

Die Spülhalde Davidschacht in Freiberg – Geschichte, Umweltproblematik und geplante Sanierung

The flotation tailing „Davidschacht“ in Freiberg – history, environmental problems and planned remediation

Erich Fritz, Christin Jahns*

Zusammenfassung: Die Spülhalde Davidschacht ist Teil des Davidschacht-komplexes am östlichen Stadtrand von Freiberg. Sie wurde von 1944 bis 1964 betrieben und beinhaltet 760.000 m³ Spülschlämme. Dabei handelt es sich um die Flotationsabgänge der nasschemischen Erzaufbereitung. Das Objekt stellt nach Bundes-Bodenschutzgesetz eine Altlast dar. Hauptsächliche Schadstoffe sind Schwermetalle und hier vor allem Cadmium, welche über den Sickerwasserpfad in das Gruben-, Grund- und Oberflächenwasser eingetragen werden, wobei die Freiburger Mulde maßgeblich betroffen ist. Zur Sicherung der Altlast sind umfangreiche Untersuchungen durchgeführt worden. Aktuell werden die Sanierungsvarianten diskutiert, wobei große Teile der Halde mittels mineralischer Bodenmaterialien abgedeckt werden sollen. Problematisch stellt sich die Ostböschung dar, da sie sehr steil ist sowie denkmal- und naturschutzfachlich eine hohe Relevanz hat.

Schlüsselwörter/Keywords: Altlasten, Sanierung, Bergbaufolgelandschaft, Schwermetalle / abandoned polluted area, remediation, postmining landscapes, heavy metals

1. Einleitung

Die SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft ist für die Sanierung zahlreicher Altlasten des Bergbau- und Hüttenkombinates „Albert Funk“ im Freiburger Raum verantwortlich. Im Rahmen des Altlastenprojektes SAXONIA, welches von 1993 bis 2013 lief, wurden ca. 400 Maßnahmen an ca. 50 Objekten durchgeführt (Mollée 2013). Auch nach erfolgreichem Abschluss des zeitlich befristeten Altlastenprojektes sind einige wenige Hinterlassenschaften des Bergbaus noch nicht saniert. Dazu gehört die Spülhalde Davidschacht, die aktuell Anlass für zahlreiche Untersuchungen mit dem Ziel der Sanierung ist, aber auch vielfältige Forschungsmöglichkeiten bietet. Nachfolgend werden die Untersuchungen vorgestellt, die aus der Altlastenrelevanz heraus für die Einschätzung und die Beseitigung des Gefährdungspotenzials von Bedeutung sind (Archiv SAXONIA, IBUR 1995, Fritze 2000, BIUG 2009, Mollée 2013).

2. Untersuchungsgebiet

2.1 Beschreibung und Lage des Untersuchungsgebietes

Die Spülhalde Davidschacht befindet sich am östlichen Stadtrand von Freiberg zwischen der stillgelegten Bahnlinie Freiberg - Halsbrücke und der Freiburger Mulde. Sie schließt unmittelbar an die südlich von ihr liegende Grobbergehalde Davidschacht an. Der Haldengrundkörper bedeckt eine Fläche von ca. 6,3 ha. Die Anlage der Halde einschließlich des Damms erfolgte auf einem nach Osten geneigten Untergrund in Geländehöhen zwischen 404 m NN (Westseite) und 369,6 m NN (Ostseite). Vom östlichen Haldenfuß fällt das Gelände relativ steil zur Freiburger Mulde hin ab. Das Haldenplateau befindet sich nach teilweiser Einebnung in Höhen zwischen 415 m und 417 m NN und weist ein Längsgefälle von 1:1000 von Süd nach Nord auf (BIUG 2009, Redwan et al. 2012).

Im Untersuchungsgebiet sind folgende klimatische Verhältnisse vorhanden (Fritze 2000):

- Hauptwindrichtung: West (NW-SW drehend)
- Niederschlagsmenge: NK = 831 mm
- Durchschnittstemperatur: 7,5-8,0 °C/a

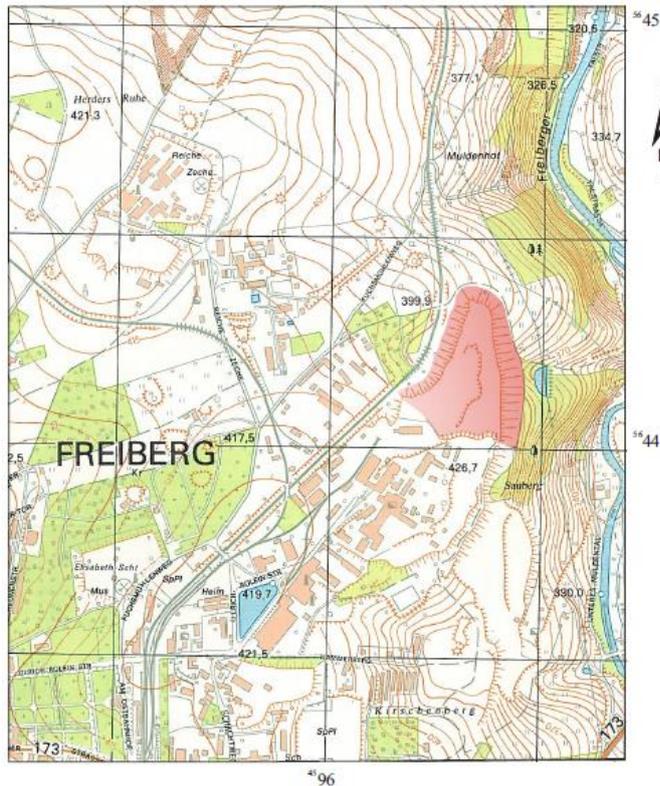


Abb. 1: Lage der Spülhalde Davidschacht in Freiberg (BIUG 2009).

Fig. 1: Location of the floating tailing Davidschacht in Freiberg (BIUG 2009).

2.2 Lagerstätte und Bergbauentwicklung

2.2.1 Geologie und Mineralogie

Der Freiburger Lagerstättenbezirk befindet sich im nordöstlichen Teil des Erzgebirges. Der Bereich um Freiberg besteht aus grauem Orthogneis, der so genannten Freiburger Gneiskuppel. Dabei handelt es sich um einen mittel- bis grobkristallinen Biotit-Zweifeldspat-Gneis. Edukte dieses Gneises waren im Jungproterozoikum intrudierte magmatische Gesteine mit granodioritischer Zusammensetzung. Metamorphose und damit tektonische Überprägung erfolgten im Zusammenhang mit der variszischen Orogenese im Unterkarbon sowie der alpidischen Orogenese in der Kreide.

Im gesamten Freiburger Lagerstättenbezirk sind ca. 1100 Erzgänge nachgewiesen. Sie können zwei tektonisch und zeitlich unterschiedlich entstandenen Scherspaltensystemen zugeordnet werden, die ihre Entstehung dem tektonischen Inventar der variszischen Orogenese (1. Mineralisationszyklus, 1. Bruchsystem) bzw. der alpidischen Orogenese (2. Mineralisationszyklus, 2. Bruchsystem) verdanken (Fritze 2000). Bedeutende Formationen, Erze und Mineralien sind in den Tabellen 1 und 2 dargestellt.

Tabelle 1: Mineralparagenesen des ersten Mineralisationszyklus (Fritze 2000).

Table 1: Mineral parageneses of the first mineralisation cycle (Fritze 2000).

Formation	Abfolge	Erze	Gangart
kiesig-blendige Bleierzformation (kb-Formation)	kiesige (pyritische) Abfolge	Pyrit, Arsenopyrit, Markasit, Galenit, Spuren von gediegen Gold	Quarz
	Zn-Sn-Cu-Abfolge	Sphalerit, Chalkopyrit	Quarz
	Pb-Abfolge	Galenit (Ag-haltig)	Quarz
edle Braunspatformation (eb-Formation)	Uran-Quarz-Abfolge	Hämatit, Uranpechblende	Quarz, Karbonspäte, Fluorit
	sulfidische Abfolge	Ag-haltiger Sphalerit, Galenit, Pyrit, Markasit	Braunspäte
	Ag-Abfolge	Silbererze und gediegen Silber	Karbonspäte

Tabelle 2: Mineralparagenesen des zweiten Mineralisationszyklus (Fritze 2000).**Table 2:** Mineral parageneses of the second mineralisation cycle (Fritze 2000).

