
Meerwaarde van ruimtelijke neerslagdata voor het modelleren van stijghoogtefluctuaties

Bouke Pieter Ottow¹, Hanneke Schuurmans² en Tom van Steijn³

Om het effect van velerlei processen die van invloed zijn op grondwaterstanden goed te kunnen analyseren, is het belangrijk om goed te weten wat de respons van het grondwatersysteem is op de neerslag. Een methode om dat te modelleren is de PIRFICT tijdreeksanalyse geïmplementeerd in het programma Menyanthes. De meest gebruikte databron voor neerslag is de neerslagstations van het KNMI. Waar de neerslagstations soms 5 à 10 km van een peilbuis af staan, zorgen radargebaseerde neerslagproducten voor vlakdekkende informatie. Hiermee wordt een nauwkeuriger beeld van de lokale neerslag verkregen. De invloed van dit verschil op een tijdreeksanalysemodel is onderzocht voor 77 locaties met 109 peilbuisfilters in de Mariapeel (Noord-Brabant/Limburg). De gemiddelde verklaarde variantie van de modellen ging door gebruik van de Nationale Regenradar omhoog van 69,1% naar 76,9%. Het resultaat van deze case studie geeft aan dat het opportuun is om ook elders ruimtelijke informatie van neerslag te gebruiken voor grondwaterstudies.

Inleiding

Grondwateraanvulling is afhankelijk van regen. In de grondwaterstand is dan ook duidelijk een respons te zien van de lokaal gevallen neerslag. Als de invloed van andere processen dan neerslag geanalyseerd moet worden, is het belangrijk eerst goed de neerslagrespons te kennen. Hoe kleiner de onzekerheid over de invloed van regen, hoe beter ook de invloed van bijvoorbeeld een grondwateronttrekking kan worden gemodelleerd. Voor dit soort analyses wordt over het algemeen de neerslagtijdreeks van een regenmeter als input gebruikt, doorgaans die van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). De dichtheid van dit meetnet is ongeveer 1 per 100 km². Hierbij zorgt de afstand van de neerslagmeting ten opzichte van de peilbuis voor een onzekerheid in het responsmodel. Met ruimtelijk verdeelde neerslaggegevens op basis van regenradar kan deze onzekerheid mogelijk worden beperkt. De onderzoeksvraag is dan ook: *Wat is de meerwaarde van het gebruik van ruimtelijk verdeelde neerslaggegevens ten opzichte van neerslaggegevens van weerstations voor tijdreeksanalyse?*

1 Wageningen University, Wageningen (boukepieter.ottow@rhdhv.com) – heden werkzaam bij Royal HaskoningDHV

2 Royal HaskoningDHV, Amersfoort (hanneke.schuurmans@rhdhv.com)

3 Royal HaskoningDHV, Amersfoort (tom.van.steijn@rhdhv.com)

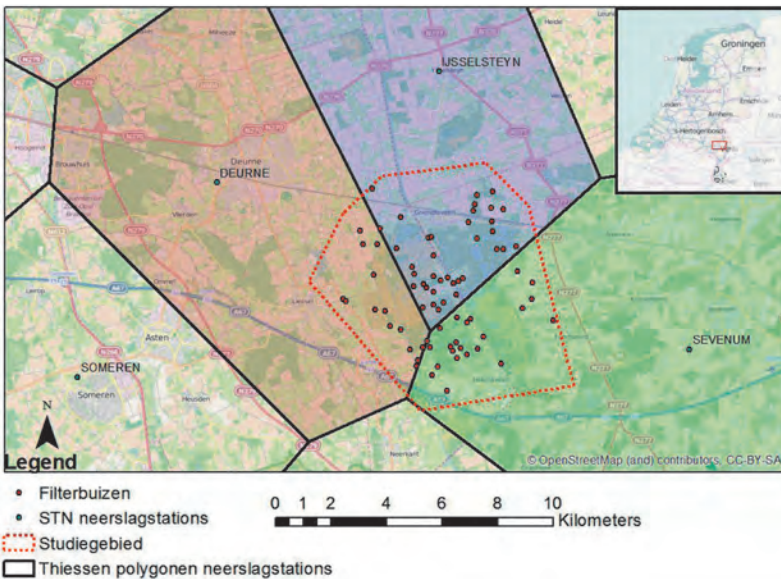
Dit is niet het eerste onderzoek waarin deze vraag wordt gesteld, zie onder andere Fritz (2010) en de Haas, (2013). Er zijn echter twee grote verschillen tussen deze onderzoeken en het onderzoek dat voor u ligt: 1. een ander op regenradar gebaseerd product, met als gevolg daarvan andere karakteristieken; 2. de hoeveelheid peilbuisfilters waarop een tijdreeksanalyse is uitgevoerd. Dit laatste punt is bij de genoemde studies respectievelijk 3 en 2 tegenover 109 peilbuisfilters in deze studie. Door de grotere hoeveelheid geanalyseerde peilbuizen is het mogelijk samenvattende statistieken te berekenen van het resultaat.

