

Erfordernis der (Weiter-) Entwicklung passiver Wasserbehandlungsmethoden vor dem Hintergrund der Europäischen Wasser-rahmenrichtlinie

Stephanie Hurst, Peter Börke, Mustafa Abo-Rady, Uwe Engelmann, Manfred Felix

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden,
E-Mail: Stephanie.Hurst@ifug.smul.sachsen.de

In Sachsen werden große Flächen durch Hinterlassenschaften der Stein- und Braunkohlegewinnung sowie des Uranbergbaus in Anspruch genommen. Diese Flächen sind sowohl Quellen diffuser als auch lokaler punktueller Stoffeinträge in Gewässer. Hauptsächlich Sulfat, Chlorid, aber auch Schwer- und Halbmetalle sowie Radionuklide, werden aus diesen Flächen in das Grundwasser emittiert oder gelangen über Sickerwasseraustritte in Oberflächengewässer. Ursache ist unter anderem die Oxidation des ubiquitären Eisendisulfids (Pyrit). Je nach chemischer Zusammensetzung des Muttergesteins sind die pH-Werte der Sickerwässer im sauren oder neutralen Bereich. Auch wenn einzelne Einträge in vielen Fällen keinen großen Einfluss auf die Wasserqualität der Fließgewässer oder des Grundwasser ausüben, kann durch ihre Anzahl die Fracht bestimmter Wasserinhaltsstoffe in den Oberflächengewässern doch erheblich erhöht werden. Eine konventionelle technische Behandlung solcher Sickerwässer ist problematisch, da neben hohen Kosten auch große Rückstandsmengen wie z.B. Eisenoxide zu bewältigen sind. Des Weiteren sind die Behandlungszeiträume erheblich. Ein guter chemischer Zustand aller Gewässer, die die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) als Umweltziel deklariert, kann auf wirtschaftlich sinnvollem Wege nur durch die (Weiter-) Entwicklung passiver Wasserbehandlungsmethoden erreicht werden.

Dazu wird die Notwendigkeit eines Reviews sowohl der bestehenden Problemstoffe und des Gesamtchemismus der Sickerwässer, als auch der bereits vorhandenen Erfahrungen/Literatur gesehen.

Beispielhaft sollen hier Behandlungstechnologien vorgestellt werden, die dem Anspruch der niedrigen Kosten und der Nachhaltigkeit und den spezifischen sächsischen Problemstellungen gerecht werden. Des Weiteren sollen die Bereiche genannt werden, in denen aus Sicht der zuständigen Behörden noch erheblicher Untersuchungsbedarf gesehen wird. Schließlich sollen Wege aufgezeigt werden, wie eine Einbindung in die Umweltziele der EG-WRRL ermöglicht werden könnte.

1 Einleitung

Im Umweltinformationssystem des Freistaates Sachsen sind in den 90er Jahren verschiedenste Hinterlassenschaften der Stein- oder Braunkohlegewinnung durch die örtlich zuständigen Behörden oder Nachfolgeeinrichtungen der DDR-Betriebe erfasst worden. So sind z.B. im Sächsischen Altlastenkataster (SALKA) in den Landkreisen des Mittel- und Westerzgebirges ca. 300 Altablagerungen mit den Merkmalen einer bergbaulichen Rückstandshalde enthalten (siehe Abbildung 1). Ungefähr ein Drittel davon geht auf Aktivitäten der Sowjetisch-Deutschen Aktiengesellschaft Wismut zurück.

Bergbauhalden sind dann als Verdachtsfälle (Alt- ablagerungen) aufgenommen worden, wenn in ihnen entweder bergbaufremde schadstoffverdächtige Substanzen (Abfälle) mit abgelagert wurden, oder wenn das bergbaulich gewonnene

Material sich in seiner Zusammensetzung oder Mobilisierbarkeit (Schadstoffgehalt) signifikant vom Ablagerungsort (Hintergrundbelastung) unterscheidet. Dies gilt insbesondere auch bei Absetzbecken und Ablagerungen von anderen Aufbereitungsrückständen.

Mit Ausnahme der durch den Bund und die Länder geregelten Finanzierung über die Wismut GmbH nach dem Wismutgesetz von 1991 sowie der Standorte des so genannten „Wismut-Altbergbaus“ (Standorte des Uranerzbergbaus, die sich am 30.06.1990 nicht mehr im Eigentum der Wismut befanden), die mit Mitteln aus dem Bund-Länder-Abkommen Altstandorte des Jahres 2003 finanziert werden, oder durch die Treuhandnachfolgeorganisation GVV, stehen kaum finanzielle Ressourcen zur bedarfsgerechten Sanierung zur Verfügung.

Fachinformationssysteme mit Informationen zur radiologischen Relevanz von Hinterlassenschaften des Uranbergbaus sind:

- Altlastenkataster für Altlasten mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (A.LAS.KA)
- Fachinformationssystem bergbaubedingte Umweltradioaktivität (FbU)
- Datenbanken der Wismut GmbH
- Kataster natürliche Radioaktivität Sachsen (KANARAS, im Aufbau)

2 Inhalt und Ziele der Wasser-rahmenrichtlinie

Wichtigstes Ziel der EG-Wasserrahmenrichtlinie (I) ist das Erreichen eines guten Zustandes aller Gewässer, also der Oberflächengewässer und des Grundwassers bis zum Jahre 2015. Dieser gute Zustand orientiert sich bei Oberflächengewässern an biologischen, hydromorphologischen sowie chemischen und chemisch-physikalischen Komponenten. Zu den chemischen Komponenten

zählen auch Verschmutzungen durch prioritäre Schadstoffe sowie sonstige Stoffe, bei denen festgestellt wurde, dass sie in signifikanten Mengen in den Wasserkörper eingeleitet werden. Beim Grundwasser wird der mengenmäßige und chemische Zustand bewertet.

