

Boeken

Tracer Studies and Groundwater Recharge Assessment in the Eastern Fringe of the Botswana Kalahari: The Lelihakeng-Bofhlapatlou Area

Edson Tsiababa Selaolo; proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam, 1998, 229 pag, ISBN 99912-913-9-3.

De afgelopen 16 jaar heeft de Vrije Universiteit Amsterdam in samenwerking met de Botswanaanse Geologische Dienst en de Universiteit van Botswana een groot onderzoek uitgevoerd naar de grondwateraanvulling in de Kalahari en het omringende precambri-sche basement. Hoewel de Kalahari meestal een woestijn wordt genoemd, is zij semi-aride door een relatief hoge neerslag: gemiddeld 400 mm per jaar. De belangrijkste vraag die beantwoord moest worden – en waarmee onderzoekers al vele decennia worstelen – was deze: wordt het grondwater onder de Kalahari onder de huidige klimatologische omstandigheden nog aangevuld of is het water fossiel? De neerslag heeft een dichte begroeiing van struik- en boom-savannen, afgewisseld met grassteppen tot gevolg. Door de zandige ondergrond en het effectieve wortelstelsel dat zich daarin heeft ontwikkeld, blijft er maar weinig regenwater over om het grondwater aan te vullen. Bronnen en daarmee samenhangende oasen ontbreken omdat de grondwaterspiegel zich op meer dan 50 meter diepte bevindt. De inheemse naam *Kgalagadi* betekent dan ook zoveel als *Dorstland*.

De vraag en het daaruit voortvloeiende onderzoek naar de grondwateraanvulling hebben de afgelopen jaren al enkele interessante resultaten opgeleverd. Zo is gebleken dat het patroon van grondwatervoorkomens op een schaal van een tiental kilometers in eerste instantie samenhangt met een eierdoodsachtig patroon van bekken- en dome-structuren die gevormd zijn door twee

elkaar kruisende plooisystemen in het basement. Deze plooiën zijn zo'n twee miljard jaar geleden in het Precambrium gevormd. Hoewel jongere bewegingen en gesteentevormingen het patroon enigszins gecamoufleerd hebben, bleken de aquifers nog steeds gekoppeld te zijn aan de primaire bekkenstructuren.

Een interessant detail voor de vorming van permeabiliteit in deze structuren is de mogelijke invloed van getijdekrachten die gedurende de 2 miljard jaar op dit gesteente hebben ingewerkt. De grootste domestructuur lijkt onder invloed van de aantrekkingskracht van de zon en de maan te staan en dit wel zo sterk, dat sommige breuken aan de flanken zich door de continu wisselende spanningen zodanig verbreden en vernauwen dat het grondwater daarin een halfdagelijkse fluctuatie vertoont van maximaal 25 centimeter. Gieske en De Vries hebben hierover in 1985 in het *Journal of Hydrology* (nr 82, p 211–232) gerapporteerd. Gieske is in 1992 gepromoveerd op de dynamiek van grondwateraanvulling met als case-study semi-arië Botswana. Zijn proefschrift vormde de afsluiting van de eerste fase van het Groundwater Recharge and Evaluation Studies (GRES) project.

Concentreerde het eerste deel van het onderzoeksprogramma zich op het gedeelte van Botswana dat buiten de zandige Kalahari ligt en waarvan de ondergrond uit de harde gesteenten van het Precambri-sche Afrikaanse Schild bestaat, de daaropvolgende 5 jaar richtte de aandacht zich op een beter begrip van de recharge-mechanismen in het door zandige sedimenten bedekte deel van de Botswanaanse Kalahari. Het tweede deel van het GRES-project is kort geleden afgesloten met de promotie van Edson T. Selaolo aan de VU te Amsterdam.

Het proefschrift van Selaolo begint met een korte beschrijving van de wetenschappelijke geschiedenis van het gebied. Zo ver-

nemen we dat David Livingstone er al tussen 1846 en 1849 rondscharrelde.

