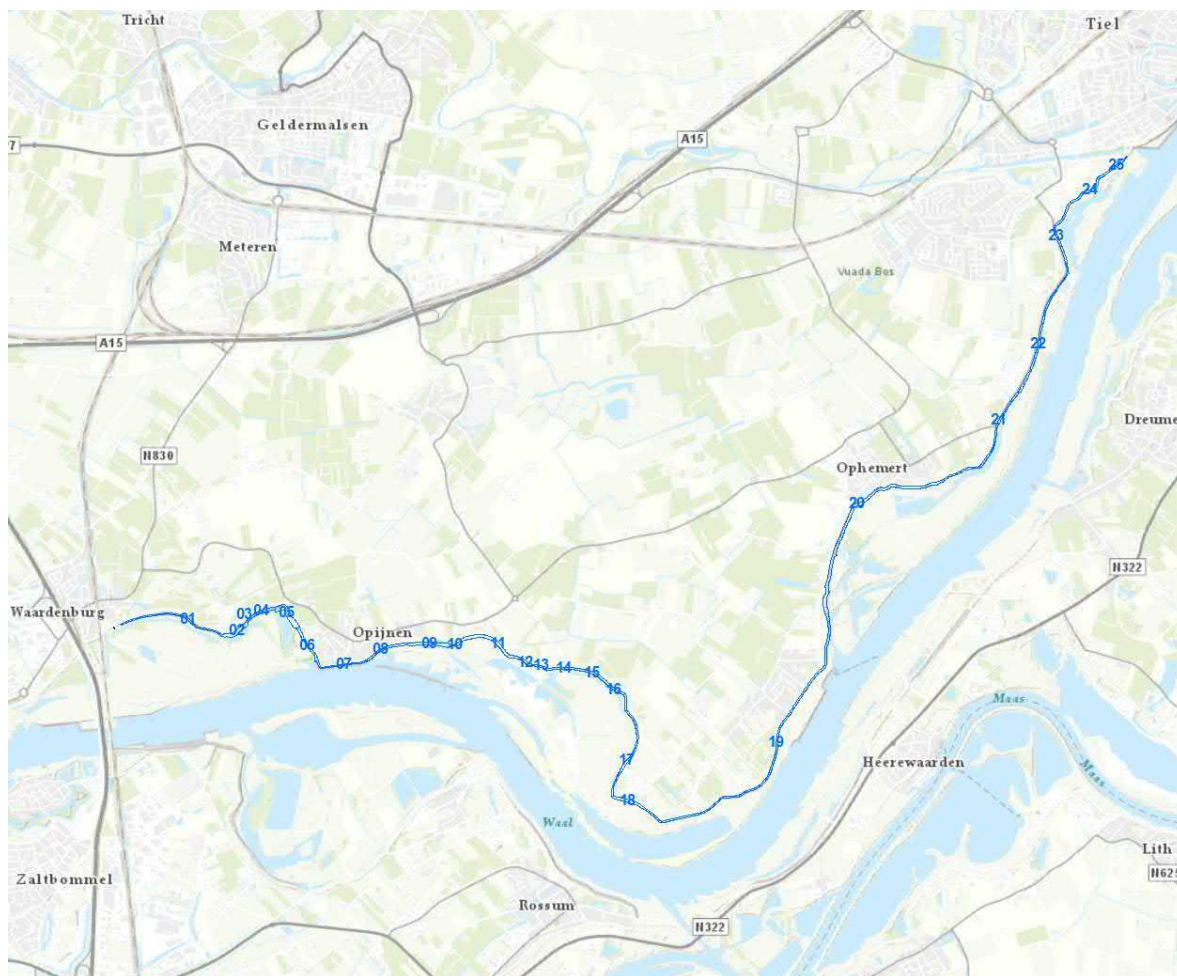


Rivierkundige effecten van dijkversterking Tiel - Waardenburg volgens het vergunningenontwerp (VO)

Rivierkundige beoordeling

Opdrachtgever: Waterschap Rivierenland
(in onderaanneming van Sweco Nederland BV)



5 november 2020

Colofon

Titel: Rivierkundige effecten van dijkversterking Tiel - Waardenburg volgens het vergunningenontwerp (VO), rivierkundige beoordeling

Opdrachtgever: Waterschap Rivierenland (in onderaanneming van Sweco Nederland BV)

Opdrachtnemer: RiQuest (in samenwerking met GeoSpace en Agtersloot Hydraulisch Advies BV)

Auteur: D.G. Meijer

Collegiale toets: I. Wouda-van der Giessen

Vrijgave: R. Raaijmakers

Status: concept 1.6

Datum: 5 november 2020

Projectcode: 062.14 - project 353939/4004.2 (zaaknummer 500532 – CW35)

Document: 20201105_TiWa_Hydraulica_vo2020_C1.6.docx



Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Uitgangspunten	2
1.4	Aanpak	2
2	Actualisatie referentiemodel	3
2.1	Aanpassingen ten opzichte van het B&O-model in Baseline	3
2.2	Hydraulische modellering met WAQUA	3
3	VO dijkversterking (ontwerp 1 april 2020)	5
3.1	Tracé VO dijkversterking Tiel-Waardenburg	5
3.2	Methodiek en uitwerking	5
3.3	Volumeanalyse	9
3.4	Gebiedsmodellering in Baseline en hydraulische modellering met WAQUA	9
4	Analyse van de modelresultaten	11
4.1	Hydraulisch effect van VO (16.000 m ³ /s te Lobith)	11
4.2	Afvoerverdeling Pannerdensche Kop	11
4.3	Effecten op stroomsnelheden	11
4.4	Effecten op dwarsstroming m.b.t. de scheepvaart (expertoordeel)	11
4.5	Effecten op morfologie (expertoordeel)	12
5	Natuuraanleg en compensatie	13
5.1	Inleiding	13
5.2	Beschrijving van de maatregelen	14
5.2.1	Natuuraanleg zachthoutooibos in de Rijswaard	14
5.2.2	Stroomdalgrasland (Heesseltsche Uiterwaarden)	14
5.2.3	Natuuraanleg ten behoeve van de kamsalamander (Heesseltsche Uiterwaarden)	15
5.2.4	Afgetichelde laagtes en overtuinen (Stiftsche uiterwaarden)	16
5.2.5	Rivierverruiming Cropsche Waard	17
5.3	Singuliere en gecombineerde waterstandseffecten (16.000 m ³ /s)	17
5.4	Waterstandseffecten voor het gehele afvoerbereik	19
5.5	Afvoerverdeling Pannerdensche Kop	19
5.6	Effecten op stroomsnelheden	19
5.7	Effecten op dwarsstroming m.b.t. de scheepvaart	19
5.8	Effecten op morfologie	21
6	Rivierkundig Beoordelingskader	23
7	Conclusies en aanbevelingen	24
7.1	Conclusies	24
7.2	Aanbevelingen	24
8	Referenties	25

Bijlagen

- Bijlage 1 Criteria van het Rivierkundig Beoordelingskader 4.0 (RWS, 2017)
- Bijlage 2 Baseline-maatregellijsten en overzicht van de WAQUA-simulaties
- Bijlage 3 Bovenaanzicht analysetrajecten: referentiesituatie en VO
- Bijlage 4 Bodemhoogteverschillen
- Bijlage 5 Verschillen in schotjes en overlaten
- Bijlage 6 Waterstandseffecten
- Bijlage 7 Stroomsnelheidseffecten
- Bijlage 8 Effecten op dwarsstroming (VO inclusief natuuraanleg en compensatiemaatregelen)
- Bijlage 9 Schatting morfologische effecten met WaqMorf
- Bijlage 10 Toelichting met betrekking tot de modellering van dijkversterkingen
- Bijlage 11 Beschrijving maatregel Cropsche Waard (WSRL, 2019)

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In 2018 is het globaal MER 'Dijkversterking Tiel-Waardenburg en rivierverruiming Varik-Heesselt' in het kader van de gelijknamige MIRT-verkenning afgerond (Sweco, 2018), waarbij drie alternatieven (met elk een variant) zijn uitgewerkt om de hoogwaterveiligheid langs dit Waaltraject te garanderen. Deze alternatieven waren respectievelijk: alleen dijkversterking, dijkversterking met hoogwatergeul Varik-Heesselt en dijkversterking met rivierverruiming in de uiterwaard. Dit laatste alternatief wordt alleen toegepast indien compensatie voor het eerste alternatief noodzakelijk blijkt. In maart 2018 is besloten af te zien van de hoogwatergeul, zodat alleen de optie van dijkversterking zonder hoogwatergeul nog in beeld is.

In de planuitwerkingsfase van het project Tiel-Waardenburg is het vergunningenontwerp (VO: Sweco, 2020) tot stand gekomen. Dit vergunningenontwerp dient als basis voor de planproducten. Voor dit VO heeft een rivierkundige beoordeling plaatsgevonden. In voorliggende rapportage wordt het VO getoetst op waterstandseffecten bij hoogwater. De resultaten van eerdere ontwerpvarianten komen in deze rapportage niet aan de orde. Andere beoordelingscriteria dan maatgevende hoogwaterstanden, zoals voorgeschreven door het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) 4.0¹ (Rijkswaterstaat, 2017) worden in deze rapportage uitsluitend kwalitatief behandeld op basis van een expertoordeel.

In een tweede stap zijn natuuraanleg en compensatiemaatregelen aan de dijkversterking toegevoegd, waarna een rivierkundige beoordeling van het gehele pakket heeft plaatsgevonden. Hierbij zijn modelsimulaties voor het gehele afvoerbereik uitgevoerd ten behoeve van een analyse naar eventuele effecten op dwarsstroming en riviermorfologie.



Figuur 1 Dijktraject bij de Passewaaij bij middelhoogwater (11 januari 2018)

1.2 Doelstelling

Doel van deze effectstudie is het bepalen van de rivierkundige effecten van het door Sweco ontworpen vergunningenontwerp (VO) voor de dijkversterking Tiel-Waardenburg (Sweco, 2020). De beoordeling van het hoogwatereffect vindt plaats voor het VO zowel exclusief als inclusief bijbehorende natuuraanleg en compensatiemaatregelen volgens de criteria van het Rivierkundig Beoordelingskader 4.0 (Rijkswaterstaat, 2017).

¹ Inmiddels is RBK 5.0 beschikbaar. Vooralsnog wordt uitgegaan van RBK 4.0 en dus niet van RBK 5.0, omdat dit beschikbaar is gekomen nadat het rivierkundig model is opgevraagd.

1.3 Uitgangspunten

Dit onderzoek is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- Voor het verwerken van de ontwerpen en het afleiden van het hydraulisch rekenmodel gebruiken we Baseline 5.3.3 en ArcMap 10.5. Voor het uitvoeren van de modelsimulaties gebruiken we WAQUA (onderdeel van Simona 2017 patch 4).
- Voor het schematiseren van de dijkversterking is op verzoek van Rijkswaterstaat een methodiek toegepast, waarin de dijk is geschematiseerd als een verticale wand door de buitenkruinlijn (methode 'schotjes': Schropp, 2018), waarbij de bodemhoogte tussen de nieuwe teenlijn en de dijk vlak ligt. Hierbij wordt het dijktalud binnen het rivierprofiel aan de rivierzijde niet geschematiseerd. Bijlage 10 gaat hier nader op in.
- Voor de beoordeling van effecten van de beschouwde ingreep geldt het Rivierkundig Beoordelingskader 4.0 (Rijkswaterstaat, januari 2017).
- Voor de aspecten afvoerverdeling Rijntakken, dwarsstroming en morfologie is een kwalitatief expertoordeel gedaan, mede op basis van eerder uitgevoerde ontwerpstudies. Voor de variant inclusief natuuraanleg en compensatiemaatregelen is een uitgebreidere analyse naar het gehele afvoerbereik gedaan ten behoeve van een analyse naar eventuele effecten op dwarsstroming en riviermorfologie.

1.4 Aanpak

Als referentiesituatie geldt de autonome ontwikkeling, ofwel de actuele situatie plus alle reeds in uitvoering zijnde en vastgestelde projecten in het projectgebied. Hierbij is het beheer- en onderhoudsmodel (B&O-model) van Rijkswaterstaat Oost-Nederland ingezet, waarbij op verzoek van Rijkswaterstaat Oost-Nederland een aantal maatregelen aanvullend waren toegevoegd (zie hiervoor Bijlage 2). Het product hiervan is het actuele referentiemodel (tiwa_ref_a2).

Het definitieve vergunningenontwerp (april 2020) is vooralsnog alleen getoetst op effecten bij maatgevend hoogwater (16.000 m³/s te Lobith). Zoals reeds vermeld, is voor de andere aspecten (dwarsstroming voor scheepvaart, morfologie) een expertoordeel opgesteld, maar is voor de variant inclusief natuuraanleg en compensatiemaatregelen een uitgebreidere analyse naar het gehele afvoerbereik gedaan ten behoeve van een analyse naar eventuele effecten op dwarsstroming en riviermorfologie.

2 Actualisatie referentiemodel

2.1 Aanpassingen ten opzichte van het B&O-model in Baseline

De eerste stap is de actualisatie van het door Rijkswaterstaat Oost-Nederland beschikbaar gestelde B&O-model (beheer- en onderhoudsmodel) met behulp van aangeleverde Baseline-maatregelen van uitgevoerde projecten of afgegeven vergunningen, die recenter zijn dan het B&O-model. Naast de aangeleverde Baseline-maatregelen moesten twee aanvullende actualisatiemaatregelen worden vervaardigd die nog niet beschikbaar waren. Het gaat hierbij om:

- het toevoegen van een boomgaard in de Stiftsche Waarden (wl_stift_v01),
- het corrigeren van de ligging van de bandijk (wl_tiwarf_a1).

Het spreekt voor zich dat deze laatstgenoemde actualisatie voor deze effectstudie de belangrijkste is. Op basis van een actuele opmeting van de buitenkruinlijn en de teenlijn is het referentiemodel via de nieuw gebouwde Baseline-maatregel (wl_tiwarf_a1) gecorrigeerd.

Bijlage 2 laat de maatregellijsten zien, waaruit blijkt hoe de gebiedsmodellen tot stand zijn gekomen. De uitgevoerde correctie is in Bijlage 3 voor het gehele projectgebied te zien door de zwarte stippellijn (buitenkruinlijn van de bandijk in het B&O-model) met de dikke groene lijn te vergelijken (gecorrigeerde buitenkruinlijn). Er zijn buitenwaartse correcties in de analysetrajecten 1, 2, 4 en 5 (Passewaaij), 8 en 9 (Zennewijnen / De Kil), 11 en 12 (Ophemert), 15, 16, 17 en 18 (Varik), 20, 21 en 22 (Heesselt), 28 (tussen Heesselt en Opijnen) en 31 tot en met 37 (Opijnen), 40 en 42 (Waardenburg). Landinwaartse correcties zijn er niet. Figuur 2 zoomt in op analysetraject 12 bij Ophemert, waar de correctie meer dan 10 m bedraagt.

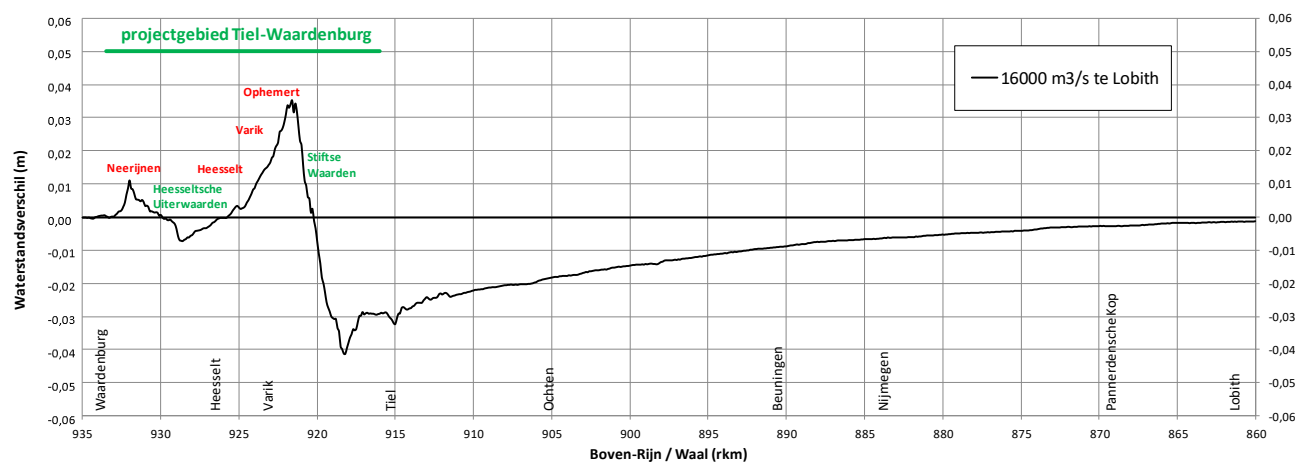


Figuur 2 Correctie van buitenkruinlijn in het referentiemodel (Ophemert)

2.2 Hydraulische modellering met WAQUA

Hiervan zijn hydraulische simulatiemodellen afgeleid (WAQUA in Simona), waarmee modelsimulaties bij 16.000 m³/s te Lobith zijn uitgevoerd. De overige afvoerniveaus komen mogelijk in een later stadium van dit onderzoek aan de orde. Figuur 3 laat zien dat de actualisaties niet geheel zonder hydraulisch effect zijn. In de grafiek zijn enkele waterstandverhogende effecten van dijkcorrecties in rood weergegeven. Er zijn ook enkele actualisaties van uiterwaardprojecten die waterstandverlagend uitwerken. Het nettoresultaat is een waterstandsdeling van 4 cm, die geleidelijk uitdempt in bovenstroomse richting.

Omdat dit als voldongen feit wordt beschouwd, is dit voor de beoordeling van voorliggend project niet van belang. De nieuwe referentielijn is vanaf nu de vergelijkingsbasis voor de waterstanden van het VO.



Figuur 3 Hydraulisch effect van actualisaties in het referentiemodel (model *tiwa_ref_a2* ten opzichte van *beno15_5-v2*)

3 VO dijkversterking (ontwerp 1 april 2020)

3.1 Tracé VO dijkversterking Tiel-Waardenburg

Het VO bevat zowel aan binnenwaartse als aan buitenwaartse zijde kruinlijnverplaatsingen ten opzichte van de actuele buitenkruinlijn. Bijlage 3 laat voor het gehele projectgebied de buitenkruinlijn en de teenlijn voor zowel de referentiesituatie als het VO zien. Figuur 4 geeft een voorbeeld van een buitenwaartse dijkverlegging bij Opijnen. De nieuwe kruinlijn (blauw) ligt aan buitendijkse zijde van de oude kruinlijn (blauw gestippeld). Omdat er sprake is van een taludverflauwing, volgt de hoogwatervrije lijn (rood gestreept) deze verplaatsing nog sterker dan die van de buitenkruinlijn zelf. Figuur 5 zoomt in op binnenwaartse dijkverplaatsing tussen Opijnen en Heesselt. In dit en andere analysetrajecten met een negatieve verschuiving is het noodzakelijk de modelgrens te verschuiven. Paragraaf 3.2 gaat nader in op de methodiek van modelleren.



Figuur 4 Buitenwaartse dijkverlegging en versterking bij Opijnen (traject 11)

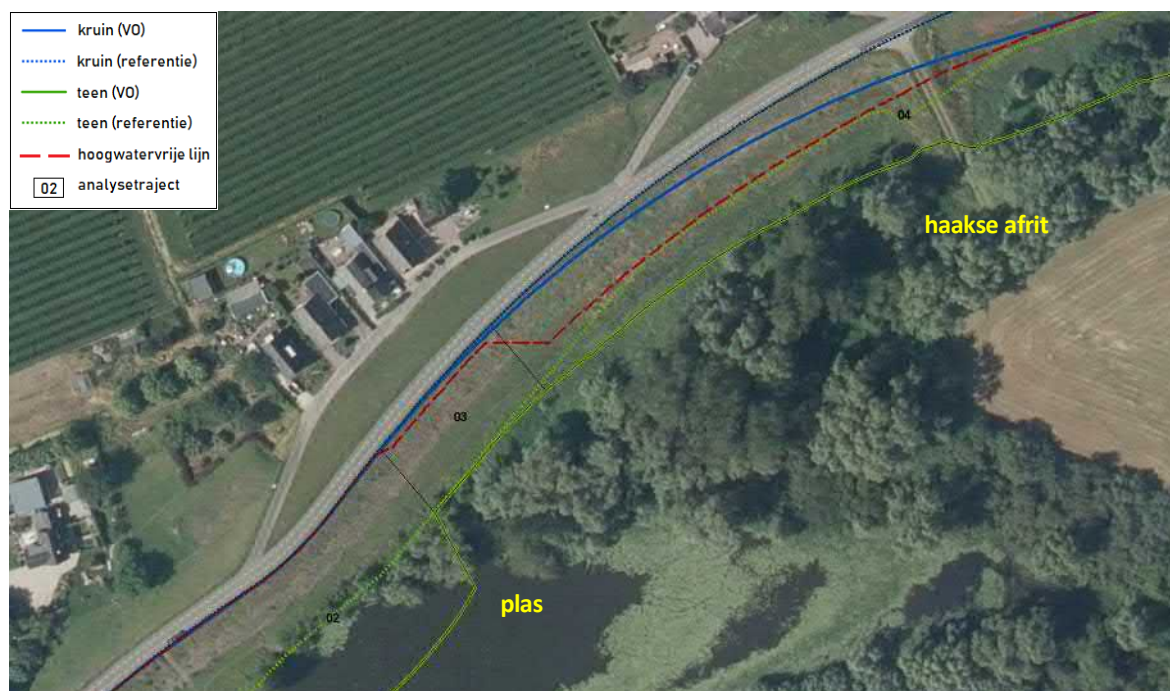
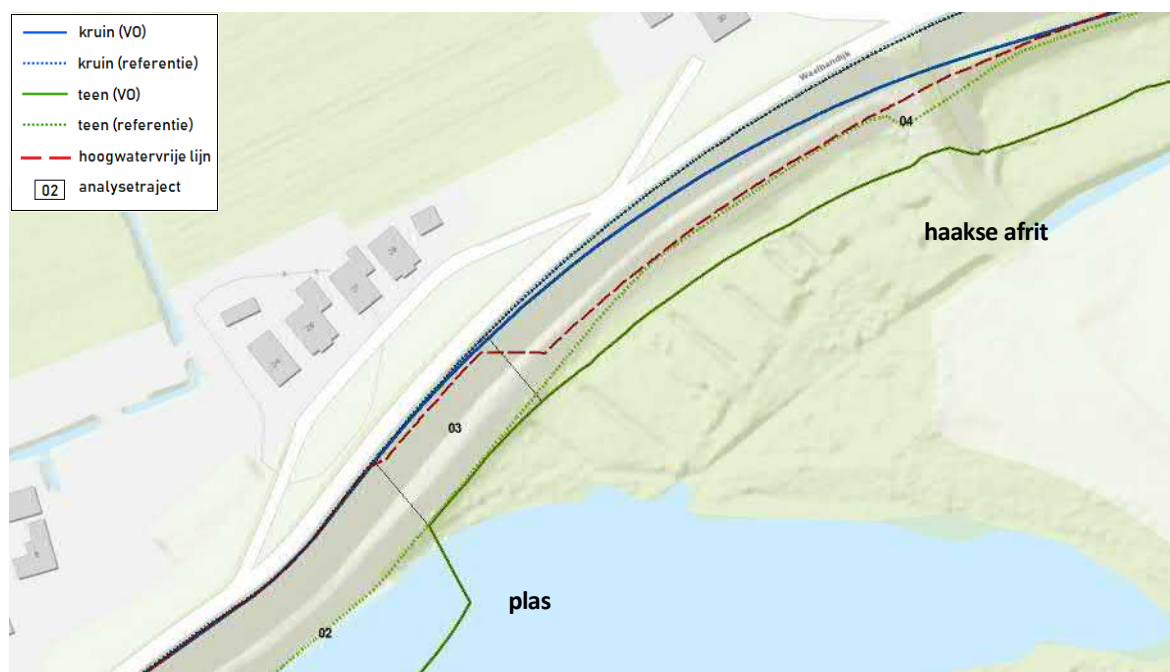


Figuur 5 Binnenwaartse kruinverplaatsing en dijkversterking tussen Opijnen en Heesselt (traject 14)

3.2 Methodiek en uitwerking

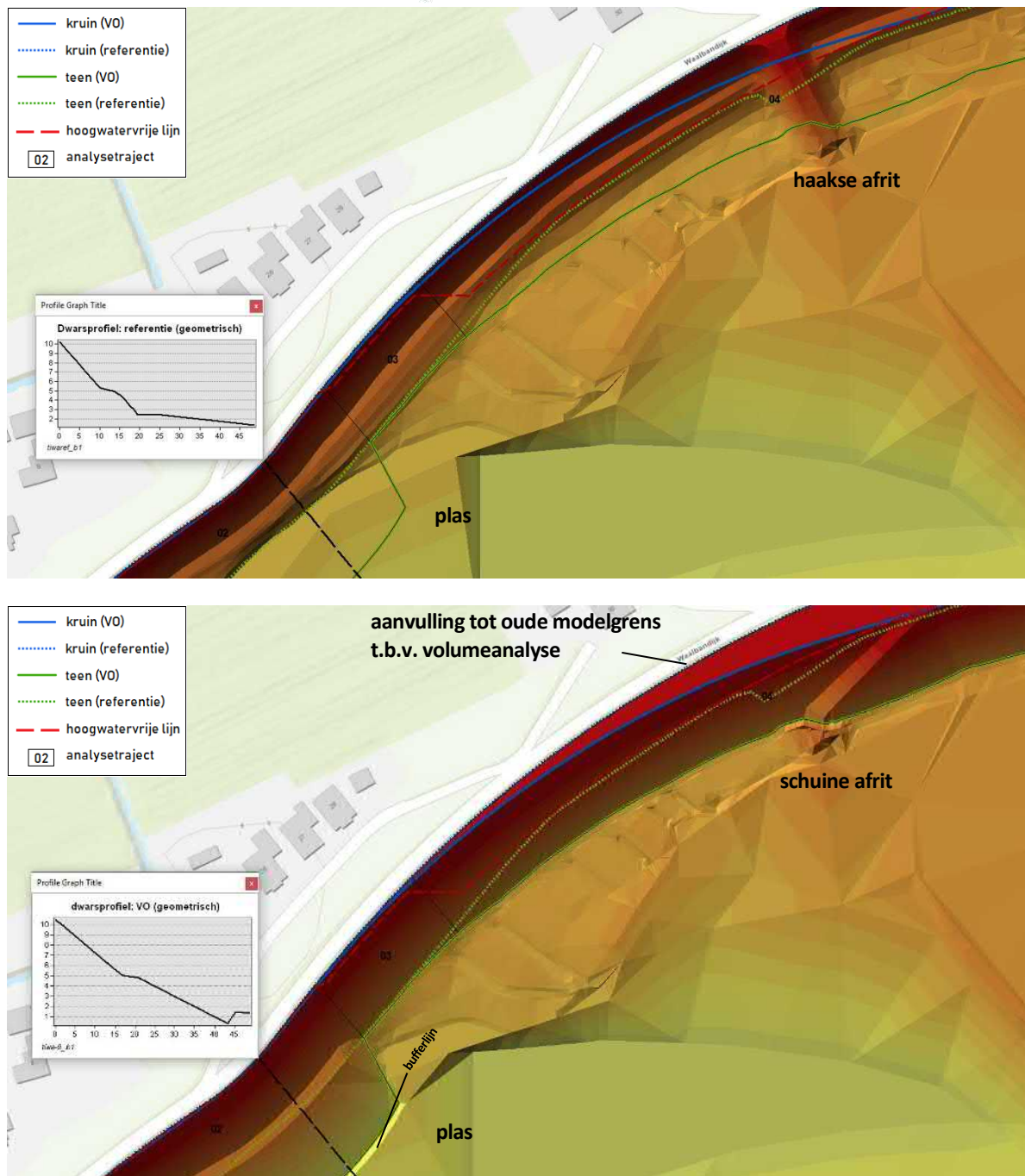
Bijlage 10 geeft een theoretische beschrijving van de methode voor het modelleren van dijkversterkingen, zoals in dit project voorgeschreven door Rijkswaterstaat Oost-Nederland (en landelijk toegepast in HWBP-projecten). Onderstaand is aan de hand van een voorbeeldtraject uiteengezet hoe hiermee ruimtelijk omgegaan is.

Figuur 6 laat een bovenaanzicht bij Neerijnen zien. Afgebeeld zijn de bestaande kruinlijn en teenlijn alsmede de kruinlijn en de teenlijn van het VO. De hoogwatervrije lijn (virtuele buitenkruinlijn) vertegenwoordigt de effectieve verplaatsing van de dijk. Het traject bevat een plas waarin het dijklichaam deels terecht komt en een haakse afrit, teneinde de afhandeling ervan in beeld te brengen.



Figuur 6 Dijk bij Neerijnen met analysetrajecten (in beeld: 2, 3 en 4), dijklijnen voor kruin en teen en virtuele buitenkruinlijn (= hoogwatervrije lijn), boven: Topo RD, onder: luchtfoto (ESRI), let op afhandeling van plas en haakse afrit.

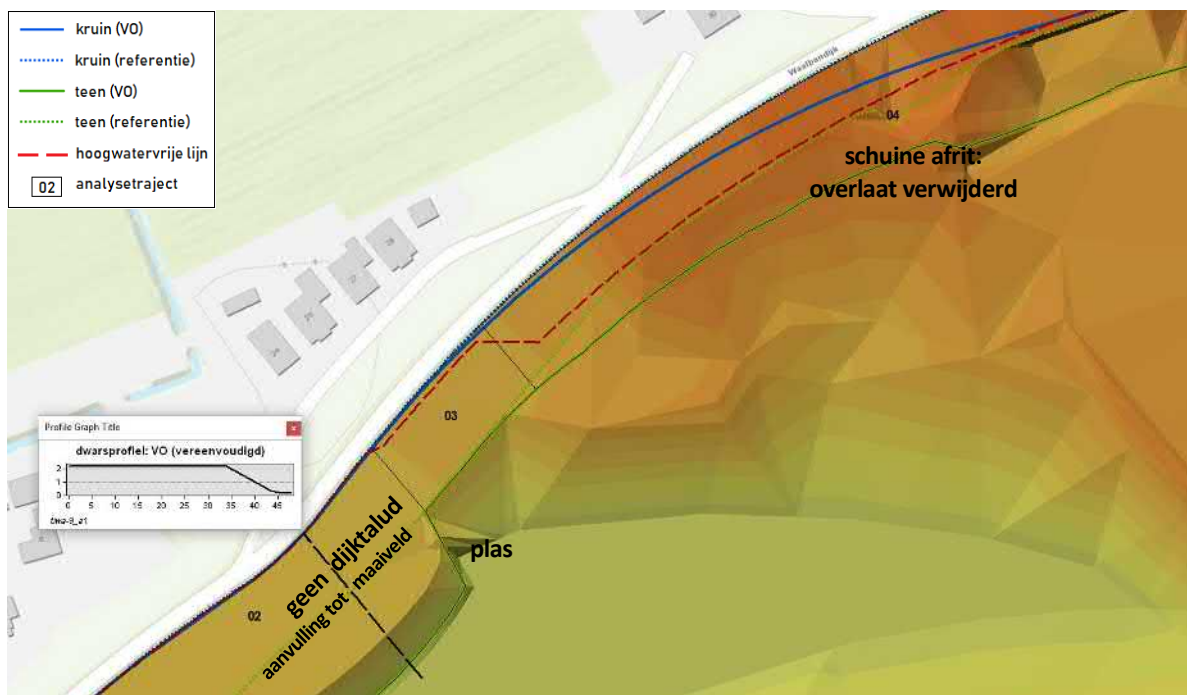
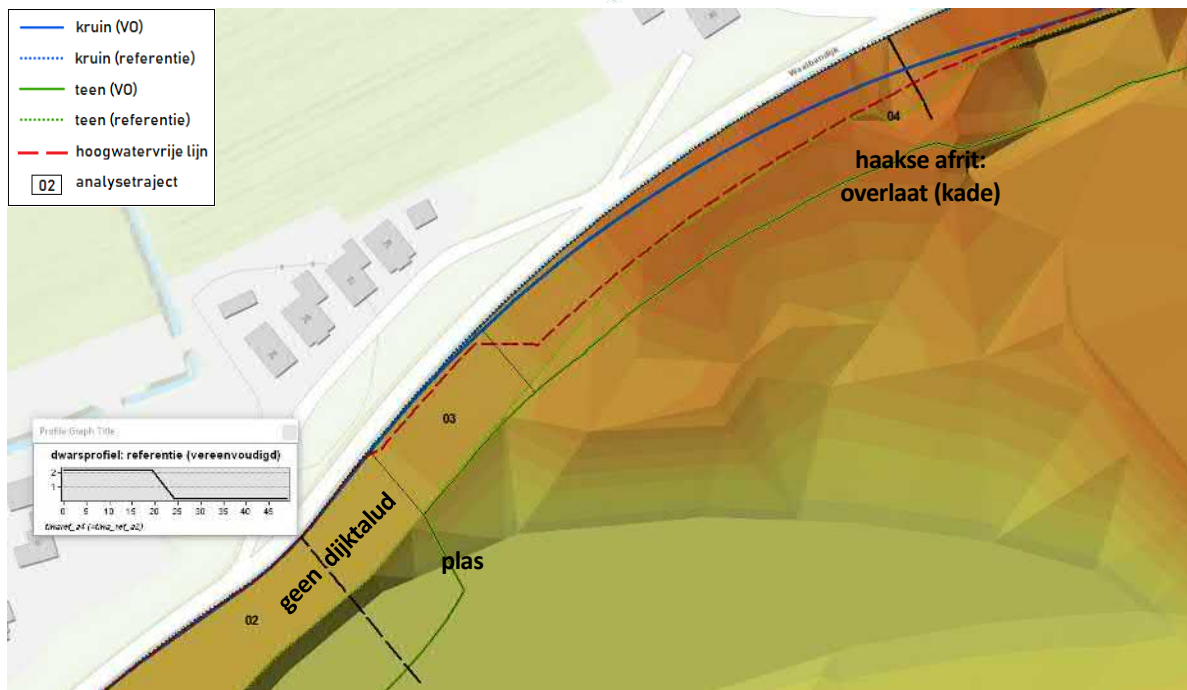
Figuur 7 laat de actuele geometrie van de dijk zien (boven, op basis van recente hoogtemetingen van WSRL) en de geometrie na uitvoering van de dijkversterking volgens het VO (onder). De dijk wordt hoger en het talud wordt flauwer. Hierdoor komt de teenlijn verder rivierwaarts. In analysetraject 2 komt deze in de plas terecht waardoor een deel van het dijkta­lud onder water doorloopt. Omdat de teenlijn van het Autocad-ontwerp niet altijd exact overeenkomt met het ondergrondmodel, is er op 2 m afstand van de teenlijn een bufferlijn gelegd, waarbinnen de hoogte­overgang kan plaatsvinden. Verderop (analysetraject 04) bevindt zich een haakse afrit die in het VO gestroomlijnd wordt, waardoor geen hydraulische weerstand optreedt.



Figuur 7 Dijk bij Neerijnen met geometrische beschrijving van de bodemhoogten, boven: referentie-situatie (met haakse afrit), onder: VO (met dijklichaam deels in de plas en schuine afrit)

Figuur 8 (boven) toont de vereenvoudigde modellering van RWS (tiwaref_a4, hier gelijk aan tiwa_ref_a2), waarbij de dijk als verticale wand is geschematiseerd. Ter plaatse van het buitentalud van de dijk bevindt zich een vlak maaiveld dat het hoogteverloop van de teenlijn volgt. Ook verder weg van de dijk zien we verschillen. Rijkswaterstaat wil de actualisaties van de recente WSRL-bodemmetingen niet overnemen. De haakse afrit is als een overlaat (kade) geschematiseerd.

In beginsel wordt het hoogtemodel door de dijkversterking (VO: figuur onder) niet aangepast. De dijkverplaatsing komt tot uiting met behulp van een hoogwatervrije lijn, op de in Bijlage 10 beschreven wijze. Een uitzondering wordt gemaakt bij plassen waarin het dijktaalud doorloopt. Hier wordt de plas verhoogd tot de oorspronkelijke teenhoogte van de referentiesituatie. Hierdoor ontstaat opnieuw een vlak tot de kruinlijn, dat echter breder is dan voorheen. Het volume dat met de gedeeltelijke aanvulling gemoeid is, wordt in mindering gebracht op de verplaatsing van de virtuele buitenkruinlijn (hoogwatervrije lijn). In het geval van analysetraject 02 is deze benodigde verplaatsing vrijwel tot nul teruggebracht. Bij de afrit vervalt de overlaat, omdat er nu sprake is van een gestroomlijnde afrit, die geen obstakel vormt.



Figuur 8 Dijk bij Neerijnen met vereenvoudigde modellering van de bodemhoogten, boven: referentie-situatie (met haakse afrit als overlaat), onder: VO (met dijklichaam deels in de plas en verwijderde overlaat wegens schuine afrit)

Voor alle 25 analysetrajecten zijn de beschreven handelingen uitgevoerd. Bijzondere aandacht was er voor afritten die uit de modellering verdwijnen, als deze gestroomlijnd in de dijk worden vormgegeven. Bij aansluitingen die haaks blijven, evenals aansluitingen van zomerkaden, zijn de kruinhoogten van deze kaden aangepast aan het dijkprofiel.

In drie trajecten is sprake van een benodigde aanvulling van plassen (02, 05 en 09). Alleen hier is het hoogtemodel van de VO-variant beïnvloed.

3.3 Volumeanalyse

De in Bijlage 3 gepresenteerde dijktrajecten zijn aan een volumeanalyse onderworpen. Tabel 1 toont hiervan de uitkomst. De afstand van de referentiekruinlijn tot de virtuele buitenkruinlijn (hoogwatervrije lijn) wordt weergegeven door de laatste kolom. In veel gevallen is er slechts een zeer geringe verschuiving. Enkele analysetrajecten sprongen er echter uit.

Tabel 1 Resultaat van de volumeanalyse van de analysetrajecten en benodigde verschuiving Δx

Analyse-traject	Traject-lengte (m)	$V_0 (\Delta_{ref})$ (m ³)	$V_1 (\Delta_{VO})$ (m ³)	$V = V_1 - V_0$ (m ³)	V per meter A (m ²)	Δz (m)	Δx (m)
01	1.102	64.789	65.084	295	0,3	8,39	0,03
02	487	47.764	48.361	597	1,2	8,26	0,15
03	43	3.263	4.032	769	18,1	7,77	2,33
04	319	10.557	34.331	23.775	74,6	5,47	13,65
05	393	44.382	47.177	2.795	7,1	5,44	1,31
06	559	5.319	31.779	26.460	47,3	3,52	13,43
07	514	32.963	33.117	155	0,3	7,84	0,04
08	525	19.749	50.971	31.222	59,4	5,98	9,93
09	503	27.342	39.841	12.499	24,8	6,43	3,86
10	104	3.484	4.742	1.258	12,1	4,77	2,53
11	810	24.086	101.759	77.673	95,9	6,06	15,82
12	146	10.988	9.937	-1.051	-7,2	7,23	-1,00
13	123	5.975	9.368	3.393	27,6	7,14	3,86
14	540	47.697	38.655	-9.042	-16,8	7,14	-2,35
15	88	4.587	7.064	2.477	28,1	7,40	3,80
16	583	52.264	45.345	-6.919	-11,9	7,54	-1,57
17	1.081	46.339	65.418	19.079	17,6	6,54	2,70
18	418	7.524	32.893	25.369	60,7	4,56	13,31
19	3.526	91.133	146.284	55.151	15,6	4,89	3,20
20	2.525	58.907	256.119	197.212	78,1	4,60	16,98
21	1.927	87.429	96.195	8.766	4,5	5,92	0,77
22	133	6.288	8.088	1.800	13,6	5,71	2,38
23	1.791	53.692	82.701	29.009	16,2	5,14	3,15
24	460	23.254	37.613	14.359	31,2	6,48	4,82
25	371	13.483	14.395	913	2,5	4,89	0,50
totaal	19.071	793.257	1.311.269	518.012	27,2	6,20	4,38

De tabel laat in drie analysetrajecten (12, 14 en 16) negatieve waarden voor de virtuele kruinverplaatsing zien (laatste kolom). In enkele analysetrajecten is sprake van een substantiële rivierwaartse dijkverplaatsing (trajecten 04, 06, 08, 11, 18 en 20). Beide typen uitkomsten zijn terug te herleiden uit de ligging van de kruinlijnen en teenlijnen, zie Bijlage 3. Uit de analyse volgt een totaal van alle volumes 518.012 m³. Met een totale lengte van ruim 19 km is dit een gemiddelde profielvernauwing van 27,2 m² (zie Tabel 1).

3.4 Gebiedsmodellering in Baseline en hydraulische modellering met WAQUA

De gebiedsmodellering heeft plaatsgevonden zoals beschreven in paragraaf 3.2 en Bijlage 10.

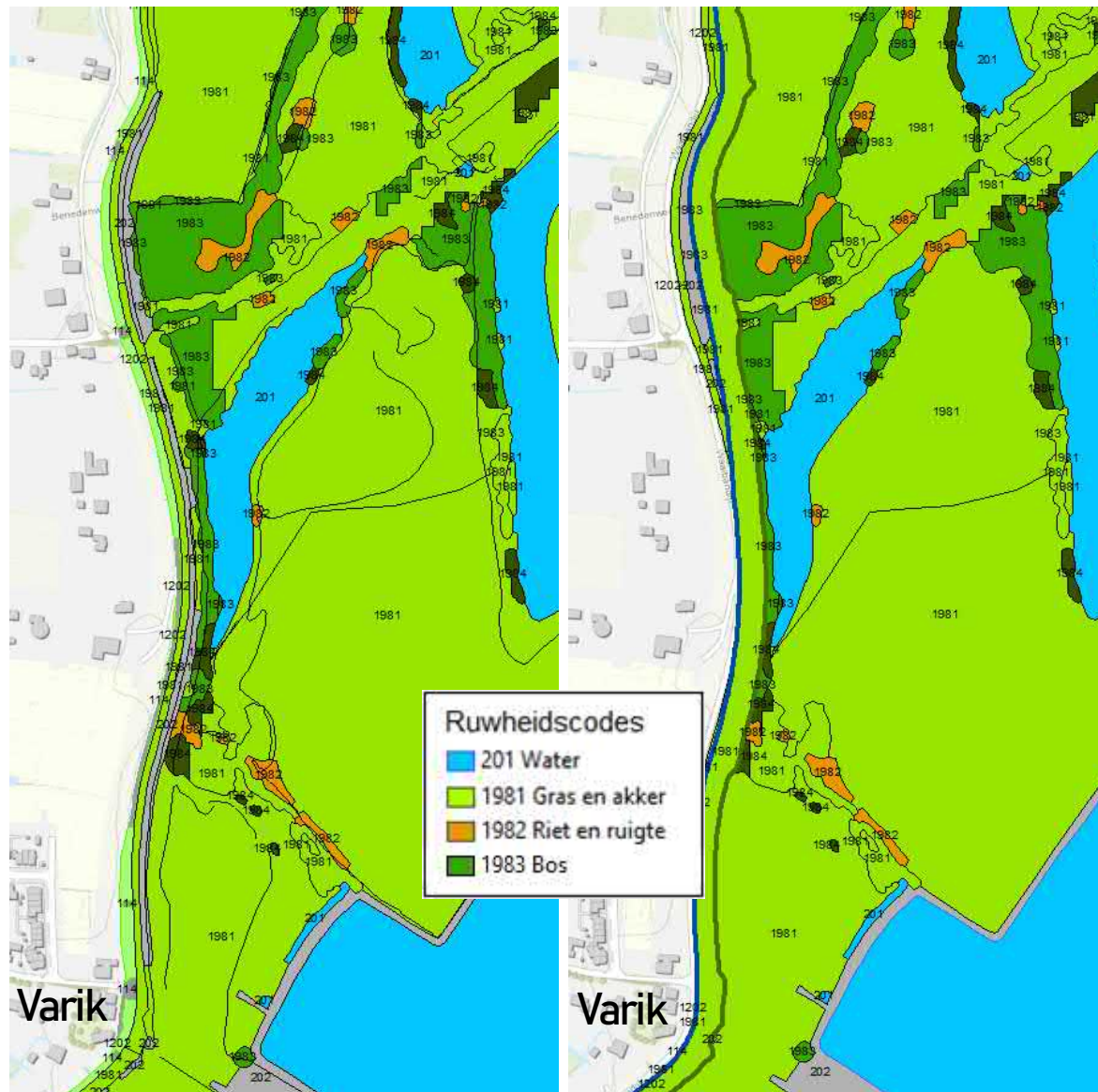
Bijlage 2 laat de maatregellijsten zien, waaruit blijkt hoe de gebiedsmodellen tot stand zijn gekomen. Van het Baseline-gebiedsmodel VO (tiwa-9_a1) is een gelijknamig WAQUA-model afgeleid, waarmee modelsimulaties bij diverse afvoerniveaus zijn gedaan. Bijlage 2 bevat hiervan ook een overzichtstabel.

Bijlage 3, zoals reeds vermeld, geeft een visueel overzicht van het gehele dijkversterkingstracé Tiel-Waardenburg. De figuren tonen de bestaande kruin- en teenlijn (stippellijnen) en de nieuwe kruin- en teenlijn (vaste lijnen) en de resulterende hoogwatervrije lijn die het effect van de profielvernauwing (of in een enkel geval -verruiming) representeert.

Bijlage 4-1 laat de bodemhoogteverschillen tussen het VO en de referentie zien. De richtlijnen stellen dat er geen aanpassingen aan het hoogtemodel mogen worden gedaan, met uitzondering van locaties waar plassen gedeeltelijk worden gedempt. Hier zijn er enkele van, waarvan de twee belangrijkste in de bijlage aangegeven staan. Hier zijn bodemhoogteverschillen in het WAQUA-model terug te zien.

Bijlage 5-1 laat het effect van het VO op de effectieve begrenzing in het model zien (schotjes). De virtuele buitenkruinlijn (hoogwatervrije lijn) is bij de omzetting naar WAQUA omgezet in schotjes, die op sommige trajecten op het rekenrooster verplaatst zijn.

Alle trajecten zijn tussen de kruinlijn en de teenlijn voorzien van ruwheidscode 1981 (gras en akker), hetgeen een grasbekleding van de dijk voorstelt (Figuur 9: rechts). Een uitzondering wordt gemaakt voor trajecten waar zich gebouwen en hoogwatervrije terreinen bevinden (niet in figuur weergegeven).

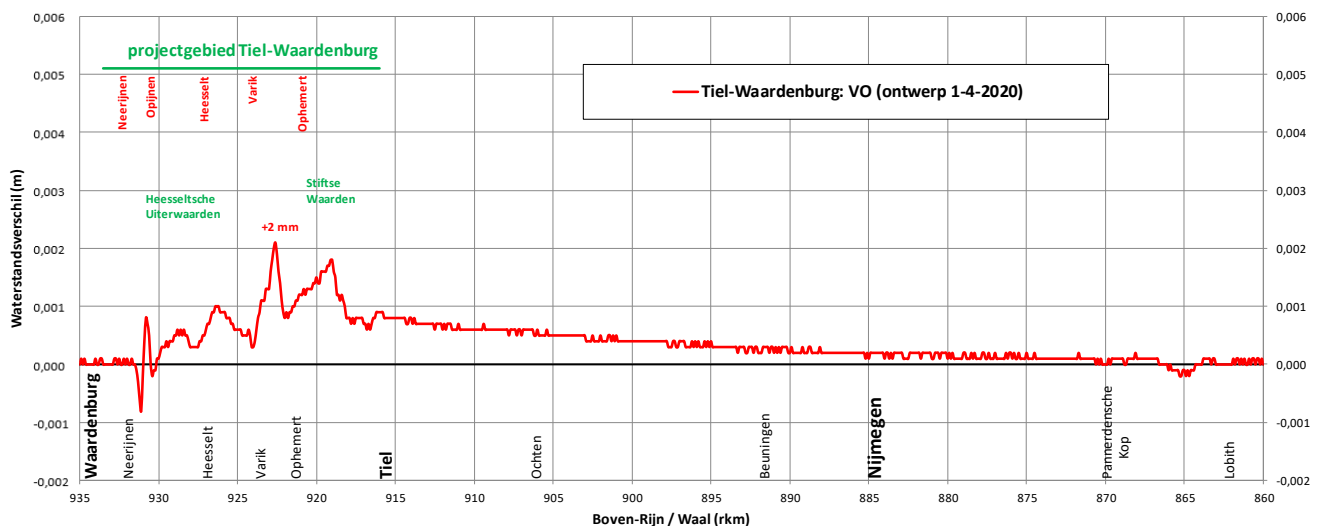


Figuur 9 Ecotopencodes, links: referentiemodel (tiwa_ref_a2), rechts: VO (tiwa-9_a1)

4 Analyse van de modelresultaten

4.1 Hydraulisch effect van VO (16.000 m³/s te Lobith)

Met behulp van het afgeleide model van het VO is het hydraulisch effect bij een maatgevend hoogwater (16.000 m³/s te Lobith) op basis van een modelsimulatie bepaald door de waterstanden te vergelijken met die van het referentiemodel. We zien in Bijlage 6 en Figuur 10 dat er in de rivieras sprake is van een waterstandstoename van maximaal 2 mm, die in bovenstroomse richting weer langzaam uitdempt. Dit resultaat is plausibel omdat er sprake is van een netto profielvernaauwing, zoals Tabel 1 van paragraaf 3.1 aantoont. Het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK 4.0: Rijkswaterstaat, 2017) staat in beginsel echter geen effecten groter dan 1 mm toe².



