

## **Strategies for regional groundwater quality monitoring**

door Hans Peter Broers; proefschrift Universiteit Utrecht, Nederlandse Geografische Studies 306, 231 pag, paperback, 2002, ISBN 90-6809-342-8

Het meetnet grondwaterkwaliteit vormt een rijk geschakeerd onderwerp, omdat het zich bevindt op het raakvlak van meerdere disciplines, zoals informatieanalyse, statistiek, hydrologie en hydrochemie. Het is ook een dankbaar onderzoeksobject, want er valt nog zoveel uit elk van de genoemde disciplines te halen, in ons streven naar optimale meetinspanningen ('de gewenste informatie tegen minimale kosten').

De laatste 20 jaar zijn er belangrijke vorderingen op meetnetgebied geweest, met als grootste bijdrage wellicht het concept van het meetnet als onderdeel van een informatiesysteem, zoals ontwikkeld door onderzoekers van de Colorado State University (Ward, Sanders en Loftis). Dat was ook hard nodig, want de grote Amerikaanse overheidsinvesteringen in allerlei milieu-meetnetten bleken wel heel veel gegevens, maar weinig zinvolle informatie op te leveren. Op basis van dit concept zijn sindsdien voor enkele soorten meetnetten details uitgewerkt van de meetnetstrategie. Maar voor wat betreft de grootschalige meetnetten grondwaterkwaliteit ligt hier nog steeds een enorm reservoir aan onderzoeksmogelijkheden, in ieder geval genoeg voor vele promoties. Een paar van die mogelijkheden zijn aangegrepen door Hans Peter Broers, werkzaam bij TNO-NITG, die daardoor op 16 oktober jongstleden promoveerde aan de Universiteit Utrecht op zijn proefschrift «Strategies for Regional Groundwater Quality Monitoring» .

De promotie vond plaats in het Academieggebouw van de universiteit, hartje Utrecht, naast de Dom. Het enkele eeuwen oude gebouw geeft zowel buiten als binnen een

mooie aanblik en ademt een natuurlijke, prettige sfeer. Uit het elektronische mededelingenbord in de hal bleek het vooral dienst te doen als universitair ceremoniecentrum, met vrijwel aan de lopende band promoties en oraties en daarop aansluitende recepties. De promotie van Hans Peter vond plaats in de Senaatszaal, bijgewoond door circa 70 belangstellenden. Omdat de wanden van de zaal vrijwel volledig zijn bedekt met een groot aantal portretten van – naar ik aanneem – de rectores magnifici, gerangschikt naar periode, leek het net of het academisch verleden hier ook streng meekeek. Jammer genoeg staat de Universiteit Utrecht geen inleidend 'lekenpraatje' toe, waarbij de promovendus zijn familie in begrijpelijke taal duidelijk kan maken wat hij nou al die tijd in afzondering heeft uitgespookt. De opposenten werden dus onmiddellijk losgelaten op de promovendus, wat op mij een nogal klinische indruk maakte. Enkele vragen van de opposenten gingen mijns inziens over minder relevante aspecten, maar het lijkt me ook lastig om een dergelijk omvangrijk en diepgaand werkstuk in korte tijd zodanig te doorgronden dat je daarover alleen maar fundamentele vragen kunt stellen.

Het proefschrift beperkt zich tot de meetnetten grondwaterkwaliteit die diffuse verontreinigingen beschouwen en behandelt enkele elementen van de daarbij passende meetstrategie. Deze zal ik in het onderstaande bespreken.

### *Rekening houden met de leeftijdsopbouw van het grondwater*

Doordat er doorgaans een relatie is tussen de leeftijd van het grondwater en de grondwaterkwaliteit, zal het lonen bij de inrichting van het meetnet rekening te houden met de leeftijdsopbouw van het grondwater. Om inzicht te krijgen in de effecten van de

afvoer van oppervlaktewater, de heterogeniteit van de ondergrond en de ruimtelijke variatie in grondwateraanvulling op de leeftijdsopbouw van het grondwater, zijn modelsimulaties uitgevoerd en is gebruik gemaakt van tritiummetingen in de provinciale meetnetten van Drenthe en Noord-Brabant. Daaruit bleek dat het effect van het afwateringsstelsel groot kan zijn, vergeleken met de effecten van de heterogeniteit van de ondergrond en de ruimtelijke variatie in de grondwateraanvulling. Het percentage jong water (na 1950 geïnfiltrreed) bleek duidelijk te relateren aan de slootdichtheid en de grondwatertrap: het is namelijk hoog bij een lage slootdichtheid en bij een hoge grondwatertrap (diepe grondwaterspiegel).

