

## Rapport

---

Projectnummer: 361873  
Referentienummer: SWNL0226012  
Datum: 18-05-2018

---

## Effectbepaling Vernattingsmaatregelen Herkenbosscherbroek

Grondwatermodellering met IBRAHYM

Definitief

Opdrachtgever:  
Provincie Limburg  
Limburglaan 10  
6229 GA MAASTRICHT

## Verantwoording

Titel	Effectbepaling Vernattingsmaatregelen Herkenbosscherbroek
Subtitel	Grondwatermodellering met IBRAHYM
Projectnummer	361873
Referentienummer	SWNL0226012
Revisie	D1
Datum	18-05-2018

Auteur(s)	Koen van der Hauw
E-mailadres	koen.vanderhauw@sweco.nl

Gecontroleerd door	Pim Dik
Paraaf gecontroleerd	

Goedgekeurd door	Ron Buitelaar
Paraaf goedgekeurd	

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>4</b>
1.1	Aanleiding .....	4
1.2	Aanpak.....	4
1.3	Leeswijzer .....	4
<b>2</b>	<b>Situatieschets en maatregelen</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Grondwatermodel</b> .....	<b>7</b>
3.1	Uitgangsmodel.....	7
3.2	Modelverbetering en kalibratie .....	7
3.3	Referentiesituatie .....	11
<b>4</b>	<b>Scenario</b> .....	<b>13</b>
4.1	Modelaanpassingen .....	13
4.2	Berekende GxG .....	13
4.3	Effectbepaling .....	15

- Bijlage 1. Conclusies Modelvergelijking WRO2014 vs. IBv2.1
- Bijlage 2. Kalibratieresultaten kh-waarde
- Bijlage 3. Detailvergelijking AGOR- en berekend GxG-niveau
- Bijlage 4. Effecten ten opzichte van NAP

## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding

Binnen het GGOR-proces is gekozen voor vernattingsmaatregelen in het Herkenbosscherbroek bij de Turfkoelen, zie afbeelding 2.1. Waterschap Limburg moet vergunning verlenen voor deze maatregelen. Voor dit project zijn effectberekeningen van de maatregelen gevraagd. Een negatief effect op het grond- en oppervlaktewatersysteem van de omgeving moet worden uitgesloten. Voor het inschatten van de effecten is het IBRAHYM grondwatermodel gebruikt.

### 1.2 Aanpak

In 2014 zijn maatregelen doorgerekend rond de Schuttecampsgraaf. Hiervoor is IBRAHYM v2 uit 2012 als basis gebruikt. Een uitsnede hiervan is lokaal verbeterd en gekalibreerd op basis van AGOR-kaarten (GHG, GVG en GLG). Ondertussen is IBRAHYM v2.1 beschikbaar met verbeteringen die mogelijk relevant zijn voor dit project. Beide modelversies zouden gebruikt kunnen worden als basis voor de effectbepaling.

De volgende aanpak is gebruikt voor het bepalen van de effecten:

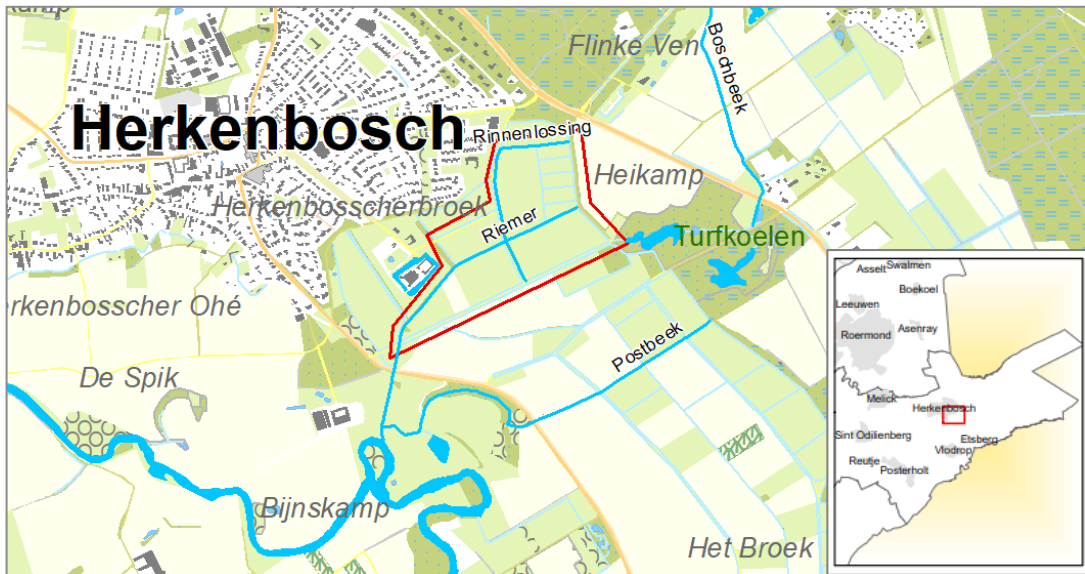
- keuze maken voor uitgangsmodel. Er is een analyse uitgevoerd van de verschillen tussen beide modellen, zie bijlage 1 voor de conclusies;
- modelverbetering en een beperkte, handmatige kalibratie;
- actualisatie van het model voor de huidige situatie als referentie;
- schematiseren van de vernattingsmaatregelen en doorrekenen van dit scenario;
- effectbepaling ten opzichte van de referentie voor de GHG, GVG en GLG, waarbij met name het effect op de GHG en GVG-situatie van belang zijn.

### 1.3 Leeswijzer

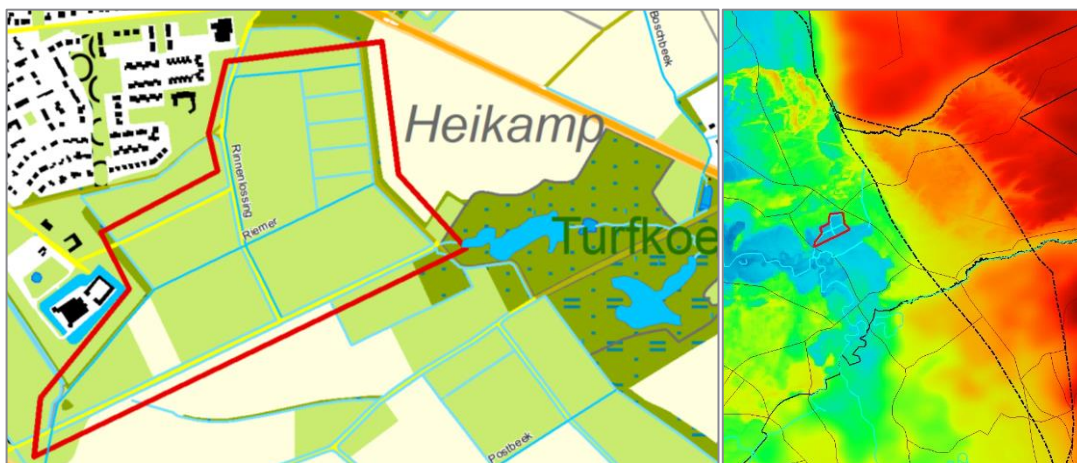
In hoofdstuk 2 is een korte situatieschets gegeven en zijn de door te rekenen maatregelen benoemd die van belang zijn voor het te berekenen effect op het grondwater. In hoofdstuk 3 zijn de prestaties van het grondwatermodel beschreven en de aangebrachte verbeteringen en aanpassingen voor de referentiesituatie. In hoofdstuk 4 zijn de modelaanpassingen voor het scenario benoemd en zijn de berekende effecten voor de maatregelen van het scenario beschreven.

## 2 Situatieschets en maatregelen

Het Herkenboscherbroek ligt ten westen van het natuurgebied Turfkoelen dat wordt gevoed door de Boschbeek. Na de Turfkoelen stroomt het water via de Boschbeek en de Riemer westwaarts richting de Roer. Westelijk van het Herkenboscherbroek ligt het kasteel Daelenbroeck. Ten noordwesten van het Herkenboscherbroek ligt het stedelijk gebied van Herkenbosch. Verder naar het oosten liggen enkele breuklijnen en zijn corresponderende sprongen in het maaiveld zichtbaar die bepalend zijn voor de grondwaterstroming. Zie afbeelding 2.2 voor het maaiveldverloop en de ligging van de breuklijnen.



Afbeelding 2.1 Situering plangebied (rode markering)



Afbeelding 2.2 Links: detail situering plangebied (rode markering), rechts: maaiveldniveau en breuklijnen (dikke, zwarte streeplijnen)

De uit te voeren vernattingsmaatregelen in het gebied zijn als volgt (zie afbeelding 2.3).

1. Het stukje Riemer met profiel G-G1 wordt volledig gedempt.
2. Afgraven van ca. 20 cm op perceel tussen Riemer en Boschbeek.
3. Afgraven van ca. 20 cm op klein gebied ten noorden van gebied onder punt 2 tot aan eerste te verwijderen afrastering (gemarkeerd met de letter A).
4. Verondiepen Rinnenlossing en Riemer tot ca. 40 cm-mv (profiel B-B1 en C-C1).
5. Graven van greppels van ca. 20 cm diep (in gebied met strepen) die afwateren naar de Rinnenlossing c.q. Riemer (bij profiel C-C1).
6. Het profiel van Boschbeek en stuwen in Boschbeek en Riemer wordt niet veranderd.
7. Sloten tussen Rinnenlossing en Riemer blijven liggen.



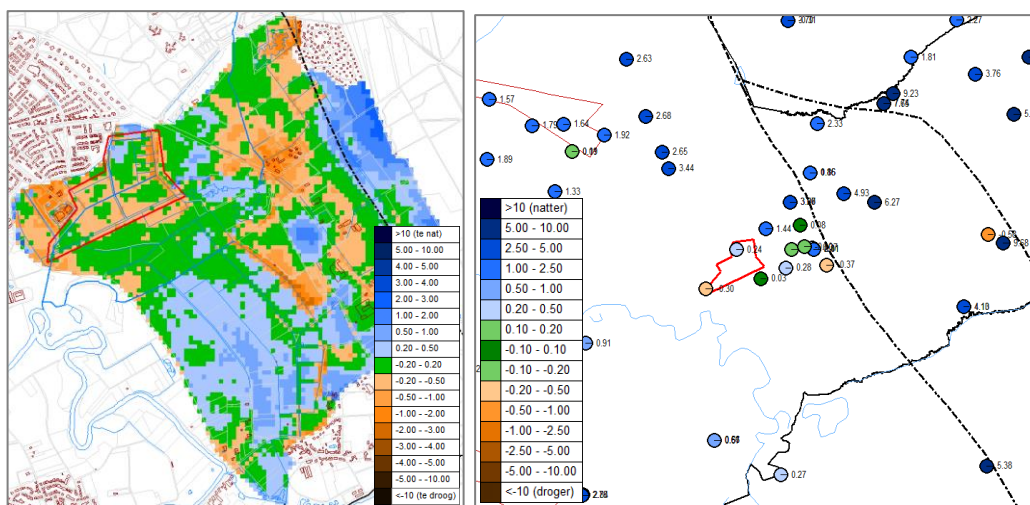
Afbeelding 2.3 Inrichting Herkenboscherbroek (bron: inrichtingstekening 05 d.d. 08-03-2018.pdf)

## 3 Grondwatermodel

### 3.1 Uitgangsmodel

Als uitgangsmodel is WRO2014<sup>1</sup> gebruikt, een in 2014 lokaal verbeterde uitsnede van IBRAHYM v2. Het model is doorgerkend met een resolutie van 25x25 m<sup>2</sup>.

