

WATERSCHAP LIMBURG

# GEOHYDROLOGISCHE ANALYSE

## DIJKVERSTERKING ARCEN

30-03-2023



KRAGTEN  
SCHOOLSTRAAT 8, HERTEN

[BEDRIJF TELEFOONNUMMER]  
[wsp.com / kragten.nl](http://wsp.com/kragten.nl)

PROJECTNUMMER  
WSL065

DOCUMENTNUMMER  
DR65-2021Z36129-WSP\_30-03-2023-Geohydrologie-A02.01-systeemanalyse



## COLOFON

### RAPPORTHISTORIE

1	30-01-2023	Concept eerste versie
2	03-02-2023	Concept tweede versie
3	28-02-2023	Concept derde versie na opmerkingen Waterschap Limburg
4	14-03-2023	Definitieve versie
5	30-03-2023	Tweede definitieve versie

### VERANTWOORDING

### CONTACTGEGEVENS

088-3366210  
 rri@kragten.nl

## AUTORISATIE

PROJECTNUMMER	DOCUMENTNUMMER	VERSIE	STATUS
WSL065	DR65-2021Z36129-WSP_30-03-2023-Geohydrologie-A02.01-systeemanalyse	2	Definitief

OPGESTELD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
RRI	Geohydroloog	30-03-2023	
NSV	Geohydroloog	30-03-2023	B.A.

GEVERIFIEERD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
NSV	Geohydroloog	30-03-2023	B.A.

GOEDGEKEURD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
MLI	Technisch manager	30-03-2023	

## PRODUCTIETEAM

### WSP/KRAGTEN

Geohydroloog	RRI
Geohydroloog	NSV
Technisch Manager	MLI

# INHOUDS- OPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
1.1	Planproces dijkversterking en -verlegging	5
1.2	Aanpak	7
1.3	Deelproject Arcen	7
1.1	Doel en positionering document	8
1.2	Leeswijzer	9
<b>2</b>	<b>GEOHYDROLOGISCH SYSTEEM</b>	<b>10</b>
2.1	Ligging projectlocatie	10
2.2	Maaiveldniveau	10
2.3	Bodemopbouw	11
2.4	Grondwaterstanden	13
2.4.1	Historische (regionale) grondwaterstanden	13
2.4.2	Dinoloket grondwaterstanden	14
2.4.3	Lokale peilbuizen	15
2.5	Functioneren grondwatersysteem Arcen	16
<b>3</b>	<b>UITGANGSPUNTEN GRONDWATERMODEL</b>	<b>18</b>
3.1	Gebruikt grondwatermodel	18
3.2	Modelbegrenzing in de x- en y-richting	18
3.3	Modelbegrenzing in de diepte	19
3.4	Oppervlaktewateren in IBRAHYM en SOBEK	20
3.5	Maas	22
3.6	Onttrekkingen	23
3.7	Toetsing berekende grondwaterstanden	24
<b>4</b>	<b>GEVOELIGHEIDSANALYSE</b>	<b>28</b>
4.1	Stappenplan	28
4.2	Initiële stationaire modelrun	28
4.3	Gevoeligheid horizontale doorlatendheid	30
4.3.1	Verhoging KHV met factor 2	30
4.3.2	KHV delen door 2	31
4.4	Gevoeligheid verticale doorlatendheid	33
4.4.1	Verhoging KVV met factor 10 (verlaging weerstand)	33
4.4.2	KVV delen door 5 (verhoging weerstand)	34
4.5	Gevoeligheid doorlaatvermogen rivieren	36
4.5.1	Verhoging doorlaatvermogen met factor 5	36
4.5.2	Doorlaatvermogen delen door 5	38
4.6	Conclusie gevoeligheidsanalyse en voorstel voor kalibratie	39

<b>5</b>	<b>KALIBRATIE</b>	<b>41</b>
5.1	Stationaire kalibratie	41
5.1.1	Pest1 – Pest4: Kalibratie met KHV	42
5.1.2	Aanpassing van het stationair model (v.2)	43
5.1.3	Pest5 en pest6	45
5.1.4	Aanpassing kalibratie methode - Scaling methodiek	46
5.1.5	Pest6a – pest10a	46
5.1.6	Aanpassing van het stationair model (v.3)	47
5.1.7	Pest11 – pest14	49
5.1.8	Pest15	50
5.2	Conclusie stationaire kalibratie	52
5.3	Initiele instationaire modelrun	52
5.3.1	GHG resultaten	53
5.3.2	GLG resultaten	54
5.3.3	Dynamiek residu resultaten	55
5.3.4	Tijdreeksen	56
5.4	Kalibratie instationair model (Model_25_IBv21_V2)	59
5.4.1	GHG resultaten	60
5.4.2	GLG resultaten	61
5.4.3	Dynamiek residu resultaten	62
5.4.4	Tijdreeksen	63
<b>6</b>	<b>HUIDIGE SITUATIE</b>	<b>66</b>
6.1	Uitgangspunten	66
6.2	Stationair model	67
6.3	Instationair model	67
6.4	Conclusie	67

## OVERZICHT BIJLAGE(N)

### Bijlage A

— Model met damwanden

# 1 INLEIDING

---

## 1.1 PLANPROCES DIJKVERSTERKING EN -VERLEGGING

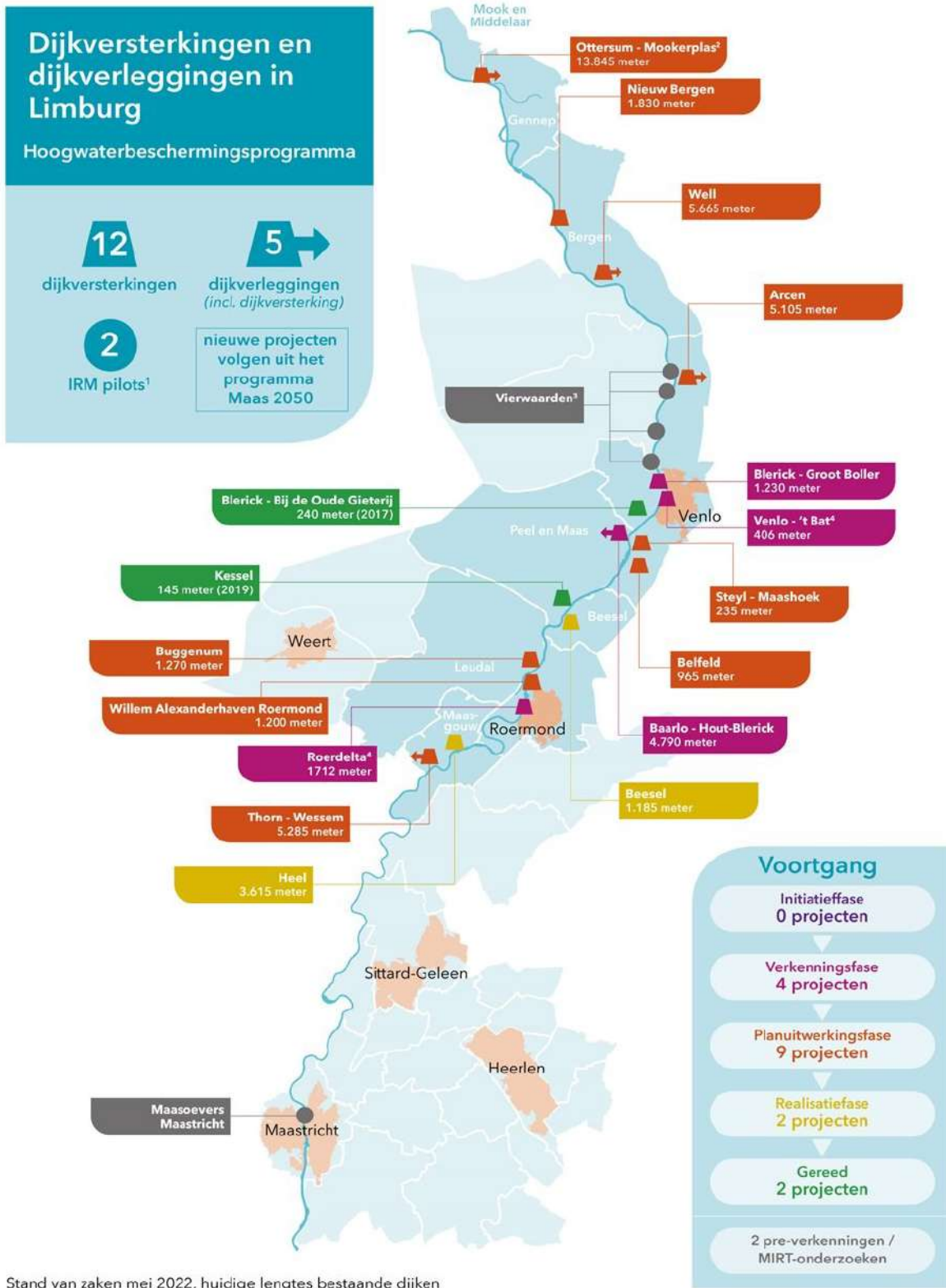
Om te borgen dat Nederland nu en in de toekomst beschermd is tegen overstromingen, is wettelijk vastgelegd dat primaire waterkeringen periodiek worden gecontroleerd. Primaire waterkeringen die niet op orde zijn, worden versterkt. Afspraken over welke primaire waterkeringen wanneer aangepakt worden, leggen het Rijk en de waterschappen gezamenlijk vast in het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Het HWBP wordt jaarlijks geactualiseerd en steeds voor een periode van zes jaar opgesteld, met een doorkijk naar twaalf jaar. Het doel van het huidige programma is het op orde krijgen van de primaire waterkeringen die in de afgelopen en lopende toets-/beoordelingsronde zijn afgekeurd.

Waterschap Limburg (WL) is verantwoordelijk voor de hoogwaterbescherming in het door haar beheerde gebied. Ze werkt daarbij nauw samen met partners als het Rijk, Provincie Limburg, betrokken gemeenten en naastgelegen waterschappen. Na de hoge rivierwaterstanden in 1993 en 1995 zijn in het beheergebied van WL in snel tempo Maaskades aangelegd die als nooddijk fungeerden met een overstromingskans van circa 1/50<sup>e</sup> per jaar. Deze Maaskades zouden deels een tijdelijke functie hebben en vooruitlopend op rivierverruiming hoogwaterbescherming bieden tegen de hoge rivierwaterstanden zoals deze in 1993 en 1995 optraden.

Op 1 januari 2017 is de Waterwet gewijzigd. Er zijn nieuwe wettelijke normen voor hoogwaterveiligheid in werking getreden. Voor ieder dijktraject bestaan de wettelijke normen uit twee delen, beide uitgewerkt in een overstromingskans per jaar. Ten eerste de signaleringswaarde, de overstromingskans per jaar die de beheerder het sein geeft dat de waterkering op termijn versterkt moet worden. Daarnaast de ondergrens, de overstromingskans per jaar waarop het dijktraject gedurende de gehele levensduur ten minste berekend moet zijn. Voor dijktraject Arcen betreft dit een signaleringswaarde van 1/300<sup>e</sup> per jaar en een ondergrens van 1/100<sup>e</sup> per jaar. Na dijkverbetering dient de waterkering gedurende de gehele levensduur in ieder geval veiliger te zijn dan de ondergrenswaarde.

Op basis van de nieuwe normen voor hoogwaterbescherming in de Waterwet zijn veel dijken in het beheergebied van Waterschap Limburg afgekeurd op hoogte en sterkte. In 2016 heeft het Waterschap een dijkverbeteringsprogramma opgestart om diverse dijktrajecten in de Noordelijke Maasvallei te verhogen en te versterken. Deze dijkverbeteringen zijn opgenomen in het landelijke Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Waterschap Limburg, Rijkswaterstaat, provincie Limburg, ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, gemeente Beesel, gemeente Bergen, gemeente Leudal, gemeente Maasgouw, gemeente Peel en Maas, gemeente Roermond en gemeente Venlo hebben samen de Stuurgroep HWBP Noordelijke Maasvallei opgezet. Deze Stuurgroep adviseert de bevoegde bestuursorganen met betrekking tot de te nemen besluiten. De doelstelling van het dijkversterkingsprogramma is primair: het verbeteren van de waterveiligheid in de Maasvallei (versterkingsopgave). De secundaire doelstelling is het versterken van gebiedskwaliteiten (opgave ruimtelijke kwaliteit). Deze doelstellingen zijn van alle betrokken partners binnen de Stuurgroep HWBP Noordelijke Maasvallei. Deze opgaven zijn in paragraaf 1.3 nader toegelicht.





Figuur 1-1: Locaties van dijkversterkingen van Waterschap Limburg in het Hoogwaterbeschermingsprogramma.

## 1.2 AANPAK

Het HWBP werkt aan de hand van een systematiek die ontleend is aan de werkwijze uit het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT). Dit betekent dat de volgende fasen doorlopen worden: de voorverkenning, de verkenning, de planuitwerking en de realisatie. Momenteel bevindt het project dijkverbetering Arcen zich aan het einde van de planuitwerking.



Figuur 1-2: De planfasen van de HWBP dijkversterkingen.

In de planuitwerkingsfase worden het voorkeursalternatief en eventuele restpunten verder geoptimaliseerd, uitgewerkt en gedetailleerd. Het uiteindelijke ruimtebeslag (hoogte en breedte) kan afwijken van het vastgestelde voorkeursalternatief.

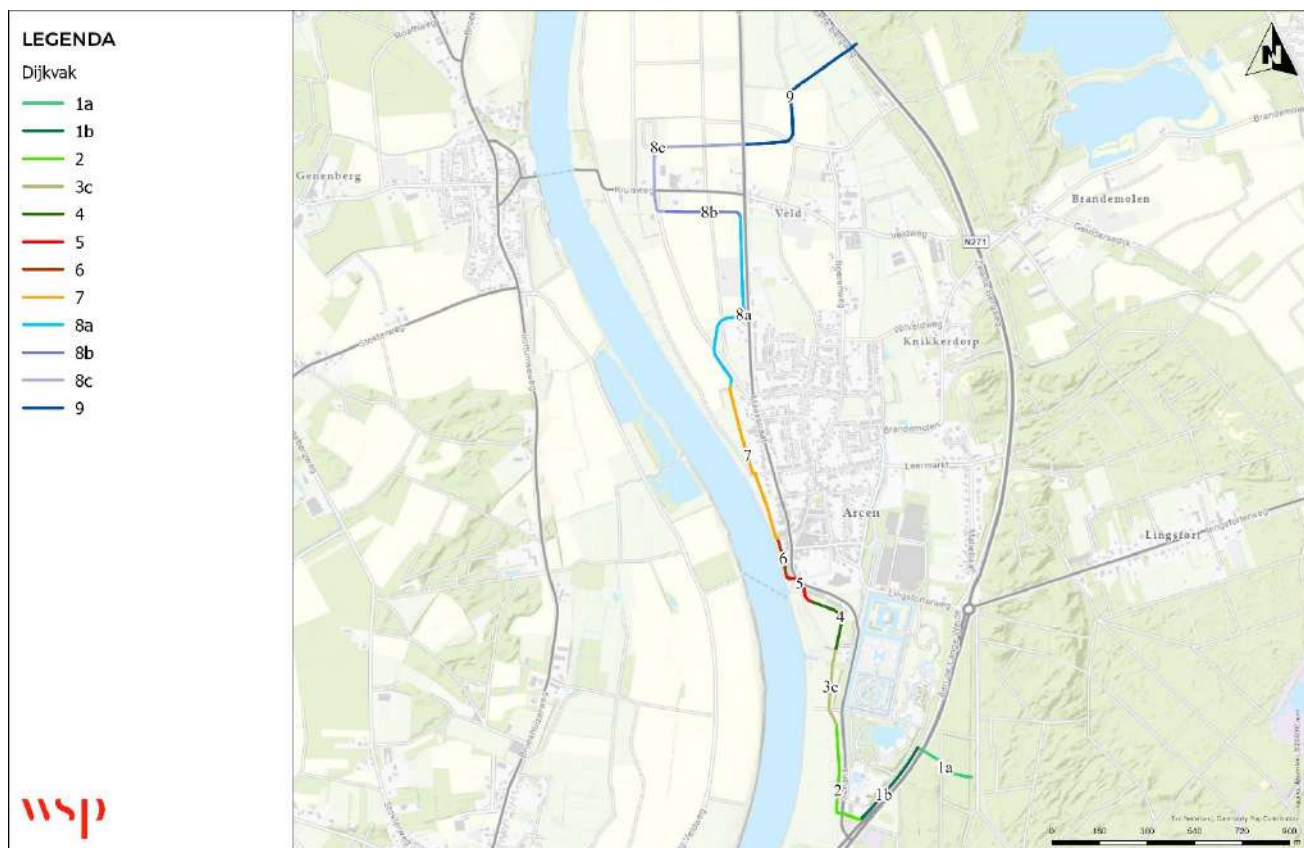
## 1.3 DEELPROJECT ARCEN

Het project Arcen geeft invulling aan de doelstellingen vanuit verschillende programma's. Allereerst maakt het onderdeel uit van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP Noordelijke Maasvallei), zoals beschreven in paragraaf 1.1. Het project heeft daarnaast een extra opgave meegekregen: de systeemopgave. Met deze systeemopgave wordt beoogd om zoveel mogelijk rivierbed te behouden en de stijging van de waterstand te voorkomen. In de verkenningfase zijn verschillende tracés voor de primaire waterkering onderzocht en vergeleken. Dit heeft geleid tot een bestuurlijk vastgesteld tracé voor nieuwe primaire waterkering (zie Figuur 1-3). De bestaande waterkering wordt geheel vervangen en, met name in het noordelijke deel, dichter tegen de bebouwde kom van Arcen aangelegd. In Arcen Midden wordt de waterkering uitgevoerd als een glazen wand óf als een zelfsluitende kering. In Arcen Noord en Arcen Zuid wordt een 'groene' kering aangelegd van grond die aansluit op de hoge gronden aan de rand van het Maasdal. Op een aantal plaatsen worden coupures aangelegd die bij hoogwater worden gesloten. Op maatwerklocaties en langs de kasteeltuin wordt geen groene kering aangelegd maar een verticale constructie (keermuur). In de planuitwerking wordt dit tracé nader uitgewerkt en geoptimaliseerd tot een referentieontwerp voor de waterkering dat de basis is voor de juridische procedures en de realisatiefase. Ten derde wordt met het project Arcen ook invulling gegeven aan de Kaderrichtlijn water (KRW). Naast het aanleggen en versterken van de primaire waterkering omvat het project ook het beekherstel van de Lingsforterbeek inclusief een vispassage bij de Wymarsche watermolen.

Tot slot is er nog sprake van verschillende meekoppelkansen die bijdragen aan de doelstelling voor het verbeteren van de ruimtelijke kwaliteit van het gebied. In de planuitwerkingsfase worden diverse wensen vanuit de omgeving meegenomen in het referentieontwerp:

- Dubbelzijdig fietspad vanaf zuidelijke molenvijver direct aan de nieuwe dijk gelegen bij de Schans tot de provinciale weg;
- Het verplaatsen van de bebouwde kom bij de Schans gecombineerd met een 30km-plateau en fietsoversteekplaats;
- Het parkeerterrein tegenover MFA uitbreiden met 7 parkeerplaatsen;
- Het herinrichten van het Schanstorenplein, inclusief terugbrengen oude gracht en suggestie van een brug in combinatie met de nieuwe te plaatsen kering met diverse wandelroutes;
- Het herinrichten/verbeteren van de Burgemeester Linderspromenade inclusief de nieuwe kering (landschappelijk en cultuurhistorisch passend);

- Het duiden op verschillende plekken van de landschappelijk cultuurhistorische waarde van het gebied gecombineerd met de dijkversterking-, of verlegging;
- Realiseren van een passantenhaven ter plaatse van de Schans (optioneel).



Figuur 1-3: Ligging van de dijkvakken voor het tracé bij Arcen.

## 1.1 DOEL EN POSITIONERING DOCUMENT

Als gevolg van dit dijkversterkingsproject moet ook gekeken worden naar de effecten ervan op het geohydrologisch systeem. Verwacht wordt dat door het aanbrengen of aanpassen van een waterkering en in het bijzonder het aanbrengen van piping-maatregelen de afstroming van grond- en oppervlaktewater wijzigt. Dit kan zeker zijn uitwerking hebben op de grondwaterstroming vanaf de hoge gronden naar het Maasdal. Om de gevolgen van een dergelijke wijziging te onderkennen en passende beheersmaatregelen te treffen is een uitgebreid onderzoek nodig naar de huidige grondwaterstroming. Ook de aanpassingen in de loop van waterlossingen, bijvoorbeeld het aanbrengen van een duiker, kunnen van invloed zijn op de grondwaterstroming.

Zicht op de huidige (grond-)waterstanden, kennis van de bestaande (grond-)watersystemen en zicht op de ingreep in deze systemen is van belang om, indien nodig, mitigerende maatregelen te kunnen nemen. Bestaande waarnemingen en meldingen worden meegenomen om het systeem te kunnen begrijpen. In Arcen zijn er klachten over grondwaterstanden (te hoog) en dit element zal vanuit de omgeving veel aandacht krijgen. Verhoging van grondwaterstanden mag met de dijkversterking/verlegging niet toenemen. Daarom zijn sinds 2017 al peilbuizen geplaatst, die worden gemonitord. Bestaande knelpunten zullen niet als onderdeel van de dijkversterking worden opgepakt. Daarnaast ontstaat, door het leggen van waterkeringen op nieuwe tracés, dwars door een glooiend winterbed van de rivier, het risico dat de waterhuishouding (oppervlaktewater) binnen gebieden wijzigt. Voor de afwatering van percelen en de ontwatering van de bodem zal een ontwerp moeten worden gemaakt. Tevens kunnen in het terrein drainagesystemen aanwezig zijn die verwijderd dan wel aangepast moeten worden.



Dit rapport beschrijft het geohydrologisch systeem en de uitgangspunten voor de huidige situatie, welke voor de effectbepaling als uitgangssituatie genomen wordt. Verder is het van belang om inzicht te hebben in het functioneren van het grondwatermodel. Dit wordt door middel van een gevoeligheidsanalyse en kalibratie inzichtelijk gemaakt. Eindpunt van dit rapport is inzicht in het huidige systeem en een gekalibreerd grondwatermodel van de huidige situatie.

---

## 1.2 LEESWIJZER

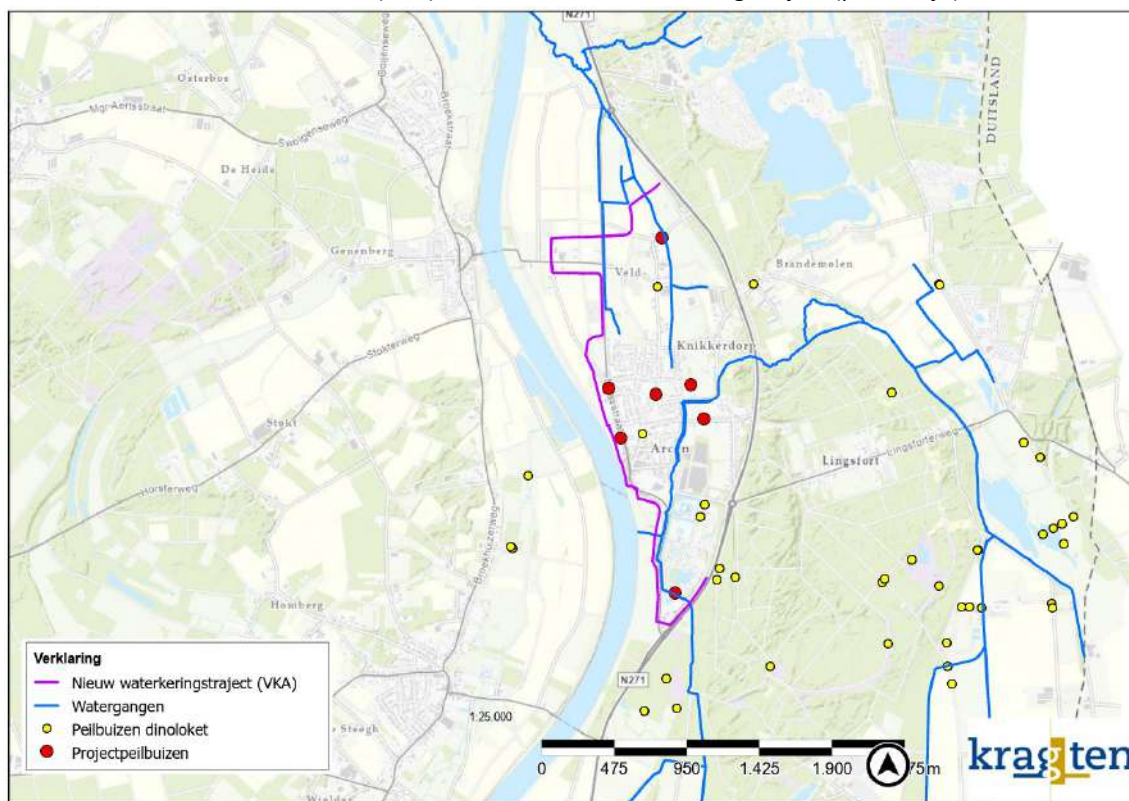
Onderhavig rapport beschrijft het geohydrologisch systeem en de uitgangspunten welke voor de effectbepaling relevant zijn (hoofdstukken 2 en 3). De werkzaamheden om te komen tot een gevalideerd en gekalibreerd IBRAHYM-model zijn ook in dit rapport opgenomen, in de hoofdstukken 4 en 5. De daadwerkelijke effectbepaling van de voor grondwater relevante maatregelen worden in een separaat rapport beschreven, een integrale effectrapportage met de effecten ten aanzien van oppervlaktewater, stedelijk water en grondwater als gevolg van het ontwerp. Hierin worden ook als eventuele maatregelen ter mitigatie van ongewenste effecten opgenomen.

## 2 GEOHYDROLOGISCH SYSTEEM

### 2.1 LIGGING PROJECTLOCATIE

De projectlocatie is gelegen om en nabij Arcen, in Noord-Limburg. Op Figuur 2-1 is de ligging weergegeven. Op de kaart zijn een aantal aspecten te zien:

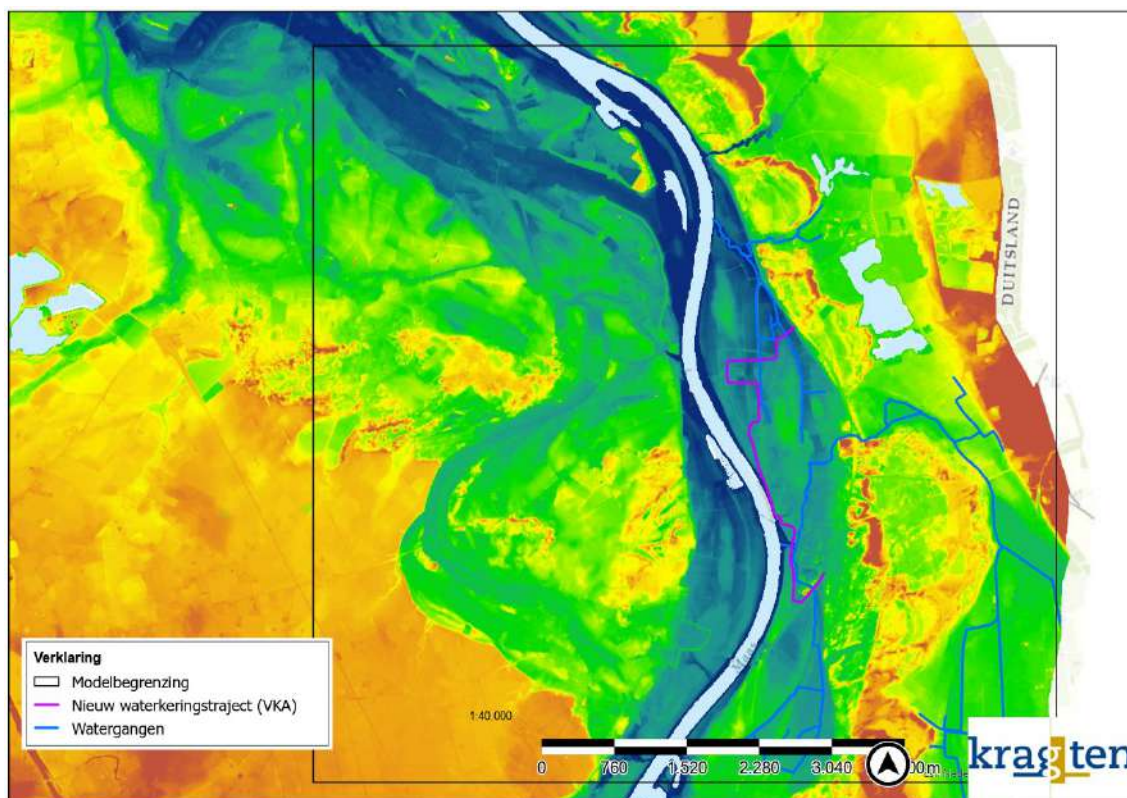
- De ligging van het dorp Arcen, aan de oostkant van de Maas.
- De ligging van de oppervlaktewateren (watergangen, blauwe lijnen) in beheer van Waterschap Limburg. Voor een uitvoerige beschrijving van het oppervlaktewatersysteem wordt verwezen naar het Waterhuishoudingsplan (Waterhuishouding-A01.01-Dijkversterking Arcen, 18-10-22) dat WSP/Kragten in het kader van dit project heeft opgesteld.
- De ligging van peilbuizen die de grondwaterstand meten (gele en rode stippen). Deze worden verderop in de rapportage nader toegelicht.
- Het Voorkeursalternatief (VKA) van het nieuwe waterkeringstraject (paarse lijn).



Figuur 2-1: Ligging projectlocatie

### 2.2 MAAVELDNIVEAU

Met behulp van het AHN4 zijn de maaiveldniveaus in de omgeving in beeld gebracht (Figuur 2-2). Het Maasdal (donderblauw) ligt het laagst. Goed zichtbaar zijn oude maasarmen en stroomgebieden aan weerszijden van de Maas (donkergroene en blauwe kleuren). Ten oosten van Arcen loopt het maaiveld snel op (lichtgroen, geel en oranje). Goed zichtbaar is ook de steilrand tegen de Duitse grens aan (oranje en donkerrood).



Figuur 2-2: Maaiveldniveaus van het projectgebied (AHN4)

## 2.3 BODEMOPBOUW

Met behulp van het geohydrologische model REGIS II v2.2 is een doorsnede gemaakt van de ondergrond van het projectgebied (Figuur 2-3). Hieruit is het volgende af te leiden:

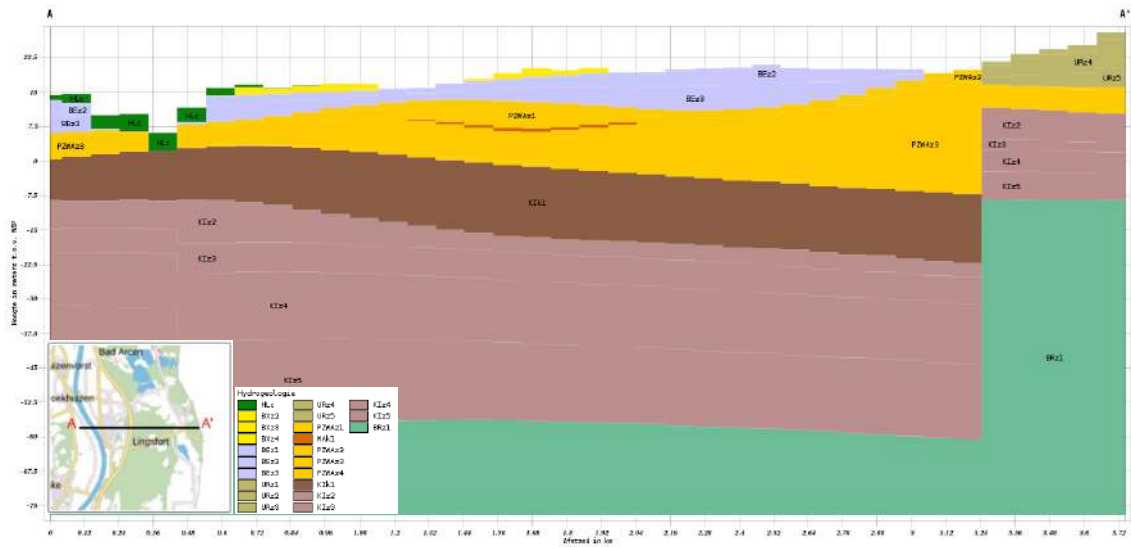
- De afzettingen in het Maasdal bestaat uit de Holocene afzettingen en de Formaties van Beegden (matig tot uiterst grof, grindhoudend zand), en Peize-Waalre (matig tot uiterst grof zand). Deze vormen het freatische pakket.
- Lokaal kunnen kleiige afzettingen van de Formatie van Peize-Waalre aanwezig zijn.
- Het freatische pakket wordt aan de onderzijde begrensd door de kleilaag van de Kiezeloöliet-Formatie, ook wel Venloklei genoemd. Dit is een stijve, bruinrijze tot bruine, plaatselijk licht- of groengrijze klei met een minimale dikte van 7,5 m in het projectgebied.
- Het eerste watervoerende pakket wordt gevormd door de zandige afzettingen van de Kiezeloöliet-Formatie (matig fijn tot uiterst grof zand).
- Daaronder bevindt zich de Formatie van Breda, bestaande uit zeer tot matig fijn zand.

