

Möglichkeiten des Schadstoffrückhalts in unterirdischen Grubengebäuden des Erz- und Spatbergbaus

(Projekt Vita-Min TP 1.2)

Mirko Martin (GEOS)

Eberhard Janneck (GEOS)

Michael Paul (Wismut GmbH)

Jürgen Meyer (Wismut GmbH)

Ulf Jenk (Wismut GmbH)

Delf Baake (Wismut GmbH)

Gliederung

1. Hintergrund und Zielstellung des Teilprojektes
2. Genese und Charakteristik der Bergbauwässer
3. Literaturstudie zum internationalen Stand von Wissenschaft und Technik
4. Verfahrens-Steckbriefe
5. Anwendungsoptionen der In situ-Verfahren in Sachsen
6. Ausblick: Künftiger Bergbau

Hintergrund und Zielstellung

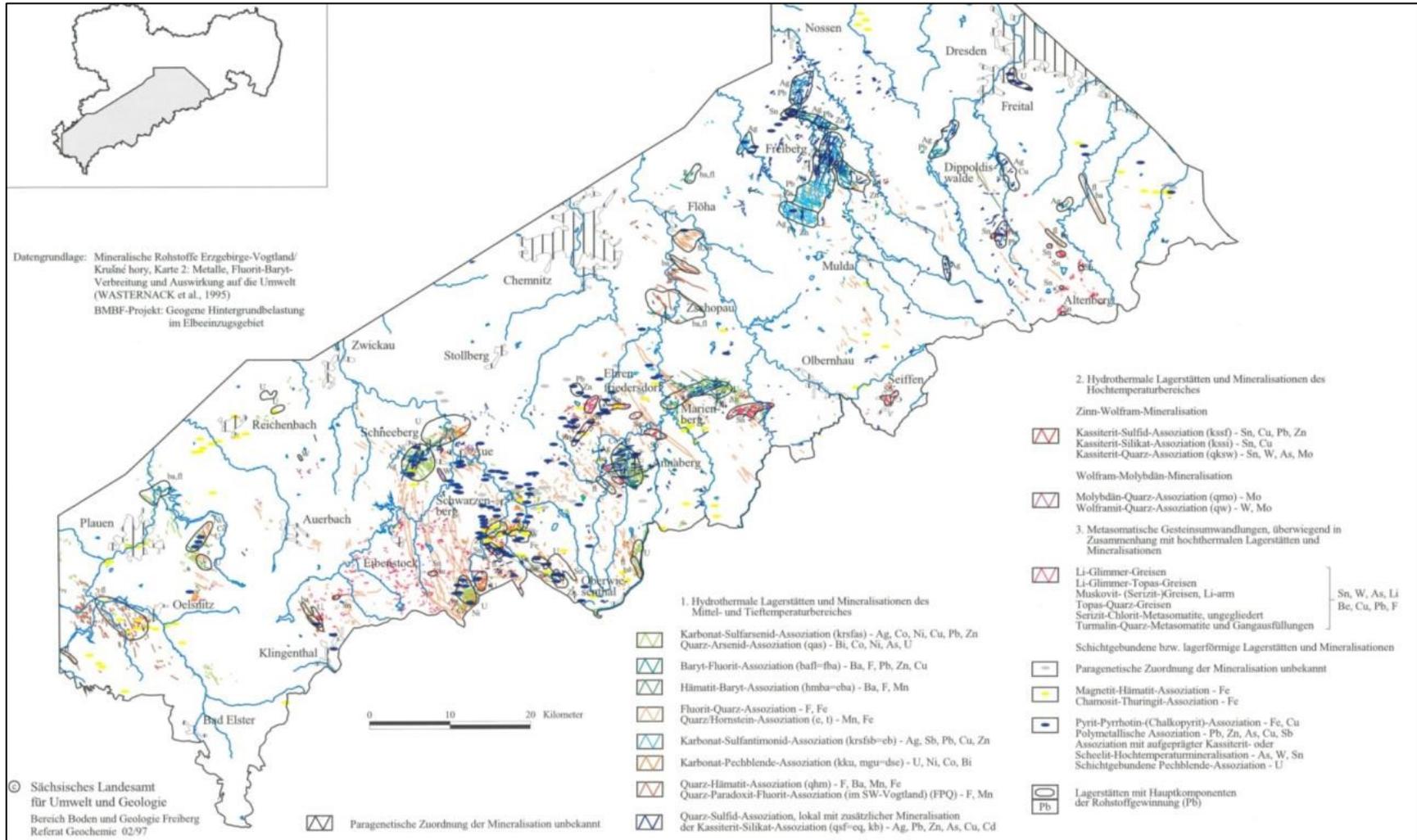
- Der Chemismus von Wasserkörpern kann in von Bergbau betroffenen Regionen stark durch Austräge von Grubenwässern beeinflusst sein
- Im Projekt sollen die Auswirkungen der Wasserlöseestollen auf den Schadstofftransport in der Mulde/Elbe erfasst werden
- Eine Reinigung der Bergbauwässer nach Austritt aus den Bergbaustollen ist meist sehr kostspielig (Platzbedarf, große Wassermengen, niedrige Konzentrationen)
- Aus diesem Grund sollen verfahrenstechnische Möglichkeiten untersucht werden, die in der Lage sind, Schadstoffe bereits im Grubengebäude zurückzuhalten

Schwerpunkte:

- Potentialabschätzung des Schadstoffaustrags für Sachsen
- Erstellung einer möglichst umfassenden Übersicht über den Stand der Technik und Wissenschaft bezüglich Maßnahmen des unterirdischen Schadstoffrückhalts
- steckbriefliche Erfassung der Maßnahmen
- Gegenüberstellung der Maßnahmen unter Herausarbeitung der Vor- und Nachteile der Verfahren
- Diskussion der aufgetretenen Probleme und Erfolge hinsichtlich der Gegebenheiten in sächsischen Untertage-Revieren an Beispielen der Anwendung solcher Verfahren und Maßnahmen
- Diskussion der Anwendungsmöglichkeiten der recherchierten Verfahren auf ausgewählte Standorte in Sachsen mit konkreten Belastungssituationen

Übersicht Erzlagerstätten in Sachsen

Mineralisationen und Bergbauegebiete im sächsischen Erzgebirge (LfUG 1997)

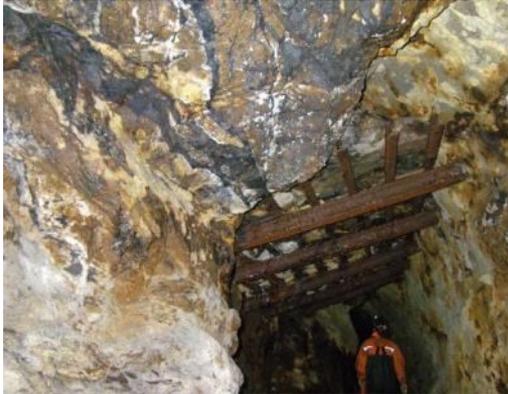


Genese der Bergbauwässer

- Metallerze waren Ziel des Bergbaus und wurden untertage abgebaut, zur Oberfläche gefördert, dort aufbereitet (Gewinnung von Konzentraten) und nachfolgend verhüttet.
- Alle diese Prozesse verliefen nicht mit 100 % iger Ausbeute:
- Bei der bergmännischen Gewinnung wurden nur Erze mit einem Mindest-Metallinhalt abgebaut (z.B. in Freiberg Mindestmächtigkeit 30 cm, Minimalgehalte von 2,3 % Pb und 2,7 % Zn).
- Alle anderen Erze verblieben in der Lagerstätte.
- Erzaufbereitungen arbeiteten mit Ausbringen von ca. 40 – 90 %. Der Rest gelangte als Aufbereitungsabgänge auf die Halden.
- große Mengen Resterze verblieben im Berg oder auf Halden, die bei Kontakt mit Sauerstoff und Wasser oxidiert werden und so Schwermetalle freisetzen können.
- Haldensickerwässer können in die Grubenbaue versickern.

