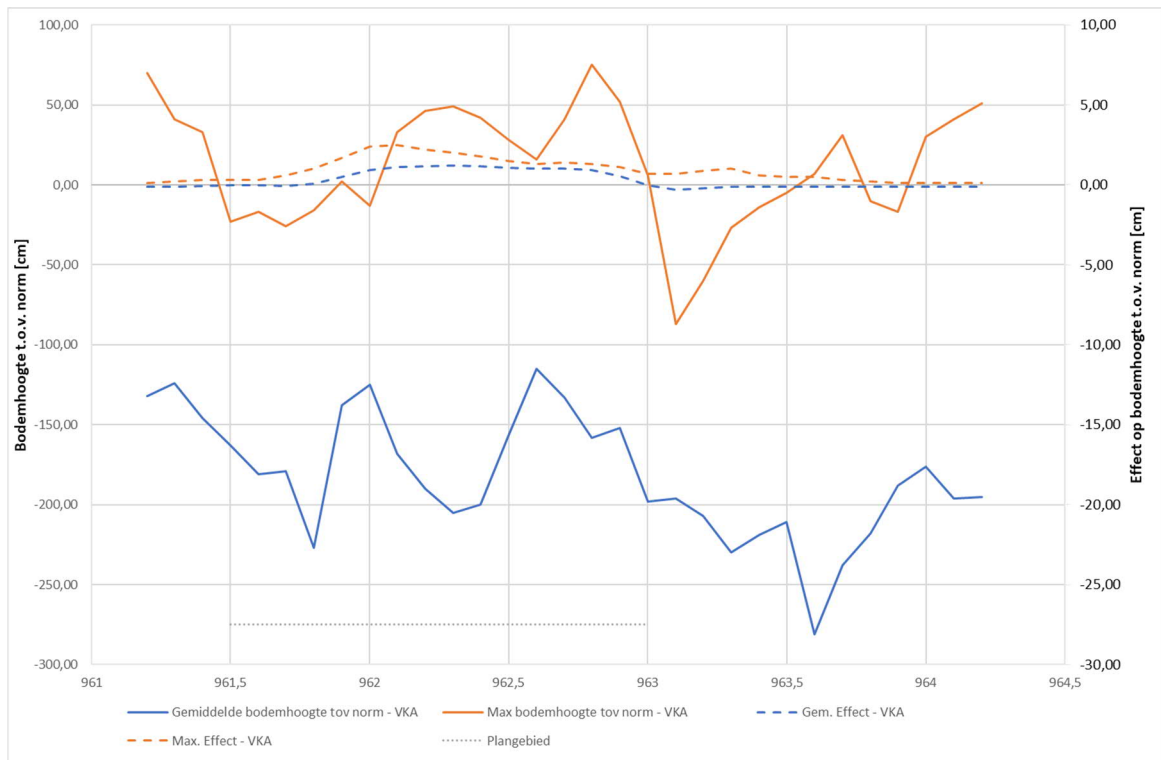
# Bijlage D. Kaarten en tabellen morfologisch effect

## D.1. VKA (B.4)



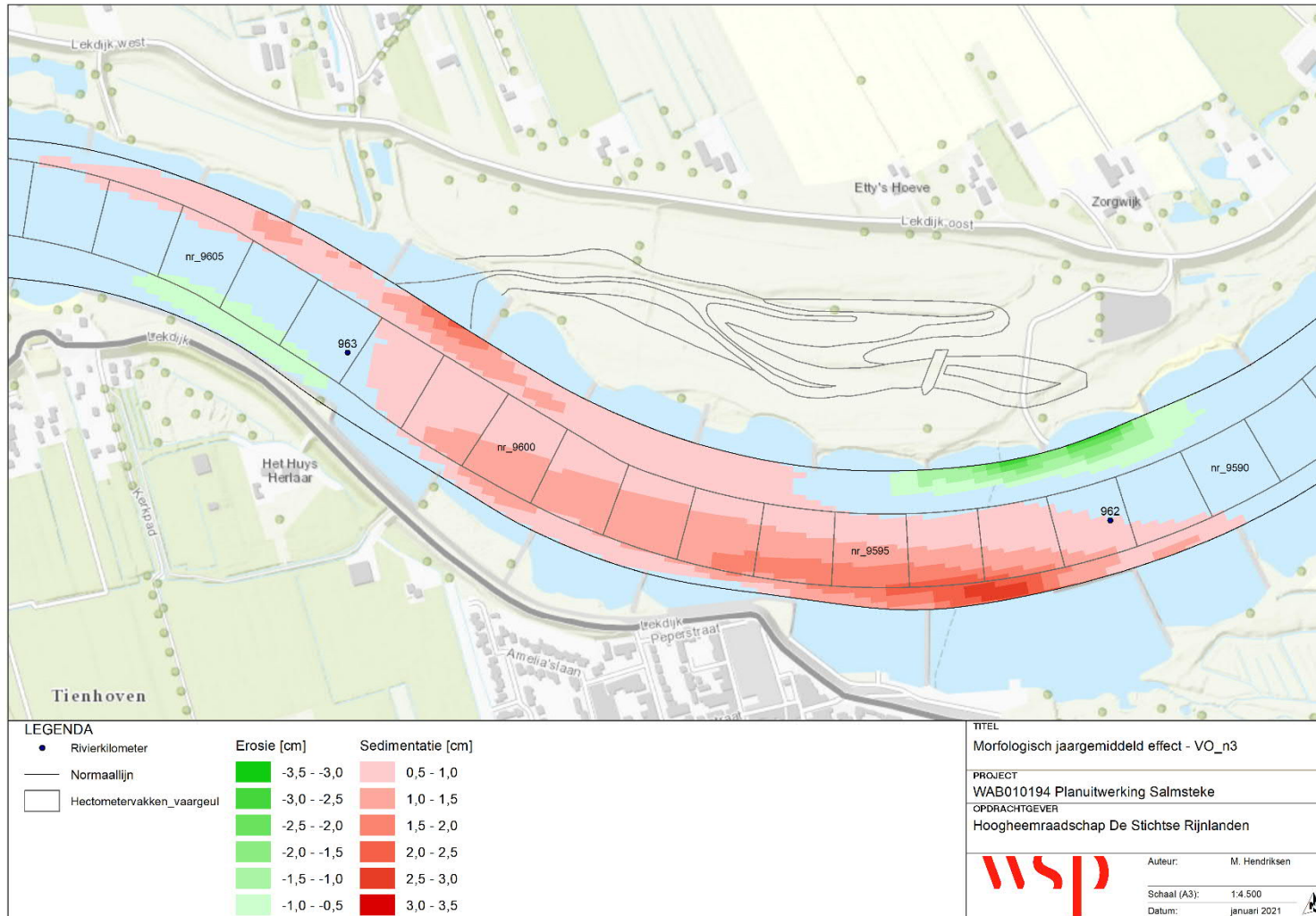


		A1	A2	B3	B4	C5	C6	D7	D8	E9	E10	F11	F12
		Totale erosie en sedimentatie		Bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR norm		Het volume dat niet voldoet aan de internationale CCR norm		Baggervolume incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de internationale CCR norm te voldoen		Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR-norm (c.q. beschikbare kielspeling voor faciliteren van vlotte vaart)		Baggervolume in de kielspeling dat verwijderd zou moeten worden voor vlotte en veilige scheepvaart	
Rivierkilometer	Hectometervak	Sedimentatie [m <sup>3</sup> ]	Erosie [m <sup>3</sup> ]	Maximum bodemhoogte tov de norm [cm]	Maximaal effect [cm]	Volume boven de norm [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm [m <sup>3</sup> ]	Volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Effect op gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Volume boven de norm min kielspeling [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm min kielspeling [m <sup>3</sup> ]
961,2 nr_9585		0	0	-70	0,1	35	0	145	0	132	-0,14	6201	0
961,3 nr_9586		3	0	-41	0,2	36	0	101	0	124	-0,11	5291	0
961,4 nr_9587		10	0	-33	0,3	46	0	289	0	146	-0,05	5084	4
961,5 nr_9588		14	0	23	0,3	0	0	1	0	163	-0,01	3784	5
961,6 nr_9589		11	-1	17	0,3	0	0	3	0	181	-0,04	2514	1
961,7 nr_9590		12	-4	27	0,6	0	0	0	0	179	-0,06	1974	-3
961,8 nr_9591		26	-4	17	1	0	0	13	0	227	0,07	2304	-3
961,9 nr_9592		64	0	0	1,7	0	0	23	0	138	0,49	2932	36
962 nr_9593		109	0	15	2,4	0	0	16	2	126	0,91	5001	60
962,1 nr_9594		126	0	-30	2,5	74	3	453	10	169	1,11	4377	37
962,2 nr_9595		134	0	-44	2,2	181	5	631	11	191	1,17	4087	34
962,3 nr_9596		138	0	-47	2	262	9	729	15	206	1,20	4084	40
962,4 nr_9597		136	0	-40	1,8	135	7	488	13	201	1,18	3414	38
962,5 nr_9598		125	0	-26	1,5	17	2	145	7	158	1,07	2810	51
962,6 nr_9599		126	0	-15	1,3	8	1	179	10	116	1,01	5335	105
962,7 nr_9600		132	0	-40	1,4	65	7	736	34	134	1,00	6732	78
962,8 nr_9601		125	0	-74	1,3	810	26	1774	37	159	0,92	7619	68
962,9 nr_9602		79	0	-51	1,1	334	15	1025	23	153	0,55	5916	45
963 nr_9603		18	-7	-5	0,7	0	0	59	2	198	-0,03	2545	12
963,1 nr_9604		6	-21	88	0,7	0	0	0	0	196	-0,29	425	2
963,2 nr_9605		13	-20	61	0,9	0	0	0	0	207	-0,20	474	-9
963,3 nr_9606		17	-14	28	1	0	0	0	0	230	-0,11	1442	-10
963,4 nr_9607		14	-10	15	0,6	0	0	10	0	219	-0,10	1898	-7
963,5 nr_9608		11	-8	5	0,5	0	0	34	0	211	-0,11	2155	-6
963,6 nr_9609		10	-8	-6	0,5	0	0	91	0	281	-0,12	2355	-6
963,7 nr_9610		7	-5	-31	0,3	1	0	59	0	238	-0,12	2345	-3
963,8 nr_9611		5	-4	10	0,2	0	0	22	0	218	-0,13	1906	-3
963,9 nr_9612		4	-3	17	0,1	0	0	6	0	188	-0,14	1705	-2
964 nr_9613		3	-1	-30	0,1	61	0	339	0	176	-0,12	3899	-1
964,1 nr_9614		2	0	-41	0,1	180	0	593	0	196	-0,12	4010	0
964,2 nr_9615		0	0	-51	0,1	171	0	606	0	195,0	-0,1	4315	0
Totaal		1478	-109			2382	75	8424	165			102733	561

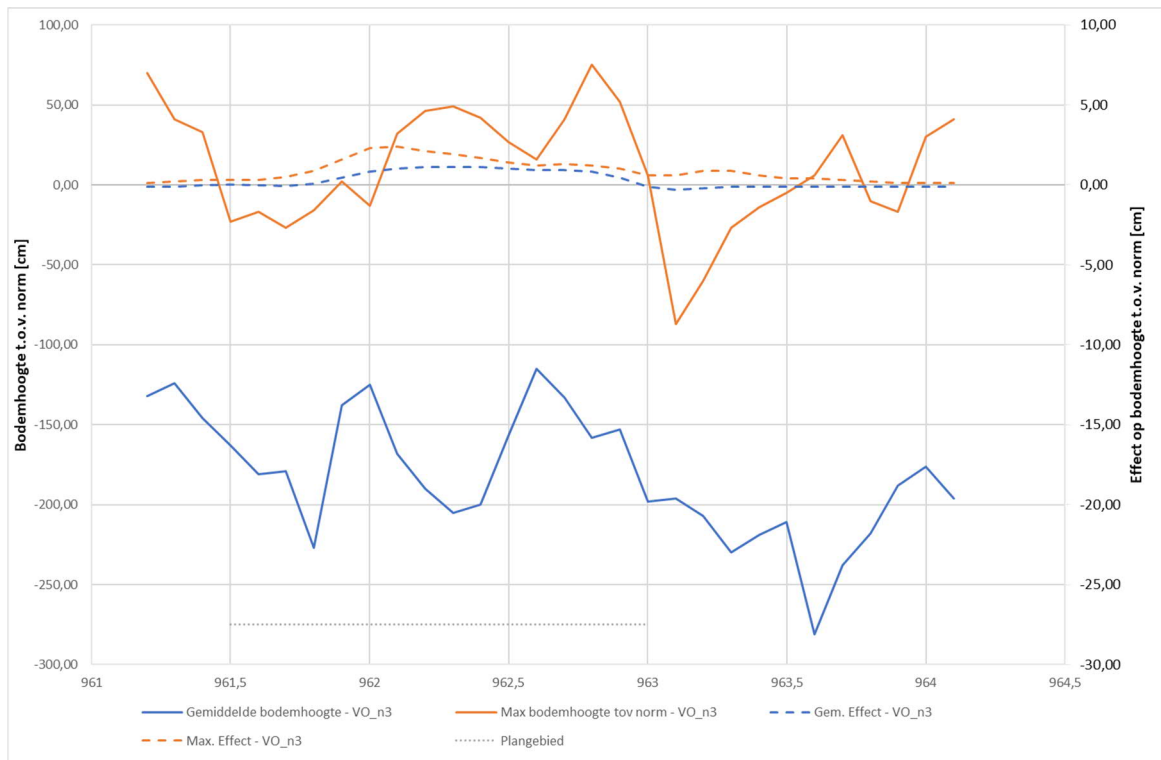


Figuur 112: Maximum en gemiddelde bodemhoogte t.o.v. norm en het effect (VKA)