Zu den wichtigsten Schadstoffen zählen nach der nicht erschöpfenden Auflistung im Anhang VIII der EG-WRRL auch Arsen und Arsenverbindungen sowie Metalle und Metallverbindungen. Die Entscheidung über prioritäre Stoffe aus dem Jahre 2001 (II), die den bis dahin nicht vorhandenen Anhang X der EG-WRRL ausfüllt, nennt außerdem Blei- sowie Bleiverbindungen, Cadmium und seine Verbindungen sowie Quecksilber und Nickelverbindungen. Für die genannten Schadstoffe müssen die Mitgliedsstaaten Qualitätsnormen festlegen, die den Schutz aquatischer Lebensgemeinschaften betreffen. Diese können für das Wasser selbst, die Sedimente oder die Lebensgemeinschaften festgelegt werden. Mindestens sind akute und chronische Daten für Algen, Makrophyten, Daphnien und Fische zu bewerten.

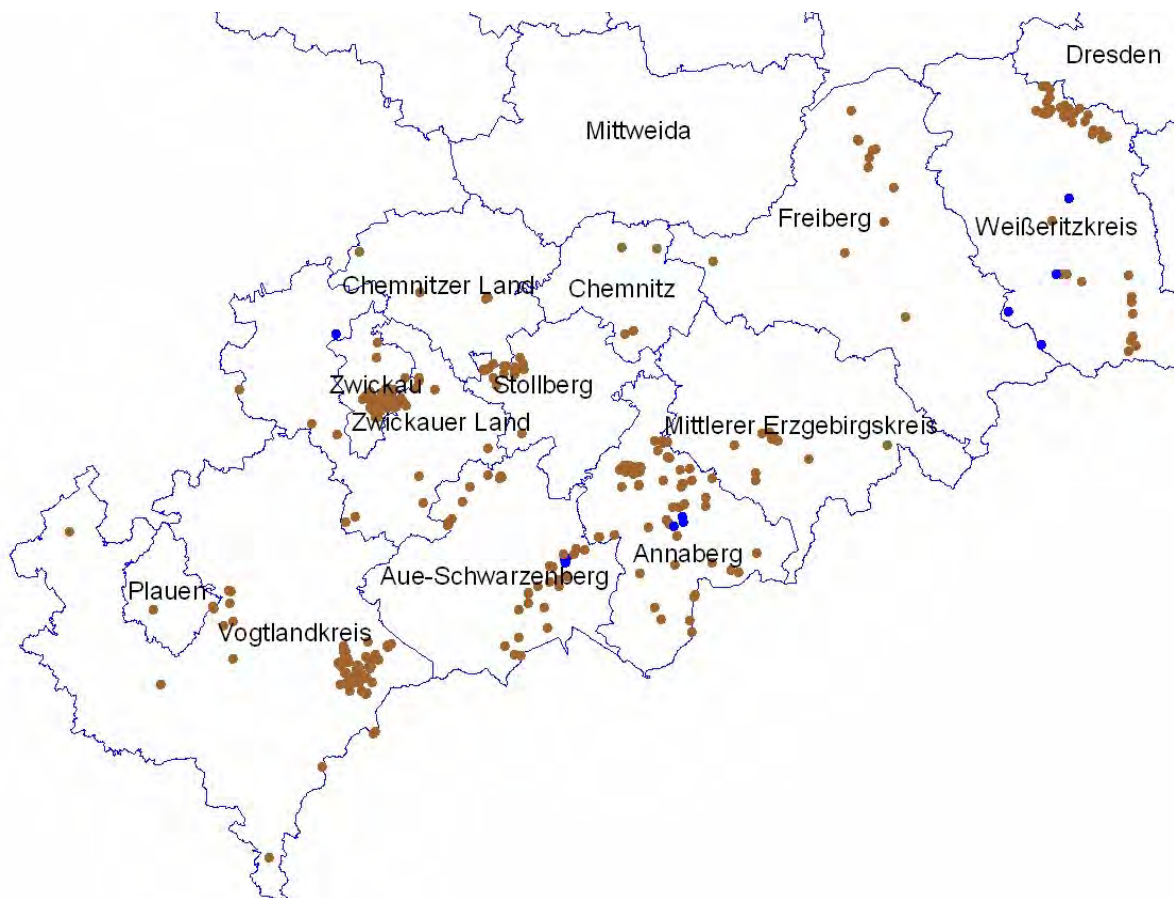


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung der erfassten Altablagerungen in den Landkreisen des Mittel- und Westergebirges (Quelle: Sächsisches Altlastenkataster, Anwendungsbaustein SALKA-GIS, Datenstand 08/2004).

