

Het proefschrift is dus doelbewust opgebouwd door op steeds grotere schaal naar breuken en breukpatronen te kijken, om – aldus de inleiding en het afsluitende hoofdstuk – bloot te leggen hoe processen op de kleine schaal het grootschalige systeem beïnvloeden. Hoe die processen op de microschaal de grootschalige systemen op de kilometer-schaal beïnvloeden, komt uiteindelijk niet helemaal uit de verf, omdat de meeste processen beschreven in hoofdstuk 3 niet terugkomen in de hoofdstukken 4 en 5. Ook hier liggen misschien aanknopingspunten voor een vervolg. Dit neemt niet weg dat het erg leerzaam is om in de opeenvolgende hoofdstukken te zien hoe sedimentologie en tektoniek het hydrologische systeem beïnvloeden. En daarmee is het doel met het proefschrift, om tektoniek, sedimentologie en hydrologie bij elkaar te brengen, ruim-schoots gehaald.

Literatuur

- Bierkens, M.F.P. (1994)** Complex confining layers, a stochastic analysis of hydraulic properties at various scales; proefschrift, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Dagan, G. (1979)** Models of groundwater flow in statistically homogeneous porous formations; in: *Water Resources Research* 15(1), pag 47–63.
- Ernst, L.F. en N.A. de Ridder (1960)** High resistance to horizontal groundwater flow in coarse sediments due to faulting; in: *Netherlands Journal of Geosciences/Geologie en Mijnbouw*, 39, pag 66–85.
- Indelman, P. en G. Dagan (1993)** Upscaling of permeability of anisotropic heterogeneous formations, 1, the general framework; in: *Water Resources Research* 29(4), pag 917–924.
- Freeze, R.A. (1975)** A stochastic conceptual analysis of one-dimensional groundwater flow in nonuniform homogeneous media; in: *Water Resources Research* 11(5), pag 725–741.
- Matheron, G. (1969)** Le Krigeage Universel; Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, No. 1, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau.
- Stuurman, R.J. en Atari, R.H. (1997)** De grondwaterstromingssituatie rond de Wijstgronden nabij Uden; NITG-rapport 97-212(a), NITG-TNO.
- Weerts, H.J.T. (1996)** Complex confining layers, architecture and hydraulic properties of Holocene and Late Weichselian deposits in the fluvial Rhine-Meuse delta, The Netherlands; proefschrift, Universiteit Utrecht, Utrecht.

Hans Gehrels

State space modeling of groundwater fluctuations

door Wilbert Berendrecht, Proefschrift, Technische Universiteit Delft, Delft, 2004, 149 pag.

“De impact van kennis wordt voor een groot deel bepaald door de wijze waarop die kennis wordt gecommuniceerd”, zo luidt stelling 6 bij het proefschrift ‘State space modeling of groundwater fluctuations’ van

Wilbert Berendrecht. Welnu, op 28 september jongstleden mocht Wilbert in de Aula van de TU-Delft met opponenten over zijn kennis communiceren. De wijze van communicatie in proefschrift en tijdens verdediging was serieus, degelijk, consciëntieus, en de impact was in elk geval dat Wilbert voortaan als doctor door het leven gaat, een periode van vier jaar gedegen onderzoek achter zich latend.

Het proefschrift is opgebouwd uit vier wetenschappelijke artikelen, voorafgegaan door een algemene inleiding en een hoofdstuk over 'state space'-modellering, en gevolgd door een samenvatting en conclusies.

Theorie van state-spacemodellering

Van state-spacemodellen moet je houden. Door de matrixnotatie is het erg lastig om uit te vogelen wat er allemaal precies gebeurt in het stelsel van formules dat een state-spacemodel beschrijft. Tegelijkertijd is de uiteindelijke formulering erg compact en daarmee krachtig. Vergelijk het maar met programmeren in MATLAB. Voor jezelf erg prettig en snel, voor anderen die de code moeten doorgronden soms een crime. Dit gezegd hebbende moet Wilbert een groot compliment gemaakt worden, want hij weet de state-spaceformulering van tijdreeksmodellen rustig en vakkundig uit te leggen en zo goed mogelijk stap-voor-stap op te bouwen vanaf de bekende transfer-ruismodellen van Box en Jenkins. Als je dus geïnteresseerd bent in hoe de state-spacebenadering werkt is het zeker de moeite waard om voor dit hoofdstuk eens rustig te gaan zitten. De verschillen tussen de Box-Jenkins- en de state-spacebenadering van een tijdreeksmodel zijn wat lastiger uit de tekst te halen. Wilbert schrijft hier dat beide benaderingen "theoretisch equivalent zijn, maar verschillen in hun numerieke en statistische eigenschappen". Het hoe en waarom dan wordt echter verder niet uitgewerkt. De tekst over de voordelen van de state-spacerepresentatie die daarop volgt heeft een zeker risico in zich. Het roept discussies op in de zin van 'ja-maar-dat-kan-ik-ook', zoals die er inmiddels wel meer rondom tijdreeksanalyse zijn geweest. Uiteindelijk is notatie, state space, discreet, continu, of wat dan ook, vooral een gereedschap waar je aan verknocht raakt als je er