## D.2. Voorlopig ontwerp (B.9.iv)



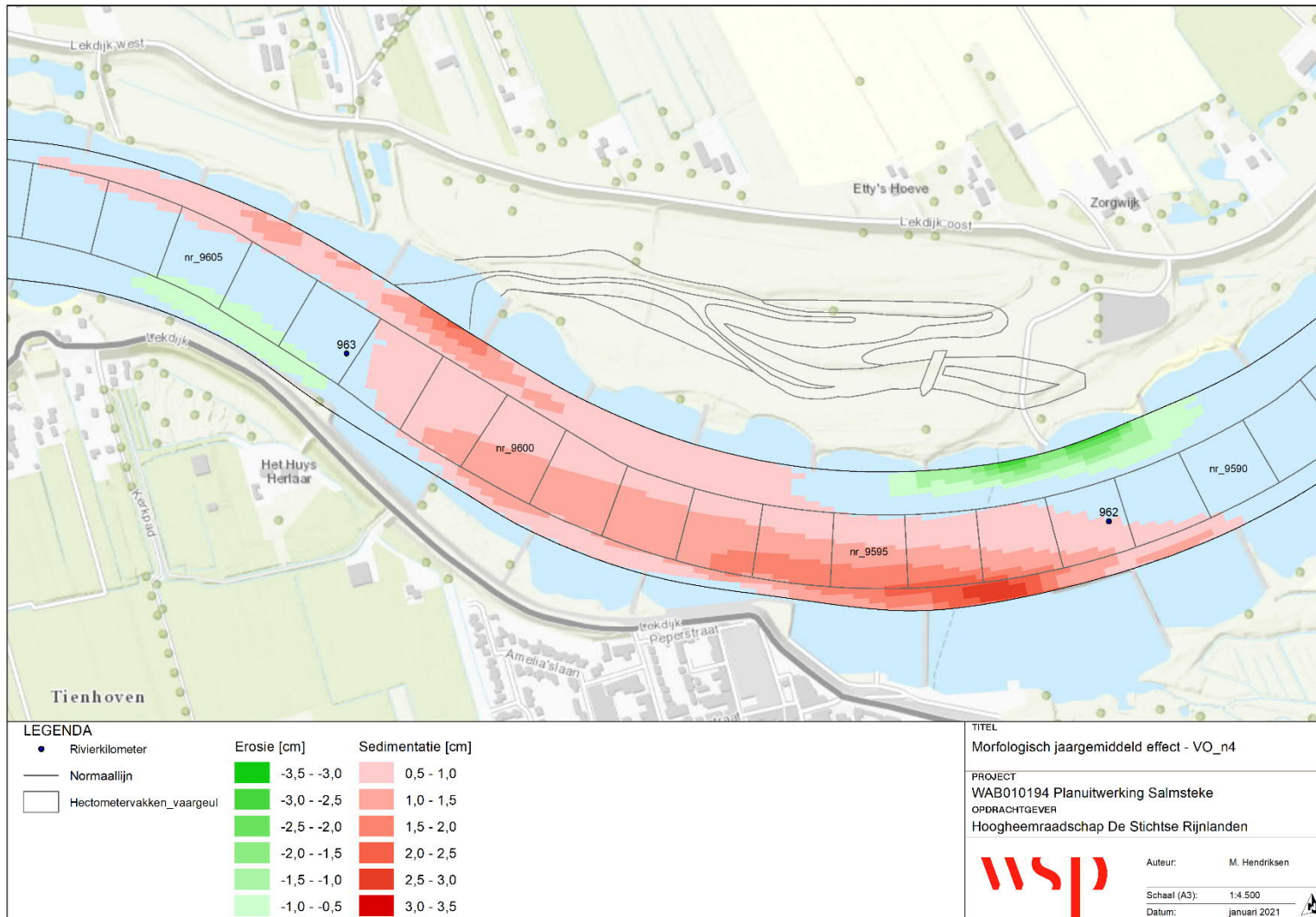
		A1	A2	B3	B4	C5	C6	D7		D8	E9		E10	F11		F12
Rivierkilometer	Hectometervak	Totale erosie en sedimentatie		Bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR norm		Het volume dat niet voldoet aan de internationale CCR norm		Baggervolume incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de internationale CCR norm te voldoen		Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR-norm (c.q. beschikbare kielespelning voor faciliteren van vlotte vaart)		Baggervolume in de kielespelning dat verwijderd zou moeten worden voor vlotte en veilige scheepvaart				
		Sedimentatie [m³]	Erosie [m³]	Maximum bodemhoogte tov de norm [cm]	Maximaal effect [cm]	Volume boven de norm [m³]	Effect op volume boven de norm [m³]	Volume boven de norm minus 30 cm [m³]	Effect op volume boven de norm minus 30 cm [m³]	Gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Effect op gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Volume boven de norm min kielespelning [m³]	Effect op volume boven de norm min kielespelning [m³]			
961,2	nr_9585	0	0	-70	0,1	35	0	145	0	132	-0,14	6201	0			
961,3	nr_9586	4	0	-41	0,2	36	0	101	0	124	-0,11	5291	1			
961,4	nr_9587	13	0	-33	0,3	46	0	289	0	146	-0,03	5084	5			
961,5	nr_9588	16	0	23	0,3	0	0	1	0	163	0,01	3784	6			
961,6	nr_9589	12	-1	17	0,3	0	0	3	0	181	-0,03	2514	1			
961,7	nr_9590	11	-3	27	0,5	0	0	0	0	179	-0,06	1974	-3			
961,8	nr_9591	23	-4	17	0,9	0	0	13	0	227	0,05	2304	-3			
961,9	nr_9592	59	0	0	1,6	0	0	23	0	138	0,43	2932	33			
962	nr_9593	102	0	15	2,3	0	0	16	2	126	0,85	5001	56			
962,1	nr_9594	119	0	-30	2,4	74	3	453	10	169	1,04	4377	35			
962,2	nr_9595	127	0	-44	2,1	181	5	631	11	191	1,09	4087	32			
962,3	nr_9596	130	0	-47	1,9	262	8	729	14	206	1,12	4084	38			
962,4	nr_9597	127	0	-40	1,7	135	6	488	12	201	1,10	3414	36			
962,5	nr_9598	117	0	-26	1,4	17	1	145	6	158	1,00	2810	47			
962,6	nr_9599	118	0	-15	1,2	8	1	179	10	116	0,93	5335	98			
962,7	nr_9600	123	0	-40	1,3	65	7	736	32	134	0,92	6732	73			
962,8	nr_9601	113	0	-74	1,2	810	24	1774	34	159	0,82	7619	62			
962,9	nr_9602	66	0	-51	1	334	13	1025	20	153	0,44	5916	39			
963	nr_9603	12	-9	-5	0,6	0	0	59	2	198	-0,10	2545	9			
963,1	nr_9604	5	-22	88	0,6	0	0	0	0	196	-0,30	425	2			
963,2	nr_9605	12	-19	61	0,9	0	0	0	0	207	-0,20	474	-9			
963,3	nr_9606	15	-13	28	0,9	0	0	0	0	230	-0,12	1442	-9			
963,4	nr_9607	13	-9	15	0,6	0	0	10	0	219	-0,10	1898	-6			
963,5	nr_9608	10	-8	5	0,4	0	0	34	0	211	-0,11	2155	-6			
963,6	nr_9609	9	-7	-6	0,4	0	0	91	0	281	-0,12	2355	-5			
963,7	nr_9610	7	-5	-31	0,3	1	0	59	0	238	-0,12	2345	-3			
963,8	nr_9611	4	-4	10	0,2	0	0	22	0	218	-0,14	1906	-3			
963,9	nr_9612	3	-3	17	0,1	0	0	6	0	188	-0,13	1705	-2			
964	nr_9613	2	0	-30	0,1	61	0	339	0	176	-0,12	3899	0			
964,1	nr_9614	1	0	-41	0,1	180	0	593	0	196	-0,13	4010	0			
<b>Totaal</b>		<b>1373</b>	<b>-108</b>			<b>2246</b>	<b>70</b>	<b>7963</b>	<b>153</b>			<b>104619</b>	<b>523</b>			



Figuur 113: Maximum en gemiddelde bodemhoogte t.o.v. norm en het effect (VO)

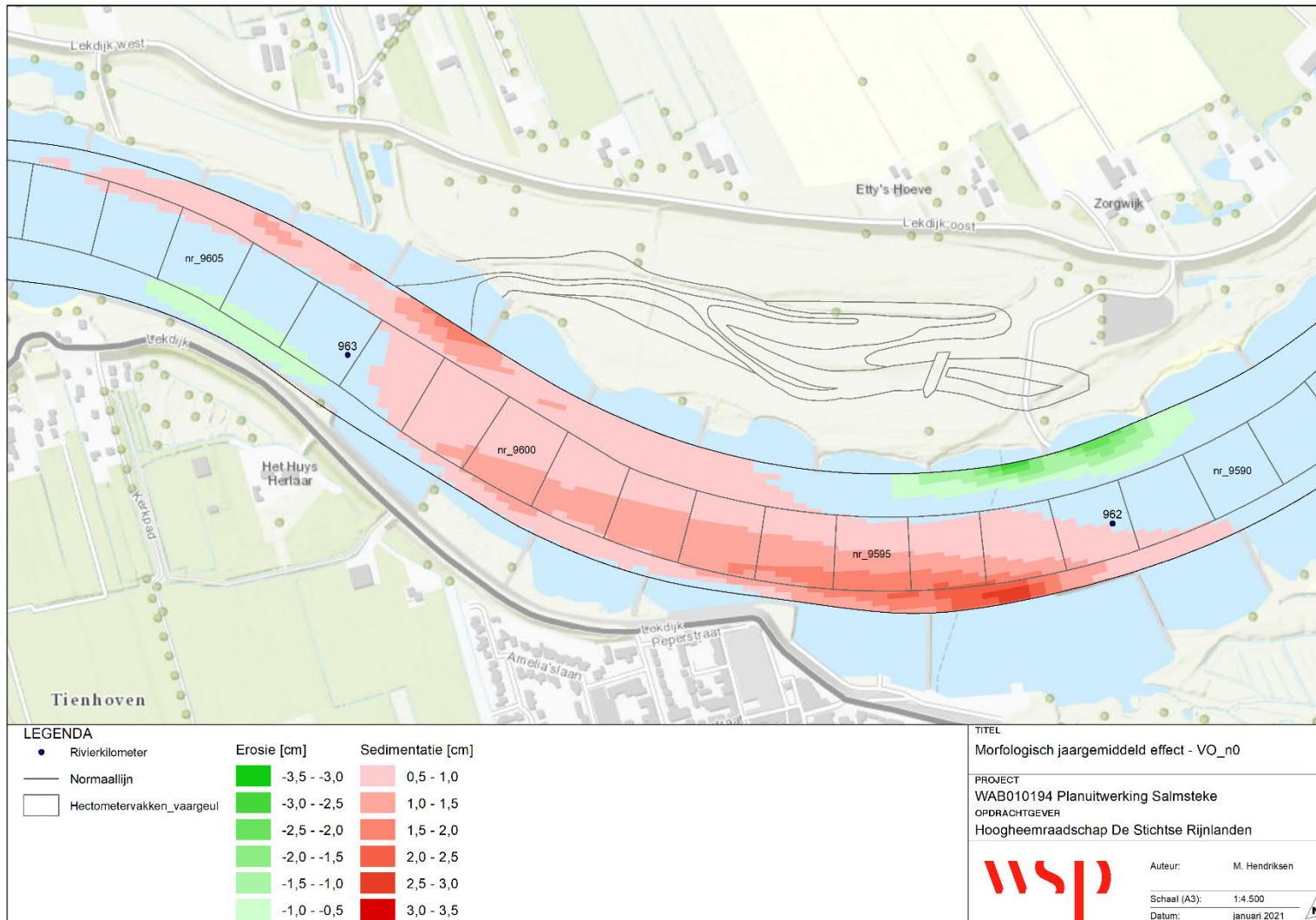


### D.3. Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard glad (B.9.v)



		A1	A2	B3	B4	C5	C6	D7	D8	E9	E10	F11	F12
		Totale erosie en sedimentatie		Bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR norm		Het volume dat niet voldoet aan de internationale CCR norm		Baggervolume incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de internationale CCR norm te voldoen		Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR-norm (c.q. beschikbare kielspeling voor faciliteren van vlotte vaart)		Baggervolume in de kielspeling dat verwijderd zou moeten worden voor vlote en veilige scheepvaart	
Rivierkilometer	Hectometervak	Sedimentatie [m <sup>3</sup> ]	Erosie [m <sup>3</sup> ]	Maximum bodemhoogte tov de norm [cm]	Maximaal effect [cm]	Volume boven de norm [m <sup>2</sup> ]	Effect op volume boven de norm [m <sup>2</sup> ]	Volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Effect op gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Volume boven de norm min kielspeling [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm min kielspeling [m <sup>3</sup> ]
961,2	nr_9585	0	0	-70	0,1	35	0	145	0	132	-0,14	6201	0
961,3	nr_9586	4	0	-41	0,2	36	0	101	0	124	-0,11	5291	1
961,4	nr_9587	13	0	-33	0,3	46	0	289	0	146	-0,03	5084	5
961,5	nr_9588	16	0	23	0,3	0	0	1	0	163	0,01	3784	6
961,6	nr_9589	12	-1	17	0,3	0	0	3	0	181	-0,03	2514	1
961,7	nr_9590	11	-3	27	0,6	0	0	0	0	179	-0,06	1974	-3
961,8	nr_9591	23	-3	17	0,9	0	0	13	0	227	0,05	2304	-3
961,9	nr_9592	60	0	0	1,6	0	0	23	0	138	0,45	2932	33
962	nr_9593	102	0	15	2,3	0	0	16	2	126	0,85	5001	56
962,1	nr_9594	120	0	-30	2,4	74	3	453	10	169	1,05	4377	35
962,2	nr_9595	127	0	-44	2,1	181	5	631	11	191	1,10	4087	32
962,3	nr_9596	131	0	-47	1,9	262	8	729	14	206	1,13	4084	38
962,4	nr_9597	128	0	-40	1,7	135	6	488	12	201	1,11	3414	36
962,5	nr_9598	119	0	-26	1,4	17	1	145	6	158	1,02	2810	48
962,6	nr_9599	119	0	-15	1,3	8	1	179	10	116	0,95	5335	99
962,7	nr_9600	123	0	-40	1,3	65	7	736	32	134	0,92	6732	73
962,8	nr_9601	113	0	-74	1,2	810	25	1774	34	159	0,83	7619	62
962,9	nr_9602	66	0	-51	1	334	13	1025	20	153	0,44	5916	39
963	nr_9603	13	-9	-5	0,6	0	0	59	2	198	-0,11	2545	9
963,1	nr_9604	5	-22	88	0,7	0	0	0	0	196	-0,30	425	2
963,2	nr_9605	12	-19	61	0,9	0	0	0	0	207	-0,20	474	-9
963,3	nr_9606	15	-13	28	0,9	0	0	0	0	230	-0,12	1442	-9
963,4	nr_9607	13	-9	15	0,6	0	0	10	0	219	-0,10	1898	-6
963,5	nr_9608	10	-8	5	0,4	0	0	34	0	211	-0,11	2155	-6
963,6	nr_9609	10	-7	-6	0,5	0	0	91	0	281	-0,12	2355	-5
963,7	nr_9610	7	-5	-31	0,3	1	0	59	0	238	-0,12	2345	-3
963,8	nr_9611	4	-4	10	0,2	0	0	22	0	218	-0,14	1906	-3
963,9	nr_9612	3	-3	17	0,1	0	0	6	0	188	-0,13	1705	-2
964	nr_9613	2	0	-30	0,1	61	0	339	0	176	-0,12	3899	0
964,1	nr_9614	1	0	-41	0,1	180	0	593	0	196	-0,13	4010	0
Totaal		1384	-109			2246	70	7963	153			104619	527

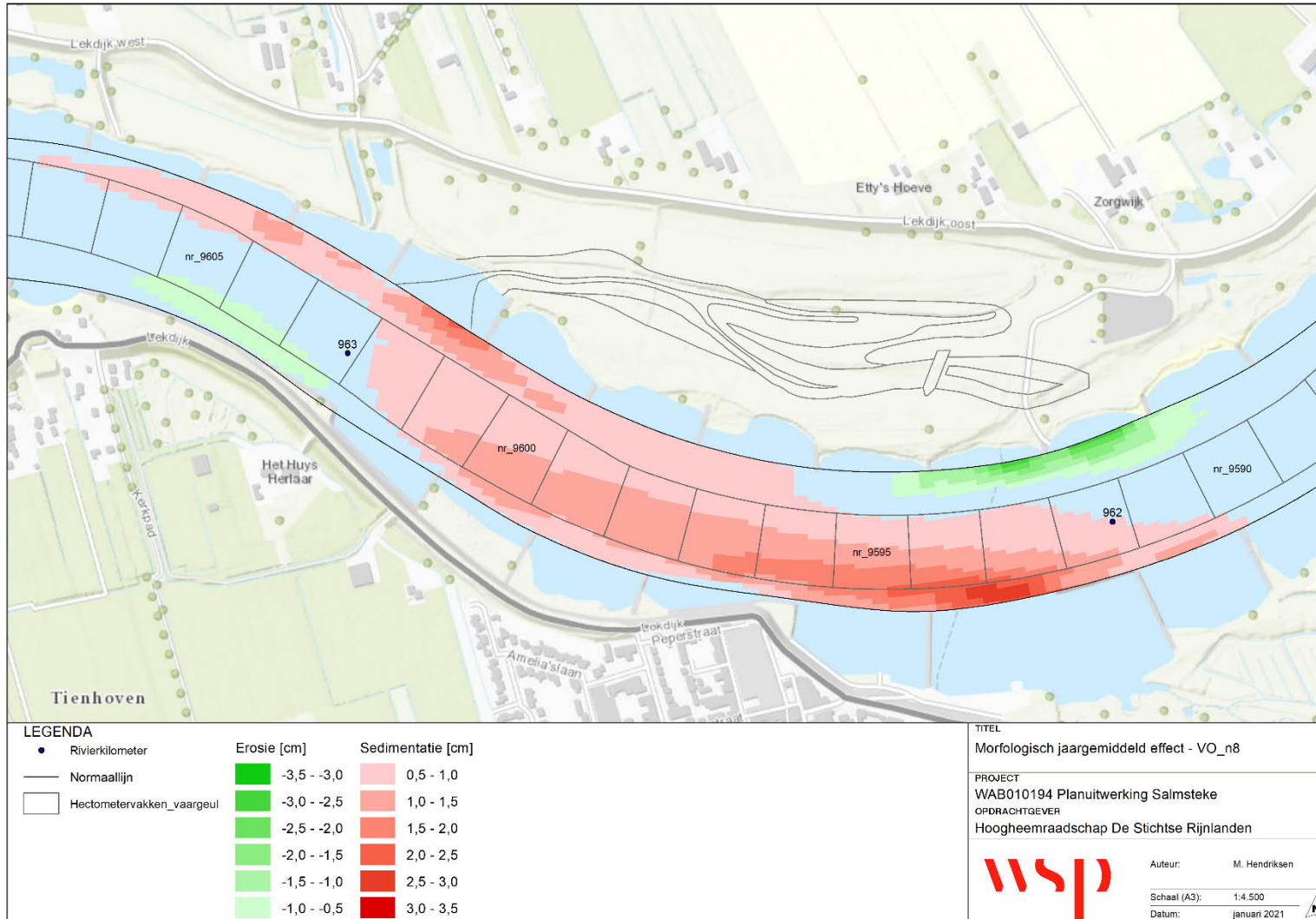
#### D.4. Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard ruw (B.9.i)



