

Die impak van suur mynwater op die ekologie van die Wieg van die Mensdom en die Krugersdorp-Wildreservaat aan die Wes-Rand

**Author:**François Durand¹ **Affiliation:**¹Department of Zoology, University of Johannesburg, South Africa**Corresponding author:**

François Durand, francois.karst@yahoo.com

Dates:

Received: 11 Oct. 2015

Accepted: 07 Oct 2016

Published: 25 Nov. 2016

How to cite this article:

Durand, F., 2016, 'Die impak van suur mynwater op die ekologie van die Wieg van die Mensdom en die Krugersdorp-Wildreservaat aan die Wes-Rand', *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 35(1), a1367. <http://dx.doi.org/10.4102/satnt.v35i1.1367>

Copyright:

© 2016. The Authors. Licensee: AOSIS. 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 Witwatersrand Supergroep is die wêreld se rykste gouddraende geologiese afsetting. Hierdie ongeveer 2.8 miljard jaar oue eenheid word deur die 2.71–2.67 miljard jaar oue Ventersdorp Supergroep opgevolg wat weer deur die 2.67–2.46 miljard jaar Chuniespoort Groep van die Transvaal Supergroep bedek word. Die dolomietryke Chuniespoort Groep is ook 'n reusewaterdraer waaruit water vir boerdery in suidelike Gauteng, die suidoostelike Noordwes- Provinsie en noordelike Vrystaat onttrek word. Megaliters grondwater stroom daaglik vanuit die dolomietryke gebiede in die naasliggende myne in, wat veroorsaak dat hierdie water voortdurend uitgepomp moet word, alvorens daar met mynaktiwiteite voortgegaan kan word. Die goudmyne in die Witwatersrand Supergroep is van die diepste myne ter wêreld en dié in Gauteng is tot ongeveer 3 km diep. Die myne van die Sentraal-Rand, die Oos-Rand en die Wes-Rand, wat oor 'n gebied van ongeveer 100 km strek, is een ná die ander gesluit toe die gouderts tot op 'n diepte van ongeveer 3 km ondergronds uitgemyn was en dit te onekonomies geword het om voort te gaan om te myn. Die reusagtige ondergrondse mynholte wat nagelaat is, beslaan etlike miljoene kubieke meter. Hierdie mynholte het stadigaan weer met grondwater begin opvul, en die fonteine rondom die Witwatersrandse myne het na 'n eeu van ontwatering weer begin vloei. Dit is egter nie skoon dolomitiese water wat uit die fonteine stroom nie, maar suur mynwater wat hoë konsentrasies swaelsuur, sulfaatsoute en metale, insluitende radioaktiewe swaarmetale, bevat. Die gouddraende lae van die Witwatersrand Supergroep bevat ook groot hoeveelhede ysterpiriet (FeS_2) wat swaelsuur vorm wanneer dit in aanraking met suurstof en water kom. Die agteruitgang van die ekologie van Krugersdorp se Wildreservaat en die Wieg van die Mensdom is 'n goeie voorbeeld van die negatiewe uitwerking van suur mynwater op die ekologie.

The impact of acid mine drainage on the ecology of the Cradle of Humankind and Krugersdorp Game Reserve on the West Rand. The Witwatersrand Supergroup is the world's richest goldbearing geological deposit. This approximately 2.8 milliard years old unit is overlain by the 2.71–2.67 milliard years Ventersdorp Supergroup which is in turn overlain by the 2.67–2.46 milliard years Chuniespoort Group of the Transvaal Supergroup. The dolomite-rich Chuniespoort Group also contains a large aquifer which supplies water to farms in southern Gauteng, southeastern North West Province and northern Free State. The megalitres of water in the dolomite flooding the adjacent gold mines in the Witwatersrand Supergroup need to be pumped out constantly to keep the mines operational. The gold mines in the Witwatersrand Supergroup are amongst the deepest mines in the world and those in Gauteng are up to 3 km deep. The mines of the Central Rand, the East Rand and the West Rand, which extend over an area of 100 km, were shut down, one after the other, as the gold ore was depleted to a depth of approximately 3 km and it became uneconomical to continue. The enormous mine void, occupying several million cubic metres, gradually started to fill up with groundwater again, causing the springs in the vicinity of the Witwatersrand mines to flow after more than a century of dewatering. The water flowing from these springs, however, is not clean dolomitic water but acid mine water containing a high concentration of sulphuric acid, sulphate salts and metals, including radioactive heavy metals. The auriferous geological layers constituting the Witwatersrand Supergroup also contain large quantities of iron pyrite (FeS_2) which forms sulphuric acid when it comes into contact with water and oxygen. The deterioration of the ecology in the Krugersdorp Game Reserve and the Cradle of Humankind World Heritage Site is a good example of the negative impact acid mine water has on the ecology.

Inleiding

Die Witwatersrand Supergroep, die rykste gouddraende geologiese afsetting ter wêreld, was vir meer as 'n eeu dié belangrikste dryfveer van die Suid-Afrikaanse ekonomie. Sonder hierdie unieke geologiese verskynsel sou Johannesburg, die stede en dorpe van die Oos-Rand, Wes-Rand en verre Wes-Rand asook, trouens, Gauteng as 'n provinsie nie bestaan het nie. Die myne en gepaardgaande nywerhede het miljoene mense van oral oor die wêreld na die Witwatersrand gelok. Na die ontdekking van die goudrif het 'n reeks klein delwerye al langs die ossewapad, wat later Hoofrifweg sou word, ontspring. Tussen 1886 en 1887 was die dorpe Johannesburg, Krugersdorp, Roodepoort, Randfontein, Klerksdorp, Germiston en Boksburg gestig (Mendelsohn & Potgieter 1986). Die totstandkoming van die dorpe Nigel, Brakpan, Carletonville en die swart woonbuurte Kliptown, Orlando, Katlehong, Tembisa en Vosloorus het in die dekades daarna gevolg. Die groot myne het eers ontstaan toe die diamantbaronne van Kimberley en die mynmagnate van die Oos-Transvaalse Laeveld al die kleiner delwerye uitkoop het (Mendelsohn & Potgieter 1986). Nuwe tegnieke is ontwikkel om die uitdagings wat met diep myne gepaard gegaan het, die hoof te bied. Een van hierdie probleme was om die oorstrooming van die myne deur grondwater te verhoed.