Leeswijzer

De analyse is uitgevoerd voor het gebied de Mariapeel. Dit gebied wordt, samen met de invoer data, eerst toegelicht. Hierna zullen een aantal karakteristieke verschillen tussen regenmeterdata en regenradardata worden uitgediept, in het bijzonder de ruimtelijke variabiliteit. Vervolgens worden de berekeningsresultaten van de tijdreeksanalyse gegeven en toegelicht.

Studiegebied en invoer data

Als studiegebied is gekozen voor de Mariapeel. Dit is een natuurgebied op de grens van Noord-Brabant en Limburg. De bodems in het gebied bestaan gedeeltelijk uit veen (formatie van Nieuwkoop) en deels uit zand op de dieper gelegen lagen Brabantleem en Astenleem. Voor de tijdreeksanalyse zijn alle grondwaterstandsreeksen uit DINOloket (www.dinoloket.nl) voor dit gebied gebruikt, die metingen hebben tussen 2010 en 2015. Dit kwam neer op 77 peilbuizen met in totaal 109 filters. Het KNMI heeft twee soorten weerstations die neerslagdata leveren. De automatische weerstations (AWS) leveren elke vijf minuten een meting. Hiervan zijn er 31 in Ne-



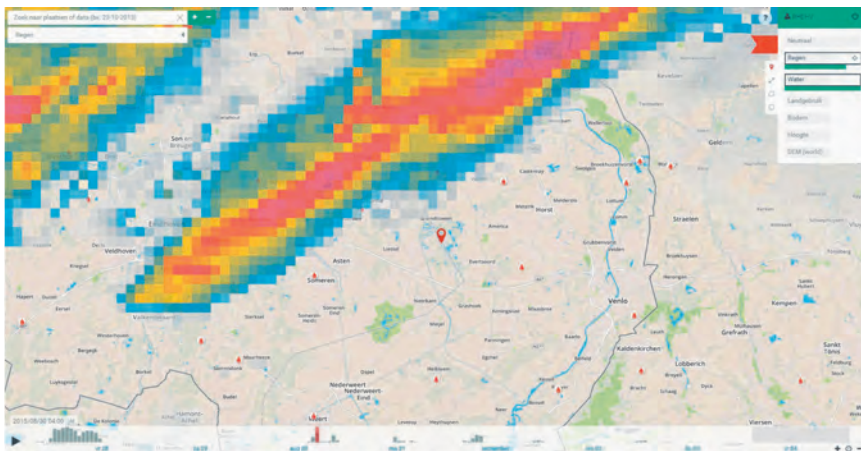
Afbeelding 1: De 77 peilbuizen in de Mariapeel en de drie STN neerslagstations van de KNMI met de Thiessen polygonen er omheen

derland die voor de volledige studieperiode metingen hebben. Het AWS station het dichtst bij de Mariapeel is Arcen (bij de grens van Limburg met Duitsland). Naast de AWS stations is er ook nog een vrijwilligersnetwerk (STN) door heel Nederland, dat wordt beheerd door het KNMI. Dagelijks (8 uur UTC) registreren deze vrijwilligers de gevallen neerslag van de afgelopen 24 uur. Er zijn 323 STN meetpunten die voor de volledige studieperiode metingen hebben. De drie dichtstbijzijnde STN stations zijn Deurne, Ysselsteyn en Sevenum, zie afbeelding 1. De neerslagreeks van deze stations zijn via de download functie in Menyanthes toegevoegd aan de analyse.

De Nationale Regenradar

Er zijn in Nederland een aantal vlakdekkende neerslagproducten. Caljé en Schaars (2015) hebben een vergelijking gemaakt van de verschillende producten. De Nationale Regenradar (NRR) is een betrouwbaar en voor dit doel zeer geschikt product en daarom door ons gekozen als invoer voor de analyse. Het is een combinatie van binnen- en buitenlandse regenradargegevens (momenteel 6 verschillende radars) en regenmetergegevens (onder andere de AWS en STN stations, Schuurmans e.a. 2013). Door de exacte metingen van neerslagmeters te koppelen aan de ruimtelijke metingen van de radars wordt het beste van twee werelden gecombineerd. Het initiatief voor de ontwikkeling van dit product, de Nationale Regenradar (www.nationalleregenradar.nl), komt vanuit een aantal waterbeheerders met als doel nauwkeurigere data te hebben ten behoeve van het waterbeheer. Sinds 2013 is de Nationale Regenradar operationeel en levert neerslagdata met een ruimtelijke resolutie van 1 km² en een temporele resolutie van 5 min. Voor 2010 t/m 2012 is er met dezelfde methode een historische dataset gegenereerd. Er is nu dus een tijdreeks van vijf volledige jaren voor heel Nederland beschikbaar (2010 t/m 2014). Voor deze studie zijn dagsommen gebruikt. De methode van de NRR is beschreven in het NRR eindrapport (Royal HaskoningDHV en Nelen&Schuurmans, 2013).

