



# **TAGUNGSBAND**

Internationale Konferenz  
11.- 14.07.2000  
in Schlema

**Wismut 2000 - Bergbausanierung**

## Nachfolgelösungen für die konventionelle Wasserbehandlung

G. Kießig, Wismut GmbH  
E. Hermann, B.P.S. Engineering GmbH

### 1 Zielstellung und Lösungsansätze

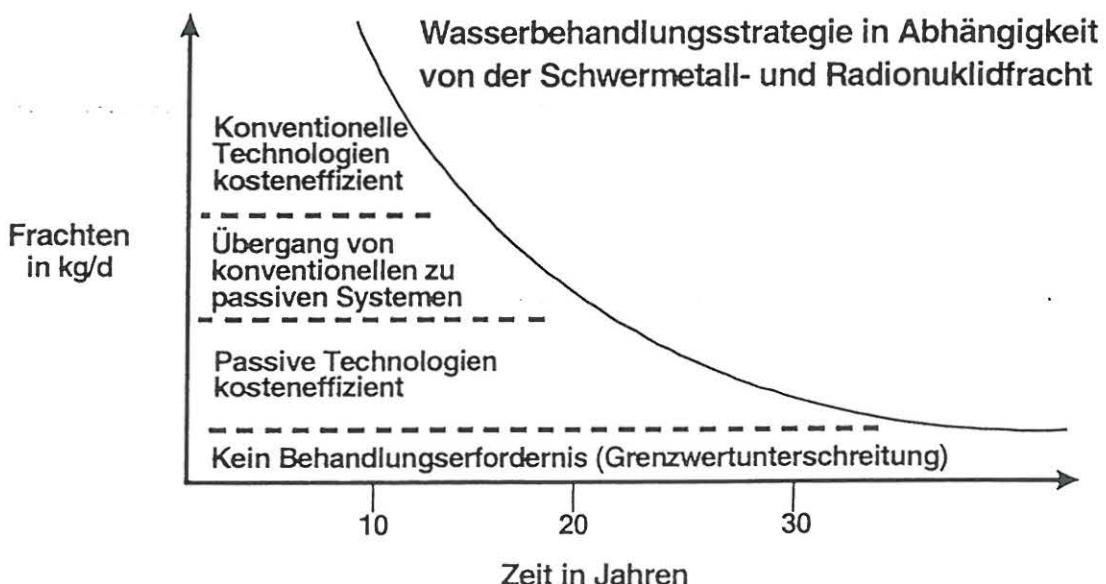
Die mittel- und langfristig erwarteten Veränderungen der Menge und des Chemismus der an Sanierungsstandorten der WISMUT GmbH anfallenden kontaminierten Wässer sind verbunden mit einer Senkung der Schwermetall- und Radionuklidfrachten.

Aufgrund der verminderten Frachten steigen trotz ständiger Optimierung des Betriebsregimes die spezifischen Kosten für die Abtrennung einer Schadstoffeinheit in den vorhandenen konventionellen Wasserbehandlungsanlagen stetig an. Ab einer bestimmten Höhe der spezifischen Kosten kann das Betreiben der konventionellen Wasserbehandlungsanlagen aus wirtschaftlicher Sicht kaum mehr gerechtfertigt werden.

Da zu diesem Zeitpunkt aus der Sicht des Gewässerschutzes die Wasserbehandlung nach wie vor erforderlich ist, besteht die Aufgabe alternative „low cost“-Technologien zu entwickeln und einzuführen.

Ab einem bestimmten Niveau der Frachten sind passive, auf biologischen und physiko-chemischen Mechanismen basierende Verfahren geeignet, langfristig bestehende Behandlungserfordernisse kostengünstiger als konventionelle Verfahren zu realisieren.

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht die Aussage.



Carsten Kießig, Wismut, GEOS, Düsseldorf

Schwerpunkte für den Einsatz innovativer „low cost“-Technologien in der WISMUT GmbH bilden:

- die Ablösung der konventionellen Behandlungsanlagen, die auf Grund sinkender Schadstoffkonzentrationen im zu behandelnden Wasser nicht mehr effizient arbeiten (z.B. Grubenwasser),
- die Behandlung von kontaminierten Sickerwässern aus Halden und aus Dämmen von Absetzanlagen, die langfristig chemisch nahezu unverändert und mit geringer Menge anfallen und deren separate konventionelle Behandlung, bedingt durch dominierende Personalkosten, mit hohen spezifischen Kosten verbunden ist,
- die In-situ-Sanierung von durch Stoffausträge aus Tailings und Halden sowie aus gefluteten Gruben beeinflußten Grundwasserleitern.

