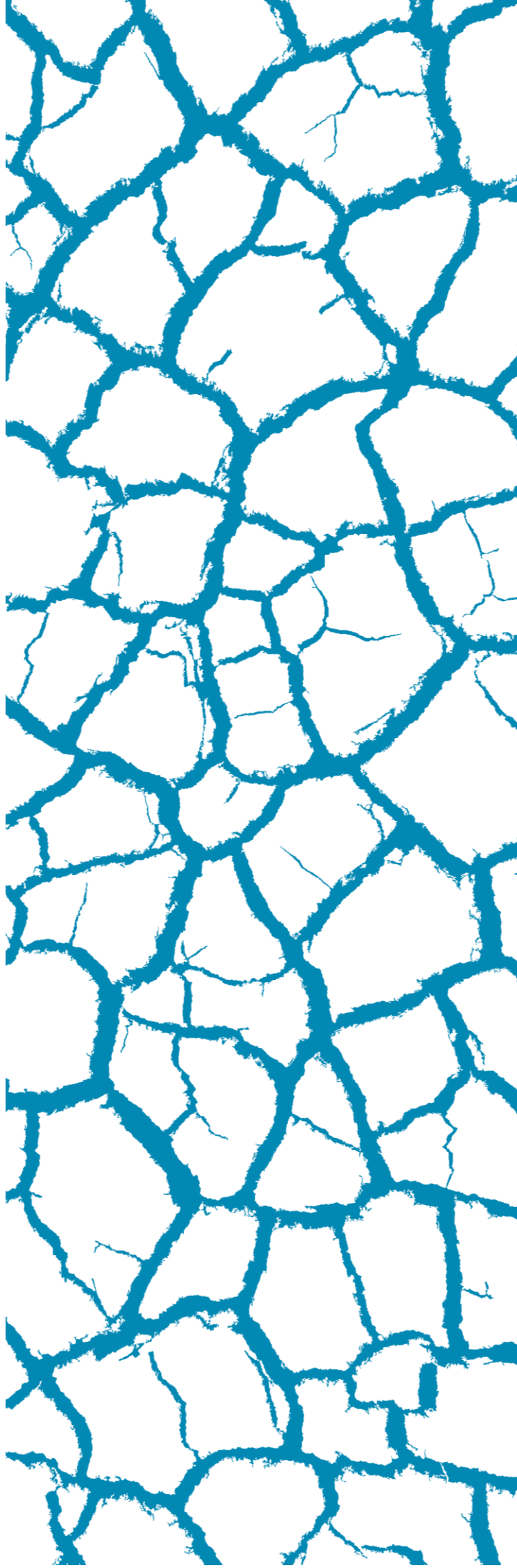




Trendanalyse beregeningsbeleid 2018

Definitief





Trendanalyse beregeningsbeleid 2018

Definitief

Opdrachtgever: Waterschap Aa & Maas,
Brabantse Delta en
De Dommel

Projectnummer: 18.15.23

Datum: 15-6-2018

Auteur(s): Ruben Caljé

Borging: Frans Schaars
Raoul Collenteur

© 2018 Artesia B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	2
2 Overzicht data	3
3 Klimaatafhankelijke GxG	6
3.1 Resultaat totaal	6
3.3 Resultaat per deelgebied	8
4 Klimaatonafhankelijke GxG	10
4.1 Opbouw tijdreeksmodellen	10
4.2 Resultaat totaal	11
4.3 Resultaat per deelgebied	13
4.4 Nadere analyse tijdreeksmodellen	14
4.5 Nadere analyse daling 2015 – 2018	16
4.6 Onderverdeling flexibel en ‘stand still’	19
5 Vergelijking met analyse in 2015	20
6 Gevoeligheidsanalyse	21
6.1 2-wekelijkse data	21
6.2 Verklaarde variantie van 80 %	22
7 Conclusie	24
8 Discussie	24
9 Aanbevelingen	25
10 Verwijzingen	26
Bijlage 1 Bepaling GxG in PASTAS	27
Omzetten naar 14-daagse waarden	27
Bepaling GxG	27
Benodigde data	28
Python functie	28
Bijlage 2 Klimaatafhankelijke GxG reeksen	29
Bijlage 3 Klimaatonafhankelijke GxG reeksen	35

Samenvatting

De waterschappen Aa en Maas, Brabantse Delta en De Dommel hebben in 2014 en 2015 nieuw beregeningsbeleid geïmplementeerd wat voor een deel van Brabant meer flexibiliteit voor beregenen uit grondwater biedt. Om de effecten van het beleid goed te kunnen volgen, worden de grondwaterstanden gemonitord.

In 2018 wordt het beregeningsbeleid geëvalueerd. In navolging van de trendanalyse die in 2015 is uitgevoerd, is er in het kader van de beleidsevaluatie wederom een trendanalyse uitgevoerd. In totaal zijn de grondwaterstanden op 58 locaties verspreid over de provincie geanalyseerd. Hierbij is onderscheid gemaakt naar de verschillende grondwater deelgebieden, te weten: Centrale Slenk, Kempisch Plateau, Peelhorst, peilgestuurd en West-Brabant.

Als indicatoren van de grondwaterstand zijn de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG), Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) gebruikt. De trend in grondwaterstanden is zowel direct op basis van de meetreeksen als op basis van tijdreeksmodellen bepaald. Het gebruik van tijdreeksmodellen heeft als doel om de grondwaterstanden onafhankelijk te maken van de variatie in de meteorologie (neerslag en verdamping). De overgebleven trend wordt dan waarschijnlijk bepaald door aspecten waar de mens meer invloed op kan uitoefenen.

Het klimaatafhankelijke grondwaterstanden-verloop laat een duidelijke correlatie zien met het neerslagoverschot in voorgaande jaren. Het verloop van de grondwaterstanden in de 5 gehanteerde deelgebieden laat onderling een vergelijkbaar patroon zien, waarbij dit patroon in het peilgestuurde gebied wat afwijkt van de andere gebieden.

De klimaatonafhankelijke grondwaterstanden vertonen minder variatie dan de klimaatafhankelijke grondwaterstanden. In de jaren 80 waren de gemiddelde klimaatonafhankelijke grondwaterstanden 5 tot 20 cm hoger dan in 2018. De grondwaterstanden bereikten het minimum in het jaar 2000, rond -10 cm ten opzichte van 2018, waarna deze weer opliepen. De laatste jaren, tussen 2015 en 2018 dalen de grondwaterstanden weer licht (GHG: 3 cm, GVG: 2 cm, GLG: 6 cm). De verandering in GHG en GVG tussen 2015 en 2018 vertoont enige ruimtelijke samenhang, met gebieden die stijgen en gebieden die dalen. De GLG daalt in deze periode in bijna alle meetpunten. Geaggregeerd naar de 5 deelgebieden, daalt de GLG tussen 2015 en 2018 licht in alle deelgebieden, terwijl de GHG en de GVG constant zijn of ook licht dalen.

Nagegaan is of de licht negatieve trend mogelijk het gevolg is van de flexibiliteit die het nieuwe beregeningsbeleid biedt. Hiervoor zijn de grondwaterstanden in gebieden met flexibiliteit voor beregenen uit grondwater vergeleken met gebieden waar sprake is van een stand-still beleid. Hieruit blijkt niet dat de grondwaterstanden bij locaties binnen flexibel beleid de laatste jaren harder dalen. Hiermee is het niet aannemelijk dat de licht dalende trend het gevolg is van het nieuwe beregeningsbeleid.

De licht negatieve trend is het gevolg van een verandering in grondwateronttrekkingen en/of afwatering. Nader onderzoek is nodig om vast te kunnen stellen wat nu precies de trend veroorzaakt.

1 Inleiding

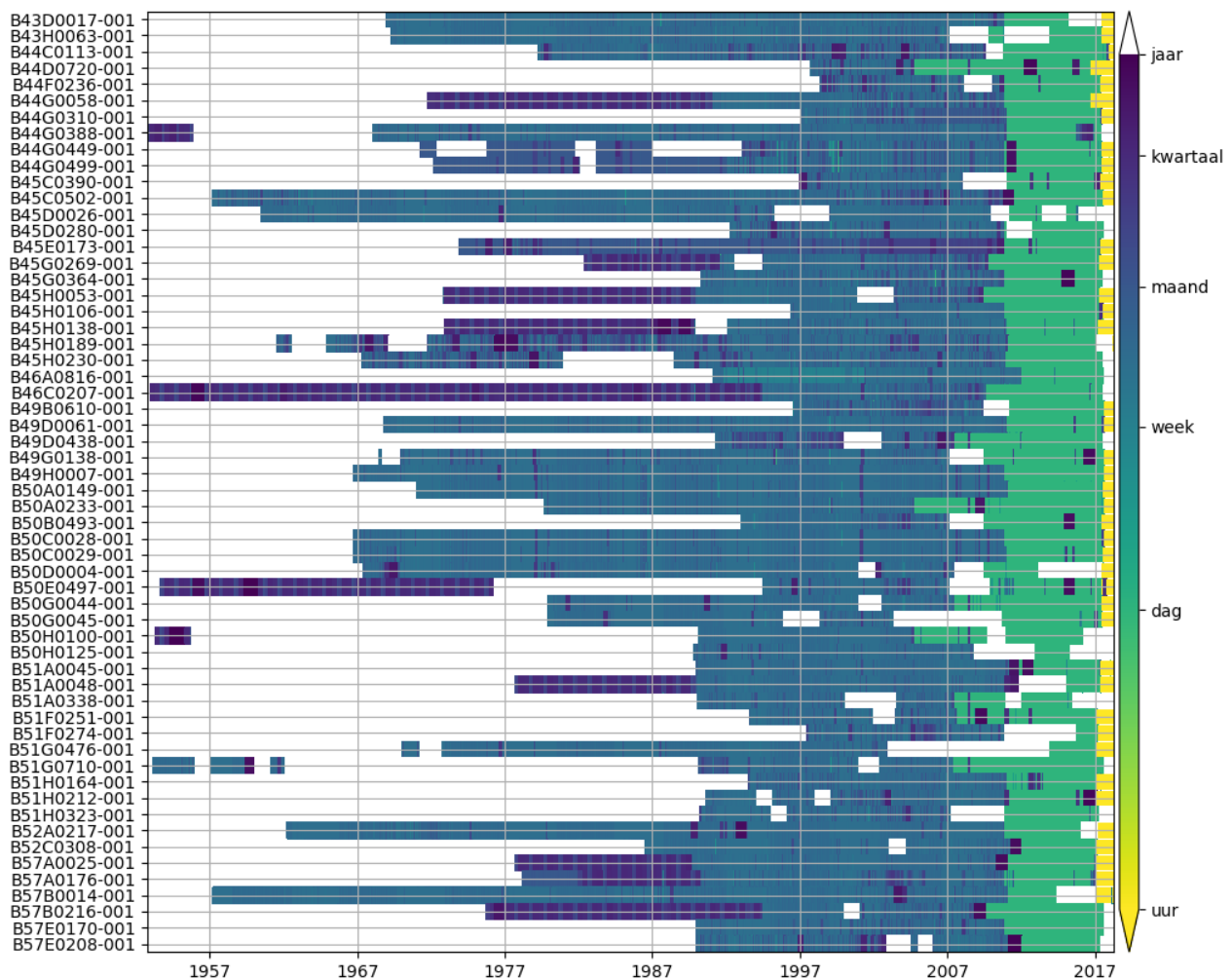
In 2015 hebben de drie waterschappen in Noord-Brabant een analyse uitgevoerd, om vast te stellen wat de trend in grondwaterstanden is (Waterschap Aa en Maas, Waterschap De Dommel en Waterschap Brabantse Delta, 2015). Als indicatoren van de grondwaterstanden zijn hierbij de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG), Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) en de Gemiddeld Laatste Grondwaterstand (GLG) gebruikt, samen aangeduid als GxG.

De trend is zowel direct op de metingen, als via tijdreeksanalyse bepaald. Bij de bepaling van de trend met tijdreeksanalyse is het effect van meteorologie uit de meetdata gefilterd. Op deze wijze is dus een klimaatonafhankelijke GxG bepaald. Een trend zal dan veroorzaakt worden door een verandering van de afwatering, onttrekking of een andere invloed op het grondwatersysteem. Voor het uitvoeren van de tijdreeksanalyse is destijds het computerprogramma Menyanthes gebruikt, wat voor deze analyse tot redelijk veel handmatige handelingen leidt.

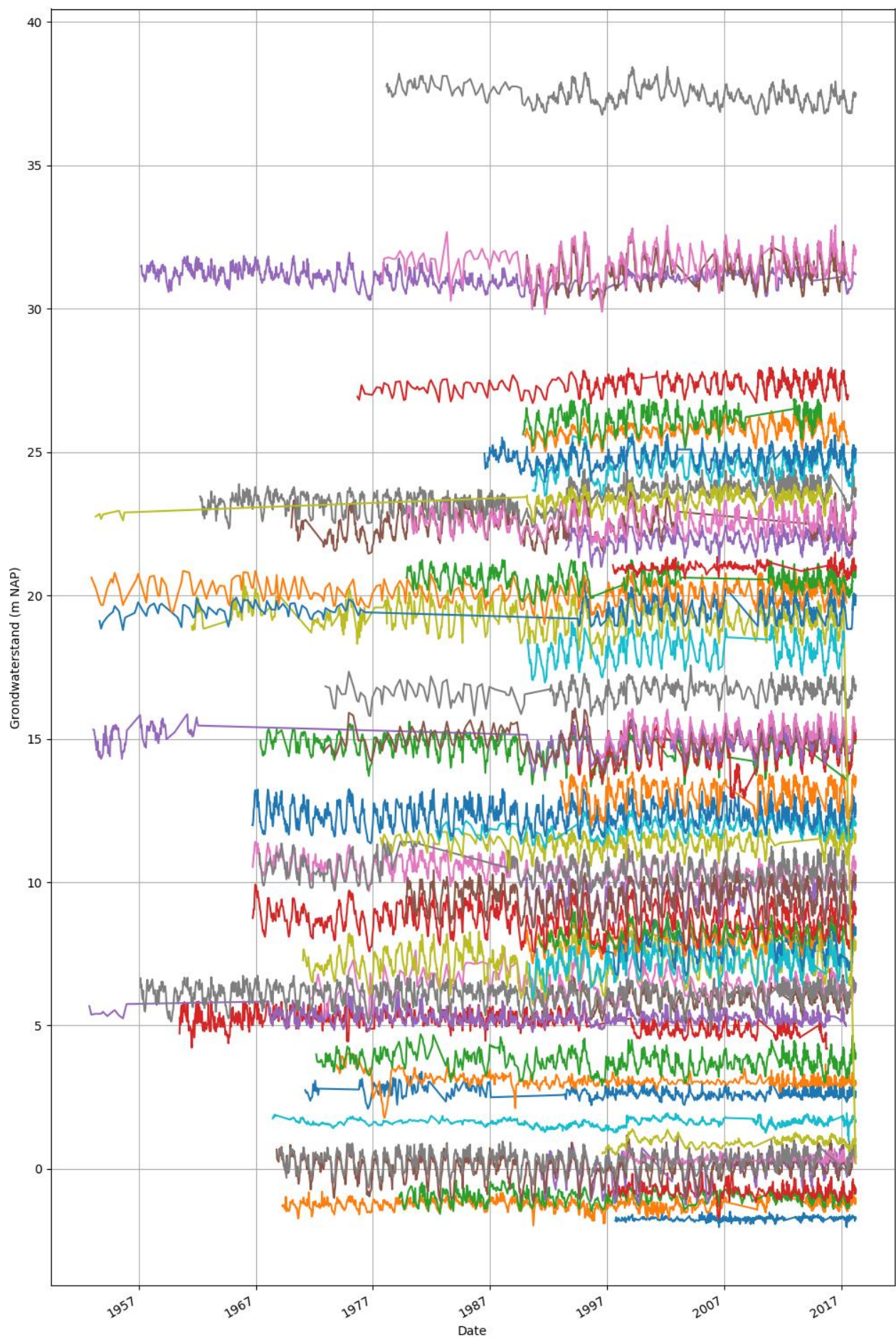
In 2018 bestaat de wens om deze analyse te herhalen, om te verkennen of de eerder gevonden trend doorzet. Net als in 2015 zal de analyse worden uitgevoerd op basis van de peilbuizen van het beleidsmeetnet beregening Brabant. De analyse zal worden uitgevoerd met de open-source Python-package PASTAS, ontwikkeld door de TU Delft en Artesia. Omdat PASTAS gebaseerd is op scripts (en geen gebruikers interface heeft), vergt het maken van veel tijdreeksmodellen minder handelingen, en kan de analyse eenvoudig worden herhaald voor een andere set meetbuizen. Het gebruik van PASTAS voor deze analyse biedt de waterschappen dan ook een kans om een praktijkvoorbeeld met eigen meetdata te verkennen, zodat ze deze in de toekomst zelf kunnen verbeteren en uitbreiden.

In deze meetpunten wordt de grondwaterstand geregistreerd. De meetdata is reeds gevalideerd, en de analyse is alleen uitgevoerd op data die als betrouwbaar is gekenmerkt. Ten behoeve van de trendanalyse is de meetdata verder niet gecontroleerd of gecorrigeerd op meetfouten. De beschikbaarheid van data voor alle meetpunten is weergegeven in figuur 2. Bij de meeste meetpunten bestaat de data het laatste jaar uit uurmetingen, hoewel er ook meetpunten zijn waar het laatste jaar ontbreekt. Vanaf 2011 wordt in de meeste meetpunten met een dagelijkse frequentie gemeten. Daarvoor werd overwegend tweewekelijkse data verzameld. Tot hoever de meetreeksen teruggaan verschilt per meetpunt, tussen 1952 tot 1998. Alle meetpunten beschrijven dus een langere periode, van ten minste 20 jaar.

In figuur 3 op de volgende bladzijde zijn de metingen zelf weergegeven. De meetreeksen beschrijven een breed scala aan grondwaterstanden, van -2 tot +38 m NAP.



figuur 2: Een overzicht van de beschikbaarheid aan data. De kleur geeft een indicatie van de frequentie.



figuur 3: De grondwaterstand-reeksen waarop de analyse is uitgevoerd, ter indicatie van de spreiding in hoogten. Vanwege het grote aantal reeksen en de beperkte collectie kleuren is de legenda achterwege gelaten.

3 Klimaatafhankelijke GxG

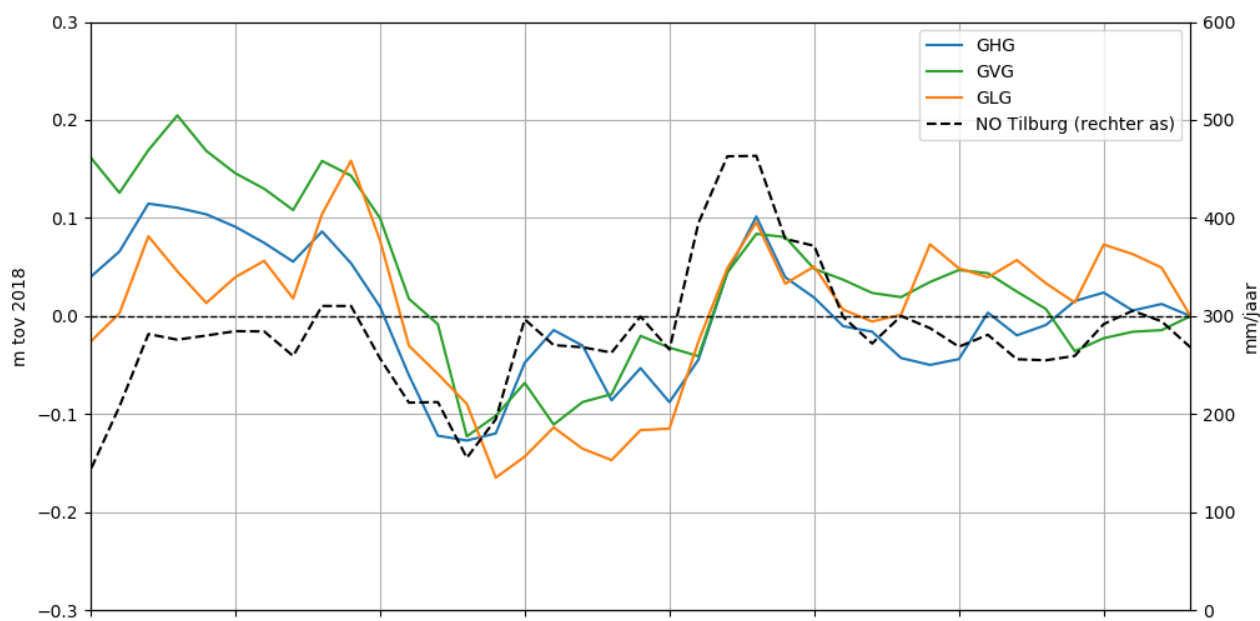
Het verloop van de GxG is allereerst bepaald op basis van de metingen zelf. Hierbij worden de volgende stappen doorlopen:

1. Selecteren van de metingen in perioden van 5 hydrologische jaren. Deze periode schuift steeds één jaar op, waarna onderstaande stappen worden herhaald. Er is voor een periode van 5 jaar gekozen (in plaats van de voor de GxG-bepaling gebruikelijke 8 jaar), om de dynamiek van de GxG-waarden ook op een wat kortere tijdschaal inzichtelijk te maken.
2. Test of er voldoende data beschikbaar is. Hierbij moet in minstens 4 van de 5 jaar voldoende metingen beschikbaar zijn om de jaarlijkse bijdrage aan de GxG te bepalen. Voor de GLG/GHG zijn dit 16 van de 24 tweewekelijkse metingen, en voor de GVG zijn dit 2 van de 3 tweewekelijkse metingen rond 1 april. In Bijlage 1 zijn de details van de GxG-bepaling in Pastas weergegeven.
3. Indien als voldoende beoordeeld: bereken de verandering van de GXG-waarden ten opzichte van 2018. Wanneer er geen GXG bepaald kon worden voor 2018 (dit is van april 2013 tot april 2018), is de verandering ten opzichte van 2018 echter onbekend. Neem dan aan dat de verandering in GXG tussen het laatste jaar dat dit wel kon en 2018 gelijk is aan de gemiddelde verandering in de meetpunten waarvoor de GXG wel bepaald kon worden in 2018.

3.1 Resultaat totaal

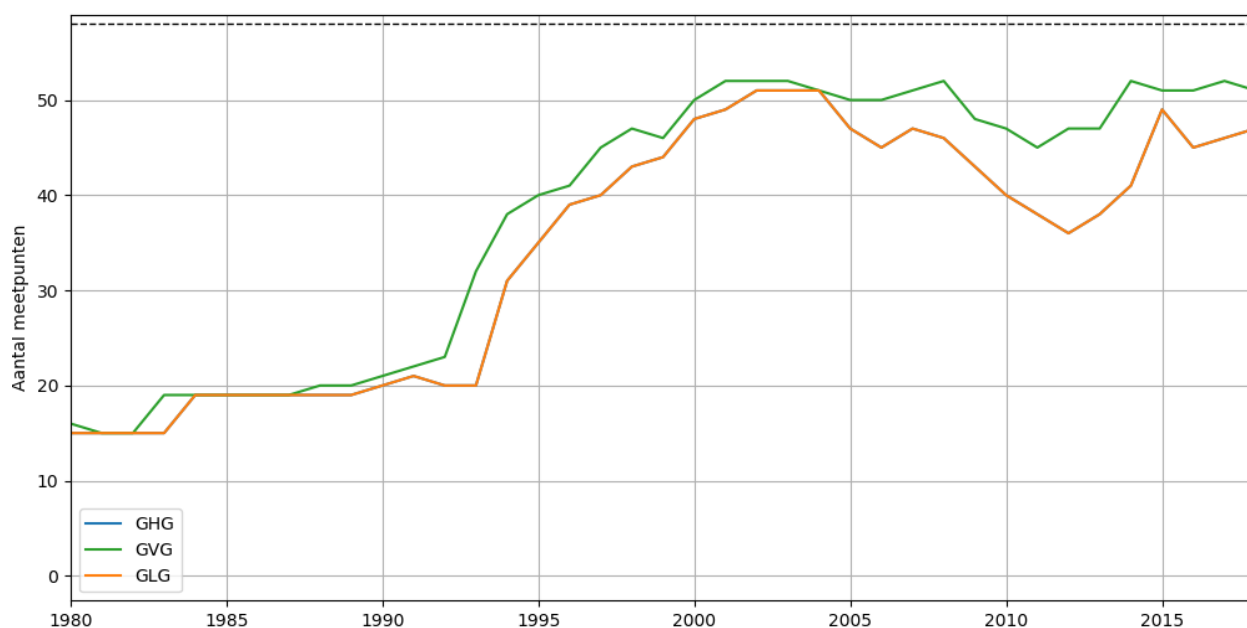
In figuur 4 is het verloop van de GxG ten opzichte van 2018 weergegeven, gemiddeld over alle meetpunten waarvoor de GxG berekend kon worden. Hierbij geldt elke GxG-waarde voor de 5 voorafgaande jaren. Zo geldt de waarde van de GLG en GHG van 2018 voor de periode tussen 1 april 2013 en 1 april 2018, en de waarde van de GVG van 2018 geldt voor de waarden rond 1 april van de jaren 2014 t/m 2018. Tevens is het neerslagoverschot in het neerslagstation in Tilburg voor dezelfde periode weergegeven. De waarde van het neerslagoverschot in 2018 is dus het gemiddelde neerslagoverschot tussen 1 april 2013 en 1 april 2018.

