

# Entwicklung der Boden-, Sicker- und Grundwasserbeschaffenheit in der Kippe Niemeck (Bitterfeld) im Zuge der Restlochflutung

S. KNAPPE, H. RUPP, R. WENNRICH, J. MATTUSCH und R. MEISSNER

## Abstract

The former Goitsche opencast lignite mine is currently being flooded. The aim of the investigations is to gauge how flooding is changing the soil, leachate and groundwater in the profile of a highly acidified dump in the mine. The interaction between the soil/soil water/leachate, groundwater/aquifer and lake/lake sediment compartments is to be qualified and quantified.

Ion balances indicate that the substance inventory of the recultivated surface layer (neutral pH values, relatively low conductivities and substance concentrations) corresponds to that of natural soil.

So far, only layers affected by leachate and with sufficient oxygen at depths of 2, 3, 8 and 13 m with pH values of 3-4 are characterised by high balance sums. In terms of anions the balance is dominated by sulphate; regarding cations it is determined by Ca and Mg along with significant fractions of Al, Fe and protons.

A change in the milieu conditions is apparent in the areas affected by rising groundwater (28 and 23 m below the surface). Against the background of falling conductivities, reduced redox potentials, declining oxygen levels and pH values of around 7, the Fe and Al levels are dropping to uncritical levels. In addition, the levels of heavy metals are significantly decreasing, resulting in the improvement of groundwater quality.

## Zusammenfassung

Das Ziel der Untersuchungen besteht in der Erfassung der Veränderung der Boden-, Sicker- und Grundwasserbeschaffenheit im Profil einer stark versauerten Kippe des ehemaligen Braunkohletage-

baues Goitsche im Zuge der Restlochflutung. Dabei sollen die Wechselwirkungen zwischen den Kompartimenten Boden/Bodenwasser/Sickerwasser - Grundwasser/Aquifer - See/Seesediment erfasst und qualitativ als auch quantitativ beschrieben werden.

Die erstellten Ionenbilanzen zeigen für die rekultivierte Deckschicht bei pH-Werten um den Neutralpunkt relativ niedrigen Leitfähigkeiten und Stoffkonzentrationen und ein den natürlichen Böden etwa entsprechendes Stoffinventar.

Bisher nur sickerwasserbeeinflusste, ausreichend mit Sauerstoff versorgte Schichten in 2, 3, 8 und 13 m Tiefe sind bei pH-Werten von 3 - 4 durch hohe Bilanzsummen gekennzeichnet. Auf der Seite der Anionen bestimmt Sulfat die Bilanz. Auf der Seite der Kationen sind es Ca, Mg und mit deutlichen Anteilen Al, Fe und Protonen.

In den vom ansteigenden Grundwasser beeinflussten Bereichen (28 und 23 m unter GOK) lässt sich ein Wechsel der Milieuverhältnisse erkennen. Bei sinkenden Leitfähigkeiten, verminderten Redoxpotentialen, sinkenden Sauerstoffgehalten und pH-Werten um 7 fallen die Fe und Al Gehalte auf unkritische Werte. Darüber hinaus ist eine deutliche Absenkung der Schwermetallgehalte im Sinne einer Verbesserung der Grundwasserqualität festzustellen.

## 1. Problem und Aufgabenstellung

Bergbau bringt stets einen massiven Eingriff in die Natur, insbesondere auch in den Wasser- und Stoffhaushalt mit sich.

Nimmt er regionale Maßstäbe an, wie es z.B. bei den Braunkohlegroßtagebauen in Deutschland der Fall ist, entstehen nach Beendigung des Bergbaus völlig neue Landschaften. Sie sind maßgeblich durch die Bergbaurestseen und rekultivierte Kippenlandschaften geprägt. Der geologische Aufbau der Kippen ist mit dem vorbergbaulichen Zustand nicht mehr vergleichbar und es entstehen völlig neue und weitestgehend unbekannt geologische, hydrologische und geochemische Verhältnisse im Boden und damit im Boden-, Sicker- und Grundwasser.

Kippen des Braunkohlebergbaues bewirken regionale Kontaminationen und damit verbundene Risiken bei der Nutzung von Bergbaufolgelandschaften. Für eine Minimierung dieser Risiken und Ableitung von Managementmaßnahmen müssen die biogeochemischen und hydrologischen Kreisläufe und deren Vernetzung mit dem Grund- und Oberflächenwasser der mit der Restlochflutung verbundenen Wassereinzugsgebiete im Langzeitverhalten erfasst und daraus Erkenntnisse zur Risikoeinschätzung abgeleitet werden (SCHULTZE und KNAPPE, 2001).

Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen besteht in der Erfassung der Veränderung der Boden-, Sicker- und Grundwasserbeschaffenheit im Profil einer stark versauerten Kippe des ehemaligen Braunkohletagebaues Goitsche im Zuge der Restlochflutung. Dabei sollen die Wechselwirkungen zwischen den Kompartimenten Boden/Bodenwasser/Sickerwasser - Grundwasser/Aquifer - See/Seesediment erfasst und qualitativ als auch quantitativ beschrieben werden.

