

Geologische Dienst NederlandPrincetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nl

T +31 88 866 42 56

TNO-rapport**TNO 2021 R10281****Kaarten met grondwaterisohypsen in de
provincie Utrecht 2009-2020**

Datum	12 februari 2021
Auteur(s)	Willem Jan Zaadnoordijk Aris Lourens Jenny Hettelaar
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	81(incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	11
Opdrachtgever	Provincie Utrecht
Projectnaam	Isohypsen provincie Utrecht 2009-2020
Projectnummer	060.37186

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.

© 2021 TNO

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de totstandkoming van kaarten met grondwaterisohypsen voor de provincie Utrecht. De kaarten zijn gemaakt voor de watervoerende pakketten die door de provincie onderscheiden worden. De kaarten zijn gebaseerd op grondwaterstijghoogtemetingen voor de periode 2009-2020 en berekende stijghoogten uit het landelijk hydrologisch model (LHM v4.1) voor de periode 2011-2018. Per watervoerend pakket is een isohypsenkaart gemaakt voor:

- a) de gemiddelde situatie (gebaseerd op gemiddelden);
- b) een droge situatie (gebaseerd op 12.5-percentielen);
- c) een natte situatie (gebaseerd op 87.5-percentielen).

De kaarten leveren de best mogelijke schatting van de grondwaterstijghoogte voor deze situaties door de combinatie van metingen en een grondwatermodel. Door onzekerheden bij het afleiden van de betreffende waarden uit de metingen en het interpoleren met behulp van het model, hebben de kaarten een resolutie en een bandbreedte. De bandbreedte is ingeschat op ongeveer 60 tot 75 centimeter. De gepresenteerde stijghoogten mogen niet als puntwaarden geïnterpreteerd worden, maar zijn representatief voor gemiddelde waarden voor een gebied van 1 tot 10 hectare. Daarnaast zijn het ook gemiddelde waarden voor de doelperiode 2009-2020.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond	6
2	Data en aanpak	8
2.1	Verzamelen en analyseren meetgegevens	8
2.2	Bepaling representatieve stijghoogten per meetpunt	10
2.3	Indeling in provinciale watervoerende pakketten en homogene eenheden	10
2.4	Modelvlakken vervaardigen	13
2.5	Ruimtelijke interpolatie.....	14
2.6	Bandbreedtes en evaluatie meetnetdichtheid	15
3	Resultaten	16
3.1	Grondwaterstijghoogtegegevens	16
3.2	Trendvlakken	19
3.3	Isohypsen	22
4	Discussie	27
4.1	Betrouwbaarheid statistieken per meetpunt	27
4.2	Betrouwbaarheid trendvlakken	28
4.3	Betrouwbaarheid interpolatie	29
4.4	Betrouwbaarheid isohypsen	31
4.5	Vergelijking met vorige versie isohypsenkaarten	32
4.6	Freatische grondwaterstanden	35
5	Conclusie en aanbevelingen	38
6	Referenties	39
7	Ondertekening	40
	Bijlage(n)	
	A. Overzicht DINO data	
	B. Afgekeurde reeksen	
	C. Aangepaste reeksen	
	D. Niet-aangepaste reeksen	
	E. Vaststelling gemiddelde en percentielen per meetpunt	
	F. Gemiddelde voor meetpunten per WVP-eenheid	
	G. Residuen per WVP-eenheid	
	H. Kriging	
	I. Variogrammen per WVP-eenheid	
	J. Krigingvarianties per WVP-eenheid	
	K. Isohypsen per WVP-eenheid	

Overzicht figuren

Figuur 1 De drie watervoerende pakketten die de provincie Utrecht onderscheid met onderverdeling van WVP1 in WVP1west (ten westen van de stuwing), WVP1midden (boven de stuwing), WVP1stuw (het gestuwde deel van de ondergrond) en WVP1b (ten oosten van de stuwing onder de Eemklei) en WVP1oost (ten oosten van de stuwing boven de Eemklei). Achtergrond is een doorsnede uit REGIS II v2.2 gemaakt op https://www.DINOloket.nl/ondergrondmodellen .	11
Figuur 2 Verbreiding en dikte van het gestuwde deel van de ondergrond met de ligging van het profiel uit Figuur 1.	12
Figuur 3 Metranmodel voor reeks B31F2565001 met kalibratie (links) en simulatie (rechts).	17
Figuur 4 Metranmodel voor B26C4224001 met kalibratie (links) en simulatie (rechts)	17
Figuur 5 Metranmodel voor reeks B31B0120002.	18
Figuur 6 Trendvlak voor gemiddelde situatie van provinciaal watervoerend pakket WVP2 (met boringsvrije zones (donkerbruin) en grondwaterbeschermingsgebieden (lichtbruin) binnen de provincie Utrecht)	22
Figuur 7 verschillen tussen gemiddelde stijghoogte afgeleid uit de tijdreeksen en het modelvlak voor provinciaal watervoerend pakket WVP2	23
Figuur 8 Variogram voor de residuen van de gemiddelde situatie in WVP2.	24
Figuur 9 Geïnterpoleerde residuen voor de gemiddelde situatie in provinciaal watervoerend pakket WVP2.	25
Figuur 10 Isohypsens voor de gemiddelde situatie in provinciaal watervoerend pakket WVP 2.	26
Figuur 11 geschatte bandbreedte voor gemiddelde per meetpunt in provinciaal watervoerend pakket WVP2	28
Figuur 12 Standaardafwijking van de kriginginterpolatie voor de residuen voor de gemiddelde situatie van WVP2.	30
Figuur 13 Verdeling van de Z-score voor de kriging van de residuen in provinciaal watervoerend pakket WVP2.	31
Figuur 14 Verschil tussen isohypsens (gemiddelde 2009-2020) voor WVP2 en van Geer e.a. (2007)	33
Figuur 15 Verschil tussen isohypsens (gemiddeld 2009-2020) voor WVP1stuw en WVP1b en die uit van Geer e.a. (2007)	34
Figuur 16 Verschil tussen isohypsens (gemiddeld 2009-2020) voor WVP1west, WVP1midden en WVP1oost en die uit van Geer e.a. (2007)	35
Figuur 17 Relatieve positie onderkant filter in deklaag. Een lage waarde is relatief diep en een hoge waarde relatief ondiep.	36
Figuur 18 Verschil stijghoogte en midden filter	36
Figuur 19 Relatieve positie onderkant filter in deklaag (voor punten met positie >0.5 en afstand tussen stijghoogte en filter kleiner dan 0.5 meter)	37
Figuur 20 meetpunten in provinciaal watervoerend pakket met grootste verschillen tussen gemiddelden van de metingen zelf en van de maandgemiddelden van de metingen.	3
Figuur 21 tijdreeks voor filter 3 van peilbuis B31G0214.	4

Figuur 22 tijdreeks voor filter 3 van peilbuis B38F0534 en filter 4 van B38F0419.	4
Figuur 23 meetreeks voor filter 3 van peilbuis B32H0222.....	5
Figuur 24 relevante kenmerken van de meetreeks en de tijdreeksmodellen voor de meetpunten (sim3 is simulatie voor 2009-2020 met model gecalibreerd op diezelfde periode, terwijl sim1 berekend is met model gebaseerd op de hele meetreeks.	5
Figuur 25 cumulatieve verdeling van het gemiddelde aantal metingen per maand. ...	6
Figuur 26 cumulatieve verdelingen van het aantal maanden en jaren met minimaal 1 meting.	6
Figuur 27 Voorbeeld van een variogram. De rode lijn is het variogram model dat gefit is door de puntenwolk van het experimenteel variogram.	4
Figuur 28 Schematische voorstelling van kriging met een trendvlak.	6

Overzicht tabellen

Tabel 1 relatie tussen hydrogeologische eenheden uit REGIS II v2.2 en watervoerende pakketten per deelgebied van de provincie Utrecht	13
Tabel 2 Aantallen filters per provinciale laag en LHM-laag (de aantallen betreffen alleen de filters die goedgekeurd zijn in de kwaliteitscontrole.....	20
Tabel 3 Trendvlakken per provinciaal watervoerend pakket.	21
Tabel 4 Uiteindelijke aantallen meetreeksen per provinciale laag.	27
Tabel 5 Kentallen van de verschillen in meter tussen waarden uit meetreeksen en uit de trendvlakken per provinciaal watervoerend pakket (gem. = gemiddelde verschil; abs. = gemiddelde van de absolute verschillen; RMSE = wortel uit het gemiddelde van de kwadraten van de verschillen).	29
Tabel 6 ingeschatte bandbreedte voor gemiddelde en percentielen per meetpunt voor meetreeksen met een lengte van minimaal 12 maanden.....	7

1 Inleiding

De provincie Utrecht heeft TNO Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN) verzocht nieuwe versies op te stellen van de isohypsenkaarten gebaseerd op grondwatermeetreeksen in en om de provincie Utrecht, per watervoerend pakket en voor een gemiddelde, een natte en een droge situatie. De isohypsenkaarten geven vlakdekkende informatie over het grondwater afgeleid uit de data van het stijghoogtemeetnet van de provincie Utrecht en andere beschikbare meetgegevens uit DINOloket. Zo worden de resultaten van het meetnet makkelijker toegankelijk. Het is belangrijke informatie voor het grondwaterbeheer en voor activiteiten met een relatie tot het grondwater.

In 2007 is door TNO-GDN een eerdere versie van de isohypsenkaarten opgesteld op een vergelijkbare wijze (Van Geer e.a., 2007). De provincie Utrecht heeft de behoefte om de isohypsenkaarten te evalueren en te actualiseren. De provincie streeft naar een beeld van de regionale grondwatersituatie voor de periode 2009-2020. Dit betreft ruimtelijk inzicht in een gemiddelde, een droge en een natte situatie van het grondwatersysteem binnen de provincie.

1.1 Achtergrond

TNO Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN) beheert de nationale database met Nederlandse-ondergrondgegevens DINO (toegankelijk via: <https://www.dinoloket.nl>). Bovendien maakt TNO-GDN tijdreeksmodellen beschikbaar van de stijghoogtereeksen uit de DINO-database op de website <http://www.grondwaterstandeninbeeld.nl>. Hier kunnen ook interactief isohypsen bepaald worden voor een op te geven datum en watervoerend pakket. De door de provincie Utrecht gewenste kaarten van de grondwaterstand kunnen (nog) niet met de GDN-isohypsentool gemaakt worden. Die kaarten moeten namelijk karakteristieken (gemiddelde, hoge en lage waarde) weergeven over een specifieke periode en niet de situatie op een bepaalde dag. Voor deze karakteristieken moeten de meetreeksen geanalyseerd worden. Het is daarbij lastig om te gaan met reeksen die een variabele meetfrequentie hebben (missende waarden) of metingen met een onwaarschijnlijke waarde (mogelijk verstoorde metingen of meetfouten). Bovendien komen de watervoerende pakketten in de GDN-isohypsentool (indeling afkomstig van het Landelijk Hydrologisch Model van het NHI, <http://nhi.nu/>) en van de Utrechtse isohypsenkaarten niet overeen.

Daarom wil de Provincie Utrecht zelf kaarten voor de grondwatertoestand in de provincie beschikbaar maken. Sinds de vervaardiging van de vorige versie van de isohypsenkaarten zijn er diverse ontwikkelingen geweest die relevant zijn voor de interpretatie van het regionale grondwatersysteem en de uit de metingen afgeleide isohypsenkaarten. De belangrijkste ontwikkelingen zijn:

- Voor grote delen van de provincie zijn regionale grondwatermodelstudies uitgevoerd. Hierdoor is het inzicht vergroot in de ruimtelijke patronen en ruimtelijke samenhang in de stijghoogte. O.a. het AZURE grondwatermodel en een update van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) van het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI) zijn in deze periode ontwikkeld en gereed gekomen.

- Er zijn enkele grondwaterwinningen gestopt en er is een nieuwe winning gestart. Belangrijk is dat de juiste situatie van de winningen in de juiste setting in deze exercitie worden meegenomen.
- Het provinciale meetnet is volledig geautomatiseerd. Via automatische druksensoren worden nu meetgegevens verzameld met een veel hogere frequentie en voor een beperkt deel zijn deze ook actueel online beschikbaar.
- De provincie is per 1-1-2019 uitgebreid met de gemeente Vijfheerenlanden (eerder onderdeel van de provincie Zuid-Holland). Dit nieuwe deel behoort nu tot het Utrechts grondgebied en maakt voortaan ook onderdeel uit van de kaarten en moet dus meegenomen worden in de berekeningen.

Maatgevend voor het nieuw op te zetten beeld is de periode 2009-2020. Voor de grondwatermeetpunten in de DINO-database variëren de meetperioden en frequenties van de stijghoogten. Daarom is op voorhand niet te zeggen hoe per meetpunt een representatieve waarde bepaald kan worden voor de gemiddelde, natte en droge situatie.

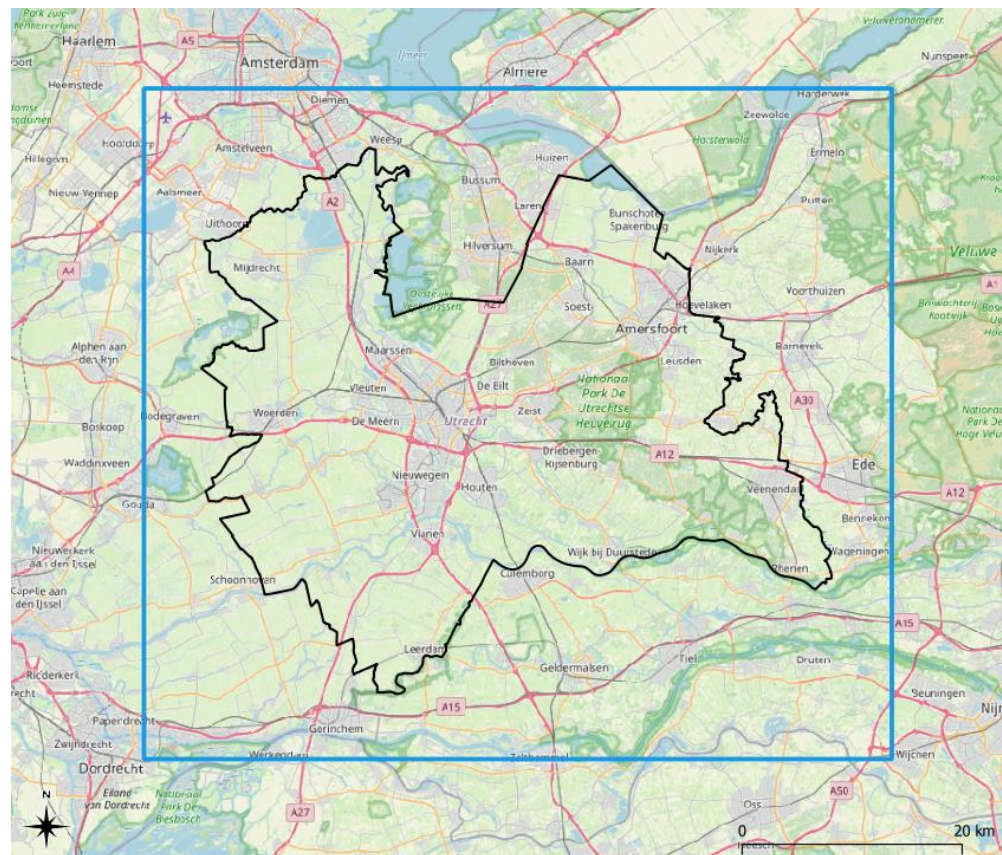
Van Geer e.a. (2007) namen de 12,5 en 87,5 percentiele waarden van tijdreeksen als maatgevend voor respectievelijk de droge en de natte situatie. Dit is bruikbaar voor tijdreeksen van allerlei frequenties in tegenstelling tot de GLG en de GHG uit de bodemkaarten (Knotters e.a., 2018) en het grondwaterdynamiekmodel van WEnR (Wageningen Environmental Research, zie ook <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Faciliteiten-tools/Software-en-modellen/Grondwaterdynamiek.htm>) dat in 2022 als “Model Grondwaterspiegeldiepte” in de Basisregistratie Ondergrond opgenomen wordt (<https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/modellen/model-grondwaterspiegeldiepte-wdm/>). De GHG en GLG zijn geënt op reeksen met twee metingen per maand (Van Heesen 1970; Finke e. a. 2004). Ook kan bij de benadering met percentielen gebruik gemaakt worden van de extra informatie die tijdreeksen bevatten waarin van tweemaandelijks handmatige metingen is overgeschakeld op geautomatiseerde dagelijkse metingen, al zullen daarbij wel wegingsfactoren gebruikt moeten worden. De interpolatie van stijghoogtes tussen de meetpunten wordt sterk verbeterd door het gebruik van een modelvlak als een trendvlak. Dit zorgt er bijvoorbeeld voor dat grootschalige invloeden zoals het Amsterdam-Rijnkanaal tot uiting komen in het resultaat, ook waar de meetdichtheid minder groot is. Verder is het voor het toepassingsbereik van belang om inzicht te hebben in de betrouwbaarheid. Aspecten hiervan zijn de resolutie of schaalgrootte en nauwkeurigheid.

2 Data en aanpak

De volgende stappen kunnen in het project worden onderscheiden:

- Verzamelen en analyseren meetgegevens;
- Bepalen representatieve stijghoogten per meetpunt voor gemiddelde, natte en droge situatie;
- Modelvlakken vervaardigen voor gemiddelde, natte en droge situatie;
- Ruimtelijke interpolatie van representatieve stijghoogtes per meetpunt per watervoerend pakket voor de gemiddelde, natte en droge situatie;
- Inschatten bandbreedtes van de resultaten en evalueren dichtheid provinciale meetnet;
- Maken GIS-kaarten en rapportage;
- Overleg met medewerkers van de provincie Utrecht.

Deze stappen worden in de volgende paragrafen toegelicht.



Figuur 1 Grens van de provincie Utrecht (zwart) met zoekgebied voor stijghoogtegegevens (blauw).

2.1 Verzamelen en analyseren meetgegevens

Als eerste stap zijn de meetwaarden uit de DINO-database geselecteerd binnen de rechthoek tussen RD X-coördinaten 109000 en 177000 en Y-coördinaten 424000 en 485000 vanaf 1 januari 2009 (Figuur 1). Hiermee is verzekerd dat alle meetpunten binnen de gehele provincie inclusief Vijfheerenlanden met een buffer

van 5 km gebruikt worden. Dit is inclusief de meetpunten uit het primaire provinciale meetnet van de provincie Utrecht.

De meetpunten zijn aan de hand van de NAP-hoogte van het filter gekoppeld aan de provinciale watervoerende pakketten WVP1west, WVP1midden, WVP1stuw, WVP1oost, WVP1b of WVP2, waarbij de indeling uit van Geer e.a. (2007) is overgenomen. De eenheden WVP1west, WVP1midden en WVP1oost worden samen in een kaart WVP1 gepresenteerd. Ook de eenheden WVP1stuw en WVP1b zijn voor de kaarten samen genomen in kaart WVP1b. Voor de geometrie van deze lagen is gebruik gemaakt van het hydrogeologische model REGIS II v2.2 (beschikbaar op <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>; zie ook Hummelman e.a., 2019).

2.1.1 *Freatische grondwaterstanden*

Voor meetpunten die zich boven de hierboven genoemde lagen bevinden is ingeschat of ze de freatische grondwaterstand representeren aan de hand van de relatieve diepte van het filter in de deklaag en het verschil tussen de stijghoogte en de filterstelling. Aan de hand van de dichtheid en het aantal freatische meetpunten die dit oplevert, wordt een uitspraak gedaan of het zinvol kan zijn om isohypsen te bepalen voor de freatische grondwaterstand.

2.1.2 *Tijdreeksmodellering: kalibratie en simulatie*

Voor elke meetreeks zijn tijdreeksmodellen gemaakt met neerslag en verdamping als verklarende variabelen. Hiervoor is Metran gebruikt, de 'grondwatertool' voor de tijdreeksmodellering voor de grondwaterdynamiek van de grondwatertools website <http://www.grondwaterstandeninbeeld.nl> (Zaadnoordijk e.a., 2019). Voor deze studie is gebruikt gemaakt van een 'stand alone' versie van Metran, maar vergelijkbare resultaten zijn ook te raadplagen op de website.

Per tijdreeks zijn twee tijdreeksmodellen gemaakt: de een gekalibreerd aan de hele tijdreeks, de ander aan de metingen vanaf 2009. Deze tijdreeksmodellen gebruiken neerslag en verdamping als invoer om de variatie in de stijghoogte te verklaren. Metran gebruikt dagwaarden van de neerslag en verdamping van de dichtstbijzijnde KNMI-stations.

De modellen bevatten naast de respons op neerslag en verdamping een restterm die de verschillen bevat tussen het verklaarde deel van het model en de stijghoogtemetingen waarop het model gekalibreerd is. Bij de kalibratie geeft Metran ook een beoordeling van de modellen. Alleen de redelijke modellen zijn geselecteerd. Redelijke modellen zijn de Metranmodellen die voldoen aan eisen over de verklaarde variantie, de betrouwbaarheid van de neerslagrespons en de kwaliteit van het ruismodel (Bus en Zaadnoordijk, 2018; Zaadnoordijk e.a. 2019). Op de grondwatertools website worden regimecurves getoond voor de modellen die aan al deze criteria voldoen en de betreffende punten worden groen gemarkeerd (de acceptabele modellen die aan een deel van de eisen voldoen krijgen een gele markering, als het tijdreeksmodel onacceptabel is, omdat het aan te weinig criteria voldoet, dan krijgt deze een grijze markering).

Voor de redelijke modellen zijn simulaties gemaakt voor de periode 2009 – augustus 2020. Deze simulaties bestaan uit de neerslag en verdampingsrespons plus een stochastische benadering van de restterm. Metran berekent 100 benaderingen voor de restterm, zodat de simulatie naast een gemiddelde, ook een

bandbreedte bevat. Hiermee wordt een indruk verkregen van de betrouwbaarheid van de simulatie.

2.2 Bepaling representatieve stijghoogten per meetpunt

Voor bepalen van de representatieve stijghoogte voor de gemiddelde, natte en droge situatie zijn de metingen gebruikt en eventueel simulaties met de Metran-tijdreeksmodellen.

Afhankelijk van de hoeveelheid metingen, de lengte van de periode met metingen en de kwaliteit van tijdreeksmodellen voor de meetreeksen zijn verschillende opties voor het vaststellen van de representatieve waarden gebruikt:

- Direct gebruik van de beschikbare metingen vanaf 2009;
- Gebruik van maandgemiddelden van de metingen vanaf 2009;
- Gebruikt van simulaties met een tijdreeksmodel voor de periode 2009-augustus 2020 (zie subparagraaf 2.1.2).

Hierbij is ook een indicatie van de betrouwbaarheid van de representatieve waarden per meetpunt bepaald.

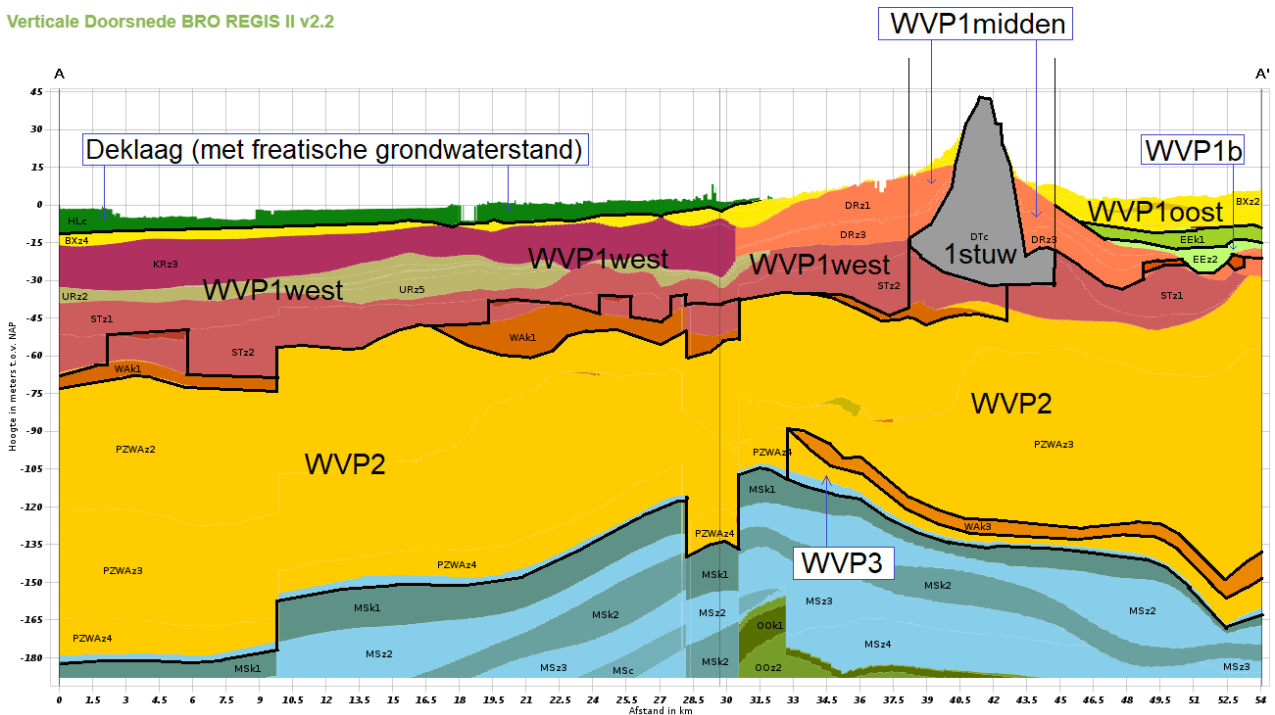
2.3 Indeling in provinciale watervoerende pakketten en homogene eenheden

De provincie Utrecht onderscheid drie watervoerende pakketten die voornamelijk gescheiden worden door kleiige eenheden binnen de gecombineerde geologische Formatie van Peize en Waalre zoals deze zijn gedefinieerd in REGIS II v2.2 (Hummelman e.a., 2019):

1. WVP1: het watervoerend pakket boven de eerste kleiige eenheid (Wak1); daar waar de Formatie van Sterksel boven de Wak1 een kleiige eenheid bevat is deze als ondergrens voor WVP1 aangehouden en waar stuwings in de ondergrond aanwezig is, is de onderzijde van de stuwings (DTc) aangehouden als de onderkant van WVP1;
2. WVP2: het watervoerend pakket tussen de eerste kleiige eenheid (Wak1) en de derde (Wak3) dan wel de eerste kleiige eenheid uit de Formatie van Maassluis (MSk1) daar waar de Wak3 ontbreekt;
3. WVP3: het watervoerend pakket tussen de derde kleiige eenheid van de Formatie van Waalre en de eerste kleiige eenheid uit de Formatie van Maassluis – deze is alleen gedefinieerd waar de derde kleiige eenheid van de Formatie van Waalre aanwezig is; voor dit pakket worden geen isohypsen gemaakt.

