

GEOHYDROLOGISCH MODELONDERZOEK ULVENHOUTSE BOS

10 JANUARI 2017



Contactpersonen

JOHAN BOLEIJ
Specialist Hydrologie

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 1018
5200 BA 's-
Hertogenbosch
Nederland

ARNOLD PORS
Projectleider waterbeheer

M +31 (0) 88 4261 755
E arnold.pors@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 1018
5200 BA 's-
Hertogenbosch
Nederland

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Achtergrond	5
1.2	Doel	5
1.3	Aanpak	5
1.4	Leeswijzer	6
2	MODELOPBOUW	7
2.1	Basismodel	7
2.2	Modelverfijning	7
2.3	Kalibratieperiode	8
3	MODELKALIBRATIE	10
3.1	Plausibiliteitscontrole	10
3.2	Gevoeligheidsanalyse	18
3.3	Modelkalibratie	19
3.4	Modelvalidatie	21
4	REKENVARIANTEN	27
4.1	Inleiding	27
4.2	Beschrijving rekenvarianten	27
4.3	Resultaten rekenvarianten	29
5	CONCLUSIE	31
 BIJLAGEN		
	BIJLAGE A PRESENTATIE WATERSYSTEEMBESCHRIJVING	33
	BIJLAGE B PLAUSIBILITEIT EN VALIDATIEREEKSEN	34
	BIJLAGE C GEVOELIGHEIDSANALYSE	48
	BIJLAGE D MAATREGELENKAART	58
	BIJLAGE E REKENVARIANTEN	59
	BIJLAGE F PEILBUIZEN	73

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

Het Ulvenhoutse Bos is een klein bosgebied gelegen tussen de Broekloop, Bavelse Leij en Chaamse Beek. De ondergrond bestaat uit kalkrijke leemlagen waardoor grondwaterstanden hoog zijn. Het bos bestaat uit drogere en vochtige gronden tot natte gronden die gevoed worden door kwelwater. Door de jaren heen heeft het bos te maken gekregen met een afname van de kweldruk, hierdoor verdwijnen kwelminnende vegetatiesoorten uit het bos. In de tekst-box hieronder is de opgave voor het Ulvenhoutse Bos beschreven. Door de Anteagroep (2017) is een hydrologische systeemanalyse uitgevoerd en door Avallo & KWR (2017) is onderzoek gedaan naar de kalkrijkdom van bodemlagen en kwel. Voor deze onderzoeken is gebruik gemaakt van meetgegevens en analytische formules. Naast deze onderzoeken is er behoefte aan een geohydrologische modelstudie waarbij de effectiviteit van mogelijke vernattingsmaatregelen in de omgeving van het Ulvenhoutse Bos inzichtelijk worden gemaakt. De provincie Noord-Brabant heeft Arcadis opdracht gegeven een geohydrologische studie uit te voeren met als doel inzicht te verkrijgen in de effectiviteit van maatregelen om de kwelstroom naar het Ulvenhoutse Bos te versterken. In voorliggend rapport wordt de ontwikkeling en kalibratie van het gebruikte modelinstrument toegelicht, alsmede de resultaten en bevindingen van de modelberekeningen.

Opgave kwelherstel Ulvenhoutse Bos

De opgave voor kwelherstel in het Ulvenhoutse Bos is afgeleid van de PAS en Natura2000 opgave om de huidige habitats te behouden en een duurzaam behoud mogelijk te maken voor 2021. Dit betekent dat de hydrologische omstandigheden moeten voldoen aan de ecologische vereisten van deze habitats. Het is van belang dat de GLG niet dieper wegzakt dan 30 à 60 cm minus maaiveld (elzenbroekbos is meest kritische type in de lagere delen van het bos) of circa 70cm -mv (vogelkers-essenbos). De GVG dient ondieper te zijn dan 20 cm-mv (elzenbroek) of ondieper dan 40cm-mv (vogelkers-essenbos). De kwel doelstelling van circa 0,5 à 1 mm/dag is door de provincie aangereikt, in diverse ecohydrologische studies wordt gemiddelde kwelflux van minstens 0,5 en 1 mm/dag beschouwd als noodzakelijk voor (behoud van) kwelafhankelijke vegetaties.

Meer informatie over trends en doelstellingen voor het bos zijn beschreven in de PAS-gebiedsanalyse 2017 en beheerplan Natura2000 voor het Ulvenhoutse Bos.

1.2 Doel

Het hoofddoel van het onderzoek is inzicht te krijgen in het effect van hydrologische maatregelen in de omgeving van het Ulvenhoutse Bos op de kweldruk in het Ulvenhoutse Bos. Daarbij dient het onderzoek antwoord te geven op de volgende vragen:

- Hoe werkt het hydrologisch systeem in en rond en Ulvenhoutse Bos;
- Kan dit systeem voldoende nauwkeurig nagebootst worden met een verfijning, actualisatie en kalibratie van het regionale Brabantmodel en Markdalmodel;
- Voor welke 'knoppen' is het systeem gevoelig;
- Wat zijn de effecten van rekenvarianten op kwelstromen, grondwaterstanden en stijghoogten;
- Wat zijn de afgeleide effecten op landbouw, bebouwing en infrastructuur: een kwalitatieve beoordeling op ontwateringsdiepte.

1.3 Aanpak

Het onderzoek is in verschillende fases uitgevoerd, waarin de volgende stappen zijn doorlopen:

1. Watersysteembeschrijving;
2. Beschrijving bodemopbouw;
3. Modelopbouw en -kalibratie;
4. Berekeningen rekenvarianten;
5. Beoordeling van rekenvarianten;
6. Digitale eindoplevering.

Deze stappen worden, behalve de watersysteembeschrijving, besproken in dit rapport. De watersysteembeschrijving is opgenomen in een separate presentatie in Bijlage A. Het doel van het

doorlopen van de stappen is het bereiken van een goed gekalibreerd en gevalideerd model waarmee de effecten van hydrologische maatregelen voldoende nauwkeurig kunnen worden gesimuleerd. De essentie van het verkrijgen van een goed gekalibreerd en gevalideerd model is:

- Kwantificeren van de bandbreedte van je grondwatermodel (onnauwkeurigheid);
- Controle van de werking van het grondwatersysteem (right for the right reasons);
- Bepalen van de gevoeligheid van de verscheidene parameters in het kader van de effectenstudie. Over- en/of onderschatting van de effecten moeten worden gekwantificeerd en worden gerelateerd aan effect op berekening van kwelflux en stromingsrichting;
- Het creëren van draagvlak voor de modelresultaten.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de modelopbouw besproken. Hierin is besproken wat de basis is geweest voor het grondwatermodel en welke verfijningsslagen zijn doorgevoerd. Hoofdstuk 3 gaat in op de kalibratie van het model, de kalibratie wordt besproken aan de hand van de plausibiliteitscontrole, gevoeligheidsanalyse, kalibratie en de validatie van het model. De resultaten van de scenarioberekeningen ofwel rekenvarianten worden besproken in hoofdstuk 4. De conclusies en bevindingen van deze geohydrologische studie wordt toegelicht in hoofdstuk 5.

2 MODELOPBOUW

2.1 Basismodel

Voor het Ulvenhoutse Bos is een deelmodel gemaakt van het Markdalmodel. Het Markdalmodel is ontwikkeld in het kader van de effectenstudie herinrichting van de Bovenmark en is eigendom van Waterschap Brabantse Delta (Arcadis, 2017). Dit model is beschikbaar gesteld voor voorliggend onderzoek en is gebruikt als basis. Dit model is verfijnd op basis van nieuwe informatie in en rondom het Ulvenhoutse Bos.

2.2 Modelverfijning

De volgende aanpassingen en verfijningen zijn in het Markdalmodel doorgevoerd:

- Lokale verfijning rondom het Ulvenhoutse Bos op basis van recente boringen genomen door Staatsbosbeheer.
In het Markdalmodel is de Formatie van Stramproy (modellaag 5) de eerste aanwezige kleilaag. Op basis van de beschikbare boringen en sondering is echter waargenomen dat er ook boven deze laag kleilagen voorkomen. Op basis van de recent genomen boringen door Avallo in opdracht van Staatsbosbeheer (Avallo, 2017) is een inschatting gemaakt van de kD- en c-waarden tot aan de Formatie van Stramproy en de verdeling van de kD-waarden boven en onder deze kleilagen. De aanwezige weerstand tot aan de Formatie van Stramproy is toegevoegd aan modellaag 2. Door de weerstand aan deze modellaag toe te voegen, komt de kD-verdeling in het model ook overeen met de verdeling zoals blijkt uit de boringen.
- De huidige bodemtypekaart heeft in Ulvenhout het type 'veldpodzolgronden' opgenomen. De bodemtypekaart is ter plaatse van de kern Ulvenhout en rondom het beekdal aangevuld en aangepast op basis van oude bodem- en hoogtekaarten. Rondom het beekdal van de Chaamse Beek in de kern Ulvenhout is het bodemtype aangepast naar een 'lage enkeerdgrond' (bodempysische eenheid = 33) en in de rest van Ulvenhout naar 'hoge zwarte enkeerdgrond' (bodempysische eenheid = 27).
- Buisdrainage is overgenomen uit het Markdalmodel en aangevuld met de buisdrainage uit het NHI (Nederlands Hydrologisch Instrumentarium).
In het Markdalmodel is de buisdrainage uit het NHI als basis genomen en op basis van veldstudies gewijzigd en verbeterd. Voor dit gebied is deze informatie daardoor het best beschikbare. Voor het overige gebied is de buisdrainagekaart uit het NHI gebruikt, welke is gebaseerd op de landbouwmetingen van 2012.
- De folieconstructie onder de A58 is opgenomen op basis van het conceptrapport "Monitoring drainagestelsel en folieconstructie A58 nabij Ulvenhout, Arcadis 2017". Dit is een onderzoek naar het functioneren van de folie- en polderconstructie van de Rijksweg A58. De folieconstructie is opgenomen in de DRN-package.
- De zandwinplas ten oosten van het knooppunt Sint Annabos is opgenomen in de DRN-package. Het peil is gelijk gehouden aan het bovenstroomse peil van de aanliggen watergang (NAP +5,65 m).
- Tevens is de maaiveldhoogte aangepast ter plaatse van de zandwinplas. In het Markdalmodel lag het maaiveld van de zandwinplas ter hoogte van de bodemhoogte van de plas, waardoor de grondwaterstand ter plaatse van de zandwinplas naar beneden wordt getrokken (wanneer de grondwaterstand in het model boven het maaiveld komt, ontstaat er 'overland-flow' waardoor het water wordt afgevoerd uit het systeem ('outflux')). In het nieuwe grondwatermodel is deze verhoogd naar een waarde boven het drainageniveau (NAP +5,9 m).
- Alle TOP10-waterlopen zijn opgenomen op basis van het AHNsloten-bestand aangeleverd door Waterschap Brabantse Delta. Deze waterlopen zijn opgenomen in de DRN-package.
- De hoofdwatgangen zijn op drie verschillende manieren opgenomen in het grondwatermodel. Wel zijn alle hoofdwatgangen opgenomen in de RIV-package:
 - Legger – SOBEK
Bovenmark en deel van Chaamse Beek – hiervoor zijn SOBEK-resultaten overgenomen uit de Markdal-studie;
Chaaamse Beek en Bavelse Leij – SOBEK-resultaten aangeleverd door Waterschap Brabantse Delta zijn gebruikt
 - Legger – overige
De overige hoofdwatlopen die niet in de SOBEK-resultaten voorkwamen zijn aangevuld met het AHNsloten-bestand (aangeleverd door Waterschap Brabantse Delta).
 - HGK grof

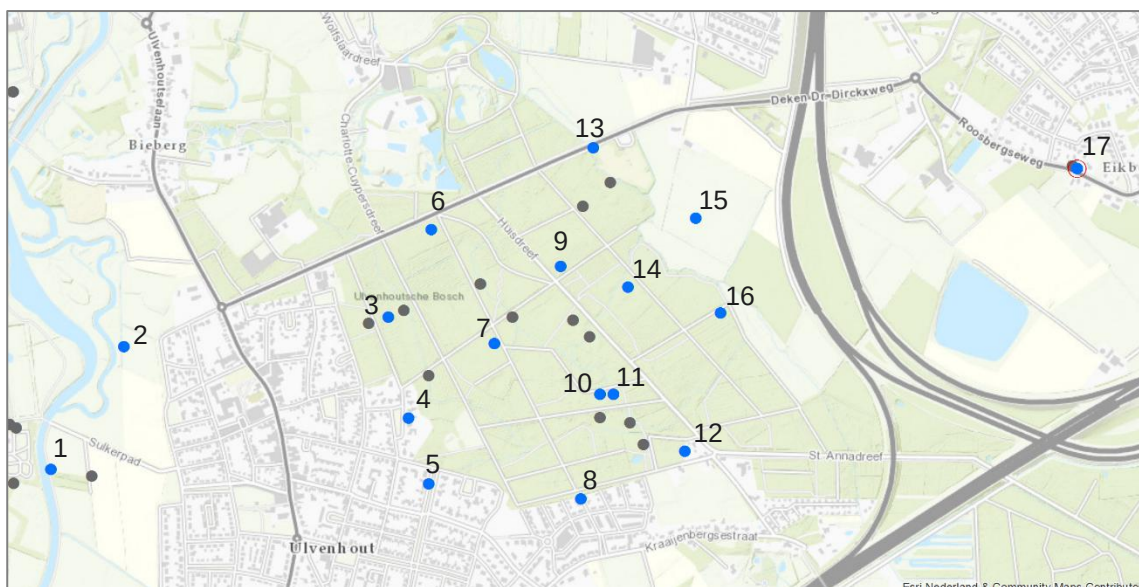
Hoofdwaterlopen buiten het studiegebied zijn overgenomen uit het HGK (Hydrologische GereedschapsKist). Deze waterlopen zijn grof geschematiseerd met een celgrootte van 250mx250m.

Het aangepaste Markdalmodel is de basis ofwel referentie voor de kalibratie.

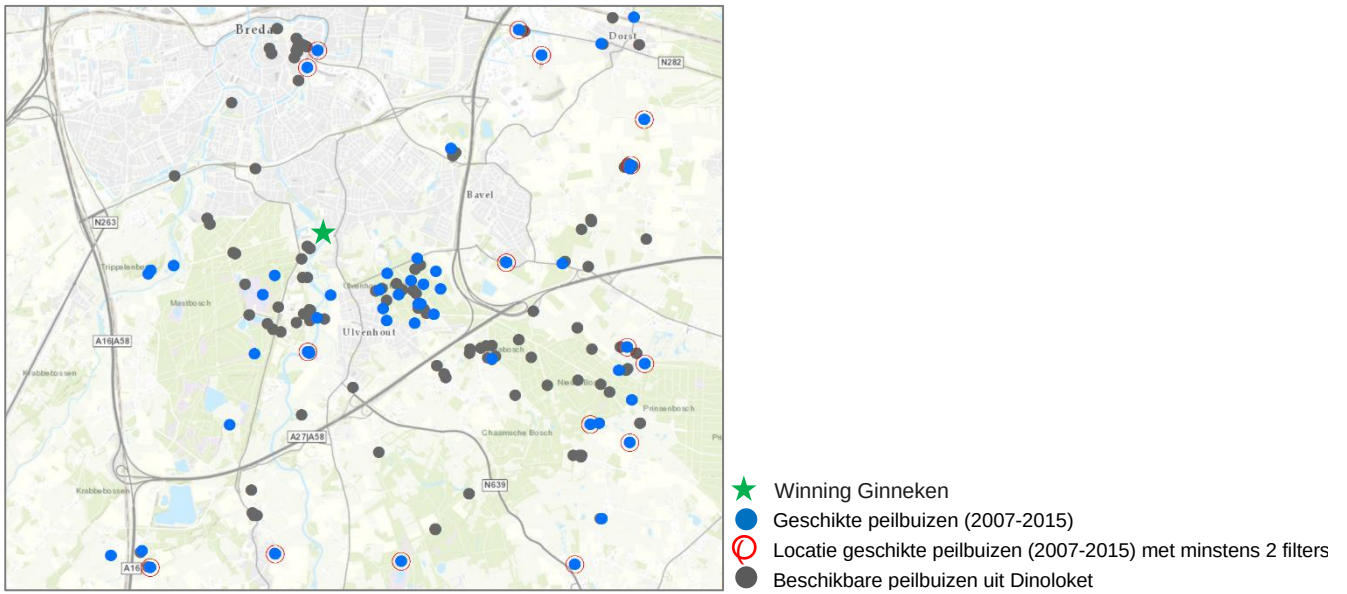
2.3 Kalibratieperiode

Om de modelkalibratie uit te voeren, is een rekenperiode vastgesteld waarin voldoende en hoogfrequente meetgegevens beschikbaar zijn. Met behulp van het programma Menyanthes zijn de meest geschikte peilbuizen geselecteerd en is een periode vastgesteld van 2007 tot en met 2015. De geschikte peilbuizen zijn in Figuur 1 genummerd (blauw). Van deze geschikte peilbuizen is in Bijlage F een tabel opgenomen met de filterdieptes. In Figuur 2 zijn tevens de locaties weergegeven waar een peilbuis meerdere (minimaal 2) filters bevat. Deze locaties (rood omcirkeld) zijn geschikt om het optreden van kwel en wegzijging te bekijken, én kunnen tevens worden gebruikt om te controleren of het model qua ondergrond op de juiste wijze is geschematiseerd.

Het grondwatermodel heeft een inlooperperiode nodig. Met name voor MetaSWAP is een ruime periode noodzakelijk om tot een goed vochtevenwicht te komen in de onverzadigde zone. Hierdoor loopt de totale rekenperiode van 2004 tot 2015. De laatste 8 jaar (2007 tot en met 2015) zijn gebruikt voor de analyses.



Figuur 1 | Peilbuis locaties ter plaatse van het Ulvenhoutse Bos. De nummers corresponderen met de peilbuizen in de tabel van Bijlage F.



Figuur 2 | Peilbuis locaties rondom het Ulvenhoutse Bos

3 MODELKALIBRATIE

Het kalibratie- en validatieproces valt onder de stap modelkalibratie, welke is uitgevoerd in verschillende sub-stappen:

1. Plausibiliteitscontrole;
2. Gevoeligheidsanalyse;
3. Opstellen kalibratieplan;
4. Modelkalibratie;
5. Modelvalidatie.

In dit hoofdstuk worden deze stappen besproken.

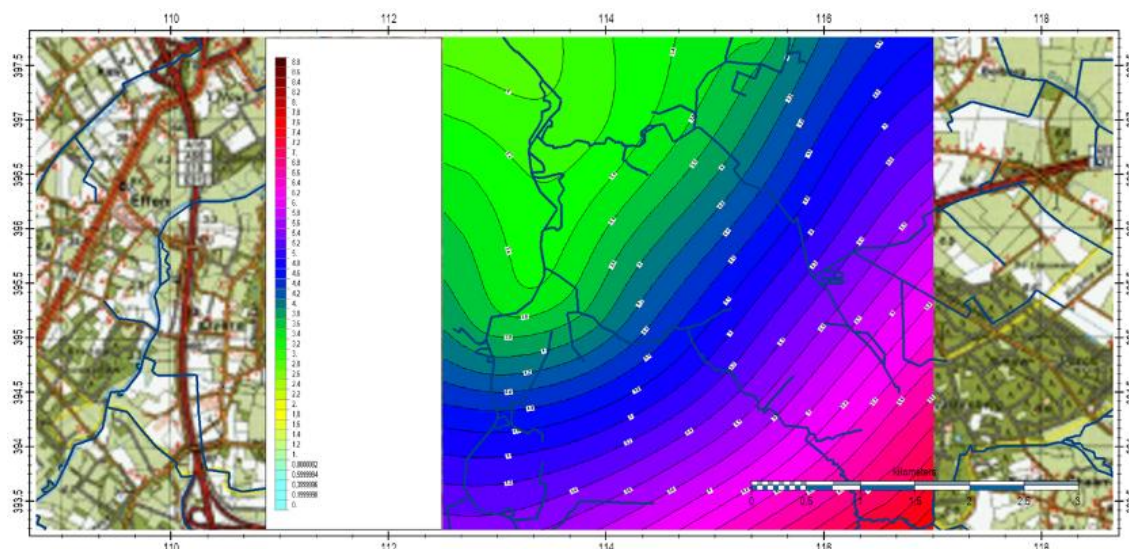
3.1 Plausibiliteitscontrole

Als eerste stap is het Markdalmodel, met modelaanpassingen beschreven in hoofdstuk 2, niet-stationair doorgerekend. Hierop zijn enkele plausibiliteitscontroles uitgevoerd, die de juistheid van de doorgevoerde aanpassingen moeten bevestigen. Alleen daar waar aanpassingen zijn doorgevoerd, moet een verandering zichtbaar zijn. Daarnaast moet de verandering de juiste 'richting' hebben. De modelresultaten zijn gecontroleerd op:

- Logisch stromingspatroon aan de hand van isohypsen;
- Drainerende / infiltrerende werking van het watersysteem aan de hand van isohypsen;
- Kwel en infiltratiepatroon;
- Beoordelen van de waterbalans (grondwateraanvulling versus afvoer);
- Ontwateringsdiepte (GHG en GLG ten opzichte van maaiveld), waarbij wordt gecontroleerd of deze ontwateringsdiepten wel bij de huidige functies passen en overeenkomen met waarnemingen van gebiedskenners.

Stromingspatroon

Het stromingspatroon van de diepere zandlaag op ca. 35 tot 50 m-mv (Formatie van Peize Waalre) is in lijn met de verwachtingen. De algemene stromingsrichting is van zuidoost naar noordwest. De drainerende werking van de Boven Mark is hierin terug te zien.

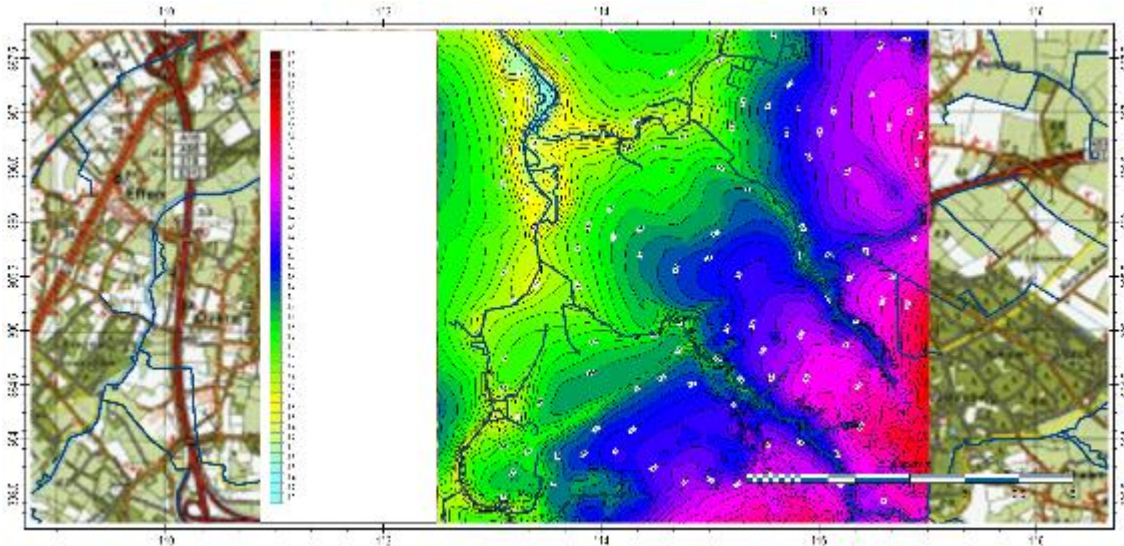


Figuur 3 | Stromingspatroon modellaag 12 op ca. 35 tot 50 m-mv.

In het stromingspatroon van de ondiepe lagen is een duidelijke stroming in de richting van de grotere beken waar te nemen. In de meest ondiepe lagen is ook stroming naar detailontwatering zichtbaar. Het beeld dat hieruit volgt ligt binnen de verwachtingen. Daarnaast komt het Ulvenhoutse Bos goed naar voren in de vorm van kleinere verhanglijnen in de grondwaterstand.

Op basis van deze bevindingen zijn de volgende controles uitgevoerd:

- Stroming in de richting van de folieconstructie onder de rijksweg lijkt nog te sterk. Op basis van de waterbalans is geconcludeerd dat de berekende flux richting de Rijksweg wordt overschat ten opzichte van de hoeveelheden die bekend zijn vanuit de monitoring. Dit betekent dat de folieconstructie teveel 'lekt' en daarmee teveel draineert.
- Enkele 0-waarden in het AHN2sloten-grid waardoor er een 'putje' ontstaat;
- Op een aantal locaties zitten grote verschillen in het waterpeil in het AHN2sloten-grid (> 20 cm verschil). Dit patroon komt sterk terug in de grondwaterstroming.



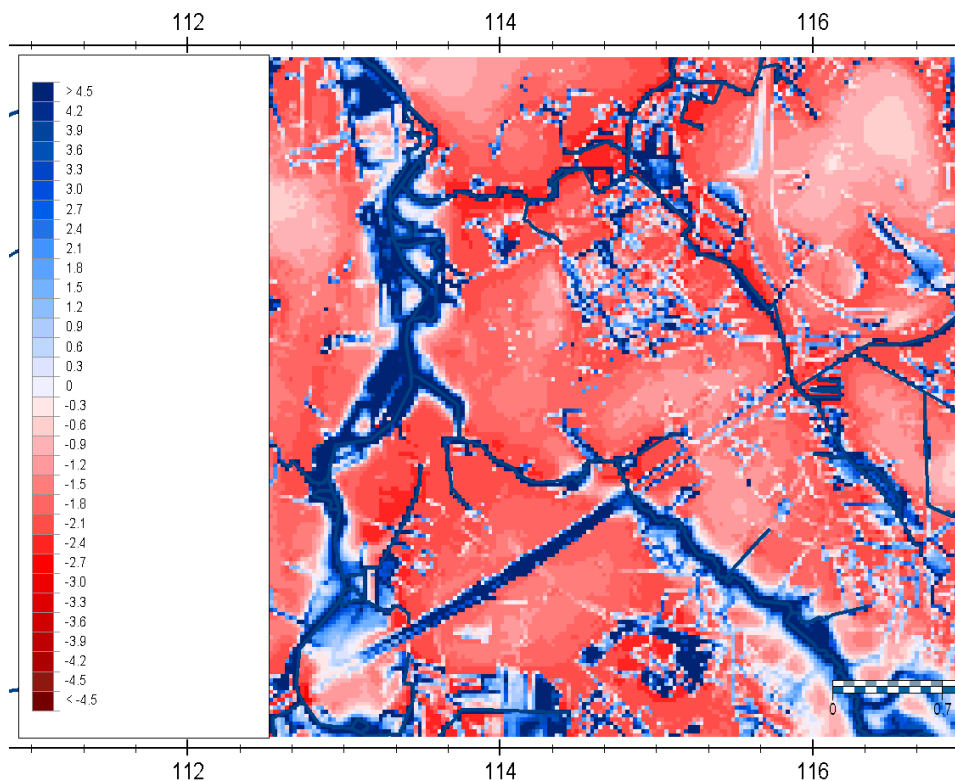
Figuur 4 | Stromingspatroon van modellaag 3 op 0 tot 3 m-mv.

Drainerende werking

Aan de hand van het stromingspatroon weergegeven in Figuur 4 en de verticale grondwaterstroming (flux) in Figuur 5 is een beeld verkregen van de drainerende werking van de watergangen en detailontwatering. De Chaamse Beek, de Broekloop, de folieconstructie en de Boven Mark komen naar voren als sterk drainerend. Daarnaast is een sterke grondwaterstroming naar de detailontwatering in het Ulvenhoutse Bos zichtbaar.

Op basis van deze bevindingen zijn de volgende controles uitgevoerd:

- Stroming in de richting van de folieconstructie lijkt op basis van de waterbalans nog te sterk. De gemodelleerde situatie is het geval van een niet werkende folieconstructie. De berekende flux is ongeveer factor 2 á 3 te hoog;
- Uit kwelbeelden van diepere modellen 3 en 6 is geconstateerd dat er enkele modelmatige effecten optreden door weerstandslagen die in de modelgrids niet helemaal aansluiten;
- Een enkele 0-waarde in het AHN2sloten-grid waardoor er een putje ontstaat.

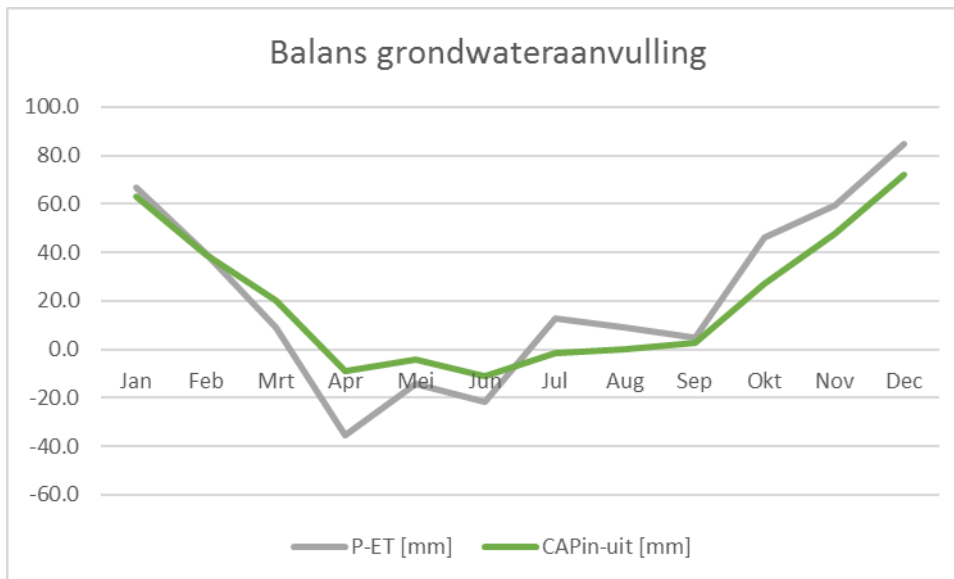


Figuur 5 | Kwelstromen modellaag 1, deklaag.

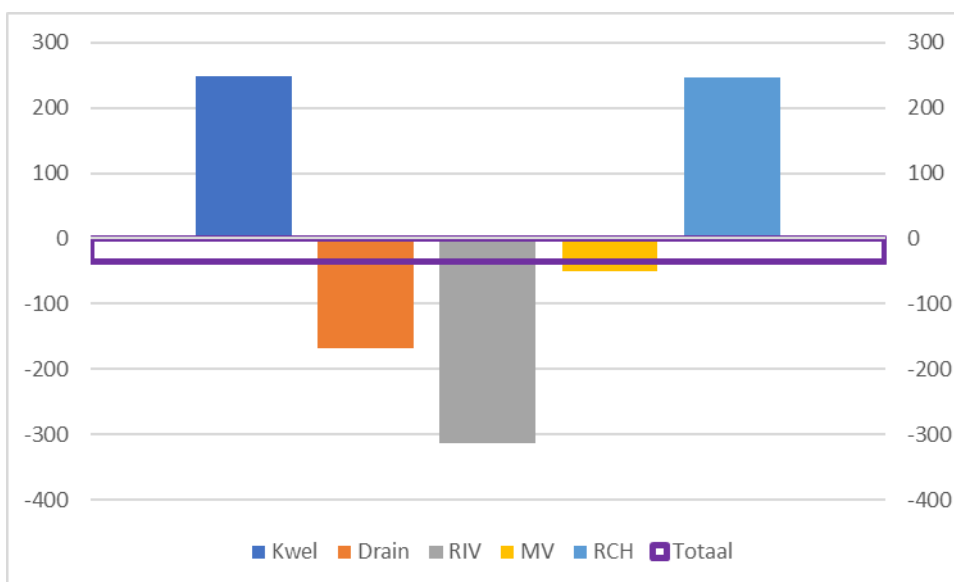
Waterbalans

De berekende grondwateraanvulling in het grondwatermodel in de omgeving van het Ulvenhoutse Bos (2250 ha) is vergeleken met de neerslag gemeten bij het neerslagstation van Ginneken en het KNMI-station van Gilze-Rijen. Het jaarlijkse en maandelijkse neerslag overschot is vergeleken met de netto grondwateraanvulling in het grondwatermodel. Op jaarbasis wordt gemiddeld 245 mm grondwateraanvulling berekend. Het gemeten neerslagoverschot is gemiddeld 260 mm. Dit betekent dat de berekende grondwateraanvulling in dezelfde orde van grootte ligt als het gemeten neerslagoverschot. In onderstaande tijdreeks (Figuur 6) is te zien dat in het voorjaar meer grondwateraanvulling wordt berekend dan het netto gemeten neerslagoverschot. Dit komt doordat de bodem nog relatief veel vocht bevat en er netto meer water beschikbaar is naast de gevallen neerslag. In de zomer / najaar wordt juist een lagere grondwateraanvulling berekend. Dit komt onder andere doordat het bodemvocht gehalte laag is. Het neerslagoverschot moet eerst de vochtbalans in de onverzadigde zone herstellen voordat het grondwater wordt aangevuld. Dit is vooral te zien in de maand juli, waarbij er sprake zou zijn van een (gemeten) neerslagoverschot maar waar de berekende grondwateraanvulling lager is.

De bijdrage van kwel is ongeveer van gelijke omvang als de grondwateraanvulling. Deze flux bestaat zowel uit (diepe) kwel, als ook de laterale toestroming naar ontwateringsmiddelen. Dit is ook terug te zien in het grote aandeel van de “rivers” op de waterbalans. Figuur 5 geeft dit ook ruimtelijk weer.



Figuur 6 | Waterbalans grondwateraanvulling (CAPin-uit) in relatie met gemeten neerslag en potentiële verdamping (P-ET).



Figuur 7 | Totale waterbalans van modellaag 1 waarbij: kwel=positieve stroming naar modellaag 1 | drain=uitstroming (negatieve waarde) via greppels, sloten en veld drainage | riv=uitstroming (negatieve waarde) via leggerwaterlopen | MV=stroming via maaiveld | rch=grondwateraanvulling.

Op basis van deze bevindingen zijn de volgende controles uitgevoerd:

- De berekende grondwateraanvulling is plausibel. Ook het ritme van de seizoenen lijkt logisch;
- De berekende 'kwel' wordt sterk beïnvloed door ontwateringsmiddelen.
- De berekende afvoer (som van "drains", "rivers" en "oppervlakkige afvoer") ligt binnen de 'normaal' waarden, maar zijn aan de hoge kant.
- Overlandflow treedt over het algemeen slechts op gedurende korte perioden. Op een aantal locaties lijkt sprake te zijn van een permanente afvoer. Het drainageniveau is hier gecontroleerd (zie ook grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld).

Grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld

Op de GHG-kaart komen enkele natte plekken naar voren bij de Mark en het Ulvenhoutse Bos. Deze liggen in lijn der verwachtingen. Echter, gebiedskenners van Staatsbosbeheer en de Provincie Noord-Brabant geven aan dat de periode waarbij het water aan maaiveld staat in het Ulvenhoutse Bos is zeer beperkt. Hier

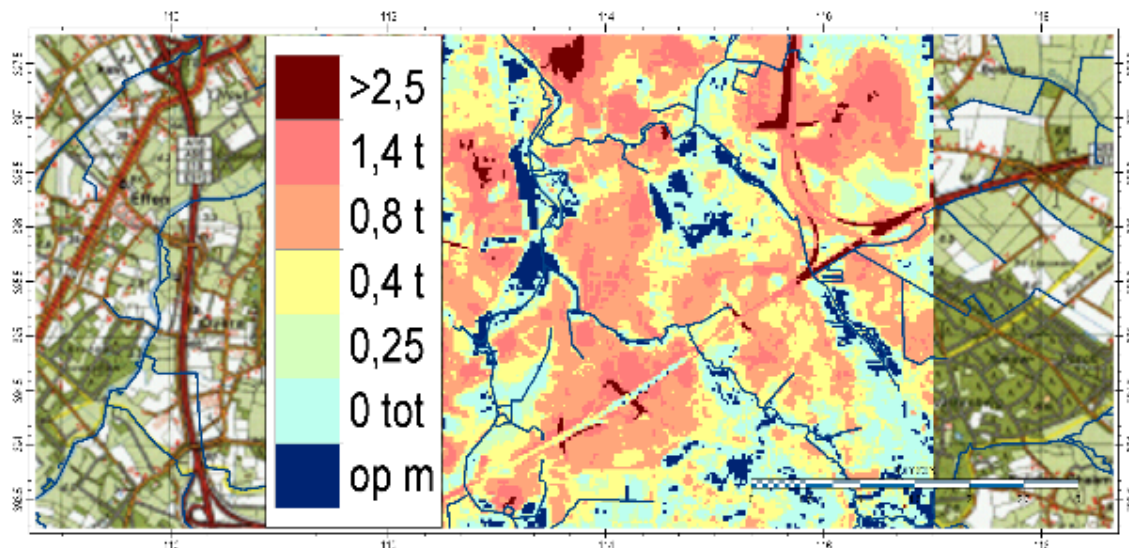
kan daarom wel sprake zijn van een overschatting. Dit is mogelijk het gevolg doordat lokale slotenstelsels en het rabattenbos niet expliciet in het model is opgenomen.

De natte locaties van het bovenstroomse deel (ten zuiden van de rijksweg) van de Broekloop lijken aan de natte kant in relatie tot de functie van het gebied. Hetzelfde geldt mogelijk voor het bovenstroomse deel (ten zuiden van de rijksweg) van de Chaamse Beek. Ook in de voorjaarssituatie staat op deze locaties water aan maaiveld volgens de modelberekeningen. Gebiedskenners geven aan dat deze beekdalen niet zo nat zijn.

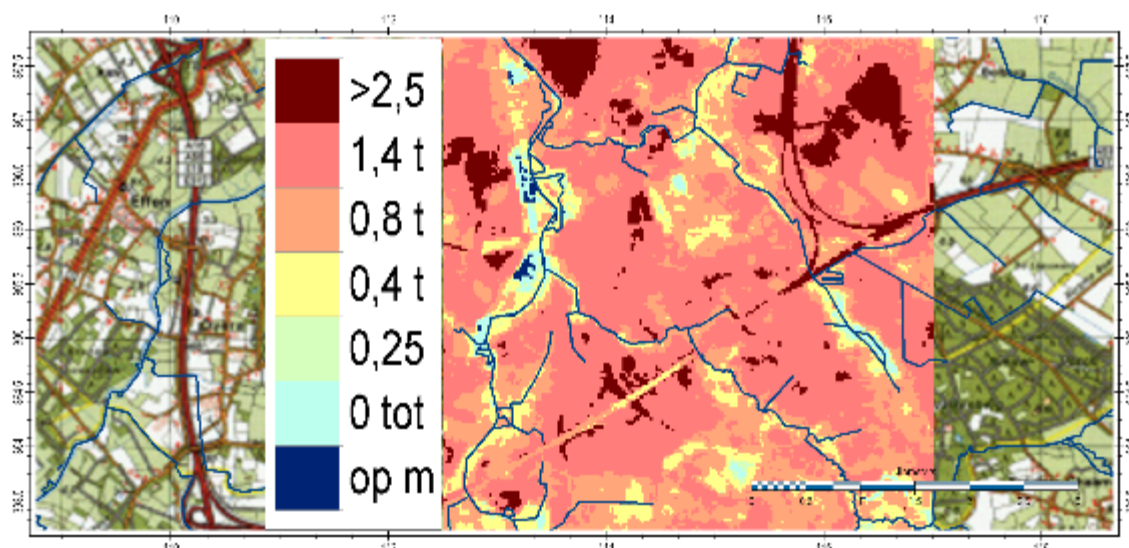
In de zomer is het Ulvenhoutse Bos relatief droog. De bovenstroom van de Broekloop is daarentegen dan ook 'nat'. Tevens zijn enkele natte plekken zichtbaar in het beekdal van de Boven Mark.

Op basis van deze bevindingen zijn de volgende controles uitgevoerd:

- Controle van de juiste drainageniveaus (zie ook vergelijking met de gemeten grondwaterstanden).
- Controle van de juiste drainageweerstand (zie ook gevoeligheidsanalyse).
- Infiltratie mogelijkheden (e.g. de overstromingsvlakken van de Boven Mark kunnen infiltreren. Dit gebeurt uitsluitend wanneer het waterpeil op de Boven Mark zo hoog is, dat deze gebieden inunderen. In de zomer is geen wateraanvoer). Lokaal wordt de mogelijkheid om te infiltreren overschat.
- Overlandflow treedt over het algemeen slechts op gedurende korte perioden. Op een aantal locaties (Boven Mark, Bavelse Leij) lijkt sprake te zijn van een permanente afvoer. Controle van peil en weerstand.



Figuur 8 | GHG tov maaiveld (modellaag 3).



Figuur 9 | GLG tov maaiveld (modellaag 3)

Berekende waterstanden ten opzichte van gemeten waterstanden

In Figuur 10 en Figuur 11 zijn de verschillen tussen de gemeten en berekende grondwaterstanden ter plaatse van de peilbuizen gegeven. Tevens zijn in Figuur 12 en Figuur 13 de gemeten en berekende grondwaterstanden tegen elkaar uitgezet.

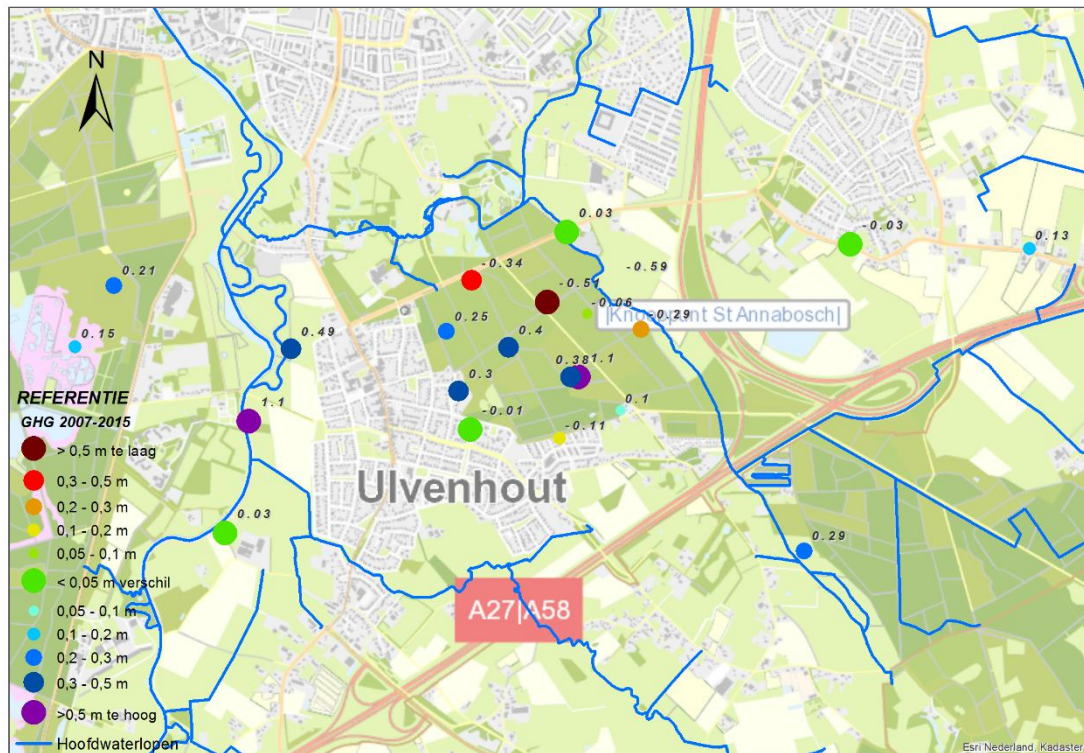
Uit deze figuren is af te leiden dat het grondwatermodel over het algemeen te hoge grondwaterstanden berekend. De gemiddelde afwijking is 13 cm (te nat) voor de GHG en 14 cm (te nat) voor de GLG.

Een gemiddelde absolute afwijking van maximaal 10% van de natuurlijke variatie wordt als acceptabel gezien. Voor dit studiegebied betekent dat een maximale afwijking van 33 cm. De berekende GLG en GHG voldoen aan dit criteria. Wel zijn er individuele peilbuizen die afwijken.

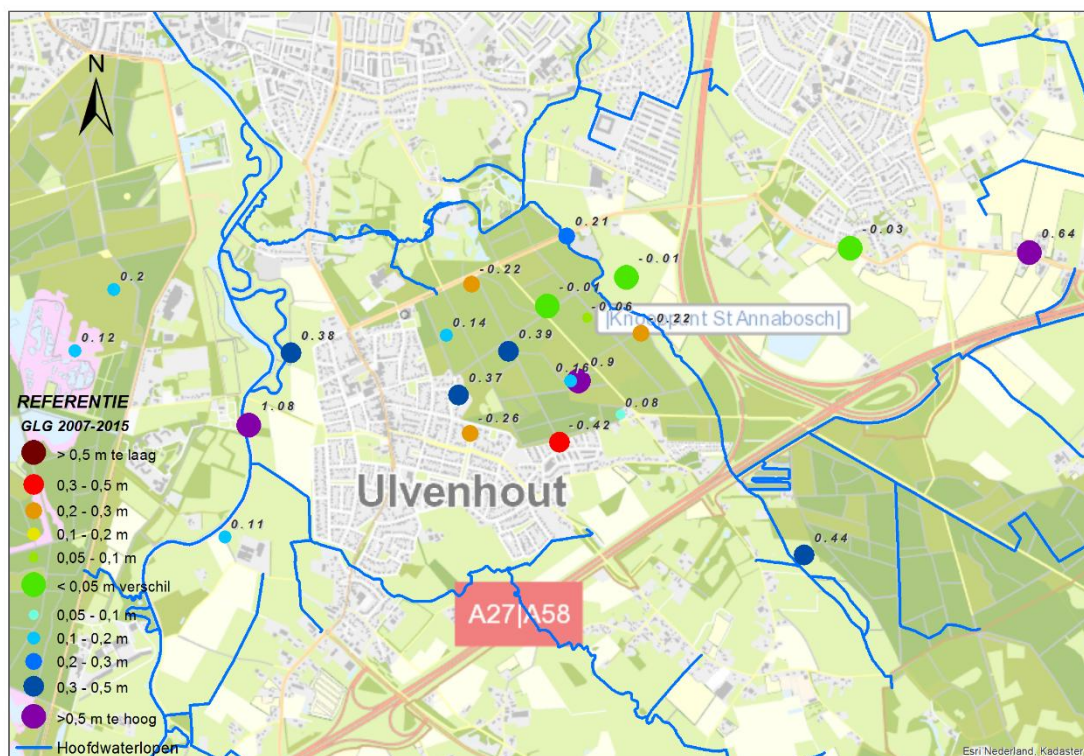
In Bijlage B zijn voor een aantal peilbuizen in en rondom het Ulvenhoutse Bos tijdreeksen te zien, waarin de gemeten (grijs gestippeld) en berekende grondwaterstanden (oranje) zijn weergegeven. Hieruit blijkt dat op een aantal locaties de grondwaterstanden goed worden benaderd en dat er een goed fit zit tussen de gemeten en berekende grondwaterstanden. De dynamiek wordt veelal goed gemodelleerd, ook de reactietijd (storage) wordt goed gemodelleerd. Dit is een aanwijzing dat het functioneren van het watersysteem juist is geschematiseerd. Het veelal niet goed fitten van de waterstanden lijkt voornamelijk te zitten in de waterpeilen en/of in de weerstand van de watergangen. Dit blijkt uit het niveau waarin de gemeten grondwaterstanden worden 'afgetopt' door de aanwezige ontwatering. Dit is niet overal in de berekeningen terug te zien.

Op basis van deze bevindingen zijn de volgende controles uitgevoerd:

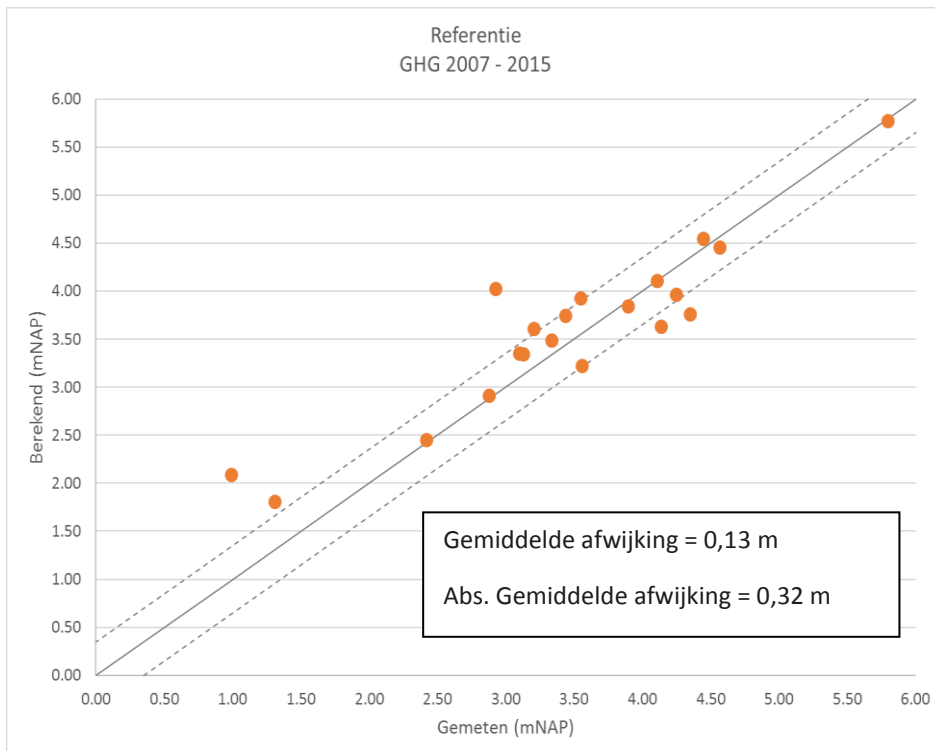
- Op basis van een controle van de waterpeilen in de watergangen lijken:
 - de leggerwatergangen bij de Broekloop te hoge waterpeilen te bevatten. De waterpeilen uit het AHN2-peilen bestand liggen op enkele plekken 50 cm hoger dan de peilen gehanteerd in het HGK-Brabant;
 - de waterpeilen in het Ulvenhoutse Bos goed te zijn (zoals opgenomen in het ahn2sloten-grid). De hoge waterstanden komen hier door een te hoge weerstand (nu 5 dagen). Zie ook gevoeligheidsanalyse.



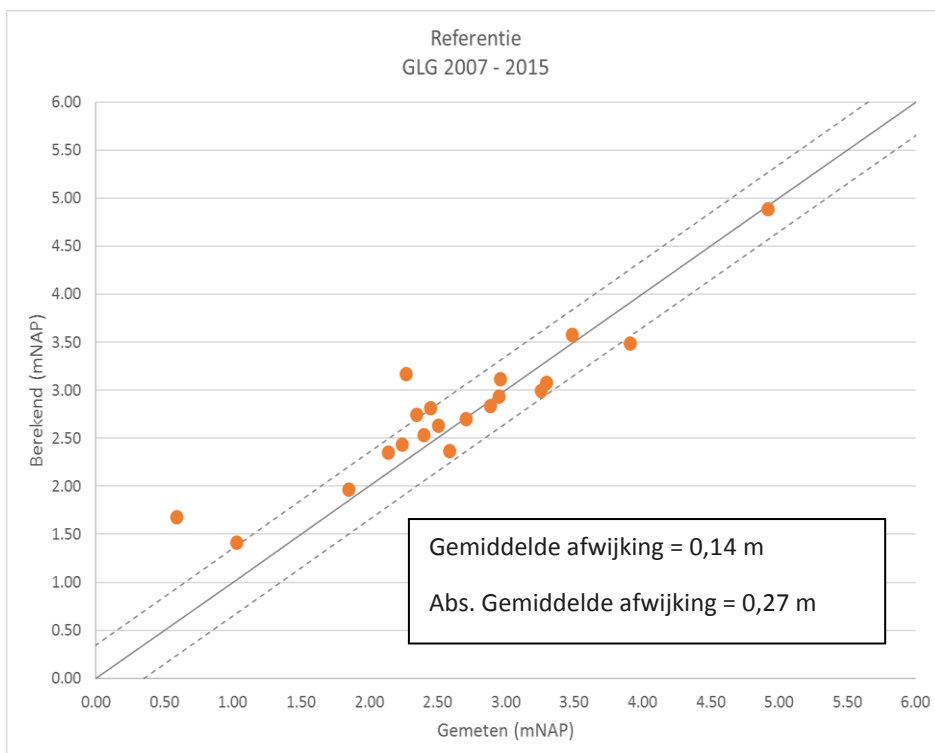
Figuur 10 | Verschil tussen gemeten en berekende GHG in en rondom het Ulvenhoutse Bos



Figuur 11 | Verschil tussen gemeten en berekende GLG in en rondom het Ulvenhoutse Bos



Figuur 12 | Gemeten versus berekende GHG in en rondom het Ulvenhoutse Bos. Punten komen overeen met de peilbuislocaties in Figuur 11.



Figuur 13 | Gemeten versus berekende GLG in en rondom het Ulvenhoutse Bos. Punten komen overeen met de peilbuislocaties in Figuur 11.

3.2 Gevoeligheidsanalyse

Tijdens de gevoeligheidsanalyse is bepaald voor welke modelparameters het model gevoelig is, c.q. het modelresultaat sterk wordt bepaald. Hierbij is met name naar de modelparameters gekeken waarover in grote mate een onzekerheid heerst. Het gaat hierbij om de volgende parameters:

- De weerstand van de eerste slecht doorlatende laag (SYK1) (Formatie van Stramproy)
- Het doorlatende vermogen van het eerste watervoerende pakket, ook wel het pakket boven de eerste slecht doorlatende laag (SYK1).
- Het doorlatende vermogen van het tweede watervoerende pakket, ook wel het pakket beneden de eerste slecht doorlatende laag (SYK1).
- De drainageweerstand van de watergangen.

Met name de drainageweerstand is zeer relevant omdat het grootste deel van de maatregelen zal bestaan uit aanpassingen van het oppervlaktewatersysteem.

In Tabel 1 is per parameter aangegeven met welke factoren zij zijn vermenigvuldigd om de gevoeligheid van deze parameters te bepalen.

