

Modellering uitbreiding waterwinning Beilen

Bijlage C
WMD Drinkwater B.V.

18 juli 2023 - Public

Contactpersoon

[Redacted]
Senior Specialist Hydrologie

[Redacted]
[Redacted]

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Leeswijzer	5
2	Watersysteembeschrijving	6
2.1	Geologie en geomorfologie	6
2.2	Geohydrologie	10
2.3	Maaiveld	13
2.4	Oppervlaktewatersysteem	13
2.5	Bodemtype	16
2.6	Landgebruik	16
2.7	Onttrekkingen	18
2.8	Synthese	18
3	Uitgangspunten	19
3.1	Uitgangspunten parameters en schematisatie	19
3.1.1	Verbetervoorstellen	22
3.1.1.1	MetaSWAP	22
3.1.1.2	Oppervlaktewater	23
3.1.1.3	Onttrekkingen	25
3.1.1.4	Drainage	27
3.2	Kalibratie en validatie	27
3.2.1	Validatie	27
3.2.2	Gevoeligheidsanalyse	29
3.2.3	Kalibratie	30
3.2.4	Validatie definitief model	30
3.3	Varianten	30
3.4	Beoordelen van omgevingseffecten	31
3.4.1	Landbouw	31
3.4.2	Natuur	31
3.4.3	Bebouwing en infrastructuur	31
3.4.4	Effect op verontreinigingen	32
3.4.5	Interactie bestaande onttrekkingen	32
3.4.6	Impact op wateraan- en -afvoer	32

3.4.7	Impact veranderend grondwaterbeschermingsgebied	32
3.4.8	Impact op archeologie en aardkundige waarden	32
4	Modelontwikkeling en validatie	33
4.1	Verbetervoorstellen	33
4.1.1	Validatie na doorvoeren verbetervoorstellen	34
4.1.1.1	Conclusie validatie	34
4.2	Aanvullende modelverbetering o.b.v. gebiedsinzicht	39
4.2.1	Startstijghoogte	39
4.2.2	Verbetervoorstel drainage en oppervlaktewater	39
4.2.3	Weerstand geulen keileem	39
4.2.4	Weerstand Peelo-zand	39
4.2.5	Validatie na aanvullende modelverbeteringen	39
4.2.5.1	Conclusie validatie	39
4.3	Gevoeligheidsanalyse	44
4.3.1	Resultaat gevoeligheidsanalyse	44
4.4	Kalibratie	49
4.4.1	Combinatieberekening	49
4.4.2	Validatie combinatieberekening	49
4.4.2.1	Conclusie validatie	49
4.4.3	Basismodel voor variantberekeningen	55
4.4.4	Validatie basismodel varianten	55
4.4.4.1	Tijdreeksen	55
4.4.4.2	Conclusie validatie	55
4.4.4.3	Waterbalans	65
5	Resultaten varianten	66
5.1	Resultaten	66
5.1.1	Vergunde situatie (A4)	66
5.1.2	Vergunde situatie met 1 Mm ³ uitbreiding (A5)	67
5.1.3	Vergunde situatie met 3 Mm ³ uitbreiding (A7)	68
5.1.4	Vergunde situatie met 6 Mm ³ uitbreiding (A10)	69

1 Inleiding

In dit rapport is beschreven welke stappen zijn doorlopen om een grondwatermodel te maken rondom de drinkwaterwinning in Beilen. Dit is een selectie uit het verkennende onderzoek “Modellering uitbreiding waterwinning Beilen” (Arcadis, 2011), maar is een zelfstandig leesbare rapportage die als bijlage dient voor de vergunning onderbouwende rapportage in het kader van de watervergunning.

1.1 Aanleiding

WMD Drinkwater N.V. (hierna te noemen WMD) heeft de taakstelling om nu en in de toekomst te kunnen voorzien in de leveringsplicht van drinkwater. Op dit moment heeft drinkwaterwinning Beilen een vergunning om 4 M m³/j grondwater per jaar te winnen. Hiervoor zijn negen putten in gebruik met een diepte van -41 m NAP -41 tot NAP -72 m. Om op de korte termijn te kunnen blijven voldoen aan de wettelijke leveringsplicht is WMD voornemens om de capaciteit van drinkwaterinning Beilen uit te breiden. Voor het uitbreiden van de capaciteit worden haalbaarheid en effecten gemodelleerd met een grondwatermodel in MIPWA.

1.2 Leeswijzer

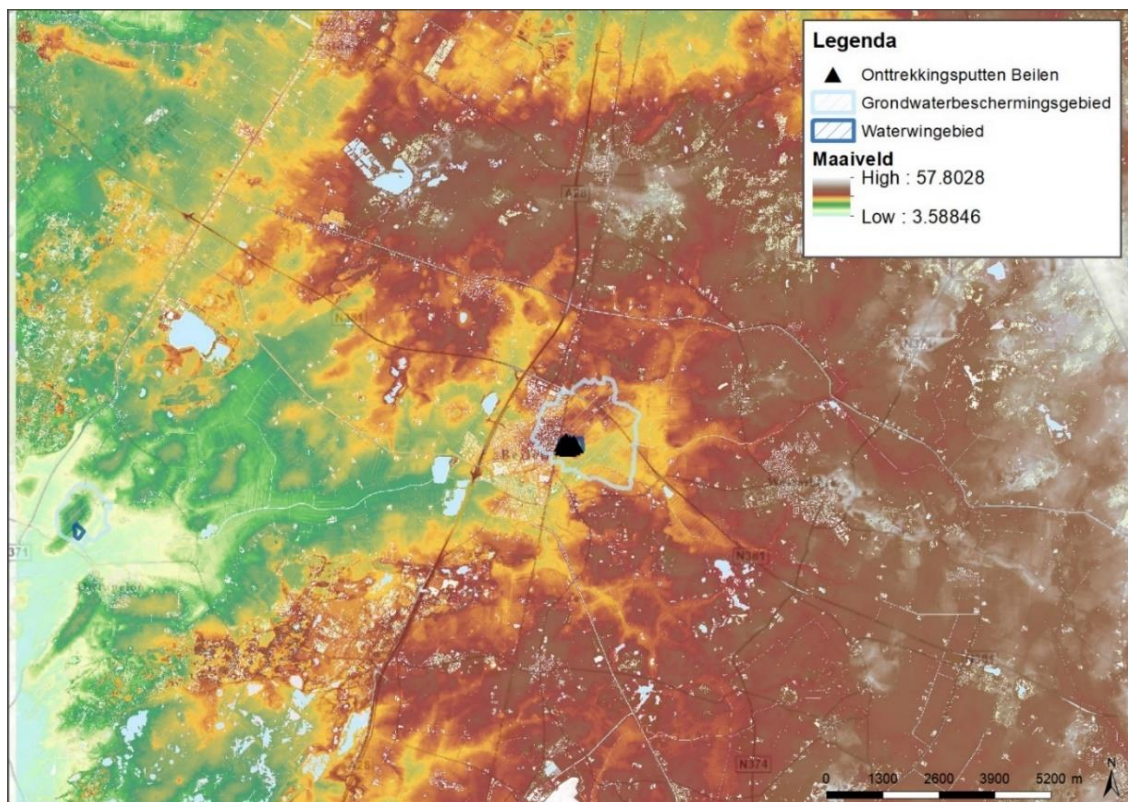
In hoofdstuk 2 is een systeembeschrijving opgenomen, waarbij mogelijke knelpunten en risico's zijn benoemd. In hoofdstuk 3 zijn de uitgangspunten van het grondwatermodel beschreven. In hoofdstuk 4 zijn aanpassingen aan het grondwatermodel en de modelopbouw van het grondwatermodel beschreven. In hoofdstuk 5 worden de effecten beschreven die uit de verschillende scenario's komen.

2 Watersysteembeschrijving

Deze bijlage bevat de watersysteembeschrijving van het gebied rondom Beilen op basis van feitelijke kennis van de ondergrond en interpretatie van beschikbare gegevens. De watersysteembeschrijving vormt het conceptuele model. Op basis hiervan zijn modelverbeteringen doorgevoerd.

2.1 Geologie en geomorfologie

In Figuur 2-1 is de maaiveldhoogte weergegeven. Hierin is te zien dat de winning aan het eind van een geulstructuur ligt. Ten oosten van de winning is het maaiveld hoger en ten westen van de geul ligt het maaiveld lager. Dit verschil in maaiveld komt door de glaciale processen die hier een rol spelen bij de vorming van de ondergrond.



Figuur 2-1: De ligging van de onttrekking Beilen en de maaiveldhoogte

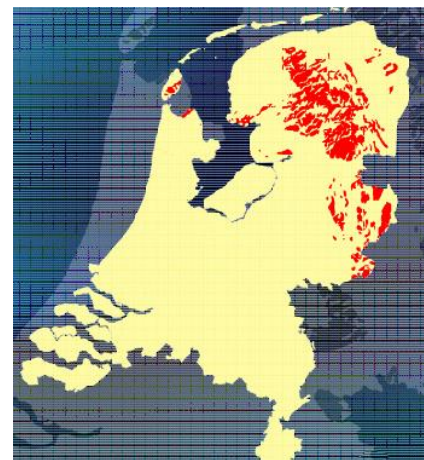
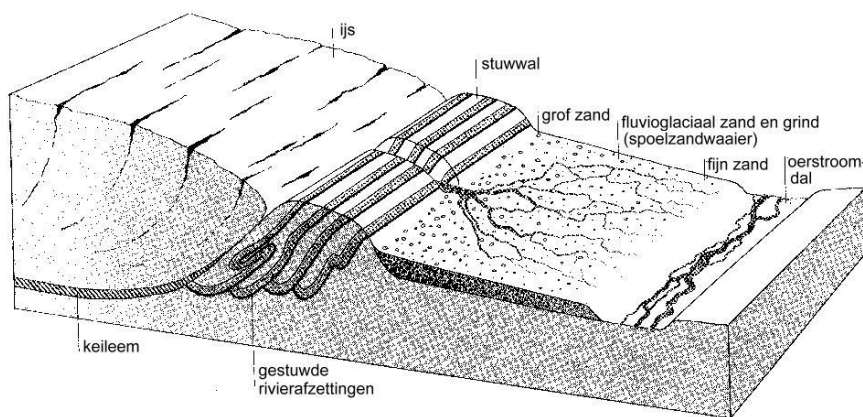
De ontstaansgeschiedenis van dit gebied is beschreven aan de hand van geologische opbouw volgens REGIS II v2. Een doorsnede van de diepe ondergrond van het totale gebied (oost-west) is te zien in Figuur 2-4 en een uitsnede van de ondergrond nabij de drinkwaterwinning is te zien in Figuur 2-5.

De geohydrologische basis op een diepte van ca. -190 m NAP wordt gevormd door de mariene kleiafzettingen uit de Formatie van Breda (BRkl). Direct hierboven bevindt de Formatie van Oosterhout die hier varieert tussen de 15 m en 70 m dikte (dunste punt niet aanwezig in doorsnede). Oosterhout bestaat uit een opeenvolging van ondiepe mariene (estuariën) afzettingen, die zand- en kleilagen bevatten. Op de Oosterhout-zanden (OOZ) liggen de zandige Formaties van Peize en Waalre (PZWaz), gevormd door fluviale afzettingen.

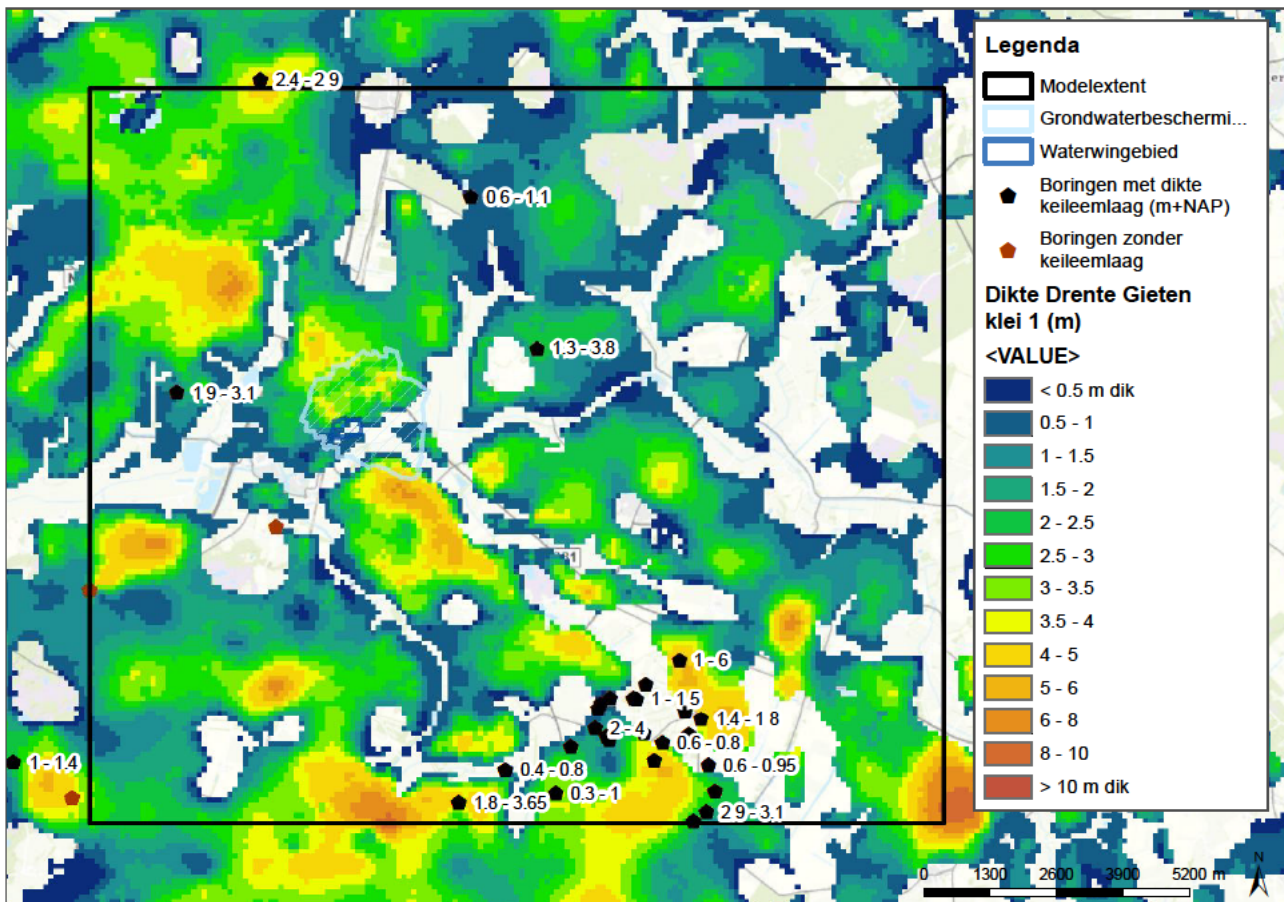
Hierboven liggen op een diepte van -50 m NAP tot -15 m NAP de grove zandige eenheden van de Formatie van Urk (URz) en Appelscha (Apz). Deze formaties zijn ontstaan door fluviale afzettingen van eerst de vlechtende oostelijke rivieren uit Duitsland en later vanuit de Rijn (Midden Pleistoceen). Deze lagen hebben goede doorlatende eigenschappen.

Daarboven ligt de Formatie van Peelo (PEz) die bestaat uit glaciale afzettingen uit de Elsterien (475.000 tot 410.000 jaar geleden). Het ijs bereikte Nederland net niet, maar in de tijd ontstonden grote meren en (zeer goed doorlatende) tunneldalen gevuld met smeltwater die geleidelijk werden gevuld met grof en fijn zand en klei. Doordat het stilstaand water was, konden de fijnste klei en zanden bezinken.

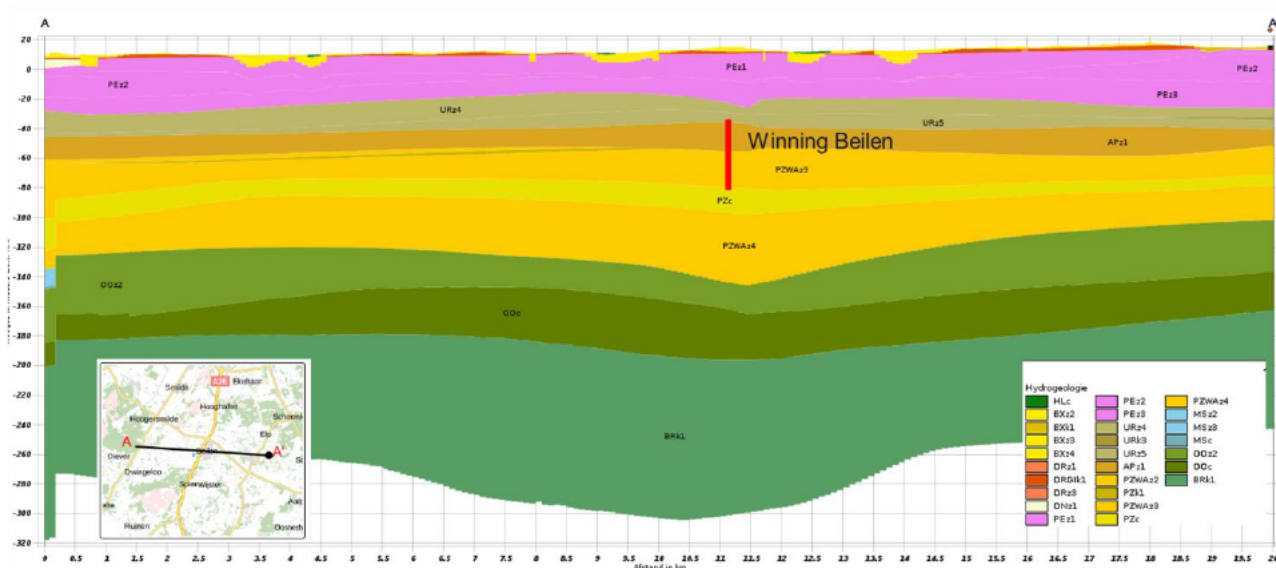
Boven de Formatie van Peelo ligt lokaal de Formatie van Drenthe, bestaande uit zand (Drz) en keileem (DRGIk). Deze is afgezet in de voorlaatste Saale-ijstijd (250.000 - 130.000 jaar geleden) waarin delen van Nederland werden bedekt met een groot stuk landijs vanuit Scandinavië. In deze ijstijd werd een in dikte variërende laag keileem gevormd (grondmoraine en eind moraine afzettingen) (Figuur 2-2). Na de ijstijd zijn smeltwatergeulen ontstaan waarbij de keileem en soms ook een deel van de Formatie van Peelo is geërodeerd. De Formatie van Boxtel (Bxz) is vanaf de IJstijd tot op heden ontstaan door eolische afzettingen, maar ook (rivier)afzettingen vanuit lokale beeksystemen. Deze afzettingen bedekten de grote smeltwatergeulen die zijn ontstaan vanuit de gletsjers in de ijstijd. In de diepste smeltwatergeulen komt een Holocene deklaag voor. De doorlatendheid varieert hierdoor sterk.



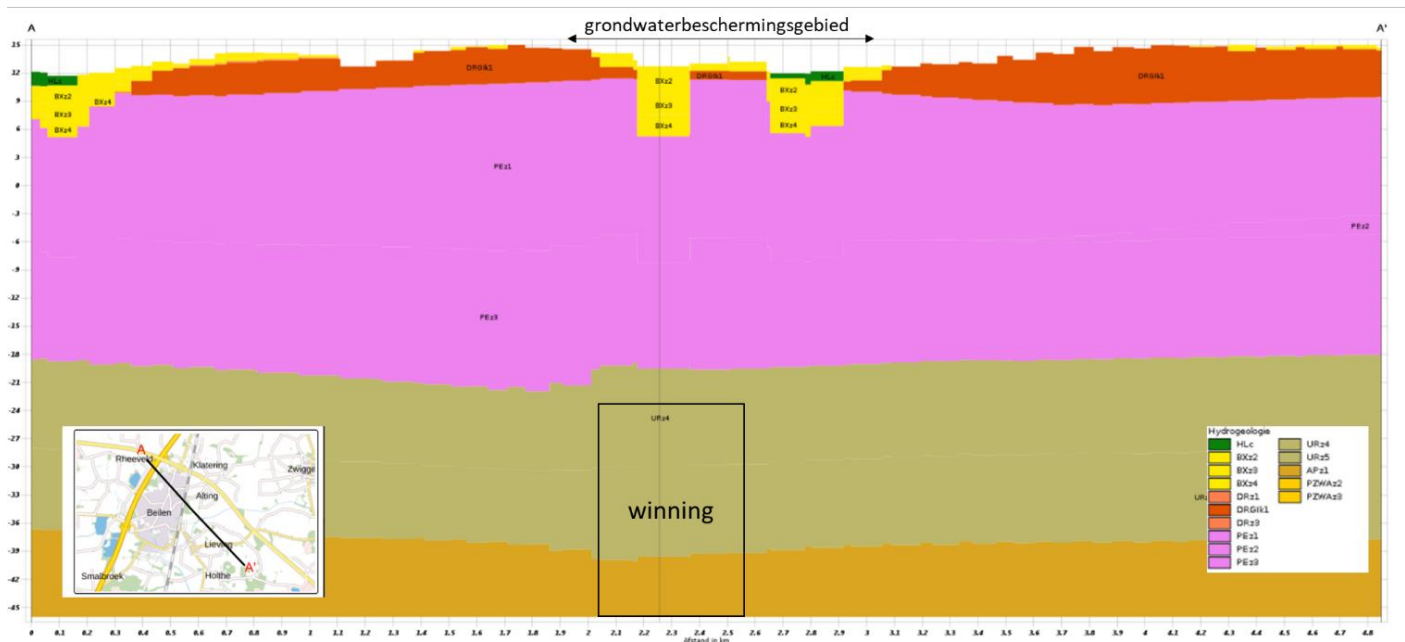
Figuur 2-2: Links vorming van keileem en recht locaties waar keileem voorkomt in Nederland.



Figuur 2-3: Dikte keileem per boring provincie Drenthe (bovenkant – onderkant in m+NAP) en dikte laag Formatie van Drenthe, Laagpakket van Gieten, eerste kleiige eenheid in MIPWA



Figuur 2-4: Oost-west doorsnede ondergrond tot 300 meter diepte vanuit REGIS II v2.



Figuur 2-5: Oost-west doorsnede ondiepe ondergrond tot 50 meter diepte bij drinkwaterwinningsgebied vanuit REGIS II v2.

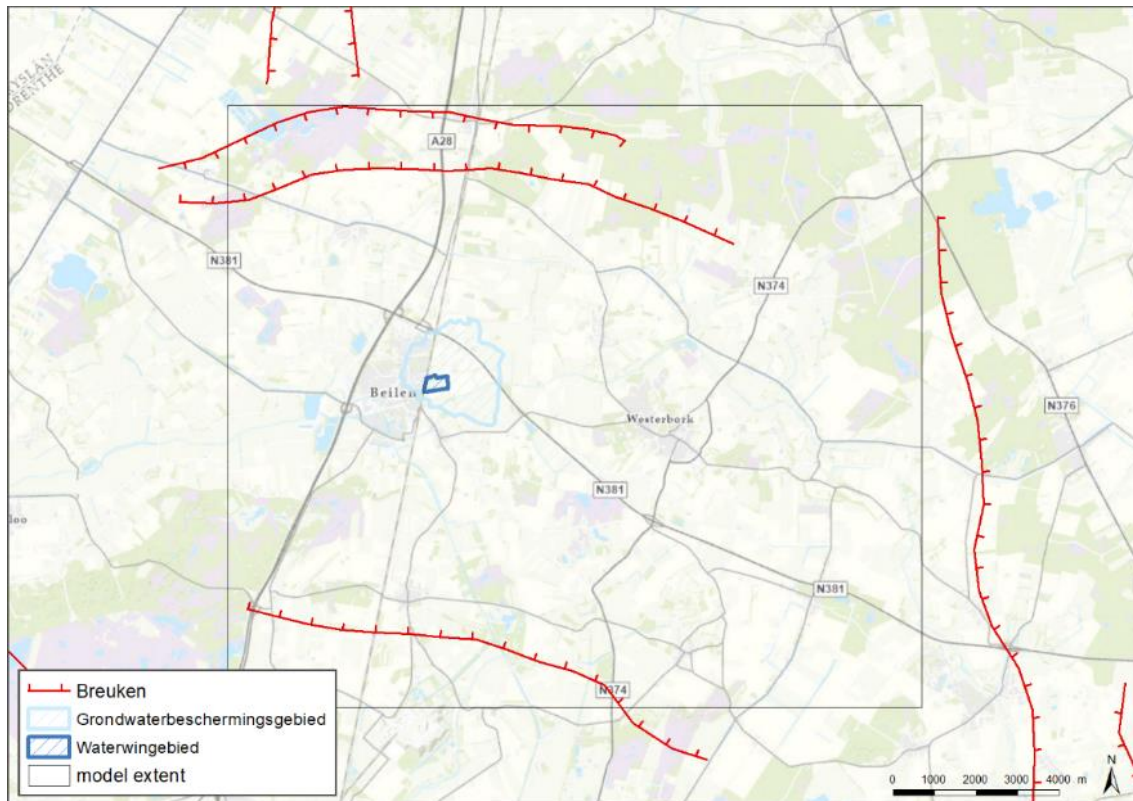
Keileem

Keileem is een slecht doorlatende laag en op plaatsen waar keileem dicht aan het oppervlak komt, kan het water de diepere lagen moeilijk bereiken waardoor een deel mogelijk zijdelings afstroomt over de keileem.

De uitgevoerde grondboringen vanuit de provincie Drenthe laten een variërende dikte zien van de keileemlaag overeenkomend met de dikte in MIPWA (Figuur 2-3). In een boring rond de winning zelf is geen keileem aangetoond, echter zijn in de boorprofielen vanuit WMD rondom de winning zelf wel lagen van tientallen centimeters tot een meter aan leem (keileem of beekleem) gevonden. De boorbeschrijvingen van de nieuwste pompputten laten geen leemlaag zien.

Breuken

In het gebied komen breuklijnen voor die ervoor gezorgd hebben dat in de aanwezige formaties (Peize Waalre en ouder) de lagen ten opzichte van elkaar zijn verschoven (zie Figuur 2-6 en Figuur 2-7). Aangezien de breuklijnen voornamelijk in zandige formaties zijn ontstaan en er geen kleiige en veenachtige ondergronden voor versmering kunnen zorgen, zal de horizontale grondwaterstroming hierdoor nauwelijks worden beïnvloed.



Figuur 2-6: Breuklijnen aanwezig rondom Beilen

2.2 Geohydrologie

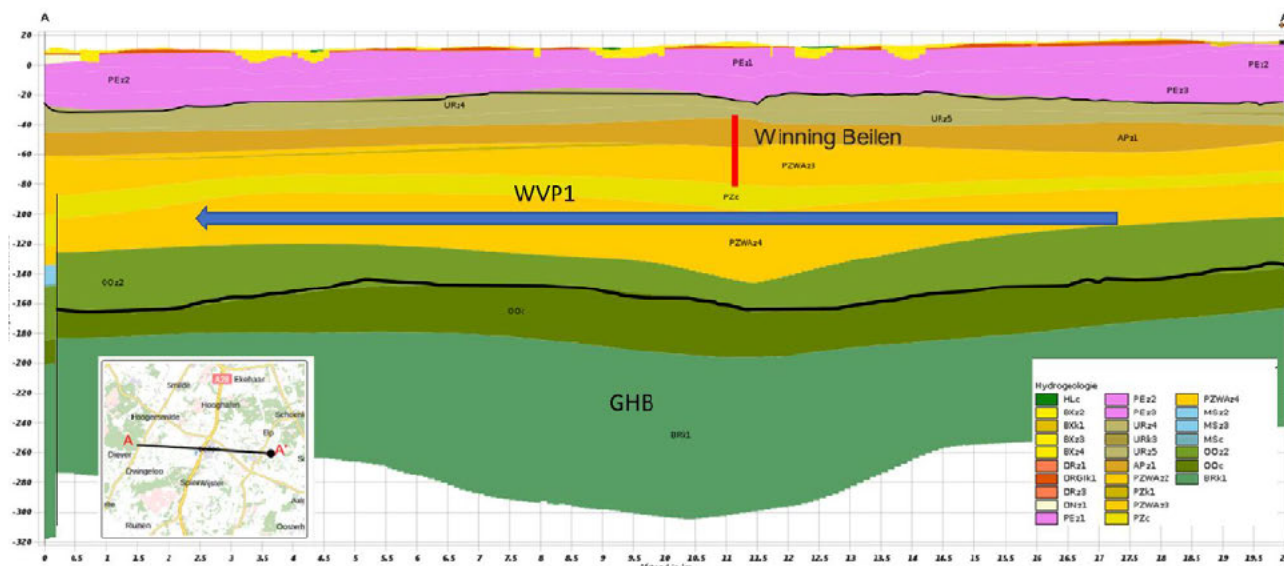
Het (ondiepe) grondwatersysteem bij Beilen wordt gedomineerd door één watervoerend pakket waarin de drinkwaterwinning ook is gelegen. Dit is het zandige pakket bestaande uit verschillende formaties met variërende doorlatende eigenschappen van redelijk tot zeer goed doorlatend. Dit watervoerend pakket bestaat uit de Formatie van Oosterhout, de Formatie van Peize en Waalre, de formatie van Appelscha en de Formatie van Urk (Figuur 2-7). Hierboven ligt weerstand van de zeer fijne Peelo-zanden en keileem. De scheiding is gelegd tussen Urk en Peelo-zanden waarbij de onderste Peelo laag mogelijk ook meegenomen kan worden in het watervoerend pakket. In de boorbeschrijvingen van nieuwe pompputten (14 t/m 16) is te zien dat tot 30 m-mv matig fijn zand aanwezig is en daaronder matig grof tot grof zand. Enkel bij boorbeschrijving van pompput 15 is van 9 tot 19 m-mv een laag met zeer fijn zand aanwezig; deze is bij pompput 14 een stuk dunner.

Het freatisch pakket bestaat uit de Formatie van Bortel en lokaal een holocene deklaag. De doorlatendheid van de Formatie van Bortel varieert sterk: bij de beeksystemen is de doorlatendheid verschillend voor zandige geulopvullingen, beekleemafzettingen en restgeulen met veenvorming. Sommige geulen zijn dus in het Holoceen blijven bestaan als beek- of riviersystemen, met dus ook Holoceen (rivier)afzettingen, maar ook veenvorming in de lage delen.

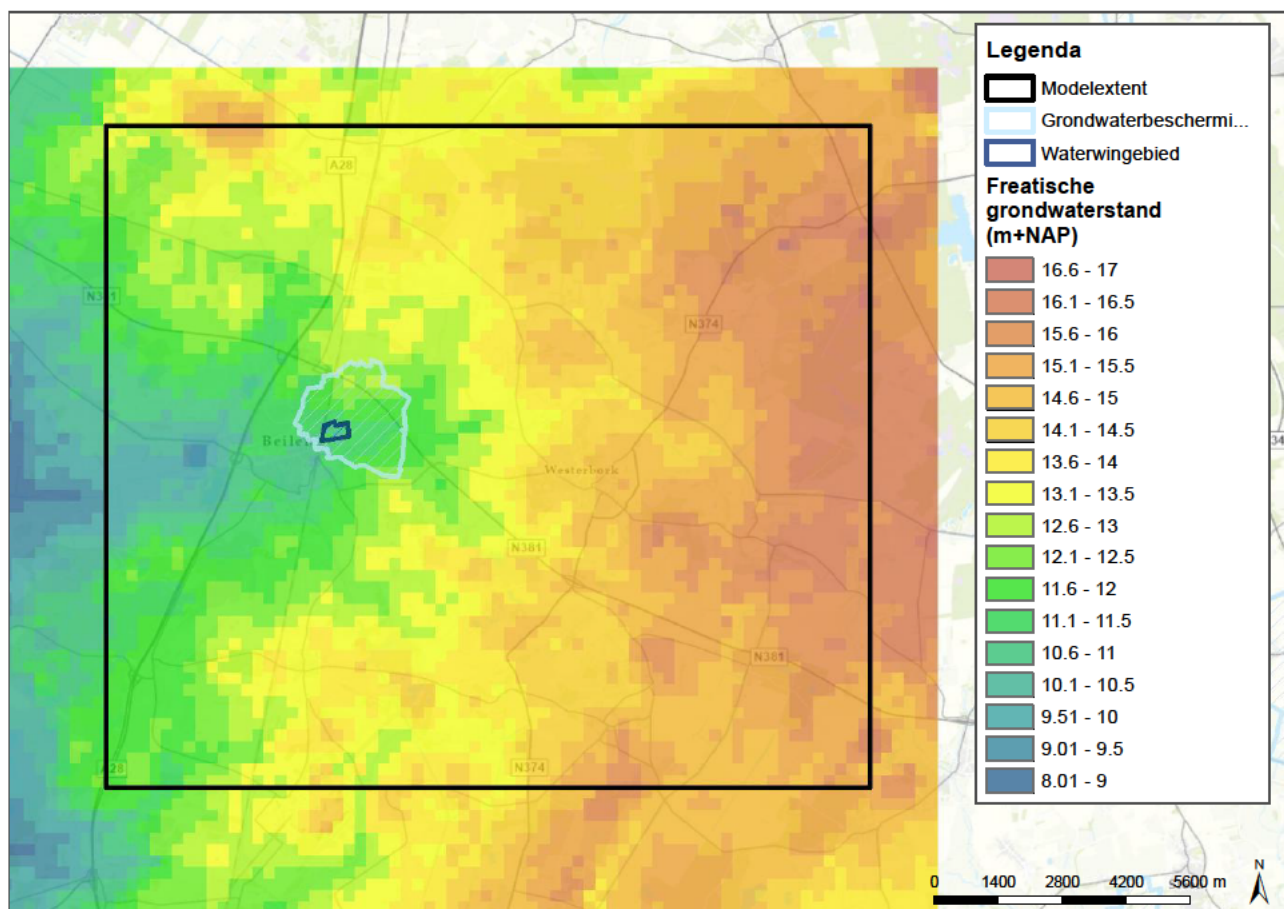
De dominante grondwaterstroming is van oost naar west, wat overeenkomt met het maaiveldhoogteverloop. De drinkwaterwinning Beilen ligt zoals ook in Figuur 2-1 is te zien in een geulsysteem. De freatische grondwaterstand volgt de maaiveldhoogte (Figuur 2-8), net als de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. De freatische grondwaterstand heeft een grilliger patroon door het lokaal voorkomen van keileem. Daarnaast hangt de freatische grondwaterstand sterk samen met de eigenschappen van het materiaal waarmee de geulen zijn opgevuld.