Formation	Abfolge	Erze	Gangart
eba-Formation, nur untergeordnet)	Eisen-Baryt-Abfolge		Quarz (Varietät Achat, Amethyst), Baryt
Fluorbarytische Bleierzformation (fba-Formation)	Hartes Trum (Baryt-Quarz--Abfolge) Weiches Trum (Hauptfluorid- und Kalkbaryt- Abfolge)	Chalkopyrit, Pyrit, gering Silbererze	
Bi-Co-Ni-Ag-Formation („Edle Geschicke“, an Gangkreuzen)	Arsendisische Abfolge (selten) Silber-Sulfid-Abfolge	gediegen Arsen, gediegen Wismut Silbererze, ged. Silber	Quarz, Fluorit, Baryt Karbonspäte, Quarz

2.2.2 Altbergbau bis 19. Jahrhundert

Am Nordrand des Erzgebirges bei Freiberg begann im Jahr 1168 mit der Entdeckung von Erzgängen ein 800-jähriger Bergbau auf Silber und Buntmetalle (Blei, Zink, Kupfer). Aufgrund von Kriegen, Seuchen und Gewinnungsproblemen, die immer wieder zu Rückschlägen im Bergbau führten, können im Freiburger Revier vier Epochen identifiziert werden.

Die erste Epoche (12. bis 14. Jahrhundert) wurde durch die Entdeckung von Erzlagerstätten im Gebiet der heutigen Altstadt von Freiberg im 12. Jahrhundert eingeleitet. Durch intensive, oberflächennahe Schürftätigkeit in der Oxidationszone der Erzlagerstätten wurden gediegenes Silber und Erze mit hohem Silbergehalt abgebaut. Die fortschreitende Schürftätigkeit bedingte zunehmend größere Abbauteufen, so dass der Bergbau um 1350 für damalige Verhältnisse unrentabel wurde.

Die zweite Epoche (Mitte 15. bis Mitte 17. Jahrhundert) wurde durch das Zahlen einer Schürfprämie eingeleitet, wodurch zahlreiche neue Lagerstätten auch im oberen Erzgebirge gefunden wurden. Dazu zählen die Gebiete um Schneeberg, Annaberg, Marienberg und Brand bei Freiberg. Durch Zufluss finanzieller Mittel konnten die technischen Bedingungen verbessert werden. Durch den Bau von Kunstgezeugen, Kunstgräben und Kunstteichen konnte die Wasserenergie osterzgebirgischer Flüsse zum Antreiben von Förder-, Wasserhaltungs- und Aufbereitungsmaschinen genutzt werden. Aufgrund der Verwaltungsreform von Herzog Moritz wurde 1669 das spätere Oberbergamt gegründet. Dadurch war nun auch eine ökonomische und technische Leitung der Bergwerke im Territorium gewährleistet. Der Niedergang des Bergbaus nach 1600 ist auf die ungenügende Weiterentwicklung der Technik sowie auf den Dreißigjährigen Krieg (1618-1648) zurückzuführen.

Die dritte Epoche (1767 bis 1913) wurde durch eine kurfürstliche Staatsreform begründet, wodurch auch der Bergbau neubelebt worden ist. Wichtigster Ausgangspunkt war die Weiterentwicklung nicht nur der Technik sondern auch der Wissenschaft auf den Gebieten der Geologie, Lagerstättenlehre und des Bergbaus. Vor diesem Hintergrund kam es 1765 zur Gründung der Bergakademie Freiberg. Durch den Einsatz neuentwickelter Maschinen zur Förderung und Wasserhebung sowie der Zusammenlegung kleinerer Gruben zu großen Betriebseinheiten erhielt der Bergbau um Freiberg neuen Aufschwung. Ein hervorragendes Beispiel ist die Himmelfahrt Fundgrube, welche mit 2.500 Mann Belegschaft in der Mitte des vorigen Jahrhunderts die größte Grube Sachsens war. In ihr wurden allein pro Jahr bis 15 Tonnen Silber gewonnen. 1835 wurde hier der Davidschacht als ein Hauptschacht des Grubenfeldes abgeteuft. Durch die wirtschaftliche und politische Entwicklung nach der Gründung des Deutschen Reiches (1871) und die damit im Zusammenhang stehende Umstellung auf Goldwährung (1873), war das Silber als Hauptprodukt des Freiburger Bergbaus den Preisschwankungen auf dem Weltmarkt unterworfen. Nach wenigen Jahren war der Abbau in dieser Region nicht mehr wirtschaftlich, so dass 1913 der Bergbau offiziell stillgelegt worden ist.

Aus diesen Jahrhunderten Bergbaugeschichte resultieren im Bereich des Davidschachtkomplexes zahlreiche risskundliche und nicht risskundliche Altbergbauzeugen. Altbergbau ging vor allem auf den Morgengängen (Mgg.) und Stehenden Gängen (Sth.) um, währenddessen die Spatgänge kaum bauwürdig waren.

In BIUG (1999) sind im Bereich unterhalb der Spülhalde oder in unmittelbarer Nähe fünf Schächte namentlich benannt:

- der Alte Bärschacht und der Jung Davider Huthaus Schacht; beide folgen dem Gottlob Mgg.,
- der Tagesschacht am Mühlweg auf dem Johann Mgg.,
- der Langhammer Schacht auf dem Glück auf Spat unmittelbar nördlich des Haldenfußes,
- der Rollschacht am Rand der Grobbergehalde unmittelbar südlich der Spülhalde.

Dem Kirschbaum Sth. folgend wurde der Königlich Verträgliche Gesellschaft Stolln (VGS) aufgefahren. Dieser liegt etwa parallel zur östlichen Begrenzung von Spülhalde und Grobbergehalde.



Abb. 2: Lage des Altbergbaus und wichtiger Erzgänge im Gebiet der Spülhalde Davidschacht, Bergschadenkundliche Analyse, (IBUR 1996).

Fig. 2: Location of old mining and important metalliferous veins in the area of the flotation tailing Davidschacht, Bergschadenkundliche Analyse (IBUR 1996).

2.2.3 Bergbau im 20. Jahrhundert

Im 20. Jahrhundert kam es zu einer 4. Blütezeit (1937 - 1969). Ursache war der große Mangel an Rohstoffen in Deutschland kurz vor und während des 2. Weltkrieges sowie danach zu DDR-Zeiten. Diesmal orientierte man sich jedoch auf die Buntmetalle Blei, Zink und Kupfer. Silber fiel nur als Nebenprodukt an (ca. 6 Tonnen pro Jahr). Nach dem 2. Weltkrieg übernahm kurzzeitig die WISMUT den Bergbaubetrieb. Danach betrieben die VEB Bleierzgruben „Albert Funk“ und zuletzt das Bergbau- und Hüttenkombinat Freiberg den hiesigen Bergbau. Die Schließung der Gruben erfolgte letztendlich 1969, da die ökonomische Abbauwürdigkeit nicht mehr gegeben war.

In dieser Zeit war der Davidschacht neben der Reichen Zeche der Hauptförderschacht, was aufgrund der riesigen Halden des Davidschachtkomplexes unverkennbar ist. Die neue Förderanlage wurde 1943 in Betrieb genommen und bestand aus einer elektrischen Fördermaschine. 1942 erreichte der Schacht eine Teufe von 736 m. Nach der Einstellung des Bergbaus 1969 wurden die Grubenbaue im Revier bis zum Niveau des Rothschnöberger Stolln geflutet und die Schächte und Stolln verwahrt. Die Anlagen Reiche Zeche und Alte Elisabeth dienen seitdem ausschließlich dem Lehrbetrieb der TU Bergakademie Freiberg. Der Davidschacht wurde stillgelegt und dem VEB Bergbau- und Hüttenkombinat Freiberg, Rationalisierungsbetrieb -OM- übergeben, der bis zur politischen Wende 1989/90 diesen Standort betrieb. Heute befinden sich zahlreiche Gewerbe- und Industriebetriebe in diesem Gebiet.

