



Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk

Effectrapportage Ontwerploop 2 geohydrologie

Waterschap Vallei en Veluwe

16 augustus 2024

Project
Opdrachtgever

Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk
Waterschap Vallei en Veluwe

Document
Status
Datum
Referentie

Effectrapportage Ontwerploop 2 geohydrologie
Definitief 03
16 augustus 2024
124281-6.2/24-011.682

Projectcode

124281

Dit document is geautoriseerd en intern aantoonbaar vrijgegeven conform het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos.

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

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

© 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

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding voor gebiedsontwikkeling Grebbedijk	5
1.2	Projectgebied	5
1.3	Voorgeschiedenis	6
1.4	Projectdoel	7
1.5	Doel rapportage	7
1.6	Leeswijzer	8
2	PROJECTKADERS	9
2.1	Projecteisen	9
2.2	Aanvullende eisen TenneT	9
2.3	Uitgangspunten	10
2.4	Beoordelingsmethodiek	10
3	VERWERKEN RUIMTELIJKE ONTWIKKELINGEN IN MODEL	12
3.1	Ruimtelijke ontwikkelingen	12
3.2	Referentiemodel	13
3.3	Autonome ontwikkelingen	13
3.4	Ontwerploop 2	14
	3.4.1 Horizontale anisotropie	14
	3.4.2 Bergingscoëfficiënt	16
	3.4.3 Horizontale stromingbarrières	17
	3.4.4 Onverzadigde zone	20
	3.4.5 Rivieren	20
	3.4.6 Verticale weerstand	21
3.5	GxG	22
3.6	Waterwijzer Landbouw	22
4	RESULTATEN	23
4.1	Referentiesituatie	23
4.2	Ontwerploop 2	25

4.3	Effectbeoordeling	29
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	36
5.1	Conclusie	36
5.2	Aanbevelingen	38
6	REFERENTIES	39
	Laatste pagina	39
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Zone damwand ontwerploop 2	2
II	Resultaten referentiesituatie	5
III	Resultaten ontwerploop 2	3
IV	Uitkomsten WaterWijzer Landbouw	2
V	Daling Gemiddeld Laagste Grondwaterstand panden	3

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding voor gebiedsontwikkeling Grebbedijk

De Grebbedijk beschermt de bewoners van de Gelderse Vallei tegen hoge waterstanden in de Nederrijn. Ook in de toekomst moet de dijk veiligheid bieden. Op dit moment voldoet de dijk niet aan de benodigde sterkte volgens de wettelijk voorgeschreven normering. Daarom gaat Waterschap Vallei en Veluwe de dijk verbeteren.

De verbetering van de dijk is een kans om tegelijk het omliggende gebied aan te pakken. De Grebbedijk, de Nederrijn en de uiterwaarden vormen namelijk bijzondere riviernatuur voor recreatie, zoals wandelen en fietsen. Het gebied heeft ook een belangrijke functie voor planten en dieren, omdat het de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe met elkaar verbindt.

In de plannen van de gebiedsontwikkeling Grebbedijk staat waterveiligheid centraal. Daarnaast worden de natuur en cultuur versterkt en het gebied aantrekkelijker gemaakt voor recreatie. Acht partners werken in deze gebiedsontwikkeling samen: het waterschap, gemeenten Wageningen en Rhenen, provincies Gelderland en Utrecht, Rijkswaterstaat, Utrechts Landschap en Staatsbosbeheer. Bewoners, ondernemers, belangenverenigingen en andere geïnteresseerden uit de omgeving zijn hierbij betrokken.

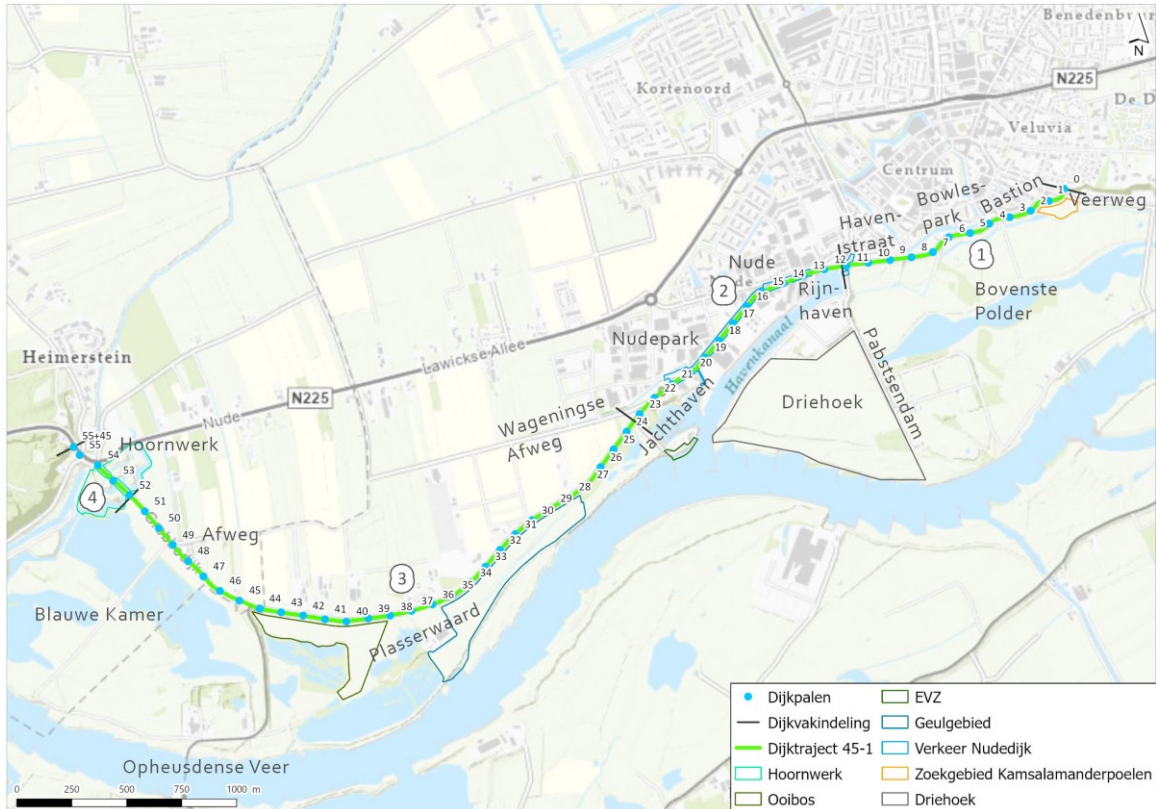
1.2 Projectgebied

Het projectgebied, zie afbeelding 1.1, bevindt zich tussen de Wageningse berg (Veluwe) aan de oostzijde en de Grebbeberg (Utrechtse Heuvelrug) aan de westzijde.

De Grebbedijk (dijktraject 45-1) beschermt de Gelderse Vallei tegen hoogwater vanuit de Nederrijn. De dijk is 5,5 km lang. Het traject start bij de Wageningse Berg (dijkpaal 0) tot aan de Grebbeberg in Rhenen (dijkpaal 55). De Grebbedijk is, ondermeer vanuit de landschappelijke karakteristieken, opgedeeld in vier deelgebieden: stedelijk gebied, Nudedijk, landelijk gebied en dijk door het Hoornwerk.

Aan de Grebbedijk liggen verschillende uiterwaarden. In een eerdere fase (de verkenning) is onderzocht welke opgaven gekoppeld kunnen worden aan de dijkversterking en hoe opgaven elkaar kunnen versterken. Daaruit is één integrale gebiedsontwikkeling als voorkeursalternatief vastgelegd. Het voorkeursalternatief verenigt de dijkversterking met de volgende opgaven: natuurontwikkeling in de Bovenste Polder en de Driehoek aan de oostzijde van het projectgebied, verbetering van de verkeersveiligheid bij de Nudedijk, natuurontwikkeling in de Plasserwaard en ontwerpen met cultuurhistorie bij het Hoornwerk nabij de Grebbeberg.

Afbeelding 1.1 Gebiedsontwikkeling Grebbedijk



1.3 Voorgeschiedenis

Initiatiefase

Vanaf 2014 was duidelijk dat de Grebbedijk niet voldeed aan de toenmalige landelijke hoogwaterveiligheidsnormen. Dit betekent niet dat er een urgent probleem is, maar dit is het signaal om een dijkversterking of een andere oplossing voor te gaan bereiden.

Vanaf deze tijd onderzocht Waterschap Vallei en Veluwe samen met de gemeente Wageningen en de provincies Utrecht en Gelderland of de benodigde verbetering van de Grebbedijk ook kansen bood voor andere ruimtelijke opgaven en ambities. In 2016 sloten Rijkswaterstaat en Staatsbosbeheer zich aan bij deze aanpak. Later sloten ook gemeente Rhenen en Utrechts landschap zich bij de gebiedspartners aan.

Een aanvullende veiligheidsrapportage van de Grebbedijk concludeerde, op basis van het wettelijk beoordelingsinstrumentarium 2017 (WBI), dat de dijk de signaleringsnorm overschreed. Op basis hiervan is de dijkversterking in het programma van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) opgenomen. De gebiedspartners schreven samen het plan van aanpak voor de eerste fase van de planvorming.

Fasering binnen het HWBP

De planvorming voor dijkversterkingen volgt vanuit een door het HWBP opgelegde fasering voor de totstandkoming van het ontwerp. Na opname in het HWBP wordt voor de dijkversterking de volgende fasering doorlopen:

- de verkenningsfase. In deze fase onderzochten de gebiedspartners, verschillende oplossingen voor het hoogwaterveiligheidsprobleem en de gebiedsopgave. De verkenning had als doel een voorkeursalternatief vast te stellen. Het waterschap en haar partners besloten in 2020 over het voorkeursalternatief;

- de planuitwerkingsfase. In de planuitwerking werkt het waterschap met partners het voorkeursalternatief uit tot het detailniveau dat nodig is voor de besluitvorming van provincie en gemeenten over het plan (projectbesluit en omgevingsvergunningen) en de (overige) vergunningen. Bovendien moet de planuitwerking leiden tot financiering van de realisatiefase vanuit het HWBP. Deze fase eindigt met het nemen van deze besluiten;
- de realisatiefase. In de realisatiefase voert het waterschap de dijkversterkingsmaatregelen uit. Wanneer de realisatiefase is afgerond, voldoet de dijk weer aan de norm voor hoogwaterveiligheid. Deze fase wordt afgesloten met oplevering van de versterkte dijk en overdracht aan de beheersorganisatie van het waterschap.

Voorkeursalternatief

In de verkenning zijn uiteindelijk diverse oplossingen afgewogen en is gekozen voor één integraal, maatschappelijk en bestuurlijk gedragen, voorkeursalternatief. In het voorkeursalternatief zit de versterking van de Grebbedijk en maatregelen op gebied van natuurontwikkeling, recreatie, ruimtelijke kwaliteit, verkeersveiligheid en duurzaamheid. In dit voorkeursalternatief is rekening gehouden met maatschappelijke belangen en randvoorwaarden en het voldoet aan de veiligheidsopgave. De 'nota voorkeursalternatief gebiedsontwikkeling Grebbedijk' is in 2020 gepubliceerd¹.

1.4 Projectdoel

De overkoepelende doelstelling van het project 'gebiedsontwikkeling Grebbedijk' is het realiseren van een veilige en leefbare dijk in een mooie omgeving door invulling te geven aan de gebiedsambities.

De volgende doelstellingen met betrekking tot de hoogwaterveiligheid en natuur worden in ieder geval gerealiseerd:

- 1 het verwezenlijken van een versterking van de Grebbedijk, zodat dit waterstaatswerk voldoet aan de wettelijke hoogwaterveiligheidsnormen;
- 2 het creëren van mogelijkheden voor het verwezenlijken van een geul in de Plasserwaard. Hiermee wordt circa 2,5 ha open water voor de Nadere uitwerking Riviergebied (NURG) gerealiseerd. De geul voldoet eveneens aan opgaven vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW);
- 3 het creëren van mogelijkheden voor het verwezenlijken van natuurontwikkeling vanuit Natura 2000-, Gelders Natuur Netwerk (GNN)- en NURG-opgaven.

Daarnaast wil het project gebiedsambities (zoals de verkeersveiligheid en herstel van het Hoornwerk) realiseren en invulling geven aan vergroten van het waterveiligheidsbewustzijn in de Gelderse Vallei.

1.5 Doel rapportage

De maatregelen die zijn voorzien hebben mogelijk effect op het geohydrologisch systeem. Het doel van de voorliggende rapportage is om de geohydrologische effecten van de dijkalternatieven en natuuropgaven in kaart te brengen. Met een grondwatermodel wordt het effect van de maatregelen op de grondwaterstand en -stroming afgeleid. Een toelichting op het gebruikte grondwatermodel is beschreven in paragraaf 0. De berekende grondwatereffecten worden vervolgens getoetst voor o.a. de stedelijke omgeving en voor landbouw. De milieueffectrapportage (separaat document) gaat in op de effecten voor archeologie en natuur.

¹ https://www.grebbedijk.com/kennisbank/200416_grebbedijk_adviesnota-vka_incl_bijlagen_v3.pdf.

1.6 Grondwatermodel

De geohydrologische effecten van de dijkversterking en de natuuropgaven worden bepaald met een aangepaste en verkleinde versie van het grondwatermodel AZURE versie 1.0.4 bèta. AZURE versie 1.0.4 bèta is gebaseerd op de gekalibreerde versie AZURE 1.0.3. Het gebruikte deelmodel van de Gelderse Vallei is met behulp van de DINOloket peilbuizen en projectpeilbuizen gevalideerd. Ook zijn lokaal verbeteringen toegepast die de afwijking tussen gemeten en gemodelleerde grondwaterstanden verder verkleind hebben. In overeenstemming met WSVV is bepaald dat het model na de uitgevoerde kalibratie- en validatiestudie als geschikt is bevonden voor het berekenen van de effecten van de dijkversterking en de natuuropgaven [ref. 9].

1.7 Leeswijzer

De hoofdstuk indeling is aangegeven in Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Leeswijzer

Hoofdstuk	Inhoud
2	projectkaders. Dit omvat de projecteisen, aanvullende eisen die gesteld zijn voor de effectbeoordeling, uitgangspunten en de gehanteerde beoordelingsmethodiek
3	verwerking van de dijkversterking en de natuuropgaven in het grondwatermodel
4	resultaten. de berekende resultaten van het grondwater en de -stroming in relatie tot de referentieperiode. Per deelgebied wordt eveneens het effect op de gebruiksfuncties getoetst
5	conclusies en aanbevelingen

2

PROJECTKADERS

2.1 Projecteisen

De projecteisen voor het geohydrologisch onderzoek zijn opgenomen uit de vraagspecificatie en de Grebbedijk planuitwerking geohydrologie factsheet [ref. 3]. De eisen die gelden voor de effectenstudie zijn hieronder in Tabel 2.1 aangeduid. Aan de overige eisen is voldaan door het opleveren van de geohydrologische uitgangspuntennota en de modelrapportage voor de aanpassing van het originele AZURE-model [ref. 4, 9].

Tabel 2.1 Projecteisen geohydrologie

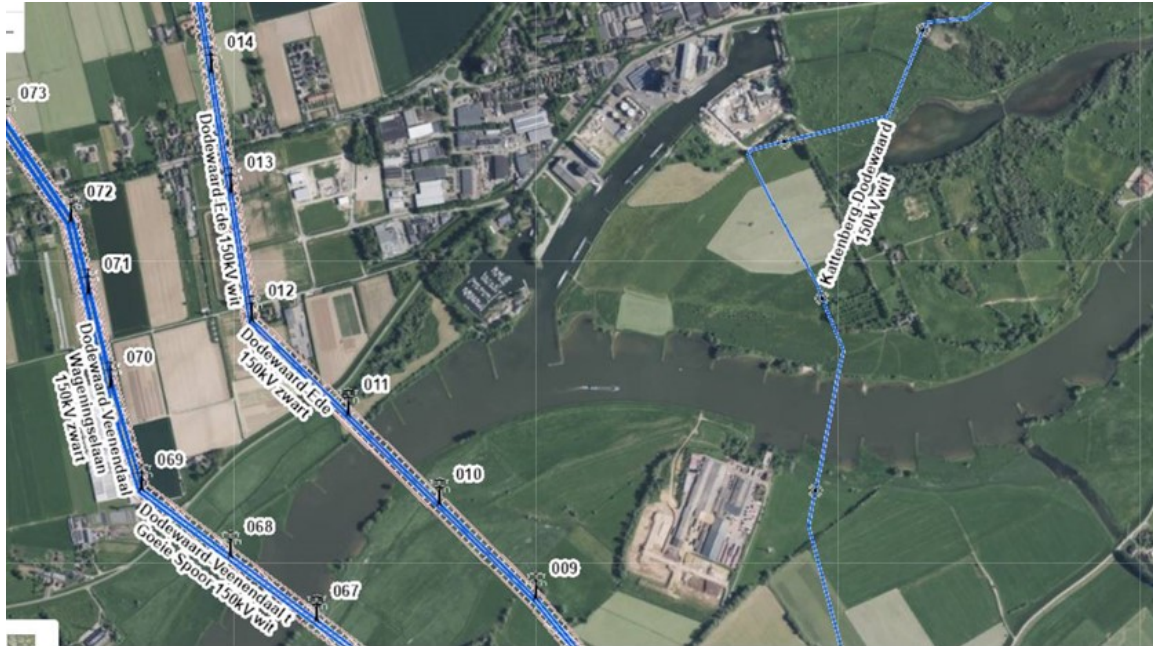
Onderdeel	Bron document	Eisverificatie
in beeld brengen of, en onder welke omstandigheden, sprake van wateroverlast in stedelijk gebied	vraagspecificatie	par. 4.3
overzichtelijke rapportage van resultaten van onderzoeken en onderdelen waarvoor resultaten voor gebruikt worden	vraagspecificatie	Geohydrologische Uitgangspuntennota [ref. 8]
effectenanalyse waterkering	vraagspecificatie, Factsheet geohydrologie	par. 4.3
effectenanalyse kwelafhankelijke natuur, stedelijk gebied, landbouw (met WaterWijzer Landbouw), archeologie, waterplas etc. bijdrage aan MER	vraagspecificatie, Factsheet geohydrologie	par. 4.3, onderdeel kwelafhankelijke natuur en archeologie wordt separaat beoordeeld
meenemen mitigerende maatregelen in ontwerp (denk aan sparing damwand, toepassen van drainage) indien negatieve effecten kunnen optreden.	Factsheet geohydrologie	par. 3.1

2.2 Aanvullende eisen TenneT

Vanuit TenneT gelden eisen met betrekking tot het grondwaterpeil rondom de hoogspanningsmasten. De ligging van de masten in de omgeving van de Grebbedijk zijn weergegeven in Afbeelding 2.1. De hoogspanningsmasten zijn met nummers aangeduid. De eisen gesteld door TenneT die gelden voor alle getoonde masten zijn:

- 1 rondom de mast dient een vlak van minimaal 30,0x30,0 m te worden drooggehouden in verband met de uitvoering van onderhoudswerkzaamheden van de netbeheerder;
- 2 door middel van een rapport aantonen dat een grondwaterpeilaanpassing geen nadelige invloed heeft op de mastfundatie. Bij een verandering van de grondwaterstand zal een geotechnische berekening voor het bepalen van de stabiliteit uitgevoerd worden.

Afbeelding 2.1 Ligging van de hoogspanningsmasten van TenneT



2.3 Uitgangspunten

Het effect van de dijkversterking van de Grebbedijk en de natuuropgaven worden berekend met een aangepaste versie van het grondwatermodel AZURE versie 1.0.4 bèta. In een uitsnede van het AZURE versie 1.0.4 bèta is voor deze studie recent beschikbare informatie dat in dit rapport is beschreven verwerkt. Na de aanpassingen is het model geschikt bevonden voor de geohydrologische effectberekening [ref. 9]. Het model wordt ingezet om de verandering van de grondwaterstand en -stroming te beoordelen voor archeologie, kwelafhankelijke natuur, landbouw, het stedelijke gebied en hoogspanningsmasten. Het grondwatermodel wordt eveneens toegepast om het ontwerp van de KRW-geul te optimaliseren en de werking van de mitigerende maatregelen te beoordelen. De dijkverbreding is niet in het grondwatermodel verwerkt. Enerzijds omdat de resolutie van het grondwatermodel te grof is om de verbreding van de dijk goed mee te kunnen modelleren waardoor detail wordt verloren en anderzijds omdat de dijkverbreding plaatselijk minder is dan 5 m en het verwachte effect op de freatische grondwaterstand beperkt en zeer lokaal is.

2.4 Beoordelingsmethodiek

Met het verbeterde deelmodel en het gemodelleerde toekomstscenario worden de effecten van de ruimtelijke ontwikkelingen rondom de Grebbedijk beoordeeld per deellocatie. Hierin wordt gelet op de verandering van zowel de grondwaterstand, grondwaterstroming en de verticale uitwisseling tussen watervoerende lagen. Voor archeologie en natuur worden de effecten getoetst in de milieueffectrapportage. Aspecten die getoetst worden in de voorliggende rapportage betreffen:

- funderingen en zettingen;
- grondwateronttrekkingen;
- grondwateroverlast;
- hoogspanningsmasten van TenneT en;
- landbouw.

Afhankelijk van het type landgebruik kan een verandering van de grondwaterstand zowel positief als negatief beoordeeld worden. Voor de eerder genoemde aspecten zijn de beoordelingscriteria hieronder toegelicht.

Funderingen en zettingen

Een daling van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) kan leiden tot zettingen en aantasting van de fundering, zoals houten palen. Bij een verlaging van de grondwaterstand onder de historisch laagste grondwaterstand kunnen consolidatieprocessen in samendrukbare lagen, zoals klei en veen, zich voortzetten waardoor zettingen optreden. Om te onderzoeken of dit ter plaatse van panden daadwerkelijk gebeurt, zal een bodemprofiel vergeleken moeten worden met de grondwaterstand en de daling. Afhankelijk van het type fundering kan een daling van de grondwaterstand hier eveneens negatieve effecten hebben. Voor houten funderingspalen is een daling niet wenselijk vanwege mogelijke houtrot.

Grondwateronttrekkingen

De afstand en de grootte van de berekende grondwaterstandsveranderingen tot drinkwaterwinningen en grootschalige industriële grondwateronttrekkingen zijn relevant voor het inschatten van het effect. Hierin wordt gekeken of een daling van de grondwaterstand optreedt die negatieve effecten heeft op de capaciteit van de winning.

Grondwateroverlast

Een toename van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) kan leiden tot grondwateroverlast. Voor de gebruiksfuncties die binnen het invloedsgebied gelegen zijn is in Tabel 2.2 is de ontwatering in de huidige en toekomstige situatie getoetst. Hiervoor is enkel gekeken naar locaties waar een toename van de GHG berekend wordt.