Voor de meetstrategie is van belang dat een dichter afwateringsstelsel een grotere variatie geeft in de leeftijdsverdeling van het grondwater en daarmee leidt tot een grotere variatie in de grondwaterkwaliteit, zodat er dan meer meetinspanning is vereist om het beeld van de grondwaterkwaliteit met dezelfde helderheid te kunnen schetsen.

#### *Mogelijkheden voor aanvullende stratificatie van het meetnet*

Ik ben altijd verwonderd geweest over het feit dat we door de analyse van monsters uit enkele tientallen tot wellicht een hondertal peilfilters, met een gezamenlijk volume van hooguit 200 à 300 liter, toch tot allerlei uitspraken kunnen komen over de grondwaterkwaliteit van een enorm gebied, zoals een gehele provincie. Tot die vertaalslag van steekproef naar populatie worden we in staat gesteld door een geschikte toepassing van de steekproeftheorie. Het belangrijkste element daarbij is de stratificatie, waarbij we op basis van voorkennis de provincie vóóraf indelen in gebiedstypen waarbinnen de grondwaterkwaliteit min of meer homo-

geen kan worden verondersteld (de strata). Door vervolgens per stratum een aselechte steekproef op te zetten, ontstaat een beeld van de grondwaterkwaliteit dat scherper zal zijn dan met een volledig aselechte steekproef, mits de indeling in homogene gebiedstypen minstens enigszins geslaagd is. De belangrijkste stratificatiecriteria zijn doorgaans het landgebruik en het bodemtype. In het proefschrift wordt aangegeven hoe bij de stratificatie ook gebruik kan worden gemaakt van kennis van de richting van de verticale stromingscomponent van het grondwater (infiltratie, intermediair, of kwel). Met voorbeelden wordt vervolgens aangetoond dat er dan een scherpere afbakening ontstaat van verontreinigde gebieden.

#### *Meer inzicht in processen door samengestelde hydrogeochemische indicatoren*

Het proefschrift geeft ook aan hoe dankzij bepaalde samengestelde hydrogeochemische indicatoren, zoals het oxidatievermogen, de som van de kationen en de ratio van de hardheid en de alkaliniteit, verontreinigingspatronen kunnen worden geïdentificeerd en beter kunnen worden begrepen. Het oxidatievermogen – een lineaire functie van de concentraties sulfaat en nitraat – blijkt bijvoorbeeld een goede indicator voor vermetting, vooral als het transport van nitraat alleen wordt beïnvloed door pyrietoxidatie. Zo wordt een praktijkvoorbeeld besproken waar het verontreinigingsfront van nitraat niet dieper dan circa 15 m onder maaiveld is doorgedrongen, maar uit het diepteverloop van het oxidatievermogen en de som van de kationen blijkt de vermettingsinvloed zich veel dieper uit te strekken (tot 20 à 25 m diepte onder maaiveld).

## *Methode voor meetnetevaluatie- en optimalisatie*

Bij het ontwerp van de meeste Nederlandse grootschalige meetnetten grondwaterkwaliteit is destijds – we spreken over 15 à 20 jaar geleden – nog slechts uitgegaan van min of meer wellig geformuleerde beleidsdoelen, in plaats van strakke, statistisch geformuleerde meetdoelen. Er valt daardoor nog veel verbetering van de efficiëntie te behalen door meetnetoptimalisatie. Het proefschrift presenteert een methode om een meetnet te evalueren en – als dat vervolgens nodig mocht blijken – te optimaliseren. De methode maakt een ruimtelijke differentiatie van de meetinspanning mogelijk, zodat deze overal is afgestemd op de risico's. Uitgaande van de kwetsbaarheid en van de verontreinigingsbelasting van de verschillende gebiedstypen, worden namelijk eerst deelgebieden onderscheiden op basis van het risico van verontreiniging van het grondwater (laag, middelbaar en hoog risico). Vervolgens wordt de meetinspanning per deelgebied afgestemd op dat risico, zodanig dat de precisie van het geschatte gebiedspercentage waar normoverschrijding optreedt voldoet aan een bepaald criterium. De voordelen van deze methode zijn dat er een scherper beeld ontstaat van de verontreiniging in de gebieden met een hoog risico en dat de kosten verminderen. In de gebieden met een laag en middelmatig risico kan namelijk worden volstaan met een relatief geringe meetinspanning, om toch een voldoende scherp beeld te schetsen van de achtergrondwaarden en de regionale grondwaterkwaliteitspatronen.

