

# Management von Bergbauwässern in Chile und Südafrika – Diskussion von Fallbeispielen

Dr. Rüdiger Schwarz<sup>1</sup>, Esther Pusch<sup>1</sup>, Dr. André Gerth<sup>2</sup>, Dr. Klaus Krüger<sup>3</sup>

<sup>1</sup> geotec Rohstoffe GmbH, 10117 Berlin, Friedrichstrasse 95, schwarz@rohstoffe.org, www.rohstoffe.org,

<sup>2</sup> Bioplanta GmbH, 04103 Leipzig, Deutscher Platz 5, www.bioplanta-leipzig.de

<sup>3</sup> GMBU e.V., 06120 Halle, Erich Neuss Weg 5, www.gmbu.de

Sowohl in Südafrika als auch in Chile ist der Bergbau ein wichtiger Wirtschaftszweig. In Chile betrug der Anteil des Bergbaus am BIP im Jahre 2008 17,6 %; in Südafrika waren es 9,5 %. Diese Entwicklungen verursachen hohe Belastungen und Beeinflussungen der Umwelt, insbesondere hydrogeologische Belastungen des Grund- und Oberflächenwassers in den Abbaugebieten und Produktionsstandorten sowie den Wassereinzugsgebieten mit allen bekannten Folgen für die verschiedenen Umweltkompartimente (Wasserqualität, Geostabilität, Erosion, Windverfrachtung, u.a.) bis hin zu sozio-ökonomischen Fragestellungen (sozialverträgliche Dorf- und Stadtentwicklung, Landschaftsbilder, Landwirtschaft, u.a.). In dem Vortrag werden für beide Länder Ansätze und erste Erfahrungen zur wissenschaftlichen und praktischen Problemlösung vorgestellt. Für Südafrika wird das Konzept für den Aufbau eines Integrierten Wassermanagement Systems in Goldbergbaugebieten anhand von Modellstandorten dargelegt. An einem ausgewählten Praxisbeispiel in Chile wird die innovative Reinigung von Prozesswässern insbesondere des Kupferbergbaus in sogenannten Constructed Wetlands vorgestellt.

The mining industry is an important sector of the South African as well as Chilean economy: in 2008 mining represented 17.6 % of GDP in Chile and 9.5 % in South Africa. These developments are the cause for extreme environmental burdens and impacts. One particularly serious consequence is the hydrogeological pollution of ground and surface water in regions surrounding mining areas, production and processing sites, and water catchment areas with nowadays well known adverse effects on various environmental compartments (such as water quality, geostability, erosion, and wind transport) and socio-economic challenges (socially sound village and town development, landscape appearance, agriculture etc.). This paper presents approach and initial experience in regard to scientific and feasible solutions for both countries. On the basis of model locations the paper describes a concept for the development of Integrated Water Management Systems in Gold Mining Areas in South Africa and a practical example from Chile illustrates the treatment of process water from copper mines in Constructed Wetlands.

---

## 1 Projektvorschlag “Integrated Water Management in Gold Mining Regions, South Africa”

### 1.1 Hintergrund

Seit 2008 arbeiten die Autoren federführend an der Entwicklung des Projektvorschlages „Integrated Water Management in Gold Mining Regions, South Africa” (vgl. SCHWARZ et al 2009; SCHWARZ 2010). Über die Ziele dieses zur Förderung durch das BMBF geplanten Forschungs- und Entwicklungsprojekts, den aktuellen Stand sowie praktische Ergebnisse verbundener Projektentwicklungen wird in diesem Vortrag berichtet.

Südafrika ist einer der wichtigsten Goldproduzenten der Welt. Die Gewinnung von Gold ist zudem einer der traditionsreichsten und wichtigsten Wirtschaftszweige der Republik Südafrika. Etwa 80% des Goldbergbaus Südafrikas finden in den Provinzen Free State und North West statt.

