
Evaluatie Waterproject Ruinen - een praktijktoepassing van interventieanalyse met Menyanthes

Koen van der Hauw¹

In het Waterproject Ruinen is hemelwater afgekoppeld via een infiltratietransportsysteem. Op een aantal locaties zijn grondwaterstanden gemeten in een periode vóór en ná de maatregel. Via tijdreeksanalyse met Menyanthes is de relatie geanalyseerd tussen afkoppelen en grondwaterstand. In dit artikel zullen de belangrijkste stappen worden toegelicht. Onderwerpen die besproken worden zijn: ondiepe keileem, lineairiteit versus niet-lineairiteit, verificatie, hydrologische en fysische plausibiliteit, ruismodel en natuurlijk de resultaten. De analyse toont aan dat er in de gebieden zonder keileem sprake is van een lichte stijging van de grondwaterstanden.

Inleiding

Binnen het Waterproject Ruinen zijn diverse aanpassingen uitgevoerd aan het rioolstelsel. Een belangrijk doel was het terugbrengen van het aantal overstorten. Ook was de capaciteit van de rioolwaterzuiveringsinstallatie onvoldoende. In 2005 hebben Gemeente De Wolden en Waterschap Reest en Wieden daarom als belangrijkste maatregel 50% van het regenwater in de kern Ruinen afgekoppeld. In het gebied komt lokaal keileem voor, met van nature al hoge grondwaterstanden. Randvoorwaarde was dat het afkoppelen niet mag resulteren in meer grondwateroverlast.

In het gebied meet het waterschap sinds 17 september 2003 op twintig locaties de grondwaterstanden met dataloggers. Het waterschap heeft gevraagd of het mogelijk is via een tijdreeksanalyse te bepalen of het afkoppelen en infiltreren van hemelwater daadwerkelijk invloed heeft gehad op de grondwaterstanden en of deze invloed kan worden gekwantificeerd.

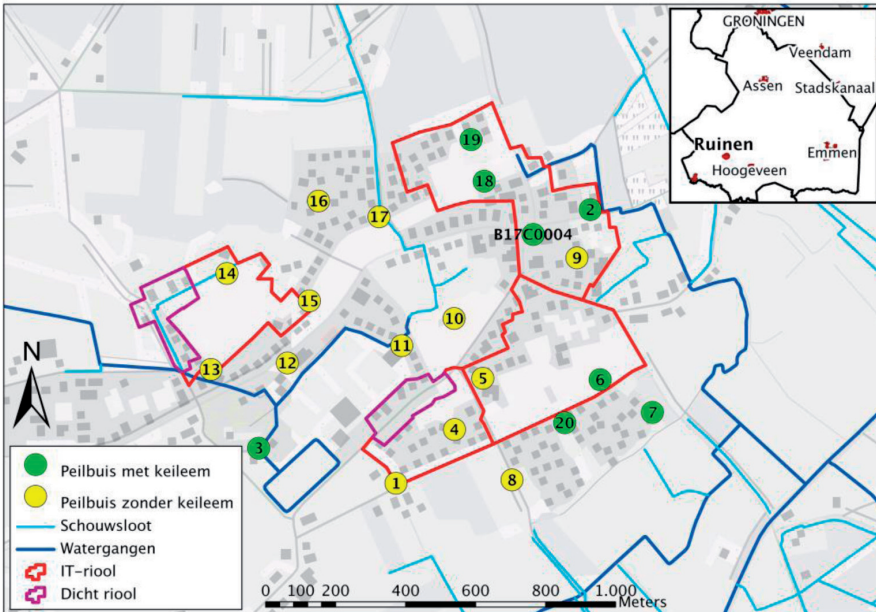
Situatieschets

De analyse betreft het stedelijke gebied van de kern Ruinen. In Ruinen bestaat de bodem voornamelijk uit zand met af en toe leem. Lokaal komt een zeer slecht doorlatende keileemlaag voor. Er is daardoor sprake van stagnatie van regenwater boven keileem,

¹ Grontmij B.V., koen.vanderhauw@grontmij.nl

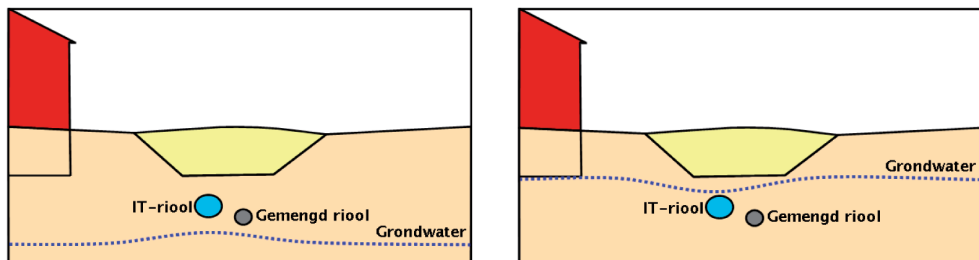
een zogenaamde schijngrondwaterspiegel. Op de meeste overige locaties zijn de grondwaterstanden relatief diep: van 2 tot 3m onder maaiveld. Er is overal sprake van wegzijging naar de diepere ondergrond. Pas op ongeveer 100m diepte is er sprake van een slecht doorlatende laag. Tijdens het boren voor de peilbuizen is een indicatie van de aanwezigheid van keileem verkregen. Uit de peilbuisgegevens blijkt dat daar waar keileem is aangetroffen ook schijngrondwaterspiegels voorkomen. Op deze plaatsen (zie de groene cirkels in afbeelding 1) stijgt de grondwaterstand in de winter tot slechts enkele decimeters onder maaiveld.

In afbeelding 1 is een overzicht gegeven van de afgekoppelde wijken in Ruinen, het betreft zowel huizen, wegen als parkeerplaatsen.



Afbeelding 1: Kern Ruinen met afgekoppelde gebieden (rood en paars omrande gebieden) en peilbuis locaties met het voorkomen van keileem op de betreffende locatie.

