

1.1 Hydrogeologische und geochemische Modellierung an einem schwefelsauren Tagebaurestsee zur biotechnologischen Sanierung

BOZAU, E.; KNÖLLER, K.; STRAUCH, G.

Umweltforschungszentrum Leipzig – Halle GmbH/Sektion Hydrogeologie
Theodor-Lieser-Straße 4, 06120 Halle/Saale

Einleitung

Die Landschaft der Niederlausitz wurde durch den Braunkohlentagebau starken anthropogenen Veränderungen unterworfen. In vielen der ehemaligen Restlöcher des Lausitzer Braunkohlenreviers entwickelten sich nach Einstellung der Kohleförderung, bedingt durch den Wiederanstieg des Grundwassers, Seen.

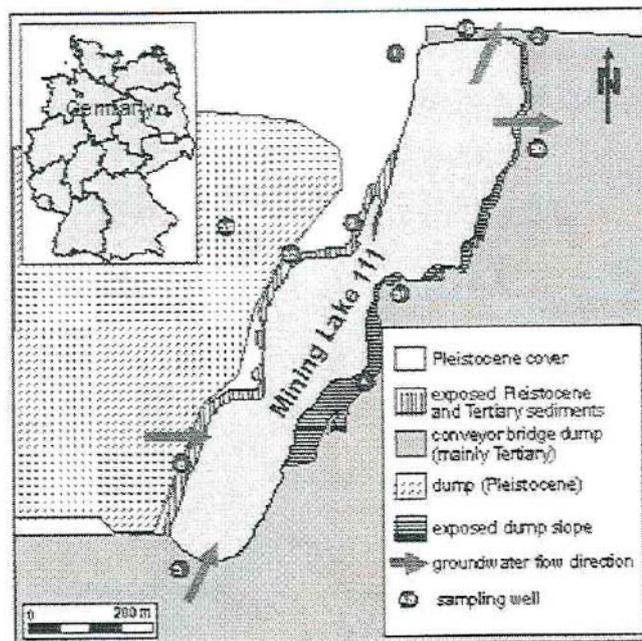
Durch die in den Kippengesteinen stattfindenden Mineralumwandlungen und die damit verbundenen chemischen Reaktionen zwischen dem ansteigenden Grundwasser und den Kippengesteinen entstehen meist saure Gewässer mit hohen Eisen- und Sulfatgehalten, die sog. „acidic mining lakes“. Diese Gewässer mit pH-Werten von etwa <3 sind weder für eine Freizeitnutzung noch als Trinkwasserreservoir geeignet. Auch die Entwicklung von artenreichen Ökosystemen ist eingeschränkt.

Methodik

Für die Durchführung bzw. Planung einer biotechnologischen Sanierung versauerter Seen sind die Kenntnisse der hydrogeologischen und geochemischen Prozesse von ausschlaggebender Bedeutung. Deshalb werden vorliegende Untersuchungen dieser Prozesse am Restloch 111 (Knöller, 1999; Knöller & Strauch, 1999) weitergeführt und vertieft.

Neben der Erfassung der hydrogeologischen Verhältnisse erstrecken sich die weiteren, vor allem chemischen und isotopengeochemischen Untersuchungen einerseits auf das Grundwasser selbst, andererseits auf die das Restloch umgebenden Sedimente.

Abb. 1:
Lage und geologische Situation
des Untersuchungsgebietes
(Knöller, 1999)



Ergebnisse und Diskussion (Kurzdarstellung)

Hydrogeologie

Das Untersuchungsgebiet (Abbildung 1) befindet sich zwischen dem Lausitzer Urstromtal und dem Deutsch-Sorauer Becken. Näher eingegrenzt stellt es den Übergangsbereich des Lausitzer Urstromtales zu der sich nördlich daran anschließenden Endmoräne mit Sanderflächen (saalekaltzeitliche Stauchmoräne von Plessa) dar.

Abbildung 2 stellt die heutige geologische Situation am Restloch (Südbecken) dar.

