

2018

Steckbriefliche Zusammenfassung von  
Projektergebnissen im Rahmen des  
Projekt Vita-Min

## Möglichkeiten des Schadstoffrückhalts in unterirdischen Grubengebäuden des Erz- und Spatbergbaus (Teilprojekt 1.2)



LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



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



## Einführung, Hintergrund und Zielstellung

Die Gewässergüte der sächsischen Oberflächengewässer in der Erzgebirgsregion wird auch heute noch stark vom Bergbau beeinflusst. Nach dem Bergbau verblieben große Mengen an Reststoffen im Berg oder auf Halden, woraufhin, bedingt durch Verwitterungs- und Auswaschungsprozesse, Schadstoffe (insbesondere zahlreiche Schwermetalle) in die Grubenwässer eingetragen und vorwiegend über die Wasserlösestollen in die Oberflächengewässer transportiert werden. So haben Messungen bestätigt, dass durch den Austrag von Schwermetallen aus dem Freiburger Bergbaurevier die Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie zum Beispiel in der Freiburger Mulde nicht eingehalten werden können.

**Wasserlösestolln:** Untertägiger Grubenbau zur Sicherung der Ableitung der Grubenwässer in die Oberflächengewässer.

**Grubengebäude:** Gesamtheit aller bergmännisch geschaffenen Hohlräume eines Bergwerks.

Eine aktive Reinigung der Grubenwässer nach Austritt aus den Bergbaustollen ist oft schwer umsetzbar. Gründe dafür sind u.a. der hohe Flächenverbrauch technischer Anlagen, die Behandlung großer Wassermengen, hohe Kosten und die damit verbundene Unwirtschaftlichkeit.

Aus diesem Grund sollten in dieser Studie verfahrenstechnische Möglichkeiten untersucht werden, Schadstoffe bereits im Grubengebäude zurückzuhalten und somit eine effektive Verbesserung der Gewässerqualität bewirken können. Abschließend wurden potentielle Maßnahmen für künftige Bergbauprojekte in Sachsen diskutiert, um Umweltbelastungen so gering wie möglich zu halten.

**Grubenwässer:** Wasser (Sicker- und Grundwasser), welches in Kontakt mit Bergbaugruben steht. Die Wässer unterliegen unter Tage dem Einfluss der Gesteine und Erzlagerstätten, was zu erhöhten Stoffkonzentrationen führt.

## Methodik

Ein Schwerpunkt der Studie war es, den Stand der Technik und Wissenschaft zu Maßnahmen des unterirdischen Schadstoffrückhalts (in situ) in Form von Steckbriefen übersichtlich darzustellen. Die Herangehensweise erfolgte nach diesem Schema:

- 1) Auswahl der relevanten Elemente/Schadstoffe
- 2) Literaturrecherche zu anwendbaren Verfahrensansätzen
- 3) Auswahl wettbewerbsfähiger Maßnahmen
- 4) Klassifizierung der Verfahren nach Eingriffsebene (Schadstoffquelle, Transportpfad etc.)
- 5) Erstellung der Steckbriefe zu den ausgewählten Verfahren mit folgenden Inhalten
  - Verfahrensbeschreibung
  - Beschreibung und Bewertung der Kriterien: technische und räumliche Machbarkeit, erforderlicher Aufwand, Genehmigungsfähigkeit, Zeitschiene für eine Umsetzung, Erreichbarkeit des Ziels bzw. Effizienz, Verhältnismäßigkeit, Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, Beeinträchtigung der Lebensraumqualität, Gefahr einer Remobilisierung von Schadstoffen, Notwendigkeit und Möglichkeiten einer Entsorgung, Einschätzung der Nachhaltigkeit
- 6) Vergleichende Gegenüberstellung der Maßnahmen (Vor- und Nachteile)
- 7) Anwendungsbeispiele in sächsischen Untertagerevieren und Diskussion von Erfolgen und Problemen

Ein weiterer Schwerpunkt war die Prüfung der Anwendbarkeit der Verfahren für konkrete Belastungssituationen an ausgewählten Standorten in Sachsen. Auf Basis einer umfassenden Datenrecherche zu Wasserqualität (Messwerte Elementkonzentrationen) und Durchflussmengen wurde ermittelt, welche Schadstoffe aus den sächsischen Stolln ausgetragen werden und welchen Stolln dabei als Schadstoffemittent eine besondere Bedeutung zukommt. Grundlage für eine Potenzialabschätzung des Austrages von Schadstoffen aus den Gruben in sächsische Gewässer war die Bilanzierung von Elementfrachten. Daraus konnten auch Ansatzpunkte für einen sinnvollen Rückhalt („Wo? und Wie?“) von Schadstoffen in den ehemaligen Bergbaurevieren abgeleitet werden. Eine detaillierte Betrachtung erfolgte dabei für die Reviere Freiberg, Ehrenfriedersdorf und Zinnwald.

