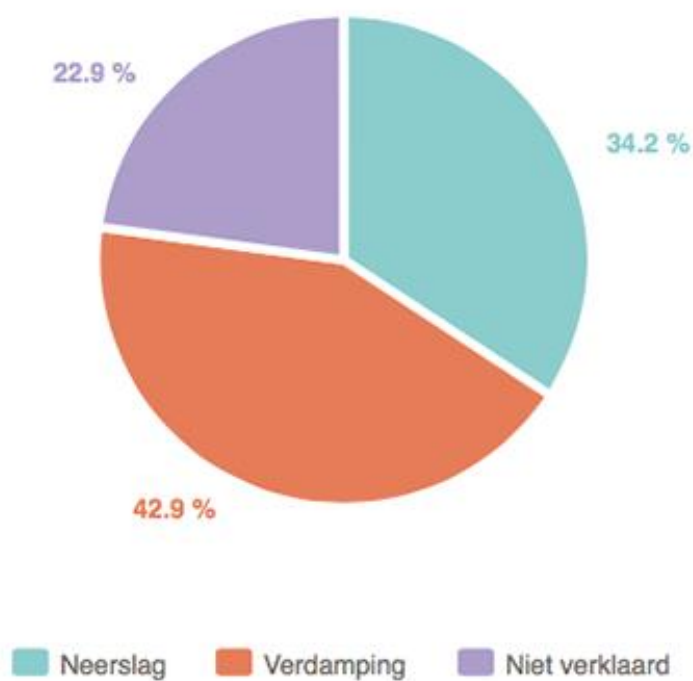


Beschrijving Grondwaterdynamiektool

Geologische Dienst Nederland - TNO



Auteurs: Stefanie Bus, Willem Jan Zaadnoordijk
Datum: maart 2018
Grondwatertools versie: 1.1

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Contact	3
1.2	Doel.....	3
2	Basisgegevens.....	4
2.1	Gegevens uit DINO database.....	4
2.1.1	Reekslengte	4
2.1.2	Minimaal aantal metingen.....	4
2.2	Gegevens uit KNMI database.....	4
2.3	Testprogramma	4
2.4	Tijdreeksmodel	4
2.4.1	Deterministische component	5
2.4.2	Responsfunctie neerslag en verdamping	6
2.4.3	'Niet in analyse meegenomen' en eigenschappen meetreeks	7
3	Criteria en meldingen	8
3.1	Criteria	8
3.2	Melding: 'Er kan geen bruikbaar model uit data worden afgeleid'	8
3.3	Melding: 'De getoonde respons . . . is niet beschikbaar'	9
3.4	Melding: 'Voor deze meetreeks . . . grondwaterdynamiek worden afgeleid'	9
3.5	Melding: Onderliggend model voldoet . . . grotere onzekerheid hebben.....	9
4	Geavanceerde informatie.....	10
4.1	Betrouwbaarheid en valkuilen	10
4.2	Stochastische component	10
4.3	Innovaties	11
4.4	Autocorrelatie innovaties	11
4.4.1	Witte ruis.....	11
4.5	Parameters	12
4.6	Statistiek	12
5	Wijzigingen ten opzichte van vorige versies	13
5.1	versie 1.1 maart 2018.....	13
6	Referenties	14

1 Inleiding

De [GDN-Grondwatertools](#) bestaan uit de tools (1) Isohyps en (2) Grondwaterdynamiek. Dit document beschrijft de achtergronden van de Grondwaterdynamiektool. De [handleiding Grondwatertools](#) is een separaat document en beschrijft de functionaliteiten en de bijbehorende knoppen.

1.1 Contact

Wij zijn erg benieuwd naar uw ervaringen. Dus heeft u vragen of opmerkingen stuur deze dan naar info@dinoloket.nl.

1.2 Doel

Op [DINOloket](#) zijn grondwaterstanden en stijghoogten te raadplegen afkomstig van vele duizenden putten. De Grondwaterdynamiektool geeft aanvullende informatie over de variatie in de tijd per meetfilter en de samenhang daarvan tussen filters in eenzelfde peilbuis. Naast gegevens op puntniveau is de ruimtelijke samenhang van de gemeten waardes van belang, of juist de stijghoogte op een niet gemeten locatie. De [Isohypsentool](#) geeft hierin inzicht.