Het afkoppelen van hemelwater vindt plaats door middel van een infiltratietransportsysteem (IT-riool). Dit bestaat uit poreuze, waterdoorlatende buizen, die het afgekoppelde hemelwater in eerste instantie bergen achter drempels. Vanuit de buizen kan het water infiltreren naar het grondwater. Wanneer de grondwaterstand te hoog oploopt en het water niet kan infiltreren, of wanneer de bui zo groot is dat deze niet meer kan worden geborgen, zal overloop over de drempels plaatsvinden en wordt het water via een zuiverende stap (lamellenafscheider) afgevoerd naar nabij gelegen oppervlaktewater. Hiermee wordt de waterzuivering ontlast en het water vertraagd afgevoerd. In gebieden met lage grondwaterstanden, waar relatief veel water infiltreert, wordt verwacht dat de grondwaterstanden enigszins kunnen stijgen. Het systeem draagt zo bij aan de bestrijding van verdroging. Door het onderliggende zandpakket zal deze stijging naar verwachting beperkt zijn. Wanneer de grondwaterstanden boven de afvoerhoogte van het IT-riool komen kan het IT-riool gaan draineren. Het principe van infiltratie en afvoer/drainage is afgebeeld in afbeelding 2.



Afbeelding 2: Verwacht effect in gebieden met lage (links) en hoge (rechts) grondwaterstanden.

De IT-riolen hebben een dekking van minimaal 1 meter. De buizen liggen onder een gering verhang, met ter plaatse van drempels en kruisingen een hoogtesprong. Op het diepste punt ligt de bovenkant van de buis circa 2 m beneden maaiveld. Op enkele plaatsen waar door de aanwezigheid van ondiepe keileem hoge (schijn)grondwaterstanden voorkomen is een dichte rioolbuis aangebracht. Deze locaties zijn aangegeven in afbeelding 1.

Tijdreeksanalyse

Om het effect van een maatregel aan te tonen volstaat het niet om simpelweg de gemeten grondwaterstanden voor en na de maatregel te vergelijken. De fluctuatie van de grondwaterstand is een gevolg van de fluctuaties van neerslag, verdamping, kwel, grondwateronttrekkingen, peilveranderingen en andere invloeden. Het is daardoor lastig om het effect van een maatregel op het oog te kunnen bepalen en te scheiden van bijvoorbeeld meteorologische invloeden. Bij tijdreeksanalyse wordt gezocht naar een wiskundig model dat het statistische verband vastlegt tussen reeksen van grondwaterstandmetingen en zogenaamde verklarende reeksen (neerslag, verdamping, onttrekkingen et cetera). Met dit verband kan de grondwaterstand vervolgens worden berekend.

De afwijkingen of residuen tussen gesimuleerde en gemeten reeks vormen zelf weer een reeks, de zogenaamde residue reeks. Als een modellering van een peilbuis goed is gelukt vormen de residuen een willekeurige opeenvolging, waarin geen nadere trend meer te vinden is. Vaak zullen er echter nog niet-verklaarde patronen aanwezig zijn in de residue reeks omdat niet alle invloeden uit de werkelijkheid in detail bekend zijn en als verklarende reeks zijn aangevoerd.

De tijdreeksanalyse in dit onderzoek is uitgevoerd met het programma Menyanthes van KWR Watercycle Research Institute. Voor de beschrijving van dit programma wordt verwezen naar Asmuth (2009). In de volgende paragrafen wordt de toegepaste methode nader toegelicht.

Beschikbare meetreeksen

Gemeten grondwaterstanden

De 21 peilbuizen in afbeelding 1 registreren sinds 2003 de grondwaterstanden met een frequentie van 4 metingen per dag. De meetreeksen zijn visueel gecontroleerd op

niet correcte metingen, zoals dubbele waarden, ontbrekende waarden of uitschieters. De foute waarden en perioden van droogval zijn verwijderd uit de reeksen. Uitschieters zijn niet verwijderd als het waarschijnlijk een gewone extreme waarde betreft. Te korte reeksen zijn geheel verwijderd waardoor er 19 reeksen resteren.

Grondwateronttrekkingen

Er zijn in de omgeving van Ruinen een zestal onttrekkingen. De meeste grondwateronttrekkingen blijken als verklarende reeks niet veel invloed te hebben op de modelprestaties. Dit is te verwachten aangezien het kleine onttrekkingen betreffen van maximaal 30 m³/dag. Voor één buis is een kleine verbetering te zien. Maar dat komt waarschijnlijk doordat de te verklaren reeksen ingekort zijn door de korte onttrekkingreeksen. Er is daarom besloten om de onttrekkingen niet te gebruiken als verklarende reeks.

Neerslag en verdamping

Over het algemeen bepalen neerslag en verdamping het grootste deel van de fluctuatie in de grondwaterstand. Het is daarom belangrijk reeksen te gebruiken die goed de lokale situatie weergeven. De neerslag is dagelijks gemeten in meteostation Dwingeloo vanaf 1951. Dit station ligt 7,5 km ten noordoosten van Ruinen. Daarnaast zijn er ook per uur radargegevens vanaf 2003 beschikbaar van de neerslag in Ruinen. Deze geven een nauwkeuriger ruimtelijk beeld van de neerslag. Met beide neerslagreeksen zijn tijdreeksmodellen bepaald. De referentiegewasverdamping is dagelijks beschikbaar voor meteostation Hoogeveen vanaf 1989. Dit station ligt 10,5 km ten zuidoosten van Ruinen.

Waterpeilen

In Gemeente De Wolden worden geen zomer- en winterpeilen gehanteerd, maar minimale en maximale peilen. Deze zijn in de kern Ruinen gelijk, maar er zullen wel fluctuaties in waterpeilen optreden als gevolg van neerslag. Met name van een watergang ten westen van Ruinen is bekend dat tijdens piekafvoeren de waterpeilen in het open water behoorlijk kunnen oplopen. De meeste watergangen in Ruinen zijn niet zo diep en zullen een beperkt effect hebben op de regionale grondwaterstanden. Dicht bij de sloten kunnen de grondwaterstanden wel worden beïnvloed. Van de waterlopen zijn echter geen continue peilmetingen beschikbaar, waardoor ze niet als verklarende reeks meegenomen kunnen worden in de tijdreeksanalyse. Bij de peilbuizen dicht bij open water moet hier bij de interpretatie van de resultaten rekening mee worden gehouden.