## Ergebnisse und Diskussion

Der Erz- und Spatbergbau in Sachsen umfasst im Wesentlichen vier Bergbausparten in verschiedenen Revieren:

- Buntmetallbergbau auf Silber, Blei, Zink
- Buntmetallbergbau auf Zinn, Wolfram
- Uranbergbau
- Spatbergbau auf Fluorit, Baryt

Aus diesen Sparten befinden sich gegenwertig 39 Stollnwässer im hydrochemischen Messprogramm der BfUL zur Erfassung der Gewässergüte. Zur Ableitung der umweltrelevanten Elemente der Stollnwässer (Tabelle 1) und Ermittlung der Überschreitung war ein Vergleich mit Beurteilungswerten notwendig. Beurteilungsbasis waren die gesetzlich (OGewV, TrinkwV) verankerte oder anderweitig empfohlene (z.B. der LAWA) Konzentrationen von Schadstoffen.

**Tabelle 1: Prozentualer Anteil der Stolln mit Überschreitung des Beurteilungswertes je Element** (Anzahl der untersuchten Stollnwässer: 39)

Element	Fe	Pb	Mo	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Se	Tl	Al	Ba	As	U	Co	Cu	Ni	Be	Zn	Cd
Überschreitung in %	3	5	8	8	10	18	23	26	36	41	44	59	64	74	92	95

Für die weitverbreitetsten Schadstoffe infolge des Erz- und Spatbergbaus wurden unter Berücksichtigung der Standortspezifität mögliche Verfahren zur nachhaltigen in situ Sanierung erarbeitet. Die Verfahrensansätze beruhen dabei auf (1) Waschung mit Wasser, (2) geochemischer Pufferung durch Einbringen fester oder flüssiger Stoffe zur pH-Eh-Beeinflussung sowie (3) Stimulierung biologisch katalysierter Reduktionsprozesse.

Bei einer Einstufung der potenziellen Verfahrensansätze nach Eingriffsebene (siehe auch Tabelle 2) ergibt sich folgende Klassifizierung:

- Eingriff in den untertägigen Flutungsraum der Grube
- Eingriff in den Transferbereich (Flutungswassertransport aus Flutungsraum nach über Tage)
- Grubenexterner Eingriff (übertägiger Transferweg von der Grube zur Vorflut)

Theoretisch vorstellbare, aber praktisch nicht durchführbare Maßnahmen einer generellen Beseitigung der Schadstoffquelle im Flutungsraum (z.B. Kapselung) stillgelegter Erzgruben werden nicht betrachtet.