Ten westen van Beilen is een laagtepunt in stijghoogten te zien. Dit kan verklaard worden door de diepe zandwinningen die daar aanwezig zijn. Deze zandwinningen staan in directe verbinding met de Oude Vaart en hebben hetzelfde oppervlaktewaterpeil als de Oude Vaart. Ook is aan de westkant van het modelgebied een snelle verlaging in stijghoogten zichtbaar.

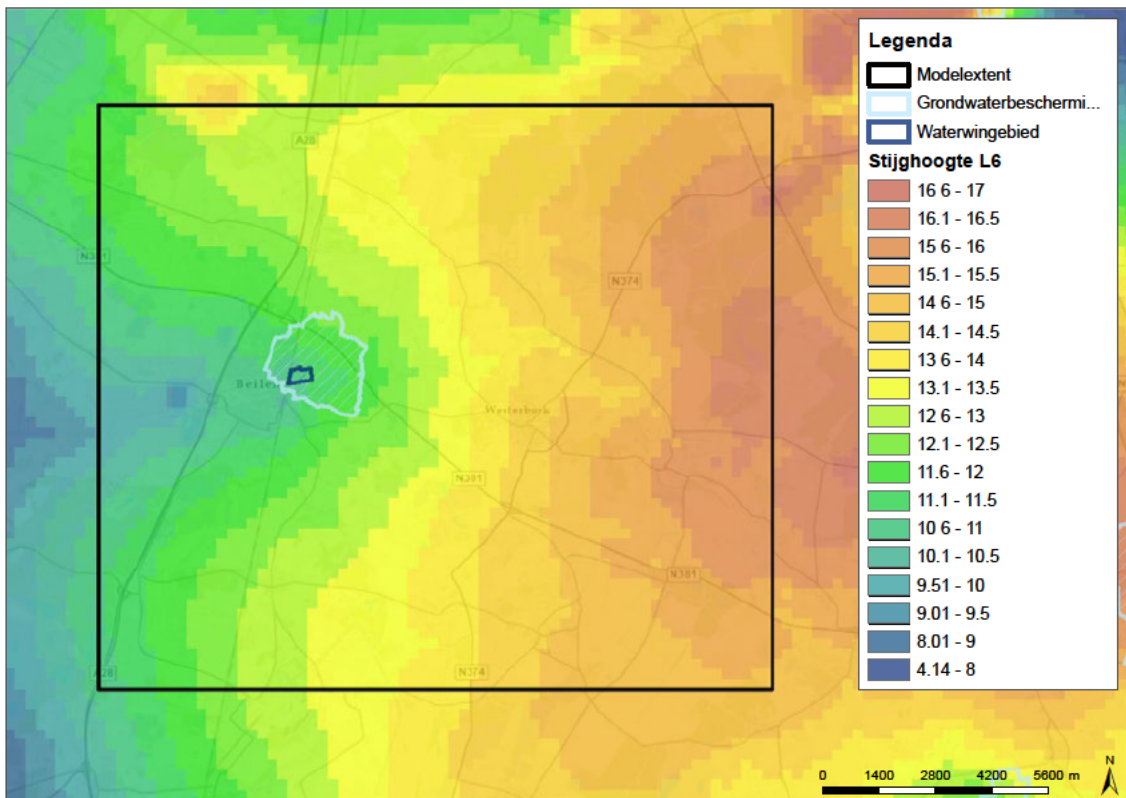
Rondom Beilen is sprake van mogelijke lokale en regionale kwel in de beekdalen. Dit komt vanuit het hele gebied en vooral de hoger gelegen zandgronden waar wegzijging plaatsvindt.



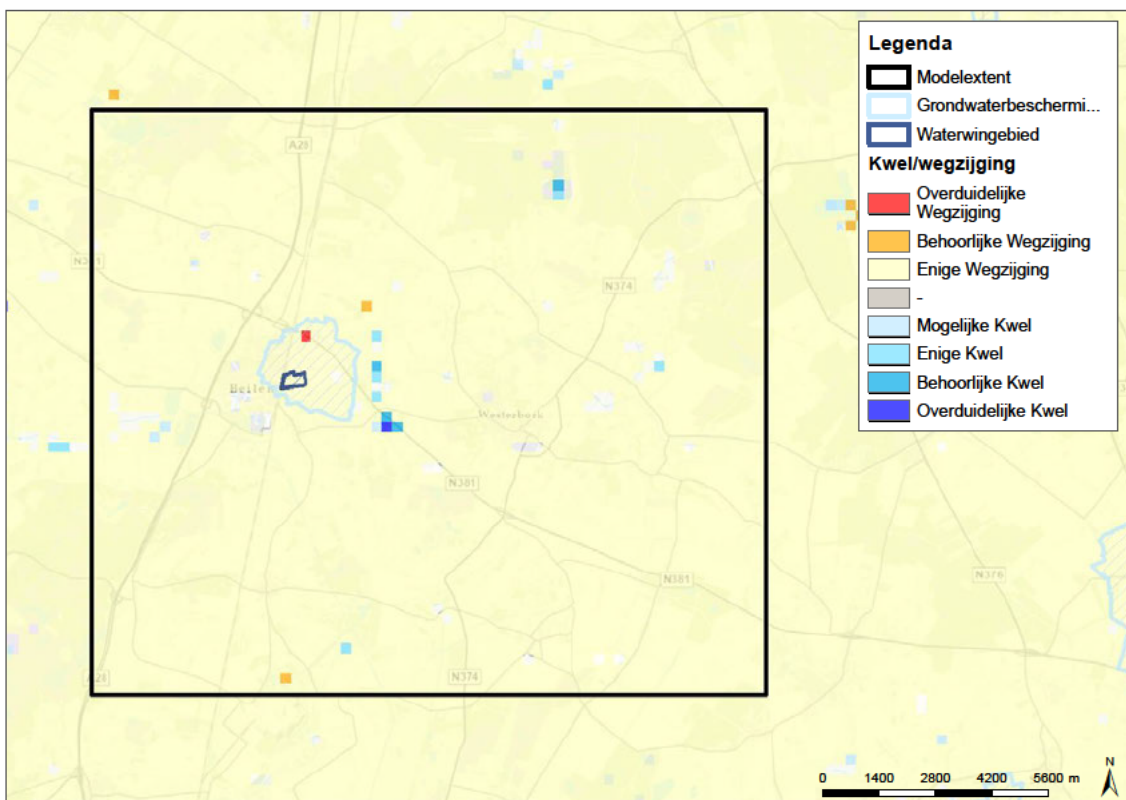
Figuur 2-7: Schematische weergave geohydrologisch systeem in de dwarsdoorsnede uit REGIS



Figuur 2-8: Freatische grondwaterstand (m+NAP) rondom drinkwaterwinning Beilen uit MIPWA 4.0



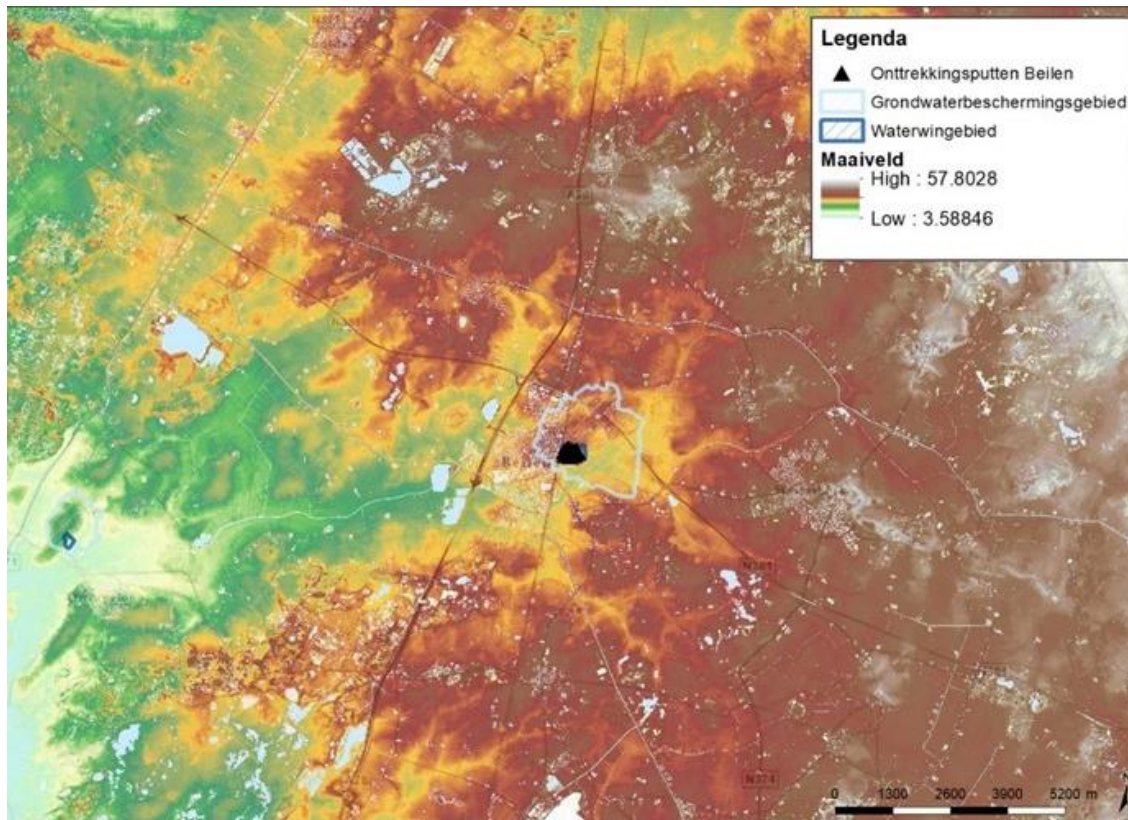
Figuur 2-9: Stijghoogte (m+NAP) in het eerste watervoerend pakket rondom drinkwaterwinning Beilen uit MIPWA 4.0



Figuur 2-10: Kwel en wegzijging rondom drinkwaterwinning Beilen uit MIPWA 4.0

2.3 Maaiveld

De drinkwaterwinning Beilen is gelegen op de overgang van het beekdal van de Beilerstroom en het hogere deel (Figuur 2-11). Het maaiveld varieert hier van circa +16 m NAP op de hogere delen tot circa +11 m NAP in de lagere beekdalen. In het westen is een groot beekdal aanwezig en in het oosten het Drents Plateau.



Figuur 2-11: Maaiveldhoogte rondom drinkwaterwinning Beilen

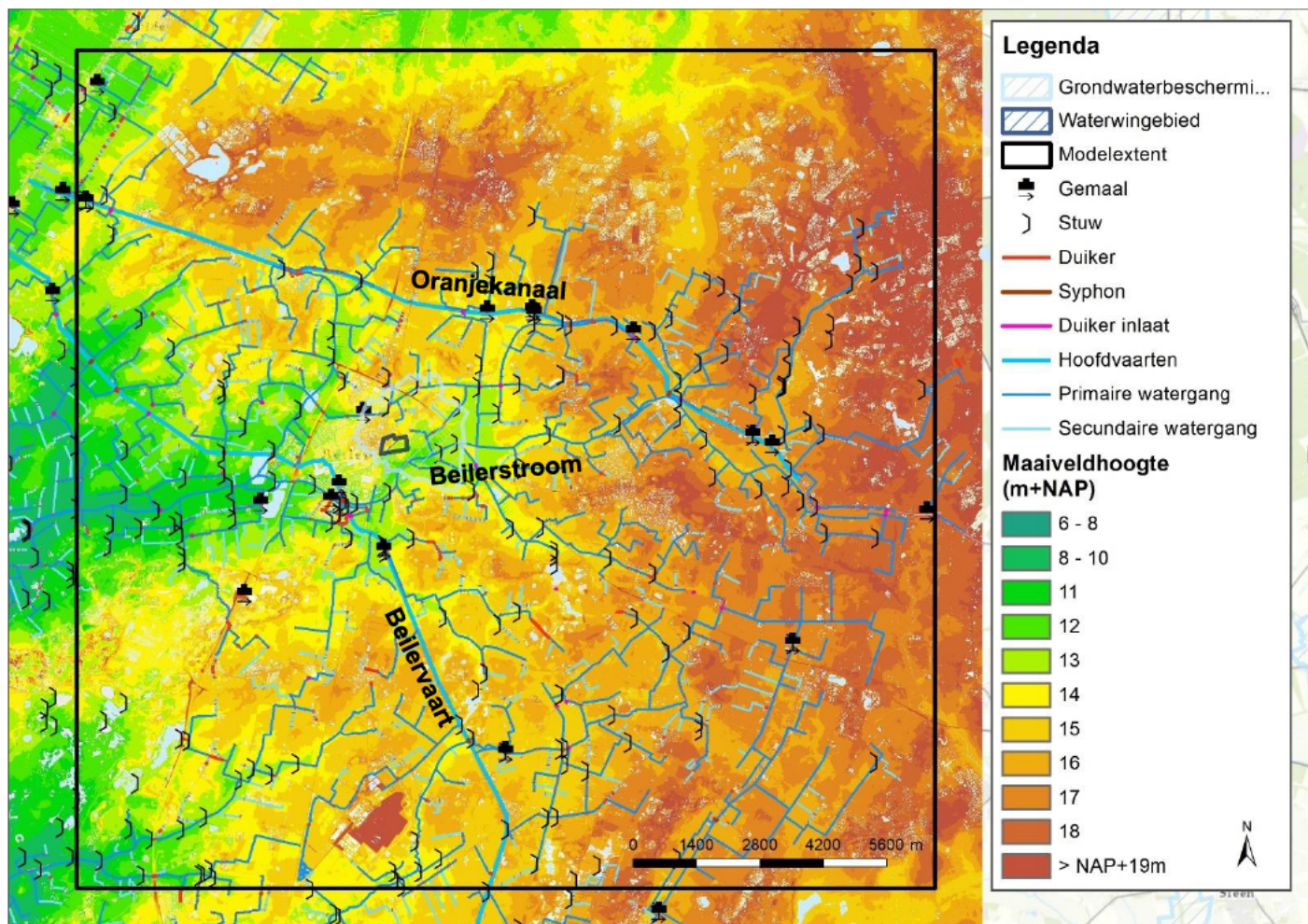
2.4 Oppervlaktewatersysteem

Het oppervlaktewatersysteem rondom de drinkwaterwinning is een vrij afwaterend gebied, waarbij de stroomrichting van oost naar west is (Figuur 2-12). Het gehele gebied bestaat uit meerdere peilgebieden (Figuur 2-14) die op peil worden gehouden door stuwen. Voorheen werkte het waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD) met een vast zomer- en winterpeil, maar door meer inzicht, klimaatverandering en technische vooruitgang wordt zoveel mogelijk met een minimum- en maximumpeil gewerkt¹. Hierbij wordt op verschillende locaties beoordeeld welk peil op dat moment het best passend is. Er is dus geen vaste datum meer waarop op een ander peil wordt overgegaan.

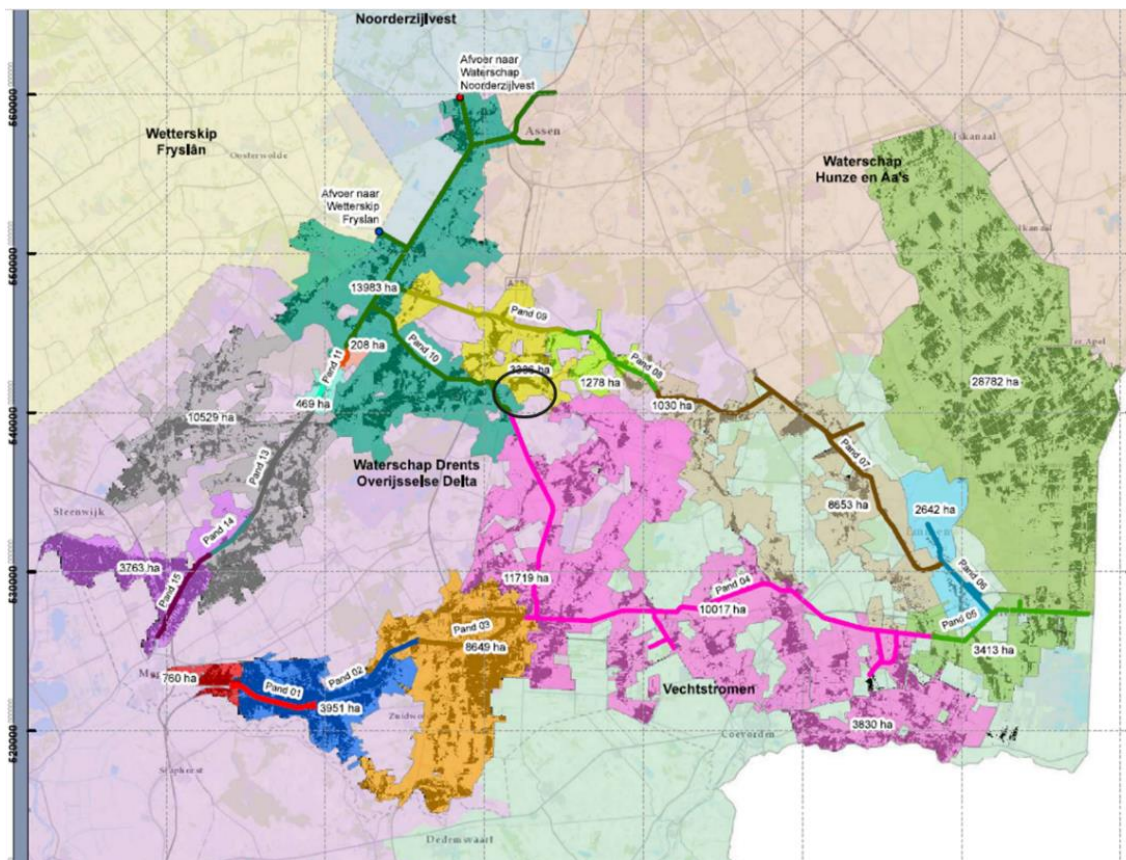
Aan de noordzijde van de drinkwaterwinning ligt het Oranjekanaal vanuit Emmen en aan de zuidzijde ligt de Beilervaart die vanuit Beilen naar de Drentse Hoofdvaart afwatert. Vanuit het Oranjekanaal en de Beilervaart zijn er mogelijkheden om water aan te voeren in het gebied rondom de drinkwaterwinning (Figuur 2-13). In de Beilervaart is het peil beheerst en wordt veel water aangevoerd.

De Beilerstroom is de hoofdafvoerroute langs de zuidkant van de drinkwaterwinning. Deze watergang gaat in Beilen onder de Beilervaart door en watert naar het zuidwesten af.

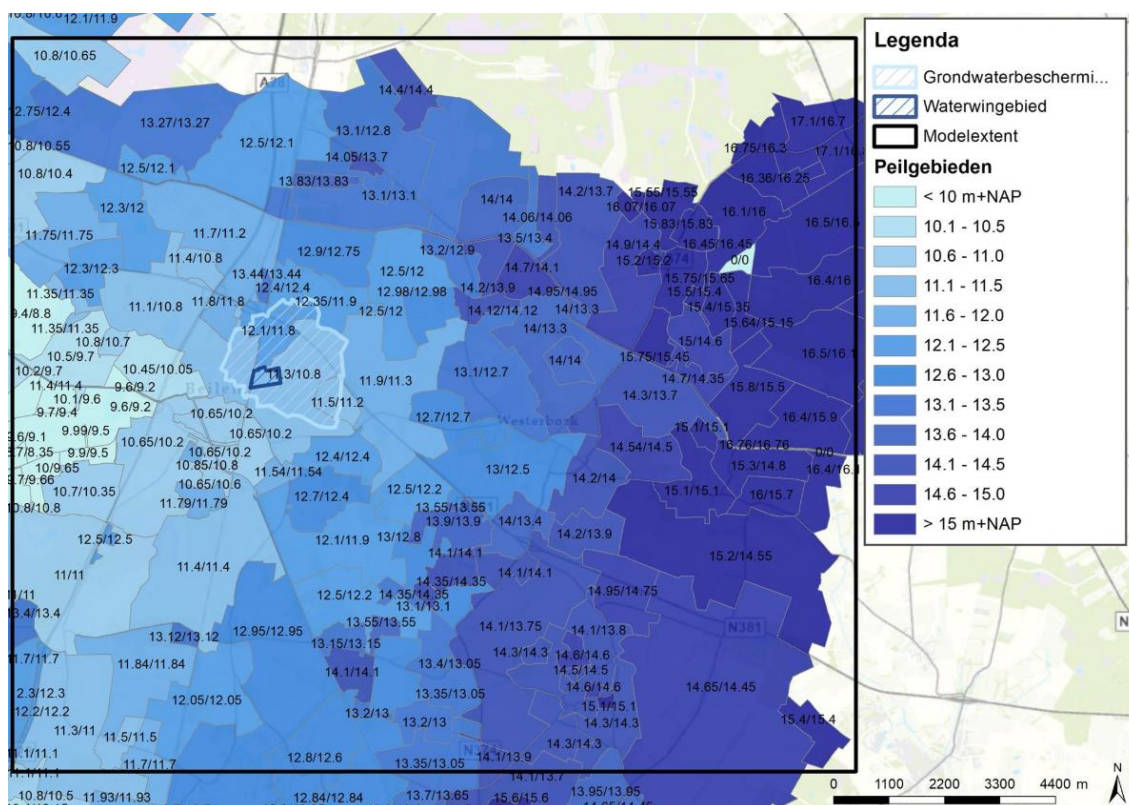
¹ https://www.wdodelta.nl/flysystem/media/flyer_peilbeheer.pdf



Figuur 2-12: Oppervlaktewatersysteem rondom drinkwaterwinning Beilen



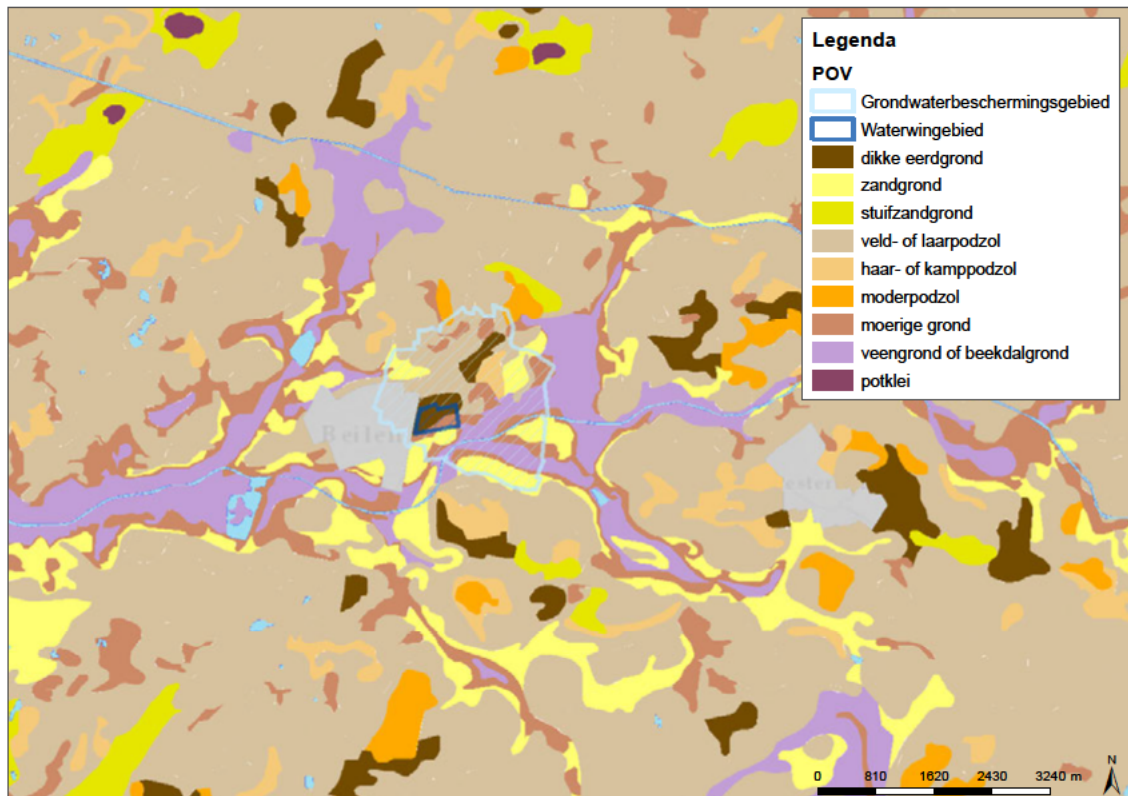
Figuur 2-13: Aanvoermogelijkheden in het beheergebied van WDOD en omliggende waterschappen. In de zwarte cirkel ligt drinkwaterwinning Beilen.



Figuur 2-14: Minimale en maximale peilen per gebied

2.5 Bodemtype

In Figuur 2-15 is de bodemkaart weergegeven. Hierin is te zien dat de hogere gronden voornamelijk uit zand en keileem bestaan en de lagere delen voornamelijk uit moerige gronden en veengronden. In deze kaart zie je weer de smeltwatergeulen die in de IJstijd zijn ontstaan. Hier is de keileem en het zand volledig geërodeerd door het smeltwater. Op de randen van de beekdalen/geulen is moerige grond en zandgrond aanwezig. Op de hogere veld- of laarpodzolgronden is keileem aanwezig.



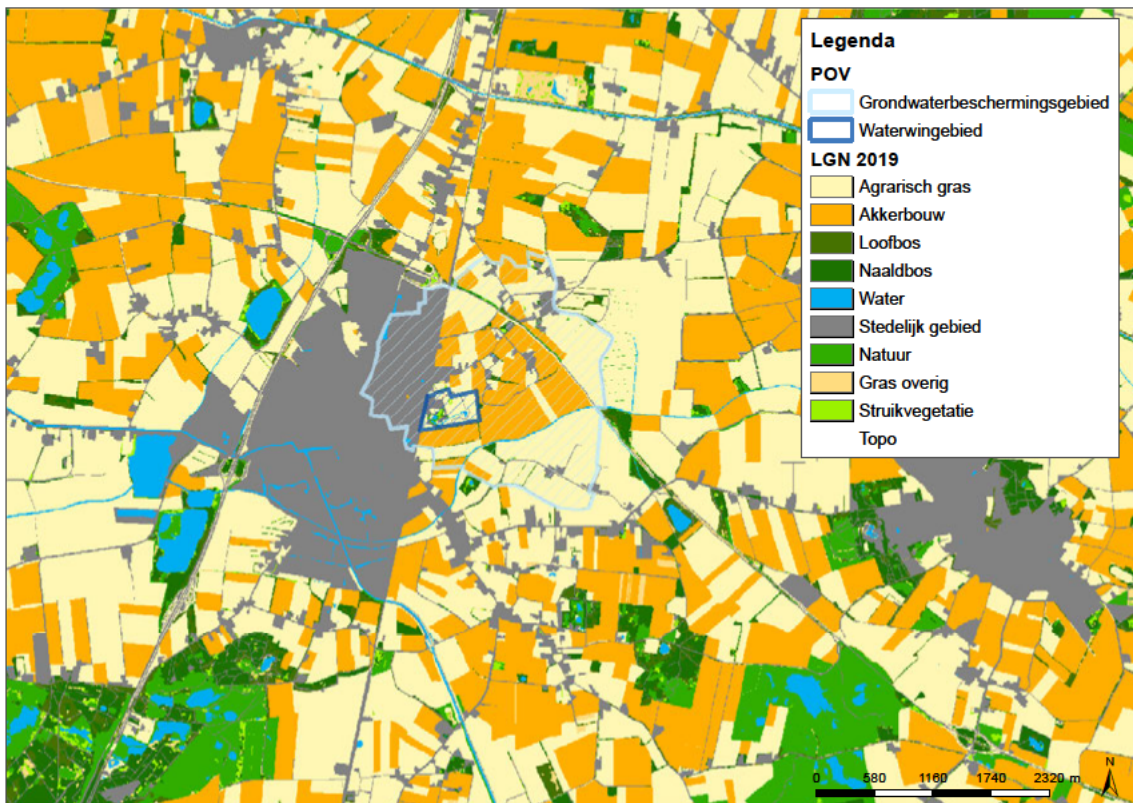
Figuur 2-15: Bodemkaart rondom drinkwaterwinning Beilen.

2.6 Landgebruik

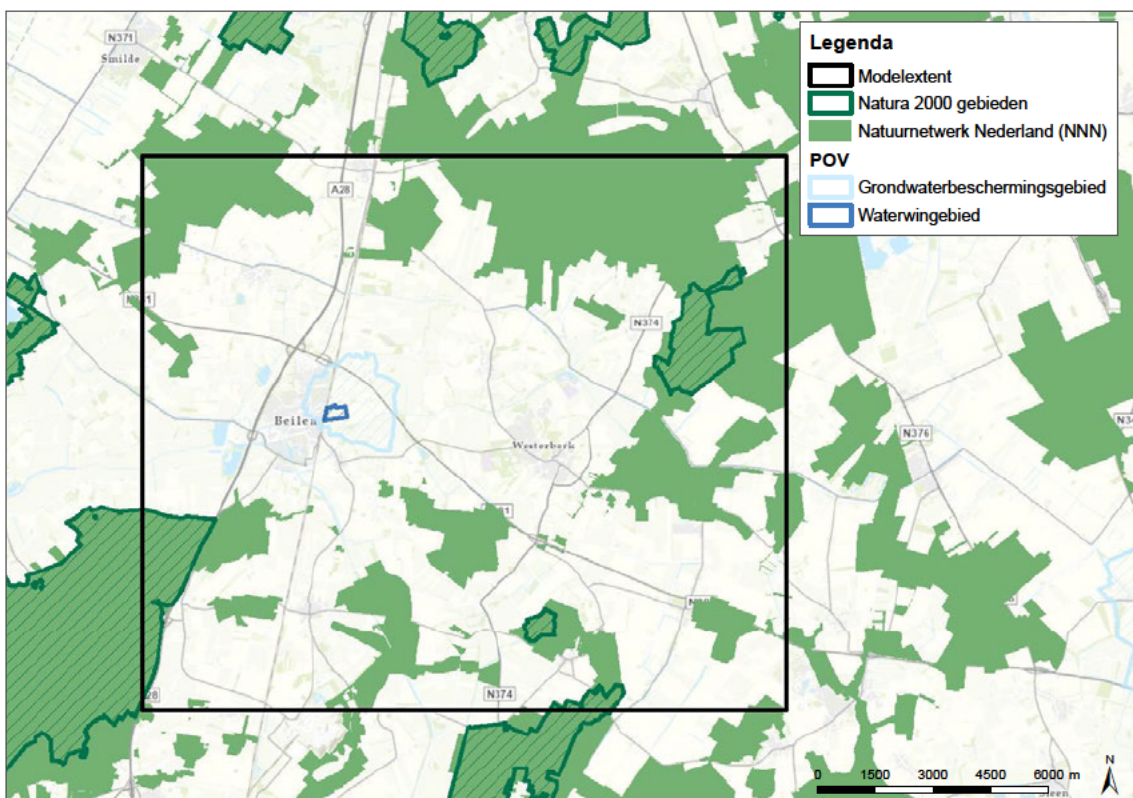
De drinkwaterwinning van WMD ligt ten oosten van het stedelijk gebied Beilen, in de provincie Drenthe. Tussen het stedelijk gebied en de drinkwaterwinning zit het spoor, waar in stedelijk gebied de zuivelfabriek van FrieslandCampina (voormalig DOMO) staat die ook grondwater onttrekt. Aan de zuid- en oostkant van de drinkwaterwinning loopt de waterloop de Beilerstroom.

Rondom de drinkwaterwinning is het bodemgebruik aan de westkant voornamelijk stedelijk gebied van Beilen. Ten noorden, zuiden en oosten is de drinkwaterwinning omringd door landbouwgebied zoals grasland, akkerbouw (bieten, granen, aardappelen).

Rondom de drinkwaterwinning liggen een aantal natuurgebieden waarvan Dwingelderveld en Mantingerbos/ Mantingerzand ten zuiden. Ook binnen het modellextent ligt ten oosten van de drinkwaterwinning het Elperstroomgebied. Buiten het modellextent, maar op vergelijkbare afstand van de drinkwaterwinning als het Elperstroomgebied, liggen het Drentsche Aa-gebied ten noorden en het Drents-Friese Wold & Leggelderveld ten westen.



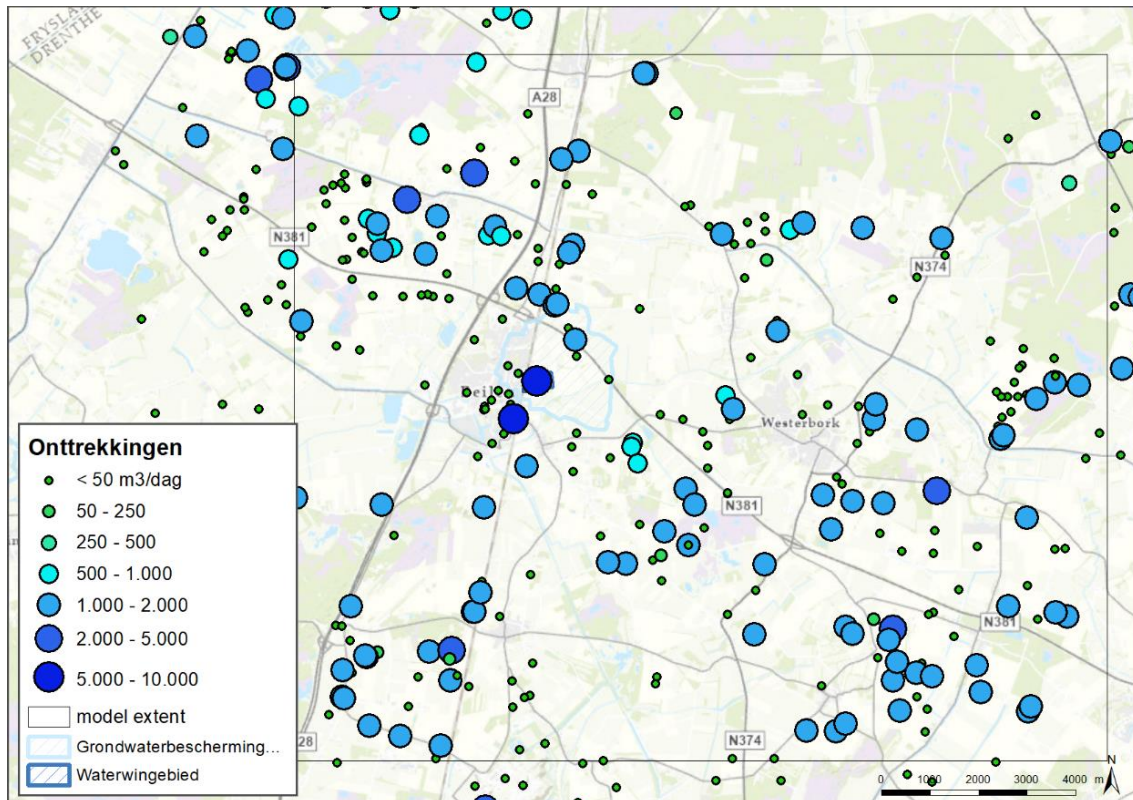
Figuur 2-16: Landgebruik rondom drinkwaterwinning Beilen.