Tabel 2.2 De ontwateringscriteria voor de verschillende gebruiksfuncties in een stedelijk gebied [ref. 3]

Gebuiksfunctie	Ontwateringsdiepte (m -mv)
woningen/gebouwen met kruipruimte	0,7
secundaire wegen	0,7

Hoogspanningsmasten

Per mast zal beoordeeld worden of de ruimtelijke ontwikkelingen leiden tot een verandering van de grondwaterstand. Bij een verandering zal een geotechnische berekening uitgevoerd worden om de stabiliteit van de ondergrond te bepalen. Bij een berekende stijging van de grondwaterstand wordt binnen een vlak van 30x30 m eveneens getoetst of de reguliere onderhoudsmaatregelen nog steeds kunnen worden uitgevoerd.

Landbouw

De effect op landbouw wordt beoordeeld met Waterwijzer Landbouw (WWL). De uitkomsten van het grondwatermodel voor zowel de referentiesituatie als van het effectenmodel waarin de dijkversterking en de natuuropgaven zijn verwerkt, worden doorgerekend met WWL. Het programma beoordeeld of een verandering van de grondwaterstand leidt tot een verandering van de gewasproductie. Een afname van de productie wordt beoordeeld als negatief.

3

VERWERKEN RUIMTELIJKE ONTWIKKELINGEN IN MODEL

3.1 Ruimtelijke ontwikkelingen

Een overzicht is getoond van de ruimtelijke ontwikkelingen die plaatsvinden voor de dijkversterking en de natuuropgaven in Afbeelding 3.1. Voor de dijkversterking is de verbredening van de dijk niet in het grondwatermodel verwerkt. De resolutie van het model is te grof om de verbredening van de dijk nauwkeurig te kunnen modelleren. De dijk is vanwege de resolutie van het model veelal een enkele cel (25 m) breed. Plaatselijk is de verbredening van de dijk minder dan 5 m. Hierdoor leidt dit zeer beperkte aanpassingen van het model. Naar verwachting is het effect van de dijkverbredening op de freatische grondwaterstand beperkt en zeer lokaal. In het model zijn wel de damwanden verwerkt die langs de dijk geplaatst worden. Deze worden geplaatst voor de stabiliteit van de dijk, als verticale constructie tegen piping, of voor beide doeleinden. De damwanden uit het ontwerp kunnen qua ligging nog veranderen binnen de aangegeven zone in bijlage I.

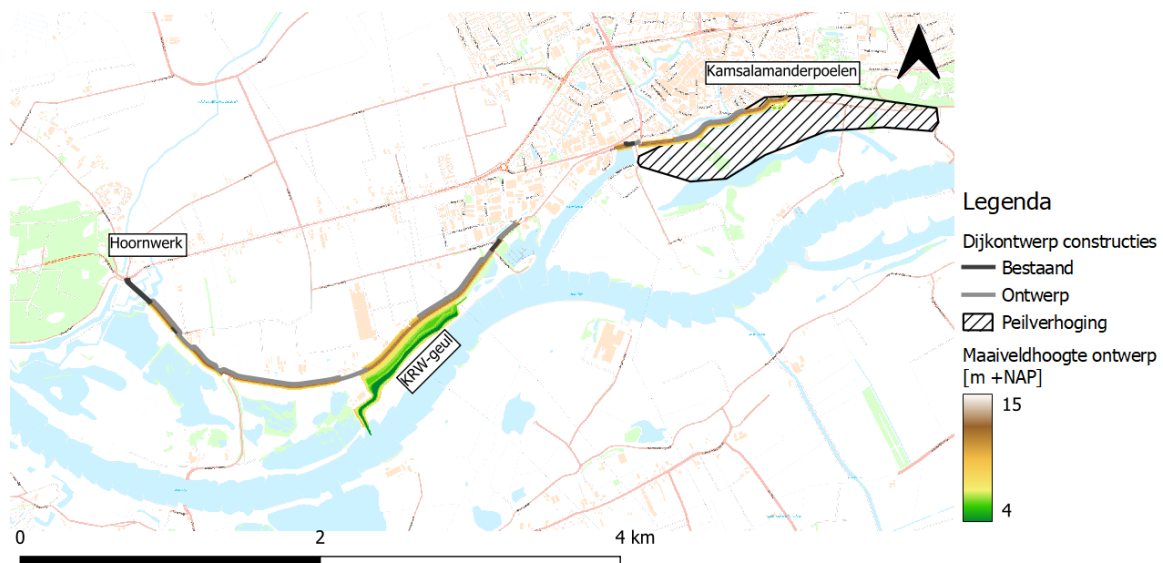
Van de natuuropgaven en overige ontwikkelingen die naast de dijkversterking plaatsvinden is hieronder een overzicht gegeven:

- ontwikkelen Kamsalamanderpoelen;
- ontwikkelen KRW-geul.

Naast de dijkversterking en de natuuropgaven vindt een peilverhoging binnen de Bovenste Polder plaats. Aangezien het gaat om een autonome ontwikkeling, is de verhoging in zowel de referentiesituatie als in het effectenmodel verwerkt.

In het huidige ontwerp zijn geen mitigerende maatregelen opgenomen.

Afbeelding 3.1 Overzicht van de dijkversterking en de natuuropgaven van de Grebbedijk in ontwerploop 2



3.2 Referentiemodel

Voor het afleiden van het effect van de ruimtelijke ontwikkelingen op de grondwaterstand en -stroming wordt gebruik gemaakt van een aangepaste versie van het grondwatermodel AZURE v1.0.4 bèta [ref. 9]. Het aangepaste uitsnedemodel voor de Gelderse Vallei heeft een grootte van 33 km bij 25 km. De noordwestelijke begrenzing ligt ter plaatse van Woudenberg en de zuidoostelijke grens bij Elden dat ten zuiden van Arnhem ligt.

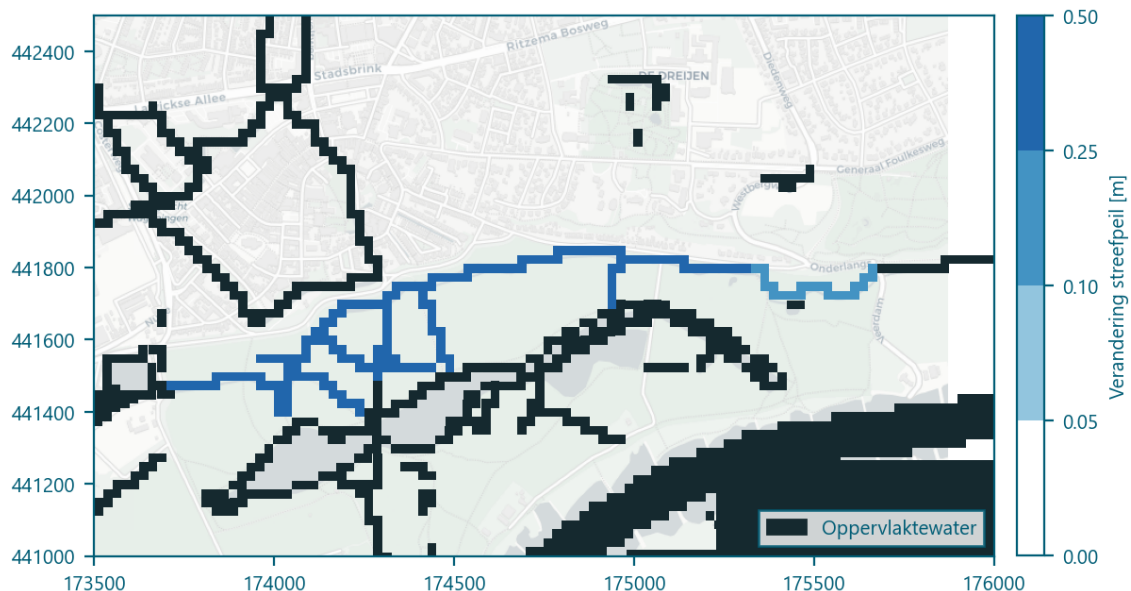
De horizontale resolutie van het grote uitsnedemodel is aangehouden op 250 m x 250 m. Rondom de Grebbedijk is voor het interessegebied een uitsnede gemaakt van dit model met een grootte van 10 km bij 10 km en een horizontale resolutie van 25 m x 25 m.

Het model rekent met een dagelijkse tijdsstap. Het model maakt gebruik van een vast grondwaterpeil op de modelrand. Op de 14de en de 28ste van elke maand wordt een nieuwe randvoorwaarde opgelegd. De grondwaterstanden die hiervoor gebruikt worden zijn in een model met een grovere resolutie van 250 m x 250 m bepaald.

3.3 Autonome ontwikkelingen

In de Bovenste Polder wordt het streefpeil van de watergangen opgehoogd van NAP +7,12 m naar NAP +7,35 m. Het peil van de 'Sloot Onderlangs' wordt middels een stuw opgehoogd. Voor de watergangen gaat een minimaal peil van NAP +7,00 m en een maximum van NAP +7,49 m gelden. De ontwikkeling staat los van de dijkversterking en de natuuropgaven. Om het effect van het dijkontwerp te toetsen in de peilverhoging in zowel de referentiesituatie als in het model van ontwerploop 2 verwerkt. In Afbeelding 3.2 is de wijziging van het streefpeil getoond voor de Bovenste Polder. Het peil is eveneens gewijzigd voor de sloten die aansluiten op de Sloot Onderlangs.

Afbeelding 3.2 Wijziging van het streefpeil in de Bovenste Polder. Zwarte cellen zijn cellen met oppervlaktewater zonder aanpassing



3.4 Ontwerploop 2

In het project bestaan drie fases waarin het ontwerp van de dijk en de natuuropgaven bijgesteld kan worden. De fases worden aangeduid met de term ontwerploop. In de huidige fase is het eerste ontwerp beschouwd. De dijkversterking en de natuuropgaven ontworpen in ontwerploop 2 zijn verwerkt in het uitsnede model Gelderse Vallei. In Tabel 3.1 is een overzicht opgenomen van de parameters en de aanpassingen die gemaakt zijn.

Tabel 3.1 Aanpassingen van het referentiemodel voor de effectberekening van ontwerploop 2

Parameter	Aanpassing
horizontale anisotropie (ANI)	de factor die de mate van horizontale anisotropie aangeeft is naar 1,0 gewijzigd voor cellen rondom de ingevoerde damwanden
bergingscoëfficiënt (STO)	de bergingscoëfficiënt is naar 1,0 gewijzigd ter plaatse van de Kamsalamanderpoelen
horizontale stroming barrière (HFB)	damwanden voor de stabiliteit van de dijk en voor het tegengaan van piping zijn opgenomen in het model. Dit zorgt voor een toename in weerstand tussen modelcellen
onverzadigde zone (CAP)	het landgebruik ter plaatse van de Kamsalamanderpoelen is aangepast naar open water. Hierdoor neemt de verdamping toe
rivieren (RIV)	de KRW-geul is toegevoegd aan de riviermodule. Hiervoor zijn de vier verplichte parameters aangemaakt; de infiltratie factor, geleiding (inverse weerstand), bodemhoogte en het waterpeil. De geul wordt eenzijdig aangetakt met de Nederrijn. Het waterpeil heeft daarom hetzelfde peil gekregen als de Nederrijn heeft vlak bij de monding van de KRW-geul
verticale weerstand (VCW)	de verticale weerstand tussen modellaag 1 en 2 is verminderd voor de locaties van de Kamsalamanderpoelen en de KRW-geul. De afname is bepaald als volgt. Eerst is de verandering van de hoogte van het maaiveld ontwerp ten opzichte van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN4) berekend. De vermindering van de hoogte is vermenigvuldigd met de aangenomen weerstand van de kleilaag (200 d/m). De resulterende weerstand is van de bestaande weerstand afgehaald. Hierbij is rekening gehouden dat de weerstand niet minder dan 0 dagen kan zijn

3.4.1 Horizontale anisotropie

Binnen dit project wordt met anisotropie niet de verhouding tussen horizontale en verticale doorlatendheid binnen een grondlaag bedoeld. De hogere delen in het landschap bestaan uit gestuwde afzettingen. De horizontale anisotropie gaat specifiek over de scheef gestelde lagen in het gestuwde complex.

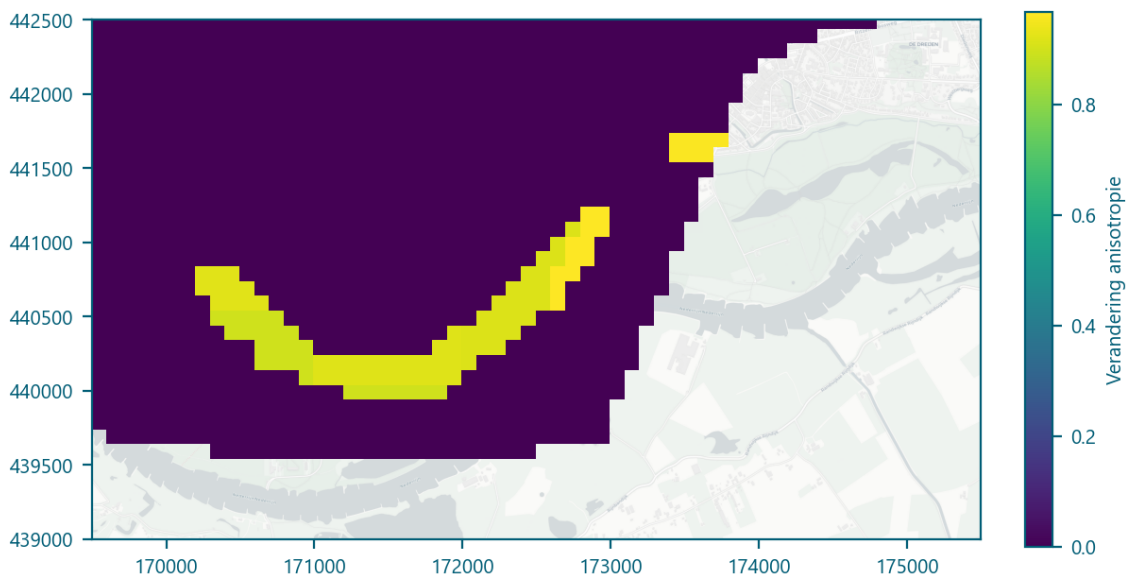
De combinatie tussen de factor van de horizontale anisotropie en de toegevoegde damwanden zorgde voor een numeriek instabiel model. De fout komt voort uit dat met name in de 2^e modellaag sterk zuidoostelijk georiënteerd is. Door het toevoegen van de damwanden die haaks op de stromingsrichting staan, kan het model niet tot oplossing komen. De factor die de mate van horizontale anisotropie aangeeft is daarom aangepast voor het referentiemodel en daarmee eveneens voor ontwerploop 2. De damwanden zijn ingevoerd in modellaag 1 en 2, zoals nader toegelicht in paragraaf 3.4.3.

De aanpassingen aan de factor van horizontale anisotropie zijn weergegeven in Afbeelding 3.3 en Afbeelding 3.4. In de 1^e modellaag komt minder horizontale anisotropie voor. Hierdoor is voor een enkele cel de factor verhoogd naar 1,0 (oftewel geen horizontale anisotropie). Een verandering naar lagere waarden zoals 0,1 en 0,5 zijn eveneens geprobeerd. Echter leidde dit niet tot de oplossing van de stabiliteit. In de 2^e modellaag komt meer horizontale anisotropie voor en zijn daardoor meer aanpassingen gedaan. Rondom de damwanden die voorkomen in de referentiesituatie en in ontwerploop 2 is de factor verhoogd naar 1,0 (oftewel geen horizontale anisotropie). Door enkel de cellen die contact maken met de damwanden aan te passen, is zo min mogelijk veranderd aan het referentiemodel.

Afbeelding 3.3 Verandering van de factor voor horizontale anisotropie in de 1^e modellaag. Doorzichtige cellen hebben een anisotropie van 1 en veranderen niet



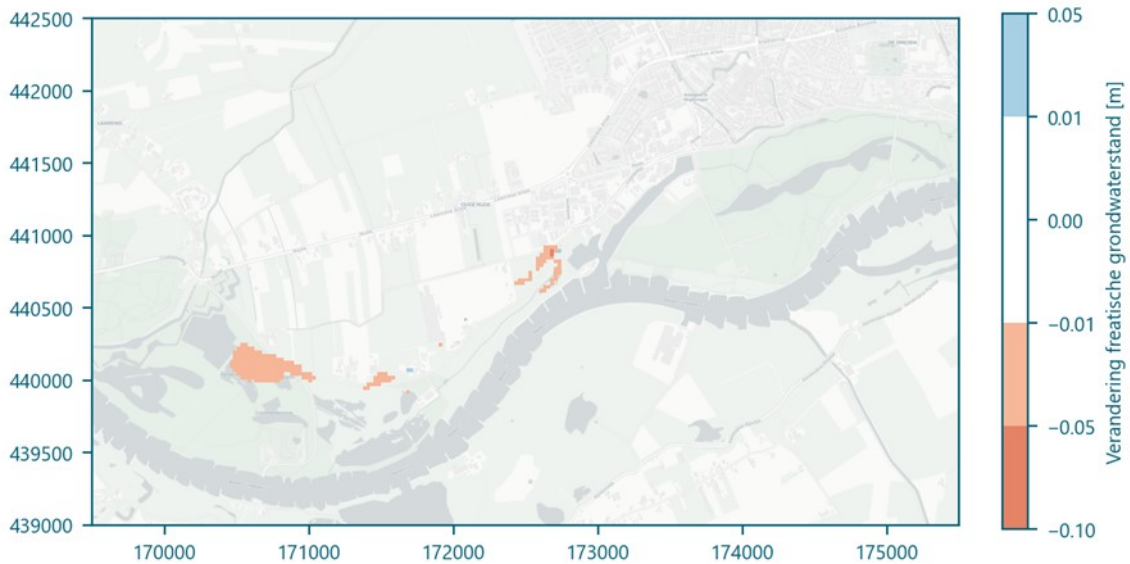
Afbeelding 3.4 Verandering van de factor voor horizontale anisotropie in de 2^e modellaag. Doorzichtige cellen hebben een horizontale anisotropie van 1 en veranderen niet



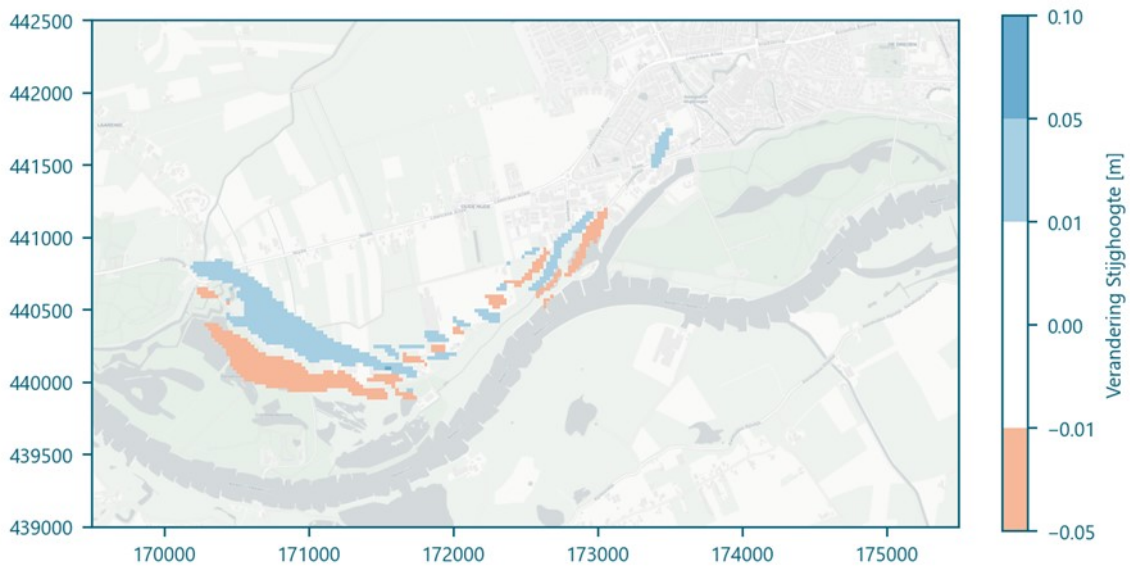
Het aanpassen van de horizontale anisotropie rond de damwanden leidt tot een verandering van de grondwaterstand. In Afbeelding 3.5 is weergegeven dat de toename maximaal circa 2 cm is en de daling 6 cm. In het 1^e watervoerende pakket zijn de veranderingen groter met een toename van maximaal circa 5 cm en daling van eveneens 4 cm. Het beperkte verschil treedt rondom de aangepaste invoerwaarden op. De originele horizontale anisotropie rasters geven aan dat de stromingsrichting sterk zuidoostelijk gericht is. Dit blijkt uit zowel de stroomrichting en de factor die aangeeft dat de stroming sterk anisotroop is. Door het aanpassen van de preferabele stromingsrichting neemt de flux richting de Nederrijn af. Het voorkomen van de horizontale anisotropie is uitermate onzeker in het projectgebied. De horizontale anisotropie in het model is op onderzoek en expert judgement gebaseerd. Bovendien is het AZURE-model is gekalibreerd en gevalideerd waardoor aangehouden horizontale anisotropie in het model een realistische waarde betreft. Andere keuzes voor de horizontale anisotropie in het model kan leiden tot andere uitkomsten.

De invloed van de horizontale anisotropie op de berekende effecten is onderzocht met een gevoeligheidsanalyse [ref. 13].

Afbeelding 3.5 Verandering van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) van 2009-2017 volgend uit de aangepaste horizontale anisotropie



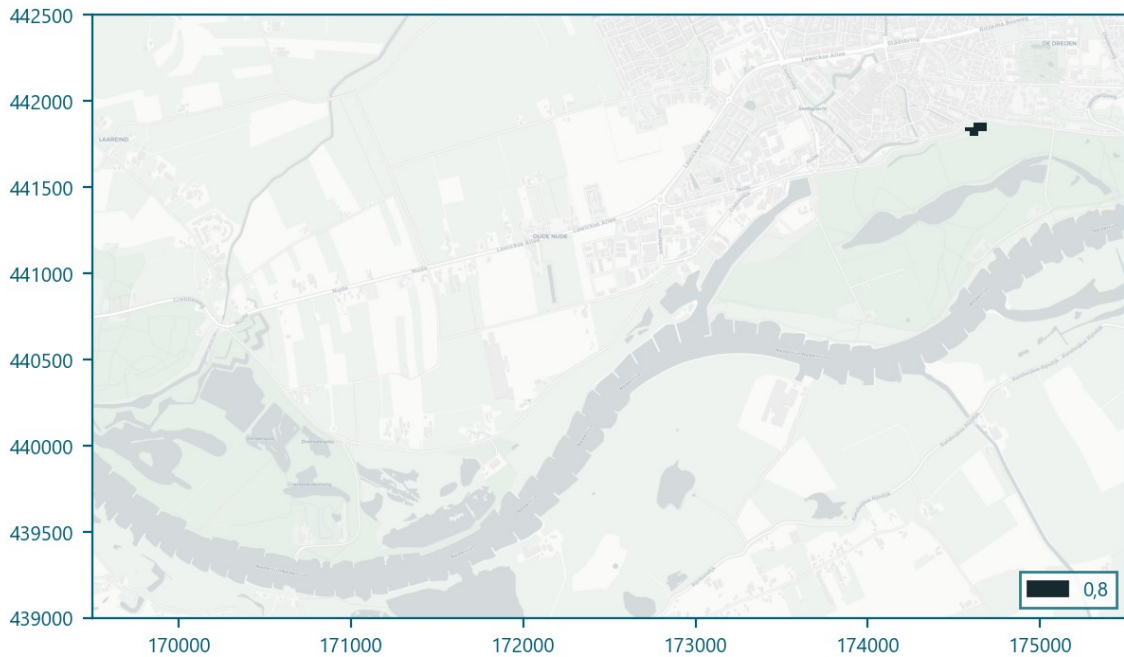
Afbeelding 3.6 Verandering van de Gemiddeld Hoogste Stijghoogte (GHS) van de 2^e modellaag van 2009-2017 volgend uit de aangepaste horizontale anisotropie



3.4.2 Bergingscoëfficiënt

In de Kamsalamanderpoelen kan oppervlakkig water blijven staan zonder dat een vast peil opgelegd wordt. Om dit te modelleren is daarvoor de freatische bergingscoëfficiënt aangepast van 0,2 naar 1,0. Ter plaatse van de Kamsalamanderpoelen is dit gewijzigd, zoals weergegeven in Afbeelding 3.7.