## 2. Material und Methoden

Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen eines scaling up mit fol-

**Autoren:** Dr. Siegfried KNAPPE, Dr. Holger RUPP und Prof. Dr. Ralph MEISSNER, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Sektion Bodenforschung, Theodor-Lieser-Str 4, D-06120 HALLE/SAALE, Dr. Rainer WENNRICH und Dr. Jürgen MATTUSCH, UFZ Leipzig-Halle, Sektion Analytik, Permoserstr. 15, D-04318 LEIPZIG

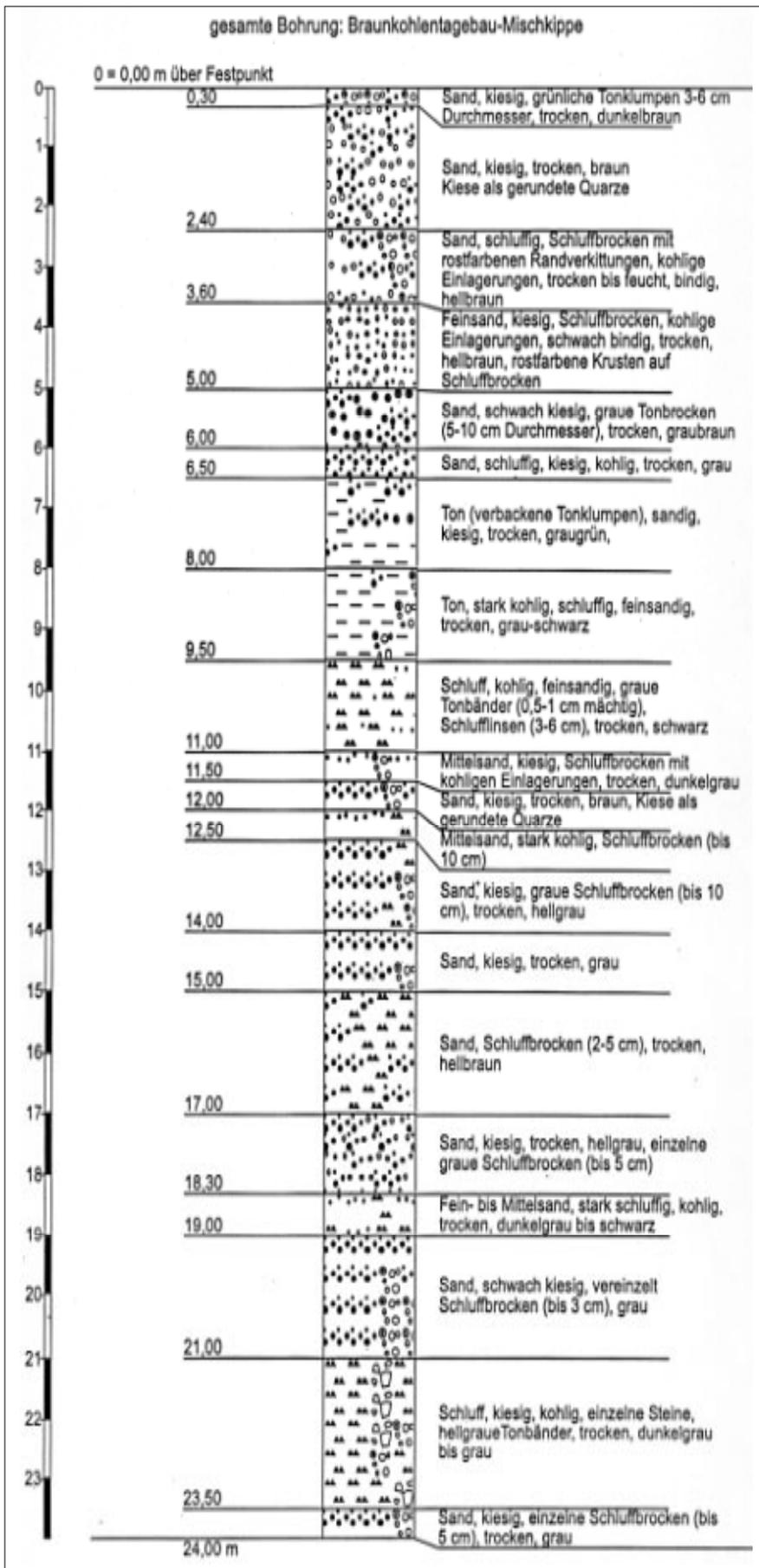


Abbildung 1: Substrataufbau der Kippe am Bohrloch Messplatz Goitsche

genden Methoden der Lysimetrie ermittelt:

- vier geschüttete, 2,5 m<sup>2</sup> tiefe und 1 m<sup>2</sup> große Lysimeter mit rekultivierten Boden der Kippe Niemegek unter Ruderalvegetation (Bodenentnahme ca. 100 m vom zukünftigen, südlichen Ufer des Goitschesees entfernt) - Aufstellungs-ort: Lysimeterstation Falkenberg.
  - Bodenhydrologischer Messplatz (Virtuelles Lysimeter) - BHM mit 5 Messebenen bis 2 m Tiefe (25, 50, 100, 150 und 200 cm). Jede Messebene ausgestattet mit Tensiometer, TDR-Sonde und Saugkerze.
  - Sickerwasser - Grundwasser - Messsystem (Virtuelles Tiefenlysimeter) - SGM mit 6 Messebenen (3, 8, 13, 18, 23 und 28 m). Jede Messebene ausgestattet mit TDR-Sonden und Saugkerzen bzw. eine Grundwasserpumpe bei 28 m.
- Standort von BHM und SGM: Feldmessstation auf der Kippe Niemegek am Rand des Goitschesees (gleichzeitig Entnahmeort für Boden Lysimeter.