Tabel 1 | Gevoeligheidsanalyse

	0,1	0,5	2	5	10
C eerste kleilaag (SYK1))	X				X
KD WVP1 (wvp boven eerste kleilaag)		X	X		
KD WVP2 (wvp beneden eerste kleilaag)		X	X		
Drainage weerstand		X	X	X	

Resultaat

In Tabel 2 en Tabel 3 zijn de relatieve bijdragen voor zowel de GHG, GVG als GLG benoemd. In Tabel 2 is voor het gehele modelgebied het verschil gegeven tussen de referentiescenario en het gevoeligheidsscenario. In Tabel 3 is alleen het verschil gegeven ter plaatse van de peilbuizen in de directe omgeving van het Ulvenhoutse Bos (weergegeven in Figuur 11). Uit beide tabellen blijkt dat het model voornamelijk gevoelig is voor het verhogen van de c-waarde van de eerste scheidende laag (SYK1) en het verlagen van de kD-waarde van het eerste watervoerende pakket. Echter, ook het verhogen en verlagen van de drainage weerstand van de leggerwatergangen heeft een relatief groot effect.

Tabel 2: Relatieve bijdrage gevoeligheidsanalyse voor het hele modelgebied (gemiddelde verschil tussen referentie en gevoeligheidsscenario)

	C (0,1)	C (10)	KD1 (0,5)	KD1 (2)	KD2 (0,5)	KD2 (2)	C legger (0,5)	C legger (5)	C Top10 (0,5)	C Top10 (5)
GLG	-0.058	0.092	0.111	-0.022	0.057	-0.013	0.068	-0.053	0.028	-0.002
GVG	-0.081	0.125	0.108	-0.027	0.085	-0.040	0.082	-0.072	0.033	-0.011
GHG	-0.087	0.133	0.107	-0.028	0.092	-0.047	0.085	-0.077	0.035	-0.013

Tabel 3: Relatieve bijdrage gevoeligheidsanalyse ter plaatse van de peilbuizen (gemiddelde verschil tussen referentie en gevoeligheidsscenario)

	C (0,1)	C (10)	KD1 (0,5)	KD1 (2)	KD2 (0,5)	KD2 (2)	C legger (0,5)	C legger (5)	C Top10 (0,5)	C Top10 (5)
GLG	-0.055	0.099	0.118	-0.025	0.055	-0.015	0.064	-0.057	0.022	0.001
GVG	-0.068	0.131	0.111	-0.032	0.084	-0.041	0.076	-0.070	0.020	0.000
GHG	-0.072	0.138	0.109	-0.034	0.091	-0.047	0.078	-0.074	0.020	0.000

In Bijlage C zijn de grondwaterstandsveranderingen vlakdekkend zijn weergegeven. Hieruit leiden we het volgende (vergelijkbare) af:

- Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat een verandering van parameters in het 1e watervoerende pakket (kD1) en ondiepe lemlagen (c) een duidelijk zichtbaar effect > 5 cm heeft op GxG in een groot deel van het modelgebied. Op hoger gelegen gronden is berekend effect groter dan op lager gelegen (gedraineerde) gronden. Constatering: De lokale omstandigheden (ruimtelijke variatie in geohydrologische eigenschappen) kunnen afwijkend zijn van hetgeen in het model is geschematiseerd en een verklaring vormen voor afwijkingen tussen gemeten en berekende waarden, dit effect is lokaal van belang.
- Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de Chaamse beek en Mark duidelijk meer/minder kwel uit 2e watervoerend pakket ontvangt zodra de parameters van dit pakket worden veranderd (effect > 5 cm). Dit is in andere beekdalen en Ulvenhoutse Bos nauwelijks waarneembaar (effect < 5 cm). Constatering: Mark en Chaamse Beek draineren 2e wvp relatief meer dan andere waterlopen als gevolg van geringe dikte/weerstand (of lokaal geheel ontbreken) van de scheidende laag
- Als de weerstand van leggerwaterlopen met een factor 5 wordt vergroot is een effect > 5cm waarneembaar over een groot (circa 80%) van het oppervlak van het modelgebied. Langs de Chaamse Beek, tussen Markdal en Rijksweg A58 is het effect het hiervan het grootst. Constatering: Deeltraject Chaamse Beek tussen A58 en Markdal is gevoelig voor verandering van de drainageweerstand.
- Bij een verandering van drainagewestanden van sloten, waterlopen en berm sloten van de Rijksweg (Top10 watergangen) blijkt dat het effect op de GHG groter is dan het effect op de GLG in het Ulvenhoutse Bos en in omgeving van het bos. Constatering: het verhogen van de GLG in het Ulvenhoutse Bos vergt relatief veel vernatting in de omgeving.

3.3 Modelkalibratie

Op basis van de uitkomsten uit de plausibiliteitscontrole en de gevoeligheidsanalyse is vastgesteld welke modelparameters zijn geoptimaliseerd (modelkalibratie).

De niet-stationaire modelkalibratie is gericht op de grondwaterstands- en stijghoogtemetingen in de omgeving. Hierbij is gekeken naar de afwijking op GLG, GHG en de dynamiek van de grondwaterreeksen (GHG-GLG). Met name twee aspecten zijn belangrijk:

- De gemiddelde afwijking.

Deze gemiddelde afwijking geeft aan of het grondwatermodel te hoge of te lage grondwaterstanden berekend. Hiervoor bestaan verschillende gangbare criteria. Gezien het feit dat de absolute grondwaterstand nu nog niet heel relevant is (het gaat om kwelveranderingen en niet per definitie het bereiken van een bepaalde GxG), wordt een maximale gemiddelde afwijking voorgesteld van 15 cm (gangbaar voor effectenstudies is 10 cm).

- De gemiddelde absolute afwijking.
Hiervoor wordt het criterium van 10% van het natuurlijke grondwaterverloop gehanteerd. Voor peilbuizen waarin deze afwijking groter is, wordt gekeken naar de reden van deze afwijking. Bij een legitieme reden voor de afwijking (nabij watergang, verkeerde plaatsingshoogte, etc.) wordt het kalibratiepunt uit de kalibratieset gehaald.

Het doel van de kalibratie is naast het verkleinen van de residuen, vooral het corrigeren van structurele en systematische afwijkingen. Het verlagen van de residuen is dus géén doel op zich maar een middel om de essentie van een goed gekalibreerd en gevalideerd model te bereiken. Hierbij zijn de absolute grondwaterstanden niet erg van belang zijn, maar moet er met name inzicht komen in de orde van grootte van de omvang van de effecten en het 'zoekgebied' waarbinnen maatregelen worden genomen. De gemiddelde absolute afwijking mag hierdoor wat groter zijn, zolang er geen sprake is van systematische fouten of onjuiste hydrologische eigenschappen van het model.

Kalibratieplan

De belangrijkste inzichten uit de plausibiliteitscontrole zijn:

- Stroming in de richting van de folieconstructie lijkt op basis van de waterbalans nog te sterk (te sterk drainerend);
- Enkele 0-waarden in het AHN2sloten-grid waardoor er een "putje" ontstaat;
- Uit kwelbeelden van diepere modellagen 3 en 6 is geconstateerd dat er enkele modelmatige effecten optreden door weerstandslagen die in de grids niet helemaal aansluiten;
- Te hoge grondwaterstanden rondom het bovenstroomse deel (ten zuiden van de Rijksweg) van de Bavelse Leij;
- Het model berekent gemiddeld gezien te hoge grondwaterstanden. Dit blijkt zowel uit de bollenkaarten en validatiegrafiek én de tijdreeksen.

De verbeteringen van het tweede en derde punt vallen strikt gezien niet onder een kalibratieslag. Dit zijn fouten in de model inputbestanden die zijn aangepast.

Voor de overige punten is het model middels een kalibratieslag verbeterd op basis van de inzichten uit de plausibiliteitscontrole en gevoeligheidsanalyse. Voor de kalibratie is het volgende aangepast:

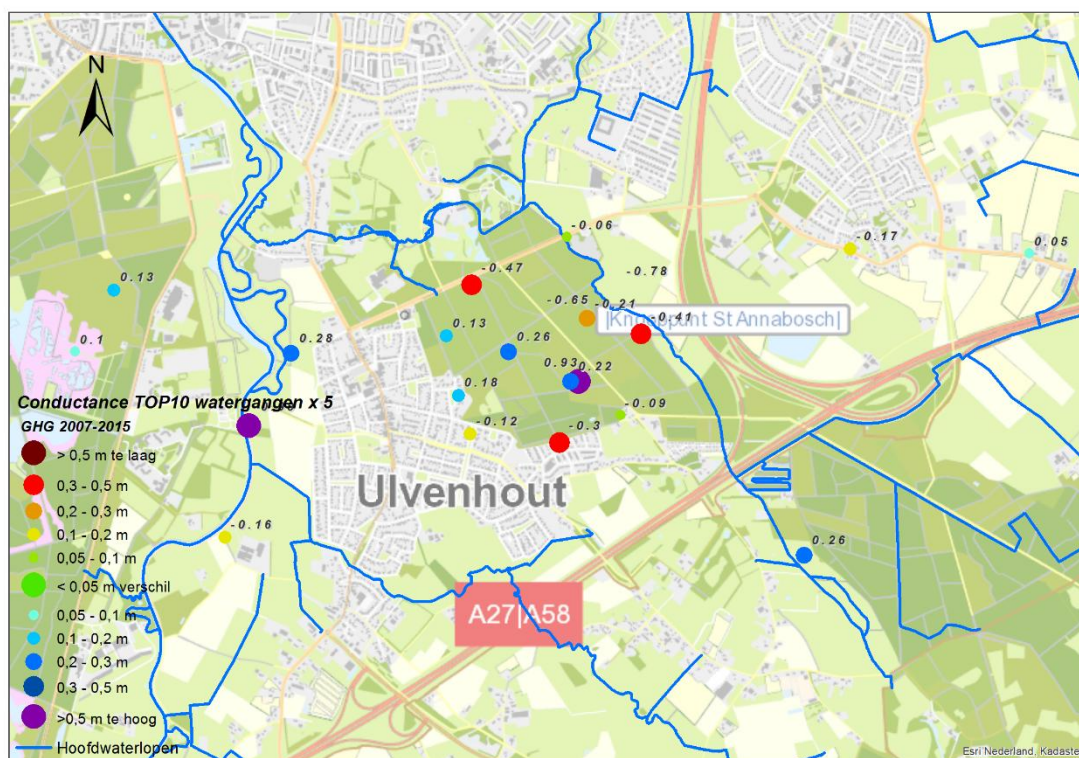
- De stroming naar de folieconstructie is sterk, doordat deze sterk draineert (500 tot 1100 m³/dag). De conductance is gehalveerd om de stroming naar de constructie te verminderen.
- Op basis van een controle op de waterpeilen is gebleken dat er in het AHN2sloten-grid te hoge waterpeilen zijn opgenomen. De waterpeilen die zijn opgenomen in het HGK (hydrologische gereedschapskist) lijken veel beter aan te sluiten op het systeem. Op basis van deze inzichten is ervoor gekozen dat voor die legger-watergangen waarvoor geen SOBEK-resultaten beschikbaar zijn, de HGK-resultaten worden gebruikt. Dit resulteert hoogstwaarschijnlijk direct in lagere grondwaterstanden rondom het bovenstroomse deel (ten zuiden van de Rijksweg) van de Bavelse Leij.
- Op basis van een controle van de waterpeilen in het Ulvenhoutse Bos lijken de waterpeilen (drainageniveaus) opgenomen in AHN2sloten-grid goed overeen te komen met de werkelijkheid. In veel gevallen liggen de waterpeilen in lijn met de gemeten grondwaterstanden. Toch worden op veel locaties de grondwaterstanden te hoog berekend, met name dichtbij de watergangen. De peilbuizen verder van de waterlopen af komen beter overeen met de gemeten grondwaterstanden. Dit duidt erop dat de watergangen een te lage drainerende werking hebben, waardoor ze 'te weinig doen'. Op basis van deze inzichten is ervoor gekozen om de conductance van de TOP10-watergangen te verhogen. Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat het verhogen van de conductance met een factor 2 (weerstand halveren) onvoldoende is om het gewenste effect te bereiken. Op basis van deze inzichten is daarom de conductance met een factor 5 verhoogd (weerstand met een factor 5 verkleind).

3.4 Modelvalidatie

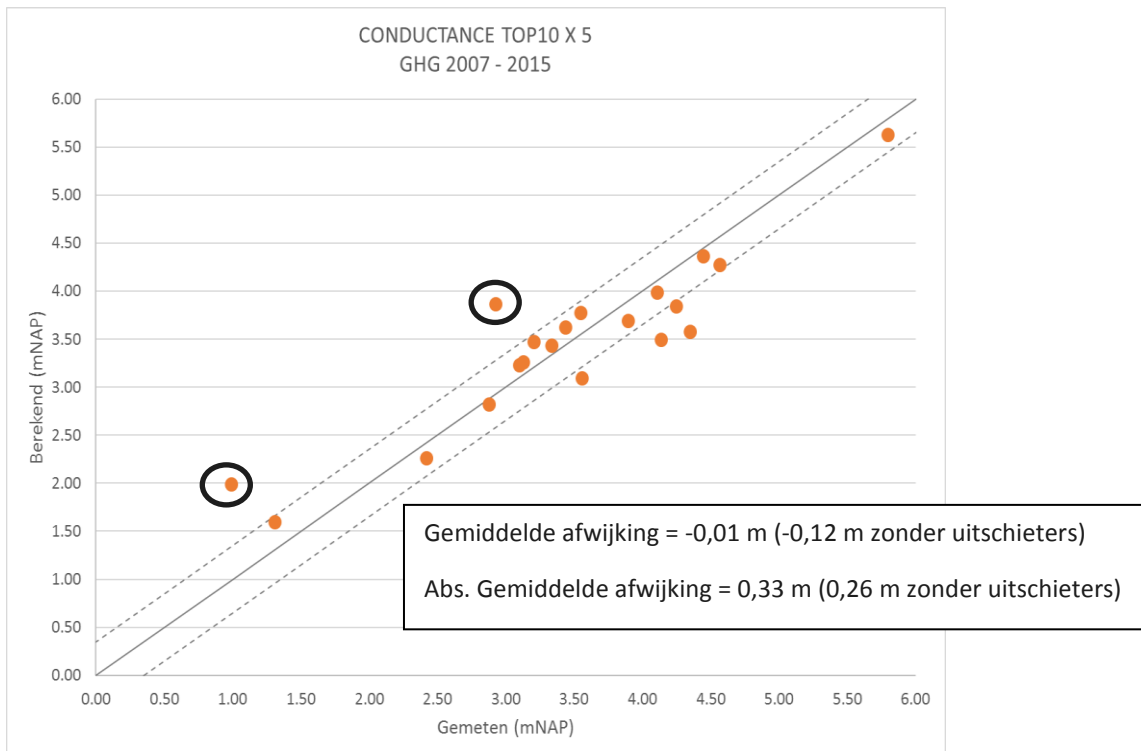
Berekende waterstanden ten opzichte van gemeten waterstanden

In Figuur 14 en Figuur 17 zijn de validatieresultaten weergegeven voor de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). De kleuren in deze bollenkaart geven de afwijking weer tussen de gemeten en berekende GLG of GHG. In Figuur 15 en Figuur 18 zijn tevens de gemeten en berekende grondwaterstanden tegen elkaar uitgezet. In deze grafieken is aangegeven wat de absoluut gemiddelde en gemiddelde afwijkingen is. Zoals in paragraaf 3.3 ("Modelkalibratie") is genoemd, is in de modelstudie een gemiddeld absolute afwijking van maximaal 10% van de natuurlijke variatie acceptabel (33 cm) en een gemiddelde afwijking van 15 cm. Op basis van deze criteria voldoet het model. Op basis van de grafieken worden echter wel twee 'grote' uitschieters zichtbaar. Deze twee uitschieters zijn nader bekeken en is geconcludeerd dat in beide van deze peilbuizen de gemeten grondwaterstanden niet juist zijn, waarschijnlijk door een verkeerd referentieniveau. Wanneer deze uitschieter wordt verwijderd uit de validatieset blijkt het model gemiddeld gezien aan de droge kant.

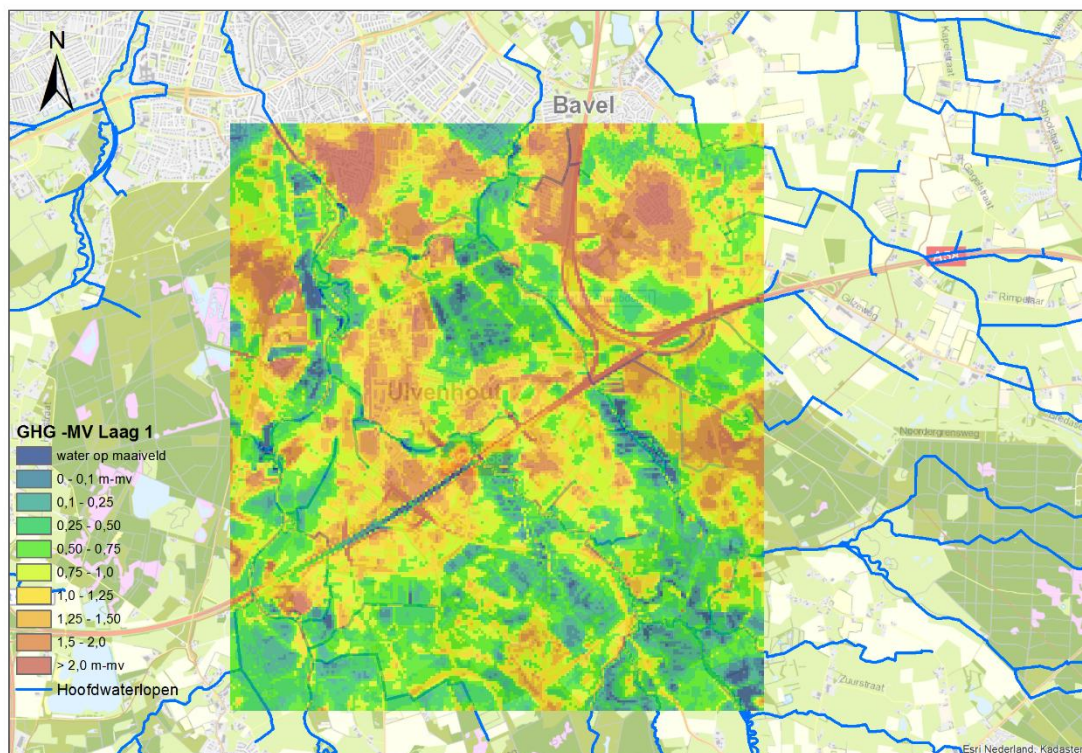
In Bijlage B zijn tevens de tijdreeksen te zien, waarin de gemeten (grijs gestippeld) en berekende grondwaterstanden (blauw) zijn weergegeven van het gekalibreerde model. Hieruit blijkt dat op de meeste locaties de grondwaterstanden goed worden benaderd en dat er een goed fit zit tussen de gemeten en berekende grondwaterstanden. De dynamiek wordt veelal goed gemodelleerd en ook de reactietijd (storage) wordt goed gemodelleerd.



Figuur 14 | Verschil tussen gemeten en berekende GHG in kalibratiemodel in en rondom het Ulvenhoutse Bos



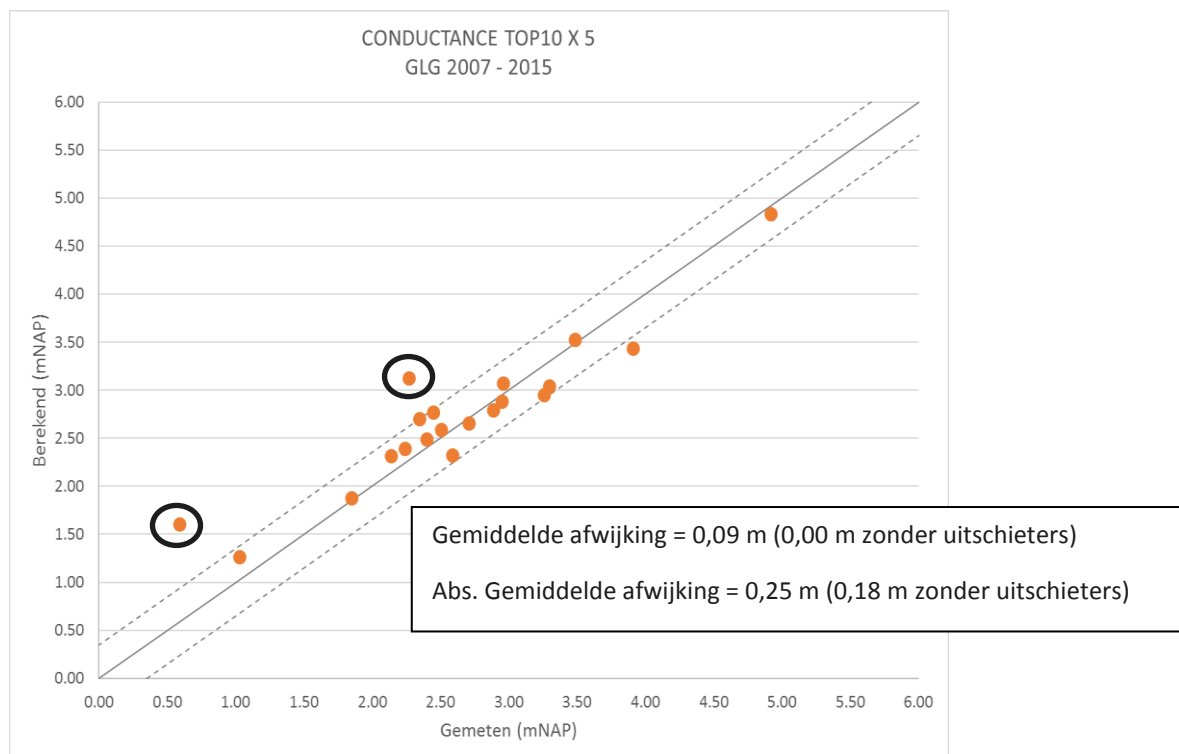
Figuur 15 | Gemeten versus berekende GHG in kalibratiemodel in en rondom het Ulvenhoutse Bos (uitschieters omcirkeld)



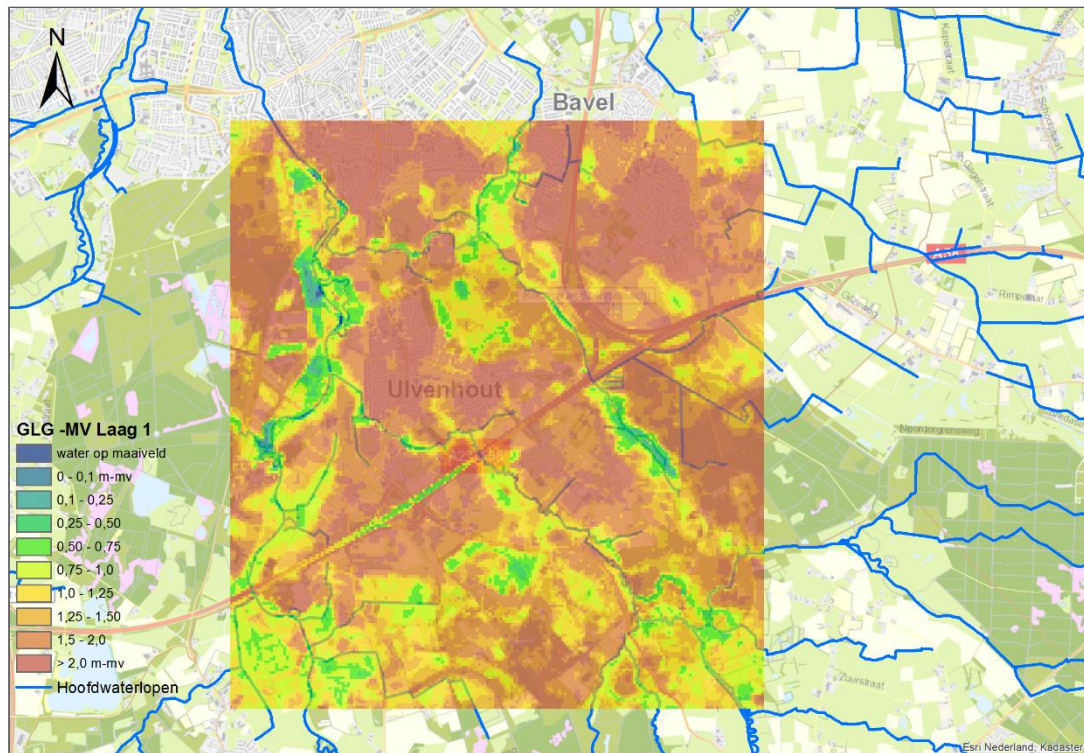
Figuur 16 | Berekende GHG beneden maaiveld in kalibratiemodel in en rondom het Ulvenhoutse Bos.



Figuur 17 | Verschil tussen gemeten en berekende GLG in kalibratiemodel in en rondom het Ulvenhoutse Bos



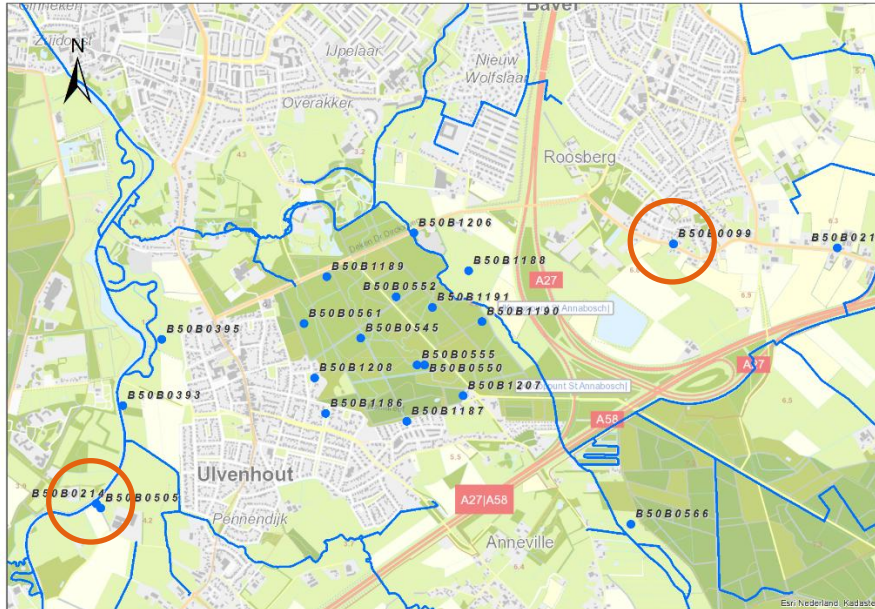
Figuur 18 | Gemeten versus berekende GLG in kalibratiemodel in en rondom het Ulvenhoutse Bos (uitschieters omcirkeld).



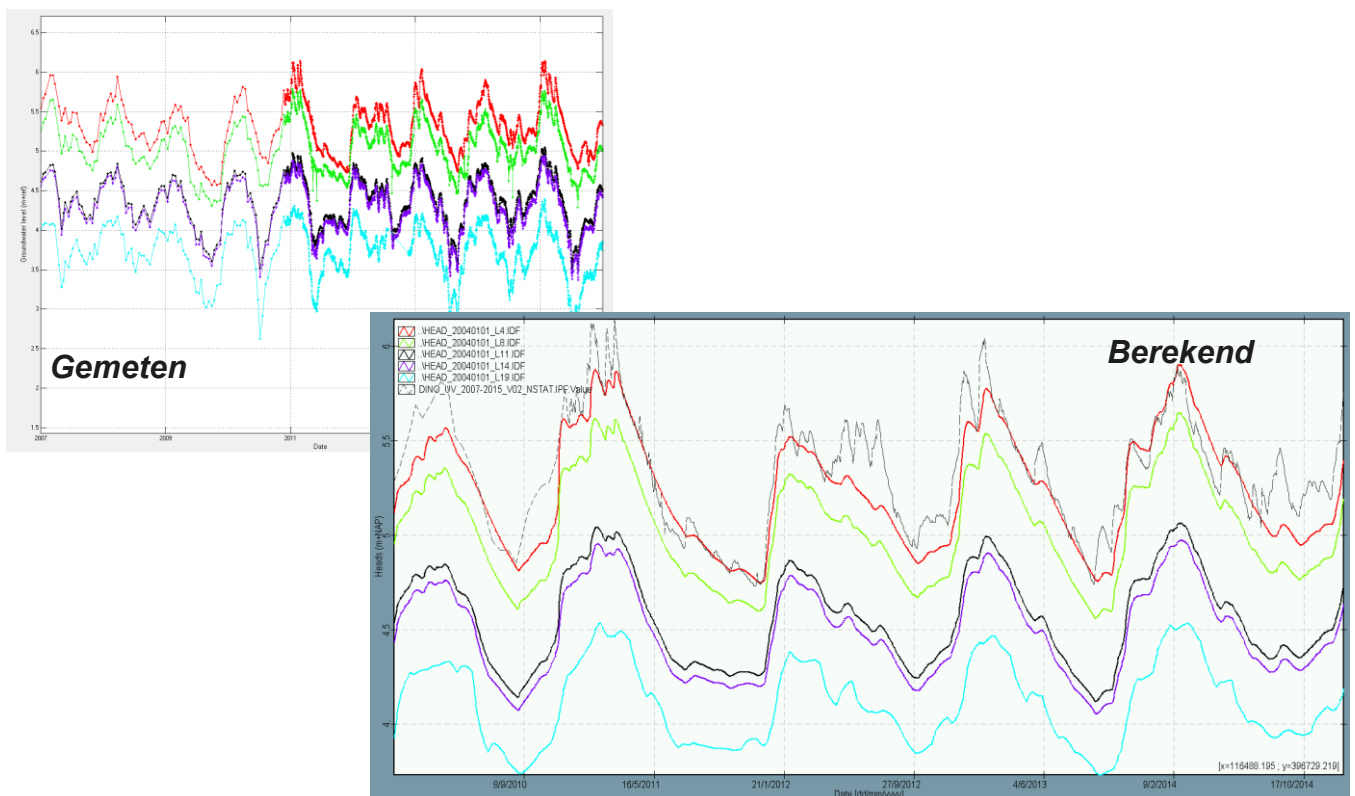
Figuur 19 | Berekende GLG beneden maaiveld in kalibratiemodel in en rondom het Ulvenhoutse Bos.

Kwel- en wegzijgingsfluxen

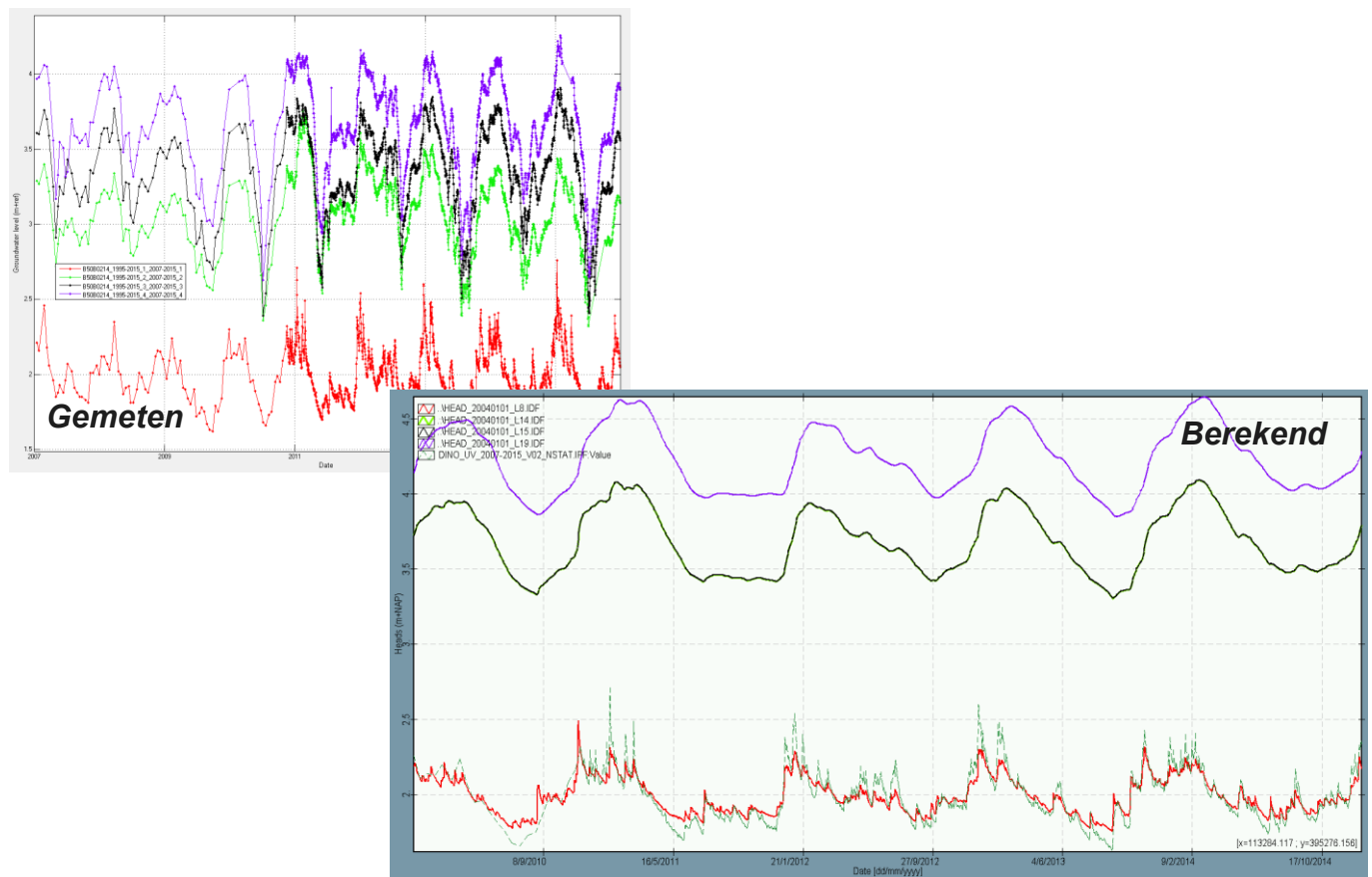
In Figuur 20 zijn twee peilbuislocaties omcirkeld waar de peilbuis meer dan 2 filters bevat. Op basis van deze peilbuizen kan het kwel-/wegzijgingspatroon worden bekeken. De berekende en gemeten stijghoogten zijn weergegeven in Figuur 21 en Figuur 22. De berekende diepe stijghoogte in Figuur 22 is ca. 0,5 m te hoog. Op beide locaties komt de berekende kwel-/wegzijgingspatroon (delta-h) overeen met het gemeten patroon.



Figuur 20 | Peilbuizen met meerdere filters waarin de kwelfluxen is bekeken (filterdieptes oostelijke peilbuizen (Figuur 21) in mNAP: +5 (rood), +0 (groen), -17 (zwart), -64 (paars), -108 (lichtblauw); filterdieptes westelijke peilbuizen (Figuur 22) in mNAP: -8 (rood), -34 (groen), -56 (zwart), -95 (paars)). De kleuren corresponderen met de kleuren van de reeksen in Figuur 21 en Figuur 22.



Figuur 21 | Kwelflux ter plaatse van peilbuis dat in oostelijke deel van Figuur 20 is omcirkeld.



Figuur 22 | Kwelflux ter plaatse van peilbuis dat in westelijke deel van Figuur 20 is omcirkeld.

Conclusie

Op basis van de modelresultaten is geconcludeerd (samen met de begeleidingsgroep) dat het model goed presteert in het interessegebied en het model geschikt wordt geacht om de planvarianten mee door te rekenen.

4 REKENVARIANTEN

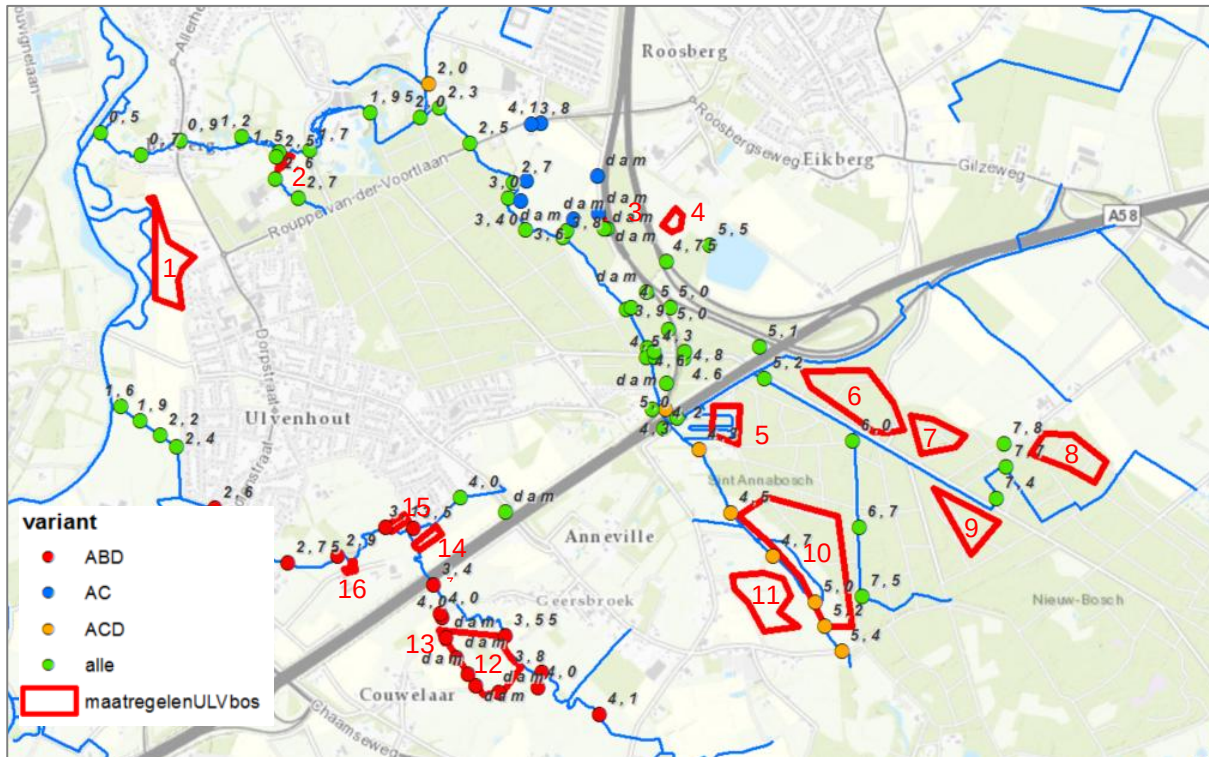
4.1 Inleiding

De rekenvarianten zijn oefeningen om in orde grootte de zwaarte van een maatregelpakket te kwantificeren. Het onderzoek betreft daardoor geen uitwerking van een planvariant maar vooral een gevoeligheidsanalyse op verschillende maatregelen. Een maatregelenpakket is nodig om de ambities ten aanzien van de natuurbeheertypes en de daarvoor benodigde kweldruk in het Ulvenhoutse bos te realiseren. De uitkomsten van het onderzoek gebruikt de Provincie om in 2018 met stakeholders de dialoog aan te gaan om uiteindelijk te komen tot onderbouwde bestuurlijke keuzes ten aanzien van het herstel van het Ulvenhoutse Bos op basis van ecologische vereiste hydrologie (GVG, GLG en kwelflux). Het effect op de omgeving is globaal bekeken, door de geschiktheid van de grondwaterstanden voor bebouwing en landbouw in beeld te brengen. Overige gebruiksfuncties zijn niet beschouwd en moeten in een nader onderzoek worden bekeken. De in dit hoofdstuk gepresenteerde rekenvarianten zijn in geen geval bedoeld als inrichtingsvarianten. Onderstaande beschrijvingen van de rekenvarianten en de resultaten moeten dan ook in dat perspectief worden gelezen.

4.2 Beschrijving rekenvarianten

Er zijn 6 rekenvarianten doorgerekend in twee rondes. De eerste ronde betrof 4 rekenvarianten (A, B, C en D). Op basis van deze resultaten zijn nog twee aanvullende rekenvarianten (E en F) doorgerekend waarin ook een autonome ontwikkeling binnen Ulvenhout is opgenomen (drainagesysteem in Ulvenhout). Alle rekenvarianten zijn doorgerekend op basis van het gevalideerde model. De rekenvarianten waarin peilverhogingen en overige maatregelen (dempen watergangen, verhogen maaiveld, aanleggen kavelsloot) zijn opgenomen, zijn aangeleverd door Provincie Noord-Brabant. In Figuur 23 en Figuur 24 zijn deze rekenvarianten en de locaties waarop de maatregelen worden genomen weergegeven (Figuur 24 is tevens vergroot in Bijlage D weergegeven). Afhankelijk van de variant vindt een peilverhoging plaats of wordt een maatregel uitgevoerd. De maatregelen voor de varianten A, B, C en D zijn beschreven in Tabel 4. In de beekdalen met percelen in het Natuur Netwerk Brabant (NNB) zijn voor een aantal varianten de inliggende kavelsloten verondiept of gedempt. Tevens zijn een aantal kavelsloten opgenomen. Voor de varianten A, B, C en D is geen specifiek zomerpeil gehanteerd en is het zomerpeil gelijk gehouden aan het winterpeil. Dit is wel gedaan voor de varianten E en F. Bij het bekijken van de resultaten dient er daarom rekening mee te worden gehouden dat er een theoretisch verschil zichtbaar is tussen de varianten E en F én variant A (in de varianten A t/m D had idealiter ook een zomerpeil moeten worden meegenomen).

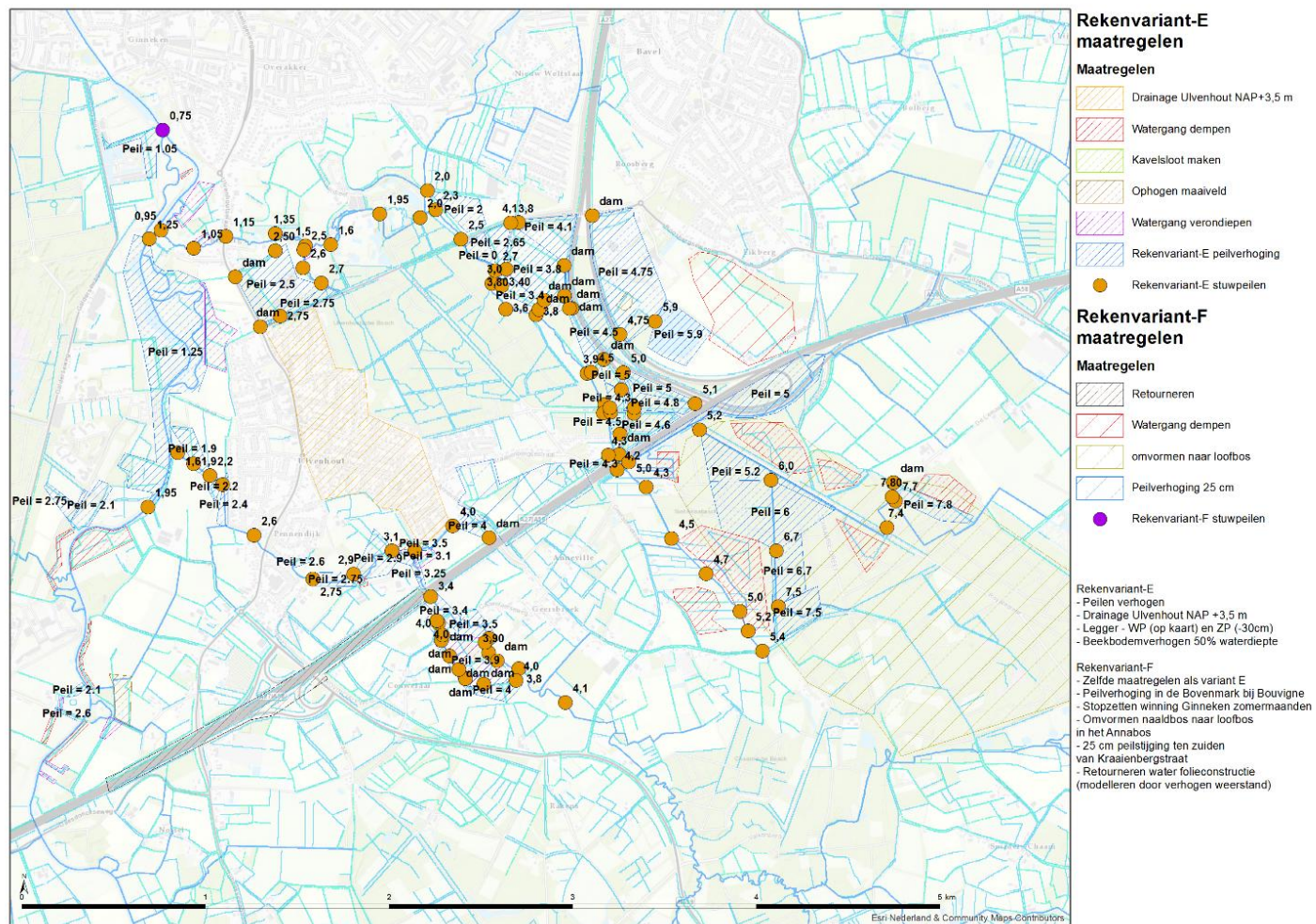
Om een conversie te kunnen maken van de het punten bestand, zoals is aangegeven in Figuur 23, naar een bestand dat gebruikt kan worden in het grondwatermodel, zijn de punten geïnterpoleerd op basis van de Inverse Distance Weighting (IDW) methode. De geïnterpoleerde waarden zijn als peilen op de 'rivers' gezet. Het peil van de detailontwatering is echter als één vast peil op de watergangen gezet.



Figuur 23 | Rekenvarianten A t/m D en maatregelenkaart. De kleuren van de stippen geven aan in welke varianten een peilverhoging is opgenomen. De rode nummers corresponderen met de nummers in Tabel 4.

Tabel 4 | Maatregelen rekenvarianten A t/m D. De nummers corresponderen met de nummers in Figuur 23.

NR	Maatregel
1	Verondiepen greppels
2	Verondiepen sloot
3	Kavelsloot opnemen in variant B en D
4	Ophogen maaiveld
5	Dempen waterlopen
6	Dempen waterlopen
7	Dempen waterlopen
8	Dempen waterlopen
9	Dempen waterlopen
10	Dempen waterlopen, by-pass dempen in variant A, C, D
11	Dempen waterlopen in variant A en C
12	Verondiepen kavelsloot variant A, B, D
13	Kavelsloot opnemen in variant A, B, D
14	Verondiepen sloot in variant A, B, D
15	Dempen waterlopen in variant A, B, D
16	Dempen kavelsloot in variant A, B, D



Figuur 24 | Rekenvarianten E en F en maatregelenkaart (zie ook bijlage D).

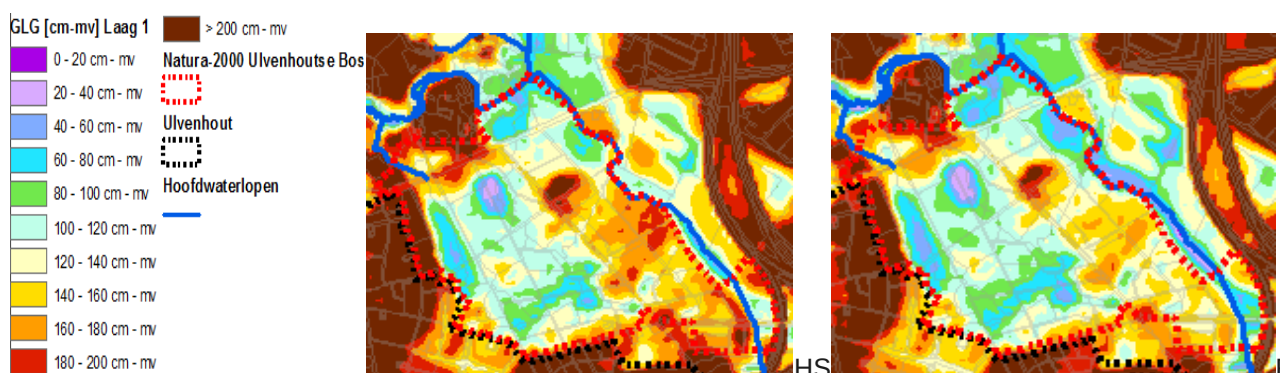
4.3 Resultaten rekenvarianten

De resultaten van de verschillende rekenvarianten zijn naast elkaar gezet in Bijlage E, separaat van dit document is een uitgebreidere kaartenset beschikbaar (in ArcGIS). De belangrijkste conclusies worden hieronder puntsgewijs besproken:

- Grondwaterstandsverandering (verschil GHG, GLG en GVG) - Verandering in de grondwaterstand kleiner dan 5 cm worden niet significant geacht. De peilverhogingen en de maatregelen hebben in een groot gebied geleid tot grondwaterstandsverhogingen. In het bos leiden de maatregelen tot een minimaal effect op GHG en GVG. De grondwaterstanden zijn in de huidige situatie al hoog en door de detailafwatering in het bos (o.a rabatten) wordt een toename van de grondwaterstand begrensd. Alleen in de GLG-situatie leiden de maatregelen tot toegenomen grondwaterstanden in het Ulvenhoutse Bos. Het oppervlak dat geschikt is voor verschillende vochtige bostypen neemt toe (zie Figuur 25). De GxG's veranderen bij variant E en F niet significant ten opzichte van variant A, ondanks extra vernattingsmaatregelen.
- Grondwaterstanden t.o.v. maaiveld en landbouw/bebouwingsgeschiktheid (GHG, GLG, GVG t.o.v. maaiveld en landbouwgeschiktheid) - Met name rondom de Chaamse Beek en het benedenstroomse deel van de Broekloop, ten zuiden van de A27/A58, zorgen de vernattingsmaatregelen in de betreffende beken en omliggende detailontwatering voor afname van de ontwateringsdieptes of zelfs grondwaterstanden tot aan maaiveld. De landbouwgeschiktheid neemt in de beekdalen af. Het zijn met name locaties waar het al kritisch is en op korte afstand van de beek liggen waar de peilverhogingen het meeste effect hebben. Door de toevoeging van drainage in het stedelijk gebied van Ulvenhout (variant E en F) neemt hier lokaal de geschiktheid voor bebouwing toe.
- Grondwaterstromingsverandering (GHG, GVG en GLG t.o.v. mNAP) - Door verhogingen van met name de beekpeilen neemt de drainerende werking van de beken af. Dit is terug te zien in het isohypsen-

patroon. De stroming richting de Chaamse Beek, Broekloop en Bavelse Leij neemt af en het regionale stromingspatroon richting de Mark en het Markdal en Breda komt iets meer naar voren.

- Kwelverandering (kwelkaart en kwelverandering jaarrond, april-mei en december-februari) - Over het algemeen is er een afname van wegzijging en een toename van kwel. In de beken en beekdalen wordt een afname van de kwelflux geconstateerd als gevolg van de hogere beekpeilen. In het Ulvenhoutse Bos wordt in alle rekenvarianten een beperkte toename van de kwelflux waargenomen variërend van 0,25 tot 1,0 mm/d toename. Zeer lokaal dicht langs de Broekloop is de toename groter. Het verschil tussen de rekenvarianten is minimaal <0,25 mm/d. Ten gevolge van drainage maatregelen in Ulvenhout is er sprake van een kwelafname in het zuidwestelijk deel van het Ulvenhoutse Bos in varianten E en F. In de varianten A t/m D, waar geen maatregelen in en rond de Boven Mark zijn genomen, is sprake van lokale toename van de kwelstroom ter hoogte van het uitstroompunt van de Chaamse Beek. In varianten E en F is door de maatregelen in het Markdal lokaal een afname van kwel, onder andere bij Bouvigne en bij de Blauwe Kamer.



Figuur 25 | Uitsnede van huidige situatie en rekenvariant F van de GLG tov maaiveld (Bijlage E)

5 CONCLUSIE

In de voorliggende geohydrologische modelstudie is gebruik gemaakt van bestaande beschikbare regionale grondwatermodellen van het Markdal en de Hydrologische Gereedheidskist van Noord-Brabant. Dit model is verfijnd op basis van meer gedetailleerde en nauwkeurige informatie van de beeksystemen, drainage en lokale ondiepe bodemopbouw. Na de verfijningsslag is het model succesvol gekalibreerd. In GHG-situaties berekent het model te lage grondwaterstanden, maar de afwijkingen vallen binnen de vooraf vastgestelde criteria. In GLG-situaties worden grondwaterstanden gemiddeld goed benaderd door het model. De belangrijkste conclusie zijn:

- De karakteristiek en dynamiek van het grondwatersysteem wordt goed gesimuleerd;
- De stijghoogten in diepere lagen komen overeenkomen met metingen en daarmee wordt de regionale kwelstroom goed benaderd.

Gedurende het geohydrologische modelonderzoek is inzicht verkregen in hoe het regionale watersysteem in relatie tot het Ulvenhoutse Bos functioneert. Hieruit is gebleken dat het systeem boven de Waalre klei tussen de Chaamse Beek, Broekloop en Bavelse Leij sterk wordt gestuurd door deze beken. In de isohypsenpatronen van de watervoerende lagen boven de Waalre klei is een duidelijke stroming waarneembaar in de richting van de beken. In het stromingspatroon van de diepere watervoerende lagen, onder de Waalre klei, is de stroming naar de bovengenoemde beken beperkt en is met name de invloed van de Bovenmark en het Markdal terug te zien. Maatregelen in de Chaamse Beek, Broekloop en Bavelse Leij hebben daarom nauwelijks effect op die diepere grondwaterstroming en -stijghoogte. De kwel in het Ulvenhoutse Bos is daarom ook grotendeels gevoed door lokale kwelstromen en in mindere maten door kwel uit het diepe grondwater met regionale voeding.

Om inzicht te verkrijgen in de effectiviteit van vernattingsmaatregelen in de omgeving van het Ulvenhoutse Bos op de kwelstroom het bos zelf zijn verschillende rekenvarianten doorgerekend. De maatregelen in de varianten A t/m D bevatten sterke vernattingsmaatregelen in de omliggende beken en detailontwatering. Daarnaast is in de varianten E en F ook gekeken naar de invloed van maatregelen in de Bovenmark en de onttrekking Ginneken ten behoeve van drinkwaterproductie.

De maatregelen van varianten A t/m F leiden in een groot gebied rond Ulvenhoutse Bos tot grondwaterstandsverhogingen. In het bos zelf zijn de grondwaterstandsveranderingen echter beperkt. Daarnaast laten de rekenvarianten zien dat forse maatregelen noodzakelijk zijn om een kleine toename van kwel in het Ulvenhoutse Bos te bereiken. De kwelstroom naar het Ulvenhoutse Bos neemt binnen de varianten met 0,25 tot 1 mm/d toe. Daarnaast is er tussen de varianten A t/m F een minimaal verschil in de toename van de kwelstroom naar het Ulvenhoutse Bos. Omdat in alle varianten de lokale maatregelen rondom het Ulvenhoutse Bos zijn opgenomen, betekent dit deze lokale maatregelen in de directe omgeving van het bos, zoals peilverhoging in de Bavelse Leij, het grootste aandeel heeft in de kweltoename. Dit kan op de volgende manier worden verklaard:

Met de huidige set aan maatregelen wordt de stijghoogte onder Tegelenklei onvoldoende beïnvloed om tot een effect te komen op de kweldruk in het Ulvenhoutse Bos. Dit komt enerzijds doordat de maatregelen beperkt doorwerken in de stijghoogten van het watervoerende pakket en anderzijds dat de verhoogde stijghoogten weer beperkt doorwerken in een toename van kwel. Dit komt wederom door de hoge weerstand van de Tegelenklei. Door de hoge weerstand van de Tegelenklei is de kweldruk naar de bovenste lagen in het Ulvenhoutse Bos beperkt. Doordat de weerstand en aanwezigheid van deze laag afneemt in het Markdal, komt de kwel voornamelijk in het Markdal wél naar voren. In het Ulvenhoutse Bos is alleen sprake van meer lokale ondiepe kwel, welke nagenoeg alleen beïnvloed wordt door maatregelen in de directe omgeving van het bos.

