

---

# Meerwaarde door meer waarden of modelleren?

## Integratie tussen tijdreeksanalyse en grondwatermodellen onder de loep

Ronald van de Vliet  
Twan Tiebosch  
Gert Grakist

---

*Tijdreeksanalyse en grondwatermodellering vormen op dit moment twee aparte methodieken in de hydrologie, die nog weinig in combinatie worden gebruikt. Ten onrechte, want gecombineerd gebruik levert een onmiskenbare meerwaarde op voor de bestudering van hydrologische problemen. In dit artikel worden daar enkele voorbeelden van gegeven. Tevens is aangegeven in welke situaties welke methode het beste past. Met dit artikel hopen de auteurs bij te dragen aan een zinvolle discussie over tijdreeksanalyse in relatie tot grondwatermodellen.*

### Inleiding

Tot nu toe wordt tijdreeksanalyse (afgekort TRA) en in het bijzonder transfer-/ruismodellering in de hydrologisch praktijk vooral gebruikt voor het vaststellen van trends. De methode wordt al jaren met succes toegepast in verschillende studies. In Nederland is men daarmee begonnen bij TNO (Van Geer e.a., 1988). Tot nu toe wordt de TRA nog maar weinig in combinatie met andere technieken toegepast. Grondwatermodellen anderzijds zijn inmiddels gemeengoed. Het grondwatermodel wordt gebruikt voor de voorspelling van ruimtelijke hydrologische effecten of de schatting van parameters. Het kalibreren van het desbetreffende grondwatermodel wordt daarbij vaak als technologische 'horde' gezien. In de praktijk wordt het kalibreren en valideren van dit soort modellen soms vergeten of afgedaan met nogal verhullende terminologie.

Dit artikel stelt dat de combinatie van TRA met grondwatermodellering een duidelijke meerwaarde oplevert bij hydrologische studies. Om dit te illustreren zijn een aantal voors en tegens op een rij gezet. Vervolgens worden enkele praktijkvoorbeelden besproken.

---

Ir. **R. van de Vliet** is werkzaam bij IWACO, adviesgroep Water en Ruimte, Postbus 8520, 3009 AM Rotterdam, telefoon (010) 286 55 30, e-mail: r.vandevliet@rtd.iwaco.nl, ir. **T. Tiebosch** bij Accanto, Zeeburgerkade 390, 1019 HP Amsterdam, telefoon (06) 18 11 66 84, e-mail: twantiebosch@accanto.nl en ir. **G. Grakist** bij HYDRON Zuid-Holland, Postbus 122, 2800 AC Gouda, telefoon (0182) 59 33 84, e-mail: ggt@wzho.nl.

### **Gehanteerde definities**

*Grondwatermodel*: analytisch, eindige elementen of eindige differentieelmodel in twee of drie dimensies, waarmee grondwaterstanden en grondwaterstroming kunnen worden berekend.

*Transfer / ruismodellering*: tijdreeksanalyse van de variatie van de grondwaterstand volgens de methode van Box and Jenkins, met neerslagoverschot als invloedsfactor, aangevuld met onttrekkingen, oppervlaktewaterpeilen, etc.

*Lineariteit*: het verschijnsel dat de invloed van een proces altijd hetzelfde is en evenredig met de grootte van de ingreep. Voorbeeld: als er twee keer zoveel onttrokken wordt, is de verlaging ten gevolge van de onttrekking twee keer zo groot.

*Invloedsfactoren*: variabele externe factoren die de variatie van de grondwaterstand beïnvloeden: neerslagoverschot, onttrekkingen, oppervlaktewaterpeil, drainage, etc. Gebiedseigenschappen als watervoerende pakketten, *kD*-waarden en dergelijke vallen daar dus in principe niet onder.