## Möglichkeiten des Schadstoffrückhalts in unterirdischen Grubengebäuden des Erz- und Spatbergbaus (Teilprojekt 1.2)

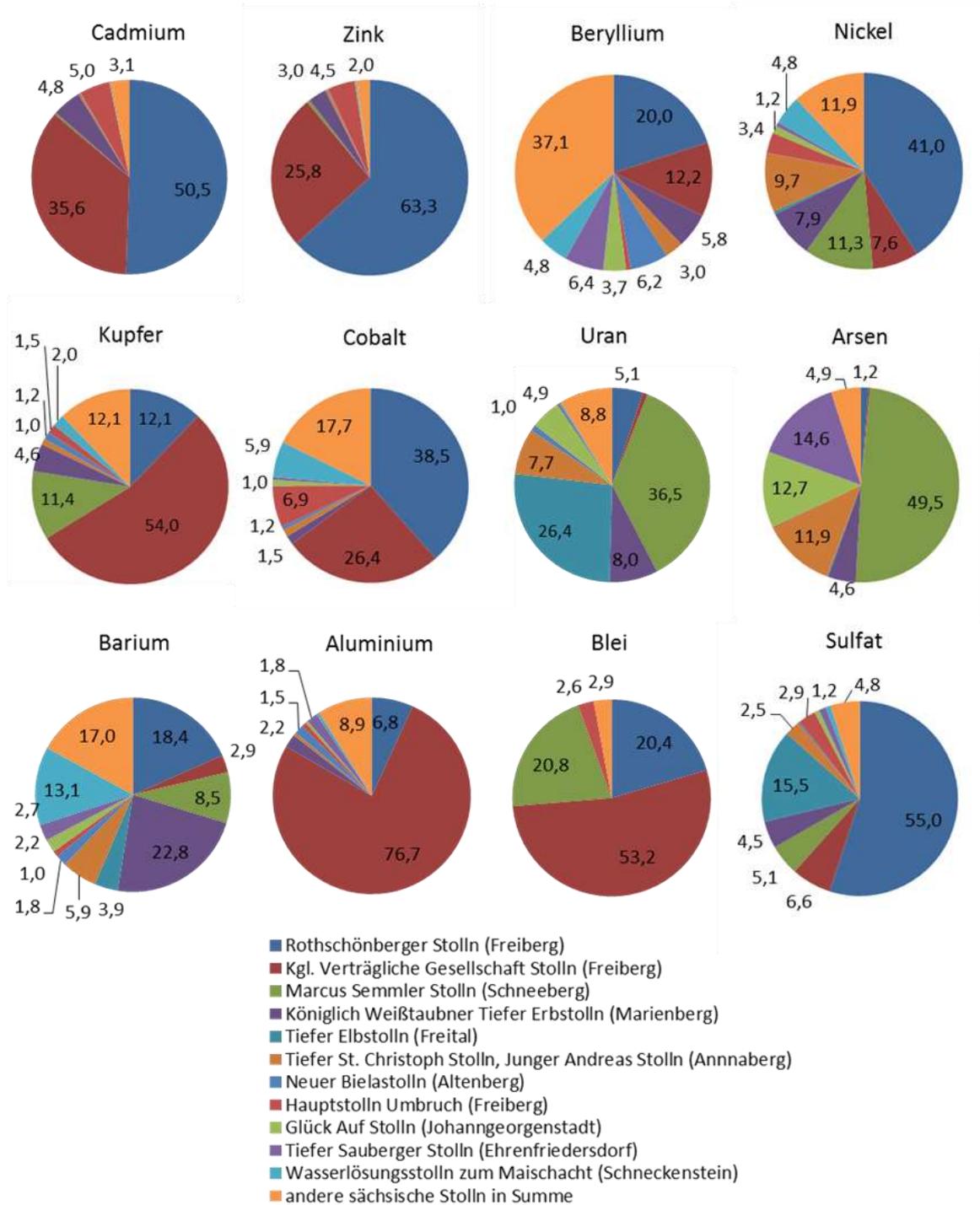
**Tabelle 2: Übersicht potenzieller Verfahrensansätze zur Reinigung von Grubenwässern nach Eingriffsebene**

Eingriffsebene	Verfahren	Kurzbeschreibung	Beispiel
Flutungsraum	Modifizierung Grubenwasser-management	Verminderung des Durchflusses durch schadstoffreiche Zonen	Erzgrube Schneeberg
Flutungsraum	Modifizierung Flutungsmanagement	Hoher Flutungswassereinstau zur Minderung des Grundwasserzuflusses und Minimierung oxidativer Stoffmobilisierungen	Urangrube Ronneburg
Flutungsraum	Reduktive Schadstofffixierung	Abtrennung von Schadstoffen im Flutungswasser durch Senkung des Redoxmilieus (z.B. Einbringung organischer Substanzen oder metallischem Eisen)	
Flutungsraum	Schadstofffixierung durch Fällung/ Neutralisierung	Zugabe alkalischer Medien/ Fällungschemikalien zur Beeinflussung des pH-Milieus und Fällung von Schadstoffen	Urangruben Königstein und Ronneburg
Transferbereich (peripherer Flutungsraum)	Wasserbelüftung/ Eisenfällung	Abtrennung durch Belüftung des abfließenden Wassers (vollständige Oxidation); ausreichende Reaktionszeiten; moderate Fließgeschwindigkeiten	Gruben Pöhla und Ehrenfriedersdorf
Grubenextern	Passive Wasserbehandlung/ Oxidation und Sedimentation (Wetland)	Maßnahme ohne umfassenden verfahrenstechnischen Ausbau bzw. Chemikalieneinsatz; Selbstreinigungsprozesse im direkten Grubenumfeld	

Aus der Verfahrensgegenüberstellung lässt sich ableiten, dass diese Verfahrensansätze prinzipiell machbar sein können, jedoch ein leichter Vorteil bei Verfahren im Abstrombereich der Bergwerke (Transferbereich und Grubenextern) liegt. Es müssten jedoch Einzelfallprüfungen für jeweilige Erz- bzw. Spatgrube durchgeführt werden.