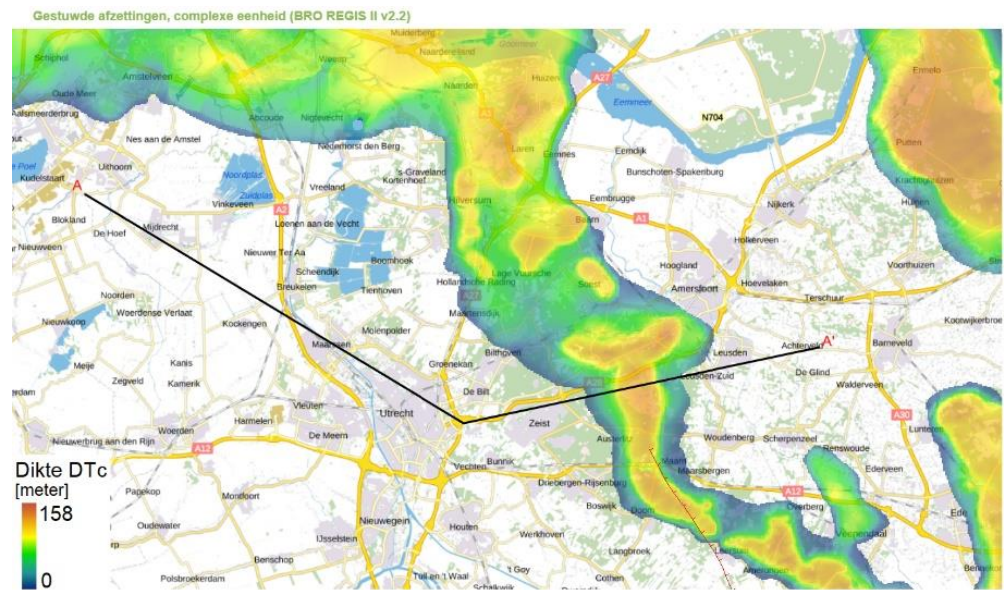
Binnen het eerste provinciale watervoerend pakket WVP1 zijn drie zones onderscheiden op basis van de verbreiding van het gestuwde deel van de ondergrond (DTc): west, midden en oost. WVP1 is in de zones midden en oost bovendien verticaal onderverdeeld aan de hand van de onder- en bovenkant van DTc en de eerste kleiige eenheid binnen de Eemformatie (Eek1). Zo zijn vijf homogene eenheden onderscheiden, waarbinnen het grondwatersysteem tamelijk uniform is. Figuur 2 toont de door de provincie Utrecht onderscheiden watervoerende pakketten in een dwarsdoorsnede en de onderverdeling van WVP1 (de ligging van de zones is te zien in Figuur 3).

Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2



Figuur 2 De drie watervoerende pakketten die de provincie Utrecht onderscheid met onderverdeling van WVP1 in WVP1west (ten westen van de stuwing), WVP1midden (boven de stuwing), WVP1stuw (het gestuwde deel van de ondergrond) en WVP1b (ten oosten van de stuwing onder de Eemklei) en WVP1oost (ten oosten van de stuwing boven de Eemklei). Achtergrond is een doorsnede uit REGIS II v2.2 gemaakt op <https://www.DINOloket.nl/ondergrondmodellen>.

De homogene eenheden zijn gekoppeld aan de geologie. De verbreiding van het gestuwde deel van de ondergrond bepaalt in horizontale zin midden (het gebied met stuwing), oost (ten oosten daarvan) en west (ten westen daarvan). Het gebied met stuwing is in Figuur 3 te zien. Voor de verticale indeling zijn onder- en bovenkanten gebruikt van een aantal hydrogeologische eenheden conform Van Geer e.a. (2007), maar nu gebaseerd op REGIS II v2.2 (zie Figuur 2).



Figuur 3 Verbreiding en dikte van het gestuwde deel van de ondergrond met de ligging van het profiel uit Figuur 2.

Voor het koppelen van de meetpunten en de modelaquifers van het voor de modelvlakken gebruikte grondwatermodel aan de provinciale watervoerende pakketten is gebruik gemaakt van REGIS II v2.2 (Hummelman e.a., 2019).

Voor het midden van elk filter is bepaald in welke REGIS-II-eenheid dit zich bevindt. Als alleen de onderkant of de bovenkant van het filter bekend is dan wordt die diepte gebruikt. De REGIS-II-eenheden zijn vervolgens vertaald in de watervoerende pakketten volgens Tabel 1.

Tabel 1 relatie tussen hydrogeologische eenheden uit REGIS II v2.2 en watervoerende pakketten per deelgebied van de provincie Utrecht

pakket	REGIS II 2.2	deelgebied
Deklaag	HLc	Alle
WVP 1 west	BXz1-4, DRz1-3, EEz1-2, KRz2-3, URz1-5, STz1, STz2 (bij afwezigheid STk1), SYz2	West
WVP 1 midden	BXz1-4, EEz1-2, DRz1-3, KRz2-3	Midden
WVP 1 oost	BXz1-4, EEz1, DRz1 (boven EEk1)	Oost
WVP 1 stuw	DTc	Midden
WVP 1 b	EEz2-3, DRz1-3, KRz2-3, STz1-2 (onder EEk1)	Oost
WVP 2	APz1, PZWAz1-3 STz1-2	Alle
WVP 3	n.v.t. (MS, PZc)	

HL	Holoceen
AP	Formatie van Appelscha
BX	Formatie van Boxtel
DR	Formatie van Drente
DT	Gestuwde afzettingen
EE	Eemformatie
KR	Formatie van Kreftenheye
MS	Formatie van Maassluis
PZ	Formatie van Peize
PZWA	Gecombineerde F. van Peize en Waalre
ST	Formatie van Sterksel
SY	Formatie van Stamproy
UR	Formatie van Urk
WA	Formatie van Waalre

Het deelgebied 'midden' is het deel waar de eenheid DTc (het gestuwde deel van de ondergrond) aanwezig is. Het deelgebied 'west' ligt ten westen hiervan en 'oost' aan de oostkant. Filters in de scheidende lagen zijn buiten beschouwing gelaten. Voor de filters in de Holoceen deklaag (HLc) wordt beoordeeld of ze de freatische grondwaterstand representeren aan de hand van:

- De relatieve positie in de deklaag;
- De dikte van de deklaag;
- De positie van de stijghoogte ten opzicht van de bovenkant van het filter.

Dit is vooral voor deelgebied West van belang.

2.4 Modelvlakken vervaardigen

Voor het maken van de modelvlakken is overwogen om, zoals in 2007 (van Geer e.a., 2007), gebruik te maken van regionale modellen. In tegenstelling tot toen dekken de bestaande regionale modellen (Azure, Hydromedah en Moria) gezamenlijk wel de hele provincie af. Geen van de modellen beslaat echter individueel de gehele provincie. Vanwege verwachte aansluitingsproblemen tussen de modellen door verschillen in laagopbouw, schematisatie van oppervlaktewater en topsysteem, kalibratieperiode en beschikbare simulatieperiodes is in overleg met

de provincie besloten om geen regionale modellen te gebruiken voor de trendvlakken, maar deze te baseren op de uitvoer van het landelijk hydrologisch model van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI-LHM, zie <http://nhi.nu> en de Lange e.a., 2014). Dit model is recent bijgewerkt en verbeterd. Hoewel de definitieve validatie nog afgerond moet worden en de rapportages nog niet gereed zijn, is wel duidelijk dat het betere resultaten levert dan de voorgaande versies (persoonlijke mededeling Timo Kroon, Deltares, oktober 2020).

Deltares heeft berekende stijghoogten ter beschikking gesteld uit het landelijk hydrologisch model (LHM v4.1) voor de periode 2011-2018 voor dezelfde rechthoek als gebruikt is voor de selectie van de metingen (tussen RD X-coördinaten 109 000 en 177 000 en Y-coördinaten 424 000 en 485 000). De ruimtelijke resolutie is 250 meter, de resolutie in de tijd is 1 dag.

Per LHM-modelaQUIFER is op basis van deze uitvoer een grid van 250m bij 250m cellen met het gemiddelde, de 12.5-percentiel en de 87.5-percentiel gemaakt. Voor elk van de provinciale watervoerende pakketten is bepaald welke LHM-modelaQUIFER het beste past bij de metingen. Vervolgens zijn de waarden uit de betreffende grids met cellen van 250m bij 250m geïnterpoleerd naar grids van 25m bij 25m om een vloeiender trendvlak voor de interpolatie te verkrijgen dat meer aansluit bij de meetpunten.

2.5 Ruimtelijke interpolatie

De ruimtelijke interpolatie van de representatieve stijghoogten per meetpunt is op dezelfde wijze uitgevoerd als in 2007: per geohydrologisch homogene eenheid wordt een geostatistische interpolatie uitgevoerd van de afwijking van de representatieve stijghoogte ten opzichte van het bijbehorende modelvlak. Het verschil tussen de representatieve stijghoogte en het modelvlak wordt het residu genoemd.

De eenheden zijn zo gekozen dat de veronderstelling gerechtvaardigd is dat de residuen uniforme statistische eigenschappen hebben.

Vervolgens wordt per homogene eenheid en per karakteristiek een variogram van de residuen gemaakt. Het variogram geeft de ruimtelijke correlatie weer als functie van de afstand en is de belangrijkste geostatistische karakterisatie van een ruimtelijk verdeelde grootte. Met het variogram kan een geostatistische interpolatie (kriging, zie bijlage H) uitgevoerd worden.

De ruimtelijke interpolatie van de residuen wordt uitgevoerd met blokkiging (zie bijlage H). Het resultaat bestaat per homogene eenheid uit geïnterpoleerde oppervlakken voor de drie karakteristieken.

Per karakteristiek worden de geïnterpoleerde oppervlakken van de homogene eenheden samengevoegd tot één oppervlak voor een watervoerend pakket op dezelfde wijze als dat gedaan is door Van Geer e.a. (2007). Tot slot wordt het modelvlak opgeteld bij de geïnterpoleerde oppervlakken om weer waarden ten opzichte van NAP te krijgen.

2.6 Bandbreedtes en evaluatie meetnetdichtheid

Bij de interpolaties zullen ook controleberekeningen uitgevoerd worden. Daarbij zal op de plek van elk meetpunt met puntkriging (zie bijlage H) de betreffende karakteristieke stijghoogte berekend worden zonder de informatie van dat betreffende meetpunt te gebruiken (het verschil tussen deze berekende waarden en de karakteristieke stijghoogte uit de meetreeks wordt de Z-waarde genoemd – zie bijlage H). Zo verkrijgen we voor elk meetpunt een indruk van de nauwkeurigheid van de interpolatie ter plekke. Verder levert de statistische interpolatie een interpolatievariantie en heeft de vergelijking van de waarden uit de metingen met de modelvlakken uit het NHI-LHM een indruk gegeven van de marges die daarin aanwezig zijn.

Door deze verschillende soorten informatie te combineren wordt inzicht verkregen in de bandbreedte van de berekende stijghoogten voor de gemiddelde, natte en droge situatie. Aan de hand van deze bandbreedte zullen adviezen gegeven worden voor het gebruik van de op te leveren kaarten. Ook zal deze bandbreedte gebruikt worden om te bepalen of de dichtheid van de meetpunten per WVP in het provinciale meetnet nog steeds overeenkomst met de inrichtingseisen zoals ook bepaald in 2007.

3 Resultaten

De resultaten zijn onderverdeeld in grondwaterstijghoogten (metingen en tijdreeksmodellen), trendvlakken en isohypsen.

3.1 Grondwaterstijghoogtegegevens

Bijlage A geeft een overzicht van de meetreeksen en bijbehorende meetpunten. De tabel bevat onder meer de volgende kolommen:

- Naam (NITGnummer of het BRO-id als het filter geen NITG-nummer heeft);
- xCoor (x-waarde van de RD-coördinaten);
- yCoor (y-waarde van de RD-coördinaten);
- mvNAP (maaiveld ten opzichte van NAP);
- BKfilt (bovenkant van het filter ten opzichte van NAP);
- OKfilt (onderkant van het filter ten opzichte van NAP);
- beoordeling (afgekeurd, aangepast of goedgekeurd).

BRO staat voor Basisregistratie Ondergrond (<https://basisregistratieondergrond.nl>).

De reeksen zijn via <https://www.DINOloket.nl> opgevraagd op 28 september 2020.

Op 4 december 2020 zijn aanvullende reeksen opgevraagd rond Vijfheerenlanden. Hierbij wordt maximaal een meting per dag geleverd. Dit is de waarde het dichtst bij 12:00 u, als er meerdere metingen per dag zijn (bijvoorbeeld bij een automatische drukopnemer die is ingesteld op uurlijkse registratie).

3.1.1 *Meetreeksen grondwaterstijghoogte*

De DINO-database bevatte 11686 stijghoogtereeksen. Hiervan zijn er 5962 afgevallen vanwege het ontbreken van xy-coördinaten, filterstelling of metingen na 2009. De overblijvende 5724 reeksen zijn allemaal visueel beoordeeld. 714 reeksen zijn in hun geheel afgekeurd (zie bijlage B). Van de resterende 5010 reeksen zijn bij een deel metingen verwijderd die op het oog onbetrouwbaar waren (vanwege bijvoorbeeld grote uitschieters of perioden met exact gelijke waarden, zie bijlage C). De overige zijn in hun geheel goedgekeurd voor het maken van de isohypsen. (zie bijlage D).

De goedgekeurde reeksen uit bijlage D en de aangepaste reeksen uit bijlage C vormen samen een verzameling van 5010 reeksen die verder geanalyseerd zijn voor de isohypsen.

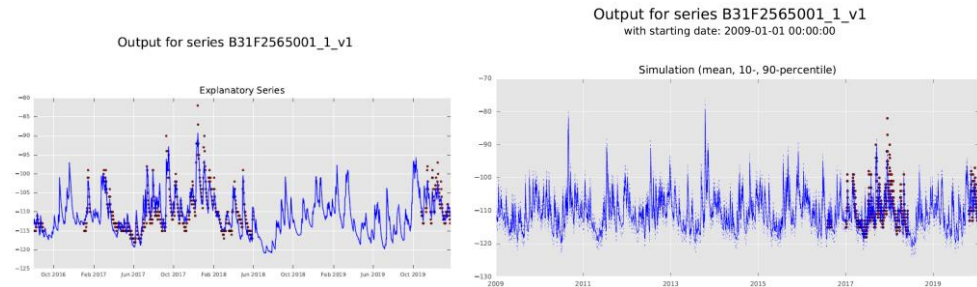
3.1.2 *Tijdreeksmodellen*

Voor alle goedgekeurde en aangepaste reeksen zijn tijdreeksmodellen gemaakt. Dat heeft 850 (17 % van de 5010) redelijke modellen opgeleverd bij kalibratie op de hele tijdreeks en 1158 (23 %) bij kalibratie op de metingen vanaf 2009.

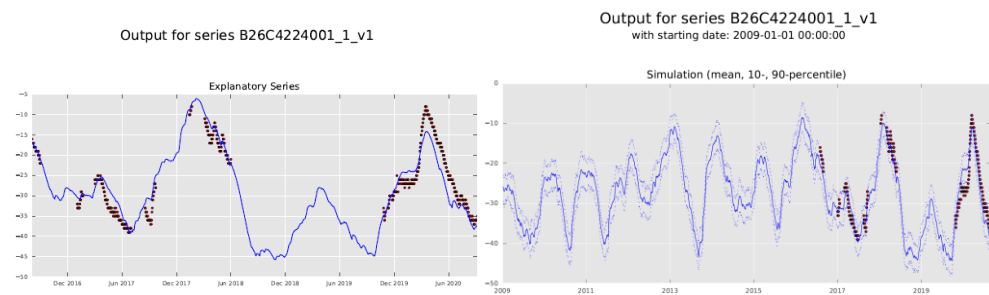
Bij lange reeksen is vaak de kalibratie op de hele reeks minder goed dan kalibratie op alleen de metingen vanaf 2009. Dit kan komen door veranderingen in het grondwatersysteem of andere invloeden op het grondwater dan neerslag en verdamping. Als er vanaf 2009 te weinig metingen zijn voor een redelijk model zal juist het model voor de hele meetreeks beter zijn.

Met de redelijke tijdreeksmodellen zijn vervolgens simulaties uitgevoerd met neerslag en verdamping voor de periode van 2009 tot en met augustus 2020.

Figuur 4 en Figuur 5 zijn voorbeelden van twee reeksen met slechts metingen in een beperkt deel van de periode 2009-2020, waarbij het tijdreeksmodel goed genoeg is om de dynamiek voor de hele periode te simuleren en op het oog een betere basis levert voor het bepalen van het gemiddelde en de 12.5- en 87.5-percentielen dan de metingen.

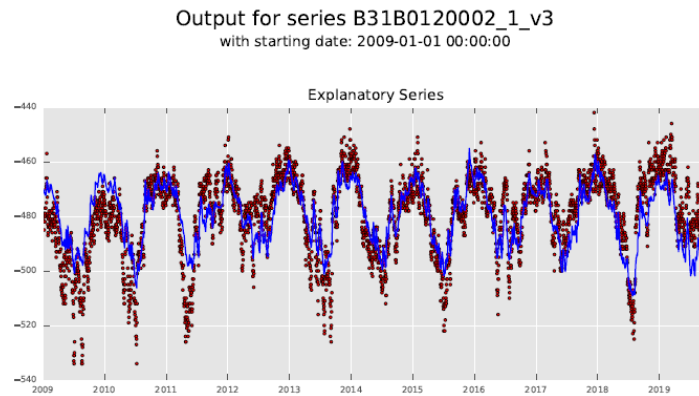


Figuur 4 Metranmodel voor reeks B31F2565001 met kalibratie (links) en simulatie (rechts) met stijghoogtes in cm NAP.



Figuur 5 Metranmodel voor B26C4224001 met kalibratie (links) en simulatie (rechts) met stijghoogtes in cm NAP.

Figuur 6 laat een reeks zien waarbij er wel metingen zijn over de hele periode en het model de dynamiek van de stijghoogte slechts beperkt verklaart ondanks dat het wel aan de eisen voldoet om het model als 'redelijk' te beoordelen. Voor deze reeks geven de metingen juist een beter beeld dan het tijdreeksmodel van de stijghoogte in de droge, natte en gemiddelde situatie.



Figuur 6 Metranmodel voor reeks B31B0120002 met stijghoogte in cm NAP.

3.1.3 Statistieken per meetpunt

Voor het bepalen van de representatieve waarden voor de gemiddelde, droge en natte situatie (het gemiddelde en de 12.5- en 87.5-percentielen) zijn nu verschillende opties beschikbaar:

- Op basis van metingen;
- Met simulatie tijdreeksmodel gekalibreerd op metingen vanaf 2009;
- Met simulatie tijdreeksmodel gekalibreerd op gehele meetreeks;
- Niet (alle drie niet goed genoeg).

De mogelijkheden zijn onderzocht aan de hand van de verzamelde informatie voor de meetpunten:

- Aantal metingen in de periode 2009-2020;
- Aantal maanden (kwartalen en jaren) met een meting in de periode 2009-2020;
- Kwaliteit van het tijdreeksmodel gekalibreerd op metingen vanaf 2009;
- Kwaliteit van het tijdreeksmodel gekalibreerde op hele reeks.

Bijlage E geeft de wijze waarop een stappenplan is vastgesteld voor de bepaling van de representatieve waarden.

Op basis van voorgaande overweging is de volgende aanpak gekozen en zijn aannames gedaan over de standaardafwijking (σ) van de statistieken (gemiddelde, 12.5- en 87.5-percentiel) per meetpunt:

1. Hele reeks hoogfrequent (gemiddeld aantal metingen per maand > 28) en meer dan 90 maanden (van de maximaal 139; alternatieven > 33 van de 48 kwartalen of > 9 van de 12 jaren):
statistieken uit metingen, $\sigma=1\text{cm}$;
2. Meer dan 90 maanden met metingen:
statistieken uit maandgemiddelden van metingen, $\sigma=3\text{cm}$;
3. Een redelijk tijdreeksmodel gekalibreerd op data vanaf 2009:
statistieken uit maandgemiddelden van metingen, $\sigma=1\text{cm}$ + helft bandbreedte simulatie (bandbreedte is gemiddeld verschil van de 10- en 90-percentielen uit het simulatie-ensemble);
4. Een redelijk tijdreeksmodel gekalibreerd op de hele reeks:
statistieken uit maandgemiddelden van metingen, $\sigma=1\text{cm}$ + bandbreedte simulatie (bandbreedte is gemiddeld verschil van de 10- en 90-percentielen uit het simulatie-ensemble);

5. Een reeks met metingen in minimaal 12 maanden:
statistieken uit maandgemiddelden van metingen, $\sigma=Z$ cm

Pakket	Gemiddeld verschil 87.5- en 12.5-percentiel [cm]	Z [cm]
WVP1oost	47	25
WVP1b	36	18
WVP1midden	40	20
WVP1stuw	35	17
WVP1west	33	16
WVP2	31	15

6. Een reeks met metingen in minimaal 6 maanden:
statistieken uit maandgemiddelden van metingen, $\sigma=2*Z$ cm
7. Meetpunt niet gebruiken.

Op deze manier is ieder meetpunt behandeld. Bijlage F geeft het resultaat. De gemiddelde waarde en 12.5- en 87.5-percentielen zijn gebruikt voor het bepalen van de isohypsen (zie paragraaf 3.3). De standaardafwijkingen zijn gebruikt om de betrouwbaarheid van de isohypsen in te schatten (zie hoofdstuk 4).

3.1.4 *Toekenning meetpunten aan provinciale watervoerende pakketten*

De filters zijn aan de provinciale watervoerend pakketten gekoppeld met behulp van de geometrie van de hydrogeologische eenheden van REGIS II 2.2 en de beschrijving van de watervoerende pakketten die gehanteerd is bij de vorige versie van de isohypsen voor de provincie Utrecht (van Geer e.a., 2007) zoals beschreven is in paragraaf 2.3 en Tabel 1.

Voor de filters in de Holocene deklaag (HLc) is beoordeeld of ze de freatische grondwaterstand representeren. Deze beoordeling staat in paragraaf 4.6.

3.2 **Trendvlakken**

De interpolatie van de grondwaterstanden wordt uitgevoerd m.b.v. kriging met een trendvlak. De benodigde trendvlakken komen uit het landelijke grondwatermodel van het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI-LHM versie 4.1, hierna aangeduid als LHM). Het LHM is geschematiseerd in 8 modelaquifers gebaseerd op REGIS II v2.2. Van elke modelaquifer zijn per gridcel gesimuleerde stijghoogten beschikbaar gesteld door Deltares op een grid van 250 m bij 250 m. Het betreft dagelijkse stijghoogten voor de periode 2011-2018. Op basis hiervan zijn voor elk watervoerend pakket trendvlakken gemaakt met een resolutie van 25 m bij 25m: P12.5, P87.5 en het gemiddelde. Per homogene eenheid (zie paragraaf 2.3) is bepaald welk van de 8 modelaquifers van het LHM het meest geschikt is om bij de interpolatie te gebruiken.

3.2.1 *Koppeling LHM-lagen aan provinciale watervoerende pakketten*

De grondwaterstandsreeksen van alle filters binnen het doelgebied (Provincie Utrecht met een buffer van minimaal 5 km) zijn op kwaliteit beoordeeld. Daarnaast is bepaald in welke homogene eenheid (combinatie van laterale indeling en provinciaal watervoerend pakket t.b.v. de isohypsenkaart; zie paragraaf 2.3) deze

liggen. Daarbij is ook aangegeven of filters zich boven het bovenste watervoerend pakket (deklaag), tussen de watervoerende pakketten (slechtdoorlatende laag) of onder het onderste watervoerende pakket (diep / WVP3) bevinden, als ze niet in een homogene eenheid zitten. Ook is bepaald in welke modellaag van het LHM de filters zich bevinden. Per deelgebied kunnen de filters in meerdere LHM-lagen voorkomen. In Tabel 2 is een overzicht van de filterindeling gegeven.

Tabel 2 Aantallen filters per provinciale laag en LHM-laag (de aantallen betreffen alleen de filters die goedgekeurd zijn in de kwaliteitscontrole.

Provinciale laag	LHM laag														
	Weerstandsbiëdende modellaag							modelaquifer							
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8
Deklaag	1378								11						
WVP3 (Diep)				1		71	3				1	2	47	47	19
Scheidende laag	1	16	23	11	9			27	5		1	1			
WVP1b			2	1						52	12	15			
WVP1midden	6							327	155	7					
WVP1oost	1	14	1					555	175	42	8				
WVP1stuw			5					62	208	73	1	1			
WVP1west	7	7	2					58	726	95	1				
WVP2			3		1				3	66	236	158	6		

Uit Tabel 2 blijkt dat filters die ingedeeld zijn in een watervoerend pakket in meerdere modelaquifers van het LHM kunnen liggen. Dan heeft de tussenliggende weerstandsbiëdende modellaag een lage weerstand waardoor de LHM-modelaquifers samengevoegd mogen worden tot één geheel. De aan- of afwezigheid van een hoge weerstand tussen twee LHM-modelaquifer is grotendeels bepalend voor de stijghoogteverschillen tussen die lagen. Om het meest geschikte trendvlak te kiezen voor de interpolatie is er gekeken naar de stijghoogteverschillen in de gemiddelde situatie tussen de opeenvolgende LHM-modelaquifers waarin zich de filters van een provinciaal watervoerend pakket bevinden

Voor WVP1west is het stijghoogteverschil tussen LHM-modelaquifer 1 en 2 merendeels kleiner dan 0.2 m maar er komen ook delen voor met een verschil tot 1 m en in het noordwestelijk deel lopen de verschillen op tot enkele meters. In de deelgebieden WVP1midden en WVP1oost komt nauwelijks een stijghoogteverschil voor tussen LHM-modelaquifer 1 en 2. In de deelgebieden west en midden komt nagenoeg geen stijghoogteverschil voor tussen LHM-modelaquifer 2 en 3. In deelgebied oost is het stijghoogteverschil hoog, tot enkele meters.

