

# Die outomatiese bepaling van silika in oppervlak- en grondwater

JF van Staden<sup>1\*</sup>, JJ Pauer<sup>2</sup>, HR van Vliet<sup>2</sup> en PL Kempster<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departement Chemie, Universiteit van Pretoria, Pretoria 0002, Suid-Afrika

<sup>2</sup>Hidrologiese Navorsingsinstituut, Departement van Waterwese, Privaatsak X313, Pretoria 0001, Suid-Afrika

## Abstract

An automated flow-injection procedure for the determination of silica in surface and ground water was developed. The reduced heteropoly molybdenum blue formed complex from molybdosilicic acid was used as detection product at 660 nm. Ascorbic acid was used as reductant and oxalic acid was used to decompose the formed molybdophosphoric acid complex eliminating the interference of phosphate. Interferences of a number of ions were evaluated and the results given. The proposed method was evaluated in the range 0,07 to 20 mg/dm<sup>3</sup> Si. At a sample frequency of 90 samples per hour a good precision and accuracy were achieved and the carry-over between samples was less than 1%.

## Inleiding

Silikon kom hoofsaaklik voor in water in opgeloste vorm as materiaal silikon(IV)oksied (SiO<sub>2</sub>) of as partikulêre silikate (biotiese anorganiese en organiese deeltjies). Elementele silikon word oor die algemeen nie gevind nie, terwyl die onreaktiewe polimeriese silika redelik maklik dimeriseer (Wetzel, 1983). In oppervlakwater kom silika normaalweg in 'n konsentrasiegebied van 5 tot 15 mg/dm<sup>3</sup> voor (Van Vliet en Nell, 1986), terwyl dit in grondwater normaalweg in die orde van 20 mg/dm<sup>3</sup> teenwoordig is (Bouwer, 1978). Hierdie waardes kan egter aansienlik hoër wees, byvoorbeeld in water wat in kontak met vulkaniese klip is. Die silikakonsentrasie van grondwater is 'n belangrike aanduiding van mineraalverwering en die vorming van kleimineraal (Yokoyama *et al.*, 1982). Kennis van die silikakonsentrasie in oppervlakwater, wat as bron vir stoomketelwater gebruik word, is baie belangrik aangesien silika op die stoomketelemente gedeponeer kan word en te veel gedeponeerde silika die werkverrigting kan beïnvloed.

Daar bestaan tans verskeie metodes om silika in water te bepaal. Dit sluit onder andere titrasie (Williams, 1979), gravimetrie (Standard Methods, 1985), voltammetrie (Fogg en Bsebsu, 1981), kolorimetrie (Kurodu *et al.*, 1985) en spektrofluorimetrie (Linares *et al.*, 1985) in.

Die kolorimetriese bepaling van silika is gebaseer op die reaksie tussen silika en molibdaat in 'n suurmedium om 'n heteropolisuur te vorm. Die twee mees algemeen gebruikte kolorimetriese metodes wat beskikbaar is vir silikabepaling is die geel heteropolisuur-prosedure vir relatief hoë silikakonsentrasies en die blou gereduseerde vorm daarvan wat in die bepaling van monsters met lae silikawaardes gebruik word. Die gevormde geel heteropolisuur-produk word gewoonlik by 'n golflengte van 400 nm gemeet, terwyl die golflengte waarby maksimum absorpsie vir die blou gereduseerde vorm plaasvind by 800 nm voorkom. Die piekmaksima van die gereduseerde heteropoliblou-produk kan egter aansienlik verskil afhangende van die reduseermiddel en die reaksiekondisies. Die produk is al by 'n verskeidenheid golflengtes bepaal (Duce en Yamamura, 1970; Truesdale *et al.*, 1979). Verskeie reduseermiddels is voorgestel om die heteropolisuur te reduseer waaronder 1-amino-2-naftol-4-sulfoonsuur en waterstofsulfied (Duce en Yamamura, 1970), tin (II) chloried (Thomsen *et al.*, 1983) en askorbiensuur (Borggaard en Jörgensen, 1985).

Vloei-inspuitanalise (VIA) is 'n geskikte geoutomatiseerde

metode om silika te bepaal aangesien die reaksies met hierdie tegniek nie volledig hoof plaas te vind nie (Borggaard en Jörgensen, 1985). Dit hou ook die voordeel in dat die kritiese kondisies soos reaktietyd, reagenskonsentrasies en temperatuur baie noukeurig gekontroleer kan word. VIA-metodes is reeds ontwikkel om silika te bepaal in oppervlakwater (Yokoyama *et al.*, 1982), seewater (Thomsen *et al.*, 1983) en grondwater (Borggaard en Jörgensen, 1985), maar relatief lae monsterfrekwensies met 'n maksimum van hoogstens 70 monsters per uur is deur bogenoemde outeurs bereik. Dit kan toegeskryf word aan die lang spiraallengtes wat nodig was vir voldoende ontwikkeling van die gekleurde produk, wat 'n beperkende faktor in die metodes was. Vir optimum werkverrigting in roetine analitiese laboratoriums, soos die hidrologiese navorsingsinstituut, met die groot aantal monsters wat per dag hanteer word, is 'n hoër frekwensie egter noodsaaklik en met die ontwikkeling van die voorgestelde metode is daarin geslaag om 'n monsterfrekwensie van 90 monsters per uur te handhaaf.

