

De grondwaterkwaliteit van Curaçao. Een hydrogeochemisch onderzoek.

Inleiding

Curaçao heeft een beperkte zoetwatervoorraad die hoofdzakelijk wordt aangewend voor landbouw en huishoudelijk gebruik. In de periode van 1976-1978 werd een uitgebreid onderzoek gedaan naar de grondwatervoorraden en -samenstelling door de Dienst Landbouw, Veeteelt en Visserij (DLVV) van de plaatselijke overheid [1]. Hieruit werd geconcludeerd dat vooral verzilting door zeewaterintrusie een belangrijke bedreiging vormde. In aansluiting op dit onderzoek werd een programma



R. J. LOUWS
Adviesgroep Milieutechnologie,
IWACO B.V. *
* Voorheen Vakgroep
Geochemie, Universiteit Utrecht



S. P. VRIEND
Vakgroep Geochemie,
Universiteit Utrecht



G. FRAPPORTI
Adviesgroep Water & Ruimte,
IWACO B.V.

opgezet om de verzilting te monitoren. Sinds 1977 worden daartoe op één- en driemaandelijkse basis de waterstand en geleidbaarheid (EG) van het water in een aantal geselecteerde putten gemeten. Een kleine honderdtal waterputten, die opgenomen zijn in het monitoringsprogramma van de DLVV, zijn in 1992 bemonsterd en geanalyseerd op een groot aantal chemische parameters om inzicht te krijgen in de geochemische processen in het grondwater en menselijke invloed op de grondwatersamenstelling.

Geschiedenis van de zoetwatervoorziening

Tot de twintigste eeuw werd in de zoetwaterbehoefte voorzien door gebruik te maken van regen- en grondwater. In 1908 hadden de toen 30.000 bewoners 34 waterputten ter beschikking [1]. In 1915 bouwde Shell een olieraffinaderij en kocht voor de (grond)watervoorziening plantages op. Vanaf 1920 leverde Shell een deel van het onttrokken grondwater aan derden. De overheid beëindigde in 1962 de grondwaterwinning. Shell is met de grondwaterwinning gestopt in 1973. Sindsdien wordt in de volledige drinkwaterbehoefte voorzien door een zeewater-distillatiefabriek. Per dag wordt er circa 33.000 m³ zoet water geproduceerd waarvan 30% voor

Samenvatting

In 1992 zijn in een studie naar de kwaliteit van het grondwater op Curaçao een kleine honderdtal waterputten, grotendeels onderdeel van het plaatselijke grondwatermeetnet, bemonsterd. De watermonsters zijn geanalyseerd op een breed pakket aan chemische componenten waaronder de macro-ionen, pH en geleidbaarheid (EG). Ook zijn van een aantal monsters de isotopenverhoudingen (¹⁸O en ²D) gemeten. De samenstelling van het grondwater wordt grotendeels bepaald door processen als zeewaterintrusie, droge depositie van zeezout, afvalwaterlozing en irrigatie. Het grondwater in de dicht bevolkte gebieden bevat hoge nitraatconcentraties door afvalwaterlozingen via beerputten op het eiland. Op grond van geleidbaarheidsmetingen en de SAR (Sodium Adsorption Ratio) kan worden geconcludeerd dat het meeste grondwater geschikt is voor irrigatie. Veel minder grondwater is geschikt voor drinkwater gezien de hoge chloride- en nitraatconcentraties.

De resultaten van 1992 zijn vergeleken met de resultaten van een onderzoek, uitgevoerd in 1977 door de Dienst Landbouw, Veeteelt en Visserij. Uit de vergelijking bleek dat in 30% van de putten de chlorideconcentratie in het water is toegenomen als gevolg van irrigatie, overexploitatie van de zoetwaterlens en/of zeewaterintrusie. In 45% van de putten is de chlorideconcentratie afgenomen. In en rondom Willemstad is dit deels te wijten aan de infiltratie van relatief zoutarm, gedistilleerd leidingwater of afvalwater.

industriële activiteiten. Voor Willemstad wordt het hedendaagse waterverbruik per inwoner, inclusief industrieel verbruik, op 220 l/dag geschat [7].