3 Bewertung der sächsischen Gewässer im Hinblick auf punktuelle Schadstoffquellen

Bei den Fließgewässern wurden die nachfolgend aufgeführten Einzelkomponenten bzw. Hilfsgrößen zur Beurteilung der Zielerreichung der Oberflächenwasserkörper im Freistaat Sachsen verwendet:

- saprobiologische Daten zzgl. Informationen über Versauerung bzw. Verödung
- Zustand der Fischfauna einschließlich der ökologischen Durchgängigkeit von Querbauwerken
- Daten aus Gewässerstrukturkartierungen (vorrangig nach LAWA-Übersichtsverfahren)
- Überschreitungen von Umweltqualitätsnormen relevanter Schadstoffe der Richtlinie 76/464/EWG (III) bzw. der Listen „ECO“ und „CHEM“ (LAWA-Musterverordnung(IV))

- Auswertungen zu ergänzenden allgemeinen chemischen Wasserbeschaffenheitsparametern
- Einschätzungen zur Gefährdungsrelevanz sonstiger spezifischer Belastungen unter Einbeziehung des regionalen Expertenwissens

Im Ergebnis einer integrativen Verschneidung und Auswertung der Einzelkomponenten bzw. Hilfsgrößen nach dem „Worst-Case-Prinzip“ – d.h. die am schlechtesten bewertete Einzelkomponente bzw. Hilfsgröße (z.B. Zustand Fischfauna) bestimmt die Gesamteinstufung des betreffenden Wasserkörpers - wurden 650 Fließgewässer-Wasserkörper mit ca. 6600 km Länge folgendermaßen eingestuft:

- Zielerreichung wahrscheinlich: 12,9 %,
- Zielerreichung unklar: 29,4 %,
- Zielerreichung unwahrscheinlich: 57,7 %.

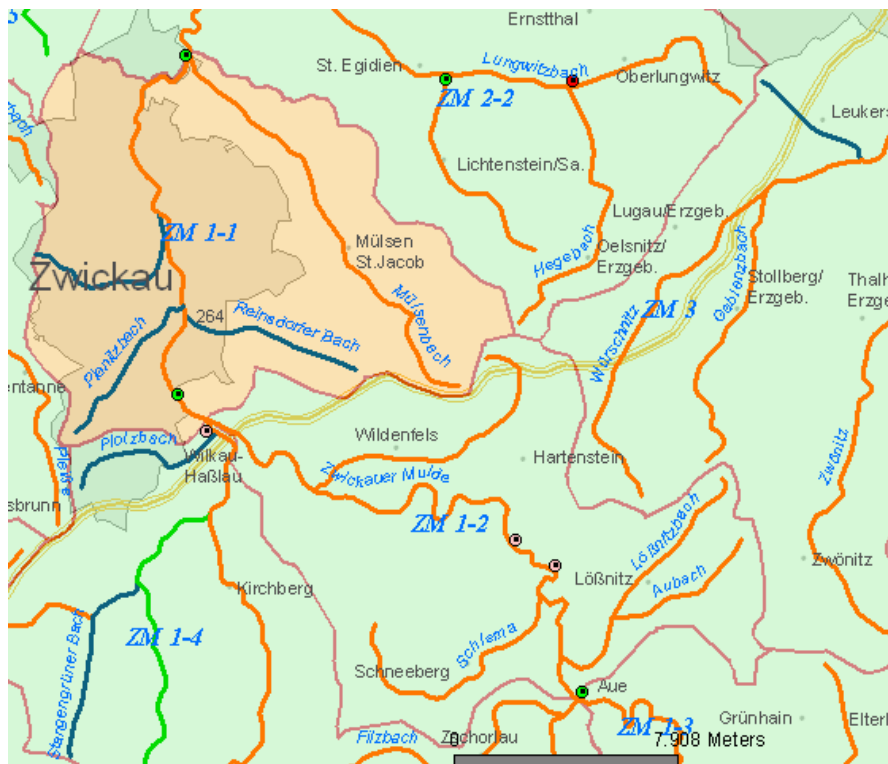


Abb. 2: Überlagerung der Belastungssituation der Oberflächenwasser- und Grundwasserkörper im Bereich Zwickau der Zwickauer Mulde (integrative Fließgewässerbeurteilung: grüne Linien: Zielerreichung wahrscheinlich; blaue Linien: Zielerreichung unklar; orange Linien: Zielerreichung unwahrscheinlich, Quelle: Interaktive Karten zu den Ergebnissen der Bestandsaufnahme zur EG-WRRL in Sachsen: <http://www.umwelt.sachsen.de/lfug>

Nachfolgende Tabelle 1 gibt eine Übersicht über Quellen von Schadstoffen und mögliche Ursachen für die Überschreitungen der Umweltqualitätsnormen (UQN).

Beim Grundwasser werden unter punktuellen Schadstoffquellen Altlasten verstanden, die das Grundwasser gefährden oder bereits belasten. In Sachsen wurden 5 Grundwasserkörper ermittelt, für die die Zielerreichung unklar oder unwahrscheinlich ist. Die Bewertungsmethodik und die Ergebnisse sind in SMUL (2004) dargestellt. Aus vorrangig industriell und erzbergbaulich punktuellen Schadstoffquellen ist der Grundwasserkörper „ZM 1-1“ (Stadtgebiet Zwickau) belastet, der in seinen Lagegrenzen und der Überlagerung mit der Bewertung der Fließgewässerbelastung in der nachfolgenden Abbildung dargestellt ist.