Die vor dem Kohleabbau anstehende und am NW-Ufer noch anzutreffende Schichtenfolge gliedert sich wie folgt: Der obere Grundwasserleiter wird hauptsächlich von glazifluviatil abgelagerten, relativ gut durchlässigen Schmelzwassersanden gebildet (Mächtigkeit ca. 2 m). Die Wasserführung in diesen Sanden ist jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen und niederschlagsabhängig. Unter diesen Sanden stehen Geschiebemergel, tonige bis schluffige Schichten und Braunkohle (2. Lausitzer Flözhorizont) an, die als Grundwasserschwach- bzw. Nichtleiter eingestuft werden können und deren mittlere Mächtigkeit auf 12 m geschätzt wird. Im Liegenden dieser Schichten befinden sich tertiäre, schluffige

Sande mit Mächtigkeiten zwischen 30 und 50 m. Unter den tertiären Sanden folgen präkambrische Schichten (Lausitzer Grauwacke).

Im Untersuchungsgebiet wurde Kohle des 2. Lausitzer Flözhorizontes von etwa 1925 bis in die fünfziger Jahre abgebaut. Im Tagebau Plessa kam erstmalig eine Abraumförderbrücke, die für die Struktur der Kippen maßgeblich verantwortlich ist, zum Einsatz.

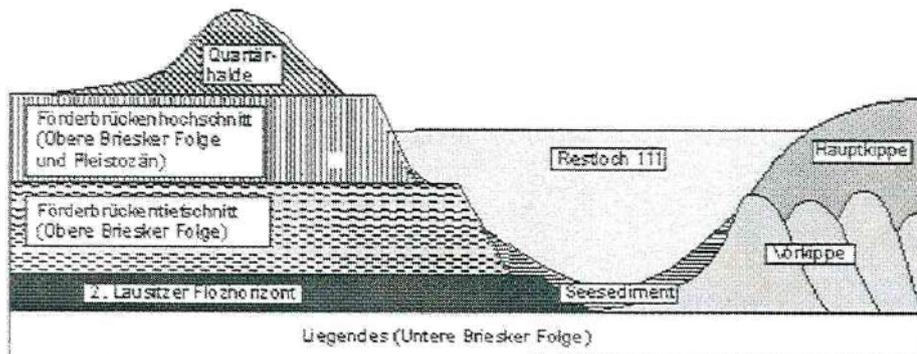


Abb. 2: Bergbautechnologischer Schnitt durch den Tagebaurestsee (Knöller, 1999)

Das Tagebaurestloch besteht aus drei hintereinander liegenden, verbundenen Teilbecken (Abbildung 1). Mit einer Längsausdehnung von ca. 900 m (N-S) und einer Breite der Becken von ca. 120 bis 140 m nimmt das Restloch eine Fläche von ca. 110.000 m² ein. Die maximale Wassertiefe von 10,2 m befindet sich im mittleren Teilbecken. Im nördlichen und südlichen Teilbecken werden maximale Tiefen von ca. 7 m erreicht. Der See wird fast vollständig von Kiefern- und Birkenwäldern umgeben. Der Wasserspiegel des Restloches stellt sich in Abhängigkeit von den Grundwasserzu- und -abflüssen, des in den Böschungsbereichen zufließenden Wassers sowie der Niederschlags- und Verdunstungsrate ein.

Das Restloch wird von SSW nach NNE durchströmt. Zuflüsse existieren vor allem an der Westböschung wegen des erhöhten hydraulischen Potentials. Ein regionales, großräumiges Grundwassermodell für die gesamte Restlochekette (MODFLOW, Diskretisierung 200 x 200 m) liegt vor (Knoll, 1998 und Weber, 1999) und muß für das Untersuchungsgebiet konkretisiert werden.

Hydrochemie

Eine regelmäßige Beprobung des Seewassers findet seit 1996 statt. Zur Beurteilung des Grundwassers wurden 6 neue 1"-Grundwassermeßstellen (max. 7 m tief) in ufernahen Bereichen des Restloches installiert und, ebenso wie bereits vorhandene 2"-Grundwassermeßstellen aus dem LMBV-Überwachungsnetz, in die regelmäßige Beprobung einbezogen. Mit den ausgewählten Grundwassermeßstellen werden das seenahe Grundwasser und Grundwässer der quartären und tertiären Schichten sowie der Kippensedimente erfaßt.