Beschrijving van de waterputten

In 1979 is het aantal waterputten geschat op 4000, met een groei van 800 geboorde putten per jaar [11]. De meeste putten zijn gesitueerd in de basaltische gebieden, waar zich de belangrijke aquifers bevinden [6]. De geobserveerde grondwaterstanden in de bemonsterde putten varieerden van 3 tot 60 m -mv. De waterputten op Curaçao zijn of gegraven ($\pm 60\%$ met een diameter van 2 à 4 m) of geboord (diameter 0,2 à 0,4 m) en zijn 3 tot 90 m diep. Het bovenste deel van de gegraven putten is vaak van metselwerk voorzien. Het water wordt met wind of elektriciteit aangedreven pompen gewonnen.

Afvalwater

Een deel van het afvalwater wordt door directe infiltratie (via zink- of beerputten) naar de bodem afgevoerd. De hoeveelheid afvalwater, die in het grondwater terechtkomt, wordt geschat op 25 liter per persoon per dag.

In Willemstad, een gebied van 60 km², wordt de grondwateraanvulling door afvalwater geschat op 1 miljoen m³/jaar, wat gelijk is aan aanvulling door regenwater. Ruim eenderde van alle inwoners, die in een gebied rond het Schottegat wonen, is aangesloten op het rioleringsstelsel. De industrie (raffinaderij, scheepswerf en brouwerij), die zich eveneens voornamelijk rond het Schottegat heeft geconcentreerd, loost rechtstreeks op de Schottegatbaai [10].

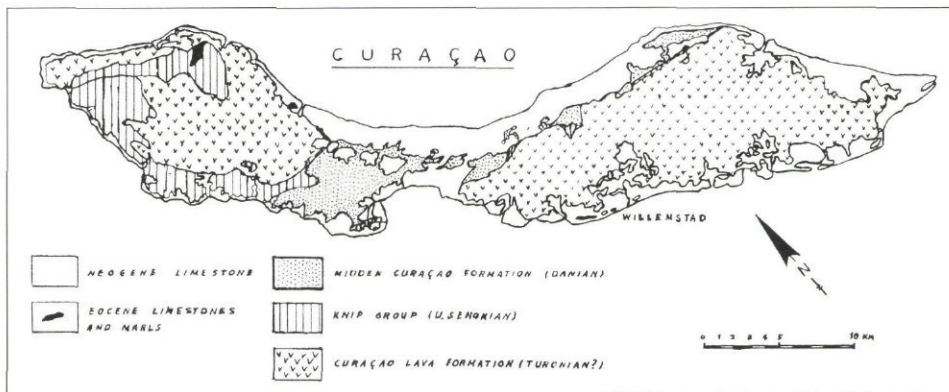
Hydrologie en klimaat

Curaçao ligt in een semi-aride gebied. De gemiddelde jaarlijkse neerslag over de periode 1961-1990 bedroeg 525 mm. Gemiddeld eens per 5 à 6 jaar komt een natte periode voor met meer dan 1000 mm neerslag. In droge jaren kan de neerslag beperkt blijven tot 200 mm/jaar. De gemiddelde jaartemperatuur op Curaçao is 26,8°C. De gemiddelde temperatuur van het grondwater is 30°C [9]. Het eiland heeft 47 afvoergebieden met een gemiddelde oppervlakte van 5 km² (rivieren en meren ontbreken op Curaçao). De potentiële evapotranspiratie bedraagt 2400 mm/jaar en overtreft dus in hoge mate de gemiddelde jaarlijkse neerslag. Het grondwater wordt alleen aangevuld tijdens grotere regenbuien, doordat het water via breuken en diaklazen het onderliggende gesteente instroomt. De fractie van de neerslag die het grondwater aanvult, wordt geschat op maximaal 3,5%, overeenkomend met 20 mm/jaar. Het Grontmij/Sogréah rapport [6] vermeldt acht belangrijke aquifers met een gezamenlijk veilig, dat wil zeggen zonder achteruitgang van de voorraden en kwaliteit, te onttrekken hoeveelheid water van ongeveer 700.000 m³/jaar. DLVV [11] noemt vijftien grote grondwaterreservoirs met een veilig te onttrekken hoeveelheid van 1.300.000 m³/jaar.

