

ANLAGE 1

Übersicht über geochemische und biologische Verfahrensansätze

Tabelle 1. 1: Geochemische Verfahrensansätze.

Literaturstelle	Land	Sanierungsmethode	Bemerkung
[DO-06]	Ungarn	Polymer-modifizierte Kieselsäure als durchlässige reaktive Barriere (Markenname: PANSIL)	Behandlung von urankontaminiertem Grundwasser aus einem Bergbaugebiet; selektive Kationenentfernung von UO_2^{2+} im pH-Bereich 4 bis 8; keine Angaben über Entfernung weiterer Spurenelemente, keine Ergebnisse im stark sauren pH-Bereich (pH=2)
[ME-97/2]	Deutschland	Eisenschwamm in zwei unterschiedlichen Fraktionen, Eisenkugeln	In-situ-Behandlung eines LHKW-Schadens im Grundwasser; Abbauprodukte H_2 , Chloride, Fe(II) ; Aquifermächtigkeit ca. 5-7 m, Flurabstand 1,5 -3 m; keine Aussage zu pH-Wert und Spurenelementen im Aquifer
[MÜ-06] [BL-95]	Deutschland	Nano-Eisen, Bimetallische Nano-Eisen Partikel	Behandlung von Cd^{2+} , Co^{2+} , Sn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} , UO_2^{2+} ca. 1 g/l bis 30 g/l Nanoeisen; Die Nano-Eisen Sanierungs-technologie steht am Anfang ihrer Entwicklung. Über die Transportmechanismen der Nano-Eisenteilchen im Untergrund liegen bislang kaum wissenschaftliche Arbeiten vor. keine Ergebnisse im stark sauren pH-Bereich (pH=2)
[KU-01]		Zusatz von löslichen Sulfiden wie z.B. FeS , BaS , $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, Na_2S	Fällung von Quecksilber, Metallen und Metalloiden als schwerlösliche Sulfide
[SC-01]	Deutschland	Fe^0 , Fe/Mn-haltiger Wasserwerksschlamm (aus der Flockungsstufe), Torf	Eisenspäne haben höchste Effektivität für Uran-Spezies; ein Jahr Feldversuche in zwei sächsischen Bergwerken (untertägige Versuchsstandorte Schacht 216 Niederschlag und Glückauf Schacht Johanngeorgenstadt)- neutrale pH-Werte
[HE-03]	Schweden	Nullwertiges Eisen	Synthetisch hergestelltes Modellwasser, Versuche im Labormaßstab
[FE-00]	Südafrika	Oxidation mit H_2O_2 , dann Fällung der Schwermetalle mit Fe_3O_4 und Kalk (Ca(OH)_2) und Sulfid (Na_2S) mit anschließendem Ionenaustausch zur Senkung des Salzkonzentration	Versuche mit verschiedenen variierten Verfahrensschritten
[RE-03]	USA	Einsatz von alkalischen Reagenzien: Kalkmilch, Soda, Natronlauge aber auch reaktive Wände aus leicht abbaubarer organischer Substanz und Fe^0 als Trägermaterial	Feldanwendung in der Nähe von Sudbury (Ontario , USA) in 9 Monaten SO_4 -Konz. von 2400 bis 4800 mg/l auf 60 bis 3600 mg/l und Fe^{2+} -Konz. von 260 bis 1000 mg/l auf 1 bis 40 mg/l; pH-Wert von 5,8 auf 7 angestiegen, keine Ergebnisse im stark sauren pH-Bereich (pH=2)



Literaturstelle	Land	Sanierungsmethode	Bemerkung
[JA-01/1] [JA-01/2] [JA-01/3]	USA	Kalziumpolysulfide (CaS_4 ; Markenname: Cascade®), Schwefelkalk	tief orange-rote Lösung; pH= 5 bis 9; technisch erprobtes Injektionsverfahren; keine Ergebnisse im stark sauren pH-Bereich (pH=2)
[MO-06]	USA	Braunkohle als Adsorbent	Entfernung von Schwermetallen Fe(II), Fe(III), Mn(II) Versuche in 0,1 N HNO_3 -Lösung; Versuche nur im Labormaßstab, keine Ergebnisse in H_2SO_4-haltiger Lösung
[BA-03]	USA	Pilzkompost, Pferdegülle, verschiedene Strohzusammen- setzungen aber auch Eisenoxidschlämme	Labortests
[JI-09]	Spanien	KOH-Zusatz (Anheben des pH-Wertes auf 3,5) sowie Biogas mit 30% H_2S , welches aus anaerob arbeitenden Reaktor entnommen wurde	Entfernung von Schwermetallen Fe, Cu, Zn, Al Versuche in Abhängigkeit des pH-Wertes Versuche nur im Labormaßstab
[AK-06]	Türkei	Kalkstein, hydratisierter Kalk, Na_2CO_3 , Natron- lauge, Ammoniak, Kalziumperoxide, Verbrennungsstaub und Flugasche	Überblicksartikel Entfernung von Eisen, Schwermetallen
[AH-03]	Korea	Fabrikabfall aus der Stahlproduktion und hohe Konzentrationen an $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Ähnlich wie Nanoeisen wird durch die Stahlabfälle der pH-Wert auf 12 erhöht Entfernung von Fe, Pb, Zn, As(V), As(III) Versuche nur im Labormaßstab
[ME-97/1] [RO-96]	Deutschland	Infiltration von sauerstoffangereichertem Wasser	In-Situ Ausfällung von Eisen, Mangan, Arsen
[LO-07]		Injektion von gasförmigen Schwefelwasserstoff	

Tabelle 1. 2: Biologische Verfahrensansätze.

Literaturstelle	Land	Sanierungsmethode	Bemerkung
[KL-07]	Deutschland	Molashine (chemische Form-Glucose=Zucker) als Elektronendonator	Anaerobe Bedingungen, Schaffung sulfatreduzierender Verhältnisse, Bildung von H ₂ S zur Ausfällung von schwerlöslichen Schwermetallsulfiden; als Spezialfall wurde Chromat untersucht, das zwar keine schwerlöslichen Sulfide bildet, aber nach Reduktion zu Chrom(III) als Hydroxid ebenfalls immobil wird Problem: Mobilisierung von Arsen
[GE-LO]	Deutschland	Lactat und Melasse - sehr kostengünstige handelsübliche Elektronendonatoren	ist jeweils die Entwicklung eines geeigneten Liefersystems und die fortwährende Beschickung des Aquifers erforderlich. Die Injektion von Melasse zählt bei geo-log inzwischen zu einem gut erprobten Standardverfahren bei der In-Situ- Bioremediation.
[GE-LO] [LI-05]	Deutschland	mikroemulgiertes Speiseöl	in Pilotprojekten sehr gute Erfolge erzielt; Mikroemulsionen von Speiseöl vereinigen die Eigenschaft der schnellen Verteilbarkeit im Aquifer mit der gleichzeitigen Bereitstellung einer langanhaltenden Wasserstoffquelle bei gleichzeitig niedrigen Kosten für das Substrat miteinander.
[CZ-02]	Deutschland	Zusatz von Wasserstoffperoxid, Nitrat und mineralische Nährstoffe ins Infiltrationswasser	Kreislaufführung
[FR-05]	Deutschland	Neben rein chemischen Marktprodukten (Glucose, Acetat, Lactat, Pyruvat, Ethanol) wurden auch Abfallprodukte aus der Landwirtschaft (Heu) und der Zuckerrübenindustrie (Melasse, Pfezi-Granulat und Carbokalk) auf ihre Eignung untersucht, da hier die größten wirtschaftlichen Einsparpotentiale vorhanden sind.	Stroh als Zusatz durch seine Funktion als Aufwuchsträger für die Bakterien, aber auch durch seinen mikrobiell verfügbaren Anteil an organischem Kohlenstoff hatte positiven Effekt auf Sulfatreduktion in saurem Wasser; Batchversuche mit Weizenstroh und Carbokalk (Fällungsprodukt aus der Zuckerrübenindustrie) erbrachte eine vollständige Neutralisierung der gesamten Wassersäule und eine vollständige Entfernung des Eisens.
[GI-06] [WU-06/1] [WU-06/2] [WU-07]	USA	Ethanol	Langzeitstabilität des biologisch fixierten Urans (IV) muss in Gegenwart von Sauerstoff bzw. Oxidationsmitteln noch nachgewiesen werden, bisher steigt U(VI)-Konz. nach Stop der Ethanolzugabe wieder an Keine Langzeitstabilität



Literaturstelle	Land	Sanierungsmethode	Bemerkung
[NE-03]	Mexiko	Acetat, Glucose, Glukose-Methanol, Lactose, Methanol, Melasse sowie H_3PO_4 (als P-Quelle) und Ammoniumbikarbonat (als N-Quelle)	Versuche im Labormaßstab mit organischen Substraten und Nährstoffkombinationen in 6 gepackten Säulen; Ergebnisse vom Feldversuch liegen nicht vor (Homestake Mining Co's Grants New Mexico Reclamation Project)
[NO-02]	Australien	Eingedickter Abfall-schlamm von der Anglesea Abwasser-behandlungsanlage in Victoria	Salpetersaures zinkhaltiges Modellwasser Versuche nur im Labormaßstab
[GR-98]	Bulgarien	acetathaltiges Abfall-produkt aus der chemischen Industrie sowie Ammonium-phosphat	Grundidee: In-situ-Aktivierung der sulfatreduzierenden Bakterien durch Injektion in Bohrlöcher Versuche nur im Labormaßstab
[CO-06] [CA-98]	USA	Kompostierte Kuhgülle gemischt mit Heu; unkompostierte Holzhackschnitzel; Torf oder sogenannter „Pilzkompost“	Es gab Probleme mit der Konzentration an gelösten organischen Verbindungen bei den Versuchen mit Gülle und Holzhackschnitzel. Versuche im Labormaßstab
[DR-99]	USA	Rindergülle und Sägespäne	Versuche im Labor über 23 Monate
[VE-08] [VE-09/1]	Finnland	Schweinegülle	Angewendet in 2 vollständig gefluteten Bergwerken (pH=3,4 und 3,7); für 880 mg/l SO_4^{2-} und einem Wasservolumen von 260 000 m ³ wurden 460 m ³ flüssige Schweinegülle eingebracht, keine Information über Eintrag von pathogenen Keimen, Tierarzneimittel und Hormonen in das geflutete Bergwerk



ANLAGE 2

Verfahrensansätze und Patente



Tabelle 2. 1: Geochemische Verfahrensansätze.

Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
[BA-13]	Bai, H.; Kang, Y.; Quan, H.; Han, Y.; Sun, J.; Feng, Y.: Treatment of acid mine drainage by sulfate reducing bacteria with iron in bench scale runs. Bior. Tech. 128 (2018), 818-822. China	Mit Schwermetallen (Cu, Mn, Zn, Pb und Fe) kontaminiertes Grubenwasser	• Labormaßstab, ex-situ • Biologische Sulfatreduktion • Mikroorganismen gewonnen aus kommunalem Abwasserschläm • Laktat als C-Quelle • Synthetisches Abfallwasser • Reales Grubenwasser aus einer Kupfergrube • 63 Tage • 25 °C	Der Reaktor wird mit synthetischem Abfallwasser gefüllt und mit 3 Vol% Kultur geimpft. Ein konstantes Sulfatreduktionsverhältnis über 90% wurde ca. 2 Wochen nach der Impfung geschafft. Die AMD-Behandlung verlief in drei Schritten: • Anfangsphase • Ladevorgang • AMD-Behandlungsphasen In der Anfangsphase wird das Abfallwasser in den Reaktor zugeführt, um die bakterielle Aktivität zu steigern. Die ersten 35 Tage wird der Gehalt an Sulfat, Schwermetallen und Säure im Zufluss je 7 Tage erhöht. Während des Ladevorgangs wird der Reaktor dreimal je 7 Tage mit sulfatreduzierenden Bakterien beladen. Danach musste infolge der Überladung die Retentionszeit auf 94h für 2 Wochen erhöht werden. In der letzten Phase wurde das Grubenwasser mit Fe⁰ versetzt und 14 Tage kontinuierlich geströmt. Der pH-Wert stieg von 2,75 bis 6,2 an. Kupfer war bis zu 99% entfernt. Der Sulfatgehalt im Auslauf war 8200 mg/L, der Fe²⁺-Gehalt betrug 75 mg/L und Mn²⁺ wurde zu 53% entfernt.	• Keine genaue geografische Lage angegeben • Langwierig • Sehr hoher Sulfatgehalt im Auslauf
[BA-14]	Batakula, E. N.; Cukrowska, E. M.; Weiersbye, I. M.; Mihaly-Cozmata, L.; Peter, A.; Tutu, H.: Biosorption of trace elements from aqueous systems in gold mining sites by the filamentous green algae	Im Grubenwasser lebende Algen in Witwatersrand-Becken, Südafrika	• Biosorption, ex-situ • Labormaßstab • Wasser: pH=8 • Al 2-4 mg/L • As 0,04 mg/L • Au 0,980 mg/L • Co 1,4-1,8 mg/L	Die Oberfläche der <i>Oedogonium sp.</i> Wurde mittels BET-Analyse bestimmt und folgende Metallgehalte (mg/g) gefunden: Cu 0,430 Co 0,450 Cr 0,251 Fe 7,325	





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
	(<i>Oedogonium sp.</i>). J. Geo. Exp. 144 (2014), 492-503. Südafrika, Rumänien		- Cr 0,1-0,3 mg/L - Cu 0,15 mg/L - Fe 14-29 mg/L - Mg 26-50 mg/L - Mn 191-206 mg/L - Ni 0,6-1,7 mg/L - Pb 0,05-0,09 mg/L - Zn 2-3 mg/L	Ni 0,420 Zn 0,923 Nutzung zur Biosanierung ist erwägenswert.	
[BE-97/2]	Benner, S. G.; Blowes, D. W.; Ptacek, C. J.: A full-scale porous reactive wall for prevention of acid mine drainage. Groundwater Monitoring & Remediation, 17 (1997), 99-107. Kanada	Mit Grubenwasser kontaminierte Grundwässer Nickel Rim, Sudbury, Ontario, Kanada	Bakterielle Sulfatreduktion mit anschließender Sulfidfällung In-situ, Feldmaßstab - Feinkörniger Grundwasserleiter (glazial-fluvialer Quarz-Feldspatsand, 3 bis 8 m dick) - Ausgangssituation: Fe 500-2000 mg/L, SO₄ 1000-7000 mg/L, pH 4-6 - GW-Geschwindigkeit 16 m/a, Fläche 45 m² - Substratzusammensetzung: 40% kommunaler Kompost, 40% Gartenkompost, 20% Hackschnitzel - Kies zur Erhaltung der hydraulischen Leitfähigkeit (Porosität= 0,4) 50:50 Substrat: Kies - Wand: 15 m lang, 3,6 m tief und 13 m breit - RT 90 Tage - Kosten: \$30,000 (Material & Installation)	Eine permeable Reaktivwand wurde in einen Grundwasserleiter installiert. Neun Monate nach der Installation ist die SO₄²⁻-Konzentration von 2400-4800 mg/L auf 200-3600 mg/L und die Fe²⁺-Konzentration von 200-1300 mg/L auf 1-40 mg/L gesenkt. Der pH-Wert ist von 4-6 auf 6,6-7,0 gestiegen. Die Betriebszeit der Wand wurde auf 15 Jahre geschätzt.	
[BI-12]	Bilek, F.; Wagner, S.: Long term performance of an AMD treatment bioreactor using chemolithoautotrophic sulfate reduction and ferrous ion precipitation under <i>in-situ</i> groundwater conditions. Bioresource Technology 104	Durch Grubenwässer beeinflusste Grundwässer	Pilotmaßstab, ex-situ Biologische Sulfatreduzierung 3,5 Jahre 190 L Reaktor (bench reactor) 10-12 °C 1,2-1,3 bar	Grundwasser ist vom porösen Aquifer vorübergehend abgetrennt, in einer Reaktorsequenz behandelt und dann reinfiltiert. Der Aufbau gewährleistet folgende Prinzipien: Trennung der Feststoffausfällung und der biologischen Sulfatreduktion; H₂-Versorgung; Sulfidschlammaustrag gefolgt von Stripping;	Kein geografischer Bezug angegeben





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
	(2012), 221-227. Dresden Groundwater Research Centre, Deutschland		- Sulfatreduzierende Bakterien (ohne Nachschub), immobilisiert am Tonbett - pH 7-8 eingestellt durch $p(\text{CO}_2)$ H_2 als Elektronendonator - Nebenreaktionen wie Methanogenese und Homoacetogenese mit Anpassung der Sulfatkonzentration im Auslauf unterdrückt - Keine Gipsausfällung - Gut steuerbar	Nutzung von Silikatträgern, um die Biomasse zurückzuhalten; Prozesssteuerung durch Anpassung der partiellen Gasdrücke (H_2, CO_2). Fe^{2+}- Entfernung und SO_4^{2-} - Unterdrückung in drei Schritten: - Eisenausfällung durch bei der Sulfatreduktion entstandenem Sulfid (H_2S), und dessen kontinuierliche Entfernung nach der Sedimentation. - Sulfatreduktion durch H_2. - Entfernung des Überschusses am Sulfid durch Stripping mit Wasser in einem geschlossenen CO_2-Kreislauf.	
[BO-16]	Bogush, A. A.; Voronin V. G.; Tikhova, V. D.; Anoshin, G. N.: Application of a Peat-Humic Agent for AMD Remediation and Element Removal. Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016. Russland	Behandlung moderat saurer Grubenwässer aus Belovo Zinkgrube, Goldaufarbeitungswerk in Ursk; Altayer Polymetalwerk GmbH in Gornyk Torf aus Krugloe-Lager, Novosibirsk, Russland und Karabashmedwerk in Karabash	Labormaßstab, ex-situ Adsorption 1-10 L PHA (peat-humic agent; Torfhumusmedium)/ 1000 L AMD - AMD/PHA- Verhältnis abhängig von dem Kontaminationsausmaß - Torf mit 60%-Anteil an Humin- und Fulvinsäuren - pH 4,5-6,8 - Entfernung von Hg, Pb, Cd, Zn, Cu etc.	Dieser Prozess nutzt die Anhäufung der Schwermetalle im huminsäurereichen Medium, da die Huminsäuren eine unregelmäßige und heterogene Struktur mit einer großen Oberfläche aufweisen und sich ähnlich wie Chelatbildner verhalten. Das flüssige PHA wurde durch chemische (alkalische Hydrolyse), mechanische und thermobarische Torfbehandlung gewonnen. Die Bindung der Metalle beruht auf einem Austauschmechanismus, bei dem schwach lösliche Humin-Metall-Komplexe anfallen. Das metall-organische Sediment nach der AMD-Behandlung wurde durch Filtration mittels Aktivkohle oder Lehmaggregat (Haydite sand) entfernt. Der Filterkuchen wird anschließend verkohlt (450-500 °C) und die dabei entstehenden Metalloxide können für weitere Verarbeitung aufgehoben werden. Außerdem kann das PHA zur Lehmmodifizierung durch dessen Adsorption dienen, was die Sorptionseigenschaften vom Lehm prägt. Das PHA wurde auch zur Haldenabdeckung	- Unbekannte technische Umsetzung - Anfallende Herstellungs- und Transportkosten von PHA - Unbekannte Retentionszeit





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
				verwendet (Flüssig-/Festverhältnis= 0,2-2), wobei eine geochemische Barriere aus organisch-mineralischem Komplex auf der Oberfläche entstand.	
[CH-17]	Chen, B.; Wang, J.; Kong, L.; Mai, X.; Zheng, N.; Zhong, Q.; Liang, J.; Chen, D.: Adsorption of uranium from uranium mine contaminated water using phosphate rock apatite (PRA): Isotherm, kinetic and characterization studies. Col.Surf.A; Physiochem. Eng. Aspects 520 (2017), 612-621.	Grubenwasser Aus No. 741 Urangrube in Guadong, China, Apatit aus Hebei Fanshan Phosphatgrube in China	Adsorption am Apatit Labormaßstab, ex-situ 18 Stunden, Säule - U 1,652 mg/L, Mn 24,20 mg/L, Fe (total) 1800 mg/L, SO₄ 2049 mg/mL - pH= 3,88	In diesem Experiment wurde die Adsorption der Schwermetalle am Apatit verfolgt. Die Korngröße, Flussrate und Retentionszeit wurden optimiert. Mit 10 g Apatit der Korngröße 0,3-0,6 mm wurde eine maximale kumulative Adsorptionsmenge von 0,0684 mg/g bei einer Flussrate von 1,0 mL/min erreicht. Der pH-Wert ist auf 7,51 gestiegen.	
[CR-11]	Crane, R. A.; Dickinson, M.; Popescu, I. C.; Scott, T. B.; Magnetite and zero-valent iron nanoparticles for the remediation of uranium contaminated environmental water. Wat. Res. 45 (2011), 2931-2942. UK, Rumänien	Wasser aus Lişava-Tal, Banat, Rumänien	Adsorption an nano-Fe⁰ Labormaßstab, ex-situ - Batch, 84 Tage - pH= 8,5, positives Eh - Uran vorwiegend als Uranyltricarbonat (UO₂(CO₃)₃⁴⁻) und Uranyldihydroxid (UO₂(OH)₂)	Die nano-Fe ⁰ - Partikeln wurden im Labor synthetisiert, suspendiert in Ethanol und in das Wasser zugegeben. pH, Eh und gelöster Sauerstoff (DO) wurden kontinuierlich gemessen. Die Konzentration am gelösten Uran nach 48 h war bei 2% des Ausgangsgehalts (0,484 mg/L). Am Ende des Experiments hat die Lösung 10% des Ausgangsgehalts (0,484 mg/L) am Uran enthalten.	- Limitierende Parameter - Aufwendige Synthese der Nanopartikeln - Desorption/ Remobilisierung vorhanden
[DO-14]	Douglas, G. B.: Contaminant removal from acidic mine pit water via <i>in-situ</i> hydrotalcite formation. Applied Geochemistry 52 (2014), 15-22. CSIRO Land and Water, Australien	Saurer Grubenwasserteich Baal Gammon-Grube, Australien	In-situ, in-lake Fällung 2,5:1 M²⁺:M³⁺- Verhältnis vonnöten, eingestellt mit MgCl₂·6H₂O - pH 10-Einstellung mit NaOH	Hydrotalkite besitzen die allgemeine Formel M _(1-x) ²⁺ M _x ³⁺ (OH) ₂ A ⁿ⁻ yH ₂ O, wobei M ²⁺ , bzw. M ³⁺ zwei, bzw. dreiwertige Metallkationen sind und A ⁿ⁻ z.B. Sulfat-, Hydrogencarbonat-, Chromat- oder Uranyl-anion ist. Ni, Zn, Mn, Ca, Cr usw. können die Hydrotalkitstruktur besetzen und somit diese festbinden, soweit das M ²⁺ :M ³⁺ - Verhältnis zwischen 2:1 bis 3:1 ist. Nach der pH-Einstellung formt sich das feste Hydrotalkit. Der Baal Gammon-Teich ist von unregelmäßiger Form, die Maße betragen ungefähr 120 m x 80 m. Das Wasservolumen	- Sehr spezifische chemische Zusammensetzung des Wassers vonnöten - Geeigneter für Pump-and-Treat - Fe²⁺/ Fe³⁺ ? - Hohe Kosten (Material, Energie, Umkehrosmose)





