

Die Gebruik van Hidrochemiese Tegnieke in Grondwatereksplorاسie in die Venterstadomgewing, Kaapprovinsie

P J VAN DER LINDE EN F D I HODGSON
[INSTITUUT VIR GRONDWATERSTUDIES, UNIVERSITEIT VAN
DIE ORANJE-VRYSTAAT, BLOEMFONTEIN 9301]

Abstract

The use of hydrochemical techniques in groundwater exploration in the Venterstad area, Cape Province

The object of this research is to demonstrate the extent to which hydrochemical techniques can be used in preliminary groundwater resource evaluations. A theoretical background of the techniques applied is presented and the validity of the method is tested against actual field data from the Venterstad area. From chemical analyses it is concluded that the groundwater can be grouped into two categories, namely recently recharged groundwater and old groundwater. These conclusions are verified by a comparison of the results with actual ^{14}C and tritium age determinations on some of the samples. The old groundwater can undoubtedly be connected with a deap-seated aquifer, which in turn could have been responsible for the flooding of the nearby Orange-Fish River Tunnel in 1969. A prominent feature of some of these old groundwaters, is a low concentration of sulfate, which can be ascribed to bacterial action. The consistency of the groundwater chemistry, with regard to time, is also demonstrated. It is suggested that future groundwater development projects in the Southern Orange Free State should be limited to the older, more consistent source.

Inleiding

Die doel van hierdie studie is om die gebruik van hidrochemiese data in die interpretasie van grondwatervloei en die gepaardgaande klassifikasie van die water te illustreer. Geohidrologiese aspekte wat met behulp van hierdie metode bestudeer kan word, is byvoorbeeld

- (i) die bepaling van die beweeglikheid van grondwater
- (ii) die afbakening van verskillende kompartemente

(iii) die bepaling van aanvullingspunte tot die grondwatersisteen

(iv) die relatiewe ouderdom van die grondwatermonsters

(v) die nasporing van moontlike verskuiwing- en naatsones

As 'n uitgangspunt vir dié studie word van die Piperdiagram en die Schoellergrafiek gebruik gemaak.

Hidrochemiese Agtergrond

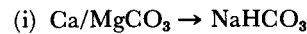
Die belangrikheid van chemiese analises van grondwatermonsters in geohidrologiese navorsing is iets wat in die verlede min aandag geniet het. Persone wat die nut van die hidrochemie in geohidrologiese navorsing reeds in die vroeëre jare besef het, is onder andere Piper (1944) en Schoeller (1959), en vir die huidige Johnson (1975) en Bell (1976).

Chemiese grondwatersiklus

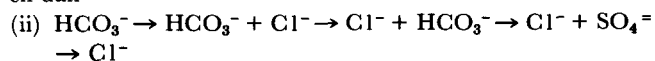
In hierdie ondersoek word die katione Ca^{++} , Mg^{++} en Na^{+} en die anione Cl^{-} , $\text{SO}_4^{=}$ en HCO_3^{-} in hoofsaak betrek. Vanaf aanvulling tot 'n grondwatersisteen plaasvind, totdat water weer vrygestel word, vind daar sekere chemiese veranderinge plaas. Die tempo waarteen hierdie chemiese veranderinge plaasvind, word deur faktore soos die gesteentetipe, beweeglikheid, druk en temperatuur van die grondwater bepaal. So byvoorbeeld sal 'n bikarbonaat/karbonaatryke grondwater uiteindelik weens ionuitruiling in 'n chloriedryke water verander. Die $\text{Cl}^{-}/\text{HCO}_3^{-}$ -verhouding kan in sommige gevalle dus as 'n aanduiding van die relatiewe ouderdom van spesifieke grondwatervoorkomste in 'n besondere gebied gebruik word, mits die gesteentetipe redelik homogeen is.

