

KWR 03.092

Tijdreeksanalyse grondwaterstanden 1975 - 2002

Effectiviteit van het stand-still beleid van de
Provincie Limburg

KWR 03.092

Tijdreeksanalyse grondwaterstanden 1975 - 2002

Effectiviteit van het stand-still beleid van de
Provincie Limburg

© 2004 Kiwa N.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.

Opdrachtgever
Provincie Limburg

Projectnummer
3054 85 050

ISBN

Kiwa N.V.
Water Research
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511
Fax 030 60 61 165
Internet www.kiwa.nl

Colofon

Titel

Tijdreeksanalyse grondwaterstanden 1975 - 2002

Projectnummer

3054 85 050

Projectmanager

drs. P.L.G.M. Hesen

Kwaliteitsborger

drs. P.K. Baggelaar

Auteurs

Dr.ir. C. Maas en ir. J.R. von Asmuth

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject.
Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Samenvatting

Blijkens een onderzoek van DGV-TNO zijn de grondwaterstanden in Noord en Midden Limburg in de periode 1950-1989 structureel 20 à 50 cm gedaald. In 1989 heeft de Provincie een stand-still-beleid afgekondigd, dat activiteiten ontmoedigt die de grondwaterstand nadelig zouden beïnvloeden, en activiteiten die een positief effect hebben aanmoedigt. Aan Kiwa Water Research is opdracht verleend om middels een statistische analyse te onderzoeken of het stand-still-beleid zichtbaar is in tijdreeksen van de grondwaterstand. Concreet luidde de vraagstelling:

- 1) *Is er sinds de invoering van het stand-still-beleid in 1989 sprake van een structurele verandering van de grondwaterstand?*
- 2) *Indien er inderdaad sprake is van een structurele verandering, wat zijn daarvan dan de oorzaken?*

Voor het onderzoek zijn 83 tijdreeksen geselecteerd, waarvan er uiteindelijk 56 voor het gestelde doel bruikbaar waren. Uit de analyse kan de voorzichtige conclusie getrokken worden dat in het algemeen de daling van de grondwaterstand nog steeds doorgaat. Er zijn echter ook gunstige uitzonderingen geconstateerd.

Aannemelijke oorzaken van de grondwaterstands daling zijn de winning van grondwater voor de drinkwatervoorziening, ruilverkavelingen en grindwinning. Industriële winningen zullen eveneens invloed hebben, maar de onderzochte peilbuizen lagen daar vrij ver vandaan. Deze "hoofdoorzaken" verklaren de daling niet afdoende. Er zijn dus nog andere oorzaken, die we als "achtergrondsoorzaken" classificeren. Op basis van een eerder onderzoek door Oranjewoud vermoeden we dat het gaat om beregening, drainage en veranderingen van grondgebruik. Dit zijn activiteiten die in het algemeen niet goed gedocumenteerd zijn, maar het is bekend dat ze plaatsvinden. De naam achtergrondsoorzaken mag niet tot de conclusie leiden dat ze onbelangrijk zijn. Met name van beregening uit grondwater is bekend dat het sinds 1976 een hoge vlucht genomen heeft. Het is aan te bevelen om daarnaar gericht onderzoek te doen.

Dat de drinkwaterwinning één van de oorzaken is kwam als een verrassing, omdat er een actief beleid gevoerd wordt om deze onttrekkingen terug te dringen. Het bleek echter verklaard te kunnen worden uit de traagheid van de Limburgse grondwatersystemen: het positieve effect van het terugdringen van de drinkwaterwinning zal de komende jaren geïncasseerd worden. In een aantal buizen is overigens al wel een stijging van de grondwaterstand te zien. Omdat de industriële winningen sinds 1989 eveneens zijn gereduceerd, en naar verhouding zelfs sterker, mag men ervan uitgaan dat ook het effect daarvan de komende jaren merkbaar zal worden. Om het in tijdreeksen van de grondwaterstand aan te tonen is een gerichte selectie van peilbuizen aan te bevelen.

Hoewel men veilig mag aannemen dat vernattingsmaatregelen de grondwaterstand verhogen, was dat aan de hand van de onderzochte buizen niet overtuigend aan te tonen. Ook hiervoor zou een meer gerichte selectie van peilbuizen gemaakt moeten worden.

Het is opvallend dat alle peilbuizen met een grote onverklaarde daling langs de provinciegrenzen liggen. Het ligt in de rede om de oorzaken van die dalingen minstens gedeeltelijk buiten de provincie te zoeken. (Onze analyse was beperkt tot oorzaken binnen de provincie).

Inhoud

1	Inleiding en vraagstelling	4
2	Trendanalyse	5
2.1	Menyanthes	5
2.2	Modellering met neerslag, verdamping en Maas	7
2.2.1	Verklaarde versus gemeten reeksen	7
2.2.2	Residueeksen; selectie van "goede" reeksen	9
2.2.3	Trend van de grondwaterstand sinds 1975	11
2.2.4	Vergelijking van de vijf jaren voorafgaand aan de invoering van het stand-still beleid met de meest recente vijf jaren	12
2.3	Conclusie en opmerking	19
3	Oorzakenanalyse	20
3.1	Drinkwaterwinning	20
3.2	Industriële winningen	22
3.3	Anti-verdrogingsmaatregelen	25
3.4	Andere "hoofdoorzaken"	25
3.5	Achtergrondoorzaken	28
3.6	Conclusie	28
4	Literatuur	30

Appendices

1 Inleiding en vraagstelling

In 1989 voerde de toenmalige Dienst Grondwaterverkenning TNO in opdracht van de Provincie Limburg een onderzoek uit naar het vóórkomen van verdroging (TNO, 1989). Het bleek dat sinds de jaren '50 de grondwaterstanden en - stijghoogten in het noorden en midden van de provincie structureel 20 à 50 cm waren gedaald. Een vervolgstudie door Oranjewoud wees uit dat vooral ruilverkavelingen, A2-werken, grondwateronttrekkingen, grindwinningen en de aanleg van het Lateraalkanaal (Oranjewoud, 1990) daarvan oorzaken waren.

Sinds 1 januari 1989 voert de provincie een stand-still-beleid ten aanzien van ingrepen in de (grond)waterhuishouding die verdroging kunnen veroorzaken. Het effect daarvan zou met name tot uiting moeten komen in een verandering van de grondwaterstand: die zou gemiddeld hoger moeten zijn geworden, ofwel de daling zou tot stilstand gebracht moeten zijn.

In 1995 heeft Kiwa NV daarnaar een onderzoek uitgevoerd (Kiwa, 1996). Het bleek toen moeilijk om al een uitspraak te doen, doordat toevalligerwijze de jaren voorafgaande aan de invoering van het nieuwe beleid erg nat waren, terwijl de jaren direct daarna juist heel droog uitvielen¹. Het Kiwa-rapport beval aan om het onderzoek na een aantal jaren te herhalen, als er voldoende jaren gepasseerd zouden zijn met weersomstandigheden die vergelijkbaar zijn met de periode vóór 1989. Inmiddels is dat het geval.

In februari 2003 verleende de provincie Kiwa (tegenwoordig Kiwa Water Research geheten) een vervolgopdracht. De vraagstelling luidde:

- 1) *Is er sinds de invoering van het stand-still-beleid in 1989 sprake van een structurele verandering van de grondwaterstand?*
- 2) *Indien er inderdaad sprake is van een structurele verandering, wat zijn daarvan dan de oorzaken?*

¹ Zie figuur 8.

2 Trendanalyse

2.1 Menyanthes

Het onderzoek is uitgevoerd middels een transfer-ruis-analyse van 83 meetreeksen van vooral ondiepe peilbuizen die door de opdrachtgever uit het DINO ²-archief van TNO zijn geselecteerd. Toegepast op grondwater legt een transfer-ruisanalyse het statistische verband bloot tussen de beweging van de grondwaterspiegel of -stijghoogte ³, en de oorzaken van die beweging. De verbanden worden uitgedrukt in de vorm van zogenaamde transfer-functies. Hoewel transferfuncties de kern van de analyse uitmaken, vormen ze in dit onderzoek slechts tussenresultaten, die we niet expliciet zullen presenteren. Hetzelfde geldt voor het begrip ruis. Ruis is instrumenteel bij het berekenen van betrouwbaarheid van de uitkomsten, maar op zichzelf beschouwd voor dit rapport geen interessant presentatiemateriaal.

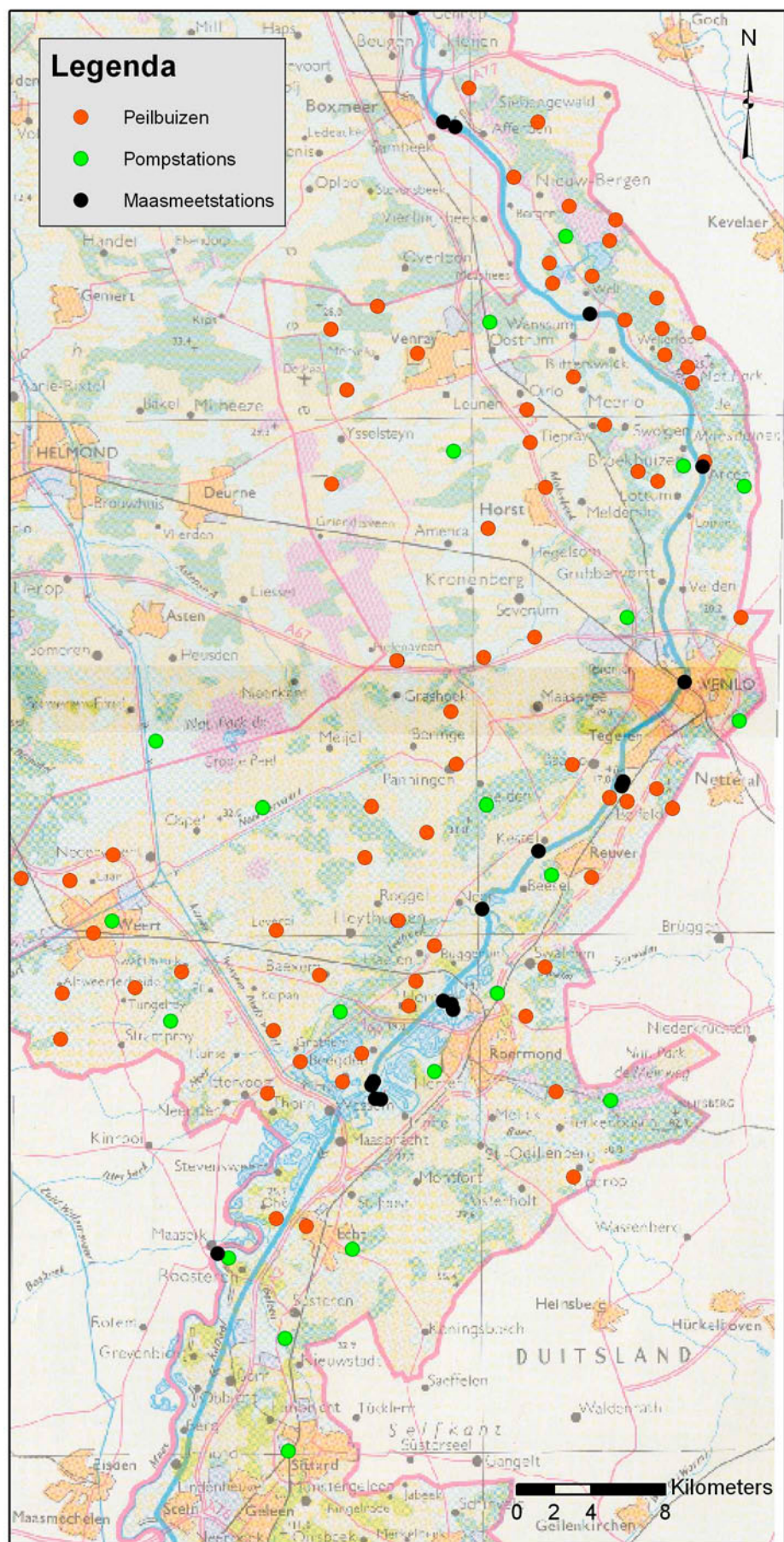
Kiwa heeft de analyse uitgevoerd met Menyanthes ⁴, een computerprogramma dat in het kader van een promotie-onderzoek ontwikkeld is door ir. J.R. von Asmuth. Gangbare programma's voor transfer-ruismodellering bepalen de verbanden tussen de beweging van de grondwaterspiegel en de daarvoor verantwoordelijke oorzaken slechts op van te voren vastgestelde discrete tijdstippen, die in de tijd op gelijke afstanden van elkaar moeten liggen. Menyanthes onderscheidt zich daarvan door de tijd als een continuüm te beschouwen (Von Asmuth e.a., 2002). Theoretisch is er geen verschil met de conventionele transfer-ruis-analyse, en de resultaten zijn dan ook gelijkwaardig, maar de keuze voor een continue beschrijving blijkt heel veel praktische voordelen te bieden. Het meest opvallende voordeel is wel dat tijdreeksanalyse nu niet meer voorbehouden is aan specialisten, maar binnen het bereik ligt van eenieder die in zijn werk met grondwaterstanden te maken heeft. Een ander voordeel, dat voor dit project van pas kwam, is dat de analyse volledig geautomatiseerd verloopt, zodat grote aantallen buizen in batch verwerkt kunnen worden ⁵.

² DINO staat voor Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond.

³ In de literatuur wordt onderscheid gemaakt tussen grondwaterstand, grondwaterspiegel en grondwaterstijghoogte. In dit rapport spreken we meestal van grondwaterstand, ook als het strikt genomen om de -spiegel of de -stijghoogte gaat.

⁴ Menyanthes trifoliata of waterdrieblad staat symbolisch voor het doel van het promotieonderzoek: het leggen van een relatie tussen de dynamiek van de grondwaterspiegel en het voorkomen van vochtminnende planten.

⁵ In dit licht bezien is 83 (reeksen) een klein aantal. Momenteel doet Kiwa in samenwerking met waterschap Groot-Salland een pilot-onderzoek waarbij meer dan 1000 buizen ineens geanalyseerd worden.



Figuur 1: Rode stippen geven de ligging aan van de geanalyseerde peilbuizen; winningen van de WML zijn groen en meetstations in de Maas zijn zwart.

2.2 Modelleren met neerslag, verdamping en Maas

2.2.1 Verklaarde versus gemeten reeksen

Figuur 1 geeft met rode stippen de ligging van de geanalyseerde peilbuizen aan. Wie goed telt komt niet op 83 stippen uit, maar op 73. Dit komt doordat van tien peilbuizen de reeksen van meerdere filters geanalyseerd zijn; de bijbehorende stippen bedekken elkaar. De groene stippen geven de ligging aan van de grondwaterpompstations van Waterleidingmaatschappij Limburg. Tenslotte geven de zware stippen punten aan waar het peil van de Maas gemeten wordt.

Om een tijdreeksanalyse uit te kunnen voeren moet van de zaken die invloed hebben op het verloop van de grondwaterstand het gedrag in de tijd bekend zijn. De belangrijkste oorzaken van de beweging van de grondwaterspiegel zijn doorgaans de neerslag en de verdamping; deze twee zijn althans altijd in het spel. Voor de buizen in Noord Limburg hebben we neerslagcijfers gebruikt van de meteostations Venray en Venlo; voor Midden Limburg van de stations Venlo en Weert. De verdamping is betrokken van Eindhoven en Maastricht. In Limburg heeft ook de Maas invloed op de grondwaterstand in peilbuizen die minder dan enkele kilometers van de rivier af staan. Het verloop van het Maaspeil in een groot aantal meetstations is aangeleverd door Rijkswaterstaat. Verder staan grondwaterwinningen bekend als ingrepen die invloed hebben op de grondwaterstand of - stijghoogte. Voor zover het gaat om drinkwaterwinningen zijn de productiecijfers daarvan aangeleverd door de Waterleidingmaatschappij Limburg.

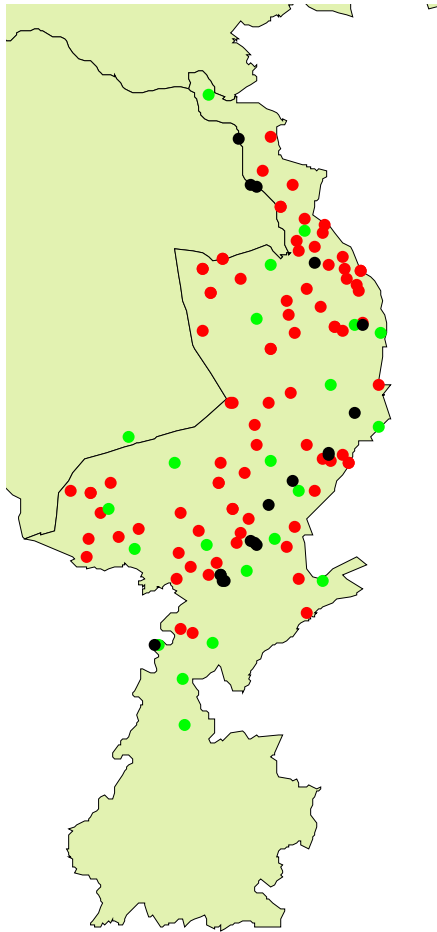
Er zijn nog talrijke andere oorzaken te bedenken, zoals industriële en agrarische winningen, peilbeheersing van waterlopen, bronbemalingen, etc. In Limburg speelt ook het graven van grindgaten een rol. Tenslotte kunnen ook sluipende zaken als verstedelijking of verandering van grondgebruik doorwerken in de grondwaterstand.

Hoe het ook zij, we hebben in eerste instantie gepoogd om de beweging van de grondwaterspiegel te verklaren uit de neerslag, de verdamping en de Maas, die we als "natuurlijke" oorzaken beschouwen. Hoe goed dat lukt is per peilbuis visueel af te leiden uit een grafiek die zowel het gemeten als het verklaarde verloop van de grondwaterstand weergeeft.

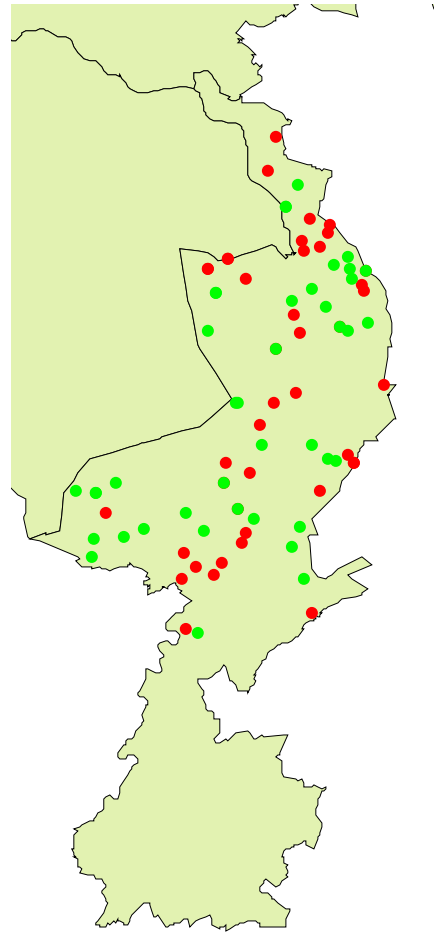
Figuur 2 ⁶ geeft als voorbeeld het resultaat voor peilbuis 52EP0036_1. (De kruisjes zijn de meetwaarden). Voor batch-verwerking is zo'n visuele inspectie overigens niet toereikend; het is nodig om een objectieve maat te hebben die uitdrukt hoe goed de verklaring gelukt is. Het getal dat wij gebruikt hebben is het *percentage verklaarde variantie*. We laten de definitie achterwege, maar het komt erop neer dat reeksen bevredigend verklaard zijn als dit percentage boven de 80 uit komt. (Het hier gegeven voorbeeld haalde een percentage van 91, wat goed genoemd kan worden). In totaal bleken 42

⁶ Om layout-technische redenen verschijnt figuur 2 in dit rapport pas na figuur 3.