Links in afbeelding 3.1 is het residu getoond op basis van de vlakdekkende GG-kaart<sup>2</sup>, zoals in 2014 gebruikt voor kalibratie. Er is destijds hoofdzakelijk gekalibreerd op deze GG-kaart. WRO2014 presteert dan ook relatief goed voor deze kaarten. Het model berekent de grondwaterstanden in de omgeving echter veel te nat, zie beide kaarten met de modelprestatie in afbeelding 3.1. Er is daarom nog een eenvoudige kalibratie uitgevoerd van de gemiddelde k-waarden in alle modellagen in het gehele modelgebied.



Afbeelding 3.1 Modelprestaties stationaire uitgangsmodel WRO2014\_BAS-STAT. Links: afwijking (m) t.o.v. GG-kaart, rechts: afwijking (m) t.o.v. gemiddelde peilbuismetingen.

### 3.2 Modelverbetering en kalibratie

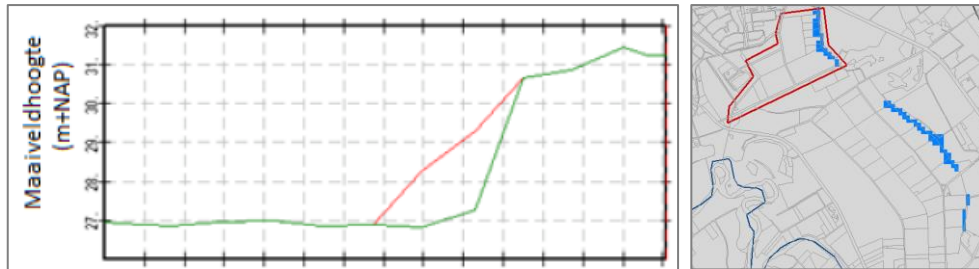
Het uitgangsmodel WRO2014 is nog niet geschikt voor effectbepaling. Modelbeoordeling en (beperkte) kalibratie zijn uitgevoerd op basis van het stationaire model. Vervolgens is een validatie op basis van de beschikbare AGOR-kaarten uitgevoerd met het niet-stationaire model.

De volgende aanpassingen zijn uitgevoerd aan het stationaire uitgangsmodel WRO2014:

- stationaire verbeteringen van IBv2.1 (uitgezonderd breuklijnen, zie bijlage 1):
  - opname van beregeningsputten;
  - grondwateraanvulling op basis van recente KNMI neerslaggrasters;
  - gebruik van het gemiddelde onttrekkingsdebiet in plaats van de mediaan;
- de stationaire modelberekening is uitgevoerd met iMODFLOW 4.2, de meeste recente versie op dit moment;
- correctie van onterecht geïnterpoleerd maaiveld langs steilrand bij Herkenbosscherbroek, zie onderstaande afbeelding.

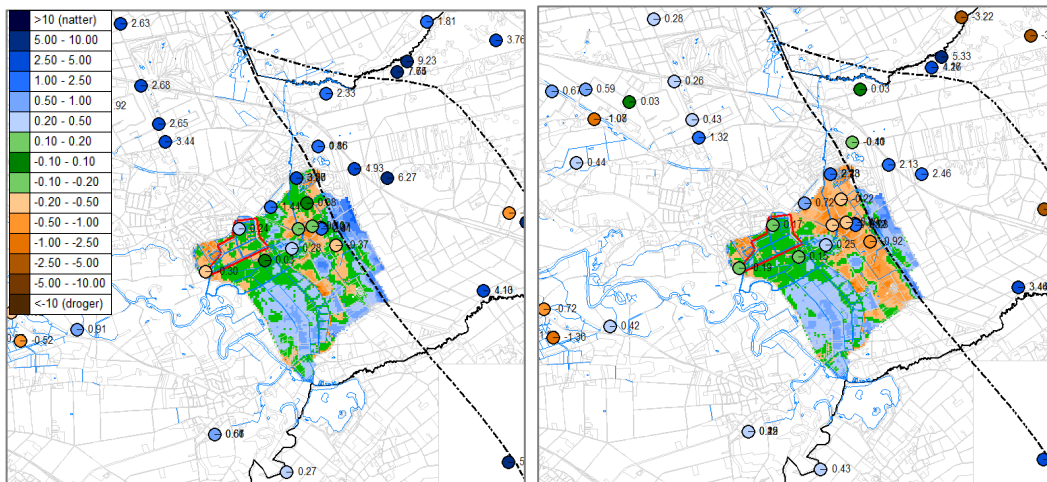
<sup>1</sup> model gedefinieerd door runfile "ibv2\_V71\_25\_WRO\_NU\_STAT\_SDL\_KHVdiv2-10ZONES2.RUN"

<sup>2</sup> bron: Aequator, Actualisatie AGOR Turfkoelen-Venbeek, 3-5-2013, in opdracht van WRO. De GG is bepaald als gemiddelde van GLG en GHG.



Afbeelding Links: weergave van onterecht geïnterpoleerd maaiveld (rode lijn) langs steilrand en gecorrigeerd, niet-geïnterpoleerd maaiveld (groene lijn) en rechts: de zones waar het maaiveld in het model is aangepast (blauwe cellen).

- De horizontale doorlatendheid in de watervoerende pakketten (kh), is verhoogd met een factor 5. Dit bleek met name voor de afwijking tussen berekende grondwaterstand en peilbuismetingen een grote verbetering te geven, zie bijlage 2.



Afbeelding 3.2 Residuen L1-19 WRO2014 (links) en BASIS1\_BAS (rechts)

De modelprestaties van het resulterende model, BASIS1\_BAS-STAT, zijn weergegeven in afbeelding 3.2 en tabel 3.1. Zichtbaar is dat de aanpassingen geen duidelijk systematische afwijking meer vertonen voor de peilbuisresiduen, zoals voor WRO2014 wel zichtbaar is. Er is nu een meer willekeurige afwijking die gemiddeld per modellaag veel kleiner is geworden. Daarnaast is de afwijking voor de GG-kaart nog steeds relatief beperkt, met name in het projectgebied. Wel wordt er nu een patroon zichtbaar met een te nat berekende grondwaterstand aan de westzijde van de GG-kaart en een te droog berekende grondwaterstand aan de oostzijde. Vermoedelijk hangt dit samen met de sprong in het maaiveld daartussen. Onduidelijk is welke maaiveldkaart is gebruikt voor de AGOR-kaarten en daarnaast is het bekend dat het model minder goed presteert op de hogere gebieden richting Duitsland. De peilbuizen aan de oostzijde van de breuklijn geven nog steeds relatief grote afwijkingen, maar al veel kleiner dan voor het WRO2014. De gemiddelde afwijking in het projectgebied is minder dan 20 cm en ook rondom het projectgebied is de afwijking beperkt.



**Tabel 3.1 Gemiddelde modelresiduen (ME, Mean Error) en gemiddelde absolute modelresiduen (MAE, Mean Absolute Error) voor uitgangsmodel en verbeterde, gekalibreerde model**

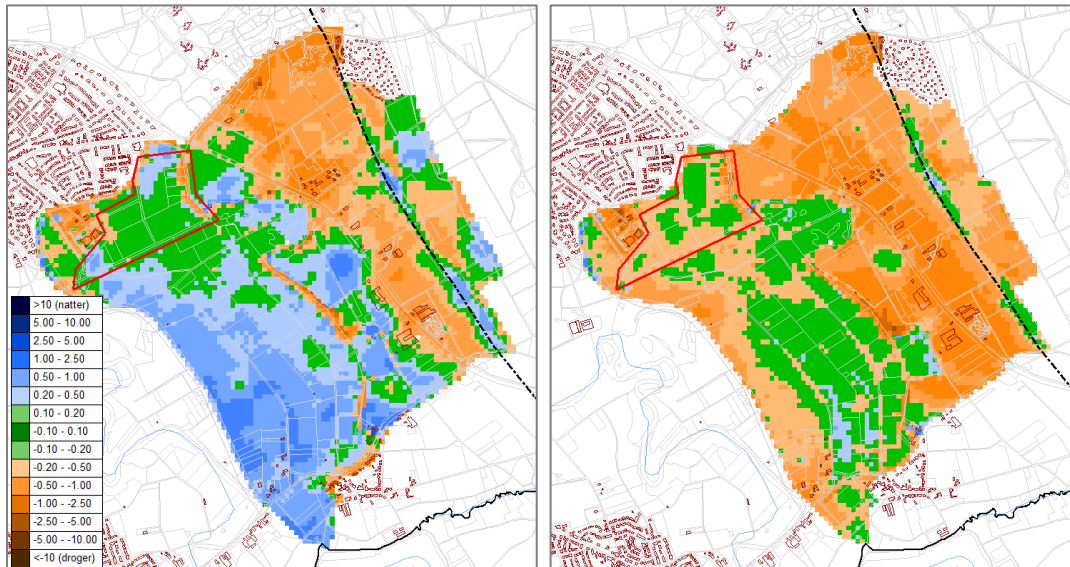
Set	Layer	N	ME		MAE	
			ORG	BASIS1	ORG	BASIS1
			WRO2014	BAS	WRO2014	BAS
meetreeksen_stat_IBv2	1	16	0,96	-0,15	1,19	1,04
	2	56	0,55	-0,06	0,99	0,68
	3	26	1,17	-0,31	1,44	0,69
	4	15	1,16	0,26	1,17	0,36
	5	27	1,09	0,43	1,20	0,46
	6	11	1,76	-0,02	1,76	0,68
	7	8	4,16	0,58	4,25	1,95
	8	4	1,70	0,37	1,70	0,91
	9	1	1,87	0,11	1,87	0,11
	11	2	1,01	-0,33	1,01	0,33
	12	2	3,12	1,31	3,12	1,31
	<b>Total</b>	<b>168</b>	<b>1,15</b>	<b>0,06</b>	<b>1,38</b>	<b>0,72</b>

> 1.00 (model te droog)
0.50 - 1.0
0.20 - 0.50
0.10 - 0.20
-0.10 - 0.10
-0.20 - -0.10
-0.50 - -0.20
-0.50 - -1.00
< -1.00 (model te nat)

Vervolgens zijn de GHG, GVG en GLG niet-stationair berekend met modelvariant BASIS1\_BAS-NS ter validatie met de AGOR-kaarten. Voor dit niet-stationaire model zijn alleen de aanpassingen aan het maaiveld en de kh-waarden overgenomen (ten opzichte van WRO2014). De overige aanpassingen zijn alleen relevant voor het stationaire model. Doorrekenen met iMODFLOW 4.2 gaf hier fouten die niet eenvoudig op te lossen zijn. Omdat de invloed hiervan beperkt was, zeker nabij het projectgebied is iMODFLOW 2.6.45 gebruikt, is de versie gebruikt die ook in 2014 is gebruikt voor de modelberekeningen.