Hierna volgt een algemene inleiding (hoofdstuk 0) waarin wij onder meer leren dat er onder de huidige klimatologische omstandigheden geen 'outcrops of groundwater' (kwelgebieden) zijn. Desondanks stroomt het grondwater naar de laagste depressie in Botswana, de Makgadikgadi-zoutvlakte in het noordoosten. Wat er daar met het water gebeurt weet ik niet; er is geen kwel en het grondwater blijft minstens 20 meter diep: verdamping lijkt de enige mogelijkheid. Dit doet bij mij direct de vraag ontstaan waarom het grondwater daarheen stroomt. Het noordoosten is namelijk tevens het gebied met de meeste neerslag en op basis van de ruimtelijke neerslagverdeling zou ik verwachten dat het water juist naar het zuidwesten zou stromen. Omdat het grondwater toch naar de laagste depressie stroomt (hoe weet het grondwater dat?), vermoed ik dat het hier een groot (± 500 km) grondwatersysteem betreft dat hoort bij een vroegere natte periode toen er in het noordoosten wel sprake was van uittredend grondwater. Het grondwater heeft een goed geheugen en weet nog dat daar het laagste punt zit. Het zou me niet verbazen dat – wanneer de klimatologische omstandigheden nog een tiental eeuwen hetzelfde blijven – de grondwaterstroming omkeert. Wat we nu waarnemen is nog een restant van de grondwatergradiënt zoals die aan het eind van de laatste ijstijd was.* Een kaartje met isohypsen van de stijghoogte van het grondwater in Botswana ontbreekt helaas. Het studiegebied betreft namelijk 'slechts' een oppervlakte van zo'n 40 bij 80 km ten noordwesten van de hoofdstad Gaborone.

* Ik ben erop gewezen dat mijn vermoeden niet origineel is: al in 1984 heeft De Vries deze opvatting over het 'residual flow'-fenomeen verwoord in *Journal of Hydrology*, nr 70, pag 221–232.

Hoofdstuk 1 behandelt de verschillende methoden die er zijn om met behulp van tracers de grondwateraanvulling te bepalen. De gebruikelijke methode – een waterbalans maken: neerslag min verdamping et cetera – is in dit geval niet handig omdat de grondwateraanvulling zich in de onzekerheidsmarge van de neerslag en verdampingsgegevens bevindt. De analyse van natuurlijke tracers als chloride en isotopen van koolstof (^{14}C), waterstof (^2H en ^3H), zuurstof (^{18}O) en helium (^3He en ^4He) kan dan alsnog uitsluitel geven over de beweging van het water. Het gebruik van tracers zou naar mijn mening ook in Nederland meer ingang moeten vinden. De kennis over de betrouwbaarheid van waarden als "0,4 mm/dag kwelflux" zou het zeer ten goede komen. Zolang kwantiteit los gezien wordt van kwaliteit, staat de wetenschap stil.

Hoofdstuk 2 gaat in op meettechnieken, bemonsteringstechnieken van sediment, grondwater, bodemvocht en isotopen en de gebruikte analysemethoden.

In hoofdstuk 3 wordt het gebied beschreven: klimaat, geomorfologie, vegetatiepatronen, geologie en hydrogeologie. Het laat zich lezen als een wetenschappelijke reisgids. Bij de beschrijving van het paleoklimaat wordt duidelijk dat de eerder gestelde hypothese over het geheugen van het grondwater acceptabel is. Daarnaast staat hier een interessant stukje fenomenologie: er zijn boomwortels aangetroffen op een diepte van 68 meter waarbij de boom het water uit 141 meter diepte moest halen. Of de boom nu nog leeft, of dat het een fossiele rest betreft, blijft onduidelijk.