Der Davidschachtkomplex selbst stellt einen Haldenzug dar, der aus drei Teilbereichen besteht: die Grobbergehalde mit den Tagesanlagen des Davidschachtes sowie zwei Spülhalden, im Norden die Spülhalde Davidschacht und im Süden die Spülhalde Hammerberg.

Die Vortriebsberge und überschüssigen Berge des Bergbaubetriebes am Davidschacht wurden über die Strecken-, Schacht- und Übertageförderung zunächst einer Grobbergehalde zugeführt, welche unmittelbar östlich bzw. südöstlich des Davidschachtes am Sau- und Hammerberg gelegen war. Auf dem Plateau unmittelbar neben dem Richtschacht befand sich die 1936 neu errichtete Aufbereitungsanlage.

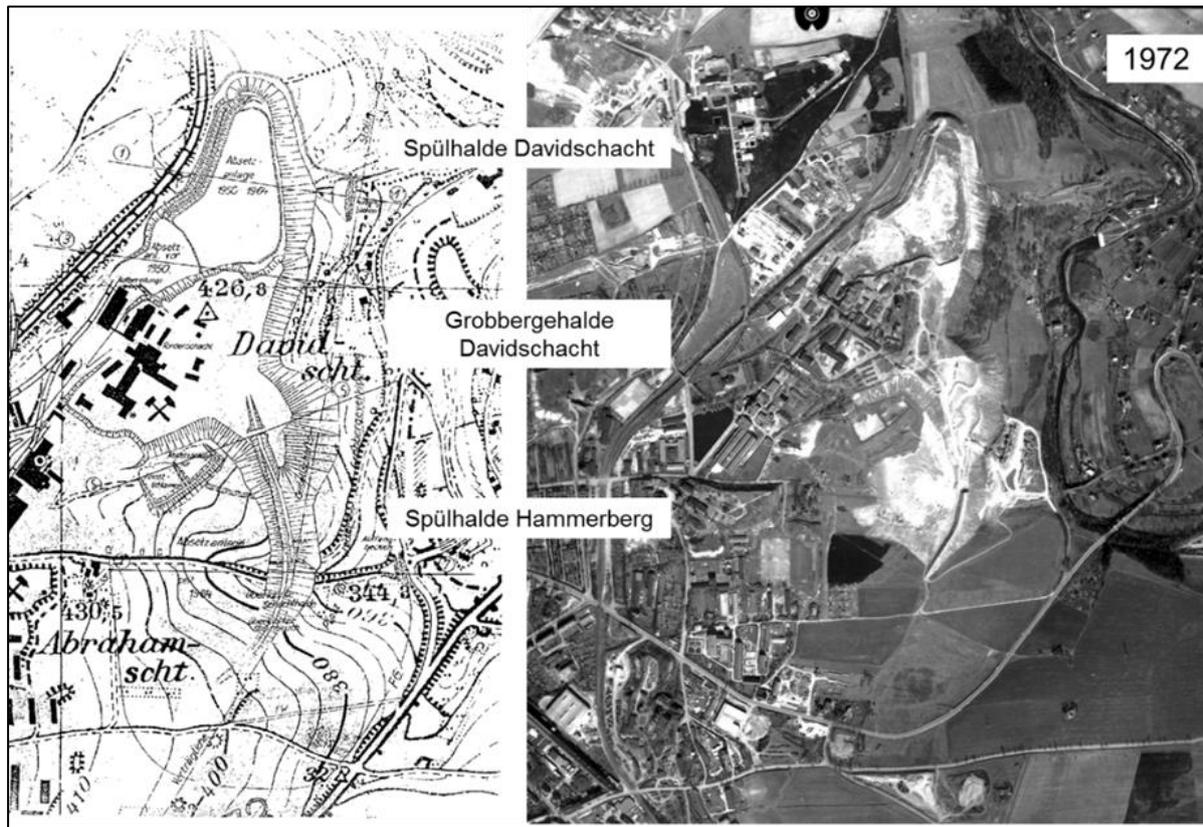


Abb. 3: Rißkarte (Bergschadenkundliche Analyse) und Luftbild (Archiv SAXONIA).

Fig. 3: Map (Bergschadenkundliche Analyse) and areal photo (archive SAXONIA).

2.2.4 Aufbereitung im 20. Jahrhundert

In der neuen zentralen Aufbereitungsanlage auf dem Davidschachtgelände wurde nach dem Prinzip der Schaumaufbereitung (Flotation) gearbeitet. Dadurch war es möglich, auch erzarmes Gestein wirtschaftlich vertretbar zu verarbeiten. Diese Anlage verarbeitete vorwiegend Freiburger und Brander Erze der kb-Formation (Bunt- und Edelmetallformation des ersten Mineralisationszyklus mit Pyrit, Arsenopyrit, Markasit, Galenit und Quarz als Gangart). Daneben wurden Erze aus dem Kalkwerk Hermsdorf und von der SDAG Wismut durchgesetzt (Redwan & Rammlmair 2011, Redwan et al. 2012).

Von 1944 bis 1951 wurde die aus der Flotation entstehende Trübe in ein altes Klärbecken geleitet, welches sich unmittelbar nördlich der Aufbereitung befand. Die Durchsatzmengen und eine vollständige Liste der eingesetzten Reagenzien von dieser Zeit sind nicht bekannt. Aufgrund der ab 1950 anlaufenden kontinuierlichen Erzförderung und -aufbereitung wurde ab 1951 eine neue Spülhalde nordöstlich des alten Klärbeckens angelegt und bis 1964 betrieben. Von 1964 bis 1969 (Ende des Freiburger Bergbaus) wurde dann nach Ausschöpfung der Kapazität dieser Spülhalde „Am Davidschacht“ die südlich vom Davidschacht gelegene Spülhalde „Am Hammerberg“ genutzt.

Das Erz unterlag während seiner Förderung bis zur Aufbereitung folgenden Verfahrensschritten: Nach der Strecken- und Schachtförderung gelangte das Erz aus den Grubenförderwagen über einen Kreiselwipper zum Backenbrecher, wo es zunächst auf eine Korngröße von < 60 mm gebrochen wurde. Zur Erzaufbereitung waren jedoch noch geringere Korngrößen notwendig, weshalb es anschließend noch mehrere Stufen der Zerkleinerung und Absiebung durchlief, bis es einen Durchmesser von ca. 0,2 mm hatte. Aus der aus dem Erzmehl hergestellten Trübe wurden während der Flotation nacheinander kupferhaltiges PbS-, ein ZnS- und ein stark arsenhaltiges FeS₂-Konzentrat gewonnen.

Zu dieser Erzaufbereitungsanlage gehören drei zeitlich unterschiedliche Spülhalden (siehe Abb. 3):

- Erster Vorläufer war das bereits erwähnte unmittelbar nördlich an die Aufbereitung angrenzende ältere Klärbecken, das bereits 1944 in Betrieb genommen worden ist. Seine Dämme waren verhältnismäßig durchlässig, seine Fülltiefe aufgrund der geringen Geländeneigung sehr gering. Über genaue Mengenverhältnisse ist nichts bekannt. Man nimmt jedoch an, dass es sich um relativ geringe Mengen handelte. Die Kapazität dieses Beckens war 1951 erschöpft.

- Deshalb wurde dann die Spülhalde Davidschacht angefahren, die von 1951 bis 1964 alleinige Spülhalde war und von 1964 bis 1969 als Reservehalde für die neue Hammerberg-Spülhalde diente. Sie befindet sich nördlich der Aufbereitungsanlage und des älteren Klärbeckens und stellt die Nordspitze des gesamten Haldenzuges dar.
- Von 1964 bis 1969 nutzte man dann die Spülhalde Hammerberg als Klärbecken. Die kleinen in ihrem nördlichen Abschnitt befindlichen Absetzbecken für Feinstschlämme dienten in den ersten Monaten nach der Inbetriebnahme der Spülhalde für den Absatz der feinsten Kornfraktion des Spülgutes, um das neue Zentralbecken versickerungsfähig zu halten.