### **Sterke en zwakke punten van TRA en Grondwatermodellering**

Tijdreeksen geven historische informatie. Met TRA kunnen opgetreden effecten worden gekwantificeerd, mits ze zijn geregistreerd in de meetperiode en mits de invloedsfactoren binnen deze periode een duidelijke variatie hebben gehad. Daarbij is geen diepgaande kennis van de ondergrond nodig. Een nadeel is dat de methode alleen uitspraken doet op puntniveau, tegenover het grondwatermodel dat gebiedsdekkende uitspraken genereert, mits uitgebreide ruimtelijke informatie beschikbaar is. Bij TRA is het ook mogelijk om vooruit te kijken. Bijvoorbeeld wat de invloed is van een bepaalde ingreep in de waterhuishouding of wat de verwachte grondwaterstand over een maand is (Box en Jenkins, 1970; Rolf en Van de Vliet, 1998). Met TRA zijn geen voorspellingen mogelijk over factoren die niet als invloedsfactor bij de analyse zijn meegenomen. In tabel 1 zijn de sterke en zwakke punten van beide methoden naast elkaar gezet. Het lijkt alsof de voordelen en de nadelen elkaar over en weer aanvullen.

### **Meerwaarde van geïntegreerd gebruik TRA en model**

Wat is nu de meerwaarde van een gecombineerde inzet van TRA en grondwatermodellen voor de hydroloog? Zoals in tabel 2 is geïllustreerd, zijn er aan beide methoden voordelen en nadelen te onderkennen. Het lijkt echter zo te zijn, dat de nadelen van de één kunnen worden gecompenseerd door de voordelen van de ander. Door bijvoorbeeld de resultaten van de TRA te gebruiken voor ijking van het grondwatermodel, verkrijgt het model ook de informatie die impliciet in de historische meetreeksen aanwezig is. En evenzo kunnen betrouwbare tijdreeksanalyses uitgevoerd op gemeten processen met behulp van de kennis uit het model worden geëxtrapoleerd naar de toekomst.

Dat is een argument voor een gecombineerd gebruik van de twee methoden. Tevens is aangetoond dat met TRA verschillende bodemparameters kunnen worden vastgesteld (zoals doorlatendheden (Bierkens en Knotters, 1999)).

Verdere argumenten zijn:

Tabel 1: overzicht score TRA en grondwatermodellering

	TRA	Grondwatermodellering
<b>Sterk</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimaal gebruik van geleverde meet-inspanning; informatie die in de gehele meetreeks zit wordt gebruikt</li> <li>• Toepasbaar als quick-scan</li> <li>• Filtering van informatie die je sowieso voor model nodig hebt</li> <li>• Direct statistische informatie over betrouwbaarheid van resultaten</li> <li>• Gekwantificeerde detail kennis van ondergrond is niet noodzakelijk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kennis van grondwatersysteem (kD, C, geologie, oppervlaktewater, Darcy) bieden de mogelijkheid met een betrouwbaar grondwatermodel uitspraken te doen over situaties die (nog) niet opgetreden zijn</li> <li>• Gebiedsdekkende resultaten: standen, kwel, intrekgebieden, stroombanen</li> <li>• Niet-lineariteit kan met instationair model goed worden beschreven</li> </ul>
<b>Zwak</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informatie op puntniveau</li> <li>• Aanname lineariteit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bepaling groot aantal parameters</li> <li>• Kalibratie is al snel complex en betrouwbaarheid moeilijk te kwantificeren</li> <li>• Selectie kalibratieperiode is lastig</li> <li>• Keuze van randvoorwaarden</li> </ul>

- De resultaten van TRA maken een uitgebreide studie naar de meest geschikte kalibratieperiode overbodig;
- Met TRA kan voor aanvang van modelstudie richting worden gegeven aan onderzoek (quick-scan).

### Integratie in zicht

Hoe kan de hydroloog nu beoordelen in welke gevallen inderdaad meerwaarde te halen valt in het gezamenlijk gebruik van TRA en grondwatermodellen?