De conclusie hieruit is dat de stijghoogten uit LHM laag 2 het meest geschikt zijn om een trendvlak voor WVP1 uit af te leiden. Filters in WVP1oost die in LHM-modelaquifer 3 liggen zijn niet gebruikt bij de interpolatie omdat ze de gradiënt van de Veluweflank weergeven, die niet van belang is voor de stijghoogten in de provincie Utrecht, maar wel de interpolatie verstoort. In het noordwestelijk deel van het projectgebied liggen geen filters in LHM-modelaquifer 1.

In deelgebied midden is er nagenoeg geen stijghoogteverschil tussen de LHM-modelaquifers 1 en 2 en tussen 2 en 3. Nagenoeg alle filters van WVP1stuw liggen

in de eerste drie LHM-modelaquifers. Het maakt voor WVP1stuw dus niet uit van welk van deze drie LHM-modelaquifers het trendvlak wordt gebruikt.

WVP1b bevat filters in de LHM-modelaquifers 3, 4 en 5. In het midden van deelgebied oost is er nagenoeg geen stijghoogteverschil over de LHM-modelaquifers 3 en 4. In het zuiden van dit deelgebied komen stijghoogteverschillen tot enkele meters voor. Hier liggen nagenoeg geen filters in LHM-modelaquifer 3. In het noorden van deelgebied oost is ook een stijghoogteverschil aanwezig maar dat is kleiner (tot ongeveer een halve meter). Daar bevinden zich wel filters in LHM-modelaquifer 3. Het stijghoogteverschil over de LHM-modelaquifers 4 en 5 is in het noorden van deelgebied oost tot 5 à 10 m. Enkele filters liggen daar in LHM-modelaquifer 5. Daarvan moet bekeken worden of die bruikbaar zijn voor de interpolatie. Voor WVP1b ligt het gebruik van de gegevens van LHM-modelaquifer 4 het meest voor de hand.

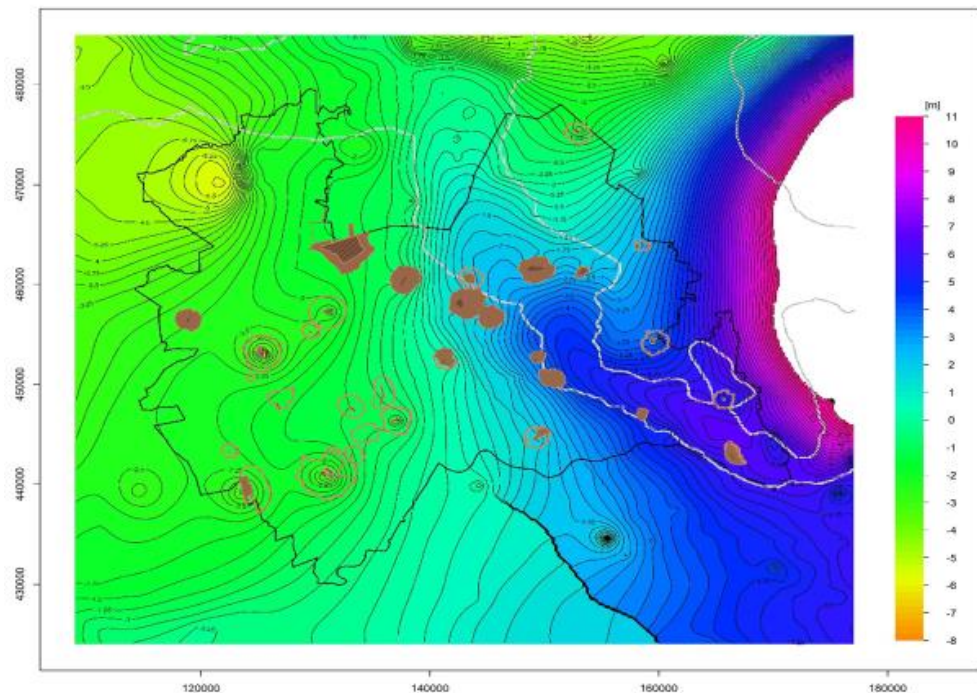
De filters van WVP2 liggen voornamelijk in LHM-modelaquifer 4 en 5 en een minderheid in LHM-modelaquifer 3. Tussen LHM-modelaquifer 3 en 4 is op veel plaatsen een stijghoogteverschil tot enkele meters. De filters in LHM-modelaquifer 3 liggen echter vrijwel allemaal in een gebied met nauwelijks stijghoogteverschil. De filters in LHM-modelaquifer 3 hoeven om die reden niet af te vallen. Het stijghoogteverschil tussen LHM-modelaquifer 4 en 5 is vrijwel overal nihil, behalve in het noordelijk deel van het deelgebied oost. Daar loopt het stijghoogteverschil op tot enkele meters. In dat deel liggen alle filters van WVP2 in LHM-modelaquifer 5. Het ligt daarmee voor de hand om voor WVP2 als trendvlak de percentielen en het gemiddelde van LHM laag 5 te gebruiken. Tabel 3 geeft de voor de trendvlakken gekozen modelaquifers.

Tabel 3 Trendvlakken per provinciaal watervoerend pakket.

Watervoerend pakket	LHM trendvlak
WVP1 (west, midden oost)	Modelaquifer 2
WVP1stuw	Modelaquifer 3
WVP1b	Modelaquifer 4
WVP 2	Modelaquifer 5

3.2.2 *Resulterende trendvlakken*

Figuur 7 geeft als voorbeeld een trendvlak voor WVP2 gebaseerd op de gemiddelde stijghoogte van LHM-modelaquifer 5.



Figuur 7 Trendvlak voor gemiddelde situatie van provinciaal watervoerend pakket WVP2 (met boringsvrije zones (donkerbruin) en grondwaterbeschermingsgebieden (lichtbruin) binnen de provincie Utrecht) met stijghoogtes in m NAP.

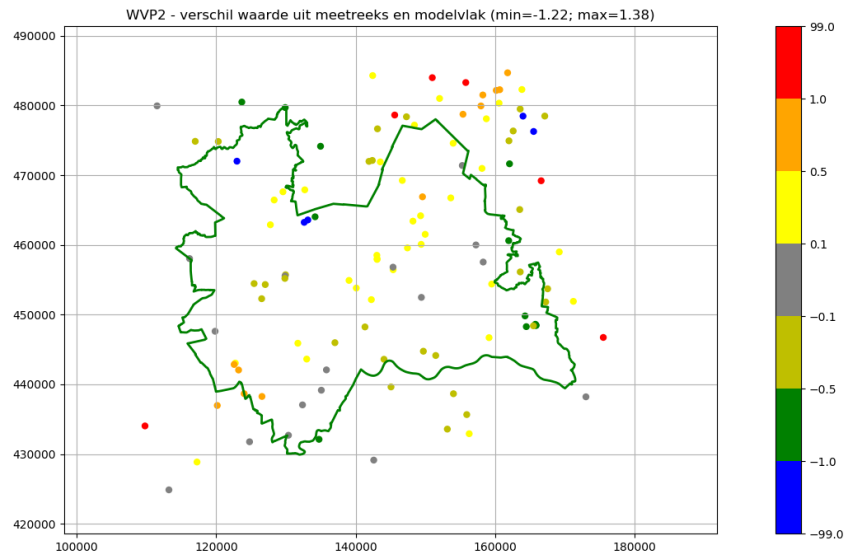
De Utrechtse grondwaterbeschermingsgebieden in Figuur 7 laten zien welke lokale verlagingen door drinkwaterwinningen in Utrecht veroorzaakt worden. Bij de Bethunepolder wordt geen grondwater opgepompt, maar wordt het kwelwater gebruikt voor drinkwaterproductie. Buiten de provincie Utrecht zijn verlagingkegels te herkennen van drinkwaterwinningen in Flevoland, Gelderland, Zuid-Holland en Noord-Holland. Verder zijn lokale verlagingen door relatief diepe polders te herkennen, met name Groot Mijdrecht in het noordwesten van Utrecht, de Horstermeerpolder in Noord-Holland en Zuidelijk Flevoland. De verlagingen rond winningen zijn het grootst in het pakket waaruit onttrokken wordt en nemen naar onder en naar boven toe af. Bij de lokale invloed van diepe polders is de verlaging het grootst in het freatisch grondwater en neemt deze af met de diepte van de onderliggende watervoerende pakketten.

3.3 Isohypsens

In deze paragraaf wordt de berekening van de isohypsens geïllustreerd aan de hand van de gemiddelde situatie voor WVP2. De berekening volgt de stappen uit paragraaf 2.5 (zie ook Bijlage H): bepalen residuen, afleiden ruimtelijke statistieken, interpoleren en samenstellen grondwaterstijghoogten ten opzichte van NAP.

3.3.1 *Verschillen tussen meetpunten en trendvlakken (residuen)*

De eerste stap is het bepalen van de residuen: het verschil tussen de representatieve waarde voor de meetpunten (zie paragraaf 3.1.3) per WVP-eenheid (zie paragraaf 3.1.4) en het betreffende trendvlak (zie paragraaf 3.2).

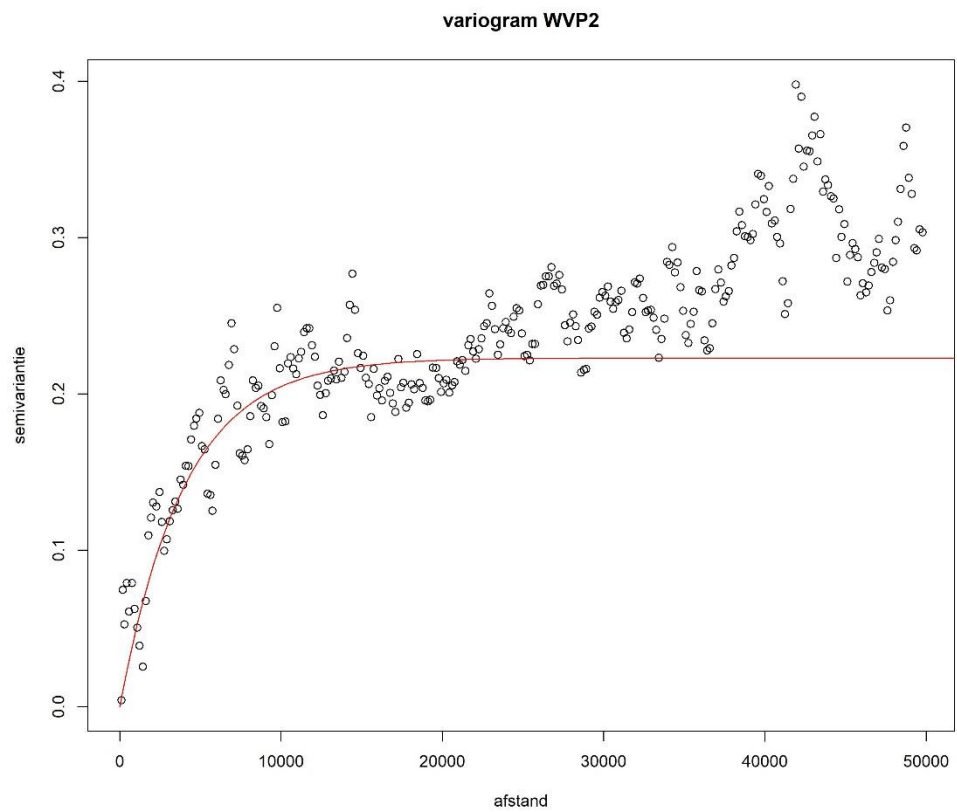


Figuur 8 verschillen [meter] tussen gemiddelde stijghoogte afgeleid uit de tijdreeksen en het modelvlak voor provinciaal watervoerend pakket WVP2.

3.3.2

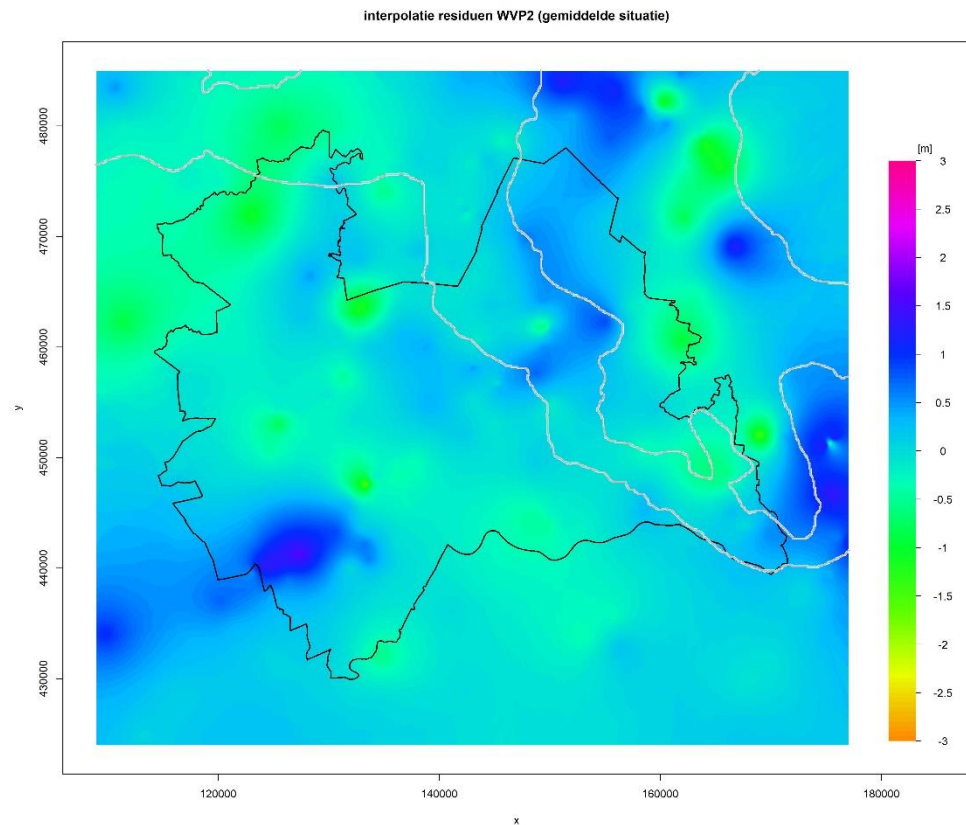
Ruimtelijke statistieken residuen per provinciaal watervoerend pakket

De ruimtelijke samenhang tussen de residuen wordt bepaald als invoer voor de kriginginterpolatie. Die wordt bepaald met het variogram, een grafiek van de variantie van het verschil in stijghoogte als functie van de afstand. Figuur 9 geeft het variogram voor de gemiddelde situatie in het provinciale watervoerend pakket WVP2. Bijlage I geeft de grafieken van de variogrammen voor alle provinciale WVP-eenheden. In Bijlage I wordt ook een overzicht gegeven van de variogramparameters en de zoekstraal die is gebruikt bij de interpolatie om de rekentijd te beperken. Per punt worden dan alleen de punten binnen de zoekstraal gebruikt. De afstand wordt zo gekozen (aan de hand van het variogram) dat de invloed verwaarloosbaar is van meetpunten die verder weg liggen (zie ook de theoretische achtergrond van kriging in Bijlage H).



Figuur 9 Variogram voor de residuen van de gemiddelde situatie in WVP2 met afstand in meter en semivariantie in m^2 .

De ruimtelijke samenhang zoals die door het variogram wordt weergegeven wordt vastgelegd met een paar parameters die invoer vormen voor de kriging samen met de residuen in de meetpunten (zie bijlage H). De residuen zijn geïnterpoleerd met blokkriging, waarbij niet alleen vlakdekkend een waarde van het residu berekend wordt (zie Figuur 10) maar ook een interpolatievariantie (zie bijlage J).

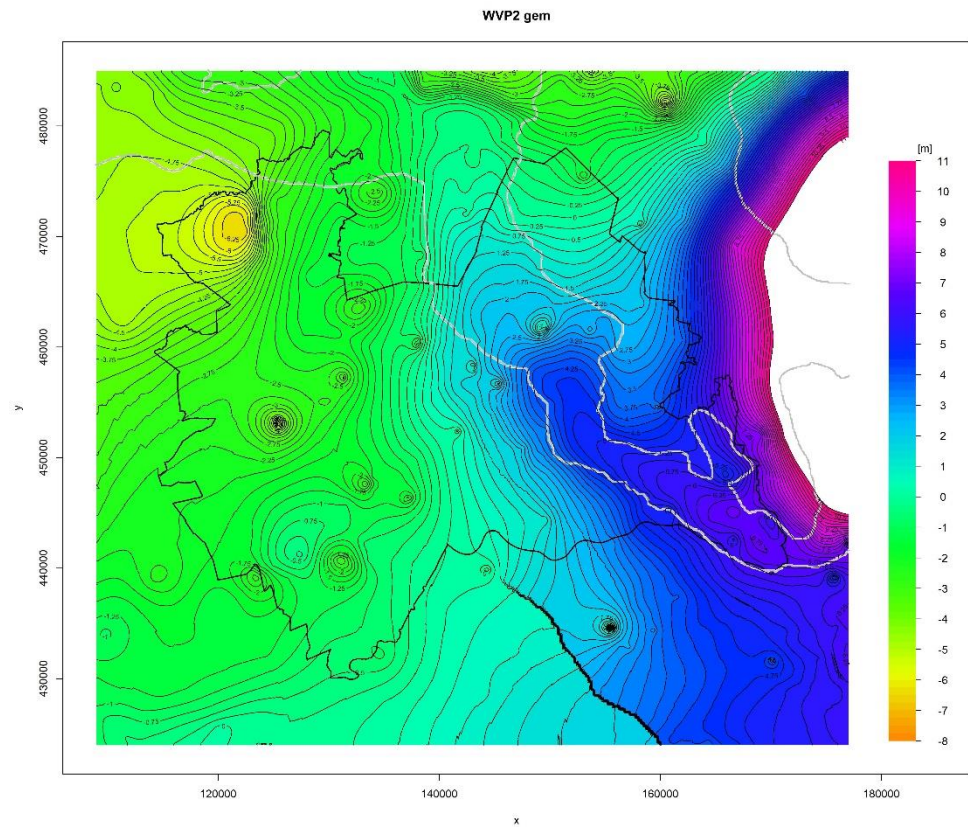


Figuur 10 Geïnterpoleerde residuen [meter] voor de gemiddelde situatie in provinciaal watervoerend pakket WVP2.

De residuen geven ook informatie over de nauwkeurigheid van het gebruikte grondwatermodel. Dit wordt besproken in het discussiehoofdstuk in paragraaf 4.2.

3.3.3 *Isohypsens per provinciaal watervoerend pakket*

De interpolatie (zie paragraaf 3.3.2) van de residuen (zie paragraaf 3.3.1) kan vervolgens bij het trendvlak opgeteld worden om vlakdekkend een stijghoogte te bepalen. Zo zijn de vlakdekkende stijghoogten in Figuur 11 gelijk aan de som van het trendvlak uit Figuur 7 en de geïnterpoleerde residuen in Figuur 10.



Figuur 11 Isohypsens voor de gemiddelde situatie in provinciaal watervoerend pakket WVP 2 in meter ten opzichte van NAP.

De vlakdekkende stijghoogten voor de gemiddelde, natte en droge situatie worden allemaal getoond in bijlage K. De kaarten worden als contouren met 25 cm intervallen opgeleverd als ESRI-shapefiles (GIS lijnenbestanden) en als opgemaakte kaart in pdf.

4 Discussie

Voor de betekenis van de isohypsen wordt hun betrouwbaarheid beoordeeld. Hiervoor worden de onderdelen bekeken waaruit ze zijn opgebouwd: waarden per meetpunt, trendvlakken en de interpolatie. Daarnaast bespreekt dit hoofdstuk de freatische meetpunten.

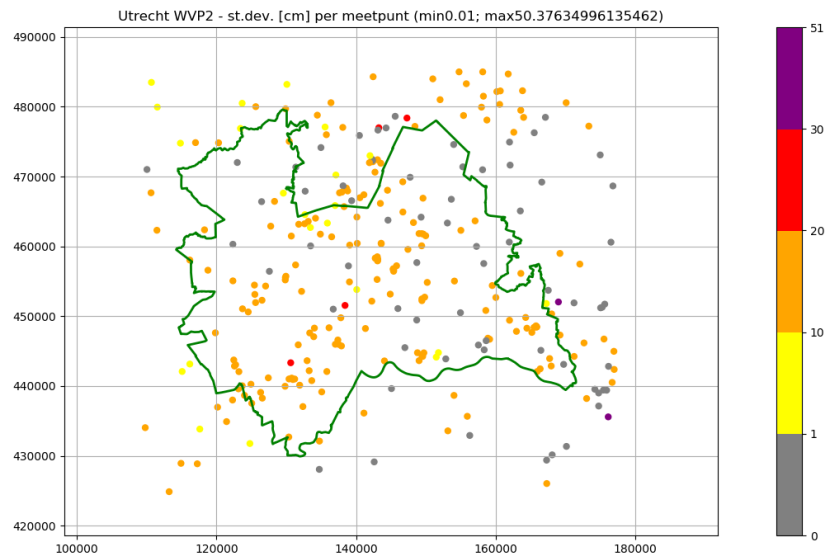
Na de kwaliteitscontrole (zie subparagraaf 3.1.1) resteerden 5010 meetreeksen. Hiervan zijn er nog 1720 afgefallen doordat er één filter geselecteerd is bij meerdere filters van een put binnen één provinciaal watervoerend pakket. Bovendien zijn er nog 129 filters uitgesloten omdat uit de kruisvalidatie van de kriging bleek dat ze de interpolatie zouden verstoren (zie paragraaf 4.3). Dit waren met name punten vlakbij grondwaterwinningen en buiten de provincie Utrecht in het zuidoosten (zie subparagraaf 3.2.1). De verdeling van de 3161 resterende meetreeksen over de eenheden is weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Uiteindelijke aantallen meetreeksen per provinciale laag.

Pakket	aantal
Deklaag	1407
Diep (WVP3)	191
Slecht doorlatende lagen	97
WVP1b	20
WVP1midden	164
WVP1oost	219
WVP1stuw	107
WVP1west	747
WVP2	209

4.1 Betrouwbaarheid statistieken per meetpunt

Gebruikmakend van de geschatte bandbreedtes uit paragraaf 3.1.3 laat Figuur 12 de waarden zien voor provinciaal watervoerend pakket WVP2. Het merendeel van de punten heeft een waarde van 15 cm.



Figuur 12 geschatte bandbreedte [cm] voor gemiddelde per meetpunt in provinciaal watervoerend pakket WVP2.

Bijlage F geeft de bandbreedtes voor alle provinciale watervoerende pakketten. De overheersende waarde is 15 cm, behalve bij WVP1midden en WVP1oost waar vooral bandbreedtes kleiner dan 1 cm en bandbreedtes tussen 20 en 30 cm te zien zijn. Ervan uitgaande dat in de verdere verwerking deze laatste bandbreedtes ruimtelijk uitmiddelen, is 15 cm een representatieve bandbreedte voor de gemiddelde stijghoogten die uit de meetreeksen zijn afgeleid. Er wordt aangenomen dat deze waarde ook van toepassing is op de 12.5- en 87.5-percentiel.

4.2 Betrouwbaarheid trendvlakken

De betrouwbaarheid van de trendvlakken is beoordeeld aan de hand van de betrouwbaarheid van de LHM-stijghoogten. Hiervoor zijn de residuen uit subparagraaf 3.3.1 gebruikt.

Deze residuen zijn de verschillen tussen de waarden bepaald uit de meetreeksen en de waarden van de trendvlakken ter plaatse van de meetpunten. Figuur 8 geeft de verschillen voor provinciaal watervoerend pakket WVP2 voor de gemiddelde situatie weer. Bijlage G toont de residuen voor de gemiddelde situatie van alle pakketten. De verschillen tussen de waarden uit de meetreeksen en het model zijn niet willekeurig verdeeld. Ze laten een ruimtelijk patroon zien, dat duidelijker wordt door te kijken naar de geïnterpoleerde residuen (Figuur 10) in plaats van de puntwaarden (Figuur 8).

Tabel 5 vat de verschillen van de puntwaarden in de kaarten uit bijlage G samen in een overzicht voor alle provinciale watervoerende pakketten voor de drie onderscheiden situaties.

Tabel 5 Kentallen van de verschillen in meter tussen waarden uit meetreeksen en uit de trendvlakken per provinciaal watervoerend pakket (gem. = gemiddelde verschil; abs. = gemiddelde van de absolute verschillen; RMSE = wortel uit het gemiddelde van de kwadraten van de verschillen).