Der Boden- und Substrataufbaues der Kippe ist *Abbildung 1* zu entnehmen. Es handelt sich beim Aufbau der Kippe um einen Regosol mit kiesigen Sanden, unterlagert und vermischt mit z.T. schluffigen, karbonathaltigen Zusätzen einer Mischkippe mit Kohle, Ton und geringen Anteilen von Bernsteinsanden.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1. Sickerwassermenge und -qualität der geschütteten Lysimeter

Die Sickerwasserbildung (*Abbildung 2*) in den geschütteten Lysimetern erfolgt in Übereinstimmung mit früheren Untersuchungen für alle vier Wiederholungen nahezu gleichsinnig. Etwa 40 % des Niederschlages werden unter Ruderalvegetation als Sickerwasser wiedergefunden. Damit wird die Annahme von KNAPPE et al. (1999 a, b) bestätigt, dass die Menge des anfallenden Sickerwassers in der rekultivierten, von Wurzeln erschlossenen Bodenzone determiniert wird und in Dynamik und Umfang den gleichartiger, natürlicher Bodenformen entspricht

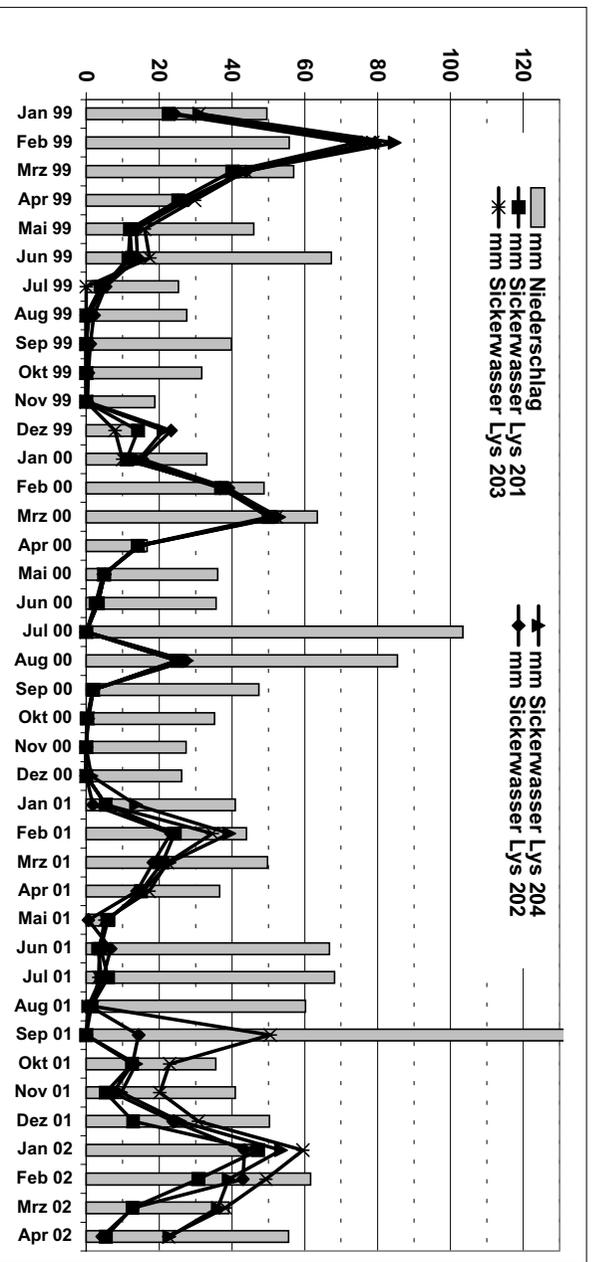


Abbildung 2: Niederschlag und Sickerwasserbildung der Lysimeter 201-204

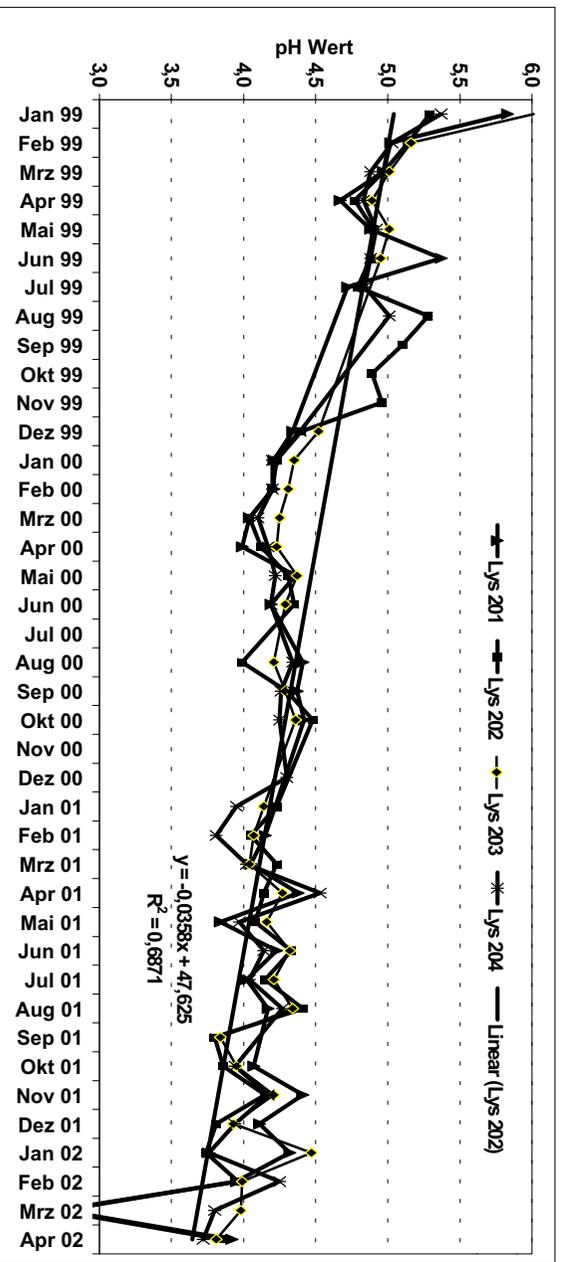


Abbildung 3: Dynamik der pH-Werte im Sickerwasser der Lysimeter 201-204

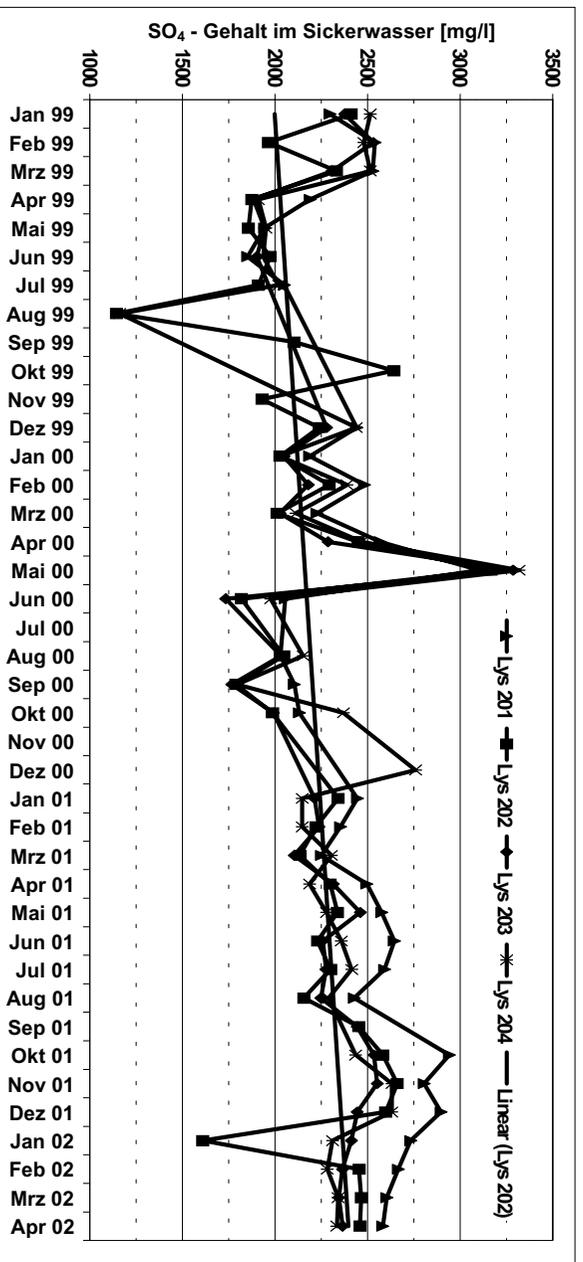


Abbildung 4: Entwicklung der Sulfatgehalte im Sickerwasser der Lysimeter 201-204

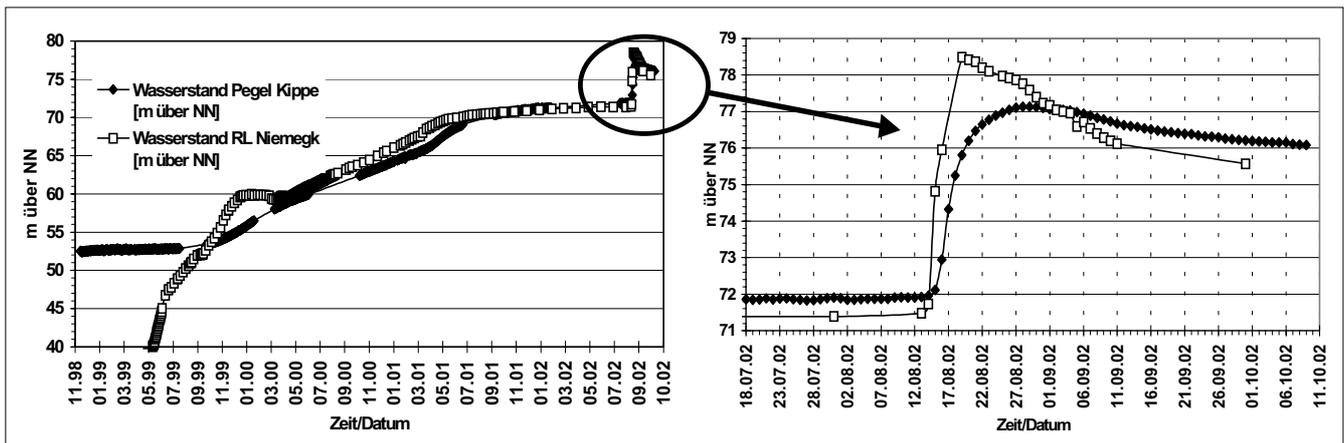


Abbildung 5: Wiederanstieg des Grundwassers in der Periode der geregelten Flutung (1999-2002) und im Zeitraum des Wassereintrittes während des Muldehochwassers (August/September 2002)