Hoofdstuk 4 beschrijft de bepaling van de huidige grondwateraanvulling: vocht- en 'solute'-fluxen door de onverzadigde zone. Verschillende massabalans- en tracer-methoden zijn gebruikt naast directe vochtmetingen, waarbij rekening is gehouden met preferente stroombanen.

Hoofdstuk 5 gaat in op de grondwateraanvulling op lange termijn: fluxen door de

verzadigde zone. De chloride-massabalans wordt hier gekoppeld aan een stationair model in Micro-Fem, waarna een gemiddelde reistijd voor de lange termijn wordt bepaald. De uitkomsten worden vergeleken aan de hand van gemeten ^{14}C - en ^4He -waarden.

Een synthese en een regionaal perspectief van de grondwateraanvulling in de Kalahari worden gegeven in hoofdstuk 6. Uit het grondwatermodel in Micro-Fem resulteerde een gemiddelde verblijftijd tussen de 2000 en 6000 jaar. Er zijn grote variaties doordat er gebieden zijn waar het grondwater vrijwel niet beweegt. Daarnaast moet rekening worden gehouden met een verblijftijd in de onverzadigde zone van naar schatting 800 jaar. De conclusie van het onderzoek als geheel is dat er in de oostelijke randzone van de Kalahari over een breedte tot 50 km een grondwateraanvulling plaatsvindt in de orde van grootte van 5 mm per jaar. Meer naar het centrum daalt de voeding tot ongeveer 1 mm/jaar, waarschijnlijk als gevolg van een circa 100 mm/jaar lagere neerslag. Het gevolg van

deze kennis is dat winning van enkele tientallen miljoenen m^3 grondwater per jaar in het randgebied mogelijk lijkt zonder dat de voorraad wordt uitgeput. In het overige deel van de Kalahari is slechts voor kleine bevolkingsconcentraties en hun vee water beschikbaar. Voor het National Water Masterplan van Botswana – dat een duurzaam beheer en gebruik van grondwatervoorraden beoogt – is deze informatie van groot belang. De waarden voor grondwateraanvulling worden nog vergeleken met die uit andere onderzoeken in de Kalahari, zuidelijk Afrika, Australië, de VS en Israël. Een volgende stap zou kunnen zijn om aan te geven hoe kwetsbaar de infiltratiezones zijn voor verontreinigingen.

Edson Selaolo heeft dit mooie onderzoek duidelijk beschreven en is daardoor goed te volgen. Enkele kleuren- en zwart-witfoto's geven een indruk van het terrein voor de minder gezegenden die nooit in Botswana zijn geweest.

Michael R. van der Valk

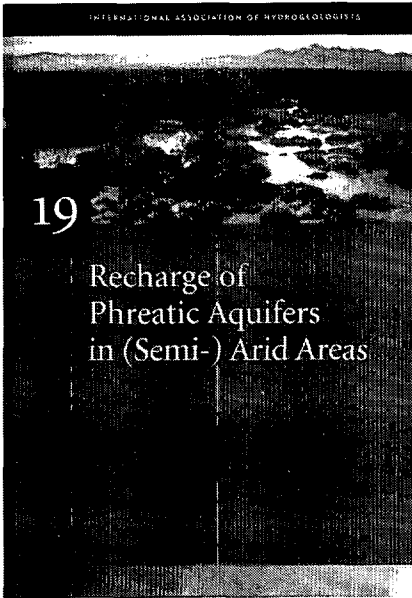
Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas

Ian Simmers (red); A.A. Balkema, Rotterdam, 1997, International Association of Hydrogeologists 19, 277 pag, ISBN 90-5410-694-8, gebonden, f 159,00; paperback (alleen voor leden IAH) f 50,00; ISBN 90-5410-695-6.