Volgens Johnson *et al.* (1975) het grondwater direk na aanvulling van 'n grondwatersisteen 'n $\text{Ca}/\text{Mg}/\text{HCO}_3^{-}$

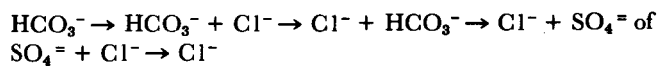
karakter. Deur kationuitruiling word die Ca^{++} - en die Mg^{++} -ione op die kleipartikels in die akwifer geadsorbeer, terwyl Na^+ -ione vrygestel word. Hierdeur verkry die grondwater 'n oorheersende NaHCO_3 -karakter. Indien die vloeitempo van die grondwater groot genoeg bly, behou die water sy NaHCO_3 -karakter, maar wanneer dit afplat of die transmissiwiteit van die akwifer verlaag, presipiteer CaCO_3 , met 'n gevolglike drastiese verhoging van die Cl^- -persentasie in die grondwater. Solank as die hidrouliese gradiënt voldoende is, sal die water 'n $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ -karakter behou, maar wanneer die hidrouliese gradiënt weereens verlaag, sal selfs die SO_4^{2-} presipiteer waarna die grondwater hoofsaaklik Cl^- -ryk is. Johnson se voorstel vir die chemiese grondwatersiklus is as volg:



en dan

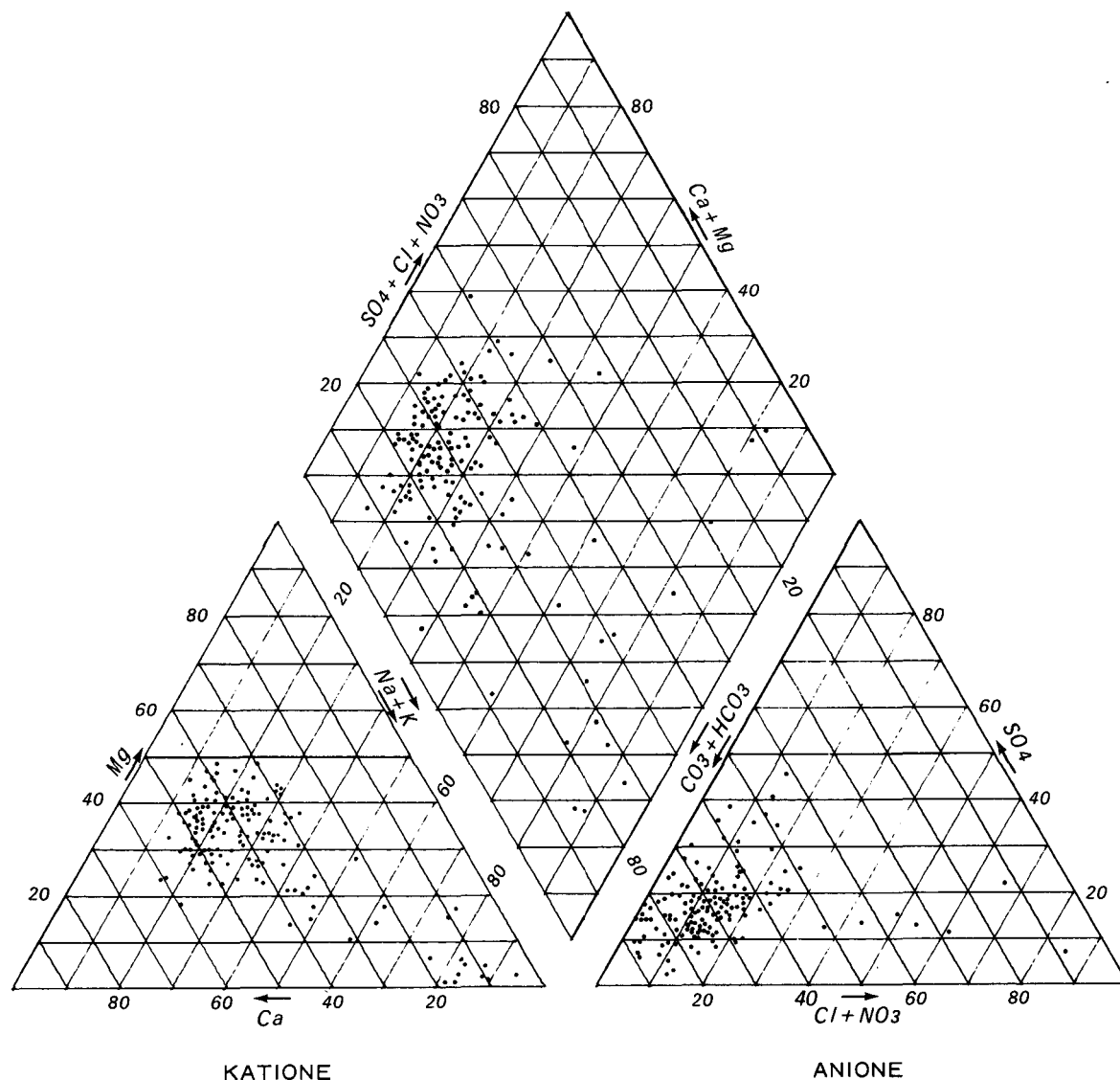


Hierdie siklus wat deur Johnson voorgestel is, stem baie ooreen met dié van Chebotarev (1955) en het veral op grondwater wat in dorre of halfdorre gebiede aangetref word, betrekking. Die siklus van Chebotarev is as volg:



Die Piperdiagram

Hierdie trilineêre diagram, waarvolgens die chemiese analyses van grondwater diagrammaties voorgestel kan word, is in 1944 deur Arthur Piper van die Geologiese Opname van die V.S.A. ontwikkel. Die metode behels die aanstip van katione en anione in twee verskillende trilineêre diagramme, waarna die aange-stipte punte na 'n diamantvormige vierhoek geprojekteer word (Fig. 1).



Figuur 1
Pipervoorstelling van die persentasie elemente in die grondwatermonsters
vanuit die Venterstadomgewing, uitgedruk in milliekwivalente/liter.

Aan die hand van die hidrochemiese evolusie, soos alreeds bespreek, kan die grondwater met behulp van die Piperdiagram in een van vier hoofklasse ingedeel word. Resente grondwater, wat ryk aan Ca/MgHCO_3 is, verskyn links in die vierhoek, terwyl ou grondwater, wat gewoonlik Na^+ - en Cl^- -ryk is, regs in die vierhoek voorkom. Grondwater wat in 'n sekere mate as stagnant geklassifiseer kan word, verskyn in die boonste helfte van die diamantvierhoek. Onder hierdie groep ressorteer grondwater wat hoë konsentrasies Ca/MgCl_2 en Ca/MgSO_4 bevat. Die onderste gedeelte van die vierhoek verteenwoordig grondwater wat in 'n proses van beweging is. 'n Mengsel tussen twee tipes grondwater sal langs 'n reguit lyn, wat die twee aanstipposisies van die onderskeie waters verteenwoordig, voorkom.

Die Schoellergrafiek

In teenstelling met die Piperdiagram wat 'n onmiddellike visuele voorstelling van chemiese analises weergee, is die Schoellergrafiek 'n meer gedetailleerde voorstelling wat gebruik kan word om kleiner verskille te onderskei. Hiervolgens word die konsentrasie van elke element, in mekw/l, langs die Y-as en die onderskeie ione langs die X-as aangestip. Die voordeel van hierdie grafiese voorstelling is dat grondwatermonsters wat dieselfde proses van evolusie ondergaan het, as vormgelyke grafieke aangestip sal wees.

Ontleding van die Analitiese Resultate

Bespreking van die Pipervoorstelling

Die oorgrote meerderheid van die grondwater in die Venterstadomgewing (ongeveer 70%) verskyn in die boonste linkerkantste gedeelte van die diamantvierhoek op die Piperdiagram (Fig. 1). Volgens vorige bespreking word hierdie water as resente waters, wat 'n minimum sirkulasie ondergaan het, geklassifiseer. Voorbeelde van spesifieke chemiese ontledings word duidelikhedshalwe in Tabel I en Figuur 2 weergegee. Die werklike ouderdom van die grondwater, waar beskikbaar, word ook in Tabel I weergegee.

'n Verdere groep, insluitende die water vanuit sommige van die swawelwaterstofriekende boorgate en water vanuit die Roode Wal-warmbron (Fig. 3), kom verspreid, dog baie prominent, in die onderste gedeelte van die vierhoek voor. Verder is daar ook 'n aantal watermonsters wat nie warm is, of na swawelwaterstof ruik nie, maar tog ook in hierdie sone op die Piperdiagram verskyn. Hierdie water is volgens chemiese ontleding van dieselfde oorsprong as die warm water en die swawelwaterstofriekende water en word vir die doel van hierdie ondersoek as potensiele swawelwaters geklassifiseer (Fig. 3). Kenmerkend van hierdie waters is die oorwegend relatiewe lae konsentrasies kalsium, magnesium en nitraat. Natrium en bikarbonaat word egter in aansienlike hoë konsentrasies aangestip. Alhoewel temperatuurfluktuasies en hoë pH-waardes

TABEL 1

'N VOORBEELD VAN DIE CHEMIESE ANALISES VAN VERSKILLENDIGE Tipes GRONDWATERMONSTERS UIT DIE VENTERSTADOMGEWING IN D.P.M.

