



# Project Meanderende Maas, planuitwerking

## Hydrologische effectbeoordeling geul Maasbommel

**Projectorganisatie Meanderende Maas**

29 juni 2021

Project                    Project Meanderende Maas, planuitwerking  
Opdrachtgever           Projectorganisatie Meanderende Maas

Document                Hydrologische effectbeoordeling geul Maasbommel  
Status                    Definitief - 100 %-versie  
Datum                    29 juni 2021  
Referentie                117909-3.7.1d/21-010.270

Projectcode              117909-WP 3.7.1d  
Projectleider            ████████████████████  
Projectdirecteur        ██████████

Auteur(s)                ██████████, ██████████ en ██████████  
Gecontroleerd door    ██████████, ██████████  
Goedgekeurd door     ██████████  
                                  (██████████)

Paraaf                    ████████████████████

Adres                    Ingenieursteam Meanderende Maas  
                                  Leeuwenbrug 8  
                                  Postbus 233  
                                  7400 AE Deventer  
                                  +31 (0)570 69 71 52

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

## INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING EN SAMENVATTING</b>	<b>5</b>
1.1	Aanleiding	5
1.2	Projectdoel en projectgebied	5
1.3	Projectgebied	6
1.4	Doel van dit document en leeswijzer	6
1.5	Samenvatting	7
<b>2</b>	<b>METHODIEK</b>	<b>9</b>
2.1	Schematisatie deklaag	9
2.1.1	Onderzijde deklaag	10
2.1.2	Verzadigde en onverzadigde weerstand	10
2.1.3	Kengetallen weerstanden	11
2.1.4	Berekende deklaagweerstanden	12
2.2	Hoogwatergolven	13
2.2.1	Waterstand bij norm (WBN)	13
2.2.2	Gemiddelde situatie	13
2.2.3	T=10 hoogwatersituatie	14
2.3	Mitigatiemaatregelen	15
2.4	Toetsing waterveiligheid	16
2.5	Toetsing watersysteem	17
<b>3</b>	<b>RESULTATEN RIVIERONTWERP EN MITIGATIE</b>	<b>19</b>
3.1	Toetsing waterveiligheid	19
3.2	Toetsing watersysteem	20
3.2.1	Gemiddelde situatie	20
3.2.2	T=10 hoogwatersituatie	25
<b>4</b>	<b>CONCLUSIE EN AANBEVELING</b>	<b>33</b>
4.1	Conclusie waterveiligheid	33
4.2	Conclusie watersysteem	33
4.3	Aanbevelingen	34

5	<b>REFERENTIES</b>	35
	Laatste pagina	35
	<b>Bijlage(n)</b>	<b>Aantal pagina's</b>
I	Bespreekverslagen	22

# 1

## INLEIDING EN SAMENVATTING

### 1.1 Aanleiding

Het project Meanderende Maas is erop gericht om de waterveiligheid van de Maas aan Brabantse zijde op orde te krijgen en daarnaast kansen in te vullen voor de integrale ontwikkeling van het winterbed van de rivier. Tijdens de gecombineerde HWBP- & MIRT-verkenning is gebleken, dat deze doelen haalbaar zijn met één samenhangende uitwerking van dijkversterking, rivierverruiming en uiterwaardinrichting: het Voorkeursalternatief Meanderende Maas. Het voorkeursalternatief is in nauwe samenwerking met het gebied uitgewerkt, heeft daardoor een breed draagvlak en past binnen de beschikbare budgetten van de tien partners. Daarom heeft de Stuurgroep Meanderende Maas het voorkeursalternatief, na consultatie bij de partners, in december 2019 vastgesteld. Het voorkeursalternatief is planologisch geborgd via een interprovinciale structuurvisie. De verkenningfase is in september 2020 afgesloten met de ondertekening van de Bestuursovereenkomst.

### 1.2 Projectdoel en projectgebied

Met de vaststelling van het voorkeursalternatief is de volgende fase van het project Meanderende Maas ingegaan: de planuitwerking. Het doel van de planuitwerking is om de beoogde dijkverbetering, rivierverruiming en gebiedsontwikkeling binnen de kaders van het integraal voorkeursalternatief tot op ontwerpniveau uit te werken, vergund en gefinancierd te krijgen, zodat het plan kan worden uitgevoerd.

De eerste opgave is dus om de planologisch-juridisch besluiten te verkrijgen die als basis dienen voor de uitvoering van het project. Het gaat daarbij om het Projectbesluit (als opvolger van het huidige Projectplan Waterwet en bestemmingsplan) en de hoofdvergunningen, zoals vergunningen voor natuur en ontgronding. Daarnaast heeft de planuitwerking als doel meer concrete toezeggingen te krijgen voor de financiering, met name een subsidiebeschikking vanuit het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP).

Tenslotte moet de planuitwerking bewoners en gebruikers van het gebied en belanghebbenden gedetailleerd inzicht geven in de nieuwe inrichting van het gebied: dijkhoogtes en breedtes, verkeersafwikkeling en de inrichting en toegankelijkheid van de uiterwaarden.

Dit zal worden gebaseerd op een zogenaamd definitief ontwerp van de dijkversterking en inrichting van de uiterwaarden. Zo'n definitief ontwerp bestaat uit een ontwerpkaart én een uitvoeringsplan, zodat duidelijk wordt wát er wordt gemaakt en hóe dit wordt gedaan.

In de planuitwerking zijn drie fasen voorzien:

- uitwerking van varianten op enkele speciale plekken, waar het voorkeursalternatief nog ruimte laat voor verschillende invullingen;
- technische doorrekening en uitwerking tot een voorlopig ontwerp;
- nadere detaillering tot een definitief ontwerp, opstelling van het uitvoeringsplan en de planologische besluiten. Dit gebeurt in afstemming met de aannemer die het werk gaat maken.

### 1.3 Projectgebied

Het projectgebied is het gebied waar de maatregelen worden getroffen. Het projectgebied begint waar de Maasdijk de A50 kruist bij Ravenstein en volgt de Maas tot de stuw bij Lith. Het riviertraject heeft een lengte van ongeveer 25 km (zie afbeelding 1.1).

Noordelijk van de Maas ligt het projectgebied in de provincie Gelderland en de gemeenten West Maas en Waal en Wijchen. Zuidelijk van de Maas is het projectgebied in de provincie Noord-Brabant en de gemeente Oss gelegen. Hier ligt het te versterken dijkgedeelte.

Afbeelding 1.1 Projectgebied Planuitwerking Meanderende Maas. In het blauwe kader: Effectbeoordeling Geul Maasbommel



De effecten van de plannen kunnen ook buiten het projectgebied optreden, daarom kennen we een 'studiegebied'. Het studiegebied beslaat een groter gebied en wordt in het onderzoek per effect bepaald. Een indicatie van het studiegebied is te vinden in het MER bij de Interprovinciale Structuurvisie.

Voor de geulen (Appeltern -Maasbommel) die aan de noordzijde van de Maas liggen (blauw kader in Afbeelding 1.1) geldt dat zij een belangrijke bijdrage hebben aan de projectdoelstelling van waterstandsdeling, maar dat zij invloed kunnen hebben op het beheergebied van Rivierenland. Daarvoor is een vergunning nodig van waterschap Rivierenland. Zij stellen als eis dat de geulen zo moeten zijn ontworpen dat het aan de zijde van Rivierenland de dijkveiligheid niet vermindert en overlast door kwel niet verergert.

### 1.4 Doel van dit document en leeswijzer

Dit document is onderdeel van de eerste fase van de planuitwerking, de ontwikkeling van een voorlopig ontwerp. Het is de vastlegging van het resultaat van vier overleggen met waterschap Rivierenland. Daarbij werd gekeken naar de effecten op het watersysteem - kwel en wegzijging binnendijks - en naar de effecten op waterveiligheid - het mechanisme piping voor de dijken. Het document biedt een opstap voor de ontwerp- en uitvoeringskeuzes in de volgende projectfase om te komen tot een vergunbaar ontwerp.



## Werkwijze

In de periode februari 2021 tot en met mei 2021 vond na een startoverleg op 20 januari driemaal een overleg plaats waarbij de berekeningswijze en de daaruit voortkomende effecten werden besproken. Het resultaat van de bespreking was steeds sturend voor de uit te voeren berekeningen en analyses in de volgende periode:

- 24 februari 2021: berekeningswijze en presentatie van de referentiesituatie;
- 7 april 2021: analyse en interpretatie van de effecten in de ontwerpsituatie volgens het VO;
- 21 mei 2021: analyse en interpretatie van mitigerende maatregelen.

De deelnemers aan deze overleggen waren Marike Noij, Roel van der Veen, Sander Kapinga en Stephan Fontein (Waterschap Rivierenland), Martijn Timmermans (gemeente West Maas en Waal, alleen aanwezig op 21 mei 2021), Bert Flach, Hendrik Kok en Guido van Rinsum (project Meanderende Maas, Waterschap Aa en Maas).

De gebundelde verslagen in de bijlage samen met de inhoudelijke vastlegging in voorliggend document vormt het eindresultaat van deze fase en daarmee van dit werkpakket VO-3.7.1d.

## Leeswijzer

In deze rapportage is het effect van de rivierverschuiving aan de Gelderse zijde van de Maas op waterveiligheid en het watersysteem getoetst en randvoorwaarden voor het geulontwerp bepaald. In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten van de toets- en ontwerpmethodiek toegelicht. De resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 3. De conclusies zijn geformuleerd in hoofdstuk 4.

## 1.5 Samenvatting

De effecten op waterveiligheid en het watersysteem als gevolg van de geplande rivierverschuiving is in deze studie getoetst. De rivierverschuiving bestaat uit het graven van een geul in de uiterwaard aan de Gelderse zijde. Daarbij is gewerkt met toetscriteria voor wateroverlast en waterveiligheid conform de eisen en wensen van waterschap Rivierenland. Voor het watersysteem is een studie uitgevoerd naar de effecten (kwel en wegzijging) tijdens een gemiddelde en een tienjaarlijkse (T=10) watersituatie op de Maas. Voor het effect op waterveiligheid is gerekend met de waterstand bij de voor dit dijktraject geldende norm van 1/3.000 per jaar (WBN). De effecten op waterveiligheid zijn op verzoek van waterschap Rivierenland uitgedrukt in een (reductie) van de effectieve voorlandlengte. De effectieve voorlandlengte is een belangrijke parameter in een pipinganalyse en geeft de mate van weerstand van het voorland tegen piping aan.

In de studie is allereerst de referentiesituatie bepaald, vervolgens is het rivierontwerp (afgraving van klei) geanalyseerd. Als laatste is bepaald wat het effect is (verbetering) van het terugbrengen van weerstand (klei) op de bodem van de geul.

### Waterveiligheid

Voor wat betreft waterveiligheid is als gevolg van de aanleg van de geul zonder mitigerende maatregelen een duidelijke afname zichtbaar van effectieve voorlandlengte. Dit is maximaal 45 m (varieert over het traject). Procentueel is dit een afname van 25 % ten opzichte van de referentiesituatie. In overleg met de beheerder (waterschap Rivierenland) is afgesteld dat een afname van enkele meters acceptabel is. De afname van 45 m is dus duidelijk te veel. Om de effectieve voorlandlengte weer te vergroten is (modelmatig) weerstand teruggebracht op de bodem van de geul (10, 20, 50 en 100 dagen weerstand). Hoe meer weerstand er in het model is teruggebracht hoe langer de berekende effectieve voorlandlengte is.

Bij een terug gebrachte weerstand van 20 dagen is de afname nog 12 m (7 %) en bij 50 dagen weerstand neemt het verder af tot 3 m (2 %). Bij een geulweerstand van 100 dagen is het effect volledig verdwenen. In overleg met Waterschap Rivierenland is afgesproken dat het terugbrengen van **minimaal 30** tot 50 dagen weerstand voldoende zal zijn.

## Watersysteem

De geul wordt dicht bij het zomerbed van de rivier gerealiseerd. Dicht bij het zomerbed zal het gemiddelde potentiaalverschil tussen stijghoogte en rivierpeil beperkt zijn. Het aanbrengen van de geul zal dus niet resulteren in een grote toename van de flux richting het watervoerende pakket. Het rivierpeil komt dus weliswaar iets dichterbij de dijk te liggen, maar de daarmee gepaard gaande toename van de stijghoogte is beperkt. Het effect bij een gemiddelde stationaire situatie is klein en verbetert hierdoor niet verder bij het aanbrengen van een minimale geulbodemweerstand.

Het effect bij een T=10 hoogwatergolf op de stijghoogte is maximaal 20 cm, het effect op de diffuse kwel is maximaal 15 % en tijdens de piek van de hoogwatergolf is de toename van de afvoer van het oppervlaktewatersysteem circa 20 m<sup>3</sup>/d. Bij het terugbrengen van een minimale waterbodemweerstand van 20 tot 50 dagen zijn de effecten grotendeels verdwenen. Daarmee is voor het watersysteem de conclusie getrokken dat het terugbrengen van 30 tot 50 dagen weerstand, zoals vanuit het oogpunt van waterveiligheid reeds nodig is, voldoende zal zijn.

## Conclusie

In overleg met Waterschap Rivierenland en gemeente West Maas en Waal is de conclusie dat het uitvoeren van de geul bij Maasbommel volgens het huidige voorlopig ontwerp (VO) van Meanderende Maas tot te grote negatieve hydrologische effecten leidt voor watersysteem en waterveiligheid. Een afdoende oplossing hiervoor is het terugbrengen van 30 tot 50 dagen weerstand (ten opzichte van het VO). Daarmee zal namelijk de effectieve voorlandlengte met slechts enkele procenten afnemen ten opzichte van de referentiesituatie (waterveiligheids criterium) en zijn ook de effecten op het watersysteem onder T=10 omstandigheden klein genoeg.

Er is consensus over de wijze waarop deze effecten en het effect van het terugbrengen van de weerstand berekend wordt. De precieze manier waarop deze weerstand teruggebracht gaat worden is onderdeel van de ontwerpwerkzaamheden voor het definitieve ontwerp (DO) van Meanderende Maas.