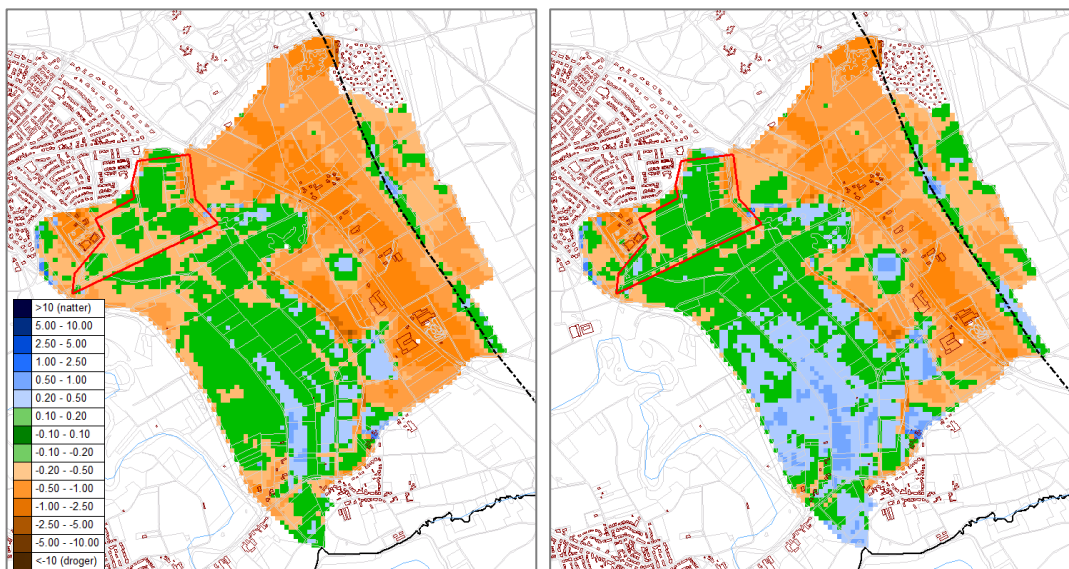
In afbeelding 3.3 en afbeelding 3.4 zijn de afwijkingen van de niet-stationair berekende GxG-kaarten ten opzichte van de beschikte AGOR-kaarten weergegeven. Zichtbaar is dat het model ten opzichte van de AGOR-kaarten in en rondom het projectgebied de GLG wat te nat berekent en de GHG wat te droog. Gemiddeld presteert het model redelijk goed nabij het projectgebied. In bijlage 3 zijn zowel de AGOR-kaarten als de berekende GxG-niveaus van model BASIS1\_BAS-NS getoond in rondom het projectgebied.

Daarnaast is in afbeelding b3.15 een vergelijking weergegeven van de GxG's op basis van de gemeten stijghoogten in de peilbuizen in de periode 1997-2011, met de AGOR-kaarten en de met het niet-stationaire, verbeterde model berekende GxG's. Dit laat zien dat het model ter plaatse van het projectgebied goed presteert en de AGOR-kaarten de GxG eerder wat te nat te berekenen. Hiermee wordt het model voldoende geschikt geacht voor effectbepaling in en rondom het projectgebied.



Afbeelding 3.3 Afwijkingen van niet-stationaire, verbeterde model (BASIS1\_BAS-NS) t.o.v. AGOR-kaarten. Links: afwijking voor GLG-situatie (m), rechts: afwijking voor GHG-situatie (m).

Opvallend is dat het niet-stationaire model wat drogere grondwaterstanden berekent dan het stationaire model. Dit komt overeen met de aangepaste grondwateraanvulling van het stationaire model. Deze is gebaseerd op recente KNMI-neerslagrasters, die gemiddeld wat meer neerslag geven dan de rasters die gebruikt zijn voor IBRAHYM 2.0. Voor het niet-stationaire model zijn deze neerslagrasters nog niet beschikbaar als modelinvoer.



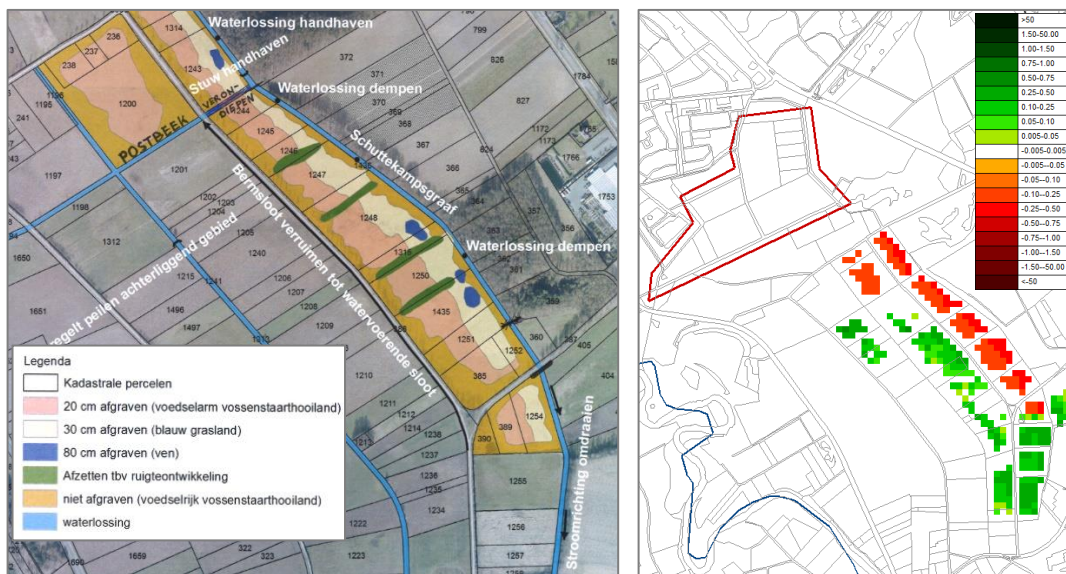
Afbeelding 3.4 Afwijkingen van niet-stationaire, verbeterde model (BASIS1\_BAS-NS) t.o.v. AGOR-kaarten. Links: afwijking voor GVG-situatie (m), rechts: afwijking voor GG-situatie (m) als gemiddelde van GHG en GLG.

### 3.3 Referentiesituatie

Het gekalibreerde model BASIS1\_BAS is representatief voor de kalibratieperiode, 1997-2011. Om een goede referentiesituatie te verkrijgen voor effectbepaling ten opzichte van de actuele situatie, is het model nog aangepast voor relevante maatregelen die sinds 2011 zijn uitgevoerd.

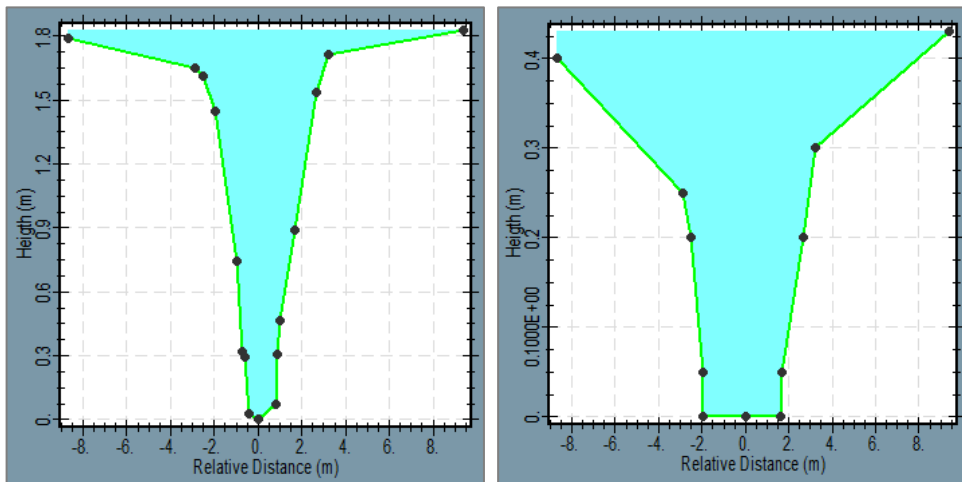
Dit betreft de volgende aanpassingen nabij de Bolbergweg, zie afbeelding 3.5:

- verondiepen klein deel Postbeek tot 0,4 m -mv;
- dempen deel Schuttecampsgraaf van Postbeek tot aan weg;
- opnemen nieuwe sloot langs Bolbergweg met diepte ca. 0,9 – 1,0 m;
- verlagen maaiveld rond Bolbergweg met 20-30 cm;
- ophogen maaiveld met vrijgekomen grond met 0,1-0,5 m.



Afbeelding 3.5 Aanpassingen voor actuele situatie, links: inrichtingsplan Bolbergweg 2017-D46336, rechts: ophoging (groen) en verlaging (rood) van maaiveld.

Voor het verondiepen van een deel van de Postbeek tot 0,4 m -mv is ten eerste de bodemhoogte van de waterloop op deze locatie in het model aangepast, zie afbeelding 3.6 voor het profiel op basis van het Sobek-model ter plaatse van de waterloop zoals dat zou worden aangepast voor het verondiepen.



Afbeelding 3.6 Profiel van bodem tot maaiveld voor (BASIS1) en na (REF2) verondieping Postbeek (bron: Sobekmodel ROE07b01, case "Roer 1D2D - 2D ahn\_130312a\_vkl.asc ruwheid2014, 180 m<sup>3</sup>/s scen Schuttecampsgraaf").

Door de aangepaste bodemhoogte verandert het contactoppervlak tussen grondwater en oppervlaktewater en daarmee mogelijk de conductance (doorlatendheid) van de waterloop en daarmee het vermogen om te draineren. De conductance is gedefinieerd als het quotiënt van het natte oppervlak en de drainageweerstand. Vooraf aan de verondieping was de bodembreedte ongeveer 1,3 m en de taludlengte van bodem tot aan waterpeil ongeveer 1,1 m. Het natte oppervlak was daarmee ongeveer 4,5 m. Na verondieping is de bodembreedte ongeveer 3,9 m en de waterdiepte ongeveer 0,2 m. Het natte oppervlak wordt daarmee 4,3 m. Er lijkt daarmee weinig te veranderen aan de conductance, waardoor het verondiepen vrijwel geen effect zou hebben op het modelresultaat. Doordat na verondieping echter een relatief groot deel van het natte oppervlak bestaat uit waterbodem met een mogelijke sliblaag, wordt toch verwacht dat de drainageweerstand van de verondiepte waterloop groter wordt.