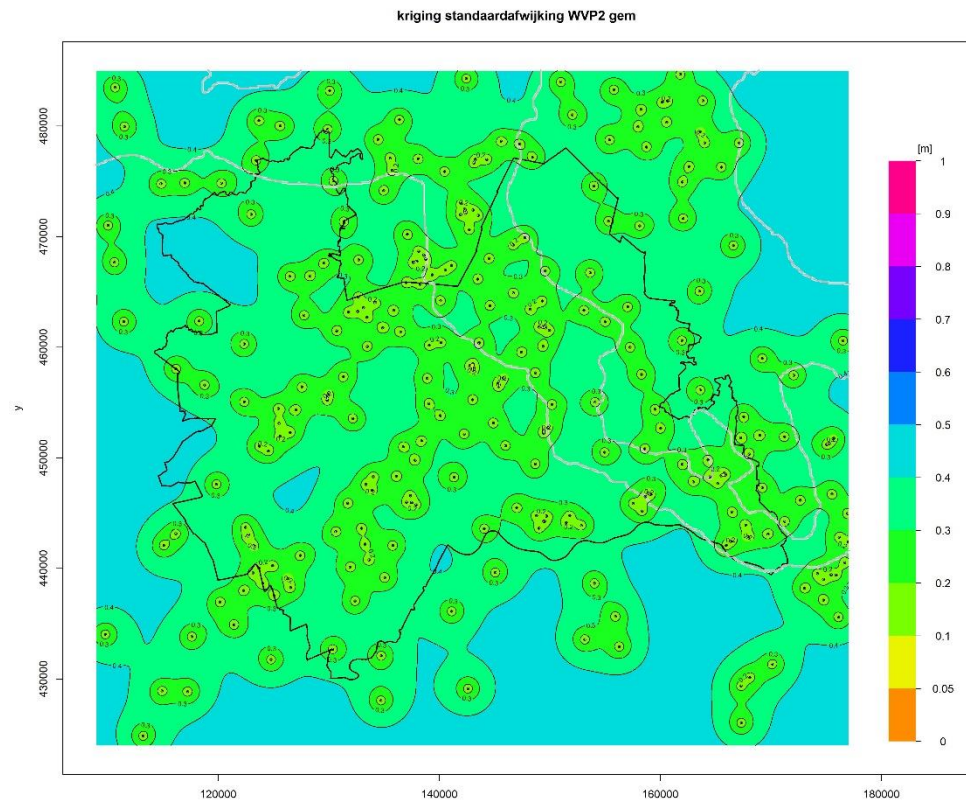
Pakket	gemiddelde situatie			droge situatie			natte situatie		
	gem.	abs.	RMSE	gem.	abs.	RMSE	gem.	abs.	RMSE
WVP1b	0.54	0.64	1.09	0.61	0.66	1.13	0.46	0.62	1.06
WVP1oost	-0.11	0.27	0.39	-0.03	0.26	0.38	-0.21	0.34	0.46
WVP1midden	0.13	0.38	0.55	0.17	0.38	0.55	0.05	0.40	0.56
WVP1stuw	-0.07	0.34	0.44	0.01	0.32	0.43	-0.16	0.38	0.48
WVP1west	0.07	0.25	0.39	0.20	0.32	0.47	-0.07	0.28	0.40
WVP2	0.03	0.43	0.54	0.11	0.45	0.56	-0.06	0.44	0.56

Uit Tabel 5 blijkt dat de waarden voor de drie situaties sterk op elkaar lijken. Bij WVP1b valt op dat de gemiddelde waarden sterk afwijken van nul. Voor WVP1oost en WVP1stuw zijn de absolute verschillen en de RMSE voor de natte situatie groter dan voor de droge en de gemiddelde situatie.

Bij deze verschillen speelt de ruimtelijke schaal een rol. In het LHM zijn alle invloeden en de opbouw van de ondergrond ingevoerd voor cellen van 250 m x 250 m. Hierdoor zijn lokale gradiënten kleiner wat bijvoorbeeld nabij winningen en de grenzen van polders tot verschillen leidt. De gemiddelde absolute verschillen variëren van 25 tot 66 centimeter per pakket.

4.3 Betrouwbaarheid interpolatie

Voor de betrouwbaarheid van de interpolatie kan gebruik gemaakt worden van de interpolatievariantie uit subparagraaf 3.3.2 die de kriging ook levert als resultaat (zie bijlage H).



Figuur 13 Standaardafwijking [meter] van de kriginginterpolatie voor de residuen voor de gemiddelde situatie van WVP2.

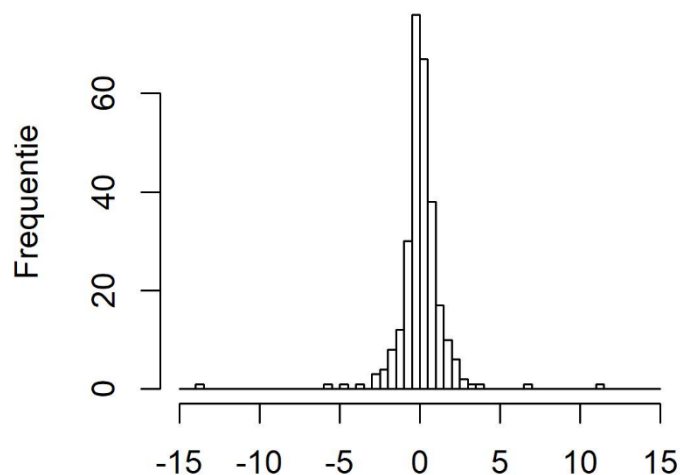
De standaardafwijking is klein nabij de meetpunten en neemt toe op afstand ervan. Voor WVP2 (Figuur 13) is de standaardafwijking kleiner dan 30 cm behalve in een klein gebied op de provinciegrens met Gelderland bij Everdingen, in een zone bij Montfoort, ten noordwesten van Oudewater (zuidwestelijk van Woerden) en in een groter gebied bij Mijdrecht (beide laatste gebieden langs de westelijke grens van de provincie Utrecht). Voor WVP1west is de standaardafwijking van de kriging overal kleiner dan 30 cm en grotendeels kleiner dan 20 cm (zie bijlage J). Voor WVP1oost is de standaardafwijking praktisch overal kleiner dan 30 cm. De overige eenheden laten grotere standaardafwijkingen zien. Die is voor WVP1stuw overal kleiner dan 60 cm en dat geldt ook vrijwel voor heel WVP1b. Een smalle zone in WVP1midden bij Austerlitz heeft zelfs standaardafwijkingen groter dan 70 cm.

Voor verbeteren van de interpolatie is het zinvol om te onderzoeken of op plekken met een grote standaardafwijking in de kriging, in de toekomst wel een meetreeks gebruikt kan worden gebruik makend van een bestaande peilbuis of door het plaatsen van een nieuwe peilbuis.

Ook als op deze manier lokaal de interpolatie nauwkeuriger gemaakt zou worden moet rekening gehouden worden met een standaardafwijking van de kriging in de orde van 20 cm voor WVP2, WVP1west en WVP1oost en van 50 cm voor WVP1midden, WVP1b en WVP1stuw.

Een maat om te controleren of de ruimtelijke variatie van de data voldoet aan de veronderstelde ruimtelijke correlatie is de Z-score van de kriging. Dit is een kental van de kruisvalidatie die aangeeft hoeveel de puntwaarde afwijkt van de krigingwaarde als dat punt wordt weggelaten (zie bijlage H voor nadere uitleg) van de kriging. Locaties waarvan de Z-score ver afwijkt van 0 moeten gecontroleerd

worden op kwaliteit. In Figuur 14 is een voorbeeld gegeven van het histogram van de Z-scores van WVP2.



Figuur 14 Verdeling van de Z-score voor de kriging van de residuen in provinciaal watervoerend pakket WVP2.

De Z-scores zijn gelijkmatig verdeeld rond 0 en benaderen vrij goed een Gaussische verdeling. De hogere waarden zijn daarom in principe geen probleem. De twee waarden van ongeveer -14 en 11 zijn wel erg hoog. Hiervoor moet beoordeeld worden of ze verwijderd moeten worden. Deze twee locaties blijken in de oostelijke stuwwal te liggen, buiten de provincie Utrecht. De locatie met de waarde -14 blijkt afwijkend en is verwijderd.

Dit beeld blijkt voor alle watervoerende pakketten soortgelijk te zijn. In totaal zijn 129 meetpunten verwijderd omdat de stijghoogten niet representatief waren voor de isohypsen (zie ook de inleiding van hoofdstuk 4).

4.4 Betrouwbaarheid isohypsen

De betrouwbaarheid van de isohypsen hangt af van de betrouwbaarheid van de onderdelen. Deze zijn belicht in de paragrafen 4.1 (waarden uit meetreeksen), 4.2 (modelvlak) en 4.3 (interpolatie).

Ter plaatse van de meetpunten speelt alleen de betrouwbaarheid van de afleiding uit de meetreeks een rol, omdat dit de enige informatie is die gebruikt wordt voor de betreffende puntwaarde. Dit levert een bandbreedte in de orde van 15 cm.

Buiten de meetpunten komt hier in ieder geval de krigingvariantie bij. Deze levert een bijdrage in de orde van 30cm voor WVP2, WVP1west en WVP1oost en 50cm voor WVP1midden, WVP1b en WVP1stuw (zie paragraaf 4.3).

De bijdrage van de onzekerheid in het modelvlak is moeilijker in te schatten. De onzekerheid van het modelvlak zelf is daarbij niet direct bepalend, omdat deze gecompenseerd wordt door de waarden uit de meetreeksen. Het gaat om de fout in de vorm van het vlak: de hellingen en hoogteverschillen. Deze bepalen hoe goed het modelvlak de interpolatie stuurt. De bijdrage zal dus kleiner zijn dan de gemiddelde residuen van 25 tot 66 cm die in paragraaf 4.2 zijn gepresenteerd (Tabel 5). Indicatief zou een bijdrage van het modelvlak aan de bandbreedte van de isohypsen aangehouden kunnen worden van 20 cm voor WVP1b, 10 cm voor de overige WVP1-eenheden en 15 cm voor WVP2.

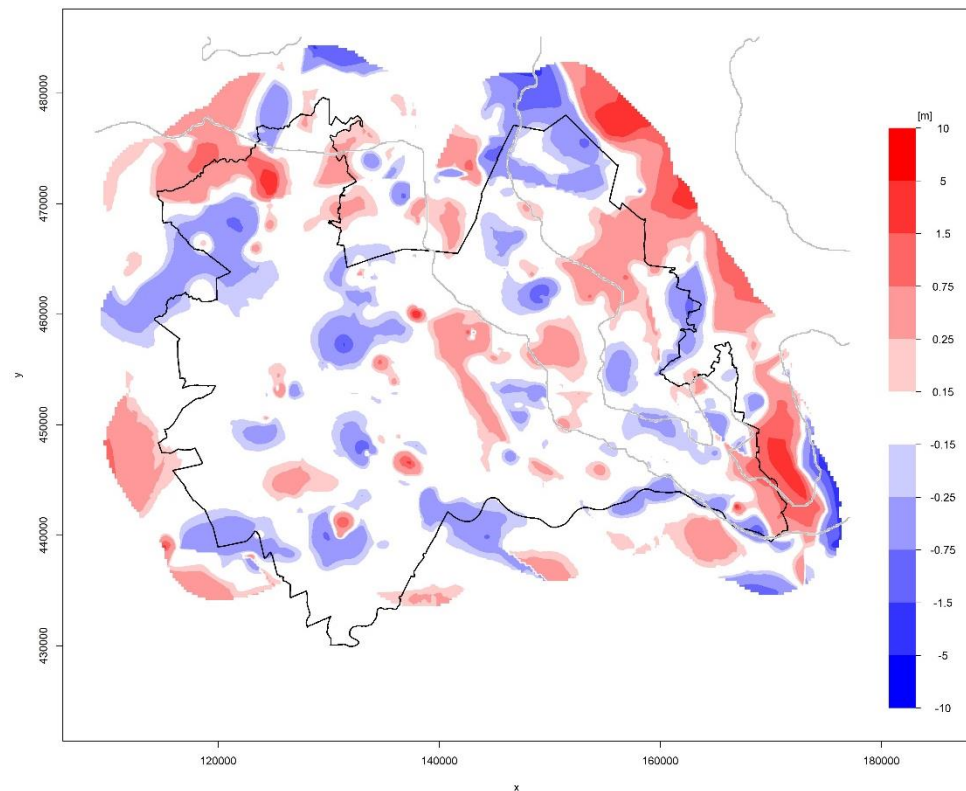
Dit resulteert in maximale totale bandbreedtes van $15+30+15 = 60$ cm voor WVP2, $15+30+20 = 75$ cm voor WVP1west en WVP1oost en ook voor WVP1midden, WVP1b en WVP1stuw ($15+50+10 = 75$).

Een tweede aspect van het gebruik van de modelvlakken en het vergriden van de grondwaterstijghoogtes is de introductie van een resolutie of modelschaal. De randvoorwaarden zoals oppervlaktewater, polderpeilen en onttrekkingen zijn in NHI-LHM4.1 gedefinieerd voor cellen van 250 m bij 250 m. Dit leidt er bijvoorbeeld toe dat de variatie in stijghoogte binnen een puttenveld van een drinkwaterwinning meestal helemaal wegvalt en er één onttrekkingskegel resulteert voor het gezamenlijke effect van alle putten. Het gevolg is dat de grondwaterisohypsen geïnterpreteerd moeten worden als gemiddelde waarden per 1 tot 10 ha en niet als puntwaarden.

4.5 Vergelijking met vorige versie isohypsenkaarten

Om een vergelijking te maken met de vorige versie van de isohypsenkaarten zijn niet de isohypsen gebruikt, maar de onderliggende stijghoogtegrids. Van het verschil tussen twee grids is namelijk eenvoudig een kaart te maken, terwijl het veel moeilijker is om het verschil tussen twee verzamelingen van lijnen inzichtelijk te maken.

Figuur 15 laat de verschillen zien tussen de stijghoogten die nu berekend zijn voor de isohypsen voor de gemiddelde situatie van provinciaal watervoerend pakket WVP2 en de vorige versie uit van Geer e.a. (2007). Een rode kleur geeft aan dat de nieuwe stijghoogten hoger zijn dan de oude.

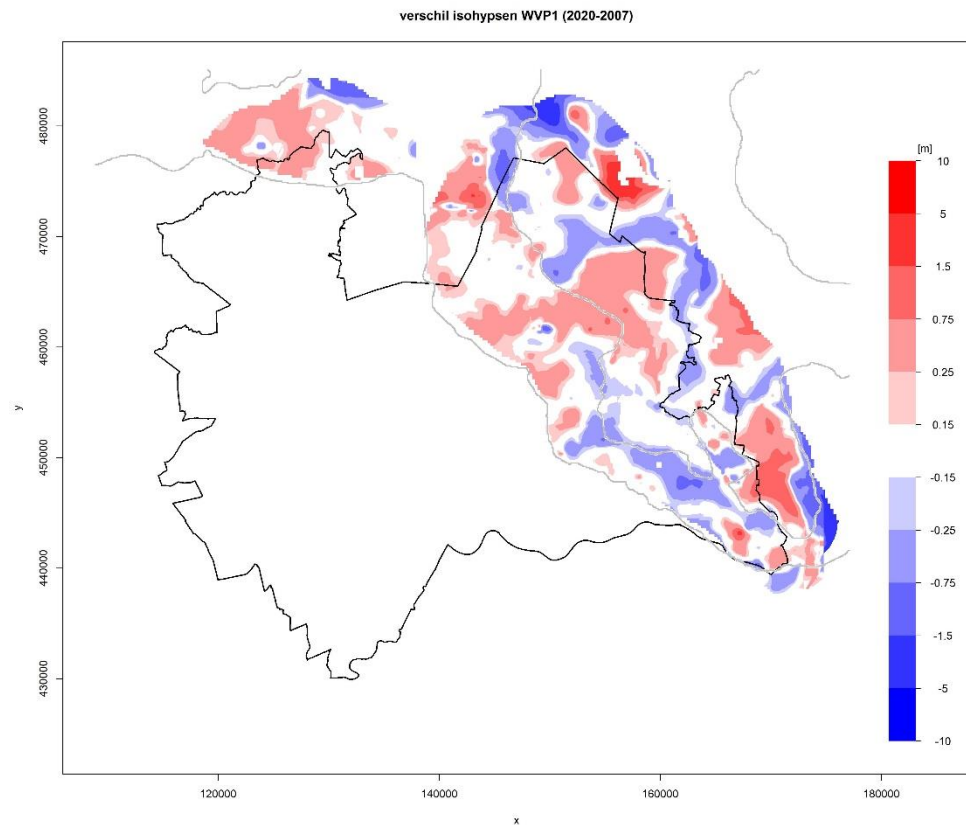


Figuur 15 Verschil tussen isohypsen (gemiddelde 2009-2020) voor WVP2 en van Geer e.a. (2007) in meter.

De grote verschillen in het oosten en het noorden zijn terug te voeren op het modelvlak. Nu zijn voor het hele gebied resultaten uit het NHI-LHM gebruikt, terwijl in 2007 een modelvlak is gecreëerd op basis van het grondwatermodel van HDSR (Hydromedah) aangevuld met handmatig getekende contouren.

Bij winningen binnen het HDSR-gebied zorgen verschillen in onttrekkingshoeveelheden en schematisatie ook voor lokale afwijkingen tussen de oude en nieuwe stijghoogten.

Figuur 16 laat de verschillen voor het onderste deel van WVP1 (WVP1stuw en WVP1b) zien tussen de nieuwe en oude stijghoogten.

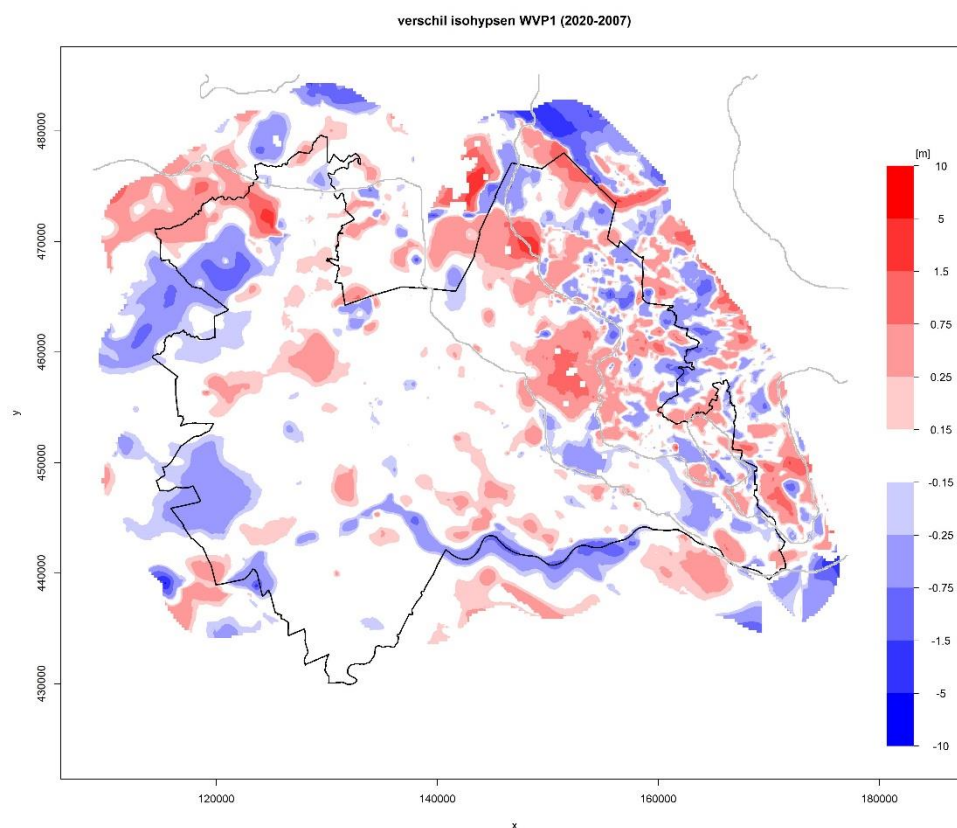


Figuur 16 Verschil [meter] tussen isohypsen (gemiddeld 2009-2020) voor WVP1stuw en WVP1b en die uit van Geer e.a. (2007).

De verschillen voor WVP1stuw en WVP1b (Figuur 16) zijn kleiner dan voor WVP2 (Figuur 15), waar het verschil in modelvlak en misschien ook in onttrekkingshoeveelheden zorgen voor wat grotere aaneengesloten gebieden met een verandering met nu lagere stijghoogten in het zuidelijke deel van WVP1stuw en hogere in het Noordelijke deel.

Figuur 17 geeft de verschillen voor de provinciale watervoerende pakketten WVP1west, WVP1midden en WVP1oost. Het beeld voor WVP1oost is gemêleerd, waarschijnlijk samenhangend met het verschil in trendvlak. Buiten hogere waarden rond Austerlitz is er weinig verschil in WVP1 midden.

Rond Mijdrecht zijn er verschillen die wellicht te maken hebben met de trendvlakken (ook in WVP2, zie Figuur 15). Ook de lagere standen langs de Lek zullen samenhangen met modelverschillen. Verder laat WVP1west kleine verschillen zien.



Figuur 17 Verschil tussen isohypsen (gemiddeld 2009-2020) voor WVP1west, WVP1midden en WVP1oost en die uit van Geer e.a. (2007) in meter.

De verschillen tussen de nu vervaardigde stijghoogtekaarten en de versies uit 2007 zijn meestal kleiner dan 75 cm en in een groot deel kleiner dan 15cm, wat de bandbreedte van de kentallen uit de metingen is. De verschillen hangen voor een belangrijk deel samen met verschillen in de gebruikte modelvlakken.

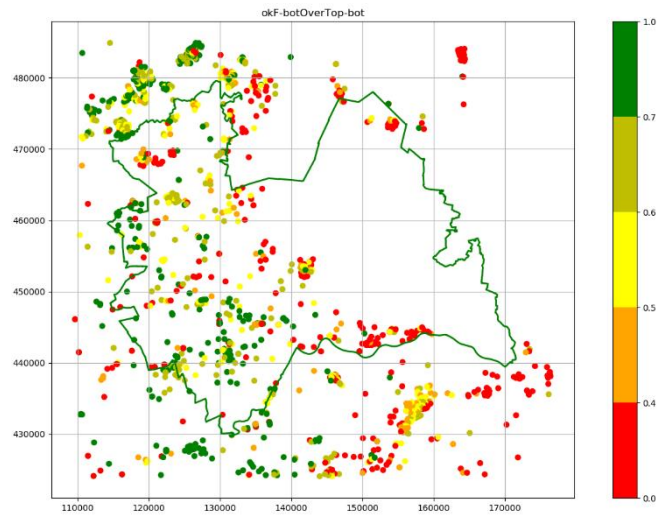
Uit de verschillen zijn niet direct stijghoogteveranderingen te detecteren. Daarvoor zouden aan de hand van verschillen meetreeksen geselecteerd kunnen worden waarop trendanalyses uitgevoerd worden.

4.6 Freatische grondwaterstanden

Vanwege de grote variabiliteit van de freatische grondwaterstand door (deels kunstmatige) heterogeniteit van de bodem, waterlopen, drainage en landgebruik zijn geen kaarten gemaakt van de freatische grondwaterstand. Wel is een beoordeling gemaakt van welke meetpunten de freatische grondwaterstand weergeven.

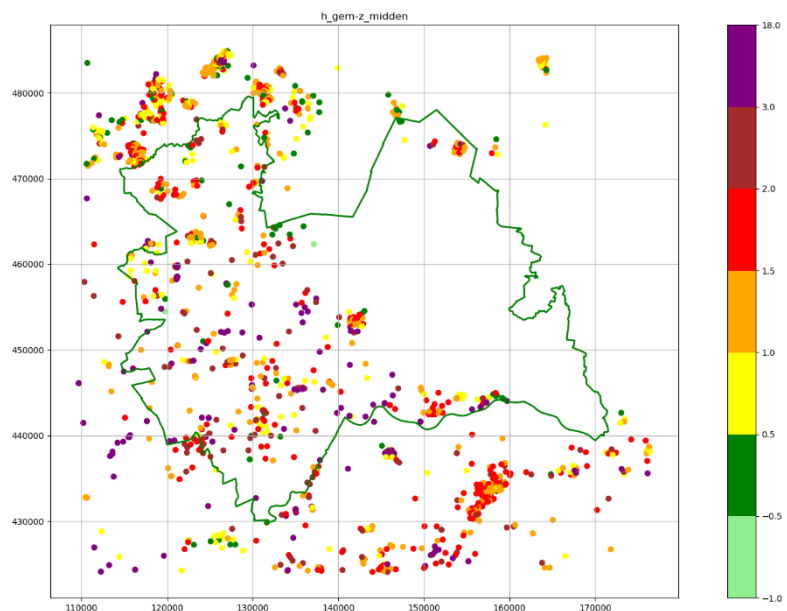
Hiervoor de meetpunten boven de WVP's gebruikt. Ze zijn beoordeeld op:

- Relatieve filterpositie in REGIS II eenheid boven WVP (vergelijk Figuur 18 en Figuur 20). De relatieve filterpositie is gedefinieerd als $(\text{filterdiepte} - \text{onderkant deklaag}) / (\text{dikte deklaag})$. Een hoge waarde is dus relatief ondiep en lage waarde relatief diep.;
- Verschil tussen stijghoogte en filterstelling (vergelijk Figuur 19 en Figuur 20).



Figuur 18 Relatieve positie filter in deklaag (afstand tussen de onderkant van het filter en de onderkant van de deklaag gedeeld door de dikte van de deklaag; een hoge waarde is relatief ondiep en dus meer freatisch).

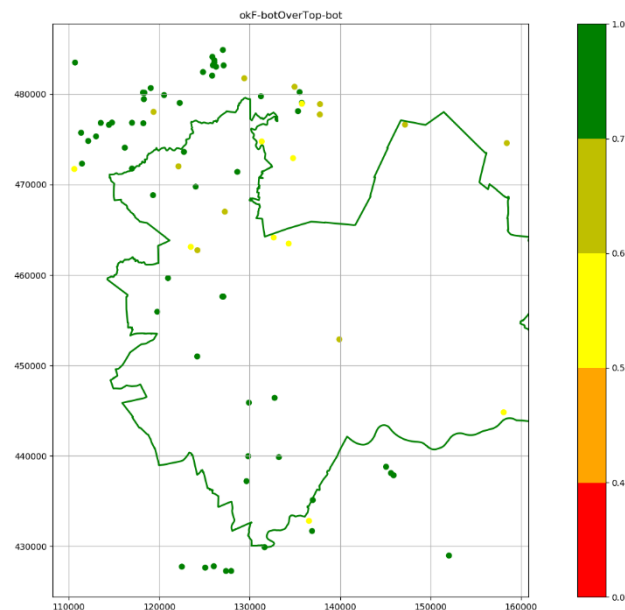
Voor de relatieve positie van het filter in de deklaag is een minimale waarde van 0.5 aangehouden om de stijghoogte als freatisch te beschouwen, vanuit de ervaring dat het onderste deel van de deklaag vaak een relatief hoge weerstand heeft door basisveen en compacte klei.