Diese Entwicklung verursacht hohe Belastungen und Beeinflussungen auf die Umwelt. Dazu zählen vor allem hydrogeologische Belastungen des Grund- und Oberflächenwassers in den Abbaugebieten

und Wassereinzugsgebieten sowie geotechnische und morphologische Beeinträchtigungen (durch TSF - Tailings Storage Facilities, Waste Rock, Rock and Waste Dumps, u.a.) mit allen bekannten Folgen für die verschiedenen Umweltkompartimente (Geostabilität, Erosion, Windverfrachtung, u.a.) bis hin zu sozio-ökonomischen Fragestellungen (sozialverträgliche Dorf- und Stadtentwicklung, Landschaftsbilder, Landwirtschaft, u.a.).

Gleichzeitig sind die Anforderungen an eine stabile Trinkwasserversorgung in den beiden Provinzen Free State und North West sowie in der benachbarten Gauteng-Provinz (einschließlich der Hauptstadt Pretoria und Johannesburg als der größten Stadt in Südafrika) sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht sehr hoch. Es darf daher keine negative Beeinflussung der zur Trinkwassergewinnung benötigten Wasserreservoirs durch Folgeprozesse aus der bergbaulichen Tätigkeit stattfinden, bzw. es sind Schutz- und Sanierungsmaßnahmen für die Sicherung einer entsprechenden Wasserqualität zu entwickeln, zu planen und umzusetzen.

Die Grenze zwischen den beiden Provinzen Free State und North West wird durch den Fluss Vaal gebildet. Das Flussgebiet des Vaal (hier Gebiet Mid-Vaal) sichert einen wesentlichen Bestandteil der Trinkwasserversorgung für den Großraum Johannesburg (Provinz Gauteng). Eine Beeinträchtigung der Qualität oder Menge des Wassers durch den Bergbau muss daher unbedingt vermieden werden.

Die südafrikanische Bergbaugesetzgebung sieht spätestens seit der letzten Novelle 2007 strenge Regelungen für die Nutzung von Bergbauwässern (surface water, mine water oder shaft water) vor, die sowohl während der aktiven Betriebsphase als auch vor allem für die Zeiträume nach der Schließung von Bergwerken und Grubenbetrieben gelten (nähere Informationen unter [www.gov.za](http://www.gov.za)).

Als problematisch ist der geringe Kenntnisstand zu den hydrologischen und hydrochemischen Verhältnissen der Grund- und Oberflächenwässer sowohl im regionalen als auch im lokalen Maßstab anzusehen. Mehrjährige Messreihen mit Ergebnissen der Ermittlung hydrologischer Basisdaten sowie Ergebnisse hydrochemischer Untersuchungen fehlen weitgehend.

Der Aufbau komplexer Modelle zur Beschreibung der Fließverhältnisse und zur Beschreibung des Transportes komplexer Schadstoffgemenge befindet sich in der Anfangsphase.

Eine besondere Herausforderung an die Qualität der hydrologischen Modelle ist mit den sehr großen Teufen der Bergbautätigkeit (bis zu 4.000 m u. GOK) und dem flächenmäßig ausgedehnten Grundwassereinzugsgebiet gegeben. Aufgrund der beschriebenen Verhältnisse werden wissenschaftlich begründete Prognoseverfahren zur Prediktion der zukünftigen Wasserqualitäten nur begrenzt genutzt.

An diesen Schnittstellen kann und soll das vorgesehene Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ansetzen. In Deutschland wird dabei auf umfangreiche Erfahrungen in der aktiven Bergbautätigkeit und der Bergbausanierung aus mehreren Jahrhunderten Bergbautätigkeit zurückgegriffen. Des Weiteren liegen umfangreiche Erfahrungen bei der Einführung und Umsetzung der entsprechenden gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerke vor.

Insbesondere seit der Wiedervereinigung Deutschlands im Jahre 1990 wurden komplexe Sanierungsvorhaben des Erzbergbaus (Uranbergbau) und der Sanierung des ostdeutschen Braunkohlenbergbaus sowie der Kali- und Steinsalzindustrie geplant und großtechnisch umgesetzt. Ebenfalls als Modellbeispiel kann die Sanierung und Revitalisierung des Ruhrgebietes (Steinkohle) angesehen werden.