Genese der Bergbauwässer

nicht abgebaut



Spülhalde (Tailings)



Versatz



Hüttenindustrie,
Altstandorte



Grobbergehalde



Hüttenindustrie:
Schlacken- und
Rückstandshalden



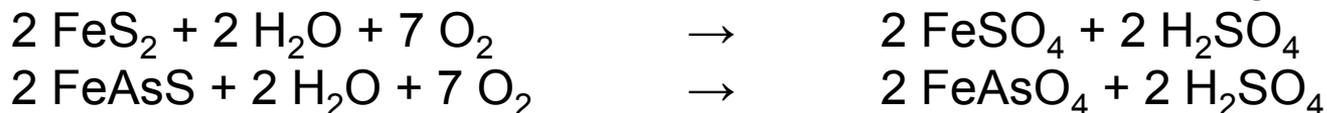
Genese der Bergbauwässer - Chemischer Exkurs

Verwitterung **ohne Säurebildung**:

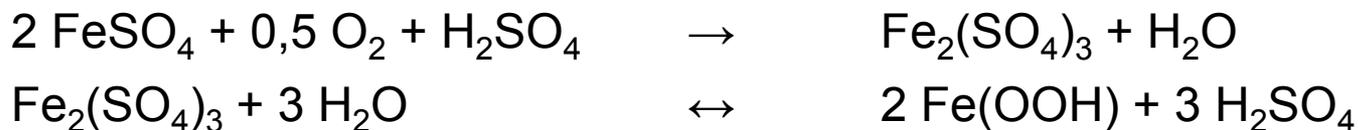


Führt zur Freisetzung der Schwermetalle aus den Sulfiden

Saure Grubenwässer leiten sich aus der **Oxidation von Pyrit und Arsenopyrit** her:



Im Weiteren bewirkt die Oxidation und anschließende Hydrolyse der Fe(III)-Verbindungen zusätzliche Säurefreisetzung unter Abscheidung schwer löslicher Eisenverbindungen:



Schwefelsäure vermag andere Minerale aufzulösen, dadurch Mobilisierung von Al, Mg, Ca...

Relevanz der Elemente in den Stollwässern Sachsens

Auswertung der hydrochemischen Daten von 39 Stollwässern

→ Vergleich mit verschiedenen UQN der WRRL, LAWA-Werte, TVO

	SO4	Al	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cu	Fe	Li	Mo	Ni	Pb	Se	Tl	U	Zn
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Anzahl Stolln	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Min (µg/l)	9.700	10	0,4	7,1	3,4	0,11	0,057	0,12	2,25	34	2,6	0,23	0,69	0,27	1,1	0,13	0,14	3
Max (µg/l)	350.000	3.800	290	97	410	7,8	150	57	270	1.600	120	87	210	28	30	0,4	87	16.000
UQN der WRRL (µg/l)							0,08						4	7,2	3	0,2		
% Überschreitung der UQN							95						64	12,5	10	20		
andere Beurteilungswerte (µg/l)	250.000	200	10	100	60	0,1		0,9	4	700	500	7					2	14
% Stollen mit Überschreitung Beurteilungswert	8	23	36	0	26	74	95	44	59	3	0	8	64	13	10	20	41	92
max. Faktor Überschreitung	1,4	19	29	1,0	7	78	1.875	63	68	2	0,2	12	53	4	10	2	44	1.143

Überschreitungsraten

Reihung Überschreitungsraten innerhalb der 39 Stollwässer

B	Li	Fe	Pb	Mo	SO4	Se	Tl	Al	Ba	As	U	Cd	Cu	Ni	Be	Zn	Cd	%
0	0	2,6	5,1	7,7	7,7	10,3	17,9	23,1	25,6	36	41	43,6	59	64,1	74,4	92,3	94,9	%

maximale Überschreitung

Reihung der maximalen Überschreitung (Faktor)

Li	B	SO4	Tl	Fe	Pb	Ba	Se	Mo	Al	As	U	Ni	Co	Cu	Be	Zn	Cd	-fach
0,24	0,97	1,4	2	2,3	3,9	6,8	10	12,4	19	29	43,5	52,5	63,3	67,5	78	1143	1875	-fach

Relevante Elemente in den Bergbauwässern Sachsens

Zu betrachtendes Elementspektrum in Abhängigkeit von der Bergbausparte

Buntmetall- bergbau Silber, Blei, Zink	Buntmetall- bergbau Zinn, Wolfram	Uranbergbau	Spatbergbau Fluorit, Baryt
pH	Arsen	pH	Fluorid
Arsen	Cadmium	Arsen	Cadmium
Blei	Nickel	Cadmium	Zink
Cadmium	Kupfer	Nickel	Nickel
Zink	Zink	Kupfer	Arsen
Eisen	Eisen	Zink	Kupfer
Aluminium	Beryllium	Eisen	Barium
Quecksilber	Bor	Selen	Uran
Kupfer	Molybdän	Uran	
Nickel	Uran	Silber	
Silber	Fluorid		
Thallium			
Uran			
Fluorid			
Silber			

Potentialabschätzung (Frachtanteile der Stolln)