		A1	A2	B3	B4	C5	C6	D7	D8	E9	E10	F11	F12
		Totale erosie en sedimentatie		Bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR norm		Het volume dat niet voldoet aan de internationale CCR norm		Baggervolume incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de internationale CCR norm te voldoen		Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR-norm (c.q. beschikbare kielspeling voor faciliteren van vlotte vaart)		Baggervolume in de kielspeling dat verwijderd zou moeten worden voor vlotte en veilige scheepvaart	
Rivierkilometer	Hectometervak	Sedimentatie [m <sup>3</sup> ]	Erosie [m <sup>3</sup> ]	Maximum bodemhoogte tov de norm [cm]	Maximaal effect [cm]	Volume boven de norm [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm [m <sup>3</sup> ]	Volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Effect op gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Volume boven de norm min kielspeling [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm min kielspeling [m <sup>3</sup> ]
961,2	nr_9585	0	0	-70	0,1	35	0	145	0	132	-0,14	6201	0
961,3	nr_9586	2	0	-41	0,1	36	0	101	0	124	-0,12	5291	0
961,4	nr_9587	8	0	-33	0,2	46	0	289	0	146	-0,07	5084	2
961,5	nr_9588	9	0	23	0,2	0	0	1	0	163	-0,06	3784	3
961,6	nr_9589	5	-1	17	0,2	0	0	3	0	181	-0,10	2514	-1
961,7	nr_9590	7	-4	27	0,4	0	0	0	0	179	-0,11	1974	-3
961,8	nr_9591	17	-5	17	0,8	0	0	13	0	227	-0,02	2304	-4
961,9	nr_9592	48	0	0	1,5	0	0	23	0	138	0,33	2932	26
962	nr_9593	91	0	15	2,1	0	0	16	1	126	0,74	5001	49
962,1	nr_9594	111	0	-30	2,2	74	3	453	9	169	0,96	4377	32
962,2	nr_9595	119	0	-44	2	181	5	631	10	191	1,02	4087	30
962,3	nr_9596	124	0	-47	1,8	262	8	729	13	206	1,06	4084	35
962,4	nr_9597	121	0	-40	1,6	135	6	488	11	201	1,04	3414	34
962,5	nr_9598	110	0	-26	1,3	17	1	145	6	158	0,93	2810	45
962,6	nr_9599	111	0	-15	1,2	8	1	179	9	116	0,87	5335	92
962,7	nr_9600	115	0	-40	1,2	65	7	736	31	134	0,86	6732	69
962,8	nr_9601	106	0	-74	1,1	810	23	1774	32	159	0,77	7619	58
962,9	nr_9602	61	0	-51	1	334	12	1025	19	153	0,40	5916	35
963	nr_9603	12	-9	-5	0,6	0	0	59	2	198	-0,11	2545	8
963,1	nr_9604	5	-21	88	0,6	0	0	0	0	196	-0,30	425	1
963,2	nr_9605	11	-18	61	0,8	0	0	0	0	207	-0,20	474	-8
963,3	nr_9606	14	-12	28	0,9	0	0	0	0	230	-0,12	1442	-9
963,4	nr_9607	12	-9	15	0,5	0	0	10	0	219	-0,11	1898	-6
963,5	nr_9608	9	-7	5	0,4	0	0	34	0	211	-0,12	2155	-5
963,6	nr_9609	9	-7	-6	0,4	0	0	91	0	281	-0,12	2355	-5
963,7	nr_9610	6	-4	-31	0,3	1	0	59	0	238	-0,12	2345	-3
963,8	nr_9611	4	-4	10	0,2	0	0	22	0	218	-0,14	1906	-3
963,9	nr_9612	3	-3	17	0,1	0	0	6	0	188	-0,13	1705	-2
964	nr_9613	2	0	-30	0,1	61	0	339	0	176	-0,12	3899	0
964,1	nr_9614	0	0	-41	0,1	180	0	593	0	196	-0,14	4010	0
	Totaal	1252	-104			2246	66	7963	144			104619	472



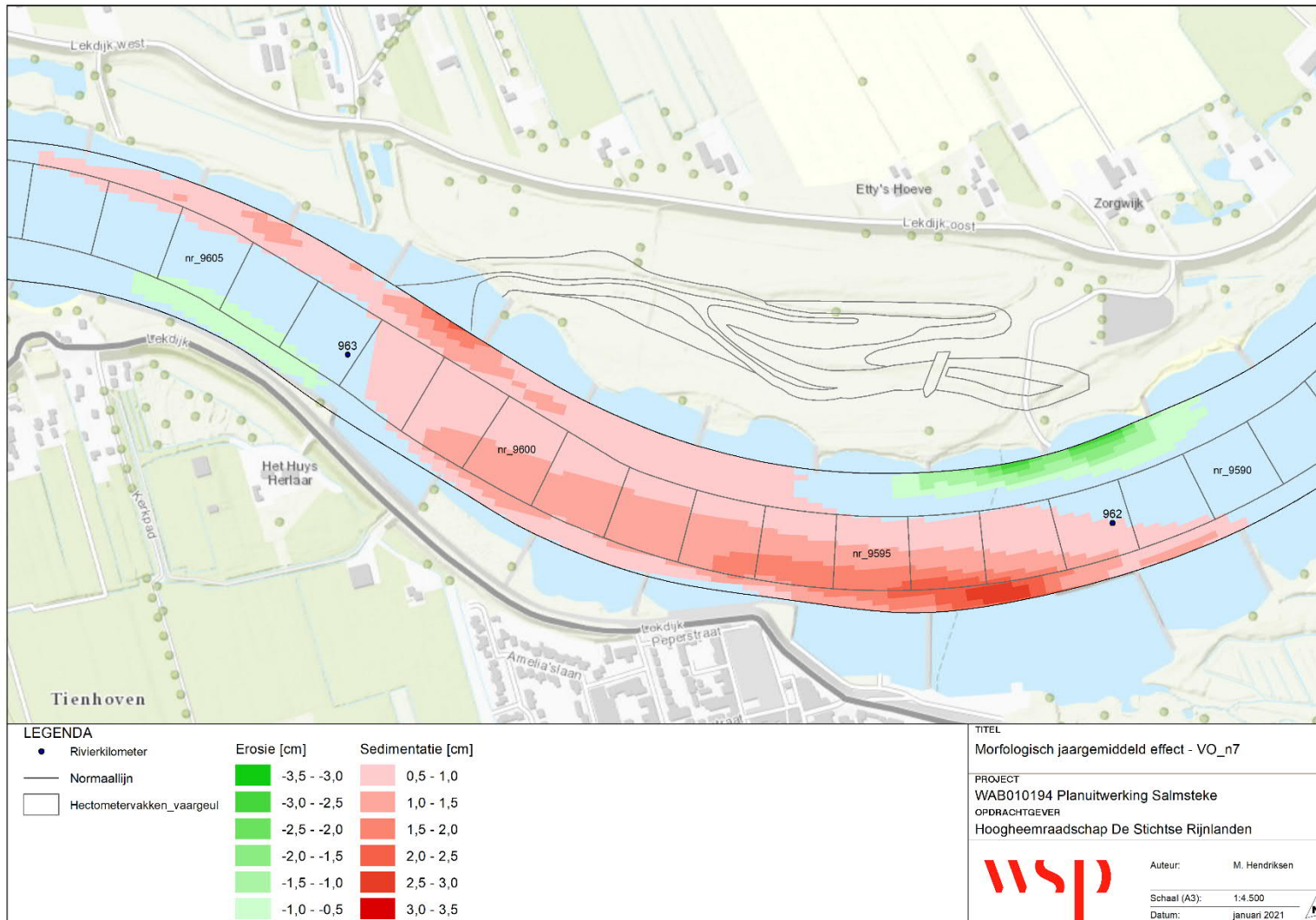
## D.5. Vegetatie-ontwikkeling – uiterwaard optimaal (B.9.vi)





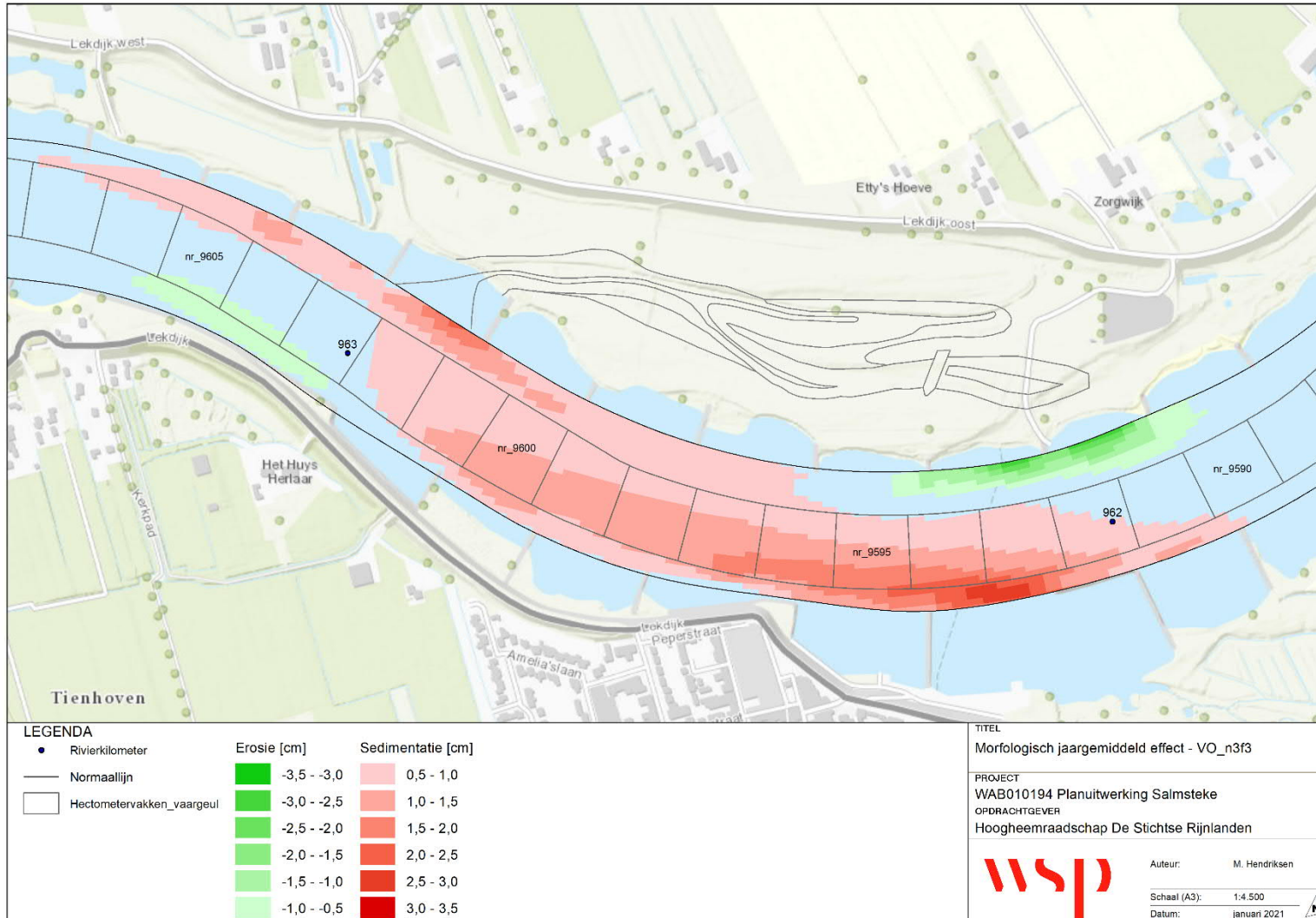
		A1	A2	B3	B4	C5	C6	D7	D8	E9	E10	F11	F12
		Totale erosie en sedimentatie		Bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR norm		Het volume dat niet voldoet aan de internationale CCR norm		Baggervolume incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de internationale CCR norm te voldoen		Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR-norm (c.q. beschikbare kielspeling voor faciliteren van vlotte vaart)		Baggervolume in de kielspeling dat verwijderd zou moeten worden voor vlote en veilige scheepvaart	
Rivierkilometer	Hectometervak	Sedimentatie [m <sup>3</sup> ]	Erosie [m <sup>3</sup> ]	Maximum bodemhoogte tov de norm [cm]	Maximaal effect [cm]	Volume boven de norm [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm [m <sup>3</sup> ]	Volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Effect op gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Volume boven de norm min kielspeling [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm min kielspeling [m <sup>3</sup> ]
961,2	nr_9585	0	0	-70	0,1	35	0	145	0	132	-0,14	6201	0
961,3	nr_9586	4	0	-41	0,2	36	0	101	0	124	-0,11	5291	1
961,4	nr_9587	13	0	-33	0,3	46	0	289	0	146	-0,03	5084	5
961,5	nr_9588	16	0	23	0,3	0	0	1	0	163	0,01	3784	6
961,6	nr_9589	11	-1	17	0,3	0	0	3	0	181	-0,03	2514	1
961,7	nr_9590	11	-3	27	0,5	0	0	0	0	179	-0,06	1974	-3
961,8	nr_9591	23	-4	17	0,9	0	0	13	0	227	0,05	2304	-3
961,9	nr_9592	59	0	0	1,6	0	0	23	0	138	0,43	2932	33
962	nr_9593	102	0	15	2,3	0	0	16	2	126	0,85	5001	56
962,1	nr_9594	119	0	-30	2,4	74	3	453	10	169	1,04	4377	35
962,2	nr_9595	127	0	-44	2,1	181	5	631	11	191	1,09	4087	32
962,3	nr_9596	131	0	-47	1,9	262	8	729	14	206	1,12	4084	38
962,4	nr_9597	128	0	-40	1,7	135	6	488	12	201	1,10	3414	36
962,5	nr_9598	119	0	-26	1,4	17	1	145	6	158	1,01	2810	48
962,6	nr_9599	119	0	-15	1,3	8	1	179	10	116	0,94	5335	99
962,7	nr_9600	123	0	-40	1,3	65	7	736	32	134	0,92	6732	73
962,8	nr_9601	113	0	-74	1,2	810	25	1774	34	159	0,83	7619	62
962,9	nr_9602	66	0	-51	1	334	13	1025	20	153	0,44	5916	39
963	nr_9603	12	-9	-5	0,6	0	0	59	2	198	-0,11	2545	9
963,1	nr_9604	5	-22	88	0,7	0	0	0	0	196	-0,30	425	2
963,2	nr_9605	12	-19	61	0,9	0	0	0	0	207	-0,20	474	-9
963,3	nr_9606	15	-13	28	0,9	0	0	0	0	230	-0,12	1442	-9
963,4	nr_9607	13	-9	15	0,6	0	0	10	0	219	-0,10	1898	-6
963,5	nr_9608	10	-8	5	0,4	0	0	34	0	211	-0,11	2155	-6
963,6	nr_9609	10	-7	-6	0,4	0	0	91	0	281	-0,12	2355	-5
963,7	nr_9610	7	-5	-31	0,3	1	0	59	0	238	-0,12	2345	-3
963,8	nr_9611	4	-4	10	0,2	0	0	22	0	218	-0,14	1906	-3
963,9	nr_9612	3	-3	17	0,1	0	0	6	0	188	-0,13	1705	-2
964	nr_9613	2	0	-30	0,1	61	0	339	0	176	-0,12	3899	0
964,1	nr_9614	1	0	-41	0,1	180	0	593	0	196	-0,13	4010	0
Totaal		1376	-108			2246	70	7963	153			104619	524

## D.6. Geulmonding - dichtheid (B.8.ii)



		A1	A2	B3	B4	C5	C6	D7	D8	E9	E10	F11	F12
		Totale erosie en sedimentatie		Bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR norm		Het volume dat niet voldoet aan de internationale CCR norm		Baggervolume incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de internationale CCR norm te voldoen		Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR-norm (c.q. beschikbare kielspeling voor faciliteren van vlotte vaart)		Baggervolume in de kielspeling dat verwijderd zou moeten worden voor vlotte en veilige scheepvaart	
Rivierkilometer	Hectometervak	Sedimentatie [m³]	Erosie [m³]	Maximum bodemhoogte tov de norm [cm]	Maximaal effect [cm]	Volume boven de norm [m³]	Effect op volume boven de norm [m³]	Volume boven de norm minus 30 cm [m³]	Effect op volume boven de norm minus 30 cm [m³]	Gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Effect op gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Volume boven de norm min kielspeling [m³]	Effect op volume boven de norm min kielspeling [m³]
961,2 nr_9585		0	0	-70	0,1	35	0	145	0	132	-0,14	6201	0
961,3 nr_9586		4	0	-41	0,2	36	0	101	0	124	-0,11	5291	1
961,4 nr_9587		13	0	-33	0,3	46	0	289	0	146	-0,03	5084	5
961,5 nr_9588		16	0	23	0,3	0	0	1	0	163	0,01	3784	6
961,6 nr_9589		12	-1	17	0,3	0	0	3	0	181	-0,03	2514	1
961,7 nr_9590		11	-3	27	0,5	0	0	0	0	179	-0,06	1974	-3
961,8 nr_9591		23	-4	17	0,9	0	0	13	0	227	0,05	2304	-3
961,9 nr_9592		59	0	0	1,6	0	0	23	0	138	0,44	2932	33
962 nr_9593		102	0	15	2,3	0	0	16	2	126	0,85	5001	56
962,1 nr_9594		120	0	-30	2,4	74	3	453	10	169	1,05	4377	35
962,2 nr_9595		127	0	-44	2,1	181	5	631	11	191	1,10	4087	32
962,3 nr_9596		132	0	-47	1,9	262	8	729	14	206	1,13	4084	38
962,4 nr_9597		128	0	-40	1,7	135	6	488	12	201	1,11	3414	36
962,5 nr_9598		118	0	-26	1,4	17	1	145	6	158	1,01	2810	48
962,6 nr_9599		119	0	-15	1,3	8	1	179	10	116	0,94	5335	99
962,7 nr_9600		123	0	-40	1,3	65	7	736	32	134	0,93	6732	73
962,8 nr_9601		115	0	-74	1,2	810	25	1774	35	159	0,84	7619	63
962,9 nr_9602		69	0	-51	1,1	334	13	1025	21	153	0,47	5916	40
963 nr_9603		14	-8	-5	0,6	0	0	59	2	198	-0,07	2545	10
963,1 nr_9604		5	-22	88	0,7	0	0	0	0	196	-0,30	425	2
963,2 nr_9605		12	-19	61	0,9	0	0	0	0	207	-0,20	474	-9
963,3 nr_9606		15	-13	28	1	0	0	0	0	230	-0,12	1442	-9
963,4 nr_9607		13	-9	15	0,6	0	0	10	0	219	-0,10	1898	-7
963,5 nr_9608		10	-8	5	0,4	0	0	34	0	211	-0,11	2155	-6
963,6 nr_9609		10	-7	-6	0,5	0	0	91	0	281	-0,12	2355	-5
963,7 nr_9610		7	-5	-31	0,3	1	0	59	0	238	-0,12	2345	-3
963,8 nr_9611		4	-4	10	0,2	0	0	22	0	218	-0,14	1906	-3
963,9 nr_9612		3	-3	17	0,1	0	0	6	0	188	-0,13	1705	-2
964 nr_9613		3	0	-30	0,1	61	0	339	0	176	-0,12	3899	0
964,1 nr_9614		1	0	-41	0,1	180	0	593	0	196	-0,13	4010	0
Totaal		1390	-106			2246	71	7963	154			104619	528

