



Abschlussbericht

Erarbeitung eines Verfahrens zur Behandlung von Gruben- und Haldensickerwässern

Bearbeitungszeitraum: 2001 bis 2005

Projektleiter: Herr Prof. Dr. Werner Klemm

Projektbearbeiter: Frau Dipl.-Min. Annia Greif

Berichtstermin: 30.04.2006

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WT0106 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung und Zielstellung	1
2. Stand von Wissenschaft und Technik	3
3. Experimente zur Behandlung von Gruben- und Haldensickerwässern verschiedener Standorte unter Laborbedingungen	8
3.1. Methodik	8
3.2. Standversuche Modellfall „Ehrenfriedersdorf“	9
3.3. Standversuche Modellfall „Wismut GmbH“	14
3.3.1. Grubenwässer Aue	15
3.3.2. Grubenwässer Pöhla	16
3.3.3. Grubenwässer Ronneburg	17
3.4. Standversuche Modellfall „Oruro, Potosi/ Bolivien“	19
3.5. Diskussion und Schlussfolgerungen für passive Abreicherungsverfahren	20
4. Verfahren zur Behandlung von Gruben- und Haldensickerwässern am Beispiel der Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf unter Realbedingungen	22
4.1. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes	22
4.1.1. Geographische Lage und Bergbaugeschichte	22
4.1.2. Geologie und Mineralisationen	23
4.2. Langzeitentwicklung des Haldensicker- und Grubenwassers	24
4.2.1. Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung der Haldensickerwässer	26
4.2.2. Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung der Grubenwässer	31
4.2.3. Schlussfolgerungen für die zeitliche Entwicklung der Wasserqualität	33
4.3. Pilotversuch Sickerwasserversturz Sauberg/Ostfeld	34
4.3.1. Versuchskonzept	34
4.3.2. Voruntersuchungen zum Absetzverhalten von Eisenhydroxid	36
4.4.3. Durchführung	38
4.4.4. Ergebnisse	39
4.4.5. Fortsetzung des Pilotversuchs während der Pumpversuche im Westfeld	48
4.4.6. Schlussfolgerungen	48
4.4. Pumpversuche Sauberg/Westfeld	50
4.4.1. Versuchskonzept	50
4.4.2. Durchführung	50
4.4.3. Ergebnisse	53
4.4.4. Bewertung und Schlussfolgerungen	62
4.5. Sedimentationsversuch Tiefer Sauberger Stolln	63
4.5.1. Versuchskonzept	63
4.5.2. Durchführung	63
4.5.3. Ergebnisse	64
4.5.4. Bewertung und Schlussfolgerungen	67
4.6. Tracerversuche	67
5. Empfehlungen für die Anwendung des Verfahrens	69
6. Weiterer Forschungsbedarf	70
7. Zusammenfassung	71
Literaturverzeichnis	73
Anlagenverzeichnis	75
Anlagen	

1. Einleitung und Zielstellung

Erzbergbau und Erzaufbereitung verursachen bei der Gewinnung der gewünschten Wertkomponenten Umweltbelastungen durch die Inanspruchnahme erheblicher Flächen und die Kontamination von Boden, Wasser und Atmosphäre mit Bergehalde, Tailings und Schlammteichen. Besonders nachhaltig schädlich wirkt die Abgabe von mit Arsen und Schwermetallen belasteten Gruben- und Haldensickerwässern in die Oberflächen- und Grundwässer.

Insbesondere der Abbau von Lagerstätten, in denen die Erz- und / oder Begleitminerale Sulfide, Sulfosalze oder komplexe Metall-Schwefel-Verbindungen bilden, kommt es in Abhängigkeit von der jeweiligen Mineralisation und hydrologischen Situation zum Austrag von schwach bis stark sauren, z. T. anoxischen Wässern mit oft problematisch hohen Konzentrationen an Arsen, Aluminium und Schwermetallen wie Pb, Cd, Ni, Zn, Sb, Mn, Fe in die Umwelt. Die Abgabe belasteter Wässer wird mit der Einstellung des aktiven Bergbaus nicht beendet, sondern setzt sich oft noch über sehr lange Zeiten (z. T. viele Jahrzehnte) fort. Zwar klingen die anfänglich hohen Konzentrationen der Belastungselemente allmählich ab, jedoch bleibt ungewiss und nur unsicher prognostizierbar in welchen Konzentrationsbereichen sich diese langfristig „einpegeln“. Werden in der anfänglichen Flutungsphase der Gruben wegen der sehr hohen Konzentrationen an Belastungselementen häufig technische Wasserreinigungsanlagen benötigt, können sich im Verlauf der Zeit Konzentrationsbereiche einstellen, die zwar über den zugelassenen Einleitgrenzwerten variieren aber für technische Anlagen nur geringe Wirkungsfaktoren mit hohen Kosten für lange Zeiten bedingen.