Met de snelle toename van het gebruik van water voor stedelijke, industriële en agrarische doeleinden in (semi-)aride gebieden is grondwater van steeds groter belang. Voor een efficiënt beheer van grondwater in deze gebieden – waar het vaak de sleutel tot economische ontwikkeling vormt – is kwantificeerbare kennis over de grondwateraanvulling en haar verdeling over ruimte en tijd een eerste vereiste. Het is helaas zo dat van

alle factoren die bij de beoordeling van grondwatervoorraden een rol spelen de snelheid van grondwateraanvulling het moeilijkst te bepalen is. Daarbij gaat de aandacht uit naar aanvulling van freatische aquifers, omdat deze meestal de snelst en goedkoopst beschikbare waterbron in (semi-) aride gebieden vormen. Tegelijk zijn ze het meest kwetsbaar voor verontreiniging, waarbij de snelheid van de grondwateraanvulling (*'recharge'*) een maat is voor hun kwetsbaarheid.

De recharge in (semi-) aride gebieden is hoog variabel. Meestal geldt dat hoe droger een gebied is, des te minder aanvulling van grondwater er plaatst vindt en des te groter de variabiliteit van de aanvulling is. Het onderzoek naar recharge is bewerkelijk, waarbij het veelal noodzakelijk blijkt terug



te grijpen op meerdere technieken om de resultaten te verifiëren.

Kort geleden verscheen *Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas*. Het boek kent 4 hoofdstukken: een inleidend hoofdstuk door Ian Simmers, gevolgd door een beschrijving van recharge vanuit neerslag, vanuit periodieke stroming en vanuit permanente waterlichamen.

Simmers hanteert in navolging van Lerner e.a. (1990) een onderverdeling in directe, gelokaliseerde en indirecte recharge:

- 'direct recharge': (diffuse) grondwateraanvulling als gevolg van een neerslagoverschot ter plekke;
- 'localized recharge': grondwateraanvulling (preferential flow) door horizontale concentratie van water (plassen), zonder duidelijke geulen;
- 'indirect recharge': grondwateraanvulling door infiltratie in rivierbeddingen.

Het eerste hoofdstuk – dat een enorme informatiedichtheid kent: er staat geen woord teveel – stelt het kader waarbinnen we het boek moeten bezien: de geschiedenis, de recharge-processen en de foutenbronnen en methoden bij de bepaling van recharge.

Recharge mag bijvoorbeeld niet bepaald worden door een waterbalans op jaarbasis te maken (een veel gemaakte fout): de aanvulling gebeurt vooral na neerslag van hoge intensiteit. Bij een jaarlijkse beschouwing is de (potentiële) verdamping groter dan de gemiddelde neerslag en zou er (ten onrechte) geen aanvulling worden bepaald.

Verder wordt ingegaan op de uitdagingen waarvoor de hedendaagse recharge-bepaler zich gesteld ziet. Het schaalniveau waarop lokale aanvulling moet worden bekeken, hangt af van het schaalniveau van het onderzoeksdoel. (Dit lijkt een open deur, maar in Nederland worden verwoede pogingen ondernomen om met (boven-)regionale grondwatermodellen veranderingen van standplaatsfactoren te bepalen. Kan dat eigenlijk wel?) Er wordt gemeld dat de grondwateraanvulling vaak toeneemt (!) onder stedelijke gebieden door de zich uitbreidende verstedelijking. In buitenwijken van Lima steeg de recharge van nihil (onbewoond) naar meer dan 600 mm per jaar.

Als laatste onderdeel worden de huidige ontwikkelingen behandeld. Hoewel enkele onderzoekers menen dat tracer-methoden het meest succesvol zijn en benaderingen met behulp van waterbalansen en de Wet van Darcy het minst, stelt Simmers dat met het gereedkomen van snelle bruikbare methoden voor het bepalen van de hydraulische karakteristieken van de bodem (bijvoorbeeld de Van Genuchten-relaties) voldoende nauwkeurige resultaten verkregen kunnen worden, helemaal als het maar gaat om een schatting van de recharge. Ook voor het probleem van dynamische evolutie van een grondwatersysteem – door bijvoorbeeld verandering in landgebruik met een wijziging in de waterbalans tot gevolg – blijkt een oplossing bedacht te zijn door de combinatie van tracer- (Cl) en fysische methoden. Simmers toont zich hier een meester in het analytisch presenteren en overzichtelijk indelen van divers onderzoek.