Weltweit befinden sich passive Verfahren in der Entwicklungs- und Erprobungsphase. Der hohe Untersuchungsumfang, repräsentiert durch die Anzahl der Publikationen auf diesem Gebiet, verdeutlicht die Bedeutung, die den kostenreduzierten Behandlungsstrategien international beigemessen wird.

Da der Erfolg alternativer Methoden zur Behandlung kontaminiert Wässer in verschiedenen Projekten nachgewiesen werden konnte, liegt die Nutzung passiv/biologischer Verfahren zur Abtrennung von Metallen und Radionukliden aus den Wässern des ehemals sächsisch-thüringischen Uranerzbergbaus nahe.

In Zusammenarbeit mit externen Partnern werden gegenwärtig folgende passiv/biologische Verfahren auf ihre Anwendbarkeit im Rahmen der WISMUT-Sanierung hin untersucht:

- Constructed wetlands zur Behandlung von Flutungs- und Sickerwässern,
- reaktive permeable Wände und
- mikrobiologisch induzierte In-situ-Verfahren zur Behandlung von kontaminierten Grundwässern.

Die von der WISMUT GmbH bereits im Labor- bzw. Pilotmaßstab realisierten Vorhaben werden nachfolgend beschrieben.

## 2 Passiv/biologische Behandlung mittels Constructed wetlands

### 2.1 Pilotversuch zur Behandlung von Flutungswasser der Grube Pöhla-Tellerhäuser

Im Jahr 1995 wurde eine konventionell arbeitende Wasserbehandlungsanlage zur Abtrennung der Kontaminanten Uran, Radium, Eisen, Mangan und Arsen sowie der abfiltrierbaren Stoffe aus dem neutralen, gering mineralisierten Flutungswasser der Grube Pöhla-Tellerhäuser in Betrieb genommen. Die Anlage arbeitet nach dem Verfahren der selektiven Fällung/Flockung. Der mittlere Durchsatz der Anlage beträgt  $17 \text{ m}^3/\text{h}$ .

*8007/m<sup>3</sup> Zeit: 15 Jahre*

Trotz geringer werdender Belastung des Flutungswassers (vergleiche Tabelle 1) betragen die Kosten der Wasserbehandlung gegenwärtig ca. 1,2 Mill. DM/a.

Tabelle 1 Inhaltsstoffe des Flutungswassers der Grube Pöhla-Tellerhäuser

## (Hauptkomponenten)

Komponente	Maßeinheit	mittlere Konzentration		genehmigter Einleitwert
		1995	1999	
U	mg/l	1.54	0.12	0,2
Ra	mBq/l	1216	4716	300
Fe	mg/l	13.6	10.0	2
Mn	mg/l	3.55	0.77	2
As	mg/l	0.58	2.27	0,1

Da im Ergebnis von hydrochemischen Modellierungen davon ausgegangen werden muß, daß noch ca. 15 Jahre die Abtrennung von Radium, Eisen und Arsen aus dem Flutungswasser erforderlich sein wird, ist aus wirtschaftlicher Sicht die Entwicklung und Einführung einer "low cost"-Nachsorgelösung anzustreben.

Zur Behandlung eines Teilstromes des Flutungswassers der Grube Pöhla/Tellerhäuser nahm im Sommer 1998 ein Constructed wetland den Versuchsbetrieb auf, dessen Aufbau in Abbildung 1 der Anlage schematisch dargestellt ist.

Das System besteht aus einer Belüftungskaskade und aus fünf durch Betontrennwände unterteilten Reaktionszonen, in denen unterschiedliche chemisch/physikalische und biologische Prozesse ablaufen.

Das zu behandelnde Wasser durchströmt die Anlage über am Beckenboden verlaufende Drainageleitungen und durch Überläufe im eigenen Gefälle.

In der Belüftungskaskade erfolgt die Oxidation des im Flutungswasser gelösten zweiwertigen Eisens. Im neutralen Flutungswasser fällt Eisenhydroxid aus, an das adsorptiv Arsen und Radium gebunden wird. Die Eisenhydroxidflocken sedimentieren in den Becken 1 und 2 des Constructed wetlands.

Anschließend passiert das Flutungswasser die mit Kies und Schotter unterschiedlicher Körnung gefüllten Becken 3 und 4. Das Material dient als Besiedlungsfläche für Mikroorganismen und als Filter. Um das Wachstum der autochthonen Mikroorganismen zu stimulieren, wurden Nährstoffträger eingebaut. Die Biomasse ist in der Lage Radionuklide zu sorbieren und akkumulieren oder als Katalysator für Fällprozesse zu wirken.