eenmaal goed mee om kan gaan. Het maakt de wereld die het beschrijft echter niet wezenlijk verschillend. Dat neemt natuurlijk niet weg dat er in de state-spacehoek een aantal zaken goed en netjes zijn uitgewerkt, waar je weer je voordeel mee kan doen.

Ontkoppeling van model- en meetinterval

Bij het bekende 'Box-Jenkinsmodel' wordt gebruik gemaakt van discrete tijdreeksen met één constant waarnemingsinterval voor zowel de invoerreeks (neerslagoverschot) als de uitvoerreeks (grondwaterstand). Vaak is het meetinterval voor de grondwaterstand een halve maand en worden neerslagoverschotten berekend voor dit interval. Neerslag- en verdampingssommen zijn echter vaak op dagbasis beschikbaar. Waarom zou het interval waarmee de grondwaterstand wordt gemodelleerd (modelinterval) dan ook niet een dag zijn? In hoofdstuk 3 beschrijft Wilbert hoe met het state-spacemodel het modelinterval verkleind kan worden tot dat van de hoogfrequente invoerreeks. Vooral bij kleine piekresponstijden (snel reagerende systemen) levert een kleiner modelinterval verbetering op. Het is dan echter wel belangrijk om te beschikken over neerslag- en verdampingsdata die dichtbij de locatie van de grondwaterstandsbuis zijn gemeten. Met het model is het mogelijk om grondwaterstanden dagelijks te voorspellen zonder dat de grondwaterstand dagelijks gemeten wordt. Als de voorspelnaauwkeurigheid een kritisch niveau overschrijdt kan besloten worden weer een grondwaterstandsmeting te verrichten.

Niet-lineair wortelzonemodel

Bij het Box-Jenkinsmodel veronderstel je een eenvoudige lineaire samenhang tussen het neerslagoverschot en de grondwater-

stand, iets waar menig hydroloog zijn wenkbrauwen bij zal fronsen. Hoe 'erg' zo'n veronderstelling is, zal sterk afhangen de hydrologische omstandigheden en natuurlijk van het doel van het model. Voor situaties waarbij je echt niet om niet-lineariteit heen kunt zoeken tijdreekshydrologen naarstig naar modellen die de belangrijkste vormen van niet-lineariteit beschrijven en toch eenvoudig zijn. In hoofdstuk 4 presenteert Wilbert een state-spacemodel dat niet-lineariteit als gevolg van de verzadigingsgraad van de wortelzone beschrijft. De verzadigingsgraad van de wortelzone heeft invloed op de doorlatendheid en de wateropname door de wortels. In het model wordt de stroming in de onverzadigde zone geschematiseerd met een niet-lineair reservoirmodel. Het model is gekalibreerd op twee reeksen van relatief diepe grondwaterstanden op de Veluwe. In beide gevallen blijkt de goodness-of-fit van het niet-lineaire model beter te zijn dan van een lineair alternatief.

State-spacemodellering van wisselende regimes

Een bijzondere vorm van niet-lineariteit is de zogenaamde drempel-nietlineariteit. Deze treedt op als de relatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstand verdeeld kan worden in verschillende regimes, die van elkaar gescheiden worden door drempels. Bekende voorbeelden van deze drempels zijn drainageniveaus en grenzen tussen verschillende bodemfysische horizonten. Het state-spacemodel voor drempel-niet-lineariteit dat Wilbert presenteert kan worden gezien als een integratie van het TARSO-model en het fysisch geïnterpreteerde ARX(1,0)-model uit het proefschrift van Martin Knotters (2001), gevat in een Kalmanfilter. Het model is gekalibreerd op twee reeksen van relatief ondiepe grondwaterstanden. In beide gevallen is de fit

van het drempelmodel beter dan van een lineair alternatief. Eén van deze reeksen was lang genoeg om gesplitst te worden in een kalibratie- en een validatieset. Uit de validatieresultaten blijkt dat met het drempelmodel de grondwaterstand nauwkeuriger kan worden voorspeld dan met een lineair alternatief.

