

Earth, Life & social SciencesPrincetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nl

T +31 88 866 42 56

TNO-rapport**TNO 2017 R10774****Grondwaterstanden rond verlaagde
Maasstanden na aanvaring stuw Grave**

Datum	Juni 2017
Auteur(s)	Willem Jan Zaadnoordijk Wiebe Borren (Deltares)
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	54(incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat t.a.v. de heer G. Claassens Spoorlaan Noord 2 6043 AK Roermond
Projectnaam	Grondwaterzandmaas 2016/2017
Projectnummer	060.22243/01.06

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2017 TNO

Samenvatting

Op 29 december 2017 zijn de Maaswaterstanden ongeveer 3 meter gedaald door een incident bij de stuw Grave. Vooruitlopend op de reparatie van de stuw is een tijdelijke dam aangelegd om de waterstanden weer op normale hoogte te brengen. Het meetnet 'grondwater Zandmaas' is uitgelezen en uit de gemeten grondwaterstanden is afgeleid hoe het grondwater in deze periode varieerde. De invloed van de daling van de Maaswaterstand is duidelijk te herkennen in de grondwaterstanden. In een smalle zone langs de Maas zijn grote dalingen opgetreden. De grootste gemeten daling was 2.3 meter in een peilbuis op 30 meter afstand van de Maas. In de meetpunten op meer dan 250 meter van de Maas was de gemeten daling kleiner dan 25 cm.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Aanpak	5
3	Gegevens.....	8
3.1	Maaspeilen	8
3.2	Grondwaterstanden	8
4	Resultaten	10
4.1	Isohypsen	10
4.2	Gemeten grondwaterstandsaling.....	15
4.3	Grondwaterresponsanalyse.....	16
5	Conclusies en aanbevelingen	18
6	Referenties	19
7	Ondertekening	20
	Bijlage(n)	
	A Meetpunten	
	B Isohypsen	
	C Verschil gemeten grondwaterstand 11 jan 2017 t.o.v. 28 dec 2016	
	D Respons van grondwaterstand op Maaspeilverlaging uit tijdreeksanalyse	

1 Inleiding

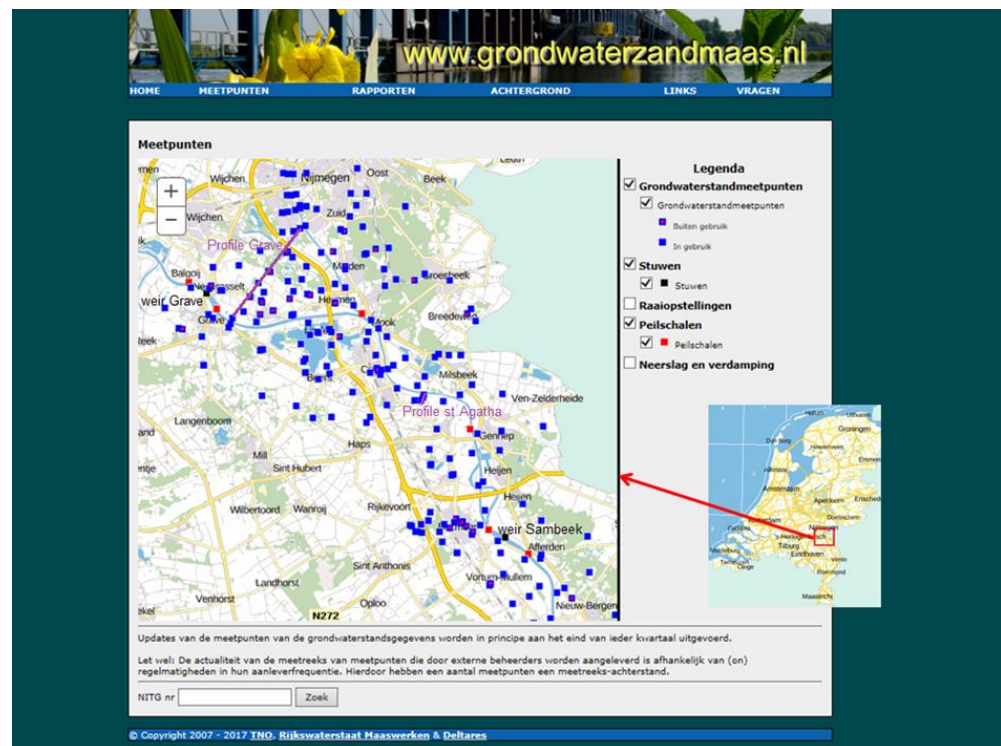
Op donderdag 29 december 2016 is een binnenvaartschip in de dichte mist door de stuw in de Maas bij Grave gevaren. Hierbij is de stuw dermate beschadigd dat het Maaspeil in het hele stuwpand van Grave tot Sambeek ongeveer 3 meter is gezakt. Om de Maaswaterstanden in het stuwpand zo snel mogelijk te herstellen is op 13 januari begonnen met de aanleg van een tijdelijke dam naast de stuw. Op 24 januari was de waterstand weer op een dusdanig niveau dat alle beperkingen voor de scheepvaart konden worden opgeheven.

De verandering in de Maaswaterstanden was duidelijk zichtbaar. De doorwerking naar het grondwater niet. De verwachting was dat de reactie van het grondwater geen problemen zou geven door de samenstelling van de ondergrond en het feit dat het incident buiten het groeiseizoen plaats vond. Het crisisteam van Rijkswaterstaat besloot om deze verwachting wel te verifiëren en de veranderingen in de grondwaterstanden te laten analyseren. De dataloggers van het meetnet stuwpand Grave en een deel van het meetnet stuwpand Sambeek van het project grondwater Zandmaas zijn daarvoor twee keer uitgelezen. De frequentie van meten is 1 maal daags. De frequentie van uitlezen is normale eens per kwartaal en dat was net in december gebeurd. De eerste tussentijdse uitleesronde vond plaats in de tweede week van januari. Op deze gegevens is een eerste snelle analyse van de metingen uitgevoerd. Naast de analyse van de metingen zijn de effecten van deze daling van de Maas op het grondwater berekend met de bestaande tijdreeksmodellen (Kuijper e.a., 2013). De gezamenlijke resultaten bevestigden de verwachting dat er geen grondwaterproblemen op zouden treden. Ruim nadat de Maaswaterstanden hersteld waren is de tweede tussentijdse uitleesronde uitgevoerd (eind februari, begin maart), om ook het herstel van de grondwaterstanden te kunnen analyseren en een compleet overzicht van de grondwaterstanden rond de periode met verlaagde grondwaterstanden te kunnen geven.

Hierbij is verder geen gebruik gemaakt van de tijdreeksmodellen of van het Zandmaasgrondwatermodel.

2 Aanpak

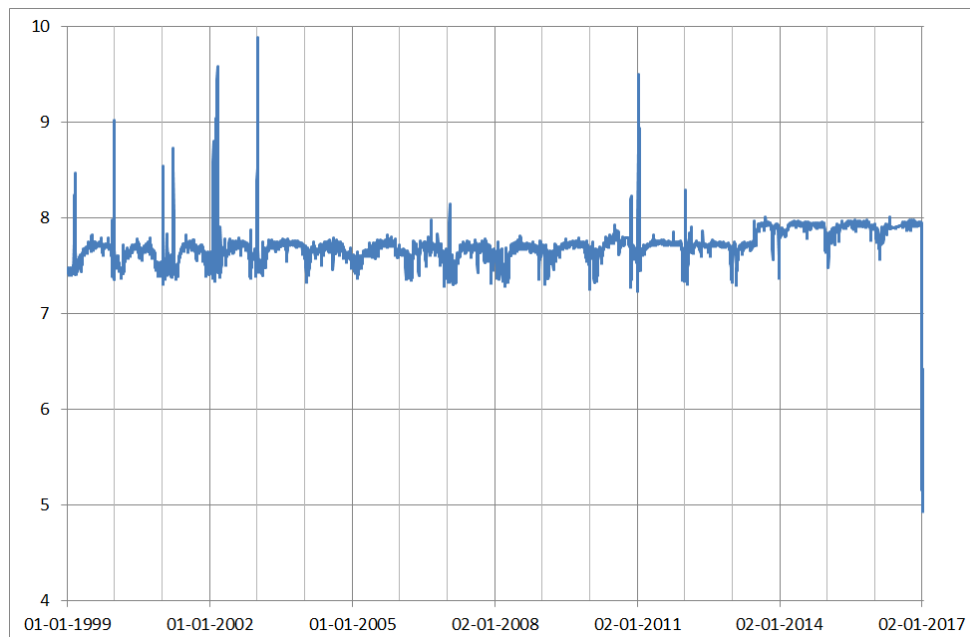
Het meetnet Grondwater Zandmaas is een uitgebreid meetnet van peilbuizen waarin de stijghoogten eens per dag worden opgenomen met dataloggers. De gegevens worden online beschikbaar gemaakt via <http://www.grondwaterzandmaas.nl> (zie Figuur 1).



Figuur 1 website van het meet net grondwater Zandmaas

De dichtheid van het meetnet is wel groot, maar toch was het gewenst om een vlakdekkend beeld van de grondwaterstanden te geven. Theoretisch is de beste manier om stijghoogten in te vullen tussen meetpunten het gebruik van een grondwatermodel, omdat dan rekening gehouden kan worden met regionale stroming en lokale invloeden op het grondwater zoals oppervlaktewater en onttrekkingen en opbolling door neerslag.

Een grondwatermodel kan ook gebruikt worden om het effect van de verlaagde Maaswaterstand te scheiden van variaties door andere invloeden, zoals de neerslag. Hiervoor moet het model het grondwatersysteem en de interactie met de Maas wel goed beschrijven. Voor het bestaande grondwatermodel is de vraag of dat het geval is. Het model is namelijk nooit toegepast bij zulke lage Maaswaterstanden. Figuur 2 laat zien dat de daling van 3 meter extreem is ten opzichte van de standen die de afgelopen jaren zijn voor gekomen. De stuw bij Grave is 1928 gebouwd en sindsdien zijn de standen niet zo laag geweest.



Figuur 2 maaswaterstanden RWS-meetpunt Grave Boven

Het is mogelijk dat het grondwater bij deze lage standen anders reageert door bijvoorbeeld het droogvallen van drainagemiddelen of het omslaan van kwel naar infiltratie. Bovendien is het niet gecalibreerd op de veranderingen door de Maaswerken zoals die sinds het opzetten van het model uitgevoerd zijn. Het zou een aanzienlijke inspanning vragen om de toepasbaarheid van het model te valideren.

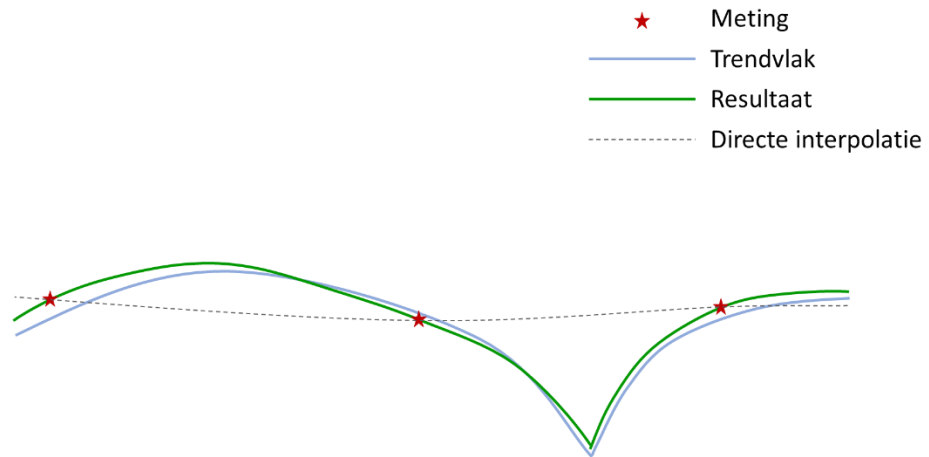
Aan het gebruik van de bestaande tijdreeksmodellen om het effect van de verlaagde Maaswaterstand te bepalen kleven vergelijkbare bezwaren. Ook de tijdreeksmodellen zijn opgesteld zonder dergelijke lage Maaswaterstanden en bevatten de interactie tussen de stijghoogten en de Maas van voor de Maaswerken. Bij gebruik van tijdreeksanalyse, zou nog wel tussen de meetpunten geïnterpoleerd moeten worden. Daarvoor kan gebruik gemaakt worden van vlakdekkende tijdreeksanalyse (van Loon & Zaadnoordijk, 2013), als alternatief voor een grondwater model, dat minder inspanning vereist en wel rekening kan houden met randvoorwaarden van het grondwatersysteem.

Er is gezocht naar een alternatief omdat het de vraag is of het grondwatermodel en de tijdreeksmodellen de verlaging nauwkeurig beschrijven en omdat het gebruik daarvan een flinke inspanning vraagt.

Directe interpolatie tussen meetpunten is niet geschikt omdat dit over het algemeen slechte resultaten oplevert (zie bijv. Tonkin & Larson (2002)). De pieken en dalen komen bij de meetpunten te liggen waardoor het resultaat niet aansluit bij regionale stroming en lokale invloeden zoals oppervlaktewater en grondwateronttrekkingen. Dit alternatief is wel gevonden in de Isohypsentool van de Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN). Deze tool is nog niet online beschikbaar als webtool op de website van de GDN, maar kan al wel offline gebruikt worden.

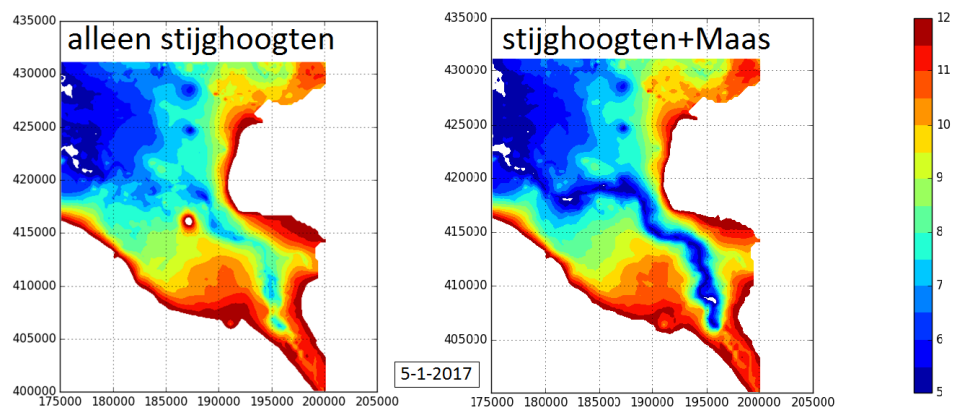
De GDN-Isohypsentool (Dabekaussen & Zaadnoordijk, 2017) gebruikt wel interpolatie, maar past deze niet direct toe op de metingen. Hij gebruikt vlakdekkende stationaire stijghoogten als trendvlak. Deze stijghoogten zijn

berekend met het landelijk hydrologisch model (LHM) van het Nederlands Hydrologische Instrumentarium (NHI, zie <http://www.nhi.nu>). Als eerste stap wordt het verschil van de metingen met het trendvlak bepaald. Deze verschillen worden vervolgens ruimtelijk geïnterpoleerd met behulp van kriging. De geïnterpoleerde verschillen en het trendvlak worden bij elkaar opgeteld. Het resultaat past bij de metingen en sluit aan bij heersende grondwatergradiënten uit het LHM (zie Figuur 3).



Figuur 3 interpolatie met trendvlak

Ook uit de interpolatie blijkt weer dat de Maaswaterstanden extreem zijn. De lage waterstanden veroorzaken gradiënten die zo sterk afwijken van de LHM-resultaten dat het trendvlak onvoldoende richting geeft om bij de rivier een goede interpolatie te maken.

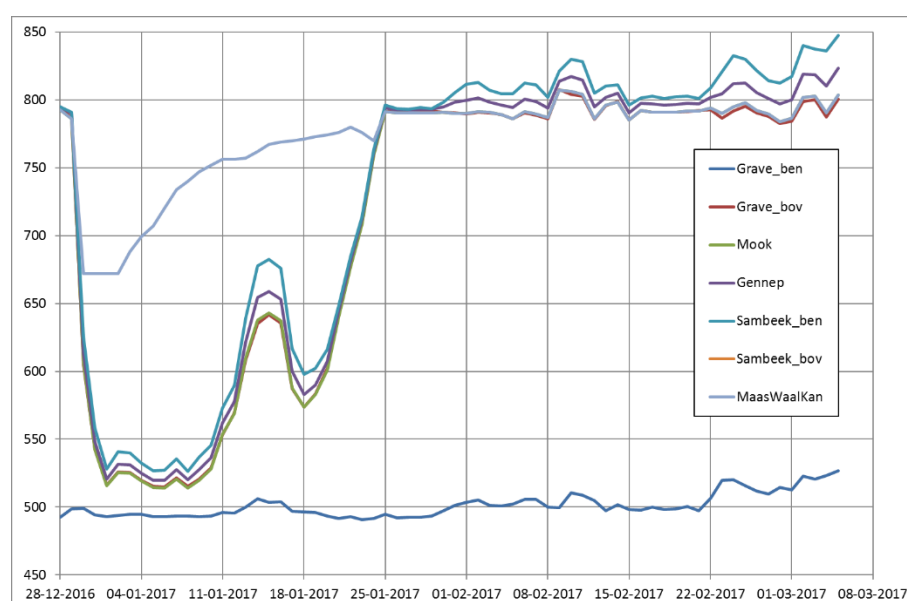


Figuur 4 Interpolatie van stijghoogten zonder en met Maaswaterstanden in fictieve meetpunten

3 Gegevens

3.1 Maaspeilen

Maaspeilen zijn gebruikt van de stations Grave beneden, Grave boven, Mook, Gennep, Sambeek beneden en Sambeek boven zoals deze op <http://www.grondwaterzandmaas.nl> beschikbaar zijn. De ontbrekende waarden bij station Gennep voor 30 en 31 december 2016 zijn Sambeek zijn geïnterpoleerd uit de waarden van Mook en Sambeek boven. Rijkswaterstaat heeft waarden aangeleverd voor het Maas-Waalkanaal voor 30 december 2016 – 24 januari 2017. Deze zijn aangevuld met de waarden van Mook buiten deze periode. Figuur 5 geeft de resulterende Maaspeilen, die ook gebruikt zijn voor de analyse.



Figuur 5 Maaspeilen

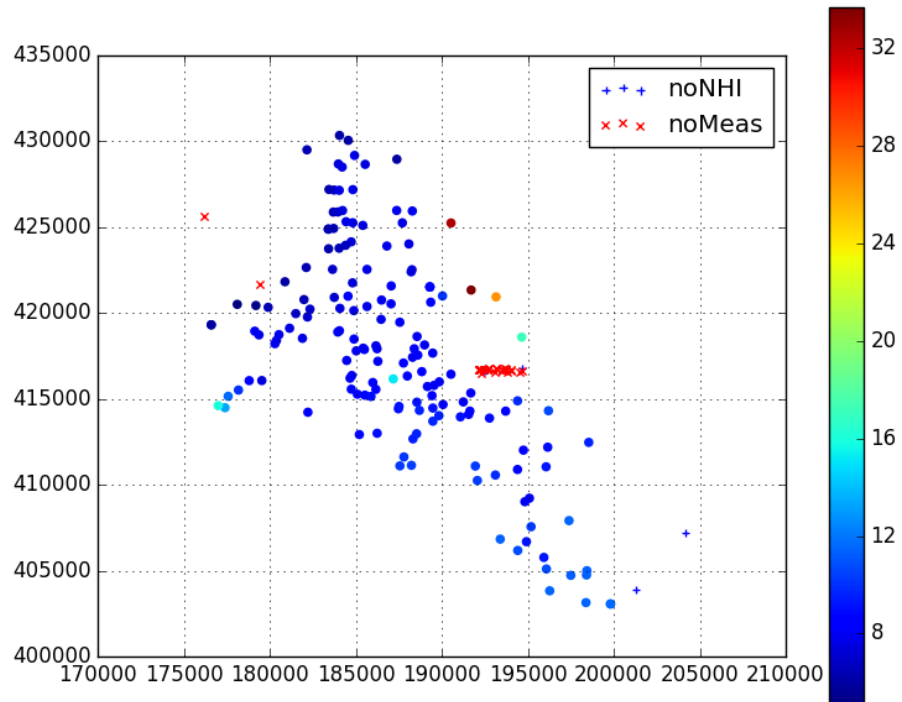
De Maaspeilen zijn ingevoerd in de analyse op punten langs de as van de Maas waar de waterstanden bepaald zijn door lineaire interpolatie langs de rivieras tussen het boven- en benedenstrooms gelegen meetstation. Bovenstrooms van de stuw Sambeek is de waarde van Sambeek boven gebruikt en benedenstrooms van Grave is Grave beneden gebruikt, zonder interpolatie.