In de afbeelding is ook te zien dat ten oosten van Arcen, ter hoogte van de Dorperheideweg, zich een breuk in de ondergrond bevindt (zie ook Figuur 2-4). Deze breuk hangt samen met de ligging van het projectgebied in de Venloschol.

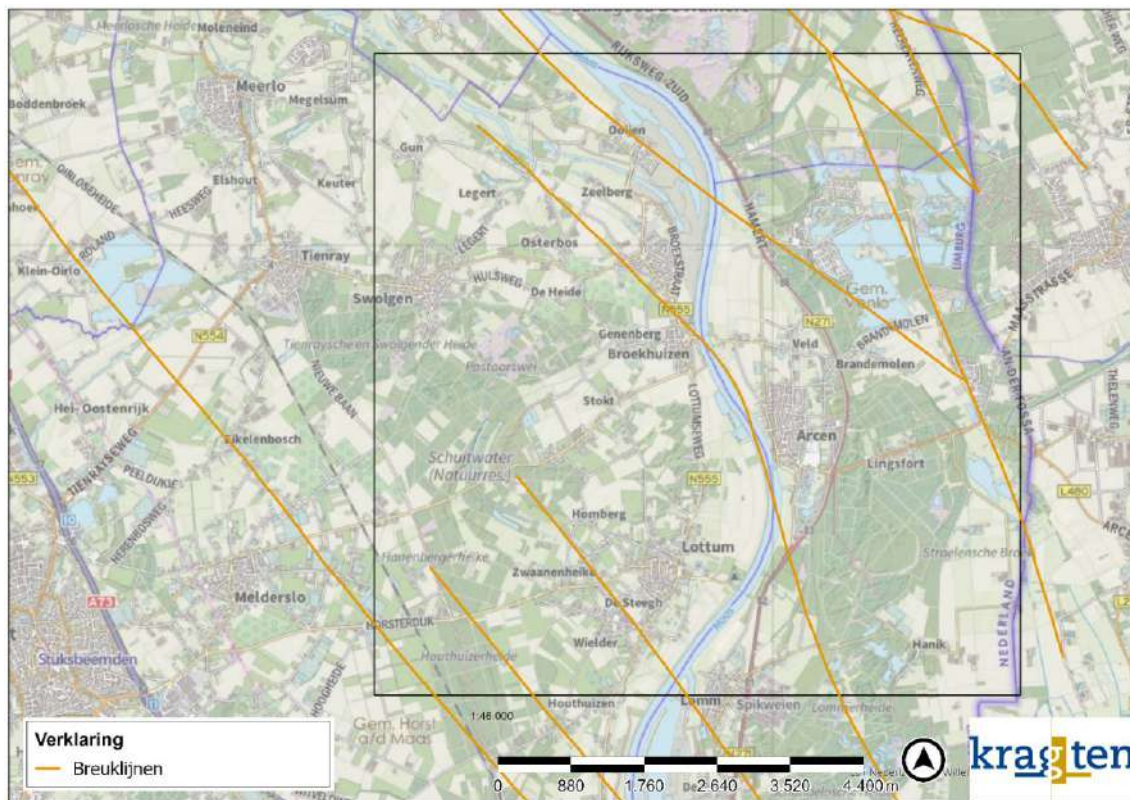
De Venloschol is aangemerkt als boringsvrije zone. Dit houdt in dat boringen dieper dan 5 meter boven NAP verboden zijn tenzij men een ontheffing heeft. De watervoerende pakketten onder de kleilaag zijn namelijk van belang voor de onttrekking van grondwater voor de productie van drinkwater. Door middel van dit verbod wordt het diepe grondwater beschermd tegen verontreinigingen van bovenaf. Dit is relevant voor de toekomstige maatregelen in de ondergrond.



Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2



Figuur 2-3: Geohydrologische doorsnede (REGIS II v2.2)



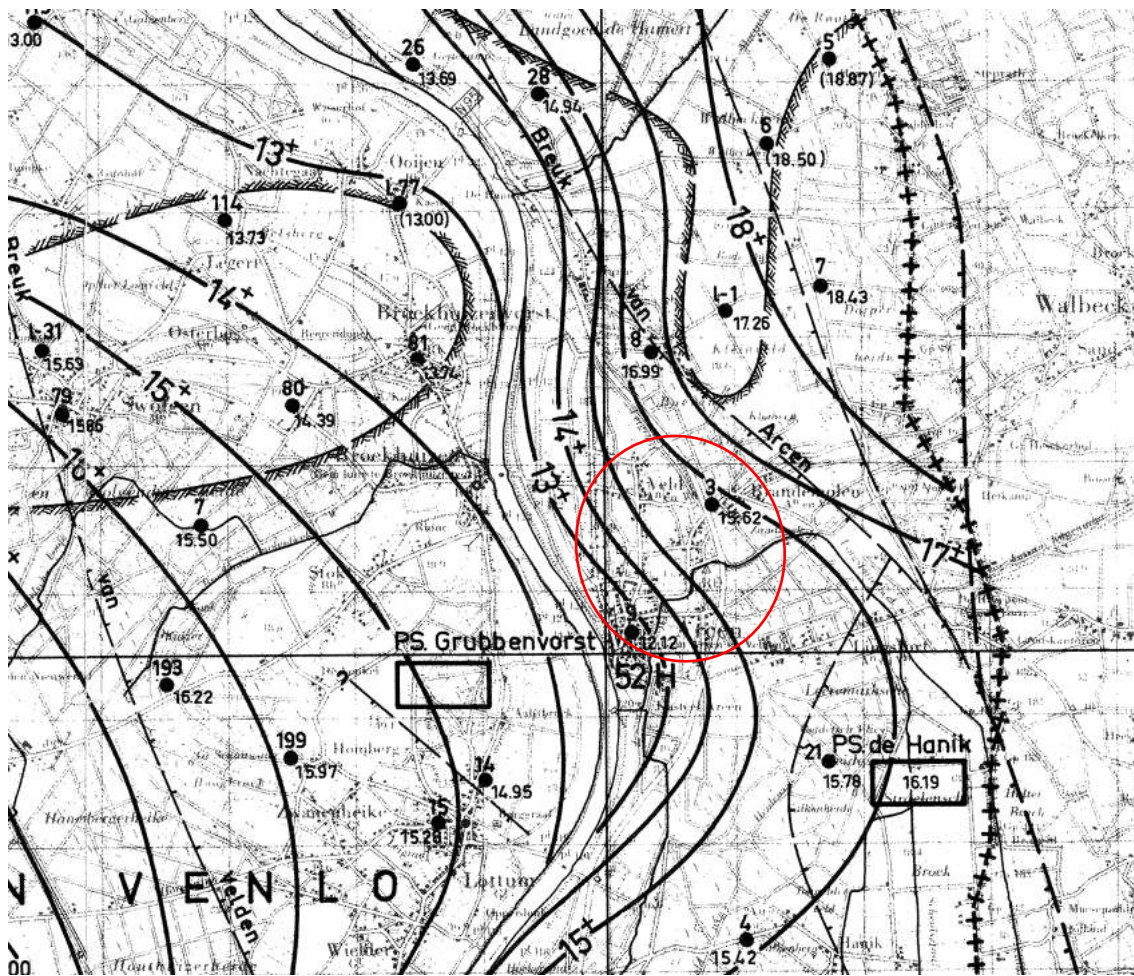
Figuur 2-4: Breuklijnen in projectgebied



## 2.4 GRONDWATERSTANDEN

### 2.4.1 HISTORISCHE (REGIONALE) GRONDWATERSTANDEN

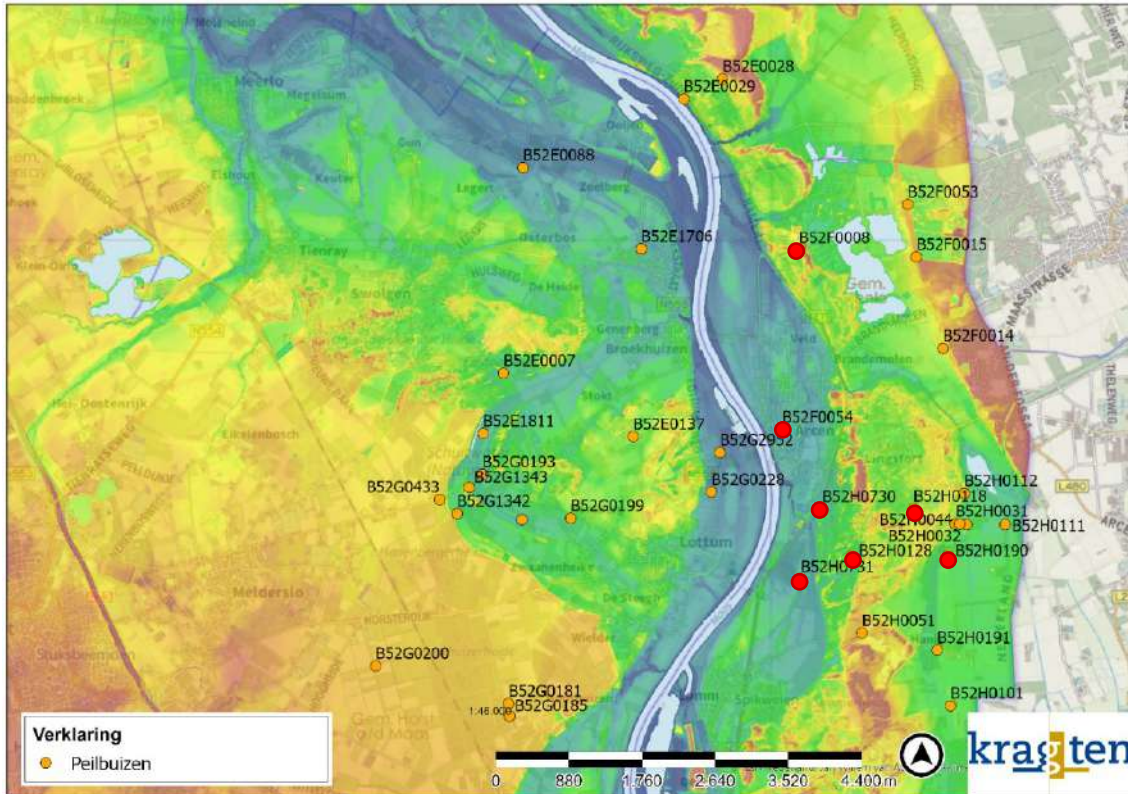
Uit de grondwaterisohypsen die zijn getekend ten tijden van het opstellen van de Grondwaterkaart van Nederland valt op te maken dat de grondwaterstroming ter plekke van het projectgebied zuidwestelijk is gericht, richting de Maas (Figuur 2-5).



Figuur 2-5: Grondwaterkaart van Nederland met in de rode cirkel de globale locatie van het projectgebied (TNO, 1978).

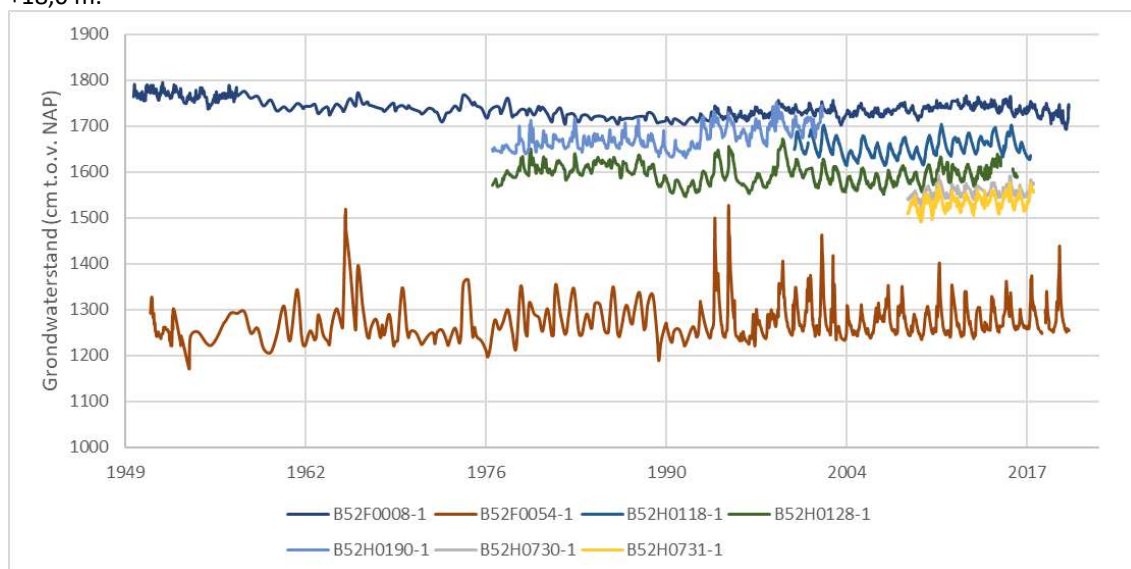
## 2.4.2 DINOLOKET GRONDWATERSTANDEN

Met behulp van Dinoloket is nagegaan waar zich in de omgeving peilbuizen bevinden. Hierbij kwam naar voren dat er rondom het nieuwe waterkeringstraject bij Arcen 46 peilbuizen liggen (Figuur 2-6).



Figuur 2-6: Locaties van de Dinoloket peilbuizen met hoogtekaart, met peilbuizen in het rood waarvan grondwaterstanden getoond worden

De gemeten grondwaterstanden van de meest relevante peilbuizen (rode peilbuizen aan de oostzijde van de Maas met alleen de freatische filters) zijn weergegeven in Figuur 2-7. De grondwaterstanden variëren tussen NAP +12,0 m en NAP +18,0 m.

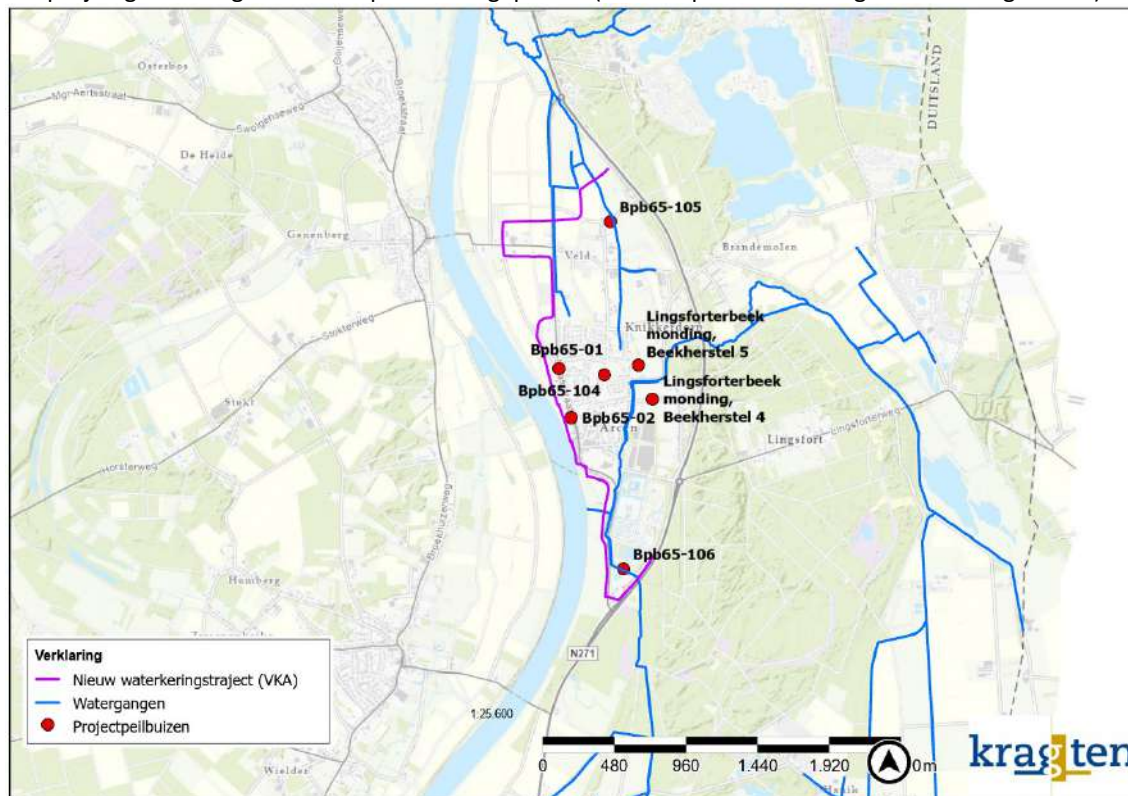


Figuur 2-7: Grondwaterstanden van de meest relevante peilbuizen aan de oostzijde van de Maas



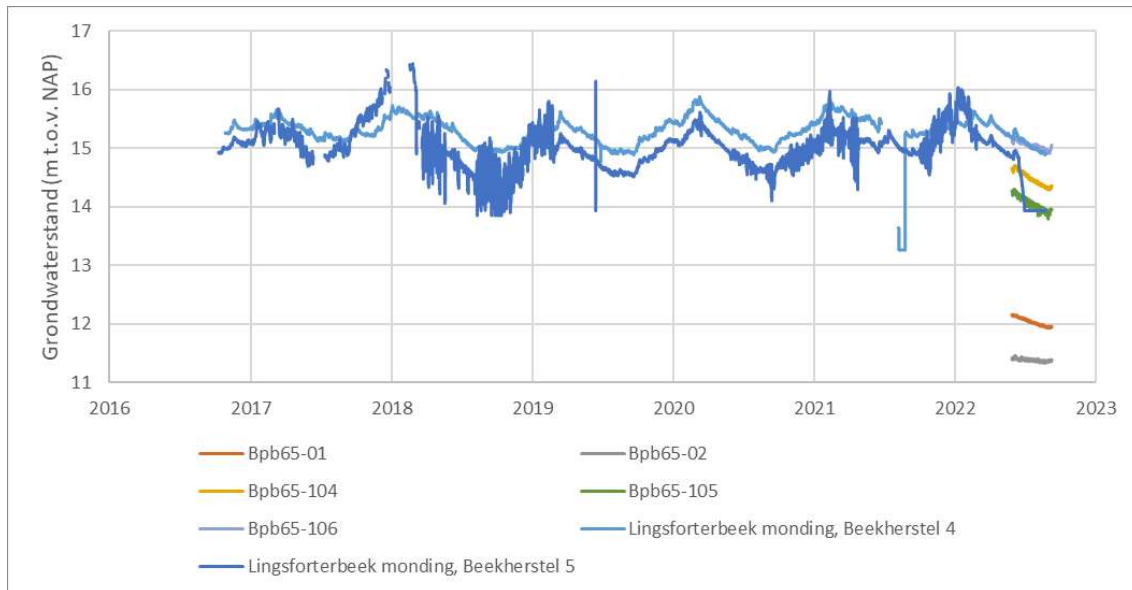
### 2.4.3 LOKALE PEILBUIZEN

Omdat er binnen het projectgebied weinig peilbuizen liggen (enkel B52F0054 en B52H0730), zijn er recentelijk binnen het projectgebied nog een aantal peilbuizen geplaatst (de rode peilbuizen in Figuur 2-1 en Figuur 2-8).



Figuur 2-8: Ligging lokale peilbuizen

De 2 peilbuizen Bpb65-01 en Bpb65-02 zijn tussen 2017 en 2021 bemeten, maar ze stonden voornamelijk droog en zijn daarom vervallen. In 2022 zijn vervolgens 5 nieuwe peilbuizen geplaatst; Bpb65-01 en Bpb65-02 op dezelfde locatie als de vorige peilbuizen met deze naam, en Bpb65-104, Bpb65-105 en Bpb65-106. De peilbuizen bij de Lingsforterbeek monding hebben een langere reeks van meetdata. De waterstanden zijn zichtbaar in Figuur 2-9. De waterstanden van de langere reeksen liggen allen in het bereik van de gemeten grondwaterstanden van peilbuizen (Figuur 2-7). De gemeten waterstanden in 2022 van de Bpb65 peilbuizen zijn te kort om te vergelijken en deze worden dan ook niet meegenomen in het grondwatermodel.

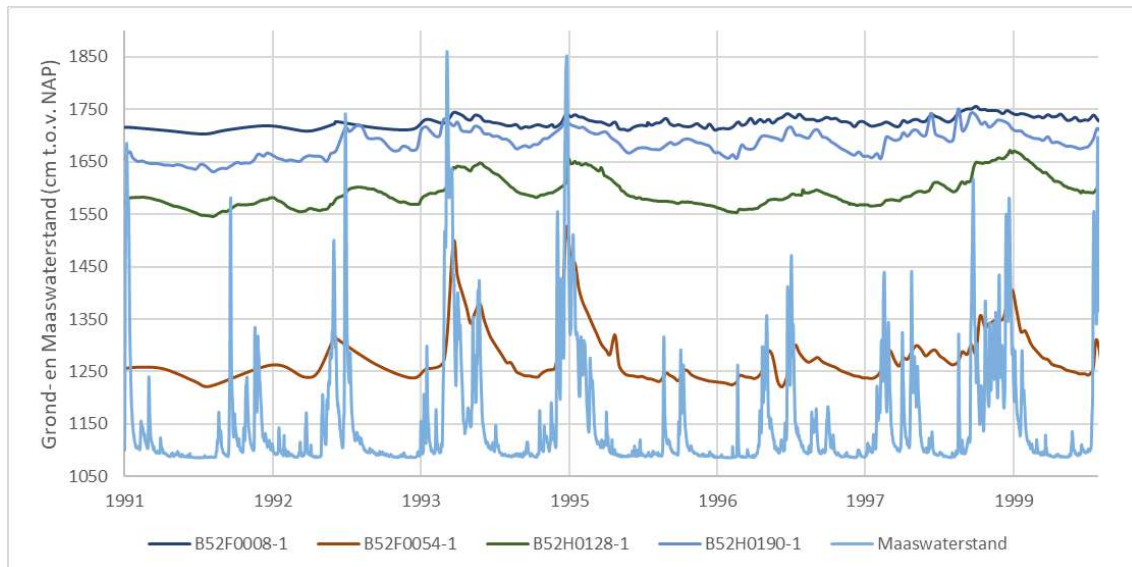


Figuur 2-9: Grondwaterstanden van een aantal lokale peilbuizen 2016 – 2022

## 2.5 FUNCTIONEREN GRONDWATERSYSTEEM ARCEN

Op basis van bovenstaande paragrafen die iets zeggen over de ligging van Arcen, het maaiveldniveau, de bodemopbouw en het grondwater kan vervolgens het functioneren van het gehele grondwatersysteem beschreven worden. Het freatische pakket wordt aan de onderzijde begrensd door de kleilaag van de Kiezeloöliet-Formatie, ook wel Venloklei genoemd, en deze is net ten westen van de Maas circa 15 m – 20 m dik en wordt verder richting het westen circa 30 m dik. Het grondwater stroomt van de hoge Maasterrassen in het oosten naar het Maasdal, waar Arcen ligt. De grondwaterstand ligt over het algemeen meer dan 2 m beneden maaiveld. Hoe dichterbij de Maas ligt, hoe groter de interactie met de Maaswaterstand is. Zo zijn bijvoorbeeld de hoogwaterpieken van 1993 en 1995 in Figuur 2-10 bij peilbuis B52F0054 in het centrum van Arcen duidelijk zichtbaar. Tijdens een hoogwaterperiode kan de grondwaterstand in Arcen centrum stijgen, als gevolg van de hoge rivierwaterstanden. Doordat het grondwater gedurende deze periode niet weg kan stromen richting de Maas, kan binnendijks opstuwing en lokaal kwel ontstaan. Op het moment dat de waterstand in de Maas weer daalt, zal ook de grondwaterstand weer snel dalen. Concluderend stijgt en daalt het grondwater ter plaatse van Arcen met het Maaspeil mee en er is geen sprake van een langdurig effect. Tijdens een hoogwaterperiode kan er, op basis van bovenstaande gegevens grondwateroverlast ontstaan. De lager gelegen gebieden in Arcen zullen hier meer gevoelig voor zijn.





Figuur 2-10: Grondwaterstanden van een aantal lokale peilbuizen en Maaswaterstanden, met een focus op de hoogwaterperiode 1993 en 1995

## 3 UITGANGSPUNTEN GRONDWATERMODEL

### 3.1 GEBRUIKT GRONDWATERMODEL

Voor de modellering van geohydrologische effecten wordt gebruikt gemaakt van het regionale grondwatermodel IBRAHYM (versie IBv2.1\_N, aanpassingen en kalibratie stationair model Noord- en Midden-Limburg, d.d. 05-03-2018). Het model is ontstaan uit een samenwerking tussen Waterschap Limburg, WML en de Provincie Limburg. Via een server die door Deltares wordt beheerd kunnen met het model grondwaterberekeningen worden uitgevoerd. De rekenperiode van het huidige tijdsafhankelijke en stationaire model is van 1994 tot en met 2011. In dit project zijn we uitgegaan van de rekenperiode van dit model en is het model niet verlengd. Verder is de gebruikte rekenresolutie voor het tijdsafhankelijke model 25x25 m en de rekenresolutie voor het stationaire model 50x50 m.

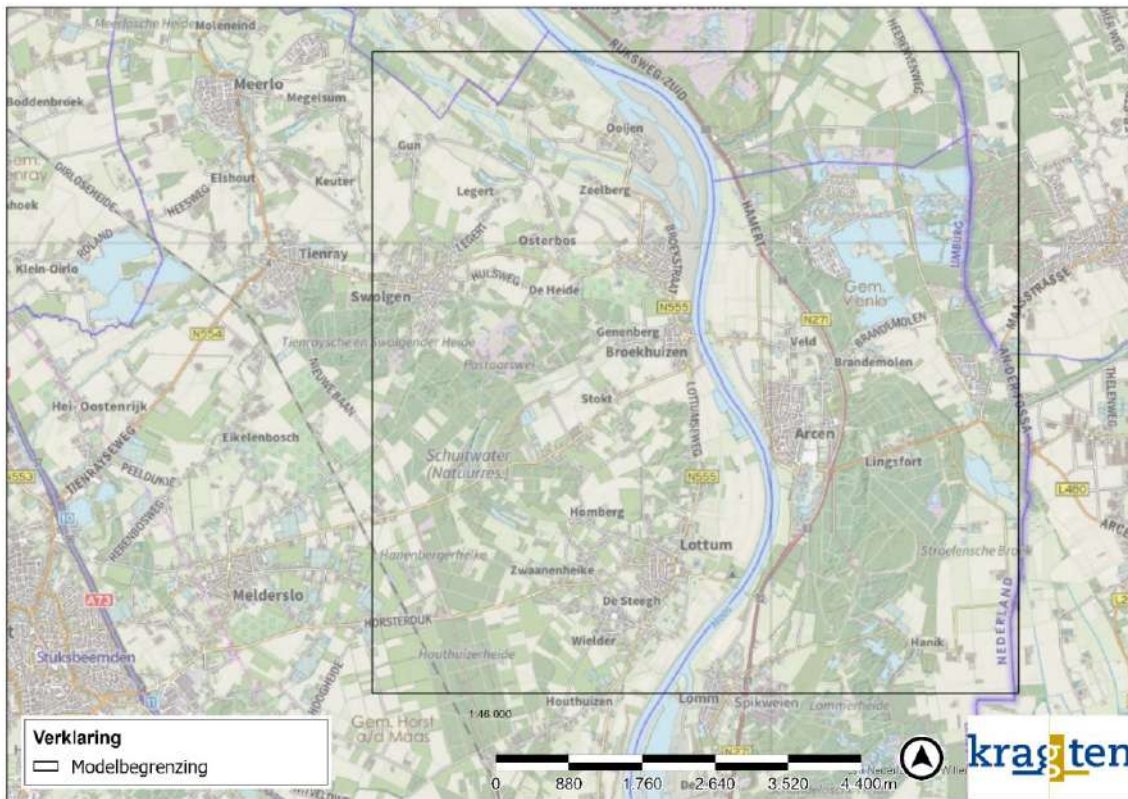
### 3.2 MODELBEGRENZING IN DE X- EN Y-RICHTING

De modelranden voor het projectgebied dienen ver genoeg weg te liggen van het projectgebied om beïnvloeding van de modelresultaten door de randen te voorkomen. Daarnaast dient het grondwatersysteem goed meegenomen te kunnen worden. Bij Arcen is besloten de modeldimensies te bepalen aan de hand van het AHN. Daar waar een duidelijke overgang is in maaiveldhoogte, en dus ook in toestroom in het gebied, is gekozen om de modelgrenzen te trekken. In het noorden kruist de modelbegrenzing het Geldernsch-Nierskanaal.

De kaartcoördinaten rondom het modeldomein zijn weergegeven in onderstaande tabel. Figuur 3-1 geeft de modelbegrenzing op kaart weer.

Tabel 3-1: Kaartcoördinaten (RD) waarbinnen het modeldomein gekozen is.

Hoekpunt	x	y
Linksonder	205000	384000
Linksboven	205200	393000
Rechtsboven	213000	393000
Rechtsonder	213000	384000



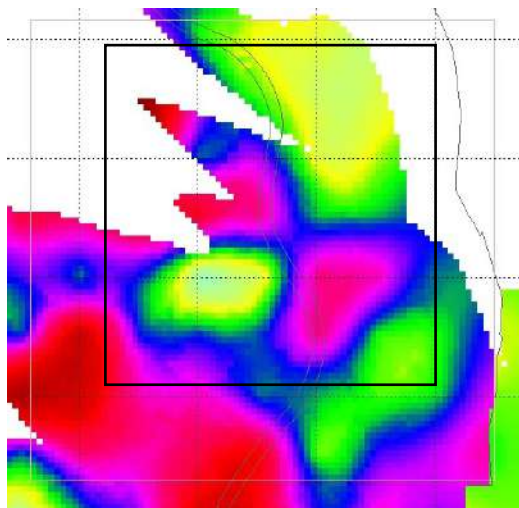
Figuur 3-1: Modelbegrenzing

### 3.3 MODELBEGRENZING IN DE DIEPTE

Het freatische pakket (Formaties van Boxtel, Beegden en Peize-Waalre, zie Figuur 2-3) net ten westen van de Maas wordt aan de onderzijde begrensd door de kleilaag van de Kiezeloöliet-Formatie, ook wel Venloklei genoemd, en is hier circa 15 m – 20 m dik. We gaan ervanuit dat de effecten van het dijkversterkingsproject niet dieper dan deze kleilaag reiken en beschouwen de Venloklei als geohydrologische basis voor de modellering. Op sommige locaties in de modelbegrenzing (maar buiten de locaties waar de damwanden komen) is de Venloklei niet aanwezig (witte gebieden in Figuur 3-2) en hier wordt de Formatie van Breda als geohydrologische basis voor de modellering beschouwd. De doorlatendheid in deze formatie is heel laag vergelijken met de beter doorlatende zandlagen erboven. In het grondwatermodel IBRAHYM, dat voor deze modellering wordt gebruikt, is de kleilaag opgenomen als slecht doorlatende laag halverwege modellaag 4 en begint de zandlaag van de Formatie van Breda ook halverwege modellaag 4. Daarom worden met het grondwatermodel enkel modellaag 1 t/m 4 beschouwd. Deze modellen omvatten het freatisch pakket, met daarin de formaties zoals hierboven benoemd en zoals beschreven in paragraaf 2.3.

Figuur 3-2 laat de verbreiding van de Venloklei in modellaag 4 binnen het modelgebied (roze kader) zien. Weergegeven is de KVV, oftewel verticale doorlatendheid. In laag 4 liggen de waarden tussen de 0,00 m/d (geel en groen) en 0,001 m/d (roze en rood). Des te lager de waarden zijn, des te hoger de weerstand van de modellaag is. Gezien de hoogte van deze weerstand is het plausibel deze laag als geohydrologische basis voor deze grondwatermodellering te beschouwen.

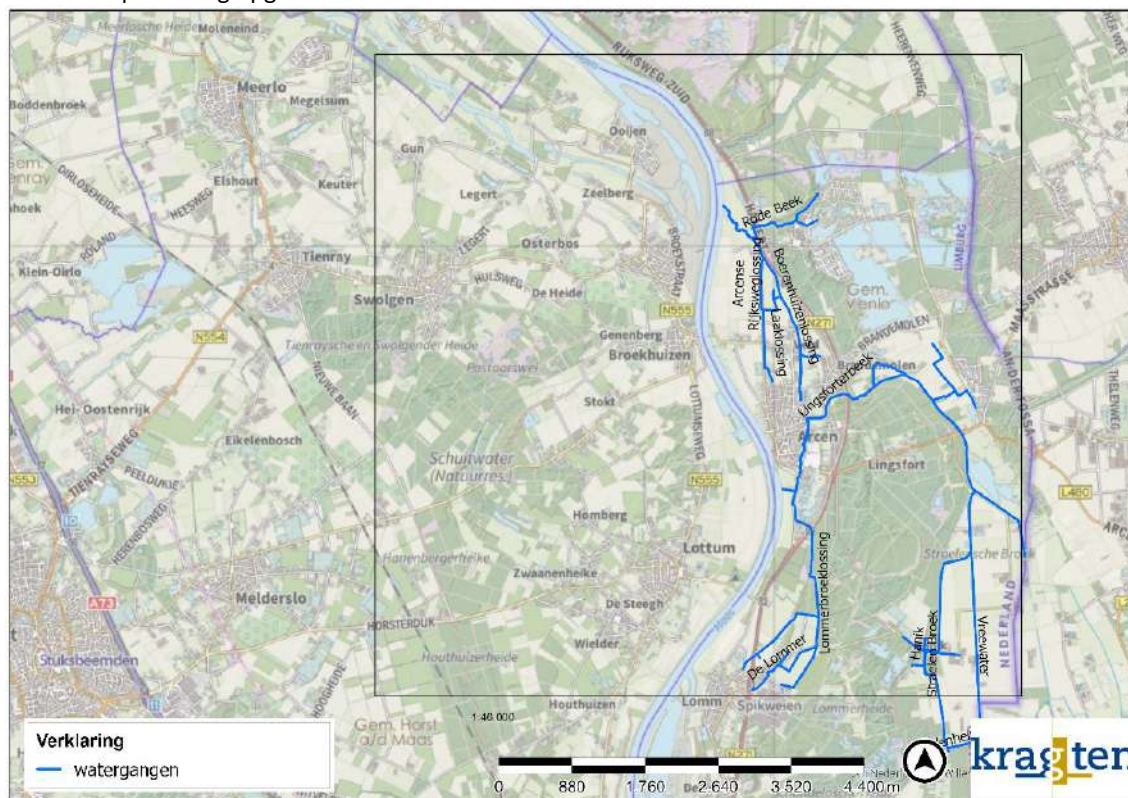




Figuur 3-2: KVV model laag 4, de geohydrologische basis voor deze modellering (geel en groen 0,000 m/d en roze en rood 0,001 m/d) met het modelgebied in de zwarte omlijning

### 3.4 OPPERVLAKTEWATEREN IN IBRAHYM EN SOBEK

Om na te gaan of het oppervlaktewatersysteem in IBRAHYM nog actueel is, is een vergelijking gemaakt met de ligging van oppervlaktewateren in het SOBEK-model. In Figuur 3-3 is het oppervlaktewatersysteem volgens de legger van Waterschap Limburg opgenomen.