Die Oberflächen von Becken 4 und Becken 5 der Pilotanlage sind als Pflanzenbecken ausgebildet. Der Reaktionsraum von Becken 5 ist mit Kies gefüllt und mit verschiedenen einheimischen Helophyten bepflanzt. Durch das Pflanzenmaterial und durch im Wurzelraum der Helophyten angesiedelte Mikroorganismen werden im Wasser vorhandene Schadstoffe gebunden. Darüber hinaus erfolgt eine Anhebung der Sauerstoffkonzentration im Ablauf des Constructed wetlands.

Der Durchsatz der Pilotanlage beträgt 3,5 m<sup>3</sup>/h.

Abbildung 1 bis Abbildung 3 vermitteln einen optischen Eindruck vom Aufbau der Pilotanlage.



1-2ug/L O<sub>2</sub>

fest 45° O<sub>2</sub>

Abbildung 1 Belüftungskaskade der Pilotanlage zur passiv/biologischen Behandlung des Flutungswassers der Grube Pöhla-Tellerhäuser



Silz  
Säge  
Biesen  
Sumpfiris

Abbildung 2 Gesamtansicht der Pilotanlage



Abbildung 3 Bepflanzung des Beckens 5 der Pilotanlage

Im bisherigen Betriebszeitraum konnte die Funktionsfähigkeit des Constructed Wetlands zur Abtrennung der relevanten Schadstoffe nachgewiesen werden. Die Pilotanlage arbeitet sowohl im Sommer, als auch im Winterbetrieb stabil und zuverlässig. Im Jahr 1999 betrug die durchschnittliche Abtrennrate für:

Radium	ca. 73 %,
Eisen	ca. 97 %,
Arsen	ca. 83 %.

Ziel ist es, bis zum Jahr 2002 sowohl die technologischen als auch die genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen dafür zu schaffen, daß die am Standort Pöhla betriebene konventionelle Wasserbehandlungsanlage durch ein neu zu errichtendes Constructed wetland ersetzt werden kann.

*Wasser: 12-13°C Winter, Sommer stabil*

## 2.2 Pilotversuch zur Behandlung von neutralen, sulfatreichen Sickerwässern aus Halden

Ausgehend von den ersten Erfahrungen aus dem Pilotversuch zur passiv/biologischen Behandlung von neutralem Flutungswasser der Grube Pöhla-Tellerhäuser wurde von der WISMUT GmbH gemeinsam mit externen Auftragnehmern ein passives Behandlungskonzept für langfristig anfallende sulfatreiche sowie schwermetall- und radionuklidbelastete neutrale Sickerwässer entwickelt und im Labormaßstab erprobt.

Zur Behandlung des Sickerwassers ist ein mehrstufiges Constructed wetland vorgesehen. Die schematische Darstellung des Aufbaus des geplanten Constructed wetlands ist in Abbildung 2 der Anlage dargestellt.

Den Hauptmechanismus bildet die gesteuerte Sulfatreduktion durch kontrollierte Zuführung von Kohlenstoff und Phosphat. Die mittels autochthonen Mikroorganismen in der anaeroben Stufe des Systems ausgelöste Sulfatreduktion führt zu einer Ausfällung der gelösten Metalle in Form schwerlöslicher Sulfide. Uran wird als schwerlösliches  $UO_2$  (Uranit) gefällt.

Weiterhin erfolgt in den Wetlandstufen eine Schadstoffabtrennung basierend auf Oxidations- und Reduktionsreaktionen, anhand von Biosorptions- und -akkumulationsprozessen sowie durch Filtration.

Das Vorhaben befindet sich in der Genehmigungsphase.

Die geplante Versuchsdauer beträgt 3 Jahre. Der Zeitraum gewährleistet die Untersuchung der Stabilität des Systems, insbesondere der mikrobiologischen Prozesse, in Abhängigkeit von jahreszeitlichen Einflüssen.

## 3 Entwicklung von verfahrenstechnischen Lösungen zur Behandlung von kontaminiertem Grundwasser mit Hilfe von permeablen reaktiven Wänden

Im Rahmen eines durch das BMBF geförderten Projektes werden Untersuchungen durchgeführt, die die Voraussetzungen für den Einsatz von permeablen reaktiven Wänden zur alternativen Behandlung von Grundwasser, das durch Porenwässer aus Absetzbecken der Uranerzaufbereitung beeinflußt wird, zu schaffen.

Im Zuge der "trockenen Verwahrung" der industriellen Absetzanlagen werden gegenwärtig noch in den Absetzbecken vorhandenes Freiwasser sowie kontaminierte Sicker- und Porenwässer konventionellen Wasserbehandlungsanlagen zugeführt.