Figuur 10 Hydraulisch effect van het VO voor de dijkversterking Tiel-Waardenburg (model *tiwa-9_a1* ten opzichte van *tiwa_ref_a2*)

4.2 Afvoerverdeling Pannerdensche Kop

Het waterstandseffect van het VO is in de Pannerdense Kop geheel uitgewerkt. Hierdoor is er geen invloed op de afvoerverdeling te verwachten.³

4.3 Effecten op stroomsnelheden

De effecten op de stroomsnelheden (Bijlage 7-1) bij 16.000 m³/s (te Lobith) zijn gering tot nihil. In het zomerbed fluctueren de verschillen rond de nul (wit, groen en geel). Op enkele locaties zijn er lokale stroomsnelheidsverhogingen door buitenwaartse dijkverleggingen. Bij rkm 919 speelt de stroomlijning van een afrit die tot in de vaargeul een gering stroomsnelheidseffect laat zien.

4.4 Effecten op dwarsstroming m.b.t. de scheepvaart (expertoordeel)

Er zijn voor alleen de dijkversterking (VO) geen simulaties uitgevoerd bij bevaarbare afvoerniveaus. Echter op basis van de gevonden stroomsnelheidsverschillen bij 16.000 m³/s te Lobith (paragraaf 4.3) kan gesteld worden dat effecten op dwarsstroming niet te verwachten zijn. Bij lagere afvoerniveaus zal dat al helemaal niet het geval zijn. Immers effecten op dwarsstroming zijn een orde van grootte kleiner dan die op de stroomsnelheden. In het geval van dijkmaatregelen is dwarsstroming overigens doorgaans zelden aan de orde. Er is om deze reden geen kwantitatieve analyse naar effecten op dwarsstroming in de normaallijn ten behoeve van de scheepvaart gedaan. Dit is wel gedaan voor de VO-variant inclusief de natuuraanleg en compensatiemaatregelen (paragraaf 5.7).

² Met uitzondering van benedenstroomse piekjes, die doorgaans zeer lokaal van aard zijn.

³ Overigens wordt opgemerkt dat een effect in de Pannerdense Kop, ook indien het wel substantieel zou zijn, nog geen diskwalificatie van de maatregel zou betekenen. Er kan immers gebruik worden gemaakt van een constructie in De Pannerdense Kop, waarmee de afvoerverdeling (binnen een beperkt regelbereik) na de aanleg van individuele maatregelen bijgestuurd kan worden. Hiermee kunnen tijdelijke onevenwichtigheden gecorrigeerd worden. Dit is bij het voorliggende VO echter niet aan de orde.

4.5 Effecten op morfologie (expertoordeel)

Morfologische effecten ontstaan wanneer de stroomsnelheid in de hoofdgeul bij middelhoge afvoeren substantieel beïnvloed worden. Er zijn geen morfologisch relevante afvoerniveaus doorgerekend en er is dus geen morfologische analyse gedaan. Dit is wel gedaan voor de VO-variant inclusief de natuuraanleg en compensatiemaatregelen (paragraaf 5.8). Voor de variant met alleen dijkversterking is wel gekeken naar stroomsnelheidsverschillen bij 16.000 m³/s (Bijlage 7-1). We mogen aannemen dat de weergegeven effecten een bovengrens zijn voor de effecten bij morfologisch relevante afvoerniveaus. Zelfs bij deze hoge rivierafvoer zijn de effecten op de stroomsnelheid uiterst gering. We mogen hierom aannemen dat dit bij lagere debieten ook zo zal zijn, met afwezigheid van morfologische effecten tot gevolg.

Effecten in de uiterwaard zijn niet significant. Er is in deze beoordeling van alleen het dijklichaam geen aanvullend grondverzet in de uiterwaard en de stroomsnelheidseffecten zijn beperkt van omvang.

5 Natuuraanleg en compensatie

5.1 Inleiding

In paragraaf 4.1 is gebleken dat het waterstandseffect van het VO hoger is dan 1 mm, hetgeen in beginsel niet aan de criteria van het RBK voldoet. Aan de dijkversterking Tiel-Waardenburg zijn enkele flankerende projecten verbonden (zie Figuur 11):

Baseline-code	omschrijving
wl_tw-bos2_a1	natuuraanleg zachthoutooibos in de Rijswaard
wl_strdlgr_a1	stroomdalgrasland in de Heesseltsche uiterwaarden
wl_heeswrld_a2	natuuraanleg ten behoeve van de kamsalamander in de Heesseltsche uiterwaarden
wl_afglaag_a1	afgetichelde laagtes in de Stiftsche uiterwaarden
wl_overtui_a1	compensatie overtuinen in de Stiftsche uiterwaarden
wa_cw_e1	rivierverruiming Crobsche Waard



Figuur 11 Locaties van de flankerende maatregelen ten opzichte van het dijkversterkingstraject Tiel-Waardenburg (blauwe lijn)

Dit hoofdstuk behandelt deze maatregelen en doet een nieuwe hydraulische analyse naar het gecombineerde effect van het VO-ontwerp inclusief deze maatregelen. Dat betekent dat de maatregelen als onlosmakelijk onderdeel van het dijkversterkingsproject beschouwd worden, waarbij het pakket als geheel beoordeeld wordt. De ingreep in de Crobsche Waard heeft een iets andere positie, zie hiervoor paragraaf 5.2.5.

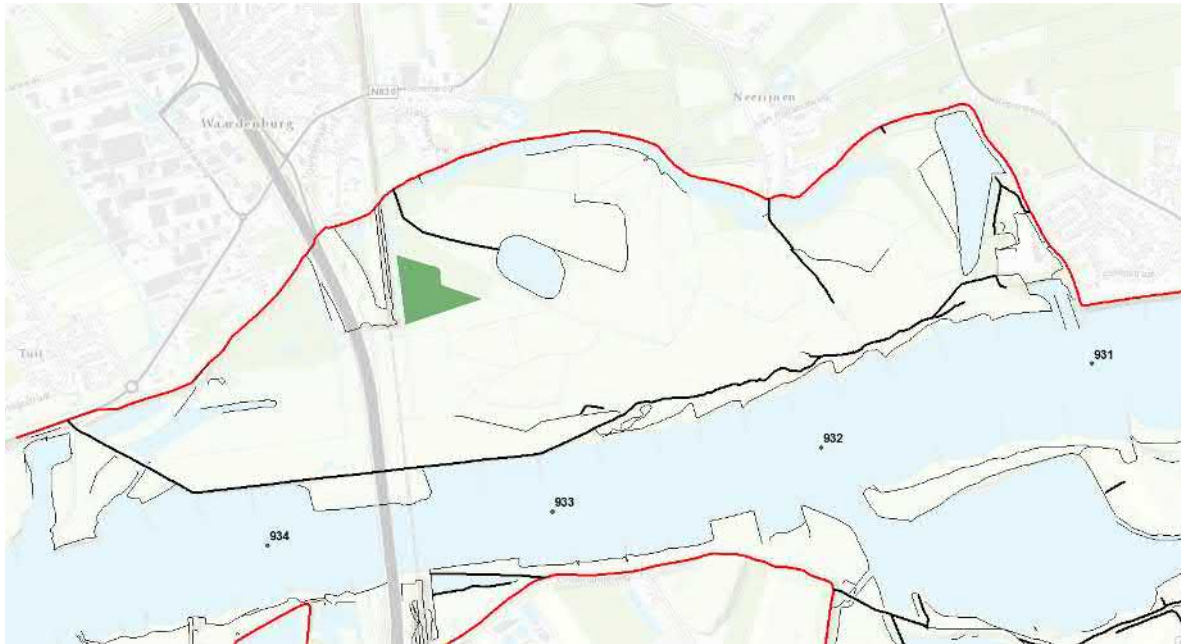
Bijlage 4-2 laat de bodemhoogteveranderingen als gevolg van deze maatregelen zien. In Bijlage 5-2 zijn extra overlaten te zien, die zijn ontstaan door nieuwe taludlijnen en steilranden in de ingrepen (blauw). Er zijn ook overlaten verdwenen (rood), vooral door afritten vanaf de dijk, die gestroomlijnd zijn.

5.2 Beschrijving van de maatregelen

5.2.1 Natuuraanleg zachthoutoobos in de Rijswaard

In de Rijswaard is natuur gerealiseerd. Hiervoor geldt als voorkeursoplossing een stukje oobos, aansluitend aan reeds aanwezig bos, tegen de aanbrug van de A2, zie Figuur 12. In de referentiesituatie bestaat deze oppervlakte uit grasland. Het waterstandverhogend effect van deze ingreep is in Figuur 20 weergegeven (groene lijn). Het maximum bedraagt 3 mm en bevindt zich bij Neerijnen (rkm 932). Bij Ophemert (rkm 923), waar zich de piek van het waterstandseffect van de dijkversterking bevindt, bedraagt het effect van het oobos nog 2 mm.

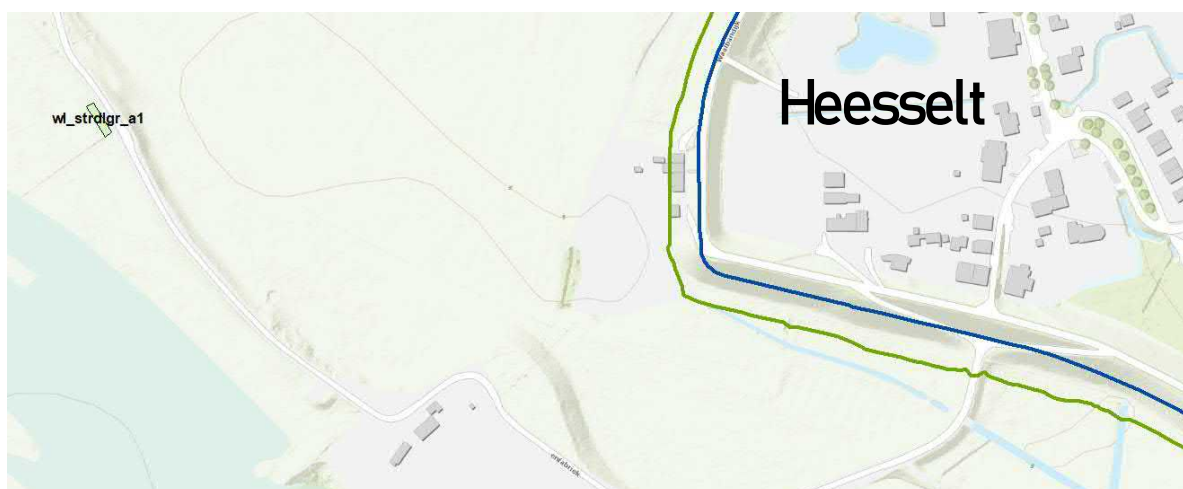
Voor nadere details verwijzen wij naar een afzonderlijke notitie (Meijer, 2019).



Figuur 12 Oobos in de Rijswaard (groen vlakje: 3,5 ha, vegetatiecode 1983)

5.2.2 Stroomdalgrasland (Heesseltsche Uiterwaarden)

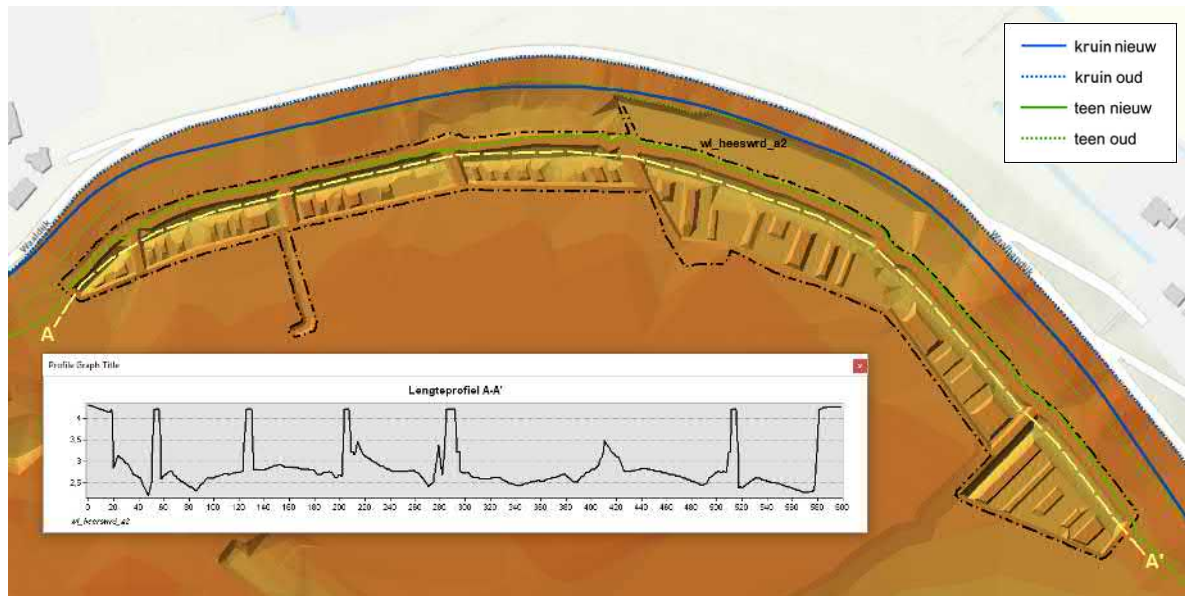
In de Heesseltsche uiterwaarden bevindt zich een klein natuurcompensatieproject, waar stroomdalgrasland op een oppervlakte van 100 m² (20 x 5 m²) aangelegd wordt. Er is geen geometrische verandering in het landschap voorzien. Voor het stroomdalgrasland is leggercode 1981 (gras) ingezet, te midden van code 1202 (natuurlijk grasland), die in het referentiemodel geldt. Er is geen afzonderlijke simulatie uitgevoerd. Gezien de zeer geringe omvang en de vrijwel identieke hydraulische ruwheid mogen we ervan uitgaan dat het hydraulisch effect van dit compensatieproject verwaarloosbaar is. Volledigheidshalve wordt het wel in de modellering meegenomen.



Figuur 13 Stroomdalgrasland bij Heesselt (groen vlakje: 100 m², vegetatiecode 1981: gras), kruinlijn en teenlijn van VO in blauw resp. groen

5.2.3 Natuuraanleg ten behoeve van de kamsalamander (Heesseltsche Uiterwaarden)

In maart 2020 is een eertse analyse uitgevoerd naar het hydraulisch effect van een compensatieproject in de Heesseltsche uiterwaarden ten behoeve van de kamsalamander (Meijer, 2020). In de genoemde analyse werd een effect van ca. 1 mm waterstandsverhoging in de rivieras becijferd. Het ontwerp heeft sindsdien nog een aanvullende optimalisatie ondergaan en is onderdeel geworden van de dijkversterking Tiel-Waardenburg. Figuur 14 geeft een hoogtemodel met een lengteprofiel in beeld. Er vinden patroonsgewijze ontgravingen tot 1,5 m diep aan, waarmee een habitat voor de kamsalamander wordt gecreëerd. De natuurinrichting bestaat uit gras, ruigte en open water (Figuur 15). De ingreep wordt niet singulier doorgerekend, maar uitsluitend als onderdeel van het gehele pakket.



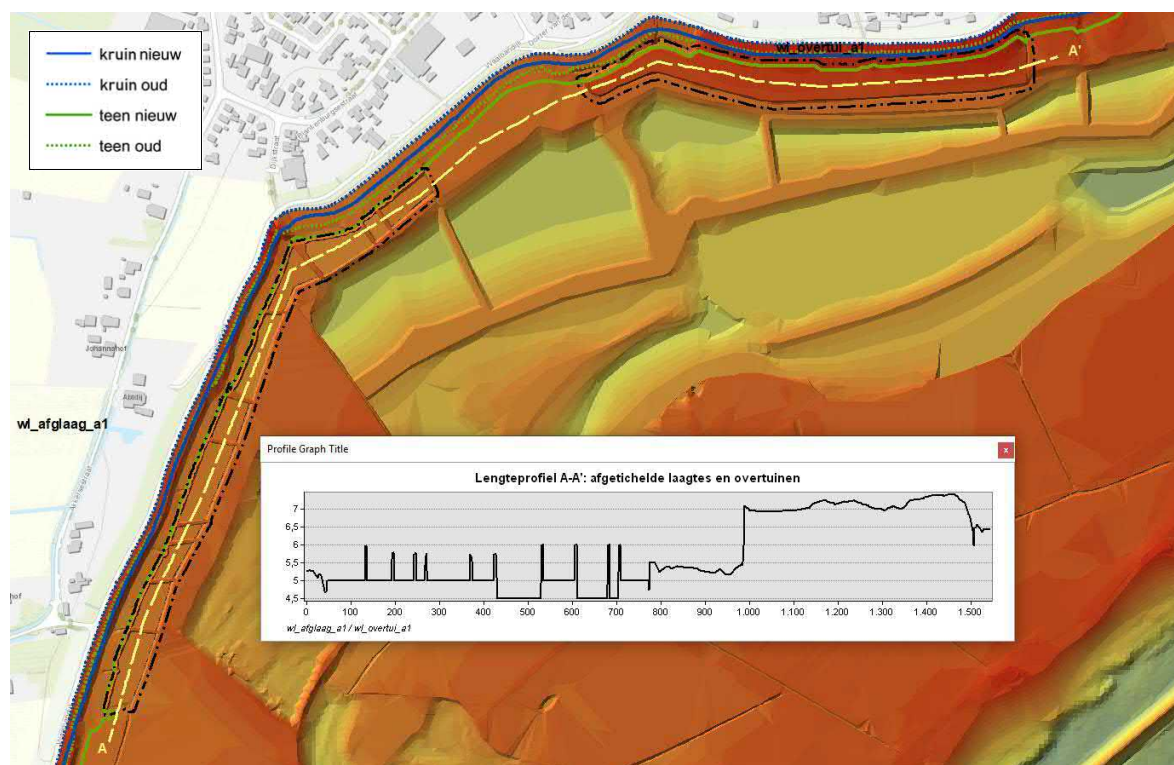
Figuur 14 Natuuraanleg ten behoeve van de kamsalamander: bodemhoogten



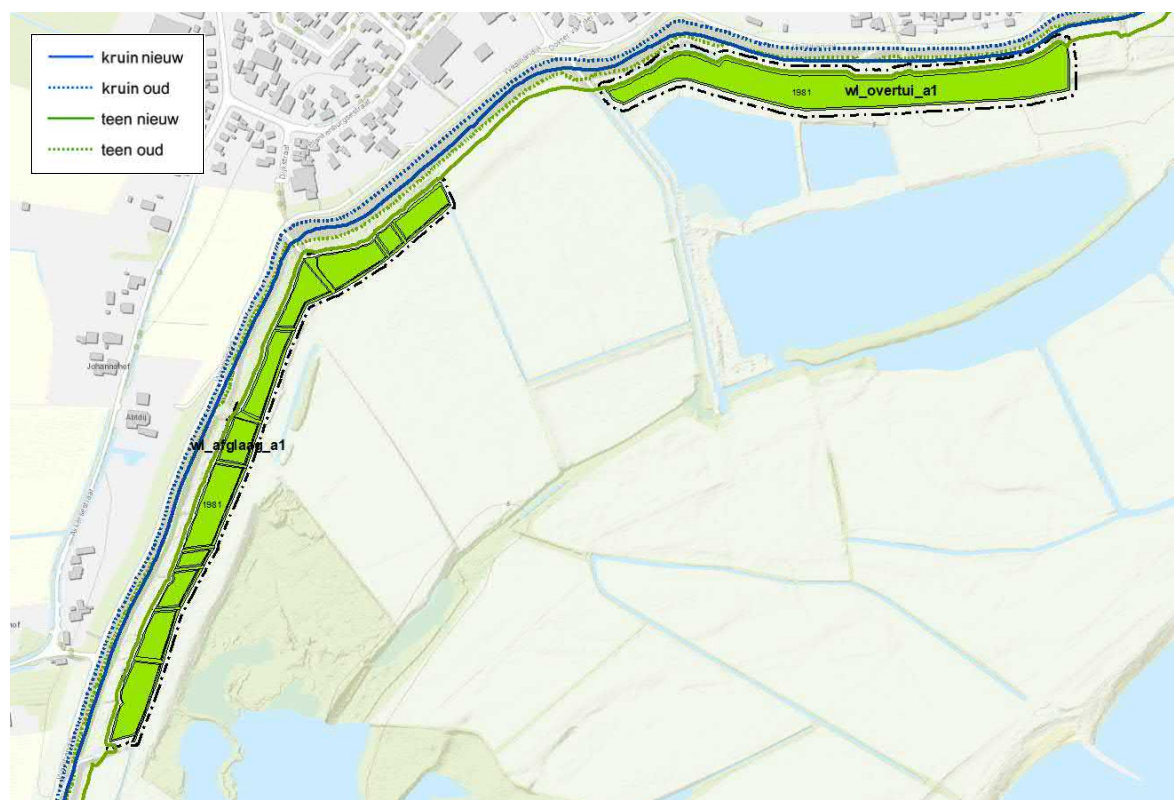
Figuur 15 Natuuraanleg ten behoeve van de kamsalamander: ruwheidscodes

5.2.4 Afgetichelde laagtes en overtuinen (Stiftsche uiterwaarden)

In de Stiftsche uiterwaarden bevinden zich twee natuurcompensatieprojecten bij Ophemert, waarbij grondaanvullingen plaatsvinden. Bij de afgetichelde laagtes is er sprake van aanvulling van gaten tot 5,0 resp. 4,5 m+NAP. Niet ver hiervandaan ligt het project Overtuinen, waarbij een grondaanvulling van ca. 2 m hoog vanuit de dijk plaatsvindt (Figuur 16). Voor beide locaties is uitsluitend de ecotopencode gras (1981) toegepast (Figuur 17). De ingrepen worden niet singulier doorgerekend, maar als onderdeel van het gehele pakket.



Figuur 16 Afgetichelde laagtes en overtuinen: bodemhoogten

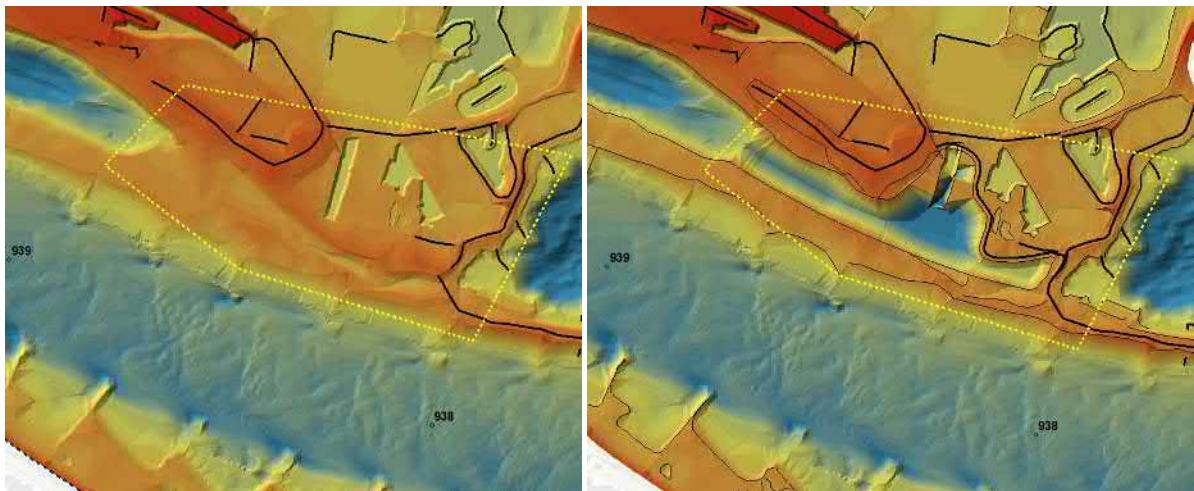


Figuur 17 Afgetichelde laagtes en overtuinen: ecotopencodes (uitsluitend gras: 1981)

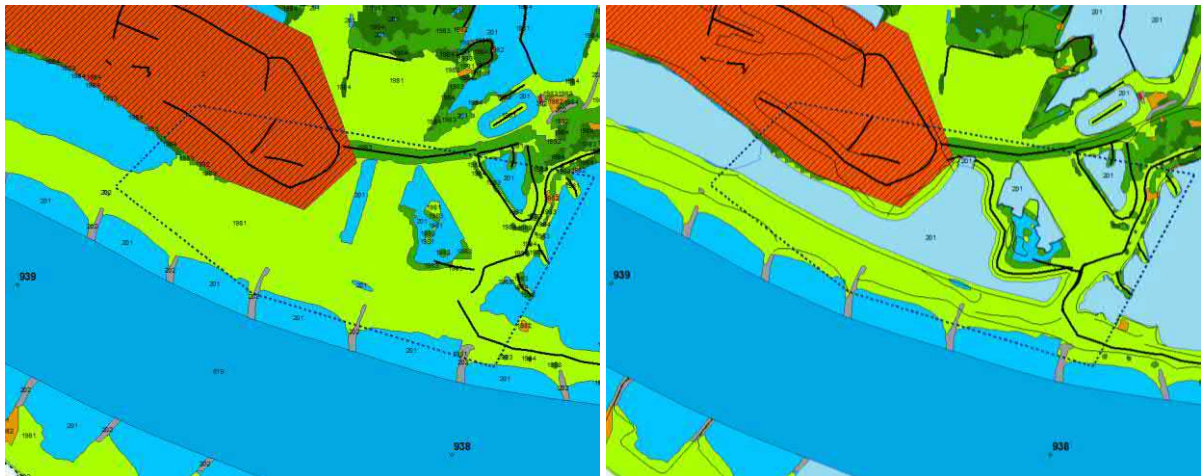
5.2.5 Rivierverruiming Crobsche Waard

Waterstandscompensatie wordt gezocht door een rivierverruiming in de Crobsche Waard (rkm 937,3 – 940,3), juist benedenstrooms van het dijkversterkingstraject Tiel-Waardenburg (zie Figuur 11). Het project is onderdeel van het integrale pakket Gorinchem-Waardenburg, bestaande uit dijkversterking en rivierverruiming. Het staat beschreven in een factsheet van Waterschap Rivierenland en Graaf Reinald Alliantie (WSRL, 2019), zie Bijlage 11. Het waterstandseffect van de Crobsche Waard is niet benodigd in het project Gorinchem-Waardenburg en kan dus aan het project Tiel-Waardenburg ter beschikking gesteld worden. De Crobsche Waard blijft onderdeel van het project Gorinchem-Waardenburg en is voor de overige criteria binnen dat project rivierkundig beoordeeld (Graaf Reinald Alliantie, 2020).

De Crobsche Waard is slecht doorstroombaar wegens een hoog gelegen (als hoogwatervrij beschouwde) rug. Door een bestaande geul te verlengen ontstaat extra afvoercapaciteit langs deze hoge rug. Figuur 18 laat de bodemhoogten voor en na de ingreep zien. Figuur 19 laat de ruwheidsvlakken zien en toont aan dat grasland door open water wordt vervangen.



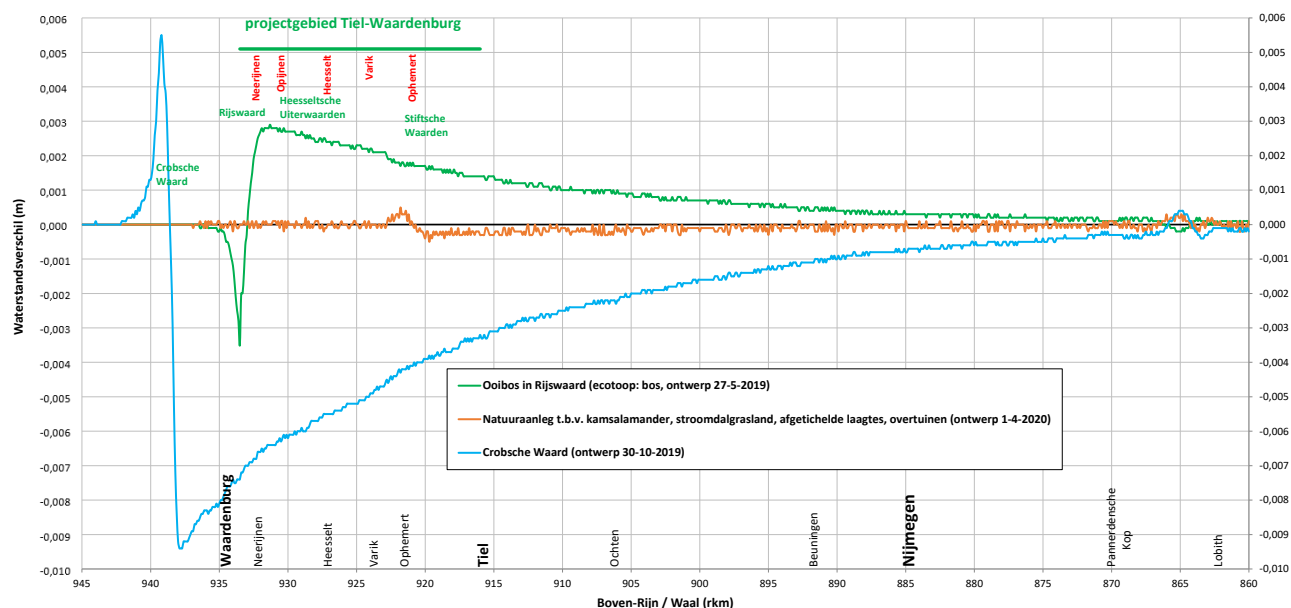
Figuur 18 Crobsche Waard: bodemhoogten (links: referentie, rechts: hoogwatergeul) en ingreep-contour (geel)



Figuur 19 Crobsche Waard: ruwheidsvlakken (links: referentie, rechts: hoogwatergeul) en ingreep-contour (geel)

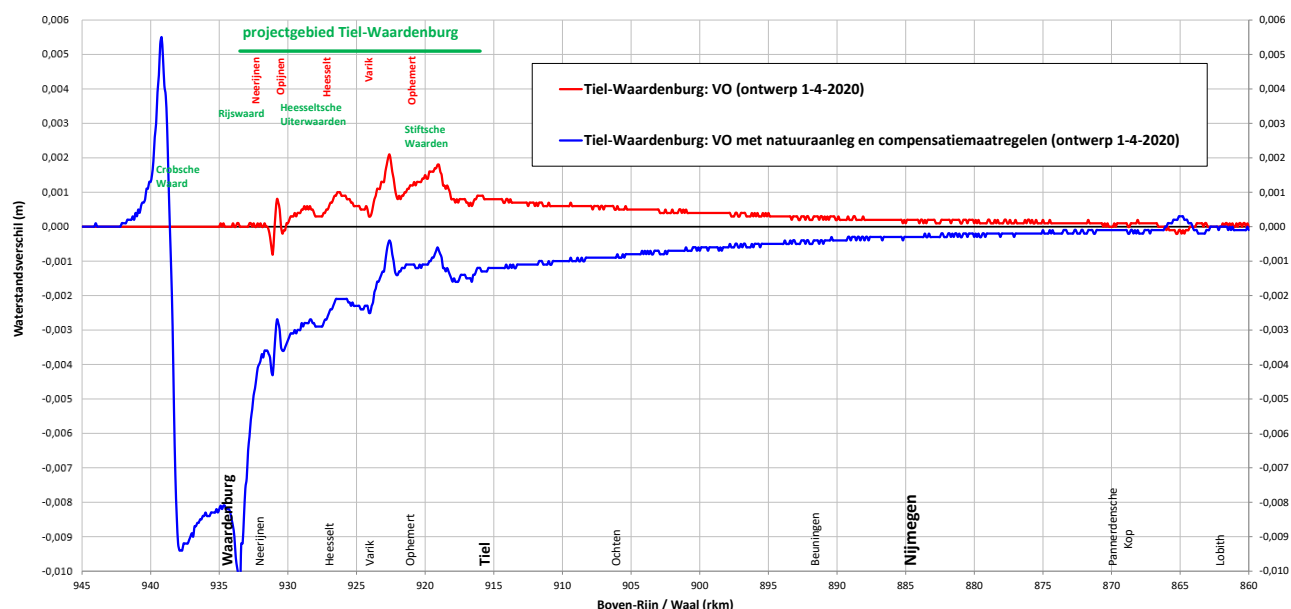
5.3 Singuliere en gecombineerde waterstandseffecten (16.000 m³/s)

Figuur 20 presenteert de zes beschreven ingrepen en hun effecten, voor zover beschikbaar. De waterstandslijnen van de Crobsche Waard en van het ooibos in de Rijswaard zijn een herhaling uit eerdere studies. De Crobsche Waard (paarse lijn) heeft een waterstandverlagend effect van maximaal 9 mm. Er is een benedenstrooms effect van 5 tot 6 mm. Van de overige vier projecten zijn de waterstandseffecten niet afzonderlijk inzichtelijk gemaakt, maar het gezamenlijke effect van deze vier maatregelen kan worden teruggerekend uit het totaaleffect (Figuur 21). De oranje lijn in Figuur 20 laat zien dat deze vier projecten samen hydraulisch vrijwel irrelevant zijn.



Figuur 20 Waterstandseffect van de natuuraanleg en compensatiemaatregelen in de rivieras (waarvan vier maatregelen samengevoegd)

Figuur 21 laat het gecombineerde effect van deze zes maatregelen in het VO van de dijkversterking zien (blauwe lijn). Deze lijn ligt in het projectgebied overal onder de nullijn, hetgeen betekent dat de Crobsche Waard voldoende compensatie voor de dijkversterking en het ooibos biedt. Wel is er een lokaal benedenstrooms effect van 5 tot 6 mm bij rkm 939, dat van de Crobsche Waard komt. Dit is niet ongebruikelijk voor rivierverruimingsprojecten en hierbij wordt opgemerkt dat er een grotere cumulatieve waterstandsvaling tegenover staat.

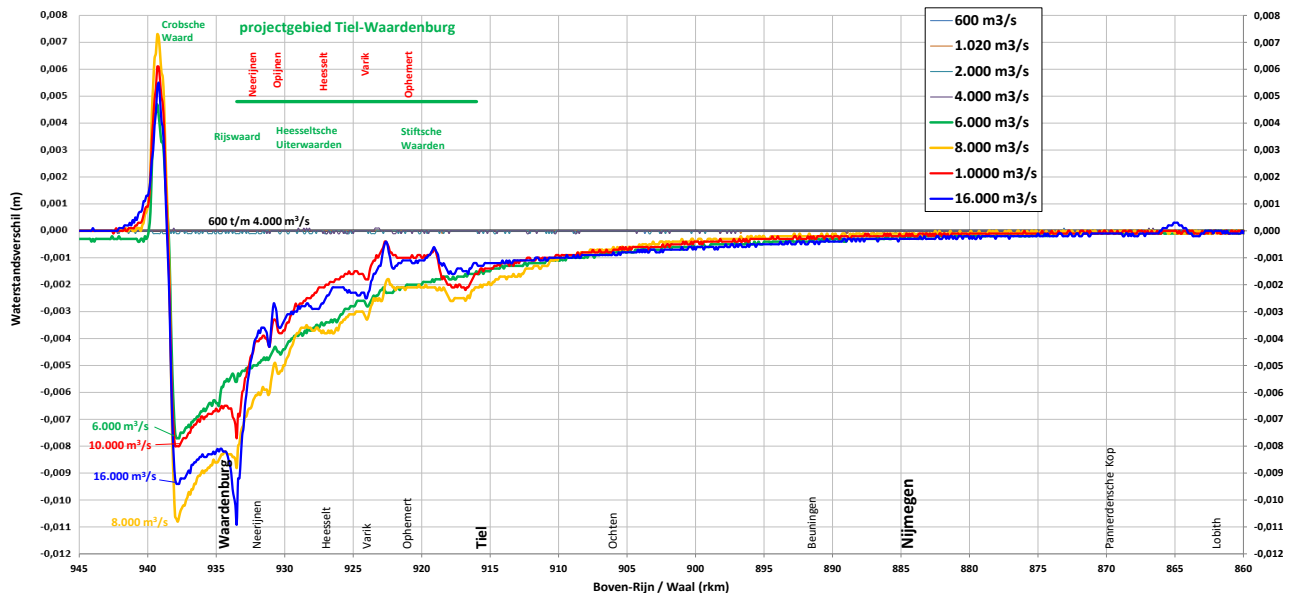


Figuur 21 Waterstandseffect in de rivieras: VO Dijkversterking Tiel Waardenburg zonder en met natuuraanleg en compensatiemaatregelen (Crobsche Waard, ooibos in Rijswaard, natuur t.b.v. de kamsalamander, stroomdalgrasland, afgetichelde laagtes en overtuinen)

Bijlage 6 toont het waterstandseffect ruimtelijk, waarbij Bijlage 6-1 overeenkomt met de rode lijn in Figuur 21. Bijlage 6-2 komt overeen met de blauwe lijn. Bijlage 7 laat de stroomsnelheidseffecten zien. Er zijn geen grote verschillen tussen de resultaten zonder resp. met het maatregelenpakket (Bijlage 7-1 resp. Bijlage 7-2).

5.4 Waterstandseffecten voor het gehele afvoerbereik

Bij een achttal afvoerniveaus zijn waterstandssimulaties van de referentiesituatie en de eindsituatie (VO inclusief natuuraanleg en compensatiemaatregelen uitgevoerd. Figuur 22 laat het waterstandsverschil zien, waaruit de waterstandseffecten van de ingrepen blijken. Uit de grafiek volgt dat er tot en met 4.000 m³/s (te Lobith) geen waterstandseffecten te bespeuren zijn. Dit is eenvoudig te verklaren uit het feit dat bij de hierbij optredende waterstanden de ingreeplocaties nog niet bereikt worden. Bij 6.000 m³/s en hoger zijn er wel effecten, voornamelijk omdat de Crobtsche Waard als belangrijkste compensatiemaatregel vanaf dit niveau begint mee te stromen.



Figuur 22 Waterstandseffect in de rivieras: VO Dijkversterking Tiel Waardenburg met natuuraanleg en compensatiemaatregelen (Crobtsche Waard, aanleg natuur in Rijswaard en Heeselsche Uiterwaarden, aanleg stroomdalgrasland, afgetichelde laagtes en overtuinen) bij acht afvoerniveaus

5.5 Afvoerdeling Pannerdse Kop

Het waterstandseffect van de dijkversterking ligt met natuuraanleg en compensatiemaatregelen aan de onderzijde van de nullijn, maar is in de Pannerdse Kop eveneens geheel uitgewerkt. Hierdoor is er geen invloed op de afvoerdeling te verwachten.³

5.6 Effecten op stroomsnelheden

De effecten op de stroomsnelheden (Bijlage 7-2 tot en met Bijlage 7-5) bevinden zich tussen -0,01 en 0,01 m/s, met uitzondering van de Waal bij de Rijswaard, waar de Crobtsche Waard⁸ bij 16.000 m³/s een effect tussen 0,01 en 0,02 m/s tot gevolg heeft. In het zomerbed zijn de eerste effecten pas vanaf 6.000 m³/s te Lobith (Bijlage 7-3) te zien en die zijn het gevolg van de Crobtsche Waard en bevinden zich benedenstrooms van rkm 930. Bij 10.000 m³/s te Lobith (Bijlage 7-4) is er een geringe stroomsnelheidsverlaging bij rkm 919 ten gevolge van een gestroomlijnde afrit.

Het beeld bij het hoogste afvoerniveau (16.000 m³/s te Lobith) in Bijlage 7-5 is nauwelijks anders dan in Bijlage 7-1 (VO zonder natuuraanleg en compensatiemaatregelen), waaruit geconcludeerd kan worden dat de natuur- en compensatiemaatregelen de stroomsnelheden in het zomerbed binnen een bereik van ca. -0,01 tot 0,01 m/s beïnvloeden. Een grotere zichtbare invloed komt van de Crobtsche Waard (tot +0,02 m/s), maar die invloed valt buiten de beoordeling.⁸

5.7 Effecten op dwarsstroming m.b.t. de scheepvaart

Een belangrijk criterium van het Rivierkundig Beoordelingskader is het effect dat een ingreep kan hebben op stroomsnelheden dwars op de vaarrichting. Hiervoor geldt een RBK-criterium van 0,15 m/s bij afvoeren boven 50 m³/s op de rand van de vaarweg. Bij lagere afvoeren is er sprake van een puntbelasting en is een stroomsnelheid van 0,30 m/s dwars op de vaarrichting acceptabel. Bijlage 8 laat voor het gehele afvoerspectrum de dwars-component van de stroomsnelheid in de rechter (noordelijke) normaallijn van de Waal zien.

Op veel locaties wordt al in de referentiesituatie niet aan het criterium van 0,15 m/s voldaan. We zien hier dat dwarsstroming niet specifiek aan hoge rivierafvoeren gerelateerd is. Wel is het beeld bij hoge rivierafvoeren duidelijker te relateren aan meestromende uiterwaarden.

Voor alle afvoerniveaus geldt dat de lijn van het VO inclusief natuuraanleg en compensatiemaatregelen in de grafiek op het oog niet van die van de referentiesituatie te onderscheiden zijn. De effecten (verschillen tussen het VO en de referentie) staan in de grafiek additioneel weergegeven en liggen bij de Rijnafoeren tot 10.000 m³/s (te Lobith) rond de nul met uitschieters tussen -18 en +10 mm/s. Een effect kan een verslechtering of een verbetering zijn.

In de grafieken van Bijlage 8 zijn met groene ruitjes en rode vierkantjes de volgende locaties gemarkeerd:

- Verslechtering: de dwarsstroming overschrijdt in de referentiesituatie al het criterium van 0,15 m/s en het effect van de ingreep maakt de dwarsstroming in dezelfde richting groter, of het effect leidt tot een overschrijding (rood vierkantje).
- Verbetering: de dwarsstroming overschrijdt in de referentiesituatie al het criterium van 0,15 m/s, maar het effect van de ingreep is tegengesteld gericht dus dit maakt de dwarsstroming kleiner (groen ruitje).

Deze locaties zijn vervolgens geïnventariseerd en in de grafieken omcirkeld (rood = verslechtering, groen = verbetering). Per afvoerniveau is een selectie gemaakt van alle locaties (met stappen van een rekencellengte van ca. 20 m) die een overschrijding hebben (of krijgen). Vervolgens is over de gehele trajectlengte bepaald hoe groot de maximale verslechtering en hoe groot de maximale verbetering door de ingreep is. De tabel aan het einde van Bijlage 8 geeft hiervan het resultaat. Tabel 2 geeft per afvoerniveau een samenvatting van de locaties met de grootste verslechtering en de grootste verbetering. Hierbij zijn bovendien alle verslechtingen en verbeteringen over de trajectlengte gesommeerd en gesaldeerd. Het resultaat van deze getallen (in m²/s) kan worden gezien als toename (bij verslechtering) of afname (bij verbetering) van het laterale debiet (per eenheid van diepte) van alle overschrijdingen bij elkaar, ongeacht of de stroming landinwaarts of rivierwaarts gericht is. We zien dat bij 4.000 en 6.000 m³/s (te Lobith) de verslechtingen prevaleren. Vanaf 8.000 m³/s worden de verbeteringen dominant, deze zijn groter dan de verslechtingen bij de lagere debieten. De effecten bij 16.000 m³/s zijn volledigheidshalve in de tabel weergegeven, maar zijn formeel geen onderdeel van de RBK-beoordeling.

Tabel 2 Samenvatting van de effecten op de dwarsstroming (bij overschrijding criterium 0,15 m/s)

Afvoer te Lobith		2.000	4.000	6.000	8.000	10.000	16.000 ⁴	m ³ /s
slechter 	locatie	-	927,910	931,060	922,770	922,770	922,770	rkm
	dwarsstroming (ref) ⁵	-	0,165	-0,153	-0,276	-0,321	-0,370	m/s
	max. verslechtering ⁵	-	0,004	-0,004	-0,011	-0,004	-0,006	m/s
beter 	locatie	928,970	-	930,620	930,620	930,620	933,740	rkm
	dwarsstroming (ref) ⁵	-0,310	-	-0,190	-0,229	-0,225	-0,307	m/s
	max. verbetering ⁵	0,001	-	0,004	0,008	0,010	0,010	m/s
SALDO ($\sum beter - \sum slechter $) ⁶		0,012	-0,088	-0,117	0,616	0,915	1,771	m ² /s

De saldering⁶ geeft inzicht of er meer plekken met een verbetering of met een verslechtering zijn, en wordt bepaald uit de vergelijking:

$$\int |\Delta u_{dwars}| \cdot dx \text{ voor die plekken waar } |u_{dwars}| > 0,15 \text{ m}$$

Deze term is eerst bepaald voor alle plekken die we een verbetering vinden, ofwel $|u_{dwars}|$ gaat omlaag. Vervolgens is de term bepaald voor alle plekken die we een verslechtering vinden, ofwel $|u_{dwars}|$ gaat omhoog. De tabel presenteert de verbeteringen minus de verslechtingen, waardoor een netto-effect resulteert. De voorwaarde $|u_{dwars}| > 0,15 \text{ m}$ betekent dat we geen onderscheid maken tussen rivierwaarts en landinwaarts gerichte stroming. Beide overschrijdingen beoordelen we even ernstig. De eenheid (m²/s) is te interpreteren als lengte waarover de toelaatbare dwarsstroming van 0,15 m/s overschreden wordt, vermenigvuldigd met deze overschrijding.

⁴ Dit afvoerniveau ligt buiten het bereik van 2.000 – 10.000 m³/s en weegt niet mee in de RBK-beoordeling, maar is ter illustratie weergegeven.

⁵ Let op: positief = noordwaarts = landinwaarts, negatief = zuidwaarts = rivierwaarts.

⁶ Geen RBK-criterium, maar ter illustratie weergegeven (positief = netto verbetering, negatief = netto verslechtering).

Er is niet gekeken naar de effecten op dwarsstroming bij de Crobsche Waard (buiten het projectgebied). Zoals gesteld in paragraaf 5.2.5 heeft de rivierkundige beoordeling van de locatie Crobsche Waard voor het criterium van dwarsstroming in het kader van het project Gorinchem-Waardenburg (GoWa) al plaatsgevonden (Graaf Reinald Alliantie, 2020).

5.8 Effecten op morfologie

Bijlage 9.1 presenteert een schatting van de verwachte morfologische effecten met behulp van het Simona-hulpprogramma WaqMorf. Het gaat hierbij om het effect van de bodemveranderingen op de beschikbare waterdiepte. Hiertoe is een nieuw model samengesteld, waar de Crobsche Waard geen deel van uitmaakt (tiwa-9_a3: zie Bijlage 2). Vervolgens is een nieuwe modelsimulatie uitgevoerd. De invoer- en uitvoerbestanden van de WaqMorf-sessie zijn weergegeven op de pagina's Bijlage 9-5 tot en met Bijlage 9-8. De WaqMorf-programmatuur vraagt de gebruiker om het eerste afvoerniveau waarbij hydraulische effecten in het zomerbed optreden. Hier is de waarde van 6.000 m³/s (te Lobith) ingevoerd. Ter onderbouwing: Bijlage 7-2 laat de stroomsnelheidseffecten bij dit afvoerniveau zien. Hier zijn op enkele plekken stroomsnelheidsverschillen van minder dan 4 mm/s in het zomerbed (rkm 924 en rkm 925-927, verder stroomafwaarts zijn er effecten van de Crobsche Waard, die geen beoordeling behoeven). De WaqMorf-programmatuur kiest hierop het eerstvolgende afvoerniveau waarvoor resultaten beschikbaar zijn. Dat is 8.000 m³/s (te Lobith). De WaqMorf-resultaten zijn op dit afvoerniveau gebaseerd.

Bijlage 9 presenteert bodemveranderingen met een weergavedrempel van -1 en +1 mm, te beginnen met een jaargemiddeld effect (pagina Bijlage 9-1). In het zomerbed van het projectgebied liggen de geschatte effecten tussen -4 en +3 mm. Bij rkm 919 is er een bodemverhoging tot maximaal 3 mm, die naar ons oordeel verband houdt met een stroomlijning van een afrit op de uiterwaard, waardoor de uiterwaard beter doorstroomd raakt. Een vergelijkbaar geval ligt tussen rkm 922 en 923). Verder zien we fluctuaties tussen maximaal -2 en +2 mm, die met de profilering van het dijklichaam te maken hebben.

Vervolgens wordt een effect gepresenteerd (pagina Bijlage 9-2) dat verwacht mag worden na een lange periode van rust (minmorf: periode van lage rivierafvoer). Vrijwel alle effecten zijn uit het zomerbed verdwenen, hetgeen betekent dat deze tot tussen -1 en +1 mm zijn teruggebracht. Bij rkm 919 en 922,5 zijn restjes van effecten tussen +1 en 2 mm te zien. Bij rkm 930 en 931 zijn er erosievlekken (-2 tot -1 mm).

De derde plot (pagina Bijlage 9-3) laat een effect zien, dat verwacht mag worden na een hoogwaterperiode. De extremen zijn nauwelijks groter dan jaargemiddeld (tussen -5 en +4 mm), echter wel met een grotere ruimtelijke dekking. Dit resultaat geldt als bovengrens van de bodemveranderingen die verwacht kunnen worden en geleidelijk weer terugvallen op het resultaat van Bijlage 9-2 (laagwaterblok), met als jaargemiddelde bodemverandering het resultaat van Bijlage 9-1 (jaargemiddeld).

Hierop volgt in Bijlage 9.2 een uitgebreidere GIS-analyse waarin deze morfologische effecten worden geconfronteerd met bestaande waterdieptebestanden van de Rijntakken. Dit zowel in de vorm van een bodemraster (1 x 1 m²) als in de vorm van hectometervakken (150 x 100 m²). Het blijkt dat de locaties van sedimentatie (hoe gering ook) soms weliswaar samenvallen met de locaties van de waterdieptetekorten, maar het omgekeerde gebeurt ook. Er zijn dus ook locaties met bodemerosie in zones van waterdieptetekorten. De totale oppervlakte aan vaarweg met een waterdieptetekort is echter toegenomen met 2.690 m² (toename van 2,4%). Dit geldt ook voor het totale volume van te baggeren materiaal binnen de zones met waterdieptetekorten (toename van 77 m³, ofwel 0,24%).

