



Rol van Lesotho-Hooglandwater op Vaalrivieralge

Authors:

Sanet Janse van Vuuren¹
Annelie Swanepoel²
Germarie van Zyl³

Affiliations:

¹Unit for Environmental Sciences and Management, North-West University, Potchefstroom Campus, South Africa

²Rand Water, Vereeniging, South Africa

³Midvaal Water, Stilfontein, South Africa

Correspondence to:

Sanet Janse van Vuuren

Email:

sanet.jansevanvuuren@nwu.ac.za

Postal address:

Private Bag X6001, Potchefstroom 2520, South Africa

Dates:

Received: 30 Mar. 2012

Accepted: 12 Nov. 2012

Published: 14 Mar. 2013

How to cite this article:

Janse van Vuuren, S., Swanepoel, A. & Van Zyl, G., 2013, 'Rol van Lesotho-Hooglandwater op Vaalrivieralge', *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 32(1), Art. #335, 10 pages. <http://dx.doi.org/10.4102/satnt.v32i1.335>

Copyright:

© 2013. The Authors. Licensee: AOSIS OpenJournals. This work is licensed under the Creative Commons Attribution License.

Read online:



Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read online.

Die Vaalrivier is, met verloop van tyd, tot so 'n mate verryk deur voedingstowwe dat algopbloei tans probleme skep. 'n Unieke geleentheid om te bepaal of daar veranderinge in die waterchemie en algsamestelling in die Vaalrivier voorgekom het, het hom voorgedoen nadat oligomesotrofe Katsedamwater (Lesotho) ingevoer is om in die toenemende wateraanvraag in die Vaalrivieropvangsgebied te voorsien. Die konsentrasie en samestelling van alge in die Vaalrivier is tydens die periodes tussen 1992 en 1994, tussen 1998 en 2000, asook 2004 en 2006 vergelyk met dié in die Katsedam tussen 1998 en 2006. Sekere algspesies, wat aanvanklik afwesig was in die Vaalrivier, het ná die oordrag van Lesothowater voorgekom. 'n Gemengde algpopulasie wat in die Vaalrivier gevind is voordat Katsedamwater oorgedra is, het ná die oordrag geleidelik verander na 'n populasie wat gedomineer is deur sianobakterieë. Die totale algkonsentrasie in die Vaalrivierbarrage het verdubbel van die periode tussen 1992 en 1994 tot dié tussen 2004 en 2006 wat aandui dat die oordrag van helder, oligomesotrofe Katsedamwater die eutrofe Vaalrivierwater nie genoegsaam verdun het om die algkonsentrasie te laat afneem nie. Resultate toon aan dat stroomaf-besoedeling en eutrofikasie in die Vaalriviersisteem die verdunnings effek van Katsedamwater uitgeskakel het. Dit het tot veranderinge in die algsamestelling en -konsentrasie, kenmerkend van toenemende eutrofikasie, in die Vaalrivier gelei.

Long-term changes in the algal composition of the Vaal River, South Africa – did the Lesotho Highlands Water Project play a role?

The Vaal River has become so nutrient-enriched that algal blooms pose problems. A unique opportunity arose to determine if there were changes in the chemistry and algal composition of the Vaal River after oligomesotrophic Katse Dam (Lesotho) water was imported to augment supplies in the light of growing water demands in the Vaal River catchment area. Algal concentration and composition in the Vaal River during three periods (between 1992 and 1994, 1998 and 2000, as well as 2004 and 2006) were compared to those in the Katse Dam (1998–2006). Some algal species, initially absent from the Vaal River, appeared in the river during and after transfer. Mixed algal assemblages found in the Vaal River before transfer of Katse Dam water gradually changed after transfer to assemblages mainly composed of cyanobacteria. The total algal concentration in the Vaal River Barrage doubled from the period between 1992 and 1994 to that between 2004 and 2006, indicating that the transfer of clear, oligomesotrophic Katse Dam water did not dilute the eutrophic Vaal River water sufficiently in order to reduce algal concentrations. Results showed that continuous downstream pollution and eutrophication of the Vaal River system eliminated the diluting effect of Katse imports. This resulted in changes in algal composition and concentration in the Vaal, characteristic of those associated with increasing eutrophication.

Inleiding

Alhoewel Suid-Afrika 'n land ryk aan 'n verskeidenheid landskappe is, het dit 'n ernstige tekort aan genoegsame water (jaarlikse reënval is minder as 500 mm). Die toenemende aanvraag na water kan binnekort (geraam teen 2025) die beskikbaarheid oorskry (Otieno & Ochieng 2004).

Suid-Afrika het verskeie interopvangsgebied-wateroordragskemas en word beskou as 'n leier op die gebied van wateroordrag. Die Vaalrivier alleen word aangevul deur water vanaf die Assegaairivier, Buffelsrivier, Tugelarivier en Oranjerivier (Muller 2000). Die mees onlangse wateroordragskema na die Vaalrivier is die Lesotho-Hooglandwaterskema. Ten spyte van die aanvulling deur water vanuit hierdie opvangsgebiede is daar steeds slegs 'n beperkte tydsduur voordat hierdie bykomende watervoorsiening ook te min gaan wees en 'n krisis om aan die groeiende wateraanvraag te voldoen op hande sal wees.

Lesotho is reeds in 1950 as 'n moontlike bron van addisionele watervoorsiening vir die Vaalrivieropvangsgebied geïdentifiseer. Lesotho is 'n waterryke land vanweë die hoë seisoenale



reënval (meer as 1000 mm per jaar), en die oorvloedige water sou genoeg wees om in beide Lesotho en Suid-Afrika se behoeftes te voorsien (Lundahl *et al.* 2003). Albei lande sou baat by so 'n ooreenkoms – Suid-Afrika sou genoeg water hê om, vir 'n afsienbare periode, in die aanvraag te voorsien en Lesotho se ekonomie sou bevoordeel word deur die implementering van 'n hidro-elektriese kragstasie wat die land kan voorsien van elektrisiteit, asook deur die inkomste wat gegenereer sou word deur die waterverkope.

Gedurende Oktober 1986 is 'n ooreenkoms tussen S.A. en Lesotho onderteken vir die oordrag van 70 kubieke meter water per sekonde vanaf Lesotho na Suid-Afrika (Trans-Caledon Tunnel Authority 2002; Lundahl *et al.* 2003). Na die voltooiing van die Katsedam in 1998, is die eerste water oorgedra en afgelewer via die As-, die Liebenbergsvlei- en die Wilgeriviere. Die Wilgerivier vloei, op sy beurt, in die Vaalrivier en hulle verenig om die Vaaldam te vorm (Figuur 1). Stroomaf van die Vaaldam vloei die water voort in die Vaalrivier.

Wat watervoorsiening betref, is die Vaalrivier die belangrikste rivier in S.A. Dit voorsien water wat gebruik word in industrieë, myne, kragopwekking, stedelike gebiede en vir rekreasiedoeleindes (Braune & Rogers 1987). Soos baie ander riviere, is die Vaalrivier oorbenut en verryk met plantvoedingstowwe afkomstig van punt- en niepuntbronne. Eutrofikasie en versouting het 'n algemene verswakking van waterkwaliteit tot gevolg (Janse van Vuuren 2001).

In teenstelling met die troebel, besoedelde en eutrofe water van die Vaalrivier, is die Katsedam se water skoon, onbesoedeld en oligomesotrofies (Roos 2000; Swanepoel & Du Preez 2007). Teenstrydige voorspellings oor watter invloed skoon Katsedamwater op die waterkwaliteit in die Vaalrivier sou hê, is geopper (Roos 2000). Sou die skoon, oligomesotrofe water van die Katsedam 'n verdunningsinvloed op die besoedelde, versoute Vaalrivierwater hê en sodoende die algemene kwaliteit van Vaalrivierwater verbeter? Of sou dit geen effek nie (of slegs 'n geringe effek) op die waterkwaliteit en organismes in die Vaalrivier hê, omdat die Katsedamwater slik en voedingstowwe sou bykry soos dit stroomaf beweeg (Davies & Day 1998)? Roos (2000) het voorspel dat die oordrag van helder water na die natuurlik troebel Vaalrivierwater waarskynlik sal lei tot toenemende alggroei, vanweë die verheldering van die andersins troebel water en die toenemende diepte waartoe lig sou kon indring.