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
				beträgt 56 ML, die maximale Tiefe ist 9 m. Anfangs wurden 58 Tonnen an $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ in 50 000 L Teichwasser gelöst und im Teich versprüht. Um die Zirkulation im Teich anzukurbeln, wurden am Ufer Pumpen mit Pumpkapazität von 11 ML/ Tag angebracht. Nach der $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$-Zugabe zirkulierte das Wasser im Teich drei Tage lang. Danach wurden 132 Tonnen an 50w%-NaOH auf 1w% verdünnt zugegeben und fünf Tage weiterzirkuliert. Der Hydrotalkitsediment aus Baal Gammon war reich an Mg, Cu, Zn, Mn und Al. Als Anion erwies sich SO_4^{2-}. Das Teichwasser wurde nach der Behandlung mittels Umkehrosmose verarbeitet und freigesetzt.	Evtl. Nutzung des entstandenen Hydrotalkits?
[FA-13]	Fahlqvist, L.; Bäckström, M.; Sartz, L.; Allard, B.: Removal of uranium from a neutral mine water using uncoated and iron oxyhydroxide coated iron tailings. Reliable Mine Water Technology, IMWA 2013. Schweden	Grubenwasser aus Sedimentationsprozessen Lovisagruvan-Grube, Bergslagen, Schweden	Adsorption am mit Eisenoxidhydroxid beschichteten Magnetit-basierten Filter Labormaßstab, ex-situ - Feed-pH= 8, hoher Carbonatgehalt, Eh= 0,60-0,65 V - Säulen: Ø 160 mm, Länge 650 mm - Packung: 75 mm dicke Kiesschicht, Geotextilie, 500 mm dicke Filtermediumschicht, Geotextilie und 75 mm dicke Kiesschicht - Als Filtermedium wurden	Die Beschichtung wurde aus FeSO_4-Schlamm, Wasser und Kalkbrennofenstaub vorbereitet. Beschichtetes Filtermedium wird in die Säule gepackt und das Grubenwasser wird auf die Säule gepumpt. Bei pH>10 wird das Uran fast vollständig entfernt (Bildung von $\text{Ca-UO}_2\text{-CO}_3$-Spezies).	- pH-sensitives System - keine Aussage über andere Schwermetalle - Auswaschen der Filterphase





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
			Magnetitrückstände aus Strässa-Grube verwendet. 10 L/Tag 13 Monate		
[FE-15]	Fedorockova, A.; Sucik, G.; Raschman, P.: Activated zeolite and magnesite as potential reactive materials for passive acidic groundwater treatment technology. Solid State Phenomena, 2015. Technische Universität Košice, Slowakei	Saure Grundwässer Témiscamingue, Quebec, Kanada	Adsorption, ex-situ, Labormaßstab - CCM-Herstellung: 640 °C, 3 Stunden, 2-4 mm Korngröße. - Zeolith: 2,2-2,5 mm. - Wasser-Feststoff-Verhältnis: 10:1. 20 g Feststoff - t= 5 Stunden	PRB (permeable reactive barrier, permeable Reaktivwand) stellt eine reaktive Schicht dar, die senkrecht auf den Grundwasserfluss aufgebracht wird. Das kontaminierte Wasser fließt durch diese passiv dank des natürlichen hydraulischen Gradienten, wobei die Schwermetalle immobilisiert werden. CCM (caustic calcinated magnesia, kaustisches Magnesia) wurde durch Magnesitsinterung bei 640 °C hergestellt. Der verwendete Zeolith ist kommerziell erhältlich (Molsieb). Das kontaminierte Grundwasser wurde auf eine mit reaktivem Material gefüllte Säule aufgebracht und fünf Stunden im Kreis geführt. Der Prozess ist stark pH-abhängig. Es wurde allerdings hervorgehoben, dass der Prozess einfach durch z.B. Kombination zweier oder mehrerer Adsorptionsmittel, geschickt gewählte Oberflächenbehandlung, Anpassung der Korngröße und Flussrate, steuerbar ist.	- Langzeitprozess vs. Oberflächenpassivation - Sulfat unverändert - Zeit - Keine Ortsangabe
[GE-17]	Genty, T.; Bussi�re, B.; Paradie, M.; Neculita, C. M.: Passive biochemical treatment of ferriferous mine drainage: Lorraine mine site, Northern Quebec, Canada. Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016.	Eisenreiches, saures Grubenwasser T�miscamingue, Quebec, Kanada	Bakterielle Sulfatreduktion, Adsorption und Fällung In-situ, Feldmaßstab 5 L/min, RT 11 Tage, Volumen (total) 120 m³ - Einlauf: pH 4-7, Fe 1800 mg/L, S (total) 1350 mg/L	AMD wird in einem Vorbecken gesammelt. Die Behandlung erfolgt in drei Einheiten: zwei sulfatreduzierende passive Filter werden durch eine Holzsch�einheit getrennt. Erster Filter setzt sich aus 18% Hackschnitzel, 10% Mist, 12% Kompost, 10% Sand und 50% Calcit zusammen. Im dritten Filter sind die Anteile anders: 36% Hackschnitzel, 17% Mist, 24% Kompost, 21% Sand, 2% Calcit (alles sind Gewichtsprozente).	- Mn-Entfernung fehlgeschlagen - Bioclogging vorhanden? - Wie würde sich ein größerer Wasserzulauf auf den Prozess auswirken?





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
	Kanada			Der erste Biofilter verringert Eh und den Gehalt an freien Säuren und Metallen. In der Holzschneeinheit wird durch Sorptions- und Fällungsprozesse vor allem der Eisengehalt kleiner. Im folgenden Biofilter werden die restlichen Metalle entfernt. Auslauf: pH 5,8-7, Fe 390 mg/L, S (total) 610 mg/L	
[GO-16]	Gong, B.; Wu P.; Huang, Z.; Li Y.; Yang, S.; Dang, Z.; Ruan, B.; Kang, C.: Efficient inhibition of heavy metal release from mine tailings against acid rain exposure by triethylenetetramine intercalated montmorillonite (TETA-Mt). J.Haz.Mat. 318 (2016), 396-406. China	Verhinderung von AMD in Gebieten mit saurem Regen Guangzhou, China Daobaoshan- Grube	• Adsorption, Labormaßstab, ex-situ • Batchversuch mit 20g Haldematerial • 25-40 °C	Montmorillonit (Mt) ist ein Natrium-Aluminium-Silikat mit einem variablen Anteil an Kristallwasser, der eine große Oberfläche, chemische Stabilität und hohe KAK aufweist. Die Derivate von Mt werden dank einer hohen Adsorptionskapazität oft bei Umweltsanierung verwendet. Triethyltetraamin (TETA) ist eine wasserlösliche Base mit hoher Pufferkapazität, die die Oberfläche der Sulfiderze gegen Oxidation passiviert. Es wird eine Interkalationsverbindung TETA-Mt hergestellt (102 mmol TETA per 100g of montmorillonite mit der KAK= 85 mmol/100g wird in 10% Mt-Suspension zugegeben und zwei Stunden bei 60 °C gerührt, danach gewaschen, bei 60 °C getrocknet und gesiebt. 10 g Kippenmaterial wurden mit 4 ml der TETA-Mt- Suspension (1,5 g Feststoff) versetzt und an der Luft getrocknet. Anschließend wird das beschichtete Gestein in 20 ml künstlichen sauren Regen mit verschiedenen pH-Werten (3-5,6) eingetaucht und die Freisetzung der Schwermetalle wird gegen eine unbeschichtete Probe mittels ICP-OES verfolgt. Es wurde nachgewiesen, dass die Freisetzung von mehr als 85% der ursprünglichen Menge an Cu²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺, Mn²⁺ und 60% der Pb²⁺ inhibiert wurde.	• Fe²⁺/ SO₄²⁻ ? • Teuer, aufwendig





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
[HA-15]	Harrington, J.; Harrington, J.; Lancaster, E.; Gault, A.; Woloshyn, K.: Bioreactor and <i>In-situ</i> Mine Pool Treatment Options for Cold Climate Mine Closure at Keno Hill, YT. IMWA 2015. Alexco Environmental Group, USA/ Canada	Metallhaltige Grubenwässer Galkeno 900 Stollen, Keno Hill Silver District, Yukon, Kanada	Bakterielle Sulfatreduktion <i>In-situ</i>, Pilotmaßstab 0,5-1 L/s 1 Jahr Probelauf - Einlauf: Zn 5-6 mg/L, Cd 1,5 µg/L - Bioreaktor: 27 m x 30 m x 3 m, gefüllt mit Wasser, 182 kg Saccharose, 416 L Methanol und 1,8 kg Milchpulver	Der Bioreaktor samt Leitungen wurde in den Boden gelegt und mit Erde bedeckt (niedrige jährliche Umgebungstemperatur). Nach dem Befüllen des Reaktors mit Wasser und C-Quellen wurde das Wasser für etwa ein Jahr rezirkuliert, damit sich die reduzierenden Bedingungen einstellen können. Danach erfolgte die Inbetriebnahme. Es wird hervorgehoben, dass die zusätzliche Zugabe von Eisenoxidhydroxidschlamm (z.B. aus einer Wasserbehandlungsanlage) mit Stärke und Cellulose diesen Prozess noch verbessern, indem sie die mikrobielle Schlammumsetzung unterstützen. Auslauf: Zn 0,01mg/L, Cd unter der NWG, andere Metalle >80% Das Paper liefert zusätzlich zwei Fallstudien. a) Platoro, Colorado pH= 2,7, As 50 mg/L, Zn 17 mg/L Diese <i>in-situ</i> Poolsanierung startete im September 2000 mit einer Injektion löslicher organischer Stoffe (Vorbehandlung). Die tatsächliche Behandlung startete in 2006, wenn Ethanol und Molasse in die Grube injiziert wurden. In August 2006, Juli 2010 und Juli 2012 wurden zusätzlich noch insg. 15 000 m³ Metallhydroxidschlamm mit Mais- und Kartoffelstärke eingespritzt. Nach 18 Monaten sind die As-, bzw. Zn-Gehalte auf 97%, bzw. 93% der Anfangskonzentrationen rückgegangen. Der pH-Wert stieg auf 8 an. b) Schwartzwalder, Colorado <i>In-situ</i> Behandlung fing als Vorbehandlung zur Umkehrosmose in 2013 mit einer Molasse- und Methanolinjektion an. Danach wurde jeden Monat noch Methanol (3 x) und nach sechs Monaten ab Anfang noch Molasse	- Sehr interessant, aber mehrere Details notwendig - Was für hydrogeologische Bedingungen kommen in den Gruben vor? - Verweis auf laufende <i>in-situ</i> Experimente in Silver King Mine, Keno Hill; ein Paper wird in IMWA 2019 Proceedings veröffentlicht: Gault, Andrew; Harrington, Jim; Robertson, Cameron; Simair, Monique; Friesen, Vanessa (2018): Pilot Study of In Situ Biological Treatment at the Silver King Mine, Keno Hill, Yukon. – In: Wolkersdorfer, Ch.; Sartz, L.; Weber, A.; Burgess, J. & Tremblay, G.: Mine Water – Risk to Opportunity. – p. 121 – 128; Pretoria, South Africa (Tshwane University of Technology). S. Quelle [NI-18]





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
				mit Methanol eingespritzt. Die Urangehalte sind von 22,8 mg/L auf 1,8 mg/L gefallen.	
[HA-16]	Hamai, T.; Sato, Y.; Kojima, K.; Miura, T.; Hayashi, K.; Sakakibara, T.; Hatsuya, K.; Kobayashi, M.; Masuda, N.; Takamoto, K.; Sowanaka, M.; Sakata, T.: A compact Passive Treatment Process for AMD Using Rice Husk and Rice Bran. Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016. Japan	Saures Grubenwasser Verlassene Grube in Akita-Präfektur, Japan	Bakterielle Sulfatreduktion Ex-situ, Pilotmaßstab - Einlauf: pH= 3,5, Fe ca. 40 mg/L, Zn 18 mg/L, Cu 8 mg/L, Cd 0,06 mg/L - T= 5-20 °C - Reaktor a) 422 mm x 320 mm x 300 mm - Reaktor b) 1006 mm x 703 mm x 603 mm - Kapazität für etwa 250 L Wasser - Flussraten 80 mL/min, bzw. 160 mL/min und zugehörige RT 50 Stunden, bzw. 25 Stunden 250 Tage Probelauf	Die Apparatur bestand aus: - Fe-Oxidationsreaktor zur Eisenoxidation und -fällung - Anaerobem Reaktor, in dem sulfatreduzierende Bakterien zum Ausfällen der Metallsulfide verwendet wurden. Der Reaktor a) war mit Luftzufuhr versorgt. Im Reaktor b) wurde anfangs Boden als Inoculum (102 g), Reishüllen (25,5 kg), Reiskleien (24,5 kg) und grüner Tee (8,5 kg) als C-Quelle für Bakterien verwendet. Außerdem wurde Kalkstein (10,2 kg, 83-20 mm) als Puffer zugegeben. Am Anfang wurde in der Anlage für ca. 2,5 Wochen Gleichgewicht eingestellt, bis Red-Ox-Potential -200 bis -300 mV erreicht hat. Danach wurde das Grubenwasser eingespeist. Vergleich der Retentionszeiten: Bei der RT= 25 h wurden die Metallsulfide zum selben Ausmaß als bei RT= 50 h reduziert und haben sich an den Reishüllen abgesetzt. Der Sulfat wurde bei RT= 25 h effektiver entfernt. Die Umgebungstemperatur schien keinen großen Einfluss auf den Prozess zu haben. Auslauf: Fe 1,26 mg/L, Zn 0,16 mg/L, Cd 0,002 mg/L, pH ca. 7.	- Clogging tritt häufig auf - C-Quellen müssen nachgeliefert werden
[JI-17]	Jing, C.; Landsberger, S.; Li, Y.L.: The application of illite supported nanoscale zero valent iron for the treatment of uranium contaminated groundwater. J. Env. Rad.	Mit Uran kontaminiertes GW Cimarron Fuel Fabrication Site,	Adsorption am nullwertigen Eisen Labormaßstab (1 L) Ex-situ, Umgebungsbedingungen	Der gewünschte pH-Wert des kontaminierten GWs wird eingestellt (pH 4, pH 7 und pH 8,5). Das Wasser wird mit für zwei Stunden bei 22 °C mit dem Adsorptionsmittel (0,1-1,0 g I-NZVI/L GW) gerührt.	Ähnlich wie [FA-13]: pH-sensitiv etc.





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
	175-176 (2017), 1-6. USA, China	Oklahoma, USA	- U (total)= 1,43 mg/L 7 Tage	Bei pH=6,7-7,7 war die Uranentfernungseffizienz ca. 83% (am effizientesten bei neutralem pH). Der Urangehalt nach 2 h blieb bei 19,8-31,4 µg/L.	
[KI-15]	Kim, N.; Park, M.; Park, D.: A new efficient forest biowaste bioabsorbent for removal of cationic heavy metals. Bior. Tech. 175 (2015), 629-632. Department of Enviromental Engineering, 1 Yonseidae-gil, Südkorea	Schwermetallhaltiges Wasser (Cd, Pb)	Aufnahme in Biomasse Ex-situ, Batch, Labormaßstab 6 Stunden, 20-25 °C	Die Aufnahme von Cadmium und Blei in Kastanienfruchtbecher wurde überprüft. Die Biomasse wird gewaschen, getrocknet (100 °C/ 24h), gemahlen und gesiebt (500-1000 µm). 0,4 g Biomasse wird bei pH= 4 mit 200 mL Metalllösung versetzt und bei 20-25 °C für 6 Stunden geschüttelt. Nach Anschließender Filtration wird die Reaktionslösung mittels ICP vermessen. Die Kastanienfruchtbecher haben 34,77 mg/g Cd ²⁺ und 74,35 mg/g Pb ²⁺ aufgenommen, was bisher die höchsten mit Biosorbenten erreichten Gehalte sind.	- Interessant wäre die Untersuchung eines realen GWs - Sulfataufnahme unbekannt
[KL-11/2]	Klimkova, S.; Cernik, M.; Lacinova, L.; Filip, J.; Jancik, D.; Zboril, R.: Zero-valent iron nanoparticles in treatmenr of acid mine water from <i>in-situ</i> uranium leaching. Chemosphere 82 (2011), 1178-1184. Tschechische Republik	Grubenwasser aus der Urangrube Stráž pod Ralskem, Tschechische Republik	Adsorption am nullwertigen Eisen Labormaßstab, Batch, ex-situ - pH= 1,83, U= 19,32 mg/L, SO₄²⁻=12600 mg/L	Das Grubenwasser wurde verdünnt und unverdünnt auf die Adsorptionsprozesse untersucht. Die Aufgabe von nZVI (nano zero-valent iron) hat die Gehalte an Al, U, V, Cr, Cu, Ni, Cd, Zn und As signifikant gesenkt. Der pH-Wert nach der Behandlung war im Bereich 3,7-7,1, je nach anfänglich vorgenommener Verdünnung. Die Adsorbentkonzentration 1 g/L hat sich bei allen Verdünnungen als ausreichend erwiesen. Der Sulfatgehalt wurde nur vernachlässigbar (2-5%) gesenkt.	Ineffektiv beim Sulfat
[MA-17]	Madzivire, G.; Maleka, R. M.; Tekere, M.; Petrik, L. F.: Cradle to cradle solution to problematic waste materials from mine and coal power	Mit Schwermetallen kontaminiertes Grubenwasser aus Goldgewinnung	Pilotmaßstab, ex-situ Fällung - Wasser reich an Al²⁺, Ca²⁺,	80 L Grubenwasser wurde mit 16 kg Flugasche und 200g Kalkstein vermischt. Nach 30 Minuten wurden 344,45 g Al(OH) ₃ zugegeben und 210 Minuten in einem Jet-Loop-Reaktor weitergerührt. In die	- Auch für Uranentfernung geeignet - Energieaufwendig





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
	station: Acid mine drainage, coal fly ash and carbon dioxide. J.W.P.E. (2017) Südafrika	Wasserprobe aus West Rand-Becken, Witwatersrand goldfields in Südafrika Flugasche aus dem Kraftwerk in Mpumalanga-Provinz in Südafrika	Fe^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , mit pH= 2	Reaktionsmischung wurde CO_2 eingeleitet (7 bar), bis der pH-Wert 6-9 betragen hat. Der Feststoffrückstand kann <i>ex-situ</i> abgetrennt, getrocknet und als Versatz verwendet werden.	Spezifische hydrogeologische Bedingungen
[MC-11]	McCullough, C.; Lund, M. A.: Bioremediation of Acidic and Metalliferous Drainage (AMD) through organic carbon amendment by municipal sewage and green waste. J. Env. Man. 92 (2011), 2419-2426. Mine Water and Environmental Research Centre, Australien	Metallhaltiges Wasser aus dem Kohlebergbau Nort Bowen coal field, Collinsville, Australien Schlamm aus Collinsville and Bowen Municipal Wastewater Treatment Plan Greenwaste aus Perth	Labormaßstab, ex-situ Biologische Sulfatreduktion 4,5 L Rohre 32:1 und 16:1 Wasser/organischer Feststoff-Verhältnis 1:1 Biomüll:Schlamm	Biomüll und Abfallwasser stellen eine gute Grundlage für das Wachstum der SRB. pH-Wert wurde erhöht, die Schwermetallkonzentrationen unterdrückt. H_2S und NH_3 wurden gebildet.	Evtl. Auffangen und Ausnutzen der Gase?
[NI-16]	Nilson, Ch.; Karlsson, S.; Sjöberg, V.; von Kronhelm, T.: Municipal sludge ash for abatement of ARD. Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016. Schweden	Methallhaltige saure Grubenwässer Kippenmaterial aus Ljusnarberg-Grube, Schweden wurde zur Erzeugung künstlicher Grubenwässer verwendet.	Adsorption, ex-situ, Labormaßstab - Schlamm bei 105 °C getrocknet, bei 1000 °C verbrannt und auf <0,1 mm gemahlen - Künstliches AMD: pH=2,9, Al 320 mg/L, Ca 450 mg/L, Fe 3 mg/L, Mn 33 mg/L,	Der kommunale Abfallschlamm wird getrocknet, verbrannt, gemahlen, mit AMD bei verschiedenen pH-Werten gemischt (10:1 AMD: Asche) und für 24 h im Shaker geschüttelt. Anschließend Quantifizierung erfolgt mittels AES. Es wurde festgestellt, dass die Adsorption an der Asche pH- abhängig ist (bei höheren pH-Werten besseren Entfernungsraten, da öfter Co-ausfällung auftritt). Die Asche hat sehr gute	- Die Asche selbst beinhaltet schon eine Menge an Schwermetallen. Eventueller Waschvorgang würde wieder mit Schwermetallen belastetes Abfallwasser kreieren. - Verbrennung ist energieaufwendig.





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
		Kommunaler Abfall aus Örebro, Västerås und Eskiltuna	SO ₄ 5 g/L, Spurenelemente Cd, Cu, Pb und Zn je 0,5 mg/L.	Adsorptionseigenschaften vor allem bei pH=8 gezeigt (z.B.: Zn und Cr wurden zu 100%, Fe zu 90,9%, Pb zu 94,3% und Cd zu 58,4% entfernt.	Für eine großtechnische Anwendung müssten noch die hydrodynamischen Eigenschaften der Asche berücksichtigt werden.
[NI-18]	Nielsen, G.; Hatam, I.; Abuan, K. A.; Janin, A.; Coudert, L.; Blais, J. F.; Mercier, G.; Baldwin, S. A.: Semi-passive <i>in-situ</i> pilot scale bioreactor successfully removed sulfate and metals from mine impacted water under subarctic climatic conditions. Wat. Res. 140 (2018), 268-279. Kanada	Bergbaubeeinflusste Gewässer Silver King Mine, Keno Hill Silver District, Yukon, Kanada	Biologische Sulfatreduktion, <i>in-situ</i>, Pilotmaßstab - Einlauf: pH 6,5-7,1, SO₄ 417,6 ± 130,6 mg/L, Zn- und Cd-Gehalte fluktuieren - Zwei 200 L Fässer, je mit 40 L Kippenmaterial gefüllt (20 Vol%) - Hydraulische RT 2 Wochen, t= 14 Monate, T im Reaktor 4-17,5 °C - Zugabe der Molasse: täglich 51,6 min mit 6 mL/ min, TOC in der Molasse 28,8 w%, Menge der Molasse aus der durchschnittlichen Sulfatkonzentration im Einlauf berechnet	Das Wasser aus einer gefluteten Grube in zwei Bioreaktoren von unten nach oben gepumpt, so dass dabei das Gesteinsbett durchgeströmt wird. Die Sulfatreduktionsraten fluktuieren je nach Umgebungstemperatur, sowie auch die Zink- und Cadmiumgehalte (Sommer 2015: Entfernungsraten für Zn, bzw. Cd: 80,6± 2,1%, bzw. 90,5± 0,6%; Winter 2015: 20,9± 7,3% für Zn und 39± 9,8% für Cd.)	- Wie wird dieser Prozess bei schwer belasteten Wässern ablaufen? - Lassen sich die Temperatureinflüsse beseitigen?
[OL-13]	Olivelli, M. S.; Di Gregorio, D.; Huck, H.; Niello, J. F.; Torres Sánchez, R. M.; Curutchet, G.: Characterization of U(VI) sorption and leaching on clay supported biomass sorbents. Advanced Materials Research Vol. 825 (2013), 532-535.		Adsorption/ Biosorption <i>ex-situ</i>, Labormaßstab - Künstliches Wasser	Die U(VI)-Zurückhaltung wurde in einer Matrix aus Pilzmasse und Montmorillonit untersucht.	