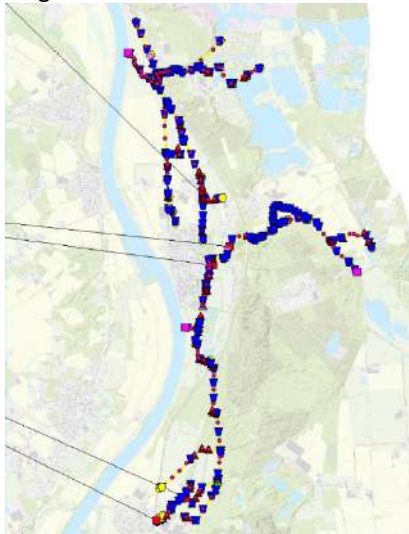


Figuur 3-3: Oppervlaktewatersysteem volgens de legger van het Waterschap

In Figuur 3-4 is opgenomen hoe het oppervlaktewatersysteem is gemodelleerd in het oppervlaktewatermodel van SOBEK, zoals verkregen van het Waterschap. Hierbij moet worden vermeld dat de Lingsforterbeek in het SOBEK-model



is afgeknipt ter hoogte van de Lingsforterweg. Dit is gedaan uit praktische overwegingen in verband met de kalibratie en gezien het feit dat hier een afvoermeeetpunt zit.

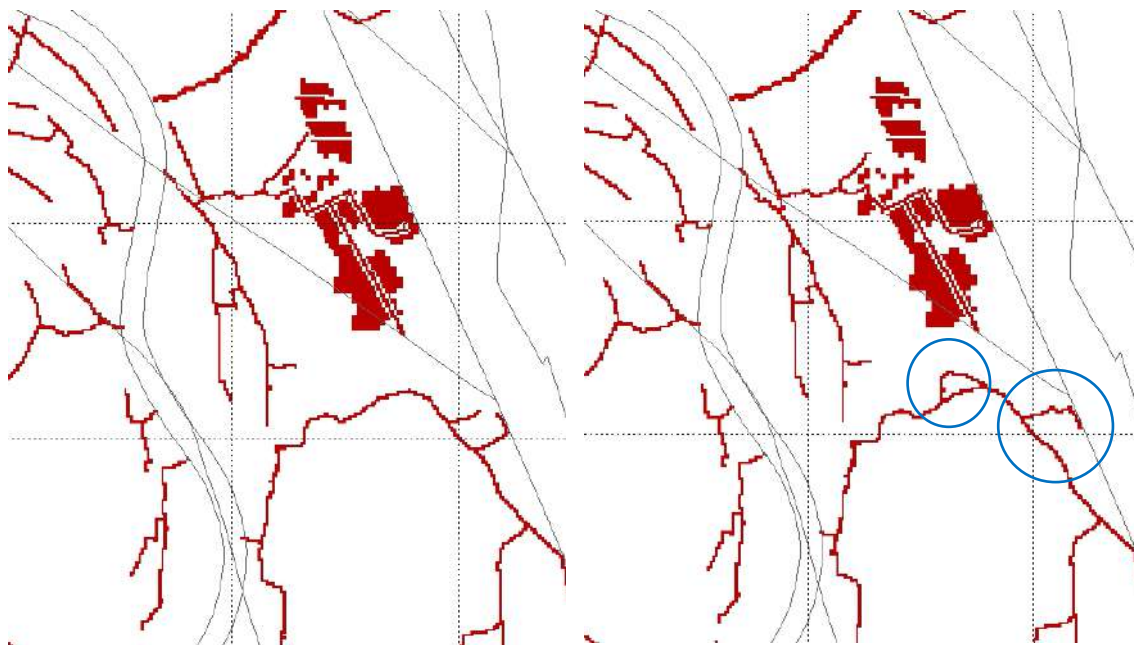


Figuur 3-4: Het oppervlaktewatersysteem in het SOBEK-model van Waterschap Limburg

Voor een groot deel komt de ligging van de watergangen in IBRAHYM (Figuur 3-5) overeen met de ligging in het SOBEK-model. De meest opvallende verschillen zijn:

- De hoogwatergeul Lingsforterbeek, deze zit wel in SOBEK maar niet in IBRAHYM.
- De plassen ten noordoosten van Arcen, deze zitten wel in IBRAHYM maar niet in SOBEK.

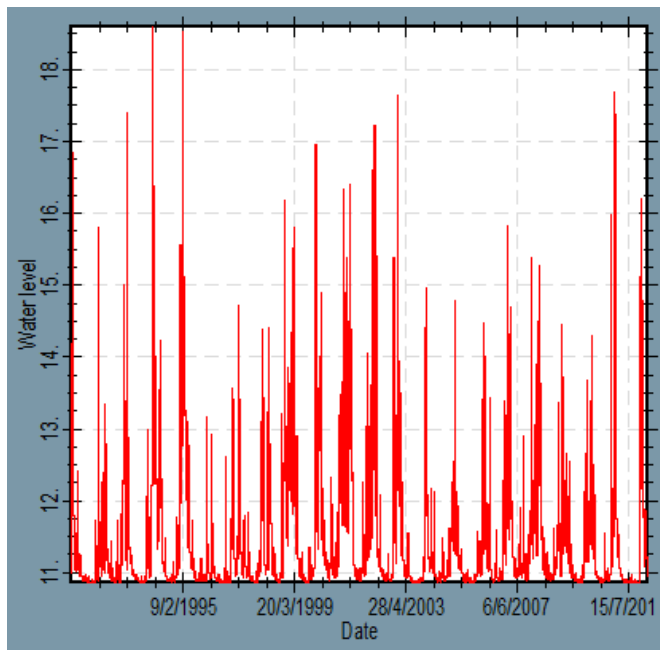
Om bij de kalibratie van IBRAHYM beter aan te sluiten bij de huidige situatie is de hoogwatergeul Lingsforterbeek aan IBRAHYM toegevoegd. De wijzigingen zijn zichtbaar in Figuur 3-5.



Figuur 3-5: Oppervlaktewateren met een peil in IBRAHYM (oude situatie links, nieuwe situatie rechts)

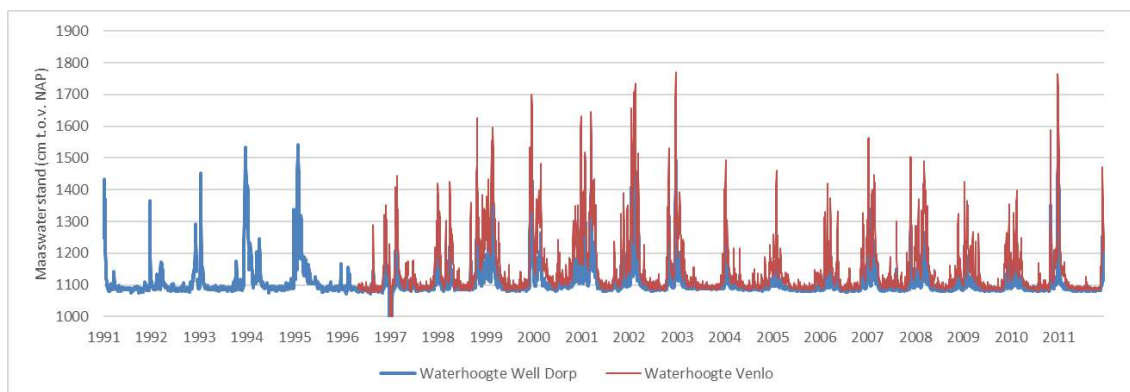
### 3.5 MAAS

Het verticaal doorlaatvermogen van de rivierbodem van de Maas zit als een ISG-bestand in het instationaire model. De Maas heeft ter hoogte van Arcen een weerstand van 2 dagen en een infiltratiefactor van 0,3. In het stationaire model is een gemiddeld doorlaatvermogen toegekend van 312,5 m<sup>2</sup>/d ter hoogte van Arcen. De Maaspeilen in het model tussen 1994 en 2011 zijn in onderstaand figuur gevisualiseerd. De gemiddelde waterhoogte, die in het stationaire model gebruikt wordt, is 11,0 m.



Figuur 3-6: Maaswaterstanden in het grondwatermodel

De Maaswaterstanden die in het model staan (Figuur 3-6) zijn vergeleken met de historische Maaswaterstanden. Arcen ligt tussen de meetpunten Venlo en Well Dorp. De waterstanden die in het model opgenomen zijn, liggen in lijn met de hogere waterstanden bij Venlo en niet zozeer met de lagere waterstanden bij Well Dorp (zie Figuur 3-7). Het patroon van pieken komt goed overeen. Hiermee lijken de Maaswaterstanden van het model betrouwbaar.

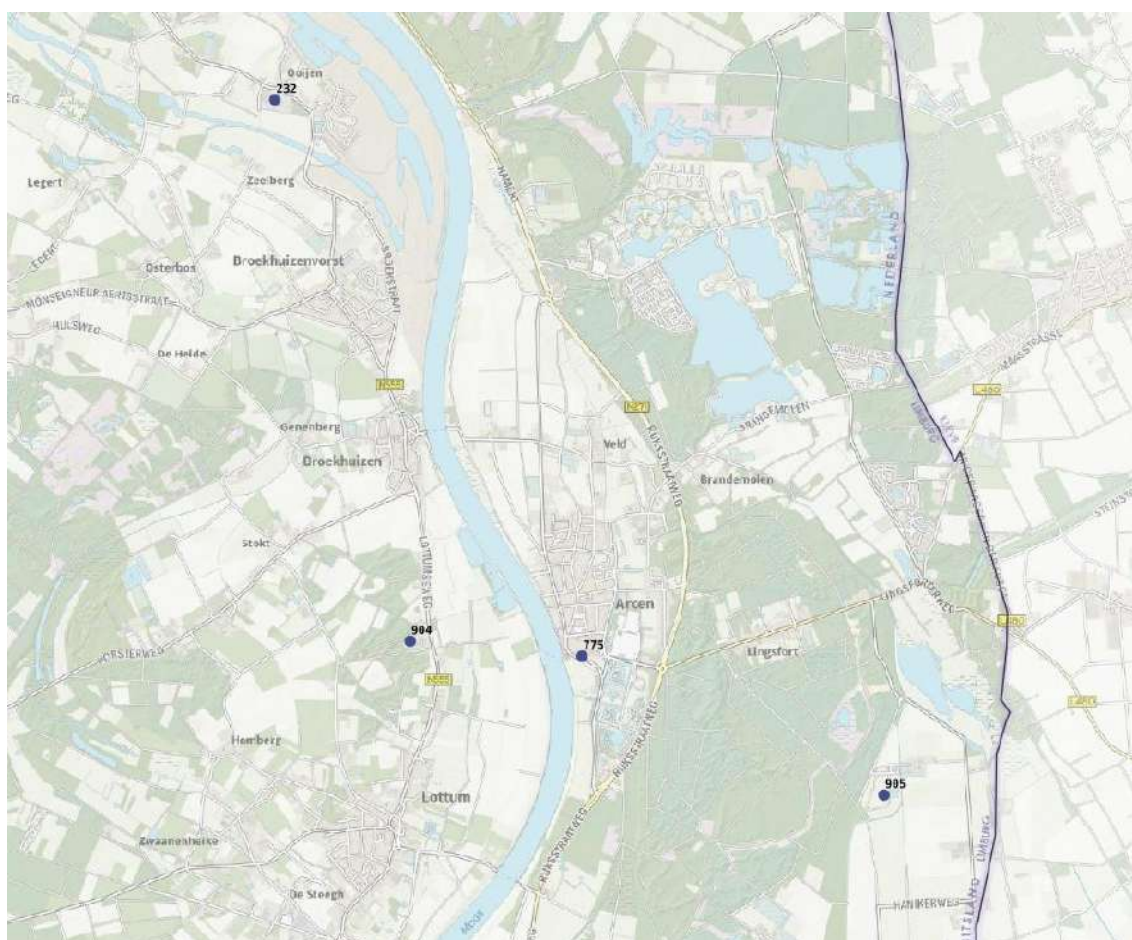


Figuur 3-7: Historische Maaswaterstanden ter plekke van Venlo en Well

## 3.6 ONTTREKKINGEN

Met behulp van de Atlas Limburg (<https://portal.prvlimburg.nl/viewer/app/default>) is nagegaan of er zich in het modelgebied onttrekkingen bevinden (Figuur 3-8). Door dit te vergelijken met het grondwatermodel wordt duidelijk welke onttrekkingen wel en niet in het model opgenomen zijn.

In het zuiden van Arcen is een onttrekking weergegeven (775), ten zuidoosten van Arcen is een winning weergegeven (905), en aan de westzijde van de Maas is een winning weergegeven (604). Onttrekking 775 is een bodemenergiesysteem. Deze onttrekking zit momenteel niet in het IBRAHYM-model en is hier voor dit project ook niet aan toegevoegd. Winning 905, ten zuidoosten van Arcen, is een drinkwaterwinning van WML, pompstation Hanik (vergunde hoeveelheid 2.500.000 m<sup>3</sup>/jaar, onttrokken in 2021: 2.044.425 m<sup>3</sup>). Winning 604, aan de westzijde van de Maas is ook een winning van WML, pompstation Grubbenvorst (vergunde hoeveelheid 3.000.000 m<sup>3</sup>/jaar, onttrokken in 2021 2.029.117 m<sup>3</sup>). Beide WML winningen zijn wel opgenomen in het IBRAHYM-model.



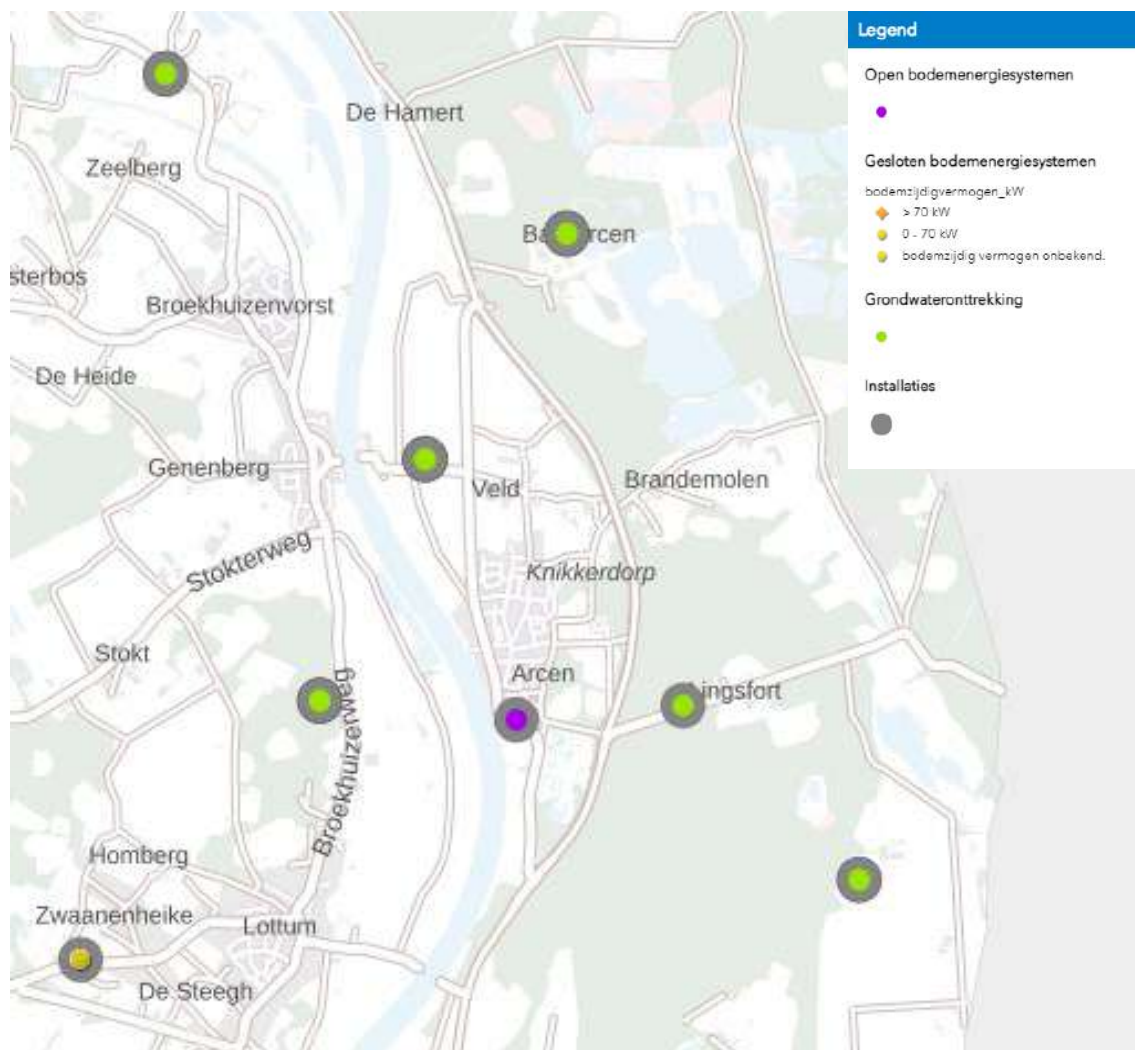
Figuur 3-8: Grondwateronttrekkingen volgens de Atlas van de Provincie Limburg

### BIERBROUWERIJ HERTOOG JAN

Wat verder opvalt is dat ter plaatse van de bierbrouwerij Hertog Jan geen onttrekking is weergegeven op de Atlas (Figuur 3-8). Ook in IBRAHYM is hier geen onttrekking opgenomen. Conform informatie van het Waterschap Limburg zouden industriële winningen boven 100.000 of 150.000 m<sup>3</sup>/jaar in het model moeten zitten. De onttrekking van Hertog Jan is wel te zien op <https://wkotool.nl/> (de groene stip ten westen van 'Veld'), net als meerdere andere onttrekkingen (groene punten) en het bodemenergiesysteem (paarse punt) dat ook op de Atlas van de Provincie is weergegeven (Figuur 3-9). Na contact met Hertog Jan is gebleken dat zij een vergunning hebben voor 100.000 m<sup>3</sup>/jaar en de laatste



jaren circa 32.000 m<sup>3</sup>/jaar onttrekken. De onttrekkingsdiepte tussen NAP -15 en -35 m, uit het tweede (diepe) watervoerende pakket in de Venloschol (Kiezeloöliet-Formatie). Concluderend is de onttrekking klein en vindt het plaats beneden de Venloklei en is hiermee dus niks toegevoegd aan het grondwatermodel.



Figuur 3-9: Uitsnede WKOtool.nl

## 3.7 TOETSING BEREKENDE GRONDWATERSTANDEN

De berekende grondwaterstanden worden getoetst aan de hand van gemeten grondwaterstanden in peilbuizen binnen het projectgebied. Daarvoor is een set peilbuizen samengesteld. In het projectgebied is een aantal peilbuizen aanwezig waarin de grondwaterstanden gemeten worden. In het kader van de actualisatie van IBRAHYM naar versie 2.1, welke in 2018 is uitgevoerd, is gebruik gemaakt van een aantal van deze peilbuizen. Deze set peilbuizen is verder uitgebreid met peilbuizen uit Dinoloket. Van alle beschikbare peilbuizen in het gebied is een selectie gemaakt op basis van:

- (Al dat niet het ontbreken van) filterdiepte; niet dieper dan het eerste watervoerend pakket.
- Periode van de meetreeks; binnen 1994 tot 2011, de modelperiode van IBRAHYM.
- Duur van de meetreeks; minimaal 5 tot 10 jaar aan data aanwezig, afhankelijk van hoeveel gemeten is.
- Kwaliteit van de meetreeks; gekeken is naar vreemde en hoeveelheid data.

Van elke peilbuis is ook nagegaan in welke modellaag deze zich bevindt (Tabel 3-2). De locatie van deze peilbuizen is weergegeven in Figuur 2-6, Hoofdstuk 2.4.





Tabel 3-2: Validatie- en kalibratiebuizen

Naam	Filter	X	Y	Modellaag
B52F0015	1	211750	389800	1
B52F0053	1	211645	390430	1
B52G0433	1	206010	386880	1
B52G1342	1	206220	386711	1
B52H0051	1	211095	385275	1
B52E0028	1	209416	391942	2
B52E0029	1	208950	391700	2
B52E0088	1	207013	390874	3
B52E0137	1	208340	387640	2
B52E1811	2	206532	387675	2
B52E1811	1	206532	387675	2
B52F0008	1	210338	389880	2
B52F0054	1	210133	387722	2
B52G1343	1	206367	387025	2
B52H0051	2	211095	385275	2
B52H0118	1	211715	386770	2
B52H0128	1	210970	386200	2
B52H0190	1	212130	386200	2
B52H0191	1	212000	385070	2
B52H0730	1	210617	386765	2
B52H0731	1	210358	385924	2
B52E0007	1	206780	388400	3
B52E0137	2	208340	387640	3
B52F0014	1	212070	388700	3
B52G0193	1	206524	387184	3
B52G0199	1	207588	386657	3
B52G0433	2	206010	386880	3
B52G2952	1	209384	387446	3
B52H0031	1	212220	386590	3
B52H0032	1	212350	386580	3
B52H0044	1	212270	386590	3
B52H0101	1	212160	384400	3
B52H0111	1	212815	386580	3
B52E1706	1	208436	389895	4
B52F0008	2	210338	389880	4
B52G0181	1	206840	384427	4
B52G0185	1	206852	384277	4
B52G0200	1	205240	384880	4
B52G0228	1	209280	386970	4
B52G0229	2	207000	386640	4
B52H0031	2	212220	386590	4
B52H0032	2	212350	386580	4
B52H0044	2	212270	386590	4

B52H0111	2	212815	386580	4
B52H0112	2	212325	386957	4
B52H0112	1	212325	386957	4

## FOCUS BIJ BEOORDELING

Bij de toetsing van het model is het van groot belang om het doel van de modelstudie voor ogen te houden. Het doel is om met het model effectberekeningen rondom het nieuwe waterkeringstraject bij Arcen uit te kunnen voeren. Dit betekent dat bij de toetsing van het model de focus ligt op het model en meetdata rondom Arcen. Verschillen tussen model en metingen van verafgelegen peilbuizen krijgen hiermee minder aandacht, tenzij afwijkingen een duidelijk regionaal patroon laten zien. Anders gezegd: verschillen tussen model en metingen geven slechts aanleiding tot modelaanpassingen, indien dit leidt tot een aantoonbare verbetering van het model ter plaatse van Arcen.

## TOETSING STATIONAIRE MODELRUNS

Voor het toetsen van de stationaire modelruns wordt van elke peilbuisreeks de gemiddelde grondwaterstand bepaald. Deze wordt vervolgens vergeleken met de berekende waarde ter plaatse van de peilbuis in het model.

## TOETSING INSTATIONAIRE MODELRUNS

Het instationaire model wordt getoetst door voor de meetreeksen de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en dynamiek (GHG-GLG) af te leiden en deze te vergelijken met de gemodelleerde waarden. Tevens worden de gemodelleerde en gemeten meetreeksen met elkaar vergeleken. Dit is een visuele inspectie die veelal bijdraagt aan meer inzicht in geconstateerde verschillen tussen meting en model.

## WANNEER IS HET MODEL GOED GENOEG?

Het model is goed genoeg indien

- het model in staat is om de beschikbare grondwaterstandsmetingen rondom het nieuwe waterkeringstraject bij Arcen goed te representeren; òf
- de beschikbare meetdata geleid hebben tot plausibele modelaanpassingen, waarmee het maximaal haalbare is bereikt om het model te verbeteren.

Bij bovenstaande gaan we uit van de eerder beschreven beoordelingsfocus; het doel is om uiteindelijk betrouwbare scenario-/effectberekeningen voor het nieuwe waterkeringstraject bij Arcen met het model uit te kunnen voeren. Daarnaast is een belangrijke leidraad dat eventuele modelaanpassingen goed onderbouwd moeten kunnen worden door data. Hiermee waken we ervoor dat we het model 'overfitten'.

## 4 GEVOELIGHEIDSANALYSE

---

### 4.1 STAPPENPLAN

Om de gevoeligheid van het grondwatermodel voor bepaalde parameteraanpassingen in beeld te krijgen is allereerst een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Er worden verschillende stationaire modelruns gedraaid om het effect van vlakdekkende modelaanpassingen te beoordelen. Hierbij zijn de volgende stappen genomen:

1. Uitvoeren initiële modelrun
2. Bepalen gevoeligheid horizontale waterdoorlatendheid (KHV)
3. Bepalen gevoeligheid verticale waterdoorlatendheid (KVV)
4. Bepalen gevoeligheid conductance (doorlaatvermogen) Maas

Van elk scenario zijn verschilkaarten gemaakt waarop zowel per peilbuis het verschil tussen de berekende en gemeten waarde is weergegeven en vlakdekkend de veranderingen in de grondwaterstanden in beeld zijn gebracht. Dit zijn de gemiddelde grondwaterstanden. Er zijn telkens twee afbeeldingen weergegeven; 1 voor modellaag 1 en 1 voor modellaag 2 t/m 4. Voor de modellagen 2 t/m 4 geldt dat de berekende grondwaterstanden nagenoeg gelijk zijn omdat er tussen de modellagen geen verticale weerstanden aanwezig zijn. Tussen laag 1 en 2 is dat wel het geval.

Verder is de gevoeligheid van de modelrand in het oosten bepaald. Deze analyse is in hoofdstuk 4.6 beschreven.

---

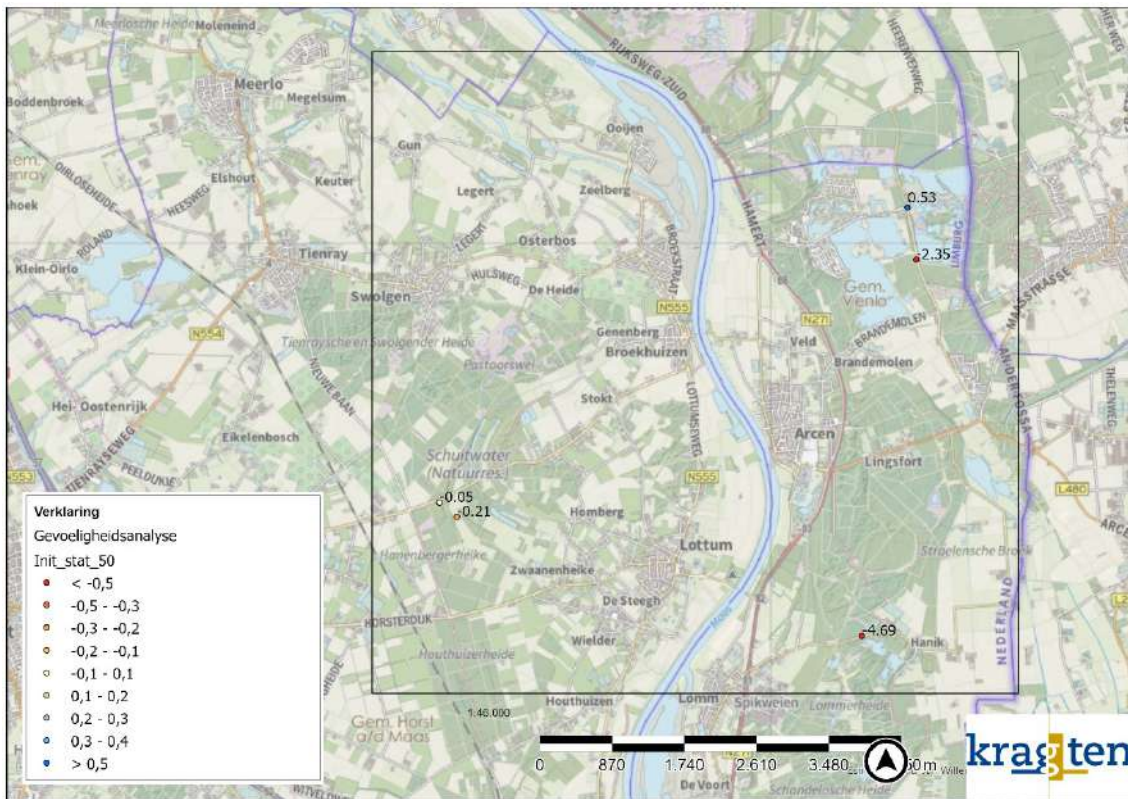
### 4.2 INITIËLE STATIONAIRE MODELRUN

Om te bepalen of de modelresultaten bij het doorrekenen van de modeluitsnede voor het projectgebied niet te veel afwijken van het doorrekenen van het complete model is de modelrun `init_stat_50.run` uitgevoerd. De modelresultaten van de modeluitsnede voor het projectgebied blijken niet te veel af te wijken van het doorrekenen van het complete model. Deze modelrun wordt daarom het uitgangspunt voor de gevoeligheidsanalyse. Alle uitgevoerde modelruns in de gevoeligheidsanalyse worden met deze modelrun vergeleken.

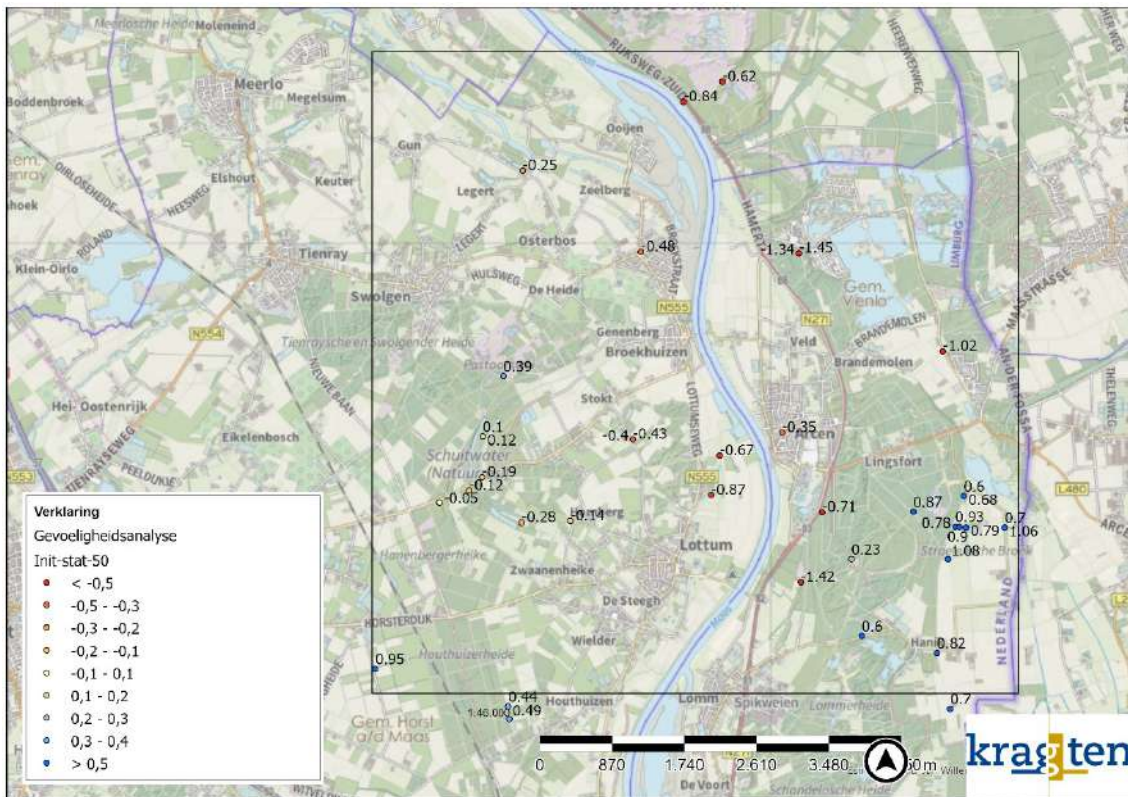
De residuen (verschil tussen metingen en modelberekening) van deze modelrun zijn weergegeven in onderstaande afbeeldingen. Voor modellaag 1 zijn 5 peilbuizen beschikbaar. Te zien is dat de berekende verschillen nogal uiteen lopen (Figuur 4-1). In het noordoostelijk deel van het modelgebied is bij één peilbuis de berekende grondwaterstand 0,53 m te hoog; bij de iets zuidelijker gelegen peilbuis is dit 2,35 m te laag.