Overige verklarende reeksen

In stedelijk gebied zijn er nog processen van invloed op de stijghoogte waarvan geen metingen beschikbaar zijn. Voorbeeld hiervan is ontwatering via buisdrainage en

eventuele nog aanwezige oude lekkende riolen. Deze processen kunnen niet worden meegenomen in de analyse, maar zullen mogelijk zichtbaar zijn in de residuen van de tijdreeksmodellen. Het ontbreken van deze verklarende reeksen hoeft geen probleem te zijn. Het doel van dit onderzoek is niet om de gehele reeks te verklaren, maar om effecten van het afkoppelen in beeld te brengen.

Het maken van een tijdreeksmodel

Meetfrequentie van de meetreeksen

Menyanthes geeft de mogelijkheid de meetfrequentie te verlagen of te verhogen via interpolatie. Omdat een 'continu' model wordt afgeleid kan deze keuze afzonderlijk voor de verklarende reeksen en de grondwaterstandreeks gebeuren. Bij de bepaling van het tijdreeksmodel is voor de verklarende reeksen steeds een frequentie van een dag gebruikt, enerzijds vanwege de rekentijd, anderzijds vanwege de meetfrequentie van de KNMI verdamping- en neerslagreeks. Enkele tests lieten geen verbeteringen zien wanneer voor de radargegevens een frequentie van een uur werd gebruikt. De uurwaarden van de radargegevens zijn daarom gesommeerd naar dagwaarden. Voor de grondwaterstandreeks is de originele meetfrequentie van 4 metingen per dag aangehouden.

Lineair of niet-lineair model per peilbuis

Er is onderscheid te maken tussen lineaire en niet-lineaire modellen. Bij niet-lineaire systemen reageert de grondwaterstand niet altijd hetzelfde op een verklarende reeks. Het effect van neerslag zal bijvoorbeeld anders zijn als de grondwaterstand stijgt tot boven het oppervlaktewaterpeil of de onderkant van een IT-riool. Deze vorm van niet-lineairiteit treedt op zodra de grondwaterstand een bepaalde *drempelwaarde* overschrijdt. In Menyanthes kan voor dergelijk niet-lineair gedrag gekozen worden voor het gebruik van maximaal twee verschillende transfermodellen: één voor het systeem onder en één voor het systeem boven de drempelwaarde. De gebruikte versie van Menyanthes kan niet meer dan één drempelovergang modelleren en vereist dat de drempelhoogten constant zijn in de tijd. Per peilbuis locatie is bepaald of er niet-lineairiteit optreedt.

Modelverificatie

Menyanthes bepaalt op basis van de meet- en verklarende reeksen een transfer-ruis-model. Het transfermodel heeft een volgende vorm:

$$Y(t) = f_1(X_1, t) + f_2(X_2, t) + \dots + f_n(X_n, t) + n(t) \quad (1)$$

Waarbij:

$Y(t)$ = de grondwaterstand (of stijghoogte) op tijdstip t

f_j = de transferfunctie voor verklarende variabele X_j

$n(t)$ = het residu op tijdstip t

Een belangrijke voorwaarde voor het doen van statistische uitspraken is dat de residuen $n(t)$ geen autocorrelatie vertonen. Als wordt gemodelleerd op dagbasis valt echter, vanwege het *geheugen* van het systeem, te verwachten dat $n(t)$ nog sterke autocorrelatie vertoont. Deze wordt via het ruismodel geëlimineerd, zie Asmuth (2005):

$$n(t) = \exp(-\alpha\Delta t)n(t-\Delta t) + v(t) \tag{2}$$

Waarbij:

α = de *decay rate* of *vervalsnelheid* van de ruis

Δt = de tijdstap

$v(t)$ = de *innovatie* op tijdstip t

Dit model heeft zelf weer een residu $v(t)$ dat de *innovatie* wordt genoemd. Er dient vervolgens beoordeeld te worden of de $v(t)$ -waarden *witte ruis* vormen, ofwel dat ze onafhankelijke trekkingen vormen uit dezelfde normale kansverdeling en geen autocorrelatie vertonen. Dit is in Menyanthes onder andere te controleren via een autocorrelatieplot. Een tweede voorwaarde is dat de verklarende reeksen niet onderling zijn gecorreleerd. Menyanthes houdt hier in het geval van neerslag en verdamping zelf rekening mee. Een derde voorwaarde is dat de meetreeksen voldoende lang zijn en voldoende meetwaarden bevatten. Het is belangrijk dat de lengte van de grondwaterstandreeks in ieder geval groter is dan het geheugen van het systeem. Een schatting hiervoor kan met Menyanthes worden verkregen.

Het model bepaalt een relatie tussen neerslag en verdamping en de stijghoogte. In een goed model moet deze relatie significant zijn. Dit is het geval als de absolute waarde van MO (zie de volgende pagina) minus twee maal de standaardfout positief is. Het blijkt echter voor niet-lineaire systemen met een trage component vaak niet goed mogelijk te voldoen aan deze eis van significantie. Dit heeft er mee te maken dat het uitzakken van de grondwaterstand (de situatie waarbij de trage reactie optreedt) maar maximaal enkele maanden per jaar duurt. Deze periode is te kort om de reactie goed mee te bepalen. Voor de niet lineaire reeksen is het daarom beter om de eis van significantie te laten vallen voor de trage component (zie Leunk, 2011).

Een relatieve maat voor de *pasvorm* van een tijdreeksmodel is de *verklaarde variantie* (EVP): het percentage van de totale variatie van de grondwaterstanden dat verklaard kan worden met het transfermodel.

$$EVP = \frac{\sigma_{h(t)}^2 - \sigma_{n(t)}^2}{\sigma_{h(t)}^2} \times 100\% \tag{3}$$

Waarbij:

$\sigma_{h(t)}^2$ = variantie van de grondwaterstanden en

$\sigma_{n(t)}^2$ = de variantie van de residuen

In de literatuur wordt vaak als richtwaarde gebruikt dat een model ten minste een EVP van 70% moet hebben. Deze richtwaarde is ook in dit onderzoek gehanteerd.