Zoals verwacht is er een behoorlijke correlatie tussen het neerslagoverschot en het verloop van de GxG's. Vooral de daling van de GxG's rond 1990 en de stijging na het jaar 2000 lijken veroorzaakt door meteorologische invloeden.



figuur 4: Klimaatafhankelijke GxG, ten opzichte van de GxG in 2018.

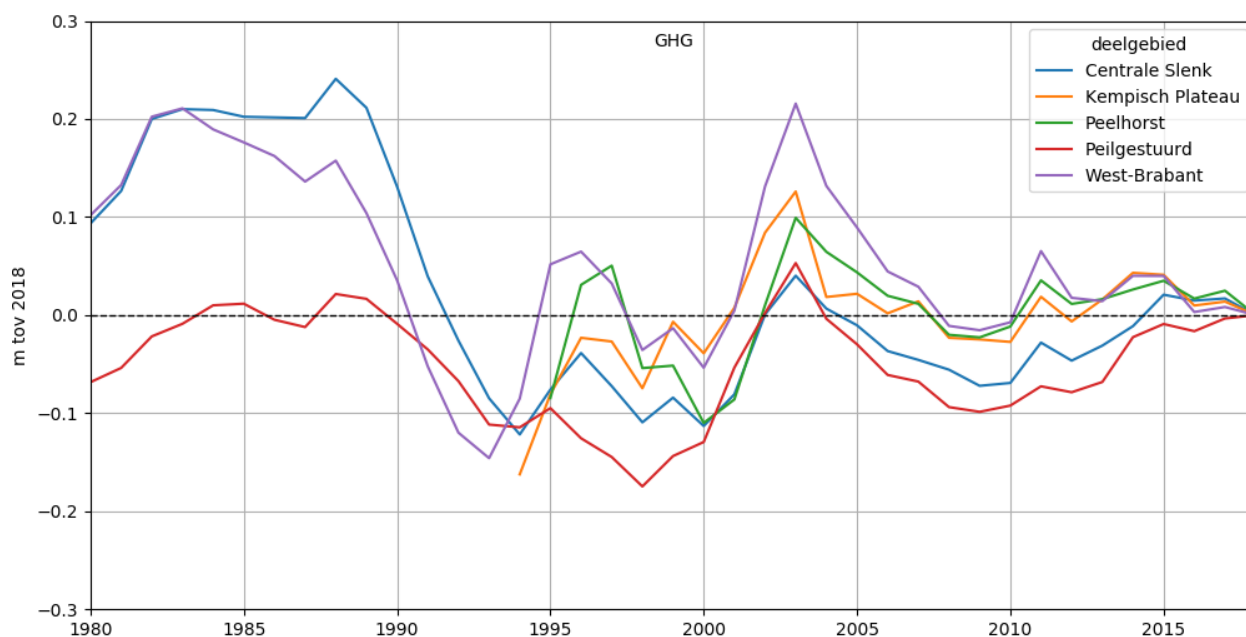
Omdat niet voor elk jaar in alle meetpunten de GxG bepaald kan worden, verschilt de set met meetpunten waarvoor de gemiddelde GxG bepaald is van jaar tot jaar. In figuur 5 is het aantal meetpunten weergegeven waarop de GxG-waarden zijn gebaseerd. Omdat voor de GVG alleen meetwaarden rond 1 april nodig zijn, is het mogelijk deze waarde in meer meetpunten te bepalen dan de GHG/GLG.



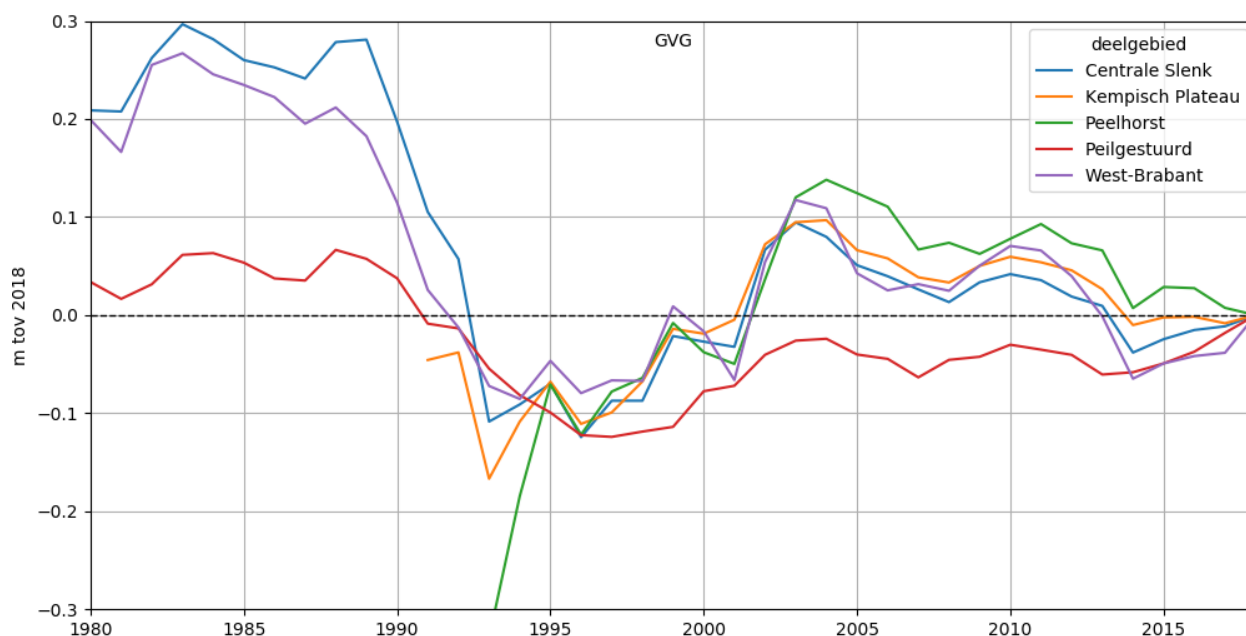
figuur 5: Het aantal meetpunten (van de 58) waarop de GxG-waarden gebaseerd zijn. De lijn voor de GHG en de GLG liggen op elkaar.

3.3 Resultaat per deelgebied

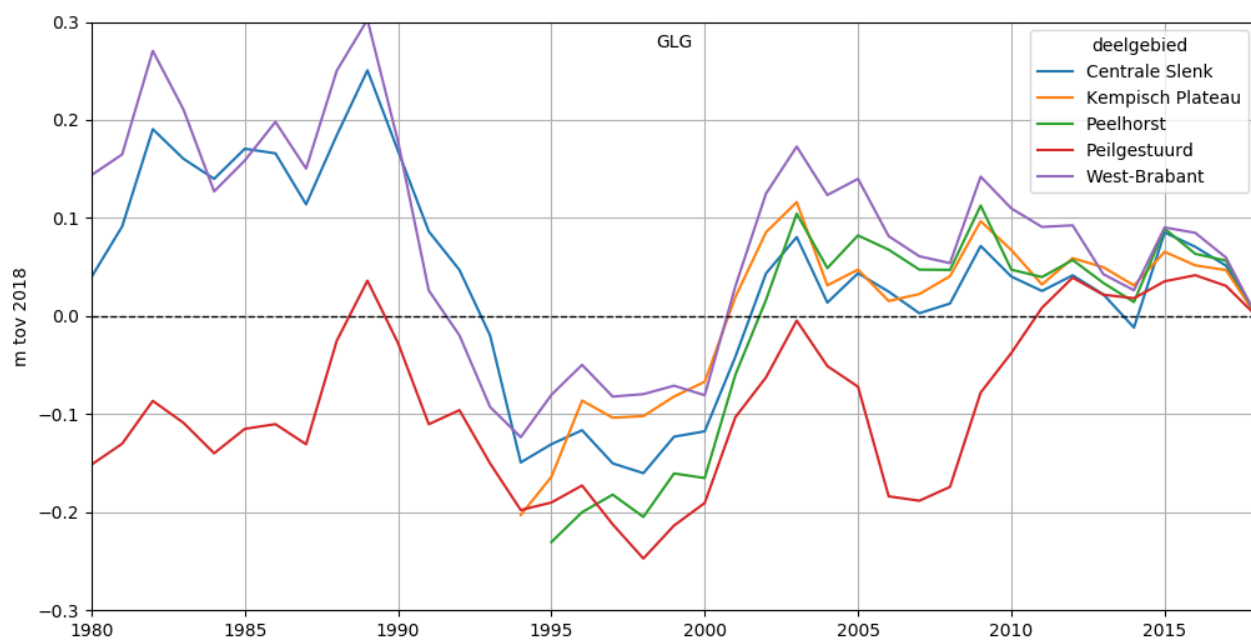
Het verloop van de GxG is voor de deelgebieden apart weergegeven in figuur 6 (GHG), figuur 7 (GVG) en figuur 8 (GLG). Alleen wanneer in een deelgebied voor een bepaald jaar in tenminste 3 meetpunten de GxG bepaald kan worden, is het gemiddelde in deze grafieken weergegeven. In Bijlage 2 is het verloop van de GxG in de individuele meetpunten per deelgebied weergegeven. De deelgebieden laten onderling een vergelijkbaar patroon in GxG zien. Over het algemeen wijkt de GxG-verandering in de peilgestuurde gebieden wat af van de andere deelgebieden. Hier is de GVG constanter en zijn de GLG en de GHG ten opzichte van 1980 gestegen, terwijl in de andere gebieden beide indicatoren zijn afgenomen.



figuur 6: Klimaatafhankelijke GHG per deelgebied, ten opzichte van de GHG in 2018.



figuur 7: Klimaatafhankelijke GVG per deelgebied, ten opzichte van de GVG in 2018. De Peelhorst valt net buiten de grafiek, en start rond -0,33 in 1993.



figuur 8: Klimaatafhankelijke GLG per deelgebied, ten opzichte van de GLG in 2018.

4 Klimaatonafhankelijke GxG

Met behulp van tijdreeksanalyse is tevens de klimaatonafhankelijke GxG bepaald. Dit is op een vergelijkbare methode bepaald als in de eerdere studie (Waterschap Aa en Maas, Waterschap De Dommel en Waterschap Brabantse Delta, 2015). De analyse is nu echter uitgevoerd met behulp van Pastas (in plaats van Menyanthes) en op recentere data.

Het bepalen van de klimaatonafhankelijke GxG voor elk van de meetpunten is op de volgende wijze uitgevoerd:

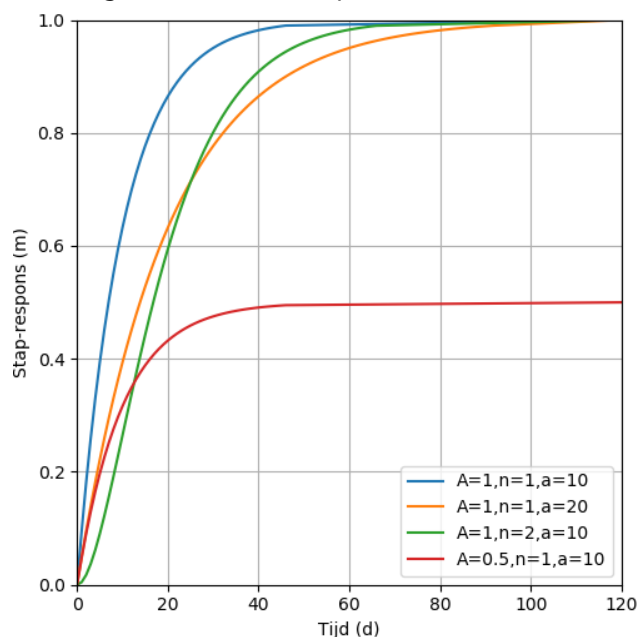
1. Aanmaken van een tijdreeksmodel met als verklarende variabelen neerslag en verdamping, zie paragraaf 4.1 voor meer details.
2. Het modelijken op de metingen binnen een periode van 5 hydrologische jaren (1 april t/m 31 maart). Deze periode schuift steeds één jaar op, waarna onderstaande stappen worden herhaald.
3. Beoordelen tijdreeksmodel aan de hand van voldoende aantal metingen (50), voldoende lange periode (minstens 3 van de 5 jaar en in elk geval het laatste jaar bevatten metingen) en voldoende verklaarde variantie (70 %)
4. Indien als voldoende beoordeeld: simuleren van de grondwaterstand voor de periode met neerslag- en verdampingsdata: 1958 t/m 1 mei 2018.
5. Bepaling GHG, GVG en GLG op basis van de gesimuleerde grondwaterstand voor de periode 1980 t/m 2018. De periode tussen 1958 en 1980 wordt dus alleen gebruikt als inlooperperiode van het tijdreeksmodel.
6. Bereken de verandering van de GXG-waarden ten opzichte van 2018, op een vergelijkbare wijze als in stap 3 van hoofdstuk 3.

4.1 Opbouw tijdreeksmodellen

De tijdreeksmodellen bestaan uit een lineaire en stationaire respons op neerslag en verdamping, waarmee door middel van convolutie de invloed op de grondwaterstand wordt bepaald. Lineair wil zeggen dat de respons niet afhangt van de grondwaterstand zelf. Stationair geeft aan dat de respons niet verandert in de tijd, tenminste niet in de periode van 5 jaar waarop de tijdreeksmodellen worden gekalibreerd. De gekozen respons is de zogenaamde Gamma-functie (in Menyanthes heet deze responsfunctie Pearson III). De formule voor de stap-respons van deze functie is de volgende:

$$\theta(t) = At^{n-1}e^{-\frac{t}{a}}$$

Deze functie bestaat uit 3 parameters: A is de asymptotische waarde van de stap-respons, n zorgt voor een fase-vertraging van de respons, en a bepaalt de responstijd (zie figuur 9). De respons op neerslag en verdamping hebben dezelfde vorm, alleen de schaling (amplitude) van de respons van verdamping kan anders zijn dan bij neerslag (door de 4^e parameter: de zogenaamde



figuur 9: Het verloop van de staprespons bij verschillende parameterwaarden van de Gamma-functie.

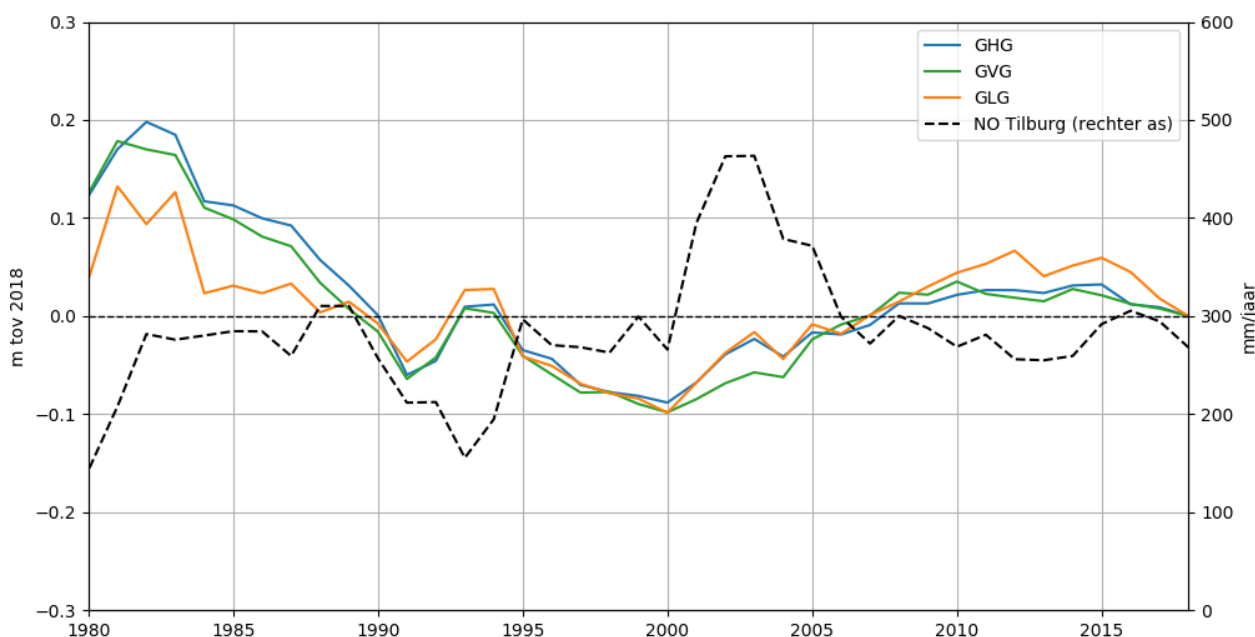
verdampingsfactor). Tenslotte wordt nog een constante geschat (ook wel de drainagebasis genoemd), die bij het resultaat van de convolutie wordt opgeteld. Tijdens de optimalisatie worden de waarden van deze 5 parameters geschat, door het verschil met de metingen te minimaliseren.

Voor elk meetpunt wordt in het tijdreeksmodel de neerslag in het meest dichtbijgelegen neerslagstation gebruikt. Wanneer een reeks pas later start, of als er hiaten in de neerslagreeks aanwezig zijn, wordt de reeks aangevuld met waarden van dicht bij dat station gelegen andere neerslagstations. Voor de verdamping wordt de Makkink-verdamping genomen zoals het KNMI die bepaalt in de Bilt. Er is gekozen voor de Bilt in plaats van de Brabantse meteorologische stations, omdat de reeks in de Bilt teruggaat tot 1957. Bij de Brabantse meteorologische stations start de verdampingsreeks pas later, in de jaren 80 of 90. Wanneer we deze reeksen zouden aanvullen met de reeks in de Bilt zouden we een artificiële trend kunnen genereren, door een structureel verschil in verdamping tussen Utrecht en Noord-Brabant. Daarom is er dus voor gekozen om alleen de verdampingsreeks in de Bilt te gebruiken.

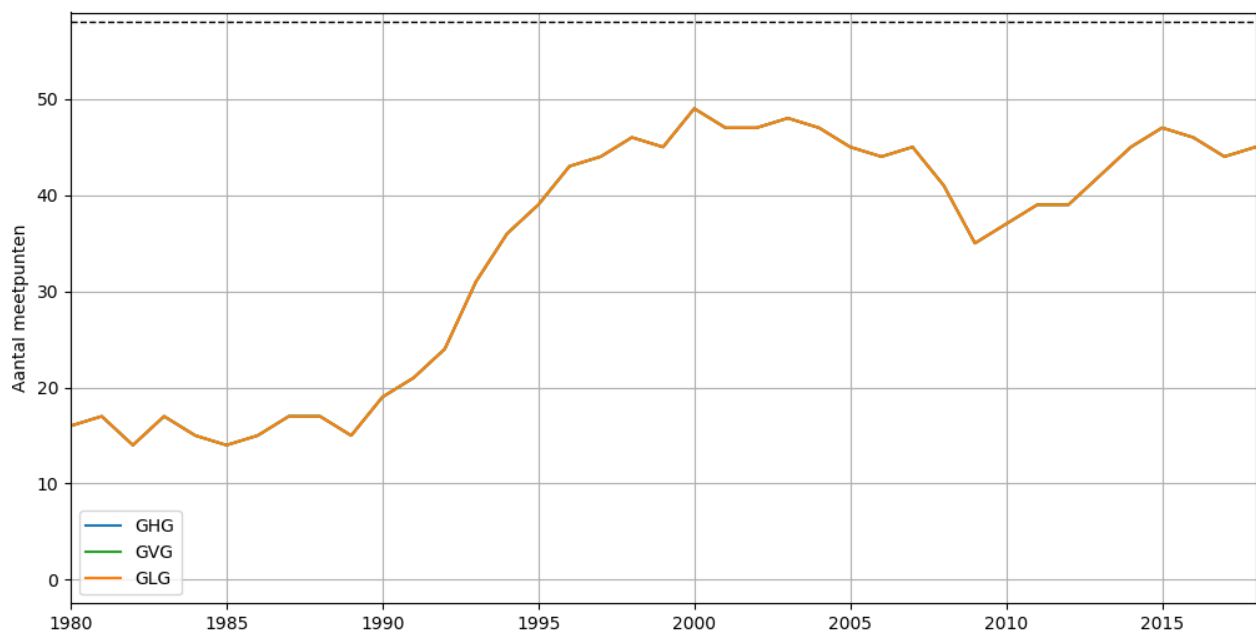
4.2 Resultaat totaal

Het resultaat van deze analyse is gemiddeld over alle meetpunten weergegeven in figuur 10, op dezelfde wijze als de klimaatafhankelijke GxG in figuur 4. In figuur 11 is het aantal meetpunten weergegeven waarvoor de tijdreeksmodellen als voldoende zijn beoordeeld en waarvan dus de GxG's bepaald konden worden.

Vanaf de jaren 80 tot het jaar 2000 dalen de GxG's. Hierna stijgen de GxG-waarden, om tussen 2010 en 2015 te stabiliseren. In de periode van 2015 t/m 2018 lijkt er een lichte daling op te treden van de GxG, van met name de GLG (nadat deze eerder ook het meeste was gestegen).



figuur 10: Klimaatafhankelijke GxG, ten opzichte van de GxG in 2018.

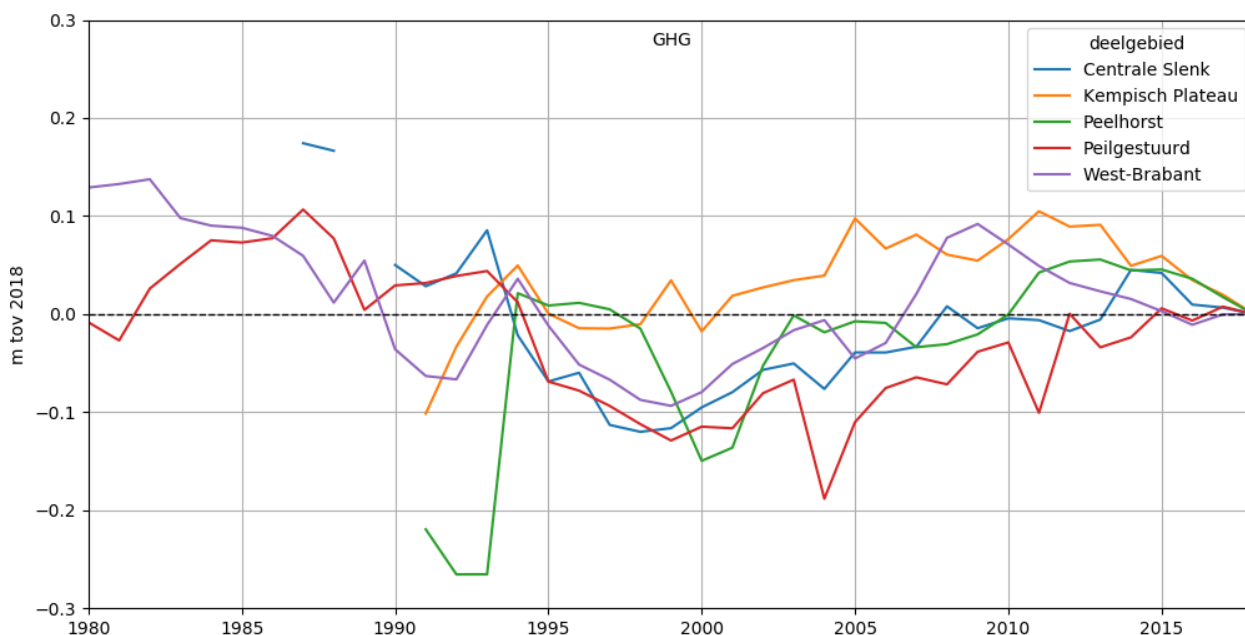


figuur 11: Het aantal meetpunten (van de 58) waarop de GxG-waarden gebaseerd zijn. De lijnen voor de GHG, GVG en de GLG liggen op elkaar. De ontwikkeling van de drie GxG-waarden zijn dus op dezelfde meetpunten gebaseerd.