De maatregelen in de verschillende varianten veroorzaken daardoor ook niet voor grote verschillen in de kwelstroom naar het Ulvenhoutse bos. De maatregelen verder van het bos af, ten zuiden van de Rijksweg A58, hebben (vrijwel) geen invloed. Er wordt geadviseerd in het verdere traject naar maatregelen te zoeken die in de directe omgeving van het bos genomen kunnen worden.

Drainage van de kern Ulvenhout heeft een afname van de kwelstroom in het zuidwestelijke hoek van het bos tot gevolg. Hierdoor is niet goed te concluderen wat de invloed is van de drinkwaterwinning en maatregelen in de Bovenmark zonder drainage in de kern Ulvenhout.

Uit de resultaten van de verschillende varianten blijkt dat alle maatregelen leiden tot een verhoging van de grondwaterstand voor de kern Ulvenhout. Alleen met drainage kunnen de effecten gemitigeerd worden en

kan aanvullend een verbetering voor de woonfunctie worden bereikt. De noodzaak van drainage voor de kern is hiermee bevestigd. Wel dient het drainagesysteem zodanig te worden aangelegd dat dit geen nadelig effect heeft op het behoud van habitats en/of de kwelstroom laat verminderen. Zoals hierboven is aangegeven zorgt de drainage in Ulvenhout namelijk voor een kwel afname aan de rand van het bos. In een nadere studie zal de drainage in meer detail moeten worden ontworpen en doorgerekend om het effect van de drainage op het Ulvenhoutse Bos uit te sluiten.

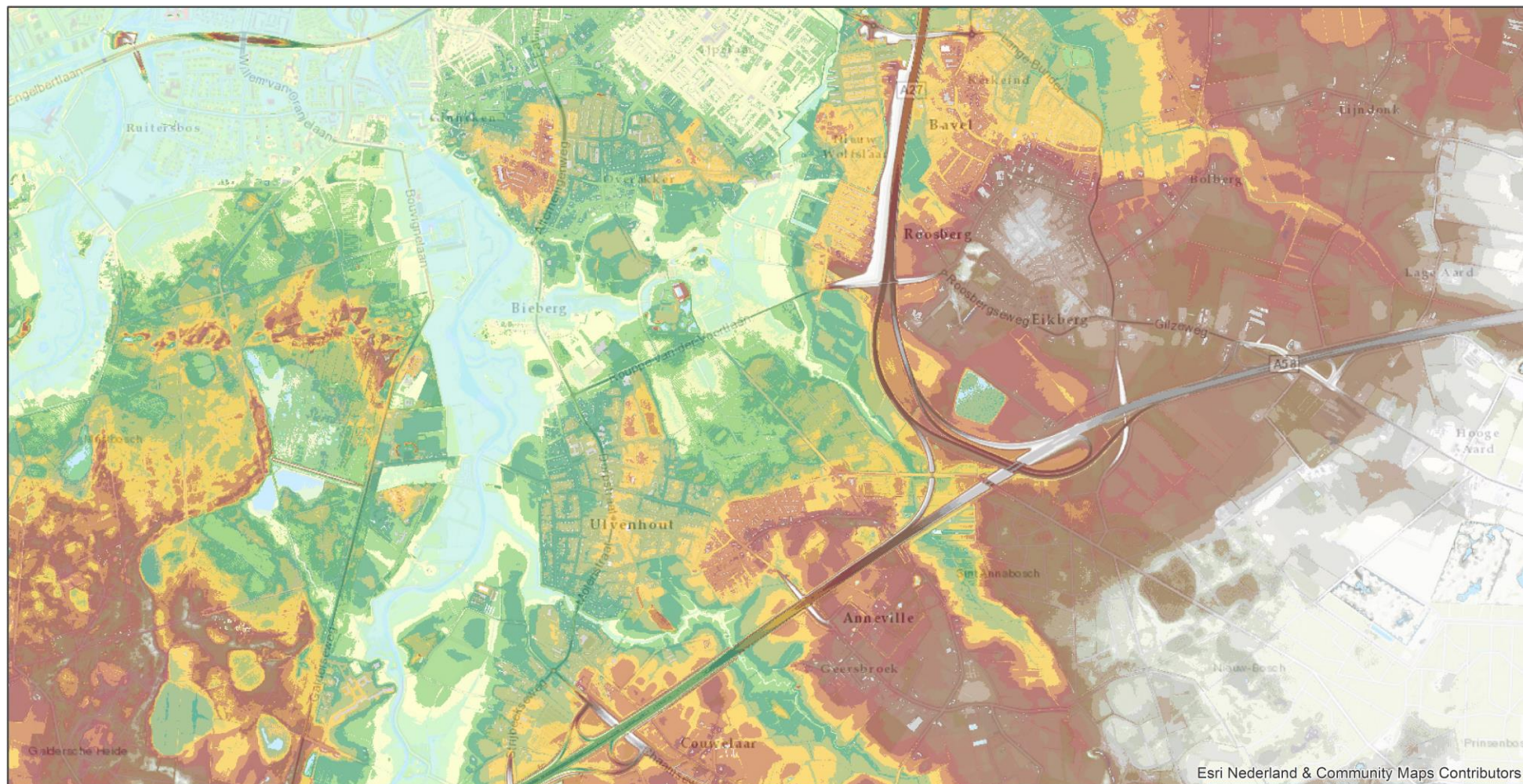
Daarnaast wordt aanbevolen in een vervolgonderzoek de peilbuizen in de stedelijke kern van Ulvenhout mee te nemen om tot een extra verbeterslag te komen van het grondwatermodel. Ook kunnen aanvullende gegevens van Gemeente Breda gebruikt worden om een verfijning aan te brengen in de bodemopbouw van het grondwatermodel.

BIJLAGE A PRESENTATIE WATERSYSTEEMBESCHRIJVING

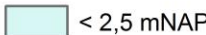
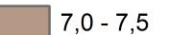
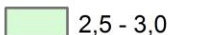
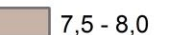
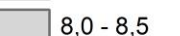
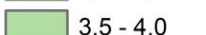
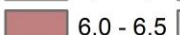
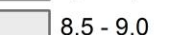
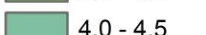
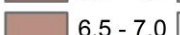
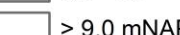
Grondwatersysteem

- Presentatie en toelichting basiskaarten:
 - Maaiveldhoogte
 - Landgebruik
 - Bodemkaart
 - Oppervlaktewatersysteem
 - Meetpunten, boringen en sonderingen
 - GxG's en kwel obv huidige modellen
- Grondwaterstandmetingen
- Dwarsdoorsneden ondergrond





AHN2

 < 2,5 mNAP	 4,5 - 5,0	 7,0 - 7,5
 2,5 - 3,0	 5,0 - 5,5	 7,5 - 8,0
 3,0 - 3,5	 5,5 - 6,0	 8,0 - 8,5
 3,5 - 4,0	 6,0 - 6,5	 8,5 - 9,0
 4,0 - 4,5	 6,5 - 7,0	 > 9,0 mNAP

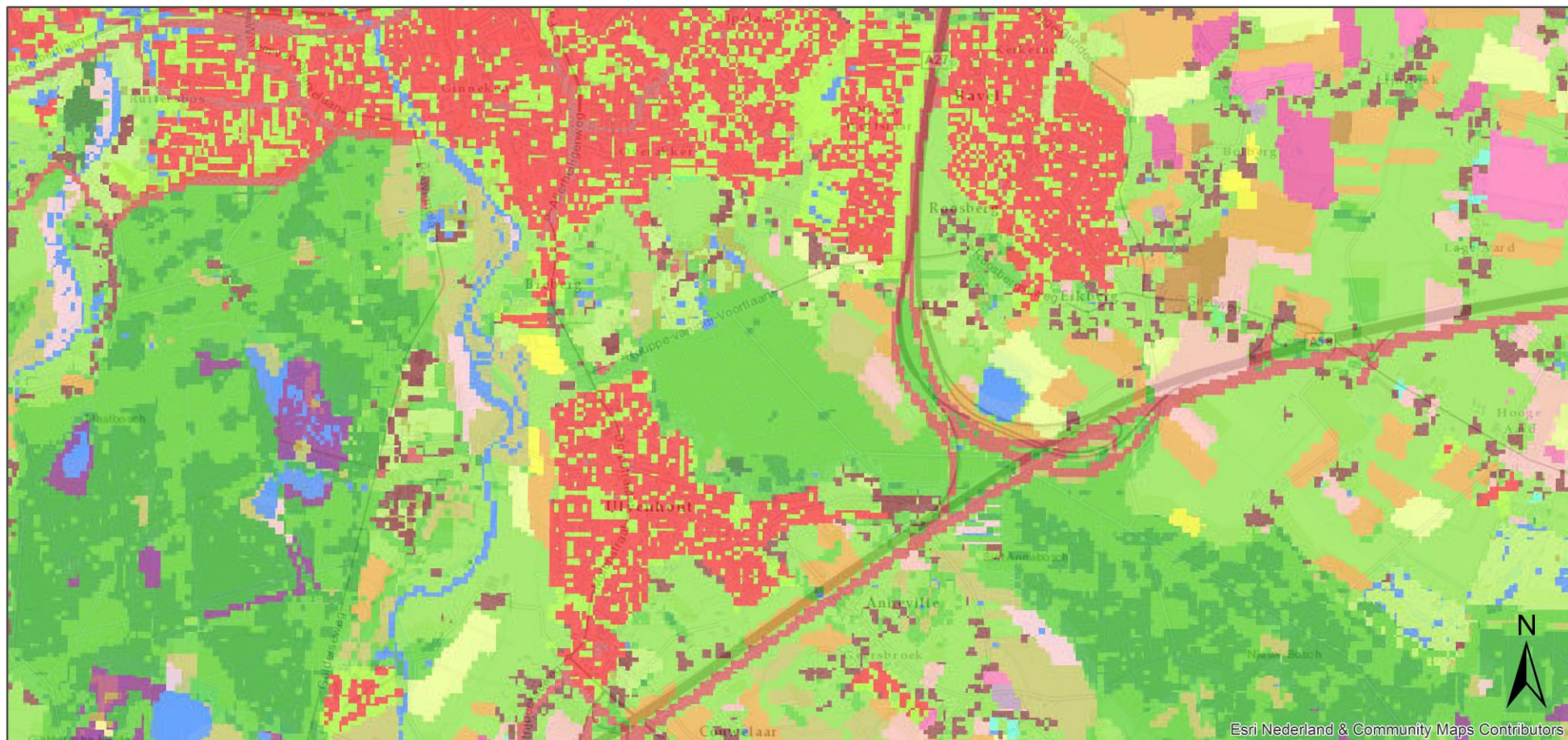
Ulvenhoutsebos



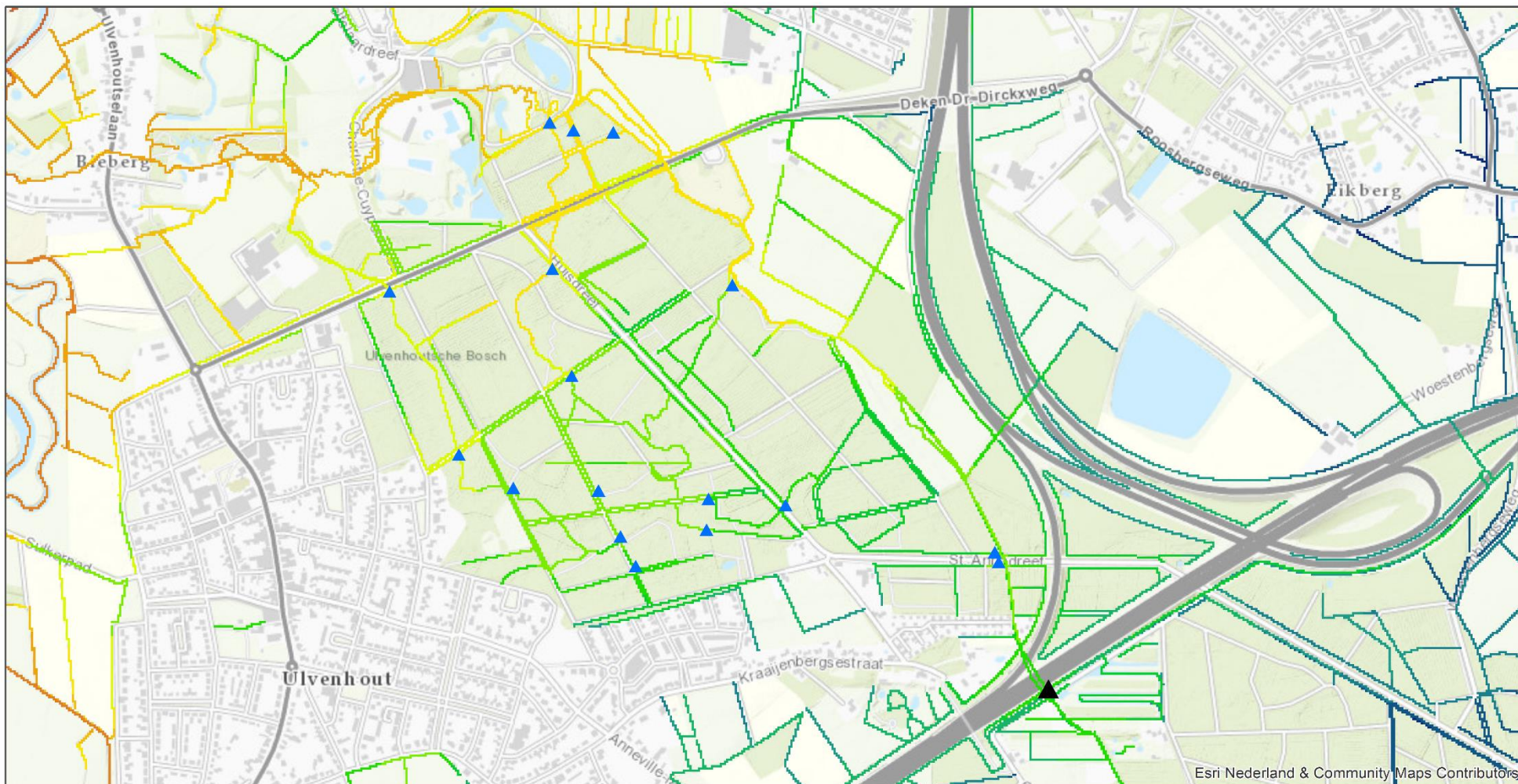
C03091.000273

0 200 400 600 800 m

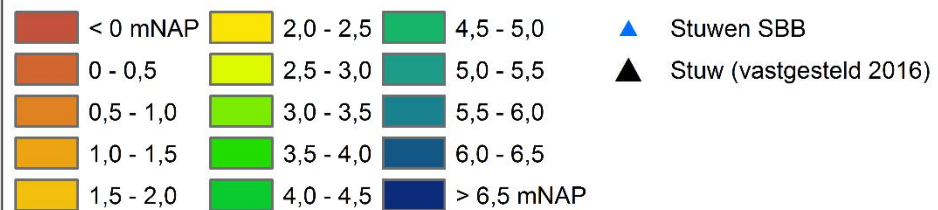




1 - agrarisch gras	12 - naaldbos	26 - bebouwing in het buitengebied	38 - sterk vergraste heide
2 - mais	16 - zoet water	28 - gras in secundair bebouwd gebied	39 - hoogveen
3 - aardappelen	17 - zout water	30 - kwelders	40 - bos in hoogveengebied
4 - bieten	18 - bebouwing in primair bebouwd gebied	31 - open zand in kustgebied	41 - overige moerasvegetatie
5 - granen	19 - bebouwing in secundair bebouwd gebied	32 - duinen met lage vegetatie	42 - rietvegetatie
6 - overige gewassen	20 - bos in primair bebouwd gebied	33 - duinen met hoge vegetatie	43 - bos in moerasgebied
8 - glastuinbouw	22 - bos in secundair bebouwd gebied	34 - duinheide	45 - natuurgaslanden
9 - boomgaarden	23 - gras in primair bebouwd gebied	35 - open stuifzand en/ of rivierzand	61 - boomkwekerijen
10 - bloembollen	24 - kale grond in bebouwd gebied	36 - heide	62 - fruitkwekerijen
11 - loofbos	25 - hoofdwegen en spoorwegen	37 - matig vergraste heide	



AHN sloten + stuwen

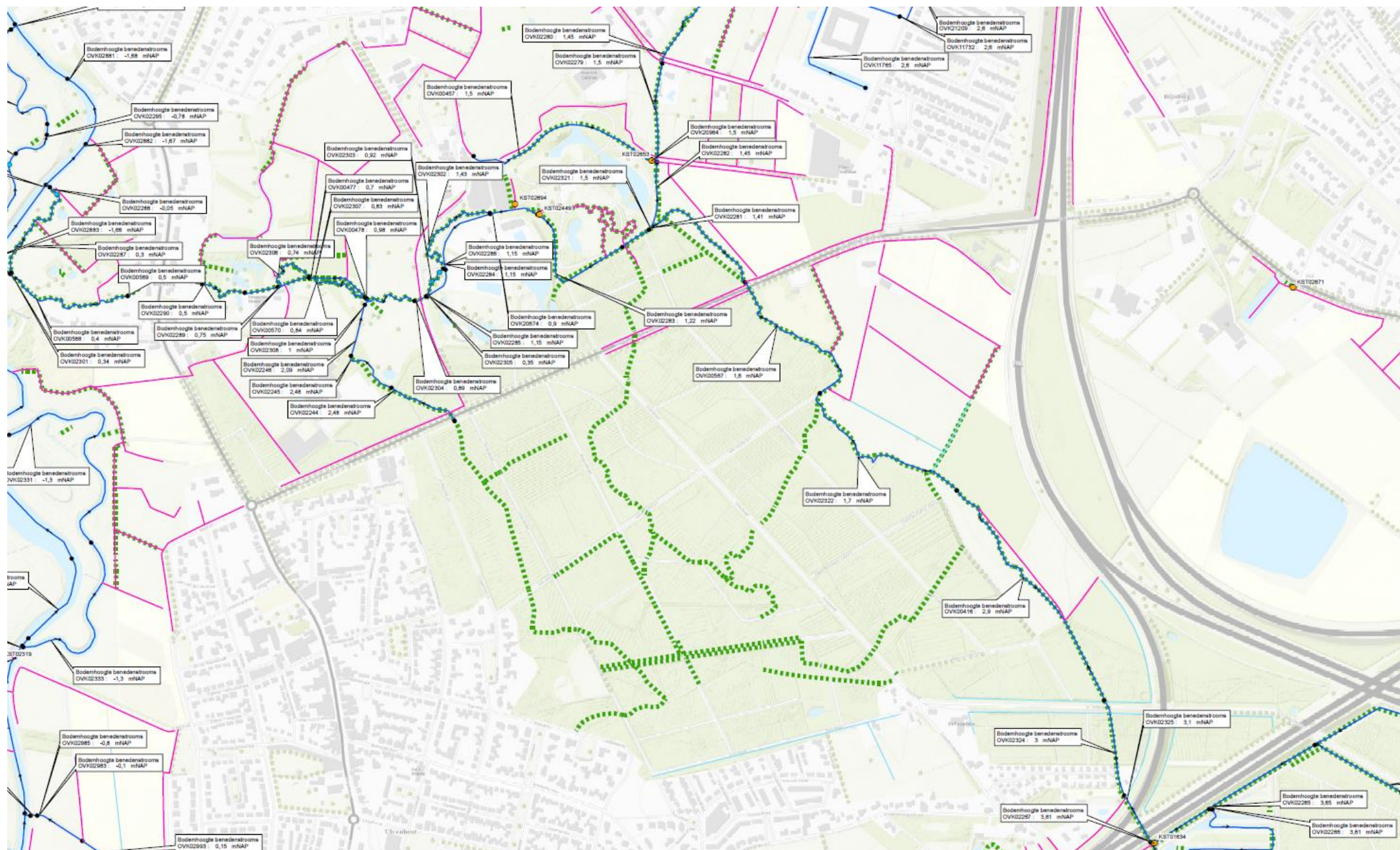


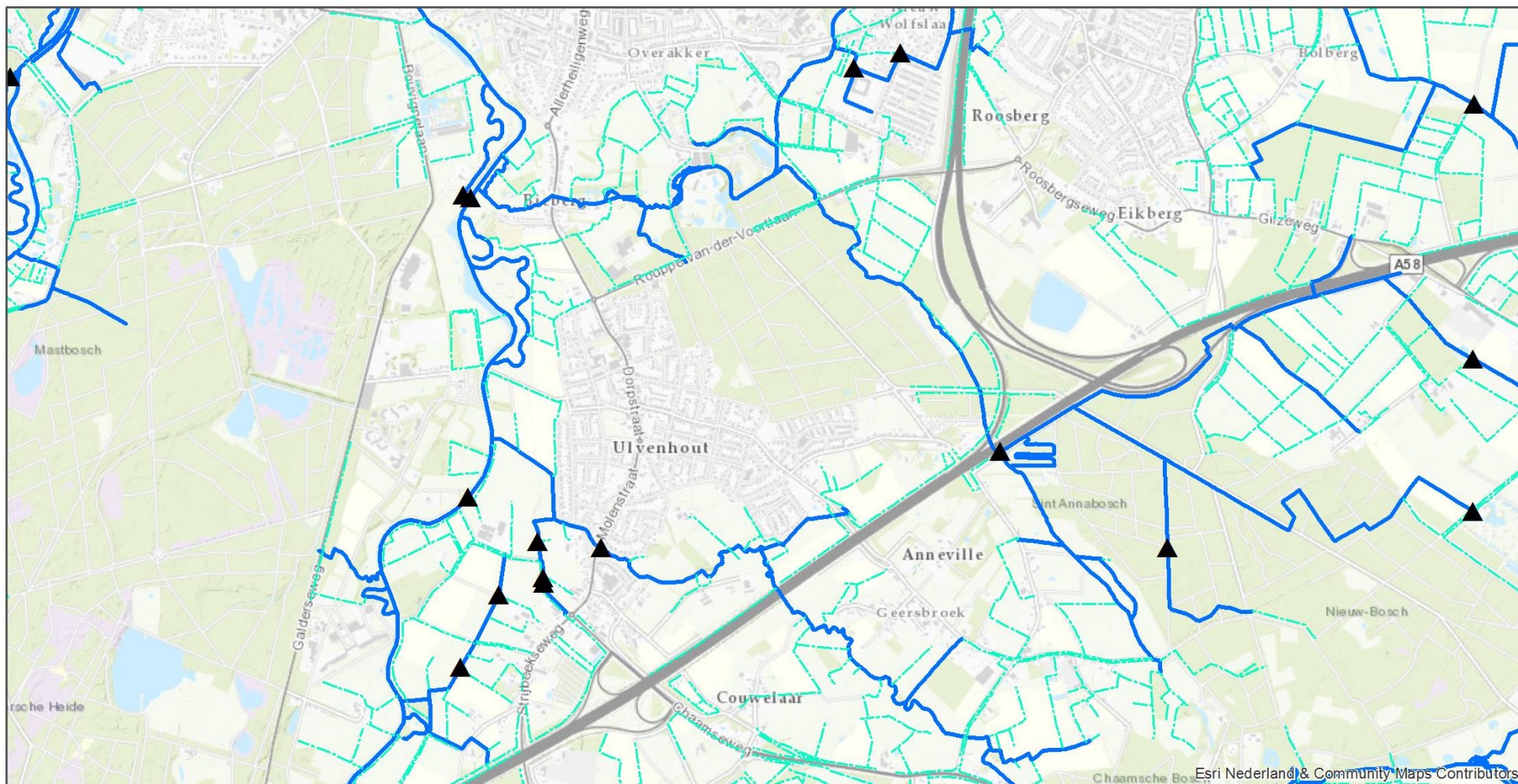
Ulvenhoutsebos



C03091.000273







Waterlopen en stuwen

- Waterloop Cat B (vastgesteld 2016)
- Waterloop Cat A (vastgesteld 2016)
- ▲ Stuw (vastgesteld 2016)

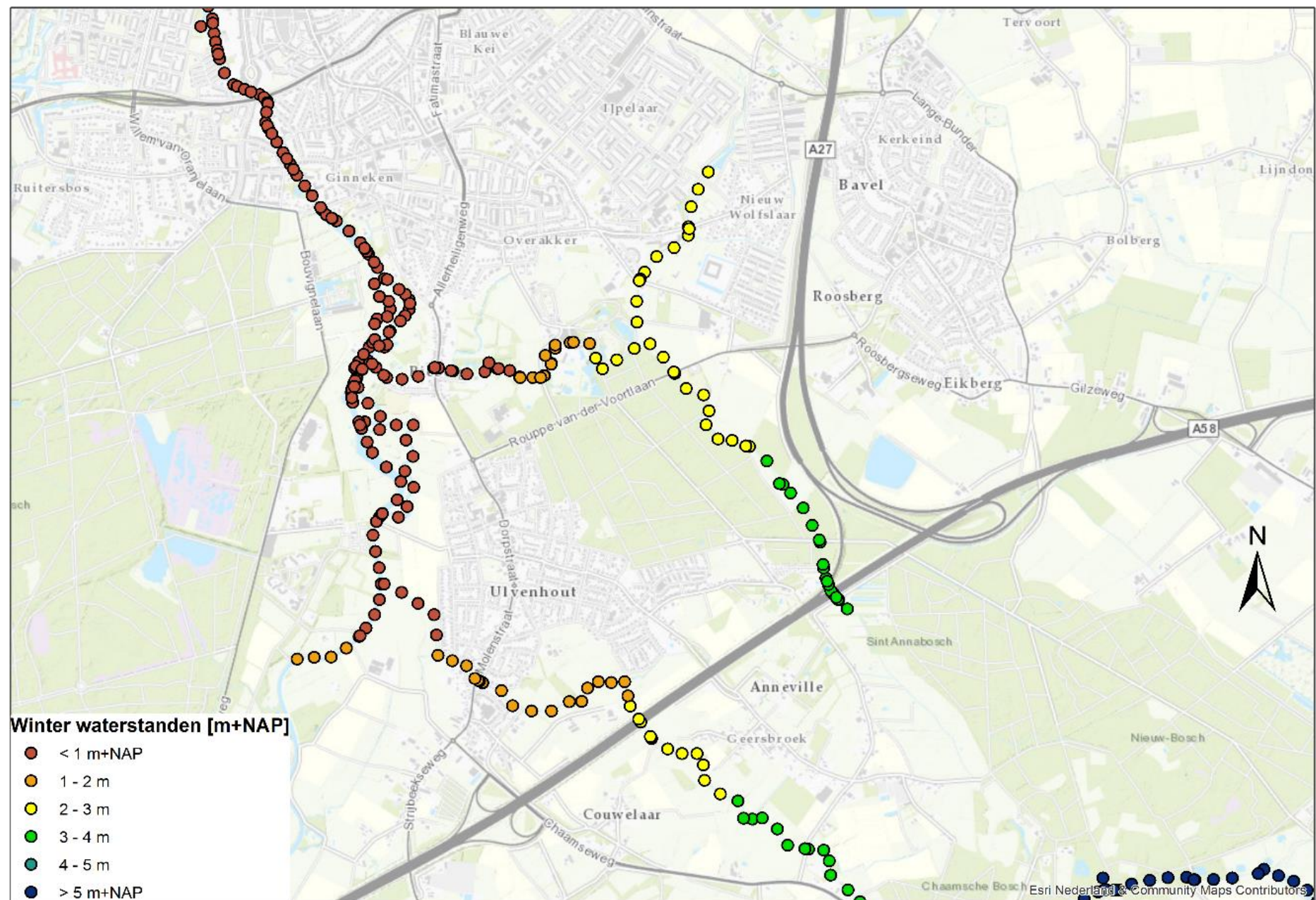
Ulvenhoutsebos

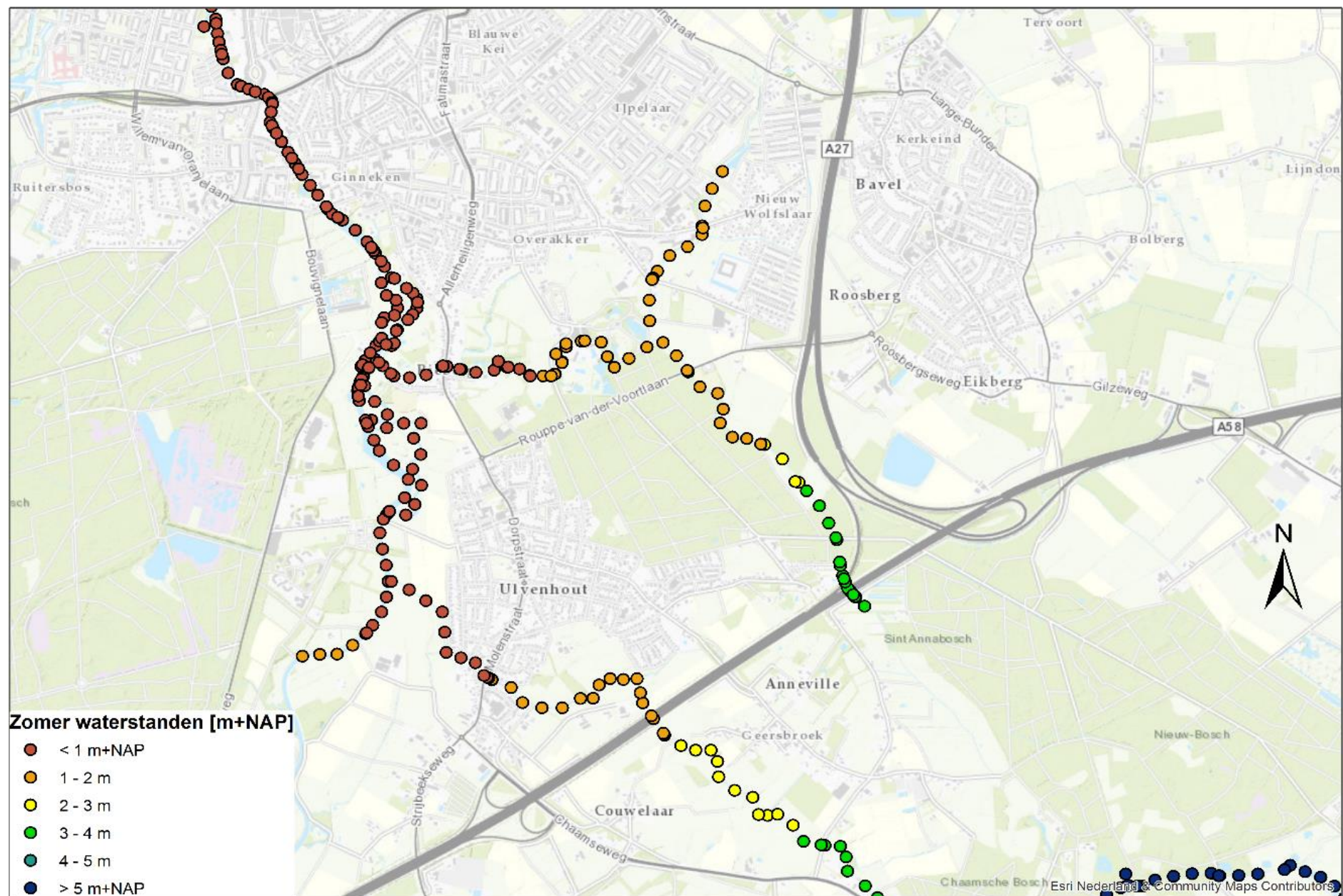


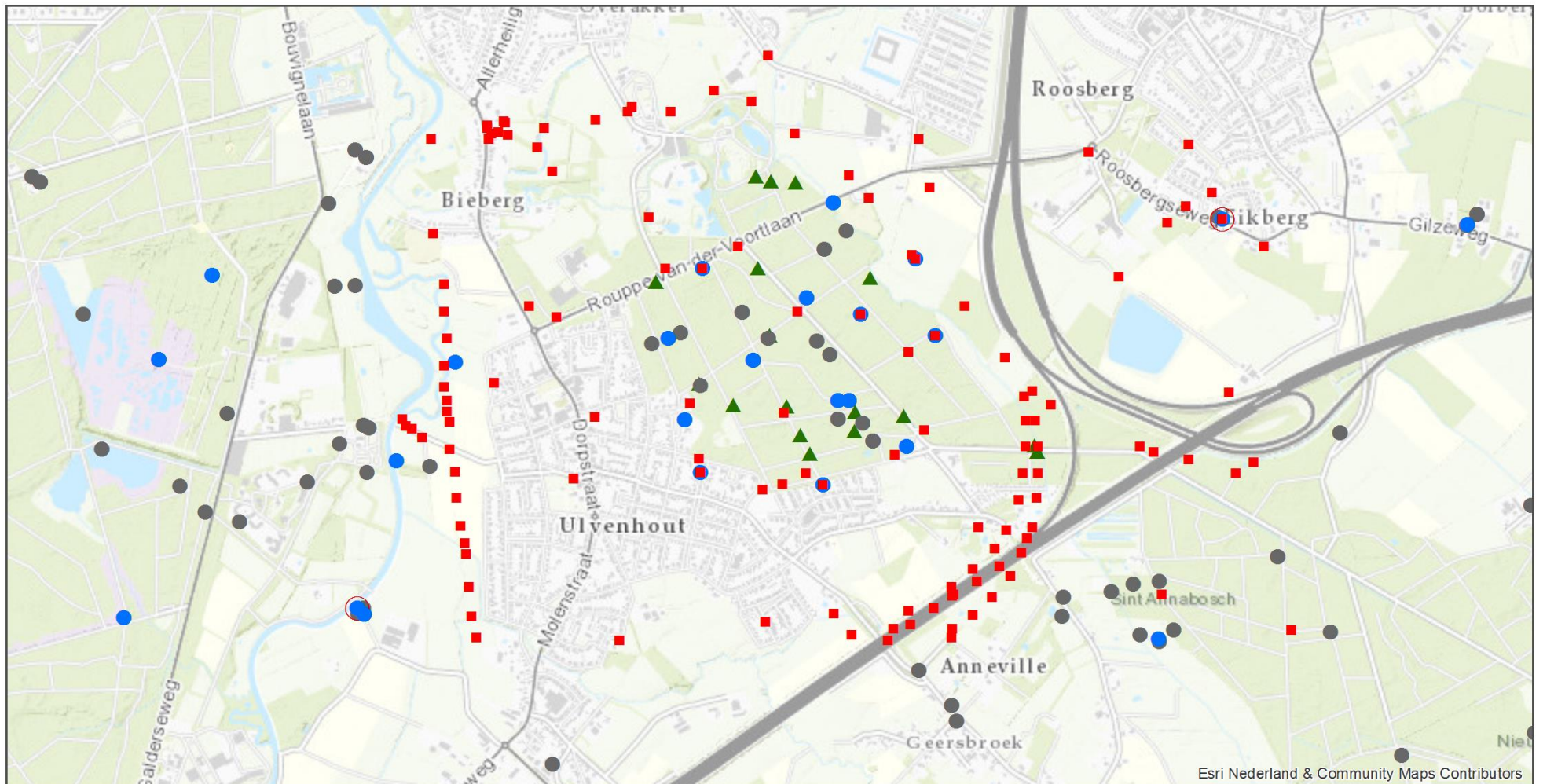
C03091.000273

0 100 200 300 400 m









Peilbuizen, boringen en stuwen SBB

- Geschikte peilbuizen (2007-2015)
- Locatie geschikte peilbuizen (2007-2015) met minstens 2 filters
- Beschikbare peilbuizen uit Dinoloket
- Boringen
- ▲ Stuwen SBB