Het gaat in de eerste plaats om karacterisatie van de dynamiek van het grondwater met de GxG en de regiemcurve. In de tweede plaats wordt informatie over de reactie van de stijghoogte op neerslag en verdamping gegeven voor peilbuizen die voornamelijk door deze factoren worden beïnvloed. Hiervoor wordt met behulp van een tijdreeksmodel een verband gelegd tussen neerslag en verdamping en de stijghoogtereeks. Deze tijdreeksmodellen kunnen bovendien nuttig zijn voor:

- Verlengen. Hoe korter de reeks hoe minder de kans dat er structurele veranderingen in de reeks optreden, maar hoe onnauwkeuriger de schatting van de kenmerken. Door het verlengen van korte reeksen kunnen de GxG en regiemcurve nauwkeurig worden bepaald, zonder dat de berekening wordt beïnvloed door structurele veranderingen in het grondwatersysteem.
- Kwaliteitscontrole. Tijdreeksmodellen geven een scherper beeld in hoeverre een extreem past in het karakter van de reeks zelf en/of in het ruimtelijke patroon op het meettijdstip. Daarmee is het een mogelijk hulpmiddel bij kwaliteitscontrole van de data.
- Interpoleren. Indien er in een meetreeks perioden voorkomen zonder waarnemingen (bijvoorbeeld als gevolg van een defecte drukopnemer) kan de reeks worden geïnterpoleerd. Ook het terug in de tijd verlengen van de reeks is een toepassing.

2 Basisgegevens

2.1 Gegevens uit DINO database

De grondwaterstanden en stijghoogten worden rechtstreeks uit de DINO database opgehaald.

2.1.1 Reekslengte

Voor de reekslengte wordt standaard het volgende aangehouden:

- a) De einddatum van de runperiode is de datum van de laatste meting;
- b. De startdatum van de runperiode is einddatum minus 8 jaar.

Voor een periode van 8 jaar is gekozen, omdat uit tests is gebleken dat de responsfunctie van verdamping maatgevend is voor de reekslengte van tijdreeksmodellen. Uit het testprogramma bleek dat over het algemeen na 7 jaar de tijdreeksmodellen met een duidelijk seizoenskarakter stabiel waren. Het seizoenskarakter is afhankelijk van de verdamping. De verdamping is afhankelijk van de temperatuur en deze hangt samen met de klimaatcyclus. Deze cyclus is van nature circa 7 jaar. Uiteindelijk is voor 8 jaar reekslengte gekozen, aangezien dit een bekende periode is voor geohydrologen.

2.1.2 Minimaal aantal metingen

Het minimaal aantal metingen is 84 (7x12 maanden). Reeksen met maandelijkse en kwartaalmetingen worden hierdoor niet gemodelleerd, omdat het tijdreeksmodel te onzeker wordt.

2.2 Gegevens uit KNMI database

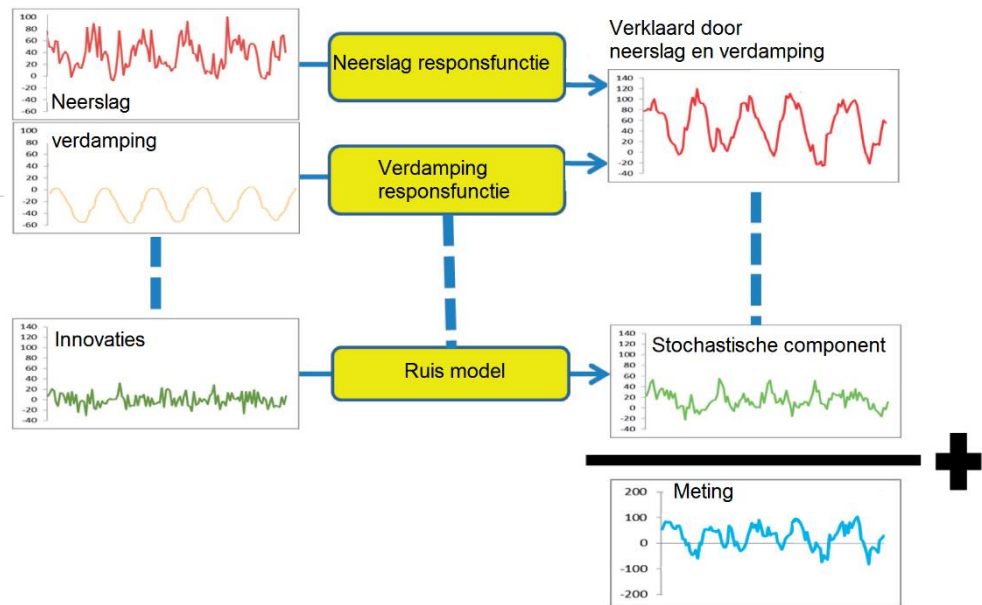
Via KNMI online wordt het dichtstbijzijnde station met neerslag en/of verdampingsgegevens gezocht. Maatgevend is de geselecteerde periode met een aanlooperperiode van 1 jaar.