## Eksperimenteel

'n Diagrammatiese voorstelling van die analitiese vloeisistiem word in Fig. 1 aangedui.

## Apparaat

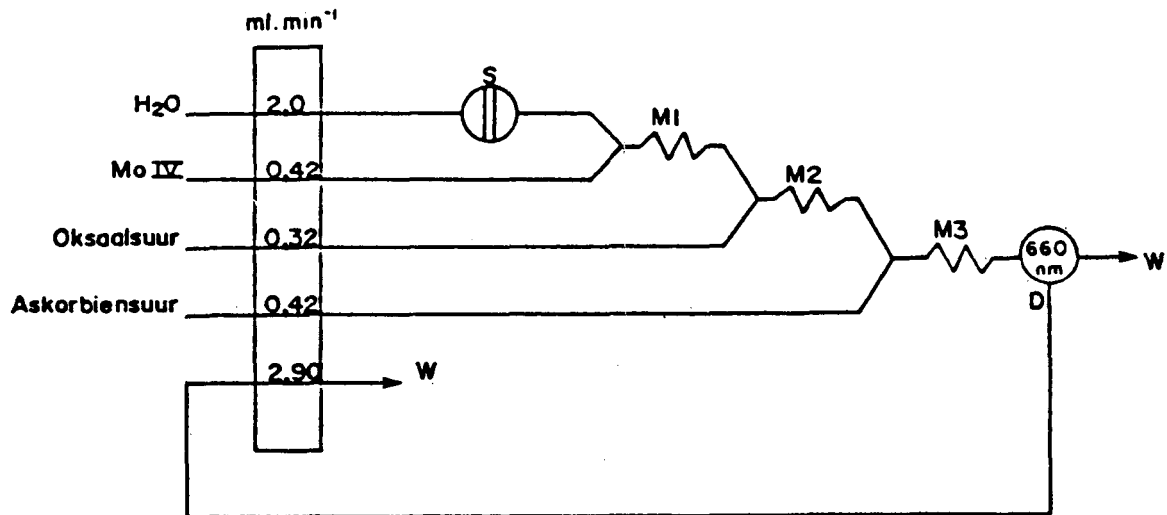
'n Technicon AutoAnalyzer monsternemer IV, waarvan die skakelmeganisme gewysig is, is gebruik om monsters aan 'n Technicon AutoAnalyzer model II peristaltiese pomp met standaard pompbuis te lewer. 'n Vloeistofchromatografieklep (Carle model 2014) met twee varieerbare monsterlusse is gebruik om monsters in die draerstream te spuit. Die klep is deur 'n Carle klep-motoreenheid (model 4201) aangedryf wat deur 'n plaaslik vervaardigde tydmeganisme beheer is. Die tydmeganisme is so gekonstrueer dat dit beide die klep en monsternemer op die toepaslike tydintervalle kan skakel. 'n Technicon dubbelkanaalkolorimeter met 'n 50 mm ontborrelende tipe vloeisel (binnedeursnee = 1,5 mm), wat direk aan 'n Technicon dubbelpenregistreerder gekoppel is, is as detektor gebruik.

## Reagense

Daar is deurgaans AR-reagense en gedeïoniseerde gedistilleerde water vir die bereiding van die reagense gebruik.

\*To whom all correspondence should be addressed.

Received 18 December 1989; accepted in revised form 13 March 1990



Figuur 1  
 Skematiese voorstelling van die analitiese vloeisisteam. S = mon-  
 sterklep; D = ontborrelaar; M1, en M3 = vermengingspirale met  
 M1 = M2 = 500 mm en M3 = 2 000 mm; W = afval.

### Silikastandaardoplossings

Gebruik 'n kommersiële silikakonsentraat en berei 'n 1 000 mg/dm<sup>3</sup> Si-stamoplossing. Berei die volgende silikastandaard werkoplossings vanaf die stamoplossing: 2, 4, 5, 10, 20, 30 en 40 mg/dm<sup>3</sup> Si. Beide die stam- en standaardoplossings moet in polietileenhouers gestoor word.

