De toepasbaarheid van ECMWF-seizoensverwachtingen voor het voorspellen van grondwaterstanden

Dorien Honingh, Ruud Hurkmans en Susanne Groot

Artikel

Het IMPREX Horizon-2020-onderzoeksprogramma is gericht op het verbeteren van verwachtingen van meteorologische en hydrologische extremen en hun impact. Voor betere beheersing van droogterisico's is er behoefte aan voldoende betrouwbare lange-termijnverwachtingen van droogte (Honingh e.a., 2020). Daarom is onderzocht of meteorologische seizoensverwachtingen gebruikt kunnen worden om grondwaterstanden een aantal maanden vooruit te voorspellen. Veranderingen in grondwaterstanden volgen relatief traag na veranderingen in neerslag. Hierdoor wordt verondersteld dat grondwaterstandsverwachtingen verder vooruit in de tijd gebruikt kunnen worden dan meteorologische verwachtingen alleen.
De toepassing van lange-termijnverwachtingen is onderzocht voor het stroomgebied van de Berkel in Oost-Nederland. Op basis van Meteobase-gegevens in combinatie met ECMWF-seizoensverwachtingen van neerslag en referentiegewasverdamping zijn grondwaterstanden berekend. De modelresultaten op basis van de voorspelde neerslag en verdamping zijn vergeleken met de modelresultaten op basis van waargenomen neerslag en verdamping. Hieruit blijkt voor verschillende locaties en verschillende voorspelperiodes een grote variatie in de verwachtingskwaliteit (MedAE range: 0.003-0.74 m, SDE range: 0.02- 0.48 m). Wel is een duidelijke trend zichtbaar waarbij de ME afneemt indien de voorspelhorizon afneemt. Dit stagneert voor de voorspelhorizon van twee maanden. De kwaliteit van grondwaterstandsverwachtingen voor een voorspelhorizon van één of twee maanden vooruit zijn dus vergelijkbaar (gemiddelde SDE respectievelijk 0.08 en 0.09 m), terwijl de meteorologische verwachtingen voor neerslag maximaal 1 maand vooruit bruikbaar zijn. Door naar grondwaterstanden te kijken, neemt de voorspelhorizon dus met een maand toe.

Inleiding

Voor waterbeheer in droge perioden is er behoefte aan betrouwbare neerslag- en verdampingsverwachtingen. Om een verwachte periode met neerslagtekort beter het hoofd te kunnen bieden kunnen bijvoorbeeld stuwen en daarmee grondwaterstanden worden opgezet, of kunnen oppervlaktewaterbuffers worden gevuld (zoals door peilopzet op het IJsselmeer). Deze maatregelen zijn het meest effectief op het moment dat er nog aanvulling van het grond- en oppervlaktewater mogelijk is, met andere woorden, voordat de droogte zich manifesteert. Hiervoor is een voldoende lange voorspelhorizon nodig. Eerder onderzoek heeft uitgewezen dat de voorspelkwaliteit van seizoensverwachtingen heel beperkt is in West-Europa (Lucatero e.a., 2018), maar dat door te kijken naar hydrologische variabelen met meer geheugen, zoals grondwaterstanden of afvoer, een verbetering van de voorspelling wordt verwacht. Voor rivierafvoer binnen Europa is dit aangetoond in de winterperiode (Arnall e.a., 2018). Ook is eerder aangetoond dat de North Atlantic Oscillation (NAO) de voorspelbaarheid van afvoer in Europa vergroot (Bierkens en van Beek, 2009), maar ook dat geldt vooral voor het winterhalfjaar. Om meer inzicht te krijgen in de te

verwachten grondwaterstanden is in deze studie onderzocht of meteorologische verwachte ontwikkelingen kunnen worden gebruikt als invoergegevens om grondwaterstanden een aantal maanden vooruit te voorspellen.

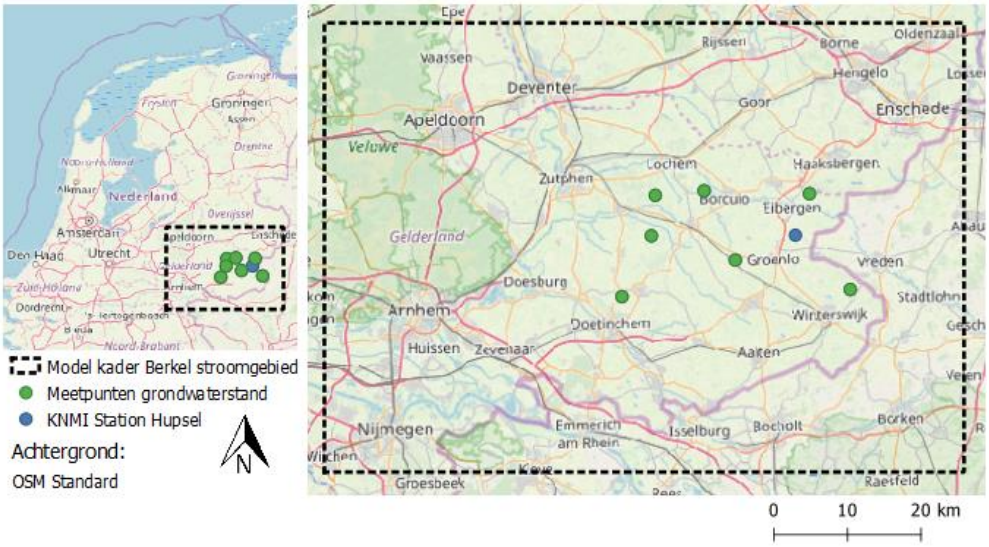
Verschillende meteorologische instituten genereren meteorologische seizoensverwachtingen. Binnen dit onderzoek is gebruik gemaakt van gegevens van het European Centre for Medium-range Weather Forecasting (ECMWF) omdat deze wereldwijd worden gezien als de best beschikbare verwachtingen (Weisheimer en Palmer, 2014). Er is gebruik gemaakt van ECMWF-SEAS5-gegevens. Dit rekent elke maand het Integrated Forecasting System (IFS)-model door voor de daaropvolgende zeven maanden. Dit model simuleert de mondiale atmosfeer, gekoppeld aan het landoppervlak en de oceanen. Het IFS-model wordt ook gebruikt bij andere verwachtingen van ECMWF, zoals de bekende EPS-pluim tot 15 dagen vooruit (gebruikt door het KNMI).