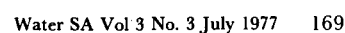
	Boorgat- nommer	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	$\text{CO}_3 =$	HCO_3^-	SO_4^{--}	Cl^-	Ouderdom Jaar	Akwifereer	Jaar van Analise
Kalsiumryke grondwaters	NL 14	58	17	60	5	0	311	29	32	*0	Doleriet	1970
	Skuinsskag (S.S.)	42	42	46	0	42	238	19	65	**16	—	1970
	91	54	23	19	1	38	220	43	1	—	Doleriet	1976
	97	61	29	35	2	35	227	61	12	—	Doleriet	1976
	102	84	47	34	1	38	358	48	32	—	Doleriet	1976
	118	66	32	48	1	39	294	78	15	—	Sedimente	1976
Bikarbonaatryke grondwaters	35	3	1	5	0,1	19	73	11	14	—	Doleriet	1976
	150	21	5	148	2,0	38	246	61	30	—	Doleriet	1976
	KP1	9	1	83	1,0	16	156	4	16	—	Doleriet	1976
	KP1 (a)	10	4	67	0,0	24	134	0	25	*1640	Doleriet	1970
	KP1 (b)	8	1	83	0,0	0	183	14	28	—	Doleriet	1947
	KP2	8	1	79	0,4	12	152	5	16	—	Sedimente	1976
Chloriedryke grondwaters	72	21	2	125	0,7	16	76	35	136	—	Doleriet	1976
	72 (a)	34	4	165	1,0	5	40	24	284	*4120	Doleriet	1970
	72 (b)	27	2	151	0,7	0	46	13	252	—	Doleriet	1947
	73	25	1	140	0,8	5	25	22	200	—	Doleriet	1976
	74	26	1	131	0,8	3	24	45	160	—	Doleriet	1976

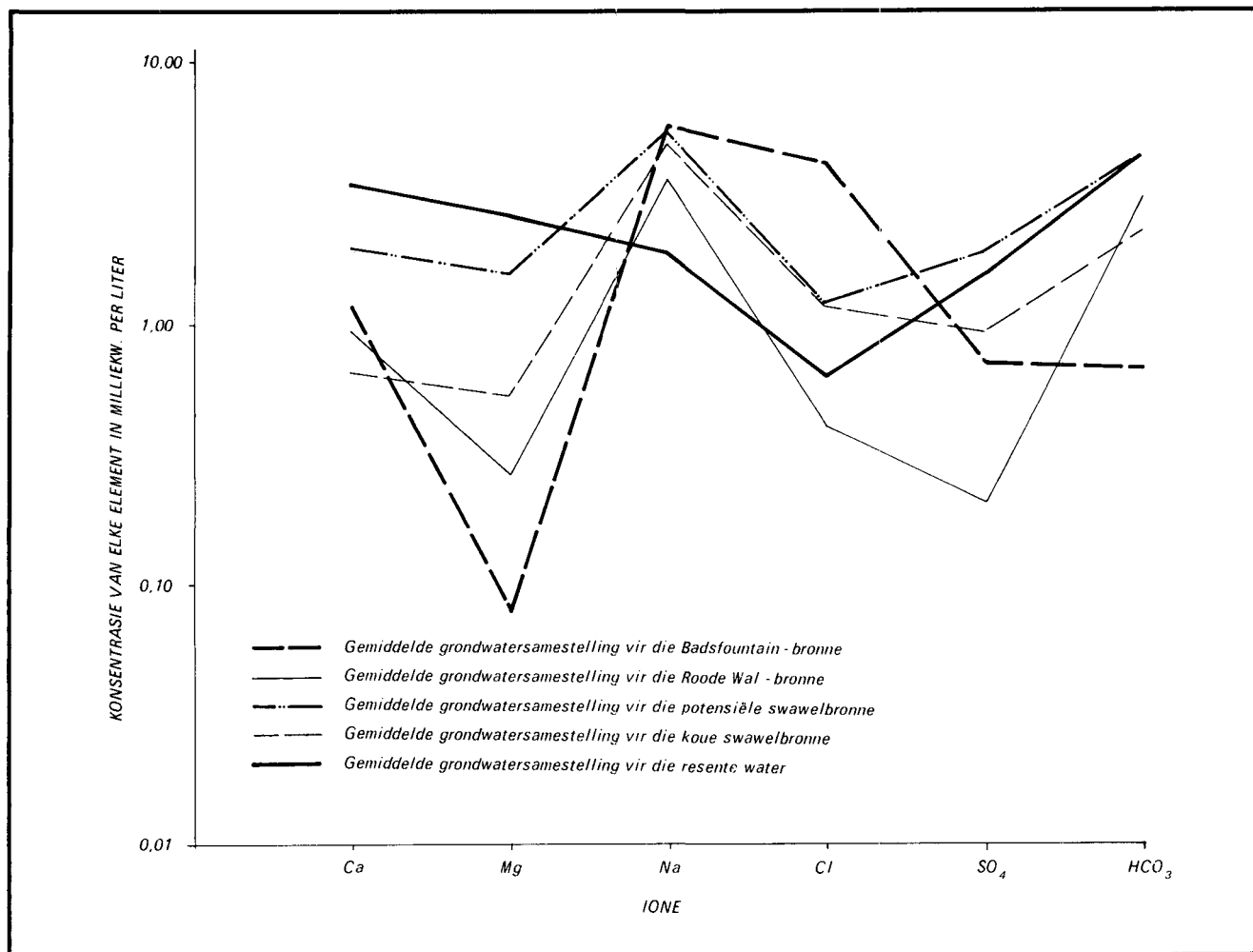
* ^{14}C - metode van ouderdomsbepaling (Bredenkamp 1971)

