

RAPPORT

Achtergrondrapportage Rivierkunde

Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well

Klant: Waterschap Limburg

Referentie: 250513_BJ1000_W5510-3_Achtergrondrapport
Rivierkunde

Status: Definitief/0005

Datum: 13 mei 2025

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Netherlands
Water & Maritime

Telefoon: +31 88 348 70 00
E-mail: info@rhdhv.com
Website: royalhaskoningdhv.com

Titel document: Achtergrondrapportage Rivierkunde

Ondertitel: Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well
Referentie: 250513_BJ1000_W5510-3_Achtergrondrapport Rivierkunde
Status: Definitief/0005
Datum: 13 mei 2025
Projectnaam: Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well
Projectnummer: BJ1000

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Versie	Datum	Omschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Goedgekeurd
0.1	28-05-2024	Concept effectbeoordeling VO1	Danny Booij	Maarten Bakker	-
1.0	12-07-2024	Definitief effectbeoordeling VO1	Danny Booij	Maarten Bakker	Wiebe de Jong
1.1	25-10-2024	Concept effectbeoordeling VO2	Danny Booij	Maarten Bakker	-
2.0	06-12-2024	Definitief effectbeoordeling VO2	Danny Booij	Maarten Bakker	Wiebe de Jong
3.0	14-03-2025	Definitief effectbeoordeling VO2 + verwerking opmerkingen RWS	Danny Booij	Maarten Bakker	Wiebe de Jong
4.0	04-04-2025	Definitief effectbeoordeling VO2 + verwerking opmerkingen RWS + verwerking opmerking OG	Danny Booij	Maarten Bakker	Wiebe de Jong
5.0	13-05-2025	Definitief effectbeoordeling VO2 + verwerking opmerkingen uit voortoets	Danny Booij	Maarten Bakker	Wiebe de Jong

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding van deze rivierkundige beoordeling	4
1.2	Doelstelling	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Beschrijving referentiesituatie en eigenschappen van het gebied	6
3	Beschrijving van de onderzochte ingrepen	8
3.1	Waterkeringen	8
3.2	Groene Rivier en De Band	8
4	Werkwijze en uitgangspunten	10
5	Beoordelingsaspecten	13
6	Resultaten	15
6.1	Hoogwaterveiligheid	15
6.1.1	Waterstandseffect op de as van de rivier	15
6.1.2	Volume waterberging	17
6.1.3	Waterstandseffect buiten de as van de rivier	17
6.2	Hinder of schade door hydraulische effecten	21
6.2.1	Effect op waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard	21
6.2.2	Effect op stroombeeld in de uiterwaard	22
6.2.3	Effect op stroombeeld in vaarweg	25
6.2.4	Instroom retentiegebieden	27
6.3	Morfologische effecten	28
6.3.1	Morfologisch effect op zomerbed	28
6.3.2	Morfologisch effect op winterbed	33
6.4	Effect op Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum	35
6.4.1	Inundatiefrequentie	35
6.4.2	Morfologisch effect op winterbed	35
7	Conclusies	36
	Referenties	38

Bijlagen

- Bijlage A – Vertaling ontwerp naar modelbestanden
- Bijlage B – Absolute stroomsnelheden variant
- Bijlage C – Dwarsstroomgrafieken
- Bijlage D – Stroomsnelheden Maaspark Ooijen-Wanssum
- Bijlage E – Dwarsstroomgrafieken VO1

Bijlage F – Technische tekeningen VO2

1 Inleiding

1.1 Aanleiding van deze rivierkundige beoordeling

In het project Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well worden rivierverruiming, dijkversterking en beekherstel gecombineerd. De dijkversterking en rivierverruiming vormen de basis voor een plan om het landschap opnieuw in te richten, waarbij de waterhuishouding, landbouw en natuur worden hersteld naar een staat die overeenkomt met het oorspronkelijke Maasterrassenlandschap. Hiermee worden meerdere belangrijke ontwikkelingen ingezet, zoals het adaptief inrichten van het landschap t.a.v. overstromingen en droogte, het transformeren van de landbouw, het bevorderen van biodiversiteit en het bevorderen van duurzaamheid [Ref. 1].

De gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well is ontstaan uit de een drietal grote opgaven in het gebied; de systeemingreep, de dijkversterking en het beekherstel, zie Figuur 1. Het ontwerp beslaat een Groene Rivier die tijdens hoogwater omstandigheden Maaswater afvoert onder de N270 door, tussen de dorpskernen Oud en Nieuw Well en langs Elsteren, en via het Maaspark Well weer terugvoeren naar de Maas. Onderdeel van de systeeminterventie is het optimaliseren van de doorstroming en verbetering van de natuurwaarden in natuurgebied De Band.

De doelstellingen van de gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well zijn [Ref. 1]:

- Aanleg, verhoging en versterking van primaire keringen, zodanig dat de wettelijke veiligheidsnorm wordt gerealiseerd. Dit wordt aangevuld met maatwerkbescherming van het Kasteel en de Kamp;
- Verbeteren van de systeemwerking van de Maas door behoud van 85 ha rivierbed en realisatie van ~17 cm waterstanddaling bij extreem hoogwater;
- Verbeteren van het ecologisch functioneren van de Molenbeek en haar oevers door de loop, oevers en monding een natuurlijker karakter te geven en daarmee de biodiversiteit te verhogen;
- Versterken van de ruimtelijke kwaliteit, door de landschappelijke herkenbaarheid, samenhang, cultuurhistorische identiteit en soortenrijkdom in het gebied verbeteren;
- Versterken van de gebruiks- en belevingswaarde voor bewoners en bezoekers door o.a. het verbeteren van de toegankelijkheid en functionele bruikbaarheid;
- Duurzaamheid in realisatie en beheer, door o.a. gebruik te maken van en voort te bouwen op de bestaande gebiedskwaliteiten, de toepassing van gebiedseigen grond, robuuste waterkeringen en natuur inclusieve voedselproductie.

Om de geplande ontwikkelingen te kunnen realiseren is een rivierkundige beoordeling nodig conform het Rivierkundig beoordelingskader [Ref. 2].



Het doel van deze rivierkundige beoordeling is om de effecten van de voorziene ingrepen in beeld te brengen en te kwantificeren. Het voorliggende rapport dient ter onderbouwing van de aanvraag van de benodigde vergunningen voor de geplande ingrepen.

In hoofdstuk 2 van deze rapportage wordt eerst een beschrijving gegeven van de huidige rivierkundige situatie van het gebied. Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op de geplande ingrepen, waarin wordt toegelicht hoe deze zijn geschematiseerd voor de rivierkundige beoordeling. Daarna zal in hoofdstuk 4 een overzicht worden gegeven van de technische uitgangspunten die zijn aangehouden in de beoordeling en worden in hoofdstuk 5 de beschouwde beoordelingsaspecten kort beschreven. In hoofdstuk 6 worden de resultaten per beoordelingsaspect beschreven. Tot slot worden in hoofdstuk 7 de conclusies van deze rivierkundige beoordeling gegeven.

2 Beschrijving referentiesituatie en eigenschappen van het gebied

Het dorp Well ligt langs het gestuwde deel van de Maas, in het stuwpand Belfeld - Sambeek. Het stuwpeil van de Maas ter hoogte van Well (rkm 132,1) is NAP +11,11 m. Tijdens een hoogwater dat gemiddeld eens in de 100 jaar voorkomt, is de waterstand bij Well NAP +15,78 m (en afvoer bij Borgharen dorp 3.224 m³/s). Onderstaande tabel toont de relatie tussen afvoer en waterstanden bij Well (bron: betrekkingslijnen Maas 2021-2022, RWS).

	Betrekkingslijnen Maas versie 2021_2022															
Aantal dagen/jaar dat waterstand hoger is	267	183	107	45	9	4	2									
Herh. tijd v/d topafvoer in jaren								5	10	20	30	50	100	300	1000	3000
Afvoer Borgharen-dorp [m³/s]	50	125	250	500	1000	1250	1470	1971	2302	2603	2776	2965	3224	3573	3862	4118
rkm	Waterstanden [m + NAP]															
132,1 (Well dorp)	11,11	11,13	11,21	11,45	12,09	12,66	13,15	14,44	14,95	15,27	15,41	15,57	15,78	16,07	16,31	16,47
134 (de Band)	11,11	11,13	11,19	11,39	11,92	12,42	12,96	14,18	14,64	14,94	15,07	15,22	15,40	15,68	15,92	16,09
135 (Maaspark)	11,11	11,12	11,19	11,37	11,85	12,31	12,86	14,04	14,51	14,82	14,95	15,10	15,29	15,57	15,80	15,98

Tabel 1: Betrekkingslijnen Maas nabij Well (RWS, betrekkingslijnen 2021-2022)

Het plangebied van het project Groene Rivier Well wordt gekenmerkt als een terrassenlandschap. In het brede Maasdal zijn in het verleden verschillende terrassen gevormd die onderling veelal worden gescheiden door steilranden; In hoogte loopt het op van het laagterras naar het middenteras en vervolgens naar het hoogterras. Op de laagterrassen bevinden zich de oude geulen van de Maas die in de loop van duizenden jaren gevormd zijn en weer buiten gebruik zijn geraakt.

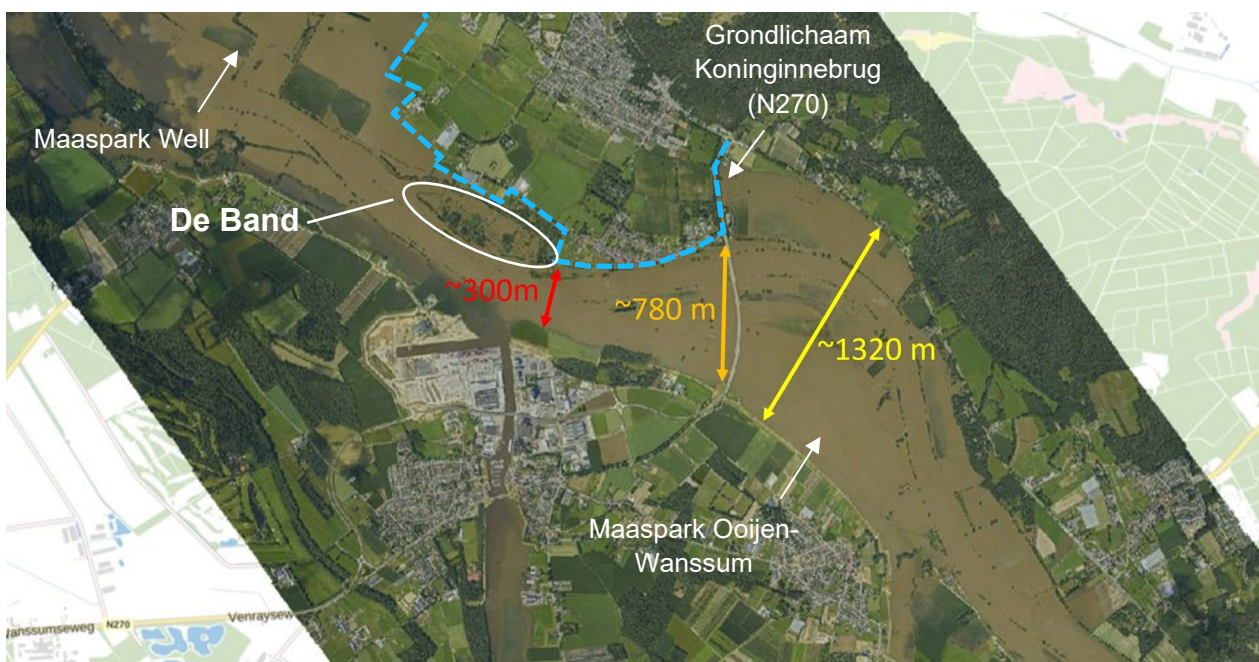
Overstromingen door hoogwater in de Maas waren zeldzaam en door de hoogtes van het terrassenlandschap bleef de Maas onbedijkt. Maar na de hoogwaters van 1993 en 1995 is besloten de dorpskernen (zoals het plangebied) langs de Maas te bedijken, zie blauwe stippellijn in Figuur 2. Bij de versterkingsexercitie werd de benodigde klei gewonnen in kleiputten nabij Elsteren, waarna het natuurgebied De Band is ontstaan. Vanuit rivierkundig oogpunt bestaat de huidige situatie van het te ontwikkelen gebied uit een overstromingsvrije kern met ten westen en oosten van het gebied overstroombare uiterwaarden. Ten zuiden grenst de waterkering aan de Maas.

Het effect van de aanleg van deze keringen is dat de ruimte voor de Maas op veel plekken in Limburg is ingeperkt en de waterstanden bij hoogwater zijn gestegen. Tijdens het hoogwater in juli 2021 bleek dat de huidige situatie bij Well ook een knelpunt vormt tijdens een hoogwater. De breedte van de rivierbedding gaat van 1300 m naar slechts 300 m. Bij de huidige ligging van de waterkeringen is er bij Well weinig ruimte voor afvoer van Maaswater tijdens hoogwater; er is sprake van een flessenhals (zie Figuur 2).

Belangrijke elementen ten aanzien van rivierkunde in het gebied zijn:

- Licht verhoogde stroomruggen vormen natuurlijke instroomdrempels van de overstroombare uiterwaarden. De hoogte bedraagt bovenstrooms NAP +13,8-14,0m. Dit betekent dat de overstroming van de uiterwaarden optreedt bij een afvoer van 1.700-1.800 m³/s, wat overeenkomt met een herhalingstijd van ongeveer eens per twee à drie jaar;

- Het grondlichaam van de Koninginnebrug (N270) is een belangrijk onderdeel van het beschreven knelpunt. Dit grondlichaam doorsnijdt de voorheen tijdens hoogwater overstroombare vlakte van het laagterras;
- Ten noordwesten van het plangebied wordt project Maaspark Well momenteel uitgevoerd. Dit project combineert veiligheid, natuur, toerisme, ondernemen en infrastructuur, en het bevat als belangrijkste elementen de aanleg van een hoogwatergeul tussen Well en Aijen en het vergroten en verdiepen van de voorhaven van het Leukermeer [Ref. 3];
- Aan de zuidelijke oever van de Maas bevindt zich het projectgebied van Maaspark Ooijen-Wanssum. In dit 500 hectare grote gebied is veel ruimte voor de rivier gecreëerd. Zo zijn er twee nieuwe hoogwatergeulen aangelegd en werd de Oude Maasarm gereactiveerd. Het project is eind 2020 onder leiding van de provincie Limburg afgerond.



Figuur 2: Luchtfoto tijdens Hoogwater knelpunt Maas bij Well in juli 2021. Hierop is de flessenhals in de Maas goed zichtbaar. Blauwe stippellijn toont locatie van huidige waterkering.

3 Beschrijving van de onderzochte ingrepen

Figuur 1 toont een overzicht van het ontwerp van het planvoornemen. Deze figuur bevat tevens de nieuwe ligging van de waterkeringen. Voor een uitvoerige beschrijving en onderbouwing van het ontwerp van de Groene Rivier en De Band wordt verwezen naar Ontwerpnota VO2 Groene Rivier Well [Ref. 4].

3.1 Waterkeringen

De waterveiligheidsopgave bestaat uit het aanleggen, verhogen en versterken van primaire keringen, zodanig dat de wettelijke veiligheidsnorm wordt gerealiseerd. Dit wordt aangevuld met maatwerkbescherming van het Kasteel en de Kamp. Het ontwerp van de waterkeringen bestaat uit een combinatie van klassieke grond dijken, steilranddijken en constructieve oplossingen, zie Figuur 1.

3.2 Groene Rivier en De Band

Het ontwerp voor de Groene Rivier richt zich op het herstel van het oorspronkelijke watersysteem waarin grondwater en Maaswater samenkomen. Het doel is om een klimaat-robust watersysteem te creëren dat piekbuien en hoge afvoeren kan afvoeren en water kan vasthouden in droge perioden. Dit vereist het verbinden en het verlagen van het maaiveld van de Groene Rivier voor hoogwaterveiligheid en het dempen van drainerende watergangen om water vast te houden en verdroging te voorkomen.

De Groene Rivier wordt verbonden met de Maas tijdens hoogwater door middel van het plaatsen van een brug ter plekke van het huidige grondlichaam van de N270. Om het gebied klimaat-robust in te richten zijn er twee drempels ontworpen in de Groene Rivier, nabij de Kasteellaan en Elsterenweg. Deze drempels zorgen ervoor dat water tijdens droge periodes in de kwelgeul en de naastliggende gronden wordt vastgehouden. Hierdoor blijft hoogwaardig kwelwater in het gebied in plaats van dat het direct wordt afgevoerd naar de Maas. Na de drempel nabij de Elsterenweg stroomt het water via een licht meanderende beek richting Maaspark Well. Om stroomsnelheden in de Groene Rivier te beperken, stroomt het gebied eerst via benedenstroomse zijde vol. Het gebied stroomt gemiddeld 2 dagen per jaar (afvoer te Borgharen ca. 1.500 m³/s) vol vanuit benedenstroomse zijde en stroomt gemiddeld 1 keer per 2 jaar mee met rivierwater van de bovenstroomse zijde (afvoer te Borgharen ca. 1.700 m³/s).

Om voldoende ruimte voor het water in de Groene Rivier te creëren, wordt het maaiveld verlaagd. De ligging van oude geulpatronen in de ondergrond is gebruikt als basis voor de locatie van een kwelgeul in de Groene Rivier, zie Figuur 1. In de nieuwe situatie wordt het open water van de kwelgeul omgeven door moeras wat vervolgens overgaat in nat grasland en droger gras. Ten behoeve van het beheer wordt enige verruiging rondom de Groene Rivier toegestaan middels het toevoegen van een vegetatieruwheidsklasse mengklasse 90/10 rondom de kwelgeul, zie Bijlage A. Daarnaast zijn aan de zuidzijde van de Groene Rivier op enkele locaties vlakken met vegetatieruwheidsklasse mengklasse 70/30 en 50/50 opgenomen waar meer ruimte is voor de ontwikkeling van riet/ruigte, struweel en/of bos.

Mede door de maaiveldverlaging verdwijnt er het nodige groen in de Groene Rivier. Er worden ter compensatie veel nieuwe maasheggen aangeplant, zie Figuur 1. Naast groencompensatie is dit ook een cultuurhistorisch waarde omdat in het verleden hier veel maasheggen in het gebied aanwezig waren. De maasheggen worden aangelegd in de stromingsluwe zones zodat ze de afvoer van water niet of nauwelijks beïnvloeden. Deze zones bevinden zich op de overgang van de laaggelegen Groene Rivier naar de hoger gelegen akkers en verspreid over de hoger gelegen akkers. Langs beide zijden van de Kasteellaan worden de bomenrijen opnieuw aangeplant, hetzelfde geldt voor een enkele zijde van de Elsterenweg.

Om de doorstroming in de Band te verbeteren tijdens hoogwater wordt hier een hoogwatergeul gecreëerd. Deze geul heeft een lengte van ~700 m en een breedte van ~40 m (bij lage tot gemiddelde waterstanden).

De hoogwatergeul wordt gecreëerd door het verbinden van bestaande kleiputten. Om te compenseren voor ooibos dat bij de aanleg van de geul verloren gaat worden er onder andere kleine eilandjes met ooibos gecreëerd nabij de oevers van de geul. De instroom van de geul en het natuurgebied wordt vergemakkelijkt door de dijkteruglegging van Oud Well en het verlagen van het fietspad. Het huidige bovenstroomse instroompunt worden wat opgehoogd om de relatieve bijdrage van het maaswater te verminderen ten faveure van de van het kwelwater in de Band, hetgeen vanuit ecologische motieven gewenst is. Net als de Groene Rivier stroomt ook de Band eerst via benedenstroomse zijde in, dit zal ongeveer 4 dagen per jaar gebeuren (afvoer te Borgharen ca. 1.250 m³/s). De hoogwatergeul zelf zal via de instroom van bovenzijde gemiddeld eens in de drie jaar meestromen (afvoer te Borgharen ca. 1.800 m³/s).

4 Werkwijze en uitgangspunten

De rivierkundige beoordeling is grotendeels uitgevoerd op basis van een kwantitatieve analyse door middel van modelberekeningen. Tevens is het voor een aantal aspecten niet relevant geacht om specifieke modelberekeningen uit te voeren, zoals voor het effect op de afvoerverdeling. Hier is middels een kwalitatieve analyse een beoordeling gegeven over het effect van de ingrepen. De GIS-applicatie Baseline is gebruikt om het ontwerp te schematiseren en vervolgens is het 2D stromingsmodel WAQUA toegepast om waterstanden en stroomsnelheden te simuleren. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij het maken van de rivierkundige modelberekeningen:

Referentie:

- Voor de Baseline referentieschematisatie is 'Baseline-Maas-beno17_5-v1' uitgeleverd (mail door T. Visser d.d. 25-5-2023);
- Op verzoek van RWS-ZN is de referentieschematisatie uitgebreid met drie maatregelen welke noodzakelijke verbeteringen en actualisaties van de referentiesituatie bevatten:
 - ma_mpwel17_b1;
 - ma_welldtb_a1;
 - ma_wellcor_a1.
- 'Baseline-Maas-beno17_5-v1' bevat overstroombare keringen. Voor dit project is het wenselijk om te rekenen met niet overstroombare keringen. Hiermee worden de effecten van de ingrepen zuiver in kaart gebracht. Zodoende is op verzoek van RWS-ZN de referentieschematisatie, naast bovengenoemde maatregelen, tevens uitgebreid met Baseline-maatregel 'ma_mkno17_a3' welke niet overstroombare keringen (hoogwatervrije lijnen) toevoegt aan de aangeleverde referentieschematisatie;
- Het kenmerk van de nieuwe referentie is 'sys_ggrw_ref'.