## 1.2 Vorarbeiten und Projektentwicklung

Der Vorschlag für die Entwicklung eines bilateralen Forschungs- und Entwicklungsvorhabens geht zurück auf die Besuche mehrerer offizieller Delegationen der Regierungen der Provinzen von Free State und North West im Freistaat Sachsen, um die bilaterale Zusammenarbeit zu stärken. Als Grundlage der weiteren Zusammenarbeit wurde im September 2007 ein Kooperationsabkommen zwischen der Provinzregierung Free State und Freistaat Sachsen in Dresden (Deutschland) unterzeichnet.

Auf dieser Grundlage wurden durch verschiedene Unternehmen mehrere Projekte zur Bergbausanierung sowie dem Management von Mine Closure Operationen ausgeführt bzw. befinden sich gegenwärtig in der Bearbeitung.

Die Ergebnisse dieser und weitere Arbeiten wurden durch die Projektpartner seit 2007 regelmäßig auf internationalen Konferenzen und Fachtagungen der Fachöffentlichkeit vorgestellt.

Im Herbst 2008 wurden in Johannesburg im Rahmen eines von der Deutschen Botschaft in Pretoria organisierten Workshops die Ergebnisse des Forschungs- und Entwicklungsprojektes "Bergbau und Umwelt in Südafrika - Mining and Environment in South Africa" vorgestellt. Die Finanzierung des Projekts erfolgte durch das Internationale Büro (IB) des BMBF.

Ebenfalls im Herbst 2008 (14.10. – 17.10.2008) fand in Johannesburg die Internationale Konferenz „Mine Closure 2008“. Im Rahmen dieser Konferenz wurden von den deutschen und südafrikanischen Antragstellern die Ergebnisse nationaler und internationaler Projekte in einer Reihe von Fachvorträgen bzw. Posterpräsentationen vorgestellt (DEISSMANN & KISTINGER 2008; GERTH & HEBNER 2008; GRIEBL & SCHWARZ 2008; KAHNT & PAUL 2008; SCHWARZ *et. al.* 2008; STOCH *et. al.* 2008; KUYUMCU 2008).

Im September 2009 nahm die deutsche Business-Initiative "MineWaterTec" ihre Arbeit auf, mit finanzieller Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Unter der Führung des GMBU e. V. (einer gemeinnützigen Organisation für industrielle Forschung und Entwicklung) und der geotec Rohstoffe GmbH bündelt diese Initiative deutsches Expertenwissen zu allen Belangen des Bergbaus und des Wassermanagements. Schwerpunkte liegen dabei auf der Betrachtung des kompletten Lebenszyklus von Bergbaubetrieben sowie auf dem Uran-Bergbau (siehe [www.minewatertec.com](http://www.minewatertec.com)).

Die "International Mine Water Conference" fand vom 19. bis 23. Oktober 2009 in Pretoria, Südafrika statt, organisiert vom "Water Institute of Southern Africa's Mine Water Division" in Zusammenarbeit mit der "International Mine Water Association". Von den am Projekt beteiligten Partnern wurden die Ergebnisse ihrer internationalen Arbeiten in Vorträgen vorgestellt (JENK *et. al.* 2009; SCHWARZ *et. al.* 2009; WINDE 2009).

In Mitteldeutschland hat sich durch die umfangreichen Rekultivierungs- und Renaturierungsprojekte in ehemaligen Bergbaugebieten, die mit einem erheblichen Einsatz öffentlicher Mittel verbunden waren und sind, ein großes technisches und wissenschaftliches Wissen entwickelt, das zur Bewältigung der Aufgaben in Südafrika genutzt werden kann. Die Bewältigung der verschiedenen Aufgaben sollte jedoch mit gebündelten Kräften und in enger Zusammenarbeit der einzelnen Akteure im Rahmen eines bilateralen F&E-Projekts erfolgen.

Die vorgesehenen Projektpartner aus Wissenschaft und Wirtschaft bieten die Gewähr für eine effektive Bearbeitung. In dem inhaltlich breit gefassten Rahmen von "Bergbau und Umwelt - Mining and Environment" schließt sich das geplante F&E-Projekt an die bestehende, vom BMBF finanzierte Vorstudie an. Die Dauer des Vorhabens wird gegenwärtig in einer ersten Schätzung auf ca. 3-5 Jahre veranschlagt.