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
Argentinien					
[PE-13]	Peer, R. A. M.; Stronsider, W. H. J.; Winfrey, B. K.; Nairn, R. W.: Passive Co-Treatment of Acid Mine Drainage and Municipal Wastewater: Removal of Less Commonly Addressed Metals at Cerro Rico de Potosí, Bolivia. Reliable mine Water Technology: Proceedings IMWA 2013.	Saures, metallreiches Grubenwasser AMD aus Cerro Rico de Potosí, kommunaler Abwasserabfall aus Potosí, Bolivien	Biologische Sulfatreduktion, Fällung Labormaßstab, Batchansatz, ex-situ 8,2-10,3 °C - RT 24 h Klärvorrichtung, 24 h AKA, 48 h Oxidationsbecken - Einlauf: - GW: pH 3,58, Fe 68 mg/L, Zn 550 mg/L - AW: NO₃ 5,6 mg/L, PO₄ 38 mg/L	Das Grubenwasser wurde mit rohem Abwasserabfall (5:1) vermischt und in eine dreistufige Anlage geführt, die aus einer Klärvorrichtung, einem anoxischen Kalksteinabfluss und einem Oxidationsbecken bestand. Al, Fe, Mn und Zn wurden zu 99,7%, 99,9 %, 4,5% und 33,9% entfernt.	Weitere Details unbekannt
USA					
[PI-16]	Pinto, R.; Oliveira, Z.; Diamantino, C.; Carvalho, E.: Passive treatment of Radioactive Mine Water in Urgeiriça Uranium Mine, Portugal. Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016.	U- und Ra-kontaminiertes Grubenwasser Urgeiriça, Quinta do Bispo, Cunha Baixa- und Bica-Grube, Portugal	Phytoaufnahme, biologische Sulfatreduktion und Adsorption In-situ, Pilotmaßstab - Einlauf: U 487 µg/L, ²²⁶Ra 1 Bq/L, Fe und Mn 6 mg/L, pH 5-6,5 - Hydraulische Parameter: A) V= 985 m³, Q= 4,63 m³/h, RT= 8,87 d B) V= 298 m³, Q= 0,77 m³/h, RT= 16,14 d C) V= 1645 m³, Q= 5,4 m³/h, RT= 12,69 d - Ø Flussrate in der gesamten	Die Anlage besteht brutto aus neun Becken: A) drei Betonbecken (V=1000 m³), B) drei zusätzlichen Betonbecken (je 100 m³, davon der letzte wieder in drei geteilt und davon der letzte als permeable Reaktivwand mit Aktivkohle verwendet) und C) drei Wetlands mit Makrophyten <i>Juncus efusus</i>, <i>Iris pseudacorus</i>, <i>Typha latifolia</i> und <i>Carex aquatilis</i> (1700 m³). Die Überwachungsbrunnen lieferten folgende Beobachtungen: - pH 5,9-7,7 - Ca, Na, K temporal und räumlich konstant - Fe, Mn konstant in A) und B), in C) bis unter die Nachweisgrenze - Bikarbonate sind im Prozess leicht auf 300 mg/L angestiegen	- Ausführlichere technische Parameter unbekannt - Biologie unbekannt - Einfluss der Umgebungstemp.
Portugal					





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
			- Anlage= 4 m³/h - Chemische Stabilisierung des Systems nach ca. 2 a	- Sulfate fluktuieren zwischen 100-200 mg/L - Chlorid stabilisierte sich bei 50 mg/L - Ra ist auf <0,01 Bq/L gefallen - U 11 µg/L	
[PI-17]	Pi, K.; Wang, Y.; Xie, X.; Ma, T.; Liu, Y.; Su, C.; Zhu, Y.; Wang, Z.: Remediation of arsenic-contaminated groundwater by <i>in-situ</i> stimulating biogenic precipitation of iron sulfides. Wat.Res. 109 (2017), 337-346. China	As-kontaminiertes Grundwasser Datong-Becken, China	In-situ Adsorption und Fällung, Feldmaßstab - Grundwasserfluss 0,2 m³/d - As-gehalt: 10-3000 µg/L, durchschnittlich 593 µg/L - pH 7,85-8,07 - E_h= -254 mV bis -123 mV	Die Studie handelt von einer <i>in-situ</i> As-Sequestrierung mit biogenem Pyrit durch Adsorption und Co-ausfällung. Dazu wurde im Zielaquifer (75x50 m²) mithilfe Pumpen ein konstanter Grundwasserfluss von 7m³/h erzeugt. Durch vier Injektionsbrunnen werden (a) 23,2 L einer 5 mmol/L FeSO₄-Lösung mit der Flussrate 11,6 L/h und (b) 17 L anoxisches Wasser mit der Flussrate von 12/L viermal täglich über 25 Tage eingeleitet. Während des Versuchs werden die hydrochemischen Parameter, Red-Ox-Bedingungen etc. on-site überwacht. Die im Aquifer anfallenden Sedimente wurden gesammelt und untersucht. Die As-Konzentration im GW sank von 593 g/L bis hin zu 136 µg/L innerhalb von 30 Tagen.	- Spezifische Red-Ox-Bedingungen - Wohin mit dem Sediment? - Was mit anderen Elementen? - Remobilisation?
[SA-11]	Saad, D. M. G.; Cukrowska, E. M.; Tutu, H.: Development and application of cross-linked polyethylenimine for trace metal and metalloid removal from mining industrial wastewaters. Toxicological & Environmental Chemistry Vol 93, No. 5, 2011, 914-924. Südafrika	Wasser aus der Nähe der Goldgruben in Central Rand goldfield, Johannesburg, Südafrika	Adsorption am Polymer Labormaßstab, Ex-situ	Wasserunlösliches, mit Epichlohydrin vernetztes Polyethylenimin wurde auf die Fähigkeit, Metallen und Metalloiden aus kontaminiertem Wasser zu entfernen, getestet. Gute Ergebnisse bei der Adsorption von Metallen. Adsorption von Metalloiden und Oxoanionen ungenügend.	- Synthetisch aufwendig - Optimierung bezüglich Anionenadsorption notwendig





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
[SA-14]	Saad, D. M. G.; Cukrowska, E. M.; Tutu, H.: Engineered Materials for the Containment of Uranium and Other Toxic Elements in Mine-polluted Water. An Interdisciplinary Response to Mine Water Challenges- Sui, Sun & Wang. 2014, 654-657.	Verschmutztes Wasser (synthetisch)	• Adsorption am Polymer • Labormaßstab, Ex-situ • pH 3 und 8	Vernetztes Polyethylenimin (CPEI) wird mit Phosphatliganden funktionalisiert und seine Fähigkeit, Uran aus der Lösung zu entfernen, untersucht. Uran wurde zu 98% aus der Lösung entfernt, Eisen zu 62%, Mn zu 90% und As zu 76% entfernt.	• Synthetisch aufwendig • Anionen
	Südafrika				
[SA-18]	Saunders, J. A.; Lee, M.-K.; Dhakal, P.; Ghandehari, S.S.; Wilson, T.; Billor, M. Z.; Uddin, A.: Bioremediation of arsenic-contaminated groundwater by sequestration of arsenic in biogenic pyrite. Ap. Geochem. 96 (2018), 233-243.	As-kontaminiertes GW	• Bakterielle Sulfatreduktion • Ex-situ, Labormaßstab	Die Bildung von Arsenopyrit im Grundwasser wurde durch die Zugabe von Pyrit verschiedener Korngrößen in variablen pH-Milieus und As-Konzentrationen verfolgt.	• ortsspezifisch • Verweis auf Lee et al.: Field-scale bioremediation of arsenic-contaminated groundwater using sulfate-reducing bacteria and biogenic pyrite. Bioremed. J. (accepted).
		Florida			
[SC-11]	Schipek, M.; Treatment of acid mine lakes. Dissertation, 2011, Technische Universität Bergakademie Freiberg.	Tagebaufolgesee Burghammer, DE (nach Braunkohlebergbau mit hohem Gehalt an Schwermetallen)	• in-situ, in-lake • Adsorption	Es wurden zahlreiche In-Lake-Versuche durchgeführt. Neutralisation: Soda, Kalkstein, Kalkhydrat, Branntkalk oder industrielle Nebenprodukte (Flugasche, ...) Modellierung in PhreeqC: CO₂-Einleitung Feldversuche mit CO₂	
	Deutschland				
[ST-13]	Strosnider, W. H. J.; Winfrey, B. K.; Peer, R. A. M.; Nairn, R. W.: Passive co-treatment of acid mine drainage and sewage: Anaerobic incubation reveals a regeneration technique and further treatment possibilities. Ecol. Eng. 61 (2013), 268-273.	Kommunales Abfallwasser (City of Norman, Oklahoma Water Pollution Control Facility) und synthetisches saures Grubenwasser	• Labormaßstab, ex-situ • Biologische Sulfatreduktion und Fällung	In einem primären Absatzbecken wurden zur Feststoffabsetzung kommunales Abfallwasser mit AMD gemischt. Es folgte eine Fe³⁺-Reduktion, um den pH-Wert in die Richtung des Optimums der SRB zu erhöhen. Schwermetalle wurden mit Chelaten entfernt, Fe und Al mit Phosphat geflockt, abgetrennt und gestrippt (mikrobiell gelöster Sauerstoff).	
		USA			





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
USA					
[UP-16]	Upreti, P. S.; Chi Tangyie, G.; Huddersman, K.; Smail, I.: Field trial of an ion exchange based metal removal technology in the treatment of mine waters. Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016.	Zn-, Cd- und Pb-haltiges, pH-neutrales Grubenwasser aus White Tip, Minsterley, Shropshire, UK	Ionenaustausch und Adsorption, ex-situ, Pilotmaßstab 60 L Reaktor mit 30 beschichteten Ionenaustauscherscheiben (insg. 11 kg Ionenaustauscher) - Zn 50 ppm, Cd 0,14 ppm, Pb 0,06 ppm - RT ca. 2 Stunden 170 Tage Probelauf, am Tag 79 erfolgte Austauscherregeneration - Ø Flussrate 32,22 L/Stunde - Gesamtvolumen am behandelten Wasser 131,46 m³	Das Grubenwasser wird zuerst in einem Becken (5m³) gespeichert, anschließend in den Reaktor gepumpt. Beim Prozess wurden mehrere Flussraten, Retentionszeiten sowie Rotationsgeschwindigkeiten der Scheiben auf die Probe gestellt. Nach 79 Tagen wurden die Ionenaustauscher mit HCl (insg. 205 mol) und NaOH (insg. 19 mol) regeneriert. Zink wurde im Durchschnitt zu 64,18%, Cd zu 22,37% und Pb zu 75,04% entfernt. Diese wurden aus dem Harzaustauscher wiedergewonnen.	- Verschiedene Entfernungseffizienz vor und nach der Regeneration - Eintrag von NH₃-N und SO₄-S aus dem Harz ins Grubenwasser - Bei anderer Wasserzusammensetzung wäre Vorbehandlung notwendig
UK					
[WA-11]	Wan, J.; Dong, W.; Tokunaga, T. K.: A Method to Attenuate U(VI) Mobility in Acidic Waste Plumes Using Humic Acids. Environ. Sci. Technol. 45 (2011), 2331-2337.	Kontaminiertes und saures GW Sediment aus Savannah River Site, USA	Adsorption, ex-situ, Labormaßstab 22 °C - Feststoff/Wasser-Gehalt= 5g/L 3 Tage	Sediment wurde in Glassäulen gefüllt und mit künstlichem GW versetzt. Huminsäuren zur Immobilisierung von Uran wurden injiziert.	
USA					
[WI-13]	Willscher, S.; Mirgorodsky, D.; Jablonski, L.; Ollivier, D.; Merten, D.; Büchel, G.; Wittig, J.; Werner, P.: Field scale phytoremediation	Boden-Wasser-Habitat Gessenwiese,	Phytoaufnahme, in-situ, Pilotmaßstab - Ca. 100 Tage	Es wurden Phytosanierungsversuche mittels <i>Helianthus annuus</i> (Sonnenblume), <i>Triticale</i> (Weizen-Roggen-Hybrid), <i>Brassica juincea</i> (Brauner Senf) durchgeführt.	





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
	experiments on a heavy metal und uranium contaminated site, and further utilization of the plant residues. Hydromet. 131-132 (2013), 46-53. Deutschland	Ronneburg, Deutschland		Die betroffene Erde wurde ausgebaggert, homogenisiert und in zehn Blöcke je 2 m x 2 m x 1 m gefüllt. Diese wurden einzeln abgegrenzt, um einen lateralen Fluss zwischen den Blöcken zu vermeiden. Die Erde wurde zusätzlich mit <i>Glomus intraradices</i> (Pilz) und einer bakteriellen Kultur aus <i>Streptomyces tandae</i> F4 und <i>S. acidiscabies</i> E13 und 10 kg/m² kalkhaltiger Muttererde versehen. In drei von neun Blöcken wurde je eine Pflanzenart gepflanzt und mit 100 kg/ha NPK gedüngt. Nebenan wurden drei Lysimeter installiert (0,5 m², 100 m). Nach ca. 100 Tagen wurden die Pflanzen geerntet und auf Schwermetallgehalte getestet. <i>Triticale</i> hat sich als günstig erwiesen, da sich diese gut an saures Milieu anpassen kann und höhere Menge an Schwermetallen/ Radionukliden aufnimmt. Die Lysimeterdaten haben gezeigt, dass diese Amelioration Die Grundwasserkontaminierung signifikant reduziert hat.	
[WO-17]	Wolkersdorfer, C.; Qonya, B.: Passive Mine Water Treatment with a full scale, containerized Vertical Flow Reactor at the abandoned Metsämonttu Mine Site, Finland. Mine Water and Circular Economy: Proceedings IMWA 2017. Finnland, Südafrika	pH-neutrales Fe-reiches Grubenwasser Metsämonttu, Aijala, Finnland	• Biologische Eisenreduktion im VFR (vertical-flow reactor, Vetrikalströmungsreaktor) • Ex-situ, on-site, Feldmaßstab • „6 m Becken“, Q 0,6-34,6 L/min, Umgebungstemperatur 7-12 °C • RT 10 h 17 min • 38 Tage Probelaufzeit	Ein Behälter wurde zum VFR modifiziert. Der Boden des Behälters wurde mit Mica-Gneis gefüllt (32-64 mm). Als Tracer wurde Kochsalz eingesetzt. Auslauf: pH 7,2-7,5, Fe 0,2-10 mg/L, Eh 100-290 mV	• Nur für geringfügige Fe-Kontamination • Einfluss der Umgebungstemperatur vorhanden • Nicht klarer Ausmaß des Reaktors und die technische Umsetzung





Kürzel	Zitation	Zielobjekt/ Örtlichkeiten	Prozessparameter	Beschreibung	Bemerkung/ Bewertung
			Einlauf: pH 7,2-7,5; Eh 70-90 mV, Fe 6-11 mg/L		
[YA-15]	Yan, B.; Mai, G.; Chen, T.; Lei, C.; Xiao, X.: Pilot test of pollution control and metal resource recovery for acid mine drainage. Water Science & Technology 72.12, IWA Publishing 2015. China	Metallrückgewinnung aus AMD Polymetallgrube in Dabaoshan, Guangdong-Provinz, China	Fällung, ex-situ, Pilotmaßstab - Flussrate ca. 10-15 m³/h - Retentionszeit abhängig je Sedimentationszylinder 1,13-1,31 h	In einem vierstufigen Prozess wurden Fe, Cu, Zn und Mn fraktionell ausgefällt. Die Anlage bestand aus vier Reaktionszylindern, vertikalen Sedimentationszylindern, Fällungskonzentratorzylinder und Banddrucksystem. Nach der Präsedimentation (Entfernung der primären suspendierten Feststoffe) wurde das Grubenwasser oxidiert. pH für Fe-Fällung betrug 3,9 und für Mn 8,6. Für die AMD-Oxidation waren 0,30 mL H₂O₂/ L nötig. Nach der fraktionierten Fällung wurden die Niederschläge aufkonzentriert, beim erhöhten Druck filtriert und getrocknet. Die Rückgewinnungsraten betrugen: 82% für Fe, 79% für Cu, 83% für Zn und 83% für Mn.	





Tabelle 2. 2: Patente.

Patentbezeichnung		Beschreibung
CA000002599557 A1	biologisch	Eine <i>in-situ</i> Methode zur Behandlung größerer Wasserkörper mittels Metallimmobilisierung wird beschrieben. Es eignet sich auch für untertägige Seen, fließende Gewässer und verlassene Gruben. Ein inokuliertes Medium mit höherer Dichte wird in den Wasserkörper eingeleitet, anschließend werden die durch bakterielle Sulfatreduktion entstandenen Sulfide ausgefällt. Die Zusammensetzung des Mediums wird im Patent in Hinsicht auf seine Effizienz diskutiert.
CN103362550 (A)	biologisch+ chemisch	Das Patent beschreibt einen Ansatz zur Behandlung der sauren Grubenwässer mit Feldfruchtschalen. Es umfasst das Besprühen der Wasseroberfläche in der Grube am Austrittspunkt des Wassers oder das Abfangen des Wassers und anschließende Behandlung mit einem biologischen Inhibitor und einem Flockungsreagenz. Der biologische Inhibitor dämmt die Aktivität der acidophilen Mikroorganismen, und das alkalische Flockungsmittel beteiligt sich an Fe_2O_3 -, bzw. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -Fällung, die eine Beschichtung an der Pyritoberfläche bilden und somit diese vor weiteren Oxidation schützen.
CN103936168 (A)	biologisch	Die in diesem Patent beschriebene Methode offenbart eine <i>in-situ</i> ökologische Wiederherstellung kontaminierter Seen oder Reservoirs. Eine Pflanzenschwabschicht wird mit Bufferschlammschicht kombiniert. Dazu wird der Schlamm aus der kommunalen Abwasserbehandlung in den betroffenen See zugegeben, um eine Vielfalt an Mikroorganismen zu schaffen. Das Schwebebett auf der Oberfläche stellt Kohlenstoff, Stickstoff und sonstige Energiequellen für die Mikroorganismen in der Unterschicht zur Verfügung.
CN206538352 (U)	Adsorption	Im Patent wird eine Wasserbehandlung mit porösen Reaktivziegeln beschrieben. Diese bestehen aus Kippenmaterial, Portlandzement, Kies, Lehm und Kohlenstoffpulver.
WO002016035045 A1	biologisch+chemisch	Die hier offenbarte Sanierungsmethode beschreibt die Nutzung von dispersen BaCO_3 im sauren Grubenwasser. Es handelt sich um eine Kombination chemischer und biologischer Ansätze.
WO002017180564 A1	chemisch	Das Patent richtet sich auf die Neutralisation saurer Grubenwässer mittels Agglomeration der ungewünschten Festkomponente. Dazu wird das Wasser mit einem hydrophobischen Reagenz versehen, das die Agglomeration der Festkomponente einbringt.
WO02018006094 A1	biosorption	Das Patent beschreibt eine Wasserbehandlung mit Pflanzenkohle.



ANLAGE 3

Quellenverzeichnis zur Literaturrecherche

LITERATURVERZEICHNIS ZUR LITERATURRECHERCHE

- [AG-08] A. Greif, W. Klemm, K. Klemm: Influence of Arsenic from anthropogenic loaded soils on the mine water quality in the tin district Ehrenfriedersdorf, Erzgebirge. Engineering in life science (2008) 8, p. 631 - 640
- [AH-03] Sung, Ahn Joo; Chul-Min, Chon; Hi-Soo, Moon and Kyoung-Woong, Kim: Arsenic removal using steel manufacturing byproducts as permeable reactive materials in mine tailing containment systems, Water Research Volume 37 (2003) Pages 2478 - 2488
- [AK-06] Akcila, Ata; Soner, Koldas: Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies - Journal of Cleaner Production, Volume 14 (2006) Issues 12 - 13, Pages 1139 - 1145
- [BA-97] Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly. Environmental Geology 32 (2) Oct. 1997, p. 157 - 174
- [BA-00] Baacke, D.: Geochemisches Verhalten umweltrelevanter Elemente in stillgelegten Polysulfiderzgruben am Beispiel der Grube "Himmelfahrt" in Freiberg/Sachsen - Dissertation, TU Bergakademie Freiberg (2000) 139 S.
- [BA-03] Batty, Lesley C.; Younger, Paul L.: The Use of Waste Materials in the Passive Remediation of Mine Water Pollution - Surveys in Geophysics Volume 25 (2004) Number 1, S. 55 - 67
- [BA-13] Bai, H.; Kang, Y.; Quan, H.; Han, Y.; Sun, J.; Feng, Y.: Treatment of acid mine drainage by sulfate reducing bacteria with iron in bench scale runs. Bior. Tech. 128 (2018), 818-822.
- [BA-14] Batakula, E. N.; Cukrowska, E. M.; Weiersbye, I. M.; Mihaly-Cozmuta, L.; Peter, A.; Tutu, H.: Biosorption of trace elements from aqueous systems in gold mining sites by the filamentous green algae (*Oedogonium sp.*). J. Geo. Exp. 144 (2014), 492-503.
- [BE-01] Beuge, P.; Häfner, F.: Möglichkeiten und Grenzen der Formierung geochemischer Barrieren zur Sicherung bergbaubedingter Altlasten - 8. Vortrag Dresdner Grundwasserforschungstage, 09./10.04.2001
- [BE-97] Beuge, P.; Kindermann, L.: Recherche und Interpretation zu chemischen Prozessen nach der Flutung vergleichbarer Erzbergwerke - Unveröff. Studie, Freiberg (1997)
- [BE-97/2] Benner, S. G.; Blowes, D. W.; Ptacek, C. J.: A full-scale porous reactive wall for prevention of acid mine drainage. Groundwater Monitoring & Remediation, 17 (1997), 99-107.
- [BI-07] Bilek, Felix; Wagner, Stephan; Pelzel, Christin: Technikumsversuch zur Eisen- und Sulfatabscheidung durch autotrophe Sulfatreduktion im In-situ-Reaktor - bisherige Ergebnis - 58. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Behandlungstechnologien für bergbaubeeinflusste Wässer (2007) S. 49 - 56

- [BI-12] Bilek, F.; Wagner, S.: Long term performance of an AMD treatment bioreactor using chemolithoautotrophic sulfate reduction and ferrous ion precipitation under *in-situ* groundwater conditions. *Bioresource Technology* 104 (2012), 221-227.
- [BL-08] Bless, Diana; Park, Brian; Nordwick, Suzann; Zaluski, Marek; Joyce, Helen; Hiebert, Randy; Clavelot, Charles: Operational Lessons Learned During Bioreactor Demonstrations for Acid Rock Drainage Treatment. *Mine Water and the Environment* Volume 27 (2008) Number 4, S. 241 - 250
- [BL-95] Blowes, D.W.; Ptacek, C.J.; Hanton-Fong, C.J. and Jambor, J.L.: In-Situ remediation Of Chromium Contaminated Groundwater Using Zero-Valent Iron. 209th American Chemical Society National Meeting. Anaheim, CA. Division of Environmental Chemistry - Preprints of Papers, Vol. 35 (1995) No. 1, pp 780 - 783
- [BO-16] Bogush, A. A.; Voronin V. G.; Tikhova, V. D.; Anoshin, G. N.: Application of a Peat-Humic Agent for AMD Remediation and Element Removal. *Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016*.
- [CA-00] Canty, M.: Innovative in Situ Treatment of Acid Mine Drainage Using Sulfate-Reducing Bacteria - In: *Proceedings of the 5th International Conference on Acid Rock Drainage*, Denver (2000) 1139 - 1147
- [CA-06] Candy, G. A.; Everett, J.W.: Injection of fluidized bed combustion ash into mine workings for treatment of acid mine drainage - *Mine Water and the Environment* Volume 25 (2006) Number 1, S. 45 - 55
- [CA-98] Canty, M.: Overview of the Sulfate-Reducing Bacteria Demonstration Project Under the Mine Waste Technology Program.- *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, Volume 19 (1998) Issue 1 - 4 , pages 61 – 80
- [CA-11] Carvalho, D.; Rodrigues, R.; Caxaria, C.; Richard, D.; Digby, C.; Franco, A.; Nero, G.: The Legacy of Abandoned Mines. The context and the action in Portugal, September 2011
- [CA-16] Carvalho, E.; Diamantino, C.; Pinto, R.: Environmental Remediation of Abandoned Mines in Portugal – Balance of 15 Years of Activity and New Perspectives: *Proceedings IMWA 2016*
- [CH-17] Chen, B.; Wang, J.; Kong, L.; Mai, X.; Zheng, N.; Zhong, Q.; Liang, J.; Chen, D.: Adsorption of uranium from uranium mine contaminated water using phosphate rock apatite (PRA): Isotherm, kinetic and characterization studies. *Col.Surf.A; Physiochem. Eng. Aspects* 520 (2017), 612-621.
- [CO-06] Cohen, Ronald R.H.: Use of microbes for cost reduction of metal removal from metals and mining industry waste streams - *Journal of Cleaner Production* Bd. 14 (2006) Heft 12-13 "Improving Environmental, Economic and Ethical Performance in the Mining Industry, Part 2", S. 1146 - 1157
- [CR-11] Crane, R. A.; Dickinson, M.; Popescu, I. C.; Scott, T. B.; Magnetite and zero-valent iron nanoparticles for the remediation of uranium contaminated environmental water. *Wat. Res.* 45 (2011), 2931-2942.