# 2

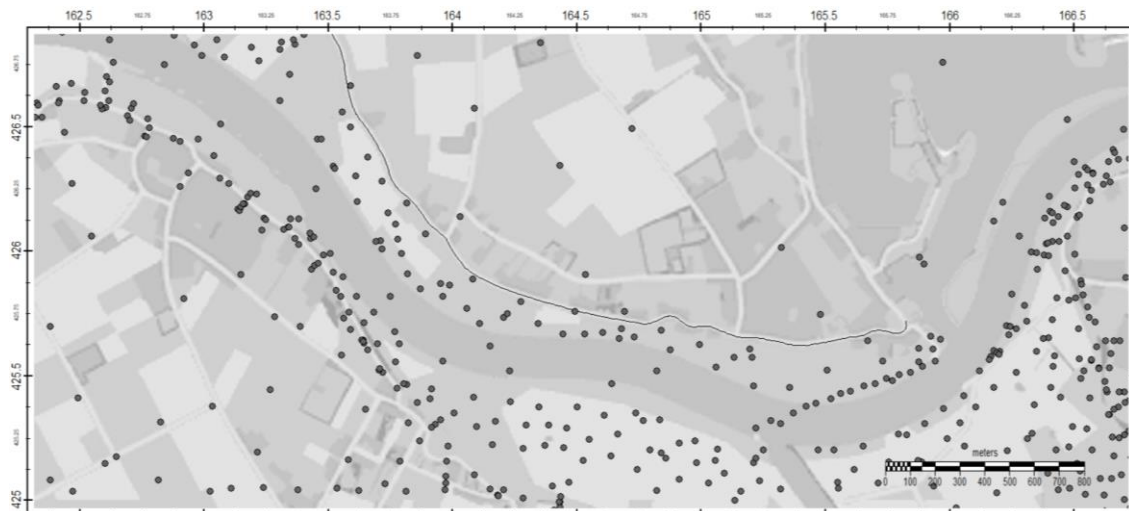
## METHODIEK

In dit hoofdstuk wordt de bij de analyses toegepaste methode beschreven. Dit hoofdstuk is een weerslag van de inhoudelijke aanpak zoals in de overleggen (zie bijlage) is besproken. Voor het berekenen van de (geo)hydrologische effecten is het geohydrologische stromingsmodel gebruikt dat is ontwikkeld voor het project Meanderende Maas. Dit stromingsmodel is een combinatie van de regionale grondwatermodellen MORIA (noordzijde van de Maas, Gelderse zijde) en WSAM (zuidzijde van de Maas, Brabantse zijde). Het stromingsmodel is specifiek opgesteld voor het doorrekenen van hoogwatergolven op de Maas [ref. 1]. Voor het vraagstuk uit deze rapportage zijn de deklaagweerstand en de hoogwatergolven opnieuw afgeleid om de grondwatereffecten aan de noordzijde met voldoende nauwkeurigheid en bij de juiste norm te kunnen bepalen.

### 2.1 Schematisatie deklaag

De deklaag bestaat hoofdzakelijk uit klei, maar kan ook tussenzandlagen bevatten. De klei (en eventueel leem en veen) is relatief slecht doorlatend en zorgt daarmee voor een weerstand tegen verticale grondwaterstroming. Voor het parametriseren van de deklaag zijn aanvullende boorgegevens gebruikt. De locatie van de boringen is weergegeven in Afbeelding 2.1.

Afbeelding 2.1 De locaties van de gebruikte boorprofielen

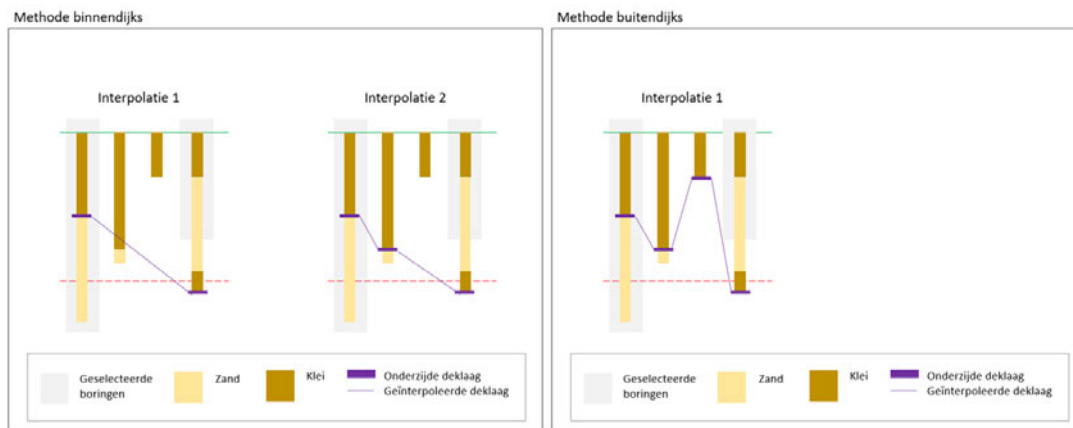


## 2.1.1 Onderzijde deklaag

De deklaagweerstand zijn binnen en buitendijks op verschillende wijze afgeleid. De gehanteerde methode is ontwikkeld binnen het project Meanderende Maas [ref. 2]. In het plangebied is in de geologie een scherpe grens zichtbaar tussen de holocene deklaag en het watervoerende pakket. Voor het berekenen van de deklaagweerstand op de boorpunten is een ondergrens nodig om te bepalen tot welke diepte de weerstand meegenomen dient te worden. Bij korte boringen is het vaak onduidelijk of de onderzijde deklaag kan worden bepaald. Een korte boring die eindigt op zand, kan immers ook tot in een tussenzandlaag (in de deklaag) zijn geplaatst. In het binnen- en buitendijkse gebied zijn daarom de volgende uitgangspunten gehanteerd (de uitgangspunten zijn visueel weergegeven in Afbeelding 2.2):

- 1 Binnendijks zijn allereerst alleen de diepere boringen (>9 m-mv) meegenomen voor het afleiden van de onderzijde deklaag. Op basis van deze boringen is een 2D vlak geïnterpoleerd. Vervolgens is op de locatie van de (niet meegenomen) korte boringen gekeken of de onderzijde deklaag niet te ondiep is berekend. Dit is vervolgens in een tweede interpolatieronde gecorrigeerd. Zodoende ontstaat een conservatief ingeschatte onderzijde deklaag. Daar waar de zandige onderzijde onzeker is, is hij liever te dik ingeschat dan te dun. Binnendijks zorgt een hogere deklaagweerstand immers voor minder demping van de dynamiek vanuit de rivier.
- 2 Buitendijks worden alle boringen in een keer meegenomen en geïnterpoleerd tot een 2D vlak. Buitendijks geldt namelijk dat een dunnere deklaag juist een conservatiever uitgangspunt is. Bij minder weerstand kan het water vanuit de rivier gemakkelijker het watervoerende pakket instromen.

Afbeelding 2.2 De gebruikte methode voor het afleiden van de onderzijde deklaag

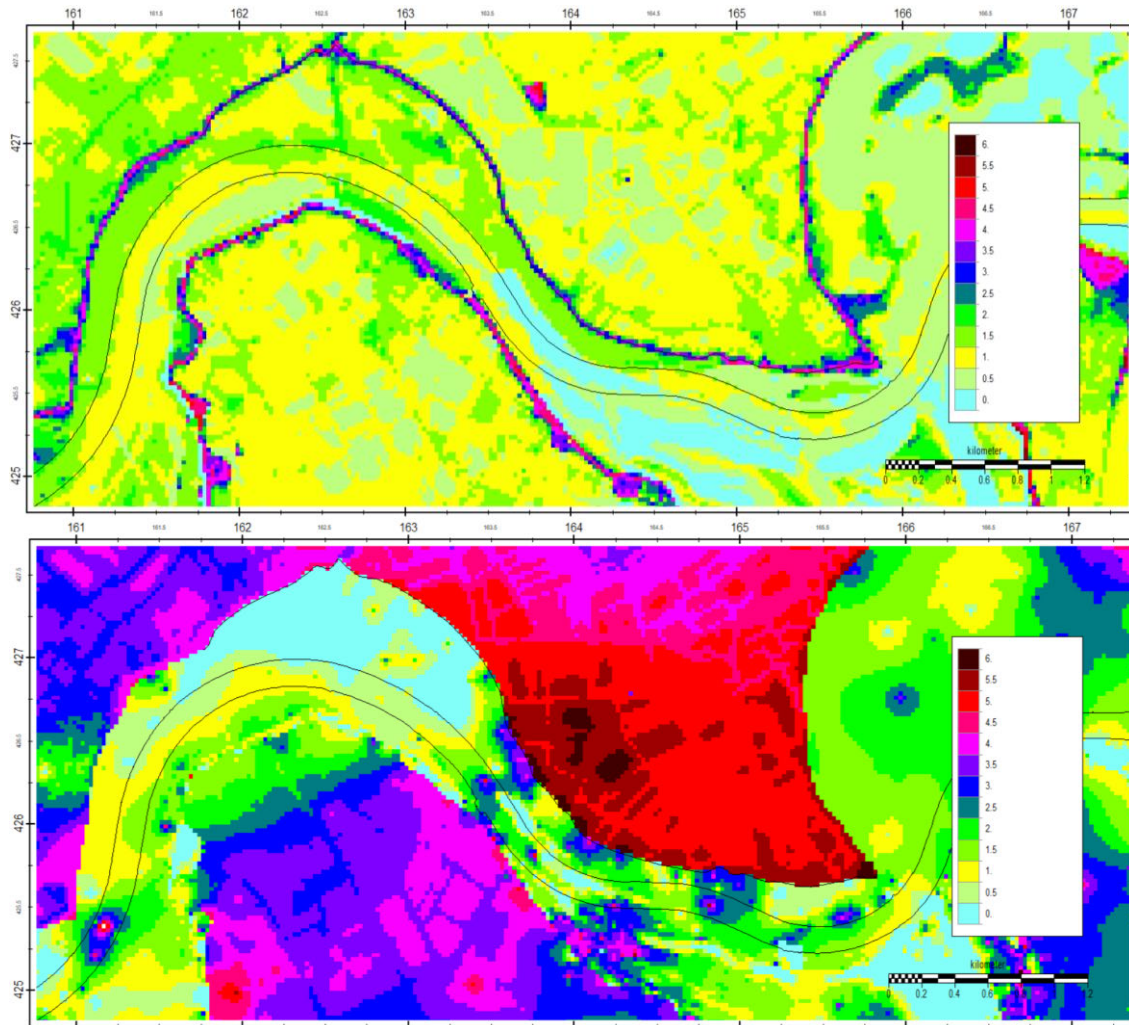


## 2.1.2 Verzadigde en onverzadigde weerstand

Voor afleiden van de deklaagweerstand is onderscheid gemaakt in de onverzadigde (gerijpte) weerstand en de verzadigde (ongerijpte) weerstand. Kleilagen die zich boven de gemiddelde grondwaterstand bevinden staan onder invloed van bodembewerking, bodemleven en doorworteling van gewassen (bouwvoor). Hierdoor ontstaat veelal een bodemstructuur met iets hogere doorlatendheid en wordt gesproken van gerijpte klei.

Er is van uitgegaan dat deze gerijpte weerstand alleen binnen de uiterwaarden een bijdrage heeft. Ten tijden van een hoogwatergolf zullen de uiterwaarden namelijk grotendeels onder water staan. Het is daarom een valide uitgangspunt om hier de gerijpte weerstand mee te nemen. In het achterland is dit niet het geval omdat hier geen grootschalige inundatie van het maaiveld plaatsvindt (alleen in een zone achter de dijk). De verzadigde dikte en onverzadigde dikte van de deklaag is berekend aan de hand van het AHN3 en de gemiddelde grondwaterstand. De onverzadigde dikte betreft het deel tussen het maaiveld en de gemiddelde grondwaterstand, de verzadigde dikte betreft het deel tussen de grondwaterstand en de onderzijde van de deklaag. In Afbeelding 2.3 zijn deze twee diktes weergegeven.

Afbeelding 2.3 De onverzadigde dikte (boven) en verzadigde dikte van de deklaag (onder) in meter



### 2.1.3 Kengetallen weerstanden

Voor het berekenen van de weerstanden zijn kengetallen gehanteerd. Deze zijn weergegeven in Tabel 2.1. De kengetallen zijn gekozen op basis van ervaring en expert judgement en zijn gelijk aan de waardes die gehanteerd zijn in het innovatietraject Meanderende Maas [ref. 1 en 2].

Tabel 2.1 Gehanteerde weerstanden per bodemtype in d/m

Bijmenging	Geen	Klei	Silt	Zand	Grind
klei (gerijpt)	25 <sup>1</sup>	25	15	10	5
klei (ongerijpt)	400	400	300	150	100
leem	150	300	200	100	50
veen	300	350	250	125	70

<sup>1</sup> Over de gehanteerde weerstanden voor de gerijpte klei bestaat veel discussie. Er is geen duidelijke waarde herleidbaar uit literatuurstudies omdat deze eigenlijk alleen in-situ te meten is. De hier gebruikte weerstand is relatief hoog en daarmee vormt het geen conservatief uitgangspunt.