Voor de modellagen 2 t/m 4 zijn meer peilbuizen beschikbaar (Figuur 4-2). In de lager gelegen gebieden langs de Maas ligt de berekende grondwaterstand vaak enkele decimeters tot 1,5 m te laag. Verder van de Maas af, in de zuidoosthoek van het modelgebied zijn de berekende grondwaterstanden juist te hoog.





Figuur 4-1: Residukaart laag 1 (in m) bij initiële run



Figuur 4-2: Residukaart laag 2-4 (in m) bij initiële run

## 4.3 GEVOELIGHEID HORIZONTALE DOORLATENDHEID

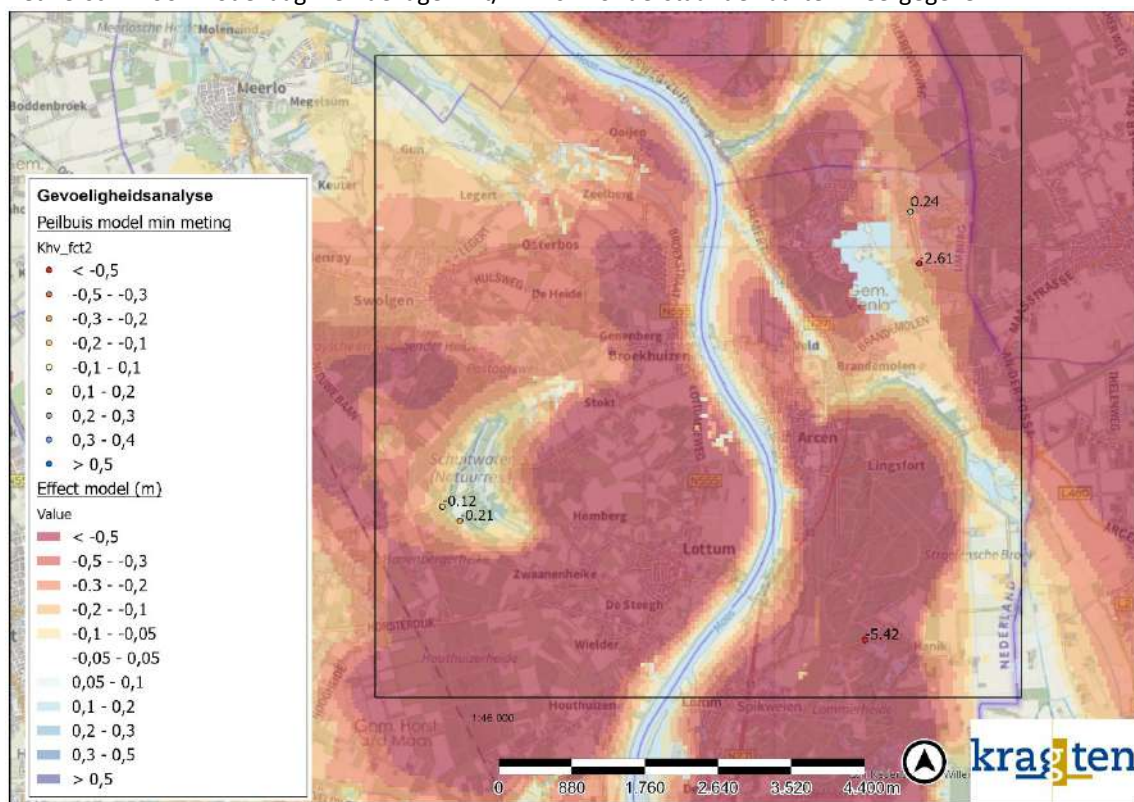
Om de gevoeligheid van de horizontale doorlatendheid (KHV) te bepalen zijn twee scenario's doorgerekend:

- Verhoging KHV met een factor 2
- KHV delen door 2

Van elk scenario zijn verschilkaarten van de grondwaterstanden gemaakt. De grondwaterstanden zijn vergeleken met de initiële modelrun.

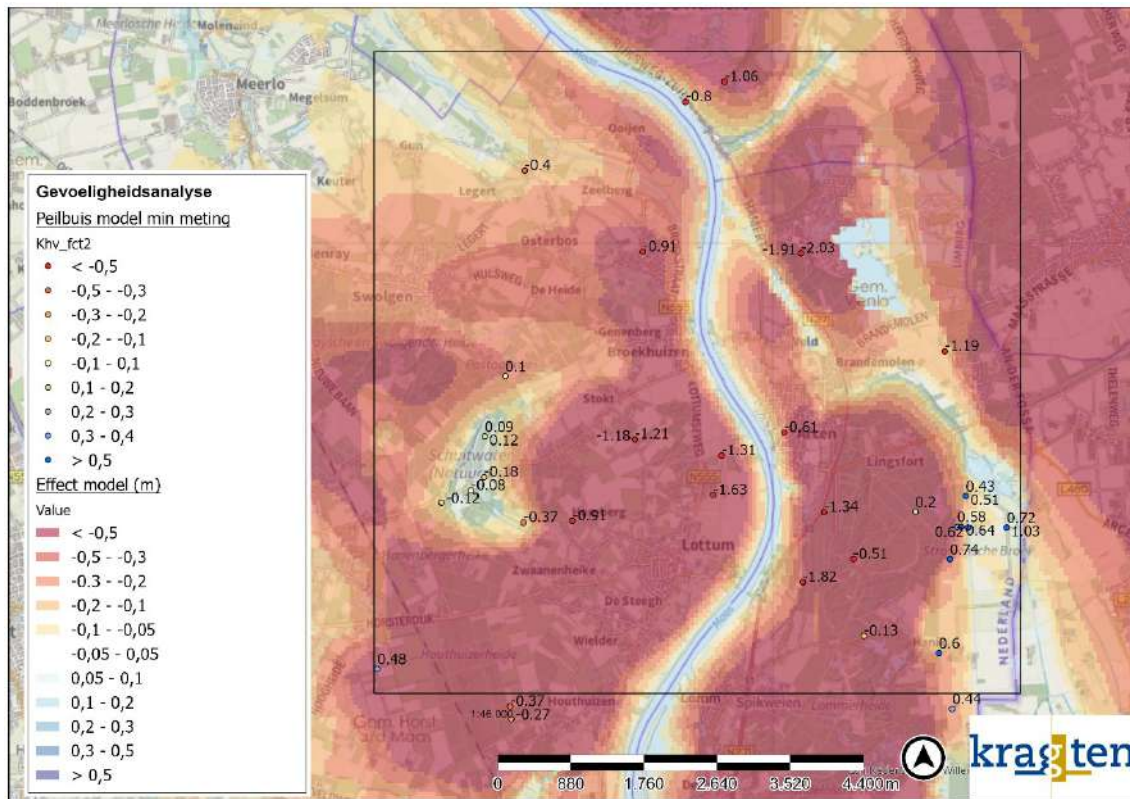
### 4.3.1 VERHOGING KHV MET FACTOR 2

Het verschil voor modellaag 1 en de lagen 2 t/m 4 is in onderstaande kaarten weergegeven.



Figuur 4-3: Verschilkaart laag 1 (in m) bij verhoging horizontale doorlatendheid





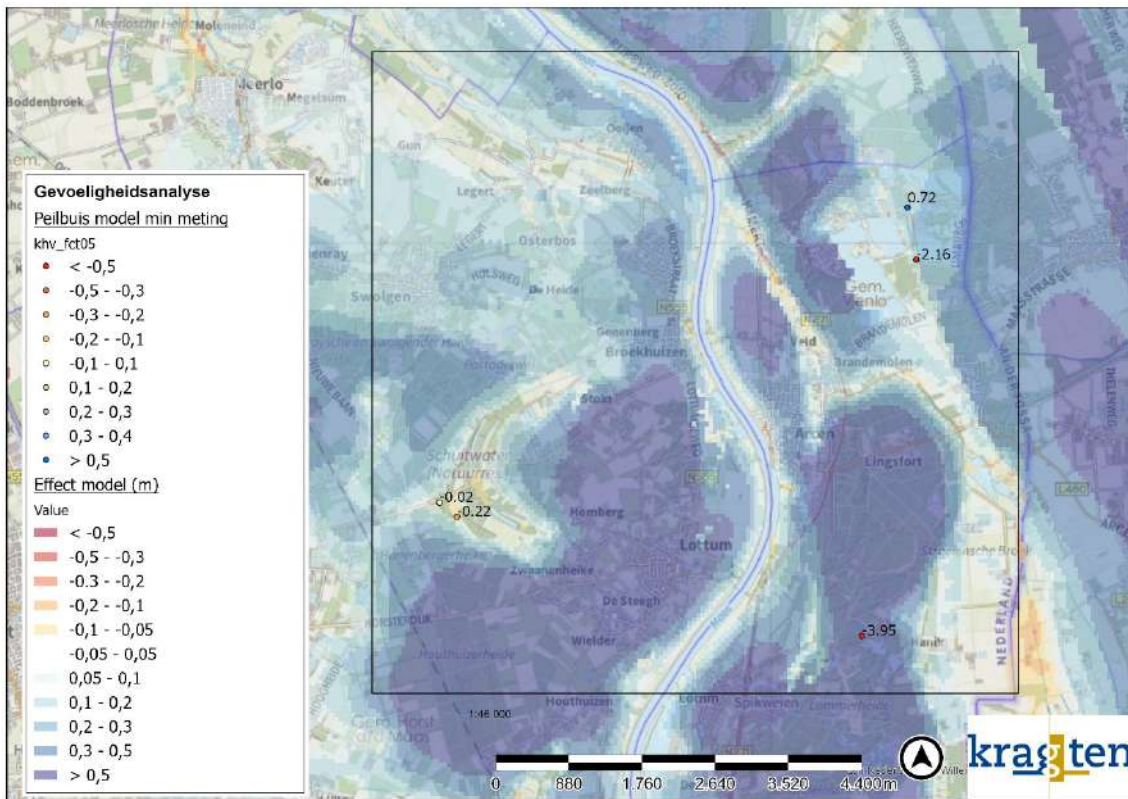
Figuur 4-4: Verschilkaart laag 2 t/m 4 (in m) bij verhoging horizontale doorlatendheid

Het verhogen van de KHV heeft tot gevolg dat de grondwaterstanden in vrijwel het hele projectgebied dalen, vaak met meer dan 0,5 m. Het water wordt sneller afgevoerd. Alleen ter plaatse van oppervlaktewateren (Maas, plassen) blijven de grondwaterstanden gelijk.

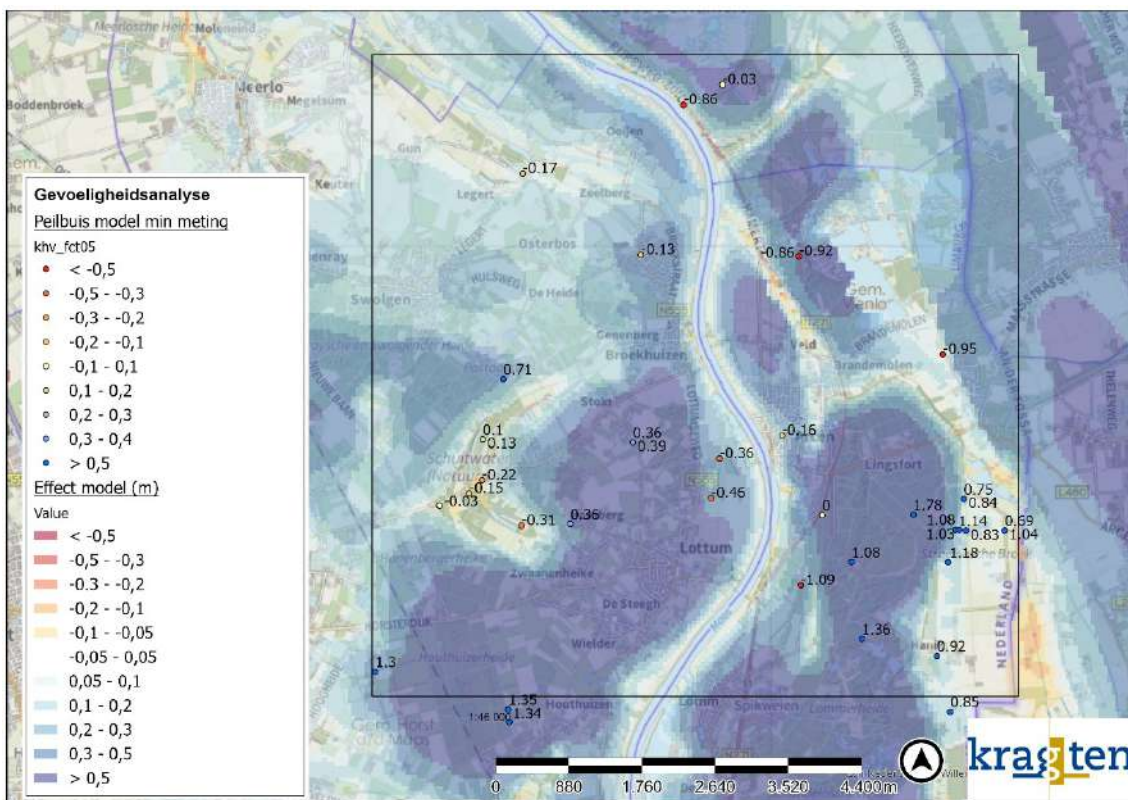
### 4.3.2 KHV DELEN DOOR 2

Het verlagen van de KHV heeft tot gevolg dat de grondwaterstanden in vrijwel het hele projectgebied stijgen, met maximaal 1 m. Het water wordt langer vastgehouden. Alleen ter plaatse van oppervlaktewateren (Maas, plassen) blijven de grondwaterstanden gelijk.





Figuur 4-5: Verschilkaart laag 1 (in m) bij verlaging horizontale doorlatendheid



Figuur 4-6: Verschilkaart lagen 2 t/m 4 (in m) bij verlaging horizontale doorlatendheid

## 4.4 GEVOELIGHEID VERTICALE DOORLATENDHEID

Om de gevoeligheid van de verticale doorlatendheid (KVV, de weerstand tussen de lagen 1 en 2) te bepalen zijn twee scenario's doorgerekend:

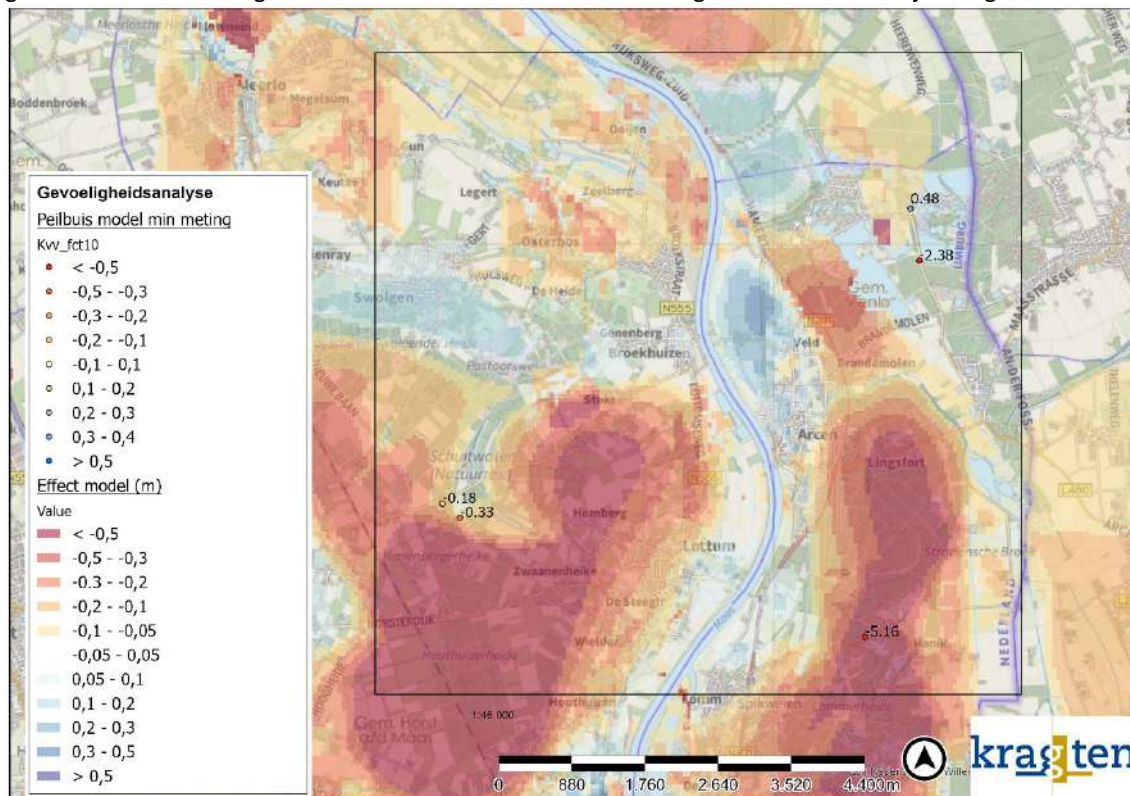
- Verhoging KVV met een factor 10 (en dus verlaging weerstand)
- KVV delen door 5 (en dus verhoging weerstand)

Van elk scenario zijn verschilkaarten van de grondwaterstanden gemaakt. De grondwaterstanden zijn vergeleken met de initiële modelrun.

### 4.4.1 VERHOOGING KVV MET FACTOR 10 (VERLAGING WEERSTAND)

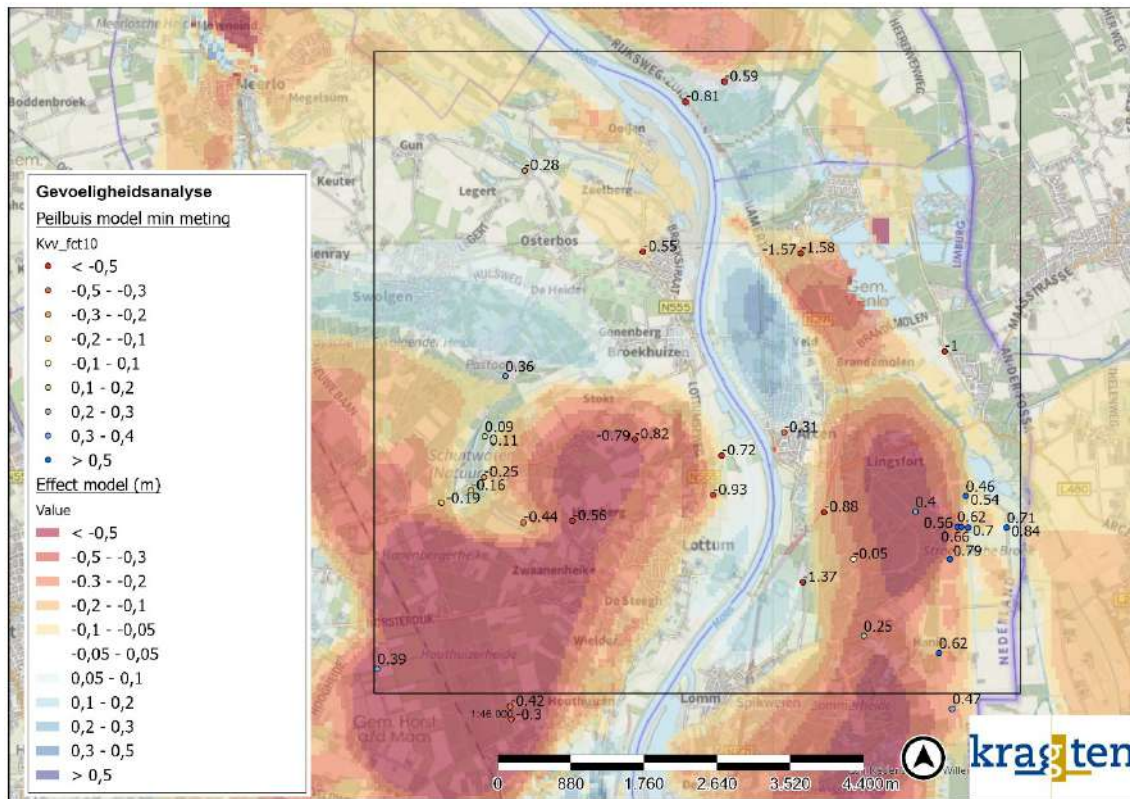
Het verschil voor modellaag 1 en de lagen 2 t/m 4 is in onderstaande kaarten weergegeven.

De gevolgen van het verlagen van de weerstand is voor alle modellagen vrijwel gelijk; ter plaatse van Arcen worden de grondwaterstanden hoger. Ten oosten van de N271 worden de grondwaterstanden juist lager.



Figuur 4-7: Verschilkaart laag 1 (in m) bij verhoging verticale doorlatendheid (= verlaging weerstand)





Figuur 4-8: Verschilkaart laag 2 t/m 4 (in m) bij verhoging verticale doorlatendheid (= verlaging weerstand)

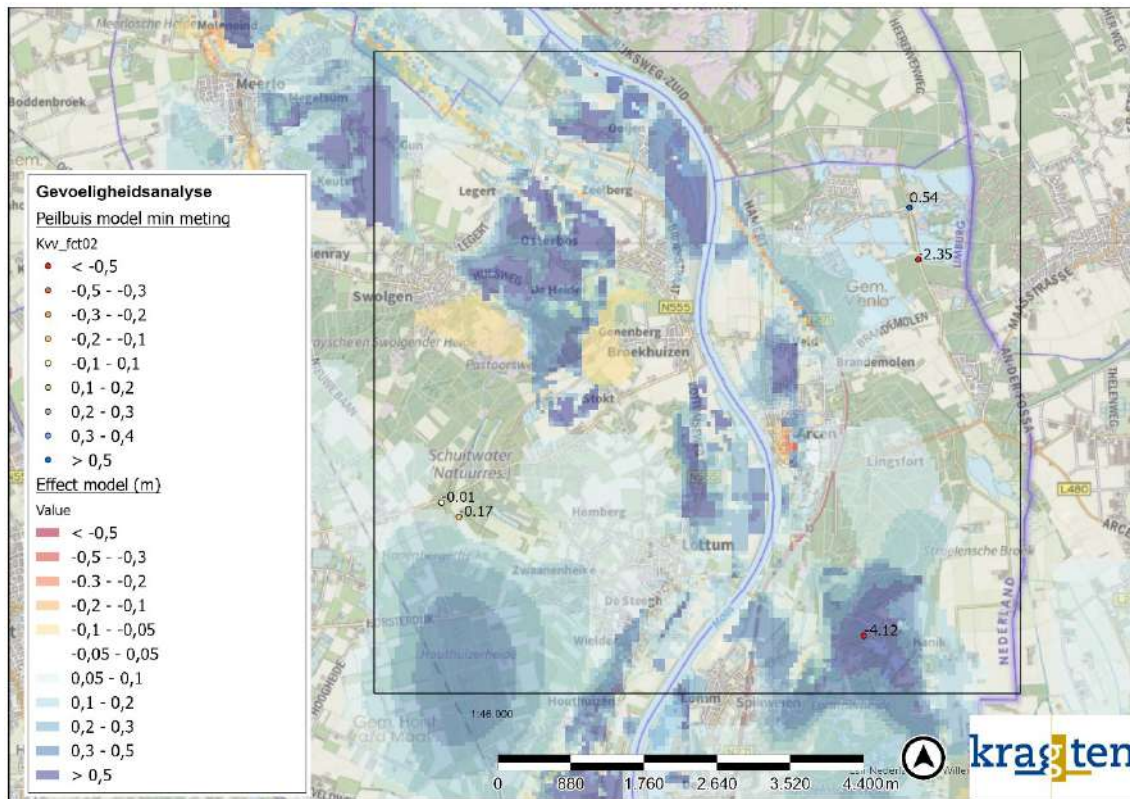
#### 4.4.2 KVV DELEN DOOR 5 (VERHOOGING WEERSTAND)

Het verschil voor modellaag 1 en de lagen 2 t/m 4 is in onderstaande kaarten weergegeven.

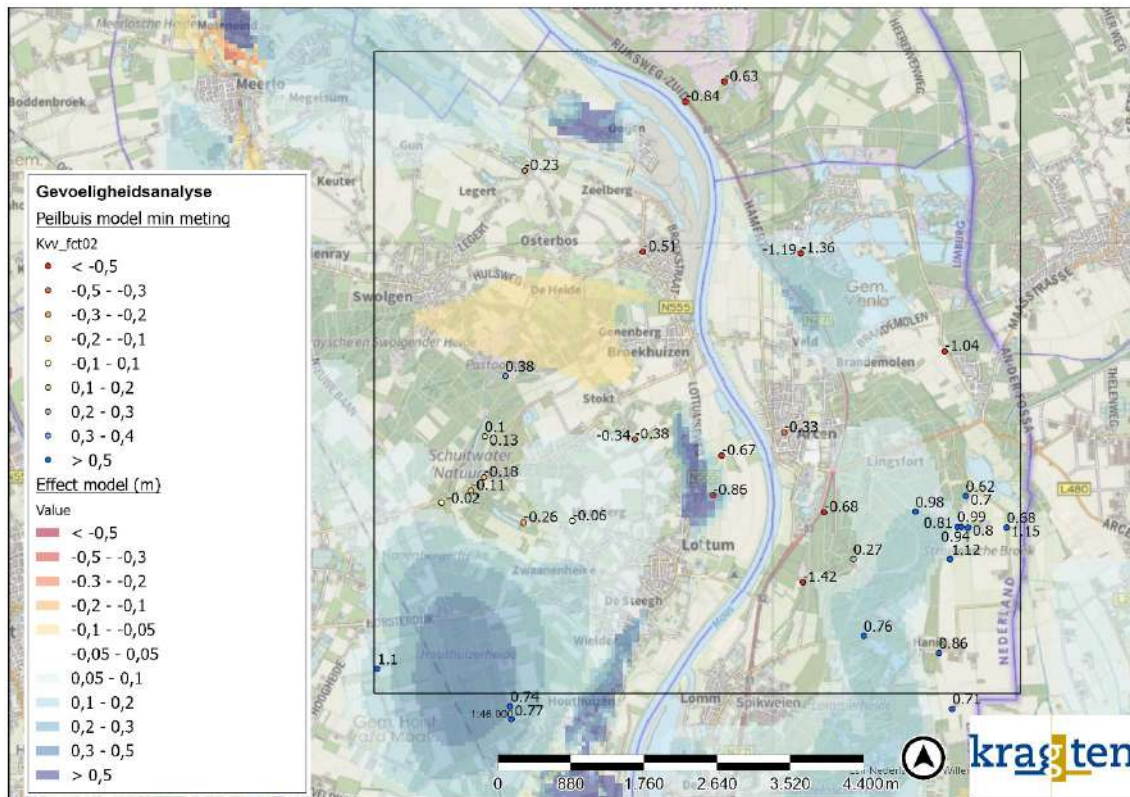
Gevolgen verhogen van de weerstand:

- Modellaag 1: over het algemeen vindt vernatting plaats (toename grondwaterstanden) behalve ter plaatse van het centrum van Arcen, hier nemen de grondwaterstanden af;
- Modellaag 2 t/m 4: rondom Arcen weinig verandering, verderop vindt vernatting plaats.





Figuur 4-9: Verschilkaart laag 1 (in m) bij verlaging verticale doorlatendheid (= verhoging weerstand)



Figuur 4-10: Verschilkaart laag 2 t/m 4 (in m) bij verlaging verticale doorlatendheid (= verhoging weerstand)

## 4.5 GEVOELIGHEID DOORLAATVERMOGEN RIVIEREN

Om de gevoeligheid van het doorlaatvermogen van de Maas ter hoogte van Arcen te bepalen zijn twee scenario's doorgerekend:

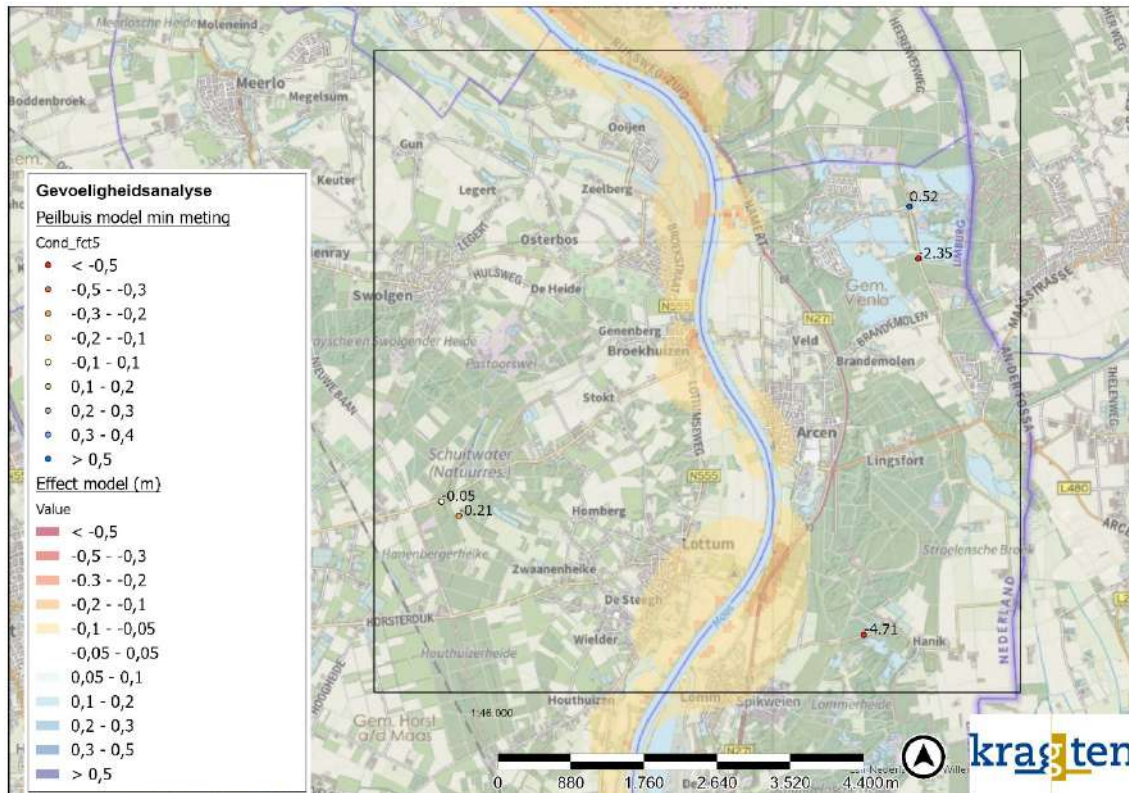
- Verhoging doorlaatvermogen met een factor 5
- Doorlaatvermogen delen door 5

Een verhoging van het doorlaatvermogen ( $m^2/d$ ) betekent een verlaging van de weerstand. Van elk scenario zijn verschilkaarten van de grondwaterstanden gemaakt. De grondwaterstanden zijn vergeleken met de initiële modelrun.

### 4.5.1 VERHOOGING DOORLAATVERMOGEN MET FACTOR 5

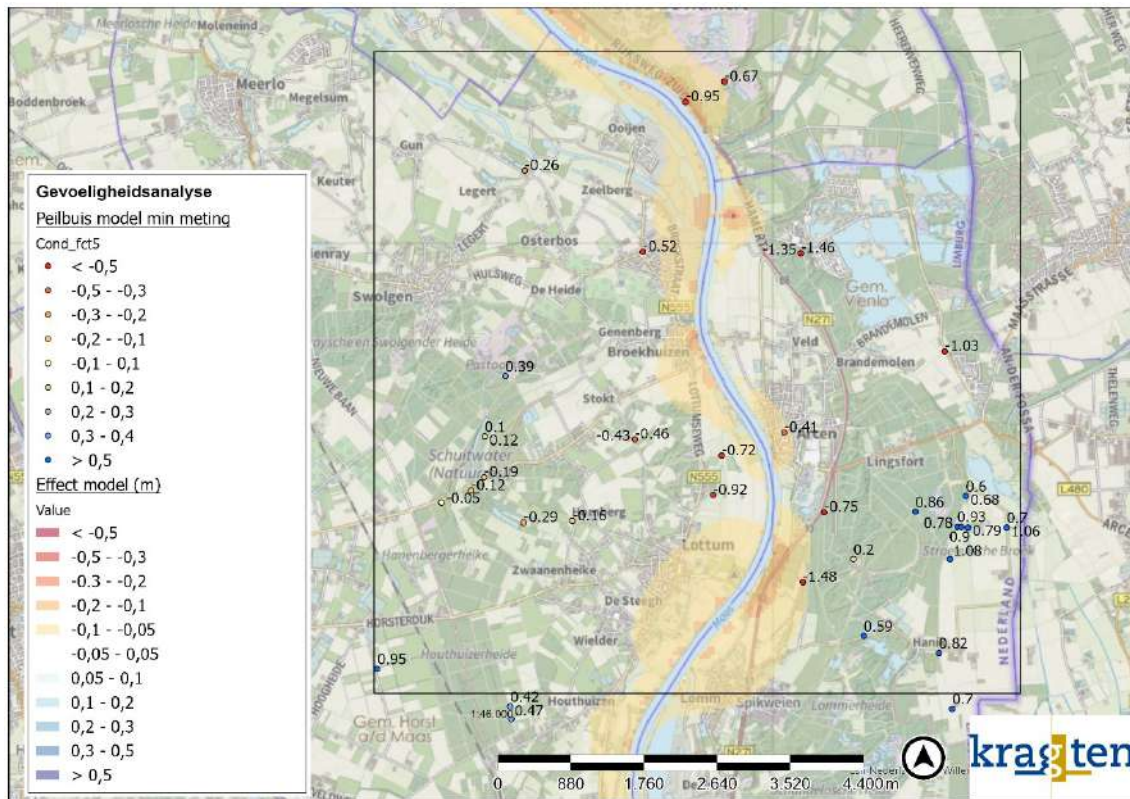
Het verschil voor modellaag 1 en de lagen 2 t/m 4 is in onderstaande kaarten weergegeven.