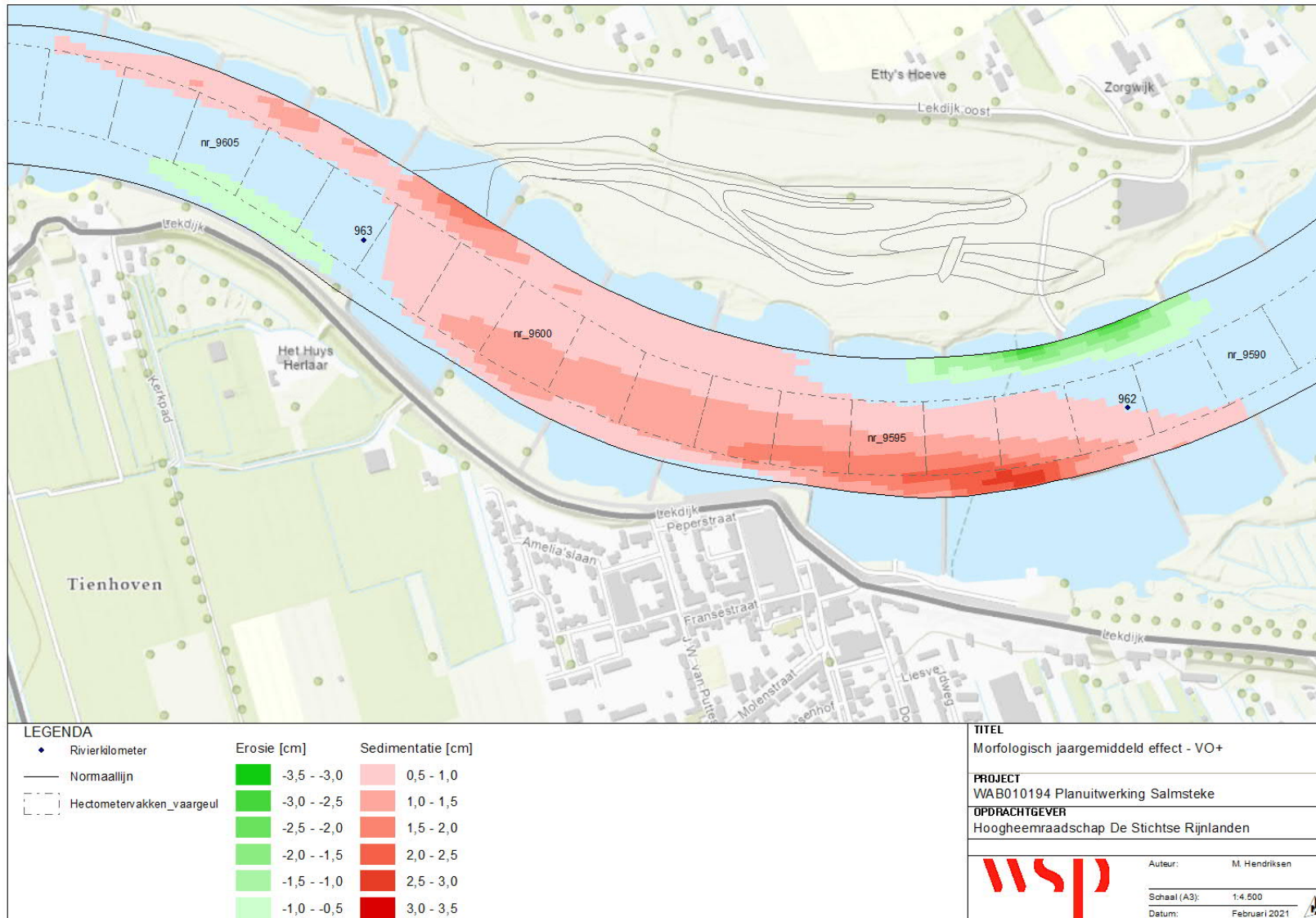
## D.7. Geulmonding - constructie als kades (B.8.iii)

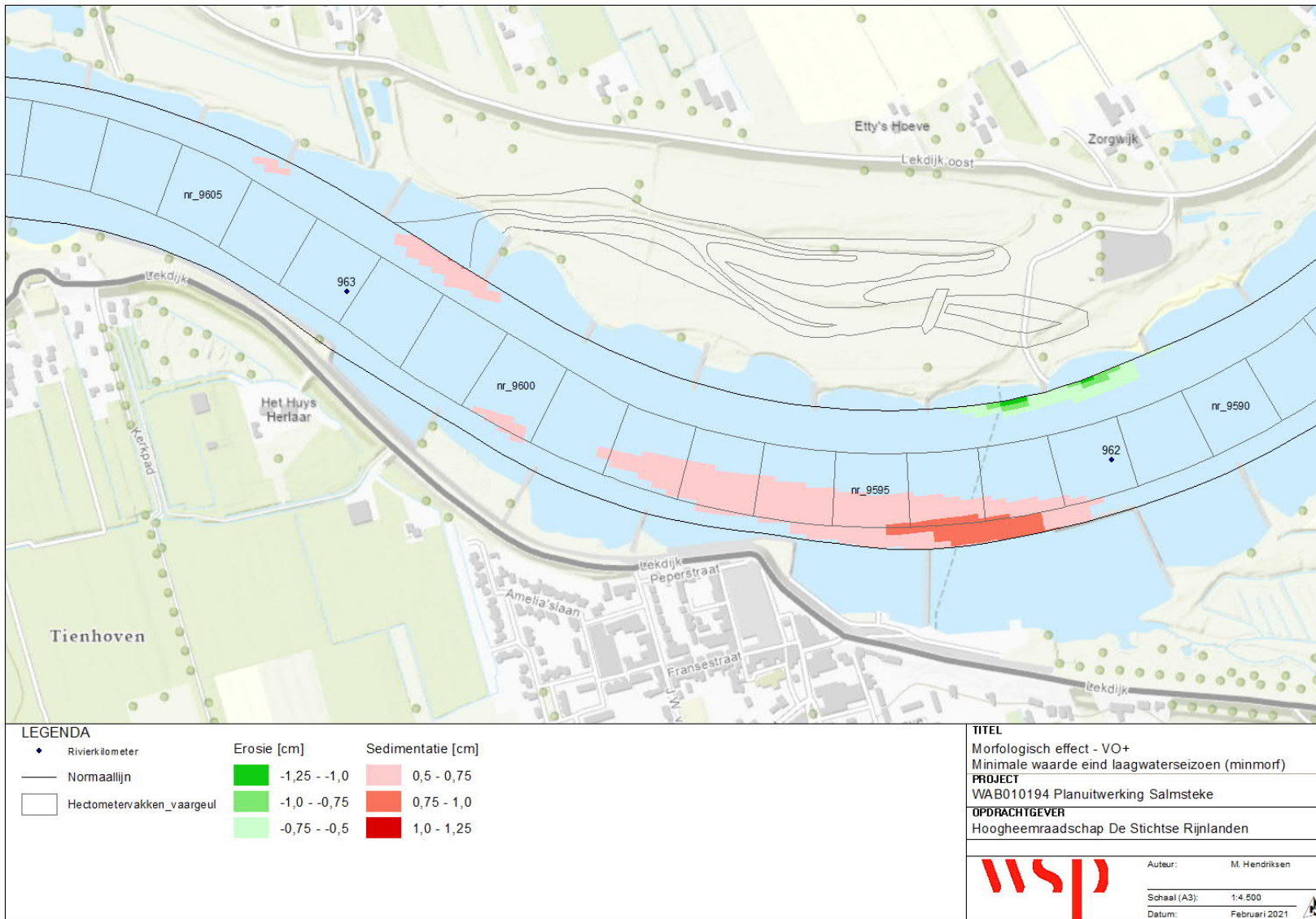


		A1	A2	B3	B4	C5	C6	D7	D8	E9	E10	F11	F12
		Totale erosie en sedimentatie		Bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR norm		Het volume dat niet voldoet aan de internationale CCR norm		Baggervolume incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de internationale CCR norm te voldoen		Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. de internationale CCR-norm (c.q. beschikbare kielspeling voor faciliteren van vlotte vaart)		Baggervolume in de kielspeling dat verwijderd zou moeten worden voor vlote en veilige scheepvaart	
Rivierkilometer	Hectometervak	Sedimentatie [m <sup>3</sup> ]	Erosie [m <sup>3</sup> ]	Maximum bodemhoogte tov de norm [cm]	Maximaal effect [cm]	Volume boven de norm [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm [m <sup>3</sup> ]	Volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm minus 30 cm [m <sup>3</sup> ]	Gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Effect op gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Volume boven de norm min kielspeling [m <sup>3</sup> ]	Effect op volume boven de norm min kielspeling [m <sup>3</sup> ]
961,2 nr_9585		0	0	-70	0,1	35	0	145	0	132	-0,14	6201	0
961,3 nr_9586		4	0	-41	0,2	36	0	101	0	124	-0,11	5291	1
961,4 nr_9587		13	0	-33	0,3	46	0	289	0	146	-0,03	5084	5
961,5 nr_9588		16	0	23	0,3	0	0	1	0	163	0,01	3784	6
961,6 nr_9589		12	-1	17	0,3	0	0	3	0	181	-0,03	2514	1
961,7 nr_9590		11	-3	27	0,5	0	0	0	0	179	-0,06	1974	-3
961,8 nr_9591		23	-4	17	0,9	0	0	13	0	227	0,05	2304	-3
961,9 nr_9592		59	0	0	1,6	0	0	23	0	138	0,43	2932	33
962 nr_9593		102	0	15	2,3	0	0	16	2	126	0,85	5001	56
962,1 nr_9594		119	0	-30	2,4	74	3	453	10	169	1,04	4377	35
962,2 nr_9595		126	0	-44	2,1	181	5	631	10	191	1,09	4087	32
962,3 nr_9596		130	0	-47	1,9	262	8	729	14	206	1,12	4084	38
962,4 nr_9597		127	0	-40	1,7	135	6	488	12	201	1,10	3414	36
962,5 nr_9598		117	0	-26	1,4	17	1	145	6	158	1,00	2810	47
962,6 nr_9599		118	0	-15	1,2	8	1	179	10	116	0,93	5335	98
962,7 nr_9600		123	0	-40	1,3	65	7	736	32	134	0,92	6732	73
962,8 nr_9601		113	0	-74	1,2	810	24	1774	34	159	0,83	7619	62
962,9 nr_9602		67	0	-51	1	334	13	1025	20	153	0,45	5916	39
963 nr_9603		13	-9	-5	0,6	0	0	59	2	198	-0,10	2545	10
963,1 nr_9604		5	-22	88	0,6	0	0	0	0	196	-0,30	425	2
963,2 nr_9605		12	-19	61	0,9	0	0	0	0	207	-0,20	474	-9
963,3 nr_9606		15	-13	28	0,9	0	0	0	0	230	-0,12	1442	-9
963,4 nr_9607		13	-9	15	0,6	0	0	10	0	219	-0,10	1898	-6
963,5 nr_9608		10	-8	5	0,4	0	0	34	0	211	-0,11	2155	-6
963,6 nr_9609		9	-7	-6	0,4	0	0	91	0	281	-0,12	2355	-5
963,7 nr_9610		7	-5	-31	0,3	1	0	59	0	238	-0,12	2345	-3
963,8 nr_9611		4	-4	10	0,2	0	0	22	0	218	-0,14	1906	-3
963,9 nr_9612		3	-3	17	0,1	0	0	6	0	188	-0,13	1705	-2
964 nr_9613		2	0	-30	0,1	61	0	339	0	176	-0,12	3899	0
964,1 nr_9614		1	0	-41	0,1	180	0	593	0	196	-0,13	4010	0
Totaal		1375	-107			2246	70	7963	153			104619	524