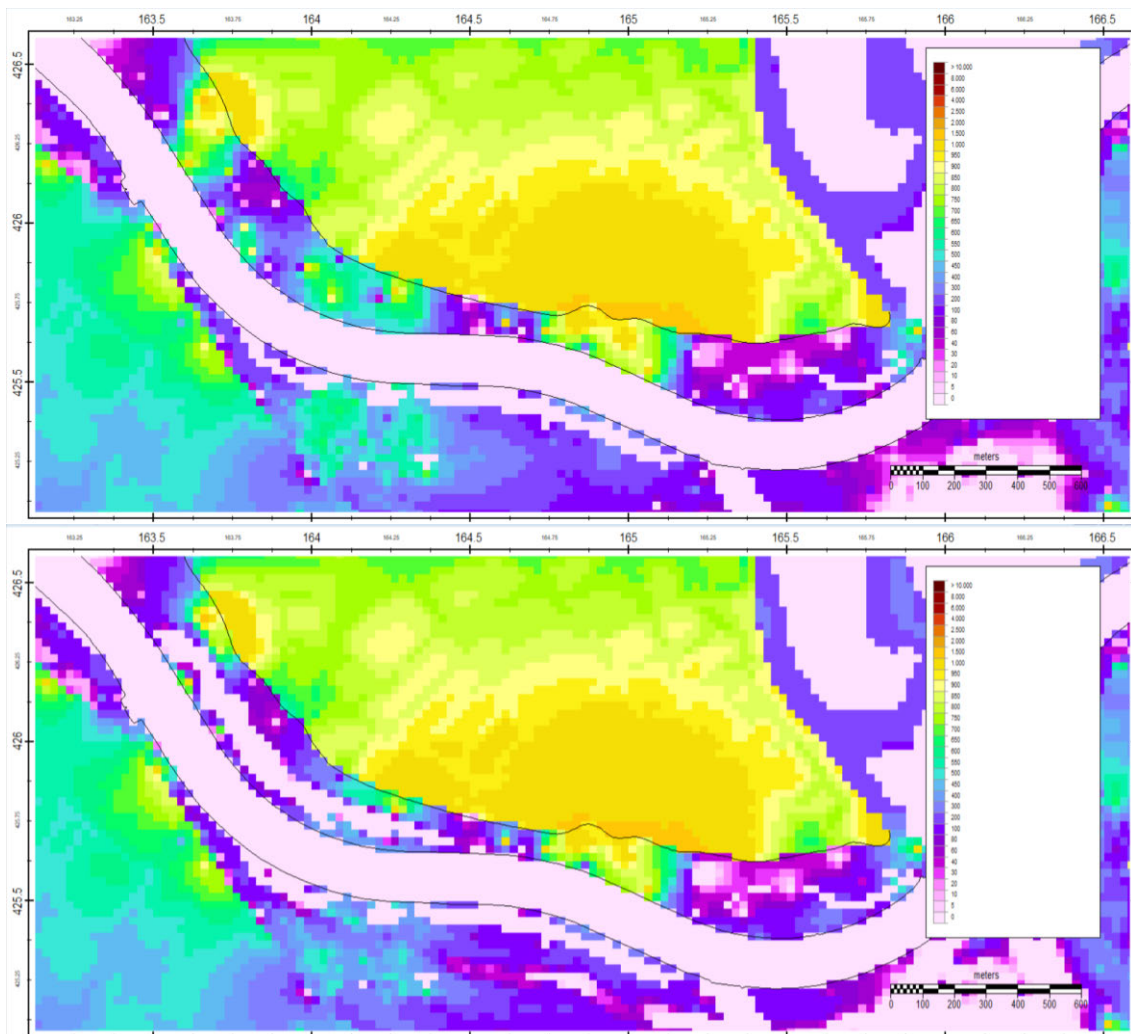
Voor het berekenen van de weerstanden is de 'originele' dataset met boringen weer gebruikt; dit is dus inclusief alle boringen die zijn afgefallen voor het afleiden van de onderzijde van de deklaag. De enige voorwaarde die aan een boring wordt gesteld is dat deze een minimale doorsnijding van 50 % heeft van de betreffende laag. In Afbeelding 2.4 is de berekende weerstand van de deklaag voor de referentiesituatie weergegeven.

## 2.1.4 Berekende deklaagweerstand

Voor zowel de referentiesituatie, als het rivierontwerp zijn de deklaagweerstand berekend. Voor het rivierontwerp is het maaiveldbestand aangepast met de nieuwe hoogtes. Vervolgens zijn de nieuwe verzadigde en onverzadigde diktes en bijbehorende weerstanden opnieuw berekend. Deze weerstanden zijn weergegeven in Afbeelding 2.4.

De uiterwaardevergravingen (ten oosten) zijn relatief ondiep en vinden primair plaats in de onverzadigde zone. De weerstandsreductie is hierdoor beperkt, omdat dit deel van de deklaag relatief goed doorlaatbaar is. Ter plaatse van de geul is een duidelijk effect zichtbaar. De geul doorsnijdt de deklaag volledig, waardoor alle weerstand wordt weggenomen.

Afbeelding 2.4 Berekende deklaagweerstand (dagen) voor de referentiesituatie (boven) en het rivierontwerp (onder)





## 2.2 Hoogwatergolven

In Tabel 2.2 zijn de type hoogwatersituaties weergegeven die zijn doorgerekend.

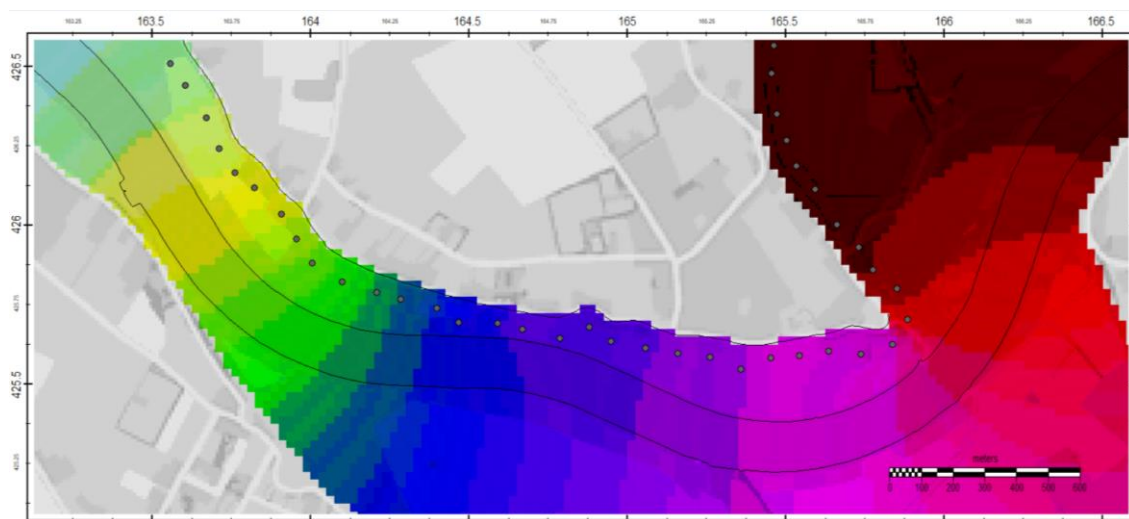
Tabel 2.2 Berekende hoogwatersituaties op de Maas voor effectanalyse aan de noordzijde van de Maas

Type golf	Type berekening	brongegevens
WBN (waterstand bij norm)	stationair	hydraulische database WBI2023 (golf 1:3000 waterstand bij marginale statistiek)
gemiddeld	stationair	ISG-grote rivieren
T=10 hoogwater	in-stationair	ISG-grote rivieren

### 2.2.1 Waterstand bij norm (WBN)

Voor de waterstand bij norm (hoogwatersituatie) is vanuit een puntenbestand het peil geïnterpoleerd binnen de uiterwaarden. In verband met de toetsingsmethodiek, is de situatie full-bank doorgerekend. In Afbeelding 2.5 is het geïnterpoleerde peil en de gebruikte WBI2023-uitvoerpunten weergegeven.

Afbeelding 2.5 Het berekende MHW op de maas op basis van gegevens uit de WBI2023 database



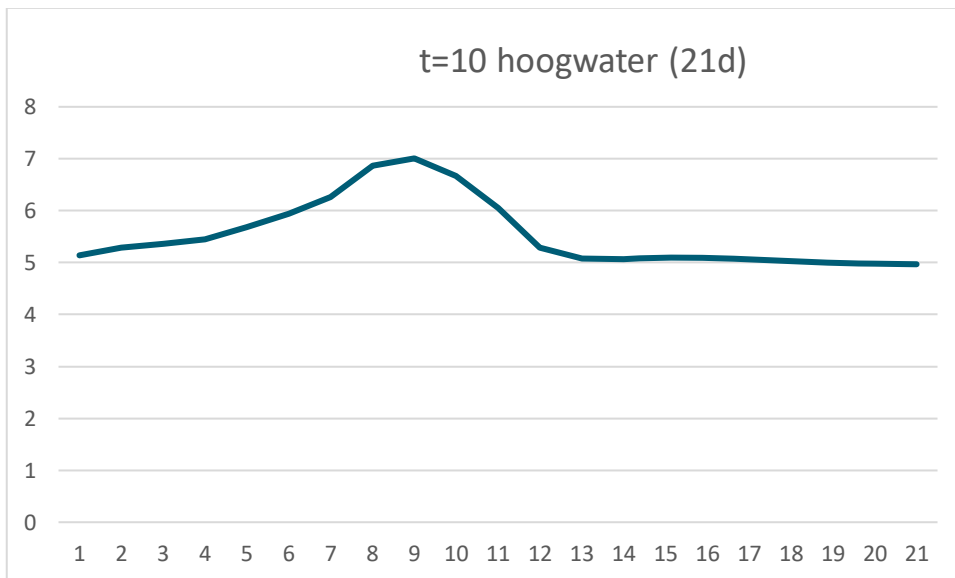
### 2.2.2 Gemiddelde situatie

Voor de toetsing van het watersysteem is een toets voor een winter- en zomer gemiddelde waterstand vereist. De Maas is sterk gereguleerd. Dit betekent dat over het grootste deel van het jaar de waterstand in (dit deel van de) Maas nagenoeg gelijk is aan stuwpeil (NAP+4,9 m). Dit blijkt ook uit de meetreeks van de waterstanden die is geanalyseerde (2008-2018). Een zomer- en wintergemiddelde waterstand is gelijk. In overleg met waterschap Rivierenland is besloten om één gemiddelde situatie door te rekenen (stuwpeil NAP+4,9 m). Deze situatie is representatief voor zowel de winter- als de zomer. In de gemiddelde situatie treedt geen inundatie van het voorland op. Het peil is rekenkundig dus alleen toegekend aan het zomerbed van de rivier.

### 2.2.3 T=10 hoogwatersituatie

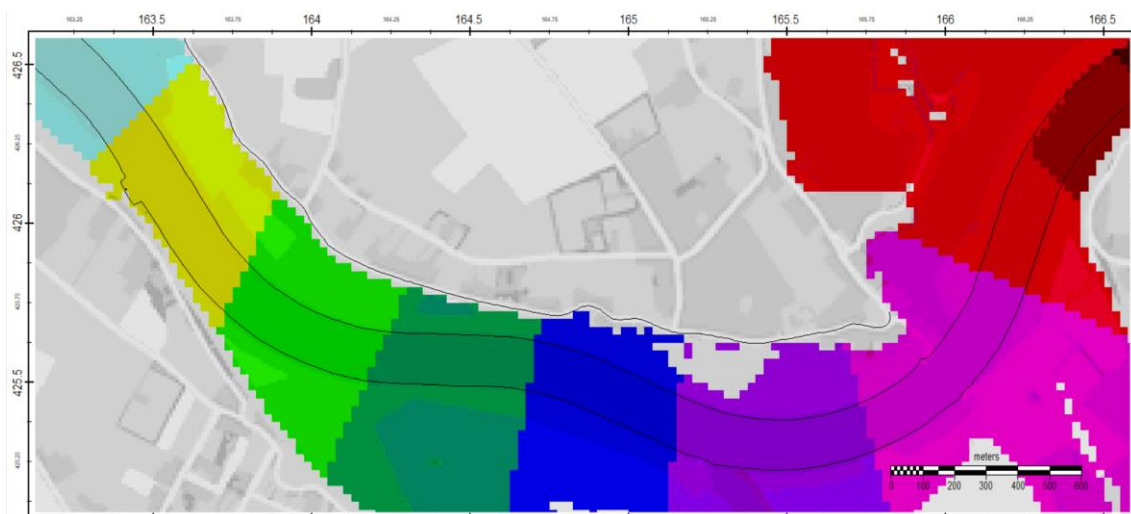
Voor de T=10 hoogwatersituatie is de hoogwatergolf uit januari 2003 gebruikt. Dit is een golf die overeenkomt met een situatie die eens in de tien jaar voorkomt en die bij waterschap Rivierenland veel gebruikt wordt om een T=10 hoogwatersituatie te simuleren. Op basis van de ISG-gegevens kon een golf van 21 dagen worden geconstrueerd met een piekwaterstand op dag 9 van de golf. Het verloop van de waterstand is weergegeven in Afbeelding 2.6.

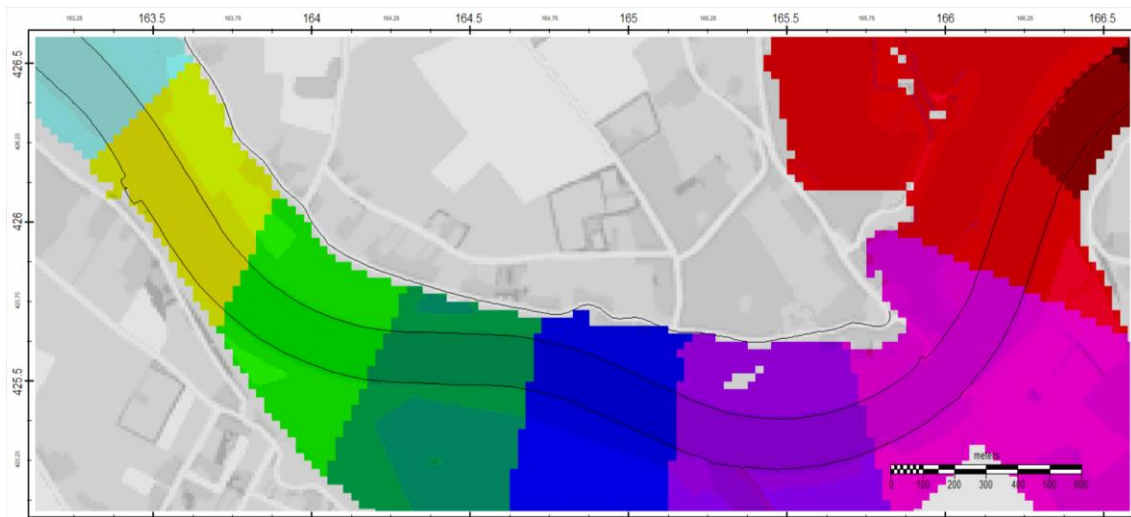
Afbeelding 2.6 Het waterstandsverloop voor de t=10 hoogwatersituatie



De gegevens zijn vanuit de ISG vergrid en geëxtrapoleerd tot een bank-full situatie. Vervolgens is voor de referentiesituatie en het rivierontwerp gekeken op welke tijdstappen (delen) van de uiterwaarde inunderen. De mate van inundatie is bij het rivierontwerp groter doordat het maaiveld deels zal worden afgegraven. In Afbeelding 2.7 is hier een voorbeeld van weergegeven.