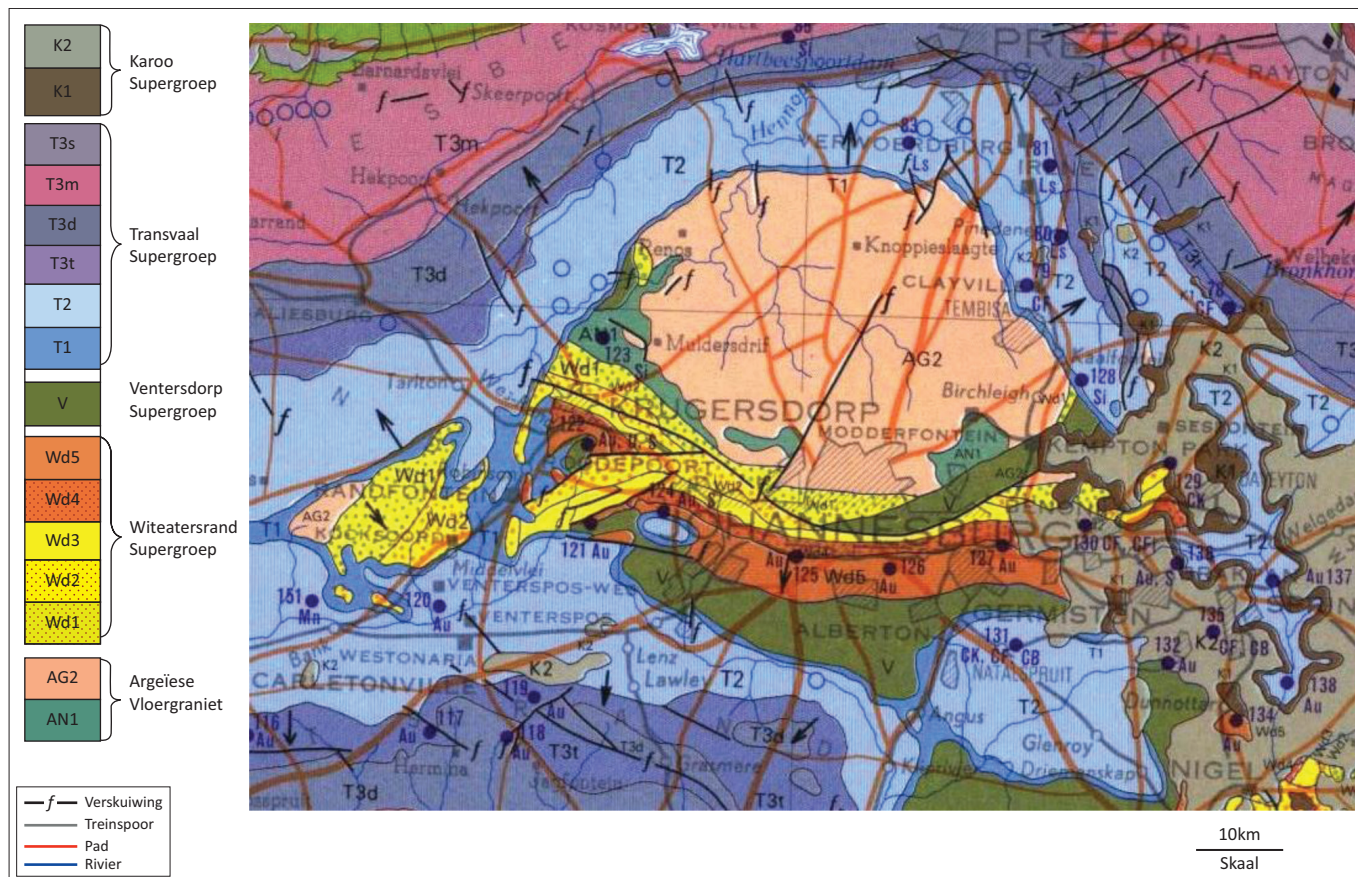
Geologie van die Witwatersrand

Die gesteentes van die Witwatersrand Supergroep kom in 'n wye boog rondom die Vredefortkoepel in die suidelike deel van

Gauteng, die suidoostelike deel van Noordwes en die noordelike deel van die Vrystaat voor. Die sedimentêre gesteentes wat die Witwatersrand Supergroep vorm, was ongeveer 2.8 miljard jaar gelede in horisontale lae in 'n vlak binnelandse see afgeset (McCarthy & Rubidge 2005). Die impak van 'n reusemeteoriet ongeveer 2.023 miljard jaar gelede het hierdie 7500 meter dik sedimentêre opeenvolging vervorm, wat veroorsaak het dat die lae na die middel van die Vredefortkoepel teen 'n helling van tussen 10° en 30° (Truswell 1977).

Die Witwatersrand Supergroep word in die Sentraal-Rand Groep en die onderliggende Wes-Rand Groep onderverdeel. Die Wes-Rand Groep word in die Hospital Hill, die Government en die Jeppeshtown Subgroepe onderverdeel, terwyl die Sentraal-Rand Groep in die Johannesburg en Turffontein Subgroepe onderverdeel word. Die Johannesburg Subgroep bevat een van die grootste afsettings van goud ter wêreld (McCarthy & Rubidge 2005; Viljoen & Reimold 2002). Die Witwatersrand Supergroep word deur die 2.714–2.665 miljard jaar oue Ventersdorp Supergroep bedek (Schneiderhan 2008). Die Ventersdorp Supergroep bestaan hoofsaaklik uit stollingsgesteentes wat bo-oor die goudbevattende Ventersdorp-kontakrif afgeset is (sien Figuur 1).

Die Transvaal Supergroep bedek weer die Ventersdorp Supergroep. Die goudbevattende Swarttrif-formasie wat die onderste laag van die Transvaal Supergroep vorm, is veral aan die Wes-Rand gemyn (McCarthy & Rubidge 2005). Die



Bron: Aangepas vanaf Geologiese Opname, 1970, 1:1 000 000 Geologiese kaart vir Suid-Afrika, Lesotho en Swaziland

FIGUUR 1: Die geologie van die Witwatersrand en omstreke.

Swartrif word deur die Chuniespoort Groep van die Transvaal Supergroep bedek. Die Chuniespoort Groep bestaan uit sedimentêre gesteentes wat ongeveer 2.67–2.46 miljard jaar gelede afgeset is en bevat gesteentes soos gebande ystersteen en stromatolitiese karbonate wat grootliks uit kalksteen en dolomiet bestaan (Eriksson *et al.* 2001). Die dolomietryke Chuniespoort Groep bedek 'n groot gedeelte van die Witwatersrand Supergroep in die suidelike deel van Gauteng en die suidoostelike deel van Noordwes-Provinsie (sien Figuur 1).

Suur mynwater

Die swaelsuur in suur mynwater word gevorm wanneer piriet in kontak met suurstof en water kom. Swaelsuur los sand, gruis en rots in myngebiede op en stel sodoende die elemente vry wat daarin voorkom. Wanneer swaelsuur met alkaliese gesteentes soos kalksteen en dolomiet in aanraking kom, word die gesteentes opgelos en sulfaatsoute gevorm. Water wat vanuit die ou mynsgagte en sliksdamme aan die Witwatersrand vloei, bevat hoë vlakke van swaelsuur, metale en sout en word suur mynwater genoem. Sommige van die swaarmetale in die suur mynwater is radioaktief.

Water stroom vanuit die reuse-akwifer wat in die dolomietiese gesteentes in Gauteng voorkom en voed die fonteine wat oorspronklik al langs die Witwatersrand voorgekom het. Trouens die naam Witwatersrand is waarskynlik van hierdie verskynsel afgelei. Die Witwatersrandse nedersettings het op plase met name soos Randfontein, Braamfontein, Doornfontein, Turffontein, Modderfontein, Driefontein, Elandsfontein, Vogelfontein en Vogelstruisfontein ontstaan. Vanweë die feit dat die waterdraende dolomietiese gesteentes van die Transvaal Supergroep, gesteentes van die ouer Ventersdorp Supergroep en die goudryke Witwatersrand Supergroep plek-plek bedek en op ander plekke aangrensend daaraan voorkom (sien Figuur 1), word die mynholte deur grondwater oorstrom.