Baseline maatregelen:

- Voor de systeemmaatregel, het verleggen van de waterkeringen en verwijderen van het grondlichaam van de Koninginnebrug (N270), is een Baseline-maatregel gemaakt met het kenmerk 'ma_wellvo_d1';
- Voor de inrichting van de Groene Rivier is een Baseline-maatregel gemaakt met het kenmerk 'ma_wellgr_d5';
- Voor de herinrichting van de geul in De Band is een Baseline-maatregel gemaakt met het kenmerk 'ma_wellba_d1';
- De ontwerpen van de maatregelen zijn gebaseerd op de ruimtelijke inrichtingskaart en technische tekeningen (zie Bijlage F).

Baseline variant:

- Baseline maatregelen 'ma_wellvo_d1', 'ma_wellgr_d5', 'ma_wellba_d1' zijn ingemixt op 'sys_ggrw_ref'. De resulterende variant, het voorlopig ontwerp, heeft het kenmerk: 'sys_ggrw_a9'. De vertaling van het definitief ontwerp naar modelbestanden (Baseline/WAQUA) is weergegeven in Bijlage A.

Model software:

- Baseline versie 5.3.4;
- ArcGIS versie 10.6.1;
- WAQUA-versie SIMONA2016.

Werkwijze:

- Zowel het voorlopig ontwerp ('sys_ggrw_a9') als de referentie ('sys_ggrw_ref') zijn doorgerekend met afvoeren bij Borgharen van 4.118 m³/s, 3.224 m³/s, 2.300 m³/s, 2.000 m³/s, 1.800 m³/s, 1.500 m³/s en 1.250 m³/s;
- Voor de rivierkundige beoordeling is het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) versie 6.0 gebruikt;
- Om een indruk te krijgen van de morfologische effecten is door RWS-ZN gevraagd om met WAQMORF een inschatting te maken van het eventuele erosie en/of aanzandingseffect. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:
 - De maatregel is stroomvoerend bij afvoeren groter dan 1.250 m³/s te Borgharen. Instroomdrempel van De Band is gelegen op NAP +13,5m, wat overeenkomt met een afvoer van ca. 1.700 m³/s;
 - Er is gerekend met de volgende afvoeren: Q1 (laagwaterblok) = 1.250 m³/s, Q2 (overgangsblok) = 1.500 m³/s en Q3 (hoogwaterblok) = 2.000 m³/s;
 - Bij stroomsnelheden kleiner dan 0,3 m/s vindt geen bodemerosie plaats (default waarde).

Optimalisatie ingrepen

Voorliggende rapportage presenteert de beoordeling van rivierkundige effecten behorende bij het Voorlopig Ontwerp fase 2 (genaamd VO2) van Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well. Fase 2 omvat het ontwerpproces dat heeft gelopen van december 2023 tot mei 2024. In de periode daarvoor, juli-november 2023 was Voorlopig Ontwerp fase 1 (genaamd VO1) doorlopen. VO2 is een nadere uitwerking van VO1 welke gebaseerd is op het Voorkeursalternatief (VKA) uit 2022.

In het voorjaar van 2024 zijn de rivierkundige effecten van het VO1 inzichtelijk gemaakt in relatie tot de relevante beoordelingsaspecten uit het Rivierkundig Beoordelingskader v6.0. Het planvoornemen voldeed aan het merendeel van de beoordelingsaspecten uit dit kader. Echter, op de beoordelingsaspecten *Stroombeeld in vaarweg* en *Morfologisch effect op zomerbed* waren nog effecten aanwezig die buiten de normen uit het Rivierkundig Beoordelingskader v6.0 vielen.

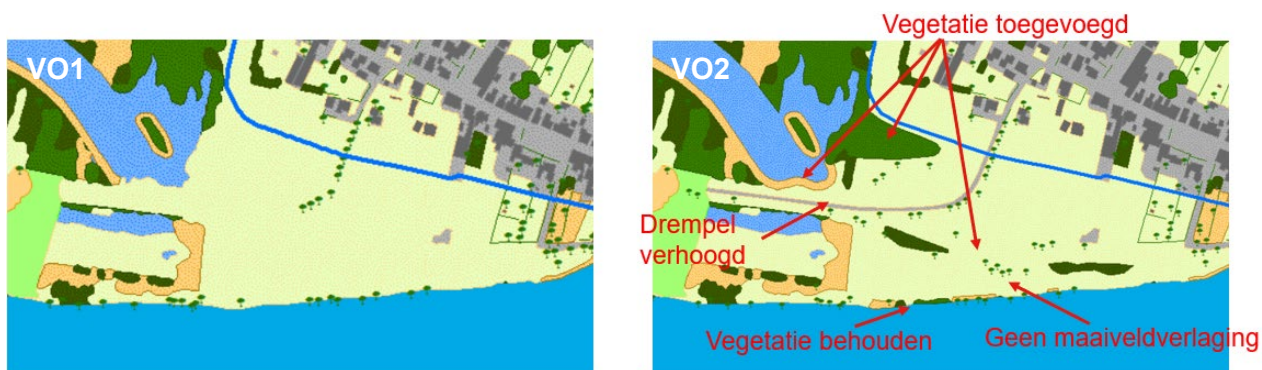
Met betrekking tot *Stroombeeld in vaarweg* (zie figuren in Bijlage E) waren de dwarsstroomeffecten als gevolg van het planvoornemen rivierkundig onacceptabel; hierbij waren de verslechtingen buiten de norm bij de afvoeren 2.300 en 2.000 m³/s bij de in- en uitstroom van de hoogwatergeul in De Band bepalend. Compenserende maatregelen waren in het VO2 nodig om de dwarsstroomsituatie ter plaatse te verbeteren.

Met betrekking tot *Morfologisch effect op zomerbed* is er langs het gehele riviertraject in het projectgebied kans op aanzanding ten gevolge van de ingreep. Enige sedimentatie in het zomerbed is onvermijdelijk en hoort bij de aard van de ingrepen in het riviersysteem (systeemmaatregel). Echter, ter plaatse van de instroom van de hoogwatergeul in De Band kan de aanzanding oplopen tot circa 80 cm. De minimale nautische waterdiepte van 4,90 m bij MLW kan bijna overal gewaarborgd blijven en de vaargeulafmeting zou enkel lokaal aan de zuidelijke Maasoever ter hoogte de uitstroom van natuurgebied Maaspark Ooijen-Wanssum kleiner worden. Desondanks, wordt niet voldaan aan de wettelijk vereiste inspanningsverplichting om de effecten van een ingreep op het gebruik van de vaarweg te minimaliseren.

Om verbeteringen op beide beoordelingsaspecten te realiseren zijn in het VO2 de volgende optimalisaties ingepast om bij middelhoge afvoeren minder water richting de hoogwatergeul in De Band te sturen (zie Figuur 3):

- Verhoging instroomdrempel De Band van NAP +13,0m naar NAP +13,5m;
- Toevoeging van vegetatie bij de instroom van De Band;
- Behoud van vegetatie aan Maasoever;

- Geen maaiveldverlaging toepassen bij de instroom van De Band.



Figuur 3: Overzicht van optimalisaties bij hoogwatergeul in De Band (weergegeven op vegetatiekaart uit Baseline).

Ten opzichte van het VO1 zijn in het VO2 tevens de locaties van de waterkeringen lokaal gewijzigd en is een update van het groencompensatieplan toegevoegd aan de rivierkundige schematisatie.

5 Beoordelingsaspecten

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de toetsingssporen die volgens het rivierkundig beoordelingskader getoetst moeten worden bij ingrepen in het gebied waar de voorziene ingrepen zich bevinden. De wijze van beoordelen is daarnaast ook afgestemd met Rijkswaterstaat Zuid-Nederland op 14-09-2023 met Klaartje Giesberts en Ed Lemaire. De afspraken gemaakt zijn vastgelegd in *Technische Uitgangspunten Notitie Rivierkunde*, versie 1.0 [Ref. 5].

Nr.	Rivierkundig beoordelingsaspect	Beoordelingscriterium	Toelichting
1.1	Maatregel in stroomvoerend deel rivier: Hoogwaterreferentie op de as van de rivier	Stroomvoerend: geen waterstandverhoging op de as van de rivier bij de afvoer(en) uit de Hoogwaterreferentie. Bergend: geen vermindering bergend volume.	3.224 m ³ /s te Borgharen voor de beoordeling van het effect van waterstandsverhoging op de as van de rivier. 4.118 m ³ /s te Borgharen voor de beoordeling van het bergend vermogen.
1.2	MHW buiten de as van de rivier	Geen waterstandverhoging langs de hoge grondenlijn of primaire waterkering bij de afvoer(en) uit de Hoogwaterreferentie.	3.224 m ³ /s te Borgharen voor de beoordeling van het effect van waterstandsverhoging buiten as van de rivier
2.1	Inundatiefrequentie van de uiterwaard	De mate van verandering inundatiefrequentie van een of meerdere uiterwaarden	Voor de Maasvallei wordt getoetst aan 3.224 en 4.118 m ³ /s te Borgharen.
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	Voor de Maasvallei wordt getoetst aan 3.224 en 4.118 m ³ /s te Borgharen.
2.3	Stroombeeld in de vaarweg	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 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. Indien de dwarsstroming in de referentiesituatie al boven de normen zit, dan geldt dat de ingreep geen toename van de dwarsstroming mag veroorzaken.	De afvoeren waarvoor wordt getoetst op het stroombeeld in de vaarweg van 1.500 m ³ /s, 1.800 m ³ /s, 2.000 m ³ /s en 2.300 m ³ /s te Borgharen.
2.6	Instroom retentiegebieden Maas	Verandering waterstand ter hoogte van inlaat retentiegebieden Maas	De maatregel ligt ver genoeg van de drie bekende retentiegebieden dat er geen invloed op de overstromingsfrequentie van de gebieden te verwachten is.
3.1	Sedimentatie en erosie van het zomerbed (+oever) door ingrepen in het zomer of winterbed	<u>Bij erosie:</u> -geen verlaging zomerbed beneden de minimale bodemligging t.a.v. erosie en infrastructuur (o.a. kabels, leidingen en waterkeringen); <u>Bij sedimentatie:</u> -geen vermindering van	De afvoeren waarvoor wordt getoetst op morfologische effecten in het zomerbed zijn 1.250 m ³ /s, 1.500 m ³ /s en 2.000 m ³ /s te Borgharen. Een initiatiefnemer heeft een inspanningsverplichting om de effecten van een ingreep op het gebruik van de vaarweg te

	vaarwegafmetingen); -geen verhoging van de maatgevende waterstanden op lange termijn; <u>Generiek:</u> -beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten; behouden vlotheid en veiligheid scheepvaartverkeer; -geen onacceptabele sedimentatie of terugschrijdende erosie;	minimaliseren, conform het veroorzakersbeginsel uit het National Water Programma 2022-2027. Sedimentatie is (na morfologische optimalisatie) acceptabel zolang de waterdiepte in de vaarweg niet in gevaar komt (minimale vaarwegafmetingen blijven gewaarborgd) en een vlot en veilige waterafvoer en vaarweggebruik niet worden gehinderd.
3.2 Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeulen door ingrepen in het zomer of winterbed	<u>Bij sedimentatie:</u> - Acceptabele beheerkosten voor baggeren nevengeulen; <u>Bij erosie:</u> -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/sg); - geen bodemerosie langs primaire waterkering; - stabiliteit van belangrijke constructies in de uiterwaard mag niet verminderen;	De afvoeren waarvoor wordt getoetst op morfologische effecten in het winterbed zijn 3.224 m ³ /s, 2.000 m ³ /s en 1.500 m ³ /s te Borgharen.

Naast de vereisten van het rivierkundig beoordelingskader wordt ook een berekening gemaakt ten behoeve van de inspanningsverplichting om een waterstandsval van 17 cm te behalen op de Maas, op een locatie tussen rivierkilometer 130 en 132. Om dit te verifiëren wordt een modelsimulatie uitgevoerd met het deelmodel op basis van de afvoer 4.118 m³/s te Borgharen waarbij de waterstand op de as van de rivier van het ontwerp wordt vergeleken met die van de referentie.

6 Resultaten

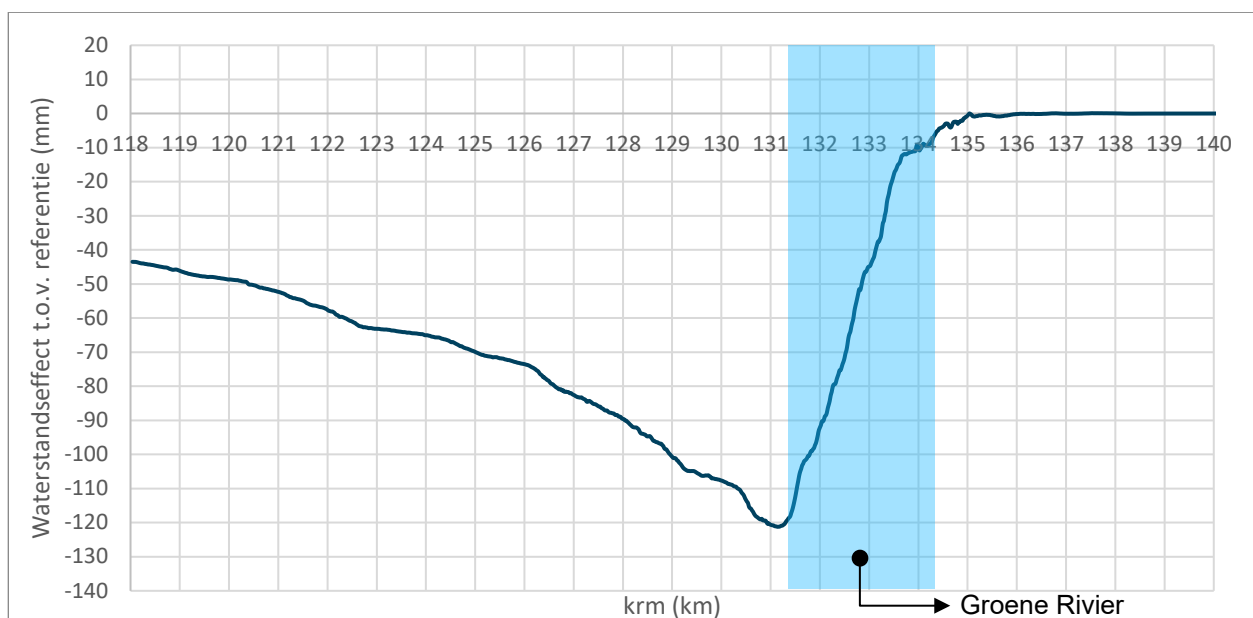
6.1 Hoogwaterveiligheid

6.1.1 Waterstandseffect op de as van de rivier

De voorwaarde bij de beoordeling van het waterstandseffect ten gevolge van ingrepen in het rivierengebied is dat zij in principe niet mogen leiden tot een verhoging van de waterstanden uit de Hoogwaterreferentie ('stand-still' principe). Concreet wordt er een berekende waterstandsverhoging van 1 mm in de as van de rivier geaccepteerd in het rivierkundig beoordelingskader welke gerelateerd wordt aan onnauwkeurigheden in de modelberekeningen.

Het waterstandseffect bij maatgevend hoogwater (MHW) op de as van de rivier is weergegeven in Figuur 3. In de figuur is het waterstandseffect van de ingegrepen uitgedrukt ten opzichte van de referentiesituatie.

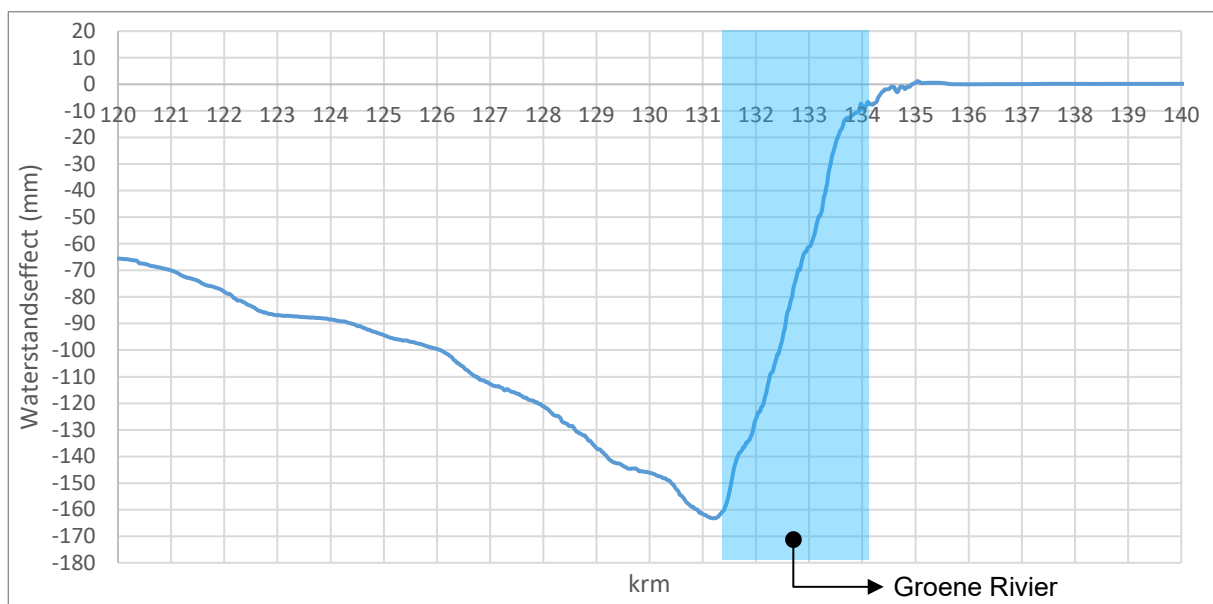
Uit de figuur kan worden afgeleid dat het planvoornemen leidt tot een groot waterstandsdalend effect dat een maximum bereikt van ca. 12,1 cm direct bovenstrooms van de Groene Rivier en Oud Well (rivierkilometer 131,1) bij een afvoer van 3.224 m³/s. Dit wordt gedreven door de systeemmaatregel, het creëren van een nevengeul/bypass, waardoor in de afvoercapaciteit van de Maas toeneemt bij hoogwater. Van een waterstandsverhogend effect kan niet gesproken worden (waterstandsverhoging << 1mm). De zogenaamde benedenstroomse piek die regelmatig voorkomt als gevolg van een rivierverruimende maatregel is niet aanwezig. Dit is het gevolg van de zeer brede uitstroom aan de benedenstroomse zijde van Elsteren en de Groene Rivier. Het planvoornemen voldoet dus ruim aan de normen uit het rivierkundig beoordelingskader.



Figuur 4: Waterstandseffect (mm) bij 3.324 m³/s op de as van de rivier tussen het ontwerp en de referentie.

Inspanningsverplichting waterstandsaling

Figuur 4 toont het waterstandseffect op de as van de rivier bij een afvoer van 4.118 m³/s te Borgharen. Uit de figuur kan worden afgeleid dat het planvoornemen leidt tot een groot waterstandsdalend effect dat een maximum bereikt van ca. 16,3 cm direct bovenstrooms van de Groene Rivier en Oud Well (rivierkilometer 131,2). Waterschap Limburg heeft bevestigd dat hiermee in voldoende mate wordt voldaan aan de inspanningsverplichting van 17 cm waterstandsaling.



Figuur 5: Waterstandseffect (mm) bij 4.118 m³/s op de as van de rivier tussen het ontwerp en de referentie.

6.1.2 Volume waterberging

In stroomluwe gebieden treden weliswaar geen lokale waterstandseffecten op, maar kan een initiatief wel zorgen voor een afname van het bergend vermogen. Een afname van het bergend vermogen kan leiden tot een waterstandsverhoging in het gehele deel van de rivier dat benedenstrooms van de ingreep ligt. Deze verhoging zou dan het gevolg zijn van een afname van de topvervlakking van de hoogwatergolf. Afname van bergend vermogen op de benedenrivieren kan daarnaast ook leiden tot verhoging in bovenstroomse richting. Het is niet toegestaan dat het bergende vermogen van de Maas verminderd wordt door de maatregelen behorend bij initiatief Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well.

Normaliter wordt de volumeverandering in het waterbergende deel van de rivier bepaald zodat berekend kan worden hoeveel volume aan compensatie nodig is. Een dergelijke bepaling is voor dit planvoornemen in overleg met Rijkswaterstaat niet uitgevoerd omdat het verlies aan bergend vermogen in het juridisch vastgelegde bergende rivierbed, elders in het projectgebied ruimschoots wordt gecompenseerd door de omzetting van 85 hectare bergend rivierbed naar stroomvoerend rivierbed en de realisatie van een substantiële waterstandsverlaging (zie sectie 6.1.1). Rijkswaterstaat zal daarom in dit project ook niet toetsen op verliezen of winst in het bergend regime.

6.1.3 Waterstandseffect buiten de as van de rivier

Als gevolg van een ingreep in een uiterwaard kan de lokale stroming veranderen waardoor er in de omgeving van de ingreep veranderingen in waterstand en stroomsnelheid ontstaan. Door lokale opstuwing kan het effect van een ingreep buiten de as van de rivier, zoals aan de waterkering, afwijken van het effect op de as. Op locaties waar een waterstandverhoging optreedt, moet worden gekeken of hier belangen van derden worden geschaad. Dit aspect van het RBK 6.0 gaat hierop in.