Nadat water oorgedra is vanaf die Katsedam, het 'n unieke geleentheid homself voorgedoen om die invloed wat die helder, oligomesotrofe water vanaf die Lesotho Hooglande op die algsamestelling en -konsentrasie in die troebel, eutrofe water van die Vaalrivier het, te ondersoek. Geen ander vergelykbare studies is al ooit in Suid-Afrika onderneem nie en die enigste vergelykbare studie elders in die wêreld was dié van Fornarelli & Antenucci (2011) in Australië. Matthews

et al. (1996) en Gibbins *et al.* (2001) het die invloed van 'n oordragskema op die vispopulasie van die ontvangende rivier bestudeer, terwyl Snaddon en Davies (1998) die effek van 'n groot oordragskema op die invertebraatgemeenskap ondersoek het. Hu *et al.* (2008, 2010) en Zhai *et al.* (2010) het aangetoon dat wateroordrag vanaf 'n rivier na 'n reservoir die konsentrasie van fitoplankton laat afneem, maar hulle het ook geredeneer dat intensiewe wateroordragte vir lang periodes moontlik die stikstof- en fosfaatkonsentrasies kan laat toeneem en dus eutrofikasie kan bespoedig.

Verskeie studies beskryf die samestelling, voorkoms en suksessie van alge in die Vaalrivier voor die aanvang van die wateroordrag uit die Lesotho Hoogland (Pieterse 1986a, 1986b; Pieterse & Roos 1987, 1992; Pieterse *et al.* 1993; Janse van Vuuren 1996; Pieterse & Janse van Vuuren 1997). 'n Langtermyn-databasis van die algsamestelling en -samestelling is beskikbaar en maak dit dus moontlik om die algsamestelling voor en ná die oordrag van Katsedamwater te vergelyk. Sekere alge, soos *Asterionella formosa*, *Ceratium hirundinella*, *Cylindrospermopsis raciborskii* en *Arthrospira* sp., wat nie voor wateroordrag in die Vaalrivier voorgekom het nie, word nou op 'n gereelde basis in die rivier aangetref (Janse van Vuuren & Kriel 2008). Die konsentrasies van sommige van hierdie spesies het boonop onlangs tot só 'n mate toegeneem dat hulle opbloeie vorm en dus 'n belangrike rol in die Vaalriviersisteem speel (Janse van Vuuren & Kriel 2008). Die meeste van hierdie spesies kan probleme skep indien hulle in hoë konsentrasies teenwoordig is. *Asterionella formosa* en *Ceratium hirundinella* is bekend daarvoor dat hulle reuke en smake kan veroorsaak, asook filters verstop, terwyl *Cylindrospermopsis raciborskii* 'n baie



FIGUUR 1: Kaart wat die oordrag van water van die Katsedam na die Vaaldam en die Vaalrivierbarrage illustreer.



giftige verbinding, cylindrospermopsien, kan vrystel (Janse van Vuuren *et al.* 2006).

Tydens hierdie studie is ondersoek of die veranderinge in algsamestelling van die Vaalrivier, ná die oordrag van water uit die Lesotho Hoogland, toegeskryf kan word aan die teenwoordigheid van hierdie spesies in water uit die Katsedam, wat fisies, chemies en biologies heeltemal verskillend is van die water in die Vaalrivier. Daar moet egter in gedagte gehou word dat daar natuurlike prosesse of ander faktore (soos aardverwarmig, toenemende soutgehalte en besoedeling, veral van puntbronne) kan wees wat die algsamestelling en -konsentrasie kon beïnvloed het. Hierdie studie ondersoek en vergelyk die samestelling en voorkoms van Vaalrivieralge (insluitende sianobakterieë) tydens drie periodes, naamlik:

- voor die oordrag van water vanaf Katsedam (1992–1994)
- gedurende die konstruksiefase van die Katsedam en die aanvanklike invloed van water in die Vaalrivier, met ander woorde 'n oorgangsperiode (1998–2000)
- ná die aanvang van deurlopende invloed vanaf die Katsedam (2004–2006).

Vergelykings word gemaak met die algpopulasies wat teenwoordig was in die Katsedam vanaf 1998, toe konstruksie afgehandel is, tot 2006. Veranderinge in algdinamika word vergelyk met waterkwaliteit (fisiese en chemiese omgewingsveranderlikes) in die Vaalrivier tydens hierdie periodes.

Studie-area, materiaal en metodes

Die Vaalrivier

Die Vaalrivier ontspring aan die westelike hange van die Drakensberge en vloei, saam met die Oranjerivier, in die Atlantiese Oseaan in. Water uit die Vaalrivier word intensief gebruik vir verskillende doeleindes en dit word aan 'n groot getal mense voorsien (ongeveer 12 miljoen, Department of Water Affairs and Forestry 2009). Een van Rand Water se hoofonttrekingspunte vanuit die rivier is geleë by die Vaalrivierbarrage, naby Vanderbijlpark, en aangesien langtermyn data van die algsamestelling by hierdie punt beskikbaar is, is dié punt vir die studie gekies. Die Barrage is 'n bergingsreservoir met 'n retensietyd wat wissel tussen 8 en 17 dae (gemiddeld van 11.3 dae; Steynberg 1986). Die langtermyn databasis van die Noordwes-Universiteit (NWU) is gebruik om die algsamestelling en -konsentrasie van die periode tussen 1992 en 1994 te vergelyk met dié van die periodes tussen 1998 en 2000, asook 2004 en 2006. Gedurende hierdie periodes is eksemplare een maal elke twee weke versamel. Die identifikasie van fitoplankton (tot genusvlak) en tellings vir die periode tussen 2004 en 2006 is gedoen deur die hidrobiologie-afdeling van die analitiese dienste van Rand Water, 'n geakkrediteerde laboratorium van SANAS (South African National Accreditation System). Om kwaliteitsbeheer te verseker neem beide hierdie laboratoria sedert 1998 gereeld aan 'n landswye interlaboratorium-vaardigheidskema deel. Kruisvergelings tussen die laboratoria word dus as betroubaar beskou.