Vroeg reeds het die diep myne probleme met grondwater-oorstromings en die vorming van suur mynwater ondervind (O'Flaherty 1903). Die water wat vanuit die karst-waterdraer in die oorliggende en naasliggende dolomietiese gesteentes gestroom het, moes uitgepomp word om die myne operasioneel te hou (Morgan & Brink 1984; Warwick *et al.* 1987). Miljoene liter water is later daaglik vanuit die mynholte al langs die Witwatersrand in die naburige riviere gepomp en die natuurlike fonteine waarna die oorspronklike plase vernoem is, het opgedroog (Enslin *et al.* 1976). Die myne langs die Witwatersrand het een na die ander gedurende die vorige eeu gesluit – eers dié aan die Sentrale Rand, later dié aan die Oos-Rand en laastens dié aan die Wes-Rand toe dit te duur en onprakties geword het om die gouderts op vlakke dieper as 3 km ondergronds te myn (Durand 2012).

Oorspronklik was elke myn verantwoordelik vir sy eie drooglegging, maar uiteidelik het die taak om die

reusmynholte van ongeveer 45 000 000m² (Eriksson *et al.* 2001) van Springs tot Randfontein uit te pomp slegs 'n paar myne se verantwoordelikheid geword (Van Eeden, Lieferink & Durand 2009). Ongeveer 36 000 000L water is in die 1990's daaglik vanuit die mynholte in die Sentrale Rand gepomp om die myne operasioneel te hou (Scott 1995), terwyl ongeveer 32 000 000L uit die mynholte aan die Wes-Rand deur Harmony Gold Mines gepomp en in die Wonderfonteinspruit en Tweelopiespruit gestort is (Krige & Van Biljon 2010). Tot 'n paar jaar gelede is ongeveer 75 mg/L per dag uit die Grootvleimyn aan die Oos-Rand in die Blesbokspruit gestort (Holtzhausen 2006). Die koste het mettertyd te hoog geword vir hierdie paar myne en, ondanks 'n staatsubsidie, kon hulle nie hiermee volhou nie. Daarbenewens is Grootvleimyn deur sy eienaars gestroop en die skrootmetaal, waaronder pype en pompe, verkoop (De Lange 2011).

Die grondwatervlakke het mettertyd herstel nadat die laaste myne opgehou het om die water uit die mynholte uit te pomp en die fonteine aan die Witwatersrand het, een na die ander, weer begin vloei, maar in plaas van suiwer dolomietiese water, kom daar nou suur mynwater uit die fonteine en mynsgagte (Krige 2006; Hobbs & Cobbing 2007). Hierdie suur mynwater het vanaf 2002 uit die mynholte in Krugersdorp se Wildreservaat begin uitloop (Fourie 2005).

Probleemstelling

Die negatiewe impak op die ekologie van die gebied rondom die goudmyne is kommerwekkend. Die doel van hierdie studie was om die getalle en diversiteit van makroskopiese varswaterinsekte met die waterkwaliteit van 'n rivier in so 'n geïmpakteerde gebied te vergelyk.

Hipotese

Die getal en diversiteit van makroskopiese akwatiese insekte word negatief deur suur mynwater in die riviere rondom die myne geraak.

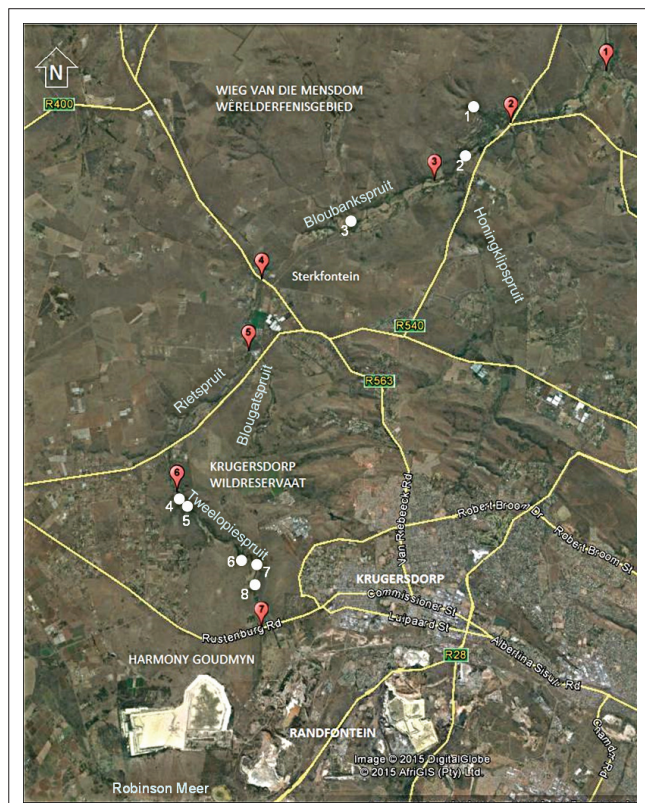
Materiaal en metodes

SASS5-opnames word gebruik om die riviergesondheid te bepaal. Die opnames bestaan uit die identifikasie van akwatiese makro-invertebraatfamilies en die relatiewe hoeveelhede waarin hulle in lopende water voorkom. Die sensitiwiteit van die verskillende akwatiese makro-invertebraatfamilies is bekend en die waterkwaliteit by spesifieke versamelpunte in 'n rivierstelsel kan bepaal word volgens die voorkoms van spesifieke families. Aangesien meer inligting benodig word ten opsigte van die spesifieke besoedelingsfaktore is watermonsters ook by verskillende punte in die rivierstelsel geneem en ontleed (Figuur 2).

Nadat die suur mynwater in 2002 in die Krugersdorp-Wildreservaat begin uitvloei het, is 'n SASS5-opname gedoen om die relatiewe gesondheid van die Bloubankspruit te bepaal (Van Staden 2003). In 2007 is daar op die waterkwaliteit in die Tweelopiespruit vanaf die Robynsonmeer tot in die

noordelike deel van Krugersdorp se Wildreservaat gefokus en is daar watermonsters geneem en 'n akwatiese makro-invertebraatopname in die Tweelopiespruit gedoen (Heyl 2007). Na 'n visvrekke by Koelenhof in die Wieg van die Mensdom in 2011, is SASS5-opnames gedoen en watermonsters maandeliks in die Tweelopiespruit, Rietspruit en Bloubankspruit geneem. In 2014 is die watermonstertoetse en SASS5-opnames herhaal om die huidige riviergesondheid te bepaal.

