

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 Suri-naamse 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 aange-troffen, op 300–400 m diepte. Zeewater is tienmaal zouter, en daarom wordt dit rela-tief 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 ont-staan als gevolg van een grondwaterstro-mingsstelsel 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 neer-slaghoeveelheden in die periode ongeveer de helft van de huidige circa 2.200 mm/jaar bedroegen; de periode waarover er aan-vulling 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 stromingsystemen ontstaan, die snel worden doorgespoeld.

In het begin van de periode van aan-vulling lag de kustlijn zo'n 140 km noordelijker en de zeespiegel zo'n 120 m lager. Met de opwarming van het klimaat steeg de zee-spiegel 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 ground-water
 - 9 Prediction of the offshore continuation of coastal groundwater flow systems
 - 10 Flow and salt transport in submarine meteoric ground-water in steady-state and transient systems
 - 11 Summary and conclusions
-

tiaire aquifers en hoge freatische grond-waterstanden op de kleiplateaus, berekende Groen met een numeriek grondwatermodel een aanvulling van tientallen millimeters per jaar. De eveneens berekende verblijf-tijden 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. Hydrogeo-chemische 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