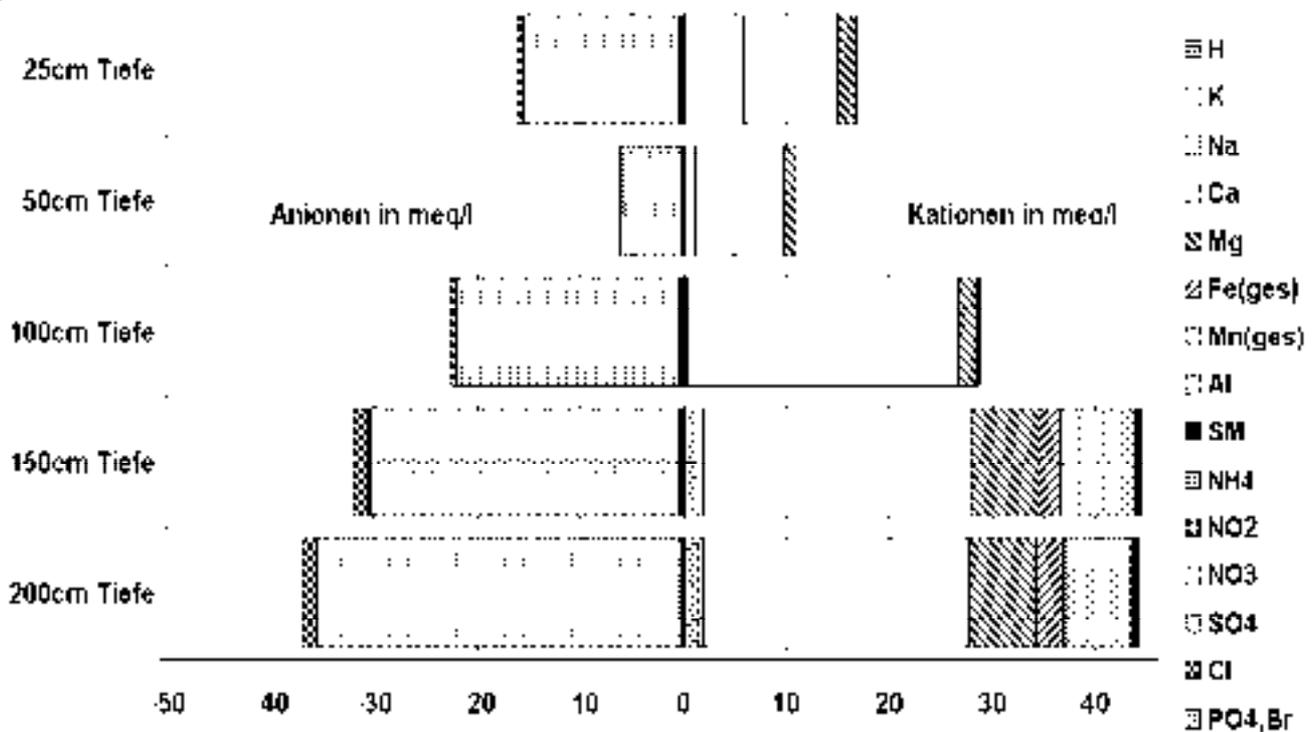


Abbildung 6: Ionenbilanz im Porenwasser von 5 Tiefen eines Bodenhydrologischen Messplatzes auf der Kippe Niemeck (Goitsche bei Bitterfeld)

(HAFERKORN 2000, HAFERKORN und KNAPPE 1998, 1999).

Bei ständiger Sauerstoffverfügbarkeit (WUNDERLY et al., 1996) in der ungesättigten Zone scheint der Prozess der Pyritverwitterung (auch als Folge der Belüftung der Substrate beim Einbau in die Lysimeter) noch deutlich weiterzugehen. Abnehmende pH Werte (Abbildung 3), verbunden mit zunehmenden Sulfatgehalten (Abbildung 4) weisen auf eine reale Gefährdung von Grund- und Oberflächenwasser hin.

### 3.2 Grundwasserwiederanstieg bei Flutung bzw. Überflutung des Restsees mit Wasser aus der Mulde

Wie Untersuchungen von KNAPPE et al., 1999 b und KNAPPE et al., 2001 zeigen, erfolgt die Aufsättigung und der Grundwasserwiederanstieg in sehr heterogenen, stärker schluffhaltigen Kippen der Braunkohletagebaue sehr langsam und räumlich sehr unterschiedlich. Nach GLÄSER und CHRISTOPH, 2002 kann es dabei im Vergleich mit dem Wasserspiegel der gefluteten Seen zu Verzögerungen von bis zu mehreren Jahren kom-

men. Nach Modellvorstellungen (GOEBEL et al., 2001, MALLANTSA et al., 1998 und HINZ, 1998) sind für diese Verhalten vor allem der Kippenaufbau mit verstärktem preventiellen Flüssen und der Wechsel von schluffigen zu rolligen Schütthorizonten verantwortlich. Verzögernd auf die Wiederauffüllung wirken dabei der Infiltration entgegenstehende, eingeschlossene Luftblasen (GLÄSER und CHRISTOPH, 2002).

Wie aus Abbildung 5 zu entnehmen ist, steigt der Grundwasserstand während der Flutungsphase in der relativ durchlässigen, sandig bis kiesigen Kippe in

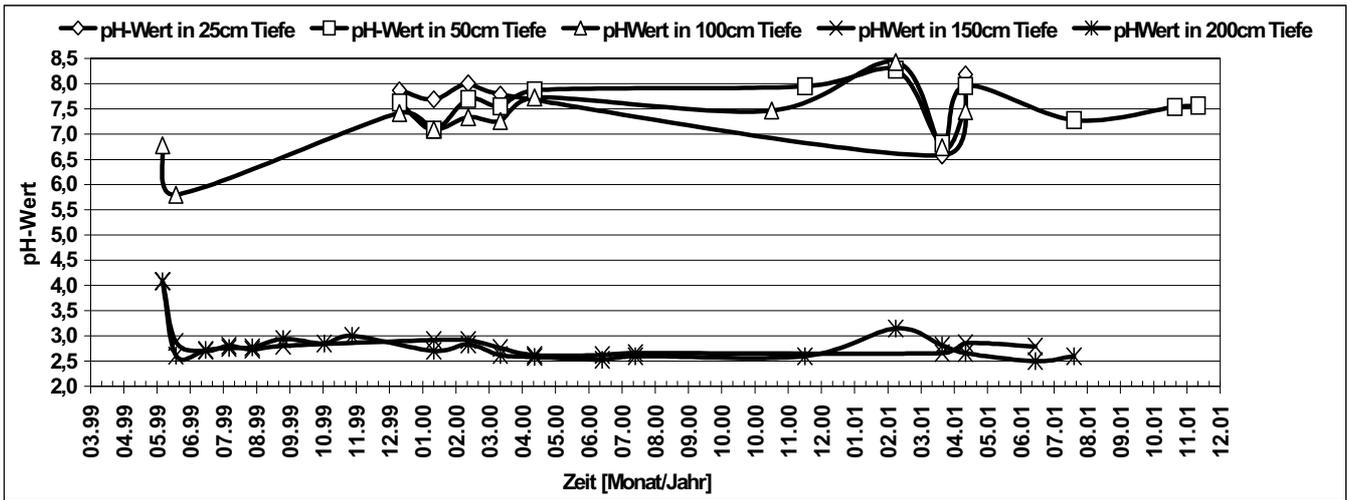


Abbildung 7: Entwicklung der pH-Werte im Porenwasser von 5 Tiefen des Bodenhydrologischen Messplatzes auf der Kippe Niemeck (Goitsche bei Bitterfeld)