Om de toepasbaarheid van deze verwachtingen voor het waterbeheer in hoog Nederland te onderzoeken, is de ECMWF seizoensverwachting gebruikt om grondwaterstanden te genereren in het stroomgebied van de Berkel. De grondwaterstanden zijn berekend met het AMIGO grondwatermodel. Dit model wordt gevoed met neerslag en referentiegewasverdamping. In dit artikel worden de werkwijze en bevindingen beschreven.

Studiegebied, model en gegevens

Studiegebied en model

Het onderzoek is gericht op het stroomgebied van de Berkel (Afbeelding 1), gelegen in het oosten van Nederland binnen het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel. Het stroomgebied is 94.600 ha groot en ligt deels in Duitsland (43.000 ha) en deels (51.600 ha) in Nederland (Waterschap Rijn en IJssel, 2014).



Afbeelding 1 *Kader grondwatermodel AMIGO, met de gebruikte grondwatermeetpunten van waterschap Rijn en IJssel binnen het Berkel stroomgebied.*

Er is gebruik gemaakt van het grondwatermodel van het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel AMIGO (Arcadis, 2018). AMIGO is gebaseerd op iMOD, met zijn eigen samensmelting van Modflow en Metaswap (Deltares, 2019). In deze studie zijn de instellingen gelijk gehouden aan de instellingen die Arcadis en het waterschap in de praktijk gebruiken. Alleen de referentiegewasverdamping- en neerslaginvoergegevens, met de bijbehorende referenties in de achterliggende aansturingsbestanden, zijn aangepast.

Achtergrond van de seizoensverwachtingen

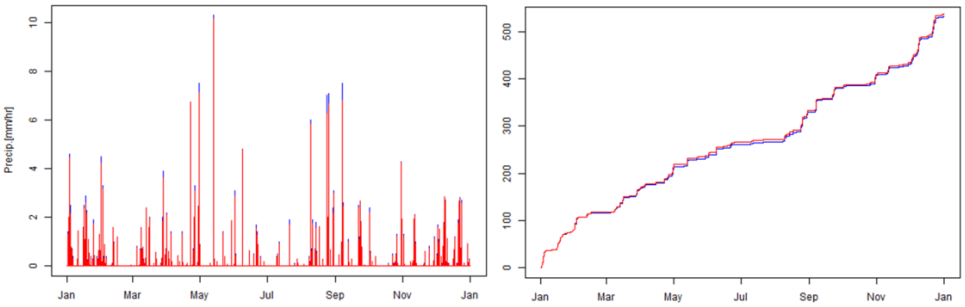
Binnen dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van ECMWF-SEAS5-verwachtingen. Elke maand wordt hierbij het Integrated Forecasting System (IFS-)model doorgerekend, startend op de eerste van de maand en voor een periode van zeven maanden (ECMWF, 2017). De operationele verwachting bestaat uit een ensemble van 51 leden. De zogenaamde reforecast-dataset, die de periode van 1993-2016 beslaat en gebruikt wordt om de klimatologie te bepalen, bevat 25 leden waarvan er drie bekeken worden binnen dit onderzoek. Dit zijn de leden met minimale, de mediane en de maximale neerslagsom over de gehele periode van zeven maanden bezien.

De kwaliteit van de seizoensverwachting verschilt sterk voor verschillende locaties. Vooral in gebieden waar grootschalige fluctuaties in atmosferische of oceanische processen (zoals El Nino) grote invloed hebben op het weer is de voorspelbaarheid (de forecast skill) doorgaans hoger. In West-Europa hebben dit soort fluctuaties relatief weinig invloed en wordt neerslag bepaald door overtrekkende fronten (in de winter) of convectieve gebeurtenissen (in de zomer). Met name de convectieve gebeurtenissen, zijn inherent slecht te voorspellen. Zelfs bij de meest grootschalige meteorologische systemen, met in theorie de hoogste voorspelbaarheid (Lorenz, 1969), is de grens aan de voorspelbaarheid in Europa ongeveer twee weken.

Observaties van neerslag en verdamping

Naast neerslag en verdamping uit de verwachtingen is gebruik gemaakt van geobserveerde neerslag en referentiegewasverdamping om de begintoestand van de bodem te bepalen.

Voor de periode van 1 september 2017 tot en met 31 december 2018 is gebruik gemaakt van neerslag- en referentiegewasverdampingsgegevens van meteobase (METEOBASE, 2019; Wolters e.a., 2013. Voor de verwachtingen vanaf 1 januari 2019 tot 1 april 2019 zijn er geen Meteobasegegevens beschikbaar, deze periode is aangevuld met metingen van KNMI-station Hupsel. Een vergelijking van Meteobase-neerslag en de Hupsel metingen van het KNMI voor 2018 laat zien dat deze voldoende overeen komen om er zonder correctie één reeks van te kunnen maken (Afbeelding 2).



Afbeelding 2 *Vergelijking tussen de meteobase neerslaggegevens en de gemeten neerslag voor KNMI station Hupsel, voor het jaar 2018.*

Observaties grondwaterstanden

De in deze studie berekende grondwaterstanden zijn vergeleken met grondwaterstandsmetingen van Waterschap Rijn en IJssel (Waterschap Rijn en IJssel, 2019). Dit gebeurt voor de grondwatermeetpunten Wildenborch, Zelhem Eeltinkweg, Stelkampsveld Enteldijk, Linde Ruurloseweg, Eibergen Hoonesweg, Winterswijk Huppel Walienseweg en Beltrum Kempersweg.

Methode

De doorlopen stappen zijn hieronder beschreven en getoond in het stroomschema in Afbeelding 3:

1. Opbouw verwachtingen
   Omwille van rekentijd zijn niet alle 25 realisaties van de ECMWF seizoensverwachtingen gebruikt. Er zijn drie verschillende realisaties gebruikt uit deze verwachting: die met de mediane, minimale en maximale cumulatieve neerslagsom. Per modelrun (elke eerste van de maand) is opnieuw bepaald welke realisaties de mediane, minimale en maximale zijn.
2. Gebruik klimatologie
   De ECMWF-seizoensverwachtingen zelf hebben een afwijking en worden om deze reden niet direct gebruikt. In veel toepassingen worden de verwachtingen alleen gebruikt om condities hoger of lager dan gemiddeld aan te geven. Om te corrigeren voor de afwijking is gebruikt gemaakt van de klimatologie van de 25 jaar ECMWF reforecast gegevensset. Ook is de klimatologie van de beschikbare 19 jaar aan Meteobase-gegevens bepaald. Vervolgens is de klimatologie van de ECMWF reforecasts afgetrokken van de ECMWF-seizoensverwachtingen en zijn de resulterende anomalieën opgeteld bij de meteobase klimatologie.
3. Gebruik grondwatermodel
   Voorafgaand aan de verwachtingsperiode wordt het model twee jaar doorgerekend met meteobase-gegevens als invoer. Zo hebben de initiële modelcondities geen invloed op de gegenereerde modelresultaten in de interesseperiode. Vervolgens is het model gedraaid met de verwachte neerslag en verdamping, waarbij de voorspelperiode is gevarieerd van zeven maanden tot één maand vooruit om de verwachte grondwaterstanden op 1 april 2019 te genereren. Hierbij is voor de inspeeltijd (die dus elke keer met een maand toeneemt) de geobserveerde neerslag en verdamping gebruikt (meteobase+Hupsel) en voor de voorspelperiode de bewerkte ECMWF-seizoensverwachtingen.
4. Evaluatie grondwaterstanden en de waarde van de verwachting