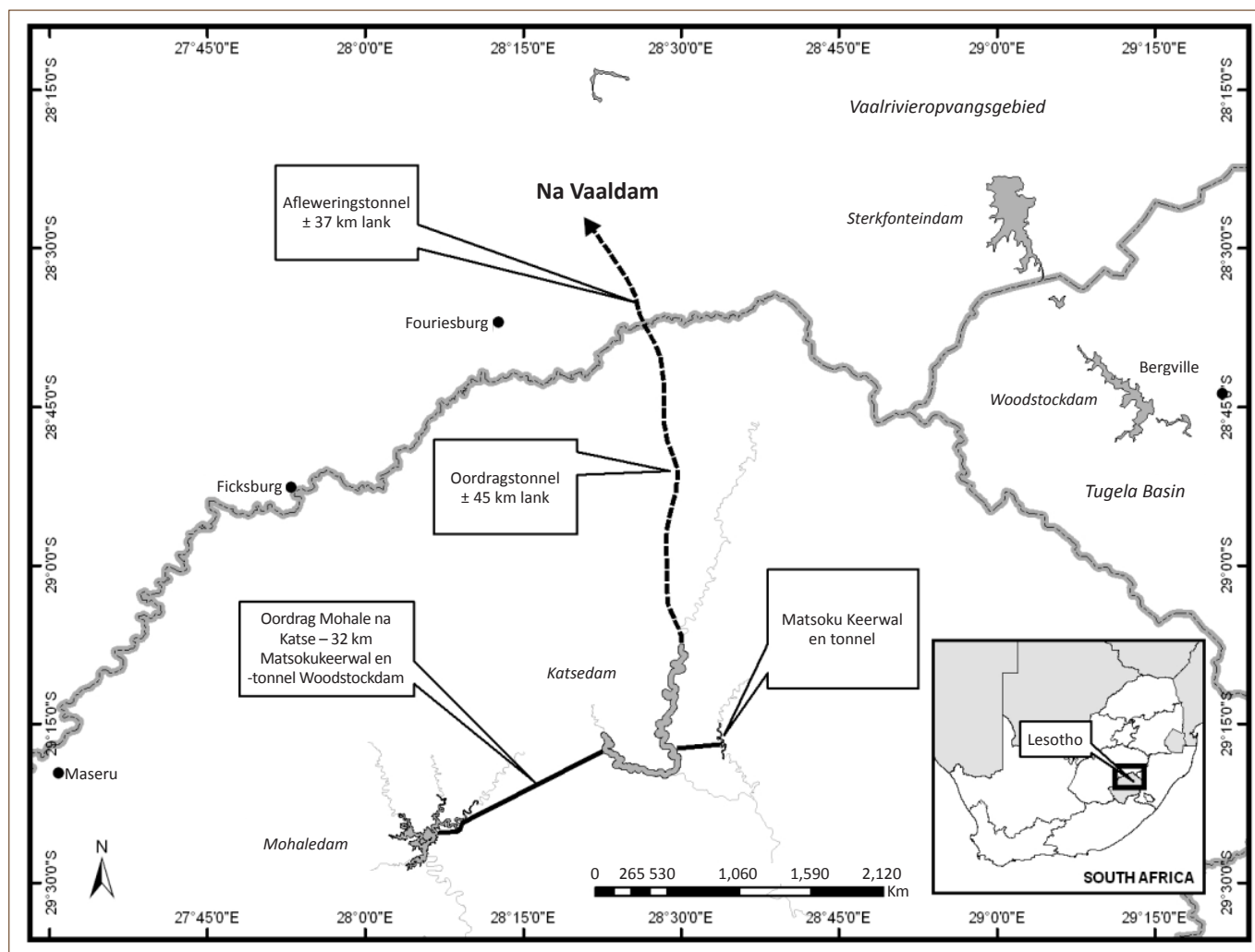
Die Katsedam

Die Katsedam is een van drie damme wat deel vorm van die Lesotho Hoogland Waterskema en dit vorm 'n stabiele, maar sensitiewe, ekosisteem (Roos 2000). Die Katsedam is in die noordelike deel van Lesotho in die Malibamatsorivier geleë (Figuur 2). Die dam kan 1950 miljoen m³ water berg, die wal is 185 m hoog en dit bestaan uit 'n dubbelbetonboog (Trans-Caledon Tunnel Authority 2002). Die Katsedam vorm deel van die studie omdat water hier onttrek word en daarna via die As-, Liebenbergsvlei- en Wilgeriviere tot in die Vaalrivier vervoer word (Figuur 1). Alge is een maal per maand by vier verskillende punte in die Katsedam versamel en geïdentifiseer, maar slegs resultate van eksemplare wat by die ontrekkingstoring geneem is, sal hier bespreek word, aangesien dit die oorsprong is van die Katsedamwater wat die oordragtonnel binnegaan. Hierdie punt is dus die waarskynlikste bron van alge wat stroomaf vervoer sal word. Die algsamestelling is maandeliks vanaf 1998 (toe die dam gebou is) tot 2006 bestudeer om sodoende te bepaal of daar ooreenkomste tussen die algsamestelling van die Katsedam en dié van die Vaalrivier is.

Materiaal en metodes

Watereksemplare is net onder die oppervlak (in die Katsedam en Vaalrivier) versamel. Hierdie eksemplare is met 2% formaldehid (finale konsentrasie) behandel om die alge te preserveer vir identifisering en tellings. Voor die analise is die eksemplare geskud om die alge eenvormig te suspendeer. Gasvakuole van sianobakterieë is gebars deur dit onder druk te plaas met behulp van 'n spesiaal ontwerpte meganiese hamer wat 'n druk van 49.5 kPa uitoefen soos bepaal deur Walsby (1971, 1994). Afhange van die algekonsentrasie is 0.5 mL – 5 mL water met behulp van 'n pipet na 'n Utermöhl-sedimentasieflessie oorgedra. Die algselle is toegelaat om te sink vir 'n periode van ten minste 48 uur (24 uur uitsaktyd toegelaat per cm in die sedimentasieflessie). Hierdie prosedure is vir elke watereksemplaar herhaal. Na die uitsakperiode, is die algselle met behulp van 'n omgekeerde ligmikroskoop getel deur gebruik te maak van die metode beskryf deur Lund *et al.* (1958). Een van die oogstukke van die mikroskoop besit 'n ruit waarmee die telarea afgebaken word. Die glasbodem van die sedimentasieflessie is vervolgens in stroke ondersoek en alle algselle aan die binnekant van die ruit is geïdentifiseer en getel. In die geval van kolonie- en filamentvormige alge is individuele selle in die kolonie of filament getel. Indien die kolonie uit baie dig gepakte selle bestaan het (soos sekere *Microcystis*-spesies), is die getal selle binne elke klein blokkie van die ruit geskat en dan vermenigvuldig met die getal blokkies wat die kolonie beslaan het. Die oorspronklike subeksemplaarvolume oorgedra na die sedimentasieflessie, asook die getal stroke wat getel is, is gebruik om die konsentrasie van die alge (selle/mL) te bereken.

Fisiese en chemiese data vir die drie studieperiodes is vanaf Rand Water verkry. Opgeloste anorganiese stikstof (DIN)



FIGUUR 2: Kaart wat die ligging van die Katsedam in Lesotho aantoon.

is bereken van die som van $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NO}_2\text{-N}$. Die DIN : DIP-verhouding ($\text{DIP} = \text{PO}_4\text{-P}$) is bereken deur gebruik te maak van die beskikbare data.

Resultate en bespreking

Verteenwoordigers van sewe algklasse is tydens al drie die studieperiodes in die Katsedam, sowel as in die Vaalrivierbarrage gevind (Tabel 1). Hierdie algklasse sluit in:

- Cyanophyceae (sianobakterieë)
- Bacillariophyceae (diatome)
- Chlorophyceae (groen alge)
- Cryptophyceae
- Chrysophyceae (goue alge)
- Dinophyceae (dinoflagellate)
- Euglenophyceae (euglenoïede).

Tabel 1 verskaf 'n geklassifiseerde lys van die alggenusse en dit is duidelik dat die diversiteit (getal genusse) die hoogste was binne die Chlorophyceae, beide in die Katsedam en die Vaalrivier.

Tabel 1 toon aan dat 'n groot getal alge, wat redelik algemeen en deurlopend in die eksimplare uit die Vaalrivier voorgekom het, nie teenwoordig was in die Katsedam nie. Dít sluit in:

- Sianobakterieë (*Anabaenopsis*, *Arthrospira*, *Oscillatoria*)
- diatome (*Cocconeis* en *Fragilaria*)
- groen alge (*Actinastrum*, *Characium*, *Closterium*, *Coelastrum*, *Micractinium*, *Monoraphidium*, *Pandorina*, *Pediastrum*, *Pteromonas*, *Schroederia*)
- euglenoïede (*Phacus*, *Strombomonas*).

Aan die ander kant was daar 'n paar genusse (*Botryococcus*, *Elakatothrix*, *Pleodorina*, *Sphaerocystis* en *Dinobryon*) wat teenwoordig was in die Katsedam, maar afwesig in die Vaalrivier. *Asterionella*, *Coccomonas*, *Cosmarium* en *Ceratium* was byvoorbeeld teenwoordig in die Katsedam, maar afwesig in die Vaalrivier gedurende die periode tussen 1992 en 1994. Hulle het egter hul verskyning in die Vaalrivier gemaak vanaf 1998 (ná die oordrag van Katsedamwater). Daar is dus 'n moontlikheid dat hierdie genusse oorgedra is na die Vaalrivier vanaf die Katsedam.

Persentasiesamestellingsgrafieke toon aan dat die Chlorophyceae, Cyanophyceae en Bacillariophyceae, in terme van getalle, die belangrikste groepe in beide die Katsedam (Figuur 3), en die Vaalrivierstelsel (Figuur 4a) was voordat oordrag vanaf die Katsedam plaasgevind het. Vanaf 1998 is 'n verandering in die samestelling van



TABEL 1: 'n Lys van algenusse wat in die Katsedam en die Vaalrivierbarrage geïdentifiseer is in die periode voor die oordrag van water uit die Katsedam (1992–1994), die oorgangsperiode (1998–2000) en die periode ná die aanvanklike oordrag (2004–2006).

Algoort	Katsedam		Vaalrivier	
	1998–2006	1992–1994	1998–2000	2004–2006
Cyanophyceae				
<i>Anabaena</i> Bory de Saint-Vincent ex Bornet en Flahault	X	X	X	X
<i>Anabaenopsis</i> Woloszynska		X	X	X
<i>Aphanocapsa</i> Nägeli	X	X	X	X
<i>Arthrospira</i> Sitzenberger ex Gomont			X (2000)	X
<i>Merismopedia</i> Meyen	X	X	X	
<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann	X	X	X	X
<i>Oscillatoria</i> Vaucher ex Gomont		X	X	X
<i>Raphidiopsis</i> Fritsch en Rich		X		
<i>Synechococcus</i> Nägeli	X	X	X	X
<i>Synechocystis</i> Sauvageau		X		X
Bacillariophyceae				
<i>Asterionella</i> Hassall	X		X (1999)	X
<i>Aulacoseira</i> Thwaites	X	X	X	X
Centric diatoms	X	X	X	X
<i>Cocconeis</i> Ehrenberg		X	X	X
<i>Fragilaria</i> Lyngbye		X	X	X
<i>Melosira</i> Agardh		X		
<i>Navicula</i> Bory de Saint-Vincent	X	X	X	X
<i>Nitzschia</i> Hassall	X	X	X	X
Chlorophyceae				
<i>Actinastrum</i> Lagerheim		X	X	X
<i>Ankistrodesmus</i> Corda	X	X	X	X
<i>Botryococcus</i> Kützing	X			
<i>Carteria</i> Diesing	X	X	X	X
<i>Characium</i> Braun		X	X	X
<i>Chlamydomonas</i> Ehrenberg	X	X	X	X
<i>Chlorella</i> Beijerinck	X	X	X	X
<i>Chlorococcum</i> Meneghini	X	X	X	X
<i>Closterium</i> Nitzsch ex Ralfs		X	X	X
<i>Coccomonas</i> Stein	X			X
<i>Coelastrum</i> Nägeli		X	X	X
<i>Conococcus</i> Carter		X		
<i>Cosmarium</i> Ralfs	X		X	X
<i>Crucigenia</i> Morren	X	X	X	X
<i>Crucigeniella</i> Lemmermann	X	X	X	
<i>Dictyosphaerium</i> Nägeli	X	X	X	
<i>Elakatothrix</i> Wille	X			
<i>Eudorina</i> Ehrenberg ex Ralfs	X	X	X	X
<i>Golenkinia</i> Chodat	X	X	X	
<i>Kirchneriella</i> Schmidle		X		
<i>Lagerheimia</i> Chodat	X	X	X	
<i>Micractinium</i> Fresenius		X	X	X
<i>Monoraphidium</i> Komárková-Legnerová		X	X	X
<i>Oocystis</i> Braun	X	X	X	X
<i>Pandorina</i> Bory de Saint-Vincent		X	X	X
<i>Pediastrum</i> Meyen		X	X	X
<i>Phacotus</i> Perty		X		
<i>Pleodorina</i> Shaw	X			
<i>Polytomella</i> Aragão		X	X	
<i>Pteromonas</i> Seligo		X	X	X
<i>Quadrigula</i> Printz	X	X		
<i>Scenedesmus</i> Meyen	X	X	X	X
<i>Schroederia</i> Lemmermann		X	X	X