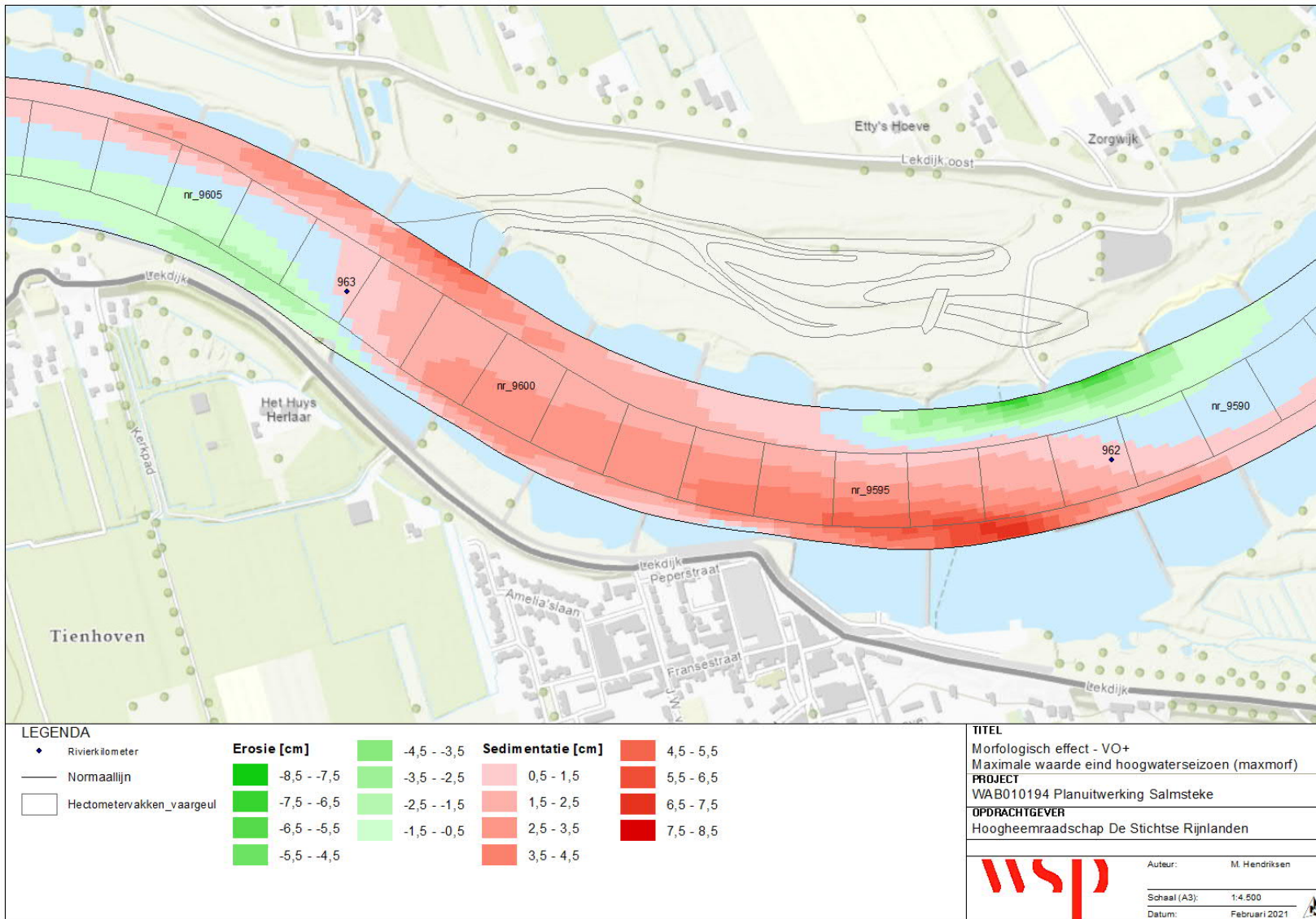


## D.8. Voorlopig Ontwerp Plus

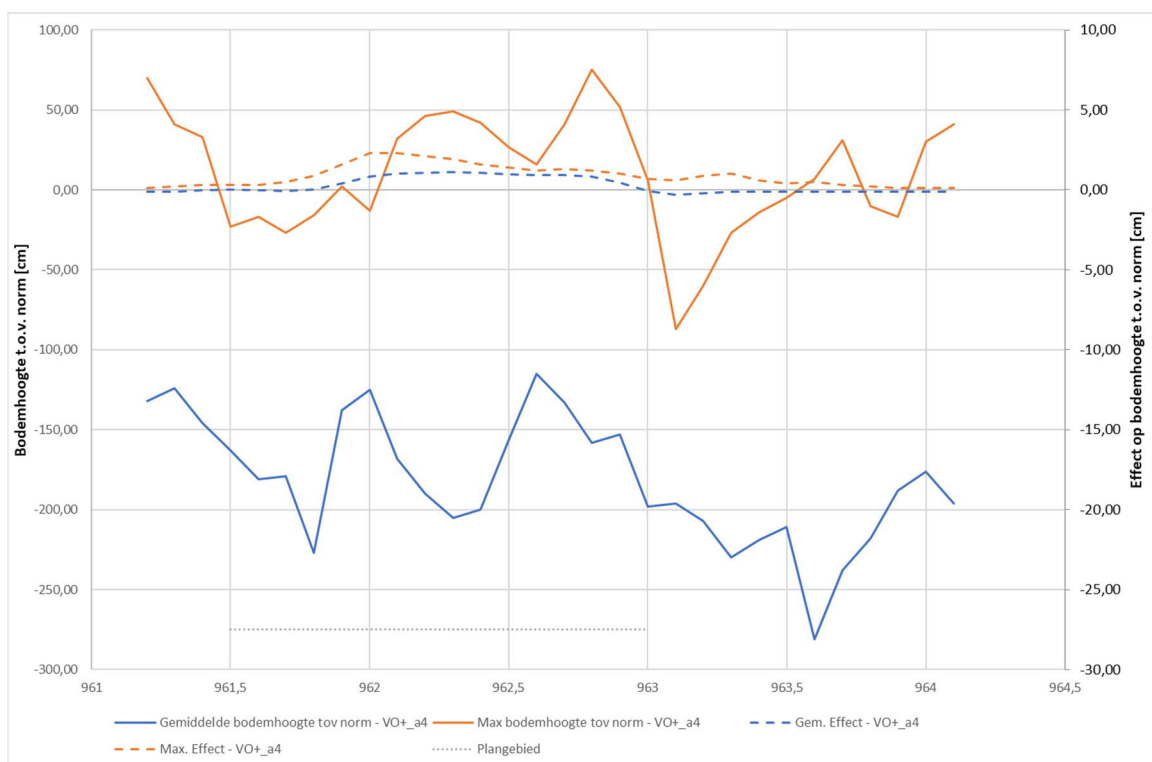








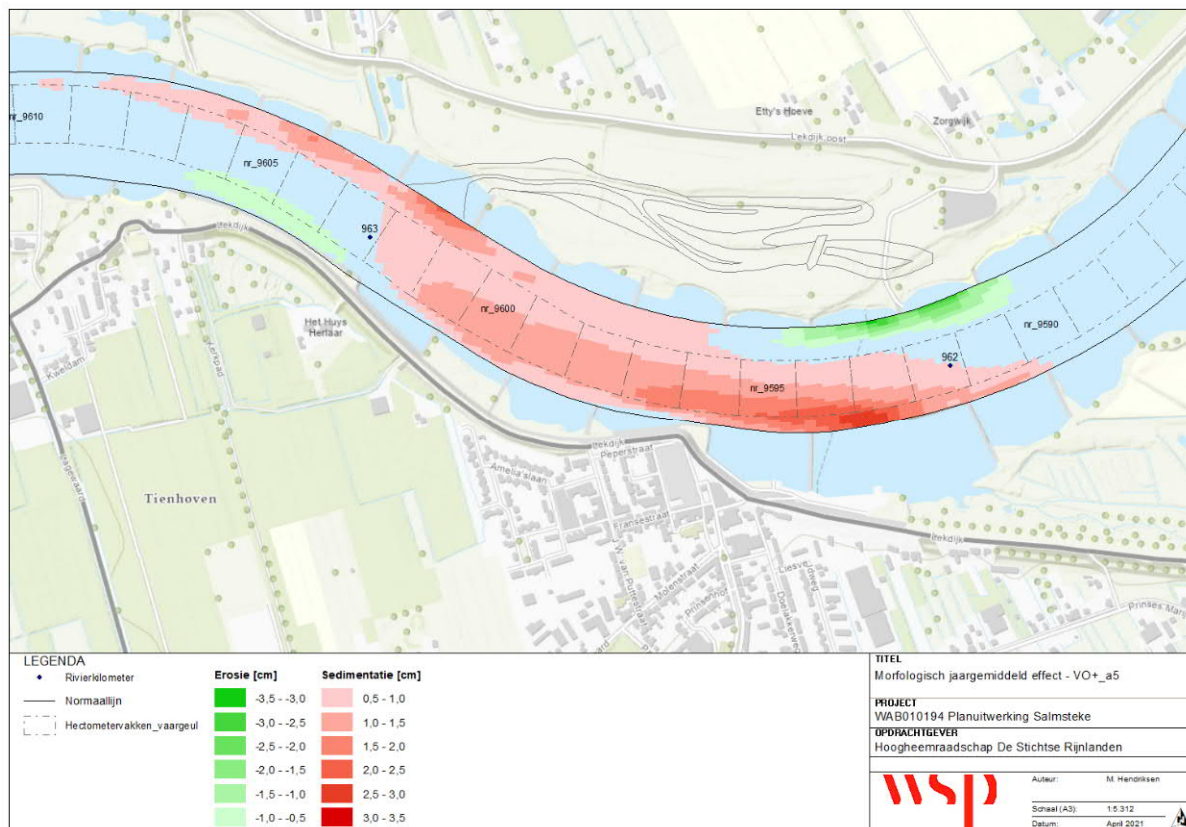
		A1	A2	B3	B4	C5	C6	D7		D8	E9		E10	F11		F12
		Totale erosie en sedimentatie		Bodemhoogte t.o.v. de norm		Het volume dat niet voldoet aan de norm		Baggervolume incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de norm te voldoen		Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. de norm (o.g. beschikbare kielspeling voor faciliteren van vlotte vaart)		Baggervolume in de kielspeling dat verwijderd zou moeten worden voor vlotte en veilige scheepvaart				
Rivierkilometer	Hectometervak	Sedimentatie [m³]	Erosie [m³]	Maximum bodemhoogte tov de norm [cm]	Maximaal effect [cm]	Volume boven de norm [m³]	Effect op volume boven de norm [m³]	Volume boven de norm minus 30 cm [m³]	Effect op volume boven de norm minus 30 cm [m³]	Gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Effect op gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Volume boven de norm min kielspeling [m³]	Effect op volume boven de norm min kielspeling [m³]			
961.2	nr_9585	0	0	-70	0,1	35	0	145	0	132	-0,14	6201	0			0
961.3	nr_9588	4	0	-41	0,2	38	0	101	0	124	-0,11	5291	1			1
961.4	nr_9587	13	0	-33	0,3	46	0	289	0	146	-0,03	5084	5			5
961.5	nr_9588	16	0	23	0,3	0	0	1	0	163	0,01	3784	6			6
961.6	nr_9589	11	-1	17	0,3	0	0	3	0	181	-0,04	2514	1			1
961.7	nr_9590	10	-4	27	0,5	0	0	0	0	179	-0,08	1974	-3			-3
961.8	nr_9591	21	-4	17	0,9	0	0	13	0	227	0,02	2304	-4			-4
961.9	nr_9592	96	0	0	1,6	0	0	23	0	138	0,41	2932	31			31
962	nr_9593	99	0	15	2,3	0	0	16	2	126	0,82	5001	54			54
962.1	nr_9594	116	0	-30	2,3	74	3	453	9	169	1,02	4377	34			34
962.2	nr_9595	123	0	-44	2,1	181	5	631	10	191	1,06	4087	31			31
962.3	nr_9596	129	0	-47	1,9	262	8	729	14	206	1,11	4084	37			37
962.4	nr_9597	125	0	-40	1,6	135	6	488	12	201	1,06	3414	35			35
962.5	nr_9598	115	0	-26	1,4	17	1	145	6	158	0,98	2810	47			47
962.6	nr_9599	117	0	-15	1,2	8	1	179	10	116	0,92	5335	97			97
962.7	nr_9600	121	0	-40	1,3	65	7	736	31	134	0,91	6732	71			71
962.8	nr_9601	113	0	-74	1,2	810	24	1774	34	159	0,82	7619	61			61
962.9	nr_9602	88	0	-51	1	334	13	1025	21	153	0,46	5916	40			40
963	nr_9603	14	-7	-5	0,7	0	0	59	2	198	-0,07	2545	10			10
963.1	nr_9604	5	-22	88	0,6	0	0	0	0	196	-0,30	425	1			1
963.2	nr_9605	12	-19	61	0,9	0	0	0	0	207	-0,21	474	-9			-9
963.3	nr_9606	14	-13	28	1	0	0	0	0	230	-0,12	1442	-9			-9
963.4	nr_9607	13	-9	15	0,6	0	0	10	0	219	-0,10	1898	-6			-6
963.5	nr_9608	10	-8	5	0,4	0	0	34	0	211	-0,11	2155	-6			-6
963.6	nr_9609	10	-7	-8	0,5	0	0	91	0	281	-0,12	2355	-5			-5
963.7	nr_9610	7	-5	-31	0,3	1	0	59	0	238	-0,12	2345	-3			-3
963.8	nr_9611	4	-4	10	0,2	0	0	22	0	218	-0,14	1906	-3			-3
963.9	nr_9612	3	-3	17	0,1	0	0	6	0	188	-0,13	1705	-2			-2
964	nr_9613	2	0	-30	0,1	61	0	339	0	176	-0,12	3699	0			0
964.1	nr_9614	1	0	-41	0,1	180	0	593	0	196	-0,13	4010	0			0
<b>Totaal</b>		<b>1354</b>	<b>-106</b>			<b>2248</b>	<b>69</b>	<b>7983</b>	<b>151</b>			<b>104619</b>	<b>513</b>			



Figuur 114: Maximum en gemiddelde bodemhoogte t.o.v. norm en het effect (VO+)

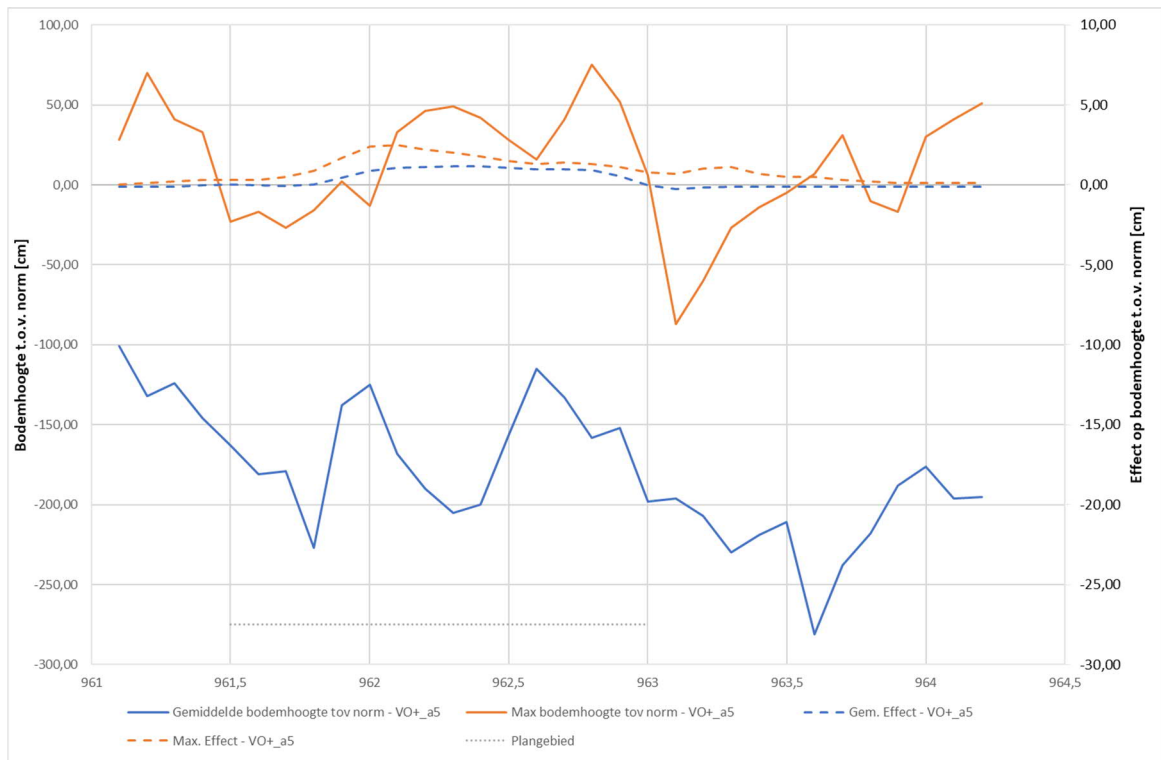


### D.9. Mitigatie – verlaging 2 westelijke kades (B.10.iii)



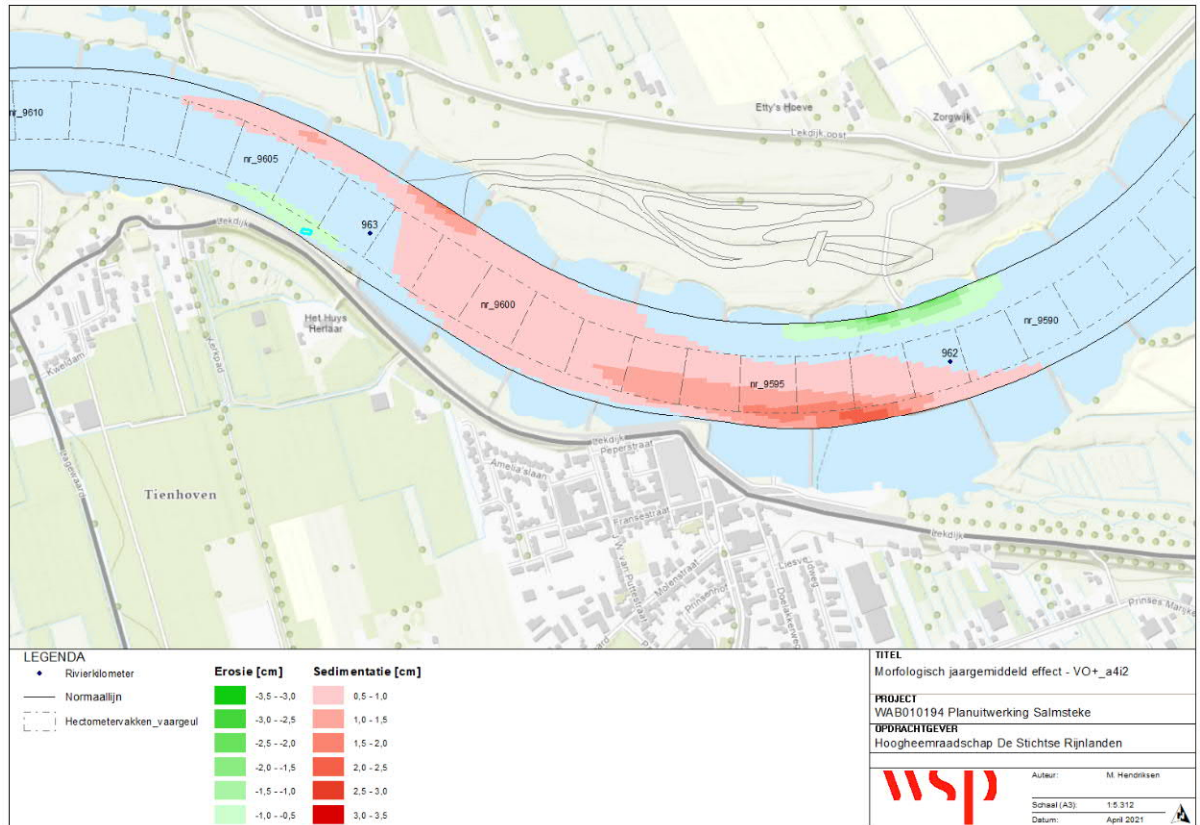
Figuur 115: Jaargemiddeld morfologisch effect [cm] in evenwichtssituatie in het zomerbed bij 8.000 m<sup>3</sup>/s (VO+\_a5)