Die insbesondere mit Uran, Radium und Arsen belasteten Grundwässer im Abstrombereich der Absetzbecken werden in die konventionelle Behandlung eingebunden. Diese Möglichkeit steht jedoch nur solange zur Verfügung, wie im Rahmen der Sanierung der Absetzbecken das Freiwasser entfernt wird.

Danach müßte das kontaminierte Grundwasser auf der Grundlage eines „pump and treat“-Konzeptes einer aktiven Behandlung zugeführt werden. In Anbetracht der erwarteten Behandlungszeit (> 50 Jahre) und der hohen spezifischen Kosten dieses Konzeptes (ca. 20 DM/m<sup>3</sup>) wird nach einer technisch erfolgversprechenden und wirtschaftlich sinnvollen Alternative gesucht.

Permeable reaktive Wände bilden aus gegenwärtiger Sicht einen Ansatzpunkt zur Lösung dieses Problems.

Die Hauptinhalte des von der Wismut GmbH gemeinsam mit der B.P.S. Engineering GmbH und der Fraunhofer Gesellschaft bearbeiteten Projektes sind:

- die Identifizierung geeigneter Materialien zur In-situ-Abtrennung von Uran, Radium und Arsen,
- die Untersuchung der Abtrennleistung und der Standzeit der Materialien im Labor und in In-situ-Kolonnenversuchen sowie
- die Modellierung der in einer reaktiven Wand ablaufenden Transport- und Wirkmechanismen.

### **3.1 Identifizierung geeigneter Materialien zur In-situ-Abtrennung von Uran, Radium und Arsen**

Die Identifizierung geeigneter Materialien erfolgte anhand der im Labor (Batch-Versuche und Kolonnen-Versuche) ermittelten Kapazität zur selektiven Abtrennung von Uran, Radium und Arsen.

Oft liegen geeignete Materialien jedoch in einer Form (z. B. als Pulver) vor, die einen direkten Einsatz in einer permeablen reaktiven Wand ausschließen.

Dementsprechend wurden diese Stoffe konfektioniert. Das Ziel der Konfektionierung bestand darin, die Materialien ohne nennenswerten Verlust ihrer Reaktivität in eine körnige, im zu behandelnden Wasser dauerhaft stabile Struktur zu überführen, die ihren Einsatz in permeablen reaktiven Wänden möglich macht.

Folgende Methoden der Konfektionierung wurden untersucht:

- Einbindung in Geopolymer<sup>®</sup>,
- Einbindung in Blähtone,
- Einbindung in Blählschiefer,
- Einbindung in PUR-Schaum,
- Strukturierung mittels Kleber.

Im Ergebnis der Untersuchungen wurden zwei Produkte entwickelt, die alle mit der Zielstellung verbundenen Anforderungen erfüllen.

"Hedulat" In eine Matrix aus geschäumten Geopolymer® eingebundener feinkörniger Schwerspat ( $\text{BaSO}_4$ , Flotationskonzentrat),

"Hedulit" Durch Verkettung von pulverförmigen Titanoxidhydrat mittels Vinylacetatkleber bei gleichzeitigem Schäumen hergestelltes Produkt.

Die im Ergebnis der Konfektionierung entstandenen Produkte wurden gebrochen und so abgesiebt, daß die hydraulische Leitfähigkeit einer Schüttung des Materials  $> 10^{-4} \text{ m/s}$  beträgt.

Abbildung 4 bis Abbildung 6 vermitteln einen Eindruck von der Körnung und der Oberflächenstruktur der konfektionierten Materialien.

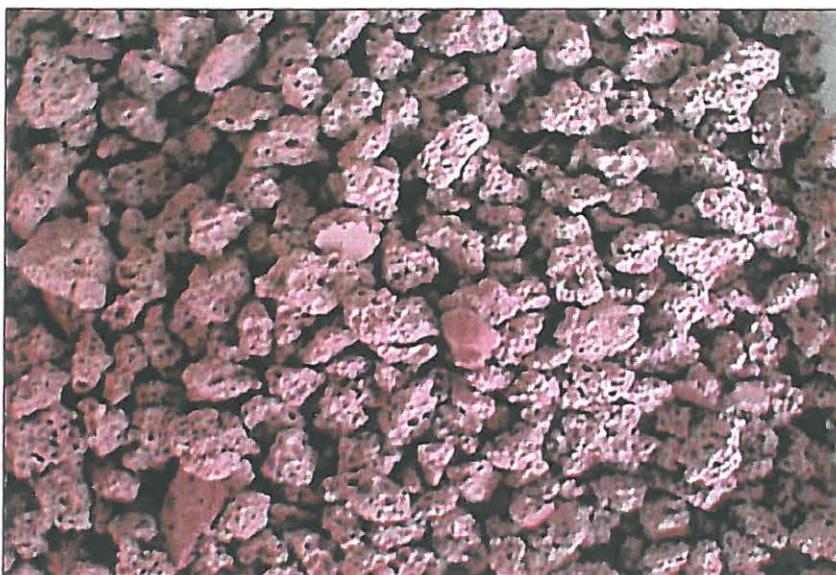


Abbildung 4 Granulierter Schwerspat "Hedulat"