3.2 Grondwaterstanden

De grondwaterstanden van het meetnet grondwater Zandmaas zijn niet alleen op het portaal <http://www.grondwaterzandmaas.nl> beschikbaar, maar ook op <http://www.dinoloket.nl>. Hier zijn de waarden makkelijker op te halen en er kunnen bovendien nog andere metingen beschikbaar zijn. Alle grondwaterstanden binnen het gebied van het meetnet zijn opgehaald uit Dinoloket voor de periode van 28 december 2016 tot 5 maart 2017.

Er zijn 163 peilbuizen met een grondwaterstand voor 28 december 2016 (zie Figuur 6). Deze waarden zijn gebruikt als referentiewaarden. Onder verwaarlozing van

andere invloeden kan voor deze buizen de daling door het Maaspeil benaderd worden als het verschil van de grondwaterstand met deze referentiewaarde.



Figuur 6 meetpunten met een grondwaterstand op 28 december 2016 ('noNHI' betekent dat het meetpunt niet gebruikt kan worden in de interpolatie omdat het trendvlak geen waarde heeft; 'noMeas' geeft aan dat geen meting beschikbaar is)

Totaal zijn er 186 peilbuizen met waarden in de geselecteerde periode. De 23 hiervan zonder meting op 28 december 2016 geven geen inschatting van de daling door de Maas op die plek, maar dragen wel bij aan de interpolatie van de grondwaterstanden op de datums dat ze een meting hebben.

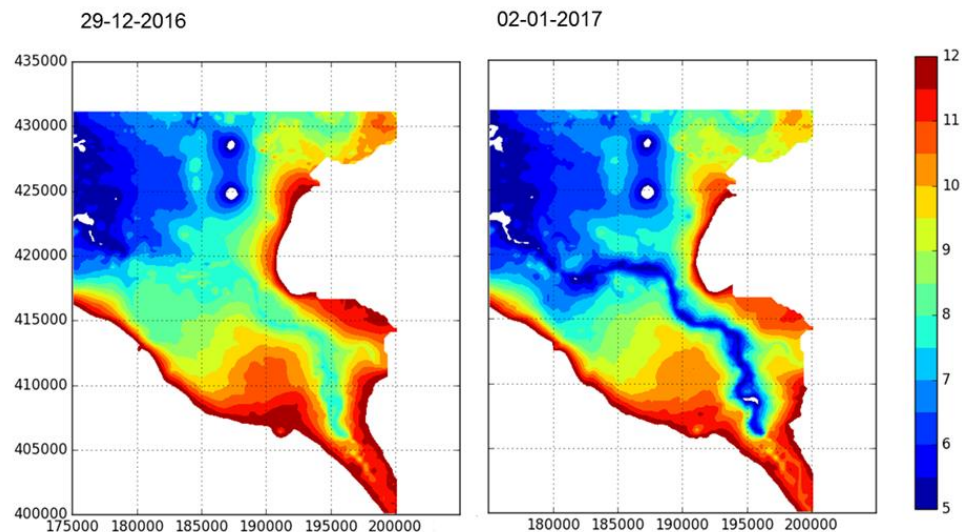
Na de eerste uitleesronde zijn minder gegevens beschikbaar dan ervoor. Vanaf 15 januari 2017 zijn er minder dan 150 metingen per dag beschikbaar. Met het starten van de In de tweede tussentijdse uitleesronde daalt het aantal verder. Na 21 februari 2017 zijn er minder dan 100 peilbuizen waarvoor metingen beschikbaar zijn. Het een en ander heeft te maken dat de monitoring van de meetpunten door verschillende organisaties wordt uitgevoerd.

Het aantal peilbuizen is kleiner dan het aantal meetpunten in het Zandmaasmeetnet voor stuwpand Grave, omdat gegevens van meetpunten van derden ontbreken. Bijlage A geeft de metingen per dag samen met het Maaspeil, waarbij de hoogte van het grondwater in kleur is weergegeven.

4 Resultaten

4.1 Isohypsens

De GDN-IsohypsensTool (Dabekaussen & Zaadnoordijk, 2017) is gebruikt om per dag en isohypsenbeeld te maken. Hiervoor zijn naast de gemeten grondwaterstanden op de betreffende dag, ook Maaspeilen gebruikt.



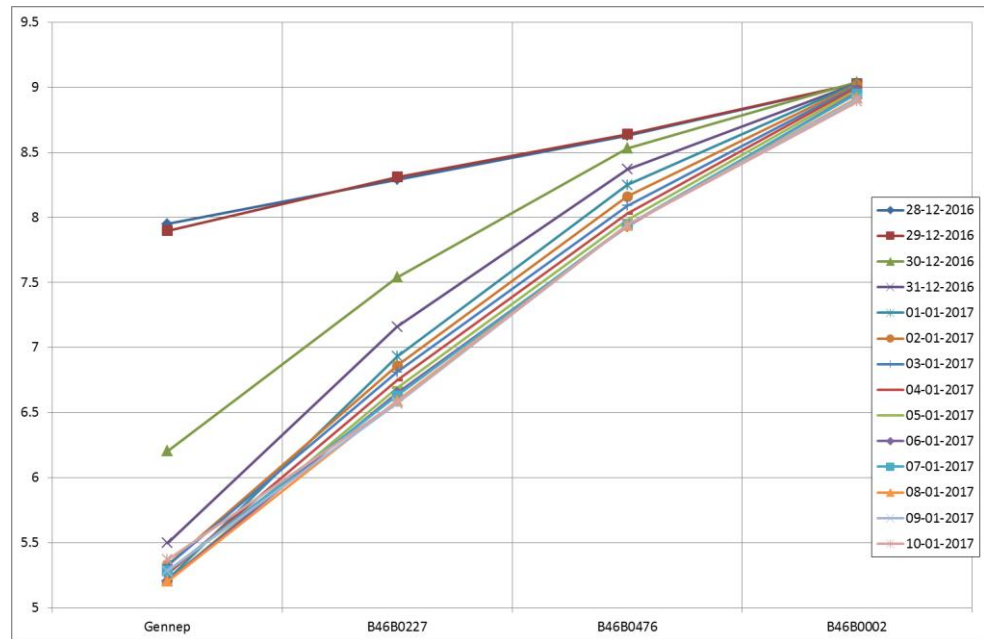
Figuur 7 Isohypsens voor en na het incident bij Grave

Figuur 7 laat de isohypsens vlak voor en vier dagen na de aanvaring van de stuw Grave zien. De daling van de grondwaterstanden langs het stuwpannd Grave is duidelijk te zien aan de donkerblauwe band in het midden van het rechter deel van de figuur.

Bijlage B geeft een uitgebreide verzameling isohypsensplaatjes. De eerste dagen na de verlaging van het Maaspeil groeit het gebied met lage grondwaterstanden zichtbaar. Vanaf 3 januari verschuiven de isohypsens niet zichtbaar meer bij het gebruikte contourinterval van 0.5m. De maximale daling door de lage Maaspeilen lijkt dus al binnen een week bereikt.

4.1.1 *Daling grondwaterstand na incident*

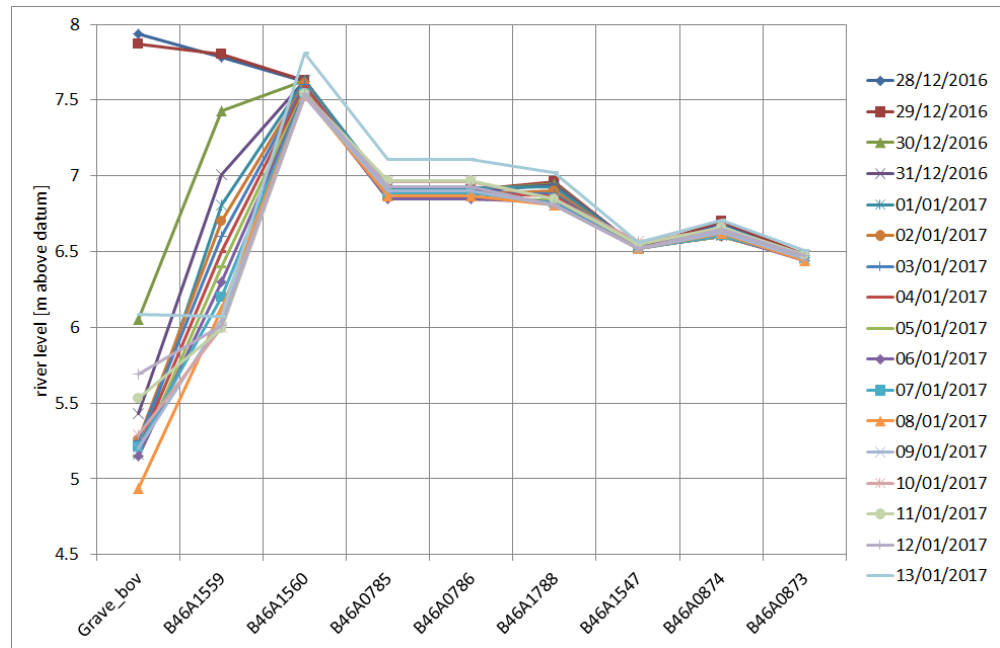
Figuur 8 illustreert de geringe verandering na een paar dagen aan de hand van de korte raai GR24 bij St. Agatha (aan de zuidkant van de Maas oostelijk van Cuijk, zie Figuur 1).



Figuur 8 Daling van grondwaterstanden in raai St. Agatha (GR24) met het meetstation Gennepe als Maaswaterstand (N.B. afstanden niet op schaal)

De peilbuizen B46B0227, B46B0476 en B46B0002 bevinden zich respectievelijk op ongeveer 100, 300 en 450 meter van de Maasoever. Figuur 8 laat zien dat de grondwaterstand na 3 januari nog wel een decimeter daalt in B46B0227, maar dan wel stabiliseert. De buis op de grootste afstand stabiliseert niet in deze periode, maar de totale daling is nog geen 20 cm.

Figuur 9 toont grondwaterstanden in een raai noordelijk van Grave (Figuur 1).

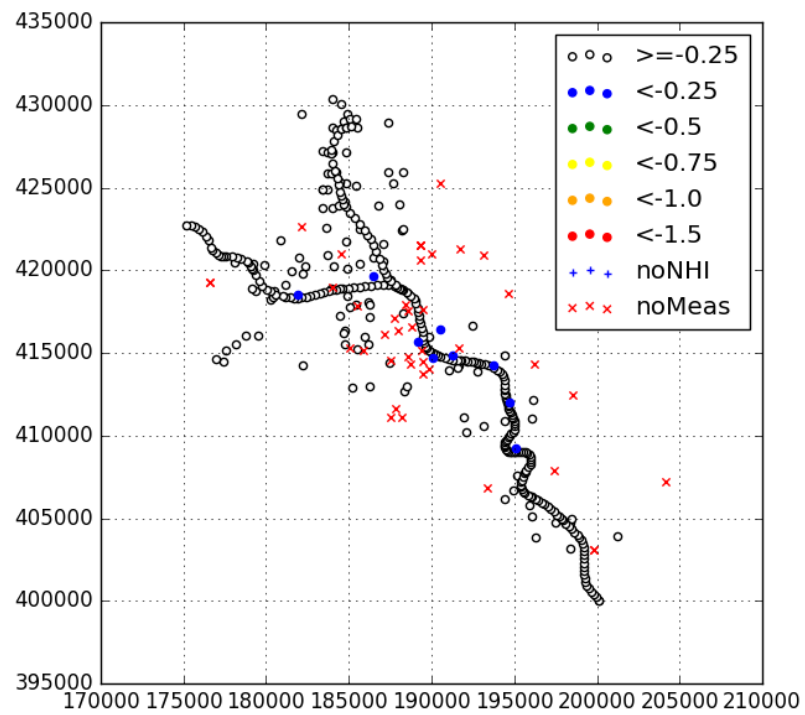


Figuur 9 Daling van grondwaterstanden in raai Grave Noord (GR6) met Grave_bov als Maaspeil (N.B. afstanden niet op schaal)

In tegenstelling tot St.Agatha infiltreert de Maas in deze raai tegenover Grave op de Noordoever van de Maas normaal gesproken en is de grondwaterstroming van de Maas naar de polders van Rivierenland gericht. Door de daling van de Maas draait de stromingsrichting om en gaat de Maas grondwater afvangen. De omkering van de stroming bereikt de tweede peilbuis in de raai niet die zich op ongeveer 1.6 km van de Maas bevindt. De eerste peilbuis ligt op slechts 100 meter van de Maasoever.

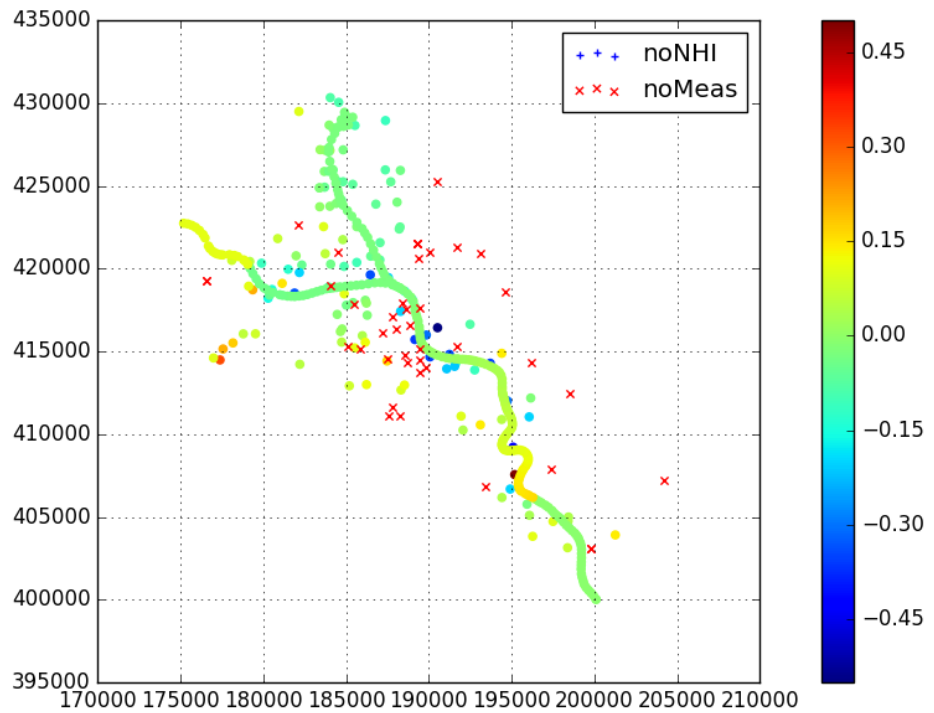
4.1.2 Herstel grondwaterstand na aanleg nooddam

Na de aanleg van de nooddam zijn de Maaswaterstanden volledig hersteld (zie ook Figuur 5). Op 24 januari zijn alle beperkingen voor de scheepvaart opgeheven. Met de stijgende Maaspeilen zijn ook de grondwaterstanden weer omhooggegaan. Figuur 10 laat zien dat er op 2 februari nauwelijks meetpunten waren waar nog dalingen groter dan 25 cm aanwezig waren.



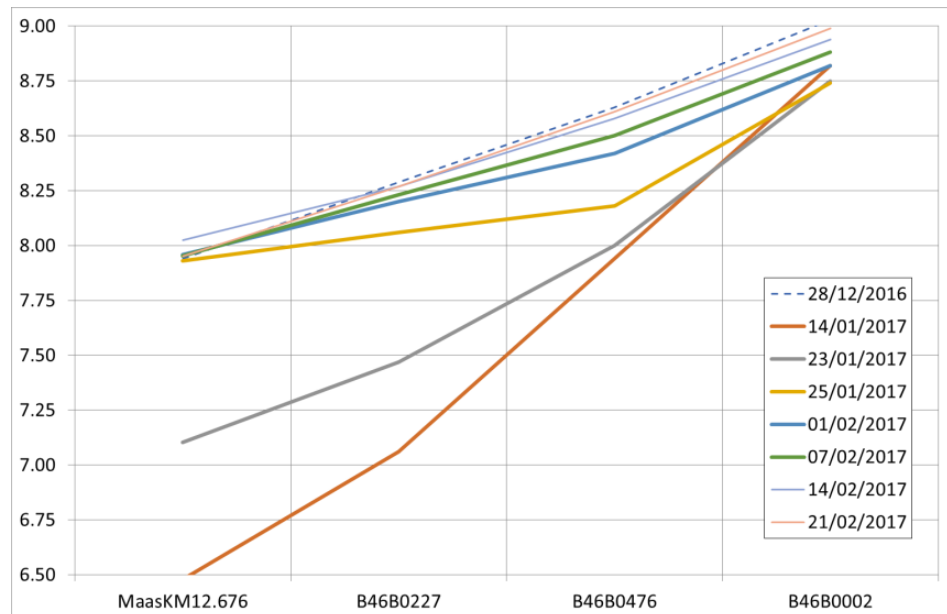
Figuur 10 verlaagde grondwaterstanden 2 februari 2017 t.o.v. 28 december 2017

Dezelfde verschillen worden in Figuur 11 nogmaals getoond met een andere schaalverdeling. Nu is te zien dat er ook stijgingen voorkomen met dezelfde orde van grootte als de dalingen. De meeste verschillen zijn kleiner dan 10 cm. Een dergelijke marge is zeer goed mogelijk door invloed van neerslag. Wellicht spelen ook nog lokale effecten een rol.



Figuur 11 verschillen tussen meting 2 februari 2017 en 28 december 2016

Het herstel van de grondwaterstanden trad dichtbij de rivier snel op, net als de dalingen na de schade aan de stuw. Figuur 12 laat het herstel in de raai bij St. Agatha zien (voor ligging zie Figuur 1; voor daling zie Figuur 8).



Figuur 12 herstel van grondwaterstanden in raai St. Agatha (GR24)

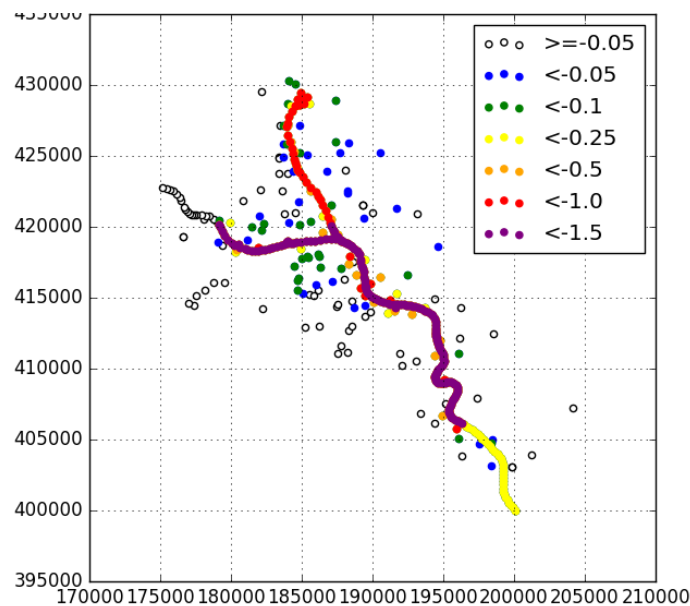
De grafiek laat zien dat bij de peilbuis het verst van de Maas (B46B0002 op 450m) van 14 januari tot 23 januari nog een daling is opgetreden ondanks het stijgen van het Maaspeil. Na 25 januari treedt wel een stijging op die doorzet tot de laatste

beschouwde datum 21 februari. Het verschil met de waarde op 28 december 2016 is dan 4 cm. In deze twee maanden zullen neerslag en verdamping ook invloed hebben gehad, waardoor nadere analyse bijvoorbeeld met tijdreeksmodellen nodig is om te kunnen zeggen of de grondwaterstanden dan nog verlaagd zijn door de schade aan de stuw. In deze raai zijn de waarden nog lager, maar in een groot deel van de meetpunten is de waarde van 2 februari al hoger dan die van 28 december, zoals Figuur 11 laat zien.