Uit de diktes van de overige drie hoofdstukken wordt duidelijk dat in de meeste gevallen de recharge uit neerslag wordt bepaald, terwijl de recharge uit tijdelijke stroming en permanente waterlichamen minder vaak onderzocht worden. Het betreft hier *Recharge from precipitation* (hoofdstuk 2, 126 pag), *Recharge from intermittent flow* (hoofdstuk 3, 70 pag) en *Recharge from permanent water bodies* (hoofdstuk 4, 63 pag). Elk hoofdstuk wordt gevolgd door twee case-studies. (Aantal pagina's inclusief case-studies.)

De eerste 40 pagina's van hoofdstuk 2 behandelen uitgebreid de processen in de onverzadigde zone die verklaren hoe water naar de grondwaterspiegel beweegt. Dit komt van pas bij de rest van het hoofdstuk en de daarop volgende hoofdstukken. Vervolgens wordt ingegaan op de meer praktische kant: fysische en tracer-methoden. Aardig is dat we bij de case-studies weer (zie de bespreking van Selaolo's proefschrift hiervoor) het onderzoek in Botswana tegenkomen, dit keer als een beschrijving van de onderzoeksresultaten van Hans Gehrels en Jan van der Lee (1990). Zij werkten mee aan het eerste deel van het Groundwater Recharge and Evaluation Studies (GRES) project ter ondersteuning van Gieske (1992) en ontwikkelden daarvoor het model EARTH: toen een gevraagd state-of-the-art model, inmiddels in Nederland qua methodiek enigszins achterhaald door het onderzoek van Marette Zwamborn (1995) en wellicht Bierkens en Walvoort (1998).

Hoofdstuk 3 vormt een mengsel van fundamentele informatie en case-studies. Duidelijk wordt dat het bepalen van recharge uit intermitterende (vaak kortstondige) stromen een uiterst lastig proces is waardoor betrouwbare veldinformatie schaars is. In het kort blijft het betrouwbaar bepalen van recharge uit intermitterende waterlopen een groot probleem.

In hoofdstuk 4 komen meettechnieken voor het bepalen van recharge uit perma-

nente wateren aan de orde. Deze vorm van recharge wordt waarschijnlijk het best begrepen van alle in het boek genoemde soorten. De principes en processen worden uitgelegd en verhelderd middels diagrammen, maar voor een uitgebreide beschrijving wordt naar Lerner e.a. (1990) verwezen.

Na de drie laatste hoofdstukken vraag ik me af waar zogenaamde 'floodplain recharge' – aanvulling door infiltratie in een overstromingsvlakte tijdens het natte seizoen – onder te scharen valt. Het hangt tussen intermitterende en permanente afvoer in, maar ik vond er weinig over terug, terwijl het bijvoorbeeld aan de rand van de Sahelzone van wezenlijk belang is.

Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas is bedoeld voor de praktijkmensen. Het toont manieren om tegen de processen aan te kijken, om problemen aan te pakken, laat recente ontwikkelingen zien en vormt daarnaast een rijke bron aan informatie – mede door de vele relevante literatuurverwijzingen – maar kent helaas geen index. Toepassingen van technieken als geofysica, remote sensing, GIS en geostatistiek worden slecht kort aangestipt, terwijl daarmee volgens mij nog aanvullende informatie vermeld kan worden.

De hoofdstukken zijn geschreven door verschillende auteurs, waarbij het relatief grote aantal Nederlandse namen opvalt. Ik heb de indruk dat het boek een redelijk compleet beeld geeft van 'the state of the art' (1995) van de kennis rondom recharge in (semi-) aride gebieden. In het eerste hoofdstuk waarschuwt Simmers echter dat het slechts bedoeld is als update van en aanvulling op het werk van Lerner e.a. dat in 1990 verscheen. Het is vanwege deze laatste beperking dat *Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas* zich niet los van het werk van Lerner e.a. laat lezen. Aan de ene kant is dat jammer; aan de andere kant is het goed dat het boek niet

desondanks gepresenteerd wordt als zijnde het standaardwerk sine qua non.