α	α	SO4α	Alα	Asα	Bα	Baα	Beα	Cdα	Coα	Cuα	Feα	Liα	Mnα	Niα	Pbα	Seα	Tlα	Uα	Znα
OBF12780α	Rothschönberger-Stollnα	55,0α	6,8α	1,2α	59,2α	18,4α	20,0α	50,5α	38,5α	12,1α	0,02α	59,3α	20,1α	41,0α	20,4α	<BGα	59,0α	5,1α	63,3α
OBF33010α	Kgl.-Vertr.-Ges.-Stollnα	6,6α	76,7α	0,3α	6,1α	2,9α	12,2α	35,6α	26,4α	54,0α	0,01α	4,9α	1,2α	7,6α	53,2α	42,6α	2,6α	0,8α	25,8α
Wismut-2017α	Marcus-Semmler-Stollnα	5,1α	n.b.α	49,5α	0,000α	8,5α	n.b.α	0,3α	n.b.α	11,4α	20,2α	n.b.α	n.b.α	11,3α	20,8α	14,0α	n.b.α	36,5α	0,5α
OBF38101α	Königlich-Weiβtaubner-Tiefer-Erbstollnα	4,5α	2,2α	4,6α	10,2α	22,8α	5,8α	4,8α	1,5α	4,6α	<BGα	7,6α	5,8α	7,9α	<BGα	24,4α	22,5α	8,0α	3,0α
Wismut-2017α	Tiefer-Elbstollnα	15,5α	n.b.α	0,2α	n.b.α	3,9α	n.b.α	<BGα	n.b.α	<BGα	79,6α	n.b.α	n.b.α	0,5α	<BGα	n.b.α	n.b.α	26,4α	0,024α
OBF35802α	Tiefer-St.-Christoph-Stolln,(Tiefer)- Junger-Andreas-Stollnα	2,5α	0,5α	11,9α	4,1α	5,9α	3,0α	0,3α	1,2α	1,0α	<BGα	2,6α	6,7α	9,7α	<BGα	6,1α	9,3α	7,7α	0,4α
OBF08350α	Neuer-Bielastollnα	0,3α	1,5α	0,009α	0,1α	1,8α	6,2α	0,1α	0,6α	1,2α	<BGα	1,8α	36,7α	0,046α	<BGα	<BGα	0,5α	1,0α	0,1α
OBF33020α	Hauptstolln-Umbruchα	2,9α	0,8α	0,3α	3,5α	1,0α	0,8α	5,0α	6,9α	1,5α	0,01α	2,3α	<BGα	3,4α	2,6α	10,3α	<BGα	0,1α	4,5α
OBF40710α	Glück-Auf-Stollnα	0,8α	0,4α	12,7α	6,9α	2,2α	3,7α	0,1α	1,0α	<BGα	0,2α	6,2α	4,9α	1,2α	<BGα	<BGα	<BGα	4,9α	0,2α
OBF36794α	Tiefer-Sauberger-Stollnα	1,2α	1,8α	14,6α	1,8α	2,7α	6,4α	0,1α	0,5α	<BGα	<BGα	1,6α	11,3α	0,7α	<BGα	<BGα	<BGα	0,4α	0,1α
OBF47001α	Wasserlösungsstolln-zum-Maischacht- (Haupttagesrampe)α	0,8α	0,5α	<BGα	<BGα	13,1α	4,8α	0,038α	5,9α	2,0α	<BGα	4,3α	<BGα	4,8α	<BGα	<BGα	<BGα	0,3α	0,1α
OBF40901α	Treue-Freundschaft-Stollnα	1,1α	0,8α	0,3α	1,6α	1,7α	3,7α	2,1α	11,5α	4,8α	<BGα	2,3α	0,7α	4,5α	<BGα	<BGα	<BGα	0,1α	0,9α
OBF38190α	Walfischstolln-Pobershauα	0,7α	2,4α	1,0α	1,6α	6,1α	8,9α	0,3α	0,1α	2,8α	<BGα	1,4α	<BGα	1,0α	0,8α	<BGα	3,5α	0,2α	0,2α
OBF40712α	Stolln-146α	0,2α	0,6α	0,006α	0,2α	0,1α	3,6α	0,1α	4,6α	0,6α	<BGα	0,6α	<BGα	3,0α	0,7α	0,2α	0,2α	2,8α	0,4α
OBF08391α	Tiefer-Hilfe-Gottes-Stollnα	0,039α	0,5α	0,031α	0,2α	2,1α	6,8α	0,1α	0,017α	0,6α	<BGα	0,2α	4,1α	0,020α	0,2α	<BGα	0,6α	0,6α	0,038α
OBF34599α	Tropper-Stollnα	0,6α	0,3α	0,7α	0,4α	1,5α	1,7α	0,2α	0,4α	0,2α	<BGα	1,2α	2,7α	1,6α	0,4α	0,6α	<BGα	1,1α	0,2α
OBF38701α	Stolln-Jägersgrünα	0,1α	1,7α	0,1α	0,1α	0,2α	5,2α	0,037α	0,1α	2,1α	<BGα	0,2α	0,1α	0,1α	<BGα	<BGα	<BGα	0,3α	0,031α
OBF36803α	(Tiefer)-König-Dänemark-Stollnα	0,4α	<BGα	0,5α	1,0α	0,7α	0,2α	0,1α	0,1α	0,1α	<BGα	0,4α	0,7α	0,8α	<BGα	0,3α	1,3α	2,0α	0,1α
OBF49999α	Brüder-Einigkeits-Stollnα	0,7α	<BGα	0,01α	0,5α	0,5α	0,5α	<BGα	0,1α	<BGα	<BGα	1,7α	3,2α	0,028α	<BGα	0,5α	<BGα	0,1α	<BGα
OBF31714α	Tiefer-Wolf-Stollnα	0,5α	<BGα	1,7α	1,6α	0,4α	<BGα	0,005α	0,024α	<BGα	<BGα	0,4α	0,4α	0,1α	<BGα	0,4α	<BGα	0,5α	0,005α
OBF47003α	Mühleither-Stolln-(Dynamostolln)α	0,1α	0,7α	0,1α	<BGα	0,4α	2,4α	0,024α	<BGα	0,5α	<BGα	0,1α	<BGα	0,047α	0,2α	<BGα	<BGα	0,3α	0,016α
OBF40642α	Tiefer-Riesenberger-Stollnα	0,030α	1,2α	0,012α	0,1α	0,5α	1,0α	0,006α	0,044α	<BGα	0,003α	0,2α	<BGα	0,018α	0,3α	0,3α	<BGα	0,1α	0,002α
OBF36770α	Großvierunger-Stollnα	0,1α	0,4α	0,3α	0,2α	0,3α	1,0α	0,014α	0,017α	0,045α	<BGα	0,1α	0,8α	0,1α	<BGα	<BGα	<BGα	0,1α	0,012α
OBF08380α	Tiefer-Bünaustollnα	0,018α	0,1α	0,008α	0,1α	1,1α	0,5α	0,018α	0,004α	0,1α	<BGα	0,033α	0,5α	0,008α	0,2α	0,3α	0,2α	0,1α	0,006α
OBF40801α	Roter-und-Weiβer-Löweα	0,047α	0,1α	0,012α	0,2α	0,7α	0,9α	0,003α	0,024α	0,050α	0,000α	0,2α	<BGα	0,030α	0,1α	<BGα	0,4α	0,045α	0,002α
OBF40711α	Friedrich-August-Stollnα	0,1α	0,048α	0,002α	0,045α	0,019α	0,5α	0,034α	0,6α	0,1α	<BGα	0,3α	0,1α	0,5α	<BGα	<BGα	<BGα	0,4α	0,1α
OBF37404α	Tiefer-Heilige-Dreifaltigkeit-Stollnα	0,032α	0,0α	0,1α	0,1α	0,5α	0,1α	0,001α	<BGα	<BGα	<BGα	0,1α	0,031α	0,0α	<BGα	<BGα	<BGα	0,029α	0,000α
OBF40641α	Eibenstocker-Communstollnα	0,004α	0,1α	0,004α	0,037α	0,029α	0,1α	0,002α	<BGα	0,1α	<BGα	0,023α	<BGα	0,022α	<BGα	<BGα	<BGα	0,001α	0,002α
OBF33080α	(Tiefer)-Friedrich-Christoph-Erbstollnα	0,045α	0,0α	0,003α	0,042α	0,1α	0,039α	0,018α	0,027α	<BGα	0,000α	0,042α	0,024α	0,030α	<BGα	<BGα	<BGα	0,005α	0,014α
OBF40672α	Unterer-Troster-Stollnα	0,010α	<BGα	0,039α	0,021α	0,045α	<BGα	0,002α	0,016α	<BGα	<BGα	0,023α	0,024α	0,011α	<BGα	<BGα	<BGα	<BGα	0,002α
OBF33603α	Neuer-Segen-Gottes-oder-Sieben- Planeten-Stollnα	0,015α	<BGα	0,002α	0,009α	0,033α	<BGα	0,000α	0,018α	0,007α	0,000α	0,010α	0,009α	0,011α	0,008α	<BGα	<BGα	0,002α	0,001α
α	Summeα	100α	100α	100α	100α	100α													

