

Boeken

Can Science and Society Avert the World Water Crisis in the 21st Century?

Speciaal nummer van Hydrological Sciences Journal des sciences hydrologiques: vol 46, nr 6, December 2001, 88 pag, IAHS, Wallingford, 2001.

Dit bijzondere nummer van het vakblad van de International Association for Hydrological Sciences is gebaseerd op een aantal bijdragen die zijn gehouden tijdens een symposium met dezelfde titel in Tokio, oktober 2000. Het symposium had onder andere tot doel een grote bijdrage van Japan in de strijd tegen de *world water crisis* te bewerkstelligen. Twaalf artikelen zijn geselecteerd, die veelal tot min of meer dezelfde slotsom komen. Ik vat ze hier kort voor u samen.

John Rodda (op dat moment de voorzitter van de IAHS) merkt op dat vooral de successen van wetenschap worden opgeschreven, niet het falen. Het is vervolgens lastig iets te leren van de fouten van anderen. Alle deskundigheid ten spijt ontbreekt het de hydrologen daarnaast aan "expertise to ensure hydrology continues to progress".

Een groep Noorse onderzoekers merkt op dat over de milieueffecten van overstromingen slechts weinig bekend is. Een groot verschil in risicoperceptie tussen burgers en beslissers geeft daarnaast aanleiding tot de opmerking dat kennisverspreiding veel meer aandacht behoeft.

Kuniyoshi Takeuchi (Japan) benadrukt het belang van integratie van meteorologie en hydrologie. Een *seamless merger* tussen sectoren en tussen disciplines is noodzakelijk om wetenschappelijke kennis toe te passen in de praktijk van de maatschappij.

Zbigniew Kundzewicz (Polen) schrijft ons dat Global Water Partnership min of meer parallel aan het Nederlandse 'Waterbeheer 21^e Eeuw' iets dergelijks voor Midden-

Oost-Europa heeft gemaakt: *Water for the 21st Century*. Het document concludeert opmerkelijk positief dat "in two or three decades there will be sufficient, safe, clean and healthy water for nature and people living in stable societies". Kundzewicz eindigt met de kritische noot dat de samenhang tussen wetenschap, beleid en de praktijk tamelijk zwak is. Tussen weten en doen gaapt een gat.

Pierre Hubert (Frankrijk) laat geavanceerde wetenschap op de lezers los wanneer hij fractalen van Mandelbrot en de Navier-Stokes-vergelijkingen door elkaar roert. Hij laat ons schrikken met aanwijzingen dat het verband tussen hoge neerslaghoeveelheden c.q. grote afvoeren en terugkeerperiodes c.q. overschrijdingskansen op grote schaal niet exponentieel maar rekenkundig is, hetgeen erop neerkomt dat de afvoer die nu voor een duizendjarige wordt gezien best wel eens een honderdjarige kan zijn. De 'philosopher's stone' van de hydrologen, noemt hij dit.

In China zijn veel waterproblemen – houdt de waterwetenschap zich alleen bezig met *waterproblemen?* – die samen te vatten zijn onder drie noemers: overstromingen, droogte en vervuiling. Geen opmerkelijke conclusie en weinig specifiek voor China. Als klap op de vuurpijl blijken de problemen ernstiger te worden naarmate de bevolking groeit. Wie had dat verwacht?

De correspondent uit Thailand meldt dat het waterbeheer aldaar tot nu toe vooral sectoraal georganiseerd is geweest. Het betreft hier voornamelijk de verzorging van de drinkwatervoorziening, zonder dat er over intersectorale consequenties werd nagedacht: men slaat een put en vervolgens loopt de belendende natuur leeg. Om aan te sluiten op het denkkader van beleidslezers trekt de auteur een arsenaal *buzz words* open. Het concept van "integrated water resources management" dient gepromoot te worden en "an appropriate shift in the water management paradigm" is nodig. Dit

alles in een “flexible holistic framework” van een “enabling environment, effective institutional structure, and appropriate tools and technologies”. Dit duldt geen tegenspraak; maar door een teveel aan generalisatie en een tekort aan pakkende voorbeelden daalt wellicht de acceptatiegraad. Een lijstje met namen van stroomgebieden als Ping, Wang, Yom en Nan zegt mij weinig als een verhelderend kaartje ontbreekt. Het opsommen van jaartallen voegt daar weinig aan toe. Maar wellicht was mijn aardrijkskunde- en geschiedenisonderwijs onvoldoende.