- [CZ-02] Czekalla, Christoph: Effiziente neue Verfahren der In-situ-Grundwassersanierung - In: Fachliche Berichte Hamburger Wasserwerke. - 19 (2002), H. 2: Wasserfachliche Aussprachetagung Wiesbaden 2002: Die deutsche Wasserversorgungswirtschaft auf dem Weg ins 21. Jahrhundert, S. 34 - 39
- [DM-99] DMT-Gesellschaft für Forschung und Prüfung mbH: Studie: Geochemische Wirkung von reaktiven Materialien auf Flutungswasser der Grube Königstein (Säulenversuche zum erweiterten Flutungsexperiment)", Essen (1999)
- [DO-06] Stewart, Douglas I.; Csövári, Mihály; Barton, Catherine S.; Morris, Katherine and Bryant, David E.: Performance of a functionalised polymer-coated silica at treating uranium contaminated groundwater from a Hungarian mine site - Engineering Geology, Volume 85 (26 May 2006) Issues 1 - 2, Pages 174 - 183
- [DO-14] Douglas, G. B.: Contaminant removal from acidic mine pit water via *in-situ* hydrotalcite formation. Applied Geochemistry 52 (2014), 15-22.
- [DR-99] Drury, W.J.: Treatment of acid mine drainage with anaerobic solid-substrate reactors/Behandlung von saurem Bergwerksabwasser mit anaeroben Festsubstratreaktoren. Water Environment Research Bd. 71 (1999) Heft 6, S. 1244 - 1250
- [EP-08] Mine Waste Technology Program In Situ Source Control of Acid Generation Using Sulfate-Reducing Bacteria (June 2008) EPA/600/R-08/096, Under Contract No. DE-AC09-96EW96405, Through EPA IAG No. DW89938870-01-0
- [FA-13] Fahlqvist, L.; Bäckström, M.; Sartz, L.; Allard, B.: Removal of uranium from a neutral mine water using uncoated and iron oxyhydroxide coated iron tailings. Reliable Mine Water Technology, IMWA 2013.
- [FE-00] Feng, D.; Aldrich, C.; Tan, H.: Treatment of acid mine water by use of heavy metal precipitation and ion exchange - Minerals Engineering Bd. 13 (2000) Heft 6, S. 623 - 642
- [FE-15] Fedorockova, A.; Sucik, G.; Raschman, P.: Activated zeolite and magnesite as potential reactive materials for passive acidic groundwater treatment technology. Solid State Phenomena, 2015.
- [FR-05] Friese, K.: Hydrochemie und Sedimentgeochemie eines Pyrit-versauerten Bergbausees des Lausitzer Braunkohlenreviers (RL-111) als Grundlage zur Entwicklung eines Neutralisationsverfahrens - Habilitationsschrift, Halle (2005)
- [GE-17] Genty, T.; Bussi re, B.; Paradie, M.; Neculita, C. M.: Passive biochemical treatment of ferriferous mine drainage: Lorraine mine site, Northern Quebec, Canada. Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016.
- [GE-LO] www.geo-log.com/In-Situ-Bioreme.8.0.html
- [GI-06] Ginder-Vogel, Matthew; Wu, Wei-Min; Carley, Jack; Jardine, Phillip; Fendorf, Scott; Criddle, Craig: In situ biological uranium remediation within a highly contaminated aquifer
http://ssrl.slac.stanford.edu/research/highlights_archive/u_remed.html

- [GO-16] Gong, B.; Wu P.; Huang, Z.; Li Y.; Yang, S.; Dang, Z.; Ruan, B.; Kang, C.: Efficient inhibition of heavy metal release from mine tailings against acid rain exposure by triethylenetetramine intercalated montmorillonite (TETA-Mt). J.Haz.Mat. 318 (2016), 396-406.
- [GR-98] Groudev, S.; Kontopoulos, A.; Spasova, I.; Komnitsas, K.; Angelov, A.; Georgiev, P.: In situ treatment of groundwater at Burgas Copper Mines, Bulgaria, by enhancing microbial sulphate reduction (1998) IAHS-AISH Publication, (250), pp. 249 - 255
- [HA-15] Harrington, J.; Harrington, J.; Lancaster, E.; Gault, A.; Woloshyn, K.: Bioreactor and *In-situ* Mine Pool Treatment Options for Cold Climate Mine Closure at Keno Hill, YT. IMWA 2015.
- [HA-16] Hamai, T.; Sato, Y.; Kojima, K.; Miura, T.; Hayashi, K.; Sakakibara, T.; Hatsuya, K.; Kobayashi, M.; Masuda, N.; Takamoto, K.; Sowanaka, M.; Sakata, T.: A compact Passive Treatment Process for AMD Using Rice Husk and Rice Bran. Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016.
- [HE-03] Herbert, R. B.: Zinc immobilization by zerovalent Fe: surface chemistry and mineralogy of reaction products. Mineralogical Magazine 67, No. 6 (2003) Pages 1285 - 1298
- [HE-08] Heikkinen P. M.; Noras P.; Salminen R. (eds.): Mine closure handbook. environmental techniques for the extractive industries (2008)
- [HE-97/1] Heide, B.; Hasse, J.: Stilllegung des Metallerzbergwerks Meggen nach 140 Jahren aktivem Bergbau - Glückauf 133 (1997) 5, 233 - 239
- [HE-97/2] Helms, W.; Heinrich, D.: Development of backfilling material for minimizing acid mine drainage generation in abandoned underground mines - In: Proceedings of the 4th International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, B.C. Canada, (May 31 - June 6, 1997) pp. 1251 - 1266
- [JA-01/1] Jacobs, J.; Clearwater Group, TECH MEMO #107: IN-SITU REMEDIATION OF HEAVY METALS: ARSENIIC, LEAD, COPPPPER, ZIINC, CADMIUM, MOLYBEDIUM, URANIUMAND CYANIIDE CHG, (510) 232 - 2728; ext. 222, www.ebsinfo.com/TM107.pdf
- [JA-01/2] Jacobs, Jim; Hardison, Roy L.; Rouse, Jim V.: IN-SITU REMEDIATION OF HEAVY METALS USING SULFUR-BASED TREATMENT TECHNOLOGIES; www.fast-tek.com/Article-HV01-In-Situ-MetalsRemediation.pdf
- [JA-01/3] Jacobs, Jim.: In-Situ Liquid Delivery Systems for Chemical Oxidation, Bioremediation and Metals Stabilization, Association for Environmental Health and Sciences, 11th Annual West Coast Conf. on Contaminated Soils, Sediments and Water (March 21, 2001) San Diego, California, Abstracts
- [JA-07] Jahresbericht 2007 zum Betrieb der Pilotanlage zur passiven Behandlung von Sickerwasser der Halde 371/I der Niederlassung Aue der Wismut GmbH. Chemnitz, Wisutec GmbH (27.03.08)

- [JE-04] Jenk, U.; Paul, M.; Ziegenbalg, G.; Klinger, C.: Alternative methods of mine water treatment – Feasibility and technical limitations for a full-scale application at WISMUT's Königstein mine site (Germany) - In: Mine Water 2004 – Process, Policy and Progress, Newcastle upon Tyne (20 - 24th September 2004) Vol. 1, pp. 245 - 251
- [JI-09] Jimenez-Rodriguez, A.M.; Duran-Barrantes, M.M.; Borja, R.; Sanchez, E.; Colmenarejo, M.F.; Raposo, F.: Heavy metals removal from acid mine drainage water using biogenic hydrogen sulphide and effluent from anaerobic treatment: Effect of pH.- Journal of Hazardous Materials Bd. 165 (2009) Heft 1 - 3, S. 759 - 765
- [JI-17] Jing, C.; Landsberger, S.; Li, Y.L.: The application of illite supported nanoscale zero valent iron for the treatment of uranium contaminated groundwater. J. Env. Rad. 175-176 (2017), 1-6.
- [JO-05] Johnson, B.D.; Hallberg, K.B.: Acid mine drainage remediation options: a review - Science of The Total Environment Volume 338 (2005) Issues 1 - 2, Pages 3 - 14
- [KI-15] Kim, N.; Park, M.; Park, D.: A new efficient forest biowaste bioabsorbent for removal of cationic heavy metals. Bior. Tech. 175 (2015), 629-632.
- [KL-00] Klinger, C.; Jenk, U.; Schreyer, J.: Investigations of efficacy of reactive materials for reduction of pollutants in acid mine water in the former uranium mine of Königstein (Germany) - In: Proceedings of the 7th International Mine Water Association Congress, Katowice – Ustron, Poland (September 11 - 15, 2000) pp.292 - 298
- [KL-04] Kleiv, R.A.; Thornhill, M.: Adsorptiv retention of copper from acidic mine water at the disused sulphide mine at Lokken, central Norway – initial experiments using olivine. Minerals Engineering 17 (2004), p. 195 - 203
- [KL-07] Klaas, N.; Braun, J.; Mackenberg, S.: Entwicklung eines Immobilisierungsverfahrens für Schwermetalle unter Nutzung des geogenen Sulfatgehaltes im Grundwasser; Forschungsbericht FZKA-BWPLUS, Förderkennzeichen BWR 25004 (Mai 2007)
- [KL-11] Klemm, W.; Greif, A.; Hartmann, J.: Nachhaltige Arsenrückhaltung durch Eisenhydroxid-Fällung im gefluteten Grubenraum – Ergebnisse eines mehrjährigen Pilotversuches (2002 – 2010); In: Proceedings - Internat. Bergbausymposium WISSYM 2011 – Mai 2011; S. 275 - 283
- [KL-11/2] Klimkova, S.; Cernik, M.; Lacinova, L.; Filip, J.; Jancik, D.; Zboril, R.: Zero-valent iron nanoparticles in treatmenr of acid mine water from *in-situ* uranium leaching. Chemosphere 82 (2011), 1178-1184.
- [KU-01] Kuyucak, N.: Acid mine drainage: treatment options for mining effluents. Mining Environmental Management (2001) 9:12 - 15
- [LI-05] Lindow, N.L.; Borden, R. C.: Anaerobic bioremediation of acid mine drainage using emulsified soybean oil.- Mine Water and the Environment Volume 24 (2005) Number 4, S. 199 - 208
- [LMBV-17] www.lmbv.de:Sanierungsberichte: Jahresbericht zur Sanierung 2017

- [LO-07] Lottermoser, B.G.: Mine Wastes: Characterization, treatment, environmental impacts - 2. Edition (2007) Springer Berlin Heidelberg
- [MA-17] Madzivire, G.; Maleka, R. M.; Tekere, M.; Petrik, L. F.: Cradle to cradle solution to problematic waste materials from mine and coal power station: Acid mine drainage, coal fly ash and carbon dioxide. J.W.P.E. (2017)
- [MC-11] McCullough, C.; Lund, M. A.: Bioremediation of Acidic and Metalliferous Drainage (AMD) through organic carbon amendment by municipal sewage and green waste. J. Env. Man. 92 (2011), 2419-2426.
- [ME-07] Meyer, J; Jenk, U.; Paul, M.; Wolff, P.: Untersuchungen zur In-situ-Reinigung von Grubenwässern – Feldversuche in gefluteten Urangruben - In: Proceedings des DGFZ e.V. zu den 11. Dresdner Grundwasserforschungstagen (18. - 20. Juni 2007) Heft 31, S. 197 - 204
- [ME-97/1] Meyerhoff, R.; Rott, U.: Stoffbilanzen als Anwendungskriterium für die In-situ-Aufbereitung eisen- und manganhaltiger Grundwässer - GWF - Wasser/Abwasser (Das Gas- und Wasserfach) - 138 (1997), H. (4), 173 - 180
- [ME-97/2] Melzer, R.; Weth, D.: Einsatz einer reaktiven Wand zur Sanierung eines LHKW-Schadens in Nordrhein-Westfalen in: IWS-Schriftenreihe, Bd. 28, Kongress Grundwassersanierung (1997)/Veranst.: Institut für Wassergefährdende Stoffe e.V. (IWS) an der Technischen Universität Berlin (1997) IWS-Schriftenreihe; 28; S.357 - 361
- [MO-06] Mohan, Dinesh; Chander, Subhash: Removal and recovery of metal ions from acid mine drainage using lignite - A low cost sorbent - Journal of Hazardous Materials Bd. 137 (2006) Heft 3, S. 1545 - 1553
- [MT-04] Reference Document on Best Available Technologies for Management of Tailings and Waste rock in Mining activities. (July 2004) 517 pp.; <http://eippcb.irs.es>
- [MÜ-06] Müller, C.; Löbel, E.; Rissing, P.: Sanierung mit Nano-Eisen – Stand der Technik; Altlasten Spektrum (02/2006) Seite 75 - 83
http://www.altlastendigital.de/aid/alts_20060201/inhalt.html
- [NE-03] Nelson, B.N.; Cellant R.; Mudder T.; Whitlock J.; Waterland, R.: In situ, anaerobic, biological immobilization of uranium, molybdenum and selenium in an alluvial aquifer. Mining engineering (2003) Seite 31 - 36
- [NE-97] Neukirchner, R.J.; Hinrichs, D.R.: Effects of ore body Inundation – A case study - In: Proceedings of the 4th International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, B.C. Canada (May 31 - June 6, 1997) pp. 1471 - 1483
- [NI-16] Nilson, Ch.; Karlsson, S.; Sjöberg, V.; von Kronhelm, T.: Municipal sludge ash for abatement of ARD. Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016.
- [NI-18] Nielsen, G.; Hatam, I.; Abuan, K. A.; Janin, A.; Coudert, L.; Blais, J. F.; Mercier, G.; Baldwin, S. A.: Semi-passive *in-situ* pilot scale bioreactor successfully removed sulfate and metals from mine impacted water under subarctic climatic conditions. Wat. Res. 140 (2018), 268-279.
- [NO-01] Novak J.: Groundwater remediation in the stráž leaching operation Mine Water and the Environment, 20 (4) (2001), pp. 158 - 167

- [NO-02] Norton, L.; Baskaran, K.; McKenzie, T.: 'Green' treatment of acid mine drainage - a step towards sustainability - Green Processing 2002, International Conference on the Sustainable Processing of Minerals, 2002, in: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Publication series Bd. 4 (2002) S. 241 - 244
- [OL-13] Olivelli, M. S.; Di Gregorio, D.; Huck, H.; Niello, J. F.; Torres Sánchez, R. M.; Curutchet, G.: Characterization of U(VI) sorption and leaching on clay supported biomass sorbents. Advanced Materials Research Vol. 825 (2013), 532-535.
- [PA-03] Paul, M.: Geochemische In-situ-Stabilisierung von Bergbaualtlasten - In: Förstner, U.; Grathwohl, P. [Hrsg.]: Ingenieurgeochemie. Natürlicher Abbau und Rückhalt, Stabilisierung von Massenabfällen - Springer Verlag, 2. Aufl. Kap. 3.3 (2003) S. 298 - 329
- [PA-06] Paul, M.; Meyer, J.; Jenk, U.; Gengnagel, M.: Source manipulation in water bodies of flooded underground mines - Experiences from the WISMUT Remediation Program - In: Proc. 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD) (March 26 - 30, 2006) St. Louis MO., 1514 - 1530
- [PE-13] Peer, R. A. M.; Stronsnider, W. H. J.; Winfrey, B. K.; Nairn, R. W.: Passive Co-Treatment of Acid Mine Drainage and Municipal Wastewater: Removal of Less Commonly Addressed Metals at Cerro Rico de Potosí, Bolivia. Reliabke mine Water Technology: Proceedings IMWA 2013.
- [PI-03] Remediation of Acidic Mine / Industrial Drainage (PIRAMID). A Research Project of the European Commission Fifth Framework Programme (Key Action 1: Sustainable Management and Quality of Water) Contract Number EVK1-CT-1999-000021, FINAL REPORT (June 2003)
- [PI-16] Pinto, R.; Oliveira, Z.; Diamantino, C.; Carvalho, E.: Passive treatment of Radioactive Mine Water in Urgeiriça Uranium Mine, Portugal. Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016.
- [PI-17] Pi, K.; Wang, Y.; Xie, X.; Ma, T.; Liu, Y.; Su, C.; Zhu, Y.; Wang, Z.: Remediation of arsenic-contaminated groundwater by *in-situ* stimulating biogenic precipitation of iron sulfides. Wat.Res. 109 (2017), 337-346.
- [RE-03] Reiß, M.: Beitrag zur Quantifizierung der Sauerwasserbildung sulfidhaltiger Abgänge der Montanindustrie für die Konzeptionierung von Verminderungsmaßnahmen, Dissertation (2003) Seite 1 - 178
- [RO-96] Rott, U.; Meyerhoff, R.; Bauer, T.: In-situ-Aufbereitung von Grundwasser mit erhöhten Eisen-, Mangan- und Arsengehalten - GWF - Wasser/Abwasser (Das Gas- und Wasserfach) - 137 (1996), H. (7), 358 - 363
- [SA-11] Saad, D. M. G.; Cukrowska, E. M.; Tutu, H.: Development and application of cross-linked polyethylenimine for trace metal and metalloid removal from mining industrial wastewaters. Toxicological & Enviromental Chemistry Vol 93, No. 5, 2011, 914-924.
- [SA-14] Saad, D. M. G.; Cukrowska, E. M.; Tutu, H.: Engineered Materials for the Containment of Uranium and Other Toxic Elements in Mine-polluted Water. An Interdisciplinary Response to Mine Water Challenges- Sui, Sun & Wang. 2014, 654-657.

- [SA-18] Saunders, J. A.; Lee, M.-K.; Dhakal, P.; Ghandehari, S.S.; Wilson, T.; Billor, M. Z.; Uddin, A.: Bioremediation of arsenic-contaminated groundwater by sequestration of arsenic in biogenic pyrite. *Ap. Geochem.* 96 (2018), 233-243.
- [SC-01] Schneider, P.; Neitzel, P.L.; Osenbrück, K.; Noubacteb, C.; Merkel, B.; Hurst, S.: In-situ treatment of radioactive mine water using reactive materials - results of laboratory and field experiments in uranium ore mines in Germany. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* Band 29 (2001) Heft 2/3, Seite 129 - 138
- [SC-11] Schipek, M.; Treatment of acid mine lakes. Dissertation, 2011, Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- [ST-13] Strosnider, W. H. J.; Winfrey, B. K.; Peer, R. A. M.; Nairn, R. W.: Passive co-treatment of acid mine drainage and sewage: Anaerobic incubation reveals a regeneration technique and further treatment possibilities. *Ecol. Eng.* 61 (2013), 268-273.
- [TA-01] Taylor, J.; Waring, C.: The passive prevention of ARD in underground mines by displacement of air with a reducing gas mixture. *GaRDS - Mine Water and the Environment* Volume 20 (2001) Number 1, S. 2 - 7
- [UP-16] Upreti, P. S.; Chi Tangyie, G.; Huddersman, K.; Smail, I.: Field trial of an ion exchange based metal removal technology in the treatment of mine waters. *Mining meets Water - Conflicts and Solutions: Proceedings IMWA 2016.*
- [VE-08] Vestola, Elina; Mroueh, Ulla-Maija: Sulfaatinpelkistykseen hyödyntäminen happamien kaivosvesien käsittelyssä. *Opas louhoskäsittelyn hallintaan/In-situ-Behandlung saurer Grubenentwässerung durch sulfatreduzierende Bakterien: Anleitung zur Behandlung von Bergwerksseen/In situ treatment of acid mine drainage by sulphate reducing bacteria. Guide to the pit lake treatment - VTT Research Notes / Tiedotteita (Internet) (2008) / 20090105862*
- [VE-09/1] Vestola, E.: In situ Treatment of Acid Mine Drainage by Sulphate Reducing Bacteria - Paper presented at Securing the future and 8th ICARD (June, 2009) Skellefteå, Sweden
- [VE-09/2] Vestola, E.: frdl. mdl. Mitteilung, ICARD, Skellefteå, Schweden (June 2009)
- [VE-09/3] Verburg R.; Bezuidenhout N.; Chatwin T.; Ferguson K.: The Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide) - *Mine Water and the Environment* Volume 28 (2009) Number 4, S. 305 - 310
- [VO-96] Vogel, D.; Paul, M.; Sängner, H.-J.; Jahn, S.: Probleme der Wasserbehandlung am Sanierungsstandort Ronneburg - *Geowissenschaften*, 14 (11), (1996) Seite 486 - 490
- [WA-10] Wagner, S.; Bilek, F.: Übertragung eines Verfahrens zur Sulfat- und Eisenabreicherung auf bergbaubeeinflusste Grundwässer. *Wissenschaftliche Mitteilungen TU Bergakademie Freiberg* 42 (2010) S. 27 - 35
- [WA-11] Wan, J.; Dong, W.; Tokunaga, T. K.: A Method to Attenuate U(VI) Mobility in Acidic Waste Plumes Using Humic Acids. *Environ. Sci. Technol.* 45 (2011), 2331-2337.

- [WH-03] Whiting, K.; Huffsmith, R.; Olsen, R.; Adams, D.: High-altitude, passive-water-treatment system design and construction for leach-pad effluent. Mining engineering (2003) p. 37 - 40
- [WI-01] Willscher S.: Lösungsansätze zur Minderung der Umweltbelastung durch saure Grubenwässer; I, Maßnahmen zu deren Minimierung und Verfahren der aktiven Behandlung. Vom Wasser Bd. 97 (2001) S. 145 - 166
- [WI-03] Willscher S.: Lösungsansätze zur Minderung der Umweltbelastung durch saure Grubenwässer; II, Methoden der passiven und semi-passiven Behandlung. Vom Wasser Bd. 100 (2003) S. 61 - 84.
- [WI-13] Willscher, S.; Mirgorodsky, D.; Jablonski, L.; Ollivier, D.; Merten, D.; Büchel, G.; Wittig, J.; Werner, P.: Field scale phytoremediation experiments on a heavy metal und uranium contaminated site, and further utilization of the plant residues. Hydromet. 131-132 (2013), 46-53.
- [WI-08] Wilkin R. T.: Contaminant attenuation processes at mine sites. Mine Water and the Environment Volume 27 (2008) S. 251 - 258
- [WIS-03] Sonderbetriebsplan Immobilisierung von Schadstoffen in gelaugten und ungelaugten Blocksysteimen im Südfeld (135-m-Sohle) der Grube Königstein (29. April 2003)
- [WIS-97] Versuchsprogramm Auswirkung der Eiseneinlagerung in einem Teil der Feldstrecke 25-6-1 auf die chemischen und physikalischen Parameter des zugeführten Flutungsmediums (26. September 1997)
- [WIS-A 259/6] Abschlussbericht Pilotversuch zur In-situ-Beeinflussung des Flutungswassers der Grube Pöhla; Wismut GmbH, 09.02.2004
- [WIS-A 259/6-1] Ergänzungsbericht Pilotversuch zur In-situ-Beeinflussung des Flutungswassers der Grube Pöhla; Wismut GmbH, 21.02.2006
- [WIS-A 259/12] Gesamtbericht Durchführung des Pilotversuchs im Schacht 371 der Grube Schlema-Alberoda zur Überprüfung der In-situ-Beeinflussbarkeit des Flutungswassers mit feinkörnigem Eisen; Wismut GmbH, 29.02.2008
- [WIS-K 185/3] Abschlußbericht zur Studie "Auswertung und Beurteilung der Wirkung der Eiseneinlagerung in einem Teil der Feldstrecke 25-6-1 auf die chemischen und physikalischen Parameter des zugeführten Flutungsmediums im Sanierungsbetrieb Königstein"; Beak (31.03.199)
- [WIS-K 248/2] In situ groundwater remediation with the help of indigenous microbes zur Studie "In-situ-Grundwassersanierung mit Hilfe von natürlich im Wasser vorkommenden Mikroorganismen"; University of New Mexico Center for Radioactive (31.07.2000)
- [WIS-K 248/7] Abschlussbericht zum "Betrieb einer 200-L-Kolonne im Technikum Seelingstädt zur Behandlung von kontaminiertem Grundwasser aus dem 3. GWL Königstein zum Projekt "Mikrobiologische In-situ-Sanierung von Grundwasserleitern am Standort Königstein"; WISUTEC GmbH (30.6.2005)
- [WIS-K 297] Sachstandsbericht – Einsatz von reaktiven Materialien als unterstützende Maßnahme im Südfeld der Grube“, Chemnitz (04.08.2003)