Het oplossen van hydrologische vraagstukken begint vaak met de verzameling van gegevens. Daarbij spelen bekende en voorspelbare problemen een rol. Meetreeksen zijn niet zelden slecht gearchiveerd en bevatten sprongen, gaten en uitschieters. Een hoofdoorzaak hiervoor is dat gegevens vaak pas worden gecontroleerd op het moment dat ze voor een onderzoek worden gebruikt. Dan blijken er helaas meer dan eens onvolkomenheden in te zijn geslopen, waarvan de oorzaak niet meer kan worden achterhaald. Brede toepassing van tijdreeksanalyse kan hier verandering in brengen, als het gebruik van de gegevens daarmee wordt geïntensiveerd.

Citaat peilbuiswaarnemer: "Als het te slecht weer is om het veld in te gaan en ik denk dat de grondwaterstand niet veel is veranderd, tel ik gewoon 2 cm bij de vorige meting op."

De volgende stap in de beantwoording van hydrologische vraagstukken omvat het analyseren van de grondwaterstanden met transfer/ruismodellering. Daarbij worden de belangrijkste externe invloedsfactoren onderkend (het weer, peilbeheer, grondwateronttrekkingen) en hun bijdrage aan de grondwaterstand kan worden gekwantificeerd.

Hierdoor kan de TRA worden gebruikt als eerste verkenning van de problematiek. Als het resultaat van de modellering geslaagd is kan de modellering in het vervolgtraject worden gebruikt.

TRA kwantificeert alle karakteristieken van de grondwaterstand en de onderliggende dynamische processen op basis van de informatieinhoud van de meetreeks. Deze karakteristieken (responsfuncties, tijdsmomenten en dergelijke) kunnen zeer goed worden gebruikt voor andere doelen (bijv. grondwatermodel kalibreren op de respons op een constant neerslagoverschot; het zogenaamde structureel niveau). De feitelijke meetreeks is dan eigenlijk nauwelijks meer nodig. De hydroloog is dan verlost van het probleem van de keuze van kalibratieperiode.

Als de TRA niet tot een adequate beschrijving van de grondwaterstand leidt, zijn er twee mogelijkheden:

- 1 Er is een tekortkoming in de data; dit kan alle meetreeksen betreffen. Er moet dan meer worden geïnvesteerd in de kwaliteit van de data. Of TRA nu wel of niet wordt toegepast: de meetgegevens moeten compleet en betrouwbaar zijn.
- 2 Er is sprake van sterk niet-lineair gedrag van de grondwaterstand, wat een goede modellering belemmert. Op dat moment kan deze vorm van tijdreeksanalyse niet worden gebruikt. Andere vormen van tijdreeksanalyse (vb. neurale netwerken) zijn wellicht nog wel toepasbaar. Men zal nu verder moeten gaan met een instationaire grondwatermodellering, waarbij geijkt moet worden op gemeten grondwaterstandsreeksen door het jaar heen.

Als de TRA geslaagd is, kan men concluderen dat men de bepalende invloedsfactoren in beeld heeft en de relatie die zij hebben met de grondwaterstand bij benadering lineair beschreven kan worden.

*Voorbeeld:* In een natuurherstelproject kan met TRA snel duidelijk worden of stopzetting van een nabijgelegen grondwaterwinning een significante bijdrage levert aan vernatting. Als een grondwaterreeks in het aandachtsgebied relatie vertoont met de onttrekking kan worden gekwantificeerd wat een reductie van de winning op zou kunnen leveren voor de hoogte van grondwaterstand.

De vraag die wij ons vervolgens moeten stellen is of het hydrologisch probleem waar wij voor staan lineair is. Als het probleem bovendien in het verleden is gemeten, kunnen we volstaan met het resultaat van de TRA. Men heeft dan op de bemeten locaties het antwoord op het probleem. Als men een gebiedsdekkende oplossing wil hebben, eventueel aangevuld met informatie over kwel en infiltratie, dan zal er alsnog een stationair grondwatermodel moeten worden opgezet.

*Voorbeeld:* In een gebied is een winning met 75% gereduceerd. Met TRA kan het effect van een reductie van 0 tot 75% worden vastgesteld (Van de Vliet e.a., 2000). Wellicht kan een indicatie worden gegeven van het effect van stopzetting (reductie 100%), maar daarmee wordt de vastgestelde relatie geëxtrapoleerd. Dit brengt een lagere betrouwbaarheid met zich mee. Uitspraken over de toename van kwel zijn hiermee niet zonder meer te bepalen, laat staan een ruimtelijk beeld daarvan.