Tabel 3 Volume, oppervlak en hoogte binnen de zones met een waterdieptetekort

Geometrie ⁷	volume (m ³)	oppervlakte (m ²)	gemiddeld tekort (m)
Referentiesituatie	32.192	112.126	0,287
VO (tiwa-9_a3)	32.269	114.816	0,281
Verschil (VO – ref)	77	2.690	-0,006
relatief verschil	0,24%	2,4%	-2,1%

⁷ De getallen bestrijken het gehele modelbereik, echter allen tussen rkm 910 en 935 zijn er resultaten te zien.

Wij kunnen op basis van de analyse stellen dat er beperkte nadelige morfologische effecten zijn als gevolg van de in dit verslag gepresenteerde maatregelen, in de vorm van een netto sedimentatie van 450 m^3 in de vaarweg waarvan 77 m^3 in zones met een waterdieptetekort. Wij merken hierbij op dat bij rkm 919 sprake is van een waterdieptetekort (1 tot 2 mm sedimentatie) en een niet-baggerlocatie (1 mm sedimentatie bij rkm 919,3). Dit is een bekend knelpunt is, waar Rijkswaterstaat de vaarweg met maatregelen zou kunnen verbeteren. Te denken valt aan een vaste laag in de buitenbocht.

Zoals gesteld in paragraaf 5.2.5 heeft de rivierkundige beoordeling van de locatie Crobsche Waard voor het criterium van morfologie in het kader van het project Gorinchem-Waardenburg al plaatsgevonden (Graaf Reinald Alliantie, 2020). Om deze reden is deze maatregel buiten de morfologische analyse gehouden.

6 Rivierkundig Beoordelingskader

Teneinde de resultaten volgens de methodiek van Rijkswaterstaat te beoordelen, zijn onderstaand de modelresultaten van het VO Dijkversterking Tiel-Waardenburg inclusief natuuraanleg en compensatiemaatregelen⁸ nog eens toegelicht aan de hand van de punten van het Rivierkundig Beoordelingskader (Bijlage 1).

Hoogwaterveiligheid:

- 1.1: Er is bij een hoogwater van 16.000 m³/s te Lobith een waterstandsverlaging van maximaal 10 mm tussen Neerijnen en Waardenburg (zie Figuur 20 en Bijlage 6-2). In combinatie met het oobos in de Rijswaard en de rivierverruiming in de Crobsche waard is er een waterstandsval over het gehele projectgebied. In deze gezamenlijke beoordeling merken wij het lokale benedenstroomse effect van de Crobsche Waard ter grootte van bijna 6 mm op.
- 1.2: Bij de waterkeringen is de waterstandsverandering vrijwel gelijk aan die in de rivieras (zie Bijlage 6). Er zijn geen grote uitschieters. Er is geen 2D-beoordeling van het effect van de Crobsche Waard gedaan⁸.

Hinder of schade:

- 2.1: De inundatiefrequentie van de uiterwaard wordt niet beïnvloed.
- 2.2: Het grootschalig stroombeeld verandert niet, de stroomsnelheden veranderen bij geen enkel afvoerniveau meer dan 0,01 m/s in het zomerbed (Bijlage 7-2), met uitzondering van de Waal bij de Rijswaard, waar de Crobsche Waard bij 16.000 m³/s een effect tussen 0,01 en 0,02 m/s tot gevolg heeft.⁸
- 2.3: De effecten ten aanzien van dwarsstroming voor de scheepvaart beperken zich doorgaans tot enkele millimeters per seconde met uitschieters tussen -18 en +10 mm/s bij 10.000 m³/s (paragraaf 5.7). De effecten zijn per afvoerniveau geanalyseerd voor de locaties waar sprake is van een overschrijding (RBK-criterium 0,15 m/s). Bij alle afvoerniveaus kan er sprake zijn van lokale verbeteringen en verslechteringen, zoals weergegeven in de tabel van Bijlage 8 en samengevat in Tabel 2. Deze analyse heeft niet voor de Crobsche Waard plaatsgevonden, omdat deze locatie in het kader van het project Gorinchem-Waardenburg (GoWa) wordt beoordeeld.
- 2.4: Het waterstandseffect bij 10.000 m³/s (Lobith) en hoger is te gering om de afvoerverdeling bij de Pannerdse Kop te beïnvloeden (paragraaf 4.2). Deze beoordeling geldt zowel voor het VO als voor het totaal van de gepresenteerde maatregelen.
- 2.5: Bij de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA: 1.020 m³/s) is er in het geheel geen effect omdat de ingrepen aan de dijken niet van invloed kunnen zijn.
- 2.8: Bij lage en mediane rivierafvoeren is er in het geheel geen effect.

Morfologie:

- 3.1: Een kwantitatieve toetsing aan morfologische effecten heeft voor het maatregelenpakket (VO inclusief natuuraanleg en compensatiemaatregelen⁸) op basis van stroomsnelheidsveranderingen bij het meest representatieve afvoerniveau (8.000 m³/s te Lobith) plaatsgevonden, op basis van geconstateerde beginnende stroomsnelheidseffecten in het zomerbed bij 6.000 m³/s. Hieruit wordt geconcludeerd, dat er beperkte nadelige morfologische effecten als gevolg van de voorgestelde ingrepen te verwachten zijn (paragraaf 5.8). Er is een netto sedimentatie. Er is ook sedimentatie op diverse locaties met een waterdieptetekort (1 tot 2 mm) en op een niet-baggerlocatie bij rkm 919,3 (1 mm). De totale oppervlakte van de zones met een waterdieptetekort neemt toe, evenals het volume dat hiermee gemoeid is, zie Tabel 3.
- 3.2: Er is geen morfologisch effect in de uiterwaard te verwachten (paragraaf 4.5). Deze beoordeling geldt zowel voor het VO als voor het totaal van de gepresenteerde maatregelen⁸.

Grondwatereffecten vormen geen onderdeel van het Rivierkundig Beoordelingskader, noch van deze onderzoeksopdracht.

⁸ De Crobsche Waard valt binnen het maatregelenpakket van Gorinchem-Waardenburg (GoWa) en is dan ook binnen dat kader op alle aspecten rivierkundig beoordeeld. Binnen het project Tiel-Waardenburg (TiWa) maken we alleen gebruik van het waterstandverlagende effect van deze ingreep bij hoogwater, omdat dit effect binnen GoWa overvloedig is.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Op basis van de gepresenteerde analyse trekken we de volgende conclusies:

- Er is bij een hoogwater van 16.000 m³/s te Lobith een waterstandsverlaging van maximaal 2 mm tussen Waardenburg en Neerijnen.
- Voor het gehele pakket, bestaande uit de dijkversterking met aanleg van het ooibos in de Rijswaard, het stroomdalgrasland, het natuurproject voor de kamsalamander, de afgetichelde laagtes, de overtuinen en de rivierverruiming in de Crobsche waard is er een waterstandsval over het gehele projectgebied. In deze gezamenlijke beoordeling merken wij het lokale benedenstroomse effect van de Crobsche Waard ter grootte van bijna 6 mm waterstandstoename (bij 16.000 m³/s te Lobith) op. Hieruit concluderen wij dat de Crobsche Waard voldoende waterstandscompensatie biedt voor zowel het VO Dijkversterking Tiel-Waardenburg als het ooibos in de Rijswaard.
- Uit de effecten van de ingreep op dwarsstroming kan er bij alle afvoerniveaus sprake zijn van lokale verbeteringen (afname dwarsstroming met maximaal 0,10 m/s) en verslechtingen (toename dwarsstroming met maximaal 0,11 m/s te Lobith), zoals weergegeven in de tabel van Bijlage 8 en samengevat in Tabel 2. Per saldo is er meer verbetering dan verslechting bij het laagste en het hoogste beschouwde afvoerniveau (2.000 resp. 10.000 m³/s) en meer verslechting dan verbetering bij de tussenliggende afvoerniveaus (4.000, 6.000 en 8.000 m³/s te Lobith) Deze beoordeling geldt voor het totaalpakket van de gepresenteerde maatregelen exclusief de Crobsche Waard⁸.
- Ten aanzien van morfologie (met betrekking tot de vaarwegdiepte) gelden de volgende conclusies:
 - De met behulp van WaqMorf geschatte bodemeffecten liggen tussen -4 mm (erosie) en +3 mm (sedimentatie).
 - Er is (op basis van de rastercellen van 1x1 m²)⁹ in totaal een jaargemiddelde sedimentatie van 1094 m³ en tegelijk een jaargemiddelde erosie van 645 m³ geprognoseerd, resulterend in een netto jaargemiddelde sedimentatie van 450 m³.
 - Uitgedrukt in oppervlakte van de vaarweg waarover zich een waterdieptekort bevindt, is er een netto toename van het areaal aan waterdieptetekort in de vaargeul waargenomen (2.690 m²). De toename van het volume boven dit criterium bedraagt 77 m³.
 - Er is een niet-baggerlocatie (nummer 2), waar 1 mm sedimentatie gesignaleerd is in een zone die een waterdieptetekort heeft.
 - Er zijn vier zones van bijzonder vaarwegbeheer waar 1 mm sedimentatie plaatsvindt. In drie ervan (zones 4, 8 en 10) bevindt zich een waterdieptetekort. Het betreft locaties die al in de analyse van de morfologische effecten in de vaargeul gesignaleerd zijn en afgewogen tegen andere locaties waar verbetering optreedt.

Deze beoordeling geldt voor het totaalpakket van de gepresenteerde maatregelen exclusief de Crobsche Waard⁸. In deze analyse wordt gekeken naar morfologische effecten op het niveau van millimeters. De berekende effecten zijn kwalitatief goed te verklaren uit de ingrepen in het gebied. Kwantitatief komen de effecten dicht bij de grenzen van wat nog berekend kan worden met de gebruikte programmatuur. Het is de hoe dan ook vraag of met deze mate van nauwkeurigheid morfologische effecten bepaald kunnen worden. Daarom zou ook de conclusie kunnen luiden dat er geen significante morfologische effecten zijn.

7.2 Aanbevelingen

Op basis van de gepresenteerde analyse doen we de volgende aanbevelingen:

- Wij bevelen aan de gepresenteerde maatregelen als totaalpakket door de rivierbeheer (Rijkswaterstaat Oost-Nederland) te laten beoordelen in het kader van het Projectplan Waterwet (PPWW).
- De nadelige morfologische effecten zijn niettemin een aandachtspunt. Wij merken hierbij op dat bij rkm 919 sprake is van een waterdieptetekort (1 tot 2 mm sedimentatie) en een niet-baggerlocatie (1 mm sedimentatie bij rkm 919,3). Dit is bij de rivierbeheerder een bekend knelpunt, waar Rijkswaterstaat de vaarweg met maatregelen zou kunnen verbeteren. Te denken valt aan een vaste laag in de buitenbocht.
- De proportionaliteit van de beschreven effecten dient bij de beoordeling in relatie tot het doel van de dijkversterking in ogenschouw genomen te worden.

⁹ De WaqMorf-uitvoer vermeldt het getal 467 m³ op basis van de WAQUA-rekencellen van ca. 10 x 20 m².

8 Referenties

Graaf Reinald Alliantie, 2020: Ontwerp Projectplan Waterwet, Herinrichting uiterwaarden, Crobsche Waard, definitief: 27-03-2020, <https://terinzage.gralliantie.nl/projectplan-waterwet/6-herinrichting-uitawaarden/62-crobsche-waard/624-effectbeoordeling/effeten-op-de-rivier>

Meijer D.G., 2017: MIRT-verkenning 'Dijkversterking Tiel-Waardenburg en rivierverruiming Varik-Heesselt', MER-achtergrondrapport Rivierkunde, Opdrachtgever: Waterschap Rivierenland / provincie Gelderland (in onderaanneming van Sweco Nederland BV), 30 oktober 2017, projectcode 062.01/03/08, project 353939, RiQuest / Agtersloot Hydraulisch Advies / GeoSpace

Meijer D.G., 2019a: Hydraulisch effect van aanleg oobos in Rijswaard, opdrachtgever: Waterschap Rivierenland (in onderaanneming van Sweco Nederland BV), 27 mei 2019, projectcode 062.12, RiQuest

Meijer D.G., 2019b: Tiel-Waardenburg: Tiel-Waardenburg: hydraulisch effect van dijkversterking volgens het concept-vergunningenontwerp (CVO), Hydraulische effectbeschrijving, opdrachtgever: Waterschap Rivierenland (in onderaanneming van Sweco Nederland BV), 5 november 2019, projectcode 062.13 - project 353939/4004.2 (zaaknummer 500532 – CW35), RiQuest / Agtersloot Hydraulisch Advies / GeoSpace

Meijer D.G., 2020: Hydraulisch effect van natuurinrichting Heesseltsche uiterwaarden, opdrachtgever: Waterschap Rivierenland (in onderaanneming van Sweco Nederland BV), 16 maart 2020, projectcode 062.14 - project 353939/4004.2 (zaaknummer 500532 – CW35), RiQuest / Agtersloot Hydraulisch Advies / GeoSpace

WSRL, 2019: Crobsche Bovenwaard, inrichting uiterwaard 19 juni 2019, Waterschap Rivierenland en Graaf Reinald Alliantie

Rijkswaterstaat, 2017: Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren, versie 4.0, 23 januari 2017, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

Schropp M., 2018: Schematisering van rivierwaartse dijkversterking, 24 september 2018, Rijkswaterstaat WVL / Rijkswaterstaat Oost-Nederland

Sweco, 2020: toelevering Autocad-bestand (2020-03-27 - VergunningenOntwerp_TiWa_BU_Kniklijnen-R2000.dwg) ten behoeve van het vervaardigen van ontwerpen met behulp van Baseline, 27 maart 2020

Bijlage 1 Criteria van het Rivierkundig Beoordelingskader 4.0 (RWS, 2017)

Bron: Rijkswaterstaat, 2017 (pagina's 11 en 12)

Tabel 4. Rivierkundige beoordelingsaspecten en -criteria in de Rijntakken

	§	Rivierkundig beoordelings-aspect	Beoordelingscriterium	Toe-lichting	Beoorde-laar
Hoogwaterveiligheid	1.1	Maatregel in stroomvoerend deel rivier: Maatgevende Hoogwaterstand (MHW) op de as van de rivier	Stroomvoerend: geen waterstandverhoging ^{a)} op de as van de rivier bij een Boven-Rijn afvoer van bij 16.000 m ³ /s. Voor overgangsgebieden gelden andere maatgevende condities	1.1 R1+R2 R3+R10	RWS-ON
		Maatregel in bergend deel rivier: Volume waterberging	Bergend: geen vermindering bergend volume	1.1	
	1.2	Maatgevende Hoogwaterstand (MHW) buiten de as van de rivier	Geen waterstandverhoging langs de primaire kering of hoge grondenlijn bij een Boven-Rijn afvoer van 16.000 m ³ /s. Voor overgangsgebieden gelden andere maatgevende condities	1.2 R1+R2 R3+R10	RWS-ON (in overleg met de waterkering-beheerder)
	1.3	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselkop bij maatgevende Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij de splitsingspunten dient kleiner te zijn dan 5 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 16.000 m ³ /s	1.3 R3+R4	RWS-ON
	1.4	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselkop bij hoge Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij de splitsingspunten dient kleiner te zijn dan 20 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	1.4 R3+R4	RWS-ON
	1.5	IJsafvoer	Een goede geleiding van water en ijs dient gewaarborgd te blijven	1.5	RWS-ON
Hinder of schade door hydraulische effecten	2.1	Inundatiefrequentie van de uiterwaard	De mate van verandering van de inundatiefrequentie van een of meerdere uiterwaarden. Kies daarvoor een of meerdere afvoeren die dit aspect inzichtelijk maken ^{b)} .	2.1 R5	RWS-ON (eventueel in overleg met de terrein-eigenaren)
	2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	De mate van verandering van de grootte en richting stroomsnelheden in een of meerdere uiterwaarden bij de voor de lokale situatie representatieve omstandigheden.	2.2 R5	RWS-ON (eventueel in overleg met de terrein-eigenaren)
	2.3	Stroombeeld in vaarweg	De ingreep mag niet resulteren in een absolute dwarsstroming in de vaarweg groter dan 0,3 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een debiet kleiner dan 50 m ³ /s; De ingreep mag niet resulteren in een absolute dwarsstroming in de vaarweg groter dan 0,15 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een debiet groter dan 50 m ³ /s. Of het moet aantoonbaar zijn dat de toename padbreedte schip t.g.v. dwarsstroom kleiner is dan ½B; Bij hoge tot extreme Boven-Rijn afvoeren is dit beoordelingscriterium niet van toepassing.	2.3 R6	RWS-ON
	2.4	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselkop bij hoge Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s. Voor dit aspect is er geen beoordelingscriterium.	2.4 R7	RWS-ON
	2.5	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselkop bij een lage Boven-Rijn afvoeren	Verandering afvoerverdeling mag niet groter zijn dan 1 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m ³ /s (OLA) ^{c)}	2.5 R8	RWS-ON
	2.8	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	2.8	RWS-ON

Tabel 4. Rivierkundige beoordelingsaspecten en -criteria in de Rijntakken (vervolg)

	§	Rivierkundig beoordelings-aspect	Beoordelingscriterium	Toe-lichting	Beoorde-laar
Morfologische effecten	3.1	Sedimentatie en erosie van het zomerbed (+ oevers) 1. door ingrepen zomerbed 2. door ingrepen winterbed	Bij erosie: -geen verlaging gemiddelde bodemligging zomerbed ^{d)} ; -geen erosie van het zomerbed in de directe nabijheid van primaire waterkeringen; -geen oevererosie ^{d)} ; -Beperkte ontgronding bij constructies per hoogwater; -geen erosie ter hoogte van kabels, leidingen en tunnels met een te kleine gronddekking; Bij sedimentatie: - geen sedimentatie in de vaargeul conform BPRW; -geen vermindering vaargeulafmetingen bij lage tot gemiddelde rivierafvoeren ^{e)} ; -geen verhoging van de maatgevende waterstanden op lange termijn; Generiek: -beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten; behouden vlotheid en veiligheid scheepvaartverkeer; -geen onacceptabele terugschrijdende erosie of sedimentatie i.v.m. risico verandering afvoerdeling bij maatgevende Boven-Rijn afvoer of OLA;	3.1 R9+R11	RWS-ON (eventueel in overleg met de waterkering-beheerder)
	3.2	Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeulen: 1. sedimentatie winterbed 2. erosie winterbed	Bij sedimentatie: - Acceptabele beheerskosten ^{f)} voor baggeren nevengeulen; Bij erosie: -geen zijdelingse verplaatsing van een nevengeul richting een primaire waterkering. Nevengeul moet op voldoende afstand blijven van de primaire waterkering, buiten de beschermingszone van de primaire kering. De beschermingszones worden bepaald door de keringbeheerders; - geen zijdelingse verplaatsing van een nevengeul richting het zomerbed van de rivier, waardoor er kans bestaat dat de nevengeul een kortsluiting veroorzaakt met het zomerbed; - stroomsnelheid in een zandige nevengeul bij bankfull afvoer moet kleiner blijven dan 0,3 m/s ^{g)} ; - geen bodemerosie langs primaire waterkering; - stabiliteit van belangrijke constructies in de uiterwaard mag niet verminderen;	3.2 R12	RWS-ON (eventueel in overleg met de waterkering-beheerder en/of terrein-eigenaren)

- ^{a)} In de praktijk kan een waterstandsverhoging tot 1 mm in de as van de rivier worden toegestaan. Zie ook paragraaf 1.1.²
- ^{b)} Keuze afvoerniveaus afhankelijk van de afvoer(en) waarop de ingreep invloed heeft op het instromen van de betreffende uiterwaard.
- ^{c)} In bijzondere gevallen kan de beheerder de verdeling van de afvoer bij een ingreep ook opvragen bij andere afvoeren van de Boven-Rijn dan OLA, bijvoorbeeld bij een gemiddelde Boven-Rijn afvoer.
- ^{d)} Bij erosie in zomerbed en op oevers geldt het principe 'nee, tenzij', om het belang van het functioneren van het waterstaatwerk i.r.t. veiligheid en scheepvaart te borgen. Gecontroleerde erosie kan wel worden toegestaan als aan deze voorwaarden wordt voldaan. Een voorbeeld hiervan zijn de aanleg van natuurvriendelijke oevers t.b.v. de Kaderrichtlijn Water. Een ander voorbeeld is de Ruimte voor de Rivier maatregel 'zomerbedverdieping'. Deze is alleen in het overgangsgebied van de Rijntakken mogelijk met aanvullend sedimentbeheer, o.a. om terugschrijdende erosie tegen te gaan.
- ^{e)} Voor specifieke criteria en afmetingen: zie Bijlage 9.²
- ^{f)} Wat 'acceptabele beheerskosten' zijn, kan van dienst tot dienst verschillen en is ter beoordeling van het bevoegd gezag.
- ^{g)} Richtlijn voor zandige rivierbodem. Exacte waarde hangt af van lokale bodemsamenstelling en -ruwheid.

Bijlage 2 Baseline-maatregellijsten en overzicht van de WAQUA-simulaties

Sequentie van de Baseline-gebiedsmodellen

Onderstaande tabel toont de gebiedsmodellen ten behoeve van de evaluatie van het VO "Dijkversterking Tiel-Waardenburg". De basis is het B&O-model 2015 (rijn_beno15_5-v2).

Beschrijving	Baseline-gebiedsmodel		
	referentie	maatregelen	variant
Referentiemodel op basis van beheer- en onderhoudsmodel met correcties en actualisaties (in twee stappen: maatregelen november 2018 ontvangen van RWS resp. maatregelen juni 2019 vervaardigd door GeoSpace)	rijn_beno15_5-v2	wl_wamelrf_a1 wl_dreumrf_a1 wl_heererf_a1 wl_ldamref_a1 wl_wdhref_a1 wl_tielref_a1 wl_stiftrf_a1 wl_sw_vg_a2 wl_uwdhstr_a1 wl_hurwene_c1 wl_kribvl_e1 wl_tiwarf_a2 wl_stift_v01	tiwa_ref_a2
Modelgrens gelijk maken voor alle vier volumeberekeningen: niet gebruikt voor WAQUA-simulaties, uitsluitend voor de bepaling van V_0 .	tiwa_ref_a2	wl_sectie9_a1	tiwaref_a4-clip
Referentiemodel op basis van opmeting WSRL (juli 2019), geometrisch t.b.v. volumeanalyse, niet gebruikt voor WAQUA-simulaties, uitsluitend voor de bepaling van V_0 , hierbij weer modelgrens gelijk maken.	tiwa_ref_a2	wl_tiwaref_b4 wl_sectie9_a1	tiwaref_b4-clip
Vergunningenontwerp VO (april 2020), geometrisch t.b.v. volumeanalyse, niet gebruikt voor WAQUA-simulaties, uitsluitend voor de bepaling van V_1 , hierbij weer modelgrens gelijk maken.	tiwa_ref_a2	wl_tiwaref_b4 wl_tiwa-9_b1 wl_sectie9_a1	tiwa-9_b1-clip
Vergunningenontwerp VO (april 2020), vereenvoudigde geometrie volgens richtlijn RWS, uitsluitend dempen plassen waar de dijk in komt. Nog zonder hoogwatervrije lijn, model is niet gebruikt voor WAQUA-simulaties, uitsluitend voor de bepaling van V_1 , hierbij weer modelgrens gelijk maken.	tiwa_ref_a2	wl_tiwa-9_c2 wl_sectie9_a1	tiwa-9_a1-clip
Zoals hierboven, echter aanpassing modelgrens alleen waar dit functioneel is voor de WAQUA-simulaties, vegetatie overal gras m.u.v. hoogwatervrije terreinen, toevoegen hoogwatervrije lijn (dit maakt het effect van de dijk aanpassing VO).	tiwa_ref_a2	wl_tiwa-9_c2 wl_tiwa-9_a1	tiwa-9_a1
Natuuraanleg en compensatiemaatregelen, resp.: natuur t.b.v. kamsalamander, stroomdal-grasland (beide Heesseltsche uiterw.), afgetichelde laagtes, overtuinen (beide Stiftsche uiterw.), ooibos (Rijswaard), verruiming Crobbsche Waard.	tiwa-9_a1	wl_heeswrd_a2 wl_strdlgr_a1 wl_afglaag_a1 wl_overtui_a1 wl_tw-bos2_a2 ¹⁰ wa_cw_e1	tiwa-9_a2
Natuuraanleg en compensatiemaatregelen, resp.: natuur t.b.v. kamsalamander, stroomdal-grasland (beide Heesseltsche uiterw.), afgetichelde laagtes, overtuinen (beide Stiftsche uiterw.), ooibos (Rijswaard), exclusief Crobbsche Waard	tiwa-9_a1	wl_heeswrd_a2 wl_strdlgr_a1 wl_afglaag_a1 wl_overtui_a1 wl_tw-bos2_a1	tiwa-9_a3

¹⁰ Dit had moeten (of mogen) zijn: wl_tw-bos2_a1. Door abusievelijk wl_tw-bos2_a2 toe te passen is een hogere ruwheid gebruikt en een iets conservatiever resultaat tot stand gebracht, dat alsnog voldoet.

Overzicht van uitgevoerde WAQUA-simulaties

Onderstaande tabel toont de uitgevoerde WAQUA-simulaties. De simulatiennaam ontstaat door het achtervoegsel van het betreffende afvoerniveau te verbinden met de modelnaam. Vooralsnog is alleen het maatgevende afvoerniveau toegepast (16.000 m³/s te Lobith).

Beschrijving	model	Afvoerniveau te Lobith (m ³ /s)							
		600	1.080	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000	16.000
Referentiemodel	tiwa_ref_a2	_600	_1080	_2000	_4000	_6000	_8000	_10000	_16000
Vergunningenontwerp (april 2020)	tiwa-9_a1	-	-	-	-	-	-	-	_16000
Idem met natuuraanleg en compensatiemaatregelen (april 2020)	tiwa-9_a2	_600	_1080	_2000	_4000	_6000	_8000	_10000	_16000
Idem tiwa-9_a2 echter <u>exclusief</u> Crobse Waard	tiwa-9_a3	-	-	-	-	-	_8000	-	-

Navolgend staan de maatregellijsten weergegeven van de geel gemarkeerde modellen, op basis waarvan model-simulaties zijn uitgevoerd.

Referentiemodel (tiwa_ref_a2)

```

# *****
#
# De naam voor deze variant is : tiwa_ref_a2
# De basis voor deze variant is : baseline-rijn-beno15_5-v2
#
# *****
#
# RWS Oost-Nederland
# 22 november 2018
#
# Met deze maatregel_ljst kan de definitieve referentieschematisatie voor
# het HWBP-project dijkversterking Tiel-Waardenburg opgebouwd worden.
#
# *****
#
../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_wamelrf_a1
../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_dreumrf_a1
../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_heerref_a1
../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_idamref_a1
../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_wdhref_a1
../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_tielref_a1
../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_stiftrf_a1
../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_sw_vg_a2
../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_uwdhstr_a1
../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_hurwene_c1
../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_kribvl_e1
#
# *****
# Gemaakt en gemixt door Hein Bouwmeester (GeoSpace)
# i.o.v. Douwe Meijer (Riquest)
# op 19 juni 2019
#
../rijn-maatr/wl_tiwarf_a2
../rijn-maatr/wl_stift_v01
#
# *****
#
# Einde lijst
#
# *****

```

De variant tiwa_ref_a2 is afgeleid is met gebruikmaking van de optie “teenhoogten” voor de bandijk.



Dijkversterking – VO 1 april 2020 (tiwa-9_a1)

```

# *****
#
# De naam voor deze variant is : tiwa-9_a1
# De basis voor deze variant is : baseline-rijn_beno15_5-v2 11
#
# *****
# RWS Oost-Nederland
# 22 november 2018
#
# Met deze maatregel_lijst kan de definitieve referentieschematisatie voor
# het HWBP-project dijkversterking Tiel-Waardenburg opgebouwd worden.
#
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_wamelrf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_dreumrf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_heererf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_ldamref_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_wdhref_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_tielref_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_stiftrf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_sw_vg_a2
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_uwdhstr_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_hurwene_c1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_kribvl_e1
#
# *****
# Gemaakt en gemixt door Hein Bouwmeester (GeoSpace)
# op 19 juni 2019
#
# Met deze maatregelen wordt de bovengenoemde 'definitieve referentieschematisatie'
# verder geactualiseerd.
#
# ../rijn-maatr/wl_tiwarf_a2
# ../rijn-maatr/wl_stift_v01
#
# *****
# Gemaakt en gemixt door Hein Bouwmeester (GeoSpace)
# op 24 april 2020
#
# Deze maatregelen zijn de uitkomst van een arbeidsintensieve volumeanalyse, waarbij
# een 19 km lange bandijk versterking niet eenvoudig geometrisch wordt gemodelleerd
# maar in plaats daarvan met een enkele hoogwatervrije lijn.
#
# Eerst worden plassen gedempt die worden overschreven door de bandijk (die
# niet wordt gemodelleerd).
#
# ../rijn-maatr/wl_tywa-9_c2
#
# Daarna wordt de hoogwatervrije lijn toegevoegd (die de nieuwe bandijk vervangt),
# breuklijnen en sectie=3 toegevoegd waar die hoogwatervrije lijn binnendijs van
# de oude bandijk komt te liggen, de afritten als kades die worden aangepast door de niet
# gemodelleerde bandijk en de ruwheid aangepast van het oppervlak tussen kruin en teen
# van de nieuwe bandijk (die dus niet wordt gemodelleerd).
#
# ../rijn-maatr/wl_tywa-9_a1
#
# Einde lijst
#
# *****

```

In **blauw** zijn de verschillen weergegeven ten opzichte van de vorige lijst (tiwa_ref_a2). De variant tiwa-9_a1 is afgeleid is met gebruikmaking van de optie “teenhoogten” voor de bandijk.

¹¹ Met de uitgevinkte maatregelen in deze lijst is de basis feitelijk tiwa_ref_a2 (in plaats van baseline-rijn_beno15_5-v2).

Dijkversterking met natuuraanleg en compensatiemaatregelen (tiwa-9_a2)

```

# *****
#
# De naam voor deze variant is : tiwa-9_a2
# De basis voor deze variant is : baseline-rijn-beno15_5-v2 11
#
# *****
# RWS Oost-Nederland
# 22 november 2018
#
# Met deze maatregel_lijst kan de definitieve referentieschematisatie voor
# het HWBP-project dijkversterking Tiel-Waardenburg opgebouwd worden.
#
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_wamelrf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_dreumrf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_heerf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_ldamref_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_wdhref_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_tielref_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_stiftrf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_sw_vg_a2
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_uwdhstr_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_hurwene_c1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_kribvl_e1
#
# *****
# Gemaakt en gemixt door Hein Bouwmeester (GeoSpace)
# op 19 juni 2019
#
# Met deze maatregelen wordt de bovengenoemde 'definitieve referentieschematisatie'
# verder geactualiseerd.
#
# ../rijn-maatr/wl_tiwarf_a2
# ../rijn-maatr/wl_stift_v01
#
# *****
# Gemaakt en gemixt door Hein Bouwmeester (GeoSpace)
# op 28 april 2020
#
# Deze maatregelen zijn de uitkomst van een arbeidsintensieve volumeanalyse, waarbij
# een 19 km lange bandijk versterking niet eenvoudig geometrisch wordt gemodelleerd
# maar in plaats daarvan met een enkele hoogwatervrije lijn.
#
# Eerst worden plassen gedempt die worden overschreven door de bandijk (die
# niet wordt gemodelleerd).
#
# ../rijn-maatr/wl_tywa-9_c2
#
# Daarna wordt de hoogwatervrije lijn toegevoegd (die de nieuwe bandijk vervangt),
# breuklijnen en sectie=3 toegevoegd waar die hoogwatervrije lijn binnendijs van
# de oude bandijk komt te liggen, de afritten als kades die worden aangepast door de niet
# gemodelleerde bandijk en de ruwheid aangepast van het oppervlak tussen kruin en teen
# van de nieuwe bandijk (die dus niet wordt gemodelleerd).
#
# ../rijn-maatr/wl_tywa-9_a1
#
# *****
# Inmixen van compenserende maatregelen
#
# Toevoegen compensatiemaatregel Salamanderwateren Heesseltsche waard
# ../rijn-maatr/wl_heeswrld_a2
#
# Toevoegen stroomdalgrasland
# ../rijn-maatr/wl_strldgr_a1
#
# Toevoegen compensatiemaatregel Afgetichelde laagtes in Stiftsche uiterwaarden
# ../rijn-maatr/wl_afglaag_a1
#
# Toevoegen compensatiemaatregel Overtuinen in Stiftsche uiterwaarden
# ../rijn-maatr/wl_overtui_a1
#

```

(vervolg: zie volgende pagina)



```
# Toevoegen zachthoutoibos
../rijn-maatr/wl_tw-bos2_a210
#
# Toevoegen Crobsche waard
../rijn-maatr/wa_cw_e1
#
# Einde lijst
#
# *****
```

In **blauw** zijn de verschillen weergegeven ten opzichte van de vorige lijst (tiwa-9_a1). De variant tiwa-9_a2 is afgeleid is met gebruikmaking van de optie “teenhoogten” voor de bandijk.

Dijkversterking met natuuraanleg en compensatiemaatregelen exclusief Crobsche Waard (tiwa-9_a3)

```
# *****
#
# De naam voor deze variant is : tiwa-9_a3
# De basis voor deze variant is : baseline-rijn-beno15_5-v212
#
# *****
# RWS Oost-Nederland
# 22 november 2018
#
# Met deze maatregel_lijst kan de definitieve referentieschematisatie voor
# het HWBP-project dijkversterking Tiel-Waardenburg opgebouwd worden.
#
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_wamelrf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_dreumrf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_heererf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_ldamref_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_wdhref_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_tielref_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_stiftrf_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_sw_vg_a2
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_uwdhstr_a1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_hurwene_c1
# ../rijn-maatr/tiwa_ref/wl_kribvl_e1
#
# *****
# Gemaakt en gemixt door Hein Bouwmeester (GeoSpace)
# op 19 juni 2019
#
# Met deze maatregelen wordt de bovengenoemde 'definitieve referentieschematisatie'
# verder geactualiseerd.
#
# ../rijn-maatr/wl_tiwarf_a2
# ../rijn-maatr/wl_stift_v01
#
# *****
# Gemaakt en gemixt door Hein Bouwmeester (GeoSpace)
# op 28 april 2020
#
# Deze maatregelen zijn de uitkomst van een arbeidsintensieve volumeanalyse, waarbij
# een 19km lange bandijk versterking niet eenvoudig geometrisch wordt gemodelleerd
# maar in plaats daarvan met een enkele hoogwatervrije lijn.
#
# Eerst worden plassen gedempt die worden overschreven door de bandijk (die
# niet wordt gemodelleerd)
#
# ../rijn-maatr/wl_tiwa-9_c2
#
# Daarna wordt de hoogwatervrije lijn toegevoegd (die de nieuwe bandijk vervangt),
# breuklijnen en sectie=3 toegevoegd waar die hoogwatervrije lijn binnendijs van
# de oude bandijk komt te liggen, de afritten als kades die worden aangepast door de niet
# gemodelleerde bandijk en de ruwheid aangepast van het oppervlak tussen kruin en teen
# van de nieuwe bandijk (die dus niet wordt gemodelleerd).
#
# ../rijn-maatr/wl_tiwa-9_a1
#
# (vervolg: zie volgende pagina)
```

¹² Met de uitgevinkte maatregelen in deze lijst is de basis feitelijk tiwa-9_a1 (in plaats van baseline-rijn-beno15_5-v2).

```

# *****
# Inmixen van compenserende maatregelen
#
# Toevoegen compensatiemaatregel salamander wateren heesseltsche waard
../rijn-maatr/wl_heeswrd_a2
#
# Toevoegen stroomdalgrasland
../rijn-maatr/wl_strdlgr_a1
#
# Toevoegen compensatiemaatregel afgetichelde laagtes in Stiftsche uiterwaarden
../rijn-maatr/wl_afglaag_a1
#
# Toevoegen compensatiemaatregel Overtuinen in Stiftsche uiterwaarden
../rijn-maatr/wl_overtui_a1
#
# Toevoegen zachthoutoibos
../rijn-maatr/wl_tw-bos2_a1
#
# *****
#
# Einde lijst
#
# *****

```

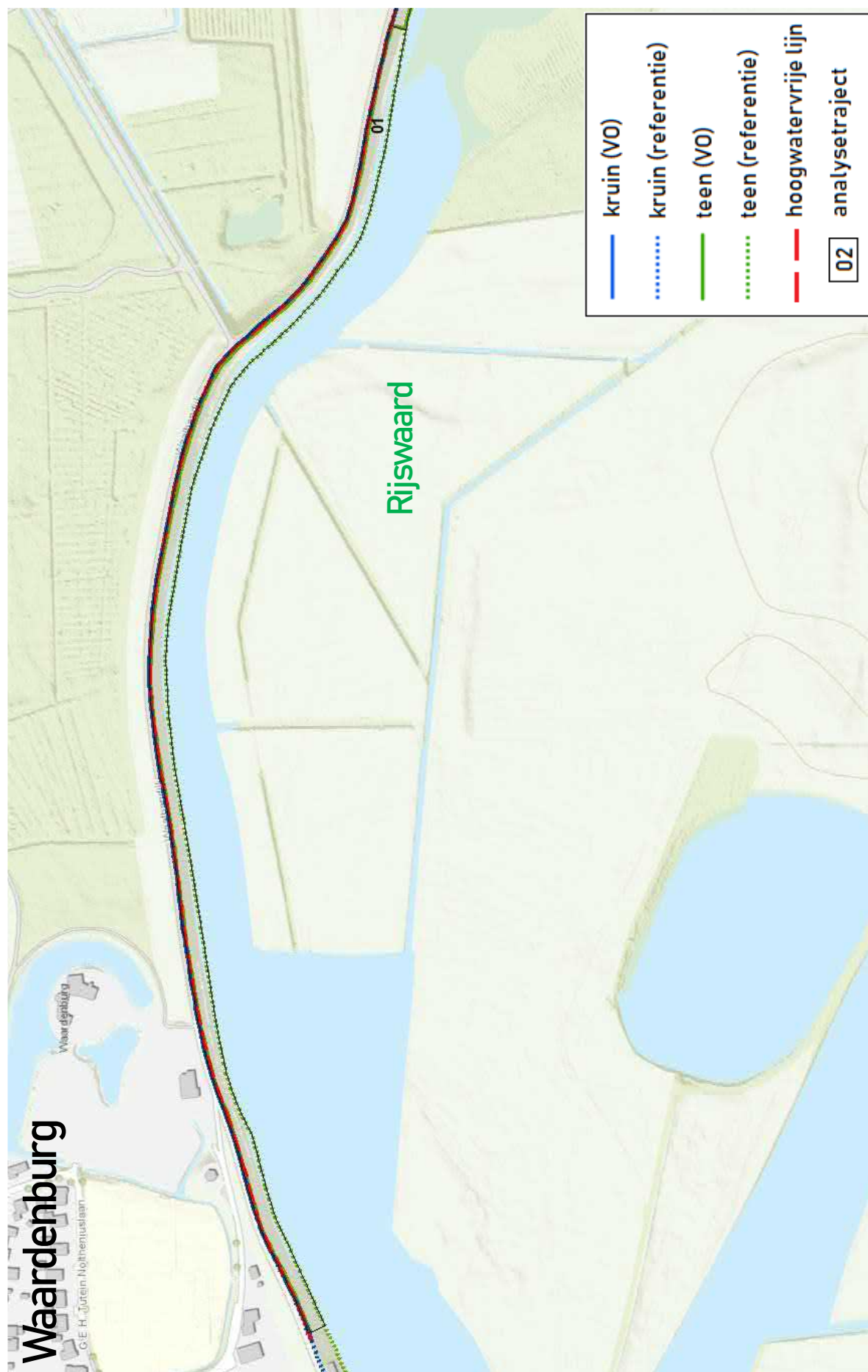
In **blauw** zijn de verschillen weergegeven ten opzichte van het basismodel dat hieraan ten grondslag ligt (tiwa-9_a1). De variant tiwa-9_a3 is afgeleid is met gebruikmaking van de optie “teenhoogten” voor de bandijk. Ten opzichte van de vorige lijst (tiwa-9_a2) ontbreekt de Cropsche Waard (wa_cw_e1).

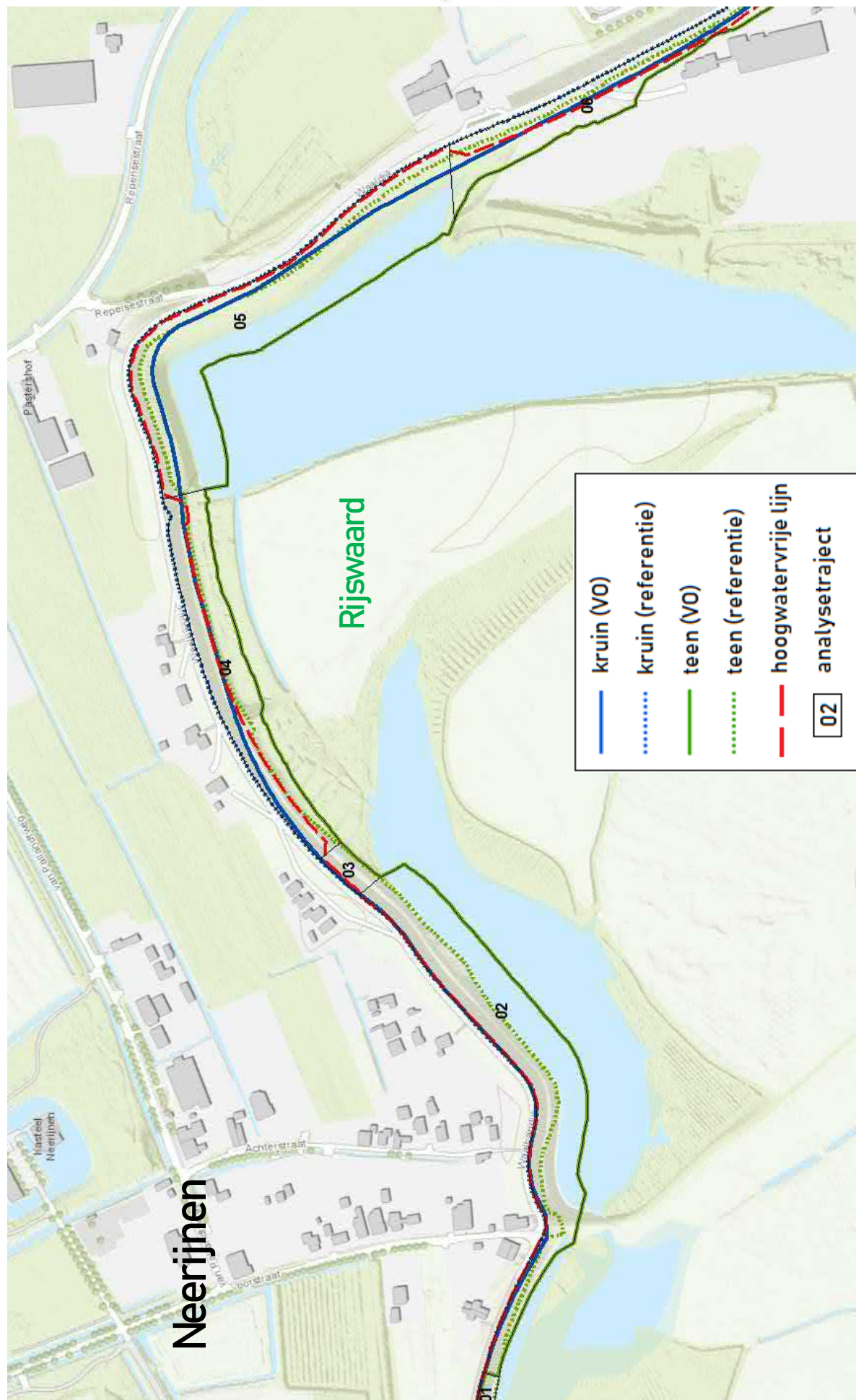
Kruistabel Baseline-maatregelen en -varianten

Onderstaande tabel bevat dezelfde inhoudelijke informatie als de laatste 6 rijen van de tabel van Bijlage 2-1, echter als kruistabel geordend en aangevuld met de door Sweco aangeleverde en gebruikte bronbestanden. De kolom 'status' vermeldt of een maatregel voor dit onderzoek al beschikbaar was, dan wel ten behoeve van dit onderzoek vervaardigd is.