Das Potenzial des Austrages von Schadstoffen aus den Gruben des sächsischen Untertagebaus wurde über die Elementfrachten der Wasserlösestolln abgeschätzt. Dabei zeigten die Stollnwässer des Freiburger Reviers (u.a. Rothschnöberger Stolln, Königlich Verträgliches Gesellschaft Stolln) das höchste Potenzial von Schadstoffausträgen in die Fließgewässer (Abbildung 1). Signifikante Stoffausträge waren auch in den Grubenwasseraustritten der Bergbaureviere Schneeberg, Johannegeorgenstadt, Ehrenfriedersdorf, Marienberg und Altenberg/Zinnwald zu verzeichnen.

# Möglichkeiten des Schadstoffrückhalts in unterirdischen Grubengebäuden des Erz- und Spatbergbaus (Teilprojekt 1.2)



**Abbildung 1: Frachtanteile (in %) ausgewählter sächsischer Stollnwässer (Name des jeweiligen Bergbaureviere in Klammern) für relevante Schadstoffe in Oberflächengewässern (Frachtanteile < 1 % sind nicht beschriftet; auf Basis von Messdaten der BfUL und Wismut GmbH)**

Die Potenzialabschätzung ergab für einzelne Stolln des Freiburger Reviers (Königlich Verträgliche Gesellschaft Stolln; Hauptstolln Umbruch) Frachtanteile größer 30 % für die Elemente Al, Be, Cd, Co, Cu, Ni, Se, U und Zn an der Gesamtfracht der Freiburger Mulde. Als einzig realisierbares in situ

## Möglichkeiten des Schadstoffrückhalts in unterirdischen Grubengebäuden des Erz- und Spatbergbaus (Teilprojekt 1.2)

Rückhalteverfahren wurde für dieses Revier, auch auf Basis einer hydrochemischen Modellierung, die Schadstofffixierung durch Fällung/Neutralisation mittels eines Fällungsmittels und anschließender Sedimentation im Flutungsraum vorgeschlagen.

Im Zinnwalder Revier werden die Grubenwässer über drei Entwässerungstollen (Tiefer Bünau Stolln, Tiefer Hoffnung Gottes Stolln und Tiefer Hilfe Gottes Stolln) in die Vorfluter Rotes Wasser und Aschergraben ausgeleitet. Frachtanteile größer 30 % an der Elementführung des Roten Wassers sind bei Al, Ba, Be, Cd, Co, Cu, Li, Tl, U, Zn festzustellen, wobei 100 % des Cd, Cu Tl, U und Zn auf die Stollnwässer zurückzuführen sind. Im Aschergraben sind vor allem Cd, Cu, Ni, Se, U und Zn aufgrund von Stollnwassereinträgen erhöht. Als Rückhalteverfahren wurde die Kombination von Reduktiver Schadstofffixierung mit Schadstofffixierung durch Fällung/Neutralisierung vorgeschlagen. Allerdings sind dafür geflutete Grubenbaue größeren Umfangs als Reaktions- und insbesondere Sedimentationsraum notwendig. Diese sind nur auf tschechischer Seite vorhanden und die Zugänglichkeit müsste erst über Bohrungen gewährleistet werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Schwermetalle über Kalksandfilter abzutrennen beispielsweise über eine Reaktionsstrecke innerhalb einer Umfahrung des Tiefe Hilfe Gottes Stolln (Abbildung 2).



**Abbildung 2: Konzept einer Reaktionsstrecke (Adsorption an Kalksand) in der Umfahrung des Tiefe Hilfe Gottes Stolln im Bergbaurevier Zinnwald**

Im Revier Ehrenfriedersdorf spielt Arsen als Schadstoff, der aus dem Tiefen Sauberger Stolln in die Wilisch eingetragen wird, die Hauptrolle. Daneben sind erhöhte Frachtanteile von Al, As, Be, Cd, Co, Li, Mo, Ni, U und Zn relevant. Konzentriert man sich beim in situ Rückhalt vorwiegend auf Arsen, wurde eine Reaktionsstrecke zur Adsorption des As an granuliertem Fe(III)-Hydroxid empfohlen. Voraussetzung ist hier die Neuauffahrung einer kurzen Strecke entlang des Tiefen Sauberger Stollns.