Als eine der notwendigen Aufgaben zur Vorbereitung der folgenden Schritte für das vorgestellte Projekt, hat das deutsche wissenschaftliche Projektmanagement einen Projektantrag zur Finanzierung durch das IB des BMBF für die Organisation von zwei vorbereitenden Workshops ausgearbeitet. Ein paralleler Antrag wurde von den südafrikanischen Partnern gegenüber dem NRF, der Nationalen Forschungsstiftung in Südafrika im September 2009 eingereicht.

Für beide Anträge wurde im März 2010 die Förderung bewilligt. Gegenwärtig laufen die Arbeiten zur Vorbereitung der Workshops in Deutschland und Südafrika. Der erste Workshop mit dem Schwerpunktthema „Modelle“ wird Ende Juni in Potsdam am Geoforschungszentrum stattfinden; der zweite Workshop wird dann im Oktober 2010 in Südafrika veranstaltet.

### 1.3 Das Konzept

Integrated Water Management bedeutet das Zusammenspiel zwischen Wissenschaft, Entscheidungsfindung (Politik) und praktisch ausführenden Aktivitäten (Wirtschaft) hinsichtlich der vielfältigen Aspekte der Wassernutzung.

Mit dem Projekt sollen auf der Grundlage der bei den Partnern vorliegenden konkreten Erfahrungen, die sowohl vor Ort in Südafrika als auch in nationalen und internationalen Projekten erworben wur-

den, darüber hinaus weitere grundlegende Fragen der Sicherung einer langfristig nachhaltigen sozio-ökonomischen Entwicklung in Südafrika bearbeitet werden. Das betrifft vor allem folgende bedeutende Sachgebiete:

- Landnutzung (Stand heute und zukünftige Entwicklungen)
- Risikoanalyse (Risk Assessment and Analysis: Analyse und Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten, der Umfänge und Dimensionen, der Auswirkungen auf die unterschiedlichen Sozialkompartimente umwelt-determinierter, aber durch die menschlichen Aktivitäten getriggelter Gefahrenprozesse)
- Einführung international eingeführter Technologien und Techniken für die Reinigung und Aufbereitung von Bergbauwässern, das Wassermanagement sowie die Wasserversorgung
- Sicherung der nachhaltigen Entwicklung
- Förderung der ländlichen und kommunalen Entwicklung
- Armutsbekämpfung.

Vor dem Hintergrund der Sicherstellung einer langfristig und nachhaltig stabilen Trinkwasserversorgung für die Provinz Gauteng soll der Aufbau eines komplexen hydrogeologischen und hydrochemischen Modells erfolgen, das als gesicherte Grundlage für alle weiteren qualitativen Aussagen und Entscheidungen sowohl auf fachlich-wissenschaftlichem Gebiet als auch auf kommunal-politischer Ebene dienen wird.

Aufgrund der Aussagen des Modells kann dann sichergestellt werden, dass der Goldbergbau (aktiver und Sanierungsbergbau) in den Provinzen Free State, North West und Gauteng nicht mit einer Gefährdung des Trinkwassers erfolgt bzw. aktive Gegenmaßnahmen rechtzeitig ergriffen werden können.

Im Zuge der Bearbeitung des geplanten F&E-Vorhabens werden sehr unterschiedliche und komplexe wissenschaftlich, technische, soziale und ökonomische Aufgabenstellungen bearbeitet. Dazu gehören u.a.:

- die GIS-gestützte Betrachtung der Einzugsgebiete (Landnutzung)
- Erkennen und Bewerten der Verschmutzungsquellen im Einzugsgebiet (Bergbau, Landwirtschaft, Kläranlagen, ...)
- die Definition und Zuordnung von Verantwortlichkeiten
- die Kontrolle über Wassermengen und Überflutungsflächen
- der Aufbau eines oder mehrerer hydrologischer Modelle
- der Aufbau eines oder mehrerer Stofftransportmodelle
- die Simulation und Prognose zukünftiger Entwicklungen der Wassermengen sowie des Wasserchemismus
- Auswahl und Test geeigneter Modelle zur optimalen Bewirtschaftung der Wasserressourcen
- Auswahl und Festlegung von Pilot- und Modellstandorten für weitergehende Forschungsarbeiten
- Auswahl und Festlegung von Pilot- und Modellstandorten zum Test von verschiedenen anerkannten Verfahren und Technologien der Reinigung und Aufbereitung von Bergbauwässern
- die Entwicklung von Gesetzen und Handlungsempfehlungen (Regularien)
- Training und Ausbildung der beteiligten Partner aus Behörden, Verwaltungen und beteiligten Firmen
- Entwicklung und Einsatz bewährter und neuer Verfahren zur „Bürger-Beteiligung“.