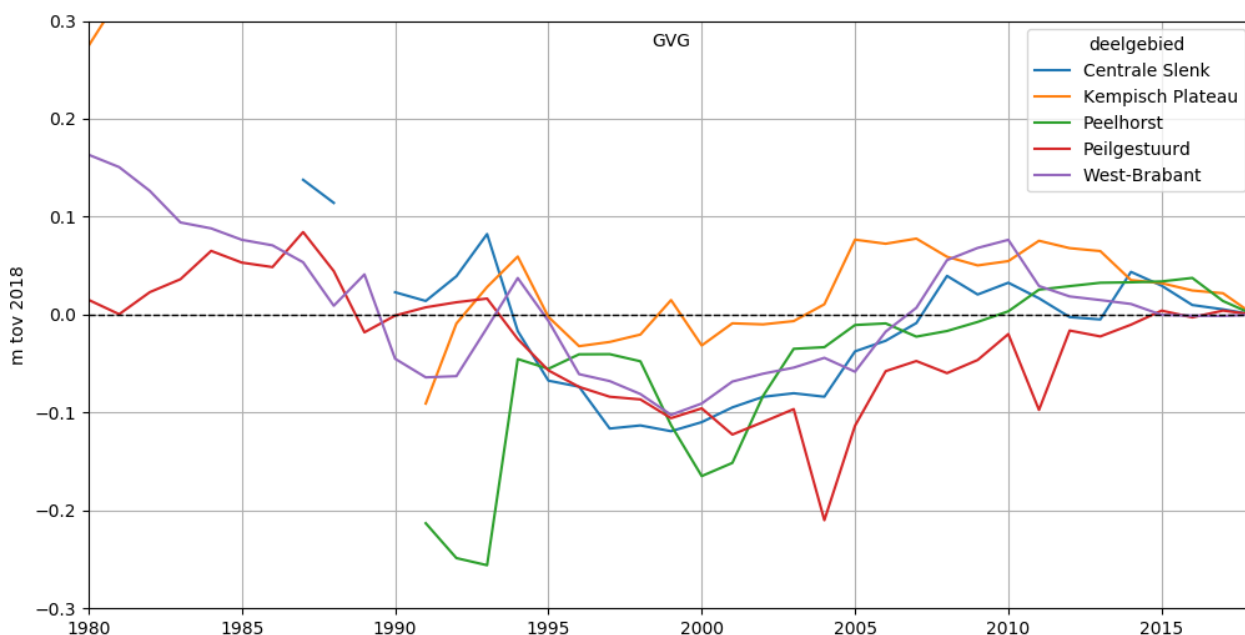
4.3 Resultaat per deelgebied

Het verloop van de GxG is voor de deelgebieden apart weergegeven in figuur 12 (GHG), figuur 13 (GVG) en figuur 14 (GLG). In Bijlage 3 is het verloop van GxG in de individuele meetpunten per deelgebied weergegeven.

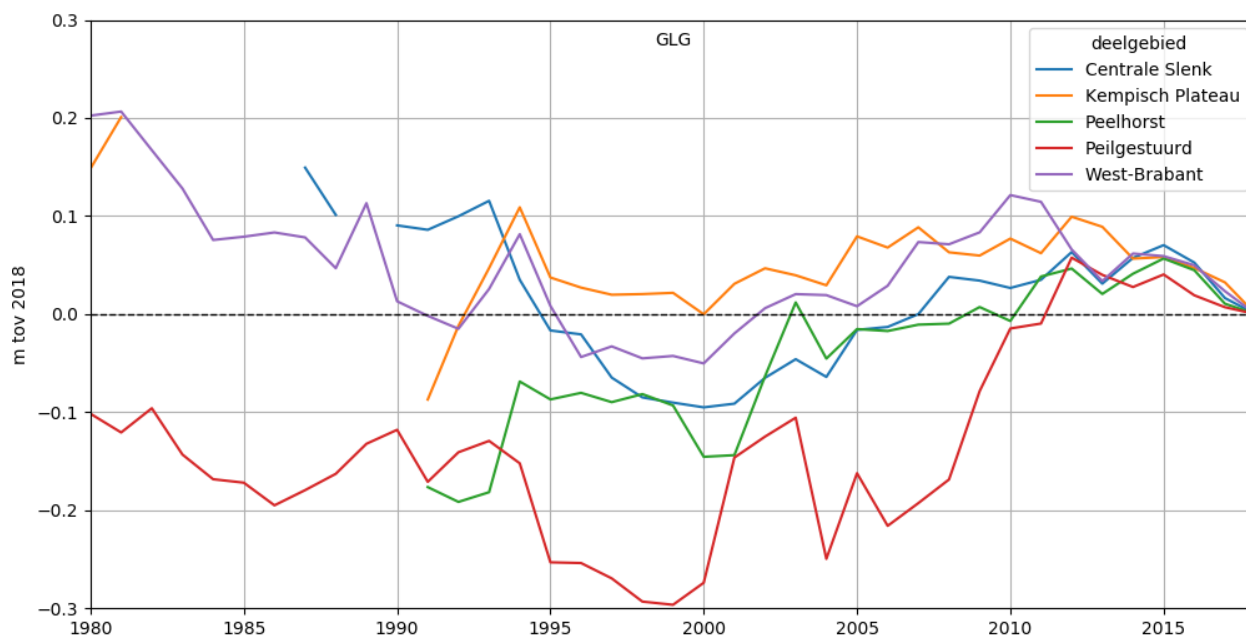
Net als bij de klimaatafhankelijke GxG laat het verloop van de GxG bij de Peelhorst een grillig verloop zien, en wijkt de GxG-verandering bij de peilgestuurde gebieden enigszins af. Opvallend is dat alleen bij de peilgestuurde gebieden de GLG is toegenomen sinds 1980. Vanaf 2015 treedt er een lichte daling op bij de GHG en GVG in alle deelgebieden, of zijn deze constant. De GLG daalt sinds 2015 licht in alle deelgebieden.



figuur 12: Klimaatafhankelijke GHG per deelgebied, ten opzichte van de GHG in 2018.



figuur 13: Klimaatafhankelijke GVG per deelgebied, ten opzichte van de GVG in 2018.

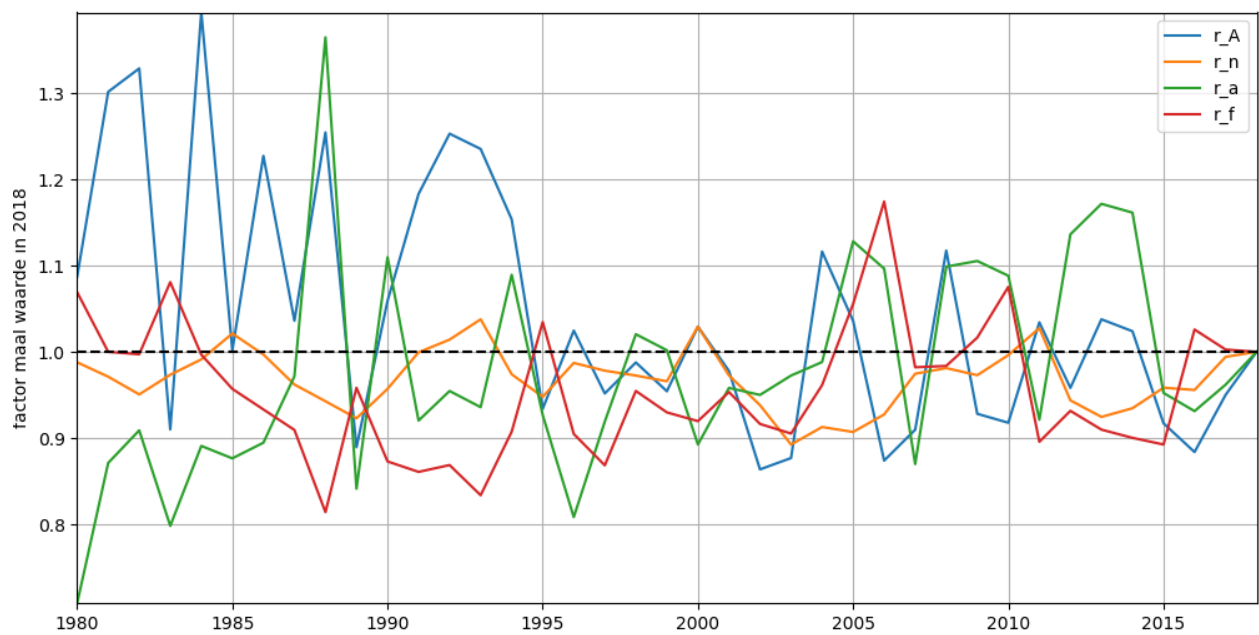


figuur 14: Klimaatonafhankelijke GLG per deelgebied, ten opzichte van de GVG in 2018.

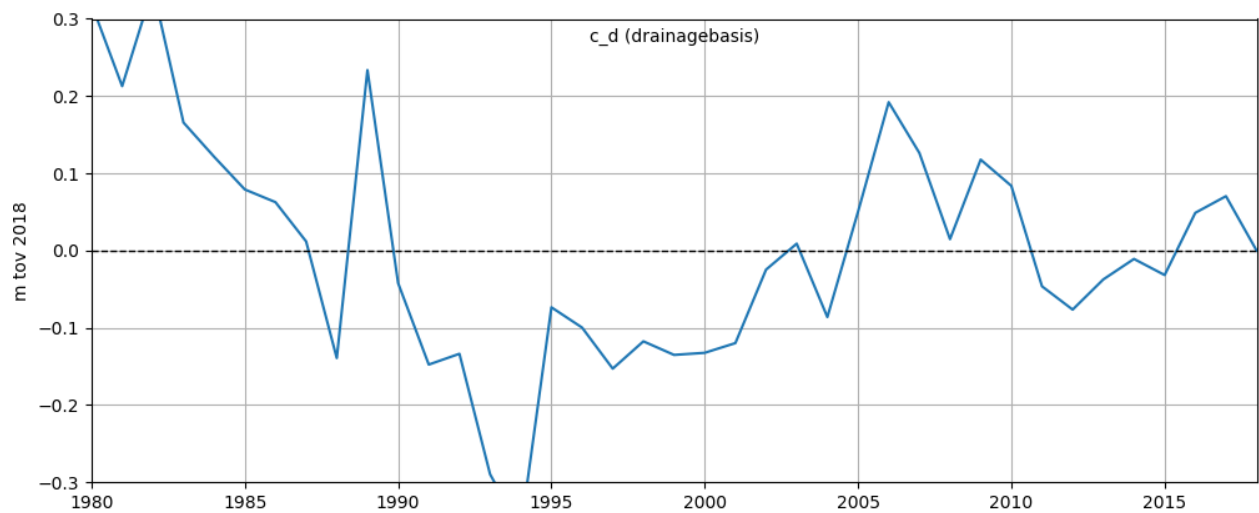
4.4 Nadere analyse tijdreeksmodellen

De tijdreeksmodellen bestaan uit een Gamma-respons op neerslag en verdamping (3 parameters, zie figuur 9), een verdampingsfactor en een drainagebasis (zie paragraaf 4.1). Deze vijf parameters worden geoptimaliseerd aan de hand van grondwaterstand-metingen, waarbij wordt getracht om het verschil tussen het model en de metingen (de residuen) zo klein mogelijk te maken. Het is interessant om te achterhalen hoe deze parameters in de tijd veranderen, en hoe deze verandering zich verhoudt tot de verandering in GxG. Daarom is in figuur 15 de mediane parameterwaarden weergegeven, als factor maal de parameterwaarde in 2018. In figuur 16 is tevens het gemiddelde verloop van de drainagebasis weergegeven, ten opzichte van de drainagebasis in 2018.

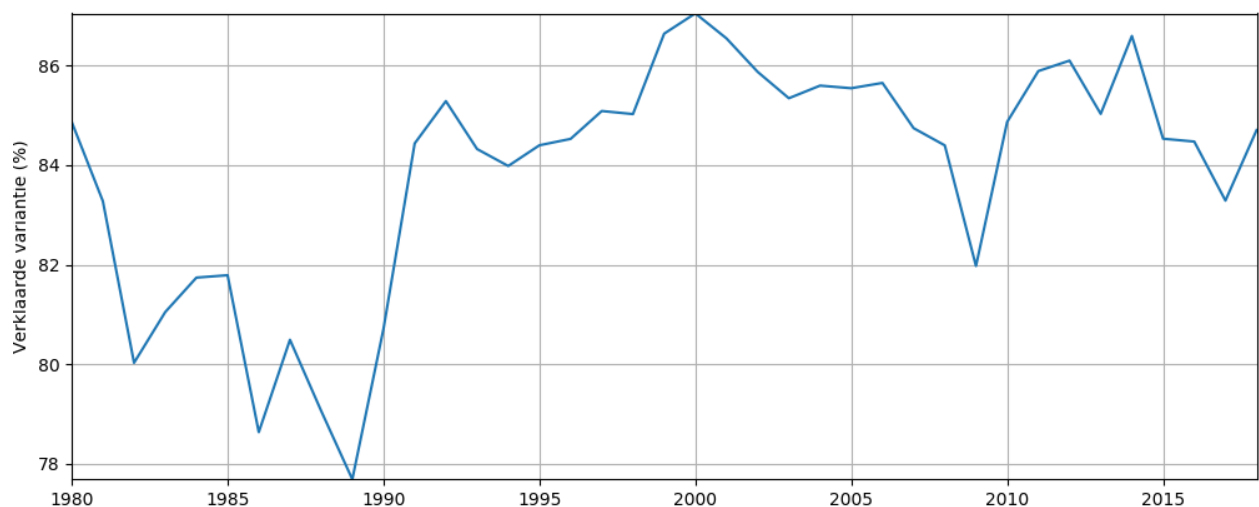
Het verloop van de parameterwaarden is grillig. Dit valt waarschijnlijk te wijten aan het feit dat parameters relatief inwisselbaar zijn. Zo zijn de drainagebasis en de verdampingsfactor gecorreleerd. De traagheid van de reactie op grondwateraanvulling wordt bepaald door r_n en r_a , die ook een sterke correlatie vertonen. Hierdoor kunnen parameterwaarden tussen tijdreeksmodellen sterk verschillen, terwijl dezelfde grondwaterstand wordt gesimuleerd.



figuur 15: De ontwikkeling van de mediaan van de vier parameters van de grondwateraanvulling, ten opzichte van 2018.



figuur 16: De ontwikkeling van de gemiddelde drainagebasis, ten opzichte van 2018.



figuur 17: De ontwikkeling van de gemiddelde verklaarde variantie, voor alle betrouwbaar geachte tijdreeksmodellen, gecorrigeerd voor de gemiddelde verklaarde variantie van elk meetpunt.

4.5 Nadere analyse daling 2015 – 2018

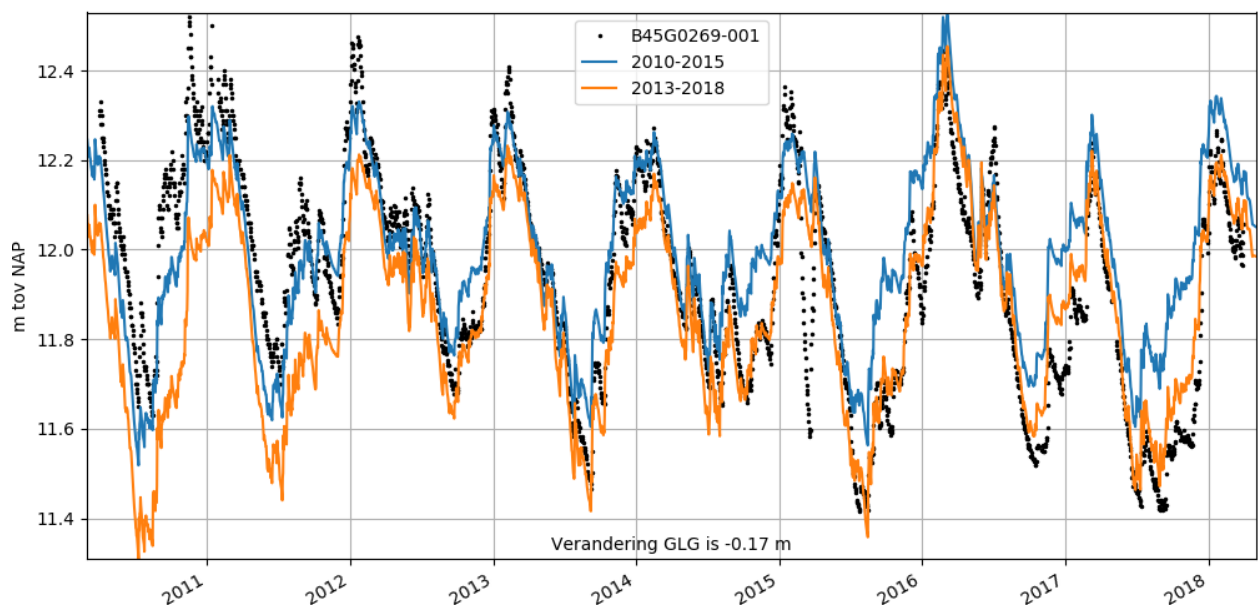
Eén van de resultaten van de analyse is een lichte daling van de GXG in de periode 2015 – 2018, gemiddeld over alle meetpunten. Om het effect van deze daling wat nader te beschouwen zijn de meetpunten met de grootste daling in GLG nader bekeken.

In meetpunt B45G0269–001, nabij Uden op de grens van de Centrale Slenk en de Peelhorst, is de GLG met ruim 17 cm gedaald tussen 2015 en 2018. In figuur 18 zijn de metingen van dit meetpunt weergegeven (zwarte puntjes), samen met twee simulaties van tijdreeksmodellen. De eerste simulatie is verricht met een model dat geijkt is op de periode 2010–2015 (blauw), de tweede simulatie is verricht met het model dat geijkt is op de periode 2013–2018.

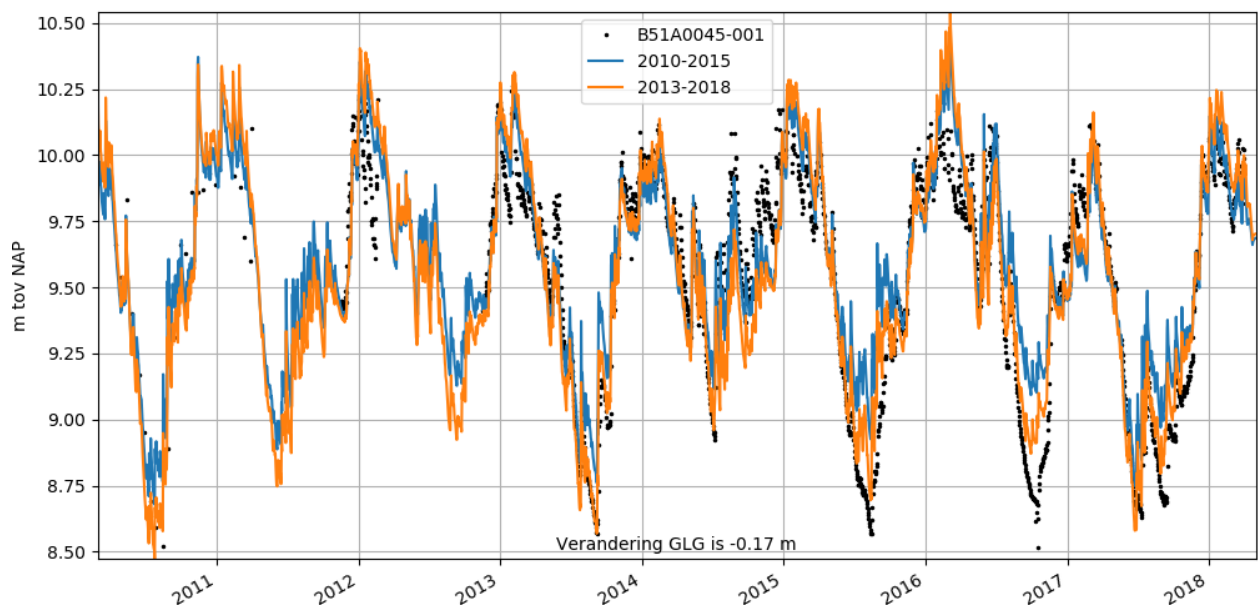
In dit meetpunt treedt begin 2015 een afwijking van beide simulaties af. Het tijdreeksmodel kan deze afwijking niet verklaren uit neerslag en verdamping. De daling van de grondwaterstand in de metingen wordt dus veroorzaakt door een onttrekking, werkzaamheden of een meetfout. Na deze afwijking bevinden de metingen zich lager, en het lijkt erop dat perioden met lagere grondwaterstanden langer aanhouden. In figuur 18 is te zien dat elk van de simulaties een betere fit geven voor de periode waarop ze zijn gekalibreerd. Als de verlaging van de grondwaterstand vanaf 2015 daadwerkelijk heeft opgetreden, en dit geen meetfout betreft, is de gevonden daling van de GxG-waarden terecht.

In de andere twee meetpunten (B51A0045–001 midden in de Centrale Slenk in figuur 19 en B50G0044–001 bij de zuidoostelijke punt van West-Brabant in figuur 20, met respectievelijk 17 en 16 cm verlaging van de GLG) is er niet één moment aan te wijzen wanneer de grondwaterstand afneemt. Bij meetpunt B51A0045–001 is de dynamiek in de simulatie op basis van het 2013–2018 model groter, waardoor de GLG uiteindelijk lager wordt. Het zou kunnen dat dit te wijten is aan het beperkte aantal metingen aan het begin van de periode 2010–2015.

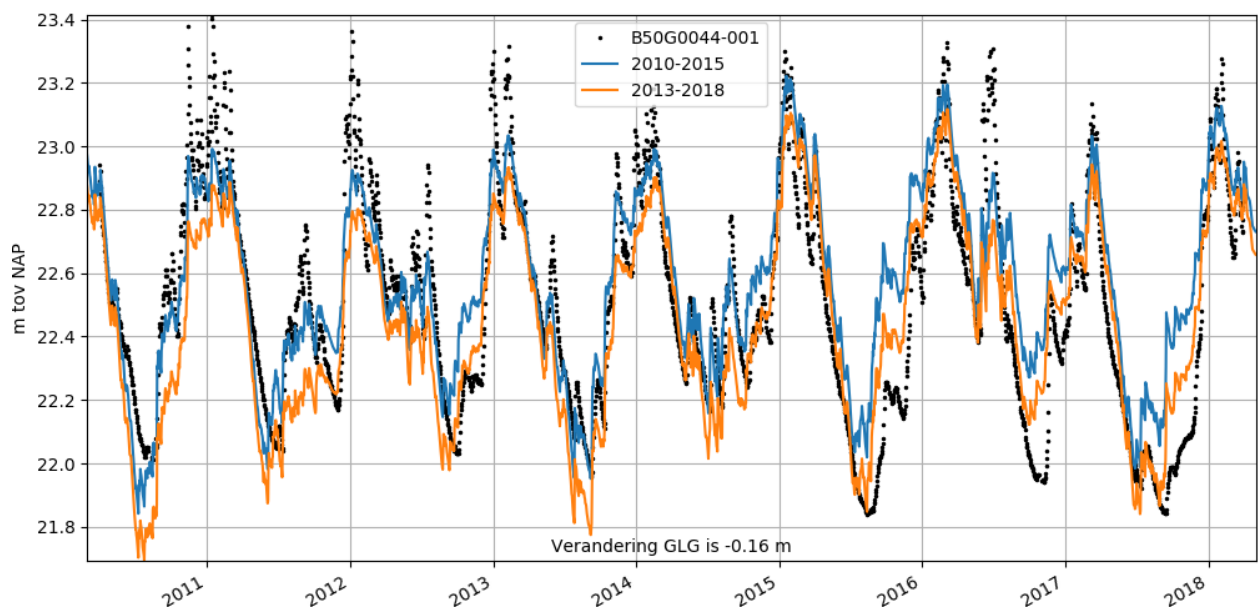
Samenvattend lijkt er geen sprake van een eenduidige oorzaak in de verandering van de GLG-waarde. Bij de bekeken meetpunten lijkt er ook visueel sprake van een daling van de gemeten grondwaterstand. De berekende gemiddelde lichte daling van de GxG in 2015–2018 kan veroorzaakt zijn door verschillende factoren. Het is mogelijk dat de daling het resultaat is van de gekozen aanpak, en toch door meteorologische veranderingen of een verandering in meetfrequentie wordt veroorzaakt. Hierop wordt in de gevoeligheidsanalyse in paragraaf 6.1 en in de discussie aan het eind van deze rapportage nader ingegaan.



figuur 18: De metingen en simulaties voor het meetpunt met de grootste daling in GLG tussen 2015 en 2018.