Het verkrijgen van deze operationele en historische data gaat onder andere via Lizard (www.lizard.net). Tevens kunnen koppelingen met andere software pakketten worden gemaakt door middel van een zogenaamde API (Application Programming Interface). Afbeelding 2 geeft een indruk van hoe het product er via de webapplicatie uitziet.

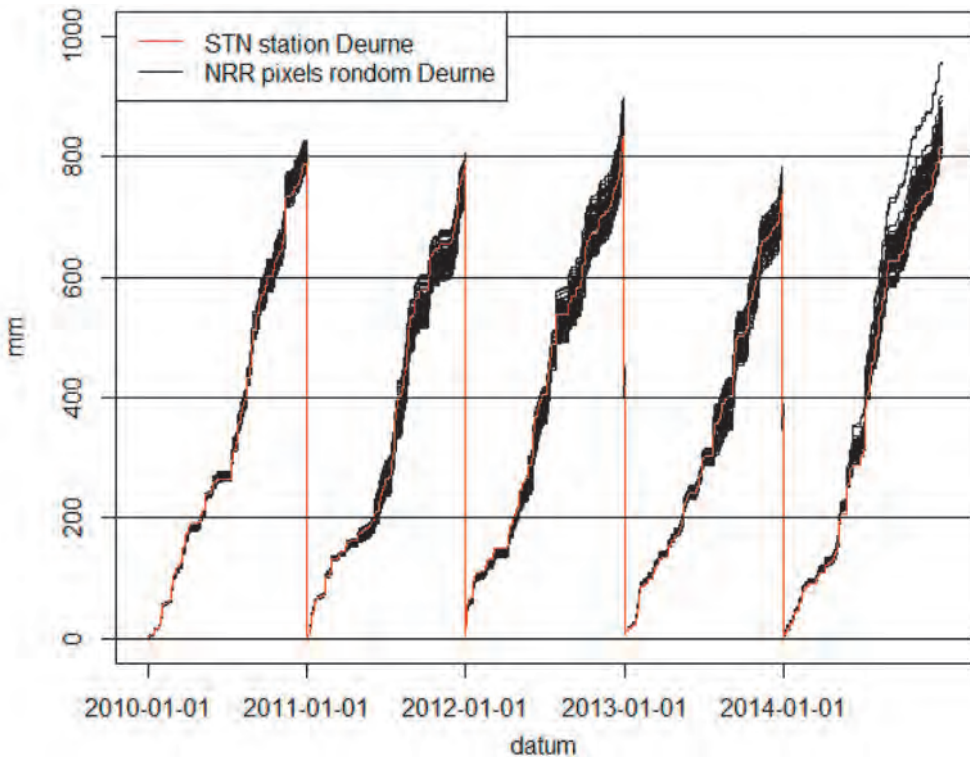


Afbeelding 2: Screenshot van de Nationale Regenradar binnen de webapplicatie in de omgeving van de Mariapeel

Ruimtelijke variabiliteit

Het grote verschil tussen regenradar en neerslagstations is dat regenradar een vlakdekkende meting oplevert waar een regenmeter alleen metingen vastlegt voor een enkel punt. De meeste radargebaseerde producten (inclusief de NRR) hebben een celgrootte van 1 bij 1 kilometer. De ruimtelijke variatie in de neerslag voor een gebied waar één regenmeter staat wordt dus wel gevangen met de radar maar niet met de regenmeter.