Potentialabschätzung (Frachtanteile der Wasserlöseestolln)

Wichtigste Stollnwässer in Sachsen

- Rothschönberger Stolln und Verträgliche Gesellschaft Stolln (Freiberg):
Cd, Co, Ni, Pb, Tl, Zn
- Marcus Semmler Stolln (Schneeberg)
As, U
- Glück Auf Stolln (Johanngeorgenstadt), Tiefer Sauberger Stolln (Ehrenfriedersdorf), Weißtaubner Tiefer Erbstolln (Marienberg), Tiefer St. Christoph Stolln (Annaberg-Buchholz)
As, Ba, Se, Ni, Tl
- Tiefer Elbstolln (Freital)
Fe, U
Neuer Bielastolln (Altenberg)
Mo

- 
- Anteil der eingetragenen Frachten erreichen häufig 100 % der Fracht im unmittelbar betroffenen Fließgewässer
 - Maßnahmen an den Grubenwässern haben grundsätzlich Potential zur Verbesserung der Wasserqualität in den Gewässern

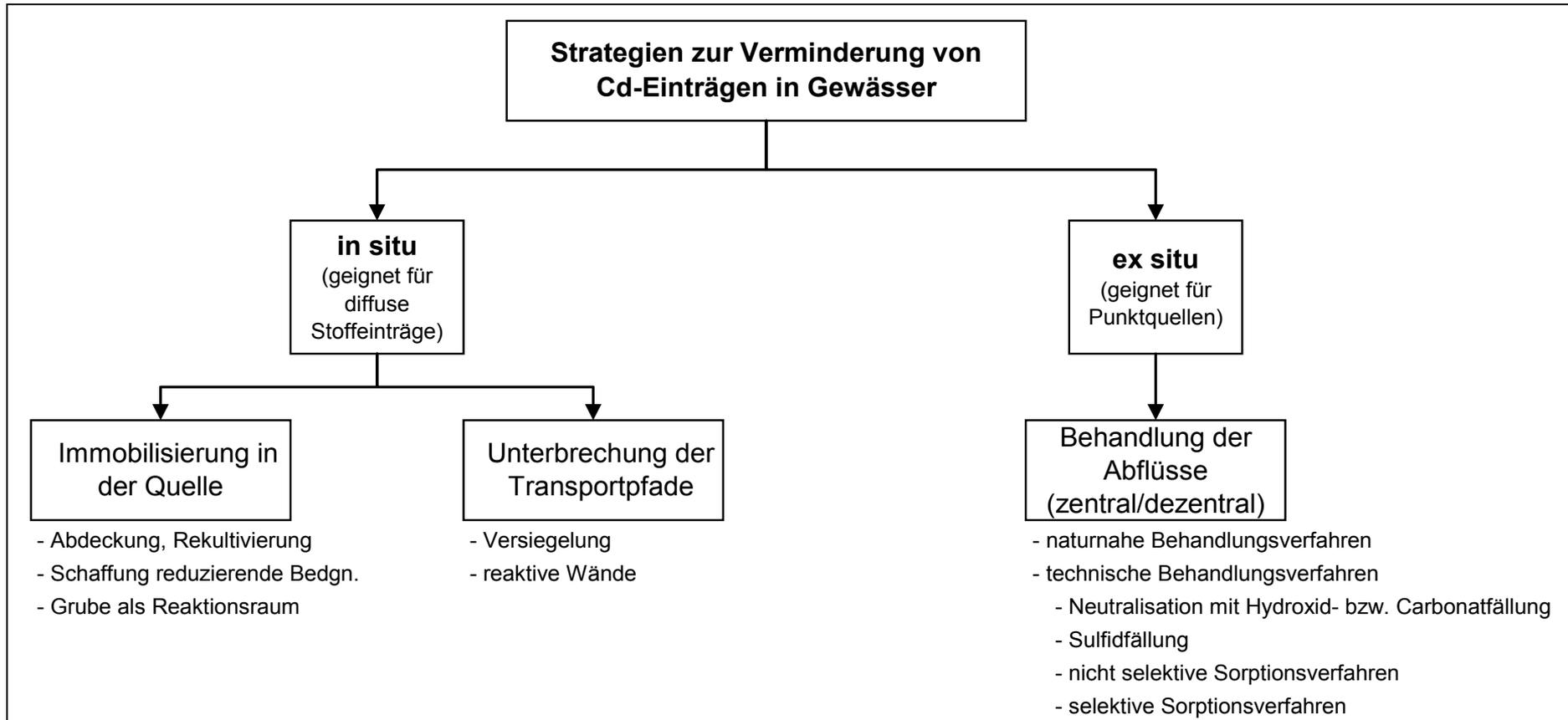
Bedingungen für den In situ-Rückhalt

Auf wesentliche Elemente bezogene Bedingungen für den In situ-Rückhalt

Element	Bedingungen für Rückhalt
Aluminium	<ul style="list-style-type: none"> – Fällung eigenständiger Verbindungen im <u>pH-Bereich 5 - 7</u>
Arsen	<ul style="list-style-type: none"> – Rückhalt nur durch Fremdzusätze (als Arsenite bzw. Arsenate bei pH >2) – Beispiel: Fällung als Skorodit $\text{FeAsO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ – Rückhalt durch <u>Sorption</u> von Arsenat an oxidisch-hydroxidische Eisenverbindungen unter oxidierenden Bedingungen (Bildung von Arsenat) – Rückhalt als Sulfid möglich (pH>1)
Cadmium	<ul style="list-style-type: none"> – Rückhalt durch Fällung bei pH>10 – Rückhalt als Sulfid möglich (pH>2)
Kupfer	<ul style="list-style-type: none"> – <u>redox-sensitiv</u> – Rückhalt durch <u>Fällung ab pH 7</u> bzw. in reduzierendem Milieu – <u>Rückhalt als Sulfid</u> möglich (reduzierend und oxidierend)

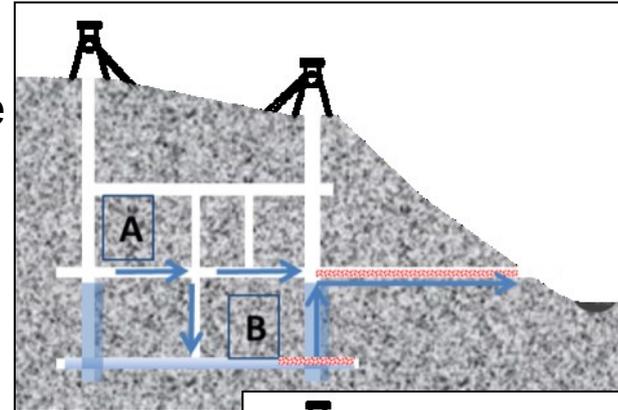
Element	Bedingungen für Rückhalt
Eisen	<ul style="list-style-type: none"> – Rückhalt durch <u>Fällung vor allem unter oxidierenden Bedingungen</u> in schwach saurem bis basischem Milieu – Rückhalt als Sulfid in reduzierendem Milieu möglich (pH>6)
Nickel	<ul style="list-style-type: none"> – Rückhalt durch <u>Fällung bei pH > 10</u> – Rückhalt als Sulfid möglich (pH>6)
Blei	<ul style="list-style-type: none"> – Rückhalt durch <u>Fällung ab pH 7</u> – Rückhalt in sulfatischem Milieu – Rückhalt als Sulfid möglich (pH>1)
Uran	<ul style="list-style-type: none"> – <u>Fällung eigenständiger Verbindungen ab pH 5</u> – Rückhalt unter reduzierenden Bedingungen – Bildung von Carbonatkomplexen begünstigt sehr stark die Mobilisierung
Zink	<ul style="list-style-type: none"> – Rückhalt durch <u>Fällung ab pH 8,5</u> – Rückhalt als Sulfid möglich (pH >3)