Referenties:

- Bierkens, M.F.P. en D.J.J. Walvoort (1998)** Eenvoudige stochastische modellen voor grondwaterstandsfluctuaties; Deel 2: Gecombineerd bodem-grondwatermodel met stochastische invoer; in: *Stromingen*, jrg 4, nr 3 (volgend nummer!).
- Gehrels, J.C. en J. van der Lee (1990)** Rainfall and Recharge: A critical Analysis of the Atmosphere-Soil-Groundwater Relationship in Kanye, semi-arid Botswana; rapport Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam en Geological Survey, Botswana, 90 pag.

- Gieske, A.S.M. (1992)** Dynamics of groundwater recharge: a case study in semi-arid eastern Botswana; proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam, 289 pag.
- Lerner, D.N., A.S. Issar en I. Simmers (1990)** Groundwater Recharge: A guide to understanding and estimating natural recharge; International Contributions to Hydrogeology 8, Verlag Heinz Heise, Hannover, 345 pag.
- Zwamborn, M.H. (1995)** Modelling van de onverzadigde zone ten behoeve van grondwatermodellen; rapport SWI 95.142, Landbouwuniversiteit Wageningen en KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein, 93 pag.

Michael R. van der Valk

Grondwater in Nederland; Onzichtbaar water waarop wij lopen

F.C. Dufour; Geologie van Nederland deel 3; Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft, 1998, 265 pag, ISBN 90-6743-536-8, gebonden, f 65,00.

De meest markante zaken die mondiaal over het *grondwater* van Nederland bekend zijn, omvatten – als we Jones' *Global Hydrology* uit 1997 mogen geloven en waarom zouden we dat niet doen – grondwaterverontreiniging door bemesting in Zuid-Limburg, ammoniak-stankoverlast in Zuidoost-Engeland in april 1995 door overbemesting in Nederland, grondwaterbeschermingsgebieden en 'grondwater clean-up in Rotterdam'.

Dat er veel meer zaken dan louter problemen met grondwaterkwaliteit een rol spelen, wordt duidelijk bij het lezen van een in juni 1998 verschenen boek van F.C. Dufour: *Grondwater in Nederland*.

Na een voorwoord van prof.dr.s. R.F.M. Lubbers – helaas niet van de auteur, die

hier toch de meeste tijd in heeft gestoken – en een dankwoord waarin net als in de rest van het boek geen titulatuur meer voorkomt, volgt de inhoudsopgave. De hoofdstukindeling is als volgt:

- 1 Enkele begrippen en hun samenhang
- 2 Hydrologische kringloop
- 3 Klimaat, klimaatverandering en waterhuishouding
- 4 Geologie van Nederland
- 5 Hydrogeologie van Nederland
- 6 Beweging van het grondwater
- 7 Hydrochemie van het grondwater
- 8 Beschikbaarheid en gebruik van zoet grondwater
- 9 Winning, zuivering en prijs
- 10 Grondwater als opslagplaats voor thermische energie
- 11 Gevolgen van menselijk ingrijpen
- 12 Grondwatergegevens
- 13 Kennisontwikkeling over grondwater
- 14 Beleid en beheer en het daarmee samenhangend wettelijk kader
- 15 Toekomstige ontwikkelingen

Dit alles wordt gevolgd door onder meer 'Noten en verantwoording', 'Literatuur' en niet te vergeten een uitgebreid 'Register'.