Als het probleem nog niet is gemeten (bijvoorbeeld: een nieuwe winning, aanleg van een infiltratiesloot, bepaling GGOR) dan dient een grondwatermodellering te worden uitgevoerd, met alle risico's van een onbetrouwbare voorspelling. De TRA komt daarbij goed van pas, omdat de relatie tussen grondwaterstand en invloedsfactoren al is gekwantificeerd in transfermodellen. Deze relaties kunnen worden gebruikt om het grondwatermodel stationair te ijken.

*Voorbeeld:* Uit een transfermodel volgt dat 1m/maand neerslagoverschot 40 m grondwaterstand oplevert (boven een zeker referentieniveau). Op basis hiervan weet de hydroloog dat bij een neerslagoverschot van 1mm/dag de grondwaterstand in het meetpunt gelijk is aan ( $1 \text{ mm/d} = 0,03 \text{ m/mnd} \pm 0,03 * 40 = 1,20 \text{ m} + \text{ref. niveau}$ ).

Bij een stationaire probleemstelling (vb: effect van aanleg van een winning) kan direct resultaat worden verkregen met stationaire modelberekeningen. Als de problematiek instationair is (bijv. in beeld brengen van een extreme wateroverlastsituatie) moet het model ook instationair geijkt worden. We verwachten dat het ook mogelijk is om dit met de resultaten van de TRA te doen. Hier zijn echter nog nauwelijks ervaringen mee opgedaan.

### **Ervaring met integratie**

In deze paragraaf worden bij wijze van voorbeeld twee projecten beschreven, waarin de combinatie van TRA en grondwatermodel is toegepast. Hiernaast willen we verwijzen naar het werk van Hans Gehrels (Gehrels, 1999) en een modelkalibratie die op dit moment plaatsvindt bij PWN. Bij dit laatste project wordt een grondwatermodel geijkt op het resultaat van circa 500 tijdreeksanalyses.

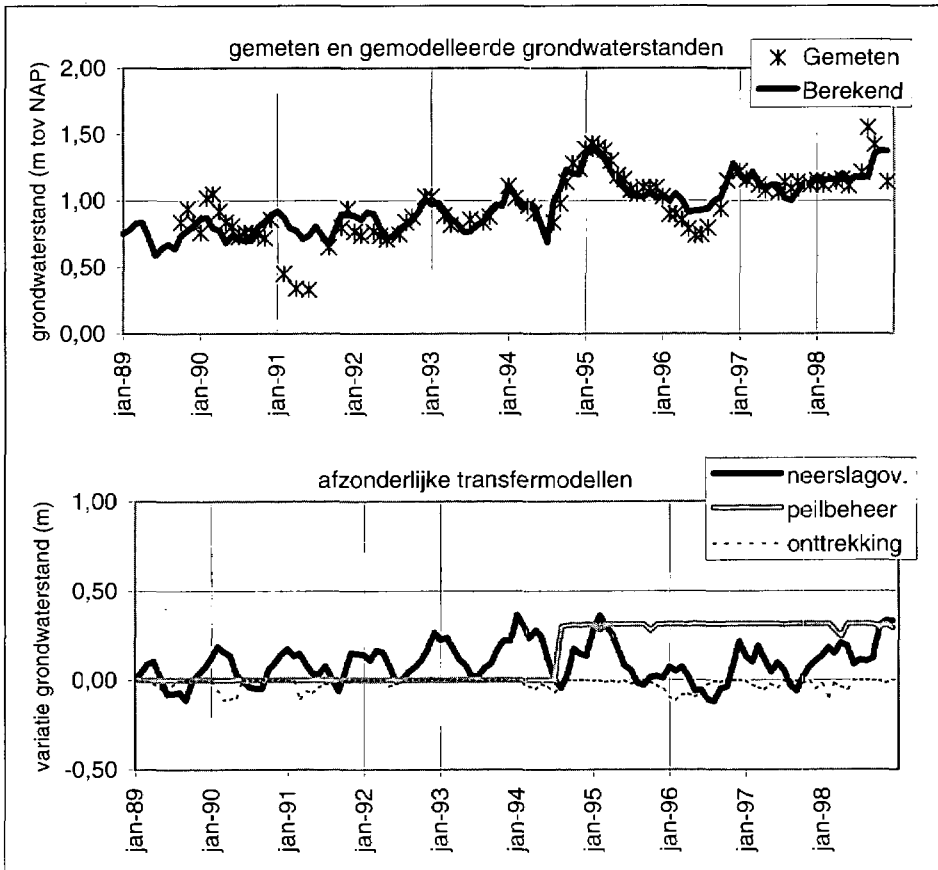
Het eerste project in Den Haag onderbouwt de stelling dat resultaten van beide methoden met elkaar verenigbaar zijn.