Voor de beoordeling van de verwachtingen is zowel gekeken naar de kwaliteit van de verwachting op 1 april 2019 als naar de kwaliteit in de hele voorspelperiode. Het doel hiervan is bepalen of de ECMWF-seizoensverwachting voor bepaalde kalendermaanden of ensembles beter presteert dan voor andere. Voor de beoordeling van de grondwaterstanden maken we gebruik van de indicatoren:

5. De determinatiecoëfficiënt (r^2): toont de fractie verklaarde variantie en is een relatieve maat tussen de gemodelleerde en gemeten grondwaterstanden. Een waarde van 1 duidt op een perfecte correlatie tussen de twee variabelen. Waardes tussen de 0 en 0,5 geven een zwak tot matig verband weer en waardes boven de 0,5 een sterk verband.

$$r^2 = \left(\frac{\sum(y-\bar{y})(x-\bar{x})}{\sqrt{\sum(y-\bar{y})^2\sum(x-\bar{x})^2}}\right)^2 \quad (1)$$

6. De kwadratisch gemiddelde afwijking (RMSE): is een absolute maat tussen de gemodelleerde en gemeten grondwaterstanden. De RMSE is een veel gebruikte methode om het verschil tussen de voorspelde en gemeten waardes aan te duiden. Hierbij duidt 0 op een perfecte overeenkomst tussen de verwachting en de meting.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum(y-x)^2}{n}} \quad (2)$$

7. Mediaan van de absolute afwijking (MedAE):

$$\mathrm{MedAE} = \mathrm{med}\{|y-x|\} \quad (3)$$

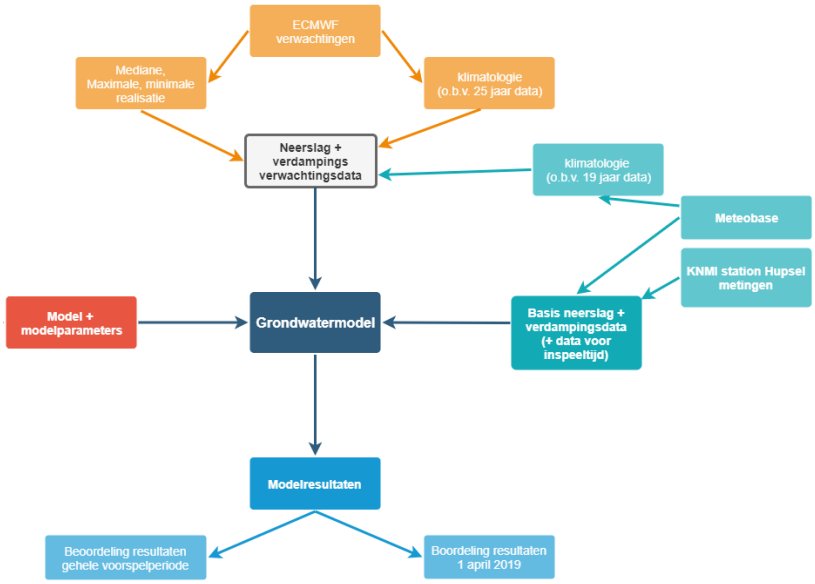
8. De systematische fout kan worden bepaald met de gemiddelde afwijking (ME):

$$\mathrm{ME} = \frac{\sum y-x}{n} \quad (4)$$

9. De toevallige fout kan worden bepaald met de standaarddeviatie van de fout (SDE):

$$\mathrm{SDE} = \sqrt{n\frac{RMSE^2-ME^2}{n-1}} \quad (5)$$

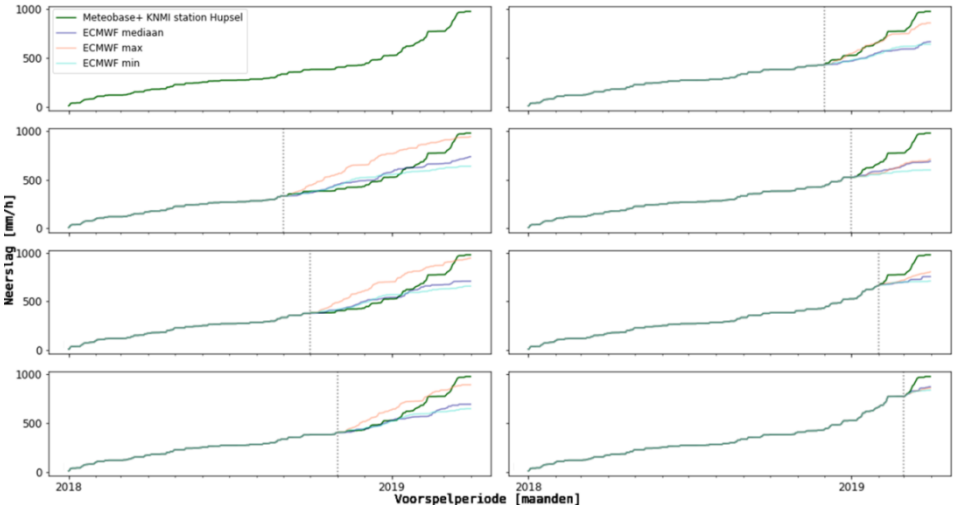
Hierin staat y voor de gemodelleerde grondwaterstand, x voor de gemeten grondwaterstand, $\bar{y}$ voor de gemiddelde gemodelleerde grondwaterstand, $\bar{x}$ voor de gemiddelde gemeten grondwaterstand en n voor het aantal tijdsstappen waarvoor de grondwaterstand gemodelleerd en gemeten is.