Die watermonsters wat vanaf 2007 tot 2014 geneem is, is deur Waterlab in Pretoria ontleed en die pH, die sulfaat-inhoud



Bron: Aangepas vanaf Imagery ©2015, Google, DigitalGlobe, DigiGlobe, Map data ©2015 AfriGIS (Pty) Ltd., viewed from <http://www.earth.google.com>. Fonteine, versamelpunte en Afrikaanse byskrifte deur François Durand

FIGUUR 2: Die watermonsteringspunte 1 tot 7 in die Tweelopiespruit-Rietspruit-Bloubankspruit-rivierstelsel. Die fonteine in die rivierstelsel word deur wit kolletjies aangedui: (1) Plovers Lake Fontein; (2) Kromdraaifontein; (3) Zwartkransfontein; (4) Flip-se-gatfontein; (5) Kalkmynfontein; (6) Lodgefontein; (7) Populierbosfontein; (8) Seekoedamfontein.

TABEL 1: Suur- en metaalvlakke in die Tweelopiespruit-Rietspruit-Bloubankspruit-rivierstelsel in Junie 2007 (die konsentrasie van metale word in mg/L aangedui).

Punt	pH	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	Ni	U	SO ₄
6.	7.5	<0.001	169	<0.01	48.6	5.11	0.292	<0.0001	702
7.	2.7	0.013	390	209	198	177	10.8	0.1168	3275

pH, potensiaal van waterstof; Al, aluminium; Ca, kalsium; Fe, yster; Mg, magnesium; Mn, mangaan; Ni, nikkell; U, uraan; SO₄, sulfaat.

TABEL 2: Suur- en metaalvlakke in die Tweelopiespruit-Rietspruit-Bloubankspruit-rivierstelsel in Februarie 2011 (die konsentrasie van metale word in mg/L aangedui).

Punt	pH	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	Ni	U	SO ₄
1.	7.6	0.200	62	0.596	31	2.80	<0.025	<0.010	370
2.	7.3	0.199	62	0.527	32	5.29	<0.025	<0.010	392
3.	3.6	0.137	75	0.086	31	16	<0.025	<0.010	706
4.	3.0	0.492	83	3.99	17	17	0.076	<0.010	874
5.	2.6	2.33	448	16	96	60	0.680	0.049	2618
6.	2.6	2.13	519	12	93	92	0.611	0.043	2200

pH, potensiaal van waterstof; Al, aluminium; Ca, kalsium; Fe, yster; Mg, magnesium; Mn, mangaan; Ni, nikkell; U, uraan; SO₄, sulfaat.

(SO₄) en konsentrasie van metale, veral dié wat met mynwater geassosieer word, is bepaal (Tabelle 1–4).

Resultate

Die resultate van die akwatiese invertebraat en watermonster-opnames wat in 2007, 2011 en 2014 gedoen is word in tabelvorm opgesom (Tabelle 1–5).

Bespreking

Die uitvloe van suurmynwater bedreig die watergesondheid van die riviere rondom die Harmony-goudmyn en dit het 'n ernstige negatiewe impak op die ekologie van die omgewing. Versamelpunte is so gekies dat die vloei van suur mynwater in die Tweelopiespruit-Rietspruit-Bloubankspruit-rivierstelsel gemoniteer kan word. Die suur mynwater noord van die Harmony-goudmyn het oorspronklik hoofsaaklik die Tweelopiespruit beïnvloed, terwyl die suur mynwater suidwes van die Harmony-goudmyn in die Wonderfonteinpruit gevloei het. Vanaf 2002 is hoofsaaklik die rietbeddings in die vleilande op grond van die Harmony-goudmyn en dié in die suide van Krugersdorp se Wildreservaat aan die suur mynwater blootgestel. Teen 2007 het die suur mynwater nog nie die Seekoedam in die suide van die natuurreservaat bereik nie (Heyl 2007).

Teen 2009 het die suur mynwater die Seekoedam gevul en het dit deur die vleiland noord van die damwal gestroom (Muller 2009). In 2011 het die suur mynwater reg deur die Krugersdorp-Wildreservaat tot in die Rietspruit noord daarvan gevloei. Die Rietspruit het oorspronklik al die water van die Tweelopiespruit in drie damme opgevang waarvandaan dit in die onderliggende dolomitiese akwifer gevloei het.

Op 11 Januarie 2011, na dae se swaar reën, het miljoene liter suur mynwater uit die mynholte opgewel en in die Tweelopiespruit-Rietspruit-Bloubankspruit-rivierstelsel gevloei. Die massa water het veroorsaak dat Rietspruit die wal van die laaste dam in die rivier oorstrom het en die gebied tussen die Malmani-pad en die Bloubankspruit tydelik in 'n moeras verander het. Tans is die Rietspruit 'n standhoudende rivier wat die Tweelopiespruit met die

TABEL 3: Suur- en metaalvlakke in die Tweelopiespruit-Rietspruit-Bloubankspruit-rivierstelsel in Junie 2011 (die konsentrasie van metale word in mg/L aangedui).

Punt	pH	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	Ni	U	SO ₄
1.	8.0	<0.01	79.1	2.27	27.9	3.39	0.077	0.0008	216
2.	7.9	<0.01	87.8	3.33	27.6	5.54	0.097	0.0009	272
3.	7.3	<0.01	111	12.2	32.5	10.0	0.178	0.0024	380
4.	3.3	0.378	185	28.0	38.3	20.1	0.409	0.0044	852
5.	2.8	2.04	501	90.2	113	54.3	0.965	0.0118	1729
6.	2.7	2.17	425	180	134	63.2	0.961	0.0148	1932
7.	2.7	3.62	586	252	160	80.7	1.29	0.0166	2741

pH, potensiaal van waterstof; Al, aluminium; Ca, kalsium; Fe, yster; Mg, magnesium; Mn, mangaan; Ni, nikkell; U, uraan; SO₄, sulfaat.

TABEL 4: Suur- en metaalvlakke in die Tweelopiespruit-Rietspruit-Bloubankspruit-rivierstelsel in Junie 2014 (die konsentrasie van metale word in mg/L aangedui).

Punt	pH	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	Ni	U	SO ₄
2.	7.9	0.231	143	1.19	48	3.96	0.045	<0.010	512
3.	7.8	0.229	210	2.53	61	6.49	0.084	<0.010	694
4.	4.6	0.835	297	7.04	79	16	0.228	<0.010	1 207
5.	3.1	0.791	491	16	164	24	0.319	0.014	2 061
7.	3.0	1.22	474	87	143	36	0.346	0.026	2 311

pH, potensiaal van waterstof; Al, aluminium; Ca, kalsium; Fe, yster; Mg, magnesium; Mn, mangaan; Ni, nikkell; U, uraan; SO₄, sulfaat.

TABEL 5: 'n Vergelyking van die akwatiese makro-invertebraatfamilies deur middel van SASS5- opnames wat in die Bloubankspruit in 2003, 2011 en 2014 geïdentifiseer is.

Versamelpunt	Getal akwatiese makro-invertebraatfamilies in die Bloubankspruit soos bepaal deur SASS5-opnames									
	2003			April 2011			Junie 2011		Junie 2014	
	Versamelpunt	Klippe	GSM	Versamelpunt	Klippe	GSM	Klippe	GSM	Klippe	GSM
Stroomop voor Zwartkransfontein	Kromdraai	9	5	Greensleeves	2	3	0	3	4	5
Stroomop voor die samevloeiing met Honingklipspruit	Rainbow Trout Farm	9	-	Koelenhof	2	4	4	3	7	8
Stroomaf na die samevloeiing met Honingklipspruit	Brookwood Estate	10	5	Bloubankspruit-Noord	3	3	1	2	5	8

GSM, gruis, sand en modder

Bloubankspruit verbind. 'n Nuwe vleiland het langs die verlenging van die Rietspruit onderweg na die Bloubankspruit ontstaan.