Een Braziliaanse meneer schrijft dat Zuid-Amerika ook omvangrijke hydrologische verschijnselen kent, maar gaat (terecht) in op drie deelaspecten. Hij concludeert dat de oplossing uit gebied A niet de oplossing voor gebied B hoeft te zijn: ieder probleem heeft een eigen benadering nodig en daarvoor zijn professionals met een brede benadering en een innovatieve capaciteit nodig. Als ik dit verhaal naast het vorige leg, krijg ik de indruk dat hier een praktisch persoon met gedegen veldkennis aan het woord is, terwijl ik (nog nooit in Thailand geweest) de Thaise bijdrage ook zelf had kunnen schrijven.

“Africa’s water problems are many and varied”, schrijft Lekan Oyebande. Armoe, bevolkingsexplosie en gebrek aan gegevens zijn de voornaamste oorzaken hiervan. Volgens mij is de bevolkingsexplosie de oorzaak van de rest. Immers, gebrek aan gegevens is pas een probleem als het complex wordt, wanneer er veel tegelijk ‘gemanaged’ moet worden. Een grote hoeveelheid aan mensen leidt tot chaos. “Failure to deal decisively” – zowel nationaal als internationaal bij grote stroomgebieden – en de landbouw die 88% van het beschikbare water verbruikt, verdienen meer aandacht, zo eindigt Oyebande zijn bijdrage.

Scandinavische collega’s uit Noorwegen proberen een zelfde model in meerdere gebieden en op meerdere schalen in te zet-

ten, waarbij de nadruk ligt op de identificatie van processchalen. Hierbij stuiten ze op de wens voor nieuwe methode voor kalibratie en verificatie. Het is een wat lang en niettemin interessant verhaal, maar niet helemaal to-the-point gezien het onderwerp van het boek.

Het laatste verhaal is van de jonge professor Taikan Oki en zijn collega’s uit Japan. Ze hebben zich verdiept in de vraag hoeveel water er ter wereld beschikbaar is en hoe groot, op grove schaal, de vraag naar water is. Combinatie van deze gegevens geeft waarden voor de abundantie of schaarsheid van water voor specifieke regio’s. Azië staat bovenaan qua water-vraag. De resultaten worden met de nodige voorzichtigheid gepresenteerd, omdat het model erg gevoelig blijkt voor de ‘upstream water availability’.

Crisis door water of over water?

Opmerkelijk genoeg bevat deze bijzondere uitgave weinig conclusies over politieke instabiliteit, internationale vetes en ander sociaal ongemak met een hoge potentiaal voor conflicten. De meeste auteurs merken wel op dat er aandacht voor sociaal-maatschappelijke aspecten moet zijn, doch na het horen van de klok moet de handschoen nog worden opgepakt. Dit gebeurt binnen het World Water Assessment Programme (WWAP) van de Verenigde Naties, ondersteund door het International Hydrological Programme (IHP) van UNESCO. In samenwerking met Green Cross International werd hiertoe eind november 2002 de conferentie «From Conflict to Co-operation in International Water Resources Management»¹ georganiseerd, één van de grootste *high profile* waterbijeenkomsten in Nederland sinds het World Water Forum. Ik kan u daar nu nog niet veel over vertellen; ter-

¹ <http://www.unesco.org/water/wwap/pccp>.

wijl ik dit schrijf moet de grote najaarsstorm van oktober nog komen. Op dit moment drijft de Elbe de mensen van haar oevers, danwel drijven de mensen in de Elbe.

Ingrediënten voor een oplossing

Maar het moet niet bij conferenties alleen blijven. We moeten plannen, analyses, vergaderingen en presentaties niet zien als alternatief voor actie, maar deze gebruiken om tot daden te komen. Veelal leeft het idee dat – als we maar veel van een gebied weten – we vanzelf met een oplossing kunnen komen. Nochtans schort het vaak nog bij de daadwerkelijke uitvoering van die oplossing. Denkt u bijvoorbeeld eens aan de verdrogingsbestrijding. In een jaar of vijftien is hierover zeker twee meter aan rapporten verschenen, er worden nog dagelijks artikelen gepubliceerd en er zijn ook meerdere symposia, lezingendagen en congressen geweest. Er is een heleboel kennis en – hoewel er vaak nog wordt geklaagd over te weinig gegevens – we wonen in het dichtst bemeten land ter wereld. Ziehier alle ingrediënten die nodig zijn om tot een oplossing van het probleem te komen.