Een absolute maat voor de pasvorm is de *Root Mean Squared Error* (RMSE), de wortel uit het gemiddelde van de gekwadrateerde residuen ofwel de standaardafwijking van het residu.

Hydrologische en fysische plausibiliteit

De aanwezigheid van een *statistische* relatie betekent niet dat er ook een oorzakelijk verband is. Daarom moet het model gecontroleerd worden op de hydrologische en fysische plausibiliteit. De parameters van de door Menyanthes bepaalde tijdreeksmodellen hebben ook een fysische basis. De volgende parameters zijn daarop in dit onderzoek beoordeeld:

- De *drainagebasis* is het niveau dat de grondwaterspiegel zou bereiken als het afstromingsgebied lange tijd niet beïnvloed zou worden door de voor de tijdreeksmodellering gedefinieerde invloeden. Vaak zal de drainagebasis het niveau zijn dat wordt bepaald door het gemiddelde peil van de ontwateringmiddelen. Voor niet-lineaire modellen wordt de drainagebasis tweemaal berekend. De berekende drainagebasis onder de drempel zegt meestal niet zoveel.
- De *verdampingsfactor* geeft de gemiddelde verhouding tussen de actuele en de referentieverdamping voor een bepaalde peilbuis. De verdampingsfactor is niet hetzelfde als de gewasfactor. De verdampingsfactor zal over het algemeen lager uitvallen. Een waarde kleiner dan 0,5 of groter dan 2 kan een aanwijzing zijn dat er andere invloeden niet zijn meegenomen en onterecht zijn gemodelleerd via de verdamping.
- De *gain (MO)* geeft fysisch gezien de verhouding weer tussen de uiteindelijke stijghoogte en de intensiteit van de regenval, als het heel lang zou blijven regenen. Deze verhouding kan de drainageweerstand (in dagen) genoemd worden, maar is peilbuisgebonden. Als een peilbuis dicht bij een drainerend middel staat dan is *MO* slechts enkele dagen. Ver van waterlopen kan *MO* gemakkelijk waarden van duizenden dagen bereiken.

Validatie

Als een tijdreeksmodel in staat is voor de kalibratiereeks de gemeten grondwaterstanden te simuleren zegt dit iets over de prestaties van het model voor die specifieke reeks. Het zegt echter nog niets over de voorspellende waarde van het model in andere omstandigheden. Dit is in deze studie van belang, vooral omdat de periodes vóór en ná de maatregel met elkaar vergeleken moeten worden. Om daar iets over te zeggen moet het tijdreeksmodel gevalideerd worden voor tijdreeksen en omstandigheden die niet tijdens kalibratie zijn gebruikt. Gezien de relatief korte meetperiode is voor de modellen vóór de afkoppelmaatregel geen validatie mogelijk. Voor de modellen ná de afkoppelmaatregel zijn reeksen van veelal vijf jaar beschikbaar. Even korte reeksen zijn nu gebruikt voor de kalibratie van de “vóór de maatregel”-modellen als de “ná de maatregel”-modellen. Dat betekent anderhalf jaar voor de kalibratie en de rest voor de validatie. Indien valide, wordt een nieuw model gekalibreerd met de volledige tijdreeks, waarbij de parameters niet te veel mogen veranderen ten opzichte van de eerste kalibratie. Dit laatste model wordt gebruikt voor de effectanalyse.

Voor de validatie is gekeken naar een parameter die ook in de effectanalyse van belang is: de GxG. Deze is zowel voor de gemeten als de gesimuleerde validatiereeks bepaald. Het verschil tussen de gemeten en met het model berekende GxG zegt iets over de gemiddelde fout bij modelvoorspellingen. Om dit verschil te beoordelen is vergeleken

met de RMSE van de gehele validatiereeks. Hoewel statistisch niet correct, geeft dit een praktische en eenvoudige beoordeling. Een verschil in GxG groter dan de RMSE geeft een indicatie dat het gebruikte model niet voldoende voorspelt voor de gewenste analyse.

Effectbepaling

Om te bepalen of de maatregel een relatie met de grondwaterstand heeft zijn aparte modellen voor de periode vóór en ná afkoppelen gemaakt. Deze methode wordt doorgaans gebruikt wanneer er een interne verandering in het systeem is ontstaan. Eén enkel model kan dan nooit zowel de periode vóór als ná de maatregel modelleren. Met beide modellen worden grondwaterstanden gesimuleerd op basis van de hele periode waarvoor verklarende reeksen beschikbaar zijn. Op deze wijze wordt voor een gelijke periode een grondwaterstandreeks verkregen voor een systeem met en zonder afkoppelen. De invloed van klimaat is dan niet meer van belang en de reeksen kunnen direct worden vergeleken. De vergelijking gebeurt in dit onderzoek op basis van GxG en gemiddelde grondwaterregime lijnen.

Een deel van de variatie in grondwaterspiegelfluctuaties wordt verklaard door het ruismodel. Dat betekent dat bij deterministische simulatie, dus zonder ruismodel, de variantie van de fluctuaties wordt onderschat. Om een goede inschatting te maken van de kansen op extremen is het daarom van belang het ruismodel mee te nemen. Daarom zijn in deze analyse voor ieder tijdreeksmodel 100 stochastische runs met het transfer-ruismodel gesimuleerd. Zo komen deze extremen beter in beeld bij de analyse van de GxG. Op basis van de stochastische runs zijn percentielen bepaald. Op basis van één deterministische simulatie is een grafiek gemaakt van het gemiddelde grondwaterregime. Deze geeft een overzichtelijke visuele samenvatting van de verschillen.