Figuur 19 Verschil [m] tussen de stijghoogte en het midden van het filter voor filters in de deklaag.

Voor het verschil tussen de stijghoogte en het midden van het filter is als criterium een maximale waarde van 0.5 meter aangehouden. Dan valt de gemiddelde

grondwaterstand altijd binnen het filter (uitgaande van de gangbare filterlengtes van 1 en 2 meter). Met deze twee criteria blijven van de punten uit Figuur 18 en Figuur 19 slechts de punten over die Figuur 20 laat zien.



Figuur 20 Relatieve positie onderkant filter in deklaag (voor punten met positie >0.5 en afstand tussen stijghoogte en filter kleiner dan 0.5 meter)

De dichtheid van deze punten is te klein om een ruimtelijk beeld van de freatische grondwaterstand te maken op een wijze vergelijkbaar met de berekening van isohypsen voor de andere provinciale watervoerende pakketten in dit rapport. De dichtheid is kleiner dan voor de andere pakketten terwijl de freatische grondwaterstand in de poldergebieden veel sterker fluctueert op korte afstand door de intensieve drainage en grote hoeveelheid oppervlaktewater met ruimtelijk variërende polderpeilen.

De bestaande grondwatertrappenkaarten van WEnR geven voor het landelijk gebied een beter beeld dan met de metingen bereikt kan worden. Wellicht dat het registratieobject grondwaterspiegeldiepte uit de Basisregistratie Ondergrond (BRO) in de toekomst een betere ruimtelijke dekking zal geven.

Het aantal beschikbare meetreeksen van de freatische grondwaterstand in stedelijke gebieden zal naar verwachting toenemen, omdat gemeentes ook grondwaterstanden aan de BRO leveren. Dit kan de mogelijkheid bieden om de gaten uit de grondwatertrappenkaart c.q. het grondwaterspiegeldiepte-registratieobject te vullen.

5 Conclusie en aanbevelingen

De grondwaterstijghoogten binnen de provincie Utrecht voor verschillende provinciale watervoerende pakketten zijn in kaart gebracht voor de gemiddelde situatie over de jaren 2009-2020. Ook zijn representatieve hoge en lage stijghoogtes gepresenteerd, vergelijkbaar met GLG en GHG. Hiervoor zijn de 12.5- en 87.5-percentielen gebruikt. De kaarten zijn gebaseerd op de stijghoogtemetingen beschikbaar in de DINO-databank (zoals deze zijn verkregen via <https://www.DINOluket.nl/ondergrondgegevens> op 28 september 2020 en voor aanvullende punten in het zuiden op 4 december 2020) en berekende stijghoogten uit NHI-LHM versie 4.1. Door deze combinatie zijn de resultaten beter dan met elk van de bronnen apart bereikt kan worden. De kaarten kunnen beschouwd worden als een vernieuwing van de kaarten die in 2007 gemaakt zijn (van Geer e.a., 2007). Bij de vernieuwing is uitgebreider aandacht besteed aan de betrouwbaarheid van de stijghoogten. Bij de gebruikte meetpunten is de nauwkeurigheid alleen afhankelijk van hoe goed het gemiddelde en de percentielen uit de meetreeks afgeleid kunnen worden. De bandbreedte hiervan is geschat op 15 cm. Tussen de meetpunten is de bandbreedte groter door onzekerheid uit interpolatie (in de orde van 30 tot 50 cm) en het model (ongeveer 20 tot 70 cm). Deze heffen elkaar deels op. De resulterende schatting van maximale bandbreedte voor de gepresenteerde stijghoogten is 60 cm voor WVP2 en 75 cm voor de delen van WVP1. De gepresenteerde stijghoogten moeten geïnterpreteerd worden als een gemiddelde waarde voor een oppervlak van 1 tot 10 ha. Het aantal meetpunten dat de freatische grondwaterstand weergeeft is te klein om op vergelijkbare wijzen een zinvolle kaart van de freatische grondwaterstand te maken voor het gebied waar een Holocene deklaag aanwezig is.

Voor informatie over de freatische grondwaterstanden in het landelijk gebied wordt aanbevolen om grondwatertrappen uit de bodemkaart of het BRO-object grondwaterstanddiepte te gebruiken (BRO staat voor Basisregistratie Ondergrond, zie <https://basisregistratieondergrond.nl>). Voor het stedelijk gebied worden de gemeentelijke grondwatermeetnetten aanbevolen, die door het opnemen van de stijghoogten in de BRO beter beschikbaar zullen worden. Verder wordt aanbevolen om de verworpen en aangepaste meetreeksen nader te bekijken, vooral voor actieve meetpunten van de provincie Utrecht en de omliggende provincies. Dit is aangegeven in het overzicht van de meetpunten. Ook wordt aanbevolen om de geconstateerde verschillen tussen de meetpunten en het grondwatermodel NHI-LHM versie 4.1 terug te koppelen aan het NHI.

Deze rapportage dient als achtergrondinformatie bij gebruik van de informatie uit de grondwaterisohypsenkaarten.

6 Referenties


- Bus, S.A.R., W.J. Zaadnoordijk (2018) Beschrijving Grondwaterdynamiektool, TNO Geologische Dienst Nederland, Utrecht,
https://www.grondwatertools.nl/sites/default/files/GDN_Beschrijving-Grondwaterdynamiektool_20180410.pdf
- Finke, P.A., D.J. Brus, M.F.P. Bierkens, T. Hoogland, M. Knotters, F. de Vries (2004) Mapping groundwater dynamics using multiple sources of exhaustive high resolution data. *Geoderma*, volume 123, nummer 1-2, pagina 23-39.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.025>.
- Geer, F.C. van , A. Lourens en B. Goes (2007) Evaluatie primair meetnet grondwaterkwantiteit van de provincie Utrecht, TNO-rapport | 2007-U-R0202/B, TNO, Utrecht.
- Van Heesen, H.C. (1970) Presentation of the seasonal fluctuation of the water table on soil maps. *Geoderma*, volume 4, nummer 3, pagina 257-278.
- Hummelman, J., D. Maljers, A. Menkovic, R. Reindersma, R. Vernes, J. Stafleu (2019) Totstandkomingsrapport Hydrogeologisch Model (REGIS II), TNO 2019 R11654, TNO Geologische Dienst Nederland, Utrecht, beschikbaar op: <https://www.broloket.nl/toelichting/regist-ii>.
- Knotters, M., D. Walvoort, F. Brouwer, L. Stuyt, J. Okx (2018) Landsdekkende, actuele informatie over grondwatertrappen beschikbaar, H2O-Online, beschikbaar op: <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/landsdekkende-actuele-informatie-over-grondwatertrappen-digitaal-beschikbaar>.
- De Lange, W.J., G.F. Prinsen, J.C. Hoogewoud, A.A. Veldhuizen, J. Verkaik, G.H.P. Oude Essink, P.E.V. van Walsum, J.R. Delsman, J.C. Hunink, H.Th.L. Massop, T. Kroon (2014) An operational, multi-scale, multi-model system for consensus-based, integrated water management and policy analysis: The Netherlands Hydrological Instrument, *Environmental Modelling & Software*, volume 59, pagina 98-108.
- Zaadnoordijk, W.J., S.A.R. Bus, A. Lourens en W.L. Berendrecht (2019) Automated Time Series Modeling for Piezometers in the National Database of the Netherlands, *Groundwater*, jaargang 57, nummer 6, pagina 834-843, beschikbaar op: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gwat.12819>.

7 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever


Naam en ondertekening interne reviewer

H.J. Hummelman

 ValidSigned by Jan Hummelman
on 16-02-2021

Ondertekening:

Goedkeuring:

 ValidSigned by Willem Jan Zaadnoordijk
on 16-02-2021

Dr. Ir. W.J. Zaadnoordijk
Projectleider

Drs. D. Maljers
Research Manager

A. Overzicht DINO data

Deze bijlage is opgenomen in de separate file Rapportnr_BijlageA.csv.

B. Afgekeurde reeksen

Deze bijlage bevat grafieken van de afgekeurde meetreeksen en is opgenomen in de separate file Rapportnr_afgekeurd.pdf.

C. Aangepaste reeksen

Deze bijlage bevat grafieken van de aangepaste meetreeksen en is opgenomen in de separate file Rapportnr_aangepast.pdf

D. Niet-aangepaste reeksen

Deze bijlage bevat grafieken van de geheel goedgekeurde meetreeksen en is opgenomen in de separate file Rapportnr_nietaangepast.pdf

E. Vaststelling gemiddelde en percentielen per meetpunt

De keuze of het gemiddelde en de percentielen direct uit metingen, uit maandelijkse gemiddelden van metingen of uit een simulatie met een tijdreeksmodel vastgesteld worden staat hier beschreven.

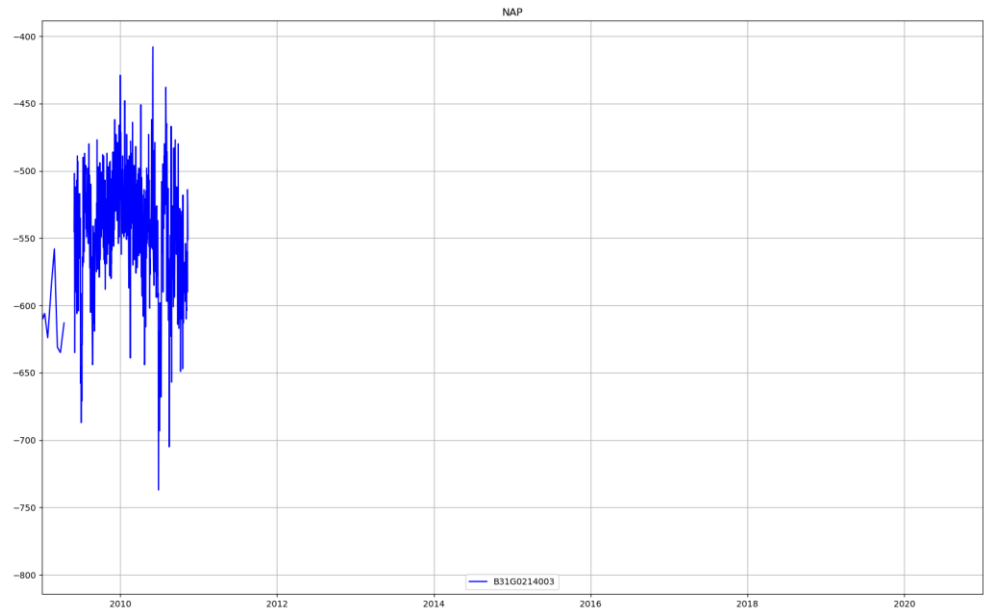
Metingen of maandgemiddelden van metingen

Voor keuze uit alle metingen of maandgemiddelde van metingen zijn de meetpunten uit WVP2 geselecteerd met de grootste verschillen tussen het gemiddelde van alle metingen en het gemiddelde van de maandgemiddelden van de metingen (Figuur 21).

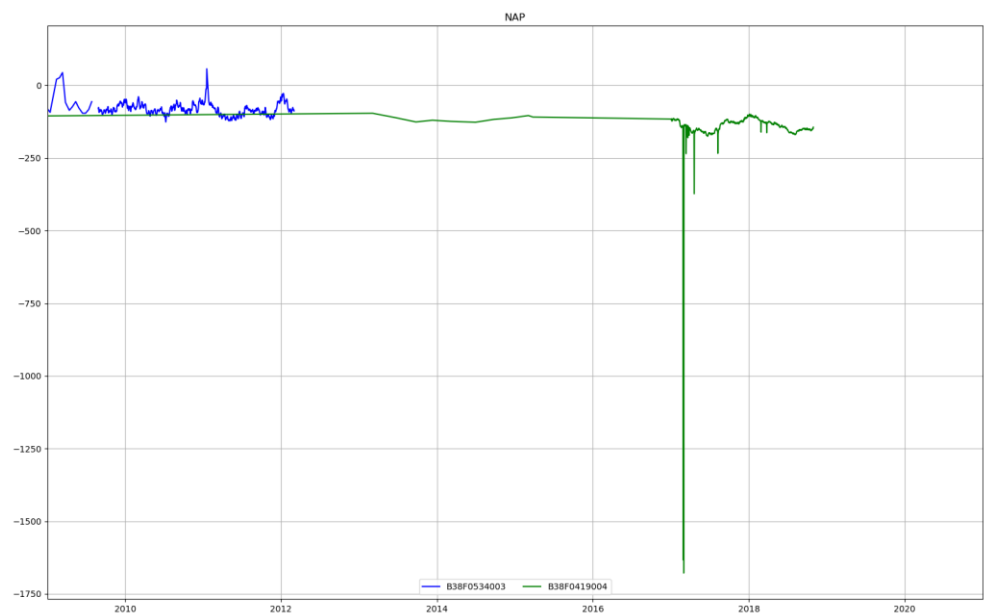
name	x	y	z	meting	pMnd	d.MetV	meting.n	meting.maanden	meting.kwartalen	meting.jaren
B26G0035001	164007	478482	-11150	-0.16	0.07	0.24	1123	50	21	8
B32A0335002	143487	466160	-5557	1.62	1.50	0.11	160	15	6	2
B32A0456007	144508	468039	-15851	1.42	1.31	0.11	160	15	6	2
B32A0335003	143487	466160	-8457	1.60	1.50	0.11	160	15	6	2
B31G0214003	125504	453122	-8495	-5.47	-5.57	0.10	539	23	8	2
B32C0358004	149396	461828	-4690	1.10	1.00	0.10	191	16	6	2
B32A0386004	146696	469253	-6711	1.15	1.05	0.10	160	15	6	2
B32A0456004	144508	468039	-6851	1.46	1.37	0.10	160	15	6	2
B32A0336003	148226	463416	-11527	2.25	2.17	0.09	162	16	6	2
B32A0411005	142716	470634	-7339	0.90	0.82	0.09	159	15	6	2
B38F0419004	136135	448345	-11900	-1.45	-1.37	0.08	678	31	17	5
B32A0393006	142399	472124	-8624	0.13	0.05	0.08	158	14	6	2
B32A0391010	143079	472414	-16484	0.34	0.26	0.08	158	14	6	2
B32A0328008	141921	471991	-9299	0.38	0.31	0.06	155	15	6	2
B32A0328006	141921	471991	-6549	0.35	0.29	0.06	157	15	6	2
B32C0346004	147436	459572	-12482	3.11	3.05	0.06	159	15	6	2
B32A0148002	146713	464925	-4904	1.66	1.72	0.06	1502	64	25	7
B38F0569004	131211	441001	-8661	-4.96	-4.91	0.06	1237	48	16	4
B31B0119005	110636	467680	-6966	-4.85	-4.90	0.06	149	26	9	3
B32D0139002	154098	455037	-3054	4.43	4.48	0.05	417	22	8	2
B31D0071003	118785	456587	-7175	-2.60	-2.65	0.05	976	45	16	4
B38F0534003	130643	443331	-7450	-0.83	-0.78	0.05	924	39	13	4

Figuur 21 meetpunten in provinciaal watervoerend pakket met grootste verschillen tussen gemiddelden van de metingen zelf en van de maandgemiddelden van de metingen.

De meest voor de hand liggende oorzaak voor verschillen is een verschil in frequentie. De grafieken in Figuur 22 en Figuur 23 laten dat zien: de reeksen hebben een laag-frequent deel met een afwijkend bereik van het hoog-frequente deel. Voor dergelijke situaties heeft het bepalen van maandgemiddelden de voorkeur. Nadeel is dat dynamiek op korte tijdschaal uitgemiddeld wordt.

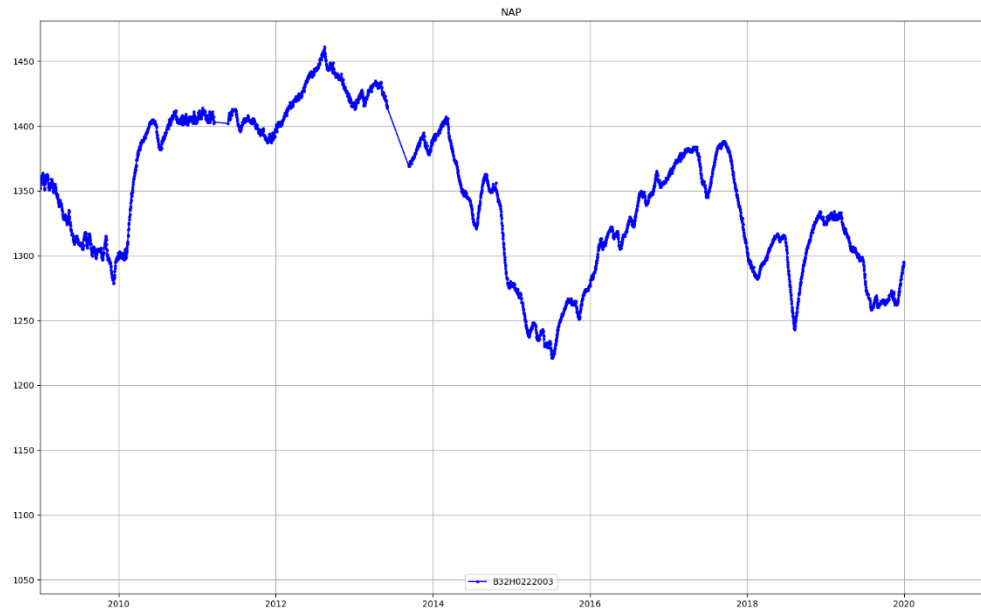


Figuur 22 tijdreeks voor filter 3 van peilbuis B31G0214 met stijghoogten in cm NAP.



Figuur 23 tijdreeks voor filter 3 van peilbuis B38F0534 en filter 4 van B38F0419 [cm NAP].

Bij B32H0222003 is het verschil 1cm, terwijl wel bijna de hele reeks hoogfrequent is (Figuur 24).



Figuur 24 meetreeks voor filter 3 van peilbuis B32H0222 met stijghoogten in cm NAP.

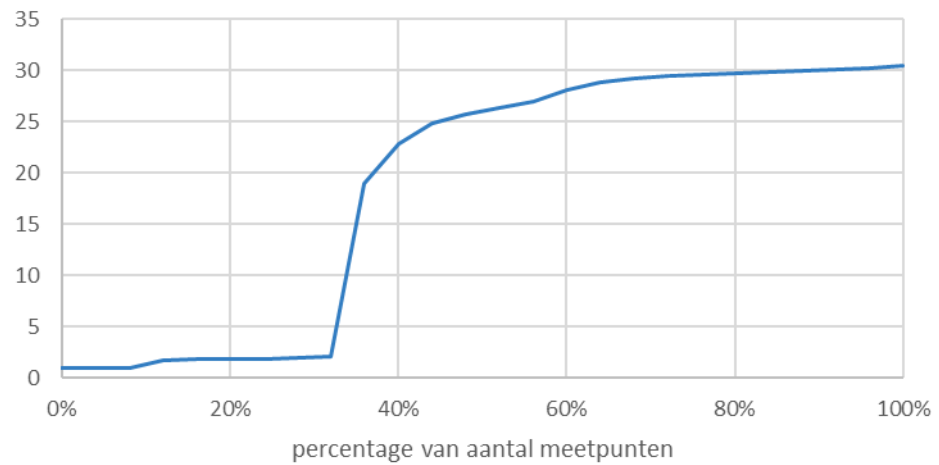
Bij kortere reeksen kunnen grotere toevallige afwijkingen ontstaan, zoals bij de meetpunten met grote verschillen aan het begin van de lijst. Veel daarvan hebben echter meetpunten in zo weinig maanden, kwartalen en jaren (zoals voorgaande B31G0214003 in Figuur 22) dat de onzekerheid van het gemiddelde groter is dan het verschil tussen de twee berekeningswijzen die we hier onderzoeken.

Metingen of modelsimulatie

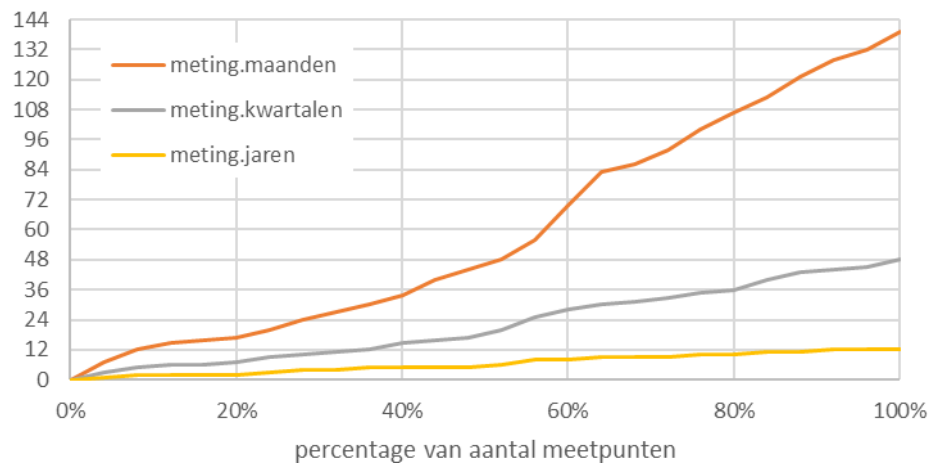
Voor de keuze om het gemiddelde en de percentielen te bepalen uit de metingen of het tijdreeksmodel is gebruik gemaakt van de grootheden uit de tabel in Figuur 25.

name	x	y	z	meting	sim3	sim1	dif3	dif1	max.dif	meting.n	meting.maanden	meting.kwartalen	meting.jaren
B26C0411006	143263	476998	-6506	-1.98	-1.64		0.34		0.34	12	12	12	10
B39H0381003	176130	435580	-3222	6.05		6.28		0.23	0.23	1939	65	23	7
B39E0149001	167960	442865	-3443	6.55		6.72		0.17	0.17	2	1	1	1
B32G0210002	168995	452040	-4171	7.13		7.29		0.16	0.16	280	16	6	2
B32A0453006	142360	472302	-6356	0.36	0.26	0.21	0.1	0.15	0.15	2560	97	34	9
B26H0145006	170100	480580	-12000	3.48	3.63		0.15		0.15	26	25	23	7
B39B0329001	159140	446700	-2849	5.38		5.51		0.13	0.13	12	7	3	1
B26C0411008	143263	476998	-10356	-0.4	-0.3	-0.3	0.1		0.1	12	12	12	10
B32A0452006	142312	472476	-6665	0.3	0.2		0.1		0.1	2679	100	34	9
B32A0386008	146696	469253	-15011	0.94		1.03		0.09	0.09	19	10	4	2
B39B0329003	159140	446700	-6539	5.36		5.45		0.09	0.09	12	7	3	1
B32H0227003	176520	460600	-7095	17.23	17.3		0.07		0.07	3755	125	43	11
B26C0411007	143263	476998	-8356	-0.4	-0.35	-0.35	0.05		0.05	12	12	12	10
B32A0469005	142000	473000	-5783	0.13	0.18	0.11	0.05		0.05	11	11	11	10
B39D0240003	153156	433579	-9012	1.96	1.96	2.01	0	0.05	0.05	18	18	18	5
B26C0411009	143263	476998	-12256	-0.39	-0.35	-0.34	0.04		0.04	12	12	12	10
B39B0328003	158890	446850	-4706	5.32		5.36		0.04	0.04	13	7	3	1
B26C0166003	144304	476971	-6710	-0.01	-0.05		0.04		0.04	3108	123	43	11
B25H0309004	135569	477101	-7277	-1.62	-1.59		0.03		0.03	18	18	17	9
B26C0162002	143139	476661	-9626	-0.39	-0.42		0.03		0.03	3155	125	44	11
B39G0074002	168100	430140	-2247	4.68	4.7		0.02		0.02	242	132	48	12

Figuur 25 relevante kenmerken van de meetreeks en de tijdreeksmodellen voor de meetpunten met in de blauwe kolommen stijghoogten in m NAP (sim3 is simulatie voor 2009-2020 met model gecalibreerd op diezelfde periode, terwijl sim1 berekend is met model gebaseerd op de hele meetreeks).



Figuur 26 cumulatieve verdeling van het gemiddelde aantal metingen per maand.



Figuur 27 cumulatieve verdelingen van het aantal maanden en jaren met minimaal 1 meting.

Figuur 26 en Figuur 27 laten de cumulatieve verdelingen zien van het aantal metingen per maand en het aantal metingen per periode. Dit zijn grootheden uit de tabel in Figuur 25.

Minimale lengte

Een reeks met een lengte van minimaal 1 jaar geeft de totale seizoensfluctuatie maar mist de fluctuatie van jaar tot jaar. De standaardafwijking moet de onbetrouwbaarheid door deze laatste weergeven.

Een reeks korter dan een jaar maar langer dan een half jaar geeft een deel van de seizoensfluctuatie: maximaal ongeveer de helft (voor een nat of droog halfjaar met metingen) en het gunstigste geval praktisch alles als de reeks de periode tussen de hoogste en laagste grondwaterstand in een jaar beslaat. Nu moet de standaardafwijking dus niet alleen voor de fluctuatie van jaar tot jaar corrigeren maar ook voor het missende deel van de seizoensfluctuatie.

Resulterende aanpak

Op basis van voorgaande overweging is de volgende aanpak gekozen en zijn aannames gedaan over de standaardafwijking (σ van de statistieken (gemiddelde, 12.5- en 87.5-percentiel) per meetpunt:

1. Hele reeks hoogfrequent (gemiddeld aantal metingen per maand > 28) en meer dan 90 maanden (van de maximaal 139; alternatieven > 33 van de 48 kwartalen of > 9 van de 12 jaren):
statistieken uit metingen, $\sigma=1$ cm;
2. Meer dan 90 maanden met metingen:
statistieken uit maandgemiddelden van metingen, $\sigma=3$ cm;
3. Een goed tijdreeksmodel gekalibreerd op data vanaf 2009:
statistieken uit maandgemiddelden van metingen, $\sigma=1$ cm + helft bandbreedte simulatie (bandbreedte is gemiddeld verschil van de 10- en 90-percentielen uit het simulatie-ensemble);
4. Een goed tijdreeksmodel gekalibreerd op hele reeks:
statistieken uit maandgemiddelden van metingen, $\sigma=1$ cm + bandbreedte simulatie (bandbreedte is gemiddeld verschil van de 10- en 90-percentielen uit het simulatie-ensemble);
5. Een reeks met minimaal 12 maanden:
statistieken uit maandgemiddelden van metingen, de σ is ingeschat uit het gemiddelde verschil tussen de 87.5- en 12.5-percentielen per deelgebied (Tabel 6).