## *Detectie en interpretatie van trends*

Naast de beschrijving van de actuele toestand (met aandacht voor de gebieden waar normen worden overschreden), hebben de meeste regionale meetnetten grondwater-

kwaliteit als doelstelling te signaleren waar trends optreden. De praktijk is echter dat trends in individuele putten doorgaans lastig te detecteren en ook moeilijk te interpreteren zijn. Het proefschrift beschrijft daarom hoe informatie uit het tijdsverloop van de concentratie op een bepaalde diepte kan worden gecombineerd met ruimtelijke informatie over het verloop van de concentratie in de diepte. In infiltratiegebieden zal de grondwaterleeftijd namelijk toenemen met de diepte. Met enkele voorbeelden wordt ook aangetoond dat trends veel beter geïnterpreteerd kunnen worden als er tevens prognoses beschikbaar zijn van conservatief en van reactief transport. Voor deze voorbeelden zijn dergelijke prognoses afgeleid met grondwaterdatering en met kennis van de historische stofbelasting van het infiltrerende grondwater. En de prognoses van het reactief transport zijn afgeleid met een hydrogeochemisch model.

## *Meetnetconfiguraties voor freatische drinkwaterwinningen*

Om uit te vinden welke meetnetconfiguratie het meest geschikt is om een bepaalde meetdoelstelling te verwezenlijken in het geval van een freatische grondwaterwinning, zijn modelsimulaties uitgevoerd. Hierbij is de 3-dimensionale reistijdverdeling gesimuleerd voor scenario's met conservatief en eenvoudig reactief transport. Daarbij bleek ondiepe monitoring voor uiteenlopende meetdoelstellingen en omstandigheden het meest effectief. Er zijn ook meetnetconfiguraties beschouwd die minder vanzelfsprekend lijken voor een freatische situatie, zoals een meetnet met diepe peilfilters op 10 jaar reistijd van de winning, dat uiteraard slecht scoort bij de simulaties. Het is bij de vergelijking betrokken omdat het volgens Hans Peter deel uitmaakt van een voor de Nederlandse drinkwaterbedrijven ontwikkelde meetnetstrategie. Dat laatste

is juist, maar deze configuratie is daarbij alleen geadviseerd voor winningen onder zeer slecht doorlatende pakketten. Voor freatische winningen wordt het meten van de ondiepe grondwaterkwaliteit geadviseerd, aangevuld met het meten van de ruwwaterkwaliteit en de kwaliteit van het diepere grondwater. Destijds is echter niet aangegeven hoe diep daarbij het best gemeten kan worden, maar met de in het proefschrift toegepaste simulatiemethode kan dat nu tenminste worden vastgesteld, zelfs met onderscheid tussen conservatief en reactief transport. Het proefschrift geeft overigens ook aan dat door dergelijke combinaties van meetnetconfiguraties de effectiviteit nog meer kan worden verbeterd.

#### *Bemonsteren van reactieve sedimenten*

Omdat het interpreteren van gegevens van de grondwaterkwaliteit en het voorspellen van veranderingen van die kwaliteit sterk gebaat kunnen zijn bij kennis van de reactiviteit van de ondergrond, presenteert het proefschrift een goed doordachte strategie voor bemonstering van de ondergrond op reactieve stoffen. De strategie maakt onderscheid tussen freatische waterwinning en diepinfiltratie, omdat die situaties verschillen in de verplaatsing van het reactiefront. Bij een freatische waterwinning is die verplaatsing hoofdzakelijk verticaal door overwegend horizontale lagen. Om dan de kwaliteit van het opgepompte grondwater te kunnen voorspellen is informatie nodig over het gemiddelde gehalte van een reactieve stof in een reactieve laag. Maar bij diepe infiltratie verplaatsen de reactiefronten zich hoofdzakelijk horizontaal door de overwegend horizontale lagen. Voor voorspellingsberekeningen is dan informatie nodig over de verticale variaties in de reactiviteit. Deze verschillende informatiedoelen benodigen verschillende bemonsteringsstrategieën. Het belang van de kennis van de reactiviteit

van de ondergrond wordt onderstreept met een voorbeeldstudie, waaruit blijkt dat de onzekerheden van de geschatte reactieve eigenschappen direct doorwerken in de onzekerheid van de berekende doorbraak van stoffen in de pompput.

#### *Evaluatie*

Dit proefschrift is prettig leesbaar, vooral ook door de vele heldere en fraaie illustraties die de auteur heeft tussengevoegd om zijn betoog te verduidelijken. Het betoog is goed onderbouwd en komt er op neer dat een meetnet grondwaterkwaliteit aanzienlijk wint aan effectiviteit door bij het ontwerp van het meetnet en de uitwerking van de meetgegevens rekening te houden met de grondwaterstroming, het optreden van hydrogeochemische processen en advectioneel en reactief transport. Het is hierbij vooral belangrijk om inzicht te hebben in de 3-dimensionale reistijdverdeling en in de reactiviteit van de geïntroduceerde opgeloste stoffen en de doorstroomde sedimenten.