Die Spülhalde „Am Davidschacht“ wurde also in der nördlichen Verlängerung der Grobbergehalde des Davidschachtes angelegt (vgl. Abb. 4, 5). Der östliche Damm besteht dabei aus Grobbergematerial, wobei sich bei der Verkippung des Bergematerials ein natürlicher Böschungswinkel von 40° ausbildete, der sehr steil ist und daher aus heutiger Sicht als nur bedingt standsicher gilt. Die westliche Böschung besteht nur in ihrem basalen Teil aus einem Pionierdamm mit Grobbergematerial. Darüber wurde mit fortschreitender Einspülung alle 4 Höhenmeter eine Berme aus Spülsanden aufgebracht, so dass im Endzustand drei Bermen mit einer Breite von 3-4 m entstanden sind. Ihre Böschungsneigungen betragen durchschnittlich $30-35^\circ$. Vor der Ostböschung der Halde liegt im davor befindlichen Talbereich ein Nachklär- und Regenauffangbecken.

Die ursprüngliche Höhe der Spülbeckensohle lag bei minimal 385 m NN, die genehmigte Höhe nach Spülende lag zunächst bei 415 m NN (1963 erreicht). Aufgrund von Kapazitätsmangel und Verzögerungen beim Bau des neuen Spülbeckens am Hammerberg wurde eine Erhöhung auf 417 m NN genehmigt. Die Spülhalde erreicht dadurch Mächtigkeiten von durchschnittlich 20 bis 30 m. Dabei umfasst der Haldenkörper eine Grundfläche von ca. 6,3 ha. Nach IBUR (1995, HE) wurden folgende Durchsatzmengen erreicht:

- 1944 bis 1951: unbekannt, jedoch relativ geringe Mengen
- 1951 bis 1964: ca. 50 000 - 70 000 m³ Feststoff pro Jahr in Trüben (1:10); insgesamt 760 000 m³
- 1964 bis 1969: Spülreserve (geringe Mengen)

Sohlabdichtung: Eine spezielle Sohlabdichtung des Haldenkörpers existiert nicht (IBUR, 1995, HE). Die östlichen Grobbergedämme wurden nach teilweisem Entfernen des Wurzelbodens unmittelbar am natürlichen Hang aufgeschüttet. Der Schichtaufbau des Untergrundes dürfte im groben dem der Grobbergehalde entsprechen. Zum Schutz des Böschungsfußes diente eine „Lehmschürze“.

Sickerwassersammlung während und nach des Spülbetriebes: Die Funktionsfähigkeit der Beton-Entwässerungsleitungen (2 Betonleitungen unter der Halde) war schon während der Einspülphase eingeschränkt bis unwirksam. Deshalb musste im Spülbetrieb eine Entwässerung über Heberleitungen erfolgen. Nach endgültiger Beendigung des Einspülbetriebes (1969) wurden die Betonrohre verplombt. Gegenwärtig existiert nur noch ein von der Nordspitze talwärts außerhalb des Haldenkörpers (vor der Nord- und Ostböschung) verlaufender Entwässerungsgraben. Momentan erfolgt die Versickerung des Niederschlagswassers direkt in den Haldenkörper.

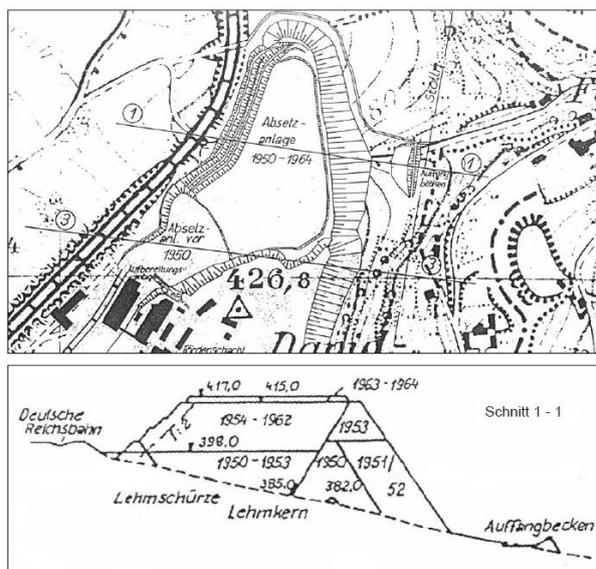


Abb. 4: Lageplan und Schnittdarstellung der Spülhalde Davidschacht (aus: IBUR 1995, HE).

Fig. 4: Map and sectional view of the flotation tailing Davidschacht (from: IBUR 1995, HE).



Abb. 5: Luftaufnahme des Davidschachtkomplexes mit Spülhalde Davidschacht, März 1967 (Archiv SAXONIA)

Fig. 5: Aerial photo of the Davidschacht complex of the flotation tailing Davidschacht, March 1967 (archive SAXONIA).

Die **mineralogische Zusammensetzung der Spülhalde Davidschacht** ist in erster Linie durch das in der Aufbereitung verarbeitete Erz und Restgestein bestimmt. In der Aufbereitung am Davidschacht wurden fast ausschließlich Erze des Freiburger Reviers verarbeitet. Die Spülhalde beinhaltet demnach Quarz (ca. 70 Prozent), Feldspäte, Glimmer, Flussspat, Schwerspat, Kalkspat, Bleisulfid, Eisensulfid, Zink, Mangan, Arsen, Cadmium und Kupfer. Folgende durchschnittliche Stoffinhalte der Aufbereitungsrückstände sind belegt: Blei 0,14 %, Zink 0,3 %, Kupfer 0,04 % und Schwefel 2,3 % (G.E.O.S 1993, Rüthrich 2016).

Auch Reste von Flotationsreagenzien sind in der Halde enthalten. Die in der Davidschachter Flotation hauptsächlich eingesetzten Reagenzien waren Xylenol als Schäumer und Xanthat (Isoamylxanthat) als Sulfidsammler. Ab 1952 nutzte man zum Drücken der Zinkblende Natriumcyanid. Die Flotation musste deshalb bei $\text{pH} > 7$ erfolgen, um die Blausäureentwicklung zu verhindern. Die Zugabe von Kupfersulfat diente der Bindung des freiwerdenden Cyanids. Weiterhin wurde den Flotationsabgängen noch Chlorkalk zugesetzt.

2.2.5 Schließung der Spülhalde Davidschacht und Erstsanierung

Eine gezielte Abdichtung der Spülhalde an ihrer Oberfläche erfolgte nicht. Nach 1969 wurden jedoch sowohl an den Dämmen als auch auf dem Plateau teilweise Hausmüll, Bauschuttreste, Erdaushub, Recyclingmaterial und Kohlereste (Stücke, Grus) verkippt. Hierbei kann unterschieden werden zwischen Material, das nach der Nutzung als Absetzbecken geschüttet bzw. das im Rahmen von Rekultivierungsversuchen aufgebracht wurde. Die genaue Herkunft dieser Abdeckmassen konnte nicht in Erfahrung gebracht werden. Größere Auffüllungsbereiche im Bereich der Böschungen befinden sich im Osten (beidseitig des Bahndammes), im Norden (bewachsener Teil der Nordspitze) und im Westen (Lage nicht definierbar) des Spülhaldenkörpers. Auf der Haldenoberfläche sind vor allem die südlichen Bereiche betroffen.

Die nach Beendigung des Bergbaus durchgeführten Maßnahmen zur Rekultivierung der Spülhalde waren z. T. aufgrund der sehr niedrigen pH-Werte auf Dauer nur sehr selten erfolgreich. Trotzdem sind heute große Bereiche wieder bewachsen (s. weitere Beiträge dieser Band). Als hauptsächliche Ursache hierfür ist neben den o.g. Maßnahmen die natürliche Sukzession zu sehen. Aufgrund der extremen abiotischen Standortfaktoren (hohe Schwermetallgehalte, niedrige pH-Werte, geringe Bodenfeuchte) sind die auf der Spülhalde entwickelten Biotope einzigartig. Die Halde ist damit nicht nur aus kulturhistorischen Gründen denkmalschutzwürdig, sondern auch naturschutzwürdig.