Figuur 2-17: Natura 2000-gebieden en Natuurnetwerk Nederland rondom drinkwaterwinning Beilen

2.7 Onttrekkingen

De grootste onttrekkingen zijn die van Beilen (vergund debiet 4 Mm³/jaar) en de zuivelfabriek van FrieslandCampina (2,25 M m³/jaar). Daarnaast zijn er nog onttrekkingen aanwezig die zijn aangemeld bij het waterschap. Dit zijn allemaal kleine en/of tijdelijke onttrekkingen en beregeningen tot maximaal 1440 m³ per dag of 60 m³/uur.



Figuur 2-18: Onttrekkingen van WDOD en WMD. Hier staan (tijdelijke) onttrekkingen tussen die momenteel niet meer actief zijn.

2.8 Synthese

Uit bovenstaande systeembeschrijving komen een aantal aspecten naar voren die opvallen en waar bij de opzet van het model goed naar gekeken moet worden. Een belangrijk aspect is de uitwisseling van het freatisch pakket en WVP1.

De mate van uitwisseling tussen WVP1 en het freatisch pakket wordt bepaald door de aanwezige weerstand van de Peelo-zanden en de keileem. Hierbij is het wel/niet voorkomen van de keileem dus belangrijk.

- In het gebied rondom de winning van Beilen is de laag met keileem slecht doorlatend (hoge weerstand) en komt vooral op de hogere gronden voor. Deze laag is echter zeer wisselend van samenstelling.
- In het gebied zijn geulen aanwezig die zijn gevormd door het smeltwater tijdens de laatste ijstijd. In deze geulen is de keileem geërodeerd waardoor er minder weerstand aanwezig is. Hierbij is het ook van belang waarmee de geulen zijn opgevuld: de verspoelde keileem is vaak opnieuw afgezet als beekleem.
- De dikke laag Peelo-zand (in dit gebied zeer fijn leemhoudend zand) ligt boven de Peize-Waalre zanden (onttrekking). Deze laag heeft een grote weerstand voor een zandlaag.

Op basis van de gegevens verwachten we weinig uitwisseling tussen WVP1 en freatisch. Voor het model, en het berekenen van de effecten van de winning, is dan met name een juiste schematisatie en verhang van het WVP1 erg belangrijk, en een juiste schematisatie van de Peelo- en keileemweerstand. De freatische componenten (oppervlaktewater, drainage, etc.) zijn voor de freatische grondwaterstand erg belangrijk, maar waarschijnlijk een stuk minder belangrijk voor de effectberekening (gezien de geringe uitwisseling met WVP1).

3 Uitgangspunten

Deze bijlage beschrijft de onderbouwing van de modelkeuze, beredeneerd vanuit de eisen waaraan het model en de te gebruiken modelcode moet voldoen. Dit is de basis geweest voor deze studie en is in het projectoverleg op 16 maart 2021 vastgelegd.

Voor het grondwatermodel gelden de volgende eisen:

- een modelperiode van ten minste tien jaar moet kunnen worden doorgerekend (acht jaar voor de GxG bepaling en twee jaar inlooperperiode);
- het model moet op dagbasis kunnen rekenen vanwege de processen en interesse in grondwaterfluctuatie;
- het systeem moet op het detailniveau van perceelniveau (25x25m) gegevens kunnen verwerken.

MIPWA is het modelinstrumentarium voor Noord-Nederland. Het bestrijkt de provincie Groningen, Friesland, Drenthe en Overijssel. De provincies stimuleren het gebruik van MIPWA voor grondwaterstudies, omdat dit de verdere ontwikkeling van het model ten goede komt.

Als modelinstrumentarium is gebruik gemaakt van MIPWA-versie 4.0. Vanuit MIPWA is een regionale uitsnede gemaakt. Deze modeluitsnede zal waar nodig worden verfijnd en wordt vervolgens gekalibreerd.

Enkele gegevens over MIPWA:

- de standaard beschikbare modelperiode van MIPWA 4.0 is 1989 t/m 2014; op het moment van modellering zijn nog geen recentere gegevens beschikbaar.
- veel invoerbestanden van MIPWA zijn beschikbaar op 25 m resolutie. Voor de regionale uitsnede zal met een resolutie van 25 x 25 m gerekend worden;
- het lagenmodel is gebaseerd op REGIS II v2.2, aangevuld met regionale informatie (zie rapport 'Rapportage MIPWA-lagenmodel_def 3 sept 2020').

3.1 Uitgangspunten parameters en schematisatie

In onderstaande paragraaf is beschreven welke modules en packages gebruikt zijn voor het regionale model en welke uitgangspunten daarin gehanteerd zijn. De uitgangspunten zijn onderverdeeld in algemene modelvariabelen, uitgangspunten van de modules en uitgangspunten van de packages.

Voor deze grondwatermodellering is gebruik gemaakt van een regionale uitsnede van MIPWA 4.0.

Tabel 3-1: Algemene modeluitgangspunten

Variabele	Uitgangspunt	
Modelinstrumentarium	MIPWA 4.0 MODFLOW v5.1	
Tijdsperiode	2004-2014	
Tijdsstap model	1 dag	
Resolutie	25 x 25 m	
Modellagen	12 lagen	
Extent	Xmin 226800	Ymin 534500
	Xmax 243500	Ymax 549000

Tabel 3-2: Overzicht van de gebruikte modules en de gehanteerde uitgangspunten.

Module	Algemene toelichting	Wijzigingen
CAP	<p>Capillaire zone (MetaSWAP). De standaard beschikbare meetperiode is van 1989 t/m 2014.</p> <p>De beschikbare landgebruik en maaiveldhoogtekaart in MetaSWAP zijn respectievelijk LGN6 en AHN2.</p>	<p>(Lees ook paragraaf 3.1.1.1) Standaard bevat MIPWA niet de nieuwste versie van MetaSWAP (op basis van de 72 BOFEK-eenheden). Dit wordt geüpdatet naar LHM2016_v01. Deze database is ook gebruikt bij de ontwikkeling van de WaterWijzer.</p> <p>BOFEK type 304 wordt vervangen door 309, omdat bij 304 te weinig verdampingsreductie optreedt.</p> <p>Verschillende aanpassingen die de prestaties van MetaSWAP verbeteren doorvoeren, die zijn opgesteld samen met WEnR.</p>
BND	Deze module geeft aan welke modelcellen actief zijn (1) of inactief zijn met een vaste stijghoogte (-1) of geen stroming (0).	Gecontroleerd, geen aanpassingen uitgevoerd.
SHD	Startstijghoogten: standaard zijn dit de stationaire ('steady-state') stijghoogten van MIPWA.	Later worden deze vervangen door nieuwe startstijghoogten op basis van het gekalibreerde niet-stationaire model.
KHV	Horizontale doorlatendheid (k_H) watervoerend pakket	De orde grootte van k_H is gecontroleerd met REGIS II v2.2. Vanwege de overzichtelijkheid bij het verwerken van varianten is gekozen om verder met k_D en C te werken i.p.v. KHV, KVV en TOP en BOT.
KVV	Verticale doorlatendheid (k_V) scheidende lagen	De orde grootte van k_V waarden is gecontroleerd met de in REGIS beschikbare informatie. Vanwege de overzichtelijkheid bij het verwerken van varianten is gekozen om verder met k_D en C te werken i.p.v. KHV, KVV en TOP en BOT.
KVA	Verticale anisotropie (i.e. verhouding tussen de k_V en k_H van het watervoerend pakket)	Waarde van 0.2 voor modellaag 1 (deze package zal verdwijnen wanneer met k_D en C gerekend gaat worden).
STO	Grote open wateren (plassen en meren) hebben een berging van 100%	Gecontroleerd en voor alle locaties met open water is de berging aangepast naar 1.
TOP	Bovenkant watervoerend pakket	Vanwege de overzichtelijkheid bij het verwerken van varianten is gekozen om verder met k_D en C te werken i.p.v. KHV, KVV en TOP en BOT. Daarnaast zorgt het werken met TOP en BOT er mogelijk ook voor dat onttrekkingen en watergangen worden mogelijk ook niet gekoppeld aan modellagen.
BOT	Onderkant watervoerend pakket	Vanwege de overzichtelijkheid bij het verwerken van varianten is gekozen om verder met k_D en C te werken i.p.v. KHV, KVV en TOP en BOT. Daarnaast zorgt het werken met TOP en BOT er mogelijk ook voor dat onttrekkingen en watergangen ook niet worden gekoppeld aan modellagen.

Tabel 3-3: Overzicht van de gebruikte packages en de gehanteerde uitgangspunten.

Package	Algemene toelichting	Wijzigingen
WEL	Binnen MIPWA zijn alleen drinkwaterwinningen opgenomen.	We hebben de meest recente gegevens direct van WMD gekregen en verwerkt: puttenveld (locatie), filterstelling (diepte) en onttrekkingsdebiet.
DRN	In MIPWA is onder elk gebouw en weg drainage aanwezig. Dit staat voor een geforceerder ontwatering van wegen en gebouwen.	<p>Voor de varianten is het van belang dat de effecten op de grondwaterstanden onder bebouwing en percelen goed wordt berekend. Drainage onder iedere weg en gebouw is niet realistisch.</p> <p>Als worstcase en tevens meer realistische benadering worden alle (buis)drainage bij infrastructuur en stedelijke bebouwing verwijderd uit het modelgebied. Buisdrainage in landelijke gebieden worden vergeleken met de aangeleverde bestanden uit een onderzoek naar buisdrainage rondom Natura 2000-gebied, en hierop aangepast.</p>
RIV	<p>De (grotere) watergangen en plassen komen ook in de STO-module voor en in het landgebruik.</p> <p>Infiltrerende watergangen hebben standaard een infiltratiefactor van 0.33. Voor enkel drainerende watergangen is deze factor 0.</p>	<p>De watergangen zijn toegekend aan modellaag 1; op de meeste locaties is geen deklaag aanwezig, en wanneer bij aanwezigheid van de deklaag de watergang deze (nagenoeg) doorsnijdt, is de deklaagweerstand hier al op aangepast.</p> <p>De zomer- en winterpeilen zijn gecontroleerd. Hierbij is geconcludeerd dat de peilen in het model niet goed overeenkomen met de geleverde peilvakken. Dit is te verklaren door het aanwezige verhang in de modelpeilen, wat beter overeenkomt met de werkelijkheid dan de peilvakken. Er is gecontroleerd op peilen boven het maaiveld; deze zijn aangepast.</p> <p>De infiltratiefactor wordt gecontroleerd op basis van een bestand van het waterschap. Hierbij is het principe gehanteerd dat watergangen met inlaten een infiltratiefactor van 0.33 hebben, en droogvallende waterlopen een infiltratiefactor van 0.</p> <p>De zandwinplassen hebben een infiltratiefactor van 0 en een vast zomer- en winterpeil. Dit is niet aangepast.</p>
ISG	ISG bevat de lijnbestanden van de watergangen. Deze lijn bestanden worden automatisch omgezet naar rasterbestanden door iMOD.	Om grip op de verrastering te kunnen hebben en vanwege de overzichtelijkheid bij het verwerken van varianten zijn de ISG-watergangen omgezet naar de RIV-package.
OLF	Package staat uit	
CHD	Modelranden	De modelranden worden uit een niet-stationaire run gehaald, zodat deze meebewegen. Het model wordt doorgerekend met een buffer van 1 km om randeffecten te voorkomen.

3.1.1 Verbetervoorstellen

In bovenstaande tabel is per package kort toegelicht wat de voorgestelde wijzigingen zijn. Hieronder wordt voor een aantal packages, waarbij we het model verbeteren, het verbetervoorstel in meer detail beschreven.

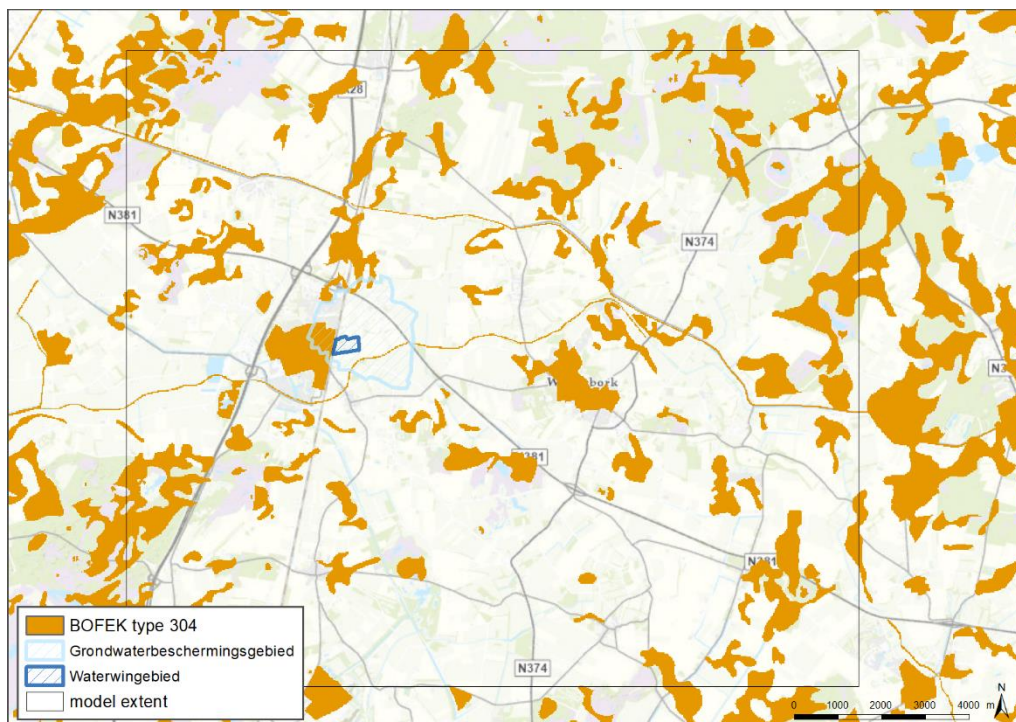
3.1.1.1 MetaSWAP

Door over te stappen naar de nieuwste MetaSWAP versie, wordt de bodemdatabase LHM2016_v01a geïmplementeerd. Deze database bestaat uit 72 BOFEK-eenheden. Bij eerdere modelstudies (o.a. de ontwikkeling van AMIGO 3.0, en MORIA 4.6) is naar voren gekomen dat bepaalde BOFEK-eenheden een onjuiste parametrisatie hebben binnen het model. Bij BOFEK type 304 (zwak lemige podzolgrond) wordt de verdamping niet voldoende gereduceerd bij droogte, waardoor er te veel verdampt kan worden en de grondwaterstand te diep uitzakt. Dit bodemtype komt in dit gebied veel voor (Figuur 3-1). Door dit bodemtype te vervangen met een type met soortgelijke bodem bouwstenen waar dit probleem niet optreedt (bijvoorbeeld BOFEK 309; Zwak lemige (beekeerd)gronden deels met grof zand in de ondergrond), kan dit verholpen worden.

Naast de aanpassingen van de bodemdatabase, stellen wij enkele aanpassingen voor die de prestaties van MetaSWAP verbeteren. Deze aanpassingen komen voort uit eerdere modelstudies, en zijn samen met WEnR opgesteld en getoetst:

- **Aanpassing verdampingreductie bos:**
Door de Feddes parameters voor bos aan te passen, wordt de verdamping vanaf pF 2.3 gereduceerd. Zonder deze aanpassing kan bos binnen MetaSWAP nog steeds verdampen in droge situaties waar in werkelijkheid geen verdamping meer optreedt.
- **Aanpassing maximale worteldiepte:**
De maximale wortelzonediepte van bos (m.u.v. donkerbos) en mais is gecontroleerd. Voor bos is de maximale diepte 70 cm en voor mais 85 cm. Deze aanpassing is doorgevoerd om een onrealistische verdampingshoeveelheid tegen te gaan.
- **Aanpassing para_sim.inp:**
Binnen het bestand para_sim.inp is de parameter svat_per op 0 gezet. Deze hoeft bij de nieuwste MetaSWAP-versie niet meer ingeschakeld te worden en zorgt hierdoor voor een snellere rekentijd en minder benodigde schijfruimte.

In het projectgroepoverleg op 16 maart 2021 is deze aanpassing besproken en goedgekeurd.



Figuur 3-1: Locaties waar BOFEK type 304 voorkomt

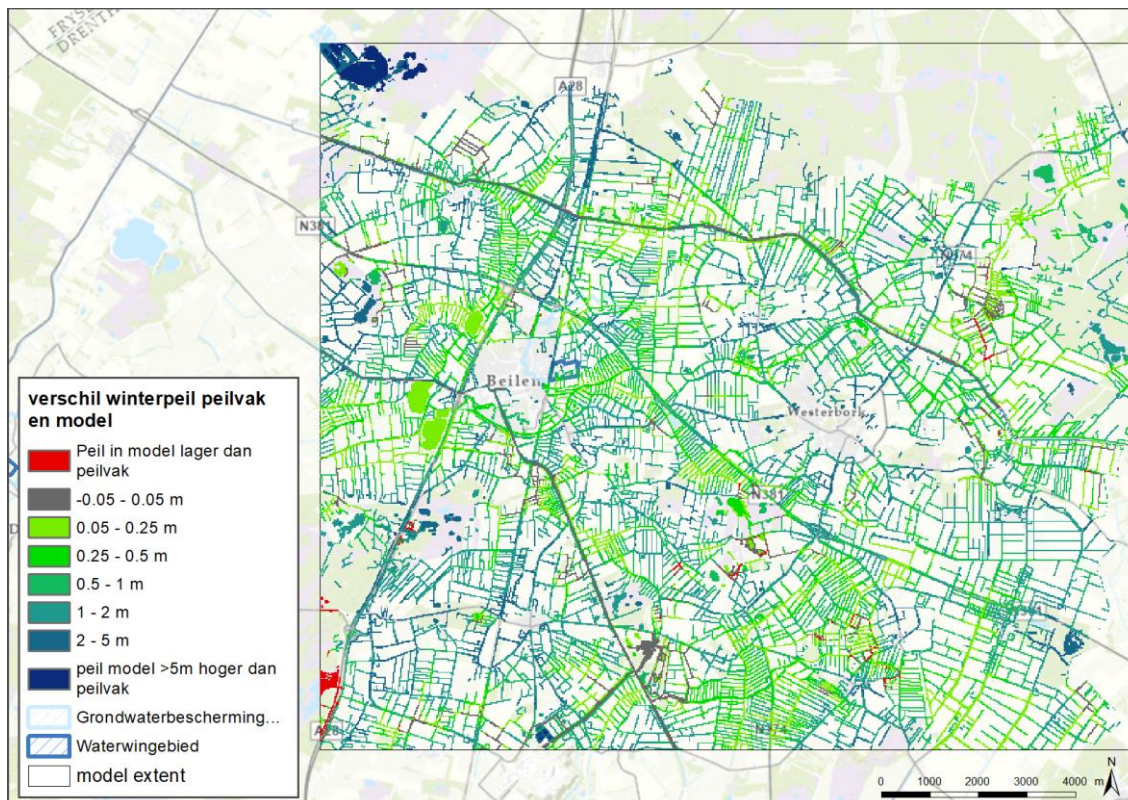
3.1.1.2 Oppervlaktewater

De watergangen zijn toegekend aan modellaag 1. Op de meeste locaties is geen deklaag aanwezig, en wanneer bij aanwezigheid van de deklaag de watergang deze (nagenoeg) doorsnijdt, is dit terug te zien in de dikte van de deklaag.

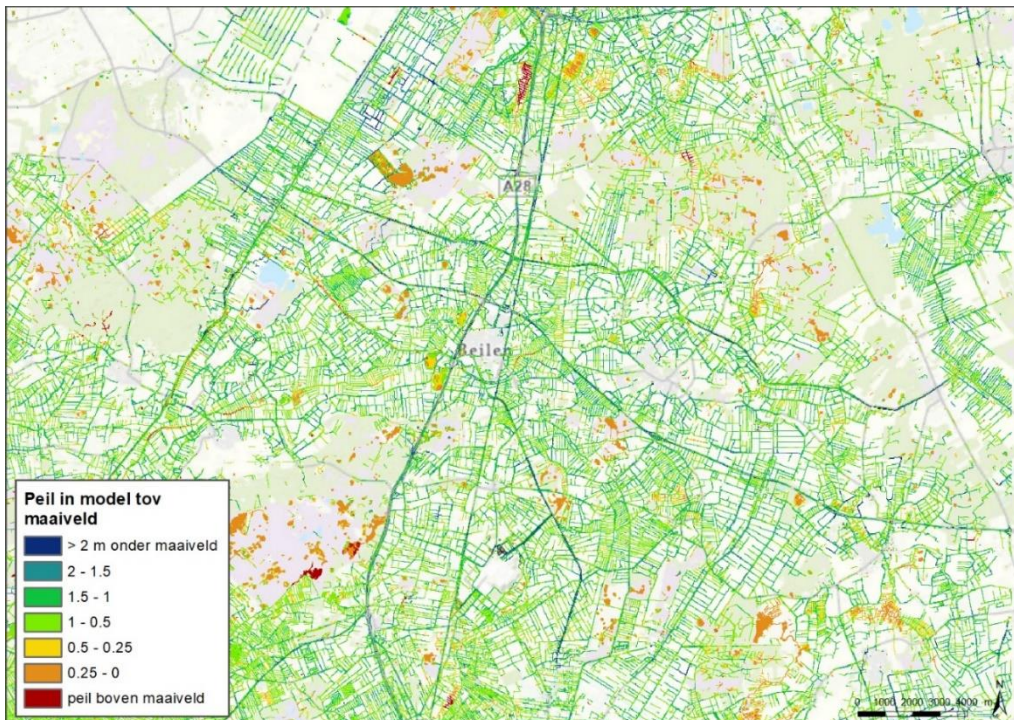
De peilen in het model zijn vergeleken met de max. peilen uit de aangeleverde peilvakkenkaart. Dit is gedaan voor het winterpeil. In het model is geen verschil aanwezig tussen winter- en zomerpeil. In Figuur 3-2 is te zien dat de verschillen in peil veelal tussen de 25 cm en 1 m liggen, met uitschieters naar enkele meters verschil. Dit zijn grote verschillen. Om deze reden zijn de oppervlaktewaterpeilen in meer detail besproken en gecontroleerd met het waterschap. Uit dit overleg blijkt dat er binnen een peilvak veel maaiveldhoogteverschil aanwezig kan zijn, en er dus ook sprake is van verhang.

In MIPWA is rekening gehouden met dit verhang, en zijn detailsloten ingebracht met behulp van het AHN. De peilen in MIPWA geven hiermee een realistischer beeld van de werkelijkheid dan de peilvakkenkaart, waar dit verhang niet aanwezig is. Ter controle van de peilen zijn de peilen vergeleken met het maaiveld (Figuur 3-3). Hierin is te zien dat het peil veelal realistisch is (tot maximaal 2 meter onder maaiveld). Op een paar locaties is het peil hoger dan het maaiveld. Hier is het peil naar beneden bijgesteld (gelijkgesteld aan het maaiveld).

Twee zandwinplassen staan in verbinding met het oppervlaktewater (Oude Vaart) en hebben een laag waterpeil ten opzichte van de omgeving, waardoor de kwel wordt afgevoerd. In het model is een infiltratiefactor van 0 opgenomen en een vast zomer- en winterpeil.

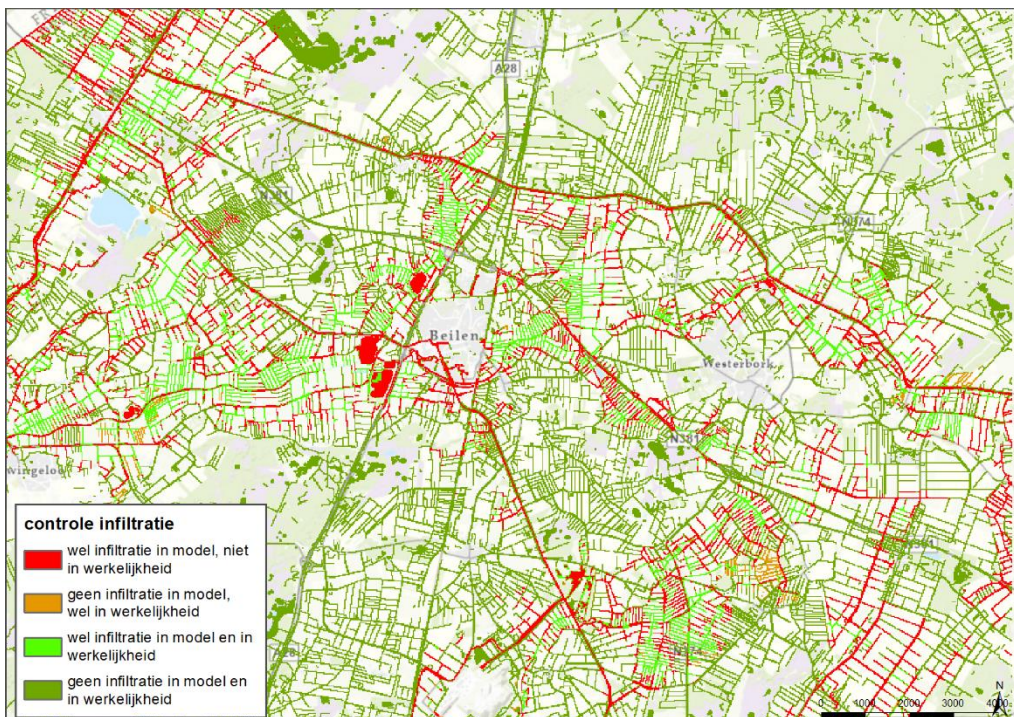


Figuur 3-2: Verschil winterpeil (max peil) en peilvakkenkaart en model



Figuur 3-3: Peilen in het model ten opzichte van het maaiveld

De infiltratiefactor is gecontroleerd op basis van een bestand van het waterschap. Hierbij is het principe gehanteerd dat watergangen in principe een infiltratiefactor hebben van 0 tenzij er sprake is van actieve wateraanvoer. In Figuur 3-4 is de uitkomst van deze controle te zien. De locaties waar volgens het model infiltratie kan plaatsvinden, maar volgens het bestand van het waterschap niet, zijn aangepast naar een infiltratiefactor 0. De locaties waar volgens het model geen infiltratie mogelijk is, en volgens het bestand van het waterschap wel, zijn aangepast naar een infiltratiefactor van 0.33.

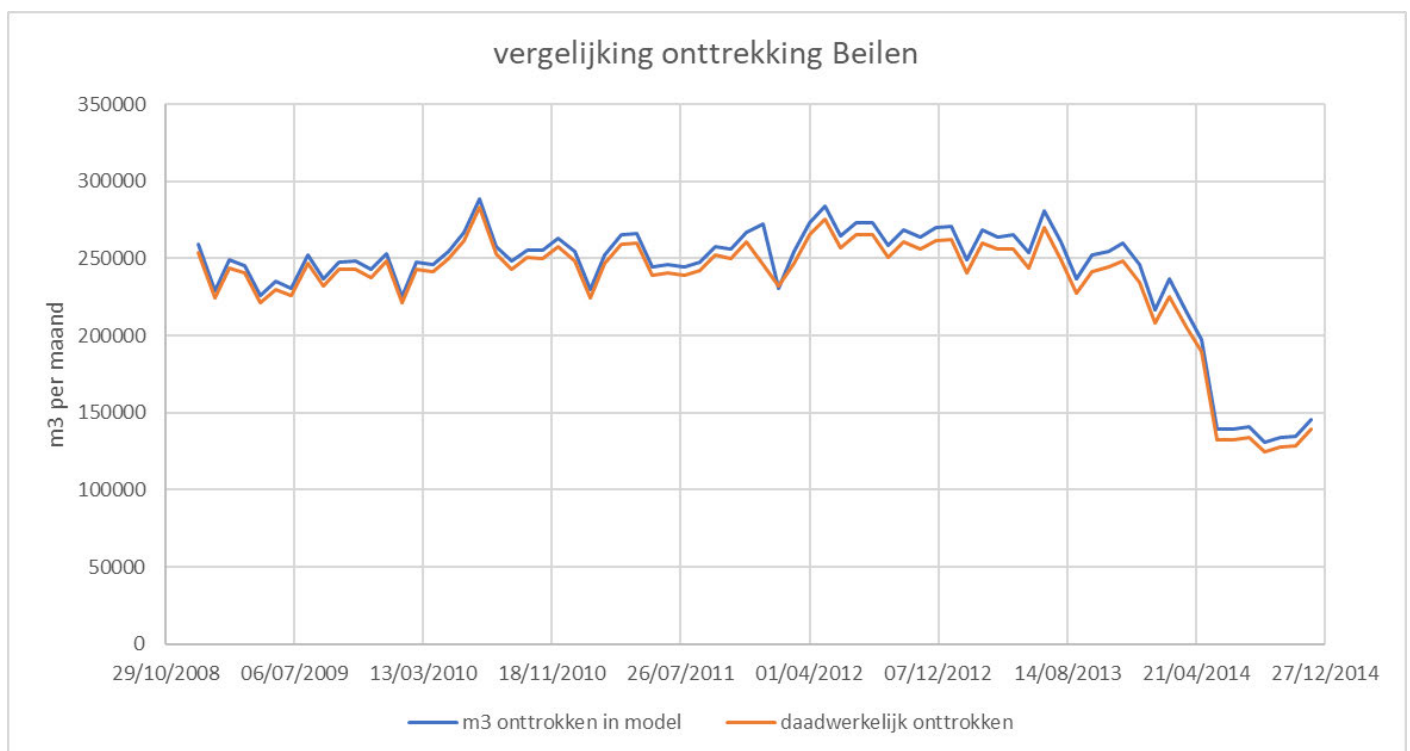


Figuur 3-4: Controle van de infiltratiefactor van watergangen rondom Beilen. De groene kleuren komen overeen met het aangeleverde wateraanvoerbestand. De rode en oranje kleuren wijken af.

3.1.1.3 Onttrekkingen

Voor de onttrekkingen zijn door WMD, provincie Drenthe en WDOD filterstellingen en debietgegevens aangeleverd. In het model zitten twee grote onttrekkingen: drinkwaterwinning Beilen en de zuivelfabriek van FrieslandCampina (Figuur 3-6). Wij nemen de door WMD aangeleverde gegevens op in het model (filterstellingen, debieten en locaties). Voor de zuivelfabriek van FrieslandCampina zijn debieten beschikbaar vanaf 2014, dus er is maar één jaar overlap met het model. Het debiet van de zuivelfabriek van FrieslandCampina bevat meer detail in het model (seizoensafhankelijk) dan de aangeleverde debieten. De totale debieten komen in ordegrootte wel overeen. Om deze reden is het debiet uit het model niet aangepast.

Voor drinkwaterwinning Beilen zijn in het model elf putten aanwezig. Twee van deze putten zijn in 1985 en 1986 gedempt (put 1 en put 2), deze zijn dan ook uit het model verwijderd. Voor de overige putten is uitgegaan van de aangeleverde debieten door WMD, die evenredig over de negen putten zijn verdeeld.

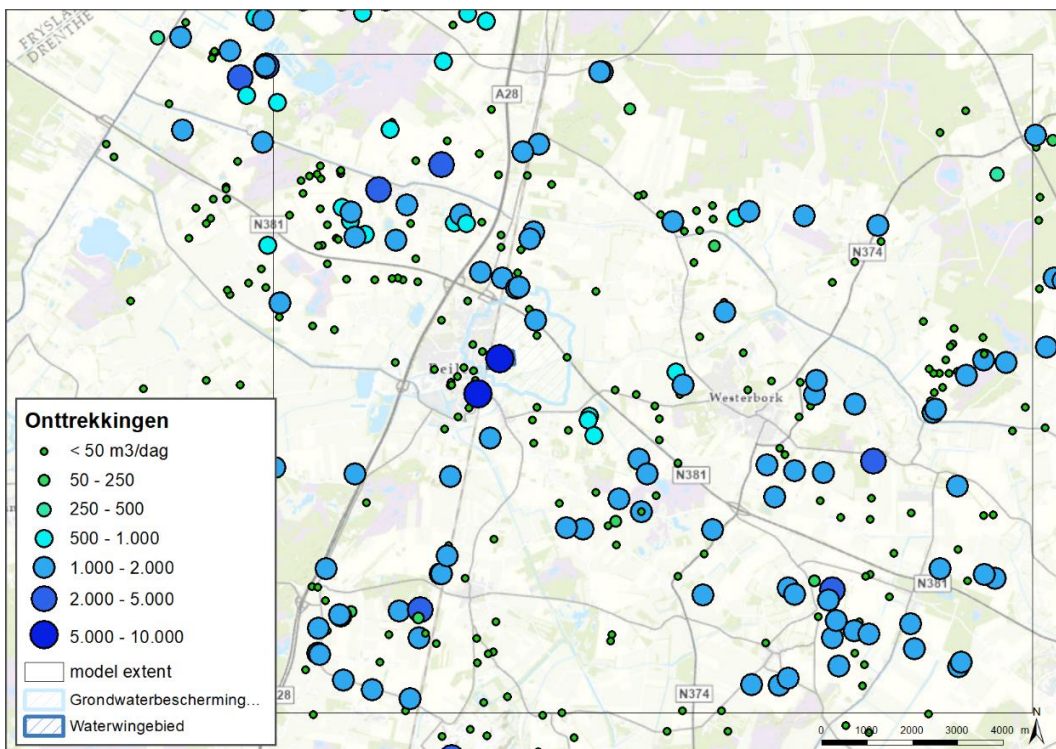


Figuur 3-5: Vergelijking onttrekking Beilen in realiteit en in model (in m³ per maand, alle putten gezamenlijk)

De aangeleverde onttrekkingen door WDOD (Figuur 2-18) ontbreken in het model. Dit zijn allemaal kleine en/of tijdelijke onttrekkingen en beregningen tot maximaal 1440 m³ per dag ofwel 60 m³/uur. Deze onttrekkingen zijn, vanwege het ontbreken van gedetailleerde informatie over de onttrekkingen, niet aan het model toegevoegd. In het projectgroepoverleg op 16 maart 2021 is besloten om de kleine/tijdelijke onttrekkingen en beregningen niet mee te nemen in het model.