Maar geen oplossing

Alle ingrediënten, maar geen oplossing: een recente rapportage² door Alterra in opdracht van de Ministeries van LNV, V&W en VROM geeft aan dat alle doelstellingen ten spijt slechts 3% van het areaal oorspronkelijk verdroogd gebied *hydrologisch* is hersteld. De knelpunten zijn meer procedureel en beleidsmatig dan fysiek-technisch van aard. Sociaal-maatschappelijke knelpunten worden nog niet genoemd. Procedures en beleid staan tussen denken en doen. Bij

verdrogingsbestrijding is sec hydrologisch herstel onvoldoende als er geen zaadjes (meer) zijn—evenzo is kennisdisseminatie niet genoeg als er geen kunde en wijsheid door ontstaat. Dat is natuurlijk wat de correspondent uit Thailand bedoelde.

Science of Society?

«Can Science and Society Avert the World Water Crisis in the 21st Century?» Over het antwoord op deze in de titel van het boek gestelde vraag ben ik op basis van de inhoud somber. Misschien begint het ermee dat alleen wetenschappelijke hydrologen aan het woord komen, die *science* los lijken te zien van *society*. Als dat al zo is, zouden er mijns inziens ook auteurs vanuit de maatschappij een bijdrage aan het boek hebben moeten leveren. Nu bekruipt mij een beetje het gevoel van paternalisme, van rondjes lopen op een cirkelvormig eiland. Afgaande op de artikelen kent de hele wereld min of meer dezelfde problemen, veroorzaakt door overbevolking. De oplossing wordt hierbij gezocht in kennisuitwisseling en introductie van nieuwe technologieën. Tegelijk wordt geconstateerd dat er op sociaal-maatschappelijk vlak nogal wat onmacht is. Over de bijdrage van de wetenschap hierin hult men zich in zwijgen. In de titel wordt *Society* echter wel genoemd. Daar ligt de crux, want door het louter constateren treedt er vermoedelijk weinig verandering op. Het vertalen van kennis in actie is een cruciale stap. Wie doet dat?

Michael R. van der Valk

² <http://www.verdroging.nl>

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 opponenten werden dus onmiddellijk losgelaten op de promovendus, wat op mij een nogal klinische indruk maakte. Enkele vragen van de opponenten 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-

rijkste watervoerende lagen in het Surinaamse kustgebied. Hierop bevindt zich 5 tot 35 m dikke mariene klei van kwartaire ouderdom. De chloridegehalten in het aquifer variëren tussen 6 en 2.000 mg/l. Het relatief zoete grondwater (< 250 mg/l) wordt hier en daar gewonnen. Van aanvulling is praktisch geen sprake.

Het grondwater duikt met het tertiaire aquifer onder de zee en zit daar klem tussen klei en Krijt met zout grondwater. Dit heeft tot gevolg dat 90 km uit de kust (zee-inwaarts, landuitwaarts) nog grondwater met minder dan 2 g/l chloride wordt aangehouden, op 300–400 m diepte. Zeewater is tienmaal zouter, en daarom wordt dit relatief zoete (brakke) water verondersteld van meteorische oorsprong te zijn. Omdat de huidige regen met geen mogelijkheid de bron van dit brakke water kan vormen, noemen we het paleogroundwater: het is ontstaan als gevolg van een grondwaterstromingssysteem dat thans niet meer bestaat. Wie iets weet van stroomsnelheden van grondwater kan zich indenken dat we hier met een oud systeem te maken hebben.

Op basis van ¹⁴C-metingen blijkt dat het grondwater in de kustvlakte 8.000–25.000 jaar oud is. Dit betekent er aan het eind van het Weichselien en in het begin van het Holoceen een aanzienlijke aanvulling moet zijn geweest. Het is bekend dat de neerslaghoeveelheden in die periode ongeveer de helft van de huidige circa 2.200 mm/jaar bedroegen; de periode waarover er aanvulling van het grondwater plaatsvond moet dus lang hebben geduurd. Groen stelt evenwel dat de verzoeting sneller verloopt dan verwacht, omdat er door het reliëf lokale stromingssystemen ontstaan, die snel worden doorgespoeld.