- [WIS-K 319/11] Bericht "Auswertung Pilotversuch Sulfiteinsatz für die Grube Königstein; Versuchsphase 2 (Laufzeit März 2008 bis Februar 2009); IWSÖ - Institut für Wasserwirtschaft Siedlungswasserbau und Ökologie GmbH (16.07.2009)
- [WIS-K 319/13] Bericht "Auswertung Pilotversuch Sulfiteinsatz für die Grube Königstein; Versuchsphase 3 (Laufzeit März 2009 bis Februar 2010); IWSÖ - Institut für Wasserwirtschaft Siedlungswasserbau und Ökologie GmbH (31.05.2010)
- [WIS-K 319/9] Bericht "Auswertung Pilotversuch zum Sulfiteinsatz für die Grube Königstein (Laufzeit März 2007 bis Februar 2008); IWSÖ - Institut für Wasserwirtschaft Siedlungswasserbau und Ökologie GmbH (16.07.2008)
- [WIS-K 325/8] Schlussbericht zum Vorhaben „Nachhaltige Minimierung des langzeitlichen Stoffaustrags aus unterirdischen anorganischen Schadensherden am Beispiel der gefluteten Uranerzgrube Königstein“; Wismut GmbH/GFI Grundwasserforschungsinstitut GmbH Dresden GmbH (30.09.2010)
- [WO-17] Wolkersdorfer, C.; Qonya, B.: Passive Mine Water Treatment with a full scale, containerized Vertical Flow Reactor at the abandoned Metsämonttu Mine Site, Finland. Mine Water and Circular Economy: Proceedings IMWA 2017.
- [WU-06/1] Wu, W.-M.; Carley, J.; Fienen, M.; Mehlhorn, T.; Lowe, K.; Nyman, J.; Luo, J.; Gentile, M.; Rajan, R.; Wagner, D.; Hickey, R.; Gu, B.; Watson, D. B.; Cirpka, O.; Kitanidis, P.; Jardine, P. M.; Criddle, C.: Pilot-scale in situ bioremediation of uranium in a highly contaminated aquifer. 1. Conditioning of a treatment zone. Environ. Sci. Technol (2006) 40, 3978 - 3985
- [WU-06/2] Wu, W.-M.; Carley, J.; Gentry, T.; Ginder-Vogel, M.; Fienen, M.; Mehlhorn, T.; Yan, H.; Carroll, S.; Pace, M.; Nyman, J.; Luo, J.; Gentile, M.; Fields, M. W.; Hickey, R.; Watson, D. B.; Cirpka, O.; Zhou, J.; Fendorf, S.; Kitanidis, P.; Jardine, P. M.; Criddle, C.: Pilot-scale in situ bioremediation of uranium in a highly contaminated aquifer. 2. Geochemical control of U(VI) bioavailability and evidence of U(VI) reduction. Environ. Sci. Technol (2006) 40, 3986 - 3995
- [YA-15] Yan, B.; Mai, G.; Chen, T.; Lei, C.; Xiao, X.: Pilot test of pollution control and metal resource recovery for acid mine drainage. Water Science & Technology 72.12, IWA Publishing 2015.
- [WU-07] Wu, W.-M.; Carley, J.; Luo, J.; Ginder-Vogel, M.; Cardanans, E.; Leigh, M. B.; Hwang, C.; Kelly, S. D.; Ruan, C.; Wu, L.; Gentry, T.; Lowe, K.; Mehlhorn, T.; Carroll, S. L.; Fields, M. W.; Gu, B.; Watson, D.; Kemner, K. M.; Marsh, T. L.; Tiedje, J. M.; Zhou, J.; Fendorf, S.; Kitanidis, P.; Jardine, P. M.; Criddle, C.: Insitu bioreduction of uranium (VI) to submicromolar levels and reoxidation by dissolved oxygen. Environ. Sci. Technol (2007) 41, 5716 - 5723
- [YO-02] Younger, P.L.; Banwart, S.A.; Hedin, R.S.: Mine Water. Hydrology, Pollution, Remediation - Springer (2002)
- [ZO-00] Zoumis, T.; Calmano, W.; Förstner, U.: Demobilization of Heavy Metals from mine Waters - Acta hydrochim. Hydrobiol. 28 (2000), 4, 212 - 218

- [ZO-98] Zoumis, Theofanis; Calmano, Wolfgang: Entwicklung geochemischer Barrieren zur naturnahen Demobilisierung von Schwermetallen aus Grubenwässern/Theofanis Zoumis; Wolfgang Calmano - In: Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe: 8. Magdeburger Gewässerschutzseminar/Walter Geller [Hrsg.]; Pavel Puncchar [Hrsg.]; Dirk Bornhoeft [Hrsg.]; Jan Boucek [Hrsg.]; Hildegard Feldmann [Hrsg.]; Helmut Guhr [Hrsg.]. - Stuttgart. - (1998), 74 – 77; ISBN 3-519-00242-6

PATENTE

- [CA000002599557A1] CA00000259955A1. Alexco Resource Corp., CA: *In-situ* immobilization within density variant bodies of water
- [CA000002693176A1] CA000002693176A1. Canadian patent. Jin, S.; Fallgren, P.H.; Morris, J. M.: Treatment and prevention systems for acid mine drainage and halogenated contaminants
- [CN103362550 (A)] CN103362550 (A). Univ. Hefei: Method for performing in situ treatment on acid mine water by using crop seeds husks
- [CN103936168 (A)] CN103936168 (A). Univ. Guizhou: In-situ ecological restoration of acid mine drainage (AMD) pollution lake/reservoir water body
- [CN206538352 (U)] CN206538352 (U). Tianjin Academy of Env. Sciences: Permeable reactive brick of *in-situ* remediation heavy metal pollution water
- [EP1701776] EP1701776. In situ treatment process to remove metal contamination from groundwater
- [JP000060248288A] JP000060248288A. Japanese patent. Kobayashi Shigeyoshi, Okado Sadao, Yamada Yoshikazu: Treatment of waste water from mine
- [JP002005248521A] JP002005248521A. Japanese patent. Momato Hironori: Ground water intake system
- [JP002008062147A] JP002008062147A. Japanese patent. Ito Tatsuya, Imaizumi Yuji, Imamura Masaki: Iron-containing wastewater treatment method
- [KR102000073421A] KR102000073421A. Hwang In Ho, Lee Jin Su: Treatment method for acid wastewater using mineral water
- [KR1020090040049A] KR1020090040049A. Korean patent. Cheong Young Wook, Ji Sang Woo, Yim Gil Jae, Choi Yong Suk, Park Sung Won: Mine water purification system for purifying mine water by injecting a neutralizer and air into a vertical shaft
- [US20040245185A1] US20040245185A1. Chowdhury, A.K.; Vandenbush, T.: In situ neutralization of subsurface acidic pore water
- [US20060186053A1] US20060186053A1. Bethke, C.M.: In situ treatment process to remove metal contamination from groundwater

[WO2005068041]	WO2005068041. In situ treatment process to remove metal contamination from groundwater
[WO002016035045 A1]	WO002016035045 A1. Univ. Free State ZA: Mine drainage remediation using barium carbonate dispersed alkaline substrate
[WO002017180564 A1]	WO002017180564 A1. Soane Mining LLC, US: Acid mine drainage treatment
[WO02018006094 A1]	WO02018006094 A1. Cool Planet Energy Systems INC, US: Treated biochar for use in water treatment systems

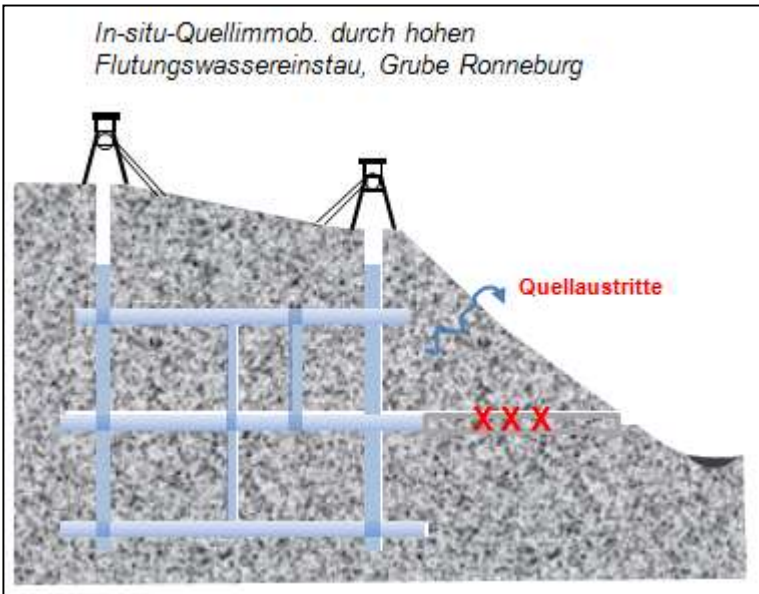
ANLAGE 4

Steckbriefe der Verfahren zum In Situ-Rückhalt von Schadstoffen

- 1.1 In-situ-Quellimmobilisierung durch hohen Flutungswassereinstau
- 1.2 Oxidation/Sedimentation (Transferbereich)
- 1.3 Oxidation/Sedimentation (grubenexternes Wetland)
- 1.4 Grubenwasser-Management
- 1.5 Neutralisation/Fällung
- 1.6 Reduktion
- 1.7 Reaktionsstrecke / Barriere

Projekt Vita Min - Steckbrief Verfahren in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

1.1 In-situ-Quellimmobilisierung durch hohen Flutungswassereinstau

I/1	Hoher Flutungswassereinstau zur Minimierung der oxidativ getragenen Stoffnachlieferung und zur Minimierung der Grubenwassermenge		
I/1.1	Potenziell abtrennbare Schadstoffe	Minimierung der Schadstoffmobilisierung bzw. Grubenwassermenge, daher keine Abtrennung	
I/2	Gruben-Randbedingung		
I/2.1	Grubengeometrie/ Wasserströmungen	Hinreichend gute Kenntnisse zu Grubengebäude (Grubenstruktur, Hydrogeologie, Geomechanik)	
I/2.2	Hydrochemie	Minimierung der Stoffnachlieferung aus Flutungsraum durch Reduzierung der Oxidationszone und langfristig partielle Reduktion der Grubenwasserinhaltsstoffe	
I/3	Maßnahmen-Randbedingung		
I/3.1	Maßnahme	Flutung des Grubengebäudes bis zum natürlichen Überlaufniveau (ohne Abflusstollen oder Wasserhaltungsschacht)	
I/3.2	Maßnahmen-Schema	<i>In-situ-Quellimmob. durch hohen Flutungswassereinstau, Grube Ronneburg</i> 	
I/4	Kriterien-Bewertung*		
	Kriterium	Bewertung	Punkte
I/4.1	Durchführung	Hydrogeologische Abflusserkundung (Prognose Abflusswege); Beurteilung Gefährdungsrisiko für Tagesoberfläche (Geomechanische Instabilitäten Vernässungen; unkontrollierte Boden- und Gewässer-kontamination); ggf. notwendige Installation übertägiger Wasserfassungen	1
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	abhängig von Gefährdungsrisiko; ggf. bergmännisch-geomechanische Verwahrungen; mehr oder minder umfangreiche Wasserfassungssysteme (Installations- und Unterhaltungsaufwand); Durchführung Wassermonitoring; zunächst kontrollierter Testeinstau unter Vorhaltung hydrotechnischer Rückfallmaßnahmen	0 - 1

1.1 In-situ-Quellimmobilisierung durch hohen Flutungswassereinstau

I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Antragstellung nach Berg-, Wasser- und ggf. Strahlenschutzrecht; Behördliche Einzelfallprüfung erwartbar Eingriff in den Grundwasserhaushalt mit ggf. schwer absehbaren Folgen	1
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	ggf. mehrjährige Realisierung einschließlich Testeinstau	1
I/4.5	Effizienz	Reduzierung der Abflussmenge an kontaminiertem Flutungswasser	1
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	keine, Maßnahme zielt auf Quellbeeinflussung durch umfassenden Luftabschluss des Grubenraumes ab (Verminderung Oxidationsprozesse)	2
I/4.7	Reststoffe	keine	2
I/4.8	Nachhaltigkeit	hoch	2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	keine	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	erhöhtes Risiko von lokalen Verbrüchen und Vernässungen sowie unkontrollierten Grundwasser-austritten in die Vorflut, anderenorts sind ggf. Bauwerksschäden, Einstau von Altlasten o. ä. zu besorgen	0 - 1
I/4.11	weitere Aspekte	möglichst vollständige Grubenflutung stellt Idealfall dar, Maßnahme für bewohnte bzw. genutzte Areale eher problematisch	
Gesamtbewertung			12-14

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Verfahren in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

1.2 Oxidation/Sedimentation (Transferbereich)

I/1 In-situ-Abtrennung von Schadstoffen durch Oxidation von sauerstofffreiem Flutungswasser im Rahmen des grubeninternen Wasser- und Bewetterungsmanagements (Schwerpunkt peripherer Flutungsraum)

I/1.1 Potenziell abtrennbare Schadstoffe Redoxsensitive Schadstoffe, insbesondere Eisen und Arsen

I/2 Gruben-Randbedingung

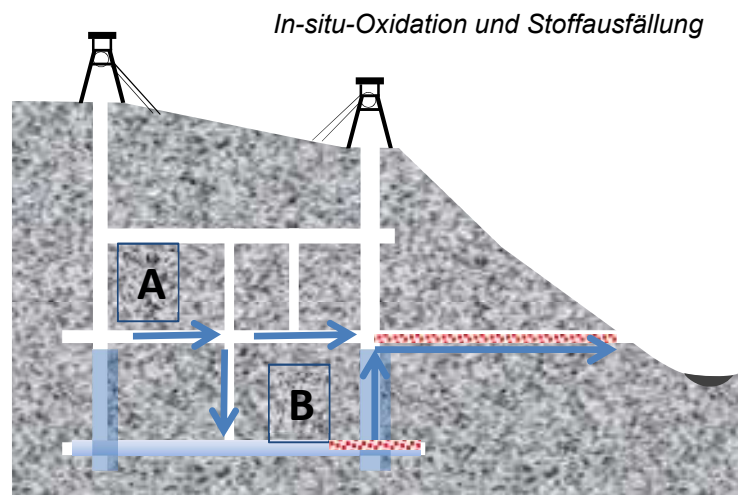
I/2.1 Grubengeometrie/Wasserströmungen Grubeninterner Wasserabfluss über belüfteten Abflusstollen oder grubeninterne separate Wasserteilströme zwecks Vermischung

I/2.2 Hydrochemie Wasserteilstrom B (Flutungsraum) mit chemisch reduzierendem Redoxmilieu (sauerstofffrei) und gelöstem Fe (Fe^{2+}) sowie As (As^{3+}); sauerstoffhaltige Grubenwetter (Luft)
Wasserteilstrom B; Teilstrom A mit chemisch oxydierendem Milieu (sauerstoffhaltig) aus belüftetem Grubenbereich

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme Option a) Belüftung Teilstrom B im Abflusstollen durch Grubenwetter, Oxidation des Fe und As; Fe^{3+} als unlösliches Hydroxid ausflockend, unter Mitfällung/Adsorption von As; In-situ-Sedimentation arsenhaltiger Feststoffflocken/Grubenschlämme
Option b) Grubeninterne Vermischung Teilströme A und B (Flutungsraum) bis Einstellung eines intermediären Redoxmilieus (sauerstoffhaltig); analoge Prozesse wie bei Belüftung

I/3.2 Maßnahmen-Schema



1.2 Oxidation/Sedimentation (Transferbereich)

I/4 Kriterien-Bewertung*			
	Kriterium	Bewertung Punkte	
I/4.1	Machbarkeit; Anwendung; Anforderungen	Einfache Durchführbarkeit: - Ableitung Teilstrom B über Ablaufstollen; oder - Fassung und Ableitung Teilstrom A in Teilstrom B (Flutungsraum), z. B. Versturz mittels Bohrloch; Zugänglichkeiten ohne aufwendige bergmännische Grubenrekonstruktionen; Hinreichend große Grubenräume mit geringer Fließgeschwindigkeit zur Sedimentation Feststoffflocken; für Abflussstollen Einbau lokaler Abflussschikanen; Bevorzugung natürlicher hydraulischer Gefälle vor technischer Wasserförderung	1 - 2
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	Keine konkreten Kosten recherchierbar Moderate Investitionskosten prinzipiell möglich; Moderate Betriebskosten prinzipiell möglich; Geringer personeller Kontroll- und Monitoringaufwand prinzipiell möglich	1 - 2
I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Antragstellung nach Berg-, Wasser- und ggf. Strahlenschutzrecht; Behördliche Einzelfallprüfung erwartbar; Begünstigung durch ausschließliches Management von Grubenwässern und -wettern ohne Einsatz von Behandlungskemikalien; Ggf. zunächst genehmigte Testphase zweckmäßig bzw. erforderlich	1 - 2
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	Ausgehend von Pkt. 4.1 moderater Zeitbedarf für technische Umsetzung prinzipiell möglich	1 - 2
I/4.5	Effizienz	Ziel gemäß Genehmigungen, u. a. von Abflussleistung Vorflut abhängig; z. B. 2 mg/l Fe, 0,2 mg/l As; Effizienz insbesondere von Realisierung Ausgangsbedingungen lt. Pkt. 5.1 und ausreichender und anhaltender oxidierbarer Eisenkonzentration abhängig; Ggf. keine vollständige, zielgemäße Schadstoffabtrennung (As) realisierbar, sondern nur Teilbehandlung	1 - 2
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	Bei nachhaltiger systemimmanenter Aufrechterhaltung in-situ-Oxidation wenig wahrscheinlich, da oxydierendes Reaktionsmilieu Fe- und As-Rücklösung unterbindet Zusätzliche mechanische Kompaktierung sowie chemisch strukturelle Alterung/Fixierung Fällschlamm Notwendig: Ausschluss einer Versauerung der betreffenden Grube durch separate chemische Prozesse Notwendig: ausreichender Sedimentationsraum ohne Risiko einer mechanischen Ausspülung von Fällschlamm	1 - 2

1.2 Oxidation/Sedimentation (Transferbereich)

I/4.7	Reststoffe	Bei mittel- bis langfristig ausreichendem Sedimentationsraum keine Entsorgung erforderlich Bei Oxidation/Flockung durch Wasservermischung keine Entsorgung möglich (Flutungsraum unzugänglich) Bei Oxidation durch Wasserbelüftung/Abflusstollen Entsorgung durch periodische Entschlammung	1
I/4.8	Nachhaltigkeit	Hohe Nachhaltigkeit prinzipiell möglich	1 - 2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Bei ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Bei ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.11	weitere Aspekte	-	-
Gesamtbewertung			12 - 19

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Verfahren in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

1.3 Oxidation/Sedimentation (grubenexternes Wetland)

I/1 In-situ-Abtrennung von Schadstoffen durch Oxidation von sauerstofffreiem Flutungswasser im Zuge einer grubenexternen passiven Wasserbehandlung

I/1.1 Potenziell abtrennbare Schadstoffe Redoxsensitive Schadstoffe, insbesondere Eisen und Arsen

I/2 Gruben-Randbedingung

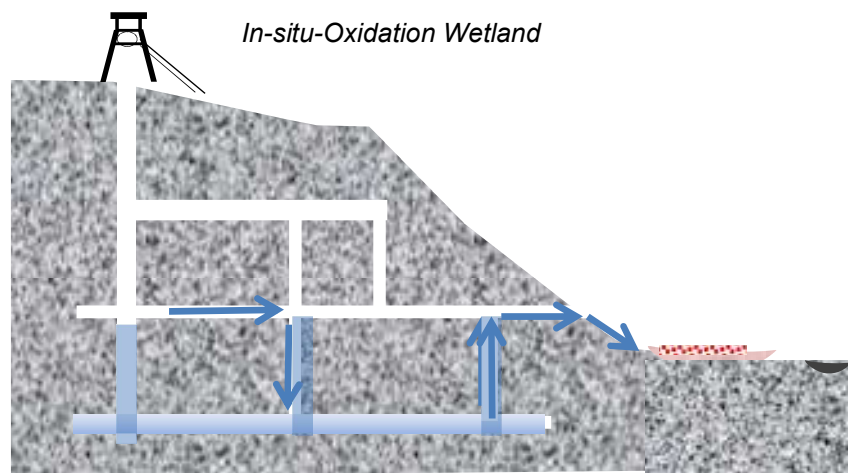
I/2.1 Grubengeometrie/ Wasserströmungen Grubenwasserabfluss über Abflusstollen

I/2.2 Hydrochemie Grubenwasser mit chemisch reduzierendem Redoxmilieu (sauerstofffrei) und gelöstem Fe (Fe^{2+}) sowie As (As^{3+}); atmosphärischer Luftkontakt

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme Atmosphärische Belüftung Grubenwasser in Wetland (ggf. über Kaskade), Oxidation des Fe und As; Fe^{3+} als unlösliches Hydroxid ausflockend, unter Mitfällung/Adsorption von As; In-situ-Sedimentation arsenhaltiger Feststoffflocken/Grubenschlämme

I/3.2 Maßnahmen-Schema



I/4 Kriterien-Bewertung*

	Kriterium	Bewertung	Punkte
I/4.1	Machbarkeit; Anwendung; Anforderungen	Grundsätzliche Durchführbarkeit bei ausreichendem Platzangebot Grundsätzliche Zugänglichkeit gewährleistet Hinreichend große Reaktions- und Absetzbecken mit geringer Fließgeschwindigkeit zur Sedimentation Feststoffflocken; Bevorzugung natürlicher hydraulischer Gefälle vor technischer Wasserförderung	2
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	Keine konkreten Kosten recherchierbar Moderate Investitionskosten prinzipiell möglich; Moderate Betriebskosten prinzipiell möglich; Geringer personeller Kontroll- und Monitoringaufwand prinzipiell möglich	1 - 2

1.3 Oxidation/Sedimentation (grubenexternes Wetland)

I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Antragstellung nach Berg-, Wasser- und ggf. Strahlenschutzrecht; Behördliche Einzelfallprüfung erwartbar Begünstigung durch ausschließliches Management von Grubenwässern ohne Einsatz von Behandlungschemikalien; Ggf. zunächst genehmigte Testphase zweckmäßig bzw. erforderlich	1 - 2
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	Ausgehend von Pkt. 4.1 moderater Zeitbedarf für technische Umsetzung prinzipiell möglich	2
I/4.5	Effizienz	Ziel gemäß Genehmigungen, u. a. von Abflussleistung Vorflut abhängig Effizienz insbesondere von Realisierung Ausgangsbedingungen lt. Pkt. 5.1 und ausreichender und anhaltender oxidierbarer Eisenkonzentration abhängig; Ggf. keine vollständige, zielgemäße Schadstoffabtrennung (As) realisierbar, sondern nur Teilbehandlung; gilt zudem verstärkt bei Mehrfachkontaminationen	1 - 2
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	Bei nachhaltiger systemimmanenter Aufrechterhaltung ex-situ-Oxidation wenig wahrscheinlich, da oxydierendes Reaktionsmilieu Fe- und As-Rücklösung unterbindet Zusätzliche mechanische Kompaktierung sowie chemisch strukturelle Alterung/Fixierung Fällschlamm Notwendig: Ausschluss einer Versauerung der betreffenden Grube durch separate chemische Prozesse Notwendig: ausreichender Sedimentationsraum ohne Risiko einer mechanischen Ausspülung von Fällschlamm	2
I/4.7	Reststoffe	Periodische Leerung Sedimentationsraum mit Entsorgung kontaminierter Fällschlämme (ggf. organikhaltig) erforderlich	1
I/4.8	Nachhaltigkeit	Hohe Nachhaltigkeit prinzipiell möglich	1 - 2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Lokale Inanspruchnahme (Bereich Stollenmundloch) erforderlich	1
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Von Lage der Grube bzw. des Wetlandes abhängig	1 - 2
I/4.11	weitere Aspekte	-	-
Gesamtbewertung			13 - 17

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Verfahren in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

1.4 Grubenwasser-Management

I/1 In-situ-Abtrennung von Schadstoffen durch Reduktion von Flutungswasser im Rahmen des grubeninternen Wasser- und Bewetterungsmanagements

I/1.1 Potenziell abtrennbare Schadstoffe Mengenreduzierung Wasserdurchfluss Flutungsraum; damit auch Reduzierung Stoffverfrachtung

I/2 Gruben-Randbedingung

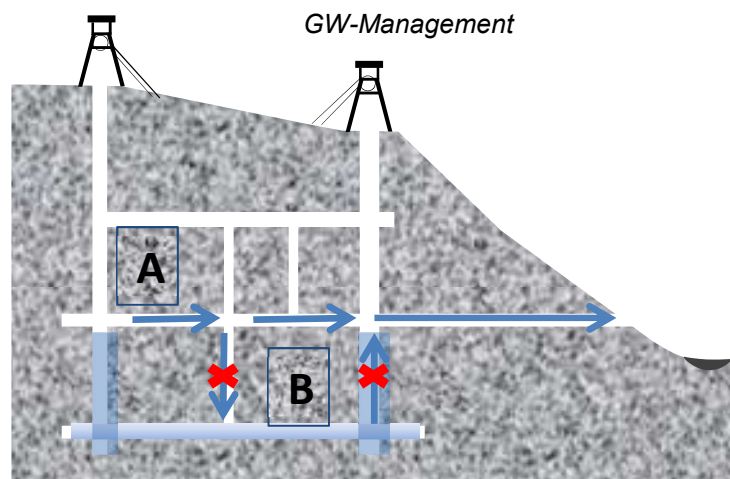
I/2.1 Grubengeometrie/ Wasserströmungen Separierung Flutungsraum; Reduzierung Grundwasserzufluss bzw. Sauerstoffeintrag