Es ist eine der wesentlichen Zielstellungen der deutschen und südafrikanischen Projektpartner neue Technologien und Techniken der Wasserbehandlung in ausgewählten Fallstudien im Rahmen des vorgeschlagenen komplexen Modellsystems einzusetzen. Im Laufe der letzten Jahrzehnte haben vor allem die deutschen Partner ein komplexes Werkzeug aus verschiedenen Technologien und Techniken in verschiedenen Maßstäben entwickelt und erfolgreich in der wirtschaftlichen Praxis eingesetzt.

Es ist im Verlauf des Projekts weiterhin eine Prüfung des Einsatzes dieser modernen Wasserbehandlungstechnologien in der südafrikanischen Bergbauindustrie sowie in Gemeinden und Kommunen vorgesehen.

Neben den technisch-wissenschaftlichen Zielen des Vorhabens werden folgende Ziele verfolgt, die langfristig und nachhaltig in den Provinzen und damit in der Republik Südafrika wirken werden:

- Bündelung der wissenschaftlichen Kompetenzen
- Capacity Building
- Know-How-Transfer - Wissenstransfer
- Human Resources Development.

Es ist dabei besonders wichtig, im Rahmen des geplanten F&E-Vorhabens alle Interessengruppen einzubeziehen, angefangen von den staatlichen Einrichtungen, wissenschaftlichen Institutionen und Universitäten bis zu den wirtschaftlich Beteiligten und den Interessengruppen der Einwohner.

Die vorgesehenen Projektpartner aus Wissenschaft und Wirtschaft (aktuell sind 12 deutsche und 6 südafrikanische Partner beteiligt) bieten die Gewähr für eine effektive Bearbeitung.

## **2 Behandlung von sulfathaltigem Bergbauwasser in einem Constructed Wetland in Chile**

Im folgenden Kapitel werden praktische Erfahrungen von Projektpartnern in der Sanierung von Bergbauwässern an einem Projekt in Chile vorgestellt. Dieses Beispiel wurde ausgewählt, da die gegenwärtige aktuelle Diskussion von Sanierungstechnologien stark auf das Thema „Constructed Wetlands“ fokussiert ist (vgl. PULLES & HEATH 2009 sowie ausführlich unter [http://www.imwa.info/publications/symposium\\_2009.php](http://www.imwa.info/publications/symposium_2009.php)).

### **2.1 Ausgangssituation**

Weltweit stellt die Bildung von schwefelsaurem Wasser und die durch die AMD- / ARD-Prozesse hervorgerufene Mobilisierung weiterer Schadstoffe wie Schwermetalle, eine der bedeutendsten durch den Bergbau verursachten Umweltverschmutzungen dar (vgl. EPA, 2000; BEZUIDENHOUT et al 2009).

Die Sanierung von schwefelsaurem Wasser stellt Bergbauunternehmen international vor große Herausforderungen. Bisher wird zur pH-Wertanhebung vor allem eine wiederholte oder kontinuierliche Zugabe von alkalisch wirkenden Chemikalien (z.B. Kalkmilch) eingesetzt. Die Nachteile dieses Verfahrens sind der große personelle und technische Aufwand, der hohe Bedarf an Alkalisierungsmitteln und die damit verbundenen erheblichen Betriebskosten. Zudem wird durch die Zugabe von Alkalisierungsmitteln zwar der pH-Wert angehoben, aber es ist nicht möglich die Sulfatkonzentration deutlich zu senken.