Die eienaar van die plaas Koelenhof het water van die Bloubankspruit in sy dam gepomp waarna die visse in die dam gevrek het. 'n Analise van die watermonsters het getoon dat die water in die Tweelopiespruit by Koelenhof die tipiese kenmerke van suur mynwater gehad het, naamlik dat dit baie suur was (pH 3.6) en 'n hoë sulfaatinhoud en metaalvlakke gehad het (Tabel 2). Die suur mynwater het met ander woorde meer as 20 km stroomaf van die myn deur Krugersdorp se Wildreservaat en tot diep in die Wieg van die Mensdom in gedring (Durand 2012). Daar is egter 'n meningsverskil oor die oorsaak van die visvrekke. Hobbs en Mills (2011) het voorgestel dat die rivierwater anoksies was omdat die bakteriebesmette uitvloeï van die Percy Steward-rioolplaas, deur die Blougatspruit, in die Bloubankspruit kon beland het.

Na die oorstrooming van die Rietspruit in Februarie 2011 het die watervlak van die rivier herstel en het die watergehalte ietwat verbeter (Tabel 3). Suur mynwater vloei egter steeds permanent in die Tweelopiespruit en die Rietspruit (Tabel 4). Danksy die water van die Blougatspruit en die Zwartkransfontein, suid van Koelenhof, word die suur mynwater verdun en verbeter die gehalte van die water ten opsigte van suurvlek, metale en sulfaatsoute.

Die effek van die suur mynwater op organismes in die Tweelopiespruit-Rietspruit-Bloubankspruit-rivierstelsel is duidelik. Die eerste akwatiese makro-invertebraatopname, wat in 2007 in Krugersdorp se Wildreservaat gedoen is, het aangetoon dat die biodiversiteit in die Tweelopiespruit afneem, hoe nader die versamelpunt aan die myn is (Heyl 2007). In 2007 was die waterkwaliteit van die Tweelopiespruit in die Krugersdorp-Wildreservaat nog goed gemeet aan die diversiteit van die akwatiese makro-invertebrate. By die uitvloeï van die ou Kalkmyndam in die noorde van die reservaat was daar altesaam 11 akwatiese makro-invertebraatfamilies, terwyl sewe families in die vleiland suid van die Seekoedam teenwoordig was. Daar was egter slegs drie families in die invloeï van die Tweelopiespruit in die suide van Krugersdorp se Wildreservaat (Heyl 2007).

Die suurgehalte van die Rietspruit wissel vanaf 2011 tussen pH 2.6 en pH 3.1, terwyl die suurgehalte van die Tweelopiespruit tussen pH 2.6 en pH 3.0 wissel. Die metaal- en sulfaatvlakke het terselfdertyd toegeneem (Tabelle 2, 3 en 4). Die diversiteit van akwatiese makro-invertebrate in die Tweelopiespruit-Rietspruit-Bloubankspruit-rivierstelsel het weens die invloeï van suur mynwater teen 2011 geweldig afgeneem, vergeleke met die diversiteit wat in 2003 daar voorgekom het (Van Staden 2003) (Tabel 5). Die Rietspruit en Tweelopiespruit het vanaf 2011 geen akwatiese makro-invertebrate nie (Durand 2012). Akwatiese makro-invertebrate word soms in die water naby die Lodgefontein

en Flip-se-gatfontein in die Krugersdorp-Wildreservaat gevind, maar hulle verdwyn verder stroomaf waar die fonteinwater met die hoofstroom meng.

Alhoewel die watergehalte van die Rietspruit en Tweelopiespruit so agteruitgegaan het dat makro-invertebrate afwesig is, het die watergehalte van die Bloubankspruit vanaf 2011 tot 2012 verbeter. Die suurgehalte van die water in die Bloubankspruit by Koelenhof was in Februarie 2012 pH 7.2. Die makro-invertebrate in die Bloubankspruit by Koelenhof het in 2011 hoofsaaklik uit muggie- en eendagvliegglarwes bestaan. Hierdie families – die Chironomidae en die Baetidae – is meer bestand teen besoedeling. Teen Februarie 2012 was daar egter ook by Koelenhof, benewens die Chironomidae en Baetidae, die meer besoedelings sensitiewe groepe Hydropsychidae, Gomphidae, Coenagrionidae, Corixidae, Gyrinidae en Potamonautitidae teenwoordig.

Suur mynwater het 'n negatiewe impak op plante, diere en mense in die omgewing van myne (Bain *et al.* 1994; Coetzee, Winde & Wade 2006). Hoe hoër die konsentrasie van suur mynwater in rivierstelsels is, hoe meer neem die hoeveelheid en diversiteit van akwatiese makro-invertebrate af (Adendorff 1997; Durand 2012). Visse, amfibieë, reptiele, voëls en soogdiere word direk deur die suurgehalte, toksisiteit en radioaktiwiteit van suur mynwater bedreig en indirek deur die verlies van voedselbronne en die degradering van die habitat (De Wet 1996; Du Toit 2006).

Die swaelsuur in suur mynwater los rotse, gruis en sand op en stel die metale soos mangaan, aluminium, yster, nikkel, sink, kobalt, koper, lood, radium, torium en uraan daarin vry (Kleywegt 1977; Jones *et al.* 1988; Venter 1995). Hierdie metale word opgeneem deur organismes wat aan suur mynwater blootgestel word. Die effek van dié metale op organismes hang van die konsentrasie van die metale en die tydperk van blootstelling af. Die metale wat in die weefsel van organismes opgeneem word, wissel van spesie tot spesie.

Die vlakke van verskeie metale, onder meer aluminium, yster, mangaan, nikkel en uraan in die rivierstelsel in Krugersdorp se Wildreservaat oorskry vanaf 2009 die aanvaarbare, toelaatbare vlakke van hierdie metale in drinkwater of besproeiingswater. Vanaf 2011 is die riviere in diesuide van die Wieg van die Mensdom-Wêrelderfenisgebied op soortgelyke wyse deur suur mynwater besoedel.

Die voorgestelde aluminiumkonsentrasie in drinkwater is 0 mg/L – 0.15 mg/L (DWAF 1996a). Alhoewel aluminium se impak op menslike gesondheid nie goed bekend is nie, word daar vermoed dat blootstelling aan konsentrasies hoër as 0.5 mg/L 'n negatiewe neurologiese impak op mense sal hê. Die konsentrasie aluminium in die Tweelopiespruit by die invloei van Krugersdorp se Natuureservaat was 3.62 mg/L en in die Rietspruit was dit 2.04 mg/L in 2011 (sien

Tabel 3), maar in 2014 het dit tot 1.22 mg/L in die Tweelopiespruit en tot 0.791 mg/L in die Rietspruit gedaal (sien Tabel 4).