X dui teenwoordigheid aan, datums tussen hakies dui die eerste jaar aan waartydens die genus in die eksemplare gevind is.

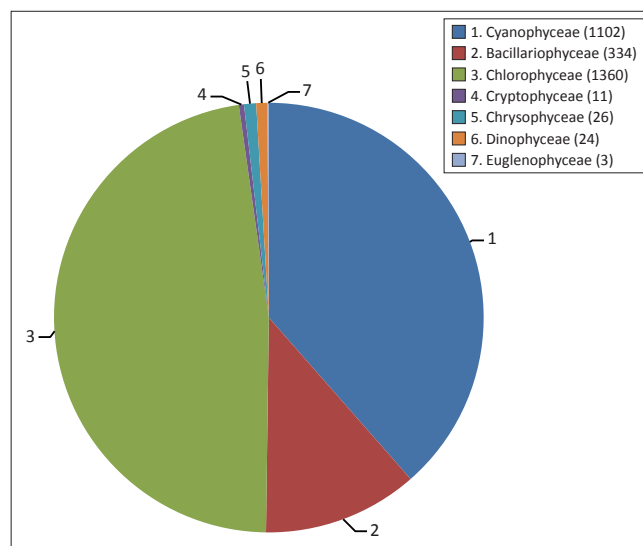
Tabel 1 vervolg op volgende kolom →

TABEL 1 (Vervolg...): 'n Lys van algenusse wat in die Katsedam en die Vaalrivierbarrage geïdentifiseer is in die periode voor die oordrag van water uit die Katsedam (1992–1994), die oorgangsperiode (1998–2000) en die periode ná die aanvanklike oordrag (2004–2006).

Algoort	Katsedam		Vaalrivier	
	1998–2006	1992–1994	1998–2000	2004–2006
Chlorophyceae†				
<i>Sphaerocystis</i> Chodat	X			
<i>Staurastrum</i> (Meyen) Ralfs	X	X	X	
<i>Tetraedron</i> Kützing	X	X	X	X
<i>Tetrastrum</i> Chodat	X	X	X	X
<i>Thorakomonas</i> Bourrelly	X	X	X	
<i>Treubaria</i> Bernard		X	X	
<i>Trochiscia</i> Kützing		X	X	
Cryptophyceae				
<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg	X	X	X	X
Chrysophyceae				
<i>Dinobryon</i> Ehrenberg	X			
<i>Mallomonas</i> Perty	X	X	X	X
<i>Paraphysomonas</i> De Saedeleer			X	
<i>Synura</i> Ehrenberg		X		
Dinophyceae				
<i>Ceratium</i> Schrank	X		X (1999)	X
<i>Peridinium</i> Ehrenberg	X	X	X	X
<i>Sphaerodinium</i> Woloszynska		X	X	
Euglenophyceae				
<i>Euglena</i> Ehrenberg	X	X	X	X
<i>Lepocinclis</i> Perty		X	X	
<i>Phacus</i> Dujardin		X	X	X
<i>Strombomonas</i> Deflenre		X	X	X
<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg	X	X	X	X

X dui teenwoordigheid aan, datums tussen hakies dui die eerste jaar aan waartydens die genus in die eksemplare gevind is.

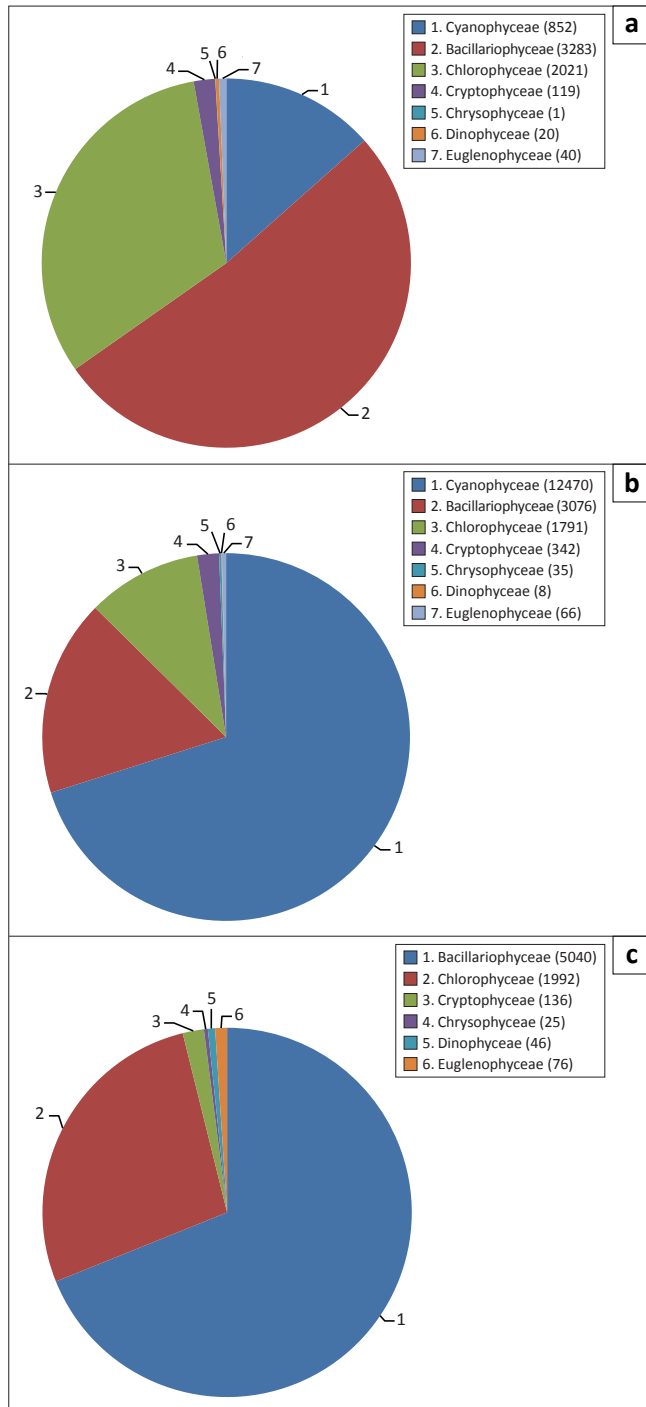
†, Data vervolg vanaf vorige kolom.



FIGUUR 3: Algsamestellings (insluitende sianobakterieë) in die Katsedam van 1998 tot 2006.

die hoofgroepe alge in die Vaalrivier waargeneem – die Cyanophyceae het belangriker geword in verhouding tot die Chlorophyceae en Bacillariophyceae (Figuur 4b en Figuur 4c). Die algsamestelling in die Vaalrivier is vanaf 1998 deur sianobakterieë gedomineer.

Tabel 2 toon aan dat die totale getal selle heelwat laer was in die Katsedam (2860 selle/mL) as in die Vaalrivier



FIGUUR 4: Algsamestelling (insluitende sianobakterieë) tydens die drie studieperiodes in die Vaalrivierbarrage, (a) 1992–1994, (b) 1998–2000, (c) 2004–2006.

TABEL 2: Gemiddelde algkonsentrasie (selle/mL) in die Katsedam en die Vaalrivierbarrage tydens die drie studieperiodes.