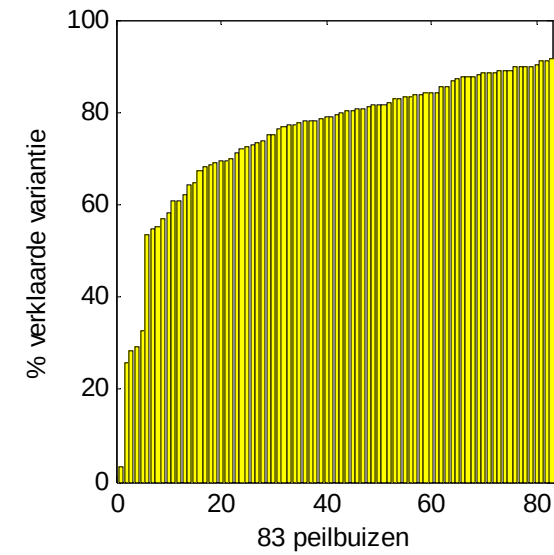
Geanalyseerde peilbuizen (rood)
pompstations (groen) en meetstations in de Maas (zwart)



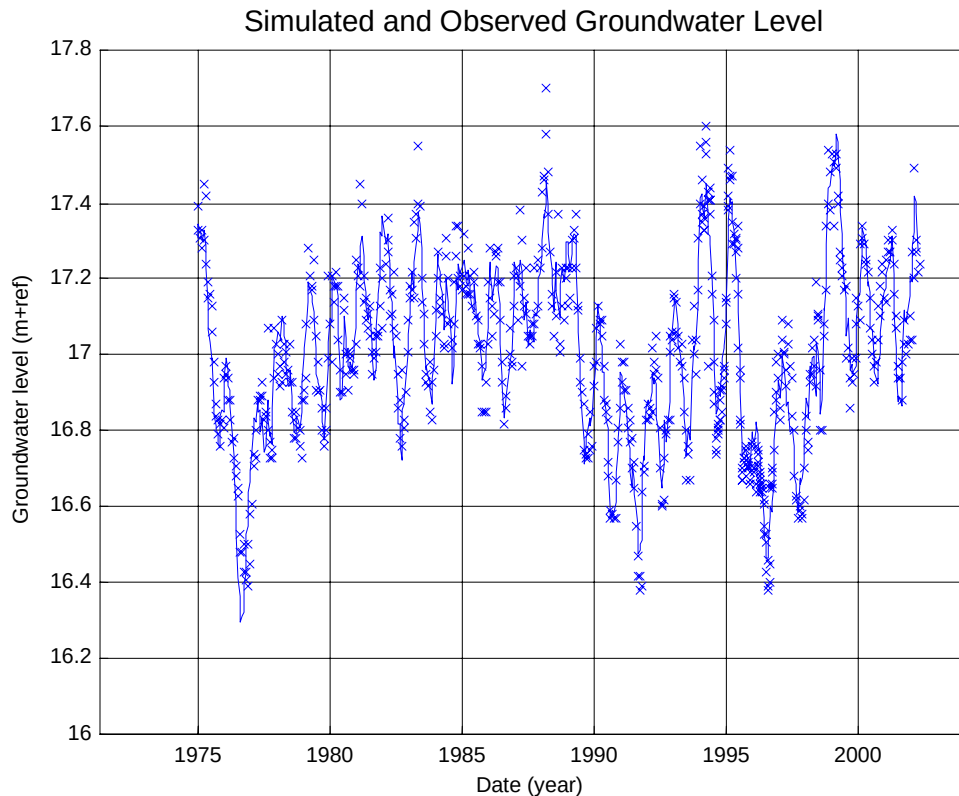
Percentage verklaarde variantie
rood: < 80% , groen: > 80%



Percentage verklaarde variantie



Figuur 3: (a) Ligging van de peilbuizen, pompstations en meetstations in de Maas, (b) peilbuizen met een verklaarde variantie van meer resp. minder dan 80 %
(c) verdeling van de verklaarde variantie over de peilbuizen.



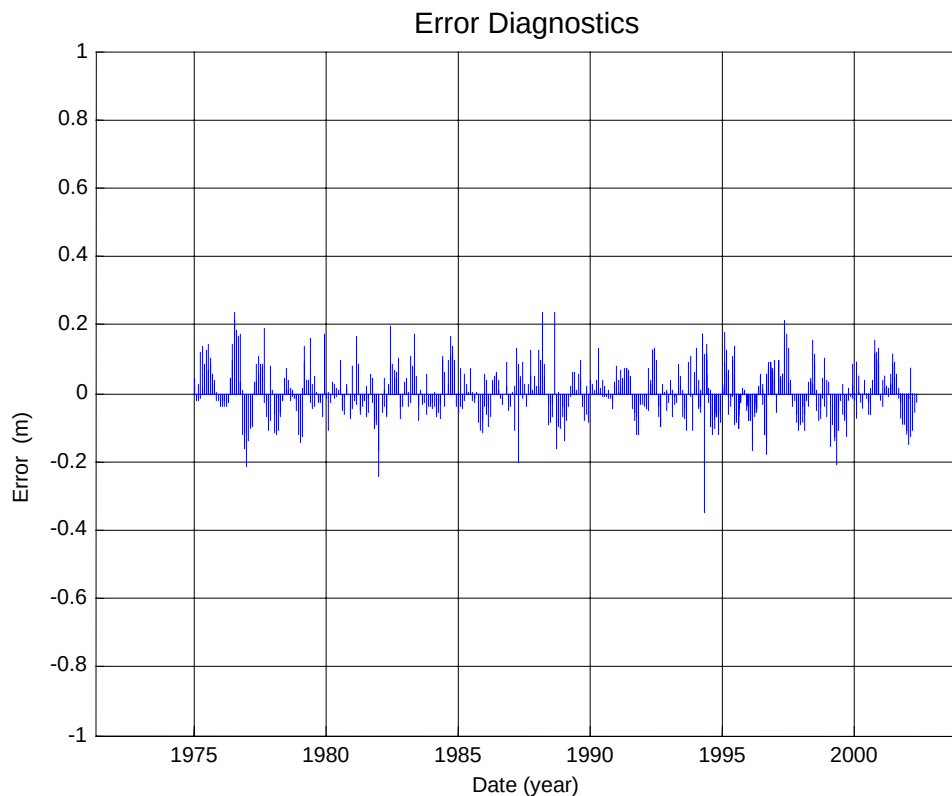
Figuur 2: Gemeten (kruisjes) vs verklaard grondwaterstandsverloop voor peilbuis 52EP0036_1

van de 83 reeksen een verklaarde variantie van meer dan 80% op te leveren (figuren 3b en 3c). (Overigens hebben we het percentage verklaarde variantie in dit onderzoek niet gebruikt als criterium om buizen te verwerpen. Het is immers goed mogelijk dat bij de oorzakenanalyse de verklaarde variantie van in eerste instantie minder goed gelukte tijdreeksmodellen alsnog boven de 80 % uitkomt).

Iedere peilbuis is gemodelleerd met gegevens van de dichtstbijliggende meteostations. Voor elke peilbuis is aanvankelijk ook het dichtstbijzijnde meetstation in de Maas meegenomen, maar als dat niet meer dan 1% bijdroeg aan de verklaarde variantie is alsnog zonder Maas gemodelleerd.

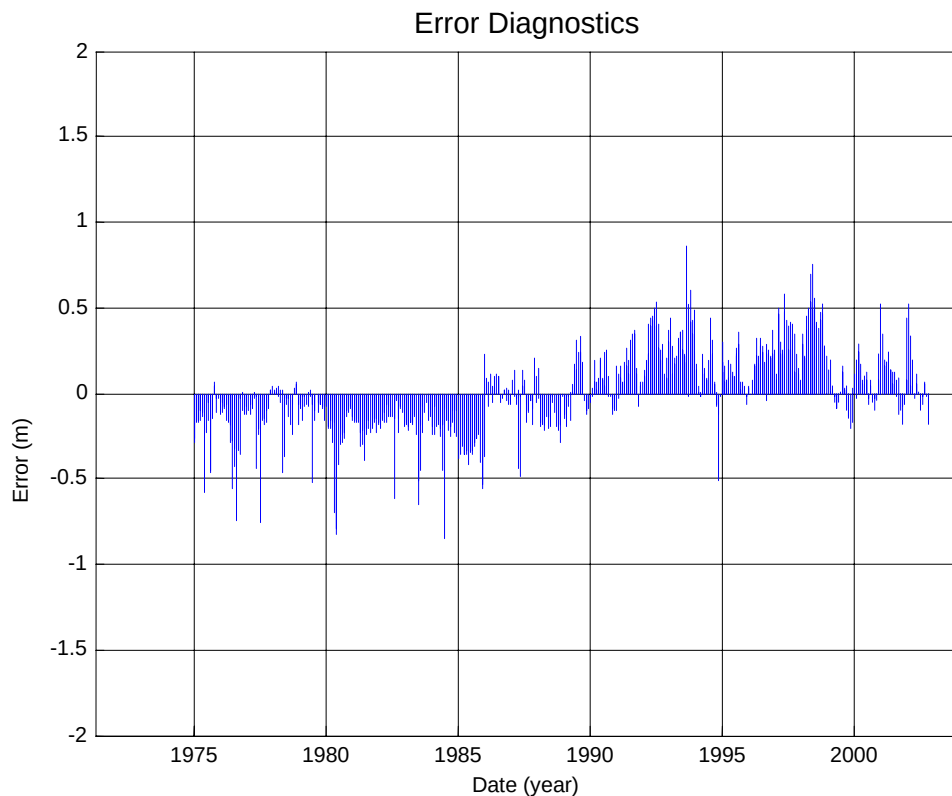
2.2.2 Residueeksen; selectie van "goede" reeksen

De afwijkingen tussen gemeten en verklaarde reeks vormen zelf ook een reeks, die *residueeks* genoemd wordt. Figuur 4 geeft de residueeks van peilbuis 52EP0036_1, die eerder in figuur 2 aan bod kwam. Als een modellering goed gelukt is vormen de residuen een min of meer willekeurige opeenvolging van staafjes. Dit zijn de afwijkingen tussen model en werkelijkheid, die te wijten zijn aan kleine invloeden die niet meegenomen



Figuur 4: Residueeks van peilbuis 52EP0036_1

zijn in de analyse, of aan het feit dat het model niet helemaal in staat is om de werkelijkheid te simuleren. In zo'n reeks is meestal wel enige structuur te ontdekken, in die zin dat naburige staafjes vaak hetzelfde teken hebben. Dat komt doordat niet meegenomen invloeden enige nawerkingstijd hebben, net zoals dat het geval is met de invloeden die wel meegenomen zijn. Als er een echt belangrijke invloed over het hoofd gezien is, dan wijkt de gemeten reeks *systematisch* af van de verklaarde reeks. Meestal blijkt dat beter uit de residueeks dan uit een directe vergelijking van de meetreeks en de verklaarde reeks. Figuur 5 geeft een voorbeeld. In dit geval is er waarschijnlijk omstreeks 1986 iets gebeurd dat niet aan neerslag, verdamping, Maas en/of drinkwaterwinning alleen toegeschreven kan worden. Het zou bijvoorbeeld kunnen zijn dat er een industriële winning plotseling beëindigd is, of misschien is de buis om één of andere reden verplaatst, zonder dat dat aan de archiverende instantie is gemeld. In totaal bleken 27 van de 83 geanalyseerde reeksen (dat is ongeveer eenderde) een dergelijk gedrag te vertonen. Aan het begin van dit project hadden we het voornemen om de gemiste oorzaken op te sporen, om ze alsnog mee te nemen in de analyse. Dat bleek in het gros van de gevallen niet eenvoudig: als de oorzaak al aan te geven was, was meestal het verloop daarvan in de tijd niet goed gedocumenteerd. Het lukt dan niet om de reeks goed te modelleren, en aan de resulterende residueeks zijn dan geen steekhoudende conclusies te verbinden over de effectiviteit van het stand-still-beleid. We hebben daarom in overleg met de opdrachtgever besloten om deze 27 buizen buiten de



Figuur 5: Residueeks van peilbuis 52HP0009_1

analyse te houden. Het onderzoek is dus voortgezet met 56 peilbuizen, wat voor het beoogde doel nog steeds een respectabel aantal is. (Het eerder genoemde verdrogingsonderzoek van DGV-TNO, dat niet alleen Noord- en Midden- maar ook Zuid-Limburg omvatte, maakte gebruik van 87 buizen). Deze "goede" buizen zijn geschikt om geleidelijke veranderingen van de grondwaterstand te detecteren, en dat zijn de veranderingen die interessant zijn om vast te stellen of het stand-still-beleid werkt.

De meetreeksen, de verklaarde reeksen en de residueeksen van alle 56 goede peilbuizen zijn in Appendix I afgebeeld. Overigens zijn dat de uitkomsten van analyses waarbij ook rekening gehouden is met de pompstations voor de drinkwaterwinning, die pas in paragraaf 3.1 aan bod komen.

2.2.3 Trend van de grondwaterstand sinds 1975

Een eerste interessante vraag is of de gemeten grondwaterstanden in de loop der tijd gestegen of gedaald zijn. Door de grote fluctuaties van seizoen tot seizoen is het lastig om daar "op het oog" iets over te zeggen. Om toch een uitspraak te doen moet het verloop van de grondwaterstand vereenvoudigd weergegeven worden. Een gebruikelijke manier is om naar de *lineaire trend* te kijken. We hebben door de grondwaterstandsreeks van elke peilbuis een rechte regressielijn getrokken, en het hoogteverschil tussen het laatste punt en

het eerste punt van die lijn bepaald. Die hoogteverschillen zijn in figuur 6a afgebeeld en aangeduid als "trendmatige daling van de grondwaterstand sinds 1975". Aan deze bewerking is dus nog geen tijdreeksanalyse te pas gekomen; hij is uitgevoerd op de gemeten grondwaterstanden. Het blijkt dat - gemiddeld over de overgebleven 56 peilbuizen⁷ - de grondwaterstanden trendmatig 4 cm gestegen is. Gelet op de grote spreiding van ca - 0.5 tot ca +0,5 m kan men gevoeglijk stellen dat er gemiddeld nauwelijks een stijging heeft plaatsgevonden⁸.

Deze beschouwing is natuurlijk ontoereikend om een antwoord te kunnen geven op de vraag of het stand-still-beleid effectief geweest is. De grondwaterstanden variëren immers van nature, niet alleen van seizoen tot seizoen, maar ook van jaar tot jaar. Er bestaan nattere jaren en drogere jaren. Als men een nat jaar vergelijkt met een droog jaar, dan is er vanzelfsprekend een stijging van de grondwaterstand waar te nemen, zelfs als er helemaal geen beleid gevoerd zou zijn. Er wordt een beter beeld gekregen door de invloed van neerslag en verdamping uit de grondwaterstandsreeksen te filteren. Voor een vergelijking van verschillende jaren maakt het dan niet meer uit of die jaren verschilden in droogtegraad. Als er dan toch nog verschillen in grondwaterstand te zien zijn, zijn ze aan ander ezaken toe toeschrijven, zoals grondwaterwinning, ruilverkaveling of natuurherstel. Het uifilteren van de invloed van neerslag en verdamping kan gebeuren door middel van transfer-ruis-analyse. Daaruit volgt immers precies welke invloed de neerslag en de verdamping op de grondwaterstand hebben. (Figuur 7 geeft daarvan een voorbeeld). Als we dat doen ⁹ komen we uit op het resultaat van figuur 6b. *Nu blijkt dat er gemiddeld juist een daling is opgetreden, van 17 cm. De geringe stijging van de gemeten grondwaterstand (figuur 6a) was dus toe te schrijven aan het weer* ¹⁰.

2.2.4 Vergelijking van de vijf jaren voorafgaand aan de invoering van het stand-still beleid met de meest recente vijf jaren

Door naar de uitersten van de regressielijnen te kijken worden de dalingen en stijgingen meestal overschat; soms zelfs fors. Een methode die daarvoor minder gevoelig is, is het vergelijken van de gemiddelde grondwaterstanden over twee verschillende, ongeveer even lange perioden. Het best kan men daarvoor perioden kiezen met een vergelijkbaar neerslagoverschot, omdat niet uitgesloten kan worden dat de reactie van grondwatersystemen op regen en verdamping enigszins afhangt van de hoogte van de grondwaterspiegel. Figuur 8 geeft het verloop van het vijfjarig-gemiddelde neerslagoverschot

⁷ In figuur 6 zijn maar 48 peilbuizen te zien, doordat er 8 peilbuizen zijn met twee geanalyseerde filters.

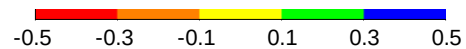
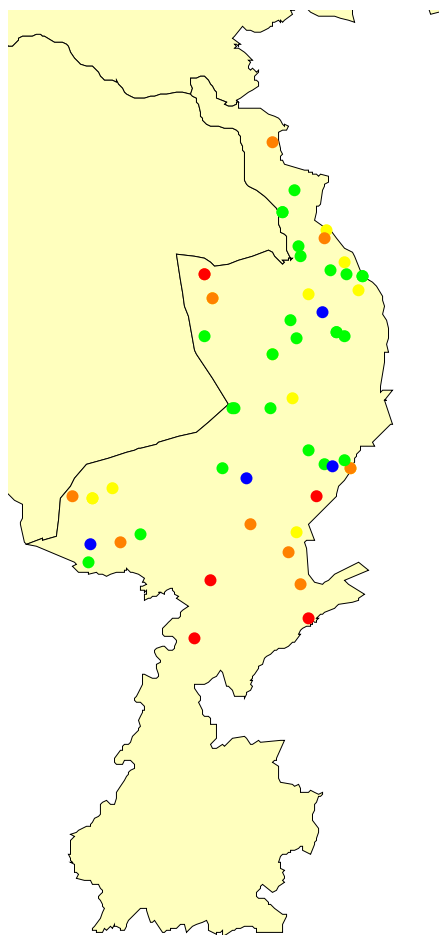
⁸ Het is niet zondermeer te zeggen of de geselecteerde peilbuizen ruimtelijk voldoende representatief zijn om deze conclusie op geheel Noord- en Midden-Limburg te mogen betrekken.

⁹ In dit geval is de lineaire trend niet achteraf bepaald, maar meegenomen tijdens het modelleren.

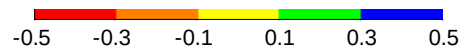
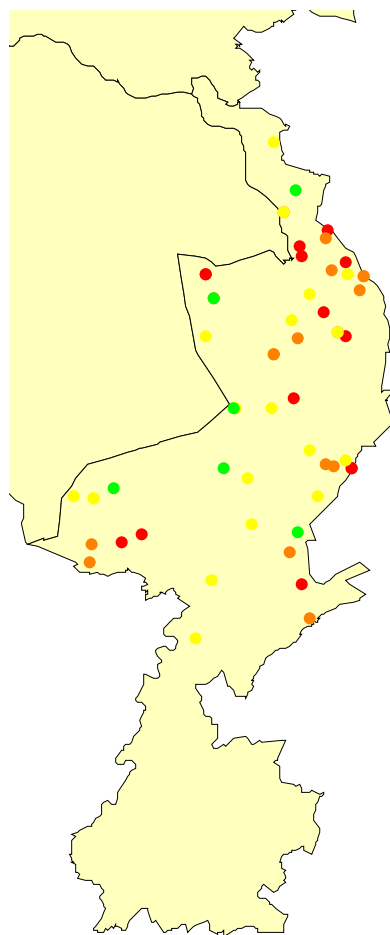
¹⁰ Zie vorige voetnoot.

zoals dat is samengesteld uit de neerslagreeks van Weert en de verdampingsreeks van Eindhoven. (Over de provincie varieert dit beeld niet wezenlijk). We hebben ervoor gekozen om de vijf jaar voorafgaande aan het stand-still-beleid te vergelijken met de meest recente vijf jaar. De eerste periode loopt dus van 1985 tot 1990 (want we gaan ervan uit dat het beleid pas in de loop van 1989 effectief begon te worden) en de tweede van 1998 tot heden. Zoals uit figuur 8 blijkt was het vijfjarig-gemiddelde neerslagoverschot over deze perioden redelijk vergelijkbaar.