Figuur 3-6: Aanwezige onttrekkingen in model: dit zijn alleen de drinkwaterwinning Beilen en de zuivelfabriek van FrieslandCampina

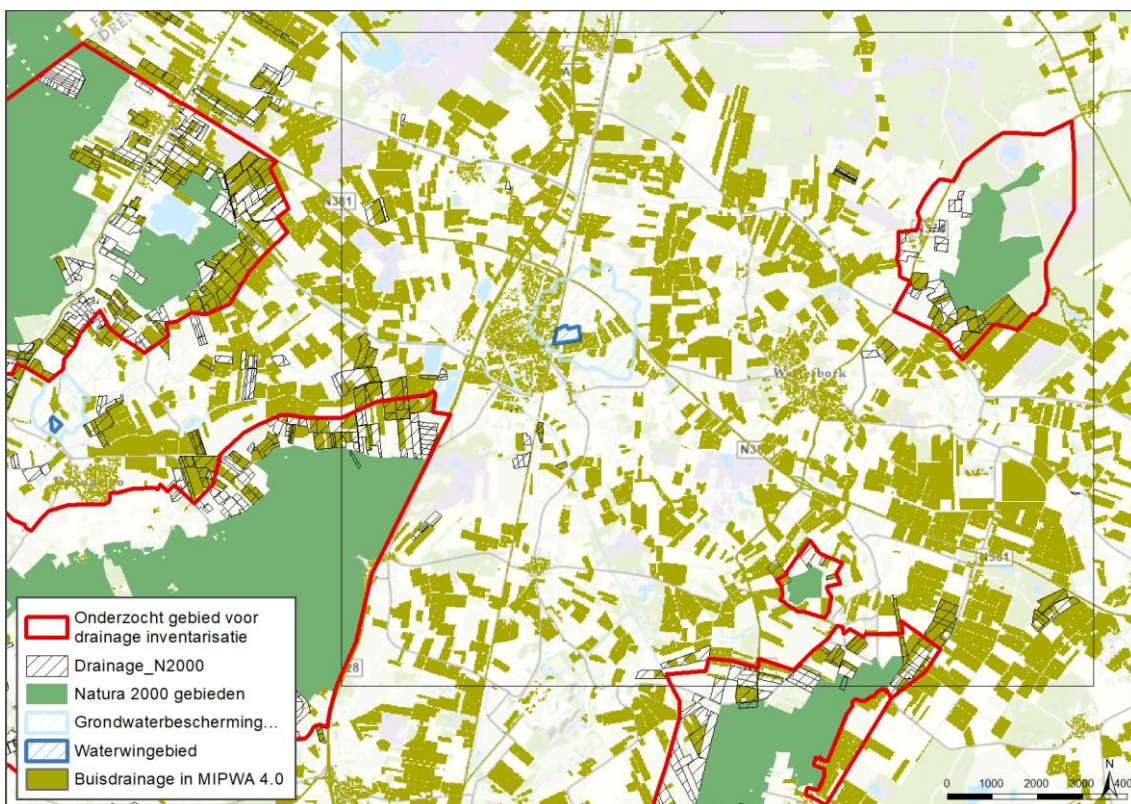


Figuur 3-7: Onttrekkingen van WDOD en WMD. Hier staan (tijdelijke) onttrekkingen tussen die momenteel niet meer actief zijn.

3.1.1.4 Drainage

Voor de varianten is het van belang dat de effecten op de grondwaterstanden onder bebouwing en percelen goed wordt berekend. Drainage onder iedere weg en gebouw is niet realistisch.

Als worstcase en tevens meer realistische benadering worden alle (buis)drainage bij infrastructuur en stedelijke bebouwing verwijderd uit het modelgebied. Buisdrainage in landelijke gebieden worden vergeleken met de aangeleverde bestanden uit een onderzoek naar buisdrainage rondom Natura 2000-gebieden. In Figuur 3-8 is te zien dat de drainage rondom Natura 2000-gebieden niet goed overeenkomt met het model. Er zijn locaties waar in het model drainage ligt terwijl dit niet zo is, maar er zijn ook percelen waar wel drainage ligt, maar dit niet in het model zit. Voor de onderzochte gebieden rondom Natura 2000-gebieden zal de drainage worden aangepast op basis van de inventarisatie. Hierbij wordt de parametrisatie afgeleid van naastliggende drainage in het model.



Figuur 3-8: Buisdrainage in MIPWA 4.0 en de drainage die is geïnventariseerd rondom de Natura 2000-gebieden

3.2 Kalibratie en validatie

Voor de modelontwikkeling wordt gestart met een validatie op GxG en tijdstijghoogtelijnen van het huidige MIPWA 4.0 model. Vervolgens worden de modelverbeteringen zoals voorgesteld in paragraaf 3.1 doorgevoerd. Dit wordt wederom gevalideerd op GxG en tijdstijghoogtelijnen. Op basis van deze validatie worden kalibratierichtingen vastgesteld. Deze richtingen worden eerst onderzocht tijdens een gevoeligheidsanalyse. Op basis hiervan wordt een kalibratieberekening opgesteld. Tot slot wordt het model weer gevalideerd zodat er een gevalideerd definitief model is.

3.2.1 Validatie

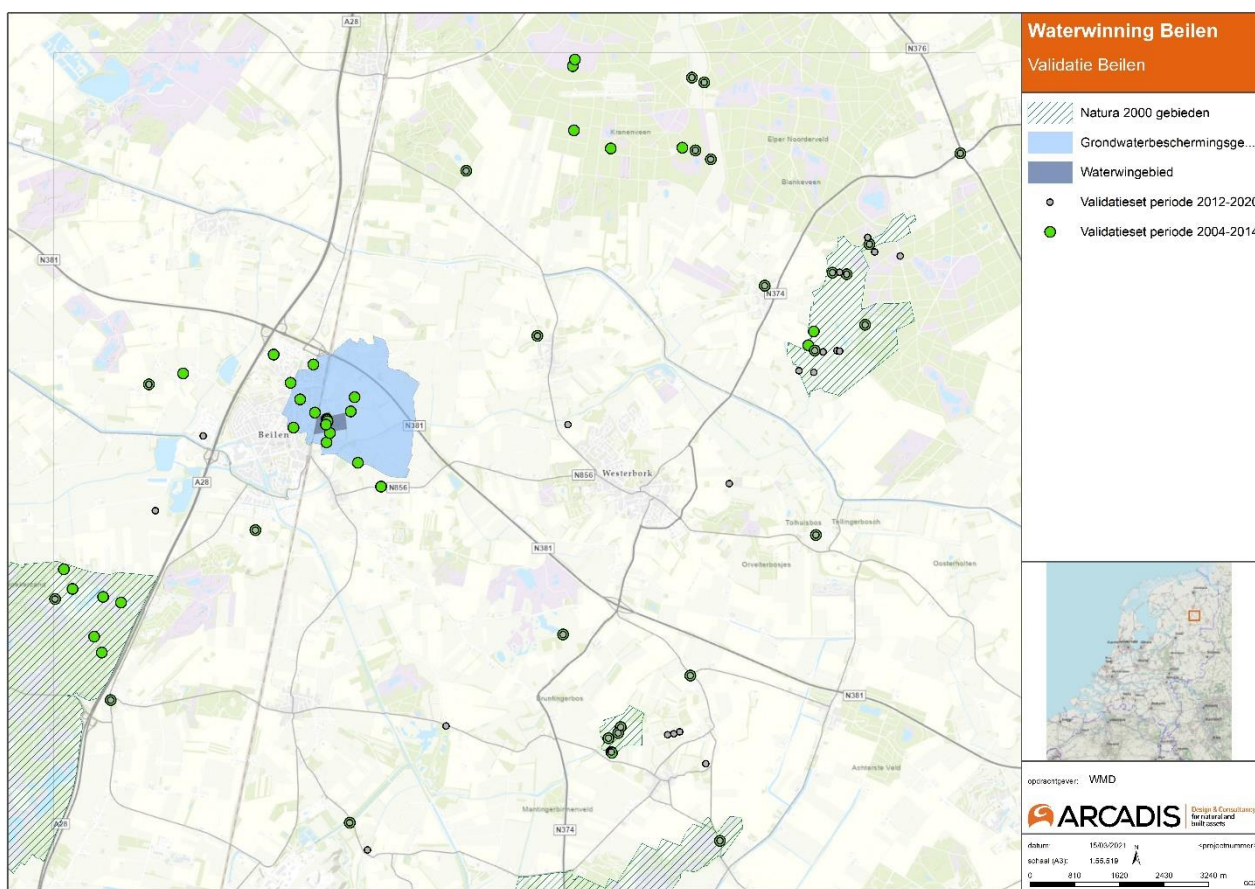
Het model wordt gevalideerd op GxG (o.b.v. peilbuizen), kweldruk (o.b.v. peilbuizen met meerdere filters), tijdreeksen (o.b.v. peilbuizen) en wanneer er voldoende afvoergegevens beschikbaar zijn ook op debiet.

De peilbuizen voor de validatieset zijn aangeleverd door de provincie Drenthe en WDOD, en uit DINOloket gehaald. De peilbuizen zijn vervolgens geselecteerd op periode: er moet acht jaar gemeten zijn binnen de modelperiode. Het meetinterval van de peilbuizen mag maximaal veertien dagen zijn om een GxG te kunnen bepalen.

Uit de watersysteembeschrijving (zie Bijlage 1) blijkt dat we drie pakketten kunnen onderscheiden in de ondergrond: 1) het freatisch pakket bestaande uit de Formatie van Boxtel en lokaal een Holocene deklaag, 2) een weerstandlaag bestaande uit keileem en Peelo-zand en 3) het eerste watervoerend pakket vanaf de onderkant van het Peelo-zand tot aan de geohydrologische basis. De uitwisseling tussen deze lagen zal erg belangrijk zijn voor de effectberekeningen. Door deze apart te beschouwen, wordt een betere duiding gemaakt voor de kalibratie. Daarom is bij de validatie onderscheid gemaakt in deze verschillende pakketten met drie validatiesets:

1. peilbuizen met een filter in het Peelo-zand of de keileem;
2. peilbuizen met een filter boven de keileem;
3. peilbuizen met een filter onder het Peelo-zand.

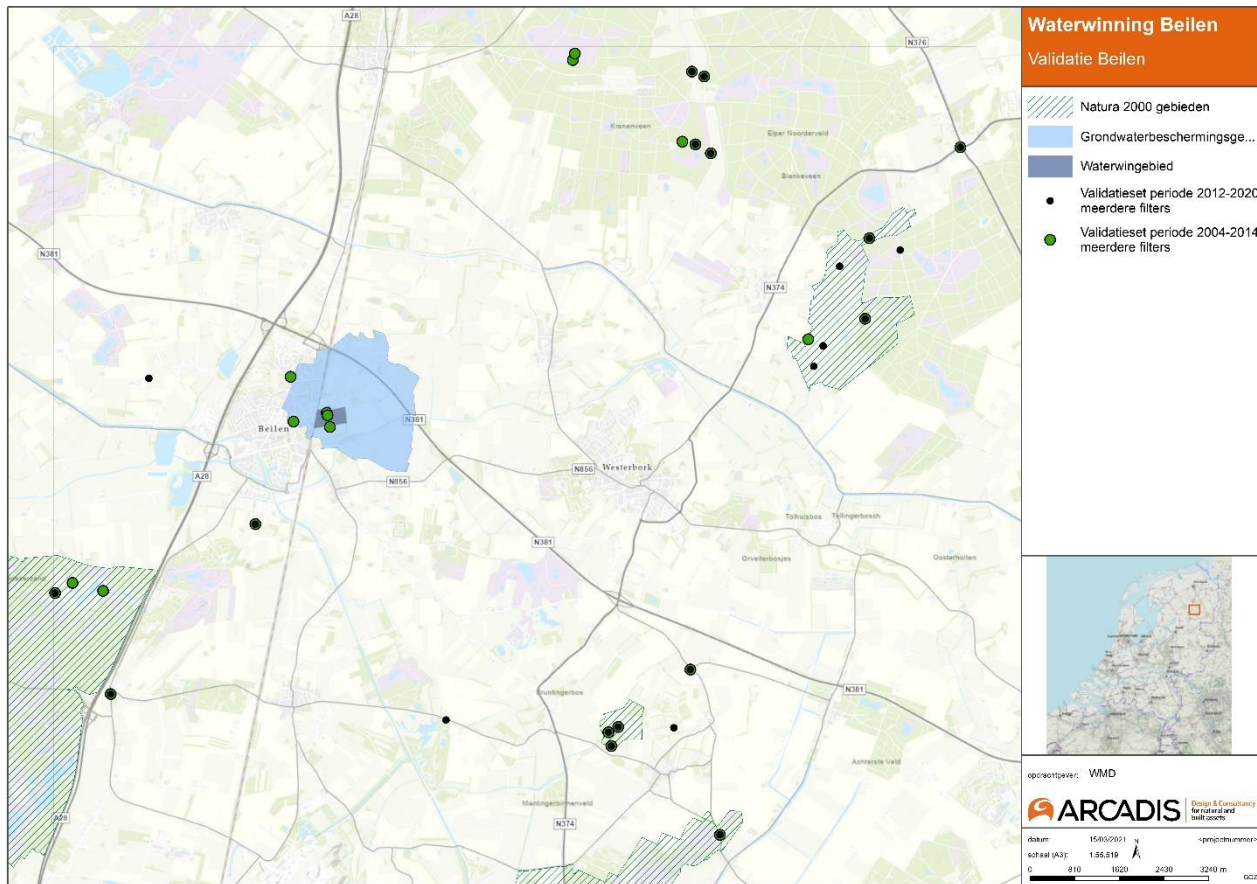
De validatieset met de huidige modelperiode (2004-2014, validatieperiode 2006-2014) bestaat uit 60 locaties met totaal 97 filters (Figuur 3-9).



Figuur 3-9: Validatieset voor de periode 2004-2014 en de periode 2010-2020 binnen het modellextent

Als de validatieperiode uitgebreid kan worden naar 2012-2020 kunnen 46 extra locaties met 81 filters toegevoegd worden. In het figuur is te zien dat er hierdoor niet direct een meer vlak dekkend beeld zal komen: de peilbuizen zijn geconcentreerd op dezelfde locatie als de peilbuizen in de periode 2006-2014. Wel komen er bij de meer recentere periode 23 locaties bij waar meerdere filters aanwezig zijn. Bij de validatieset voor periode 2006-2014 zijn dit er 28 (Figuur 3-10). Deze locaties staan wederom op ongeveer dezelfde locaties, daarom denken wij dat een modelverlenging niet veel zal toevoegen.

In het projectgroepoverleg op 16 maart 2021 is besloten om de modelperiode niet te verlengen, maar wel slim gebruik te maken van de aanvullende peilbuizen die later geplaatst zijn (kwalitatief) zoals locaties bij zandwinning en Westerbork. Bij het slim gebruik maken van de aanvullende peilbuizen wordt rekening gehouden met de maatregelen (zoals aanpassingen in het oppervlaktewatersysteem) die in de tijd zijn genomen.



Figuur 3-10: Peilbuizen met meerdere filters voor de periode 2004-2014 (links) en de periode 2010-2020 (rechts) binnen het modeltextent

Het model wordt voldoende betrouwbaar bevonden om in te zetten voor de variantberekeningen wanneer deze voldoet aan de volgende validatiecriteria:

- een gemiddelde afwijking tussen het model en gemeten grondwaterstanden van maximaal 10 cm. Wanneer deze groter is, is er sprake van een systematische afwijking;
- een maximale gemiddelde absolute afwijking van 30 cm;
- een maximale absolute afwijking van twee keer de maximale gemiddelde absolute afwijking.

3.2.2 Gevoeligheidsanalyse

Op basis van de validatie wordt een viertal parameters aangedragen, dat waarschijnlijk verantwoordelijk is voor de grootste modelafwijkingen. Voor deze parameters wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de bandbreedte van deze parameters verkend wordt. Dit wordt gedaan door naar het effect op de GxG te kijken bij deze parameters. Hieruit zal blijken welke parameters aangepast moeten worden om tot een nauwkeuriger model te komen.

Op basis van de watersysteembeschrijving verwachten wij dat de volgende onderdelen in de gevoeligheidsanalyse zitten:

Type	Onderdeel	Reden
Ondergrond	Weerstand keileem en Peelo-zand	De weerstand heeft grote invloed op de uitwisseling tussen het freatisch pakket en WVP1, waaruit onttrokken wordt. Deze weerstand is dus van groot belang voor de te berekenen effecten.
Ondergrond	Doorlatendheid WVP1	De winning zit in WVP1. De doorlatendheid bepaalt in grote mate de vorm van de verlagingkegel en is daarom van groot belang voor de effectberekeningen.

3.2.3 Kalibratie

Bij de kalibratie staat het doel van het model centraal: effecten op GxG's, kwel, wateraanvoer, responsecurves en verblijftijden goed kunnen bepalen. Uit de gevoeligheidsanalyse zal een selectie van aanpassingen volgen die te verklaren zijn vanuit het systeem, en tot een beter modelresultaat leiden. Deze selectie van aanpassingen wordt in het model doorgevoerd.

3.2.4 Validatie definitief model

Het gekalibreerde model wordt gevalideerd op dezelfde validatieset als besproken in paragraaf 3.2.1. Het model wordt voldoende betrouwbaar bevonden om in te zetten voor de variantberekeningen wanneer deze voldoet aan de volgende validatiecriteria:

- een gemiddelde afwijking tussen het model en gemeten grondwaterstanden:
 - strevend naar 10 cm voor de freatische grondwaterstand (gezien de grote heterogeniteit in de ondergrond is een grotere afwijking toelaatbaar);
 - maximaal 10 cm voor het watervoerend pakket.
 Wanneer deze groter is, is er sprake van een systematische afwijking;
- een maximale gemiddelde absolute afwijking van 30 cm;
- een maximale absolute afwijking van twee keer de maximale gemiddelde absolute afwijking.

3.3 Varianten

Voor het opstellen van de varianten moeten eerst de duidelijk zijn welk debiet wettelijk, technisch en geohydrologisch gezien mogelijk is. De varianten zelf geven dan vervolgens antwoord op de volgende vraag:

- Wat zijn de hydrologische effecten van dit ontwerp en debiet?

Een overzicht van mogelijke variaties staat in onderstaande Tabel 3-4.

Tabel 3-4: Mogelijke variaties in ontwerp en debiet van drinkwaterwinning

Variatie	Doel
Vorm puttenveld	Door de vorm van het puttenveld kan het beschermingsgebied aangepast worden en de mate van effect op gebruiksfuncties beïnvloed worden
Diepte van de winning	Door variatie in de diepte van de winning kan de invloed op het freatisch pakket vergroot/verkleind worden
Variaties in de onttrekking gedurende de seizoenen	Door variatie in onttrekkingshoeveelheid kan worden ingezet op minder effect wanneer dit het meest gevoeld wordt bij de gebruiksfuncties, en meer effect wanneer er geen overlast wordt ervaren (denk bijvoorbeeld aan minder onttrekken in de zomer bij landbouw, en meer in de winter)
Inzetten op wateraanvoer	Door wateraanvoer kan ingezet worden op minder effect van de winning

Er wordt alleen naar de volgende resultaten gekeken: verlaging freatisch en gepompt pakket, verandering in kwel- en wegzijging. Op basis van de resultaten blijkt welke variaties kansrijk zijn en verder worden beoordeeld.

3.4 Beoordelen van omgevingseffecten

Voor de varianten die als kansrijk worden gezien (de tweede rekenronde) worden de effecten op de omgeving bepaald en beoordeeld. Hiervoor voeren wij beoordelingen uit op de volgende gebruiksfuncties:

- Landbouw (zie paragraaf 3.4.1)
- Natuur (zie paragraaf 3.4.2)
- Bebouwing en infrastructuur (zie paragraaf 3.4.3)
- Effect op verontreinigingen (zie paragraaf 3.4.4)
- Interactie bestaande onttrekkingen (zie paragraaf 3.4.5)
- Impact op water aan- en afvoer (zie paragraaf 3.4.6)
- Impact veranderend grondwaterbeschermingsgebied (zie paragraaf 3.4.7)
- Impact op archeologie en aardkundige waarden (zie paragraaf 3.4.8)

3.4.1 Landbouw

De onttrekking van Beilen heeft invloed op de grondwaterstand. Wanneer de grondwaterstand op landbouwgebied wordt beïnvloed, kan dit leiden tot een toe- of afname in gewasschade (bijvoorbeeld de toename van droogteschade, of juist een afname van natschade). Om dit in beeld te brengen, voeren wij een beoordeling voor landbouw uit. Dit doen wij met de laatste versie van de WaterWijzer Landbouw (op dit moment: Tabel versie 4.0.3) en de met het grondwatermodel berekende grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld. Uit de WaterWijzer Landbouw volgt een percentage opbrengstderiving als gevolg van natschade, droogteschade en totaalschade (droogteschade + natschade). Voor de varianten uit ronde 3 bepalen wij het verschil in gewasschade ten opzichte van de huidige situatie.

De beoordeling zal kwalitatief uitgevoerd worden, waarbij we de beoordeling weergeven in vier klassen:

1. mogelijke afname in schade;
2. geen significant effect;
3. mogelijke toename in schade;
4. de landbouw wordt significant negatief beïnvloed.

3.4.2 Natuur

Een verlaging van de grondwaterstand of een vermindering in kwel kan een negatief effect hebben op grondwaterafhankelijke natuur. Om het effect van de winning op natuur te bepalen, voeren wij een beoordeling op grondwaterafhankelijke natuur uit.

Dit doen wij met de meest recente versie van de WaterWijzer Natuur. Daarbij kijken wij naar de meest kritische natuurwaarden en grondwaterafhankelijke natuur op basis van N2000-beheerplan en het NNN-beheerplan van de provincie. In diverse N2000-studies hebben we moeten constateren dat de 'standaard hydrologische randvoorwaarden' niet altijd gebiedsspecifiek genoeg zijn. Daarom presenteren wij tevens een vereenvoudigde weergave van de beoordeling in drie klassen:

- een significant negatief effect is onwaarschijnlijk;
- een significant negatief effect is niet uit te sluiten;
- de natuurwaarde wordt significant negatief beïnvloed.

3.4.3 Bebouwing en infrastructuur

Bij een verlaging van de grondwaterstand kan er zetting optreden in de ondergrond, waardoor bebouwing en infrastructuur kunnen verzakken. Om te beoordelen of de varianten uit ronde 3 een effect hebben op bebouwing en infrastructuur wordt hierop een beoordeling uitgevoerd.

Wij beoordelen aan de hand van beïnvloeding op zettingsgevoelige bodemlagen en een inschatting van de funderingswijze. Wij passen hiervoor onze 'zettingsmonitor' aan die we hebben ontwikkeld voor het riviereengebied. De 'zettingsmonitoring' maakt met een geavanceerd tijdreeksmodel de bijdrage van een grondwateronttrekking op de zettingsgevoeligheid inzichtelijk op basis van peilbuismetingen.

3.4.4 Effect op verontreinigingen

Een verandering in de onttrekking kan effect hebben op verontreinigingen in de buurt van de winning. Om dit te beoordelen, gaan wij eerst na of er verontreinigingen voorkomen. Wanneer dit het geval is, maken wij een kwalitatieve inschatting van het effect van een uitbreiding van de winning hierop.

3.4.5 Interactie bestaande onttrekkingen

Een verandering in de winning van Beilen kan leiden tot veranderingen bij overige, nabijgelegen onttrekkingen (zoals de zuivelfabriek van FrieslandCampina). Om dit te beoordelen, brengen wij de nabijgelegen onttrekkingen in beeld en maken wij een kwalitatieve inschatting van het effect van een uitbreiding van de winning hierop.

3.4.6 Impact op wateraan- en -afvoer

Wanneer er infiltrerende watergangen voorkomen in het gebied rondom Beilen kan er een interactie zijn tussen de hoeveelheid infiltratie en de onttrekking, waarbij een groter onttrekkingsdebiet leidt tot meer infiltratie vanuit de watergang. Ook kan er actief worden ingezet op meer infiltratie als mitigerende maatregel. Om meer te kunnen infiltreren, is er ook meer wateraanvoer nodig bij deze watergang. Wij zullen beoordelen wat het effect van de winning is op de benodigde wateraanvoer en op de waterafvoer. Dit doen wij door waterbalansen op te stellen van de varianten uit ronde 3. Deze worden, wanneer mogelijk, vergeleken met debietmetingen van de betreffende watergangen. Op basis hiervan beoordelen wij, in overleg met het waterschap, of de berekende af-/toename in wateraan- en -afvoer realistisch is.

3.4.7 Impact veranderend grondwaterbeschermingsgebied

Het grondwaterbeschermingsgebied (100-jaarszone voor de winning van Beilen) heeft regels om de winning te beschermen, waardoor sommige landgebruiken (bijv. stedelijk gebied) hier niet wenselijk zijn. Ook kan het landgebruikstype in het beschermingsgebied onwenselijk zijn i.v.m. de bescherming van de waterkwaliteit voor de winning. Bij een verandering in grondwaterbeschermingsgebied, als gevolg van een ander debiet en ontwerp, vallen mogelijke andere landgebruikstypen binnen de beschermingszone. Daarom beoordelen wij kwalitatief wat de impact is van een ander grondwaterbeschermingsgebied. We gebruiken hierbij een 'lightversie' van de REFLECT-methodiek om risico's met betrekking tot de beschermbaarheid in beeld te brengen.

3.4.8 Impact op archeologie en aardkundige waarden

Het grondwatermodel berekent ook de verandering van stijghoogte op de plaatsen waar de stijghoogte gemeten wordt. Aan de hand van de modeluitkomsten en de langjarig meetreeksen in peilbuizen wordt bepaald wat de invloed van de veranderingen zijn op de stijghoogte in de peilbuis, om ook de invloed op lange termijn te kunnen bepalen.

4 Modelontwikkeling en validatie

Deze bijlage beschrijft de modelontwikkeling en bijbehorende validatie. De modelontwikkeling is uitgevoerd in verschillende stappen:

1. Doorvoeren verbetervoorstellen en verwerken nieuwe inzichten:
 - a. validatie op GxG.
2. Aanvullende modelverbeteringen o.b.v. gebiedsinzicht:
 - a. validatie op GxG.
3. Gevoeligheidsanalyse:
 - a. beoordeling effect op GxG.
4. Kalibratie:
 - a. berekening met een gecombineerde parameterset o.b.v. de gevoeligheidsanalyse;
 - b. validatie op GxG en waterbalans;
 - c. modelkalibratie, basismodel voor de variantberekeningen;
 - d. validatie op GxG, tijdstijghoogteverlopen en waterbalans.

Modelvalidatie

Bij de validatie is niet enkel ingezet op het zo klein mogelijk maken van afwijkingen en het verbeteren van de statistieken. Er is voornamelijk vanuit het systeem gedacht, aangezien het goed modelleren van het systeem erg belangrijk is voor variantberekeningen. Hierbij proberen wij eventuele systematische afwijkingen vanuit het systeem te doorgronden. Modelaanpassingen worden dus enkel doorgevoerd wanneer deze vanuit het systeem te verklaren zijn, om te voorkomen dat het model een kleine afwijking krijgt voor de verkeerde redenen en het systeem dus niet meer juist in het model zit. Hierdoor kan het voorkomen dat een modelaanpassing is doorgevoerd, die ervoor zorgt dat het systeem beter in het model verwerkt is, maar waarbij de statistieken iets slechter worden.

- Bij de validatie is gekeken naar absolute afwijkingen per peilbuis door middel van een bollenkaart, validatiestatistieken voor de GxG (gemiddelde afwijking, gemiddelde absolute afwijking) en naar tijdstijghoogteverlopen. Er zijn geen debietgegevens beschikbaar voor de validatie, dus de validatie van de waterbalans is gedaan op basis van plausibiliteit.
- In het model is uitgegaan van de meest recente oppervlaktewatergegevens. Wanneer deze meest recente situatie binnen de modelperiode, of pas na de modelperiode tot stand is gekomen door maatregelen, dan zullen hier dus afwijkingen te zien zijn bij de peilbuizen. De peilbuizen laten immers (deels) de oude situatie zien, terwijl het model enkel de meest recente situatie bevat.
- Veel van de beschikbare peilbuizen staan in natuurgebieden waar in de afgelopen jaren veel maatregelen zijn uitgevoerd. Om deze reden zijn deze peilbuizen wel weergegeven op de bollenkaart, maar zijn deze niet meegenomen in de statistieken omdat hier een duidelijke reden is voor de afwijking.

4.1 Verbetervoorstellen

In de eerste stap van de modellering zijn de volgende verbetervoorstellen doorgevoerd (uit paragraaf 0):

- verbetervoorstel MetaSWAP;
- verbetervoorstel onttrekkingen.

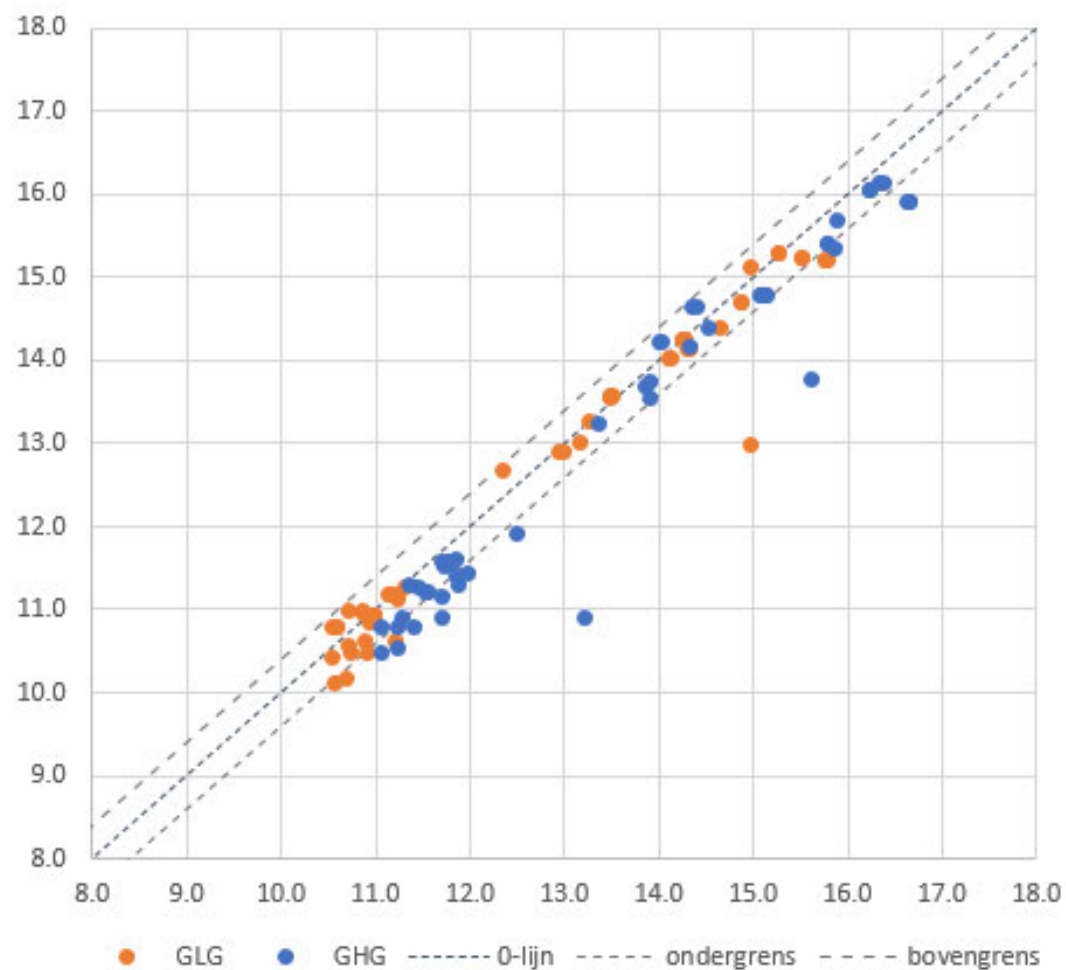
De toelichting bij deze verbeteringen is beschreven in paragraaf 0. Naast deze verbeteringen is de drainage in het model aangepast: voor de varianten is het van belang dat de effecten op de grondwaterstanden onder bebouwing en percelen goed wordt berekend. Drainage onder iedere weg en gebouw is niet realistisch. Als meer realistische benadering is alle (buis)drainage bij infrastructuur en stedelijke bebouwing verwijderd uit het modelgebied.

4.1.1 Validatie na doorvoeren verbetervoorstellen

In onderstaande figuren zijn de statistieken en bollenkaarten te zien voor de berekening met de doorgevoerde verbetervoorstellen. Hierin is te zien dat de gemiddelde afwijking en de gemiddelde absolute afwijking voornamelijk bij de GHG nog te groot zijn: 35 cm bij de gemiddelde afwijking en 40 cm bij de gemiddelde absolute afwijking. Het model is gemiddeld gezien te droog. Dit is terug te zien in elk watervoerend pakket (zie bollenkaarten). Bij de GLG is deze systematische afwijking kleiner: hier zijn locaties die te droog of te nat worden berekend.

4.1.1.1 Conclusie validatie

Het model is systematisch te droog bij de GHG. Bij de GLG zijn de afwijkingen iets minder groot. Het freatisch pakket is waarschijnlijk te droog doordat de geulen in de keileem geen weerstand hebben, en hier dus een direct contact is met het eerste watervoerend pakket (WVP1), onder de keileem. Uit peilbuizen met meerdere filters blijkt dat de stijghoogte in WVP1 verschilt van de freatische grondwaterstand, en er dus een weerstand aanwezig zou moeten zijn. Dit komt overeen met de bevinding uit de watersysteembeschrijving dat de geulen zijn opgevuld met weerstandhoudend materiaal. Er lijkt ook te veel uitwisseling te zijn tussen de lagen boven en onder het Peelo-zand, doordat er geen weerstand voor het Peelo-zand is opgenomen in het grondwatermodel.