3. Umweltgefährdungspotenzial der Spülhalde Davidschacht

3.1 Untersuchungsmethodik

3.1.1 Sächsische Altlastenmethodik des Freistaates Sachsen

Laut Bundes-Bodenschutzgesetz gehören zu den Altlasten sowohl Altablagerungen als auch Altstandorte. Besteht ein Verdacht auf schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für die Allgemeinheit, so werden sie zunächst als altlastverdächtige Flächen bezeichnet, welche in Bezug auf ihr Gefahrenpotenzial näher zu untersuchen sind. Bestätigt sich der Verdacht, so sind sie zu sanieren.

Für die Untersuchungsmethodik wurde im Freistaat Sachsen die so genannte Altlastenmethodik entwickelt. Abb. 6 stellt die einzelnen, aufeinander aufbauenden Bearbeitungsstufen vor. In der Regel werden diese Stufen auch zeitlich hintereinander abgearbeitet.

3.1.2 Altlastenuntersuchungen am Objekt Spülhalde Davidschacht

Auch für die Altablagerung „Spülhalde Davidschacht“ sind die in Kap. 3.1.1. genannten Untersuchungsstufen durchgeführt worden. Eine erste Gefährdungsabschätzung erfolgte bereits 1993 im Rahmen einer so genannten Arbeitsbeschaffungsmaßnahme mit einem Erkundungsprogramm, in welchem umfangreiche Bohrungen sowie Boden- und Wasserprobenentnahmen durchgeführt worden sind (G.E.O.S 1993). Im Jahr 1995 wurde dann die Historische Erkundung zum Objekt nachgeholt (IBUR 1995). Die Gefährdungsabschätzung wurde nachträglich aufgrund ihres Inhaltsgrades als Orientierende Untersuchung eingestuft.

Aufgrund weiterer Sanierungsmaßnahmen der Bergbau- und Hüttenindustrie des Freiburger Raumes, die eine höhere Priorität besaßen, sind weiterführende Untersuchungen vorerst nicht durchgeführt worden.

Durch neue Sichtweisen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000)], vor allem in Bezug auf den als prioritär eingestuften Parameter Cadmium, haben sich die Prioritäten der Altlastenbearbeitung geändert, da man vermutete, dass auch von dem Davidschachtkomplex Cadmium über Sickerwässer in die Freiburger Mulde eingetragen werden könnte. Aus diesem Grund wurde 2009 die Detailuntersuchung mit dem Schwerpunkt Wasserpfad bearbeitet (BIUG 2009), die diese Vermutung bestätigten, wobei die Ergebnisse noch nicht vollkommen ausreichten, um das Gefahrenpotenzial vollumfänglich zu definieren. Daher folgte eine zweite Stufe zur Detailuntersuchung (DU II), die 2012 abgeschlossen werden konnte. In ihr wurde das gesamte Umfeld einschließlich der Untertagesituation mit betrachtet sowie zusätzliche Messstellen errichtet, um die Datendichte zu erhöhen. Das Ergebnis der DU II waren die endgültige Bestätigung des Altlastenverdachts und die Handlungsempfehlung zur Sanierung der Spülhalde (G.E.O.S 2012).

Die Sanierungsvarianten wurden dann in der 2013 begonnenen Sanierungsuntersuchung diskutiert (G.E.O.S; 2016). Aufgrund der zu beachtenden umfangreichen Belange des Naturschutzes war eine mehrjährige Bearbeitungszeit einzuplanen. Die endgültigen Ergebnisse einschließlich Vorschlag der Vorzugsvariante für die Sanierung werden Anfang 2017 vorliegen. Danach ist dann die Sanierungsplanung zu beginnen, welcher ein baurechtliches Genehmigungsverfahren anzuschließen ist.

Bearbeitungsstufen					
Erfassung		Untersuchung Gefährdungsabschätzung		Sanierungsvorbereitung und -durchführung	
Erhebung	HE	OU	DU	SU	SAN
Handbucheile					
1 Grundsätze					
2 Erhebung und Formale Erst- bewertung	3 Grundwasser		7 Detail- unter- suchung	8 Sanierungs- unter- suchung	9 Sanierung
	4 Boden				
	5 Oberflächenwasser				
	6 Luft				

HE - historische Erkundung, OU - orientierende Untersuchung, DU - Detailuntersuchung, SU - Sanierungsuntersuchung, SAN - Sanierung

Abb. 6: Ablauf der Altlastenbehandlung entsprechend der Sächsischen Altlastenmethodik (LfULG 2003).

Fig. 6: Sequence of the treatment of polluted areas according to the Altlastenmethodik of Saxony (LfULG 2003).

4. Darstellung der Schadstoffsituation und Sanierungskonzeptionen

Die nachfolgende Darstellung der Schadstoffsituation sowie die Vorstellung der Varianten der Sanierungskonzeptionen wurden der 2. Detailuntersuchung DU II (G.E.O.S 2012) sowie dem vorläufigen Bericht zur Sanierungsuntersuchung (G.E.O.S 2016) entnommen.

4.1 Schadstoffinhalte der Spülschlämme und Schadstoffdynamik

4.1.1 Aufbau der Spülhaldenablagerungen und Sickerwasserpfad

Bereits in der ergänzenden Detailuntersuchung (G.E.O.S 2012) wurde ein Modell des Aufbaus der Spülhalde sowie der Wasserwegsamkeiten und Schwermetallausbreitungspfade im Untersuchungsgebiet erarbeitet. Es konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass die Ausbreitung der Schadstoffe vor allem mit dem Sickerwasser erfolgt.

Durch die Einspültechnik der Aufbereitung lagerten sich im Zentrum des Beckens die feinkörnigsten Spülschlämme (tonig-schluffige Korngrößenfraktion) ab. In den Randbereichen sedimentierte dagegen die eher gröberkörnige, sandige Fraktion (Spülsande). Durch die Einspülphasen entstand letztendlich eine Schichtung, die in Abb. 7 durch die grauen und gelben Schichten deutlich wird. Da die grauen feinkörnigen Schichten nur bedingt durchlässig sind, kommt es zur Ausbildung von Schichtenwässern, die in die gröberkörnigen Ablagerungen einsickern und dann in Richtung Untergrund bzw. Dämme geführt werden.

Dem Sickerverhalten von Oberflächenwässern (Niederschläge) ähnlich ist die Durchlüftungsfähigkeit. Auch die Durchlüftung des Schichtpaketes wird durch die feinkörnigeren Schichten behindert. Demgegenüber kann Sauerstoff ohne Probleme in die sandigen Ablagerungen, vor allem auch über das Sickerwasser, eindringen. Dadurch kommt es zu einer Oxidation der sulfidischen Resterze und Minerale in der Spülhalde. Die Folgen sind Versauerung und Pyritverwitterung, wodurch eine erhebliche Mobilisierung der Schwermetalle induziert wird. Von dieser Schwermetalllösung sind sowohl die Spülsande als auch die Dammmaterialien (Grobberge mit Resterzen) betroffen.

Der Schadstoffabtransport erfolgt über verschiedene Transportwege. Dabei dominieren Auffahrungen des Altbergbaus, natürliche Klüfte und Störungszonen. Aber auch über die Zersatzzone des Gneises können hypodermisch ablaufende Sickerwässer transportiert werden. Durch diese Gegebenheiten gelangen die im Sickerwasser gelösten Elemente größtenteils in die Freiburger Mulde und zu einem geringeren Anteil über den Rothschnöberger Stolln in die Triebisch.