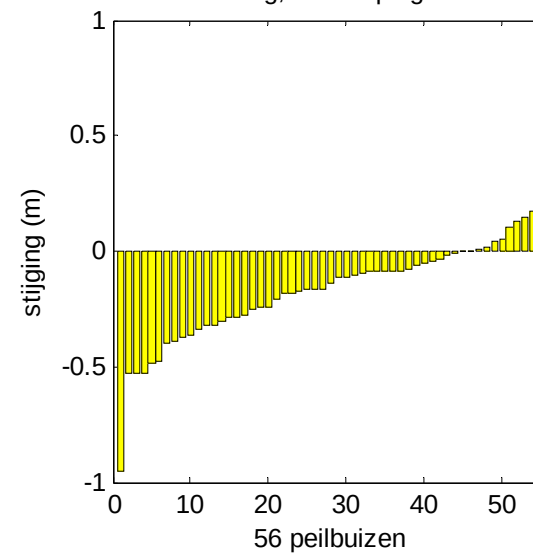
a. Trendmatige stijging van de gemeten grondwaterstand sinds 1975 (gemiddeld 0,04 m)



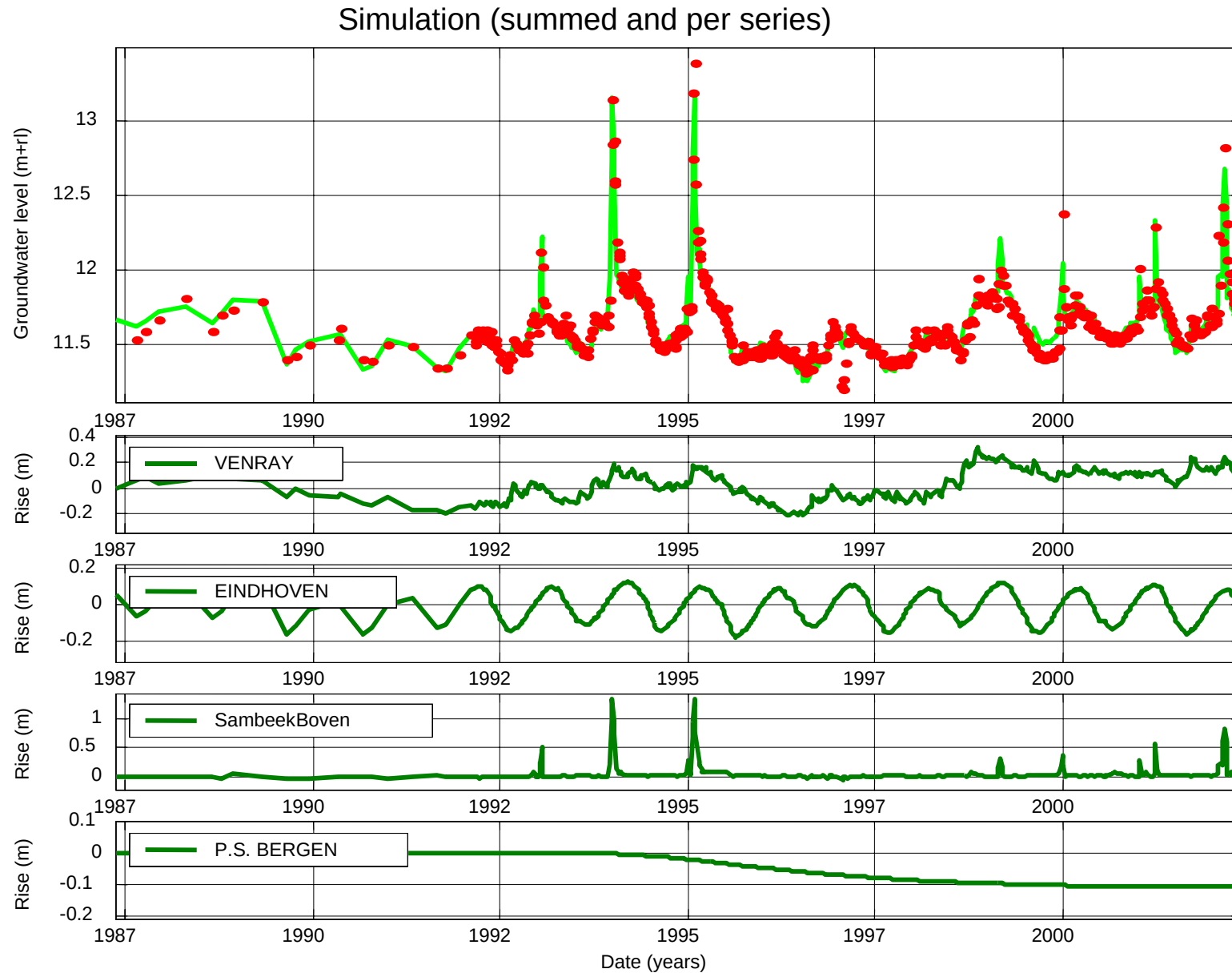
b. Trendmatige stijging na correctie voor neerslag, verdamping en Maas (gemiddeld - 0,17 m)



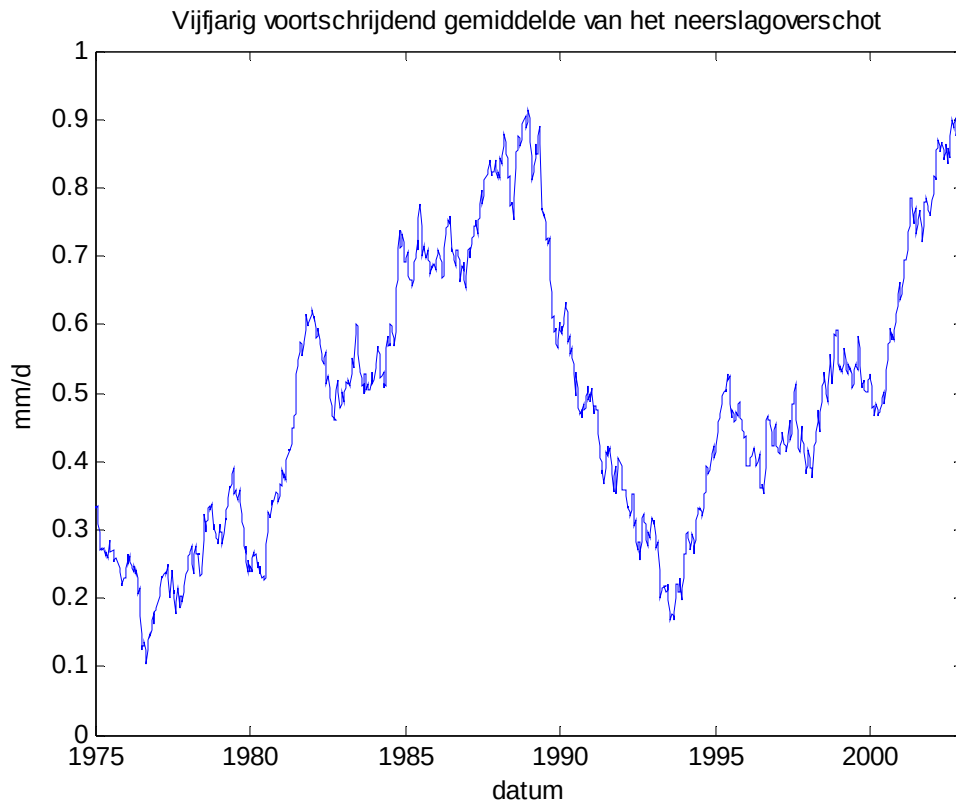
c. Trendmatige stijging na correctie voor neerslag, verdamping en Maas



Figuur 6: Lineaire trend in 56 peilbuizen, (a) in de gemeten grondwaterstanden en (b) in de grondwaterstanden na correctie voor neerslag en verdamping.



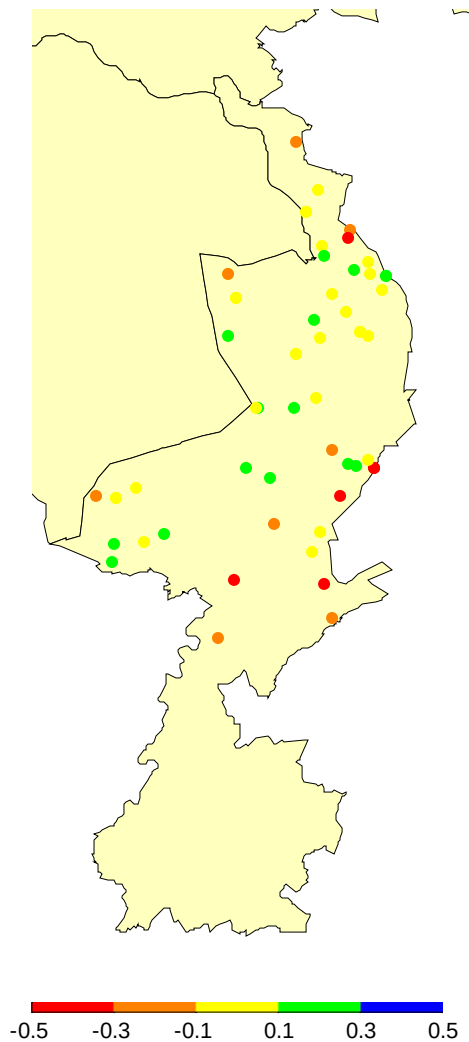
Figuur 7: Door middel van tijdreeksanalyse wordt een grondwaterstandsreeks ontbonden in de bijdragen van verschillende oorzaken. Dit voorbeeld heeft betrekking op peilbuis 46DP0032_1. De onderscheiden oorzaken zijn neerslag, verdamping, Maas en grondwaterwinning. Daarmee is het grondwaterstandsverloop niet volledig verklaard: er zijn nog andere oorzaken, die we (nog) niet kennen.



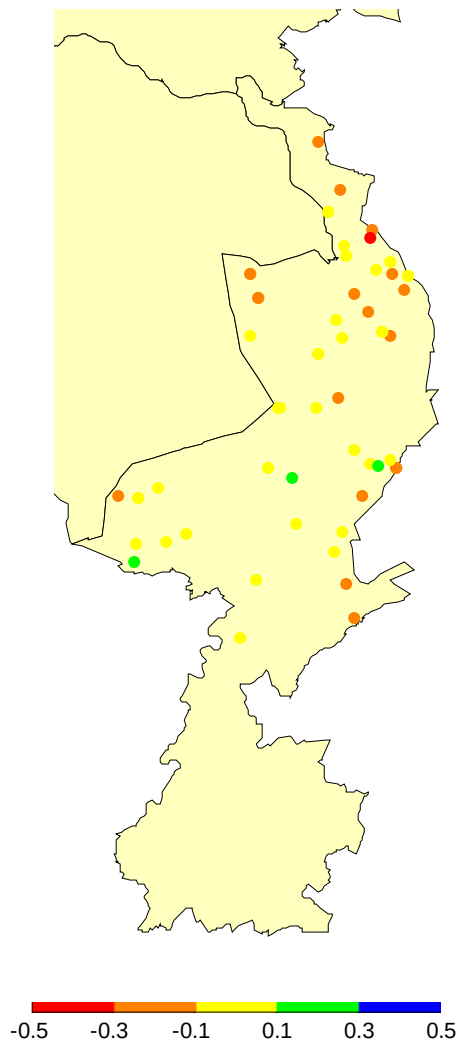
Figuur 8: Vijfjarig voortschrijdend gemiddelde van het neerslagoverschot, gebaseerd op de neerslagreeks van Weert en de verdampingsreeks van Eindhoven. De waarde die de grafiek bij een bepaalde datum aangeeft is de gemiddelde waarde van het neerslagoverschot over de voorafgaande vijf jaren. Uit deze grafiek blijkt dat het neerslagoverschot in de vijf jaren voorafgaand aan 1990 redelijk overeenkomt met het neerslagoverschot in de afgelopen vijf jaar. Er blijkt ook goed uit dat de vijf jaren voorafgaande aan de invoering van het stand-still-beleid veel natter waren dan de vijf jaren daarna.

Het resultaat van deze analyse is afgebeeld in figuur 9. Figuur 9a is weer gebaseerd op de gemeten grondwaterstanden; figuur 9b op de grondwaterstanden na correctie voor neerslag, verdamping en Maas. De gemeten grondwaterstanden blijken gemiddeld 2 cm gedaald te zijn en de gecorrigeerde grondwaterstanden gemiddeld 7 cm. *Het eerste getal bevestigt dat de gekozen vijfaarsperioden gemiddeld genomen inderdaad hydrologisch*

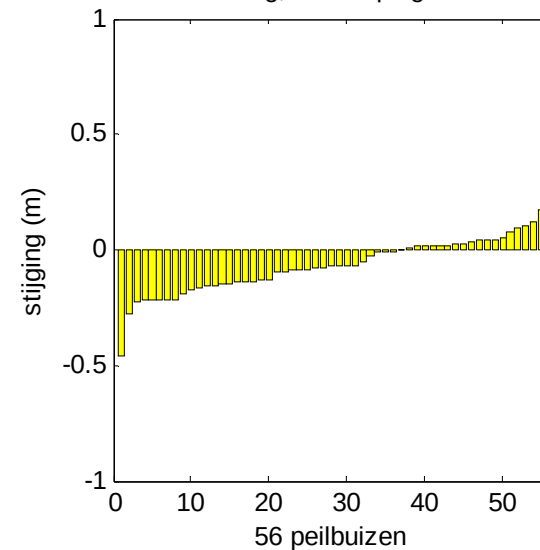
a. Gemiddelde gws 1998-heden minus
gemiddelde gws 1985-1989 (gem. = - 0,02 m)



b. Idem, na correctie voor neerslag,
verdamping en Maas (gem = - 0,07 m)



c. Idem, na correctie
voor neerslag, verdamping en Maas



Figuur 9: Gemiddelde grondwaterstand in de periode 1998 - heden vergeleken met die in periode 1985 - 1990
(a) op basis van de gemeten grondwaterstanden en (b) op basis van de grondwaterstanden na correctie voor neerslag en verdamping

vergelijkbaar zijn. Het tweede getal is het getal op grond waarvan de effectiviteit van het stand-still-beleid getoetst moet worden.

Tabel 1, Appendix II, geeft in detail de resultaten per peilbuis weer.

2.3 Conclusie en opmerking

Afgaande op de 56 onderzochte peilbuizen lijkt het erop dat de grondwaterstand *gemiddeld genomen* nog steeds daalt, en wel met een snelheid van 7 cm per 13 jaar. Hoewel een vergelijking riskant is (want het gaat om andere peilbuizen) herinneren we eraan dat DGV-TNO (1989) over een periode 49 jaar een "structurele" daling van 20 à 50 cm constateerde. Het algemene beeld lijkt er dus op te duiden dat de trendmatige daling nog vrijwel onverminderd doorgaat.

Er zijn echter grote verschillen van buis tot buis. De grote variatie duidt erop dat veel oorzaken van grondwaterstands daling of -stijging een vrij lokale invloed hebben. Uit Tabel 1, Appendix II, blijkt dat er in 19 van de 56 buizen sprake is van een *stijging* van de grondwaterstand. Het is zeer wel mogelijk dat deze stijgingen weldegelijk het gevolg zijn van beleid. Een andere selectie van peilbuizen, die rekening houdt met de locaties waar anti-verdrogingsmaatregelen genomen zijn, zou een ander beeld kunnen opleveren.

Op basis van het *algemene* beeld is onze conclusie evenwel dat het effect van het stand-still-beleid niet zichtbaar is in tijdreeksen van de grondwaterstanden.

3 Oorzakenanalyse

3.1 Drinkwaterwinning

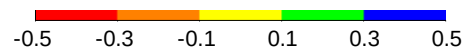
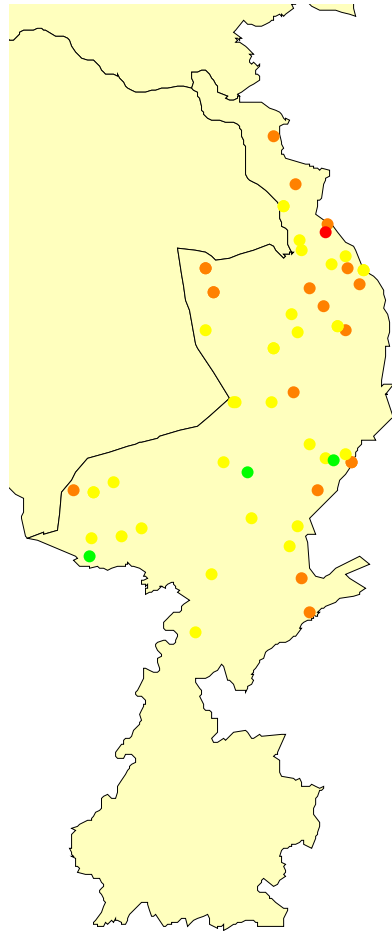
Van alle mogelijke oorzaken van grondwaterstandsaling is de winning van grondwater voor de drinkwatervoorziening het best gedocumenteerd. Dat is een reden om daaraan een aparte paragraaf te wijden. Vooraf merken we op dat een statistisch aannemelijke oorzaak niet vanzelfsprekend een causale oorzaak is. Als er bijvoorbeeld twee oorzaken spelen, die ongeveer hetzelfde verloop in de tijd vertonen, dan kan de invloed met statistische methoden alléén niet goed onderscheiden worden, en het kan dan gemakkelijk gebeuren dat de ene oorzaak ten onrechte verantwoordelijk gesteld wordt voor de andere.

We hebben in eerste instantie voor elke peilbuis het dichtstbijliggende pompstation in de analyse betrokken. Als een pompstation niet meer dan 1% bijdroeg aan de verklaarde variantie (zie paragraaf 2.2.1) hebben we aangenomen dat het geen invloed heeft. Een tweede zeef vormde de significantie van de berekende invloed. Als de invloed zelf kleiner bleek te zijn dan de standaardafwijking van het bijbehorende betrouwbaarheidsinterval hebben we gesteld dat de invloed niet aangetoond is. Een derde zeef had te maken met fysieke plausibiliteit. Als het - volgens de analyse - langer dan 10 jaar duurde voordat de invloed van een pompstation goed en wel tot de grondwaterstand was doorgedrongen hebben we verondersteld dat het pompstation - hoewel statistisch significant - toch niet als oorzaak in aanmerking komt. Op deze manier bleven er slechts 10 peilbuizen over waarin een invloed van een pompstation is aan te geven.

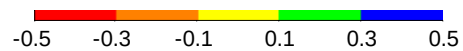
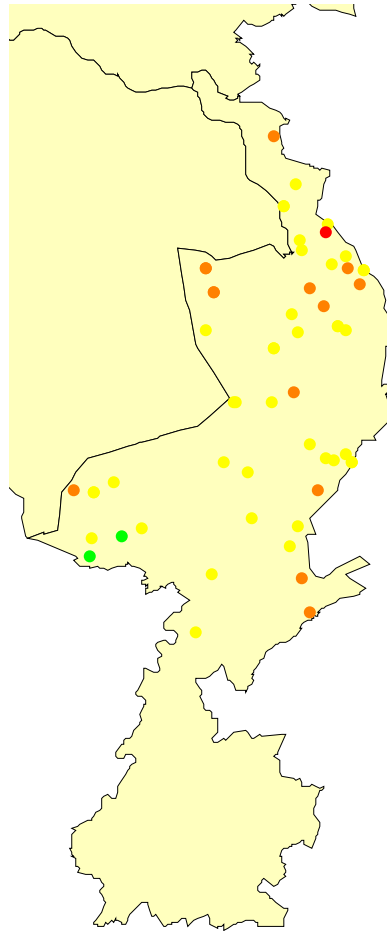
Figuur 10a is een herhaling van figuur 9b; hij dient als referentie voor figuur 10b. Figuur 10b vergelijkt net als figuur 10a de gemiddelde grondwaterstand in de afgelopen vijf jaar met die in de vijf jaar voorafgaand aan het stand-still-beleid. Het verschil met figuur 10a is dus dat nu óók gecorrigeerd is voor de invloed van de pompstations. Met de reeds genoemde slagen om de arm blijkt dat de pompstations voor ongeveer 2 cm verantwoordelijk zijn voor de eerder geconstateerde gemiddelde daling van 7 cm sinds het stand-still-beleid in werking trad.

Deze uitkomst is wellicht onverwacht, want in het kader van het stand-still-beleid is de grondwaterwinning juist teruggedrongen, getuige figuur 11, waarin het gesommeerde verloop van de grondwateronttrekking voor de drinkwatervoorziening in Noord- en Midden-Limburg is weergegeven. De sleutel ligt in de trage reactie van de grondwaterstand op grondwaterwinning: afgaande op de resultaten van de tijdreeksanalyse duurt het gemiddeld ca 6 jaar voordat een vermindering van grondwaterwinning goed en wel is doorgewerkt. *Doordat het terugdringen van de grondwaterwinning*

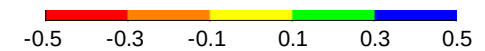
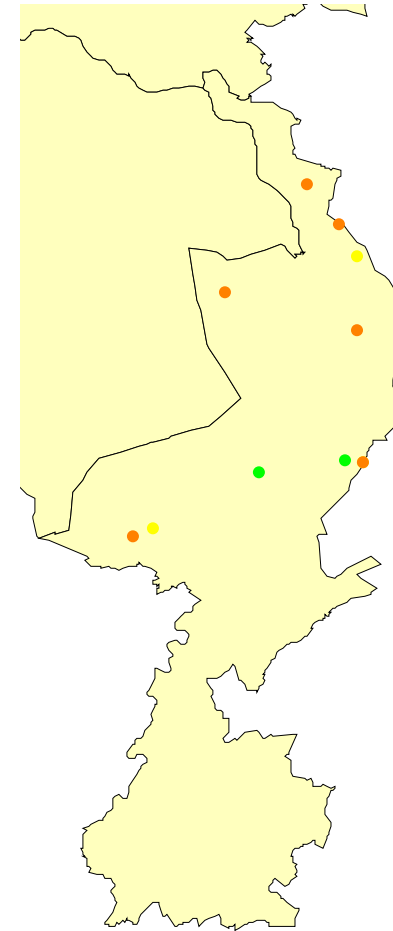
a. gws 1998-heden minus gws 1985-1989 na correctie voor neerslag, verdamping en Maas



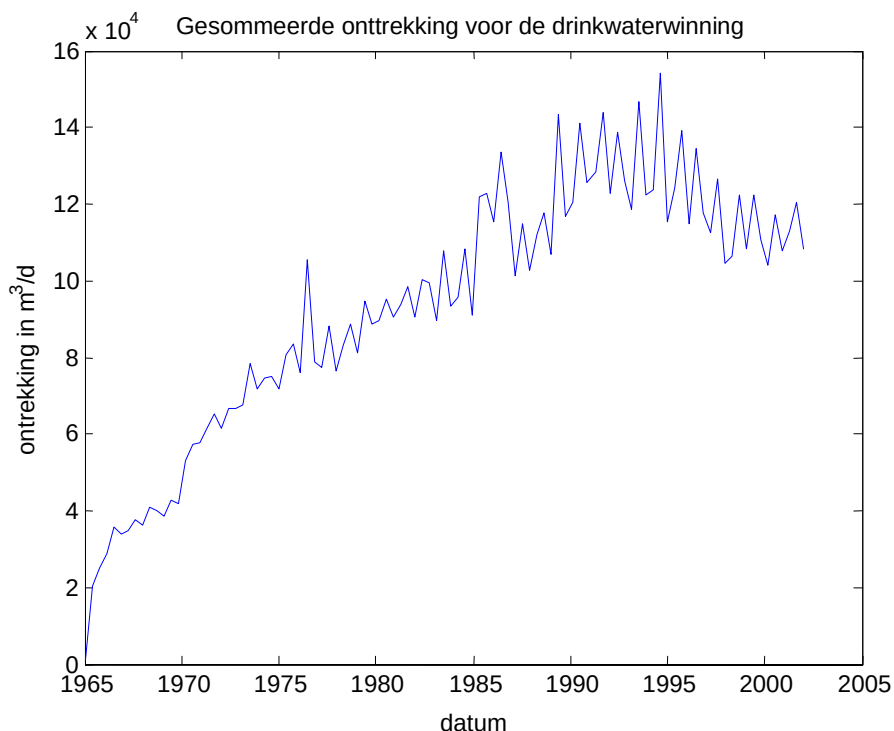
b. Idem, maar nu tevens zonder de invloed van de pompstations (gem. stijging = - 0,05 m)



c. Aandeel van de pompstations



Figuur 10: Invloed van de pompstations voor drinkwaterwinning. Figuur 10a dient als referentie; dit is dezelfde figuur als figuur 9b. Hij geeft het verschil weer in gemiddelde grondwaterstand vóór en na 1990. Figuur 10b geeft hetzelfde weer, maar nu met inachtnaam van de pompstations. Figuur 10c geeft het aandeel van de pompstations.