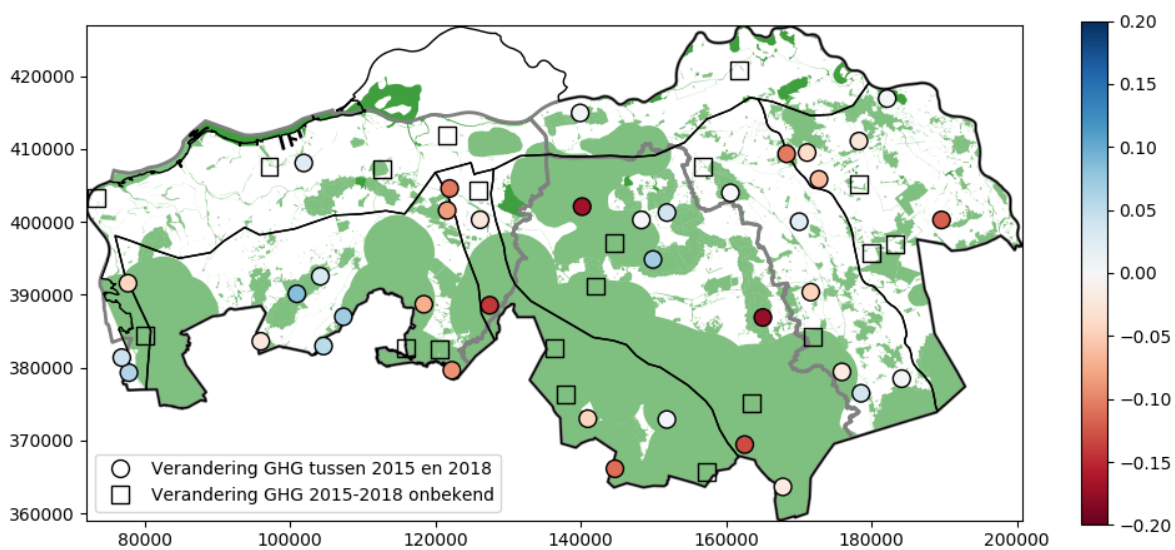
figuur 19: De metingen en simulaties voor het meetpunt met de op 1 na grootste daling in GLG tussen 2015 en 2018.



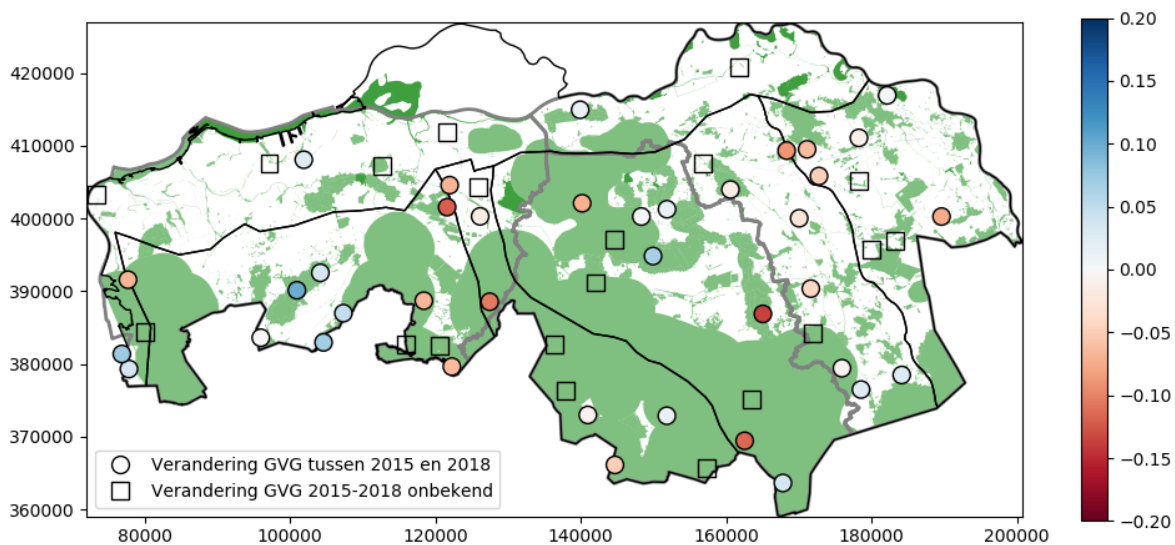
figuur 20: De metingen en simulaties voor het meetpunt met de op 2 na grootste daling in GLG tussen 2015 en 2018.

In figuur 21, figuur 22 en figuur 23 zijn voor elke peilbuis de verandering in GHG, GVG en GLG weergegeven tussen 2015 en 2018. In blauwe rondjes stijgt de GxG en in rode rondjes daalt de GxG in deze periode. Meetpunten waarin de daling van de GxG niet bepaald kon worden (vanwege onvoldoende data of een onvoldoende goed tijdreeksmodel), zijn weergegeven als vierkantjes. Naast de meetpuntlocaties zijn gebieden volgens het 'stand still' beleid (groen, zie volgende paragraaf), de grenzen van de waterschappen (grijs) en de grenzen van de deelgebieden (zwart, zie figuur 1) weergegeven.

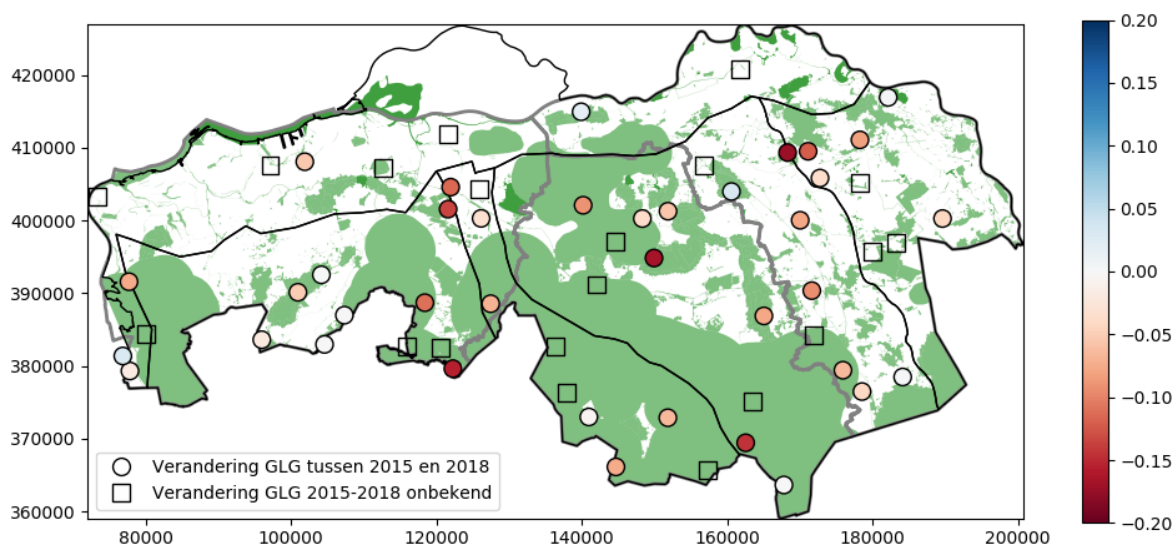
Bij de verandering in GHG en GVG zijn enige ruimtelijke patronen te herkennen, met gebieden die stijgen (zuidwestelijk Brabant bijvoorbeeld) en gebieden die dalen (de oostelijke zijde van het beheersgebied van Brabantse Delta of het centrum van het beheersgebied van Aa en Maas). De GLG laat vooral een daling zien, wat past bij de eerder gepresenteerde grotere gemiddelde daling van de GLG (ten opzichte van de GHG en GVG, zie paragraaf 4.2). Zo zijn er dus locaties waar de GHG en de GVG stijgen, terwijl de GLG daalt.



figuur 21: Een ruimtelijke weergave van de verandering van de GHG tussen 2015 en 2018 volgens de tijdreeksmodellen, in meter.



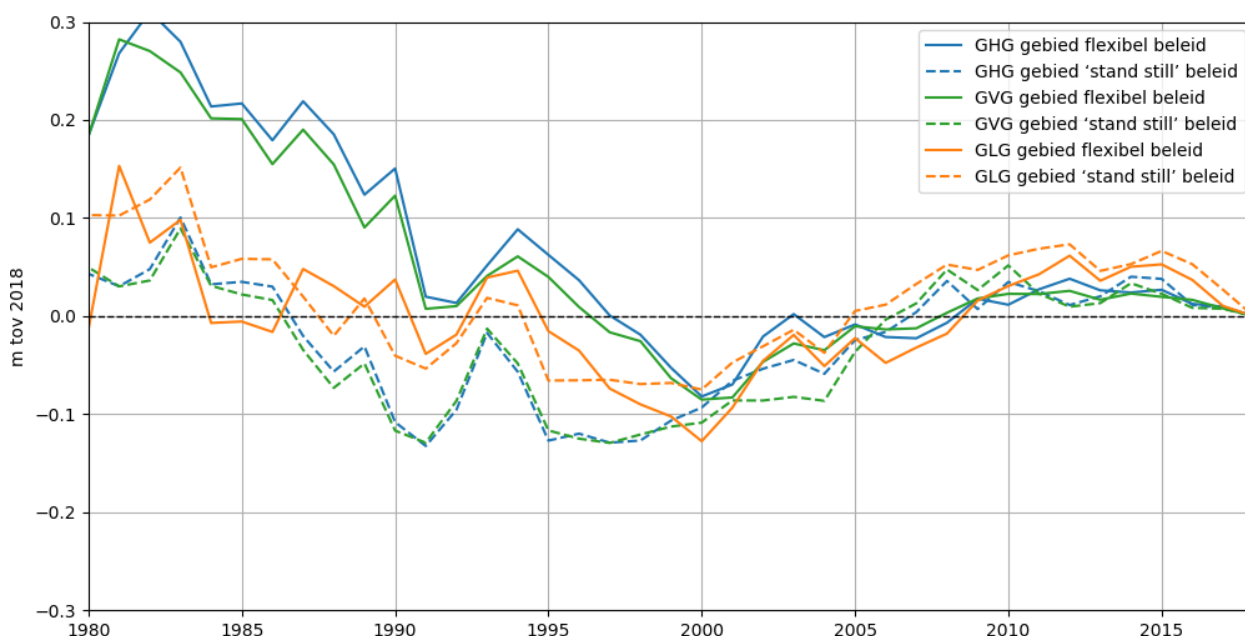
figuur 22: Een ruimtelijke weergave van de verandering van de GVG tussen 2015 en 2018 volgens de tijdreeksmodellen, in meter.



figuur 23: Een ruimtelijke weergave van de verandering van de GLG tussen 2015 en 2018 volgens de tijdreeksmodellen, in meter.

4.6 Onderverdeling flexibel en 'stand still'

In de figuren uit de voorgaande paragraaf zijn de gebieden binnen het 'stand still' beleid groen weergegeven. Binnen deze gebieden zijn strengere berekeningseisen van kracht. Het is interessant om te analyseren of het gevonden GxG-verloop verschilt tussen de locaties binnen deze gebieden (29 locaties) of hierbuiten, waar het zogenaamde flexibel beleid geldt (ook 29 locaties). Deze opsplitsing in GxG-verloop is gemaakt in figuur 24. Hierin valt op dat tussen 1980 en 2000 de GHG en de GVG buiten de 'stand still' gebieden meer dalen dan erin. Het GLG-verloop verschilt weinig tussen de locaties binnen en buiten de 'stand still' gebieden. Vanaf 2000 geldt hetzelfde voor de GHG en de GVG.



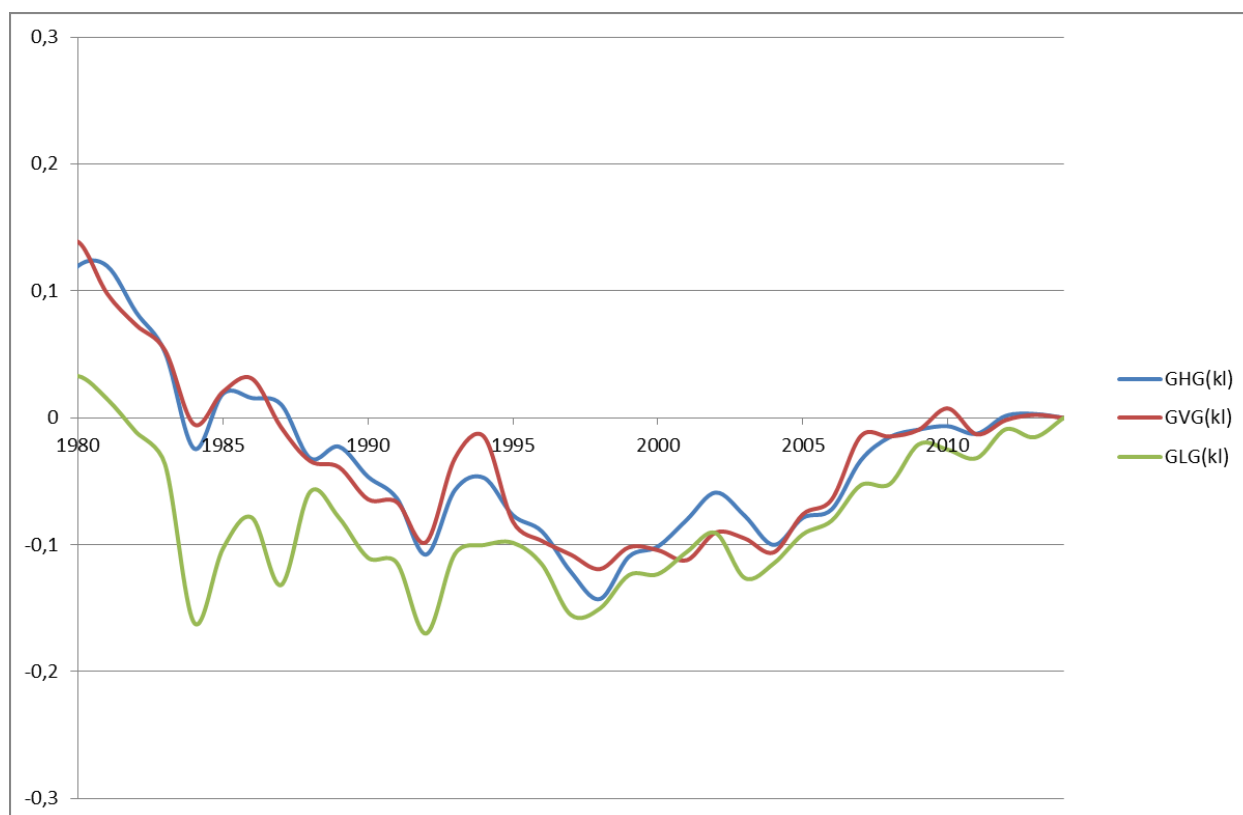
figuur 24: Het verloop van de GxG ten opzichte van 2018, gesplitst naar locaties binnen flexibel beleid, en 'stand still' beleid (groen in figuur 21, figuur 22 en figuur 23).

5 Vergelijking met analyse in 2015

In het voorgaande onderzoek (Waterschap Aa en Maas, Waterschap De Dommel en Waterschap Brabantse Delta, 2015) is trendanalyse uitgevoerd met Menyanthes, op data tot en met 2014. De selectie van meetpunten waarvoor de resultaten zijn weergegeven zijn niet exact hetzelfde, waardoor de resultaten niet één op één kunnen worden vergeleken. Toch is het interessant hoe de huidige resultaten zich verhouden tot die in 2015.

De klimaatonafhankelijke GxG, zoals bepaald in 2015, gemiddeld over alle meetpunten, is weergegeven in figuur 25 (de GVG is hierin rood en de GLG groen, in tegenstelling tot de andere figuren in deze rapportage, waarin de GVG groen is en de GLG oranje). Het algemene patroon is hetzelfde als in de huidige analyse. Tot aan het jaar 2000 dalen de GxG's. Hierna volgt een stijging die afvlakt tussen 2010 en 2015. In de huidige analyse volgt hierop weer een lichte daling, die in 2015 natuurlijk nog niet bepaald kon worden. Door deze daling, en omdat alle resultaten ten opzichte van 2018 worden weergegeven, is in de huidige analyse de hele grafiek ongeveer 5 cm omhoog verplaatst.

De daling tussen 1980 en 2000 is in de huidige analyse iets groter. De GxG daalt ongeveer 25 cm in deze periode, terwijl dit 20 cm was in de analyse in 2015. Bij de analyse in 2015 was er tussen 1980 en 2000 een aanzienlijk verschil tussen de GLG enerzijds en de GHG/GVG anderzijds, waarbij de GLG een minder grote daling liet zien tussen 1980 en 2000. Dit verschil tussen de GLG en de GHG/GVG is in de huidige analyse kleiner, hoewel de daling van de GLG tussen 1980 en 2000 ook in de huidige analyse minder was dan de daling van de GHG/GVG.



figuur 25: De klimaatonafhankelijke GxG, zoals bepaald in 2015. Door de jaarlijkse waarden van de GxG is een vloeiende lijn getekend.

6 Gevoeligheidsanalyse

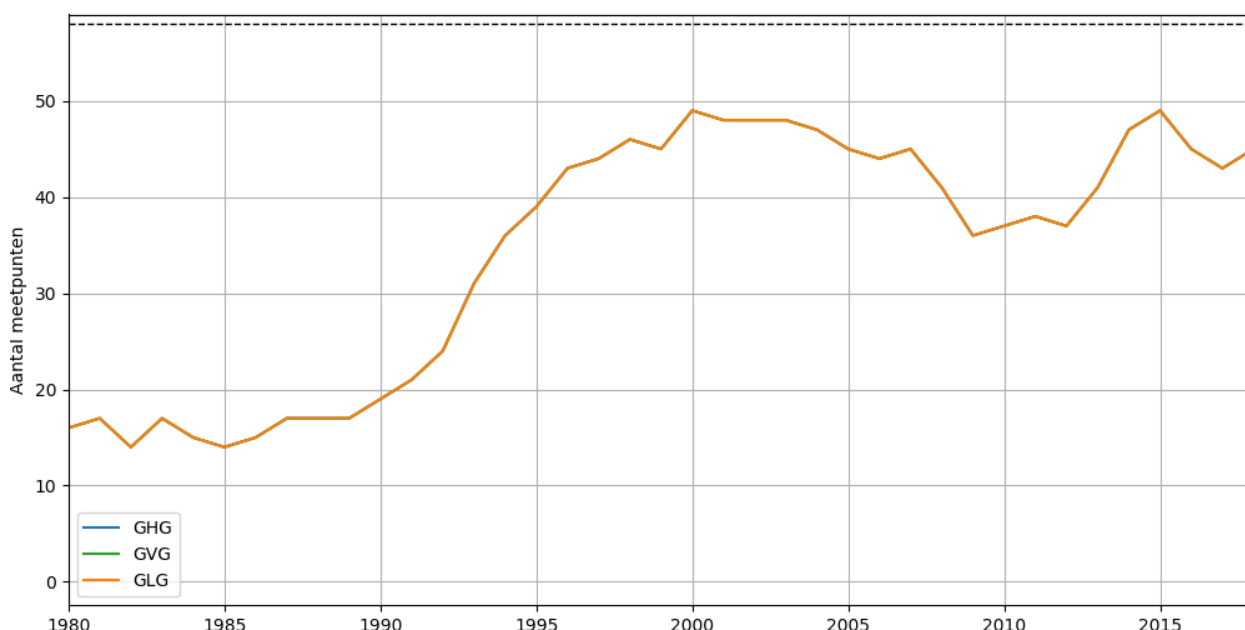
Bij de analyse zijn verschillende keuzes gemaakt met betrekking tot het opstellen van de modellen, het beoordelen van de modellen en het bepalen van de GxG-trend. Deze keuzes hebben invloed op het resultaat. Om de robuustheid van de gevonden trend, en bijvoorbeeld ook van de lichte GxG-verlaging vanaf 2015, te achterhalen, is de gevoeligheid van twee keuzes bepaald. Allereerst is de data omgezet naar 2-wekelijkse data, om het bestaan van een afwijking in de trend door het gebruik van hoogfrequente data in recente jaren te achterhalen. Daarnaast is de benodigde kwaliteit van de tijdreeksmodellen verhoogd door de benodigde verklaarde variantie te verhogen van 70 naar 80 %.

6.1 2-wekelijkse data

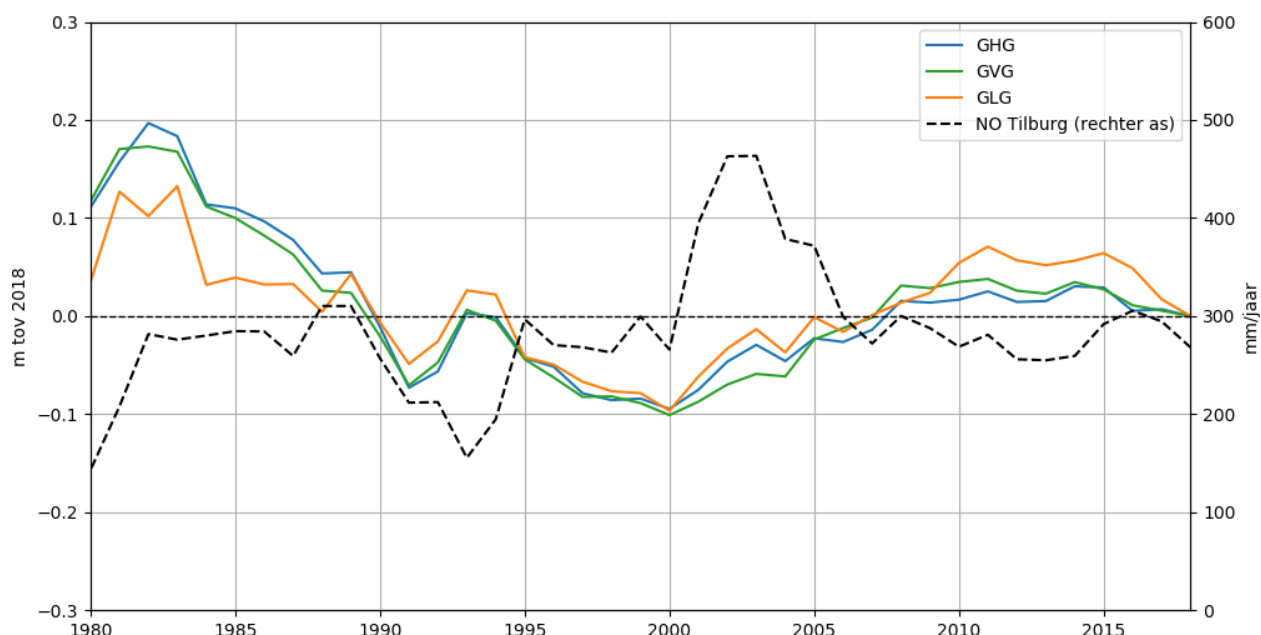
De meetfrequentie is in de laatste jaren groter door de invoering van automatische drukopnemers. Deze hogere frequentie zou ervoor kunnen zorgen dat bij de optimalisatie van de tijdreeksmodellen meer nadruk komt te liggen op pieken in de grondwaterstand. Om te achterhalen hoe robuust de gekozen aanpak is, is het interessant om de analyse ook eens uit te voeren op dezelfde reeksen, nadat deze zijn omgezet naar 14-daagse metingen.

De metingen zijn omgezet naar 2-wekelijkse metingen, door vanuit de huidige reeksen datawaarden te trekken (sampling), op de 14^e en 28^e van elke maand (rond 0:00). Bij (delen van) reeksen die al uit 2-wekelijkse data of maandelijkse waarde bestaan, verandert er niets. Bij dagelijkse, of uurwaarden, wordt een groot deel van de metingen nu echter niet meegenomen bij het ijken van de tijdreeksmodellen.

Deze omzetting zorgt voor een zeer beperkte afname van het aantal meetpunten waarop de GxG-waarden gebaseerd zijn (figuur 26). De GxG-trend (figuur 27) wijkt bijna niet af van de eerder gevonden trend.



figuur 26: Het aantal meetpunten (van de 58) waarop de GxG-waarden gebaseerd zijn (ter vergelijking van figuur 11).