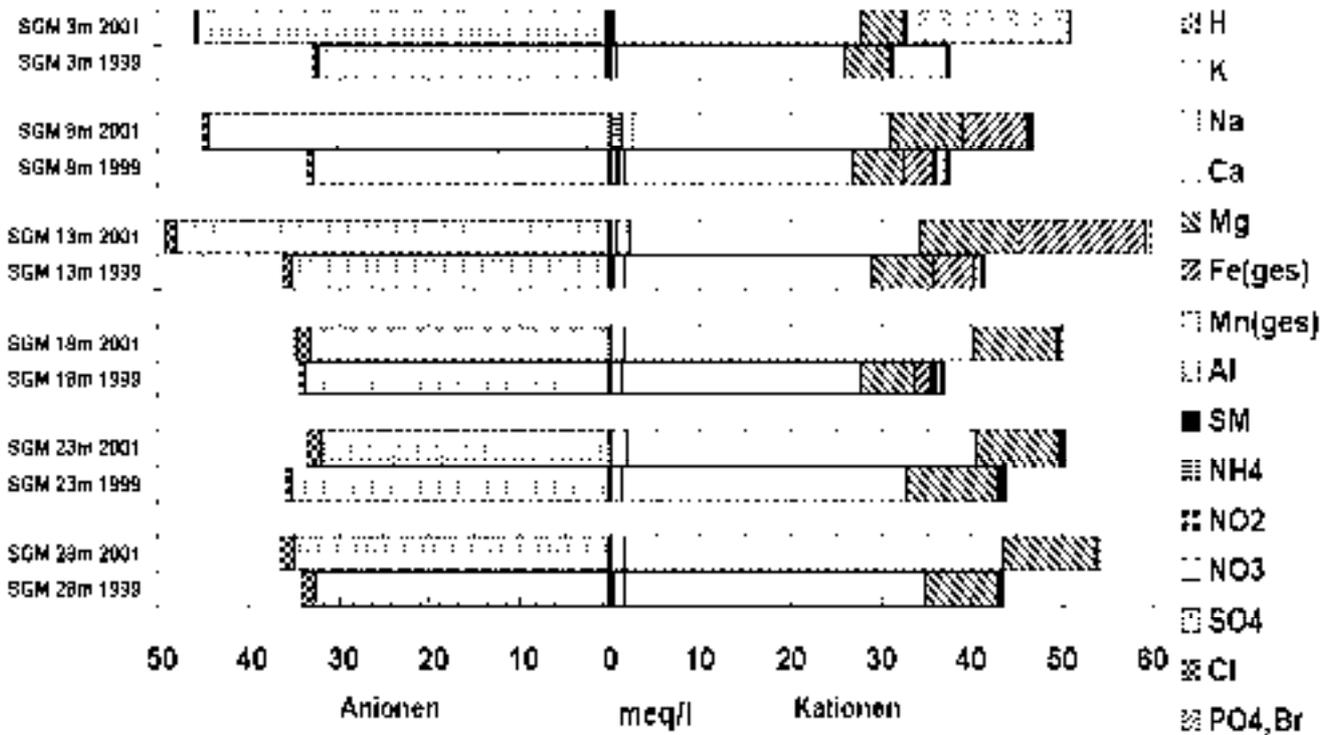


Abbildung 8: Ionenbilanzen im Porenwasser von 5 Tiefen eines Sickerwasser-Grundwasser-Messsystems auf der Kippe Niemeck (Goitsche bei Bitterfeld)

Bitterfeld (im Gegensatz zu den vorangegangenen Feststellungen) mit dem Anstieg des Seewasserspiegels nahezu gleichsinnig mit einer Zeitverzögerung von 4 - 8 Wochen an.

Als am 13. August 2002 infolge des Wassereintrages in die Goitsche durch das Muldehochwassers der Seespiegel innerhalb kurzer Zeit um ca. 7 m anstieg, konnten mit Verzögerung von Tagen bzw. Stunden steigende Grundwasserstände registriert werden.

Dabei bleibt die Frage offen, ob dieser Anstieg durch den hydraulischen Druck über den erhaltenen, natürlichen Grundwasserleiter 5 oder über laterale Flüsse gespeist wurde.

### 3.3 Ionenbilanzen und Stoffinventar im Sicker- und Porenwasser

#### 3.3.1 Bodenhydrologischer Messplatz

Entsprechend den aus *Abbildung 6* zu entnehmenden Ionenbilanzen weisen die rekultivierten Deckschubstrate ein den na-

türlichen Böden weitgehend entsprechendes Stoffinventar auf. Die erstellten Ionenbilanzen sind für die rekultivierte Deckschicht und für natürliche Böden aus gleichen Substraten bei pH-Werten um den Neutralpunkt, relativ niedrigen Leitfähigkeiten und ähnlichen Stoffkonzentrationen (HAFERKORN und KNAPPE 1998, KNAPPE et al. 1999a,b) nahezu identisch.