Die ysterkonsentrasie in die Tweelopiespruit-Rietspruit-Bloubankspruit-rivierstelsel is veel hoër as wat in drinkwater toelaatbaar is. Die optimale ysterkonsentrasie in drinkwater is veronderstel om 0 mg/L – 0.1 mg/L te wees (DWAF 1996a). Die ysterkonsentrasie in besproeiingswater is veronderstel om op die meeste 5 mg/L – 20 mg/L te wees (DWAF 1996b). In 2014 het die ysterkonsentrasie by Versamelpunt 2 tussen 1.19 mg/L en 87 mg/L by Versamelpunt 6 gewissel (sien Tabel 4). In Junie 2011 is 'n ysterkonsentrasie van 252 mg/L by die invloei van die Tweelopiespruit in Krugersdorp se Natuureservaat (Versamelpunt 7) gemeet (sien Tabel 3). Wanneer ysterkonsentrasie in water 10 mg/L oorskry, begin chroniese gesondheidsprobleme by mense voorkom wat dit drink en wanneer dit 20 mg/L oorskry, begin dit 'n nadelige effek op plante te hê (DWAF 1996a; DWAF 1996b).

Die aanvaarbare vlakke vir mangaan in drinkwater is 0 mg/L – 0.05 mg/L en vir lewende hawe is dit 0 mg/L – 10 mg/L (DWAF 1996c). Die mangaankonsentrasie in die water in die rivierstelsel het in Februarie 2011 tussen 2.8 mg/L in die noordelike deel van die Bloubankspruit (Versamelpunt 1) en 92 mg/L by Versamelpunt 7 gewissel (Tabel 2). Teen 2014 het die konsentrasie van mangaan tot 36 mg/L in die Tweelopiespruit by Versamelpunt 7 gedaal (Tabel 4).

Daar is 'n hoë konsentrasie kalsium en magnesium in die water van hierdie rivierstelsel. Dit kan hoofsaaklik toegeskryf word aan die dolomitiese gesteentes wat in dié gebied voorkom wat deur die suur mynwater opgelos word en in die proses kalsium en magnesium vrystel. Alhoewel hierdie twee metale nie dieselfde toksiese bedreiging vir mense en diere inhou nie, dien die hoë konsentrasies van die metale in die water steeds as goeie indikator van die impak van die suur mynwater op die omgewing. Die kalsium en magnesium word saam met ander metale, veral yster en sulfaatverbindings verder stroomaf as 'n ondeurdringbare kors op die rivierbedding afgeset. Hierdie kors, wat gedeeltelik uit *yellow boy* of ysterhidroksied bestaan, sluit bentiëse organismes uit wat baie nadelig vir die ekologie in die gebied is (Durand 2012).

Die konsentrasie van kalsium en magnesium bepaal die hardheid van water (DWAF 1996a). Beide is essensiële elemente en drinkwater kan 'n belangrike bron van hierdie elemente wees. 'n Mens is veronderstel om 500 mg – 1400 mg kalsium per dag in te neem en ongeveer 250 mg magnesium per dag. Die voorgestelde konsentrasie van kalsium in drinkwater is 0 mg/L – 32 mg/L en dié van magnesium is 0 mg/L – 30 mg/L (DWAF 1996a). Wanneer magnesium in konsentrasies hoër as 100 mg/L voorkom, soos in die Tweelopiespruit (sien Tabel 4), sal dit sensitiewe mense se mae omkrap.

Die sulfaatsoute wat met suur mynwater in 'n dolomietryke omgewing voorkom, speel 'n groot rol in die agteruitgang van die oewerbos. Die plante wat oorspronklik op die oewer van die Tweelopiespruit voorgekom het, is grootliks deur die soutbestande *Phragmites australis* verplaas. Die omstandighede in Robinsoneer het egter so agteruitgegaan dat selfs *Phragmites* begin vrek het (sien Figuur 3). Plante het egter die vermoë om groot hoeveelhede metale te absorbeer sonder om te vrek. In 'n onlangse studie (Van Deventer & Cho 2014) is daar gevind dat die risome van *Phragmites* in die Tweelopiespruit 11 800 mg/kg aluminium, 14 600mg/kg yster, 701 mg/kg mangaan, 125 mg/kg nikkel, 9 mg/kg lood, 73 mg/kg sink en 16 mg/kg uraan bevat het. Die water waarin die riete gestaan het, het egter slegs 0.17 mg/L aluminium, 2.61 mg/L yster, 5.8 mg/L mangaan, 0.09 mg/L nikkel, 0.02 mg/L lood, 0.025 mg/L sink en 0.001 mg/L uraan bevat (sien Tabel 6: 'n Vergelyking van die konsentrasies van sekere metale in die water, modder en die risome van die riet *Phragmites* langs die Tweelopiespruit). Die metale



Bron: François Durand

FIGUUR 3: Die oewer van Robinsoneer waar die oorblyfsels van die riet *Phragmites* gesien kan word.

in die plantweefsel sal beskikbaar wees vir enige herbivoor wat die aangetaste plante eet.

Volgens die studie van Van Deventer en Cho (2014) is dit duidelik dat bentiese organismes wat op die rivierbodem leef, blootgestel word aan geweldige hoë konsentrasies metale in gebiede wat deur suur mynwater aangetas is. Die konsentrasie aluminium in die modder van die rivierbodem by Versamelpunt 1 was 26 700 mg/kg teenoor 0.17 mg/L in die water in 2013. Die konsentrasie yster hier was 24 900 mg/kg in die modder teenoor 2.61 mg/L in die water. Die konsentrasie mangaan was 3400 mg/kg in die modder teenoor 5.8 mg/L in die water. Die konsentrasie nikkel was 280 mg/kg in die modder teenoor 0.09 mg/L in die water. Die konsentrasie lood was 19 mg/L in die modder teenoor 0.02 mg/L in die water. Die konsentrasie sink was 114 mg/kg in die modder teenoor 0.025 mg/L in die water, en die konsentrasie uraan was 19 mg/kg in die modder teenoor 0.001 mg/L in die water (sien Tabel 6). Die konsentrasies metale was met ander woorde in sekere gevalle selfs duisende kere hoër in die modder as in die water.

Metale soos koper, lood en sink word deur werwelidre in die lewer, gonade en skelet opgeneem (Bain *et al.* 1994), terwyl yster, sink, nikkel en lood deur invertebrate opgeneem word (Adendorf 1997). Hierdie metale kan na mense oorgedra word wat aangetaste plante en diere eet (Bain *et al.* 1994; De Wet 1996). Die opname van metale kan nekrose, gewasse, kanker en die agteruitgang van die spysvertering-, kardiovaskulêre en urogenitale stelsel van werwelidre veroorsaak (Venter 1995; Adendorff 1997, Jooste & Thirion 1999). Selfs lae konsentrasies van swaarmetale soos uraan en lood kan 'n groot negatiewe impak op die senu- en endokriene stelsel van werwelidre hê (Konietzka, Dieter & Voss 2005).

Aangesien metale deur 'n groot verskeidenheid organismes soos plante, ongewerweldes en werwelidre opgeneem kan word, is daar die gevaar van bio-akkumulasie. Bio-akkumulasie vind plaas wanneer diere ander organismes eet wat reeds deur metale aangetas is. Die effek van bio-akkumulasie word al hoe erger, hoe hoër in die voedselketting die organisme is deurdat karnivore verskeie aangetaste prooi-organismes kan opeet en die metale al hoe meer gekonsentreerd in hulle liggame sal begin voorkom (Kang *et al.* 1997).