In Technikumsversuchen und unter Praxisbedingungen an einem Kupferbergbaustandort in Chile wurden die Design- und Verfahrensparameter für eine umweltverträgliche und passive Senkung der Sulfatkonzentration durch einen biologisch aktiven Kiesfilter (Constructed Wetland) erarbeitet. Zur Senkung der Sulfatbelastung wird die mikrobielle Desulfurikation genutzt. Die Immobilisierung der dabei entstehenden Sulfide wird durch die Fällung als schwer lösliche Eisensulfidverbindung sichergestellt. Die Sulfatreduktion und anschließende Eisensulfidfällung bilden die Umkehrung der für die Versauerung von Bergbauwässern hauptverantwortlichen Pyrit-/ Markasitverwitterung.

## 2.2 Technikumsversuch zur Behandlung von sulfathaltigem Wasser

In einem biologisch aktiven Kiesfilter, der zur Vermeidung des Eintrags von Luftsauerstoff abgedeckt ist, wird durch die Zugabe von Melasse als alternativer Kohlenstoffquelle unter anaeroben Bedingungen eine dauerhafte Sulfatreduktion durch Bakterien (Desulfurizierer) etabliert. Der Kiesfilter wird kontinuierlich von dem zu behandelnden Wasser durchströmt. Die notwendigen Desulfurizierer werden bei Inbetriebnahme der Behandlungsanlage in Form von Faulschlamm eingebracht. Nach einer Einfahrphase von 2-3 Wochen setzt die mikrobielle Sulfatreduktion ein und der Sulfatgehalt im behandelten Wasser wird dauerhaft um bis zu 90% gesenkt. Eine mikrobielle Sulfatreduktion wird bis zu einer Zulaufkonzentration von 12.000 mg/l erreicht.

Anschließend wird bei der Desulfurikation gebildeter Schwefelwasserstoff aus der wässrigen Phase abgetrennt. Das behandelte Wasser wird durch einen Filter aus Eisengranulat geleitet und die hohe Bindungsaffinität von Schwefelwasserstoff gegenüber Schwermetallionen ausgenutzt, um das Sulfid zu binden. Bei einer hydraulischen Verweilzeit von 5 Stunden kommt es zur vollständigen Ausfällung als schwer lösliches Eisensulfid.

## 2.3 Übertragung der Technikumsuntersuchungen in den Pilotmaßstab

Das Verfahren wurde erfolgreich an einer mehrstufigen Pilotanlage - Constructed Wetland - in Chile demonstriert. Diese befindet sich an dem in der Schließung befindlichen Bergbaustandort Lo Aguirre, an dem durch Heap Leaching Kupfer gewonnen wurde. Die Pilotanlage besteht aus 5 Stufen (Belüftungskaskade, Filtrations- und Sedimentationsstufe, Kalksteindrainage, anaerober Kiesfilter, Eisendrainage). Sie dient der Behandlung von eisen- und sulfathaltigem saurem Sickerwasser, das aus ausgelaugtem Haldenmaterial austritt.

Durch den Einsatz einer Belüftungskaskade wird gelöstes Eisen oxidiert und in der nachfolgenden Filtrations- und Sedimentationsstufe mit integrierten Kokosfiltermatten als Eisenhydroxid zurückgehalten. Dadurch wird eine Verblockung der sich anschließenden Kalksteindrainage vorgebeugt. Durch die Kalksteindrainage wird der pH-Wert des zu behandelnden Wasser von 5 auf 6,1 – 6,7 angehoben. Eine hydrogeochemische Modellierung zeigt, dass es unter den gegebenen Bedingungen nicht zu einer Gipsbildung in der Drainage kommt und damit keine Inertisierung des Kalksteins erfolgt. In den für die Sulfatreduktion verwendeten, abgedeckten Kiesfilter wird zur Inbetriebnahme Faulschlamm eingebracht. Durch die Zugabe von Melasse wird die mikrobielle Sulfatreduktion stimuliert. Bei einer hydraulischen Verweilzeit von rund 2 Tagen wird der Sulfatgehalt von durchschnittlich 2.960 mg/l auf 1.630 mg/l abgesenkt. Die Abbauleistung liegt im Mittel bei 600 mg/(l\*d) Sulfat (vergleiche GERTH & HEBNER 2008).