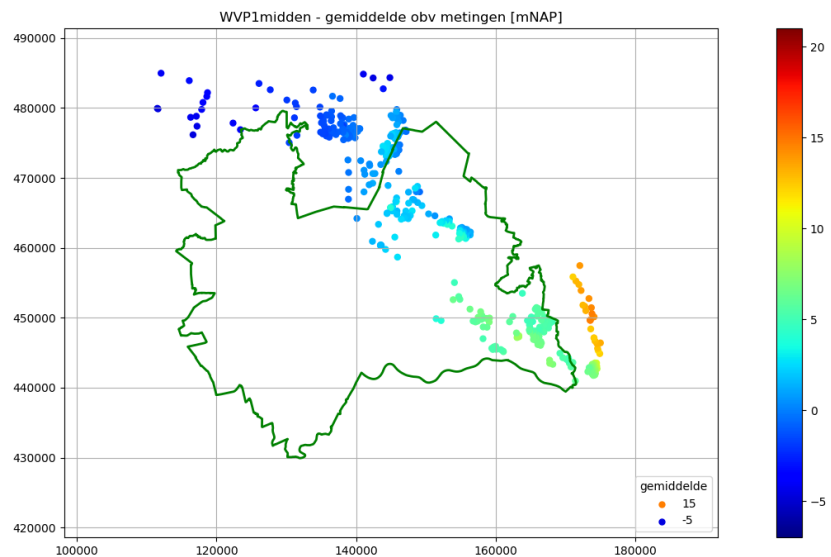
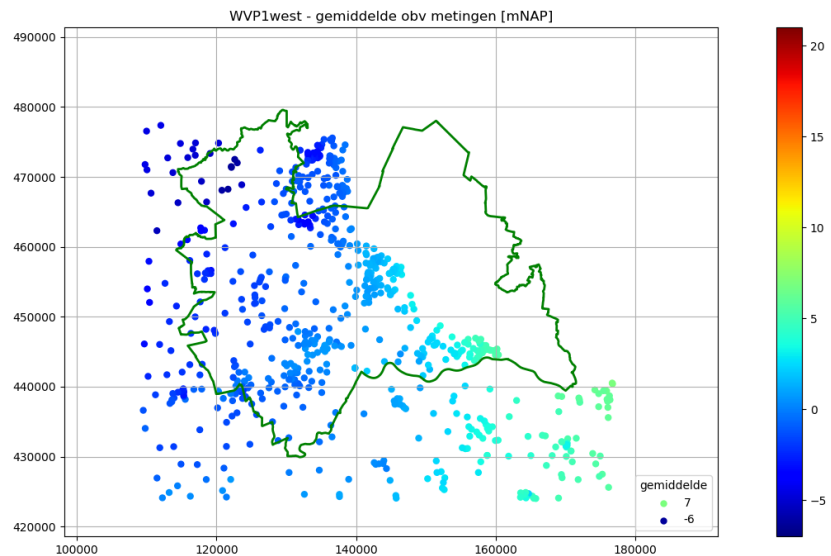
Tabel 6 ingeschatte bandbreedte voor gemiddelde en percentielen per meetpunt voor meetreeksen met een lengte van minimaal 12 maanden.

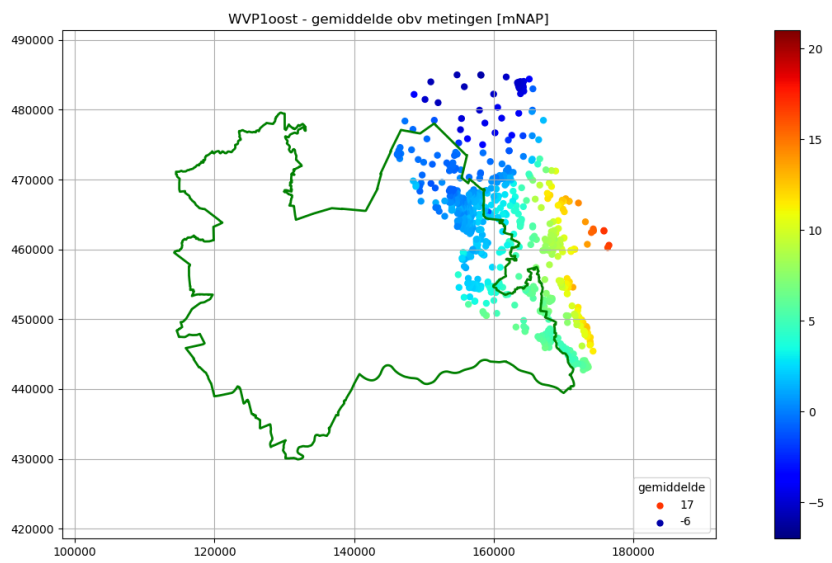
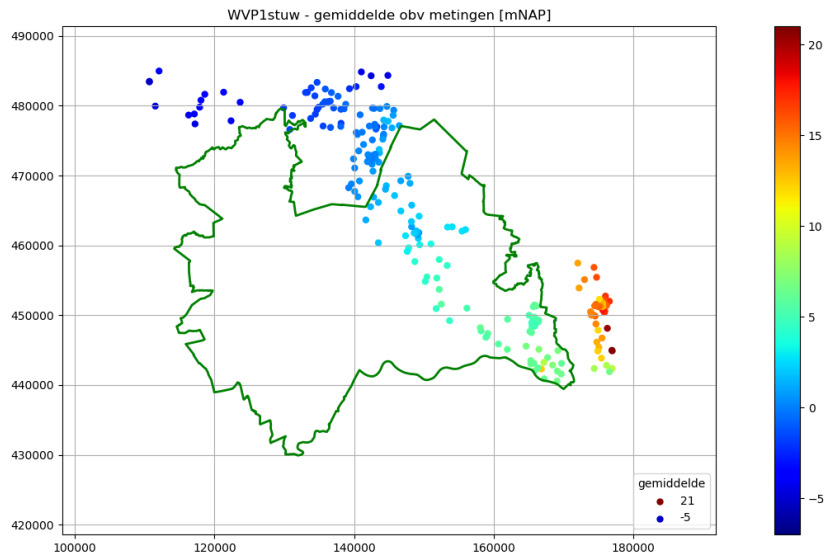
Pakket	Gemiddeld verschil 87.5- en 12.5-percentiel [cm]	σ [cm]
WVP1oost	47	25
WVP1b	36	18
WVP1midden	40	20
WVP1stuw	35	17
WVP1west	33	16
WVP2	31	15

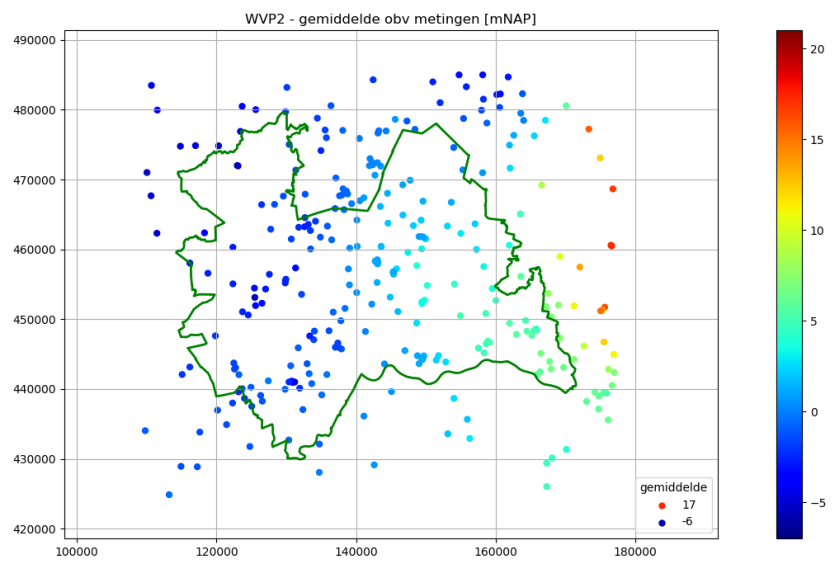
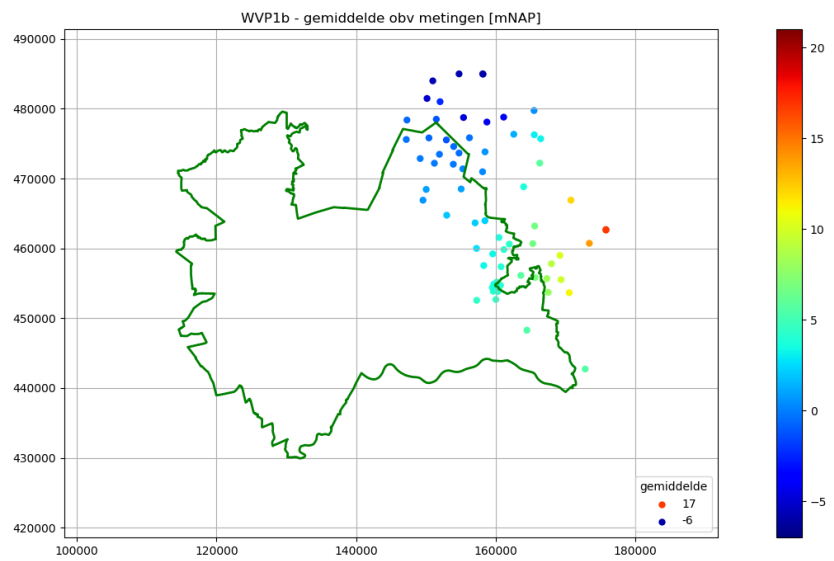
6. Een reeks met minimaal 6 maanden:
Hiervoor wordt een σ aangehouden die twee keer zo groot is als de waarde uit Tabel 6.
7. Meetpunt niet gebruiken.

F. Gemiddelde voor meetpunten per WVP-eenheid

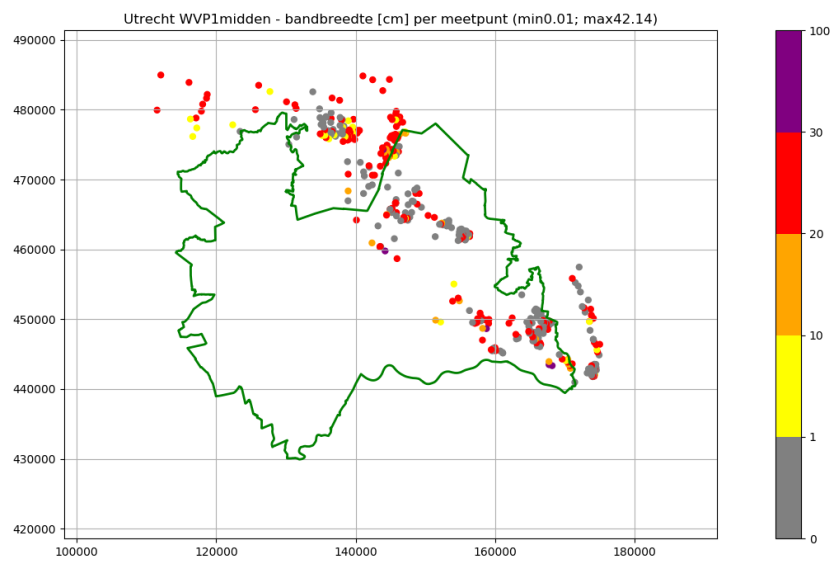
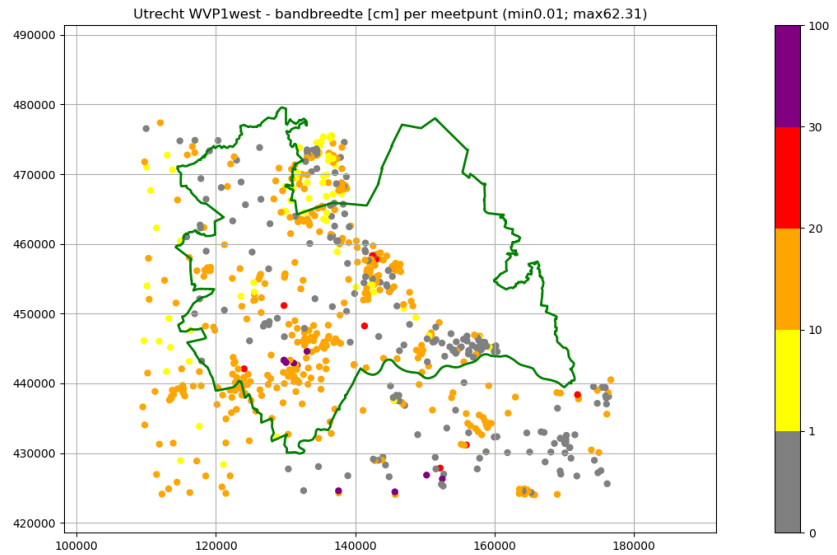
Deze bijlage geeft voor elk provinciaal watervoerend pakket de gemiddelde stijghoogte per meetpunt bepaald uit de meetreeks en een inschatting van de bandbreedte.

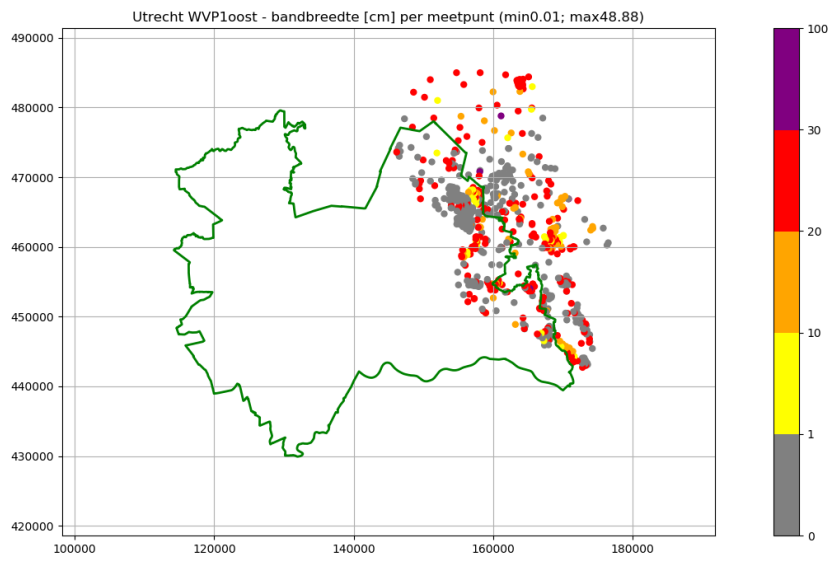
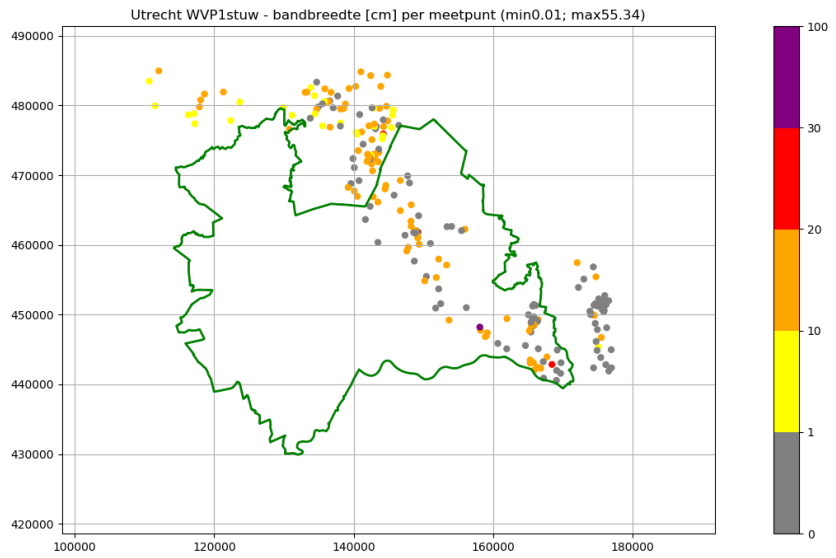


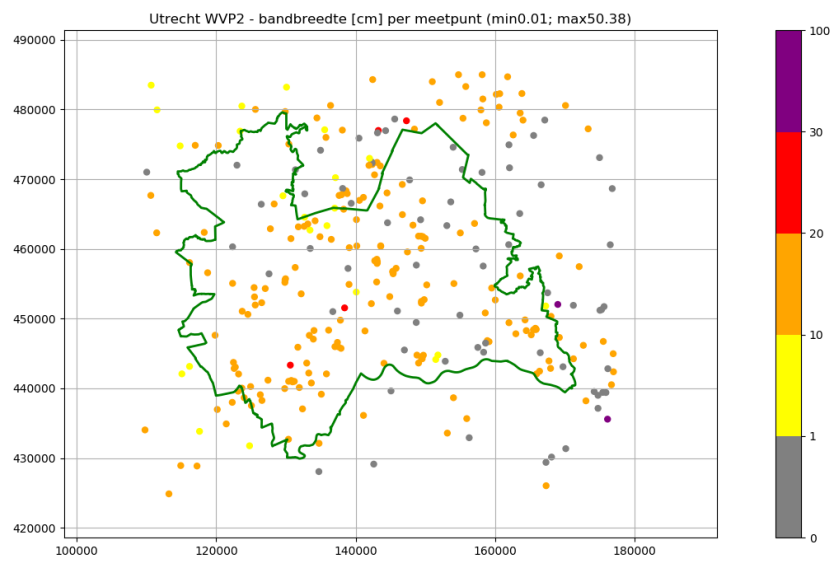
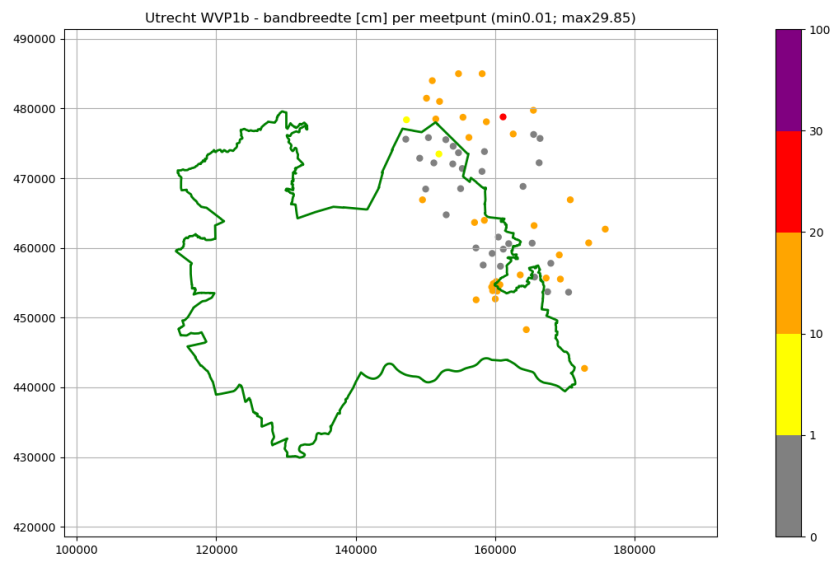




Bandbreedtes in centimeter van de gemiddelde stijghoogte uit de meetreeksen (bepaald volgens de procedure uit Bijlage E).

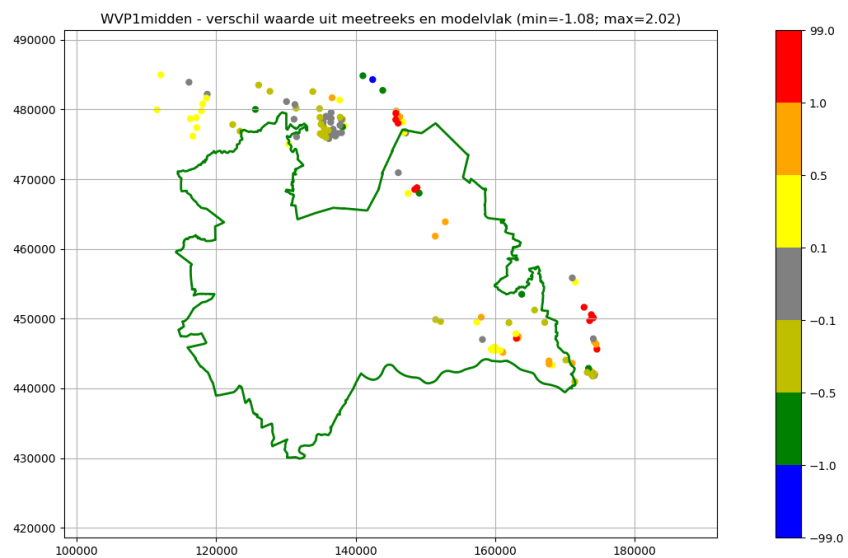
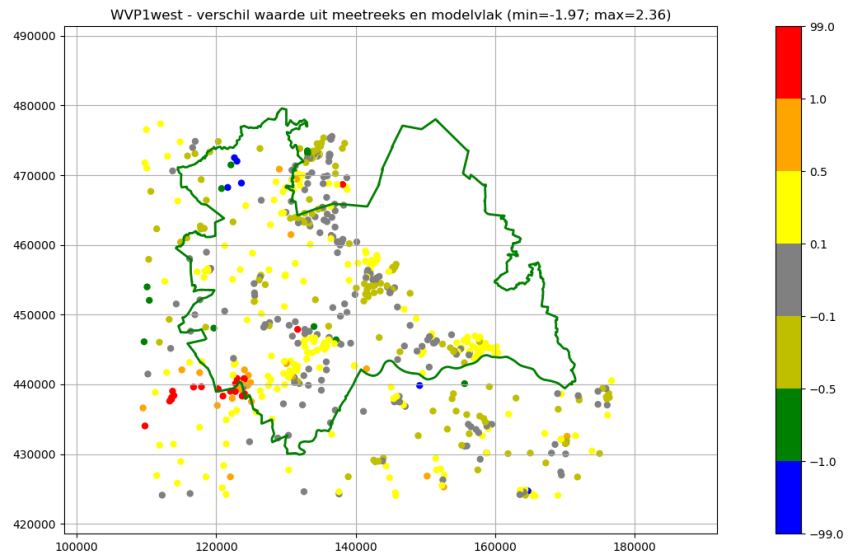


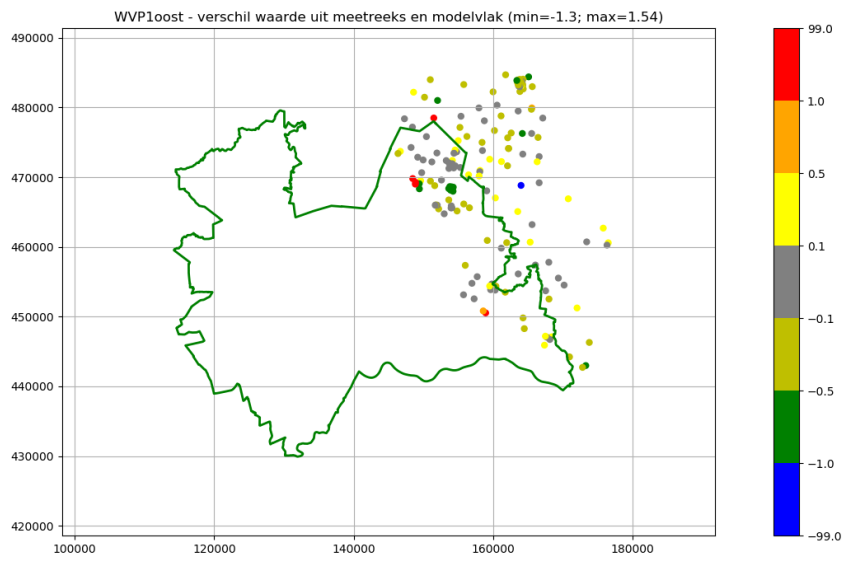
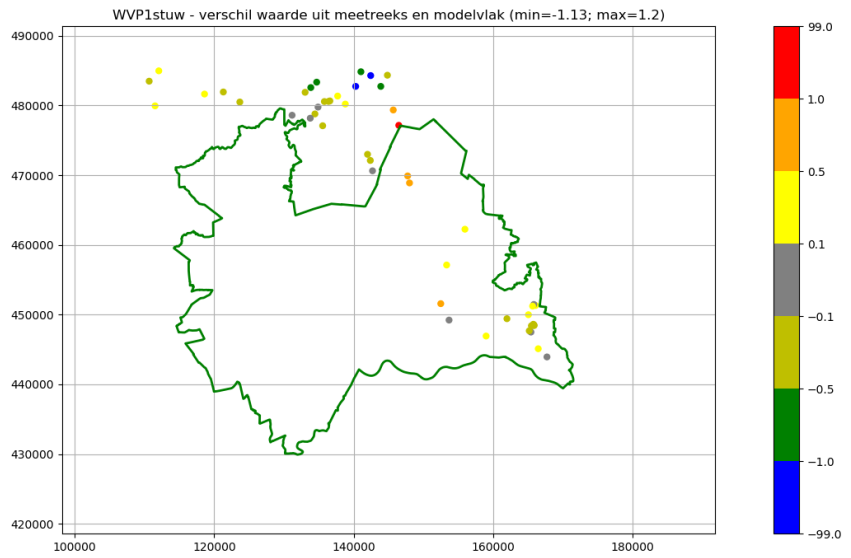


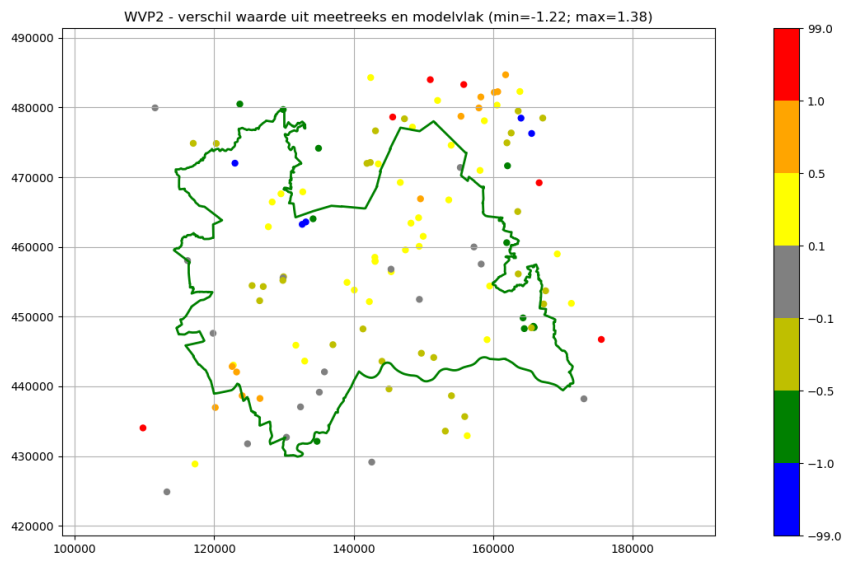
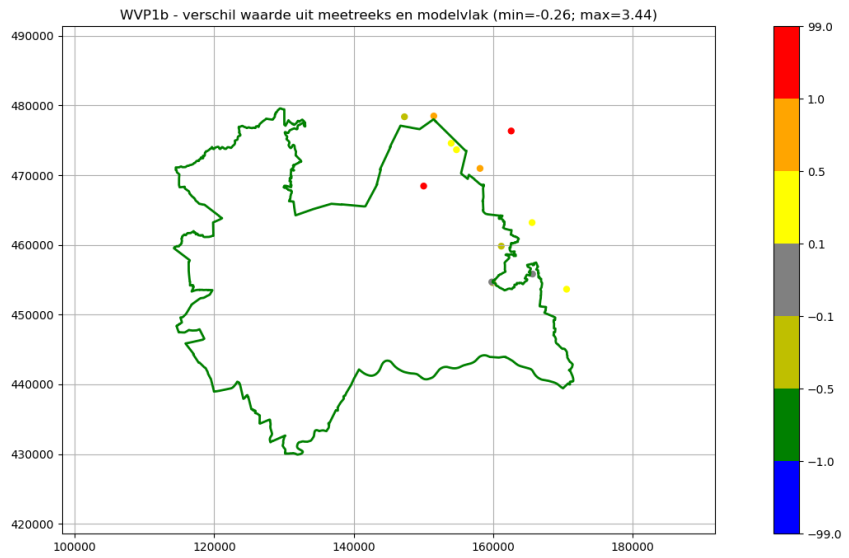


G. Residuen per WVP-eenheid

Deze bijlage geeft voor de gemiddelde situatie van elk provinciaal watervoerend pakket de verschillen [meter] weer tussen de waarde uit de meetreeksen en het betreffende modelvlak uit NHI-LHM4.1.