Afbeelding 2.7 De waterstand op dag 8 van de t=10 hoogwatergolf voor de referentiesituatie (boven) en het rivierontwerp (onder)

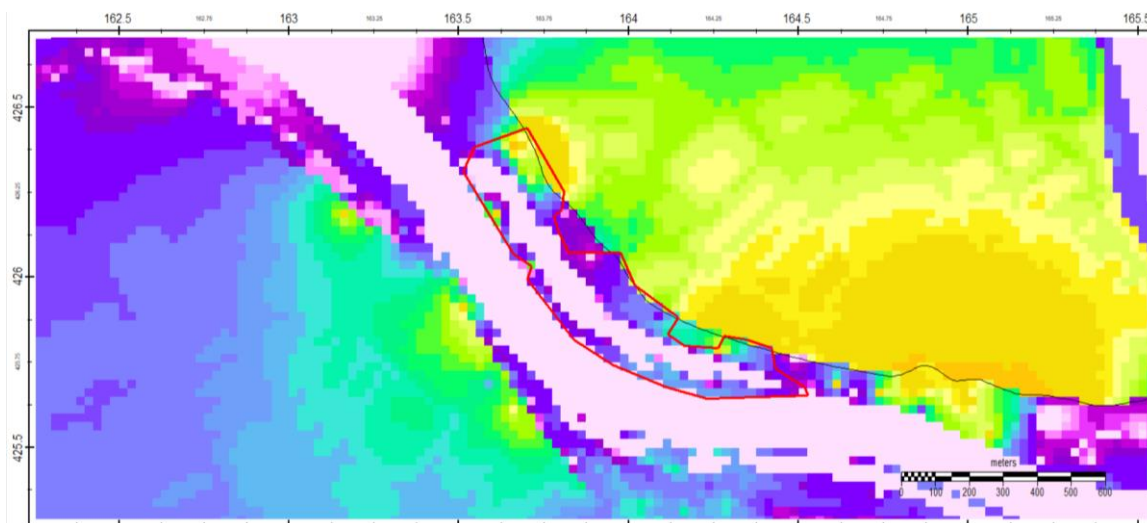




### 2.3 Mitigatiemaatregelen

Als mitigatiemaatregel is het terugbrengen van een weerstandslaag doorgerekend. In deze scenario's is gekeken welke minimale weerstand teruggebracht dient te worden ten opzichte van het voorlopig ontwerp van Meanderende Maas zodat het effect op de dijkveiligheid en het watersysteem gemitigeerd wordt. In Afbeelding 2.8 is de zone waarbinnen de weerstand is teruggebracht weergegeven.

Afbeelding 2.8 De deklaagweerstand van het rivierontwerp met in rood het polygoon waarbinnen de minimale deklaagweerstand zijn gehanteerd



De maatregelen zijn voor een minimale weerstand van 10, 20, 50 en 100 dagen doorgerekend. Binnen de scenario's wordt nooit meer weerstand ingebracht dan in de referentiesituatie aanwezig was. Dus als er in de referentiesituatie (voordat Meanderende Maas is aangelegd) op een specifieke locatie maar 70 dagen weerstand ligt dan wordt bij het scenario met 100 dagen weerstand op die plek maar met 70 dagen gerekend.



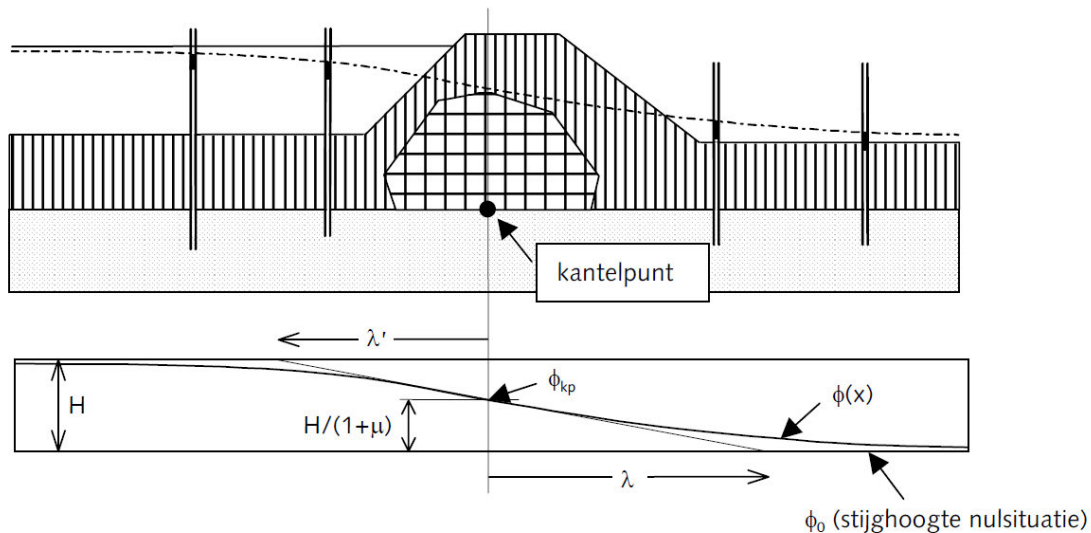
## 2.4 Toetsing waterveiligheid

De toetsing in relatie tot de waterveiligheid is uitgevoerd conform de eisen van waterschap Rivierenland. In deze analyse is het effect op de weerstand tegen piping verandert. Deze weerstand (van het voorland) wordt uitgedrukt in een effectieve voorlandlengte. Deze voorlandlengte is de kwelweglengte die in het voorland mag worden toegekend als weerstand tegen piping. Hoe hoger de doorlatendheid van het voorland hoe kleiner de effectieve voorlandlengte en hoe kleiner de weerstand. Hierbij wordt gekeken of de effectieve voorlandlengte niet (of zeer gering) verandert door het rivierontwerp. De effectieve voorlandlengte ( $L'_v$ ) wordt berekend uit [ref. 4]:

$$L'_v = \lambda_1 \tanh\left(\frac{L_v}{\lambda_1}\right)$$

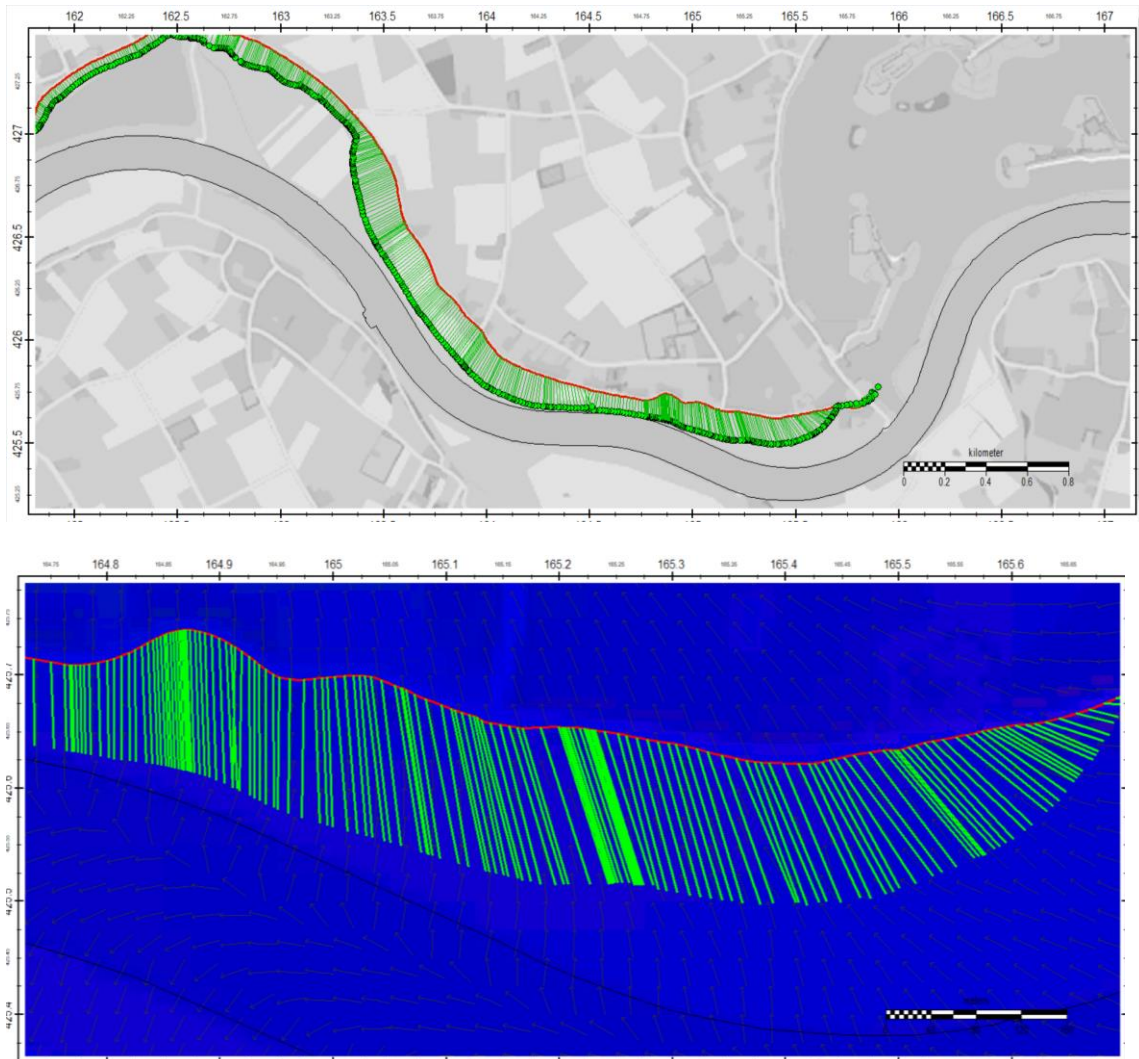
Hierbij is  $L_v$  de fysieke voorlandlengte en  $\lambda_1$  de spreidingslengte.  $L_v$  staat gelijk aan de geometrisch aanwezige kwelweglengte. In dit geval is gekozen om als intredepunt het zomerbed van de Maas aan te houden.  $\lambda_1$  is berekend uit het snijpunt van de tangent van de gradiënt onder de dijk en het maatgevende peil buitendijks. Dit concept is schematisch weergegeven in Afbeelding 2.9.

Afbeelding 2.9. De gehanteerde methode voor het berekenen van  $\lambda_1$  conform de TRWD [ref. 3]



Er is aangenomen dat de dijklijn zoals aangeleverd is door waterschap Rivierenland gelijk is aan het kantelpunt zoals gedefinieerd in Afbeelding 2.9. Vervolgens zijn langs de dijklijn een groot aantal profielen gedefinieerd in de richting van de grondwaterstroming. Langs deze profielen is de gradiënt onder de dijklijn bepaald (bilineair geïnterpoleerde waarde op 12,5 m afstand van de dijklijn, langs de profiellijn, gekozen in relatie met de rekenresolutie van 25 m). Op basis van de gradiënt is vervolgens de tangent bepaald en vervolgens het snijpunt met de buitenwaterstand. De afstand tussen het snijpunt en de dijklijn, langs het gedefinieerde profiel, betreft  $\lambda_1$ . Langs ditzelfde profiel is vervolgens de afstand tussen de dijklijn en het zomerbed van de rivier berekend als  $L_v$ . Op basis van  $\lambda_1$  en  $L_v$  is vervolgens de effectieve voorlandlengte berekend ( $L'_v$ ). Per profiel zijn alle  $L'_v$  als punten uitgezet in het profiel, waar vervolgens een lijn door getrokken is. Deze lijn representeert dus het ruimtelijke beeld van de effectieve voorlandlengte. In Afbeelding 2.10 zijn de berekende onderdelen weergegeven.

Abbeelding 2.10 Boven: De berekende effectieve voorlandlengte (groene punten) langs de gedefinieerde profielen (groene lijn) en dijklijn (rood). In zwart is de insnijding van het zomerbed van de rivier weergegeven (fysieke voorlandlengte). Onder: een uitsnede waar duidelijk te zien is dat de profielen zijn gekozen in de richting van de grondwaterstroming ter plaatse van de dijklijn (zwarte vectoren)



## 2.5 Toetsing watersysteem

De effecten op het watersysteem worden op een drietal aspecten geëvalueerd. In overleg met Waterschap Rivierenland zijn dat de volgende onderdelen:

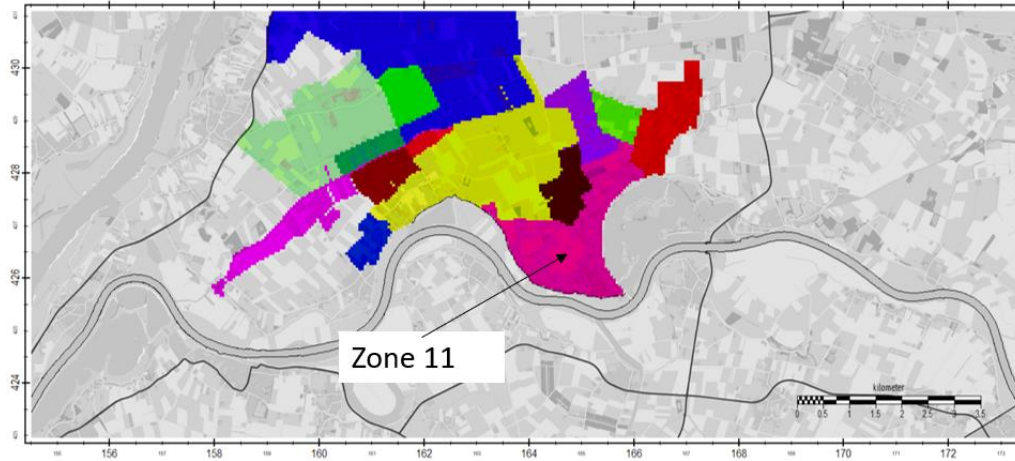
- 1 effect op de freatische grondwaterstand en stijghoogte;
- 2 effect op diffuse kwel;
- 3 belasting van het oppervlaktewatersysteem.

De effecten op de grondwaterstanden en stijghoogten zijn inzichtelijk gemaakt door verschilbeelden te maken. Voor de T=10 hoogwatergolf is dat op de piek van de hoogwatergolf (dag 9).

De effecten op diffuse kwel zijn inzichtelijk gemaakt door verschilbeelden van de berekende verticale flux aan de onderzijde van modellaag 1. Dit betreft de kwel/wegzijing van en naar het eerste watervoerende pakket. De verschillen worden in procent t.o.v. de referentiesituatie weergegeven. Dit betekent dat bij een kleine kwelflux in de referentiesituatie, een berekend effect al snel heel groot lijkt.

De belasting op het watersysteem wordt berekend middels een water(verschil)balans. Per peilvak wordt berekend hoeveel meer of minder water en moet worden afgevoerd door het oppervlaktewatersysteem. De waterbalans wordt gemaakt op de budgettermen RIV, DRN en OLF. De waterbalans wordt opgesteld voor alle peilvakken die waterschap Rivierland heeft aangeleverd. In deze rapportage worden alleen de resultaten voor zone 11 gepresenteerd. In Afbeelding 2.11 is de locatie van zone 11 weergegeven.