Resultaten

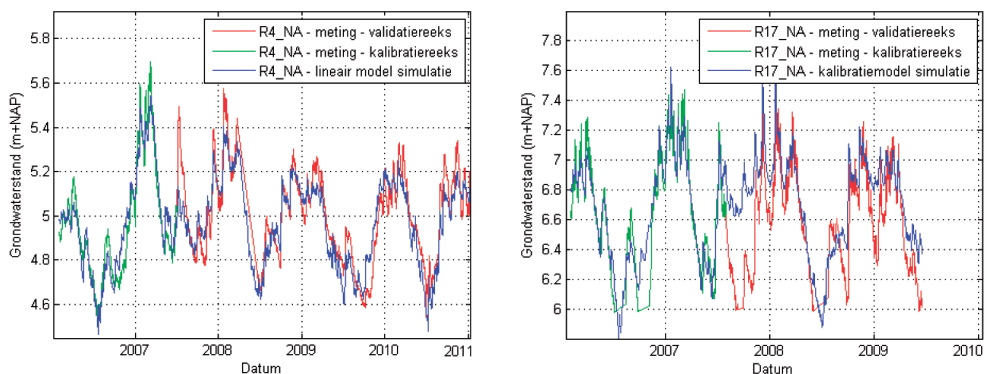
De resultaten zijn samengevat in tabel 1. Voor de peilbuizen waar keileem ondiep voorkomt (buis 6, 7 en 20) kan geen goed model worden gemaakt doordat de boven de keileem geplaatste buizen regelmatig droog vallen. Er ontstaan daardoor gaten in de meetreeks. Bij peilbuis 17, nabij een keileemgebied, is wel verdroging zichtbaar. Dit geeft een mogelijk indirecte aanwijzing dat het IT-riool fungeert als drain in afgekoppeld gebied. In de afgekoppelde gebieden waar geen keileem met schijngrondwaterspiegels voorkomt, is steeds een beperkte vernatting van 5 tot 20 cm berekend. Voor een aantal buizen in niet-afgekoppeld gebied wordt ook vernatting berekend (buis 3, 8, 10, 12, 15 en 16). Gezien de afstand van de buizen tot afgekoppeld gebied, is het mogelijk dat ze binnen het beïnvloedingsgebied van het afgekoppelde gebied liggen. Alle modellen, behalve het model voor de peilbuis uit Dinoloket, voldoen aan de voorwaarde van witte ruis. Vier kenmerkende buizen (3, 4, 8 en 17) worden in dit artikel nader besproken.

Peilbuis	Keileem diepte (t.o.v. mv)	Opp. water nabij	Afgekoppeld	Gwson-diep	Type model	Modellen OK?			Gesimuleerde stijging GxG na maatregelen			
						EVP>70%	signifikaant	gem. RMSE (cm)	GLG	GG	GVG	GHG
R1		nee	ja	nee	lineair	ja (90%)	ja	0,07	0,09	0,06	0,07	0,02
R2	1,2-4m zanderig	ja	ja, op rand	nee	niet-lineair	ja (93%)	ja	0,07	0,20	0,13	0,04	0,06
R3	3,25m	ja	nee, wel water	nee	niet-lineair	ja (90%)	ja	0,10	0,12	0,08	0,00	0,03
R4		nee	ja	nee	lineair	ja (87%)	ja	0,07	0,12	0,08	0,08	0,05
R5	1,2-2m zanderig	nee	ja	nee	lineair	ja (85%)	ja	0,10	0,13	0,09	0,09	0,04
R6	1,5m	nee	ja	winter	niet-lineair	nee	ja	0,17	-0,01	-0,06	-0,04	-0,05
R7	1,8m	nee	ja	winter	niet-lineair	nee	ja	0,17	0,32	0,07	0,08	0,02
R8		ja	nee	nee	niet-lineair	ja (90%)	ja	0,06	0,04	0,04	0,07	0,05
R9		nee	ja	nee	lineair	nee	ja	0,15	0,95	0,82	0,80	0,69
R10		nee	nee	nee	lineair	ja (80%)	ja	0,10	0,12	0,04	-0,03	-0,03
R12		beetje	nee	nee	lineair	ja (89%)	ja	0,08	0,11	0,08	0,07	0,05
R13		ja	nee, net er buiten	nee	niet-lineair	ja (90%)	nee	0,07	0,00	0,00	0,04	0,02
R14		sloot	nee, net er buiten	nee	niet-lineair	ja (90%)	nee	0,08	0,04	0,04	0,09	0,06
R15		nee	nee, net er buiten	nee	lineair	ja (89%)	ja	0,08	0,12	0,09	0,09	0,04
R16		nee	nee	nee	lineair	ja (89%)	ja	0,10	0,16	0,10	0,11	0,05
R17		sloot	nee	ja	niet-lineair	ja (78%)	ja	0,15	0,08	-0,13	-0,21	-0,18
R18		nee	ja	ja	(niet-)lineair	ja (73%)	nee	0,14	0,42	0,34	0,24	0,32
R20	2,2m	nee	nee	ja	niet-lineair	nee	ja	0,10	1,39	1,17	0,71	0,88
B17CO004	5m	nee	ja	nee	niet-lineair	ja (79%)	nee	0,14	0,11	0,10	0,18	0,07

Tabel 1: Samenvatting van de resultaten van de onderzochte tijdreeksen.

Validatie

In afbeelding 3 is voor de “ná de maatregel”-modellen voor peilbuizen 4 en 17 een visuele vergelijking getoond van de gemeten en berekende grondwaterstanden van de validatiereeks.



Afbeelding 3: Vergelijking van de gemeten en berekende grondwaterstanden voor de validatiereeks voor peilbuizen 4 en 17.

De GxG van de gemeten en berekende validatiereeks is in tabel 2 opgenomen voor alle vier te bespreken peilbuizen.

NAME	MLGL	MGL	MSGL	MHGL
R4_NA - meting - validatieperiode	4,68	4,97	5,13	5,22
R4_NA - model - validatieperiode	4,66	4,97	5,12	5,19

NAME	MLGL	MGL	MSGL	MHGL
R17_NA - meting - validatiereeks	6,02	6,6	6,85	7,1
R17_NA - model - validatieperiode	6	6,66	6,93	7,09

NAME	MLGL	MGL	MSGL	MHGL
R3_NA - meting - validatieperiode	3,78	4,09	4,37	4,46
R3_NA - model - validatieperiode	3,85	4,09	4,28	4,37

NAME	MLGL	MGL	MSGL	MHGL
R8_NA - meting - validatiereeks	4,7	4,98	5,14	5,23
R8_NA - model - validatieperiode	4,7	4,98	5,11	5,2