2.3 Testprogramma

Om de uitgangspunten voor automatische tijdreeksmodellen te onderzoeken is een testprogramma uitgevoerd. Hiervoor zijn van 380 reeksen in het gebied van de provincie Utrecht 90.000 tijdreeksmodellen gemaakt. De basisreeksen zijn opgeknipt in verschillende reekslengtes en met lopende tijdvakken.

2.4 Tijdreeksmodel

Een tijdreeksanalysemodel bestaat uit de optelsom van de responsfunctie van neerslag, verdamping en bijvoorbeeld onttrekkingen, oppervlakte water, ruis (het onverklaarde deel), de constante en de meetfout (zie Figuur 1).



Figuur 1: Schematische weergave van het TNO online tijdreeksmodel

Dit wordt geschreven als:

$$y_t = n_t + d_t + \mu + \varepsilon_t \quad (2.1)$$

Waarbij

y_t : de reeks met de metingen van de stijghoogte

n_t : de ruiscomponent, ofwel het onverklaarde deel met AR(1) stochastisch proces

d_t : deterministische component, ofwel de respons op neerslag en verdamping

μ : het referentieniveau (de basishoogte van het tijdreeksmodel)

ε_t : de meetfout

t : index voor het tijdstip

De basis voor de automatische tijdreeksmodellering wordt gevormd door een deterministische component (zie paragraaf 2.4.1) en een stochastische component (zie paragraaf 4.2). De deterministische componenten van de verschillende reeksen worden onafhankelijk van elkaar beschreven met gangbare methoden voor enkelvoudige tijdreeksmodellen. Een uitgebreide beschrijving van de gebruikte formulering en het bijbehorende Kalmanfilter is onder meer beschreven in Berendrecht (2004) en Berendrecht & van Geer (2016).

2.4.1 Deterministische component

De deterministische component wordt beschreven met de responsfunctie van neerslag en verdamping (zie paragraaf 2.4.2):

$$d_t = \sum_{j=1}^p \left[\sum_{i=0}^{\infty} \theta_{j,i} u_{j,t-i} \right] \quad (2.2)$$

Waarbij:

$\theta_{j,i}$: de waarde van de responsfunctie voor inputreeks j (neerslag of verdamping) op tijdstip $t-i$

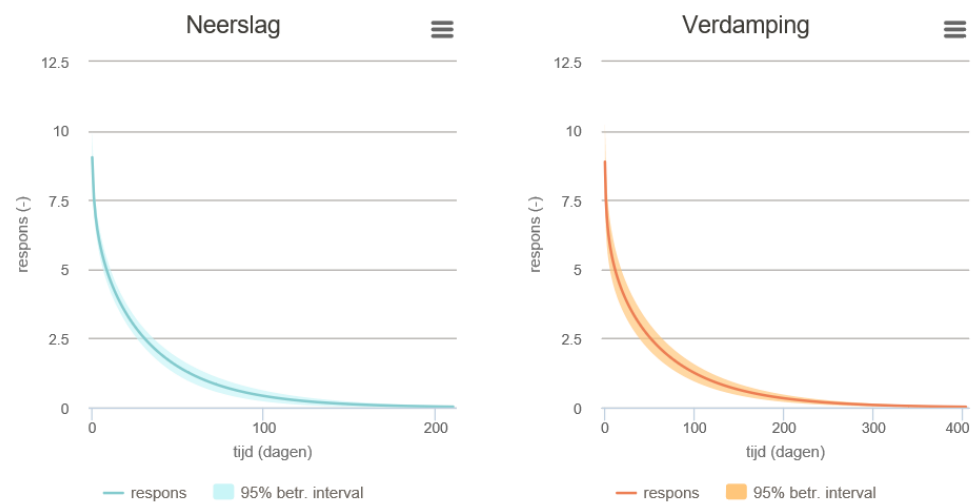
p : het aantal inputreeksen (gemeten neerslag en verdamping)

$u_{j,t-i}$: inputwaarde (neerslag en verdamping) op tijdstip $t - i$.

Voor de waarde van u wordt de totale hoeveelheid neerslag of verdamping binnen een tijdstap (1 dag) gebruikt, dus de tijdsintegratie heeft reeds binnen de tijdstap plaatsgevonden.

2.4.2 Responsfunctie neerslag en verdamping

De responsfunctie geeft de reactie van de stijghoogte op neerslag of verdamping weer (zie Figuur 2). Het bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval is een maat voor de onzekerheid van het model. Het betrouwbaarheidsinterval is berekend op basis van de standaardafwijking van de parameters van de responsfunctie.