Rivierkilometer	Hectometervak	A1	A2	B3	B4	C5	C6	D7	D8	E9	E10	F11	F12
		Totale erosie en sedimentatie		Bodemhoogte t.o.v. de norm		Het volume dat niet voldoet aan de norm		Baggervolume incl. 30 cm baggermarge dat verw ijdert moet worden om aan de norm te voldoen		Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. de norm (c.q. beschikbare kielspeling voor faciliteren van vlotte vaart)		Baggervolume in de kielspeling dat verw ijdert zou moeten worden voor vlotte en veilige scheepvaart	
		Sedimentatie [m³]	Erosie [m³]	Maximum bodemhoogte tov d norm [cm]	Maximaal effect [cm]	Volume boven de norm [m³]	Effect op volume boven de nc [m³]	Volume boven de norm minus 30 cm [m³]	Effect op volume boven de nc minus 30 cm [m³]	Gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Effect op gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Volume boven de norm min kielspeling [m³]	Effect op volume boven de nc min kielspeling [m³]
961,1	nr_9584	0	0	-28	0	45	0	177	0	101	-0,14	5312	0
961,2	nr_9585	0	0	-70	0,1	35	0	145	0	132	-0,14	6201	0
961,3	nr_9586	4	0	-41	0,2	36	0	101	0	124	-0,11	5291	1
961,4	nr_9587	12	0	-33	0,3	46	0	289	0	146	-0,03	5084	5
961,5	nr_9588	16	0	23	0,3	0	0	1	0	163	0,01	3784	6
961,6	nr_9589	11	-1	17	0,3	0	0	3	0	181	-0,03	2514	1
961,7	nr_9590	10	-4	27	0,5	0	0	0	0	179	-0,08	1974	-4
961,8	nr_9591	22	-5	17	0,9	0	0	13	0	227	0,03	2304	-4
961,9	nr_9592	60	0	0	1,7	0	0	23	0	138	0,45	2932	34
962	nr_9593	105	0	15	2,4	0	0	16	2	126	0,87	5001	57
962,1	nr_9594	123	0	-30	2,5	74	3	453	10	169	1,09	4377	36
962,2	nr_9595	131	0	-44	2,2	181	5	631	11	191	1,14	4087	33
962,3	nr_9596	136	0	-47	2	262	9	729	15	206	1,18	4084	39
962,4	nr_9597	133	0	-40	1,8	135	7	488	13	201	1,16	3414	37
962,5	nr_9598	123	0	-26	1,5	17	1	145	7	158	1,05	2810	50
962,6	nr_9599	124	0	-15	1,3	8	1	179	10	116	0,98	5335	103
962,7	nr_9600	131	0	-40	1,4	65	7	736	34	134	0,99	6732	77
962,8	nr_9601	123	0	-74	1,3	810	26	1774	36	159	0,91	7619	66
962,9	nr_9602	80	0	-51	1,1	334	15	1025	23	153	0,56	5916	46
963	nr_9603	19	-6	-5	0,8	0	0	59	2	198	-0,02	2545	12
963,1	nr_9604	6	-20	88	0,7	0	0	0	0	196	-0,27	425	2
963,2	nr_9605	14	-19	61	1	0	0	0	0	207	-0,19	474	-9
963,3	nr_9606	16	-15	28	1,1	0	0	0	0	230	-0,13	1442	-11
963,4	nr_9607	15	-11	15	0,7	0	0	10	0	219	-0,10	1898	-7
963,5	nr_9608	12	-9	5	0,5	0	0	34	0	211	-0,11	2155	-6
963,6	nr_9609	11	-8	-6	0,5	0	0	91	0	281	-0,11	2355	-6
963,7	nr_9610	7	-6	-31	0,3	1	0	59	0	238	-0,12	2345	-4
963,8	nr_9611	5	-4	10	0,2	0	0	22	0	218	-0,13	1906	-3
963,9	nr_9612	4	-3	17	0,1	0	0	6	0	188	-0,14	1705	-2
964	nr_9613	3	-1	-30	0,1	61	0	339	0	176	-0,12	3899	-1
964,1	nr_9614	2	0	-41	0,1	180	0	593	0	196	-0,12	4010	0
964,2	nr_9615	0	0	-51	0,1	171	0	606	0	195	-0,14	4315	0
	<b>Totaal</b>	<b>1458</b>	<b>-113</b>		<b>2,5</b>	<b>2463</b>	<b>74</b>	<b>8746</b>	<b>163</b>		<b>1,18</b>	<b>114246,12</b>	<b>548,12</b>
	<i>Totaal zonder erosie</i>					2382	74					114246	604,61
	verschil met VO+_a4	105	-6		0,2		5		13		0,07		35,04



Figuur 116: Maximum en gemiddelde bodemhoogte t.o.v. norm en het effect (VO+\_a5)

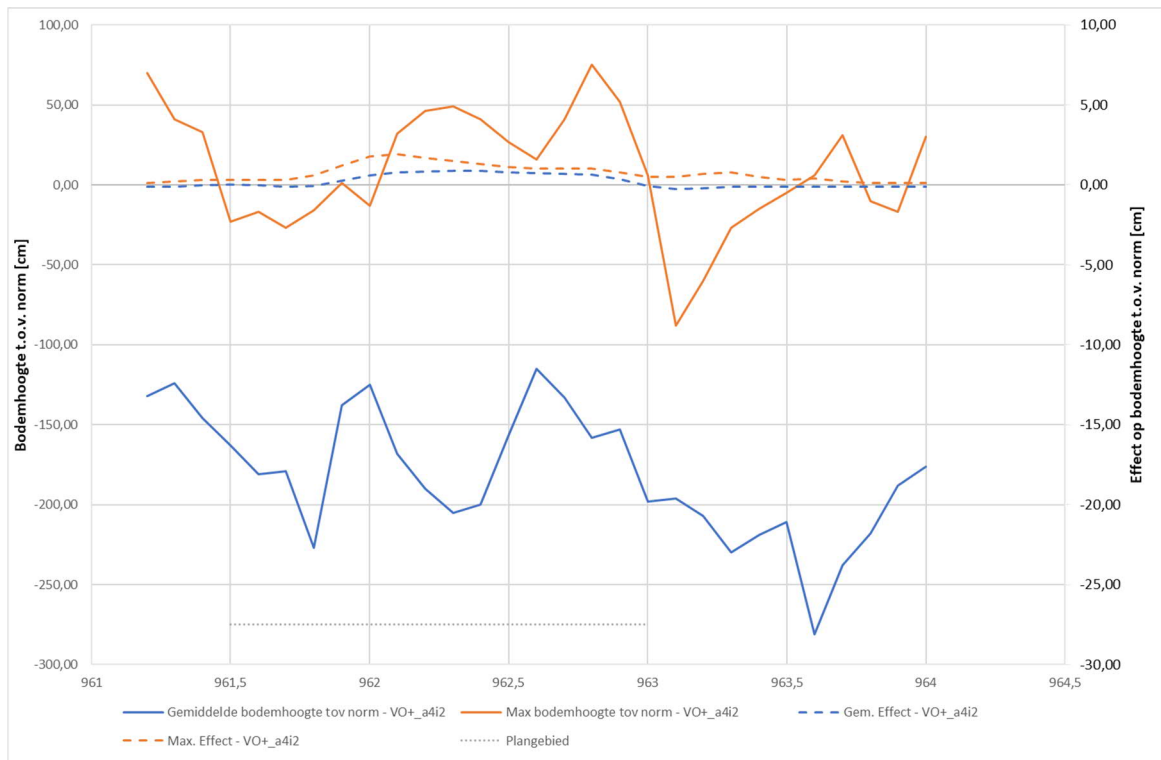
### D.10. Instroomkade ophoging tot instroomfrequentie eens in de 3 jaar (B.7.iv)



Figuur 117: Jaargemiddeld morfologisch effect [cm] in evenwichtssituatie in het zomerbed bij 8.000 m<sup>3</sup>/s (VO+\_a4i2)

Rivierkilometer	Hectometervak	A1	A2	B3	B4	C5	C6	D7	D8	E9	E10	F11	F12
		Totale erosie en sedimentatie		Bodemhoogte t.o.v. norm		Het volume dat niet voldoet aan de norm		Baggervolume incl. 30 cm baggermarge dat verwijderd moet worden om aan de norm te voldoen		Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. de norm (c.q. beschikbare kielspeling voor faciliteren van vlottersvaart)		Baggervolume in de kielspeling dat verwijderd zou moeten worden voor veilige scheepvaart	
		Sedimentatie [m³]	Erosie [m³]	Maximum bodemhoogte tov de norm [cm]	Maximaal effect [cm]	Volume boven de norm [m³]	Effect op volume boven de norm [m³]	Volume boven de norm minus 30 cm [m³]	Effect op volume boven de norm minus 30 cm [m³]	Gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Effect op gemiddelde bodemhoogte tov norm [cm]	Volume boven de norm min kielspeling [m³]	Effect op volume boven de norm min kielspeling [m³]
961,2	nr_9585	0	0	-70	0,1	35	0	145	0	132	-0,14	6201	0
961,3	nr_9586	5	0	-41	0,2	36	0	101	0	124	-0,10	5291	2
961,4	nr_9587	13	0	-33	0,3	46	0	289	0	146	-0,03	5084	5
961,5	nr_9588	16	0	23	0,3	0	0	1	0	163	0,00	3784	6
961,6	nr_9589	10	0	17	0,3	0	0	3	0	181	-0,04	2514	2
961,7	nr_9590	6	-3	27	0,3	0	0	0	0	179	-0,11	1974	-3
961,8	nr_9591	13	-4	17	0,6	0	0	13	0	227	-0,05	2304	-4
961,9	nr_9592	41	0	0	1,2	0	0	23	0	138	0,26	2932	22
962	nr_9593	78	0	15	1,8	0	0	16	1	126	0,61	5001	43
962,1	nr_9594	94	0	-30	1,9	74	2	453	7	169	0,80	4377	28
962,2	nr_9595	101	0	-44	1,7	181	4	631	8	191	0,84	4087	26
962,3	nr_9596	105	0	-47	1,5	262	7	729	11	206	0,87	4084	30
962,4	nr_9597	102	0	-40	1,3	135	5	488	10	201	0,86	3414	28
962,5	nr_9598	94	0	-26	1,1	17	1	145	5	158	0,77	2810	38
962,6	nr_9599	94	0	-15	1	8	1	179	7	116	0,71	5335	78
962,7	nr_9600	98	0	-40	1	65	6	736	25	134	0,71	6732	58
962,8	nr_9601	92	0	-74	1	810	19	1774	27	159	0,64	7619	49
962,9	nr_9602	56	0	-51	0,8	334	11	1025	17	153	0,36	5916	32
963	nr_9603	12	-6	-5	0,5	0	0	59	1	198	-0,09	2545	8
963,1	nr_9604	4	-18	88	0,5	0	0	0	0	196	-0,28	425	1
963,2	nr_9605	10	-16	61	0,7	0	0	0	0	207	-0,19	474	-7
963,3	nr_9606	12	-11	28	0,8	0	0	0	0	230	-0,13	1442	-8
963,4	nr_9607	11	-8	15	0,5	0	0	10	0	219	-0,11	1898	-5
963,5	nr_9608	8	-7	5	0,3	0	0	34	0	211	-0,13	2155	-5
963,6	nr_9609	8	-5	-6	0,4	0	0	91	0	281	-0,11	2355	-3
963,7	nr_9610	6	-4	-31	0,2	1	0	59	0	238	-0,13	2345	-3
963,8	nr_9611	4	-4	10	0,1	0	0	22	0	218	-0,14	1906	-3
963,9	nr_9612	3	-2	17	0,1	0	0	6	0	188	-0,13	1705	-1
964	nr_9613	1	0	-30	0,1	61	0	339	0	176	-0,13	3899	0
964,1	nr_9614	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0
	<b>Totaal</b>	<b>1095</b>	<b>-88</b>			<b>2067</b>	<b>56</b>	<b>7371</b>	<b>121</b>			<b>94408</b>	<b>413</b>
	<i>Totaal zonder erosie</i>					<b>2067</b>	<b>56</b>					<b>94408</b>	<b>455</b>
	verschil met VO+_a4	-259	18					-13					-100





Figuur 118: Maximum en gemiddelde bodemhoogte t.o.v. norm en het effect (VO+\_a4i2)

## Bijlage E. Verschilkaarten VKA, VO en VO+ met referentie

Het ontwerp van Salmsteke Uiterwaard heeft meerdere ontwerpstappen doorlopen. In verschillende fases van het project is het project geoptimaliseerd, zowel voor ruimtelijke kwaliteit als voor rivierkundige effecten. Dit proces is beschreven in paragraaf 1.3 en de verschillende optimalisaties die zijn beschouwd zijn beschreven in paragraaf 2.4.2.

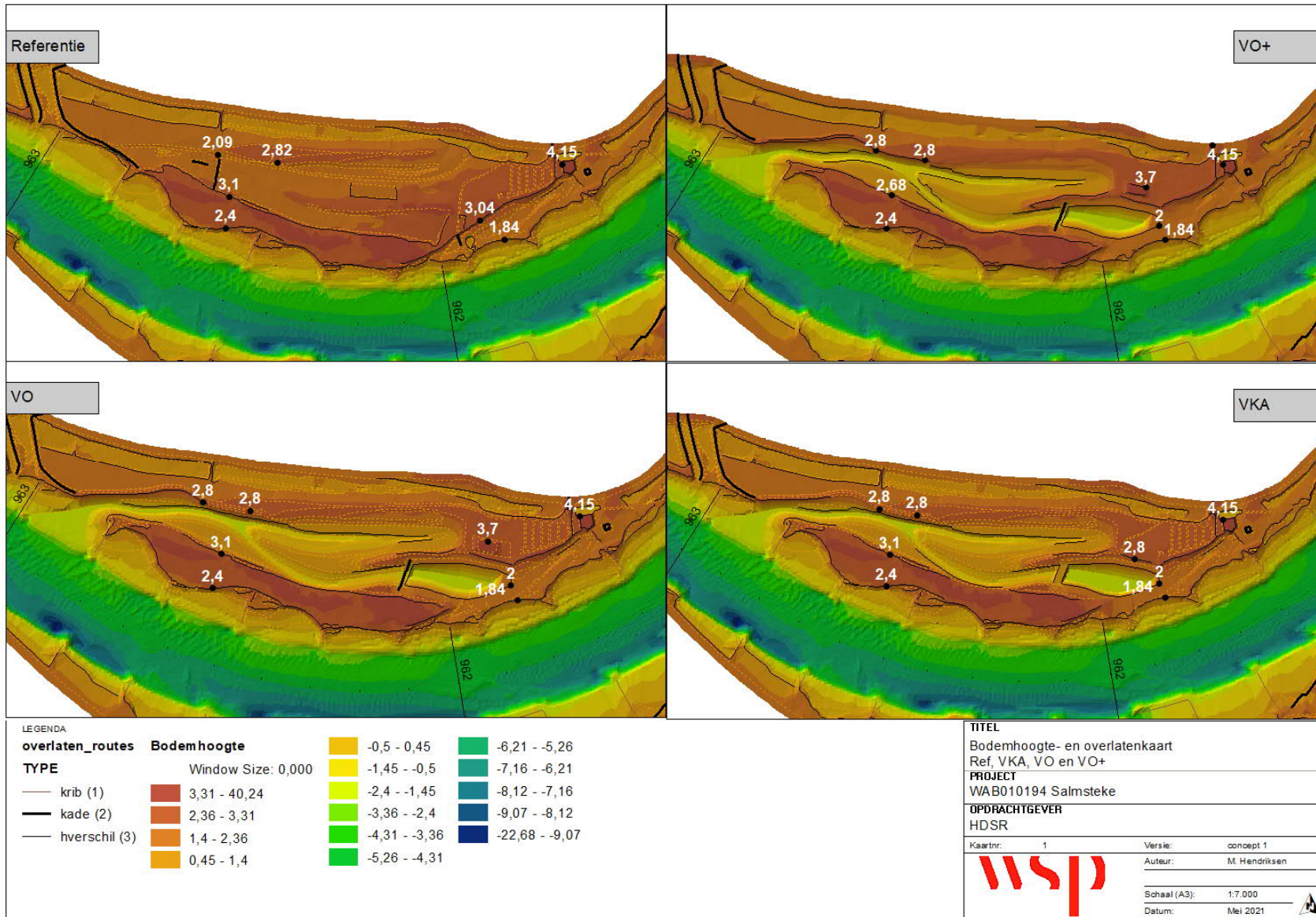
Het proces heeft geleid tot een VKA, welke is geoptimaliseerd tot een VO en uiteindelijk tot het VO+, welke in de hoofdrapportage is beoordeeld conform RBK 5.0 voor rivierkundige effecten van het ontwerp.

Hieronder zijn verschillende figuren opgenomen om inzicht te geven in het doorlopen proces en de verschillende varianten. Als eerste is voor de varianten het bodemhoogteverschil met de referentie gegeven. Daarna zijn kaarten gegeven van de overlaten in het model, en de veranderingen daarvan ten opzichte van de referentie. Vervolgens zijn verschilkaarten van de ruwheden in het model gegeven.