Das Seewasser weist einen pH-Wert von 2,6 bis 3,1 auf. Die durchschnittliche Sulfatkonzentration beträgt 1.310 mg/l, die durchschnittliche Eisenkonzentration 156 mg/l. Durch den Verdunstungseinfluß, die Böschungserosion und den Übergang des unterirdischen Wassers in aerobe Bereiche werden im Seewasser höhere Elementkonzentrationen und niedrigere pH-Werte gemessen als in den im Anstrom liegenden Grundwassermeßstellen. Anhand der Isotopensignaturen des Wassers und der darin gelösten Stoffe (Sulfat, C- und N-Verbindungen) lassen sich die Verdunstung abschätzen und Unterschiede zwischen See- und Grundwasser charakterisieren.

Abb. 3:
 $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm mit GMWL (Global Meteoric Water Line) für Grund- und Oberflächenwasserproben des Untersuchungsgebietes (Knöllner, 1999)

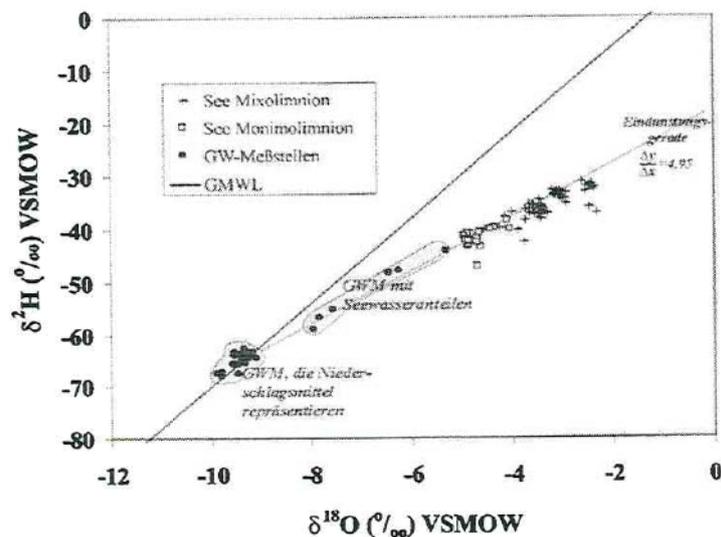


Abbildung 3 zeigt die für an- und abströmendes Grundwasser sowie das Seewasser typischen $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -Werte. Die meisten Grundwasserproben weisen $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -Werte im Bereich der GMWL auf. Durch die das Seewasser betreffende erhöhte Verdunstung reichert sich das Seewasser isotopisch an und kann als natürlicher Tracer im Grundwasserbereich genutzt werden. Das unterschiedliche

Fraktionierungsverhalten von ^2H und ^{18}O beim Verdunsten spiegelt sich in der Eindunstungsgeraden wider. Anhand der Isotopenwerte lassen sich Zumischungen des natürlich getracerten Seewassers zum Grundwasser in den im Abstrom befindlichen Meßstellen nachweisen.

Sedimentgeochemie

Im Untersuchungsgebiet stehen quartäre und tertiäre Sedimente an, die zum größten Teil durch den Braunkohlenabbau umgelagert worden sind. Ost- und Südufer des gesamten Sees sowie Teile des Westufers bestehen aus Kippensedimenten. Angaben zur durchschnittlichen Zusammensetzung der oberflächlich anstehenden Sedimente können Abbildung 4 entnommen werden. Die tertiären Sedimente und die Braunkohle weisen die höchsten Gehalte an Schwefel (Gesamtschwefel) auf, während sich die quartären Sedimente durch einen hohen SiO_2 -Anteil auszeichnen.