Figuur 2: Aparte responsfunctie neerslag en verdamping

De responsfuncties zijn allemaal afleidingen van de gamma distributiefunctie (zie Figuur 2):

$$\theta_i = \mathcal{A} \frac{a^n i^{n-1} e^{-ai}}{\Gamma(n)} \quad (2.2)$$

Hierin is:

\mathcal{A} : de transformatiefactor, ofwel de totale respons met eenheid [(eenheid uitvoer)/(eenheid invoer)], wat overeen komt met het nulde moment van de responsfunctie M_0 .

n : de vormparameter, deze bepaalt de vorm van de responsfunctie

a : de schaalparameter

$\Gamma()$: de gamma-functie.

Ter vereenvoudiging van de schattingsprocedure wordt bovenstaande functie geschreven als:

$$\theta_i = A i^{n-1} e^{-ai} \quad (2.3)$$

met

$$A = \mathcal{A} \frac{a^n}{\Gamma(n)} \quad (2.4)$$

en worden de parameters $\psi_d = [A, n, a]$ geschat met behulp van een optimalisatie routine. Deze drie parameters worden op de website getoond bij het onderdeel 'Geavanceerde informatie onderliggend model'. In het onderdeel 'Karakteristieken responsfuncties' worden de volgende parameters getoond:

M_0 : responsesterkte van grondwaterstand op de inputvariabele

t_{50} : mediaan, tijdstip (dagen) waarop 50% van respons doorgewerkt is

t_{90} : tijdstip (dagen) waarop 90% van respons doorgewerkt is

t_{piek} : tijdstip (dagen) van de piek van de responscurve

In de tijdreeksprogrammatuur zijn twee methodes opgenomen om de responsfuncties voor de neerslag en verdamping te definiëren. In methode 1 wordt er een aparte responsfunctie voor neerslag en verdamping geschat. Dit houdt dus in dat de parameters $[A_1, n_1, a_1, A_2, n_2, a_2]$ geschat zouden worden. Hierin verwijzen de indices 1 en 2 naar de responsfuncties van respectievelijk de neerslag en de verdamping. Uit het testprogramma is echter gebleken dat het afzonderlijk schatten van een vormparameter n voor beide responsfuncties voor een overfit kan zorgen, wat leidt tot sterk gecorreleerde parameters. Daarom is er voor gekozen om slechts één vormparameter te schatten die in beide functies gebruikt wordt. De set te schatten parameters voor methode 1 is dus $[A_1, n_1, a_1, A_2, a_2]$. Hierdoor is de vorm van beide responsfuncties gelijk, maar de sterkte (via parameter A) en de traagheid/uitputtingsverloop (via schaalparameter a) kan verschillen. In methode 2 worden alle parameters van beide responsfuncties gelijk gesteld. Om recht te doen aan het feit dat de tijdreeks van de verdamping potentiële verdamping bevat wordt ook verdampingsfactor FC_2 geschat. De set te schatten parameters is hiermee $[A_1, n_1, a_1, FC_2]$.

In het algemeen is het zo dat modellen met meer parameters een betere fit (R^2) op de data geven dan modellen met minder parameters. Uit het testprogramma is gebleken dat methode 1 inderdaad een betere fit geeft en een reductie van eventuele autocorrelatie in innovaties en residu ten opzichte van methode 2. De keerzijde van deze winst is echter een hogere variantie (onzekerheid) van de geschatte parameters en daarmee een hogere onzekerheid van de modellen. Het testprogramma is uitgevoerd op een subselectie van de DINO database. Uit een analyse van de volledige database (online versie: september 2017) is gebleken dat modellen van methode 1 vaker worden afgekeurd (zie criteria in hoofdstuk 3) dan modellen die geschat zijn via methode 2. Daarom is er voor gekozen om in de versie 1.1 van maart 2018 methode 2 te gebruiken voor de tijdreeksmodellen.

2.4.3 'Niet in analyse meegenomen' en eigenschappen meetreeks

Metingen met een waarde groter dan 5x de standaardafwijking ten opzichte van het gemiddelde worden gezien als uitschieters en zijn daarom 'niet in de analyse meegenomen'. Bij korte reeksen kunnen deze uitbijters namelijk een onevenredig grote invloed hebben op de schattingen. Vervolgens worden de statistieken berekend op basis van de metingen zonder uitbijters.