**Tritiummetode van ouderdomsbepaling (Bredenkamp 1971)

Die warm, swawelwaterstofriekende water vanuit sekere boorgate langs dolerietgange op die plaas Badsfontain is natrium- en chloriedryk en kom gevolglik in die regterkantste gedeelte van die diamantvierhoek voor. Hierdie aangestipte posisie is volgens die vorige klassifikasie verteenwoordigend van ou grondwater. Die hoë temperatuur van die water (30°C), dui daarop dat dit ook verteenwoordigend is van diep sirkulerende grondwater. Dit word ook gekenmerk deur lae konsentrasies kalsium, magnesium en nitraat, maar hoë konsentrasies natrium en chloried (Tabel I en Fig. 2). Ioonuitruiling het dus ongetwyfeld ook hier 'n belangrike rol gespeel.

Figuur 3
Lokalisiteitskaart van sommige chloried- en bikarbonaatryke grondwaters in die omgewing van Venterstad.





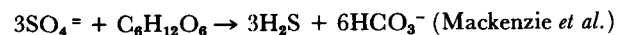
Figuur 4
Schoellergrafiek van die verskillende klasse grondwater in die Venterstadomgewing.

Bespreking van die Schoellervoorstelling

In Fig. 4 kan gesien word dat daar 'n definitiewe verskil in chemiese samestelling bestaan tussen die grondwater wat volgens die Piperdiagram as resent geklassifiseer is en dié van die res van die grondwater in die gebied. Aangesien daar nogtans anomalieë in die chemiese samestelling van spesifieke grondwaters voorkom, moet die verskillende grafieke individueel bespreek word.

Die konsentrasies van die verskillende ione in resente grondwater is soos by dié soort water verwag sou word. Dit bevat hoë konsentrasies Ca^{++} en HCO_3^- , maar lae konsentrasies Na^+ en Cl^- . In teenstelling hiermee is daar die warm swaelwaterstofriekende water van Badsfountain wat min Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{SO}_4^{=}$ en HCO_3^- bevat. Hierdie spesifieke chemiese samestelling is, soos reeds gemeld, hoofsaaklik aan ionuitruiling toe te skryf. Indien die res van die grondwaters, naamlik die potensiële swaelbronne, die koue swaelbronne en die swaelwater van Roode Wal deur vermenging met eersgenoemde twee tipes grondwater sou ontstaan het, dan moet die grafiek vir

hierdie waters tussen dié van resente water en die Badsfountain-water aanstip. Alhoewel dit meestal die geval is, is dit veral die $\text{SO}_4^{=}$, die Cl^- en die HCO_3^- -konsentrasie van die Roode Wal-water wat anomaal vertoon. Die besondere lae $\text{SO}_4^{=}$ -inhoud van die water kan deur bakteriële werking in die bron verklaar word. Die inwerking van die bakterië, waarskynlik *Sporivibrio desulfuricas* (Bell, 1976), reduseer die $\text{SO}_4^{=}$ as volg:



Wat verder van belang is, is dat nie slegs die lae $\text{SO}_4^{=}$ -konsentrasie nie, maar ook die hoë HCO_3^- -konsentrasie en die swaelwaterstofreuk van hierdie water deur dié proses verklaar kan word. Die lae $\text{SO}_4^{=}$ - en die hoë HCO_3^- -konsentrasie van die koue swaelbronne en dié van die potensiële swaelbronne, word ook hiervolgens verklaar.