Afbeelding 3.7 Aanpassing van de freatische bergingscoëfficiënt in de 1^e modellaag



3.4.3 Horizontale stromingbarrières

Referentie (bestaande situatie)

In een eerdere fase waren geen horizontale stromingbarrières toegevoegd aan het model. Het toevoegen van damwanden leidde tot numerieke instabiliteit, zoals toegelicht in paragraaf 3.4.1. Na aanpassing van de horizontale anisotropie zijn in de referentiesituatie alsnog de bestaande damwanden toegevoegd; erosieschermen in de jachthaven, kwelschermen bij het appartementencomplex Bastion, en de kistdam bij het Hoornwerk. De diepte van de objecten is vergeleken met het lagenmodel om te bepalen welke lagen afgesloten worden. Als uitgangspunt is aangehouden dat tenminste 90 % van een modellaag afgesloten moet zijn. Hierbij wordt aangenomen dat nog voldoende stroming onder de damwand kan plaatsvinden als dit niet het geval is. De ligging van de resulterende damwanden in de 1^e modellaag is weergegeven in Afbeelding 3.8 en van de 2^e modellaag in Afbeelding 3.9. Over de plaatsing en vulling van de schermen is geen informatie bekend. Een weerstand van 115 dagen is daarom aangehouden. Dit komt overeen met een damwand zonder slotvulling.

Afbeelding 3.8 Bestaande verticale schermen in de referentiesituatie in de 1^e modellaag



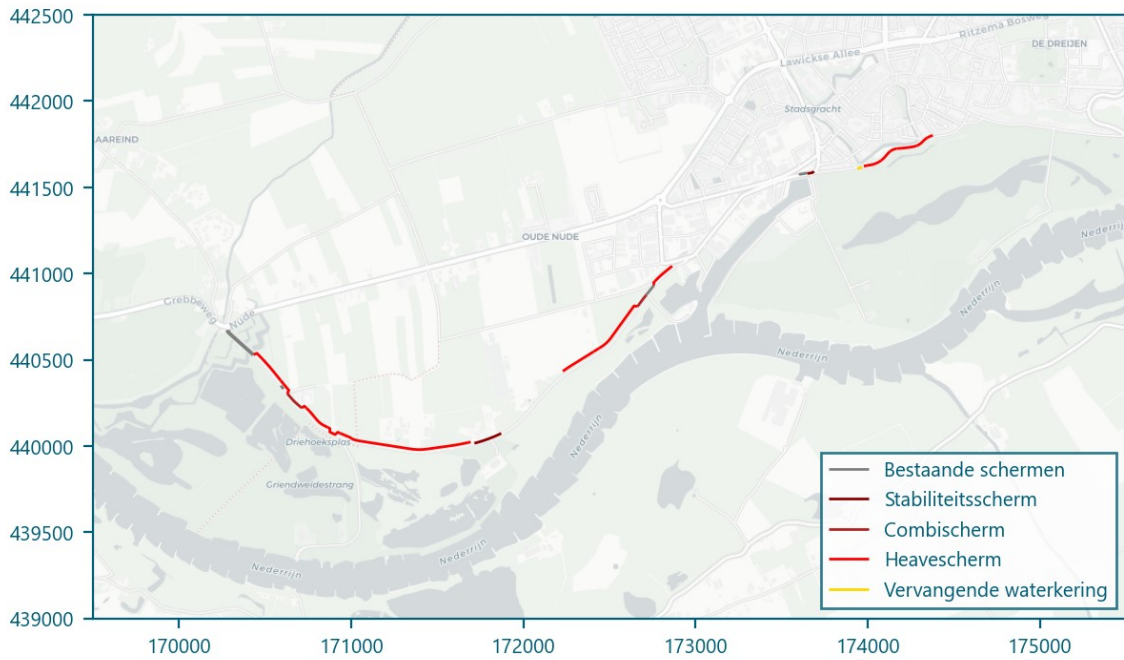
Afbeelding 3.9 Bestaande verticale schermen in de referentiesituatie in de 2^e modellaag



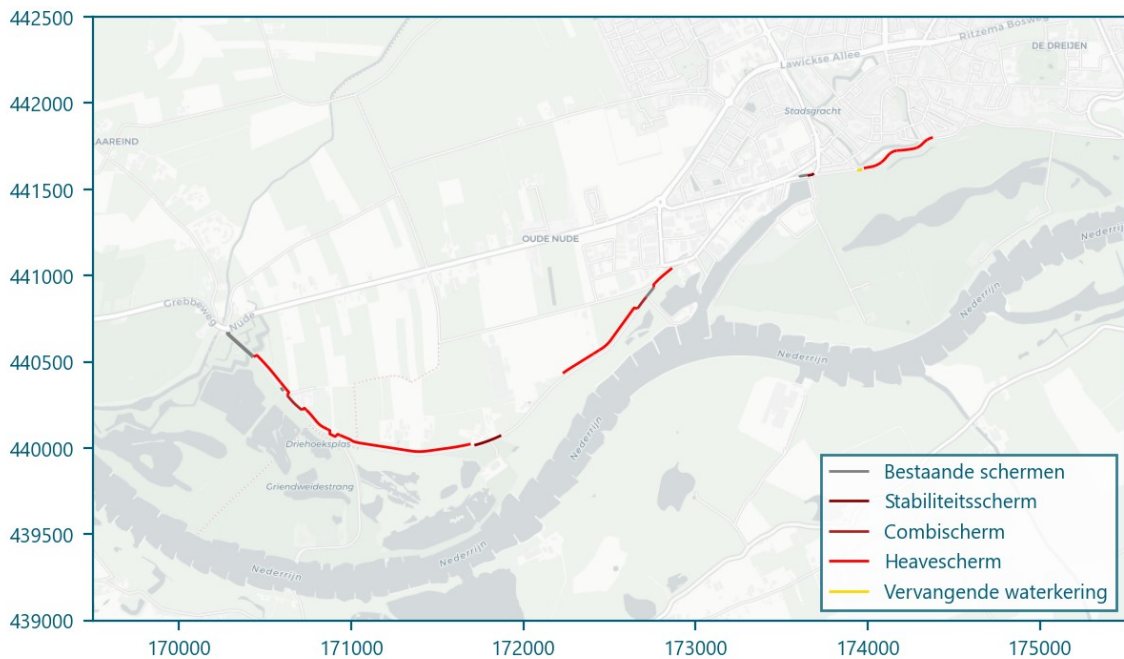
Ontwerploop 2

In het dijkontwerp worden damwanden toegepast voor de stabiliteit van het dijklichaam en om piping tegen te gaan. Langs de Grebbedijk nemen daardoor de hoeveelheid schermen en damwanden toe. Voor het toevoegen van de damwanden is wederom aangehouden dat tenminste 90 % van de laag uit het lagenmodel afgesloten moet zijn. De resulterende damwanden in de 1^e modellaag zijn weergegeven in Afbeelding 3.10 en van de 2^e modellaag in Afbeelding 3.11. Over de uitvoering van de damwanden is nog geen informatie bekend. Een weerstand van 115 dagen is aangehouden voor de damwanden uit ontwerploop 2.

Afbeelding 3.10 Opgenomen damwanden uit ontwerploop 2 in de 1^e modellaag



Afbeelding 3.11 Opgenomen damwanden uit ontwerploop 2 in de 2^e modellaag



Wijzigingen ontwerp 1 juli

De damwand in de stedelijke dijk aan de zuidkant van Wageningen (Afbeelding 4.1) wordt aan de oostzijde verlengd met circa 25 m.

3.4.4 Onverzadigde zone

Voor de kamsalamanderpoelen is het landgebruik aangepast van natte natuur naar zoet open water. Hierdoor neemt de Makkink factor voor gewasverdamping toe. De aanpassing is gemaakt omdat in de Kamsalamanderpoelen het grootste gedeelte van het jaar water blijft staan. In Afbeelding 3.12 is aangegeven voor welke modelcellen het landgebruik aangepast is.

Afbeelding 3.12 Aanpassing van het landgebruik voor MetaSWAP



3.4.5 Rivieren

In de riviermodule is de KRW-geul opgenomen met een dynamisch peil, vanwege de eenzijdig aantakking met de Nederrijn. Het waterpeil van de Nederrijn is toegewezen aan de geul die bij de monding voorkomt. In de Nederrijn worden nieuwe rivierbestanden ingelezen als de fluctuatie van het oppervlaktewater tussen twee tijdstappen groter is dan 5 cm [ref. 9]. Dezelfde methodiek is aangehouden voor de KRW-geul.

Tijdens hoogwater kan de Plasserwaard overstroomd worden door de Nederrijn. In de KRW-geul hoeft geen peil opgelegd worden wanneer de gehele uitwaarde al onder water staat. Per tijdstap is daarom bepaald of de KRW-geul, of een deel daarvan, een peil opgelegd krijgt.

Verder zijn de overige verplichte parameters aangemaakt; infiltratiefactor, bodemhoogte, en de geleiding (inverse weerstand). Hiervoor zijn de volgende aannames gedaan:

- voor de infiltratiefactor is een waarde van 1,0 ingevoerd. Dit geeft aan dat infiltratie en drainage even gemakkelijk plaatsvindt;
- bodemhoogte is berekend door het maaiveldontwerp van de geul met een resolutie van 0,5 m op te schalen naar 25 m. Hiervoor is de minimale waarde in het originele grid gebruikt;
- voor de geleiding (inverse weerstand) is een waarde van 625 m²/d aangehouden. Dit is gelijk aan een bodemweerstand van 1 dag/m². Dit komt overeen met de Nederrijn. Andere parameters leiden mogelijk tot lokaal een andere uitkomst. De aangehouden waarden worden ingeschat realistisch te zijn.

In Afbeelding 3.13 is een overzicht gegeven van al het oppervlaktewater rondom de Grebbedijk in het grondwatermodel. Ten zuiden van de Nederrijn is een vlakdekkend peil opgegeven.

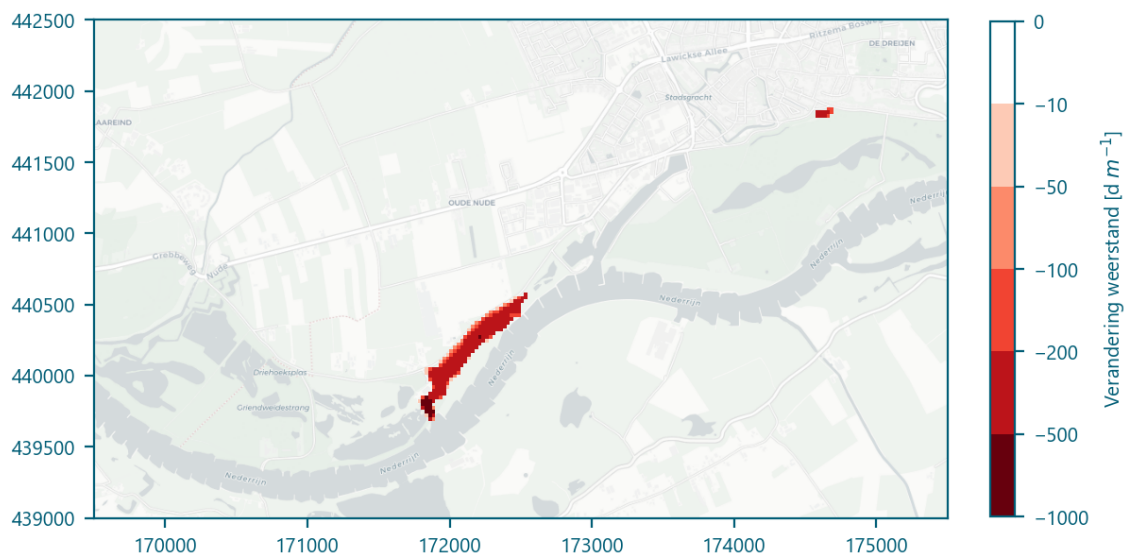
Afbeelding 3.13 Overzicht van het bestaande oppervlaktewater in het grondwatermodel en de toegevoegde KRW-geul



3.4.6 Verticale weerstand

De weerstand tussen de 1^e en 2^e modellaag is verminderd voor de KRW-geul en de Kamsalamanderpoelen. In het ontwerp wordt zover bekend niet overal de deklaag volledig afgegraven. Het maaiveldontwerp van de twee locaties is vergeleken met Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN4) om de afgraafdiepte af te leiden. Op basis van eerder uitgevoerd onderzoek komt bij de KRW-geul en de Kamsalamanderpoelen klei voor. Voor het referentiemodel is voor klei 200 d/m weerstand aangehouden [ref. 5]. Om de weerstand te verminderen is de verandering van de maaiveld hoogte vermenigvuldigd met de aangehouden weerstand van klei. De uitkomst hiervan is afgetrokken van de bestaande deklaagweerstand. Hierbij is rekening gehouden dat de weerstand niet minder kan zijn dan 0 dagen. Het resultaat van de wijziging van de hoeveelheid weerstand is weergegeven in Afbeelding 3.14.

Afbeelding 3.14 Wijziging van de 1^e weerstandslaag voor de KRW-geul en de Kamsalamanderpoelen



3.5 GxG

Het tijdsafhankelijke grondwatermodel met een horizontale resolutie van 25x25 m is met een dagelijkse tijdsstap doorgerekend. Voor het bepalen van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) zijn de hoogste drie berekende grondwaterstanden per jaar op de veertiende en achtentwintigste van de maand gebruikt en is het gemiddelde hiervan van een periode van acht aaneengesloten jaren berekend. Om de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) te berekenen is dezelfde methode gebruikt als voor de GHG, maar zijn de drie laagste waarden per jaar gebruikt.

In de berekende grondwaterstanden is een fout ontdekt aan het begin van 2018 die voortkomt uit MetaSWAP [ref. 5]. De GHG en de GLG, samen de GxG, is daarom berekend voor de periode van 2009 tot en met 2017.

3.6 Waterwijzer Landbouw

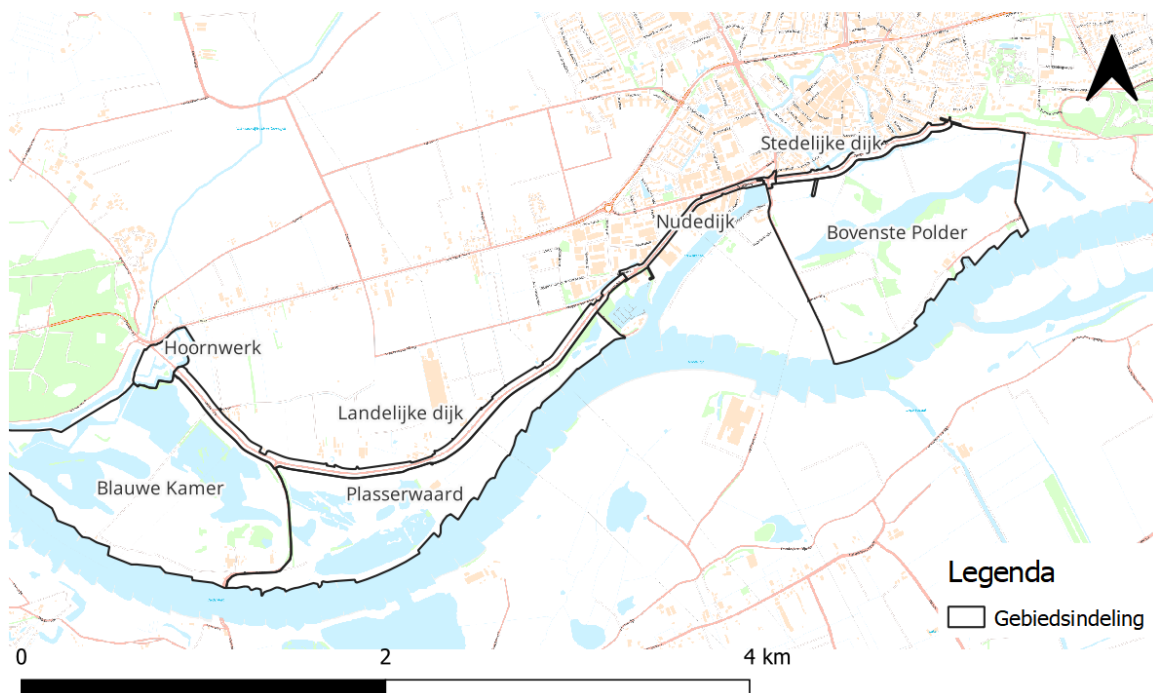
Het effect van de dijkversterking en de natuuropgaven op het grondwater wordt geëvalueerd voor landbouwgronden. Hiervoor worden de uitkomsten van het grondwatermodel doorgerekend met het programma WaterWijzer Landbouw (WWL). Aan de hand van de verandering van het grondwater in de bodem-water-plant-atmosfeer interactie berekend WWL of opbrengstderving optreedt. Dit kan een directe oorzaak hebben, zoals transpiratiereductie en derving door droogte, zuurstofbeschikbaarheid en het zoutgehalte. Maar ook een indirecte oorzaken als het uitstellen van zaaien en oogsten door een te natte bodem of vertraagde groei door koud weer. De impact van de maatregelen op de gewasproductie kan berekend worden met twee varianten; het vereenvoudigde WWL-tabel dat snel inschattingen maakt, en met complexe maatwerkberekeningen [ref. 1]. Voor een algemene eerste inschatting is de eenvoudige tabel voldoende accuraat. Dit bestaat uit metarelaties, waarin veel condities van tevoren zijn doorgerekend. Een dergelijke methode scheelt significant in rekentijd.

4

RESULTATEN

De effecten van de ontwikkelingen rondom de Grebbedijk worden in dit hoofdstuk beoordeeld. De berekende grondwaterstanden en -stroming van de referentiesituatie zijn eerst gepresenteerd. Daarop volgt de verandering van de gemodelleerde grondwaterstanden en -stroming als gevolg van de dijkversterking en de natuuropgaven. Hiervan wordt het effect beoordeeld voor de verschillende deelgebieden; het Hoornwerk, landelijke dijk, Nudedijk, stedelijke dijk en de uiterwaarden als weergegeven in Afbeelding 4.1. Daarnaast wordt eveneens gekeken naar het effect op hoogspanningsmasten en drinkwaterwinningen. Aspecten waarop getoetst wordt zijn de gestreefde ontwateringsdiepte van gebruiksfuncties, zettingen, schade aan fundering, en derving en droogte schade van landbouwgrond.

Afbeelding 4.1 Deelgebieden nabij de Grebbedijk



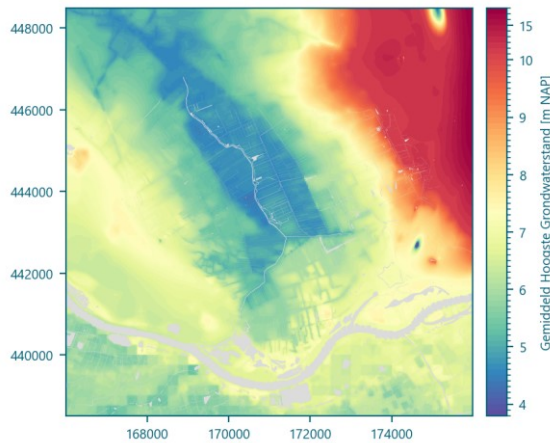
4.1 Referentiesituatie

Grondwaterstanden

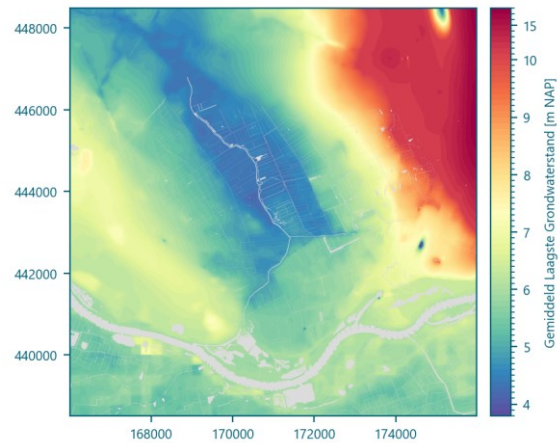
De grondwaterstanden en -stroming van de referentiesituatie zijn in deze paragraaf toegelicht. In de huidige situatie zijn het dijkontwerp en de natuuropgaven niet verwerkt. De damwanden zijn toegevoegd ten opzichte van het aangepaste uitsnedemodel Gelderse Vallei [ref. 9]. De GHG en de GLG zijn weergegeven voor een periode van acht jaar van 2009 tot en met 2017. Dit is de meest recente en representatieve periode in het grondwatermodel. In Afbeelding 4.2 is de GHG weergegeven en in Afbeelding 4.3 de GLG. De berekende grondwaterstanden zijn met name hoog in de Wageningse Berg in het noordoosten van het interessegebied. Aan de westelijke zijde wordt in de Grebbeberg daarna de hoogste grondwaterstanden berekend.

Vanuit de stuwwallen aan weerszijde stroomt het grondwater in de richting van de lager gelegen Gelderse Vallei en in de richting van de Grebbedijk. De stijghoogte van de diepere watervoerende lagen zijn weergegeven in bijlage I. Vanuit de stuwwallen vindt over het algemeen infiltratie plaats en binnen de contouren van de Gelderse Vallei kwelt het grondwater omhoog. In Afbeelding 4.4 en Afbeelding 4.5 is duidelijk dat de grondwaterstand zich in de stuwwallen ver onder het maaiveld bevindt. De Gelderse Vallei is een stuk natter en wordt gekenmerkt door het grote aantal sloten die het gebied ontwateren.