STATISTIEKEN (2006-2014)

GHG

Gemiddelde afwijking 0.35 (te droog)

Gemiddelde absolute afwijking 0.40

Min/Max -0.32/2.29

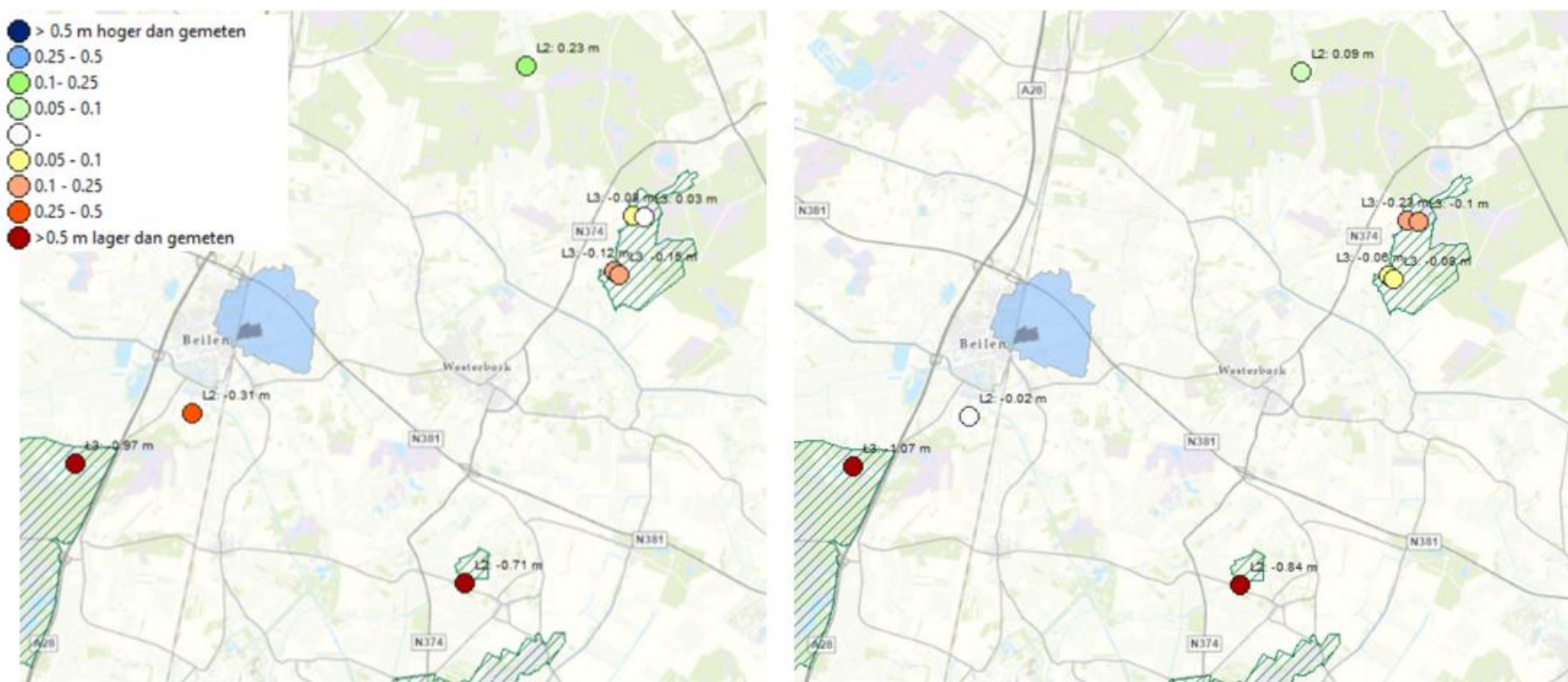
GLG

Gemiddelde afwijking 0.12 (te droog)

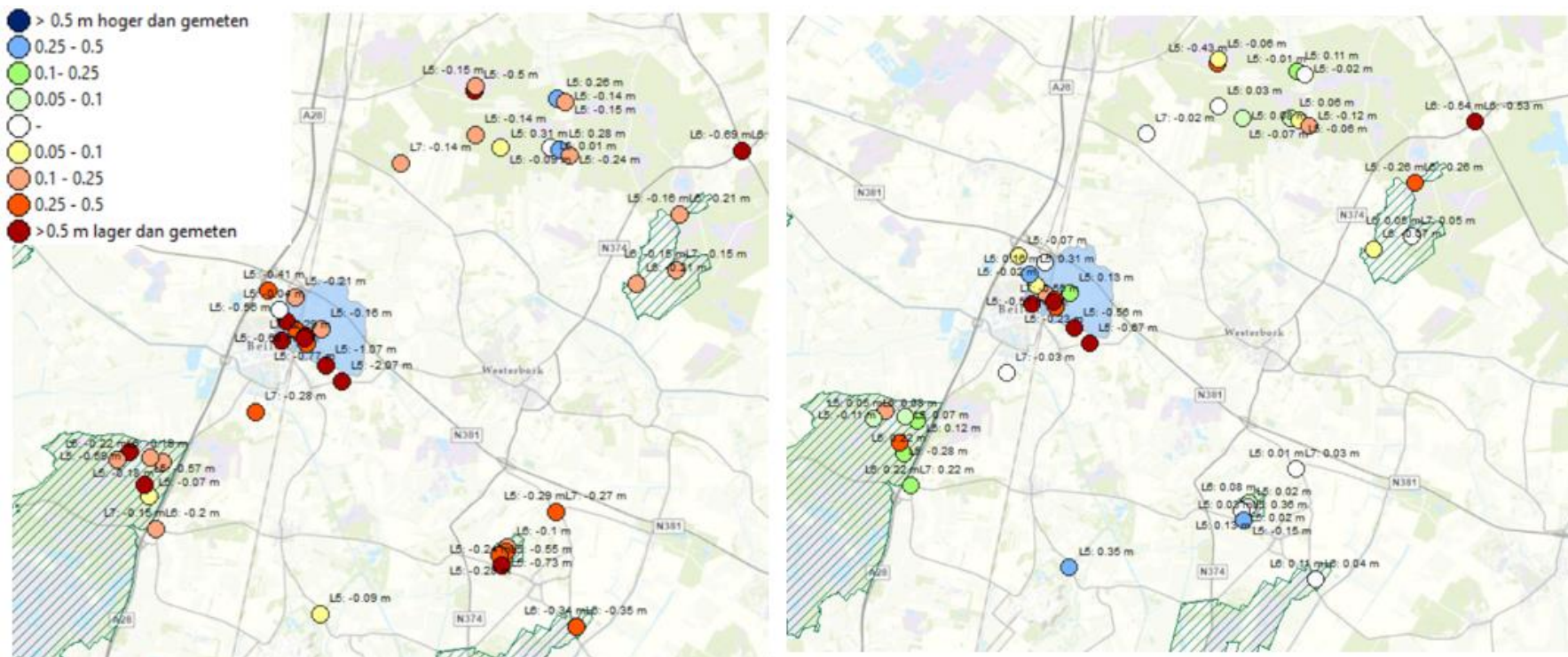
Gemiddelde absolute afwijking 0.21

Min/Max -0.35/1.95

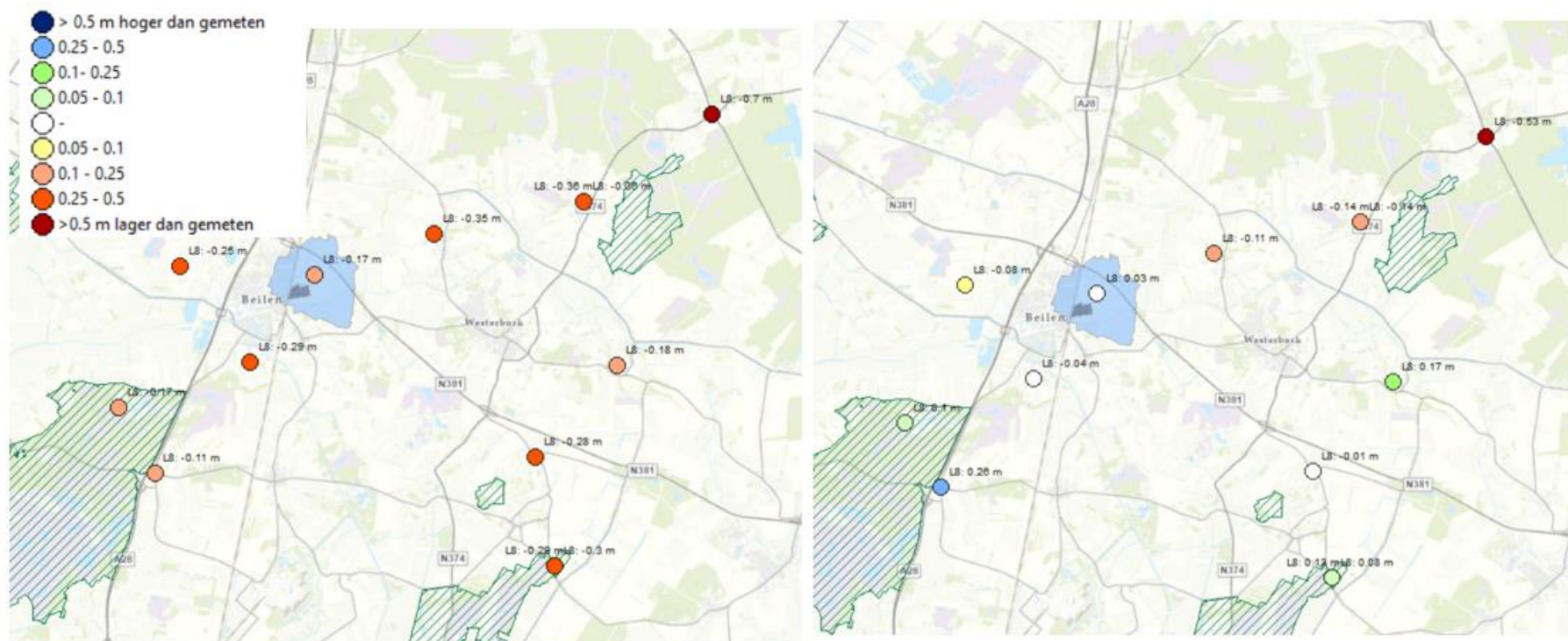
Figuur 4-1: Validatiestatistieken na doorvoeren verbetervoorstellen



Figuur 4-2: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter boven de keileem (modellaag 2-4). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG



Figuur 4-3: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter onder de keileem en boven de onderkant van het Peelo-zand (modellaag 5-7). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG



Figuur 4-4: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter onder het Peelo-zand (modellaag 8-12). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG

4.2 Aanvullende modelverbetering o.b.v. gebiedsinzicht

Na de uitvoering van bovenstaande modelverbeteringen zijn aanvullende ervaringen en gegevens naar voren gekomen. Ook zijn er op basis van gebiedsinzicht en de eerste validatie nog aanvullende verbeteringen voorgesteld. Deze aanpassingen zijn hieronder beschreven. Na het doorvoeren van de aanpassingen is het model opnieuw doorgerekend en gevalideerd.

4.2.1 Startstijghoogte

Om te beschikken over een goed vertrekpunt voor de modellering is de startstijghoogte bepaald aan de hand van peilbuizen. Voor elke peilbuis binnen het modelgebied is de GHG bepaald. Deze is geïnterpoleerd (inverse distance weighing), zodat een vlakdekkend beeld is ontstaan. Op basis van ervaring is geleerd dat er beter met een te hoge dan te lage startstijghoogte gestart kan worden om de inlooptijd van een model te verkleinen. Vandaar is ervoor gekozen om de GHG te gebruiken. Dit bestand is gebruikt als startstijghoogte voor het model.

4.2.2 Verbetervoorstel drainage en oppervlaktewater

In de tweede stap van de modellering zijn de volgende verbetervoorstellen doorgevoerd (uit paragraaf 0):

- verbetervoorstel drainage;
- verbetervoorstel oppervlaktewater.

De toelichting bij deze verbeteringen is beschreven in paragraaf 0.

4.2.3 Weerstand geulen keileem

In het model heeft de keileem een hoge weerstand, maar de geulen in deze keileem hebben geen weerstand. Uit de watersysteembeschrijving blijkt dat deze geulen onder andere opgevuld zijn met klei- en leemlagen. Deze geulen zullen dus wel degelijk enige weerstand bieden. Om deze reden is ervoor gekozen om 100 dagen weerstand aan de geulen toe te kennen. Dit staat gelijk aan circa 1 m aan kleilagen die in de geulen aanwezig zijn.

4.2.4 Weerstand Peelo-zand

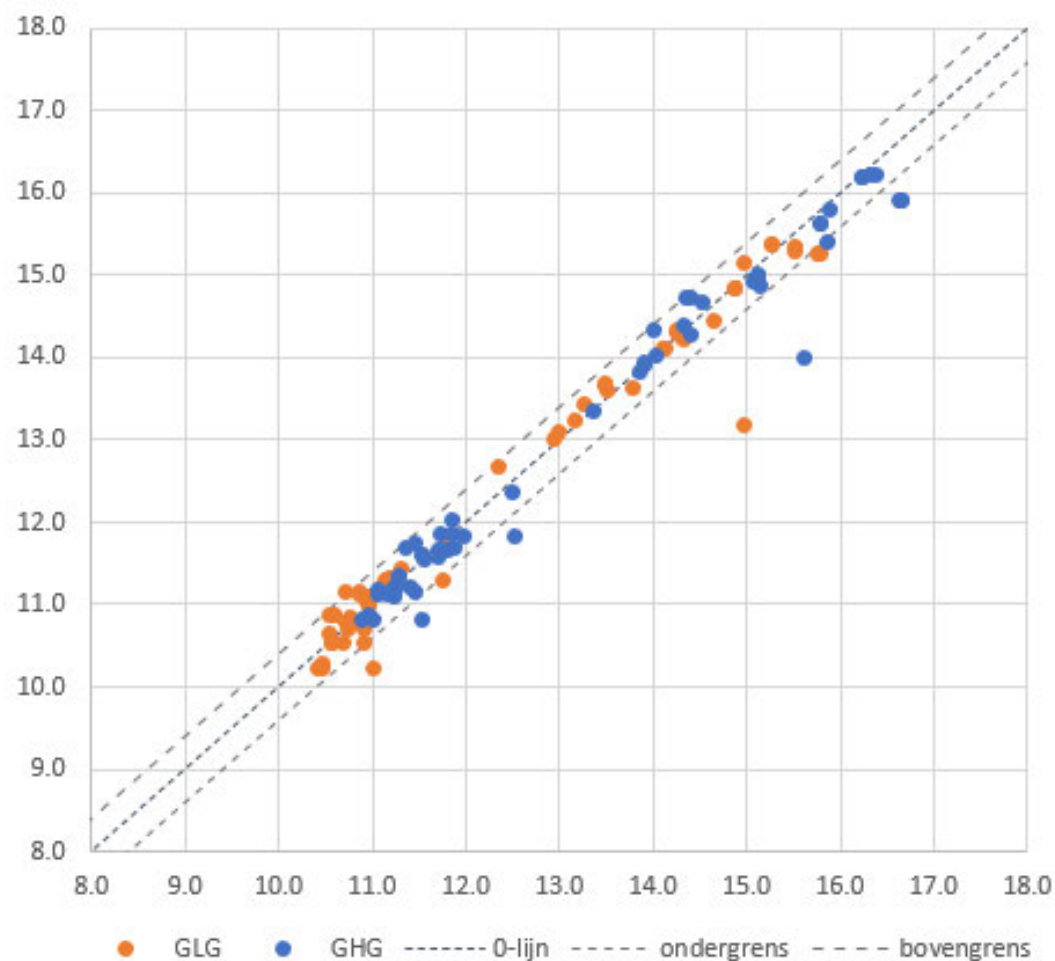
Het Peelo-zand kan uit zeer fijn zand bestaan, waardoor deze laag een weerstand heeft. In het model is hier geen weerstand voor opgenomen. Op basis van gebiedskennis is samen met de projectgroep besloten dat 100 dagen weerstand voor het Peelo-zand een realistische inschatting is voor dit gebied. Verder naar het noorden zullen de weerstanden vermoedelijk hoger zijn.

4.2.5 Validatie na aanvullende modelverbeteringen

In onderstaande figuren zijn de statistieken en bollenkaarten te zien voor de berekening met de doorgevoerde modelverbeteringen. Ten opzichte van de validatie in paragraaf 0 is een verbetering in statistieken te zien. Het model is gemiddeld nog steeds te droog, maar de gemiddelde afwijking is nu 9 cm voor de GHG en 1 cm voor de GLG in plaats van de eerdere 35 en 12 cm. In de bollenkaarten is te zien dat er nog wel grotere afwijkingen op kunnen treden bij individuele peilbuizen. Deze afwijkingen treden voornamelijk op in de natuurgebieden, waar verschillende maatregelen zijn genomen en de validatie dus minder betrouwbaar is, en in het waterwingebied. In het freatisch pakket (boven de keileem) is geen systematische afwijking te zien. In de keileem en het Peelo-zand wordt de stijghoogte vaak te nat berekend, met enkele uitzonderingen daargelaten. Onder het Peelo-zand lijkt bij de GHG sprake te zijn van een onjuist verhang in het model: het oosten wordt te droog berekend en het westen juist te nat, bij de GLG komt dit minder duidelijk naar voren.

4.2.5.1 Conclusie validatie

Het model is aanzienlijk verbeterd door de aanpassingen. Wel lijkt er in het WVP1 nog sprake te zijn van systematische afwijkingen. In de keileem en het Peelo-zand wordt de stijghoogte te hoog berekend. Mogelijk is dit het gevolg van de 100 dagen weerstand die aan het Peelo-zand zijn toegekend. Onder het Peelo-zand is sprake van een onjuist verhang, wat vermoedelijk veroorzaakt wordt door de kD in het model. Bij de gevoeligheidsanalyse wordt onderzocht welke aanpassingen nodig zijn om deze systematische afwijkingen tegen te gaan.



STATISTIEKEN (2006-2014)

GHG

Gemiddelde afwijking 0.09 (te droog)

Gemiddelde absolute afwijking 0.20

Min/Max -0.4/1.6

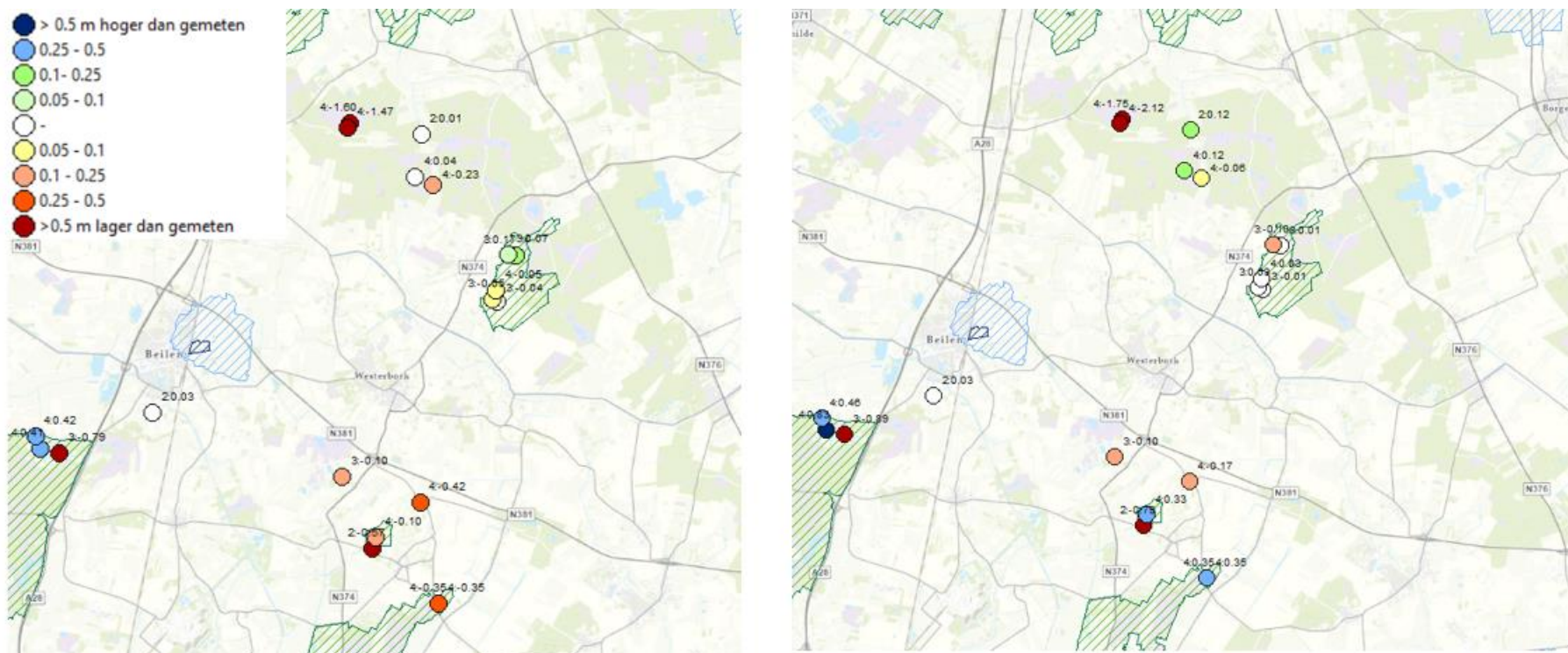
GLG

Gemiddelde afwijking 0.01 (te droog)

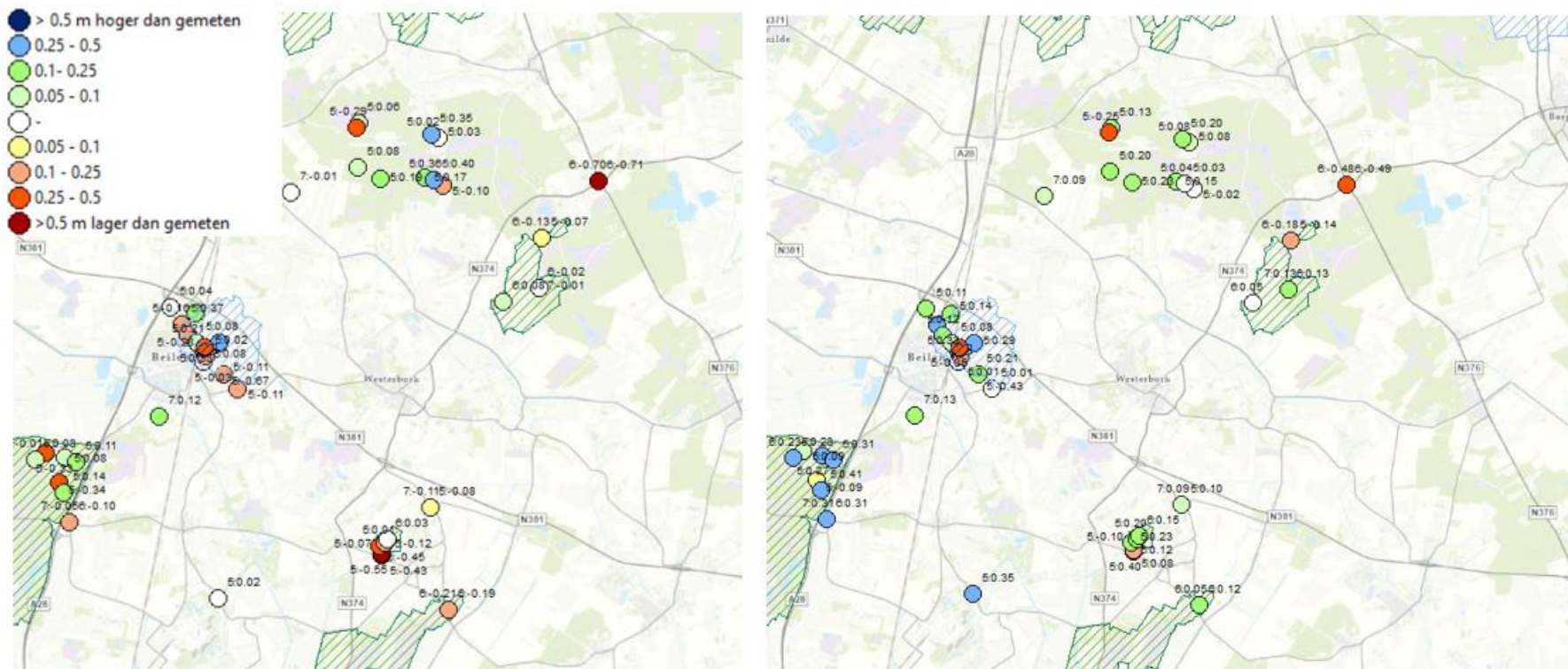
Gemiddelde absolute afwijking 0.21

Min/Max -0.48/1.75

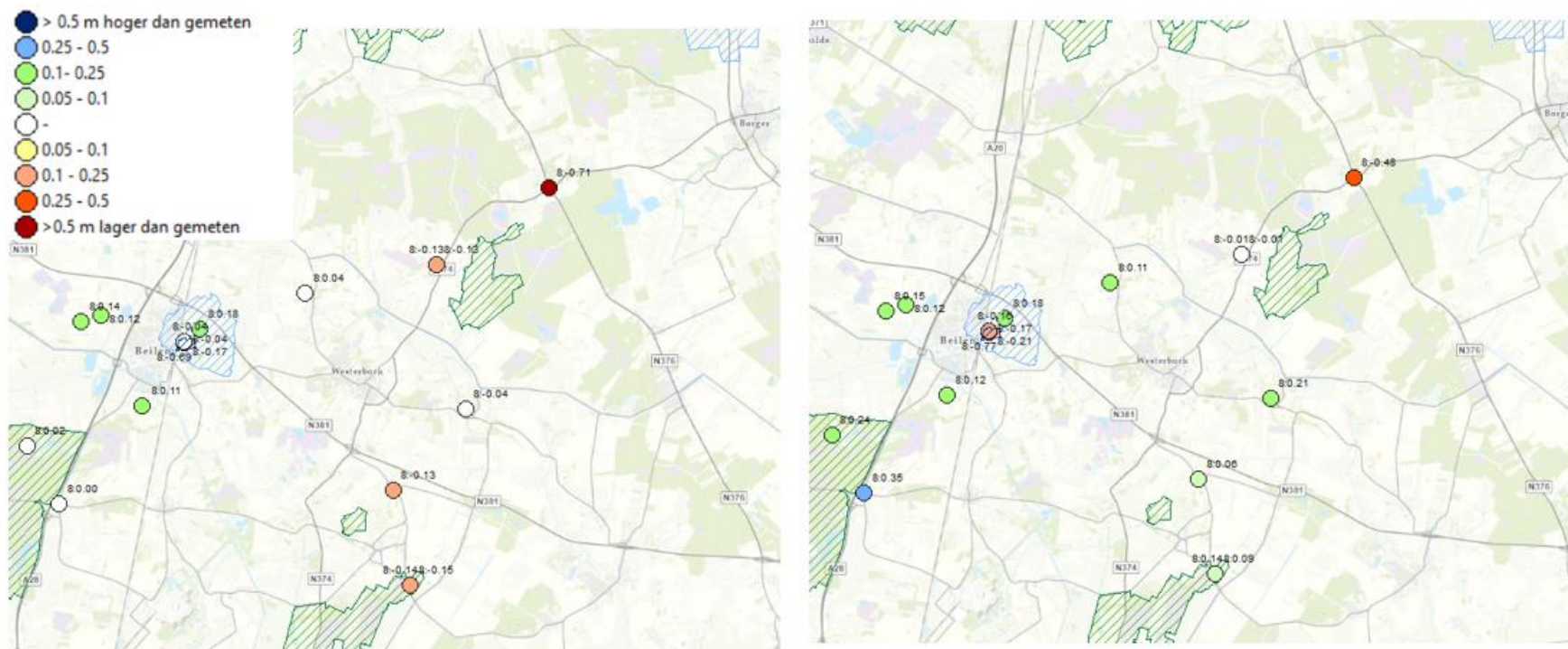
Figuur 4-5: Validatiestatistieken na aanvullende modelverbeteringen



Figuur 4-6: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter boven de keileem (modellaag 2-4). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG



Figuur 4-7: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter onder de keileem en boven de onderkant van het Peelo-zand (modellaag 5-7). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG



Figuur 4-8: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter onder het Peelo-zand (modellaag 8-12). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG

4.3 Gevoeligheidsanalyse

Bij deze gevoeligheidsanalyse wordt aan verschillende knoppen gedraaid om te toetsen hoe gevoelig het model hiervoor is. Het gaat hierbij om parameters waar enige onzekerheid in zit, en die mogelijk ook de systematische afwijkingen van het model kunnen verklaren. Er is naar drie parameters gekeken:

- **kD van het eerste watervoerend pakket**
Onder het Peelo-zand wordt het verhang niet goed berekend. Vermoedelijk is de kD van deze laag te hoog. Om dit te toetsen zijn twee sommen uitgevoerd. Een waarbij de kD van modellaag 8,9 en 10 verlaagd is met een factor 0.5, en een waar deze verhoogd is met een factor 2. Voor deze berekeningen is gekeken naar het effect op GxG.
- **Weerstand Peelo-zand**
In het model is een weerstand van 100 dagen aangenomen. In het Peelo-zand wordt de stijghoogte nu te hoog berekend. Vermoedelijk komt dit doordat de gekozen weerstand toch nog te hoog is ingeschat en water niet makkelijk genoeg naar onderliggende lagen kan wegstromen. Om dit te toetsen, zijn twee sommen doorgerekend: een met een Peelo-zand weerstand van 30 dagen en een met 60 dagen. Voor deze berekeningen is gekeken naar het effect op GxG.
- **Conductance watergangen**
Het freatisch systeem hangt sterk samen met het oppervlaktewatersysteem. Aangezien er geen debietgegevens zijn, kunnen we niet valideren op de waterbalans. Hiermee is het lastiger om te beoordelen of de watergangen goed in het model zitten. Om deze reden wordt de gevoeligheid van het model op de conductance bepaald door de conductance van A-, B- en C-watergangen met een factor 10 te vergroten. De huidige drainageweerstand ligt nu tussen de 12 en 50 dagen, wat relatief veel is voor een zandige ondergrond. Door de aanpassing wordt dit 1, 2 tot 5 dagen drainageweerstand. Voor deze berekeningen is gekeken naar het effect op de waterbalans.

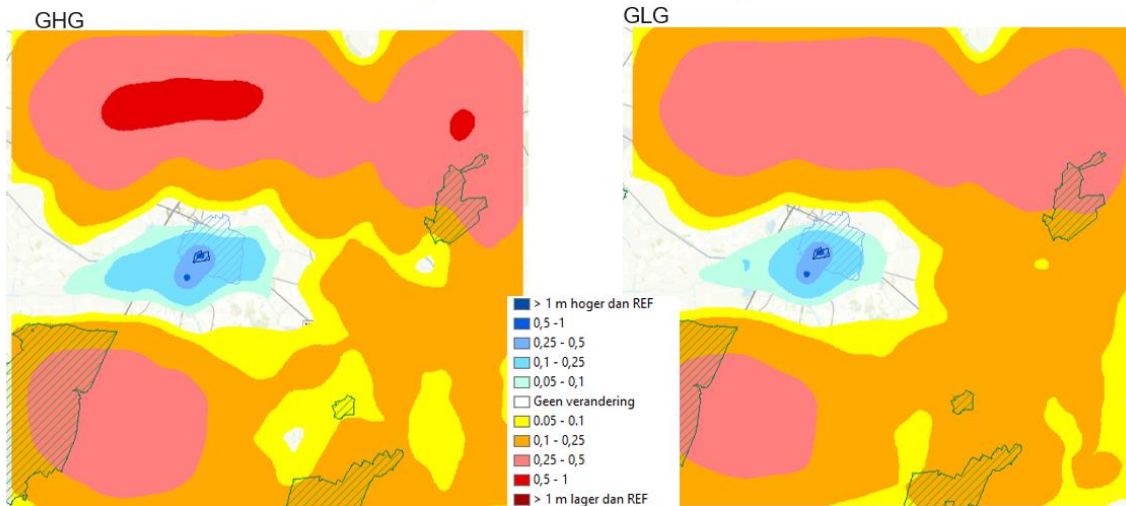
4.3.1 Resultaat gevoeligheidsanalyse

In onderstaande figuren zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse weergegeven. Het model is erg gevoelig voor de aanpassing van de kD van modellaag 8 t/m 10. Bij een verhoging van de kD wordt de stijghoogte over het algemeen lager, met uitzondering van de verlagingskegel bij Beilen waar de stijghoogte juist hoger wordt. Het effect bij een verlaging van de kD is omgekeerd. Door een verlaging van de kD zal het verhang in het WVP1 in het model beter worden. De aanpassing zoals deze hier is uitgevoerd, lijkt hiervoor echter te grof. Hier is dus nog een finetuning van de aanpassing voor nodig.

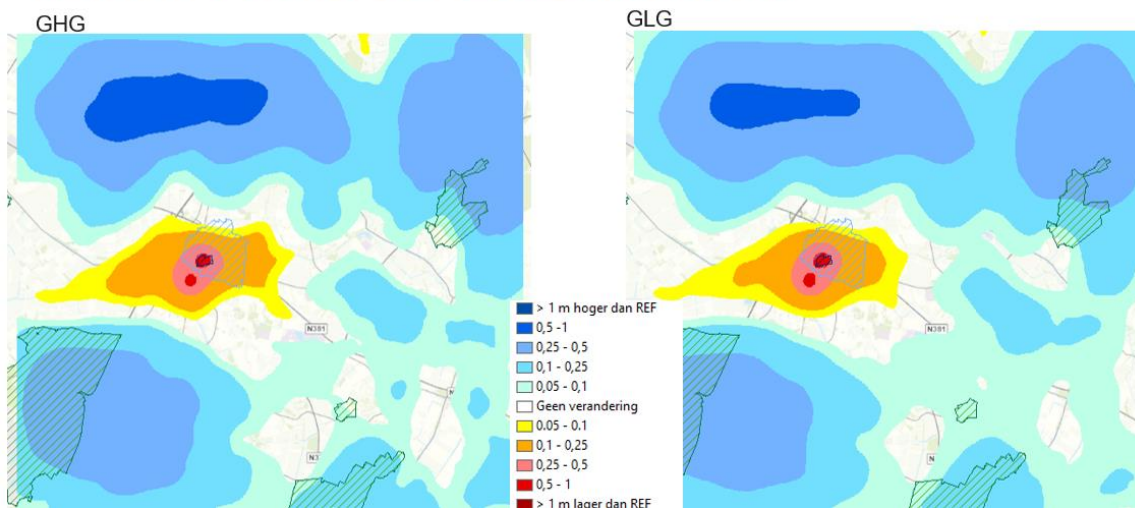
Bij een aanpassing van de weerstand van het Peelo-zand is met name de GHG gevoelig. De stijghoogte in het Peelo-zand wordt bij een verlaging van de weerstand lager. Bij een weerstand van 30 dagen wordt het model hier lokaal 25 cm droger, waardoor de stijghoogte in deze laag juist weer te laag zou worden berekend. Een weerstand van 60 dagen voor het Peelo-zand lijkt het best te passen.

In Figuur 4-9 is te zien dat de conductance maar erg weinig invloed heeft op de waterbalans. Het model is dus niet gevoelig voor deze parameter. Aan deze knop zullen we daarom verder niet draaien.