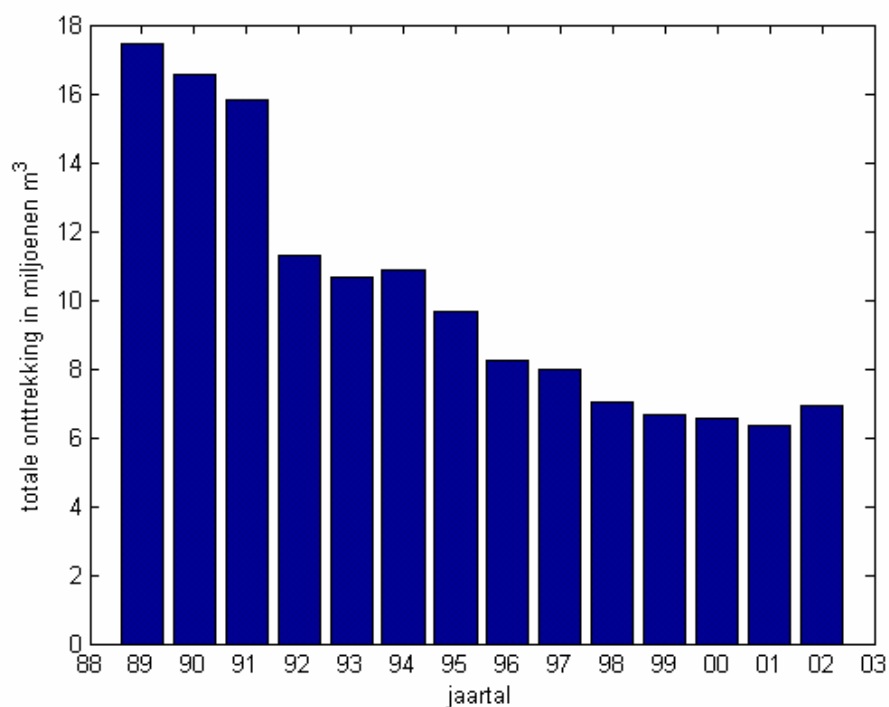
Figuur 11: Verloop van de gesommeerde grondwaterwinning voor de drinkwatervoorziening in Noord- en Midden-Limburg sinds 1965.

vooral de laatste jaren effectief is geweest, zal de winst die daarvan verwacht kan worden pas de komende jaren volledig geïncasseerd worden. Overigens zijn er nu al vier buizen die een stijging te zien geven, variërend van 5 tot 20 cm. Hoewel nu nog niet goed zichtbaar, heeft het terugdringen van de drinkwaterwinning dus zeker een positief effect op de grondwaterstand.

3.2 Industriële winningen

Industriële winningen beïnvloeden de grondwaterstand op een vergelijkbare wijze als drinkwaterwinningen. We behandelen ze apart, omdat ze minder nauwkeurig gedocumenteerd zijn. Er is een digitaal bestand beschikbaar met kwartaalonttrekkingen sinds 1989, maar jammergenoeg zijn uit de periode vóór de invoering van het stand-still-beleid alleen (niet-digitale) jaaronttrekkingen beschikbaar met intervallen van 5 jaar. Figuur 12 is een staafdiagram van de jaarlijkse industriële grondwaterwinning tussen 1989 en 2002, gesommeerd over Noord en Midden Limburg. In principe is dit eenzelfde figuur als figuur 11, maar omdat er veel minder gegevens voorhanden zijn is voor een andere presentatievorm gekozen.

De beschikbare gegevens zijn onvoldoende om de industriële winningen mee te modelleren, zoals we dat wel voor de drinkwaterwinningen gedaan hebben. Om toch een idee te krijgen of de gevonden grondwaterstands dalingen iets met industriële onttrekkingen van doen



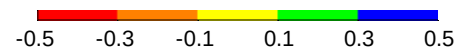
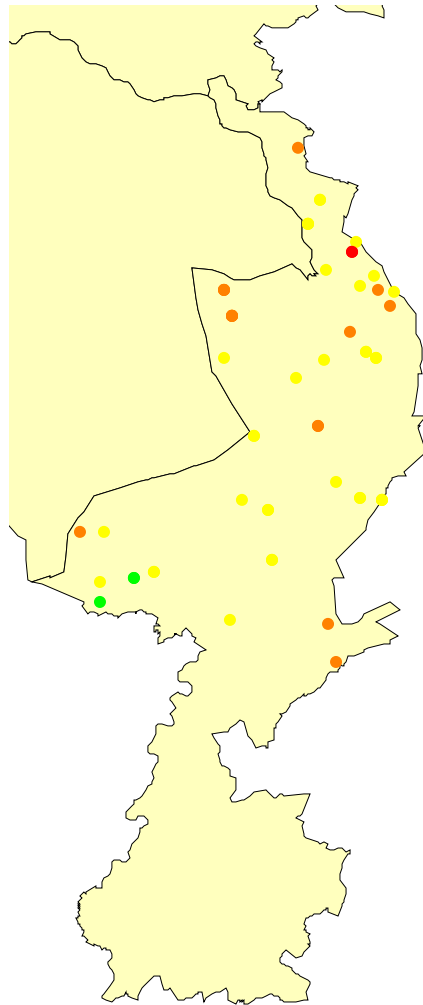
Figuur 12: Verloop van de industriële grondwaterwinning in Noord- en Midden-Limburg tussen 1989 en 2002 .

kunnen hebben toont Figuur 13 naast elkaar de verlaging van de grondwaterstand na correctie voor neerslag, verdamping, Maas en drinkwaterpompstations (dit is dus hetzelfde plaatje als figuur 10b) en de *gemiddelde* onttrekking voor industriewater over de periode 1989-heden.¹¹ Figuur 13 is dus *niet* geschikt voor een oorzaken-analyse, maar het lijkt toch wel gerechtvaardigd om te concluderen dat de gevonden verlagingen (figuur 13a) nauwelijks of in het geheel niet aan industriële winningen toe te schrijven zijn, omdat de geanalyseerde buizen ruimtelijk te ver van de winningen af liggen.

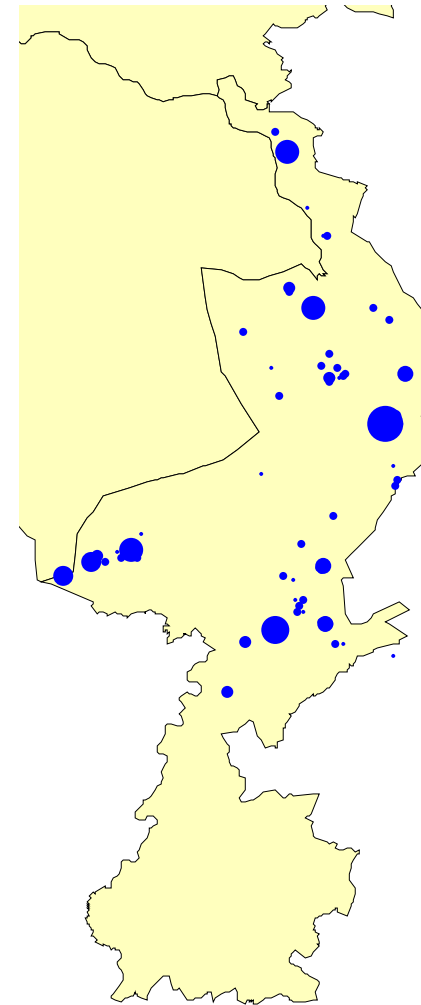
Dit betekent natuurlijk niet dat industriële winningen geen invloed hebben. Naar analogie met de drinkwaterwinning kan gesteld worden dat de totale onttrekking door de industrie sinds de invoering van het stand-still-beleid (sterk) is afgenomen, en dat het effect daarvan zich de komende jaren zeker zal manifesteren. Het vergt evenwel een gerichte selectie van peilbuizen om het ook in tijdreeksen van de grondwaterstand aan te tonen.

¹¹ Uit het rechter plaatje zijn onttrekkingen van minder dan 100.000 m³/jaar weggelaten. De kleinste blauwe stipjes vertegenwoordigen dus al onttrekkingen die groter zijn dan 100.000 m³/jaar)

a. gws (m) 1998-heden minus gws 1985-1989 na correctie voor neerslag, verdamping, Maas en drinkwaterpompstations



b) voornaamste industriële winningen in m³/j, gemiddeld over de periode 1989-2002
De grootste winning had een omvang van gemiddeld 1,9 miljoen m³/j.



Figuur 13: Het rechter plaatje toont de ligging en de omvang van de voornaamste industriële grondwateronttrekkingen. De omvang van de bolletjes is evenredig met de omvang van de onttrekking per jaar, gemiddeld over de periode 1989 t/m 2002. De grootste winning had een omvang van 1,9 miljoen m³/j. Winningen met een omvang van minder dan 100.000 m³/j zijn weggelaten. Het linker plaatje is hetzelfde als figuur 9b. Het toont de stijgingen/dalingen van de grondwaterstand na correctie voor neerslag, verdamping, Maas en drinkwaterwinningen. Er is geen duidelijke relatie te zien met de industriële onttrekkingen.

3.3 Anti-verdrogingsmaatregelen

Waterschap Peel- en Maasvallei heeft een "Maatregelenkaart" aangeleverd, waarop herinrichtings- en anti-verdrogingsmaatregelen zijn aangegeven. De uitgevoerde maatregelen zijn van recente aard; ze liggen in de zogenaamde hydrologisch gevoelige gebieden die weergegeven zijn in figuur 14. In deze figuur zijn ook de stijgingen en dalingen van de grondwaterstand - na correctie voor neerslag, verdamping en Maas - weergegeven. Hoewel het zondermeer realistisch is om aan te nemen dat antiverdrogingsmaatregelen systematisch bijdragen aan een verhoging van de grondwaterstand, is zo'n effect niet overtuigend uit figuur 14 af te leiden. Weliswaar zijn niet in alle hydrologisch gevoelige gebieden maatregelen uitgevoerd, maar voor zover dat wel het geval is (blijkens de door Peel- en Maasvallei aangeleverde maatregelenkaart) is toch geen systematisch verband te zien. Daarbij moet wel aangetekend worden dat er ook maar weinig geanalyseerde peilbuizen midden in hydrologisch gevoelige gebieden staan. Men mag dus op grond van dit onderzoek nog geen oordeel geven over de effectiviteit van de getroffen anti-verdrogingsmaatregelen¹².

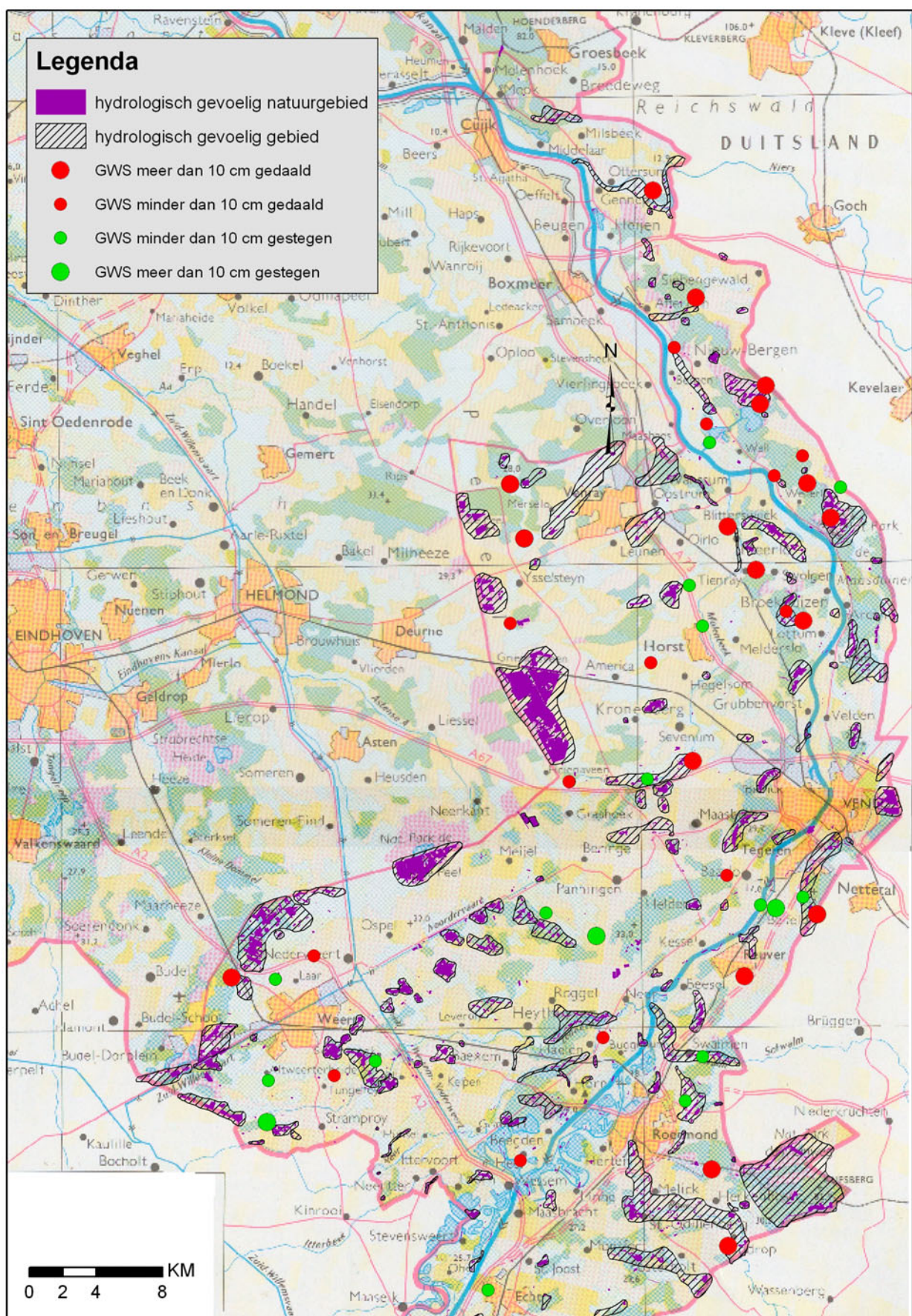
3.4 Andere "hoofdoorzaken"

Oranjewoud (1990) noemde als andere oorzaken van grondwaterstandsstijgingen en -dalingen: grindwinning, ruilverkavelingen en A2-werken.

Grindwinning speelt in de ruime omgeving van Roermond, waar een peilbuis nabij Beegden en een peilbuis nabij Haelen (zie figuur 14) een lichte daling te zien geven. In Appendix III zijn meer peilbuizen uit deze omgeving opgenomen, die duidelijker onder invloed van de grindwinning - althans van de Maasplassen - staan.

Als het gaat om grondwaterstands dalingen sinds de invoering van het standstill-beleid hoeven alleen ruilverkavelingen beschouwd te worden die ná ca 1990 uitgevoerd zijn. Blijkens informatie van het waterschap Peel en

¹² Om de effectiviteit van anti-verdrogingsmaatregelen te beoordelen zou beter een aparte daarop gerichte analyse uitgevoerd kunnen worden.



Figuur 14: Ligging van de peilbuizen in relatie tot de hydrologisch gevoelige gebieden
 Grondwaterstandsdingen - na correctie voor neerslag, verdamping en Maas - zijn
 met rode stippen aangegeven; stijgingen met groene.

NAAM RUILVERK	UITGEVOERD JAAR-JAREN
R. V. K. BERGEN	'70 - '80
R. V. K. BEESL + SMALDEN	BEGIN '90
R. V. K. BELFELD	BEGIN '80
R. V. K. DUBBROEK	EIND '70
R. V. K. ELL	EIND '60 BEGIN '70
R. V. K. EVERLOSE BEEK	BEGIN '90
R. V. K. HOUT-BLERICK	BEGIN '70
R. V. K. KESSEL	BEGIN '80
R. V. K. LOLLERBEEK	MIDDEN '60 TOT MIDDEN '70
R. V. K. LONN	BEGIN '70
R. V. K. LAND VAN THORN	IN STENNING
R. V. K. MIDDEN-LIMBURG	BEGIN '70
R. V. K. MELDERSLO	MIDDEN '90
R. V. K. OUDE GRAAF	MIDDEN '80
R. V. K. OVERLOON-MERSELO	EIND '70
R. V. K. RIJNBEEK	BEGIN '90
R. V. K. RETINDONK	EIND '70
R. V. K. VELDEN	MIDDEN '80
R. V. K. MEET-STAMPROY	BEGIN '90



Maasvallei (figuur 15) gaat het om ruilverkaveling Beesel-Swalmen (begin jaren '90), ruilverkaveling Everlose Beek (begin jaren '90), ruilverkaveling Melderslo (midden jaren '90) en ruilverkaveling Weert-Stramproy (begin jaren '90). Het ruilverkavelingsgebied Beesel-Swalmen ligt direct noordelijk van Roermond, waar twee peilbuizen juist een stijging te zien geven¹³. Ruilverkaveling Everlose Beek beslaat een groot gebied westelijk van Venlo, waarin twee peilbuizen liggen (één bij Helenaveen, 52DL0029 en één bij Sevenum, 52GL0030_1) die een daling te zien geven. De eerste peilbuis heeft twee filters, waarvan de residureksen (Appendix I) omstreeks 1994 een daling vertonen. De residureeks van de tweede peilbuis toont een daling omstreeks 1996. In het gebied van de ruilverkaveling Melderslo, noordelijk van Venlo, liggen vier "dalende peilbuizen" op een rij: 52EP0133_1 bij Meerlo, 52EL0132_1 bij Tienray, 52GP0193_1 en 52GP0199_1 ten noordwesten van Lottum. In de residureksen van al deze buizen treedt de daling eind jaren '90 op. Het ruilverkavelingsgebied Weert-Stramproy bevat een peilbuis nabij Tungalroy (58CB0032_1) waarvan de residureeks omstreeks 1995 een daling te zien geeft. (Deze daling is *niet* te zien in Appendix I, doordat hij daar gecompenseerd wordt door de correctie voor de invloed van pompstation Hunsel).

3.5 Achtergrondoorzaken

Als we uit figuur 10b de peilbuizen weglaten waarvoor de daling van grondwaterstand door ruilverkavelingen "verklaard" zijn, dan houden we figuur 16 over. Deze figuur bevat de stijgingen en dalingen die niet verklaard konden worden uit de tot nu toe behandelde "hoofdoorzaken". Ze moeten aan andere oorzaken toegeschreven worden, die we in navolging van Oranjewoud (1990) aanduiden als "achtergrondoorzaken".

Achtergrondoorzaken zijn sluipende oorzaken, waarvan het effect geleidelijk aan de dag treedt. Ze hebben met elkaar gemeen dat ze slecht gedocumenteerd zijn. Het is echter niet gezegd dat het oorzaken met geringe gevolgen zijn. Met name beregning uit grondwater heeft zich sinds 1976 fors uitgebreid, en het is aan te raden om daarnaar een gericht onderzoek in te stellen.

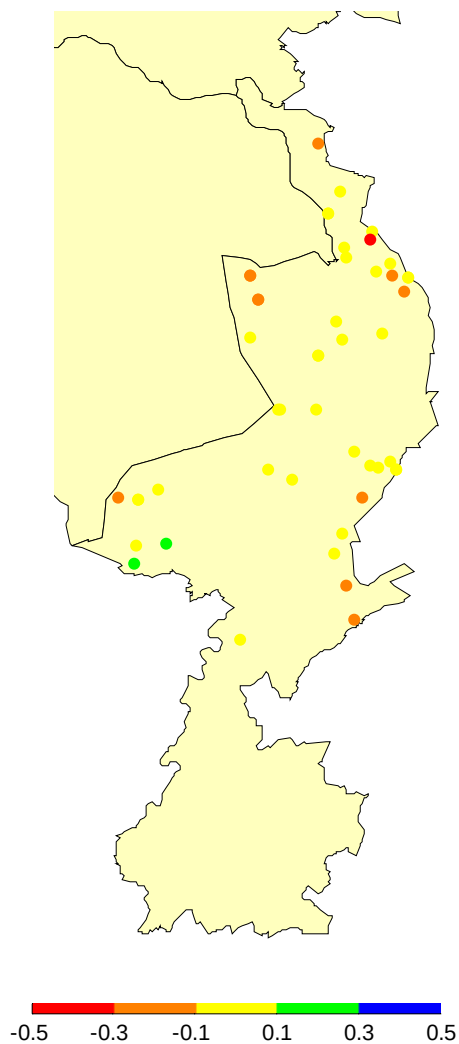
3.6 Conclusie

In 37 van de 56 geanalyseerde peilbuizen is een daling geconstateerd, na correctie voor neerslag, verdamping en Maas. De daling - ten opzichte van 1976 - kon gedeeltelijk verklaard worden door drinkwaterwinning, grindwinning en ruilverkavelingen. Industriële winningen lijken weinig aan de dalingen bijgedragen te hebben, maar dat komt alleen maar doordat de geselecteerde buizen niet dicht bij de grotere industriële bronnen liggen.

¹³ De buizen liggen allebei in een "hydrologische gevoelig gebied" (zie figuur 13). Waarschijnlijk zijn hier maatregelen getroffen om de grondwaterstand te verhogen.