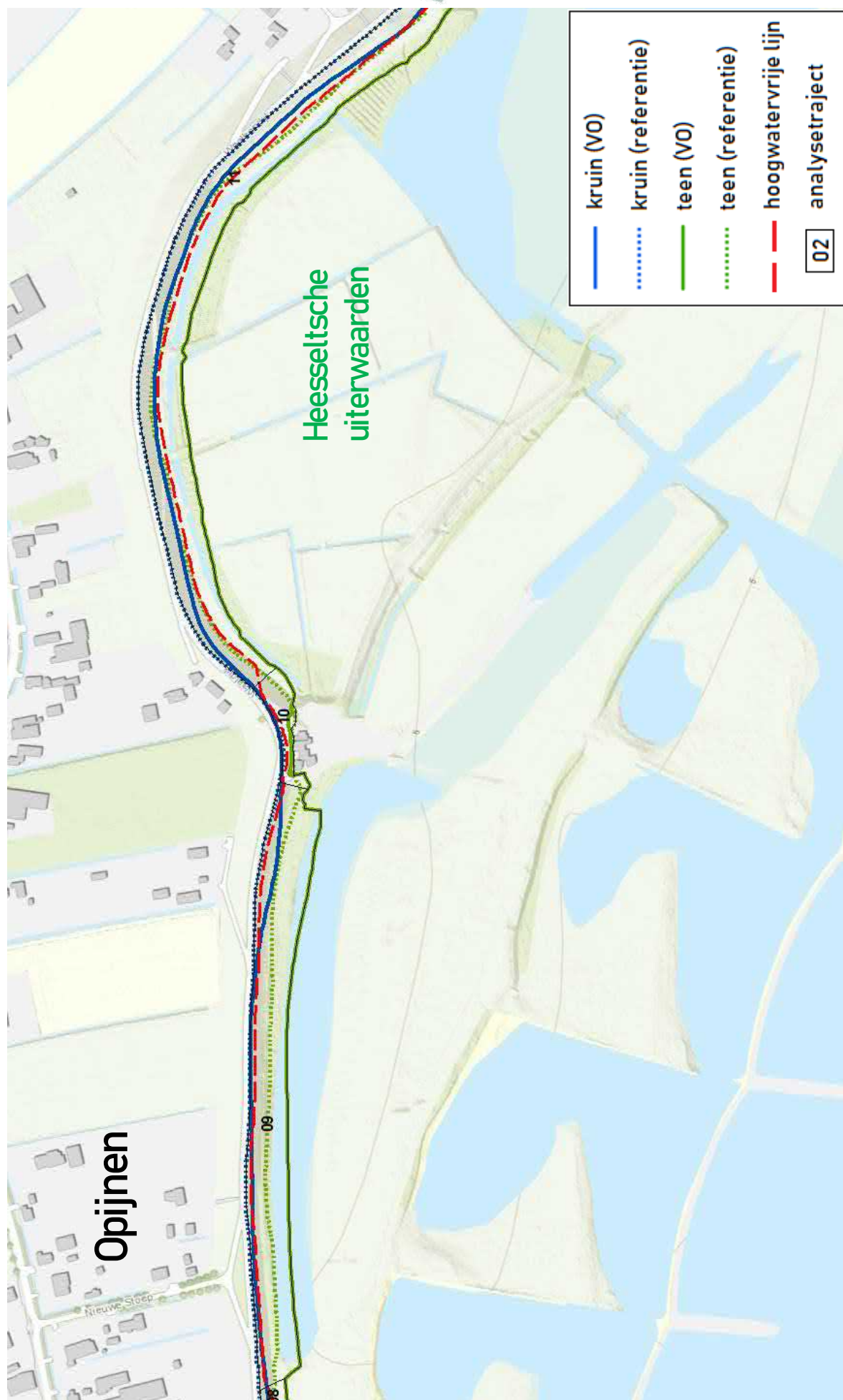
Nr	type	naam	aanlevering AutoCAD (cursief: ander type)	Baseline-varianten								status	omschrijving
				tiwa_ref_a2 (referentie)	tiwaref_b4- clip (geom. ref)	tiwaref_a4- clip (RWS-ref)	tiwa-9_b1- clip (geometrisch ontwerp)	tiwa-9_a1- clip (RWS- methode)	tiwa-9_a1 (RWS- methode)	tiwa-9_a2 (a3) = tiwa-9_a1 + natuur en compensatie			
0	referentie	tiwa_ref_a2		x	x	x	x	x	x	x	x	beschikbaar	referentiemodel met actualisaties (uitgangssituatie voor het project)
1	maatregel	wl_twaref_b4	DR43_TIWA_DTM.dwg		x		x					gemaakt	hoogtemodel WSRL toevoegen (ondergrond uitgangssituatie): berekening V0
2	maatregel	wl_sectie9_a1	-		x	x	x	x				gemaakt	modelgrens gelijk maken voor volumeberekening: niet nodig voor rekenversies
3	maatregel	wl_twa-9_b1	20200327_Vergunningen Ontwerp_TiWa_BU_ Kniklijnen-R2000.dwg				x					gemaakt	geometrische omzetting ontwerp: variant t.b.v. berekening V1 , bandijk kruin in hoogtemodel
4	maatregel	wl_twa-9_a1	-						x	x	x	gemaakt	toevoegen hwatvrij_lijn, ruwheden, secties, breukl (volgen op volume-analyse), de breuklijn (teenhoogten) met erase_bandijk vervangt de bandijk (tracé van referentie) op plekken waar de hoogwatervrije lijn achter de bandijk terechtkomt.
5	maatregel	wl_twa-9_c2	-					x	x	x	x	gemaakt	plassen dempen (alleen binnen de analysetrajecten), op teenhoogte brengen
6	maatregel	wl_heeswrd_a2	363913-HU-ONT-002.dwg							x	x	gemaakt	aangepaste compensatie t.b.v. kamsalamander in Heesseltsche uiterwaarden
7	maatregel	wl_strdlgr_a1	Stroomdalgrasland.shp							x	x	gemaakt	stroomdalgrasland in Heesseltsche uiterwaarden
8	maatregel	wl_afglaag_a1	363913_T001.dwg							x	x	gemaakt	afgetichelde laagtes Stiftsche uiterwaarden
9	maatregel	wl_overtui_a1	363913_T002.dwg							x	x	gemaakt	compensatie Overtuinen in de Stiftsche uiterwaarden
10	maatregel	wl_tw-bos2_a1	ooibos.png (tekening)							x ¹⁰	x	beschikbaar	zachtthoutooibos in de Rijswaard
11	maatregel	wa_cw_e1	wa_cw_e1.zip (Baseline)							x	-	beschikbaar	Crobsche Waard (alleen tiwa-9_a2)
DOEL:				PPWW/RBK	bepaling V ₀ (= _b4 – _a4)		bepaling V ₁ (= _b1 – _a1)		PPWW/RBK-toets WAQUA				

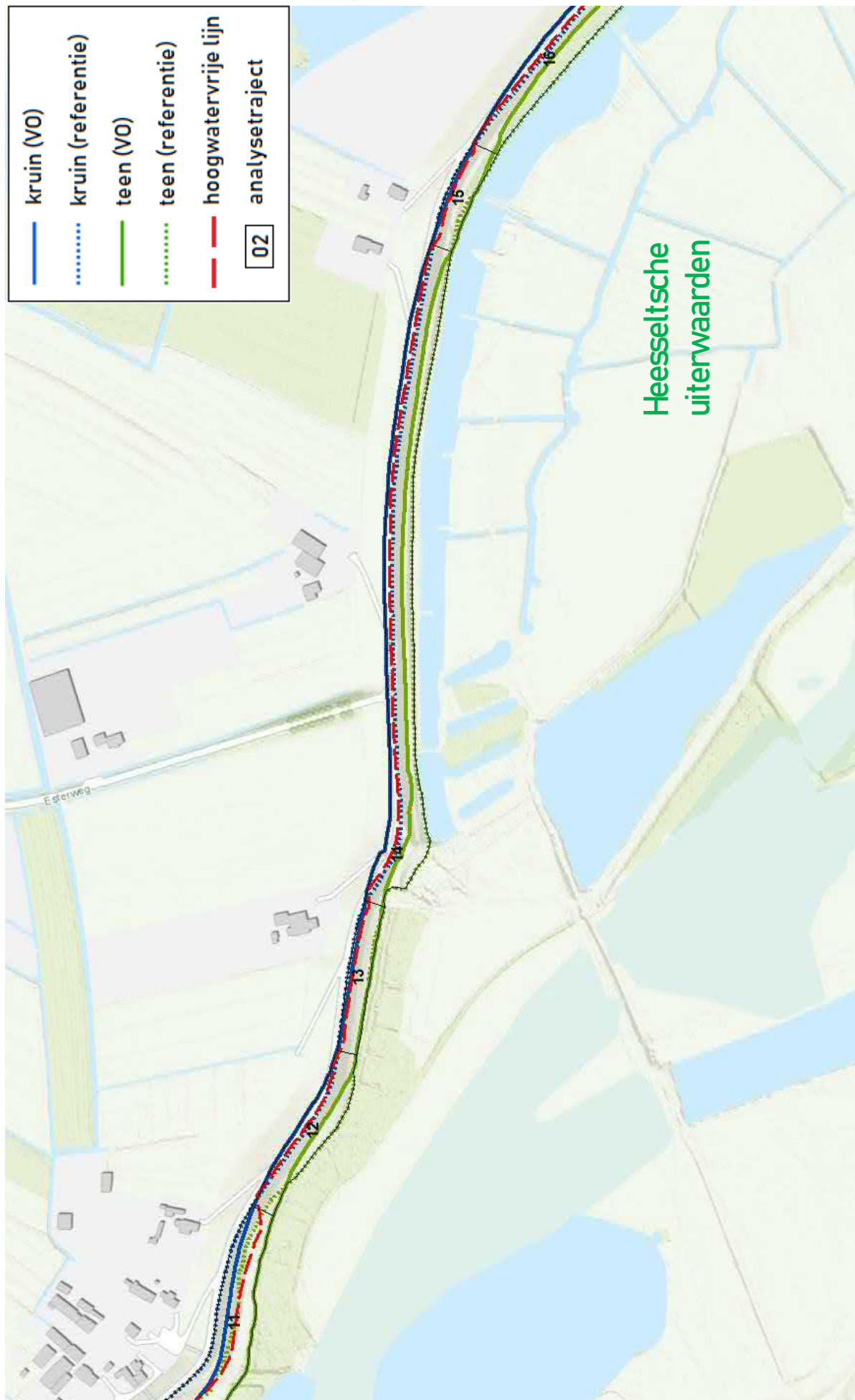
Bijlage 3 Bovenaanzicht analysetrajecten: referentiesituatie en VO



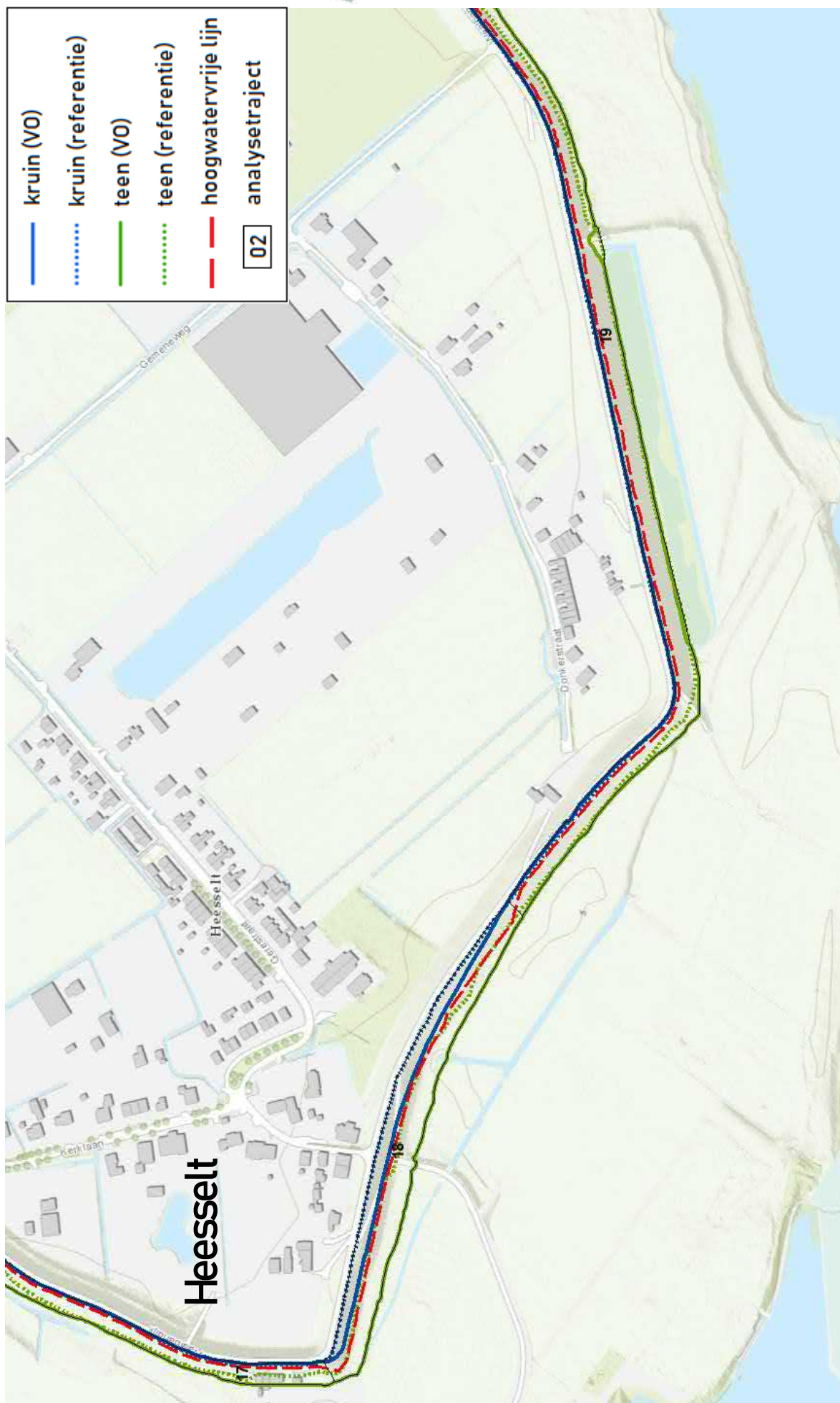


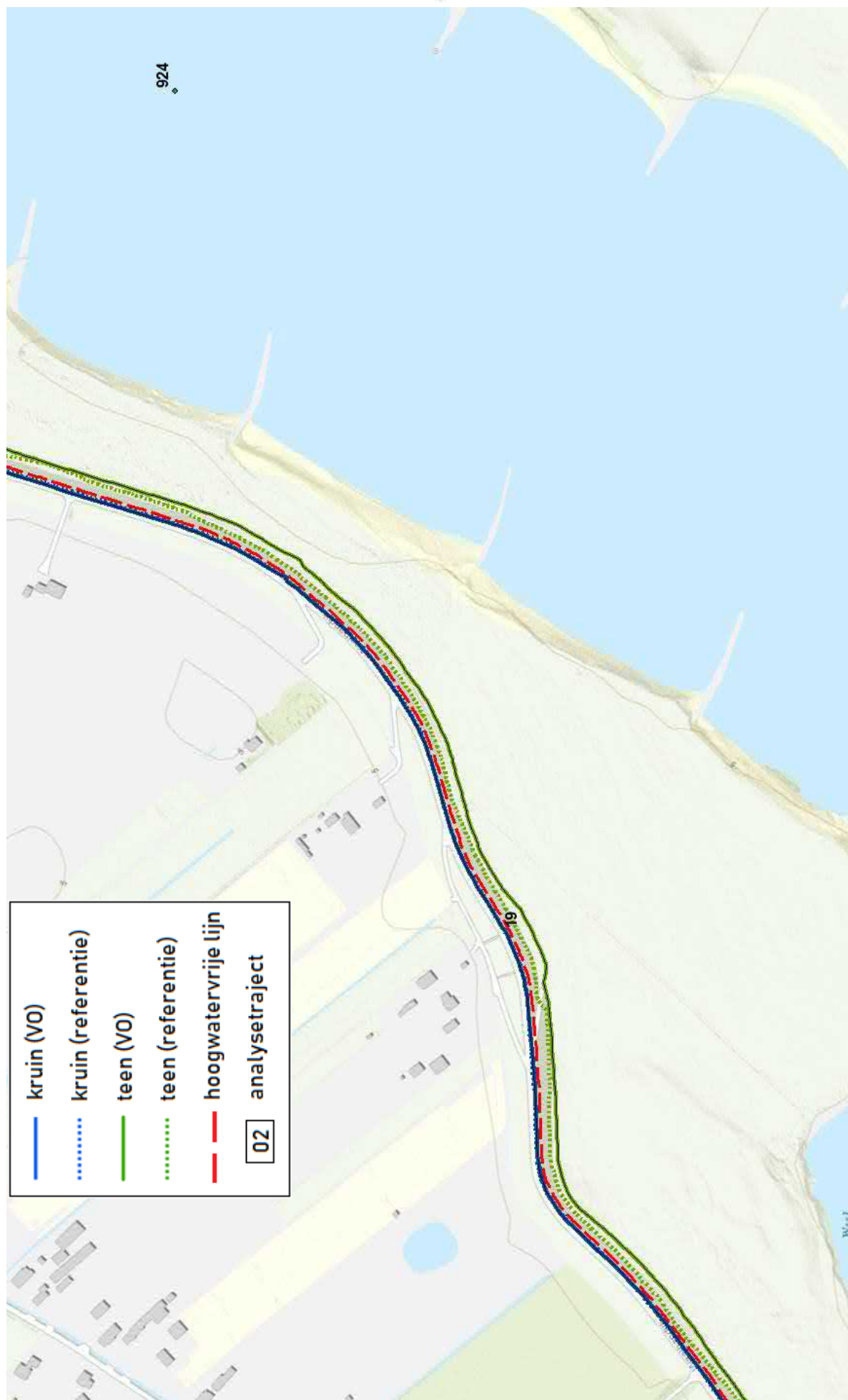




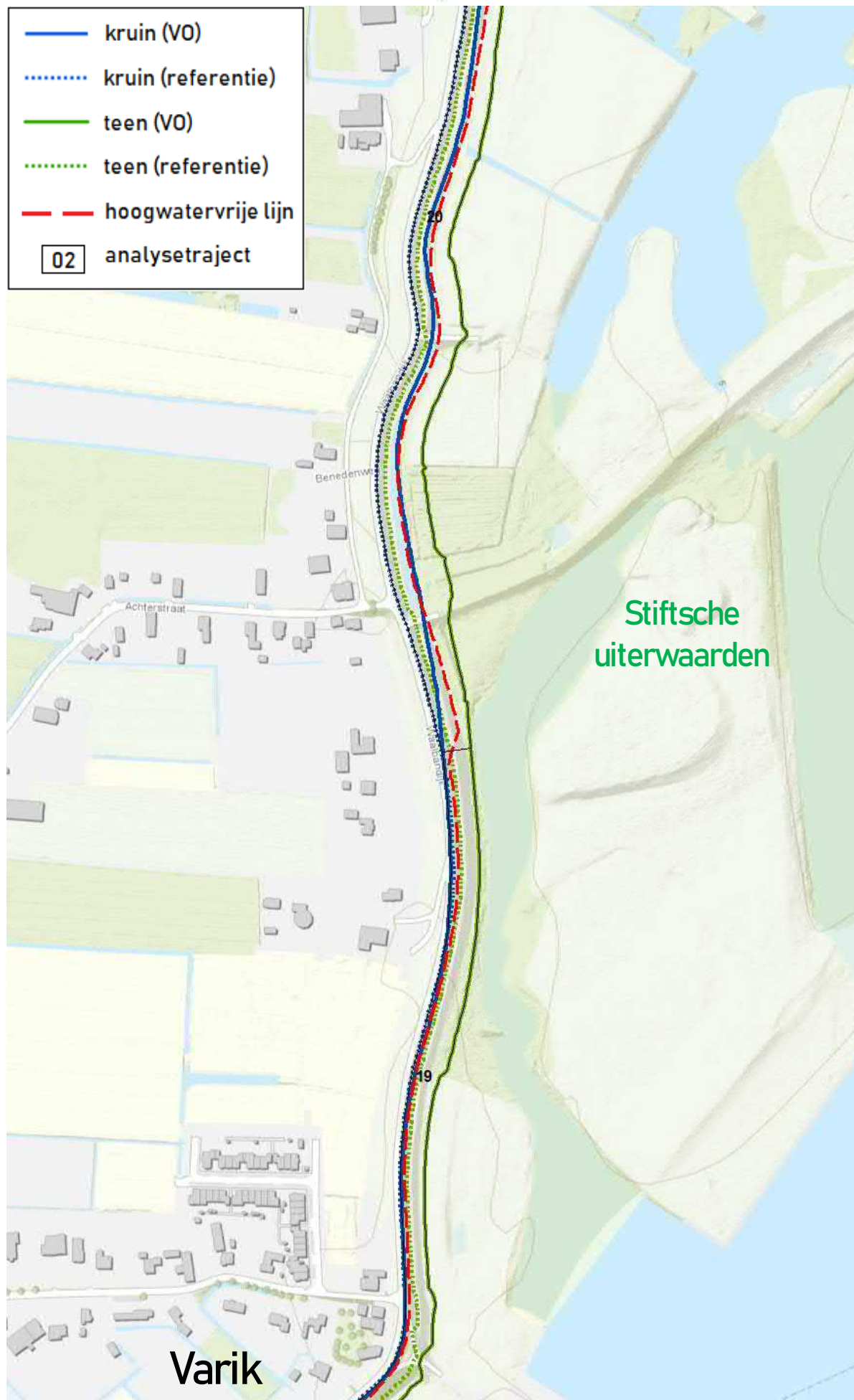


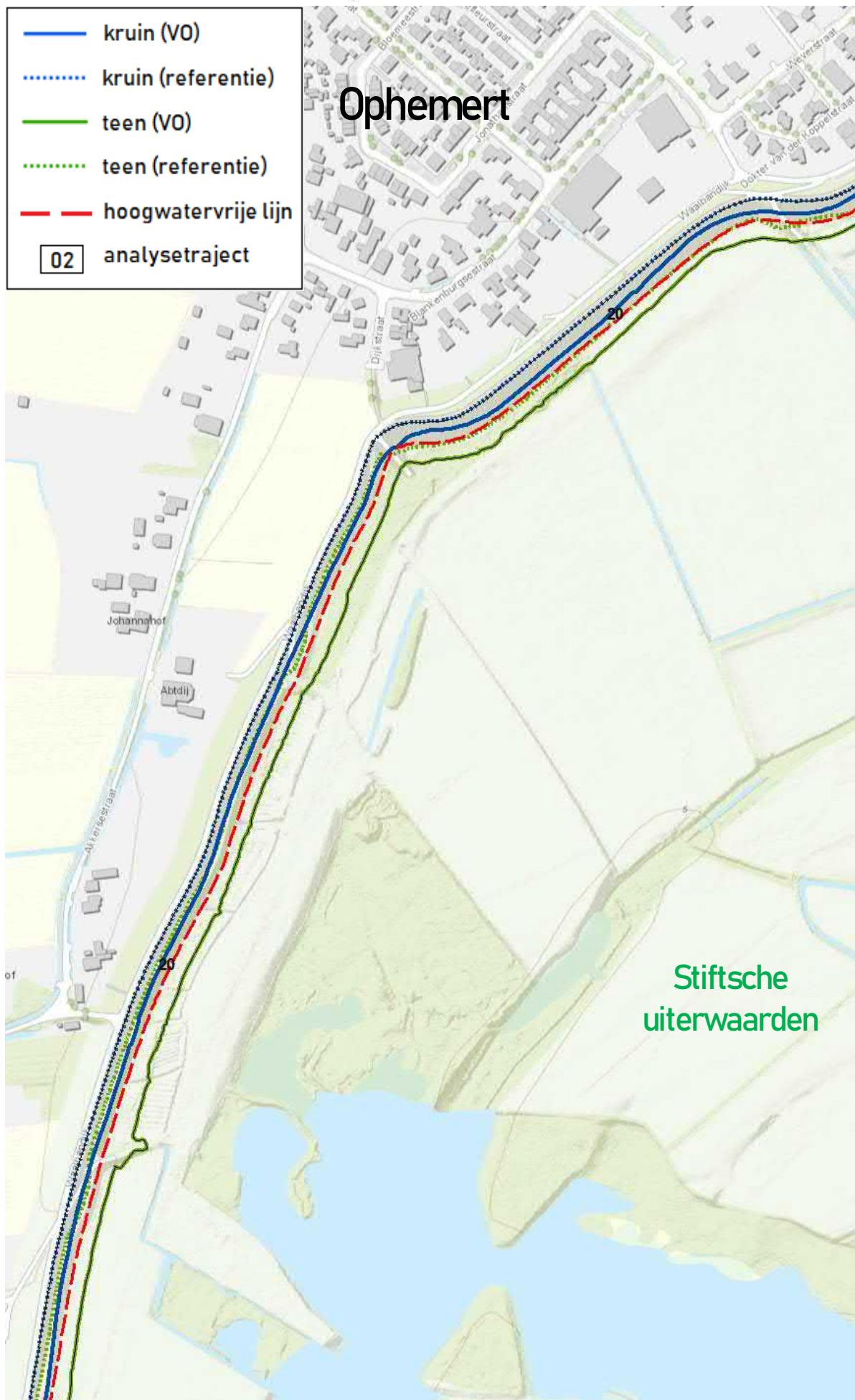


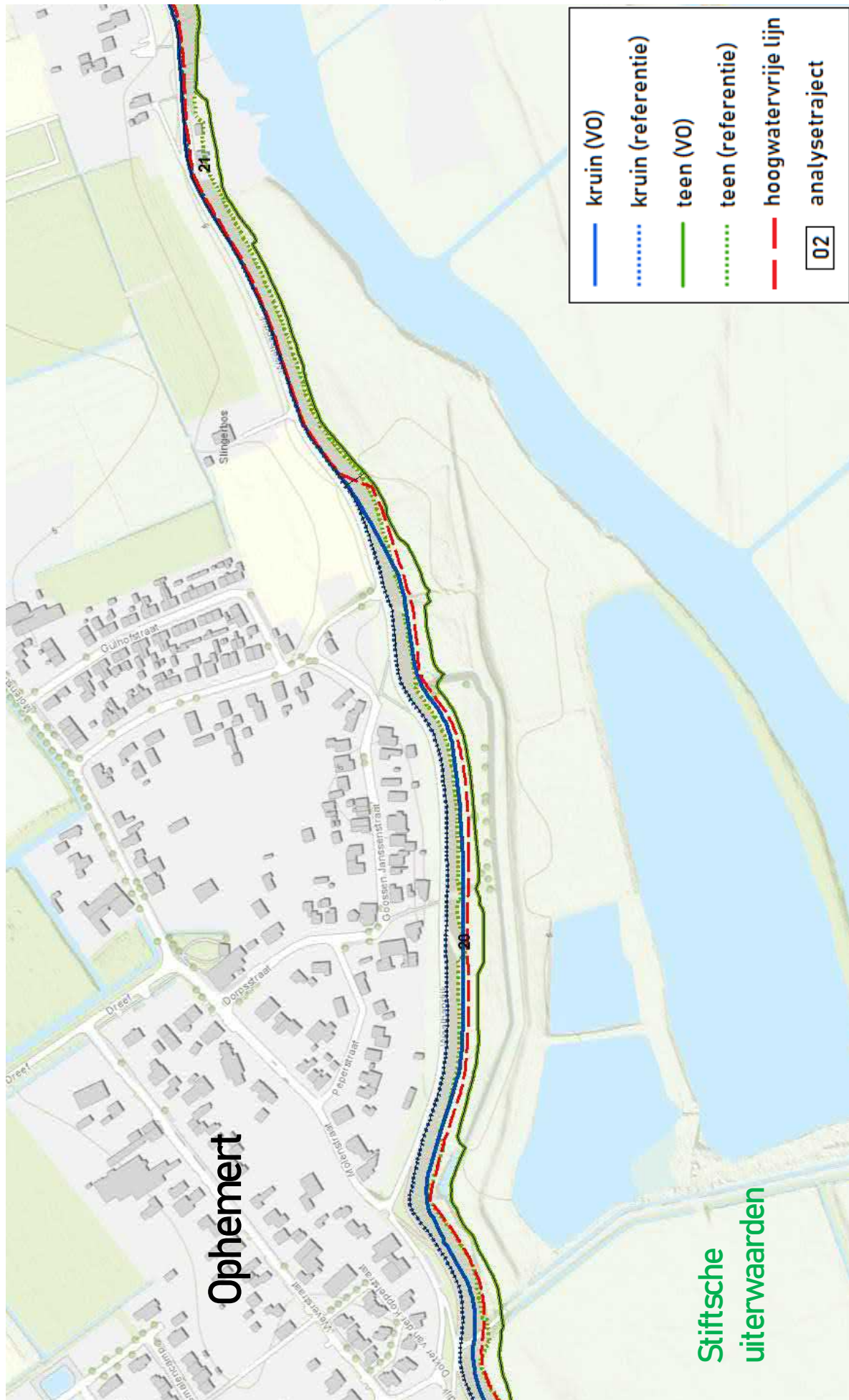




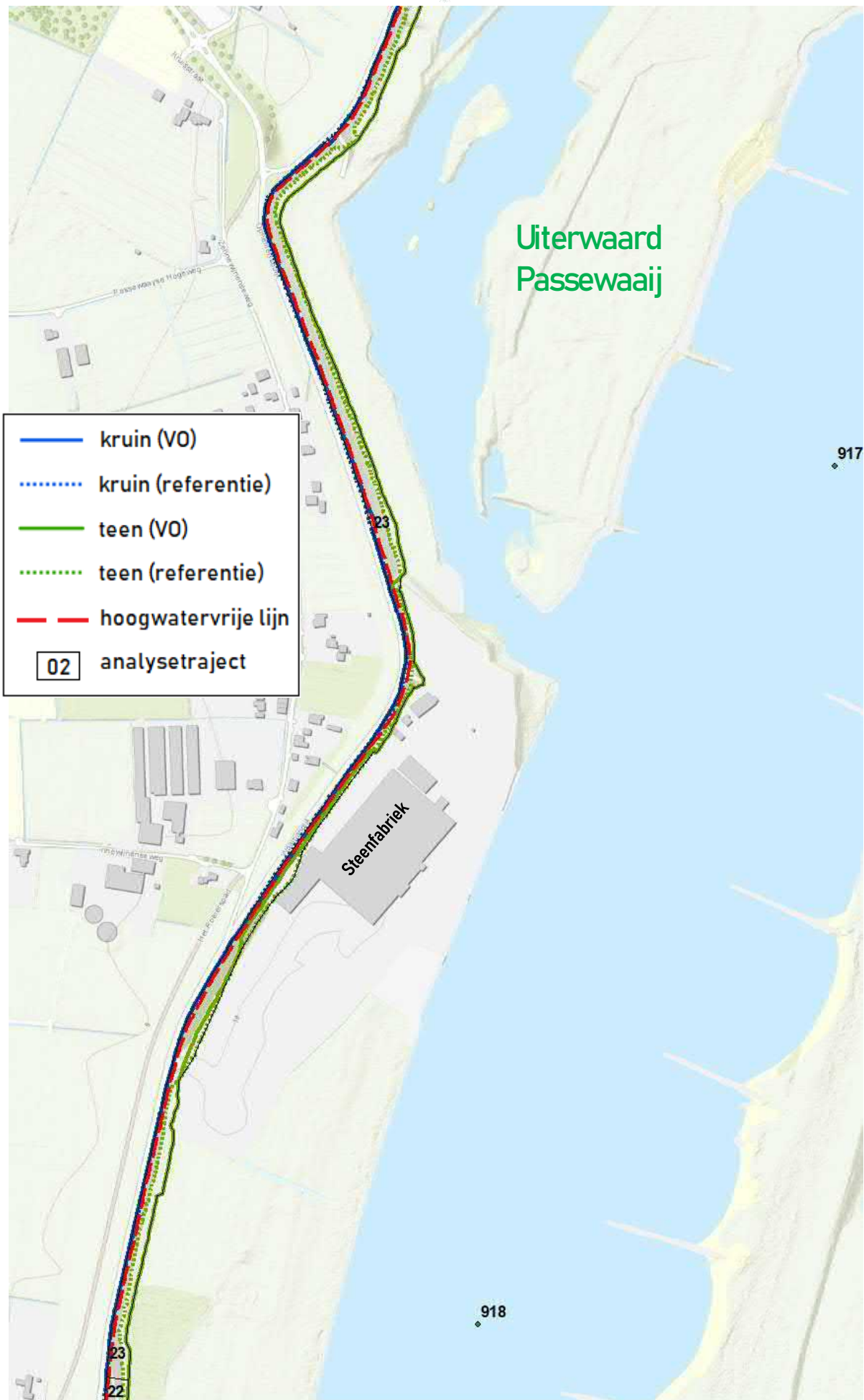


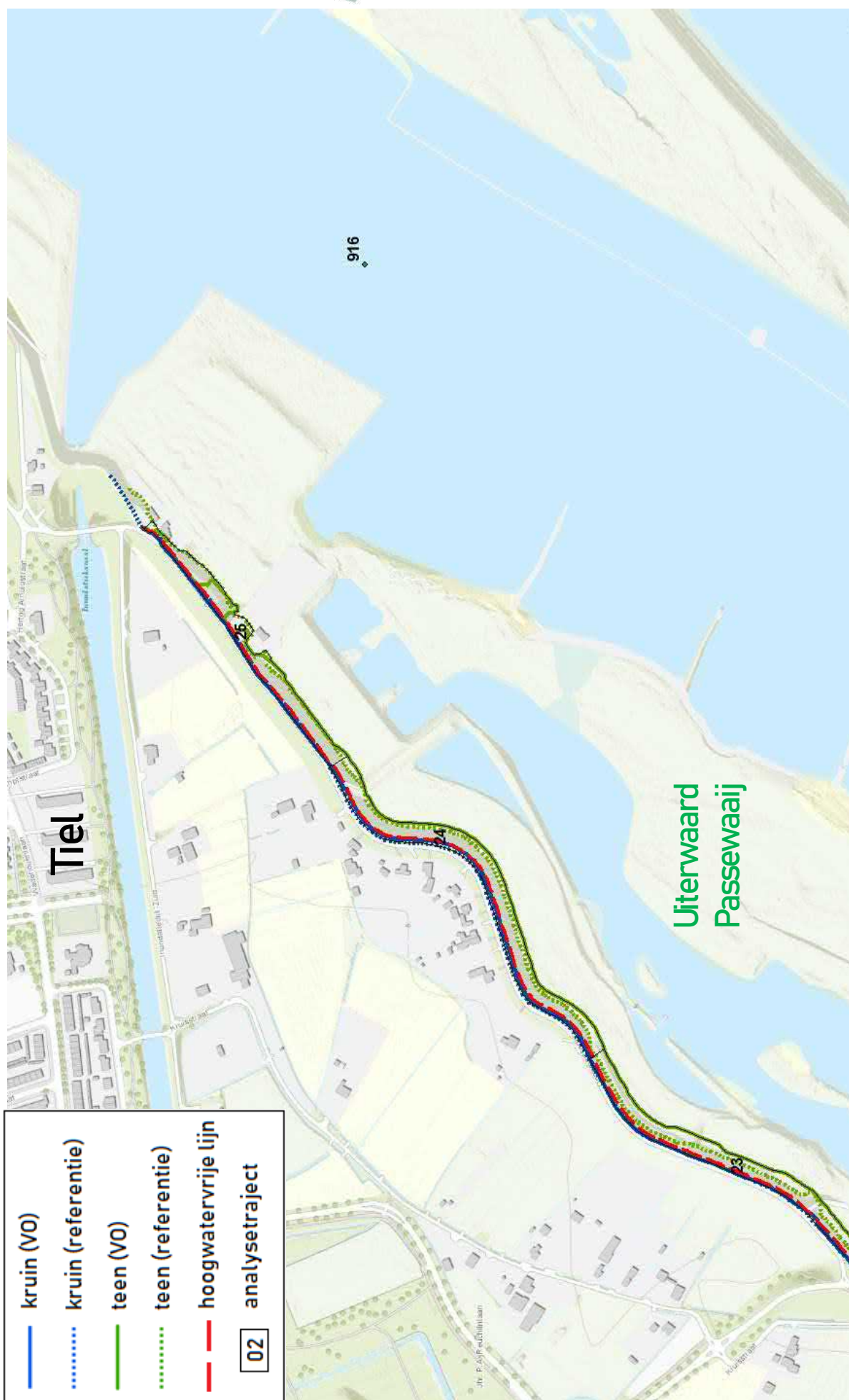






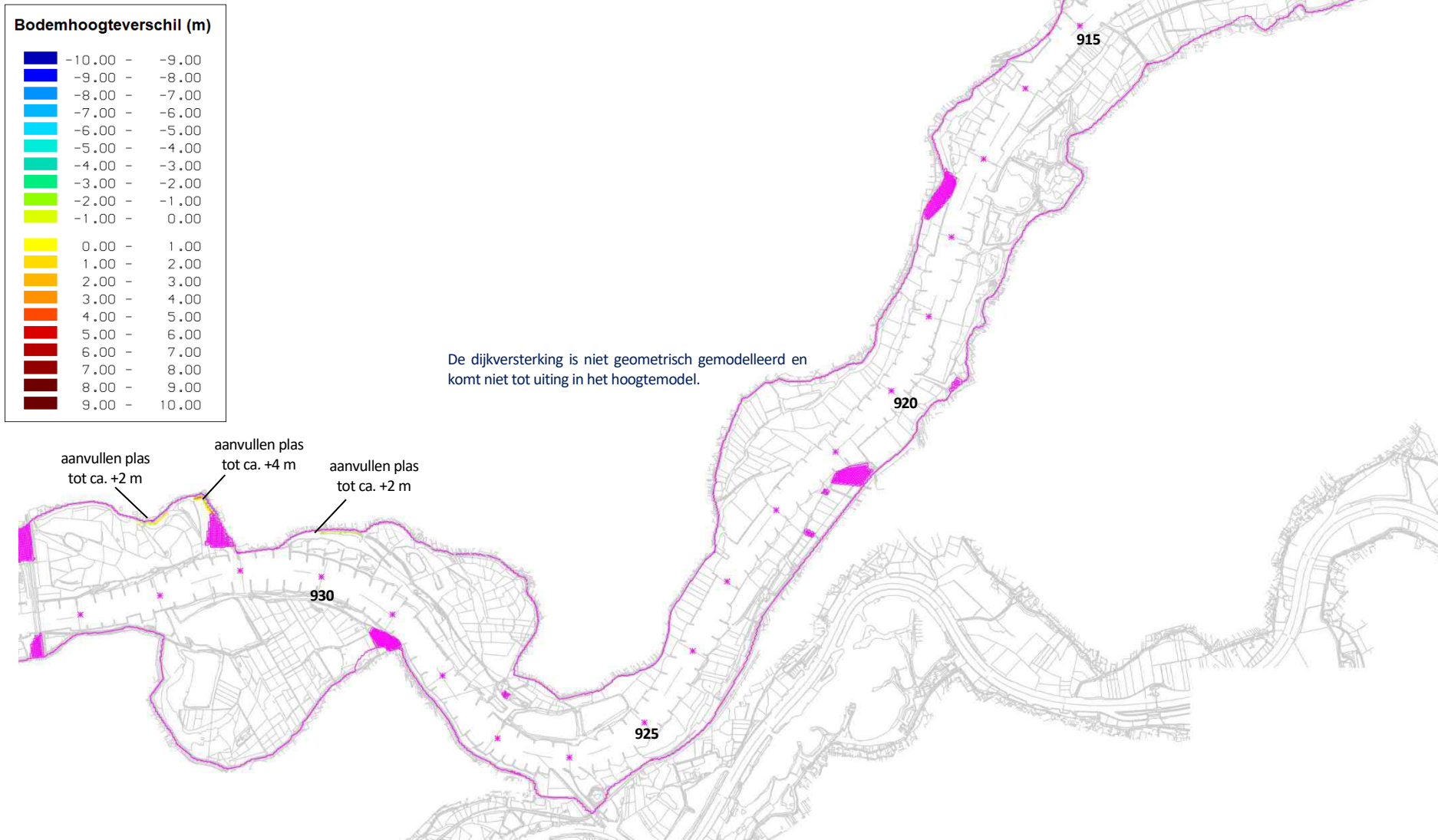






Bijlage 4 Bodemhoogteverschillen

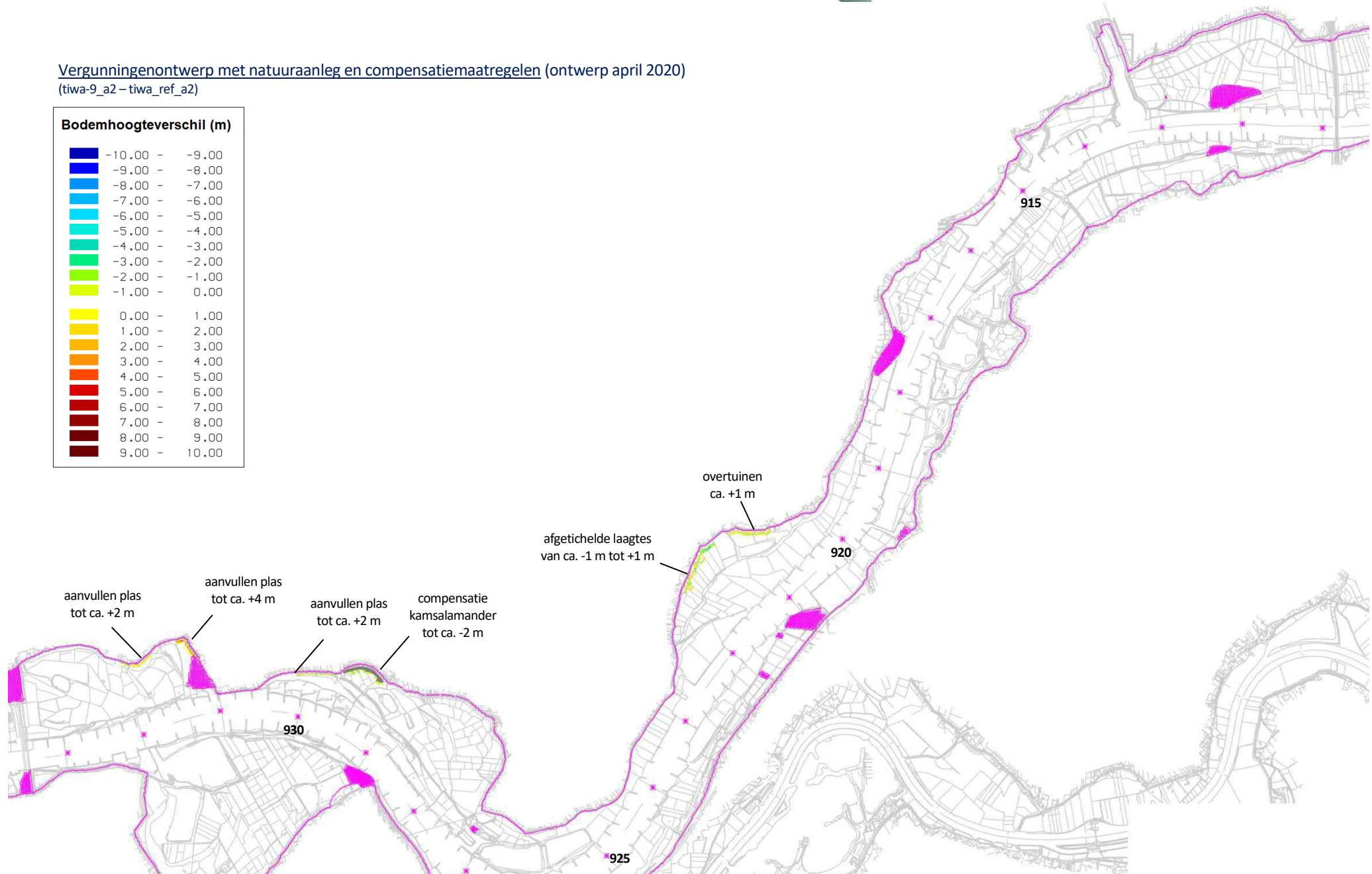
Vergunningenontwerp (ontwerp april 2020)
(tiwa-9_a1 – tiwa_ref_a2)



Vergunningenontwerp met natuuraanleg en compensatiemaatregelen (ontwerp april 2020)
(tiwa-9_a2 – tiwa_ref_a2)

Bodemhoogteverschil (m)

■	-10.00	-	-9.00
■	-9.00	-	-8.00
■	-8.00	-	-7.00
■	-7.00	-	-6.00
■	-6.00	-	-5.00
■	-5.00	-	-4.00
■	-4.00	-	-3.00
■	-3.00	-	-2.00
■	-2.00	-	-1.00
■	-1.00	-	0.00
■	0.00	-	1.00
■	1.00	-	2.00
■	2.00	-	3.00
■	3.00	-	4.00
■	4.00	-	5.00
■	5.00	-	6.00
■	6.00	-	7.00
■	7.00	-	8.00
■	8.00	-	9.00
■	9.00	-	10.00



Bijlage 5 Verschillen in schotjes en overlaten

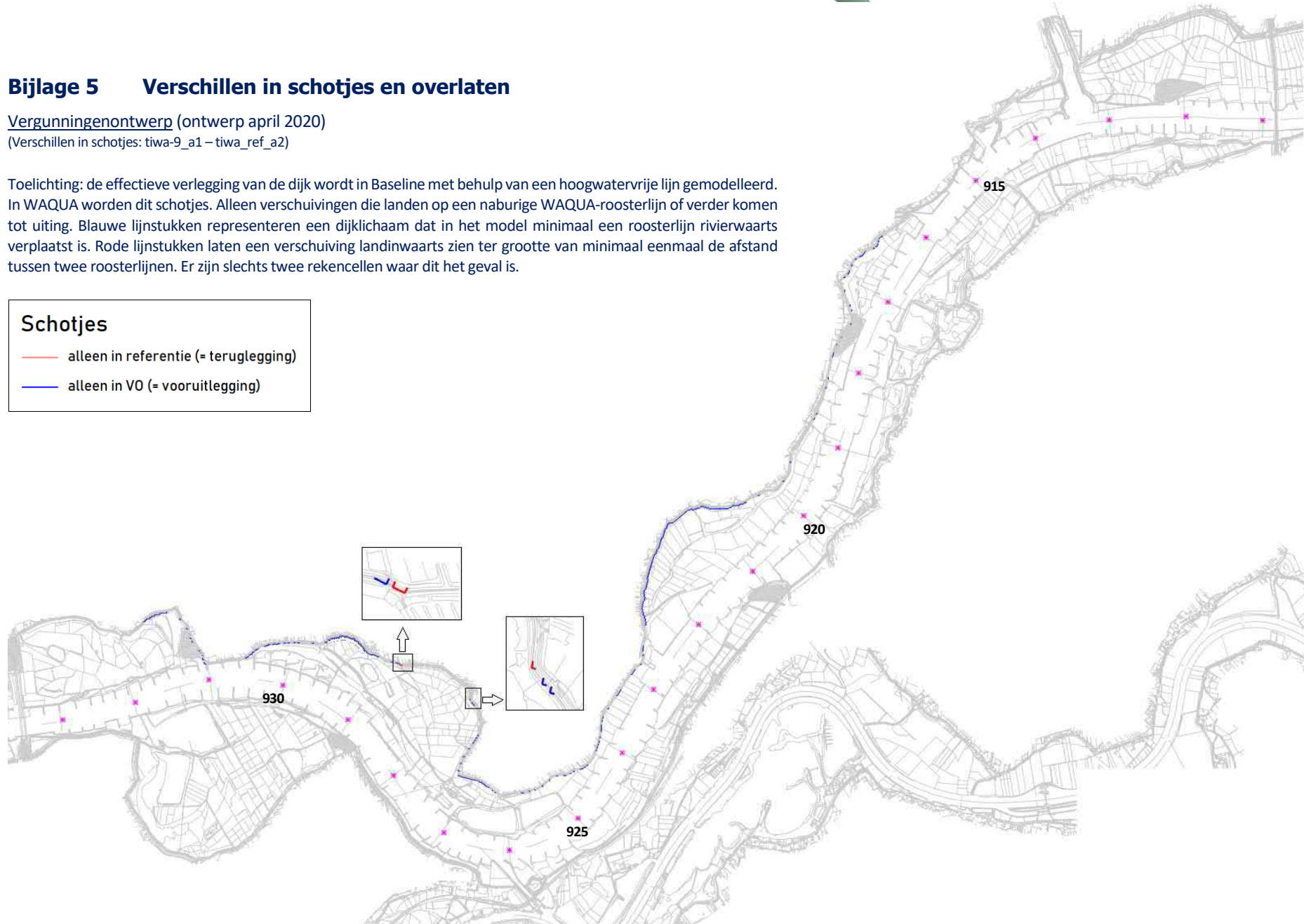
Vergunningenontwerp (ontwerp april 2020)

(Verschillen in schotjes: tiwa-9_a1 – tiwa_ref_a2)

Toelichting: de effectieve verlegging van de dijk wordt in Baseline met behulp van een hoogwatervrije lijn gemodelleerd. In WAQUA worden dit schotjes. Alleen verschuivingen die landen op een naburige WAQUA-roosterlijn of verder komen tot uiting. Blauwe lijnstukken representeren een dijklichaam dat in het model minimaal een roosterlijn rivierwaarts verplaatst is. Rode lijnstukken laten een verschuiving landinwaarts zien ter grootte van minimaal eenmaal de afstand tussen twee roosterlijnen. Er zijn slechts twee rekencellen waar dit het geval is.

Schotjes

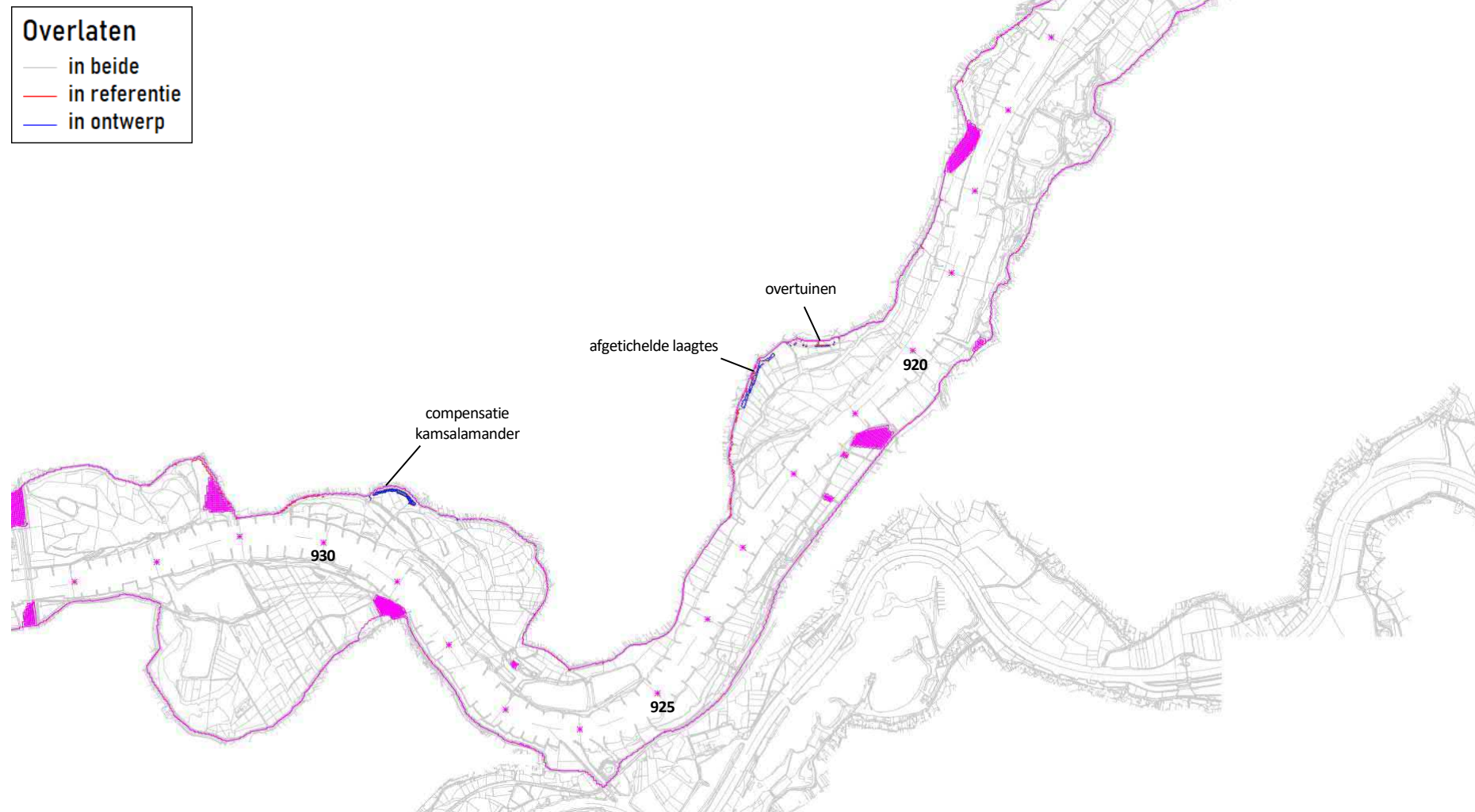
- alleen in referentie (= teruglegging)
- alleen in VO (= vooruitlegging)



Vergunningenontwerp met natuuraanleg en compensatiemaatregelen (ontwerp april 2020)

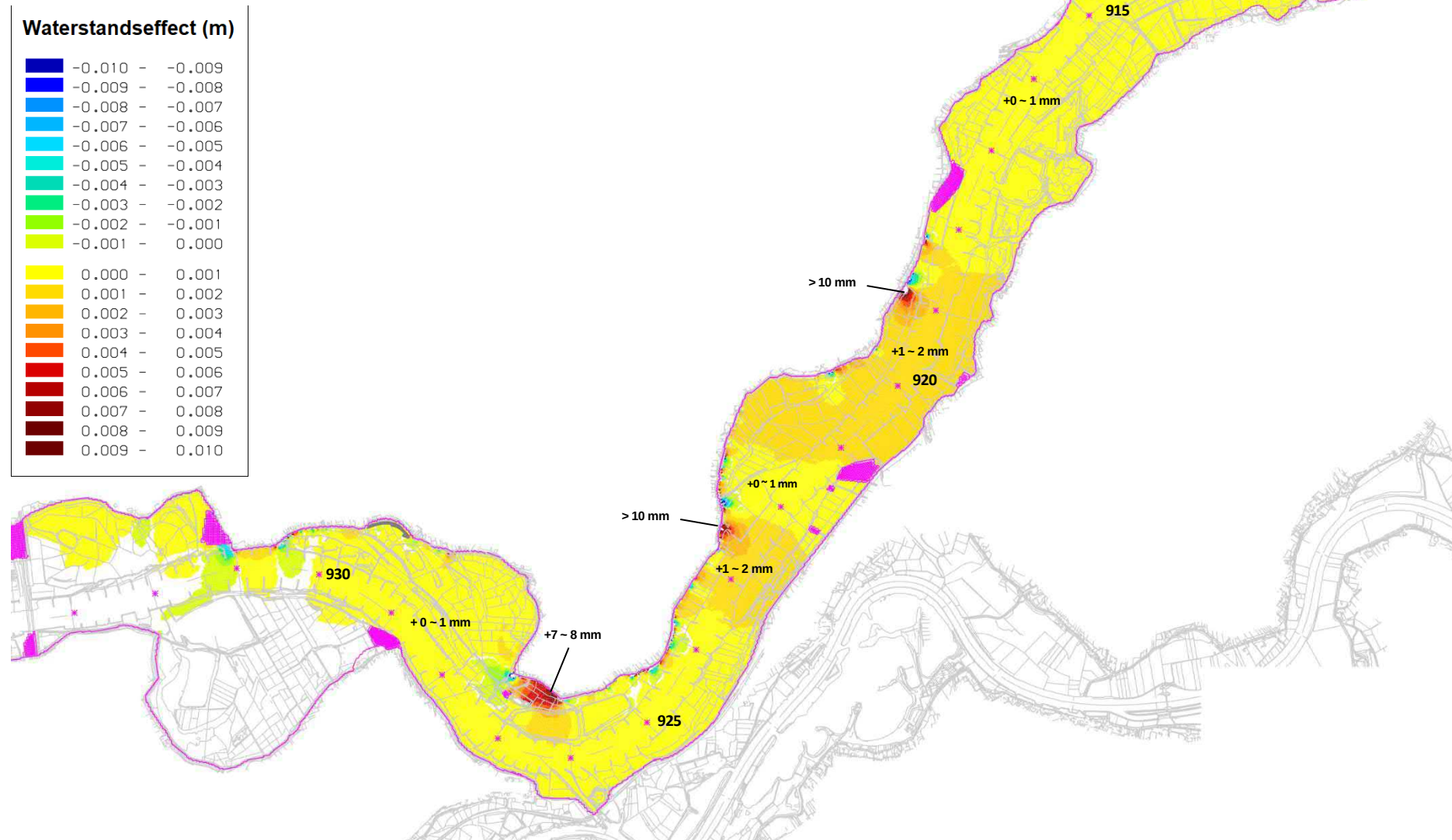
(Verschillen in overlaten: tiwa-9_a2 – tiwa_ref_a2)

Toelichting: de drie weergegeven maatregelen hebben nieuwe overlaten tot gevolg. Door de bodemprofilering ontstaan hellingen steiler dan 1:7, die in Baseline als hoogteverschillen gemodelleerd worden. In WAQUA worden dit overlaten.