### Molibdaatoplossing

Los 8 g ammoniumheptamolibdaat, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O op in 0,63 mol/dm<sup>3</sup> swaelsuur (35 cm<sup>3</sup> gekonsentreerde swaelsuur in 1 dm<sup>3</sup> water) en voeg 5 cm<sup>3</sup> natriumlaurielsulfaatoplossing daarby (Die natriumlauriel-sulfaatoplossing word berei deur 15 g natriumlaurielsulfaat in 85 cm<sup>3</sup> water op te los).

### Askorbiensuur

Voeg 4 cm<sup>3</sup> aseton by 80 cm<sup>3</sup> water en los 1 g askorbiensuur daarin op. Maak die oplossing op tot 100 cm<sup>3</sup> met water.

### Oksaalsuur

Los 1 g oksaalsuur op in 100 cm<sup>3</sup> water.

## Metode-optimisering

### Sensitiwiteit

Ten einde die voorgestelde metode teen optimum sensitiwiteit te bedryf, is die invloed van reagenskonsentrasies, lusvolume en spiraallengtes ondersoek.

### Molibdaat- en suurkonsentrasies van die molibdeenoplossing

Die konsentrasie van die molibdaat (ammoniumheptamolibdaat) is in 'n gebied tussen 60 en 100 g/dm<sup>3</sup> gevarieer, terwyl die sensitiwiteit telkens bepaal is. Tydens die optimisering is die konsentrasie van die swaelsuur konstant gehou. Tabel 1 toon die resultate aan wat verkry is. Aanvanklike resultate het aangetoon dat 'n op-

timum sensitiwiteit verkry is by 'n molibdaatkonsentrasie van tussen 80 en 90 g/dm<sup>3</sup>.

Die invloed van die swaelsuurkonsentrasie van die oplossing op die sensitiwiteit is by die optimum molibdaatkonsentrasie ondersoek. Tabelle 2 en 3 toon die invloed van die swaelsuurkonsentrasie by molibdaatkonsentrasies van 80 g/dm<sup>3</sup> (Tabel 2) en 90 g/dm<sup>3</sup> (Tabel 3) aan. Daar is egter gevind dat 'n afname in swaelsuurkonsentrasie in beide bogenoemde molibdaatkonsentrasies lei tot 'n toename in sensitiwiteit van die metode. Die beste sensitiwiteit was by 'n molibdaatkonsentrasie van 80 g/dm<sup>3</sup> en swaelsuurkonsentrasie van 0,54 mol/dm<sup>3</sup>. 'n Ligte neerslag het egter in die vloeisel gevorm. 'n Verhoging van die swaelsuurkonsentrasie na 0,63 mol/dm<sup>3</sup> het egter hierdie probleem oorbrug en die konsentrasie is verder gebruik.

### Askorbiensuurkonsentrasie

Die invloed van die askorbiensuurkonsentrasie op die sensitiwiteit is bepaal deur die askorbiensuurkonsentrasie te varieer in 'n gebied tussen 5 en 30 g/dm<sup>3</sup>. Die resultate word in Tabel 4 aangetoon. Daar is gevind dat die beste sensitiwiteit by 'n askorbiensuurkonsentrasie van 10 g/dm<sup>3</sup> verkry word.

TABEL 1  
 DIE INVLOED VAN DIE MOLIBDAATKONSENTRASIE  
 OP DIE SENSITIWITEIT VAN DIE HETEROPOLIBLOU-  
 METODE

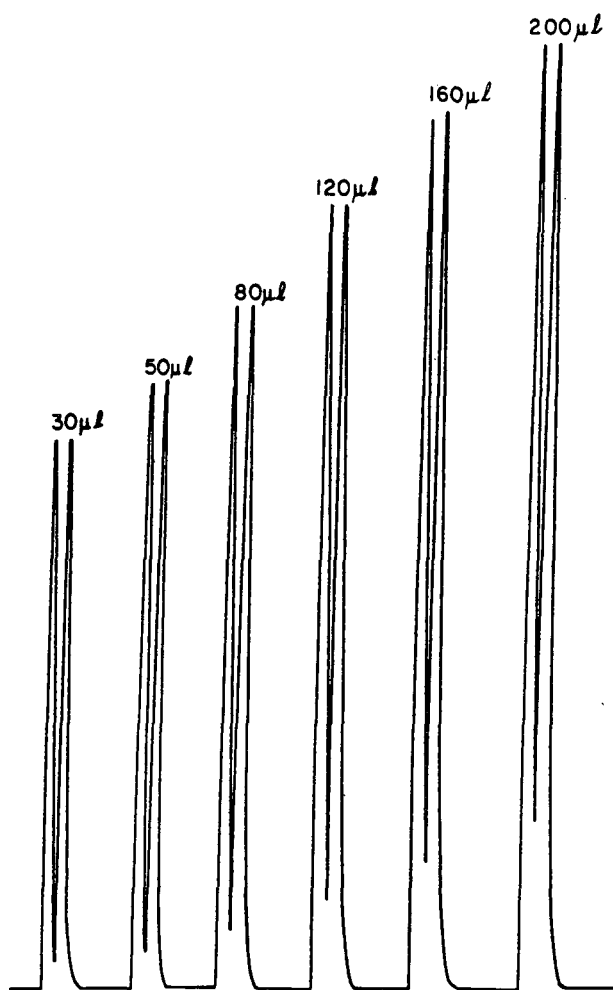
Ammoniumheptamolibdaat {(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O} (g/dm <sup>3</sup> )	Swaelsuurkon- sentrasie mol/dm <sup>3</sup>	Relatiewe piek- hoogte
60	0,90	6
70	0,90	16
80	0,90	24
90	0,90	24
100	0,90	18