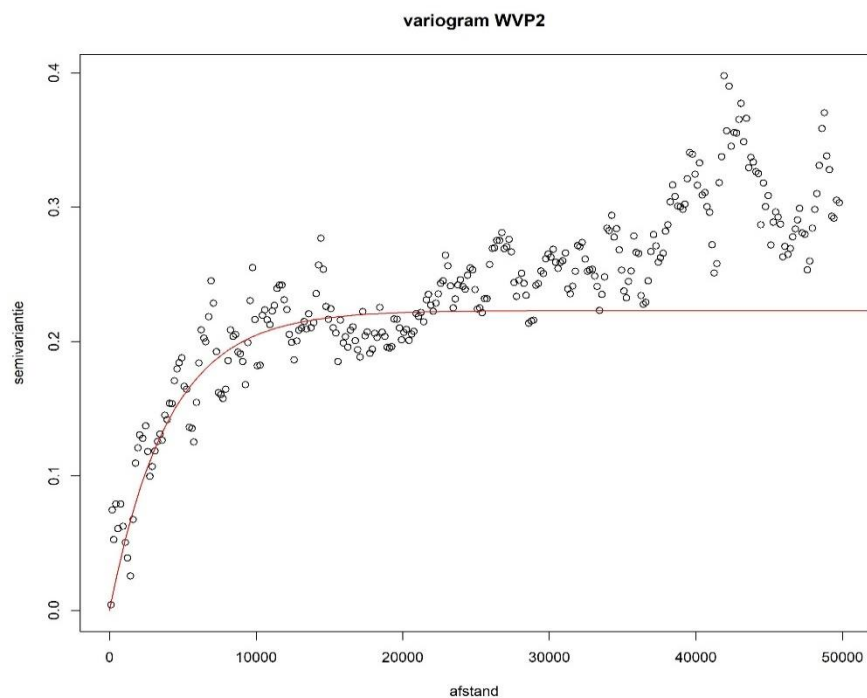


H. Kriging

De isohypsenkaarten in dit rapport tonen een vlakdekkende weergave van de grondwaterstijghoogte per watervoerend pakket. De metingen van de stijghoogte zijn echter niet vlakdekkend bekend maar zijn afkomstig van puntwaarnemingen (peilbuizen). Om van puntwaarnemingen te komen tot een vlakdekkend beeld is het noodzakelijk om te interpoleren. Bij de vervaardiging van isohypsenkaarten in dit rapport is gebruik gemaakt van interpolatie met behulp van kriging.

Variogram

Kriging kent veel variaties maar is in essentie een interpolatietechniek waarbij rekening gehouden wordt met de ruimtelijke correlatie tussen de waarnemingen. Deze correlatiestructuur wordt afgeleid uit de waarnemingen en vastgelegd in een variogram. In Figuur 28 is een voorbeeld van een variogram weergegeven waarbij uit de metingen het experimenteel variogram is bepaald (stippen) en daaruit vervolgens het variogrammodel (rode lijn). In plaats van de term *variogrammodel* wordt meestal *semivariogram* of kortweg *variogram* gebruikt.



Figuur 28 Voorbeeld van een variogram. De rode lijn is het variogram model dat gefit is door de puntenwolk van het experimenteel variogram met afstand in meter en semivariantie in m^2 .

Op de horizontale as van het variogram staat de afstand, dit is de afstand tussen twee locaties (meter in het voorbeeld) in het gebied met de waarnemingen. Op de verticale as staat de bijbehorende (semi)variantie (m^2 in het voorbeeld). Het variogram geeft een maat voor de afwijking van de waarde in een meetpunt dat op een willekeurige afstand van dat meetpunt verwacht mag worden. De bijbehorende onzekerheid (variantie) is af te lezen in het variogram door op de x-as

bij de gewenste afstand omhoog te gaan naar de lijn van het variogram en de bijbehorende variantie op de y-as af te lezen. Hoe groter de afstand, des te hoger de variantie.

Een zeer belangrijke aanname bij kriging is dat de correlatiestructuur, en dus het variogram, overal in het gebied gelijk (homogeen) is. Als dat niet het geval is dan moet het gebied, indien mogelijk, opgesplitst worden in homogene deelgebieden. Het is dan wel belangrijk dat er genoeg waarnemingen per deelgebied aanwezig zijn om de correlatiestructuur uit af te leiden.

Interpolatie

Bij het maken van de isohypsenkaarten hebben we de beschikking over gemeten grondwaterstanden op puntlocaties. Door middel van interpolatie kan op een onbemeten locatie in een gebied iets gezegd worden over de stijghoogte op die locatie. Gebruikelijk is om een gewogen interpolatie toe te passen van nabijgelegen metingen waarbij de wegingsfactoren afhankelijk zijn van de afstanden tot de meetlocaties, bijvoorbeeld wegingsfactoren op basis van het omgekeerde van de afstand ("*inverse distance*"). Bij kriging worden de wegingsfactoren bepaald aan de hand van het variogram, en zijn daarmee ook afhankelijk van de afstanden tot de meetpunten. In de vorige paragraaf is beschreven: hoe groter de afstand hoe hoger de onzekerheid van de waarde op de onbemeten locatie. Bij kriging worden de wegingsfactoren zodanig gekozen dat de onzekerheid van de interpolatie geminimaliseerd wordt. Daarbij wordt dan ook gelijk een maat voor de onzekerheid van de interpolatie berekend, namelijk: de variantie van de interpolatiefout. Deze variantie wordt vaak aangeduid met *krigingvariantie*. Bij de interpolatie wordt een zoekstraal gebruikt. Dit houdt in dat alleen meetpunten binnen een bepaalde afstand gebruikt worden. Dit geeft een belangrijke reductie van de rekentijd en heeft praktisch geen invloed op het resultaat als de zoekstraal goed gekozen wordt. Dat kan op basis van het variogram door te bepalen boven welke afstand de ruimtelijke correlatie verwaarloosbaar wordt.

Blokkriging vs. puntkriging

Een kriging interpolatie kan geformuleerd worden voor een punt locatie (*punkting*) of voor een vlak of volume (*blokkiging*). Bij puntkriging wordt er één waarde voor een punt berekend. Theoretisch gezien heeft dit punt een oppervlakte of inhoud van 0. Bij blokkiging wordt een gemiddelde waarde voor een oppervlakte of volume berekend. Meestal wordt blokkiging benaderd door per blok een beperkt aantal waarden te berekenen met puntkriging en deze te middelen. Omdat het bij blokkiging om een gemiddelde waarde van een vlak of volume gaat is de bijbehorende krigingvariantie lager dan van een puntkriging voor dezelfde locatie (midden van het blok). De isohypsenkaarten zijn berekend voor een grid van 25 x 25 meter. Voor die gridcellen is blokkiging toegepast.

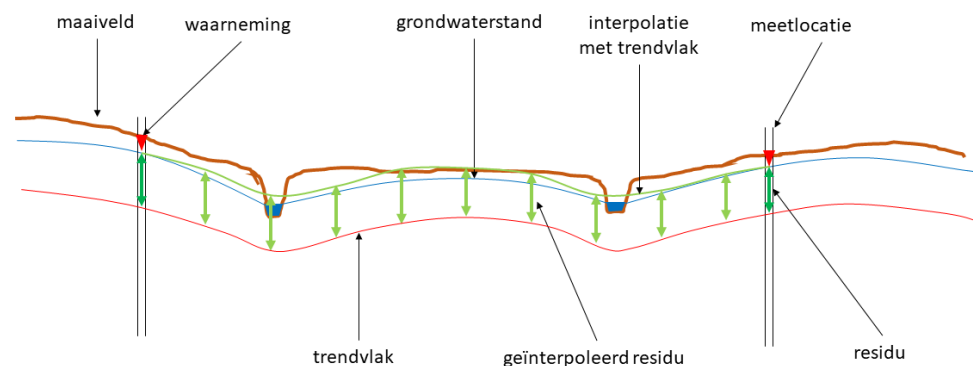
Kruisvalidatie (Z-score)

Bij kriging geldt de aanname dat binnen het doelgebied de ruimtelijke correlatiestructuur overal gelijk is. Of deze aanname valide is kan gecontroleerd worden met behulp van kruisvalidatie. Bij kruisvalidatie wordt voor elke beschikbare waarnemingslocatie een interpolatie uitgevoerd door middel van puntkriging. Hierbij wordt de waarneming van die locatie zelf niet meegenomen bij de interpolatie. Vervolgens wordt het verschil tussen de geïnterpoleerde en de gemeten waarde genomen. Hoe groter dit verschil hoe minder goed de waarneming past in de

veronderstelde correlatiestructuur. Het is echter zo dat op een locatie met waarnemingen op korte afstand de geïnterpoleerde waarde in het algemeen minder van de waarneming zal afwijken dan wanneer de waarnemingen op grotere afstand liggen. Om voor dit effect te corrigeren wordt het berekende verschil genormaliseerd door het verschil te delen door de krigingstandaardafwijking (de wortel uit de krigingvariantie). Dit genormaliseerde verschil wordt de Z-score genoemd. Een waarneming waarvan de Z-score te hoog is (of te laag is, een Z-score kan ook negatief zijn) moet beoordeeld worden op geldigheid binnen de dataset.

Kriging met een trendvlak

Zoals hiervoor al genoemd moeten waarnemingen, voor toepassing van kriging, in een gebied een homogene correlatiestructuur laten zien. Bij grondwaterstanden is dit lang niet altijd het geval. Veel oorzaken, zoals rivieren of variatie in maaiveldhoogte, zorgen voor lokale afwijkingen in die structuur. Als er een structuur aanwezig is in deze lokale fenomenen dan is het mogelijk om die te beschrijven door middel van een trendvlak. Wanneer het verschil tussen de waarnemingen en het trendvlak (de residuen) wel een ruimtelijk consistente correlatiestructuur laten zien dan mag de kriginginterpolatie toegepast worden op de residuen. De geïnterpoleerde residuen worden vervolgens weer bij het trendvlak opgeteld waarmee een geïnterpoleerde waarde ontstaat, in dit geval een stijghoogte (zie Figuur 29). Een voorwaarde voor deze methode is dat het trendvlak overal in het interessegebied bekend moet zijn.



Figuur 29 Schematische voorstelling van kriging met een trendvlak.

In Figuur 29 is kriging met een trendvlak schematisch weergegeven. Hierin is stap 1 de berekening van de residuen: $\text{residu} = \text{waarneming} - \text{trendvlak}$. Stap 2 is het maken van een variogram op basis van de residuen. Stap 3 is de interpolatie van de residuen en in stap 4 worden de geïnterpoleerde residuen weer opgeteld bij het trendvlak.

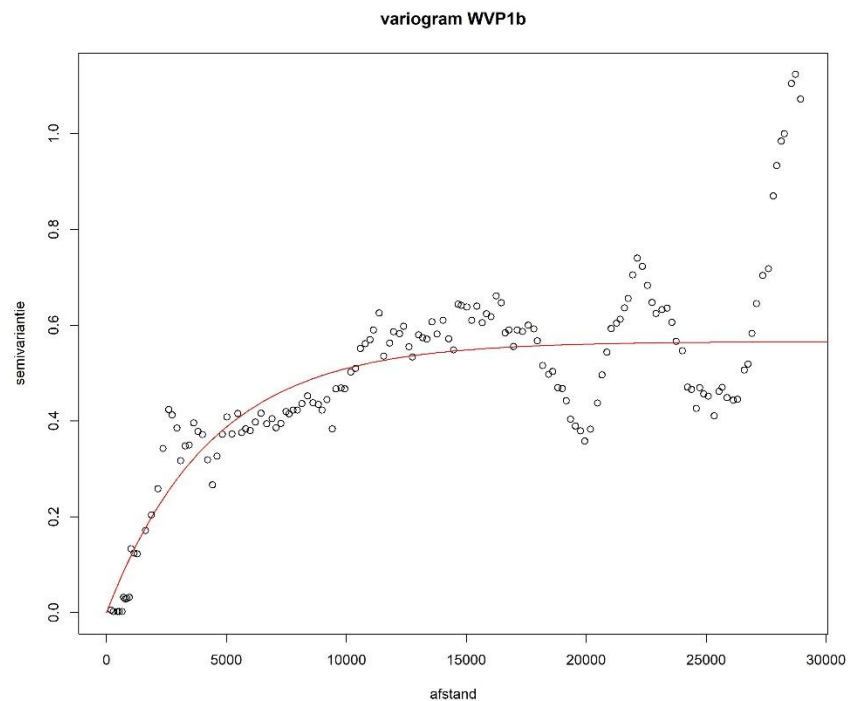
I. Variogrammen per WVP-eenheid

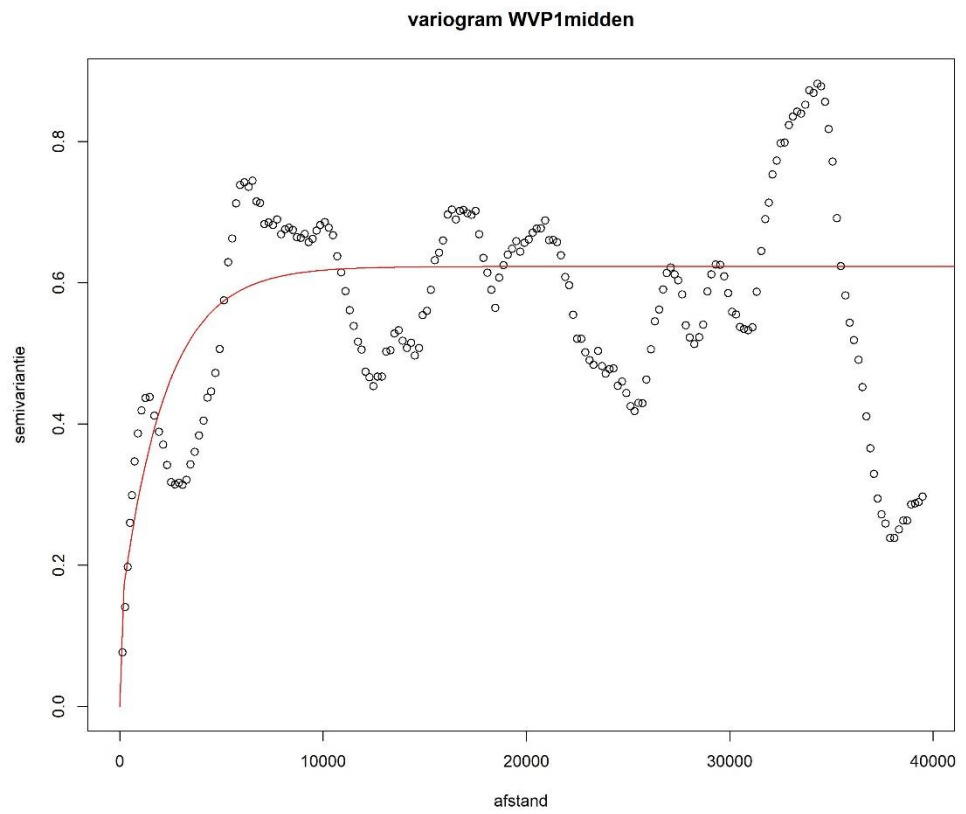
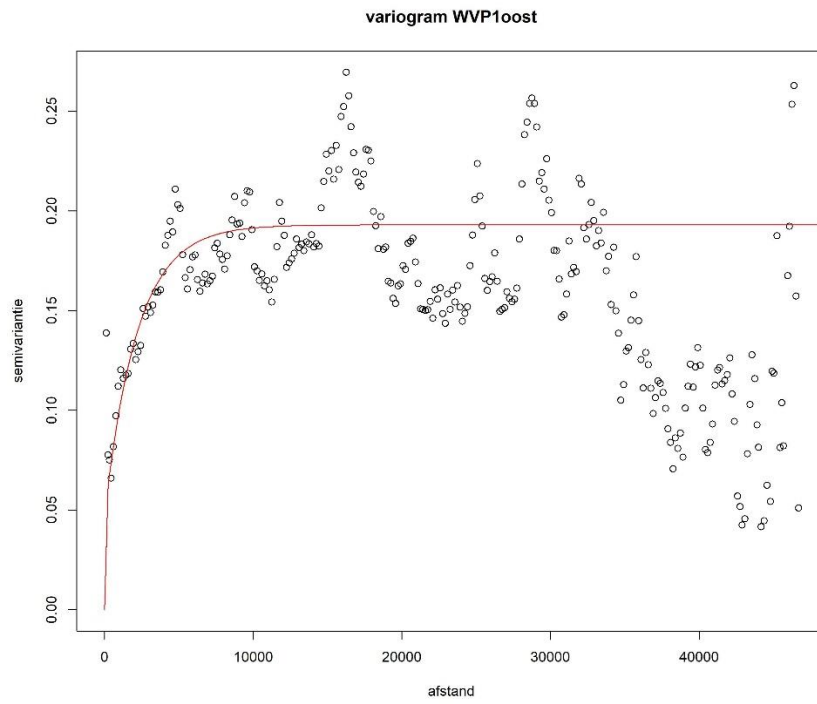
Deze bijlage geeft de variogrammen van de residuen voor de provinciale watervoerende pakketten met op de horizontale as de afstand in meter en op de verticale as de variantie in m^2 . De residuen zijn de verschillen per meetpunt tussen de gemiddelde grondwaterstijghoogte afgeleid uit de metingen en de waarde uit de betreffende modelaquifer van NHI-LHM 4.1. Bijlage H beschrijft de afleiding en betekenis van een variogram.

Tabel 7 bevat het model van het variogram samen met de bijbehorende parameters alsmede de bij de kriging gebruikte zoekstraal per pakket. De navolgende figuren geven de grafieken van de variogrammen en de punten waar ze op gebaseerd zijn.

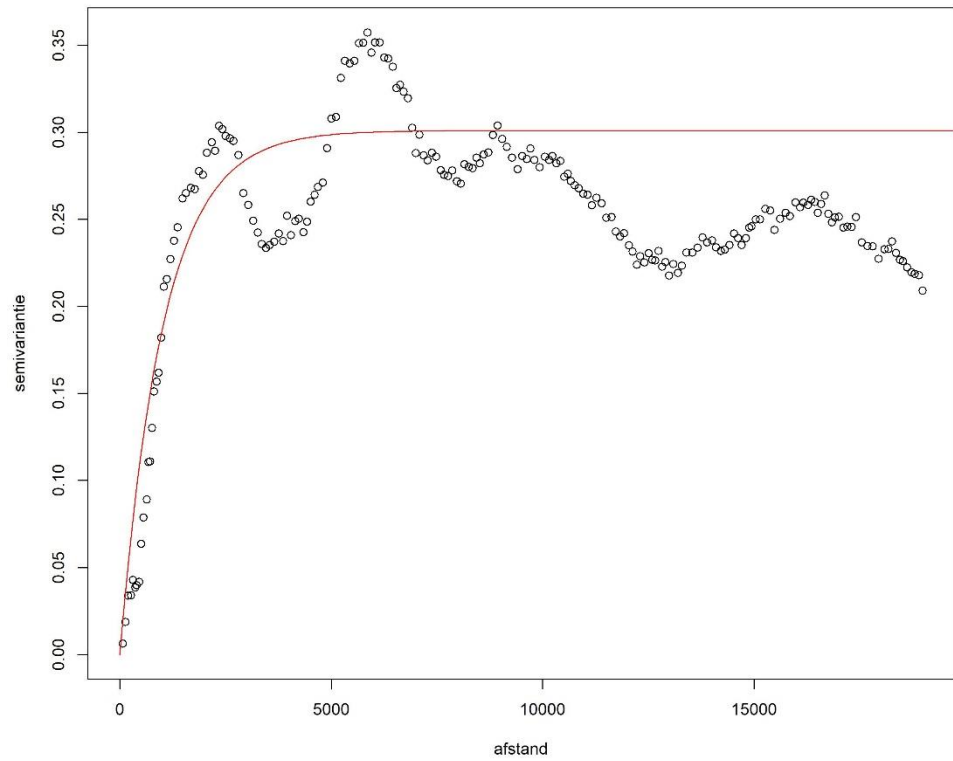
Tabel 7 Variogrammodel en -parameters [meter] en gebruikte zoekstralen [meter] voor de kriging per provinciaal watervoerend pakket.

pakket	model	nugget	sill	range	Zoekstraal
WVP1west	spherical	0.025	0.095	8000	20000
WVP1midden	exponential	0.128	0.495	6630	20000
WVP1oost	exponential	0.03	0.098	6650	20000
WVP1stuw	exponential	0	0.301	3100	8000
WVP1b	exponential	0	0.566	13000	20000
WVP2	exponential	0	0.223	12000	30000