Bei ständiger Sauerstoffverfügbarkeit bzw. -nachlieferung (vergl. WUNDERLY et al., 1996) in den ungesättigten Be-

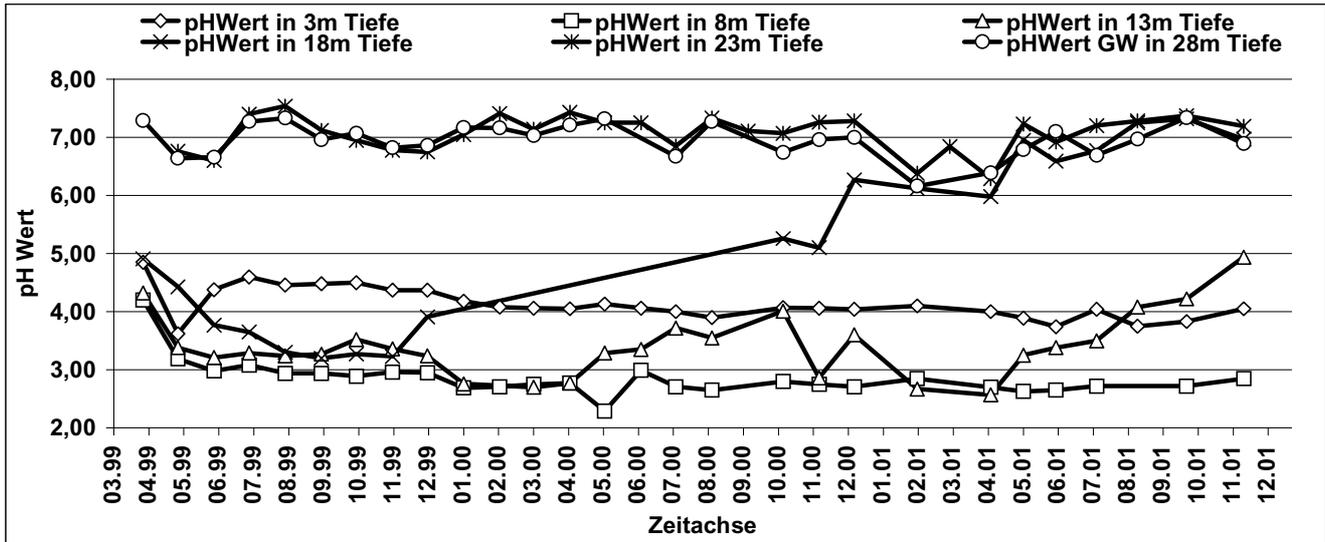


Abbildung 9: Entwicklung der pH-Werte im Porenwasser von 5 Tiefen eines Sickerwasser-Grundwasser-Messsystems auf der Kippe Niemegk (Goitsche bei Bitterfeld)

reichen bis 2 m Tiefe, scheint der Prozess der Pyritverwitterung noch deutlich weiterzugehen.

Fortschreitende Pyritoxydation und damit verbundene pH-Werte zwischen 2,5 und 3 (Abbildung 7) bewirken steigende Sulfatgehalte, einen beträchtlichen Anteil an H-Ionen als auch steigende Fe und Al Gehalte am Ionenspektrum (BALKENHOL et al. 2001, LUDWIG et al.

1999). Diese und gleichzeitig erhöhte Schwermetallgehalt deuten auf Milieuverhältnisse hin, bei denen ein fortschreitender Zerfall der Tonminerale auftritt. Durch Sickerwasser kann dieses Stoffpotential in Richtung Grundwasser transportiert werden und eine reale Gefährdung von Grund- und Oberflächenwasser darstellen (LIEBNER und KATZUR, 1997).

### 3.3.2 Sickerwasser-Grundwasser-Messsystem (SGM)

Das aus dem See in den Kippenkörper eindringende und diesen durchströmende Wasser scheint sich zunächst mit dem bekannten Stoffinventar der bisher aeroben Kippe aufzusättigen. Die nur sickerwasserbeeinflussten, ausreichend mit Sauerstoff versorgten Schichten (Abbildung 8) in 2, 3, 8 und 13 m Tiefe sind bei pH-Werten von 3 - 4 (Abbildung 9)

Tabelle 1: Leitfähigkeit, pH-Wert, Sulfat- Aluminium- und Schwermetallgehalte im Porenwasser von 5 Tiefen eines Sickerwasser-Grundwasser-Messsystems auf der Kippe Niemegk -Goitsche bei Bitterfeld (Mittelwerte 1999 und 2000)

Messgröße	Jahr	Tiefe in Meter						Grenzwert Trinkwasser*1	Prüfwert Sanierung GW*2
		3	8	13	18	23	28		
pH Wert	1999	4,40	3,13	3,43	3,74	6,99	6,99	6,5-9,5	-
	2000	4,06	2,71	3,26	5,84	7,20	7,05		
LF[mS/cm]	1999	2744	3000	3081	2788	3064	3131	2	-
	2000	2833	3431	3855	3130	3213	3374		
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> [g/l]	1999	1,54	1,57	1,69	1,61	1,69	1,56	0,24	0,75
	2000	1,88	1,81	2,31	1,97	1,77	1,83		
Al [mg/l]	1999	54,5	11,80	2,34	7,38	0,41	3,37	0,2	
	2000	139,8	2,75	0,22	0,07	0,19	0,26		
Cd [µg/l]	1999	26,4	6,9	3,0	5,5	0,7	0,7	5	10
	2000	35,6	1,4	0,5	0,1	0,2	0,3		
Cu [µg/l]	1999	37,7	29,7	16,0	55,9	4,0	2,1	100	200
	2000	52,1	4,6	2,1	0,1	1,2	0,4		
Ni [µg/l]	1999	1247	653	340	427	47	31	50	200
	2000	1400	290	168	51	40	37		
Pb [µg/l]	1999	40,9	25,3	31,7	31,7	58,2	7,8	40	200
	2000	17,9	8,8	11,2	0,6	13,0	12,5		
Zn [µg/l]	1999	3572	3418	2791	333	1396	2038	100	800
	2000	5442	664	414	440	185	511		
As [µg/l]	1999	0,6	0,5	0,9	0,6	0,9	13,9	40	100
	2000	1,2	0,6	1,4	4,9	0,7	11,2		

\*1 TrinkwV vom 22. Mai 1986 (BGBl.I)

\*2 Niederländischer Leitfaden zur Bodenbewertung und Bodensanierung (1990)

durch hohe Stoffkonzentrationen im Porenwasser gekennzeichnet. Auf der Seite der Anionen bestimmt Sulfat die Bilanz. Auf der Seite der Kationen sind es Ca, Mg und mit deutlichen Anteilen Al, Fe und H Ionen.