Geologie

Curaçao wordt gevormd door vier geologische eenheden (afb. 1). In volgorde van afzetting zijn dit:

1. *Curaçao Lava Formatie (CLF, Boven-Krijt)* dagzoomt in de kern van twee plooien (anticlinoria), één in het noordwesten en één in het zuidoosten, en ook in



Afb. 1 - Geologische kaart van Curaçao [2].

een klein gebied in het noordwestelijk deel van het eiland. Het is een laag van monotone onderzees afgezette lava's met een dikte van meer dan 1 km, bestaande uit calcium- en magnesiumrijke gesteenten.

2. *Knip Groep (Boven-Krijt)* is gescheiden van de CLF door (onder andere) ondiep afgezette kalksteenlenzen. De Knip Groep zelf bestaat bijna geheel uit, in diep marien milieu afgezette, kwartsrijke sedimenten. In het noordwesten van het eiland is de laag 2 km dik en neemt af tot 100 m naar het zuiden en het zuidwesten.

3. *Midden Curaçao Formatie (MCF, Krijt/Boven Tertiair)* dagzoomt in het lage, centrale deel (synclorium) en in het zuidwestelijke deel van Curaçao. De MCF bestaat voornamelijk uit fijnkorrelige conglomeraten (kalk- en kwartsachtige sedimenten met basaltfragmenten), zandstenen, schalies en kleilagen.

4. *Kalksteenformaties (Eocene limestones and marls)*, de Seroe di Cueba kalksteenformaties werden 40 miljoen jaar geleden afgezet. De huidige kustzone bestaat uit recent gevormde kalkkoraalafzettingen.

Monsternamen en analyse

De 97 monsterlocaties zijn uniform verspreid gekozen over het gehele eiland (afb. 2), met uitzondering van de voor het publiek afgesloten Oostpunt.

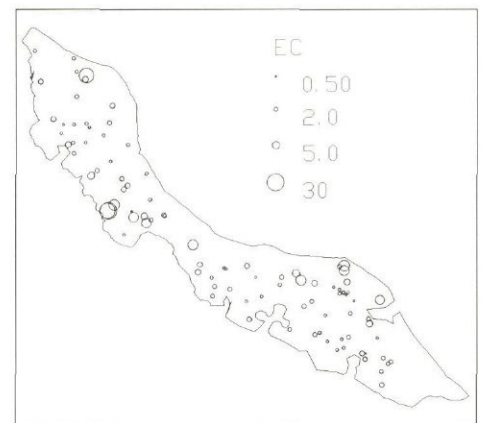
Naast putwater zijn ook enkele regenwater-monsters verzameld. De monsters zijn geanalyseerd op pH, geleidbaarheid, temperatuur, kationen (ICP-AES) en anionen (Ionchromatograaf).

Acht monsters werden geselecteerd voor bepaling van waterstof- en zuurstof-isotopen (zie afb. 6). De ionbalans, ion-speciatie en mineraalverzadigingen werden berekend met behulp van WATEQX [5]. 91% van de monsters had een afwijking van minder dan 5% en 97% van minder dan 10% van de elektroneutraliteit.

Resultaten grondwatersamenstelling

Een overzicht van de resultaten van de grond- en regenwateranalyses kan worden opgevraagd bij de auteurs. Hieronder volgt de interpretatie van de wateranalyses. De gesteenteformaties bevatten overwegend neutraal tot basisch grondwater,

hetgeen verwacht wordt in kalk- en basische gesteenten. De pH van het grondwater varieert van 6,7 tot 8,3 met een gemiddelde van 7,3. De monsters zijn veelal verzadigd met de mineralen kwarts (SiO₂; 100% van de monsters), calciëet (CaCO₃; 93%), dolomiet (CaMg(CO₃)₂; 93%) en magnesiet (MgCO₃; 58%), op basis WATEQX berekeningen. In het veld kan op een aantal plaatsen de calciëet-oververzadiging worden geconstateerd in de vorm van caliches (kalkkorsten) [14]. De EG van het grondwater (afb. 3) varieert van 0,5 tot 30 mS/cm. De basaltische formaties bevatten grondwater met een lagere EG dan de andere geologische formaties. De basalten in het oosten hebben door hun lagere ligging en irrigatie een iets hogere EG (2,14 mS/cm) dan die in het westen (1,87 mS/cm).