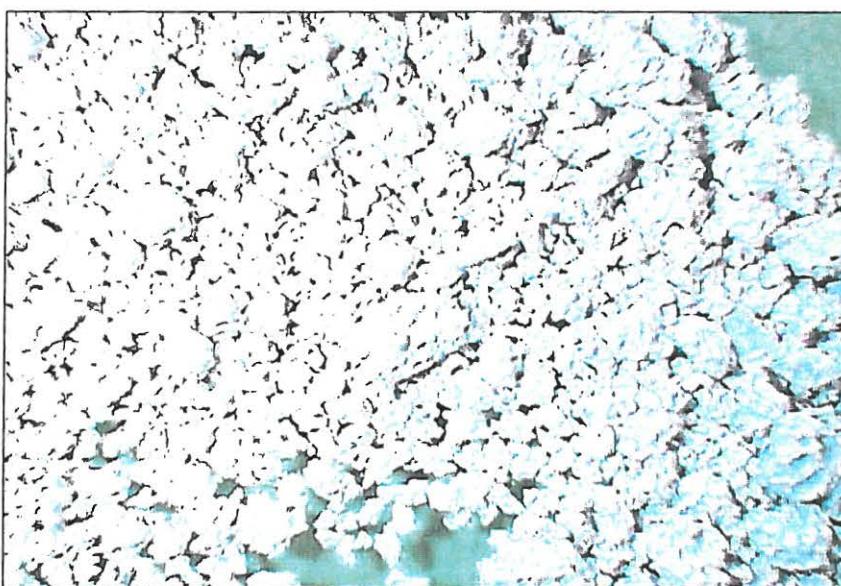


Abbildung 5 Granuliertes Titanoxidhydrat "Hedulit"



Abbildung 6 Mikroskopische Aufnahme einer "Hedulit"-Granula

Die Ergebnisse der Laborkolonnenversuche zur Ermittlung der Kapazität für die selektive Abtrennung von Uran, Radium und Arsen ausgewählter Materialien aus Originalwässern sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Ergebnisse der Laborkolonnenversuche zur Identifizierung geeigneter reaktiver Materialien (Auszug)

Produkt/Stoff	Culmitzschaue	Absetzbecken Helmsdorf		Zinnborn	Grube Pöhla
		Uran mg/kg	Arsen mg/kg		
Ferrosorp®	270	140	1800	480	-
Eisenschwamm (Fe <sup>(0)</sup> )	750	3800	300	920	-
Industrietorfgranulat	460	130	22	460	-
Carbion®	2400	28	80	3360	-
Hedulat	-	-	-	-	12 <sup>1)</sup>
Hedulit	3200	227	2762	1270	60 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> nach bisher 56 Tagen

<sup>2)</sup> nach bisher 193 Tagen

13 billig  
6 teuer

### 3.2 Untersuchung der Abtrennleistung und der Standzeit der Materialien in In-situ-Kolonnenversuchen

Für die in Tabelle 2 angegebenen Wässer werden gegenwärtig In-situ-Kolonnenversuche zur Abtrennung von Uran, Radium und Arsen mittels reaktiver Materialien durchgeführt.

Dafür wird der in Abbildung 7 dargestellte Versuchsaufbau genutzt.