Für diese Situation werden zur Rückhaltung und Fixierung von Problemelementen weltweit zunehmend passive Methoden auf der Basis von geochemischen Barrierereaktionen in Betracht gezogen, wobei fast ausschließlich auf geochemische Barrieren oder Wetlands außerhalb der Gruben orientiert wird.

Möglichkeiten für eine Rückhaltung von Schadelementen durch modifizierte oder künstliche Barriersysteme noch innerhalb des Grubenbereichs wurden für komplexe Bergbau- und Fließgewässersysteme am Beispiel des Muldensystems in dem BMBF-Projekt „Entwicklung geochemischer Methoden zur naturnahen Schadstoffdemobilisierung im Muldensystem“ (Beuge et al., 2001) untersucht. Die Ergebnisse des Projektes zeigten, dass die Gruben- und Haldensickerwässer häufig erhöhte Konzentrationen an Fe (II) und z. T. Al enthalten, die zur Rückhaltung von Belastungselementen genutzt werden können. Bei Einstellung oxidierender Bedingungen und geeigneter pH-Bereiche werden Fe nach Oxidation zu Fe(III) und Al als Hydroxide ausflocken und dabei zumindest einen Teil der Problemelemente fixieren.

Hieraus ergab sich der Grundgedanke des Projektes, den Prozess der Ausfällung von hydroxydischen Eisenphasen sowie (falls möglich) von Aluminiumhydroxiden innerhalb der Grube zu initiieren und für die mit Schadelementen angereicherten Hydroxide eine Depositionsmöglichkeit noch im gefluteten Grubengebäude bereitzustellen. Auf diese Weise verbleiben die Schadelemente in veränderter Bindungsform im Bereich ihrer Herkunft. Selbst wenn dieser Vorgang nur zu einer Teilreduzierung der Elementkonzentrationen im ausfließenden Wasser führt, wird die Belastung der Umwelt, insbesondere der Vorflut, auf besonders kostengünstige Weise reduziert.

Dieses Projekt bot erstmals die Möglichkeit, den unter Laborbedingungen für verschiedene Belastungselemente gut nachvollziehbaren Sorptions-/Fällungs- und Abreicherungsprozess der Hydroxidfällung unter realen Bedingungen einer gefluteten Zinnerzgrube zu untersuchen

und dessen Wirksamkeit zu erfassen. Allerdings erforderte der Versuch unter realen natürlichen Bedingungen auch die Akzeptanz folgender nicht beeinflussbarer Randbedingungen:

(1) Auf den Zusatz von Chemikalien zur Unterstützung der Oxidation und Ausfällung musste verzichtet werden, da es sich bei den Grubenwässern trotz hoher Belastung dem Gesetz nach um Grundwässer handelt.

(2) Die Dimension des Versuchsraums Grube von insgesamt ca. 1,5 Mio. m³ geflutetem Hohlraum erforderte Versuchszeiten von ein bis mehreren Jahren, um die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen sicher erfassen zu können.

(3) Nachteilig wirkte sich aus, dass bei Schließung und Flutung der Gruben nach der politischen Wende keine Vorkehrungen für die Einrichtung eines gerichteten bzw. beeinflussbaren Strömungsverlaufs im gefluteten Grubengebäude getroffen wurden. Detaillierte Kenntnisse über die Strömungsverläufe sind in der Regel nicht vorhanden und nachträglich auch kaum zu beschaffen.

Der für das Projekt konzipierte, weitestgehend wartungsfrei ablaufende Rückhalteprozess gewinnt unter den zukünftig verbindlichen Bedingungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie zur Einhaltung eines guten ökologischen Zustandes der Gewässer zentrale Bedeutung für die Reduzierung der Konzentrationen von Belastungselementen in Gruben- und Haldensickerwässern vor deren Eintrag in die Oberflächengewässer vor allem in der langzeitigen Abklingphase der Belastungen.