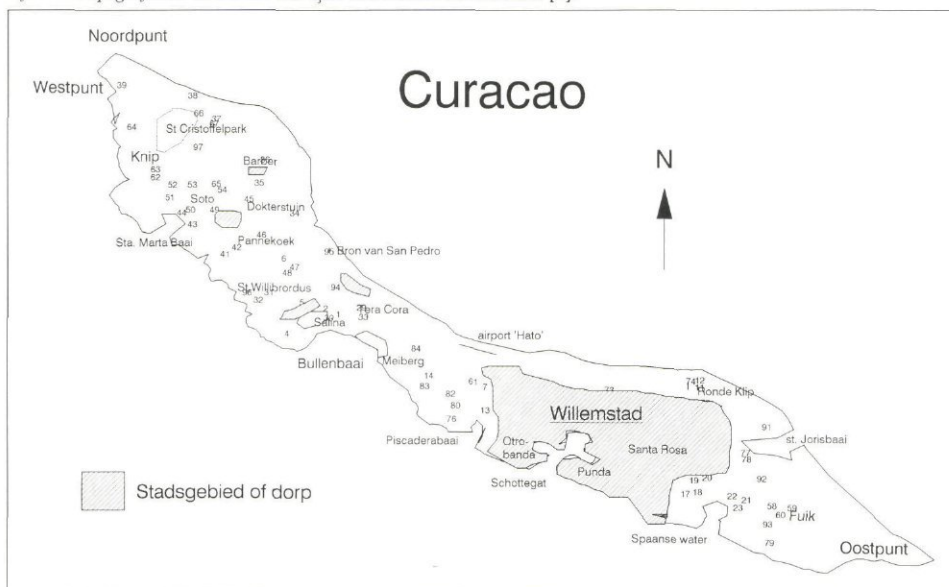


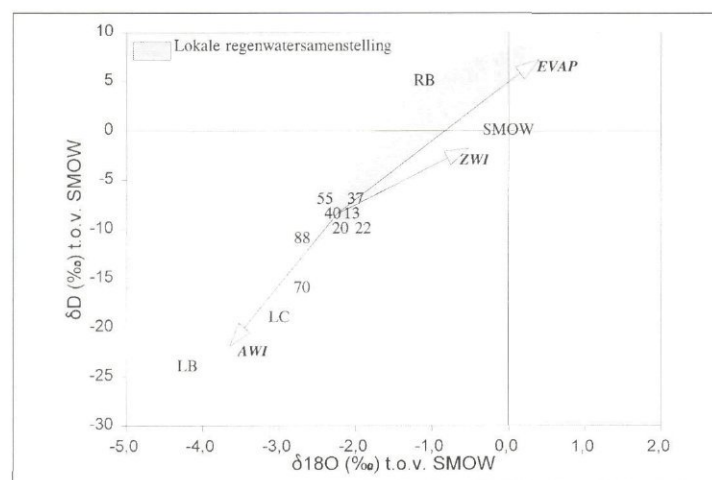
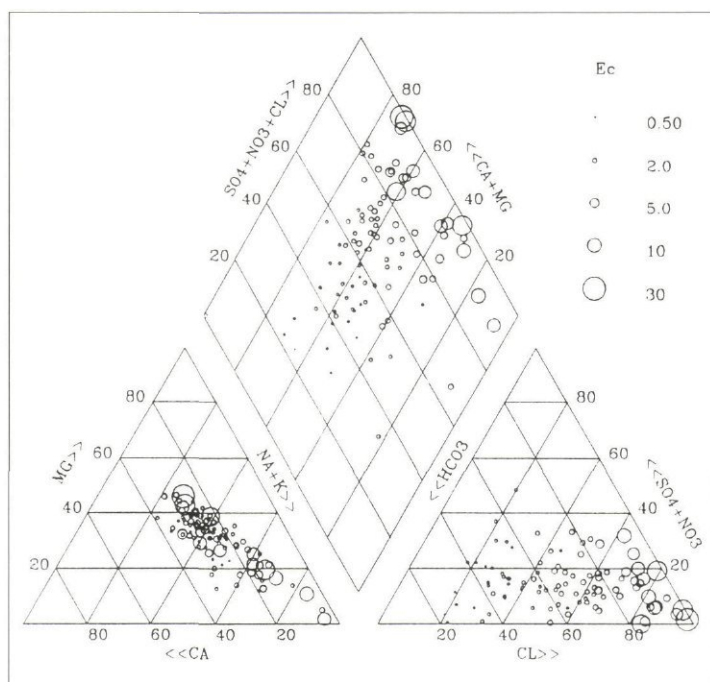
Afb. 3 - De elektrische geleidbaarheid (EG) van putwaters op Curaçao (1992).