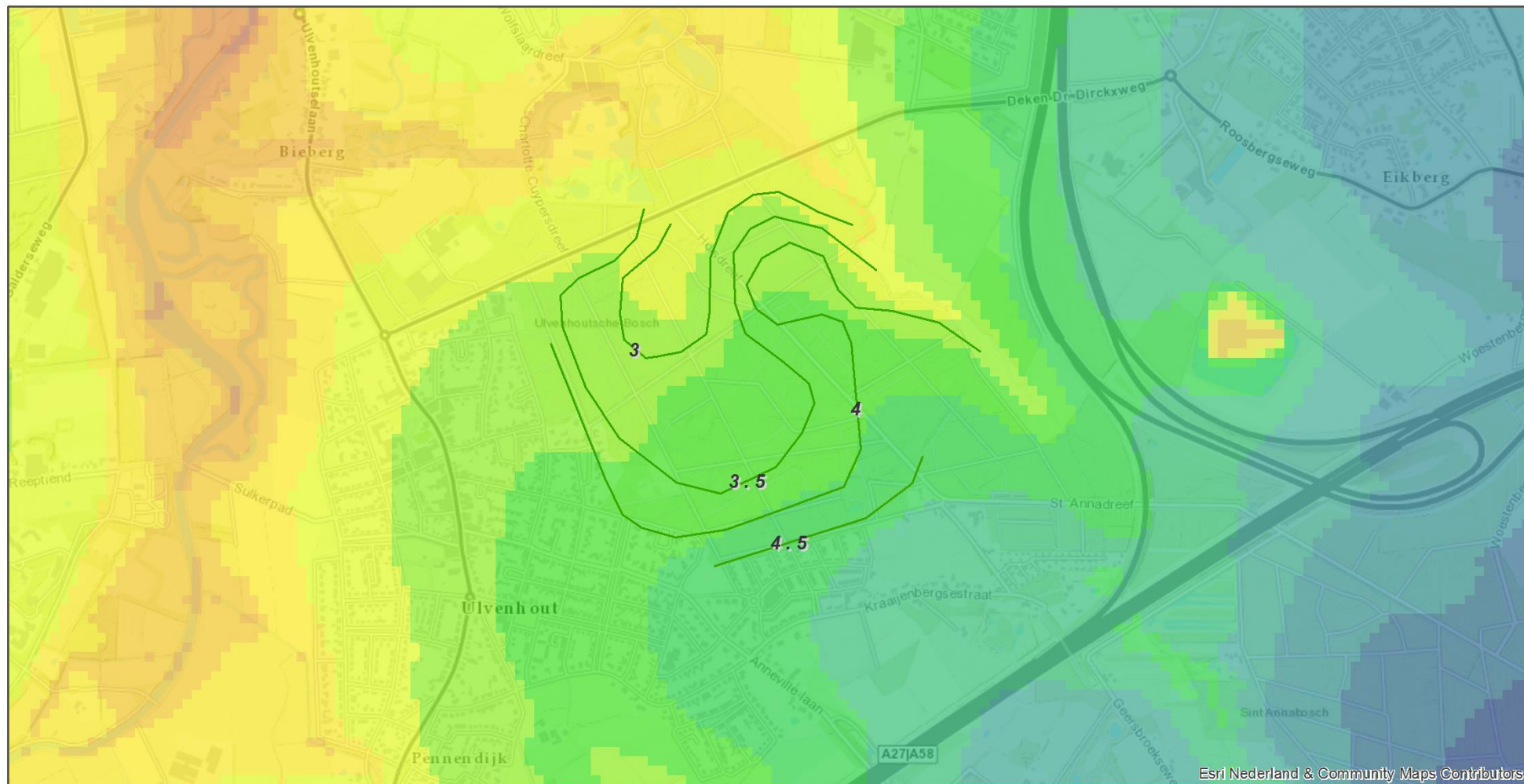
Ulvenhoutsebos



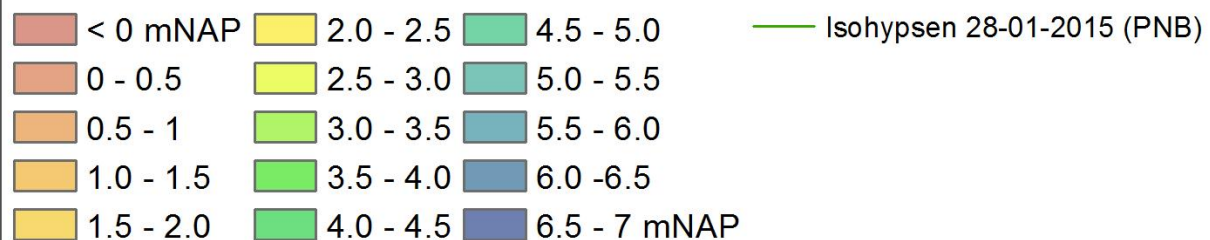
C03091.000273

0 100 200 300 400 m





GHG modelresultaten (modellaag 1) en peilbuismetingen PNB



Esri Nederland & Community Maps Contributors

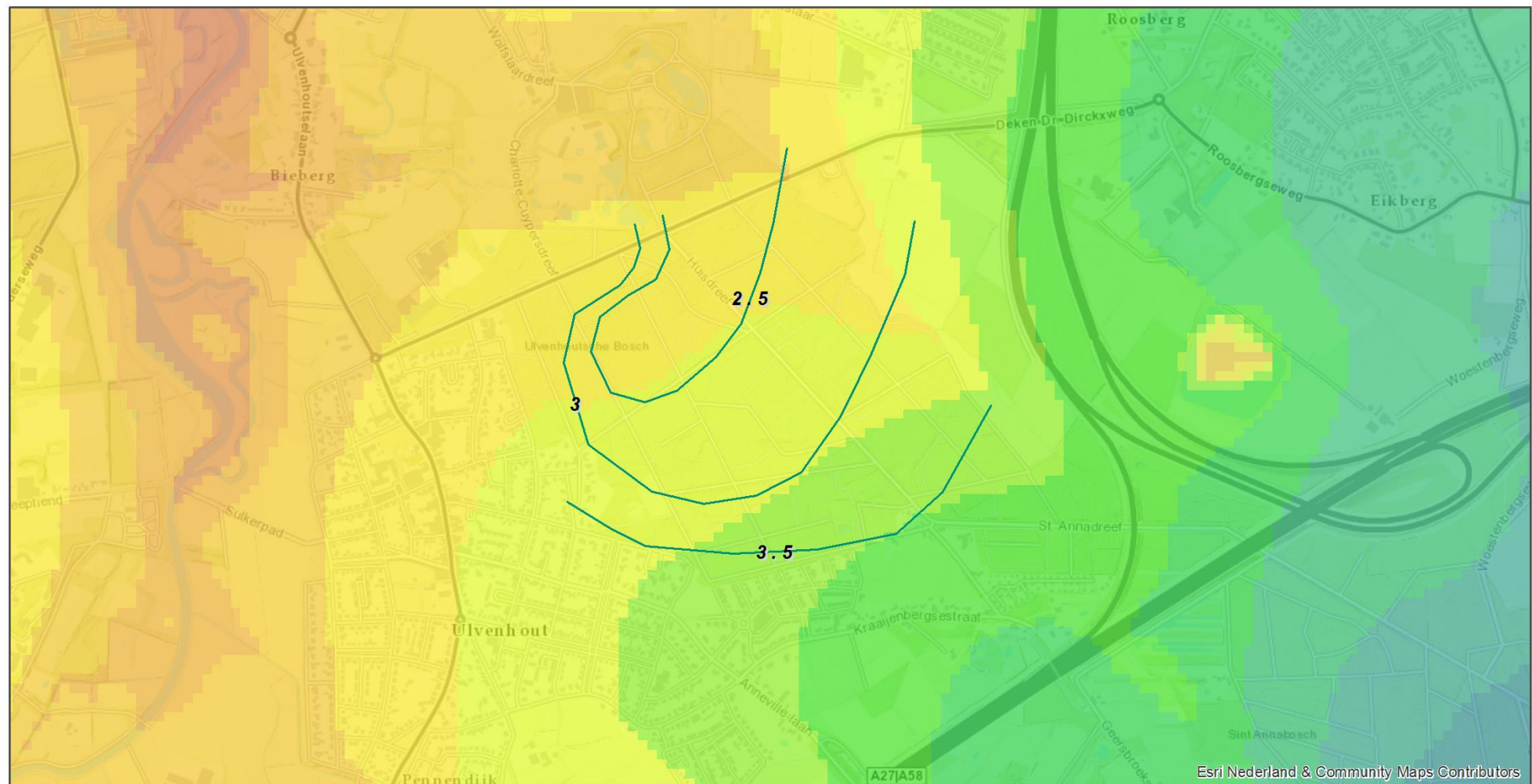
Ulvenhoutsebos



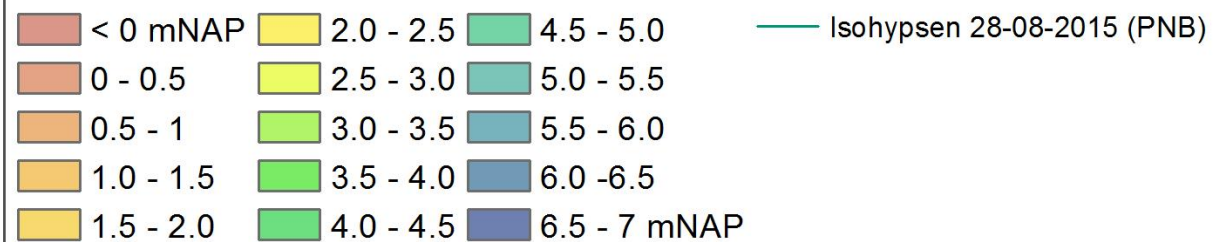
C03091.000273

0 100 200 300 400 m





GLG modelresultaten (modellaag 1) en peilbuismetingen PNB



Ulvenhoutsebos

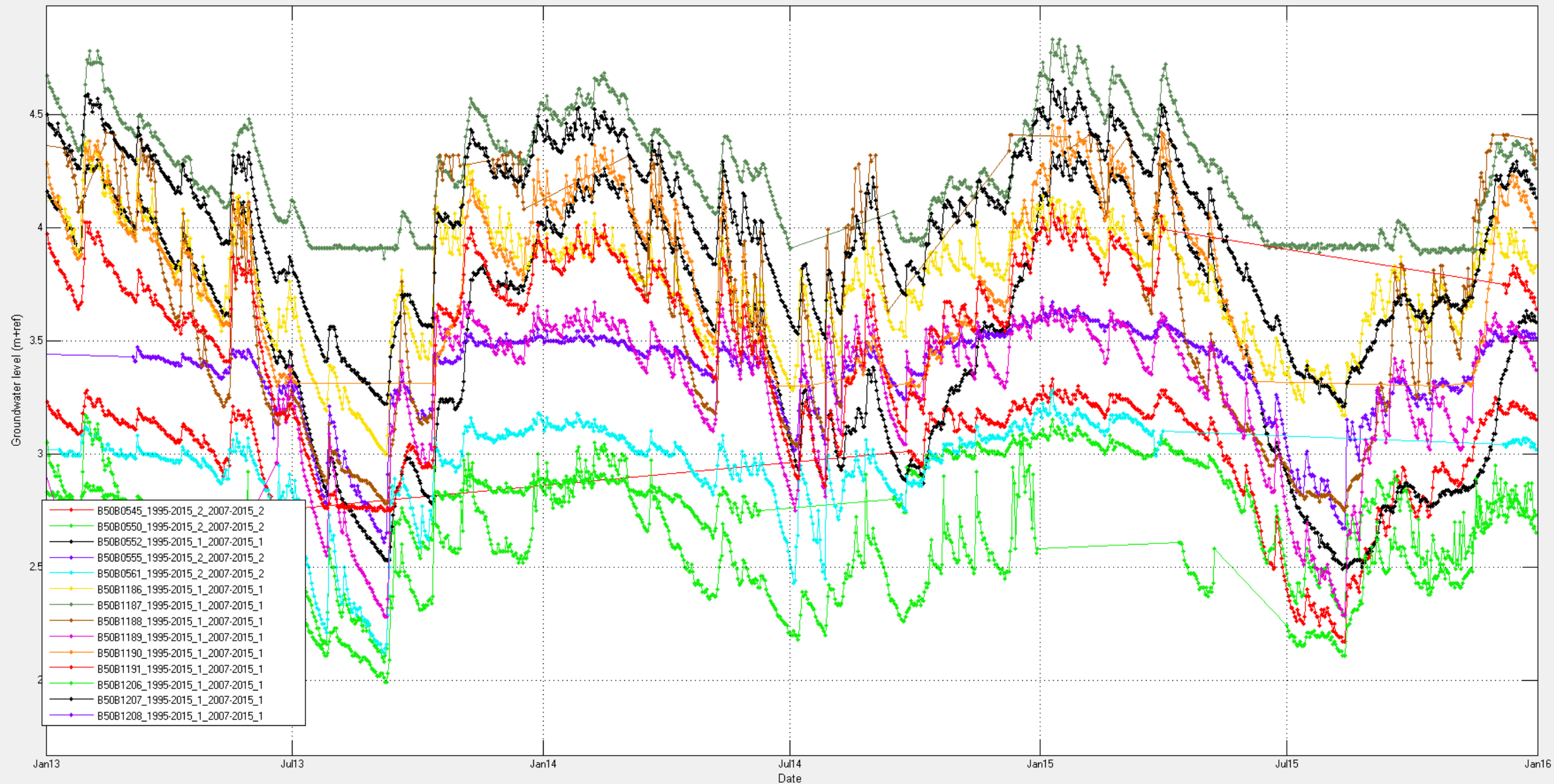


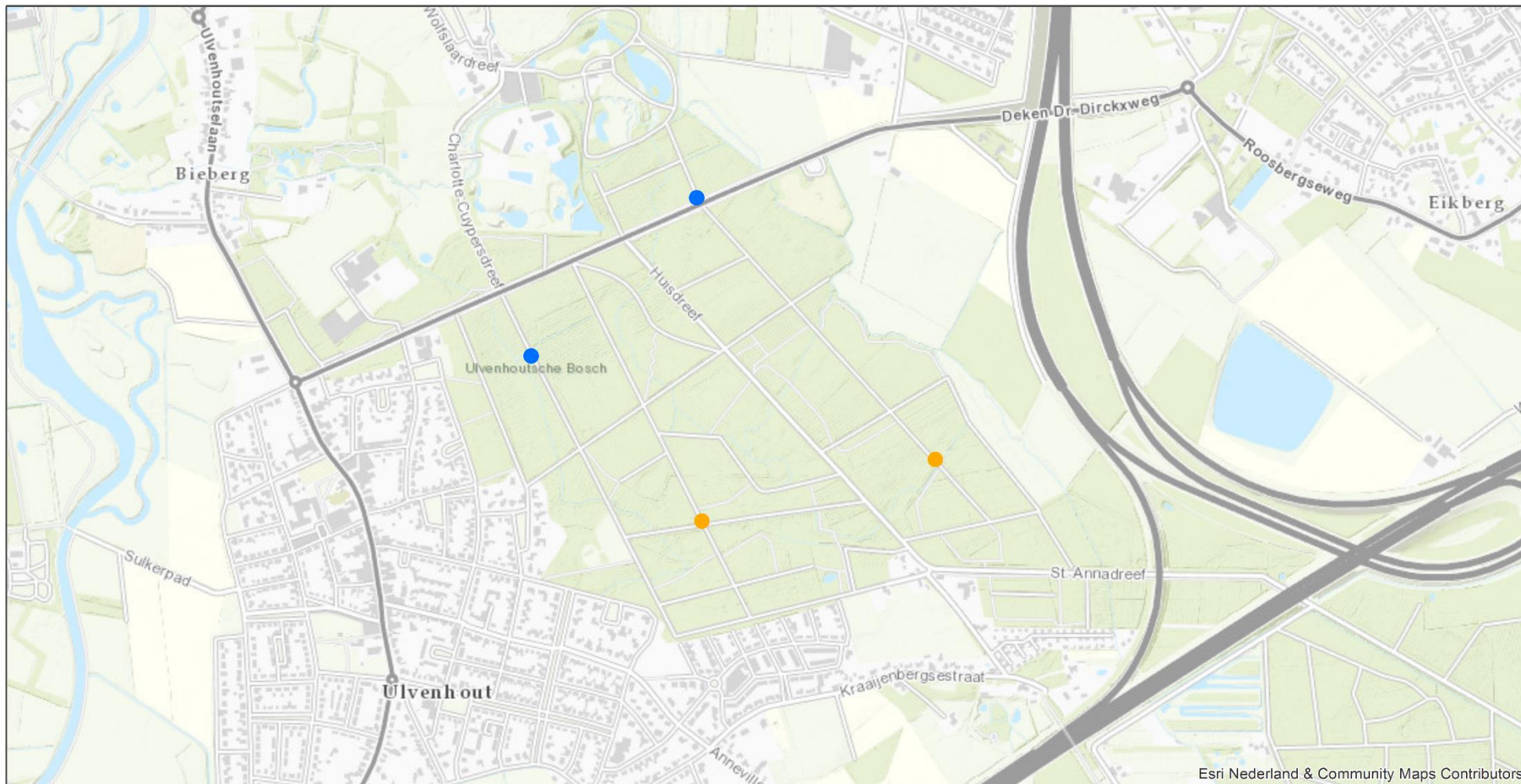
C03091.000273

0 100 200 300 400 m



Grondwaterstandsmetingen





Esri Nederland & Community Maps Contributors

Peilbuizen Ulvenhoutsebos SBB

- Kwel
- Wegzijing

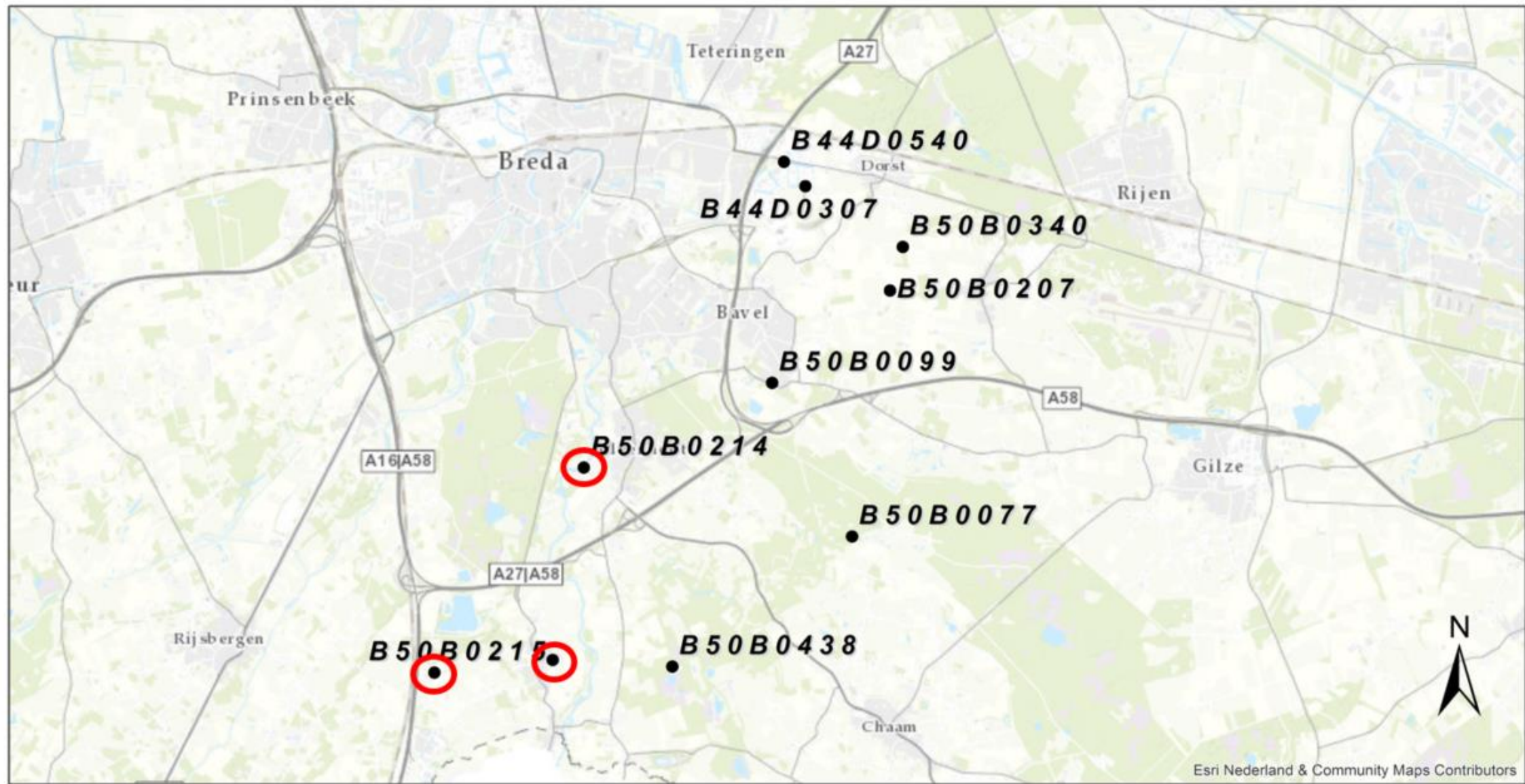
Ulvenhoutsebos



C03091.000273

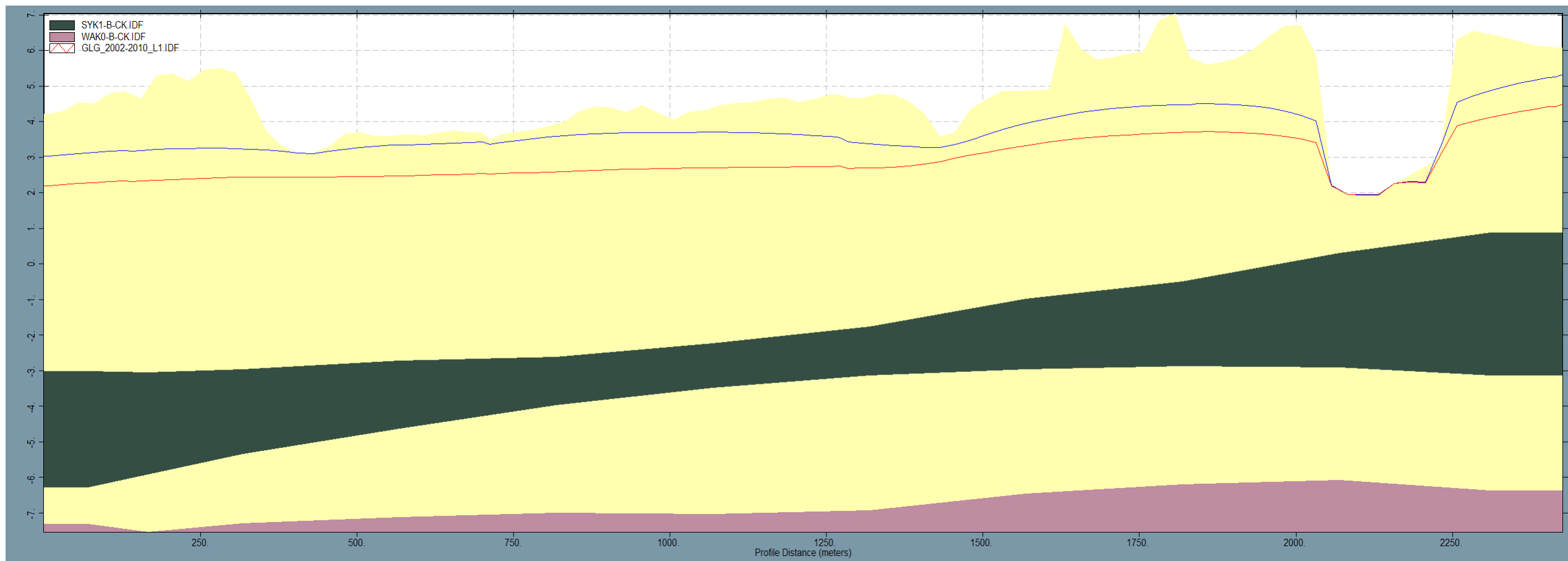
0 100 200 300 400 m

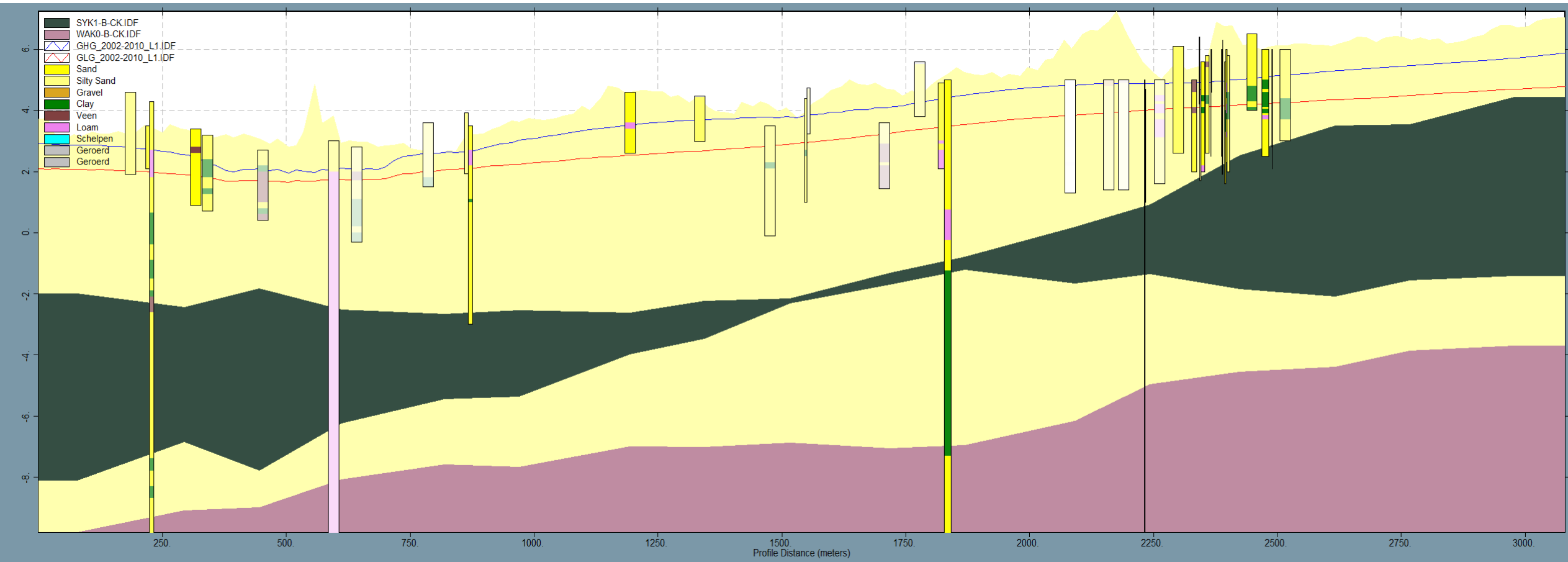


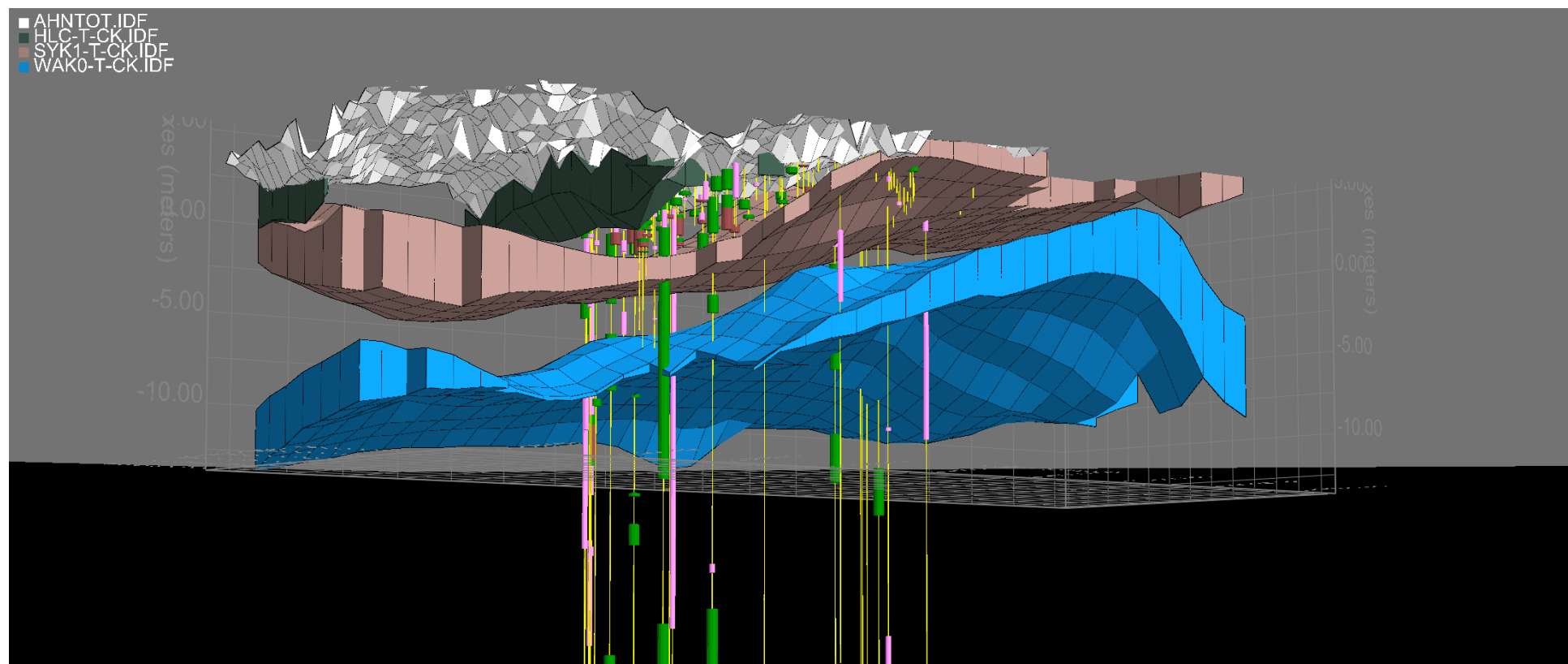


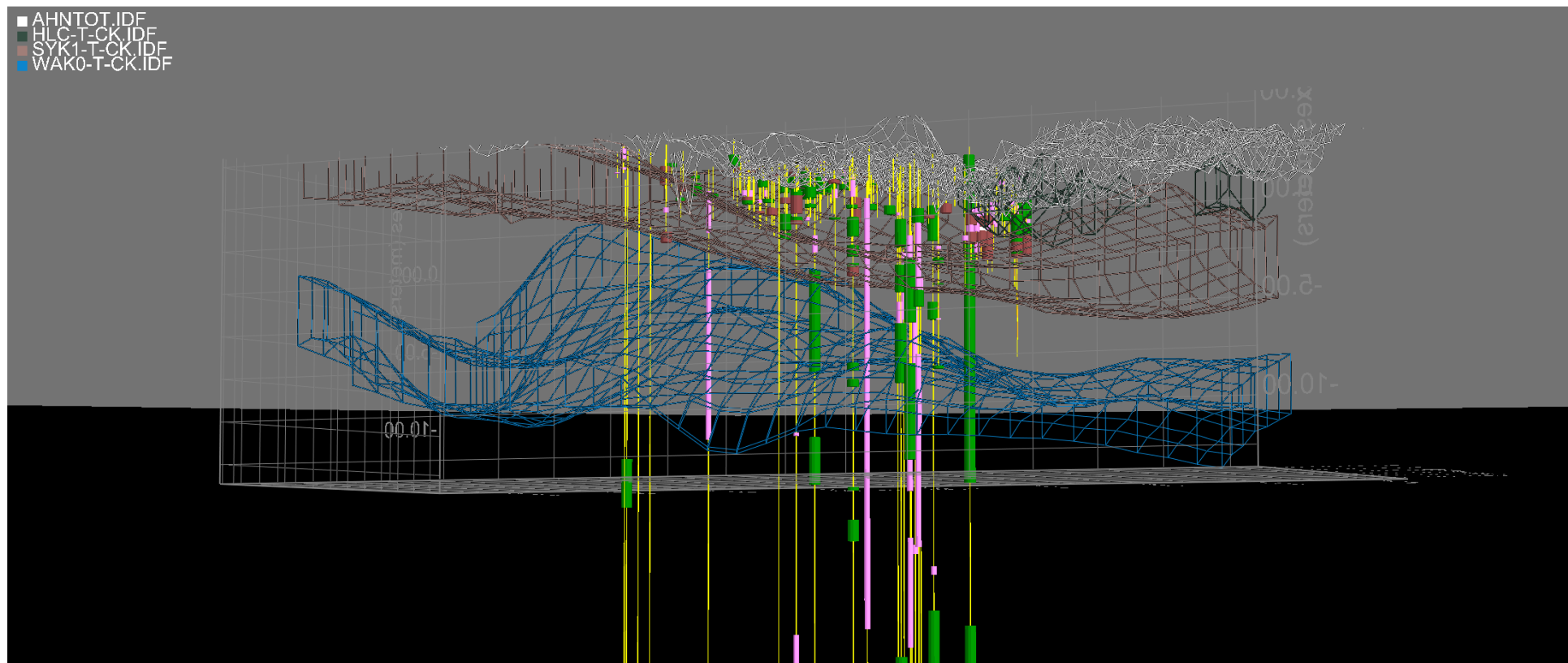
 Peilbuizen waar kwel wordt gemeten

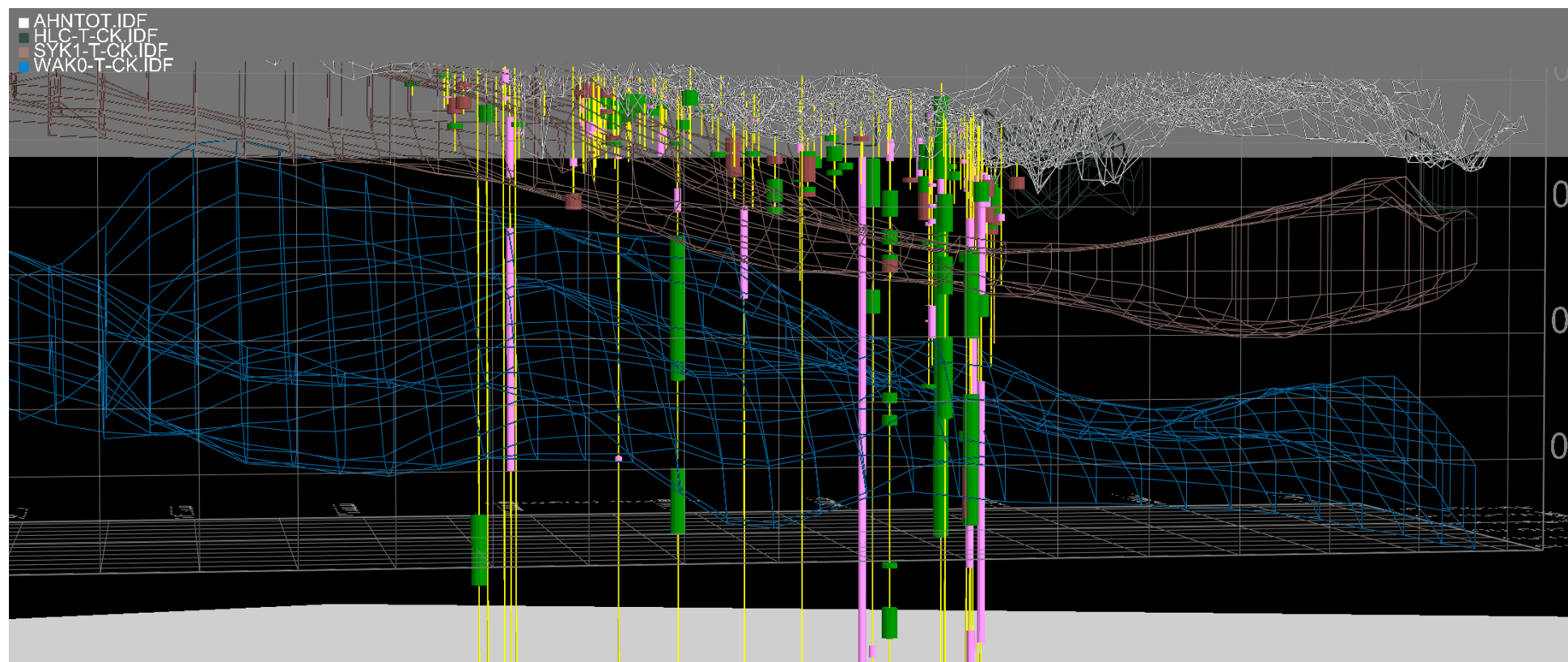
Dwarsdoorsneden ondergrond

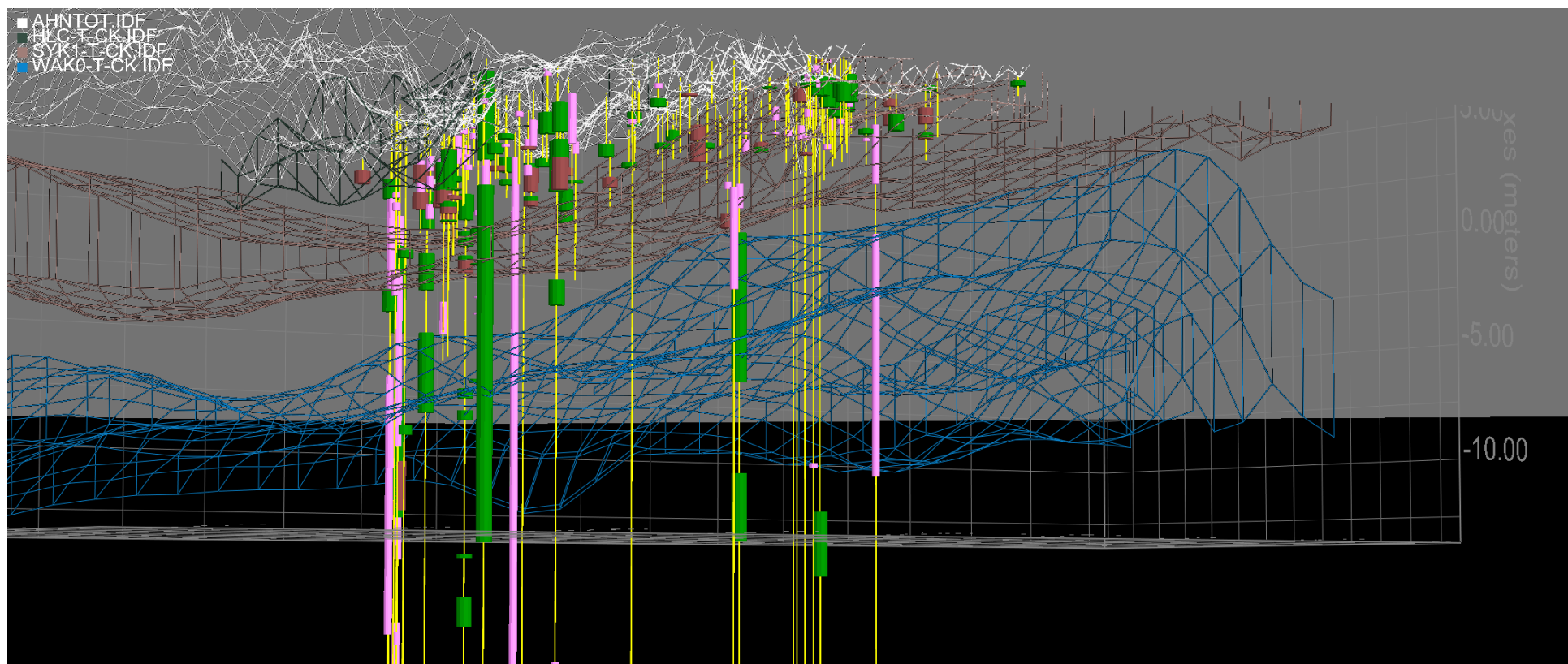


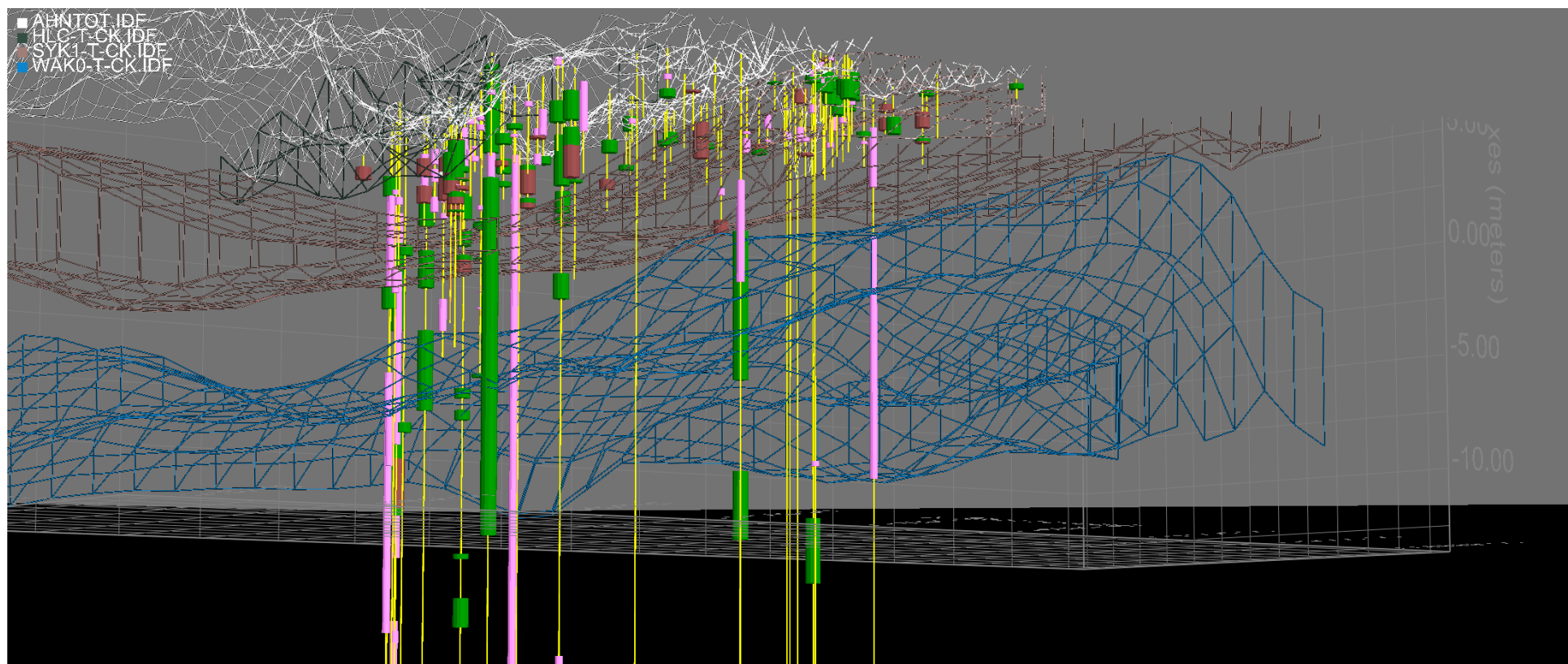


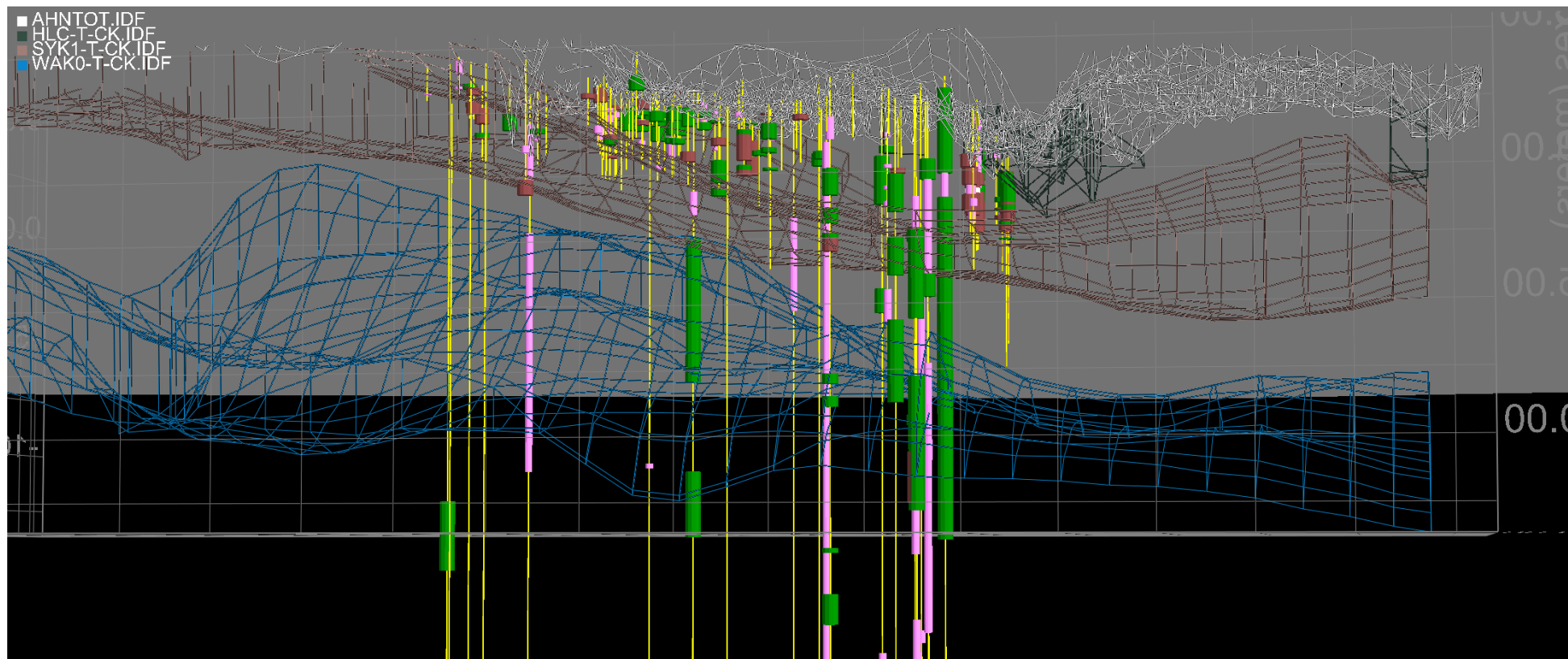




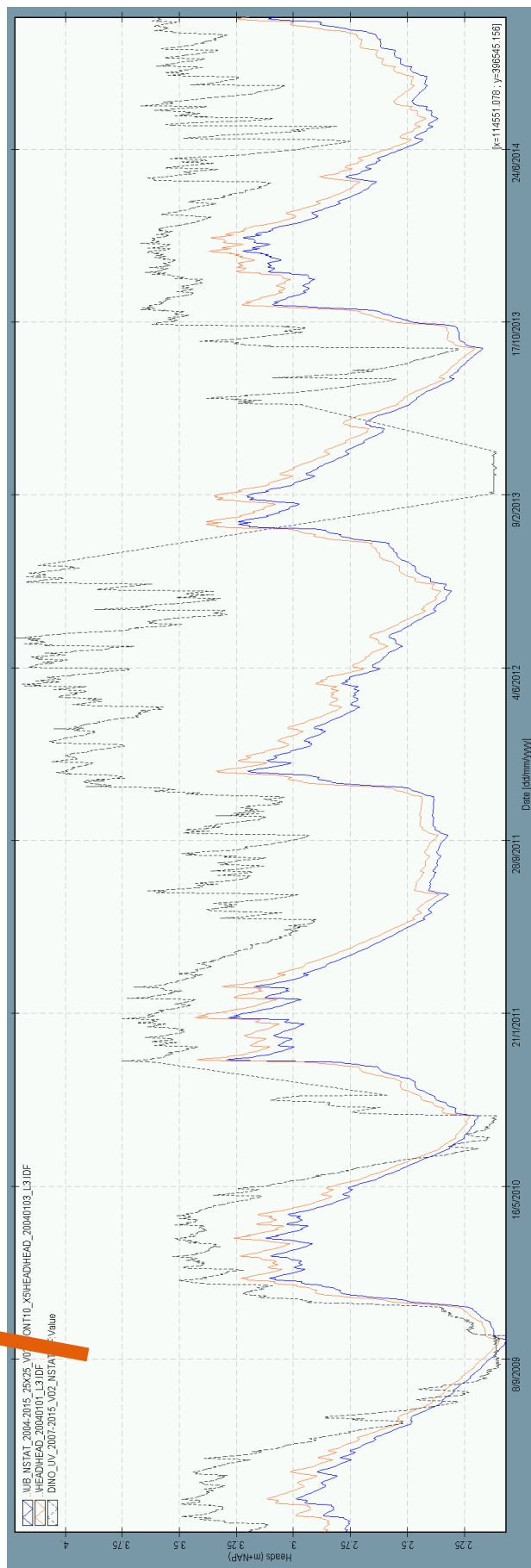
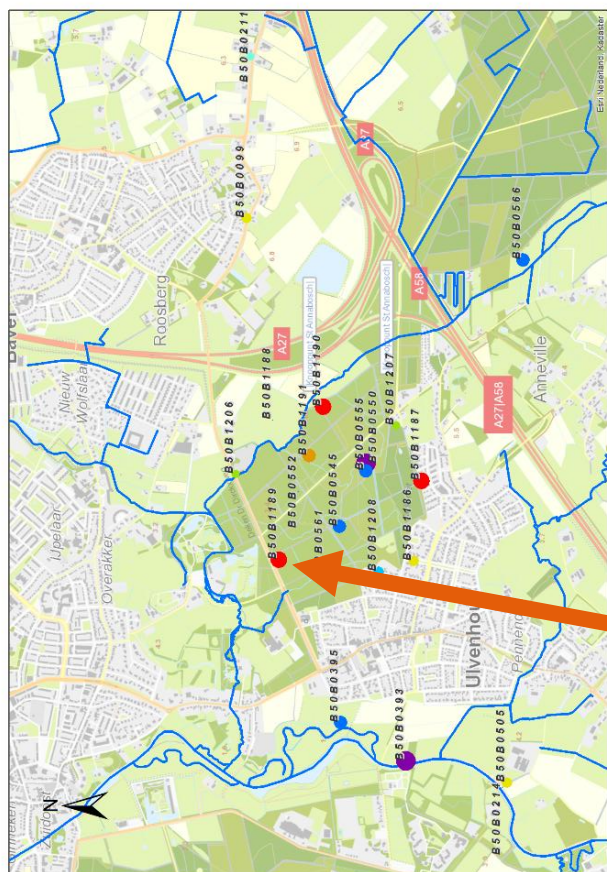


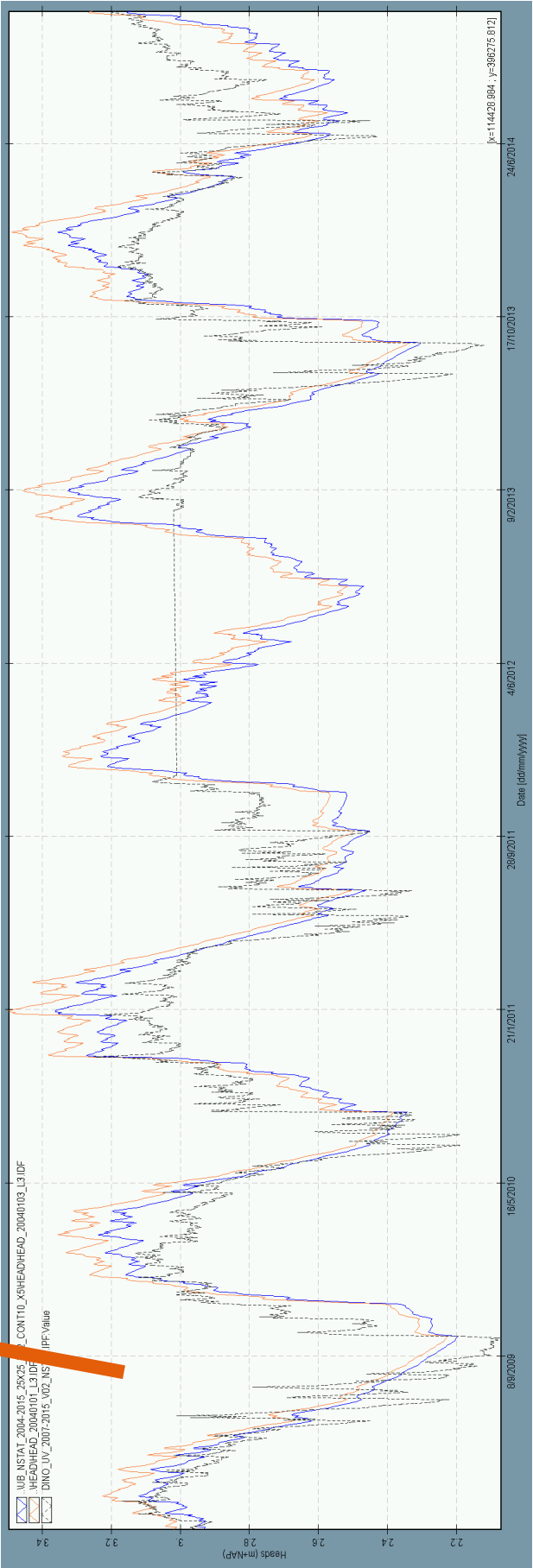
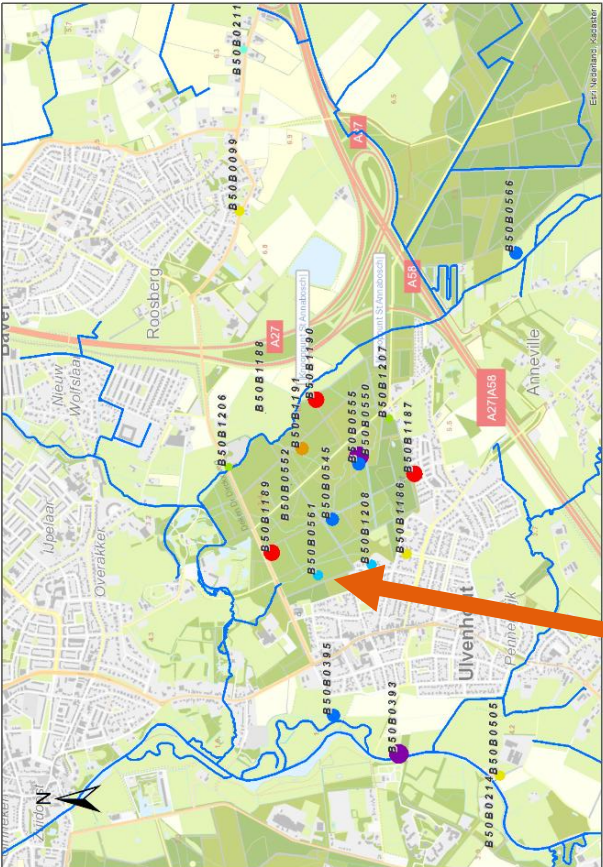


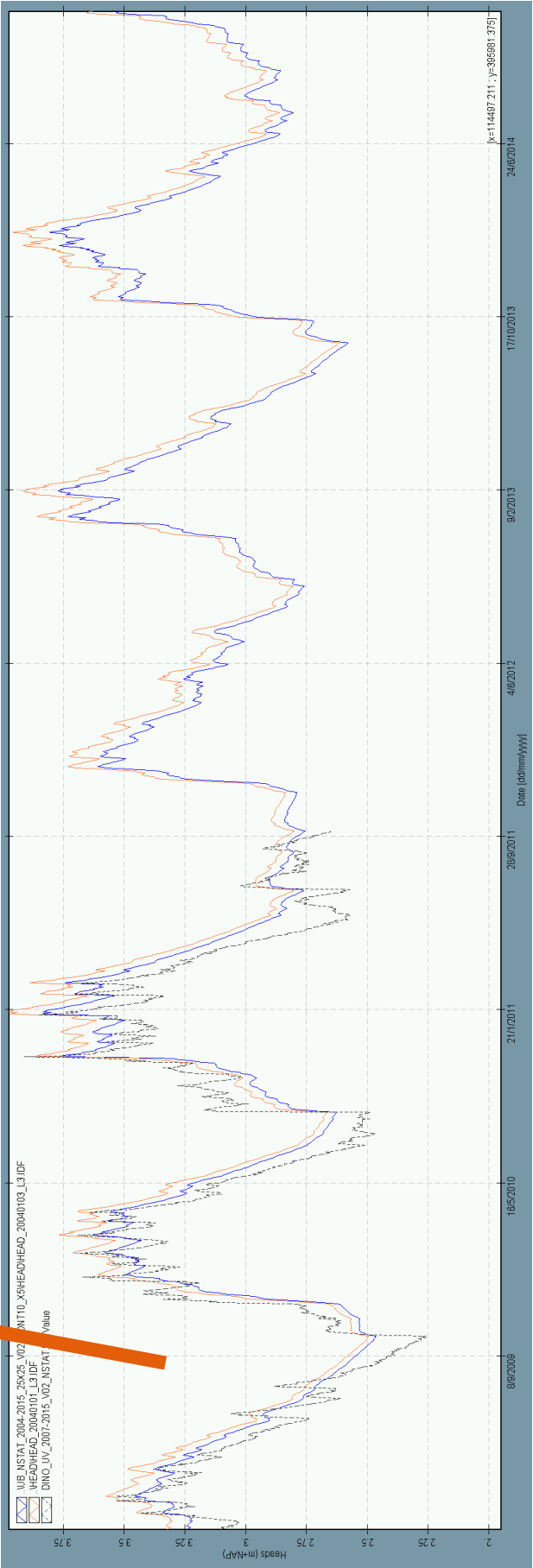
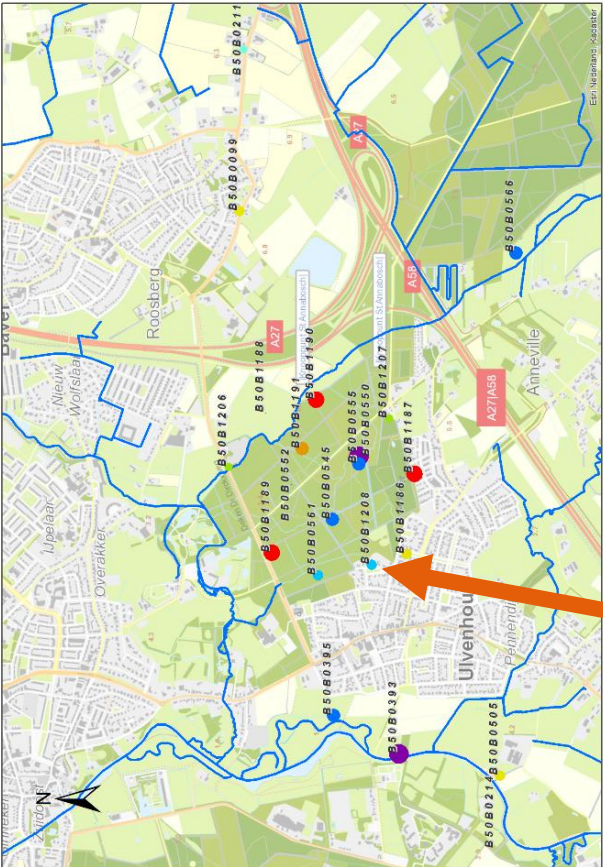


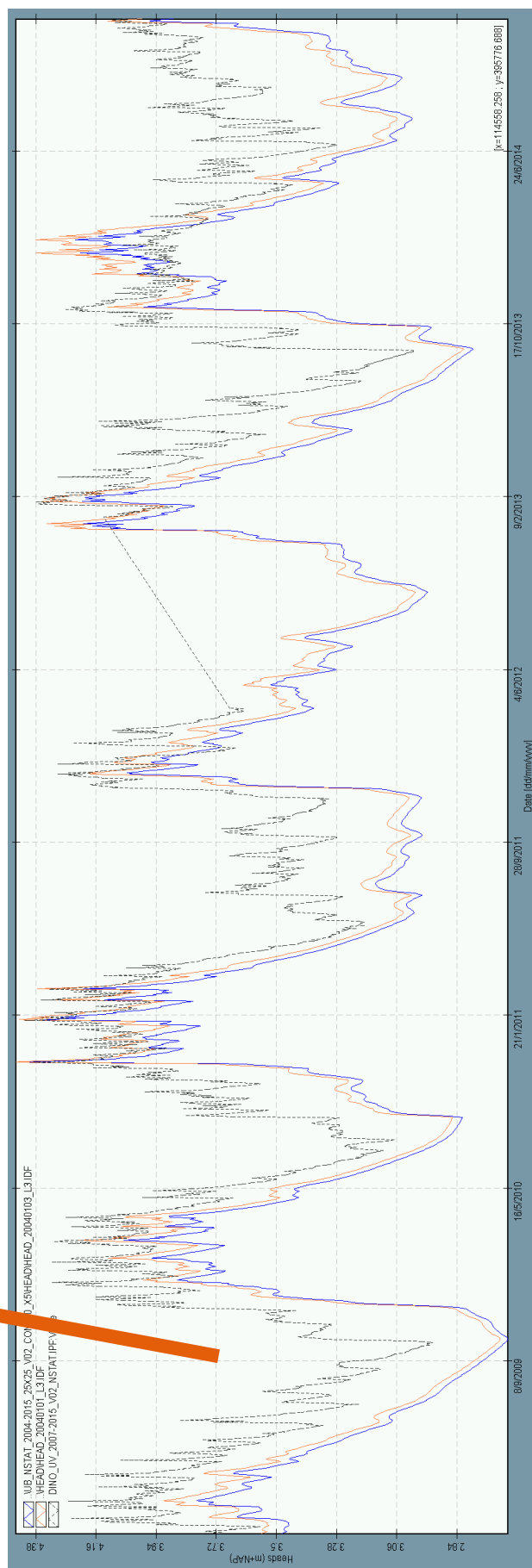


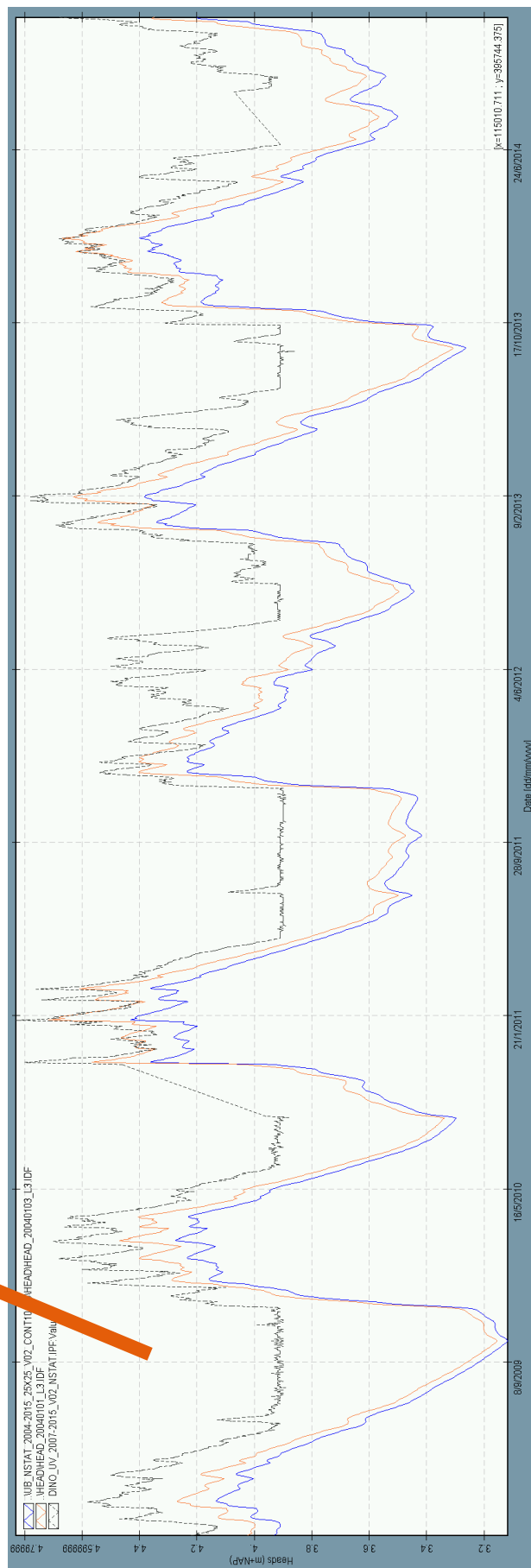
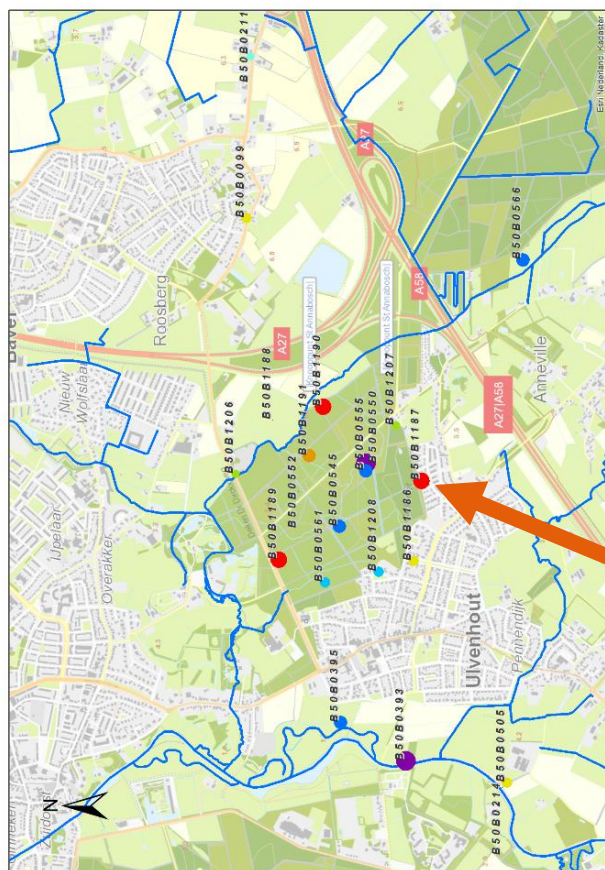
BIJLAGE B PLAUSIBILITEIT EN VALIDATIEREEKSEN

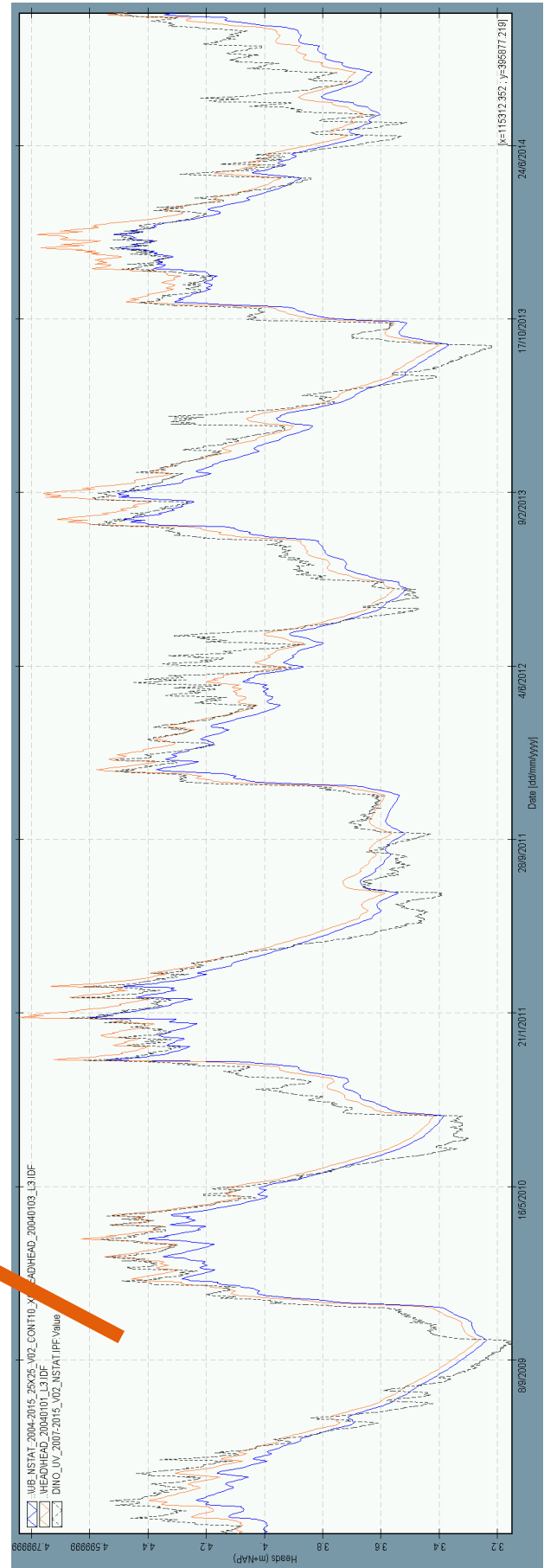


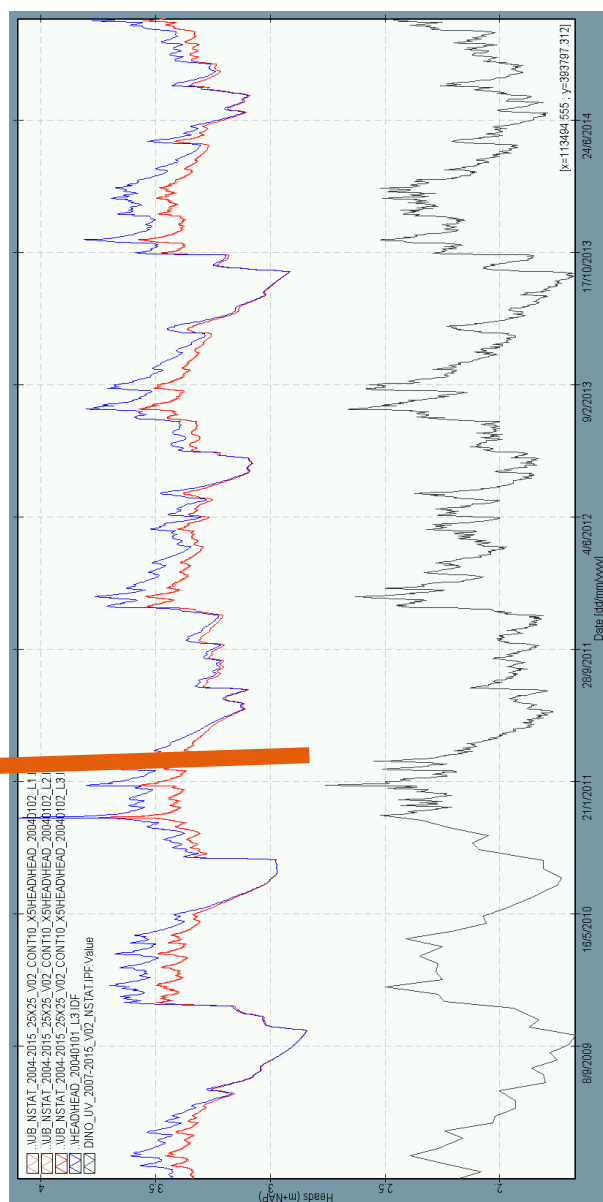


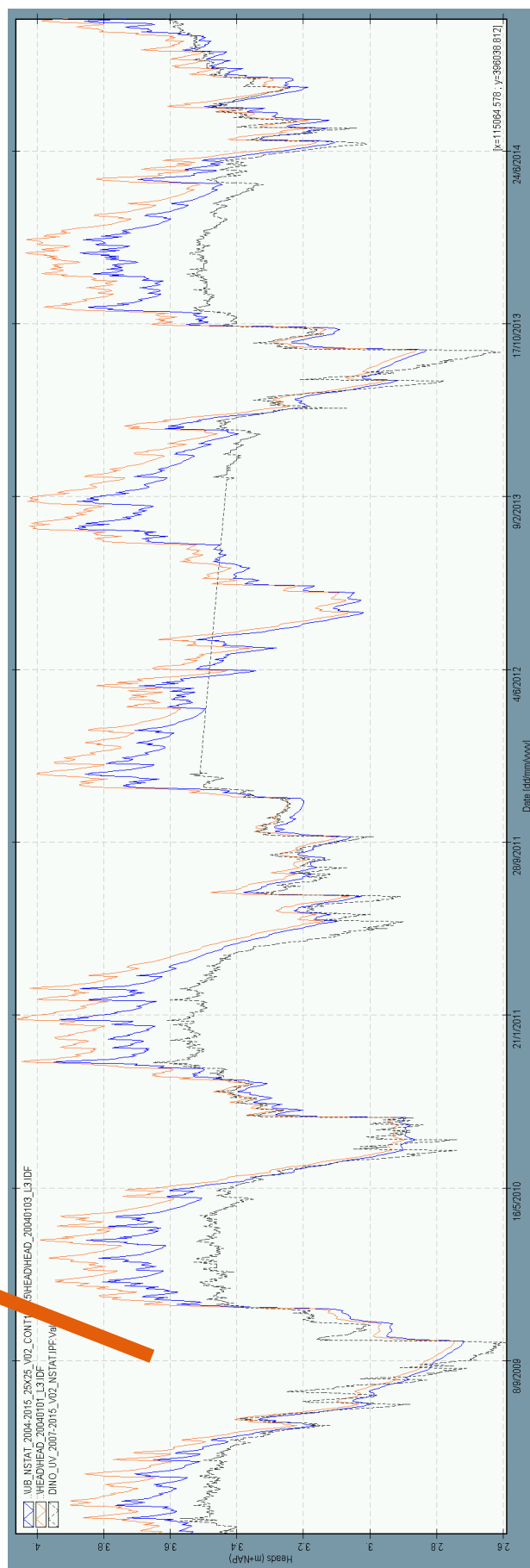


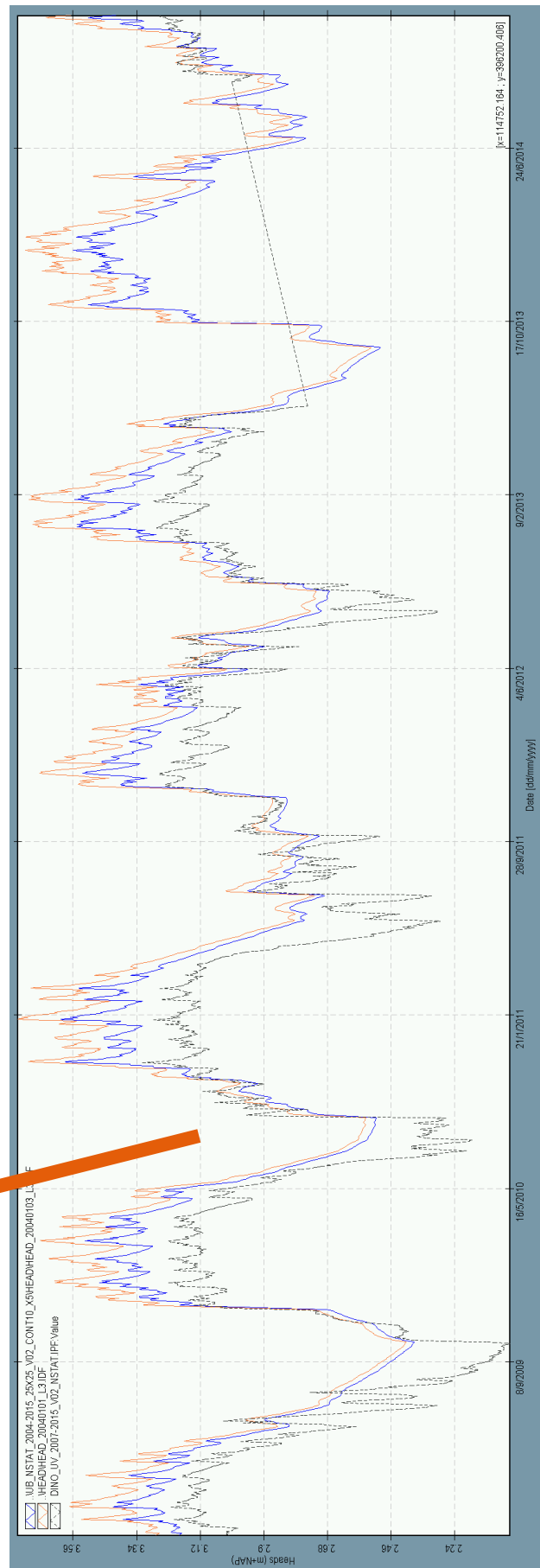
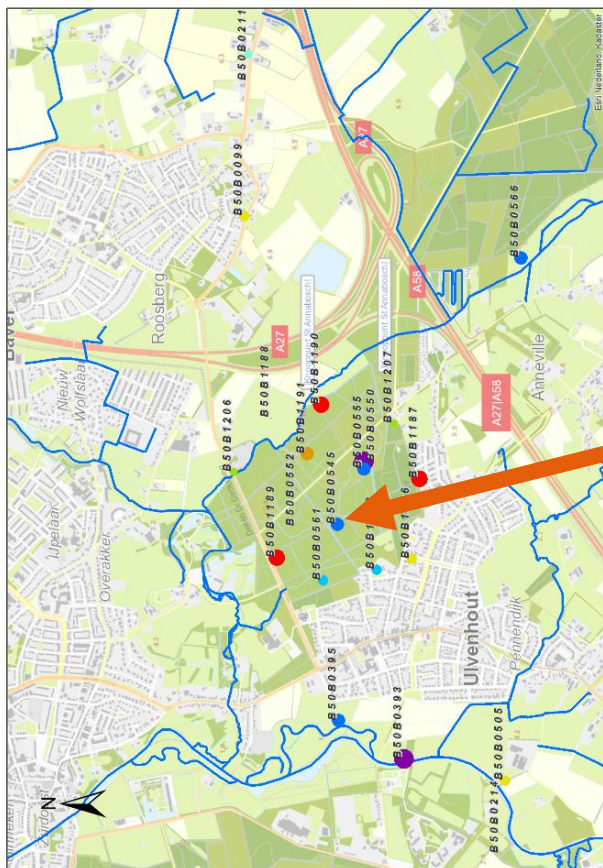