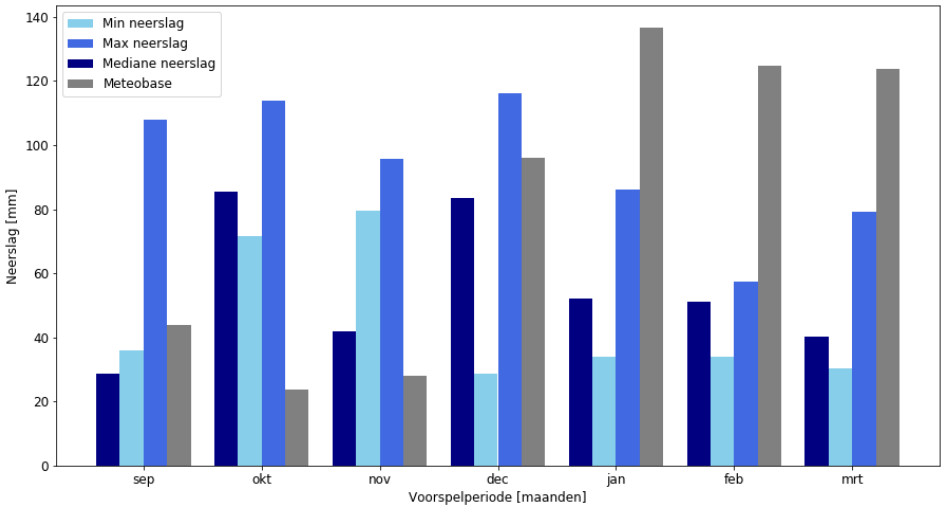
Afbeelding 3 *Stroomschema grondwaterberekeningen met bijbehorende evaluatie van de modelresultaten.*

Resultaten en discussie

Voordat de berekende grondwaterstanden worden beoordeeld, zijn de geobserveerde en verwachte neerslag vergeleken. Afbeelding 4 toont de gemeten en de verwachte cumulatieve neerslag. De cumulatieve neerslag is een belangrijke invoervariabele voor het grondwatermodel. Afbeelding 5 toont per maand de cumulatieve neerslag in drie realisaties (minimale, maximale en gemiddelde) uit de ECMWF seizoensverwachtingen en de geobserveerde neerslag.



Afbeelding 4 *De variatie in de cumulatieve neerslag, belangrijke invoer voor het grondwatermodel. De grijze stippellijn geeft de start van de verwachting weer.*

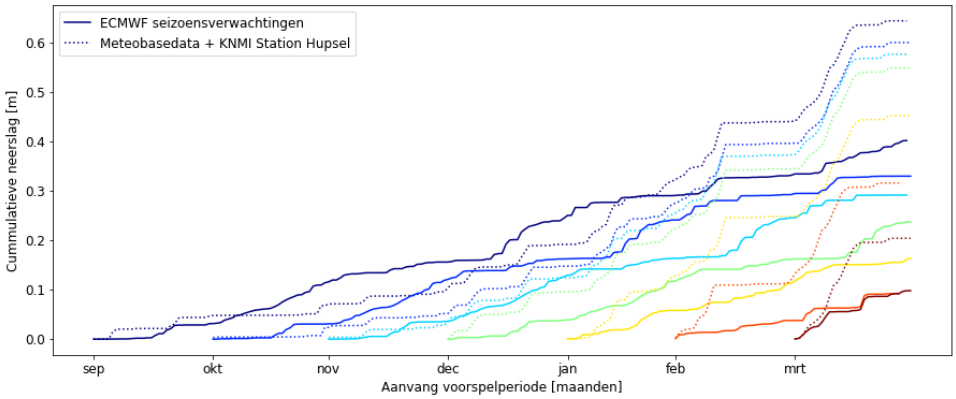


Afbeelding 5 *De variatie in neerslag voor de verwachting vanaf september 2018 tot april 2019, weergeven als bar plot om de verschillen in pieken weer te geven. Deze afbeelding heeft dus betrekking op een enkele seizoensverwachting, ter illustratie van de maandelijkse variabiliteit*

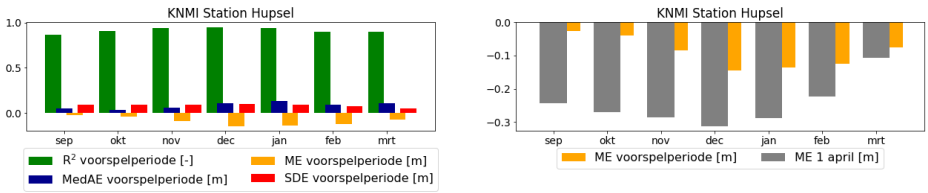
In beide afbeeldingen zijn de getoonde ECMWF-seizoensverwachtingen de gecorrigeerde verwachtingen, waarbij de ECMWF-klimatologie vervangen is door de geobserveerde

klimatologie. De totale cumulatieve neerslag voor de volledige voorspelperiode is dus het laagst voor de minimale ECMWF-realisatie, maar Afbeelding 5 laat zien dat de maandelijkse neerslag op basis van de minimale ECMWF realisatie niet altijd het laagst is (verwachting vanaf september en november uit Afbeelding 5). Afbeelding 6 geeft de grote variatie in zowel het moment (timing) als de grootte van de neerslagpieken weer. De verwachtingen wijken op deze pieken af van de observatie. Het is niet zo dat een kortere voorspelhorizon steeds een betere verwachting geeft. Zo komt de verwachting van 1 februari (tweede van onder, rechts in de Afbeelding 4) niet dichter bij de observatie dan die van 1 januari (tweede van boven rechts in Afbeelding 4). Wel komen bij een kortere voorspelhorizon de drie ECMWF realisaties (minimale, maximale en gemiddelde) dichter bij elkaar. Dit is conform de verwachting omdat er ook minder tijd is voor de berekeningen om uit elkaar te lopen. Voor de grondwaterstand op 1 april is de cumulatieve neerslag belangrijker dan de exacte timing en grootte van de neerslagpieken.

Afbeelding 6 laat de cumulatieve neerslag op basis van Meteobase en de gecorrigeerde ECMWF-seizoensverwachtingen zien. Hieruit blijkt dat de gecorrigeerde ECMWF-seizoensverwachting op 1 april 2019 altijd lager is dan de Meteobase+KNMI-station-Hupselmetingen. De resultaten voor de septemberverwachting laten wel zien, dat de grootteorde van de cumulatieve neerslag tot halverwege januari behoorlijk klopt. Dit in tegenstelling tot het exacte moment van stijgen. De neerslagverwachting voor de wintermaanden (januari, februari en maart) zit dus slecht in de ECMWF-seizoensverwachting. Afbeelding 7 laat zien dat de ME beduidend beter is voor de verwachting van 1 april met een voorspelhorizon van één maand vooruit, omdat de cumulatieve neerslag bij een langere voorspelhorizon verder uitloopt.