Het verhogen van het doorlaatvermogen (verlaging weerstand) heeft tot gevolg dat de grondwaterstanden direct langs de Maas lager worden. Dit komt doordat er meer grondwater via de Maas wordt afgevoerd (vergrote wisselwerking Maas <--> grondwater).



Figuur 4-11: Vershilkaart laag 1 (in m) bij verhoging doorlaatvermogen





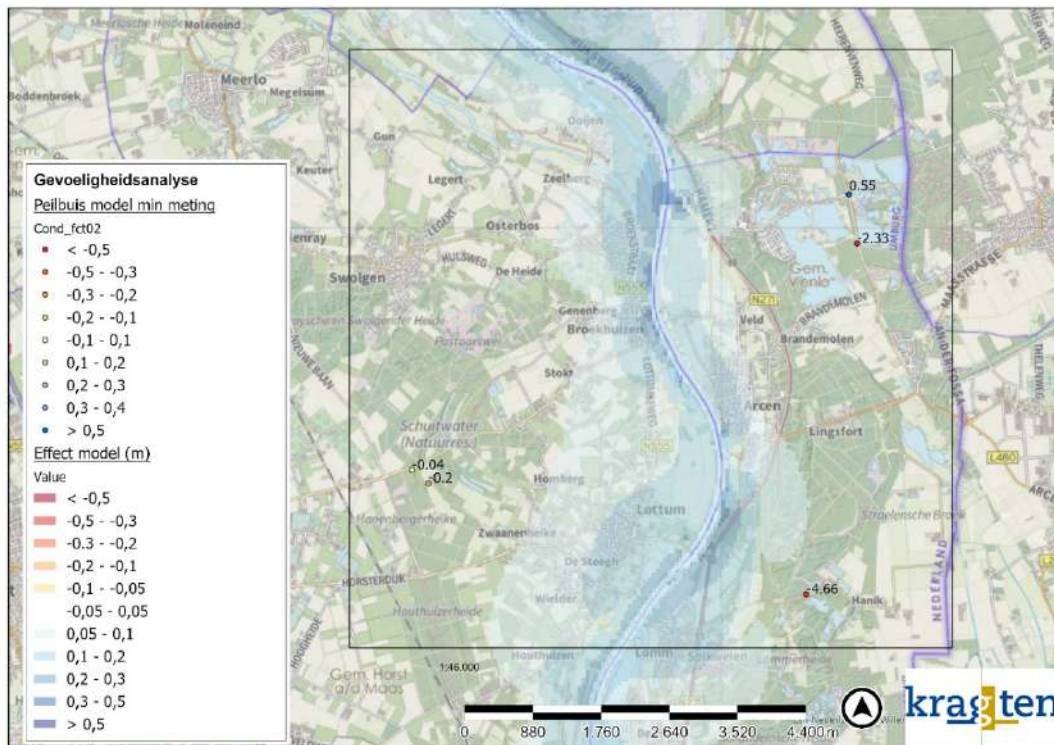
Figuur 4-12: Verschilkaart lagen 2 t/m 4 (in m) bij verhoging doorlaatvermogen



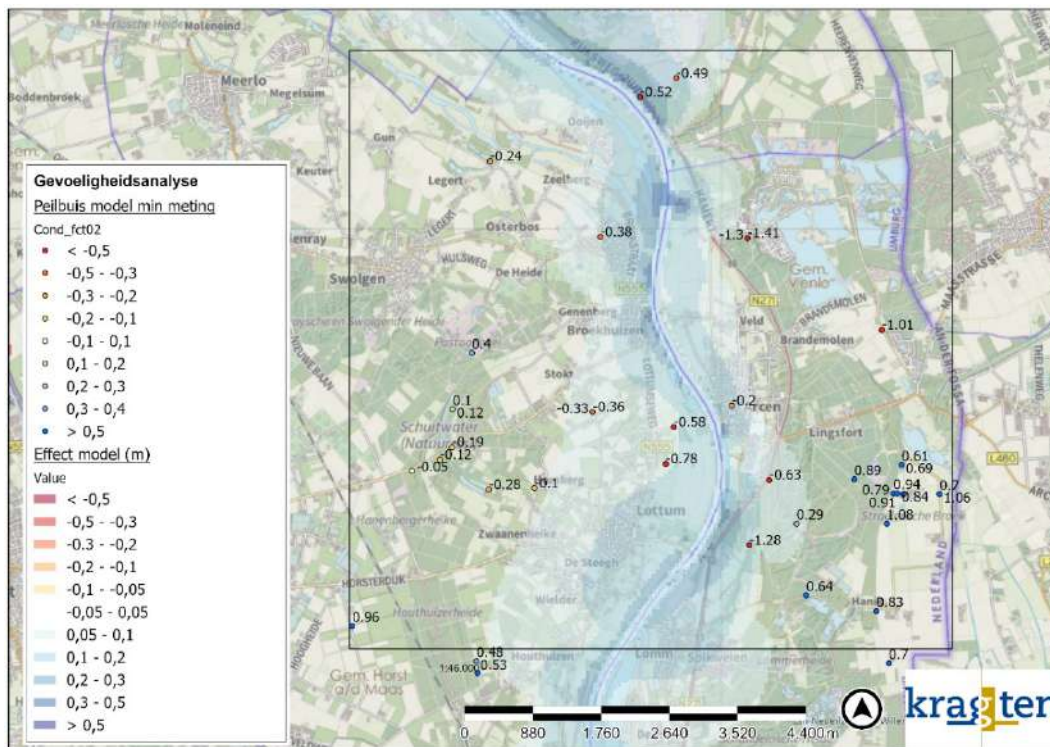
#### 4.5.2 DOORLAATVERMOGEN DELEN DOOR 5

Het verschil voor modellaag 1 en de lagen 2 t/m 4 is in onderstaande kaarten weergegeven.

Het verlagen van het doorlaatvermogen (verhoging weerstand) heeft tot gevolg dat de grondwaterstanden direct langs de Maas hoger worden. Dit komt doordat er minder grondwater via de Maas wordt afgevoerd (verminderde wisselwerking Maas <-> grondwater).



Figuur 4-13: Verschilkaart laag 1 (in m) bij verlaging doorlaatvermogen



Figuur 4-14: Verschilkaart lagen 2 t/m 4 (in m) bij verlagings doorlaatvermogen

## 4.6 GEVOELIGHEID MODELRAND

De modelranden dienen ver genoeg weg te liggen van het projectgebied om beïnvloeding van de modelresultaten door de randen te voorkomen. Direct ten westen van Arcen ligt de Maas, waardoor de westelijke modelrand ver genoeg van het focusgebied ligt. De oostelijke rand (Duitsland) ligt wel dichtbij dus het model zou hier gevoelig voor kunnen zijn. De resultaten van het uitgangsmodel (uitsnede) zijn vergeleken met het totale model. Deze resultaten kwamen overeen. Om toch de gevoeligheid van de oostelijke rand verder te onderzoeken, is de grondwaterstand op deze rand met 1 meter verhoogd om te bepalen of dit effect heeft op de grondwaterstand bij Arcen (het focusgebied). Dit is niet zo. Het effect hiervan is zelfs al niet meer zichtbaar bij de rand.

## 4.7 CONCLUSIE GEVOELIGHEIDSANALYSE EN VOORSTEL VOOR KALIBRATIE

In het kader van de gevoeligheidsanalyse zijn de volgende parameters nader beschouwd: KHV, KVV en conductance van de Maas. Onderstaand wordt per parameter afgewogen welke een hoge en lage prioriteit in de kalibratiefase krijgt.

- Het aanpassen van de horizontale doorlatendheid (KHV) heeft gevolgen voor het gehele projectgebied. Een verhoging leidt vrijwel overal tot een verdroging (lagere grondwaterstanden). Een verlagings leidt tot vernatting (hogere grondwaterstanden). Deze parameter heeft direct invloed op de grondwaterstanden en krijgt daarom een hoge prioriteit.
- Het aanpassen van de verticale doorlatendheid leidt op de ene plek tot een vernatting, op andere plekken tot een verdroging. Er ontstaat geen uniform beeld van welke gevolgen het aanpassen van deze parameter heeft. De prioriteit is daarom laag.
- Het aanpassen van het doorlaatvermogen van de Maas heeft alleen gevolgen voor de gebieden die direct naast de rivier liggen. Over het algemeen worden de grondwaterstanden dicht bij de Maas te laag berekend. Het verhogen van het doorlaatvermogen zal daarom in geen geval een positief effect hebben op de berekende

grondwaterstanden. Een verlaging van het doorlaatvermogen kan wel leiden tot hogere grondwaterstanden nabij de Maas. Het effect van de aanpassingen is echter erg lokaal (direct langs de Maas). Op die plekken liggen geen peilbuizen om de uitkomsten te verifiëren. De prioriteit van deze parameter is daarom laag.

## 5 KALIBRATIE

### 5.1 STATIONAIRE KALIBRATIE

De kalibratie wordt eerst uitgevoerd op het stationaire model (init\_stat\_50.run) omdat de runtijd van het model hier veel korter is. Deze modelrun wordt het uitgangspunt voor de kalibratiefase. Met behulp van de automatische kalibratiefunctie van iMOD (PEST) zijn meerdere kalibratieruns uitgevoerd (Tabel 5-1). De kalibratieruns worden verder in dit hoofdstuk nader toegelicht.

Tabel 5-1: Overzicht kalibraties en resultaten.

KALIBRATIE	INHOUD	RESULTAAT
STAT_KAL-PEST1.RUN	KHV, factor 0,3-2,0	Valt tegen, weinig verschil met init_stat_50.run
STAT_KAL-PEST2.RUN	KHV, factor 0,5-1,5	Valt tegen, weinig verschil met init_stat_50.run
STAT_KAL-PEST3.RUN	KHV, factor 0,3-2,0 behalve 2 <sup>e</sup> zandlaag van Beegden (BEZ2), deze heeft een bandbreedte van 0,3-5,0	Enkel in modellaag 1 aangepast, maar deze zandlaag zit in modellaag 1 en 2 waardoor deze run niet werkt;
STAT_KAL-PEST4.RUN	KHV, factor 0,3-2,0 behalve 2 <sup>e</sup> zandlaag van Beegden (BEZ2), deze heeft een bandbreedte van 0,3-5,0	Valt tegen, weinig verschil met init_stat_50.run
<b>AANPASSING MODEL (INIT_STAT_50_VERSIE2.RUN)</b>		
STAT_KAL-PEST5.RUN	Opnieuw pest2	Valt tegen, weinig verschil met init_stat_50_versie2.run
STAT_KAL-PEST6.RUN	Opnieuw pest4	Valt tegen, weinig verschil met init_stat_50_versie2.run
<b>UPDATE KALIBRATIE: TOEVOEGING SCALING METHODIEK</b>		
STAT_KAL-PEST6A.RUN	Opnieuw pest6	Meeste resultaat. Vooral in het zuiden van focusgebied verbetert het model significant. Het centrum van Arcen blijft nagenoeg gelijk en in het noorden, bij Veld, wordt het model iets slechter.
STAT_KAL-PEST7A.RUN	Pest6a + de verticale doorlatendheid in laag 4 (KV) krijgt bandbreedte factor 0,02-5	Valt tegen, weinig verschil met pest6a
STAT_KAL-PEST8A.RUN	Pest6a + het doorlaatvermogen van de Maas (zit in modellen 1 t/m 4) krijgt bandbreedte factor 0,1-5	Valt tegen, weinig verschil met pest6a



KALIBRATIE	INHOUD	RESULTAAT
STAT_KAL-PEST9A.RUN	Pest6a + het doorlaatvermogen van alle waterlopen krijgt bandbreedte factor 0,1-5	Valt tegen, weinig verschil met pest6a
STAT_KAL-PEST10A.RUN	Pest6a + de verticale doorlatendheid (KV) van HLC en B XK1 in laag 1 en WAK1 in laag 3 is aangepast met bandbreedte factor 0,2-5	Valt tegen, weinig verschil met pest6a
<b>AANPASSING MODEL (INIT_STAT_50_VERSIE3.RUN)</b>		
STAT_KAL-PEST11.RUN	Pest6a + pest7a + pest8a + pest10a	Valt tegen, weinig verschil met pest6a/pest14
STAT_KAL-PEST12.RUN	Pest6a + pest7a + pest10a	Valt tegen, weinig verschil met pest6a/pest14
STAT_KAL-PEST13.RUN	Pest6a met groepering van formaties	Meer resultaat, net zoals bij pest6a, maar samenvoegen van formaties lijkt niet voordelig te zijn
STAT_KAL-PEST14.RUN	Pest6a	Meeste resultaat, net zoals bij pest6a, vooral in het zuiden van Arcen flinke verbetering
STAT_KAL-PEST15.RUN	Pest14 maar dan waterlopen uit SOBEK er helemaal goed in	Meeste resultaat, net zoals bij pest6a, zowel in het zuiden als in het noorden van Arcen flinke verbetering

## LOKALE PEILBUIZEN IN DE KALIBRATIE

In de eerste paar kalibratieruns zijn alle lokale peilbuizen meegenomen. Echter, alleen de peilbuizen bij de Lingsforterbeek lijken betrouwbaar. De andere reeksen zijn namelijk te kort om een indicatie te geven over de betrouwbaarheid hiervan en zijn dus niet te gebruiken (zie Figuur 2-9). Vanaf pest6a zijn deze peilbuizen nog wel meegenomen in de kalibratieset, maar zijn ze met grijs als onbetrouwbaar gemarkeerd. Als deze peilbuizen later aangevuld worden of als er meer informatie bekend is, is het mogelijk dat ze weer volledig gebruikt worden in de kalibratieset. Bij de laatste kalibratiestap (vanaf pest11) zijn ze er echter voor nu volledig uitgehaald.

### 5.1.1 PEST1 – PEST4: KALIBRATIE MET KHV

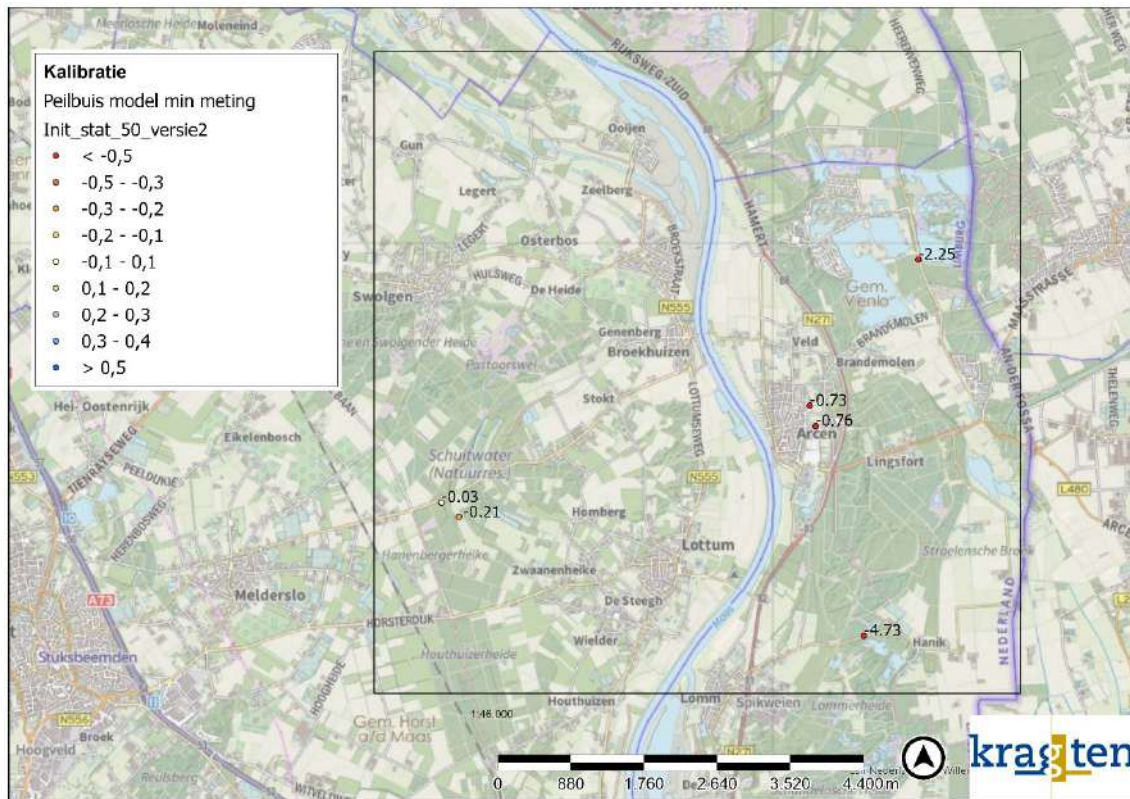
Met behulp van de gevoeligheidsanalyse is bepaald welke parameters geschikt zijn voor aanpassing om zo te komen tot een beter presterend model. Het aanpassen van de horizontale doorlatendheid (KHV) heeft hierbij de hoogste prioriteit gekregen. In deze kalibratieruns wordt telkens per geologische formatie een bandbreedte van vermenigvuldigingsfactoren gegeven waarbinnen de KHV aangepast mag worden. De geologische formaties die worden aangepast zijn de Formaties van Beegden en Peize-Waalre aangezien deze het grootste deel van het watervoerende pakket boven de Venloklei omvatten.

## RESULTAAT

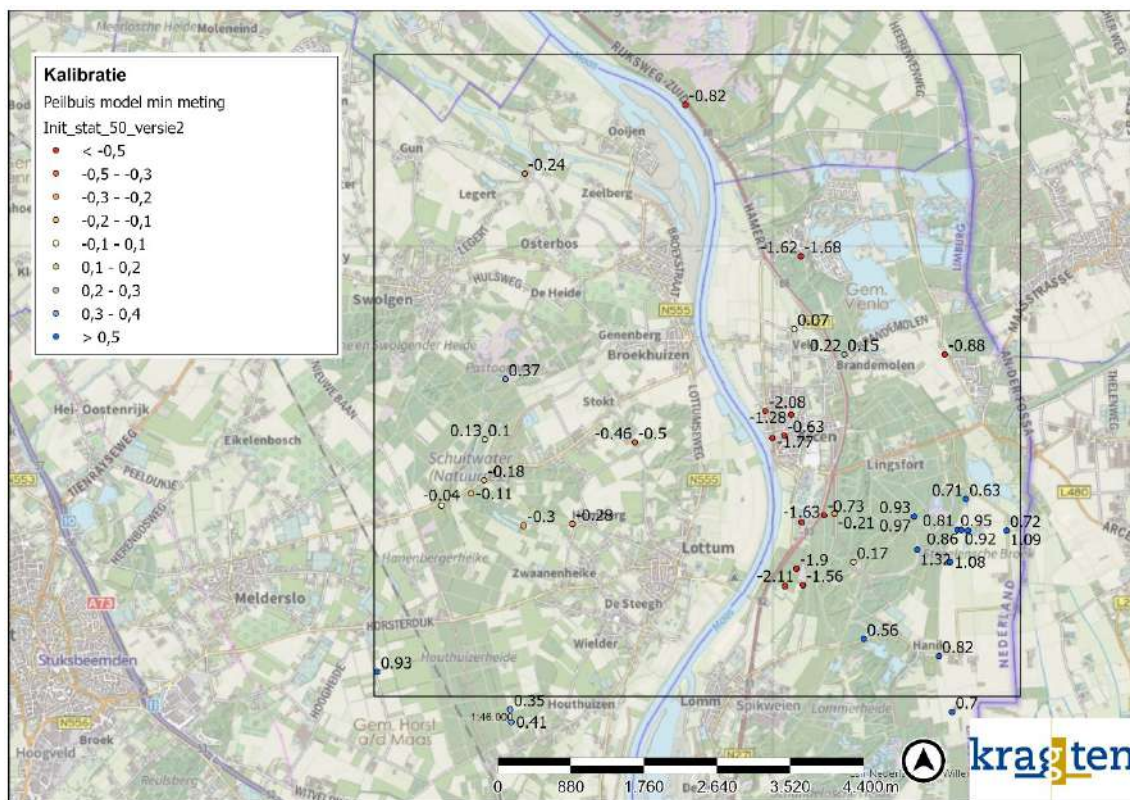
De resultaten van deze kalibratieruns zijn vergeleken met het initiële stationaire model (init\_stat\_50.run) maar de resultaten vallen tegen. Er zijn weinig peilbuizen rondom het focusgebied (het nieuwe waterkeringstraject in Figuur 2-1). Verder zijn de modelwaarden van de peilbuizen die er zijn slechter of ze blijven ongeveer hetzelfde.







Figuur 5-2: Residukaart laag 1 (in m) bij initiële run met andere peilbuizen (versie2)



Figuur 5-3: Residukaart laag 2-4 (in m) bij initiële run met andere peilbuizen (versie2)





Figuur 5-5: Verschilkaart laag 2-4 (in m) bij kalibratie run pest 6

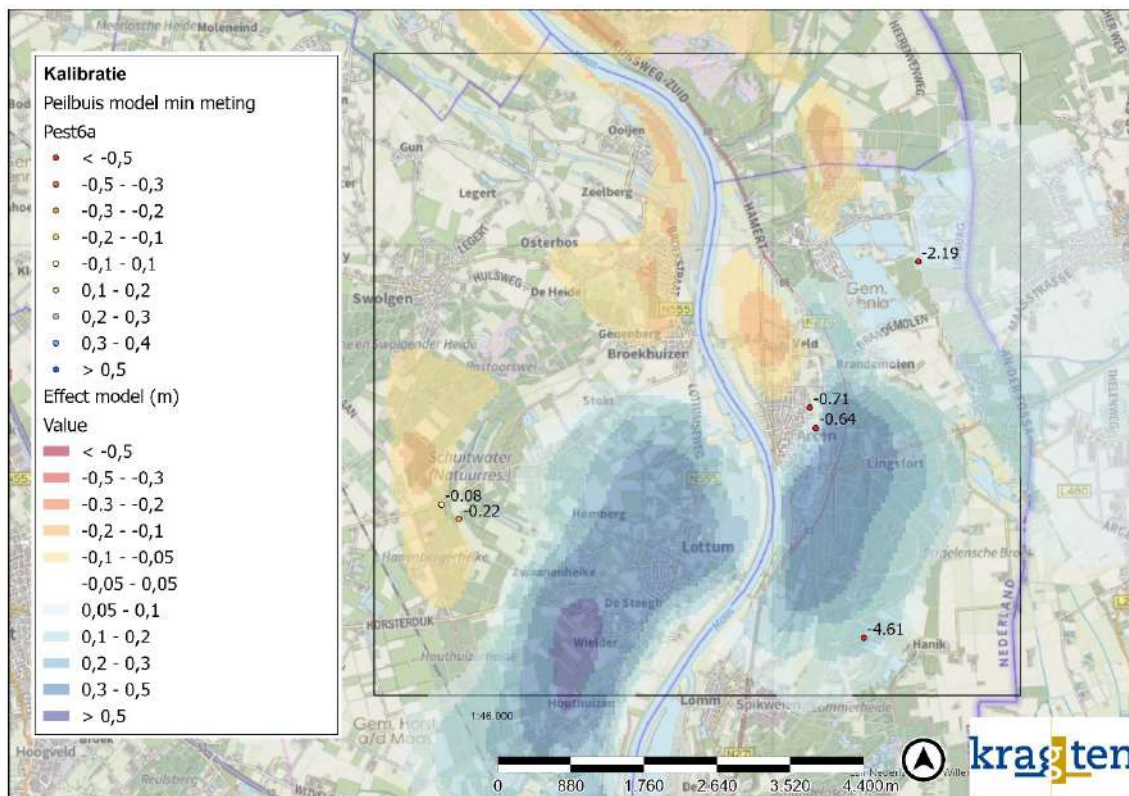
### 5.1.4 AANPASSING KALIBRATIE METHODE - SCALING METHODIEK

Voor de kalibratie hebben we de schalingsoptie PE\_SCALING op 2 gezet. Hierdoor schaal het optimalisatie algoritme de parameters zodanig dat ze dezelfde orde van grootte hebben. Dit heeft een positief effect op de performance van het algoritme. Verder wordt er ook gebruik gemaakt van zogenaamde eigenwaarde decompositie. Simpel gezegd zorgt deze methode ervoor dat parameters die sterk gecorreleerd zijn min of meer worden samengevoegd. Het schattingsalgoritme neemt vervolgens alleen die combinatie van parameters mee die voor de grootste verbetering zorgen.

### 5.1.5 PEST6A – PEST10A

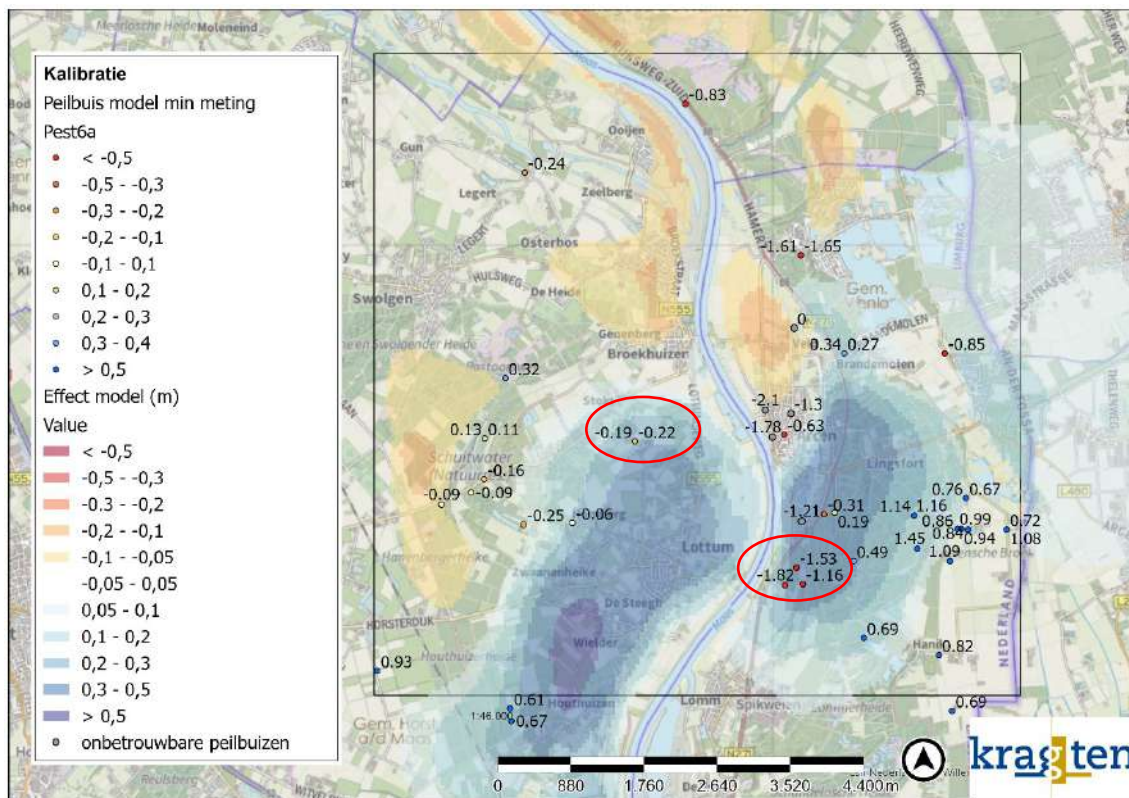
De resultaten van deze kalibratieruns zijn weer vergeleken met het stationaire model (init\_stat\_50\_versie2.run). Kalibratie pest6a toont nu veel verandering (zie Figuur 5-6 en Figuur 5-7). Vooral in het zuiden van ons focusgebied verbetert het model significant (tot ruim 40 cm). Het centrum van Arcen blijft nagenoeg gelijk en in het noorden, bij Veld, wordt het model iets slechter (circa 12 cm). Echter, de kalibratie lijkt vooral te focussen op de drie zuidelijke peilbuizen en een aantal westelijke peilbuizen; welke allen niet in ons focusgebied liggen (rode cirkels in Figuur 5-7).

Verder vallen de resultaten van de andere kalibratieruns tegen. Vergeleken met kalibratie pest6a is er niet veel verschil, terwijl de modelaanpassingen fors zijn.



Figuur 5-6: Verschilkaart laag 1 bij kalibratie run pest6a





Figuur 5-7: Verschilkaart laag 2-4 (in m) bij kalibratie run pest6a

## 5.1.6 AANPASSING VAN HET STATIONAIR MODEL (V.3)

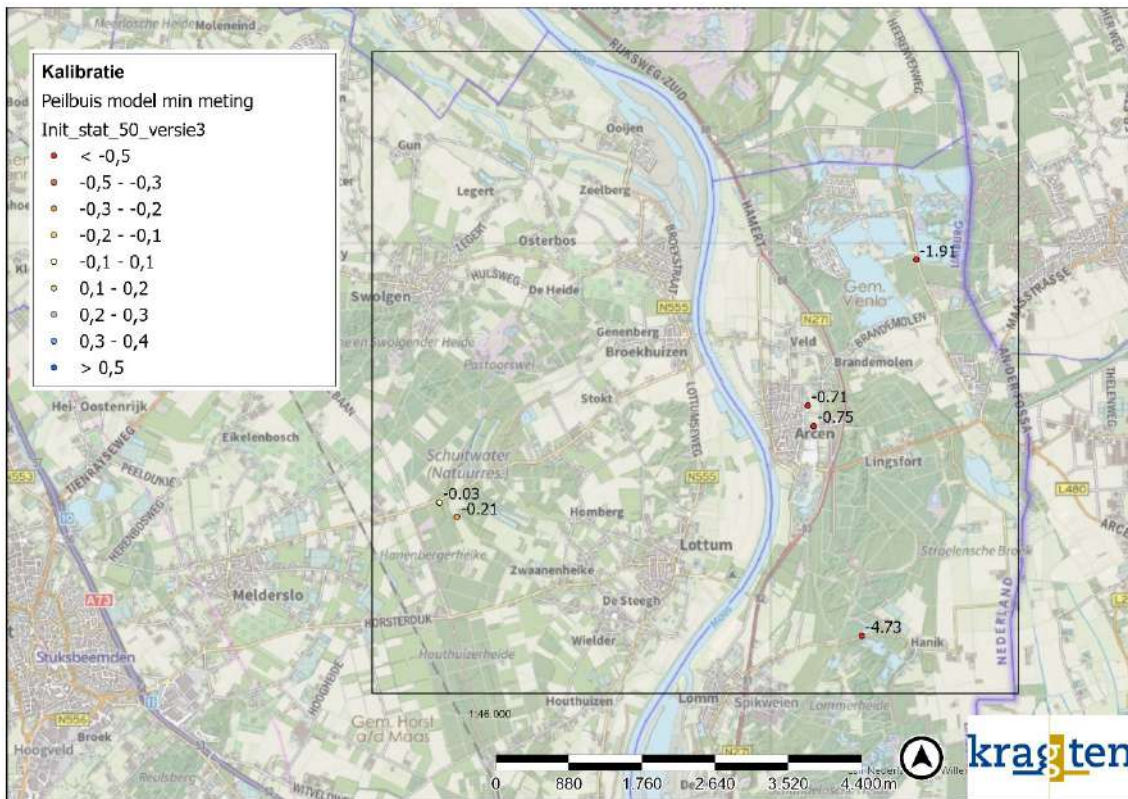
### ZANDWINPLAS CORRECT TOEVOEGEN

Vervolgens is nog een aanpassing aan het initiële model gedaan (init\_stat\_50\_versie2.run). De zandwinplas ten noorden van Arcen zit niet goed in het model. De infiltratiefactor van de plas is 0, waardoor de plas niet kan infiltreren. Hierdoor doet de plas in grote delen helemaal niets. Maar deze plas zal niet droogvallen en daardoor wel in contact moeten staan met het grondwater. Verder was de KHV ten plaatse van de plas overall 0. De infiltratiefactor en de KHV zijn aangepast. De KHV is heel hoog gezet, omdat er eigenlijk geen ondergrond is (de plas loopt over de hele diepte van de laag). Ook is de weerstand aangepast. Deze nieuwe model versie heet init\_stat\_50\_versie3.run.