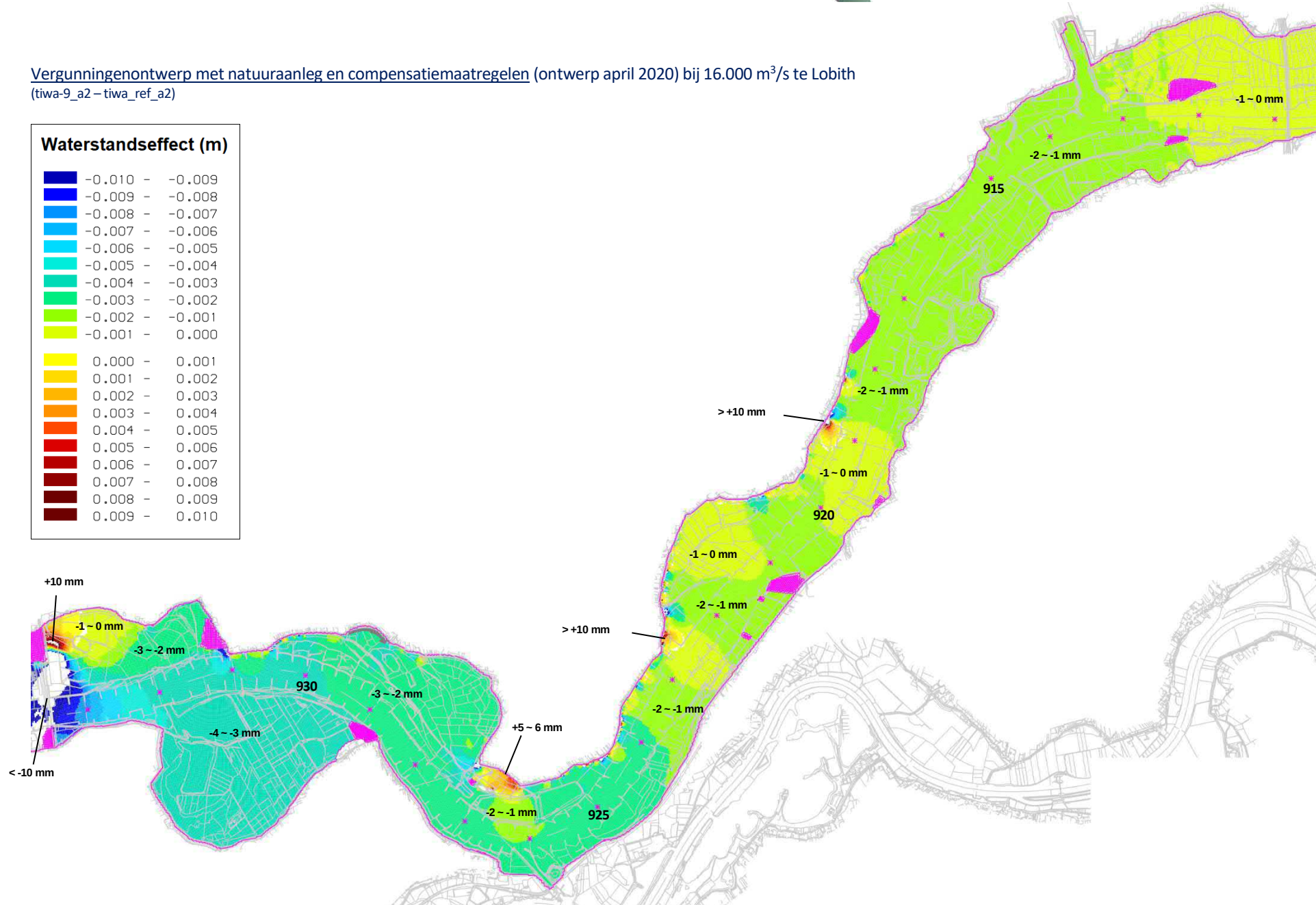


Bijlage 6 Waterstandseffecten

Vergunningenontwerp (ontwerp april 2020) bij 16.000 m³/s te Lobith
(tiwa-9_a1 – tiwa_ref_a2)



Vergunningenontwerp met natuuraanleg en compensatiemaatregelen (ontwerp april 2020) bij 16.000 m³/s te Lobith
(tiwa-9_a2 – tiwa_ref_a2)

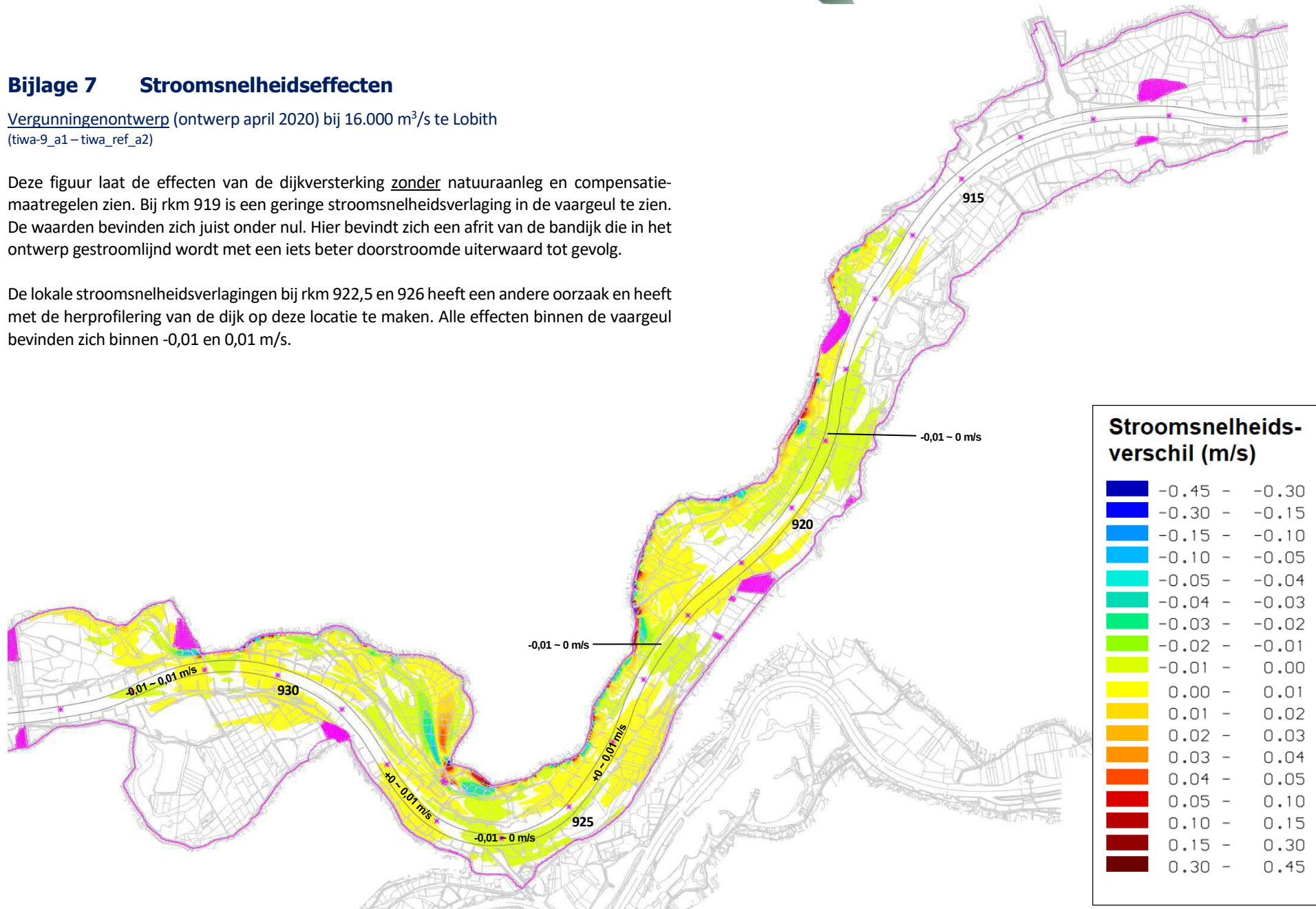


Bijlage 7 Stroomsnelheidseffecten

Vergunningenontwerp (ontwerp april 2020) bij 16.000 m³/s te Lobith
(tiwa-9_a1 – tiwa_ref_a2)

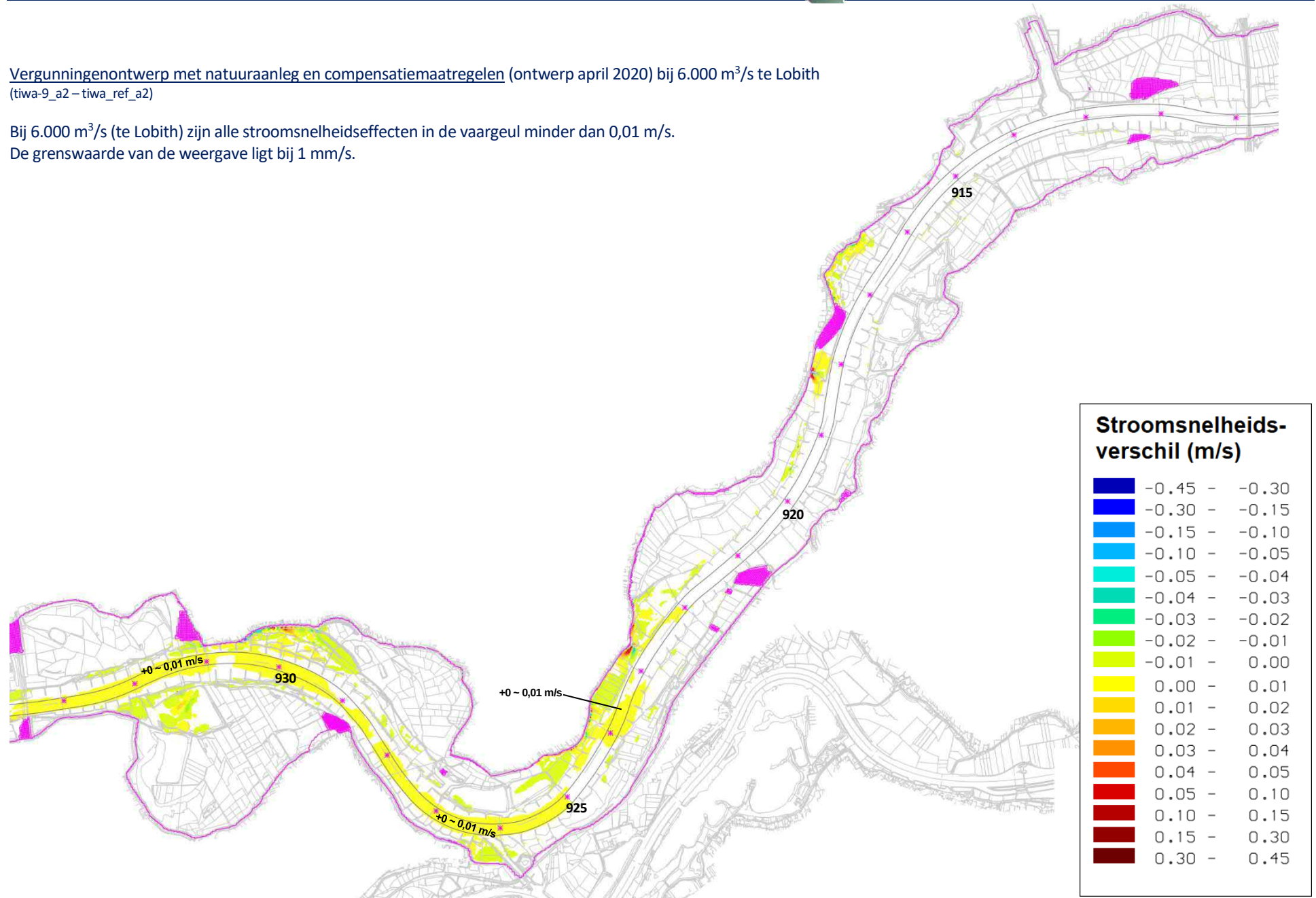
Deze figuur laat de effecten van de dijkversterking zonder natuuraanleg en compensatiemaatregelen zien. Bij rkm 919 is een geringe stroomsnelheidsverlaging in de vaargeul te zien. De waarden bevinden zich juist onder nul. Hier bevindt zich een afrit van de banddijk die in het ontwerp gestroomlijnd wordt met een iets beter doorstroomde uiterwaard tot gevolg.

De lokale stroomsnelheidsverlagingen bij rkm 922,5 en 926 heeft een andere oorzaak en heeft met de herprofilering van de dijk op deze locatie te maken. Alle effecten binnen de vaargeul bevinden zich binnen -0,01 en 0,01 m/s.



Vergunningenontwerp met natuuraanleg en compensatiemaatregelen (ontwerp april 2020) bij 6.000 m³/s te Lobith
(tiwa-9_a2 – tiwa_ref_a2)

Bij 6.000 m³/s (te Lobith) zijn alle stroomsnelheidseffecten in de vaargeul minder dan 0,01 m/s.
De grenswaarde van de weergave ligt bij 1 mm/s.

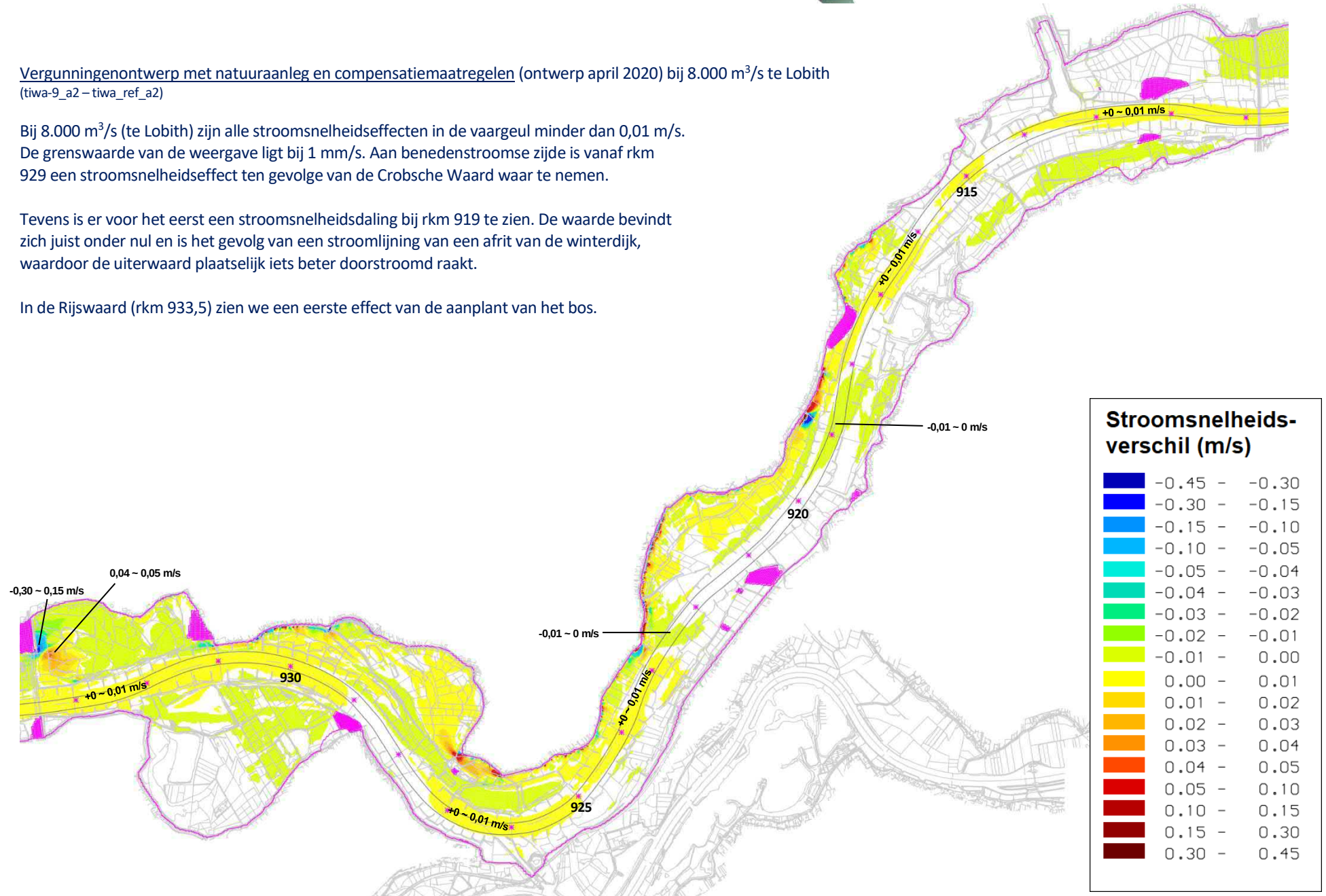


Vergunningenontwerp met natuuraanleg en compensatiemaatregelen (ontwerp april 2020) bij 8.000 m³/s te Lobith
(tiwa-9_a2 – tiwa_ref_a2)

Bij 8.000 m³/s (te Lobith) zijn alle stroomsnelheidseffecten in de vaargeul minder dan 0,01 m/s. De grenswaarde van de weergave ligt bij 1 mm/s. Aan benedenstroomse zijde is vanaf rkm 929 een stroomsnelheidseffect ten gevolge van de Crobsche Waard waar te nemen.

Tevens is er voor het eerst een stroomsnelheidsdaling bij rkm 919 te zien. De waarde bevindt zich juist onder nul en is het gevolg van een stroomlijning van een afrit van de winterdijk, waardoor de uiterwaard plaatselijk iets beter doorstroomd raakt.

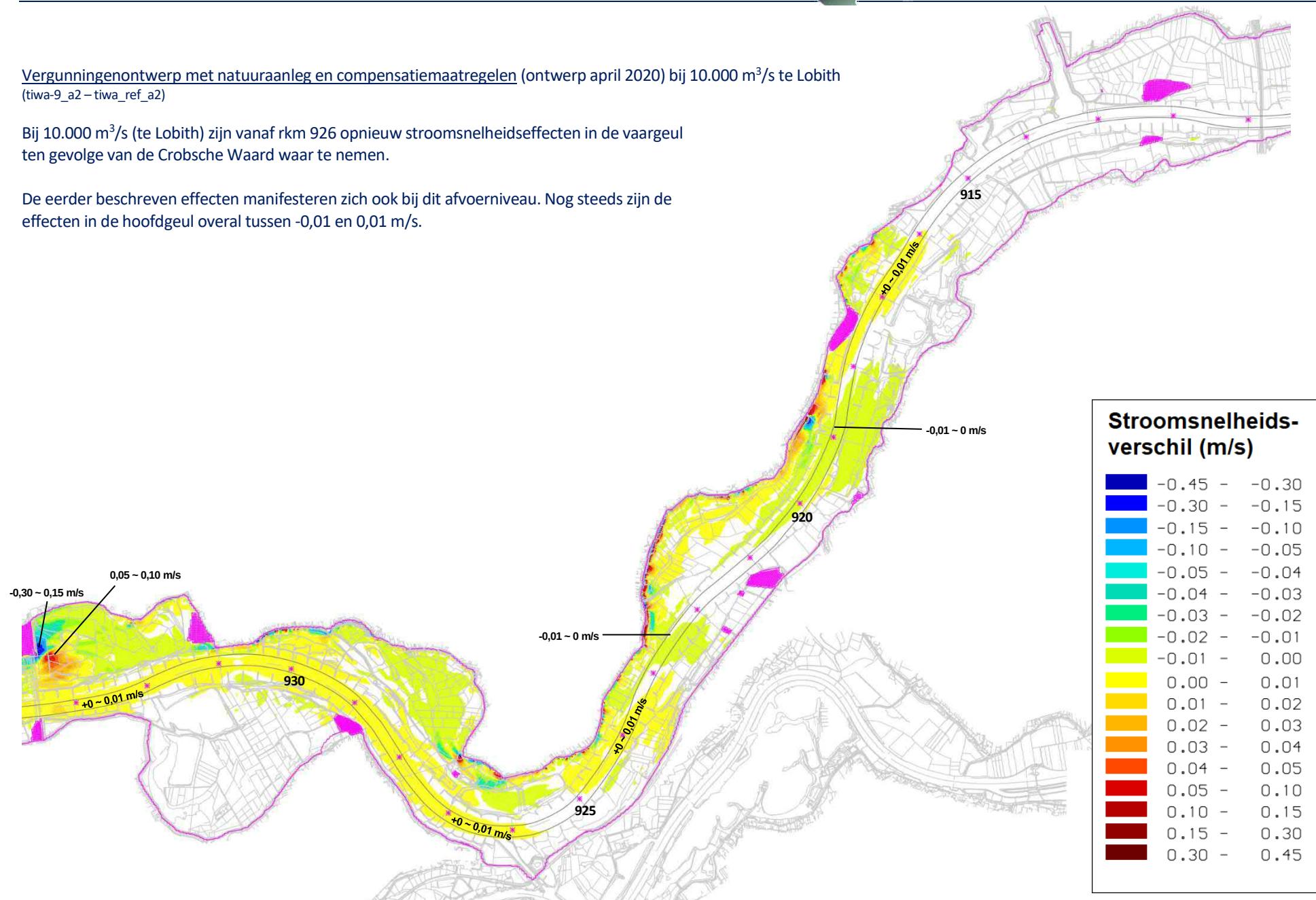
In de Rijswaard (rkm 933,5) zien we een eerste effect van de aanplant van het bos.



Vergunningenontwerp met natuuraanleg en compensatiemaatregelen (ontwerp april 2020) bij 10.000 m³/s te Lobith
(tiwa-9_a2 – tiwa_ref_a2)

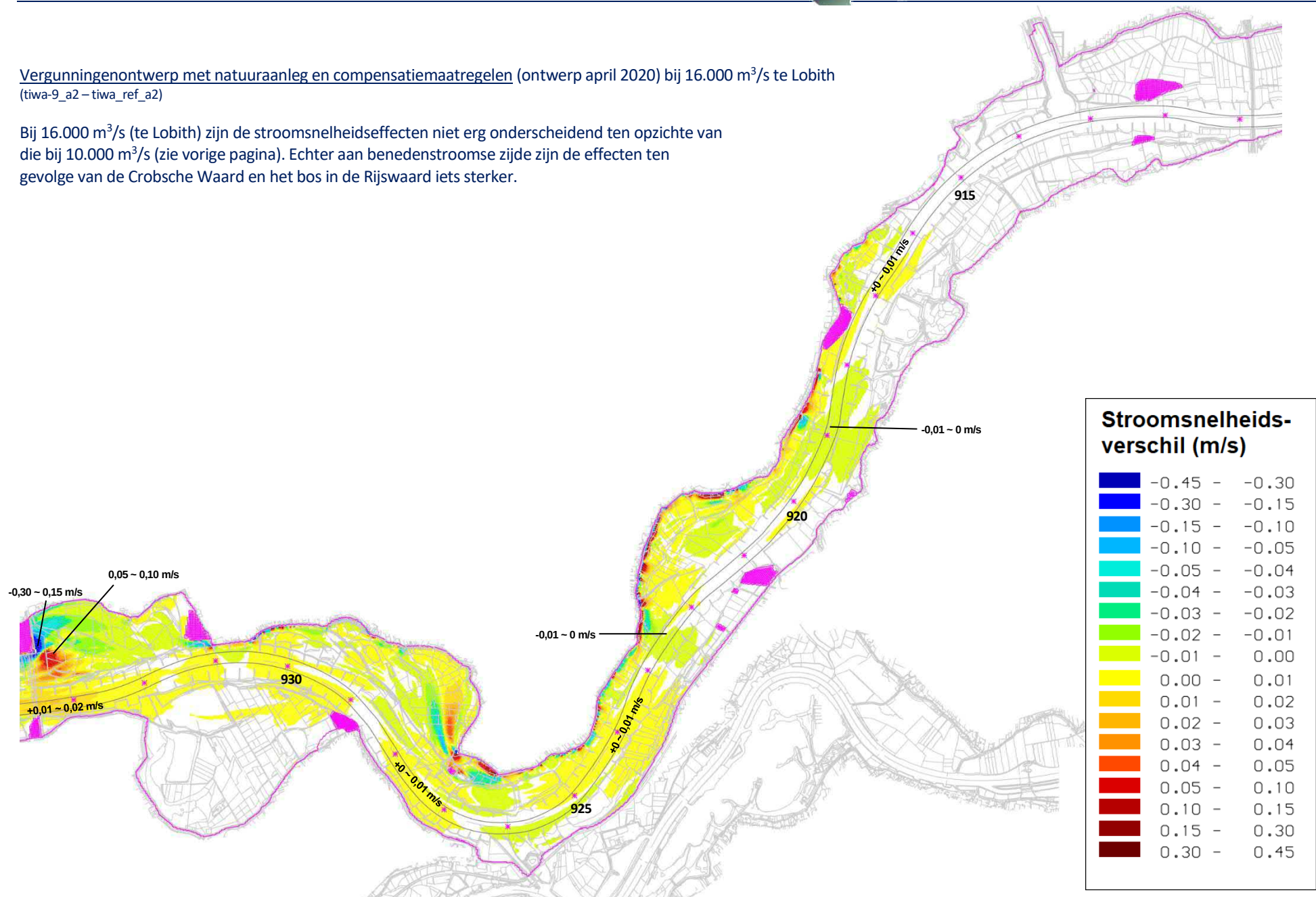
Bij 10.000 m³/s (te Lobith) zijn vanaf rkm 926 opnieuw stroomsnelheidseffecten in de vaargeul ten gevolge van de Crobsche Waard waar te nemen.

De eerder beschreven effecten manifesteren zich ook bij dit afvoerniveau. Nog steeds zijn de effecten in de hoofdgeul overal tussen -0,01 en 0,01 m/s.



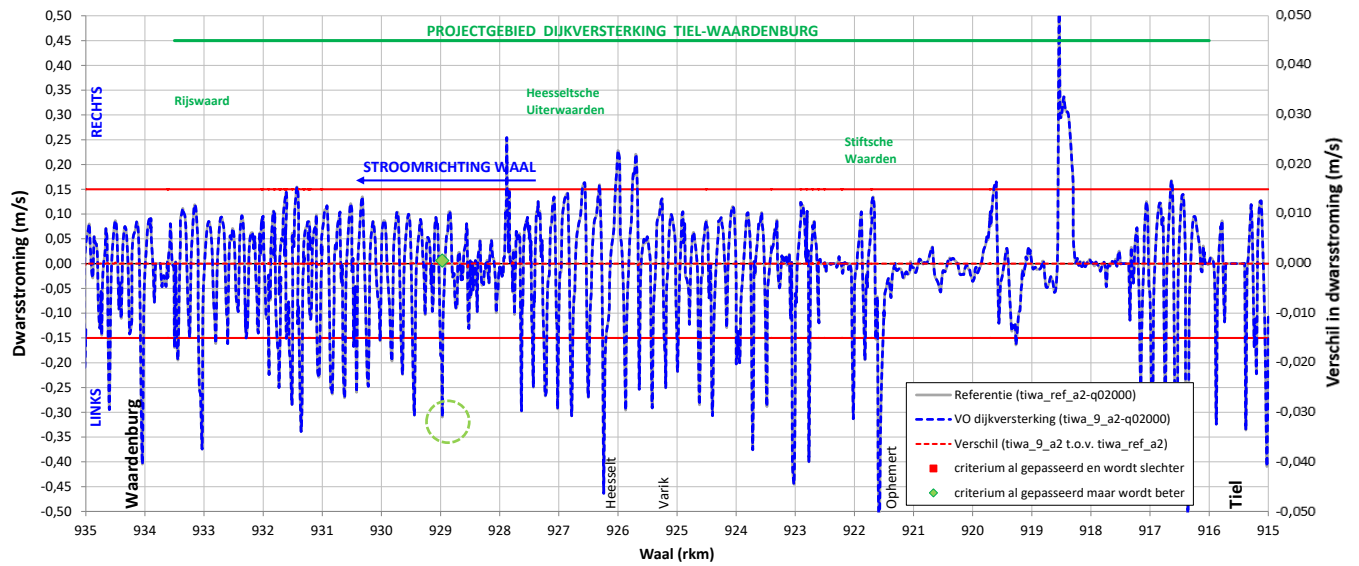
Vergunningenontwerp met natuuraanleg en compensatiemaatregelen (ontwerp april 2020) bij 16.000 m³/s te Lobith
(tiwa-9_a2 – tiwa_ref_a2)

Bij 16.000 m³/s (te Lobith) zijn de stroomsnelheidseffecten niet erg onderscheidend ten opzichte van die bij 10.000 m³/s (zie vorige pagina). Echter aan benedenstroomse zijde zijn de effecten ten gevolge van de Crobsche Waard en het bos in de Rijswaard iets sterker.

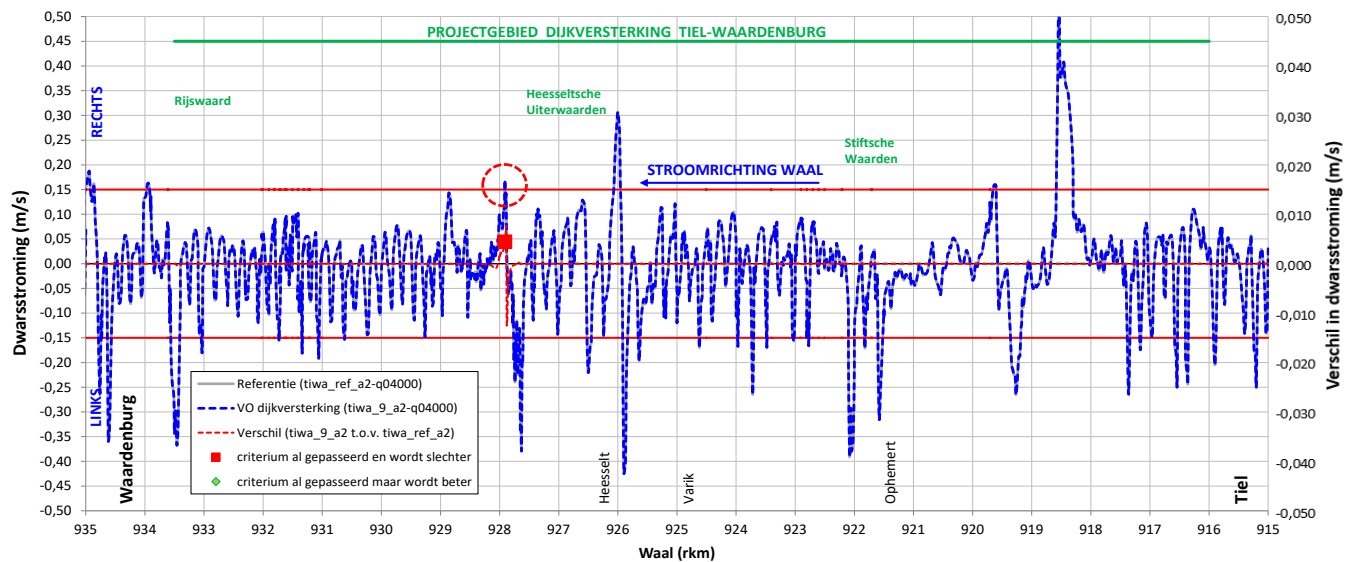


Bijlage 8 Effecten op dwarsstroming (VO inclusief natuuraanleg en compensatiemaatregelen)

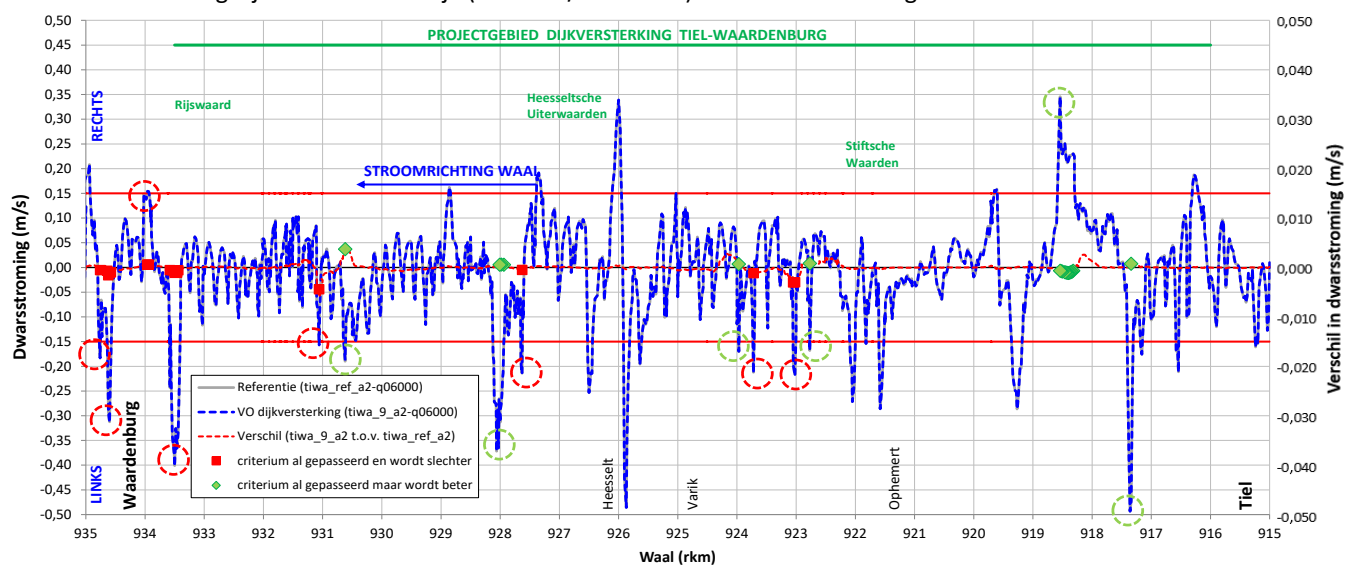
Dwarsstroming bij rechter normaallijn (2.000 m³/s te Lobith): voor de verschillen geldt de rechter Y-as.



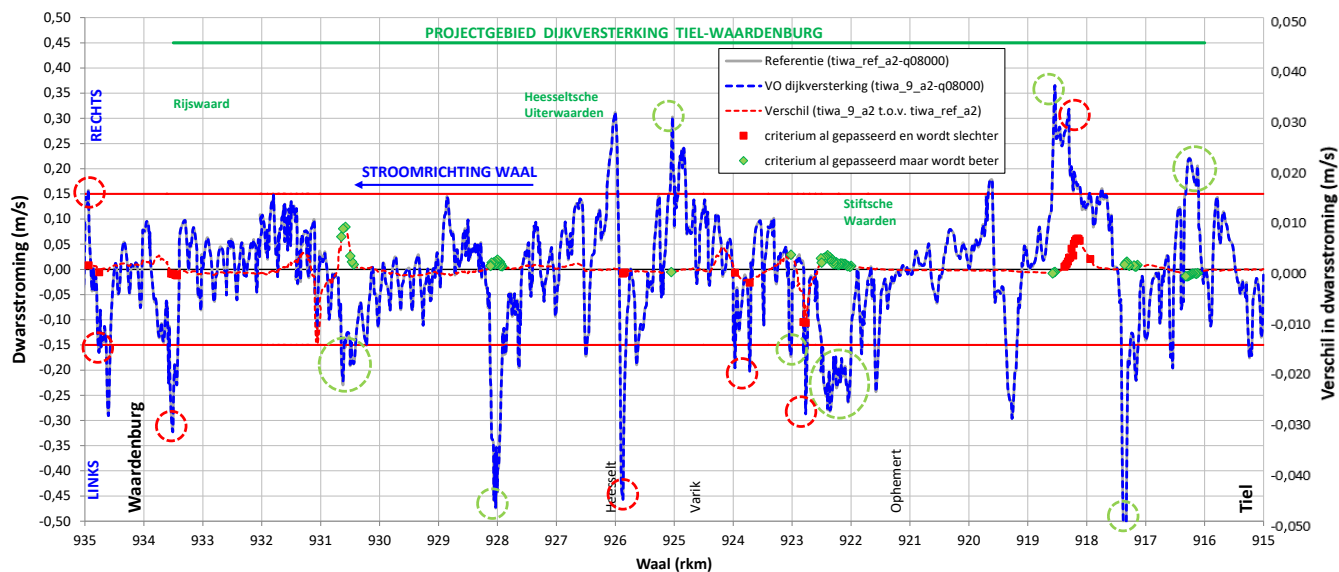
Dwarsstroming bij rechter normaallijn (4.000 m³/s te Lobith): voor de verschillen geldt de rechter Y-as.



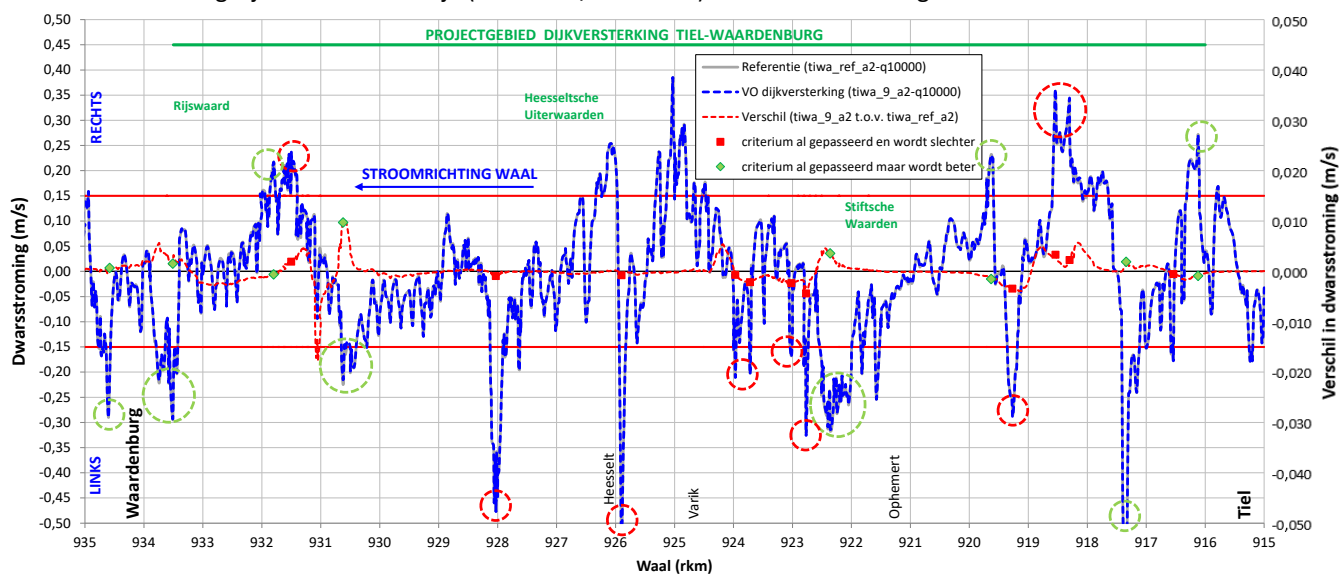
Dwarsstroming bij rechter normaallijn (6.000 m³/s te Lobith): voor de verschillen geldt de rechter Y-as.



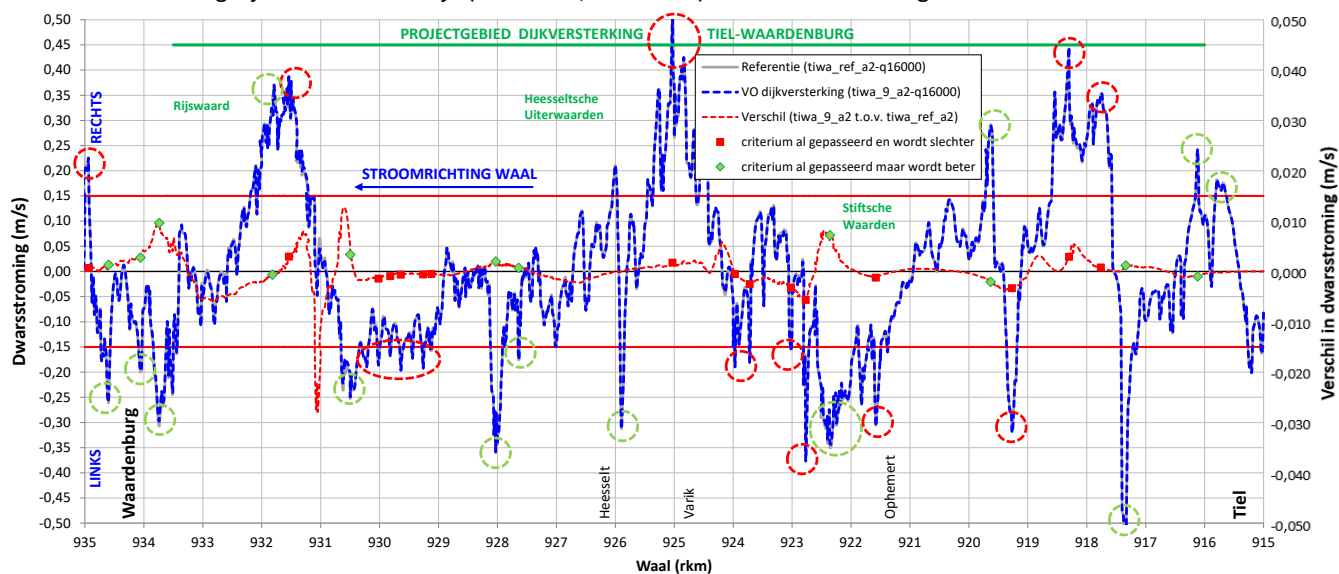
Dwarsstroming bij rechter normaallijn (8.000 m³/s te Lobith): voor de verschillen geldt de rechter Y-as.



Dwarsstroming bij rechter normaallijn (10.000 m³/s te Lobith): voor de verschillen geldt de rechter Y-as.



Dwarsstroming bij rechter normaallijn (16.000 m³/s te Lobith): voor de verschillen geldt de rechter Y-as.



Let op: de effecten op de dwarsstroming bij 16.000 m³/s zijn ter illustratie (geen onderdeel van de RBK-beoordeling).

Verslechtingen en verbeteringen de rechter normaallijn boven het RBK-criterium van dwarsstroming (-0,15 en +0,15 m/s)

Onderstaande tabel vat de omcirkelde locaties uit de voorgaande grafieken samen. Positieve getallen zijn in stroomrichting naar rechts gericht (noordwaarts ofwel landinwaarts). Negatieve getallen zijn in stroomrichting naar links gericht (zuidwaarts ofwel rivierwaarts). Indien de absolute waarde van de dwarsstroomsnelheid toeneemt is er een verslechtering. Indien deze afneemt is er een verbetering. De grootste verbetering en de grootste verslechtering per afvoerniveau staan **groen** resp. **rood** gemarkeerd. Het resultaat 'VO dijkversterking' staat voor het VO inclusief compensatieprojecten.