De hoogste EG-waarden zijn gemeten in het noordoostelijke deel van Curaçao, de St. Joris baai, het gebied rond Jan Kok, de MCF en de Knip Groep. De EG is hoger doordat deze formaties dicht bij de kust liggen en meer beïnvloed worden door zeewaterintrusie. De relatieve kat- en anionenverdeling is weergegeven in een Piperdiagram (afb. 4). Onderscheid is te maken tussen water met een kationenverdeling nabij die van zeewater en water met relatief hoge Ca- en Mg-gehalten. De hoge Ca- en Mg-gehalten zijn het gevolg van ionuitwisseling met de bodem: het Na in het water wordt uitgewisseld met het Ca en Mg van de vaste fase.

Dit proces komt veel voor in aride gebieden en leidt tot Na ophoping in de bodem (verziltig). Enkele putten in de Knip en MCF-formaties bevatten water met relatief zeer hoge Ca- en Mg-concentraties. Het grondwater in deze putten wordt waarschijnlijk beïnvloed door de aanwezigheid van oude zeewaterresten die zich nog steeds in de geologische formaties op Curaçao bevinden [1].

Afb. 2 - Topografische kaart van Curaçao met monsternamelocties [9].





▲ Afb. 6 - δD en $\delta^{18}O$ diagram. De lijnen hebben betrekking op de volgende processen: EVAP = Evaporatielijn, ZWI = Zeezwat Infiltratie Lijn, AWI = Afvalwater Infiltratie Lijn.

▲ Afb. 4 - Piperdiagram. De symboolgrootte is evenredig met de elektrische geleidbaarheid (Ec) van de watermonsters. Karakteristiek voor de anionenverdeling is dat naarmate de Ec toeneemt, chloride evenredig toeneemt. Bij de kationen is geen duidelijke relatie met de Ec waarneembaar.

Het grondwater in de CLF formatie bevat relatief iets minder Na en meer Mg en Ca dan het grondwater in de Knip Groep en de MCF. Dit is toe te schrijven aan de verwerking van Mg- en Ca-rijke mineralen in de basalten.

Nitraat

Uit dit onderzoek, waarbij voor het eerst nitraat in het grondwater werd gemeten, blijken grote delen van het eiland aanzienlijke hoeveelheden nitraat te bevatten (afb. 5). Vooral in de bevolkte gebieden zijn hoge nitraatconcentraties aangetroffen. Regelmatig wordt de WHO-norm die geldt voor drinkwater overschreden (50 mg/l). Een voor de hand liggende verklaring hiervoor is dat ammoniumhoudend afvalwater via beerputten in het grondwater terechtkomt en nitrificeert.