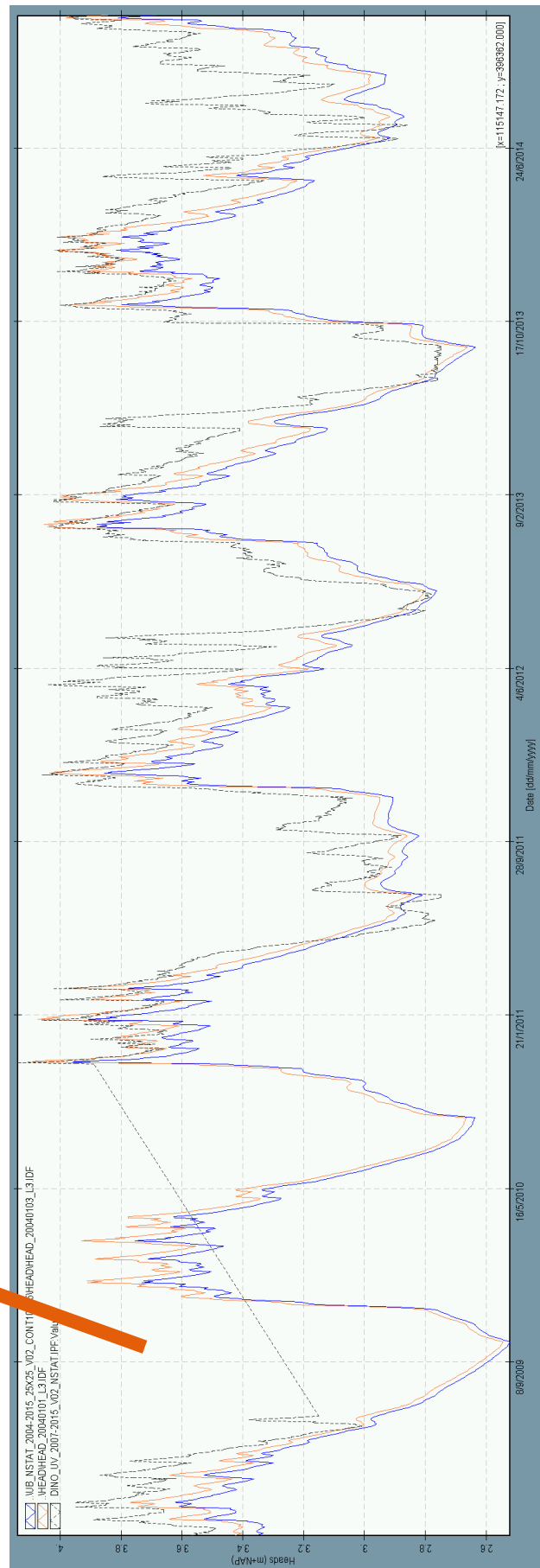
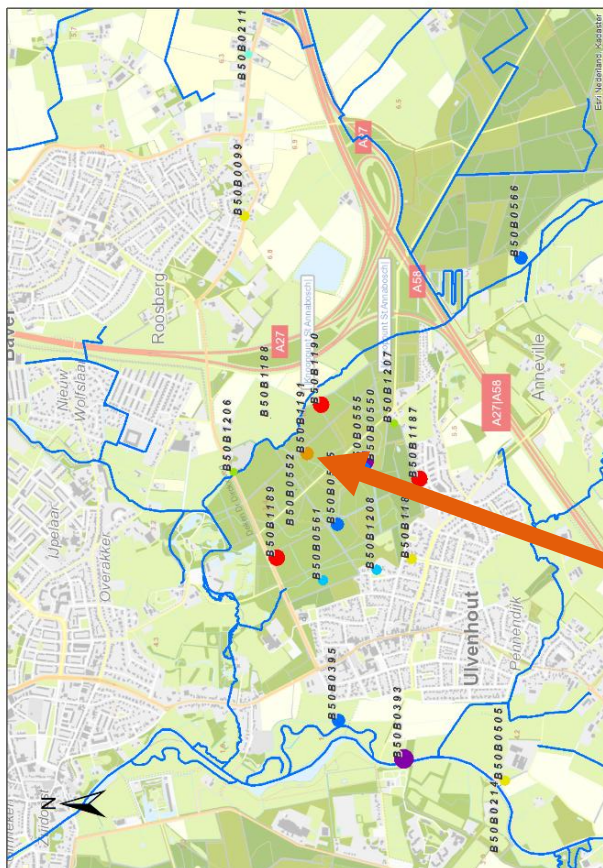


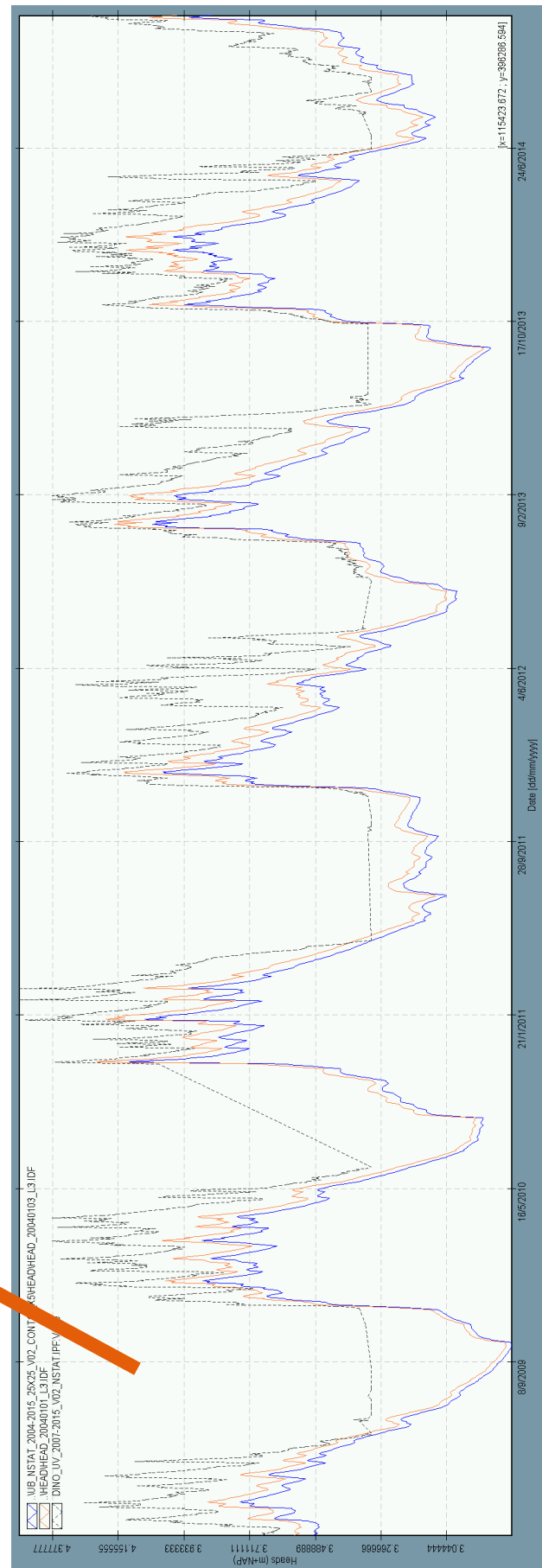
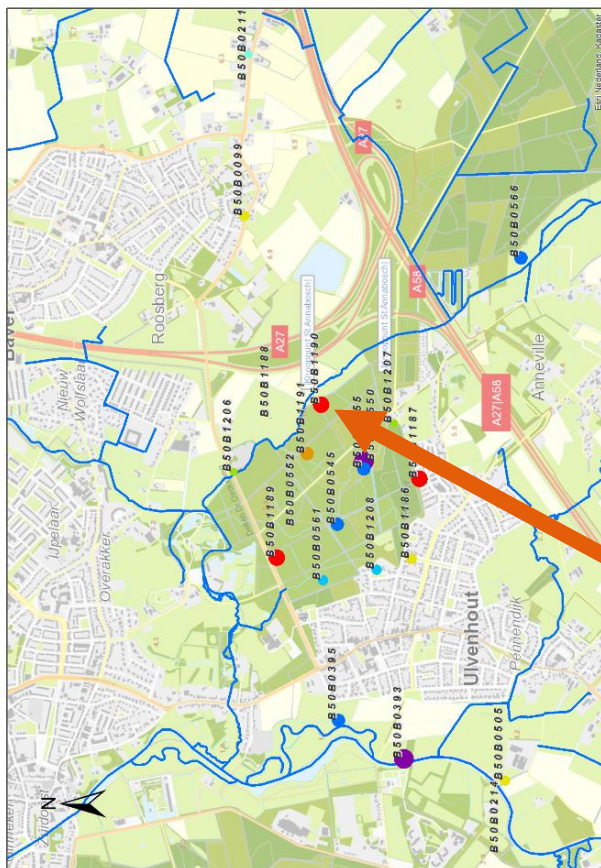


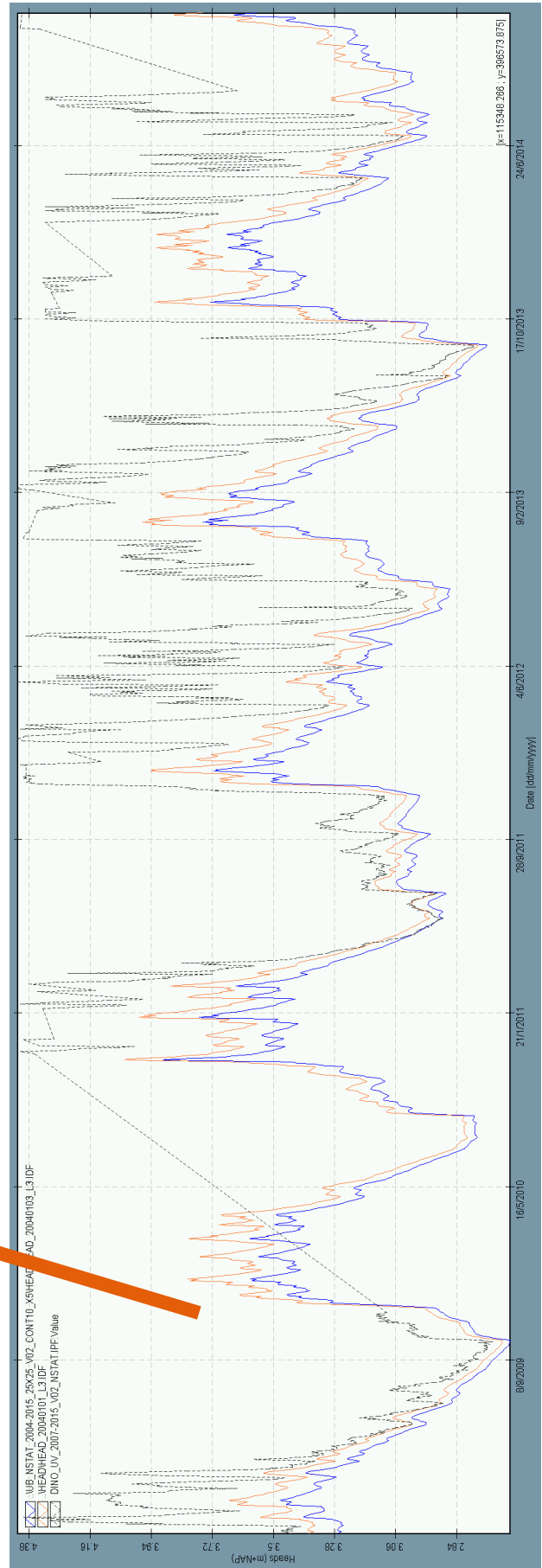


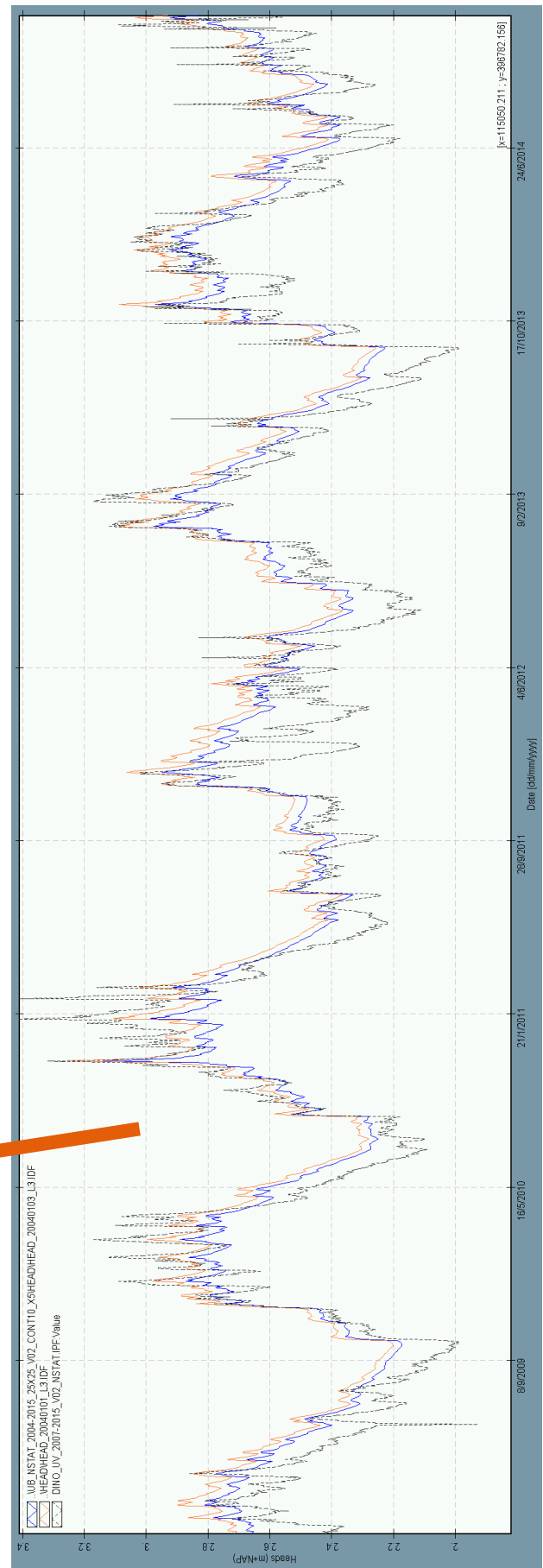


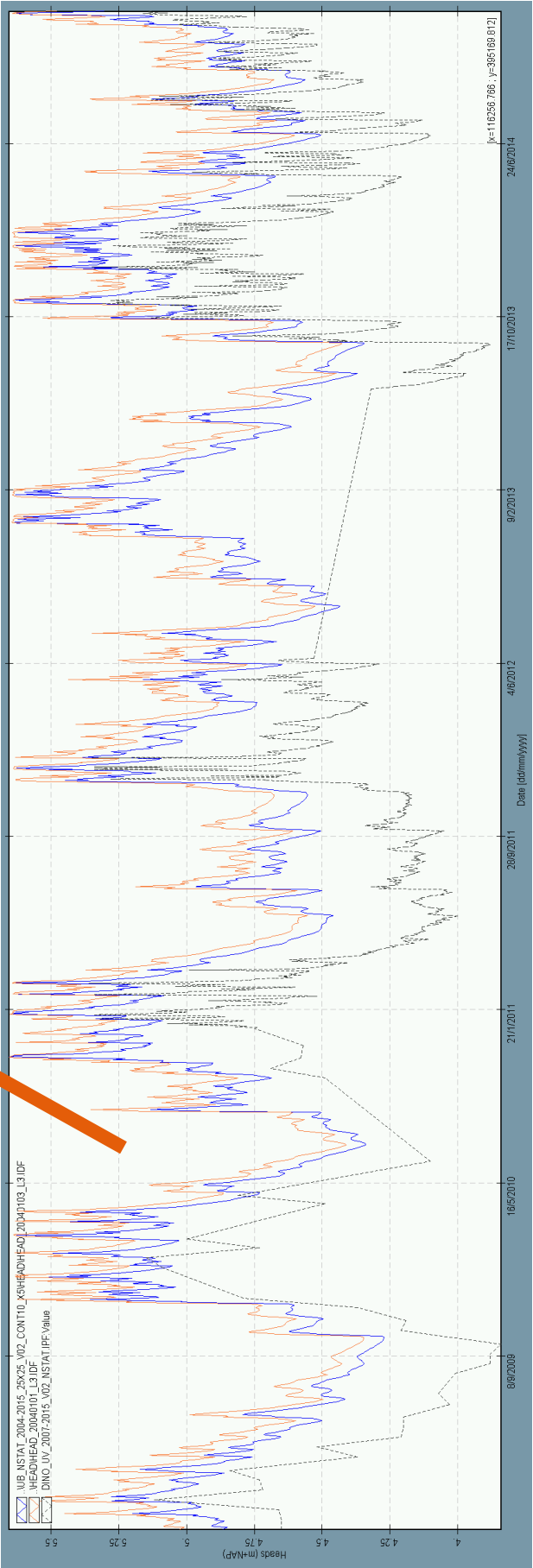
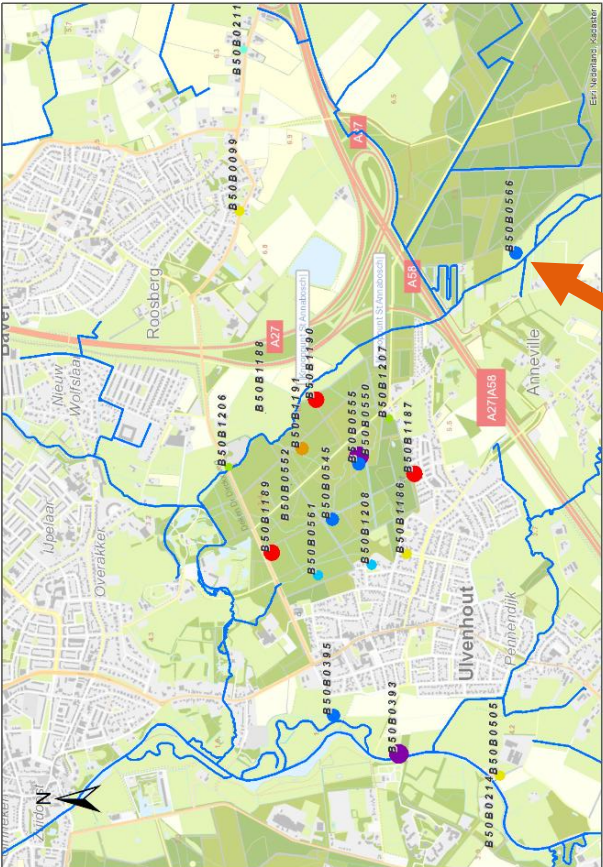








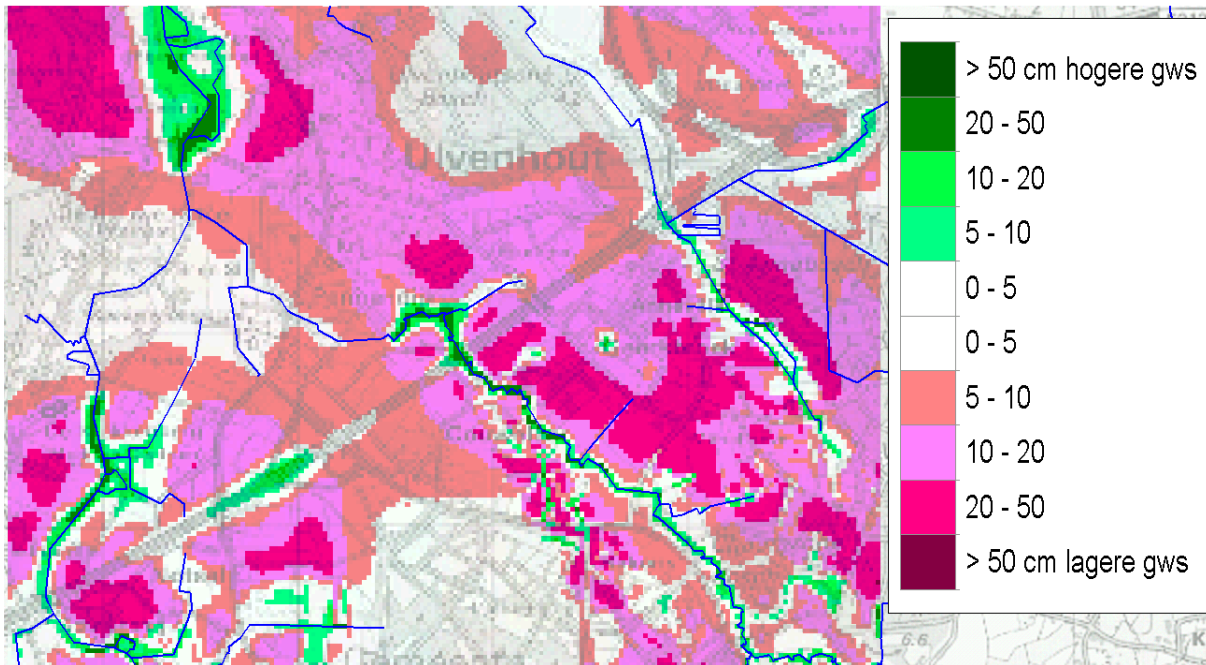




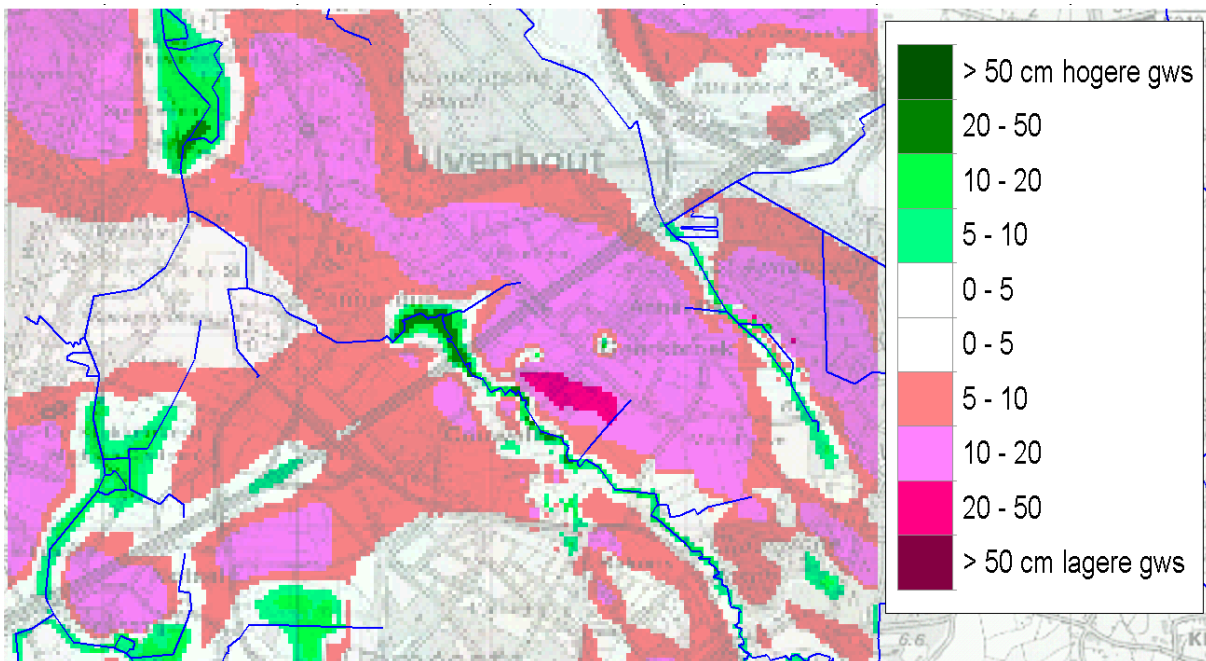
BIJLAGE C GEVOELIGHEIDSANALYSE

C SYK1 (factor 0,1)

GHG

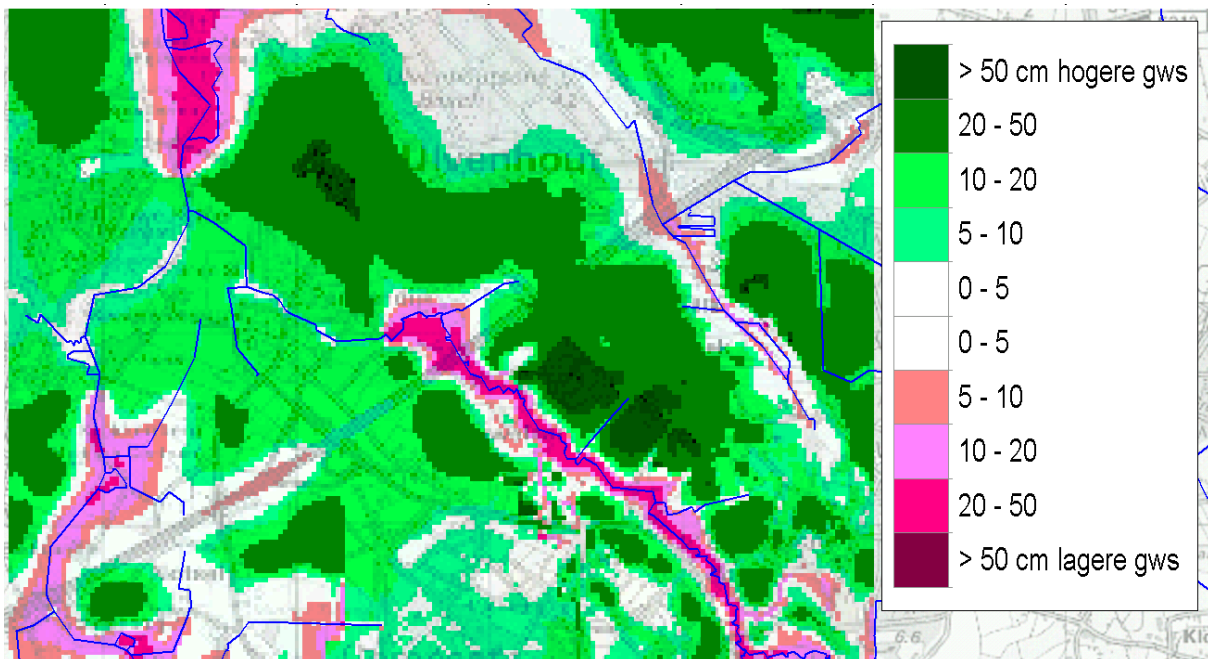


GLG

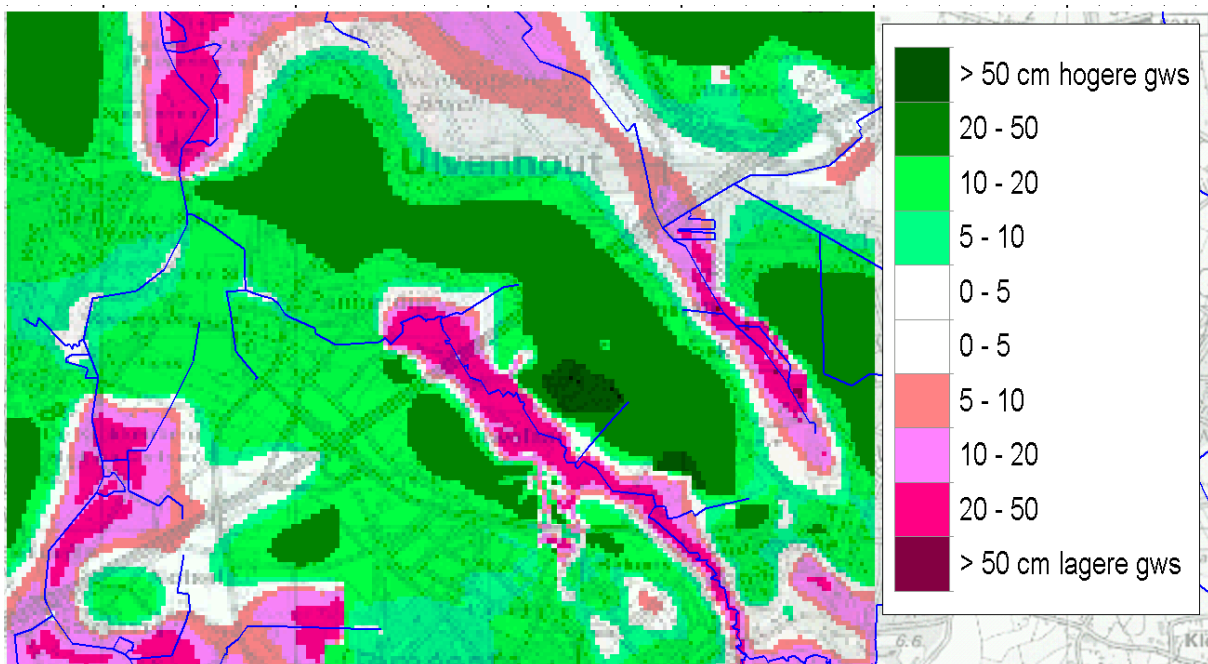


C SYK1 (factor 10)

GHG

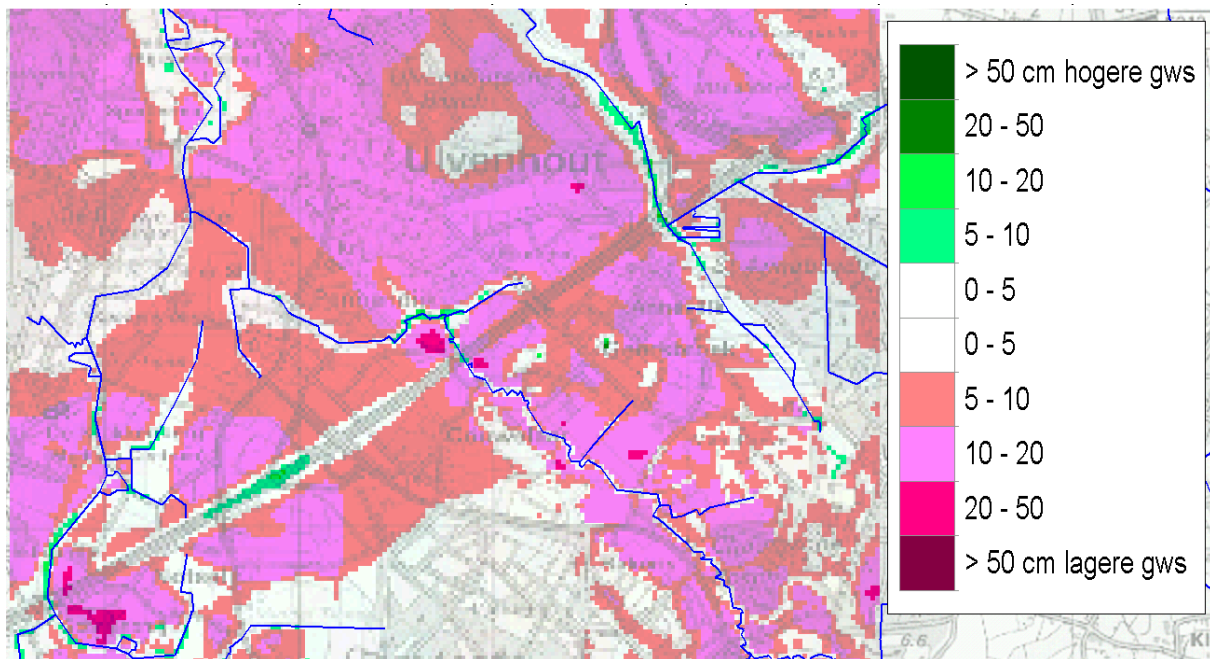


GLG

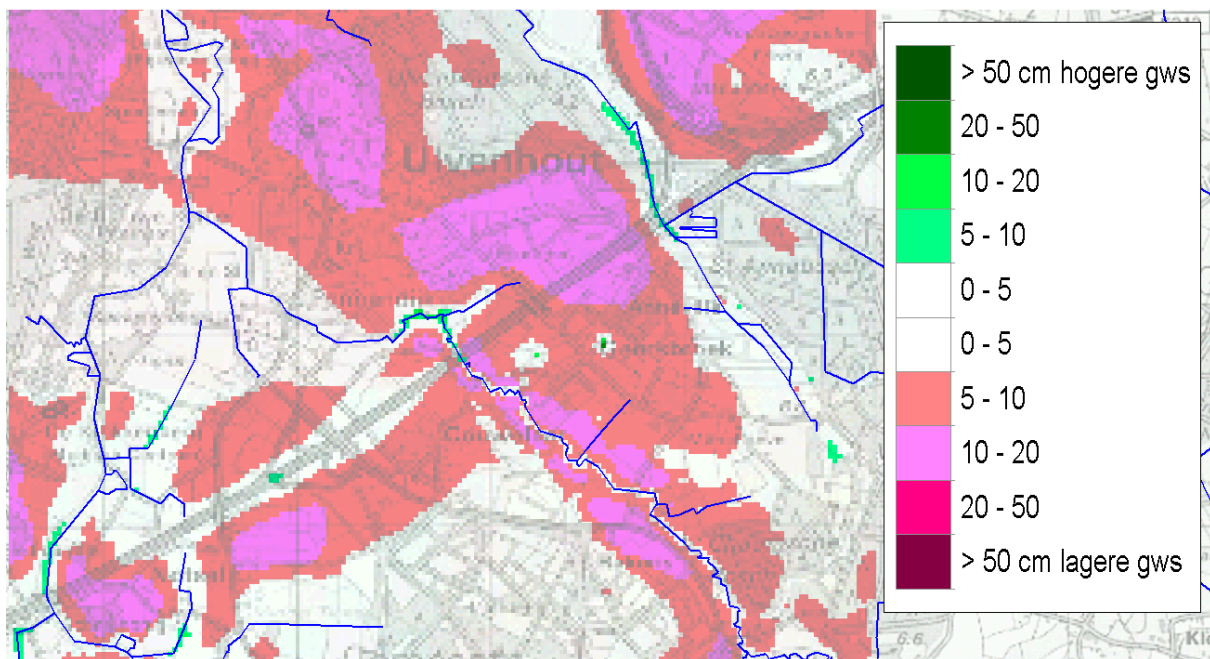


KD wvp1 (factor 2)

GHG

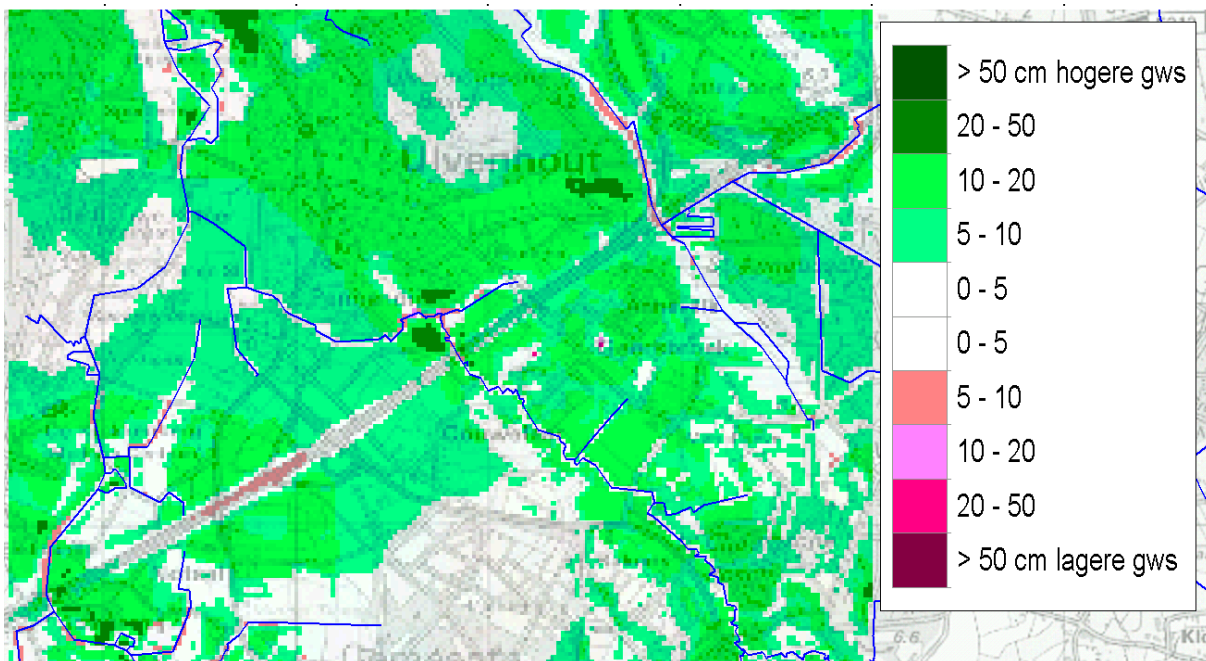


GLG

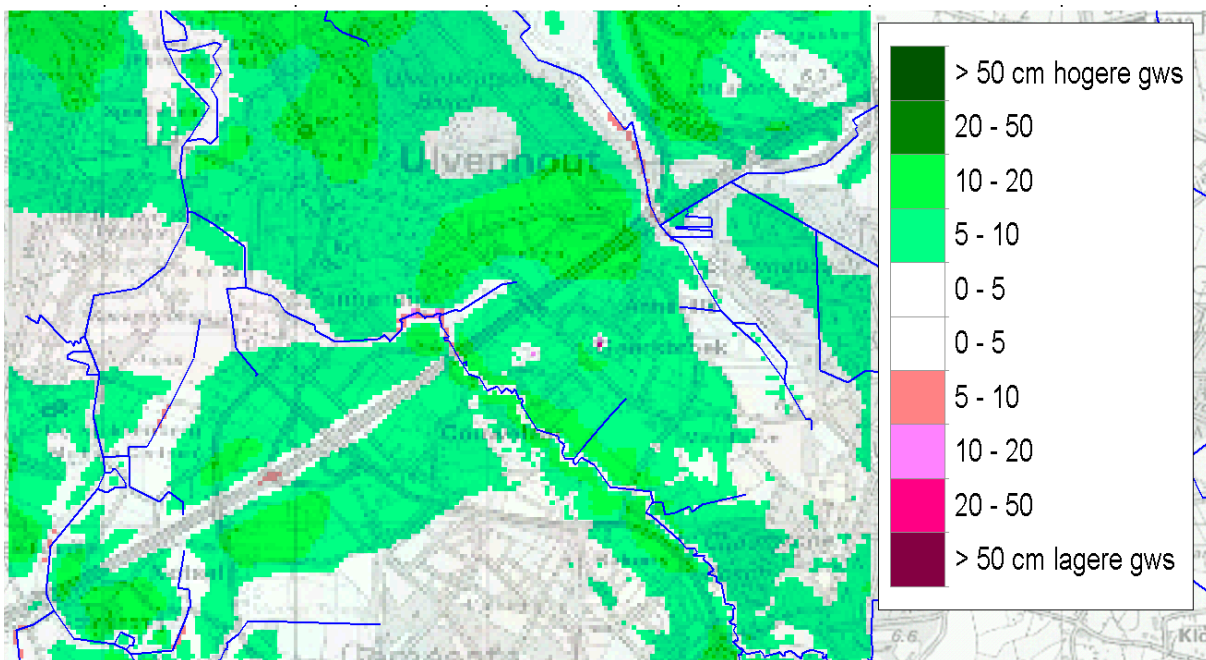


KD wvp1 (factor 0,5)

GHG

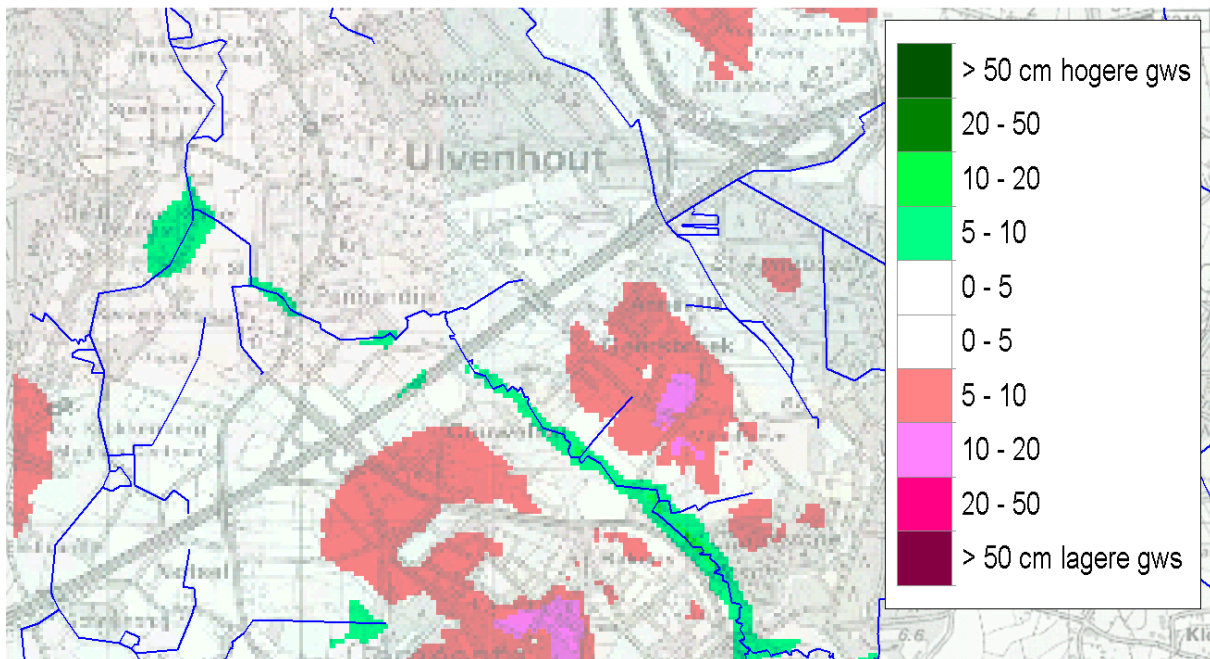


GLG

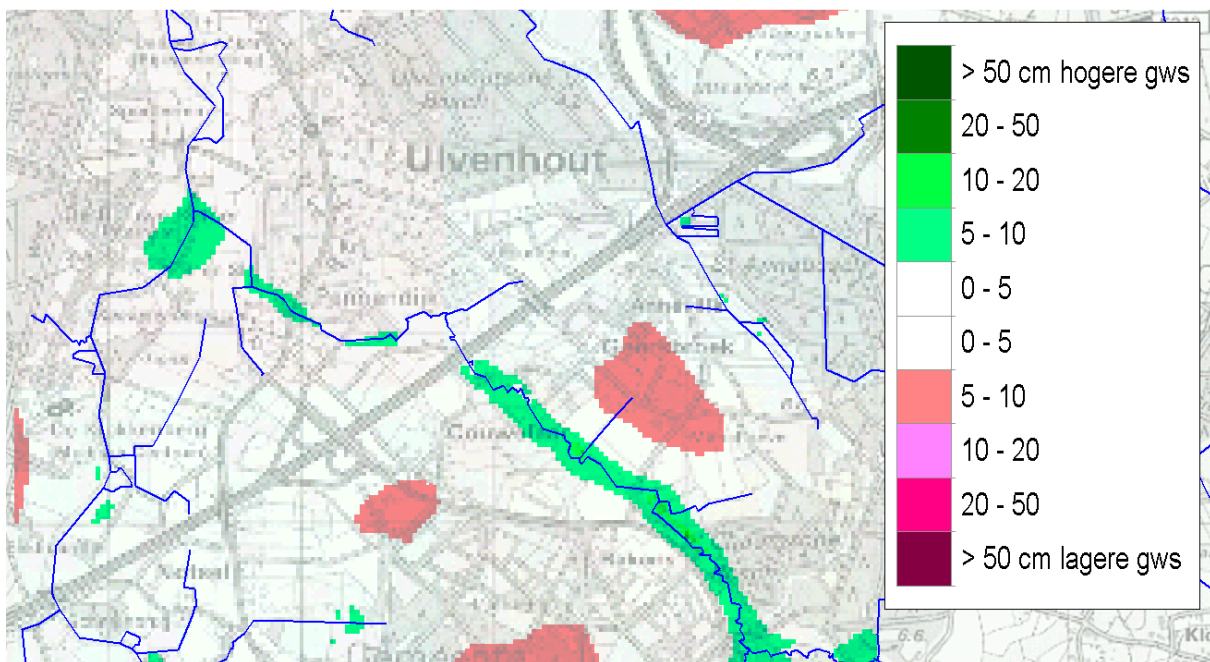


KD wvp2 (factor 2)

GHG

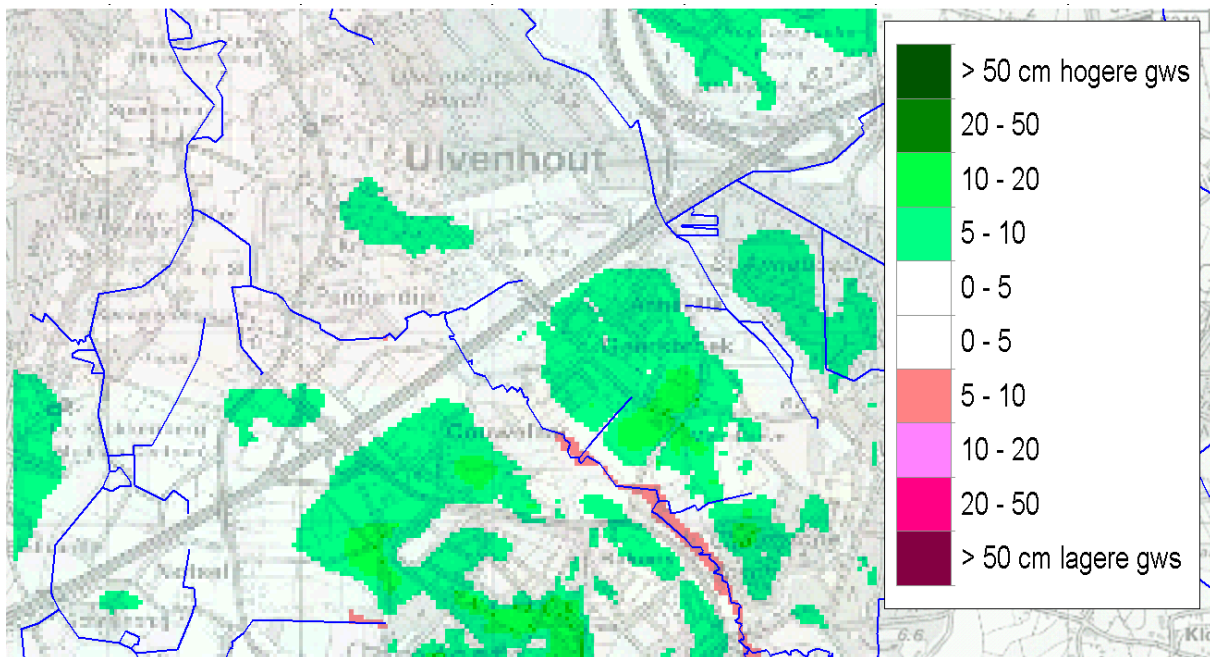


GLG

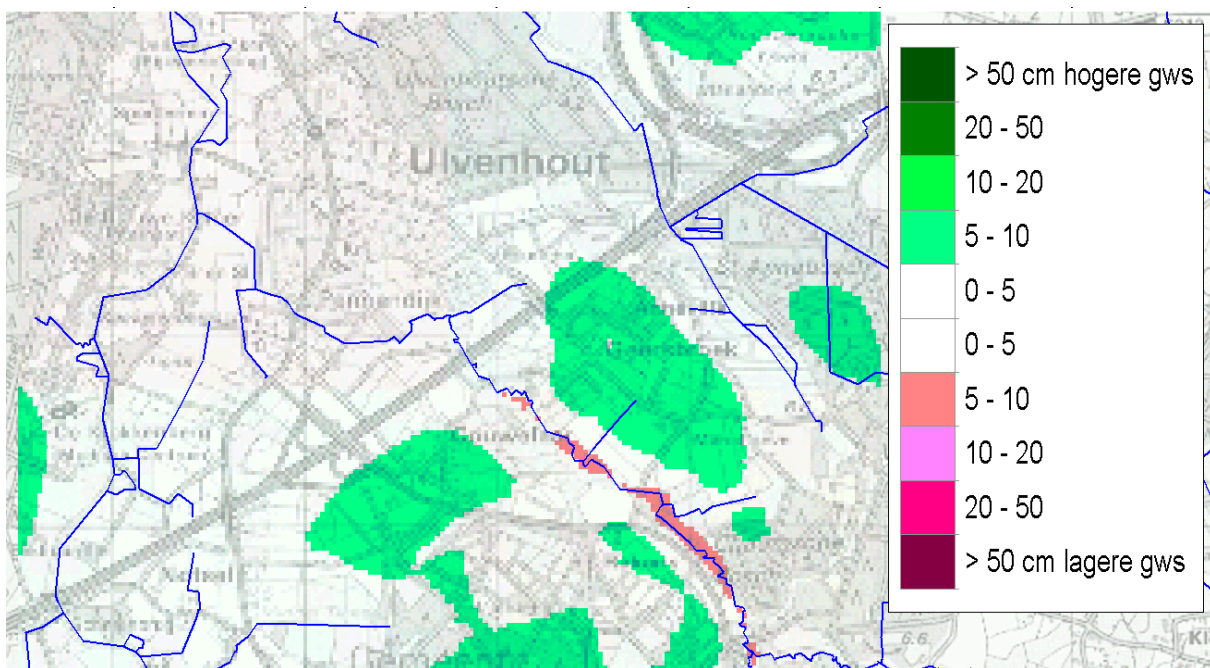


KD wvp2 (factor 0,5)