Het betreft op dit moment een primaire waterloop, die mogelijk wordt geschoond waardoor de weerstand van de sliblaag niet heel groot zal worden. Volgens het scenario wordt het echter natuurgebied met minimaal onderhoud, zodat mogelijk een verhoogde drainageweerstand te verwachten valt. Omdat een negatief effect op het grond- en oppervlaktewater van de omgeving moet worden uitgesloten, heeft het de voorkeur uit te gaan van een worstcasesituatie. De verwachting is dat de drainageweerstand niet meer dan twee keer zo groot wordt door de verondieping en een wat grotere sliblaag. Vanwege de onzekerheden is echter ook een modelvariant gemaakt met een drie keer zo grote drainageweerstand.

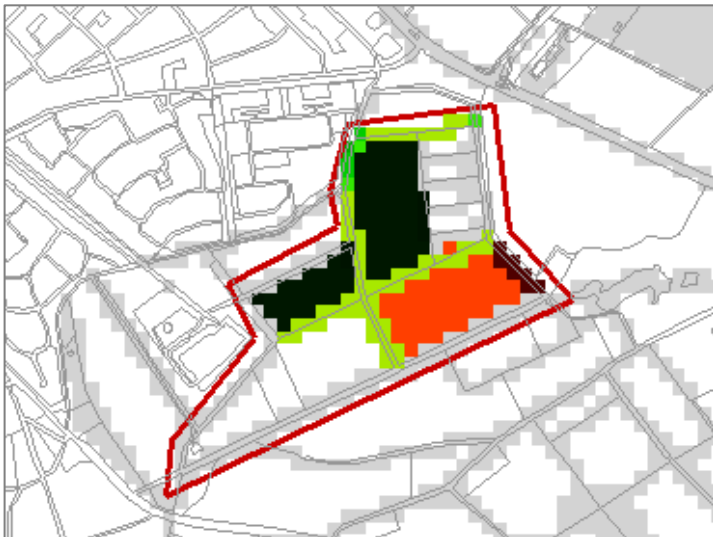
## 4 Scenario

In dit hoofdstuk is kort beschreven hoe de maatregelen in het model zijn ingebracht en vervolgens wat de berekende effecten zijn.

### 4.1 Modelaanpassingen

De uit te voeren vernattingsmaatregelen in het gebied (zie afbeelding 2.3) zijn als volgt in het model verwerkt:

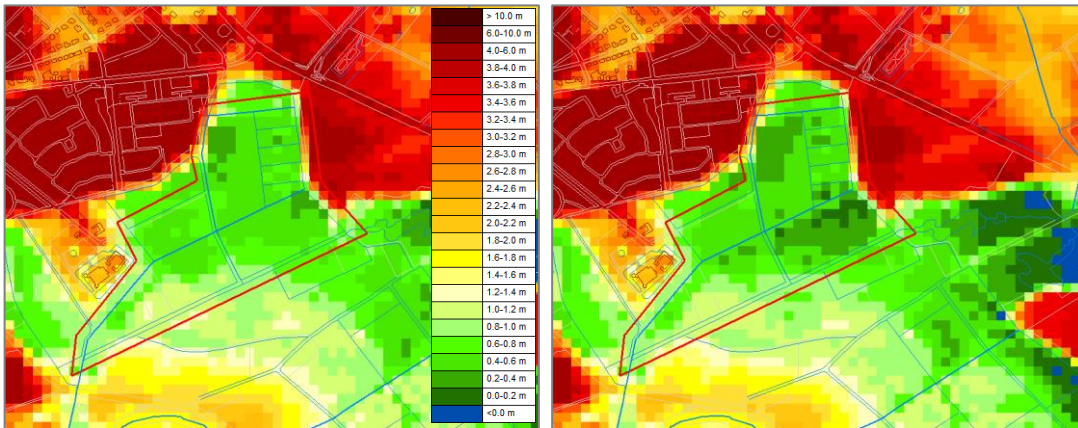
- dempen van stukje Riemer met profiel G-G1. In het model zijn de cellen van dit deel van de waterloop geheel verwijderd;
- afgraven van het perceel tussen Riemer en Boschbeek. In het model zijn zowel het maaiveldniveau als het niveau van maaiveldafvoer (OLF vlak) verlaagd met 20 cm;
- afgraven van klein gebied ten noorden van gebied onder 2 (gemarkeerd met letter A). Modelaanpassing idem;
- verondiepen Rinnenlossing en Riemer (profiel B-B1 en C-C1). De bodemhoogte is hier verhoogd tot 40cm-mv (gebaseerd op het AHN2 grid). De waterloop is niet versmald als onderdeel van de verondieping. De conductance is verlaagd met een factor 2. Vanwege de modelonzekerheid is als worst case ook een variant met een verlaging van de conductance met een factor 3 doorgerekend;
- graven van greppels van ca. 20 cm diep (in gebied met strepen) die afwateren naar de Rinnenlossing c.q. Riemer (bij profiel C-C1). Er is hier een drainagevlak aangebracht op 20 cm-mv met een drainageweerstand van één dag en een nat oppervlak gebaseerd op een afstand tussen de greppels van 20 m.



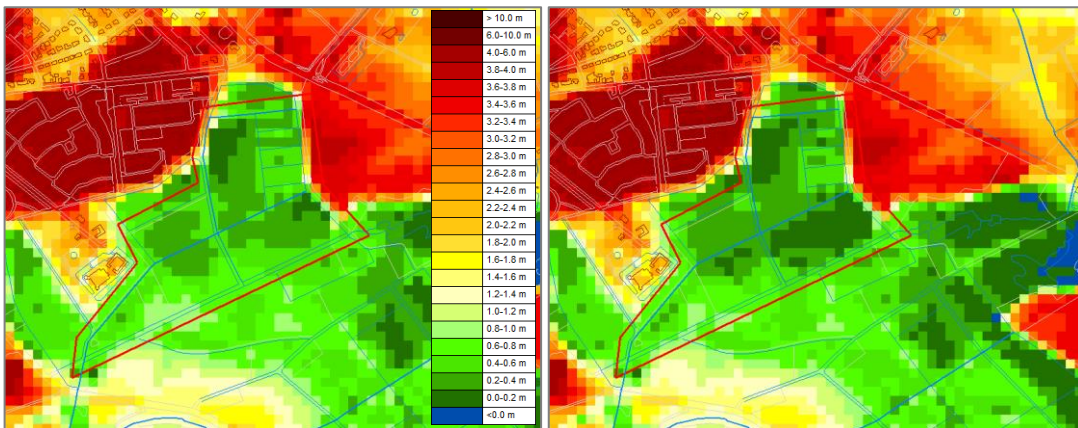
Afbeelding 4.1 Modelaanpassingen voor scenario (SCEN2) ten opzichte van referentie (REF2): rood geeft een verlaging of verwijdering aan, groen een verhoging of toevoeging.

### 4.2 Berekende GxG

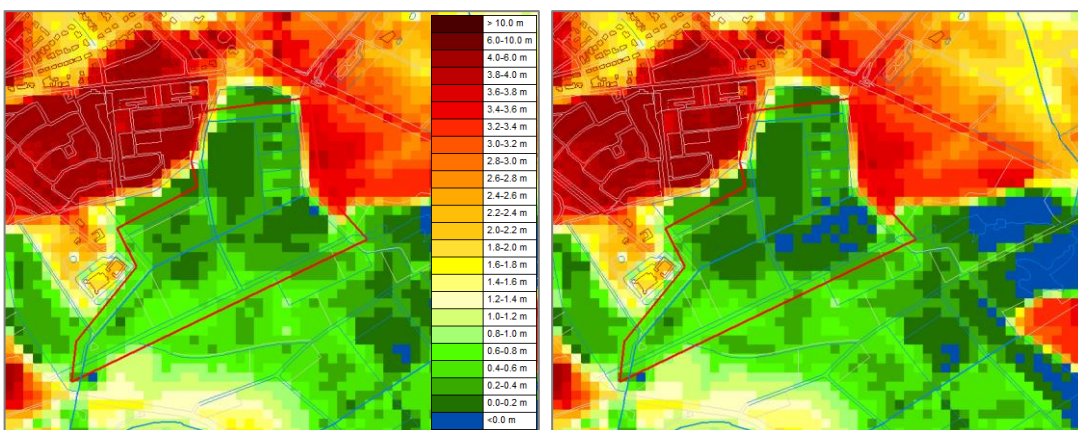
In afbeelding 4.2 t/m afbeelding 4.4 zijn de berekende GxG-kaarten weergegeven rondom het projectgebied voor respectievelijk de referentiesituatie en het scenario (SCEN2\_CONDDiv2). In bijlage 3 zijn de corresponderende AGOR-kaarten opgenomen.



Afbeelding 4.2 Niet-stationair berekende GLG (m-mv) voor de referentiesituatie (links) en het scenario (rechts) voor model REF2\_CONDDiv2.



Afbeelding 4.3 Niet-stationair berekende GVG (m-mv) voor de referentiesituatie (links) en het scenario (rechts) voor model REF2\_CONDDiv2.



Afbeelding 4.4 Niet-stationair berekende GHG (m-mv) voor de referentiesituatie (links) en het scenario (rechts) voor model REF2\_CONDDiv2.

### 4.3 Effectbepaling

In onderstaande afbeeldingen zijn de niet-stationaire berekende effecten getoond van het scenario ten opzichte van de referentiesituatie. Er zijn steeds twee varianten doorgerekend met een verschillende aanpassing van de conductance als gevolg van verondieping van waterlopen: een variant met een verlaging van de conductance met een factor 2 (SCEN2\_CONDDiv2) en een factor 3 (SCEN2\_CONDDiv3). De tweede variant komt hierbij overeen met een worstcasesituatie (met o.a. minder tot geen onderhoud).

Per GxG-situatie zijn steeds de berekende effecten van beide varianten weergegeven in de afbeeldingen. De hier getoonde effecten zijn gebaseerd op een GxG-niveau ten opzichte van maaiveld. Voor de referentie en het scenario is het bijbehorende maaiveld gebruikt<sup>3</sup>. In bijlage 4 zijn dezelfde effectkaarten opgenomen op basis van een GxG ten opzichte van NAP.