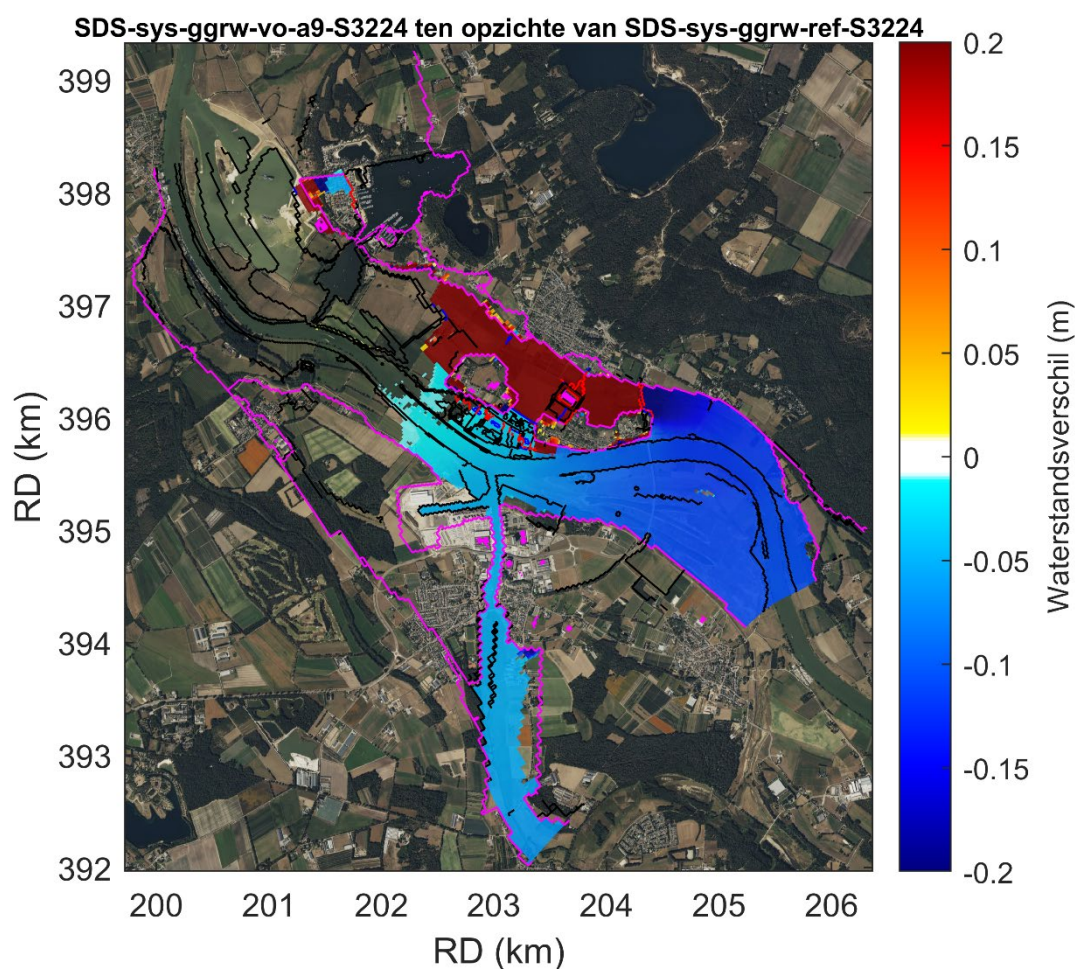
Het ruimtelijke effect van de maatregelen op de waterstand bij MHW buiten de as van de rivier is weergegeven in Figuur 6. De grootschalige effecten komen over het algemeen overeen met de waterstandseffecten op de as van de rivier. Figuur 7 toont het effect van de maatregelen op de waterstand bij MHW buiten de as van de rivier met een afgekapte kleurenschaal tot +/- 1 cm. In dit figuur is te zien dat een beperkte waterstandsverhoging tot maximaal 3 mm aanwezig is benedenstrooms van de Groene Rivier ter hoogte van Maaspark Well en het Leukermeer. Dit waterstandsverhogend effect wordt in Figuur 8 nogmaals getoond (ingezoomd). Deze waterstandsverhoging is tevens aanwezig aan de noordelijke dijken en hoge gronden. Dergelijke kleine waterstandsverhogingen langs dijken en hoge gronden leiden in de regel niet tot ongewenste verslechtingen van de waterveiligheidssituatie. Verder worden door de waterstandseffecten veroorzaakt door de ingrepen geen andere belangen van derden geschaad. Enkele millimeters waterstandsverhoging in een hoogwatersituatie op percelen van derden veroorzaakt geen ongewenste effecten.

Als gevolg van de systeemmaatregel, het verleggen van de waterkeringen en verwijderen van het grondlichaam van de Koninginnebrug (N270), stroomt de Maas bij hoge afvoeren ten noorden van Oud-Well (de voorheen niet meestromende) Groene Rivier in. Logischerwijs stijgen de waterstanden hier bij een afvoer van 3.224 m³/s te Borgharen tot NAP +15,20–15,50m; waterdieptes in de Groene Rivier zijn circa 2 tot 3,5 m ten opzichte van 0 m in de referentiesituatie (zie Figuur 9). Door deze stijging in de Groene Rivier worden geen belangen van derden geschaad; het is immers een projectdoelstelling om de Groene Rivier bij stijgende waterstanden te laten meestromen. Ten opzichte van de as van de rivier treden in de Groene Rivier nergens grote gradiënten in waterstanden op die kunnen leiden tot een risico op hoogwaterveiligheid (zie Figuur 9). Ter plaatse van de dijkteruglegging bij de Kamp, zie groene cirkel in Figuur 8, treden om soortgelijke redenen als in de Groene Rivier ook grote waterstandsstijgingen op (er was immers eerst geen water en in de toekomstige situatie wel). Bij het ontwerp van de nieuwe waterkeringen is rekening gehouden met de waterstandsstijging in het projectgebied. Tevens wordt als deel van het project een

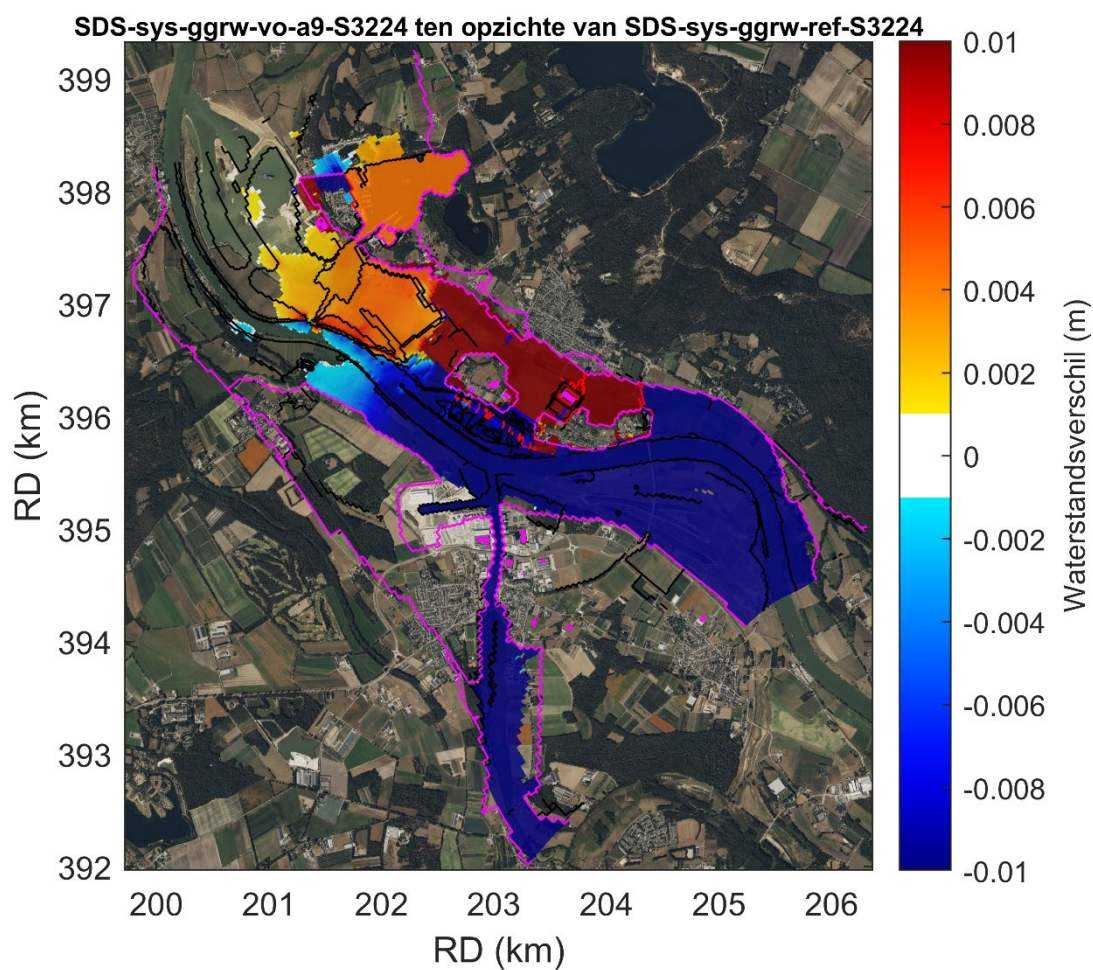
maatwerkoplossing ontworpen en gerealiseerd voor de waterveiligheid van het kasteel. Op het terrein van het kasteel worden lokaal grondophogingen ingepast om de waterveiligheid van het kasteel bij hoogwatersituaties te garanderen (1/100 beschermingsniveau).

Als gevolg van de dijkverlegging komen tevens enkele woningen op de adressen Elsteren 11B, 13 en 15 buitendijks te liggen. Het is hierbij relevant te vermelden dat de boerderijen door de gemeente Bergen zijn aangekocht en dat de gemeente accepteert dat deze gebouwen een lager beschermingsniveau krijgen. Eventuele schade bij een hoogwater wordt hiermee geaccepteerd.

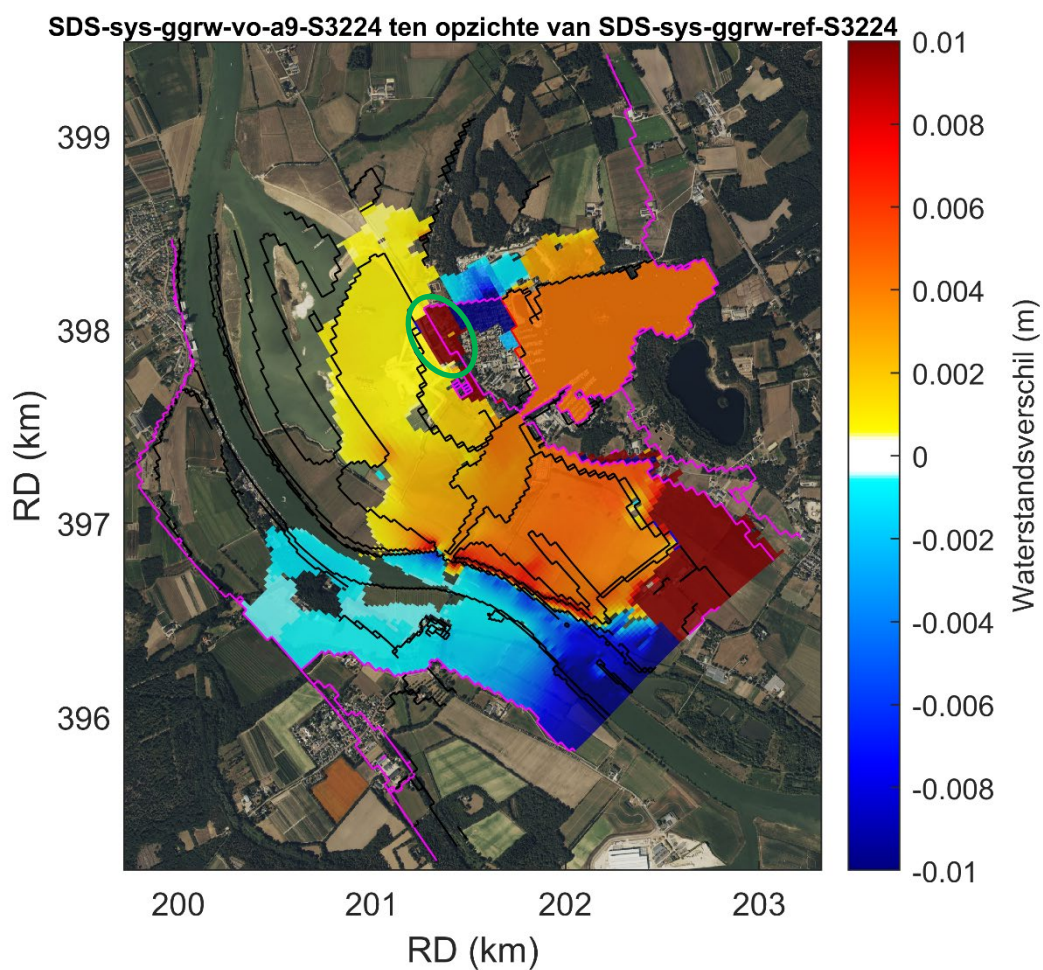
We concluderen dus dat waterstandseffecten buiten de as van de rivier geen toename in schade veroorzaken aan de belangen van het waterschap (Waterschap Limburg) of derden.



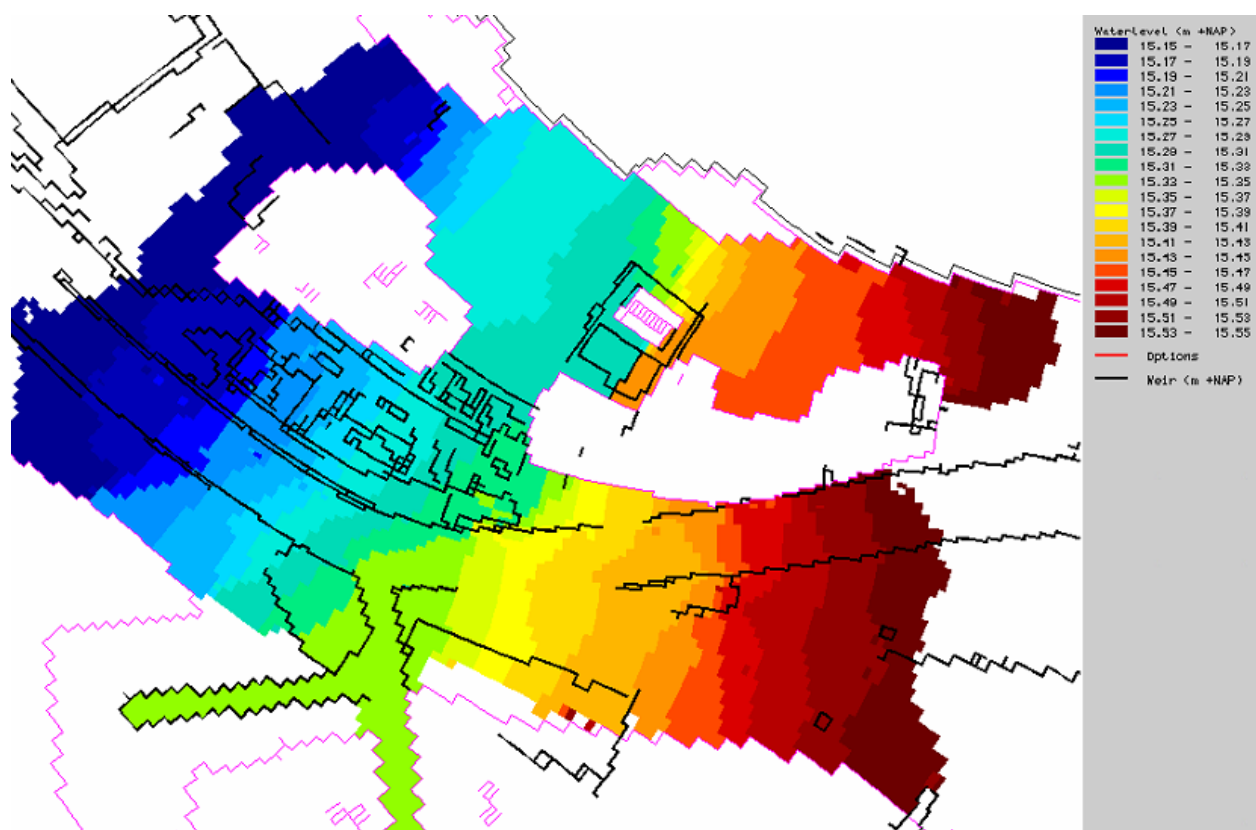
Figuur 6: Ruimtelijk waterstandseffect (in m) t.o.v. de referentie bij een afvoer van 3.224 m³/s te Borgharen. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan. Waterstandsverschillen kleiner dan 1 cm worden niet getoond. Kleurenschaal is afgekapt op -0,2 en 0,2 m.



Figuur 7: Ruimtelijk waterstandseffect (in m) t.o.v. de referentie bij een afvoer van 3.224 m³/s te Borgharen. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan. Waterstandsverschillen kleiner dan 0,5 mm worden niet getoond. Kleurenschaal is afgekapt op -0,01 en 0,01 m.



Figuur 8: Ruimtelijk waterstandseffect (in m) t.o.v. de referentie bij een afvoer van 3.224 m³/s te Borgharen ingezoomd op waterstandsverhogend effect. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan. Waterstandsverschillen kleiner dan 0,5 mm worden niet getoond. Kleurenschaal is afgekapt op -0,01 en 0,01 m.



Figuur 9: Absolute waterstanden in het 2D-vlak (in m) t.o.v. de referentie bij een afvoer van 3.224 m³/s. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.

6.2 Hinder of schade door hydraulische effecten

6.2.1 Effect op waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard

Als gevolg van een ingreep kan de frequentie van instromen van (delen van) de uiterwaard wijzigen. Of een wijziging van de frequentie van instromen van (delen van) de uiterwaard ook daadwerkelijk nadelige gevolgen heeft voor het specifieke deel van de uiterwaard hangt af van het doelgebruik van het gebied. Een wijziging kan ongewenst zijn wanneer deze nadelig is voor omwonenden, bedrijfsvoering, voor de bereikbaarheid of voor natuurontwikkeling. Dit aspect uit het RBK 6.0 gaat daarop in.

Als gevolg van de systeemmaatregel, het verleggen van de waterkeringen en verwijderen van het grondlichaam van de Koninginnebrug (N270), wijzigt de inundatiefrequentie van het gehele gebied dat wordt bestempeld als Groene Rivier:

In de natuurlijke laagte van de oude Maasarm worden permanent watervoerende geulen (gebieden gedefinieerd als kwelzone en kwelmoeras) gerealiseerd. De locatie van de geulen is zo veel mogelijk gebaseerd op de aanwezigheid van oude geulafzettingen in de ondergrond. Grenzend aan de oevers van deze geulen ontstaat achtereenvolgens nat grasland, droog grasland en op de hoogste delen akkergrond, allen onderdeel van het natuurinclusieve landbouwbedrijf dat zich hier gaat toeleggen op voedselproductie. Bij lage rivierafvoeren is de inrichting passend bij de aanwezige natheid van het gebied. De beoogde inrichting zal dan ook niet leiden tot nadelige gevolgen voor de belanghebbenden.

Bij stijgende waterstanden stroomt de Groene Rivier (gebieden gedefinieerd als kwelzone en kwelmoeras; zie Figuur 1) via de benedenstroomse zijde (Maaspark Well) langzaam vol; dit treedt ca. 2-3 dagen per jaar

op (afvoer te Borgharen 1.400-1.500 m³/s). De inundatiefrequentie van de twee ontsluitingswegen (Kasteellaan op NAP +13,3m en Elsterenweg NAP +13,2m) welke het gebied van noord naar zuid doorkruisen is ongeveer eens per jaar (afvoer te Borgharen ca. 1.600 m³/s). Indien deze wegen overlopen, inunderen naast de permanent watervoerende delen ook de als natte graslanden gekenmerkte delen uit Figuur 1. In deze situatie blijven de (niet natte) graslanden uit Figuur 1 allereerst droog; zij inunderen bij waterstanden welke eens per 2 à 3 jaar voorkomen (afvoer te Borgharen 1.700-1.800 m³/s). Bij dergelijke waterstanden inunderen ook de twee ontsluitingswegen tussen Oud Well en 'nieuw' Well. Middels de ontsluitingsdijk tussen Elsteren en Oud Well en de brug in de N270 kunnen bewoners het gebied altijd in en uit. Zodoende blijft hun bereikbaarheid gewaarborgd en ervaren zij alleen beperkte hinder als ze moeten omrijden.

Vanuit bovenstroomse richting (brug N270) gaat de Groene Rivier eens in de 2 à 3 jaar meestromen (afvoer te Borgharen 1.700-1.800 m³/s); dan stroomt de gehele Groene Rivier (van dijk tot dijk) mee en zullen ook de akkergronden overstroomd (veelal in de winterperiode wanneer de meeste hoogwaters optreden). Dit zou als een negatieve wijziging van de inundatiefrequentie kunnen worden gekenmerkt aangezien het productieniveau van de akkergronden zal afnemen. Echter, de wijziging van de inundatiefrequentie wordt binnen project Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well niet als ongewenst ervaren omdat het type bedrijfsvoering in de betreffende gebieden tegelijkertijd wijzigt van klassieke landbouw naar natuur inclusieve landbouw waarin meer natuurlijke dynamiek in het systeem wordt geaccepteerd. Dit is een uitgangspunt en daarmee een directe consequentie van de systeemingreep.

Bovenstaande houdt in dat er grote wijzigingen zijn in inundatiefrequentie door de systeemingreep. Echter deze wijzigingen worden door de verschillende belanghebbenden niet beoordeeld als ongewenste wijzigingen met schade of hinder tot gevolg.

6.2.2 Effect op stroombeeld in de uiterwaard

Door ingrepen langs de rivier kunnen (lokale) stroomsnelheden in de uiterwaard veranderen. Dit kan resulteren in lokale erosie bij constructies als kribben, gebouwen, kaden, wegen, maar ook langs randen van plassen en geulen. De mate van eventuele effecten wordt ingeschat door het beoordelen van de verandering van de grootte en richting van de stroomsnelheden bij afvoeren van 3.224 en 4.118 m³/s te Borgharen. Dit beoordelingsaspect is omschreven in aspect 2.2 van het RBK 6.0.