Eind februari hebben de grondwaterstanden weer waarden vergelijkbaar met voor de aanvaring van de stuw bij Grave. De verschillen zijn in de orde van een decimeter. De invloed van neerslag en verdamping kan dergelijke verschillen veroorzaken in de betreffende periode. Eind maart zal eventuele resterende invloed nog verder afgenomen zijn, wat doet verwachten dat de verlaagde Maaspeilen geen invloed meer hebben in het groeiseizoen van 2017.

4.2 Gemeten grondwaterstandsaling

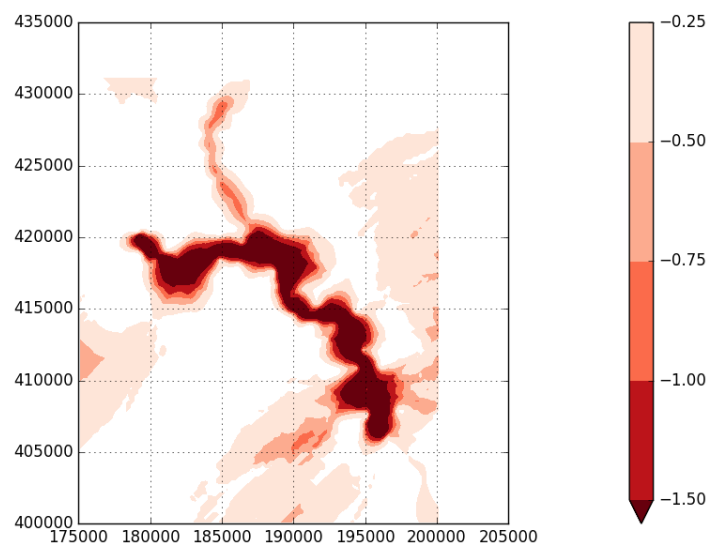
Om de veranderingen expliciet inzichtelijk te maken is ook gekeken naar de grondwaterstanden ten opzichte van 28 december 2016.



Figuur 13 laagste meting in januari 2017 t.o.v. 28 december 2016

Bijlage C laat een vergelijkbare kaart zien met de verandering van de gemeten grondwaterstand op 11 januari 2017 ten opzichte van 28 december 2016. Deze kaart is groter en heeft een topografische achtergrond, waardoor hij beter leesbaar is. Het grootste gemeten verschil is 2.30 m, op 30 meter van de Maas vlakbij de haven van Mook (B46A1574). Dalingen groter dan 1 meter zijn alleen langs de Maas te zien op minder dan 250 meter van de Maasoever. Langs het Maas-Waalkanaal is de maximaal gemeten daling 0.42 meter. Dalingen groter dan 0.25 meter liggen dichterbij het kanaal.

Figuur 14 laat zien dat de verschillen per meetpunt niet goed ruimtelijk geïnterpoleerd kunnen worden. De eerste contour is gekozen op 25 cm. Het is gebruikelijk om bij effecten een grens van 5 cm aan te houden, maar daarvan kan op voorhand al gezegd worden dat dat niet verantwoord is met de beperkingen van deze analyse. Zelfs met deze waarde zien we nog vreemde patronen in het verschilbeeld op afstand van de Maas. De zone met verlagingen groter dan een meter bij de rivier komt duidelijk naar voren, maar op grotere afstand vinden we niet alleen vlakken met meer dan 25cm verlaging, maar zelfs ook vlekken met waarden groter dan 50 en 75 cm! Dit ongeloofwaardige patroon wordt veroorzaakt door toevallige afwijkingen en verschillen in meetdichtheid (niet noodzakelijk in het meetnet, maar wel in de beschikbare metingen).



Figuur 14 Gecontourde verschillen van 5 januari 2017 t.o.v. 28 december 2016

De contouring van de verschillen is onnauwkeuriger dan die van de stijghoogten, omdat er nu geen trendvlak gebruikt kan worden. We weten namelijk niet hoe de daling in de ruimte verdeeld is. Het is wel duidelijk dat de waarde op grote afstand gelijk is aan nul, maar om dat mee te nemen in de interpolatie moeten we een concrete afstand gebruiken. Dat houdt een arbitraire keuze in waarvoor het resultaat heel gevoelig is.

4.3 Grondwaterresponsanalyse

Deze veranderingen in de gemeten grondwaterstanden zijn niet alleen veroorzaakt door de daling van het Maaspeil, maar ook door de andere invloeden op de grondwaterstand zoals de neerslag. Om een inschatting te geven van de daling van de grondwaterstand alleen ten gevolge van de Maas kunnen de resultaten van de tijdreeksanalyses gebruikt worden uit de analyse van het meetnet (Kuijper e.a., 2013). Vergelijkbaar met figuur 2.7 uit dit rapport kan een ruimtelijke interpolatie gemaakt worden van de stationaire verlaging van de grondwaterstand bij de opgetreden daling (-2.75 meter) van het Maaspeil. Dit is afgebeeld in de eerste figuur in Bijlage 4. De figuur toont de berekende verlaging per meetpunt en een ruimtelijke interpolatie. Bij deze interpolatie is er vanuit gegaan dat het grondwater

direct langs en onder de Maas een verlaging van 2.75 meter ondervindt. Te zien is dat de grondwaterrespons afneemt met de afstand tot de rivier. Op korte afstand komen grondwaterstandsverlagingen van 1 tot 2 meter voor. Op een afstand van 2 tot 3 km is de respons op de meeste plekken afgenomen tot minder dan 10 centimeter.

De stationaire verlaging is de verlaging die uiteindelijk op zou treden als het Maaspeil lang op deze stand zou blijven. Op veel plekken is de maximale grondwaterrespons echter nog niet bereikt binnen de 14 dagen van de lage Maaswaterstanden. Daarom is naast deze stationaire grondwaterrespons ('worst case') ook de respons na 14 dagen bepaald op basis van de bestaande tijdreeksmodellen. Deze respons is afgebeeld in de tweede figuur in Bijlage D. De grondwaterstandsverlagingen zijn lager dan de maximale verlaging. Echter, op enkele plekken direct bij de Maas komen verlagingen van >2 meter voor, bijvoorbeeld vlak bij de stuw van Grave of het begin (zuidkant) van het Maas-Waalkanaal. Hier vindt een snelle en sterke reactie plaats, met een maximale respons die al bereikt is in de 14 dagen na de aanvaring van de stuw. Vlakbij de Maas komen verlagingen van >1 meter regelmatig voor. Op de meeste plekken is de respons na 1 tot 2 km afstand afgenomen tot enkele decimeters. Het opstellen van nieuwe tijdreeksmodellen, waarin ook de extreem lage Maaswaterstanden zijn meegenomen, is pas zinnig als de herstelwerkzaamheden zijn uitgevoerd en de grondwaterstanden daarna nog enige tijd (enkele weken) zijn ingemeten.

5 Conclusies en aanbevelingen

De Maaspeildaling na het incident bij Grave op 28 december 2016 heeft langs de Maas grote dalingen van de grondwaterstand veroorzaakt. De verbreiding van grondwaterverlagingen groter dan 25 cm is beperkt tot een zone van ca. 250 m. De grootste gemeten grondwaterdaling was 2.30 m in een meetpunt op 30 meter van de Maas.

De analyse geeft geen aanwijzingen voor een na februari 2017 voortdurend effect op het grondwater.

De gebruikte methode heeft een beperkte nauwkeurigheid. Er is nader onderzoek nodig als inzicht in verlagingen kleiner dan 25-50 cm gewenst is. Voor een dergelijk onderzoek kan tijdreeksanalyse gebruikt worden. Hierbij moet in gedachten gehouden worden dat de bestaande tijdreeksmodellen een nul situatie voor de Zandmaas weergeven, en daardoor niet zonder meer gebruikt mogen worden voor de verlagingen door deze aanvaring, omdat de interactie tussen de Maas en het grondwater veranderd kan zijn. Dat betekent dat de nieuwe tijdreeksanalyse ook waardevol voor het eigenlijke doel van het meetnet: bepalen van de invloed van de Zandmaasingrepen op de grondwaterstand.

De dataset is uniek en nader onderzoek kan waardevolle inzichten opleveren op verschillende vlakken zoals:

- (Hydro)geologische opbouw van de ondergrond;
- Doorlatendheden en bergingscoëfficiënten van de hydrogeologische eenheden;
- Interactie tussen rivier en grondwater en verschil daarin bij hoge en lage rivierstanden

Deze inzichten kunnen ook gebruikt worden in andere gebieden waar dezelfde geologische eenheden voorkomen of waar interactie tussen een groter rivier en het grondwatersysteem van belang is.

Ook kunnen de betrokken grondwaterbeheerders de dataset gebruiken om hen grondwatermodellen te verbeteren.

6 Referenties

Willem Dabekaussen, Willem Jan Zaadnoordijk (2017) Beschrijving GDN-Grondwatertool voor Isohypsens, TNO Geologische Dienst Nederland, Utrecht.

M.J.M. Kuijper, W. van der Linden, W. Borren (2013) Stuwpannd Grave vóór ingrepen - Analyse meetnet Grondwater Zandmaas, rapport 1202771-000, Deltares, Utrecht.

Arnaut van Loon en Willem Jan Zaadnoordijk (2015) Vlakdekkende tijdreeks-analyse: Een data-gedreven methode voor het projecteren van grondwaterstand reeksen, Stromingen, jaargang 23, nummer 3, pagina 37-51.

Matthew J. Tonkin, Steven P. Larson (2002) Kriging Waterlevels with a Regional-Linear and a Point-Logarithmic Drift, Ground Water, jaargang 40, nummer 2, pagina 185-193.

7 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever

Rijkswaterstaat
t.a.v. de heer G. Claassens
Spoorlaan Noord 2
6043 AK Roermond

Naam en ondertekening interne reviewer

R.J.M. Mutsaers



Ondertekening:



Dr. Ir. W.J. Zaadnoordijk
Projectleider

Goedkeuring:



Dr. M.J. van der Meulen
Research Manager

A Meetpunten

Gemeten grondwaterstanden op geselecteerde dagen:

28-12-2016

29-12-2016

30-12-2016

31-12-2016

01-01-2017

02-01-2017

03-01-2017

04-01-2017

05-01-2017

06-01-2017

07-01-2017

08-01-2017

10-01-2017

15-01-2017

18-01-2017

19-01-2017

20-01-2017

21-01-2017

22-01-2017

23-01-2017

24-01-2017

25-01-2017

26-01-2017

27-01-2017

28-01-2017

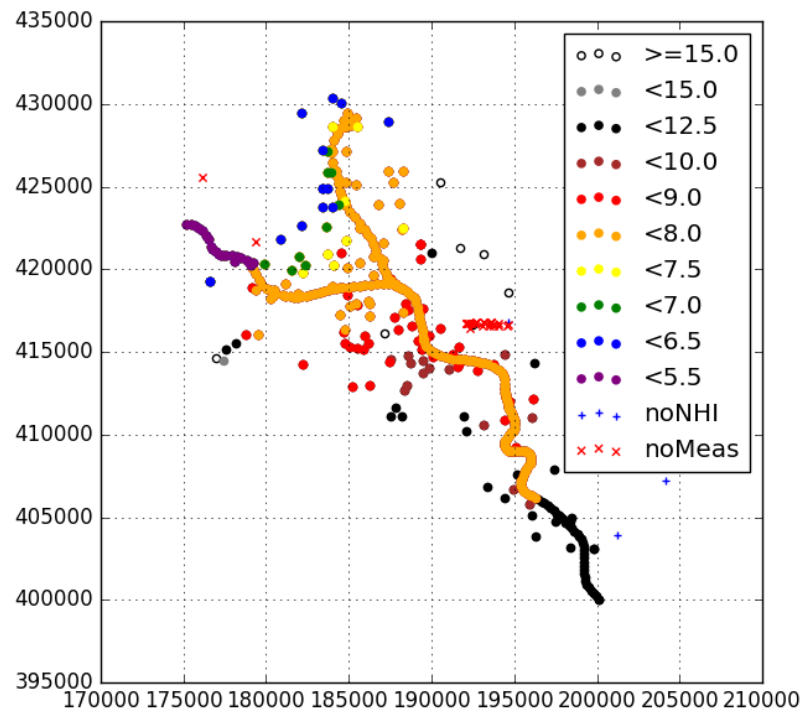
29-01-2017

14-02-2017

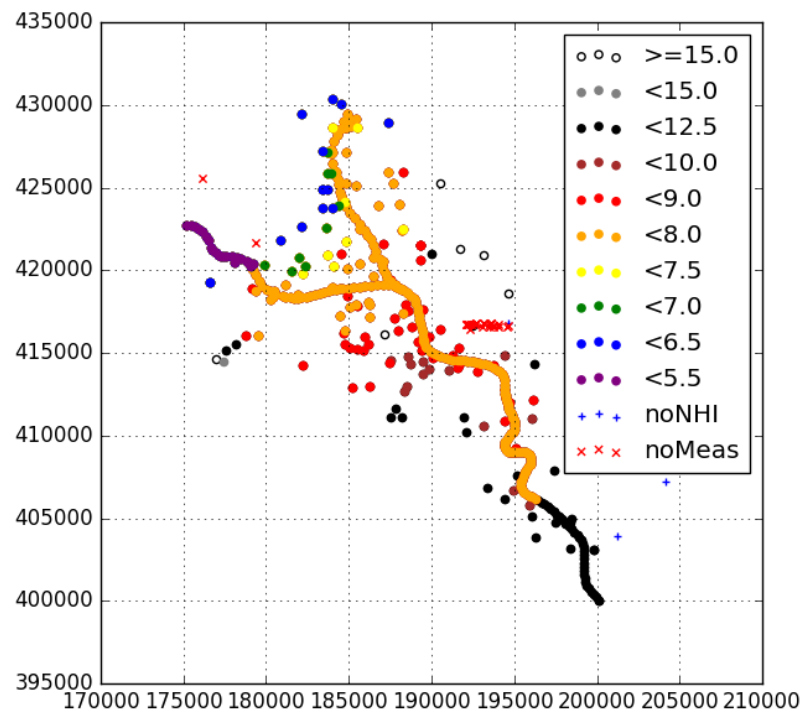
21-02-2107

N.B. er zijn dagen overgeslagen omdat de betreffende figuren erg op elkaar lijken.