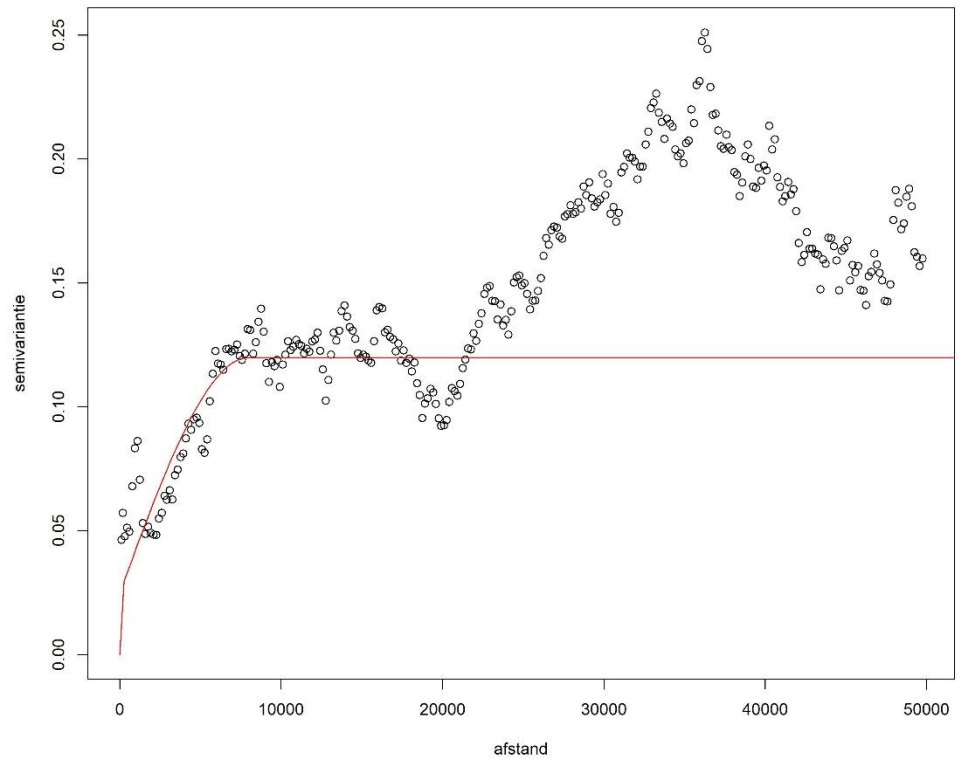


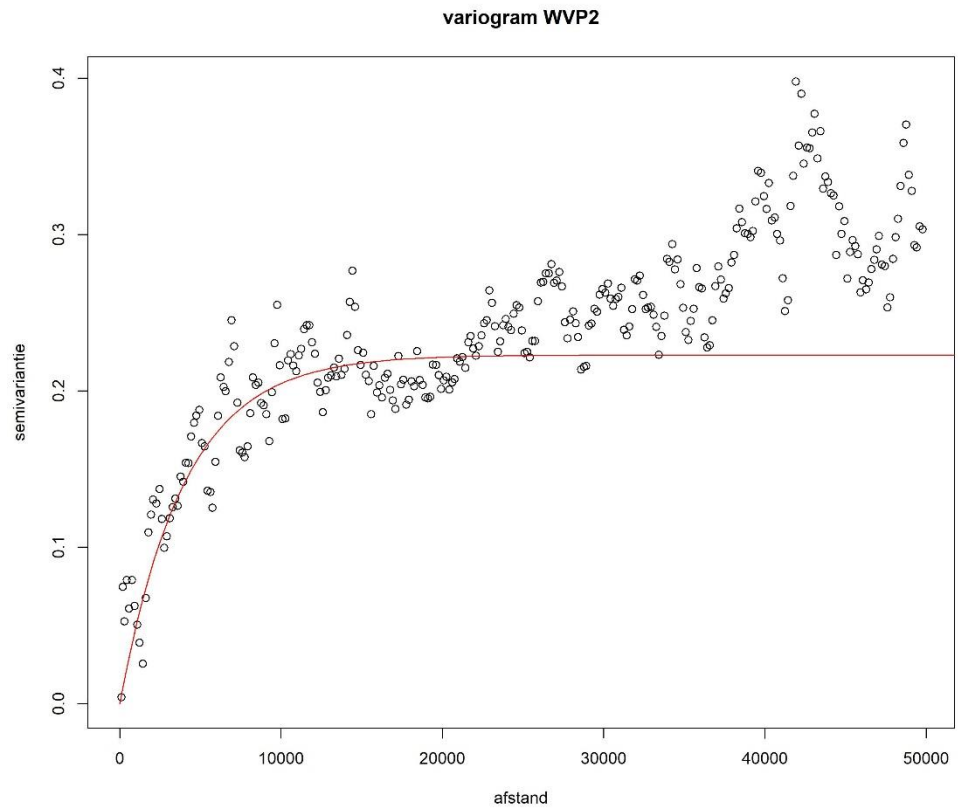


variogram WVP1stuw



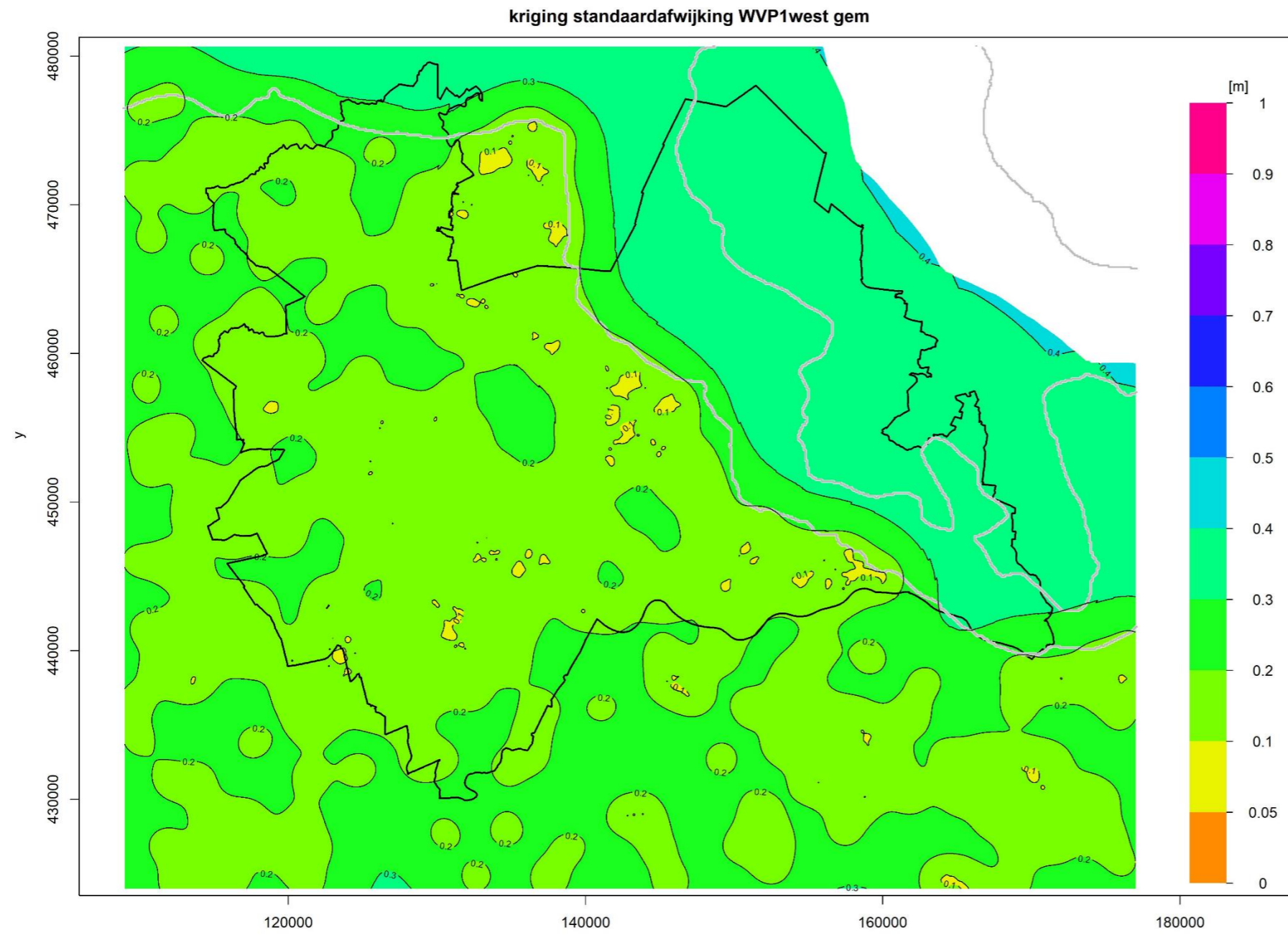
variogram WVP1west



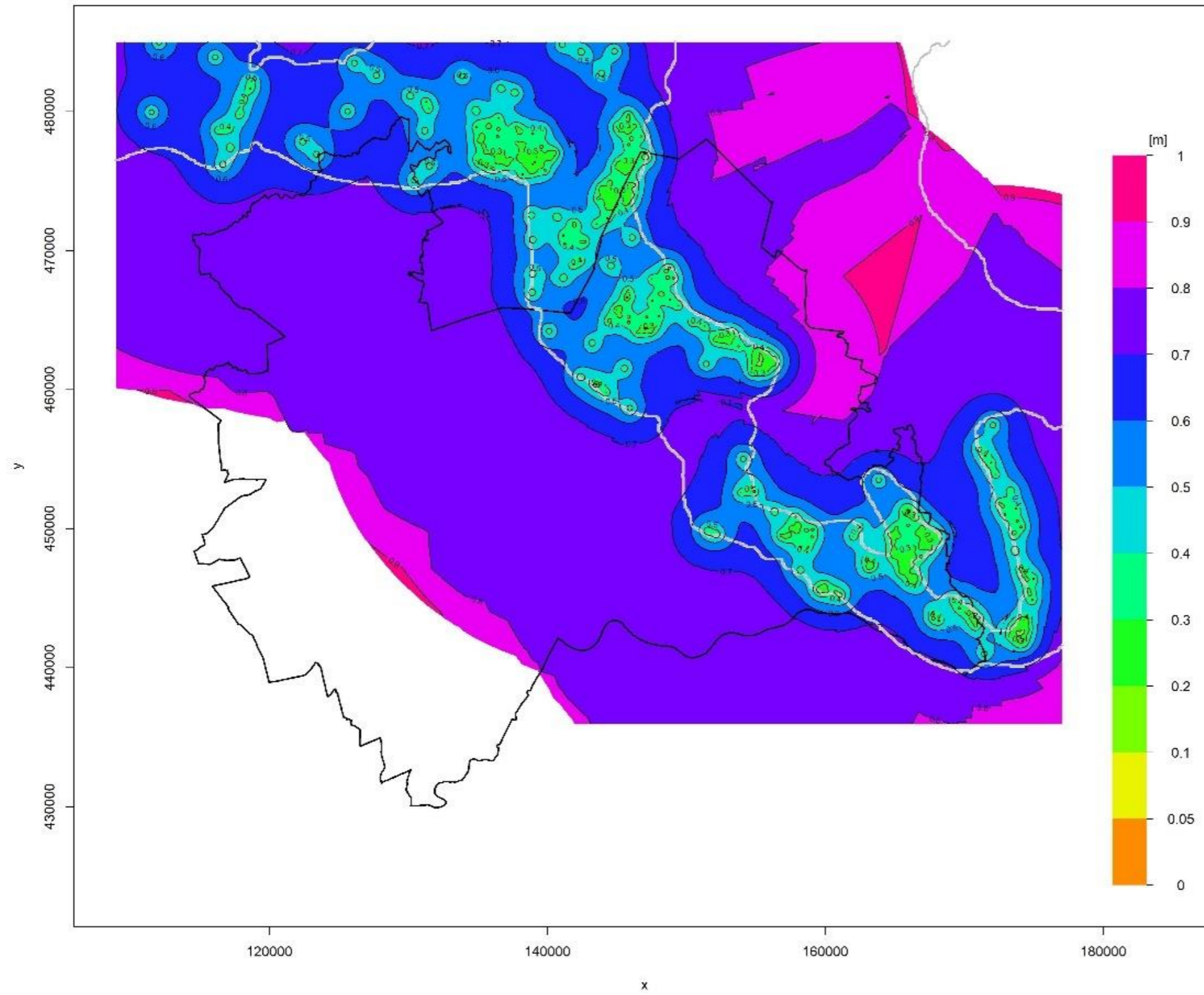


J. Krigingvarianties per WVP-eenheid

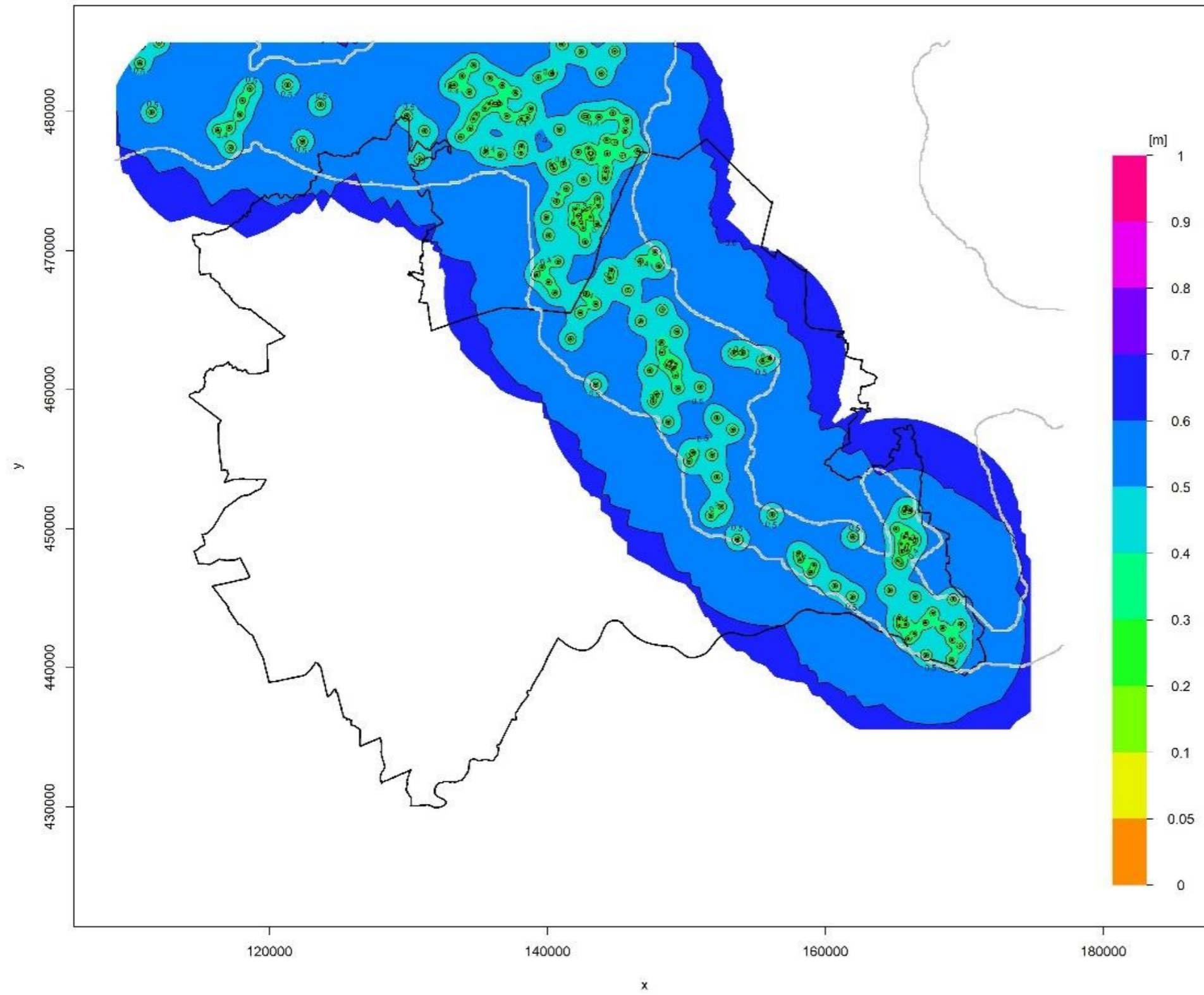
Deze bijlage geeft de standaardafwijking [meter] van de kriging (zie bijlage H) voor de gemiddelde situatie per provinciaal watervoerend pakket.



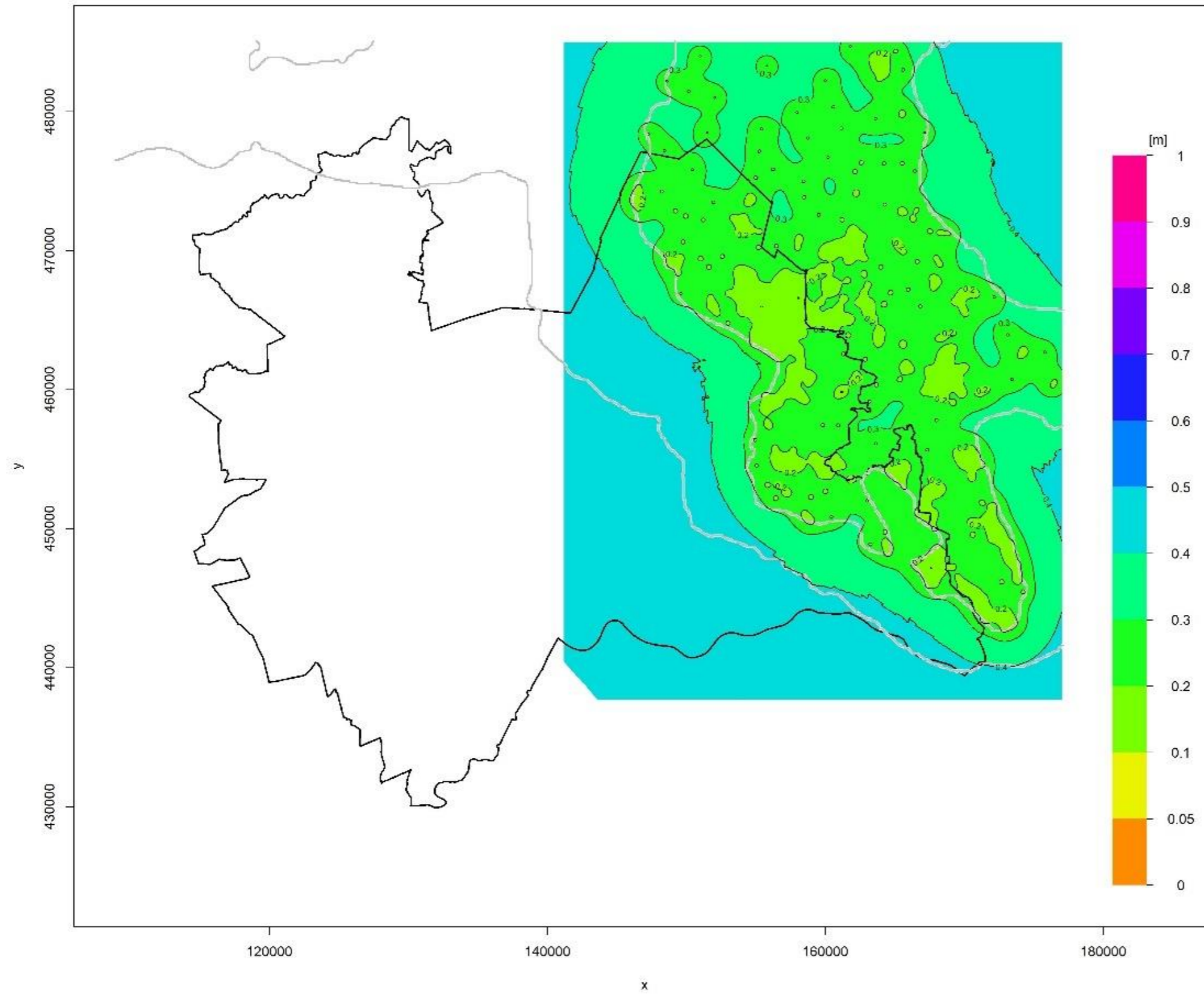
kriging standaardafwijking WVP1midden gem



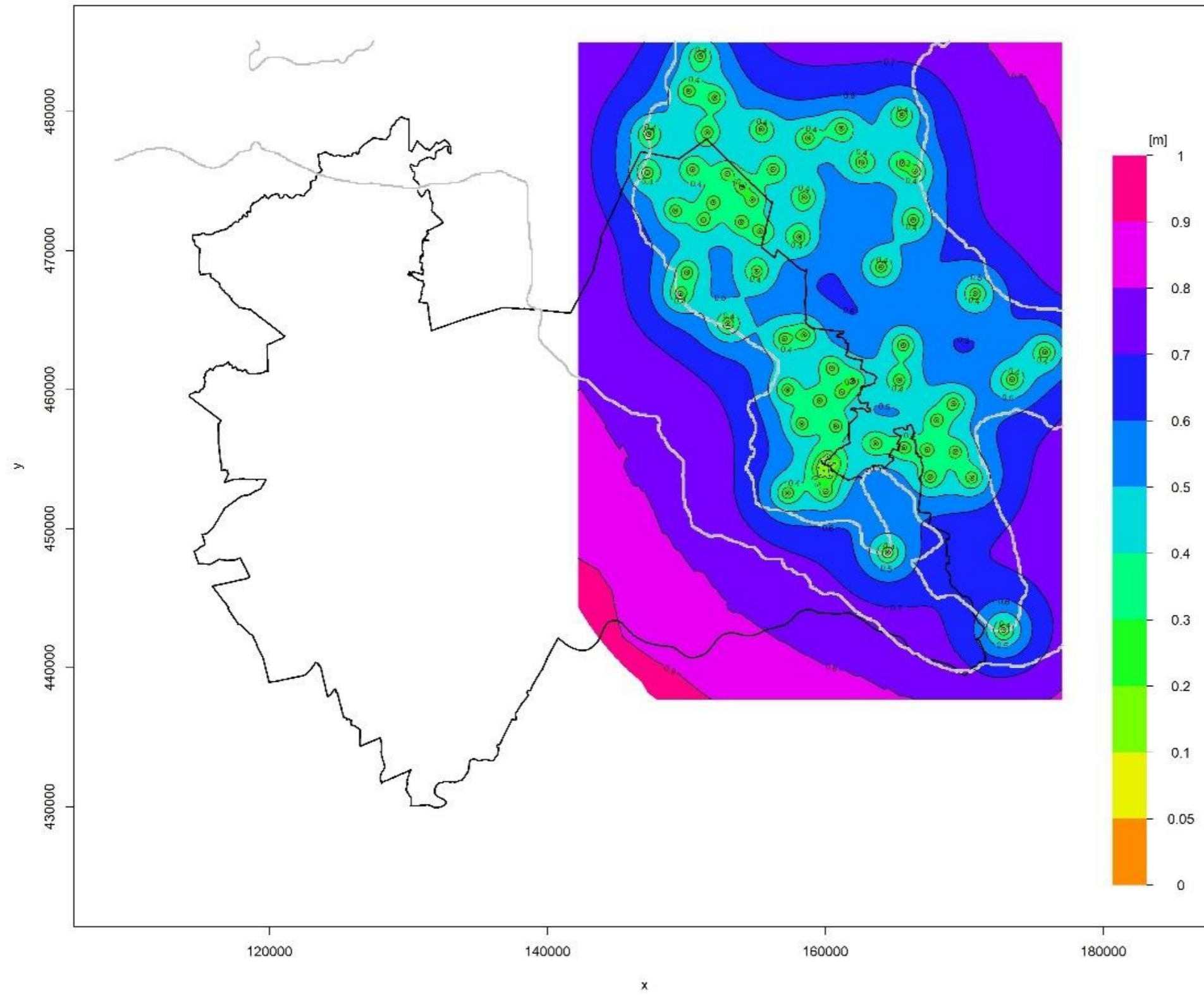
kriging standaardafwijking WVP1stuw gem



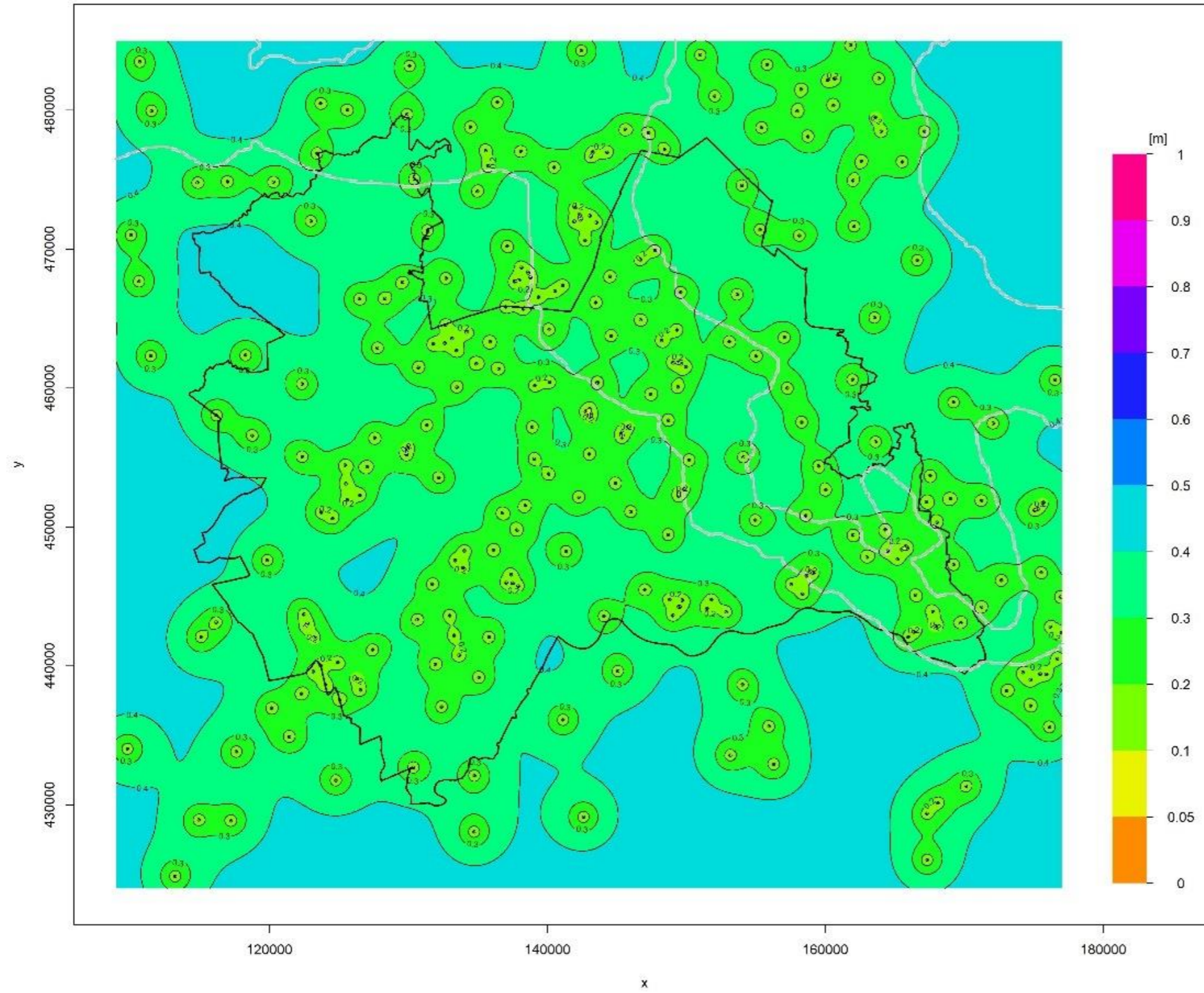
kriging standaardafwijking WVP1oost gem



kriging standaardafwijking WVP1b gem



kriging standaardafwijking WVP2 gem



K. Isohypsens per WVP-eenheid

Deze bijlage bevat 9 isohypsenskaarten. Hiervan zijn ook losse kaarten op A1-formaat gemaakt die los bijgevoegd zijn bij het rapport:

kaart1_wvp1.pdf	Isohypsens voor gemiddelde situatie in WVP1
kaart2_wvp1.pdf	Isohypsens voor droge situatie (12.5-percentiel) in WVP1
kaart3_wvp1.pdf	Isohypsens voor natte situatie (87.5-percentiel) in WVP1
kaart4_wvp1b.pdf	Isohypsens voor gemiddelde situatie in WVP1b en WVP1stuw
kaart5_wvp1b.pdf	Isohypsens voor droge situatie (12.5-percentiel) in WVP1b en WVP1stuw
kaart6_wvp1b.pdf	Isohypsens voor natte situatie (87.5-percentiel) in WVP1b en WVP1stuw
kaart7_wvp2.pdf	Isohypsens voor gemiddelde situatie in WVP2
kaart8_wvp2.pdf	Isohypsens voor droge situatie (12.5-percentiel) in WVP2
kaart9_wvp2.pdf	Isohypsens voor natte situatie (87.5-percentiel) in WVP2