Ieder hoofdstuk is in een aantal paragrafen onderverdeeld, waarin de betreffende onderwerpen behandeld worden. Dit gebeurt voor een belangrijk deel aan de hand van reeds verschenen werk van anderen, waarnaar iedere keer keurig wordt verwezen. Hierdoor is snel en gemakkelijk terug te vinden wie wanneer en binnen welk kader een bepaald onderwerp, zoals bijvoorbeeld energieopslag of verdamping van bossen, nader heeft bestudeerd.

Bij het maken van een boek als *Grondwater in Nederland* is het de hele tijd schipperen tussen zoveel mogelijk informatie en de beperking daarin om het overzicht te bewaren. Over onderwerpen die mij het meest interesseren had voor mij best wat meer verteld mogen worden, terwijl ik andere zaken minder van belang vind. Al met al heb ik het idee dat de aandacht over de onderwerpen harmonieus verdeeld is.

Een zelfde soort probleem ontstaat met de actualiteit: eens moet men de knoop doorhakken en stoppen met het toevoegen van informatie over nieuwe ontwikkelingen. Over de stand van de ecohydrologie of bijvoorbeeld het fenomeen 'gewenst grond- en oppervlaktewaterregime' zal men in het boek zeer weinig of niets vinden. De ecohydrologie ontbreekt hier volgens mij ten onrechte, want die is al wat ouder. Bij het hoofdstuk 'Gevolgen van menselijk ingrijpen' worden 10 pagina's met de verdrogingsproblematiek gevuld, doch zonder in te gaan op het probleem van het omzetten van hydrologische in ecologische veranderingen. Op meer plekken bekruipt mij het gevoel van een droge technische kijk – vooral vanuit de drinkwaterkant – op de zaken, waarbij ieder woord driemaal is gewogen voordat het is opgeschreven. Hierdoor ontbreekt af en toe de noodzakelijke smeuïgheid en zijn

er geforceerd aandoende zinnen ontstaan. Een lijstje met namen van Nederlandse grondwaterhelden als Ernst, Mazure, De Glee, Huisman en Kemperman, Bruggeman en Kruseman en De Ridder – wier werk nog dagelijks ook in het buitenland wordt toegepast; al dan niet binnen het kader van 'snelle oudjes gaan ...' – zou daarentegen voor de jongere generatie geen kwaad kunnen.

Het is voor iemand met jarenlange ervaring meestal lastig, zo niet onmogelijk, zich te verplaatsen in een onkundige op het vakgebied. Hoewel het boek zich richt op een breed publiek, is het volgens mij niet geschikt voor de volslagen onbenul. Een zekere basiskennis van en interesse voor exacte vakken is – zo blijkt uit een persoonlijk door mij ondernomen enquête – van belang. Een term als "Pleistocene voedingsgebieden met natuurlijke gravitatie stromingsstelsels" is te ingewikkeld voor een buitenstaander, net als de mededeling dat "de kwantitatieve definiëring van de doorlaatfactor [...] gecompliceerder [is] dan die van de porositeit". Er bestonden bij buitenstaanders vragen als: "wat is formatie-karakterisatie" en "wat is een watervoerend pakket". De meesten met een basiskennis hydrologie zullen daar zonder problemen overheen lezen. De proeflezers – allen hydrologisch specialisten – vormen echter slechts een deel van de doelgroep. Het is niet getest bij de grootste gemene deler van de doelgroep. Ik begrijp uit de dankbetuigingen dat er een bureau voor tekstadviezen is ingehuurd.

Hier en daar zou men een aparte cartografische redactie wensen. Net als in de andere twee delen van *Geologie van Nederland* wordt er van slechts één steunkleur gebruik gemaakt. Een gevolg is dat bij complexe kaartjes een tekort aan blauwtinten ontstaat, waarna overgegaan wordt op grijs. Dat maakt het interpreteren van de kaartjes soms wat lastig. In enkele gevallen is er sprake van een cartografische misser

door bijvoorbeeld het gebruik van verkeerde grafische variabelen (kleur, grootte, vorm) voor de visualisatie van grondwaterstandsveranderingen of methaanconcentraties. De meeste figuren en kaartjes zijn echter duidelijk, te meer daar ze grotendeels eenduidig bewerkt zijn. Omdat veel figuren zijn overgenomen uit andere bronnen is het prettig dat daarbij gedacht is aan een uniforme opmaak. Het heeft in een rustig beeld geresulteerd.