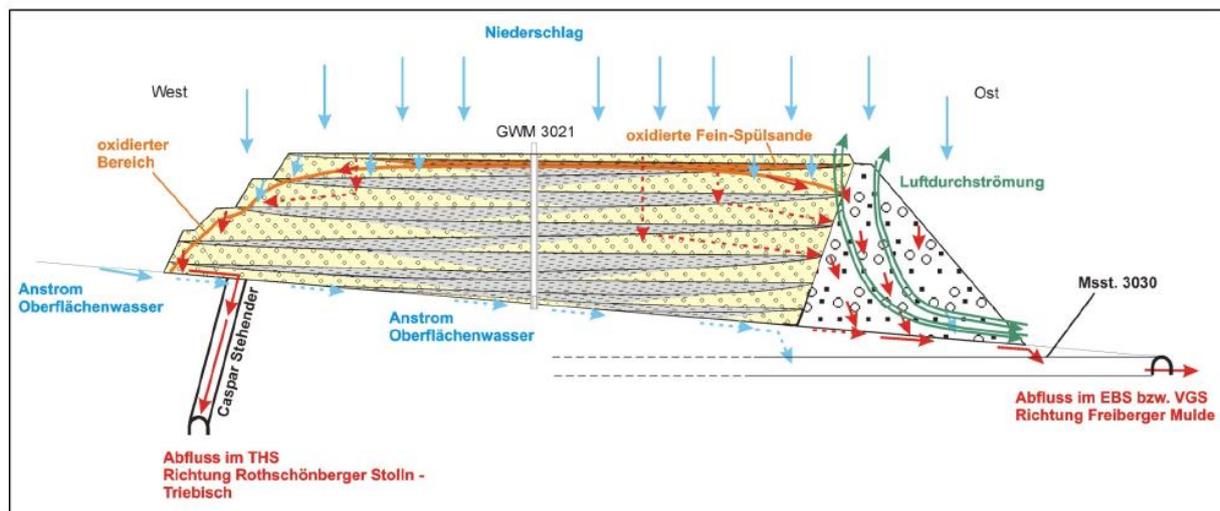


Abb. 7: Schematischer Aufbau der Spülhalde Davidschacht, Schwermetallführung durch Farbe der Pfeile angedeutet: blau = gering belastet, rot = höher belastet (aus: G.E.O.S 2012).

Fig. 7: Sectional view of the flotation tailing Davidschacht, pathways of heavy metals are indicated by arrows: blue = low contaminated, red = higher contaminated (from: G.E.O.S 2012).

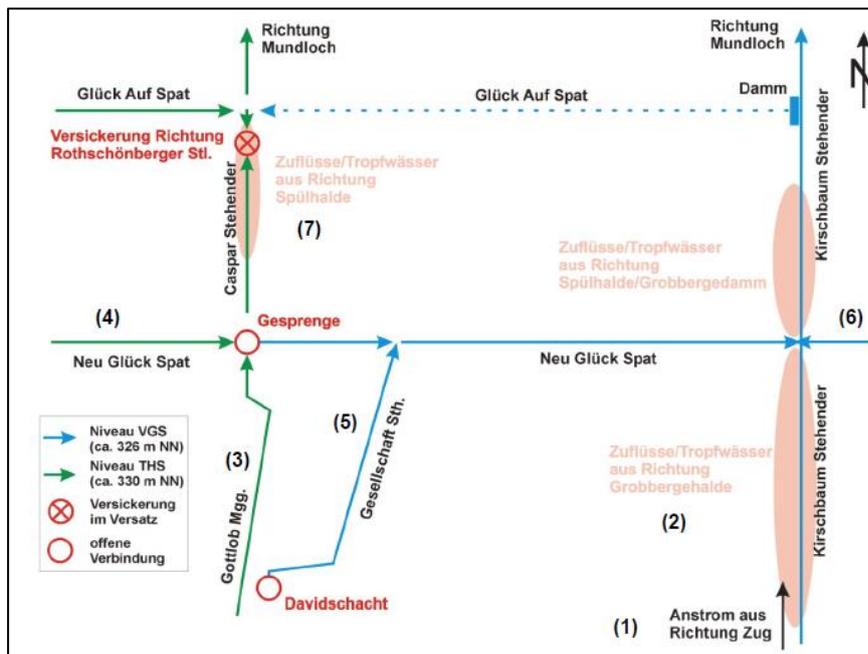


Abb. 8: Hydrogeologische Situation, Fließschema der Untertageauffahrungen im Bereich des Davidschachtkomplexes (aus: G.E.O.S 2012).

Fig. 8: Hydrogeological situation, flow route of the underground pits in the area of the Davidschacht complex (from: G.E.O.S 2012).

Damit konnte festgestellt werden, dass das *Schutzgut Oberflächenwasser* von der Ausbreitung der in der Spülhalde mobilisierten Schadstoffe betroffen ist. Mit dem Oberflächenwasser werden die Schadstoffe in gelöster Form und als Schwebstoff weitertransportiert und letztendlich am Sediment gebunden im Fluss bzw. der Flussaue abgelagert. Das *Schutzgut Grundwasser* ist durch die Versickerung ebenfalls betroffen, jedoch ist aufgrund des intensiven Bergbaus im Freiburger Raum kein regulärer Grundwasserkörper mehr vorhanden.

Andere Pfade zur Schadstoffausbreitung wie Bodenerosion und Windverwehung spielten bei der Betrachtung des Gefahrenpotenzials nur eine untergeordnete Rolle, da die Halde bereits nach Abschluss der Einspülprozesse abgedeckt wurde und jetzt größtenteils bewachsen ist. Lediglich die Westböschung, an der größere Bereiche des Spülsanddammes noch offen sind, unterliegt einer Verstaubungsgefahr, die für die Schutzgüter Umwelt / Mensch von Relevanz sind.

4.1.3 Stofffrachten und Auswirkungen auf die Freiburger Mulde

Hinsichtlich der aus dem gesamten Davidschachtkomplex ausgetragenen Cd-Frachten ergeben sich aus den Untersuchungsergebnissen der Detailuntersuchung (G.E.O.S 2012) folgende Werte:

Davidschachtkomplex gesamt	187,5 kg/a
- davon Spülhalde	80 kg/a (43 %)
Grobbergehalde	99,3 kg/a (53 %)
Grobbergedamm	8,2 kg/a (4 %)

Der Vergleich der Cadmiumfrachten zeigt, dass die Grobbergehalde die größte Cadmium-Quelle darstellt. Die Emissionen der Spülhalde sind geringer und die des Grobbergedammes viel geringer.

Ein maßgeblicher Austragspfad in die Freiburger Mulde ist der Königlich Verträgliche Gesellschafts Stolln (VGS), ein Entwässerungsstolln, der auf dem Kirschbaum Stehenden aufgefahren worden ist und dessen Mundloch unterhalb der Spülhalde Davidschacht liegt. Dem VGS fließen auch aus dem Davidschachtgebiet große Mengen schwermetallhaltiger Wässer zu, die über den Grobbergedamm aus der Spülhalde austreten und hypodermisch sowie über wasserwegsame Abbaue und Schächte ablaufen. Daneben hat er aber ein Einzugsgebiet, welches auch andere Bergbaufelder von Freiberg und Muldenhütten entwässert.

Von Bedeutung ist weiterhin der so genannte Erzbahnstolln (EBS), der im 19. Jahrhundert zum Transport der im Davidrichtschacht geförderten Erze zur Erzwäsche im Muldentale diente. Dazu wurde das Erz über einen Schacht, der sich in der Grobbergehalde befand, in den EBS verstürzt. Dieser verläuft Untertage und daher auch unterhalb der im 20. Jahrhundert entstandenen Spülhalde Davidschacht.

In Abbildung 9 ist die Anreicherung von Cadmium entlang der untertägigen Fließwege beim Passieren des Davidschachtkomplexes dargestellt.