De buizen met onverklaarde dalingen (en stijgingen) zijn in figuur 16 samengevat. "Onverklaarde" buizen met een duidelijke daling liggen allen langs de provinciegrenzen. Het ligt in de reden dat de oorzaken minstens gedeeltelijk buiten de provincie gezocht moeten worden.

*Figuur 16:
Niet verklaarde grondwaterstand-
dalingen en stijgingen. In wezen is
dit figuur 10b, met weglaten van de
peilbuizen die beïnvloed zijn door
grindwinning en ruilverkavelingen.
(negatief = daling, positief = stijging)*



4 Literatuur

DGV, 1989: Verdrogingsonderzoek Limburg: Verandering van de grondwaterstijghoogte, J.W.M. Lambert, rapportnr OS 89-54.

Kiwa, 1996: Trendanalyse grondwaterstanden Limburg 1985-1994, C. Maas, P.K. Baggelaar, M.H. Zwamborn en F. Luers, KOA 96.037.

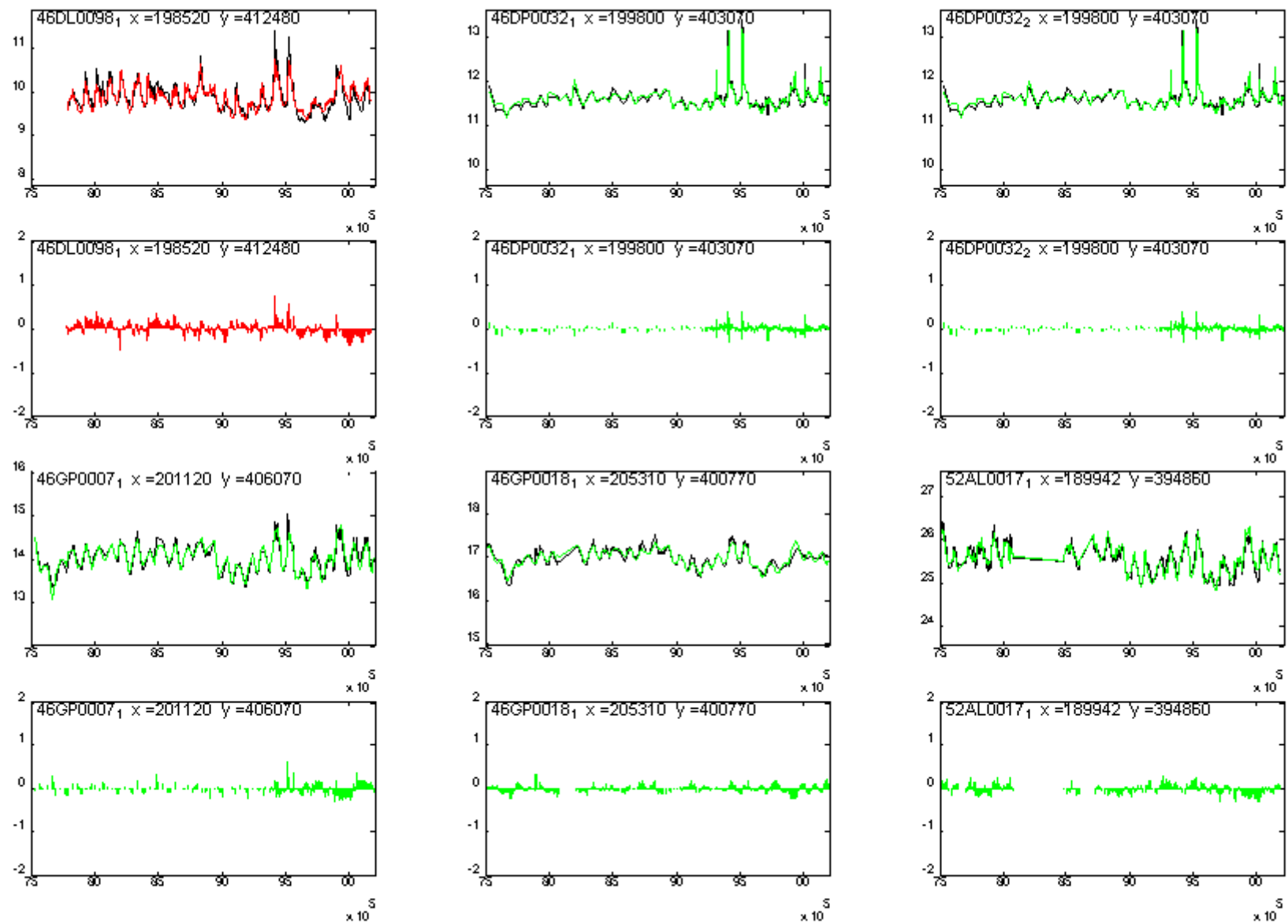
Oranjewoud, 1990: Verdrogingsonderzoek Limburg, Oorzakenanalyse en correlatie-onderzoek.

Von Asmuth, J. R., M. F. P. Bierkens & C. Maas, 2002: 'Transfer function noise modelling in continuous time using predefined impulse response functions, Water Resources Research, 38(12), 23_1-23_12.

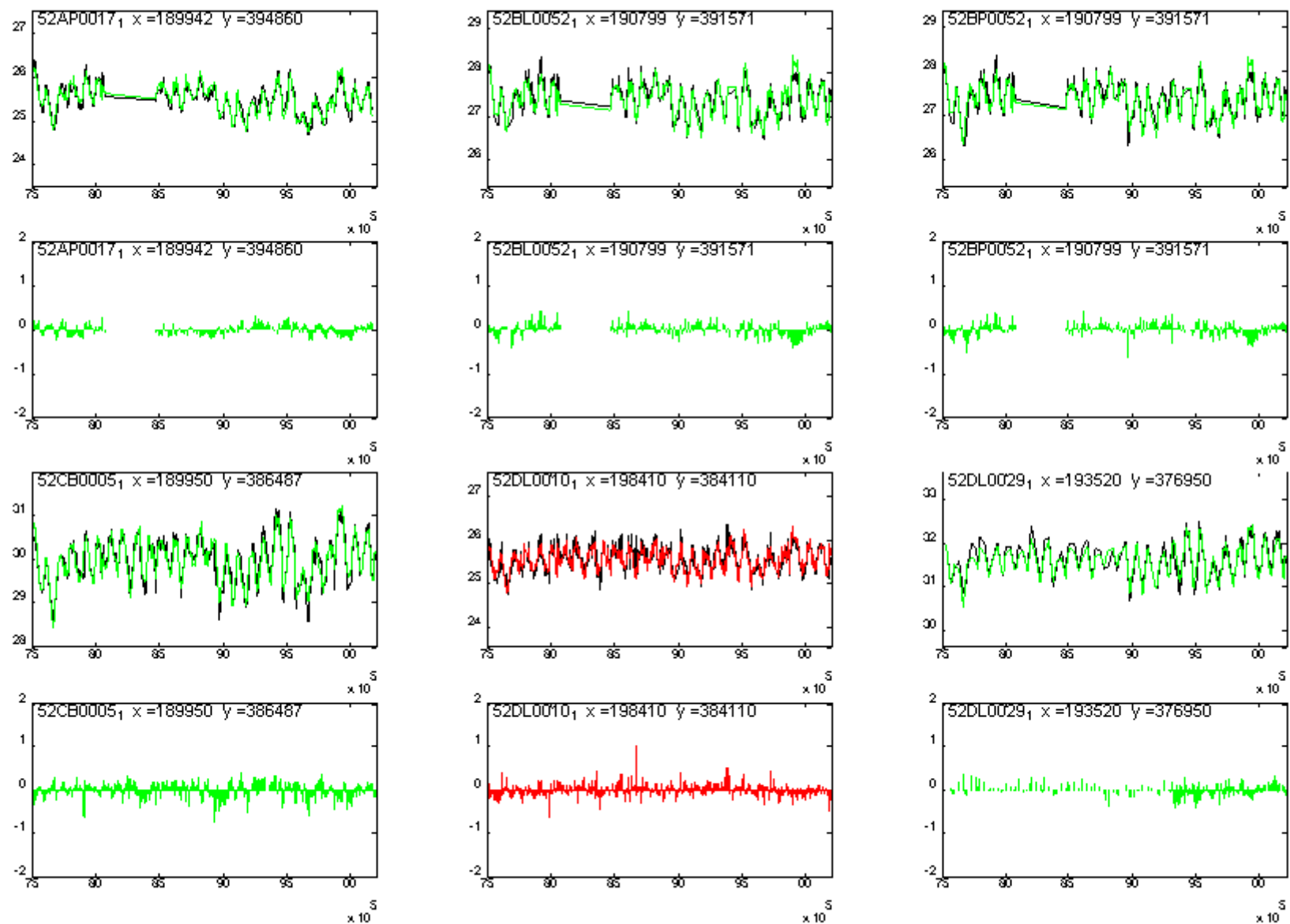
I Meetreeksen, gemodelleerde reeksen en residuereeksen van 56 peilbuizen

Modellen met een verklaarde variantie van minder dan 80% zijn rood afgebeeld.

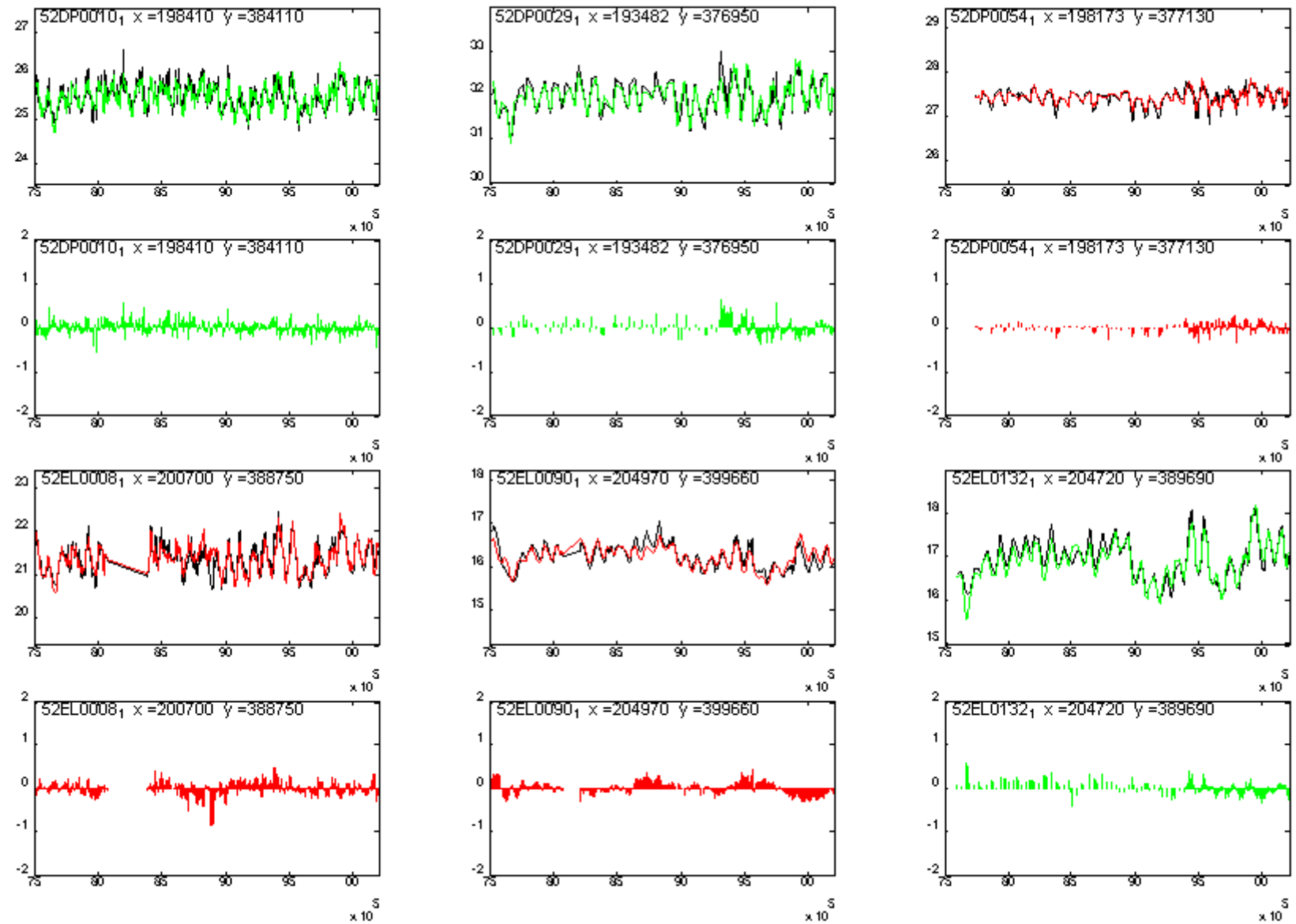
I.1 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations (groen = verklaarde variantie > 80%)



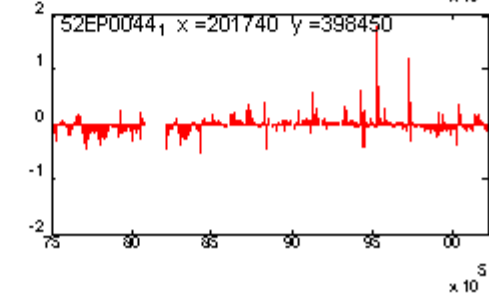
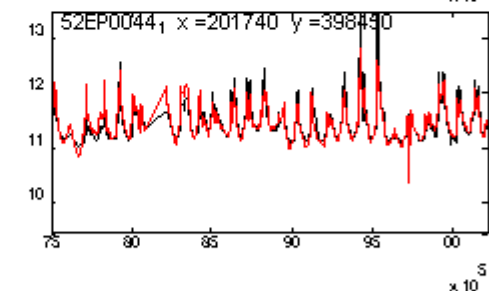
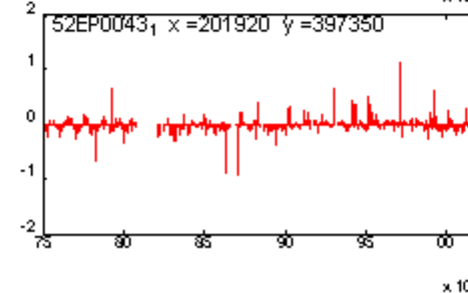
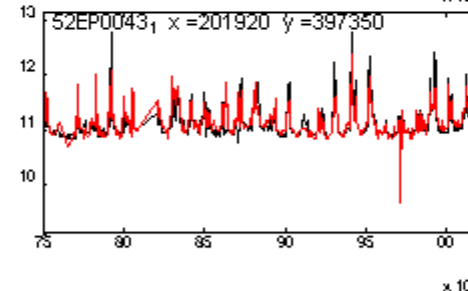
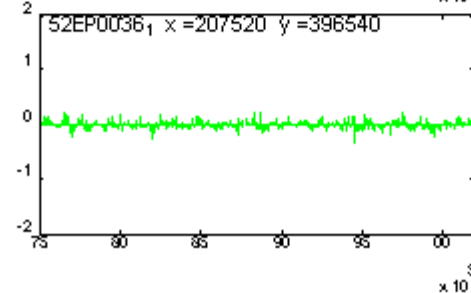
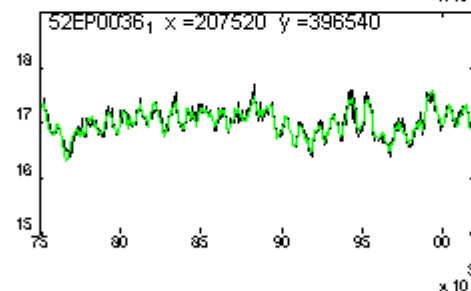
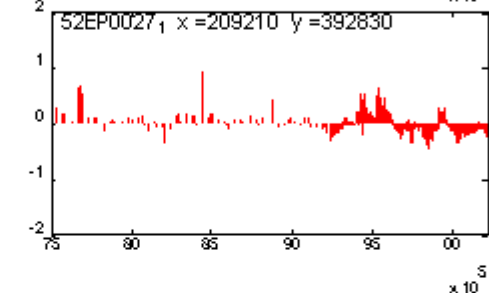
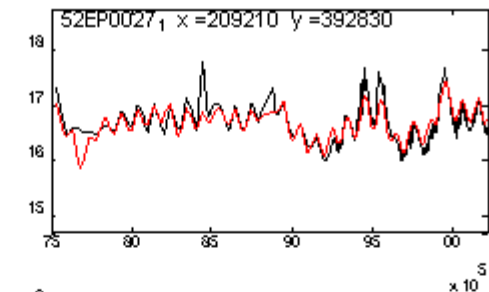
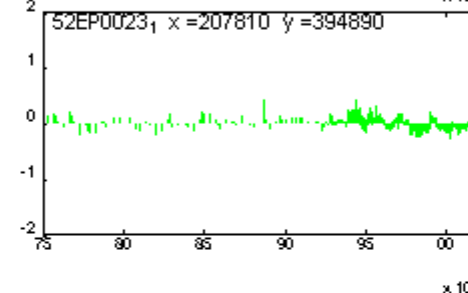
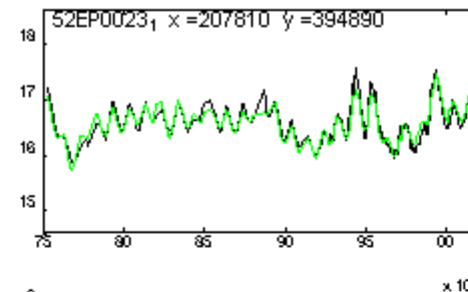
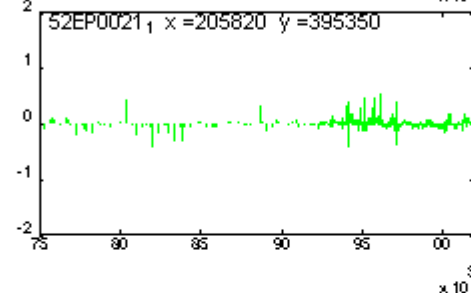
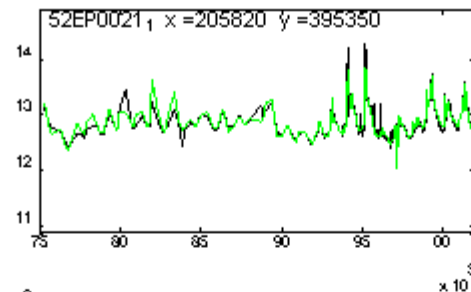
1.2 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde variantie > 80%)



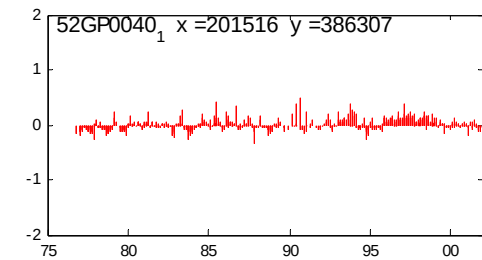
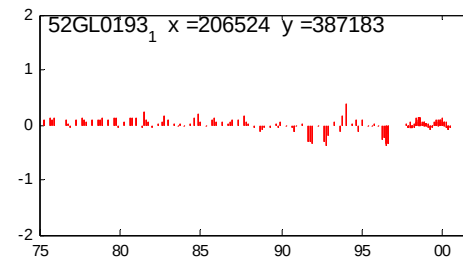
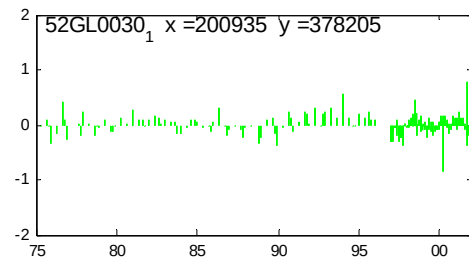
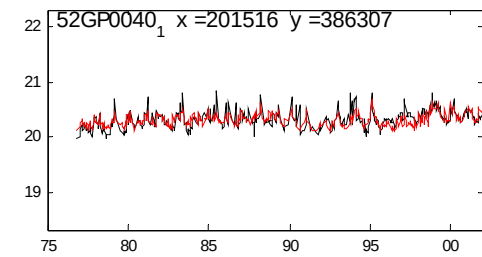
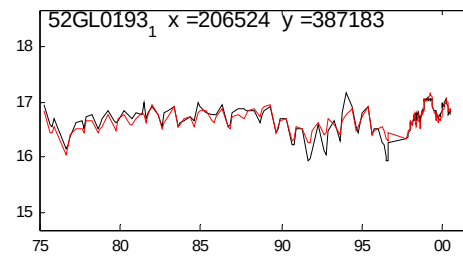
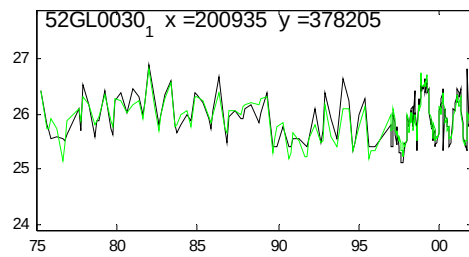
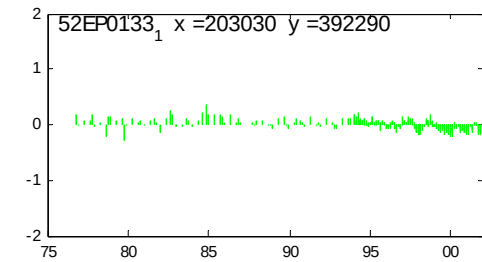
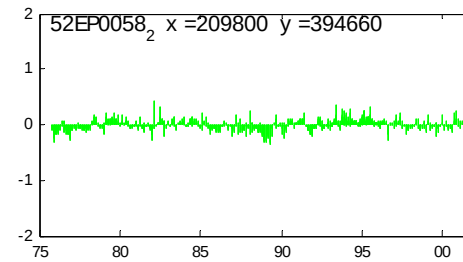
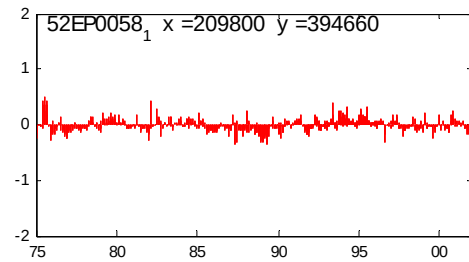
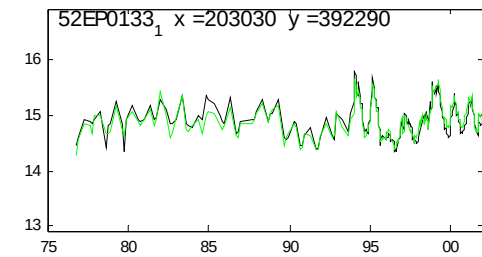
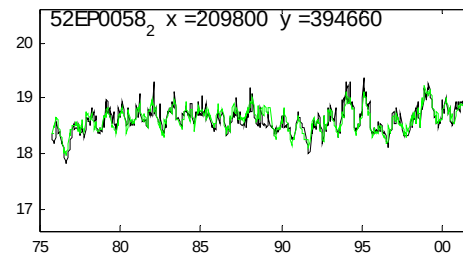
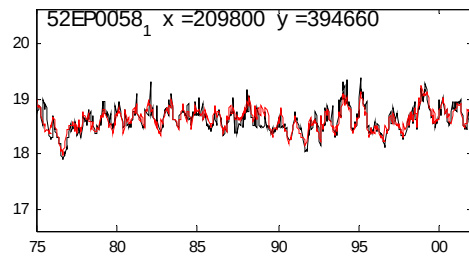
1.3 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde variantie > 80%)