3 Criteria en meldingen

De grondwaterstandsmeetreeksen worden allereerst automatisch doorgerekend met het tijdreeksmodel (zie paragraaf 2.4). Het modelresultaat wordt gecontroleerd op juistheid. In hoofdstuk 4 wordt nader ingegaan op de beoordeling van de resultaten. In dit hoofdstuk worden de criteria en statistische eisen beschreven waarop automatisch getoetst wordt.

3.1 Criteria

Er zijn criteria opgesteld voor het toetsen van de automatische modellen. Op dit moment zijn de volgende criteria opgenomen voor de evaluatie van de deterministische component:

1. Het verklaarde deel, uitgedrukt door R^2 , dient groter dan 0,1 te zijn (Tabel 1). Indien hieraan niet wordt voldaan, dan wordt ervan uitgegaan dat er geen zinnig deterministisch model geschat kan worden en dat er dus geen deterministische component is;
2. De componenten van de invoerreeksen moeten onafhankelijk van elkaar zijn, anders kunnen de componenten niet los van elkaar gebruikt worden. De correlatie tussen de deterministische (verklaard deel) en stochastische component (niet verklaard deel) dient daarom kleiner dan 0,3 en 0,2 voor respectievelijk het tonen van het model en de regimecurve te zijn (Tabel 1 en Tabel 3);
3. Toetsing van de parameters van de responsfuncties van neerslag en verdamping, onder andere op overparametrisatie (Tabel 1 en Tabel 2);
4. Automatische toets op witte ruis: p-waarde van Ljung-Box test. Deze statistische test berekent de autocorrelatie van de innovaties. Hoe hoger de PVAL van de innovaties, hoe groter de kans dat er geen autocorrelatie is en er dus witte ruis is. Indien het verklaarde deel groter dan 0,8 is, dan is de modelfit dusdanig goed, dat deze correlatie van ondergeschikt belang is (Tabel 3 en Tabel 4).

3.2 Melding: 'Er kan geen bruikbaar model uit data worden afgeleid'

Als het model niet voldoet aan minimaal één criterium uit Tabel 1, wordt alleen de meetreeks getoond, en verschijnt de melding: 'Er kan geen bruikbaar model uit data worden afgeleid'

Tabel 1: Alleen de meetreeks wordt getoond

Statistische eisen	Alleen de meetreeks wordt getoond
Neerslagresponsfunctie \mathcal{A}	< 0,002
Verdampingresponsfunctie \mathcal{A}	< 0,002
Percentage verklaard (R^2)	< 0,1
Correlatie stoch.comp.-verklaard (absolute waarde)	> 0,3

3.3 Melding: 'De getoonde respons . . . is niet beschikbaar'

Als minimaal één criterium uit Tabel 2 daartoe aanleiding geeft, wordt een waarschuwing gegeven: 'De getoonde respons op neerslag en verdamping hebben een aanzienlijke onzekerheid. Het betrouwbaarheidsinterval van de responsfuncties is niet beschikbaar'. De gebruiker dient dan zelf met behulp van de 'Geavanceerde informatie onderliggend model' te beoordelen of het model betrouwbaar genoeg is voor de toepassing. Zie de hoofdstuk 4 voor de toelichting.

Tabel 2: Melding: 'De getoonde respons . . . is niet beschikbaar'

Statistische eisen	Waarschuwing bij:
Parameters responsfunctie neerslag en verdamping (95% betrouwbaarheidsinterval)	A (gain) < 1,96*standaardafwijking n < 1,96*standaardafwijking a < 1,96*standaardafwijking

3.4 Melding: 'Voor deze meetreeks . . . grondwaterdynamiek worden afgeleid'

Automatisch wordt de plausibiliteit van de modelresultaten getoetst. Als aan minimaal één voorwaarde uit Tabel 3 wordt voldaan, dan worden geen regimecurve en klimaatrepresentatieve meetreeksen berekend. De melding: 'Voor deze meetreeks kunnen geen betrouwbare karakteristieken van de grondwaterdynamiek worden afgeleid' verschijnt.

Tabel 3: Geen regimecurve & klimaatrepresentatieve meetreeksen

Statistische eisen	Geen regimecurve & klimaatrepresentatieve grondwaterdynamiek
Fractie verklaard (R^2)	< 0,3
Correlatie stoch.comp.-verklaard (absolute waarde)	> 0,2
Fractie verklaard (R^2) én toets op witte ruis (PVAL)	< 0,8 < 0,01