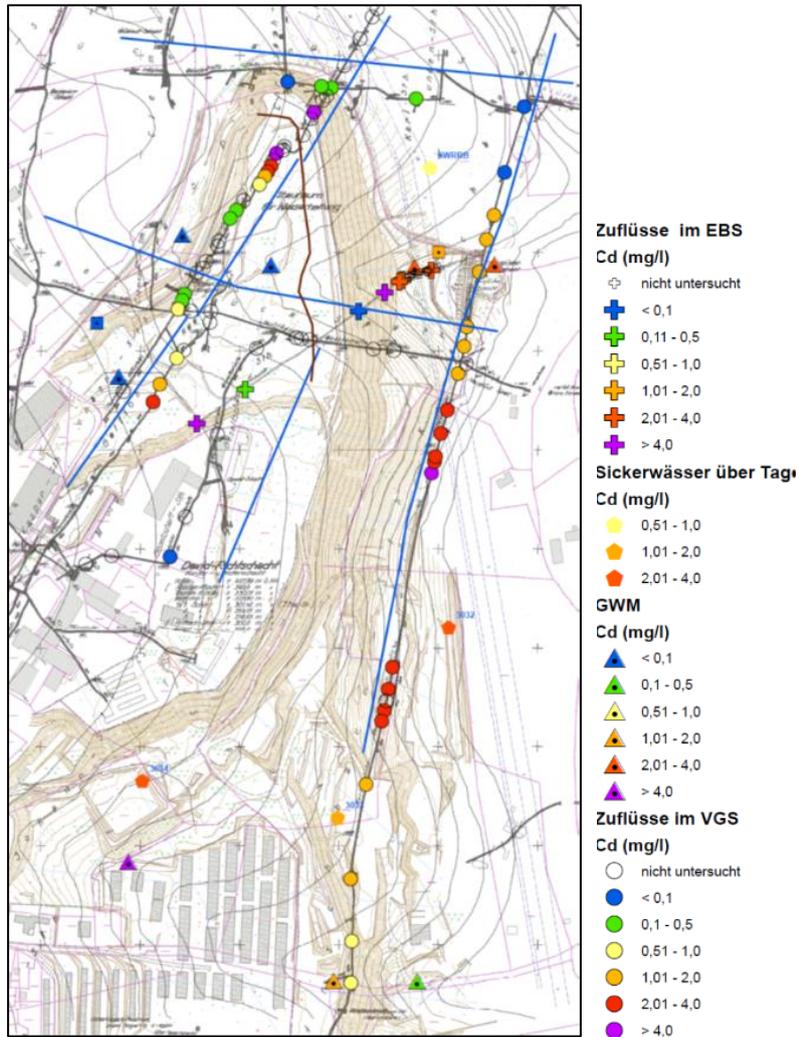


Abb. 9: Anreicherung von Cadmium in den untertägigen Fließwegen/Auffahrungen beim Passieren des Davidschachtkomplexes (aus: G.E.O.S 2012).

Fig. 9: Accumulation of cadmium in the underground flow routes/mines during the passage of the Davidschacht complex (from: G.E.O.S 2012).

Der VGS mündet in den so genannten Roten Graben, der noch weitere ca. 5 km bis in die Ortslage Halsbrücke verläuft. Das Wasser dieses Kunstgrabens wird zusammen mit weiteren Grubenwässern (z. B. Hauptstollnumbruch HSU) in mehreren Abschlängen zwischen Halsbach und Halsbrücke der Mulde zugeführt. In der Tabelle 3 sind die Elementfrachten des VGS und HSU sowie der Oberflächenwassermessstelle in Halsbrücke (Landesmessnetz Sachsen) für die wesentlichen Schadstoffparameter zusammengestellt.

An Hand des ermittelten Cd-Austrages aus dem Untersuchungsgebiet und der Daten in Tabelle 3 kann die Aussage getroffen werden, dass der Gesamtkomplex Davidschacht zu etwa 1/3 die Cd-Fracht in der Freiburger Mulde an der Messstelle Halsbrücke (OBF 31600) verursacht (G.E.O.S 2016).

4.3 Sanierungsvarianten

Der Davidschachtkomplex liegt im Einzugsbereich des Oberflächenwasserkörpers (OWK) „Freiberger Mulde-3“, der sich von Muldenhütten bis nach Obergruna erstreckt. Entsprechend der Bestandsaufnahme nach WRRL Freistaat Sachsen weist der OWK Freiberger Mulde-3 keinen guten ökologischen und chemischen Zustand auf. Dies liegt an den hohen Elementgehalten für Arsen, Kupfer, Zink und Blei aber vor allem für Cadmium.

Die in die Freiberger Mulde eingetragenen Cadmiumfrachten sind im gesamten Flusssystem, offenbar bis zum Hamburger Hafen, nachweisbar. Aus der Stoffgefährlichkeit des Cadmiums und seinem Transport im Flusssystem ergibt sich die Notwendigkeit, den Eintrag zu reduzieren (G.E.O.S 2016).

Ohne eine deutliche Verringerung des Cadmiumeintrages im OWK Freiberger Mulde-3 ist eine Erfüllung der sich aus der WRRL und der OGewV ergebenden Ziele für einen guten chemischen Zustand nicht möglich. Dazu kann die Sanierung der Spülhalde Davidschacht einen maßgeblichen Anteil liefern.

Tabelle 3: Elementfrachten des Königlich Verträgliche Gesellschafts Stolln (VGS) und des Hauptstollnumbruchs (HSU) sowie der Freiburger Mulde an der Messstelle Halsbrücke (aus: G.E.O.S 2016).

Table 3: Element mass flow of the Königlich Verträgliche Gesellschafts Stolln (VGS), the Hauptstollnumbruch (HSU) and the Freiburger Mulde at the measuring point Halsbrücke (from: G.E.O.S 2016).

Verträgliche Gesellschaft Stolln			Hauptstolln Umbruch		
Zeitraum 31.05.1998 - 06.11.2007			Zeitraum 1991 - 2007		
	Abfluss 50 L/s		Abfluss 20 L/s		
	Median	Fracht	Median	Fracht	
	mg/L	g/d kg/a	mg/L	g/d	kg/a
Al	6,3	27.216 9.934	0,89	1.538	561
As	0,015	64,8 23,7	0,027	46,7	17,0
Pb	0,019	82,1 30,0	0,016	27,6	10,1
Cd	0,14	605 221	0,04	73	26
Fe	1,07	4.622 1.687	2,20	3.802	1.388
Cu	0,25	1.080 394	0,07	127	46
Mn	4,85	20.952 7.647	4,60	7.949	2.901
Ni	0,045	194 71,0	0,044	76	27,8
Zn	14,0	60.480 22.075	5,6	9.677	3.532
Freiburger Mulde Mst. Halsbrücke OBF31600					
Jahr 2000-2004 Quelle: [27]			Jahr 2005 / 2007 ¹⁾		
			MQ	3,5 m³/s	
		Fracht	Median	Fracht	
		g/d kg/a	mg/L	g/d	kg/a
Al			0,35	105.840	38.632
As		1.700 621	0,0084	2.540	927
Pb		3.100 1.132	0,0160	4.838	1.766
Cd		2.580 942	0,0079	2.389	872
Fe			0,27	81.648	29.802
Cu		3.800 1.387	0,0130	3.931	1.435
Mn			0,16	48.384	17.660
Ni			0,0057	1.724	629
Zn		198.400 72.416	0,69	208.656	76.159

¹⁾ 2006 keine Messwerte zu den Gesamtgehalten verfügbar.

Bei der Betrachtung der Sanierungsmöglichkeiten muss zunächst generell zwischen den Varianten der Quellen- und der Pfadsanierung unterschieden werden. Der Schwerpunkt der Altlastenbearbeitung im Altlastenprojekt SAXONIA wurde stets auf die Quellensanierung gelegt. Das bedeutet, dass die Sanierung durch Sicherung der Altlast mittels Oberflächenabdeckung erfolgen sollte. Weil neben stofflichen auch bautechnische Aspekte eine Rolle spielen, wurde die Altablagerung zur Diskussion verschiedener Sanierungsvarianten zunächst in folgende drei Sanierungszonen eingeteilt:

1. Westböschung mit deren Vorfeld zwischen der alten Bahntrasse und der jetzigen Böschungskante,
2. große flache Plateaufläche zwischen Westböschung, Grobbergehalde und steiler Ostböschung (Grobbergedamm),
3. die steile Ostböschung als Teil des Grobbergedammes.