Algoort	Katsedam		Vaalrivier	
	1998–2006	1992–1994	1998–2000	2004–2006
Cyanophyceae	1102	852	12470	5667
Bacillariophyceae	334	3283	3076	5040
Chlorophyceae	1360	2021	1791	1992
Cryptophyceae	11	119	342	136
Chrysophyceae	26	1	35	25
Dinophyceae	24	20	8	46
Euglenophyceae	3	40	66	76
Totaal	2860	6336	17788	12982

(6336 selle/mL – 17 788 selle/mL). Indien die totale getal selle tydens die drie studieperiodes in die Vaalrivier vergelyk word, is dit duidelik dat die algkonsentrasie toegeneem het van die periode tussen 1992 en 1994 (6336 selle/mL) tot die periode tussen 1998 en 2000 (17 788 selle/mL), waarna dit effens afgeneem het tydens die tydperk tussen 2004 en 2006 (12 982 selle/mL). Die toename in die getal selle van 1992 tot 1994 tot die jare tussen 1998 en 2000 is die gevolg van 'n toename in die konsentrasie van sianobakterieë, wat gelei het tot 'n verandering in die dominante groep vanaf Bacillariophyceae (1992–1994) tot Cyanophyceae (1998 en verder, geïllustreer in Figuur 4). Vanaf die periode tussen 1998 en 2000 tot die jare tussen 2004 en 2006 het die konsentrasie Cyanophyceae afgeneem, terwyl die konsentrasie van Bacillariophyceae en Chlorophyceae toegeneem het. Die Cyanophyceae was egter steeds dominant en die konsentrasie was bykans 7 keer hoër as tussen 1992 en 1994.

Alhoewel Crypto-, Chryso-, Dino- en Euglenophyceae getalle laag was in vergelyking met dié van die dominante groepe, was die verteenwoordigers van Chrysophyceae vanaf 1992 tot 1994 in hoër konsentrasies teenwoordig in die Katsedam as in die Vaalrivier. Dit is nie vreemd nie, omdat die Chrysophyceae-groep gewoonlik geassosieer word met skoner, onbesoedelde, oligotrofe water (Moore 1971, 1978; Nygaard 1978; Ilmavirta 1980; Rosén 1981; Duthie & Hart 1987; Eloranta 1989, 1995; Akbay *et al.* 1999) en in staat is om suksesvol te kompeteer met ander alggroepe indien noodsaaklike voedingstowwe, soos stikstof en fosfaat-fosfor beperkend is (Round 1984; Wehr & Sheath 2003). Dit kan dus die hoër konsentrasie Chrysophyceae wat waargeneem is in die skoner, oligomesotrofe Katsedamwater (in vergelyking met die troebel, eutrofe Vaalrivierwater) verklaar. Vanaf 1998, na die oordrag van Katsedamwater, het die konsentrasie van die Chrysophyceae in die Vaalrivier toegeneem en is konsentrasies soortgelyk aan dié in die Katsedam in die Vaalrivier gevind (sien Tabel 2). Hoër konsentrasies van Chrysophyceae in die Vaalrivier gedurende die periode van 1998 tot 2000 kan dus moontlik toegeskryf word aan die invoer van water vanaf die Katsedam. Aan die ander kant, illustreer Tabel 2 dat die konsentrasie van Chrysophyceae weer afgeneem het vanaf die periode tussen 1998 en 2000 tot dié tussen 2004 en 2006. Die afname in konsentrasie ná die aanvanklike oordrag van die Chrysophyceae na die eutrofe Vaalrivier, kan die gevolg wees van die voorkeur van hierdie alggroep vir oligotrofe water en die moontlikheid dat hulle nie in staat is om te kompeteer met ander algspesies, soos die Cyanophyceae, wat 'n hoër affiniteit vir fosfate en stikstof het nie (Saker *et al.* 1997; Branco & Senna 1994; Isvánovics *et al.* 2000). Vanweë die eutrofe toestand van Vaalrivierwater, word daar voorspel dat die konsentrasie Chrysophyceae weer sal afneem na 2006.

Euglenophyceae word gewoonlik geassosieer met voedingstofryke water waar die konsentrasie van ammonium en veral opgeloste organiese materiaal hoog is (Wetzel 1983). Euglenophyceae was baie skaars in die Katsedam, maar in hoër konsentrasies teenwoordig in die besoedelde Vaalrivier.



Die konsentrasie Euglenophyceae het toegeneem vanaf die periode tussen 1992 en 1994 deur die tydperk tussen 1998 en 2000 tot dié tussen 2004 en 2006. Hierdie verskynsel kan aanduidend wees van geleidelike voedingstofverryking in die Vaalrivier en dit toon aan dat die verwagte verdunningseffek van water uit die Lesotho Hoogland nie plaasgevind het nie.

Die oorsaak vir die dominansie van sianobakterieë is 'n fokuspunt van klassieke en kontemporêre limnologiese navorsing (Havens *et al.* 2003). In 'n poging om te bepaal watter faktore verantwoordelik kan wees vir die waargenome verandering in konsentrasie en samestelling van alge in die Vaalrivier, is tweeweklikse data van fisiese en chemiese omgewingsveranderlikes bestudeer. Die gemiddelde waardes vir die drie studieperiodes word in Tabel 3 aangetoon.

Temperatuurveranderinge het veranderinge in die kwalitatiewe en kwantitatiewe samestelling van biota tot gevolg (Reid & Wood 1976). Stenotermale spesies (organismes wat aangepas is by 'n klein temperatuurspektrum) verdwyn uit warmer water, terwyl hittetolerante spesies in getal kan toeneem en die aanvanklike spesies kan vervang (Reid & Wood 1976). Die voorkoms van sianobakterieë in hoë watertemperature is baie bekend (Baker & Baker 1981; Varis 1993; Romo & Van Tongeren 1995; Bahnwart *et al.* 1999; An & Jones 2000). An en Jones (2000) het bevind dat sianobakterieë 'n

TABEL 3: Gemiddelde waardes van verskillende omgewingsveranderlikes tydens die drie studieperiodes in die Vaalrivierbarrage.

Veranderlikes	Vaalrivier		
	1992–1994	1998–2000	2004–2006
Fisies			
Temperatuur (°C)†	16.1 (8.0–25.0)	18.5 (10.8–25.8)	18.8 (0.5–27.2)
Troebelheid (NTU)	22.1 (3.6–110.0)	25.6 (0.4–105.0)	17.8 (2.4–74.1)
Chemies Algemeen			
Geleiding (mS/m)	64.3 (22.0–88.0)	69.7 (23.0–230.0)	66.8 (1.0–165.0)
pH	8.4 (6.9–9.6)	8.3 (6.3–9.4)	8.2 (6.0–9.5)
Chemies Voedingstowwe			
NO ₃ -N (mg/L)	1.126 (0.05–2.70)	1.618 (0.10–5.20)	2.082 (0.36–4.13)
NH ₄ -N (mg/L)	0.122 (0.025–1.500)	0.240 (0.025–2.900)	0.087 (0.000–0.560)
NO ₂ -N (mg/L)	0.078 (0.050–0.430)	0.076 (0.015–0.280)	0.108 (0.000–0.350)
DIN (mg/L)	1.333 (0.185–3.100)	1.888 (0.240–5.400)	2.277 (0.564–4.280)
PO ₄ -P (mg/L)	0.149 (0.000–0.630)	0.299 (0.015–0.500)	0.335 (0.000–0.640)
DIN : DIP	8.95 (0.77–177.00)	6.31 (0.51–118.00)	6.80 (0.12–44.42)
Si (mg/L)	4.4 (0.5–15.0)	1.0 (0.0–5.7)	4.2 (0.1–8.9)
Totale Silika (mg/L)	6.7 (0.5–26.0)	2.4 (0.5–14.0)	8.9 (0.1–19.0)
Chemies Ione			
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	123.3 (26.0–200.0)	134.5 (28.0–290.0)	138.7 (25.0–196.0)
Cl (mg/L)	51.9 (5.0–83.0)	47.7 (5.0–81.0)	49.3 (8.3–71.0)
Na ⁺ (mg/L)	45.6 (14.0–67.0)	48.2 (13.0–72.0)	46.1 (11.0–69.0)
K ⁺ (mg/L)	10.4 (4.2–16.0)	8.8 (2.8–15.0)	10.1 (3.5–15.0)
Ca ²⁺ (mg/L)	49.5 (17.0–78.0)	53.2 (16.0–94.0)	53.2 (17.0–75.0)
Mg ²⁺ (mg/L)	17.0 (5.6–26.0)	21.2 (8.2–35.0)	18.8 (8.3–27.0)

Minimum en maksimum waardes vir elke veranderlike word in hakies aangetoon.