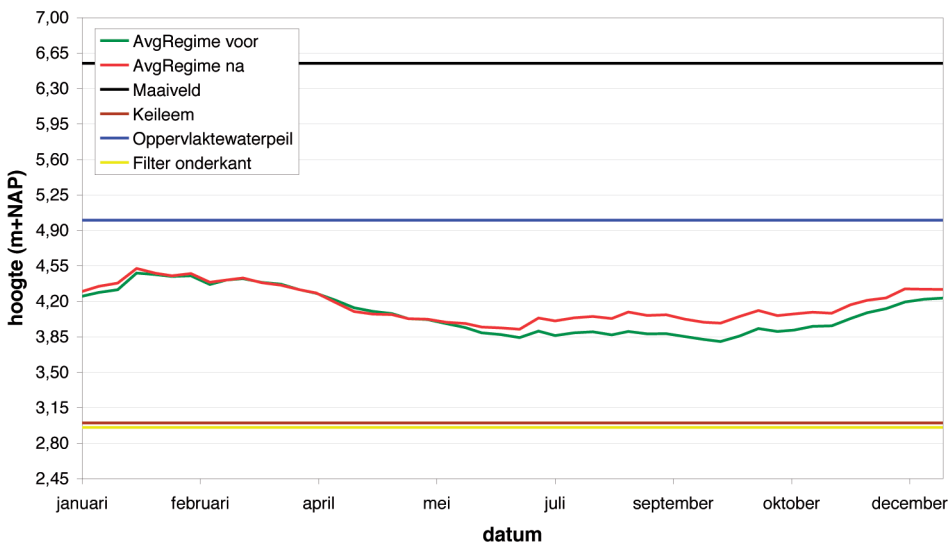
Tabel 2: Vergelijking van de gemeten en berekende GxG voor de validatiereeks voor peilbuizen 3, 4, 8 en 17. (MLGL = Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG), MGL = Gemiddelde Grondwaterstand (GG), MSGL = Gemiddelde Voorjaar Grondwaterstand (GVG), MHGL = Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHC)).

Het verschil in GxG voor peilbuis 3 en 8 zit nog onder de RMSE van het model. Peilbuis 4 geeft een verschil in GxG van maximaal 3cm en geeft ook een goede visuele overeenkomst voor de validatiereeks. De extremen worden echter soms gemist. Dit kan komen doordat bij de validatie alleen het transfermodel is gebruikt. Buis 17 geeft wel een acceptabele GxG, maar visuele inspectie van de validatiereeksen laat zien dat de lage grondwaterstanden niet goed worden voorspeld. Hier moet rekening mee worden gehouden in de analyse.

Peilbuis 3

Bij peilbuis 3 is keileem aanwezig, dit bevindt zich nabij de onderkant van het filter. De peilbuis bevindt zich niet in afgekoppeld gebied. Wel komt er oppervlaktewater vanuit een oostelijk gelegen afgekoppeld gebied dicht langs deze peilbuis. De betreffende watergang is in verband met de afkoppelmaatregelen verbreed en verdiept om de hoeveelheid water te kunnen verwerken. Vanwege het nabije oppervlaktewater wordt uitgegaan van een niet-lineair tijdreeksmodel.

AvgRegime R3



Afbeelding 4: Gemiddeld verschil door afkoppelen voor het niet-lineaire model met radar neerslag voor peilbuis 3.

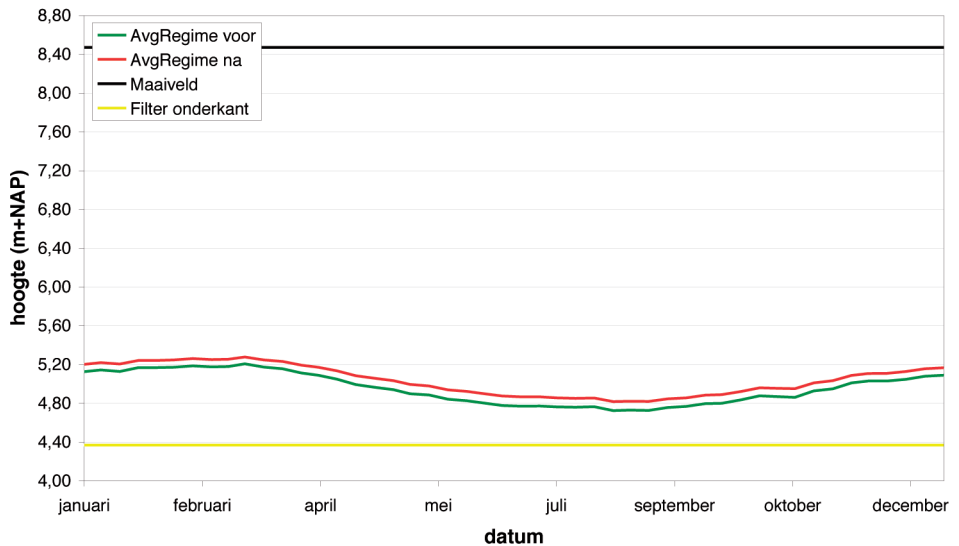
Voor het niet-lineaire model op basis van KNMI neerslag is er een significante relatie tussen neerslag, verdamping en de grondwaterstand. Het model heeft echter zowel onder als boven de drempel een erg hoge drainageweerstand. Gezien de afstand tot het oppervlaktewater is dit onverwacht. Radarneerslag geeft een realistischer drainageweerstand. De daarop gebaseerde modelparameters zijn gebruikt.

In afbeelding 4 is te zien dat de verschillen vooral in de zomer, herfst en winter zichtbaar zijn. Het deterministische model berekent een 12cm hogere GLG en geen verandering in de GHG. De stochastische modelruns geven een vergelijkbaar beeld. Gezien de RMSE van 10cm (zie tabel 1), zou er een effect kunnen zijn. De buis ligt echter niet in afgekoppeld gebied, maar het kan zijn dat de bij het afkoppelen aangepaste watergang nu extra water afvoert vanuit afgekoppeld gebied en hier weer infiltreert.