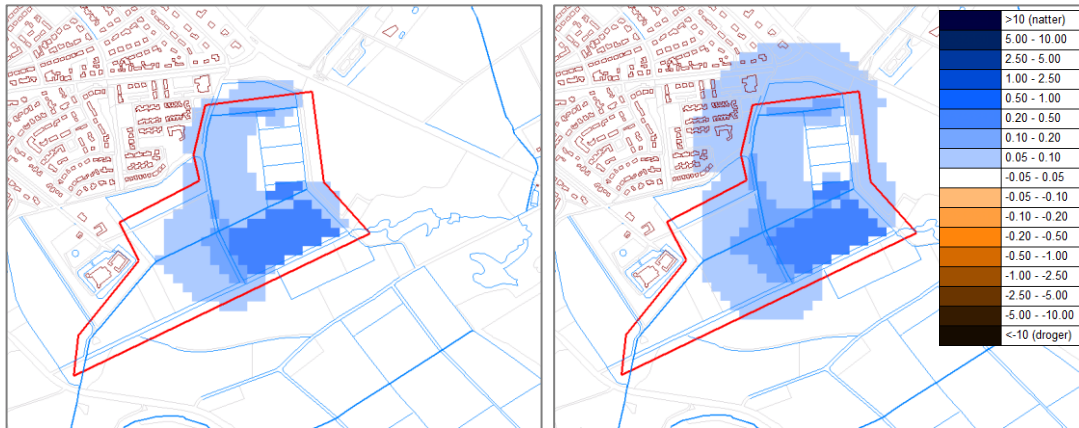
Het grootste effect (buiten het projectgebied is dit 5-10 cm) wordt waargenomen in de GLG-situatie. In alle gevallen rijkt het effect verder in de variant met een hogere drainage-weerstand van de verondiepte sloten (CONDDiv3), wat volgens verwachting is.

Ten noordwesten zijn er effecten te zien bij verschillende huizen in Herkenbosch. Deze huizen liggen echter relatief hoog met grondwaterstanden van enkele meters beneden maaiveld. Ook voor de effecten aan de noord- en oostzijde geldt dat de grondwaterstanden enkele meters beneden maaiveld liggen. Een kleine verhoging zal daar vermoedelijk geen probleem geven.

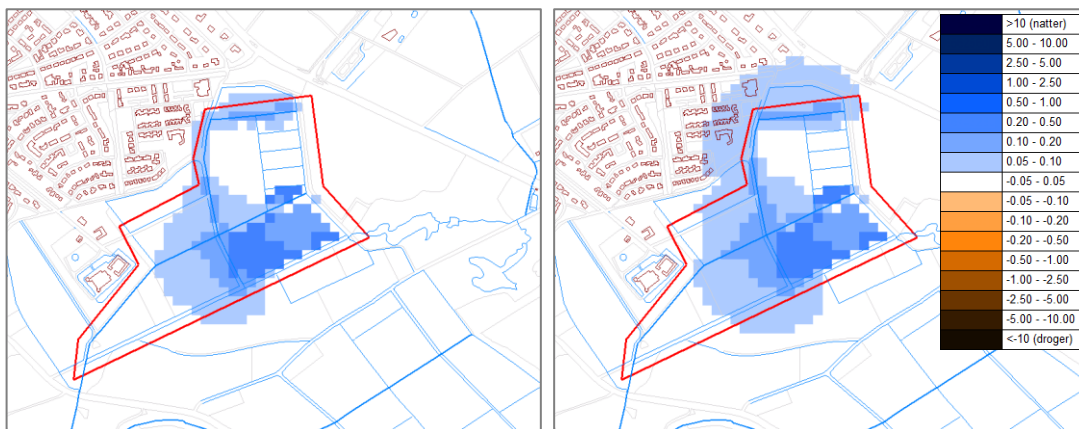
Ten zuiden van het projectgebied wordt een effect van 5-10 cm berekend tot ongeveer 75 m voorbij de Boschbeek. In deze zone ligt het maaiveld relatief laag en worden al relatief hoge grondwaterstanden berekend. De AGOR-kaart geeft hier een GHG van ongeveer 25 cm -mv. De AGOR-kaarten overschatten de GHG echter met enkele decimeters ten zuiden van het projectgebied (zie afbeelding b3.15). Het model geeft hier een GHG van ongeveer 40 cm -mv. In beide gevallen is een effect van 5-10 cm mogelijk wel van belang. Dit effect lijkt grotendeels te worden veroorzaakt door de nabij gelegen secundaire waterloop in het verlengde van de Rinnenlossing, die eveneens wordt verondiept tot 40 cm -mv. De bodemhoogte in het model gaat hier daardoor van ongeveer 25 m +NAP naar 25,6 tot 25,8 m +NAP, terwijl er een GHG berekend wordt van ongeveer 25,5 tot 25,8 m +NAP. De waterloop komt hier door deze verondieping grotendeels droog te liggen en zal geen drainerende werking meer hebben. Een mitigerende maatregel is dan ook het bodemniveau te verdiepen tot iets onder het grondwatervniveau zodat de waterloop zal kunnen draineren.

---

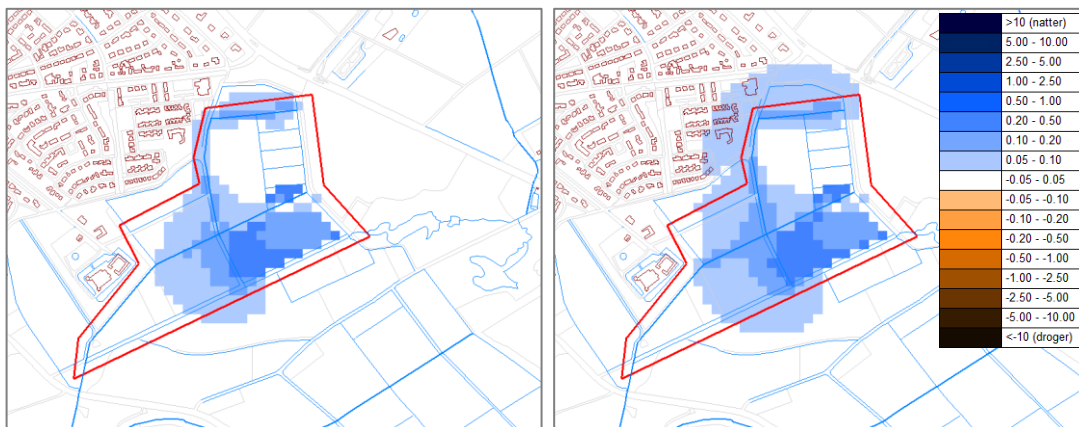
<sup>3</sup> Dus voor de GxG van de referentie het maaiveld dat hoort bij de referentiesituatie en voor het scenario het maaiveld dat hoort bij het scenario. Een verlaging van het maaiveld in het scenario leidt in dat geval tot een kleinere GxG, en daarmee een vernattend effect, ook als de grondwaterstand niet verandert.



Afbeelding 4.5 Niet-stationair berekend effect (m) voor GLG-situatie o.b.v. een variant met verlaging van de conductance met factor 2 (links, CONDdiv2) en factor 3 (rechts, CONDdiv3). De GLG van referentie en scenario is berekend t.o.v. het maaiveld.

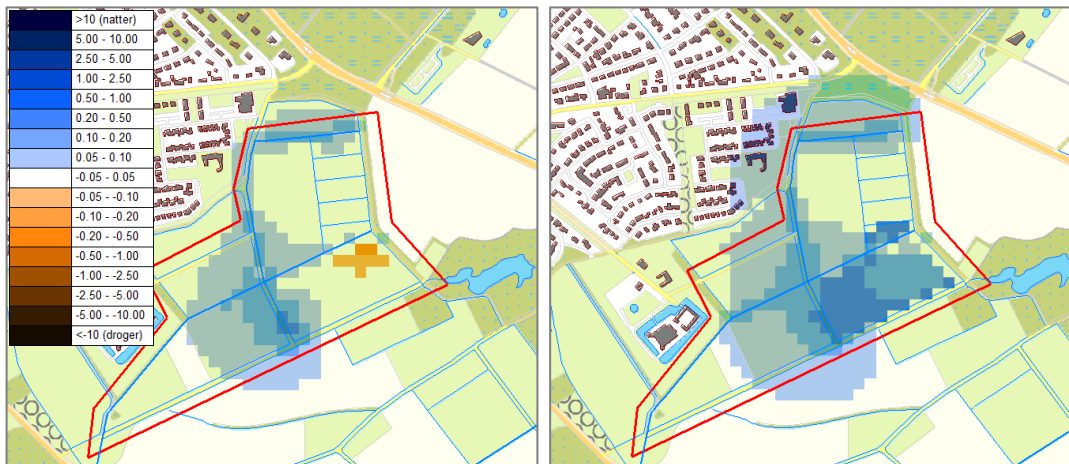


Afbeelding 4.6 Niet-stationair berekend effect (m) voor GVG-situatie o.b.v. een variant met verlaging van de conductance met factor 2 (links, CONDdiv2) en factor 3 (rechts, CONDdiv3). De GLG van referentie en scenario is berekend t.o.v. het maaiveld.



Afbeelding 4.7 Niet-stationair berekend effect (m) voor GHG-situatie o.b.v. een variant met verlaging van de conductance met factor 2 (links, CONDdiv2) en factor 3 (rechts, CONDdiv3). De GLG van referentie en scenario is berekend t.o.v. het maaiveld.





Afbeelding 4.8 Niet-stationair berekend effect (m) voor GHG-situatie o.b.v. een variant met verlaging van de conductance met factor 2 (links, CONDdiv2) en factor 3 (rechts, CONDdiv3). Achtergrond is topogische kaart (bron: BRT2013).