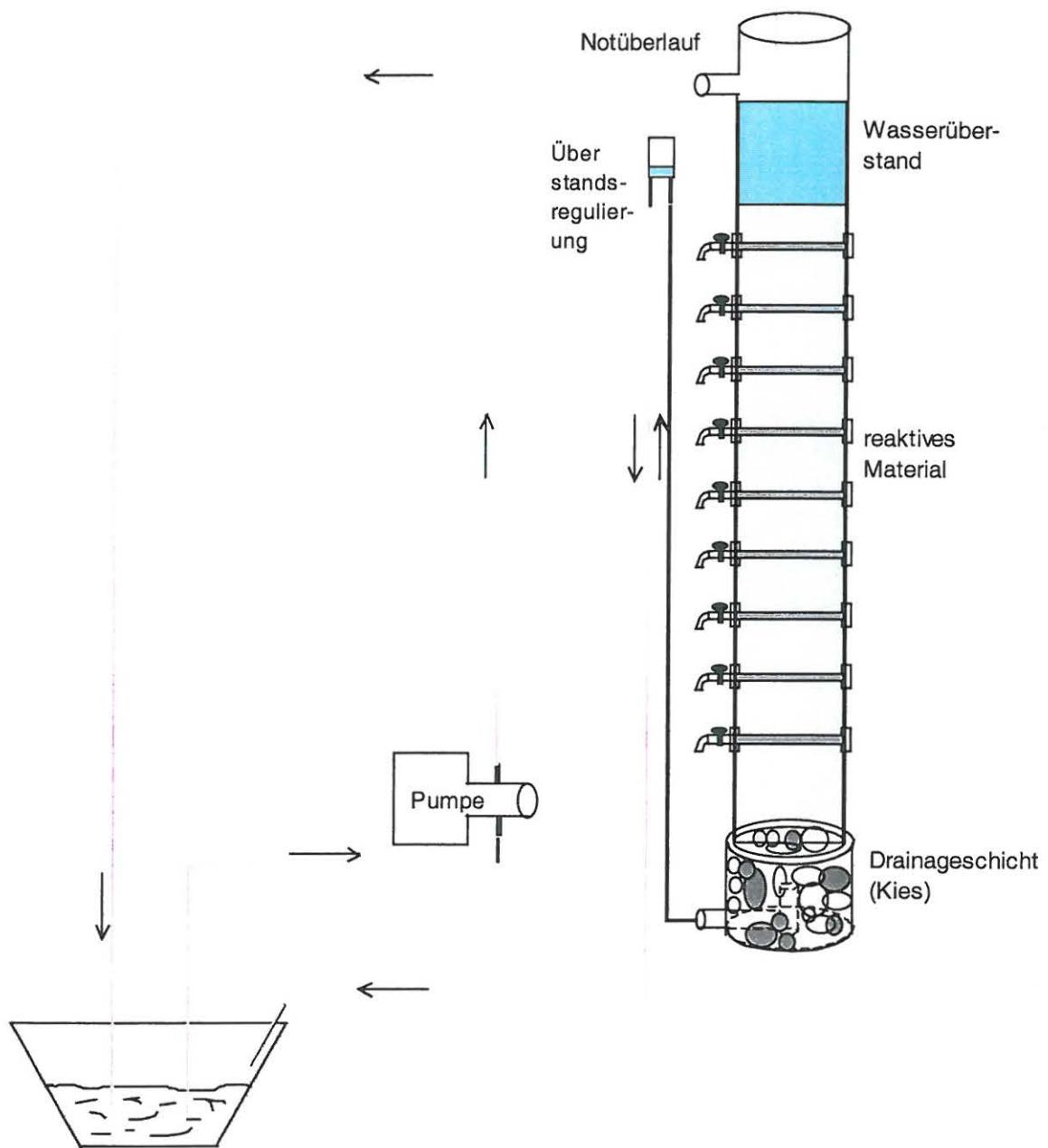


Abbildung 7 Schematischer Aufbau der In-situ-Kolonnenversuche

Abbildung 8 zeigt die Installation der Kolonne in einer Grundwassersammelstelle im Süddammbereich (Culmitzschaue) der industriellen Absetzanlage Culmitzsch.



Abbildung 8 Installation der Kolonnen mit reaktiven Materialien in einer Grundwassersammelstelle in der Culmitzschaue

Die Kolonnen werden wöchentlich beprobt. Durch die Probenahme aus unterschiedlichen Bereichen der Kolonne kann auf den Beladungszustand des reaktiven Materials in der Säule geschlossen werden.

Aus der Höhe des Wasserüberstandes über dem reaktiven Material in der Kolonne kann die Veränderung der hydraulischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Zeit und vom Anreicherungsgrad von Schadstoffen im reaktiven Material bestimmt werden.

Die Versuche sind gegenwärtig noch nicht abgeschlossen.

Als Vorabergebnis sei an dieser Stelle genannt, daß über die zur Radiumabtrennung aus dem Flutungswasser der Grube Pöhla-Tellerhäuser eingesetzte Kolonne bisher mehr als 15.000 Bettvolumen Wasser gegeben wurde. Ein Durchbruch der Kolonne zeichnet sich noch nicht ab. Die spezifische Radiumaktivität des eingesetzten "Hedulat's" hat Werte über 100 Bq/g erreicht.

Im Ergebnis des Projektes werden die Designrichtlinien für den Prototyp einer reaktiven permeablen Wand zur Behandlung von Grundwässern, die durch aus Absetzbecken des Uranerzaufbereitung drainierende Sickerwässer beeinflußt wurden, erarbeitet.