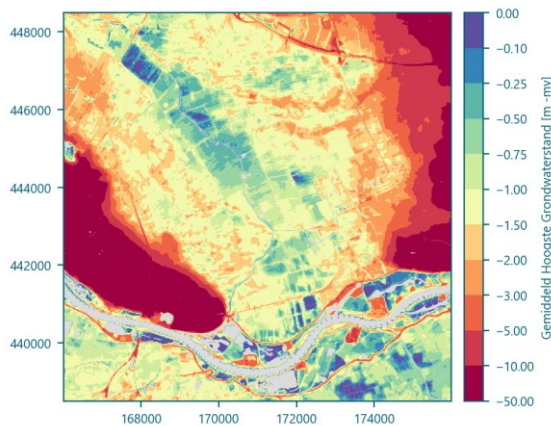
Afbeelding 4.2 Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) referentiesituatie t.o.v. m NAP in modellaag 1



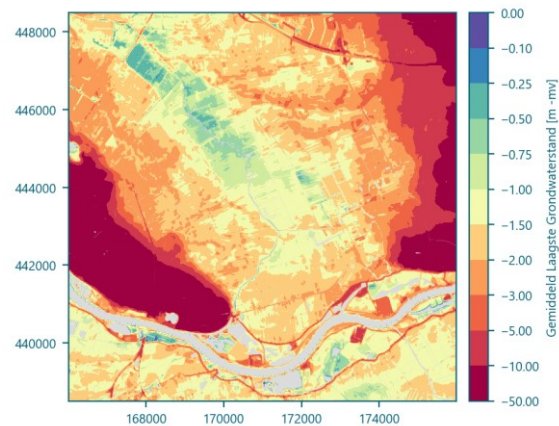
Afbeelding 4.3 Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) referentiesituatie t.o.v. m NAP in modellaag 1



Afbeelding 4.4 Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) t.o.v. maaiveld van de referentiesituatie in modellaag 1



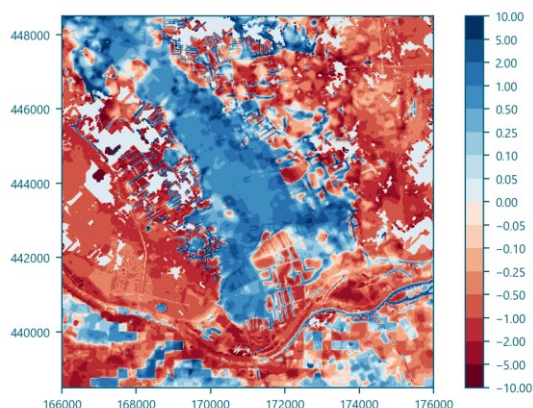
Afbeelding 4.5 Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) t.o.v. maaiveld van de referentiesituatie in modellaag 1



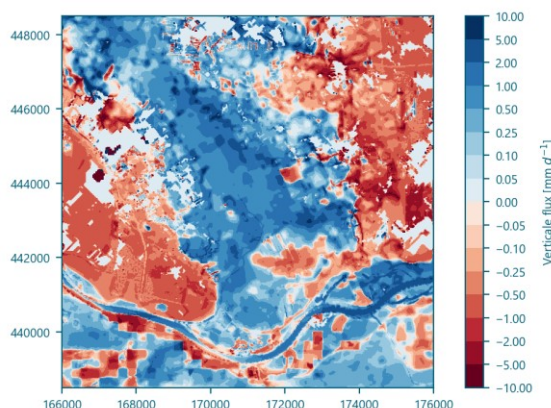
Kwelflux

De verticale flux is voor de referentieperiode berekend tussen de 2^e en 1^e modellaag voor de periode van 2009 tot en met 2017. Hierdoor is de kwelflux positief en infiltratie naar het watervoerende pakket negatief. De verticale flux van de GHG en de GLG is weergegeven in Afbeelding 4.6 en Afbeelding 4.7. Voor de maanden januari, april en juli in 2017 is de verticale uitwisseling getoond in bijlage I. In het interessegebied zijn twee grote infiltratiezones zichtbaar: de Grebbeberg (Utrechtse Heuvelrug) en de Wageninse Berg (Veluwe). Vanaf de hoger gelegen stuwwallen stroomt het water in de richting van de Gelderse Vallei en naar de Grebbedijk, waardoor hier grondwater opkwelt. De uiterwaarde van de Nederrijn betreffen met name intermediaire zones; tijdens de GHG komt voornamelijk infiltratie voor, terwijl ten tijden van de GLG in veel gebieden kwel optreedt.

Afbeelding 4.6 Verticale flux van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) van 2009-2017 (mm/d) in de referentiesituatie



Afbeelding 4.7 Verticale flux van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) van 2009-2017 (mm/d) in de referentiesituatie



4.2 Ontwerploop 2

De verandering van de grondwaterstanden en -stroming als gevolg van de dijkversterking en de natuuropgaven in ontwerploop 2 zijn in deze paragraaf uitgelicht. De verwerking van het ontwerp in het grondwatermodel is omschreven in hoofdstuk 3. De grondwaterstanden en de verticale flux van ontwerploop 2 is vergeleken met de referentiesituatie om de veranderingen af te leiden.

Grondwaterstanden

De grondwaterstand rondom de Grebbedijk verandert lokaal na de dijkversterking en de natuuropgaven. De verandering van de GHG is weergegeven in Afbeelding 4.8 en voor de stijghoogte in bijlage II. De verlaging van de freatische grondwaterstand aan de binnendijkse zijde, ter hoogte van de Blauwe Kamer, bedraagt maximaal circa 30 cm en is merkbaar (>5 cm) tot circa 125 m van de dijk. De toename aan de buitendijkse zijde van dezelfde damwand is tot aan circa 50 cm. Het invloedsgebied blijft door de aanwezigheid van de plassen beperkt tot 300 m. De toename treedt op in het verhoogde maaiveld tussen de plassen in. Ten opzichte van de GLG zijn de effecten groter. In de uiterwaarden neemt de freatische grondwaterstand doorgaans sterker toe dan in de Gelderse Vallei. Hierdoor wordt de flux vanuit het dijkengebied naar het achterland groter. Het aanbrenge van de damwand onderbreekt de grondwaterstroming, waardoor meer effect optreedt in de GHG situatie dan bij de GLG. In de stijghoogte is de maximale afname circa 10 cm en de toename rond de 15 cm. Door de verandering van de freatische grondwaterstand infiltreert ten noorden van de damwand minder grondwater naar het watervoerende pakket. Aan de buitendijkse zijde, in de Blauwe Kamer, geldt het omgekeerde.

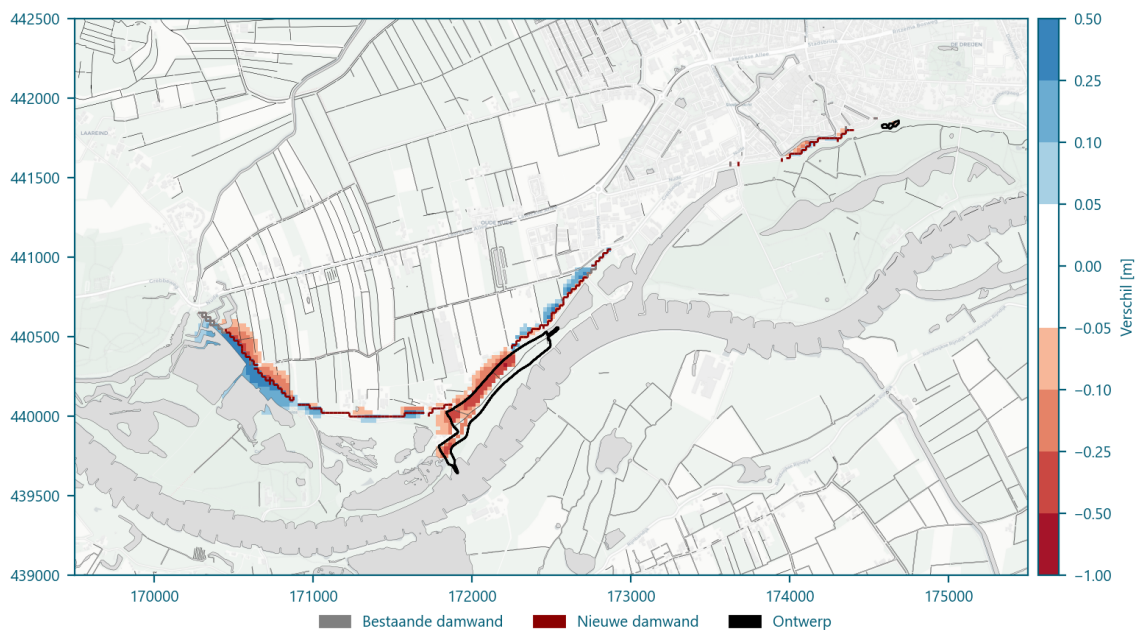
In het model zijn de plassen in de Blauwe Kamer verwerkt in de overlandflow (OLF) module. Een belangrijk verschil tussen de OLF en riviermodule is dat grondwater enkel onttrokken kan worden en niet aangevoerd, en dat de intredeweerstand verschilt. De Negenmorgenstrang is eenzijdig aangekoppeld aan de Nederrijn. Hierdoor fluctueert het peil van de strang met de rivier mee. In het model is dit niet meegenomen. De Negenmorgenstrang is al verwerkt in de OLF-module. Tussen de dijk en de strang bevinden zich een aantal geïsoleerde plassen. Hierdoor wordt geen effect van de Negenmorgenstrang op de grondwaterstanden bij de Grebbedijk verwacht. Hierdoor is het verschil tussen de modulen niet significant voor het berekende grondwaterstandsverschil.

In het westelijke deel van de Plasserwaard wordt aan de buitendijkse zijde, door de aanleg van de damwanden, een stijging van maximaal circa 25 cm berekend. Binnendijks neemt hier de freatische grondwaterstand af tot maximaal 20 cm. Tussen de Grebbedijk en de KRW-geul in, daalt de grondwaterstand met maximaal circa 55 cm.

Door het toevoegen van een waterlichaam kan het grondwater in de uiterwaarde minder opbollen. In de stijghoogte is rondom de gehele KRW-geul een toename berekend tot maximaal circa 25 cm. In de GHG situatie is het peil van de Nederrijn hoog en is de KRW-geul eveneens gevuld met water. Hierdoor kan dit door de beperkte weerstandslaag direct richting het watervoerende pakket infiltreren. Door de aanleg van de KRW-geul wordt het voorland tot aan de dijk verkort. De stijghoogte achter de dijk neemt als gevolg van het verkorte voorland toe met circa 5 cm. Tijdens een hoogwatergolf kan de stijghoogte door het verkorten van het voorland sterker toenemen door een toename van het potentiaal over een kortere voorland lengte. In het oostelijke gedeelte van de Plasserwaard neemt de grondwaterstand aan de binnendijkse zijde toe met maximaal circa 30 cm. Het gehanteerde streefpeil van de sloten in het achterland in dit gebied is relatief hoog. Aanvullend kan door een overschot aan neerslag het grondwater lokaal opbollen tot boven het niveau in de Plasserwaard. Hierdoor vindt lokaal vanuit het achterland stroming plaats in de richting van de uiterwaarden.

Tijdens de GHG situatie is de stroming vanaf de Wageningse Berg ter hoogte van de damwand voornamelijk georiënteerd in westelijke richting. Vanwege het onverharde landgebruik kan meer neerslag infiltreren in de uiterwaarde. Hierdoor is de dynamiek van de Bovenste Polder groter dan de stedelijke omgeving van Wageningen. De grondwaterstroming vindt daarom plaats vanaf de uiterwaarde in de richting van het historisch centrum van Wageningen. De beoogde damwand blokkeert de grondwaterstroming, waardoor de grondwaterstand toeneemt in de dijk tot maximaal circa 15 cm. Achter de damwand in het binnendijkse gedeelte neemt de GHG af met circa maximaal 15 cm. Door het verlengen van de damwand treden de effecten met een verhoging aan de buitendijkse zijde en een verlaging aan de binnendijkse zijde over een langer gedeelte op. In het watervoerende pakket neemt de stijghoogte eveneens toe met maximaal 10 cm. Dit komt voort uit de verminderde weerstand door het aanleggen van de Kamsalamanderpoelen.

Afbeelding 4.8 Verandering van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) van 2009-2017 na de dijkversterking en de natuuropgaven in ontwerploop 2



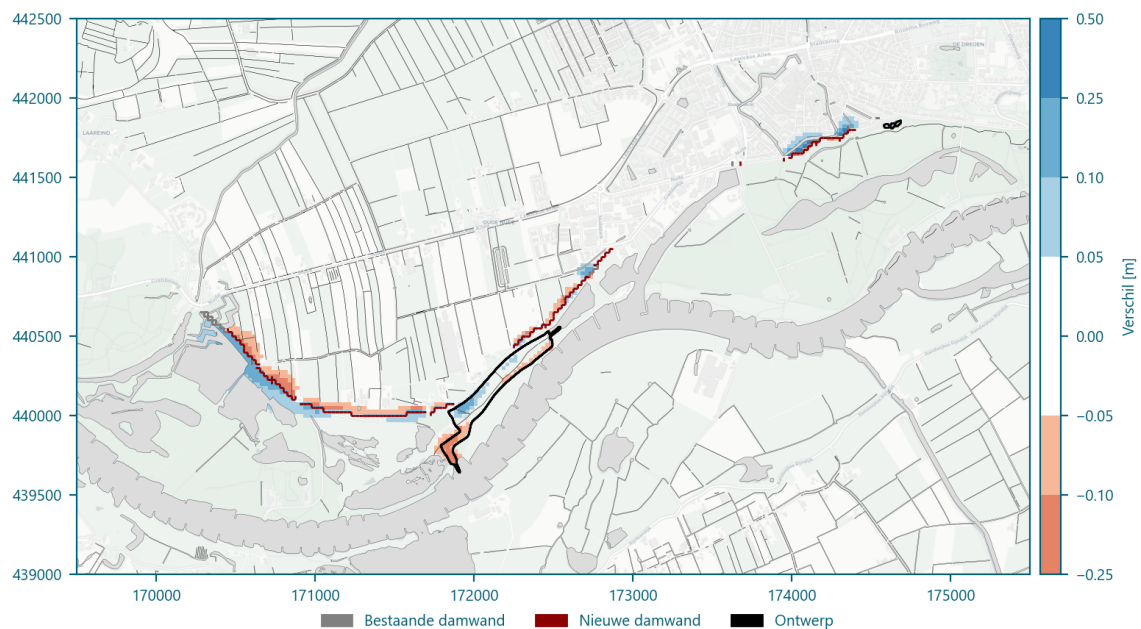
Voor de GLG is het resultaat weergegeven in Afbeelding 4.9. Voor de stijghoogte zijn de ontwikkelingen opgenomen in bijlage II. In de Blauwe Kamer aan de buitendijkse zijde van de Grebbedijk een toename van de grondwaterstand berekend van maximaal circa 20 cm. Het invloedsgebied tussen de plassen bij het verhoogde maaiveld is maximaal 250 m. De grondwaterstand neemt binnendijks, door het plaatsen van de nieuwe damwand, met maximaal circa 15 cm af tot 100 m afstand. De verandering komt voort uit het doorbreken van de grondwaterstroming vanaf de Nederrijn naar het achterland met de damwand.

In de stijghoogte is een toename van maximaal 10 cm berekend in de Blauwe Kamer. In de plassen is minder weerstand gemodelleerd waardoor de toename in de stijghoogte verklaard kan worden.

Aan de westelijke zijde van de Plasserwaard wordt, door het plaatsen van de damwand wordt in de dijk, aan de buitendijkse zijde een toename van de grondwaterstand van maximaal circa 15 cm berekend. In de dijk aan de binnendijkse zijde wordt tegen de damwand aan een daling van circa 15 cm berekend. Rond de aansluiting van de KRW-geul met de Nederrijn neemt de GLG af met circa maximaal 15 cm. Tussen de KRW-geul en de Grebbedijk in stijgt de GLG met maximaal 20 cm. In het 1^e watervoerende pakket daalt de gemiddeld laagste stijghoogte (GLS) met maximaal 10 cm ter hoogte van de geul zelf en bij de uitmonding naar de Nederrijn. In het oostelijke gedeelte van de Plasserwaard neemt de GLG aan de binnendijkse zijde, achter de damwand, af met maximaal circa 15 cm. Aan de buitendijkse zijde neemt de GLG toe met maximaal circa 15 cm.

Binnendijks aan de Wageningse zijde van de Grebbedijk wordt een toename van de freatische grondwaterstand berekend van maximaal circa 35 cm. In het centrum van Wageningen zijn de effecten merkbaar (>5 cm) tot een afstand van 85 m. Ten opzichte van de andere gebieden is de stijging groter. Dit komt voort uit doordat de stroming van de Wageningse Berg geremd wordt door de damwand. Door het verlengen van de damwand treden de effecten met een verlaging aan de buitendijkse zijde en een verhoging aan de binnendijkse zijde over een langer gedeelte op. Ten noorden van de damwand neemt de stijghoogte toe met maximaal circa 10 cm en rond de Kamsalamanderpoelen af met maximaal circa 40 cm. De sterke afname in de Bovenste Polder komt voort uit het verminderen van de weerstand door het afgraven van de deklaag bij de Kamsalamanderpoelen. In de poelen is de bergingcoëfficiënt vergroot omdat hier oppervlakkig water kan blijven staan. Hierdoor is de stijging van maximaal 10 cm beperkt in de freatische laag.

Afbeelding 4.9 Verandering van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) van 2009-2017 na de dijkversterking en de natuuropgaven in ontwerploop 2



Kwelflux

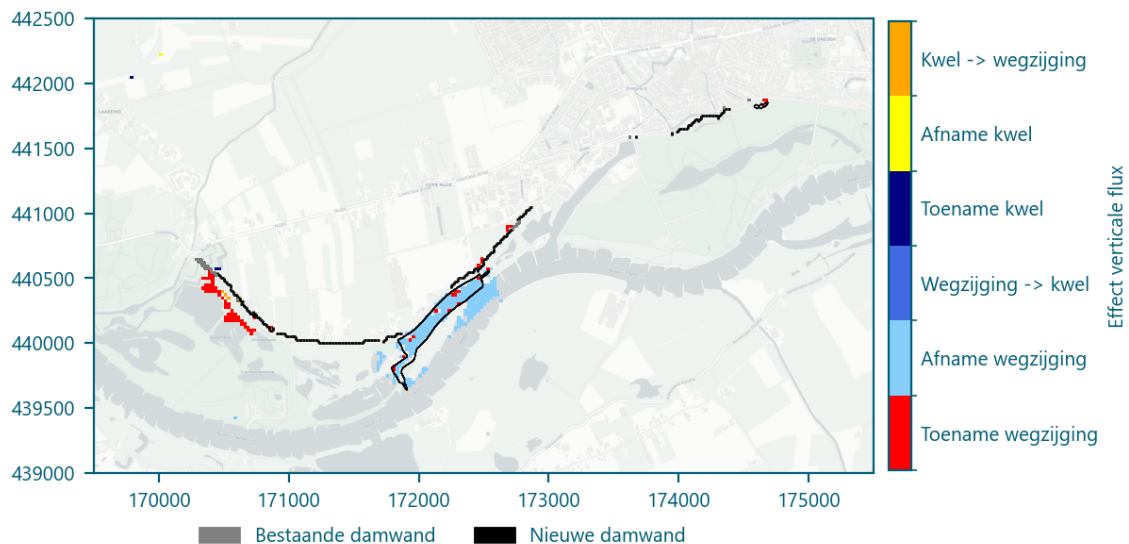
De kwelflux kan veranderen als gevolg van de dijkversterking en de natuuropgaven. De verandering van de verticale flux van de GHG-situatie als gevolg van de dijkversterking en de natuuropgaven is weergegeven in Afbeelding 4.10. De verandering van de kwelflux in de winter-, voorjaar- en zomersituatie van 2017 staan opgenomen in bijlage III. Die veranderingen zijn anders dan de GHG- en GLG-situaties. In de Blauwe Kamer aan de buitendijkse zijde neemt de verticale flux af met maximaal circa 2,9 mm/d.

In de referentiesituatie komt vlak bij de dijk in een beperkte mate kwel voor. Als gevolg van de stijging van het freatische grondwater verandert de kwel naar wegzijging. De wegzijging neemt verder eveneens toe in de Blauwe Kamer.

In de Plasserwaard neemt de wegzijging grotendeels af. De deklaag wordt afgegraven voor de aanleg van de KRW-geul. Hierdoor neemt de stijghoogte toe, en de freatische grondwaterstand af. In de referentiesituatie wordt het gebied gekenmerkt door infiltratie vanaf de freatische laag in de richting van het watervoerende pakket. Door het verwijderen van de weerstandslaag neemt de hoeveelheid infiltratie af met maximaal circa 1,8 mm/d. Bovendien zorgt de aanwezigheid van de KRW-geul er ook voor dat het grondwater minder ver kan opbollen in de uiterwaarde.

In de Bovenste Polder neemt de wegzijging toe door het aanleggen van de Kamsalamanderpoelen. De freatische grondwaterstand verandert niet significant, terwijl de stijghoogte toeneemt. Door het (deels) afgraven van de deklaag neemt daardoor de infiltratie merkbaar toe. In de Bovenste Polder heeft de deklaag een redelijk hoge weerstand langs de dijk waardoor de verandering van de grondwaterstand niet overal direct leidt tot een significante verandering van de verticale flux.

Afbeelding 4.10 Verandering van de verticale flux van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) van 2009-2017 na de dijkversterking en de natuuropgaven in ontwerploop 2



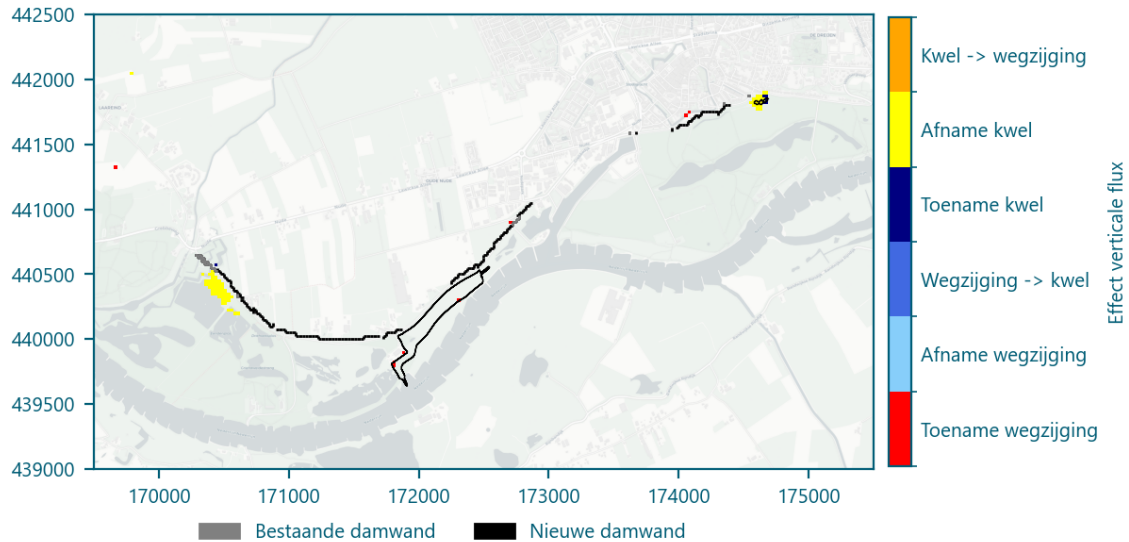
Voor de GLG-situatie is dit weergegeven in Afbeelding 4.11. Voor de maanden januari, april en juli uit 2017 zijn de resultaten weergegeven in bijlage II. Bij de Blauwe Kamer aan de buitendijkse zijde neemt de hoeveelheid kwel af. De freatische grondwaterstand stijgt, waardoor het verschil met de stijghoogte kleiner wordt. Als gevolg neemt de verticale flux af. In de referentiesituatie komt hier circa 1,0 mm/d aan kwel voor. De flux neemt plaatselijk zelfs met maximaal circa 1,4 mm/d af. Hierdoor komt in beperkte mate nog steeds kwel voor.