### Asetoonkonsentrasie

Die invloed van die asetoonkonsentrasie op die sensitiviteit van die metode is vervolgens ondersoek. Asetoonoplossings met volume-fraksies van 0,01 tot 0,05 asetoon is berei en die sensitiviteit is telkens bepaal. Daar was geen betekenisvolle toename in sensitiviteit met 'n toename van die volume-fraksie van die asetoon nie.

### Inloed van lusvolume

Fig. 2 dui die invloed van lusvolume op die sensitiviteit en die interaksie tussen opeenvolgende pieke aan. Soos in die algemeen by VIA-metodes verwag word, veroorsaak 'n toename in die lusvolume 'n verhoging in die sensitiviteit van die metode. Dit het egter ook die nadeel dat die oordrag tussen opeenvolgende monsters terselfdertyd verhoog en dat die monsterfrekwensie so-doende verlaag word. Die invloed van lusvolume op die sensitiviteit in die gebied 30 tot 200  $\mu\text{l}$  is bepaal.



Figuur 2

Strookkaartregistreerderafdruk wat die invloed van lusvolume op die sensitiviteit en die interaksie tussen opeenvolgende pieke aandui.

**TABEL 2**  
DIE INVLOED VAN DIE SWAELSUURKONSENTRASIE OP DIE SENSITIVITEIT VAN DIE HETEROPOLIBLOU-METODE BY 'N MOLIBDAATKONSENTRASIE VAN 80  $\text{g}/\text{dm}^3$ .

Swaelsuur ( $\text{mol}/\text{dm}^3$ )	Relatiewe piekhoogte
0,99	30
0,90	34
0,81	39
0,72	39
0,63	41
0,54	43 (neerslag)

**TABEL 3**  
DIE INVLOED VAN SWAELSUURKONSENTRASIE OP DIE SENSITIVITEIT VAN DIE HETEROPOLIBLOU-METODE BY 'N MOLIBDAATKONSENTRASIE VAN 90  $\text{g}/\text{dm}^3$ .

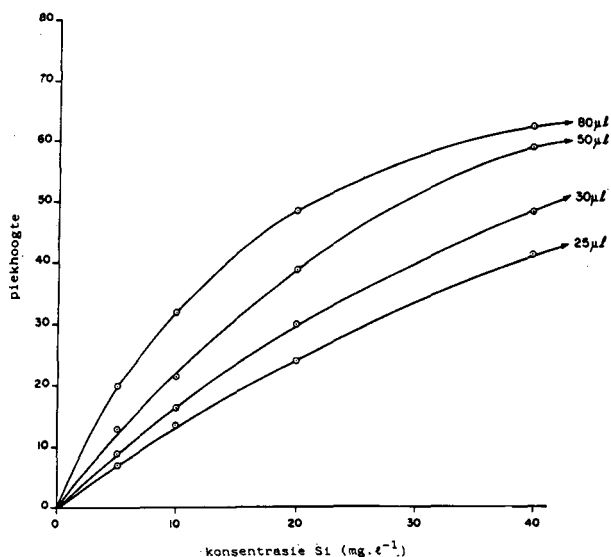
Swaelsuur ( $\text{mol}/\text{dm}^3$ )	Relatiewe piekhoogte
0,99	30
0,90	29
0,81	29
0,72	29
0,63	34
0,54	onoplosbaar

**TABEL 4**  
DIE INVLOED VAN ASKORBIENSUURKONSENTRASIE OP DIE SENSITIVITEIT VAN DIE HETEROPOLIBLOU-METODE

Askorbiensuur ( $\text{g}/\text{dm}^3$ )	Relatiewe piekhoogte
5	58
10	61
20	60
30	57

**TABEL 5**  
DIE INVLOED VAN SPIRAALLENTE ( $M_3$ ) OP DIE SENSITIVITEIT VAN DIE HETEROPOLIBLOU-METODE

Spiraallengte (mm)	Relatiewe piekhoogte
500	46
1 000	60
1 500	72
2 000	77
2 500	86



*Figuur 3*  
Die invloed van lusvolume op die lineariteit en sensitiviteit van die heteropolibloometode.