Isotopen-samenstelling

Om de invloed van de aanvulling van het grondwater door regenwater en afvalwater (d.i. gedistilleerd zeewater) in en rond Willemstad nader te onderzoeken, is een achttal monsters geanalyseerd op δD - en $\delta^{18}O$ (afb. 6). In afbeelding 6 zijn ook, ter vergelijking, de regenwatergegevens van Bonaire en Barbados opgenomen [12]. Deze eilanden komen geografisch en klimatologisch overeen met Curaçao, zodat aannemelijk is dat de isotopensamenstelling van het regenwater op deze eilanden ook representatief is voor die op Curaçao. Ook is in afbeelding 6 met enkele lijnen weergegeven wat de verandering in isotopensamenstelling is bij verdamping, zeewaterintrusie en afvalwaterinfiltratie. De putten met nr. 13, 20, 22 en 40 liggen

dicht bijeen en kunnen worden beschouwd als gemiddeld grondwater van Willemstad. De putten 55, 70 en 88 liggen in gebieden waar veel irrigatie wordt toegepast. De gemiddelde isotopensamenstelling van het grondwater van Curaçao wijkt niet veel af van de isotopenvariatie van het lokale regenwater van Barbados en Bonaire. Dit duidt erop dat het grondwater wordt aangevuld door weinig ingedampt regenwater. De gemiddeld hoge zoutlast van het grondwater kan verklaard worden door oplossing van sea-spray zouten en zout afkomstig van verdampt regenwater. De hoogte van de bijdrage van sea-spray op Curaçao kan op 2 g/m²/jaar worden geschat [4]. Dit komt ongeveer overeen met 0,2 mS/cm bij 20 mm neerslagafvoer naar het grondwater. De lage δD - en $\delta^{18}O$ -waarden van het leidingwater van

Curaçao (LC), Bonaire (LB), put 70 en 88 zijn een gevolg van het feit dat dit water bestaat uit de isotopisch zeer lichte dampfractie die ontstaat bij de distillatie van zeewater.

Vergelijking met 1977

De grondwatersamenstelling van 1977 en van 1992 kunnen goed met elkaar worden vergeleken, omdat de neerslaggegevens voorafgaande aan beide monsterperiodes overeenkomen. Het onderzoek in 1977 vond plaats in een periode met weinig neerslag (-36% t.o.v. de gemiddelde jaarlijkse neerslag), terwijl in 1976 de jaarlijkse neerslag 16% onder het gemiddelde lag [11]. In 1992 en 1991 was dit verschil respectievelijk -30% en -11%. Ten opzichte van 1977 blijkt de chlorideconcentratie, welke als gidsparameter

Afb. 5 - Isotopensamenstelling van enkele monsters van Curaçao met de Cl- en NO₃-concentraties.

Putnr.	Omschrijving	Cl (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	$\delta^{18}O$ (‰)*	δD (‰)*
13	Put bij boerderij, rand Willemstad	471	115	-2,1	-8
20	Put in stadstuin (Willemstad)	362	246	-2,2	-10
22	Verlaten put ten ZO van Willemstad	863	< 1	-2,0	-10
40	Put in stadstuin bij Ronde Klip (Willemstad)	505	< 1	-2,2	-8
37	Put in St. Crist. Park (Knip Groep)	8.715	14	-2,0	-7
55	Put ten O van Schottegat gebruikt voor irrigatie	544	47	-2,4	-7
70	Put intensief gebruikt voor irrigatie	1.233	12	-4,0	-16
88	Put in stadstuin op nog geen 10 m van beerput	110	217	-2,7	-11
LC	Leidingwater Curaçao (Gedistilleerd zeewater)	-	-	-3,0	-19
LB	Leidingwater Bonaire (Gedistilleerd zeewater)	5	17	-4,2	-24
RB**	Regenwatermonster Bonaire, 1/1994	28	10	-1,1	5
SMOW	Gemiddeld oceaanwater	19.350	-	0	0

* De relatieve isotopen ratio t.o.v. SMOW (Standard Mean Ocean Water): $\delta^{18}O$, $\delta D = 1000 \cdot (R_{\text{monster}} - R_{\text{SMOW}}) / R_{\text{SMOW}}$ waarbij $R = D/H$, $\delta^{18}O/^{16}O$.

** Sandbeek en Linsen, 1995.

wordt beschouwd voor processen als verdamping en zeewaterintrusie, in 30% van de putten meer dan 25% toegenomen te zijn. Dit was vooral het geval ten oosten en noordoosten van Willemstad (Ronde Klip, Choloma, Santa Barbara en Fuik). In dit gebied wordt intensief water onttrokken voor de fruitteelt en irrigatie van privé-tuinen. In circa 45% van de putten was de chlorideconcentratie met meer dan 25% afgenomen. De overige 25% van de putten hadden een min of meer constant chloride-gehalte.