GHG

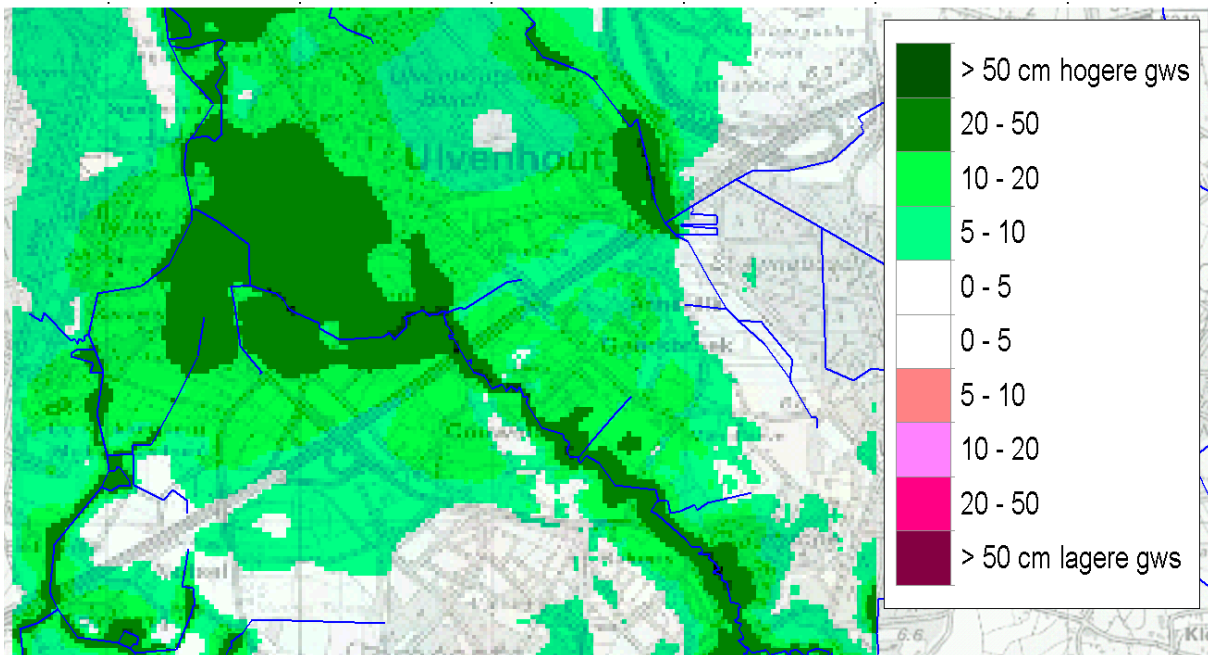


GLG

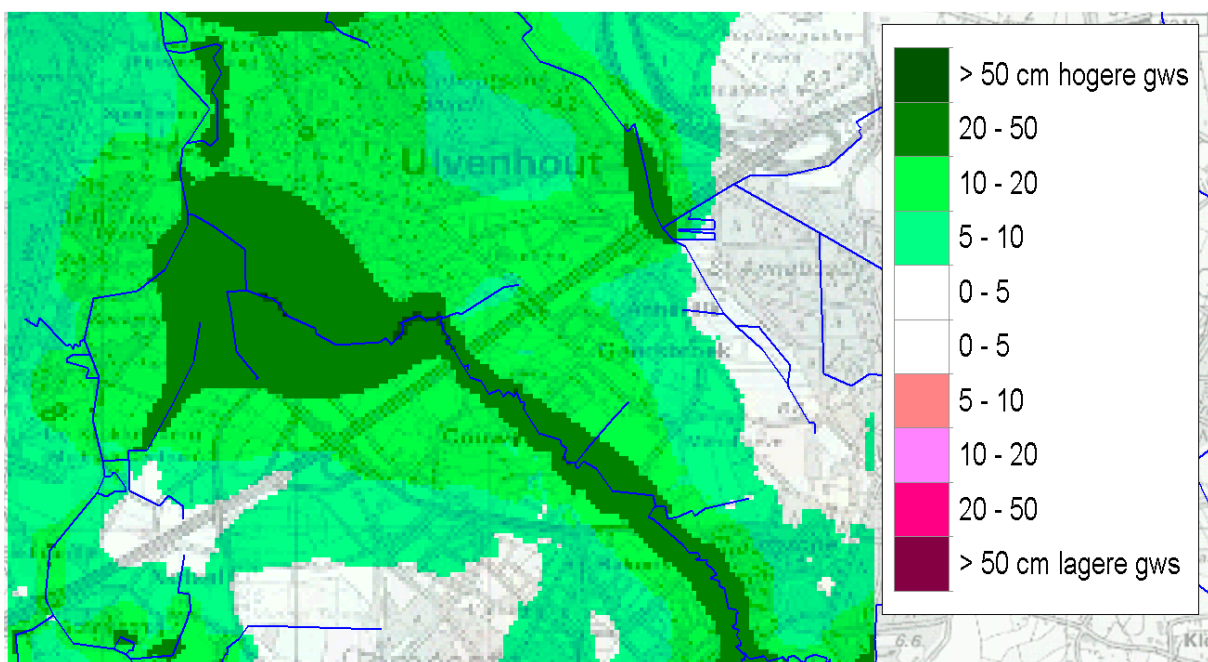


Weerstand legger (factor 5)

GHG

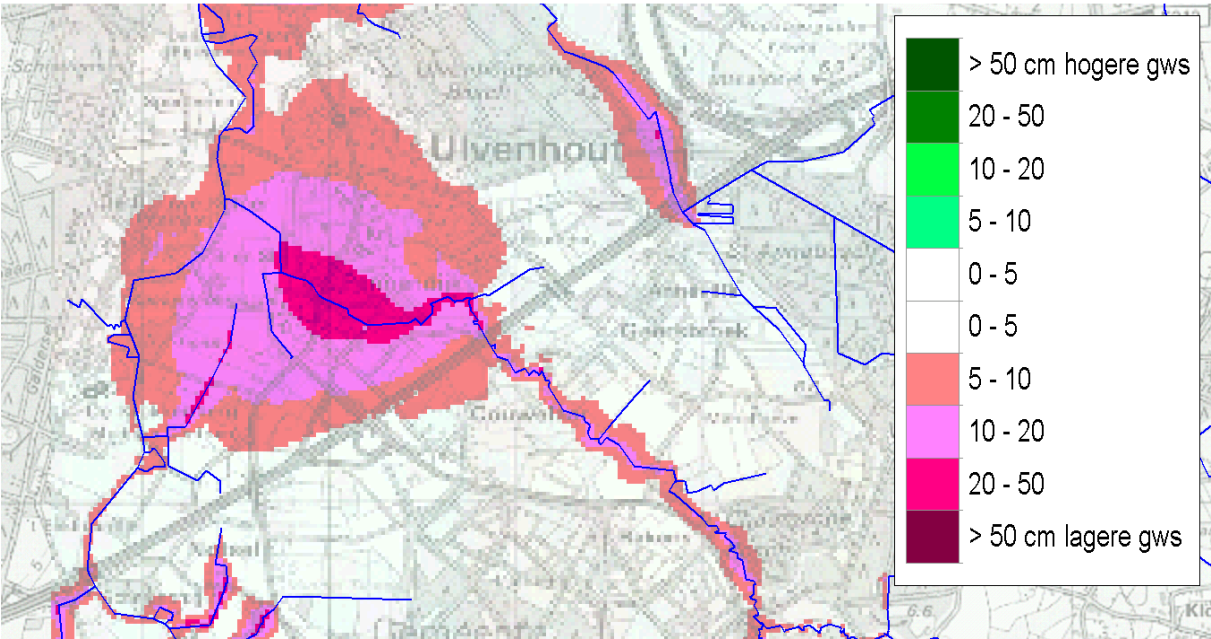


GLG

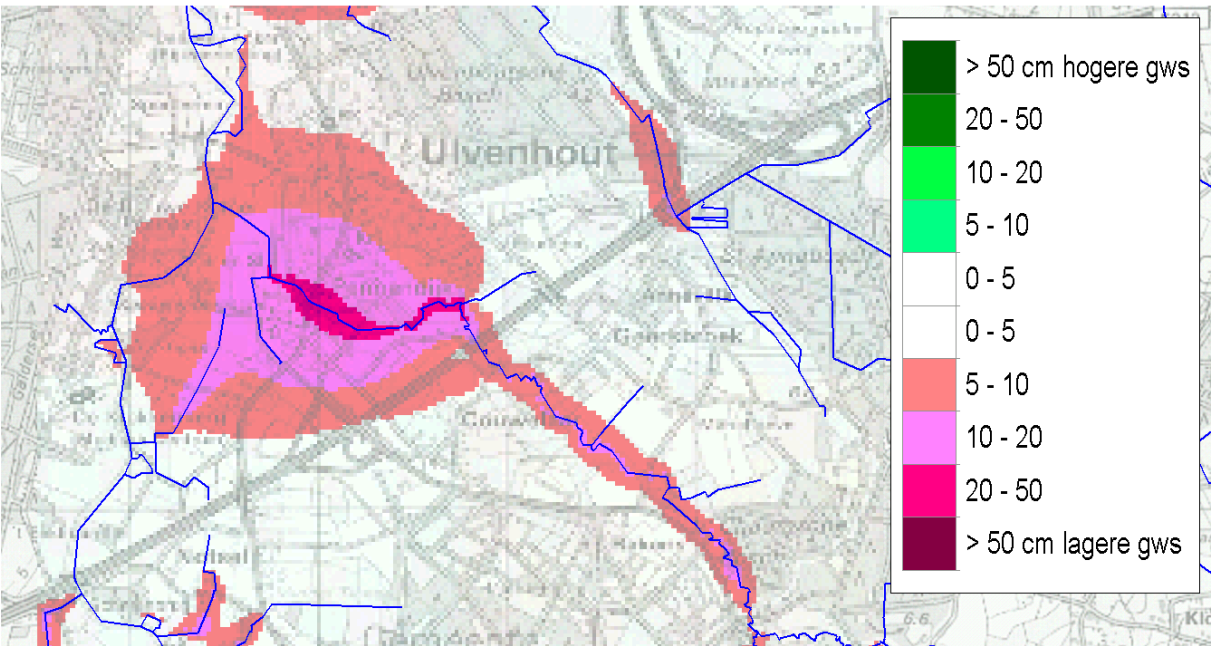


Weerstand legger (factor 0,5)

GHG

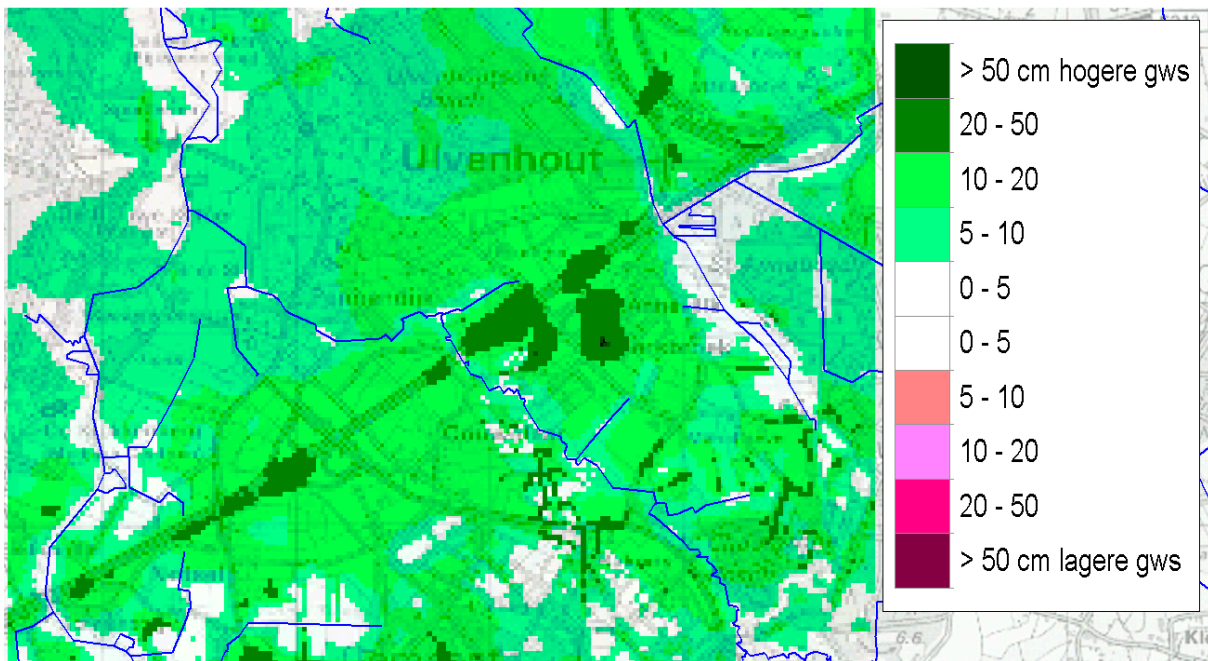


GLG

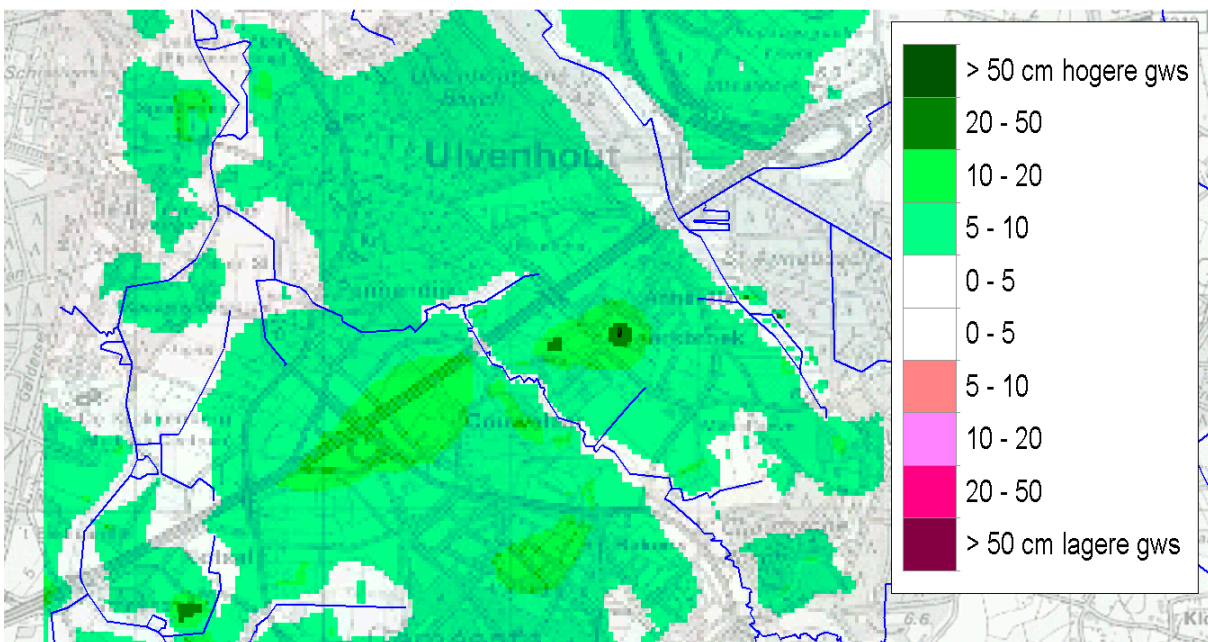


Weerstand TOP10 (factor 5)

GHG

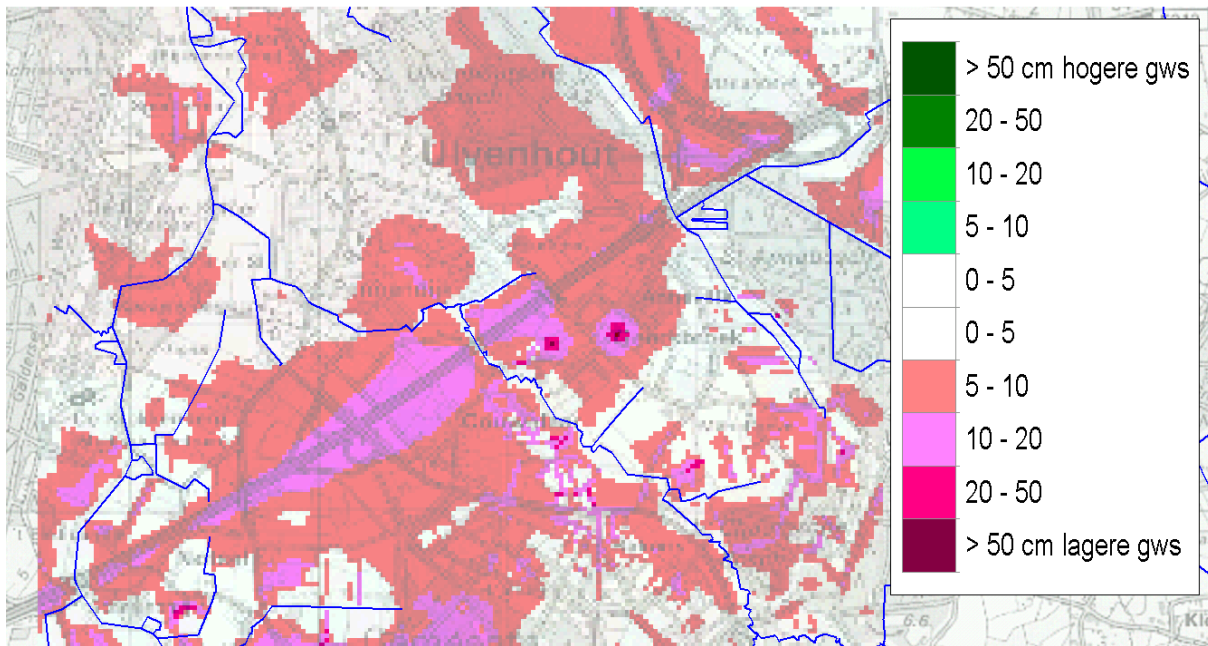


GLG

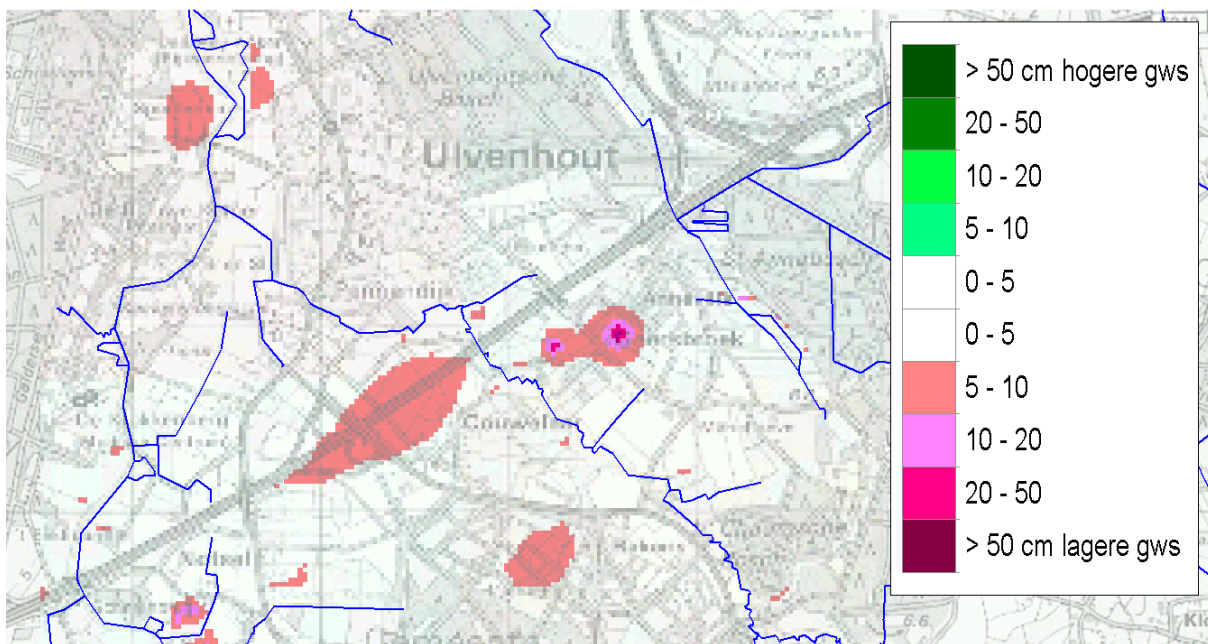


Weerstand TOP10 (factor 0,5)

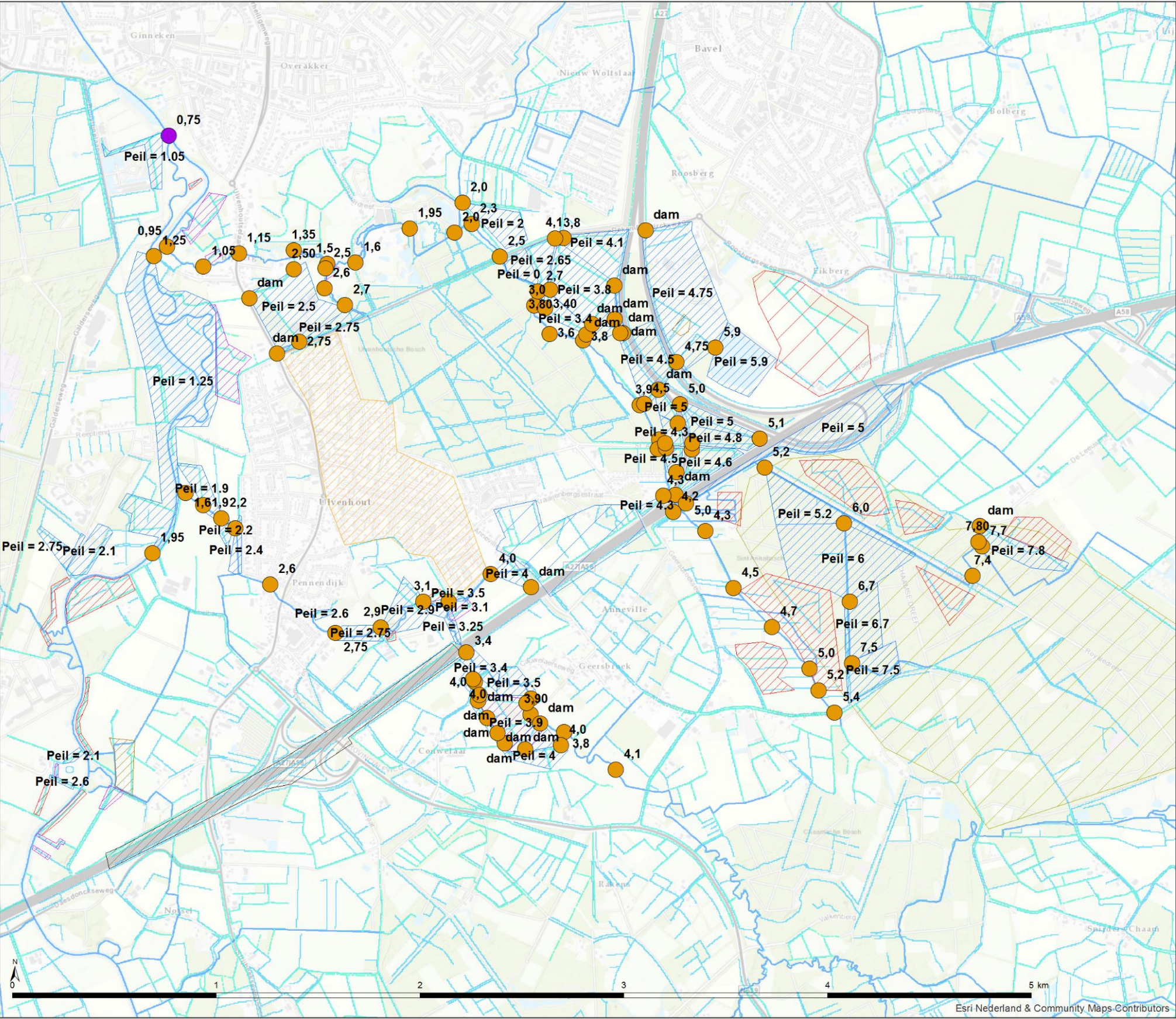
GHG



GLG



BIJLAGE D MAATREGELENKAART



Rekenvariant-E
maatregelen

Maatregelen

- Drainage Ulvenhout NAP+3,5 m
- Watergang dempen
- Kavelsloot maken
- Ophogen maaiveld
- Watergang verondiepen
- Rekenvariant-E peilverhoging
- Rekenvariant-E stuwpeilen

Rekenvariant-F
maatregelen

Maatregelen

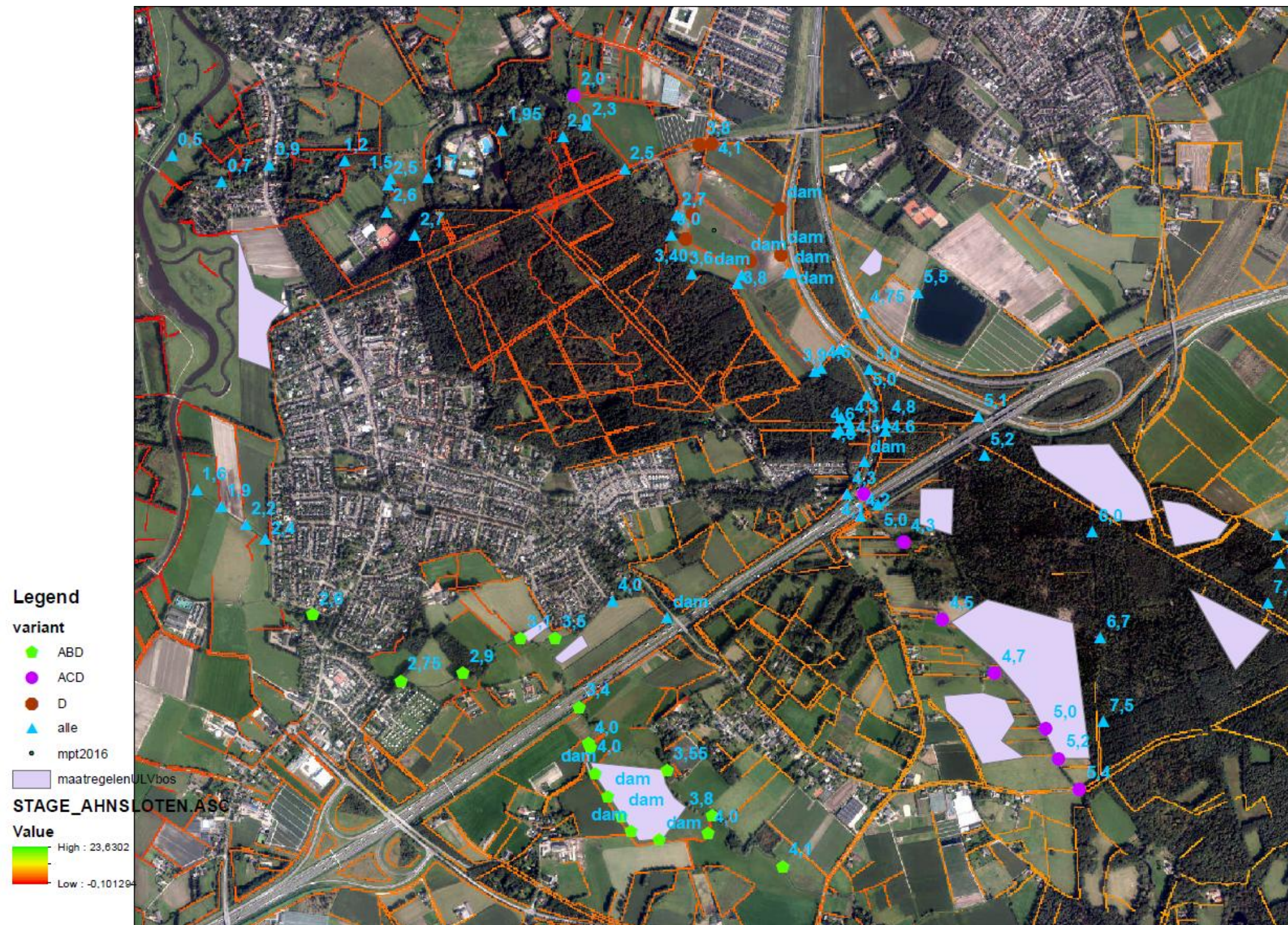
- Retourneren
- Watergang dempen
- omvormen naar loofbos
- Peilverhoging 25 cm
- Rekenvariant-F stuwpeilen

Rekenvariant-E
- Peilen verhogen
- Drainage Ulvenhout NAP +3,5 m
- Legger - WP (op kaart) en ZP (-30cm)
- Beekbodemverhogen 50% waterdiepte

Rekenvariant-F
- Zelfde maatregelen als variant E
- Peilverhoging in de Bovenmark bij Bouvigne
- Stopzetten winning Ginneken zomermaanden
- Omvormen naaldbos naar loofbos
in het Annabos
- 25 cm peilstijging ten zuiden
van Kraaienbergstraat
- Retourneren water folieconstructie
(modelleren door verhogen weerstand)

BIJLAGE E REKENVARIANTEN

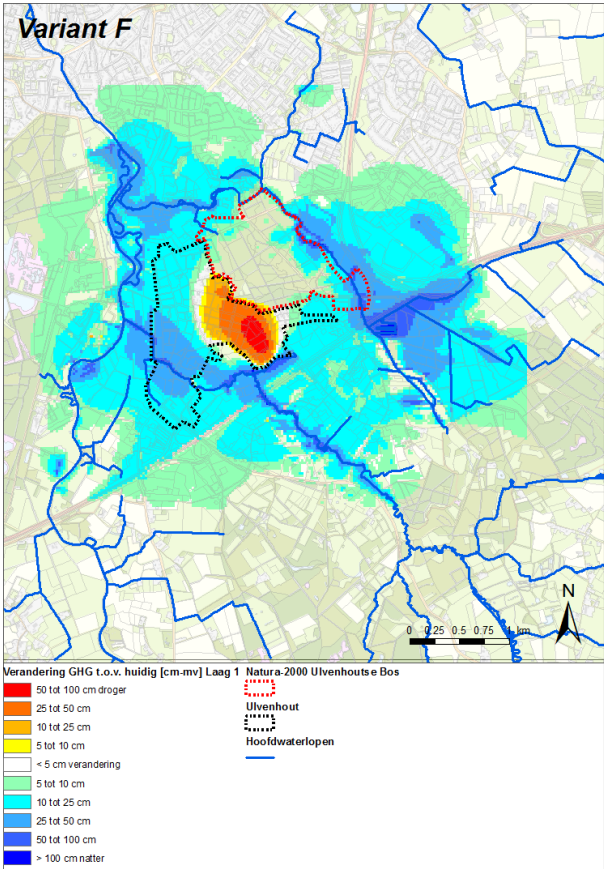
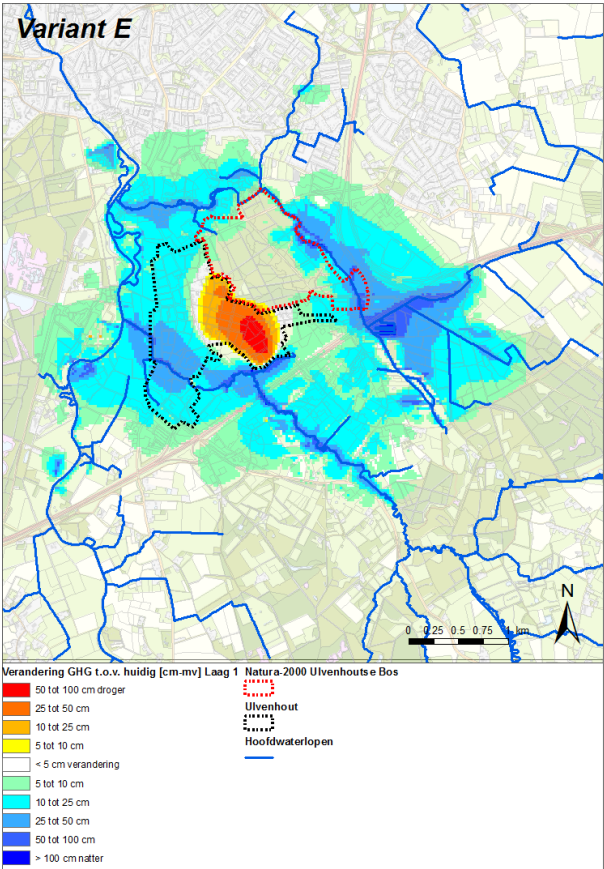
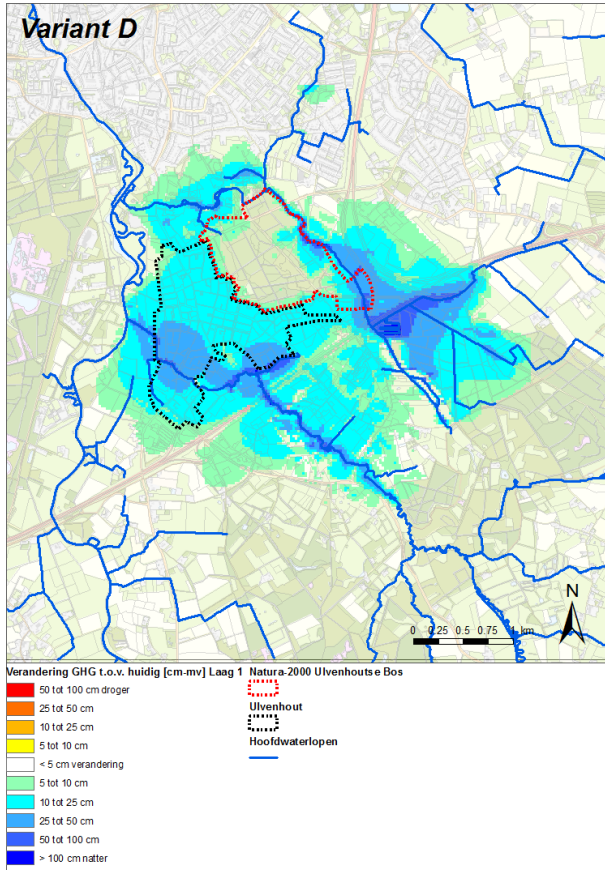
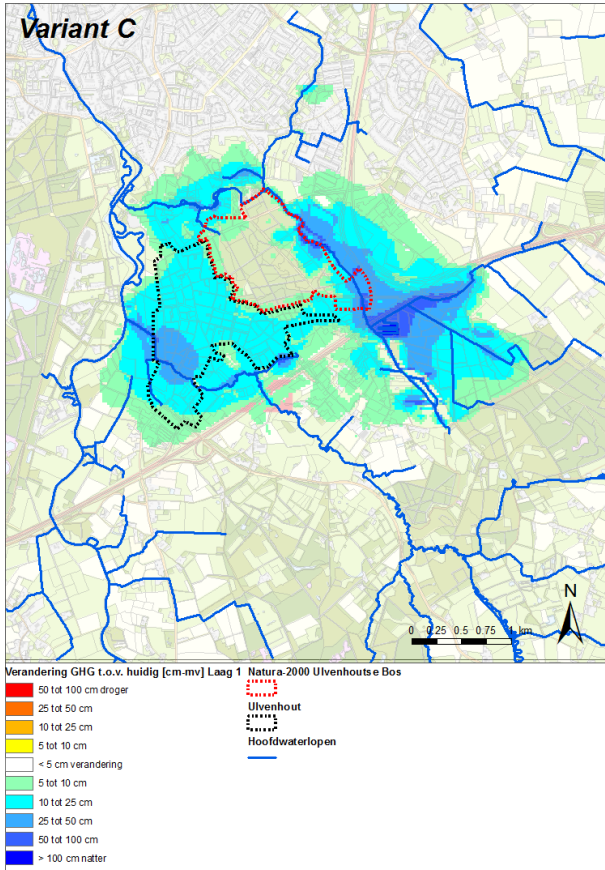
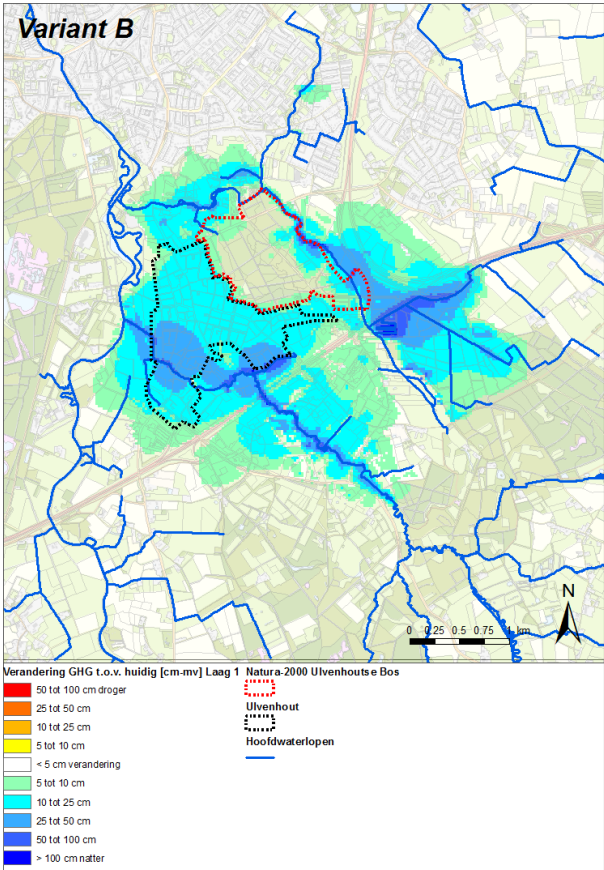
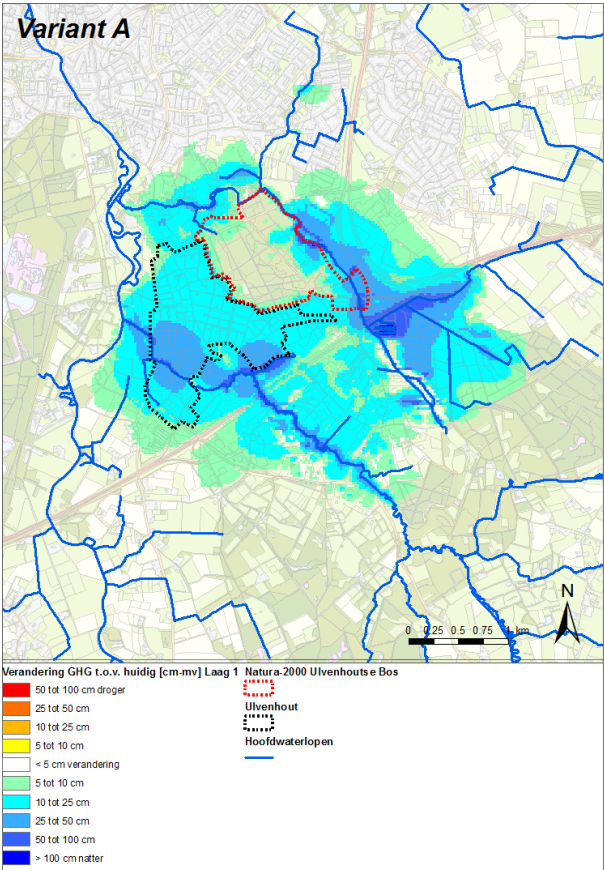
Rekenvarianten A, B, C en D



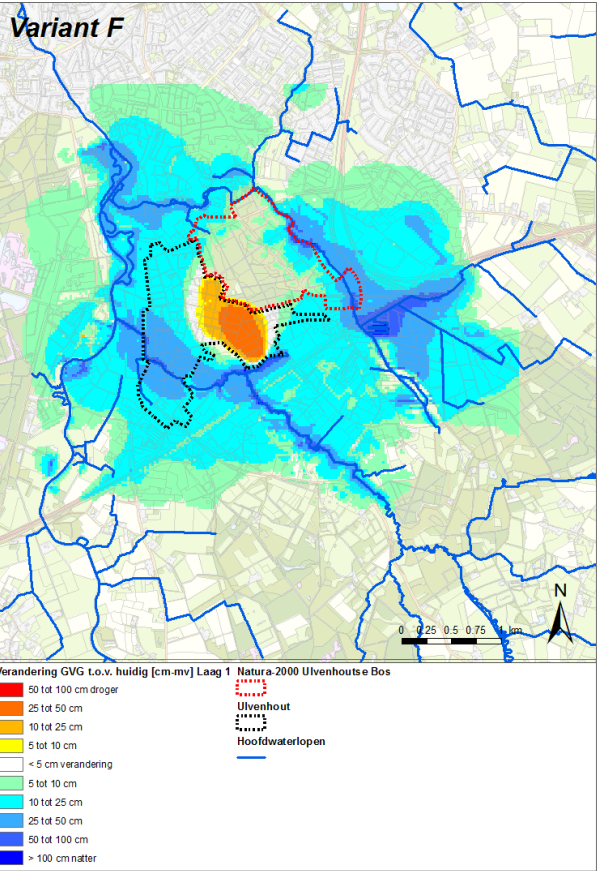
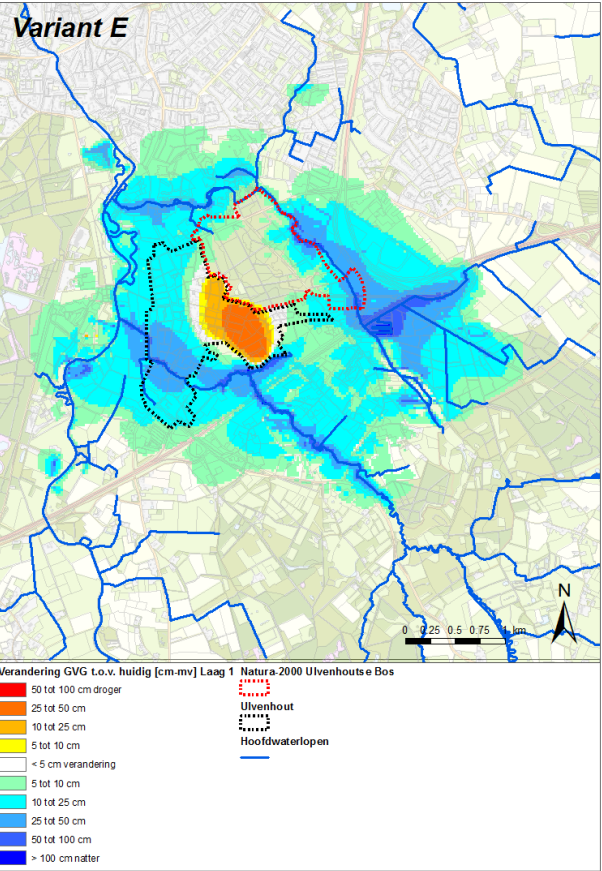
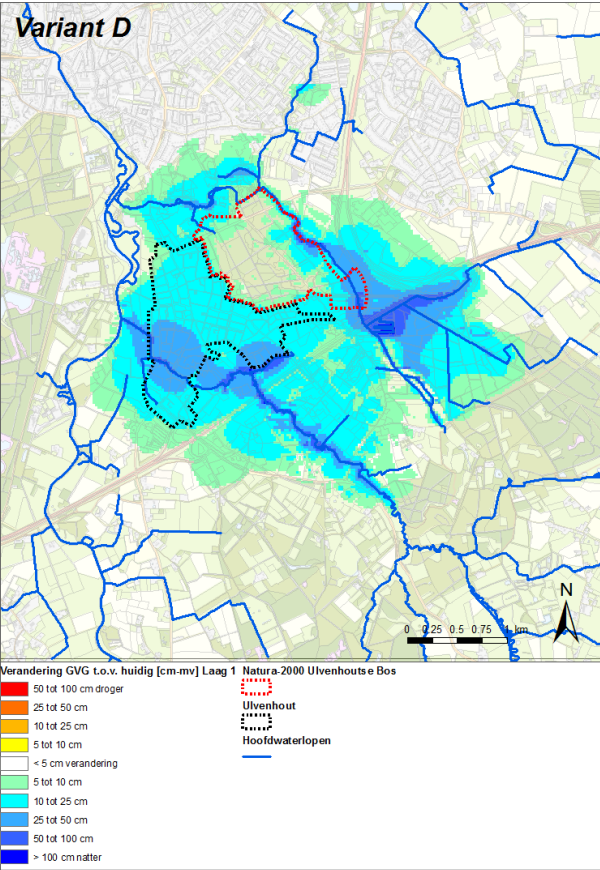
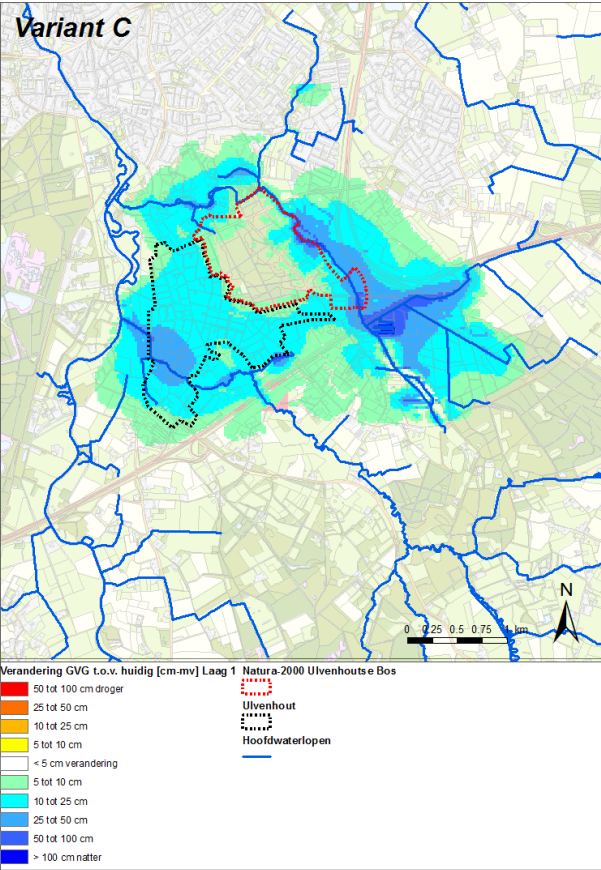
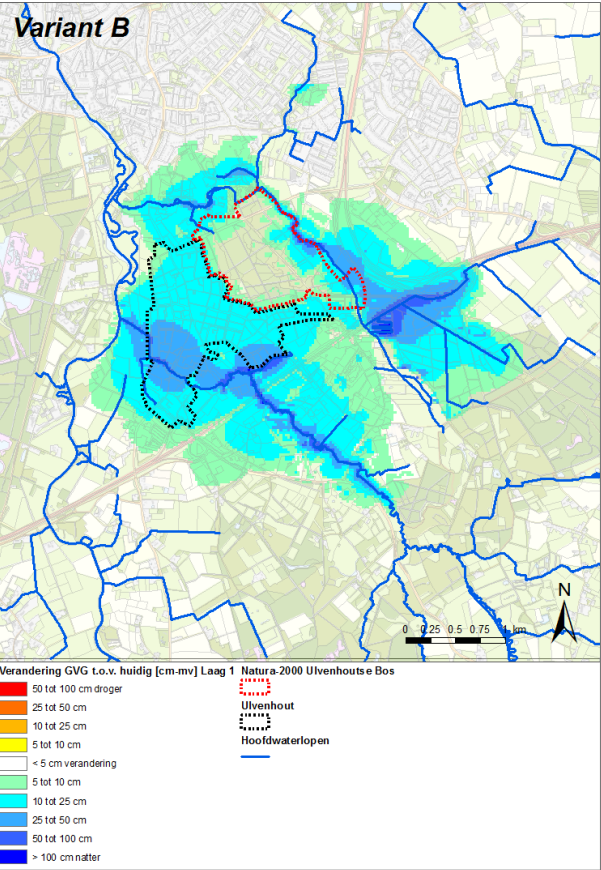
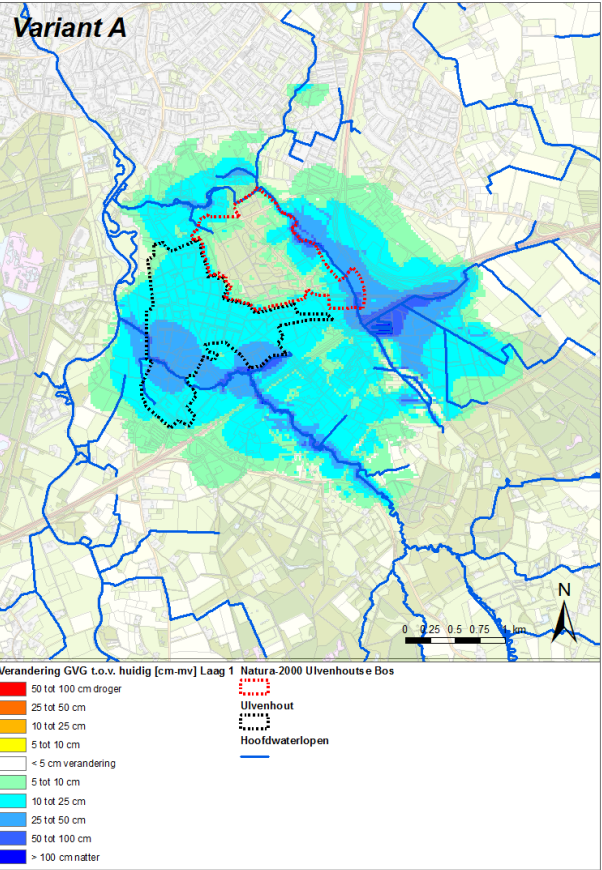
Conversie naar model:

- Punten zijn geïnterpoleerd en als nieuw peil op de riviers gezet;
- Het peil van de detailontwatering binnen de vlakken heeft één vaste waarde gekregen

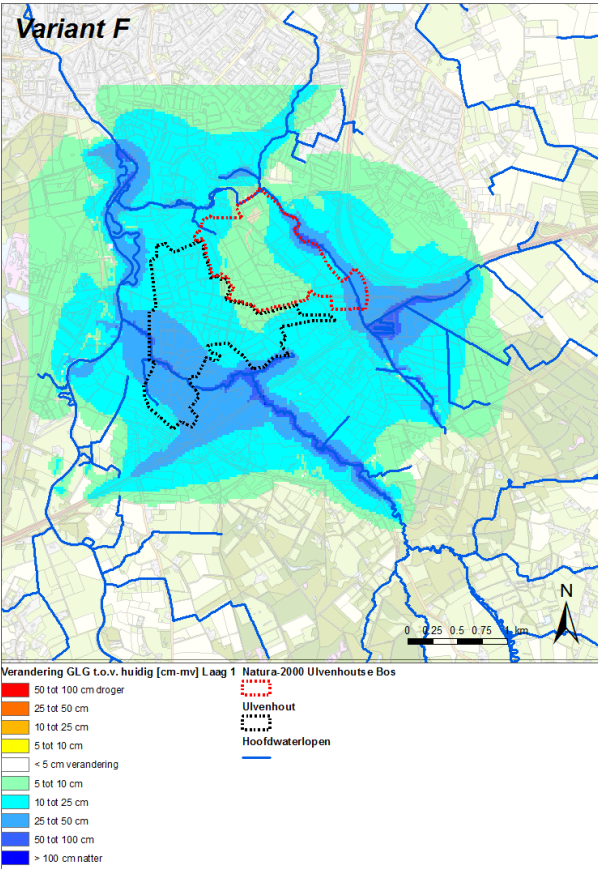
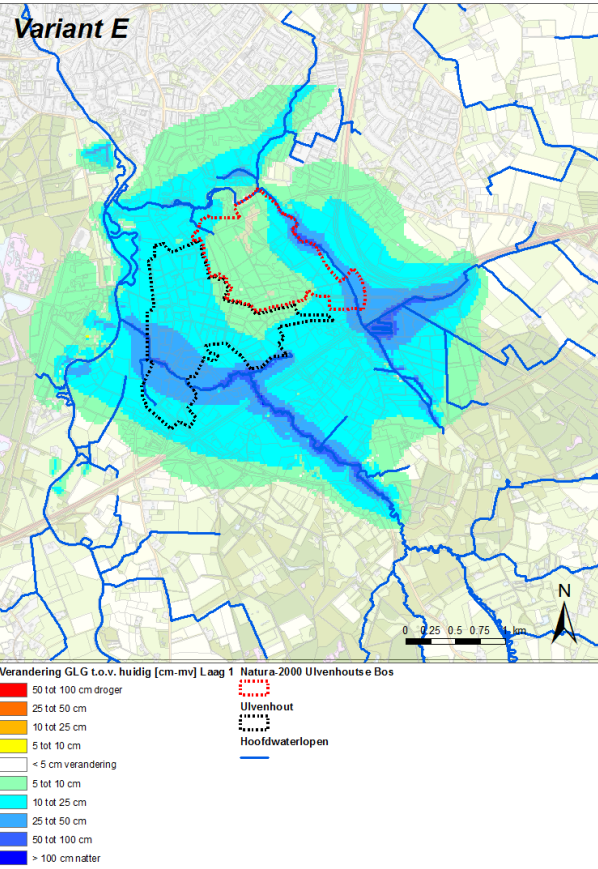
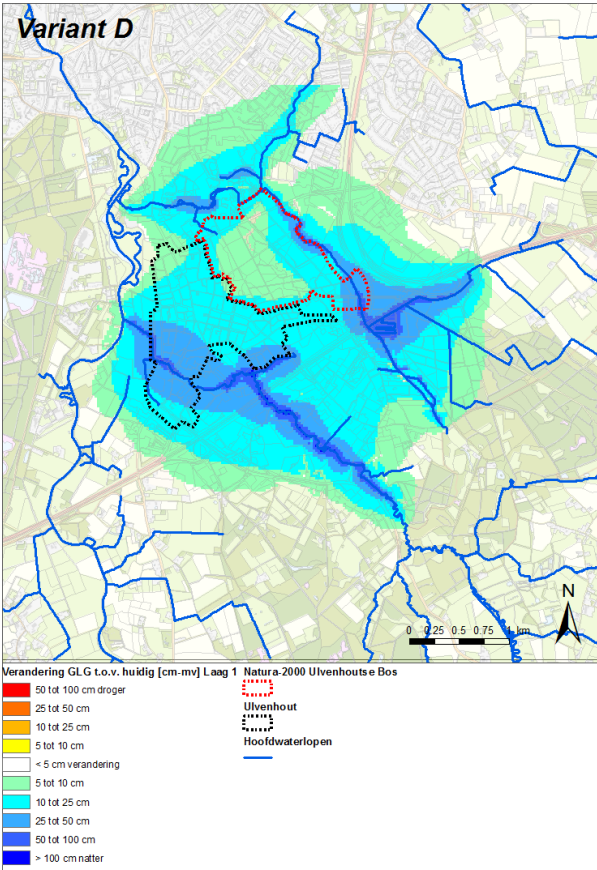
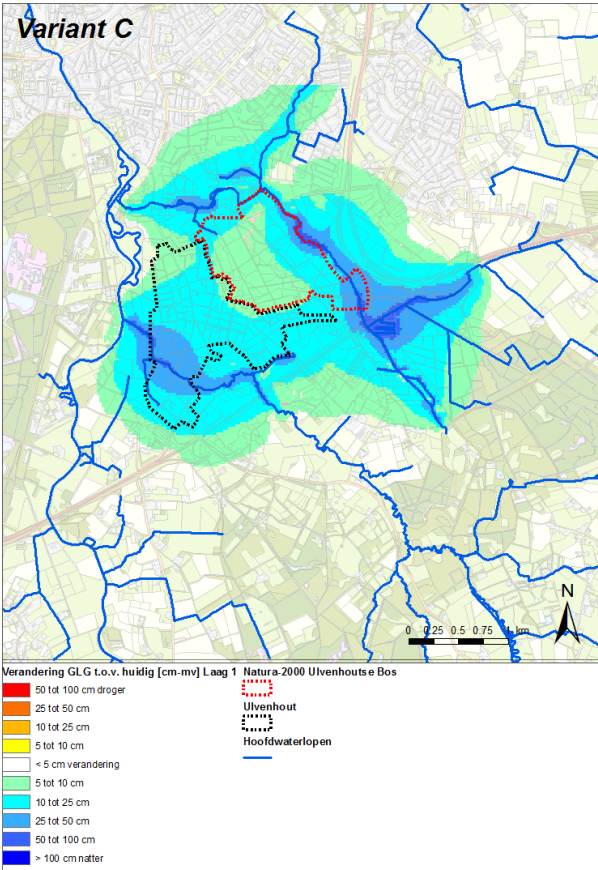
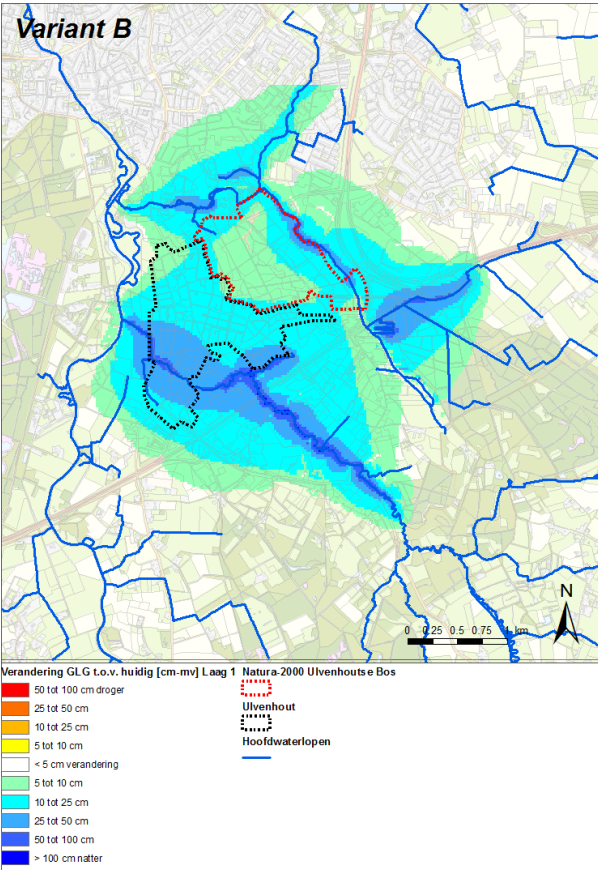
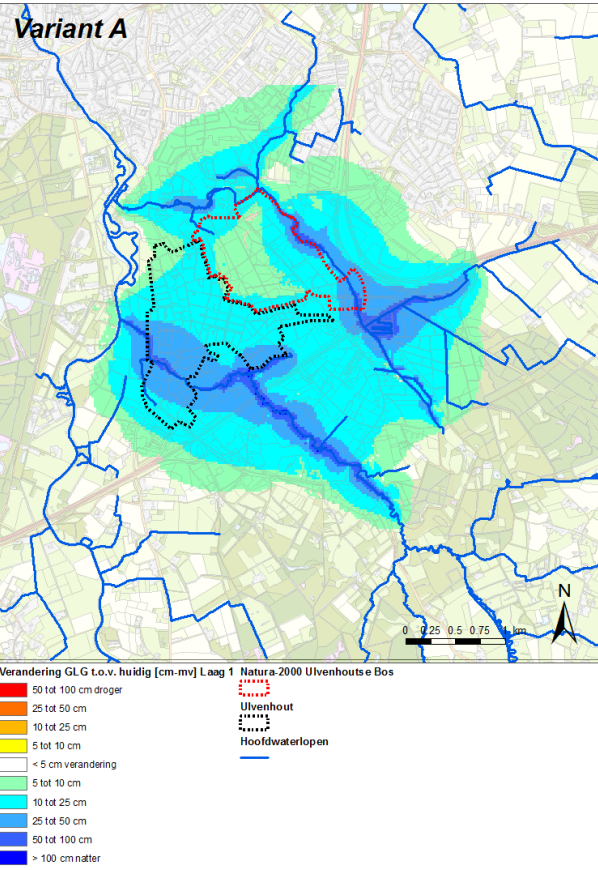
GHG – verschil tussen huidige situatie en rekenvarianten