### **Inloed van spiraallengtes**

Beide chemiese reaksies wat tydens die metode plaasvind, verloop stadig. Die askorbiensuurreduksiereaksie is egter die stadigste en is dus die tempobepalende reaksie. Die invloed van spiraallengte ( $M_3$  in Fig. 1) op die sensitiviteit van die metode is gevolglik ondersoek. Die resultate word in Tabel 5 aangetoon. Die beste sensitiviteit is by 'n spiraallengte van 2 500 mm verkry. 'n Toename in spiraallengte veroorsaak egter 'n groter oordrag tussen opeenvolgende monsters, terwyl dit ook 'n verhoging in die druk van die vloeisisteam tot gevolg het. Spiraallengtes langer as 2 000 mm het onaanvaarbare hoë druk in die vloeisisteam tot gevolg en daarom is 'n spiraallengte van 2 000 mm vir verdere werk gebruik.

### **Lineariteit**

Die lineariteit van die kalibrasiekromme is aanvanklik by die optimum reaksiekondisies ondersoek as 'n funksie van molibdeen-, swaelsuur-, en askorbiensuurkonsentrasie, lusvolume, spiraallengtes en temperatuur en daar is gevind dat die kalibrasiekromme nie lineêr is onder hierdie optimumtoestande nie. Daar is gevind dat die lineariteit van die kalibrasiekromme die meeste deur 'n verandering in die lusvolume beïnvloed word. Die invloed van lusvolume op die lineariteit van die kalibrasiekromme word in Fig. 3 aangetoon. 'n Afname in die lusvolume van 80  $\mu\text{l}$  na 25  $\mu\text{l}$  het 'n betekenisvolle verbetering in die lineariteit tot gevolg gehad. Hierdie afname in lusvolume het egter ook veroorsaak dat die sensitiviteit van die metode verlore gaan (Fig. 3). Aangesien die lusvolume nie slegs die lineariteit, maar ook beide die sensitiviteit en monsteroordrag van die metode beïnvloed, was dit moeilik om 'n optimum lusvolume te bepaal. 'n Aanvaarbare kompromie tussen sensitiviteit, lineariteit en monsteroordrag is by 'n lusvolume van 30  $\mu\text{l}$  gevind.

### **Aanbevole metode**

Die veranderlikes soos vasgestel vanaf die voorafgaande ondersoek word in Tabel 6 aangetoon. Die vloediagram van die voorgestelde analitiese vloeisisteam word in Fig. 1 uiteengesit. Die konsen-

trasies van die reagense wat aanbeveel word, word in die eksperimentele gedeelte by die voorbereiding van die reagense aangedui.

### **Metode-evaluering**

#### **Akkuraatheid**

Die akkuraatheid van die metode is ondersoek deur die resultate eerstens met 'n gesegmenteerde metode te vergelyk en tweedens deur 'n steursplitstegniek. Daar is 'n goeie korrelasie tussen die resultate van die voorgestelde VIA-metode en die gesegmenteerde metode soos blyk uit Tabel 7. Die herwinning is bepaal deur die konsentrasie van 'n watermonster te bepaal, 'n bekende hoeveelheid silika by te voeg en die watermonster te heranaliseer. Die herwinnings van 'n aantal monsters word in Tabel 8 aangedui. 'n Gemiddelde persentasie herwinning van 98,6% is verkry.

#### **Herhaalbaarheid**

Die herhaalbaarheid van die metode is bepaal deur 'n aantal silika-standaardoplossings soos aangedui in Tabel 9, elk 15 keer met behulp van die aanbevole metode te analiseer. Oor die hele konsentrasiegebied het die metode 'n bevredigende herhaalbaarheid gelewer. Fig. 4 is 'n strookkaartregistreerderafdruk wat drie herhalings elk van die standaardoplossings in die gebied 2 tot 20  $\text{mg}/\text{dm}^3$  Si illustreer.

#### **Deteksielimi**

Die deteksielimi

#### **Oordrag**

Die oordrag tussen opeenvolgende monsters is ondersoek deur 'n monster met 'n hoë konsentrasie (20  $\text{mg}/\text{dm}^3$  Si) gevolg deur 'n

**TABEL 6**  
**DIE VLOEISISTEEM-VERANDERLIKES VAN DIE HETEROPOLIBLOUMETODE SOOS VASGESTEL DEUR DIE VOORAFGAANDE ONDERSOEK**

Veranderlike	Waarde
Lusvolume	30 $\mu\text{l}$
Spiraal M <sub>1</sub>	500 mm
Spiraal M <sub>2</sub>	500 mm
Spiraal M <sub>3</sub>	2 000 mm
Temperatuur	Kamertemperatuur (22°C)
Buisdeursnee	0,58 mm
Monsterfrequentie	90 monsters per uur