Dit onderzoek wijst dus op een verzoetings-tendens van het grondwater. Ondanks dat een aanzienlijk aantal putten is bijgeslagen sinds 1977. Systematische gebruiks-gegevens van de putten ontbreken. Daar de klimatologische omstandigheden voorafgaande aan beide monstercampagnes vergelijkbaar zijn, moet een verklaring voor deze trend gezocht worden in een verminderde onttrekking en/of aanvullingen uit afvalwater.

Geschiktheid grondwater voor drinkwater en landbouw

Het gebruik van het grondwater als drinkwater wordt beperkt door de hoge nitraat- en chlorideconcentraties. Bijna 40% van de bemonsterde putten bevat nitraat boven de WHO- en Nederlandse drinkwaternorm van 50 mg/l, terwijl 70% van de putten een chlorideconcentratie boven de door de WHO gestelde norm van 250 mg/l heeft. Slechts 15% van de putten voldoet voor zowel nitraat als chloride aan de WHO-norm. Deze putten zijn vooral gesitueerd rond de Spaanse Haven, de Piscadera baai en Soto. Er is dus een beperkte eigen grondwatervoorraad aanwezig, die geschikt lijkt voor drinkwater. Hierbij moet aangetekend worden dat bij deze studie geen organische en (micro)biologische parameters betrokken zijn en geen informatie beschikbaar is over de capaciteit van de putten. De normwaarden voor veeteelt zijn gebaseerd op de geleidbaarheid. Een geleidbaarheid boven 5 mS/cm wordt als minder geschikt geacht voor veel soorten veeteelt. Ongeveer 85% van de putten is geschikt voor veedrenking. Een veel gebruikt beoordelingscriterium voor de geschiktheid van (grond)water als irrigatiewater is dat van de U.S. Laboratory Staff [13]. Hierbij wordt de kwaliteit van het irrigatiewater gebaseerd op de EG en de SAR-waarde (Sodium Adsorption Ratio):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

(Na⁺, Ca²⁺ en Mg²⁺ in meq/l).

Volgens dit criterium kan 75% van de

waterputten zonder problemen worden gebruikt voor irrigatie. In 1977 lag dit percentage op 67%, zodat een verbetering meetbaar is.

Conclusie

De grondwatersamenstelling van het eiland Curaçao is beschreven en vergeleken met die van 1977. De toen belangrijk geachte verzilting door zeewaterintrusie en uitputting van zoetwaterlenzen is in eenderde van de bemonsterde putten geconstateerd. Daarentegen is in de rest van de bemonsterde putten een constante of zelfs verzoetende tendens waargenomen. In en rondom Willemstad lijkt deze verzoeting het gevolg van aanvulling uit afvalwater met hoge nitraatgehalten en lage δ¹⁸O en δD isotoopgehalten door bijmenging van (gedistilleerd) leidingwater. Ongeveer 15% van de bemonsterde waterputten heeft chloride- en nitraatgehalten onder de WHO-norm voor drinkwater. Een groot deel van het grondwater is volgens de SAR-waarden geschikt voor irrigatie. De voorraden zijn niet te kwantificeren, omdat capaciteitsgegevens van de bemonsterde putten ontbreken.

Verantwoording

De auteurs willen de volgende personen en instanties bedanken: de overheid en eigenaren van putten voor toestemming om te bemonsteren, Ronald de Bruijne, Albert de Vries, Lidewijde Eysinck, DLVV (Chris Winkel, Chi Cho Steenmijn en Amado Helder), CARMABI, DOW-Curaçao, Gerard Klaver, P. Stienstra, D. J. Beets, Leon Pors, de Meteorologische Dienst e.v.a. Deze studie werd mede mogelijk gemaakt door financiële steun van de Universiteit Utrecht, IWACO, Billiton en Fugro.