Afbeelding 6 *De variatie in neerslag voor de verwachtingen vanaf september 2018, vergeleken met de observaties*



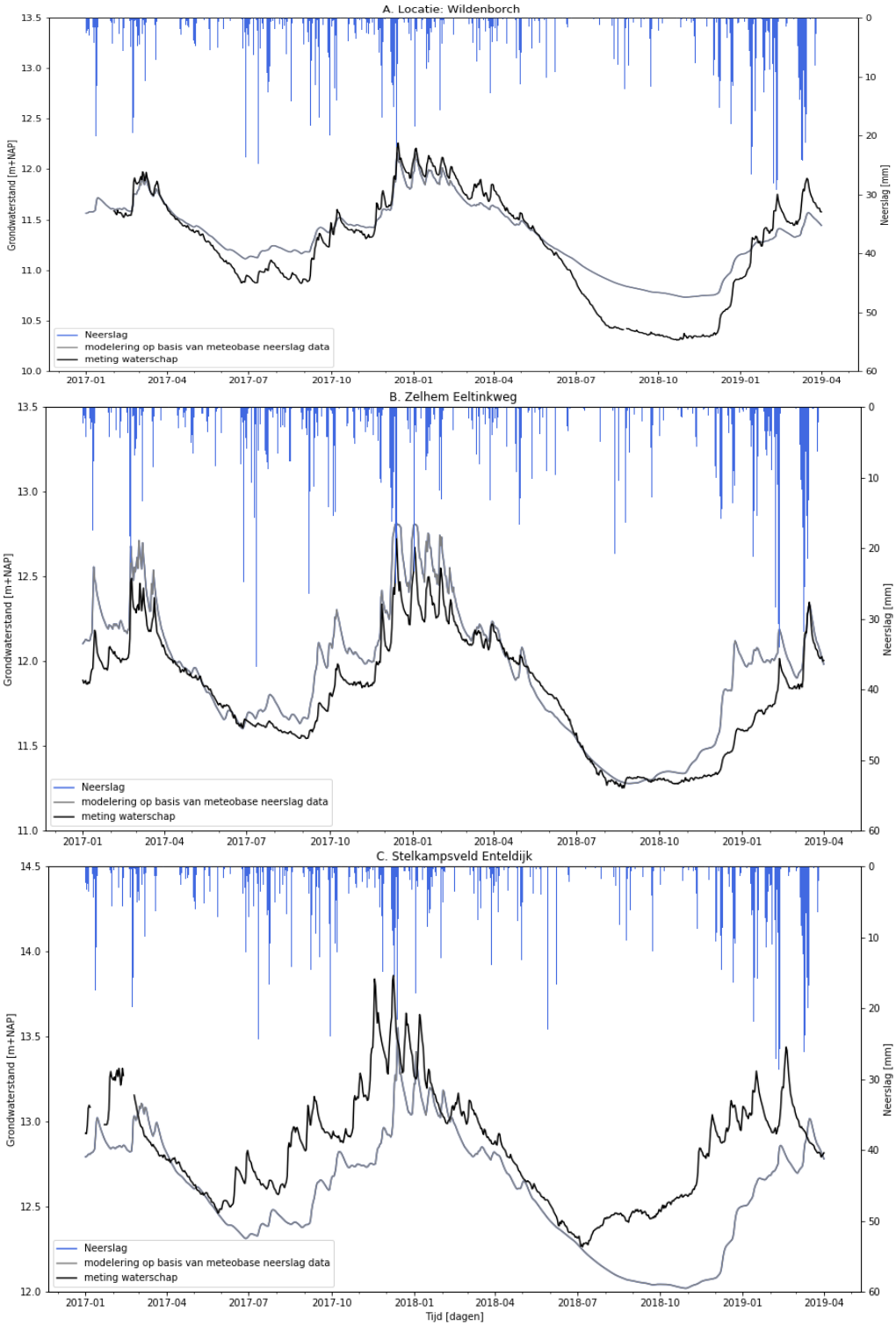
Afbeelding 7 *De R^2 (links) en de RMS (rechts) van neerslag tussen meteobase en ECMWF, weergeven als bar plot om de verschillen in pieken weer te geven*

Daarom is vervolgens gekeken hoe bruikbaar de neerslagverwachtingen zijn om grondwaterstanden mee te genereren. Hiervoor is in eerste instantie gekeken hoe goed de grondwatermodelresultaten met geobserveerde input (Meteobase) overeenkomen met de door het waterschap gemeten grondwaterstanden. Afbeelding 8 presenteert een vergelijking tussen de gemeten en de voorspelde grondwaterstanden voor de meetlocaties Wildenborch, Zelhem Eeltinkweg en Stelkamp Enteldijk en Tabel 1 presenteert de bijbehorende resultaten aan de hand van prestatie indicatoren. De afbeelding laat zien dat het model de dynamiek in de nattere perioden vrij goed weergeeft. Het uitzakkingsverloop tijdens de zomer en vooral de uitzakking aan het eind van de zomer en in het begin van de herfst worden minder goed benaderd. Het eerste moment van stijging in de herfst zit vaak wel goed in het model, maar het absolute niveau klopt dan niet altijd doordat het beginpunt niet goed is. Dit is terug te zien in tabel 1 voor locatie Wildenborch en Zelhelm Eeltinkweg, waarvoor de toevallige fout (ME) toeneemt (verslechtert) terwijl de systematische fout (SDE) afneemt (verbeterd) beide ten opzichte van de resultaten van de gehele voorspelperiode. Voor de locatie Stelkampsveld Enteldijk is dit niet het geval, dit komt doordat er voor deze locatie een vertraging is tussen de verwachte stijging en de daadwerkelijk gemeten stijging (Afbeelding 8).

Tabel 1 Prestatie grondwaterstandsmodel t.o.v. gemeten grondwaterstanden voor drie periodes.