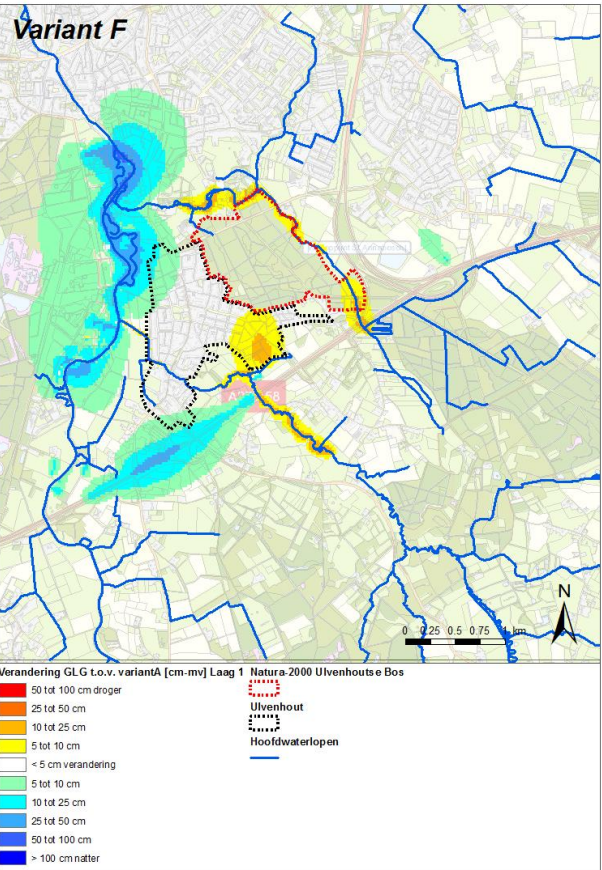
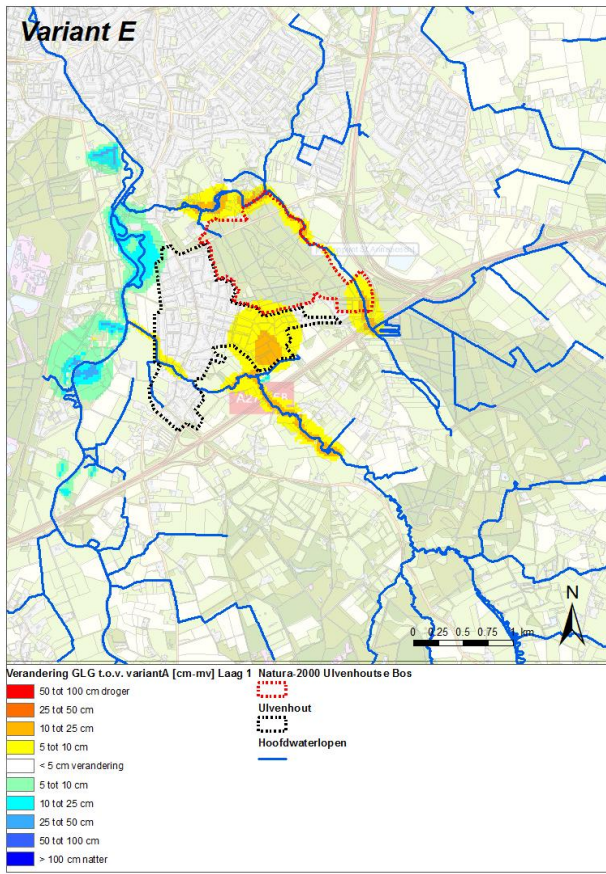
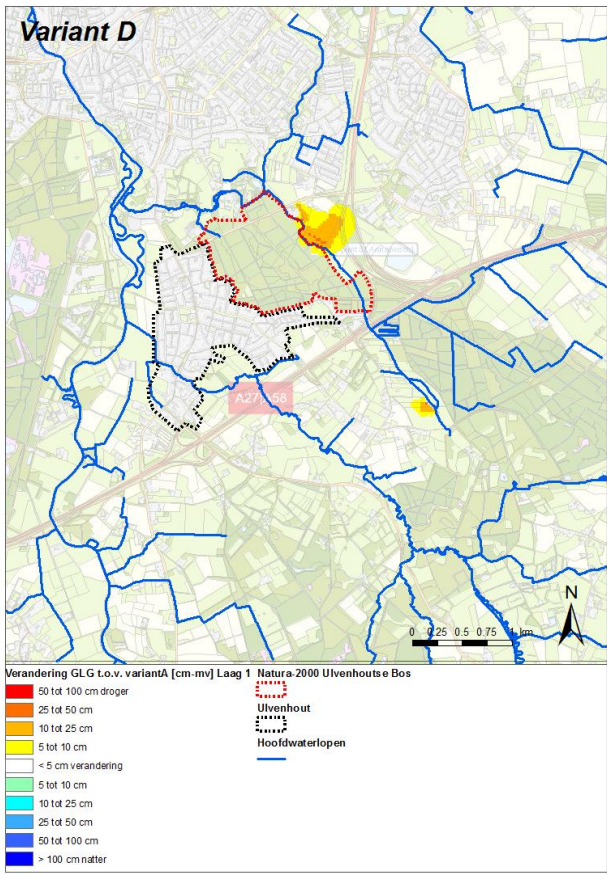
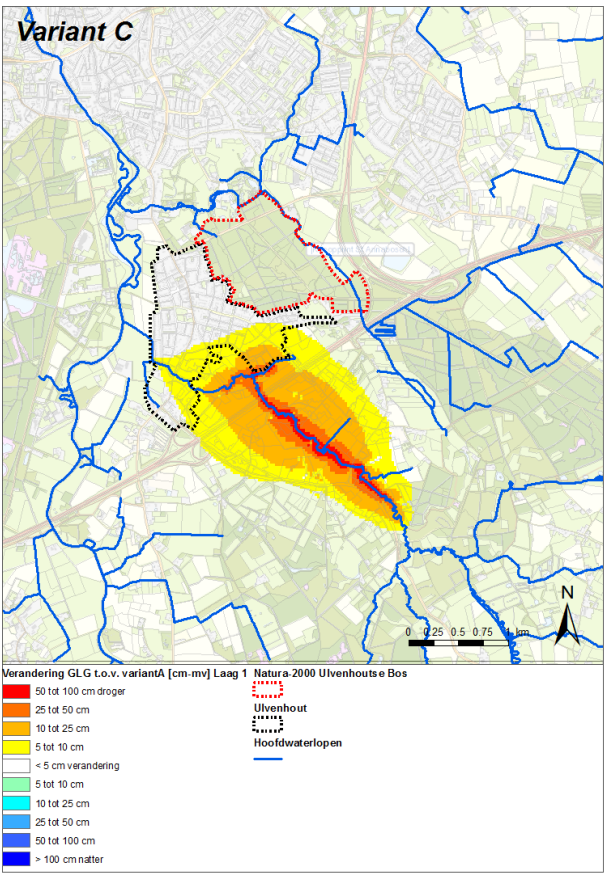
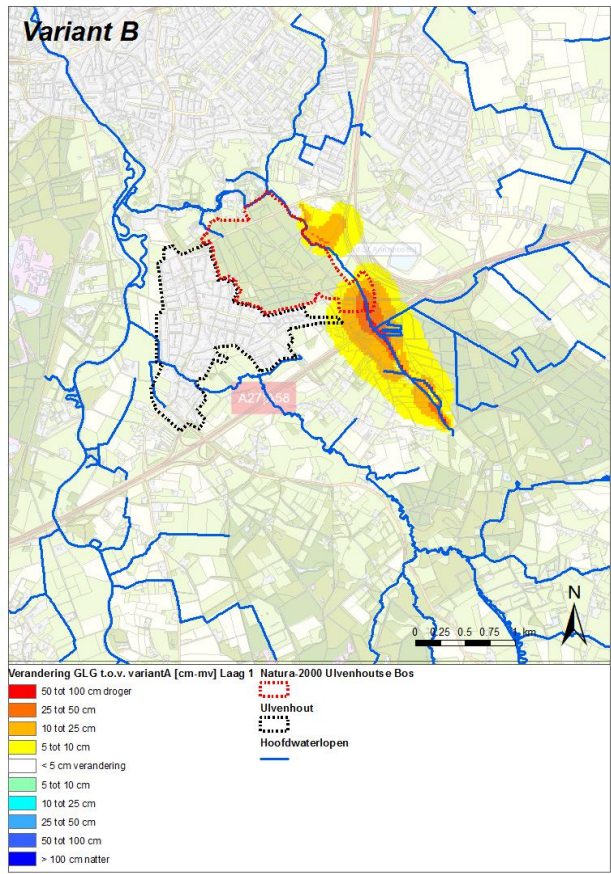
GVG – verschil tussen huidige situatie en rekenvarianten



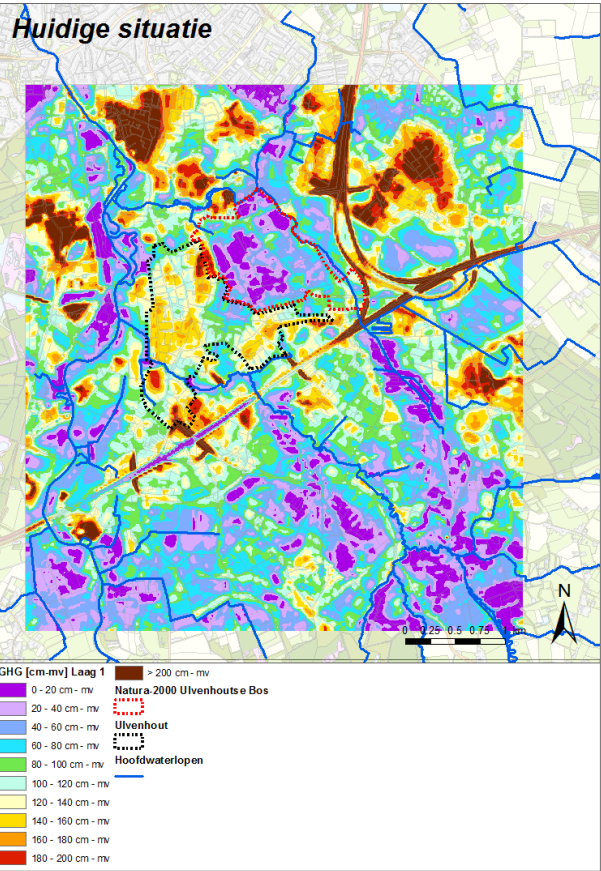
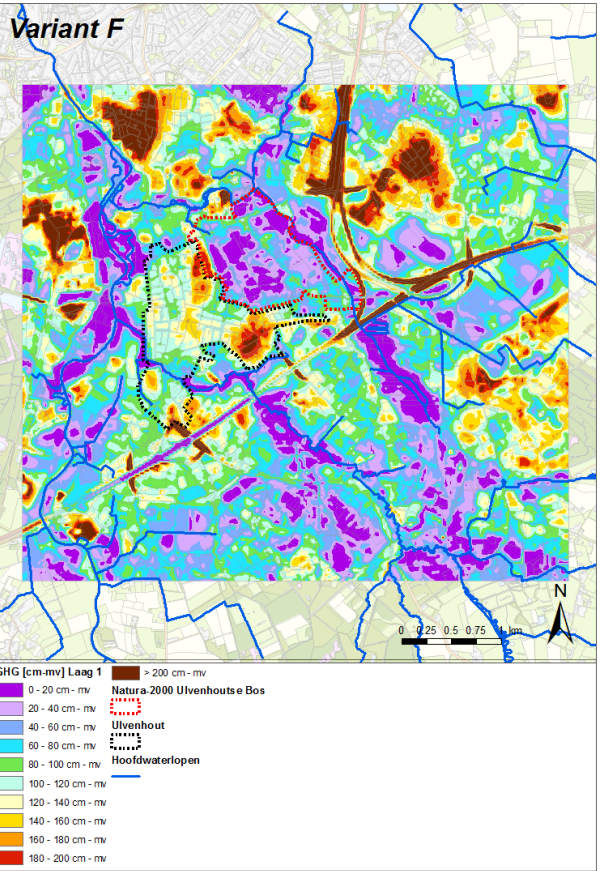
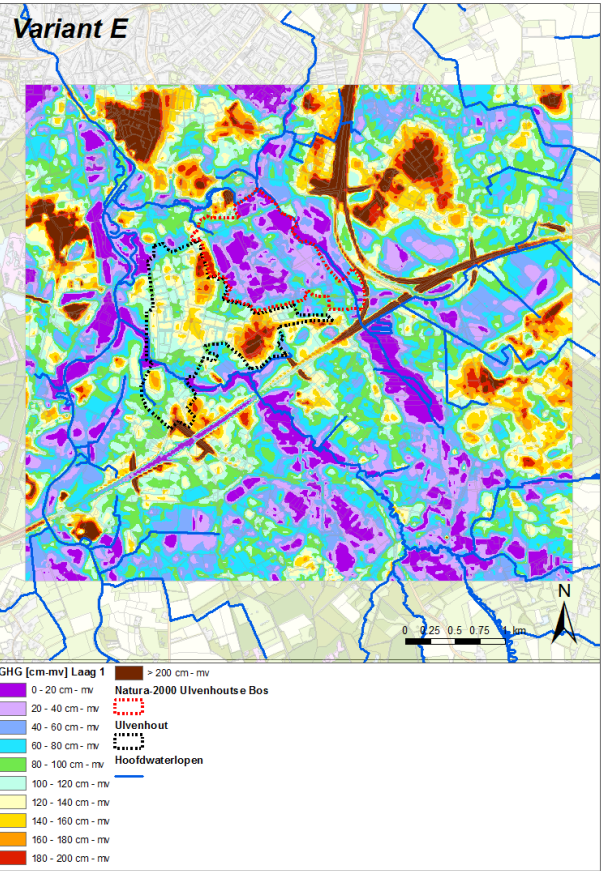
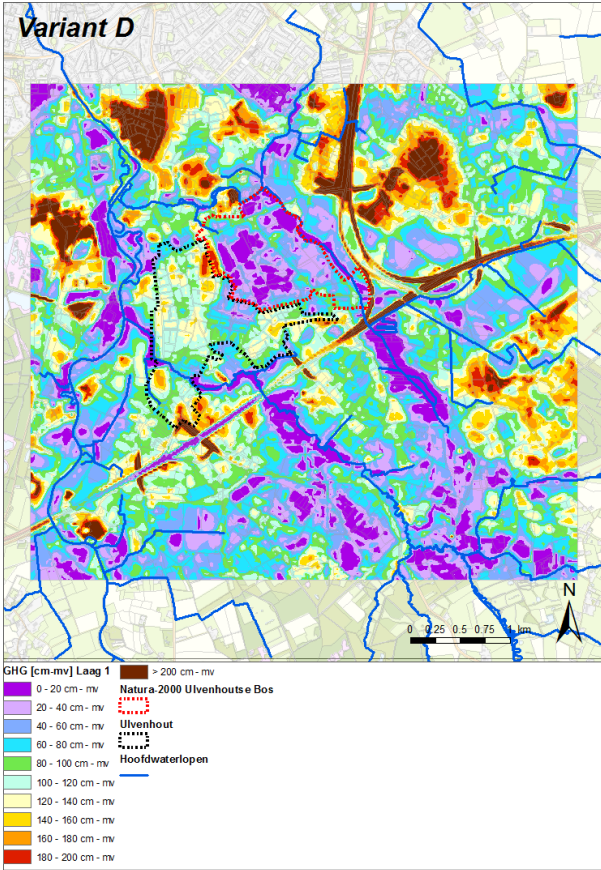
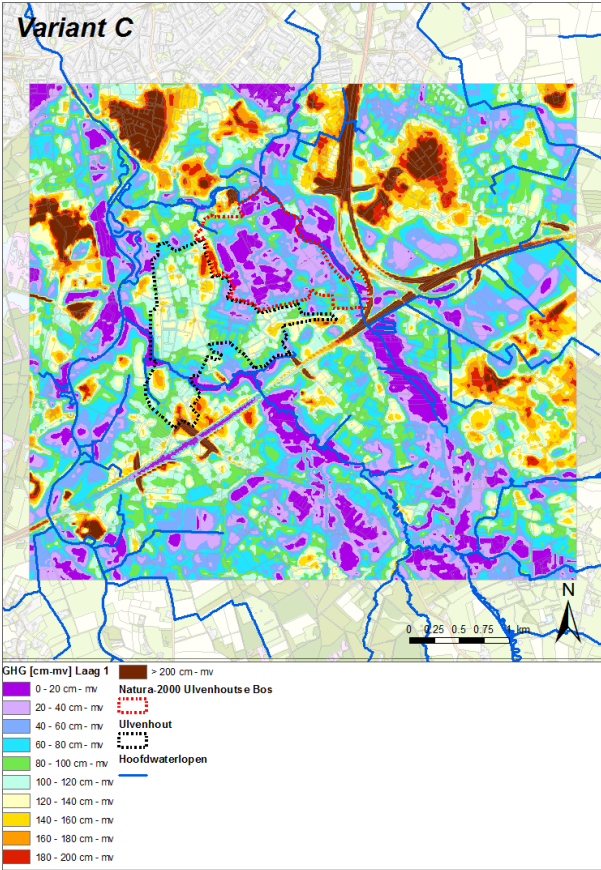
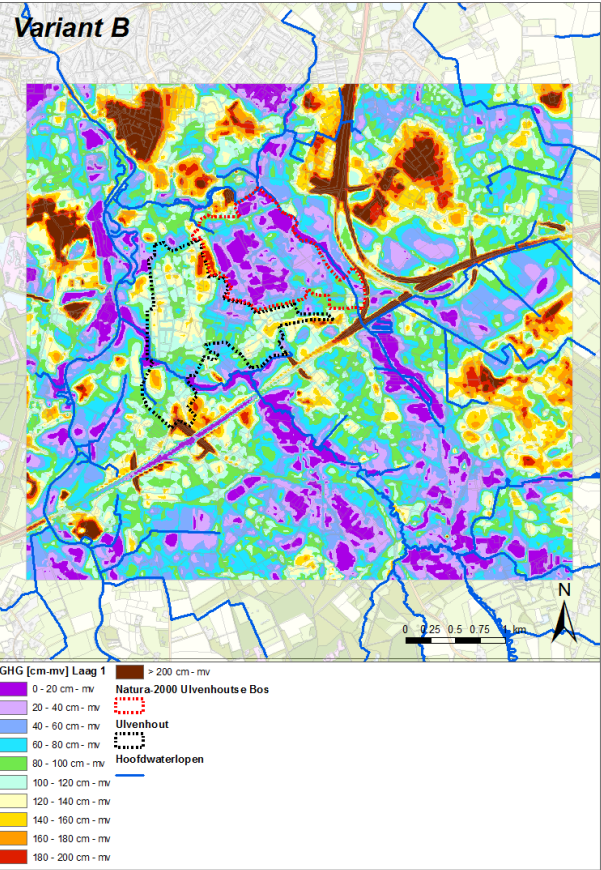
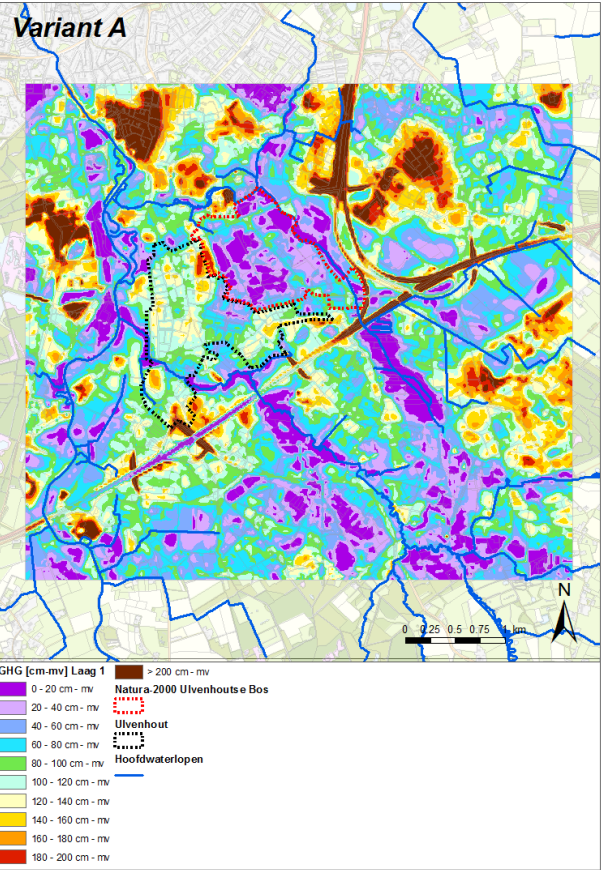
GLG – verschil tussen huidige situatie en rekenvarianten



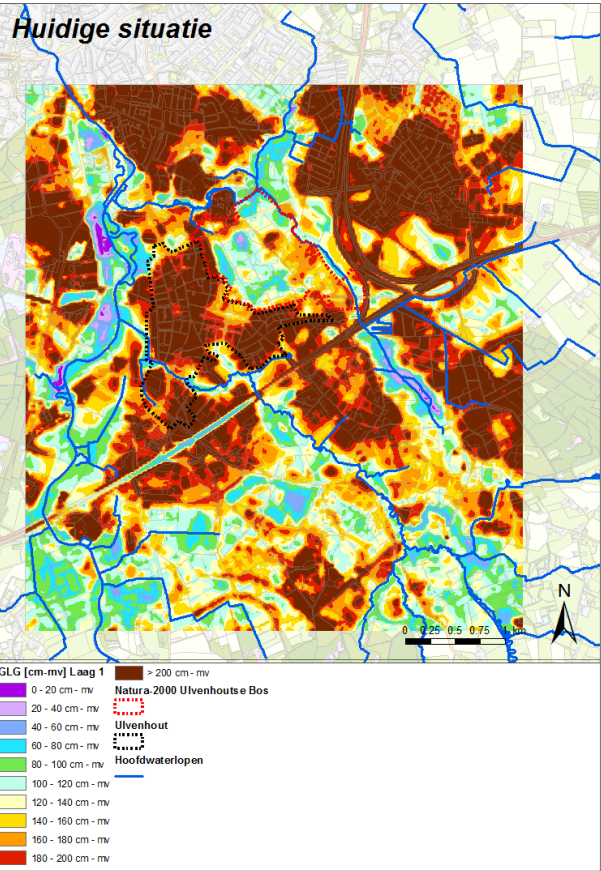
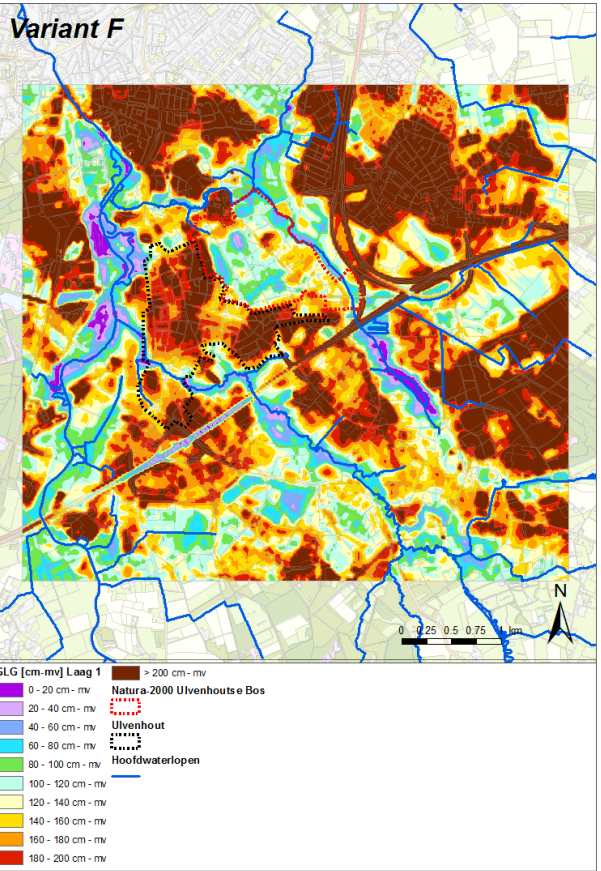
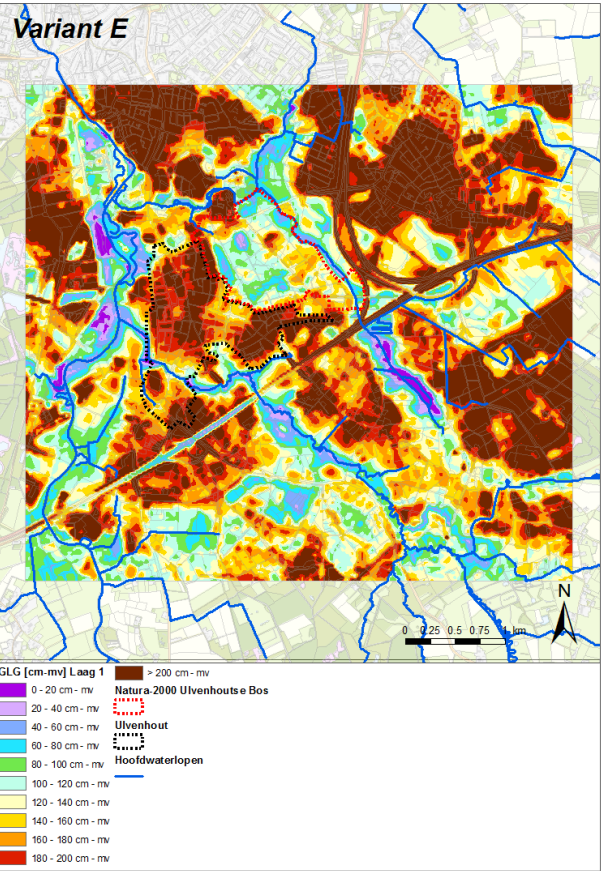
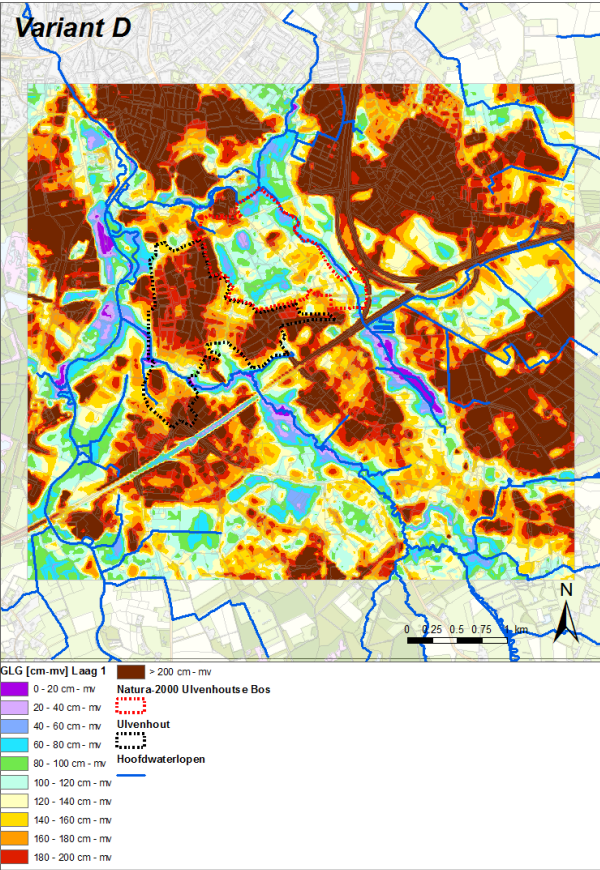
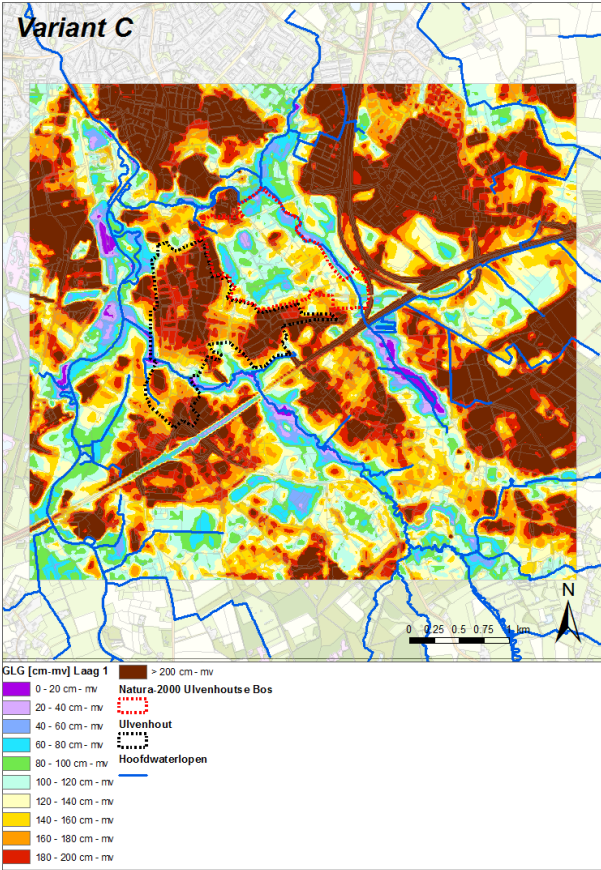
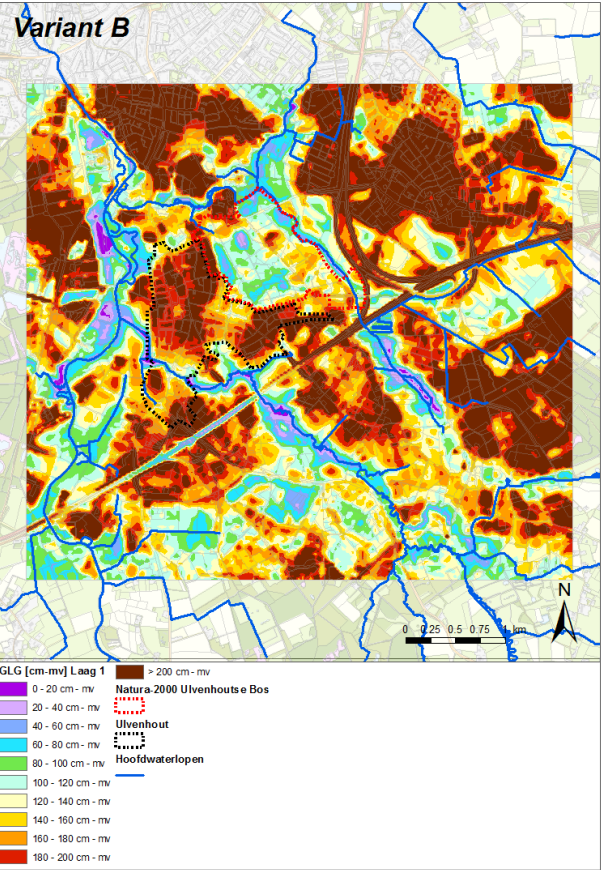
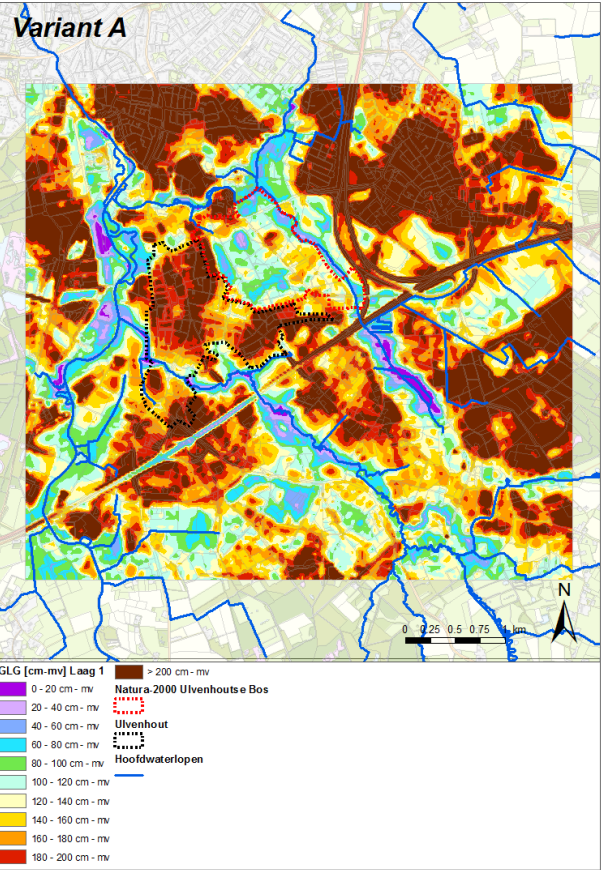
GLG - verschil tussen variant A en rekenvarianten B t/m F



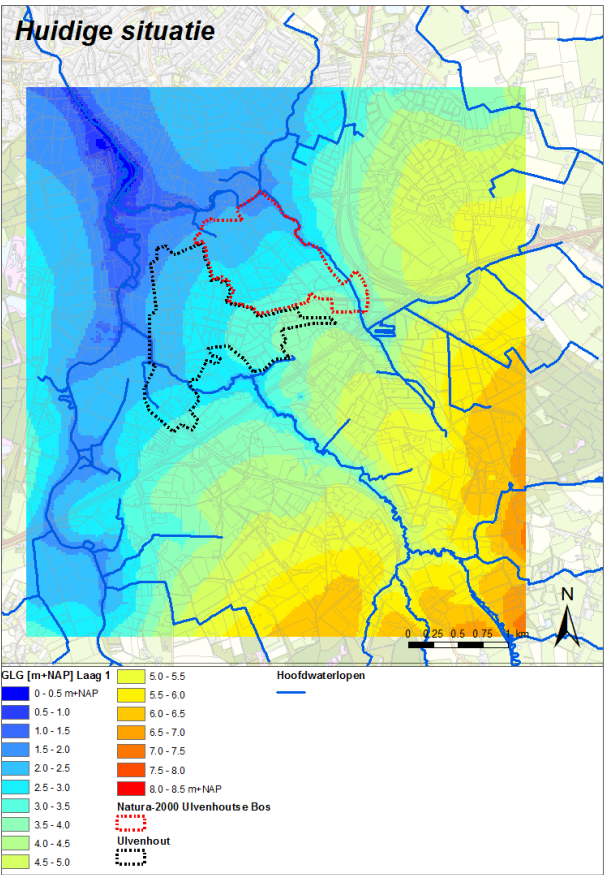
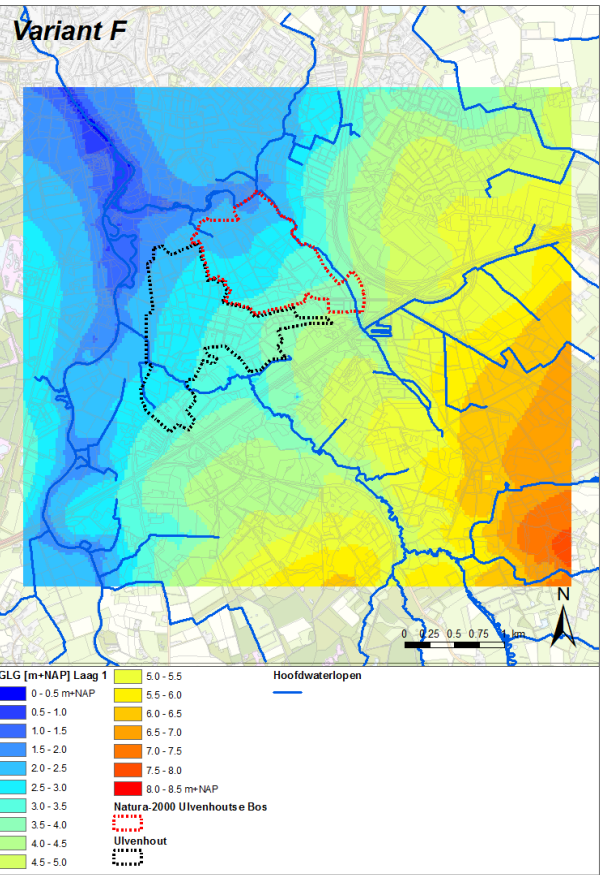
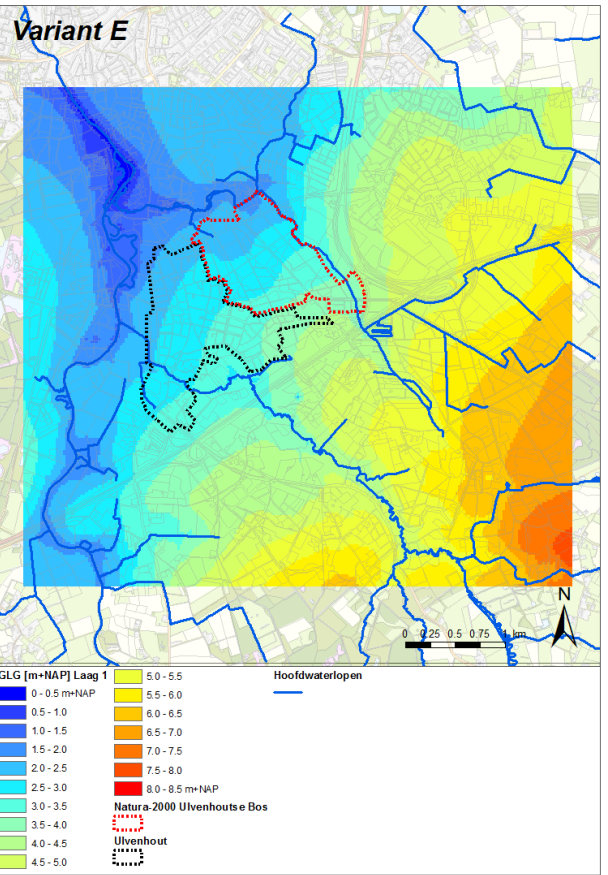
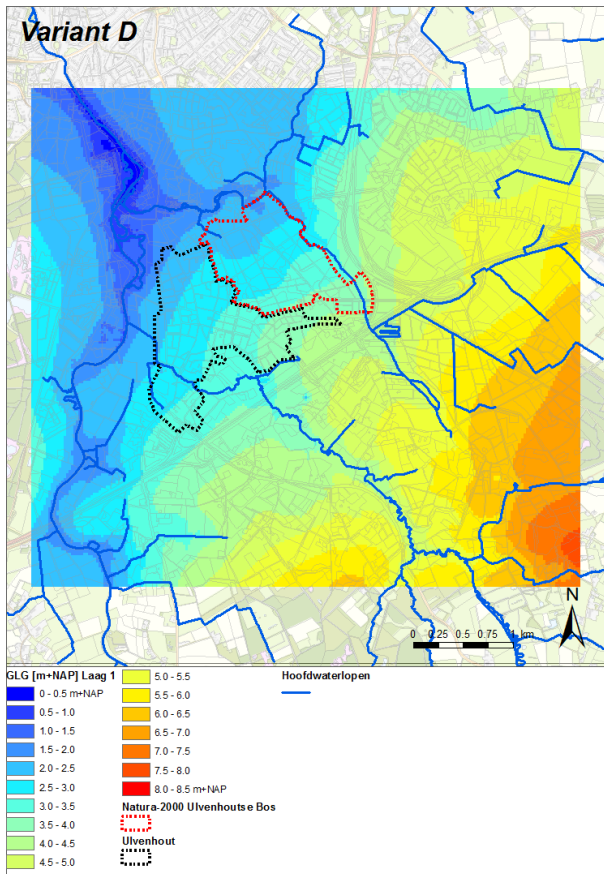
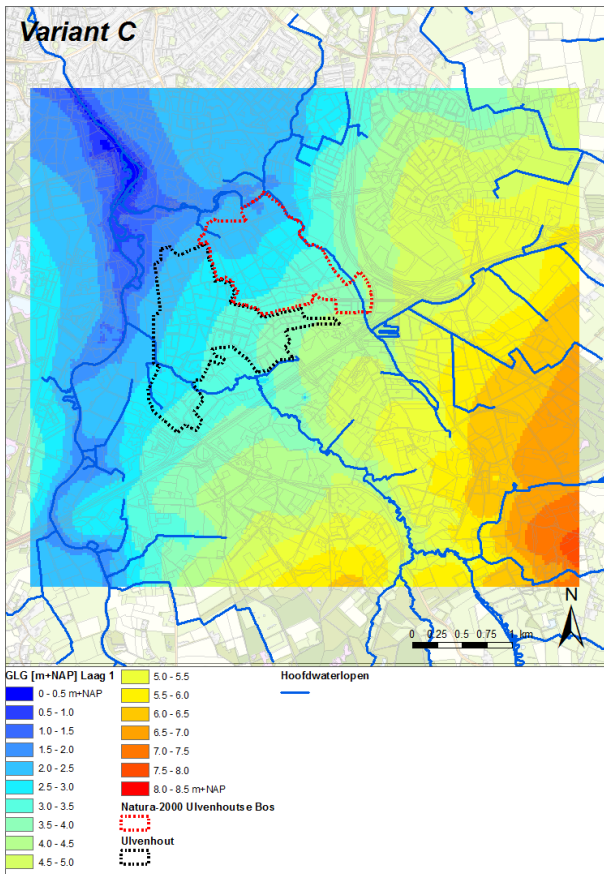
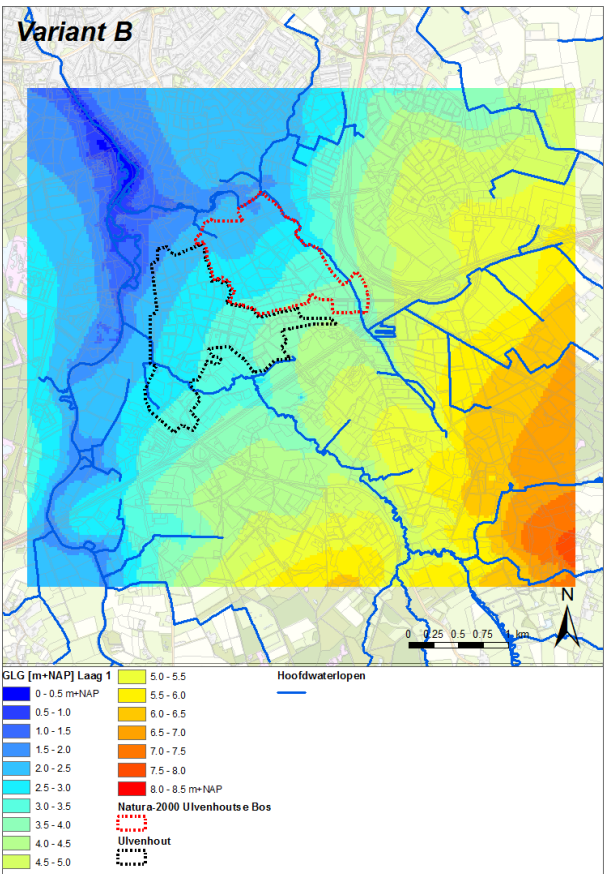
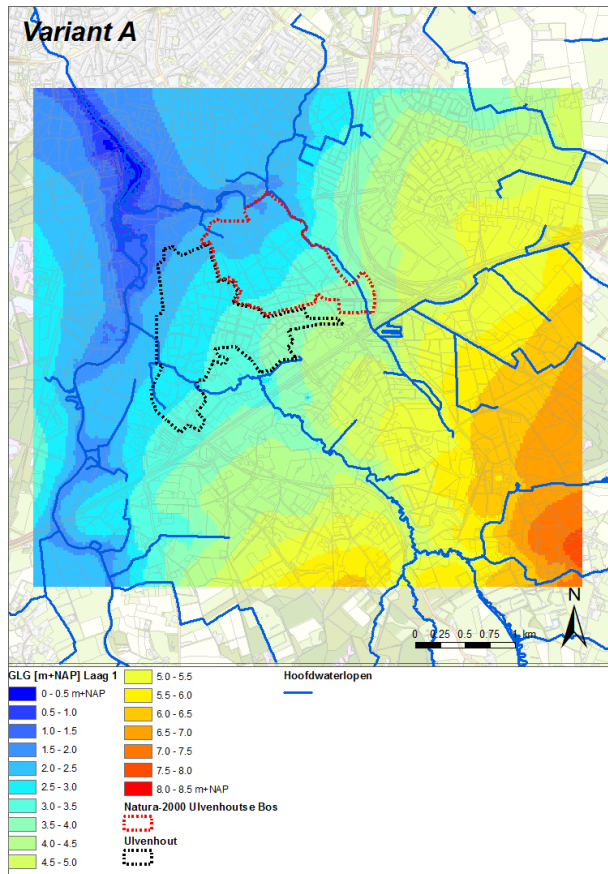
GHG – ten opzichte van maaiveld