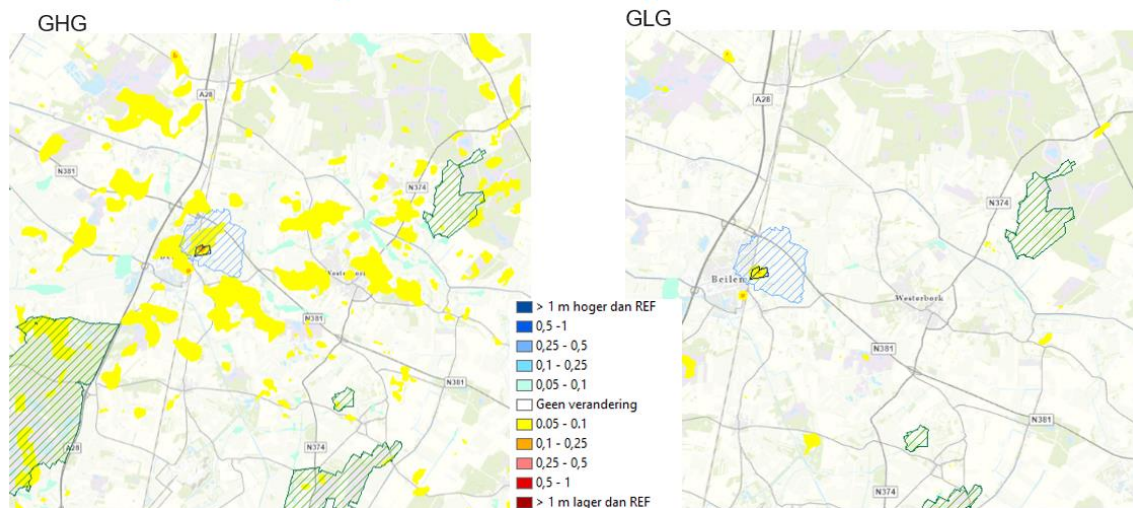
kD WVP1 factor 2 (effect in WVP1)



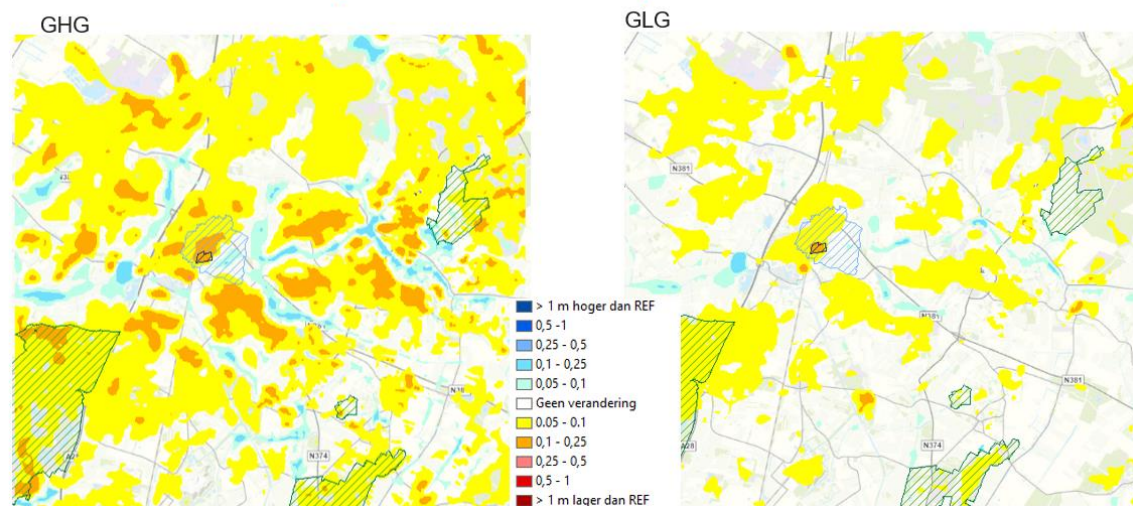
kD WVP1 factor 0.5 (effect in WVP1)

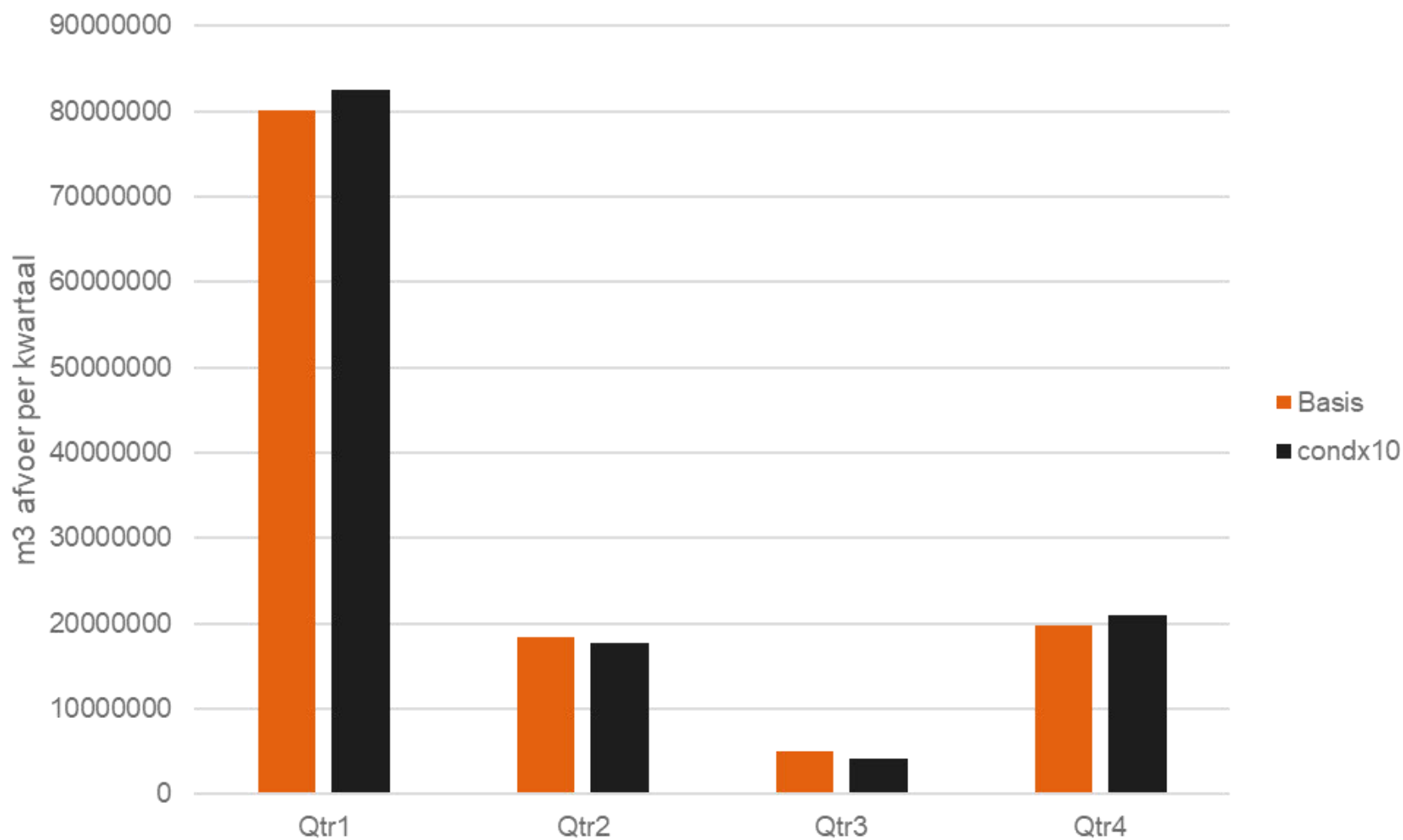


kD Peelo 60 d (effect in Peelo)



kD Peelo 30 d (effect in Peelo)





Figuur 4-9: Afvoer vanuit het gehele model per kwartaal voor de basissom en de berekening waarbij de conductance van watergangen verhoogd is met een factor 10.

4.4 Kalibratie

4.4.1 Combinatieberekening

Op basis van bovenstaande gevoeligheidsanalyse zijn de volgende modelaanpassingen doorgevoerd:

- weerstand Peelo-zand op 60 dagen (i.p.v. 100 dagen);
- lagere kD van modellaag 8-10.

De aanpassing van de kD is gedaan middels een formule per laag. Deze is dusdanig opgesteld dat de lage kD's nagenoeg gelijk blijven en de hoogste kD's circa een factor 0.5 kleiner worden. Hiervoor is de volgende formule gebruikt:

$$kD_{nieuw} = kD * x + y$$

In onderstaande tabel zijn de gebruikte parameters per laag weergegeven en is weergegeven wat de gemiddelde aanpassingsfactor per laag is.

Modellaag	Waarde x	Waarde y	Gemiddelde aanpassingsfactor
8	0,57	65,5	0,65
9	0,45	235,12	0,71
10	0,79	7,78	0,82

4.4.2 Validatie combinatieberekening

Door de aanpassingen is de gemiddelde afwijking iets groter geworden: 14 cm bij de GHG en 7 cm bij de GLG. De systematische afwijkingen die eerder in de bollenkaart te zien waren, zijn echter wel kleiner geworden. De aanpassingen leiden dus wel tot een betere benadering van het systeem en worden dus doorgevoerd. Binnen het waterwingebied berekent het model de grondwaterstanden te laag. De verlagingskegel wordt dus nog niet helemaal goed berekend.

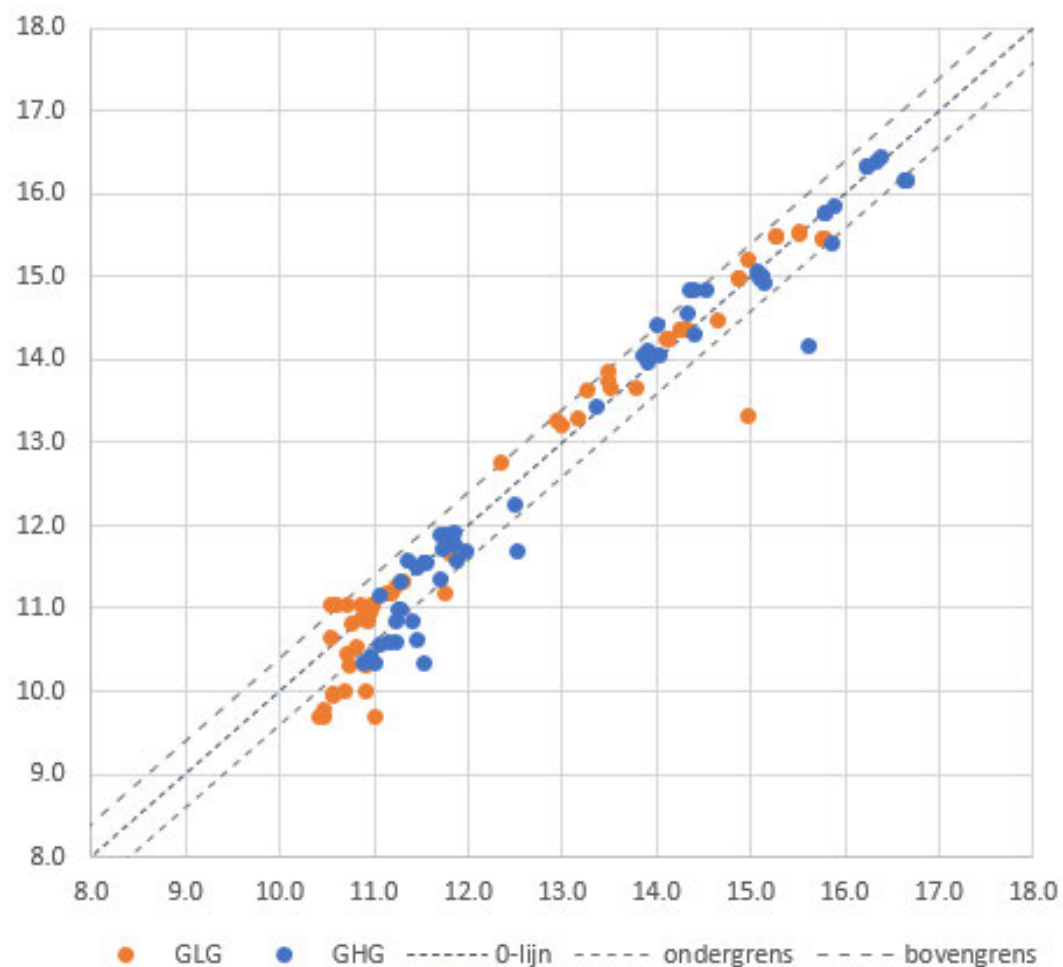
Bij deze validatie is ook naar de waterbalans gekeken. De waarden die hieruit komen lijken plausibel, alleen is de hoeveelheid infiltratie in de zomer mogelijk nog te laag. Dit kan het gevolg zijn van te hoge weerstanden, al lijkt het model daar weinig gevoelig voor te zijn.

4.4.2.1 Conclusie validatie

De validatiestatistieken verslechteren bij deze aanpassingen iets, maar de systematische afwijkingen worden kleiner. Het systeem zit dus beter in het model.

De verlagingskegel van Beilen wordt te 'steil' berekend. Op basis van boringen is bepaald of de aangenomen kD hier wel juist is, wat het geval is. Mogelijk is er hier nog te veel weerstand aanwezig waardoor de effectieve kD waaruit onttrokken wordt nog niet juist is. Ook is er mogelijk sprake van een onderschatting van de infiltratie vanuit het oppervlaktewater. Dit kan een grote invloed hebben op de verlagingskegel. De watergangen liggen nu enkel in modellaag 1 in het model. Op basis van gebiedskennis vermoeden we dat een deel van de watergangen de keileem kan doorsnijden.

Deze conclusie is de aanleiding voor de in de volgende paragraaf beschreven aanpassingen die tot het basismodel voor de varianten leidt.



STATISTIEKEN (2006-2014)

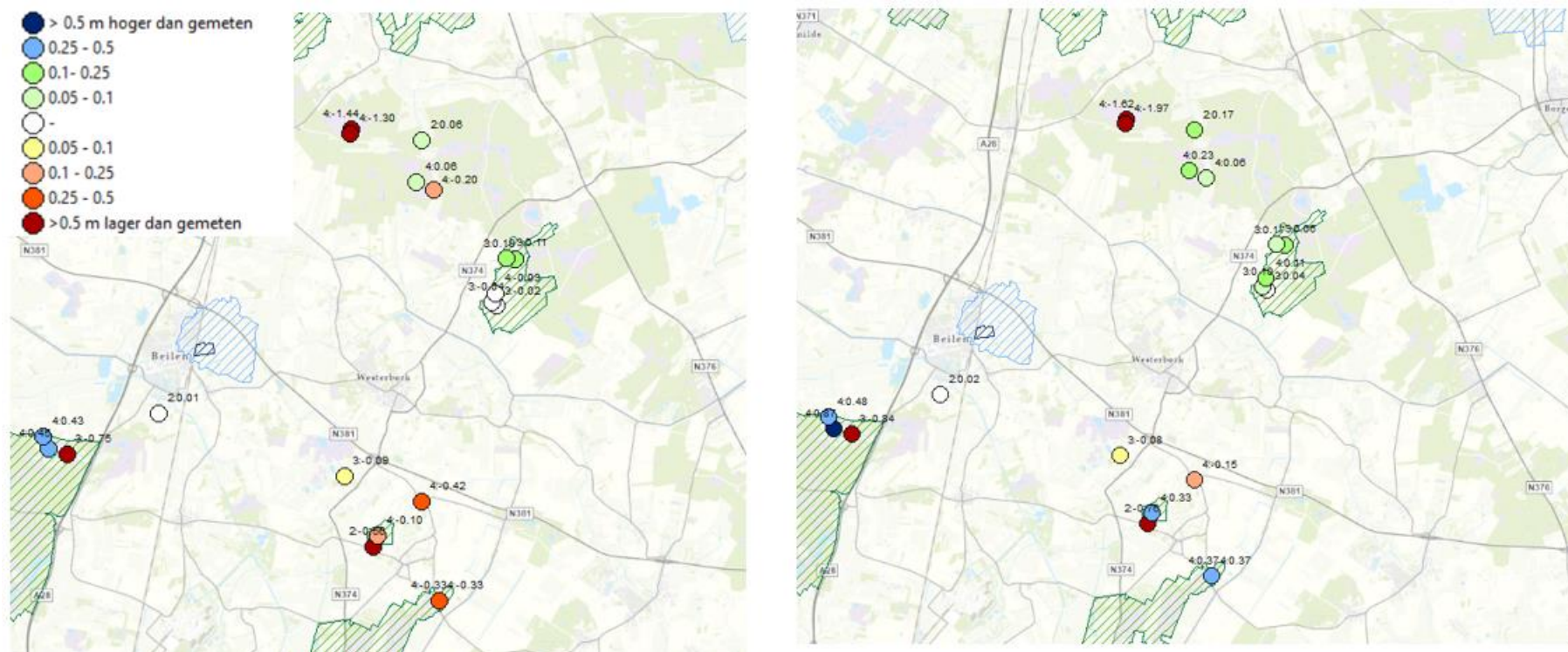
GHG

Gemiddelde afwijking	0.14 (te droog)
Gemiddelde absolute afwijking	0.29
Min/Max	-0.52/1.44

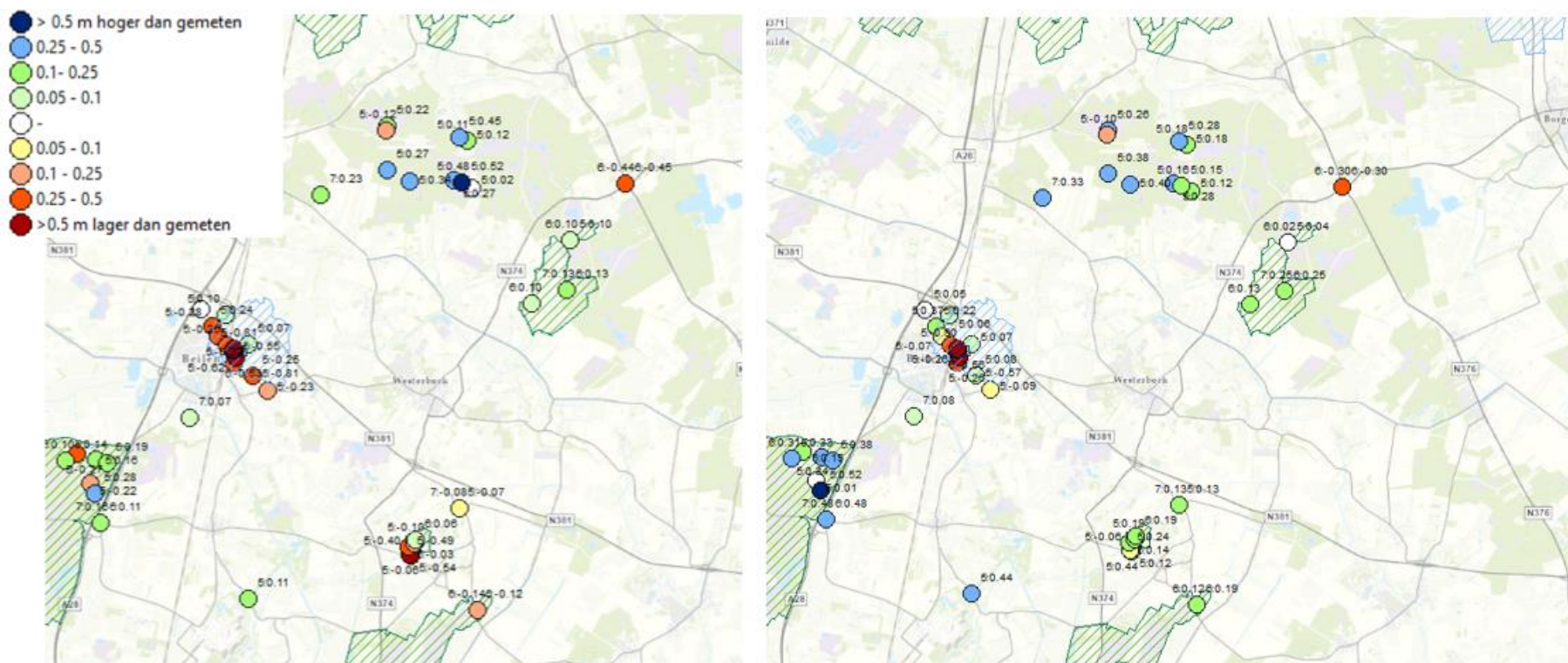
GLG

Gemiddelde afwijking	0.07 (te droog)
Gemiddelde absolute afwijking	0.31
Min/Max	-0.52/1.62

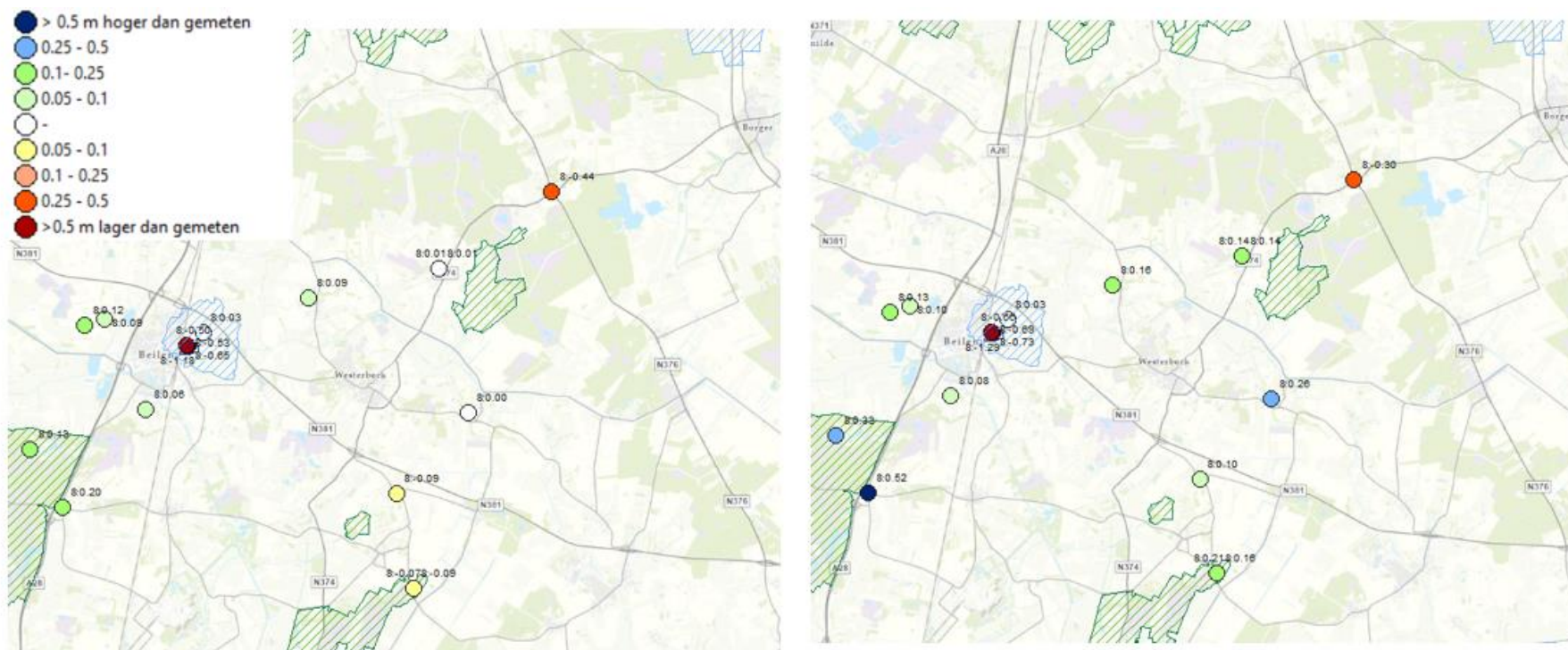
Figuur 4-10: Validatiestatistieken bij combinatieberekening



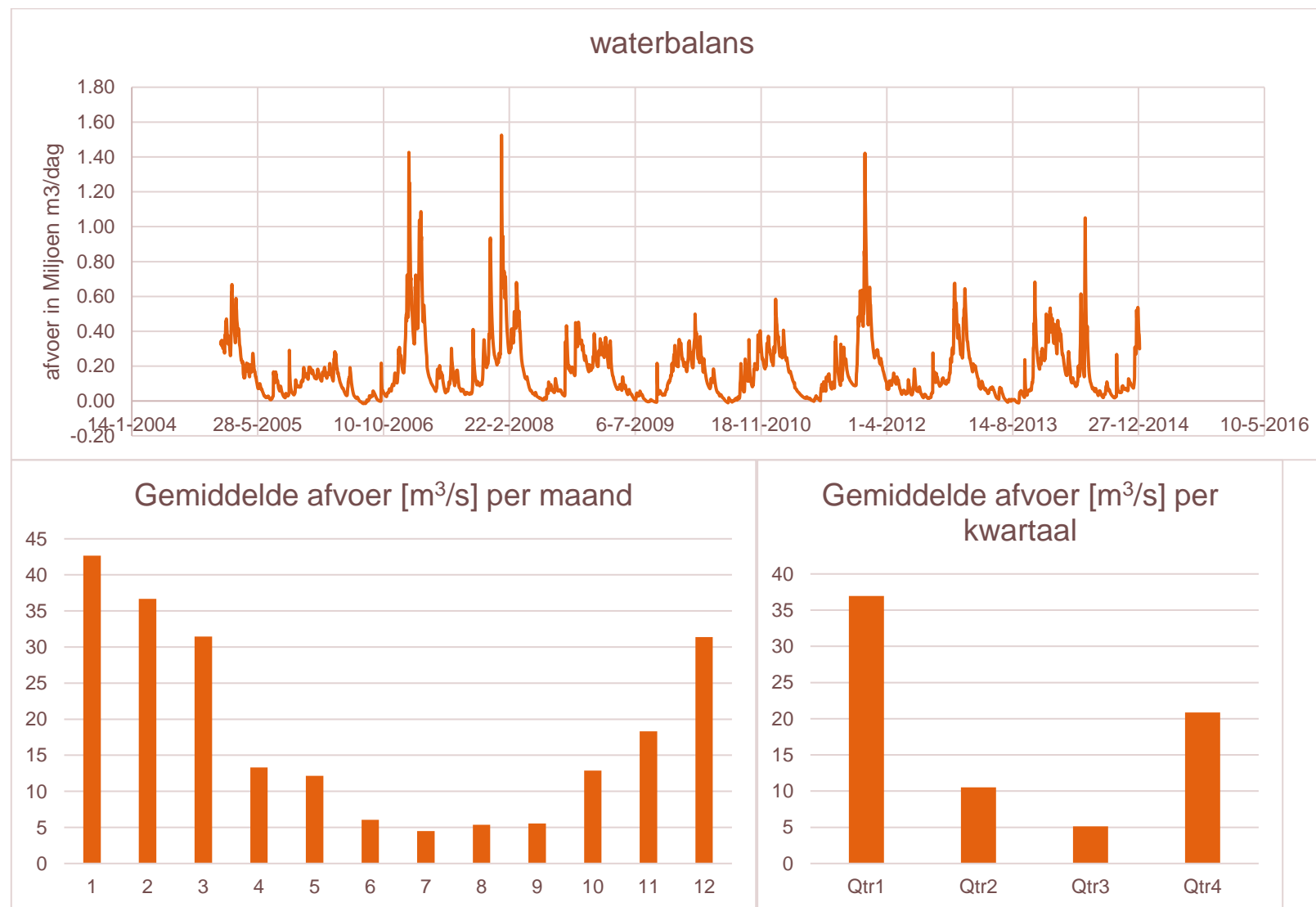
Figuur 4-11: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter boven de keileem (modellaag 2-4). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG



Figuur 4-12: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter onder de keileem en boven de onderkant van het Peelo-zand (modellaag 5-7). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG



Figuur 4-13: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter onder het Peelo-zand (modellaag 8-12). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG



4.4.3 Basismodel voor variantberekeningen

Op basis van de validatie van de combinatieberekeningen zijn nog twee aanpassingen doorgevoerd. Dit model is het basismodel waarmee alle variantberekeningen worden uitgevoerd. De aanpassingen aan dit model zijn:

- **Weerstand Peize:**
Bij de analyse van de verlagingskegel en de boringen is naar voren gekomen dat de weerstand van Peize in het model te hoog is. Deze is aangepast naar vijf dagen.
- **Insnijding watergangen:**
Een deel van de watergangen doorsnijdt de keileem (deels). Dit is in het model verwerkt door alle watergangen ook aan modellaag 5 toe te kennen waarbij de resterende weerstand van de keileem als extra weerstand aan de watergang is toegekend. Hierdoor zal een watergang waar nog een dikke laag keileem onder ligt een conductance van circa 0 krijgen, en dus niet kunnen infiltreren en draineren onder de keileem. Een watergang die de keileem doorsnijdt, zal dit dan wel kunnen.

4.4.4 Validatie basismodel varianten

De gemiddelde afwijking is 12 cm bij de GHG en 2 cm bij de GLG. De gemiddelde absolute afwijking is 25 cm bij de GHG en 26 cm bij de GLG. Door de laatste aanpassingen klopt de verlagingskegel beter (zie bollenkaarten). Lokaal zijn nog grote afwijkingen te zien door maatregelen in natuurgebieden. Het systeem lijkt nu goed in het model te zitten.

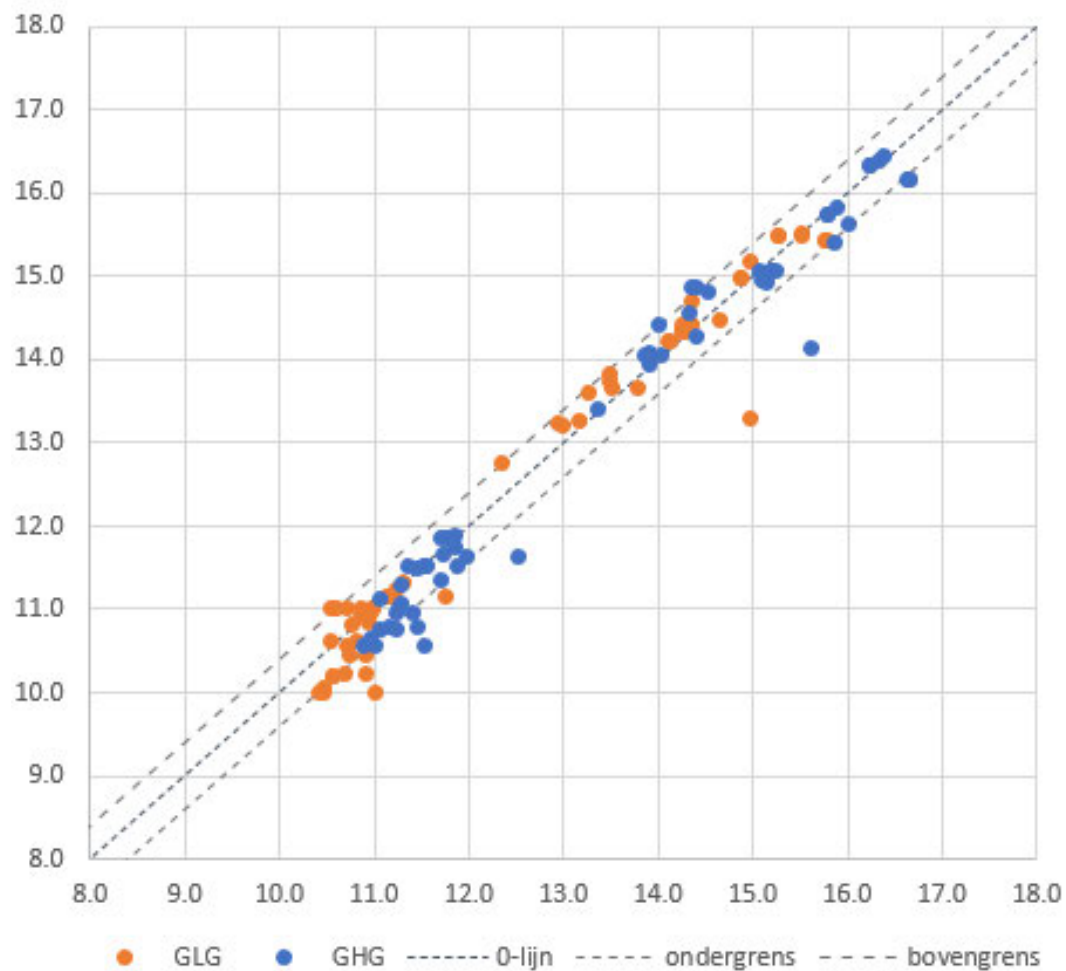
Door de aanpassing van de insnijding van de watergangen door de keileem heen, neemt de hoeveelheid infiltratie gemiddeld over het hele modelgebied en modelperiode met 4% toe.

4.4.4.1 Tijdreeksen

In onderstaande figuren zijn verschillende tijdreeksen bij peilbuizen weergegeven van de gemeten en berekende stijghoogten. Per peilbuis is heel kort beschreven wat er uit deze tijdreeks opgemaakt kan worden in het onderschrift van het figuur.

4.4.4.2 Conclusie validatie

Het systeem zit goed in het model en er zijn geen systematische afwijkingen aanwezig. Lokaal zijn nog afwijkingen te zien. Deze kunnen verklaard worden door maatregelen die zijn doorgevoerd in natuurgebieden waardoor de metingen niet aansluiten bij het model. De verlagingskegel wordt redelijk goed berekend, maar mogelijk zou de kegel nog iets minder steil moeten zijn. Hier is op basis van gebiedsinformatie (boringen) geen directe aanleiding toe. Door het toevoegen van de insnijding van watergangen neemt de infiltratie met 3,5% toe. Gezien de grote variatie in de ondergrond (het wel/niet voorkomen van keileem) en de onzekerheid hierin zijn de afwijkingen hier acceptabel. De dynamiek wordt over het algemeen goed berekend. Het uitzakken van de GLG blijft op enkele locaties in het model wat achter. Dit houdt in dat met dit model de opbrengstderving door droogtestress dus onderschat kan worden. Het systeem zit nu goed in het model op basis van de beschikbare kennis. Het model is hiermee voldoende bevonden om de variantberekeningen uit te voeren.