## 3 Zusammenfassung

Durch die Ausnutzung passiver chemisch-physikalischer und biologischer Prozesse ist es möglich, den pH-Wert anzuheben und den Sulfatgehalt im Wasser signifikant und kontinuierlich zu reduzieren. Durch den geringen Aufwand für den Betrieb, die Wartung und Instandhaltung ist eine kostengünstige Sanierung schwefelsaurer Wasser möglich. Der ggf. erforderliche Strombedarf für den Betrieb von Pumpen kann durch Photovoltaik- oder Windkraftanlagen gedeckt werden. Dadurch ist das Behandlungsverfahren energieautark und dezentral einsetzbar.

Für konkrete aktive und in der Sanierung befindliche Bergbaustandorte in Chile, Südafrika und Deutschland wurden Konzepte für den Bau und Betrieb von Constructed Wetlands zur Behandlung von schwefelsaurem Wasser entwickelt und technologisch umgesetzt.

Die geplante Umsetzung des methodischen Konzepts von Integrated Water Management Systemen in einer der zentralen Regionen des südafrikanischen Bergbaus mit einem Einzugsgebiet von ca. 6.000 km<sup>2</sup> bietet eine exzellente Grundlage für die Auflösung des Spannungsverhältnisses von Ökonomie (der Bergbau steht mit am Beginn der Wertschöpfungskette, und schafft die Voraussetzungen für materiellen Wohlstand) und Ökologie (Sicherung einer umweltverträglichen und nachhaltigen ökosozialen Entwicklung). Die guten Erfahrungen, die in Deutschland im Zuge der Großvorhaben der Bergbausanierung (Bergbau auf Uran, Kupferschiefer, Kali, Steinsalz und Kohle) entwickelt und erarbeitet worden sind, ermöglichen der deutschen Rohstoffindustrie und Consultingwirtschaft einen Vor-

teil auf internationalen Märkten, der jedoch zeitlich endlich ist. Ein wesentlicher Schwerpunkt des geplanten F&E-Vorhabens wird neben den anspruchsvollen wissenschaftlichen Fragestellungen insbesondere zu der Modelltheorie dabei gegenwärtig und vor allem in der Umsetzung des Projekts auf der Organisation und Durchsetzung eines gerechten Interessensausgleiches zwischen allen Beteiligten durch anerkannte Verfahren des „public“ oder „stakeholder involvement“ sowie der „public participation“ liegen.