Afbeelding 2.11. De peilvakken waarvoor waterbalansen zijn opgesteld. Zone 11 betreft het direct aangrenzende peilvak



# 3

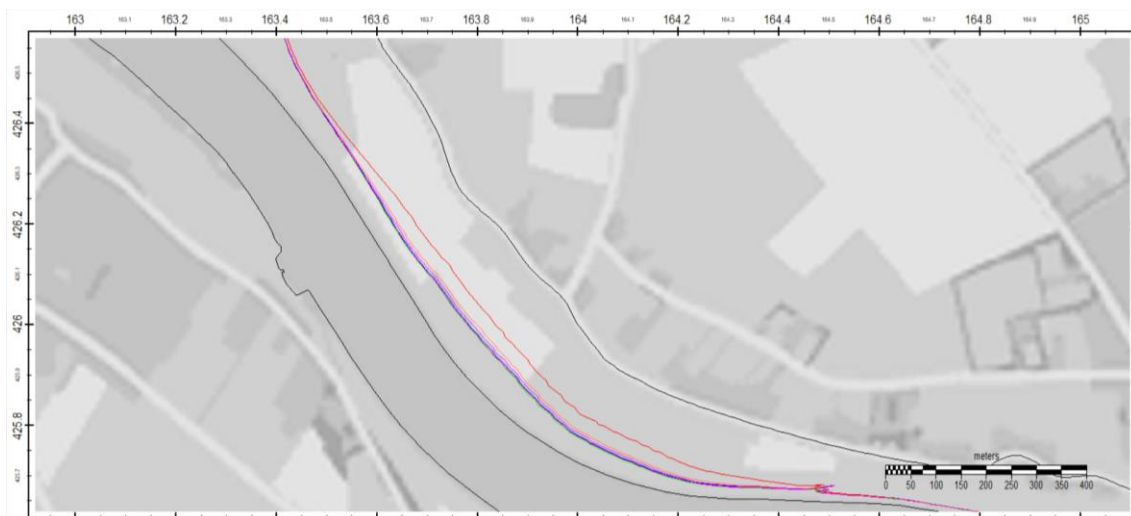
## RESULTATEN RIVIERONTWERP EN MITIGATIE

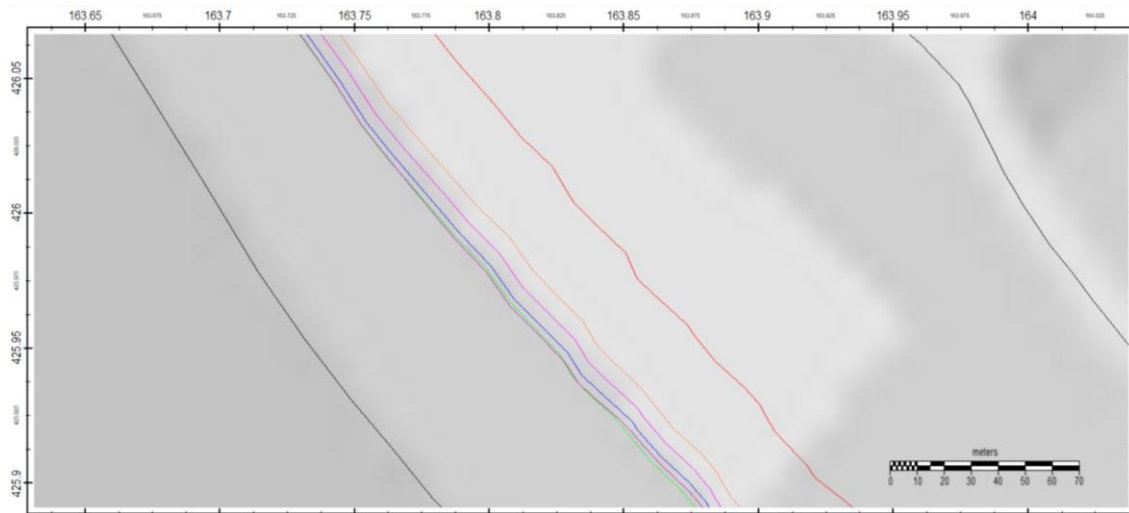
In dit hoofdstuk worden de kwantitatieve effecten beschreven die bepaald zijn met de in hoofdstuk 2 beschreven methode. De effecten zijn getoetst volgens de criteria van Rivierenland waarna is berekend hoe groot de eventuele mitigerende maatregelen moeten zijn voor een (ten aanzien van geohydrologische effecten) vergunbaar ontwerp.

### 3.1 Toetsing waterveiligheid

De berekende effecten op de waterveiligheid zijn weergegeven in Afbeelding 3.1. Het berekende effect is het grootst nabij de geul. Dit correspondeert met het feit dat hier ook de grootste weerstandsverschillen optreden. De resultaten zijn ook getalsmatig weergegeven in Tabel 3.1.

Afbeelding 3.1 De berekende effectieve voorlandlengtes langs de complete geul (boven) en in detail (onder). In groen de voorlandlengte voor de referentiesituatie, in rood van het rivierontwerp, in oranje, roze, blauw en paars de respectievelijke mitigatiescenario's met + 10, 20, 50 en 100 dagen weerstand in de geul





Tabel 3.1 Berekende effectieve voorlandlengte langs een profiel

berekening	Effectieve voorlandlengte (m)	Vershil (m)
referentie	180	-
rivierontwerp	135	45
mitigatie geul=10d	160	20
mitigatie geul=20d	168	12
mitigatie geul=50d	177	3
mitigatie geul=100d	180	0

In bovenstaande tabel is te zien dat bij een terug gebrachte weerstand van 20 dagen de afname nog 12 m is en bij het terugbrengen van 50 dagen weerstand neemt dit verder af tot 3 m. Bij een teruggebrachte geulweerstand van 100 dagen is het effect volledig verdwenen. In overleg met Waterschap Rivierenland is afgesproken dat het terugbrengen van minimaal 30 tot 50 dagen weerstand voldoende zal zijn.

## 3.2 Toetsing watersysteem

In deze paragraaf worden de effecten van het rivierontwerp en de mitigatiemaatregelen per onderwerp toegelicht.

### 3.2.1 Gemiddelde situatie

In deze paragraaf worden de resultaten van de gemiddelde stationaire berekening weergegeven.

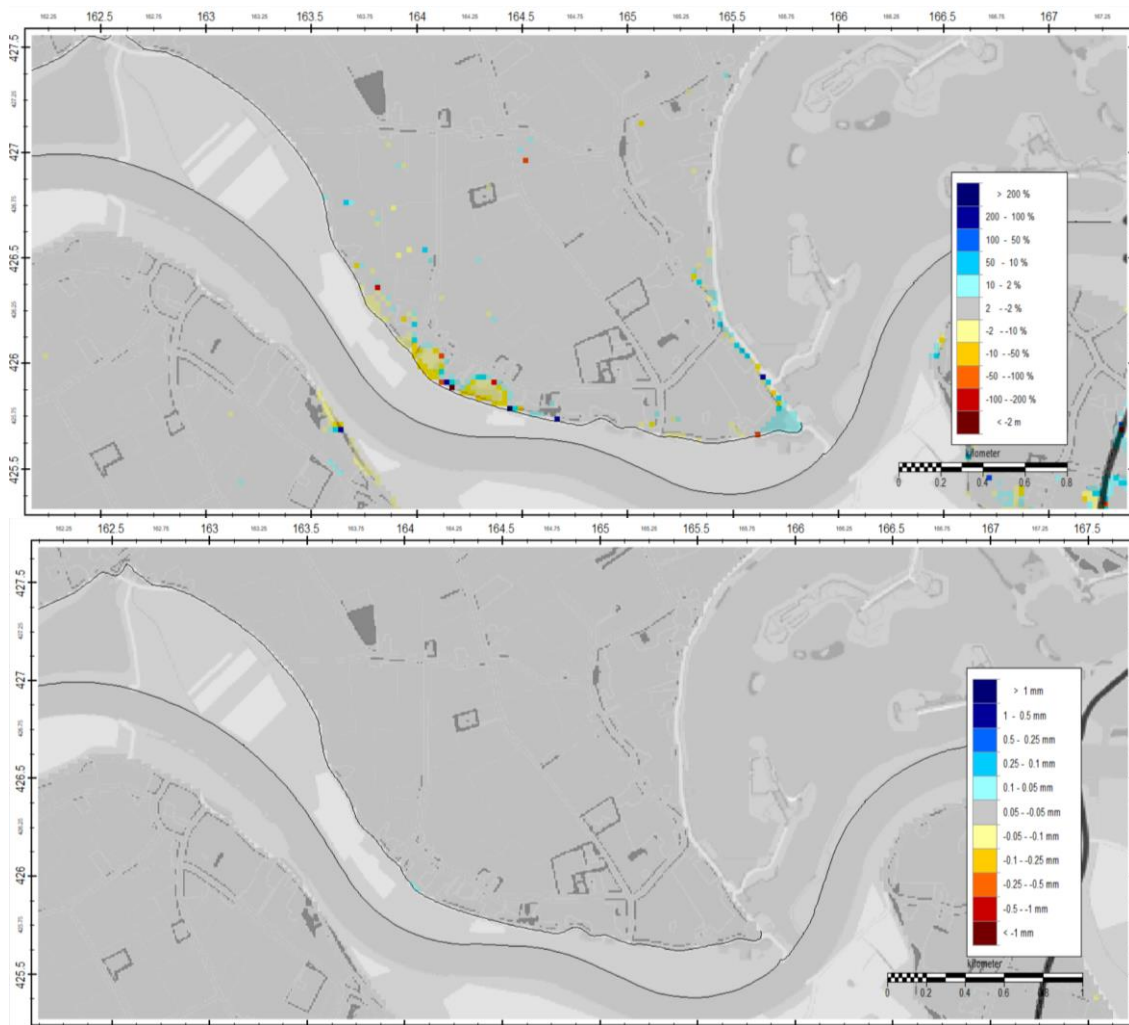
#### Effect op de grondwaterstand en stijghoogte

Voor de gemiddelde situatie worden bij het rivierontwerp geen effecten op stijghoogte en freatische grondwaterstanden berekend. Doordat de effecten initieel al klein waren zijn die van de mitigatie scenario's niet verder in beeld gebracht. Omdat er geen effecten zijn berekend worden deze ook niet in beeld gebracht in deze rapportage.

### Effect op diffuse kwel

Het berekende effect op diffuse kwel is weergegeven in Afbeelding 3.2. Het effect is beperkt en leidt direct achter de dijk juist tot een kleine procentuele afname. Het absolute verschil in mm is echter kleiner dan 0.05 mm<sup>1</sup> en valt daardoor binnen de modelonzekerheid van het grondwatermodel. Het verschil tussen relatief hoge procentuele verandering en zeer geringe absolute verandering komt door de rekenmethode. Als initieel bijvoorbeeld nagenoeg geen kwel of wegzijging wordt berekend, leidt elke verandering tot een procentuele grote verandering.

Afbeelding 3.2 Het berekende effect op diffuse kwel voor het rivierontwerp in procent (boven) en in mm (onder)



In de onderstaande

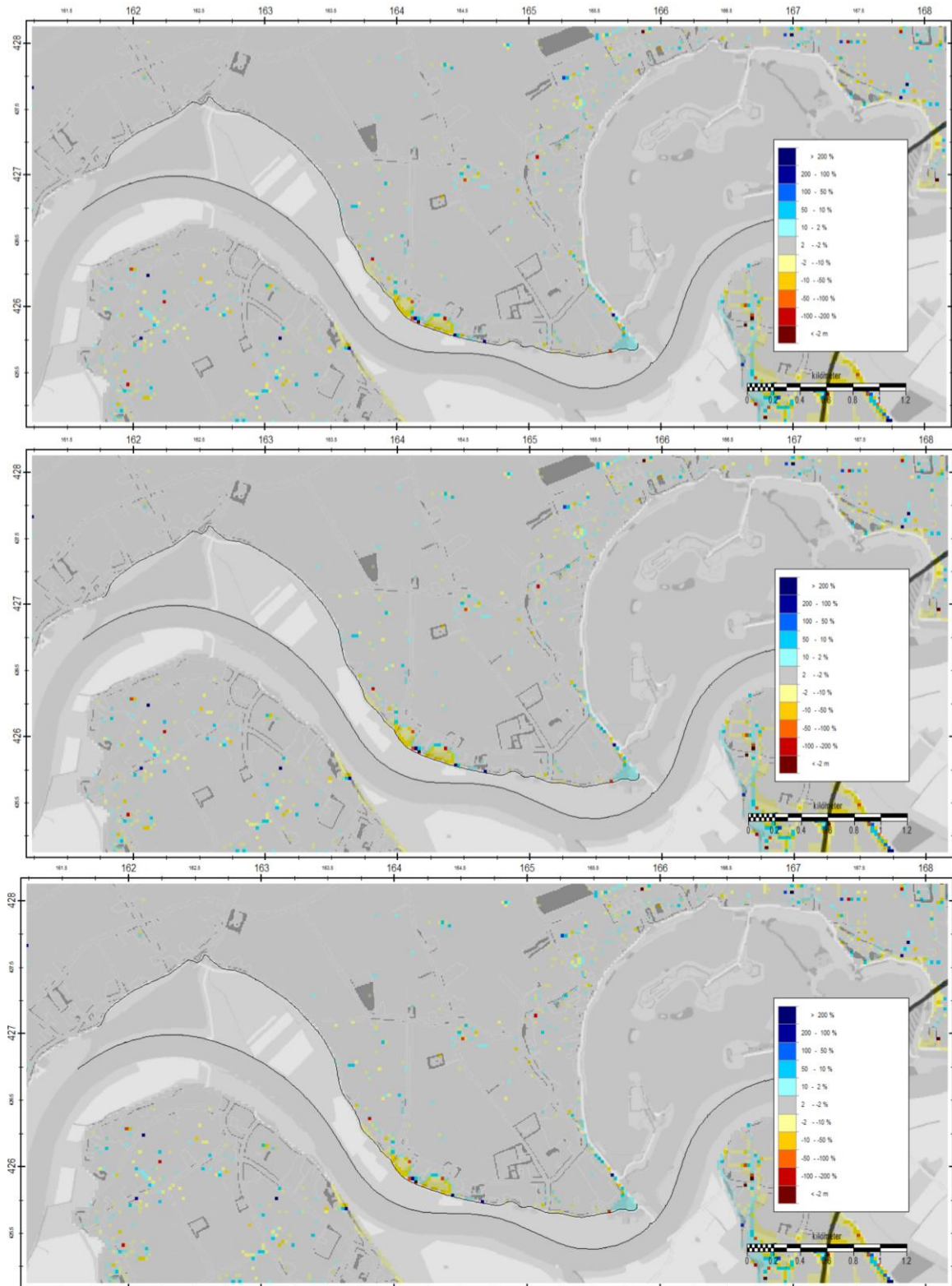
<sup>1</sup> Voor deze rapportage is gekozen voor een grenswaarde van 0.05 mm. TA UW hanteert normaal gesproken een minimale fluxverandering van 0.1 mm aan als grenswaarde.