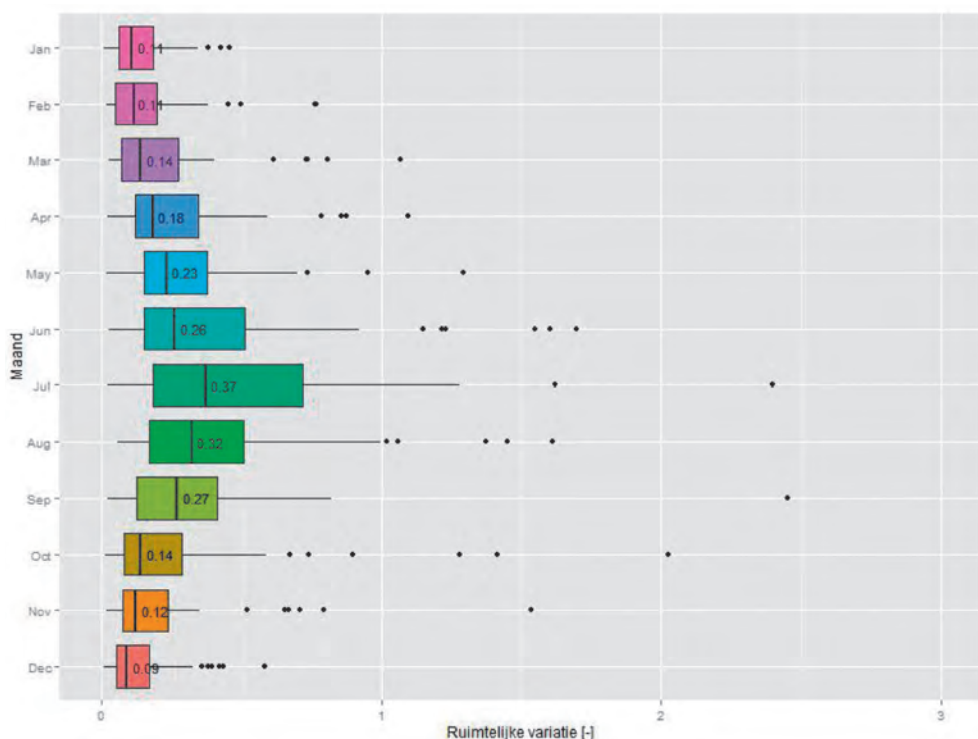
Het gebied waarvoor een STN station representatief wordt geacht, is bepaald met een Thiessen polygoon. Dat houdt in dat voor elke regenradar cel bekeken is welk STN station het dichtstbij is. In afbeelding 1 staan de Thiessen polygonen voor de stations Deurne, Ysselsteyn en Sevenum. De verschillen tussen regenradar en een STN station zijn duidelijk te zien in de cumulatieve neerslag plot in afbeelding 3. Voor elke regenradar cel in Thiessen polygoon Deurne is een tijdreeks voor de 5 betrokken jaren gemaakt en als zwarte lijn geplott. De rode lijn is de tijdreeks van het STN station zelf. Het is duidelijk zichtbaar dat met het verlopen van de tijd de zwarte lijnen wat uit elkaar gaan lopen. Dit komt doordat voor verschillende plekken in het gebied de neerslagsommen aanzienlijk verschillen. Als voor al deze plekken aangenomen wordt dat de neerslag is als die van het STN station (de rode lijn), dan levert dat op sommige plekken een overschatting en op andere plekken een onderschatting op. Grafieken voor alle eerder genoemde 323 SNT stations in Nederland zijn te vinden op: www.nationaleregenradar.nl/stromingen201512



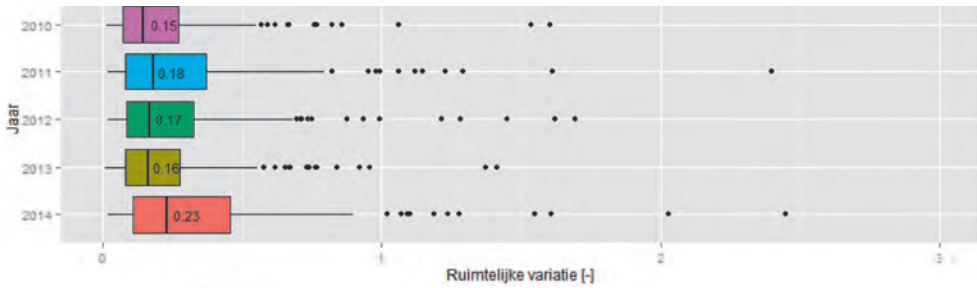
Afbeelding 3: Cumulatieve neerslag van STN station Deurne en per regenradar pixel rondom STN station Deurne, per jaar van 2010 tot en met 2014. Voor alle stations van Nederland zijn grafieken te vinden op: www.nationaleregenradar.nl/stromingen201512

De ruimtelijke variatie kan uitgedrukt worden als de standaarddeviatie van waarden voor een gebied, gedeeld door het gemiddelde daarvan (Hensens, 2013). Voor bijvoorbeeld Deurne worden dan per dag, met behulp van alle waarden van de regenradar cellen in dat gebied, de standaarddeviatie en het gemiddelde berekend. De ruimtelijke variatie per dag (waarop er regen is gevallen) is vervolgens per maand gemiddeld, voor de jaren 2010 t/m 2014. Afbeeldingen 4 t/m 6 laten boxplots van de ruimtelijke variatie zien voor het gebied rondom STN station Deurne.