4 Beispiele konkreter Belastungssituationen

4.1 Steinkohle

Über 650 Jahre Steinkohlenbergbau in den ehemaligen Revieren Zwickau und Lugau-Oelsnitz beeinflusste diese Regionen nachhaltig. Als Folge des Steinkohlenbergbaus sind zahlreiche Halden entstanden. Im Zwickauer Revier sind 69 Halden, im Lugau-Oelsnitzer Revier 22 Halden unterschiedlichster Größe registriert. Die Aufstandsfläche liegt im Bereich von 0,01 ha bis 14 ha, die Höhen variieren zwischen 3 m und 40 m und das Volumen der Halden reicht von 2 000 m³ bis 5 Mio m³. Ein Großteil der Halden besteht aus Grob- und Waschbergen. Zum Teil wurden Spülteiche für Kohleschlamm und Rückstände

Tab. 1: Übersicht über Vorkommen, Herkunft und Verwendung von Schadstoffen der Listen „ECO“ und „CHEM“ mit festgestellten Überschreitungen von Umweltqualitätsnormen an den nach WRRL berichtsrelevanten sächsischen Fließgewässern (aus SMUL 2004).

Relevante Stoffliste	Schadstoff	Relevante Gewässer	Mögliche Ursachen für die Überschreitungen von UQN
Schadstoffliste „CHEM“	PAK	Elbe, Vereinigte Mulde, Freiberger Mulde, Zwickauer Mulde, Lausitzer Neiße, Weiße Elster, Schwarze Elster, Spree, Mandau,	weite Verbreitung in der Umwelt, können als zivile Abprodukte bezeichnet werden, Vorkommen: Erdöl, Kohle und daraus gewonnenen Produkte, wichtigste Quelle für Emissionen: Verluste als unerwünschte Nebenprodukte bei Verbrennungsprozessen, die Aluminiumproduktion und Koksöfen, Entstehung bei unvollständiger Verbrennung aller organischen Stoffe, weitere mögliche Einträge: aus Teerölen von Holzschutzmitteln sowie der Eisen- und Stahlproduktion
	Cadmium	Vereinigte Mulde, Zwickauer Mulde, Freiberger Mulde	Altbergbau, Altlasten aus dem Sanierungsbergbau, aus Abwassereinleitungen; hohe geogene Hintergrundwerte Verwendung als: Akku, Pigmente Stabilisatoren, zum Teil Legierungen und Oberflächenschutz
	HCH	Freiberger Mulde	Herkunft: Werksgelände Sachsenfeuerwerk GmbH (Bis ca. 1990 wurde HCH für die Herstellung pyrotechnischer Produkte mit Raucheffekten verwendet) sowie aus anderen Altlasten
Schadstoffliste „ECO“	Arsen	Vereinigte Mulde, Freiberger Mulde	Altbergbau, Altlasten aus dem Sanierungsbergbau, aus Abwassereinleitungen; hohe geogene Hintergrundwerte
	Dibutylzinnkation	Elbe, Lausitzer Neiße, Spree, Weiße Elster	Belastungsschwerpunkt: Weiße Elster Hier erfolgen zurzeit zwischen den Ländern Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen Beratungen zur Ursachenermittlung. Verwendung als: Antifoulingfarben (Färbereien), Saatbeizmittel, Desinfektionsmittel
	PCB	Elbe	Eintrag aus Tschechien Verwendung als: Kühlmittel, Hydraulikflüssigkeit, Transformatorenöl, Imprägniermittel für Holz und Papier, Weichmacher Kunststoffe, Isoliermaterial
	Zink	Vereinigte Mulde	Altbergbau, Altlasten aus dem Sanierungsbergbau, aus Abwassereinleitungen; hohe geogene Hintergrundwerte

aus den Kokereien in den Haldenbereichen betrieben.

Im Anschluss an die Ablagerung der Bergbau- und Kokereirückstände wurden einige Halden als Deponien für Siedlungs- und Industrieabfälle genutzt. Auf Halden mit entsprechender Größe wurden auf den Plateaus Kleingärten, Wohnbebauung oder Sportplätze angelegt, andere werden als Lagerplatz oder kleingewerblich genutzt. Einige Halden sind durch natürliche Sukzession mit schnell wachsenden Bäumen bewaldet.

Vom Landesamt für Umwelt und Geologie wurden an ausgewählten Standorten Haldensickerwasseruntersuchungen sowohl im Zwickauer als auch im Lugau-Oelsnitzer Revier veranlasst (BERRIOS & KOLITSCH 2001; BERRIOS et al. 2003a; BERRIOS et al. 2003b). Die Abschlussberichte bestätigten den Austrag von Schwermetallen und Arsen über den Wasserpfad.

In weiteren Vorhaben des LfUG wird demnächst ein Schema für eine objektive Haldenkategorisierung bezüglich ihres Gefährdungspotentials insbesondere des Schadstoffeintrages in den Wasserkreislauf abgeleitet werden. Hiermit soll die Sanierungsbedürftigkeit der Halden ermittelt werden.

Im Auftrag des Umweltamts der Stadt Zwickau werden seit 1997 kontinuierlich Beprobungen der Oberflächengewässer mit teilweiser Untersuchung der Sedimente vorgenommen (BIOTEST, DR. ROTH 2002). In den Sedimenten wurden auffällige Gehalte an Mangan, Kobalt, Nickel, Zink, Arsen und Cadmium nachgewiesen. Vereinzelt wurde auch Uran bestimmt.

Im Auftrag des LRA Stollberg wurde die von den Steinkohlenhalden ausgehende Gefährdung an einigen Halden im ehemaligen Oelsnitz-Lugauer Revier durch die Fa. Artec untersucht, wobei sich die bisherigen Ergebnisse des erhöhten Schwermetall- und Arsenaustrages bestätigten (ARTEC 2001).

Im Rahmen des Programms INTERREG II c (GUB 2001) wurden umfangreiche Daten zur „Beherrschung und Nutzung der Bergbaufolgenwirkungen im ehemaligen Steinkohlenbergbaugebiet Zwickau“ zusammengefasst und liegen in Form des Abschlussberichtes vor.