*Tijdreeksanalyse Belgisch Park (Den Haag); onderzoek naar wateroverlast in woonwijk door neerslag, onttrekking of infiltratiesloot (Emke e.a., 1999)*

In de wijk Belgisch Park is in de natte winters van 94/95 en 98/99 grondwateroverlast opgetreden. In de omgeving wordt grondwater onttrokken door een waterleidingbedrijf en

is in 1994 een infiltratiesloot in gebruik genomen. In de wijk is een grondwatermeetnet in gebruik. Voor de grondwaterstandreeksen is in 1999 transfer/ruismodellering uitgevoerd. Daarmee is bepaald in hoeverre de neerslag, onttrekking en infiltratiesloot hebben bijgedragen aan de opgetreden wateroverlast.

Voor aanvang van de aanleg van de infiltratiesloot is met een grondwatermodel een prognose gemaakt van de effecten op de grondwaterstand (IWACO, 1989). Deze prognose is vergeleken met de resultaten van de tijdreeksanalyse. Deze bleken zeer goed overeen te komen. Waarmee de gebiedsdekkende modelprognose van destijds in feite gevalideerd is op de meetreeksen van de afgelopen 5 jaar. Hierdoor konden voor de gebiedsdekkende vaststelling van de overlast de resultaten van het grondwatermodel gebruikt worden.



**Figuur 1:** boven: gemeten grondwaterstand; onder: ontbonden grondwaterstand als gevolg van neerslag, sloot en onttrekking.

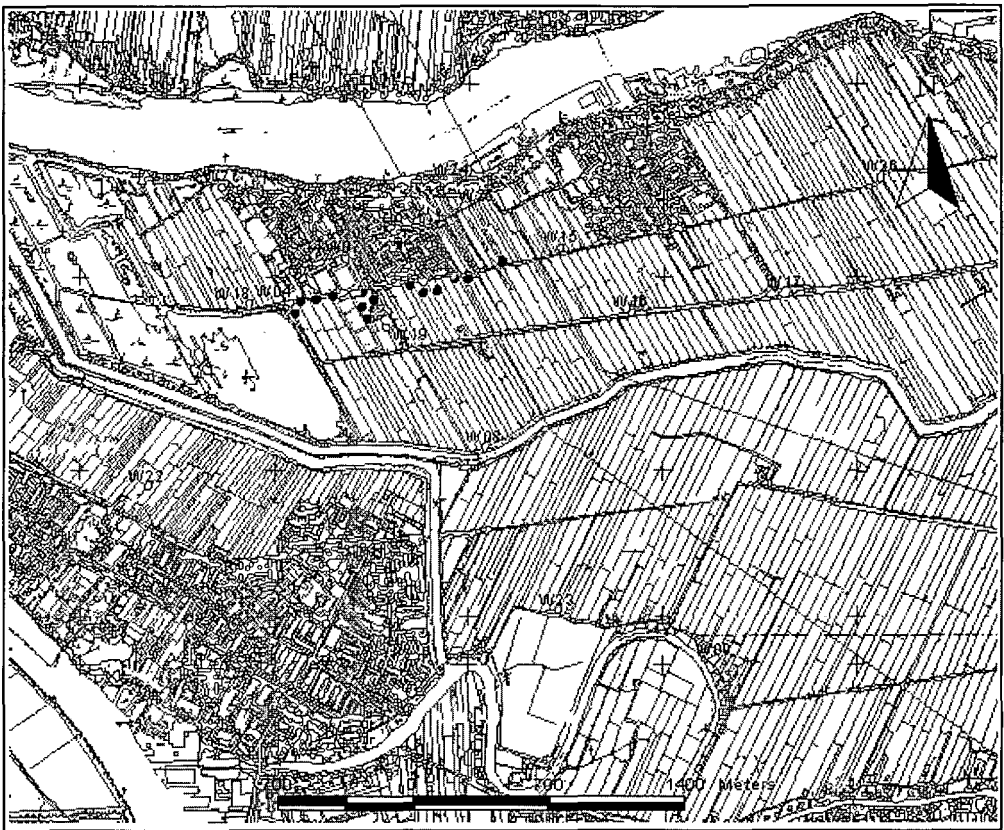
Het tweede project van HYDRON Zuid-Holland illustreert de noodzaak om een goed geacht model te allen tijde kritisch te blijven bekijken.