In de Bovenste Polder verandert de verticale flux van de GLG niet significant. Zowel de freatische grondwaterstand als de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket nemen beide af door de aanleg van de KRW-geul. De toename van de grondwaterstand bevindt zich ten noorden van de geul, waar nog voldoende weerstand in de deklaag bestaat. Hierdoor leidt de verandering niet tot een significante verandering van de verticale flux.

In het merendeel van de Bovenste Polder komt de referentiesituatie kwel voor. De Kamsalamanderpoelen zorgen voor een toename van de kwelflux. Het merendeel van de cellen tonen waarden tussen een toename van 0,5 mm/d tot en met 1,5 mm/d. Dit komt voort uit het verminderen van de weerstand in de deklaag.

Ten noorden van de poelen neemt de hoeveelheid kwel af met 0,5 mm/d tot en met 1,0 mm/d. Dit komt voort uit het dalen van de stijghoogte door het plaatsen van de damwand.

Afbeelding 4.11 Verandering van de verticale flux van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) van 2009-2017 na de dijkversterking en de natuuropgaven in ontwerploop 2



4.3 Effectbeoordeling

Het effect van de veranderende grondwaterstanden op de natuur is getoetst in de milieueffectrapportage in hoofdstuk 3.4.9 natuur. Voor archeologie zijn de effecten omschreven in hoofdstuk 3.4.6 landschap en cultuurhistorie.

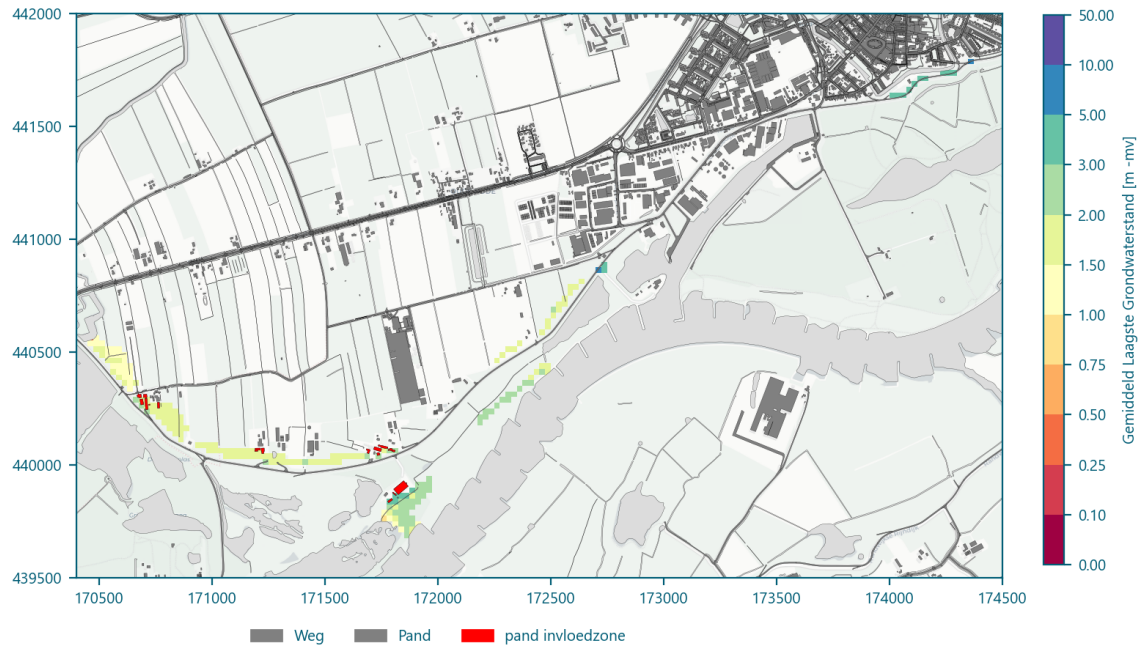
De grondwaterstanden en de verandering van de verticale flux is berekend met het damwandontwerp uit ontwerploop 2. In feite kan de plaatsing van de damwand wijzigen binnen de zone aangegeven in bijlage I. De damwanden bevinden zich nu veelal aan de uiterste grens van het binnen talud, en zouden maximaal circa 20 m verplaatst kunnen worden in de richting van de kruin van de dijk. Uitgaande dat de effecten van dezelfde orde grootte blijven, verplaatst het effect zich in de richting van de Nederrijn. Voor de geohydrologische effectbeoordeling is het huidig damwandontwerp een ergste geval uitgangspunt. In het geval dat de damwanden in de richting van de kruin verplaatst worden, neemt het effect op funderingen en zettingen en landbouw af. Overige onderdelen worden niet beïnvloed door de verplaatsing van de damwand. In de wijzigingen van het damwandontwerp van 1 juli 2024 wordt het heavescherm met circa 25 m verlengd naar het oosten in de stedelijke dijk. Het effect hiervan is kwalitatief meegenomen in de effectbeoordeling.

Funderingen en zettingen

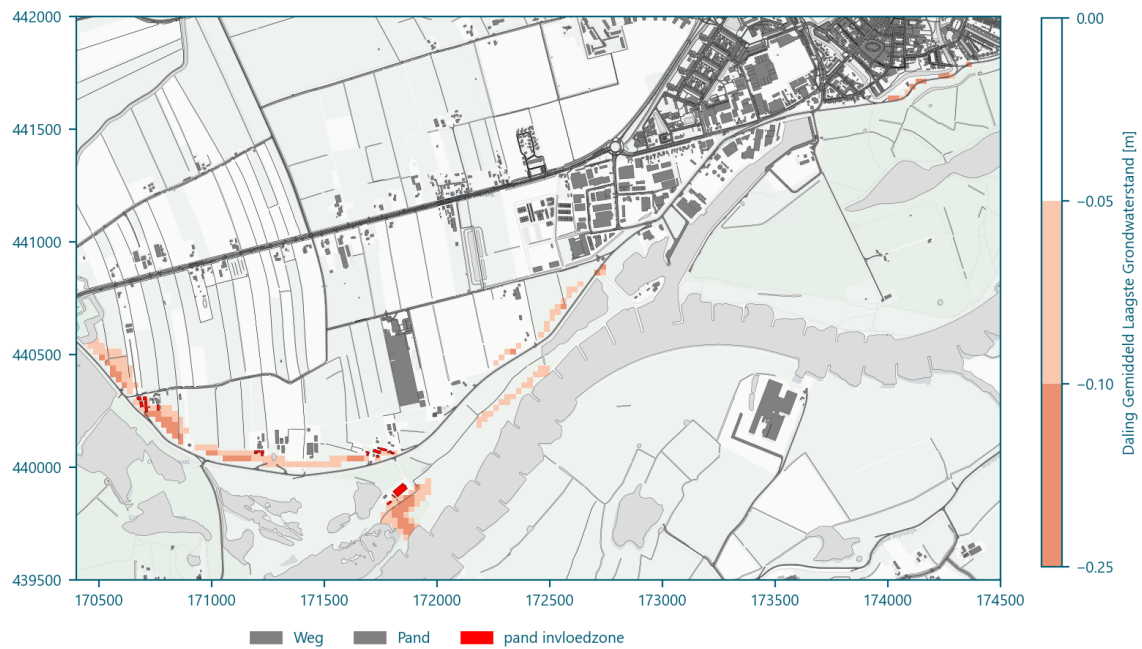
Panden kunnen gevoelig zijn voor een daling van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) door het veroorzaken van zettingen en schade aan de fundering. In Afbeelding 4.12 en Afbeelding 4.13 zijn de panden uitgelicht weergegeven waar een daling van de GLG optreedt. In bijlage V is de GLG ten opzichte van het maaiveld en de daling van de GLG uitvergroot voor een aantal deelgebieden. De hoogte van de nieuwe GLG ten opzichte van het maaiveld is getoond. Hiermee kan afgeleid worden of de grondwaterstand in samendrukbare lagen daalt of de fundering blootlegt. Op basis van boringen in de omgeving kan het dalen van de freatische grondwaterstand de consolidatieprocessen van de deklaag voortzetten. Hierdoor kunnen zettingen niet uitgesloten worden. De GLG daalt in totaal bij 6 panden ter hoogte van de Blauwe Kamer, 10 panden in het westelijke gedeelte van de landelijke dijk en 3 panden in de Plasserwaard. Het is mogelijk dat meerdere adressen geregistreerd zijn op een pand.

Het effect op funderingen is nader onderzocht in de notitie 'risico's verlaging grondwaterstand' [ref. 10]. Uit dit onderzoek volgt dat het risico voor funderingen en op zettingen klein is.

Afbeelding 4.12 Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) ontwerploop 2 van 2009-2017 ten opzichte van het maaiveld. De daling is enkel weergegeven op locaties waar een daling (>5 cm) ten opzichte van de referentiesituatie berekend is



Afbeelding 4.13 Daling van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) ontwerploop 2 van 2009-2017. De daling is enkel weergegeven op locaties waar een daling (>5 cm) ten opzichte van de referentiesituatie berekend is



Grondwateronttrekkingen

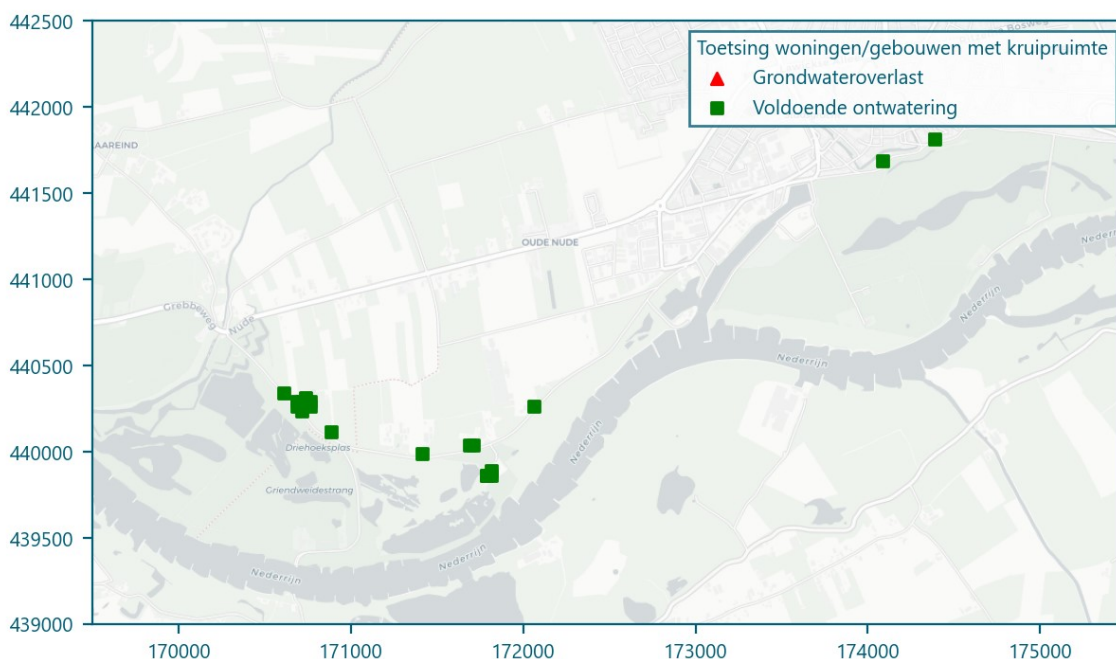
De dichtstbijzijnde gelegen onttrekking is de industriële grondwateronttrekking van de papierfabriek Parenco. De afstand van de merkbare berekende effecten (>5 cm) ligging op een afstand van circa 2,1 km vanaf de fabriek. Bij de Bovenste Polder wordt een toename van de freatische grondwaterstand berekend. De stijghoogte neemt eveneens marginaal toe. Vanwege de afstand en de toename van de stijghoogte worden geen negatieve effecten verwacht. De drinkwateronttrekking gelegen nabij Rhenen ligt op een afstand van circa 3,8 km en nabij Hemmen aan de overzijde van de Nederrijn op circa 3,2 km. Op basis van de grote afstand en de relatief beperkte verandering van de grondwaterstand worden geen negatieve effecten verwacht voor de drinkwaterwinningen in de omgeving van de Grebbedijk.

Grondwateroverlast

De ontwateringsdiepte van gebruiksfuncties binnen het invloedsgebied is onderzocht voor de veranderende gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) door de dijkversterking en natuuropgaven. De onderzochte gebruiksfuncties betreffen woningen en gebouwen met een kruipruimte, en secundaire wegen. Binnen het invloedsgebied komen geen primaire wegen voor. De ontwateringsdiepte voor beide gebruiksfuncties bedraagt 0,7 m beneden maaiveld. Hierbij zijn enkel locaties onderzocht waarbij de GHG toeneemt. Een daling zorgt voor een betere ontwatering en is daardoor gunstig.

De ontwateringsdiepte van woningen en gebouwen met een kruipruimte ten opzichte van de GHG is berekend en weergegeven in Afbeelding 4.14. Enkel de panden die in de invloedzone van de dijkversterking staan zijn in de analyse opgenomen. Uit het berekende resultaat volgt dat de ontwateringseis voor alle panden gehaald wordt. Voor de toekomstige situatie waarin de dijkversterking en natuuropgaven van ontwerploop 2 verwerkt zijn, is de ontwateringseis eveneens getoetst. Voor alle woningen en gebouwen met een kruipruimte wordt voldaan aan de ontwateringseis van 0,7 m. De toetsing is wederom alleen uitgevoerd voor panden die binnen de zone vallen waar de grondwaterstandsverandering groter is dan 5 cm. Ter plaatse van twee panden neemt de GHG toe, en voor de rest af. De ontwateringseis van 0,7 m wordt voor deze panden bij een stijging van de GHG nog steeds gehaald. Indien kelders aanwezig zijn bij de betreffende panden, dan kan niet uitgesloten worden dat deze vochtiger worden. In Tabel 4.1 is de toename van de grondwaterstand en informatie over de aanwezigheid van kelders getoond. Bij een pand ter hoogte van Grebbedijk 15 is het onbekend of daar een kelder aanwezig is. De daling van de GHG heeft verder geen effect op de panden waar al aan de ontwateringseis wordt voldaan.

Afbeelding 4.14 Toetsing ontwatering van woningen/gebouwen met kruipruimte met een ontwateringsdiepte van 0,7 m bij de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) van 2009-2017 van ontwerploop 2

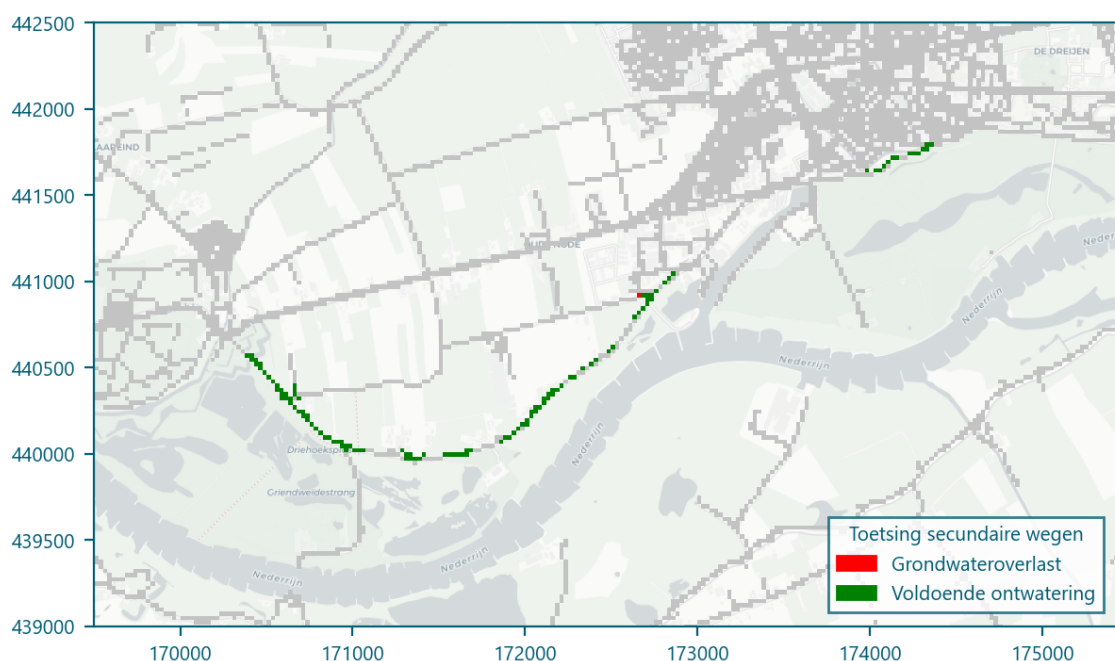


Tabel 4.1 Toename van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) bij panden langs de Grebbedijk

Nummer	Type pand	Toename GHG [m]	Kelder aanwezig
1	waterschapshuisje, Rhenen	+0,50	nee, geen kelder aanwezig
2	woning, Grebbedijk 15 Rhenen	+0,10	onbekend

De ontwateringsdiepte van de secundaire weg rondom de Grebbedijk is getoetst voor de referentiesituatie en voor ontwerploop 2 binnen de invloedzone van de dijkversterking en natuuropgaven. De invloedzone is gedefinieerd als waar de verandering van de grondwaterstand groter is dan 5 cm. Uit de berekeningen volgt dat zowel in de referentiesituatie als voor ontwerploop 2 niet volledig voldaan wordt aan de ontwateringseis, zoals weergegeven in Afbeelding 4.15. De dijkversterking verergert de situatie door een stijging van de GHG met maximaal circa 10 cm. De ontwatering op de oprit is daarom circa 50 cm onder het maaiveld. De verlenging van de damwand in het oosten van de stedelijke dijk zorgt naar verwachting voor een toename van de GHG. De grondwaterstand bevindt zich hier op voldoende afstand tot het maaiveld om niet in overlast te resulteren.

Afbeelding 4.15 Toetsing ontwatering van secundaire wegen met een ontwateringsdiepte van 0,7 m bij de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) van 2009-2017 van ontwerploop 2

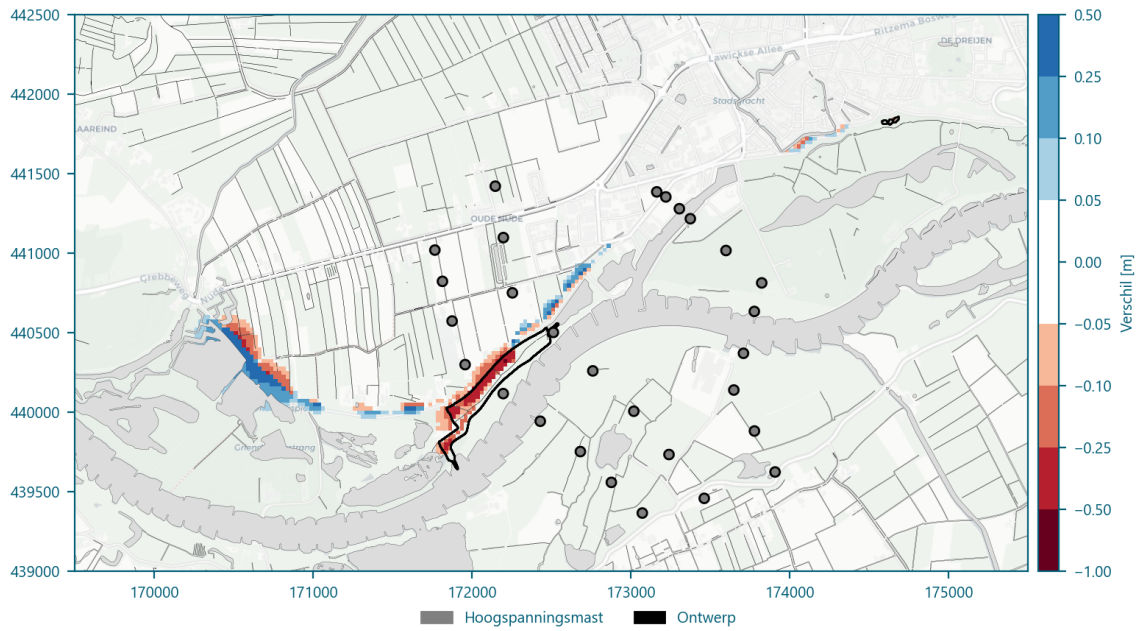


Hoogspanningsmasten

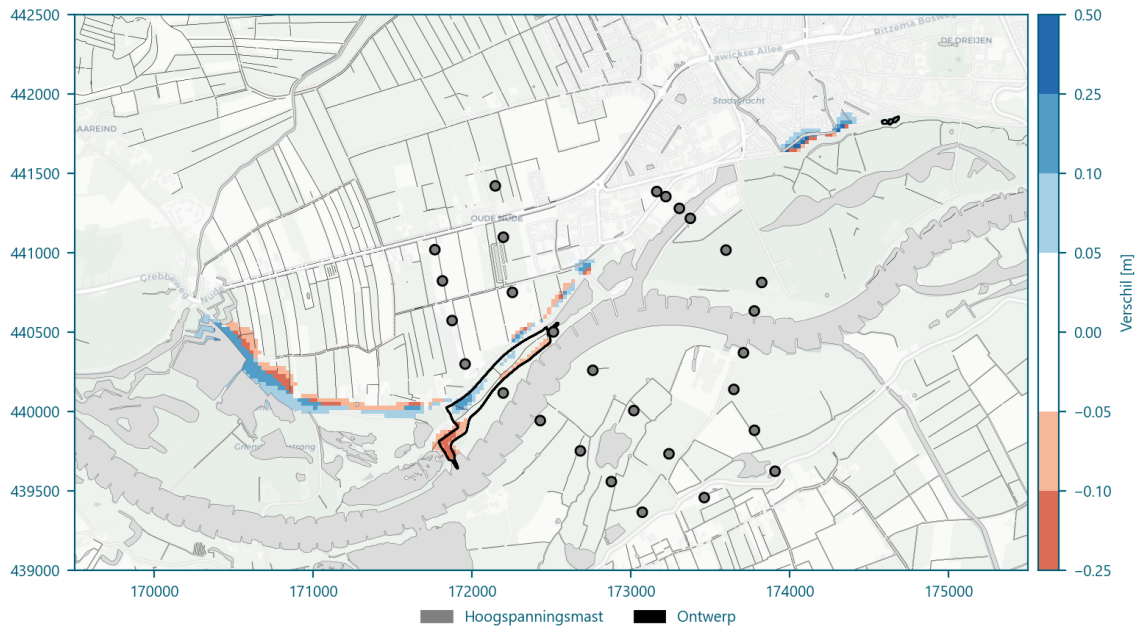
Voor de hoogspanningsmasten zijn aanvullende eisen gesteld; de grondwaterstandsveranderingen mogen geen nadelige effecten hebben op de mastfundatie. Daarnaast mag een verandering van de grondwaterstand binnen een gebied van 30 m x 30 m rondom de mast niet resulteren in dat de reguliere onderhoudswerkzaamheden niet meer kunnen worden uitgevoerd.