Ein besonders hohes Gefährdungspotential geht von Haldenstandorten mit direktem Kontakt zum Grund- bzw. Oberflächenwasser „Halde mit Haldenfuß im Grundwasserkörper“ aus. Bei solchen Bergehalden des Steinkohlenbergbaus und auch des Erzbergbaus ist es zu prüfen, ob eine In-situ-

Sanierung mit Unterstützung von passiven Sickerwasserbehandlungsmethoden zu empfehlen wäre.

Ein Beispiel für solche Halden ist die Schaderschachthalde in Zwickau (vgl. GUB 2001). Die Halde befindet sich im Landschaftsschutzgebiet „Am Röhrensteg“. Sie besteht aus Grob- und Waschbergen mit eingelagerten Absetzteichen für Abprodukte der Kokereien (u.a. Phenole, Ammoniakwasser, Teer, etc). Die Abdeckung ist geringmächtig bzw. nur teilweise vorhanden (feinkörnige Verwitterungsprodukte).

Die Aufstandsfläche ist nicht einheitlich und besteht aus Wechselfolgen von Rotliegendesedimenten mit überlagernden Deck- bzw. Verwitterungslehmen und fluviatilen Aueablagerungen. Ca. 1/3 der Haldenaufstandsfläche liegt im Grundwasser führenden Bereich (ehemalige Talau) und ungefähr 3 m der Haldenbasis sind wassergesättigt. Der Abstand zum potentiellen Vorfluter ist im 10-m-Bereich, so dass jegliche Veränderungen der hydraulischen Verhältnisse sich nachteilig auf benachbarte Gebiete auswirken. Durch die genannten Randbedingungen kommen klassische Sicherungsvarianten (Abdeckung, Umlagerung, Sammlung und Behandlung von Sickerwasser etc.) nicht in Frage. Aufgrund der Haldengeometrie und der Oberflächenausbildung kann es zu einer permanenten Niederschlagswasserinfiltration und damit einhergehender Schadstoffmobilisierung im Haldenkörper kommen. Im Teilbereich außerhalb der ehemaligen Talau migrieren die Schadstoffe der natürlichen Morphologie folgend in Richtung Talgrundwasserleiter. Im Bereich der Talau kam es nach vorliegenden Untersuchungen aufgrund bergbaubedingter Setzungen (bis 11 m) dazu, dass die unteren Bereiche der Halde permanent wassergesättigt sind.

Inwieweit eine flächendeckende Verbreitung des Auelehmes an der Haldenbasis vorliegt oder „Fenster“ mit direktem hydraulischen Kontakt zum quartären Porengrundwasserleiter existieren, ist nicht bekannt. Zu den lokal ausgebildeten hydrogeologischen Verhältnissen liegen unterschiedliche Vorstellungen (Unterströmung der Zwickauer Mulde in Richtung Stadt, Muldenparalleler Abfluss infolge abgekoppelter Vorflut) vor.

4.2 Braunkohle

Durch Pyritverwitterung in den Kippen der Braunkohlegewinnung entstanden in großem Umfang saure Seen und Sickerwässer (z.B.

(WIEGAND et al. 2003). Dabei wurde die ursprüngliche Mineralzusammensetzung zerstört und eine beträchtliche Anzahl an Elementen geht in Lösung. Den relativ niedrigen Durchlässigkeitsbeiwerten der Kippensedimente ist es zu verdanken, dass der größte Teil der entstehenden sauren Sickerwässer (pH 2 bis 3) in den Restseen verbleibt. Autochthone und allochthone Sekundärmineralbildungen werden beobachtet, es wird jedoch häufig kein hydrologisches oder hydrogeochemisches Gleichgewicht erreicht.

4.3 Uranerzbergbau

Die Hinterlassenschaften des Uranbergbaus lassen sich bezüglich ihrer Emissionen auf dem Wasserpfad in 2 Kategorien unterteilen:

1. Grubenwässer

2. Sickerwässer

Bei den Grubenwässern führt die im Zuge der Absenkung des Grundwasserspiegels induzierte Pyritverwitterung zu erheblich erhöhten Konzentration an Uran, Sulfat und Chlorid. Radium ist im Bereich der Lagerstätte immer natürlicherweise sehr stark erhöht, die Radiumkonzentrationen gehen in der Zeit des Bergbaubetriebes u. a. aufgrund von Sulfatfällungsprozessen zurück. Je nach Ausgangsgestein bzw. –vererzung sind auch die Arsenkonzentrationen und die bestimmter Schwermetalle erhöht. Sobald der Sauerstoffeintrag über die Grundwasserabsenkung beendet wird, indem die Gruben geflutet werden, beginnt der „Heilungsprozess“. In Folge gehen die Urankonzentrationen kontinuierlich zurück und die Radiumkonzentrationen steigen zunächst an. Etwas zeitlich verzögert und deutlich langsamer gehen dann auch die Radiumkonzentrationen wieder zurück. Dies konnte z.B. bei den Flutungswässern der Gruben Menzschwand und Pöhla beobachtet werden. Für die Dauer dieser Entwicklungen spielt u. a. auch die vertikale Distanz der Lagerstätte von der Austrittsstelle des Grubenwassers eine Rolle.