De ruimtelijke veranderingen in het stroombeeld in de vaarweg en uiterwaarden zijn weergegeven in Figuur 9 en Figuur 10. Bijlage B toont de absolute stroomsnelheden in de variant bij afvoeren van 3.224 en 4.118 m³/s te Borgharen.

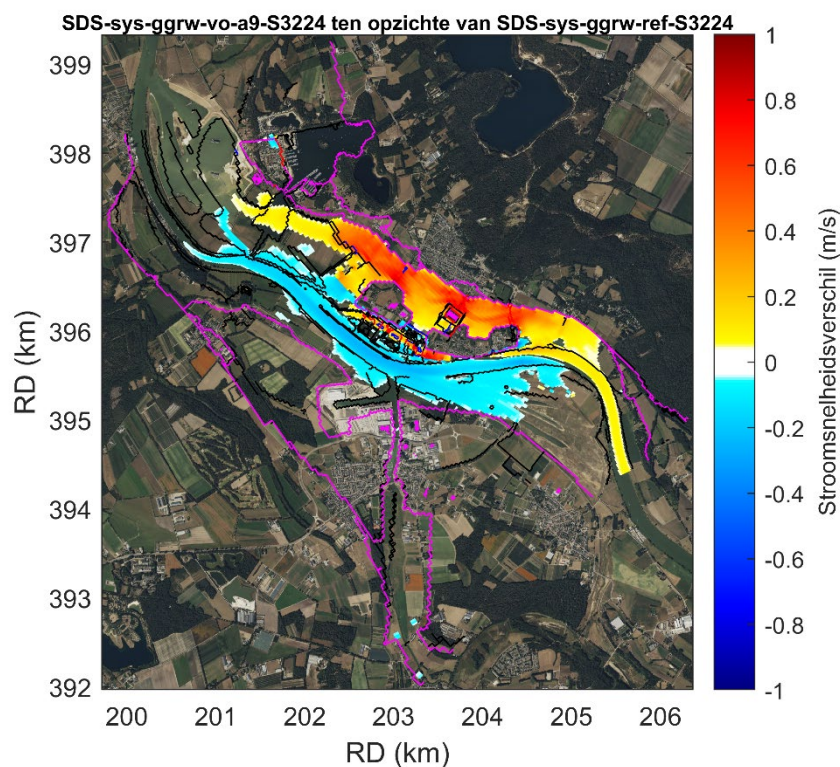
Zoals reeds benoemd in Hoofdstuk 3 krijgt de Maas als gevolg van het planvoornemen bij hoge afvoeren weer de mogelijkheid om tussen Oud en Nieuw Well te stromen. Logischerwijs nemen de stroomsnelheden dan ook toe tussen Oud en Nieuw Well, waar de "Groene Rivier" bij hoogwater gaat meestromen waar in de referentiesituatie geen stroming optreedt. Deze toename is maximaal 1,1 m/s, wat de maximale absolute stroomsnelheid in de Groene Rivier ook 1,1 m/s maakt, zie ook Figuur 13. In De Band nemen de stroomsnelheden toe met maximaal 0,7 m/s resulterend in een maximale absolute stroomsnelheid van 1,2 m/s. Dergelijke stroomsnelheden resulteren normaliter niet in ongewenste lokale erosie bij constructies en langs de randen van de plassen en geulen. De absolute stroomsnelheden blijven onder de kritische grens van erosie van een met gras beklede oever. Afhankelijk van de kwaliteit van de grasmat, kan een met gras beklede oever stroomsnelheden tot 1,5 à 2,5 m/s weerstaan gedurende 100 uur, conform CUR201 [Ref. 6].

Op enkele locaties zullen echter, als gevolg van stromingsturbulentie bij hoogwater, lokaal hogere stroomsnelheden optreden dan met het (dieptegemiddelde) WAQUA-model berekend zijn. Op basis van vuistregels (*The Rock Manual*; Tabel 5.53) zijn de volgende erosiegevoelige locaties bepaald waar er kans

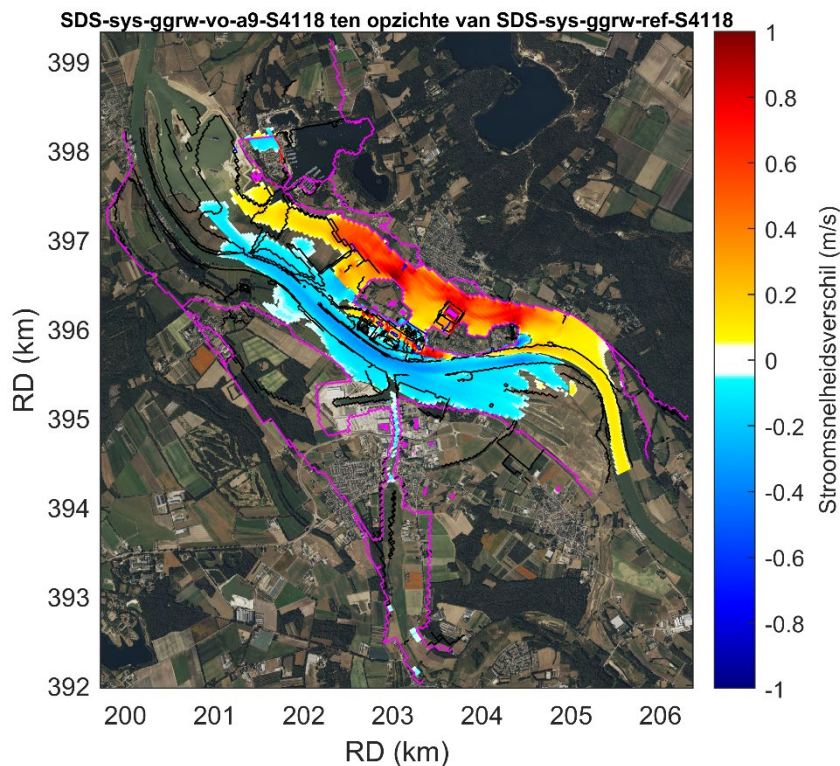
Tevens zullen als gevolg van het planvoornemen bij afvoeren van 3.224 en 4.118 m³/s te Borgharen de stroomsnelheden lokaal in de uiterwaard gaan afnemen. Omdat een deel van de Maasafvoer door de Groene Rivier stroomt is er een duidelijke stroomsnelheidsafname aanwezig in het zomerbed tot -0,6 m/s. In sectie 6.3 wordt deze constatering uitvoering beschouwd in het licht van de morfologische ontwikkeling van de rivierbodem. Verder treden ook buiten het zomerbed stroomsnelheidsafnames op ten oosten van Oud Well, ten noordwesten van dijkkring Elsteren en bij Weerd Wansum (behorend bij project Ooijen-Wanssum). Deze afnames zijn in de ordegrootte van 0,3–0,6 m/s.



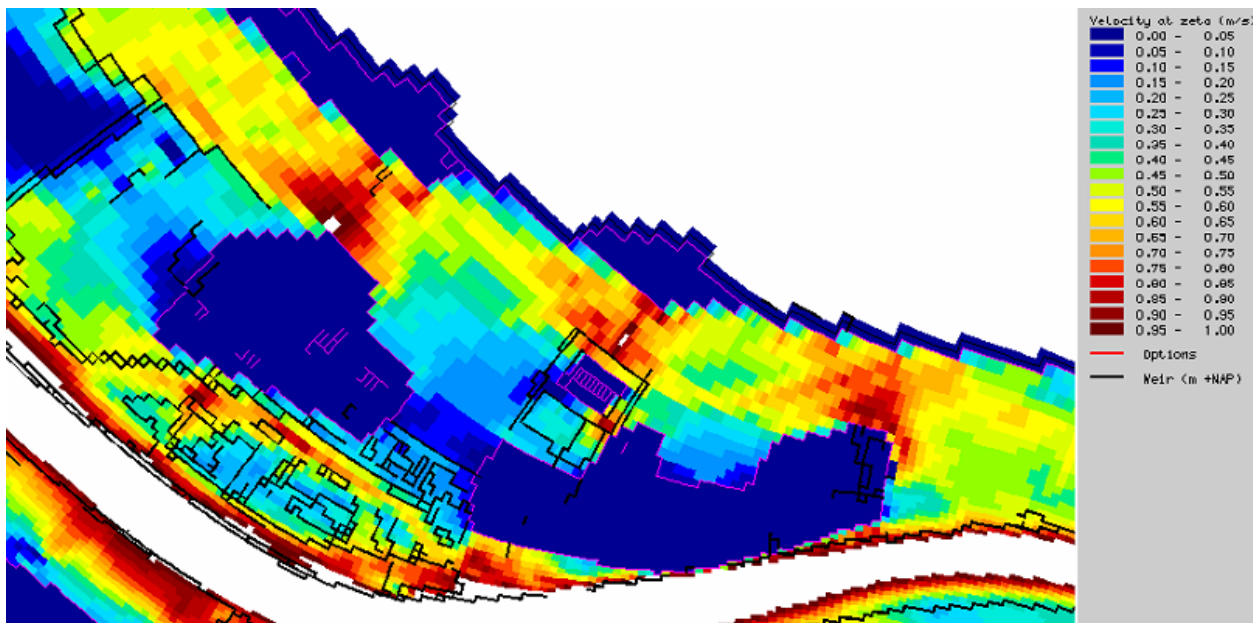
23



Figuur 11: Verschil in stroomsnelheid tussen ontwerp en de 'referentie' in 2D bij een afvoer van $3.224 \text{ m}^3/\text{s}$ te Borgharen. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.



Figuur 12: Verschil in stroomsnelheid tussen ontwerp en de 'referentie' in 2D bij een afvoer van $4.118 \text{ m}^3/\text{s}$ te Borgharen. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.



Figuur 13: Absolute stroomsnelheden in het 2D-vlak (in m) t.o.v. de referentie bij een afvoer van 4.118 m³/s. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan en kleurschaal is afgekapt op 1 m/s.

6.2.3 Effect op stroombeeld in vaarweg

Bij een stroming van uiterwaard naar hoofdgeul en omgekeerd (bijvoorbeeld bij de aan- of aftakking van een nevengeul of andere ingreep in de uiterwaard) kunnen er dwarsstromingen in de vaarweg ontstaan. Deze dwarsstromingen kunnen hinderlijk zijn voor de scheepvaart en de veiligheid (navigatie) nadelig beïnvloeden. Dit is aspect 2.3 van het RBK 6.0.

Aangezien de uiterwaarden niet meestromen bij afvoeren lager dan 1.500 m³/s, wordt het beoordelen van dwarsstroming bij afvoeren tot en met 1.500 m³/s als niet zinvol geacht. Er wijzigt immers als gevolg van de ingrepen niets aan het stroombeeld in de vaarweg. Daarom is het dwarsstromingsaspect beoordeeld voor de afvoeren 1.500 m³/s, 1.800 m³/s, 2.000 m³/s en 2.300 m³/s te Borgharen. Dwarsstroomgrafieken voor de afvoeren 2.300 m³/s en 2.000 m³/s zijn gepresenteerd in Figuur 14 en Figuur 15. De dwarsstroomgrafieken voor de afvoeren 1.800 m³/s en 1.500 m³/s zijn te vinden in Bijlage C.

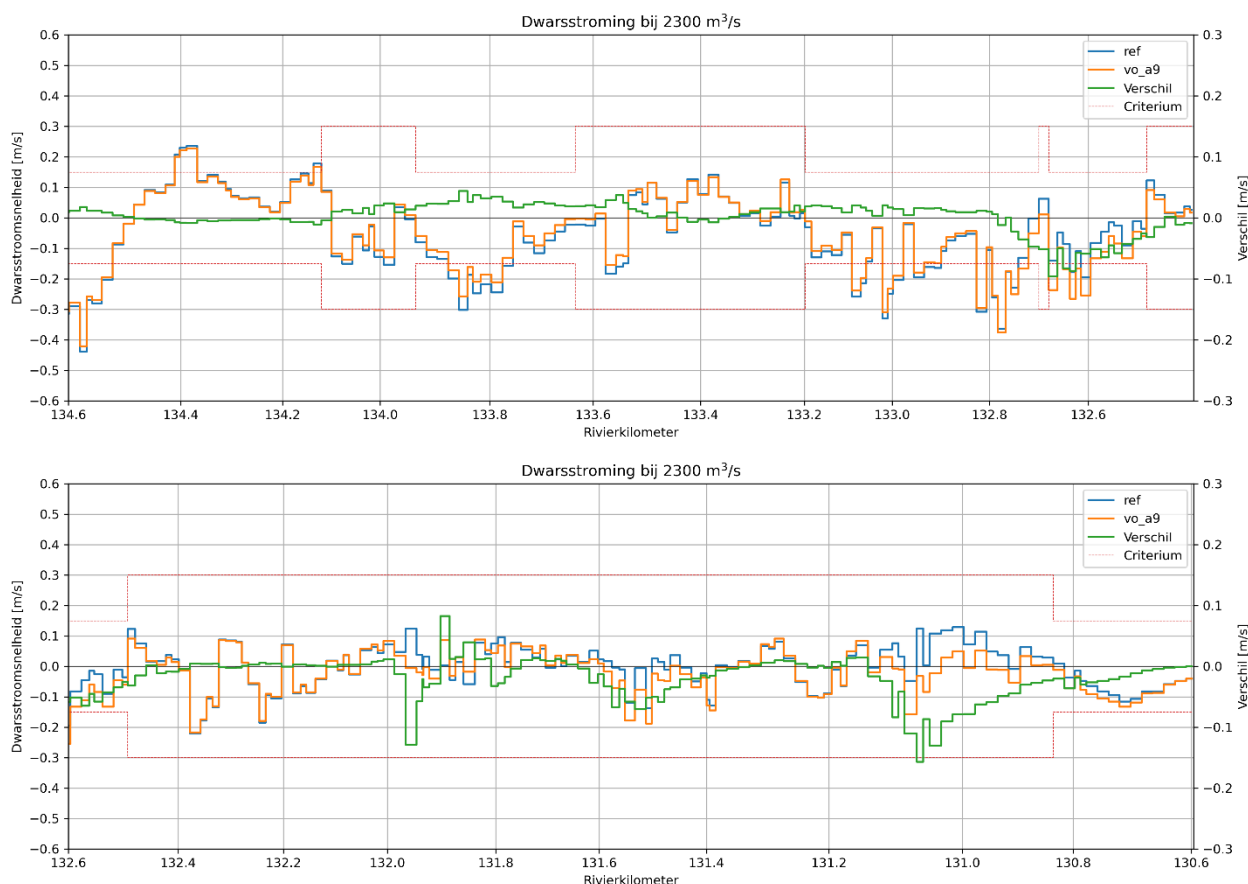
Uit de resultaten van de modelberekeningen volgt dat bij de afvoeren 1.800 m³/s, 2.000 m³/s en 2.300 m³/s te Borgharen in de referentiesituatie al te hoge dwarsstromingen (boven de norm) optreden. Hier is verslechtering dus volgens het RBK niet toegestaan.

Als gevolg van het geoptimaliseerde planvoornemen treden over het gehele traject veranderingen in dwarsstroomsnelheid op, zie Figuur 14 en Figuur 15. Het water van de Maas kan vanaf het zomerbed gemakkelijker de geul in De Band in kan instromen als gevolg van de dijkverlegging en het verlagen van de instroomdrempel van de De Band. Hierdoor treedt er op de rand van de vaarweg bij een afvoer van 2.300 m³/s over een afstand van circa 300 meter een toename in dwarsstroming op tot maximaal circa 0,38 m/s, zie krm 132,6 – 132,8 in Figuur 14. De toename is maximaal +0,1 m/s, zie groene lijn in Figuur 14 en Figuur 15. Dit betreft derhalve een negatief effect op het aspect *Effect op stroombeeld in vaarweg*.

De dwarsstroomeffecten ter plaatse bij de afvoeren 1.800 m³/s en 2.000 m³/s te Borgharen zijn vergelijkbaar met die bij 2300 m³/s, echter wel minder groot en kunnen zodoende ook als beperkt negatief bestempeld worden. Verder zijn er als gevolg van het planvoornemen op de rand van de vaarweg voor de afvoeren 1.800 m³/s, 2.000 m³/s en 2.300 m³/s geen andere ongewenste verslechtingen van

dwarsstromingspatronen aanwezig. Bij de afvoer van 1.500 m³/s te Borgharen zijn alle wijzigingen in de dwarsstromingspatronen als gevolg van het planvoornemen binnen de norm en zodoende toelaatbaar conform het Rivierkundig Beoordelingskader v6.0.

Er treden ook afnames in dwarsstroming op tot maximaal -0,05 m/s, in de trajecten 132,8 – 133,3 en 133,5 – 134,1, in totaal circa 1.100 meter, bij een afvoer van 2.300 m³/s te Borgharen. Dit dwarsstromingseffect betreft een positief effect op het aspect *Effect op stroombeeld in vaarweg*. De dwarsstroomeffecten ter plaatse bij de afvoeren 1.800 m³/s en 2.000 m³/s te Borgharen zijn vergelijkbaar, echter wel minder groot en kunnen zodoende ook als beperkt positief bestempeld worden.



Figuur 14: Dwarsstroming op de rand van de vaarweg (m/s) bij 2.300 m³/s tussen het ontwerp (in figuur 'vo_a9') en de referentie (in figuur 'ref'). Bovenste figuur toont benedenstroomse deel van traject en onderste figuur toont bovenstroomse deel van traject. Groene verschil-lijn hoort bij rechter as, overige lijnen bij linker as.

Op basis van bovenstaande resultaten kan beredeneerd worden dat de veranderingen in dwarsstroming ten gevolge van het planvoornemen per saldo beperkt negatief zijn. Ter plaatse van de instroom van de geul in De Band treedt een beperkt negatief effect op dat potentieel kan leiden tot (extra) hinder of veiligheidsrisico's voor de scheepvaart. De aanvullende overlast die ervaren wordt door de scheepvaart vanwege de geringe toename buiten de norm zal echter zeer gering zijn. Zij ervaart immers in de huidige (referentie) situatie een vergelijkbare (en hogere) dwarsstroming tussen krm 132,7 en 133,1. Bovendien zijn de negatieve en positieve effecten deels uitwisselbaar en worden de betreffende afvoeren slechts sporadisch overschreden; 2.300 m³/s eens per 10 jaar en 2.000 m³/s eens per 5 jaar. Daarnaast leidt verdere optimalisatie direct tot vermindering van het waterstandsverlagend effect van het planvoornemen (wat voornaamste doel van het project is).

Ter beoordeling van de vergunbaarheid van het planvoornemen wordt geadviseerd de betreffende effecten uit voorliggend hoofdstuk in het licht van de integrale afweging tussen alle beoordelingsaspecten te beschouwen. Dus ook de vele positieve effecten van dit planvoornemen op de diverse beoordelingsaspecten mee te wegen in het oordeel op het aspect *Dwarsstroming in de vaarweg*.



Figuur 15: Dwarsstroming op de rand van de vaarweg (m/s) bij 2.000 m³/s tussen het ontwerp (in figuur 'vo_a9') en de referentie (in figuur 'ref'). Bovenste figuur toont benedenstroomse deel van traject en onderste figuur toont bovenstroomse deel van traject. Groene verschil-lijn hoort bij rechter as, overige lijnen bij linker as.

6.2.4 Instroom retentiegebieden

Veranderingen in de waterstand bij hoge afvoeren kunnen effect hebben op het functioneren van boven- en benedenstroomse retentiegebieden. Voor het beoordelen van dit effect wordt de impact van de maatregelen op de waterstand ter hoogte van de inlaat en de verandering van de inzetfrequentie in beeld gebracht. Het gaat om drie retentiegebieden: Lateraalkanaal-West Zuid (rkm 67,0), Lateraalkanaal-West Noord (rkm 85,2) en de Lob van Gennep (rkm 157,3). De waterstandseffecten ter hoogte van de inlaten op de aangegeven locaties worden normaliter inzichtelijk gemaakt bij de hoogwaterreferentie (afvoer van 4.118 m³/s te Borgharen). Echter, aangezien het deelmodel enkel de Maas tussen rkm 118 en rkm 155 beschrijft én het planvoornemen ver genoeg van de retentiegebieden vandaan ligt, is er als gevolg van het planvoornemen geen invloed op de overstromingsfrequentie van de gebieden te verwachten. Het effect op dit toetscriterium kan dus als neutraal worden beoordeeld.