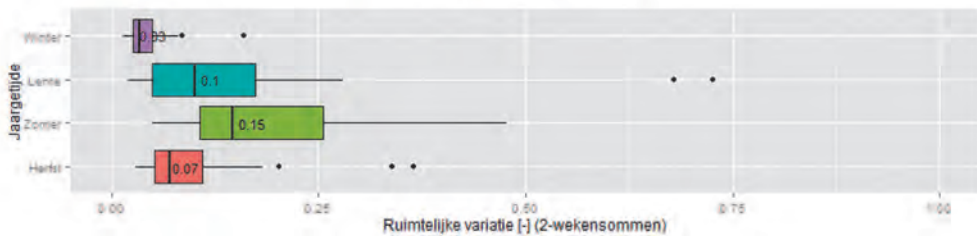
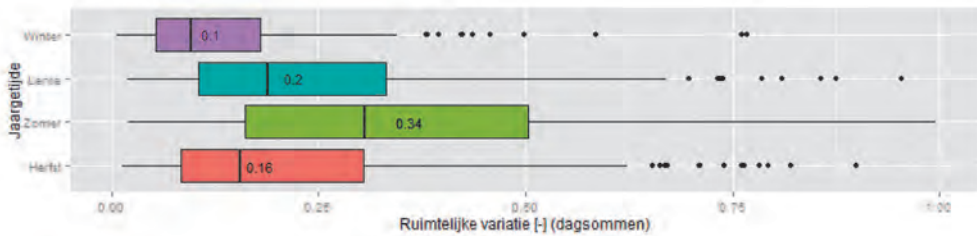
In afbeelding 4 is het resultaat uitgesplitst naar maand en in afbeelding 5 naar jaar. In afbeelding 6 is het resultaat uitgesplitst naar jaargetijde en is de berekening herhaald voor 2-wekensommen in plaats van dagsommen. De grenzen van de boxplots zijn het 2^e en 3^e kwartiel van de waarden, met de dikke lijn en het getal als gemiddelde. Er is een duidelijk verschil te zien tussen zomer- en wintermaanden. In de zomer is in dit (dimensieloze) getal de ruimtelijke variatie tot 4 keer groter dan in de winter. Dit komt door de meer lokale maar heftige buien in de zomer. Voornamelijk in de zomerperiode is er dus een verschil in het gebruik van de regenmeterwaarde of de regenradar. Ook is te zien dat er wel een verschil is per jaar, het ene jaar zijn er minder plaatselijke heftige buien dan het andere jaar. Als de 2-wekensommen worden gebruikt wordt de variatie uitgevlakt wat zichtbaar is in de twee keer zo lage ruimtelijke variatie waarden.



Afbeelding 4: Boxplot van de ruimtelijke variatie voor het gebied rondom STN station Deurne. Op basis van dagsommen voor 2010-2014, uitgesplitst naar maand. Voor alle stations van Nederland zijn plots te vinden op: www.nationeleregenradar.nl/stromingen201512



Afbeelding 5: Boxplot van de ruimtelijke variatie voor het gebied rondom STN station Deurne. Op basis van dagsommen voor 2010-2014, uitgesplitst naar jaar.