Daar is meer uraan in die gesteentes van die Witwatersrand Supergroep as goud en ons goudmyne is terselfdertyd ook ons uraanmyne. Daar is volgens berekening meer 100 000 ton uraan gestort in die sliksdamme van die Witwatersrand na die insinking van die uraanmark (Coetzee *et al.* 2006). Al die

TABEL 6: 'n Vergelyking van die konsentrasies van sekere metale in die water, modder en die risome van die riet *Phragmites* langs die Tweelopiespruit

Monster	Al	Fe	Mn	Ni	Pb	U	Zn
Water (mg/L)	0.171	2.61	5.8	0.09	0.02	0.001	0.025
Modder (mg/kg)	26 700	24 900	3400	280	19	19	114
Risome (mg/kg)	11 800	14 600	701	125	9	16	73

Al, aluminium; Fe, yster; Mn, mangaan; Ni, nikkel; Pb, lood; U, uraan; Zn, sink.

Bron: Gegron op Van Deventer, H. & Cho, M.A., 2014, 'Assessing leaf spectral properties of *Phragmites australis* impacted by acid mine drainage', *South African Journal of Science*, 110(7/8), 71a–82

dogterelemente wat uit die radioaktiewe verval van uraan ontstaan soos torium, protaktinium, radium, polonium, bismut en lood kom ook in suur mynwater voor. Benewens die toksiese effek van swaarmetale is dit radioaktief. Radioaktiewe elemente kom in die water en in die sedimente in die omgewing rondom die goudmyne voor (Coetzee *et al.* 2006). Die inname van radioaktiewe swaarmetale soos uraan veroorsaak o.m. die beskadiging van die niere in werweldiere (Hursh & Spoor 1973). Dit kan ook die senuweestelsel beïnvloed en tot blindheid, verlamming en die verlies van koördinasie lei. Dit kan ook veranderinge in bloed, bindweefsel en die immuun- en endokriene stelsel en kanker veroorsaak (Durand 2012).

Die swaelsuur in suur mynwater reageer met dolomiet en vorm sodoende sulfaat. Hoë konsentrasies van sulfate is ook 'n bedreiging vir lewe (Durand 2012). Die inname van water met konsentrasies sulfaat hoër as 600 mg/L sal braking en maagwerkings by mense veroorsaak veral in die teenwoordigheid van magnesium. Die suur mynwater wat in 2005 uit Harmony-myn se skagte gevloei het, het 4500 mg/L sulfate bevat (Fourie 2005), terwyl die water in Robinsonmeer 5055 mg/L sulfate in 2007 bevat het (Heyl 2007). Plante word ook negatief deur sulfaat in water geraak. Die oorspronklike oewerbos wat langs die Tweelopiespruit voorgekom het, is grootliks deur die soutbestande riet *Phragmites* verplaas (Durand 2012).

Die ysterhidroksied en ystersulfaat wat deur suur mynwater gevorm word, vorm 'n ondeurdringbare laag op die bodem van die besoedelde riviere op plekke veral naby die bron van suur mynwater en dolomiet. Dit veroorsaak dat bentiese organismes nie meer in die modder kan leef nie. Talle werweldiere soos visse, paddas en watervoëls, wat van hierdie akwatiese invertebrate as kosbron afhanklik is, het uit die Tweelopiespruit en Rietspruit verdwyn na die suur mynwater in die rivierstelsel begin invloei het en die kors oor die bodem gevorm het.

Slot

Die Tweelopiespruit was oorspronklik een van die belangrikste lewensare aan die Wes-Rand. Die watergehalte het oor die laaste dekade sodanig afgeneem dat dit ondrinkbaar is en ook nie meer vir besproeiing gebruik kan word nie. Die akwatiese makro-invertebrate is grootliks afwesig in die Tweelopiespruit en die Rietspruit waarvan die suurgehalte vanaf 2011 tussen pH 2.4 en 4.6 wissel. Die afwesigheid van makro-invertebrae in die rivierstelsel het 'n groot impak op die res van die ekologie. Werweldiere soos visse, amfibiëe of watervoëls, wat nog in 2007 in die gebied voorgekom het, is nou afwesig, veral in die Tweelopiespruit en Rietspruit. Die oorspronklike oewerbos langs die geaffekteerde riviere is grootliks deur die soutbestande riet *Phragmites* verplaas. Die Bloubankspruit vloei deur die suidelike deel van die Wieg van die Mensdom verby verskeie fossielvindplekke soos Bolt's Farm, Rising Star (Dinaledi), Swartkrans, Sterkfontein, Minnaars, Coopers, Kromdraai en Plovers Lake. Die agteruitgang van die watergesondheid van

die rivierstelsel wat deur die Wieg van die Mensdom Wêrelderfenisgebied vloei, is kommerwekkend t.o.v. die effek daarvan op die akwatiese organismes, oewerbosse van die rivier en die gesondheid van mense en diere wat van die water afhanklik is, veral in hierdie gebied waar daar geen munisipale watervoorsiening is nie. Die agteruitgang van die ekologie in die gebied sal ook 'n negatiewe uitwerking op die gebied as een van die belangrikste toerisme-aantrekkings in Gauteng hê.

Erkenning Mededingende belange

Die outeur verklaar dat hy geen finansiële of persoonlike verbintenis met enige party wat hom nadelig of voordelig kon beïnvloed het in die skryf van hierdie artikel nie.