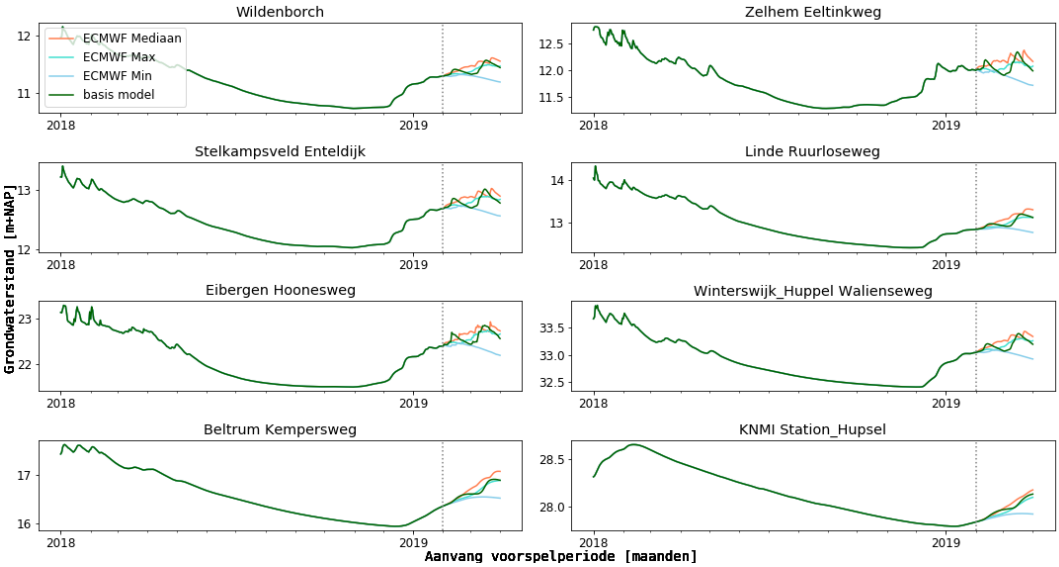
Locatie	Prestatie indicatoren	sep 2017-jan 2018	sep 2018-jan 2019	2017-2019
Wildenborch	ME	0.03	0.38	0.09
	SDE	0.11	0.06	0.20
Zelhem Eeltinkweg	ME	0.22	0.14	-0.27
	SDE	0.08	0.16	0.24
Stelkampsveld Enteldijk	ME	-0.39	-0.58	0.11
	SDE	0.22	0.16	0.13

Het is duidelijk zichtbaar dat de gemodelleerde uitzakking na een “normale” zomer beter overeenkomt met de metingen dan na een droge zomer zoals die van 2018. Verder is ook duidelijk een relatie tussen neerslagpieken en pieken in de grondwaterstand terug te zien. Het doel van deze studie is niet om AMIGO te valideren tijdens droge omstandigheden; we zijn hier strikt geïnteresseerd in de kwaliteit van de verwachtingen. Vanwege de discrepantie tussen de modelresultaten en gemeten grondwaterstanden over de zomer van 2018, is er gekozen om de resultaten van de ECMWF-seizoensverwachtingen niet te vergelijken met de gemeten grondwaterstanden maar met modelresultaten die zijn gebaseerd op de meteobase-invoer.



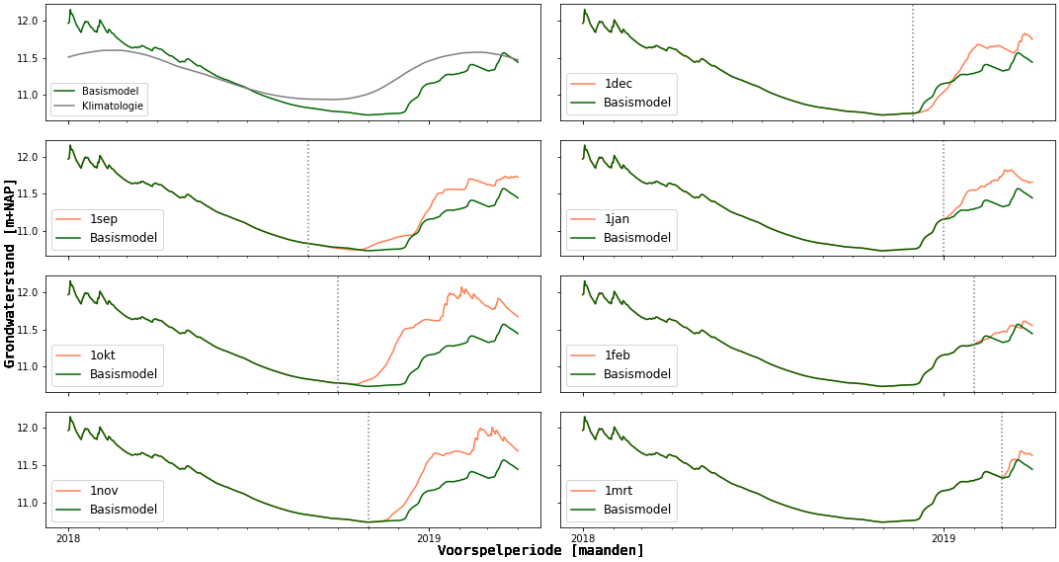
Afbeelding 8 *Vergelijking van de gemeten en met het Amigo model (met Meteobase-inpugegevens) gegenereerde grondwaterstanden voor locatie Wildenburg, Zelhem Eeltinkweg en Stelkampsveld Enteldijk*

Afbeelding 9 toont voor alle locaties de grondwaterstanden berekend met de observaties van Meteobase en station Hupsel (basismodel) en de ECMWF-verwachting vanaf 1 februari 2019. De resultaten van de grondwaterstanden met als modelinvoer de mediaan, de minimale en de maximale ECMWF-seizoensverwachtingen laten zien dat de grondwaterstanden het minst accuraat voorspeld worden in de realisatie met de minimale cumulatieve neerslag. Een verklaring hiervoor is dat dit scenario met de laagste cumulatieve neerslag de neerslagpieken mist of sterk onderschat.
In eerste instantie worden de maximale grondwaterstanden verwacht bij het scenario met de hoogste cumulatieve neerslag. Dit is echter niet het geval, doordat de cumulatieve neerslag voor de maanden februari en maart in dit geval hoger is voor het scenario van de mediaan. Welk van de twee scenario's (mediaan of maximale cumulatieve neerslag) de beste invoer vormt, verschilt per locatie. Er is geen eenduidige overschatting of onderschatting van de grondwaterstanden voor beide scenario's.