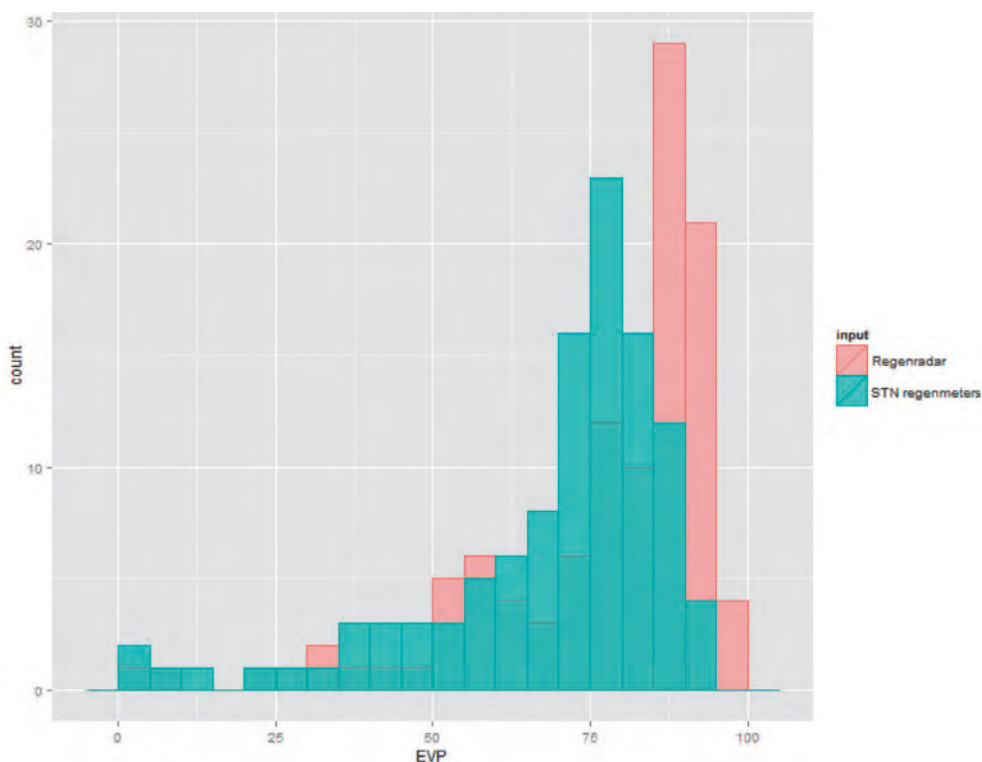
Afbeelding 6: Boxplot van de ruimtelijke variatie voor het gebied rondom STN station Deurne. Op basis van dagsommen en 2-wekensommen voor 2010-2014, uitgesplitst naar jaargetijde. De grafiek van dagsommen is afgeknapt op 1, er zijn nog wel uitschieters daarboven (net zoveel als in afbeelding 4 en 5).

Tijdreeksanalyse

Menyanthes maakt gebruik van de PIRFICT (Predefined Impulse Response Function In Continuous Time, Von Asmuth e.a. 2002) methode voor tijdreeksanalyse.

Voor alle 109 filters in de Mariapeel is twee keer een tijdreeksmodel in Menyanthes opgesteld. Een model op basis van het dichtstbijzijnde neerslagstation en een model op basis van de betreffende pixel van de regenradar. Voor beide modellen is de verdampingstijdreeks van station Arcen als invoer gebruikt. Als tijdsperiode is 01-01-2010 t/m 31-12-2014 genomen.

Hoe goed een model fit, kan uitgedrukt worden in de waarde van het Explained Variance Percentage (EVP). Het EVP is het percentage van de variantie in de meetreeks dat wordt verklaard door de invoer (neerslag en verdamping). In Afbeelding 7 is de waarde van het EVP voor alle modellen geplot in een histogram, uitgesplitst naar het soort neerslaginvoer. In de figuur is te zien dat de regenradar de piek heeft bij een hoger percentage dan de STN stations. Dit blijkt ook uit het gemiddelde van de EVP die 76,9% is voor de regenradar en 69,1% voor de STN stations.



Afbeelding 7: Histogram van de score op de Explained Variance Percentage voor de tijdreeksmodellen.

Theoretisch zou het kunnen dat het verschil voor deze filters 'toevallig' is en er daadwerkelijk eigenlijk geen verschil is. Om hier een uitspraak over te doen gebruiken we de statistische t-toets (Student, 1908). Deze toets zegt iets over de waarschijnlijkheid van het resultaat. De resultaten worden behandeld als gepaarde metingen met als nulhypothese dat er geen verschil is tussen de gemiddelden en als alternatieve hypothese dat het gemiddelde van het regenradar resultaat groter is.

Het resultaat van de toets is een p-waarde van $2,2 \times 10^{-16}$. Dit is te vertalen als de kans dat de gemiddelden in werkelijkheid gelijk zijn. Als we een betrouwbaarheid van 95% (grenswaarde voor p is 0,05) kiezen wordt de nulhypothese dus verworpen en is het regenradar EVP gemiddelde dus significant hoger. Ook kan de 95% betrouwbaarheidsgrens berekend worden en die ligt in dit geval op een verschil van 6,6 %-punt. Oftewel, we kunnen met 95% zekerheid zeggen dat de regenradar gemiddeld meer dan 6,6 %-punt hoger scoort op het EVP.