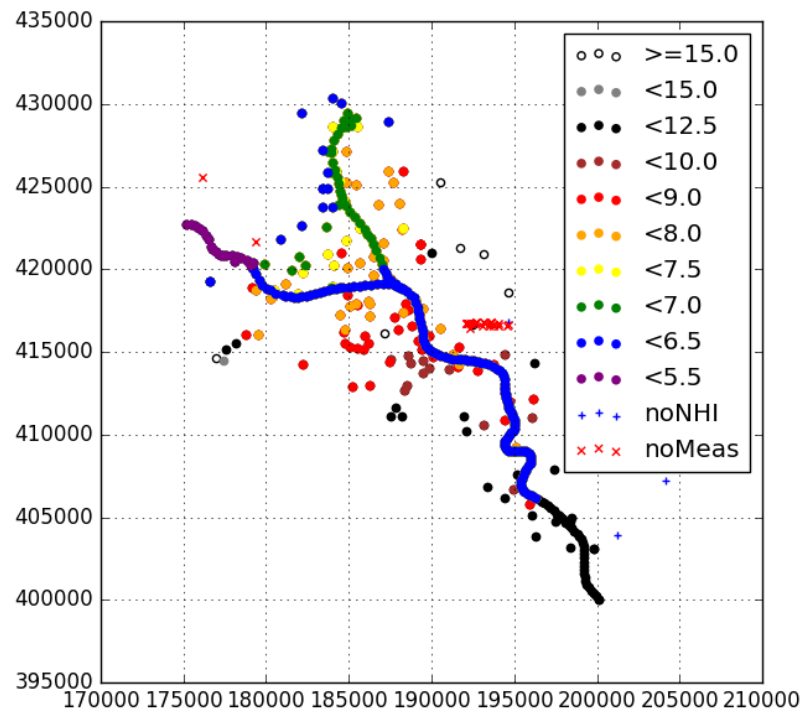
28-12-2016



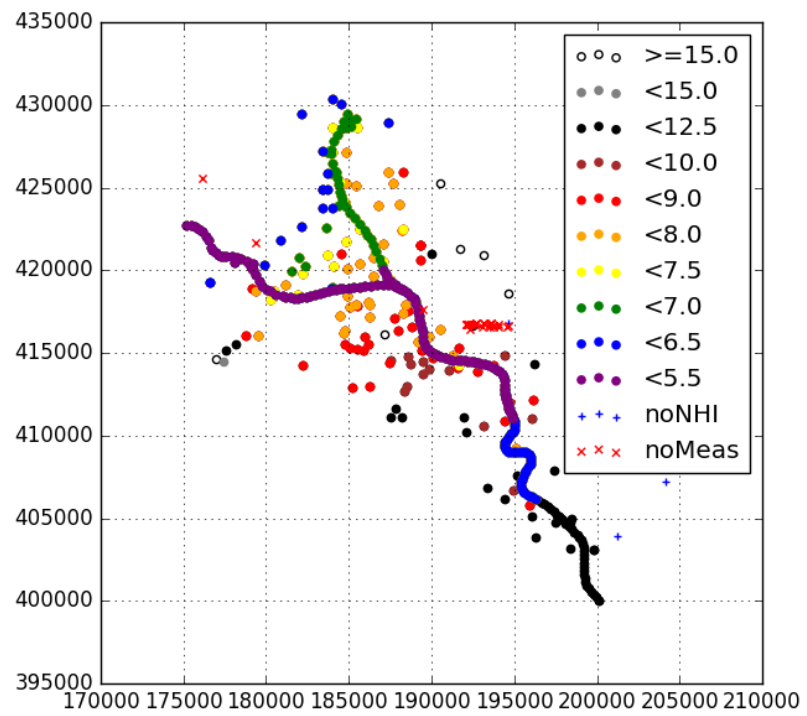
29-12-2016



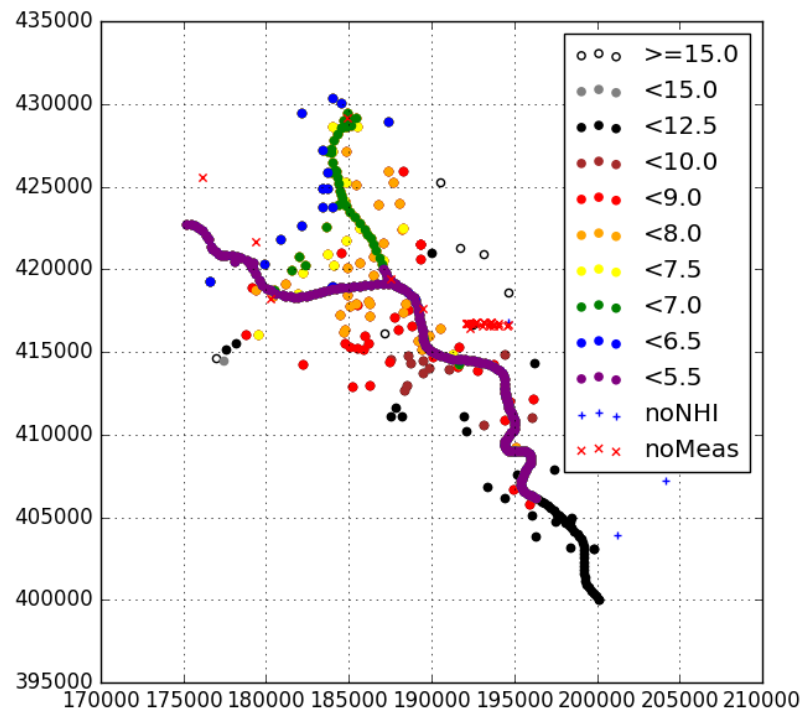
30-12-2016



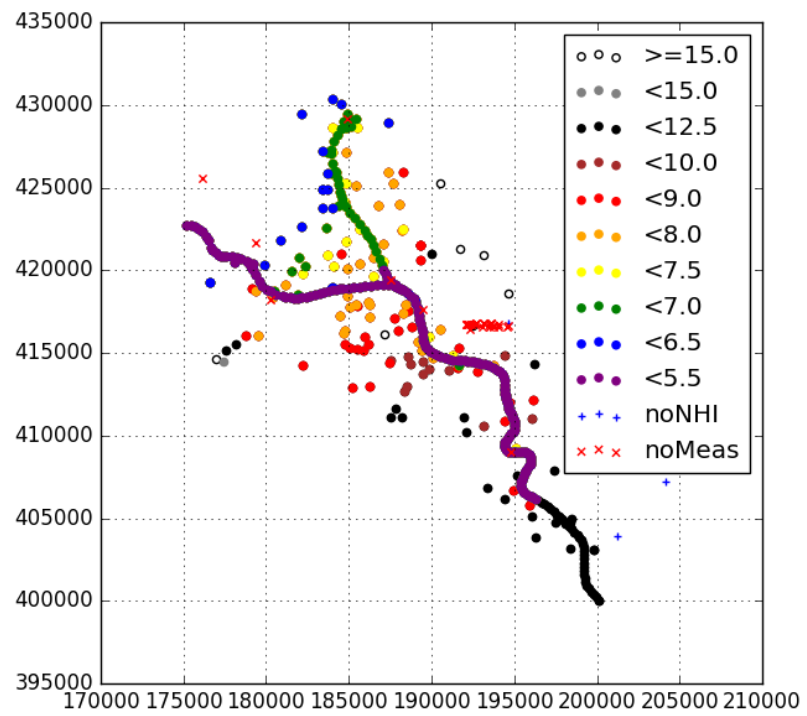
31-12-2016



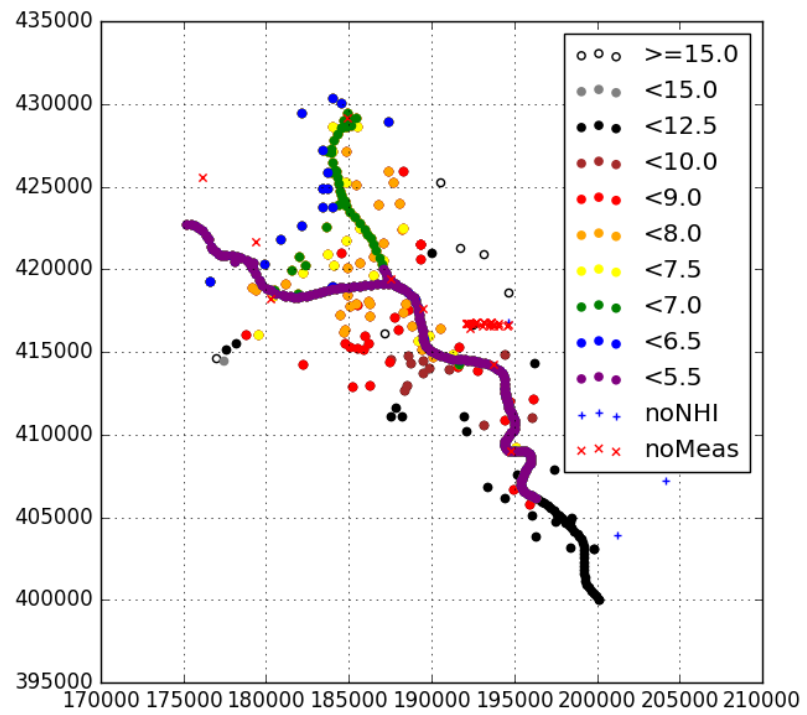
01-01-2017



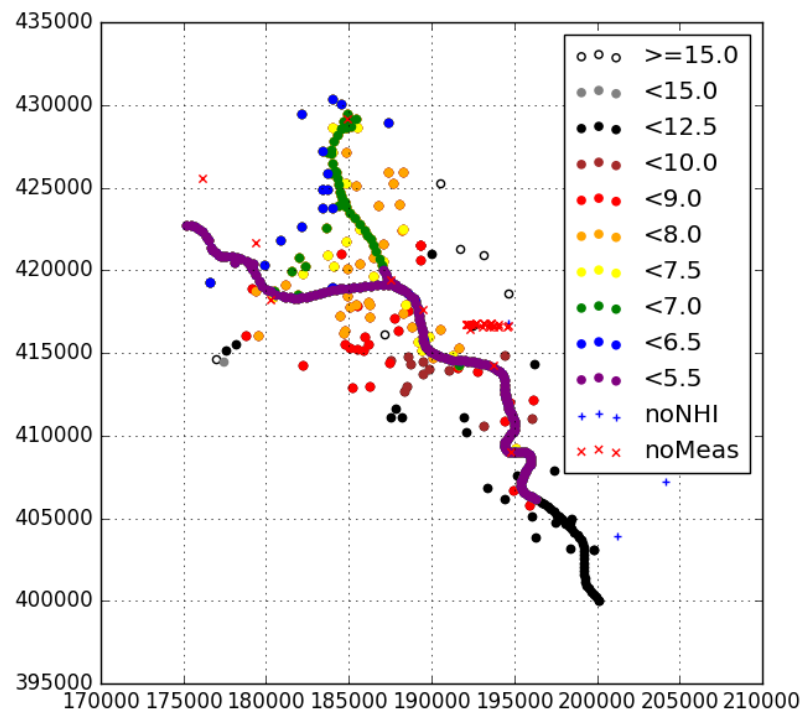
02-01-2017



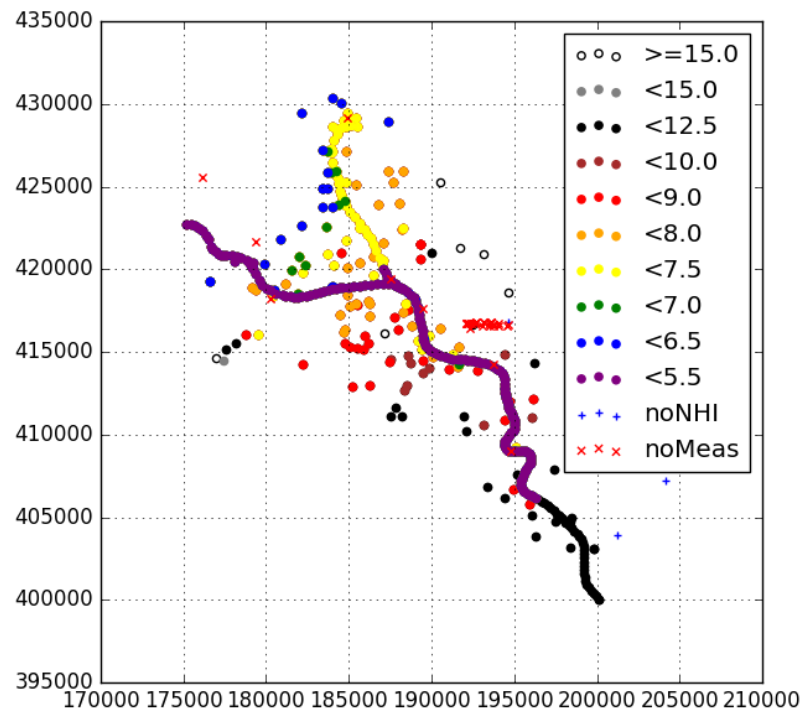
03-01-2017



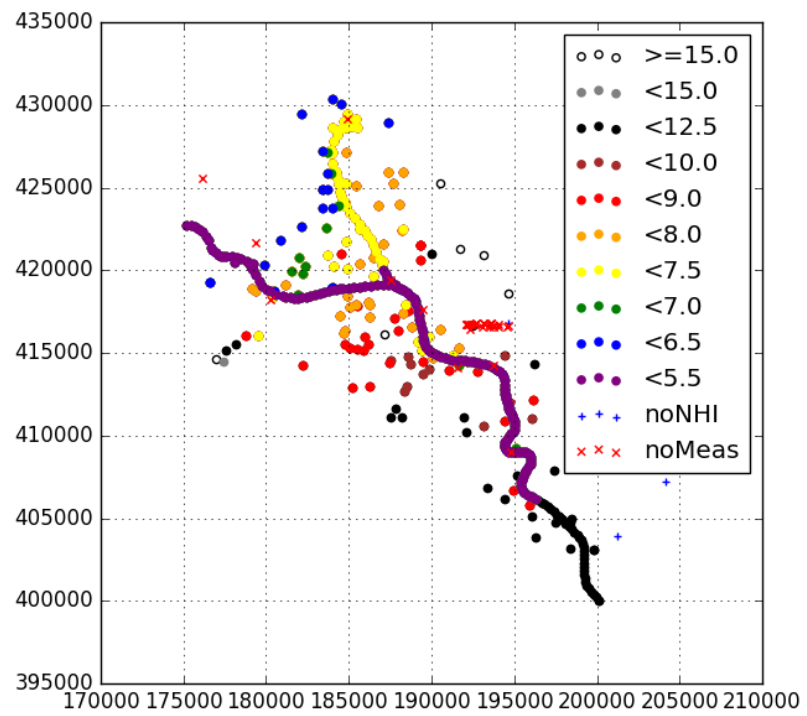
04-01-2017



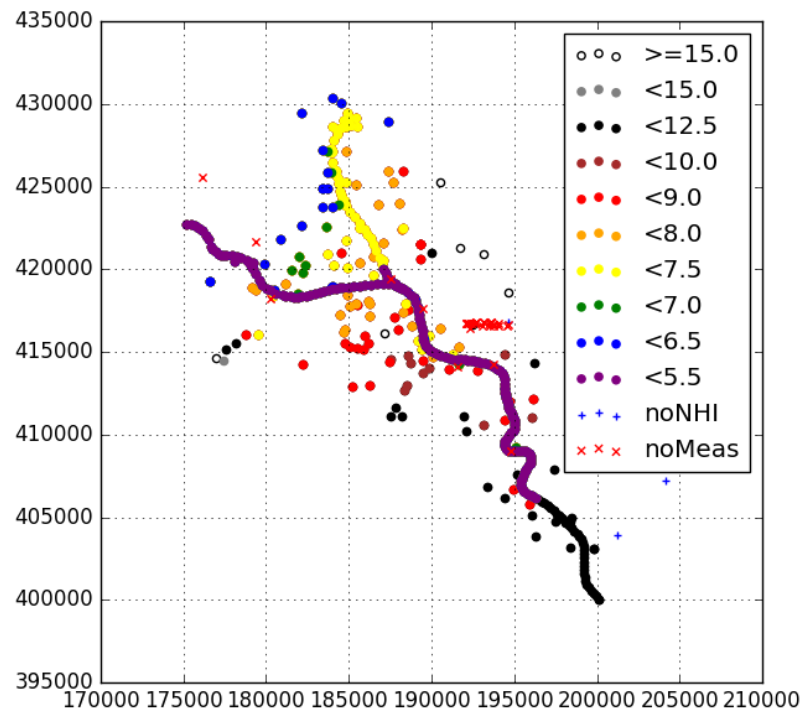
05-01-2017



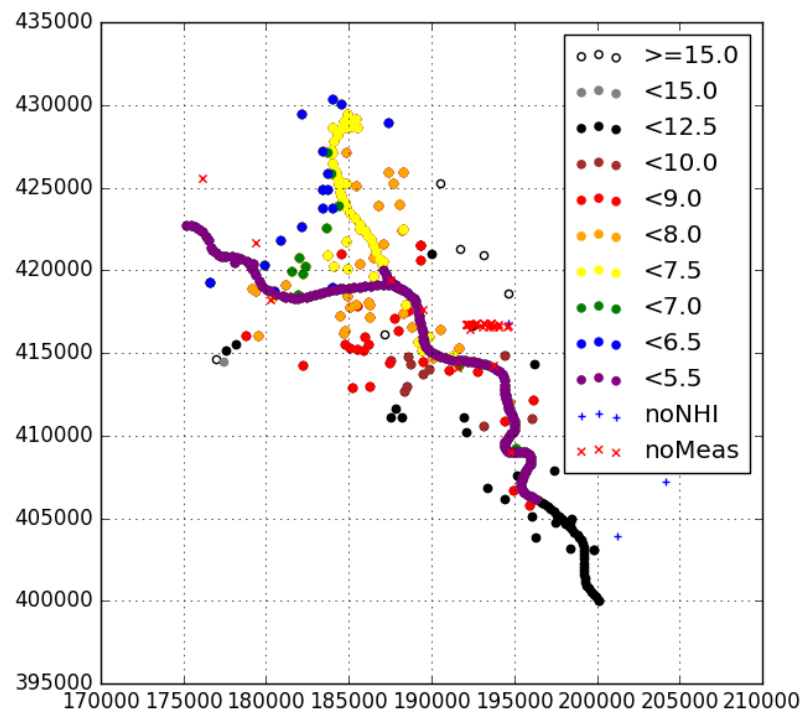
06-01-2017



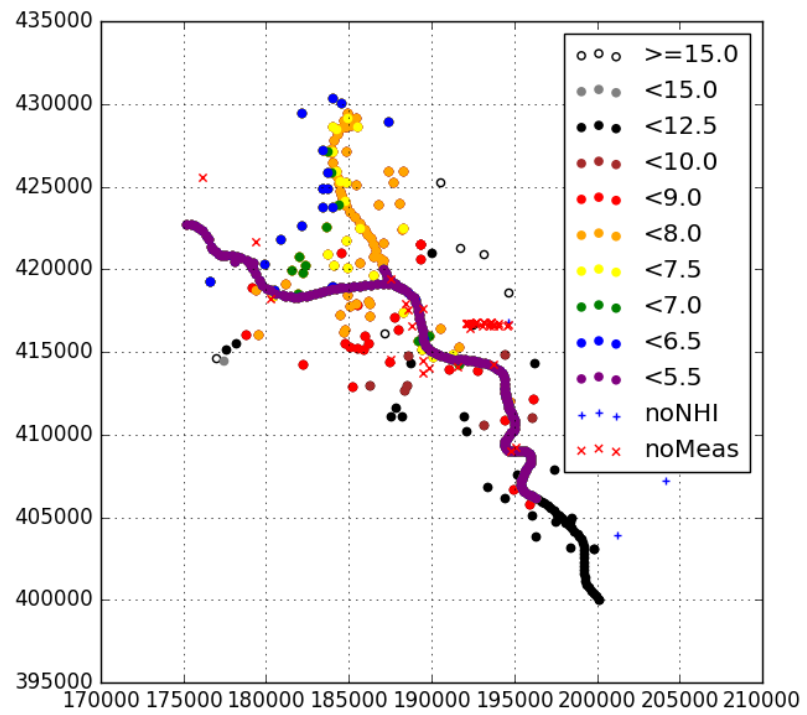
07-01-2017



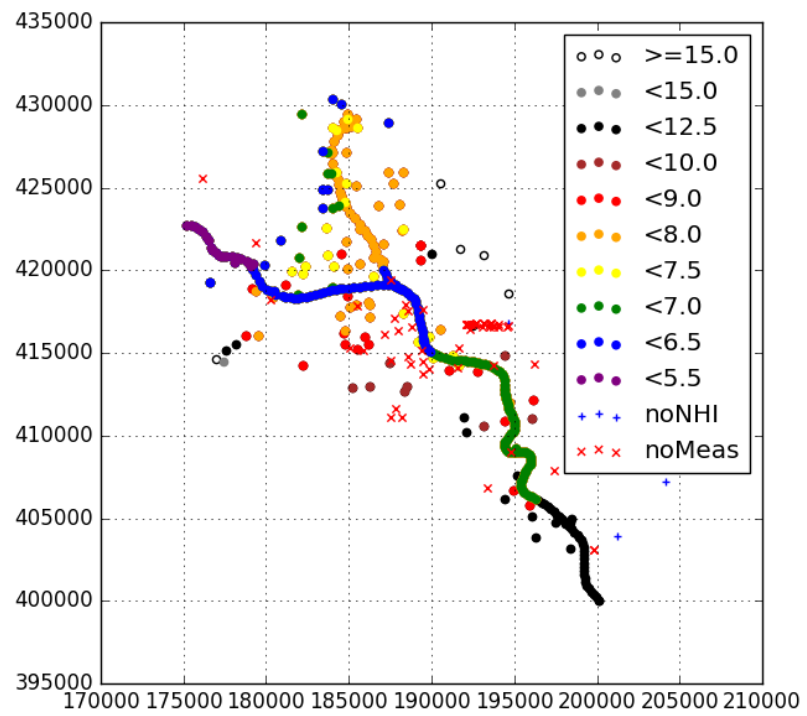
08-01-2017



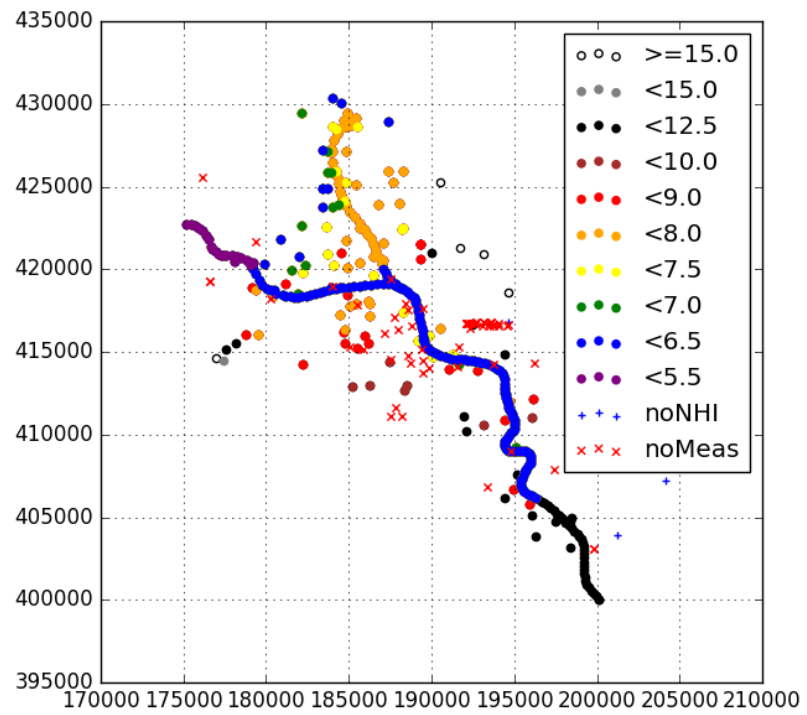
10-01-2017



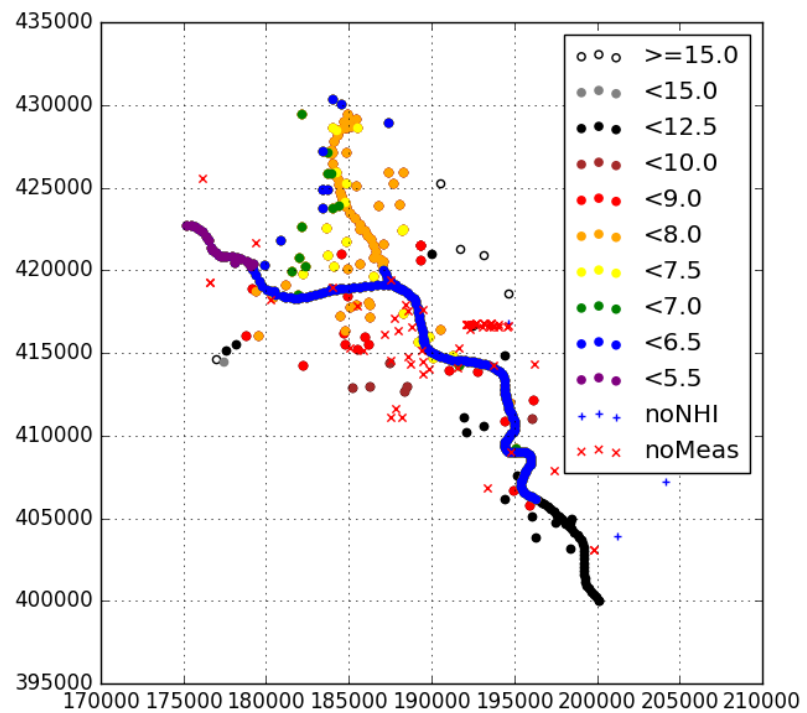