6.3 Morfologische effecten

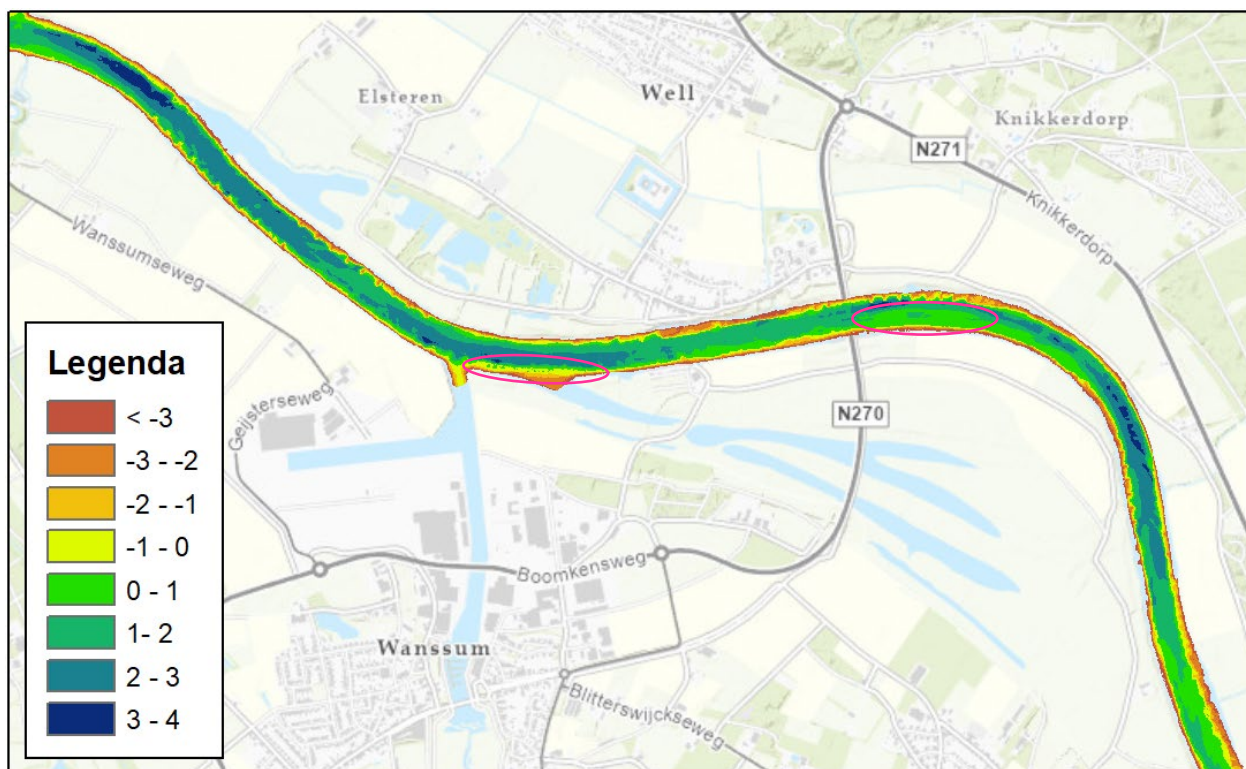
6.3.1 Morfologisch effect op zomerbed

Ingrepen in de rivier kunnen morfologische veranderingen veroorzaken. Morfologische veranderingen kunnen effecten hebben op de waterstanden. Een belangrijk ander effect kan een verminderde waterdiepte zijn, waar de scheepvaart last van kan krijgen. Uitgangspunt is dat morfologische effecten van ingrepen beperkt blijven zodat er geen nadelige gevolgen zijn op de hoogwaterveiligheid, de functies van waterstaatswerken, bevaarbaarheid van de vaarwegen en de stabiliteit van het riviersysteem op korte en lange termijn.

De mogelijke toename van erosie en sedimentatie in de vaarweg en uiterwaarden is afhankelijk van de stroomsnelheidsgradiënten; toenames in stroomsnelheden kunnen leiden tot erosie patronen en een afnames in stroomsnelheden kunnen leiden tot sedimentatie. Op basis van de tool WAQMORF is een inschatting gemaakt van de aanzandings- en erosiepatronen. WAQMORF geeft op basis van WAQUA-resultaten een inschatting van het effect in de bodemhoogteligging door een lokale ingreep, rekening houdend met een gemiddelde seizoensvariatie in de afvoer [Ref. 2]. Het resultaat is een indicatie van potentiële grootte en plaats van bodemliggingseffecten die zich na voldoende lange tijd kunnen ontwikkelen (> 50 jaar) als gevolg van de ingreep. WAQMORF berekent de minimale, maximale en jaargemiddelde verandering van de evenwichtsbodemligging.

Tevens wordt de impact van het planvoornemen beoordeeld in het licht van de historische ontwikkeling van de rivier bodemligging. In de eerste helft van de 20e eeuw is het zomerbed van de Maas aanzienlijk gedaald, onder meer door normalisatie, bochttafsnijdingen (met als gevolg hogere stroomsnelheden), mijnzakkingen en de winning van zand en grind. De bodem van de Zandmaas is in die periode gezakt met 1 tot 2 m. Vanaf het midden van de 20e eeuw is de bodemdaling in het zomerbed van de Maas sterk afgenomen. Voor de zomerbedbodem van de Zandmaas is het de verwachting dat deze in de toekomst vrijwel stabiel blijft [Ref. 7].

Voor scheepvaart geldt een gegarandeerde minimale nautische waterdiepte van 4,90 m (maximaal toegestane diepgang 3,50m) bij de situatie met minimale afvoeren (MLW). De minimaal beschikbare breedte is niet in cijfers vastgelegd cf. RBK6.0. Uit Figuur 16 is op te maken dat momenteel (in de referentiesituatie) de gehele vaarweg ter hoogte van het projectgebied voldoet aan de norm van 4,90 m waterdiepte bij MLW; nergens is over de gehele breedte van de vaarweg kleur tussen geel en rood aanwezig. Over bijna het gehele traject is minimaal één meter meer waterdiepte aanwezig ten opzichte van de norm. Enkel in de vaarweg bij de uitstroom van natuurgebied Maaspark Ooijen-Wanssum, in de vaarweg tegenover Oud Well en in de vaarweg direct bovenstrooms van de brug over de Maas (zie aandachtslocaties, roze cirkels, in Figuur 16) zijn secties aanwezig in de vaarweg waar de waterdiepte reeds niet voldoet en/of niet meer is dan 1 meter. Bij de beschouwing van het morfologisch effect van het planvoornemen zal gedetailleerd gekeken worden naar deze secties van de vaarweg.



Figuur 16: Waterdiepte bij Maatgevend Laag Water (MLW; aangenomen op NAP +11,00m) ten opzichte van de norm (minimale nautische waterdiepte van 4,90 m) in de referentiesituatie.

Sedimentatie in zomerbed

Uit de WAQMORF berekeningen (zie Figuur 17) is op te maken dat het gehele riviertraject in het projectgebied gevoelig is voor sedimentatie op (lange) termijn ten gevolge van de ingreep. De potentiële sedimentatie begint enkele honderden meters bovenstrooms van de brug over de Maas en eindigt enkele kilometers benedenstrooms van de geul in De Band. De berekende sedimentatie in het zomerbed hoort bij de aard van de ingrepen in het riviersysteem (systeemmaatregel). Als gevolg van het open maken van het huidige grondlichaam onder de N270 en de realisatie van twee dijkringen stroomt een aanzienlijk deel van het totale Maasdebiet bij middelhoge tot hoge afvoeren niet meer door de hoofdgeul (zomerbed) maar door de Groene Rivier, met een afname van de stroomsnelheid in de vaarweg en bijhorende potentiële sedimentatie tot gevolg. Dit percentage is bij een afvoer van 2.300 m³/s circa 5% en bij een afvoer van 4.118 m³/s circa 13%. In grote delen van de vaarweg treedt in de toekomstige evenwichtssituatie in vergelijking met de huidige situatie een relatief beperkte aanzandingshoogte op tot circa 10 cm. Het grootste aanzandingseffect (max. 24,7 cm) treedt op in de buitenbocht ter hoogte van de instroom van de geul in De Band. Deze uitschieter in aanzandingshoogte is mede het gevolg van de dijkeruglegging ter plaatse en het verlagen van instroomdrempel van de geul in De Band. Deze ingrepen zorgen ervoor dat ten opzichte van de referentiesituatie een groter deel van het totale Maasdebiet, dat ten zuiden van Oud Well stroomt, door de geul in De Band gaat. Ook hier zorgt de afname in debiet door de hoofdgeul voor een afname in stroomsnelheid en bijhorende sedimentatie.

Figuur 18 toont de waterdiepte bij MLW ten opzichte van de norm (minimale nautische waterdiepte van 4,90 m) in de toekomstige situatie. Uit de figuur blijkt dat de minimale nautische waterdiepte van 4,90 m bij MLW in de toekomstige situatie bijna overal gewaarborgd blijft (de hoeveelheid geel/rood neemt nauwelijks toe ten opzichte van Figuur 16). Als gevolg van het planvoornemen wordt enkel de vaargeulafmeting (breedte) lokaal aan de zuidelijke Maasoever ter hoogte de uitstroom van natuurgebied Maaspark Ooijen-Wansum beperkt kleiner, zie roze cirkel in Figuur 18. In de figuur valt op dat de gele vlek aan de zuidzijde Maasoever

licht groter wordt. Dit wordt onderschreven door de geel gearceerde gebieden in Figuur 19a. De vaargeulbreedte welke voldoet aan de norm neemt ter plaatse af met maximaal enkele meters. Figuur 19b toont dat er in de tweede aandachtslocatie uit Figuur 16 geen afname van de vaargeulafmeting aanwezig is.

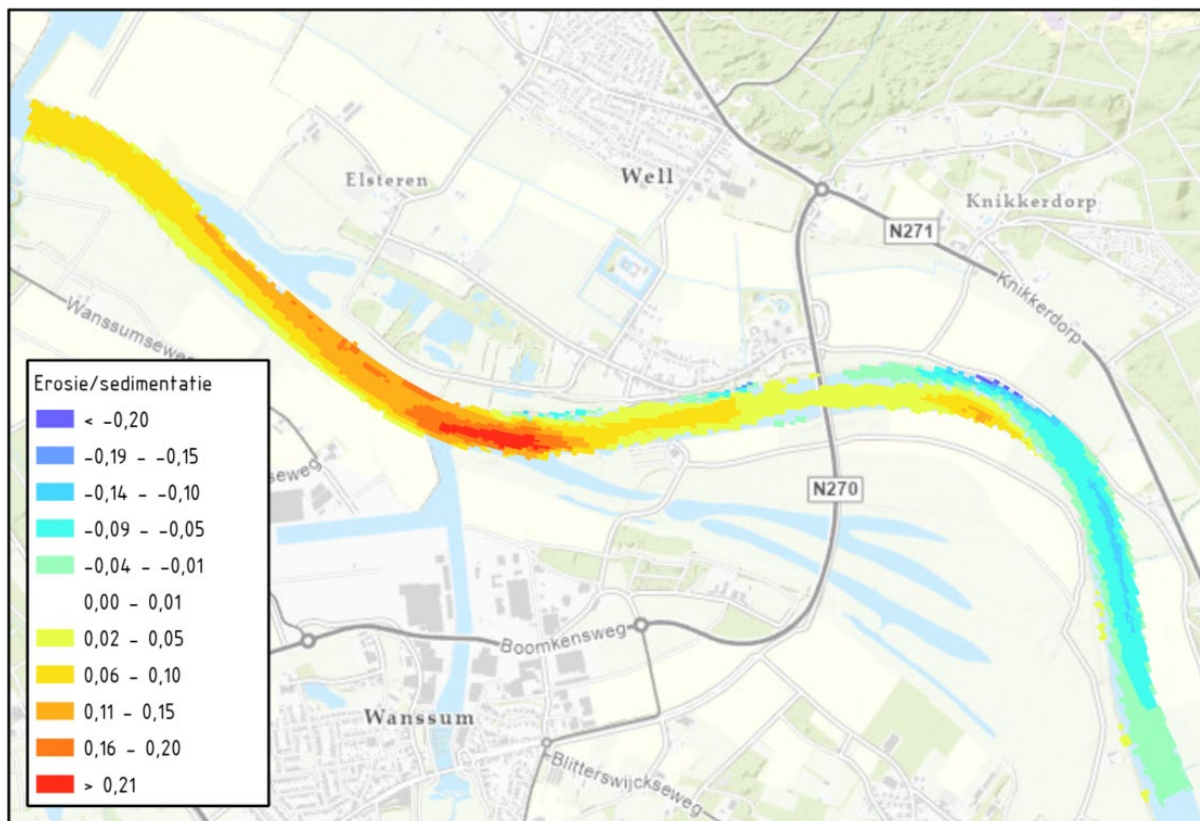
Uit afstemming met de scheepvaardeskundige van Rijkswaterstaat Zuid-Nederland bleek dat werd onderschreven dat de vaargeul in voldoende mate beschikbaar blijft na ontwikkeling van een nieuw morfologisch evenwicht en dat het planvoornemen zodoende niet leidt tot extra baggerinspanning.

Erosie in zomerbed

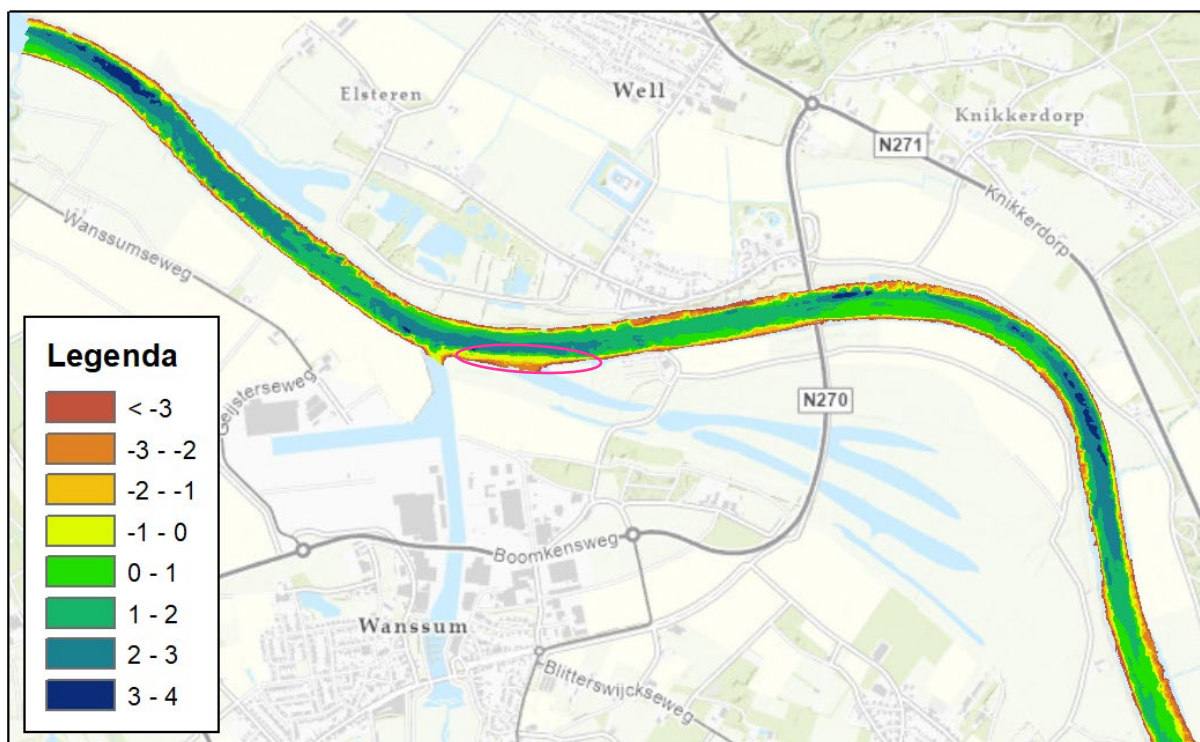
Uit de WAQMORF berekeningen (zie Figuur 17) is tevens op te maken dat ten gevolge van de ingreep bovenstrooms van het projectgebied enige erosie optreedt in het zomerbed. De potentiële erosie begint enkele honderden meters bovenstrooms van de brug over de Maas en continueert in bovenstroomse richting waarna het na circa twee rivierkilometer weer afneemt. De maximale erosie in de vaargeul is circa 11 cm ter hoogte van rkm 130,0-130,5. Dergelijke erosie leidt in de regel niet tot een verhoging van risico's voor de rivierfuncties. Tevens resulteert deze erosie niet tot een vermindering van de stabiliteit van waterkeringen en kunstwerken (kribben, oevers, brugpijlers, etc.). Deze zijn in dit erosie-gebied immers niet aanwezig. Hetzelfde geldt overigens voor het eventueel bloot komen liggen van leidingen, kabels en tunnels. Deze zijn in het gebied niet aanwezig.

Ter hoogte van rkm 131,0-131,1 is erosie van de oever aanwezig van maximaal 26 cm. Ongewenste erosie van de oever op deze locatie wordt voorkomen door de reeds aanwezige erosiebeschermende maatregelen (bestorting). Ter plaatse is dus geen verhoogd risico op het verlies van huidige rivierfuncties.

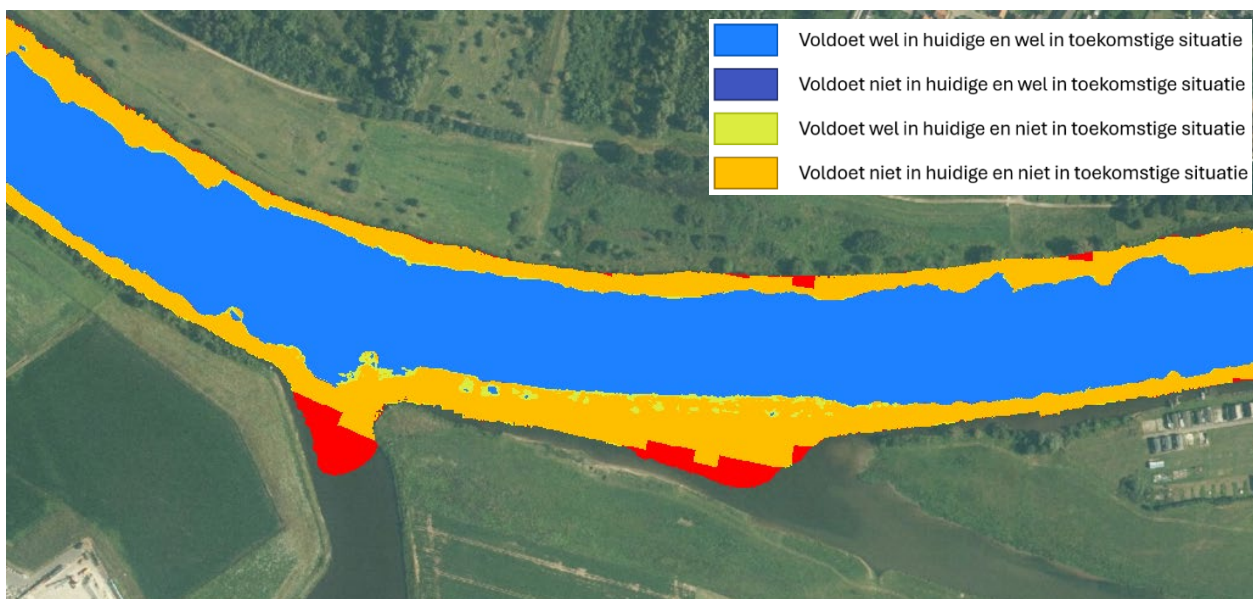
Met inachtneming van al het bovenstaande wordt afsluitend geadviseerd het ontwerp goed te keuren voor wat betreft het aspect *Morfologisch effect op zomerbed*. De vaargeulafmeting neemt enkel beperkt af, de excessieve bodemdaling uit de 20^e eeuw wordt over het gehele traject enigszins teniet gedaan en ongewenste erosie in het zomerbed is niet aanwezig.



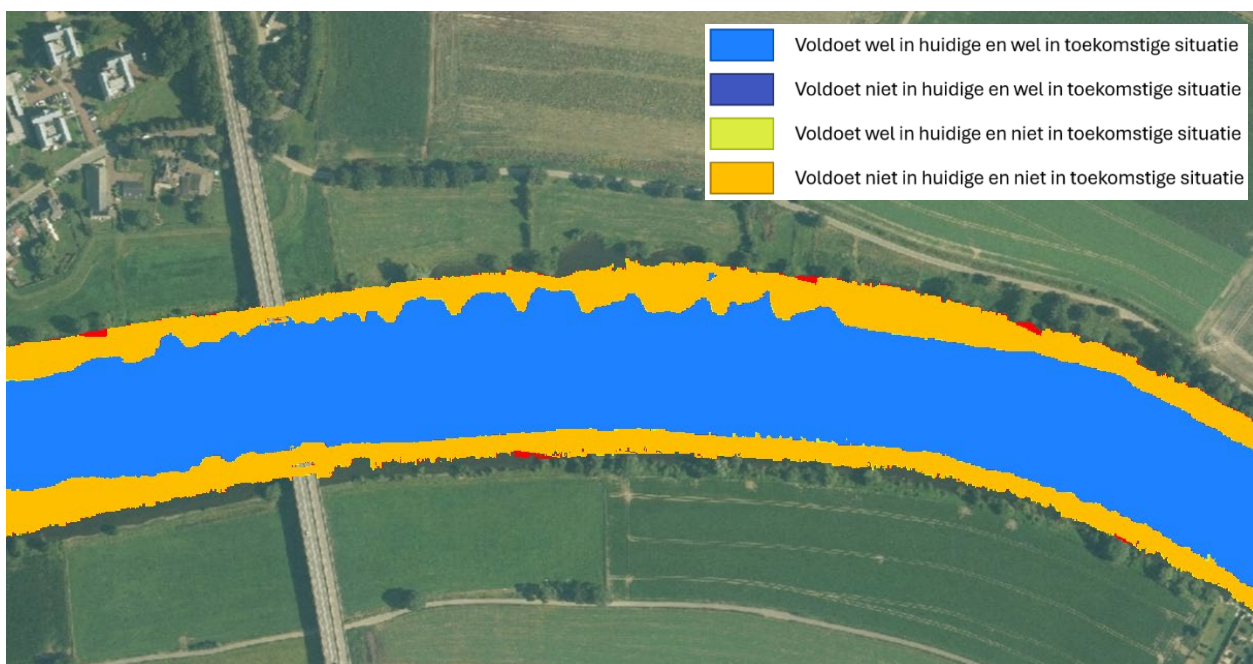
Figuur 17: Veranderingen van de evenwichtsbodemligging in het zomerbed (m).



Figuur 18: Waterdiepte bij Maatgevend Laag Water (MLW; aangenomen op NAP +11,00m) ten opzichte van de norm (minimale nautische waterdiepte van 4,90 m) in de toekomstige situatie (variant "sys_ggrw_vo_a2"). Negatieve delen van de vaarweg voldoen niet aan de norm.



Figuur 19a: Veranderingen van de evenwichtsbodemligging in het zomerbed (m) ten opzichte van de norm. Rood gearceerde delen hebben geen betekenis.