In den zuerst vom ansteigenden Grundwasser beeinflussten Bereichen (28 und 23 m unter GOK - *Abbildung 8*) lässt sich bereits ein Wechsel der Milieuverhältnisse erkennen.

Bei hier nicht dargestellten sinkenden Leitfähigkeiten, verminderten Redoxpotentialen, sinkenden Sauerstoffgehalten und auf Werte von 6 - 7 steigenden pH-Werten (*Abbildung 9*) fallen die Fe und Al Gehalte auf unkritische Werte. Darüber hinaus ist eine deutliche Absenkung der Schwermetallgehalte (*Tabelle 1*) im Sinne einer Verbesserung der Grundwasserqualität festzustellen.

#### 4. Literatur

- BALKENHOL, R., B. LUDWIG, K. UFER, J. JOCHUM and G. FRIEDRICH, 2001: Pyrite oxidation in sediment samples from the German open-cut brown coal mine Zwenkau: mineral formation and dissolution of silicates, *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164, 283-288.
- BbodSchV, 1999: German Regulations for Protection of Soils, BGBl I, FNA2129-32-1, Bonn 12 July 1999, 1554pp.
- GLÄSER, W. und G. CHRISTOPH, 2002: Hydrogeologische und hydrochemische Entwicklungsprognosen für Braunkohlen-Tagebaukippen in Mitteldeutschland. Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 21, 135.
- GÖBEL, B., E.-W. REICHE und P. WIDMOSER, 2001: Modellrechnungen zum Wasser- und Nitrattransport auf zwei Maßstabsebenen, *Landnutzung und Landentwicklung* 42, 201-206.
- HAFERKORN, U., 2000: Größen des Wasserhaushaltes verschiedener Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung im klimatischen Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes - Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis, Ph.D. Thesis, Fachbereich Agrarwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen, 154pp.
- HAFERKORN, U. und S. KNAPPE, 1998: Austrag von Wasser und gelösten Inhaltsstoffen aus natürlich gelagerten Böden in Lysimetern in Abhängigkeit vom Grad der Wassersättigung des Bodens. *Mitt. Deutsche Bodenkundl. Gesellsch.* 88, 367-370.
- HAFERKORN, U. und S. KNAPPE, 1999: Höhe und Beschaffenheit der Grundwasserneubildung in Abhängigkeit vom Bodenwasserspeicher und der Bewirtschaftung. Bericht über die 8. Lysimetertagung. Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft. BAL Gumpenstein, 149-150 (ISBN 3-901980-37-7).
- HINZ, C., 1998: Analysis of unsaturated/saturated water flow near a fluctuating water table, *Journal of Contaminant Hydrology*, 33, 59-80.
- KNAPPE, S., U. HAFERKORN, J. MATTUSCH und R. WENNRICH, 1999: Wasser- und Stoffflüsse in rekultivierten, langjährig landwirtschaftlich genutzten Kippenböden im Südraum Leipzig. Bericht über die 8. Lysimetertagung. Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft. BAL Gumpenstein, 49-52 (ISBN 3-901980-37-7).
- KNAPPE, S., U. HAFERKORN, R. RUSSOW, J. MATTUSCH und R. WENNRICH, 1999: Lysimeteruntersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt eines langjährig landwirtschaftlich genutzten Regosols von der Kippe des Braunkohlentagebaues Espenhain im Südraum Leipzig. *Mitt. Deutsche Bodenkundl. Gesellsch.* 91/2 803-806 (ISSN-0343-1071).
- KNAPPE, S., J. MATTUSCH, R. WENNRICH und U. HAFERKORN, 2001: Langzeituntersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt in rekultivierten, langjährig landwirtschaftlich genutzten Kippenböden im Südraum Leipzig. Materialien zum Bodenschutz. Freistaat Sachsen. Landesamt für Umwelt und Geologie, Landesanstalt für Landwirtschaft, Landesanstalt für Forsten. 73-80.
- KNAPPE, S., U. HAFERKORN und R. MEISSNER, 2002: Influence of different agricultural management systems on nitrogen leaching: results of Lysimeter studies. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165, 73-77.
- LIEBNER, F. und J. KATZUR, 1997: Mikrobielle Reduktionsprozesse in kohlehaltigen Kippen-Grundwasserleitern. BAL Gumpenstein, Bericht über die 7. Lysimetertagung, Lysimeter und nachhaltige Landnutzung 61-64 (ISSN 3-901980-37-7).
- LUDWIG, B., P. KHANNA, R. BALKENHOL, G. FRIEDRICH and R. DOHRMANN, 1999: Pyrite oxidation in a sediment sample of an open-cut brown coal mine: mineral formation, buffering of acidity and modeling of cations and sulfate, *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162, 499-509.
- MALLANTSA, D., P.-H. TSENG, M. VAN-CLOOSTERA and J. FEYNA, 1998: Predicted drainage for a sandy loam soil: sensitivity to hydraulic property description. *Journal of Hydrology*, 206, 136-148.
- SCHULTZE, M. und S. KNAPPE, 2001: Auswirkungen der Bergbautätigkeit im Einzugsgebiet auf die Wasserbeschaffenheit der Saale und ihre Nebenflüsse. *Nova Acta Leopoldina NF* 84, 319, 45-64.
- TrinkwV, 2001: German Drinking Water Regulations, BGBl I, Berlin 21 May 2001, 959 pp.
- WUNDERLY, M. D., D. W. BLOWES, E. O. FRIND and C. J. PTACEK, 1996: Sulfide mineral oxidation and subsequent reactive transport of oxidation products in mine tailings impoundments: A numerical model, *Water Resour. Res.* 32, 3173-3187.