15-01-2017



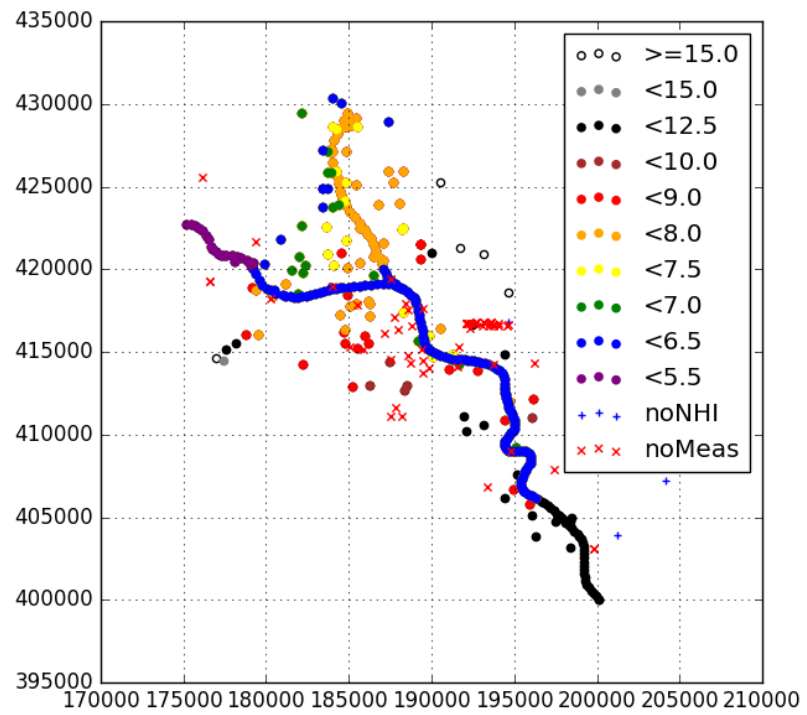
18-01-2017



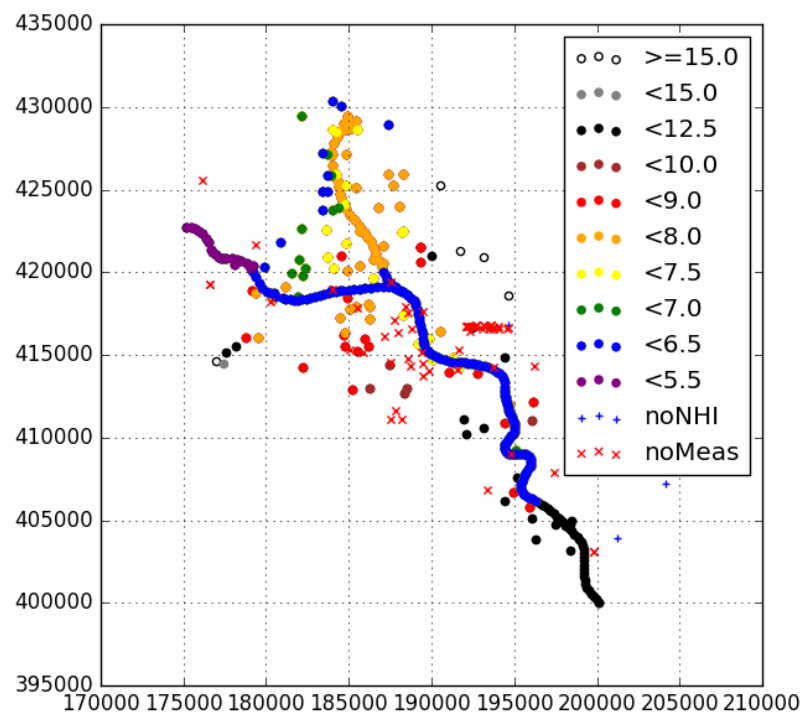
19-01-2017



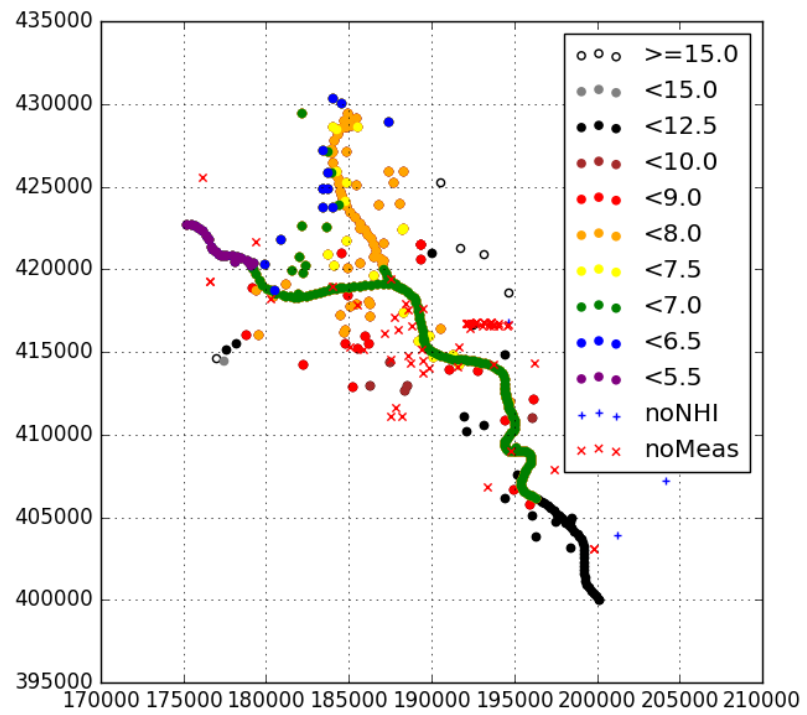
20-01-2017



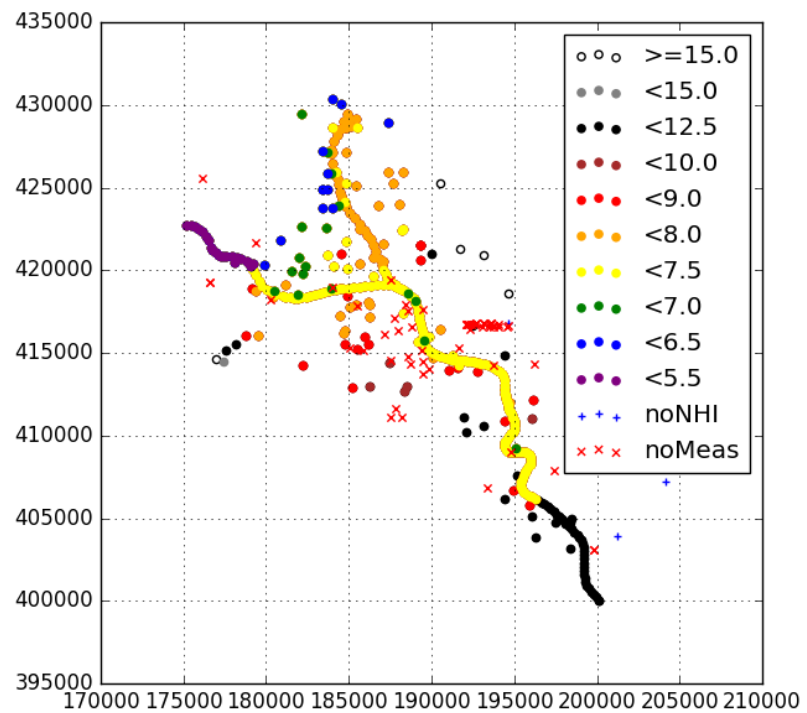
21-01-2017



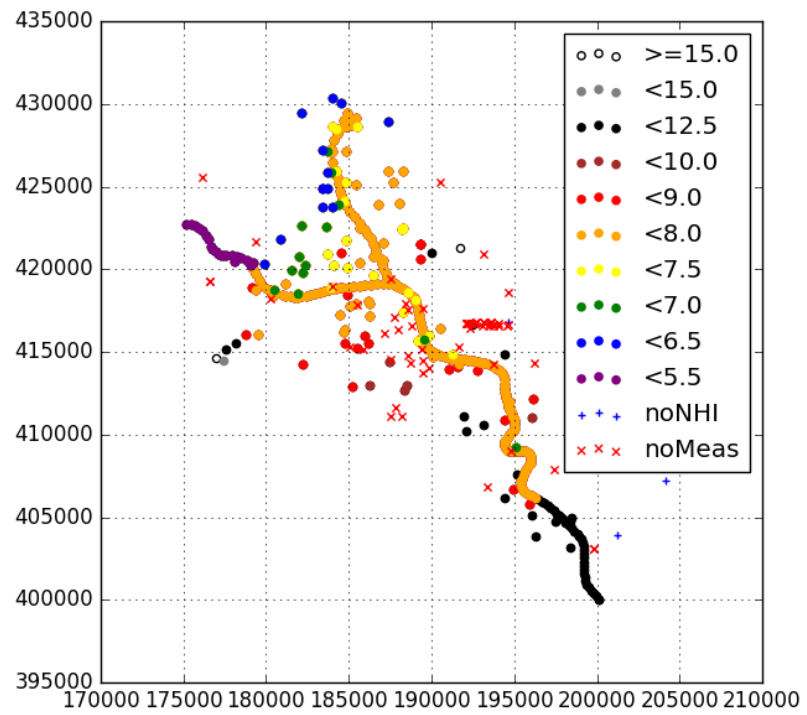
22-01-2017



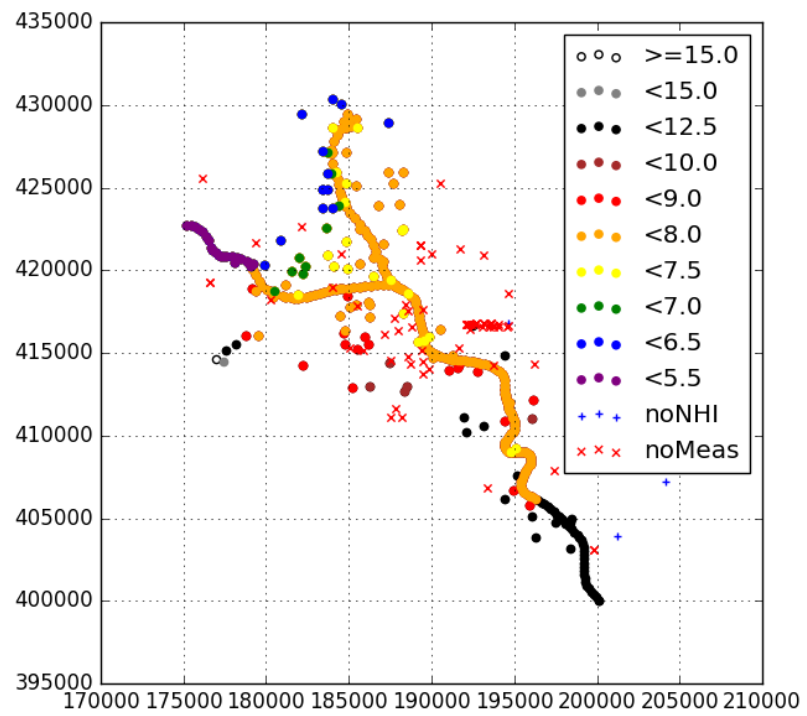
23-01-2017



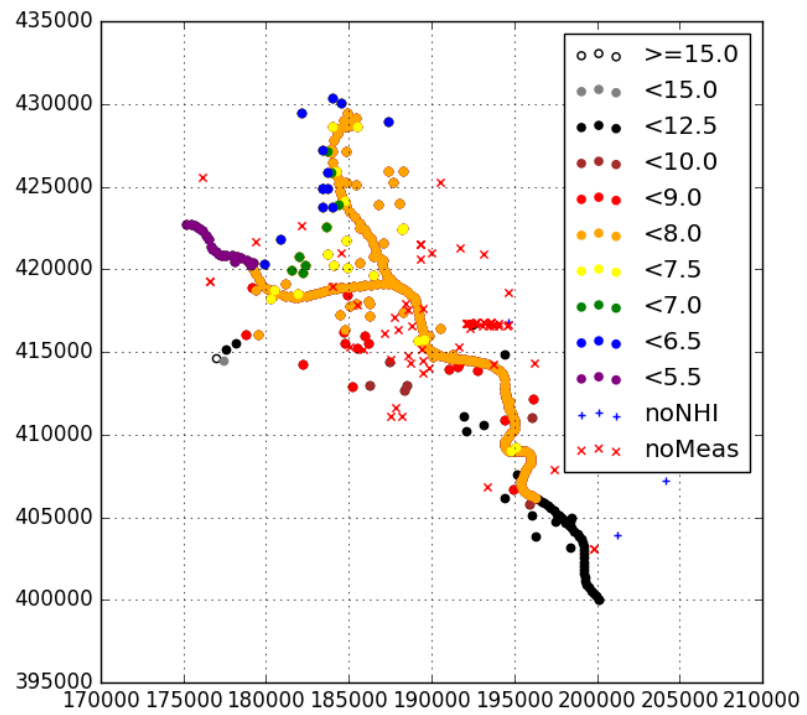
24-01-2017



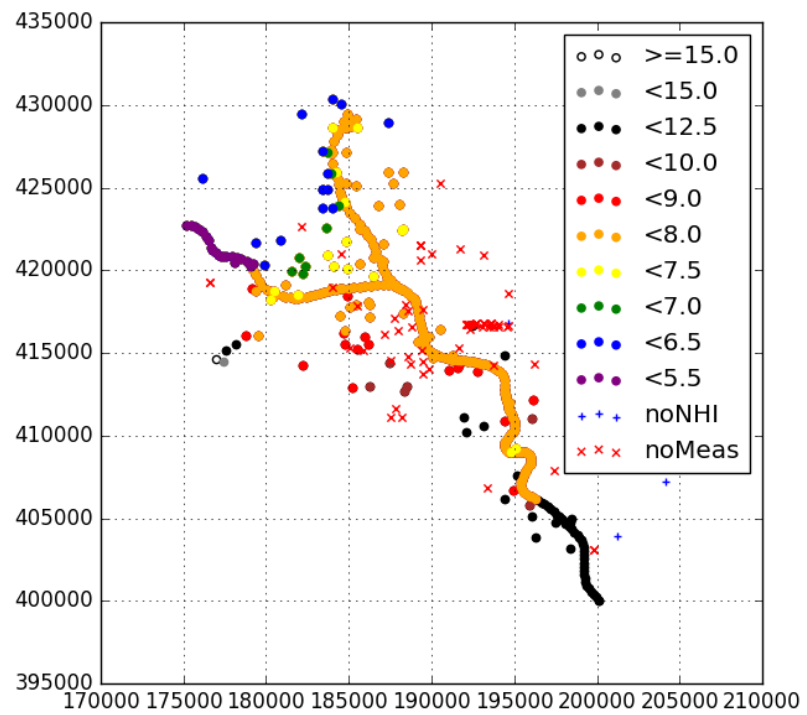
25-01-2017



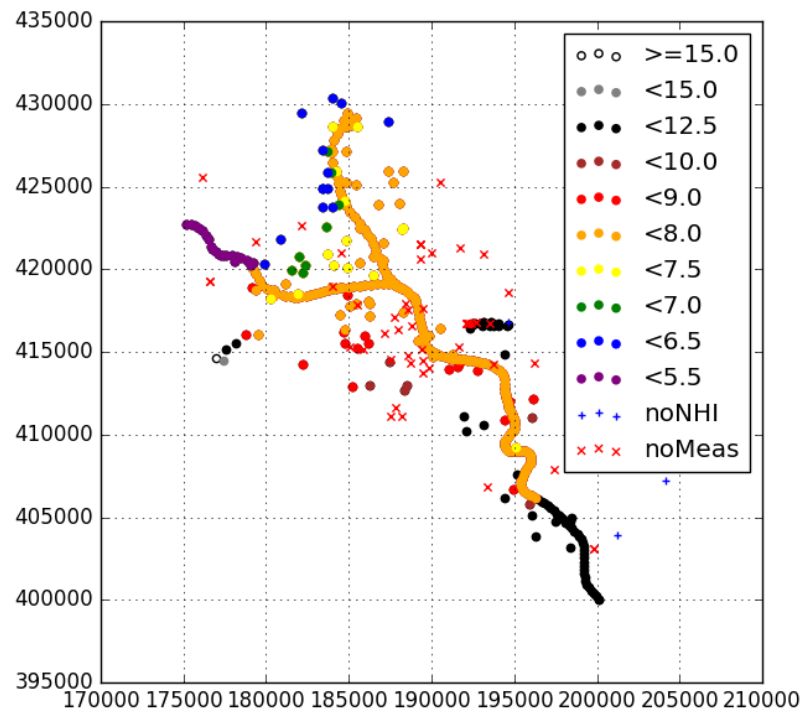
26-01-2017



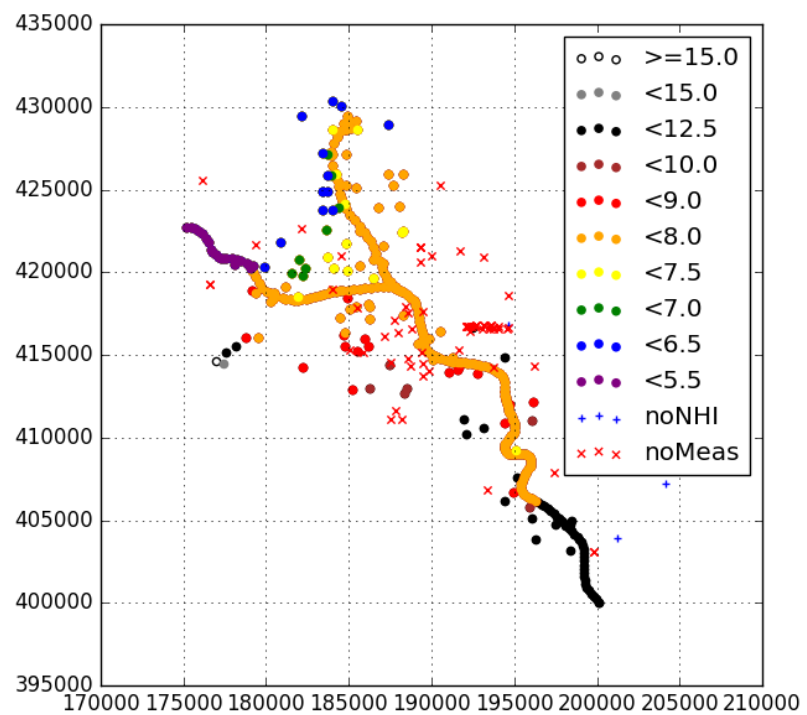
27-01-2017



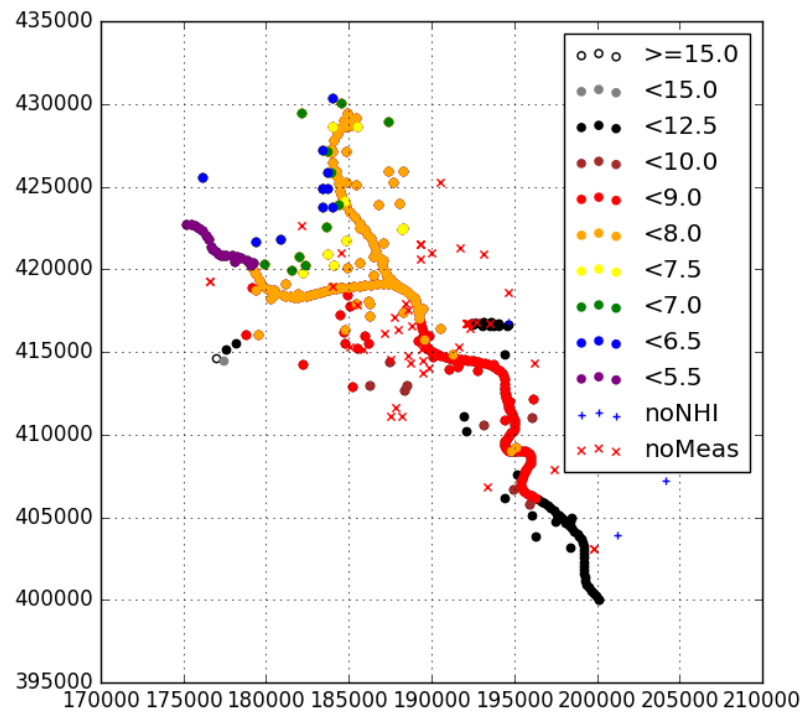
28-01-2017



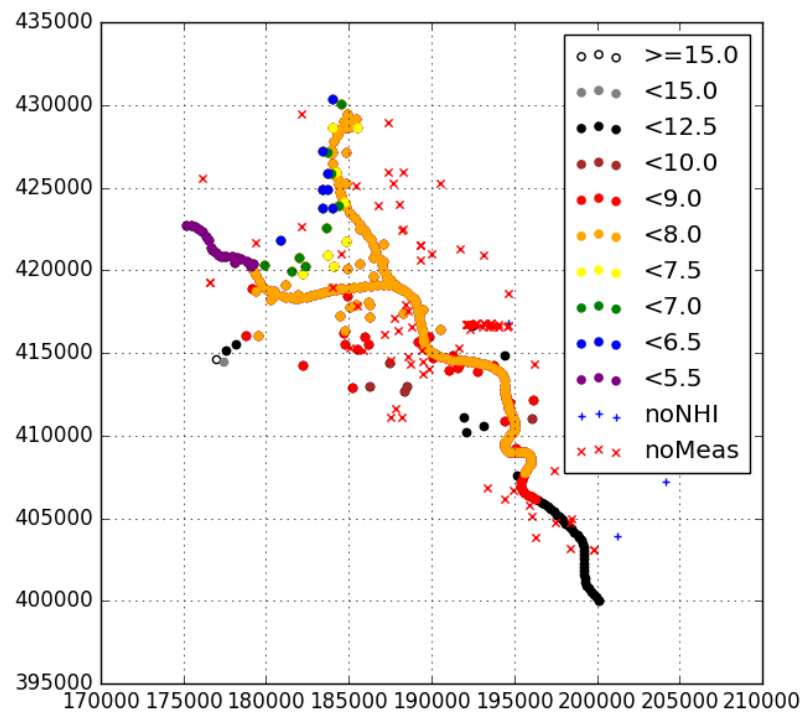
29-01-2017



14-02-2017



21-02-2107



B Isohypsens

Isohypsens voor de volgende datums:

28-12-2016

29-12-2016

30-12-2016

31-12-2016

01-01-2017

02-01-2017

03-01-2017

04-01-2017

05-01-2017

06-01-2017

07-01-2017

08-01-2017

10-01-2017

15-01-2017

18-01-2017

21-01-2017

22-01-2017

23-01-2017

24-01-2017

25-01-2017

26-01-2017

27-01-2017

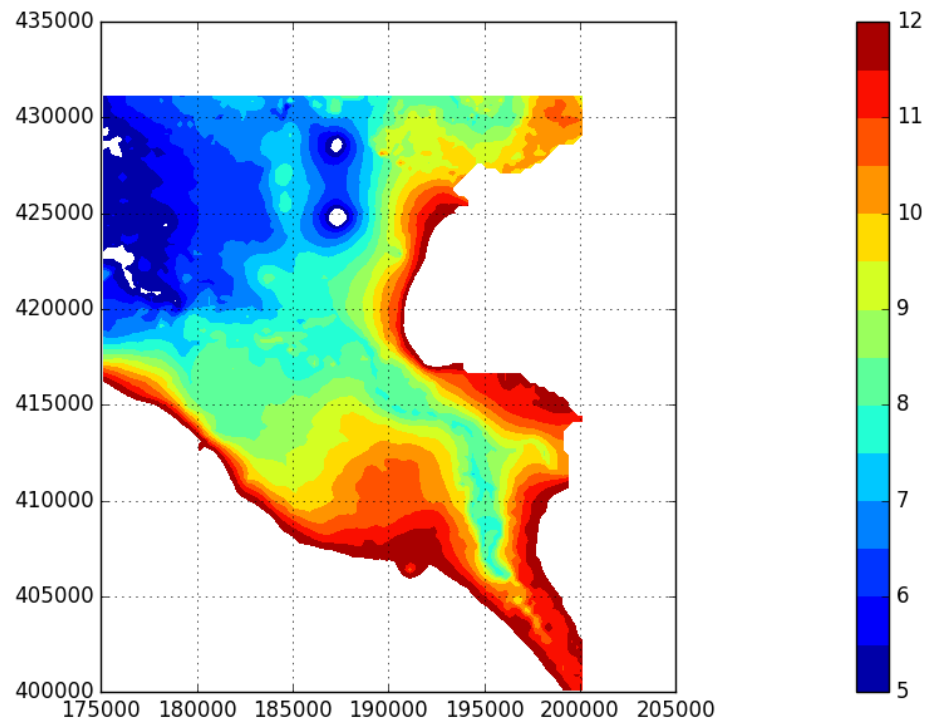
28-01-2017

29-01-2017

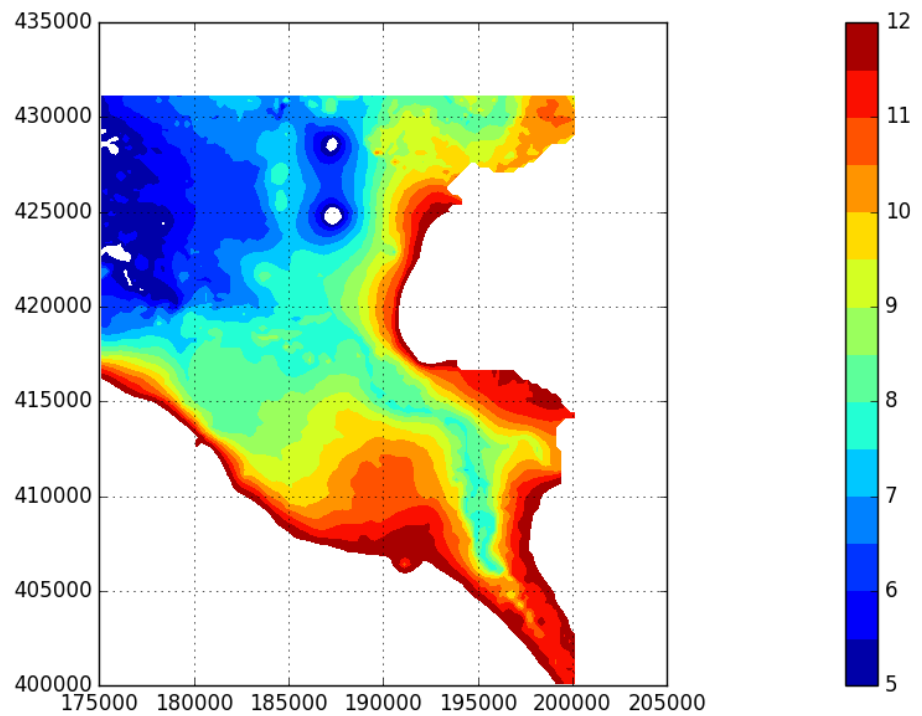
14-02-2017

21-02-2107

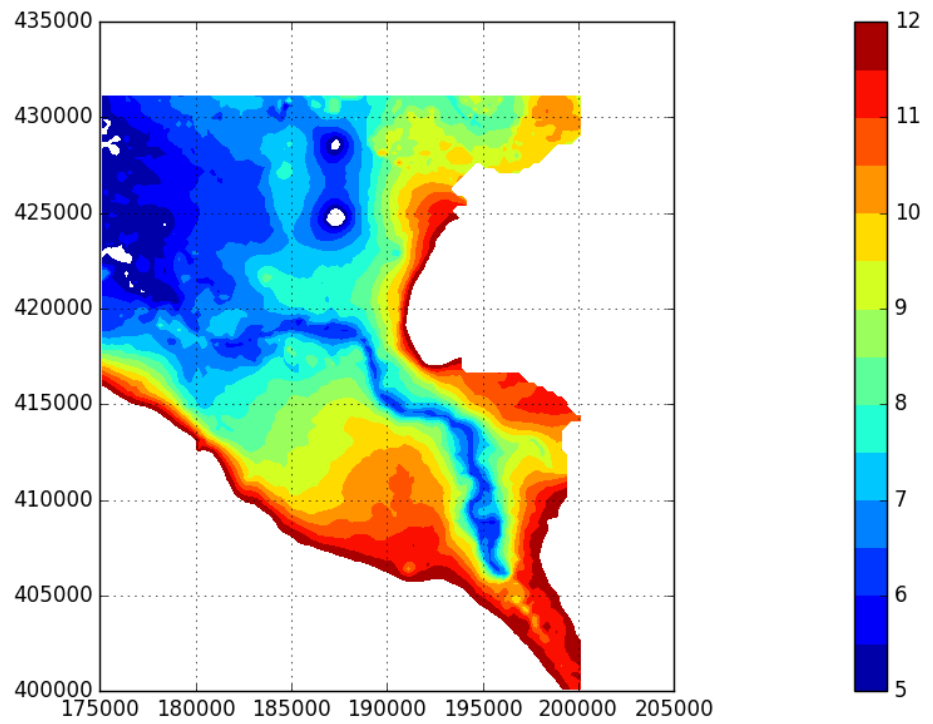
28-12-2016



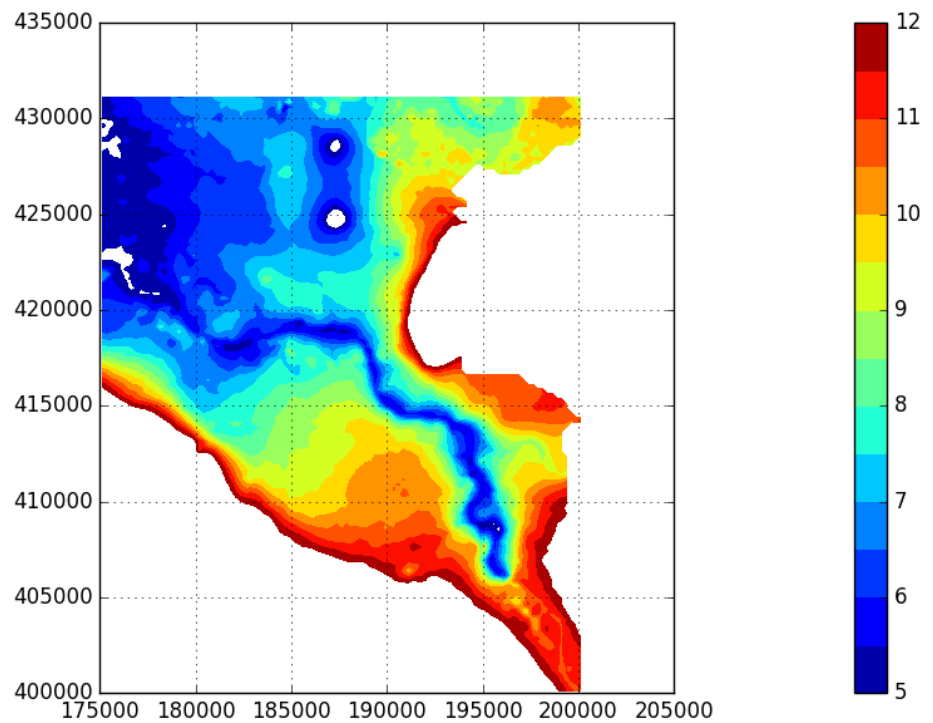
29-12-2016



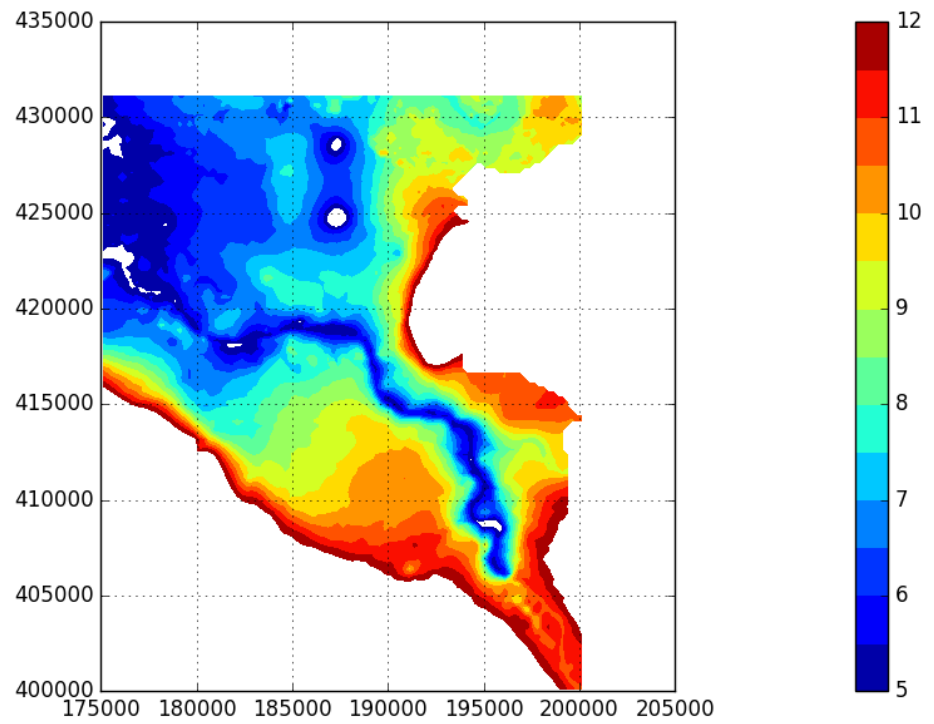
30-12-2016



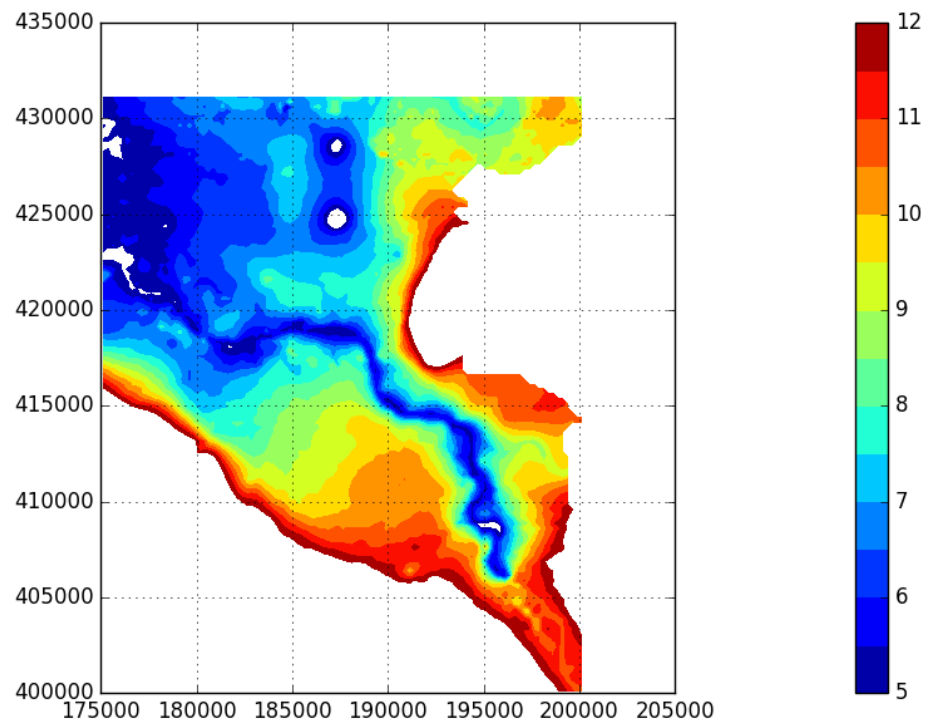
31-12-2016



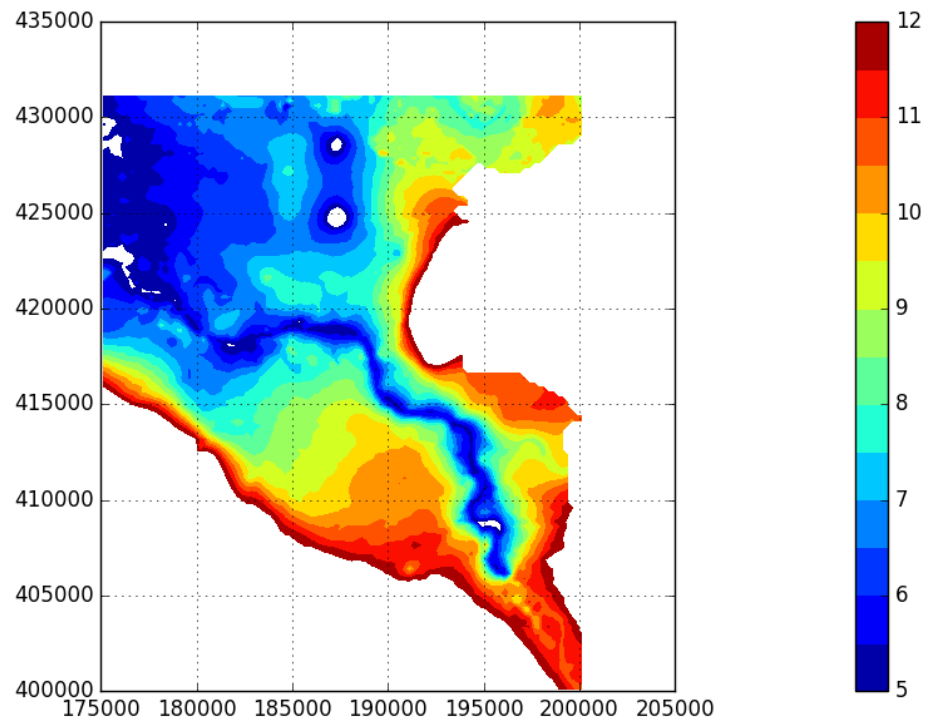
01-01-2017



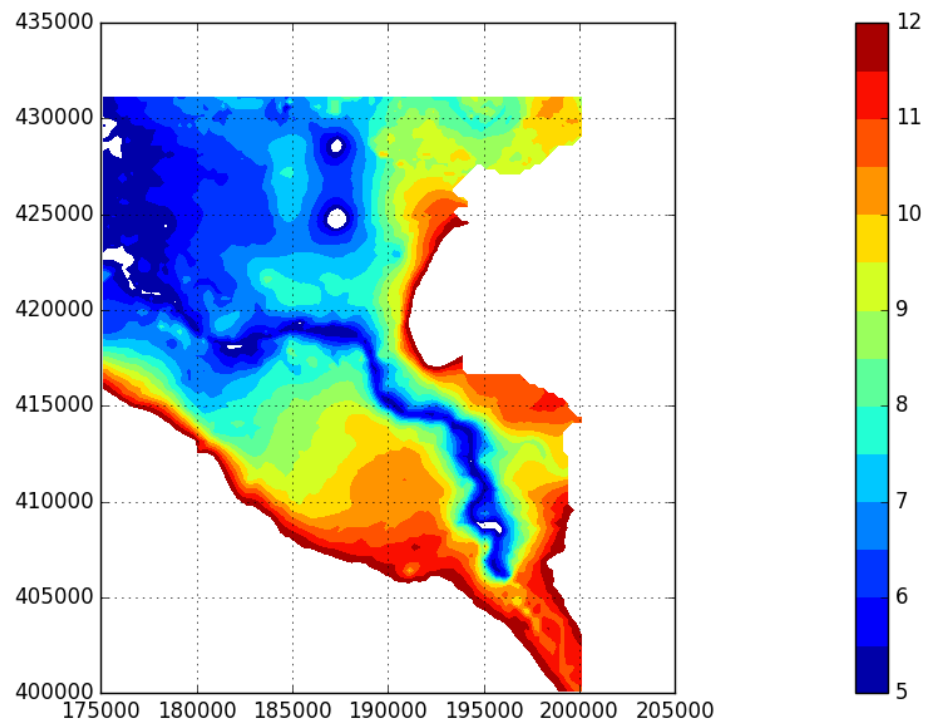
02-01-2017