In het begin van de periode van aanvulling lag de kustlijn zo'n 140 km noordelijker en de zeespiegel zo'n 120 m lager. Met de opwarming van het klimaat steeg de zeespiegel tot het huidige niveau. Uitgaande van lage grondwaterstijghoogten in de ter-

The Effects of Transgressions and Regressions on Coastal and Offshore Groundwater

- 1 Introduction
- 2 Some concepts and definitions related to coastal hydrogeology

Part I. Case study of (paleo)groundwater in the coastal plain and continental shelf of Suriname

- 3 Hydrology of the coastal plain and continental shelf of Suriname
- 4 Freshening of the coastal and offshore sediments during the Wisconsinan regression: a reconstruction of paleogeography and groundwater flow systems
- 5 Salinization of the coastal and offshore sediments during the Holocene transgression: a study of diffusive transport
- 6 Hydrogeochemical signals of the hydrology and paleohydrology in the coastal plain of Suriname
- 7 Isotopic signals of the hydrology and paleohydrology in the coastal plain of Suriname

Part II. Generic investigations into the origin of offshore meteoric groundwater

- 8 Worldwide observations of offshore meteoric groundwater
 - 9 Prediction of the offshore continuation of coastal groundwater flow systems
 - 10 Flow and salt transport in submarine meteoric groundwater in steady-state and transient systems
 - 11 Summary and conclusions
-

tiaire aquifers en hoge freatische grondwaterstanden op de kleiplateaus, berekende Groen met een numeriek grondwatermodel een aanvulling van tientallen millimeters per jaar. De eveneens berekende verblijftijden tonen aan dat het grondwatersysteem lang genoeg actief was om het zoute water van de Eemien-transgressie uit te spoelen, zelfs tot 90 km uit de kust. Om zo ver te komen moet evenwel worden uitgegaan van een diep (10–30 m) ingesneden erosiereliëf, hetgeen boringen bevestigden. Hydrogeochemische modellering bevestigt daarnaast

het beeld van de noodzaak van infiltratie in het Weichselien.

Tijdens de holocene transgressie is de grondwateraanvulling gestopt en het aquifer verstopt. De dikke kleilagen zorgden ervoor dat het zware zoute water niet in het zoete water zonk en allerhande instabiliteiten veroorzaakte. Verzilting vond slechts door diffusie plaats. Profielen van chlorideconcentraties en chloorisotopenverhoudingen ($\delta^{37}\text{Cl}$) bevestigen het beeld van diffusie van bovenaf louter voor de bovenste 125 m. Voor het zout in het diepere water veronderstelt Groen diffusie vanuit de op 300 m diepte liggende Krijtafzettingen. De kationconcentraties bevestigen het beeld van neerwaartse diffusie tot 125 m diepte. Het diepere grondwater heeft een duidelijk andere chemische signatuur en derhalve waarschijnlijk een andere herkomst.

Studies uit andere landen (China, Indonesië, Nederland, Nigeria, Verenigde Staten) laten zien dat het onderzees voorkomen van zoet grondwater niet uitzonderlijk is. Soms maakt het onderdeel uit van een actief stromingssysteem en wordt het nog aangevuld, soms is het paleogroundwater.

Op basis van een eenvoudig analytisch model laat Groen zien dat een actief grondwaterstromingssysteem 'slechts' tot 50 km uit de kust kan reiken, waarbij alleen de eerste 5 km zoet grondwater bevat. De ligging van dit laatste punt wordt bepaald door het moment waarop de opwaartse zoete stroming verdrongen wordt door de

neerwaartse dichtheidsstroming van het zoute water.

Een groot aantal computersimulaties laat zien dat transgressies meestal sneller gaan dan het zoet-zoutfront zich kan verplaatsen. Diffusie en dichtheidsstroming zorgen vervolgens voor verzilting. Frappant is dat een systeem met stroming naar een erosiedal lang na inundatie van het dal met zeewater blijft bestaan: opwaartse kwel verhindert de verzilting.

In de eerste zin van deze bespreking bezig ik het woord 'grondwatervoorraden'. Het woord 'voorraad' impliceert dat eruit geput mag worden, en dat is iets wat Groen expliciet voorstaat, ook al betreft het water dat zo oud is dat waarschijnlijk geen mens het heeft zien vallen. De omvang van de hoeveelheden is dusdanig dat van uitputting voorlopig geen sprake is, meent Groen. Bij ondiepe zeeën (< 70 m) waaronder de eerste 300 m uit een afwisseling van zand- en kleilagen bestaat, is het voorkomen van zoet water eerder regel dan uitzondering.

Met dit proefschrift heeft Koos Groen een enorme berg werk verzet, en daarbij de genese van oude grondwatervoorraden buiten de kust achterhaald; grondwatervoorraden die van grote betekenis kunnen zijn voor kustgebieden waar thans of in de toekomst sprake is van schaarste.

Michael R. van der Valk