**TABEL 7**  
**VERGELYKING VAN SILIKARESULTATE VAN 'N AANTAL OPPERVLAKE- EN GRONDWATERMONSTERS WAT DEUR MIDDEL VAN 'N GESEGMENTEERDE METODE EN DIE VOORGESTELDE VIA-METODE BEPAAL IS**

VIA-metode (mg/dm <sup>3</sup> )	Gesegmenteerde metode (mg/dm <sup>3</sup> )
2,26	2,23
3,02	2,65
0,63	0,80
0,70	0,70
10,19	10,80
0,30	0,33
4,62	4,60
4,89	4,90
7,73	7,65
5,35	5,40
9,35	9,62
16,64	16,90

monster met 'n lae konsentrasie (2 mg/dm<sup>3</sup> Si) te analiseer. By 'n monsterfrequentie van 90 monsters per uur is die oordrag kleiner as 1%.

#### Steurings

Aangesien fosfaat dieselfde molibdeenkompleks met molibdeen vorm, is dit die vernaamste ioon wat by hierdie metode steur. Deur oksaalsuur tydens die reaksie by te voeg, word die molibdofosfor-kompleks ontbind en elimineer dit grootliks die fosfaatsteuring (Chalmers en Sinclair, 1966). Die invloed van 'n verskeidenheid ione wat moontlik by die metode kan steur, is ondersoek. Tabel 10 dui die konsentrasie van die ione waarby geen steurings ondervind word nie, aan.

#### Bespreking

Die aanbevole metode is in 'n gebied tussen 0,07 en 20 mg/dm<sup>3</sup> Si geëvalueer. 'n Goeie herhaalbaarheid (kleiner as 2%) en bevredigende akkuraatheid is verkry, terwyl die detekselimiet 0,07 mg/dm<sup>3</sup> Si is. Die kalibrasiekromme het effens van lineariteit afgewyk. Hierdie gebrek aan lineariteit is ook deur ander navorsers gevind (Grasshoff, 1976; Thomsen *et al.*, 1983).

'n Aspek wat duidelik uit die literatuur na vore gekom het, was die relatief lae monsterfrequentie van die kolorimetrieuse VIA-metodes. Alhoewel monsterfrequenties van tussen 80 en 120 per

uur normaalweg met VIA-metodes geassosieer word, is die monsterfrequentie vir geautomatiseerde silikametodes tussen 60 en 70 per uur (Borggaard en Jörgensen, 1985; Yokoyama *et al.*, 1982). Die verklaring hiervoor is waarskynlik die lang spiraallengtes wat nodig is vir voldoende ontwikkeling van die gekleurde produk. Langer spiraallengtes verhoog die monsteroordrag wat 'n verlaaging in monsterfrequentie tot gevolg het. Met die ontwikkeling van hierdie metode is daarin geslaag om 'n monsterfrequentie van 90 monsters per uur te handhaaf.

Tydens die optimisering van die metode is daar nie gepoog om kondisies te skep om 'n sekere isomeer van die heteropolisuur te laat vorm nie (byvoorbeeld die  $\beta$ -isomeer wat vinniger as die  $\alpha$ -isomeer vorm). Die benadering was om die optimum sensitiviteit empiries te bepaal deur middel van die univariante optimaliseringsmetode.

**TABEL 8**  
**DIE SILIKAHERWINNINGS VAN 'N AANTAL MONSTERS WAT DEUR DIE HETEROPOLIBLOUMETODE BEPAAL IS**

Silikakonsentrasies (mg/dm <sup>3</sup> )		Herwinning (%)
Verwag	Verkry	
15,40	15,32	99,5
10,17	10,05	98,8
12,30	12,20	99,2
13,83	13,60	98,3
18,30	17,78	97,2

**TABEL 9**  
**DIE HERHAALBAARHEID VAN 15 HERHALINGS VAN DIE HETEROPOLIBLOUMETODE IN TERME VAN STANDAARDAFWYKING BY VIER SILIKAKONSENTRASIES**

Silikakonsentrasie (mg/dm <sup>3</sup> )	Standaard afwyking (%)
2,0	1,34
10,0	0,69
20,0	0,62
40,0	0,52

**TABEL 10**  
**DIE KONSENTRASIE VAN DIE IONE WAT GEEN BETERKENISVOLLE STEURINGS BY DIE SILIKABEPALING VEROORSAAK NIE**

Ioon	Konsentrasie (mg/dm <sup>3</sup> )
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	1
F <sup>-</sup>	5
Cl <sup>-</sup>	500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	240
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	10
Na <sup>+</sup>	400
K <sup>+</sup>	50
Ca <sup>2+</sup>	200
Mg <sup>2+</sup>	150