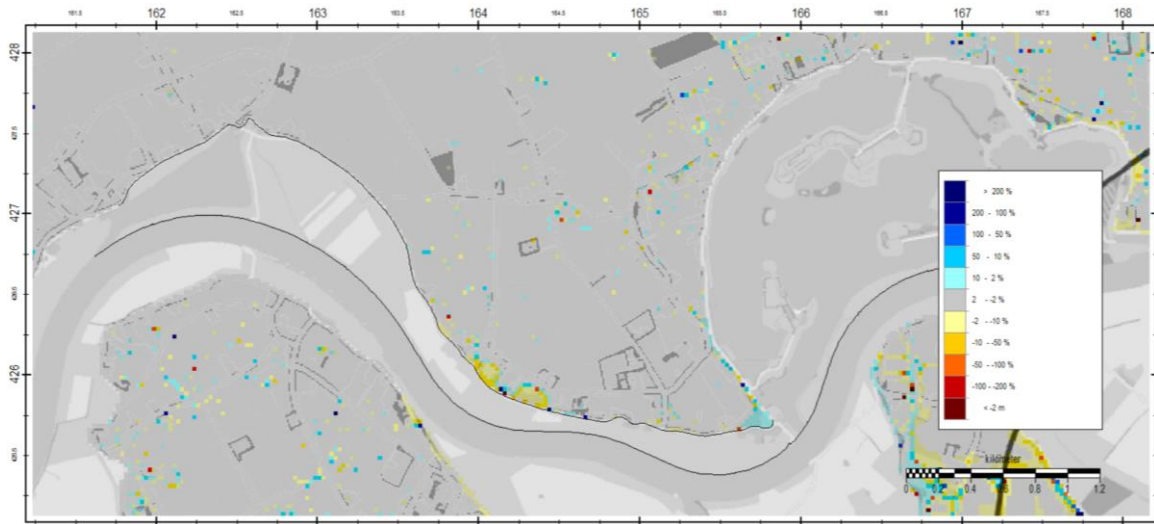


Afbeelding 3.3 zijn de effecten op diffuse kwel weergegeven voor de vier mitigatiescenario's. Doordat de effecten initieel al klein waren zijn er geen duidelijke verbeteringen zichtbaar bij de mitigatiescenario's. De effecten op het absolute verschil waren in de referentiesituatie al nihil en verbeteren dus niet bij de verschillende scenario's. In deze rapportage worden ze daarom verder niet weergegeven.



Afbeelding 3.3 Het berekende effect op diffuse kwel voor de mitigatie scenario's met een geulweerstand van 10 dagen (boven), 20 dagen (2<sup>e</sup> van boven), 50 dagen (2<sup>e</sup> van onderen) en 100 dagen (onder)

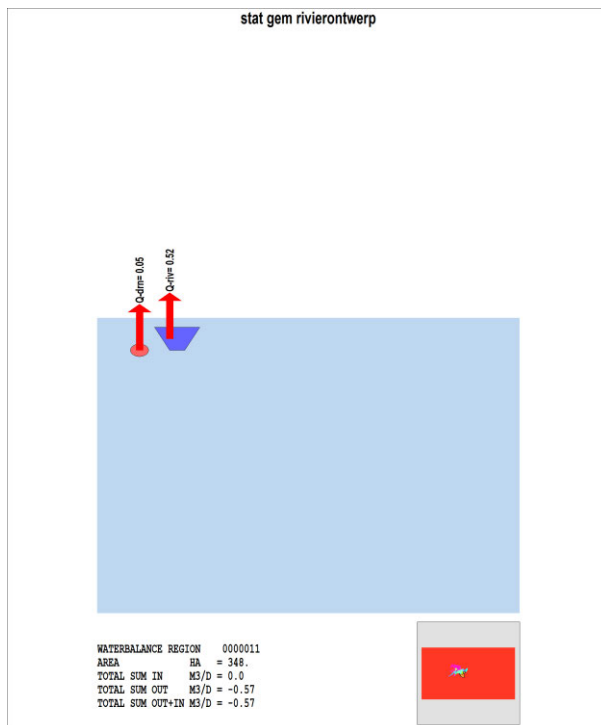




### Belasting van het oppervlaktewatersysteem

De belasting van het oppervlaktewatersysteem is weergegeven in Afbeelding 3.4. Het effect van het rivierontwerp is zeer beperkt. Doordat de effecten initieel al klein waren zijn die van de mitigatie scenario's niet verder in beeld gebracht.

Afbeelding 3.4 De verschilwaterbalans voor het binnendijkse watersysteem in m<sup>3</sup>/d (stationaire berekening)



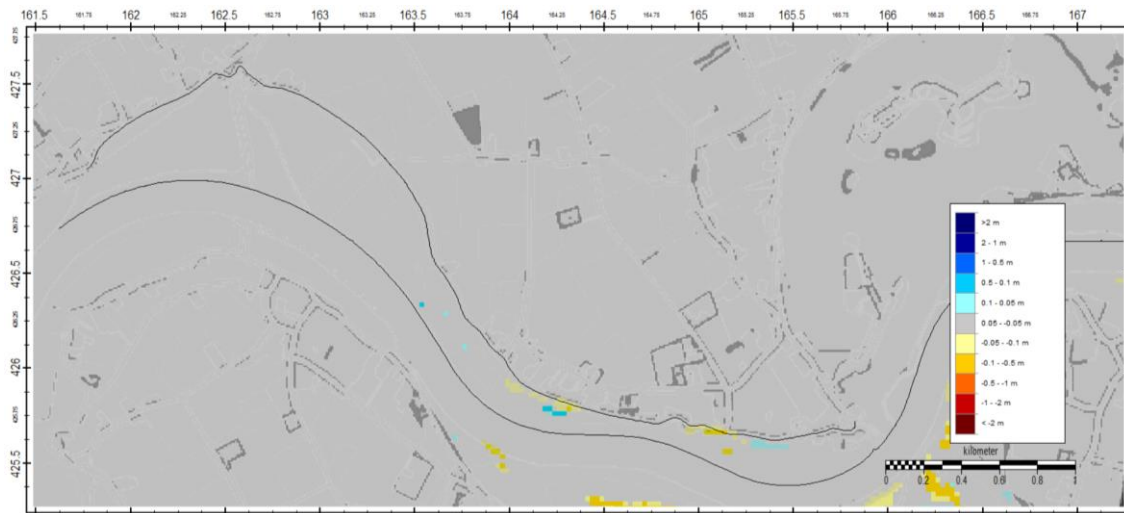
### 3.2.2 T=10 hoogwatersituatie

In deze paragraaf worden de resultaten van de in-stationaire berekening weergegeven.

#### Effect op de grondwaterstand en stijghoogte

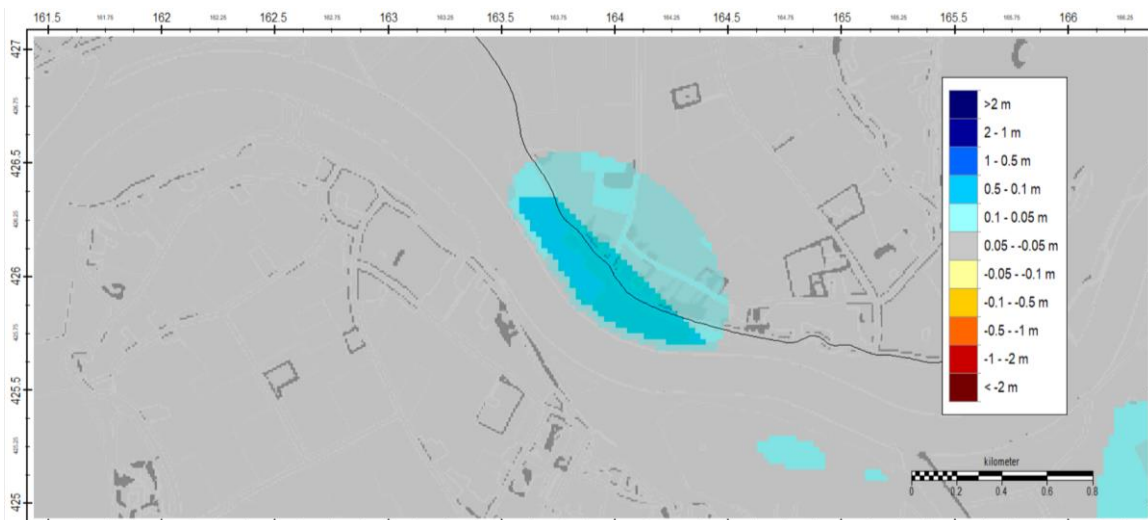
In Afbeelding 3.5 zijn de berekende freatische effecten weergegeven. Er worden geen effecten op de freatische grondwaterstand berekend die groter zijn dan 5 cm. Alle berekende effecten die kleiner zijn dan 5 cm vallen binnen de modelnauwkeurigheid en worden daarom niet gekwantificeerd als een effect. De berekende effecten voor de mitigatiescenario's zijn daarom verder niet in beeld gebracht.

Afbeelding 3.5 Berekende effect op de freatische grondwaterstand voor het rivierontwerp



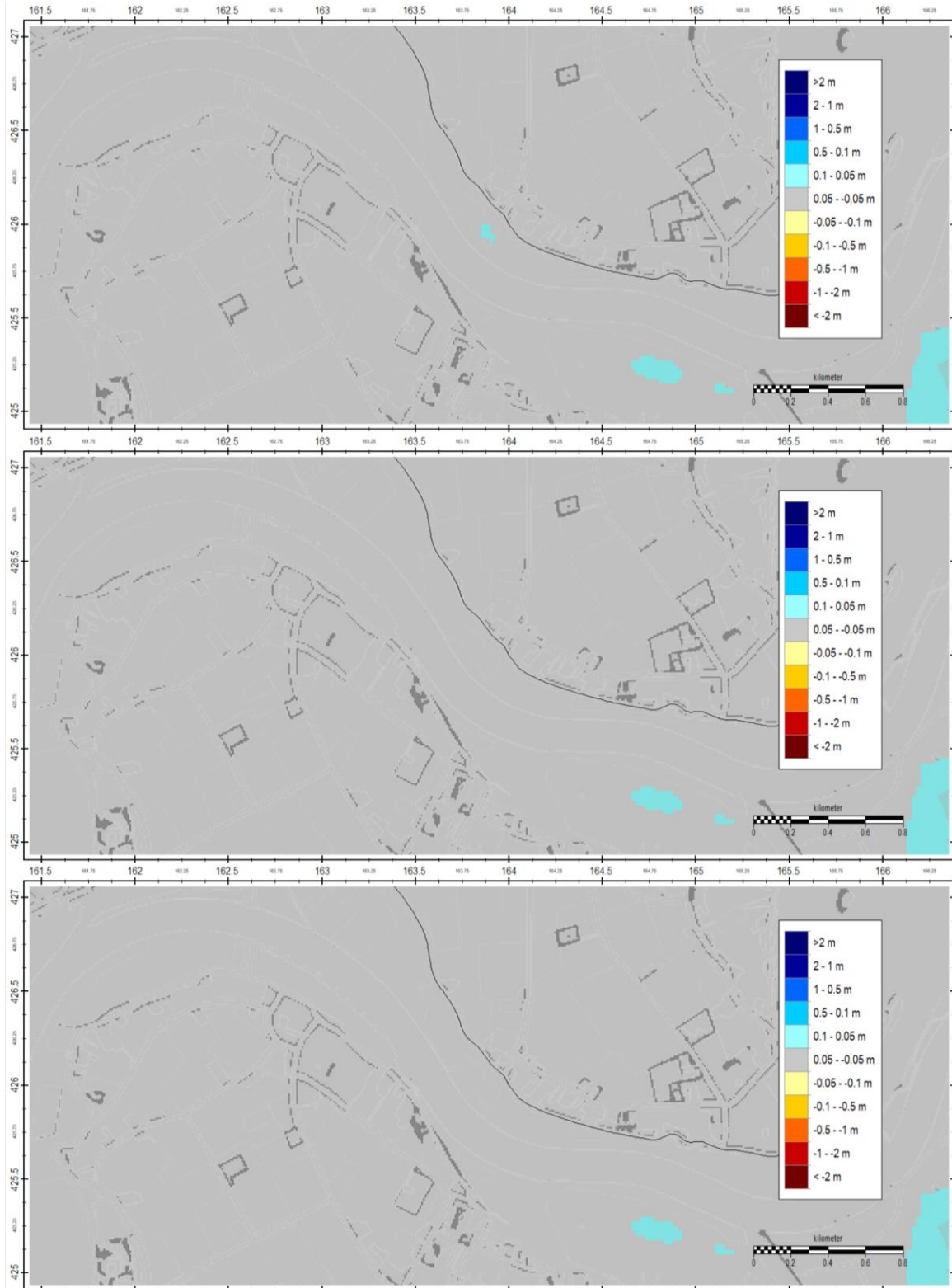
In Afbeelding 3.6 zijn de berekende effecten op de stijghoogte in het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket weergegeven. Het effect is maximaal 10 cm ter plaatse van de geul.