†, Geen temperatuurdata vir 1998 was beskikbaar nie en gemiddelde temperature is slegs vir die periode van 1999 tot 2000 bereken.

hoër temperatuuroptimum as groen alge en diatome het en Tilman *et al.* (1986) het aangetoon dat 'n toename in temperatuur die vermoë van sianobakterieë om te kompeteer aansienlike verbeter. Janse van Vuuren (2001) het aangetoon dat temperatuur (tesame met voedingstofbesikbaarheid) waarskynlik een van die belangrikste faktore is wat die groei en suksessie van Cyanophyceae in die Vaalrivier beheer. Daar is aangetoon dat sianobakterieë en *Aulacoseira granulata* dikwels dominant is tydens warmwaterperiodes in die Vaalrivier en deur eensellige sentriese diatome verplaas word wanneer die watertemperatuur laag is tydens die winter en lente (Janse van Vuuren 2001). Die toename in die gemiddelde temperatuur in die Vaalrivier vanaf die periode tussen 1992 en 1994 tot dié tussen 2004 en 2006 kon moontlik bygedra het tot die toename in sianobakterieë in verhouding tot ander alggroepe, soos die diatome, wat lae watertemperature verkies.

'n Studie deur An en Jones (2000) oor die faktore wat sianobakteriedominansie reguleer, het aangetoon dat temperatuur alleen nie die bepalende faktor vir dominansie kan wees nie. Toename in voedingstofkonsentrasies lei dikwels tot toename in fitoplanktonkonsentrasies (Schindler 1977; Welch *et al.* 1989) en eutrofikasie is dikwels verantwoordelik vir verandering in die struktuur en dinamika van fitoplanktongemeenskappe (Parparov 1990). Daar is aangetoon dat eutrofikasie van waterliggame dikwels 'n sigbare verskuiwing in fitoplanktonsamestelling tot gevolg het, in die meeste gevalle ten gunste van sianobakterieë (Steinberg & Hartmann 1988). Tabel 3 toon aan dat die gemiddelde konsentrasie van beide anorganiese stikstof en fosfaat vanaf die tydperk tussen 1992 en 1994, deur dié tussen 1998 en 2000, tot dié tussen 2004 en 2006, toegeneem het. Die gemiddelde konsentrasie stikstof (DIN) het met byna 1 mg/L toegeneem, terwyl die gemiddelde PO₄-konsentrasie met 0.186 mg/L toegeneem het – 'n goeie aanduiding van die omvang van die toename in eutrofikasie. 'n Deurlopende toename in voedingstofkonsentrasie dui aan dat geen verdunningseffek plaasgevind het ná die invoer van water uit die Katsedam nie.

Die DIN : DIP-verhouding het van 8.95 (1992–1994) tot 6.8 (2004–2006, Tabel 3) afgeneem. 'n Skuif vanaf hoë na lae DIN : DIP-verhoudings het in die 1960's gelyktydig met 'n skuif in dominansie van diatome na sianobakterieë in die Groot Mere (Great Lakes) in Noord-Amerika voorgekom (Schelske & Stoermer 1971; Schelske 1975). Vroeë eksperimentele navorsing deur Schindler (1977) het vasgestel dat hoë fosfaatkonsentrasies en 'n lae DIN : DIP-voorsieningsverhouding gunstig is vir die groei van sianobakterieë. Na hierdie aanvanklike bevindinge het verskeie ander outeurs 'n positiewe verband tussen lae DIN : DIP-verhoudings en die dominansie van sianobakterieë gedemonstreer (Smith 1983; Sommer 1985; Steinberg & Hartmann 1988; Havens *et al.* 2003). Volgens Steinberg en Hartmann (1988), kan sianobakterieë ander r-strategiste (Cryptophyceae, sommige diatome en Chlorophyceae)



verdring en verplaas onder gunstige toestande soos lae DIN : DIP-verhoudings (Schindler 1977; Tilman *et al.* 1982; Smith 1983; Harris 1986; Seale *et al.* 1987), hoë watertemperature (Tilman *et al.* 1982; Seale *et al.* 1987), betreklik hoë pH-waardes (Reynolds & Walsby 1975) en lae beskikbaarheid van lig. 'n Kombinasie van volgehoue verryking, afnemende DIN : DIP-verhoudings, toenemende watertemperatuur, betreklik troebel toestande en gematigde tot hoë pH-waardes (Tabel 3) kan verantwoordelik wees vir die suksessie na sianobakterieë as die dominante fitoplanktongroep in die Vaalrivier.

Ashton (1979, 1981), Walmsley en Butty (1980) en Thornton (1987) het aangetoon dat daar 'n tendens vir dominansie deur genusse soos *Oscillatoria* en *Microcystis* is indien die DIN : DIP- verhouding laer as 10 : 1 is en dat waardes laer as 2 : 1 die voorkoms van stikstoffikserende organismes, soos *Anabaena*, bevoordeel. Gedurende al drie die studieperiodes het die sianobakterieë hoofsaaklik uit niestikstoffikserende soorte bestaan, soos *Oscillatoria* (1992–1994) en *Microcystis* (1998–2000 en 2004–2006), alhoewel sekere verteenwoordigers met heterosiste (*Anabaena*) in lae konsentrasies teenwoordig was. Resultate in die Vaalrivier stem ooreen met resultate in die Okeechobee-meer in Florida, Amerika, waar empiriese modelle voorspel het dat nieheterosistbevattende sianobakterieë die fitoplankton behoort te domineer in troebel toestande met beperkte lig (Havens *et al.* 2003). Verdere afnames in die DIN : DIP-verhouding in die toekoms kan tot chroniese waterkwaliteitsprobleme lei vanweë die suksessie van nieheterosistbevattende genusse (soos *Microcystis*) na heterosistbevattende, stikstoffikserende genusse (soos *Anabaena* en *Cylindrospermopsis*). 'n Groot opbloeï van *Cylindrospermopsis raciborskii* het gedurende 2000, 2003 en 2005 in die laer-Oranjerivier voorgekom (Janse van Vuuren & Kriel 2008), asook in die Spitskopdam in die Hartsrivier (Van Ginkel & Conradie 2001). Alhoewel filamente van *Cylindrospermopsis raciborskii* nie vanaf 1992 tot 2006 teenwoordig was in die Vaalrivier nie, word dit sedertdien gereeld by verskillende versamelpunte in die rivier gevind (persoonlike waarneming: Janse van Vuuren). Aangesien hierdie spesie die vermoë het om gifstowwe vry te stel, moet die verspreiding daarvan noukeurig dopgehou word, omdat dit verreikende gevolge kan inhou vir die kosbare en skaars watervoorraad in die land (Janse van Vuuren & Kriel [2008]).

Gevolgtrekking

Daar is 'n moontlikheid dat water vanaf die Katsedam sekere algsorte (soos *Asterionella*, *Coccomonas* en *Ceratium* spesies) deur middel van oordrag in die Vaalrivier kon ingevoer het, omdat hierdie alge teenwoordig was in die Katsedam, maar afwesig was in die Vaalrivier voor die implementering van die Lesotho Hoogland Waterskema. Sekere ander alge wat teenwoordig was in die Katsedam, is egter nie in die Vaalrivier gevind nie (Tabel 1). Hierteenoor was daar 'n groot getal genusse teenwoordig in die Vaalrivier wat afwesig was in die Katsedam (Tabel 1).

Indien die toenemende konsentrasie van alge in die Vaalrivier gedurende die drie studieperiodes in ag geneem

word, blyk dit dat die invoer van water uit die Katsedam min of geen verdunnings effek gehad het op die waterkwaliteit en algkonsentrasie in die ontvangende Vaalrivier nie. Die feit dat geen verdunning plaasgevind het nie, kan toegeskryf word aan die voortdurende besoedeling en eutrofikasie van die Vaalrivier.

'n Ander voorspelling – dat die algbevolking in die Vaalrivier gekenmerk sou word deur alge tipies van skoner water (groen alge en diatome) ná die oordrag van die oligomesotrofe water uit die Katsedam – is nie deur hierdie studie bevestig nie. Intendeel, veranderinge in die algsamestelling was deur 'n skuif in dominansie van diatome en groen alge na sianobakterieë gekenmerk. Gedurende die periode tussen 1998 en 2000, en dié tussen 2004 en 2006, het meer as 80% van die fitoplankton in die Vaalrivier uit nieheterosistbevattende sianobakterieë bestaan (*Microcystis* en *Oscillatoria*). Die waargenome toename in algkonsentrasie en veranderinge in algsamestelling na 'n sianobakteriumgedomineerde bevolking was nie slegs onverwags nie, maar kon nie toegeskryf word aan die oordrag van oligomesotrofe water uit die Katsedam nie. Die resultate het aangetoon dat daar ander faktore was wat belangrik was in die bepaling van die getal en samestelling van die alggemeenskappe. Die moontlike oorsaak het duidelik geword toe die chemiese samestelling van die Vaalrivierwater tydens die drie periodes ondersoek is. Resultate het aangetoon dat daar 'n beduidende toename in voedingstofkonsentrasies (beide fosfaat en stikstof) was, wat die toename in algkonsentrasie kon verklaar. Toenemende voedingstofkonsentrasies, tesame met hoër temperature, afnemende DIN : DIP-verhoudings en betreklik troebel toestande het 'n gunstige omgewing vir die groei van sianobakterieë geskep en dit het hierdie potensieel giftige organismes toegelaat om in die rivier te domineer. 'n Verdere afname in DIN : DIP-verhoudings kan dalk lei tot suksessie na heterosistbevattende vorme, soos *Anabaena* en *Cylindrospermopsis*, wat in staat is om atmosferiese stikstof te fikseer. Filamente van *Cylindrospermopsis* is reeds ná 2006 in die Vaalrivier waargeneem – 'n kommerwekkende feit indien in ag geneem word dat hierdie genus potensieel hoogs toksies is weens die produksie van cylindrospermopsien, 'n verbinding wat nie so maklik soos byvoorbeeld microcystien deur watersuiweringsprosesse verwyder word nie (Knappe *et al.* 2004).