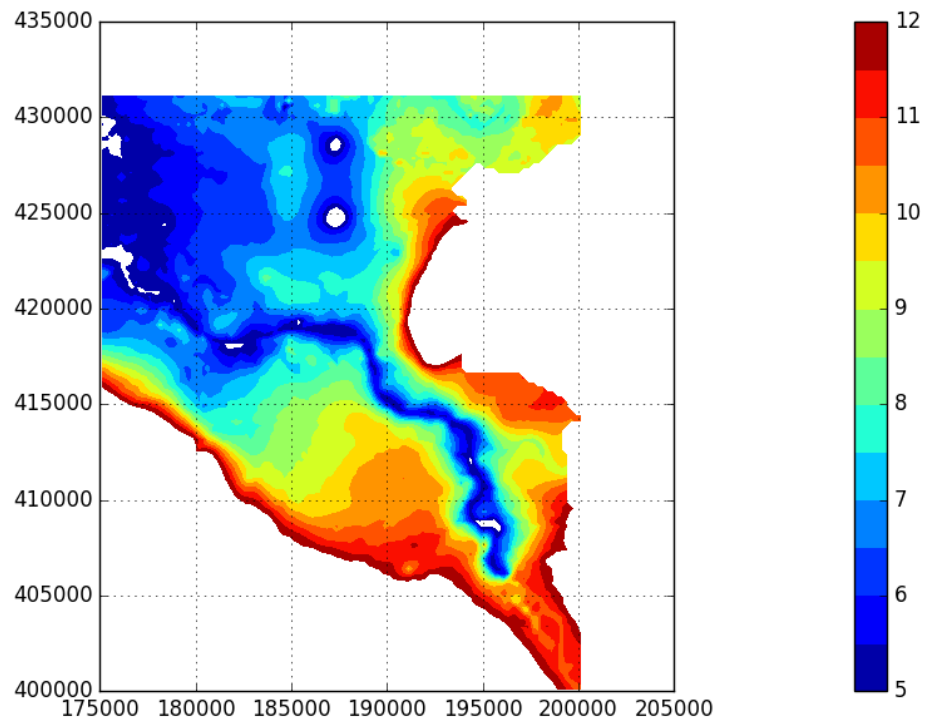
03-01-2017



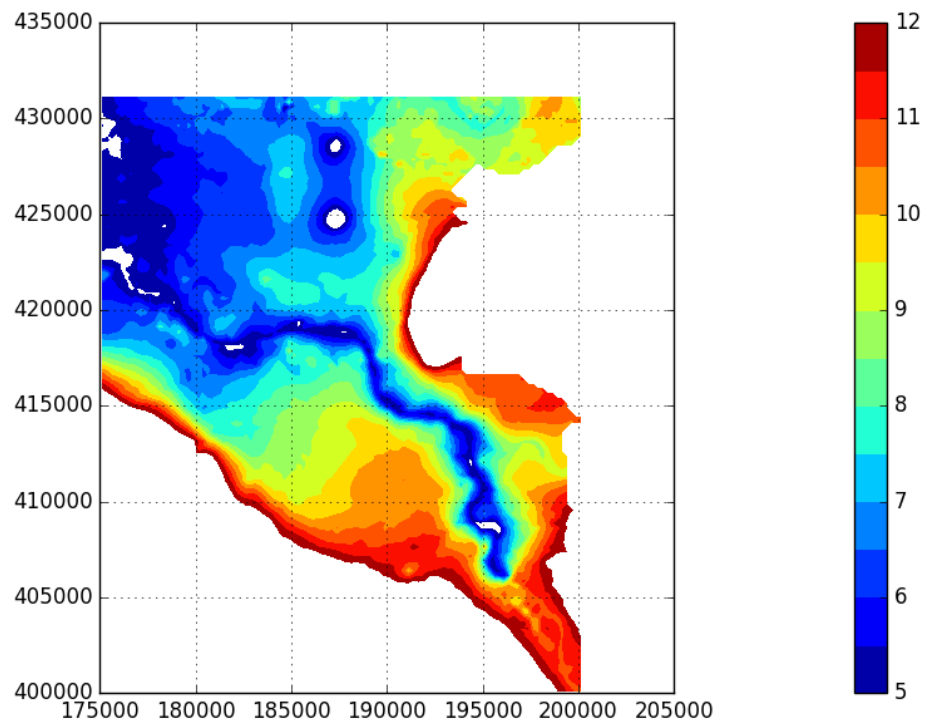
04-01-2017



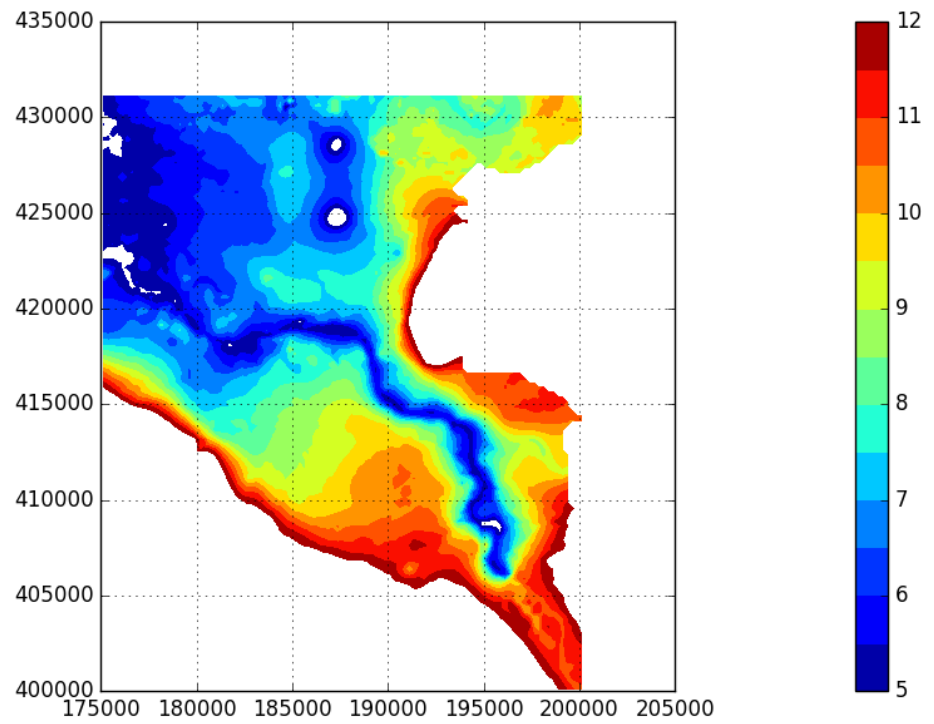
05-01-2017



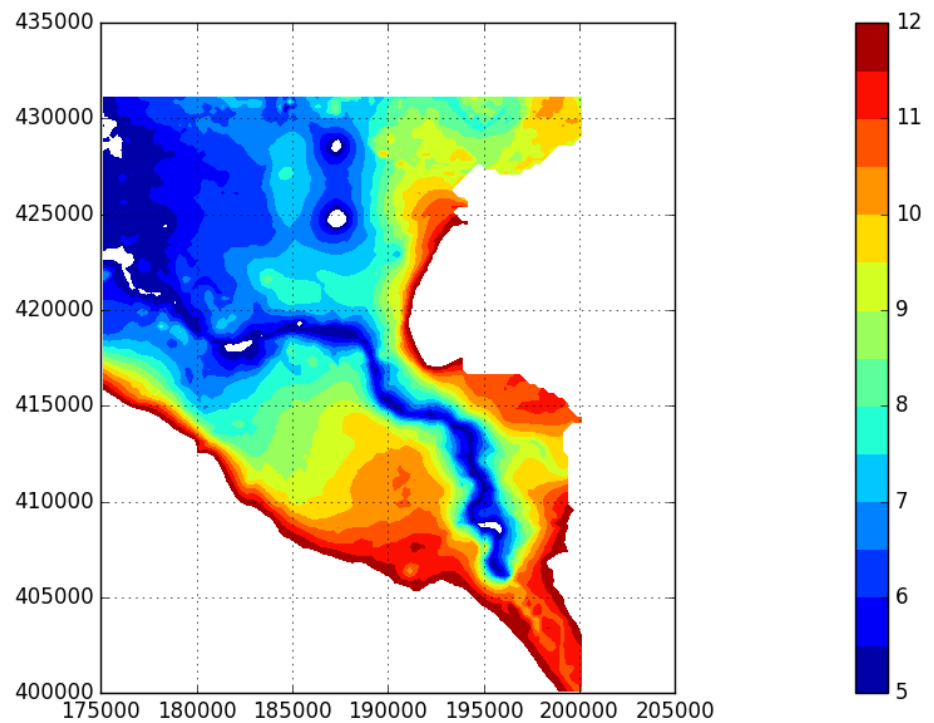
06-01-2017



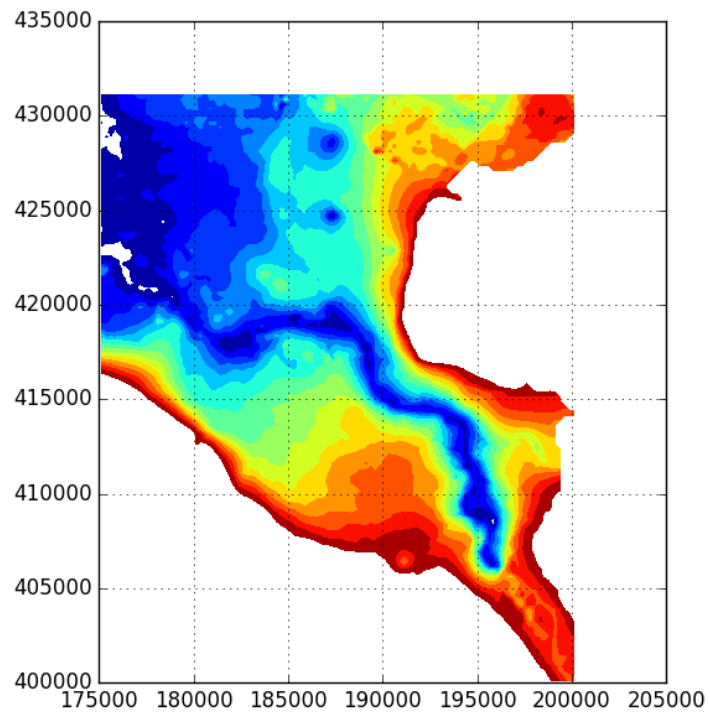
07-01-2017



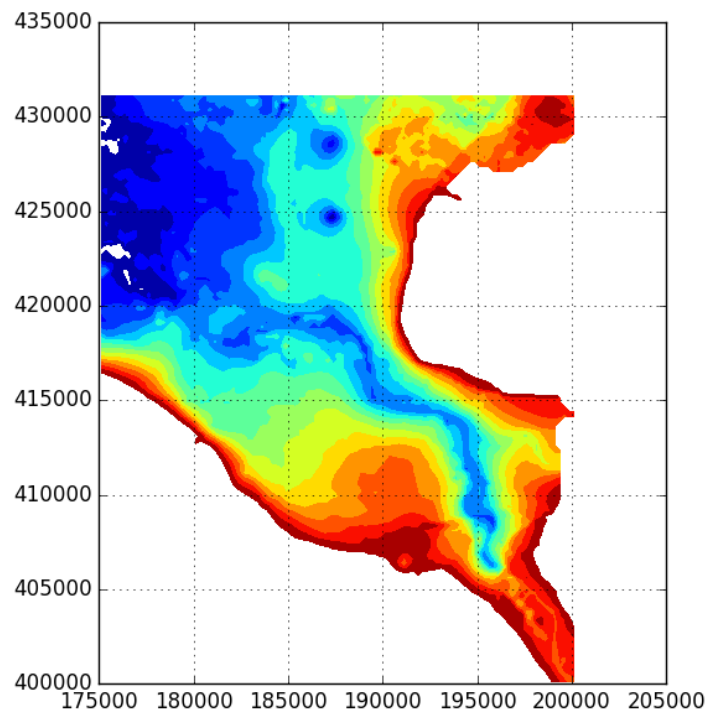
08-01-2017



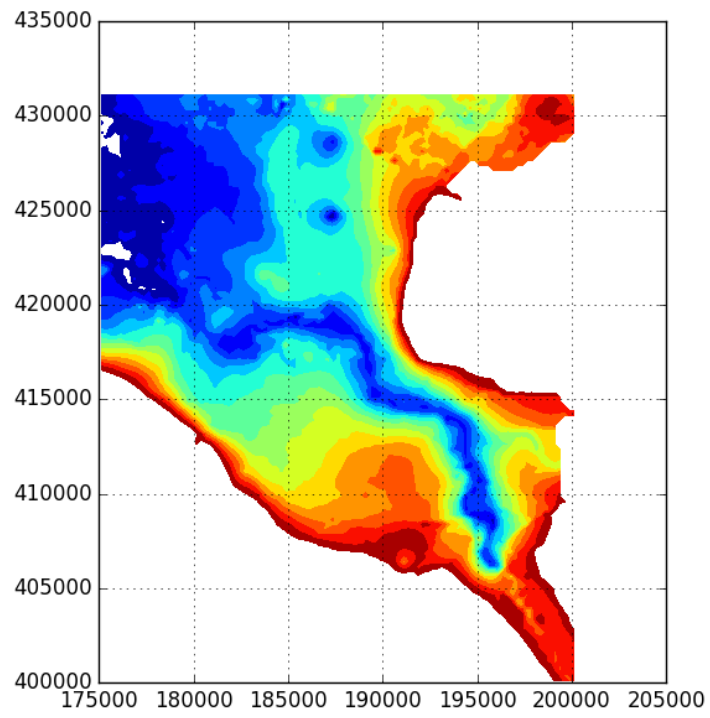
10-01-2017



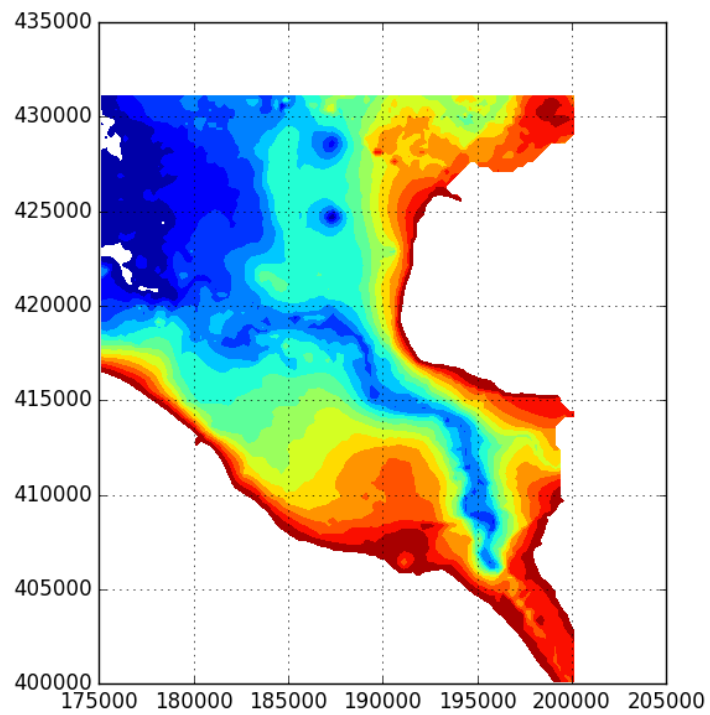
15-01-2017



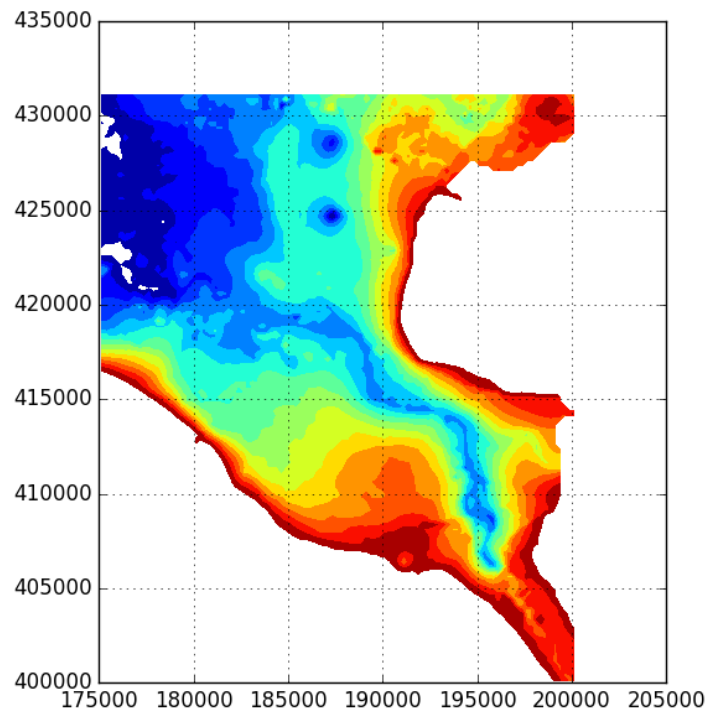
18-01-2017



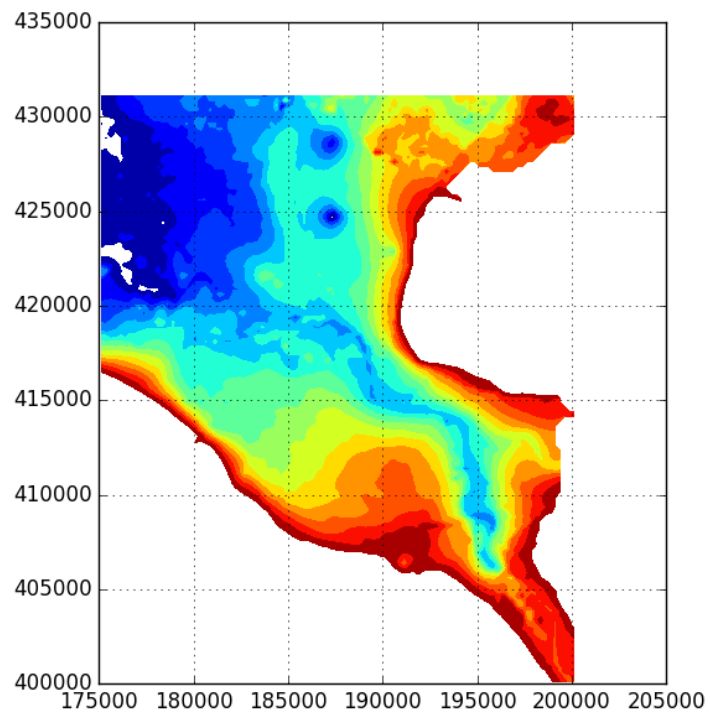
21-01-2017



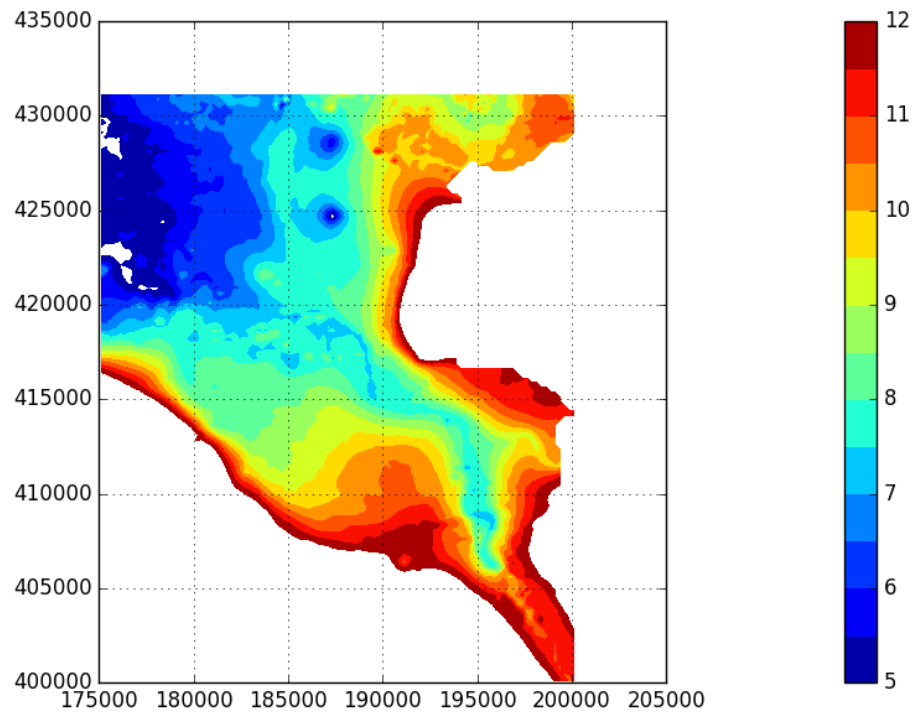
22-01-2017



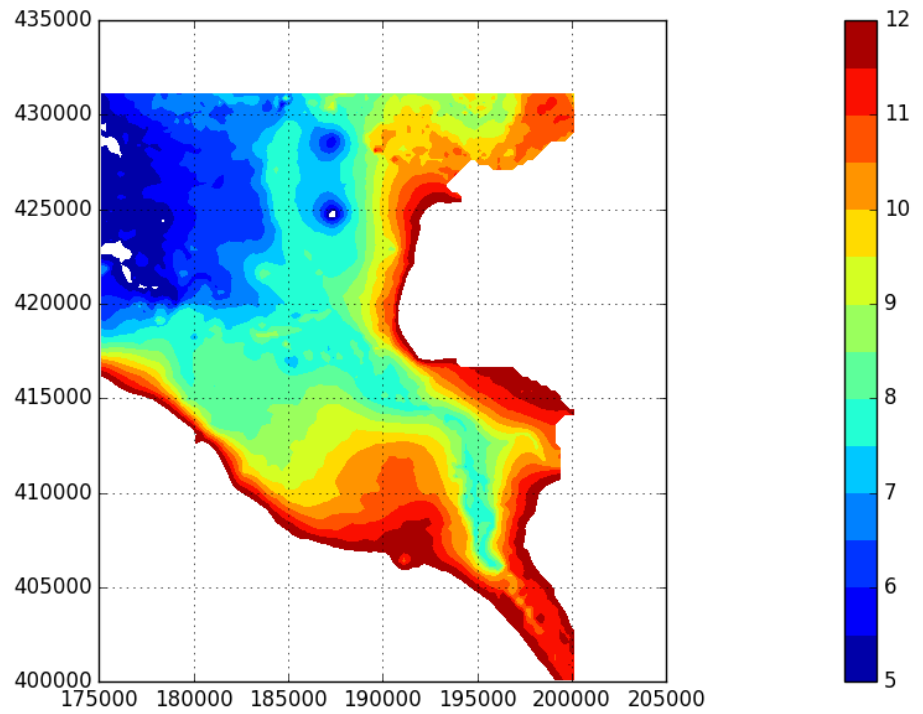
23-01-2017



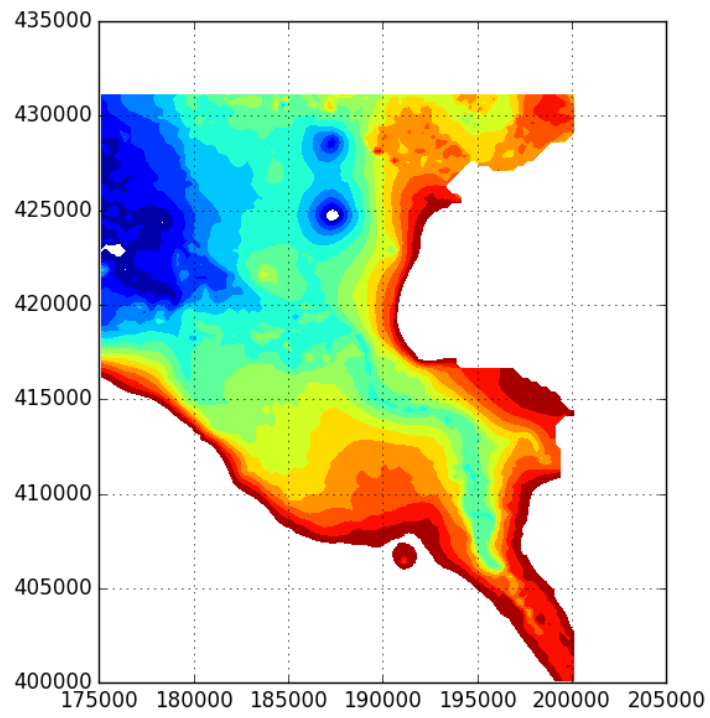
24-01-2017