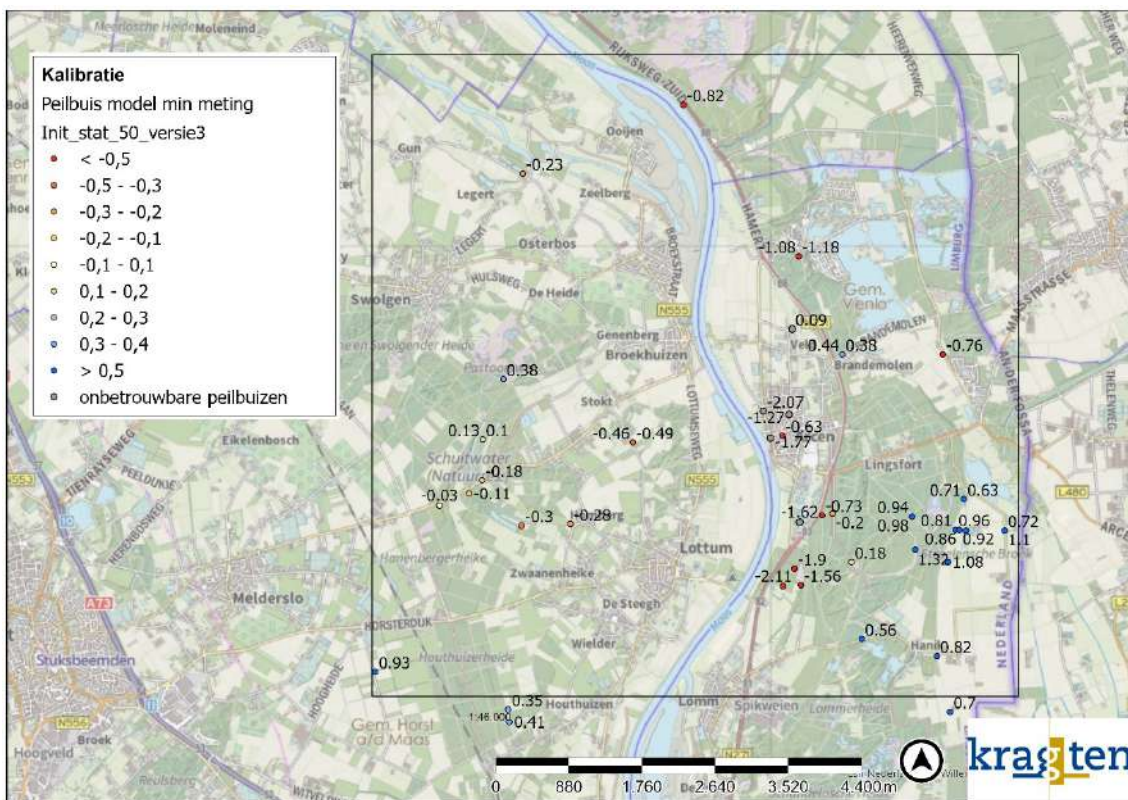
### RESULTAAT

De resultaten van deze nieuwe modelversie zijn vergeleken met de vorige versie van het stationaire model; init\_stat\_50\_versie2.run (zie Figuur 5-8 en Figuur 5-9). De gemodelleerde grondwaterstand rondom de plas, ten noorden van Arcen stijgt aanzienlijk (circa 50 cm). De fout ten opzichte van de metingen neemt dus af. Rond Veld, in het noorden van ons focusgebied, stijgt de grondwaterstand ook, maar hierdoor doet het model het iets slechter. Wel zit de huidige situatie nu realistischer in het model, waardoor het een goede verbetering is. De grondwaterstand in het centrum van Arcen verbetert een klein beetje (1 à 2 cm).





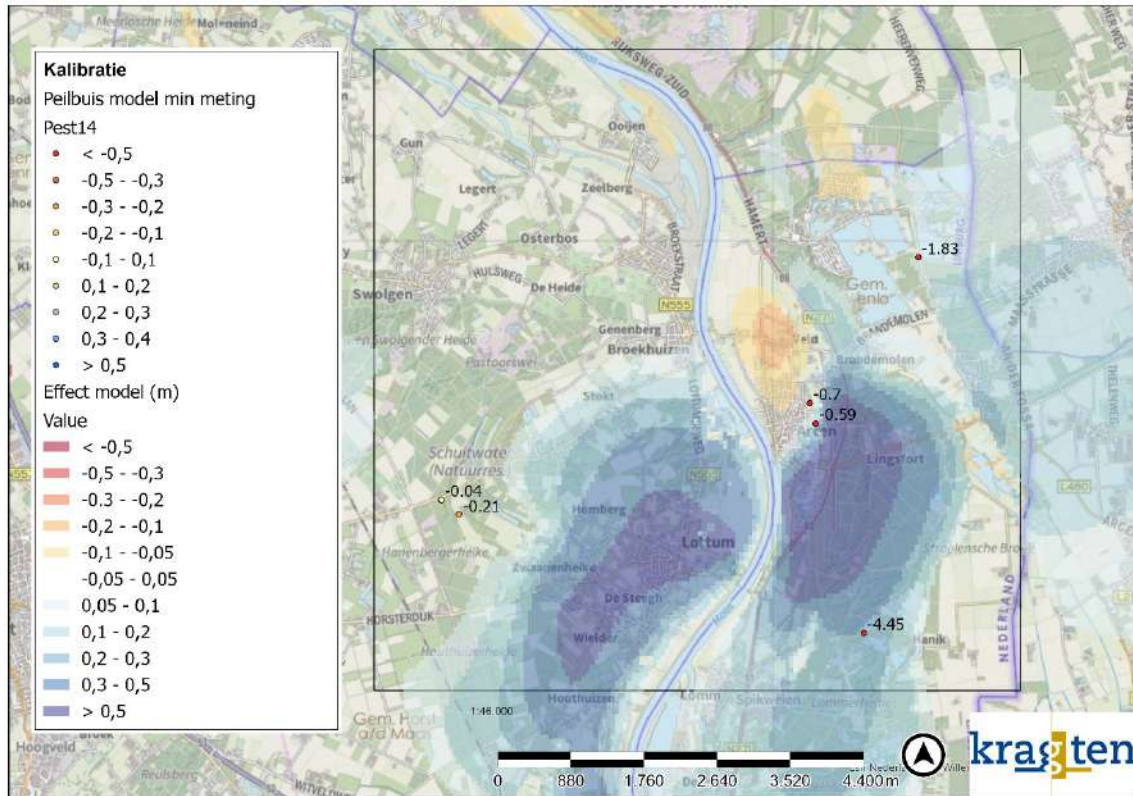
Figuur 5-8: Residukaart laag 1 (in m) bij initiële run (versie3)



Figuur 5-9: Residukaart laag 2-4 (in m) bij initiële run (versie3)

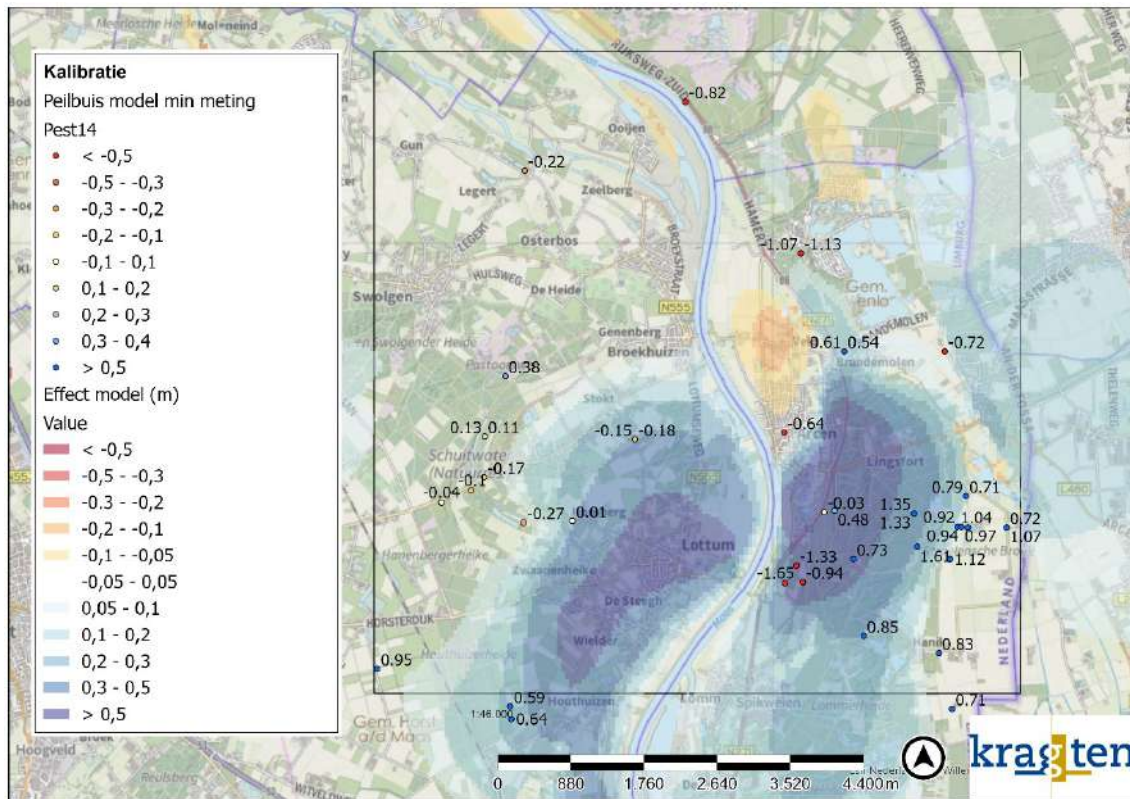
### 5.1.7 PEST11 – PEST14

De resultaten van deze kalibratieruns zijn weer vergeleken met het stationaire model (init\_stat\_50\_versie3.run). De gecombineerde kalibratieruns laten nog steeds zien dat de KHV aanpassen tot forse modelveranderingen leidt (pest14) maar dat de overige modelaanpassingen weinig verschil laten zien (pest11 en pest12). Verder laat het zien dat het groeperen van de formaties wel degelijk leidt tot betere resultaten (pest14 ten opzichte van pest13). Verder zijn de zuidelijke peilbuizen bij Arcen flink verbeterd ten opzichte van de andere kalibratieruns (Figuur 5-11).



Figuur 5-10: Verschilkaart laag 1 (in m) bij kalibratie run pest14



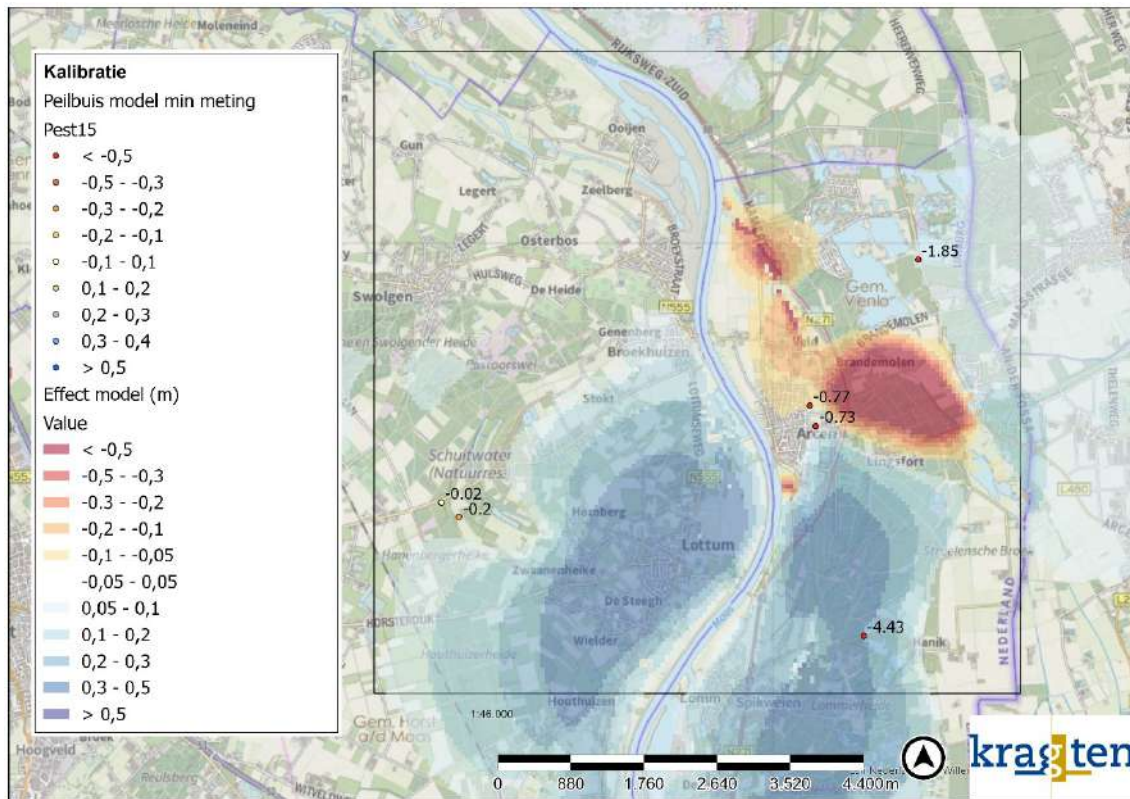


Figuur 5-11: Verschilkaart laag 2-4 (in m) bij kalibratie run pest14

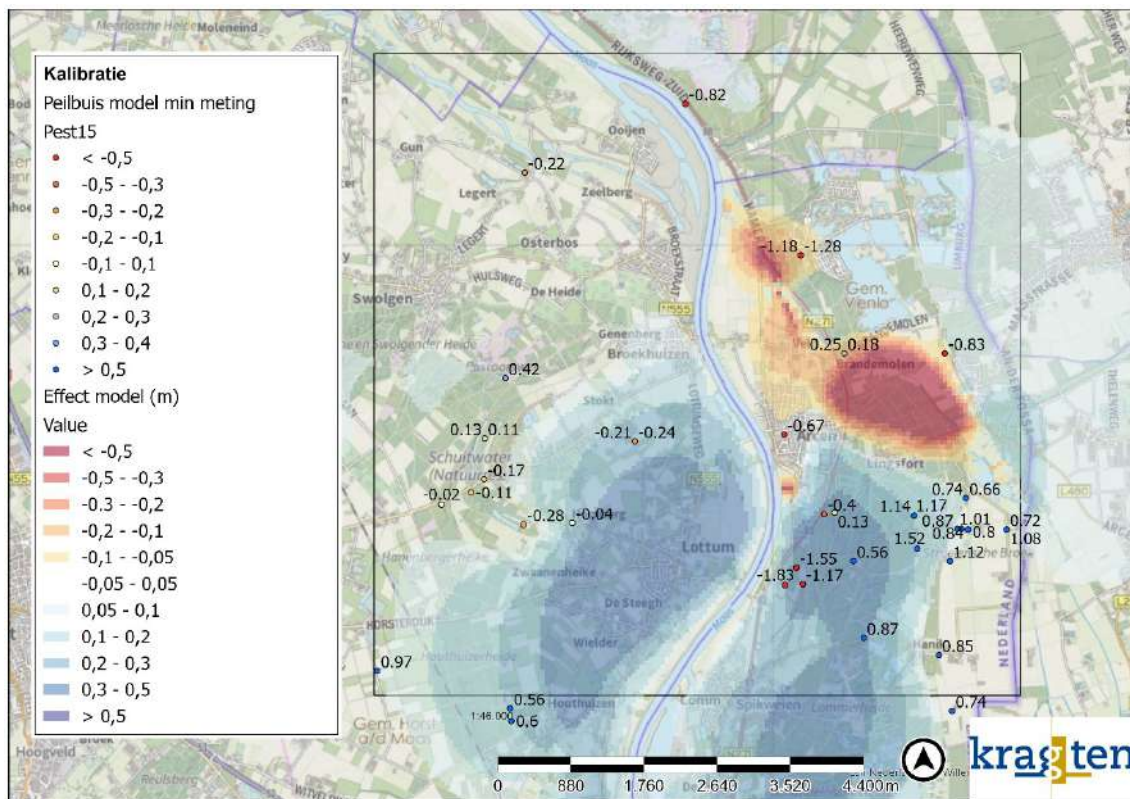
### 5.1.8 PEST15

De resultaten van deze kalibratieruns zijn weer vergeleken met het stationaire model (init\_stat\_50\_versie3.run) en met pest14. Vergeleken met init\_stat\_50\_versie3 is het model rondom Arcen bij deze kalibratie verbeterd, net zoals bij pest14. Vergeleken met pest14 doet het model het nu beter in het noorden van Arcen, bij Veld. In het zuiden van Arcen wordt het model droger, maar zijn de waarden van de 2 peilbuizen samen ongeveer hetzelfde. Het centrum van Arcen blijft ongeveer hetzelfde.





Figuur 5-12: Verschilkaart laag 1 (in m) bij kalibratie run pest15



Figuur 5-13: Verschilkaart laag 2-4 (in m) bij kalibratie run pest15

## 5.2 CONCLUSIE STATIONAIRE KALIBRATIE

Het initiële stationaire model is als volgt aangepast:

- De set van peilbuizen is aangepast om een betere en meer betrouwbare focus op het gebied rondom Arcen te krijgen;
- Met input vanuit het SOBEK-model is IBRAHYM verder geactualiseerd;
- De zandwinningplas ten noorden van Arcen is correct in het model gezet.

Bij de kalibratie methodiek blijkt dat het toevoegen van scaling goede resultaten oplevert. Met behulp van de automatische kalibratiefunctie van iMOD (iPEST) zijn meerdere kalibratieruns uitgevoerd. Dit zijn geen vlakdekkende aanpassingen maar aanpassing op basis van zones van REGIS-eenheden (geologische formaties). Per geologische formatie kan dan een bandbreedte van vermenigvuldigingsfactoren gegeven worden waarbinnen een parameter aangepast mag worden. Er zijn een aantal grote modelaanpassingen gedaan zoals het variëren van de horizontale doorlatendheid (KHV), de verticale doorlatendheid (KV), de weerstand van de Maas, de weerstand van de waterlopen, en een combinatie van voorgenoemde aanpassingen (Tabel 5-1). Tot nu toe lijken de beste kalibratieruns pest6a (versie2), pest 14 (versie3) en pest15 (update versie3) te zijn waarin alleen de KHV-waarden aangepast worden. De overige grote aanpassingen doen weinig. In kalibratierun pest15 verandert het centrum van Arcen bijna niet, maar verbeteren vooral de peilbuizen in het zuiden en noorden van Arcen. Op basis van beschikbare data (en projectrandvoorwaarden) zien we geen mogelijkheden om het model verder te verbeteren. Daarom is besloten om de resultaten van kalibratierun pest15 om te zetten naar het instationaire model.

## 5.3 INITIELE INSTATIONAIRE MODELRUN

Naast een stationaire modelrun (zie paragraaf 4.2) is ook een instationaire modelrun uitgevoerd. Deze modelrun is wel geactualiseerd (net zoals versie 3 van het stationaire model) maar nog niet gekalibreerd. De volgende aanpassingen zijn hiermee gedaan:

- De set van peilbuizen is aangepast om een betere en meer betrouwbare focus op het gebied rondom Arcen te krijgen;
- Met input vanuit het SOBEK-model is IBRAHYM verder geactualiseerd;
- De zandwinningplas ten noorden van Arcen is correct in het model gezet.

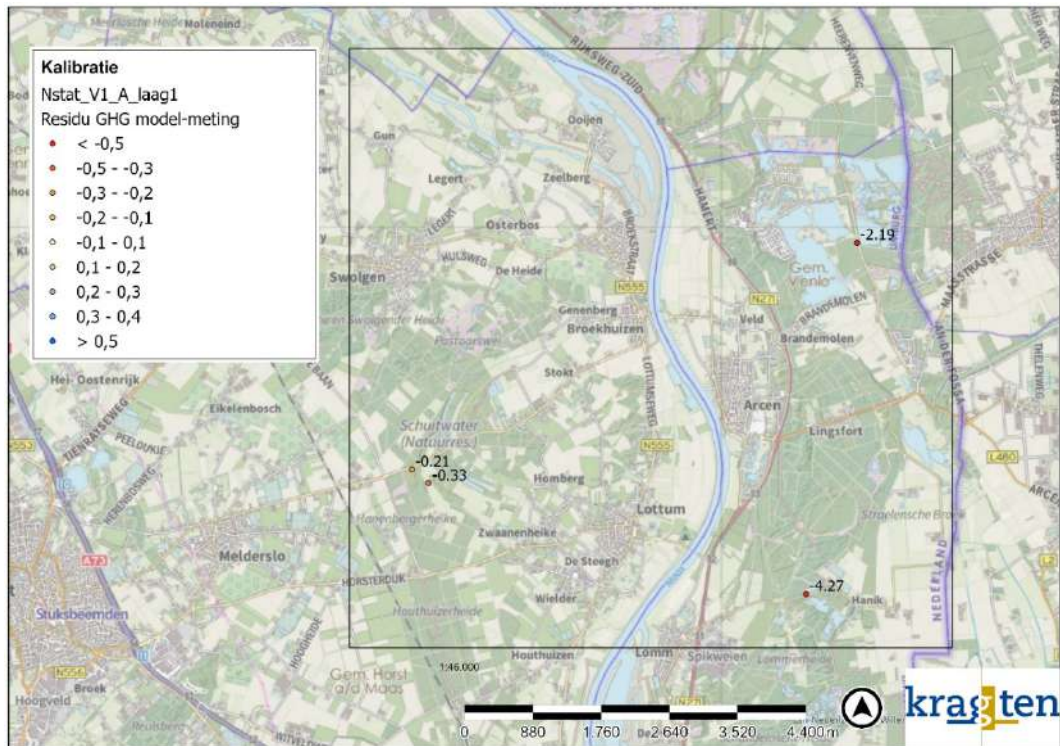
De resultaten van deze modelrun (NSTAT\_V1\_A) zijn onderstaand weergegeven. Opgenomen zijn 6 kaarten:

- Residu GHG modellaag 1
- Residu GHG modellaag 2 t/m 4
- Residu GLG modellaag 1
- Residu GLG modellaag 2 t/m 4
- Residu Grondwaterdynamiek: GHG-GLG modellaag 1
- Residu Grondwaterdynamiek: GHG-GLG modellaag 2 t/m 4

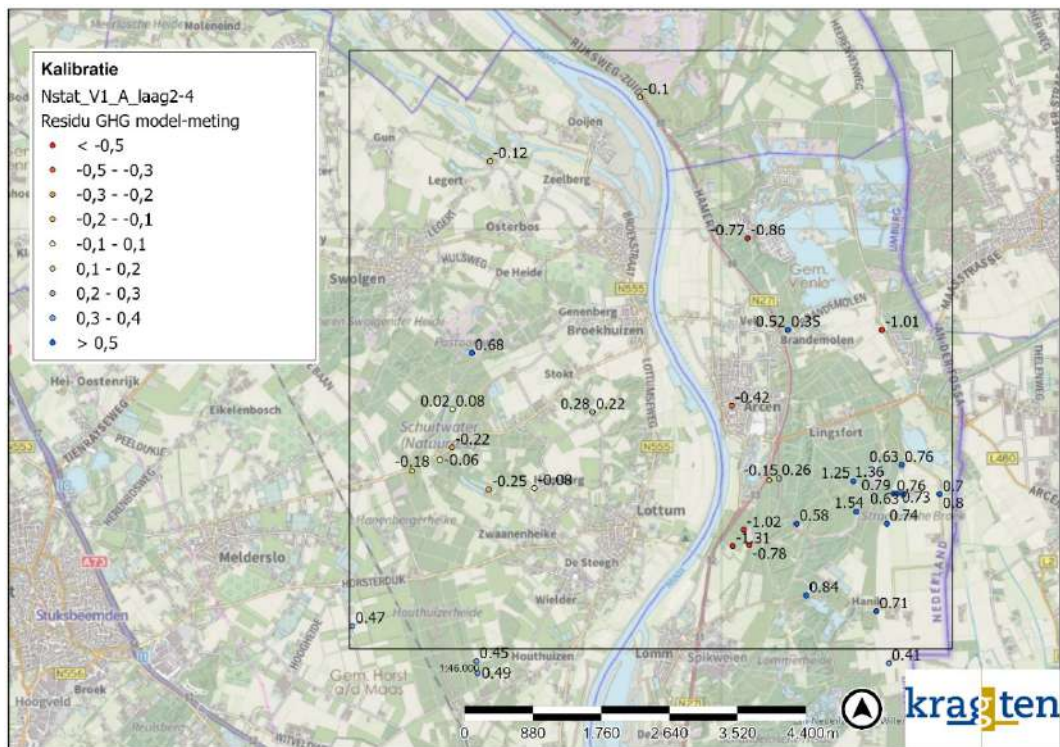
De GHG en GLG zijn bepaald voor de periode van 2003 – 2011.



### 5.3.1 GHG RESULTATEN



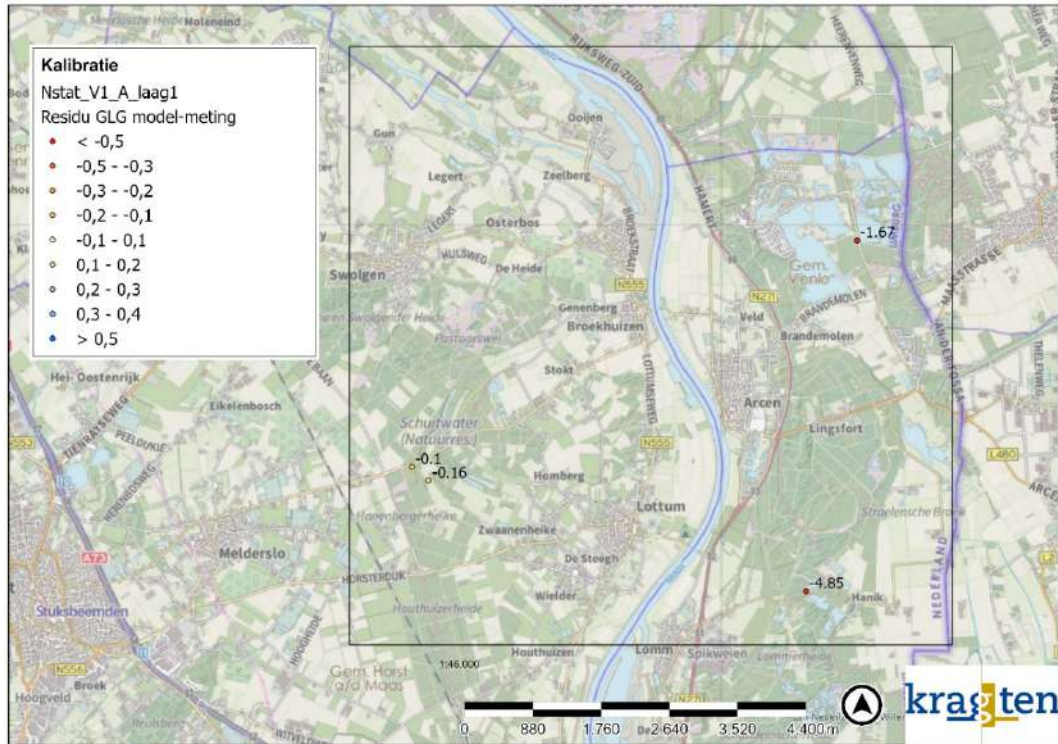
Figuur 5-14: Residu GHG modellaag 1 (in m) INIT\_NSTAT\_25\_V1\_A



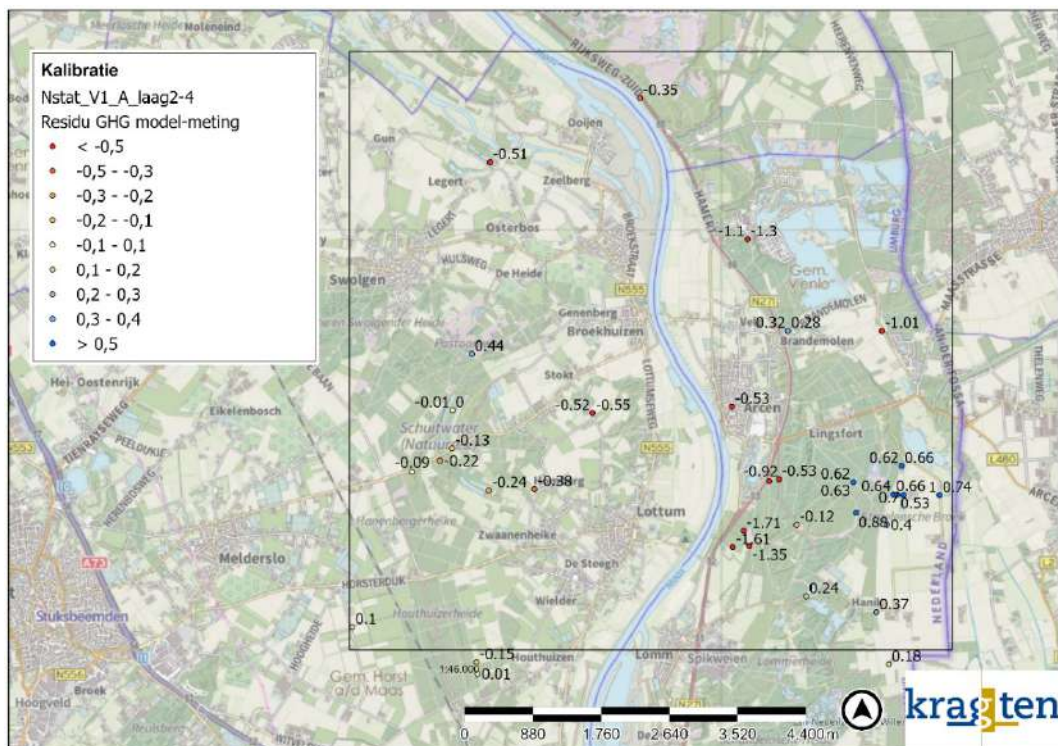
Figuur 5-15: Residu GHG modellaag 2 t/m 4 (in m) INIT\_NSTAT\_25\_V1\_A



### 5.3.2 GLG RESULTATEN



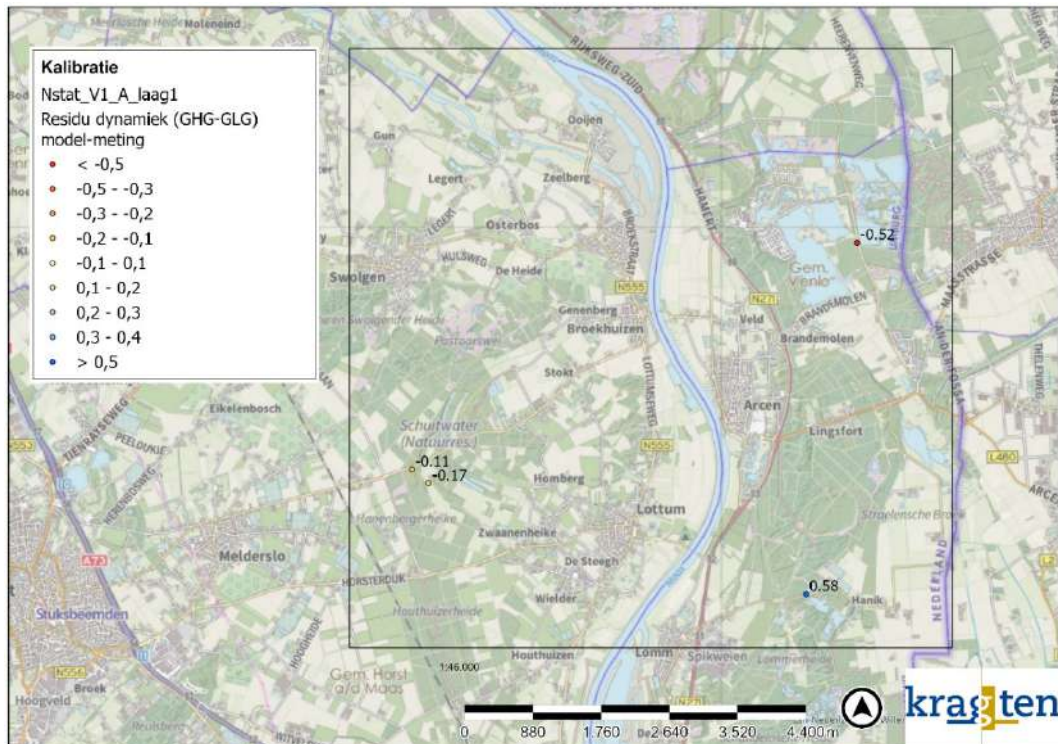
Figuur 5-16: Residu GLG modellaag 1 (in m) INIT\_NSTAT\_25\_V1\_A



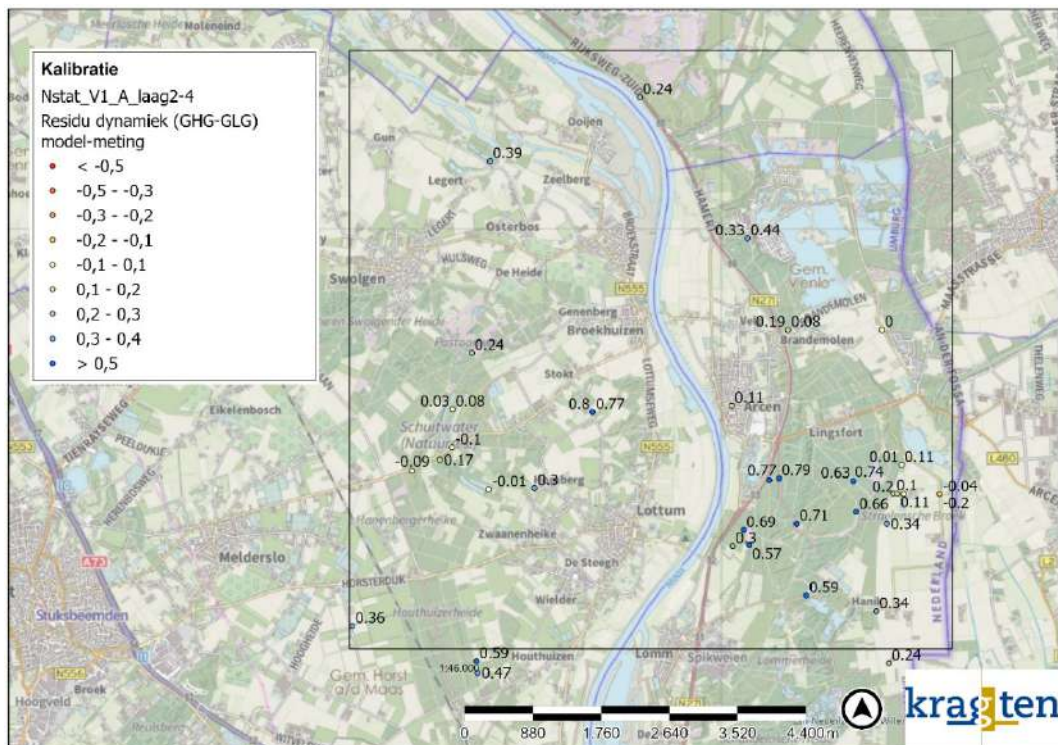
Figuur 5-17: Residu GLG modellaag 2 t/m 4 (in m) INIT\_NSTAT\_25\_V1\_A



### 5.3.3 DYNAMIEK RESIDU RESULTATEN



Figuur 5-18: Residu Grondwaterdynamiek: GHG-GLG modellaag 1 (in m) INIT\_NSTAT\_25\_V1\_A

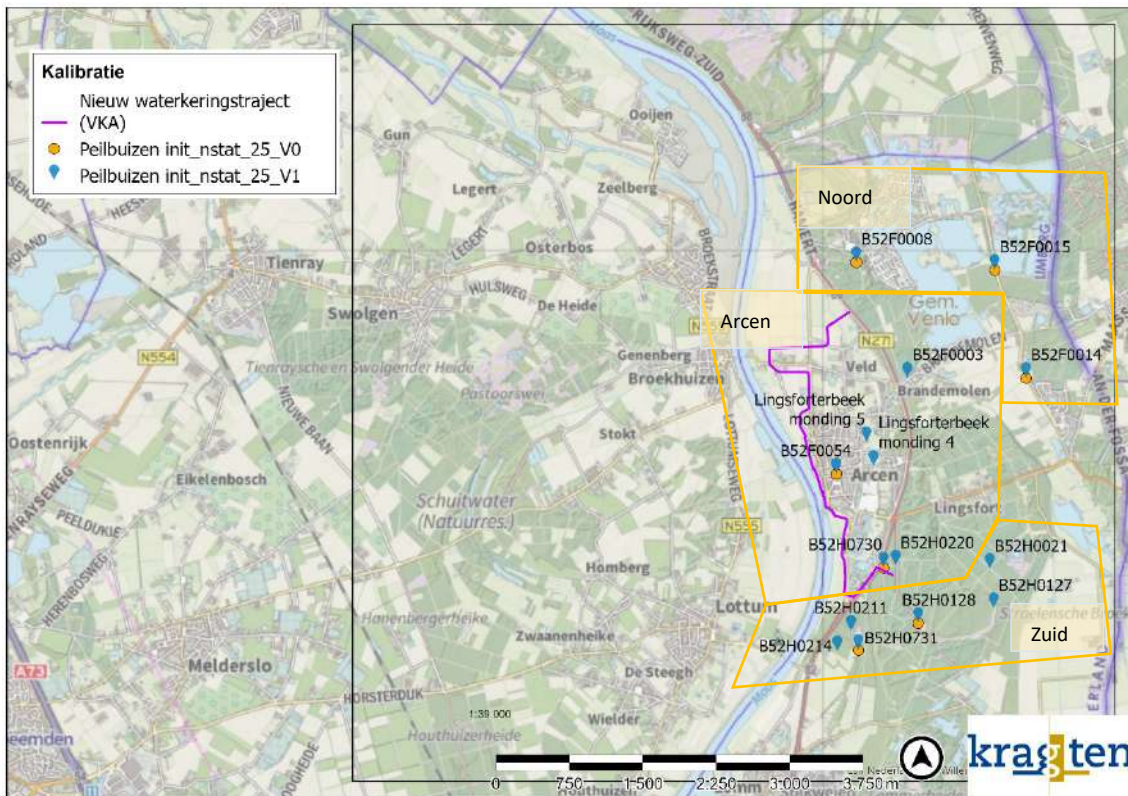


Figuur 5-19: Residu Grondwaterdynamiek: GHG-GLG modellaag 2 t/m 4 (in m) INIT\_NSTAT\_25\_V1\_A

### 5.3.4 TIJDREEKSEN

Onderstaand zijn de verschillen tussen de meetreeksen en de berekende grondwaterstanden van de peilbuizen rondom Arcen opgenomen. Hierbij zijn de metingen in **blauw** weergegeven en de modelberekeningen in **rood** (1994-2011). Voor de ligging van de peilbuizen wordt verwezen naar Figuur 5-20.