Die unieke geleentheid om die invloed van die oordrag van oligomesotrofe water uit die Katsedam op die chemie en biologie van die Vaalrivier te bestudeer, is in 'n sekere sin gerem en selfs oorskadu deur die invloed van besoedeling in die Vaalrivieropvangsgebied. As puntbron-besoedeling en verdere eutrofikasie nie noemenswaardig in die Vaalrivier afneem nie, kan die land 'n groot ekonomiese krisis beleef indien die water onbenutbaar raak vir menslike of industriële gebruik. Indien hierdie kritieke fase bereik word, sal die oordrag van water uit die hooglande van Lesotho waarskynlik nooit voldoende wees om die reeds oorontginde Vaalrivier-ekostelsel te onderhou nie.



Erkenning Mededingende belange

Die outeurs verklaar hiermee dat hulle geen finansiële of persoonlike verbintenis het met enige party wat hulle nadelig kon beïnvloed in die skryf van hierdie artikel nie.

Outeursbydrae

S.J.v.V. (Noordwes-Universiteit) was die projekteur en het die manuskrip geskryf. Fisiese en chemiese data, asook die algtellings vir die periode tussen 2004 en 2006 is verskaf deur A.S. van Rand Water. Algtellings vir die ander periodes is gedoen deur G.v.Z. (Midvaal Water).

Literatuurverwysings

- Akbay, N., Anul, N., Yerli, S., Soyupak, S. & Yurteri, C., 1999, 'Seasonal distribution of large phytoplankton in the Keban Dam Reservoir', *Journal of Plankton Research* 21(4), 771–787. <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/21.4.771>
- An, K.-G. & Jones, J.R., 2000, 'Factors regulating bluegreen dominance in a reservoir directly influenced by the Asian monsoon', *Hydrobiologia* 432, 34–48. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004077220519>
- Ashton, P.J., 1979, 'Nitrogen fixation in a nitrogen-limited impoundment', *Journal Water Pollution Control Federation* 51, 570–579.
- Ashton, P.J., 1981, 'Nitrogen fixation and the nitrogen budget of a eutrophic impoundment', *Water Research* 15, 823–833. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(81\)90136-6](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(81)90136-6)
- Bahnwart, M., Hübener, T. & Schubert, H., 1999, 'Downstream changes in phytoplankton composition and biomass in a lowland river-lake system (Warnow River Germany)', *Hydrobiologia* 391, 99–111. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1003558209411>
- Baker, A.L. & Baker, K.K., 1981, 'Seasonal succession of the phytoplankton in the upper Mississippi River', *Hydrobiologia* 83, 295–301. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00008280>
- Branco, C.W.C. & Senna, P.A.C., 1994, 'Factors influencing the development of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Microcystis aeruginosa* in the Paranao Reservoir Brasilia, Brazil', *Algological Studies* 75, 85–96.
- Braune, E. & Rogers, K.H., 1987, 'The Vaal River catchment: problems and research needs', National Scientific Programmes Unit: CSIR, SANSP Report No. 143.
- Davies, B. & Day, J., 1998, *Vanishing waters*, UCT Press, Cape Town.
- Department of Water Affairs and Forestry, 2009, 'Integrated water quality management plan for the Vaal River system: Task 2: Water quality status assessment of the Vaal River system', Report No. P RSA C000/00/2305/1.
- Duthie, H.C. & Hart, C.J., 1987, 'The phytoplankton of the subarctic Canadian Great Lakes', *Archiv für Hydrobiologie Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 25, 1–9.
- Eloranta, P., 1989, 'Scaled chrysophytes (Chrysophyceae and Synurophyceae) from national park lakes in southern and central Finland', *Nordic Journal of Botany* 8, 671–681. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1756-1051.1989.tb01744.x>
- Eloranta, P., 1995, 'Phytoplankton of the national park lakes in central and southern Finland', *Annales Botanici Fennici* 32, 193–209.
- Fornarelli, R. & Antenucci, J.P., 2011, 'The impact of transfers on water quality and the disturbance regime in a reservoir', *Water Research* 45, 5873–5885. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.048>, PMID:21925695
- Gibbins, C.N., Soulsby, C., Jeffries, M.J. & Acornley, R., 2001, 'Developing ecological acceptable river flow regimens: a case study of Kielder reservoir and the Kilder water transfer system', *Fisheries Management and Ecology* 8, 463–485. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2400.2001.00274.x>
- Harris, G.P., 1986, *Phytoplankton ecology: Structure, function and fluctuation*, Chapman and Hall, London. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-4081-9>
- Havens, K.E., James, R.T., East, T.L. & Smith, V.H., 2003, 'DIN:DIP ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution', *Environmental Pollution* 122(3), 379–390. [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00304-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00304-4)
- Hu, W., Zhai, S., Zhu, Z. & Han, H., 2008, 'Impacts of the Yangtze River water transfer on the restoration of Lake Taihu', *Ecological Engineering* 34, 30–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.05.018>
- Hu, L., Hu, W., Zhai, S. & Wu, H., 2010, 'Effects on water quality following water transfers in Lake Taihu, China', *Ecological Engineering* 36, 471–481. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.11.016>
- Ilmavirta, V., 1980, 'Phytoplankton in 35 Finnish brown-water lakes of different trophic status', *Developments in Hydrobiology* 3, 121–130.
- Isvánovics, I., Shafik, H.M., Présing, M. & Juhos, S., 2000, 'Growth and phosphate uptake kinetics of the cyanobacterium, *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanophyceae) in throughflow cultures', *Freshwater Biology* 43, 257–275. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.2000.00549.x>
- Janse van Vuuren, S., 1996, 'Environmental variables, abundance and seasonal succession of phytoplankton populations in the Vaal River at Balkfontein', MSc dissertation, PU for CHE, Potchefstroom, South Africa.
- Janse van Vuuren, S., 2001, 'Environmental variables and the development of phytoplankton assemblages in the Vaal River between the Rand Water Barrage and Balkfontein', PhD thesis, Department of Botany, Potchefstroom University for CHE, Potchefstroom, South Africa.
- Janse van Vuuren, S., Taylor, J., Gerber, A. & van Ginkel, C., 2006, 'Easy identification of the most common freshwater algae', A guide for the identification of microscopic algae in South African freshwaters, North-West University and Department of Water Affairs and Forestry, South Africa.
- Janse van Vuuren, S. & Kriel, G.P., 2008, '*Cylindrospermopsis raciborskii*, a toxic invasive species in South African freshwaters', *African Journal of Aquatic Science* 30(1), 17–28. <http://dx.doi.org/10.2989/AJAS.2007.33.1.2.386>
- Knappe, D.R.U., Belk, R.C., Briley, D.S., Gandy, S.R., Rastogi, N., Rike, A.H., Glasgow, H., Hannon, E., Frazier, W.D., Kohl, P. & Pugsley, S., 2004, 'Algae detection and removal strategies for drinking water treatment plants', AWWA Research Foundation Report No. 90971.
- Lund, J.W.G., Kipling, C. & Le Cren, E.D., 1958, 'The inverted microscope method of estimating algal numbers and statistical basis of estimation by counting', *Hydrobiologia* 11, 143–170. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00007865>
- Lundahl, M., McCarthy, C. & Petersson, L., 2003, *In the shadow of South Africa: Lesotho's economic future*, Ashgate Publishing Ltd, Aldershot.
- Matthews, S.M., Schorr, M.S. & Meador, M.R., 1996, 'Effects of experimentally enhanced flows on fishes of a small Texas (U.S.A.) stream: assessing the impact of interbasin transfer', *Freshwater Biology* 35, 349–362. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1996.00494.x>
- Moore, J.W., 1971, 'Patterns of distribution of phytoplankton in Northern Canada', *Nova Hedwigia* 21, 923–1035. <http://dx.doi.org/10.1139/b78-210>
- Moore, J.W., 1978, 'Distribution and abundance of phytoplankton in 153 lakes, rivers, and pools in the Northwest Territories', *Canadian Journal of Botany* 56, 1765–1773.
- Muller, M., 2000, 'Inter-basin Water Sharing to Achieve Water Security: A South African Perspective.' paper presented at the World Water Forum in The Hague Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria South Africa, viewed 12 September 2012, from http://www.google.co.za/url?sa=t&rct=j&q=inter-basin+water&source=web&cd=3&ved=0CDgQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.dwaf.gov.za%2Fcommunications%2FDepartmentalSpeeches%2F2002%2Fhague%2520transfer%2520final.doc&ei=1mtQUN24BZOKHesvIHADA&usq=AFQjCNH95a3_V0-VbYr4fGjN10sEOZdg&cad=rja
- Nygaard, G., 1978, 'Freshwater phytoplankton from the Narssaq Area, South Greenland', *Botanisk Tidsskrift* 73, 3–4.
- Otieno, F.A.O. & Ochieng, G.M.M., 2004, 'Water management tools as a means of averting a possible water scarcity in South Africa by the year 2025', *Water SA* 30(5), 120–124.
- Parparov, A.S., 1990, 'Some characteristics of the community of autotrophs of Lake Sevan in connection with its eutrophication', *Hydrobiologia* 191, 15–21. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00026034>
- Pieterse, A.J.H., 1986a, 'Environmental factors and the succession of the 1984 phytoplankton populations in the Vaal River at Balkfontein, South Africa', in Z. Dubinsky & Y. Steinberger (eds.), *Environmental quality and ecosystem stability*, Vol III, Bar Ilan University Press, Ramat Gan.
- Pieterse, A.J.H., 1986b, 'Aspects of the ecology and significance of algal populations in the Vaal River', in *The Vaal ecosystem: Status and problems*, proceedings of a Joint Symposium convened by the Foundation for Research Development and the Vaal River Catchment Association, Occasional Report No 5, CSIR, Pretoria.
- Pieterse, A.J.H. & Janse van Vuuren, S., 1997, 'An investigation into phytoplankton blooms in the Vaal River and the environmental variables responsible for their development and decline', Water Research Commission Report No 359/1/97, Pretoria.
- Pieterse, A.J.H. & Roos, J.C., 1987, 'Preliminary observations on cross-channel and vertical heterogeneity in environmental and algological parameters in the Vaal River at Balkfontein, South Africa', *Water SA* 12, 173–184.
- Pieterse, A.J.H. & Roos, J.C., 1992, 'Diurnal variations in the Vaal, a turbid South African River: physical, chemical and phytoplankton biomass characteristics', *Water SA* 18, 21–26.
- Pieterse, A.J.H., Roos, J.C., Theron, S., Prinsloo, J.F. & Vermeulen, A., 1993, 'Longitudinal development of phytoplankton assemblages and environmental variables in the middle Vaal River', Report to the Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria, on a short term water quality monitoring programme of releases from the Vaal River Barrage during the winter of 1992, University of the Orange Free State, Bloemfontein.
- Reid, G.K. & Wood, R.D., 1976, *Ecology of inland waters and estuaries*, 2nd edn., D van Nostrand Company, New York.
- Reynolds, C.S. & Walsby, A.E., 1975, 'Waterblooms', *Biological Reviews* 50, 437–481. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-185X.1975.tb01060.x>
- Romo, S. & Van Tongeren, O., 1995, 'Multivariate analysis of phytoplankton and related environmental factors, in a shallow hypertrophic lake', *Hydrobiologia* 299, 93–101. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00017561>
- Roos, J.C., 2000, 'Katse Dam and the proposed Kruisvallei Dam – A water quality study', Internal report to Rand Water Scientific Services, Vereeniging, South Africa.
- Rosén, G., 1981, 'Phytoplankton indicators and their relations to certain chemical and physical factors', *Limnologia* 13, 2263–2290.
- Round, F.E., 1984, *The ecology of algae*, Cambridge University Press, Cambridge.