3.5 Melding: Onderliggend model voldoet . . . grotere onzekerheid hebben.

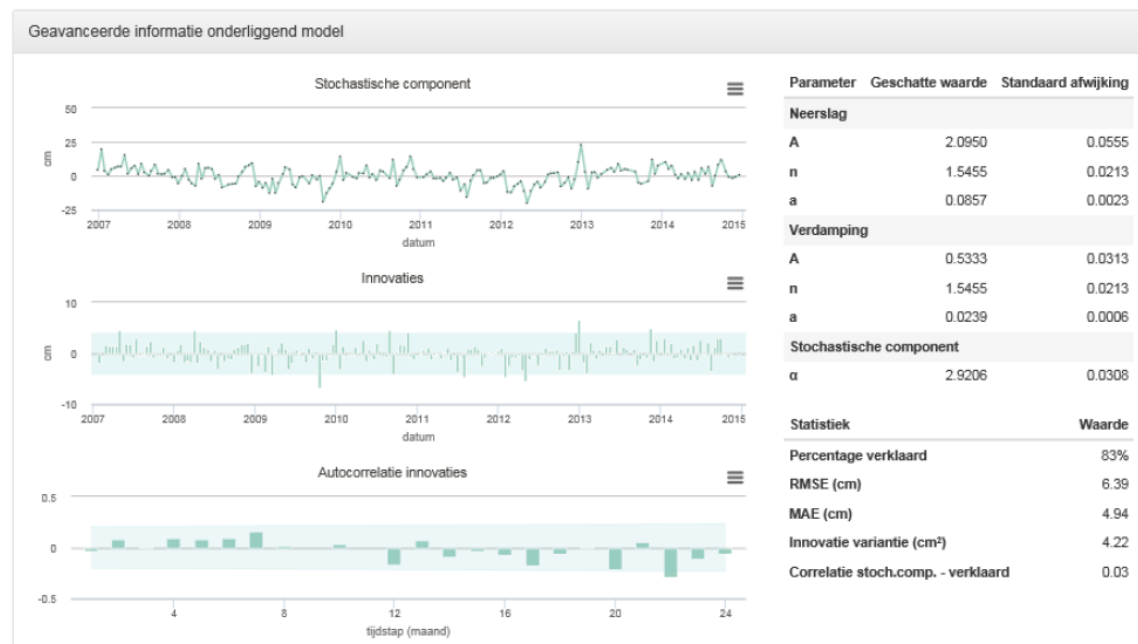
Als aan minimaal één voorwaarde uit Tabel 4 wordt voldaan, dan wordt de waarschuwing gegeven: 'Onderliggend model voldoet niet aan alle statistische eisen, waardoor getoonde karakteristieken en regimecurve een grotere onzekerheid hebben'. De gebruiker dient dan zelf met behulp van de 'Geavanceerde informatie onderliggend model' te beoordelen of het model betrouwbaar genoeg is voor de toepassing. Zie de hoofdstuk 4 voor de toelichting.

Tabel 4: Melding: Onderliggend model voldoet . . . grotere onzekerheid hebben

Statistische eisen	Waarschuwing bij:
Fractie verklaard (R^2) én toets op witte ruis (PVAL)	< 0,8 < 0,05
Fractie verklaard (R^2) én toets op witte ruis (PVAL)	\geq 0,8 < 0,01

4 Geavanceerde informatie

Op basis van de geavanceerde informatie wordt inzicht in de betrouwbaarheid en dus de bruikbaarheid verkregen (zie figuur 4). In dit hoofdstuk worden de achtergronden van deze informatie beschreven. In paragraaf 4.1 wordt gewezen op de valkuilen en de betrouwbaarheid van het model.



Figuur 4: Geavanceerde informatie

4.1 Betrouwbaarheid en valkuilen

Een verscheidenheid aan aspecten die de betrouwbaarheid van tijdreeksmodellen beïnvloeden en valkuilen van tijdreeksanalyse zijn beschreven in van Geer (2012).

4.2 Stochastische component

De grafiek met de stochastische component laat het niet verklaarde deel van de grondwatermeetreeks zien. In het niet verklaarde deel zit de invloed van bijvoorbeeld onttrekkingen, oppervlakte water en meetfouten.

De stochastische component is de uitvoer voor het ruismodel: het AR(1)-model:

$$n_t = \phi n_{t-1} + \eta_t \quad (4.1)$$

Waarbij

n_t : het residu op tijdstip t

ϕ : de autoregressieve coëfficiënt van het ruisdeel

η_t : een witte ruis reeks (innovaties)