Bijlage 1. Conclusies Modelvergelijking WRO2014 vs. IBv2.1

Er is een vergelijking uitgevoerd van de verschillen tussen de modellen WRO2014 voor de Schuttecampgsgraaf en IBv2.1. Deze analyse is in een aparte notitie<sup>4</sup> beschreven. De conclusies daaruit zijn hieronder opgenomen:

- WRO2014 presteert goed ten opzichte van de vlakdekkende GxG-kaarten en enkele omliggende peilbuizen, maar is systematisch te nat voor de rest van het model;
- dit kan betekenen dat de modelparameters niet voldoende geschikt zijn voor effectbepaling. Voor de modellering van het Herkenbosscherbroek is dit nog meer aan de orde dan voor de modellering van de Schuttecampgsgraaf omdat het Herkenbosscherbroek aan de rand van de GG-kaart ligt.
- IBv2.1 is te droog, zowel ten opzichte van de GxG-kaarten als de gemiddelde peilbuismetingen;
- de verschillen tussen WRO2014 en IBv21 hebben een invloed op de berekende stijghoogten die niet verwaarloosbaar is. De meeste aanpassingen voor IBv2.1 betreffen het stationaire model. Maar omdat het stationaire model ook gebruikt wordt voor modelbeoordeling, heeft dit invloed op de geselecteerde kh-waarden en kan dit doorwerken in de niet-stationaire resultaten;
- het effect van iMODFLOW 4.2 bij berekening van WRO2014 is beperkt, zeker rondom het projectgebied, maar niet verwaarloosbaar;
- het is lastig om de voor WRO2014 toegevoegde slecht doorlatende lagen over te zetten in IBv2.1. Inzet van het WRO2014 model heeft daarom de voorkeur;
- de verschillen in breukindeling zijn als volgt samen te vatten:
  - de breukindeling van WRO2014 klopt niet met de REGIS II.1 formaties, maar de resulterende breukweerstand zijn nog wel plausibel;
  - IBv2.1 heeft een veel grotere breukweerstand dan WRO2014 en geeft daardoor een grotere sprong langs de breuklijnen, maar het is niet zeker dat dit ook meer conform de veldsituatie is. Er zijn hier geen peilbuizen direct aan weerszijden van de breuklijnen om dit te verifiëren. De beschikbare peilbuismetingen duiden hier eerder op een lagere, ondiepe weerstand van de breuken, dan de weerstand zoals aanwezig IBv2.1;
  - de invloed van de schematisatie en weerstand van de breuken is vooral rondom de breuken en verklaart niet de systematisch te nat berekende stijghoogten van het WRO2014 model buiten het gebied van de GG-kaart;
  - de schematisatie van breuklijnen van WRO2014 lijkt daarom acceptabel;
- verhoging van de kh-waarden heeft een grote positieve invloed op de berekende modelresiduen ten opzichte van de gemiddelde peilbuismetingen en heeft slechts een beperkte negatieve invloed op de modelresiduen ten opzichte van de GG-kaart.

---

<sup>4</sup> Modelvergelijking WRO2014 en IBv2.1 t.b.v. modellering Herkenbosscherbroek, 1-5-2018

Bijlage 2. Kalibratieresultaten kh-waarde

Na de overige aanpassingen, zoals beschreven in paragraaf 3.2, is model BASIS1 globaal gekalibreerd op basis van de afwijking tussen de stationair berekende grondwaterstand en 1) de gemiddelde gemeten grondwaterstand in de peilbuisfilters en 2) de afwijking met de GG-kaart. Het model bleek het meest gevoelig voor de horizontale doorlatendheid in de watervoerende pakketten. Deze parameter is in 2014 verlaagd, omdat dit een beter resultaat gaf voor de GG-kaart, maar er is destijds niet gekeken naar de peilbuisresiduen in het totale modelgebied en deze blijken nu te veel nat. In beperkte mate terugdraaien van deze aanpassing blijkt een positief resultaat te hebben op de peilbuisresiduen en relatief weinig uit te maken voor de afwijking ten opzichte van de GG-kaart.

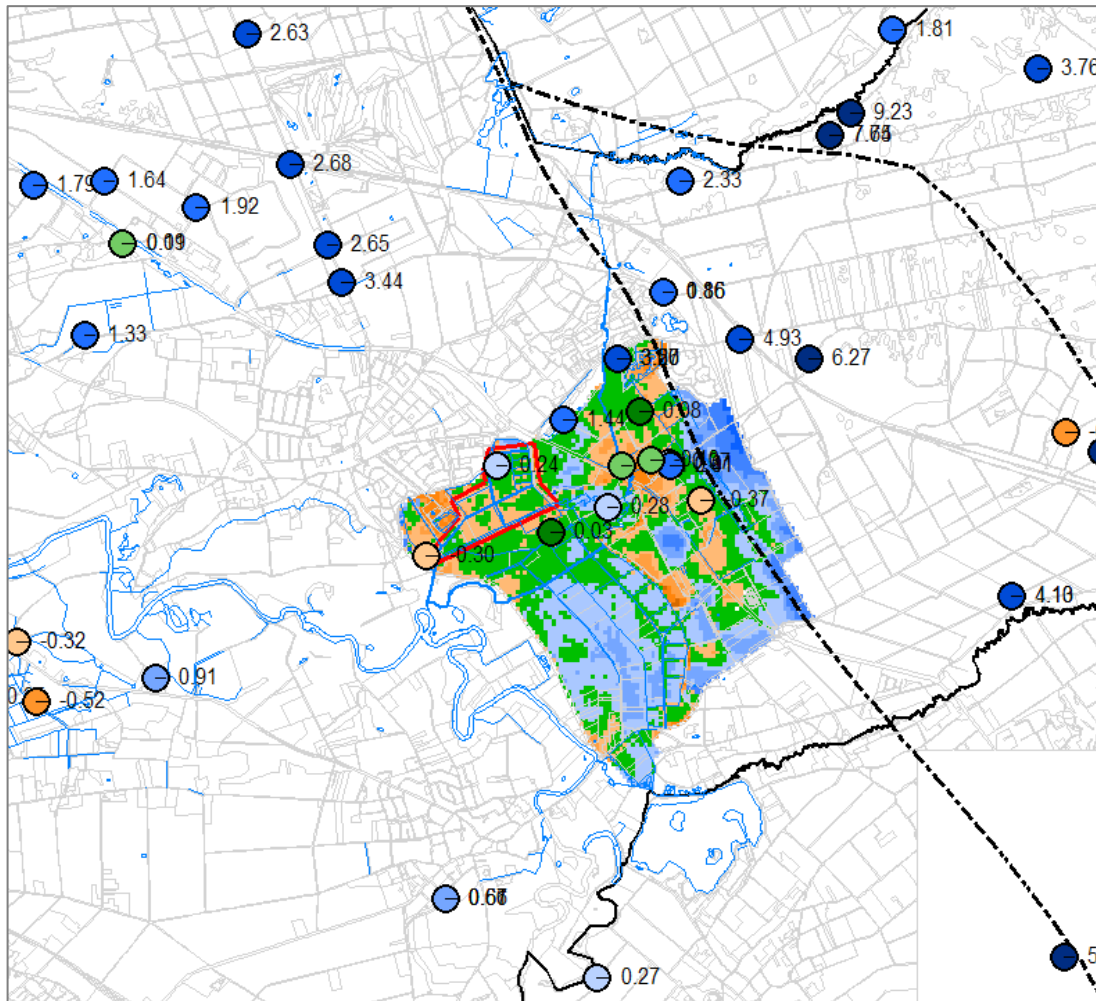
Er is gekozen voor een verhoging van de kh-waarden met factor 5 voor de grootste algehele verbetering in de peilbuisresiduen zonder een te grote verslechtering in de afwijking van de GG-kaart.

**Tabel B2.1 Residustatistiek (m) per modellaag voor gemiddelde peilbuisresiduen (ME, Mean Error) en gemiddelde absolute peilbuisresiduen (MAE, Mean Absolute Error).**

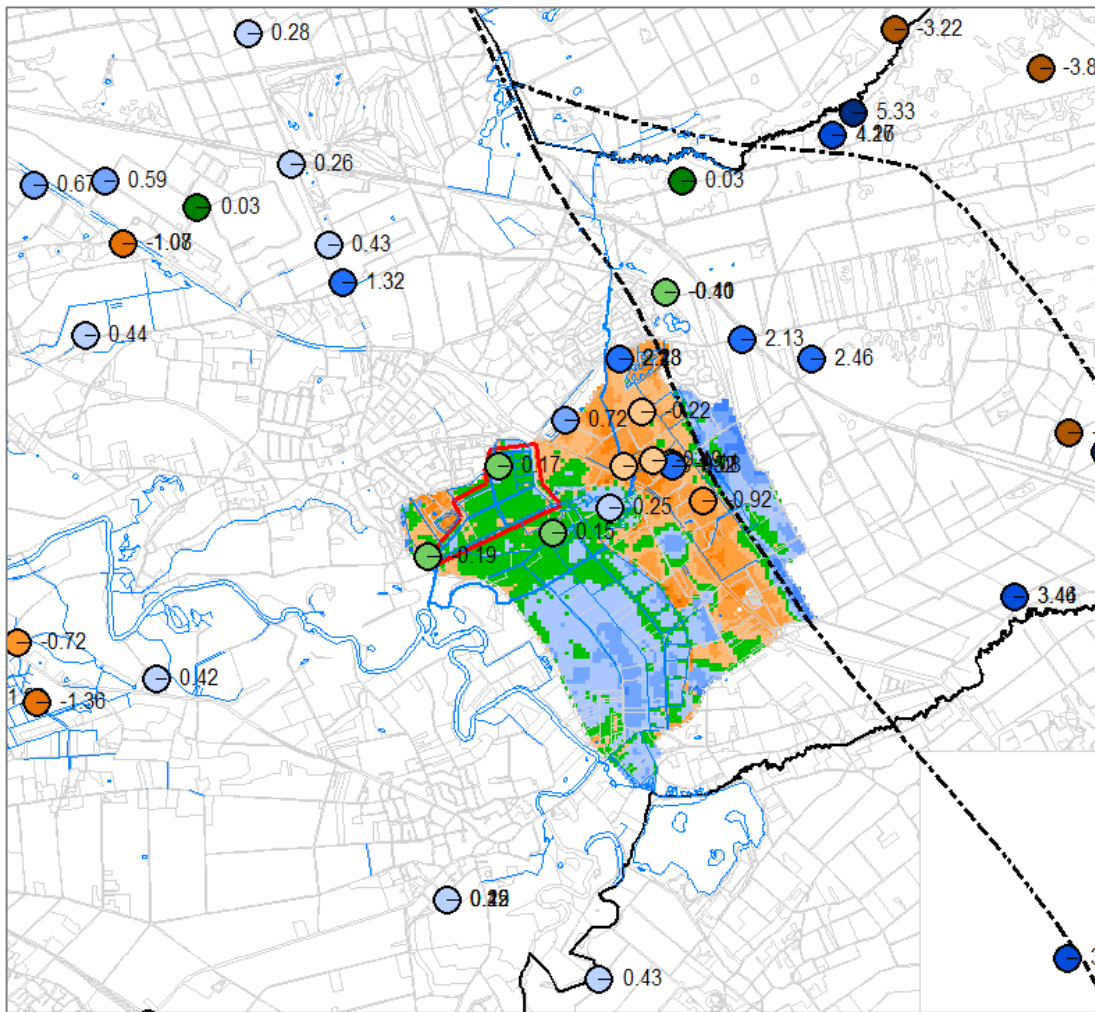
Set	Layer	N	ME					MAE				
			ORG					ORG				
			WRO2014	KHx3	KHx4	KHx5	KHx6	WRO2014	KHx3	KHx4	KHx5	KHx6
IBv2ID_exZLcorr	1	16	0,96	0,27	0,06	-0,15	-0,33	1,19	1,03	0,98	1,04	1,12
	2	56	0,55	0,10	0,01	-0,06	-0,12	0,99	0,74	0,70	0,68	0,68
	3	26	1,17	-0,08	-0,21	-0,31	-0,38	1,44	0,70	0,68	0,69	0,71
	4	15	1,16	0,41	0,32	0,26	0,21	1,17	0,44	0,36	0,36	0,38
	5	27	1,09	0,51	0,46	0,43	0,40	1,20	0,56	0,50	0,46	0,43
	6	11	1,76	0,49	0,25	-0,02	-0,23	1,76	0,52	0,55	0,68	0,80
	7	8	4,16	2,67	1,88	0,58	-0,51	4,25	2,95	2,59	1,95	2,36
	8	4	1,70	0,64	0,49	0,37	0,28	1,70	1,05	0,97	0,91	0,86
	9	1	1,87	0,43	0,24	0,11	0,01	1,87	0,43	0,24	0,11	0,01
	11	2	1,01	-0,12	-0,25	-0,33	-0,39	1,01	0,23	0,25	0,33	0,39
	12	2	3,12	1,69	1,47	1,31	1,17	3,12	1,69	1,47	1,31	1,17
	<b>Total</b>		<b>168</b>	<b>1,15</b>	<b>0,36</b>	<b>0,21</b>	<b>0,06</b>	<b>-0,07</b>	<b>1,38</b>	<b>0,81</b>	<b>0,75</b>	<b>0,72</b>
ValidatiesetDL	1	5	4,19	3,70	3,50	3,26	3,03	4,19	3,70	3,58	3,48	3,61
	2	12	3,18	2,23	1,93	1,57	1,17	3,18	2,23	1,97	1,79	1,80
	3	8	5,97	4,49	4,15	3,85	3,56	5,97	4,67	4,53	4,50	4,49
	4	1	3,38	3,00	2,93	2,88	2,83	3,38	3,00	2,93	2,88	2,83
	5	2	2,97	1,18	0,97	0,84	0,75	2,97	1,18	0,97	0,84	0,75
	6	17	5,31	3,24	2,57	1,90	1,35	5,65	4,39	4,32	4,56	4,76
	7	42	9,53	6,14	4,63	3,18	1,89	9,53	6,54	5,97	5,74	5,68
	8	13	12,01	7,95	6,14	4,39	2,88	12,06	8,51	7,03	5,61	4,91
	9	7	10,72	7,70	6,42	5,19	4,12	10,72	7,70	6,44	5,30	4,89
	10	3	17,59	12,23	10,68	9,38	8,31	17,59	12,23	10,68	9,38	8,31
	11	4	14,30	10,66	8,66	6,81	5,24	14,30	10,66	8,66	6,81	5,24
	13	4	0,54	0,88	0,88	0,87	0,86	5,82	4,60	4,46	4,38	4,33
	14	8	18,31	16,58	15,76	14,96	14,26	18,31	16,58	15,76	14,96	14,26
	15	5	18,55	16,98	16,50	16,09	15,73	19,09	18,60	18,41	18,19	18,03
	16	1	-1,38	0,59	0,88	1,08	1,23	1,38	0,59	0,88	1,08	1,23
	17	4	4,68	5,89	5,82	5,74	5,66	4,68	5,89	5,82	5,74	5,66
	18	1	6,56	8,23	8,28	8,31	8,33	6,56	8,23	8,28	8,31	8,33
	19	1	14,13	15,40	15,43	15,45	15,46	14,13	15,40	15,43	15,45	15,46
	<b>Total</b>		<b>138</b>	<b>8,89</b>	<b>6,56</b>	<b>5,57</b>	<b>4,61</b>	<b>3,77</b>	<b>9,13</b>	<b>7,05</b>	<b>6,48</b>	<b>6,08</b>