Informatie

Een uitgebreidere beschrijving van dit onderzoek en de dataset met grondwatergegevens kan per E-mail worden opgevraagd: 'rl@rotterdam.iwaco.nl' of 'vriend@earth.ruu.nl'.

Literatuur

1. Abtmeier, B. (1978). *Zur hydrogeologie der insel Curaçao* (Proefschrift) Nederlandse Antillen, 177 pag.
2. Beets, D. J. (1972). *Lithology and stratigraphy of the Cretaceous and Danian succession of Curaçao* (proefschrift), p. 18-104.
3. Buissonjé, P. H. de, (1974). *Neogene and Quaternary geology of Aruba, Curaçao and Bonaire*. Natuurw. Studiekr. Sur. Ned. Ant. (Utrecht) 78, p. 293.
4. Erikson, E. and Khunakasen, V. (1969) *Chloride concentrations in groundwater, recharge rate and rate of deposition of chloride in the Israel coastal plain*. Journal of Hydrology 7, p. 178-197.
5. Gaans, van P. F. M. (1989). *WATEQ_X: A restructured, generalized and extended FORTRAN 77 computer code and database format for the wateq aqueous*

chemical model(mainframes. Computers & Geosciences. Vol.15, no. 6, p. 843-887.

6. Grontmij/Sogreah (1968) *Water and Land resources development plan for the islands of Aruba, Bonaire and Curaçao*.
7. IWACO B.V. (1989). *Masterplan drinkwater-distributie Curaçao*.
8. Klaver G. Th. (1987) *The Curaçao Lava Formation, an ophiolitic analogue of the anomalous thick layer 2B of the mid-cretaceous oceanic plateaus in the western Pacific and central Caribbean* (Proefschrift), Gua papers of geology, 1, 27.
9. Louws R. J. and De Bruijne, R. (1994). *Ground water of Curaçao, a geochemical survey*. Verslag doctoraal onderzoek. Vakgroep Geochemie, Faculteit Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht, 43 pp.
10. Molen, M. en Van der en Buth, L. (1993). *Afvalwaterbehandeling Curaçao gericht op hygiëne, behoud kwaliteit oppervlaktewater en hergebruik effluent*. H₂O (26) 1993, no. 2, p. 28-34.
11. Rowbottom, R. J. and Winkel, C. W. (1979). *Ground water Investigation Curaçao; (Report to the island Government of Curaçao); Supplement 1 en 2*.
12. Sandbeek, M., en Linsen R. (1995) *Geochemical groundwater survey of Bonaire*. Verslag doctoraal onderzoek, Vakgroep Geochemie, Faculteit Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht.
13. US Salinity Laboratory Staff (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. US. Dept. Agric. Handb. 60, p. 160.
14. Vries, A. J. de, en Eijssinck, L. (1995). *Soils of Curaçao. Verslag doctoraal onderzoek*. Vakgroep Geochemie, Faculteit Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht. 71 pp.

Summaries

• End of page 787.

been implemented in RISYWA as so called 'knowledge rules'. As an additional tool hydrological 'rules of thumb', both derived from literature and model research, have been implemented that give more insight in the intrusion of alien water both in the surface water system as well as in the terrestrial environment. An over all risk is calculated based on all information available.

H₂O (30) 1997, nr. 26; 806

A. J. VAN DER VEER and C. E. ZAGT:

A design of contactors for disinfection

The design of contactors for disinfection is usually based on two parameters: the intensity of irradiation in the contactor, and the mean residence time. The use of the product of these two parameters (the UV-dose) causes some problems:

- for the calculation of irradiation intensities complex numerical computer simulations are used by most manufacturers. It is not clearly defined which intensity is limiting: the average intensity, or the (minimum) intensity at the contactor wall;
- for the definition of the actual hydraulic residence time, the presence of short circuiting and dead corners in the contactor must be taken into account. Particularly with the up-scaling of pilot-plants, in which the germicidal effectivity has been proven, the use of this method may lead to problems with the operation of the up-scaled plant.

In this article an analytical solution for the calculation of irradiation intensities in a simple model UV-contactor is presented. Also the measurement of the residence time distribution in a high pressure UV-system with a mean residence time of some seconds is presented.