Uitsplitsing van het resultaat

Er zijn meerdere manieren mogelijk om tot een neerslagreeks als invoer voor de tijdreeksanalyse te komen, namelijk door als databron te gebruiken: 1. de regenradar pixel waarin het meetpunt ligt; 2. een gemiddelde van regenradar pixels van een gebied er omheen (met een bepaalde straal of een gebied gebaseerd op dezelfde hydrologische eigenschappen); 3. het dichtstbijzijnde neerslagstation of 4. een gemiddelde van omliggende neerslagstations. Voor al deze verschillende methodes om tot een invoerreeks te komen zijn modellen gemaakt en geanalyseerd. De methode

voor het genereren van de invoer, waarbij het gemiddelde resultaat van het EVP het hoogst was, bleek 'gewoon' het nemen van de waarde van de regenradar pixel waar de peilbuis staat. Alleen de diepe filters hadden een minimaal (0,4 %-punt) beter resultaat met een groter gebied (een straal van drie pixels) dan de regenradar pixel als invoer. Deze verschillende resultaten staan in tabel 2. Wat hier voornamelijk opvalt is het grote verschil (ongeveer 10 %-punt) tussen de resultaten voor het gebiedsgemiddelde van de STN stations en de resultaten van het gebiedsgemiddelde van de regenradar. Dit komt omdat het gebied voor de regenradar invoer veel kleiner is, hierbij is het namelijk mogelijk precies het gebied van de Mariapeel te gebruiken. Voor de STN stations daarentegen is het gemiddelde van de drie stations in de buurt genomen die echter alle drie een eind van het gebied af liggen.

Voor verdere uitsplitsing bevat de dataset van peilbuisfilters een grote variatie aan reeksen, onder andere met hoog- en met laagfrequente metingen, diepe en ondiepe filters. De filters zijn met deze verdeling opgedeeld in subgroepen. Op basis van het GeoTOP model (Stafleu, 2014) is een indeling gemaakt voor de filters in diepe en ondiepe filters. Als het filter zich onder een weerstandbiedende laag bevindt (in dit geval leem), is het een diep filter. Qua frequentie zijn er filters met dagelijkse metingen (hoogfrequent) en met tweewekelijkse metingen (laagfrequent). Daarbij moet opgemerkt worden dat de hoogfrequente metingen in dit gebied recent zijn gestart en voor de studieperiode van het onderzoek slechts een half jaar data bevatten.

De verbetering in EVP tussen regenradar en STN stations per subgroep staat in Tabel 1. Ook het resultaat van de t-toets is in tabel 1 opgenomen. De p-waarden zijn voor allemaal laag genoeg om met 95% zeker te zijn dat de verschillen tussen de regenradar en STN stations significant zijn. Geconcludeerd kan worden dat voor elke subgroep de verbetering in het gemiddelde EVP van regenradar ten opzichte van STN stations aanzienlijk is. Hierbij valt op dat de hoogfrequente filters voor beide soorten input relatief hoge EVP's hebben. Dit komt waarschijnlijk door de korte looptijd van deze filters. Als er sprake is van een korte looptijd wordt namelijk ook maar een deel van de invloed van neerslag gemodelleerd (de lange termijn respons niet), waardoor er ook minder 'fouten' in het model kunnen zitten (onafhankelijk van de soort invoer). De resultaten van deze hoogfrequente metingen zijn desondanks betekenisvol. Ook voor deze filters boekt de regenradar een beter resultaat. Als we naar de laagfrequent bemeten filters kijken, valt op dat dit de filters zijn die in het geheel het slechtste resultaat laten zien. Echter, dit zijn wel de filters waar de grootste 'winst' is behaald door de regenradar te gebruiken als input. De uitsplitsing tussen diepe en ondiepe filters heeft geresulteerd in een vrij kleine groep diepe filters, waardoor er minder harde statistische conclusies uit te trekken zijn, te meer omdat 10 van de 12 diepe filters ook hoogfrequent worden bemeten (de p-waarde is hier dan ook het hoogst).

Explained Variance Percentage	Regenradar	STN	Verskil	p-waarde t-toets	95% betrouwbaarheidsinterval in het verschil van het gemiddelde
Alle filters (109)	76,9 %	69,1 %	7,9 %-punt	2,2e-16	> 6,6 %-punt
Hoogfrequente filters (42)	85,1 %	78,4 %	6,7 %-punt	2,0e-07	> 4,8 %-punt
Laagfrequente filters (67)	71,8 %	63,2 %	8,6 %-punt	1,3e-12	> 6,9 %-punt
Diepe filters (12)	86,1 %	78,7 %	7,4 %-punt	3,8e-4	> 4,5 %-punt
Ondiepe filters (97)	75,8 %	67,9 %	7,9 %-punt	5,3e-16	> 6,6 %-punt

Tabel 1: *Verbetering in gemiddelde EVP van regenradar invoer ten opzichte van STN stations invoer met de hoeveelheid filters per groep. De t-toets is een gepaarde eenzijdige t-toets op verschillende gemiddelden.*

Explained Variance Percentage	Regenradar 3km straal	Regenradar 5km straal	Regenradar gebiedsgemiddelde	STN gebiedsgemiddelde
Alle filters	76,7 %	76,1 %	75,5 %	65,7 %
Hoogfrequente filters	84,9 %	84,5 %	84,1 %	80,3 %
Laagfrequente filters	71,5 %	70,8 %	70,0 %	56,6 %
Diepe filters	86,5 %	86,1 %	85,2 %	69,9 %
Ondiepe filters	75,5 %	74,8 %	74,3 %	65,2 %

Tabel 2: Gemiddelde EVP van verschillende soorten regenradar invoer en gemiddelde STN station invoer. De enige waarde hoger dan de 'normale' regenradar invoer is bij de diepe filters voor de regenradar 3km straal.