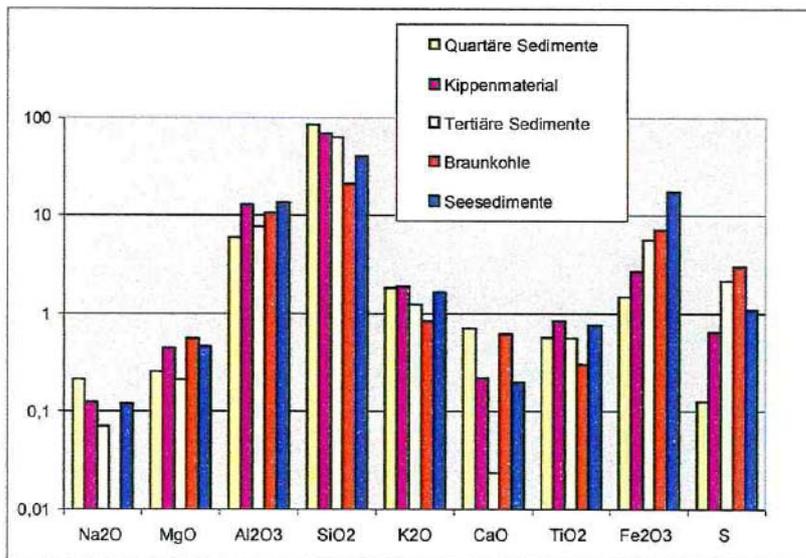


Abb.4:
Durchschnittliche
Feststoffgehalte der
Sedimentproben in %
(RFA-Vollanalyse,
Untersuchungsstand
August 1999)

Die Kippensedimente stellen eine Mischung aus quartärem und tertiärem Material dar, wobei letzteres überwiegt. Die höchsten Eisengehalte wurden im Seesediment nachgewiesen.

Neben den Feststoffuntersuchungen bisher durchgeführten Experimente an den sehr heterogen aufgebauten Kippensedimenten zeigen, daß das Versauerungspotential noch nicht erschöpft ist. Eluat-Versuche (Bulk-Experimente/freie pH-Wert-Entwicklung) mit destilliertem Wasser und Lysimeter-Untersuchungen weisen nach,

daß dieses Sedimentmaterial Säure mit pH-Werten zwischen 2,4 und 3,6 freisetzt. Abbildung 5 zeigt 2 Beispiele für die Elutzusammensetzung der untersuchten Proben. Das dominierende Anion beider Proben ist Sulfat. Während in Probe 16-1 Kalzium als dominierendes Kation auftritt, lassen sich in Probe 7 Eisen und Aluminium finden.

Als Elutionsmittel für die Bulk-Experimente wurde auf destilliertes Wasser zurückgegriffen, da erste Wasseranalysen des am Restloch fallenden Niederschlages pH-Werte um 6 und Leitfähigkeiten von ca. 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aufwiesen und somit der Chemie des destillierten Wassers ähnlich sind. Die Untersuchungen des Niederschlagswassers vom Juli und August 1999 zeigten, daß auch niedrigere pH-Werte (bis ca. 4,4) im Regen auftreten können.