De auto-regressieve term van het ruisproces wordt geschat met een optimaliseroutine samen met de parameters van de responsfuncties van het tijdreeksmodel. Omdat bij berekening op dagbasis de autoregressieve term ϕ veelal in de buurt van 1 komt, wordt ϕ geschreven als:

$$\phi = 1 - e^{-\alpha} \quad (4.2)$$

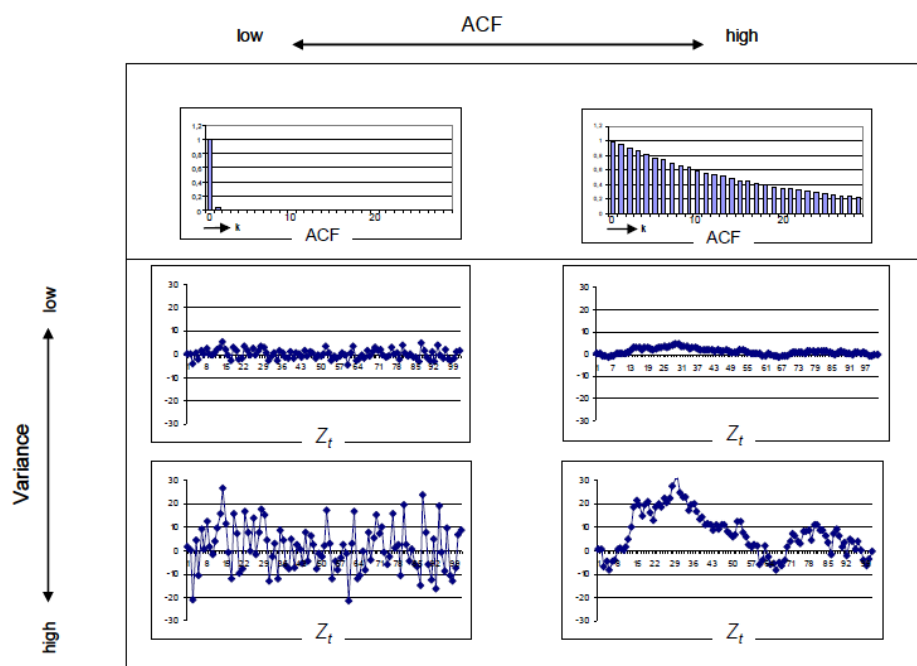
en wordt de parameter α geschat in plaats van ϕ .

4.3 Innovaties

De grafiek met de innovaties laat de invoer van het ruismodel zien. Bij een bruikbaar tijdreeksmodel wordt verondersteld dat het ruismodel de respons is van een witte ruis proces. De innovaties moeten daarom voornamelijk (bijvoorbeeld 95%) binnen de betrouwbaarheidsbanden liggen.

4.4 Autocorrelatie innovaties

De autocorrelatie is de relatie met de vorige meting (zie figuur 5). De tijdstappen zijn berekend per maand.



Figuur 5: Verschillende karakteristieken bij een gemiddelde van 0 door hoge en lage waarden van de variantie en autocorrelatie (ACF) (Bierkens & van Geer, 2015)

4.4.1 Witte ruis

Bij een statistisch goed model is er sprake van 'witte ruis'. Dit betekent dat opeenvolgende waarden in de innovaties (invoer stochastisch model) onafhankelijk van elkaar moeten zijn. Dit kan gecontroleerd worden met het autocorrelagram oftewel de relatie met de vorige meting. Een keuze is dat bijvoorbeeld 95% van de innovaties binnen de betrouwbaarheidsbanden moet liggen. In dat geval mogen er maximaal 3 tijdstappen buiten de betrouwbaarheidsbanden liggen.

4.5 Parameters

De belangrijkste parameters van het tijdreeksmodel worden weergegeven. Daarbij is de standaardafwijking weergegeven, deze geeft aan hoe zeker het model is van deze parameters.

De parameters van de responsfunctie zijn (zie paragraaf 2.4.2).

A = de gecombineerde parameter van \mathcal{A} , a en n (zie vergelijking 2.4)

n = de snelheid waarmee het grondwater reageert op neerslag of verdamping (wel of geen piek in de responsfunctie.)

a = de lengte van de tijd (x-as, korter/langer), een lagere waarde van a geeft een tragere respons, en omgekeerd.

De parameter van de stochastische component is (zie paragraaf 4.2):

α = parameter van het ruismodel (niet verklaarde deel)

4.6 Statistiek

In tabel 4 worden de statistieken van de 'geavanceerde informatie' toegelicht.

Tabel 4: Toelichting statistieken geavanceerde informatie

Statistiek	Toelichting
Fractie verklaard	R^2 : Maat voor hoe goed de modelfit is. Ofwel de fractie waarin het (deterministische) model de werkelijke data benadert.
RMSE (cm)	Relatieve fout: er wordt rekening gehouden met de grootte (aantal cm) van de grondwaterdynamiek.
MAE (cm)	Gemiddelde absolute fout
Innovatie variantie (cm ²)	Variantie van de invoer van het ruismodel (niet-verklaarde deel)
Correlatie stoch.comp.-verklaard	Maat voor de onafhankelijkheid tussen verklaarde deel en onverklaarde deel. Ofwel de correlatie tussen de stochastische component (niet verklaarde deel) en deterministische component (verklaarde deel).