Sickerwässer aus Halden und industriellen Absetzanlagen zeigen aufgrund der dort ebenfalls stattfindenden Pyritverwitterung erhöhte Uran-, Sulfat-, Chlorid- und Schwermetall- sowie –bei allen Standorten des Erzgebirges – Arsenkonzentrationen. Radium hat in der Regel bei Sickerwässern keine Relevanz. Die Sickerwässer treten in der Regel diffus über die ungesättigte Zone ins Grundwasser ein. Nur bei der Überlagerung von ehemaligen Tälern durch Halden – oder Tailingsmaterial sind größere Wassermengen

fassbar und können einer Behandlung zugeführt werden. Dies ist z. B. in Schlema bei zwei größeren Halden (371 und 366) der Fall.

Im Gegensatz zu den Grubenwässern ist bei Sickerwässern mittelfristig keine Änderung der Qualität zu erwarten, da sich das Redoxregime nicht ändert und auch keine Änderung sonstiger Rahmenbedingungen zu erwarten ist. Langfristig kann jedoch unter günstigen Randbedingungen d. h. bei einem ausgewogenen Verhältnis von Niederschlag und Verdunstung bzw. Lösung und Fällung eine weitgehende Beschichtung der Kornoberflächen mit sekundären Mineralen und Gelen erfolgen, welche zu einer Abnahme des Schadstoffaustrags führt. Dies ist natürlich auch stark abhängig von der geochemischen Zusammensetzung des Gesteins.

5 Methoden zur Reduzierung der Belastungen

Konventionelle Wasserbehandlungsmethoden sind für eine Anwendung bei der Sanierung von Bergbauhinterlassenschaften in vielen Fällen (Sickerwässer) zu kostenaufwändig. Um in Gebieten mit vielen kleinen Sickerwasseraustrittsstellen – wie z.B. bei Uranbergbauhinterlassenschaften – einen Beitrag zur Verbesserung der Wasserqualität leisten zu können, werden kostengünstige autonom arbeitende Systeme benötigt. Der Stand der Technik ist jedoch noch nicht so weit gediehen, dass diese standardmäßig eingesetzt werden können. Im Folgenden wird auf den derzeitigen Sachstand eingegangen.

5.1 Erfahrungen beim Einsatz von Pflanzenkläranlagen (Bewachsenen Bodenfiltern) zur Behandlung kommunaler Abwässer in Sachsen

Erfahrungen mit dem Einsatz von nicht konventionellen Wasserbehandlungsmethoden liegen in Deutschland vor allem für Pflanzenkläranlagen vor (GELLER & HÖNER 2003). Entsprechend HEDIN et al. (1994) war Deutschland das erste Land, das diese Methoden einsetzte.

Im Rahmen eines Pilotprojektes zu alternativen Verfahren der kommunalen Abwasserbehandlung wurden vom LfUG mehrere neu errichtete Pflanzenkläranlagen (bewachsene Bodenfilter) in Sachsen begleitet. Darüber hinaus wurden zwei Forschungsvorhaben an der TU Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik

gefördert. Die Ergebnisse von Pilotprojekt und Forschungsvorhaben sind im Beitrag von ENGELMANN et al. (2003) zusammenfassend dargestellt.

Eine Reihe sächsischer Pflanzenkläranlagen wird den ursprünglichen Erwartungen an Funktionssicherheit und Abbauleistung nicht gerecht. Die Erfahrungen zeigen, dass der konsequenten Einhaltung der für diesen Anlagentyp existierenden technischen Regeln besondere Bedeutung zukommt. Abweichungen von den im ATV-Arbeitsblatt A 262 formulierten Grundsätzen für Bemessung, Bau und Betrieb und neue Erkenntnisse zu den Ursachen von Verstopfungen des Bodenkörpers geben die Erklärung für Betriebschwierigkeiten mehrerer sächsischer Anlagen, von denen einige bereits saniert oder außer Betrieb genommen werden mussten.

Aus Untersuchungen an zwei Laboranlagen und an ausgewählten Praxisanlagen insbesondere zum Feststoffanfall und zum Sauerstoffhaushalt im Bodenkörper wurden Bilanzierungen des Systems Pflanzenbeet sowie Aussagen zur Nutzungsdauer abgeleitet. Für Bodenmaterialien nach ATV-A 262 ergeben sich bei einer Belastung von 25 g CSB/(m²·d) bzw. bei einer Beetfläche von ca. 3 m²/E je nach Randbedingungen (Feststoff- und Fremdwassereintrag) für günstige Verhältnisse Nutzungsdauern von etwa 12 Jahren. Bei ungünstigen Betriebsbedingungen ist mit einer Betriebsdauer von weniger als 6 Jahren zu rechnen. Allerdings kann unter bestimmten Voraussetzungen, z. B. Unterlastung, gröberes Bodenmaterial, minimierter Feststoffeintrag durch vorgeschaltete Filter, die Laufzeit auch erheblich länger sein.

Die Ergebnisse zeigten, dass der Bemessungsansatz für vertikal durchströmte Pflanzenbeete nach ATV-A 262 (Mindestfläche 2,5 m² pro Einwohner) praktisch keine Sicherheiten enthält. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse wurden ergänzende Hinweise zum seit Juli 1998 vorliegenden Arbeitsblatt ATV-A 262 „Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenbeeten für kommunales Abwasser bei Ausbaugrößen bis 1000 Einwohnerwerte“ vorgeschlagen. Inzwischen liegt mit Stand Mai 2004 eine überarbeitete Fassung des Arbeitsblattes vor, nach der u. a. wesentlich größere Mindestflächen für Pflanzenbeete gefordert werden.