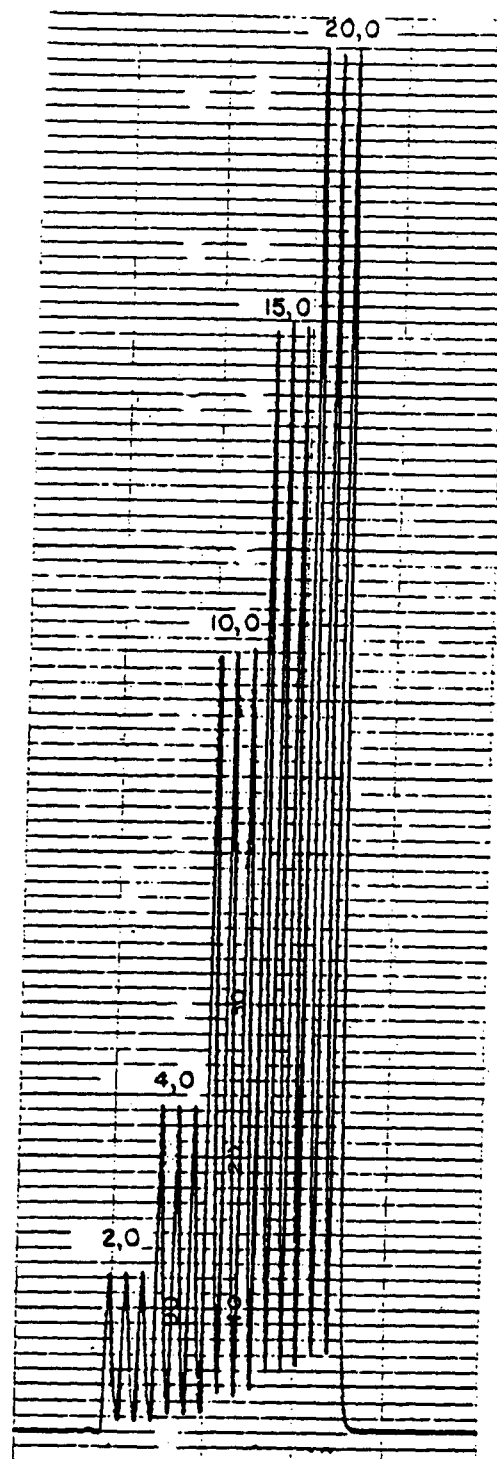
Hoewel 'n optimum temperatuur van 80 tot 90°C met hierdie metode aangeteken is (Borggaard en Jörgensen, 1985), is 'n geskikte sensitiviteit verkry sonder om die temperatuur van die reaksie te verhoog. Hoë temperature het die nadeel dat lugblasies kan vorm en die herhaalbaarheid kan benadeel terwyl dit die metode met bykomende apparaat kompliseer.

## Erkenning

Hierdie publikasie is 'n uittreksel uit die M.Sc.-verhandeling van J.J. Pauer aan die Universiteit van Pretoria. Die Departement van Waterwese word hiermee bedank vir die nodige toestemming dat mnr Pauer 'n toepaslike projek kon gebruik as deel van sy studie vir die M.Sc.-graad.

## Verwysings

- BORGGAARD, OK and JÖRGENSEN, SS (1985) Determination of silicon in soil extracts by flow injection analysis. *Analyst* **110** 177-180.
- BOUWER, H (1978) *Groundwater Hydrology*. McGraw-Hill Kogakusha Ltd., Johannesburg.
- CHALMERS, RA and SINCLAIR, AG (1966) Analytical applications of  $\beta$ -heteropoly acids. Part II. The influence of complexing agents on selective formation. *Anal Chim Acta* **34** 412-418.
- DUCE, FA and YAMAMURA, SS (1970) Versatile spectrophotometric method for the determination of silicon. *Talanta* **17** 143-149.
- FOGG, AG and BSEBSU, NK (1981) Differential-pulse voltammetric determination of phosphate as molybdovanadophosphate at a glassy carbon electrode and assessment of eluents for the flow injection voltammetric determination of phosphate, silicate, arsenate and germanate. *Analyst* **106** 1288-1295.
- GRASSHOFF, K (1976) *Methods of Seawater Analysis*. Verlag Chemie, Weinheim.
- KURODA, R, IDA, I and KIMURA, H (1985) Spectrophotometric determination of silicon in silicates by flow injection analysis. *Talanta* **32** 353-357.
- LINARES, P, LUQUE de CASTRO, MD and VALCARCEL, M (1985) Spectrofluorimetric determination of silicon by flow injection analysis. *Anal Chim Acta* **177** 263-266.
- STANDARD METHODS (1985) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* deur American Public Health Association, American Water Works Association and Pollution Control Federation (16th edn.) Washington, DC.
- TRUESDALE, VW, SMITH, PJ and SMITH, CJ (1979) Kinetics of  $\alpha$ - and  $\beta$ -molybdosilicic acid formation. *Analyst* **104** 897-918.
- THOMSEN, J, JOHNSON, KS and PETTY, RL (1983) Determination of reactive silicate in sea water by flow injection analysis. *Anal Chem* **55** 2378-2382.
- VAN VLIET, HR and NELL, U (1986) Surface water quality of South Africa. The Vaal River catchment: 1979-1983. Technical Report TR131. Dept. of Water Affairs, Pretoria.
- WETZEL, RG (1983) *Limnology* (2nd edn.) Saunders College Publ., New York.
- WILLIAMS, WJ (1979) *Handbook of Anion Determination*. Butterworth en Co. (Publ.) London.
- YOKOYAMA, T, HIRAI, Y, YOZA, N, TARUTANI, T and OHASHI, S (1982) Spectrophotometric determination of silicic acid by flow injection analysis. *Bull Chem Soc Japan* **55** 3477-3481.