Meervoudige tijdreeksmodellering

Peilbuizen die in elkaars buurt liggen worden logischerwijze vaak door dezelfde factoren en ingrepen beïnvloed, en delen de geohydrologische eigenschappen van het grondwatersysteem waarvan ze deel uitmaken. In hoofdstuk 6 presenteert Wilbert een nuttige en elegante manier om dergelijke ruimtelijke verbanden in de grondwaterstand op te sporen, en te gebruiken. Kern van de methode, die ontwikkeld is door Zuur e.a. (2003), is dat meerdere tijdreeksen gezamenlijk worden gemodelleerd. Het deel van de grondwaterfluctuaties dat afhangt van neerslag en verdamping wordt daarbij door afzonderlijke transfermodellen beschreven, terwijl het niet-verklaarde deel, waar dus alle modelfouten en andere invloeden in zitten, gesplitst wordt in een of meerdere gezamenlijke componenten, en een specifieke reeks per peilbuis. De invloed van de gezamenlijke componenten of Common Dynamic Factors (CDF's) verschilt daarbij per individuele peilbuis. Voor degenen die er bekend mee zijn, de techniek is verwant aan het aloude Principal Components Analysis (PCA) waarmee de belangrijkste onafhankelijke componenten in bijvoorbeeld Remote Sensing beelden of ecologische datasets worden opgespoord. Aantrekkelijk aan de methode is dat daarmee de specifieke informatie per peilbuis en per meting in beeld wordt gebracht. Te sterk afwijkende metingen kunnen zo makkelijker aangewezen worden als meetfouten, terwijl de informatie uit de omliggende

peilbuizen gebruikt kan worden om ontbrekende waarnemingen beter in te schatten. Minpuntje is misschien dat net als bij PCA de CDF's geen duidelijke fysische interpretatie hebben. Het is daarmee vooral een handig gereedschap om gegevens snel te controleren op de aanwezigheid van trends, waarbij de achterliggende oorzaken eventueel uit het verloop ervan achterhaald kunnen worden.

Tijdreeksanalyse uitontwikkeld?

Met dit proefschrift heeft Wilbert Berendrecht een waardevolle bijdrage geleverd

aan het modelleren van tijdreeksen van grondwaterstanden en zijn werk verdient daarom alle lof. Eén van de opponenten ging echter wel héél ver in zijn loftuitingen door te stellen dat nu alles bereikt is wat er op het gebied van grondwaterstandsreeksen te bereiken is, waarop overigens enig gekuch uit de zaal opsteeg, maar dat terzijde. Nou ja zeg! Gelukkig voor ons heeft deze opponent het mis. Voor Wilbert en al die andere enthousiaste tijdreeksonderzoekers blijft er heus nog wel genoeg te onderzoeken over.

*Martin Knotters
Jos von Asmuth*

Understanding Water in a Dry Environment

Hydrological processes in arid and semi-arid zones

door I. Simmers (red), International Contributions to Hydrogeology 23, International Association of Hydrogeologists, A.A. Balkema, Lisse, 2003, 341 pag, gebonden, ISBN 90-5809-618-1, € 124,00.

In het kader van de vijfde fase van het International Hydrological Programme (IHP) van UNESCO is het bovenstaande boek verschenen, een bijdrage aan de Convention to Combat Desertification van de Verenigde Naties. Fela Kuti, een Nigeriense zanger, zong in het Pidgin Engels begin jaren-80 met enig cynisme over de door de VN gelanceerde programma's gericht op ontwikkelingslanden die als doel hadden "water/food/health for all by the year 2000". "Water under ground, water in the air. Na so-so water in Africa [there is so much water in Africa]. Water for man to drink-o? E-no dey [it is not there]. United Nations dem come. Dem call us under develop nation. We must be develop" (Original Sufferhead). Enfin, het gaat om de inhoud en niet om het kader van het boek.

Het doel van het IHP is het verbeteren van de wetenschappelijke basis voor het waterbeheer. Vanwege de grote waterschaarste staan droge gebieden, die één-derde van het aardoppervlak beslaan, zeer hoog op het prioriteitenlijstje van UNESCO. Een praktische moeilijkheid van hydrologisch onderzoek in veel droge gebieden is dat de hoeveelheid beschikbare hydrologische data beperkt is. Om deze reden zijn analyses die met beperkte velddata overweg kunnen en het delen van kennis tussen verschillende geografische regio's met vergelijkbare karakteristieken extra belangrijk. Het boek is zeer breed opgezet, het behandelt alle elementen van de hydrologische kringloop en sluit af met hoofdstukken over hydrochemie en de invloed van de mens.

Na een inleiding begint het boek met de regenval (hoofdstuk 2). Het meten van regenval wordt beschreven, op de grond en met behulp van Remote Sensing. Verder worden zaken als luchtcirculatiepatronen in droge gebieden behandeld. De droge jaren in de Sahel blijken samen te hangen met El Niño of, in andere woorden, het voorkomen van warme en koude temperatuur anomalies in het water van de Grote Oceaan