Afbeelding 3.6 Berekende effect op de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket voor het rivierontwerp

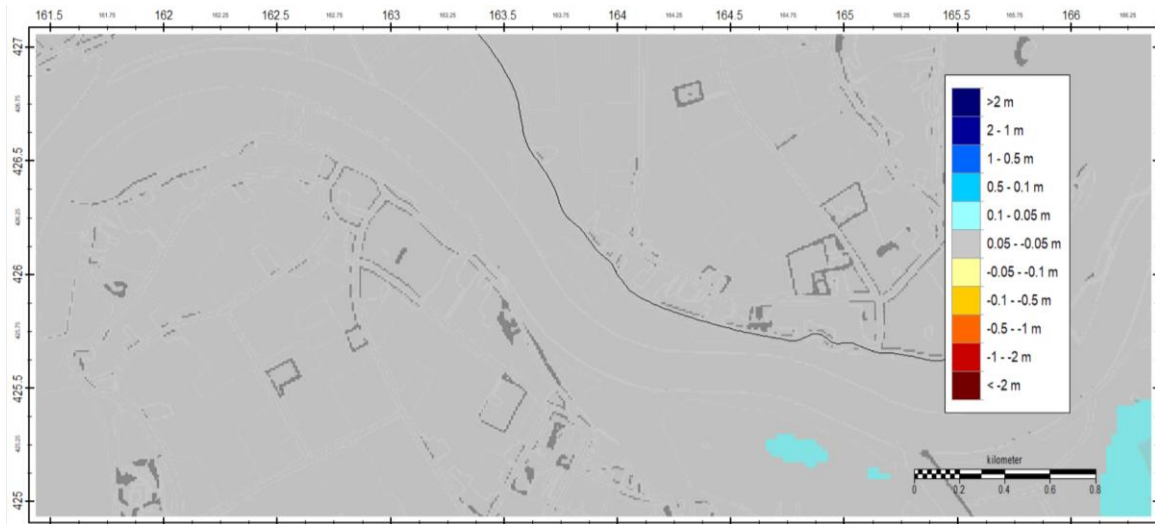


In Afbeelding 3.7 zijn de effecten op de stijghoogte weergegeven voor de vier mitigatiescenario's. Het berekende effect van het rivierontwerp is bij een minimale geulweerstand van 10 dagen al verdwenen. De aanvullende scenario's met 20 tot en met 100 dagen geulweerstand leiden dus niet tot veel extra verbetering.

Afbeelding 3.7 Het berekende effect op de stijghoogte voor de mitigatie scenario's met een geulweerstand van 10 dagen (boven), 20 dagen (2<sup>e</sup> van boven), 50 dagen (2<sup>e</sup> van onderen) en 100 dagen (onder)



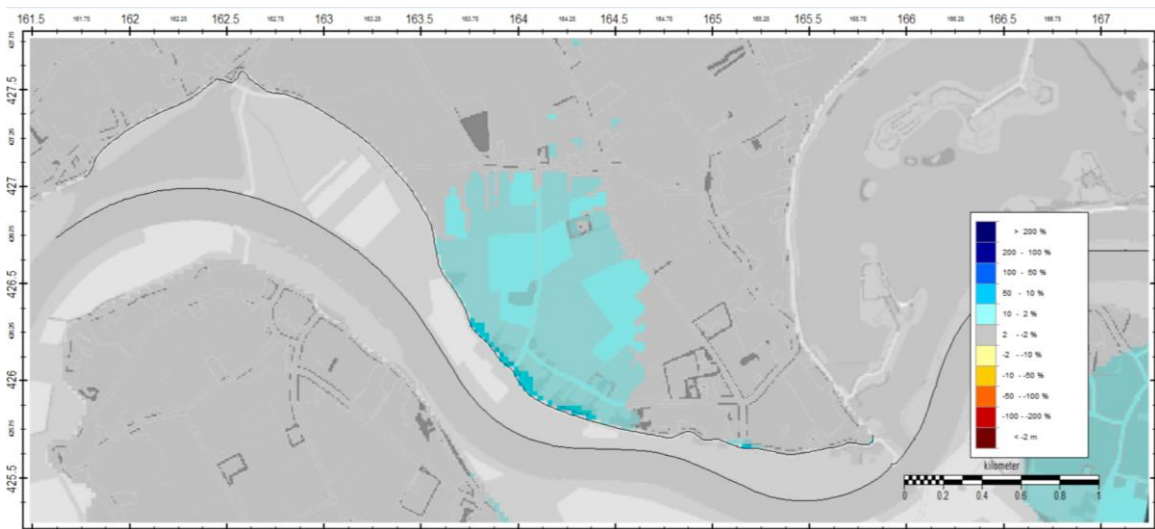


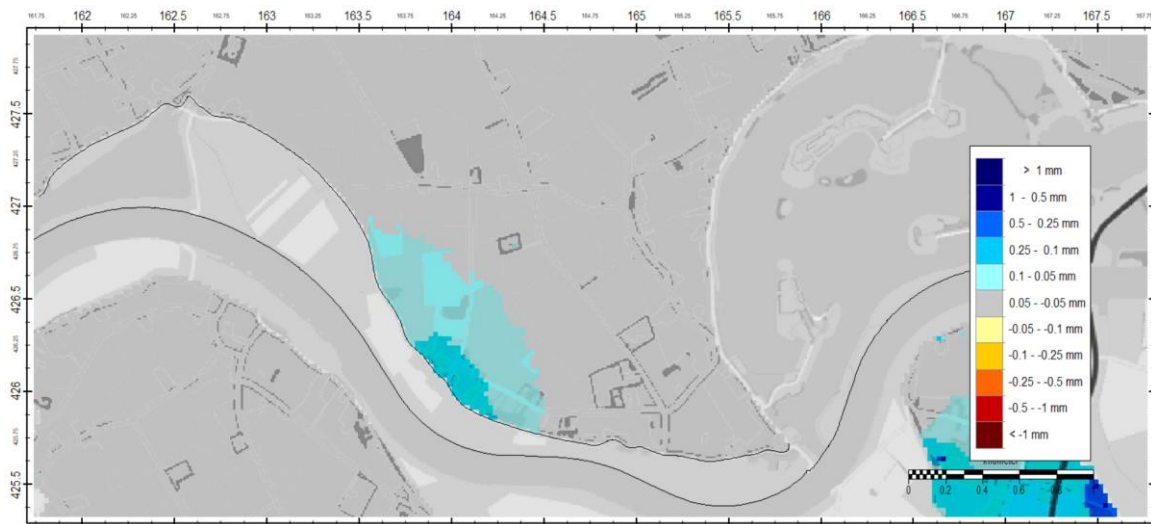


### Effect op diffuse kwel

Het berekende effect op diffuse kwel is weergegeven in Afbeelding 3.8. Het effect is maximaal 15 % direct achter de dijk en richting de 2-5 % op enige afstand van de dijk. In absolute zin is het effect maximaal 0,15 mm.

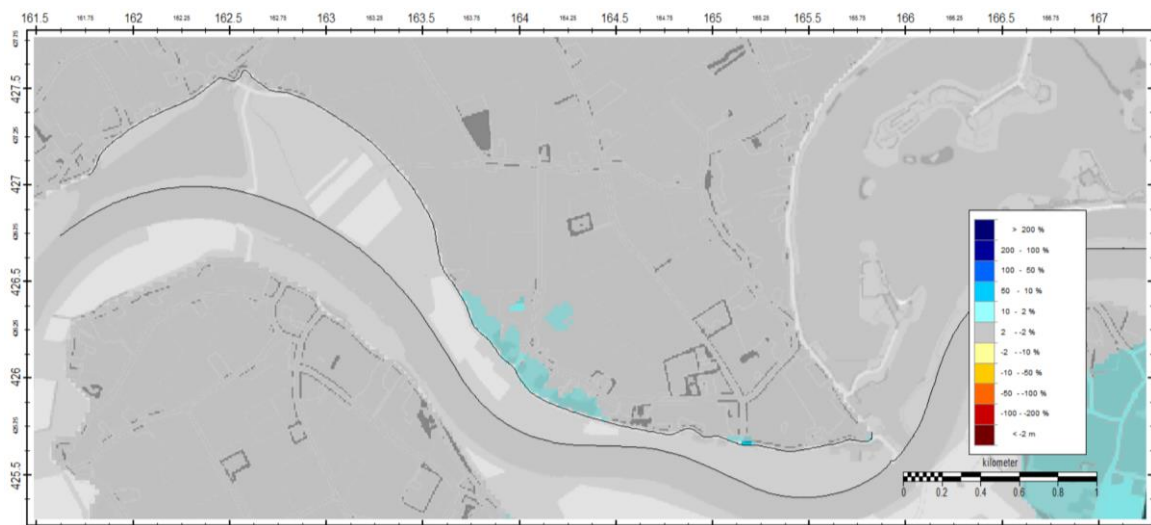
Afbeelding 3.8 Het berekende effect op diffuse kwel voor het rivierontwerp in procent (boven) en in mm (onder)

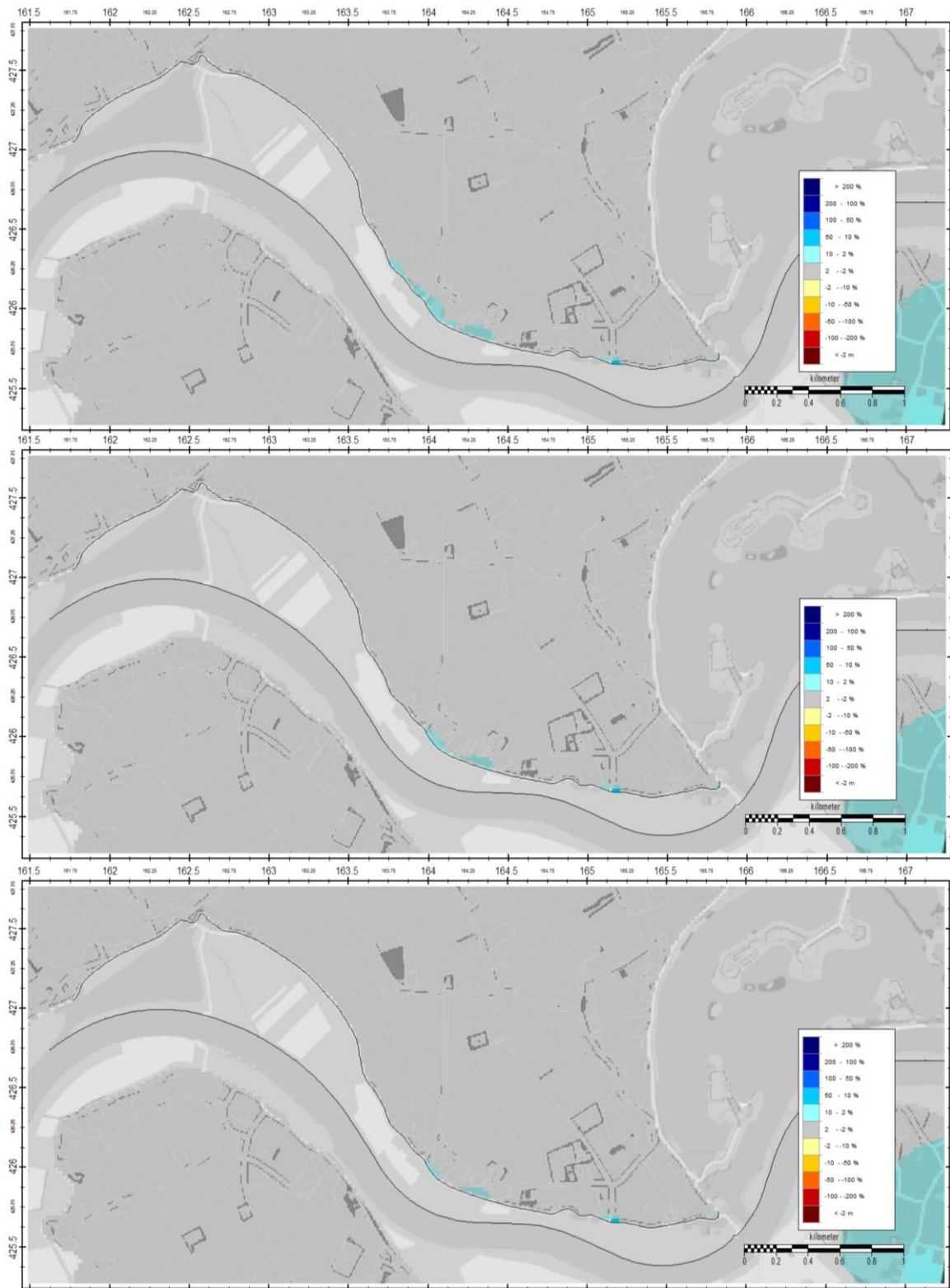




In Afbeelding 3.9 zijn de effecten op diffuse kwel in procent weergegeven voor de vier mitigatiescenario's. In Afbeelding 3.10 zijn de effecten op diffuse kwel in mm weergegeven voor de vier mitigatiescenario's. Bij de scenario's met een geulweerstand van 10, 20 en 50 dagen is een afname van het effect op diffuse kwel duidelijk zichtbaar. Bij een geulweerstand van 100 dagen is geen aanvullende significante verbetering zichtbaar.

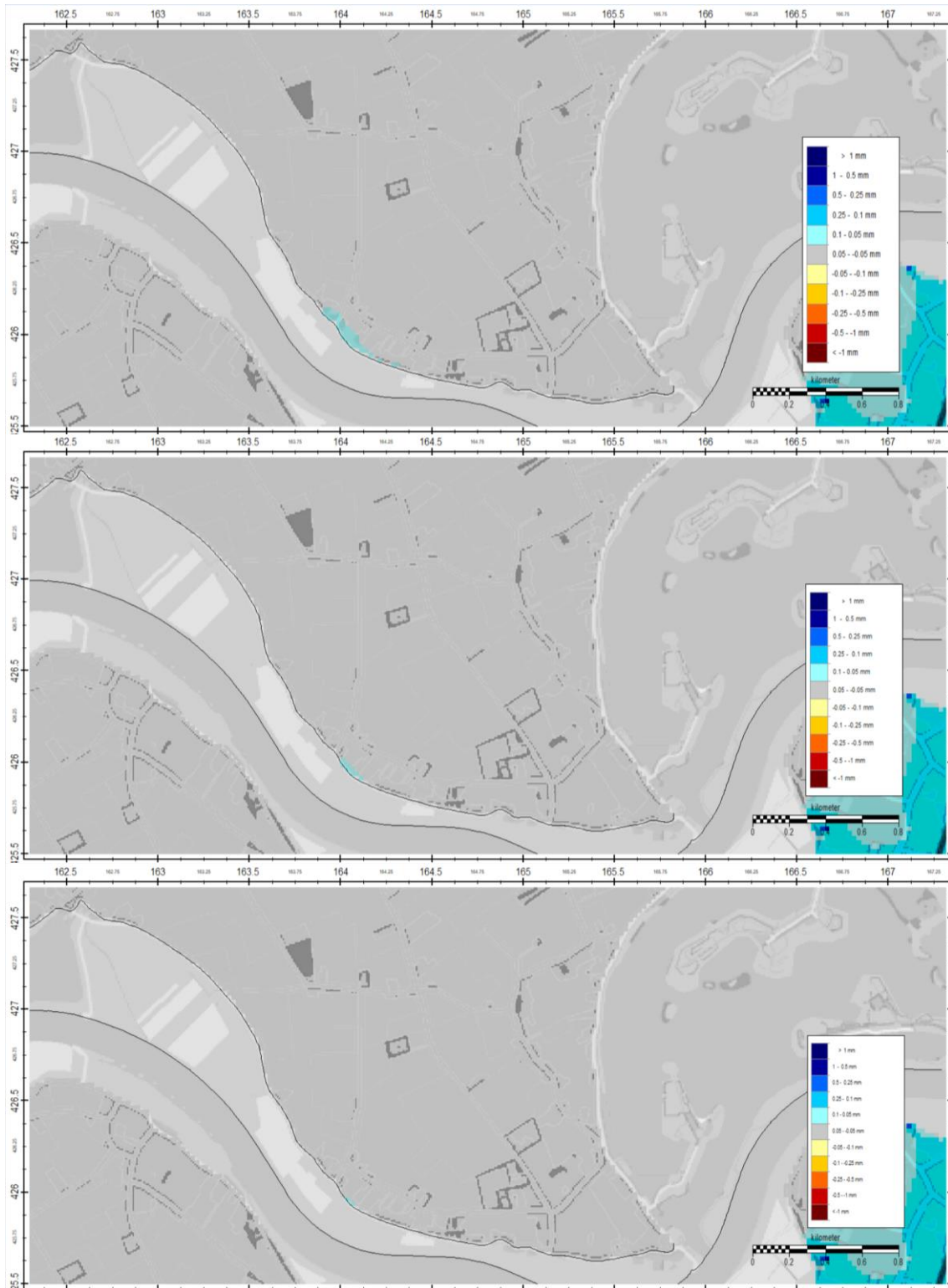
Afbeelding 3.9 Het berekende effect op diffuse kwel in procent voor de mitigatie scenario's met een geulweerstand van 10 dagen (boven), 20 dagen (2<sup>e</sup> van boven), 50 dagen (2<sup>e</sup> van onderen) en 100 dagen (onder)