Prinzipien von In Situ-Maßnahmen



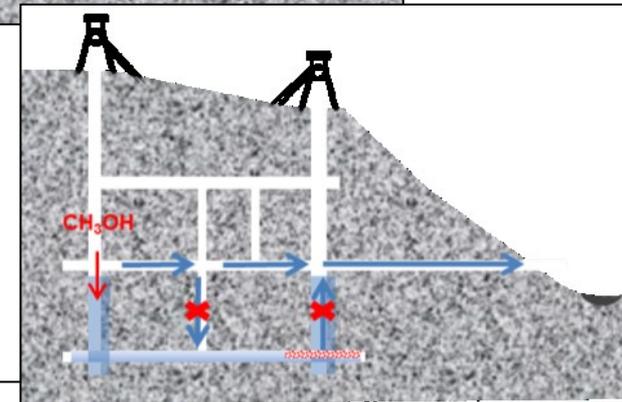
In-situ-Oxidation - Stoffausfällung

mit Bezug auf Fallbeispiele Uran- und Zinngrube Pöhla und Zinngrube Ehrenfriedersdorf



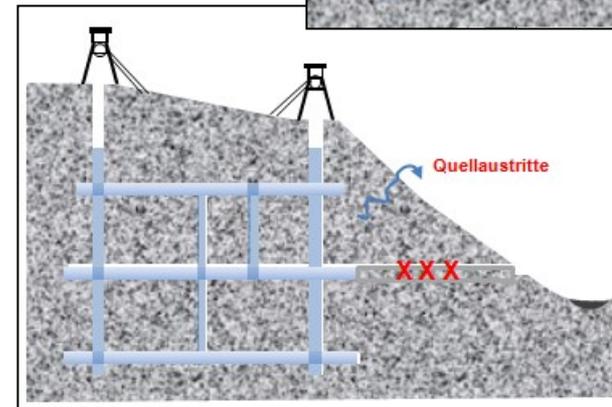
In-situ-Reduktion

mit Bezug auf Fallbeispiele Uran- und Zinngrube Pöhla und Urangrube Schlema-Alberoda



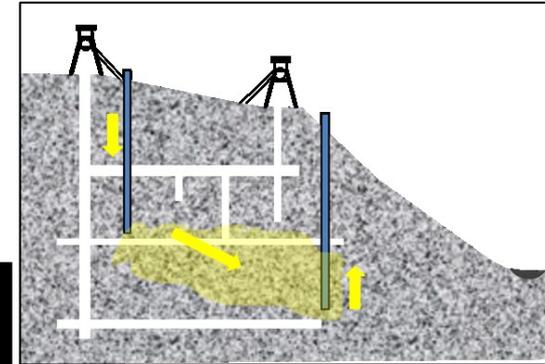
In-situ-Quellimmobilisierung durch hohen Flutungswassereinstau

mit Bezug auf Fallbeispiel Urangrube Ronneburg



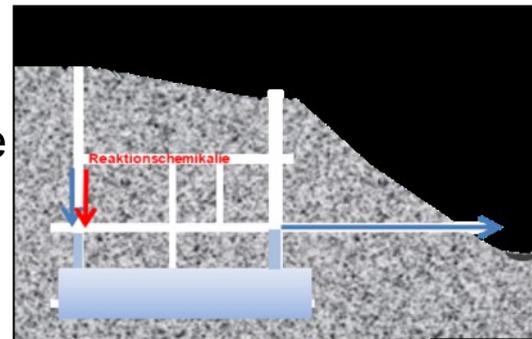
In-situ-Neutralisation/Pufferung

mit Bezug auf Fallbeispiele Urangruben
Königstein bzw. Ronneburg



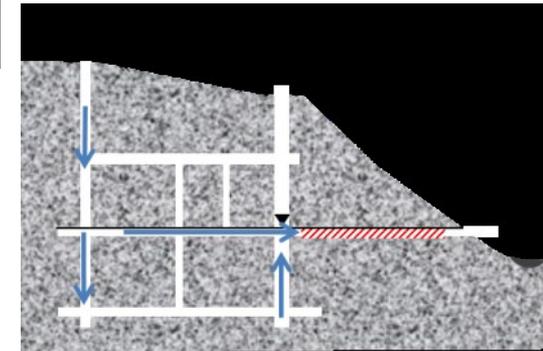
In-situ-Fällung

mit Bezug auf Fallbeispiel Urangrube
Königstein



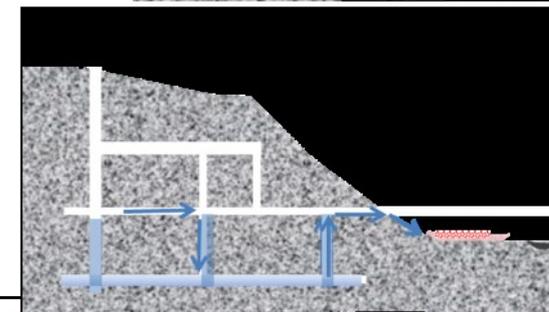
Reaktionsstrecke / Barriere

mit Bezug auf Fallbeispiel Urangrube
Königstein



Grubenexterne In-situ-Fällung/Adsorption (Wetland)

mit Bezug auf Uran- und Zinnerzgrube Pöhla



Klassifizierung der Verfahrensansätze - chemischer Prozess

Relevante chemisch/physikalische Prozesse

Neutralisation/Fällung

z.B. Fällung von Schwermetallen mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Oxidation

z.B. $\text{As}(\text{III}) \rightarrow \text{As}(\text{V})$, $\text{Fe}(\text{II}) \rightarrow \text{Fe}(\text{III})$

Sedimentation

z.B. Nutzung von Flutungsräumen

Reduktion: chemische Reduktionsmittel

z.B. Fe^0

Reduktion: biologische Reduktionsprozesse

z.B. mikrobiologische Sulfatreduktion, Kombination mit Sulfidfällung

Adsorption

z.B. As and Fe(III)-Verbindungen, Schwermetalle an CaCO_3

Klassifizierung der Verfahrensansätze – Ort des Eingriffs

1. Eingriff in den Flutungsraum

- Modifizierung Grubenwassermanagement
- Modifizierung Flutungsmanagement
- Reduktive Schadstofffixierung im zentralen Flutungsraum
- Schadstofffixierung durch Fällung/Neutralisierung im zentralen Flutungsraum
- Einstau

2. Eingriff in Transferbereich

- am Abfluss der Grubenwässer (z.B. Wasserlösungsstollen) besteht wegen der verhältnismäßig besseren Zugänglichkeit die prinzipielle Chance der Beschaffenheitsbeeinflussung und Schadstoffrückhaltung unter Tage
- Alternativ ist Sauerstoffzufuhr über zufließende Grundwässer möglich
- Möglichkeit der In-situ-Fällung und Schlamm sedimentation im abströmenden Flutungswasser ohne weitere verfahrenstechnische Aufwendungen
- Beispiele: Pöhla (in peripherem Teilflutungsraum Hämmerlein), Ehrenfriedersdorf (peripherer Flutungsraum zzgl. Abflussstollen)

3. Grubenexterner Eingriff

- Vorwegnahme von Selbstreinigungsprozessen im unmittelbaren Grubenumfeld, die ansonsten in der Vorflut unter deren Kontamination ablaufen würden.