Figuur 4-14: Validatiestatistieken van het basismodel voor varianten

STATISTIEKEN (2006-2014)

GHG

Gemiddelde afwijking 0.12 (te droog)

Gemiddelde absolute afwijking 0.25

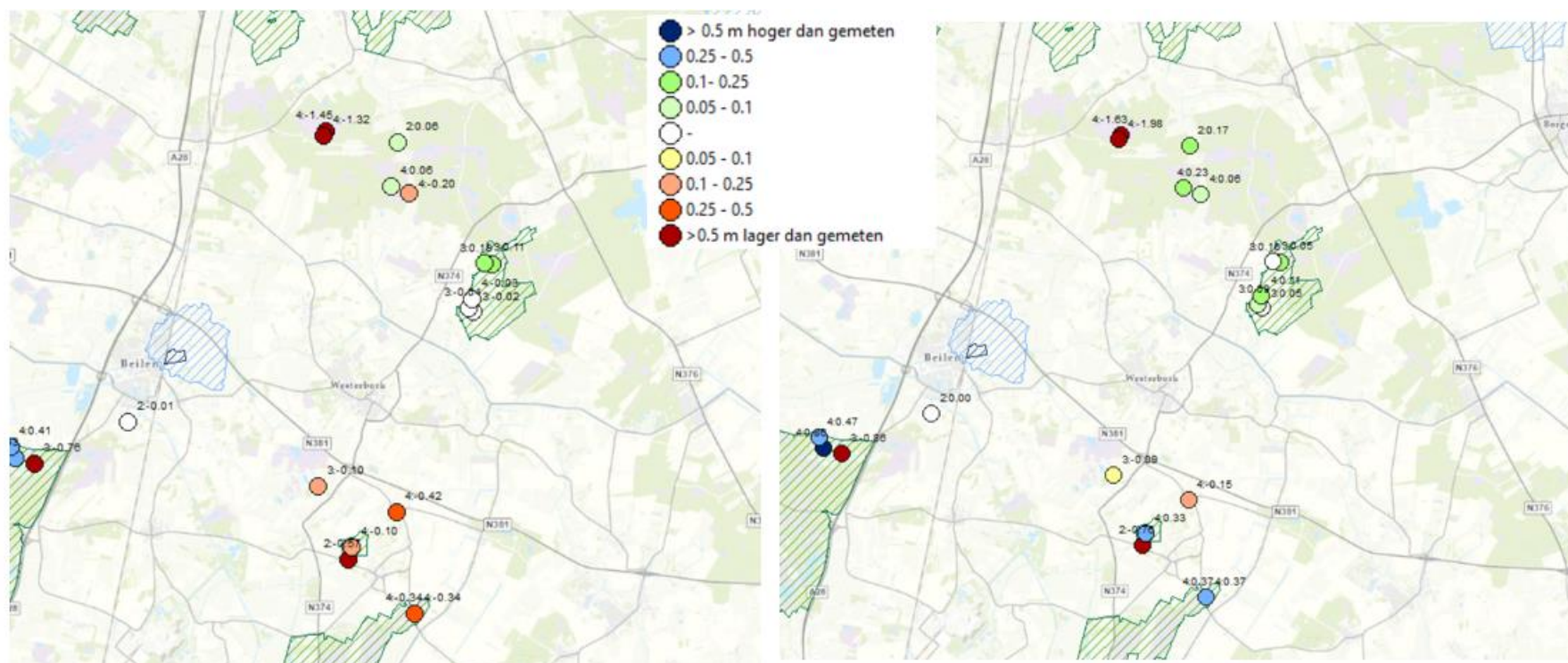
Min/Max -0.53/1.45

GLG

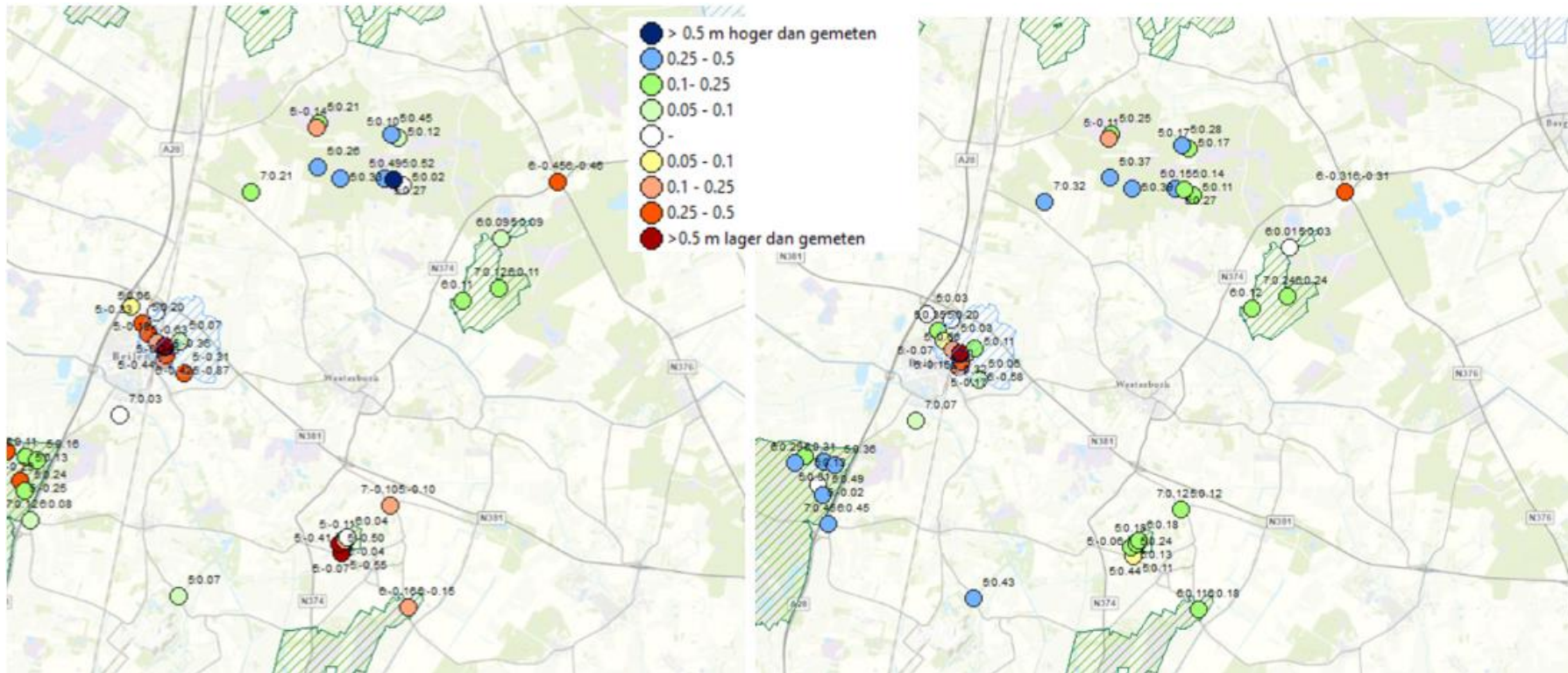
Gemiddelde afwijking 0.02 (te droog)

Gemiddelde absolute afwijking 0.26

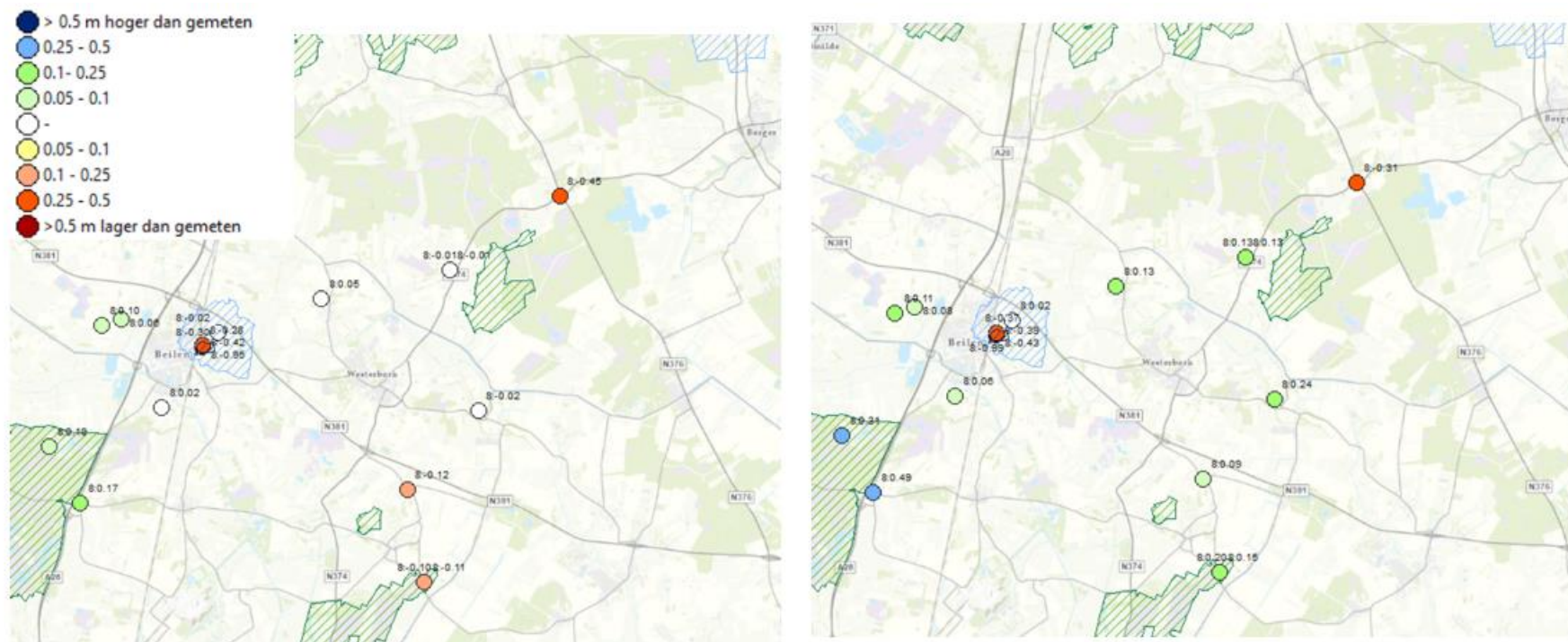
Min/Max -0.49/1.63



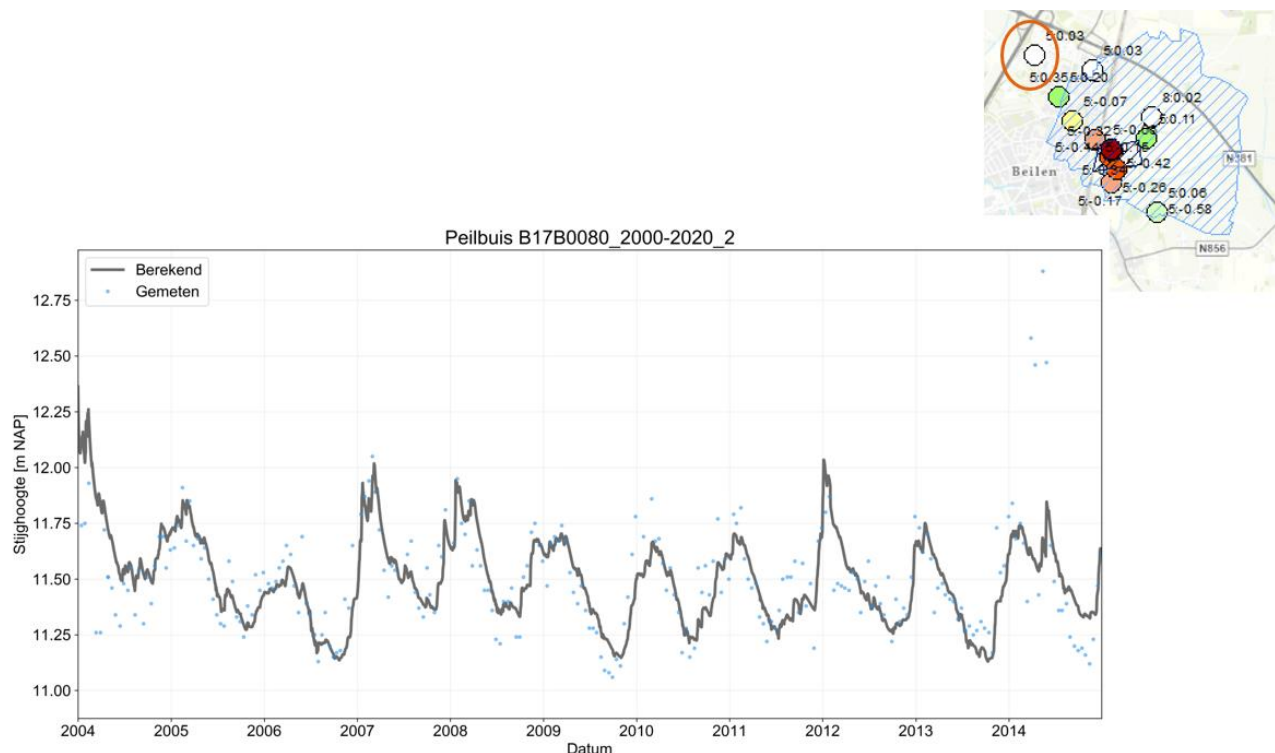
Figuur 4-15: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter boven de keileem (modellaag 2-4). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG



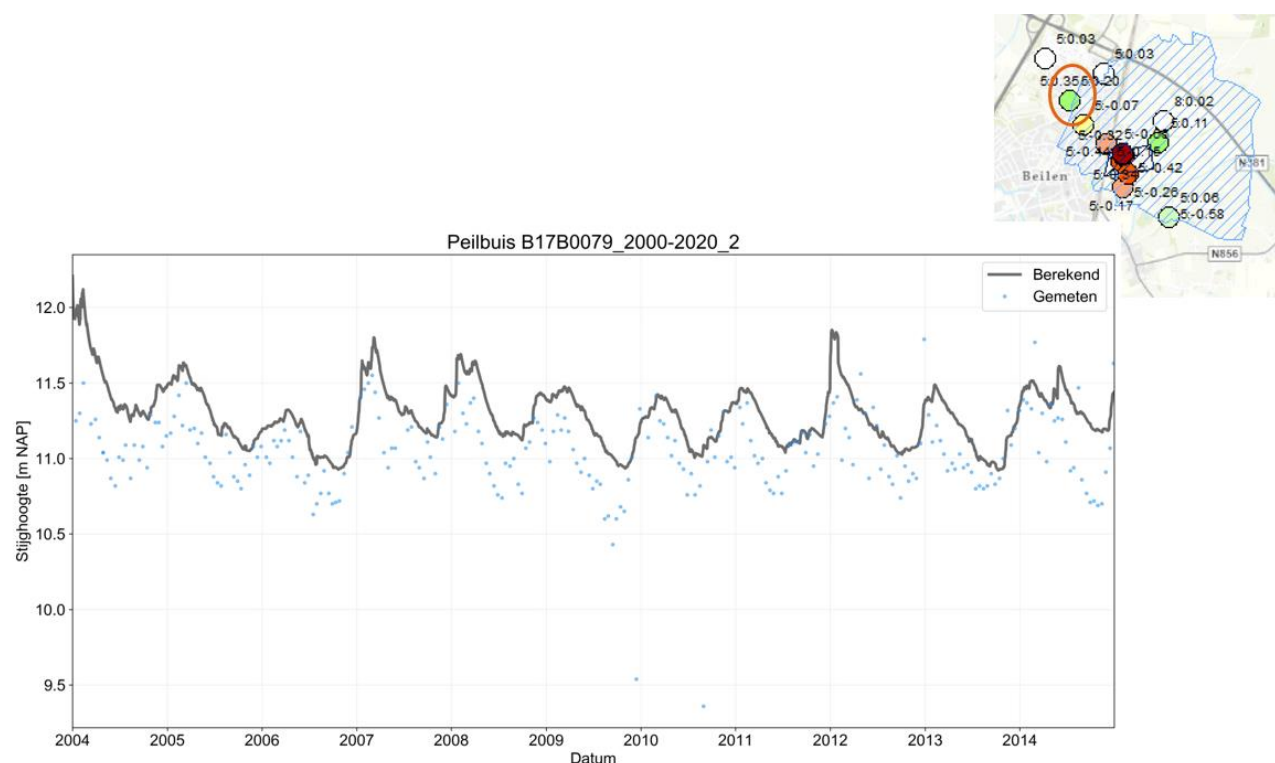
Figuur 4-16: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter onder de keileem en boven de onderkant van het Peelo-zand (modellaag 5-7). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG



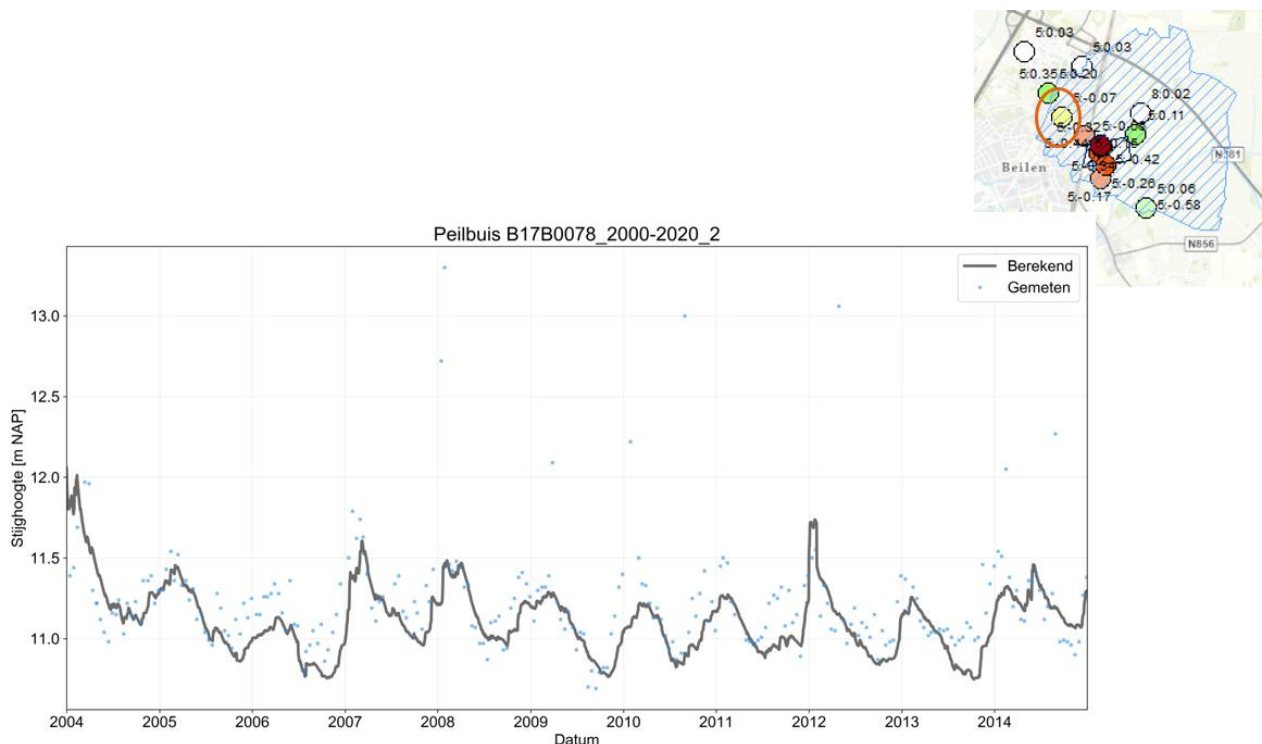
Figuur 4-17: Bollenkaart met afwijkingen per peilbuis voor de peilbuizen met een filter onder het Peelo-zand (modellaag 8-12). Links staan de afwijkingen bij de GHG, rechts voor de GLG



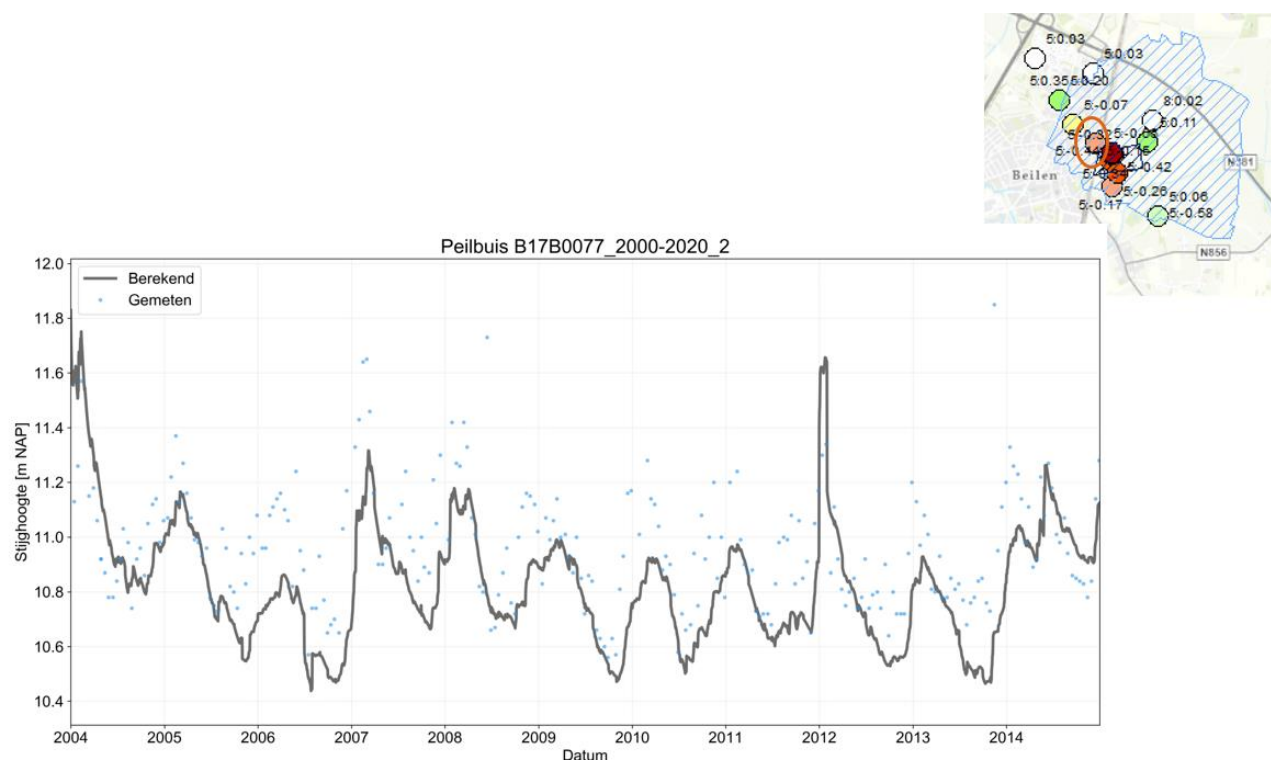
Figuur 4-18: De dynamiek wordt hier goed berekend. Een piek in 2014 wordt gemist. Dit is ook een uitzonderlijk hoge piek, wat doet vermoeden dat dit mogelijk een meetfout is geweest.



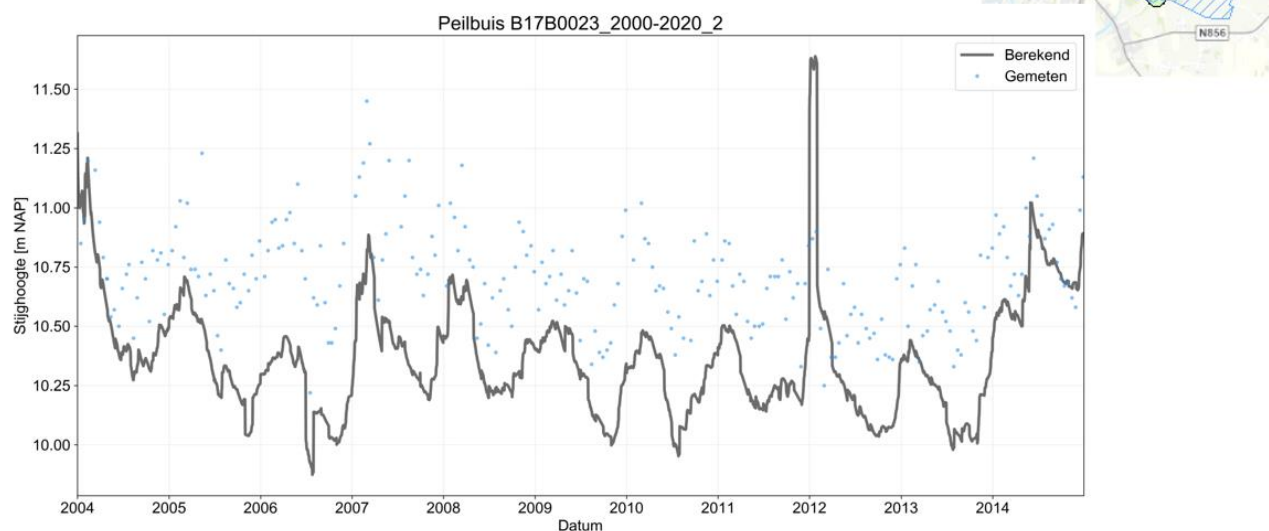
Figuur 4-19: Het model is hier iets te nat, maar de dynamiek lijkt wel goed te kloppen. Mogelijk zou de verlagingskegel nog iets groter moeten zijn



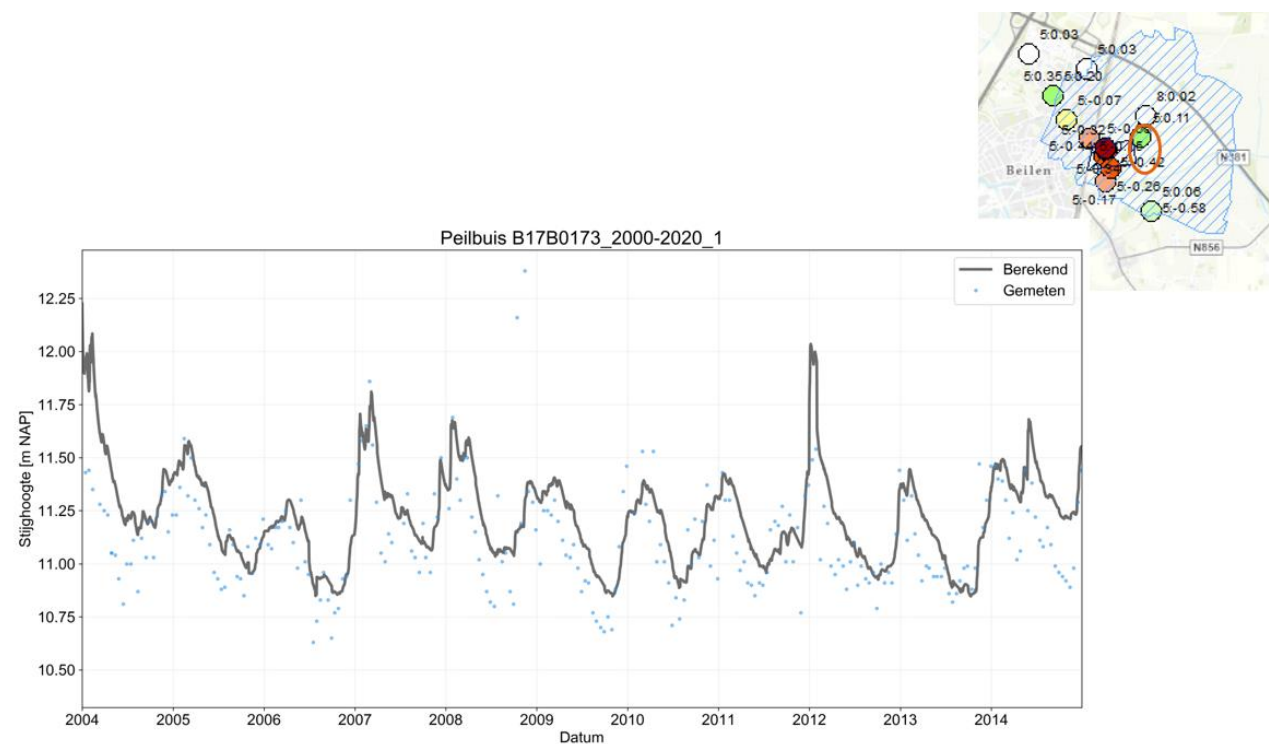
Figuur 4-20: De afwijkingen hier komen door enkele extreem hoog gemeten waarden (2 m hoger dan de gemiddelde grondwaterstand). Mogelijk gaat het hier om meetfouten, bijvoorbeeld door instroom aan de bovenkant van de peilbuis. Voor de rest komt de berekende reeks hier goed overeen.



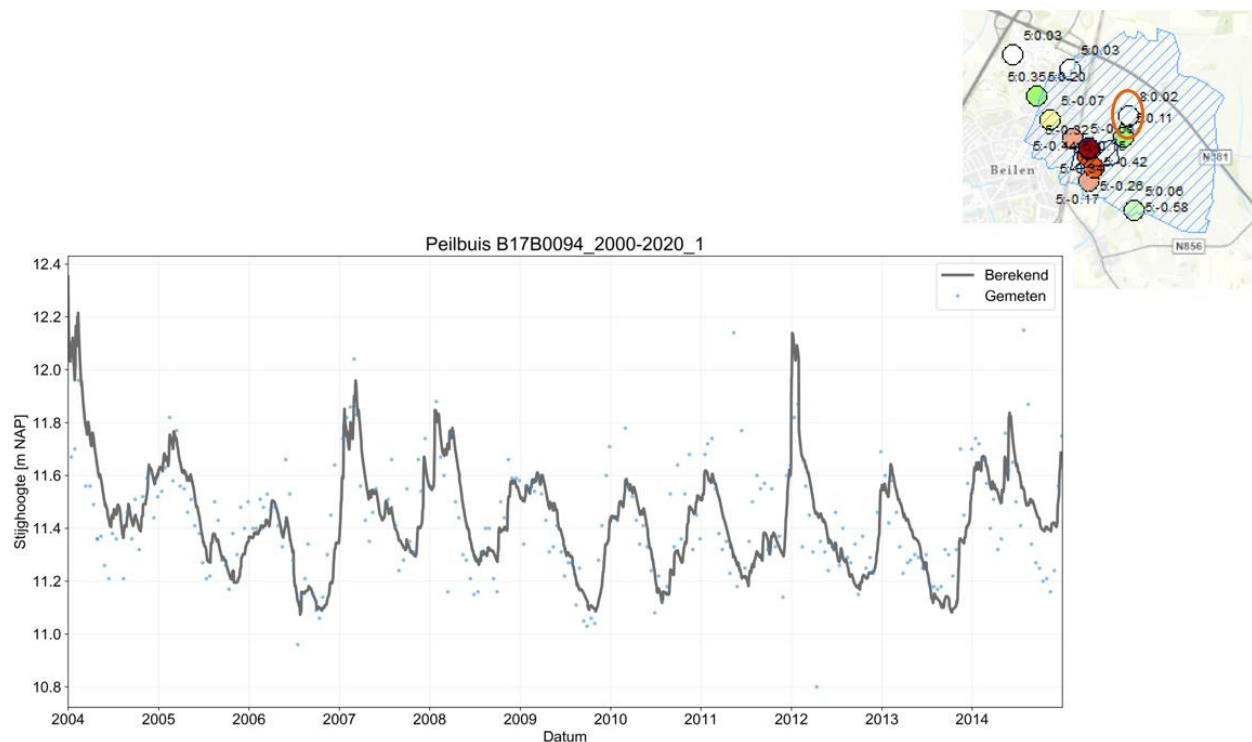
Figuur 4-21: De berekende stijghoogte is hier iets te laag, maar de dynamiek komt goed overeen



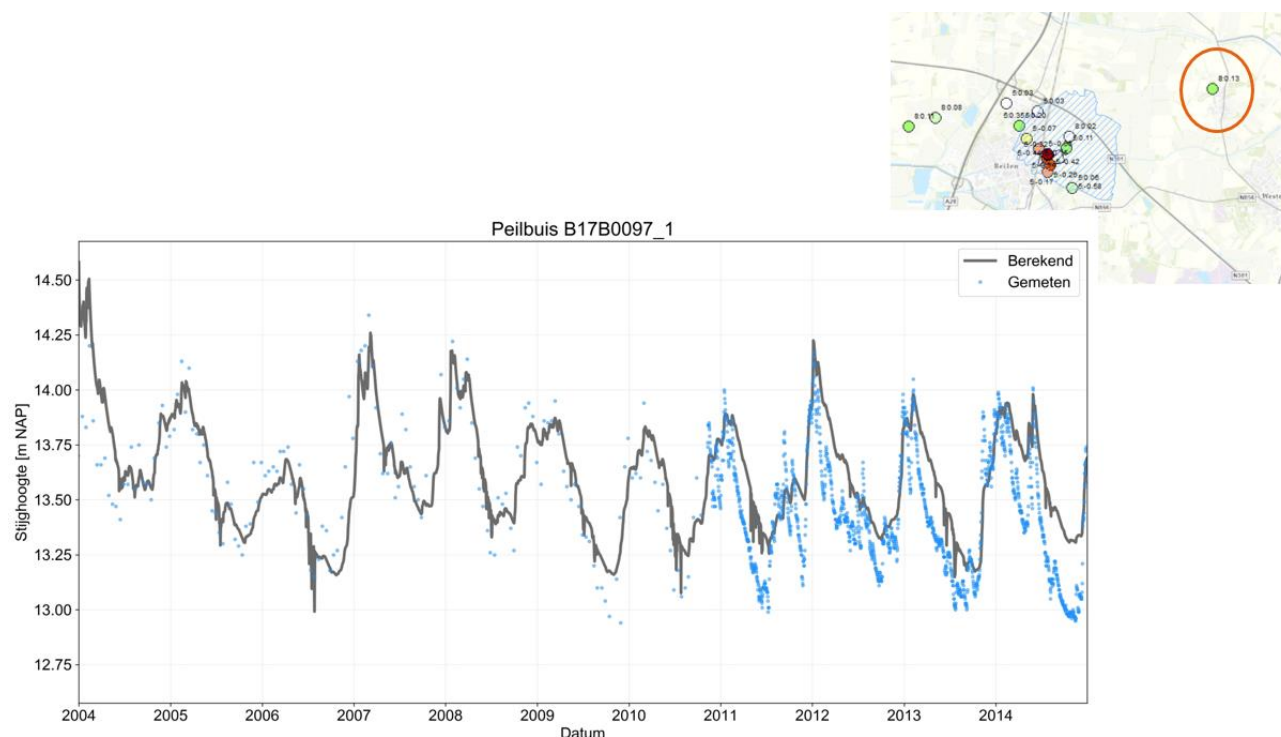
Figuur 4-22: Deze peilbuis midden in het puttenveld wordt te droog berekend. Mogelijk is de verlagingkegel nog net iets te steil



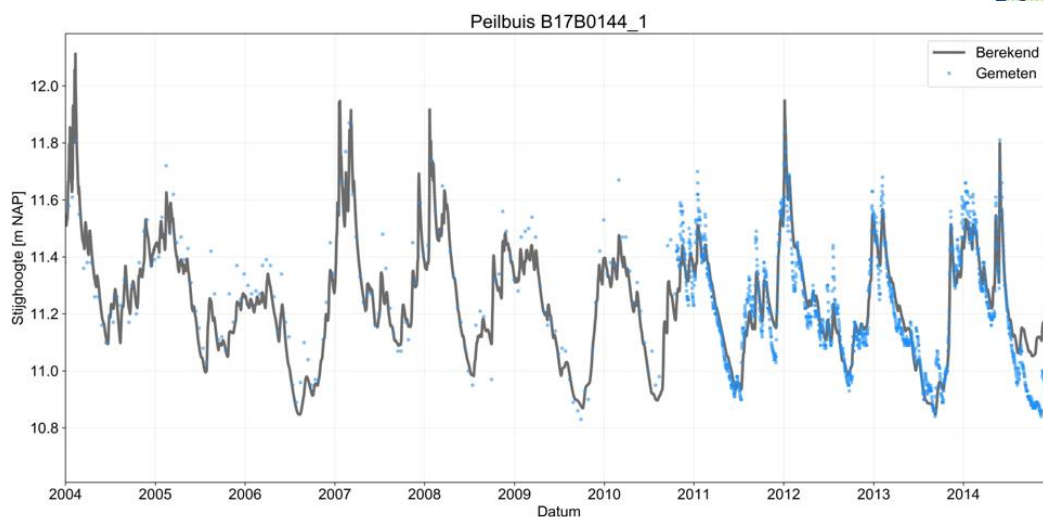
Figuur 4-23: Op deze locatie zakt de stijghoogte in het model niet altijd diep genoeg uit in de zomer