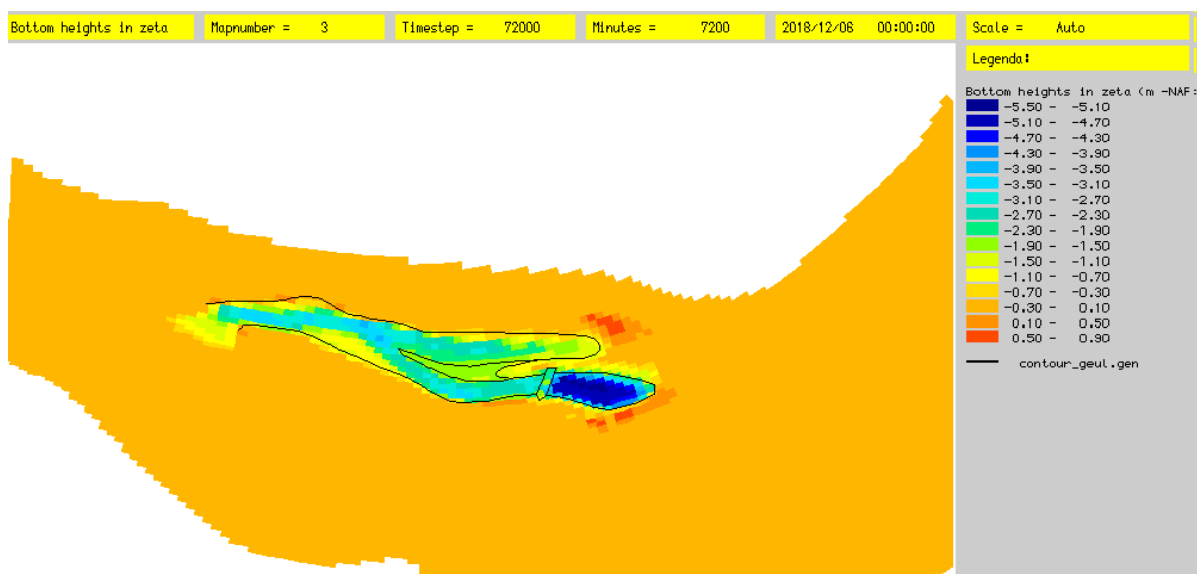
### E.1. Bodemhoogte- en overlatenkaart, en verschilkaart bodemhoogte

Figuur 119 toont de bodemhoogte- met overlatenkaart. In deze kaart zijn zowel de referentie als het VO+, VO en VKA gegeven en worden de verschillen goed duidelijk. Voor de verschilkaarten van de bodemhoogte wordt verwezen naar Figuur 120 (VKA), Figuur 121 (VO) en Figuur 122 (VO+). In de figuren wordt duidelijk:

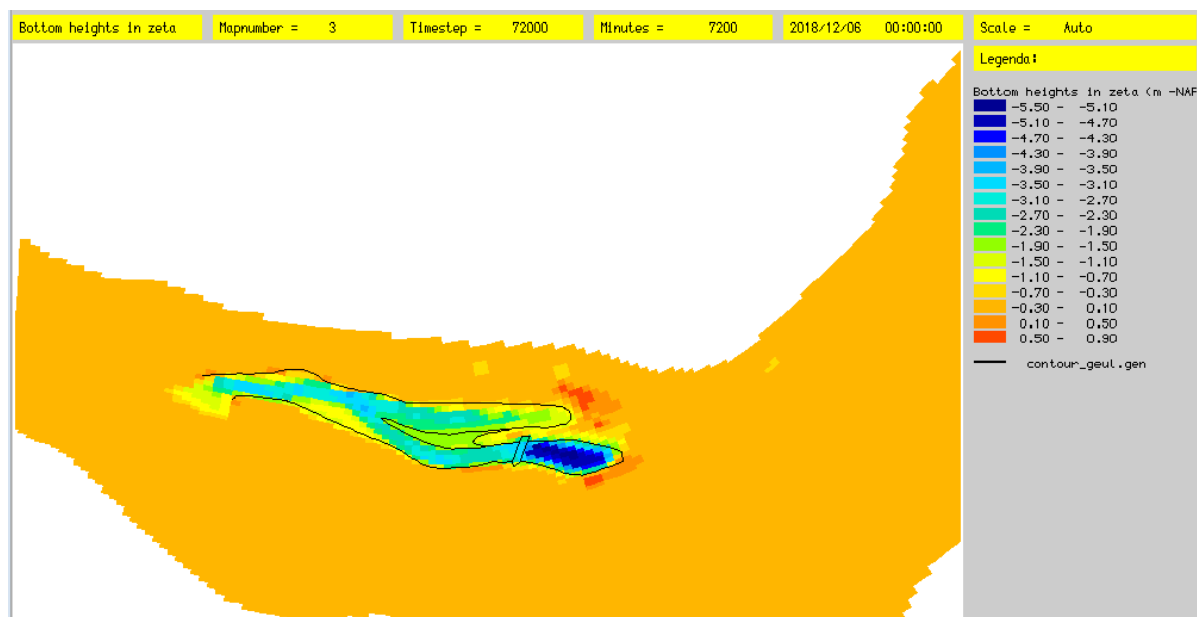
- In het ontwerp veranderd de instroomhoogte van NAP +3,0 m naar NAP +2,0 m.
- Voor de horeca wordt een gebied ingericht, op NAP +3,7 m.
- De instroomfrequentie van de zomerkade veranderd niet.
- De noordelijk kade bij de uitstroom wordt opgehoogd tot NAP +2,8 m (en wordt een kade in plaats van een breuklijn). Het maaiveld ten noorden van deze kade wordt niet aangepast, zoals te zien in de verschilkaarten.
- In het VO+ is de zuidelijke kade bij de uitstroom aangepast voor betere stroomlijning bij hoogwater.
- Het hoogste punt in de uiterwaard (NAP +4,15) blijft onveranderd.



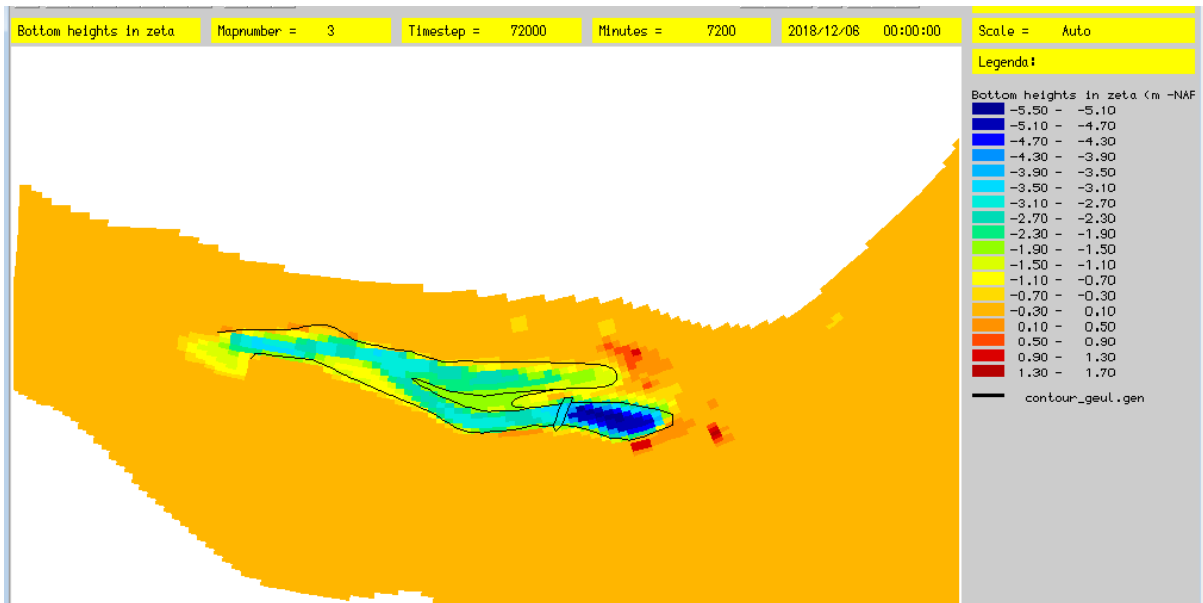
Figuur 119: Bodemhoogte- en overlatenkaart voor referentie, VO+, VO en VKA, met hoogtes kades op locaties waar het verandert



Figuur 120: Verschilplot bodemhoogte referentie met VKA; oranje is geen verschil, blauw is verlaging en rood is verhoging; de geul (lichtblauw) en de zwemplas (donkerblauw) zijn duidelijk zichtbaar



Figuur 121: Verschilplot bodemhoogte referentie met VO; oranje is geen verschil, blauw is verlaging en rood is verhoging; hierin is het gebied voor de horeca zichtbaar, net ten noorden van de zwemplas en ook de dijkvoetgebieden zijn geschematiseerd t.o.v. het VKA



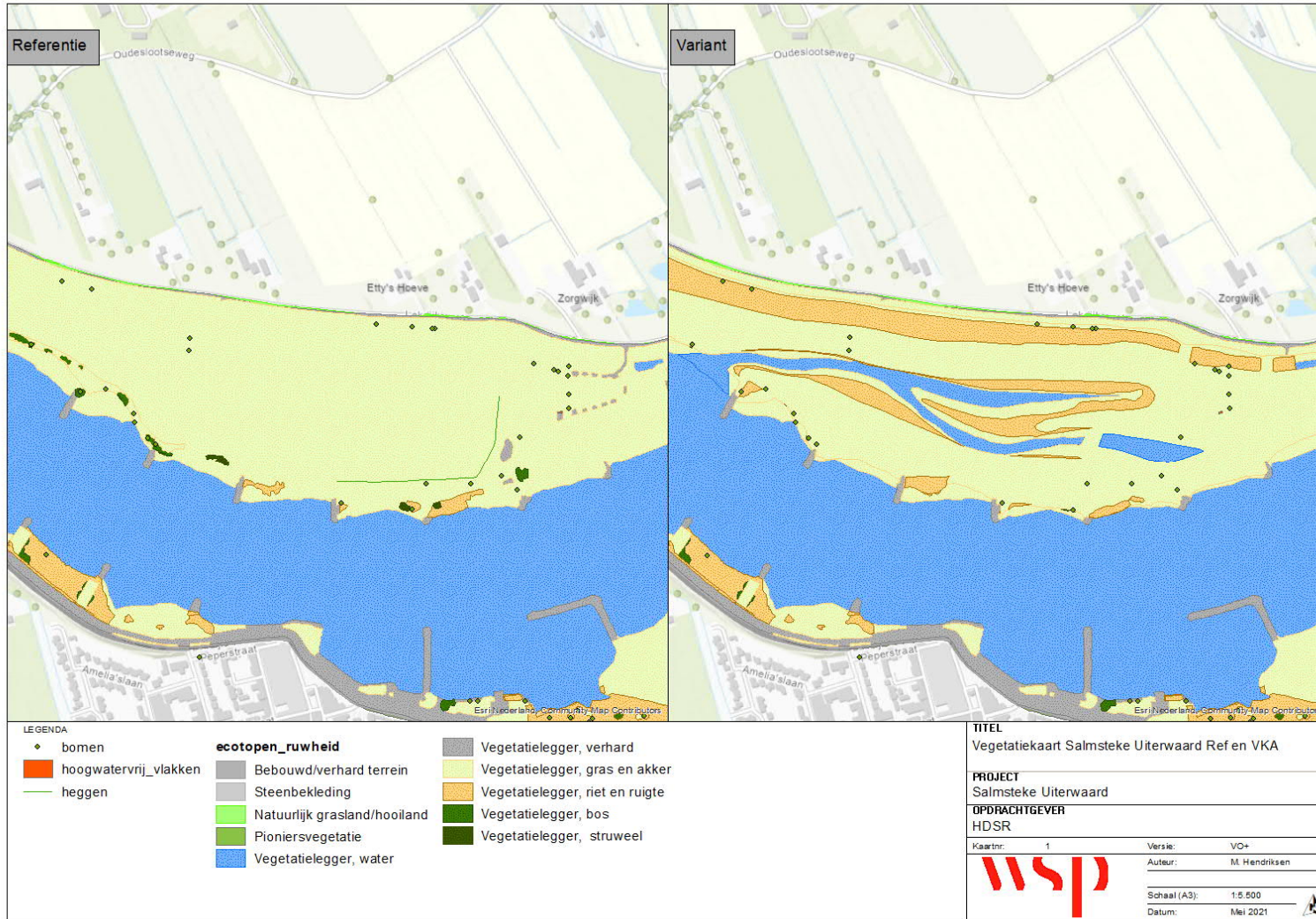
*Figuur 122: Verschilplot bodemhoogte referentie met VO+; oranje is geen verschil, blauw is verlaging en rood is verhoging; ook hierin is het gebied voor de horeca zichtbaar en is de boothelling geschematiseerd.*





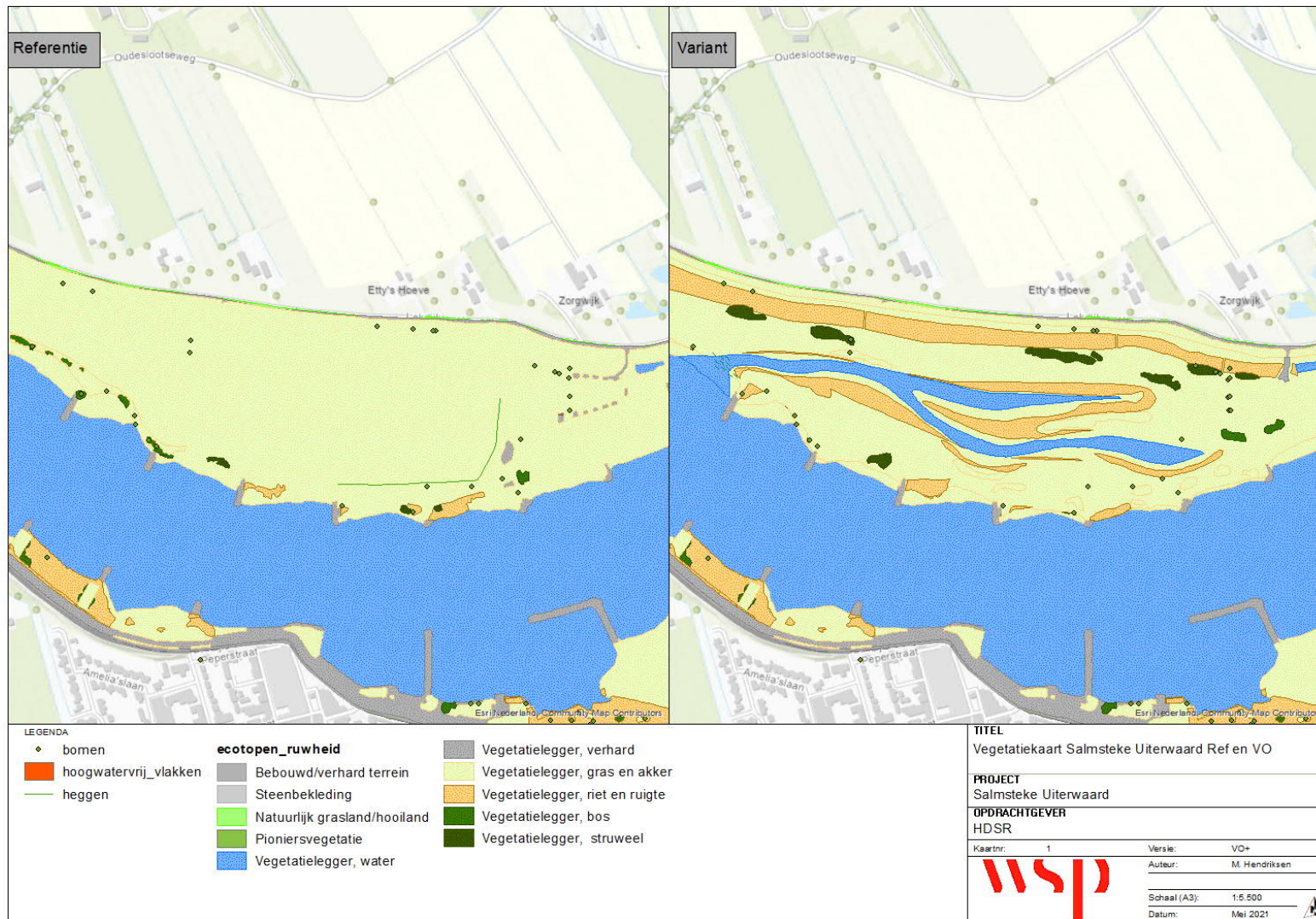
## **E.2. Verschil in ruwheid**

Onderstaande drie figuren geven het verschil in ruwheden ten opzichte van de referentie weer voor respectievelijk het VKA, VO en VO+. In het VKA is alleen de geul met rietoevers geschematiseerd, zie ook Figuur 123. In het VO is het ontwerp aangevuld met rietoevers langs de zwemplas en struweel in de uiterwaarden, zie Figuur 124. In het VO+ zijn de rietoevers aangepast aan de gestelde eisen voor riet om te kunnen ontwikkelen en is het oppervlakte struweel verkleind en aangevuld met solitaire bomen, zie ook Figuur 125.