Bezeichnung	Erläuterung
In-situ- Quellimmobilisierung durch hohen Flutungswassereinstau	Hoher Flutungswassereinstau zur Minimierung der oxidativ getragenen Stoffnachlieferung und zur Minimierung der Grubenwassermenge
Oxidation/Sedimentation (Transferbereich)	In-situ-Abtrennung von Schadstoffen durch Oxidation von Flutungswasser (Schwerpunkt peripherer Flutungsraum)
Grubenwasser- Management	Verminderung des Grubenwasserdurchflusses durch besonders schadstoffreiche Zonen
Neutralisation/Fällung	In-situ-Behandlung eines kontaminierten, ggf. sauren, eisenhaltigen Wasserteilstromes durch Fällung bzw. ggf. Neutralisation
Reduktion	In-situ-Abtrennung von Schadstoffen durch Reduktion von Schadstoffen im Flutungswasser

Eignung von Rückhalteverfahren für Schwermetalle

	Hydrolyse-Fällung				Sulfid-Fällung		Sorption	Reduktion	Fällung mit Fremdzusätzen	Aufstau
	sauer	schwach sauer	neutral	basisch	sauer	neutral bis basisch				
Al		X								
As					X		X		X	X
Cd				X	X					X
Cu			X		X		X	X	X	X
Fe		X								X
Ni				X						X
Pb		X			X		X			X
Sn	X				X					
U			X					X		X
Zn				X						X

Verfahrenvergleich - Primärkriterien

Vergleich der Verfahren nach Primärkriterien:

Punkteskala 0 ... 2

Verfahren	Machbarkeit	Aufwand	Genehmig.-fähigkeit	Zeitl. Umsetzung	Ziel-Erreichung/ Effizienz	Verhältnismäßigkeit	Bewertung
Modifizierung Grubenwassermanagement	1	1	1	1	1	1	6
Modifizierung Flutungsmanagement	1	1	1	1	1	1	6
Reduktive Schadstoffixierung im zentralen Flutungsraum	1 - 2	1 - 2	0 - 1	1	1	1	5 - 7
Schadstoffixierung durch Fällung/Neutralisierung im zentralen Flutungsraum	1	1	0 - 1	1	1	1	5 - 7
Eingriff in Transferbereich	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	2	7 - 12
Grubenexterner Eingriff	2	1 - 2	1 - 2	2	1 - 2	1 - 2	8 - 12

Verfahrensvergleich - Sekundärkriterien

Verfahren	Ebene	Remobili- sierungs- gefahr	Rest- stoffe	Nachhal- tigkeit	Beeinträch- tigung Landschaftsbil- d	Beeinträch- tigung Lebensraum- qualität	Bewer- tung	Gesamt- Bewertung
Modifizierung Grubenwassermanagement	untertägig	2	1 - 2	2	2	2	9 - 10	15 - 16
Modifizierung Flutungsmanagement	untertägig	2	2	2	2	0 - 1	8 - 9	14 - 15
Reduktive Schadstoffixierung im zentralen Flutungsraum	untertägig	1	1 - 2	1 - 2	2	2	7 - 9	12 - 16
Schadstoffixierung durch Fällung/Neutralisierung im zentralen Flutungsraum	untertägig	1	1 - 2	1 - 2	1 - 2	2	6 - 9	11 - 16
Eingriff in Transferbereich	transfer	1 - 2	1	1	2	2	7 - 8	14 - 20
Grubenexterner Eingriff	übertägig	2	1 - 2	1	1	1 - 2	6 - 8	14 - 20



Vorteil für Verfahren im Abstrombereich der Bergwerke

Fallbeispiel: Freiburger Revier

Der Grubenwasseraustrag aus dem Freiburger Bergrevier erfolgt über Wasserlöseestolln in der Hauptsache auf den beiden Niveaus:

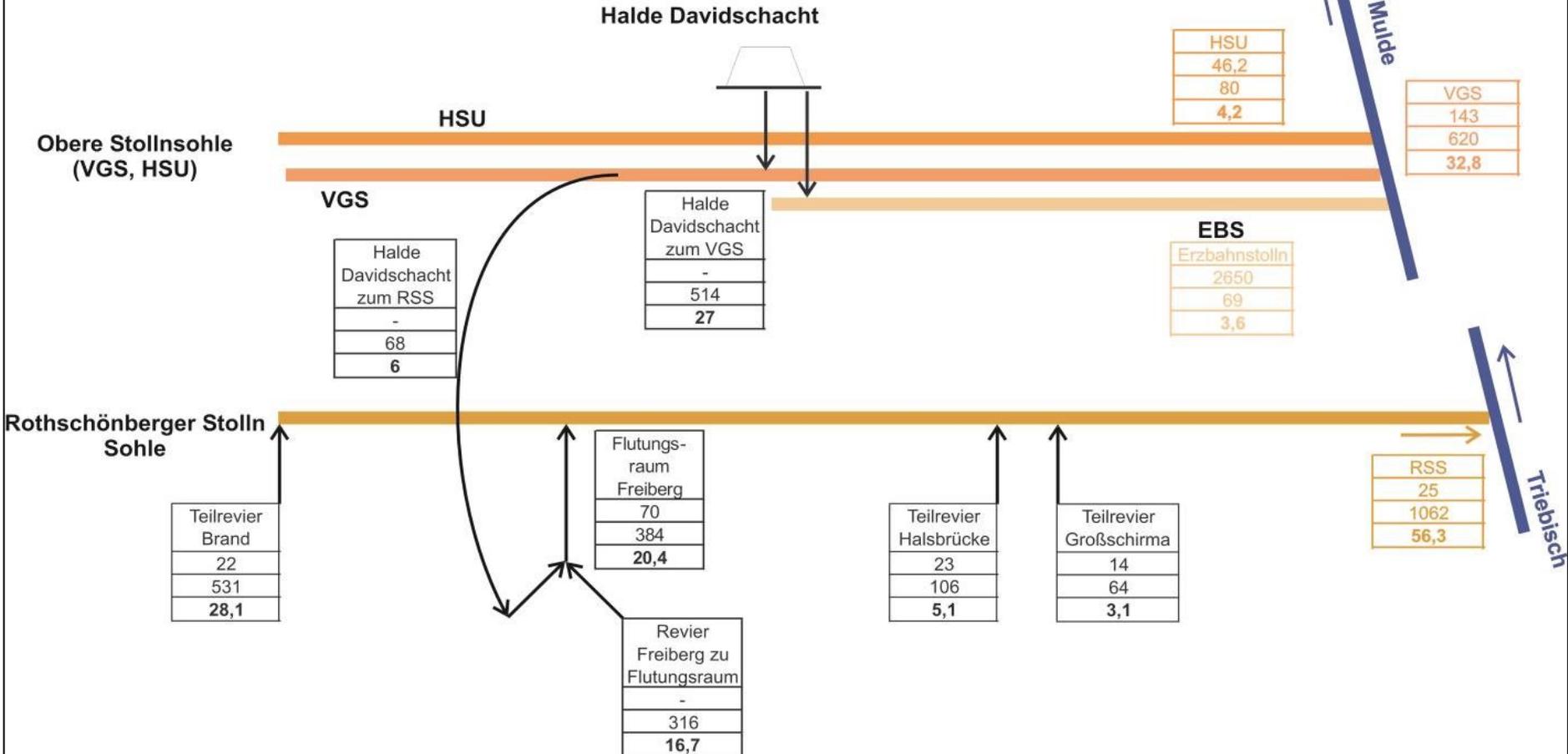
- oberes Niveau (326 m NN) durch den Verträgliche Gesellschaft Stolln und den Hauptstollnumbruch
- tiefes Niveau durch den Rothschnnberger Stolln (ca. 200 m NN, gemeinsam mit tiefen Niveaus der Reviere Brand-Erbisdorf und Halsbrücke)
- Wässer sind hoch mineralisiert.