In Afbeelding 4.16 zijn de hoogspanningsmasten met een straal van 30 m vergeleken met de berekende verandering van de GHG en in Afbeelding 4.17 van de GLG. Hieruit volgt dat de grondwaterstand niet verandert in de omgeving van de masten. De KRW-geul zelf ligt op een afstand van circa 30 m van een van de masten in de uiterwaarde. Hier wordt eveneens geen verandering van de GHG en de GLG berekend.

Afbeelding 4.16 Hoogspanningsmasten rondom de Grebbedijk en de berekende verandering van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) van 2009-2017



Afbeelding 4.17 Hoogspanningsmasten rondom de Grebbedijk en de berekende verandering van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) van 2009-2017



Landbouw

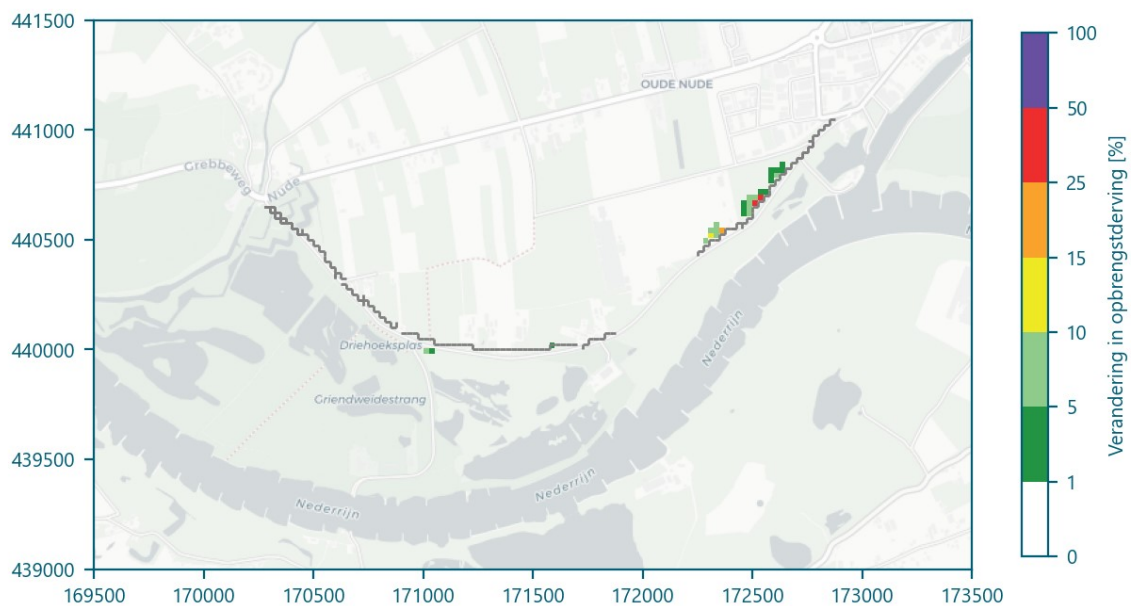
De berekende grondwaterstanden van het referentiemodel en van het effectenmodel, waarin de dijkversterking en natuuropgaven verwerkt zijn, zijn doorgerekend met WaterWijzer Landbouw (WWL). Op basis van onder andere de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld, het bodemtype en het landgebruik is de opbrengstderving afgeleid. Het verschil in de opbrengstderving tussen de referentiesituatie en het effect van ontwerploop 2 op de gewasproductie is berekend en weergegeven in Afbeelding 4.18. In bijlage IV is uitgesplitst of de opbrengstderving voortkomt uit (in)directe effecten, en de achterliggende oorzaken hiervan.

De vermindering van de gewasproductie weergegeven in Afbeelding 4.18 is berekend aan de hand van het landgebruik uit 2021 [ref. 2]. In de plasserwaard wordt aan de rand van de dijk een vermindering van de productie van agrarisch gras berekend. De toename van de GHG zorgt ervoor dat de zuurstofstress wordt verergert. Als gevolg neemt de productie af met maximaal 7,9 % door de dijkversterking en de natuuropgaven. Het model berekent hogere pieken dan de peilbuis (BK-A1-pb) in dit gebied laat zien. Mogelijk dat in de praktijk een stijging daarom niet direct leidt tot een vermindering van de productie. Een marginale stijging van de GHG kan al direct leiden tot een verergering van de natschade als de grondwaterstand zich binnen 10 cm van het maaiveld bevindt. Berekende grondwaterstandverhogingen kleiner dan 5 cm vallen echter binnen de onzekerheidsmarge van het grondwatermodel Hierom is enkel de verandering van de opbrengstderving weergegeven daar waar de grondwaterstandsverandering groter of gelijk is aan 5 cm.

De berekende daling van de GHG en GLG zorgt volgens WWL niet voor een vermindering van de opbrengstderving door droogschade. De afstand van de GLG met het maaiveld is rond het Hoornwerk is veelal meer dan 1 m. Rond de landelijke dijk is de afstand tussen de 0,6 en 0,8 m minus maaiveld. De landgebruikskarta geeft aan dat het landgebruik voornamelijk bestaat uit agrarisch gras. Het grootste gedeelte van de wortels van gras bevindt zich binnen de bovenste 10 cm van de bodem. Hierom kan voorondersteld worden dat de voeding van het grasland voornamelijk neerslag gestuurd is. Een daling van de grondwaterstand zorgt hierdoor door een niet significante vermindering van de opbrengstderving.

Voor de toepasbaarheid geeft WWL aan dat voor kleigronden de natschade overschat kan worden, omdat geen rekening wordt gehouden met macroporiën. Hierdoor wordt onder natte omstandigheden een overschatting berekend van de zuurstofstress [ref. 5]. Bovendien valt de berekende stijging van de grondwaterstand binnen de onzekerheidsmarge van de toegepaste grondwatermodelleringssoftware.

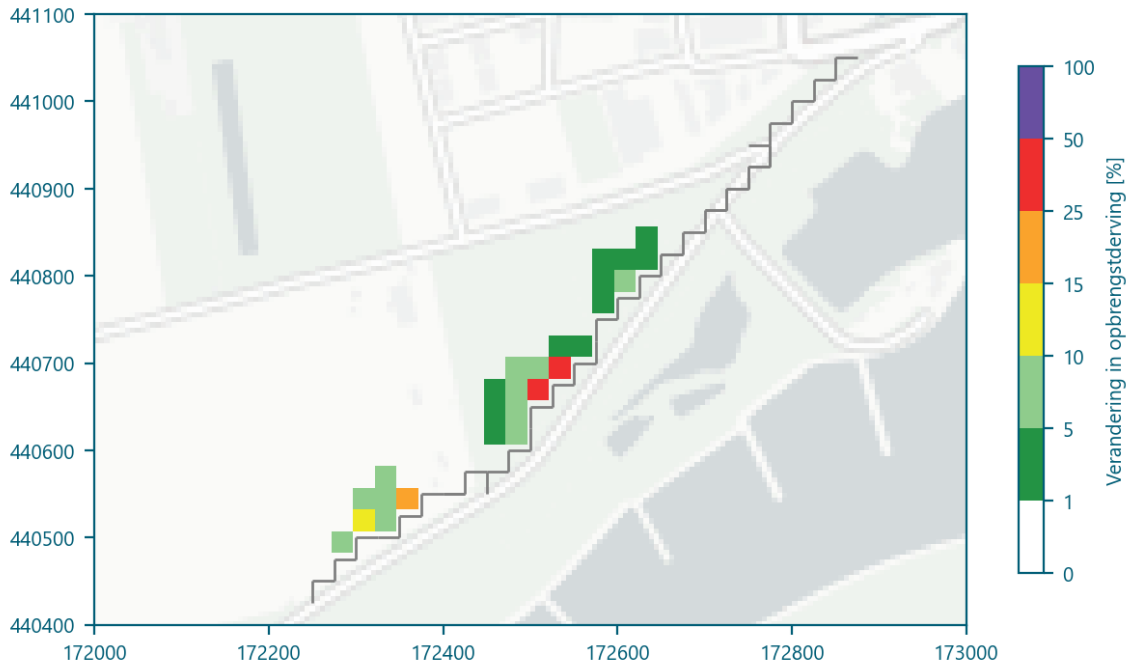
Afbeelding 4.18 Verandering opbrengstderving (%) door de dijkversterking en natuuropgaven van de Grebbedijk



In Afbeelding 4.19 is de berekende vermindering van de opbrengstproductie langs de Landelijke Dijk uitvergroot weergegeven. Direct langs de damwanden en de dijk is de verandering van de opbrengstderving het grootst. De berekende grondwaterstanden laten hier een stijging zien. Door zowel directe effecten als zuurstofstress en indirecte effecten als uitstellen van zaaien en oogsten door een te natte bodem. Op de locaties waar de opbrengstderving het grootst is, is de GHG gestegen met maximaal circa 30 cm. Hierdoor ondervinden de gewassen zuurstofstress. Op dezelfde locatie daalt de GLG, echter zorgt dit volgens de berekeningen niet in transpiratievermindering of droogtestress.

De typen gewas waarmee WWL rekening heeft gehouden om de vermindering van de gewasproductie te berekenen bestaan uit aardappelen, agrarisch grasland, mais en overige landbouwgewassen [ref. 2]. De LGN van 2022 toont dat het landgebruik veranderd is. De verandering kan mogelijk van invloed zijn op de berekende opbrengstderving. De bodem bestaat volgens de bodemfysische eenhedenkaart van 2020 uit kleigronden gelegen op een homogene ondergrond [ref. 1]. WWL kan de natschade voor kleigronden overschatten [ref. 5].

Afbeelding 4.19 Uitvergroting verandering opbrengstderving (%) door de dijkversterking en natuuropgaven van de Grebbedijk



Waterkering

In de huidige situatie bestaat opbarsting van deklaag aan de binnendijkse zijde. Een verdere stijging van de stijghoogte zorgt daardoor niet voor een negatieve beïnvloeding van de situatie. Over de invloed van de geohydrologische verandering wordt in de ontwerpnota dijk meer informatie opgenomen.

5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusie

Het effect van de dijkversterking van de Grebbedijk en de natuuropgaven op het grondwater is inzichtelijk gemaakt aan de hand van een tijdsafhankelijk grondwatermodel. Hiervoor is een aangepaste modeluitsnede van AZURE 1.0.4 bèta gebruikt. De modelperiode van 2009 tot en met 2017 is aangehouden om de effecten te toetsen.

Effecten

Als gevolg van de dijkversterking en de natuuropgaven verandert de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). Bij de Blauwe Kamer aan de buitendijkse zijde neemt de GHG toe met maximaal circa 50 cm en de GLG met 20 cm. Het invloedsgebied tot aan de oppervlaktewaterplassen is maximaal 300 m. Aan de binnendijkse zijde is een daling berekend van maximaal circa 30 cm en 15 cm voor respectievelijke de GHG en de GLG. De daling is merkbaar (>5 cm) tot een afstand van ongeveer 125 m van de dijk.

Langs de landelijke dijk, in het westelijke gedeelte van de Plasserwaard, neemt de GHG aan de buitendijkse zijde toe met maximaal 25 cm en de GLG met 20 cm. De effecten treden zeer lokaal op door de geplaatste damwanden die haaks op de grondwaterstroming geplaatst zijn. Aan de binnendijkse zijde wordt een daling berekend tot maximaal circa 20 cm voor de GHG en circa 15 cm voor de GLG. De beïnvloede afstand bedraagt tussen de 25 en 50 m. Tussen de dijk en de KRW-geul in, daalt de GHG met maximaal circa 55 cm en neemt de GLG toe met maximaal circa 20 cm. Rond de uitmonding van de KRW-geul naar de Nederrijn neemt de GLG af met maximaal circa 15 cm. Voor de Gemiddeld Hoogste Stijghoogte (GHS) is rondom de geul een toename berekend van maximaal circa 25 cm en achter de dijk circa 5 cm. De Gemiddeld Laagste Stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket daalt met maximaal circa 10 cm ter hoogte van de geul zelf en bij de uitmonding naar de Nederrijn. In het oostelijke gedeelte van de plasserwaard neemt de GHG aan buitendijkse zijde af met maximaal circa 15 cm en de GLG toe met eveneens 15 cm. Binnendijks neemt de GHG toe met maximaal circa 30 cm en de GLG af met 15 cm.

Bij Wageningen en in de Bovenste Polder neemt de GHG in de dijk toe met maximaal circa 15 cm aan de binnendijkse zijde en de GLG af met plaatselijk 25 cm. Binnendijks neemt de GHG af met maximaal circa 15 cm, en vanwege de veranderde stroomrichting de GLG toe met 35 cm. De verhoging van de GLG is merkbaar (>5 cm) tot een afstand van 85 m. In het gewijzigde damwandontwerp van 1 juli wordt de damwand met ca. 25 m verlengt aan de oostelijke zijde langs de stedelijke dijk. De verwachting is dat de effecten die eerder optreden hierdoor doorgetrokken en beperkt versterkt worden. Lokaal wordt een toename van de gemiddeld laagste stijghoogte (GLS) van het 1^e watervoerende pakket berekend van maximaal 10 cm aan de binnendijkse zijde. Ter plaatse van de Kamsalamanderpoelen neemt de gemiddeld hoogste stijghoogte (GHS) van het 1^e watervoerende pakket toe met maximaal 10 cm en de GLS af met circa 40 cm. De afname komt voort uit de verminderde weerstand bij de Kamsalamanderpoelen.

De verticale flux tussen het watervoerende pakket en de freatische grondwaterstand veranderd. In de Blauwe Kamer neemt de kwelflux af met maximaal 2,9 mm/d in de GHG-situatie en plaatselijk 1,4 mm/d voor de GLG. In de referentiesituatie komt bij de GHG in beperkte mate kwel voor, maar veranderd naar een infiltrerend gebied. In de GLG-situatie komt in mindere mate nog steeds kwel voor.

In de Plasserwaard neemt de wegzijging af bij de GHG met maximaal circa 1,8 mm/d. Ten tijden van de GLG zijn geen veranderingen berekend.

In het achterland bij Wageningen verandert de verticale flux bij de GHG niet significant. De wegzijging neemt plaatselijk toe tussen 0,5 en 0,7 mm/d voor de GLG. Rond de Kamsalamanderpoelen neemt de infiltratie toe door het verminderen van de weerstand van de deklaag. Voor het merendeel van het gebied neemt de infiltratie van de GLG toe tussen 0,5 mm/d en 1,5 mm/d. Ten noorden van de poelen neemt de kwelflux van de GLG af met 0,5 mm/d tot 1,0 mm/d.

Effectbeoordeling

Het effect van de veranderde freatische grondwaterstanden en stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket op de omgeving is getoetst. Voor de monitoring van de grondwatereffecten is een voorstel gedaan in de milieueffectrapportage [ref. 11].

Voor panden kan de daling van de GLG negatieve effecten hebben ten aanzien van mogelijke zettingen en schade aan funderingen. Dit is nader onderzocht voor de panden waar de verlaging optreedt voor in totaal 19 panden; 6 bij de Blauwe Kamer, 10 in het westelijke deel van de landelijke dijk en 3 in de Plasserwaard [ref. 10]. Het is mogelijk dat meerdere adressen geregistreerd zijn op een pand. Uit het onderzoek volgt dat het risico voor funderingen en zettingen klein is.

Met oog op grondwateroverlast is eveneens de gestreefde ontwateringsdiepte getoetst voor woningen en gebouwen met kruipruimte en secundaire wegen. Voor het overgrote gedeelte alle getoetste gebruiksfuncties binnen de invloedzone van de dijkversterking en natuuropgaven wordt de ontwateringseis gehaald. Voor een gedeelte van de Wageningse Afweg wordt de ontwateringseis overschreden en verslechterd na de dijkversterking. Het verlengen van de damwand in de stedelijke dijk heeft naar verwachting geen negatieve effecten op de ontwatering van deze gebruiksfuncties.

Voor drinkwaterwinningen en hoogspanningsmasten worden door de dijkversterking en natuuropgaven geen negatieve effecten verwacht.

Voor landbouw is de verandering van de opbrengst door de dijkversterking en natuuropgaven onderzocht. In de Plasserwaard en in het oostelijke gedeelte van de Landelijke dijk kan de gewasproductie verminderen door onder andere zuurstofstress en indirecte effecten.

De geohydrologische effecten op de stabiliteit van de dijk worden beschouwd in de ontwerpnota dijk.

In de effectbeoordeling natuur is het effect van de verandering van de GLG en GHG voor de natuurbeheertype of landschapstypen beoordeeld. De conclusie uit de toetsing is dat zowel de natuurbeheertypen en landschapstypen niet worden aangetast [ref. 12].

5.2 Aanbevelingen

Enkele aanbevelingen worden gedaan met oog op de effectenanalyse:

- de effectiviteit van mitigerende maatregelen om de verandering van de grondwaterstand te beperken kunnen getoetst worden met het grondwatermodel;
- de damwanden in het grondwatermodel zijn zo geschematiseerd dat ze continu onderling in elkaar haken zonder slotvulling. Daarmee zijn de damwanden in het model volledig dicht voor eventuele grondwaterstroming. Het is vanuit Waterveiligheid echter technisch niet noodzakelijk om de freatische grondwaterstroming volledig af te dichten. Daardoor bestaat de mogelijkheid om in de praktijk de damwanden als het ware meer open te laten. Daarin zijn verschillende oplossingsmogelijkheden, afhankelijk van de lokale toepasbaarheid, zoals een palenwand, vernagelingssysteem of een kunststofoplossing waarbij de Holocene ondergrond en dus de freatische grondwaterstroming niet volledig wordt afgesloten. Het deels open laten van damwanden heeft in een kleiige ondergrond mogelijk minder effect dan in een sterk doorlatende ondergrond. De effectiviteit van dergelijke maatregelen zal nader onderzocht moeten worden.

6

REFERENTIES

- 1 Heinen, M., Brouwer, F., Teuling, C., & Walvoort, D. J. J. (2021). *BOFEK2020-Bodemfysische schematisatie van Nederland: update bodemfysische eenhedenkaart* (No. 3056). Wageningen Environmental Research.
- 2 Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN). (2021). Wageningen Environmental Research. <https://www.lgn.nl>.
- 3 SRB. (2007). Publicatie 'Ontwatering in stedelijk gebied.
- 4 Tauw (2021). Documentatie AZURE 1.04-bèta.
- 5 Werkgroep Waterwijzer Landbouw (2018). Waterwijzer Landbouw: instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie. STOWA, Amersfoort, Rapport 2018-48. <https://waterwijzerlandbouw.wur.nl/>
- 6 Witteveen+Bos (2022). Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk: Factsheet geohydrologie.
- 7 Witteveen+Bos (2022). Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk: Geohydrologische uitgangspuntennota.
- 8 Witteveen+Bos. (2022). Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk: Geohydrologische uitgangspuntennota.
- 9 Witteveen+Bos. (2023). Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk. Modelrapportage AZURE.
- 10 Witteveen+Bos. (2024). Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk: Risico's verlaging grondwaterstand.
- 11 Witteveen+Bos. (2024). Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk: Milieueffectrapportage fase II
- 12 Witteveen+Bos. (2024). Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk: NNN / GNN / GO toets
- 13 Witteveen+Bos. (2024). Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk: Gevoeligheidsanalyse geohydrologische effectenstudie.