Conclusies

De Nationale Regenradar (NRR) is een relatief nieuw product dat in geohydrologische analyses nog niet veel gebruikt wordt. Het voornaamste verschil tussen de neerslagreeksen uit regenradar en neerslagreeksen uit neerslagstations is dat de regenradar ook waardes geeft op locaties waar de regenmeters dat niet kunnen doordat er 'maar' ongeveer 350 meetstations zijn. De vlakdekking in de regenradar zorgt ervoor dat de ruimtelijke variatie ook in kleinere gebieden (waar maar één neerslagmeter is) recht aan gedaan wordt, wat vooral van belang is in de zomer wanneer er meer lokale en heftige buien zijn. In de tijdreeksanalyse, die voor beide soorten invoer uitgevoerd is, blijkt dat de regenradar modellen een aanzienlijk hoger percentage verklaarde variatie hebben. Het verschil is gemiddeld 7,9 %-punt, wat overeenkomt met een procentuele stijging van 11,3 %. De verbetering met de regenradar is proportioneel en significant, ongeacht het soort filter of meetreeks (hoog/laag frequent of diep/ondiep). De grootste winst bleek te halen te zijn bij filters met een lage meetfrequentie. Dit is ook de subgroep met de langstlopende meetreeks van grondwaterstanden, waardoor de resulterende modellen het best geschikt zijn voor conclusies over de langere termijn.

Voor een vervolgonderzoek zou het interessant zijn om te kijken of vergelijkbare resultaten gehaald worden in een ander gebied met andere karakteristieken en wellicht dichterbij een neerslagstation. Ook zou er gekeken kunnen worden of er een vergelijkbare verbetering door gebruik van de regenradar mogelijk is in deterministische grondwatermodellen.

Referenties

Caljé, R. en Schaars, F. (2015) Vergelijking landsdekkende neerslagproducten; *STOWA rapport 2015 23*.

Fritz, J. (2010) Meerwaarde van neerslagradar voor tijdreeksanalyse van grondwaterstanden; *Master's thesis studie Hydrology Vrije Universiteit*, beschikbaar online: http://ecohydro.falw.vu.nl/studbibtex/literature/450125_fritz_2010_radar_grondwater.pdf

Hensens, K. (2013) Toegevoegde waarde neerslagradar voor neerslag-afvoermodellen; *stageverslag voor studie Earth and Environment Wageningen University*, Registratienummer BC 5839, Royal HaskoningDHV in opdracht van Waterschap Roer en Overmaas.

de Haas, S. (2013) Tijdreeksanalyse met remote sensing data; *PWN waterleidingbedrijf rapport*, registratienummer HY12.

Royal HaskoningDHV en Nelen & Schuurmans (2013), Nationale Regenradar Toelichting operationele neerslagproducten; registratienummer: LW-AF20112987MSW, beschikbaar online:
http://nationaleregenradar.nl/pdfs/hoofdrapport_NRR_definitief.pdf

Schuurmans, J.M.; Verbree, J.M.; Leijnse, H.; van Heeringen, K.J.; Uijlenhoet, R.; Bierkens, M.F.P.; van de Giesen, N.; de Gooijer, J.; van der Houten, G. (2013) Dutch national rainfall radar project: a unique corporation; in: *Geophysical Research Abstracts*, vol 15, issue EGU2013-14235.

Stafleu, J.; Maljers, D.; Busschers, F.S.; Gunnink, J.L.; Schokker, J.; Dambrink, R.M.; Hummelman, H.J.; Schijf, M.L. (2014) GeoTop modellering; beschikbaar online:
http://www2.dinoloket.nl/nl/about/modellen/TNO_2012_R10991_GeoTOP_modellering_v1.0.pdf

Student (1908) The Probable Error of a Mean; in: *Biometrika*, vol 6, issue 1, pag 1-25

Von Asmuth, J.R. en Bierkens, M.F.P. (2002) Transfer function-noise modeling in continuous time using predefined impulse response functions; in: *Water Resources Research*, vol 38 (12), 1287, doi:10.1029/2001WR001136 .