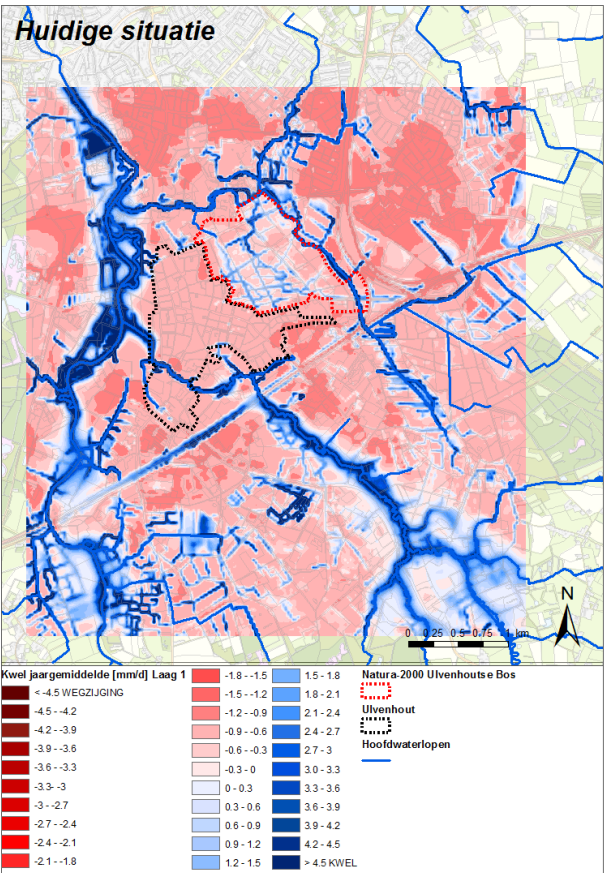
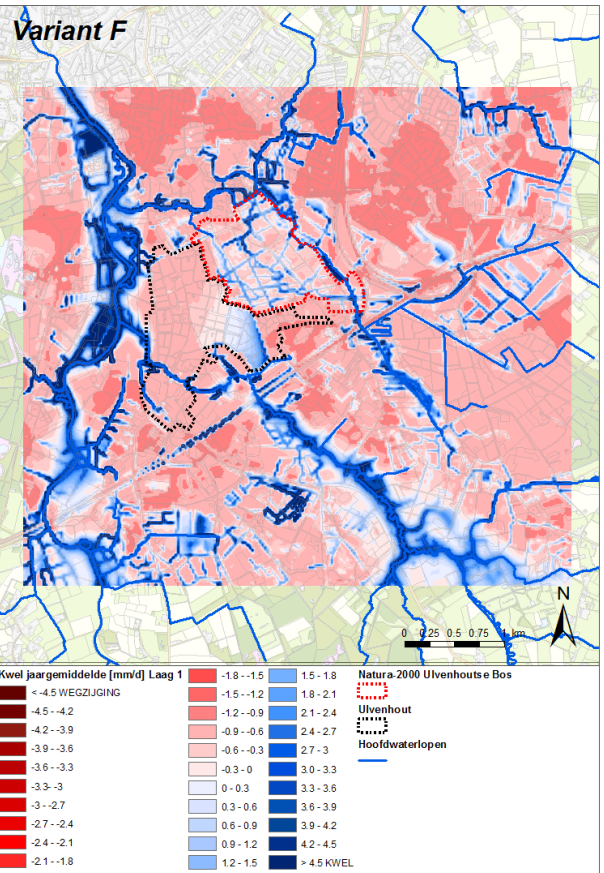
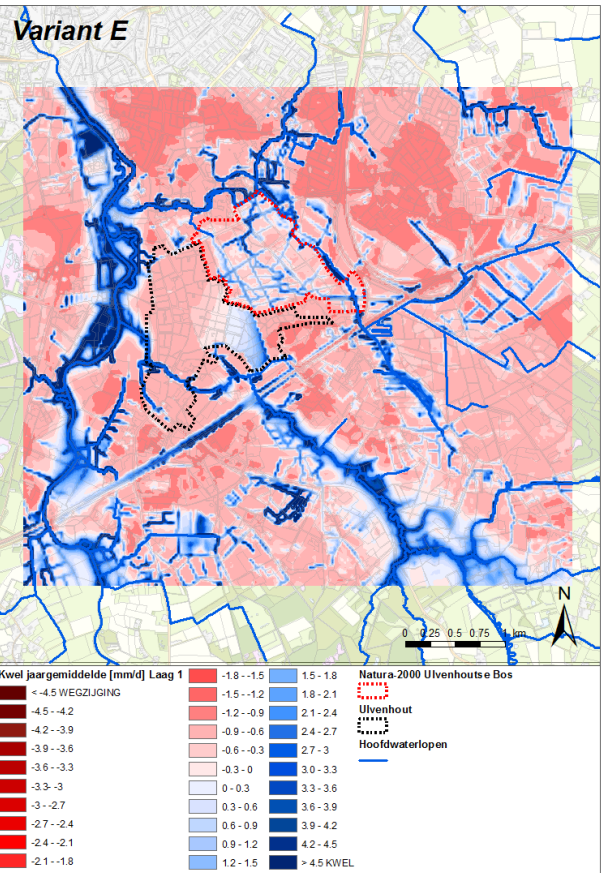
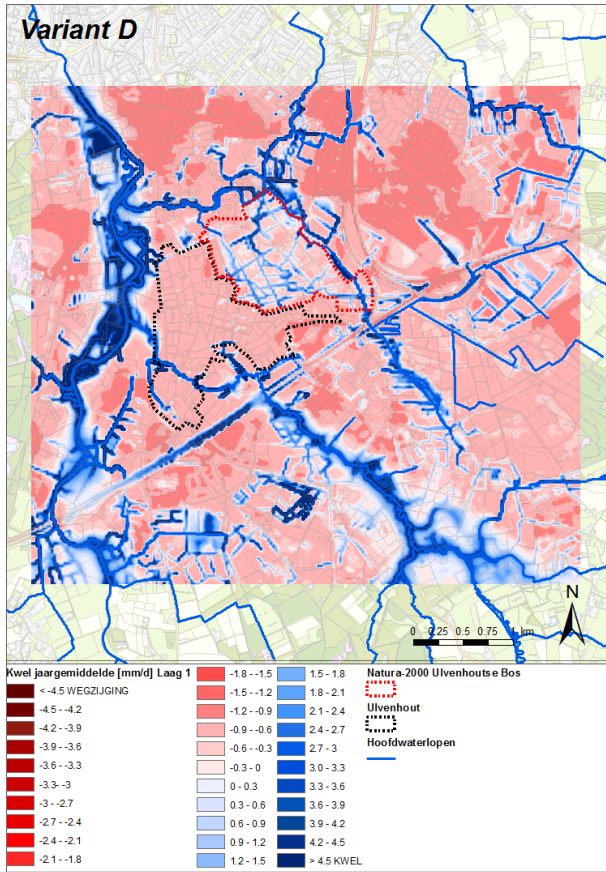
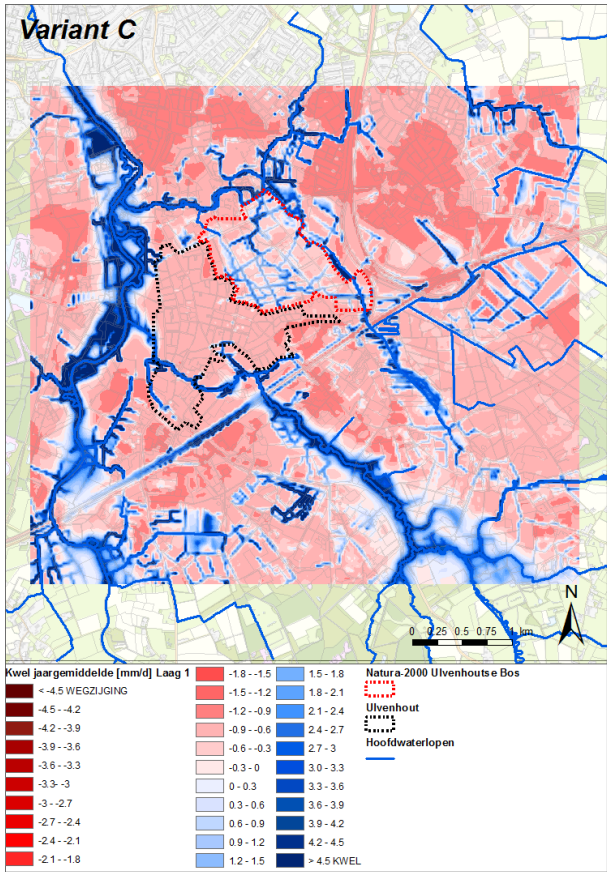
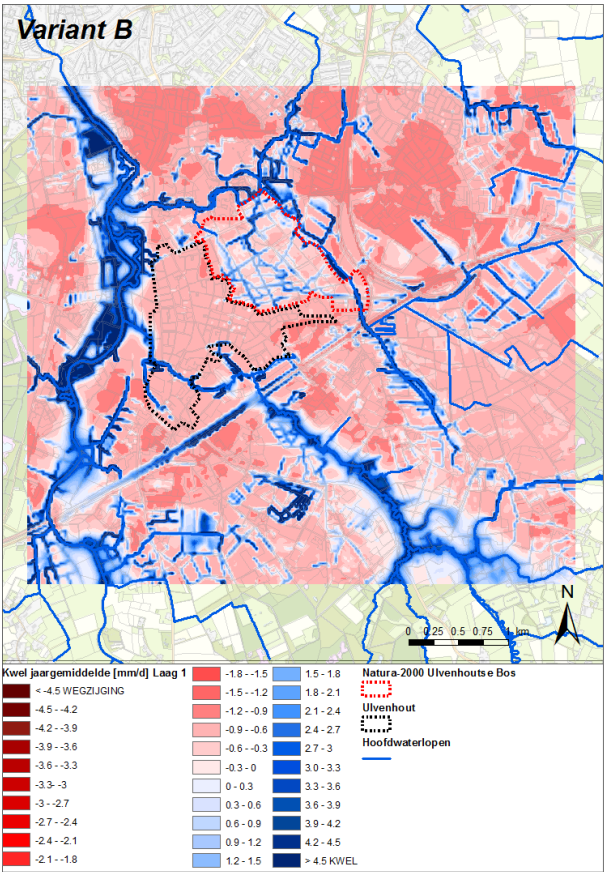
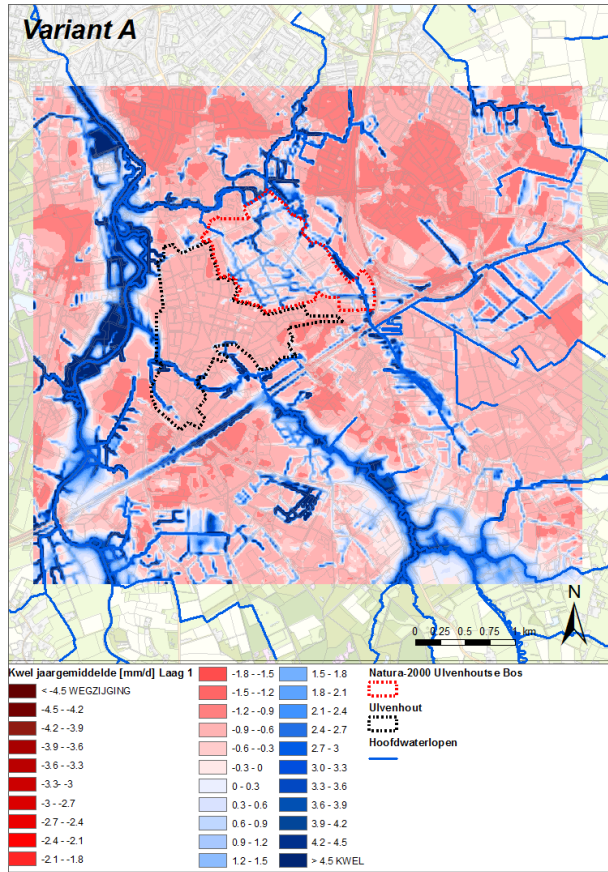
GLG – ten opzichte van maaiveld



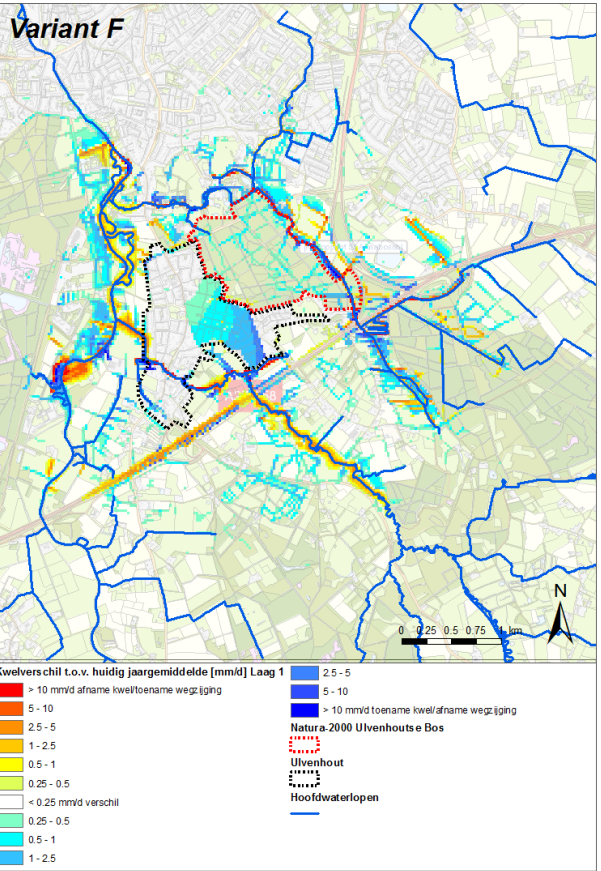
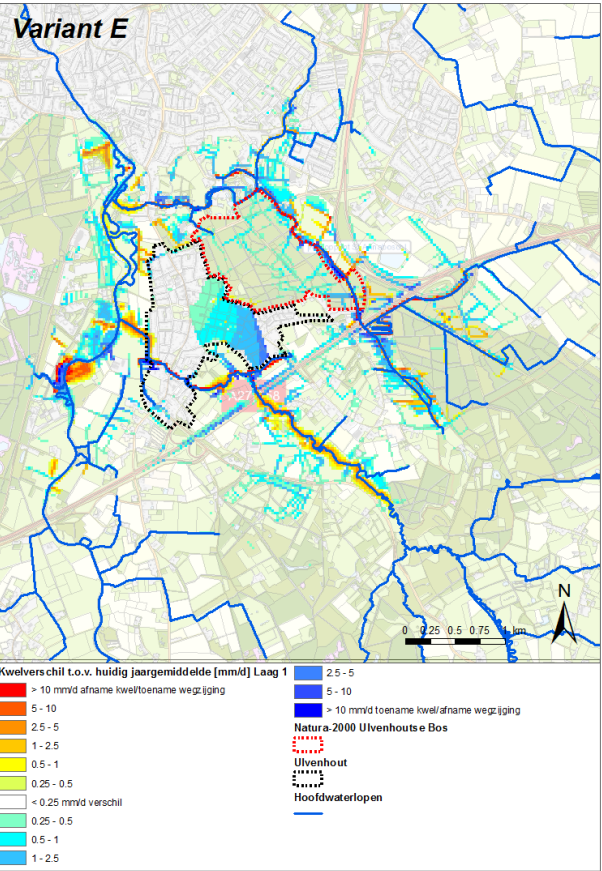
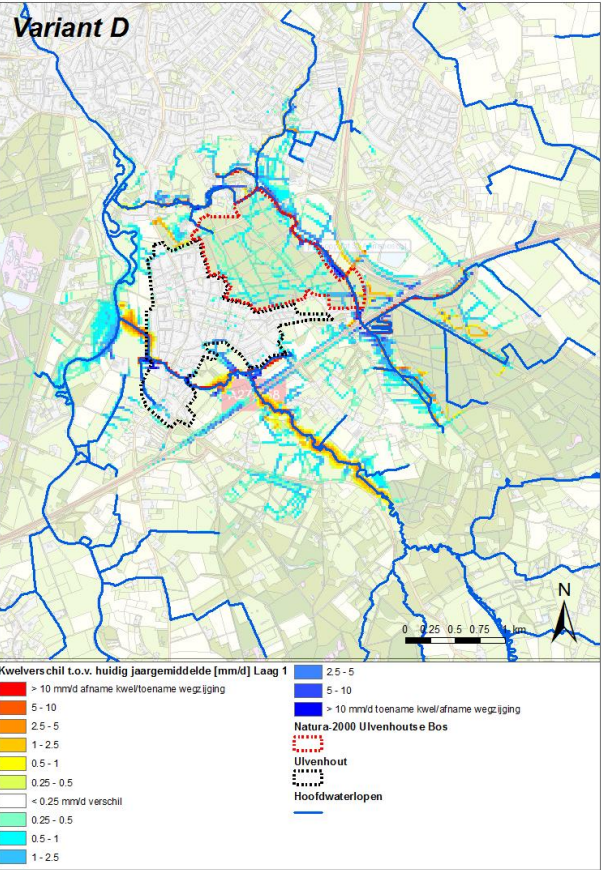
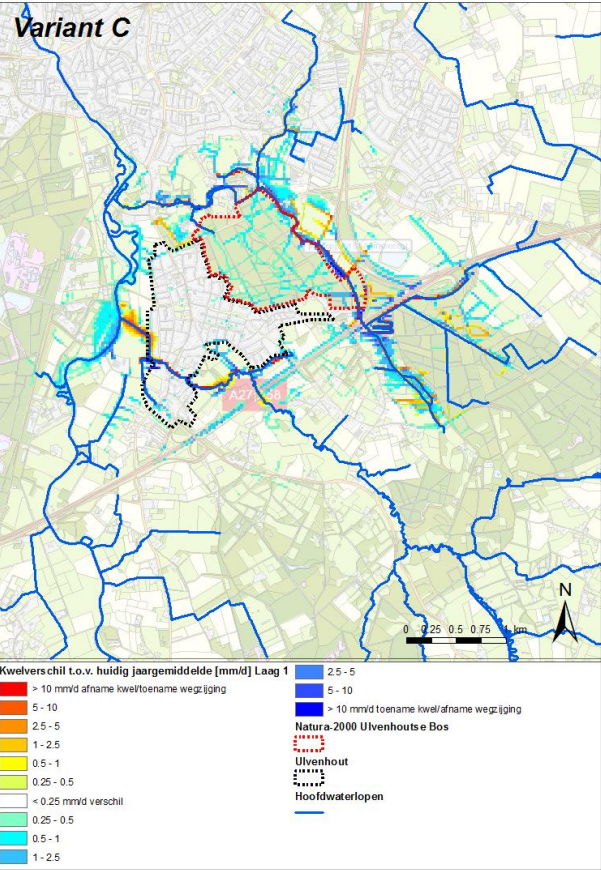
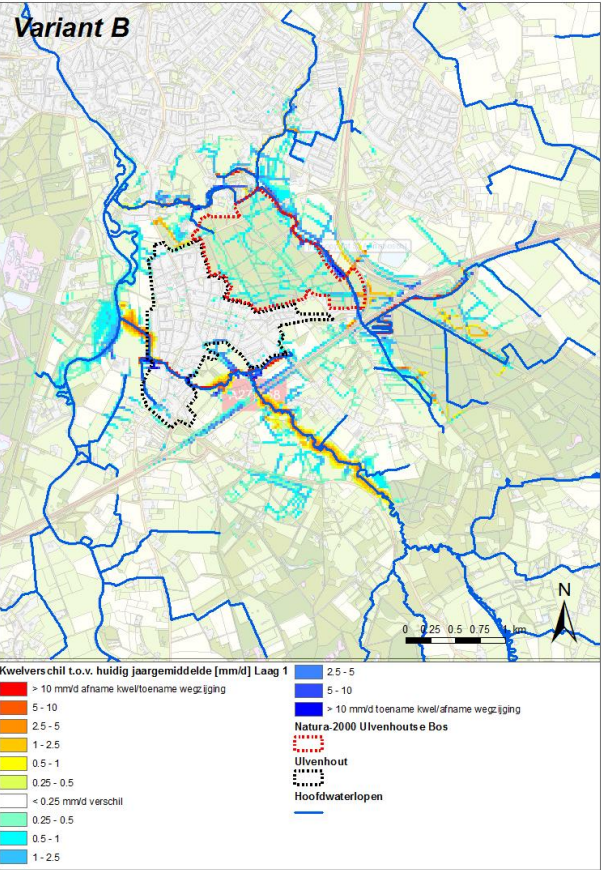
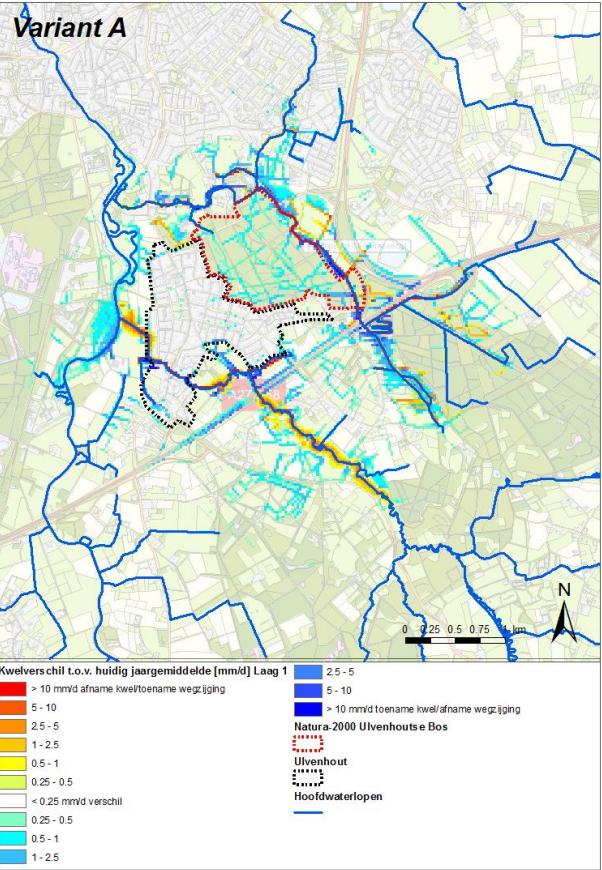
GLG [m+NAP]



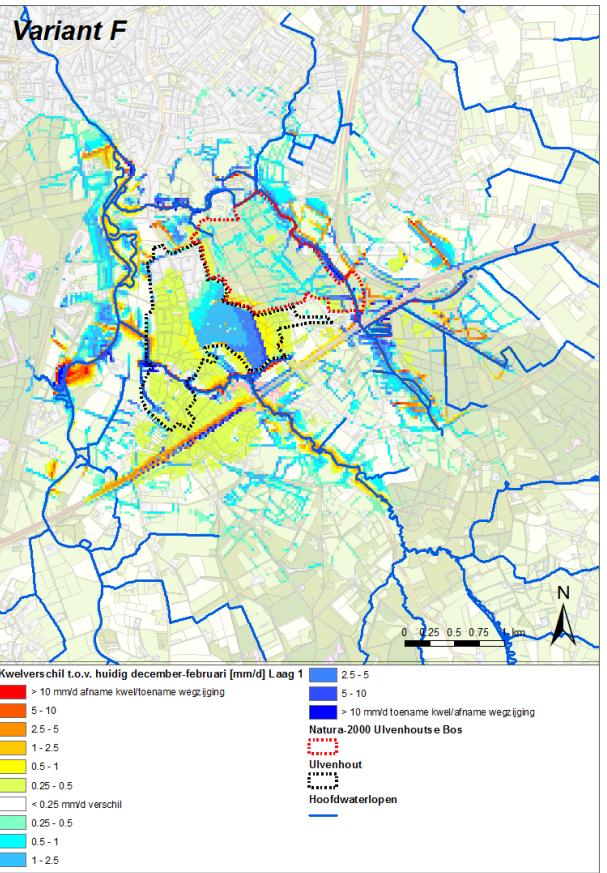
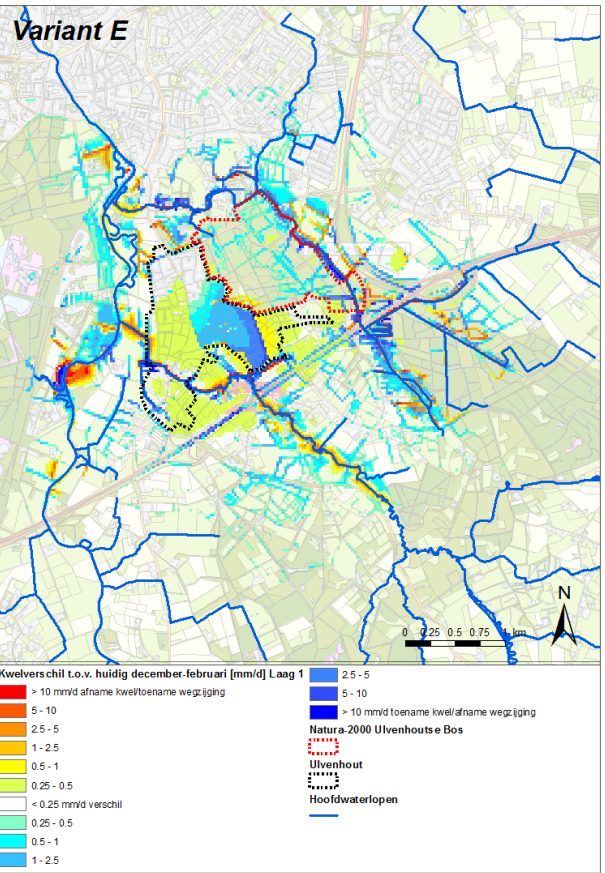
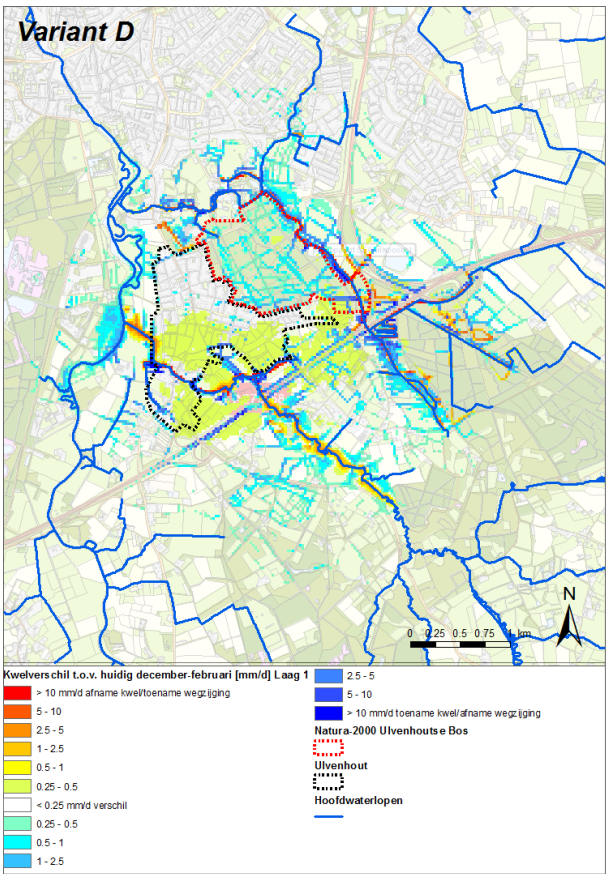
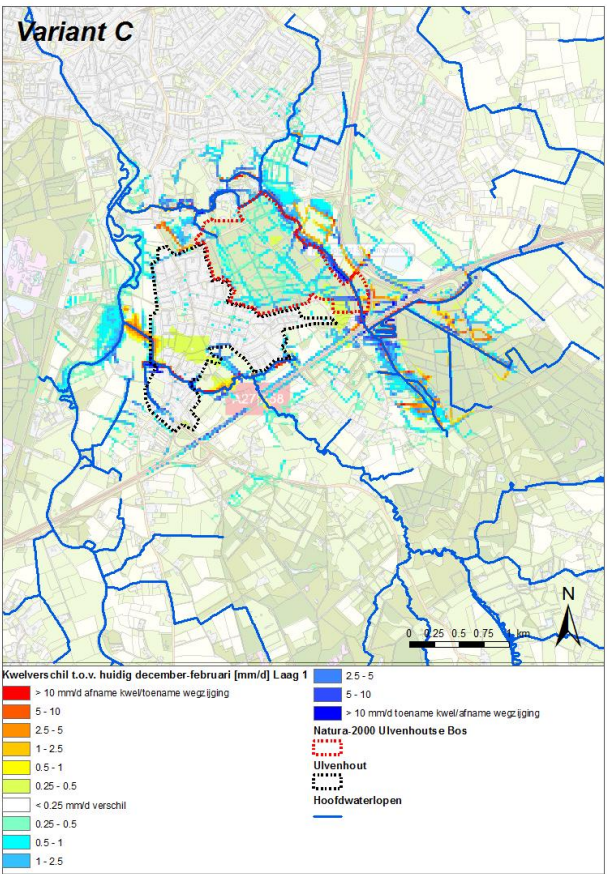
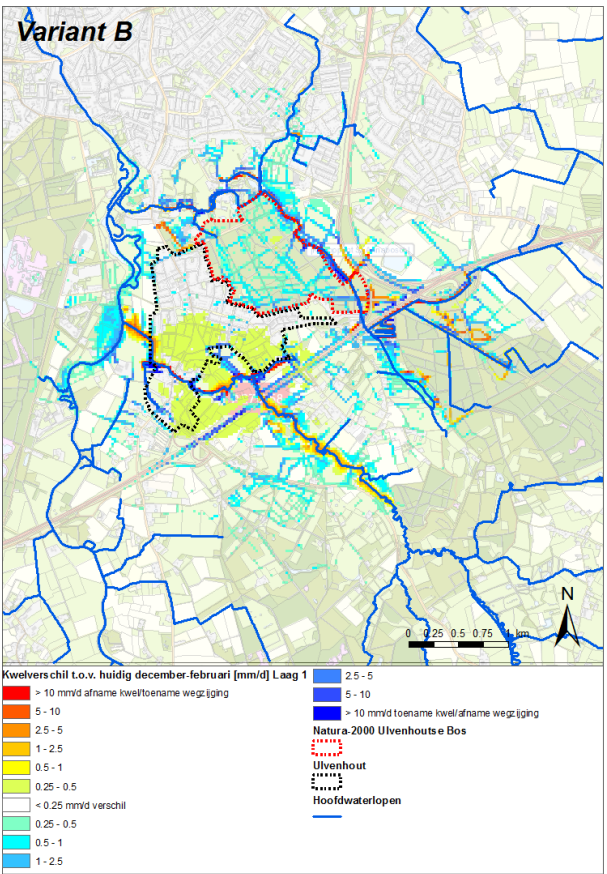
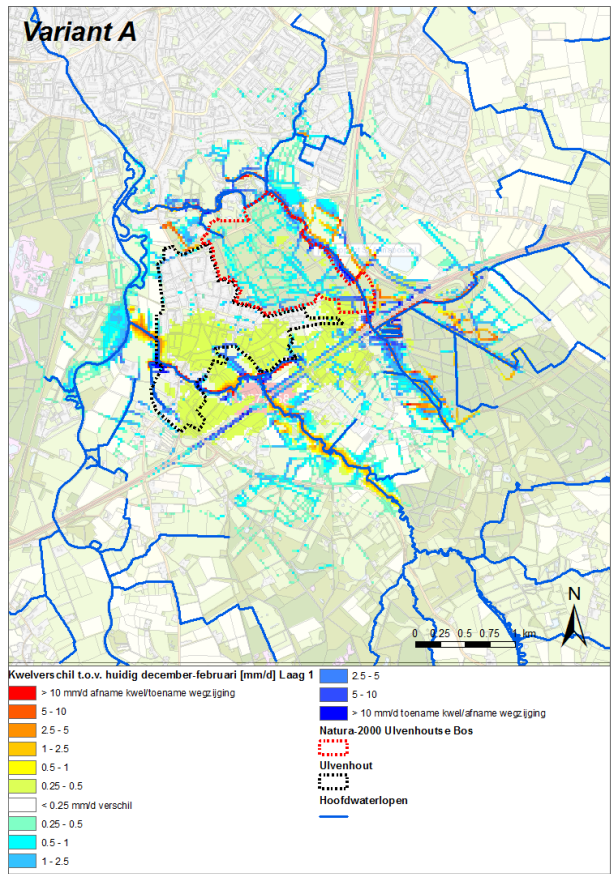
Gemiddelde kwelflux jaarrond



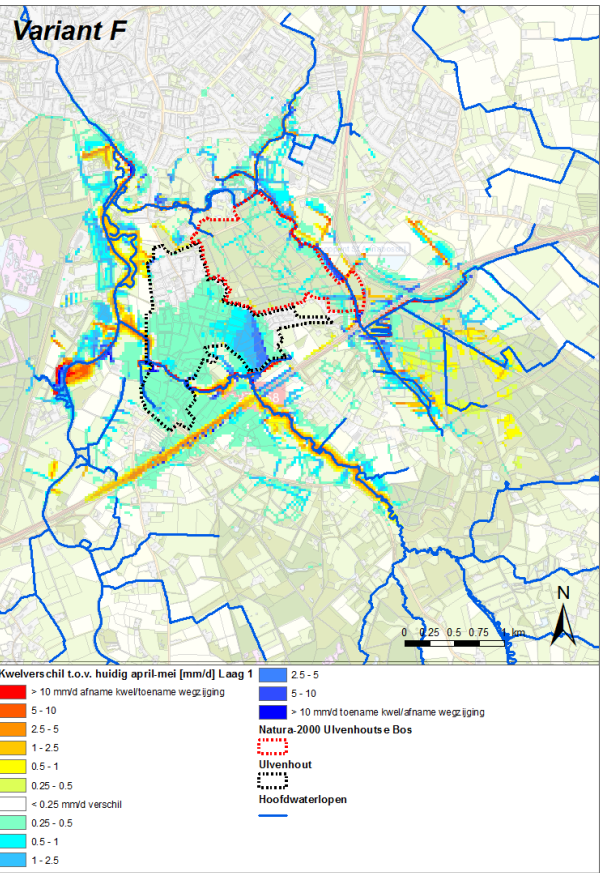
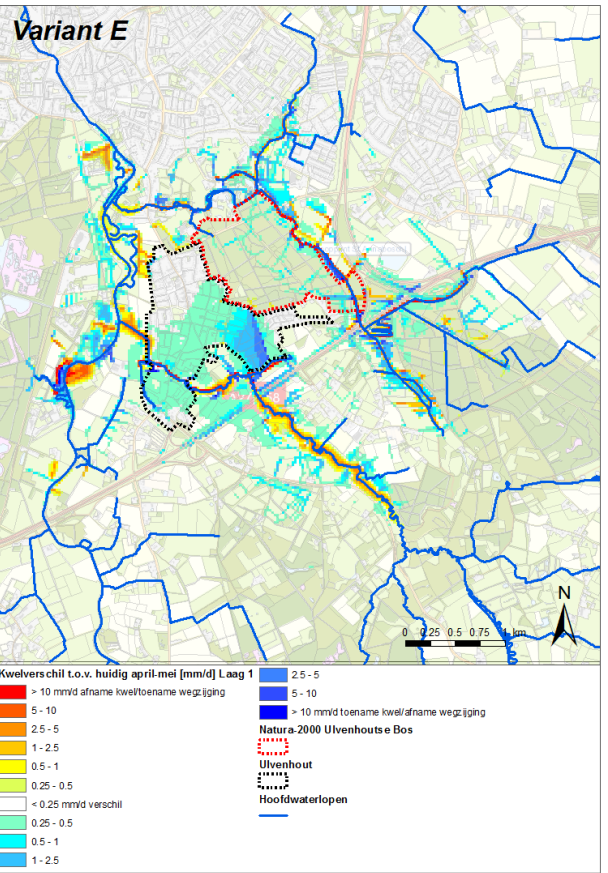
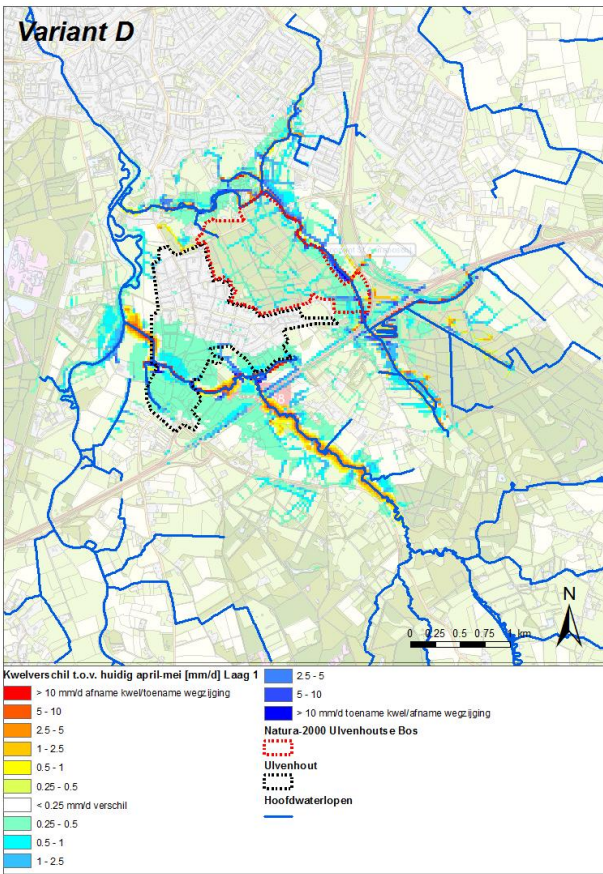
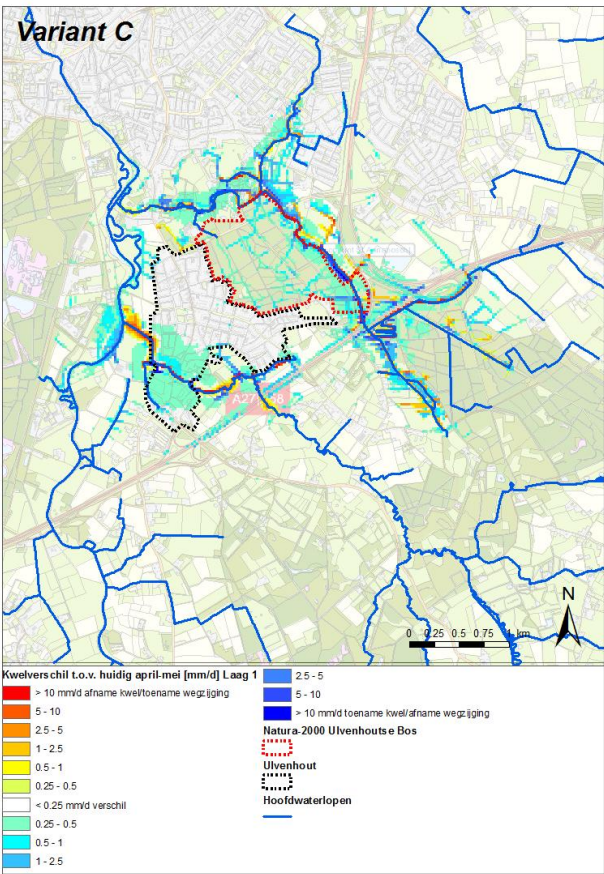
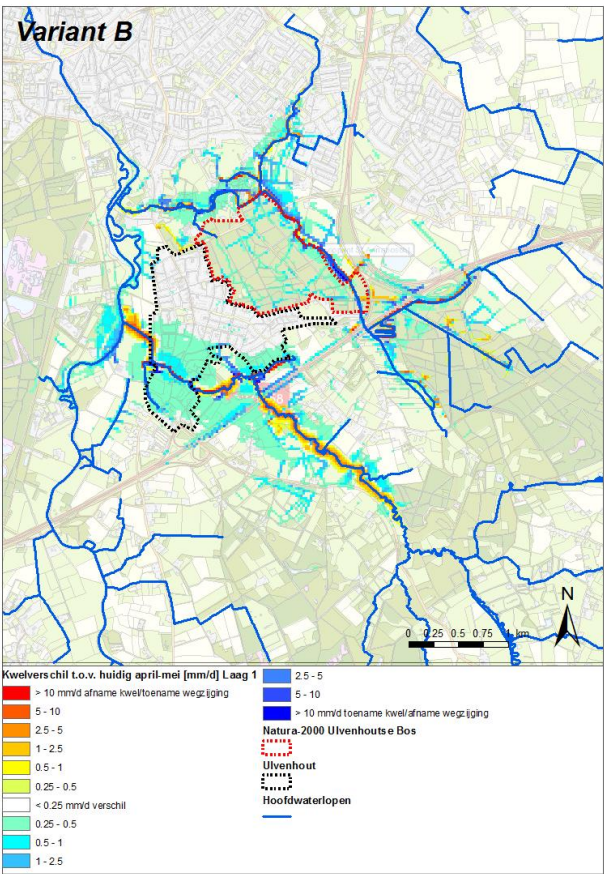
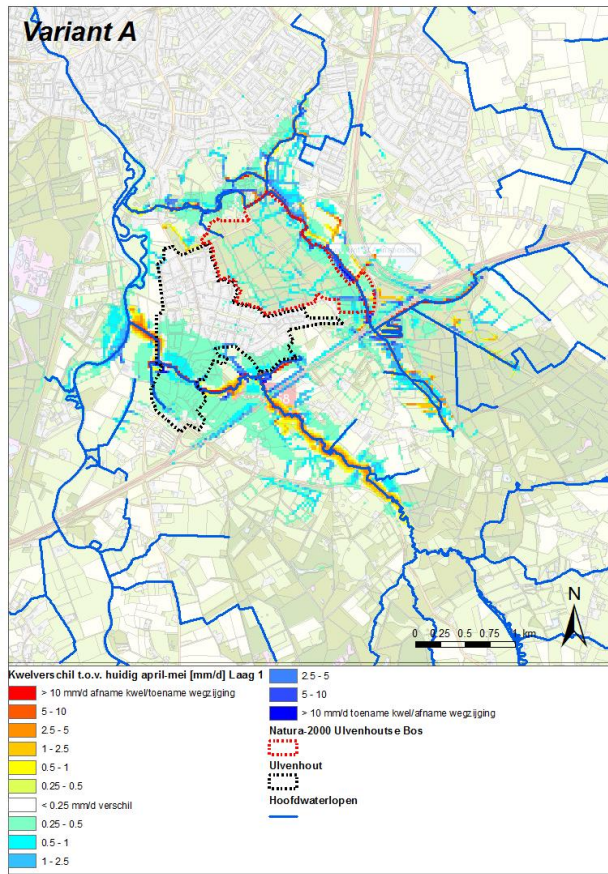
Gemiddelde jaarlijkse flux– verschil tussen referentie en rekenvariant



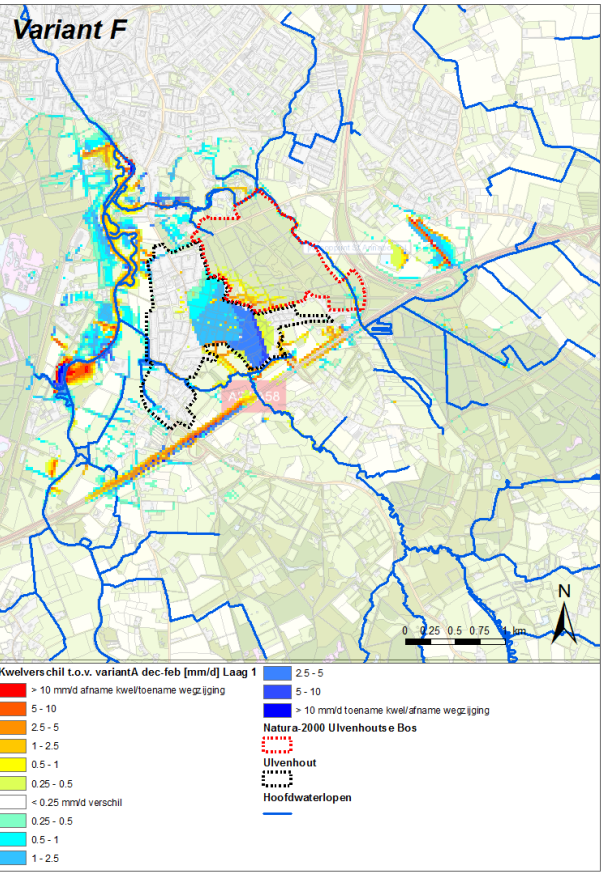
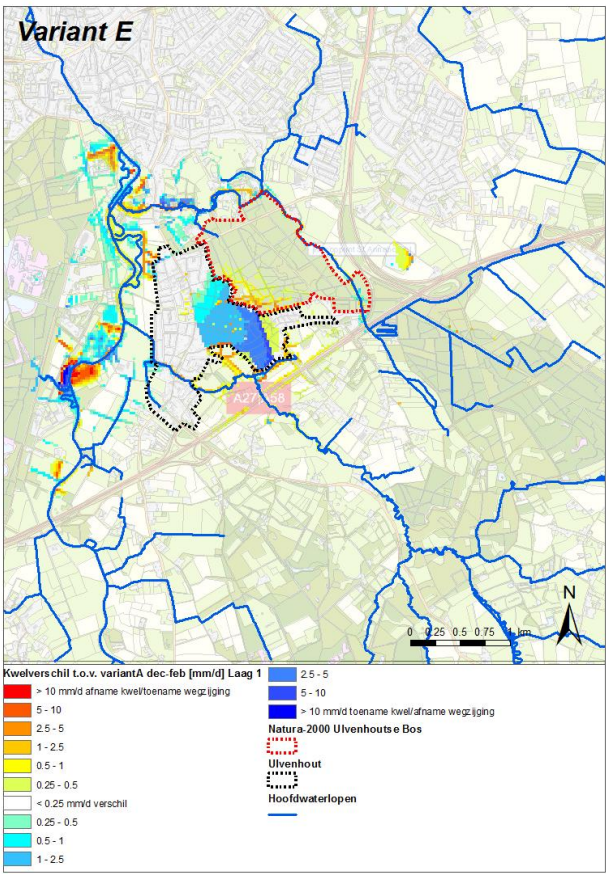
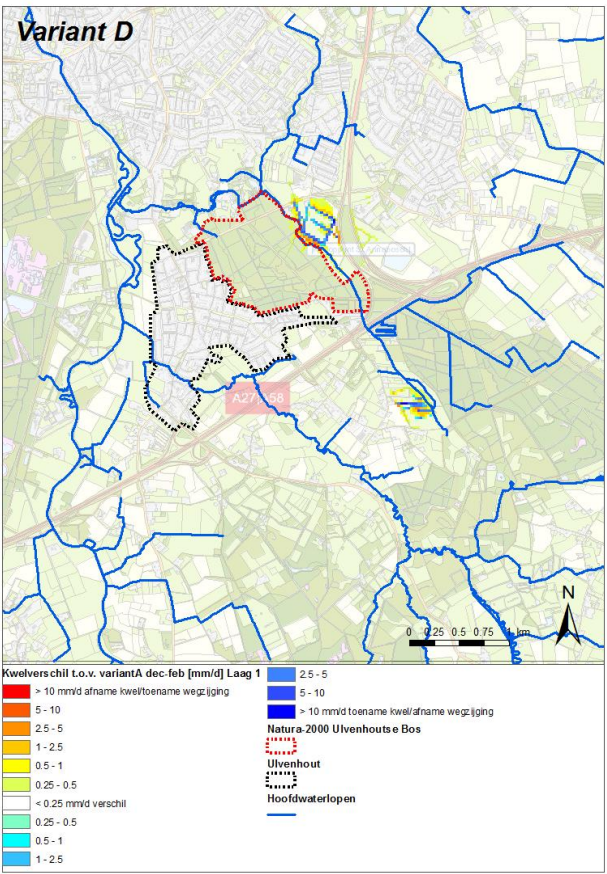
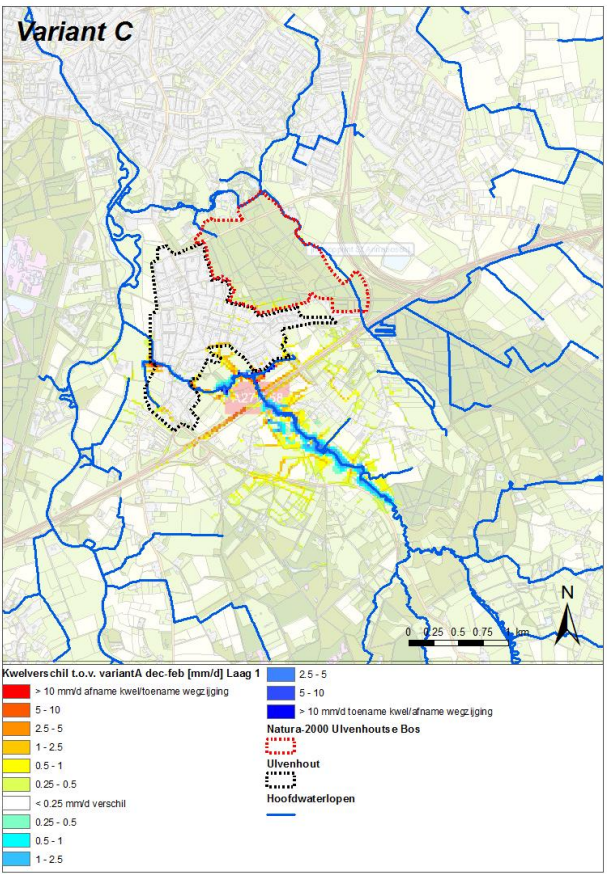
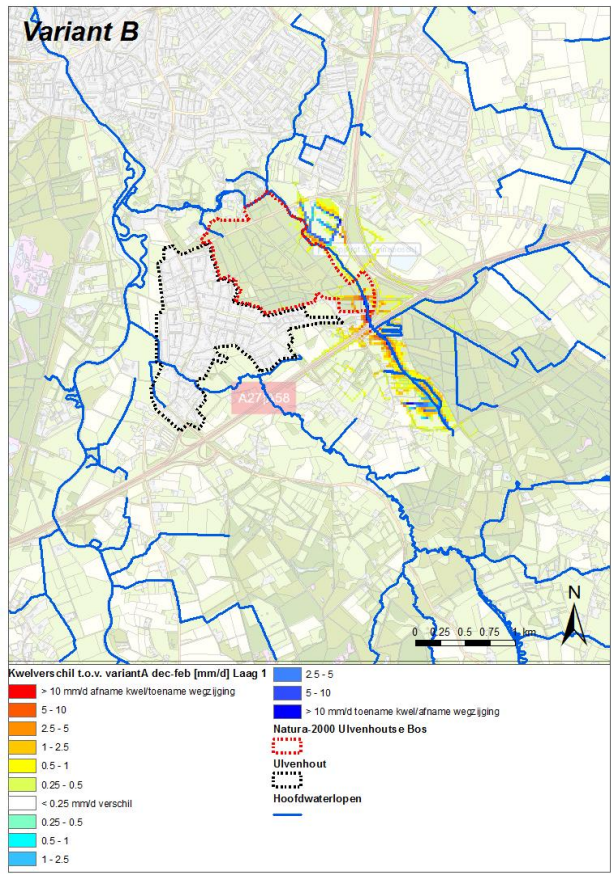
Gemiddelde flux december t/m februari – verschil tussen referentie en rekenvariant



Gemiddelde flux april t/m mei – verschil tussen referentie en rekenvariant

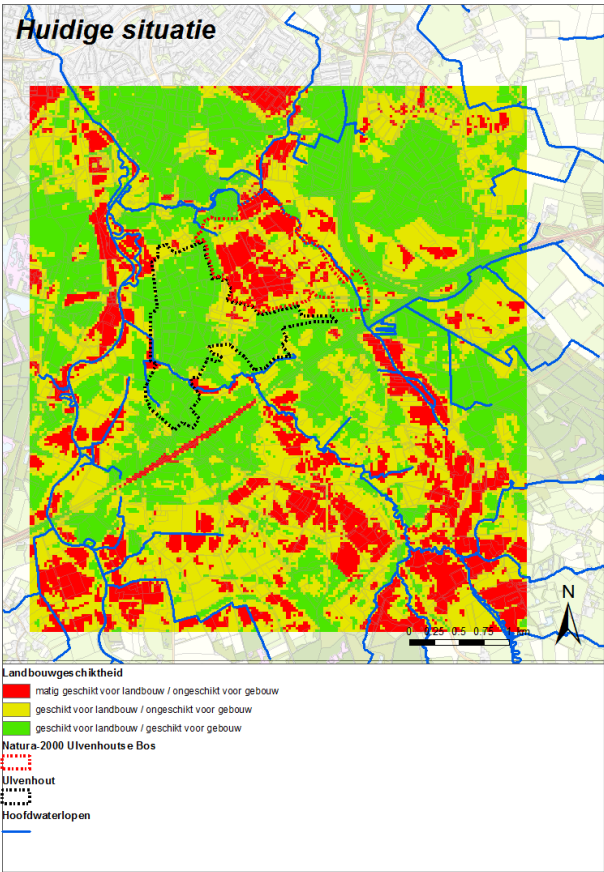
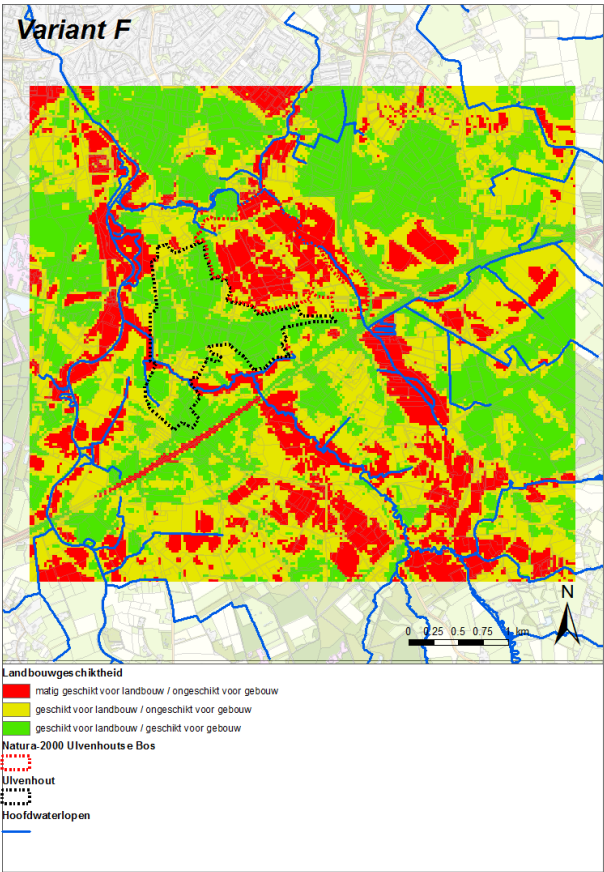
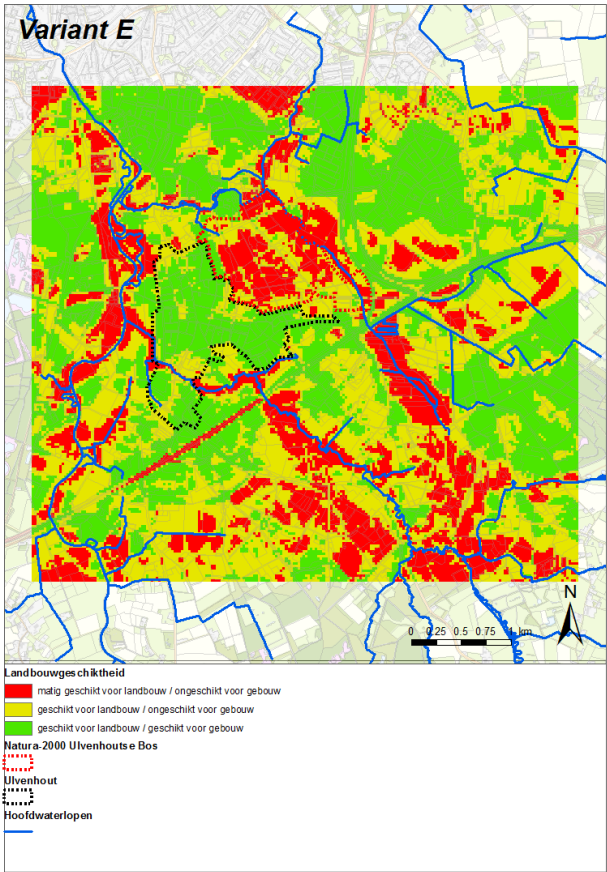


Gemiddelde flux december t/m februari – verschil tussen variant A en rekenvarianten B t/m F



Landbouw en bebouwingsgeschiktheid op basis van GHG t.o.v. maaiveld

- 0 tot 40 cm-mv ongeschikt voor landbouw en bebouwing
- 40 tot 100 cm-mv geschikt voor landbouw en ongeschikt voor bebouwing
- >100 cm-mv geschikt voor landbouw en voor bebouwing



BIJLAGE F PEILBUIZEN

NR	NAME	XCOORD	YCOORD	MAAIVELD	MLGL	MGL	MSGL	MHGL	TOP FILTER	BOT FILTER	MODELLAAG
1	B50B0393_1995-2015_1_2007-2015_1	113423	395825	1.9	0.59	0.77	0.78	0.99	1.4	-0.1	1
2	B50B0395_1995-2015_1_2007-2015_1	113640	396192	2.0	1.03	1.15	1.14	1.31	1.5	0.0	3
3	B50B0561_1995-2015_2_2007-2015_2	114430	396280	3.2	2.40	2.84	2.97	3.10	2.0	1.6	3
4	B50B1208_1995-2015_1_2007-2015_1	114490	395978	4.2	2.45	3.03	3.32	3.44	2.8	1.8	3
5	B50B1186_1995-2015_1_2007-2015_1	114550	395782	4.5	3.26	3.73	3.88	4.11	3.6	2.6	3
6	B50B1189_1995-2015_1_2007-2015_1	114557	396540	3.9	2.59	3.16	3.38	3.56	3.0	2.0	3
7	B50B0545_1995-2015_2_2007-2015_2	114745	396200	3.6	2.35	2.90	3.12	3.21	0.9	0.6	3
8	B50B1187_1995-2015_1_2007-2015_1	115003	395737	0.0	3.91	4.18	4.36	4.57	4.8	3.8	3
9	B50B0552_1995-2015_1_2007-2015_1	114943	396430	4.7	2.71	3.44	3.94	4.14	2.3	2.1	3
10	B50B0555_1995-2015_2_2007-2015_2	115060	396050	3.5	2.96	3.34	3.47	3.55	1.7	1.4	3
11	B50B0550_1995-2015_2_2007-2015_2	115100	396050	2.7	2.27	2.68	2.81	2.93	0.9	0.4	4
12	B50B1207_1995-2015_1_2007-2015_1	115314	395879	4.9	3.49	3.99	4.26	4.45	2.8	1.8	3
13	B50B1206_1995-2015_1_2007-2015_1	115041	396784	3.8	2.14	2.50	2.60	2.88	1.7	0.7	3
14	B50B1191_1995-2015_1_2007-2015_1	115144	396369	4.5	2.89	3.46	3.65	3.90	3.7	2.7	3
15	B50B1188_1995-2015_1_2007-2015_1	115346	396574	4.5	2.95	3.66	3.79	4.35	3.2	2.2	3
16	B50B1190_1995-2015_1_2007-2015_1	115420	396291	4.7	3.30	3.72	3.96	4.25	3.0	2.0	3
17	B50B0099_1995-2015_1_2007-2015_1	116484	396722	6.9	4.92	5.33	5.62	5.80	5.1	3.6	4
17	B50B0099_1995-2015_2_2007-2015_2	116484	396722	6.9	4.65	5.04	5.32	5.48	0.1	-1.4	8
17	B50B0099_1995-2015_3_2007-2015_3	116484	396722	6.9	3.90	4.36	4.60	4.78	-17.2	-18.7	11
17	B50B0099_1995-2015_4_2007-2015_4	116484	396722	6.9	3.81	4.29	4.52	4.71	-63.8	-65.3	14
17	B50B0099_1995-2015_5_2007-2015_5	116484	396722	6.9	3.17	3.70	3.94	4.12	-106.8	-108.3	19

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 1018
5200 BA 's-Hertogenbosch
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com

Projectnummer: C03091.000273
Onze referentie: 079676290 C