Bijlage(n)

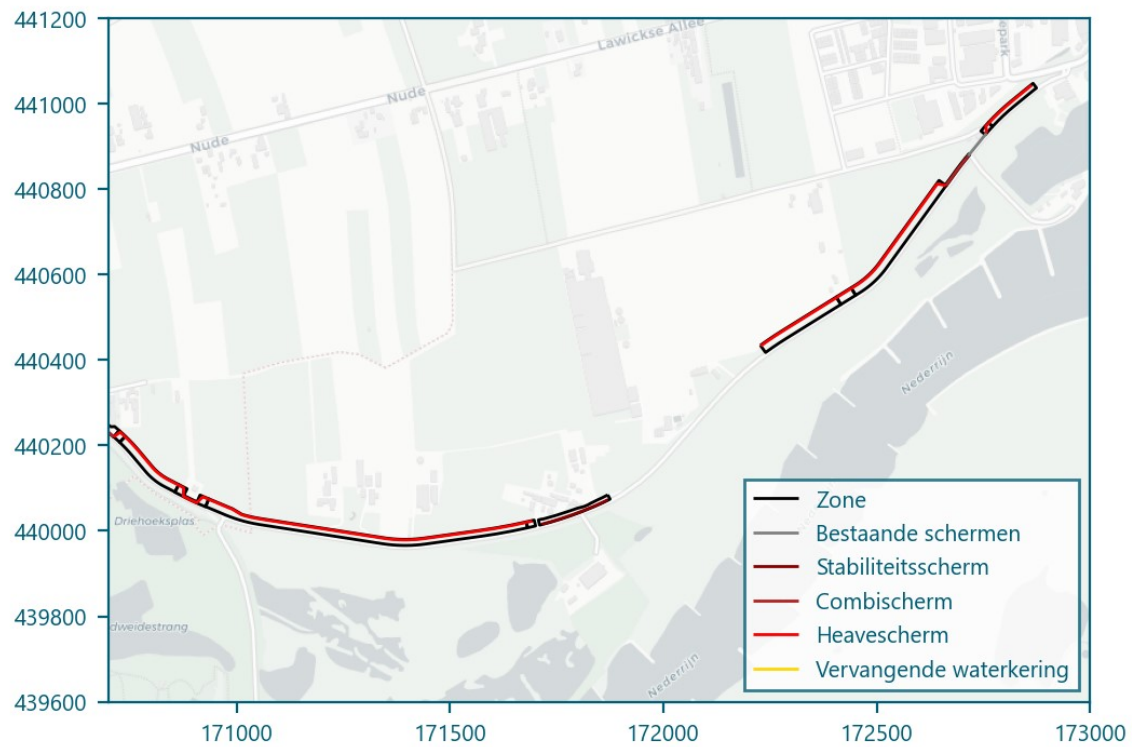


BIJLAGE: ZONE DAMWAND ONTWERPLOOP 2

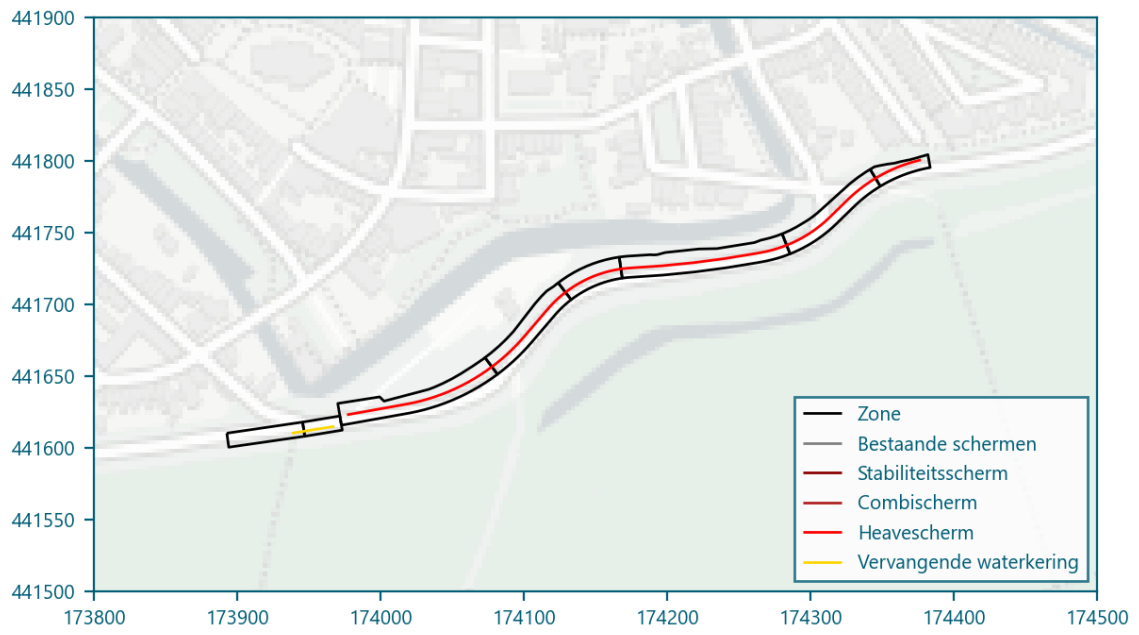
Afbeelding I.1 Overzicht zonering damwanden ontwerploop 2 te hoogte van het Hoorwerk



Afbeelding I.2 Overzicht zonering damwanden ontwerploop 2 te hoogte van de Landelijke dijk



Afbeelding I.3 Overzicht zonering damwanden ontwerploop 2 te hoogte van de Stedelijke dijk

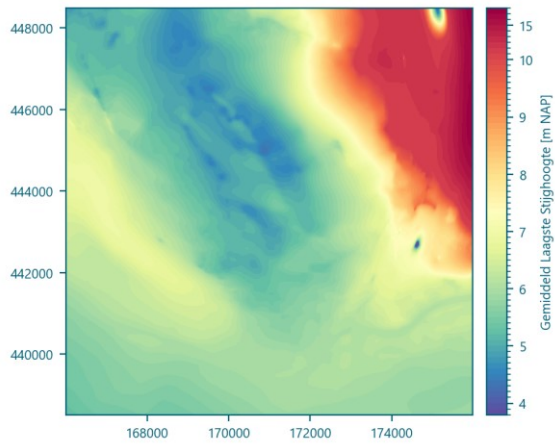




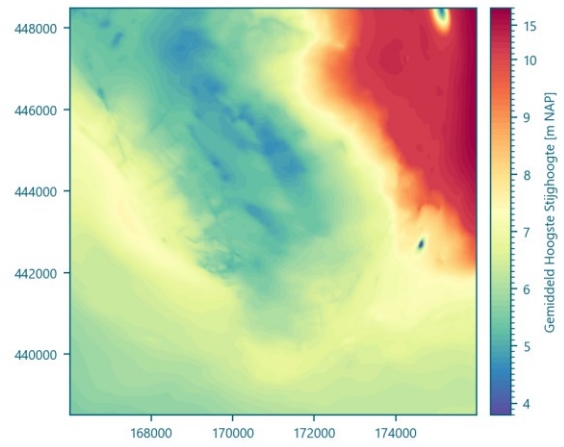
BIJLAGE: RESULTATEN REFERENTIESITUATIE

GxS's

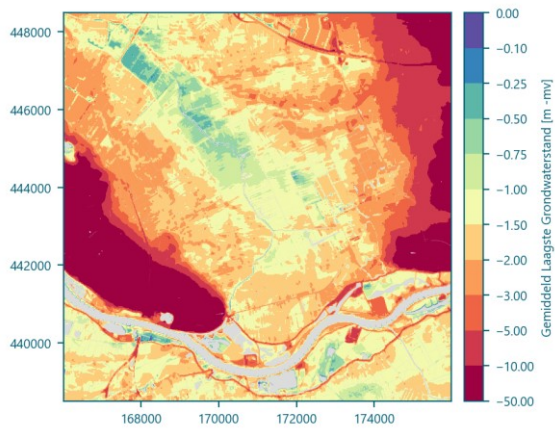
Afbeelding II.1 Gemiddeld Laagste Stijghoogte (GLS)
referentiesituatie in modellaag 2



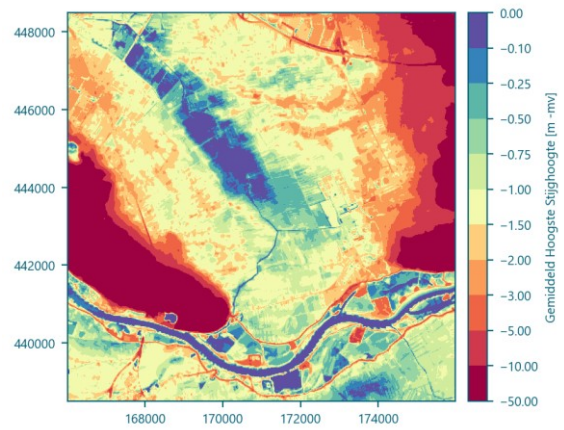
Afbeelding II.2 Gemiddeld Hoogste Stijghoogte (GHS)
referentiesituatie in modellaag 2



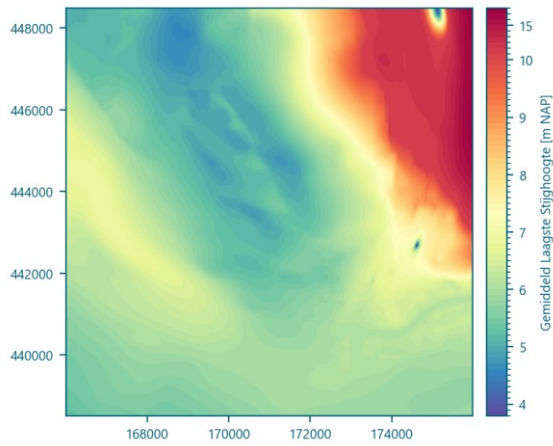
Afbeelding II.3 Gemiddeld Laagste Stijghoogte (GLS) t.o.v.
maaiveld van de referentiesituatie in modellaag
2



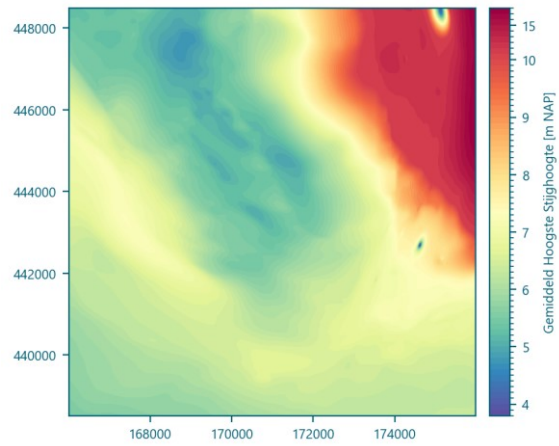
Afbeelding II.4 Gemiddeld Hoogste Stijghoogte (GHS) t.o.v.
maaiveld van de referentiesituatie in modellaag
2



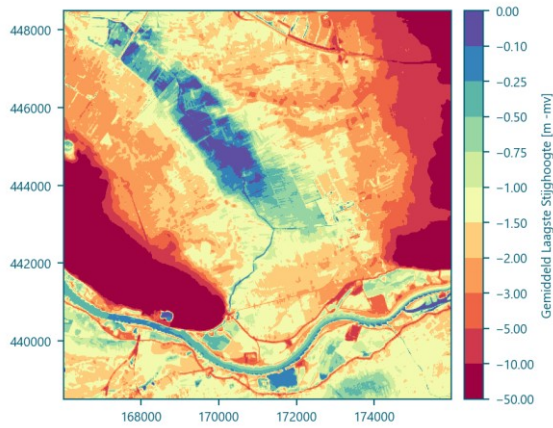
Afbeelding II.5 Gemiddeld Laagste Stijghoogte (GLS)
referentiesituatie in modellaag 3



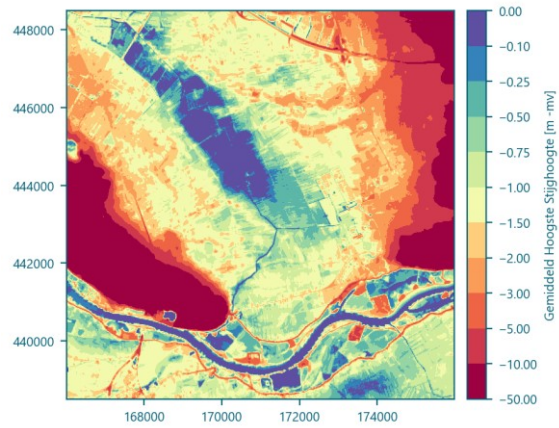
Afbeelding II.6 Gemiddeld Hoogste Stijghoogte (GHS)
referentiesituatie in modellaag 3



Afbeelding II.7 Gemiddeld Laagste Stijghoogte (GLS) t.o.v.
maaveld van de referentiesituatie in modellaag
3

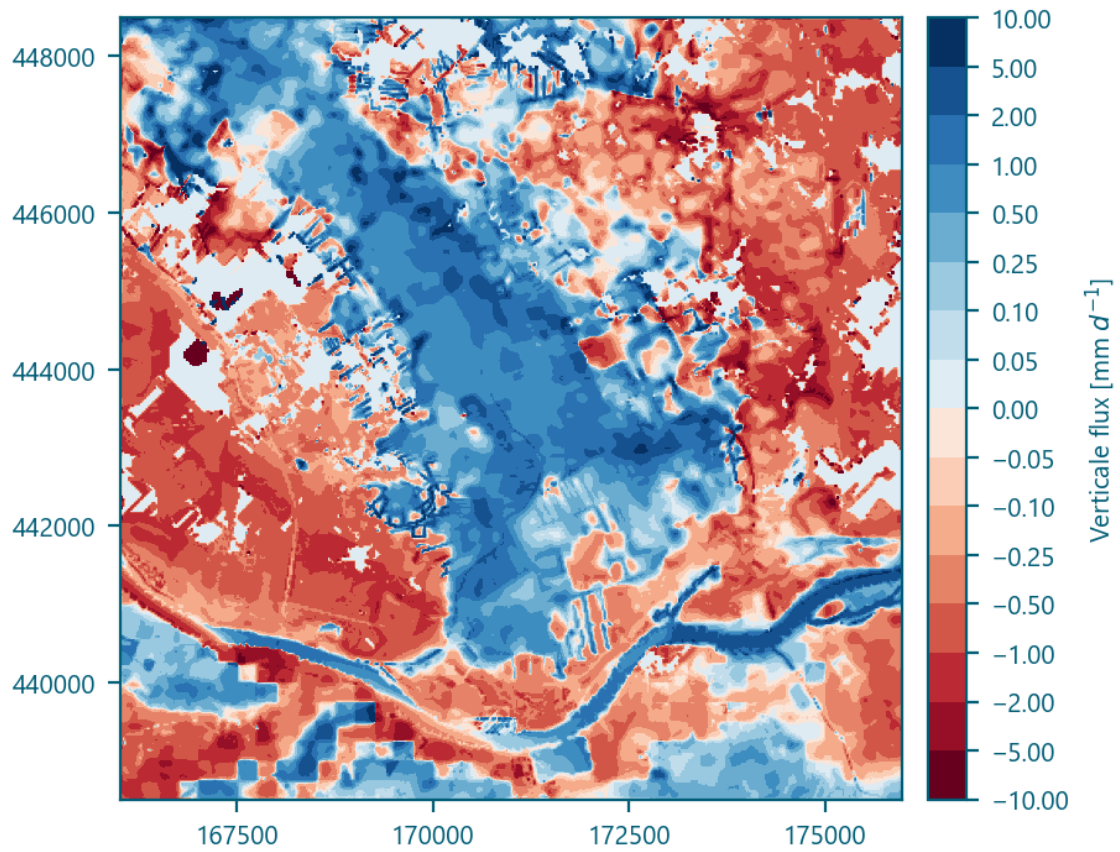


Afbeelding II.8 Gemiddeld Hoogste Stijghoogte (GHS) t.o.v.
maaveld van de referentiesituatie in modellaag
3

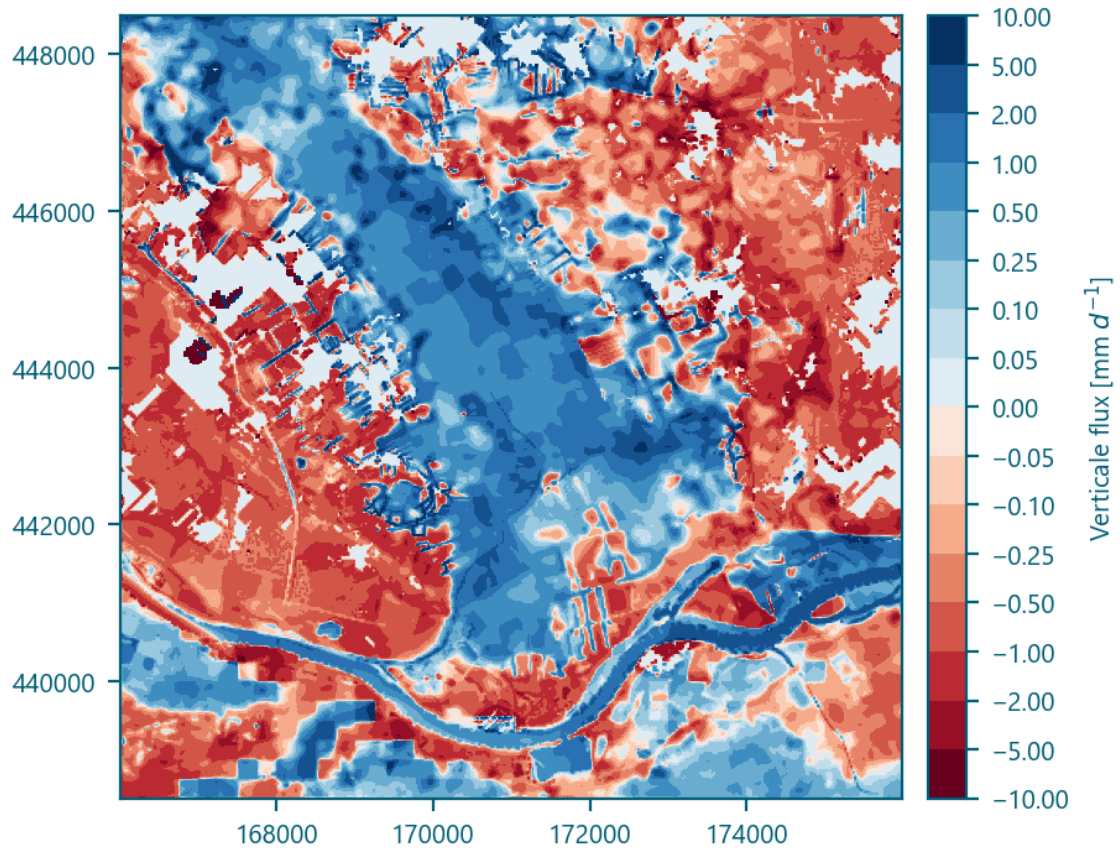


Verticale flux

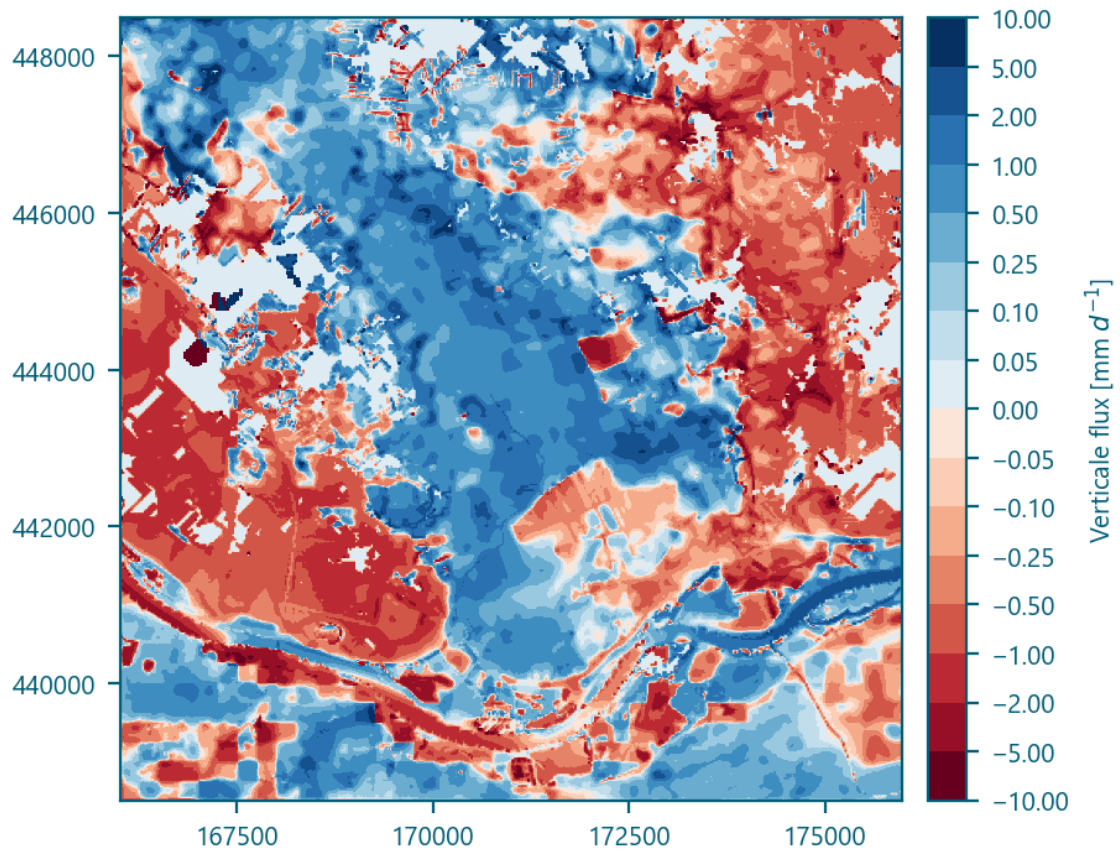
Afbeelding II.9 Verticale flux referentiesituatie (mm/d) in januari 2017



Afbeelding II.10 Verticale flux referentiesituatie (mm/d) in april 2017



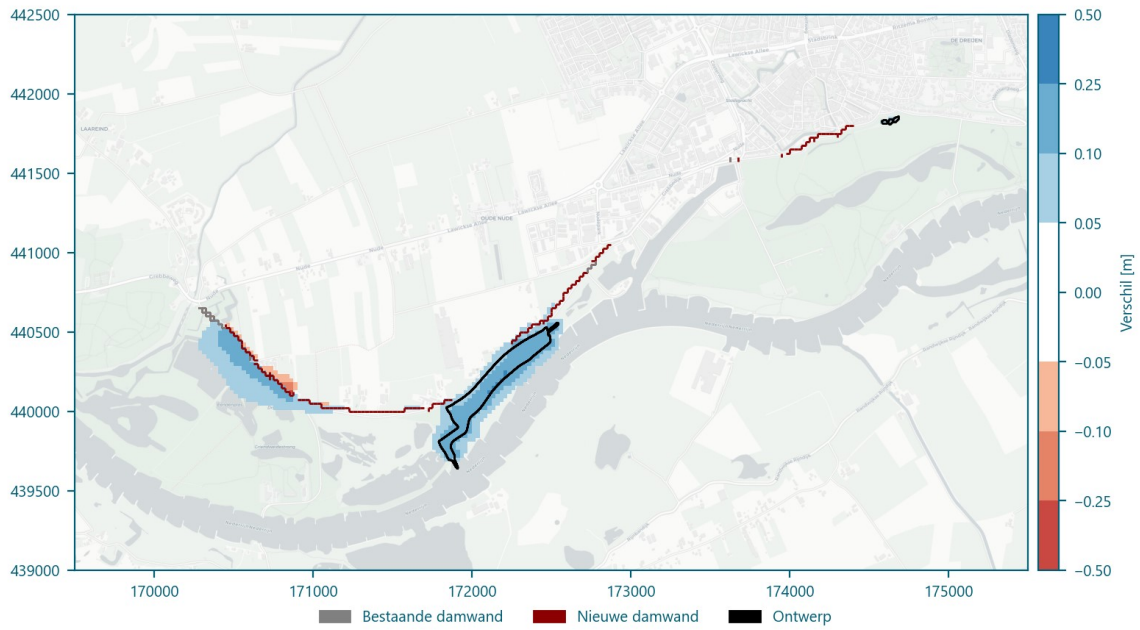
Afbeelding II.11 Verticale flux referentiesituatie (mm/d) in juli 2017



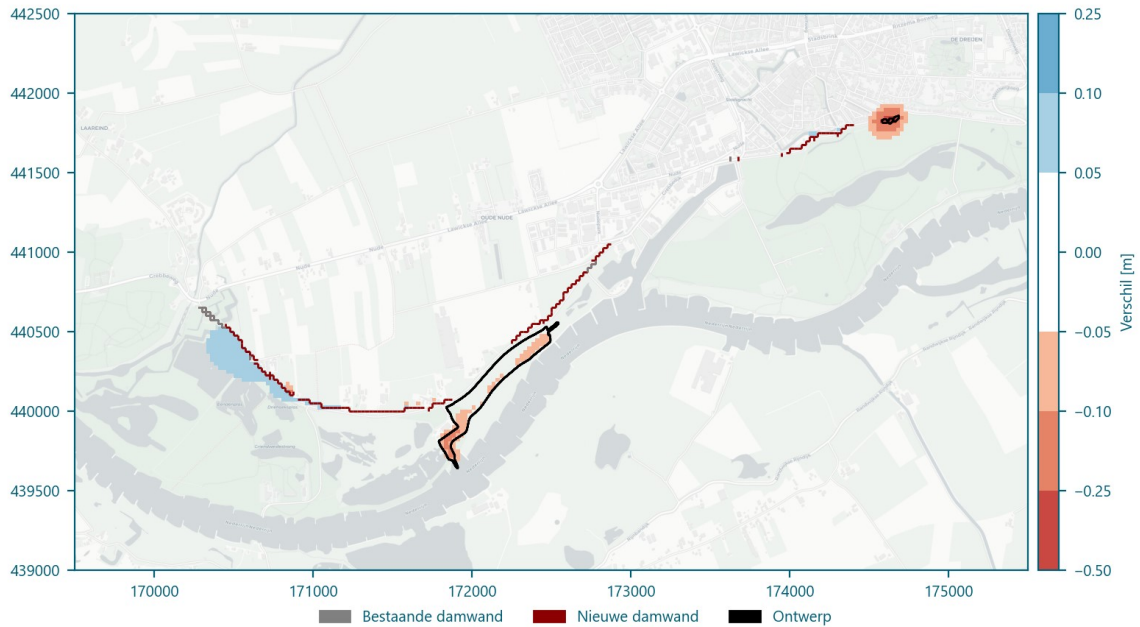


BIJLAGE: RESULTATEN ONTWERPLOOP 2

Afbeelding III.1 Verandering van de Gemiddeld Hoogste Stijghoogte (GHS) in de 2^e modellaag van 2009-2017 na de dijkversterking en de natuuropgaven in ontwerploop 2