Figuur 19b: Veranderingen van de evenwichtsbodemligging in het zomerbed (m) ten opzichte van de norm. Rood gearceerde delen hebben geen betekenis.

6.3.2 Morfologisch effect op winterbed

Een ingreep in de rivier kan leiden tot een verandering in de hoeveelheid en distributie van zand dat tijdens hoogwater sedimenteert. Hierdoor kan de afvoercapaciteit van de uiterwaard afnemen en daarmee de afvoerdeling over het zomer- en winterbed. Erosie in het winterbed, bijvoorbeeld bij morfologische activiteit van nevengeulen en plassen, kan de stabiliteit van kunstwerken zoals kribben, sluisjes, en de hoogwaterkering in gevaar brengen. Daarnaast kan door erosie van een nevengeul grond tussen de nevengeul en de hoofdgeul eroderen, met als gevolg een kortsluiting tussen de nevengeul en de hoofdgeul. Dit is aspect 3.2 uit RBK 6.0.

De aanzanding en erosie in de uiterwaarden (Groene Rivier en De Band) is kwalitatief beoordeeld op basis van de stroomsnelheden bij de afvoeren 3.224 m³/s, 2.000 m³/s en 1.500 m³/s te Borgharen, zie Bijlage B voor de stroomsnelheidskaarten.

Sedimentatie winterbed

In het algemeen kan gesteld worden dat door de systeemmaatregel van de Groene Rivier en rivierverruimende maatregelen bij De Band de overstromingsfrequentie van de uiterwaarden in het projectgebied zal toenemen. Dit kan de uitwisseling van water en sediment tussen het zomerbed en het winterbed bevorderen, waardoor de dynamiek van de uiterwaarden toe zou kunnen gaan nemen.

Voor aanzanding en aanslibbing in nevengeulen zijn generieke kengetallen geraadpleegd (die hieronder zijn weergegeven) op basis van metingen en ervaringen bij geulen langs de Rijntakken [Ref. 8]:

- Aanzanding vanuit de rivier vindt veelal plaats in een zone van ca. 50 m van de instroomrand van een nevengeul en is van orde 10 cm per jaar. Aanzanding verder op in de geul wordt veelal veroorzaakt door interne verplaatsing van sediment onder invloed van stromingsverschillen of zijdelingse verplaatsing (aanbod sediment);
- Aanslibbing in strangen in de uiterwaard is kleiner, ca. 1 à 2 cm per jaar. Onder invloed van stroming bij een jaarlijks hoogwater zal cohesief materiaal ook weer (deels) de geul uitstromen;
- Aanslibbing van cohesief materiaal (slibdeeltjes) vindt plaats in de stroomluwe delen van de uiterwaard en is in de orde 1 tot 3 mm per jaar.

Voor de gestuwde Maas zal de sedimentatie in het winterbed lager zijn dan op de Rijntakken als gevolg van met name een beperkter aanbod van sediment en sediment transport in het zomerbed. We schatten in dat de sedimentatie een factor 2 lager is op basis van metingen na het hoogwater van 1993 [Ref. 9].

De hoogwatergeul in De Band ligt het dichtst bij het zomerbed, heeft de laagste drempel/oever (instroom op NAP +13,5m) en zal daardoor het snelst inunderen bij stijgende waterstanden. Op basis van de betrekkinglijnen van de Maas (versie 2021_2022) wordt een waterstand van NAP +13,50m bereikt bij een afvoer van 1.700 m³/s te Borgharen. Een dergelijke afvoer wordt gemiddeld eens per 2 à 3 jaar behaald. Bij deze afvoer en waterstand zal de geul in De Band dus beginnen met inunderen. De hoogwatergeul in De Band ligt in zijn geheel verder dan 50 m van het zomerbed af. Op basis van de inundatiefrequentie en afstand van de rivier kan de hoogwatergeul in De Band zijn de kengetallen van uiterwaardstrangen het meest representatief hetgeen voor de gestuwde Maas zou neerkomen op een aanzandingsnelheid van 0,5–1 cm per jaar.

Bij waterstanden hoger dan NAP +14,00m circa eens per 5 à 6 jaar (afvoer te Borgharen 2.000-2.100 m³/s), zal de Groene Rivier via de bovenstroomse zijde beginnen mee te stromen met het zomerbed. De Groene Rivier is als gevolg van haar vegetatieruwheid gevoelig om te gaan aanslibben. Echter vanwege haar relatief verre ligging van het zomerbed vandaan, minimaal 300m, en het feit dat ze niet direct verbonden is met het zomerbed zal sediment veelal bezinken voordat het de Groene Rivier bereikt. Via de benedenstroomse zijde stroomt de Groene Rivier gemiddeld 2-3 dagen per jaar vol (afvoer te Borgharen 1.400-1.500 m³/s). De aanzanding vanuit de benedenstroomse zijde zal echter beperkt zijn omdat het merendeel van het

sediment in de diepe, stroomluwe zandwinplas van Maaspark Well tot bezinking zal komen alvorens het water in de Groene Rivier komt. Indien sedimentvoerend water wel in de Groene Rivier terecht komt via de benedenstroomse zijde en instroom via de bovenstroomse zijde niet gaat plaatsvinden (water wordt stilstaand), kan het restant aan sediment (slib) ter plaatse wel volledig bezinken. Op basis van de kengetallen van uiterwaardstrangen en de exponentiele afname van sedimentatie met afstand [Ref. 9], zal de aanzanding van orde 0–0,5 cm per jaar zijn. Deze schatting is iets hoger dan het kengetal voor stroomluwe delen van de uiterwaard.

In het ontwerp is rekening gehouden met het natuurlijk proces van sedimentatie/aanslibbing. De Groene Rivier en de geul in De Band zijn met voldoende overdiepte ontworpen voor de afvoer van kwelwater (10 cm voor de Groene Rivier en 20 cm voor De Band) zodat grootschalig onderhoud niet verwacht wordt binnen een periode van 20-25 jaar. De gemiddelde geuldiepte van de hoogwatergeul in De Band ter hoogte van met name de bovenstroomse opening (die het dichtste bij het zomerbed ligt en aantakt in een binnenbocht van de rivier waar sedimenttransport naar binnen is gericht) kan in een dergelijke periode met maximaal 0,20 m afnemen. Voor de Groene Rivier is dit maximaal 0,10 m in 20-25 jaar.

Erosie winterbed

De inrichting van de uiterwaarden in het projectgebied heeft een belangrijke doelstelling voor natuurontwikkeling. Daarmee is er in het ontwerp (in beperkte mate) ruimte voor natuurlijke morfodynamische processen. Voor het voorlopig ontwerp zijn conform de limietwaarden uit Legger Rijkswaterstaatswerken Vlakken van Vrije Ruimte (VVR) opgesteld. Met de VVR wordt aangegeven binnen welk vrijheidsveld een dynamisch object maximaal mag bewegen, zonder dat oevererosie of zijdelingse verplaatsing leidt tot overlast/schade aan belangen/eigendommen van derden of leidt tot functieverlies van het object (bijvoorbeeld door kortsluiting met zomerbed). Met de VVR is inzichtelijk op welke erosiegevoelige locaties erosie ongewenst is. Als er binnen het VVR nauwelijks tot geen ruimte is op een erosiegevoelige plek dan wordt binnen project Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well een erosiebeschermende maatregel uitgewerkt in het Definitief Ontwerp.

Vanwege de relatief geringe stroomsnelheden (tot circa 1 m/s bij 4.118 m³/s en flauwe, begroeide oevers van de kwelgeulen, is de verwachting dat de kwelgeul zich niet of nauwelijks lateraal zal verplaatsen. Verder liggen de verwachte stroomsnelheden in de uiterwaard, zie Bijlage B, overal onder de kritieke stroomsnelheid voor erosie met een gras beklede oever (afhankelijk van de kwaliteit van de grasmatten) kan een met gras beklede oever stroomsnelheden tot 1,5 à 2,5 m/s weerstaan gedurende 100 uur [Ref. 6]) en resulteren deze niet in ongewenste lokale erosie langs de randen van de plassen, geulen en of objecten.

Voor de reeds benoemde locaties in sectie 6.2.2 waar er als gevolg van stromingsturbulentie bij hoogwater lokaal hoge stroomsnelheden optreden, worden erosiebeschermende maatregelen uitgewerkt in het Definitief Ontwerp. Deze locaties zijn; (1) Kasteellaan, (2) Elsterendijk/Weg Elsteren, (3) brugopening N270 (als deel van systeemmaatregel), (4) zuidelijke zijde van kasteel Well en (5) de in- en uitstroomopening van de hoogwatergeul in De Band (zie Figuur 10 voor deze locaties).

Samengevat is er op basis van de uitgevoerde beoordeling en te treffen maatregelen geen extra risico op ongewenste erosie welke kan leiden tot instabiliteit van kunstwerken, tot instabiliteit van de hoogwaterkering en/of tot kortsluiting tussen de kwelplassen/hoogwatergeul en de hoofdgeul van de Maas.

6.4 Effect op Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum

Op verzoek van Rijkswaterstaat zijn de gevolgen van voorliggend planvoornemen op Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum, specifiek de Hoogwatergeul Wanssum, inzichtelijk gemaakt. Concreet zijn de effecten van voorliggend planvoornemen op de beoordelingsaspecten *Inundatiefrequentie* en *Morfologisch effect op winterbed* in kaart gebracht.

6.4.1 Inundatiefrequentie

De instroom van Hoogwatergeul Wanssum wordt bovenstrooms beperkt door een zomerkade (krm 129 – 131) gelegen op een variabele hoogte tussen de NAP +13,90m en +14,30m. Op basis van de betrekkinglijnen van de Maas (versie 2021_2022) wordt een dergelijke waterstand bereikt bij een afvoer van tussen de 1.700 – 1.900 m³/s te Borgharen (afvoer treedt op eens in de circa 3 tot 4 jaar). Het waterstandseffect als gevolg van voorliggend planvoornemen is bij dergelijke afvoeren respectievelijk tussen de circa 5 – 10 mm, geschat op basis van de berekeningen bij afvoeren van 1.800 en 2.000 m³/s. Zelfs een waterstandsval van 10 mm zal enkel een zeer beperkt effect hebben op de afvoer waarbij de uiterwaard en hoogwatergeul beginnen mee te stromen.

6.4.2 Morfologisch effect op winterbed

De stroomsnelheidseffecten van voorliggend planvoornemen beperken zich niet enkel tot binnen de grenzen van het planvoornemen, zie Figuur 11 en Figuur 12. Betreffende figuren laten zien dat bij extreem hoge rivierafvoeren (3.224 en 4.118 m³/s te Borgharen) een stroomsnelheidsverlaging tot circa 10 cm/s aanwezig is in het projectgebied van Maaspark Ooijen-Wanssum. Deze afvoeren zijn zo echter uitzonderlijk dat we deze niet beschouwen bij de effectbepaling op de ontwikkeling van het winterbed. Voor de morfologisch relevante afvoeren zijn dezelfde afvoeren gebruikt als in de WAQMORF-analyse voor het zomerbed (sectie 7.3.1), 1.250, 1.500 en 2.000 m³/s.

Bij de afvoeren 1.250 en 1.500 m³/s te Borgharen (frequentie van voorkomen respectievelijk 4 en 2 dagen per jaar) stroomt Maaspark Ooijen-Wanssum nog niet mee, omdat de bovenstroomse zomerkade van de uiterwaard pas overstroomt bij afvoeren groter dan 1.700 m³/s te Borgharen (afvoer treedt eens in 2 à 3 jaar op). Ten gevolge van deze afvoeren zijn dan ook geen morfologische verandering als gevolg van Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well te verwachten. Enkel bij de morfologisch relevante afvoer 2.000 m³/s te Borgharen overstroomt de zomerkade en kunnen er effecten optreden in het winterbed. De veranderingen in stroomsnelheden zijn echter klein; in het geulenstelsel een afname van circa 1.6 cm/s (zie Bijlage D).

Een snelheidsafname van 0,016 m/s ten opzichte van een gemiddelde absolute stroomsnelheid van 0,40 m/s is 4% snelheidsreductie (zie Bijlage D). Op basis van de grove vuistregel [Ref. 10] dat aanzanding/erosie c.q. de waterdiepteverandering is recht evenredig met de verandering van de stroomsnelheid ten gevolge van een ingreep leidt dat bij de circa 3 meter waterdiepte in het geulenstelsel, tot een potentiële aanzanding van 12 cm¹. Dit betreft echter een theoretische evenwichtssituatie omdat deze stroomsnelheids-veranderingen slechts sporadisch voorkomen, eens per 5 jaar (afvoer te Borgharen ca. 2.000 m³/s), en niet continue optreden zoals in de WAQMORF-analyse, en er nauwelijks sediment aanvoer is op de Maas. Met bovenstaande in ogenschouw nemende is het daadwerkelijke aanzandingseffect als gevolg van Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well eerder in de orde van enkele centimeters. Dergelijke aanzanding zal niet leiden tot noemenswaardige verminderde effectiviteit van Maaspark Ooijen-Wanssum (bv. op thema waterveiligheid, c.q. waterstandsdoelstelling).

¹ Op basis van standaard ruwheidsformuleringen van e.g., Chezy of Manning, variëren stroomsnelheid en waterdiepte non-lineair waardoor de potentiële aanzanding tot een factor 2 groter kan zijn.

7 Conclusies

Uit onderstaande tabel is op te maken dat het getoetste ontwerp (VO2) niet in zijn geheel voldoet aan de normen uit het Rivierkundig Beoordelingskader [Ref. 2], zie Tabel 2. Enkel op het aspect *Dwarsstroming in de vaarweg* wordt een beperkt negatief effect gesignaleerd. Er wordt geadviseerd dit effect in het licht van de integrale afweging tussen alle beoordelingsaspecten te beschouwen. Dus ook de vele positieve effecten van dit planvoornemen op de diverse beoordelingsaspecten mee te wegen in het oordeel op het aspect *Dwarsstroming in de vaarweg*.

Tabel 2: Conclusies per beoordeelaspect van RBK 6.0

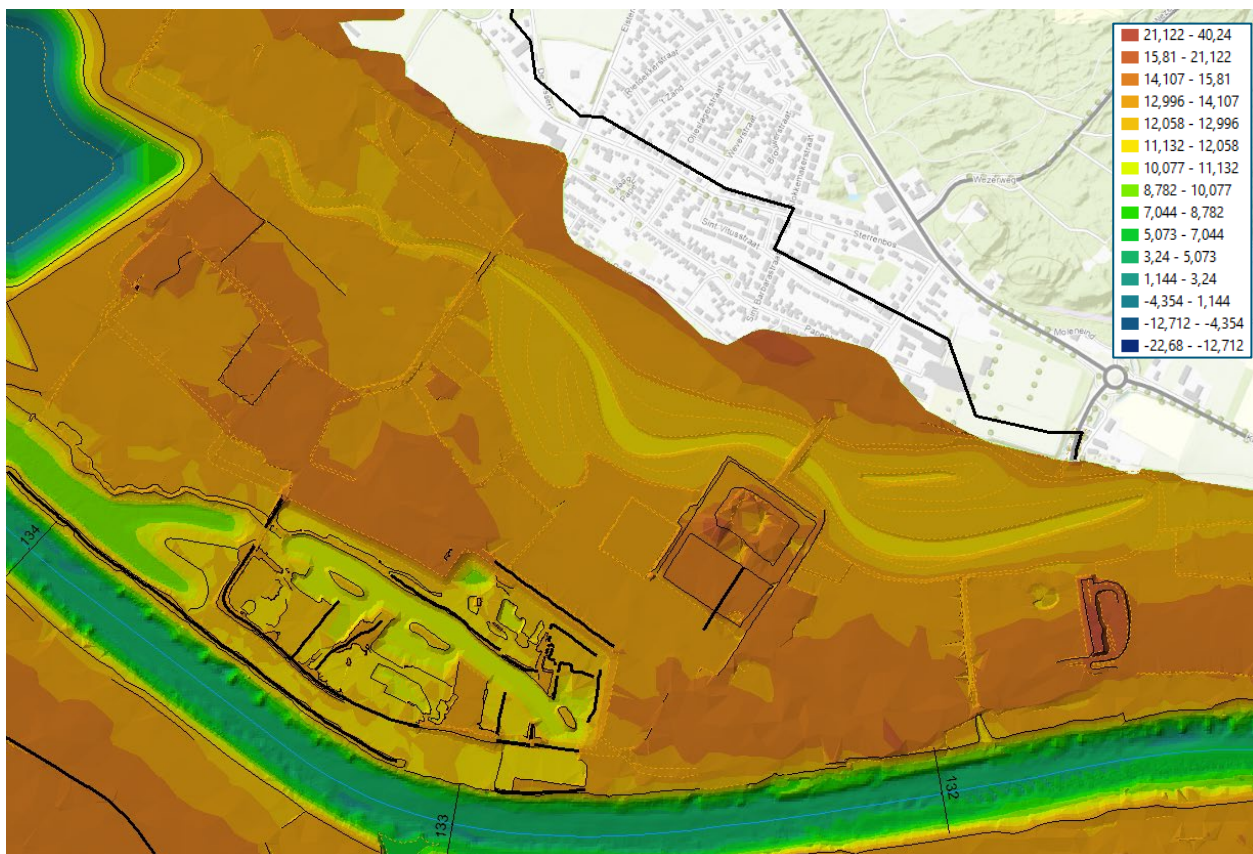
Asp.	Te beoordelen effect	Criterium	Effect van de ingreep	Voldoet ja/nee
1.1	MHW-stand op de as van de rivier	Stroomvoerend: geen waterstandverhoging op de as van de rivier bij de afvoer(en) uit de Hoogwaterreferentie. Bergend: geen vermindering bergend volume.	Ontwerp leidt niet tot opstuwing op de as van de rivier. Ontwerp leidt tot afname van circa 85 ha aan stroombergend oppervlak en een toename van circa 85 ha aan stroomvoerend oppervlak.	Ja
1.2	MHW-stand buiten de as van de rivier	Geen waterstandverhoging langs de hoge grondenlijn of primaire waterkering bij de afvoer(en) uit de Hoogwaterreferentie.	Waterstandseffecten veroorzaken geen schade aan de belangen van het waterschap of derden.	Ja
2.1	Waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard	De mate van verandering inundatiefrequentie van een of meerdere uiterwaarden	Geen extra hinder voor terreineigenaren, bewoners of bedrijven op het vlak van inundatiefrequentie.	Ja
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	Geen groot effect, er ontstaan geen stroomsnelheden die resulteren in hinder of schade aan objecten.	Ja
2.3	Stroombeeld in hoofdgeul bij de aan- en aftakking van nevengeul	Bij afvoer nevengeul < 50 m³/s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,3 m/s; Bij afvoer nevengeul > 50 m³/s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,15 m/s.	De veranderingen in dwarsstroming ten gevolge van het planvoornemen zijn per saldo beperkt negatief. Ter plaatse van de instroom van de geul in De Band treedt een geringe toename in dwarsstroming op, dat potentieel kan leiden tot (extra) hinder of veiligheidsrisico's voor de scheepvaart. Scheepvaart zal echter nauwelijks aanvullende overlast ervaren omdat zij reeds al vergelijkbare (en hogere) dwarsstroming in de nabije omgeving ervaart. Bovendien betreft het veranderingen in dwarsstromingen bij sporadische afvoeren, minder dan eens per 5 jaar. Daarnaast leidt verdere optimalisatie direct tot vermindering van het waterstandsverlagend effect van het planvoornemen.	Aan beoordelaar.