Die Schoellergrafiek onderskryf dus die oorspronklike afleiding wat met behulp van die Piperdiagram gemaak is dat slegs twee verskillende tipes grondwater in die gebied voorkom.

Gevolgtrekkings

Twee generasies grondwater, naamlik resente grondwater en ouer sirkulerende grondwater, kom in die Karoogesteentes in die Venterstadomgewing voor. Die resente grondwater word lokaal deur spruite en damme aangevul en die veilige lewering van hierdie boorgate sal gevolglik in droogtetye uiters laag wees. Gedurende langdurige droogtes sal hierdie bron van grondwater, mits dit intensief gepomp word, gou uitgeput raak.

In teenstelling met die resente grondwater, dui die hoër temperatuur van die ouer sirkulerende grondwater daarop dat dit sy oorsprong vanaf 'n dieperliggende bron moet hê. Die verbindingsweë tussen hierdie bron en die oppervlak is ongetwyfeld sommige van die dolerietgange wat deur die Karoosedimente sny. Die lewering van boorgate in hierdie akwifere is gewoonlik 'n faktor 10 hoër as dié van die resente akwifere.

Menings oor die oorsprong van die grondwater wat vir die oorstrooming van die Oranje-Visriviertonnel verantwoordelik was (Olivier, 1972), was tot dusver nog altyd spekulatief. Volgens Vegter (1970), was hierdie grondwater hoofsaaklik vanuit die oorliggende alluvium afkomstig. Volgens Olivier (1972) was die grondwater waarskynlik met 'n swak sone in die aardkors geassosieer. Deur die chemie van die grondwater wat in die tunnel gevind is te vergelyk met die chemie van die grondwater wat in die huidige regionale ondersoek gevind is, kan afgelei word dat die grondwater in die tunnel en die ouer sirkulerende grondwater, wat in die ondersoekgebied gevind is, van dieselfde oorsprong is. Volgens Bredenkamp (1971), en Olivier (1972) was die bergingskoëffisiënt van die bron in die tunnel baie groot. Aangesien die verspreiding van hierdie grondwater vanuit die chemiese analises bekend is, is dit aan te beveel dat daar in die toekoms voorkeur aan die ontwikkeling van hierdie standhoudende bron gegee moet word.

Kwaliteitsgewys is hierdie grondwater egter nie altyd geskik vir alle doeleindes nie. Dit het 'n natriumadsorpsieverhouding van 5 tot 10, wat dit ongeskik vir die besproeiing van sekere gewasse maak. Op die oomblik word hierdie grondwater egter op 'n groot skaal vir die besproeiing van uie gebruik.

Hydrochemiese tegnieke kan dus met groot welslae in die Suid-Vrystaat toegepas word om:

- (i) 'n onderskeid tussen die twee tipes grondwater te tref
- (ii) die verspreiding van hierdie waters vas te stel
- (iii) vermenging tussen twee bronne aan te dui
- (iv) die ontwikkelingspotensiaal van 'n gebied vas te stel

Bedankings

Hierdie navorsing vorm deel van 'n navorsingskontrak met die Waternavorsingskommissie. Die finansiële steun vanuit hierdie bron word met dank erken. Graag word mnr. T. Kleinhans vir die chemiese analises en mnr. J.J. Mouton vir die teken van die figure bedank.