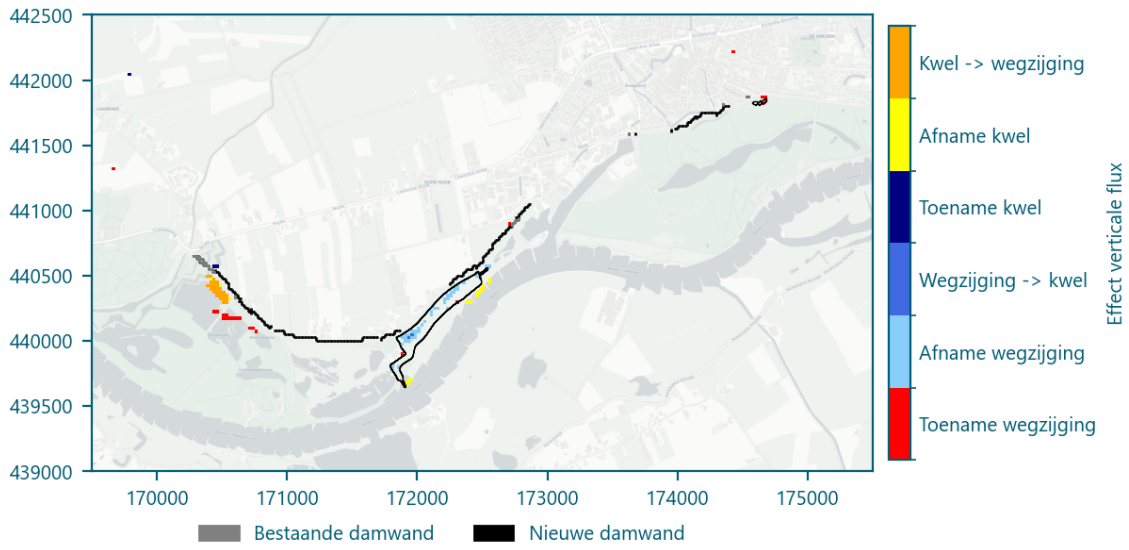


Afbeelding III.2 Verandering van de Gemiddeld Laagste Stijghoogte (GLS) in de 2^e modellaag van 2009-2017 na de dijkversterking en de natuuropgaven in ontwerploop 2

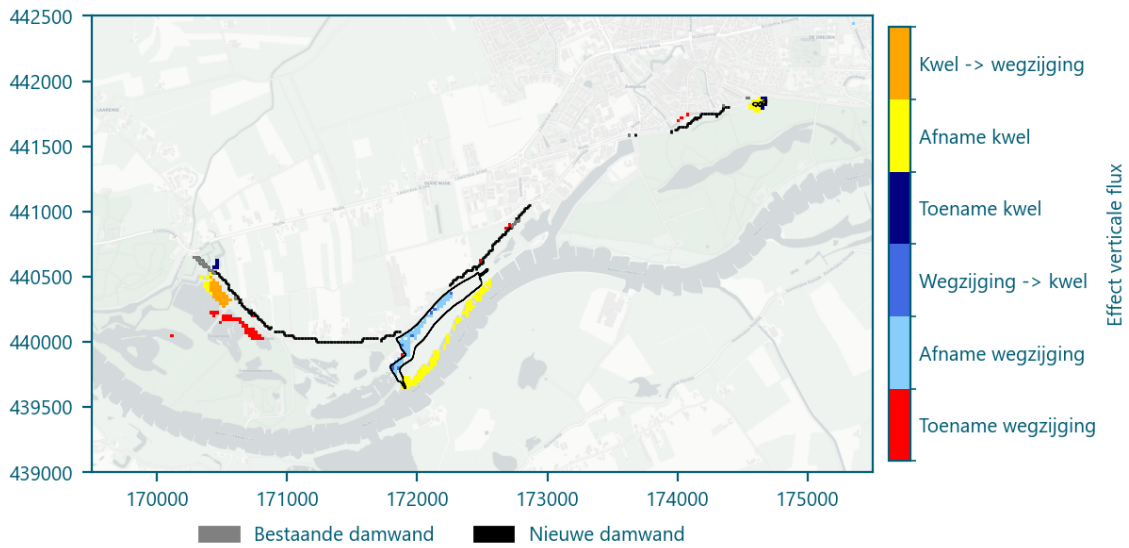


Verticale flux

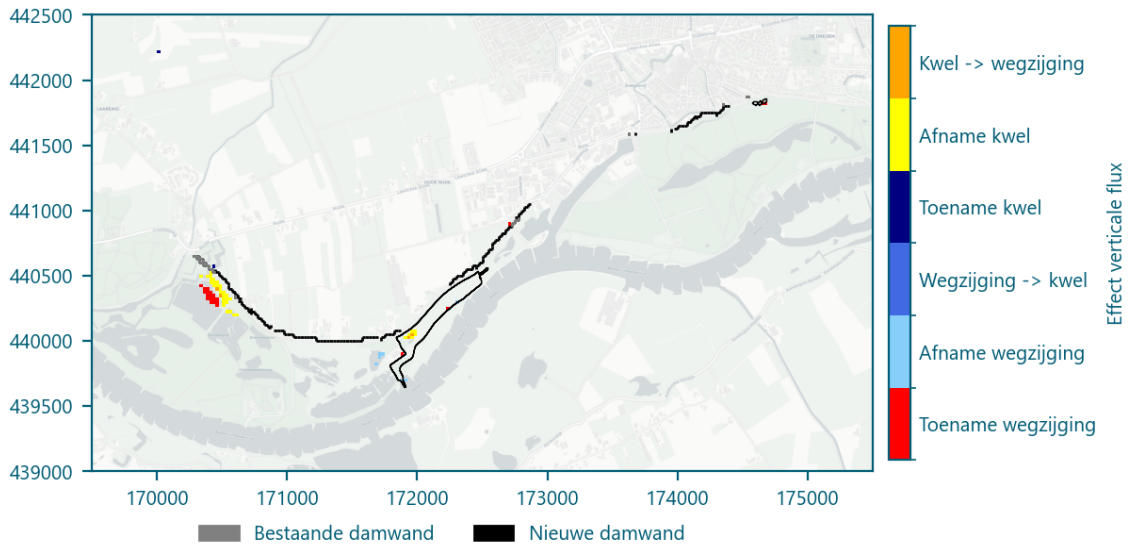
Afbeelding II.3 Verandering van de verticale flux in januari 2017 na de dijkversterking en de natuuropgaven in ontwerploop 2



Afbeelding III.4 Verandering van de verticale flux in april 2017 na de dijkversterking en de natuuropgaven in ontwerploop 2



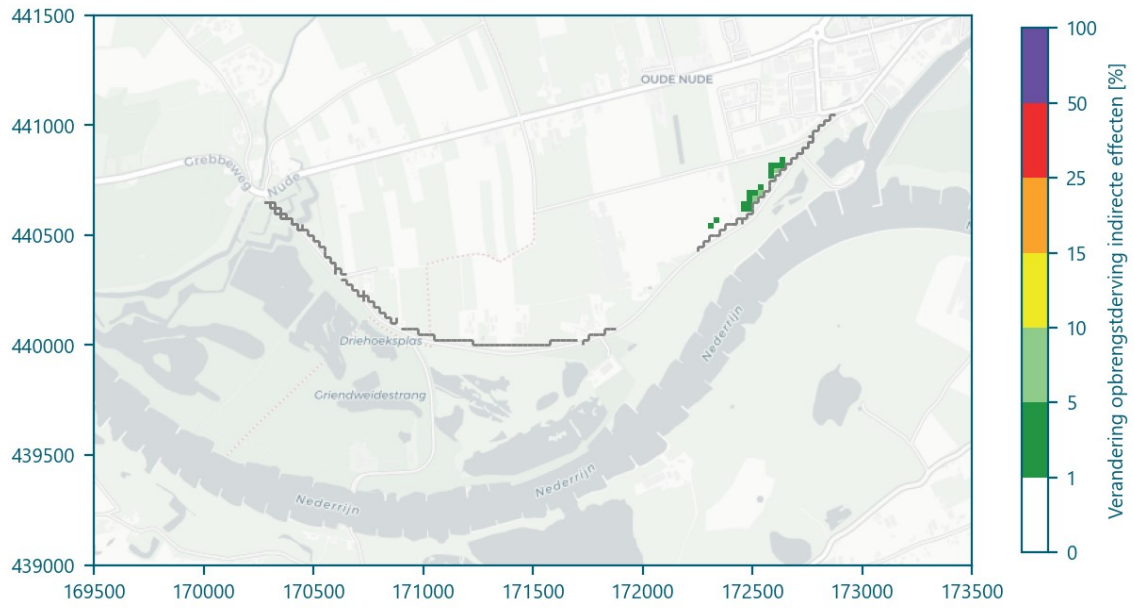
Afbeelding II.5 Verandering van de verticale flux in juli 2017 na de dijkversterking en de natuuropgaven in ontwerploop 2



IV

BIJLAGE: UITKOMSTEN WATERWIJZER LANDBOUW

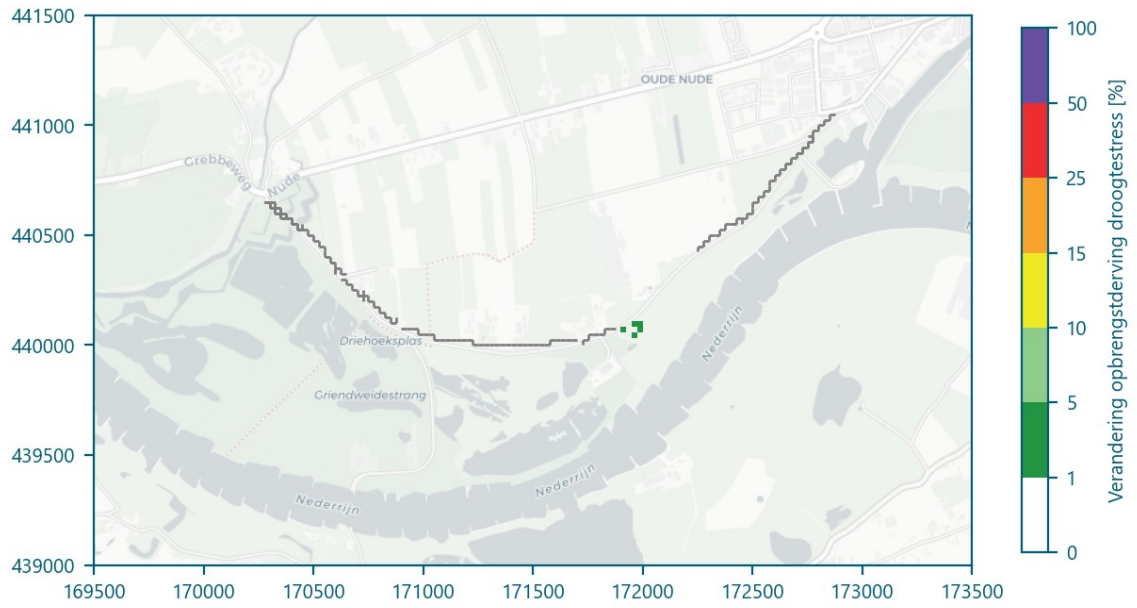
Afbeelding IV.1 Afname gewasproductie door toedoen van indirecte effecten



Afbeelding IV.2 Afname gewasproductie door toedoen van directe effecten



Afbeelding IV.3 Afname gewasproductie door toedoen van droogtestress



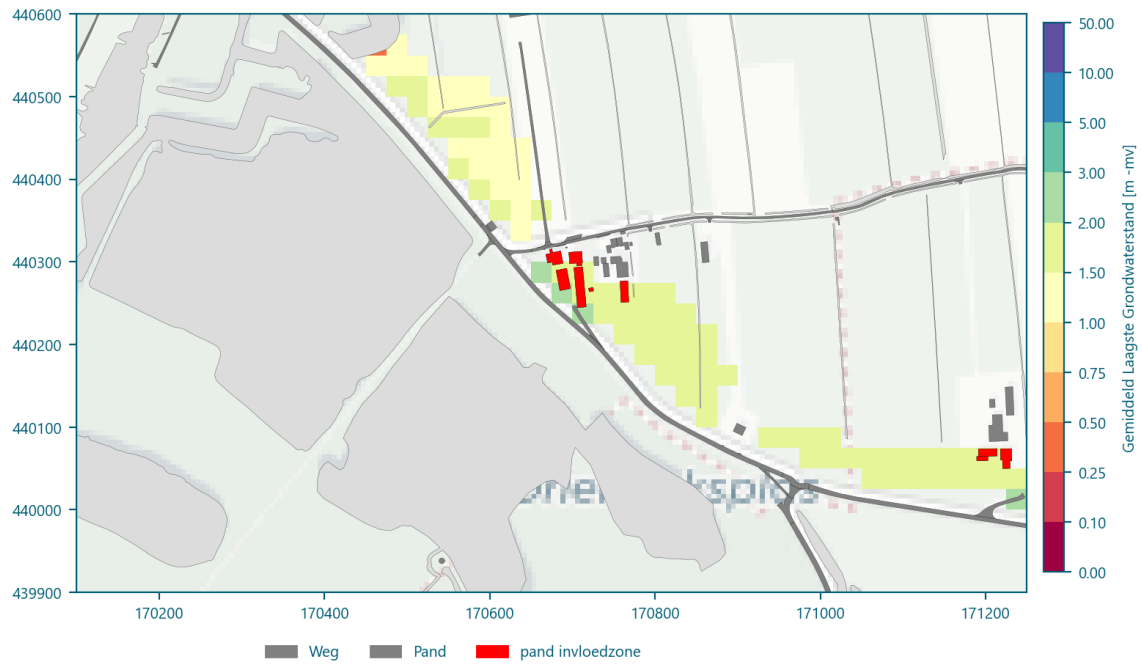
Afbeelding IV.4 Afname gewasproductie door toedoen van zuurstofstress



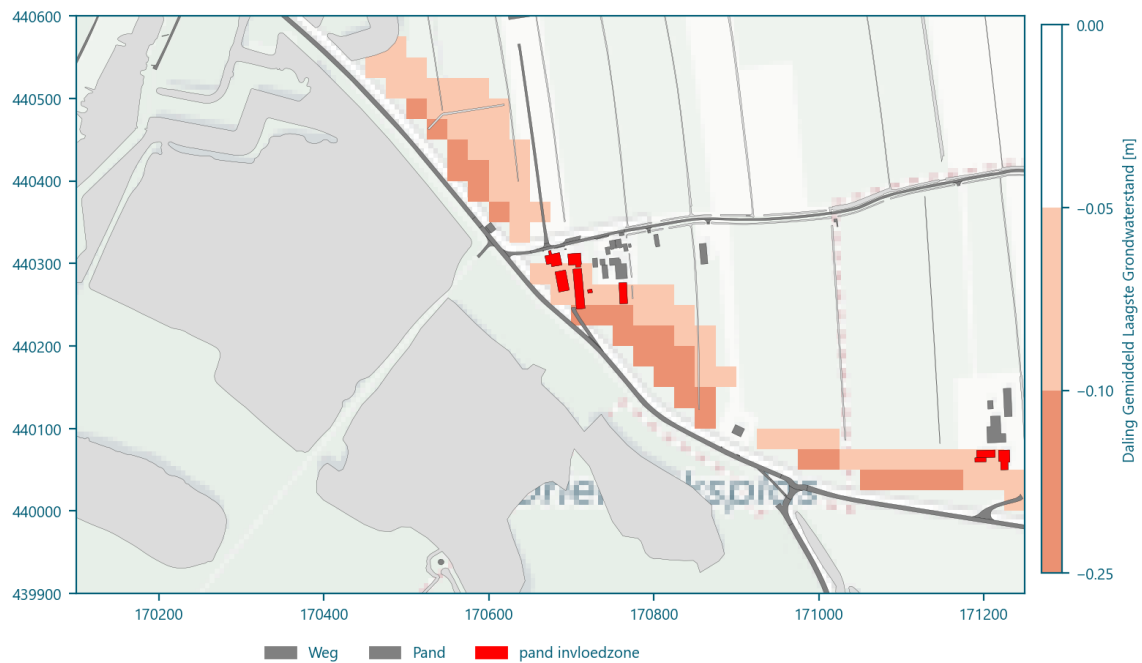


BIJLAGE: DALING GEMIDDELD LAAGSTE GRONDWATERSTAND PANDEN

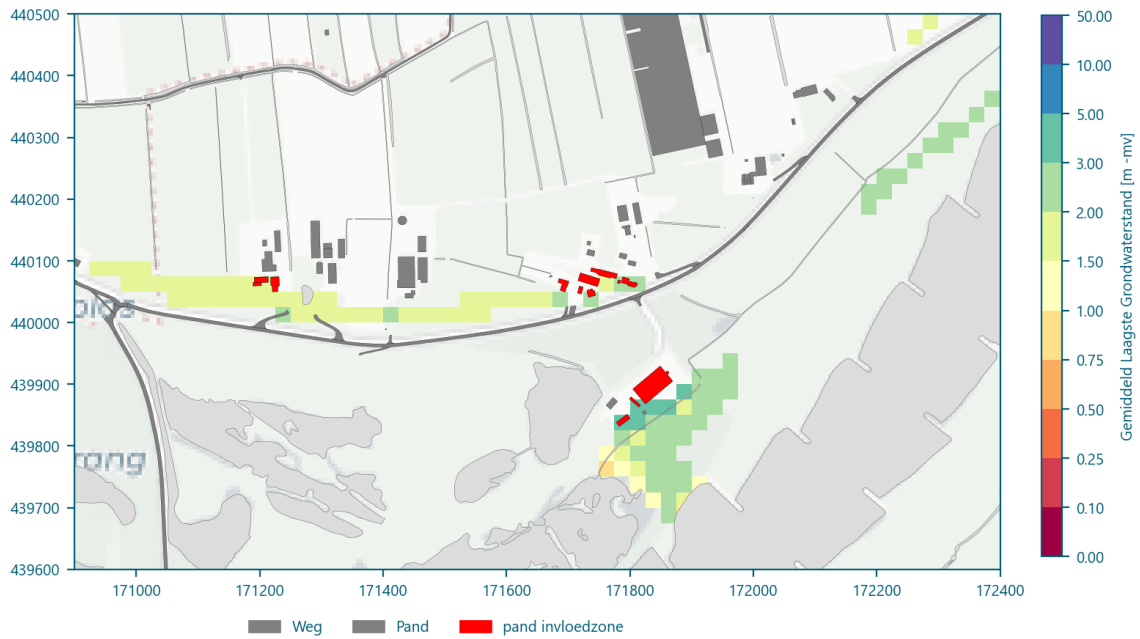
Afbeelding V.1 Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) ontwerploop 2 van 2009-2017 ten opzichte van het maaiveld bij het Hoornwerk. De daling is enkel weergegeven op locaties waar een daling (>5 cm) ten opzichte van de referentiesituatie berekend is



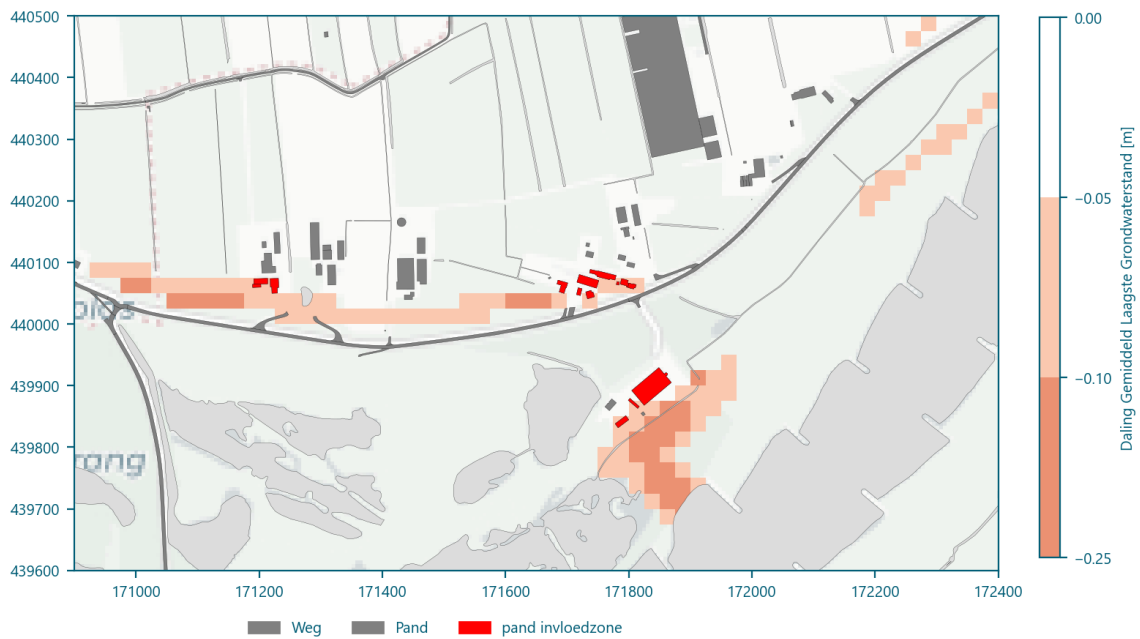
Afbeelding V.2 Daling van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) ontwerploop 2 van 2009-2017 bij het Hoornwerk. De daling is enkel weergegeven op locaties waar een daling (>5 cm) ten opzichte van de referentiesituatie berekend is



Afbeelding V.3 Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) ontwerploop 2 van 2009-2017 ten opzichte van het maaiveld bij de landelijke dijk en de Plasserwaard. De daling is enkel weergegeven op locaties waar een daling (>5 cm) ten opzichte van de referentiesituatie berekend is



Afbeelding V.4 Daling van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) ontwerploop 2 van 2009-2017 bij de landelijke dijk en de Plasserwaard. De daling is enkel weergegeven op locaties waar een daling (>5 cm) ten opzichte van de referentiesituatie berekend is



Afbeelding V.5 Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) ontwerploop 2 van 2009-2017 ten opzichte van het maaiveld bij de Bovenste Polder. De daling is enkel weergegeven op locaties waar een daling (>5 cm) ten opzichte van de referentiesituatie berekend is



Afbeelding V.6 Daling van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) ontwerploop 2 van 2009-2017 bij de Bovenste Polder. De daling is enkel weergegeven op locaties waar een daling (>5 cm) ten opzichte van de referentiesituatie berekend is