*Kalibratie van grondwatermodel Nieuw Lekkerland op vastgestelde effecten van winning (WZHO, 2000)*

In 1998 is een hydrochemisch onderzoek uitgevoerd voor de WZHO winlocatie De Put te Nieuw-Lekkerland. De oevergrondwaterwinning van ca.  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup> gelegen op ca 700 m ten zuiden van de Lek. De onttrekking vindt plaats in het eerste watervoerende pakket onder een ca. 10 m dikke afdekkende klei/veenlaag.

Ten behoeve van het onderzoek is een herijking van een bestaand grondwaterstromingsmodel (MicroFem) gedaan. De ijking bestond uit het aanpassen van de geohydrologische parameters tot een acceptabel verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten was bereikt.

Dit houdt in dat er zowel positieve als negatieve verschillen zijn. Deze trial and error methode is weliswaar niet erg exact maar heeft tot een bruikbaar model geleid. In figuur 2 is de ligging van de onttrekkingsputten en de bij het onderzoek betrokken peilbuizen gegeven.



**Figuur 2:** Waarnemingsputten (met putcode) en onttrekkingsputten van winlocatie De Put.

De stijghoogten in het eerste watervoerende pakket worden in de omgeving van de winning behalve door de geohydrologische parameters sterk bepaald door het polderpeil, het peil van de Lek en de grondwateronttrekking. In tabel 2 (2e kolom) staan voor de beschouwde

waarnemingspunten de uiteindelijke verschillen tussen berekende en gemeten stijghoogten vermeld.

**Tabel 2:** Vergelijking resultaten van tijdreeksanalyse met MicroFEM-model

Putcode	Verschil in stijghoogte na ijking MicroFEM-model in 1998 (m)  (berekende minus gemeten)	Stijghoogteverandering door een onttrekking van 4 Mm <sup>3</sup> /j		
		TRA (m)	MicroFEM-model (m)	Verschil (m)
PU-W05	?	-3,24	-2,60	-0,64
PU-W07	0,32	-2,48	-2,20	-0,28
PU-W08	?	-1,12	-0,88	-0,24
PU-W09	0,04	-0,28	-0,16	-0,12
PU-W15	0,23	-1,16	-0,76	-0,40
PU-W16	-0,13	-0,56	-0,52	-0,04
PU-W17	-0,17	-0,28	-0,20	-0,08
PU-W19	0,27	-3,12	-2,56	-0,56
PU-W22	0,05	-0,84	-0,44	-0,40
PU-W23	0,00	-0,56	-0,32	-0,24

In 2000 is TRA uitgevoerd (WZHO, 2000). Hierbij is met name onderzocht wat het effect is van de onttrekking op de stijghoogte van het eerste watervoerende pakket. De waarden voor de beschouwde peilbuizen staan in tabel 2.