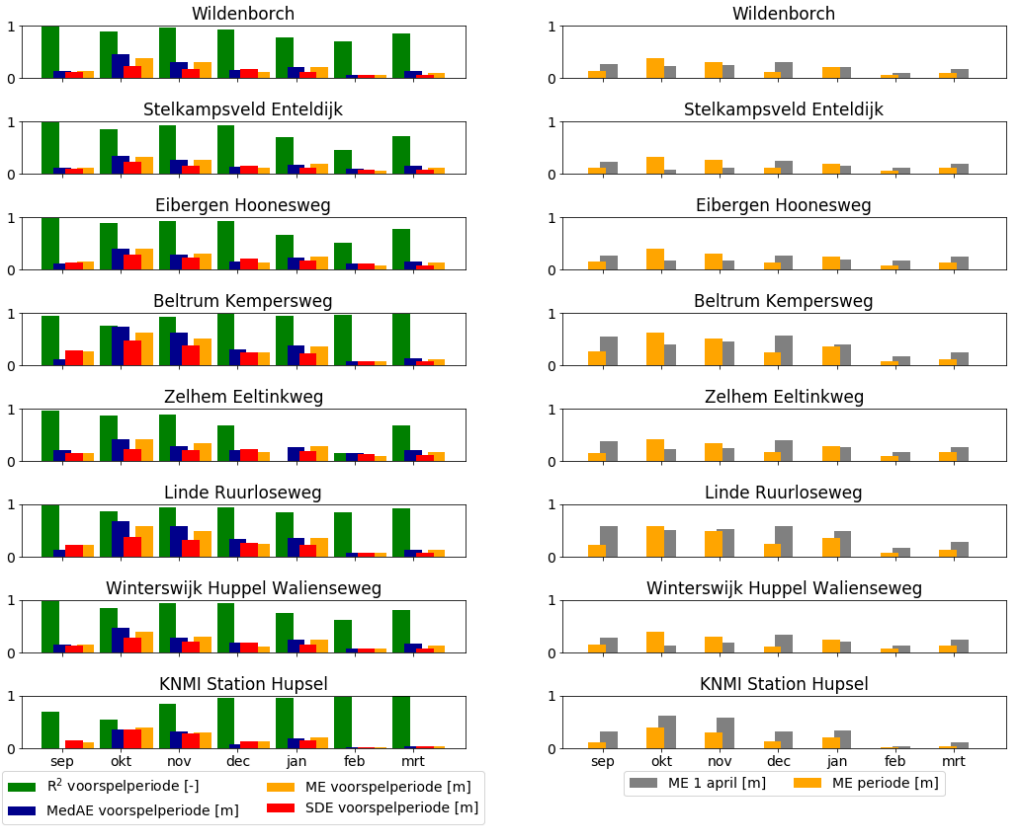
Afbeelding 9 *Vergelijking tussen de grondwaterstanden voorspeld aan de hand van de mediaan, de minimale en de maximale cumulatieve neerslag van de verschillende ECMWF ensembles. De grijze stippellijn geeft de start van de verwachting op basis van ECMWF seizoensverwachtingen weer, in dit geval 1 februari 2019.*

Afbeelding 10 laat de resultaten voor locatie Wildenborch zien, waarbij de aanvang van de voorspelperiode verloopt van september 2018 tot maart 2019 en de verwachtingsperiode loopt tot 1 april 2019. Hierin is duidelijk zichtbaar dat de verwachting niet per definitie beter wordt voor een kortere voorspelperiode. De verwachting startend in september is bijvoorbeeld accurater dan de verwachting vanaf oktober of november. Verder laat de figuur zien dat de afwijking het grootst is in de maanden januari, februari en maart. Deze afwijking is kleiner op 1 april, doordat de evenwichtstand van de klimatologie dan ook bereikt wordt.



Afbeelding 10 *Grondwaterstanden voor meetlocatie Wildenborch waarbij de aanvang van de voorspelperiode verloopt van september 2018 tot maart 2019 en de verwachtingsperiode loopt tot 1 april 2019. De grijze stippellijn geeft de start van de verwachtingsperiode weer. Daarnaast zijn ook de grondwaterstandresultaten zichtbaar op basis van de klimatologie van de neerslag en verdamping.*

Afbeelding 11 geeft de resultaten weer aan de hand van de beoordelingsindicatoren. Voor de gehele voorspelperiode zijn zowel de R^2, ME, SDE en MedAE berekend. Daarnaast is de ME ook berekend voor de grondwaterstand op 1 april (dus gebaseerd op deze individuele situatie). In de afbeelding is zichtbaar dat de voorspelperiode startend in september, december, februari en maart over het algemeen beter presteert ten opzichte van de overige verwachtingen.
De ME's laten grote verschillen per locatie zien. Zo is de ME voor meetlocatie Stelkampsveld over het algemeen het laagst en voor locatie Linde Ruusloseweg het hoogst. Voor alle locaties liggen de ME waardes het dichtst bij 0 voor de verwachtingen startend in de maanden februari en maart, zeker voor de ME van de verwachting op 1 april. Dit geeft aan dat de kwaliteit van de verwachting (uitgedrukt in ME) één en twee maanden vooruit ongeveer gelijk is, terwijl deze voor neerslag maximaal één maand is.



Afbeelding 11 *De resultaten op basis van de R^2 en RMSE prestatie indicatoren, voor de verschillende aanvang van de verwachting (september 2018 tot maart 2019).*

Dat de ME's aflopen komt waarschijnlijk ook deels doordat er bij een kortere voorspelperiode minder tijd en ruimte is voor grote afwijkingen. Bovendien begint het hydrologisch jaar op 1 april, waarbij er over het algemeen minder grote variaties in de grondwaterstand optreden (Afbeelding 9).

Conclusies

De kwaliteit van de grondwaterstandsberekeningen varieert voor de verschillende meetlocaties. Daarnaast heeft het Amigo-grondwatermodel moeite met het correct berekenen van de grondwaterstanden na een extreem droge zomer. Een analyse gericht op het vergelijken van grondwaterstandsverwachtingen met metingen is daarom niet zinvol. Daarom zijn grondwaterstanden die berekend zijn met gemeten meteogegevens vergeleken met grondwaterstanden die berekend zijn met meteo-verwachtingen.

De ECMWF-seizoensverwachtingen die voor zeven maanden vooruit beschikbaar zijn, worden niet lineair accurater naarmate de tijdshorizon van de verwachting korter wordt. Wel is de kwaliteit van de grondwaterstandsverwachtingen gebaseerd op de meteo-verwachtingen van ECMWF met een verwachtingshorizon van één en twee maanden beduidend beter dan de verwachtingen bij een langere voorspelhorizon. Daarnaast is er gekeken naar de toepasbaarheid van verschillende realisaties binnen het

ensemble van verwachtingen. Hieruit blijkt dat de realisatie met de laagste cumulatieve neerslag de grondwaterstanden afvlakt en de pieken flink onderschat. Tussen de ensembles met de mediaan en de maximale cumulatieve neerslag zijn geen verschillen in structurele onder- en overschatting zichtbaar. Welke van deze ensembles beter presteert wisselt gedurende de voorspelhorizon.