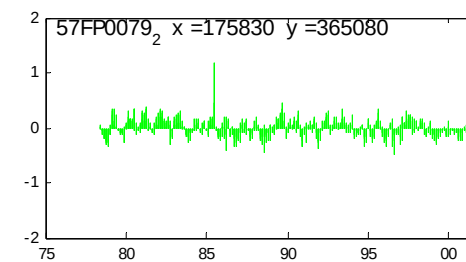
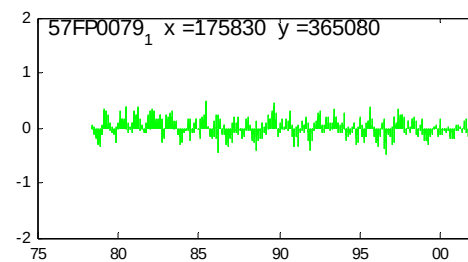
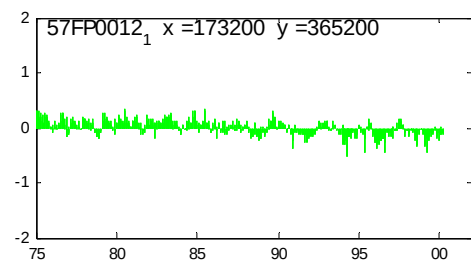
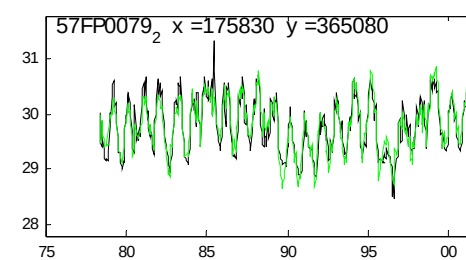
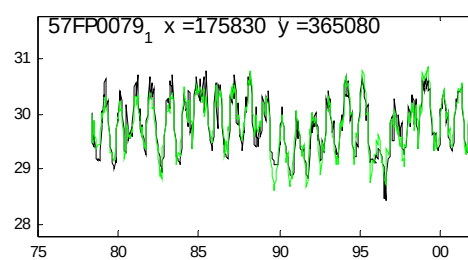
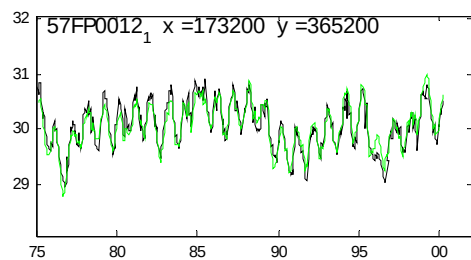
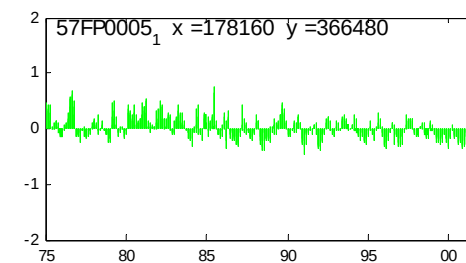
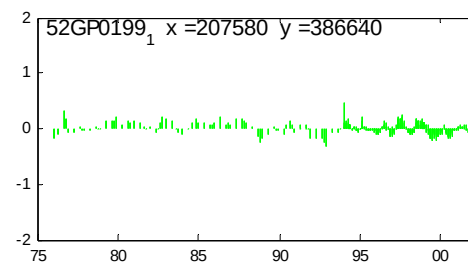
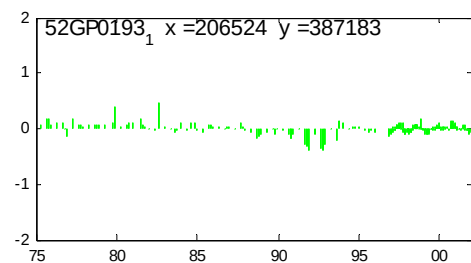
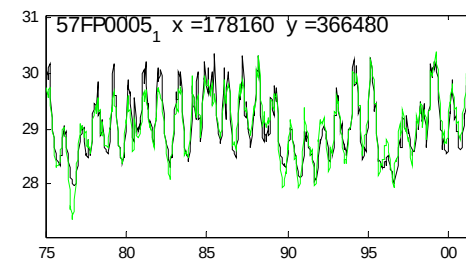
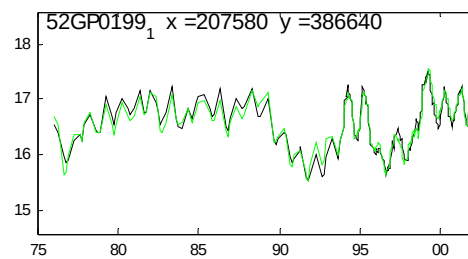
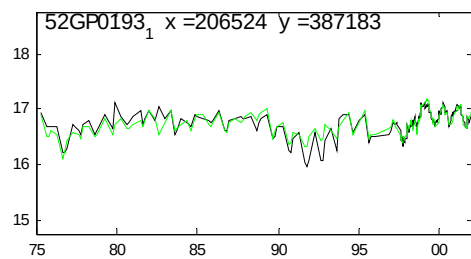
I.4 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde variantie > 80%)



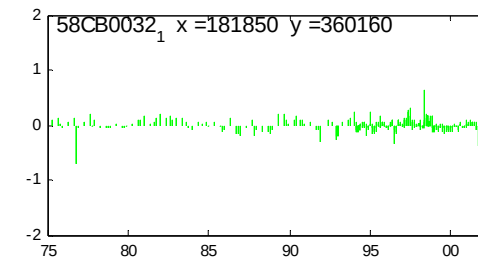
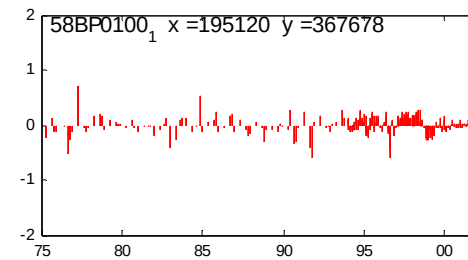
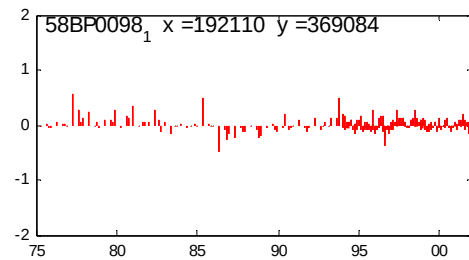
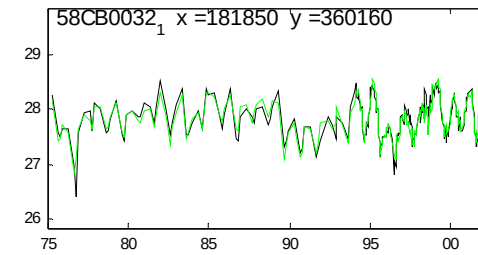
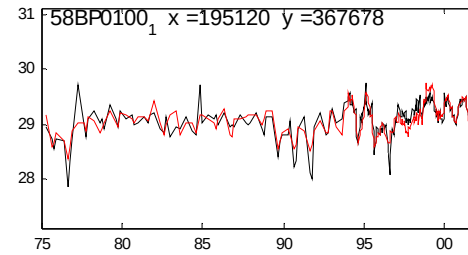
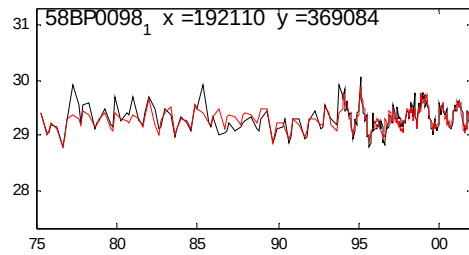
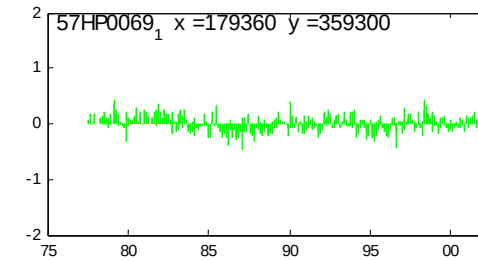
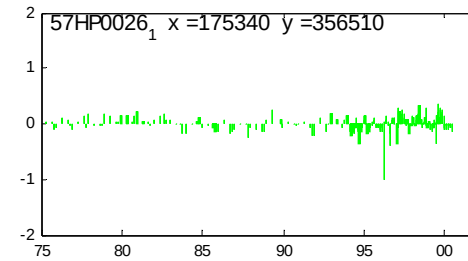
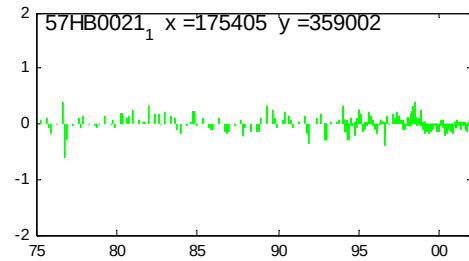
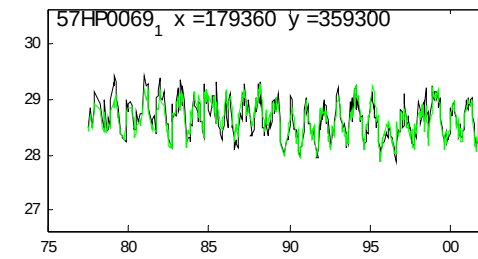
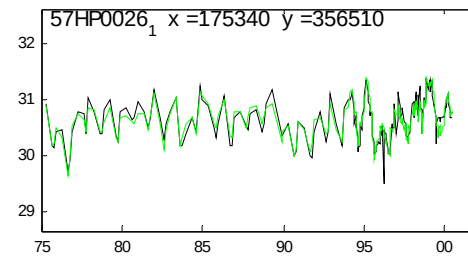
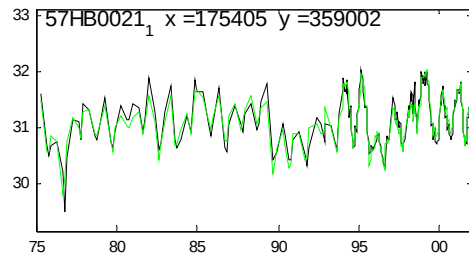
I.5 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde variantie > 80%)



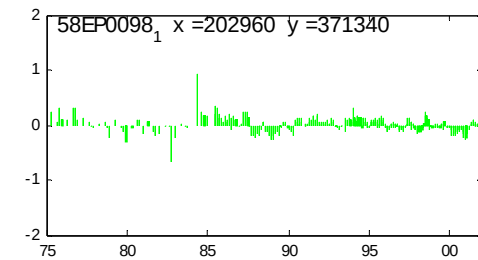
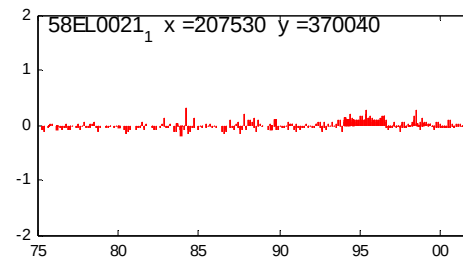
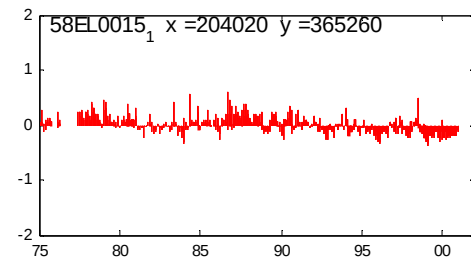
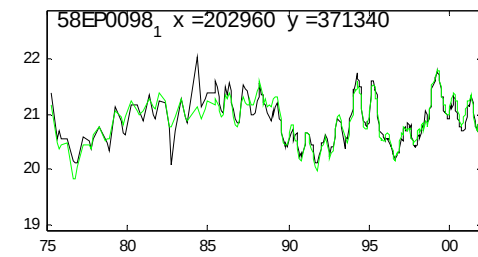
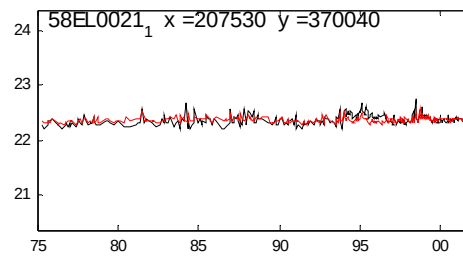
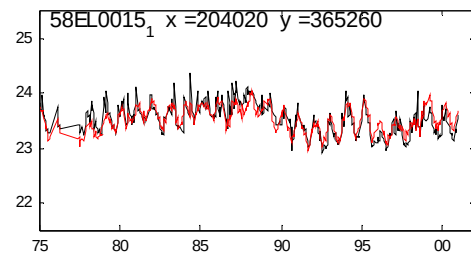
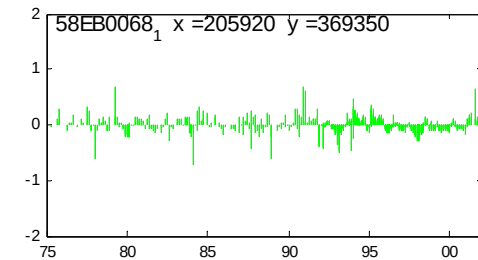
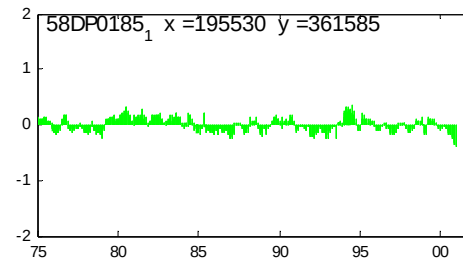
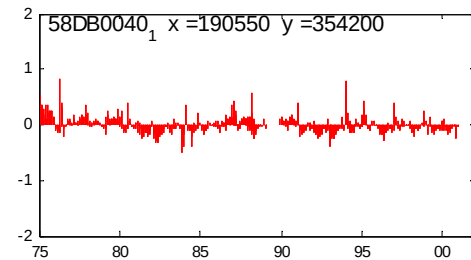
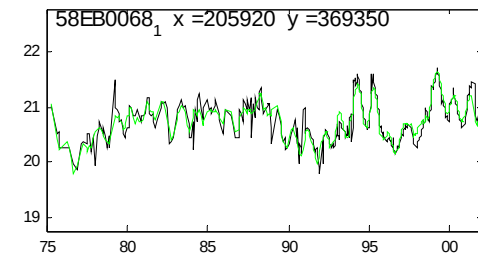
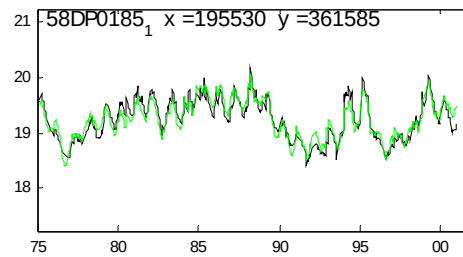
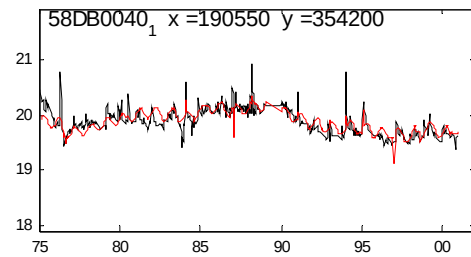
I.6 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde variantie > 80%)



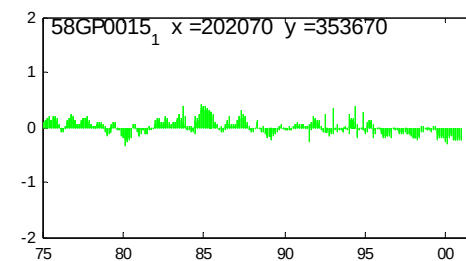
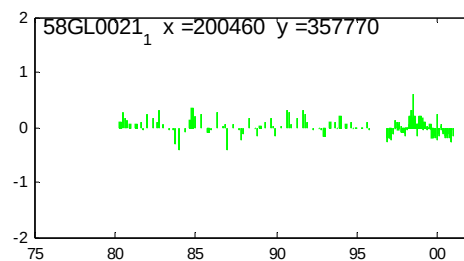
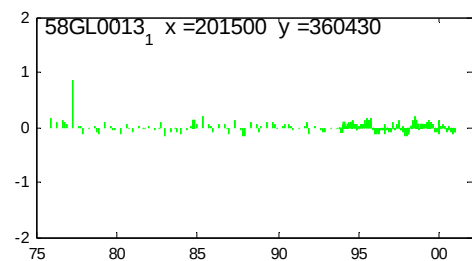
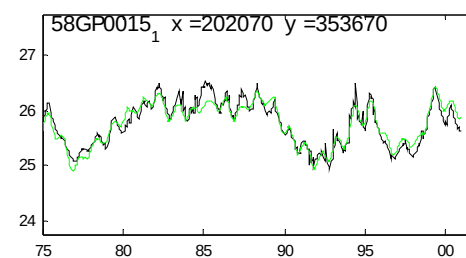
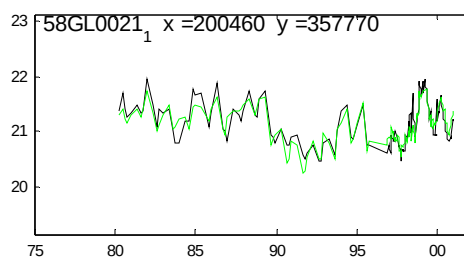
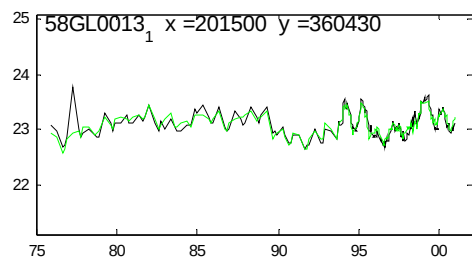
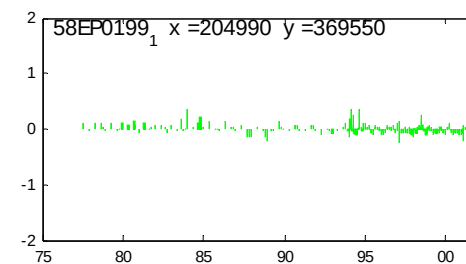
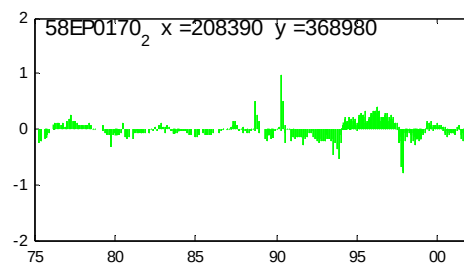
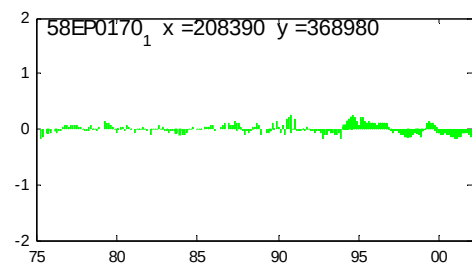
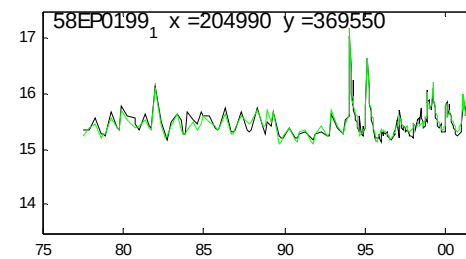
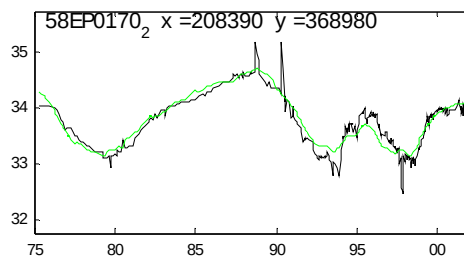
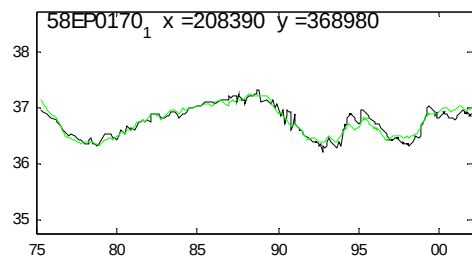
I.7 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde variantie > 80%)