Vergelijking van de verlagingen bepaald door Transferruis- met die door het grondwatermodel, laat een verassend resultaat zien. De verlaging uit Transferruismodellering is bij alle beschouwde peilbuizen groter dan die met het grondwaterstromingsmodel zijn berekend.

Met deze gegevens zal het grondwatermodel dus verder verbeterd (geijkt) kunnen worden. Om te beginnen met een aanpassing van de weerstand (c-waarde) van de deklaag. De oorzaak dat het model in eerste instantie goed leek, ligt vermoedelijk aan twee tegen elkaar in werkende hydrologische mechanismen: de grondwateronttrekking en het verschil tussen polder- en rivierpeil. Als immers de weerstand van de deklaag wordt verlaagd, dan wordt de stijghoogteverlaging door de onttrekking minder, dus de stijghoogte stijgt. Tegelijkertijd is het polderpeil lager dan het rivierpeil. Door een lagere deklaagweerstand zal de stijghoogte meer naar het polderpeil neigen en dus dalen. Dus bij wijziging van de deklaagweerstand kan de stationaire stijghoogte gelijk blijven, terwijl de invloed van alleen de onttrekking wel degelijk verandert.

In dergelijke situaties is het voor een goede modelijking dus van belang dat de diverse hydrologische effecten uit elkaar kunnen worden gehaald. Transferruismodellering kan hiervoor een oplossing bieden.



## Conclusies en aanbevelingen

Tijdreeksanalyse en grondwatermodellen zijn beproefde hydrologische methoden, die tot nu toe vooral gescheiden van elkaar worden ingezet in hydrologische studies. Dat is een gemiste kans, omdat de nadelen van de ene methode goed kunnen worden gecompenseerd door de voordelen van de ander, hetgeen pleit voor een gecombineerd gebruik van modellen met tijdreeksen.

Verder ontstaat mogelijk tijdswinst doordat niet meteen wordt gegrepen naar een grondwatermodel, maar eerst een nadere beschouwing van het type probleem wordt voorgesteld.

Ook is het mogelijk om het grondwatermodel te verbeteren door een combinatie met TRA: het historisch besef neemt toe, het grondwatermodel leert als het ware. Door de combinatie van beide technieken ontstaat er een optelsom met een hoge resolutie in tijd en een hoge resolutie in ruimte.

Wij willen Harrij Rolf van PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland hartelijk danken voor zijn kritische blik en aanvullingen op de tekst van dit artikel.

## Referenties

- Bierkens, M.F.P. en M. Knotters (1999)** Tijdreeksmodellen voor de grondwaterstand; in: *Stromingen*, jrg 5, nr 3, pag 35–49.
- Box, G.E.P. en G.M. Jenkins (1970)** Time series analysis, forecasting and control; Holden-Day, San Fransisco, USA.
- Emke, M.J., N.H.M. Stolwijk en R.N. van de Vliet (1999)** Grondwateronderzoek Belgisch Park; IWACO / Wareco Amsterdam.
- Geer, F.C. van, P.K. Baggelaar en P.R. Defize (1988)** Toepassing van tijdreeksanalyse op meetreeksen van de stijghoogte; in: *H<sub>2</sub>O*, nr 16–1988, pag 438–442.
- Gehrels, J.C. (1999)** Groundwater level fluctuations – Separation of natural from anthropogenic influences and determination of groundwater recharge in the Veluwe area, the Netherlands; proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam.
- IWACO (1989)** Geohydrologisch onderzoek Zwolse straat; IWACO.
- Rolf, H.L.M. en R.N. van de Vliet (1998)** Wateroverlast rond de duinen moet nog komen; in: *H<sub>2</sub>O*, nr 25, pag 8.
- Vliet, R.N. van de, H.L.M. Rolf en J.J. Lebbink (2000)** Effecten van de reductie en stopzetting waterwinning Zuid-Kennemerland, Tijdreeksanalyse van gemeten grondwaterstandensreeksen voor urgente gebieden; IWACO/NV PWN.
- WZHO (2000)** Transfer/ruisanalyse voor de winning De Put.