- Saker, M.L., Neilan, B.A. & Griffiths, D.J., 1997, 'Two morphological forms of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) isolated from Solomon Dam, Palm Island, Queensland', *Journal of Phycology* 35, 599–606. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1529-8817.1999.3530599.x>
- Schelske, C.L. & Stoermer, E.F., 1971, 'Eutrophication, silica depletion, and predicted changes in algal quality in Lake Michigan', *Science* 173, 423–424. <http://dx.doi.org/10.1126/science.173.3995.423>, PMID:17770443
- Schelske, C.L., 1975, 'Silica and nitrate depletion as related to rate of eutrophication in lakes Michigan, Huron, and Superior', in A.D. Hasler (ed.), *Coupling of land and water systems*, Springer-Verlag, New York. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-86011-9_12
- Schindler, D.W., 1977, 'Evolution of phosphorus limitation in lakes', *Science* 195, 260–262. <http://dx.doi.org/10.1126/science.195.4275.260>, PMID:17787798
- Seale, D.B., Boraas, M.E. & Warren, G.J., 1987, 'Effects of sodium and phosphate on growth of cyanobacteria', *Water Research* 21, 625–631. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(87\)90072-8](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(87)90072-8)
- Smith, V.H., 1983, 'Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton', *Science* 221, 669–671. <http://dx.doi.org/10.1126/science.221.4611.669>, PMID:17787737
- Snaddon, C.D. & Davies B.R., 1998, 'A preliminary assessment of the effects of a small inter-basin water transfer, the Riviersonderend-Berg River Transfer Scheme, Western Cape, South Africa, on discharge and invertebrate community structure', *Regulated Rivers: Research and Management* 14, 421–441. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(1998090\)14:5<421::AID-RRR509>3.0.CO;2-L](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(1998090)14:5<421::AID-RRR509>3.0.CO;2-L)
- Sommer, U., 1985, 'Seasonal succession of phytoplankton in Lake Constance', *Bioscience* 35(6), 351–357. <http://dx.doi.org/10.2307/1309903>
- Steinberg, C.E.W. & Hartmann, H.M., 1988, 'Planktonic bloom-forming Cyanobacteria and the eutrophication of lakes and rivers', *Freshwater Biology* 20, 279–287. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.1988.tb00452.x>
- Steynberg, M.C., 1986, 'Aspekte van die invloed van eutrofikasie op die Vaalrivierbarrage', M.Sc.- verhandeling, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.
- Swanepoel, A. & Du Preez, H., 2007, 'Annual report on the biological aspects of water quality at the Katse, Muela, Mohale Dams and their main tributaries for the period October 2006 to September 2007', Rand Water Scientific Services Report No. 2007/09/HAL, Vereeniging, South Africa.
- Thornton, J.A., 1987, 'Aspects of eutrophication management in tropical/sub-tropical regions', *Journal of the Limnological Society of Southern Africa* 13, 25–43. <http://dx.doi.org/10.1080/03779688.1987.9634541>
- Tilman, D., Kiesling, R., Steiner, R., Kilham, S.S. & Johnson, F.A., 1986, 'Green, bluegreen and diatom algae: Taxonomic differences in competitive ability for phosphorus, silicon and nitrogen', *Archiv für Hydrobiologie* 106, 473–485. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.13.110182.002025>
- Tilman, D., Kilham, S.S. & Kilham, P., 1982, 'Phytoplankton community ecology The role of limiting nutrients', *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 13, 349–382.
- Trans-Caledon Tunnel Authority (TCTA), 2002, 'Annual report for 2002', viewed 24 March 2007, from <http://www.tcta.co.za>.
- Van Ginkel, C.E. & Conradie, B., 2001, 'Potentially toxic algal incident in the Orange River, Northern Cape, 2000', Report No. N/D801/12/EEQ/0800, Institute for Water Quality Studies, Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria, South Africa.
- Varis, O., 1993, 'Impacts of growth factors on competitive ability of blue-green algae analyzed with whole-lake simulation', *Advances in Hydrobiology* 77, 127–137.
- Walmsley, R.D. & Butty, M., 1980, 'Guidelines for the control of eutrophication in South Africa', A collaborative report by the Water Research Commission and National Institute for Water Research (CSIR), Pretoria, South Africa.
- Walsby, A.E., 1971, 'The pressure relationships of gas vacuoles', *Proceedings of the Royal Society of London B* 178, 301–326. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.1971.0067>
- Walsby, A.E., 1994, 'Gas vesicles', *Microbiological Reviews* 58, 94–144.
- Wehr, J.D. & Sheath, R.G., 2003, *Freshwater Algae of North America: ecology and classification*, Academic Press, San Diego, CA.
- Welch, H.E., Legault, J.A. & Kling, H.J., 1989, 'Phytoplankton, nutrients, and primary production in fertilized and natural lakes at Saqvaquac, NWT', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46, 90–107. <http://dx.doi.org/10.1139/f89-013>
- Wetzel, R.G., 1983, *Limnology*, Saunders College Publications, Philadelphia.
- Zhai, S., Hu, W. & Zhu, Z., 2010, 'Ecological impacts of water transfers on Lake Taihu for the Yangtze River, China', *Ecological Engineering* 36, 406–420. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.11.007>