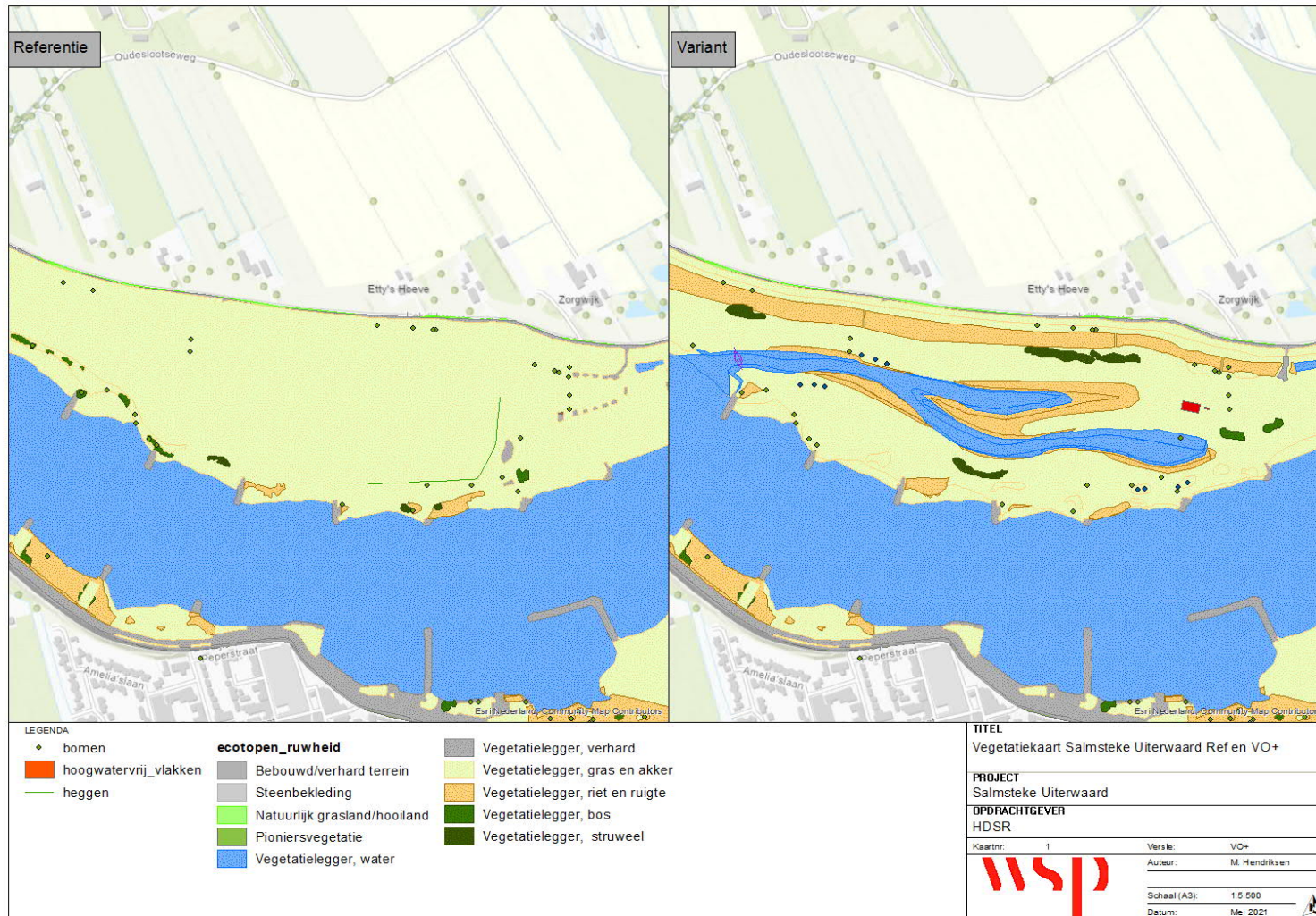
Figuur 123: Verschilplot overlaten referentie met VKA





Figuur 124: Verschilplot overlaten referentie met VO





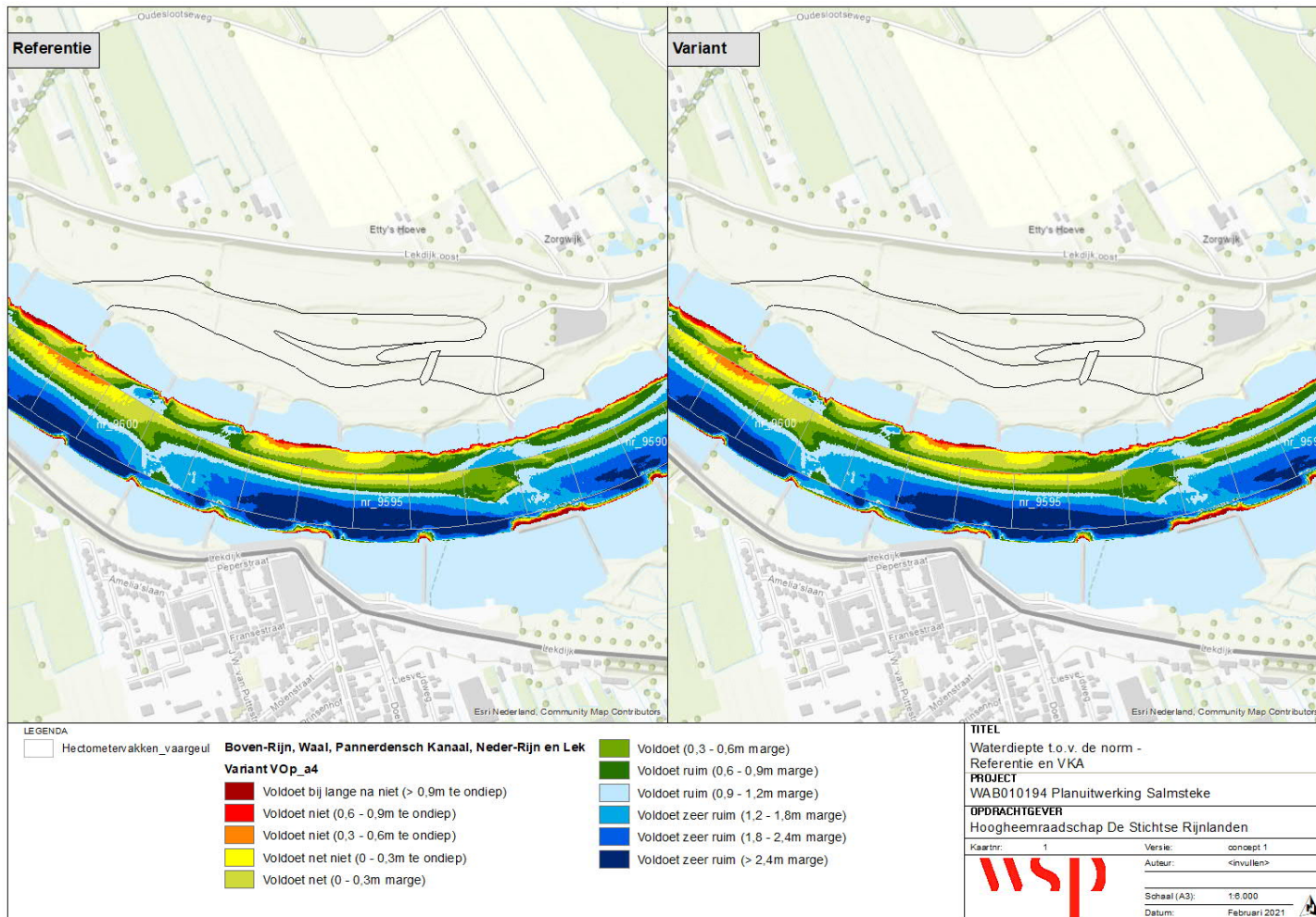
Figuur 125: Verschilplot overlaten referentie met VO+



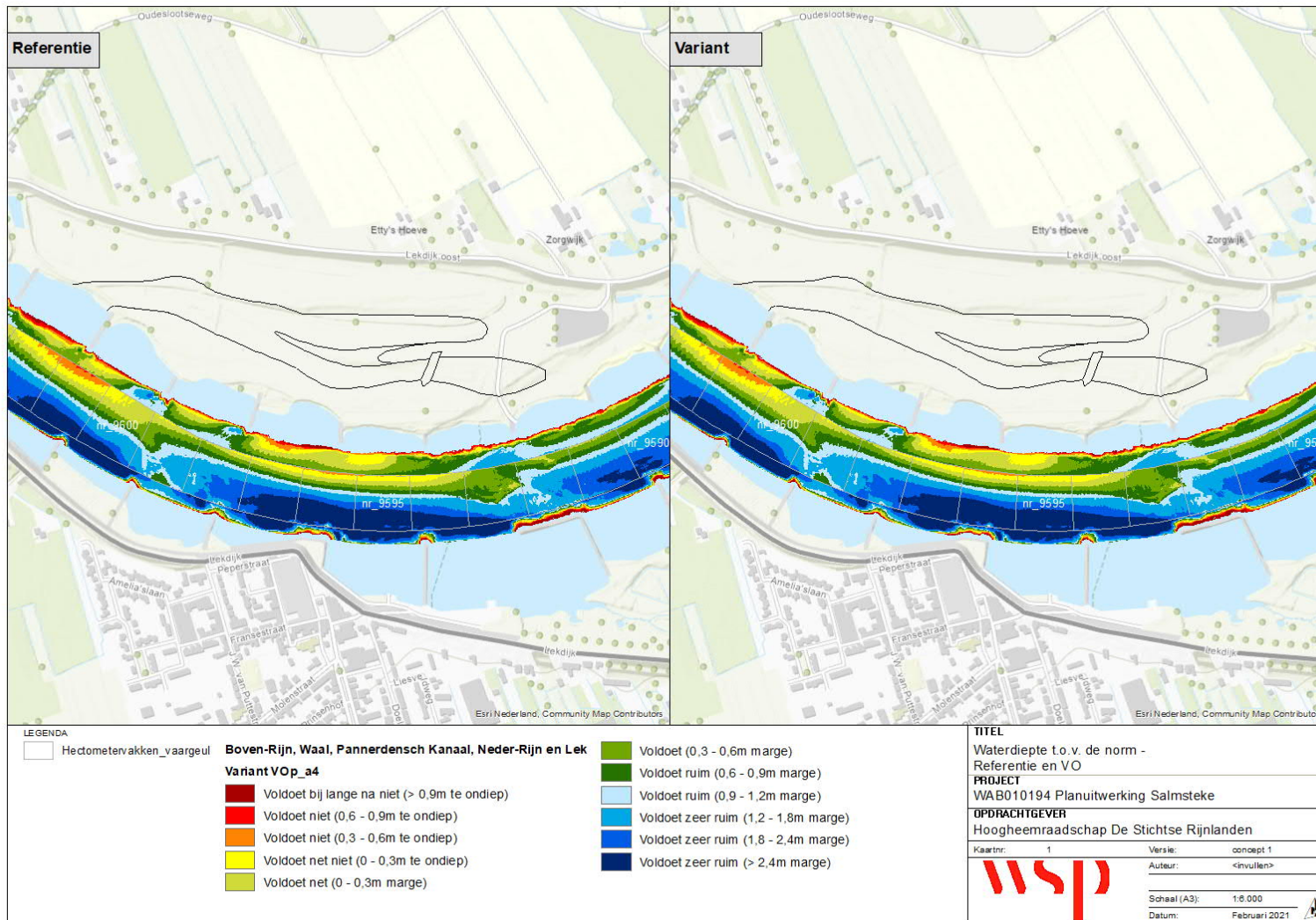
### **E.3. Verschil in waterdiepte t.o.v. de norm (OLW-3,5 m)**

Onderstaande drie figuren geven het verschil in waterdiepte t.o.v. de norm met de referentie weer voor respectievelijk het VKA, VO en VO+. De beoordeling verandert niet tot nauwelijks bij alle drie de varianten, doordat de aanzanding met centimeters veranderd en voornamelijk in de buitenbocht, waar de vaargeul zeer ruim voldoet en bij de uitmonding van de geul, maar dat valt buiten de vaargeul, zoals te zien in Figuur 19 in paragraaf 3.3.1. In bijlage D.1 is voor het VKA een bodemhoogte grafiek opgenomen met de effecten voor zowel gemiddelde als maximum bodemhoogte, bij jaargemiddeld resultaat. Voor het VO is dit opgenomen in bijlage D.2 en voor het VO+ in bijlage D.8.



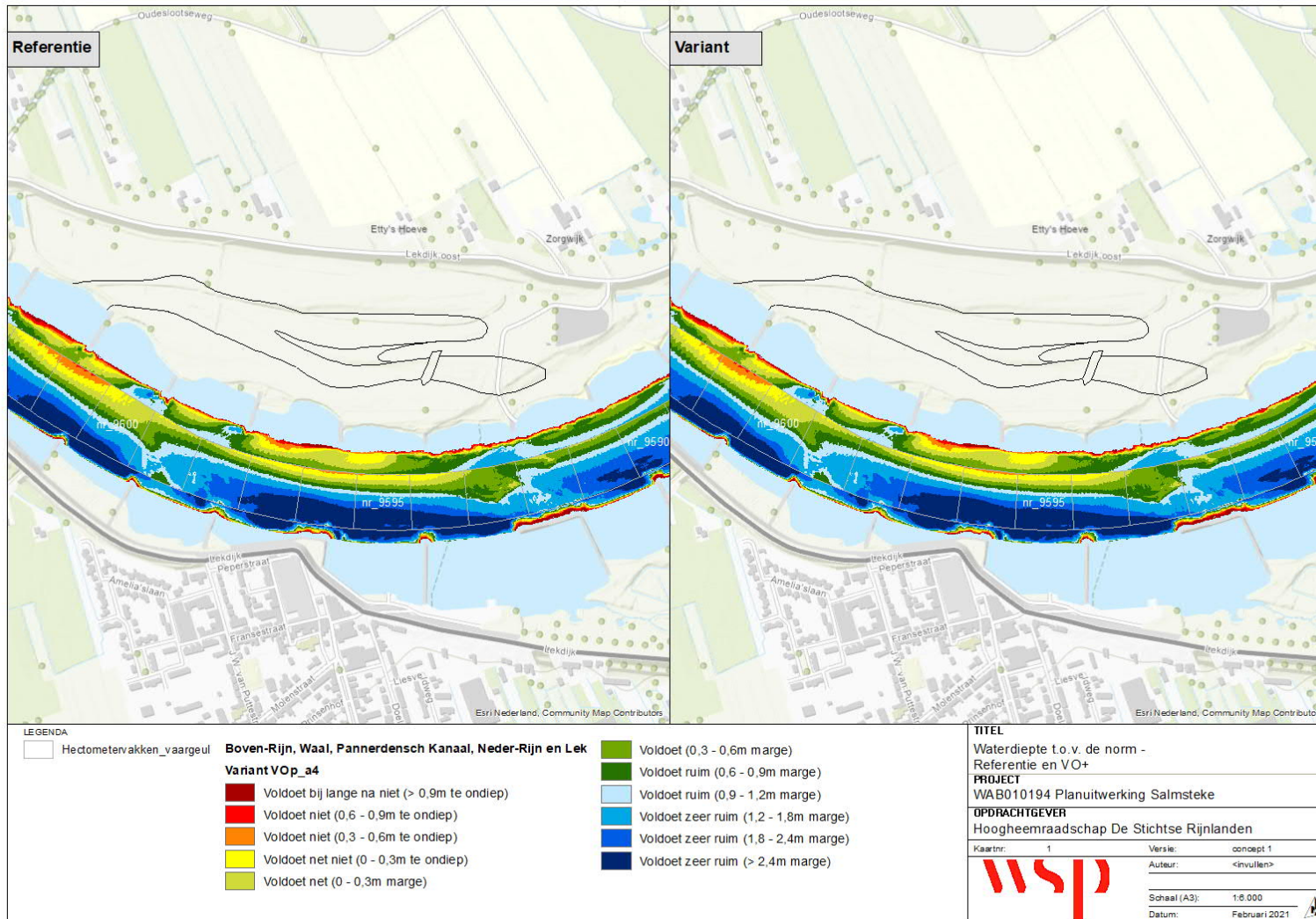


Figuur 126: Waterdieptekaart t.o.v. norm (OLW-3,5 m) voor referentie en VKA



Figuur 127: Waterdieptekaart t.o.v. norm (OLW-3,5 m) voor referentie en VO





Figuur 128: Waterdieptekaart t.o.v. norm (OLW-3,5 m) voor referentie en VO+

## Bijlage F. Bronbestanden

### F.1. Voorlopig ontwerp (B.9.iv)

De bronbestanden van het VO+ staan hieronder beschreven en zijn op aanvraag beschikbaar. Ook de bronbestanden van de varianten zijn op aanvraag beschikbaar (*beschrijving wordt dan meegeleverd*). Het voorlopig ontwerp bestaat uit de onderstaande maatregelen (op volgorde), gemixt met de referentie. De beschrijving van de schematisatie is opgenomen in hoofdstuk 2.4.

Naam	Toelichting	Uitwerking
sterkelekdijken_ref	Referentie voor Sterkelekdijk	Bij aanvang van het project is in oktober 2019 het referentiemodel uitgeleverd. De toegepaste Baseline-schematisatie is beno18_5_20m_nrlk-v1, aangevuld met 5 maatregelen welke op 2-10-2019 zijn aangeleverd door RWS-ON. Dit resulteert in de Baseline-schematisatie "sterkelekdijken_ref".
le_salmuit_g3	Contourlijnen geulmonding	Geen optimalisatie beschreven.
le_salmuit_f7	Geulmonding constructie	Geoptimaliseerd n.a.v. varianten in bijlage B.6.
le_salmuit_j3	Horeca	Geoptimaliseerd n.a.v. varianten in bijlage B.4.
le_salmuit_k1	Structuur dijkvoetgebied	Geen optimalisatie beschreven.
le_salmuit_l1	Damconstructie	Geen optimalisatie beschreven. Aanpassingen onderzocht in bijlage B.3.
le_salmuit_p1	Profiel oostkant kade geulmonding	Geen optimalisatie beschreven. Onderzocht in bijlage B.6.iv.
le_salmuit_t2	Boothelling en toegangsweg	Geen optimalisatie beschreven.
le_salmuit_n8	Vegetatie	Geoptimaliseerd n.a.v. varianten in bijlage B.7.
sterkelekdijken_var_VOp_a4	Variant VO+	

Van het VO+ is de volgende data meegeleverd:

- Baseline maatregelen en variant, zoals beschreven in tabel hierboven.
- SDS-files van de toegepaste afvoerclassen bij Lobith:
  - o 16.000 m<sup>3</sup>/s, 10.000 m<sup>3</sup>/s, 8.000 m<sup>3</sup>/s, 6.000 m<sup>3</sup>/s, 2.000 m<sup>3</sup>/s en 1.020 m<sup>3</sup>/s
- Excel met waterstandseffect voor hoogwaterreferentie van 16.000 m<sup>3</sup>/s
- Excel met dwarsstroming bij 10.000 m<sup>3</sup>/s, 8.000 m<sup>3</sup>/s en 6.000 m<sup>3</sup>/s
- Excel met tabel voor morfologisch effect bij 8.000 m<sup>3</sup>/s
- WAQMorf input (hoogwaterblok bestanden) en output (boxfiles – jaargem, minmorf en maxmorf)