Tabel B2.2 Residustatistiek voor de gemiddelde afwijking (m) over alle cellen van GG-kaart.

Model	GG (m+NAP)	H_L1 <sub>berekend</sub>	residu <sub>GG</sub>	SD(residu <sub>GG</sub> )	abs(residu <sub>GG</sub> )
KHx3	27,56	27,54	-0,02	0,54	0,41
KHx4	27,56	27,53	-0,03	0,54	0,42
KHx5	27,56	27,5	-0,06	0,52	0,41
KHx6	27,56	27,48	-0,08	0,56	0,44



Afbeelding B2.9 Residuen in modellagen 1-19 van model WRO2014\_BAS-STAT

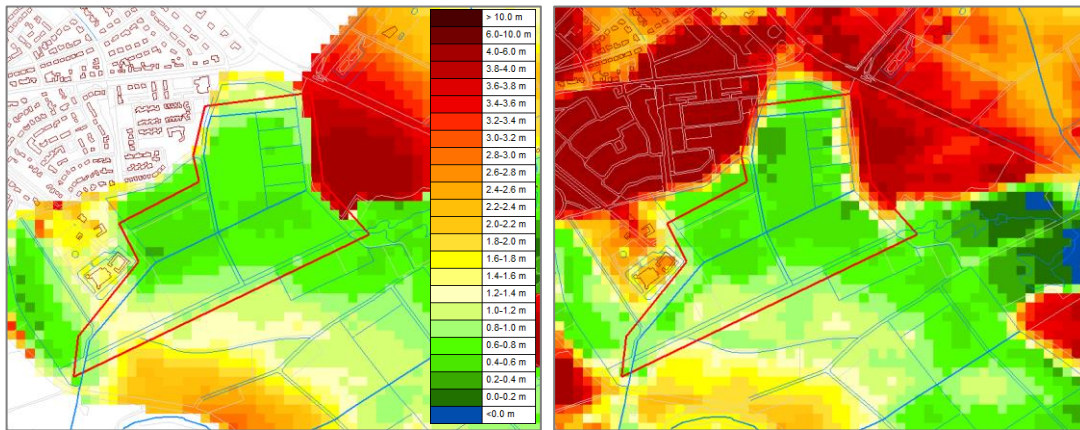


Afbeelding B2.10 Residuen in modellagen 1-19 van model BASIS1\_BAS-STAT

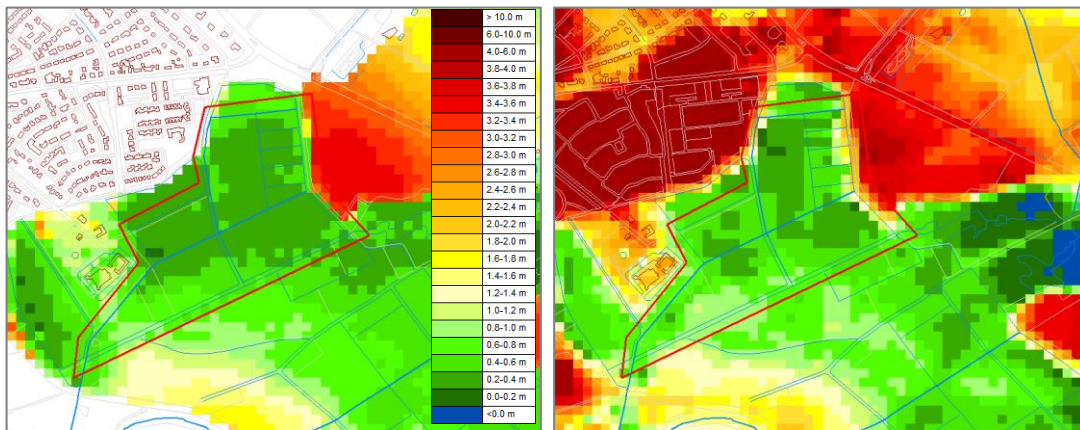
Bijlage 3. Detailvergelijking AGOR- en berekend GxG-niveau



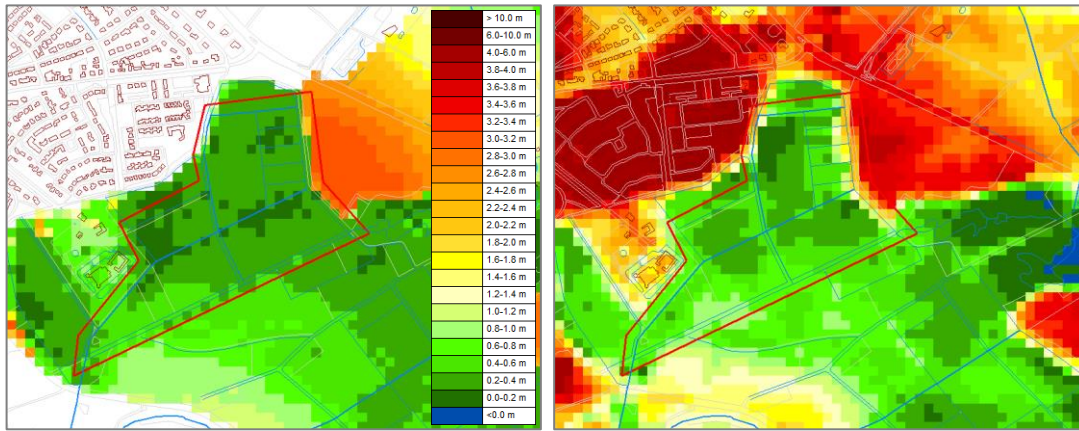
In onderstaande afbeeldingen is een vergelijking weergegeven van de GxG (m -mv) volgens de AGOR-kaarten en de met het niet-stationaire, verbeterde model (BASIS1\_BAS-NS) berekende GxG. Voor het model is de GxG ten opzichte van maaiveld bepaald op basis van het opge vulde AHN2 25x25 maaiveld dat beschikbaar is als modelinvoer van model WRO2014.