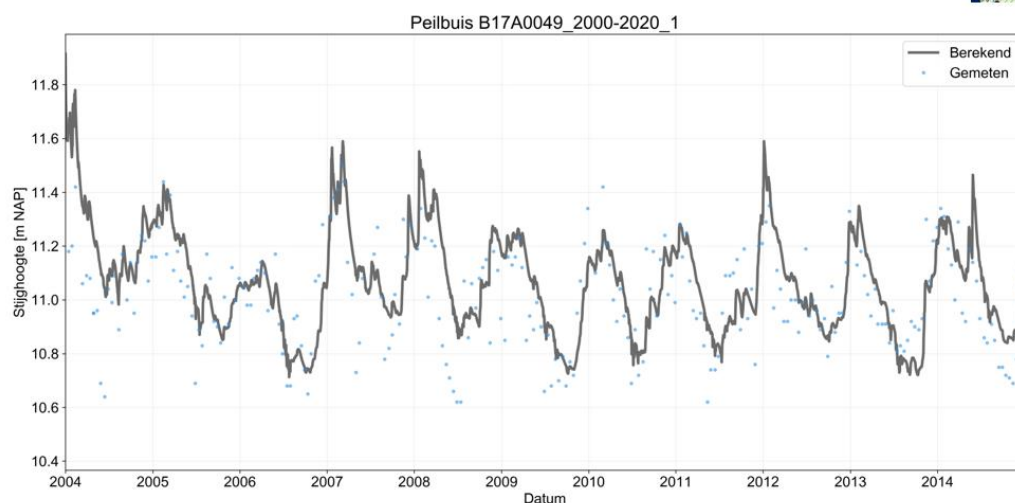
Figuur 4-24: Op deze locatie komt de gemeten reeks goed overeen, alleen pieken worden soms onderschat



Figuur 4-25: Het model zakt niet altijd diep genoeg uit in de zomer. De hoge pieken worden wel goed berekend

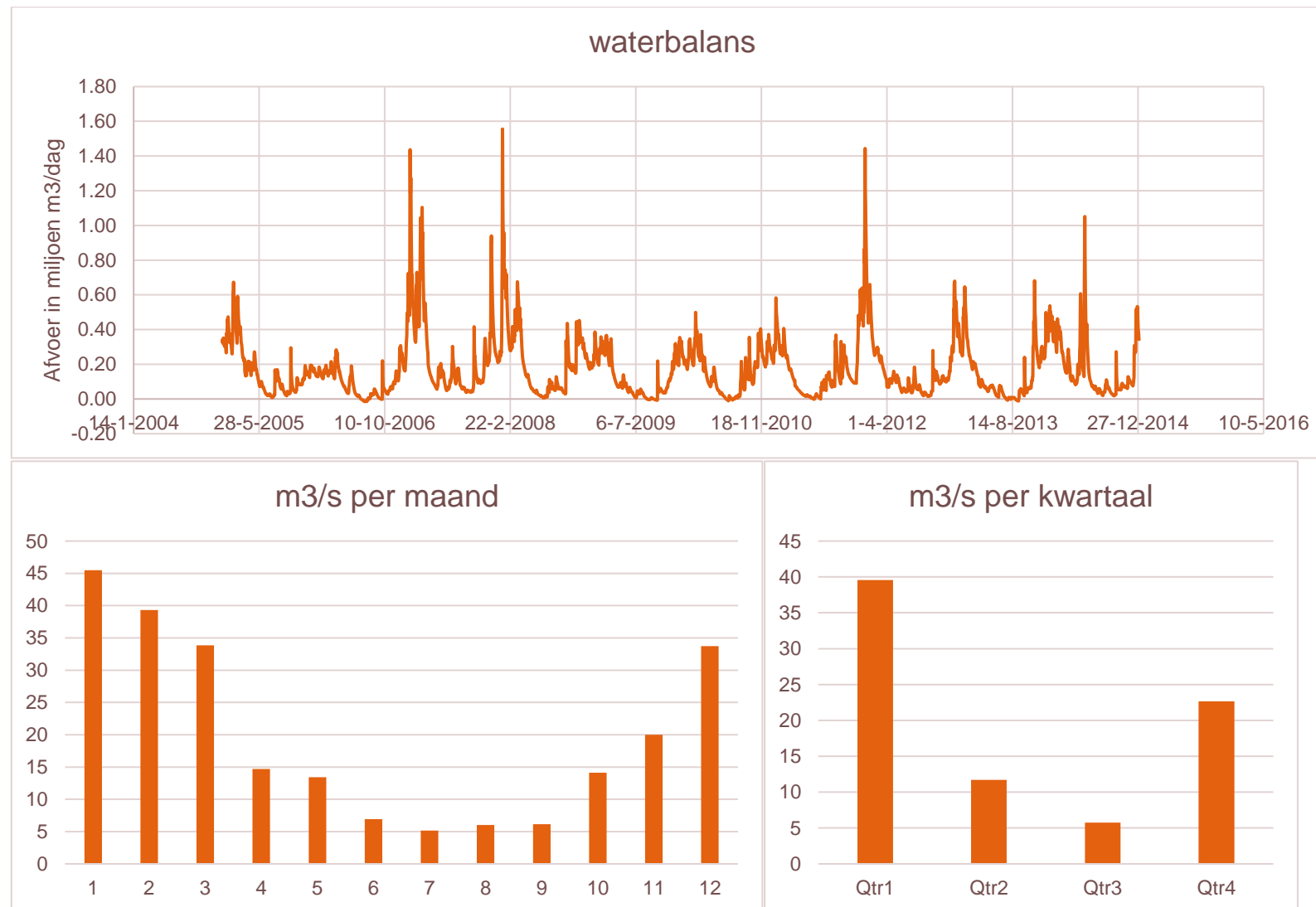


Figuur 4-26: Het model komt hier erg goed overeen met de gemeten waarden



Figuur 4-27: Het model zakt hier niet altijd diep genoeg uit in de zomer.

4.4.4.3 Waterbalans



5 Resultaten varianten

In het model en bij de winning zijn er verschillende knoppen waaraan gedraaid kan worden om de uitbreiding naar de toekomst te kunnen realiseren. Deze worden hieronder toegelicht (overzicht van de verschillende doorgerekende varianten is weergegeven in figuur 2-3 van het hoofdrapport):

Variëren in onttrekkingshoeveelheid (A-varianten)

Het vergunde debiet bij Beilen is 4 Mm³/jaar, maar om aan de toegenomen vraag te voldoen, is de wens de winning met minimaal 1M m³/jaar uit te breiden. Gezien de beperkte verlaging bij de putten, de grote kD van het pakket waaruit wordt onttrokken en de weerstand die hierboven ligt, zou een groter debiet ook mogelijk zijn.

Het onttrekkingsdebiet heeft invloed op de verlagingkegel in de directe omgeving van de winning. Door aan deze knop te draaien, krijgen we inzicht in wat de hydrologische effecten van het onttrekkingsdebiet zijn en hoe deze effecten veranderen in relatie tot de toename in het onttrekkingsdebiet.

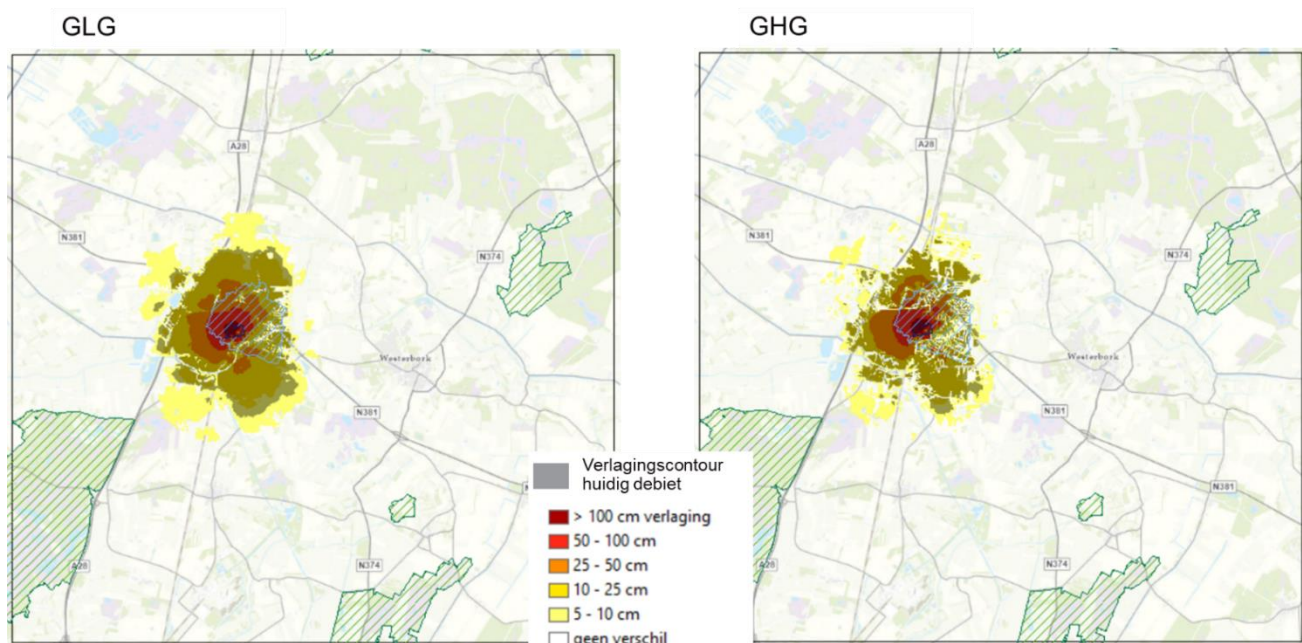
Voor de eerste ronde is naar de knop onttrekkingshoeveelheid gekeken (A-varianten). Hierin zijn varianten doorgerekend met een totale onttrekking van 5,0 Mm³/jaar (een uitbreiding van 1 Mm³/jaar t.o.v. de vergunde onttrekkingshoeveelheid van 4,0 Mm³/jaar), een totale onttrekking van 7,0 Mm³/jaar (uitbreiding van 3 Mm³/jaar) en een totale onttrekking van 10,0 Mm³/jaar (uitbreiding van 6 Mm³/jaar).

5.1 Resultaten

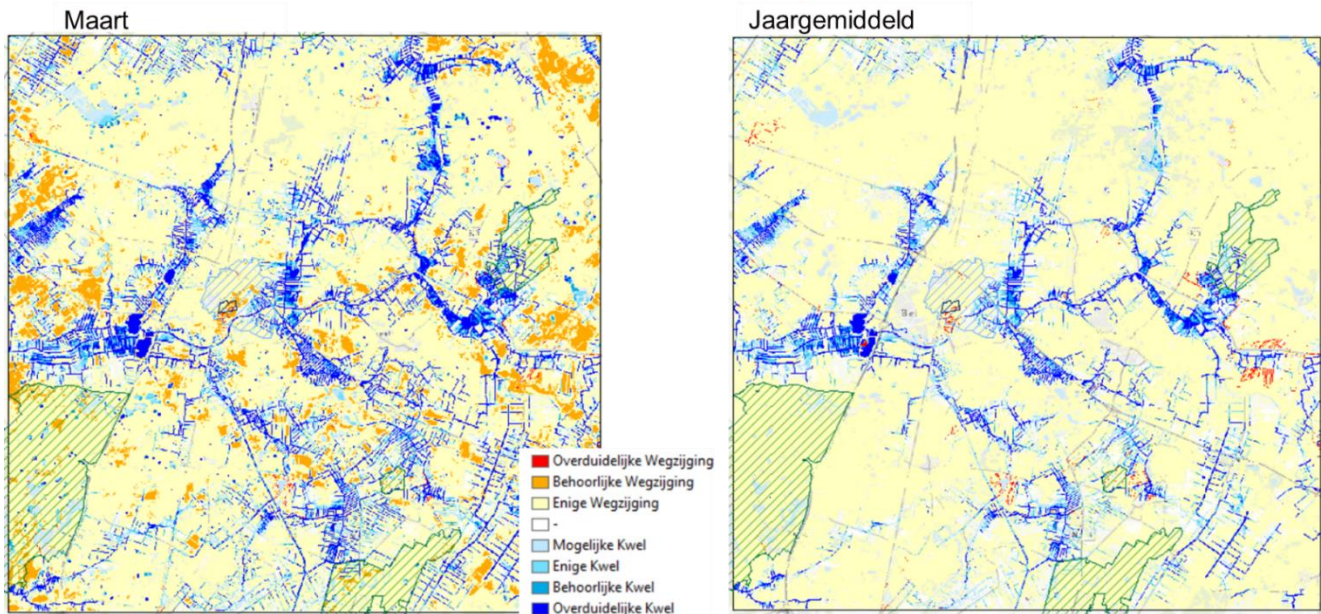
In alle varianten is het effect op GxG weergegeven ten opzichte van de nulsituatie (geen onttrekking) waarbij de contouren van het huidige onttrekkingsdebiet van 2,5 Mm³/jaar en het vergunde onttrekkingsdebiet van 4 Mm³/jaar ook zijn toegevoegd (respectievelijk donkergrijs en lichtgrijs). Het effect op kwel is ten opzichte van vergund debiet weergegeven. In deze varianten zijn geen mitigerende maatregelen meegenomen.

5.1.1 Vergunde situatie (A4)

In onderstaande figuren wordt het effect op GxG (t.o.v. geen onttrekking) en kwel bij het vergund debiet weergegeven. In de beekdalen is jaargemiddeld en in het voorjaar vooral kwel aanwezig. Door de onttrekking vindt rondom het waterwingebied wegzijging plaats.



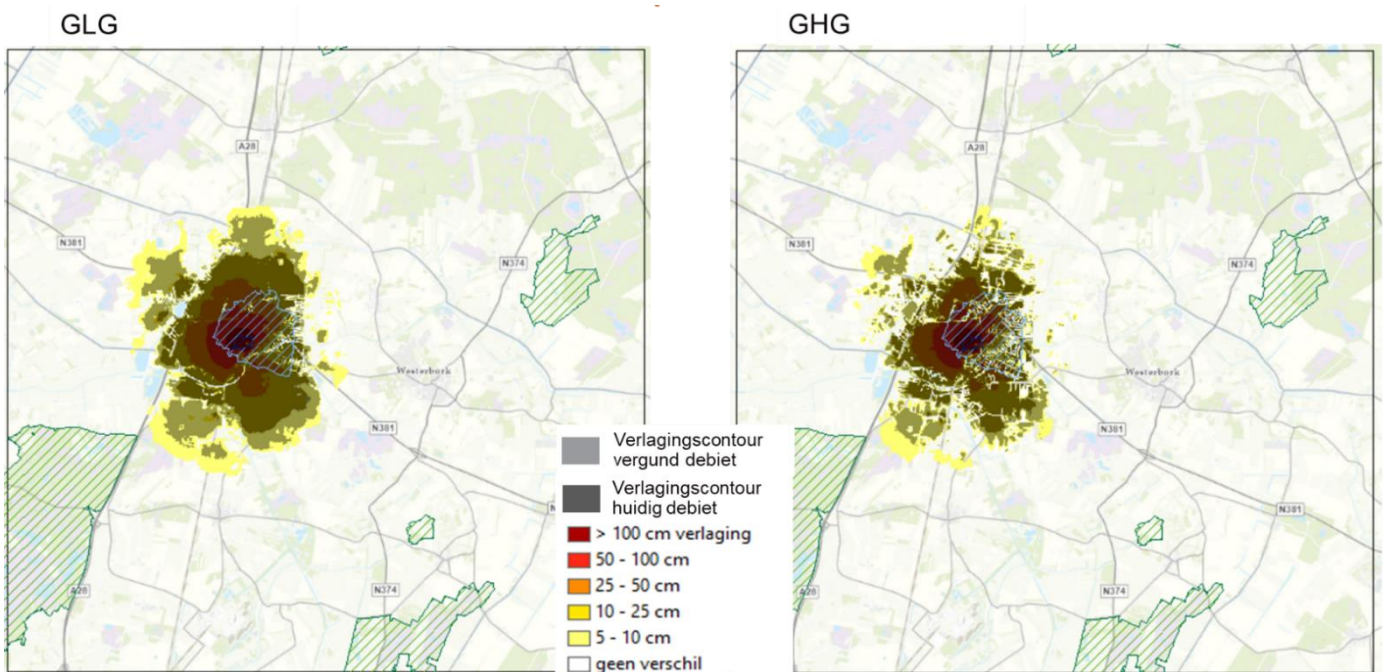
Figuur 5-1: Verlagingscontour voor GLG- en GHG-situatie van vergund debiet van 4 Mm³ (A4) t.o.v. geen onttrekking.



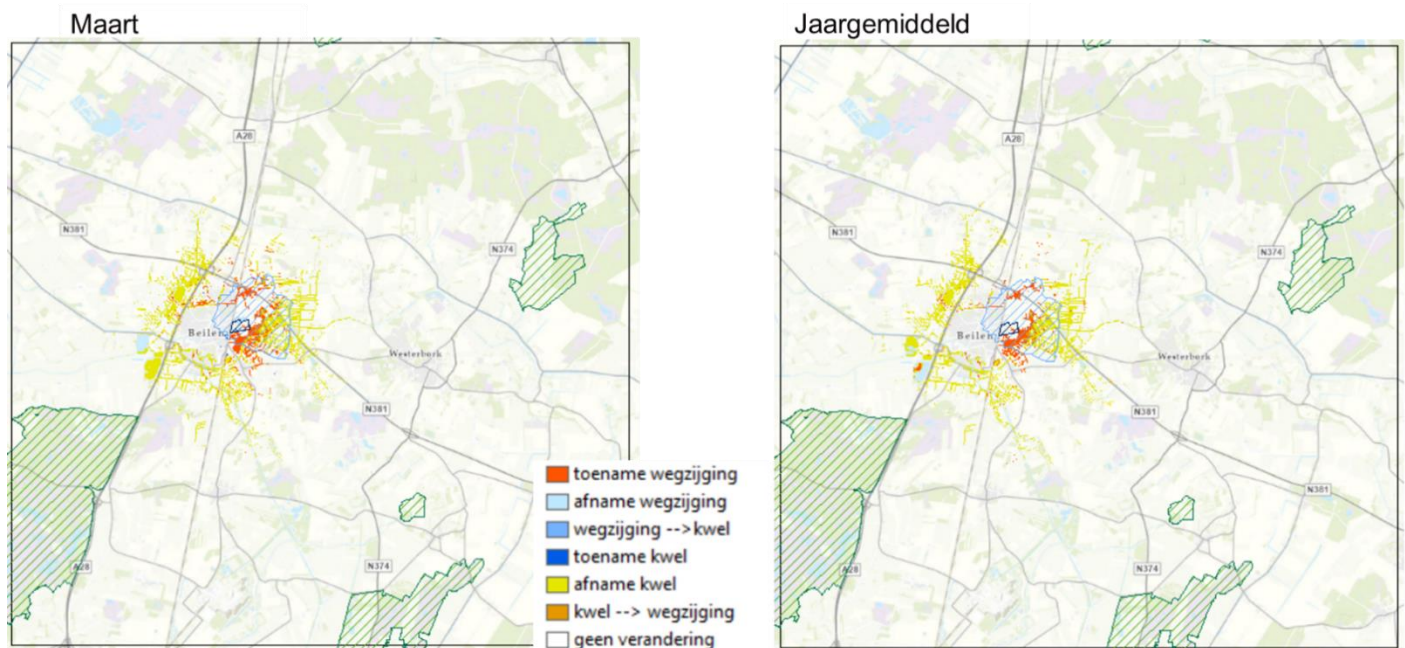
Figuur 5-2: Kwelsituatie bij vergund debiet van 4 Mm³ (A4).

5.1.2 Vergunde situatie met 1 Mm³ uitbreiding (A5)

In onderstaande figuren wordt het effect op GxG (t.o.v. geen onttrekking) en kwel met een totale onttrekking van 5 Mm³ per jaar (uitbreiding van 1 Mm³ per jaar) weergegeven. Bij een uitbreiding van 1 Mm³ breidt de verlagingcontour zich minimaal uit. Dit gebeurt voornamelijk aan de westzijde van het gebied. Rondom het waterwingebied is er een toename in wegzijging door de grotere onttrekking en is er een afname in kwel in de omgeving binnen de verlagingcontour.



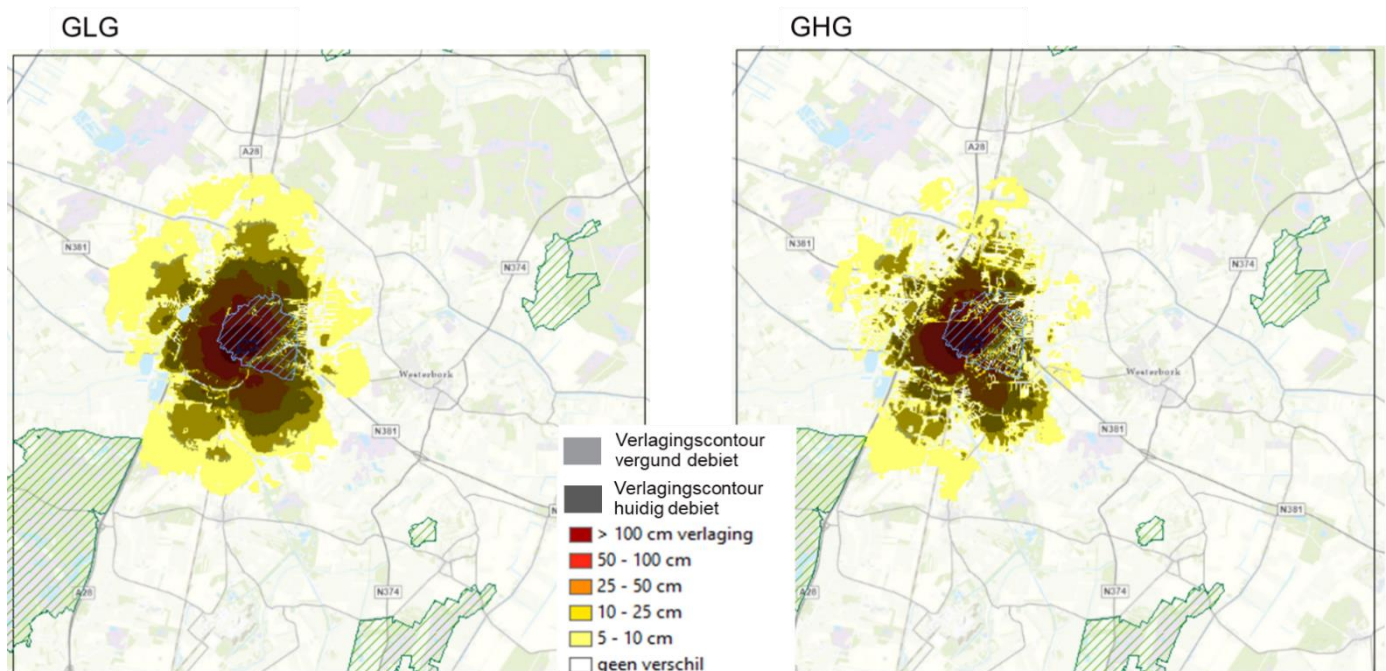
Figuur 5-3: Verlagingcontour voor GLG- en GHG-situatie van vergund debiet van 4 Mm³ met uitbreiding van 1 Mm³ (A5) t.o.v. geen onttrekking.



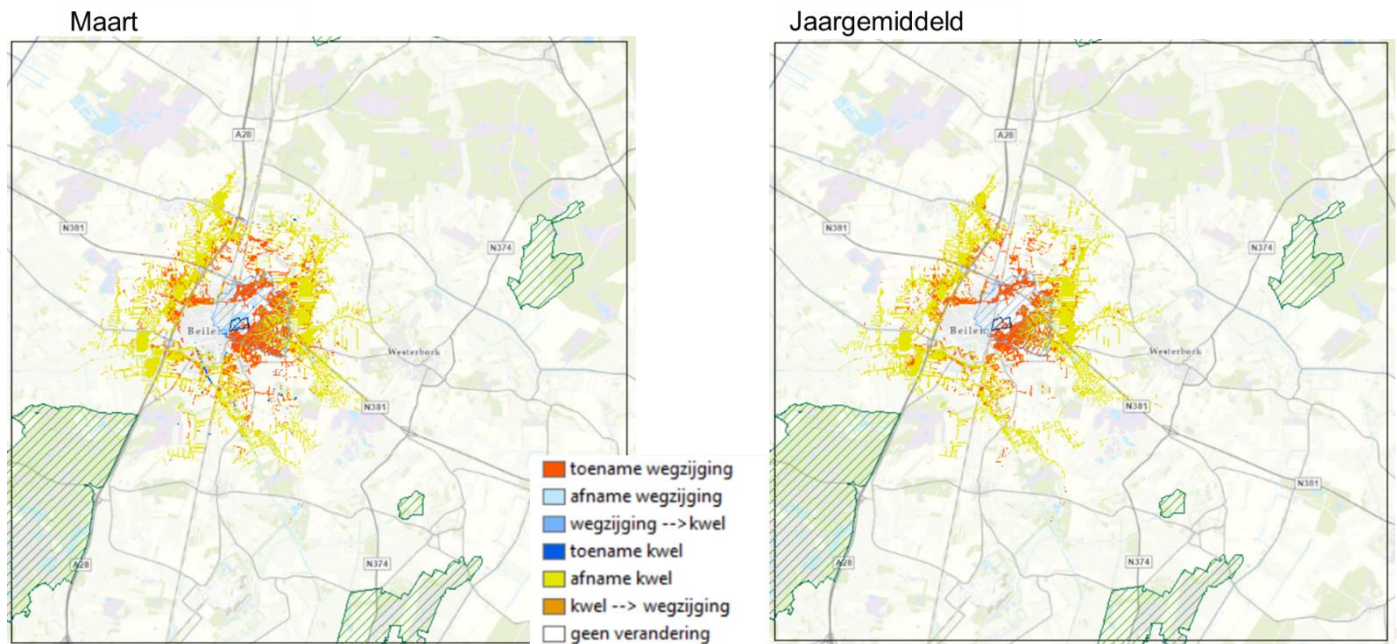
Figuur 5-4: Effect op kwel bij uitbreiding van 1 Mm³/jaar van vergunde situatie t.o.v. de vergunde situatie van 4 Mm³/jaar

5.1.3 Vergunde situatie met 3 Mm³ uitbreiding (A7)

In onderstaande figuren wordt het effect op GxG en kwel met een totale onttrekking van 7 Mm³ per jaar (uitbreiding van 3 Mm³ per jaar) weergegeven. Hierin is zichtbaar dat de verlagingcontour zich uitbreidt tot aan natuurgebied Nationaal Park Dwingelderveld in zowel de GHG- als GLG-situatie. Ook hier is een toename van wegzijging nabij de winning en een afname in kwel binnen de verlagingcontour zichtbaar.



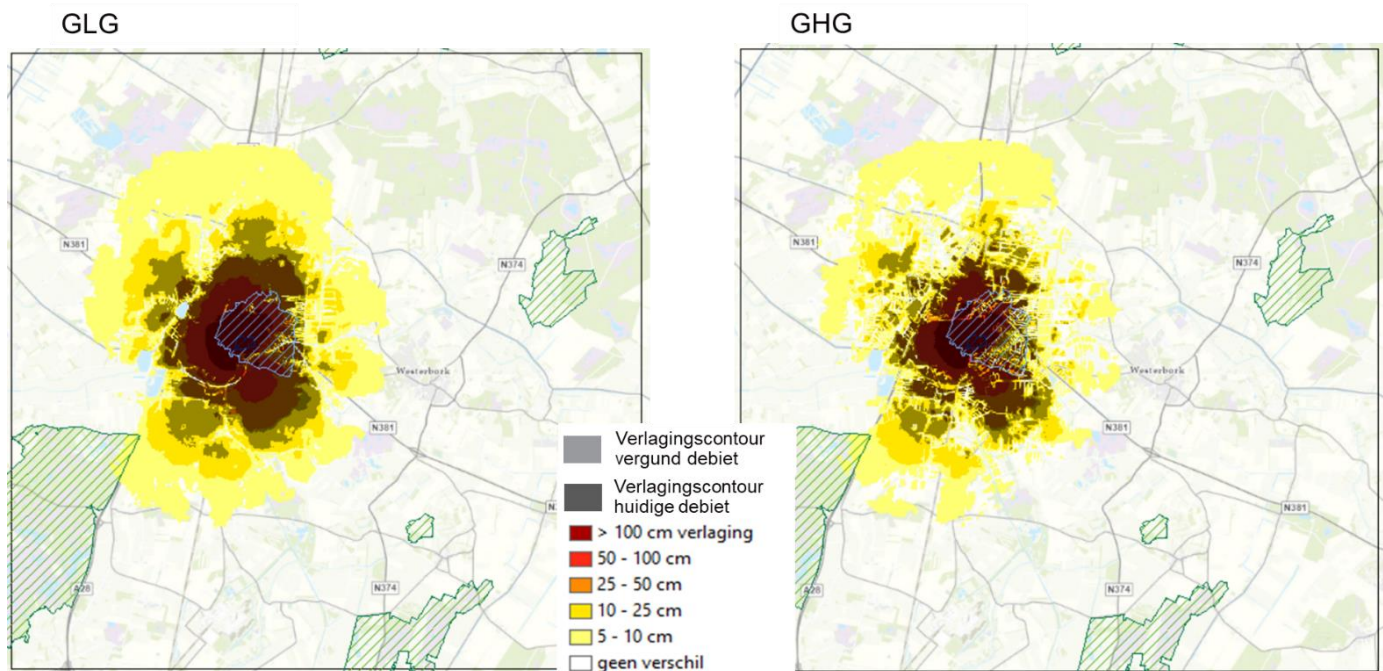
Figuur 5-5: Verlagsingscontour voor GLG- en GHG-situatie van vergund debiet van 4 Mm³ met uitbreiding van 3 Mm³ (A7) t.o.v. geen onttrekking.



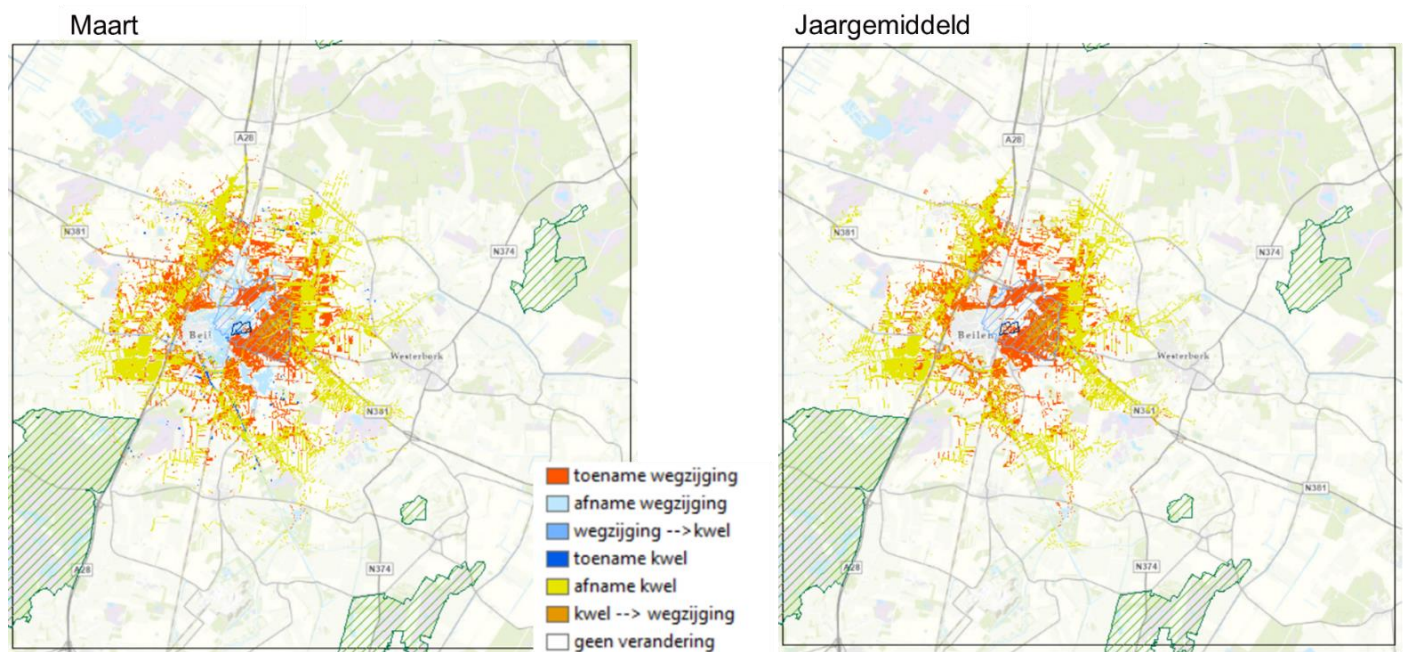
Figuur 5-6: Effect op kwel bij uitbreiding van 3 Mm³/jaar van vergunde situatie t.o.v. de vergunde situatie van 4 Mm³/jaar

5.1.4 Vergunde situatie met 6 Mm³ uitbreiding (A10)

In onderstaande figuren wordt het effect op GxG en kwel met een totale onttrekking van 10 Mm³ per jaar (uitbreiding van 6 Mm³ per jaar) weergegeven. Hierin is zichtbaar dat de verlagingcontour tot in het natuurgebied Nationaal Park Dwingelderveld komt in zowel de GHG- als GLG-situatie. Ook de kwelsituatie verandert in dit natuurgebied.



Figuur 5-7: Verlagingscontour voor GLG- en GHG-situatie van vergund debiet van 4 Mm³ met uitbreiding van 6 Mm³ (A10) t.o.v. geen onttrekking.



Figuur 5-8: Effect op kwel bij uitbreiding van 6 Mm3/jaar van vergunde situatie t.o.v. de vergunde situatie van 4 Mm3/jaar

Colofon

MODELLERING UITBREIDING WATERWINNING BEILEN
BIJLAGE C

KLANT

WMD Drinkwater B.V.

AUTEUR

[Redacted]

PROJECTNUMMER

30130097

ONZE REFERENTIE

D10045801:36

DATUM

18 juli 2023

STATUS

Definitief

GECONTROLEERD DOOR

VRIJGEGEVEN DOOR

[Redacted]

Senior specialist hydrologie

[Redacted]

Teamleider & Projectleider (Grond)water

Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende ontwerp- en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij helpen onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Wij zijn met 36.000 mensen actief die in ruim zeventig landen meer dan €4,2 miljard aan omzet genereren. Wij helpen UN-Habitat met onze mensen, die kennis en expertise leveren om de moeilijke leefomstandigheden te verbeteren in gebieden die lijden onder de gevolgen van klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland

T +31 (0)88 4261 261