I/2.2 Hydrochemie Kontaminiertes Flutungswasser unter Abflussniveau (B)
Gering kontaminiertes Grubenwasser auf Abflussniveau (A)

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme hydraulische Separierung bzw. Ableitung fassbarer Grubenwässer über Abflussniveau; Grubeninterne Zuflussreduzierung in Flutungsraum

I/3.2 Maßnahmen-Schema



I/4 Kriterien-Bewertung*

	Kriterium	Bewertung	Punkte
I/4.1	Anwendung; Anforderungen	Durchführbarkeit in Abhängigkeit von Zugänglichkeiten und Grubenbaubeschaffenheit; Zulaufschwerpunkt über Flutungsraum bzw. umfassendes GW-Abflussniveau über Flutungsraum	1
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	Keine konkreten Kosten recherchierbar Ggf. hohe Investitionskosten, da bergmännische Aufwältigung/Sicherung Grube im GW-Abflussniveau Moderate Betriebskosten prinzipiell möglich; Geringer personeller Kontroll- und Monitoringaufwand prinzipiell möglich	0 - 1
I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Antragstellung nach Berg-, Wasser- und ggf. Strahlenschutzrecht; Behördliche Einzelfallprüfung erwartbar Begünstigung durch ausschließliches Management von Grubenwässern ohne Einsatz von Behandlungskemikalien	1
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	Ausgehend von Pkt. 4.1 mittel- bis langfristiger Zeitbedarf für bergmännische Grubenaufwältigung/Sicherung	1

1.4 Grubenwasser-Management

I/4.5	Effizienz	Generell nur anteilige Mengenbegrenzung der Stoffemission ohne in-situ-Stoffabtrennung	1
I/4.6	Remobilisierungs- gefahr	Keine Stoffabtrennung, keine Stoffremobilisierung	2
I/4.7	Reststoffe	Keine Stoffabtrennung, keine Reststoffe	2
I/4.8	Nachhaltigkeit	hohe Nachhaltigkeit prinzipiell möglich	1 - 2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Bei ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Bei ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.11	weitere Aspekte	-	-
Gesamtbewertung			13 - 15

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Verfahren in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

1.5 Neutralisation/Fällung

I/1 In-situ-Behandlung eines kontaminierten, ggf. sauren, eisenhaltigen Wasserteilstromes durch Fällung bzw. ggf. Neutralisation

I/1.1 Potenziell abtrennbare Schadstoffe alle durch Hydrolyse fällbaren Elemente, Arsen

I/2 Gruben-Randbedingung

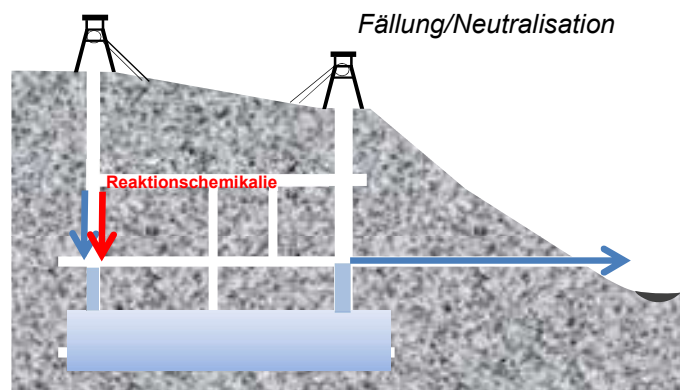
I/2.1 Grubengeometrie/ Wasserströmungen Zugängliche Grubenbaue oder übertägige Anlage mit Zugriffsmöglichkeit auf Flutungsraum; Flutungsraum mit hydraulischer/thermischer Wasserkonvektion (Stoffaustausch)
Anstrom mit Schadstoffbelastung, untertägiger Sedimentationsraum mit deutlicher Querschnittsaufweitung, definierter Über- bzw. Ablauf

I/2.2 Hydrochemie Schadstoffbelastetes Flutungswasser, ggf. eisenhaltig und saurem pH-Wert
Beeinflussung der Wasserlöslichkeit mobiler Schadstoffe sowie ggf. des pH-Regimes im Flutungsraum

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme Zugabe eines Fällungsmittels zur Bildung schwer löslicher Schadstoffverbindungen; ggf. kombinierte Zugabe eines Neutralisationsmittels zur Abbindung freier Säure; ggf. Zugabe eines Flockungshilfsmittels zur Agglomeration sedimentationsfähiger schadstoffhaltiger Feststoffflocken

I/3.2 Maßnahmen-Schema



I/4 Kriterien-Bewertung*

	Kriterium	Bewertung	Punkte
I/4.1	Machbarkeit; Anwendung; Anforderungen	Einfache Durchführbarkeit prinzipiell möglich in Abhängigkeit von Zugänglichkeiten ohne aufwendige bergmännische Grubenrekonstruktionen; Natürliche Flutungswasser-Durchmischung im Flutungsraum Hinreichend große Grubenräume mit geringer Fließgeschwindigkeit zur Sedimentation Feststoffflocken; Bevorzugung natürlicher hydraulischer Gefälle vor technischer Wasserförderung Ggf. separates Monitoring erforderlich	1

1.5 Neutralisation/Fällung

I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	geringer im Vergleich zu grubenexterner Wasserbehandlung - moderate Investitionskosten prinzipiell möglich; - moderate Betriebskosten prinzipiell möglich; - geringer personeller Kontroll- und Monitoringaufwand prinzipiell möglich	1
I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Antragstellung nach Berg-, Wasser- und ggf. Strahlenschutzrecht; Behördliche Einzelfallprüfung erwartbar Verschärfung durch Einsatz von Behandlungschemikalien (Stoffeinbringung in Grundwasser); Ggf. zunächst genehmigte Testphase zweckmäßig bzw. erforderlich	0 - 1
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	Mehrjährige Vorbereitung und Durchführung	1
I/4.5	Effizienz	Vollständige zielgemäße Wasserbehandlung fraglich, da umfassende Wirkungsausbreitung im Flutungsraum Idealfall darstellt	1
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	Bei unzureichender Flockensedimentation Risiko einer Verschleppung schadstoffhaltiger Feststoffflocken zum Austragspunkt des Flutungsraumes Notwendiger Ausschluss einer mittel- bis langfristigen Versauerung des Flutungsraumes	1
I/4.7	Reststoffe	Sollten vorzugsweise in der Grube verbleiben, Dünnschlamm sedimentation führt zu Sedimentverdichtung	1 - 2
I/4.8	Nachhaltigkeit	Gute Chancen für hohe Nachhaltigkeit, sofern systemimmanente Vorgehensweise	1 - 2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	übertägige Anlagen (siehe oben)	1 - 2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Nicht relevant, da untertägig	2
I/4.11	weitere Aspekte	Prinzipielle Untervariante einer grubenexternen Wasserbehandlung mit untertägiger Rückstandsverbringung in Flutungsraum	-
Gesamtbewertung			10 - 14

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Verfahren in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

1.6 Reduktion

I/1 In-situ-Abtrennung von Schadstoffen durch Reduktion von Flutungswasser im Rahmen des grubeninternen Wasser- und Bewetterungsmanagements

I/1.1 Potenziell abtrennbare Schadstoffe Redoxsensitive Schadstoffe, insbesondere Uran, Eisen, Mangan, Nitrat, Sulfat

I/2 Gruben-Randbedingung

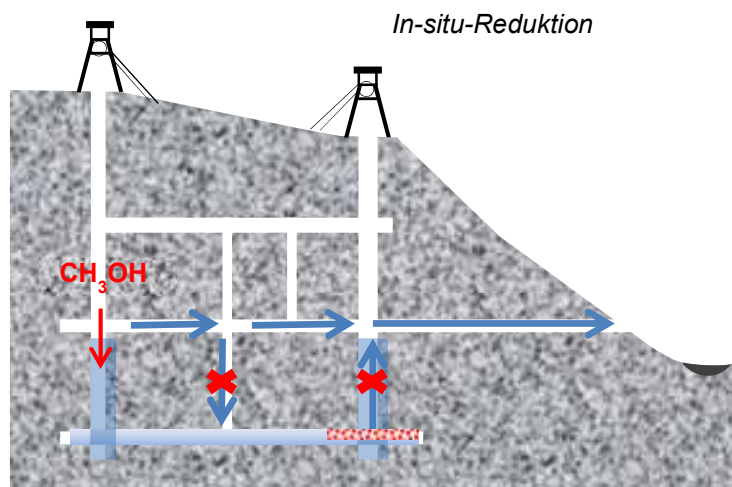
I/2.1 Grubengeometrie/ Wasserströmungen Separierung Flutungsraum; Reduzierung Grundwasserzufluss bzw. Sauerstoffeintrag

I/2.2 Hydrochemie Flutungswasser mit intermediärem bis schwach reduzierendem Redoxmilieu
Sauerstoffzehrendes Grubeninventar (Grubenholz, technischer Grubenausbau (Eisenwerkstoffe), reaktive Minerale (Sulfide))

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme Möglichst vollständiger Luftabschluss bzw. Minimierung Sauerstoffeintrag in Flutungsraum
Ggf. zusätzliche Einleitung anorganischer Reduktionsmittel (z. B. Eisen) oder organischer Stoffe/Nährstoffe (z. B. Alkohole) in Flutungsraum zur Stimulierung/Beschleunigung biochemischer Reduktionsprozesse

I/3.2 Maßnahmen-- Schema



I/4 Kriterien-Bewertung*

	Kriterium	Bewertung	Punkte
I/4.1	Machbarkeit; Anwendung; Anforderungen	Einfache Durchführbarkeit prinzipiell möglich in Abhängigkeit von Zugänglichkeiten ohne aufwendige bergmännische Grubenrekonstruktionen; Natürliche FW-Durchmischung im Flutungsraum Hinreichend große Grubenräume mit geringer Fließgeschwindigkeit zur Sedimentation reduktiver Fällprodukte	1 - 2
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	Keine konkreten Kosten recherchierbar Moderate Investitionskosten prinzipiell möglich; Moderate Betriebskosten prinzipiell möglich; Geringer personeller Kontroll- und Monitoringaufwand prinzipiell möglich	1 - 2

1.6 Reduktion

I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Antragstellung nach Berg-, Wasser- und ggf. Strahlenschutzrecht; Behördliche Einzelfallprüfung erwartbar Begünstigung bei ausschließlichem Management von Grubenwässern und -wetter; Erweiterung im Falle von Zugabe mikrobieller Nährstoffe Ggf. zunächst genehmigte Testphase zweckmäßig bzw. erforderlich	0 - 1
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	Ausgehend von Pkt. 4.1 mittel- bis langfristiger Zeitbedarf für Grubenflutung und chemisch-reduktive Folgereaktionen erforderlich; ggf. zusätzlicher mittelfristiger Zeitbedarf für hydraulische Maßnahmen der separaten Wasserfassung und Ableitung erforderlich	1
I/4.5	Effizienz	Effizienz insbesondere von Realisierung Ausgangsbedingungen lt. Pkt. 4.1 und ausreichender bzw. anhaltender Sauerstoffzehrung im Flutungsraum abhängig; Grundsätzliche hohe Effizienz mit nahezu quantitativer Immobilisierung einzelner Stoffparameter möglich Ggf. aber auch keine vollständige, zielgemäße Schadstoffabtrennung (U) realisierbar, sondern nur Teilbehandlung Effizienzeinschränkungen durch chemisch-redoxsensitive Gegenreaktionen möglich (Redoxreaktionen)	1
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	Bei nachhaltiger systemimmanenter Aufrechterhaltung in-situ-Reduktion wenig wahrscheinlich, da reduzierendes Reaktionsmilieu die Rücklösung der Stoffparameter lt. Pkt. 1.1 unterbindet Notwendig: Ausschluss einer Versauerung der betreffenden Grube durch separate chemische Prozesse	1
I/4.7	Reststoffe	Bei ausreichendem Sedimentationsraum keine Entsorgung erforderlich Bei reduktiver Stoffabtrennung keine Entsorgung möglich (Flutungsraum unzugänglich)	1 - 2
I/4.8	Nachhaltigkeit	Hohe Nachhaltigkeit prinzipiell möglich	1 - 2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Bei ausschließlich untertägiger In-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Bei ausschließlich untertägiger In-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.11	weitere Aspekte	-	-
Gesamtbewertung			11 - 16

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

1.7 Reaktionsstrecke / Barriere

Reaktionsstrecke / Barriere

1.7 Reaktionsstrecke / Barriere

I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	relativ kurzfristig umsetzbar, wenn hinreichende Zugänglichkeit gegeben ist	1
I/4.5	Effizienz	Effizienz insbesondere vom Chemismus des Grubenwassers abhängig (Art der abzutrennenden Elemente) Grundsätzliche hohe Effizienz mit nahezu quantitativer Immobilisierung einzelner Stoffparameter möglich Ggf. keine vollständige, zielgemäße Schadstoffabtrennung (z.B. Cd) realisierbar, sondern nur Teilbehandlung	1 - 2
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	gering, da in Umbruch oder Seitenstrecke (abgeschlossen und beeinflussbar)	1 - 2
I/4.7	Reststoffe	verbrauchter reaktiver Stoff muss ggf. entsorgt werden	1
I/4.8	Nachhaltigkeit	Nachhaltigkeit gegeben, wenn reaktives Volumen groß genug	1 - 2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Bei ausschließlich untertägiger In-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Bei ausschließlich untertägiger In-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.11	Weitere Aspekte	-	-
Gesamtbewertung			12 - 18

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

ANLAGE 5

Steckbriefe der recherchierten Fallstudien in Deutschland (Wismut GmbH und Ehrenfriedersdorf)

- 2.1 Grubenwasser-Management: Marks-Semmler-Stollen, Grube Schneeberg
- 2.2 In-situ-Quellimmobilisierung durch hohen Flutungswassereinstau, Grube Ronneburg
- 2.3 Fällung von Bariumsulfat, Grube Königstein
- 2.4 Neutralisation/Fällung mittels Kalkmilch untertage, Grube Ronneburg
- 2.5 Neutralisation/Pufferung, Grube Königstein
- 2.6 Zementation mit Eisen, Grube Königstein
- 2.7 Oxidation, Grube Pöhla - Grubenteil Hämmerlein
- 2.8 Oxidation, Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf
- 2.9 Reduktion, Grube Pöhla, zentraler Flutungsraum - Grubenteil Tellerhäuser
- 2.10 Reduktion, Grube Schlema-Alberoda

Projekt Vita Min - Steckbrief Fallbeispiel in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

2.1 Grubenwasser-Management, Grube Schneeberg

I/1 Verminderung des Schadstoffaustrages aus dem Flutungsraum durch Reduzierung des GW-Durchflusses; Bergmännische Ertüchtigung Marks-Semmler-Stollen Erzgrube Schneeberg (Westerzgebirge)

I/1.1 Potenziell abtrennbare Schadstoffe Mengenreduzierung Wasserdurchfluss Flutungsraum; damit auch Reduzierung Stoffverfrachtung

I/2 Gruben-Randbedingung

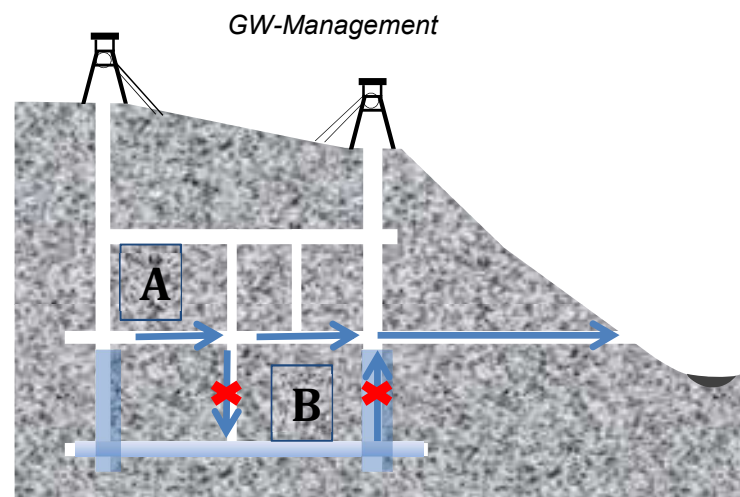
I/2.2 Grubengeometrie/ Wasserströmungen Separierung Flutungsraum; Reduzierung Grundwasserzufluss

I/2.3 Hydrochemie Kontaminiertes Flutungswasser unter Abflussniveau (B)
Gering kontaminiertes Grubenwasser auf Abflussniveau (A)

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme Hydraulische Separierung bzw. Ableitung fassbarer Grubenwässer über Abflussniveau; Grubeninterne Zuflussreduzierung in Flutungsraum

I/3.2 Maßnahmen-Schema



I/4 Kriterien-Bewertung

	Kriterium	Bewertung	Punkte
I/4.1	Anwendung; Anforderungen	Durchführbarkeit in Abhängigkeit von Zugänglichkeiten und Grubenbaubeschaffenheit; Zulaufschwerpunkt über Flutungsraum bzw. umfassendes GW-Abflussniveau über Flutungsraum	1
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	Hohe Investitionskosten, da bergmännische Aufwältigung/Sicherung Markus-Semmler-Stollen Moderate Betriebskosten prinzipiell möglich; Geringer personeller Kontroll- und Monitoringaufwand prinzipiell möglich	0 - 1
I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Antragstellung nach Berg-, Wasser- und ggf. Strahlenschutzrecht; Behördliche Einzelfallprüfung erwartbar Begünstigung durch ausschließliches Management von Grubenwässern ohne Einsatz von Behandlungschemikalien	1 - 2

2.1 Grubenwasser-Management, Grube Schneeberg

I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	Ausgehend von Pkt. 4.1 mittel- bis langfristiger Zeitbedarf für bergmännische Grubenaufwältigung/Sicherung	1
I/4.5	Effizienz	Generell nur anteilige Mengenbegrenzung Stoffemission ohne in-situ-Stoffabtrennung	1
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	Keine Stoffabtrennung, keine Stoffremobilisierung	2
I/4.7	Reststoffe	Keine Stoffabtrennung, keine Reststoffe	2
I/4.8	Nachhaltigkeit	hohe Nachhaltigkeit prinzipiell möglich	1 - 2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Bei ausschließlich untertägiger In-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Bei ausschließlich untertägiger In-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.11	Weitere Aspekte	-	-
Gesamtbewertung			13 - 16

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Fallbeispiel in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

2.2 In-situ-Quellimmobilisierung durch hohen Flutungswassereinstau, Grube Ronneburg

I/1 Hoher Flutungswassereinstau zur Minimierung der oxidativ getragenen Stoffnachlieferung und zur Minimierung der Grubenwassermenge; Grube Ronneburg

I/1.1 Potenziell abtrennbare Schadstoffe Minimierung der Schadstoffmobilisierung bzw. Grubenwassermenge, daher keine Abtrennung

I/2 Gruben-Randbedingung

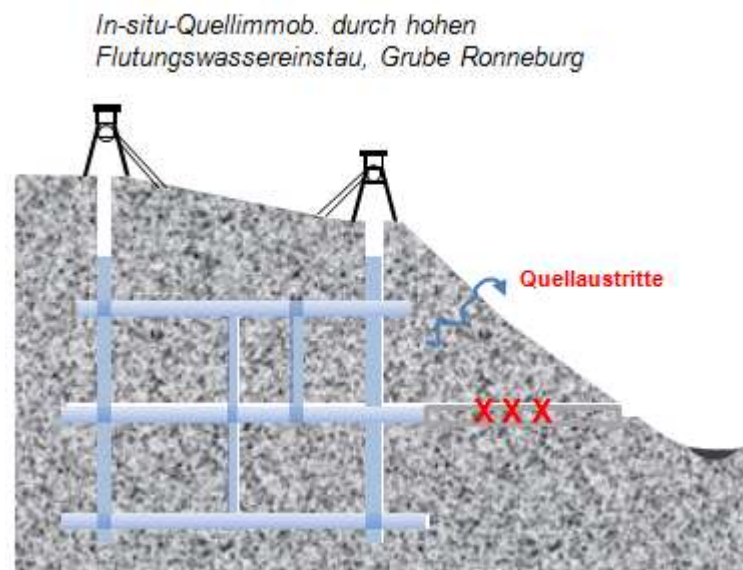
I/2.1 Grubengeometrie/ Wasserströmungen gut untersuchte Grubengebäude, komplexe Strategie zur Optimierung

I/2.2 Hydrochemie Minimierung der Stoffnachlieferung durch Reduzierung der Oxidationszone und langfristig partielle Reduktion der Grubenwasserinhaltsstoffe

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme Flutung des Grubengebäudes unter Ausschluss von Grubenwasser-Entlastungen auf niedrigem Niveau (im Idealfall kein Stollen)

I/3.2 Maßnahmen--Schema



I/4 Kriterien-Bewertung

Kriterium		Bewertung	
I/4.1	Durchführung	auf der Basis zahlreicher Voraussetzungen (physische Vorbereitungen!, Prognosen der Fließwege, Mengen, Konzentrationen, übertägigen Auswirkungen u.v.m.) Flutung des Grubengebäudes, in diesem Fall ohne Fremdwasserzuspeisung, komplexes Monitoring, höchste Anforderungen an Rückfall- und Reaktionsmaßnahmen, in Ronneburg als unterstützende Maßnahme nur in Kombination mit klassischer übertägiger Wasserbehandlung möglich	1

2.2 In-situ-Quellimmobilisierung durch hohen Flutungswassereinstau, Grube Ronneburg

I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	in Ronneburg sehr groß, Übertragung auf andere Standorte nicht ohne weiteres möglich, sehr abhängig von Randbedingungen und Umgebungsbedingungen geringe Betriebskosten (ohne WBA); geringer zusätzlicher Kontroll- und Monitoringaufwand	0 - 1
I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	große Hürden, weil Eingriff in den Grundwasserhaushalt mit ggf. schwer absehbaren Folgen	1
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	seit 1998, ca. 1 Jahrzehnt, derzeit unterbrochen wg. Eingriffen zur Steuerung	1
I/4.5	Effizienz	dient nur einer Optimierung bzw. geringfügigen Reduzierung, Effekte zu Beginn der Zeit einer Vollflutung noch am größten, keine unmittelbare Maßnahme-Wirkung-Beziehung	1
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	keine, Maßnahme zielt auf Quellbeseitigung ab (Stoppen von Oxidationsprozessen)	2
I/4.7	Reststoffe	keine	2
I/4.8	Nachhaltigkeit	hohe Nachhaltigkeit	2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	keine	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	erhöhtes Risiko von Vernässungen und Grundwasseraustritten in die Vorflut, anderenorts wären ggf. Bauwerksschäden, Einstau von Altlasten o.ä. zu besorgen	1
I/4.11	Weitere Aspekte	Die Maßnahme ist selten möglich bzw. allein sinnvoll, und wenn, dann eher bei noch für die Flutung vorgesehenen Gruben zu prüfen, Bei geringfügigen langjährigen Überschreitungen, die durch Quellabschnürungen durch hohen Einstau vermeidbar sein könnten, sollten wahrscheinlich eher anderen, berechenbareren Eingriffen der Vorzug gegeben werden, Maßnahme kann überwiegend unterstützend im Rahmen einer In-Situ-Gesamtstrategie geprüft werden.	-
Gesamtbewertung			13 - 14

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- 0 ungeeignet technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam
- 1 bedingt geeignet signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit
- 2 gut geeignet keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