Erläuterung:

Bilanzpunkt
Cd-Gehalt (µg/l)
Cd-Fracht (g/d)
Frachtantei (%)

Modell des Cd-Transports

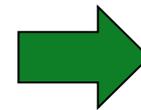


Hydrochemische Modellierung des Schadstoffrückhalts: Fällung, Sedimentation

Parameter	Wert
Maximales Volumen [m ³]	10000
Initialer Füllstand [m ³]	10000
Zuflussrate des Bergbauwassers [l/s]	50
Injektionsrate des Fällungsmittels [l/s]	5

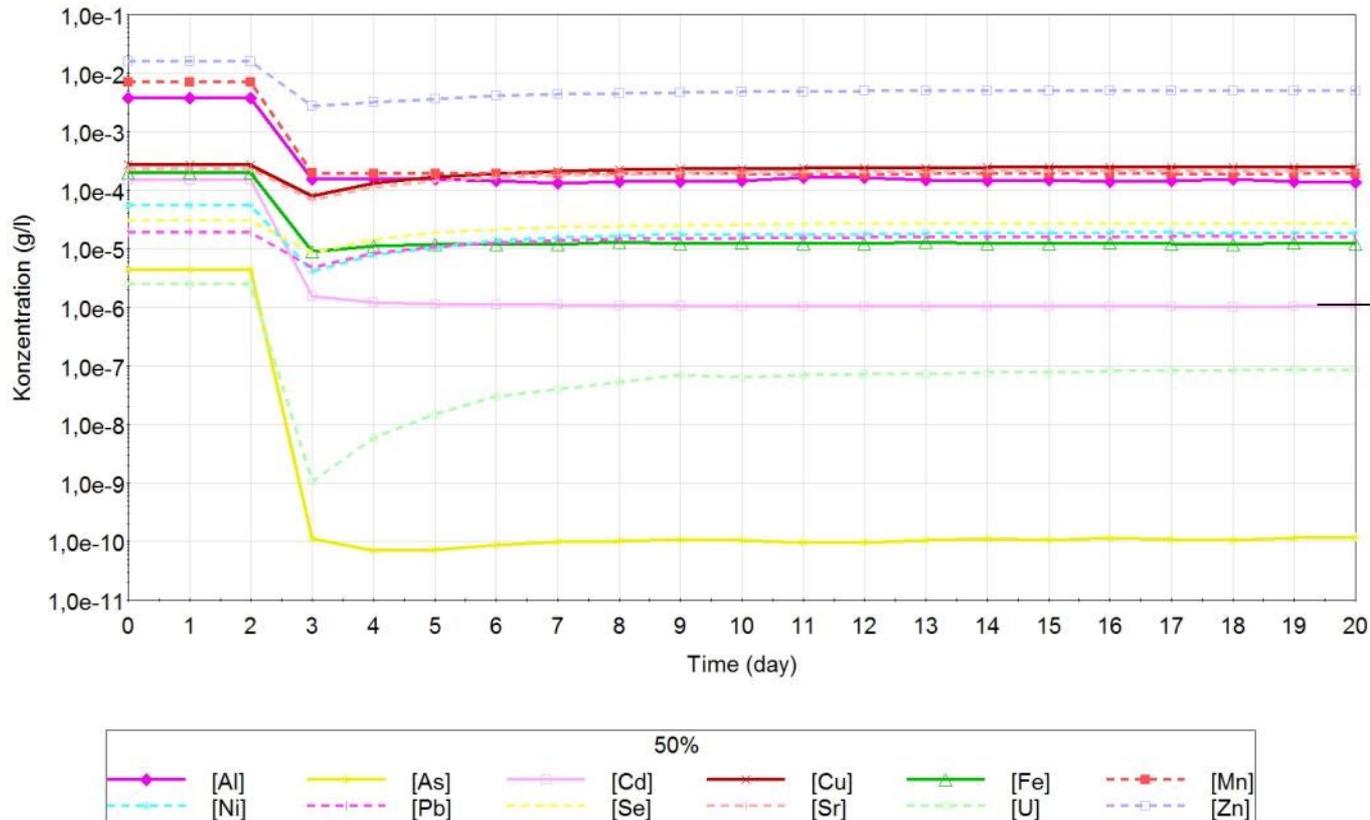


- Design eines hydrochemischen Modells
- bestehender oder künstlich geschaffener Reaktionsraum mit Bergbauwasser
- nachfließendes Bergbauwasser
- Zuführung eines Reaktionsmittels
- Abbildung des Schadstoffrückhalts
- Implementierung mit GoldSim™ / PhreeqC



- Ausfällung von (Halb-) Metallen
- Einbeziehung der Sorption an Eisenhydroxiden
- Anwendung auf die Standorte Verträgliche Gesellschaft Stolln, Hauptstolln Umbruch und Tiefer Sauberger Stolln

Fallbeispiel Freiburger Revier



Cadmium:
ca. 1 µg/l als
Restkonzentration

- stark sinkende Konzentrationen während erstmaligem Volumenaustausch (Adsorption an ausfallende Fe-Hydroxide)
- nachfolgend leichter anstieg, da Masse des nachkommenden Eisens geringer als zu Beginn