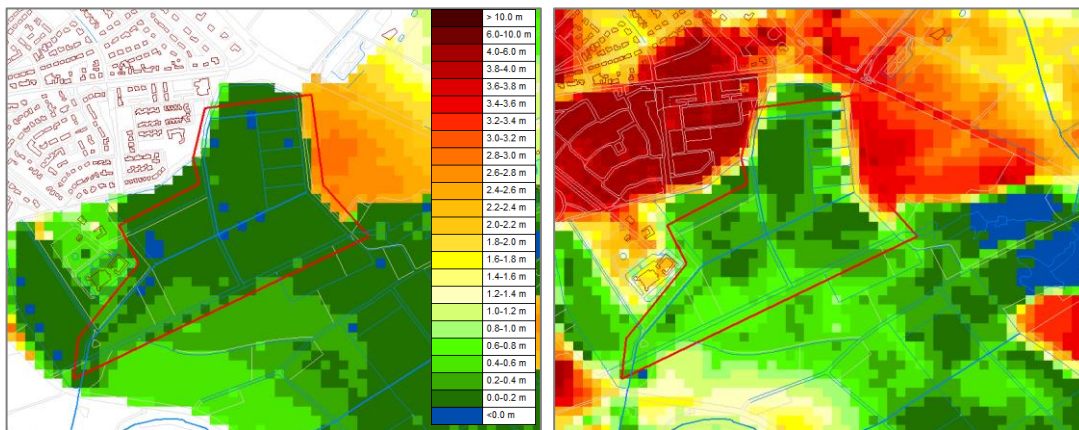
Afbeelding B3.11 Vergelijking GLG (m-mv) AGOR (links) en berekening (BASIS1\_BAS-NS) (rechts)



Afbeelding B3.12 Vergelijking GG (m-mv) AGOR (links) en berekening (BASIS1\_BAS-NS) (rechts)



Afbeelding B3.13 Vergelijking GVG (m-mv) AGOR (links) en berekening (BASIS1\_BAS-NS) (rechts)

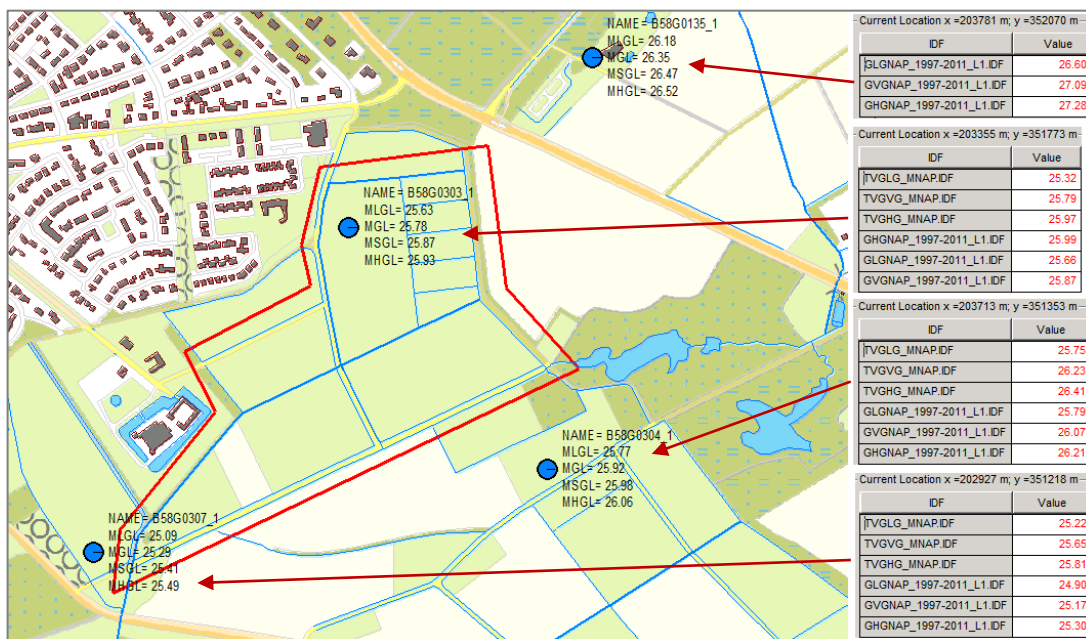


Afbeelding B3.14 Vergelijking GHG (m-mv) AGOR (links) en berekening (BASIS1\_BAS-NS) (rechts)

In afbeelding b3.15 is een vergelijking weergegeven van de gemeten GxG-waarden (m +NAP) en de GxG-waarden volgens AGOR-kaarten (TV\*.IDF) en het niet-stationaire, verbeterde model (G?GNAP\_1997-2011\_L1.IDF). De GxG van de peilbuismetingen is bepaald over 1997-2011. Het is maaiveld ontbraak in de metadata van de peilbuizen en is van het AHN2 25x25 maaiveldraster afgeleid dat beschikbaar is als modelinvoer van het WRO2014 model. Voor het punt rechtsboven is geen AGOR-data beschikbaar.

Zichtbaar is dat de AGOR-kaarten voor filter B58G0303 (in het midden) de GLG veel te laag inschat. AGOR-kaart en model en presteren verder goed voor dit punt. Voor filter B58G0304 (in het zuidoosten) benadert het model de GxG's heel goed en zit voor de GHG 15 cm te hoog. De AGOR-kaart schat de GVG en GHG 25 cm resp. 35 cm te hoog in. Voor filter B58G0307 (in het zuidwesten) schat de AGOR-kaart de GLG, GVG en GHG resp. 13 cm, 24 cm en 32 cm te hoog in. Het model berekent de GLG, GVG en GHG hier resp. 19 cm, 24 cm en 19 cm te laag.

Kortom het model presteert hier goed, en niet zozeer te laag. De AGOR-kaarten schatten de GxG hier eerder wat te hoog in ten opzichte van de gemeten GxG's.

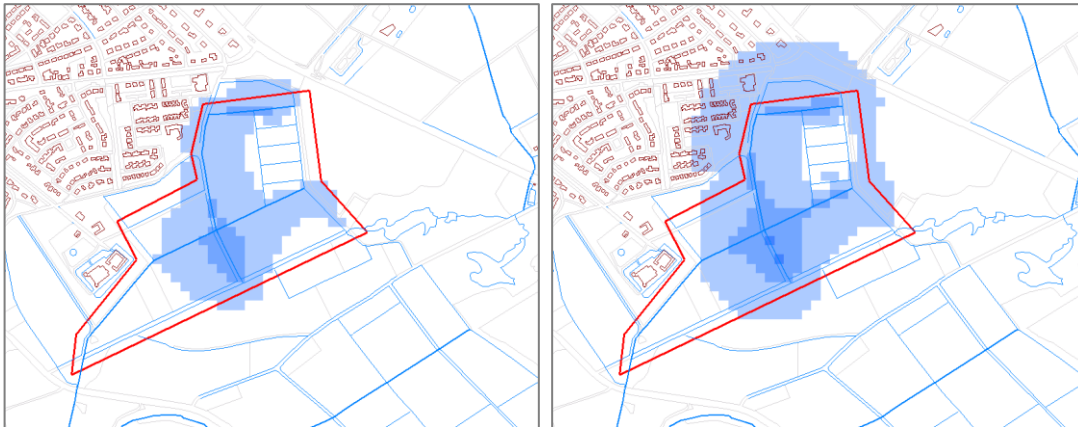


Afbeelding B3.15 Vergelijking in peilbuizen gemeten GxG-niveaus (m+NAP) met AGOR-kaart (TV\*.IDF) en berekende GxG-niveaus met niet-stationair model (BASIS\_BAS-NS, G?G\_1997-2011\_L1.IDF). De gemeten GxG's (m+NAP) zijn weergegeven als label bij de punten.

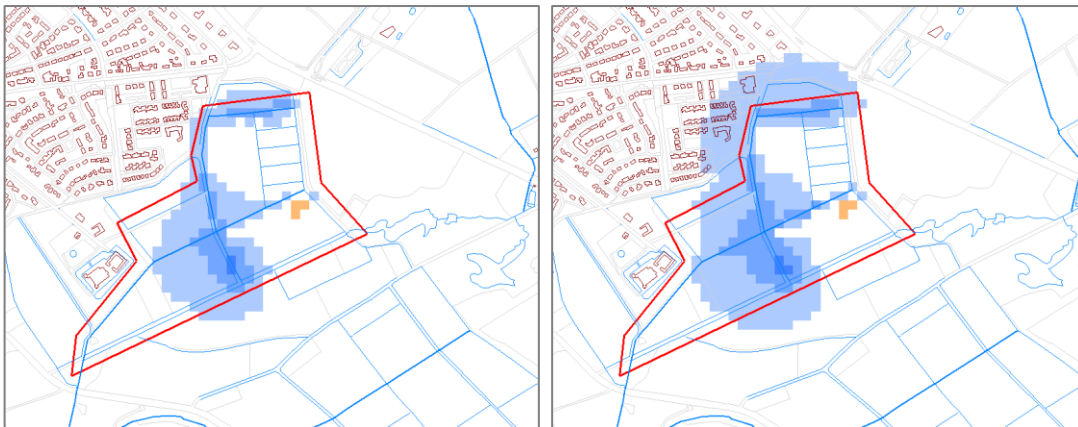
Bijlage 4. Effecten ten opzichte van NAP

In deze bijlage zijn de effecten gepresenteerd op basis van GxG's die zijn berekend ten opzichte van NAP. Een verandering van het maaiveld is hierdoor niet van invloed op het effect, tenzij deze verandering de absolute grondwaterstand ten opzichte van NAP beïnvloedt.

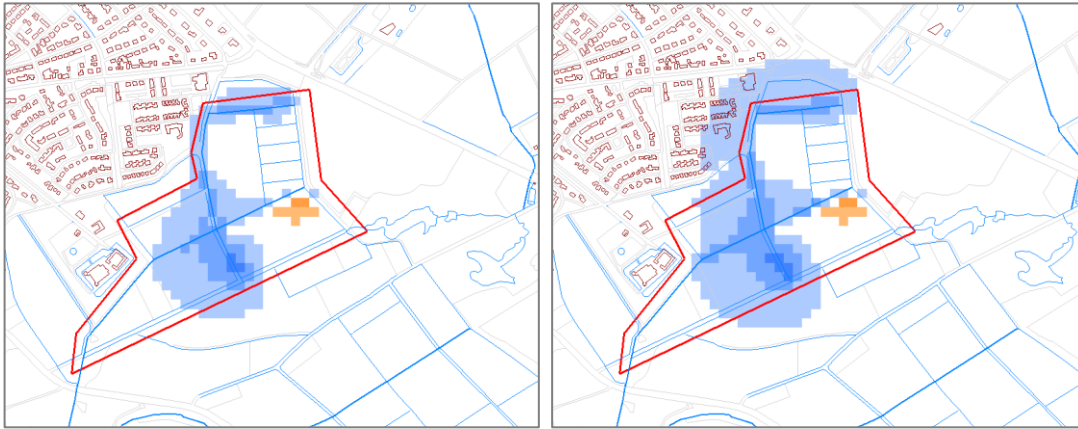
In dit geval wordt er geen vernattend effect meer berekend door het verlaagde maaiveld in het zuidoosten van het projectgebied. Er wordt nu een kleine verdroging berekend die veroorzaakt wordt door het verlagen van het maaiveld en het op een lager niveau afvoeren van grondwater boven maaiveld.



Afbeelding B4.16 Niet-stationaire berekend effect (m) voor GLG-situatie o.b.v. een variant met verlaging van de conductance met factor 2 (links, CONDdiv2) en factor 3 (rechts, CONDdiv3). De GLG van referentie en scenario is berekend t.o.v. NAP.



Afbeelding B4.17 Niet-stationaire berekend effect (m) voor GVG-situatie o.b.v. een variant met verlaging van de conductance met factor 2 (links, CONDdiv2) en factor 3 (rechts, CONDdiv3). De GLG van referentie en scenario is berekend t.o.v. NAP.



Afbeelding B4.18 Niet-stationaire berekend effect (m) voor GHG-situatie o.b.v. een variant met verlaging van de conductance met factor 2 (links, CONDdiv2) en factor 3 (rechts, CONDdiv3). De GLG van referentie en scenario is berekend t.o.v. NAP.