2.3 Fällung, Grube Königstein

I/1	Gesteuerte Barytfällung im Porenraum der Sandsteine von Laugungsblöcken in der Grube Königstein		
I/1.1	Potenzielle abtrennbare Schadstoffe	dauerhafte Bindung von Uran, Radium, Schwermetallen und Sulfat, Reduzierung der hydraulischen Durchlassfähigkeit, Unterbindung von Nachlöseeffekten	
I/2	Gruben-Randbedingung		
I/2.2	Grubengeometrie/ Wasserströmungen	Beaufschlagung noch zugänglicher, größtenteils entwässerter Laugungsblöcke und Magazine im Grubenfeld Süd mit einer Wasserglas-Bariumhydroxid-Lösung	
I/2.3	Hydrochemie	Aufgabe/Einpressen einer Wasserglas-Bariumhydroxid-Lösung in die porösen Sandsteine, Bindung von Schadstoffen mittels BaSO ₄	
I/3	Maßnahmen-Randbedingung		
I/3.1	Maßnahme	Kontinuierliche Aufgabe von Immobilisierungslösung unter Tage über Aufgabeb Bohrungen, Erfassung der Drainage, Beprobung	
I/3.2	Maßnahmen-- Schema	Das Diagramm zeigt einen Querschnitt durch ein Grubenfeld. Eine weiße Gitterstruktur ist in den braunen Sandstein eingezeichnet. Rote Pfeile zeigen die Injektion einer Lösung in das Gitter. Ein roter Bereich am unteren Rand des Gitters stellt die Immobilisierungslösung dar. Oben sind zwei Masten mit Seilen, die das Gitter halten, zu sehen.	
I/4	Kriterien-Bewertung		
	Kriterium	Bewertung	Punkte
I/4.1	Anwendung; Anforderungen	Anlage zur Herstellung der Immobilisierungslösung, Zugänglichkeit zu kontaminierten Sandsteinbereichen	1
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	Rekonstruktionsaufwand der Grubenbaue, Herstellung der Immobilisierungslösung unter Tage mit akzeptablem Aufwand, Kernbohrungen zur Untersuchung des Immobilisierungseffekts und der Langzeitstabilität	1
I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Genehmigung für großtechnische Anwendung in der Grube Königstein wurde erteilt (nach Berg-, Wasser- und Strahlenschutzrecht)	1
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	Monate bis Jahre, Königstein: ~ 5 Jahre	2
I/4.5	Effizienz	Ca. 50 % des mobilen Schadstoffinventars des Porenraums des Sandsteins wurde gebunden	2

2.3 Fällung, Grube Königstein

I/4.6	Remobilisierungsgefahr	Gering aufgrund der Schwerlöslichkeit des Baryts und des weitgehenden Verschlusses des Porenraumes und damit verbundener stark verringerter Durchströmbarkeit	2
I/4.7	Reststoffe	Praktisch keine ($\text{Ba}(\text{OH})_2$ reagiert vollständig zu $\text{BaSO}_4(\text{s})$ und Wasser)	2
I/4.8	Nachhaltigkeit	Hohe Nachhaltigkeit grundsätzlich zu erwarten	2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Bei ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Bei ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.11	Weitere Aspekte	hoher Aufwand, Zugang unter Tage erforderlich (offene Grubenbaue oder Bohrungen von über Tage)	1
Gesamtbewertung			18

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Fallbeispiel in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

2.4 Neutralisation/Fällung mittels Kalkmilch, Grube Ronneburg

I/1 In-situ-Behandlung eines hochbelasteten, stark sauren, eisenhaltigen Teilstromes durch Neutralisation und Fällung mittels Kalkmilch (10 %ige $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Suspension) in der Grube Ronneburg

I/1.1 Potenziell abtrennbare Schadstoffe alle durch Hydrolyse fällbaren Elemente, Arsen

I/2 Gruben-Randbedingung

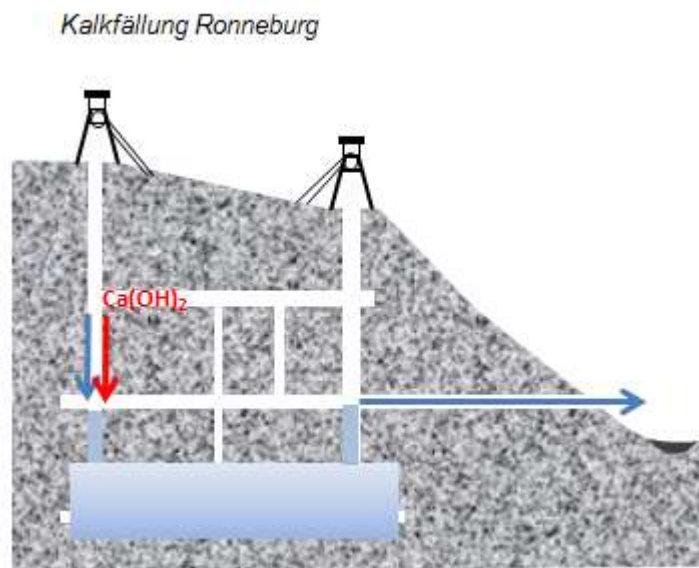
I/2.1 Grubengeometrie/Wasserströmungen Anstrom mit Schadstoffbelastung, untertägiger Sedimentationsraum mit deutlicher Querschnittsaufweitung, definierter Über- bzw. Ablauf

I/2.2 Hydrochemie Neutralisation saurer Grubenwässer mit entsprechenden Metallkonzentrationen

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme Gesteuerte, bedarfsgerechte Zuführung von Kalkmilch im Anstrom, danach Zulauf in den Sedimentationsraum (Ruhezone) mit hinreichender Verweilzeit

I/3.2 Maßnahmen-Schema



I/4 Kriterien-Bewertung*

Kriterium		Bewertung
I/4.1	Durchführung	Grubenwasser: weitestgehend kontinuierliche Wasser- bzw. Stoffmengen, Infrastruktur: Silo/Tank, Anmischung, Steuerung, Zuführungsleitungen, Ablauf: Überwachung 2
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	prinzipiell überschaubar und im Vergleich zu einer übertägigen Abtrennung günstig - geringe Investitionskosten; - geringe Betriebskosten; - geringer zusätzlicher Kontroll- und Monitoringaufwand 1

2.4 Neutralisation/Fällung mittels Kalkmilch, Grube Ronneburg

I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	größtechnischer Versuch zu Beginn der Grubensanierung (konzeptionelle Phase, bergtechnische Vorbereitungen, Untersuchungen, Vorbereitung Flutung)	0 - 1
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	März 1993 bis 1994	1
I/4.5	Effizienz	Keine vollständige bzw. zielsichere Schadstoffabtrennung realisierbar, Fe im Ablauf <10 mg/l von 300...500 mg/l im Zulauf	1
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	während der Maßnahme reduzieren sich Fließquerschnitte und Verweilzeiten dynamisch, eine Umlenkung des Anstromes nach der Maßnahme ist zu empfehlen, bei Gefahr von Zutritten saurer Wässer zum Sedimentationsraum besteht grundsätzlich Rücklösungsgefahr	1
I/4.7	Reststoffe	können in der Grube verbleiben, Dünnschlammssedimentation führt zu geringen Feststoffgehalten	2
I/4.8	Nachhaltigkeit	Gute Chancen für hohe Nachhaltigkeit	1 - 2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	übertägige Anlagen (siehe oben)	1 - 2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	nur untergeordnet	2
I/4.11	Weitere Aspekte	es steht in Frage, ob eine übertägige Kalkfällung und ein Verbringen der Schlämme nach untertage die bessere Lösung ist, die Behandlungsanlage übertägig ist je nach zu behandelndem Volumenstrom vertretbar	-
Gesamtbewertung			12 - 15

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Fallbeispiel in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

2.5 Neutralisation/Pufferung, Grube Königstein

I/1 Eintrag von Pufferfluidlösungen in den Grubenhohlraum (Grube Königstein)

I/1.1 Potenzielle abtrennbare Schadstoffe Dauerhafte Fällung von Schadstoffen wie U, SM, As und Teilneutralisation Schwefelsäure unter Tage

I/2 Gruben-Randbedingung

I/2.2 Grubengeometrie/Wasserströmungen Beaufschlagung in bereits geflutete Grubenbaue und deren Bereiche über Aufgabeböhrlöcher

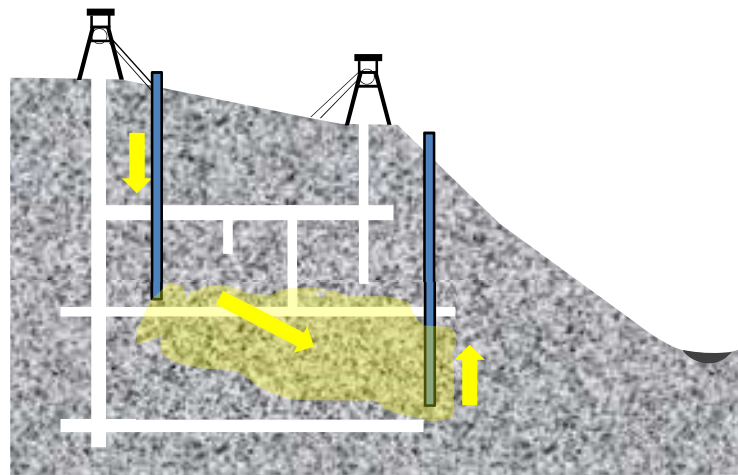
I/2.3 Hydrochemie Aufgabe von Pufferfluidlösungen in Verbindung mit einem Wasser-Treibstrom in geflutete untertägige Grubenbereiche:

- NaOH zur Neutralisation von Schwefelsaurem Grubenwasser
- KOH dito sowie als Tracer
- Na₂SO₃ zur Bindung von gelöstem Sauerstoff im Treibwasser

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme

I/3.2 Maßnahmen-Schema



I/4 Kriterien-Bewertung

	Kriterium	Bewertung	Punkte
I/4.1	Anwendung; Anforderungen	Ziel: Teilneutralisation und Teilfällung unter Tage; Verschiebung der gestörten hydrochemischen Verhältnisse in Richtung der vorbergbaulichen Verhältnisse Durchführbarkeit prinzipiell möglich: - Eintragsmöglichkeit über Aufgabeböhrlöcher in den gefluteten Flutungsraum mittels Böhrlöcher, - hydraulische Anbindung erforderlich, - Bevorzugung natürlicher hydraulischer Gefälle zur Verteilung der Pufferfluide	2
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	Transportable Mischanlage über Tage, Anlieferung von Chemikalien, geeignete Aufgabesysteme (Böhrlöcher). Feldversuch Königstein: ca. 300.000 € (Dimension: Injektion von ca. 100 t NaOH, 5 t KOH, 7 t Na₂SO₃)	1

2.5 Neutralisation/Pufferung, Grube Königstein

I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Antragstellung nach Berg-, Wasser- und ggf. Strahlenschutzrecht; Behördliche Einzelfallprüfung	2
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	Feldversuch: ca. 3 Monate	2
I/4.5	Effizienz	Schadstoff- und Säureabtrennung im behandelten Bereich in der Größenordnung 50 %	1 - 2
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	groß: Bei Behandlung kleiner Teilbereiche, in denen anschließend von umgebenen sauren Wässern die Fällprodukte wieder remobilisiert werden können. Gering: Bei umfänglicher unter Tage Neutralisation und Vermeidung des Zustromes saurer Wässer.	1
I/4.7	Reststoffe	Fällschlämme (Eisenhydroxid mit daran gebundenen Schadstoffen) verbleiben in der gefluteten Grube	2
I/4.8	Nachhaltigkeit	Hohe Nachhaltigkeit prinzipiell möglich, insbesondere bei umfänglicher Behandlung	1 - 2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Bei ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme nicht relevant (temporäre übertägige Anlagen))	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Bei untertägiger in-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.11	ggf. weitere Aspekte	Besonders nachhaltig bei Behandlung über längerer Zeitskala (10 ... 20 Jahre)	1
Gesamtbewertung			17 - 19

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Fallbeispiel in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

2.6 Zementation mit Eisen, Grube Königstein

I/1 Experiment: Wirkung von Eiseneinlagerungen in einer Grundsohle auf die chemischen u. physikalischen Parameter des zugeführten Flutungsmediums in der Grube Königstein

I/1.1 Potenzielle abtrennbare Schadstoffe Rückhaltung/Bindung von Uran und Schwermetallen

I/2 Gruben-Randbedingung

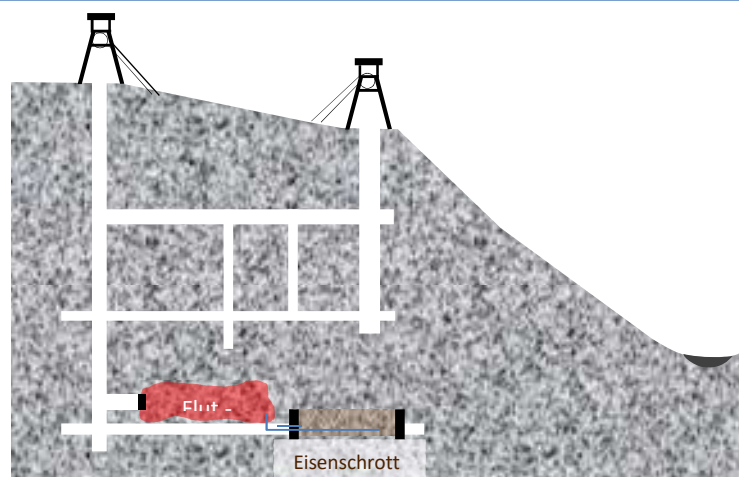
I/2.2 Grubengeometrie/
Wasserströmungen Uranbergwerk im Sedimentgestein, Abbautechnik Untertagelaugung
hydraulisch abgegrenzter Grubenbau, Länge ca. 38 m, Volumen ca. 340 m³

I/2.3 Hydrochemie Durchströmung mit Flutungswasser; pH 2

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme Einlagerung von 270 t Eisenschrott; Oberfläche ca. 12.600 m², Einlagerungsdichte ca. 10 Vol%; Durchströmung mit Flutungswasser und Beprobung des Überlaufs

I/3.2 Maßnahmen--
Schema



I/4 Kriterien-Bewertung

	Kriterium	Bewertung	Punkte
I/4.1	Anwendung; Anforderungen	Offene Grube und Grubenbaue ohne aufwendige bergmännische Grubenrekonstruktionen; Anschluss an das Fließgeschehen/Konvektion des Grubenwassers	1 - 2
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	Dammbau, dichte Einlagerung, Rohrleitungsverlegung moderate Investitionskosten für Versuchsabschnitt; mittlere Investitionskosten für großtechnische Anwendung;	1
I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Antragstellung nach Berg-, Wasser- und ggf. Strahlenschutzrecht; Behördliche Einzelfallprüfung unter Auflagen erwartbar (Bewetterung)	1
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	Durchführung Einbringung: 8 Monate	1

2.6 Zementation mit Eisen, Grube Königstein

I/4.5	Effizienz	Limitiert: - pH-Anstieg von 2 auf 2,5 - Lösung von Eisen, Mangan (Steigende Konzentrationen) - Absenkung der Stoffkonzentrationen von: U, As, Cu, Mo, Pb, Ra	0 - 1
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	Reduktive U und Schwermetall-Festlegung. Daher grundsätzlich Gefahr der Remobilisierung bei nachfolgend oxidierenden Bedingungen.	0 - 1
I/4.7	Reststoffe	Keine, Verbleib der Schadstoffe im Grubenraum (Remobilisierung siehe oben)	2
I/4.8	Nachhaltigkeit	Hohe Nachhaltigkeit prinzipiell möglich	0 - 1
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Bei ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Bei ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme nicht relevant	2
I/4.11	Weitere Aspekte	Wasserstoffbildung bei sauren Grubenwässern	-
Gesamtbewertung			10 - 14

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Fallbeispiel in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

2.7 Oxidation, Grube Pöhla - Grubenteil Hämmerlein

I/1 In-situ-Abtrennung von Eisen und Arsen durch Oxidation von sauerstofffreiem Flutungswasser im Rahmen des grubeninternen Wasser- und Bewetterungsmanagements der gefluteten Grube Pöhla, Grubenteil Hämmerlein, (BR Deutschland, Westerzgebirge)

I/1.1 Potenzielle abtrennbare Schadstoffe Rückhaltung von Eisen und ggf. Arsen

I/2 Gruben-Randbedingung

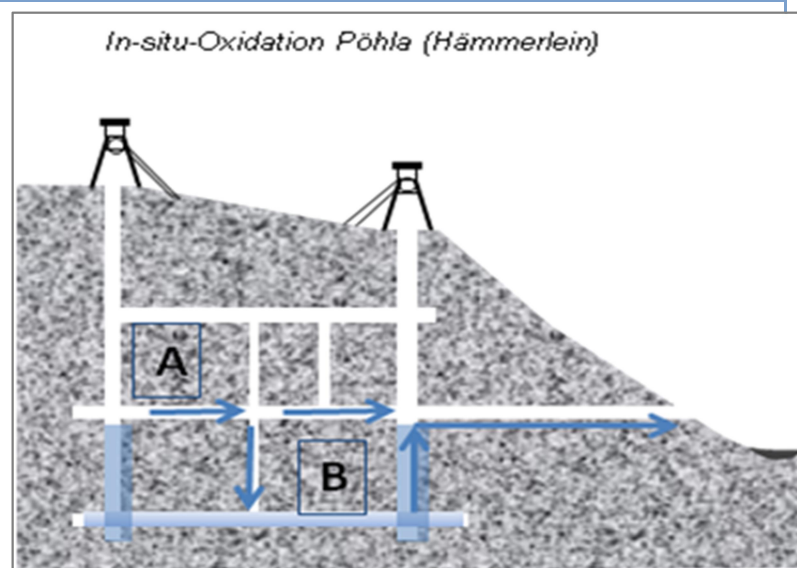
I/2.1 Grubengeometrie/ Wasserströmungen Gefluteter tieferer zentraler Grubenbereich Tellerhäuser, gefluteter peripherer Grubenbereich Hämmerlein; Grubeninterne separate Grundwasserabflüsse über Hauptstollen der Grube:
A: Grundwasserabfluss der luftgefüllten Hauptstollensohle, B: Überlaufwasser aus peripherem Flutungsraum Hämmerlein auf Hauptstollensohle

I/2.2 Hydrochemie Schadstoffhaltiger Wasserteilstrom B mit reduzierendem Redoxmilieu (sauerstofffrei) und mobilisiertem Fe (Fe^{2+}), As (As^{3+}) und Ra-226; flutungsbedingte reduktive Immobilisierung von U, Mn, NO_3 , SO_4
Weitgehend schadstofffreier Wasserteilstrom A mit chemisch oxidierendem Milieu (sauerstoffhaltig), Wasserteilströme A, B: pH-neutral

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme Grubeninterne Vermischung Teilströme A und B im peripheren Flutungsraum Hämmerlein unter Einstellung eines intermediären Redoxmilieus (sauerstoffhaltig); Oxidation des mobilen Fe und As; Fe^{3+} als unlösliches Hydroxid ausflockend, unter Mitfällung/Adsorption von As (As^{5+}); In-situ-Sedimentation arsenhaltiger Feststoffflocken/Grubenschlämme im Flutungsraum

I/3.2 Maßnahmen-- Schema



2.7 Oxidation, Grube Pöhla - Grubenteil Hämmerlein

I/4 Kriterien-Bewertung			
Kriterium		Bewertung	
I/4.1	Durchführung	Hydraulische Fassung und Ableitung Wasserteilstrom A in Teilstrom B; Versturz über zugängliches Flächen (Rampe) in den Flutungsteilraum Hämmerlein Hinreichend große Grubenräume mit geringer Fließgeschwindigkeit zur Sedimentation Feststoffflocken; für Abflusstollen Einbau lokaler Abflussschikanen; Bevorzugung natürlicher hydraulischer Gefälle vor technischer Wasserförderung	1 - 2
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	Keine konkreten Kosten recherchierbar, aber bei noch aktivem Grubenbetrieb prinzipiell - geringe Investitionskosten; - geringe Betriebskosten; - geringer zusätzlicher Kontroll- und Monitoringaufwand, da ohnehin reguläres Flutungsmonitoring; Aufwand steigt bei stillgelegter Grube im Falle von beauftragten Kontrollpflichten	1 - 2
I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Erteilte bergrechtliche Zulassung eines Sonderbetriebsplanes im Einvernehmen mit Wasserbehörde; Information an Strahlenschutzbehörde; Begünstigung durch ausschließliches Management von Grubenwässern und -wettern ohne Einsatz von Behandlungskemikalien	1 - 2
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	2001 (Vorbereitung); 2002/2003 (Durchführung); 2003 -2005 (Nachbeobachtung, Auswertung) Für dauerhafte Wirkung langfristige Aufrechterhaltung der in-situ-Maßnahme erforderlich	1 - 2
I/4.5	Effizienz	Keine vollständige, zielgemäße Schadstoffabtrennung (As) realisierbar, sondern nur eine Teilbehandlung; die Notwendigkeit grubenexterner Wasserbehandlung blieb erhalten; Vollständigere Abtrennung hätte zusätzliche untätigige Chemikaliendosierung erfordert (z. B. FeSO_4), was dem Ziel der bergmännischen Grubenverwahrung grundsätzlich widerspricht Infolge der In-situ-Schadstoffabtrennung Verdopplung der behandlungsrelevanten Wassermenge (IW+FW) für grubenexterne WBA Abtrennung von Fe und As war von Mischungsverhältnis FW/IW abhängig; bei Verhältnis von 1 : 1 erfolgte Verdünnungseffekt sowie reale Abtrennung von ca. 80 % des originären Fe und ca. 60 % des originären As; keine Abtrennung von Ra-226 Weitgehende In-situ-Sedimentation gebildeter arsenhaltigen Eisenhydroxide; kaum Feststoffaustrag mit überlaufendem Flutungswasser	0 - 1

2.7 Oxidation, Grube Pöhla - Grubenteil Hämmerlein

I/4.6	Remobilisierungsgefahr	Nach Testende geringfügige Remobilisierung von Fe und As (< 10 %) beobachtet. Bei nachhaltiger systemimmanenter Aufrechterhaltung In-situ-Oxidation wenig wahrscheinlich, da oxydierendes Reaktionsmilieu Fe- und As-Rücklösung unterbindet Zusätzliche mechanische Kompaktierung sowie chemisch strukturelle Alterung/Fixierung des arsenhaltigen Fällschlamms Kein reales Versauerungspotenzial der Grube Pöhla, kein Risiko einer dadurch verursachten Sedimentmobilisierung	1
I/4.7	Reststoffe	Vorhandener Sedimentationsraum von mind. 10.000 m ³ bei einem jährlichen Anfall von max. 100 m ³ keine Entsorgung möglich (Flutungsraum unzugänglich), aber auch nicht erforderlich	1
I/4.8	Nachhaltigkeit	Gute Chancen für hohe Nachhaltigkeit	1 - 2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Wegen ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme in der Grube Pöhla nicht relevant	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Wegen ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme in der Grube Pöhla nicht relevant	2
I/4.11	Weitere Aspekte	Notwendige hydrotechnische Lösungsfindung der langfristigen Vermischung Infiltrationswasser + Flutungswasser (ohne elektrische Wasserpumpen) für bergmännisch verwahrte Grube	-
Gesamtbewertung			11 - 17

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

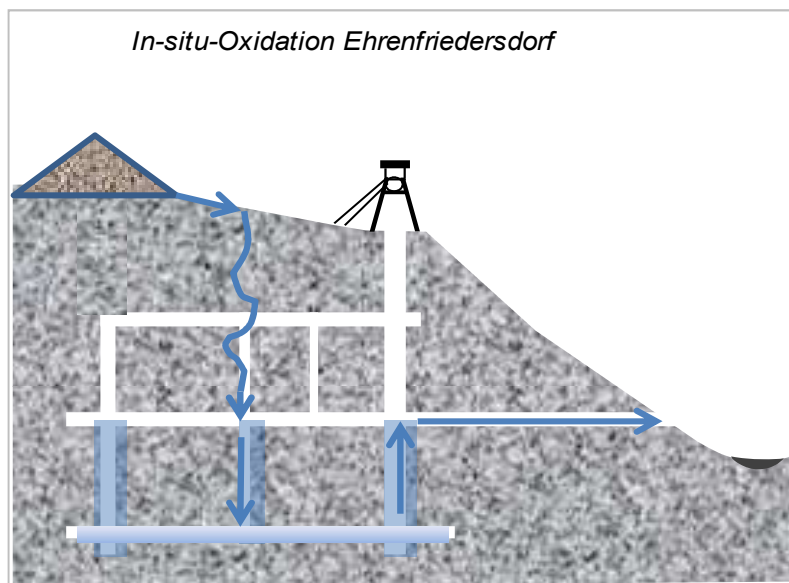
Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Fallbeispiel in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