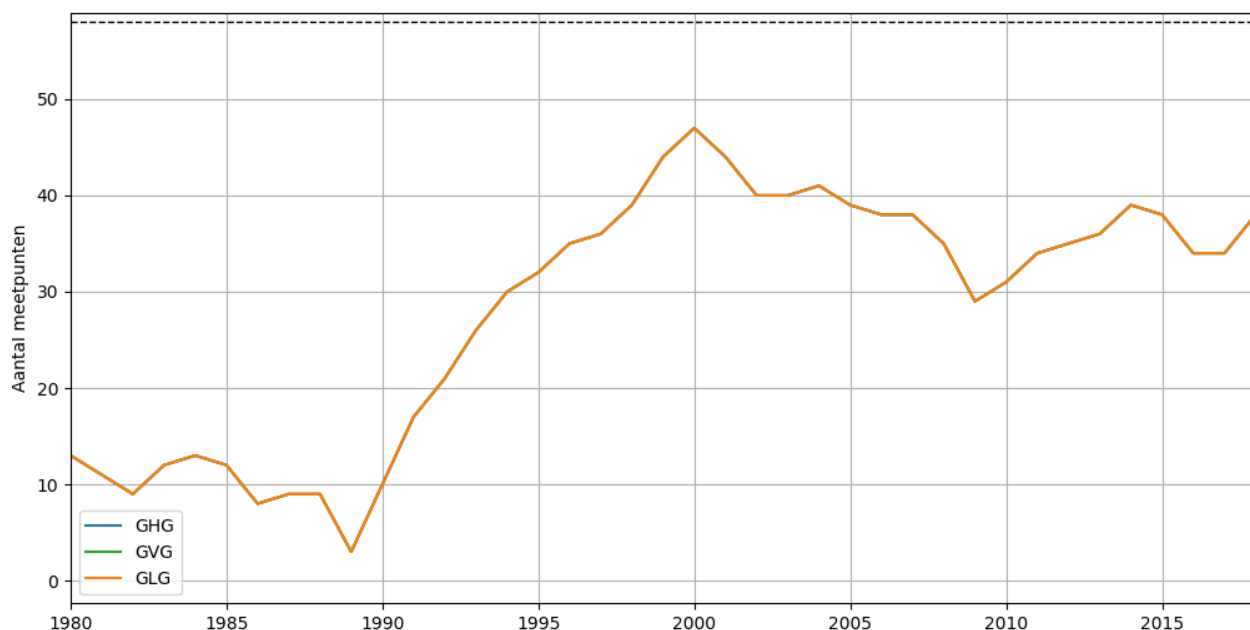
figuur 27: Klimaatonafhankelijke GxG, ten opzichte van de GxG in 2018, voor modellen die geijkt zijn op 2-wekelijkse metingen (ter vergelijking van figuur 10)

6.2 Verklaarde variantie van 80 %

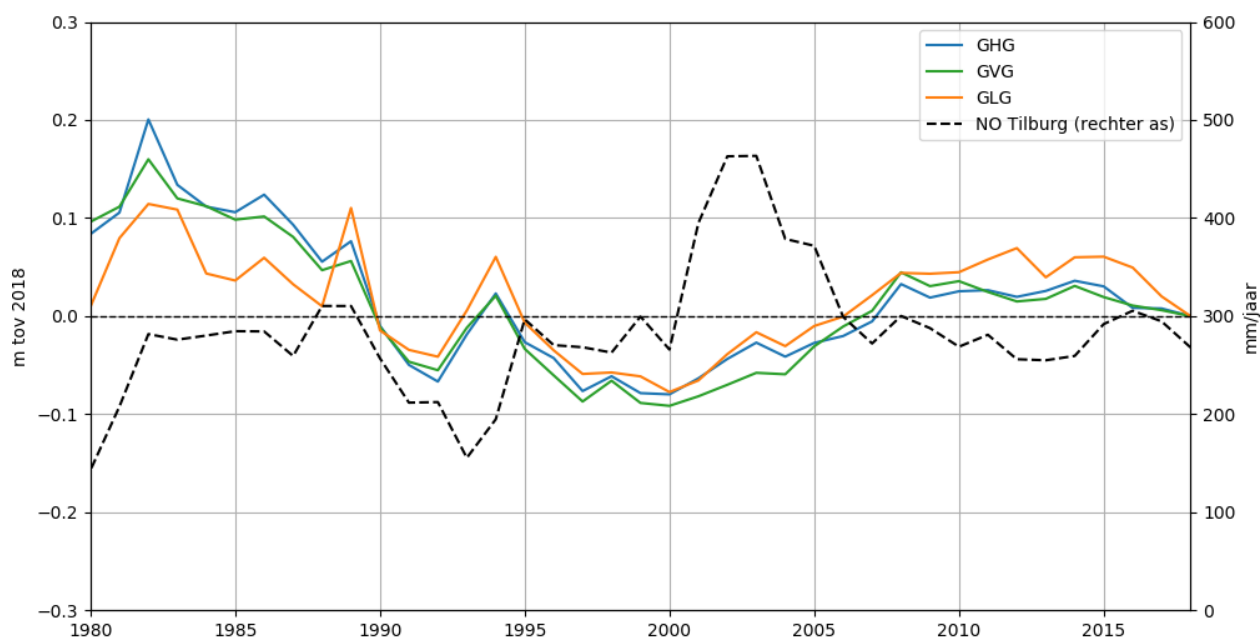
Bij de beoordeling van de tijdreeksmodellen is een afweging gemaakt tussen een goede fit van de tijdreeksmodellen, en het aantal meetpunten dat als voldoende wordt beoordeeld. Voor het bepalen van de gemiddelde trend is het immers nodig dat het gemiddelde over voldoende meetpunten wordt bepaald. Daarom is de minimaal benodigde verklaarde variantie op 70 % gezet. Vanaf de jaren 80 voldoen voor elke periode van 5 jaar minstens 14 meetpunten aan deze eis.

Wanneer de verklaarde variantie minstens 80 % moet zijn, worden aanzienlijk meer tijdreeksmodellen als onvoldoende beoordeeld. Hierdoor wordt de gemiddelde GxG-trend over minder meetpunten bepaald (figuur 28). Vooral het jaar 1989 (dus van april 1984 tot april 1989) valt hierbij op, waarbij de tijdreeksmodellen in nog maar 3 meetpunten als voldoende worden beoordeeld (ten opzichte van 16 bij een verklaarde variantie van 70 %). Wellicht wordt dit veroorzaakt door het droge jaar 1989, dat minder goed met een lineair tijdreeksmodel kan worden beschreven.

De gevonden GxG-trend (figuur 29) wordt niet veel beïnvloed door de striktere keuze van de modelbetrouwbaarheid. De GLG in het jaar 1989 valt op door een piek omhoog, die wordt veroorzaakt door de kleine en daarom afwijkende set meetpunten waarop deze waarde is gebaseerd (zie voorgaande alinea).



figuur 28: Het aantal meetpunten (van de 58) waarop de GxG-waarden gebaseerd zijn (ter vergelijking van figuur 11).



figuur 29: Klimaatonafhankelijke GxG, ten opzichte van de GxG in 2018, voor modellen met een minimale verklaarde variantie van 80 % (ter vergelijking van figuur 10).

7 Conclusie

Het klimaatafhankelijke GxG-verloop laat een duidelijke correlatie zien met het neerslagoverschot in voorgaande jaren. Het verloop van de GxG in de 5 gehanteerde deelgebieden laat onderling een vergelijkbaar patroon zien, waarbij dit patroon in het peilgestuurde gebied wat afwijkt van de andere gebieden.

De klimaatonafhankelijke GxG's vertonen minder variatie dan de klimaatafhankelijke GxG's. In de jaren 80 waren de gemiddelde klimaatonafhankelijke GxG's 5 tot 20 cm hoger dan in 2018. De GxG's bereikten het minimum in het jaar 2000, rond -10 cm ten opzichte van 2018, waarna deze weer opliepen. De laatste jaren, tussen 2015 en 2018 dalen de GxG's weer licht (GHG: 3 cm, GVG: 2 cm, GLG: 6 cm). De verandering in GHG en GVG tussen 2015 en 2018 vertoont enige ruimtelijke samenhang, met gebieden die stijgen en gebieden die dalen. De GLG daalt in deze periode in bijna alle meetpunten. Geaggregeerd naar de 5 deelgebieden, daalt de GLG in deze periode licht in alle deelgebieden, terwijl de GHG en de GVG constant zijn of ook licht dalen. Opgesplitst naar flexibel en 'stand-still'-beleid, blijkt niet dat de GLG bij locaties binnen flexibel beleid de laatste jaren harder daalt. Wel zijn de GHG en de GVG hier tussen 1980 en 2000 ruim 15 cm harder gedaald dan in de 'stand-still' gebieden.

Om de oorzaak van de trend in GxG te achterhalen, is getracht enig verband af te leiden uit de parameters van de tijdreeksmodellen. Dit is echter niet gelukt. Er is veel spreiding in de gevonden trend tussen de meetpunten. Voor de bepaling van de uiteindelijke gemiddelde trend is de selectie van meetpunten daarom doorslaggevend.

Om te bepalen hoe robuust het resultaat is, en hoe dit afhangt van enkele keuzes in de gekozen aanpak, is de gevoeligheid van de frequentie van data en de benodigde betrouwbaarheid van de tijdreeksmodellen afgetast. Na aanpassing van deze keuzes bleek de gevonden trend in GxG niet veel te veranderen.

8 Discussie

Zijn de gevonden trends een artefact van de gekozen aanpak, is het mogelijk dat de trends alsnog door neerslag en verdamping veroorzaakt kunnen zijn, of worden de trends daadwerkelijk veroorzaakt door menselijk handelen? De mogelijke oorzaken voor een verandering van de GxG zijn de volgende:

- Een verandering in de afwatering rond het meetpunt
- Een verandering in grondwateronttrekking
- Een niet-stationaire of niet-lineaire respons op neerslag en verdamping
- Een ander artefact van de analyse

De eerste twee mogelijke oorzaken zijn lastig te kwantificeren. Ingrepen in de afwatering hebben vaak een kleine schaal, waarbij het regionale effect lastig is in te schatten. De verandering in grondwateronttrekking vergt een gedegen analyse, waarbij niet alleen rekening wordt gehouden met een verandering van het debiet, maar ook met een verandering van de locatie en diepteligging van de onttrekkingsmiddelen. Naast de drinkwateronttrekking dienen ook industriële onttrekkingen en onttrekkingen ten behoeve van beregening te worden meegenomen. Indien men geïnteresseerd is in een nadere opsplitsing van de verandering in GxG, zullen veranderingen in afwatering en grondwateronttrekking integraal moeten worden meegenomen in de analyse.

Wanneer er sprake is van niet-lineaire gedrag zullen de parameters van een lineair model in een natte periode van 5 jaar verschillen van die in een droge periode van 5 jaar, ook al is er niets veranderd aan het grondwatersysteem. Hierdoor zal de GxG berekend met een lineair model met de natte parameters verschillen van die met de droge parameters. Zo zal de respons in natte perioden sneller en/of kleiner zijn door (maaiveld)drainage, waardoor er minder variatie in grondwaterstand optreedt. De grondwaterstand zakt dan volgens een lineair model minder ver weg in droge perioden. Bij een niet lineair systeem is de GLG van een lineair model dat geijkt is op een natte periode dus hoger dan de GLG van een lineair model dat geijkt is op een droge periode. Op deze manier heeft het weer dus toch invloed op de klimaatonafhankelijke GxG.

Een ander artefact van de analyse kan optreden bij een respons op neerslag die trager is dan de 5 jaar waarop de tijdreeksanalyse wordt gekalibreerd. Dan is het niet mogelijk om de zogenaamde staart van de respons uit de metingen af te leiden. De fout die hiermee wordt geïntroduceerd zal invloed hebben op de met het tijdreeksmodel bepaalde GxG. Bij een grondwaterstand die langzamer reageert dan 5 jaar zal bij de huidige aanpak ook in de klimaatonafhankelijke GxG nog enige invloed van het weer te zien zijn.

9 Aanbevelingen

Omdat de resultaten afhankelijk zijn van de selectie van peilbuizen, is het interessant om de analyse voor een andere en bij voorkeur ook grotere set van peilbuizen uit te voeren.

Vanwege gaten in reeksen of slechte tijdreeksmodellen ontbreken voor elk jaar een aantal GxG-waarden van peilbuizen. Bij de bepaling van het gemiddelde verloop wordt de GxG per jaar voor alle peilbuizen met een GxG-waarde gemiddeld. Hierdoor is voor elk jaar de set met peilbuizen verschillend, wat invloed zou kunnen hebben op de resultaten. Daarom is het interessant om een set peilbuizen te kiezen waarbij voor alle jaren de GxG bepaald kan worden, voor een kortere periode (bijvoorbeeld vanaf 1999 tot aan 2017).

De parameterwaarden laten een grillig verloop zien (zie paragraaf 4.4), deels omdat parameters enigszins uitwisselbaar zijn. Daarom is het interessant om voor individuele meetpunten een bundel te maken van het verloop van de stap respons op neerslag in de tijd, waarbij de tijd door middel van een kleur is weergegeven.

Het verdient aanbeveling om te kijken of er een logische verklaring is te bedenken voor de ruimtelijke verschillen in de verandering in GxG. Zijn er grote ingrepen geweest in de waterhuishouding in één van de deelgebieden, of is er een grondwateronttrekking verplaatst van het ene naar het andere deelgebied? Ook is het nuttig de verandering in GxG ruimtelijk weer te geven, zoals reeds is gedaan voor de periode 2015–2018 in paragraaf 4.5, of om de GxG-ontwikkeling van meerdere meetpunten (door middel van kleur) gegroepeerd weer te geven in één tijd-grafiek, om zo patronen te herkennen.

10 Verwijzingen

Waterschap Aa en Maas, Waterschap De Dommel en Waterschap Brabantse Delta Trendanalyse grondwater op beleidsmeetnet berekening Brabant [Rapport]. – 's-Hertogenbosch : [sn], 2015.

WUR Parameters Grondwaterdynamiek [Online] // Wageningen University & Research. – 1 5 2018. – <https://www.wur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Faciliteiten-Producten/Software-en-modellen/Grondwaterdynamiek/Parameters.htm>.

Bijlage 1 Bepaling GxG in PASTAS

Voor de bepaling van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG), Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG), gezamenlijk GxG genoemd, wordt de methode van de Universiteit Wageningen gebruikt, zoals opgesomd op de site van de universiteit (WUR, 2018):

- **GHG:** voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand worden jaarlijks de 3 hoogste grondwaterstanden gemiddeld over de periode van 1 april tot en met 31 maart (hydrologisch jaar), het gemiddelde van deze jaarlijkse waarden over een periode van tenminste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden, wordt gebruikt als GHG.
- **GLG:** voor de gemiddeld laagste grondwaterstand worden jaarlijks de 3 laagste grondwaterstanden gemiddeld over de periode van 1 april tot en met 31 maart (hydrologisch jaar), het gemiddelde van deze jaarlijkse waarden over een periode van tenminste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden, wordt gebruikt als GLG
- **GVG:** Voor de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand worden jaarlijks de grondwaterstanden van 14 maart, 28 maart en 14 april gemiddeld, het gemiddelde van deze jaarlijkse waarden over een periode van tenminste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden, wordt gebruikt als GVG

Omzetten naar 14-daagse waarden

Deze methode baseert zich op 14-daagse metingen, om precies te zijn op de 14^e en 28^e van elke maand. Bij modelresultaten met een dagelijkse tijdstap zijn deze tijdstippen direct beschikbaar, en bevinden zich geen gaten in de reeks. Bij handmatige metingen kan het voorkomen dat niet precies op de 14^e en de 28^e is gemeten. Metingen rond deze data voldoen echter ook voor de bepaling van de GxG-waarden. Voor de omzetting van meetreeksen naar 14-daagse waarden worden voor de GLG/GHG en de GVG verschillende methoden gebruikt:

- Voor de GLG/GHG wordt elke meting aan het dichtbijzijnde 2-wekelijkse moment gekoppeld, waarbij de meting die het dichtst bij dit moment ligt behouden blijft. Er vindt dus geen interpolatie plaats, om afvlakking van extremen te voorkomen.
- Voor de GVG wordt geïnterpoleerd tussen de beschikbare metingen, waarbij de meting en het benodigde 14-daagse tijdstip minder dan 8 dagen uit elkaar mogen liggen.

Bepaling GxG

Voor de GHG/GVG wordt de 14-daagse data gegroepeerd per hydrologisch jaar (1 april tot 31 maart van het volgende jaar). De GVG geldt voor de waarden rond 1 april (14 maart, 28 maart en 14 april) van elk jaar.

Voor elk jaar worden de drie laagste (GL3, voor de GLG), hoogste (GH3, voor de GHG) of de drie grondwaterstanden rond 1 april (GV3, voor de GVG) genomen, en gemiddeld. Wanneer bij de GLG of de GHG minder dan 21 van de 24 mogelijke metingen beschikbaar zijn, worden slechts de 2 laagste/hogste metingen gemiddeld. Vervolgens worden de jaarlijkse waarden gemiddeld, om de GxG-waarden te verkrijgen. Bij bovenstaande bepaling worden een aantal eisen gesteld aan de databeschikbaarheid, die in de volgende paragraaf zijn opgesomd.

Benodigde data

De GxG-waarden kunnen alleen worden bepaald als aan de volgende voorwaarden is voldaan:

- Een jaar wordt pas meegenomen als de twee-derde van de mogelijke meetmomenten beschikbaar is (na omzetting naar 14-daagse waarden, zie paragraaf 0). Voor de GLG/GHG zijn dit 16 (van de 24) metingen. Voor de GVG zijn dit 2 (van de 3) metingen.
- Er dienen minimaal 8 jaren te voldoen aan bovenstaand criterium.

Deze twee eisen kunnen als optionele argumenten (`min_n_meas` en `min_n_year`) in de `glg`, `ghg` en de `gvg` methoden in Pastas worden veranderd. Op deze wijze is het bijvoorbeeld mogelijk om bij een snel-reagerend systeem een GHG-waarde te berekenen voor een periode van 5 jaar. Voor de bepaling van de trendanalyse is de eis van 8 jaar aan data ook aangepast naar minimaal 4 van de 5 jaar aan data.

Python functie

De python functie die voor de berekening van de GxG is gebruikt is vrij beschikbaar in Pastas en kan ook zonder een Pastas tijdreeksmodel worden gebruikt. Zie

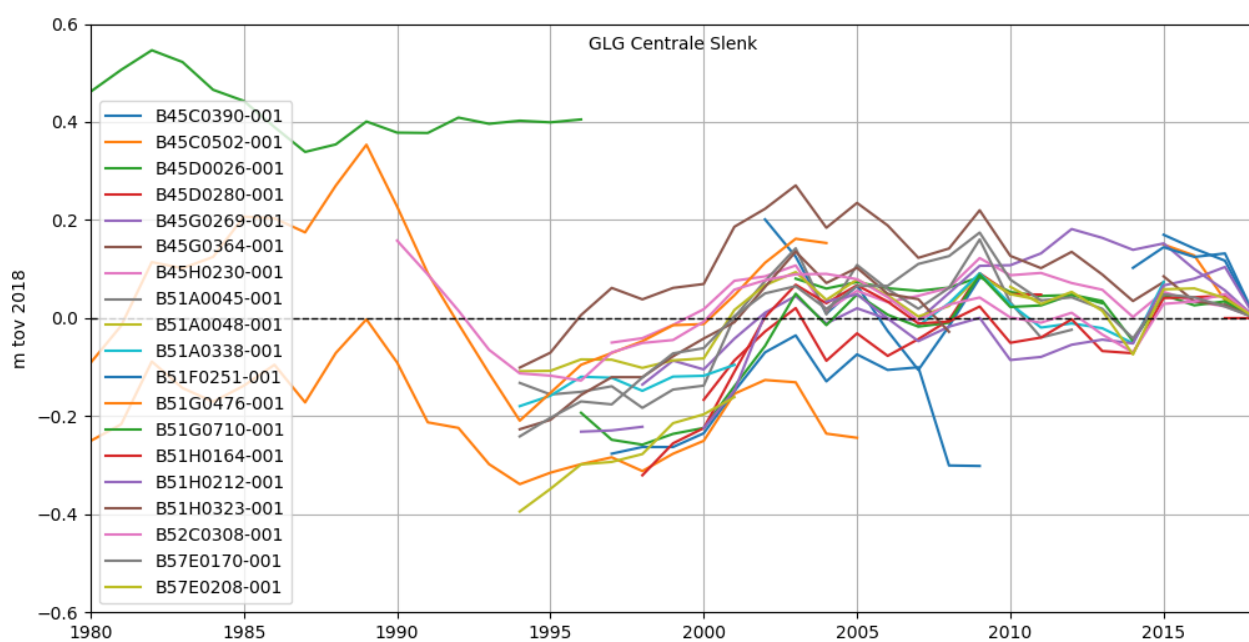
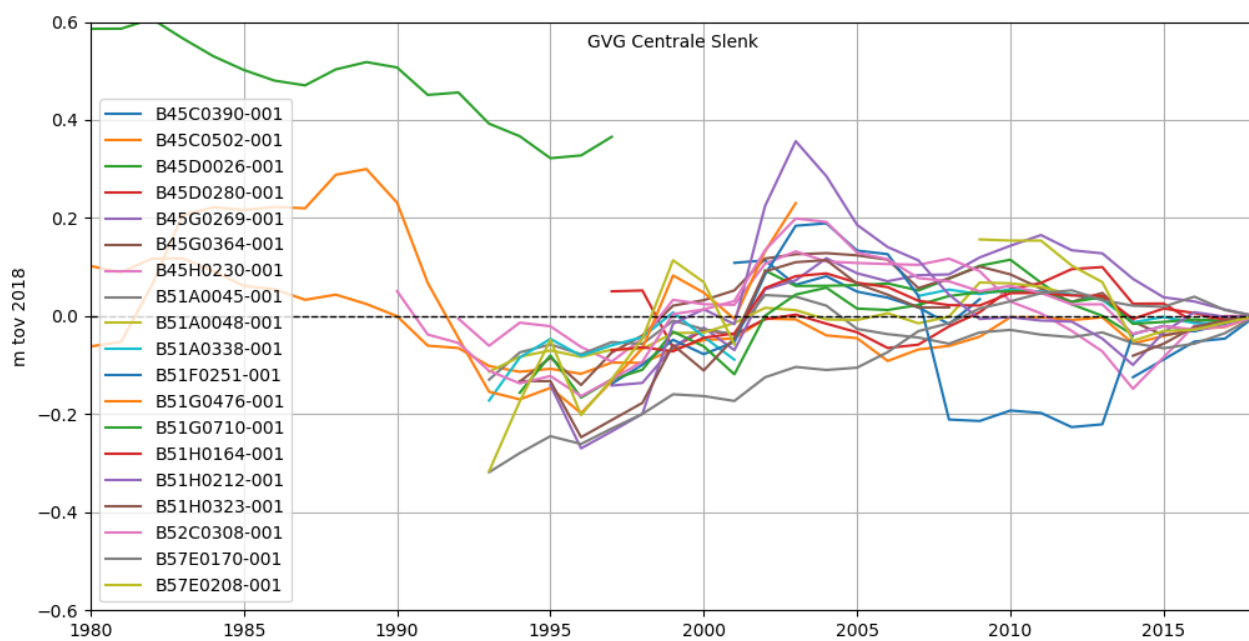
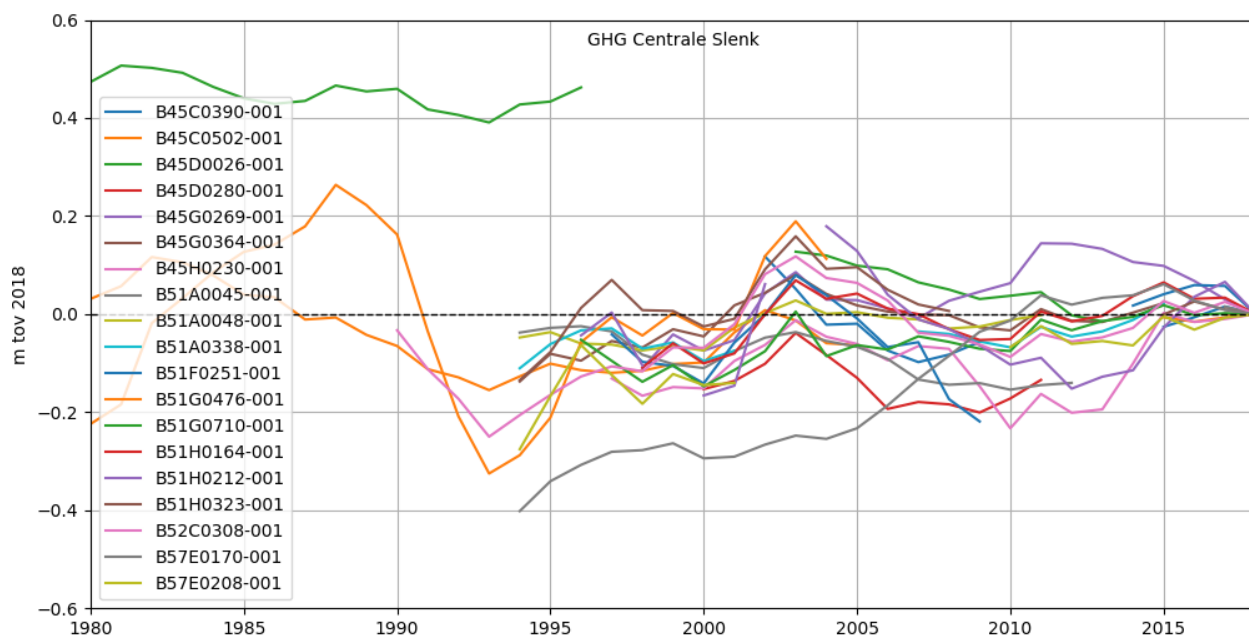
<https://github.com/pastas/pastas/blob/dev/pastas/stats.py>