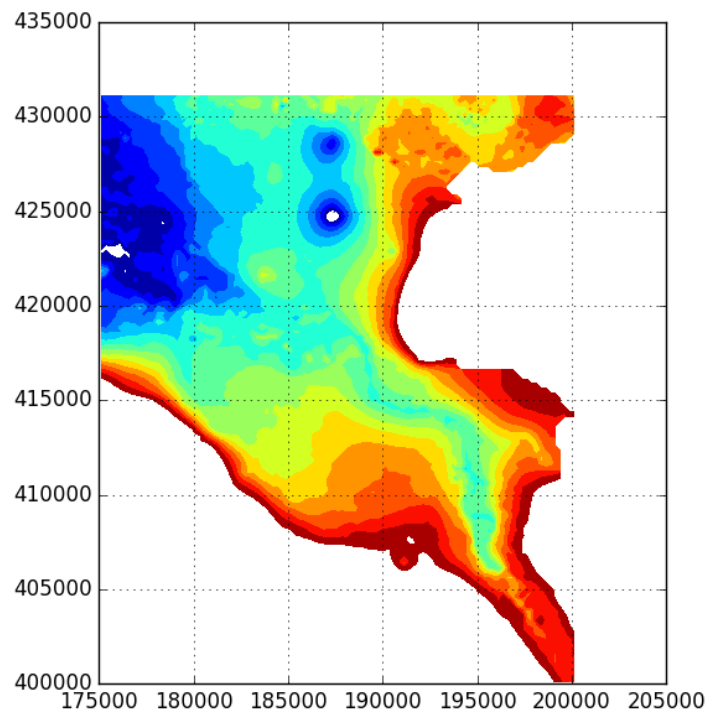
25-01-2017



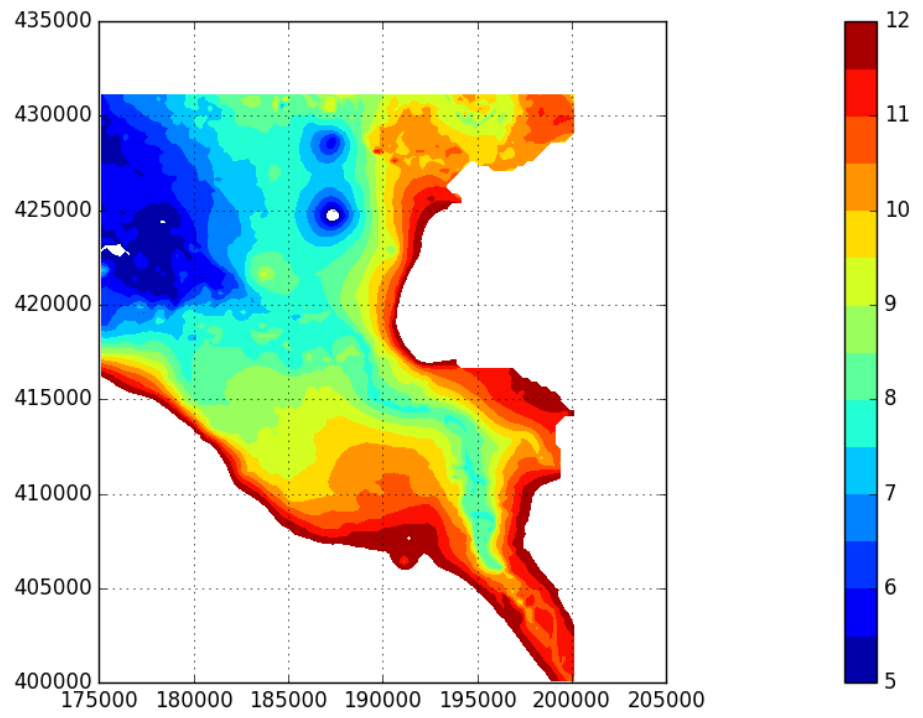
26-01-2017



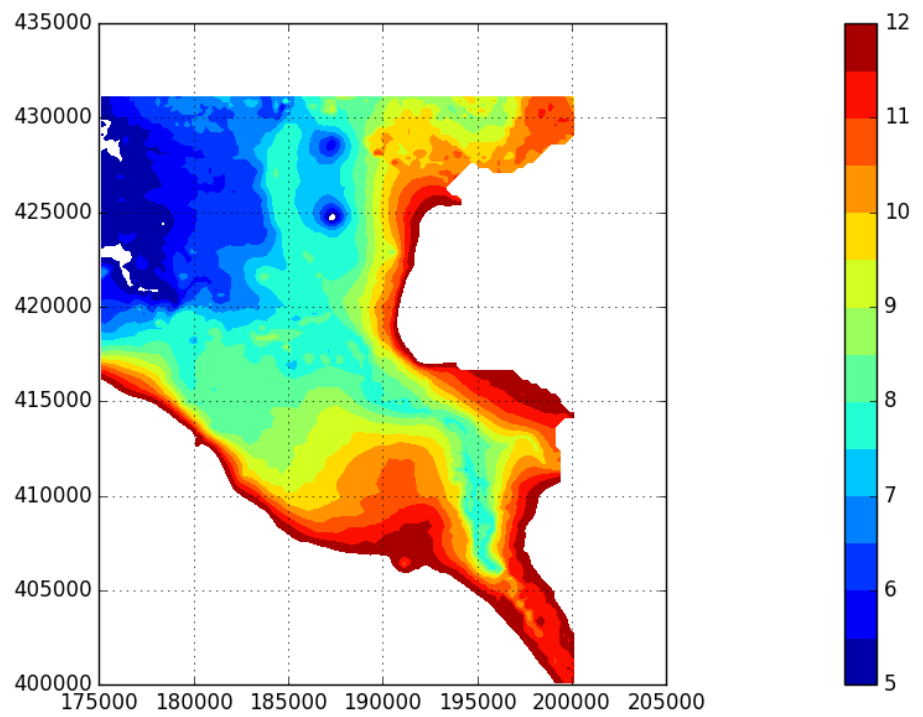
27-01-2017



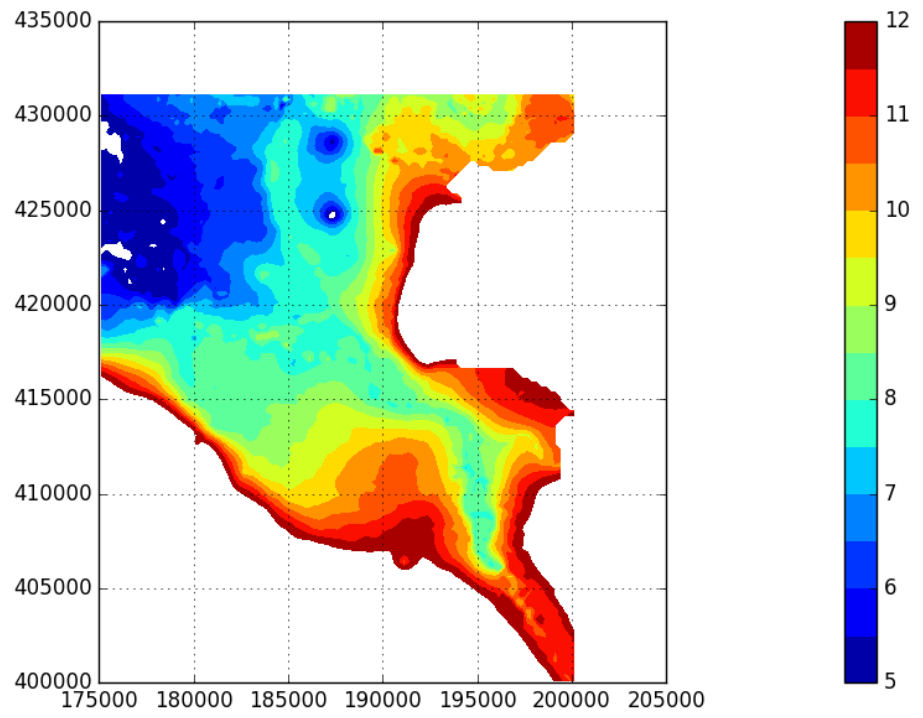
28-01-2017



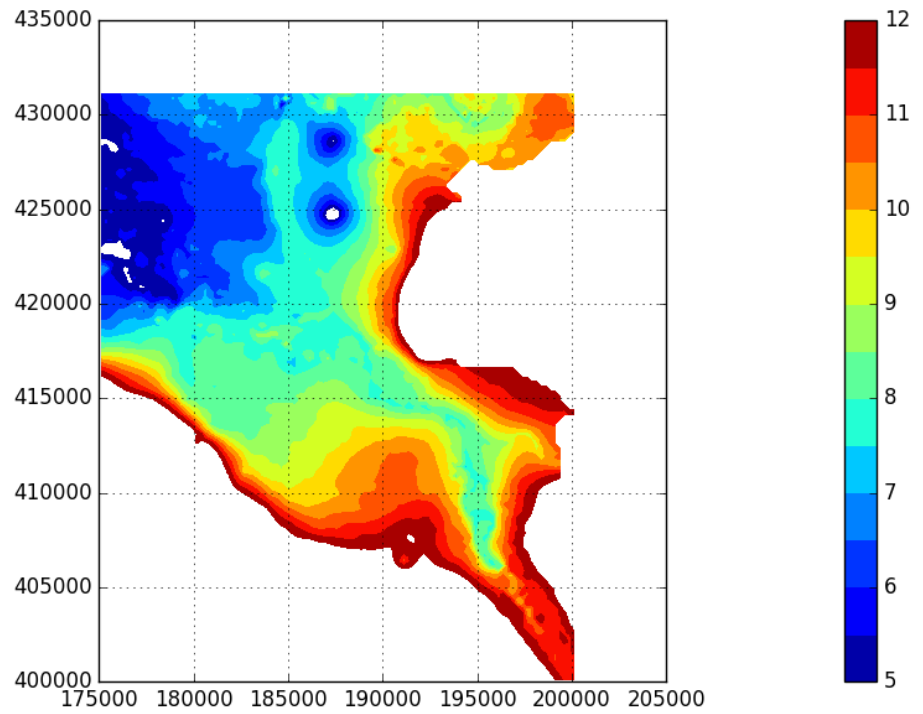
29-01-2017



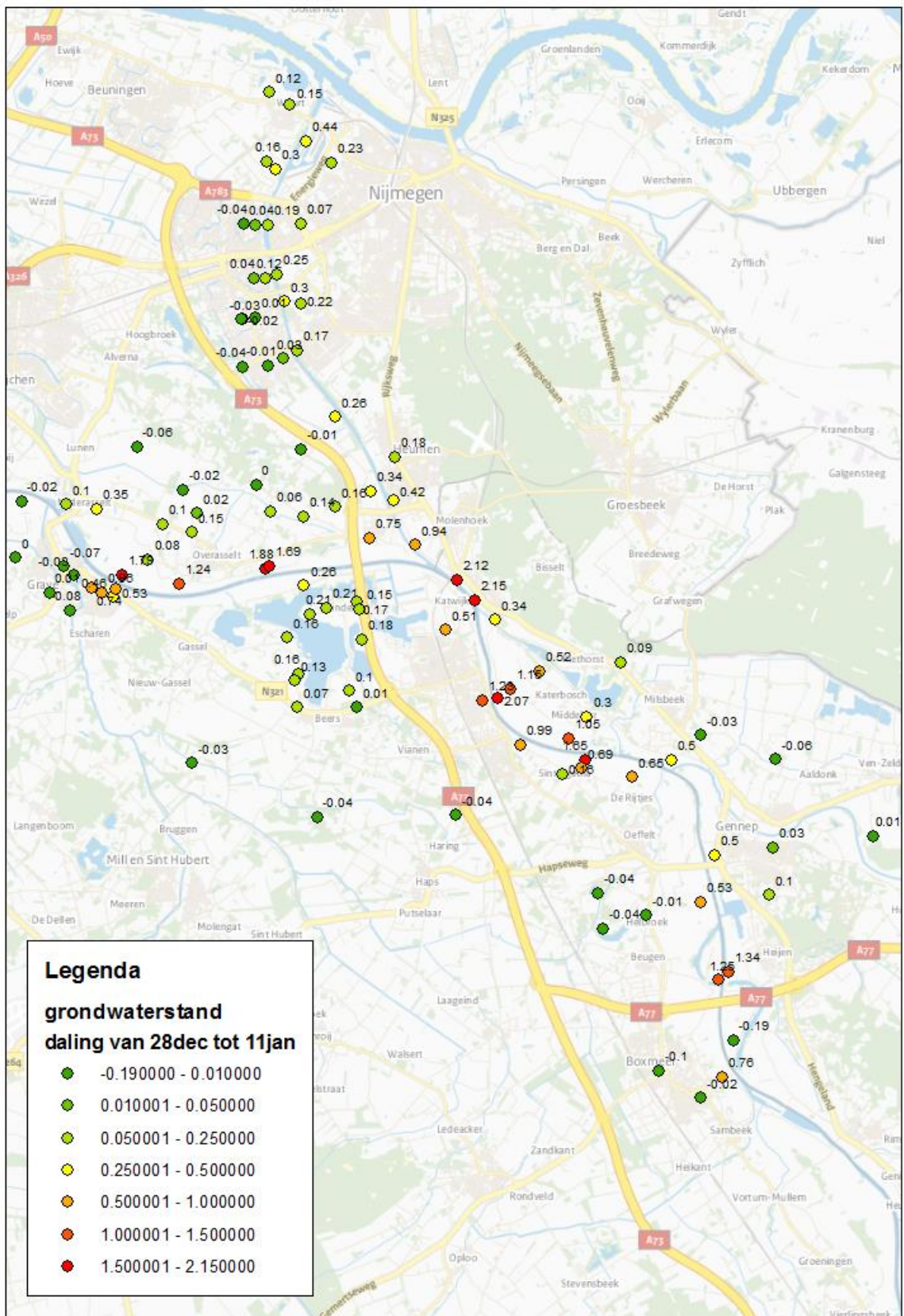
14-02-2017



21-02-2107

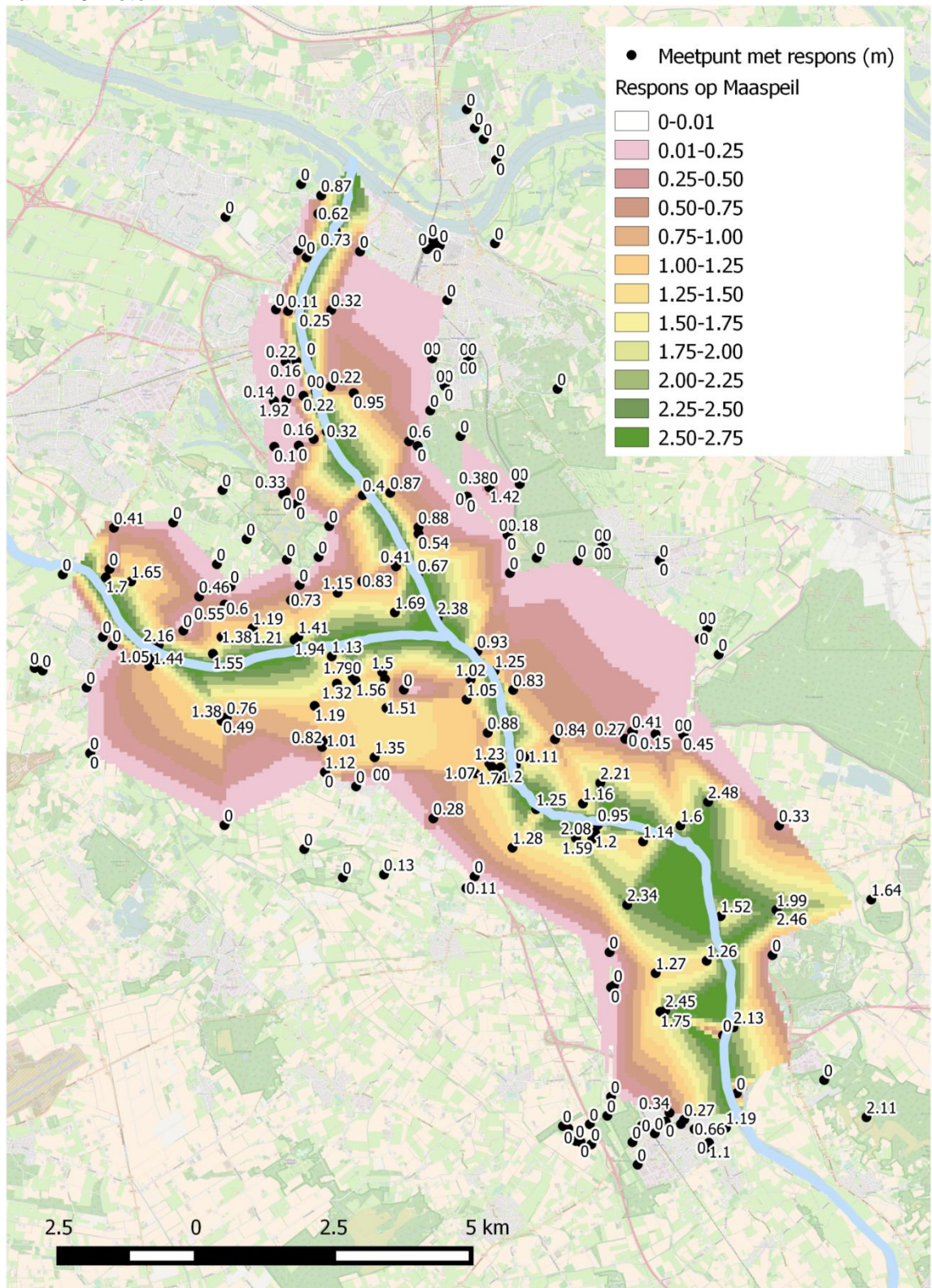


C Verschil gemeten grondwaterstand 11 jan 2017 t.o.v. 28 dec 2016



D Respons van grondwaterstand op Maaspeilverlaging uit tijdreeksanalyse

Stationaire (maximale) grondwaterstandsverlaging als respons op Maaspeilverlaging van 2.75 meter



Grondwaterstandsverlaging na 14 dagen als respons op Maaspeilverlaging van 2.75 meter