5.2 Erfahrungen mit Bergbauwässern

Erfahrungen mit dem Einsatz alternativer Methoden für die Oberflächen-, Sicker- und Grundwasserbelastung im Bergbau sind bis vor wenigen Jahren vor allem aus Kanada, den USA und Großbritannien bekannt gewesen (WOLKERSDORFER & YOUNGER 2002; YOUNGER et al. 2002; KALIN et al. 2005a; KALIN 2004; KALIN et al. 2005b). Für die Uranbergbausanie rung in Deutschland liegen zwischenzeitlich ebenfalls Erfahrungen vor (z. B. KALIN et al. 2005a; KALIN 2004; KALIN et al. 2005b; BRACKHAGE et al. 2004; ROSS et al. 2004).

Die letztgenannten Literaturbeispiele wurden gewählt, weil sie grundsätzlich auf langfristig autonom wirkende Systeme ausgerichtet sind, die zwar einer mittelfristigen Begleitung aber keiner langfristigen Nachsorge bedürfen. Das bedeutet, dass einerseits die Prozesse bekannt sein sollten, welche die Fixierung von Schadstoffen bewirken, andererseits müssen die Systeme so beschaffen sein, dass sie vor dem Hintergrund der jeweiligen klimatischen und sonstigen Randbedingungen langfristig überdauern können. Die Anlagen für die Anwendung passiver Methoden sind von Beginn an so zu konzipieren, dass keine Elemente von konventionellen (pflegebedürftigen) Anlagen enthalten sind.

Eine besondere Rolle spielen Methoden, die das Problem nicht erst im Abstrom betrachten, sondern, wo man das Gesamtsystem incl. Niederschlagseintrag, Löslichkeitsverhalten, Sekundärmineralbildung betrachtet.

Die so genannte Krustenbildung (Sekundärminerale und Gele) ist Gegenstand vieler internationaler Untersuchungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (RAMMLMAIR 1997; RAMMLMAIR & MEYER 2000; RAMMLMAIR & GRISSEMANN 2000).

Für eine nur zeitlich begrenzt notwendige Wasserbehandlungsphase eignet sich die Nutzung reaktiver Materialien im Abstrom.

6 Erfordernisse

6.1 „Wetlands“

Eine Weiterentwicklung der Methoden kann es nur auf der Grundlage praktischer Erfahrungen bei Konzeption und Bau von Anlagen geben.

Die grundlegenden Prozesse sind für alle oben genannten Methoden zwischenzeitlich bekannt

und vielfach veröffentlicht. Es wäre zu diskutieren, ob es sinnvoll ist, in größerem Rahmen Zeit und Mittel aufzuwenden um diese Kenntnisse zu verfeinern. Es ist dabei zu bedenken, dass die Wahrscheinlichkeit, grundsätzlich neue allgemeingültige Erkenntnisse zu gewinnen, aufgrund der Komplexität der ineinander greifenden hydrogeologischen, chemischen, biochemischen und biologischen Wirkmechanismen gering ist.

Demgegenüber erscheint es jedoch aus mehreren Gründen gerechtfertigt einen größeren Aufwand in die Planung von passiven Wasserbehandlungsanlagen bzw. in die Initiierung von Sekundärprozessen in Halden, Kippen und Tailings zu investieren. Dabei ist eine Begleitung durch erfahrene Wissenschaftler, welche die wirksamen Prozesse gut einschätzen können, unabdingbar.

Jeder Standort für ein Constructed Wetland muss bezüglich folgender Sachverhalte untersucht werden:

- Flächenbedarf für die entstehende Anlage
- Art des Untergrundes (Geologie, Boden, hydrogeologische Verhältnisse)
- Lokale Flora (und Fauna)
- Lokales (Klein-) Klima

Eine Zusammenarbeit mit der lokalen Naturschutzbehörde wird empfohlen.

6.2 Sekundärprozesse in Halden, Kippen und Tailings

Die Randbedingungen für die oben beschriebenen natürlichen Sekundärprozesse („Krustenbildung“) so zu beeinflussen, dass sie beschleunigt werden, sollte das Ziel ebenfalls spezifischer objektbezogener Untersuchungen sein.

6.3 Sonderfälle

In manchen Anwendungsfällen, wie bei der zuvor erwähnten Schaderschachthalde, darf beim Schadstoffrückhalt das geohydraulische System nicht beeinflusst werden. Somit sind In-situ-Verfahren zu entwickeln, welche eine sehr hohe Schadstoffbindung bewirken und zugleich die Durchlässigkeitskoeffizienten und Permeabilität nicht verändern. Vorstellbar wäre hier der Einsatz von z. B. dispersen Zeolithen oder ähnliche Adsorbentien in gesättigten und ungesättigten Haldenbereichen.

Diese müssten über Injektionslanzen o. Ä. im Übergangsbereich zum Tal der Zwickauer Mulde

(Verhinderung des Schadstoffeintrages in den wassergesättigten Teil der Halde) und flächig verteilt im gesättigten Haldenteil (Rückhalt und Abbau der Schadstoffe) eingebracht werden.

Unter solchen Randbedingungen sind Methoden zur Verhinderung des Schadstoffaustrages aus wassergesättigten Haldenbereichen ohne Veränderung der geohydraulischen Verhältnisse eine gute Lösung.