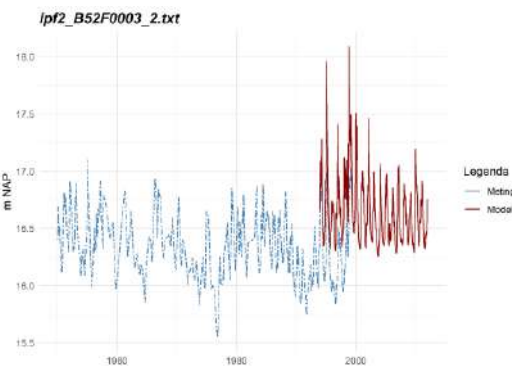
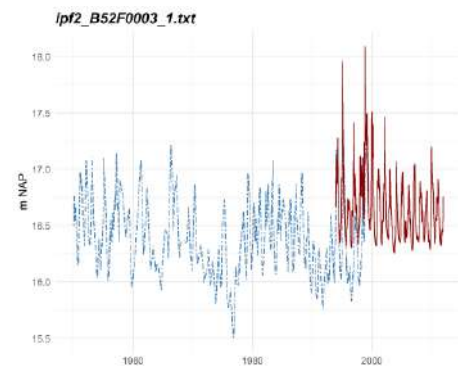
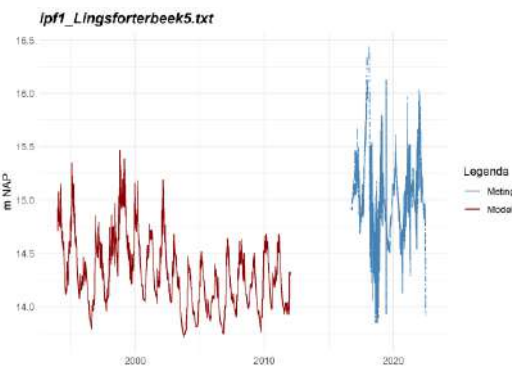
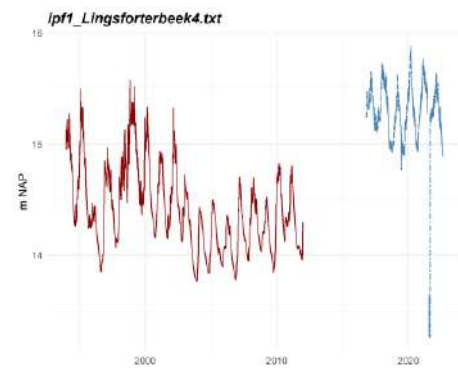
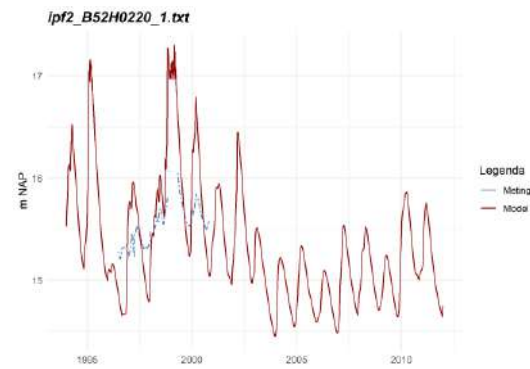
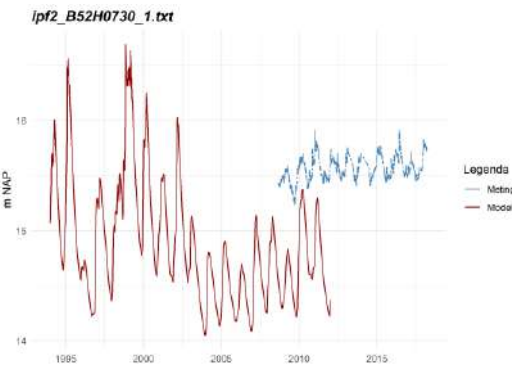
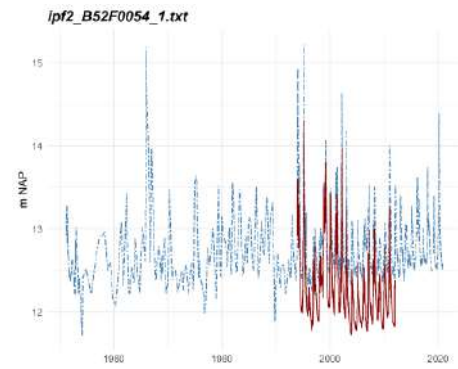
Uit de onderstaande tijdreeksen kan geconcludeerd worden dat het model over het algemeen te lage grondwaterstanden berekend (Figuur 5-21). Verder kan geconcludeerd worden dat de dynamiek in het model over het algemeen te hoog is.



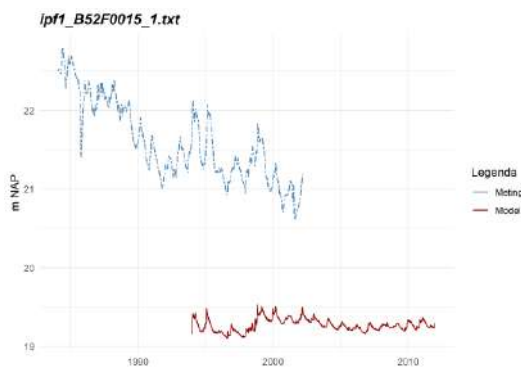
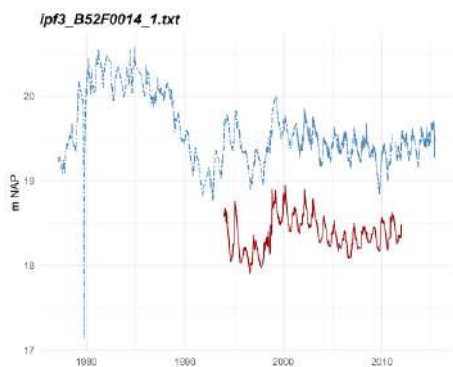
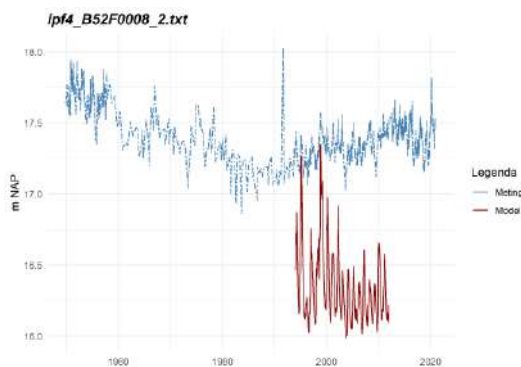
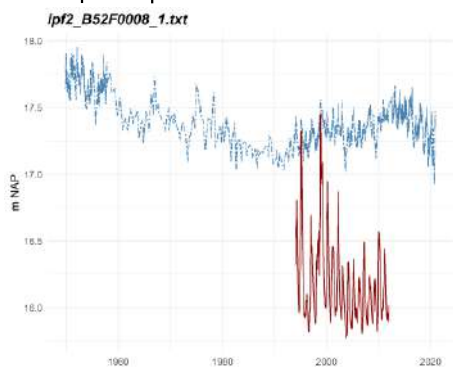
Figuur 5-20: Ligging peilbuizen waarvan tijdreeksen zijn gemaakt van de verschillende modelversies



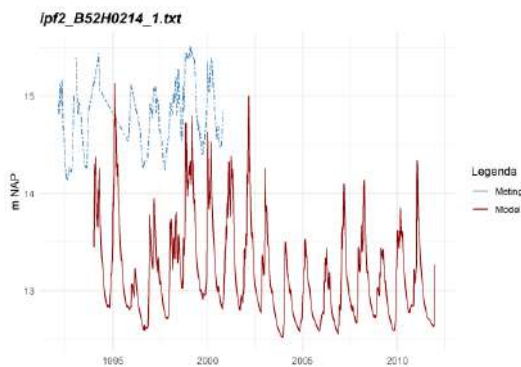
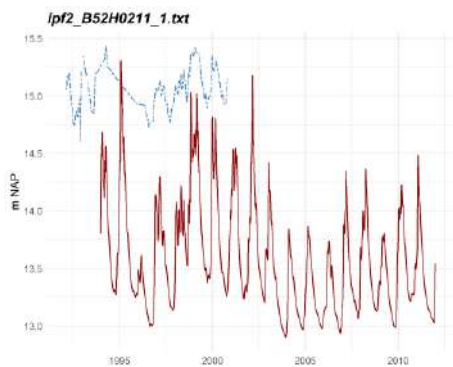
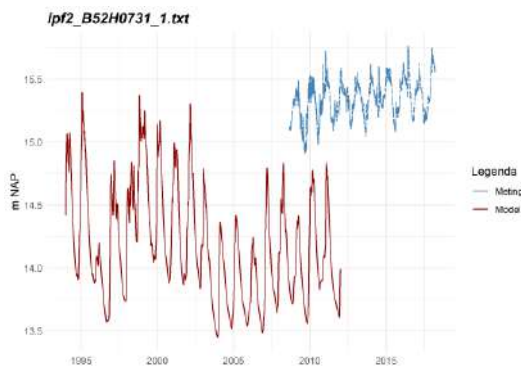
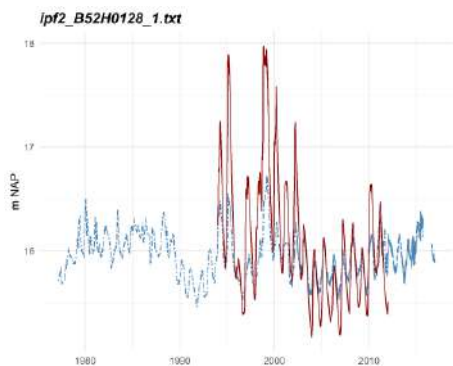
## Arcen

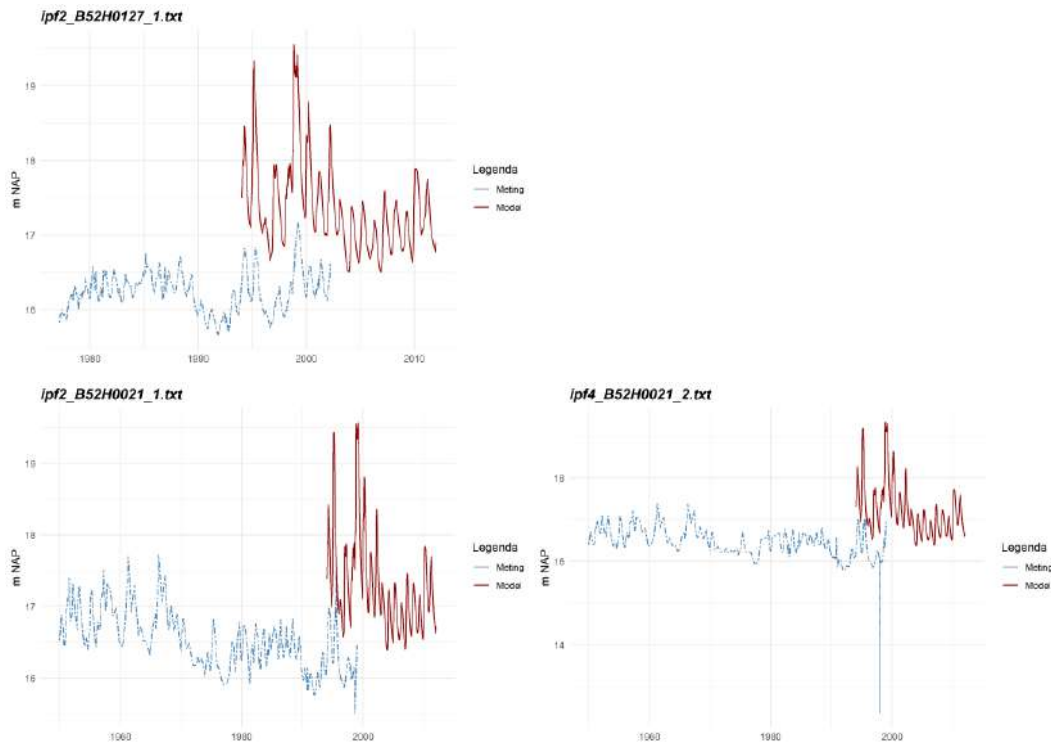


### Noordelijk ten opzichte van Arcen



### Zuidelijk ten opzichte van Arcen





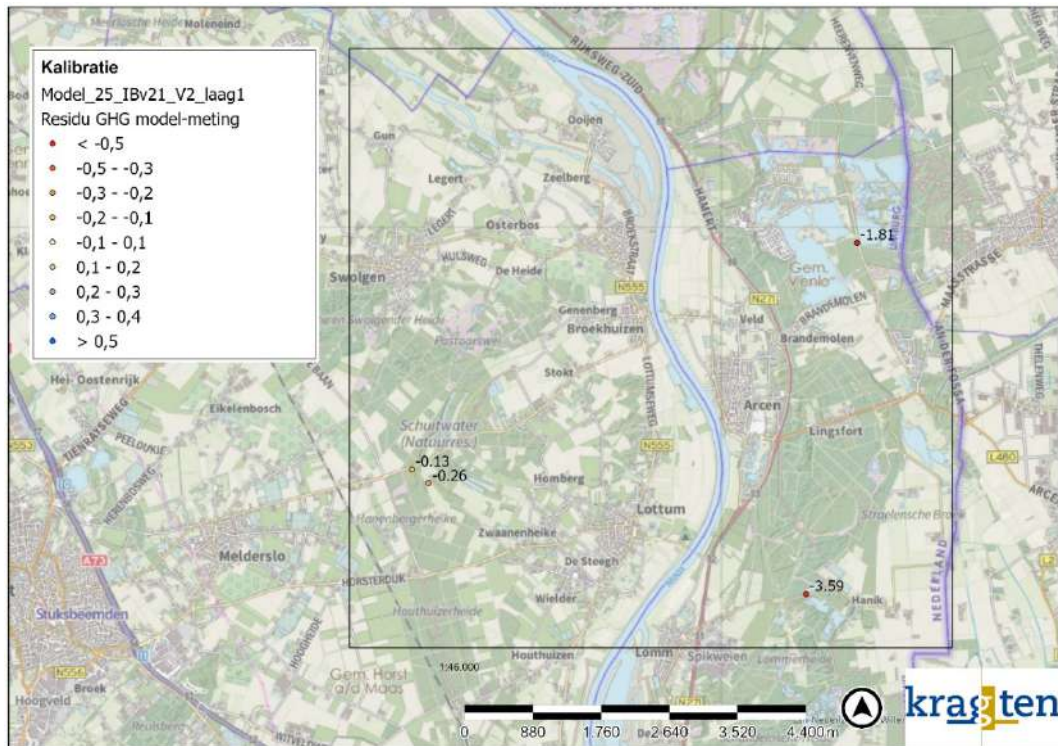
Figuur 5-21: Tijdreeksen van het initiële instationaire model (INIT\_NSTAT\_25\_V1\_A)

## 5.4 KALIBRATIE INSTATIONAIR MODEL (MODEL\_25\_IBV21\_V2)

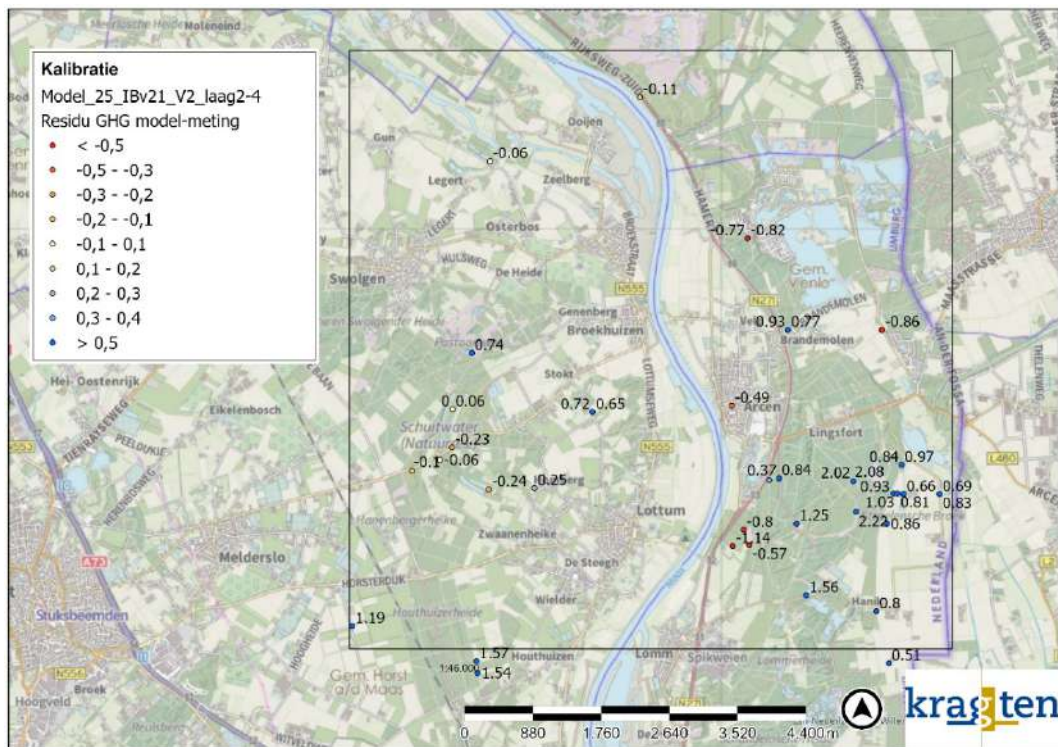
Het instationaire model is gekalibreerd met de resultaten van kalibratierun pest15. Hierin zijn de KHV-waarden van de Formaties van Beegden en Peize-Waalre aangepast aangezien deze het grootste deel van het watervoerende pakket boven de Venloklei omvatten. De resultaten van deze modelrun zijn onderstaand weergegeven. Net zoals bij de initiële modelrun, zijn de GHG en GLG bepaald voor de periode van 2003 – 2011.



### 5.4.1 GHG RESULTATEN



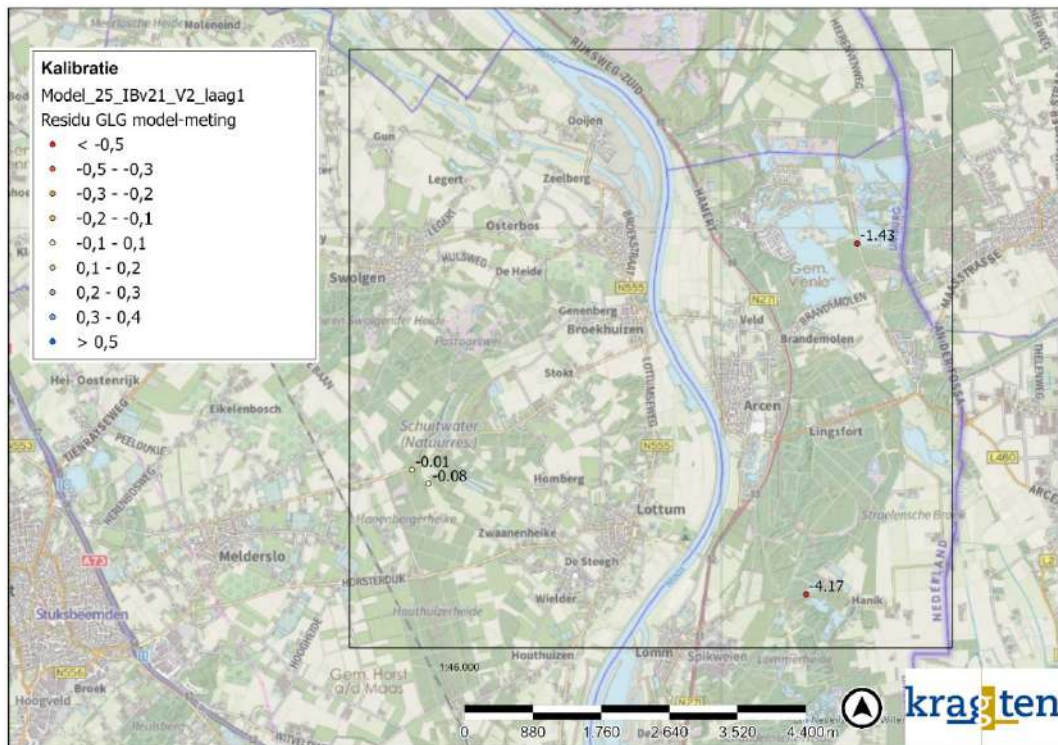
Figuur 5-22: Residu GHG modellaag 1 (in m) Model\_25\_IBv21\_V2



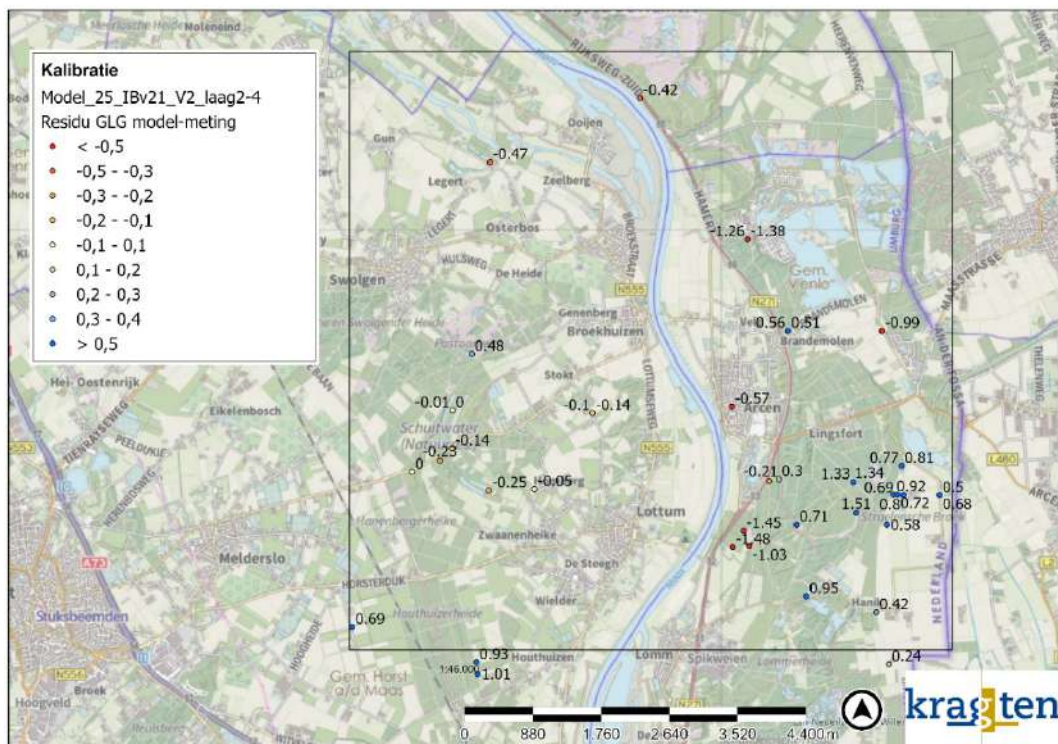
Figuur 5-23: Residu GHG modellaag 2 t/m 4 (in m) Model\_25\_IBv21\_V2



### 5.4.2 GLG RESULTATEN



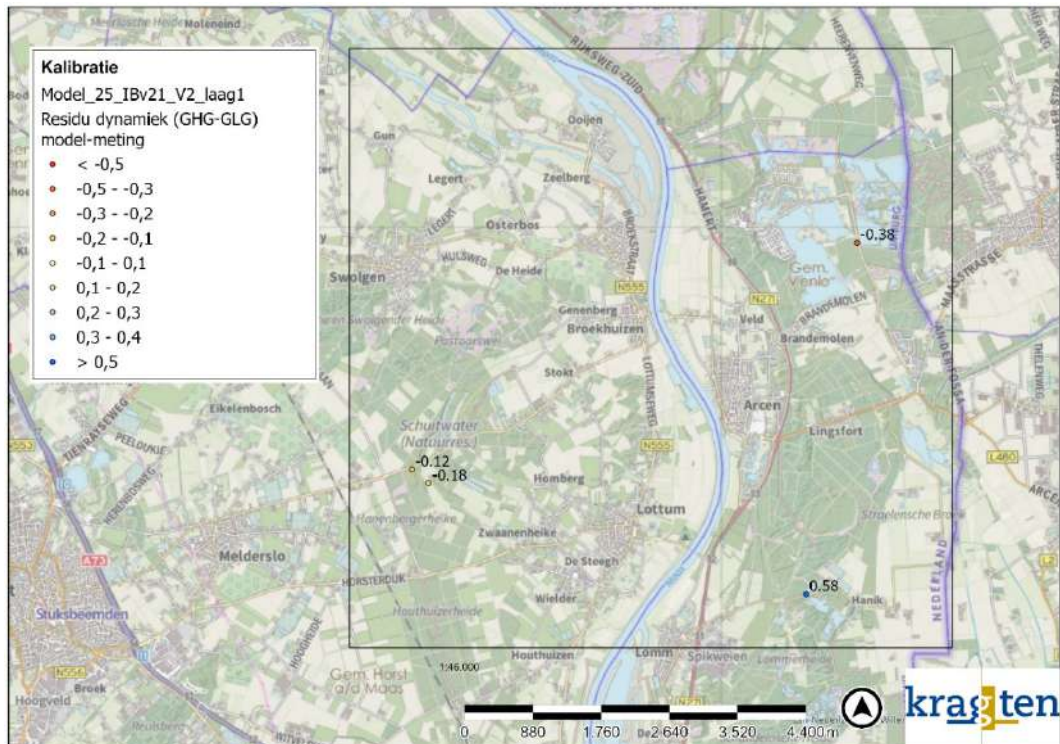
Figuur 5-24: Residu GLG modellaag 1 (in m) Model\_25\_IBv21\_V2



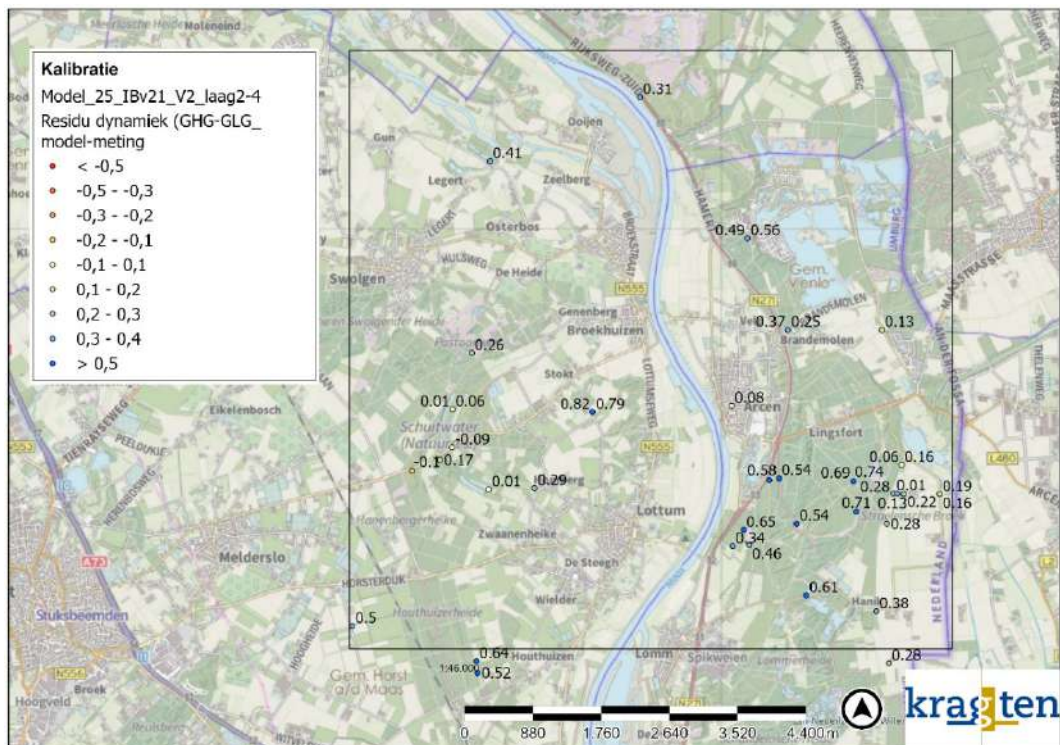
Figuur 5-25: Residu GLG modellaag 2 t/m 4 (in m) Model\_25\_IBv21\_V2



### 5.4.3 DYNAMIEK RESIDU RESULTATEN



Figuur 5-26: Residu Grondwaterdynamiek: GHG-GLG modellaag 1 (in m) Model\_25\_IBv21\_V2



Figuur 5-27: Residu Grondwaterdynamiek: GHG-GLG modellaag 2 t/m 4 (in m) Model\_25\_IBv21\_V2

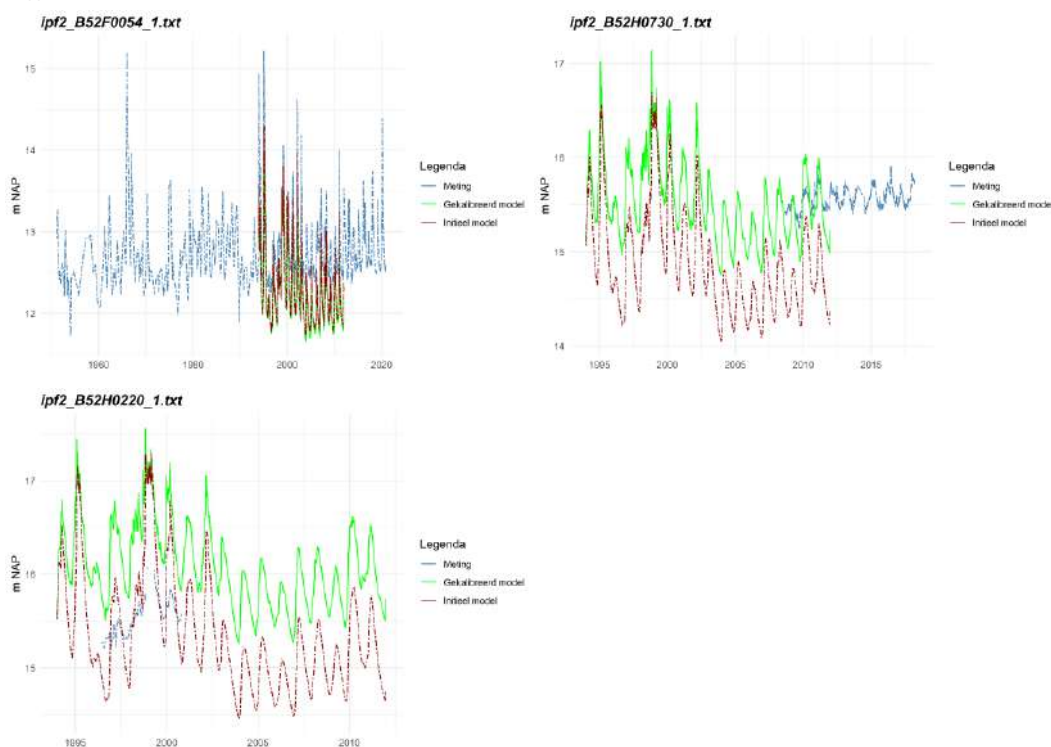


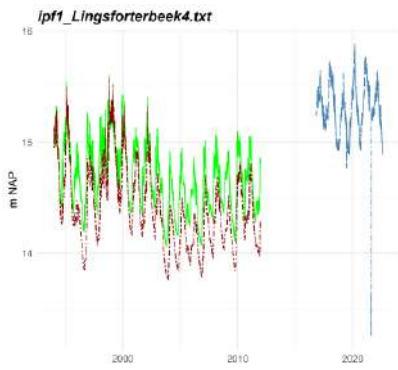
#### 5.4.4 TIJDREEKSEN

Onderstaand zijn de verschillen tussen de meetreeksen, en de berekende grondwaterstanden van de peilbuizen rondom Arcen opgenomen. Hierbij zijn de metingen in **blauw** weergegeven, de modelberekeningen van het niet gekalibreerde model in **rood** (1994-2011), en de modelberekeningen van het gekalibreerde model in **groen** (1994-2011). Voor de ligging van de peilbuizen wordt verwezen naar Figuur 5-20.