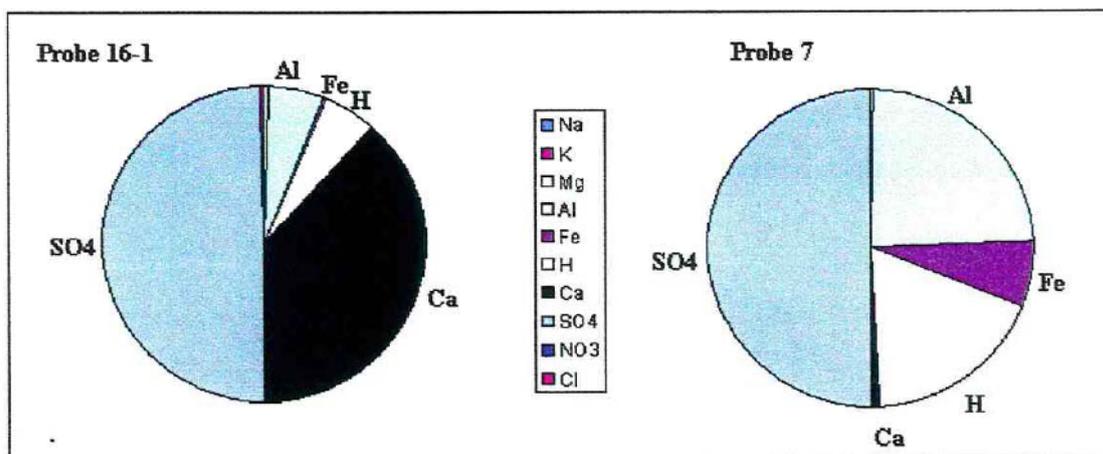


Abb. 5: Ionenbilanzen zweier Eluate der Oberflächensedimente

Probe 16-1 (pH-Wert 3,4 - Σ Anionen: 3,77 meq/mol - Σ Kationen: 3,78 meq/mol)
 Probe 7 (pH-Wert 2,4 - Σ Anionen: 16,8 meq/mol - Σ Kationen: 16,3 meq/mol)

Die pH-Werte im Grundwasser erreichen höhere Werte als in den Eluat- und Lysimeteruntersuchungen festgestellt worden ist, so daß sich die Zusammensetzung des Grundwassers nicht auf eine ausschließliche Sedimentauswaschung (wie in den Eluaten simuliert) zurückführen läßt. Das Grundwasser kann sich in bevorzugten, bereits stark ausgelaugten Zonen bewegen. Verdünnungseffekte (z.B. durch Grundwasserzuflüsse aus quartären Sedimenten) können ebenfalls nicht ausgeschlossen werden.

Untersuchungen an Sedimenten größerer Tiefen (anaerobe Bereiche) werden z. Zt. durchgeführt. Die erste Trockenbohrung zur Gewinnung von Probematerial wurde im Juni 1999 am Nordwestufer des Restloches abgeteuft (Endteufe 8 m) und als Grundwassermeßstelle im oberen Grundwasserleiter (quartäre Sedimente) ausgebaut.

Die Säurefreisetzung aus den durch Erosionsvorgänge in das Restloch eingetragenen Ufersedimenten ist für die Versauerung ebenfalls ein wichtiger Faktor, so daß eine entsprechende Bilanzierung vorgenommen werden muß. Der jährliche Abtrag im Böschungsbereich unbefestigter Kippen wurde von Werner (1999) auf 10 cm geschätzt.

Ausblick

Ziel der Untersuchungen am Restloch 111 ist es, die Stoff-, insbesondere die Schwefelquellen und -senken zu erfassen sowie den Transport der die Versauerung verursachenden Stoffe zu modellieren.