### **3.3 Untersuchungen zur In-situ-Grundwassersanierung mit Hilfe von autochthoner Mikroorganismen**

Die University of New Mexico wurde beauftragt, Untersuchungen zur Anwendbarkeit eines mikrobiologischen In-situ-Verfahrens für die Behandlung von durch Stoffausträgen aus Halden und Flutungswässern kontaminierten Grundwasserleitern durchzuführen. Schwerpunkt bildet die Abtrennung von Uran, Radium und Arsen.

Grundgedanke des Verfahrens ist es, durch die Zugabe von Nährstoffen mikrobiologische Prozesse zu initiieren, die eine Reduzierung des Urans in die schwerlösliche vierwertige Form und einer Ausfällung von Metallsulfiden bewirken.

Das Verfahren wird gegenwärtig im Labormaßstab getestet.

Wesentlicher Bestandteil der Untersuchungen ist der Nachweis, daß veränderte Milieubedingungen keine relevante Remobilisierung der fixierten Schadstoffe zur Folge haben.

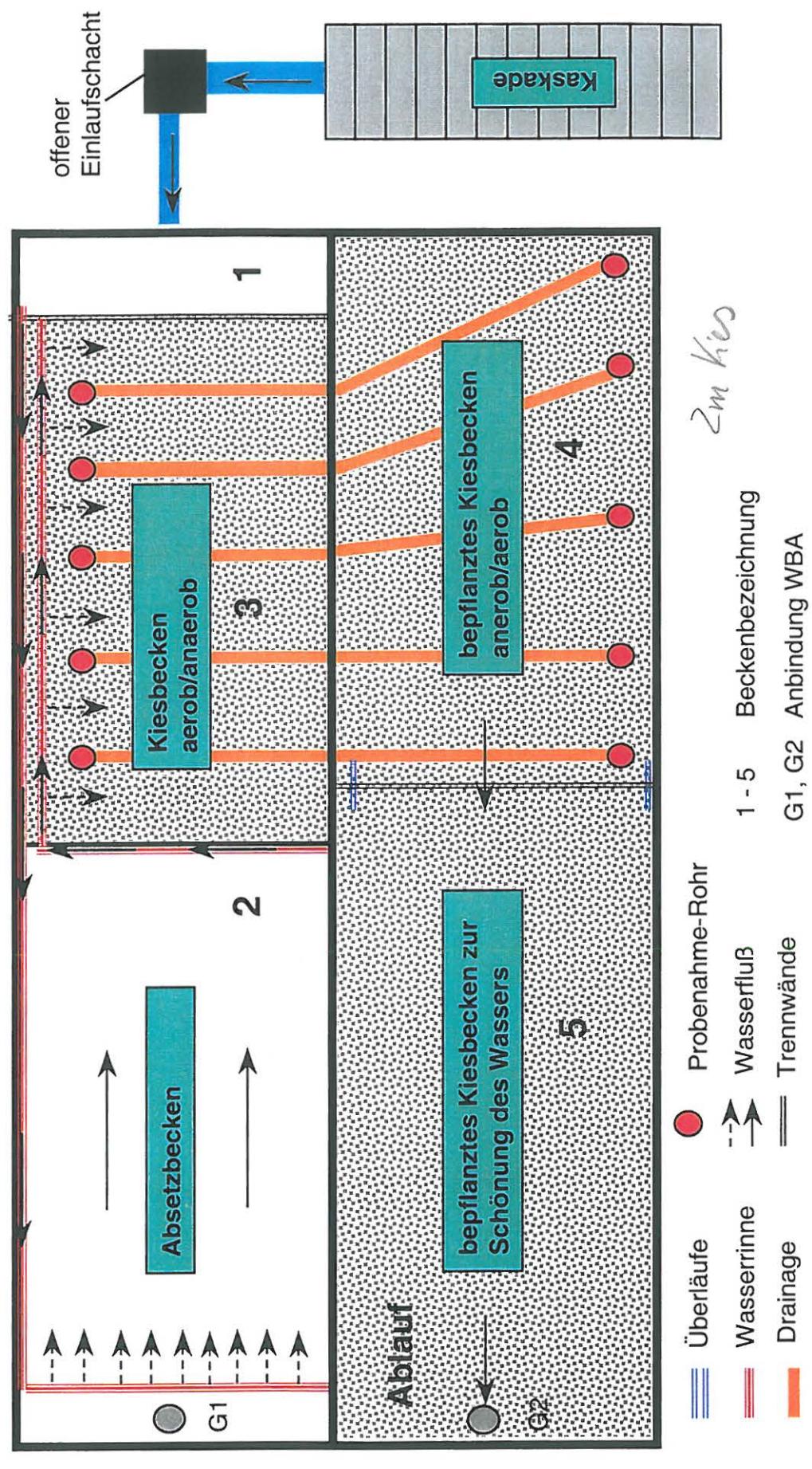
Ausgehend von den Laborergebnissen wird ein Konzept zur Durchführung eines Pilotvorhabens erarbeitet.