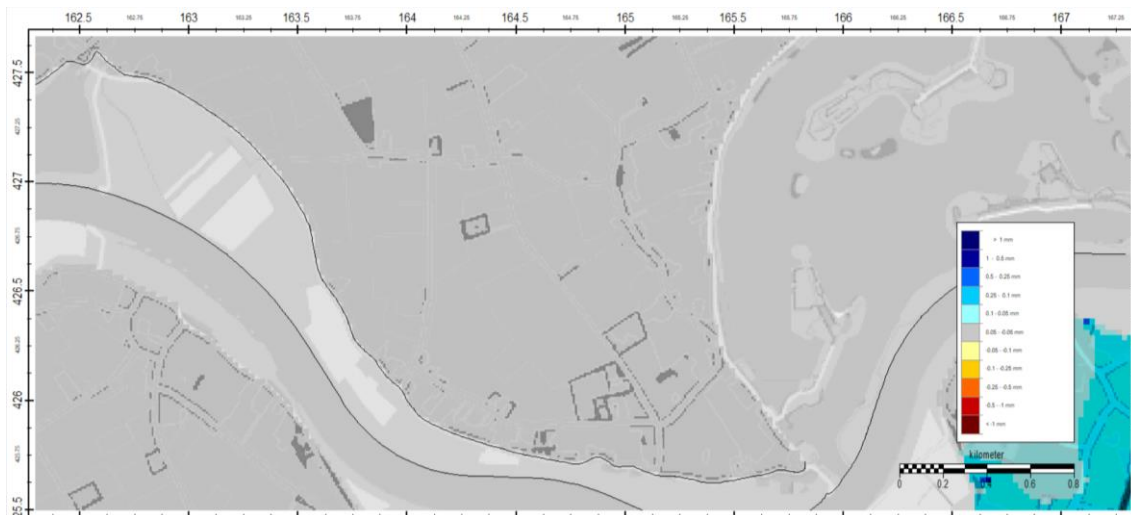






Afbeelding 3.10 Het berekende effect op diffuse kwel in mm voor de mitigatie scenario's met een geulweerstand van 10 dagen (boven), 20 dagen (2<sup>e</sup> van boven), 50 dagen (2<sup>e</sup> van onderen) en 100 dagen (onder)

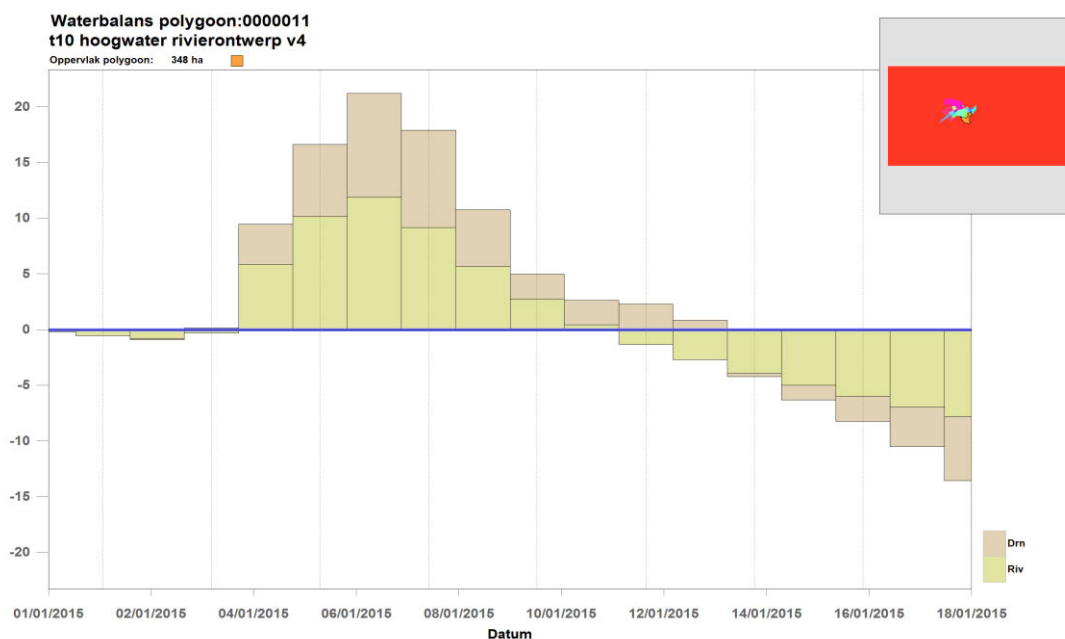




### Belasting van het oppervlaktewatersysteem

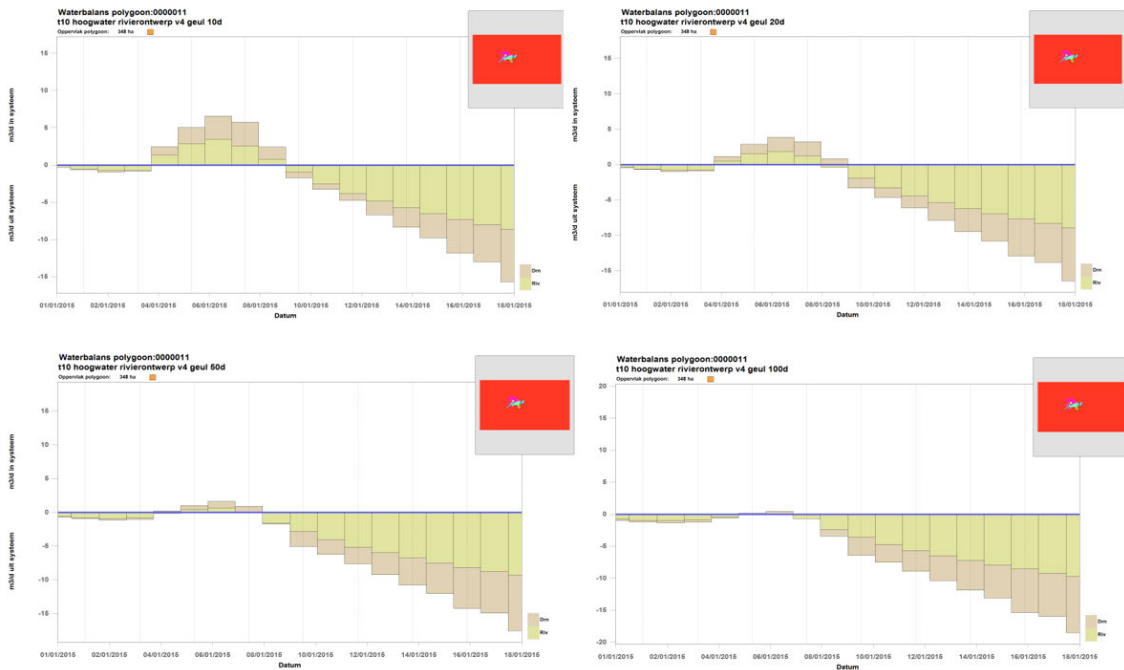
De belasting van het oppervlaktewatersysteem is weergegeven in Afbeelding 3.10. Dit betreft een in-stationaire verschilwaterbalans. Tijdens de gehele hoogwatergolf blijven de waterlopen altijd draineren. Een positief verschil in de verschilbalans betekent dat de ontwateringsmiddelen meer moeten afvoeren. Een negatief verschil betekent dat de ontwateringsmiddelen minder hoeven af te voeren. Netto gezien over de gehele golf is de toename circa  $2 \text{ m}^3/\text{d}$ . Dit is verwaarloosbaar in relatie tot het totale drainagegebied voor zone 11 (ordegrootte van  $5.000$  tot  $10.000 \text{ m}^3/\text{d}$ ). De maximale toename is circa  $20 \text{ m}^3/\text{d}$  tijdens de piek van de hoogwatergolf. De afname van het afvoerdebiet in de 'staart' wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat bij het geulontwerp delen van de uiterwaarde langer 'onder water staan' bij een lager peil, waardoor de Maas een sterkere drainerende functie krijgt.

Afbeelding 3.10. De verschilwaterbalans voor het rivierontwerp. Op de y-as is het verschildebiet weergegeven in  $\text{m}^3/\text{dag}$ . Een positief verschil betekent dat de drainagesloten meer moeten afvoeren. Een negatief verschil betekent dat de drainagesloten minder hoeven af te voeren. Over de gehele periode zullen de ontwateringsloten blijven afvoeren. Tijdens het hoogwater is de maximale toename circa  $20 \text{ m}^3/\text{d}$ .



In Afbeelding 3.11 is de belasting van het oppervlaktewatersysteem weergegeven voor de vier mitigatiescenario's. Bij een geulweerstand van 20 dagen is het effect al beperkt tot minder dan 5 m<sup>3</sup>/d toename tijdens de piek.

Afbeelding 3.11 De verschil waterbalansen voor de mitigatiescenario's met een geulweerstand van 10 (linksboven), 20 (rechtsboven), 50 (linksonder) en 100 dagen (rechtsonder). Op de y-as is het verschildebiet weergegeven in m<sup>3</sup>/dag



# 4

## CONCLUSIE EN AANBEVELING

In dit hoofdstuk zijn de conclusies beschreven zoals ze getrokken kunnen worden uit de analyses en zoals ze besproken zijn in het afrondende overleg op 21 mei 2021 (verslag in de bijlage)

### 4.1 Conclusie waterveiligheid

Het rivierontwerp heeft een duidelijk effect op de waterveiligheid. De effectieve voorlandlengte neemt af met circa 45 m (25 % ten opzichte van referentie). Door het terugbrengen van een minimale geulweerstand van 20 of 50 dagen kan deze afname worden gereduceerd tot respectievelijk 12 en 3 m (7 % en 2 % ten opzichte van referentie). Bij een geulweerstand van 100 dagen is het effect geheel verdwenen. In overleg met Waterschap Rivierenland is besproken dat het terugbrengen van minimaal 30 tot 50 dagen weerstand voldoende is.

### 4.2 Conclusie watersysteem

Het effect van het rivierontwerp op het watersysteem is relatief beperkt. Dit komt omdat de geul dicht bij het zomerbed van de rivier wordt gerealiseerd. Dicht bij het zomerbed zal het potentiaalverschil tussen stijghoogte en rivierpeil beperkt zijn. Het aanbrengen van de geul zal dus niet resulteren in een grote toename van de flux richting het watervoerende pakket. Wel komt het rivierpeil dichterbij richting de dijk te liggen.

Het effect bij een gemiddelde stationaire situatie is beperkt en verbetert hierdoor niet verder bij het aanbrengen van een minimale geulbodemweerstand.

Het effect bij een  $T=10$  hoogwatergolf op de stijghoogte is maximaal 20 cm, het effect op de diffuse kwel is maximaal 1,5% en tijdens de piek van de hoogwatergolf is de toename van de afvoer van het oppervlakte-watersysteem circa  $20 \text{ m}^3/\text{d}$ . Er wordt geen effect berekend op de freatische grondwaterstand. Bij het terugbrengen van een minimale waterbodemweerstand van 20 tot 50 dagen zoals vanuit het oogpunt van waterveiligheid reeds nodig is, zijn de effecten grotendeels verdwenen. Daarmee is voor het watersysteem de conclusie getrokken dat het terugbrengen van 20 tot 50 dagen weerstand voldoende zal zijn. De eisen vanuit waterveiligheid zijn dus strenger waarmee de conclusie is dat in het project 30 tot 50 dagen weerstand teruggebracht moet worden ten opzichte van het VO.

### 4.3 Aanbevelingen

Er is gezamenlijk bepaald op welke wijze de effecten berekend worden. Daarbij is de nauwkeurigheid van de schematisatie van de deklaag in het grondwatermodel afhankelijk van de boringen die beschikbaar zijn, van de interpolatiemethode en van de gebruikte kengetallen. Het model kan dus afwijken van de praktijk. Het advies is daarom om bij de uitvoering van het project bij de afgravingen altijd van tevoren te meten wat de dikte van de kleilaag is en op basis daarvan te bepalen of er een weerstandslaag teruggebracht dient te worden om de afgesproken weerstand te halen.

Ook is de aanbeveling om na aanleg de binnendijkse freatische effecten te monitoren om tijdig eventuele onverwachte effecten in beeld te krijgen.



# 5

## REFERENTIES

- 1 Projectteam innovatietraject Meanderende Maas (2020). Beschrijving referentie grondwatermodel, zelfstandig leesbare bijlage deelproduct 5.
- 2 Ingenieursteam Meanderende Maas. (2020). VO Dijk ontwerploop 1, ontwerprapportage piping. Definitief 100 % (VO-2.2.1d-21-000.432-R023), 12 januari 2021.
- 3 Technische Adviescommissie voor Waterkeringen (2004). Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken. DWW-2004-057.
- 4 Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019). Schematiseringshandleiding piping. Definitief.