Figuur 4

Strookkaartregistreerderafdruk wat drie herhalings elk van die standaardoplossings in die gebied 2 tot 20 mg/dm<sup>3</sup> Si illustreer.

# GUIDE TO AUTHORS

## AIMS AND SCOPE

This journal publishes refereed, original work in all branches of water science, technology and engineering. This includes water resources development; the hydrological cycle; surface hydrology; geohydrology and hydrometeorology; limnology; mineralisation; treatment and management of municipal and industrial water and wastewater; treatment and disposal of sewage sludge; environmental pollution control; water quality and treatment; aquaculture; agricultural water science; etc.

Contributions may take the form of a paper, a critical review or a short communication. A **paper** is a comprehensive contribution to the subject, including introduction, experimental information and discussion of results. A **review** may be prepared by invitation or authors may submit it for consideration to the Editor. A **review** is an authoritative, critical account of recent and current research in a specific field to which the author has made notable contributions. A **short communication** is a concise account of new and significant findings.

## GENERAL

### Submission of manuscripts

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. Manuscripts should be submitted to: **The Editor, WATER SA, PO Box 824, Pretoria, 0001, South Africa.**

### Reprints

One hundred free reprints of each paper will be provided. Any additional copies or reprints must be ordered from the printer (address available on request).

### Language

Papers will be accepted in English or Afrikaans. Papers written in Afrikaans should carry an extended English summary to facilitate information retrieval by international abstracting agencies.

### Abstracts

Papers should be accompanied by an abstract. Abstracts have become increasingly important with the growth of electronic data storage. In preparing abstracts, authors should give brief, factual information about the objectives, methods, results and conclusions of the work. Unsubstantiated viewpoints should not be included.

### Refereeing

Manuscripts will be submitted to and assessed by referees. Authors bear sole responsibility for the factual accuracy of their publications.

### Correspondence

State the name and address of the author to whom correspondence should be addressed on the title page.

## SCRIPT REQUIREMENTS

### Lay-out of manuscripts

An original typed script in double spacing together with three copies should be submitted. Words normally italicised should be typed in italics or underlined. The **title** should be concise and followed by authors' names and complete addresses. A paper may be organised under main headings such as **Introduction, Experimental, Results, Discussion (or Results and Discussion), Conclusions, Acknowledgements and References.**

### Contents of manuscripts

The International System of Units (SI) applies. Technical and familiar abbreviations may be used, but must be defined if any doubt exists.

### Tables

Tables are numbered in arabic numerals (Table 1) and should bear a short but adequate descriptive caption. Their appropriate position in the text should be indicated.

### Illustrations and line drawings

One set of original figures and two sets of copies should accompany each submission. Photographs should be on glossy paper (half-tone illustrations should be kept to a minimum) and enlarged sufficiently to permit clear reproduction in half-tone. All illustrations, line-drawings and photographs must be fully identified on the back, numbered consecutively and be provided with descriptive captions typed on a separate sheet. Authors are requested to use proper drawing equipment for uniform lines and lettering of a size which will be clearly legible after reduction. Freehand or typewritten lettering and lines are not acceptable. The originals should be packed carefully, with cardboard backing, to avoid damage in transit.

### References

Authors are responsible for the accuracy of references. References to published literature should be quoted in the text as follows: Smith (1982) or (Smith, 1982). Where more than three authors are involved, the first author's name followed by *et al.* and the date should be used.

All references are listed alphabetically at the end of each paper and not given as footnotes. The names of all authors should be given in the list of references. Titles of journals of periodicals are abbreviated according to **Chemical Abstracts Service Source Index (Cassi).**

Two examples of the presentation of references are the following:

Grabow, WOK, Coubrough, P, Nupen, EM and Bateman, BW (1984) Evaluations of coliphages as indicators of the virological quality of sewage-polluted water. *Water SA* 10(1) 7-14.

Wetzel, RG (1975) *Limnology*. WB Saunders Company, Philadelphia. 324.