7 Literatur

7.1 Rechtsverweise

(I) Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327/1

(II) Entscheidung Nr. 2455/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 331/1

(III) Richtlinie 76/464/EWG des Rates vom 4. Mai 1976 betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 129 vom 18.05.1976

(IV) Musterverordnung zur Umsetzung der Anhänge II und V der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Stand 02.07.2003

7.2 Sonstige Quellen

SMUL (2004): Bericht über die Umsetzung der Anhänge II, III und IV der Richtlinie 2000/60/EG für den Freistaat Sachsen. – Landesbericht Sachsen.

Datenbank SALKA, Sächsisches Altlastenkataster, Stand Februar 2004

BERRIOS D., KOLITSCH S. (2001): Untersuchungen von Sickerwässern der Steinkohlehalden im Raum Oelsnitz. – Abschlussbericht, nicht veröffentlicht. LfUG, Freiberg.

BERRIOS D., KUTSCHKE S., NOBIS T., SIVILA M. (2003a): Untersuchungen von Sickerwässern der Steinkohlehalden im Raum Zwickau. – Abschlussbericht, nicht veröffentlicht. LfUG, Freiberg.

BERRIOS D., KOLITSCH S., ABO-RADY M., MERKEL B.J. (2003b): Schadstoffbelastung von Sickerwäs-

- sern aus Steinkohlehalden im Raum Oelsnitz (Erzgeb.) und ihre Gefahrenpotenziale. – Wasser und Abfall, **4-5**: 40—45
- BIOTEST, DR. ROTH (2002): Bestimmung der Gewässergüte und Sedimentationsuntersuchungen in ausgewählten Fließgewässern im Stadtgebiet Zwickau. – Prüfberichte 1997, 1998, 1999.
- ARTEC (2001): Integrale Altlastenbehandlung Schwermetallbelastungen im Untersuchungsraum Hohndorf, Lugau, Oelsnitz-Phase 2. – Unveröff., ARTEC-Umweltpraxis GmbH Sachsen.
- GEOTECHNIK, UMWELTTECHNIK, BAUTECHNIK ZWICKAU MBH (GUB 2001): Abschlussbericht Revitalisierung von Städten in ehemaligen Kohlenbergbaugebieten (Interreg IIc). – Teilprojekt: „Beherrschung und Nutzung der Bergbaufolgewirkungen im ehemaligen Steinkohlebergbaugebiet Zwickau“.
- WIEGAND U., SCHRECK P., SCHREITER P., LERCHE I., GLAESSER W. (2003): Restoration of Open Pit Lignite Mining in the Former GDR: Lessons to be Learnt from Zwenkau. – Energy & Environment, **14**(4).
- GELLER G., HÖNER G. (2003): Anwenderhandbuch Pflanzenkläranlagen. – Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- HEDIN R. S., NAIRN R.W., KLEINMANN R.L.P. (1994): Passive Treatment of Coal Mine Drainage. – Bureau of Mines Information Circular, IC-9389: 1—35, 13 Abb., 19 Tab.; Washington.
- ENGELMANN U., LÜTZNER K., MÜLLER V. (2003): Erfahrungen beim Einsatz von Pflanzenkläranlagen in Sachsen. – Zeitschrift KA, **50**(3): 308—320
- WOLKERSDORFER C., YOUNGER P.L. (2002): Passive Grubenwassereinigung als Alternative zu aktiven Systemen. – Grundwasser, **7**(2): 67—77, 7 Abb., 2 Tab.; Heidelberg.
- YOUNGER P.L., BANWART S.A., HEDIN R.S. (2002): Mine Water – Hydrology, Pollution, Remediation. – 464 S.; Dordrecht (Kluwer).
- KALIN M., FYSON A., WHEELER W.N. (2005a): The Chemistry of Conventional and Alternative Treatment Systems for the Neutralization of Acid Mine Drainage. – Breckenridge ASSMR Conference (in press).
- KALIN M. (2004): Passive Mine Water treatment: The Correct Approach? – Ecological Engineering, **2**: 299—304, Elsevier.
- KALIN M, WHEELER W.N., MEINRATH G. (2005b): The Removal of Uranium from Mining Waste Water Using Algal/Microbial Biomass. – Journal of Environmental Radioactivity, **78**: 151—177, Elsevier.
- BRACKHAGE C., SCHOLZ O., DUDEL E.G. (2004): The Role of Rhizofiltration and Compartmentation in the Removal of Uranium and Heavy Metals from Mining Leachates Using Wetlands. – Conference Abstracts, 7th Intecol International Wetlands Conference Utrecht, p.41, www.bio.uu.nl/intecol.
- ROSS J.-H., BRACKHAGE C., WEISKE A., DUDEL E.G. (2004): Mesokosmenanlage zur Identifizierung von Festlegungsprozessen von Uran in Feuchtgebieten. – Abstractband Jahrestagung des Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL/SIL) in Potsdam, S.127.
- RAMMLMAIR D. (1997): The Role of Gels in Self Organisation of Slags from the Arsenic Production Site, Muldenhütten, Freiberg, Saxony, FRG. – In: NIEDBALSKA A., SZYMAN'SKI A., WIEWIORA A. (Eds.) Proceedings ICAM'97, Warsaw, Poland.
- RAMMLMAIR D., MEYER L. (2000): Crust Formation: Via Column Experiments to Mathematical Modelling. – Applied Mineralogy in Research, Technology, Ecology and Culture, Volume 2: 641—644, Balkema.
- RAMMLMAIR D., GRISSEMANN CH. (2000): Natural Attenuation in Slag Heaps Versus Remediation. – Applied Mineralogy in Research, Technology, Ecology and Culture, Volume 2): 645— 648, Balkema.