Q (m³/s) te Lobith	rkm	dwarsstroomsnelheid (m/s)			verbetering / verslechtering
		referentie	VO dijk- versterking	verschil	
2.000	928,97	-0,310	-0,309	0,001	verbetering
4.000	927,91	0,165	0,169	0,004	verslechtering
6.000	917,34	-0,473	-0,472	0,001	verbetering
	918,54	0,346	0,345	-0,001	verbetering
	922,77	-0,168	-0,167	0,001	verbetering
	923,02	-0,216	-0,219	-0,003	verslechtering
	923,72	-0,212	-0,213	-0,001	verslechtering
	923,97	-0,171	-0,170	0,001	verbetering
	927,63	-0,214	-0,215	-0,001	verslechtering
	928,01	-0,298	-0,297	0,001	verbetering
	930,62	-0,190	-0,186	0,004	verbetering
	931,06	-0,153	-0,157	-0,004	verslechtering
	933,50	-0,401	-0,402	-0,001	verslechtering
	933,96	0,154	0,155	0,001	verslechtering
	934,60	-0,312	-0,313	-0,001	verslechtering
	934,76	-0,183	-0,183	-0,001	verslechtering
	916,26	0,221	0,220	-0,001	verbetering
8.000	917,34	-0,625	-0,624	0,001	verbetering
	918,30	0,315	0,317	0,002	verslechtering

Q (m³/s) te Lobith	rkm	dwarsstroomsnelheid (m/s)			verbetering / verslechtering
		referentie	VO dijk- versterking	verschil	
8.000 (vervolg)	918,54	0,366	0,365	-0,001	verbetering
	922,36	-0,281	-0,279	0,002	verbetering
	922,77	-0,276	-0,287	-0,011	verslechtering
	923,02	-0,173	-0,170	0,003	verbetering
	923,72	-0,201	-0,203	-0,003	verslechtering
	925,05	0,224	0,223	-0,001	verbetering
	925,87	-0,456	-0,457	-0,001	verslechtering
	928,03	-0,474	-0,472	0,002	verbetering
	930,62	-0,229	-0,221	0,008	verbetering
	933,51	-0,322	-0,323	-0,001	verslechtering
	934,76	-0,164	-0,164	-0,001	verslechtering
	934,94	0,157	0,158	0,001	verslechtering
10.000	916,12	0,271	0,270	-0,001	verbetering
	916,54	-0,175	-0,176	-0,001	verslechtering
	917,34	-0,706	-0,704	0,002	verbetering
	918,30	0,340	0,343	0,002	verslechtering
	918,54	0,357	0,361	0,003	verslechtering
	919,27	-0,285	-0,289	-0,003	verslechtering
	919,63	0,232	0,231	-0,002	verbetering
	922,36	-0,318	-0,314	0,004	verbetering
	922,77	-0,321	-0,326	-0,004	verslechtering

Q (m³/s) te Lobith	rkm	dwarsstroomsnelheid (m/s)			verbetering / verslechtering
		referentie	VO dijk- versterking	verschil	
10.000 (vervolg)	923,02	-0,168	-0,170	-0,002	verslechtering
	923,72	-0,202	-0,205	-0,002	verslechtering
	923,97	-0,210	-0,211	-0,001	verslechtering
	925,90	-0,545	-0,545	-0,001	verslechtering
	928,03	-0,476	-0,477	-0,001	verslechtering
	930,62	-0,225	-0,215	0,010	verbetering
	931,50	0,236	0,238	0,002	verslechtering
	931,80	0,218	0,217	-0,001	verbetering
	933,51	-0,294	-0,293	0,002	verbetering
	934,58	-0,204	-0,203	0,001	verbetering
16.000	916,12	0,243	0,242	-0,001	verbetering
	917,34	-0,591	-0,589	0,001	verbetering
	917,76	0,353	0,354	0,001	verslechtering
	918,30	0,442	0,445	0,003	verslechtering
	919,27	-0,317	-0,320	-0,003	verslechtering
	919,63	0,292	0,290	-0,002	verbetering
	921,58	-0,305	-0,306	-0,001	verslechtering
	922,36	-0,350	-0,342	0,007	verbetering
	922,77	-0,370	-0,376	-0,006	verslechtering

Q (m³/s) te Lobith	rkm	dwarsstroomsnelheid (m/s)			verbetering / verslechtering
		referentie	VO dijk- versterking	verschil	
16.000 (vervolg)	923,02	-0,155	-0,158	-0,003	verslechtering
	923,72	-0,180	-0,182	-0,002	verslechtering
	923,97	-0,189	-0,190	-0,001	verslechtering
	925,03	0,501	0,503	0,002	verslechtering
	927,64	-0,176	-0,175	0,001	verbetering
	928,03	-0,360	-0,358	0,002	verbetering
	929,12	-0,157	-0,158	-0,001	verslechtering
	929,26	-0,192	-0,192	-0,001	verslechtering
	929,64	-0,196	-0,197	-0,001	verslechtering
	929,82	-0,168	-0,169	-0,001	verslechtering
	930,02	-0,185	-0,186	-0,001	verslechtering
	930,50	-0,253	-0,249	0,003	verbetering
	931,54	0,384	0,387	0,003	verslechtering
	931,82	0,350	0,349	-0,001	verbetering
	933,74	-0,307	-0,297	0,010	verbetering
	934,06	-0,200	-0,197	0,003	verbetering
	934,60	-0,260	-0,259	0,001	verbetering
	934,94	0,223	0,223	0,001	verslechtering

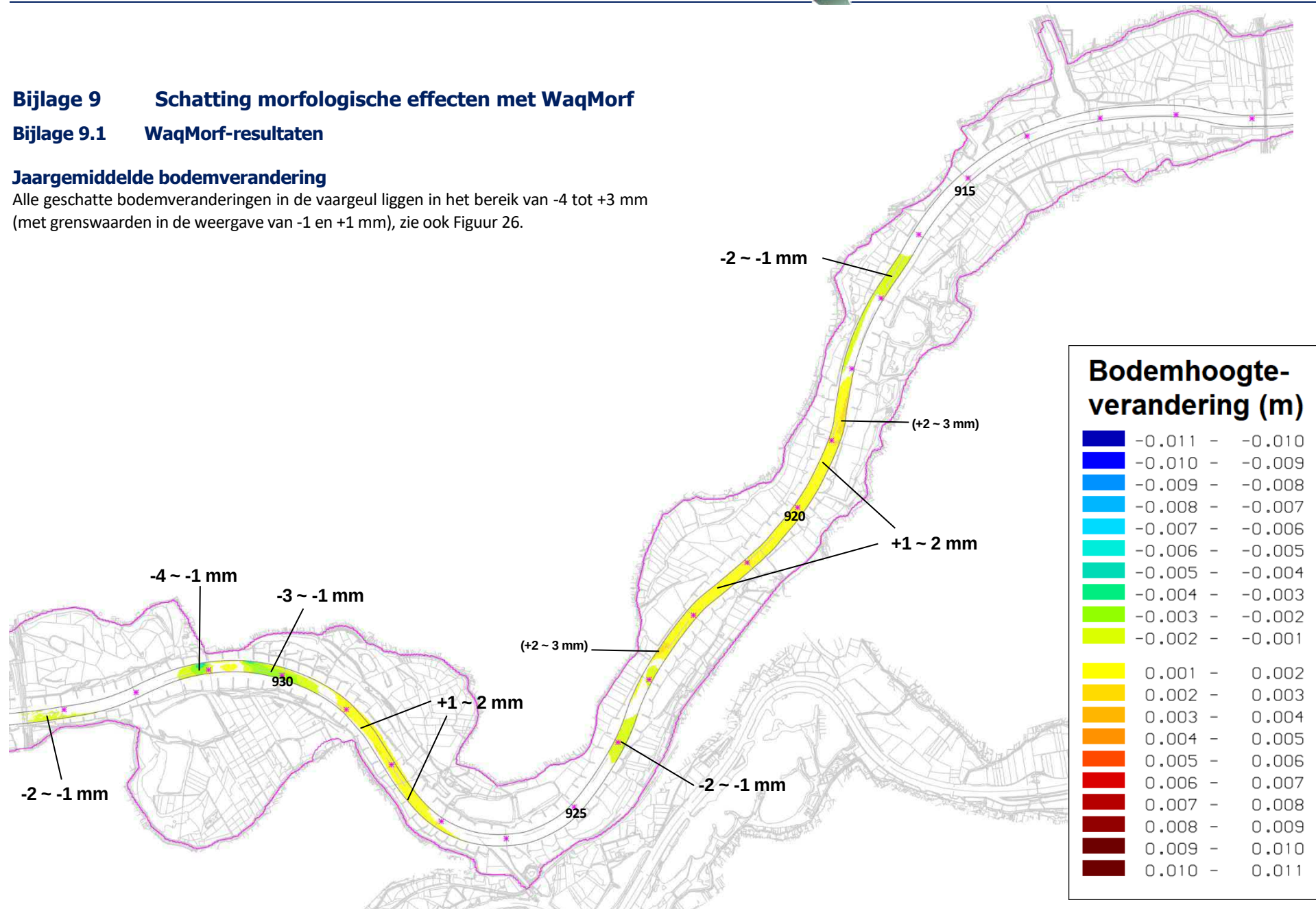
De gemarkeerde locaties met de grootste verslechteringen en verbeteringen uit bovenstaande tabel staan in Tabel 2 samengevat.

Bijlage 9 Schatting morfologische effecten met WaqMorf

Bijlage 9.1 WaqMorf-resultaten

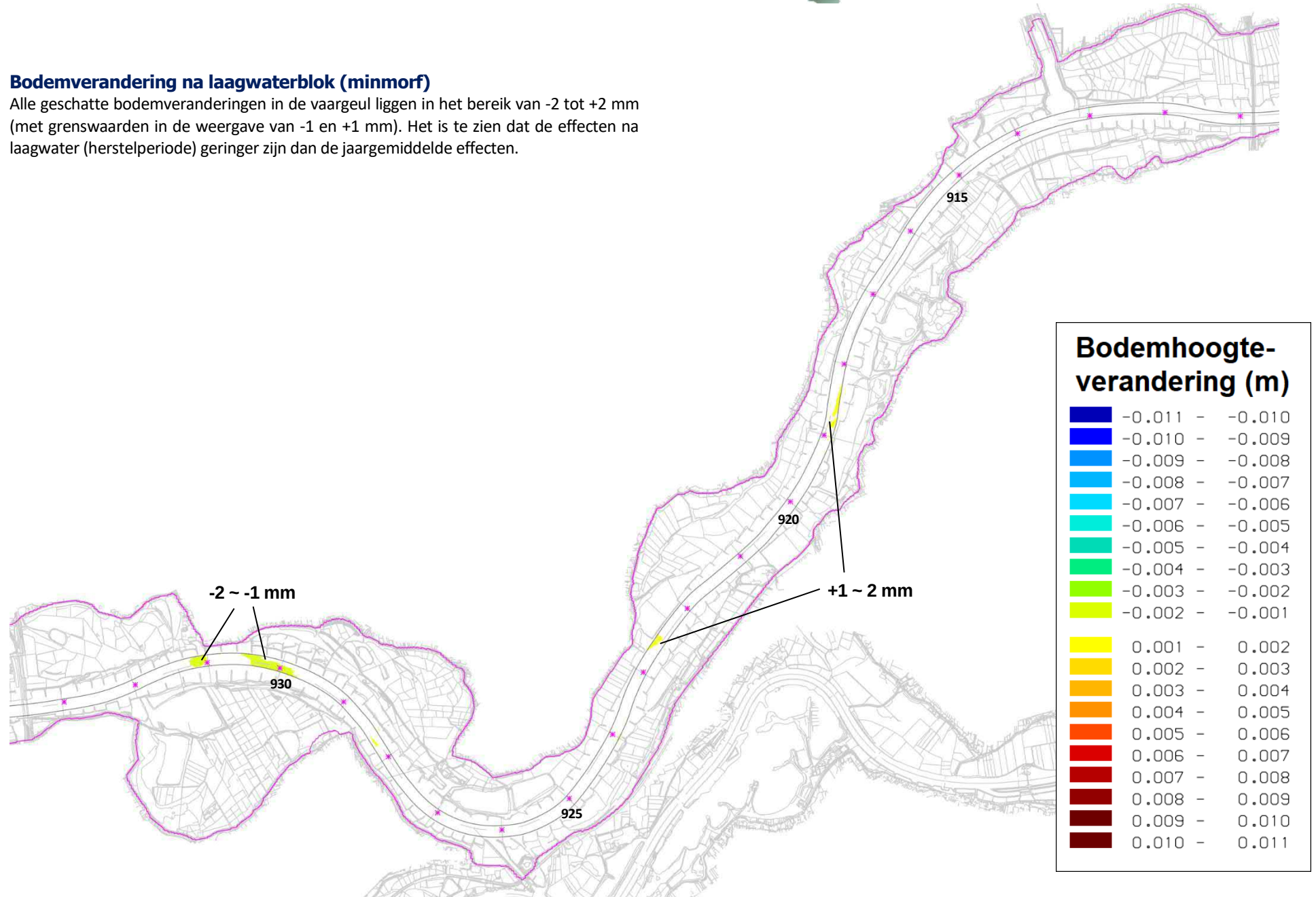
Jaargemiddelde bodemverandering

Alle geschatte bodemveranderingen in de vaargeul liggen in het bereik van -4 tot +3 mm (met grenswaarden in de weergave van -1 en +1 mm), zie ook Figuur 26.



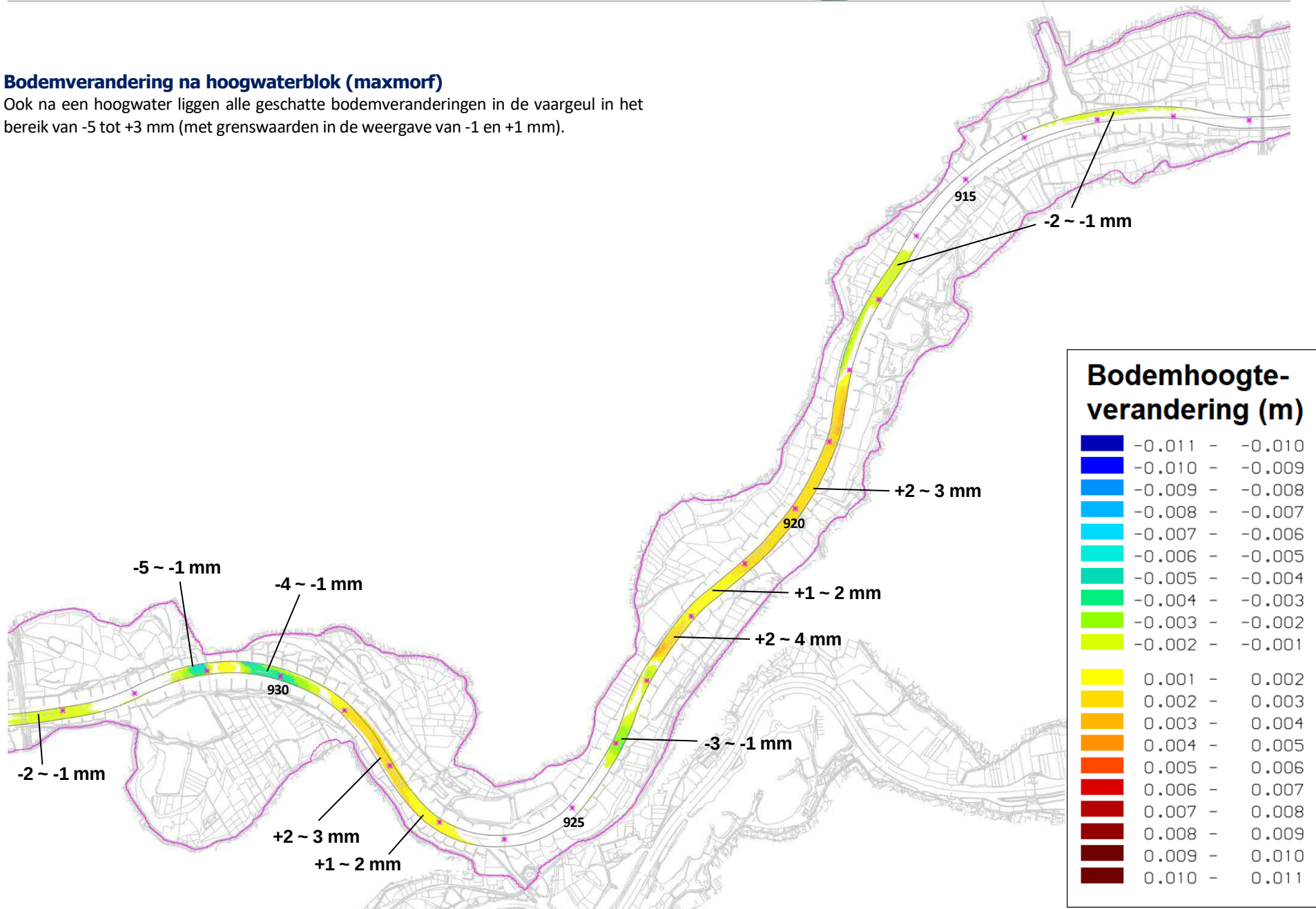
Bodemverandering na laagwaterblok (minmorf)

Alle geschatte bodemveranderingen in de vaargeul liggen in het bereik van -2 tot +2 mm (met grenswaarden in de weergave van -1 en +1 mm). Het is te zien dat de effecten na laagwater (herstelperiode) geringer zijn dan de jaargemiddelde effecten.



Bodemverandering na hoogwaterblok (maxmorf)

Ook na een hoogwater liggen alle geschatte bodemveranderingen in de vaargeul in het bereik van -5 tot +3 mm (met grenswaarden in de weergave van -1 en +1 mm).



Onderstaande volumes betreffen bodemhoogteveranderingen en zijn door WaqMorf bepaald binnen het zomerbed:

resultaat	erosie	sedimentatie	netto	toelichting
minmorf	-86 m ³	+29 m ³	-57 m ³	bodemverandering na laagwaterblok
jaargemiddeld	-606 m ³	+1.073 m ³	+467 m ³	jaargemiddelde bodemverandering
maxmorf	-1.153 m ³	+1.903 m ³	+750 m ³	bodemverandering na hoogwaterblok

De sommaties bestrijken het gehele modelbereik, echter alleen tussen rkm 910 en 935 zijn er resultaten te zien.

Invoerbestanden

tiwa-9 a3 tov tiwa ref a2 waqmorf.in

```
j # ja, draai WAQmorf
j # ja, alle resultaten zijn beschikbaar
j # ja, ga door
l # de tak is de Bovenrijn/Waal
4 # traject is 916-951
j # ja, dit is correct
n # maatregel niet stroomvoerend voor alle afvoeren boven 1000 m3/s
6000 # maatregel stroomvoerend vanaf 6000 m3/s
n # Q3 = 7000 m3/s is niet beschikbaar
8000 # Q3 = 8000 m3/s is wel beschikbaar
j # 0,3 m/s is goede ondergrens
j # programma kan afgesloten worden
```

tiwa-9 a3 tov tiwa ref a2 waqmorf.out

```
-----
      R I J K S W A T E R S T A A T
      Waqmorf.pl - inschatten morfologische effecten met WAQUA stroombeelden.
-----
SIMONADIR                : /opt/simona/simona2015p8

Input files:
=====
Input file                 : tiwa-9_a3_tov_towa_ref_a2_waqmorf.in

Output files:
=====
Output file                : tiwa-9_a3_tov_towa_ref_a2_waqmorf.uit

Using executable           : /opt/simona/simona2015p8/bin/linux64/waqmorf.exe
Dit programma is de "WAQUA vuistregel" voor het schatten
van lokale morfologische effecten door een lokale ingreep
(zie RWS-WD memo WAQUA vuistregel 20-10-08).

Het is een inschatting van evenwichtsbodemveranderingen
in het zomerbed die als gevolg van een ingreep en zonder
aangepast beheer na lange tijd ontstaan.

Dit betreft het effect op de bodem in [m]:
    jaargemiddeld zonder baggeren
    maximaal (na hoogwater) zonder baggeren
    minimaal (na laagwater) zonder baggeren

Met deze bodemveranderingen kunnen knelpunten worden
gesignaleerd. De resultaten zijn niet direkt geschikt
voor het bepalen van de invloed op vaargeulonderhoud!

De jaarlijkse sedimentvracht door de rivier bepaalt de
termijn waarbinnen dit evenwichtseffect kan ontwikkelen.

Dit is versie 29-10-2015.

Bevestig met "j"..
j

De resultaten zijn niet geldig voor combinaties van
meerdere ingrepen, of een enkele ingreep over een
traject van meer dan 4 km lengte!

Om WAQMORF te kunnen gebruiken dient voor de
referentiesituatie en de plansituatie hetzelfde
WAQUA-rooster te worden gebruikt.
```



De waterbeweging gedurende het jaar wordt daartoe in drie afvoerblokken weergegeven:

- blok 1 met afvoer Q1 is het laagwaterblok
- blok 2 met afvoer Q2 is het overgangsblok
- blok 3 met afvoer Q3 is het hoogwaterblok

Zijn hiervan reeds WAQUA-resultaten beschikbaar?

Bevestig met "j", anders antwoord met "n"...

j

Het resultaat van dit programma is een uitvoer van karakteristieke bodemveranderingen. Dit betreft

jaargemiddelde bodemverandering [m] zonder baggeren in "jaargem.out"
 maximale bodemverandering [m] na hoogwater zonder baggeren in "maxmorf.out"
 minimale bodemverandering [m] na laagwater zonder baggeren in "minmorf.out"

Bevestig met "j", of begin opnieuw met "n"...

j

In welke tak ligt het project ?

riviertak	nr
Bovenrijn & Waal	1
Pannerdensch Kanaal & Nederrijn-Lek	2
IJssel	3
Merwedde	4
Maas	5

Het nummer van de relevante tak is...

1 # de tak is de Bovenrijn/Waal

In welk rivierstuk ligt het project ?

rivierstuk	nr
Bovenrijn km 859-867	1
Boven-Waal km 868-886	2
Midden-Waal km 887-915	3
Beneden-Waal km 916-951	4

Het nummer van het relevante rivierstuk is...

4 # traject is 916-951

Het projectgebied ligt in het traject Beneden-Waal

km 916-951

Bevestig met "j" of verbeter de plaatsbepaling door invoer van "n"...

j

Met de volgende drie vragen wordt de maatregel beschreven. Als een maatregel de waterbeweging in de hoofdgeul op meerdere plekken beïnvloedt, beantwoordt de vragen dan voor het maatregel-onderdeel dat naar verwachting op de vaarweg de meeste invloed heeft.

Is de maatregel stroomvoerend voor alle afvoeren bij Lobith boven 1000 m3/s?

Bevestig met "j", anders antwoord met "n"

n

De maatregel wordt stroomvoerend bij afvoeren [m3/s] bij Lobith vanaf...

6000 # maatregel stroomvoerend v

Zijn WAQUA resultaten met Q3 = 7000 m3/s beschikbaar?

Bevestig met "j", anders antwoord met "n"

n

De WAQUA-berekening is uitgevoerd met Q3 =...

8000 # Q3 = 8000 m3/s is wel bes

Bij te lage stroomsnelheden vindt geen bodemverandering plaats.

Een ondergrens hiervoor is 0.300000 m/s.

Is dit voor het traject Beneden-Waal

km 916-951

een goede ondergrens?

Bevestig met "j", anders antwoord met "n"

j

Invoer blok 3 van de drie WAQVIEW xyz-exportfiles bij Q= 8000 m3/s

De filenaam van stroomsnelheden zonder ingreep is...

xyz_velocity-zeta.001.Q3.xyz

File xyz_velocity-zeta.001.Q3.xyz gevonden !

De filenaam van waterdiepten zonder ingreep is...

xyz_waterdepth-zeta.001.Q3.xyz

File xyz_waterdepth-zeta.001.Q3.xyz gevonden !

De filenaam van stroomsnelheden met ingreep is...

xyz_velocity-zeta.002.Q3.xyz

File xyz_velocity-zeta.002.Q3.xyz gevonden !

Inlezen van de drie WAQVIEW files voor blok 3...

Bepalen van karakteristieke bodemveranderingen...

Als elke bodemverandering jaarlijks wordt verwijderd,
dan wordt de lengte waarover dit plaatsvindt geschat
op 62 m vanaf de bovenstroomse rand
van het gebied met bodemverandering.

Bevestig met "j" voor afronding programma...

j

Programma geëindigd !!!

Uitvoerbestanden

verslag_q6.run

Dit programma is de "WAQUA-vuistregel" voor het schatten
van lokale morfologische effecten door een lokale ingreep
(zie RWS-WD memo WAQUA vuistregel 20-10-08).

Het is een inschatting van evenwichtsbodemveranderingen
in het zomerbed die als gevolg van een ingreep en zonder
aangepast beheer na lange tijd ontstaan.

Dit betreft het effect op de bodem in [m]:
jaargemiddeld zonder baggeren
maximaal (na hoogwater) zonder baggeren
minimaal (na laagwater) zonder baggeren

Met deze bodemveranderingen kunnen knelpunten worden
gesignaleerd. De resultaten zijn niet direkt geschikt
voor het bepalen van de invloed op vaargeulonderhoud!

De jaarlijkse sedimentvracht door de rivier bepaalt de
termijn waarbinnen dit evenwichtseffect kan ontwikkelen.

Dit is versie 07-12-2017.

De resultaten zijn niet geldig voor combinaties van
meerdere ingrepen, of een enkele ingreep over een
traject van meer dan 4 km lengte!

Om WAQMORF te kunnen gebruiken dient voor de
referentiesituatie en de plansituatie hetzelfde
WAQUA rooster te worden gebruikt.

=====
Het resultaat van dit programma is deze keer alleen een
overzicht van de benodigde WAQUA berekeningen.
Dit overzicht is na uitvoering van het programma te
vinden in "verslag.run"

Het projectgebied ligt in het traject Beneden-Waal km 916-951

De maatregel is pas stroomvoerend vanaf 6000 m3/s bij Lobith
Door de maatregel stroomt een bankvullende afvoer bij 0 m3/s bij
Lobith



De karakteristieke afvoer van blok 1 is	6000 m3/s bij Lobith
De jaarlijkse duur van blok 1 is	358 dagen
De karakteristieke afvoer van blok 2 is	0 m3/s bij Lobith
De jaarlijkse duur van blok 2 is	0 dagen
De karakteristieke afvoer van blok 3 is	7000 m3/s bij Lobith
De jaarlijkse duur van blok 3 is	7 dagen

 Er is voor het schatten van morfologische effecten
 in het traject Beneden-Waal km 916-951
 de volgende berekening nodig voor
 de situatie zonder en voor de situatie met ingreep

hoogwaterblok met 7000 m3/s bij Lobith

 Als elke bodemverandering jaarlijks wordt verwijderd
 dan wordt de lengte waarover dit plaatsvindt geschat
 op 62 m vanaf de bovenstroomse rand
 van het gebied met bodemverandering.

Via WAQVIEW zijn van de WAQUA-resultaten van elk blok drie exportfiles nodig;

stroomsnelheden file van de referentie	(x,y,stroomsnelheid,m,n)
diepte file van de referentie	(x,y,diepte,m,n)
stroomsnelheden file van de situatie met ingreep	(x,y,stroomsnelheid,m,n)

Programma geëindigd !!!

tiwa-9 a3 tov tiwa ref a2 jaargem.out

```
geef het invoerrooster
geef het WAQUA-bestand (bijvoorbeeld bodem)
geef het WAQUA-bestand van de vaargeul
geef drempelwaarde (critmorf): geef de uitvoerfile
../divers/rijn20m_waal_5-v6.grd
jaargem.out
../divers/vaargeul_waal.waq
0.001
tiwa-9_a3_tov_tiwa_ref_a2
numx is 957 numy is 5609
numx is 957, numy is 5609
xoff is 0., yoff is 0.
data ingelezen
numdat is 4
volume is 467.142533
volume positieve waarden is 1073.04808
volume negatieve waarden is -605.905542
aantal positieve waarden is 292
aantal negatieve waarden is 556
gemiddelde positieve waarden is 0.00200684932
gemiddelde negatieve waarden is -0.00208992806
oppervlakte positieve waarden is 56262.6713
oppervlakte negatieve waarden is 106782.589
```

tiwa-9 a3 tov tiwa ref a2 minmorf.out

```
geef het invoerrooster
geef het WAQUA-bestand (bijvoorbeeld bodem)
geef het WAQUA-bestand van de vaargeul
geef drempelwaarde (critmorf): geef de uitvoerfile
tiwa-9_a3_tov_tiwa_ref_a2
bestaat al
mag deze overschreven worden (j/n)? j
file
tiwa-9_a3_tov_tiwa_ref_a2
zal overschreven worden
../divers/rijn20m_waal_5-v6.grd
minmorf.out
../divers/vaargeul_waal.waq
0.001
tiwa-9_a3_tov_tiwa_ref_a2
numx is 957 numy is 5609
numx is 957, numy is 5609
xoff is 0., yoff is 0.
```

```

data ingelezen
numdat is 4
volume is -56.9236215
volume positieve waarden is 29.1134273
volume negatieve waarden is -86.0370489
aantal positieve waarden is 0
aantal negatieve waarden is 0
gemiddelde positieve waarden is NAN
gemiddelde negatieve waarden is NAN
oppervlakte positieve waarden is 0.
oppervlakte negatieve waarden is 0.

```

tiwa-9 a3 tov tiwa_ref a2_maxmorf.out

```

geef het invoerrooster
geef het WAQUA-bestand (bijvoorbeeld bodem)
geef het WAQUA-bestand van de vaargeul
geef drempelwaarde (critmorf): geef de uitvoerfile
tiwa-9 a3 tov tiwa_ref a2
bestaat al
mag deze overschreven worden (j/n)? j
file
tiwa-9 a3 tov tiwa_ref a2
zal overschreven worden
../divers/rijn20m_waal_5-v6.grd
maxmorf.out
../divers/vaargeul_waal.waq
0.001
tiwa-9 a3 tov tiwa_ref a2
numx is 957 numy is 5609
numx is 957, numy is 5609
xoff is 0., yoff is 0.
data ingelezen
numdat is 4
volume is 749.945174
volume positieve waarden is 1903.01931
volume negatieve waarden is -1153.07413
aantal positieve waarden is 3846
aantal negatieve waarden is 1357
gemiddelde positieve waarden is 0.00208320333
gemiddelde negatieve waarden is -0.00251068534
oppervlakte positieve waarden is 729932.684
oppervlakte negatieve waarden is 262172.449

```

Bijlage 9.2 Waterdiepteanalyse

Inleiding

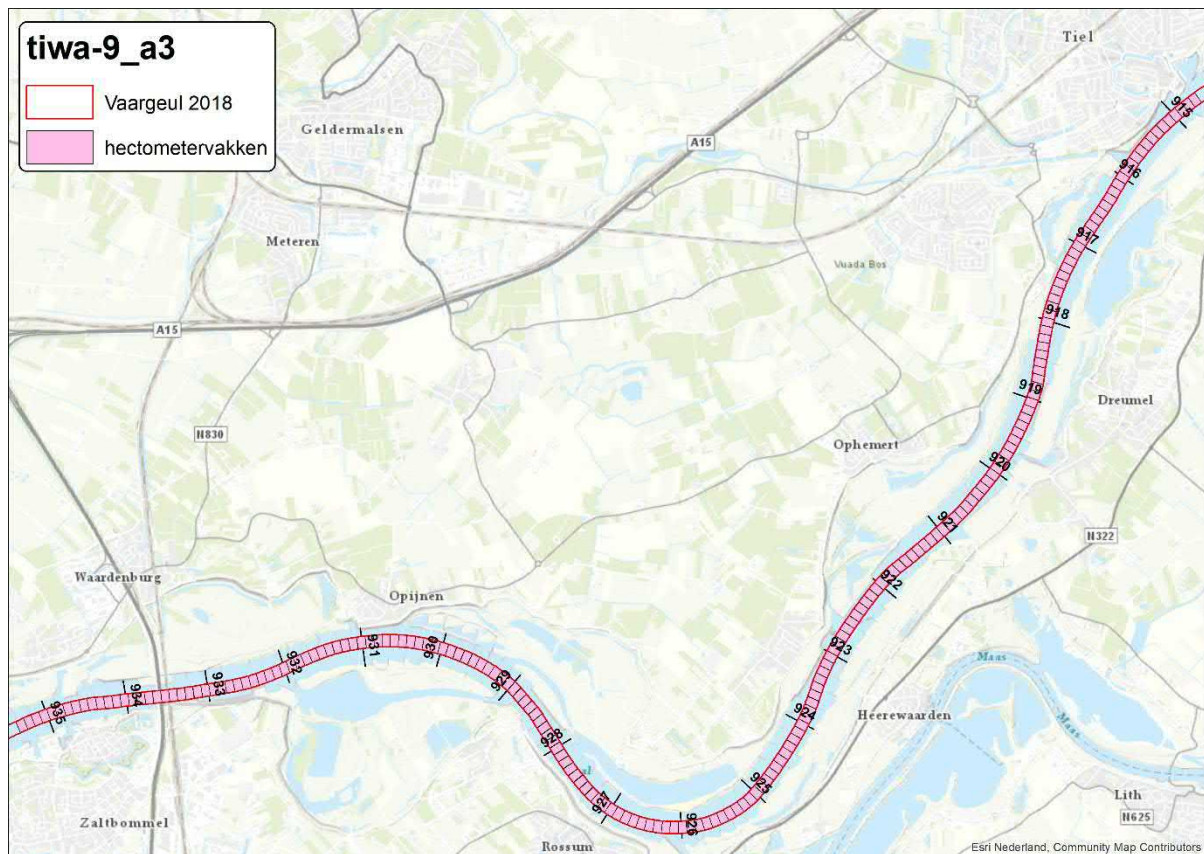
De waterdiepteanalyse gaat verder met de resultaten van de jaargemiddelde morfologische verwachtingen die zijn geschat met behulp van het Simona-hulpprogramma WaqMorf (pagina Bijlage 9 - 1). Met behulp van GIS kunnen andere informatiebronnen zoals de ligging van de vaargeul en een indeling in hectometervakken worden meegenomen in de analyses.

De dataverwerking is gedaan met ArcGIS 10.4. Uitgangssituatie van de analyses zijn een door Rijkswaterstaat toegeleverde geodatabase (versie 2018.1) met daarin:

- de definitie van de vaargeul en van de normaallijn (niet identiek),
- een indeling van de vaargeul in hectometervakken, aangevuld met enkele niet-baggerlocaties en bijzondere zones voor het vaarwegbeheer,
- een waterdiepteraster van de Rijntakken,
- een waterdiepteklasse-indeling in de eerdergenoemde hectometervakken.

Projectgebied

De morfologische verandering ten gevolge van het ontwerp heeft betrekking op de Waal tussen Tiel en Waardenburg, rivierkilometertraject 914,6 tot en met 935,4. De resultaten worden geanalyseerd op het niveau van rastercellen en op een geaggregeerd niveau van hectometervakken. Voor de analyse van de hectometervakken wordt gekeken naar 204 vakken, vak wa_9139 tot en met wa_9342 (Figuur 23).

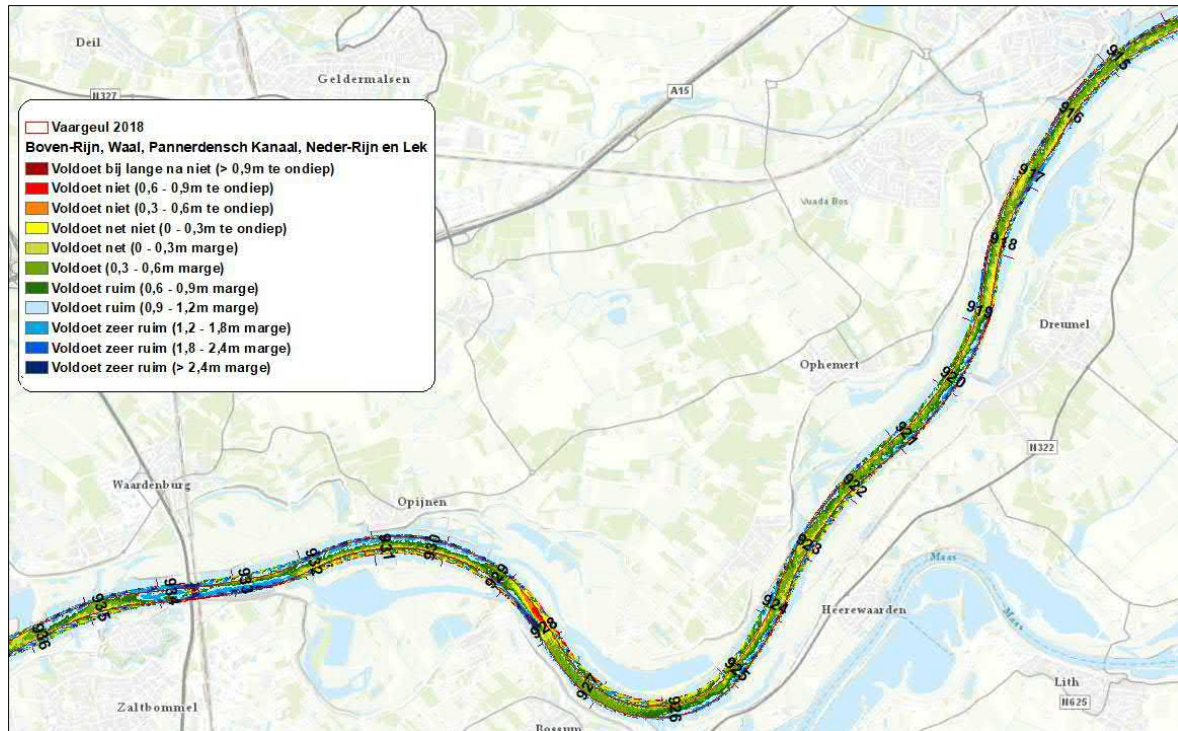


Figuur 23 Projectgebied van de dijkversterking Tiel-Waardenburg met de hectometervakken

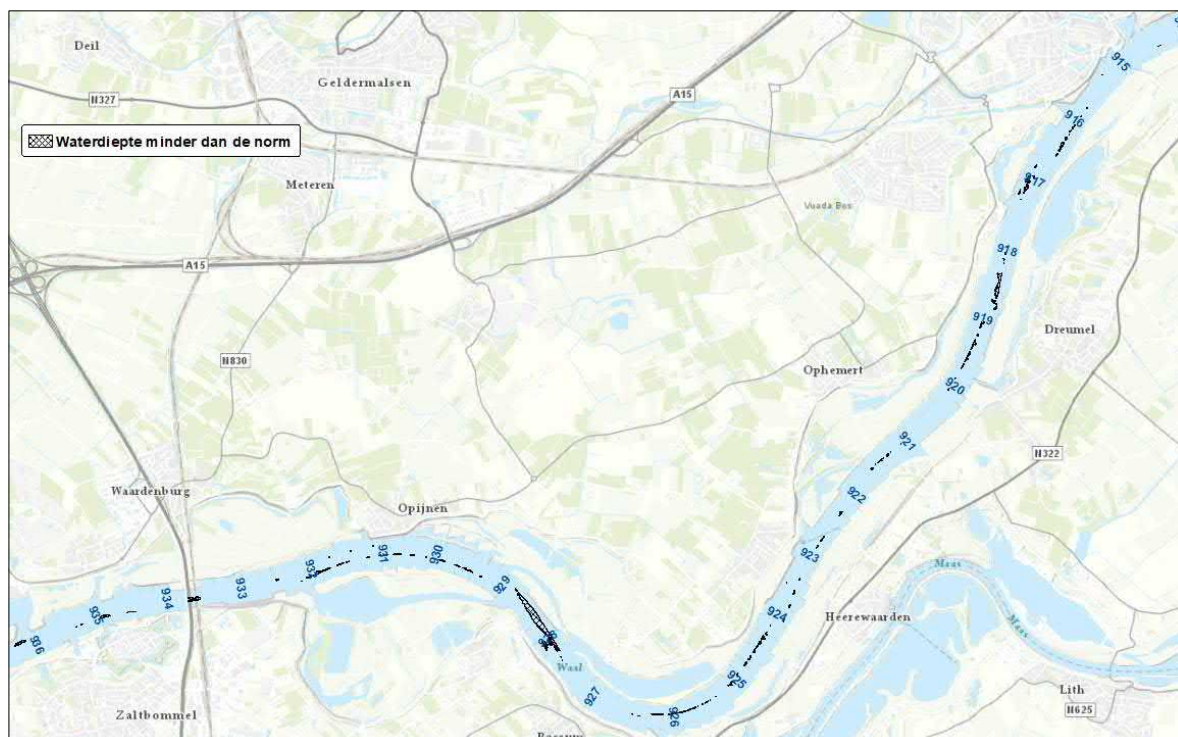
Analyse van de rasterdata

Waterdiepte ten opzichte van de norm (referentiesituatie)

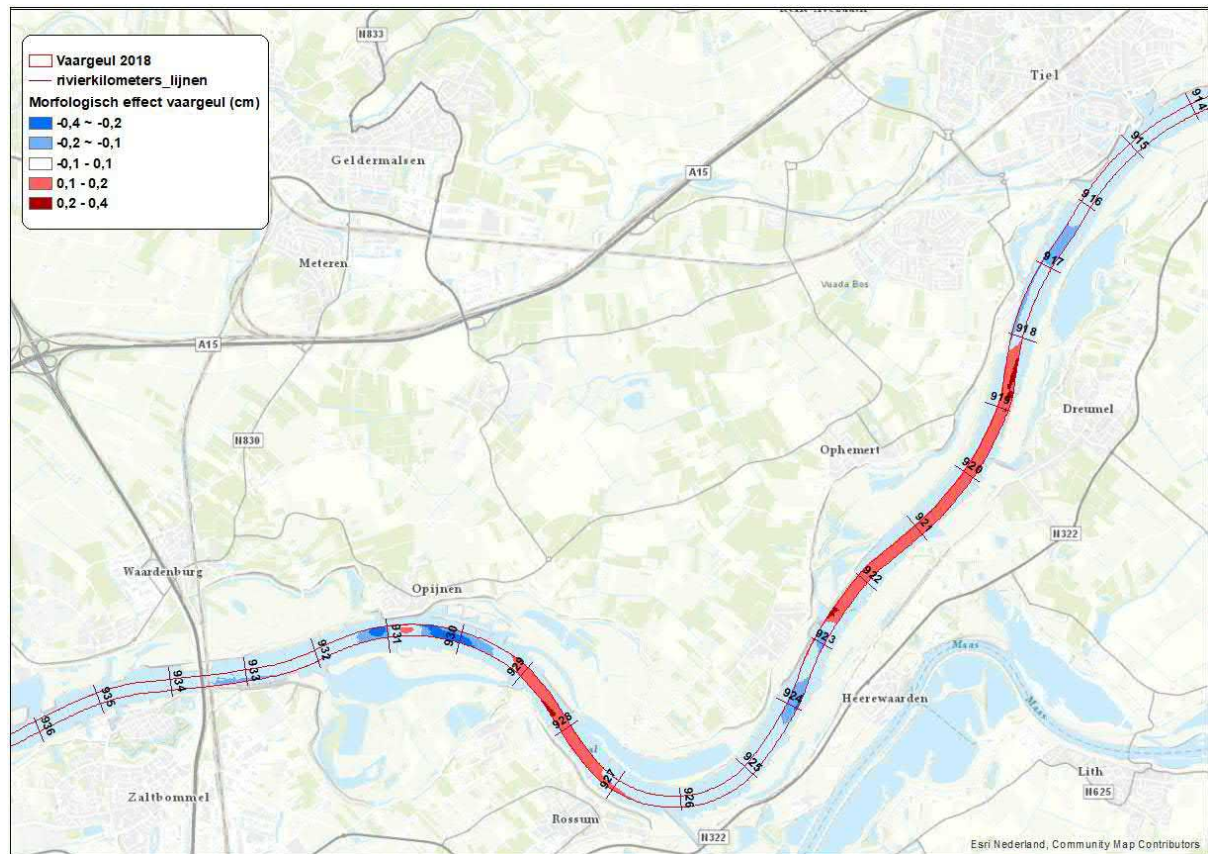
De referentiewaterdiepte ten opzichte van de norm is afgebeeld in Figuur 24. De kaart dient als referentie voor de morfologische effecten met een minimale dieptenorm (oplopend van 2,80 m bij Tiel tot 4,00 m bij Gorinchem) en een streefdiepte (oplopend van 4,00 m bij Tiel tot 5,80 m bij Gorinchem). De kaart beschrijft niet de werkelijke waterdiepte (waterstand minus bodem) maar de waterdiepte ten opzichte van de norm (marge), die weer een samenstelling is van diverse peilingen en aannames over duin- en ribbelvorming door RWS. Voor de analyse zijn de waterdieptekaarten van 2018 gebruikt, gebaseerd op de OLR2012 (OLR = Overeengekomen Lage Rivierstand). Figuur 25 laat uitsluitend de locaties met tekorten zien.



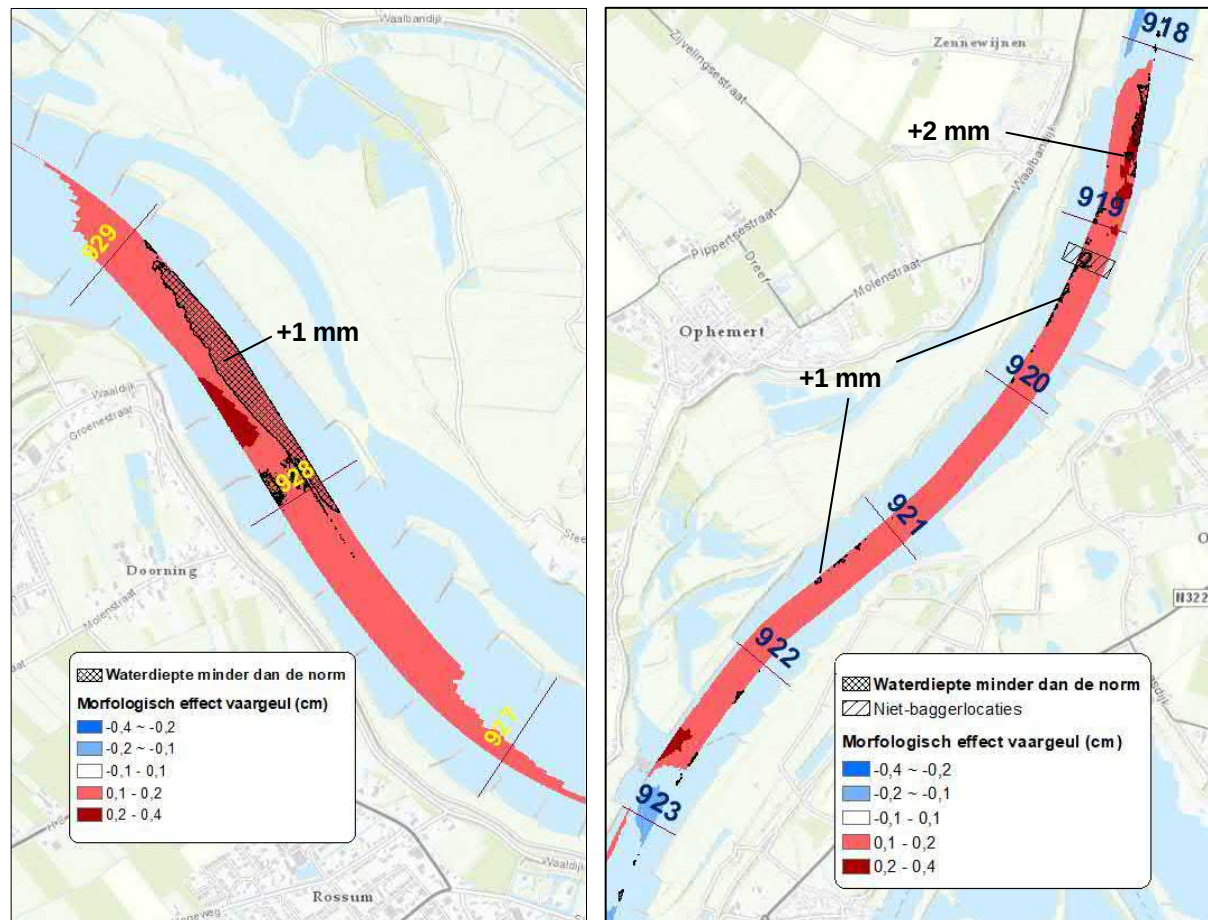
Figuur 24 Waterdiepte ten opzichte van norm (referentiesituatie)



Figuur 25 Locaties met een waterdiepte minder dan de norm (referentiesituatie)



Figuur 26 Morfologisch effect binnen de vaargeul: jaargemiddelde veranderingen (cm)



Figuur 27 Morfologisch effect binnen de vaargeul: verslechtering op locaties met een waterdieptetekort

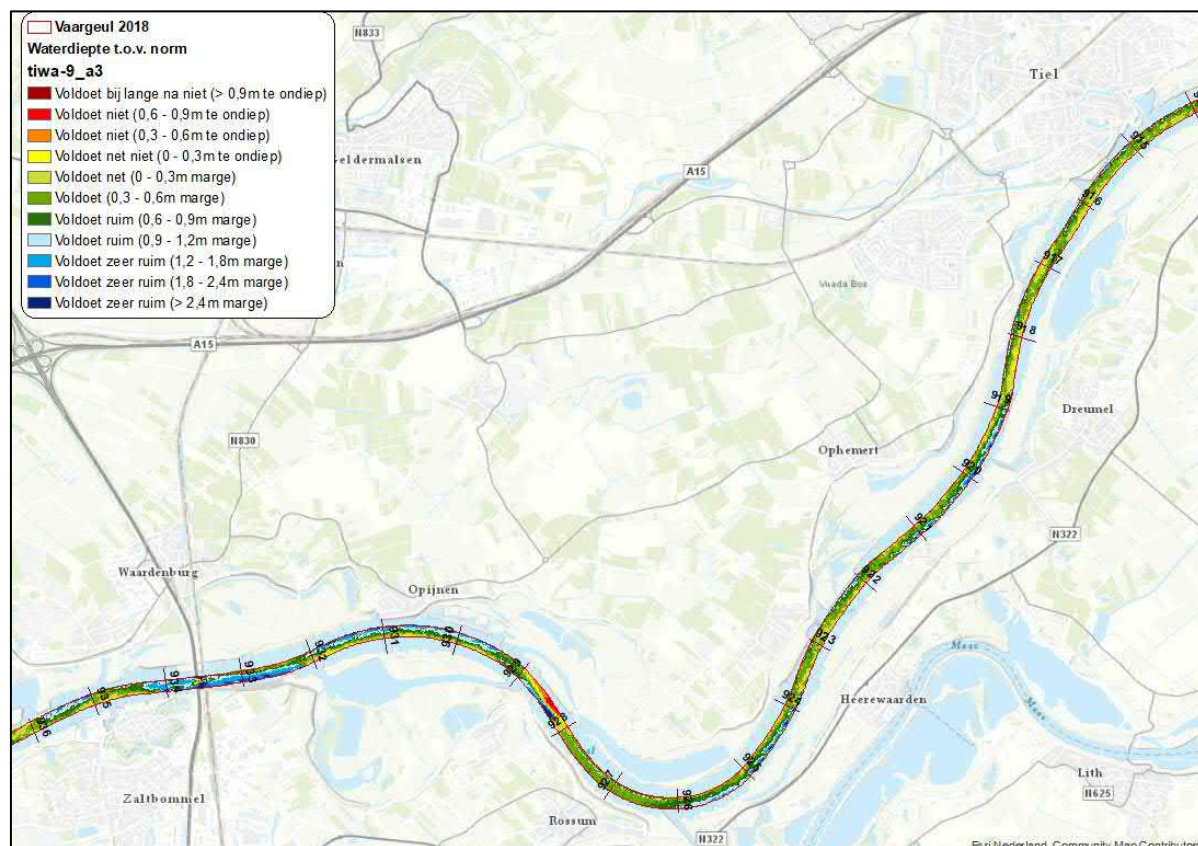
Morfologische effecten (VO)

Het morfologische effect van de dijkversterking met compensatiemaatregelen (vergunningenontwerp: VO) is bepaald door de met WaqMorf geschatte jaargemiddelde morfologische bodemverandering (op basis van $Q = 8.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith) om te zetten naar een rasterbestand. Het uit WaqMorf resulterende ASCII-puntenbestand (zie afbeelding op pagina Bijlage 9-1) bevat geschatte sedimentatie- en erosiewaarden die midden in een WAQUA-cel liggen. Om dezelfde ruimtelijke configuratie te krijgen als de referentiesituatie, is het ASCII-bestand omgezet naar een TIN. Vervolgens is dit TIN omgezet in een raster ($1 \times 1 \text{ m}^2$) dat geografisch exact samenvalt met het raster van de door RWS toegeleverde referentiesituatie. De resultaten in het raster (bodemhoogteveranderingen) zijn vermenigvuldigd met 100 om de eenheden van WaqMorf (m) gelijk te maken aan die van de RWS-toeleveringen (cm). Vervolgens zijn de resultaten geclipt op basis van de vaargeul, immers resultaten buiten het zomerbed zijn niet geldig en hebben geen betekenis. Figuur 26 laat morfologische effecten binnen de vaargeul met uiterste waarden van 0,3 cm (3 mm) sedimentatie en -0,4 cm (-4 mm) erosie zien.