Uit een studie door het KNMI (Hurkmans, 2019) bleken grote verschillen in de kwaliteit van de neerslagverwachting bij een voorspelhorizon van één of twee maanden. De resultaten van de ECMWF-verwachtingen, toegepast op het grondwatermodel van het Berkelstroomgebied, laten een vergelijkbare kwaliteit van de verwachting voor een horizon van één en twee maanden vooruit zien. Door de neerslag en verdamping te voeden aan een grondwatermodel en de traagheid van het grondwatersysteem mee te nemen, is er dus een maand aan voorspelhorizon gewonnen. Een uitgebreide analyse van de kwaliteit van grondwaterverwachtingen zou een (groot) aantal jaren en kalendermaanden beschouwen. Dat is in dit geval vanwege de relatief lange rekentijd van AMIGO niet haalbaar. Door de droogte in 2018 is de verwachting voor de grondwaterstand op 1 april 2019 extra van belang en daarom moet dit worden gezien als een eerste stap en een indicatie voor de verwachtingskwaliteit. De studie geeft aan dat er potentie is voor het gebruik van seizoensverwachtingen in grondwaterbeheer, maar dat meer onderzoek nodig is naar de vraag wanneer de kwaliteit ervan het hoogst, dan wel het laagst is.

Dankwoord

Dit onderzoek is medegefinancierd door het Ministerie van I&M, Rijkswaterstaat, STOWA, het Hoogheemraadschap van Rijnland, waterschappen uit de projectgroep ZON, Deltares en HKV en de Europese Unie. IMPREX heeft financiering ontvangen onder Europese Unie HORIZON 2020 Subsidieovereenkomst 641811.
IMPREX is in 2015 gestart en is gericht op het verbeteren van verwachtingen van meteorologische en hydrologische extremen en hun impact én het ontwikkelen en toepassen van concepten om de risico’s gerelateerd aan droogte en hoogwater te kwantificeren en te beheersen. Hierbinnen valt onder andere dit onderzoek naar toepassen van ECMWF seizoensverwachtingen.

Verder willen we Wilco Klutman (Specialist Water bij Arcadis), onze collega Joost Stenfert en Waterschap Rijn en IJssel bedanken voor hun bijdrage. Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van grondwaterstandsgegevens van Waterschap Rijn en IJssel en het grondwatermodel van het Berkel-stroomgebied, in beheer bij en beschikbaar gesteld door Arcadis.

Literatuur

Arcadis (2018) Actueel Modelinstrumentarium Gelderland Oost (AMIGO) versie 3.0. Projectnummer: C03091.000263.

Arnal, A., H.L. Cloke, E. Stephens, F. Wetterhall, C. Prudhommer, J. Neumann, B. Kreminski and F. Pappenberger (2018) Skilful seasonal forecasts of streamflow over Europe; in: *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 22, no. 4, pp. 2057–2072.

Bierkens, M. F. P. en L.P.H. Van Beek (2009) Seasonal predictability of European discharge: NAO and hydrological response time; in: *Journal of Hydrometeorology*, vol 10, pag 953-968.

ECMWF (2017) SEAS5 user guide.
https://www.ecmwf.int/sites/default/files/medialibrary/2017-10/System5_guide.pdf

Honingh D., R. Versteeg, S. Groot, F. Schasfoort, M. van der Vat en J. Delfsman (2020) Toepassing van de risicobenadering voor droogte, *Stromingen,* vol 1, pag 1-12.

Hurkmans R. (2019) De kwaliteit van de ECMWF seizoensverwachtingen voor het IJsselmeergebied en het Rijnstroomgebied, *Memo KNMI*.

Lucatero D., H. Madsen, J. C. Refsgaard, J. Kidmose, en K. H. Jensen (2018) On the skill of raw and post-processed ensemble seasonal meteorological forecasts in Denmark, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol 22.12.

Lorenz, E. (1969) The predictability of a flow which possesses many scales of motion. *Tellus*, vol 21.3, pag 289-307

METEOBASE (2019) Het online archief van historische neerslag en verdamping in Nederland. http://meteobase.nl/

Deltares (2019) iMOD User Manual. Versie 5.0. http://oss.deltares.nl/web/iMOD

Waterschap Rijn en IJssel (2014) Oude IJssel: Gebiedsbegrenzing en indeling.
https://www.wrij.nl/statisch/oude-ijssel/kopie-algemene-0/gebiedsbegrenzing/

Waterschap Rijn en IJssel (2019) Waterdata: waterkwantiteit meetdata.
http://waterdata.wrij.nl/index.php?wat=kaart_esri

Weisheimer, A. en Palmer, T.N. (2014) On the reliability of seasonal climate forecasts, *Journal of the Royal Society Interface*, vol 11.96: 20131162.

Wolters E., H. Hakvoort, S. Bosch, R. Versteeg, M. Bakker, J. Heijkers, M. Talsma en K. Peerdeman (2013) Meteobase: Online neerslag- en referentiegewasverdampingsdatabase voor het Nederlandse waterbeheer; in: *Meteorologica*, vol 2, pag 15-18.

Summary Groundwater levels based on seasonal ECMWF expectations

The IMPREX Horizon 2020 research program aims to improve the expectations of meteorological and hydrological extremes and their impact. There is a need for sufficiently reliable long-term drought expectations, to improve drought risks management (Honingh et al., 2020). For this purpose, this study investigated whether seasonal weather forecast can be used to predict groundwater levels a few months in advance. Changes in groundwater levels respond relatively slowly to changes in precipitation. Therefore, it is assumed that reliable groundwater levels can be derived for a longer time span compared to meteorological expectations alone.

This investigation focused on the Berkel basin, located in the eastern part of the Netherlands. Groundwater levels were derived with a local ground water model called AMIGO. The input data of this model was Meteobase data in combination with ECMWF seasonal expectations of precipitation and reference crop evaporation. The model results based on seasonal expectations (both precipitation and evaporation) were compared with the model results based on observed precipitation and evaporation. The accuracy of the expectation differs between locations and forecasting periods (MedAE range: 0.003-0.74 m, SDE range: 0.02- 0.48 m). However, a clear trend is visible whereby the RMSE decreases if the forecasting horizon decreases. This stagnates for the two-month ahead forecast and the quality of groundwater level expectation are thus similar for a horizon of one or two months ahead (average SDE 0.08 and 0.09 m respectively). The meteorological forecasts for precipitation can be used up to 1 month in advance, which increases by a month for ground water levels.

Auteurs

DORIEN HONINGH
HKV Lijn in water
d.honingh@hkv.nl

RUUD HURKMANS
HKV Lijn in water
r.hurkmans@hkv.nl

SUSANNE GROOT
BWZ ingenieurs
s.groot@bwz-ingenieurs.nl