#### 4 Anlagen

Abbildung 1 Schematische Darstellung der Pilotanlage zur passiv/biologischen Behandlung des Flutungswassers der Grube Pöhla-Tellerhäuser

Abbildung 2 Schematische Darstellung der geplanten Pilotanlage zur passiv/biologischen Behandlung sulfatreicher Haldensickerwässer

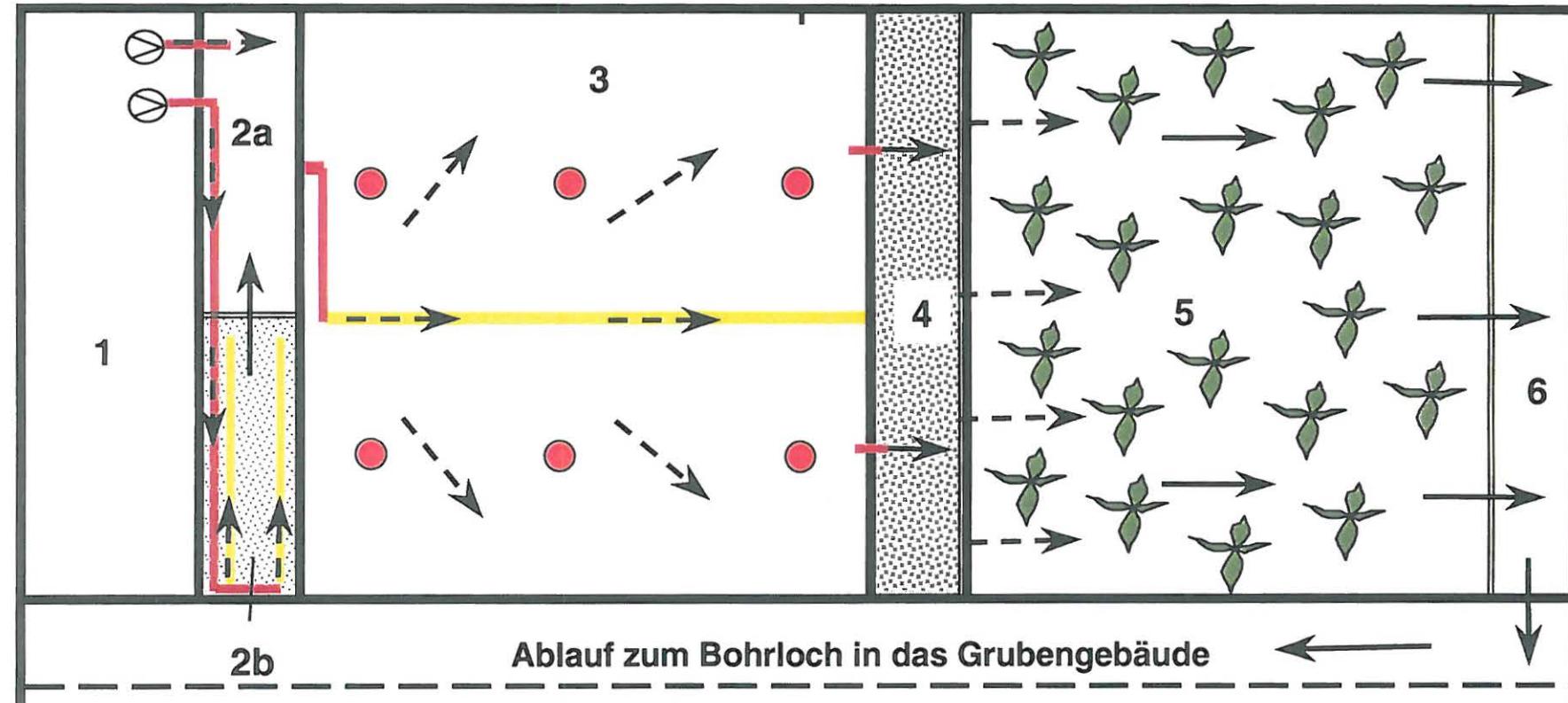
## Aufbau der Pilotanlage Pöhla





**WISMUT**

## Wasserbehandlung an WISMUT Sanierungsstandorten



### Aufbau der Pilotanlage Paitzdorf

- Überläufe
- Drainage
- Rohrleitungen
- Pumpe
- Probenahme-Rohr
- Wasserfluß

- 1 = Pufferbecken
- 2a = Mischkammer
- 2b = Kohlenstoffkammer
- 3 = Reduktionsbecken
- 4 = Kiesfilter
- 5 = Pflanzenbecken
- 6 = Sammelbecken