Door het combineren van de gegevens van Figuur 26 met Figuur 25 kunnen we inzoomen op locaties waar al een waterdieptetekort is en bovendien sedimentatie optreedt. Figuur 27 geeft hiervan het resultaat. Bij de Heesselsche Uiterwaarden bevindt zich een traject (rkm 928-929) waar de sedimentatie volgens de legenda 1 tot 2 mm bedraagt (Figuur 27: links) en tussen Zennewijnen en Varik bevinden zich enkele vlekjes waar dit ook het geval is. In de rasterdata zijn de getallen afgerond op millimeters en hier bedragen de afgeronde waarden 1 mm. Bij Dreumel is een traject van 250 m, waar de verwachte sedimentatie volgens de legenda tussen 2 en 4 mm bedraagt. In de rasterdata zijn de getallen afgerond op millimeters en binnen dit vlekje van het waterdieptetekort bedragen de afgeronde waarden 2 mm. In beide figuren zijn deze afgeronde waarden additioneel weergegeven. Bij rkm 919 bevindt zich een niet-baggerlocatie. Deze locaties worden later in deze analyse separaat behandeld.

Waterdiepte ten opzichte van de norm (VO)

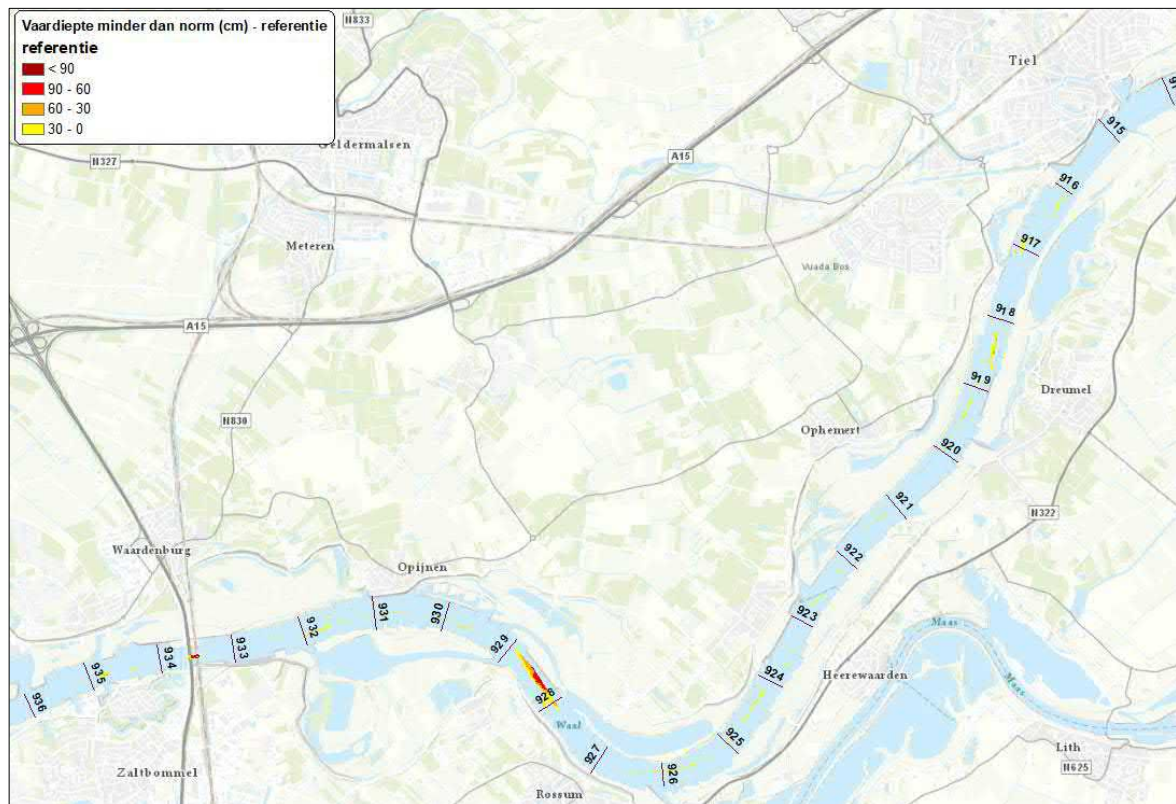
In Figuur 28 is de waterdiepte (t.o.v. de norm) inclusief het morfologische effect volledigheidshalve weergegeven. Om de waterdiepte ten opzichte te bepalen is het raster met de morfologische effecten afgetrokken van het referentieraster (Figuur 24). Een negatieve waarde van de morfologische veranderingen betekent erosie waardoor de waterdiepte ten opzichte van de norm toeneemt. Een positieve waarde betekent sedimentatie, wat een afname van de waterdiepte tot gevolg heeft. Omdat de morfologische veranderingen klein zijn, zijn er op het oog geen verschillen waarneembaar ten opzichte van de waterdieptekaart van de referentiesituatie (Figuur 24). Om deze reden is Figuur 27 voor de analyse zinnvoller.



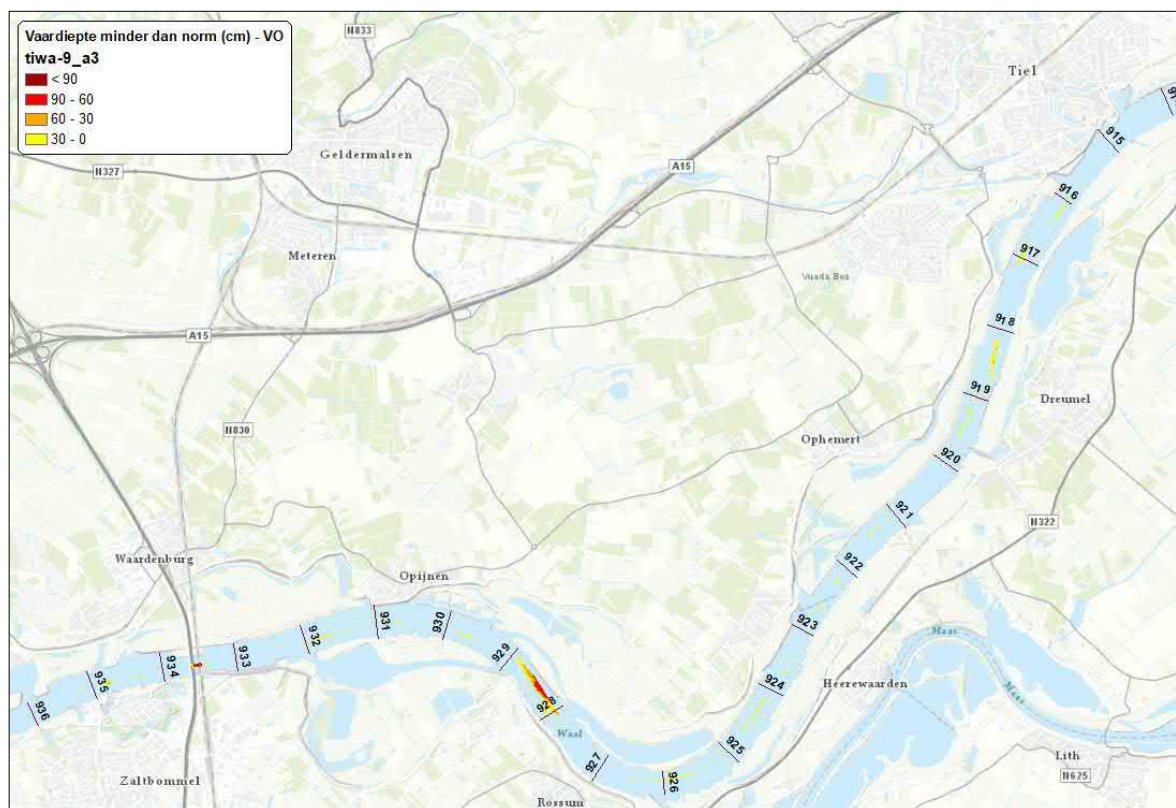
Figuur 28 Waterdiepte ten opzichte van de norm inclusief de morfologische effecten

Waterdiepte in vaargeul onder de norm ten gevolge van morfologische effecten

De morfologische effecten van het VO hebben mogelijk gevolgen op de delen van de Waal waar de waterdiepte onder de norm is. Figuur 29 laat zien waar in de vaargeul de waterdiepte onder de norm is (referentiesituatie) en Figuur 30 laat zien waar deze onder de norm is als de morfologische effecten worden meegenomen. De twee figuren verschillen niet zichtbaar van elkaar.



Figuur 29 Waterdiepte in vaargeul onder de norm (referentiesituatie)



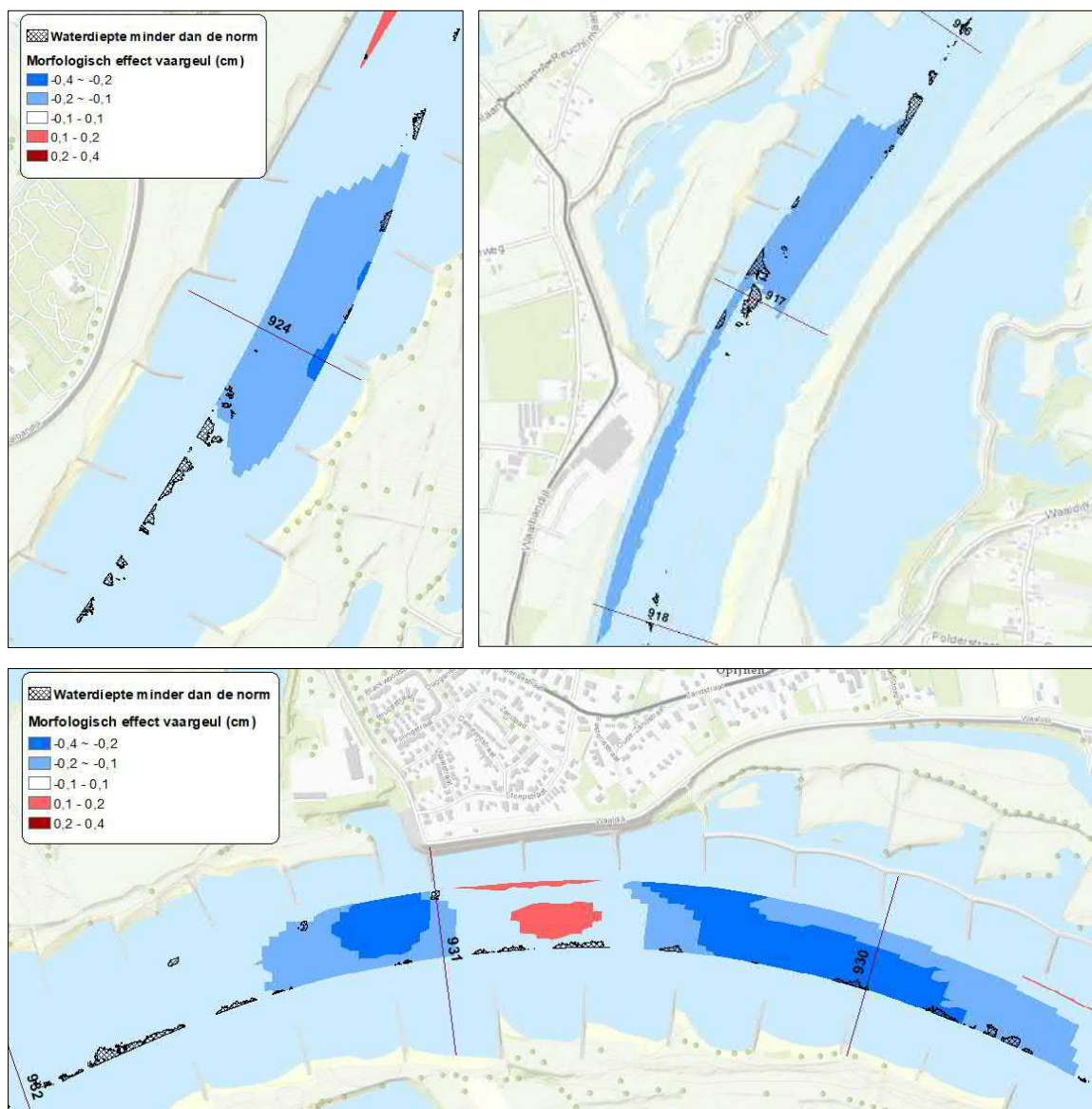
Figuur 30 Waterdiepte in vaargeul onder de norm inclusief morfologische effecten (VO)

Toch blijkt uit analyse op rastercelniveau dat zowel de oppervlakte als het volume van het gebied onder de norm iets groter worden, zie Tabel 4. De verschillen in oppervlakte zitten voornamelijk aan de randen waar door sedimentatie de norm in enkele rastercellen juist wel of juist niet overschreden wordt.

Tabel 4 Volume, oppervlak en hoogte binnen de zones met een waterdieptetekort (herhaling van Tabel 3)

Geometrie ⁷ (voetnoot op pag. 21)	volume (m ³)	oppervlakte (m ²)	gemiddeld tekort (m)
Referentiesituatie	32.192	112.126	0,287
VO (tiwa-9_a3)	32.269	114.816	0,281
Vershil (VO – ref)	77	2.690	-0,006
relatief verschil	0,24%	2,4%	-2,1%

Tegenover de locaties waar verslechtering optreedt (Figuur 27), waar aan de randen soms extra rastercellen juist van 0 mm naar 1 mm waterdieptetekort kunnen omslaan, bestaan er ook locaties waar het omgekeerde gebeurt (Figuur 31). Uit Tabel 4 blijkt dat het eerste effect prevaleert. Hoewel de effecten op een schaalniveau van millimeters plaatsvinden en opgemerkt dient te worden dat de rastercellen slechts interpolaties van veel grovere WAQUA-cellen zijn, kunnen we op basis van deze analyse stellen dat er een netto verslechtering is, zowel uitgedrukt in de totale oppervlakte als het hierbij behorende volume aan bodemmateriaal dat te hoog ligt.

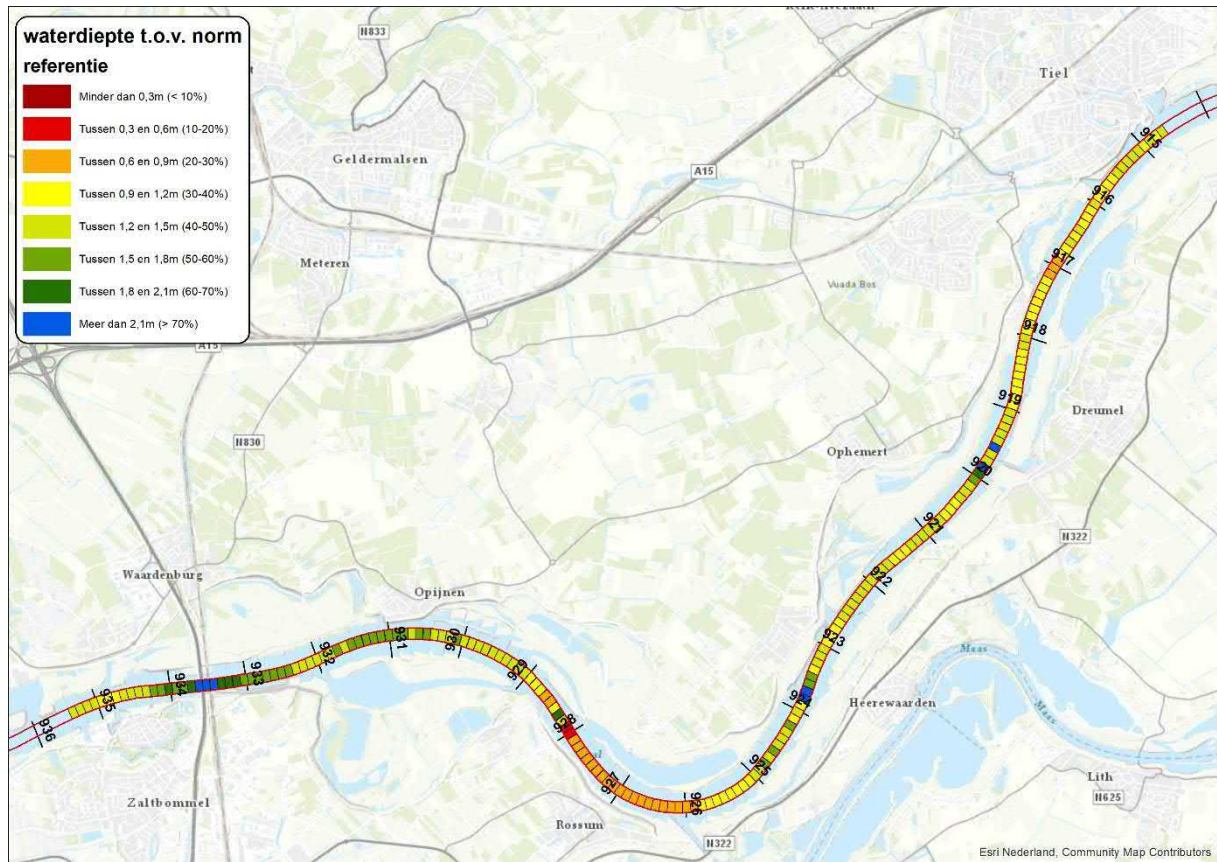


Figuur 31 Morfologisch effect binnen de vaargeul: verbetering op locaties met een waterdieptetekort

Analyse op het niveau van hectometervakken

Waterdiepte ten opzichte van norm (referentiesituatie)

De waterdiepte in de vaargeul ten opzichte van de norm per hectometervak van de referentiesituatie is afgebeeld in Figuur 32. De hectometervakken met bijbehorende waterdiepten ten opzichte van de norm zijn door Rijkswaterstaat beschikbaar gesteld en niet gereproduceerd uit de rasterdata.



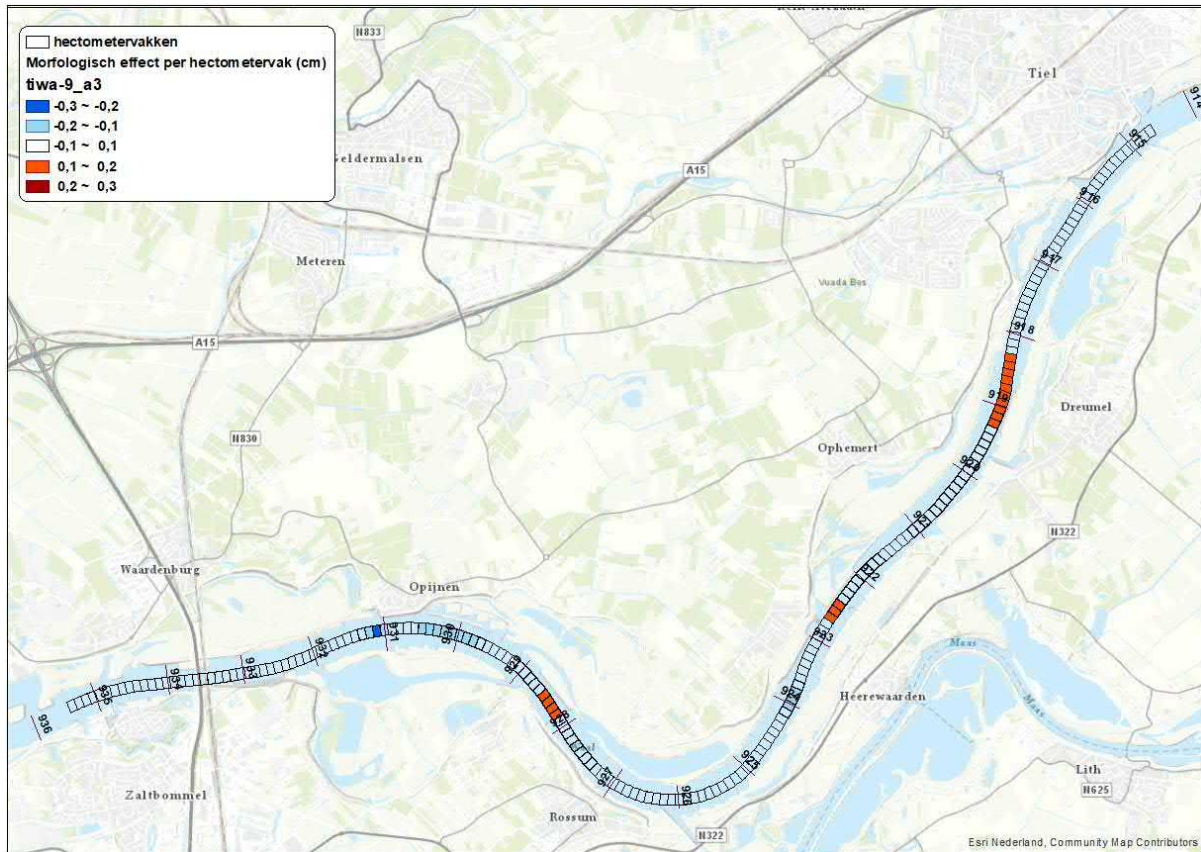
Figuur 32 Waterdiepte ten opzichte van de norm per hectometervak (referentiesituatie)

Morfologische effecten (VO)

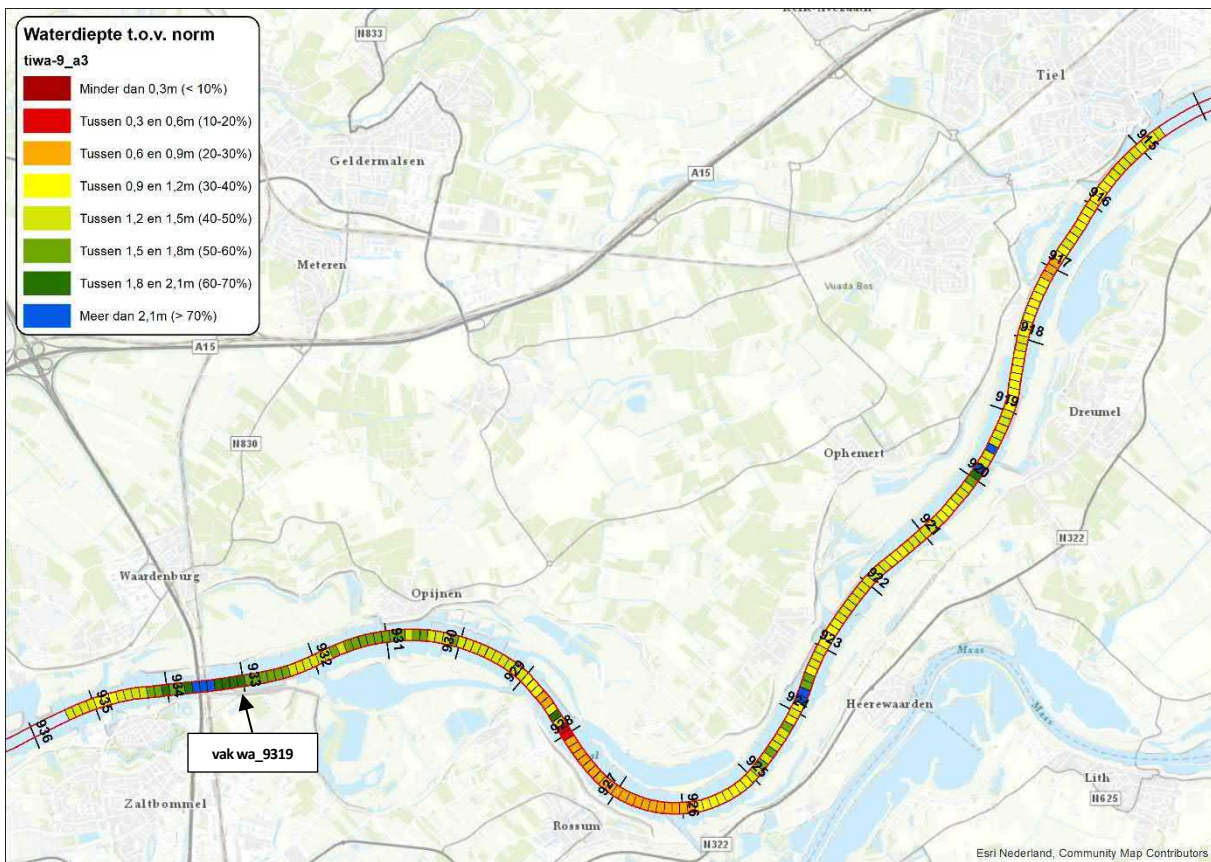
In Figuur 33 zijn de gemiddelde morfologische effecten per hectometervak weergegeven. De gemiddelden zijn berekend door de gemiddelde waarden van erosie en sedimentatie te bepalen en deze waarden vervolgens te vermenigvuldigen met de oppervlakte van de morfologische effecten gedeeld door de oppervlakte van het hectometervak. Immers als het hele vak morfologisch effect ondervindt dan is de fractie gelijk aan 1, en is het gemiddelde van toepassing op het hele vlak. Als slechts een deel van het vak effect ondervindt dan is de fractie lager. De uiterste waarden in Figuur 33 bedragen een maximale gemiddelde erosie van 0,23 cm (2,3 mm) in vak 9300 respectievelijk een maximale gemiddelde sedimentatie van 0,15 cm (1,5 mm) in vak 9217 (afgerond in Tabel 5 op -2 resp. 2 mm).

Waterdiepte ten opzichte van de norm (VO)

De waterdiepte ten opzichte van de norm per hectometervak, inclusief de morfologische veranderingen, is weergegeven in Figuur 34. Net als bij de rasterwaarden is ook hier de gemiddelde waterdiepte ten opzichte van de norm bepaald door het gemiddelde effect (Figuur 33) af te trekken van de referentiewaarden (in Figuur 32). Erosie (negatieve waarde) leidt ertoe dat de bodemhoogte lager wordt, waardoor de waterdiepte ten opzichte van de norm juist toeneemt. Andersom betekent een positieve waarde juist sedimentatie, wat een afname in waterdiepte tot gevolg heeft. De morfologische effecten ten gevolge van de dijkversterking doen optisch vrijwel niets met de waterdiepte in de vaargeul. Zoals eerder gezegd is de maximale verandering per hectometer vak -0,23 cm wat in de legenda-eenheden wegvalt. Alleen in hectometer vak wa_9319 is er sprake van 3,5 m³ erosie (afgerond minder dan 1 mm) waardoor juist een legenda-eenheid wordt gepasseerd (aangegeven in Figuur 34). Hoewel dit het enige zichtbare verschil is, verdient deze locatie geen bijzondere aandacht. Zinvoller is daarom de analyse naar sedimentatie en erosie op de locaties waar in de referentiesituatie al een waterdieptetekort is (zoals weergegeven in Figuur 27 en Figuur 31).



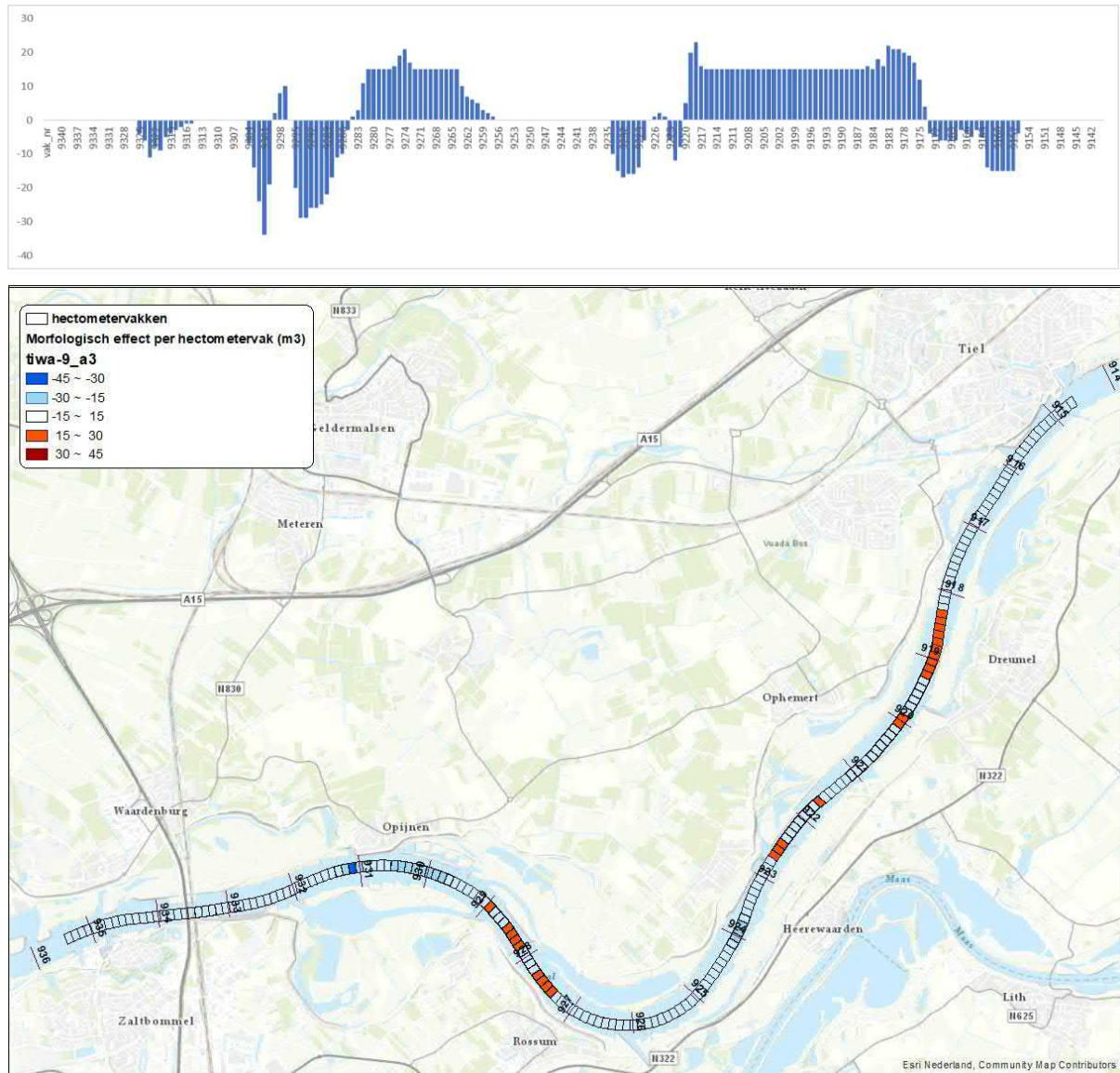
Figuur 33 Gemiddeld morfologisch effect per hectometervak (cm)



Figuur 34 Waterdiepte ten opzichte van de norm inclusief morfologische effecten per hectometervak (de enige verandering in waterdiepteklasse ten opzichte van Figuur 32 treedt op in vak wa_9319 en dit betreft een theoretische extra waterdiepte van 0,2 mm)

Volumes van de morfologische effecten (VO)

Het histogram in Figuur 35 toont de volumeverandering per hectometervak als gevolg van de morfologische effecten. Om de volumes te bepalen is de oppervlakte van het morfologische effect per hectometervak (m^2) vermenigvuldigd met het gemiddelde morfologische effect (cm), om de uitkomst te delen door 100 omdat het effect van cm naar m te gaan. In totaal is er sprake van $1094 m^3$ aan sedimentatie terwijl in andere vakken $645 m^3$ aan erosie optreedt. Het netto volumeverschil is $450 m^3$. Deze getallen komen dicht in de buurt van de getallen die WaqMorf in het uitvoerbestand geeft (zie bovenaan pagina Bijlage 9-4).



Figuur 35 Volumeverandering (m^3) ten gevolge van morfologische effecten (VO) per hectometervak (boven: histogram)

Figuur 35 lijkt vanzelfsprekend op Figuur 33 omdat er in beide gevallen sprake is van middeling over hectometervakken, die bij benadering een constante oppervlakte hebben (ca. $15.000 m^2$). Elke $15 m^3$ komt daardoor bij benadering overeen met 1 mm.

Samenvatting van de resultaten in de hectometervakken

De getallen die ten grondslag liggen aan Figuur 32 tot en met Figuur 35 staan in Tabel 5 weergegeven.

Tabel 5 Samenvatting van de resultaten in de hectometervakken

hecto- metervak	rivierkilometer		diepte t.o.v. de norm (m)				morfologisch effect	
	van	tot	referentie	klasse	VO	klasse	(m)	(m³)
wa_9139	914.640	914.742	1,210	tussen 1,2 en 1,5 m	1,210	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9140	914.742	914.843	1,160	tussen 0,9 en 1,2 m	1,160	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9141	914.843	914.945	1,330	tussen 1,2 en 1,5 m	1,330	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9142	914.945	915.046	1,140	tussen 0,9 en 1,2 m	1,140	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9143	915.046	915.148	1,290	tussen 1,2 en 1,5 m	1,290	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9144	915.148	915.249	1,210	tussen 1,2 en 1,5 m	1,210	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9145	915.249	915.351	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9146	915.351	915.452	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9147	915.452	915.554	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9148	915.554	915.655	1,180	tussen 0,9 en 1,2 m	1,180	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9149	915.655	915.757	1,130	tussen 0,9 en 1,2 m	1,130	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9150	915.757	915.858	1,060	tussen 0,9 en 1,2 m	1,060	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9151	915.858	915.960	1,140	tussen 0,9 en 1,2 m	1,140	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9152	915.960	916.061	1,240	tussen 1,2 en 1,5 m	1,240	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9153	916.061	916.163	1,200	tussen 0,9 en 1,2 m	1,200	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9154	916.163	916.264	1,150	tussen 0,9 en 1,2 m	1,150	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9155	916.264	916.366	1,150	tussen 0,9 en 1,2 m	1,150	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	-3,7
wa_9156	916.366	916.467	1,310	tussen 1,2 en 1,5 m	1,311	tussen 1,2 en 1,5 m	-0,001	-14,6
wa_9157	916.467	916.569	1,140	tussen 0,9 en 1,2 m	1,141	tussen 0,9 en 1,2 m	-0,001	-14,7
wa_9158	916.569	916.670	1,210	tussen 1,2 en 1,5 m	1,211	tussen 1,2 en 1,5 m	-0,001	-14,7
wa_9159	916.670	916.772	1,070	tussen 0,9 en 1,2 m	1,071	tussen 0,9 en 1,2 m	-0,001	-14,6
wa_9160	916.772	916.873	0,990	tussen 0,9 en 1,2 m	0,991	tussen 0,9 en 1,2 m	-0,001	-15,0
wa_9161	916.873	916.975	0,890	tussen 0,6 en 0,9 m	0,891	tussen 0,6 en 0,9 m	-0,001	-14,4
wa_9162	916.975	917.076	0,870	tussen 0,6 en 0,9 m	0,870	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	-4,9
wa_9163	917.076	917.176	0,870	tussen 0,6 en 0,9 m	0,870	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	-3,5
wa_9164	917.176	917.277	1,050	tussen 0,9 en 1,2 m	1,050	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	-4,6
wa_9165	917.277	917.378	1,070	tussen 0,9 en 1,2 m	1,070	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	-4,5
wa_9166	917.378	917.478	1,180	tussen 0,9 en 1,2 m	1,180	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	-3,1
wa_9167	917.478	917.579	1,170	tussen 0,9 en 1,2 m	1,170	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	-5,6
wa_9168	917.579	917.680	1,080	tussen 0,9 en 1,2 m	1,080	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	-6,3
wa_9169	917.680	917.780	1,170	tussen 0,9 en 1,2 m	1,170	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	-6,4
wa_9170	917.780	917.881	1,230	tussen 1,2 en 1,5 m	1,230	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	-6,4
wa_9171	917.881	917.982	1,190	tussen 0,9 en 1,2 m	1,190	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	-5,1
wa_9172	917.982	918.082	1,270	tussen 1,2 en 1,5 m	1,270	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	-3,5
wa_9173	918.082	918.183	1,240	tussen 1,2 en 1,5 m	1,240	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	4,2
wa_9174	918.183	918.284	1,090	tussen 0,9 en 1,2 m	1,089	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	12,4
wa_9175	918.284	918.384	1,080	tussen 0,9 en 1,2 m	1,079	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	17,0
wa_9176	918.384	918.485	0,990	tussen 0,9 en 1,2 m	0,989	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	18,8
wa_9177	918.485	918.586	1,130	tussen 0,9 en 1,2 m	1,129	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	20,3
wa_9178	918.586	918.686	0,970	tussen 0,9 en 1,2 m	0,969	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	20,9



hecto- metervak	rivierkilometer		diepte t.o.v. de norm (m)				morfologisch effect	
	van	tot	referentie	klasse	VO	klasse	(m)	(m³)
wa_9179	918.686	918.787	1,030	tussen 0,9 en 1,2 m	1,029	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	20,7
wa_9180	918.787	918.888	1,160	tussen 0,9 en 1,2 m	1,159	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	21,9
wa_9181	918.888	918.988	1,150	tussen 0,9 en 1,2 m	1,149	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	16,2
wa_9182	918.988	919.089	1,310	tussen 1,2 en 1,5 m	1,309	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	18,2
wa_9183	919.089	919.190	1,290	tussen 1,2 en 1,5 m	1,289	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	15,2
wa_9184	919.190	919.290	1,240	tussen 1,2 en 1,5 m	1,239	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	15,6
wa_9185	919.290	919.391	1,380	tussen 1,2 en 1,5 m	1,379	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,9
wa_9186	919.391	919.492	1,270	tussen 1,2 en 1,5 m	1,269	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,9
wa_9187	919.492	919.592	2,120	groter dan 2,1 m	2,119	groter dan 2,1 m	0,001	15,0
wa_9188	919.592	919.693	1,270	tussen 1,2 en 1,5 m	1,269	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	15,0
wa_9189	919.693	919.794	1,460	tussen 1,2 en 1,5 m	1,459	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	15,0
wa_9190	919.794	919.894	3,400	groter dan 2,1 m	3,399	groter dan 2,1 m	0,001	15,0
wa_9191	919.894	919.995	2,080	tussen 1,8 en 2,1 m	2,079	tussen 1,8 en 2,1 m	0,001	15,1
wa_9192	919.995	920.097	1,530	tussen 1,5 en 1,8 m	1,529	tussen 1,5 en 1,8 m	0,001	15,0
wa_9193	920.097	920.198	1,410	tussen 1,2 en 1,5 m	1,409	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,9
wa_9194	920.198	920.300	1,230	tussen 1,2 en 1,5 m	1,229	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	15,0
wa_9195	920.300	920.401	1,300	tussen 1,2 en 1,5 m	1,299	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,9
wa_9196	920.401	920.503	1,200	tussen 0,9 en 1,2 m	1,199	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	15,0
wa_9197	920.503	920.605	1,160	tussen 0,9 en 1,2 m	1,159	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	15,0
wa_9198	920.605	920.706	1,080	tussen 0,9 en 1,2 m	1,079	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	15,0
wa_9199	920.706	920.808	1,210	tussen 1,2 en 1,5 m	1,209	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	15,0
wa_9200	920.808	920.909	1,310	tussen 1,2 en 1,5 m	1,309	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	15,0
wa_9201	920.909	921.011	1,300	tussen 1,2 en 1,5 m	1,299	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	15,0
wa_9202	921.011	921.112	1,410	tussen 1,2 en 1,5 m	1,409	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,8
wa_9203	921.112	921.214	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	1,259	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,8
wa_9204	921.214	921.315	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	1,259	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,8
wa_9205	921.315	921.417	1,050	tussen 0,9 en 1,2 m	1,049	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	14,8
wa_9206	921.417	921.518	1,150	tussen 0,9 en 1,2 m	1,149	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	14,8
wa_9207	921.518	921.619	1,050	tussen 0,9 en 1,2 m	1,049	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	14,9
wa_9208	921.619	921.721	1,220	tussen 1,2 en 1,5 m	1,219	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	15,0
wa_9209	921.721	921.822	1,210	tussen 1,2 en 1,5 m	1,209	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	15,0
wa_9210	921.822	921.924	1,270	tussen 1,2 en 1,5 m	1,269	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,9
wa_9211	921.924	922.025	1,220	tussen 1,2 en 1,5 m	1,219	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,9
wa_9212	922.025	922.122	1,460	tussen 1,2 en 1,5 m	1,459	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,9
wa_9213	922.122	922.218	1,320	tussen 1,2 en 1,5 m	1,319	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,9
wa_9214	922.218	922.315	1,350	tussen 1,2 en 1,5 m	1,349	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,9
wa_9215	922.315	922.412	1,280	tussen 1,2 en 1,5 m	1,279	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,8
wa_9216	922.412	922.509	1,210	tussen 1,2 en 1,5 m	1,209	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	16,1
wa_9217	922.509	922.605	1,240	tussen 1,2 en 1,5 m	1,238	tussen 1,2 en 1,5 m	0,002	22,8
wa_9218	922.605	922.702	1,080	tussen 0,9 en 1,2 m	1,079	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	19,9
wa_9219	922.702	922.799	1,060	tussen 0,9 en 1,2 m	1,060	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	4,8
wa_9220	922.799	922.895	1,040	tussen 0,9 en 1,2 m	1,041	tussen 0,9 en 1,2 m	-0,001	-7,6
wa_9221	922.895	922.992	1,060	tussen 0,9 en 1,2 m	1,061	tussen 0,9 en 1,2 m	-0,001	-11,9
wa_9222	922.992	923.101	1,390	tussen 1,2 en 1,5 m	1,390	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	-6,3

hecto- metervak	rivierkilometer		diepte t.o.v. de norm (m)				morfologisch effect	
	van	tot	referentie	klasse	VO	klasse	(m)	(m³)
wa_9223	923.101	923.209	1,240	tussen 1,2 en 1,5 m	1,240	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,7
wa_9224	923.209	923.318	1,470	tussen 1,2 en 1,5 m	1,470	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	1,9
wa_9225	923.318	923.427	1,130	tussen 0,9 en 1,2 m	1,130	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	1,0
wa_9226	923.427	923.535	1,700	tussen 1,5 en 1,8 m	1,700	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	-0,4
wa_9227	923.535	923.644	1,730	tussen 1,5 en 1,8 m	1,730	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	-6,1
wa_9228	923.644	923.753	3,330	groter dan 2,1 m	3,331	groter dan 2,1 m	-0,001	-14,4
wa_9229	923.753	923.861	2,920	groter dan 2,1 m	2,921	groter dan 2,1 m	-0,001	-16,1
wa_9230	923.861	923.970	1,060	tussen 0,9 en 1,2 m	1,061	tussen 0,9 en 1,2 m	-0,001	-15,9
wa_9231	923.970	924.067	1,320	tussen 1,2 en 1,5 m	1,321	tussen 1,2 en 1,5 m	-0,001	-17,2
wa_9232	924.067	924.165	1,190	tussen 0,9 en 1,2 m	1,191	tussen 0,9 en 1,2 m	-0,001	-14,9
wa_9233	924.165	924.262	1,630	tussen 1,5 en 1,8 m	1,631	tussen 1,5 en 1,8 m	-0,001	-10,0
wa_9234	924.262	924.360	1,230	tussen 1,2 en 1,5 m	1,230	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	-0,4
wa_9235	924.360	924.457	1,350	tussen 1,2 en 1,5 m	1,350	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,1
wa_9236	924.457	924.555	1,290	tussen 1,2 en 1,5 m	1,290	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,1
wa_9237	924.555	924.652	1,530	tussen 1,5 en 1,8 m	1,530	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	0,1
wa_9238	924.652	924.750	1,380	tussen 1,2 en 1,5 m	1,380	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9239	924.750	924.847	1,520	tussen 1,5 en 1,8 m	1,520	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	0,1
wa_9240	924.847	924.945	1,350	tussen 1,2 en 1,5 m	1,350	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9241	924.945	925.042	1,500	tussen 1,2 en 1,5 m	1,500	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9242	925.042	925.142	1,050	tussen 0,9 en 1,2 m	1,050	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9243	925.142	925.242	1,010	tussen 0,9 en 1,2 m	1,010	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9244	925.242	925.342	1,070	tussen 0,9 en 1,2 m	1,070	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9245	925.342	925.442	1,030	tussen 0,9 en 1,2 m	1,030	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9246	925.442	925.542	1,000	tussen 0,9 en 1,2 m	1,000	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9247	925.542	925.641	1,030	tussen 0,9 en 1,2 m	1,030	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9248	925.641	925.741	0,960	tussen 0,9 en 1,2 m	0,960	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9249	925.741	925.841	0,940	tussen 0,9 en 1,2 m	0,940	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9250	925.841	925.941	0,890	tussen 0,6 en 0,9 m	0,890	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	0,0
wa_9251	925.941	926.041	0,900	tussen 0,6 en 0,9 m	0,900	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	0,0
wa_9252	926.041	926.152	0,840	tussen 0,6 en 0,9 m	0,840	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	0,0
wa_9253	926.152	926.262	0,870	tussen 0,6 en 0,9 m	0,870	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	0,0
wa_9254	926.262	926.373	0,840	tussen 0,6 en 0,9 m	0,840	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	0,0
wa_9255	926.373	926.483	0,800	tussen 0,6 en 0,9 m	0,800	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	0,0
wa_9256	926.483	926.594	0,780	tussen 0,6 en 0,9 m	0,780	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	0,6
wa_9257	926.594	926.704	0,780	tussen 0,6 en 0,9 m	0,780	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	2,1
wa_9258	926.704	926.815	0,730	tussen 0,6 en 0,9 m	0,730	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	3,3
wa_9259	926.815	926.925	0,730	tussen 0,6 en 0,9 m	0,730	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	4,8
wa_9260	926.925	927.036	0,740	tussen 0,6 en 0,9 m	0,740	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	6,3
wa_9261	927.036	927.136	0,700	tussen 0,6 en 0,9 m	0,700	tussen 0,6 en 0,9 m	0,000	6,9
wa_9262	927.136	927.236	0,730	tussen 0,6 en 0,9 m	0,729	tussen 0,6 en 0,9 m	0,001	10,1
wa_9263	927.236	927.336	0,740	tussen 0,6 en 0,9 m	0,739	tussen 0,6 en 0,9 m	0,001	14,9
wa_9264	927.336	927.436	0,790	tussen 0,6 en 0,9 m	0,789	tussen 0,6 en 0,9 m	0,001	15,1
wa_9265	927.436	927.537	0,810	tussen 0,6 en 0,9 m	0,809	tussen 0,6 en 0,9 m	0,001	15,0
wa_9266	927.537	927.637	0,810	tussen 0,6 en 0,9 m	0,809	tussen 0,6 en 0,9 m	0,001	15,0