Asp.	Te beoordelen effect	Criterium	Effect van de ingreep	Voldoet ja/nee
2.6	Instroom van retentiegebieden Maas	Verandering waterstand ter hoogte van inlaat retentiegebieden Maas	Als gevolg van het planvoornemen is geen invloed op de overstromings-frequentie van de gebieden te verwachten.	Ja
3.1	Aanzanding en erosie van het zomerbed (+ oevers)	<u>Bij erosie:</u> Geen verlaging gemiddelde bodemligging en geen oevererosie, beperkte ontgroning bij constructies per hoogwater. <u>Bij sedimentatie:</u> Geen vermindering vaargeulafmetingen bij lage tot gemiddelde rivierafvoeren; geen verhoging MHW op lange termijn. <u>In het algemeen:</u> Beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten en behouden veiligheid scheepvaartverkeer.	Ondanks potentiële aanzandingseffecten tot 24,7 cm in de vaarweg blijven de minimale vaarwegafmetingen grotendeels behouden. Ingrepen leiden niet tot een onwenselijke afname van de vaardiepte en vaarwegbreedte.	Ja
3.2	Aanzanding en erosie van uiterwaard en nevengeulen	<u>Bij sedimentatie:</u> Beperkte sedimentatie (relevant m.b.t. beheerkosten). <u>Bij erosie:</u> Geen bodemerosie langs waterkering; stroomsnelheid nevengeul bankfull < 0,3 m/s; geen bodemerosie langs waterkering.	De hoogwatergeul in De Band en de kwelgeul zijn zo ontworpen dat binnen 10-20 jaar de beoogde functionaliteit niet verloren gaat door sedimentatie. Tot die tijd is grootschalig onderhoud niet nodig. Eventuele erosie effecten zijn ondervangen door geulen vast te leggen op locaties waar dat tot problemen kan leiden. Op plekken waar erosie en verplaatsing van geulen niet direct tot problemen leiden wordt ruimte gegeven voor natuurlijke processen middels het VVR.	Ja

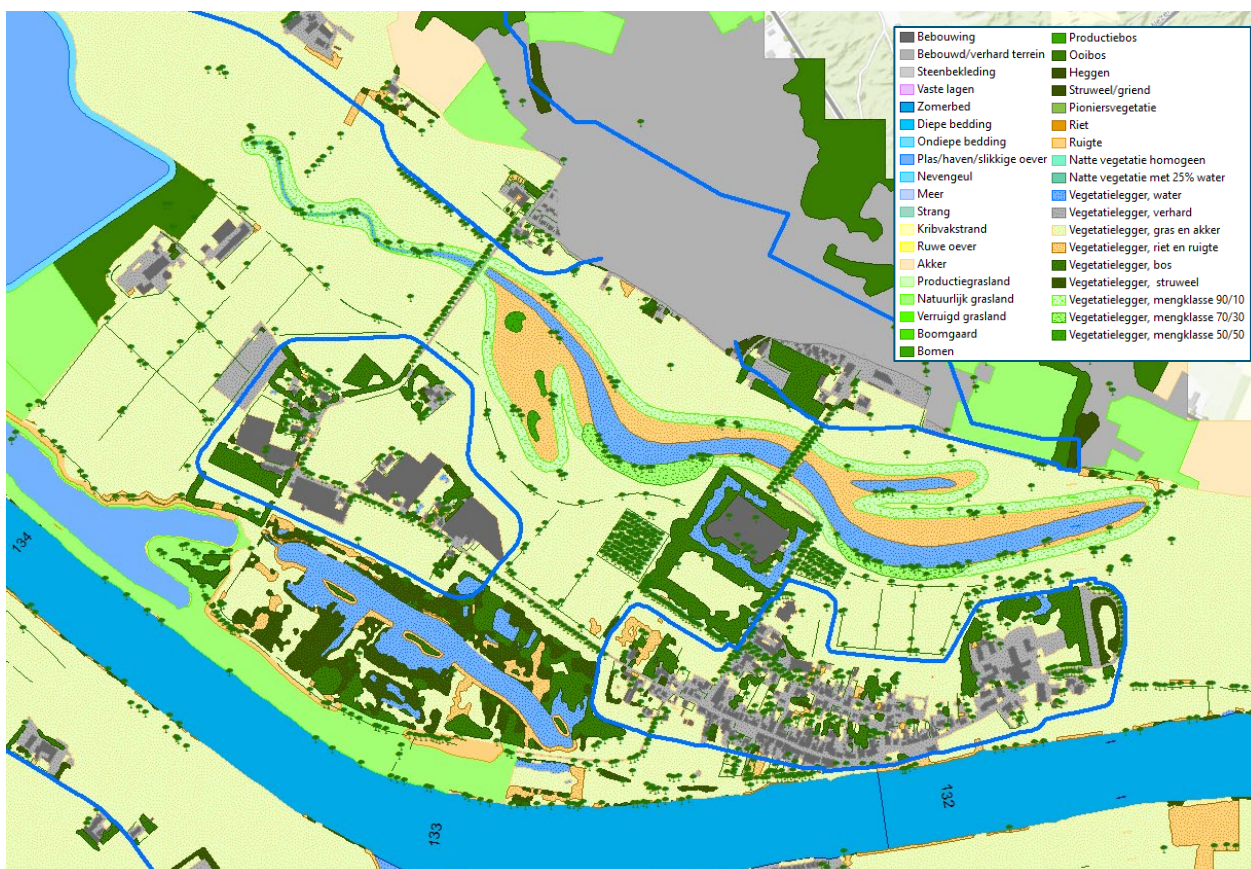
Referenties

- [1] Ruimtelijk Kwaliteitskader deel 1: Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Waterschap Limburg, 2023.
- [2] Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren, versie 6.0, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 23-01-2023.
- [3] Maaspark Well, Gemeente Bergen, Opgehaald van; <https://www.bergen.nl/maaspark-well> (d.d. 26-04-2024).
- [4] BJ1000-VO2_GRWELL-CONCEPT-26-6-24-Ontwerpnota VO2 Groene Rivier Well, Royal HaskoningDHV, 26-06-2024.
- [5] 240501_BJ1000_W5510-2_Technische Uitgangspunten Notitie Rivierkunde, versie 1.0, Royal HaskoningDHV, 15-04-2024.
- [6] CUR-publicatie 201 Natuurvriendelijke oevers: belasting en sterkte, Stichting CUR, Gouda, 1999.
- [7] Leidraad Rivieren, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, 2007.
- [8] Handreiking sedimentbeheer nevengeulen, RWS Waterdienst, 2010.
- [9] Middelkoop, H., & Asselman, N. E. M. (1998). Spatial variability of floodplain sedimentation at the event scale in the Rhine–Meuse delta, The Netherlands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(6), 561–573. doi:10.1002/(sici)1096-9837(199806)23:6<561::aid-esp870>3.0.co;2-5.
- [10] Richtlijn morfologische effectbepaling binnen RWS ON, feb. 2022.

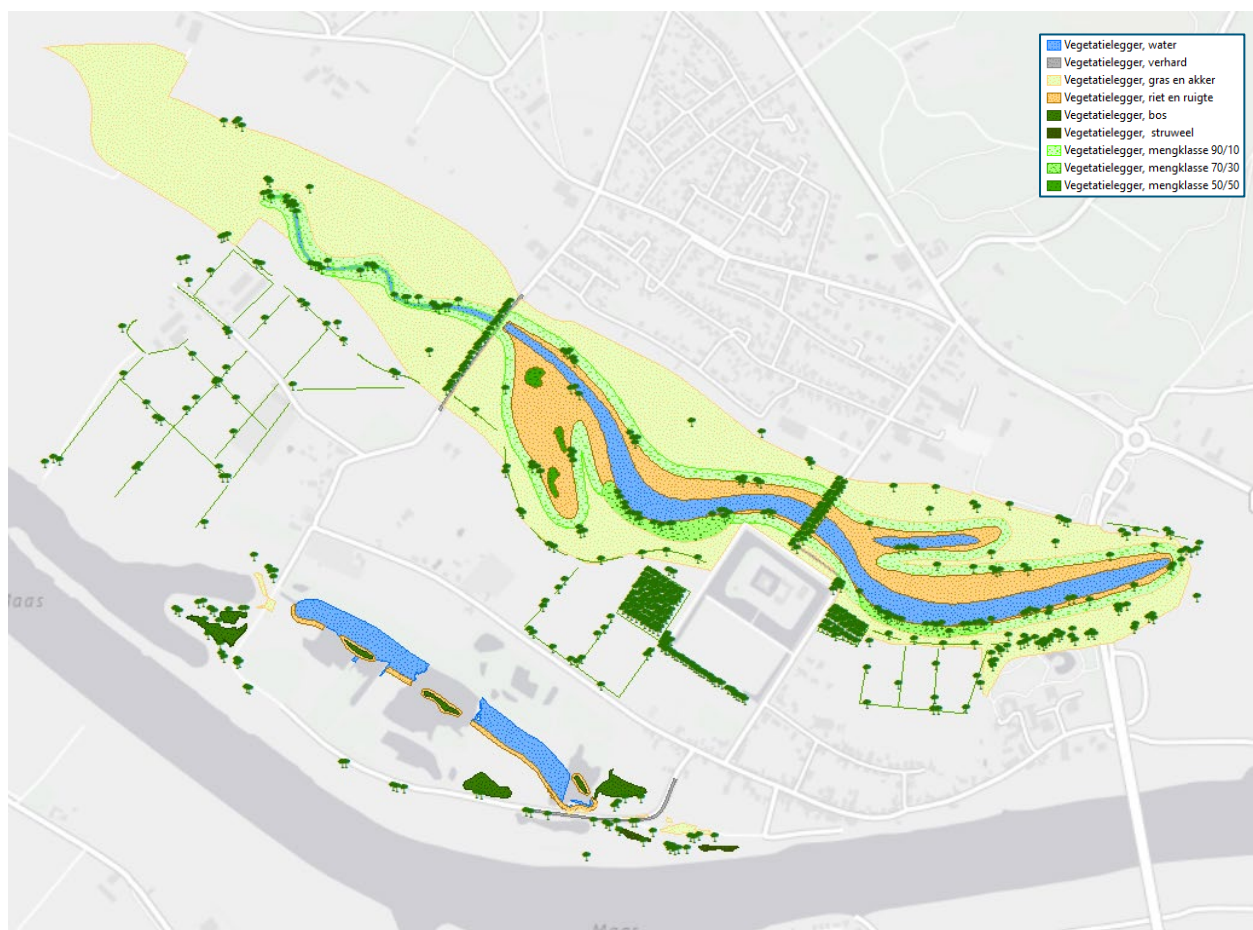
Bijlage A – Vertaling ontwerp naar modelbestanden



Figuur A-1: Baseline bodemhoogte voorlopig ontwerp (m).

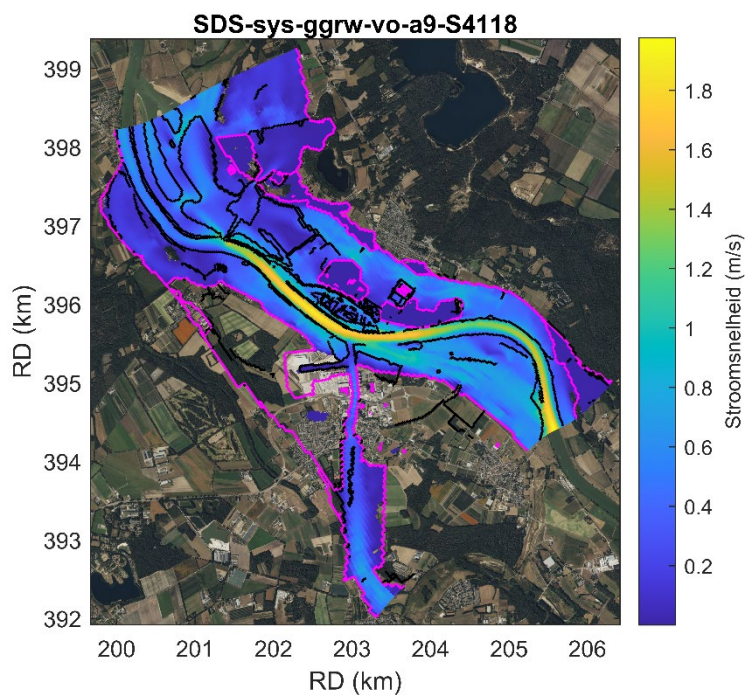


Figuur A-2: Baseline ecotopen ruwheid voorlopig ontwerp met locatie waterkeringen in blauw.

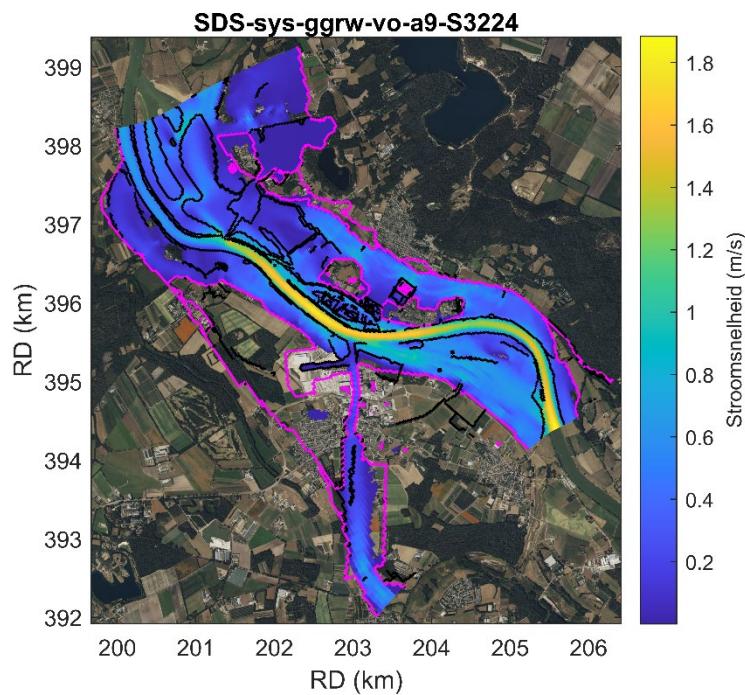


Figuur A-3: Baseline veranderingen ecotopenruwheid als gevolg van planvoornemen.

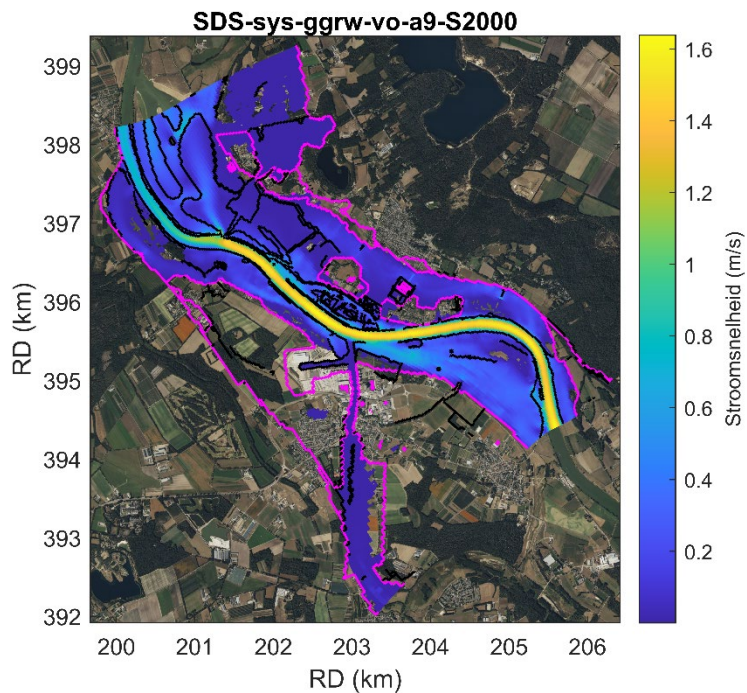
Bijlage B – Absolute stroomsnelheden variant



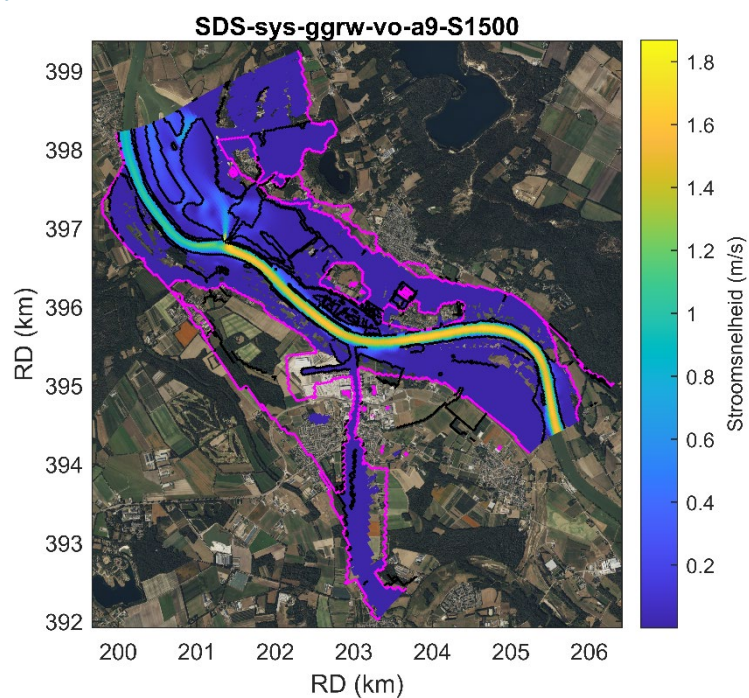
Figuur B-1: Absolute stroomsnelheden van ontwerp in 2D bij een afvoer van 4.118 m³/s te Borgharen. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.



Figuur B-2: Absolute stroomsnelheden van ontwerp in 2D bij een afvoer van 3.224 m³/s te Borgharen. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.



Figuur B-3: Absolute stroomsnelheden van ontwerp in 2D bij een afvoer van 2.000 m³/s te Borgharen. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.



Figuur B-4: Absolute stroomsnelheden van ontwerp in 2D bij een afvoer van 1.500 m³/s te Borgharen. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.

Bijlage C – Dwarsstroomgrafieken

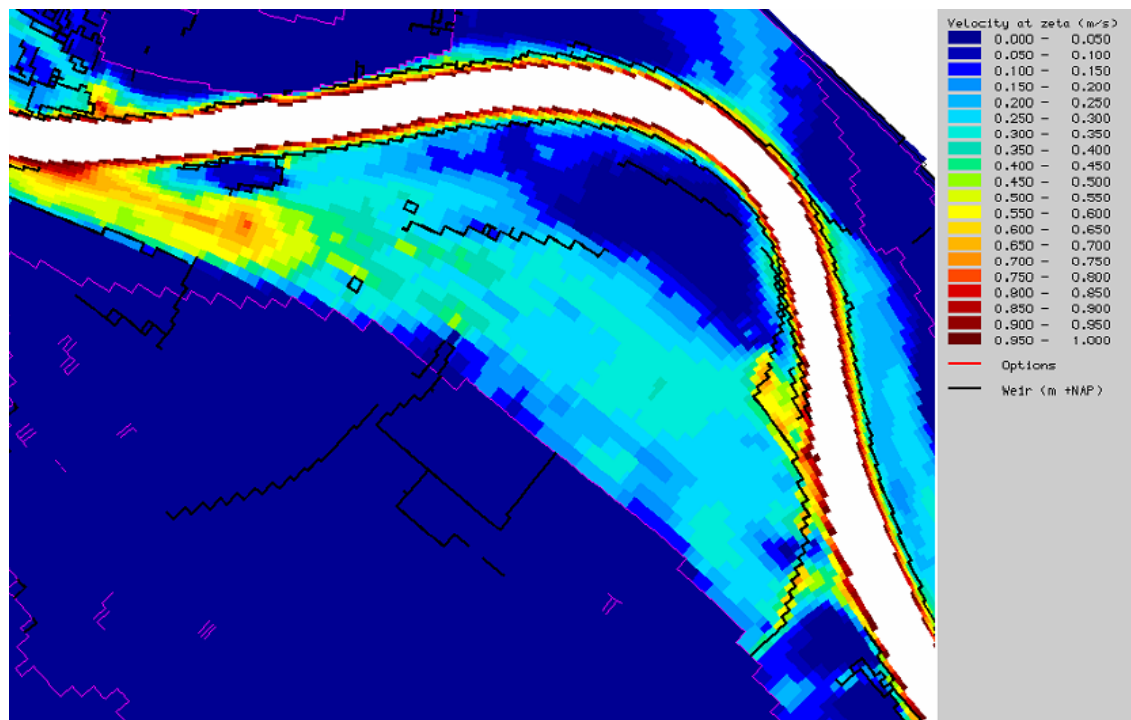


Figuur C-1: Dwarsstrooming op de rand van de vaarweg (m/s) bij 1.800 m³/s tussen het ontwerp (in figuur 'vo_a9') en de referentie (in figuur 'ref'). Bovenste figuur toont benedenstroomse deel van traject en onderste figuur toont bovenstroomse deel van traject. Groene verschil-lijn hoort bij rechter as, overige lijnen bij linker as.

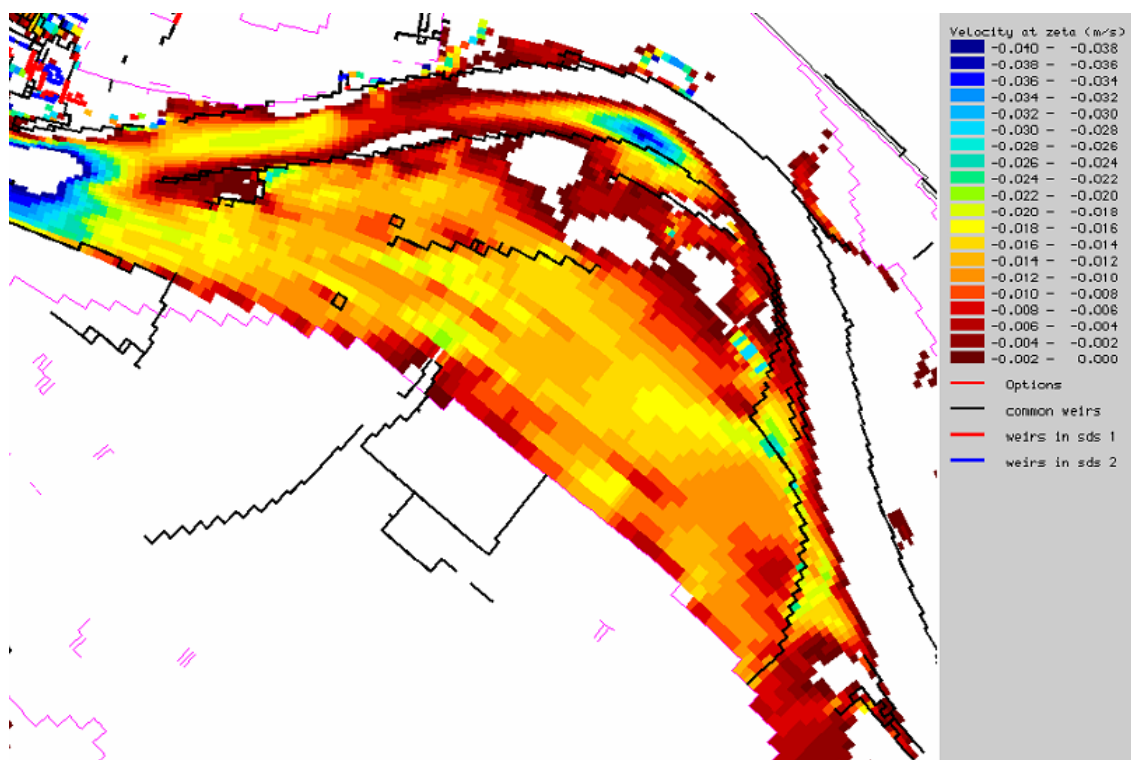


Figuur C-2: Dwarsstroming op de rand van de vaarweg (m/s) bij 1.500 m³/s tussen het ontwerp (in figuur 'vo_a9') en de referentie (in figuur 'ref'). Bovenste figuur toont benedenstroomse deel van traject en onderste figuur toont bovenstroomse deel van traject. Groene verschil-lijn hoort bij rechter as, overige lijnen bij linker as.