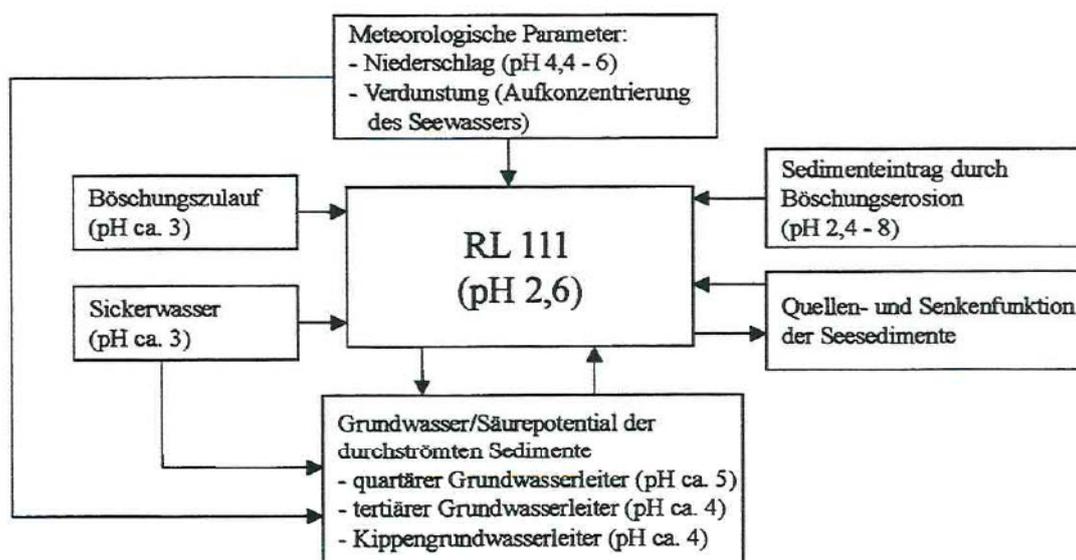


Abb. 6: Die für das Restloch 111 versauerungsrelevanten Kompartimente

Eine Aussage zur weiteren hydrogeochemischen Entwicklung des Gewässers soll getroffen werden. Dabei sind die in Abbildung 6 dargestellten Umweltkompartimente

zu berücksichtigen und hinsichtlich ihres Versauerungspotentiales zu charakterisieren.

Folgende Arbeiten sind geplant:

- weitere regelmäßige Beprobung und Charakterisierung des See- und Grundwassers,
- Untersuchung von Niederschlagswasser (Depositionssammler) und Sickerwasser (Lysimeter) sowie des Grundwasserzuflusses im See (Seepagemeter),
- Abteufen von 3 Trockenbohrungen zur Gewinnung von Sedimentmaterial aus quartären und tertiären Schichten sowie den Kippen (max. ca. 40 m) mit anschließendem Ausbau zu Grundwassermeßstellen,
- Erfassung und Auswertung der Untersuchungsergebnisse mittels GIS,
- Erarbeitung eines geeigneten Modells, das - aufbauend auf hydrodynamischen Prozessen - chemische Reaktionen (Versauerungspotential der Sedimente) und Massenbilanzen (Böschungserosion) berücksichtigt.

An dem nachfolgend angegebenen Zeitplan soll festgehalten werden:

- Gelände- und Laborarbeiten
 - Abschluß der Sedimentuntersuchungen Frühjahr 2000
 - Kontinuierliche Erfassung hydrogeologischer Parameter Frühjahr 2001
- Abschluß der Datenerfassung und Interpretation Dezember 2001

Kooperationen erstrecken sich zum jetzigen Zeitpunkt auf:

- Tiefbohrungen: Gemeinsame Probenahme mit der Abteilung Technische Mineralogie (FZK) und der Sektion Gewässerforschung (UFZ) zur geochemischen, mineralogischen und mikrobiologischen Untersuchung von Parallelproben,
- Untersuchung der oberflächlich anstehenden Sedimente: Gemeinsame Probenahme mit der Abteilung Technische Mineralogie (FZK) zur geochemischen und mineralogischen Untersuchung von Parallelproben,
- Porenwasseruntersuchungen an ausgewählten Sedimenten: Geochemisches Institut der Universität Göttingen,
- Regionales hydrogeologisches Modell: Institut für Geophysik der Universität Heidelberg.