5 Wijzigingen ten opzichte van vorige versies

In dit hoofdstuk worden de wijzigingen weergegeven die betrekking hebben op de grondwateroolswebsite voor het onderdeel grondwaterdynamiek. Voor deze wijzigingen is dankbaar gebruik gemaakt van de input van gebruikers via info@dinoloket.nl.

5.1 versie 1.1 maart 2018

- 1) *Gewijzigd* De responsfunctie voor de verdamping wordt gelijkgesteld aan een factor maal de responsfunctie voor de neerslag. In de vorige versie werden er aparte functies geschat. (Zie aangepaste beschrijving in paragraaf 2.4.2)
- 2) *Opgelost* De gepresenteerde varianties moesten nog met een schaalfactor worden vermenigvuldigd, dit is verholpen.
- 3) *Opgelost #2* Het tonen van de GxG en het maaiveld in de figuur met de regimecurve werkt nu ook in de Firefox browser.
- 4) *Gewijzigd #4* De gehanteerde symbolen van parameters zijn consistent gemaakt voor de handleiding en de website.
- 5) *Opgelost #8* Het format van de CSV downloadbestanden is gefixeerd, zodat deze niet langer afhankelijk is van de taalinstellingen van de lokale computer, waarbij het voorkwam dat zowel voor het veld- als decimale scheidingsteken hetzelfde teken werd gebruikt. Ook het datumformaat werd in bepaalde gevallen niet herkend door Excel. Dit is verholpen.
- 6) *Opgelost technisch probleem #1* compatibiliteit met ts.index is verzekerd voor verschillende versies van het Pandas-pythonpakket
- 7) *Opgelost technisch probleem #5* Het programma crasht niet langer als er bij uitzondering complexe eigenwaarden berekend worden bij meervoudige analyse
- 8) *Opgelost technisch probleem #6* Het feit dat de het optimalisatiepakket Imfit niet beschikbaar is als pythonpakket in de gebruikte webomgeving is ondervangen in de organisatie van de scripts.
- 9) *Opgelost #8* bugs website
- 10) *Opgelost #12* Alle relevante gegevens worden nu opgehaald bij het wisselen van filter met een radiobutton, waardoor er geen informatie meer wordt getoond die niet hoort bij het getoonde filter na zo'n wisseling
- 11) *Opgelost #11* Vullen van het tabblad samenhang is verbeterd, zodat het altijd gevuld wordt als er meerdere filters zijn, terwijl het eerder soms leeg bleef.
- 12) *Opgelost #13* Bug verholpen die soms leidde tot de melding "fout bij ophalen data"
- 13) *Opgelost #3* Fout in de beschrijving van het criterium voor innovaties in het beoordelen van een model voor het tonen van de regimecurve is verbeterd (zie paragraaf 3.4).

6 Referenties

Berendrecht, W.L. & van Geer, F.C. (2016), A dynamic factor modeling framework for analyzing multiple groundwater head series simultaneously, *Journal of Hydrology*, Volume 536, May 2016, p 50-60, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.028>

Berendrecht, W.L. & Van Geer, F.C., (2015) Ontwikkeling automatische tijdreeksmodellering voor (DINO) stijghoogtereeksen en de uitwerking naar informatieproducten: Stand van zaken november 2015, TNO-2015-R11600|v1, Geologische Dienst Nederland, GDN-TNO, Utrecht.

Berendrecht, W.L. (2004). State space modelling of groundwater fluctuations. PhD thesis TU Delft. ISBN 90-9018342-6.

Bierkens M.F.P. & Van Geer, F.C., (2015) *Stochastic Hydrology*, GEO4-4420, Utrecht University.

Geer van, F.C., & Berendrecht, W.L. (2015) *Meervoudige tijdreeksmodellen en de samenhang in stijghoogtereeksen*, *Stromingen* 23 (2015), nummer 3.

Geer van, F.C., (2014) Bepaling van regiemcurves en dynamische karakteristieken van stijghoogtereeksen met een variabele frequentie, TNO-2012-R10803-2, Geologische Dienst Nederland, GDN-TNO, Utrecht.

Geer van, F.C., (2012) *Tijdreeksanalyse: Introductie en aandachtspunten*. *Stromingen* 18, nummer 2.