Bijlage D – Stroomsnelheden Maaspark Ooijen-Wanssum

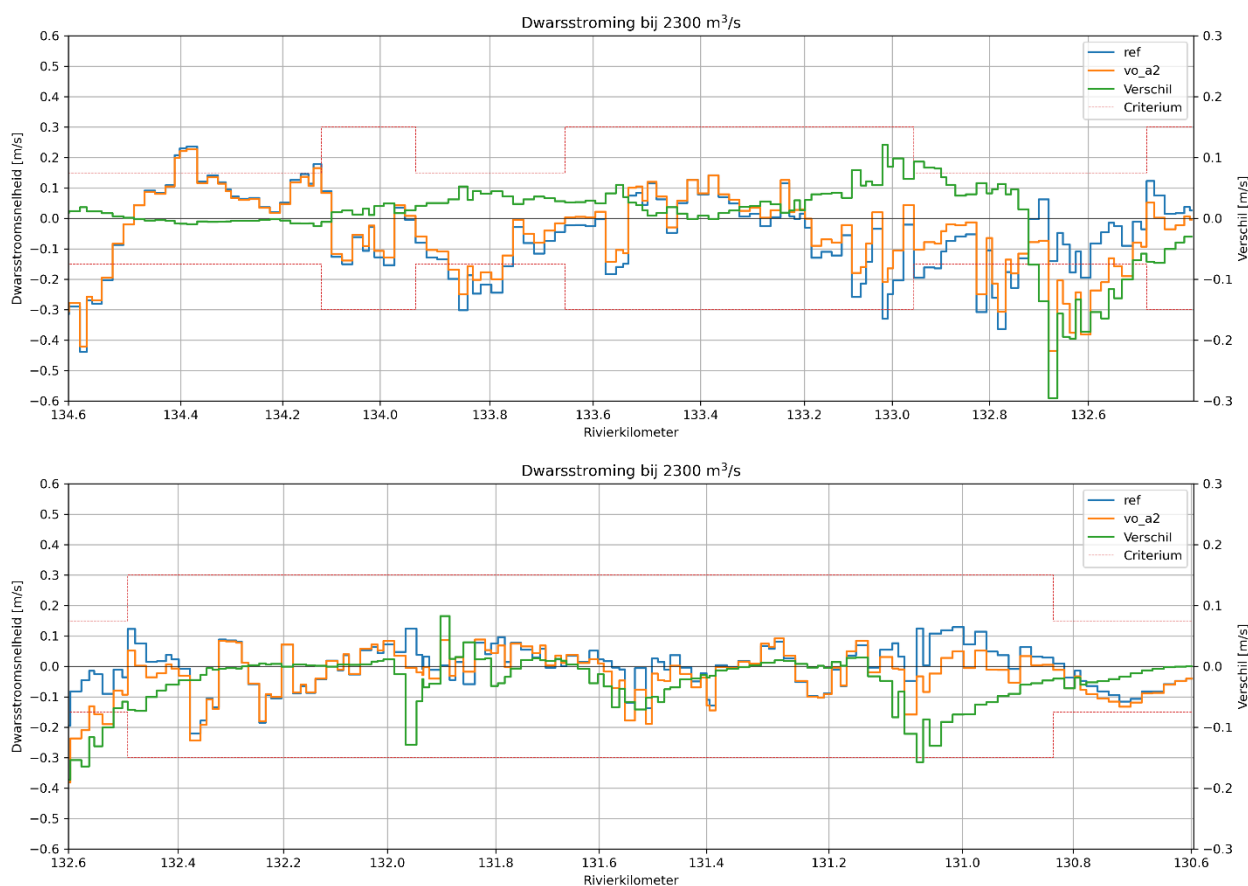


Figuur D-1; Absolute stroomsnelheden in Maaspark Ooijen-Wanssum in 2D bij een afvoer van 2.000 m³/s te Borgharen.

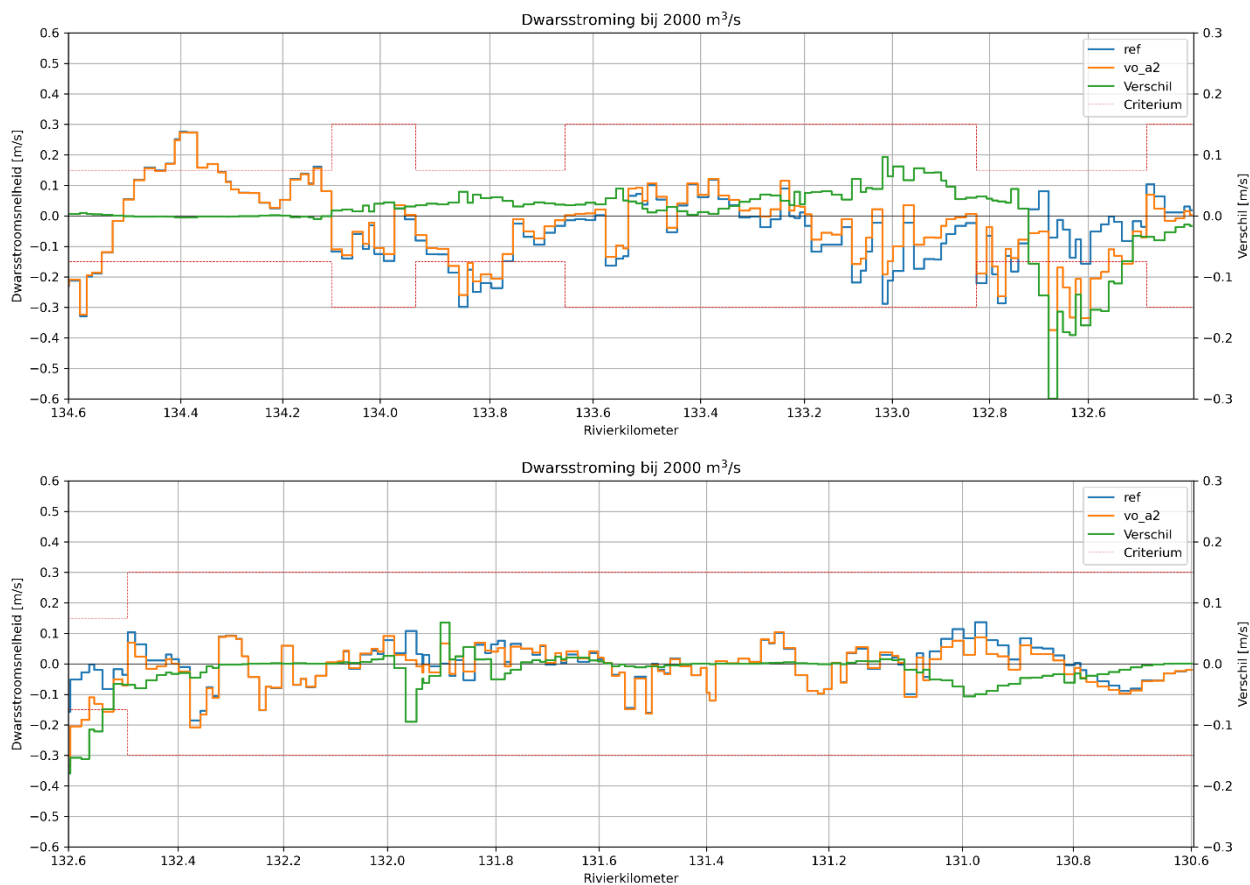


Figuur D-2; Stroomsnelheidsverschillen in Maaspark Ooijen-Wanssum in 2D bij een afvoer van 2.000 m³/s te Borgharen.

Bijlage E – Dwarsstroomgrafieken VO1



Figuur E-1: Dwarsstrooming op de rand van de vaarweg (m/s) bij 2.300 m³/s tussen het ontwerp (VO1, in figuur 'vo_a2') en de referentie (in figuur 'ref'). Bovenste figuur toont benedenstroomse deel van traject en onderste figuur toont bovenstroomse deel van traject. Groene verschil-lijn hoort bij rechter as, overige lijnen bij linker as.



Figuur E-2: Dwarsstroming op de rand van de vaarweg (m/s) bij 2.000 m³/s tussen het ontwerp (VO1, in figuur 'vo_a2') en de referentie (in figuur 'ref'). Bovenste figuur toont benedenstroomse deel van traject en onderste figuur toont bovenstroomse deel van traject. Groene verschil-lijn hoort bij rechter as, overige lijnen bij linker as.

Bijlage F – Technische tekeningen VO2

Groene Rivier Well - Inrichtingsplan

CONCEPT MAART 2025



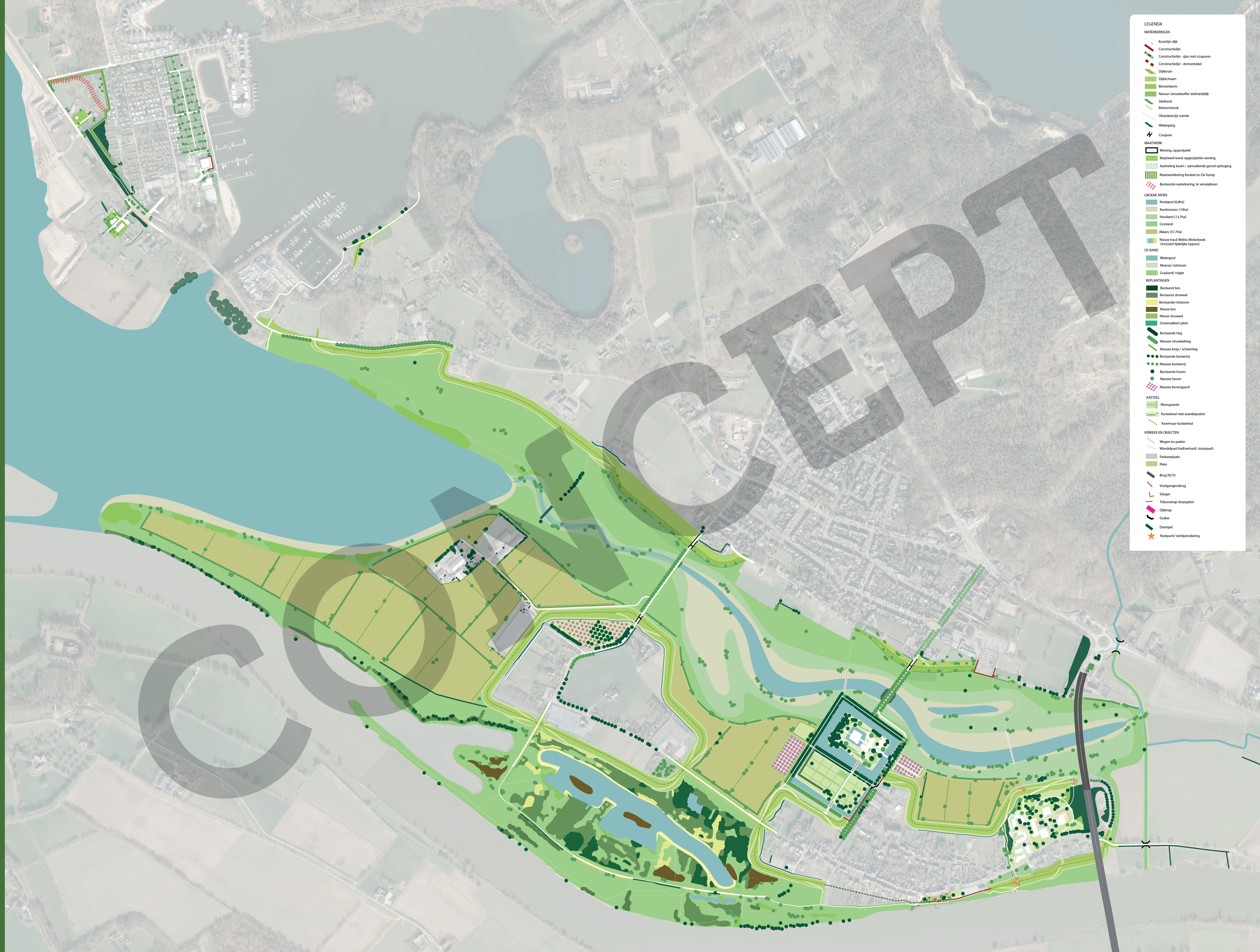
provincie limburg



GROEN BERGEN



Waterschap Limburg
Fluwp voor sterke dijken



LEGENDA

WATERKERINGEN

- Kruinlijn dijk
- Constructielijn
- Constructielijn - glas met coupures
- Constructielijn - demontabel
- Dijkkraai
- Dijkchaam
- Binnenberm
- Natuur-/erosiebuffer steilwanddijk
- Saaiwand
- Beheerstrook
- Obstakelvrije ruimte
- Watergang
- Coupure

MAATWERK

- Woning, opgevoeld
- Maatwerk kavel opgevoelde woning
- Aanheiling kavel / aanvullende grond ophoping
- Maatwerk Kasteel en De Kamp
- Bestaande waterkering, te verwijderen

GROENE RIVIER

- Kweldgras (6,8ha)
- Kweldmoeras (1,1ha)
- Hooiland (13,7ha)
- Grasland
- Akkers (57,7ha)
- Nieuw tracé Welles Molenbeek (inclusief tijdelijke bypass)

DE BAND

- Watergeul
- Moeras/rietzoom
- Grasland/ruigte

BEPLANTINGEN

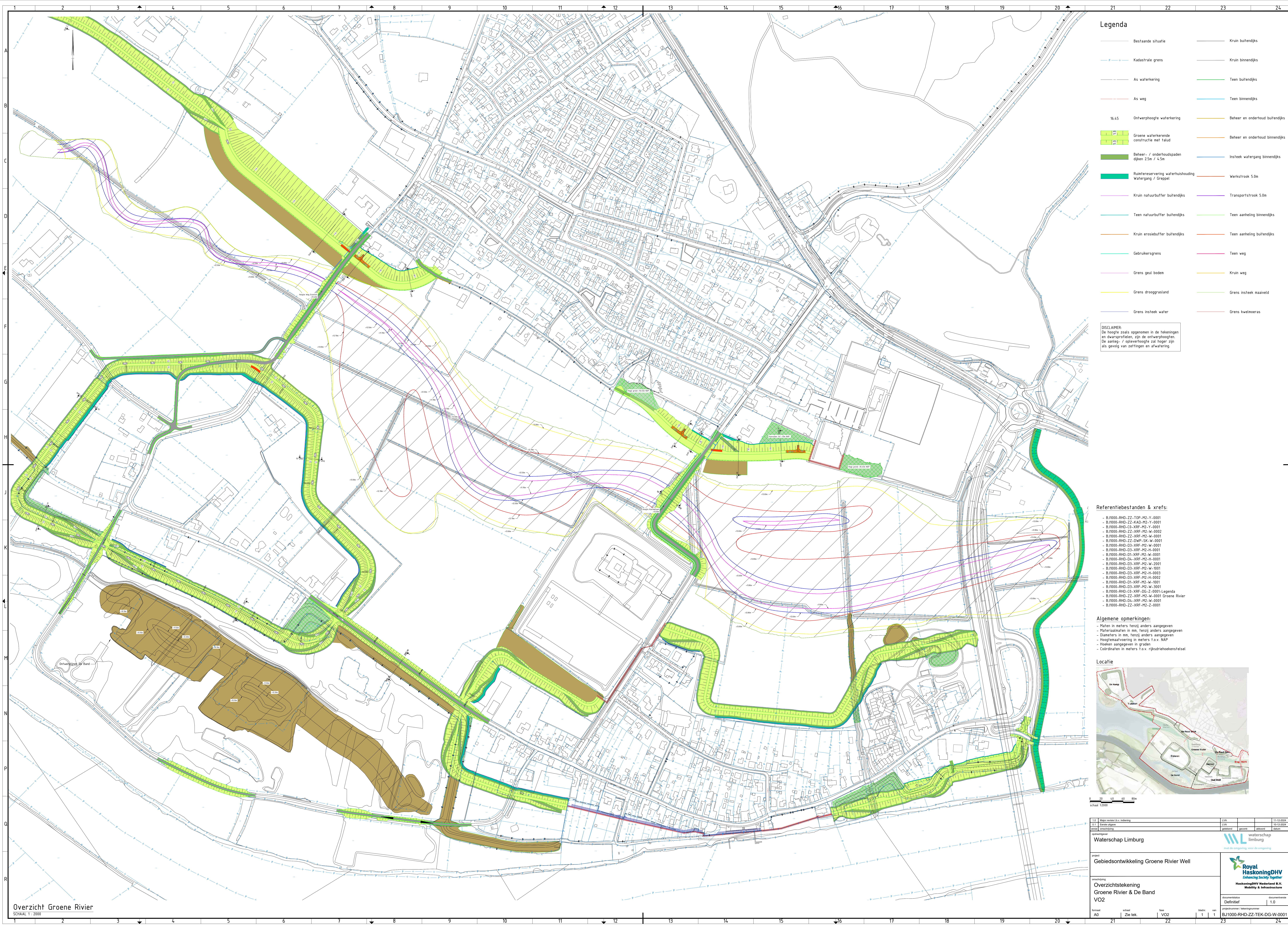
- Bestaand bos
- Bestaand struweel
- Bestaande rietzoom
- Nieuw bos
- Nieuw struweel
- Groenvakken plein
- Bestaande heg
- Nieuwe struweelheg
- Nieuwe knip-/scheerheg
- Bestaande bomenrij
- Nieuwe bomenrij
- Bestaande boom
- Nieuwe boom
- Nieuwe boomgaard

KASTEEL

- Moersgaarde
- Kasteelwal met wandelpaden
- Keermuur kasteelwal

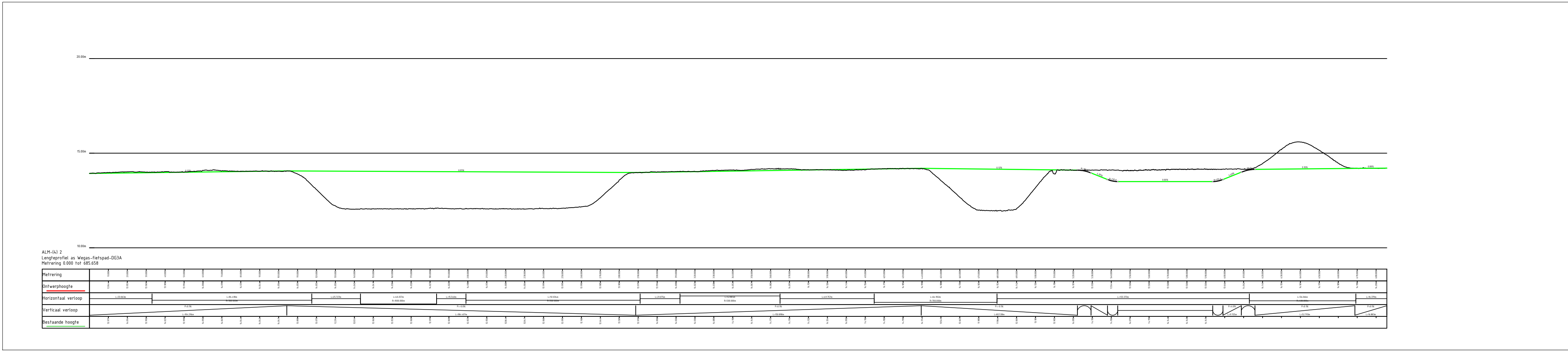
VERKEER EN OBJECTEN

- Wegen en paden
- Wandelpad (halfverhard/struinpadi)
- Parkeerplaats
- Plein
- Brug N270
- Voetgangersbrug
- Sleiger
- Tribunetrap dorpsplein
- Dijktrap
- Duker
- Drempel
- Rustpunt/verbijzondering





Situatie
SCHAAL 1:1000



Legenda

- Bestaande situatie
- Kadastrale grens
- As waterkering
- As weg
- 16.45
- Groene waterkerende constructie met talud
- Beheer- / onderhoudspaden dijken 2.5m / 4.5m
- Ruimtereservering waterhuishouding Watergang / Greppel
- Binnendijkse grondaanpassing
- Buitendijkse grondaanpassing
- Harde waterkerende constructie
- Beheer- / onderhoudspaden harde waterkerende constructie 1.0m
- Duikers f.b.v. uitwateringskunstwerk
- Pomppostlocatie (3.5x20m) t.p.v. uitwateringskunstwerk
- 200.000
- Metrering waterkering
- Rijbaan
- Bern

DISCLAIMER:
De hoogte zoals opgenomen in de tekeningen en dwarsprofielen, zijn de ontwerphoogten. De aanleg- / opleverhoogte zal hoger zijn als gevolg van zettingen en afwatering.

Opmerkingen

- Maten in meters, tenzij anders vermeld;
- Materiaalmaten in millimeters, tenzij anders vermeld;
- Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P., tenzij anders vermeld;
- Diameters in millimeters, tenzij anders vermeld;
- Coördinaten in meters t.o.v. Rijksdriehoekstelsel;
- Hoeken in graden (360°);
- Ligging kabels en leidingen indicatief weergegeven, exacte ligging bepalen d.m.v. het graven van proefsleuven.

0 10 20 30 40m
schaal 1:1000

0.1		Eerste uitgave		MJA				21-05-2024	
versie		omschrijving		getekend		gecont.		akkoord	
opdrachtgever				 waterschap limburg					
Waterschap Limburg				met de omgeving, voor de omgeving					
project									
Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well									
omschrijving									
Overzichtstekening									
Dijkkring 60-3: De Band									
VO2									
 Royal HaskoningDHV Enhancing Society Together									
HaskoningDHV Nederland B.V. Mobility & Infrastructure									
documentstatus						documentversie			
Concept						0.1			
projectnummer / tekeningnummer									
BU1000-RHD-D3-TEK-DG-W-0011									