Literatuurverwysings

- Andendorff, A., 1997, 'Effects of mining activities on selected aquatic organisms', Ph.D. thesis, Rand Afrikaans University, Johannesburg.
- Bain, C.A.R., Schoonbee, H.J., De Wet, L.P.D., Hancke, J.J., 1994, 'Investigations into the concentration ratios of selected radionuclides in aquatic ecosystems affected by mine drainage effluents with reference to the study of potential pathways to man', Water Research Commission Report no. 313, 95pp.
- Coetzee, H., Winde, F., Wade, P.W., 2006, 'An assessment of sources, pathways, mechanisms and risks of current and potential future pollution of water and sediments in gold-mining areas of the Wonderfontein catchment', Water Research Commission, Report No.1214/06.
- De Lange, J., 2011, 'Myn kaal gestroop', *Sake 24, Beeld*, 19 Junie.
- De Wet, L.P.D., 1996, 'The occurrence and bio-accumulation of selected metals and radionuclides in aquatic and terrestrial ecosystems on the Witwatersrand', unpublished Ph.D. thesis, Rand Afrikaans University, Johannesburg.
- Durand, J.F., 2012, 'The impact of gold mining on the Witwatersrand on the rivers and karst system of Gauteng and North West Province, South Africa', *Journal of African Earth Sciences* 68:24–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2012.03.013>
- Du Toit, S., 2006, 'Practical applications – Effect of mine water drainage on the Krugersdorp Game Reserve', in *Proceedings on the conference on mine water decant*, 14–15 October 2006, Randfontein, South Africa, Mine Water Division, Water Institute of South Africa. 8pp.
- DWAF (Department of Water Affairs and Forestry of the Republic of South Africa), 1996a, 'South African Water Quality Guidelines', Volume 1: *Domestic Water Use*.
- DWAF (Department of Water Affairs and Forestry of the Republic of South Africa), 1996b, 'South African Water Quality Guidelines', Volume 4: *Agricultural use: Irrigation*.
- DWAF (Department of Water Affairs and Forestry of the Republic of South Africa), 1996c, 'South African Water Quality Guidelines', Volume 5: *Agricultural use: Livestock watering*.
- Enslin, J.F., Kleywegt, R.J., Beukes, J.H.T. & Gordon-Welsh, J.F., 1976, 'Artificial recharge of dolomitic ground-water compartments in the Far West Rand Gold Fields of South Africa', *Geological Survey of South Africa*, Report 0249.
- Eriksson, P.G., Altermann, W., Catuneanu, O., van der Merwe, R. & Bumby, A.J., 2001, 'Major influences on the evolution of the 2.67-2.1 Ga Tranvaal basin, Kaapvaal craton', *Sedimentary Geology*, 141/142, 205–231. [http://dx.doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00075-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00075-6)
- Fourie, M., 2005, 'A rising acid tide', *Johannesburg Mail and Guardian*, South Africa, 12 April.
- Geologiese Opname, 1970, *1:1 000 000 Geologie Kaart vir Suid-Afrika, Lesotho en Swaziland*.
- Heyl, A.J., 2007, 'Effect of mining effluent on the distribution of fresh water invertebrates in the Tweelopiespruit, Gauteng', ongepubliseerde honoursprojek, Departement van Dierkunde, Universiteit van Johannesburg, Johannesburg.
- Hobbs, P.J. & Cobbing, J.E., 2007, 'A hydrogeological assessment of acid mine drainage impacts in the West Rand Basin, Gauteng Province', Rep. no. CSIR/NRE/WR/ER/2007/0097/C. CSIR.
- Hobbs, P.J. & Mills, P.J., 2011, 'The Koelenhof farm fish mortality event of mid-January 2011', *Report for the Management Authority, Cradle of Humankind World Heritage Site & Dinokeng*, Department of Economic Development, Gauteng Provincial Government.
- Holtzhausen, L., 2006, 'Mine-water treatment', *The Water Wheel*, May/June, pp. 19–21.
- Hursh J.B. & Spoor N.L., 1973, 'Data on man', in *Handbook of experimental pharmacology 36. Uranium, plutonium, transplutonic elements*, H.C. Hodge *et al.*, (eds.) 197–240, Springer-Verlag, Berlin. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-65511-7_4
- Jones, G.A., Briery, S.E., Geldenhuis, S.J.J. & Howard, J.R., 1988, 'Research on the contribution of mine dumps to the pollution load in the Vaal Barrage', *Water Research Commission*, Report Pt.3632/10.

- Jooste, S., Thirion, C., 1999, 'An ecological risk assessment for a South African acid mine drainage', *Water Science and Technology* 39(10–11), 297–303. [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00289-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00289-9)
- Kang, Y.-S., Matsuda, M., Kawano, M., Wakimoto, T., Min, B.-Y., 1997, 'Organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in human adipose tissue from western Kyungnam, Korea', *Chemosphere*, 35, 2107–2117. [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(97\)00289-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(97)00289-0)
- Kleywegt, R.J., 1977, 'Memorandum oor die moontlike gevaar wat geskep word deur water vanaf die "Western Areas Gold Mining Co. Ltd." na die Rietspruit te laat vloei', *Geological Survey of South Africa Technical Report No. 0141*.
- Konietzka, R., Dieter, H.H. & Voss, J.-U., 2005, 'Vorschlag für einen gesundheitlichen Leitwert für Uran in Trinkwasser', in *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 10, 33–143.
- Krige, G., 2006, 'Hydrological/chemical aspects of the Tweelapie / Riet / Blaauwspruit with specific reference to the impact water, decanting from the Western Basin Mine Void has on the system', *EIA Report prepared for Harmony Gold Mining Limited*.
- Krige W.G. & Van Biljon M., 2010, 'The impact of mining on the water resources and water-based ecosystems of the Cradle of Humankind World Heritage Site', in *The Karst system of the Cradle of Humankind World Heritage Site, Water Research Commission*, Pretoria, pp. 160–188.
- McCarthy, T. & Rubidge, B., 2005, *Earth and Life. Kumba Resources*, Struik, Pretoria.
- Mendelsohn, F. & Potgieter, C.T., 1986, *Guidebook to sites of geological and mining interest on the Central Witwatersrand* Geological Society of South Africa and the South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg.
- Morgan, D.J., Brink, A.B., 1984, 'The far West Rand dolomites', *Proceedings of the International Conference on Ground Water Technology*, Johannesburg, South Africa, 2, 554–573.
- Muller G., 2009, 'A base-line study of insects in the riparian zone of the Tweelapie Spruit in the Krugersdorp Nature Reserve', unpublished B.Sc. Hons. project, University of Johannesburg.
- O'Flaherty, A.E. (ed.), 1903, *Water, dams, pumps and drainage* South African Mines Commerce and Industries, Vol.1(2).
- Schneiderhan, E.A., 2008, 'Neoarchaean clastic rocks on the Kaapvaal Craton: Provenance analyses and geotectonic implications', unpublished Ph.D. thesis, University of Johannesburg.
- Scott, R., (1995), *Flooding of Central and East Rand gold mines – An investigation into controls over the inflow rate, water quality and the predicted impacts of flooded mines*, Report No. 486/1/95, Water Research Commission, Pretoria.
- Truswell, J.F., 1977, *The geological evolution of South Africa*, Purnell and Sons (SA) Pty. Ltd, Cape Town, South Africa, 218pp.
- Van Deventer, H. & Cho, M.A., 2014, 'Assessing leaf spectral properties of *Phragmites australis* impacted by acid mine drainage', *South African Journal of Science*, 110(7/8): 71–82. <http://dx.doi.org/10.1590/sajs.2014/20130184>
- Van Eeden, E., Lieferink, M., Durand, J.F., 2009, 'Legal issues concerning mine closure and social responsibility on the West Rand', *TD: The Journal for Interdisciplinary Research in Southern Africa* 5(1), 51–71.
- Van Staden, S., 2003, 'The use of habitat assessments and biological indices to manage stream fisheries in the Kromdraai Conservancy', unpublished M.Sc. dissertation, University of Johannesburg.
- Venter, A.J.A., 1995, 'Assessment of the effects of gold-mine effluent on the natural aquatic environment', Ph.D. thesis, Rand Afrikaans University, Johannesburg.
- Viljoen, M.J., Reimold, W.U., 2002, 'An introduction to South Africa's geological and mining heritage', Geological Society & Mintek.
- Warwick, D.W., Brackley, I.J., Connelly, R.J., Campbell, G., 1987, 'The dewatering of dolomite by deep mining in the West Rand, South Africa, in *Proceedings of the 2nd Conference on Sinkholes and Environmental Impacts of Karst*, Beck, Wilson, Orlando, USA, pp. 349–358.