## 4 Literaturverzeichnis

- BEZUIDENHOUT, N.; VERBURG, R.; CHATWIN, K.; FERGUSON, K. (2009): INAP's Global Acid Rock Drainage Guide and the Current State of Acid Rock Drainage Assessment & Management in South Africa. – In: Proceedings International Mine Water Conference. – p. 29-957, in: "International Mine Water Conference" Pretoria, South Africa 2009, Water Institute of Southern Africa's Mine Water Division & International Mine Water Association (2009): International Mine Water Conference [CD ROM] – 976 pp; Pretoria (Document Transformation Technologies), ISBN 978-0-09802623-5-3.
- DEISSMANN, G.; KISTINGER, S. (2008): Evaluation of Sustainable Remediation Measures for Mine Closure and Derelict Mines – Application of Predictive Geochemical Models and Risk-Based Cost-Benefit Analyses for Decision Making, 511 – 529, Mine Closure 2008. Proceedings of the Third International Seminar on Mine Closure. 14 – 17 Oktober 2008. Johannesburg, South Africa. S. 880, Johannesburg 2008.
- EPA, 2000: Abandoned Mine Site Characterization and Cleanup Handbook.
- GERTH, A.; HEBNER, A. (2008): The Potential of Plants in Constructed Wetlands for the Removal of Contaminants from Mine Water in Germany, 599 – 605, Mine Closure 2008. Proceedings of the Third International Seminar on Mine Closure. 14 – 17 Oktober 2008. Johannesburg, South Africa. S. 880, Johannesburg 2008.
- GRIEBEL, D.; SCHWARZ, R. (2008): Creating a New Landscape Architecture – A Holistic Approach for Mine Closure Operations, Abstract Poster Presentation, Mine Closure 2008. Proceedings of the Third International Seminar on Mine Closure. 14 – 17 Oktober 2008. Johannesburg, South Africa. S. 880, Johannesburg 2008.
- JENK, U.; PAUL, M.; SCHOEPKE, R. (2009): Development of a Novel Approach to Source Manipulation to be Applied at the Flooded Underground Uranium Mine at Königstein, Germany, 801 – 806, in: "International Mine Water Conference" Pretoria, South Africa 2009, Water Institute of Southern Africa's Mine Water Division & International Mine Water Association (2009): International Mine Water Conference [CD ROM] – 976 pp; Pretoria (Document Transformation Technologies), ISBN 978-0-09802623-5-3.
- KAHNT, R.; PAUL, M. (2008): Integrated Methodology for the Optimization of Mine Closure, 297 – 307, Mine Closure 2008. Proceedings of the Third International Seminar on Mine Closure. 14 – 17 Oktober 2008. Johannesburg, South Africa. S. 880, Johannesburg 2008.
- KUYUMCU, M. (2008): Remediation of Abandoned Lignite Mines in Eastern Germany, 419 – 427, Mine Closure 2008. Proceedings of the Third International Seminar on Mine Closure. 14 – 17 Oktober 2008. Johannesburg, South Africa. S. 880, Johannesburg 2008.
- PULLES, W. & HEATH, R. (2009): The Evolution of Passive Mine Water Treatment Technology for Sulphate Removal. – In: Proceedings International Mine Water Conference. – p. 2-745, in: "International Mine Water Conference" Pretoria, South Africa 2009, Water Institute of Southern Africa's Mine Water Division & International Mine Water Association (2009): International Mine Water Conference [CD ROM] – 976 pp; Pretoria (Document Transformation Technologies), ISBN 978-0-09802623-5-3.
- SCHWARZ, R.; GERTH, A.; HEBNER, A.; MGUDLWA, L. (2008): Integrated Water Management – Assignments of Water Management in Mining Regions, 547 – 553, Mine Closure 2008. Proceedings of the Third International Seminar on Mine Closure. 14 – 17 Oktober 2008. Johannesburg, South Africa. S. 880, Johannesburg 2008.
- SCHWARZ, R. et.al. (2009): IWM Mid-Vaal Region – Ein Modell zum Wassermanagement einer 2.500 km<sup>2</sup> großen Bergbauregion, Projektvorstellung am 09.04.2009, Freiberg, GKZ und TU Bergakademie.
- SCHWARZ, R.; GERTH, A.; MORGENSTERN, S.; HEBNER, A. (2009): Strategies for Managing Environmental Problems and Water Treatment in Mining, 557 – 566, in: "International Mine Water Conference" Pretoria, South Africa 2009, Water Institute of Southern Africa's Mine Water Division & International Mine Water Association (2009): International Mine Water Conference [CD ROM] – 976 pp; Pretoria (Document Transformation Technologies), ISBN 978-0-09802623-5-3.
- SCHWARZ, R. (2010): Projektvorschlag "Integrated Water Management in Gold Mining Regions, South Africa" (Entwurf, 1. Mai 2010), geotec Rohstoffe GmbH, Berlin.

STOCH, E.J.; WINDE, F.; ERASMUS, E. (2008): Karst, Mining and Conflict – A Historical Perspective of the Consequences of Mining on the Far West Rand, 69 – 83, Mine Closure 2008. Proceedings of the Third International Seminar on Mine Closure. 14 – 17 Oktober 2008. Johannesburg, South Africa. S. 880, Johannesburg 2008.

WINDE, F. (2009): Uranium Pollution of Water Resources in Mined-Out and Active Goldfields of South Africa – A Case Study in the Wonderfonteinspruit Catchment on Extent and Sources of U-Contamination and Associated Health Risks, 772 – 781, in: "International Mine Water Conference" Pretoria, South Africa 2009, Water Institute of Southern Africa's Mine Water Division & International Mine Water Association (2009): International Mine Water Conference [CD ROM] – 976 pp; Pretoria (Document Transformation Technologies), ISBN 978-0-09802623-5-3.

[www.gov.za](http://www.gov.za)

[www.minewatertec.com](http://www.minewatertec.com)

[www.imwa.info](http://www.imwa.info)