Peilbuis 4

Bij peilbuis 4 is geen keileem aanwezig en er is geen oppervlaktewater nabij. Op deze locatie is afgekoppeld. Omdat het grondwater niet boven de verwachte hoogte van het IT-riool komt, wordt er uitgegaan van een lineair tijdreeksmodel. Het model met KNMI neerslag presteert goed. In afbeelding 5 is een klein verschil te zien: het deterministische model berekent na de maatregel een 5 - 12cm hogere grondwaterstand door het gehele jaar heen. Dit is een verwacht effect van afkoppelen bij de hier optredende lage grondwaterstanden. De stochastische runs geven een vergelijkbaar resultaat. Het verschil is in de zomer ongeveer 5cm meer dan de RMSE van 7cm. Het is dus goed mogelijk dat er inderdaad een effect optreedt op deze locatie.

AvgRegime R4



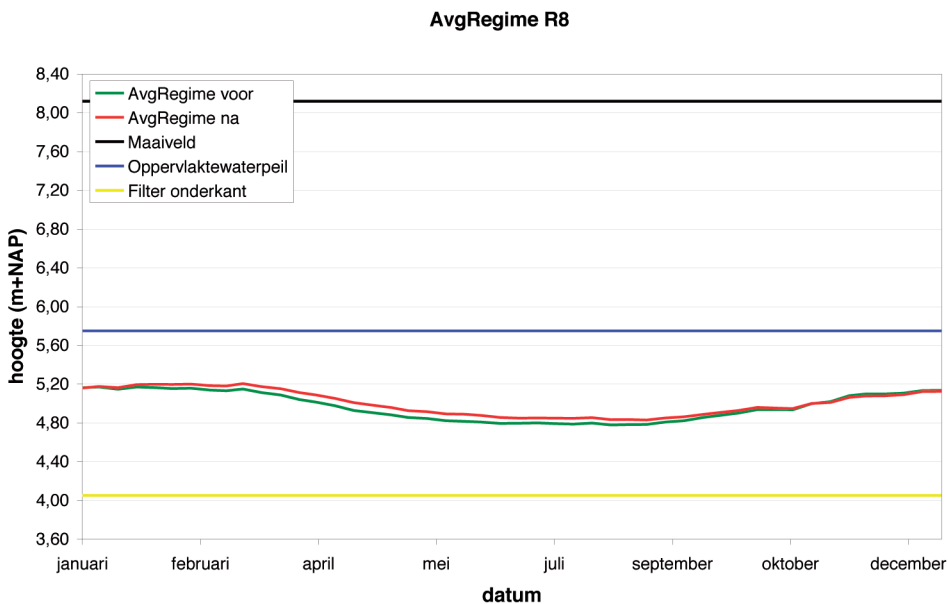
Afbeelding 5: Gemiddeld verschil door afkoppelen met het lineaire model voor peilbuis 4.

Peilbuis 6

Bij peilbuis 6 is keileem aanwezig vlak onder het filter. Er treden schijngrondwaterpiegels op vanwege de keileem. In natte perioden stijgt de grondwaterstand tot net onder maaiveld en in droge perioden valt de buis droog. De peilbuis bevindt zich in afgekoppeld gebied. Er is geen oppervlaktewater nabij. Vanwege keileem is sprake van een niet-lineair systeem. Het niet-lineaire model vóór afkoppelen op basis van zowel KNMI neerslag als radar neerslag hebben een EVP onder de 60% en geven een onrealistische drainagebasis en zijn onvoldoende betrouwbaar. Visuele controle laat ook zien dat het model lage grondwaterstanden niet goed berekent. Het verder analyseren van de resultaten heeft daardoor geen zin. Het verwachte drainerende effect van een IT-riool in perioden van hoge grondwaterstanden kan daardoor niet goed aangetoond worden.

Peilbuis 8

Bij peilbuis 8 is geen keileem aanwezig. De peilbuis bevindt zich vlak naast een sloot en niet in afgekoppeld gebied. Vanwege het oppervlaktewater wordt een niet-lineair tijdreeksmodel gebruikt. Het niet-lineaire model op basis van KNMI neerslag presteert goed. Het heeft echter vrij hoge drainageweerstand, zeker gezien het nabije oppervlaktewater. Bij radarneerslag geldt hetzelfde.



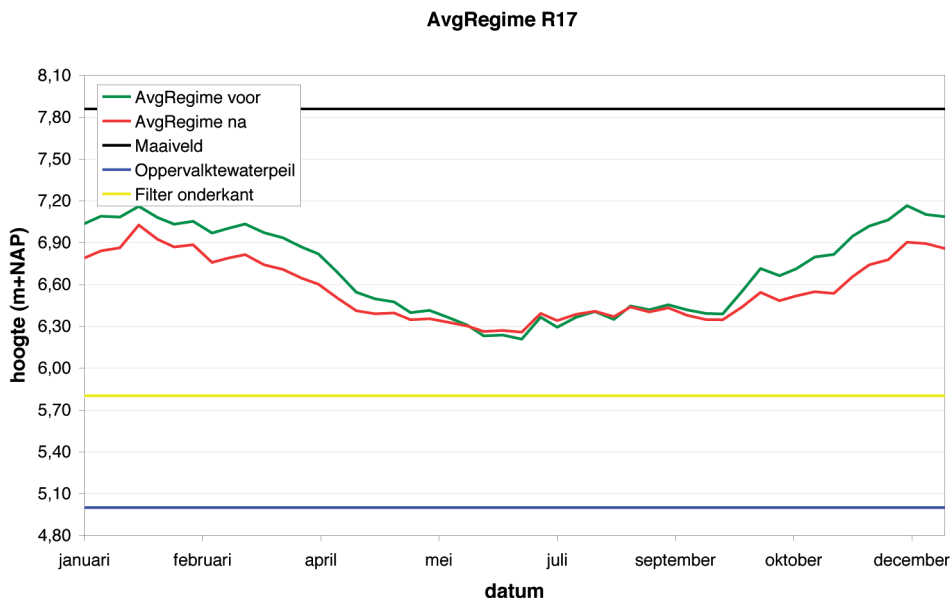
Afbeelding 6: Gemiddeld verschil door afkoppelen voor het niet-lineaire model voor peilbuis 8.