Hauptzielstellungen dieses Projektes waren:

+ die aus Laborexperimenten bekannte und in der Wasserreinigungstechnik genutzte Adsorptionswirkung der Hydroxidfällung auf die Entwicklung eines Verfahrens zur Reduzierung des Austrages von umweltproblematischen Elementen in Gruben- bzw. Haldensickerwässer zu übertragen,

+ das Verfahren unter realen Bedingungen eines gefluteten Grubengebäudes zu untersuchen,

+ unter dem Aspekt einer praktischen Langzeitnutzung die Möglichkeiten einer gezielten Beeinflussung /Optimierung der Rückhaltung auszuloten,

+ die erforderlichen geochemischen und geotechnischen Bedingungen abzuleiten, die eine erfolgreiche Übertragung des Verfahrens auf weitere geeignete Problemfälle erlauben.

Die Arbeiten gliedern sich in drei Teiletappen:

(1) Laborversuche mit Grubenwässern unterschiedlicher Zusammensetzung und Herkunft

In Laborexperimenten war unter vergleichbaren Bedingungen der durch den jeweiligen Eisen- und Aluminiumgehalt in den Wässern mit unterschiedlicher Zusammensetzung erreichbare qualitative und quantitative Wirkungsfaktor/Abreicherungsseffekt zur Verringerung des Elementaustrags zu ermitteln. Die Ergebnisse sollten vergleichbare Daten für eine Abschätzung der „Selbstreinigungswirkung“ in Abhängigkeit vom jeweiligen Eisen- und Aluminiumgehalt der Wässer sowie der Übertragbarkeit auf neue Problemfälle liefern.

(2) Pilotversuch zur Verbesserung der Oxidations- und Fällungsbedingungen für Eisen durch Einleitung von luftgesättigtem, Fe-haltigem Haldensickerwasser in eine stillgelegte Grube

Mit diesem Langzeitexperiment war das Verfahrenskonzept – Reduzierung der Gehalte an umweltbelastenden Elementen im Gruben- und Haldensickerwasser durch in-situ-Eisenhydroxidausfällung im gefluteten Grubenbereich – zu prüfen und die Wirksamkeit des Verfahrens zu erfassen. Der erforderliche zusätzliche Sauerstoffeintrag in das Grubenwasser erfolgt durch luftgesättigtes Haldensickerwasser, das seinerseits dadurch eine Reinigung erfährt.

(3) Untertägige Belüftung und Sauerstoffzufuhr in geflutete Grubenbereiche

Dieser Teil des Langzeitexperimentes sollte Aufschluss erbringen, inwieweit durch untertägige Luftsättigung eines Teilstroms des Grubenwassers die Oxidationsbedingungen für Fe(II) weiter verbessert und die Eisenoxidfällung intensiviert werden kann.

Mit der Auswertung der drei Arbeitsabschnitte waren geochemische und geotechnische Parameter und ihre zulässigen Variationsbereiche abzuleiten, die bei Vorliegen ähnlicher Bedingungen die Abschätzung der Funktionalität des Verfahrens ermöglichen sollten.

2. Stand von Wissenschaft und Technik

Die sehr umfangreiche Literatur zur Problematik der Rückhaltung von umweltbelastenden Elementen in austretenden Gruben- und Haldensickerwässern durch passive Behandlungsverfahren lässt folgende Basissysteme erkennen:

- Kalksteindrainagen (offen, geschlossen)
- Wetlands (aerob, anaerob)
- Wirbelreaktoren
- Reaktive Barrieren

Alle Konzepte verfolgen unter Nutzung natürlich ablaufender, z. T. modifizierter Prozesse das Ziel, die betreffenden Elemente mit einem Minimum an technischem Aufwand langzeitstabil so zu fixieren, dass die emittierten Konzentrationen deutlich unter den ökotoxikologischen Grenzwerten bleiben.

Für Gruben und Halden können die in diesen Bereichen stabilen Sekundärminerale Hinweise auf die als Barriere nutzbaren Prozesse geben. In Tab. 2.1 sind Ergebnisse der mineralogischen Untersuchungen an der Verwitterungsmatrix, an untertägigen Sintern und Grubenwassersedimenten in der Polymetalllagerstätte Freiberg zusammengestellt (Beuge et al., 2001). Für Reinigungsverfahren sind die Minerale in den Sintern und Sedimenten von besonderer Bedeutung.