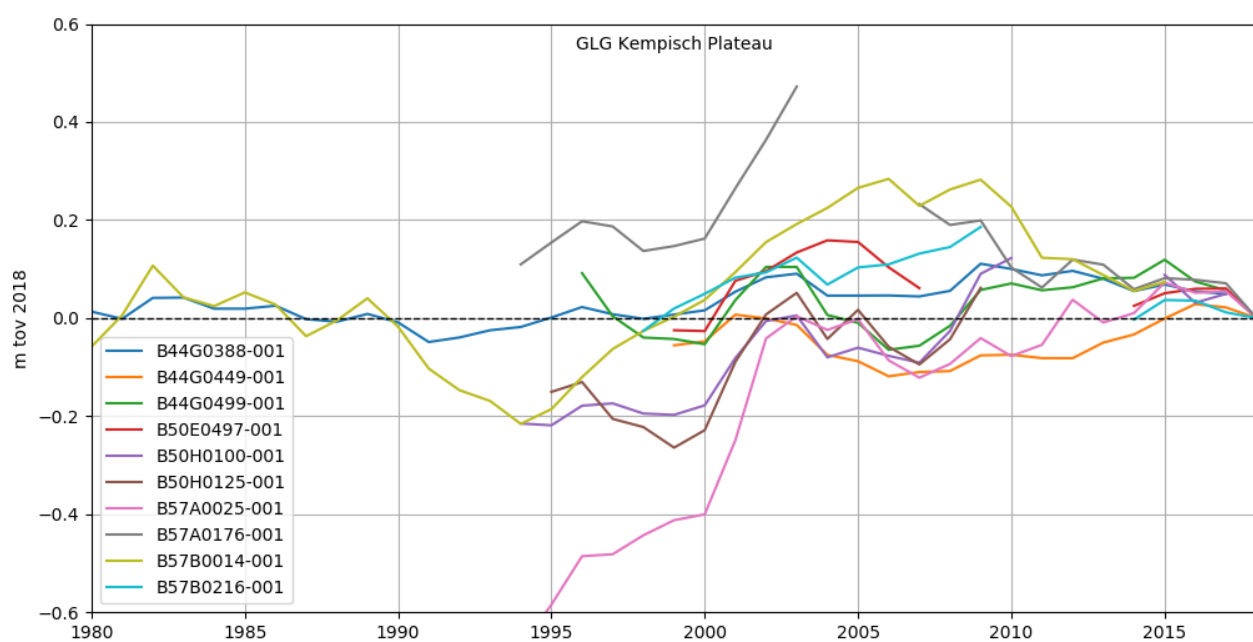
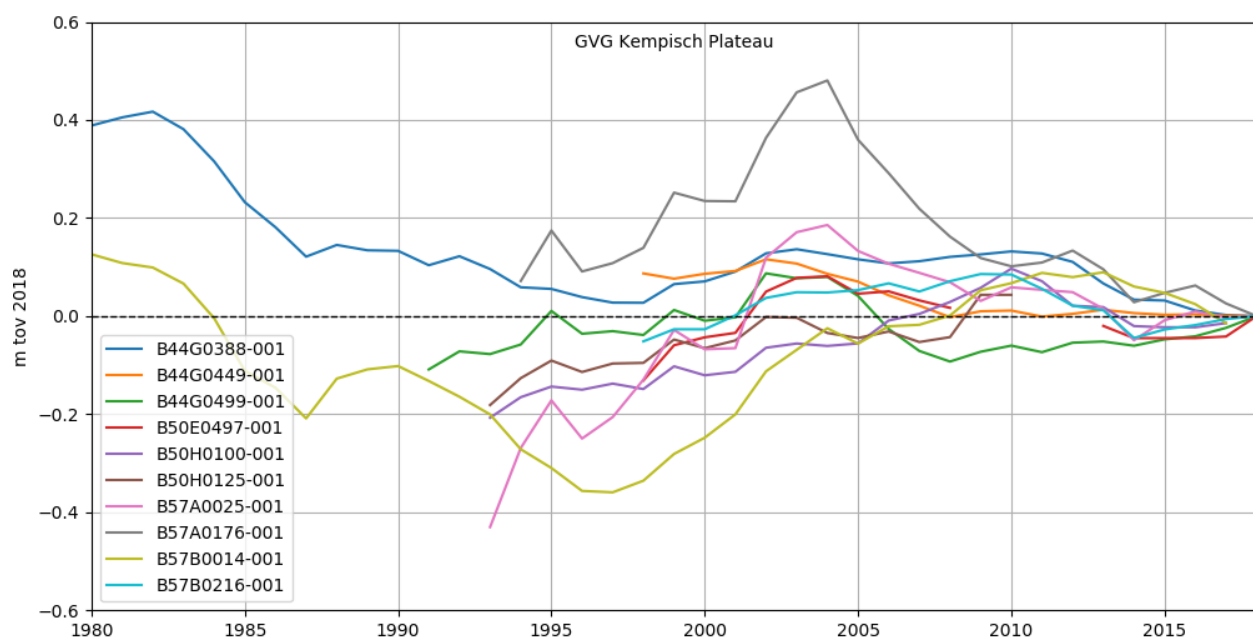
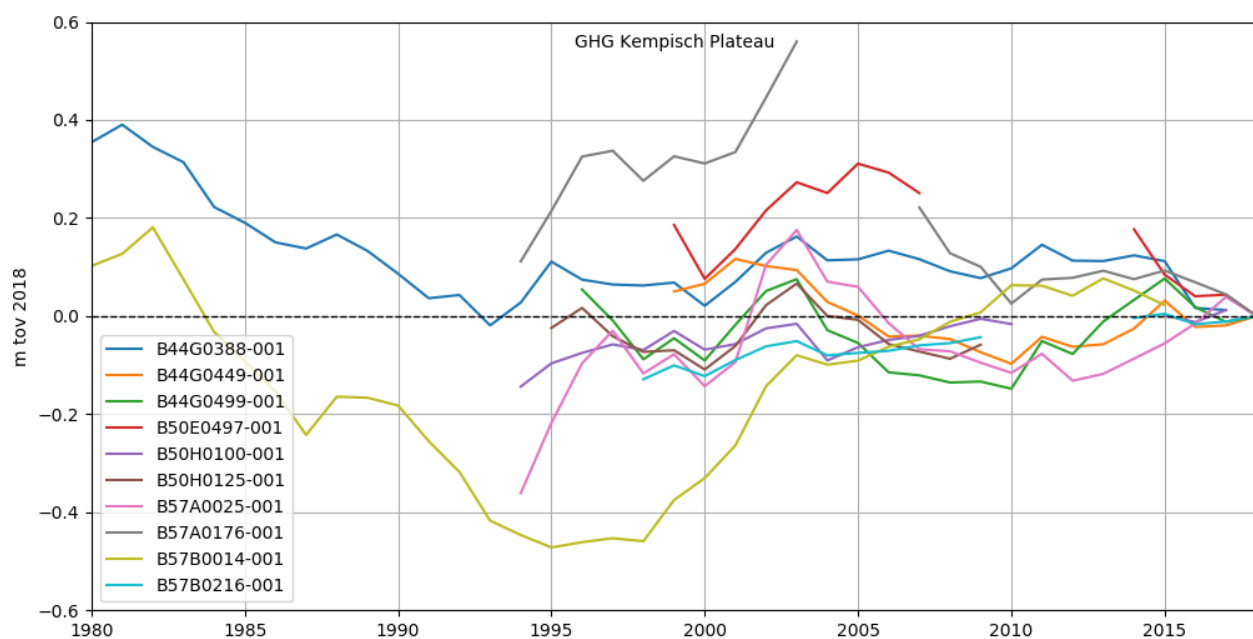
Voor dit project is gebruik gemaakt van Pastas versie 0.9.6b.

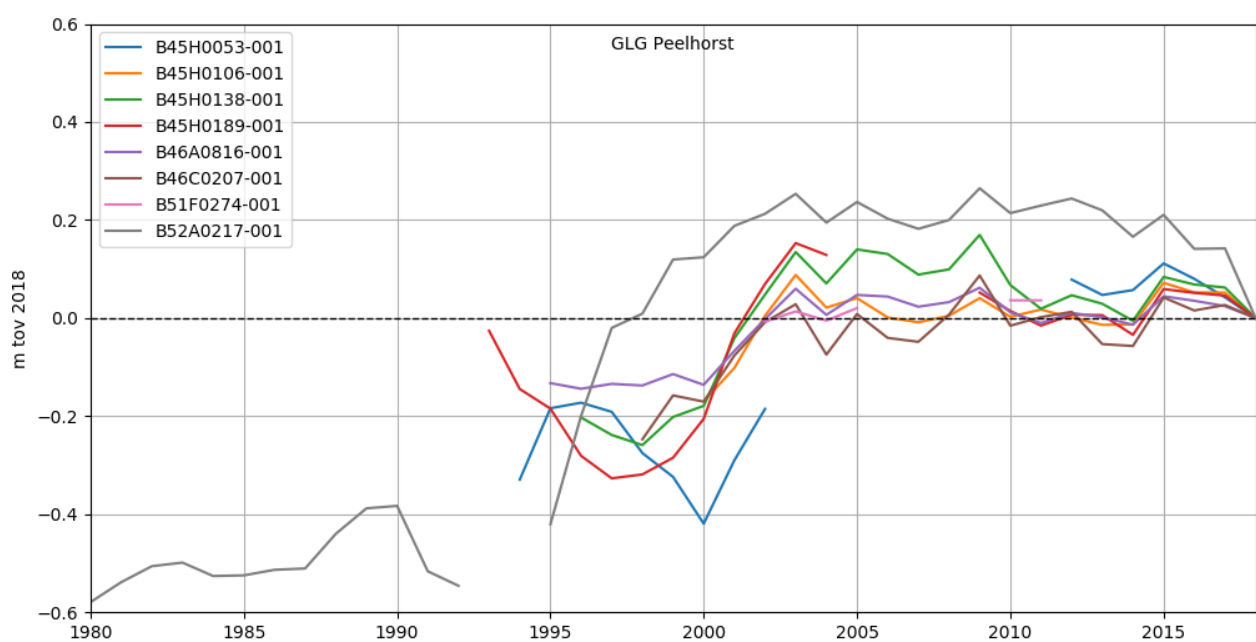
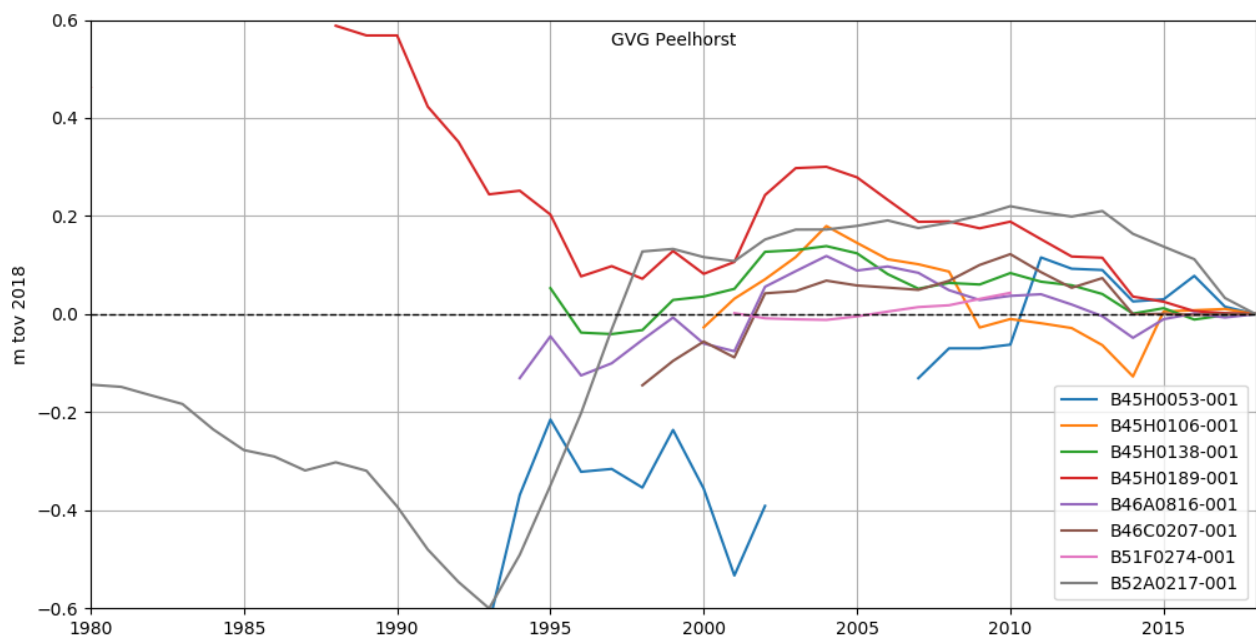
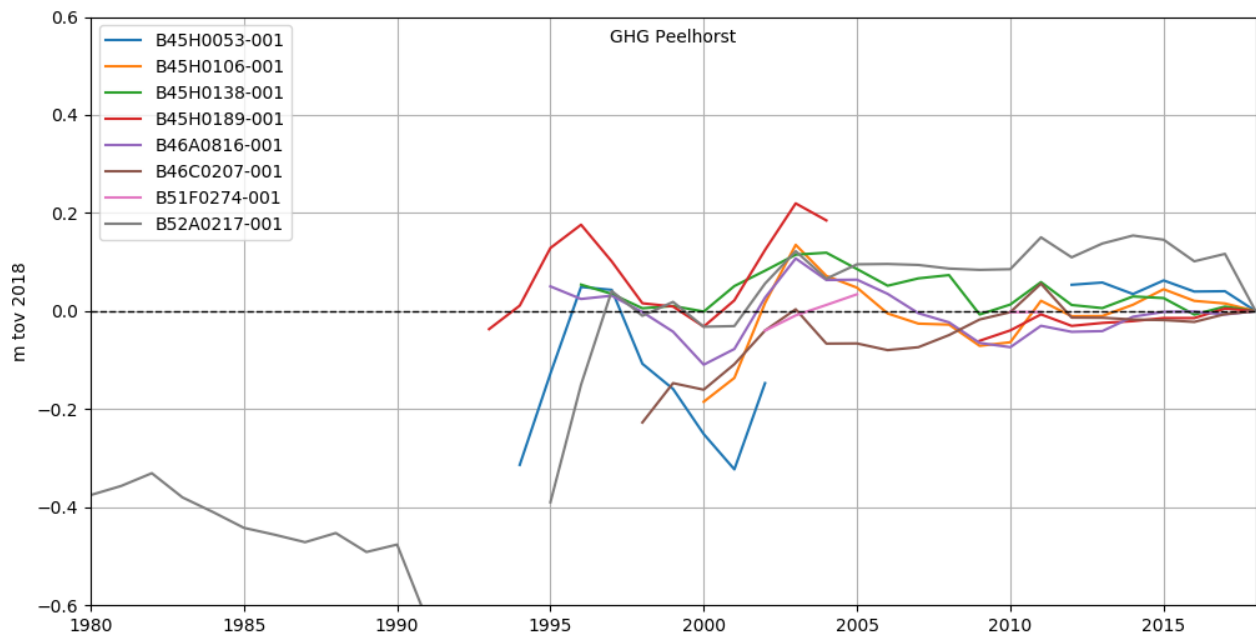
Bijlage 2 Klimaatafhankelijke GxG reeksen

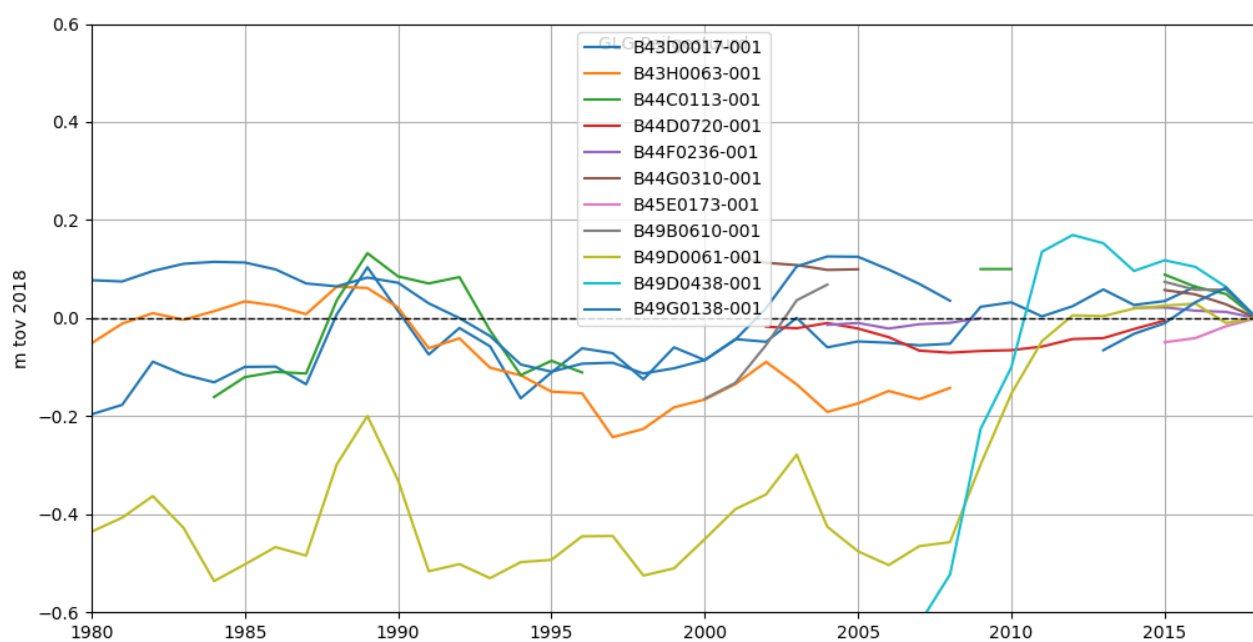
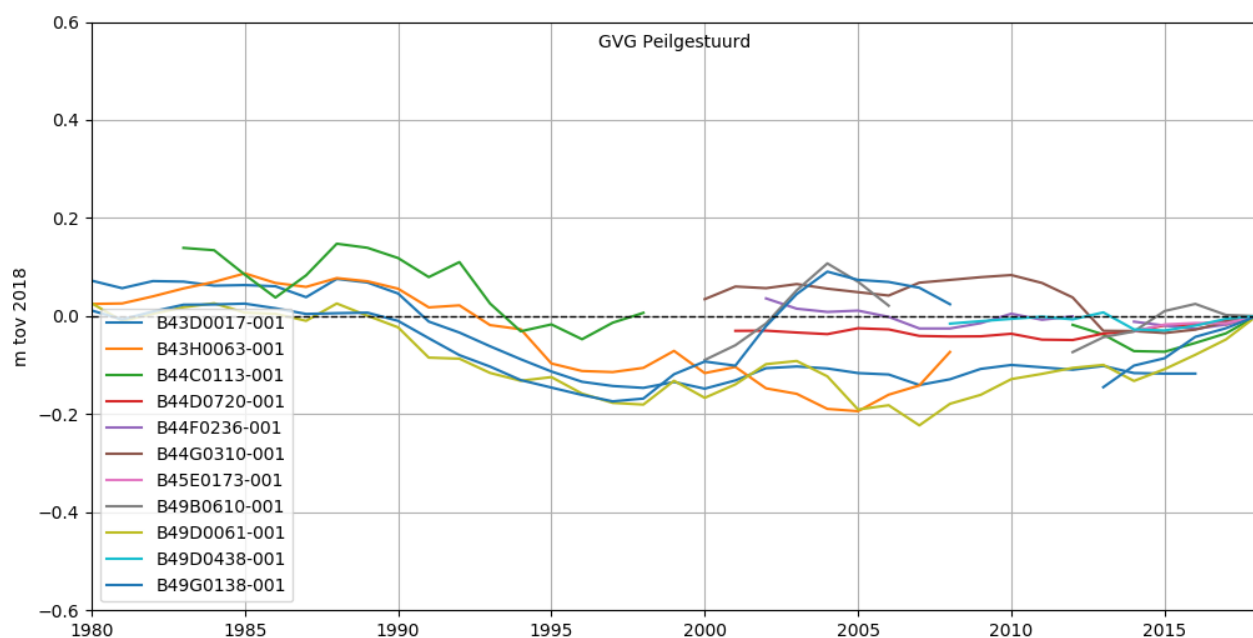
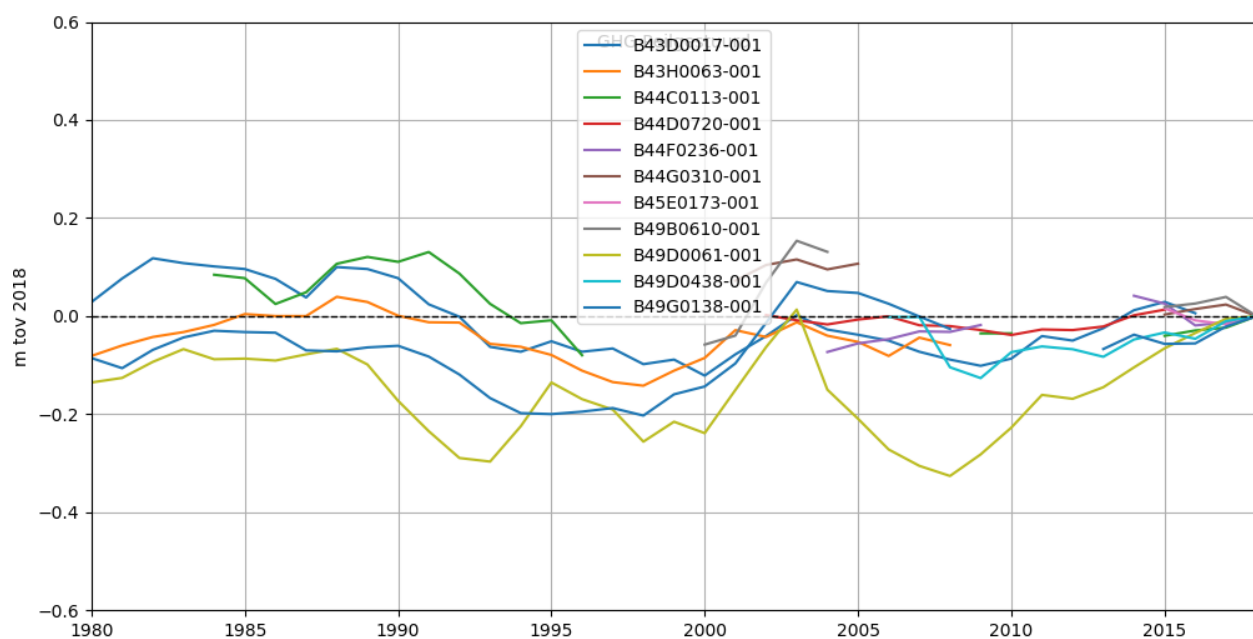
Op de volgende bladzijden is de ontwikkeling van de klimaatafhankelijke GHG, GVG en de GLG voor elk van de reeksen in de 5 deelgebieden weergegeven, ten opzichte van de GxG in 2018.