In afbeelding 6 valt te zien dat de verschillen erg beperkt zijn: 3 tot 7cm in voorjaar en zomer. De stochastische runs geven hetzelfde beeld. Gezien de RMSE van 5 en 7cm is dit zeker niet significant. Dit is ook wat verwacht wordt omdat er hier geen maatregelen hebben plaatsgevonden.

Peilbuis 17

Bij peilbuis 17 is bij de boring geen keileem aangetroffen. De grondwaterstanden staan vrij hoog, net als het filter. Er treedt daardoor vaak droogval op in deze peilbuis. Zeer waarschijnlijk komt hier op iets grotere diepte wel keileem voor. De peilbuis bevindt zich niet in afgekoppeld gebied, maar ligt er wel nabij. Er is een kleine sloot nabij met een peil dat lager ligt dan het grondwater zodat hier sprake is van drainage naar de sloot. Vanwege droogval en de sloot is sprake van een niet-lineair systeem.

Het niet-lineaire model vóór afkoppelen op basis van radar neerslag geeft acceptabele resultaten. Dit model geeft tot 21 cm verdroging in het voorjaar (zie afbeelding 7) met een RMSE van 17cm. Bij de validatie is geconstateerd dat het “ná de maatregel”-model de lage grondwaterstanden te nat berekent. Als dit wordt meegenomen in de beschouwing zal de GLG ook meer verdroging geven na de maatregel. Een oorzaak voor deze verdroging is in eerste instantie niet duidelijk gezien de afstand tot het afgekoppelde gebied. De grondwaterstand in het afgekoppelde gebied ten oosten van peilbuis 17 is echter relatief hoog. Het is mogelijk dat het drainerende effect van de IT-riolen in dat gebied relatief ver doorwerkt.



Afbeelding 7: Gemiddeld verschil door afkoppelen met niet-lineair model met radar neerslag voor peilbuis 17.

Conclusies

Tijdreeksanalyse blijkt een nuttige methode om meer inzicht te krijgen in de mogelijke relaties tussen een maatregel en de grondwaterstand. Door de invloeden van neerslag en verdamping weg te filteren blijkt het mogelijk natte en droge jaren te vergelijken. Op basis van de tijdreeksanalyse kan voor Ruinen het volgende worden geconcludeerd:

- In gebieden met keileem kan geen goede tijdreeksanalyse worden uitgevoerd. De boven keileem geplaatste buizen vallen regelmatig droog, waardoor gaten in de meetreeks ontstaan en geen goed model gemaakt kan worden. Er is wel verdroging zichtbaar bij peilbuis 17, nabij een keileemgebied. Dit geeft een mogelijke, indirecte aanwijzing dat het IT-riool fungeert als drain in afgekoppeld gebied. Een vernatting kan in ieder geval niet aangetoond worden.
- In de afgekoppelde gebieden waar geen keileem met schijngrondwaterspiegels voorkomt, is steeds een beperkte vernatting van 5 tot 20 cm berekend. Er zijn geen berekeningen uitgevoerd om de statistische significantie hiervan te bepalen.
- Voor een aantal buizen in niet-afgekoppeld gebied wordt ook vernatting berekend. Gezien de afstand van de buizen tot afgekoppeld gebied, is het mogelijk dat ze binnen het beïnvloedingsgebied van het afgekoppelde gebied liggen.

Bovengenoemde bevindingen komen in grote lijnen overeen met de verwachtingen. Het effect van het afkoppelen op de grondwaterstanden heeft naar verwachting geen *lineaire* relatie met neerslag en verdamping. Bij beperkte neerslag bereikt het regenwater het grondwater niet. Het wordt dan geborgen op maaiveld en op de daken. Bij extreme buien zal het meeste afgekoppelde water direct overstorten naar het oppervlaktewater, en dus maar voor een beperkt deel (de berging in de buis) kunnen infiltreren naar het grondwater. Het meeste effect van het afkoppelen wordt dus verwacht bij de middelgrote buien en bij het draineren van hoge grondwaterstanden. In deze studie is alleen gekeken naar het gemiddelde effect over een langere periode.

Het afkoppelen in Ruinen had in de eerste plaats het doel om de zuivering te ontlasten en de water op straat problemen op te lossen. Belangrijke voorwaarde was dat er geen negatief effect mocht optreden ten aanzien van de grondwaterstanden, ook niet in gebieden met hoge grondwaterstanden door keileem. Op basis van het onderzoek kan voorzichtig worden geconcludeerd dat in Ruinen het afkoppelen in de gebieden met hoge grondwaterstanden geen negatieve effecten lijkt te hebben op de grondwaterstanden wat betreft grondwateroverlast. Daarnaast lijkt er sprake te zijn van een enig positief effect bij het tegengaan van verdroging in gebieden met diepe grondwaterstanden. Er kan niet worden aangetoond dat het IT-riool ook fungeert als drain in gebieden met hoge grondwaterstanden.

Aanbevelingen

Een statistische toets op basis van de resultaten van het zowel het transfer- als het ruismodel is aan te bevelen om uitspraken over de significantie van effecten te kunnen doen.

Meervoudige niet-lineairiteit kon met de gebruikte Menyanthes versie niet worden gemodelleerd. Dit treedt met name op bij de combinatie van keileem, IT-riool en oppervlaktewater. Met een nieuwere versie van Menyanthes zou dit wel kunnen.

Voor het uitvoeren van statistische analyses is van belang te kunnen beschikken over goede meerjarige meetreeksen van de situatie zowel vóór als ná uitvoering van maatregelen. Gelukkig is hier door het waterschap in het geval van Ruinen nog in

een vroeg stadium over nagedacht. Het belang van een goede monitoring kan echter niet genoeg worden benadrukt.

Literatuur

Asmuth, J.R. von en M.F.P. Bierkens (2005) Modeling Irregularly spaced residual series as a continuous stochastic process; Water Resources Research, 41(12), W12404, doi:10.1029/2004WR003726.

Asmuth, J.R. von, K. Maas, M. Knotters en I. Leunk (2010) Handleiding Menyanthes versie 1.9.3; KWR/TU Delft/Alterra, maart 2010.

Leunk, I. (2011) Analyse effect ingrepen in Fochteloërveen; KWR 2011.006, Opdrachtgever Provincie Drenthe, februari 2011.