Ondanks het feit dat de belangstelling van Hans Peter vooral op het hydrologische en hydrogeochemische vlak ligt, richt zijn proefschrift zich toch ook voldoende op andere belangrijke kanten van het meetnetgebeuren. Waar het bijvoorbeeld gaat om het verwerken van de meetwaarden tot informatie, maakt hij graag gebruik van statistische methoden die geen voorwaarden stellen aan het soort kansverdeling waar de meetwaarden uit afkomstig zijn – de zogenaamde verdelingsvrije methoden. Dit sluit goed aan op het feit dat meetwaarden van de grondwaterkwaliteit doorgaans niet afkomstig zijn uit een normale kansverdeling. Door de brede en praktische benadering die de auteur hanteert, zal een groot deel van het in het proefschrift beschrevene direct gebruikt kunnen worden in de meetnetpraktijk.

Vanuit mijn statistische achtergrond zie ik een meetnet als een grootschalige proefopzet en het lijkt me daarom vanzelfsprekend dat voor een meetnet hetzelfde principe geldt als voor een proefopzet: het ontwerp moet goed zijn afgestemd op de techniek waarmee de meetwaarden worden omgezet tot de gewenste informatie. Maar helaas zijn er nog meerdere grootschalige meetnetten in Nederland die mank gaan op dat punt, doordat bij het ontwerp alleen ruime aandacht is besteed aan de locaties van de meetpunten. Gelukkig onderkent Hans Peter op veel punten in zijn proefschrift hoe belangrijk het is om het meetnet op te vatten als een onderdeel van een informatiesysteem. In dat opzicht onderschrijf ik ook zijn laatste algemene conclu-

sie, dat een meetnet wint aan effectiviteit als vóór zijn installatie en exploitatie de meetdoelen en de protocollen voor de gegevensverwerking zijn vastgesteld. Sterker nog, ik bepleit dat elke meetnetontwerper die deze zaken niet bij het ontwerp heeft meegenomen zwaar wordt gestraft, door die ontwerper te verplichten zélf de resultaten van de eerste meetronde te verwerken tot informatie en aan de opdrachtgever te rapporteren.

*Paul Baggelaar*

Icastat Statistisch Adviesbureau,  
Amstelveen

E-mail: paulbagg@planet.nl

---

### **The Effects of Transgressions and Regressions on Coastal and Offshore Groundwater**

A case study of Suriname and generic studies into groundwater flow systems, salinity patterns and paleogroundwater. door Koos Groen; proefschrift Vrije Universiteit, Amsterdam, 192 pag, paperback, 2002, ISBN 90-9016211-9.

Koos Groen promoveerde begin oktober op zijn studie naar oude onderzeese grondwatervoorraden, en in het bijzonder die voor de kust van Suriname. Geïnspireerd door het fenomeen dat brak water soms ver in het binnenland te vinden is en dat onder de bodem van de zee zoet grondwater wordt aangetroffen, is de auteur op zoek gegaan naar de processen die hieraan ten grondslag liggen. Die processen zijn complex, blijkt al snel. We hebben te maken met een dynamisch geheel van alternerende grondwaterstroming en een scala aan chemische interacties, die zijn oorsprong vindt in een complex van geologische veranderingen over een tijdsschaal van vele duizenden jaren. Het vinden van een verklaring voor de op

dit moment aanwezige grondwatersituatie is arbeid van een soort die herinnert aan de mythologische figuur Sisifus, waarbij de zo karakteristieke universele aanpak van het hydrologisch onderzoek aan de Vrije Universiteit te Amsterdam zonder meer van pas komt.

Na een korte inleiding over het doel van de studie en een paar pagina's over wat nu zout water is en waar we het over hebben als we over paleogroundwater praten, volgt het eigenlijke proefschrift. Het proefschrift bestaat uit twee delen. Hoofdstukken 3–7 beschrijven in 78 pagina's specifiek het voorkomen van oud grondwater voor en achter de kust van Suriname. Hoofdstukken 8–10 geven op 45 bladzijden meer generieke informatie over onderzees grondwater en wereldwijde onderzoeksresultaten op dat gebied, aangevuld met algemene model-experimenten. Vier annexen beschrijven resultaten van monsteranalyses, geologie en ligging van het gebied.

Op kristallijn gesteente of Krijtafzettingen rustende, ongeconsolideerde zand- en kleilagen uit het Tertiair vormen de belang-