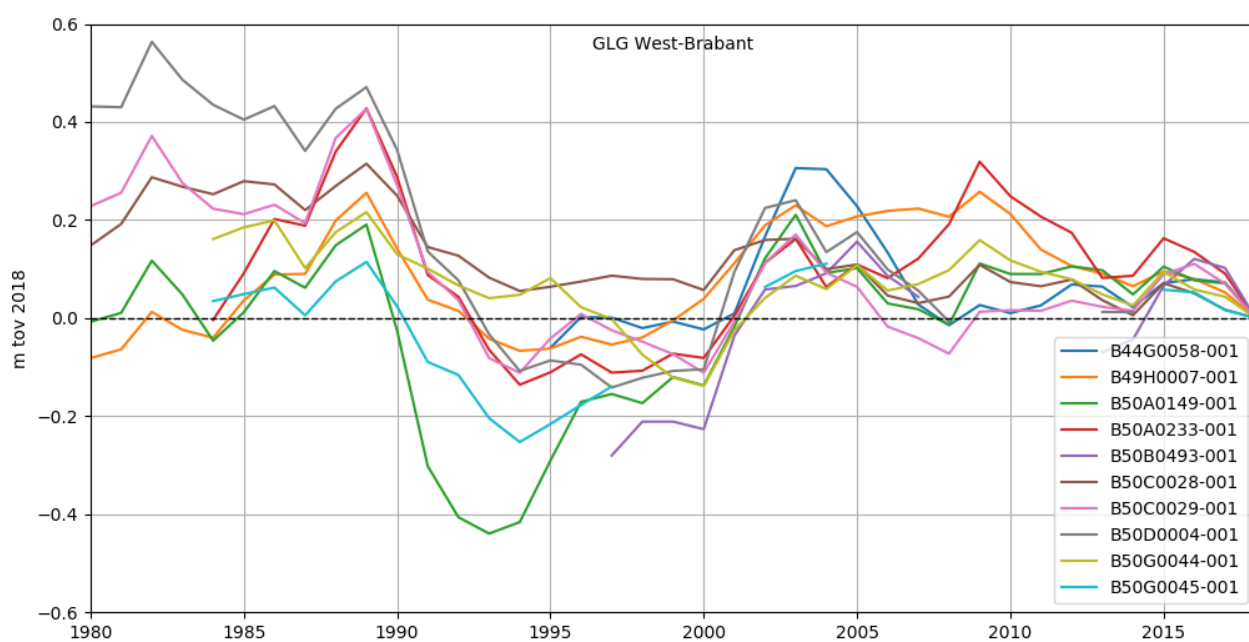
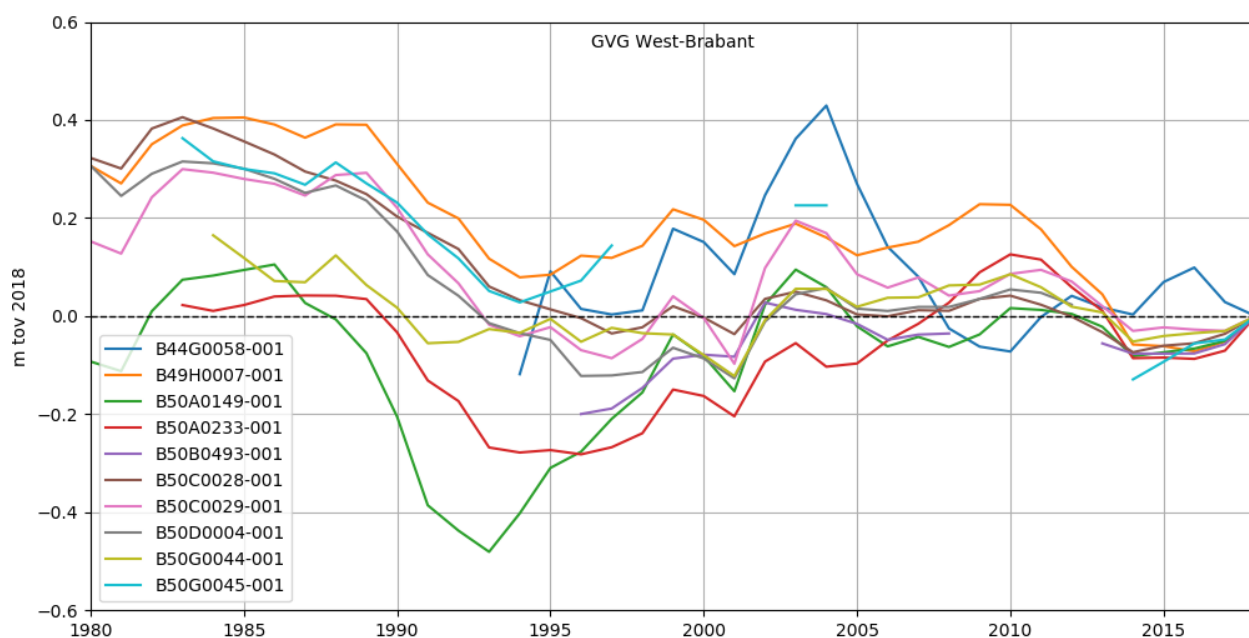
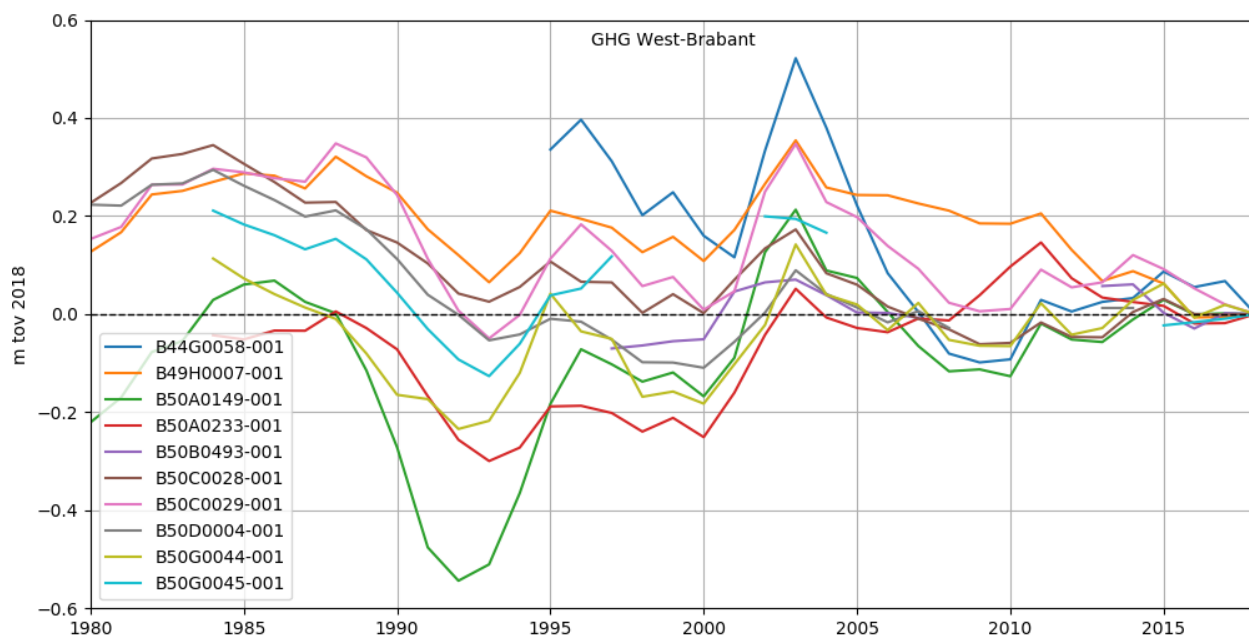
Omdat de GxG-waarden ten opzichte van 2018 zijn weergegeven, lijkt het alsof de bundel met GxG's convergeert aan het eind van de periode. Dit is echter een logisch verschijnsel, waar verder geen conclusies aan verbonden moeten worden: hoe meer tijd er tussen de GxG-waarde in een bepaald jaar en de GxG-waarde in 2018 zit, hoe groter de afwijking tussen deze twee waarden is.







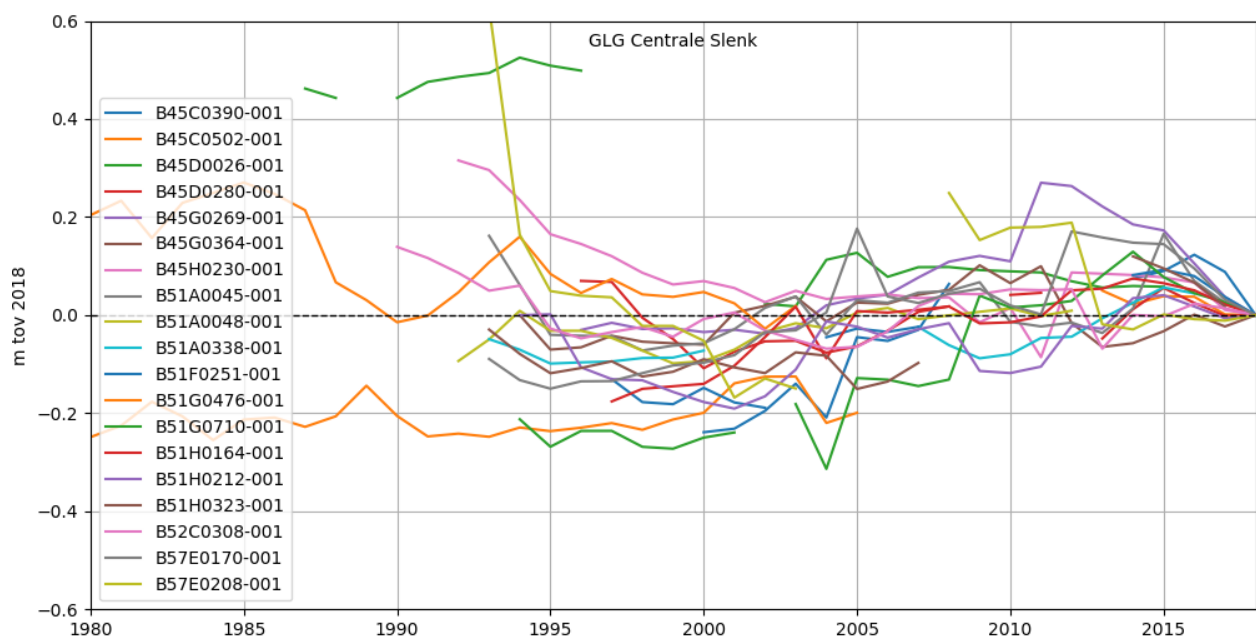
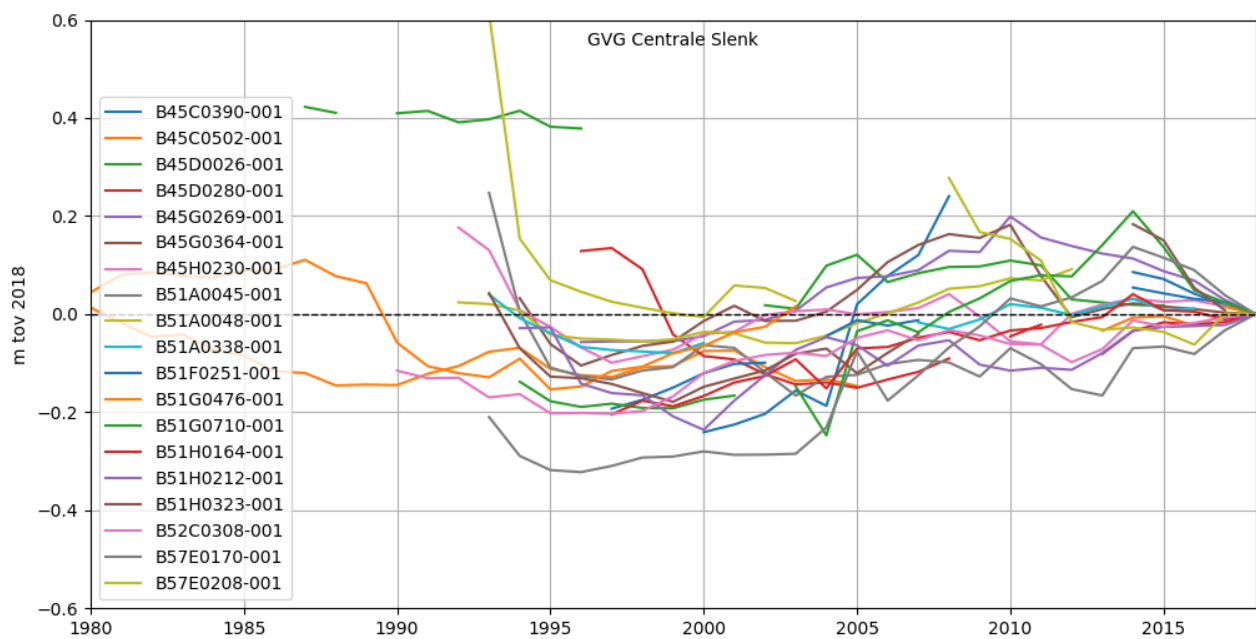
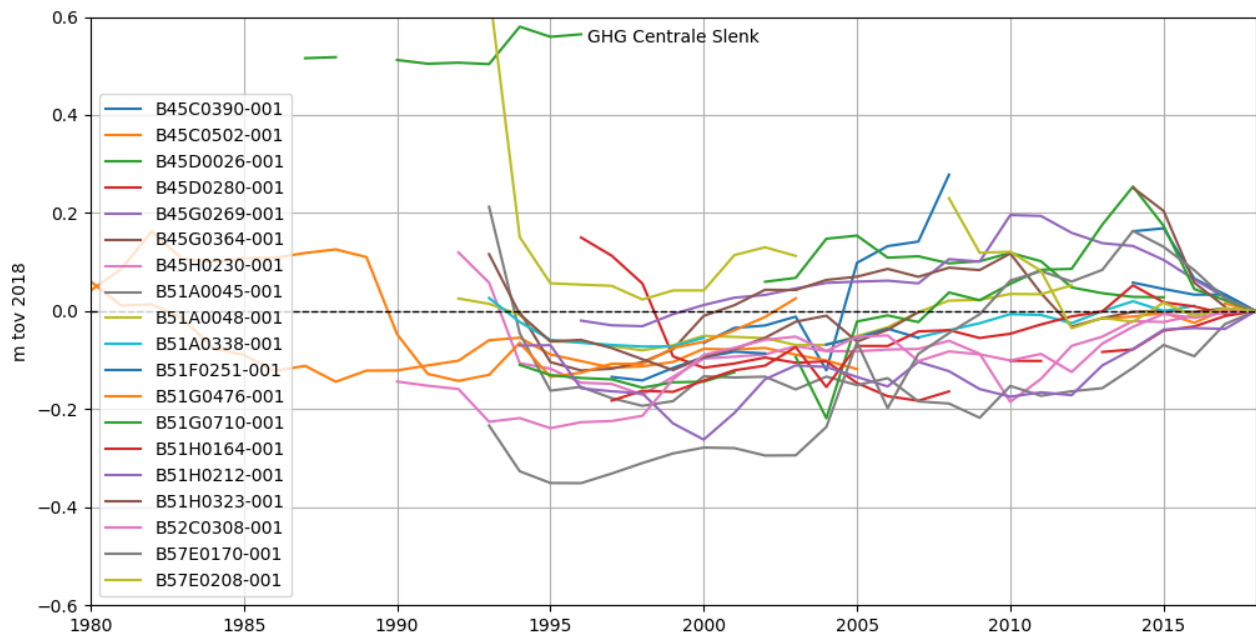


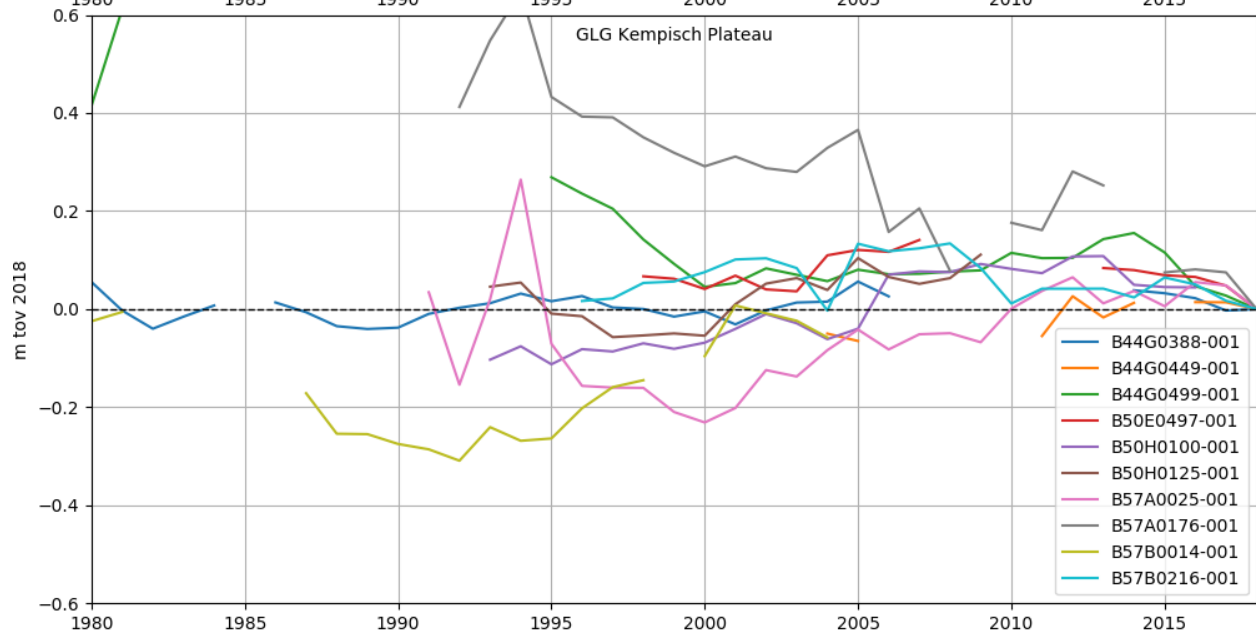
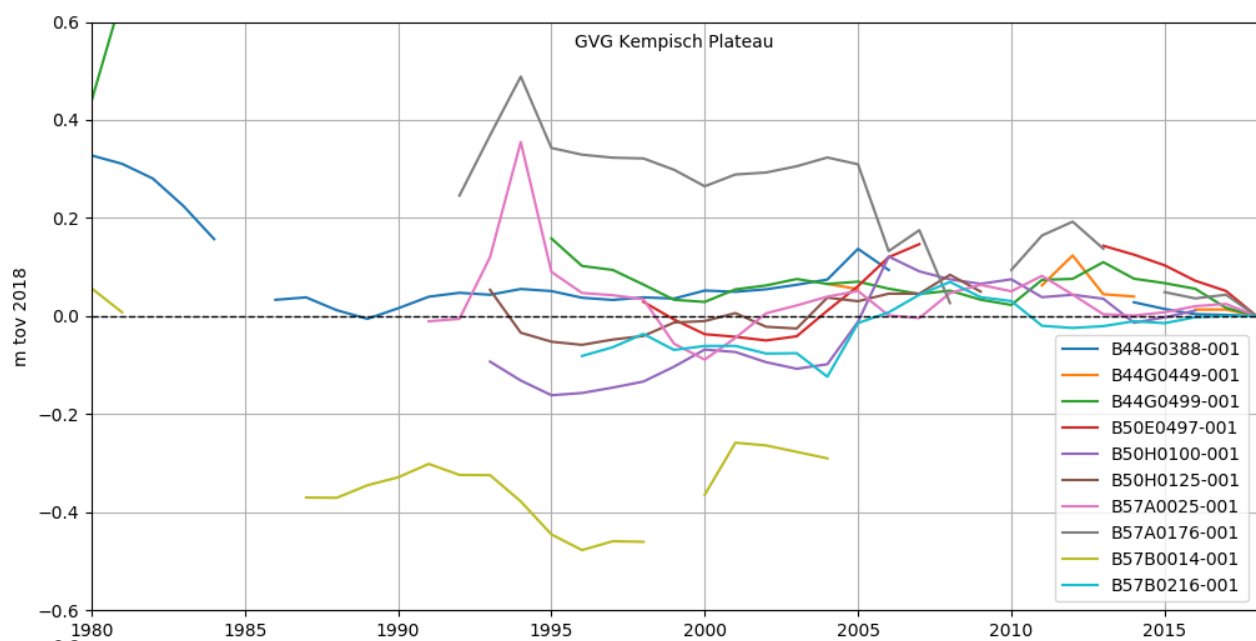
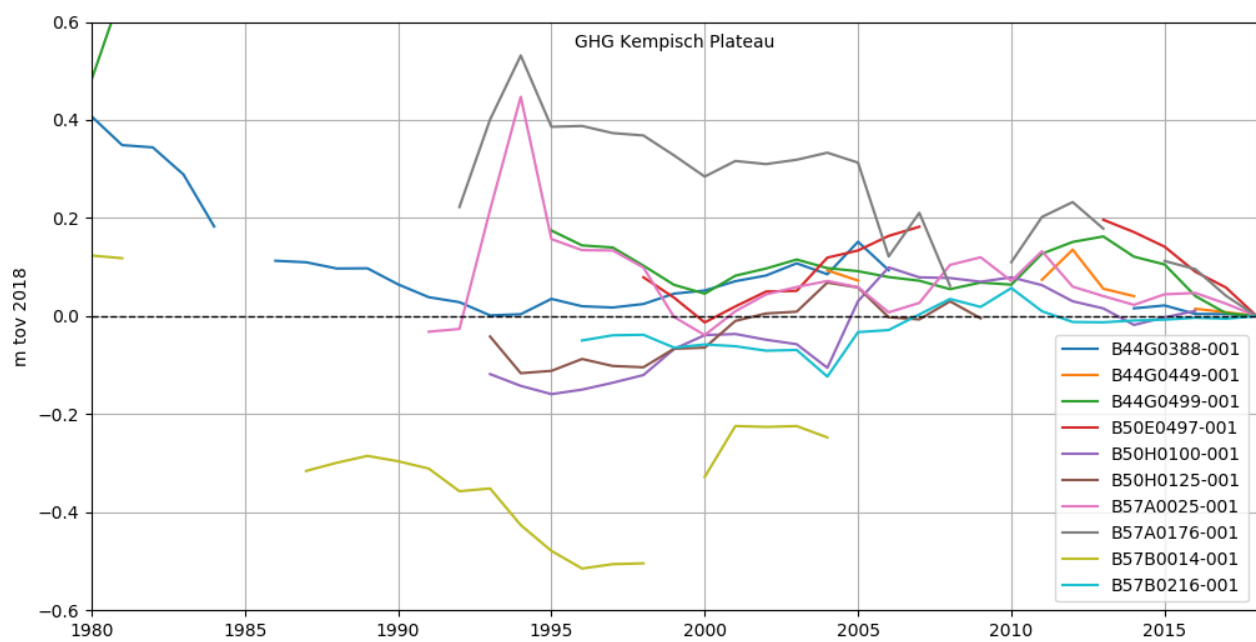