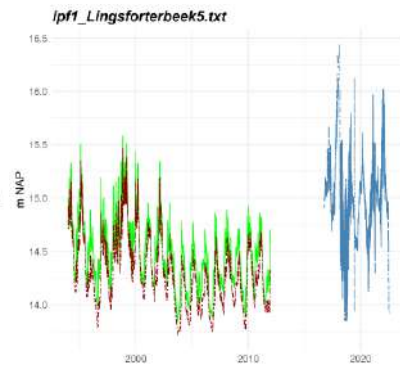
Uit de onderstaande tijdreeksen kan geconcludeerd worden dat het model over het algemeen te lage grondwaterstanden berekend (Figuur 5-28). Verder kan geconcludeerd worden dat de dynamiek in het model over het algemeen te hoog is.

#### Arcen

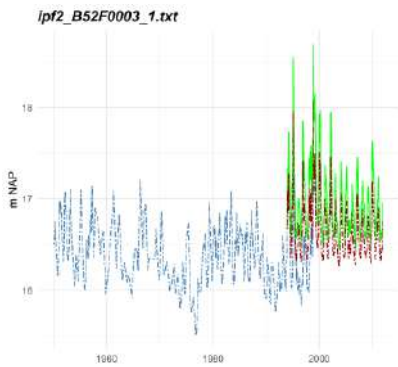




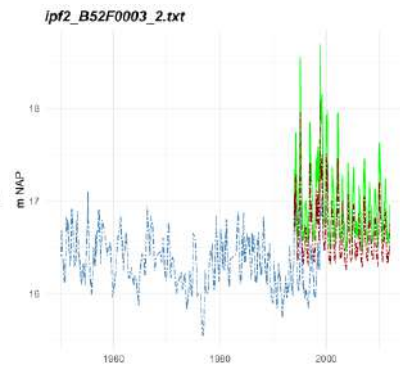
Legenda  
— Meting  
— Gekalibreerd model  
— Initieel model



Legenda  
— Meting  
— Gekalibreerd model  
— Initieel model

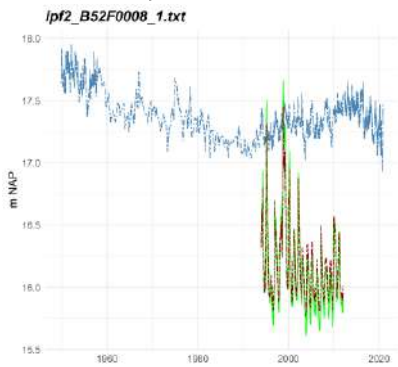


Legenda  
— Meting  
— Gekalibreerd model  
— Initieel model

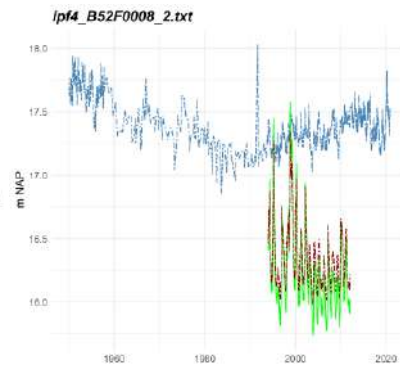


Legenda  
— Meting  
— Gekalibreerd model  
— Initieel model

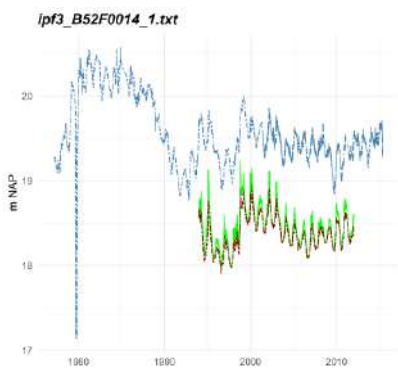
Noordelijk ten opzichte van Arcen



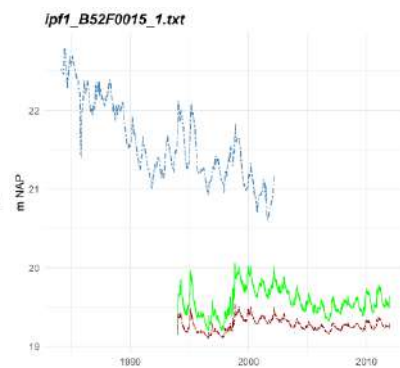
Legenda  
— Meting  
— Gekalibreerd model  
— Initieel model



Legenda  
— Meting  
— Gekalibreerd model  
— Initieel model

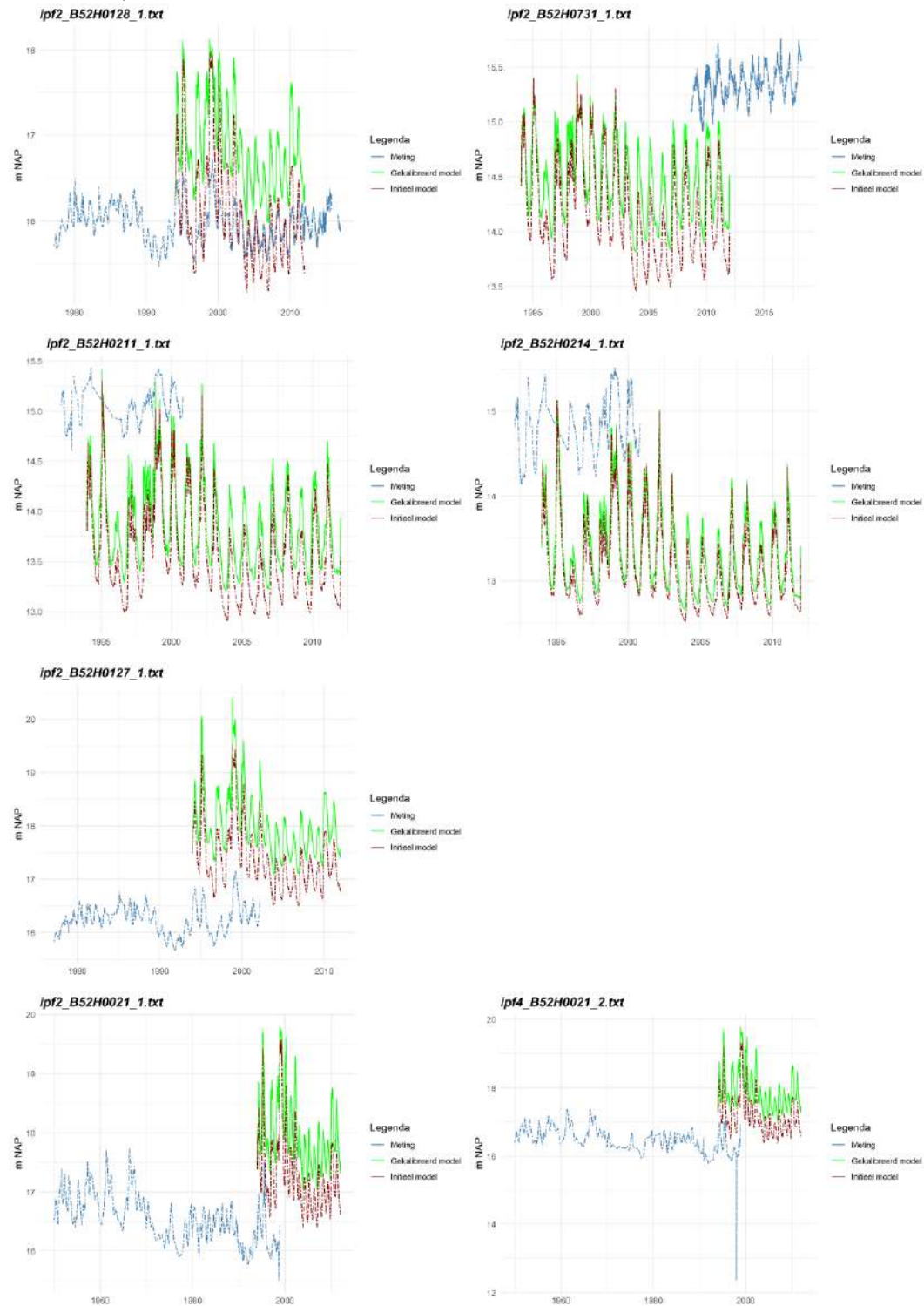


Legenda  
— Meting  
— Gekalibreerd model  
— Initieel model



Legenda  
— Meting  
— Gekalibreerd model  
— Initieel model

Zuidelijk ten opzichte van Arcen



Figuur 5-28: Tijdreeksen van het gekalibreerde instationaire model (Model\_25\_IBv21\_V2)

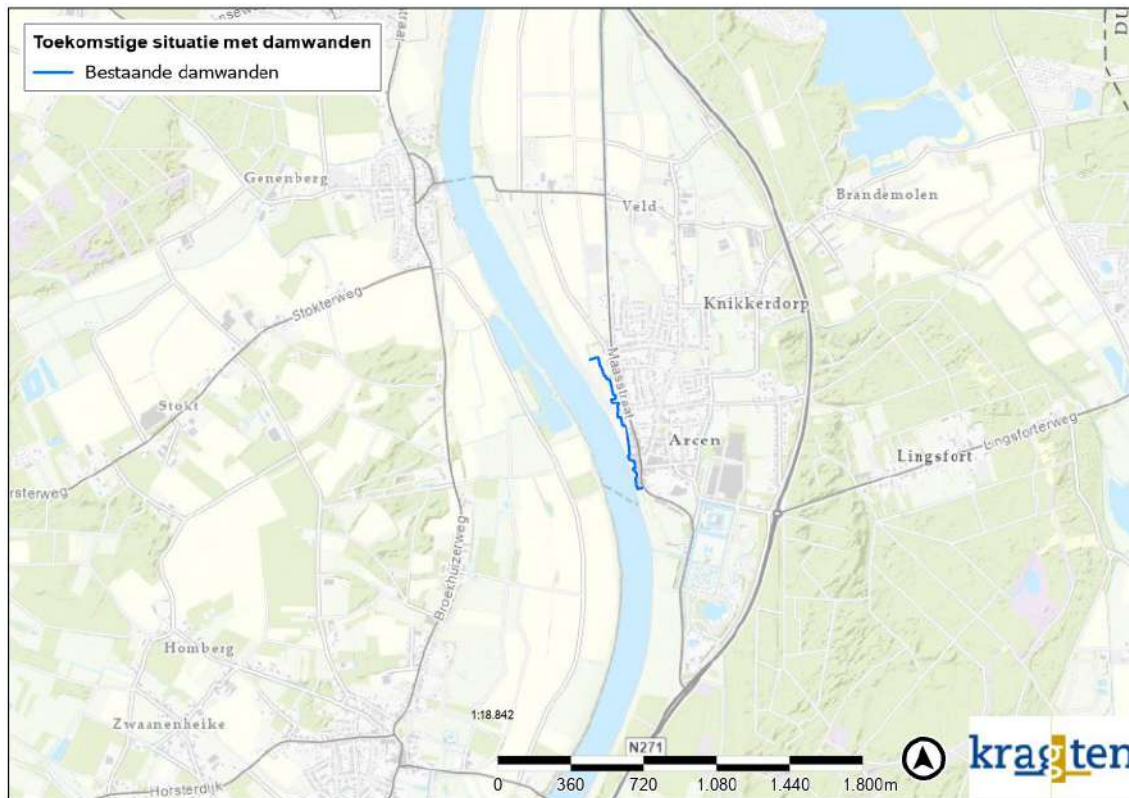


## 6 HUIDIGE SITUATIE

Na kalibratie van het stationaire model en het instationaire model kwam naar voren dat in de huidige situatie ter plaatse van Arcen-midden al damwanden aanwezig zijn. Voor het berekenen van eventuele effecten van het ontwerp is het belangrijk de huidige situatie correct in het model te hebben. Het model van de huidige situatie is daarom aangevuld met de bestaande damwanden ter plaatse van Arcen-midden. Dit is in dit hoofdstuk nader toegelicht.

### 6.1 UITGANGSPUNTEN

De ligging van de damwanden is op onderstaande afbeelding weergegeven. Aangenomen is dat de wanden een diepte hebben van 6 m en dat zij op het maaiveld beginnen. Het maaiveldniveau is langs het gehele damwandentraject ongeveer NAP +16,0 m. De ligging van de onderkant van de wanden is daarom vastgesteld tot 1 waarde ten opzichte van NAP, namelijk NAP +10,0 m. De ligging van de damwanden is weergegeven op Figuur 6-1.



Figuur 6-1: Ligging van de bestaande damwand

Door middel van het invoegen van een 2D horizontal flow barrier (HFB) is de damwand in het model geïmplementeerd. We voeren een conservatieve berekening uit door het toepassen van de volgende uitgangspunten:

- De damwand sluit de volledige modellagen 1 en 2 af. Dit leidt tot een overschatting van het eventueel effect, omdat de damwand dieper wordt geschematiseerd dan in werkelijkheid het geval is (namelijk halverwege laag 2);
- Voor de damwand is een weerstand van 1000 dagen gehanteerd. Dit is een vrij hoge weerstand, waarmee we dus aan de 'veilige' kant zitten.

Uit de vergelijking van de huidige situatie zonder en met damwanden, kan worden afgeleid dat het toevoegen van de schermen geen effect op de grondwaterstanden heeft. Het toevoegen van de schermen, na afronding van de kalibratie leidt daardoor in dit geval niet tot andere resultaten.

---

## 6.2 STATIONAIR MODEL

Op basis van bovenstaande uitgangspunten is een stationaire berekening uitgevoerd. De resultaten van deze berekening zijn weergegeven bijlage A. Bij de Maas ligt de grondwaterstand op circa NAP +11,0 m (gelijk aan het gemiddelde Maaspeil) en dit loopt op richting het oosten.

---

## 6.3 INSTATIONAIR MODEL

Op basis van bovenstaande uitgangspunten is tevens een instationaire berekening uitgevoerd. De resultaten van deze conservatieve berekening zijn weergegeven bijlage A. Hier zijn kaarten opgenomen van de GHG en GLG voor modellaag 1 ten opzichte van NAP en ten opzichte van maaiveld.

---

## 6.4 CONCLUSIE

Met behulp van een modelberekening met het gekalibreerde IBRAHYM-grondwatermodel voor Arcen is de huidige situatie in beeld gebracht. Uit de tijdreeksen van het gekalibreerde instationaire model blijkt dat het model matig presteert; de grondwaterstanden zijn te laag vergeleken met de gemeten grondwaterstanden en de dynamiek in het model is over het algemeen te hoog. De dynamiek wordt door het model wel redelijk goed nagebootst. Hiermee dient rekening gehouden te worden bij het gebruik van dit model om een analyse, in absolute zin, van de huidige situatie uit te voeren. De referentiesituatie die het model probeert na te bootsen is namelijk niet optimaal. Dit punt van aandacht is minder belangrijk bij de effectstudies. Bij effectstudies wordt namelijk gekeken naar verschillensituaties, en niet naar een absolute grondwaterstand. Wanneer in de effectstudies wel de daadwerkelijke grondwaterstanden gebruikt worden, dient alsnog rekening gehouden te worden met de mate waarin het model verschilt van de werkelijkheid.







# OVERZICHT BIJLAGE(N)

Bijlage A

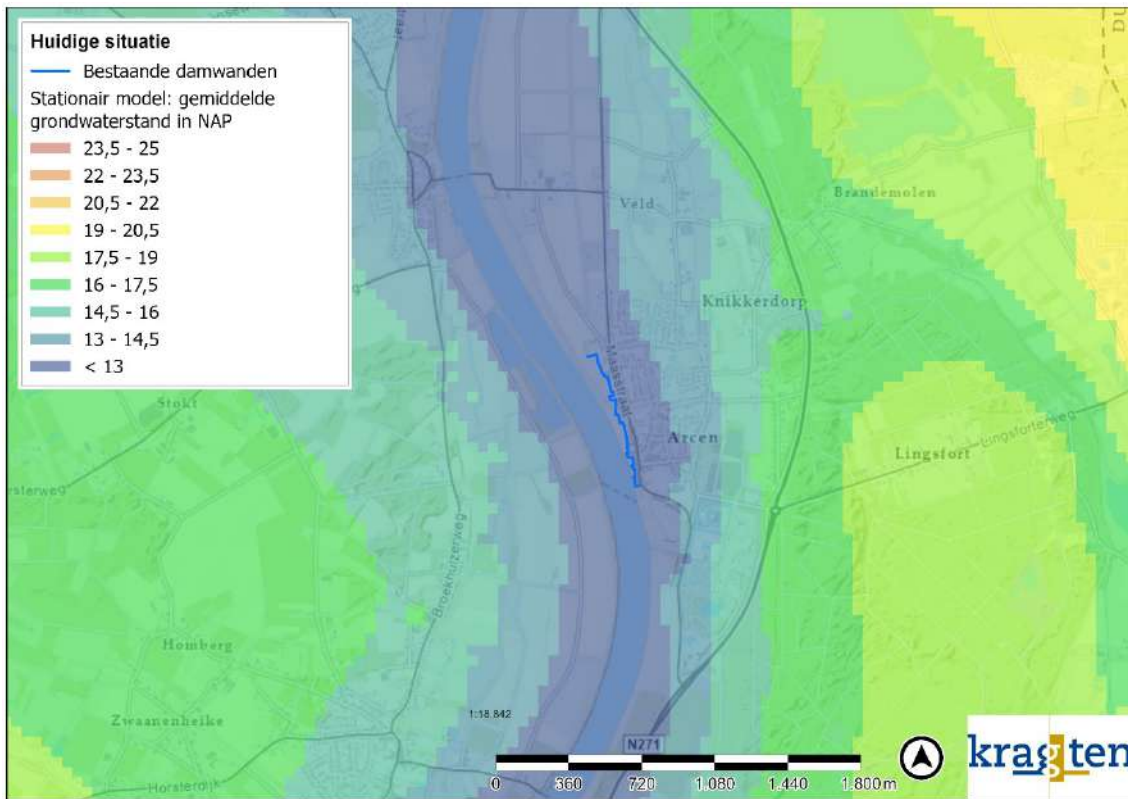
— Model met damwanden

# BIJLAGE

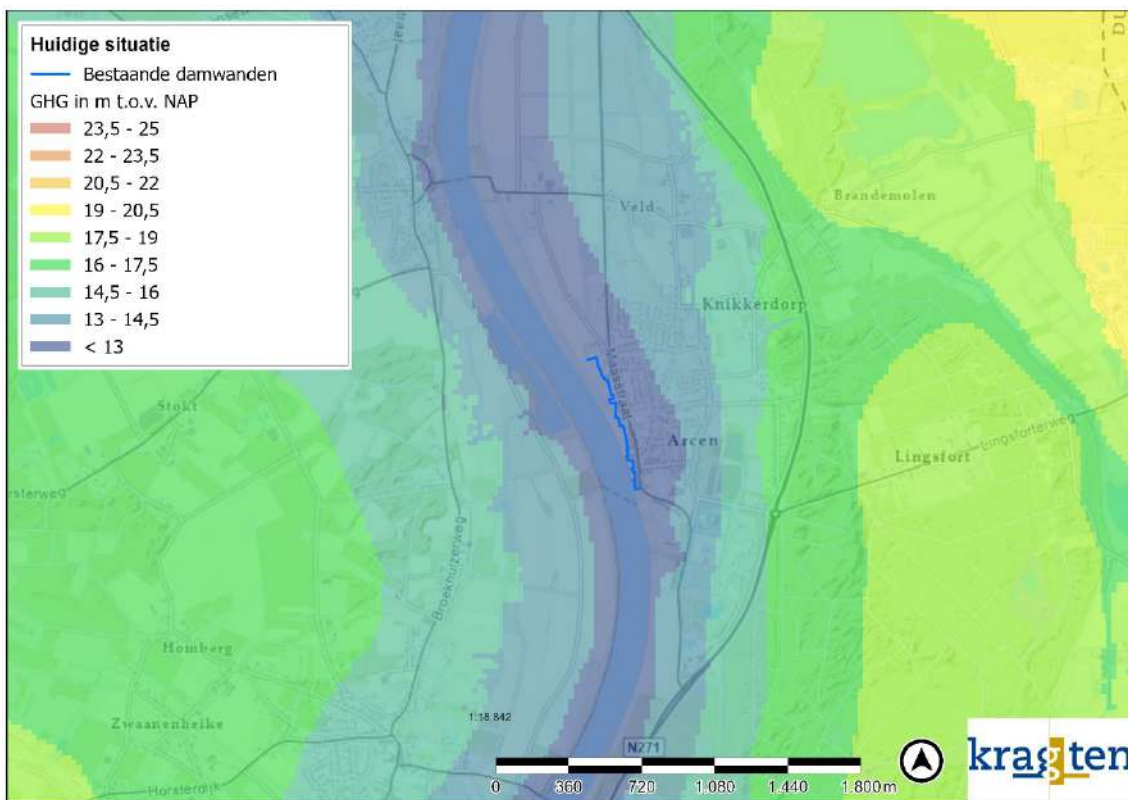
# A

MODEL MET  
DAMWANDEN



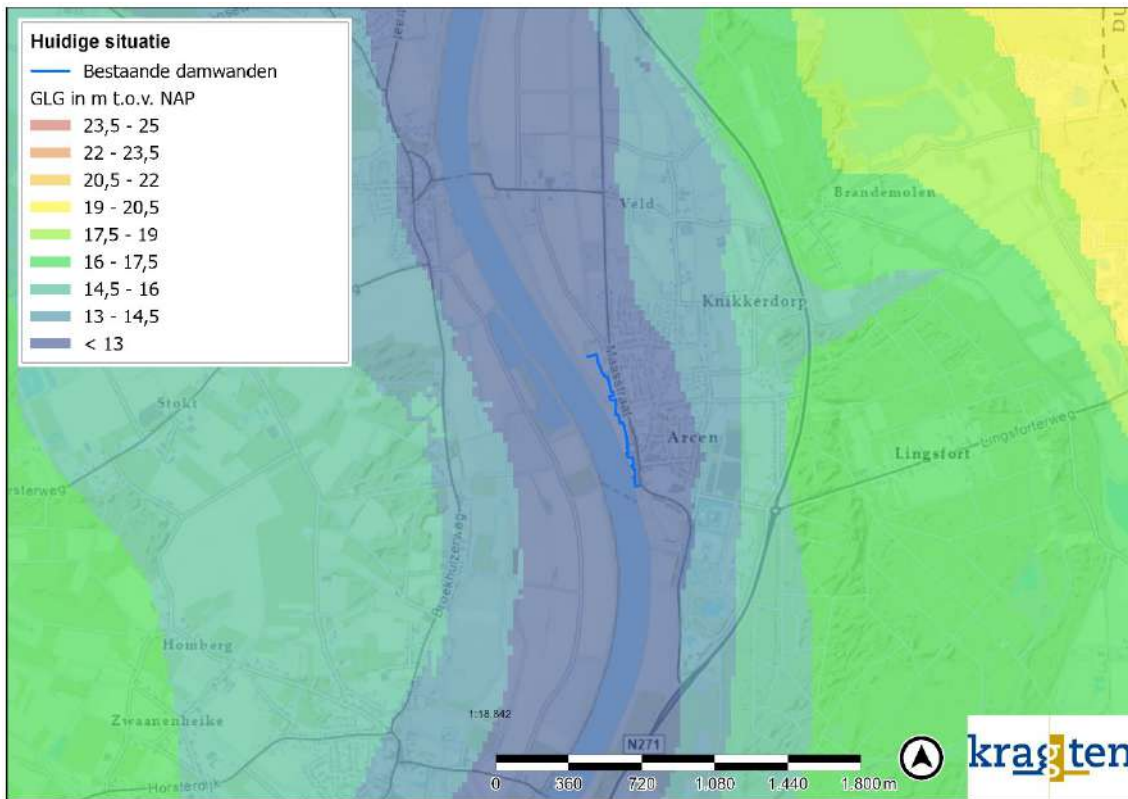


Figuur 6-2: Gemiddelde grondwaterstand (NAP) laag 1

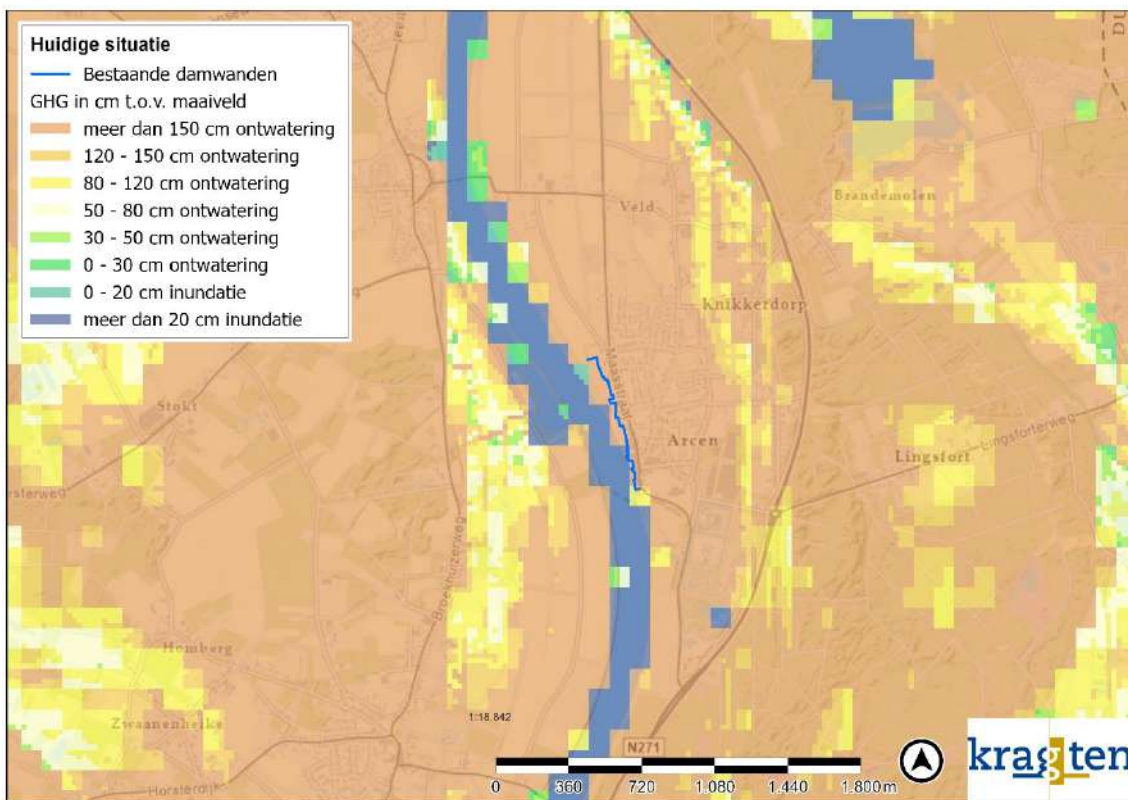


Figuur 6-3: Huidige situatie damwand, GHG laag 1 t.o.v. NAP

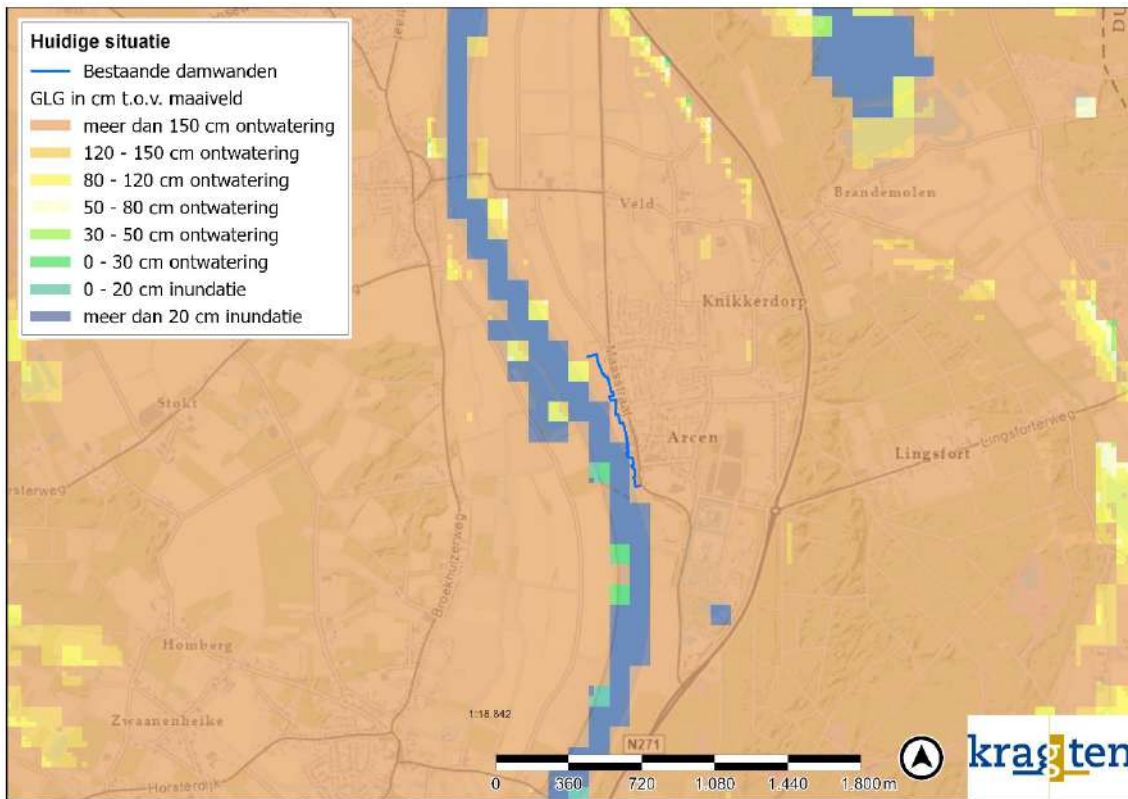




Figuur 6-4: Huidige situatie damwand, GLG laag 1 t.o.v. NAP



Figuur 6-5: Huidige situatie, GHG laag 1 t.o.v. maaiveld



Figuur 6-6: Huidige situatie, GLG laag 1 t.o.v. maaiveld