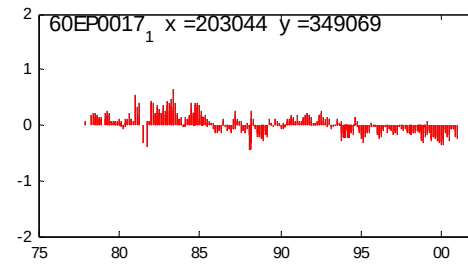
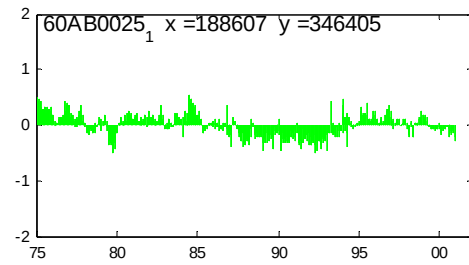
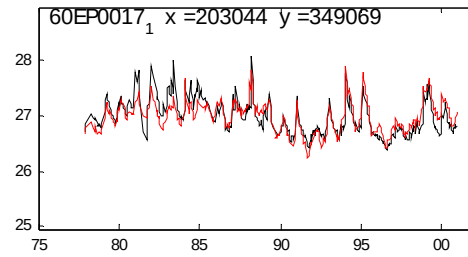
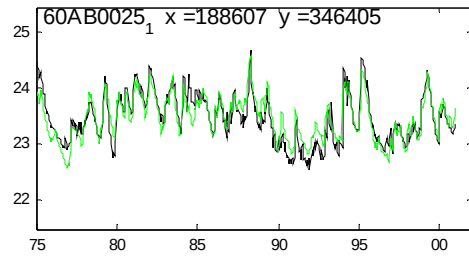
I.8 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde variantie > 80%)



I.9 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde variantie > 80%)



I.10 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde variantie > 80%)



II Daling/stijging van de grondwaterstand in 56 peilbuizen, na correctie voor natuurlijke oorzaken

Naam	x	y	stijging (m)
52EL0132_1	204720	389690	-0.1518
57HB0021_1	175405	359002	0.0496
52EP0021_1	205820	395350	-0.0261
58EP0199_1	204990	369550	0.0185
46DP0032_1	199800	403070	-0.0676
52CB0005_1	189950	386487	-0.0750
46DP0032_2	199800	403070	-0.0676
58EP0098_1	202960	371340	-0.0819
58GP0015_1	202070	353670	-0.2194
52EP0133_1	203030	392290	-0.1335
57FP0012_1	173200	365200	-0.1274
57FP0079_1	175830	365080	-0.0121
52EP0036_1	207520	396540	-0.0987
52EP0023_1	207810	394890	-0.1385
52GP0199_1	207580	386640	-0.1613
58CB0032_1	181850	360160	-0.0004
57FP0005_1	178160	366480	-0.0831
52DL0029_1	193520	376950	0.0247
46GP0007_1	201120	406070	-0.1552
57FP0079_2	175830	365080	0.0134
57HP0026_1	175340	356510	0.1253
58EB0068_1	205920	369350	0.1769
58GL0013_1	201500	360430	0.0077
52BP0052_1	190799	391571	-0.1865
58DP0185_1	195530	361585	-0.0709
52DP0010_1	198410	384110	-0.0709
52BL0052_1	190799	391571	-0.2141
52EP0058_2	209800	394660	0.0372
58GL0021_1	200460	357770	0.0176
52DP0029_1	193482	376950	-0.0859
52GP0193_1	206524	387183	0.0157
60AB0025_1	188607	346405	0.0465
57HP0069_1	179360	359300	-0.0075
52GL0193_1	206524	387183	-0.0091
58EP0170_1	208390	368980	-0.1357
52EL0008_1	200700	388750	0.0936
52EP0058_1	209800	394660	0.0423
46DL0098_1	198520	412480	-0.1738
52DL0010_1	198410	384110	-0.0826
52EP0044_1	201740	398450	-0.0497
52EP0027_1	209210	392830	-0.1508
58BP0098_1	192110	369084	0.0999
58EP0170_2	208390	368980	-0.2758
52DP0054_1	198173	377130	0.0413
60EP0017_1	203044	349069	-0.1445
46GP0018_1	205310	400770	-0.2140
52GL0030_1	200935	378205	-0.1395
52EP0043_1	201920	397350	0.0816
58EL0015_1	204020	365260	-0.2283
58DB0040_1	190550	354200	-0.0975
58BP0100_1	195120	367678	0.2018
52AP0017_1	189942	394860	-0.2169
52AL0017_1	189942	394860	-0.2140
52GP0040_1	201516	386307	0.0137
52EL0090_1	204970	399660	-0.4621
58EL0021_1	207530	370040	0.0233

Tabel 1: Peilbuizen met stijgingen (>0) en dalingen (<0) van de grondwaterstand, na correctie voor neerslag, verdamping en Maas

**III Peilbuizen die duidelijk beïnvloed
zijn door vooralsnog onbekende of
onvoldoend bekende oorzaken**



Figuur III-1: Peilbuizen die duidelijk beïnvloed zijn door vooral nog onbekende of onvoldoend bekende oorzaken

Aan de residureeksen van 27 peilbuizen was duidelijk te zien dat er meer oorzaken speelden dan alleen neerslag, verdamping, Maas of drinkwaterwinning. Om deze buizen in de beoordeling van het stand-still-beleid te kunnen betrekken zouden ook de vooralsnog onbekende "andere" oorzaken uitgefilterd moeten worden. Aangezien de ligging van de buizen bekend is en de perioden waarin de oorzaken optraden vrij goed uit de residureeksen zijn af te leiden, zou het mogelijk moeten zijn om ze te achterhalen. Daarvoor is echter gebiedskennis nodig, en het bleek niet haalbaar om die in het kader van dit onderzoek tijdig te mobiliseren. In overleg met de opdrachtgever zijn deze buizen buiten de analyse gehouden.¹ Voor toekomstige referentie geven we in deze appendix per buis een kort commentaar.

Buizen 46DP0025, 46GP0004, 52EP0025, 52EP0028, 52FB0091, 52FB0091 nemen we samen, omdat ze allemaal in Noord Limburg aan de oostkant van de Maas liggen en hun residureeksen een vergelijkbaar patroon vertonen: halverwege 1997 treedt een daling van de grondwaterstand op. Het zou kunnen zijn dat hier een regionale gebeurtenis aan ten grondslag ligt, maar het is opvallend dat al deze buizen op 52EP0028 na veel beter gemodelleerd worden als het Maas-meetstation Gennep als oorzaak meegenomen wordt. Tijdens het analyseren van de tijdreeksen in batch hebben we Menyanthes bij iedere reeks het dichtstbijliggende Maas-meetstation laten opzoeken. Het maakt echter nogal uit of een meerstation vlak boven of vlak beneden een stuw staat. Wellicht is onze aanpak te weinig genuanceerd geweest, en hadden deze buizen op 52EP0028 na gewoon mee kunnen doen met de analyse.

52BL0123

Hier is duidelijk iets gebeurd omstreeks 1996 wat een min of meer blijvende verlaging van de grondwaterstand veroorzaakt heeft, hoewel het einde van de residureeks weer omhoog kruipt. De buis ligt nabij een proefboerderij, niet zo ver van een afleidingskanaal waarin binnen een afstand van ca 1 km (vanaf de buis) twee stuwen staan. Die lijken goede kandidaten voor de oorzaak.

52BP0046

ligt aan de rand van de bebouwde kom van Venraij, nabij een ziekenhuis. Er is een duidelijke doorgaande dalende trend. De buis staat in een groot systeem (weinig sloten in de omgeving) dus de oorzaak hoeft niet in de onmiddellijke omgeving te liggen. Misschien is er invloed van de onttrekking door Nestlé, op ca 4700 m afstand.

52EB0014

ligt ten zuidoosten van Venraij in de bebouwing van het gehucht Molenhoek, nabij een sportterrein. In 1996 treedt een plotselinge daling van de grondwaterstand op. Hoe oud is het sportcomplex? Is er misschien sprake van beregening?

52EP0028

De grondwaterstand komt in de natte jaren '94 en '95 teveel omhoog en zakt daarna te diep weg om door het tijdreeksmodel goed gevolgd te kunnen worden. (De buizen staan in een vrij groot systeem; een bosgebied dat hoog ligt tov de omgeving).

¹ Het oordeel of een buis al dan niet geschikt is voor een analyse van het stand-still-beleid is niet geheel objectief. Voor geschiktheid is in elk geval belangrijk dat de grondwaterstandsvariaties goed uit de bekende oorzaken verklaard kunnen worden. Als dat niet het geval is, is het de vraag of de invloed van neerslag en verdamping wel goed zijn ingeschat, en daarmee vervalt de mogelijkheid om de reeksen betrouwbaar voor neerslag en verdamping te corrigeren. Correctie voor neerslag en verdamping is in dit onderzoek een cruciale stap.

52EP0092

ligt nabij een zandwinplas die via een schutsluis afwatert op een andere zandwinplas (het Leuken) die uiteindelijk in verbinding staat met de Maas. Het peil wordt door menselijk sturen beïnvloed. Dit lijkt een redelijke verklaring voor het afwijkende gedrag van de residueeks. Een beter tijdreeksmodel vergt peilgegevens van de plas.

52HP0009

ligt ten noorden van Venlo bij het grenskantoor Veen en Daal. Omstreeks '87 komt de grondwaterstand structureel omhoog. De topkaart geeft geen clou.

57HB0008

ligt in de bebouwde kom van Weert. In '90 komt de grondwaterstand sterk omhoog. Misschien is er een onttrekking beëindigd?

58BB0012

ligt in de bebouwde kom van Panningen. Helemaal aan het einde van de reeks treedt een stijging van de grondwaterstand op.

58BL0014 en 58BP0014

Dit zijn vreemde reeksen. De buizen liggen tussen twee beken, maar verder is er uit de topkaart geen aanwijzing voor hun vreemde gedrag af te leiden. Met de metingen van de diepe buis (P) lijkt iets mis te zijn, maar de ondiepe buis (L) laat zien dat er toch wel iets aan de hand is. In de periode '80 tot '96 zijn de standen erg hoog; daarna tijdelijk heel laag.

58BP0058

ligt ca 3km ten noorden van Panningen in het gehucht Koningslust. Hier is een eenmalige stijging van de grondwaterstand te zien in 1994.

58CB0002 en 58CP0020

B vertoont een lichte maar duidelijke daling sinds '92. De buizen liggen in de bebouwde kom van Leverij. Is er misschien sprake van riolering of is er een nieuwbouwwijk gekomen? P vertoont een plotselinge stijging in '85 en daarna een licht stijgende trend. Is er een industriële winning gestopt?

58CP0026

ligt vlakbij een Maasplas, De Grote Hegge. Om deze buis beter te modelleren zijn peilgegevens van de plas nodig.

58CP0028

vertoont hetzelfde verloop, maar wat minder uitgesproken. De buis ligt wat verder van dezelfde Maasplas af, maar het verloop maakt aannemelijk dat hij onder de invloed van de plas staat. Aan het einde van de reeks (vanaf ca '97) wijkt het gedrag echter af van 58CP0026, dus wellicht is er nog een andere oorzaak in het spel.

58CP0116

Deze buis ligt nog wat verder van de Maasplas af. De fluctuaties van de residueeks lijken op die van 58CP0028. Feitelijk lijkt 58CP0028 tussen 58CP0026 en 58CP0116 in te liggen, wat letterlijk ook het geval is. Er lijkt echter niets structureels aan de hand. Misschien is er sprake van een lichte niet-lineariteit, waardoor zowel de hoge als de lage standen minder goed gemodelleerd worden.

58DP0015

ligt in Horn nabij een Maasplas. Een goede modellering vergt het peilverloop van de plas.

58DP0059

ligt bij Beegden, aan een andere Maasplas.

58DP0155

ligt in Horn nabij het Lateraalkanaal. Deze buis lijkt eveneens onder invloed te staan van de Maasplassen.

60AB0023

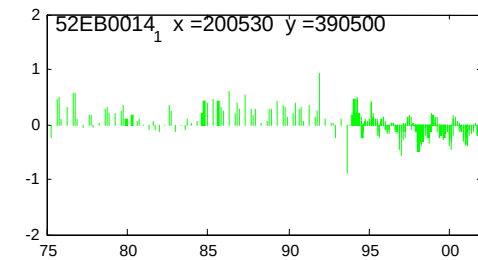
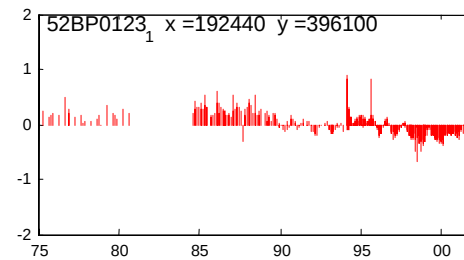
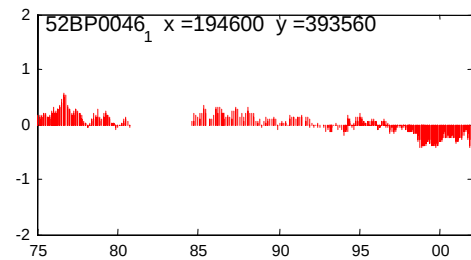
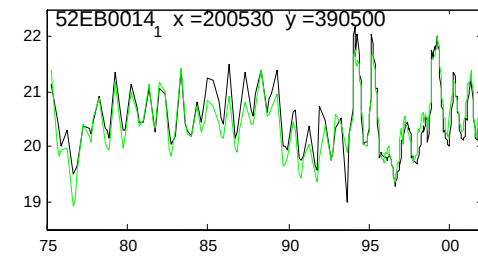
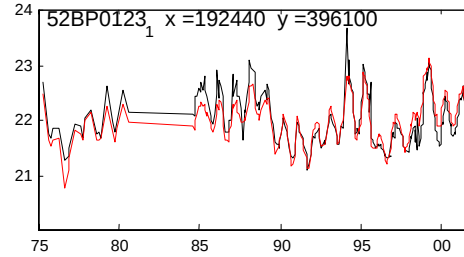
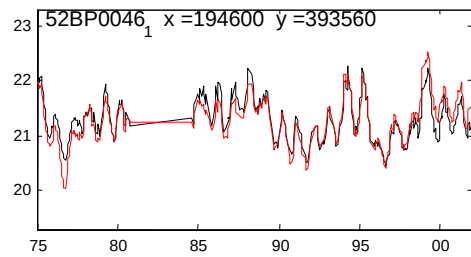
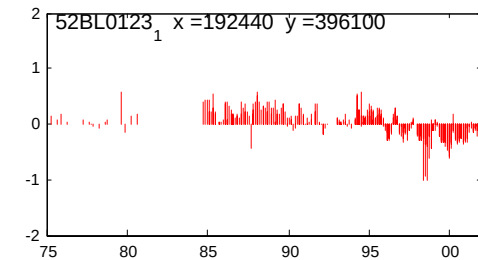
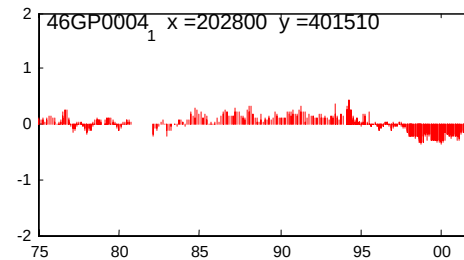
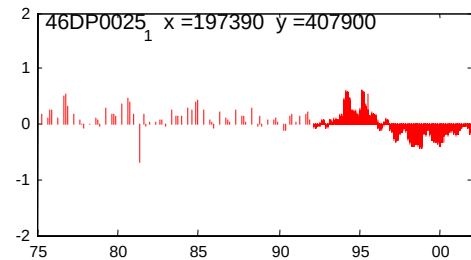
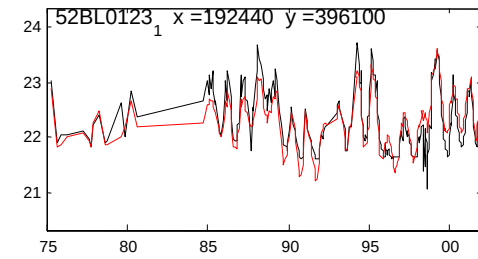
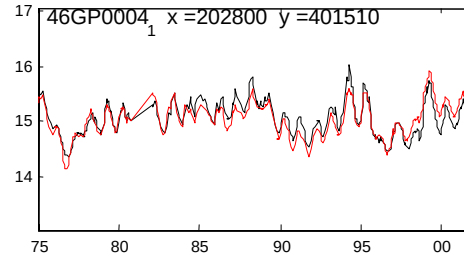
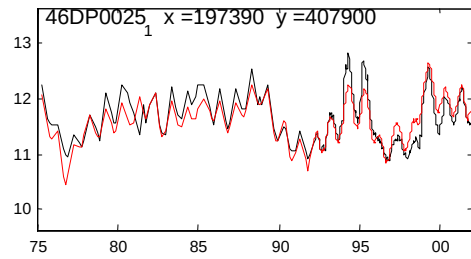
ligt tussen het Julianakanaal en de Maas. Wellicht is er een extra invoerreeks nodig om rekening te houden met het kanaal? (60AB0025, die niet uitverkoren was voor een nadere analyse, ligt aan de andere kant van het Julianakanaal en vertoont een vergelijkbare schommeling van de residuen, maar zonder de hoogwaterpieken van de Maas).

58BL0103 en 58BP0103

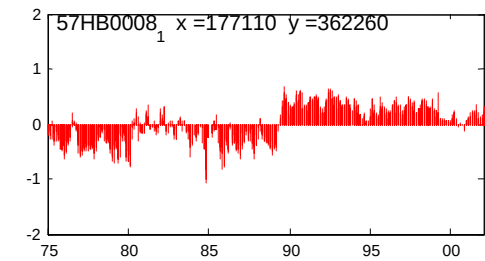
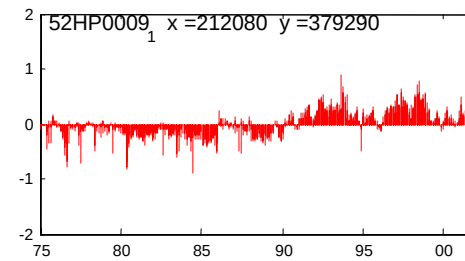
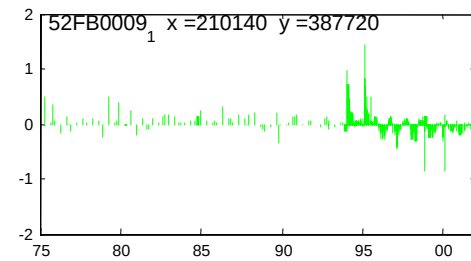
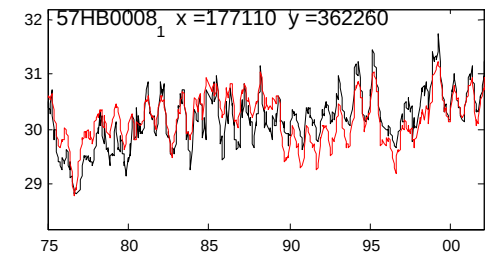
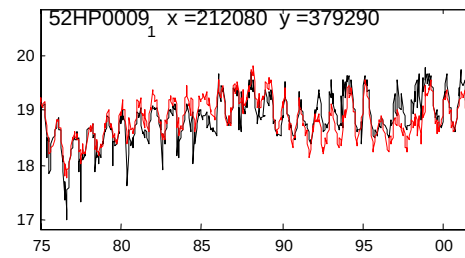
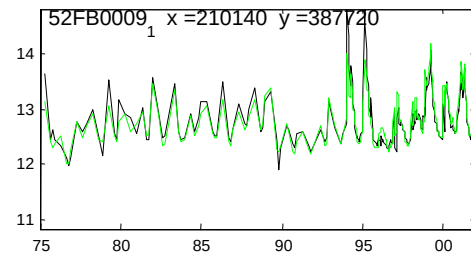
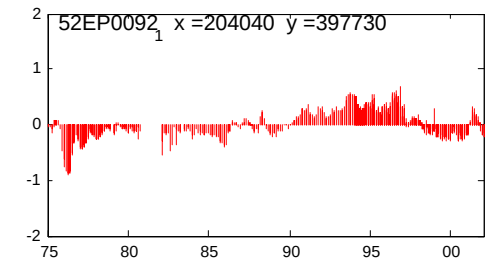
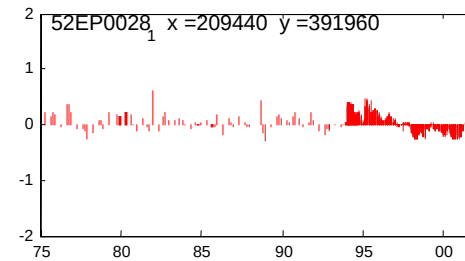
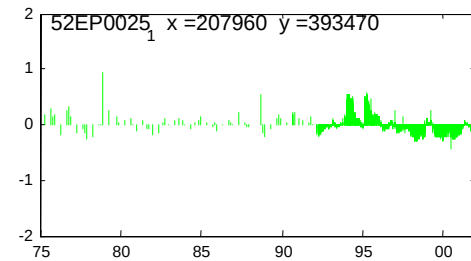
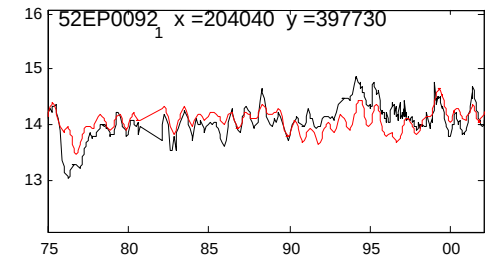
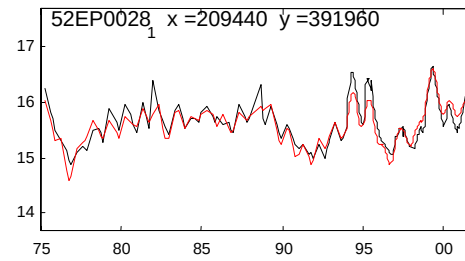
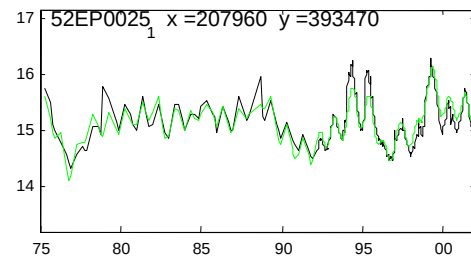
De diepe buis (P) vertoont een sprong omhoog in '97 die door het model totaal niet gevolgd wordt. De ondiepe buis laat daarvan echter nauwelijks iets zien. Daar lijkt intengendeel de grondwaterstand sinds '96 te dalen.