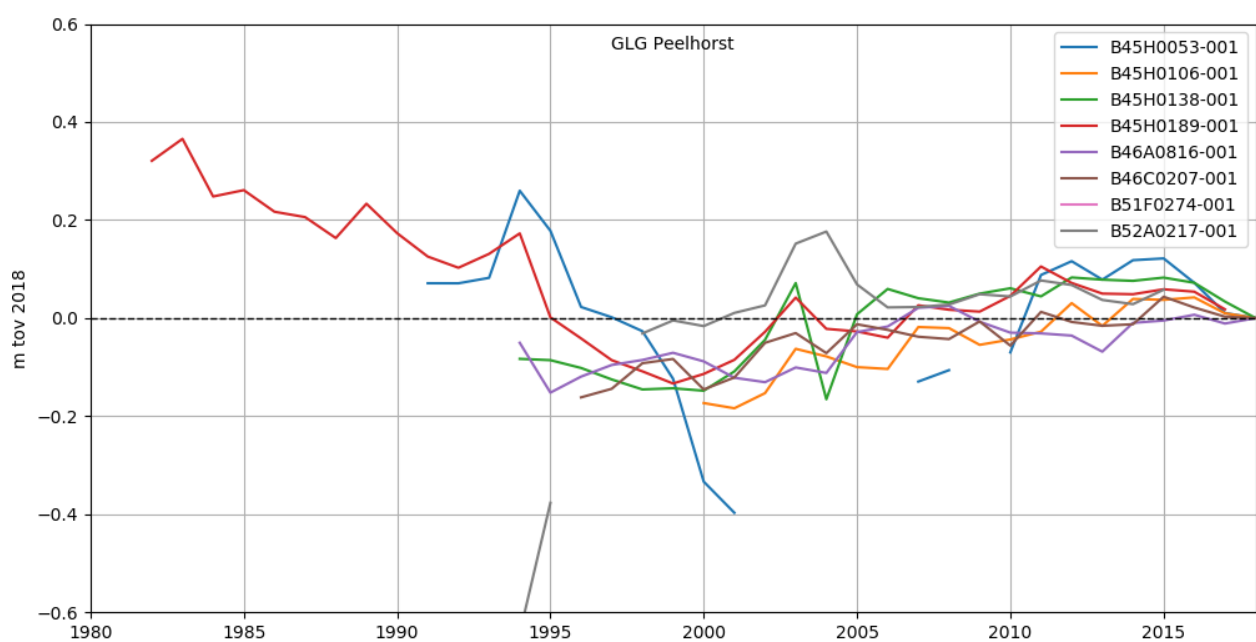
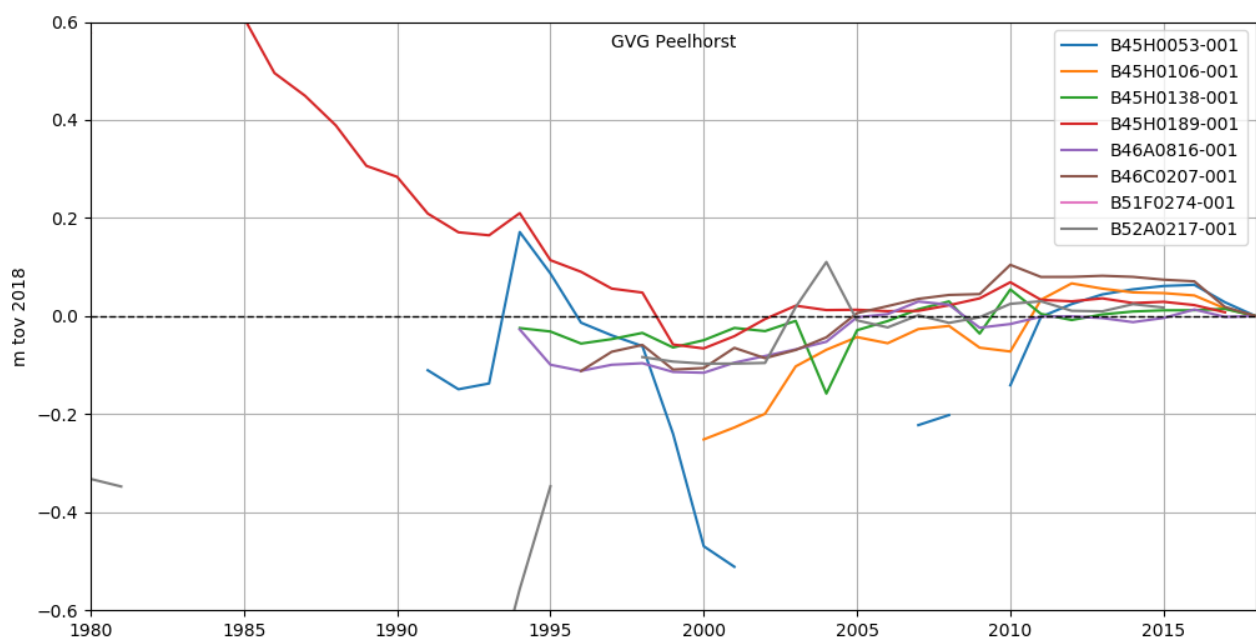
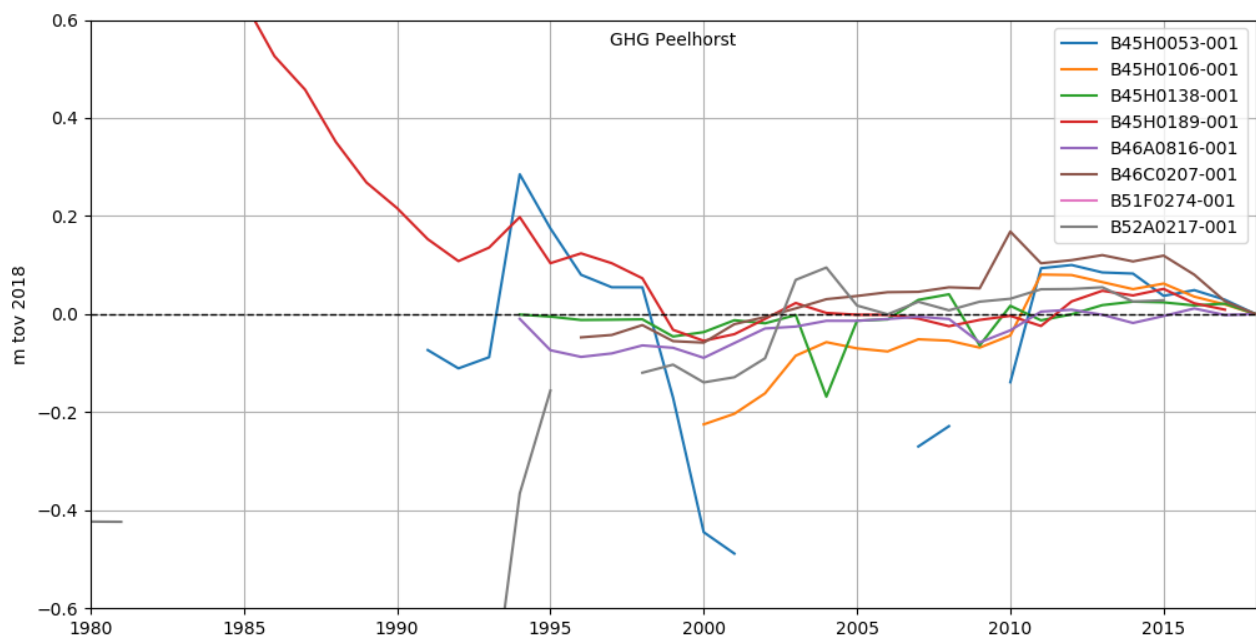
Bijlage 3 Klimaatonafhankelijke GxG reeksen

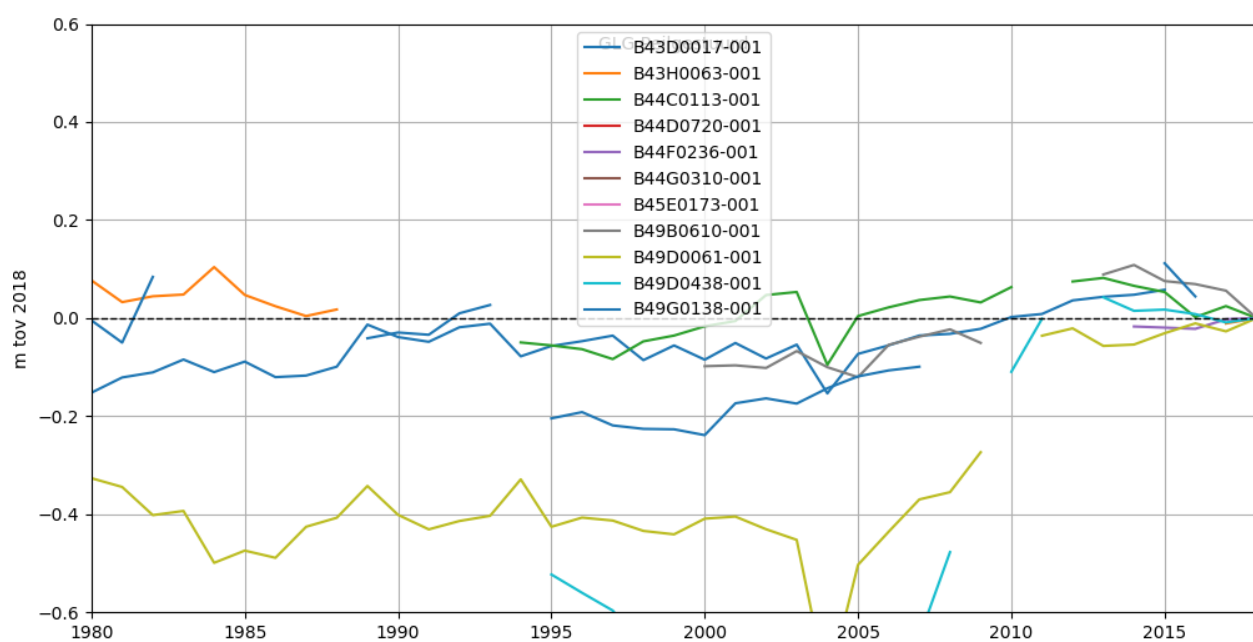
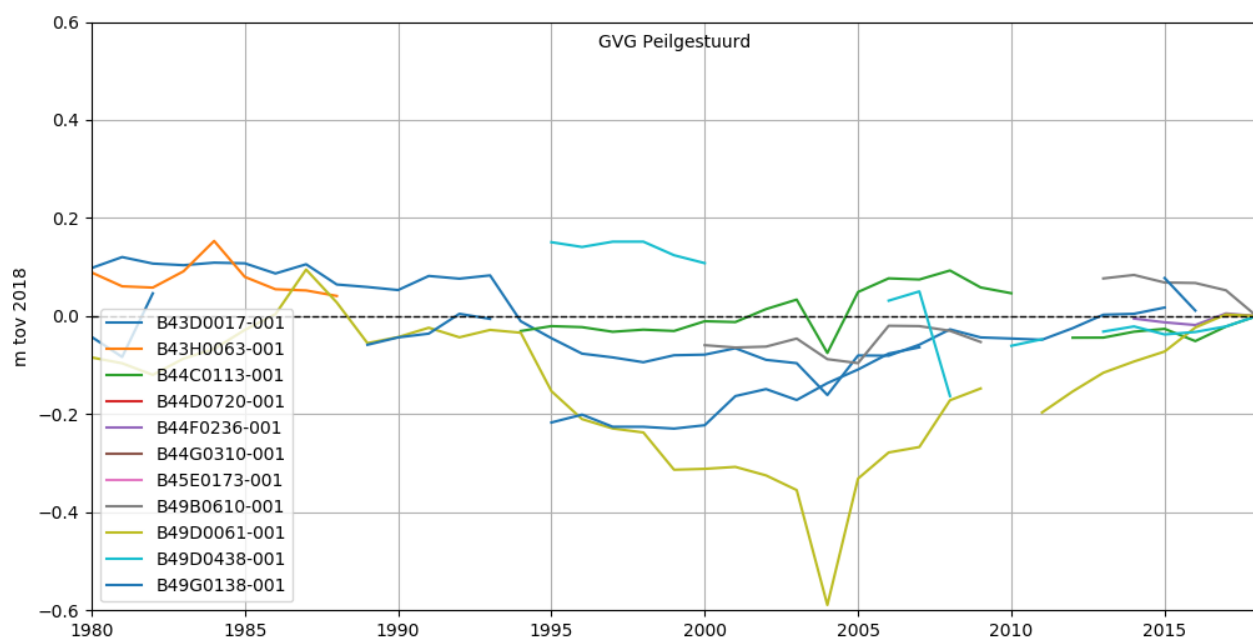
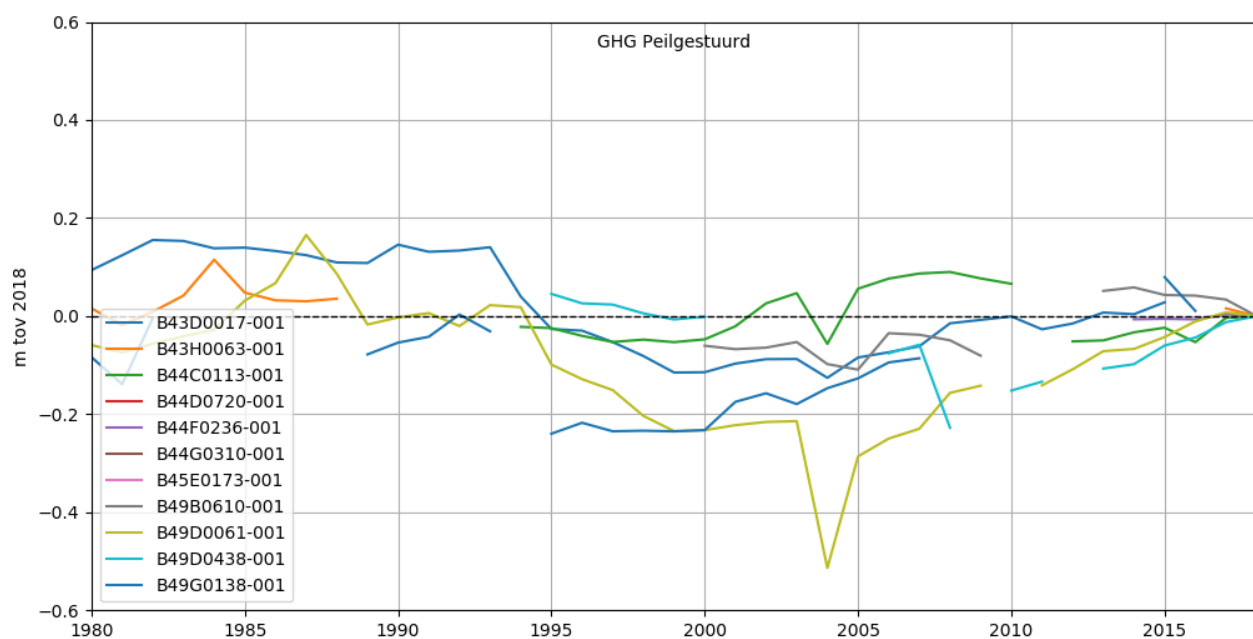
Op de volgende bladzijden is de ontwikkeling van de klimaatonafhankelijke GHG, GVG en de GLG voor elk van de reeksen in de 5 deelgebieden weergegeven, ten opzichte van de GxG in 2018.

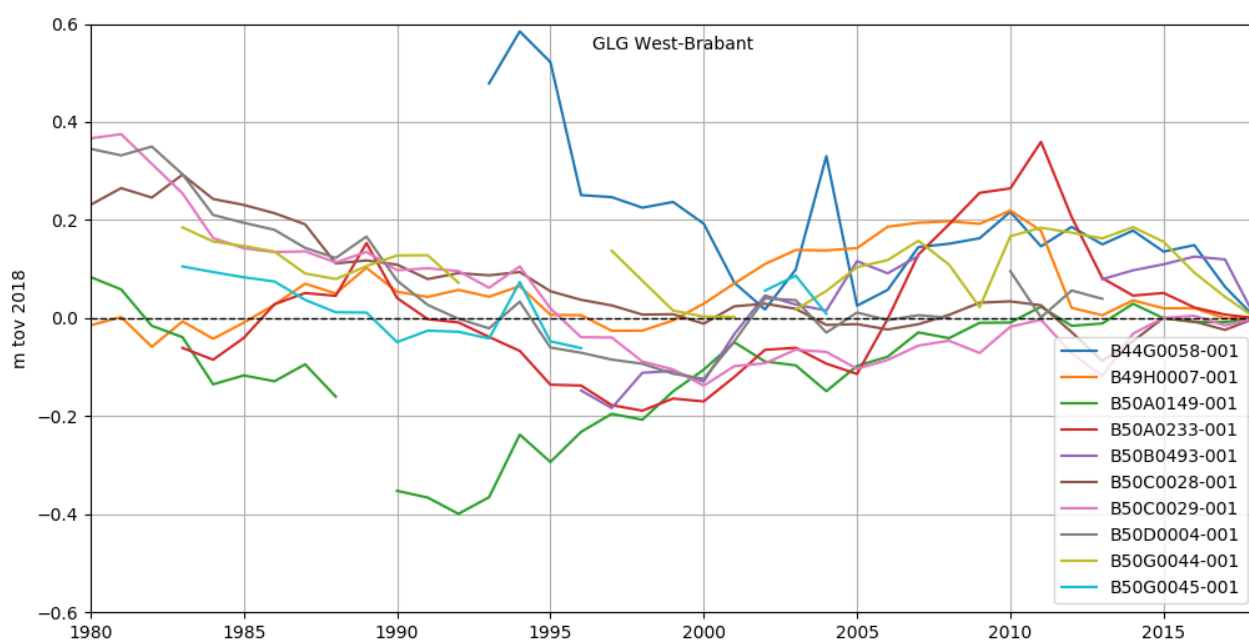
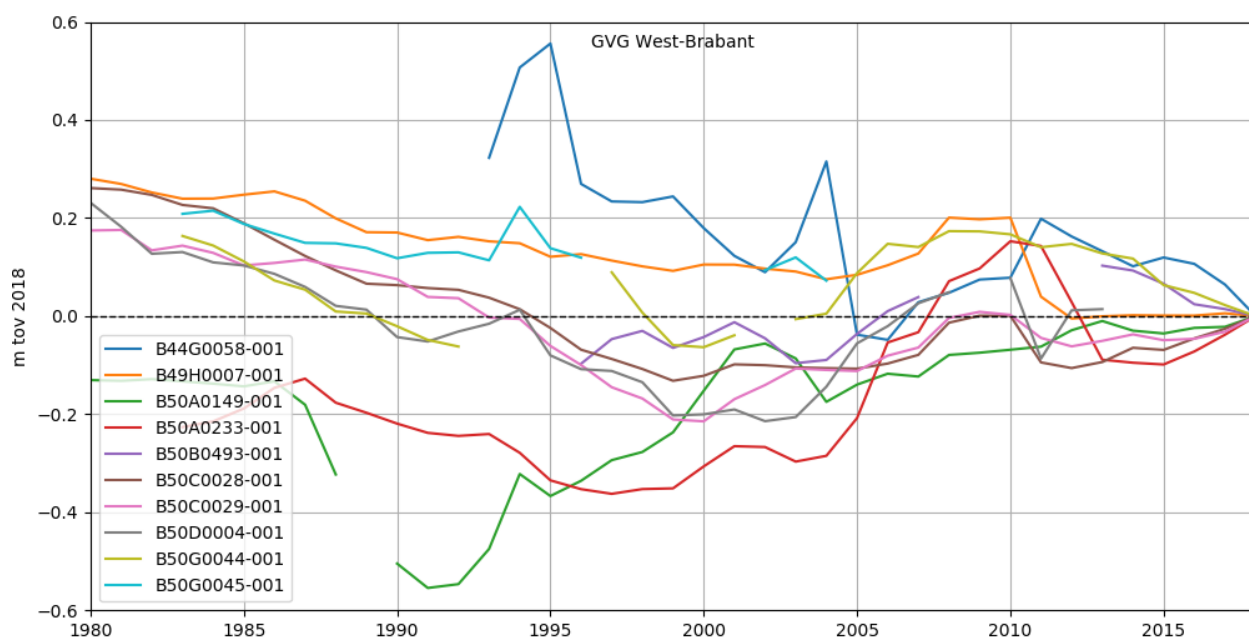
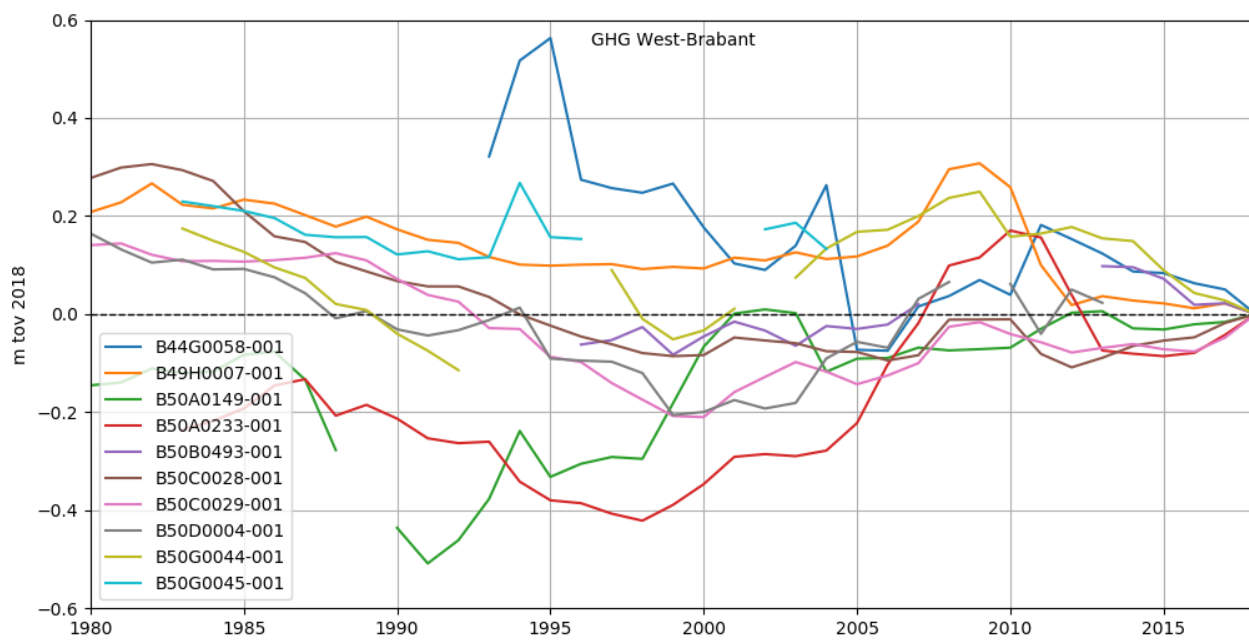
Omdat de GxG-waarden ten opzichte van 2018 zijn weergegeven, lijkt het alsof de GxG-waarden convergeren aan het eind van de periode. Dit is echter een logisch verschijnsel, waar verder geen conclusies aan verbonden moeten worden: hoe meer tijd er tussen de GxG-waarde in een bepaald jaar en de GxG-waarde in 2018 zit, hoe groter de afwijking tussen deze twee waarden is.

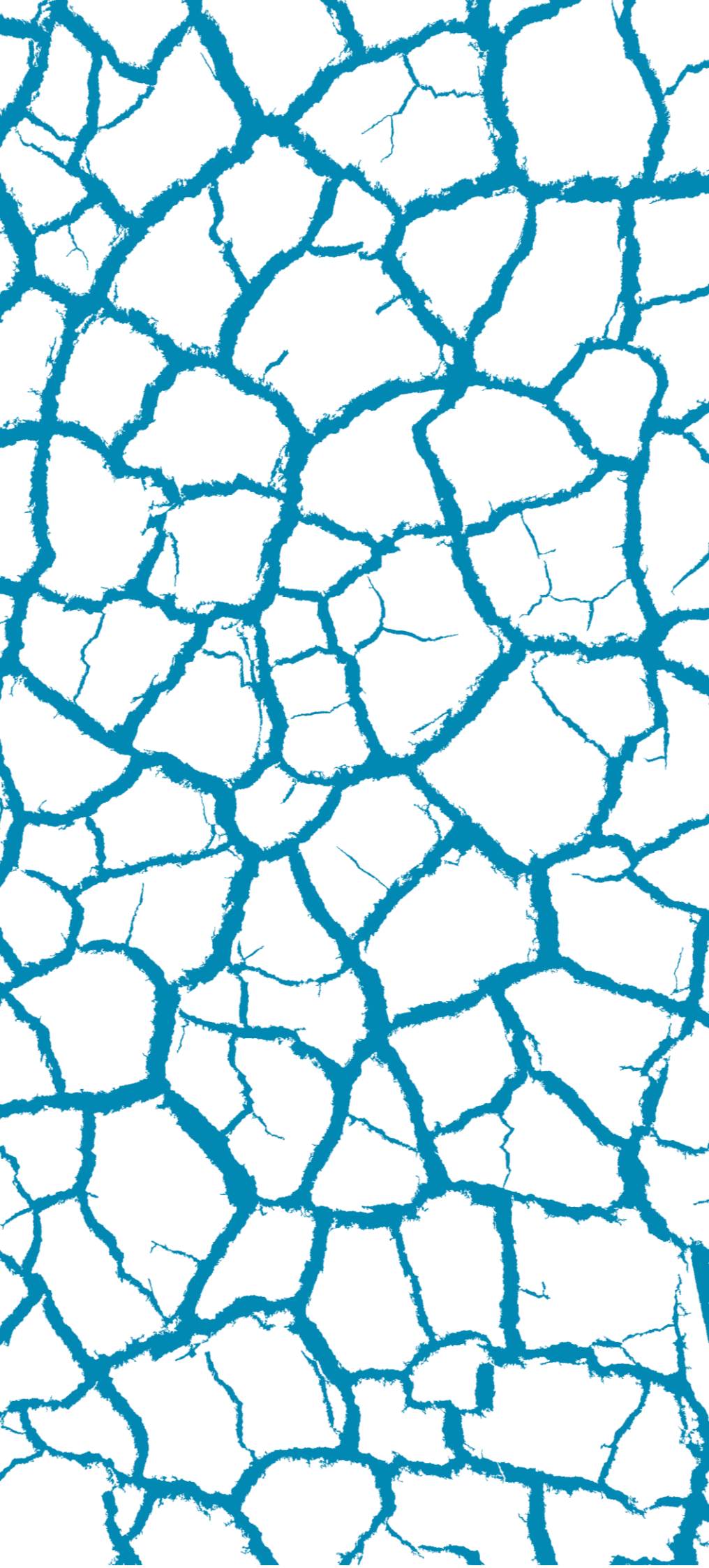












Korte Weistraat 12
2871 BP Schoonhoven
Tel: (0182) 387138
www.artesia-water.nl