Literatur

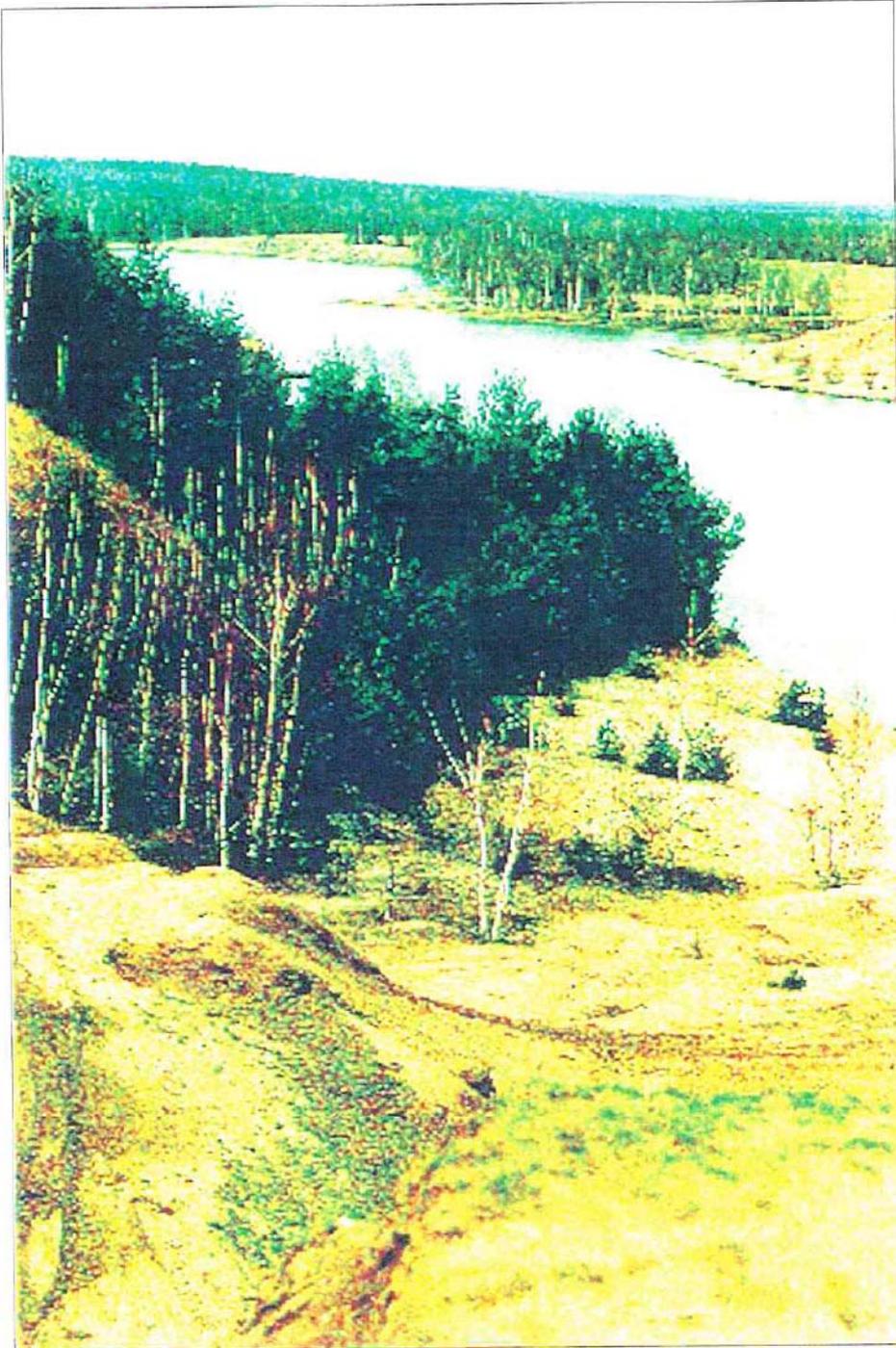
- KNÖLLER, K. (1999): UFZ - Sektion Hydrogeologie, Dissertation (unveröffentlicht).
- KNÖLLER, K.; STRAUCH, G. (1999): Assessment of the flow dynamic of a mining lake by stable isotope investigation. *Isotopes Environ. Health Stud.* (angenommen).
- KNOLL, D. (1998): *Grundwasseranbindung von alten Tagebau-Restseen im Niederlausitzer Braunkohletagebauegebiet*. Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg, Diplomarbeit (unveröffentlicht).
- WEBER, L. (1999): Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg, Dissertation (unveröffentlicht)
- WERNER, F. (1999): *Modellgestützte Untersuchungen zur Genese der Wasserbeschaffenheit in Folgelandschaften des Braunkohlebergbaus*. DGFZ e.V., Heft 14.

Zwischenbericht zum HGF-Strategiefondsprojekt

**Systemintegrierte Umweltbiotechnologie zur Sanierung von organisch
und anorganisch belasteten Grund- und Oberflächenwässern**

L. Meierling¹⁾, N. Schmidt ¹⁾ (Herausgeber)

W. Babel ¹⁾, W. Geller ¹⁾, M. Höfle ²⁾, U. Stottmeister ¹⁾



1) UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

2) Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH, Braunschweig