Mit hoher Wahrscheinlichkeit, werden in Sachsen auch zukünftig „neue“ Bergbauprojekte umgesetzt. Um die Umweltbelastungen so gering wie möglich zu halten wurden folgende Maßnahmen zur Reduzierung von Stoffausträgen vorgeschlagen:

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

### Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Studie wurden verfahrenstechnische Möglichkeiten untersucht, die in der Lage sind, Schadstoffe bereits im Grubengebäude zurückzuhalten und eine effektive Verbesserung der Gewässerqualität bewirken können.

Auf Grundlage einer Recherche zum Stand der Technik und Wissenschaft konnten Steckbriefe zu potenziell anwendbaren in situ Rückhaltmaßnahmen in sächsischen Bergbaurevieren erstellt und bewertet werden. Prinzipiell sind Verfahren, bei denen der Eingriff im Transferbereich der Gruben stattfindet, leichter realisierbar.

Über gemessene Schadstoffkonzentrationen in den Grubenwässern der Wasserlösestolln konnte das relevante Schadstoffspektrum für die verschiedenen Bergbaureviere ermittelt werden. Darüber hinaus ergab eine Potenzialabschätzung, dass den Stollnwässern des Freiburger Reviers die größte Bedeutung als Emittent von Schadstoffen in die Fließgewässer zukommt. Signifikante Stoffausträge waren auch in den Grubenwasseraustritten der Bergbaureviere Schneeberg, Johannegeorgenstadt, Ehrenfriedersdorf, Marienberg und Altenberg/Zinnwald zu verzeichnen. Teilweise konnten Schadstoffeinträge in die direkten Vorfluter zu 100 % den jeweiligen Stolln als Quelle zugeordnet werden. Für die drei Bergbaureviere Freiberg, Zinnwald und Ehrenfriedersdorf wurden mögliche in situ Rückhaltmaßnahmen konkret beschrieben und soweit möglich auch der finanzielle Aufwand ermittelt. Im Wesentlichen erfolgte die Immobilisierung dabei durch Fällung und anschließende Sedimentation oder durch Adsorption. Die Maßnahmen könnten zu einer Verringerung der Konzentrationen von Cadmium oder Arsen in den jeweiligen Stollnwässern führen und auch das Austragspotenzial der Wasserlösestolln in die sächsischen Oberflächengewässer, wie Mulde und Elbe verringern.

Die recherchierten Maßnahmen stellen zum Teil realisierbare und effektive Möglichkeiten dar, um Schadstoffe in den unterirdischen Grubengebäuden des ehemaligen Bergbaus zurückzuhalten. Die Prüfung der Anwendbarkeit der Verfahren für konkrete Grubenstandorte bzw. Stolln erfordert grundsätzlich objektspezifische Planungen.

## Möglichkeiten des Schadstoffrückhalts in unterirdischen Grubengebäuden des Erz- und Spatbergbaus (Teilprojekt 1.2)

---

Für zukünftige Bergbauprojekte empfiehlt es sich bereits im Rahmen der Planung des Bergbaus, entsprechende untertägige Methoden zur Reduzierung von Schadstoffausträgen zu berücksichtigen.



# Impressum

## Herausgabe:

Dieser Steckbrief wurde im Rahmen des Projekts Vita-Min erstellt. Das Projekt Vita-Min wurde aus Mitteln des europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Kooperationsprogramms SN-CZ 2014-2020 finanziert. Die Projektpartner sind das sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Leadpartner), die Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb. und die Verwaltungsbehörde des Bezirks Ústecký kraj.

Alle Teilprojekte des LfULG tragen zum Leitprojekt „Für saubere Gewässer in Sachsen“ bei.

Für Fragen und weitere Informationen zu diesem Teilprojekt kontaktieren Sie:

### **Ansprechpartner**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Ansprechpartner: Frau Kathleen Lünich

Telefon: + 49 351 88928 4420

E-Mail: [Kathleen.Luenich@smul.sachsen.de](mailto:Kathleen.Luenich@smul.sachsen.de)

## Bearbeitung:

Die Ergebnisse dieses Teilprojekts wurden im Rahmen einer Vergabe vom LfULG durch die Firma G.E.O.S Ingenieurgesellschaft mbH erarbeitet.

## Titelfoto:

Mirko Martin, G.E.O.S. mbH (2018): Sohlschwelle oberhalb des Mundlochs des Verträglichkeitsgesellschaft Stolln (Freiberger Revier)

## Redaktionsschluss:

29.03.2019

**Weitere Informationen finden Sie unter**  
**[www.vitamin-projekt.eu](http://www.vitamin-projekt.eu)**