Figuur III-6 geeft de stijging van de gemeten grondwaterstand in de afgelopen vijf jaar, vergeleken met de vijf jaar voorafgaand aan de invoering van het stand-still beleid. Figuur III-6 geeft hetzelfde weer, na correctie voor neerslag, verdamping, Maas en pompstations.

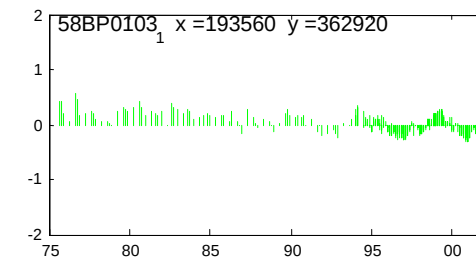
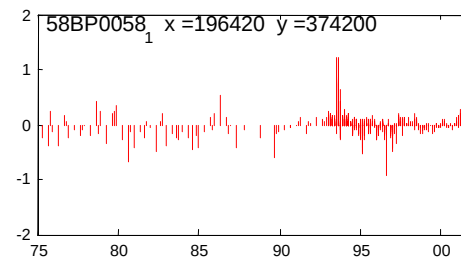
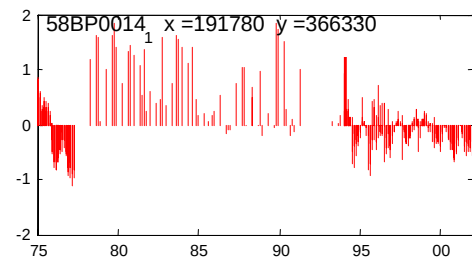
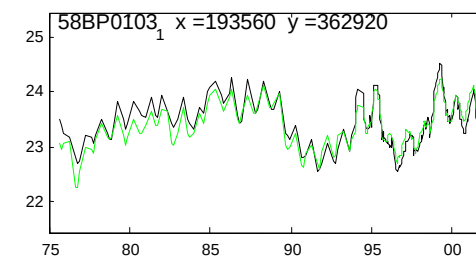
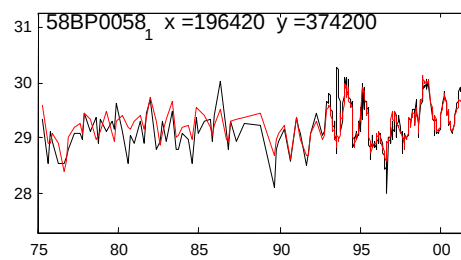
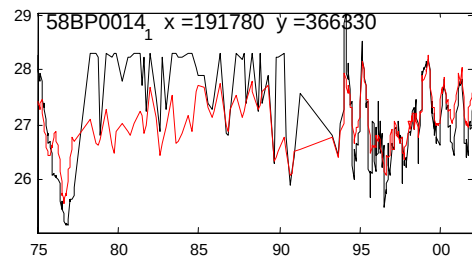
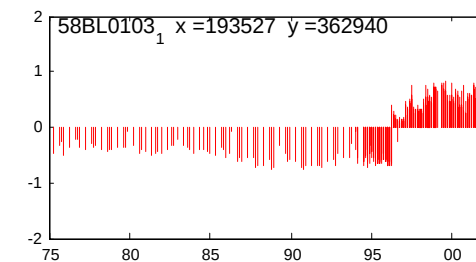
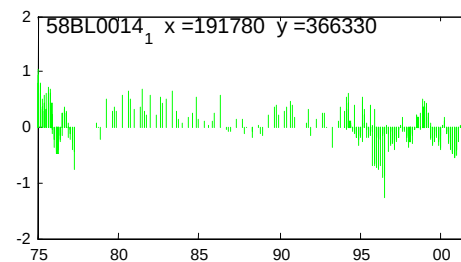
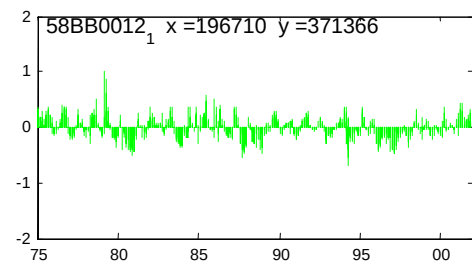
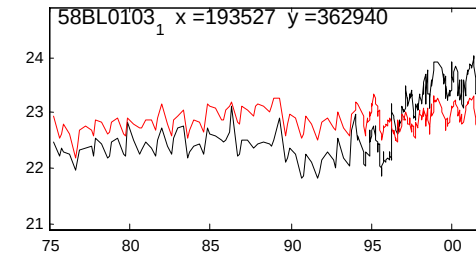
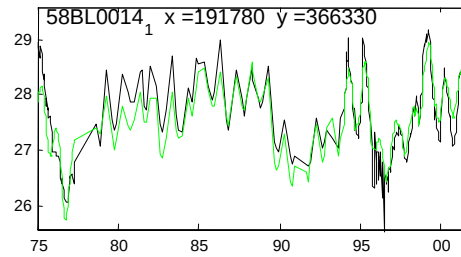
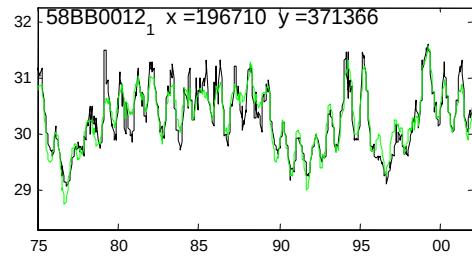
III.1 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations (groen = verklaarde variantie >



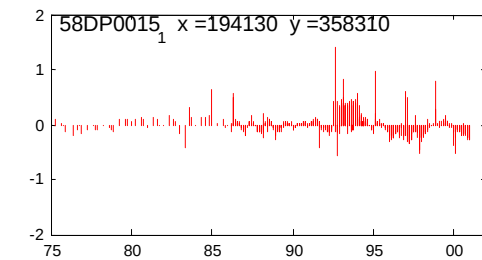
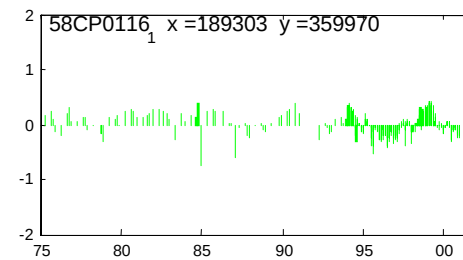
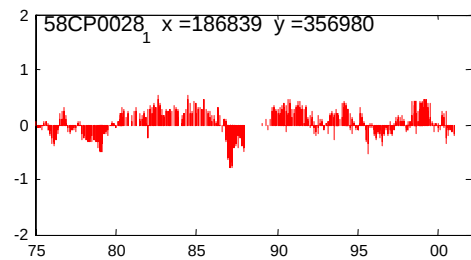
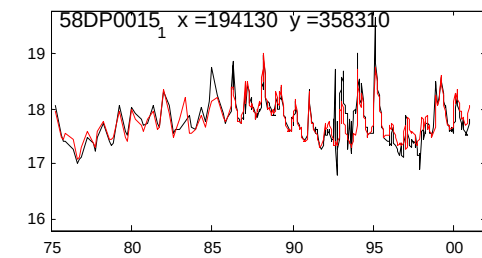
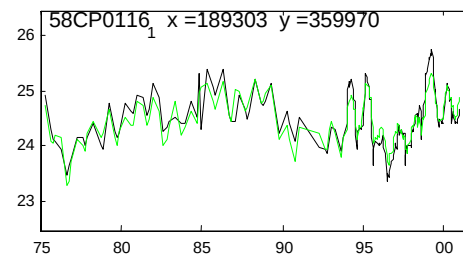
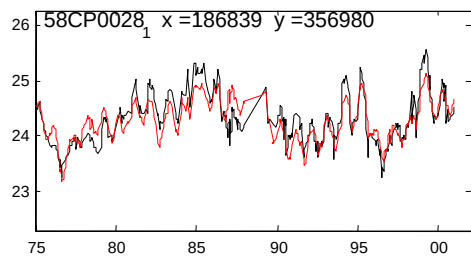
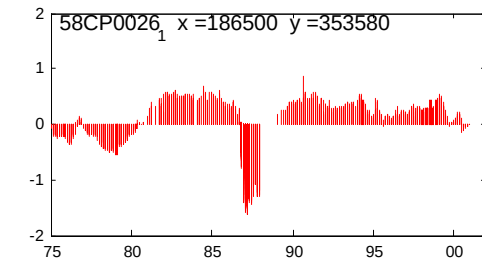
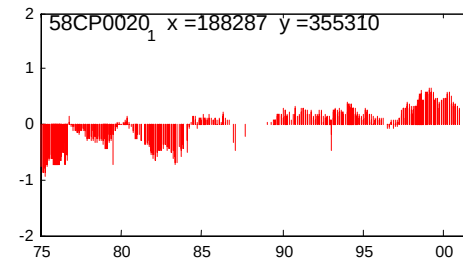
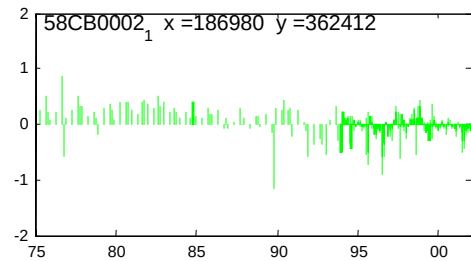
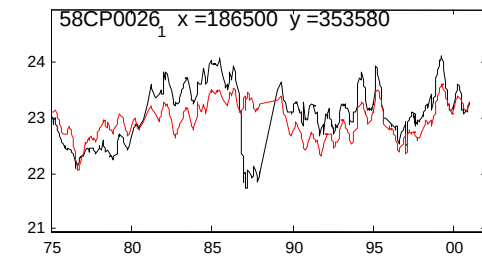
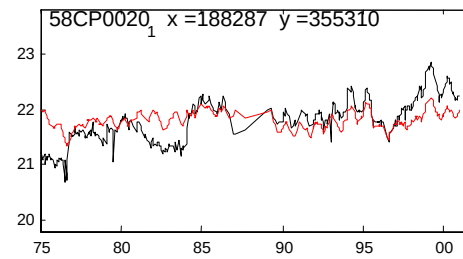
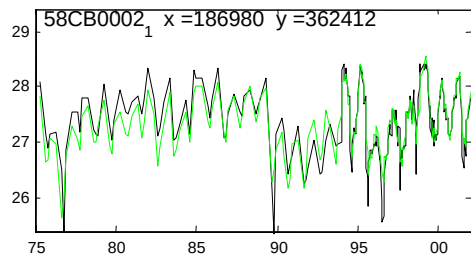
III.2 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde > 80%)



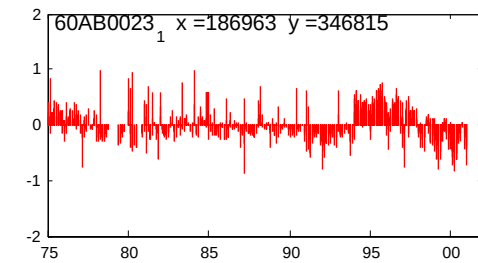
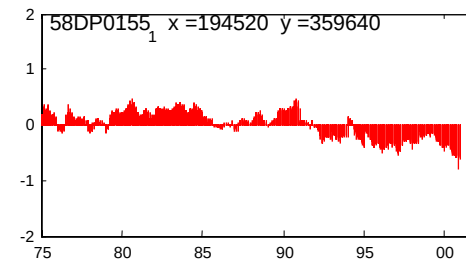
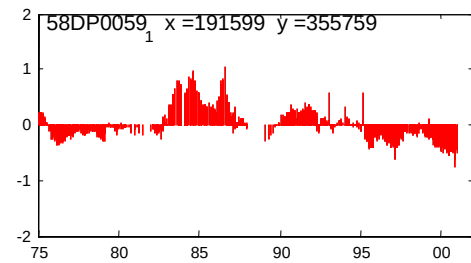
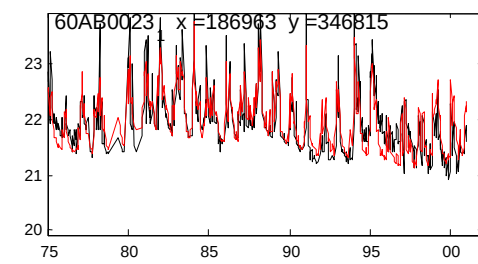
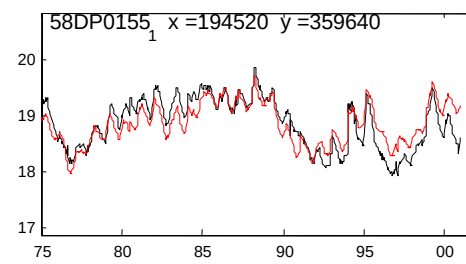
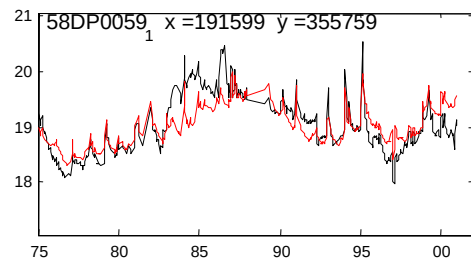
III.3 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde > 80%)



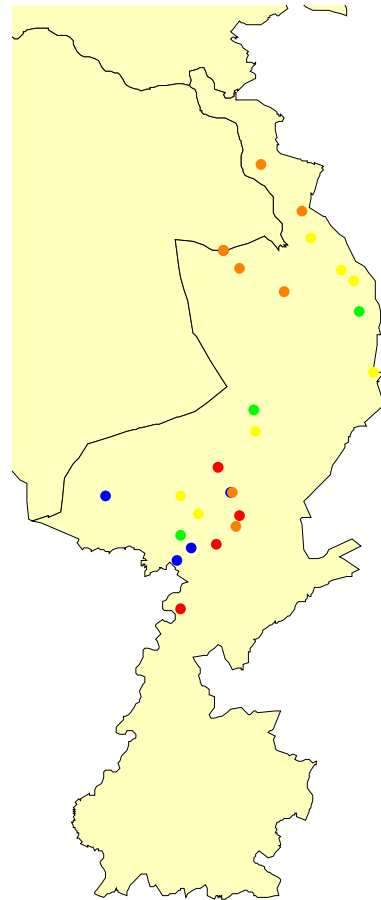
III.4 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde > 80%)



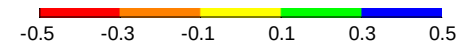
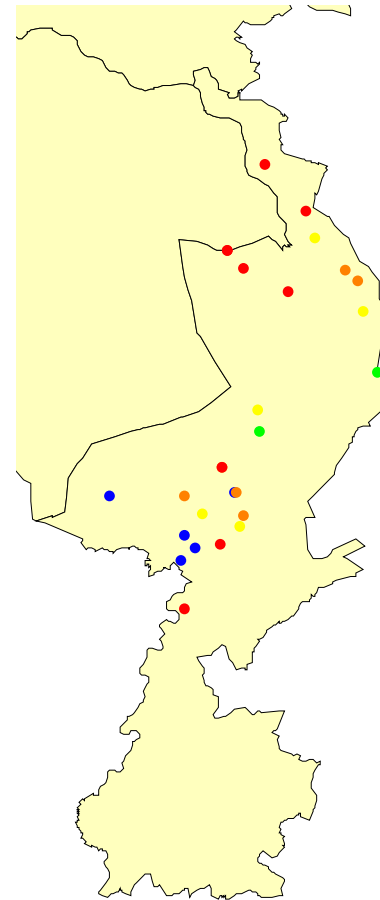
III.5 Gesimuleerde reeksen en residureeksen, rekening houdend met Maas en pompstations, vervolg (groen = verklaarde > 80%)



III.6: gws (m) 1998-heden minus gws 1985-1989
in de "onverklaarde" buizen



III.7: Idem, na correctie voor neerslag,
verdamping, pompstations en Maas



IV Wat niet zo goed lukte...

Niet-lineariteit

In 1995 kon Kiwa moeilijk conclusies trekken doordat de jaren voorafgaand aan de invoering van het stand-still-beleid erg nat waren, en de jaren daarna juist erg droog (Kiwa, 1996). Dit wordt nog eens onderstreept door figuur 8. De destijds geanalyseerde buizen stonden alle in systemen die in meerdere of mindere mate *niet-lineair* reageerden. Een systeem reageert niet-lineair als de efficiëntie van de ontwatering afhangt van de grondwaterstand ¹. Vallen in droge zomers veel sloten en beken droog, dan reageert een systeem in zo'n periode anders op neerslag en verdamping, en de gangbare transfer-ruis-modellering houdt daarmee geen rekening. Deze tekortkoming komt tot uiting in een slechte aansluiting van de verklaarde reeks in tijden van extreem hoge of extreem lage grondwaterstanden, vooral als droge en natte tijden elkaar vrij abrupt afwisslen. Nu de reeksen inmiddels veel langer zijn en zich na 1989 weer genoeg jaren hebben voorgedaan die hydrologisch vergelijkbaar zijn met de jaren voorafgaande aan de invoering van het stand-still-beleid, is niet-lineariteit niet meer van doorslaggevende betekenis. Aan veel residureeksen is nog wel te zien dat zich omstreeks 1990 een omslag voordoet, maar dat effect werkt nauwelijks verder door.

In het offertestadium was nog niet bekend of niet-lineariteit een probleem zou kunnen opwerpen. We hebben daarom in ons onderzoeksvoorstel aangeboden om duidelijk niet-lineaire reeksen te modelleren door de extreme perioden van modellering uit te sluiten. Hoewel niet-lineariteit geen bottleneck meer bleek te vormen, hebben we toch een aantal reeksen op deze manier onderzocht. Tegen onze verwachting in werden de resultaten (in termen van verklaarde variantie) daar eerder slechter dan beter van. Het was wel geruststellend om te zien dat de creatie van een groot gat in de grondwaterstandstijdreeksen onze conclusies ten aanzien van de verandering van de grondwaterstand nauwelijks beïnvloedde.

Voor bepaalde vormen van niet-lineariteit zijn inmiddels analysetechnieken beschikbaar, maar in zijn algemeenheid blijft het weerbarstige materie. Het ontwikkelen van niet-lineaire methoden van tijdreeksanalyse staat ook op het onderzoeksprogramma van Kiwa.

Modelleren met een kniktrend

Een ander idee uit ons onderzoeksvoorstel - dat we ook uitgewerkt hebben maar niet gerapporteerd - betrof het mee-modelleren van een kniktrend. Onze kniktrend bevatte twee rechte takken, die met elkaar verbonden waren op het moment waarop het stand-still-beleid in werking trad. De gedachte was dat daarmee min of meer objectief vastgesteld zou kunnen worden of er omstreeks de datum waarop het stand-still-beleid inging een plotselinge verandering van een overigens lineaire trend was opgetreden. In beginsel is deze gedachte ook wel juist, maar hij houdt er onvoldoende rekening mee dat

¹ Er zijn andere oorzaken van niet-lineariteit, maar dit is voor het onderhavige onderzoek waarschijnlijk de belangrijkste.

trendmatige veranderingen van de grondwaterstand vaak stapsgewijs optreden. Een stapsgewijze trendwijziging is niet goed met een kniktrend te benaderen. Het resultaat is dat een meegemodelleerde kniktrend vrijwel altijd een overdreven beeld oplevert van de trendverandering.

Het modelleren met een kniktrend wordt nog hachelijker tijdens de oorzakenanalyse. Er is altijd een zekere statistische correlatie tussen niet-natuurlijke oorzaken en de meegemodelleerde kniktrend, waardoor de kniktrend een deel van de niet-natuurlijke oorzaak voor zijn rekening neemt. Het resultaat is dat het aandeel van de niet-natuurlijke oorzaak in de verandering van de grondwaterstand onderschat wordt.