Fallbeispiel Ehrenfriedersdorf

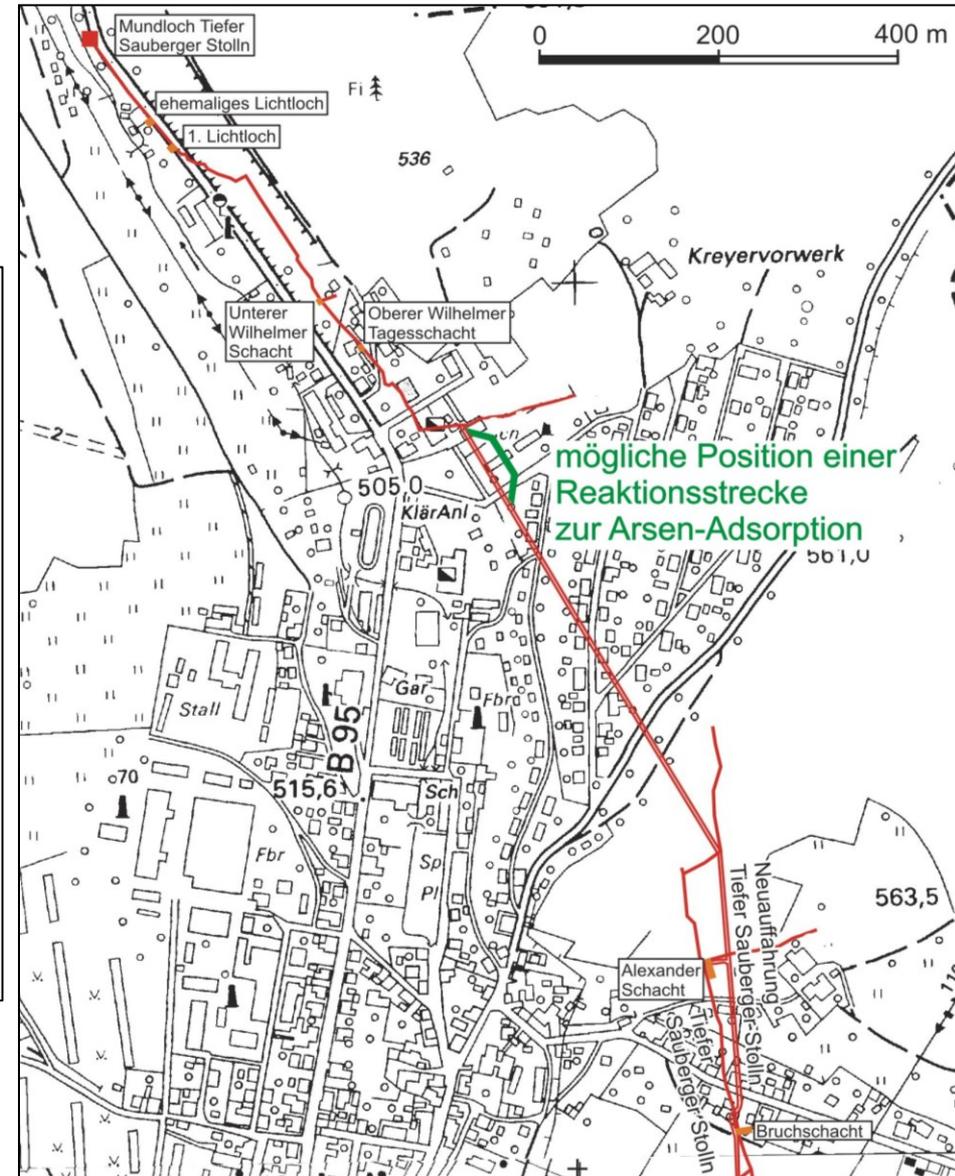
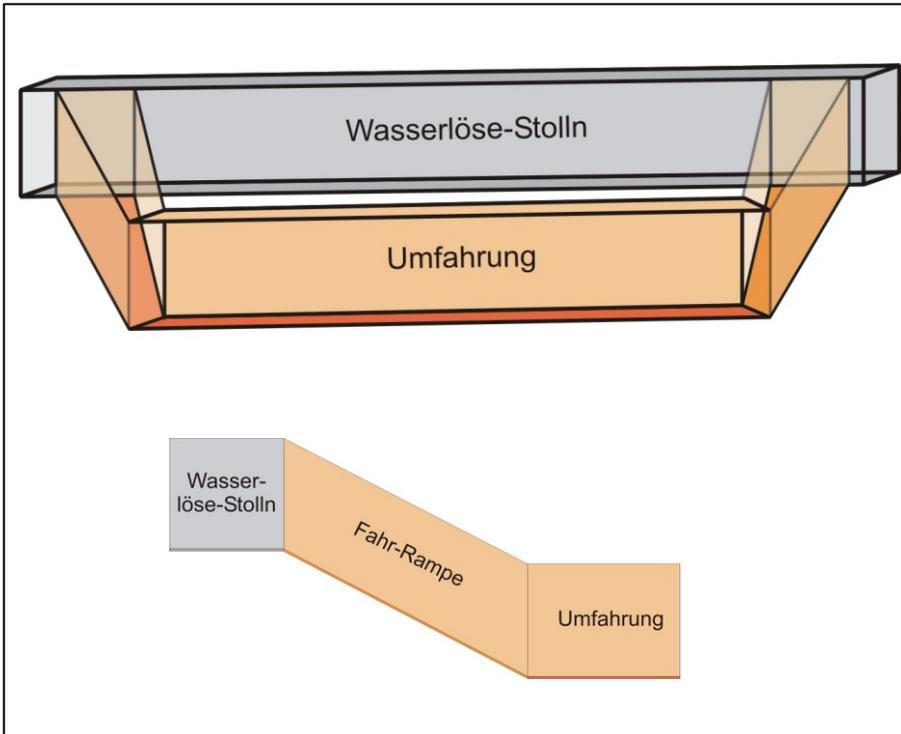
Relevante Elemente im Grubenwasser Ehrenfriedersdorf

Element der Oxidationsstufe +2	Element der Oxidationsstufe +3	Komplexbildende Elemente	Anionenbildende Elemente
Be	Al	U z.B. UO_2^{2-} , $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$	Se z.B. SeO_3^{2-} , SeO_4^{2-}
Cd			As z.B. AsO_3^{3-} , AsO_4^{3-}
Co			Mo z.B. MoO_4^{2-}
Cu			
Ni			
Zn			



Arsen als wesentlicher Parameter

Reaktionsstrecke zur Adsorption des As an granuliertem Fe(III)-Hydroxid



Fallbeispiel Ehrenfriedersdorf - Kostenbetrachtung

Arbeitsschritt	Bedarf / Anzal	Aufwand (€)
Einrichtung und Räumung der Baustelle	50.000 €	50.000
Vorhalten der Bergbautechnik 1.000 €/Woche	3 Monate	6.000
Streckenauffahrung 4 x 3 m 3.500 €/m	50 m	175.000
Umbinden der Wasserströme	10.000 €	10.000
Adsorptionsmittel (Eisenhydroxidgranulat) 20 m ³ /Jahr, 10 Jahre, 1.500 €/m ³	200 m ³	300.000
Räumen der Strecke nach 10 Jahren	30.000 €	30.000
Entsorgung 100 €/m ³	200 m ³	20.000
Gesamtkosten		591.000
Kosten pro Jahr		59.100 €/a

Zum Vergleich: Kosten für eine konventionelle Wasserbehandlungsanlage bei 0,56 €/m³: **1,47 Mio. €/a**

Maßnahmenvorschläge neuer Bergbau

„neuer Bergbau“ ist in Sachsen in folgenden Lagerstättentypen zu erwarten:

Li, Sn	→	Greisenkörper (z.B. Zinnwald)
Sn, W, Fe, Zn, In	→	Skarnlager (z.B. Tellerhäuser)
Fluorit/Baryt	→	Ganglagerstätten (z.B. Schönbrunn)

Maßnahmen zur prospektiven Reduzierung von Schadstoffausträgen:

- Optimierung des Grubenwassermanagements (Abschirmung)
- Optimierung der Grubengeometrie (Segmentierung)
- Reduzierung der Gebirgsauflockerung
- Maximierung untertägige Lockermasseneinlagerung (Eigenversatz)
- Hermetisierung der Versatzbereiche
- In-situ-Behandlung belasteter Grubenwässer (Vorklärung)



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Děkuji vám za pozornost!



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Moj soutěž: Halls 'Achtbar'
Interreg VA / 2014 - 2020



G.E.O.S.

INGENIEUR-
GESELLSCHAFT MBH