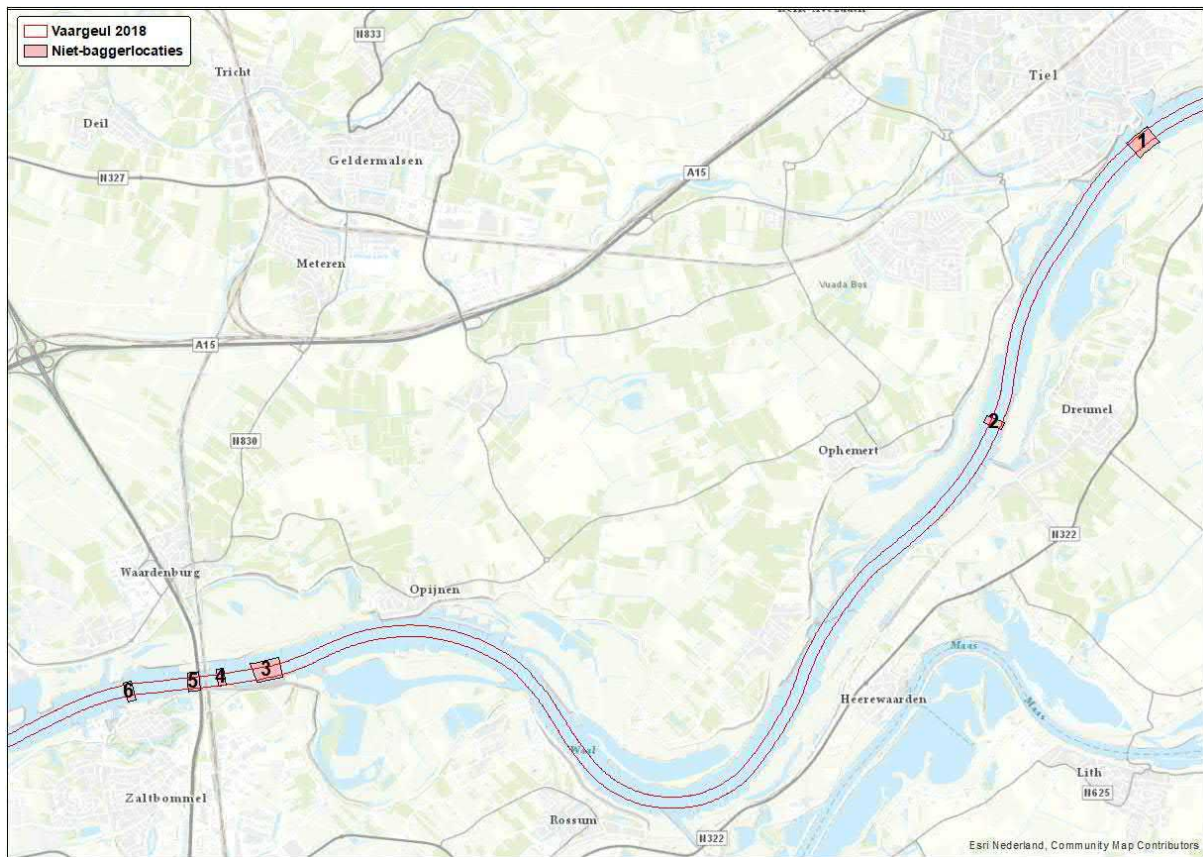


hecto- metervak	rivierkilometer		diepte t.o.v. de norm (m)				morfologisch effect	
	van	tot	referentie	klasse	VO	klasse	(m)	(m³)
wa_9267	927.637	927.737	0,760	tussen 0,6 en 0,9 m	0,759	tussen 0,6 en 0,9 m	0,001	15,1
wa_9268	927.737	927.837	0,700	tussen 0,6 en 0,9 m	0,699	tussen 0,6 en 0,9 m	0,001	15,0
wa_9269	927.837	927.937	0,640	tussen 0,6 en 0,9 m	0,639	tussen 0,6 en 0,9 m	0,001	14,9
wa_9270	927.937	928.037	0,510	tussen 0,3 en 0,6 m	0,509	tussen 0,3 en 0,6 m	0,001	14,9
wa_9271	928.037	928.144	0,540	tussen 0,3 en 0,6 m	0,539	tussen 0,3 en 0,6 m	0,001	14,8
wa_9272	928.144	928.250	1,210	tussen 1,2 en 1,5 m	1,209	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	17,2
wa_9273	928.250	928.357	1,920	tussen 1,8 en 2,1 m	1,919	tussen 1,8 en 2,1 m	0,001	21,3
wa_9274	928.357	928.464	1,100	tussen 0,9 en 1,2 m	1,099	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	19,3
wa_9275	928.464	928.570	0,750	tussen 0,6 en 0,9 m	0,749	tussen 0,6 en 0,9 m	0,001	16,2
wa_9276	928.570	928.677	0,810	tussen 0,6 en 0,9 m	0,809	tussen 0,6 en 0,9 m	0,001	14,9
wa_9277	928.677	928.784	0,970	tussen 0,9 en 1,2 m	0,969	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	14,9
wa_9278	928.784	928.890	1,010	tussen 0,9 en 1,2 m	1,009	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	14,9
wa_9279	928.890	928.997	1,000	tussen 0,9 en 1,2 m	0,999	tussen 0,9 en 1,2 m	0,001	15,0
wa_9280	928.997	929.100	1,240	tussen 1,2 en 1,5 m	1,239	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	14,8
wa_9281	929.100	929.204	1,300	tussen 1,2 en 1,5 m	1,299	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	11,0
wa_9282	929.204	929.307	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	3,2
wa_9283	929.307	929.410	1,250	tussen 1,2 en 1,5 m	1,250	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	1,1
wa_9284	929.410	929.514	1,440	tussen 1,2 en 1,5 m	1,440	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	-3,3
wa_9285	929.514	929.617	1,350	tussen 1,2 en 1,5 m	1,351	tussen 1,2 en 1,5 m	-0,001	-10,1
wa_9286	929.617	929.720	1,420	tussen 1,2 en 1,5 m	1,421	tussen 1,2 en 1,5 m	-0,001	-11,0
wa_9287	929.720	929.823	1,360	tussen 1,2 en 1,5 m	1,361	tussen 1,2 en 1,5 m	-0,001	-17,4
wa_9288	929.823	929.927	1,480	tussen 1,2 en 1,5 m	1,481	tussen 1,2 en 1,5 m	-0,001	-22,0
wa_9289	929.927	930.030	1,420	tussen 1,2 en 1,5 m	1,422	tussen 1,2 en 1,5 m	-0,002	-24,5
wa_9290	930.030	930.133	1,510	tussen 1,5 en 1,8 m	1,512	tussen 1,5 en 1,8 m	-0,002	-26,2
wa_9291	930.133	930.236	1,430	tussen 1,2 en 1,5 m	1,432	tussen 1,2 en 1,5 m	-0,002	-25,7
wa_9292	930.236	930.338	1,450	tussen 1,2 en 1,5 m	1,452	tussen 1,2 en 1,5 m	-0,002	-29,0
wa_9293	930.338	930.441	1,440	tussen 1,2 en 1,5 m	1,442	tussen 1,2 en 1,5 m	-0,002	-28,7
wa_9294	930.441	930.544	1,570	tussen 1,5 en 1,8 m	1,571	tussen 1,5 en 1,8 m	-0,001	-19,7
wa_9295	930.544	930.647	1,510	tussen 1,5 en 1,8 m	1,510	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	0,2
wa_9296	930.647	930.750	1,420	tussen 1,2 en 1,5 m	1,419	tussen 1,2 en 1,5 m	0,001	9,8
wa_9297	930.750	930.852	1,530	tussen 1,5 en 1,8 m	1,529	tussen 1,5 en 1,8 m	0,001	8,5
wa_9298	930.852	930.955	1,560	tussen 1,5 en 1,8 m	1,560	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	2,1
wa_9299	930.955	931.058	1,660	tussen 1,5 en 1,8 m	1,661	tussen 1,5 en 1,8 m	-0,001	-19,5
wa_9300	931.058	931.158	1,680	tussen 1,5 en 1,8 m	1,682	tussen 1,5 en 1,8 m	-0,002	-34,2
wa_9301	931.158	931.257	1,580	tussen 1,5 en 1,8 m	1,582	tussen 1,5 en 1,8 m	-0,002	-23,8
wa_9302	931.257	931.357	1,690	tussen 1,5 en 1,8 m	1,691	tussen 1,5 en 1,8 m	-0,001	-14,2
wa_9303	931.357	931.457	1,790	tussen 1,5 en 1,8 m	1,790	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	-6,9
wa_9304	931.457	931.557	1,660	tussen 1,5 en 1,8 m	1,660	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	-0,1
wa_9305	931.557	931.656	1,480	tussen 1,2 en 1,5 m	1,480	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9306	931.656	931.756	1,670	tussen 1,5 en 1,8 m	1,670	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	0,0
wa_9307	931.756	931.856	1,380	tussen 1,2 en 1,5 m	1,380	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9308	931.856	931.955	1,370	tussen 1,2 en 1,5 m	1,370	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,1
wa_9309	931.955	932.055	1,230	tussen 1,2 en 1,5 m	1,230	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,1
wa_9310	932.055	932.158	1,270	tussen 1,2 en 1,5 m	1,270	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0

hecto- metervak	rivierkilometer		diepte t.o.v. de norm (m)				morfologisch effect	
	van	tot	referentie	klasse	VO	klasse	(m)	(m³)
wa_9311	932.158	932.260	1,460	tussen 1,2 en 1,5 m	1,460	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9312	932.260	932.363	1,440	tussen 1,2 en 1,5 m	1,440	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9313	932.363	932.465	1,550	tussen 1,5 en 1,8 m	1,550	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	0,0
wa_9314	932.465	932.568	1,560	tussen 1,5 en 1,8 m	1,560	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	-1,3
wa_9315	932.568	932.670	1,750	tussen 1,5 en 1,8 m	1,750	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	-1,2
wa_9316	932.670	932.773	1,620	tussen 1,5 en 1,8 m	1,620	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	-1,8
wa_9317	932.773	932.875	1,660	tussen 1,5 en 1,8 m	1,660	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	-2,7
wa_9318	932.875	932.978	1,700	tussen 1,5 en 1,8 m	1,700	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	-3,5
wa_9319	932.978	933.080	1,800	tussen 1,5 en 1,8 m	1,800	tussen 1,8 en 2,1 m	0,000	-4,8
wa_9320	933.080	933.179	1,820	tussen 1,8 en 2,1 m	1,821	tussen 1,8 en 2,1 m	-0,001	-8,7
wa_9321	933.179	933.278	1,850	tussen 1,8 en 2,1 m	1,851	tussen 1,8 en 2,1 m	-0,001	-8,4
wa_9322	933.278	933.377	1,810	tussen 1,8 en 2,1 m	1,811	tussen 1,8 en 2,1 m	-0,001	-10,6
wa_9323	933.377	933.476	2,110	groter dan 2,1 m	2,110	groter dan 2,1 m	0,000	-5,8
wa_9324	933.476	933.575	3,080	groter dan 2,1 m	3,080	groter dan 2,1 m	0,000	-3,6
wa_9325	933.575	933.674	2,170	groter dan 2,1 m	2,170	groter dan 2,1 m	0,000	-0,1
wa_9326	933.674	933.773	1,900	tussen 1,8 en 2,1 m	1,900	tussen 1,8 en 2,1 m	0,000	0,0
wa_9327	933.773	933.872	1,760	tussen 1,5 en 1,8 m	1,760	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	0,0
wa_9328	933.872	933.971	1,680	tussen 1,5 en 1,8 m	1,680	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	0,0
wa_9329	933.971	934.070	1,910	tussen 1,8 en 2,1 m	1,910	tussen 1,8 en 2,1 m	0,000	0,0
wa_9330	934.070	934.172	1,730	tussen 1,5 en 1,8 m	1,730	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	0,0
wa_9331	934.172	934.273	1,600	tussen 1,5 en 1,8 m	1,600	tussen 1,5 en 1,8 m	0,000	0,0
wa_9332	934.273	934.375	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	1,260	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9333	934.375	934.477	1,250	tussen 1,2 en 1,5 m	1,250	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9334	934.477	934.579	1,250	tussen 1,2 en 1,5 m	1,250	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9335	934.579	934.680	1,220	tussen 1,2 en 1,5 m	1,220	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9336	934.680	934.782	0,930	tussen 0,9 en 1,2 m	0,930	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9337	934.782	934.884	0,920	tussen 0,9 en 1,2 m	0,920	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9338	934.884	934.985	0,960	tussen 0,9 en 1,2 m	0,960	tussen 0,9 en 1,2 m	0,000	0,0
wa_9339	934.985	935.087	1,450	tussen 1,2 en 1,5 m	1,450	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9340	935.087	935.204	1,270	tussen 1,2 en 1,5 m	1,270	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9341	935.204	935.320	1,440	tussen 1,2 en 1,5 m	1,440	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0
wa_9342	935.320	935.437	1,440	tussen 1,2 en 1,5 m	1,440	tussen 1,2 en 1,5 m	0,000	0,0

Morfologische effecten in niet-baggerlocaties

In het projectgebied bevinden zich zes gebieden waar niet gebaggerd kan worden omdat daar leidingen onder of op het rivierbed liggen. In Figuur 36 wordt voor elk gebied het volume van de sedimentatie of erosie bepaald.



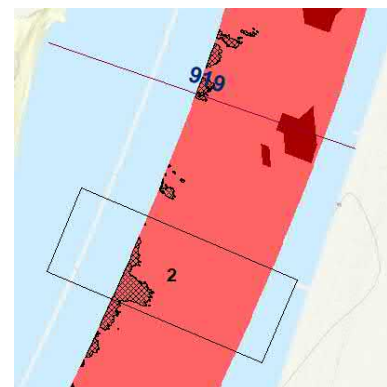
Figuur 36 Niet-baggerlocaties

In Tabel 6 zijn de jaargemiddelde netto volumeveranderingen door erosie of sedimentatie van de niet te baggeren locaties in getallen (m^3 resp. m) weergegeven.

Tabel 6 Netto volumeverandering en bodemverandering door erosie of sedimentatie in de niet-baggerlocaties (jaargemiddeld resultaat)

niet-bagger-locatie	oppervlakte (m^2)	erosie (m^3)	sedimentatie (m^3)	netto erosie/sedimentatie	
				(m^3)	(m)
1	89.158	0	0	0	0,000
2	25.883	0	26	26	0,001
3	95.713	-16	0	-16	0,000
4	22.092	-10	0	-10	0,000
5	39.612	-2	0	-2	0,000
6	26.330	0	0	0	0,000

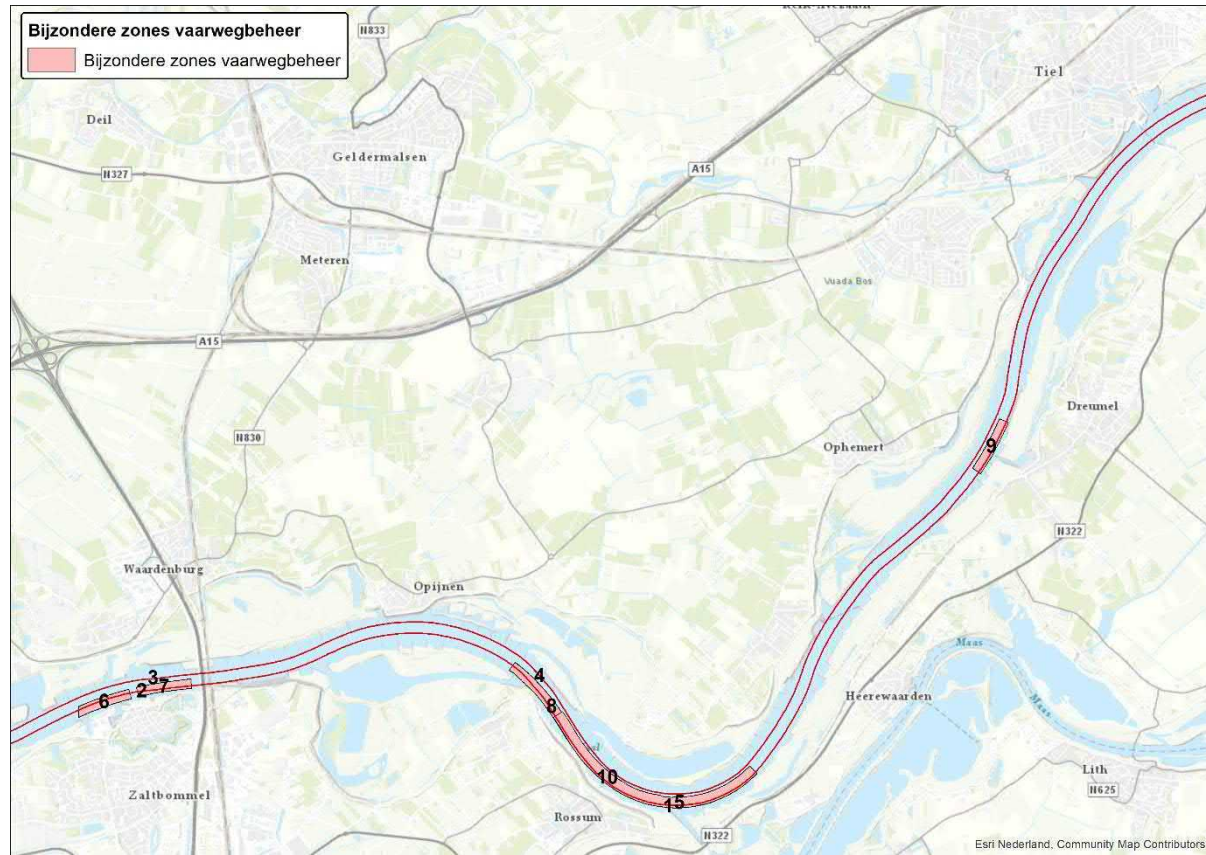
Locatie 2 (bij rkm 919) komt als enige naar voren waar sedimentatie becijferd wordt. Binnen de contour bevindt zich een waterdieptetekort, dat ook in Figuur 27 gesignaleerd is. Hier is geen ruimte voor aanzanding. De overlap van beide, ofwel het deel van de zwart gearceerde contour binnen niet-baggerlocatie 2, is dus het deel van het waterdieptetekort dat door sedimentatie 1 mm zal verondiepen en niet door vaarwegonderhoud verbeterd kan worden.



Figuur 37 Niet-baggerlocatie (nummer 2)

Morfologische effecten in bijzondere zones van het vaarwegbeheer

In het projectgebied bevinden zich tien deels overlappende 'bijzondere zones vaarwegbeheer, te weten vijf niet-stortlocaties, vier toegangen tot zijwateren en havens en de vaste laag St. Andries (Figuur 38). In Tabel 7 zijn de erosie, sedimentatie en netto volumeverandering van de bijzondere zones in getallen weergegeven.

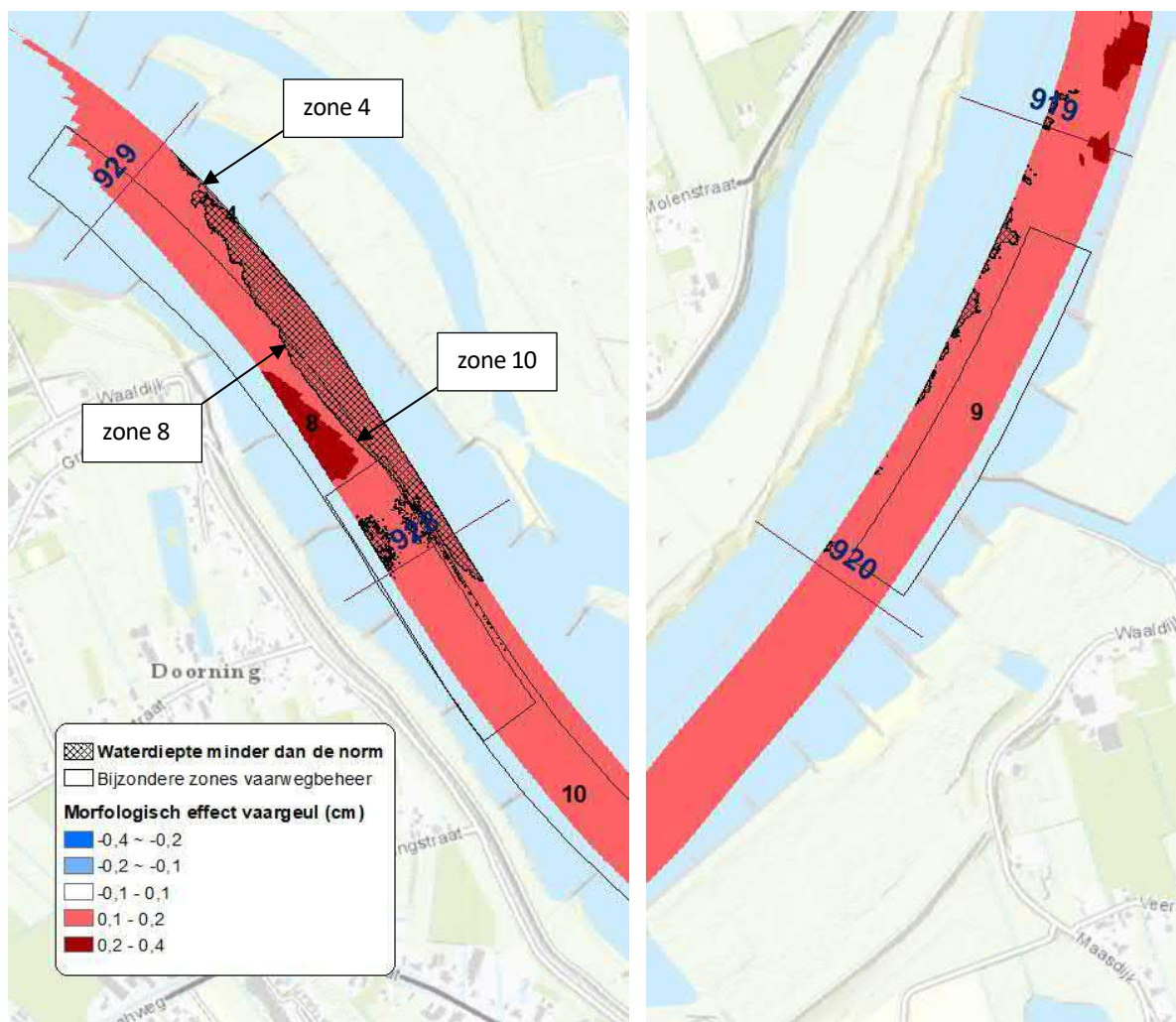


Figuur 38 Bijzondere locaties vaarwegbeheer

Tabel 7 Netto volumeverandering en bodemverandering door erosie of sedimentatie in de bijzondere zones van het vaarwegbeheer (jaargemiddeld resultaat)

Zone	Specificatie	oppervlakte (m ²)	erosie (m ³)	sedimentatie (m ³)	netto erosie/sedimentatie	
					(m ³)	(m)
1	Toegang tot zijwateren en havens	4.892	0	0	0	0,000
2	Toegang tot zijwateren en havens	326	0	0	0	0,000
3	Toegang tot zijwateren en havens	506	0	0	0	0,000
4	Toegang tot zijwateren en havens	814	0	1	1	0,001
5	Niet-stortlocatie	119.936	0	1	1	0,000
6	Niet-stortlocatie	95.541	0	0	0	0,000
7	Niet-stortlocatie	91.493	0	0	0	0,000
8	Niet-stortlocatie	191.436	-2	197	195	0,001
9	Niet-stortlocatie	98.972	0	99	99	0,001
10	Constructie (vaste laag St. Andries)	458.468	0	185	185	0,000

Figuur 39 zoomt in op de locaties met sedimentatie. Drie ervan (zones 4, 8 en 10: links in de figuur) bevatten locaties gedeeltelijk waterdieptetekort hebben. Het betreft een combinatie van een sedimentatiezone met een waterdieptetekort in de vaargeul, die al in Figuur 27 gesignaleerd is. Figuur 39 laat dus geen nieuwe sedimentatie-zones zien.



Figuur 39 Sedimentatie in bijzondere zones voor het vaarwegbeheer met locaties van waterdieptetekort (links)

Samenvatting

De analyse van bodemveranderingen in de vaargeul heeft in drie stappen plaatsgevonden. Op basis van WaqMorf volgen schattingen van de jaargemiddelde bodemveranderingen, de bodemveranderingen na een laagwaterblok (herstelperiode) en de bodemveranderingen na een hoogwaterblok (bovengrens in de tijd). Dit zijn resultaten op het WAQUA-rooster met een resolutie van ca 20 x 10 m². Hieruit resulteert een jaargemiddelde netto sedimentatie van 467 m³ (zie Bijlage 9-4), bestaande uit 606 m³ erosie en 1.073 m³ sedimentatie. In de vaargeul is het op basis van WaqMorf geschatte morfologische jaargemiddelde effect van het VO (dijkverlegging en enkele compensatie-projecten) overal tussen -4 mm (erosie) en 3 mm (sedimentatie).

In een tweede stap zijn deze resultaten (via een TIN) verrasterd en met een resolutie¹³ van 1 x 1 m² in beeld gebracht. In totaal is er binnen het projectgebied en binnen de vaargeul sprake van 1094 m³ sedimentatie en 645 m³ erosie. Dit resulteert in een netto sedimentatie van 450 m³, hetgeen dicht in de buurt komt van het getal dat WaqMorf in het uitvoerbestand geeft. De omzetting van puntenbestand via TIN naar een geïnterpoleerd raster heeft de uitkomst slechts beperkt beïnvloed en de dekking zelfs verbeterd¹⁴. De uiterste waarden zijn vanzelfsprekend ongewijzigd. Op basis van de rasteranalyse is er een beperkte netto toename van de totale oppervlakte in de vaargeul waargenomen, waarover zich een waterdieptetekort bevindt (2.690 m³, ofwel 2,4%). Dat geldt ook voor het bijbehorende volume aan bodemmateriaal (77 m³, ofwel 0,24%). Omdat de oppervlakte van de zone met een waterdieptetekort sneller toeneemt dan het volume is er een afname van het gemiddelde waterdieptetekort, uitgedrukt in hoogten.

¹³ Het begrip resolutie mag niet met nauwkeurigheid verward worden.

¹⁴ De begrenzing van de vaarweg in de volumeanalyse is in GIS (op basis van rastercellen van 1x1 m²) nauwkeuriger dan die in WaqMorf (op basis van WAQUA-cellen van ca. 200 m² die in hun geheel wel of niet meedoen).

In een derde stap zijn de resultaten geaggregeerd tot hectometervakken. De uiterste waarden van de hectometer-gemiddelde morfologische effecten bedragen een maximale erosie van 0,23 cm (-2,3 mm) in vak 9300 respectievelijk een maximale sedimentatie van 0,15 cm (+1,5 mm) in vak 9217 (afgerond in Tabel 5 op -2 resp. 2 mm). De hectometervakken blijven dezelfde classificaties houden¹⁵. Op basis van de hectometerclassificatie is er dus geen verschuiving naar andere waterdiepteklassen in de vaargeul waargenomen.

Er is een niet-baggerlocatie (nummer 2), waar 1 mm sedimentatie gesignaleerd is in een zone die een waterdieptekort heeft (Figuur 37).

Er zijn vier zones van bijzonder vaarwegbeheer waar 1 mm sedimentatie plaatsvindt. In drie ervan (zones 4, 8 en 10) bevindt zich een waterdieptetekort. Het betreft locaties die al in de analyse van de morfologische effecten in de vaargeul gesignaleerd zijn.

Aanbevelingen / discussie

Het WaqMorf-resultaat is een puntenbestand met een resolutie van $20 \times 10 \text{ m}^2$ en is voor de analyses omgezet naar een raster met een resolutie van $1 \times 1 \text{ m}^2$. Hierdoor ontstaat in zekere mate een schijnnaauwkeurigheid. Tussenvallende waarden zijn op het raster geïnterpoleerd. Dit is geen probleem zolang men zich dit realiseert. In het geval van de volumeanalyse is er naar ons oordeel wel degelijk sprake van een verbetering van de nauwkeurigheid¹⁴.

In deze analyse wordt gekeken naar morfologische effecten op het niveau van millimeters. Dit ligt binnen de nauwkeurigheidsmarge van de gebruikte programmatuur. Het is de hoe dan ook vraag of met deze mate van nauwkeurigheid morfologische effecten bepaald kunnen worden. Daarom zou ook de conclusie kunnen luiden dat er geen significante morfologische effecten zijn.

De naamgeving van de hectometervakken loopt niet synchroon met de rivierkilometers. Dit kan verwarrend zijn en aanleiding tot fouten geven, indien men hier niet op bedacht is. Om deze reden is de juiste positie aan Tabel 5 toegevoegd.

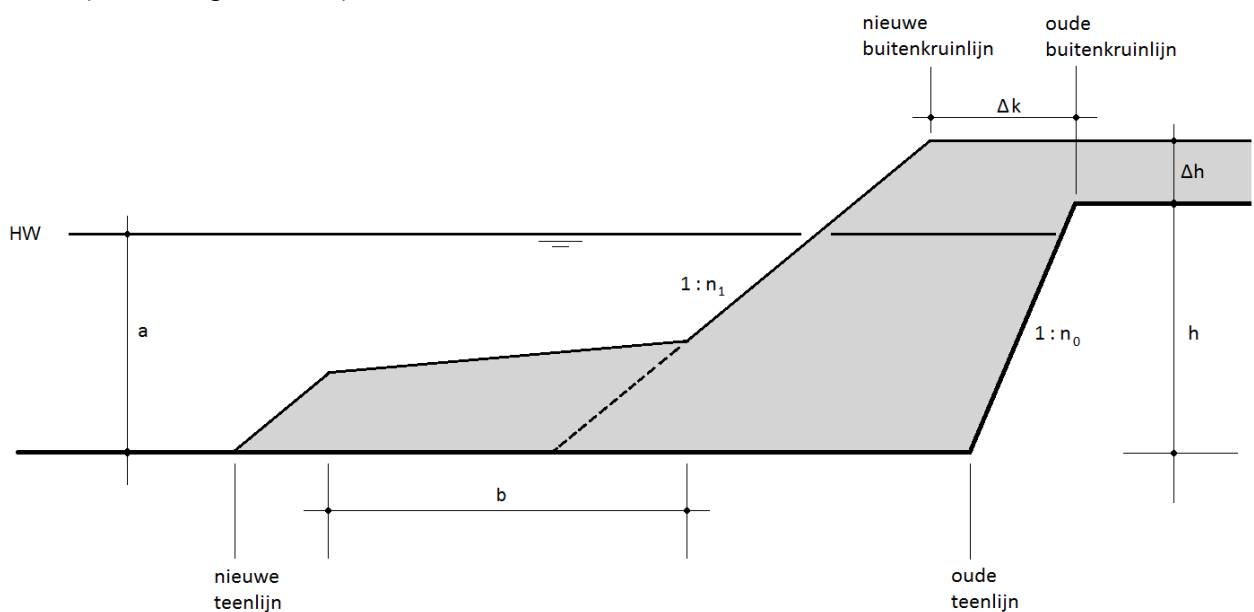
¹⁵ Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat er een vak is waar de classificatie door een fractie van een millimeter van klasse verandert (zie Figuur 34), hier kan geen inhoudelijke betekenis aan toegekend worden.

Bijlage 10 Toelichting met betrekking tot de modellering van dijkversterkingen

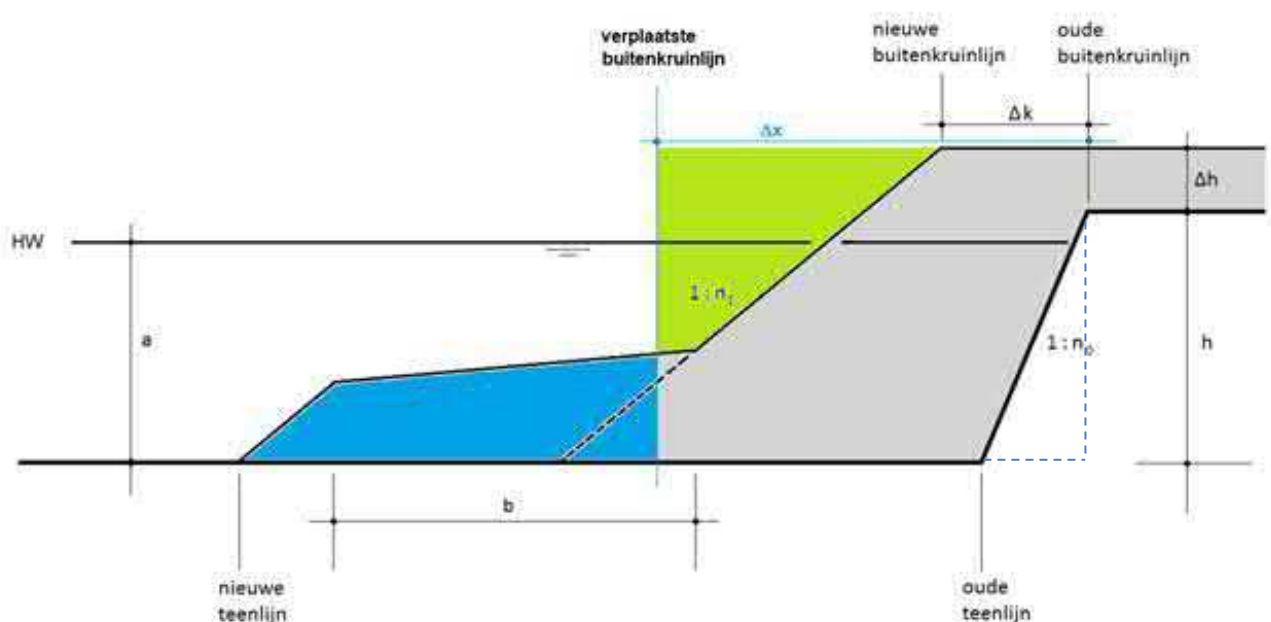
Weergave in dwarsprofiel

Het memo van Rijkswaterstaat (Schropp, 2018) toont een dwarsprofiel van een dijk (oude en nieuwe situatie, zie Figuur 40) en schrijft de volgende stappen voor:

1. Deel het projectgebied op in analysetrajecten waarbinnen de afname van het doorstroomprofiel als uniform is te beschouwen.
2. Bepaal het grijze oppervlak links van de oude buitenkruinlijn.
3. Deel de oppervlakte door de nieuwe hoogte van de dijk ten opzichte van maaiveld ($h + \Delta h$). Dit geeft een afstand Δx loodrecht op de dijk.
4. Verplaats de buitenkruinlijn over de afstand Δx .
5. Voeg in Baseline een hoogwatervrije lijn toe op de locatie van de nieuwe buitenkruinlijn. Baseline bepaalt daarmee welke cellen hoogwatervrij worden.
6. Er vinden geen aanpassingen plaats aan het hoogtemodel, de ligging van de teenlijn of de teenhoogte (uitzonderingen: zie Ad 6).



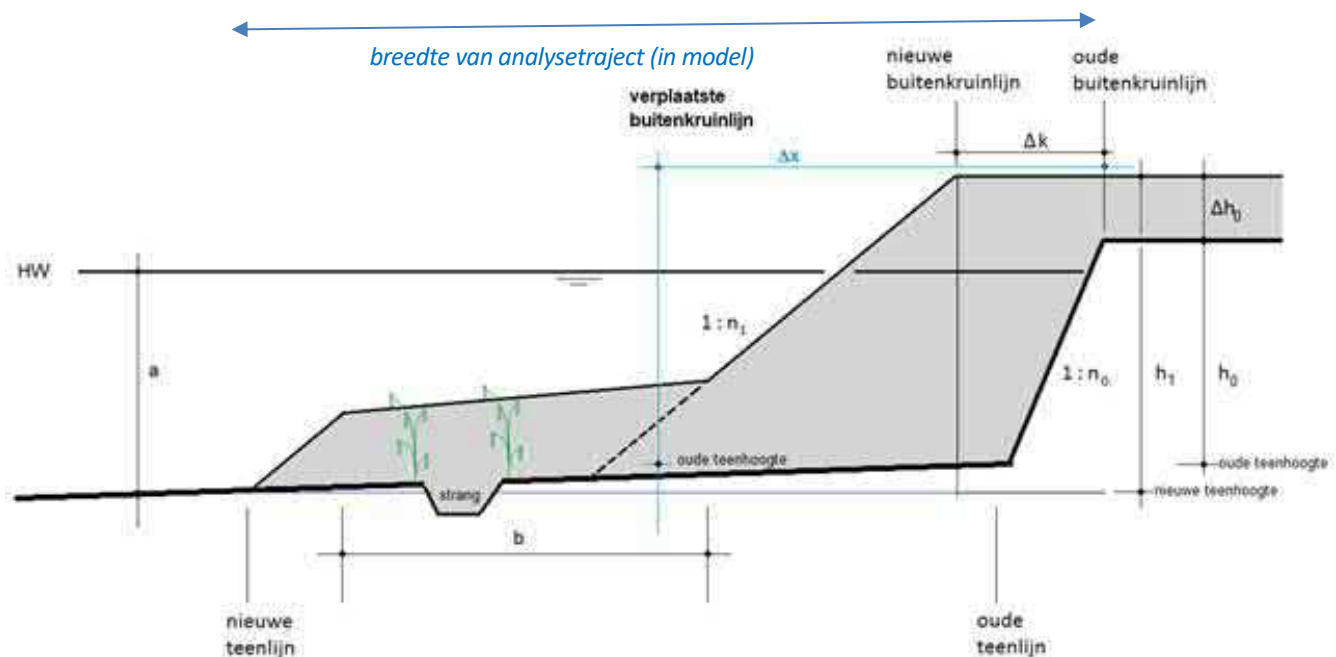
Figuur 40 Schematische weergave rivierwaartse dijkversterking (bron: Schropp, 2018)



Figuur 41 Schematische weergave rivierwaartse dijkversterking (bron: Schropp, 2018: tekening bewerkt)

De omzetting van deze stappen is in overleg met Rijkswaterstaat Oost-Nederland als volgt ter hand genomen:

- Ad 1: Er heeft op basis van geometrie en bodemopbouw een indeling in 41 analysetrajecten plaatsgevonden. In de loop van het ontwerpproces zijn de ontwerpen gewijzigd en dientengevolge meerdere analysetrajecten gesplitst, omdat de dwarsprofielen naar het oordeel van de modelleur niet meer uniform genoeg waren. De modellering heeft uiteindelijk op basis van 60 analysetrajecten plaatsgevonden. In Hoofdstuk 4 komt de nadere uitwerking hiervan aan de orde. Een analysetraject omvat de meest landinwaartse kruinlijn (ongeacht of deze van de referentie of het ontwerp is) en de meest rivierwaartse teenlijn (ongeacht of deze van de referentie of het ontwerp is) en hanteert aan deze zijde nog een buffer van 2 m. Dit betekent dat elk analysetraject deze 4 relevante lijnen bevat, zie Figuur 42.
- Ad 2: De bedoelde grijze oppervlakte is gelijk aan de oppervlakte onder het nieuwe dijkprofiel minus de oppervlakte onder het oude dijkprofiel ten opzichte van het (gemodelleerde) maaiveld. De volumebepaling geldt dus vanuit de nieuwe kruinhoogte en niet vanuit een specifieke maatgevende of dominante waterstand.
- Ad 3, 4 en 5: Dat betekent dat de nieuwe buitenkruinlijn een zodanige virtuele route volgt, dat de blauwe oppervlakte (te veel in profiel) en de groene (te weinig in profiel) zodanig met elkaar in evenwicht zijn, dat het verschil gelijk is aan het witte profieloppervlak onder de oude dijk (zie Figuur 41). Maar dit geldt alleen bij een waterstand gelijk aan de kruinhoogte. Geaccepteerd wordt met deze benadering dat bij alle andere waterstanden (zelfs extreme) de profieloppervlakte in het model eigenlijk vergroot wordt. De virtuele buitenkruinlijn is met een hoogwatervrije lijn gemodelleerd. Hieruit ontstaat een schotje in WAQUA (evenals bij het lijnelement bandijk).
- Ad 6: Nu is aan het voorbeeld een licht bodemverhang toegevoegd, wat in de uiterwaard richting de rivier niet ondenkbeeldig is (zie Figuur 42). Langs de Waal zijn er ook vaak strangen langs de dijk. In overleg is bepaald dat de bodemhoogten onder het dijklichaam in sommige gevallen wel degelijk aangepast moeten worden. Indien zich hier plassen of strangen bevinden, dan worden deze opgevuld tot maaiveldhoogte¹⁶. Een andere uitzondering geldt voor op- en afritten vanaf de dijk. Als modelmatige ecotopenruwheid geldt gras (leggercode 1981) op het gehele talud (het deel tussen de nieuwe teen en de nieuwe kruin, dat niet als talud gemodelleerd wordt).



Figuur 42 Schematische weergave rivierwaartse dijkversterking (bron: Schropp, 2018: tekening bewerkt)

Opgemerkt wordt dat bovenstaande figuren principeschetsen zijn. In het VO bevinden zich geen buitenbermen meer.

¹⁶ In het huidige VO is dit op drie plekken zeer beperkt het geval.

Ruimtelijke uitwerking

Hoewel we slechts één ontwerp beoordelen, hebben we in dit project met vier geometrieën te maken, waartussen diverse analyses plaatsvinden.

Figuur 43 laat een schematisch dwarsprofiel zien, waarin het onderscheid tussen de vier geometrieën weergegeven is:

- tiwaref_b4 = geometrische referentie (met groene vaste lijn bij de dijk) volgens de terreinmeting van WSRL. Dit is een actualisatie van de feitelijke ligging van het terrein, die afwijkt van het RWS-model (tiwaref_a4) en vormt GEEN basis voor het WAQUA-model.
- tiwa-9_b1 = geometrische ontwerpvariant (met rode vaste lijn bij de dijk) volgens het ruimtelijk ontwerp van Sweco. Dit sluit aan op de ondergrond van bovenstaande referentie en vormt GEEN basis voor het WAQUA-model.
- tiwaref_a4 = modelmatige referentie (met groene stippellijn bij de dijk) volgens de actualisatie van Rijkswaterstaat, hierin is het talud van de dijk niet (geheel) geschematiseerd. Ook de directe omgeving van de dijk kan afwijken van de feitelijke geometrie. Dit is de basis voor het WAQUA-model.
- tiwa-9_a1 = modelmatige ontwerpvariant (met rode stippellijn bij de dijk) volgens de RWS-methode. Dit is de basis voor het WAQUA-model, waarmee de effecten bepaald worden.

In tiwa-9_a1 moeten we de plas dempen voor zover deze in het analysetraject valt (blauw vlakje), met inachtneming van het dijkstalud. De maximale hoogte van dit vlakje is het omliggende maaiveld. Hiervoor zijn tenminste twee nieuwe breuklijnen nodig: plasbodem (d) en maaiveldlijn (e). Mogelijk moet ook de plasrand (f) als breuklijn ingevoerd worden, maar als het goed is zou die er al moeten zijn. Tussen (d) en (f) moet alle oude hoogte-informatie gewist worden.

Vervolgens wordt het gehele analysetraject gevuld met de ecotopenruwheid voor gras/akker (code 1981) en worden eventuele plassen gewist (erase-plassen aanbrengen). Dit kan voor de hele contour van alle analysetrajecten samen.

De volumeanalyse van deze vereenvoudigde methode gaat nu als volgt (per analysetraject):

- $V0 = \text{tiwaref_b4} - \text{tiwaref_a4}$ = oranje vlakje (3) = fout die in het RWS-referentiemodel zit ten opzichte van de feitelijke geometrie (het teveel aan volume in het rivierprofiel);
- $V1 = \text{tiwa-9_b1} - \text{tiwa-9_a1}$ = geel + oranje vlakje = (1) + (3) = volumefout die in het rekenmodel van de variant zit ten opzichte van de feitelijke voorgenomen geometrie (het teveel aan volume in het rivierprofiel);
- $V = V1 - V0$ = geel vlakje (1) = extra volumefout die ontstaan is door modellering van de variant met een rechte wand.

Het teveel aan volume in het rivierprofiel wordt vertaald in een virtuele kruinverplaatsing:

- $\Delta x = V / L (h_{\text{kruin}} - h_{\text{teen}})$
- Een hoogwatervrije lijn (= vbkl) wordt op Δx afstand van de referentiekruinlijn aangebracht.

Het product hiervan is tiwa-9_a1. Hiermee wordt de modelsimulatie uitgevoerd. Opgemerkt wordt dat de praktijk van een analysetraject zich niet altijd door een uniform dwarsprofiel laat beschrijven. In het referentiemodel is op diverse plekken sprake van een gedeeltelijke geometrische modellering van het dijklichaam. Tevens geldt dat in de praktijk de waarde van $V0$ niet alleen beperkt blijft tot het dijklichaam, maar dat alle geometrische verschillen tussen het referentiemodel en de feitelijke geometrie (volgens de opmeting van WSRL) hiertoe behoren.

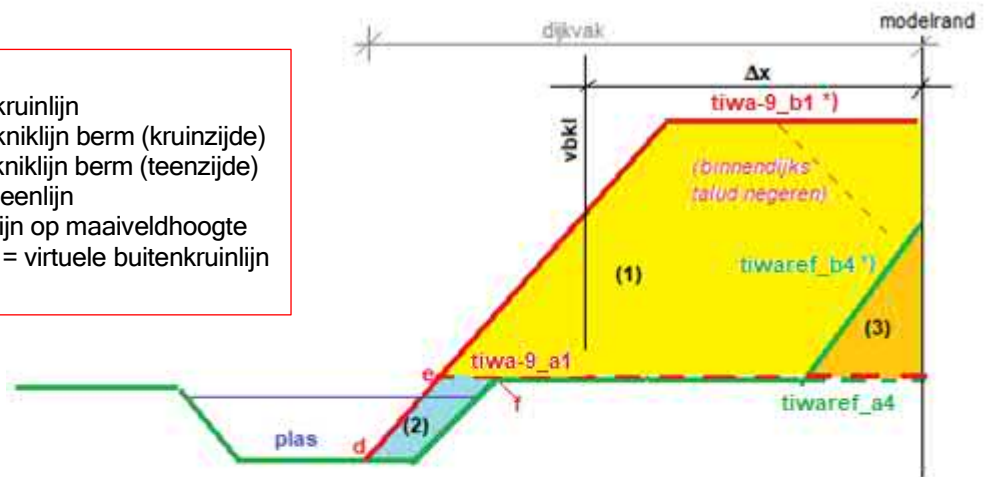
Voor een goede begripsvorming is de waarde van V ook te interpreteren als:

$$(\text{tiwa-9_b1} - \text{tiwaref_b4}) - (\text{tiwa-9_a1} - \text{tiwaref_a4})$$

ofwel het volume van de ingreep (1) + (2) minus het deel van het volume dat in de variant wel meegenomen wordt (2), met (1) als resultaat.

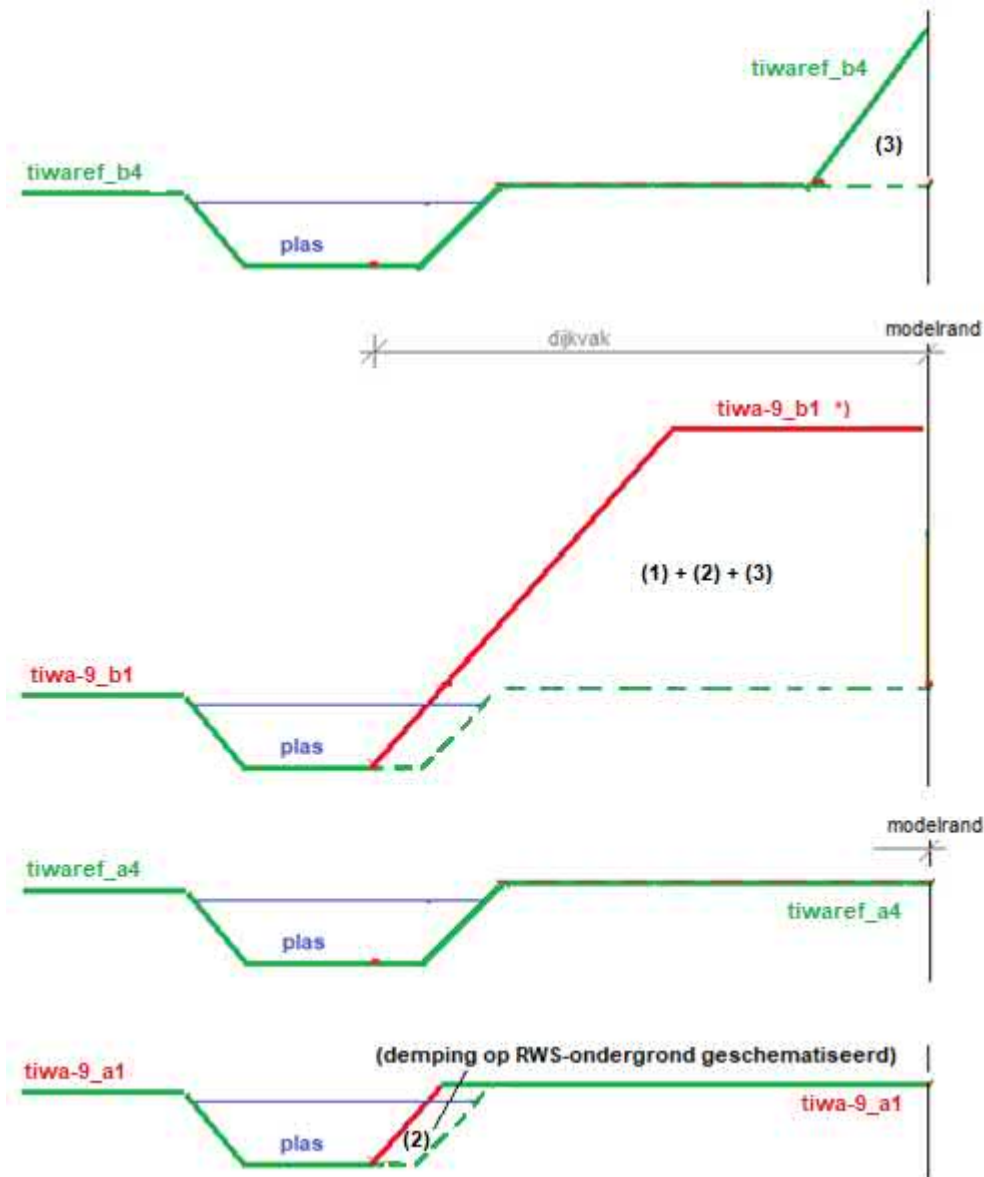
VO

a = kruinlijn
b = kniklijn berm (kruinzijde)
c = kniklijn berm (teenzijde)
d = teenlijn
e = lijn op maaiveldhoogte
vbkl = virtuele buitenkruinlijn



*) tiwaref_b4 = geometrische beschrijving

*) tiwa-9_b1 = geometrische beschrijving met doorgetrokken kruinhoogte tot aan de modelgrens



Figuur 43 Schematische weergave van het dijkprofiel

Bijlage 11 Beschrijving maatregel Crobsche Waard (WSRL, 2019)



Legenda

Dijkontwerp

Ruimtebeslag VKA



Bestaande waarden

steenfabrieksterrein



Bos/struweel



Bos/moeras



Agrarisch grasland



Flauwe oever rivier



Zomerkade/puinrug



Maatregelen

Nieuwe geul



Verleggen zomerkade



Crobsche Waard - Maatregelen- en objectenkaart

Dijkverzwaring

Het ruimtebeslag van de dijk komt voort uit het voorkeursalternatief. Momenteel wordt gewerkt aan een nieuw ruimtebeslag.

Geulen

De voorkeursvariant is een combinatie van 2B en 3A met maximale zandwinning. Hij bestaat uit de realisatie van een diepe geul. Deze bevindt zich ten zuiden van het steenfabrieksterrein en loopt door naar het oosten. Voor maximale zandwinning wordt halverwege de geul flink verbreed. Er komt naar verwachting veel grond vrij die gebruikt kan worden voor de dijkversterking. De kribben langs de Waal blijven behouden. De geul heeft aan weerszijde een talud van 1:4,5. De verplaatsing van de zomerkade zal in verdere uitwerking worden gedetailleerd. De zomerkade wordt tussen de nieuwe geul en de bestaande plas geplaatst. Dit voorkomt dat er effecten op bestaande natuurwaarden in de aanwezige plassen zullen optreden.

NNN

In dit voorkeursvariant vinden geen ingrepen plaats in GNN (Gelders Natuurnetwerk) gebied.

Recreatie

Eventuele recreatieve maatregelen zullen in komende periode worden uitgewerkt.



Profiel A Geul



Profiel B Geul

Crobsche Waard

Doorsnedes



Sweco Nederland B.V.
De Holle Bilt 22
3732 HM De Bilt
<https://www.sweco.nl/>



RiQuest
Van Dijkhuizenstraat 3
3864 DS Nijkerkerveen
<https://riquest.nl/>



Agtersloot Hydraulisch Advies
Ouddorp 22
5954 BD Beesel
<http://agtersloot.nl/>



GeoSpace
Dr. Hartogsweg 60A
6717 LT Ede
<https://www.geospace.nl/>