Literatuurverwysings

- BELL, M.W., (1976) The Geohydrology of the Clarens Sandstone, a Karoo Aquifer of the Northern Kalahari in the Bamangwato Tribal Territory of Botswana. *Unpubl. M.Sc. Thesis, Univ. O.F.S.*
- BREDENKAMP, D.B., (1971) An investigation of the origin of groundwater and nature of the aquifer system in the vicinity of Shaft No. 2 of the Orange-Fish Tunnel. *Unpubl. Rep., Hydro. Research Div. Dept. of Water Affairs.*
- CHEBOTAREV, I.I., (1955) Metamorphism of natural waters in the crust of weathering, parts 1 - 3. *Geochim. et Cosmochim. Acta. 8.*
- JOHNSON, J.H., (1974) Hydrochemistry in Groundwater Exploration. *Groundwater Symp., Bulawayo.*
- MACKENZIE, F.T. en GARRELS, R.M., (1966) Chemical Mass Balance between Rivers and Oceans. *Amer. J. Sci. 264* 507-525.
- OLIVIER, H.J., (1972) Geohydrological investigation of the flooding at Shaft 2, Orange-Fish Tunnel, North-Eastern Cape Province. *Trans. geol. Soc. S. Afr. 75* 197-224.
- PIPER, A., (1944) A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis. *Amer. geophys. Un. 6* 914-923.
- SCHOELLER, H., (1959) Geochemistry of groundwater. In *Arid Zone Hydrology - Recent Developments. Unesco, United Nations, Place de Fontenoy, Paris 7e, France, 54-83.*
- VEGTER, J.R., (1970) Some remarks on the flooding at Shaft No. 2, Orange-Fish Tunnel. *Unpubl. Interim Rep., Geol. Surv. S. Afr.*

GUIDE TO AUTHORS

1. SPECIFICATIONS AND MECHANICAL DATA

The size of the journal is A4. Full page type area is 210 mm × 300 mm. Column width is 85 mm. Printing is Litho offset.

2. GENERAL

- 2.1 Papers will be accepted in English or Afrikaans.
- 2.2 Papers should deal with the following: scientific aspects of water; water resources development; industrial and municipal water and effluent management; environmental pollution control; hydrology and geohydrology; agricultural water science; limnology and the hydrological cycle.
- 2.3 Papers should be accompanied by an abstract. In preparing abstracts, authors should be brief but not at the expense of intelligibility.
- 2.4 Authors may recommend that some sections of their papers should be printed in smaller type, or in an appendix if they deal with technicalities which are chiefly within their own discipline. Such an arrangement helps the general reader make use of the paper.
- 2.5 "State of the Art" review articles and reports on meetings and conferences will normally be prepared by invitation, but authors may submit such papers or suggestions for consideration to the Editor.
- 2.6 The submission of a paper will be taken to indicate that it has not, and will not, without the consent of the Editor, be submitted for publication elsewhere.
- 2.7 Fifty free reprints of each paper will be provided. Any additional copies of reprints must be ordered with return of proofs and will be charged for. A reprint order form will accompany proofs.
- 2.8 Manuscripts should be submitted to:
The Editor,
WATER SA,
P.O. Box 824,
PRETORIA, 0001.

3. SCRIPT REQUIREMENTS

- 3.1 Authors are asked to submit an original typed copy in *double spacing* with one carbon copy or photocopy to avoid delay in refereeing.
- 3.2 Photographs should be on glossy and not matt paper, enlarged sufficiently to permit clear reproduction in half-tone. These must accompany the manuscript, preferably mounted on separate sheets. If words or numbers appear on photographs two copies are requested, one clearly printed and the other without inscription. If line drawings are already well drawn, it may be possible to reproduce them direct from the original, but in this case it is essential that the original drawings or good photo-prints should be provided. All illustrations should be provided with descriptive legends (captions). The legends should be typed on a separate sheet. Please pack photographs carefully, with cardboard backing, to avoid damage in the post.
- 3.3 References to published literature should be quoted in the text as follows: SMITH (1950) – the date of publication, in parentheses, following the author's name. All references should also be listed together at the end of each paper and not given as footnotes. They should be arranged in alphabetical order (first author's surname) with the name of the periodical abbreviated in the style of the *World List of Scientific Periodicals* (4th edn, Butterworths, London, 1963-1965, 3 vols) and appear as follows:

CURTIS E.J.C. and HARRINGTON D.W. (1971)
The occurrence of sewage fungus in rivers in the
United Kingdom. *Water Research* Vol. 5, no. 6,
281-290.

THRING M.W. (1975) *Air Pollution*, p. 132 Butterworths, London.

It is particularly requested that (a) authors' initials (b) title of the paper and (c) the volume or part numbers and page numbers both beginning and end are given in every case.

HOW TO SUBSCRIBE

If you would like to receive a copy of "Water SA" kindly write direct to The Editor, "Water SA", P.O. Box 824, PRETORIA, 0001. Subscription is free.