Tot zover de kritische opmerkingen. *Grondwater in Nederland* vult een grote leegte aan. Nu kunt u anderen eindelijk eens laten zien wat u toch allemaal doet. Het is ook leuk om tamelijk eenvoudige maar onbekende zaken eens overzichtelijk gepresenteerd te zien. Zo kunnen we bijvoorbeeld leren dat regenwater kouder is dan grondwater. Dankzij de uitgebreide literatuurlijst ben ik er inmiddels achter gekomen dat de neerslagintensiteit in mm/dag gemiddeld over een jaar (en met name in de zomer) afgenomen is. Tegelijk valt er meer neerslag (met name in de winter dus). Over de gevolgen hiervan voor de verdroging (op jaarbasis meer grondwateraanvulling in gebieden met dikke onverzadigde zones en minder in gebieden met dunne onverzadigde zones) wordt nagedacht. Naast de temporele verdeling is hierbij de ruimtelijke verdeling van de neerslag natuurlijk ook van groot belang.

Het is duidelijk dat Dufour veel energie heeft gestoken in het zo compleet en zorgvuldig mogelijk beschrijven van de over het grondwater in Nederland aanwezige informatie. Hierin is hij volledig geslaagd. Middels verwijzingen bij de behandelde onderwerpen kunnen de juiste originele informatiebronnen gevonden worden. Met de soms wel wat erg uitgebreide index – achter het lemma ‘oppervlaktewater’ vinden we meer dan 35 paginaverwijzingen – lukt dat goed.

Omdat men niet alles zelf kan volgen, is *Grondwater in Nederland* bijna verplichte

kost voor iedere zichzelf respecterende in Nederland actieve hydroloog (of hydroloog in spe). Het vormt een grondwater-mozaïek, waarin iedereen er wel iets nieuws of iets anders van zijn gading in vindt. Dufour heeft een fantastische prestatie geleverd met het boek, dat zeker de komende jaren veel gebruikt zal worden: op scholen, universiteiten en elders waar een degelijk en evenwichtig naslagwerk over het Nederlandse grondwater nodig is. Een boek kortom van formaat, dat overigens circa 20 x 25 cm bedraagt.

Het boek zou een ideaal geschenk zijn voor buitenlandse hydrologische relaties ware het niet dat de meeste buitenlandse vakgenoten zich zullen moeten verontschuldigen omdat ze de Nederlandse taal niet meester zijn. Wat dat betreft is een spoedige vertaling op zijn plaats.

De auteur – wien er veel aan gelegen was geen enkel essentieel onderwerp der Nederlandse hydrologie te missen – kan terugkijken op een geslaagd boekwerk. *Grondwater in Nederland* staat boordevol interessante informatie en geeft een zorgvuldig samengesteld en erg degelijk beeld, waarmee het de potentie heeft een standaardwerk te worden. Aan de prijs zal het zeker niet liggen.

Hoewel ik *Grondwater in Nederland* nog niet in boekvorm heb gezien – de bespreking is gebaseerd op een drukproef – heb ik begrepen dat de uitvoering luxe is. Tegen de tijd dat u dit leest zou het boek in de boekwinkel verkrijgbaar moeten zijn*. Wijs daarom direct uw familieleden op de titel van het boek en zorg ervoor dat u binnenkort jarig bent.

Michael R. van der Valk

* Daarnaast is het te bestellen bij het NITG-TNO, mw. J.W. van Schooneveld, tel (023) 530 01 81, e-mail: j.vanschooneveld@nitg.tno.nl.