2.8 Oxidation, Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf

I/1	In-situ-Abtrennung von Eisen und Arsen durch Oxidation von Haldensickerwasser im Rahmen des grubeninternen Wasser der gefluteten Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf (BR Deutschland, Westerzgebirge)	
I/1.1	Potenzielle abtrennbare Schadstoffe	Rückhaltung von Eisen und ggf. Arsen
I/2	Gruben-Randbedingung	
I/2.1	Grubengeometrie / Wasserströmungen	Gefluteter Grubenbereich Sauberg/Ostfeld, überlagernde Spülhalden des früheren Zinnerzbergbaus (Aufbereitungsrückstände): A: Sickerwasserabfluss der Halden B: Abstromwasser aus Flutungsraum 3. Sohle zum zentralen Abflusstollen der Grube (Tiefer Sauberger Stollen)
I/2.2	Hydrochemie	Schadstoffhaltiger Wasserteilstrom A mit intermediärem Redoxmilieu und mobilisiertem Fe (Fe^{2+}), As (As^{3+}) Moderat schadstoffhaltiger Wasserteilstrom B mit intermediärem Redoxmilieu (sauerstoffhaltig), Wasserteilströme A, B: pH-neutral
I/3	Maßnahmen-Randbedingung	
I/3.1	Maßnahme	Grubeninterne Vermischung Teilströme A und B (Flutungsraum) unter Einstellung eines intermediären Redoxmilieus (sauerstoffhaltig); Oxidation des mobilen Fe und As; Fe^{3+} als unlösliches Hydroxid ausflockend, unter Mitfällung/Adsorption von As (As^{5+}); In-situ-Sedimentation arsenhaltiger Feststoffflocken/Grubenschlämme

I/3.2 Maßnahmen--Schema



2.8 Oxidation, Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf

I/4 Kriterien-Bewertung			
Kriterium		Bewertung	
I/4.1	Durchführung	Hydraulische Fassung und Ableitung Wasserteilstrom A unter passiver Belüftung (Kaskaden); Versturz im Bruchgebiet Ost in tagesnahen Flutungsraum Begrenzte Grubenräume mit relativ hoher Fließgeschwindigkeit zur Sedimentation Feststoffflocken; im zentralen Abflusstollen lokale Abflussschikanen; Bevorzugung natürlicher hydraulischer Gefälle vor technischer Wasserförderung	2
I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	Keine konkreten Kosten recherchierbar, aber bei noch aktivem Grubenbetrieb prinzipiell - geringe Investitionskosten; - geringe Betriebskosten; - geringer zusätzlicher Kontroll- und Monitoringaufwand, da ohnehin reguläres Flutungsmonitoring; Aufwand steigt bei stillgelegter Grube, wenn verbesserte Schlammsedimentation erreicht werden soll	1 - 2
I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Erteilte bergrechtliche Zulassung eines Sonderbetriebsplanes im prinzipiellen Einvernehmen mit Wasserbehörde; Begünstigung durch ausschließliches Management von Bergbauwässern ohne Einsatz von Behandlungskemikalien	1
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	2001 (Vorbereitung); seit 2002 Durchführung Für dauerhafte Wirkung langfristige Aufrechterhaltung der In-situ-Maßnahme erforderlich	2
I/4.5	Effizienz	Vollständige Oxidation von Fe und As; aber keine vollständige, zielgemäße Abtrennung der gefällten Schlammpartikel realisierbar; durch Feststoffgehalt noch wirksame Restemissionen zur Vorflut Vollständigere Abtrennung würde zusätzliche untertägige Schlammsedimentation mit periodischer Beräumung/ Verbringung bedingen	1 - 2
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	Bei nachhaltiger systemimmanenter Aufrechterhaltung In-situ-Oxidation wenig wahrscheinlich, da oxidierendes Reaktionsmilieu Fe- und As-Rücklösung unterbindet Zusätzliche mechanische Kompaktierung sowie chemisch strukturelle Alterung/Fixierung des arsenhaltigen Fällschlamm geringes reales Versauerungspotenzial der Grube, kein Risiko einer dadurch verursachten Sedimentmobilisierung	1
I/4.7	Reststoffe	Ungeklärter potenziell nutzbarer Sedimentationsraum der Grube Entsorgung aus zentralen Abflusstollen mit Aufwand prinzipiell möglich	1
I/4.8	Nachhaltigkeit	Chancen für hohe Nachhaltigkeit	1 - 2

2.8 Oxidation, Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf

I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Wegen ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme in der Grube Ehrenfriedersdorf nicht relevant	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Wegen ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme in der Grube Ehrenfriedersdorf nicht relevant	2
I/4.11	Weitere Aspekte	?	-
Gesamtbewertung			14 - 17

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- | | | |
|---|-------------------------|---|
| 0 | <u>ungeeignet</u> | technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam |
| 1 | <u>bedingt geeignet</u> | signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |
| 2 | <u>gut geeignet</u> | keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit |

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Fallbeispiel in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

2.9 Reduktion, Grube Pöhla - Grubenteil Tellerhäuser

I/1 In-situ-Abtrennung von Uran, Mangan, Nitrat, Sulfat durch Reduktion von Flutungswasser im Rahmen des grubeninternen Wasser- und Bewetterungsmanagements der gefluteten Grube Pöhla, zentraler Flutungsraum - Grubenteil Tellerhäuser, (BR Deutschland, Westerzgebirge)

I/1.1 Potenzielle abtrennbare Schadstoffe Rückhalt von Schwermetallen, Sulfat, Nitrat

I/2 Gruben-Randbedingung

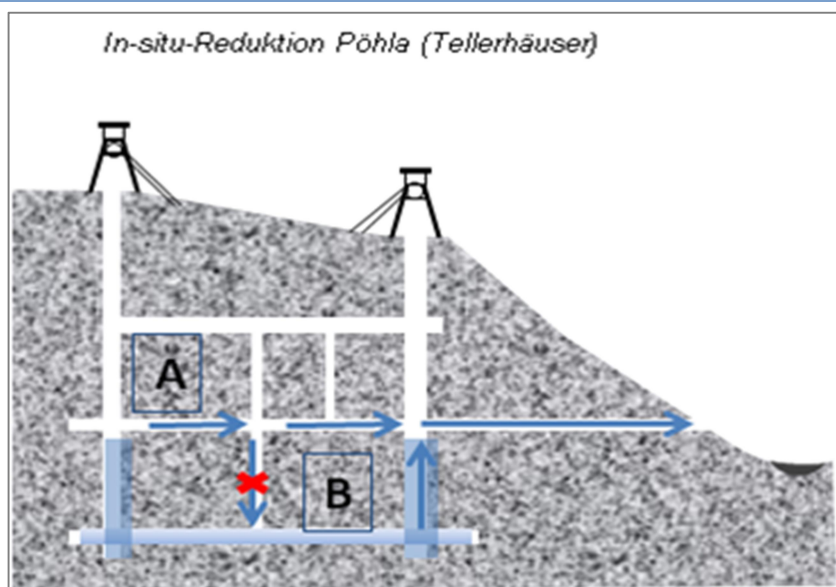
I/2.1 Grubengeometrie/ Wasserströmungen Gefluteter zentraler Grubenbereich Tellerhäuser, gefluteter peripherer Grubenbereich Hämmerlein; Grubeninterne separate Grundwasserabflüsse der Grube:
A: Grundwasserabfluss der lufterfüllten Hauptstollensohle,
B: Überlaufwasser aus peripherem Flutungsraum Hämmerlein auf Hauptstollensohle

I/2.2 Hydrochemie Schadstoffhaltiger Wasserteilstrom B mit chemisch reduzierendem Redoxmilieu (sauerstofffrei) und mobilisiertem Fe (Fe^{2+}), As (As^{3+}) und Ra-226; flutungsbedingte Immobilisierung von U, Mn, NO_3 , SO_4
Weitgehend schadstofffreier Wasserteilstrom A mit chemisch oxydierendem Milieu (sauerstoffhaltig), Wasserteilströme A, B: pH-neutral

I/3 Maßnahmen-Randbedingung

I/3.1 Maßnahme Selbsttätig wirksame Abflusssparation lt. Pkt. 2.2 ohne Beeinflussung Flutungsraum (B) durch Teilstrom A; wirksame Minimierung Grundwasserzufluss Flutungsraum; keine gesonderte in-situ-Maßnahme erforderlich

I/3.2 Maßnahmen-Schema



2.9 Reduktion, Grube Pöhla - Grubenteil Tellerhäuser

I/4 Kriterien-Bewertung*			
	Kriterium	Bewertung	
I/4.1	Durchführung	Hydraulische Fassung und separate Ableitung Wasser- teilstrom B zur grubenexternen Wasserbehandlung Hinreichend große Grubenräume mit geringer Fließ- geschwindigkeit zur Sedimentation Fällprodukte; Bevorzugung natürlicher hydraulischer Gefälle vor technischer Wasserförderung	1 - 2
I/4.2	Technischer Auf- wand (Unterhal- tungsaufwand; Kosten)	Keine konkreten Kosten recherchierbar, aber bei noch aktivem Grubenbetrieb prinzipiell - geringe Investitionskosten; - geringe Betriebskosten; - geringer zusätzlicher Kontroll- und Monitoringaufwand, da ohnehin reguläres Flutungsmonitoring; Aufwand steigt bei stillgelegter Grube im Falle von beauftragten Kontrollpflichten	1 - 2
I/4.3	Genehmigungs- fähigkeit	Keine gesonderte Genehmigung erforderlich, da grund- sätzlicher Sachverhalt im Rahmen des zugelassenen Abschlussbetriebsplanes Begünstigung durch ausschließliches Management von Grubenwässern und -wettern ohne Einsatz von Behandlungskemikalien	2
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	Seit Flutungsende (1995) unverändert selbsttätig wirksam	2
I/4.5	Effizienz	vollständige, zielgemäße Schadstoffabtrennung (U) ohne aktive Wasserbehandlung realisiert; aber weiterhin grubenexterne Wasserbehandlung bzgl. Fe und As Weitgehende in-situ-Sedimentation reduktiver Fällpro- dukte; kaum Feststoffaustrag mit überlaufendem Flutungswasser	0 - 1
I/4.6	Remobilisierungs- gefahr	bei nachhaltiger systemimmanenter Aufrechterhaltung in-situ-Reduktion wenig wahrscheinlich, da reduktives Reaktionsmilieu Rücklösung immobilisierter Stoffe lt. Pkt. I/2.3 unterbindet Kein reales Versauerungspotenzial der Grube Pöhla wirksam; kein Risiko einer dadurch verursachten Stoffmobilisierung	2
I/4.7	Reststoffe	Vorhandener Sedimentationsraum von mind. 100.000 m ³ bei geringem jährlichen Fällprodukt-Anfall keine Entsorgung möglich (Flutungsraum unzu- gänglich), aber auch nicht erforderlich	1 - 2
I/4.8	Nachhaltigkeit	Gute Chancen für hohe Nachhaltigkeit	1 - 2
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Wegen ausschließlich untertägiger In-situ-Maßnahme in der Grube Pöhla nicht relevant	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Wegen ausschließlich untertägiger In-situ-Maßnahme in der Grube Pöhla nicht relevant	2

2.9 Reduktion, Grube Pöhla - Grubenteil Tellerhäuser

I/4.11	Weitere Aspekte	Auch ohne bergmännische Langzeitkontrolle im Falle der wassergängig verplombten Grube Pöhla hohe hydraulischen abflussreserven (Aufrechterhaltung separierter Grubenwasserabflüsse A, B ohne äußere Störungen Flutungsraum	-
Gesamtbewertung			14 -19

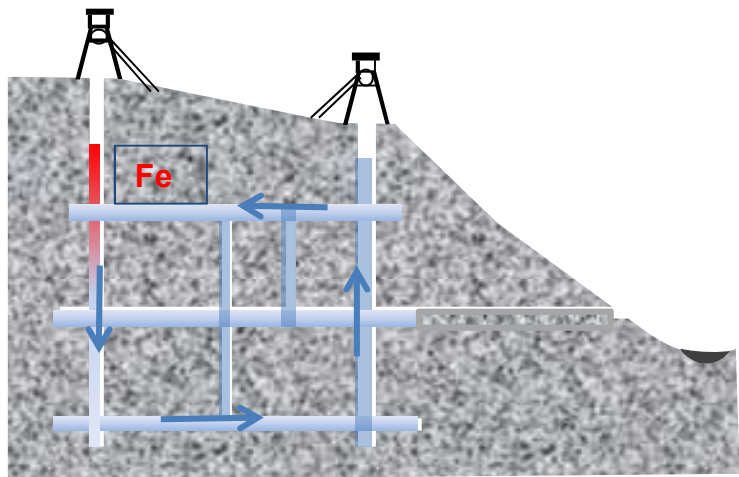
*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- 0 ungeeignet technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam
- 1 bedingt geeignet signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit
- 2 gut geeignet keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

Projekt Vita Min - Steckbrief Fallbeispiel in-situ-Rückhalt Erz- und Spatbergbau

2.10 Reduktion, Grube Schlema-Alberoda

I/1 In-situ-Abtrennung von Uran durch Reduktion von Flutungswasser sowie Anreicherung von mobilem Eisen im Flutungswasser mit Eisenpulver im Schacht 371 der gefluteten Grube Schlema-Alberoda (BR Deutschland, Westerzgebirge)			
I/1.1	Potenzielle abtrennbare Schadstoffe	Rückhalt von Schwermetallen, Sulfat, Nitrat	
I/2 Gruben-Randbedingung			
I/2.1	Grubengeometrie/ Wasserströmungen	Tagesnah gefluteter Tagesschacht 371 (1000 m geflutete Teufe mit 19.000 m ³ Flutungswasser-Volumen Bergmännische Verbindung zum zentralen Grubenraum der Urangrube Schlema-Alberoda über geflutete -540-m-Sohle und -990-m-Sohle	
I/2.2	Hydrochemie	Schadstoffhaltiges Flutungswasser (FW) mit chemisch intermediärem bis reduzierendem Redoxmilieu (sauerstofffrei) und mobilisiertem Fe (Fe ²⁺), As (As ³⁺), U und Ra-226; flutungsbedingte reduktive Immobilisierung von NO ₃ FW: pH-neutral	
I/3 Maßnahmen-Randbedingung			
I/3.1	Maßnahme	Testweise periodische Aufgabe von Eisenpulver (mit Kaliumsalz als Tracer) in gefluteten Schacht 371 (Teilelement Flutungsraum)	
I/3.2	Maßnahmen-Schema	<i>In-situ-Reduktion Schlema-Alberoda</i> 	
I/4 Kriterien-Bewertung			
	Kriterium	Bewertung	
I/4.1	Durchführung	Zugänglicher bergmännisch sicherer Tagesschacht/ Grubenraum mit Zugriff auf Flutungswasser Hydraulische Anbindung an geflutete Grube Hinreichend großer Grubenraum als Reaktions- und Sedimentationsraum für Eisenpulver	1 - 2

2.10 Reduktion, Grube Schlema-Alberoda

I/4.2	Technischer Aufwand (Unterhaltungsaufwand; Kosten)	Keine konkreten Kosten recherchierbar, aber bei noch aktivem Grubenbetrieb prinzipiell - geringe Investitionskosten (technische Dosiereinrichtung); - moderate Betriebskosten (Eisenpulver); - geringer zusätzlicher Kontroll- und Monitoringaufwand (reguläres Flutungsmonitoring); Aufwand steigt bei stillgelegter Grube im Falle von beauftragten Kontrollpflichten	1 - 2
I/4.3	Genehmigungsfähigkeit	Gesonderte Genehmigung erforderlich mit Unbedenklichkeitsnachweis Begünstigend: Einsatz systemimmanenter Stoffe (Fe, K-Salz)	1
I/4.4	Zeithorizont der Umsetzung	Zeitnahe Umsetzung möglich; Testdurchführung im Zeitraum 2007/2008 (3 Testphasen); Für raumgreifende Wirkung: mittel- bis langfristige Maßnahme erforderlich	2
I/4.5	Effizienz	unvollständige Schadstoffabtrennung; nur Teilabtrennung von U; keine primäre Abtrennung anderer Schadstoffe; teilweise Fe-Mobilisierung in das FW (s. u.) weiterhin grubenexterne Wasserbehandlung bzgl. U, Ra-226, Fe, As und Mn erforderlich Weitgehende In-situ-Sedimentation reduktiver Fällprodukte; kaum Feststoffaustrag mit überlaufendem FW	1
I/4.6	Remobilisierungsgefahr	Bei Abschwächung chem. Reduktionswirkung nach Einstellung Eisenpulver-Dosierung Rücklösung von immobilisiertem Uran möglich Kein reales Versauerungspotenzial der Grube Schlema-Alberoda wirksam; kein Risiko einer dadurch verursachten Stoffmobilisierung	1
I/4.7	Reststoffe	Vorhandener Sedimentationsraum von mind. 19.000 m ³ bei geringem jährlichen Fällprodukt-Anfall keine Entsorgung möglich (Flutungsraum unzugänglich), aber auch nicht erforderlich	1 - 2
I/4.8	Nachhaltigkeit	Moderate Chancen für Nachhaltigkeit	1
I/4.9	Beeinträchtigung Landschaftsbild	Wegen ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme in der Grube Schlema-Alberoda nicht relevant	2
I/4.10	Beeinträchtigung Lebensraumqualität	Wegen ausschließlich untertägiger in-situ-Maßnahme in der Grube Schlema-Alberoda nicht relevant	2
I/4.11	Weitere Aspekte	Eisenpulver bewirkt zusätzliche Fe-Mobilisierung in das FW; dadurch zusätzliches Reaktionspotenzial für separate oxidative in-situ-Fällprozesse	-
Gesamtbewertung			13 - 16

*Bewertung: Bepunktung von 0 – 2;

- 0 ungeeignet technisch nicht umsetzbar, nicht genehmigungsfähig, nicht wirksam
- 1 bedingt geeignet signifikante Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit
- 2 gut geeignet keine oder wenige Einschränkungen/Restriktionen bei technischer Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit und/oder Wirksamkeit

Bepunktung von „0“ zu Aspekten I/4.1; I 4.2; I 4.5 und I/4.8 führt zu Maßnahmenausschluss

ANLAGE 6

Maßnahmenschema zur Reduzierung bergbaubedingter Umweltbelastungen (Wasserpfad) in Bezug auf künftigen Bergbau

A – Maßnahmen während des Bergbaus

Maßnahmen im Grubenbetrieb

- 1.1 Spezifizierung Grubenwassermanagement (Abschirmung)
- 1.2 Spezifizierung Grubengeometrie (Segmentierung)

Geotechnische und geomechanische Maßnahmen

- 1.3 Reduzierung Gebirgsauflockerung
- 1.4 Maximierung untertägige Lockermasseneinlagerung (Eigenversatz)
- 1.5 Hermetisierung Versatzbereiche

Vorklärung von Grubenwässern

- 1.6 In-situ-Behandlung belasteter Grubenwässer (Vorklärung)

B – Maßnahmen nach dem Bergbau

Maßnahmen am Flutungsraum

- 2.1 Spezifizierung Flutungsmanagement
- 2.2 Hermetisierung Grubenbereiche (Schachtverwahrung, punktuelle Verdämmungen)

In-situ-Behandlung schadstoffhaltiger Flutungswässer (Flutungsraum oder Transferbereich mit untertägiger Fällprodukt-Verbringung)

- 2.3 Neutralisation saurer Flutungswässer
- 2.4 Flutungswasseroxidation mit Eisenhydroxidfällung
- 2.5 Flutungswasserreduktion mit Schwermetall-Sulfidfällung

Maßnahmenschema zur Reduzierung bergbaubedingter Umweltbelastungen (Wasserpfad) in Bezug auf künftigen Bergbau

A – Maßnahmen während des Bergbaus

Maßnahme Nr.	Gruben- geometrie			Geologie/ Vererzung				Geochemie/ Bindungsformen				GW-Zulauf		Chemisches Milieu				Schadstoff- belastung				Schadstoff- konzentr.	
	tages- nah	tief	segmen- tiert	Gang	Lager	reich	arm	oxid.	carbo- nat.	arse- nid.	sulfid.	tages- nah	tief/ge- staffelt	sauer	neutral	oxid.	reduz.	AFS	Salze	SM	As	mode- rat	hoch
Maßnahmen im Grubenbetrieb																							
1.1 Spezifizierung Grubenwassermanagement (Abschirmung)	-	+	+							+	+	+	-										
1.2 Spezifizierung Grubengeometrie (Segmentierung)	-	+	+	+	+	+	-			+	+												
Geotechnische und geomechanische Maßnahmen																							
1.3 Reduzierung Gebirgsauflockerung			+	+	+	+	-			+	+												
1.4 Maximierung untertägige Lockermasseneinlagerung (Eigenversatz)			+	+	+	+				+	+												
1.5 Hermetisierung Versatzbereiche			+							+	+												
Vorklärung von Grubenwässern																							
1.6 In-situ-Behandlung belasteter Grubenwässer (Vorklärung)															+	+	+	+		+ (Fe)	+		+

B – Maßnahmen nach dem Bergbau

Maßnahme Nr.	Gruben- geometrie			Geologie/ Vererzung				Geochemie/ Bindungsformen				GW-Zulauf		Chemisches Milieu				Schadstoff- belastung				Schadstoff- konzentr.	
	tages- nah	tief	segmen- tiert	Gang	Lager	reich	arm	oxid.	carbo- nat.	arse- nid.	sulfid.	tages- nah	tief/ge- staffelt	sauer	neutral	oxid.	reduz.	AFS	Salze	SM	As	mode- rat	hoch
Maßnahmen am Flutungsraum																							
2.1 Spezifizierung Flutungsmanagement	-	+									+	-	+	+	+	+	+		+	+			+
2.2 Hermetisierung Grubenbereiche (Schachtverwahrung, punktuelle Verdämungen)			+					+	+	+	+			+	+	+			+	+	+		+
In-situ-Behandlung schadstoffhaltiger Flutungswässer (Flutungsraum oder Transferbereich mit untertägiger Fällprodukt-Verbringung)																							
2.3 Neutralisation saurer Flutungswässer											+			+						+	+		+
2.4 Flutungswasseroxidation mit Eisenhydroxidfällung															+		+			+ (Fe)	+		+
2.5 Flutungswasserreduktion mit Schwermetall-Sulfidfällung																	+		+ (SO4)	+			+

AFS: Feststoffe; SM: Schwermetalle; As: Arsen; FW: Flutungswasser

ANLAGE 7

Zusammensetzung der Fällungsmittel und untersuchten Bergbauwässer

Tabelle 7. 1: Zusammensetzung der Fällmittel in Masse pro Volumen zu reinigendem Bergbauwasser.

Fällmittel	Zusatz	HCO ₃ [mg/L]	Cl [mg/L]	Ca [mg/L]	Fe [mg/L]	Na [mg/L]	pH-Wert [-]	Redoxpot. [mV]
Fällmittel 1	Ca(OH) ₂ Na ₂ CO ₃	60	0	40	0	46	11.283	240
Fällmittel 2	Ca(OH) ₂ Na ₂ CO ₃	30	0	20	0	23	11.003	240
Fällmittel 3	NaOH Na ₂ CO ₃	180	0	0	0	207	11.462	240
Fällmittel 4	NaOH Na ₂ CO ₃	30	0	0	0	46	11.013	240
Fällmittel 5	FeCl	0	3.9	0	6.1	0	7.195	240
Fällmittel 6	Fe(OH) ₃	0	0	0	5.2	0	7.962	240
Fällmittel 7	Na ₂ CO ₃	360	0	0	0	276	10.937	240

Tabelle 7. 2: Zusammensetzung der untersuchten Bergbauwässer.

Spezies	Einheit	Verträgliche Gesellschaft Stolln	Hauptstolln Umbruch	Tiefer Sauberger Stolln
HCO₃	mg/L	31	43	47
Cl	mg/L	94	100	28
NO₃	mg/L	12	11	11
SO₄	mg/L	350	230	72
Al	µg/L	3.800	61	100
As	µg/L	4,4	7,2	290
B	µg/L	76	67	26
Ba	µg/L	33	17	36
Ca	mg/L	100	89	37
Cd	µg/L	150	32	0,35
Cu	µg/L	270	11	2
Fe	mg/L	0,2	0,17	0,03
K	mg/L	4,6	5,5	3,2
Li	µg/L	52	37	19
Mg	mg/L	32	27	8,3
Mn	µg/L	6.900	3.650	200
Na	mg/L	33	33	17
Ni	µg/L	54	37	5,4
Pb	µg/L	19	1,4	0,2
Se	µg/L	30	11	0,8
Sr	µg/L	230	210	130
U	µg/L	2,5	0,48	1,5
Zn	µg/L	16.000	4200	79
pH-Wert	-	5,3	7,5	6,8
Redoxpotential	mV	240	240	240