Bei der Diskussion der Sanierungsvarianten sind weiterhin denkmal-, forst- und naturschutzrechtliche Belange zu beachten. Der Davidschacht-Haldenkomplex stellt eine aus Denkmalschutzsicht bedeutende Hinterlassenschaft des Freiburger Bergbaus dar. Er ist ein technisches Denkmal, wobei vor allem die Sichtweise der seitlichen Haldenkontur, d.h. die Ostböschung zu erhalten ist. Aus forst- und naturschutzfachlicher Sicht ist zu berücksichtigen, dass das Haldenplateau als Wald eingestuft ist und dort verschiedene Biotope kartiert wurden. Da das Vorkommen streng und besonders streng geschützter Arten nach BNatSchG vermutet wurden, wurden hier mehrjährige Untersuchungen begonnen, die nach Abschluss 2017 in die abschließende Diskussion und Bewertung der Sanierungsvarianten einfließen werden.

Als Sanierungsmöglichkeiten wurden in G.E.O.S (2016) nachfolgende Varianten diskutiert, wobei es jeweils Untervarianten für die Sanierungszonen 1+2 (zusammen betrachtet) sowie für die Sanierungszone 3 gibt:

Den **Varianten für die Sanierungszonen 1 und 2** ist generell gemein, dass das Spülhaldenplateau sowie die Westböschung vollständig durch Auftrag eines mineralischen Oberflächenabdeckungssystems gesichert werden. Die Untervarianten entstehen hier durch unterschiedliche Anforderungen an die Dichtwirkung der Abdeckung, die von der Art der eingebauten Materialien der Dichtschicht abhängig ist. Die mit der Abdichtung erzielte Minderung der Grundwasserneubildung bestimmt unmittelbar den Grad der Emissionsreduzierung der Altlast und ist daher für das Erreichen des Sanierungsziels von großer Bedeutung. Durch die Verringerung der Grundwasserneubildung werden der Niederschlagswassereintrag in die Spülhalde und der Übertritt von

Spülhaldensickerwässern in den Grobbergedamm und damit die Schadstoffeluierung mit anschließender Mobilisierung reduziert. Außerdem wird durch die Abdichtung und durch die Anlage einer Rekultivierungsschicht das Eindringen von Sauerstoff reduziert. Damit kommen o.g. Prozesse der Schadstofffreisetzung langfristig weitgehend zum Erliegen, so dass eine langsam abnehmende Schadstofffracht aus dem Bereich der Spülhalde zu erwarten ist.

Für das Abdecksystem der Halde werden 4 Untervarianten diskutiert. Dabei ist von einem Regelaufbau mit Profilierungsschicht, Dichtungsschicht und Rekultivierungsschicht auszugehen. Die Varianten betreffen nur das Material, welches in die Dichtungsschicht eingebaut wird:

- Variante 1: Dichtungsschicht Trisoplast® (Bentonit-Sand-Polymergemisch, $k_f < 10^{-11}$ m/s)
- Variante 2: Dichtungsschicht PEHD-Bahn (Kunststoffdichtungsbahn mit BAM-Zulassung, keine Durchlässigkeit vorhanden)
- Variante 3: Dichtungsschicht mineralische Dichtung (z.B. natürliche Tonböden, $k_f < 10^{-9}$ m/s)
- Variante 4: Dichtungsschicht „regionale Erdstoffe aus Tiefbaumaßnahmen“ mit qualitätsgesichertem Einbau (verdichteter Einbau einer „Dämmschicht“, $k_f \ll 10^{-6}$ m/s)

Die **Varianten der Sanierungszone 3** entstehen durch unterschiedliche bautechnische Lösungen für die sehr steile und hohe Ostböschung:

- Variante 1: Abflachen aller Böschungen auf 1:3 durch Anschüttungen bzw. geringen Eingriff an der Plateaukante und Regelaufdeckung
- Variante 2: Stabilisierung der Ostböschung in der vorhandenen Generalneigung mit bewehrter Erde, die zugleich die Abdeckung bildet,
- Variante 3: Sicherung der Böschungen bei vorhandener Neigung mit Schutznetz und eingebautem Boden sowie Vorschüttung am Fuß der Ostböschung zur Gewährleistung der Standsicherheit

Neben der Quellensanierung besteht noch die Möglichkeit einer Pfadsanierung, die jedoch bei dem Objekt Spülhalde Davidschacht aufgrund technischer und finanzieller Aspekte unverhältnismäßig wäre. Dazu würde z. B. der Bau einer Dichtwand oder reaktiven Wand im anstehenden Untergrund östlich des Davidschacht-komplexes bzw. der Bau und Betrieb einer Wasseraufbereitungsanlage am VGS / Roten Graben gehören.

6. Summary

The flotation tailing Davidschacht is part of the Davidschacht mining complex at the eastern periphery of Freiberg. The tailing was used from 1944 to 1964 and contains 760.000 m³ flotation sludge as emission of the flotation during the wet chemical processing of the ore. Main contaminants are heavy metals, especially cadmium, which enter the mining, ground, and surface water (here mainly the Freiburger Mulde) through the infiltration path. For the remediation of the polluted area comprehensive studies were conducted. Recently, several reclamation measures are discussed, in which large parts of the tailing would be covered by soil material. Most problematic is the eastern slope because of its steepness and high relevance for monument protection as well as for nature conservation. .

7. Literatur

- Archiv SAXONIA: Altlastenarchiv der SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH.
- BIUG (Beratende Ingenieure für Umweltgeotechnik und Grundbau GmbH) (1999): Standsicherheitseinschätzung Spülhalde Davidschacht Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröff.
- BIUG (Beratende Ingenieure für Umweltgeotechnik und Grundbau GmbH) (2009): Detailuntersuchung I zum Wasserpfad an der Spülhalde Davidschacht Freiberg, Teil 1 vom Februar 2009 und Teil 2 vom September 2009. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröff.
- Fritze, C. 2000: Entwicklungskonzept Gewerbegebiet „Am Davidschacht“ Freiberg. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröff.
- IBUR (Ingenieurbüro für Baugrund, Umwelt, Rohstoffe GmbH) (1995): Historische Erkundung Davidschacht.
- Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröff.
- G.E.O.S (G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH) (1993): Gefährdungsabschätzung Spülhalde Davidschacht. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröff.
- G.E.O.S (G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH) (2012): Detailuntersuchung UU des Wasserpfades am Objekt „Spülhalde Davidschacht“, Teil II, Auftraggeber: FSB Freiberg Silicium Bearbeitungsgesellschaft mbH. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröff.
- G.E.O.S (G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH) (2016): Vorläufiger Bericht zur Sanierungsuntersuchung Spülhalde Davidschacht. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröff.
- Mollée, R. (2013): Altlastenprojekt SAXONIA - eine Retrospektive. SAXONIA Standortentwicklungs- und Verwaltungsgesellschaft mbH, Freiberg, 404 S.

Redwan, M. & Rammlmair, D. (2011): Understanding micro-environment development in mine tailings using MLA and image analysis. In: Broekmans, M.A.T.M. (Hrsg.) (2011): Proceedings of the 10th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM): 589-596.

Redwan, M., Rammlmair, D. & Meima, J.A. (2012): Application of mineral liberation analysis in studying micro-sedimentological structures within sulfide mine

tailings and their effect on hardpan formation. Science of the Total Environment 414: 480–493.

Rüthrich, A. (2016): Untersuchungen zu 17 Grobberge- und Aufbereitungshalden des Erzgebirges. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und –verwaltungsgesellschaft mbH, unveröff.

Gesetze und Richtlinien

OGewV: Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung), Ausfertigungsdatum: 20.06.2016 (BGBl. I S. 1373)"

WRRL, 2000: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur

Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L 327.

Anschriften der Autoren:

Fritz, Erich; Jahns, Christin*: SAXONIA Standortentwicklungs- und –verwaltungsgesellschaft mbH, Halsbrücker Straße 34, 09599 Freiberg, E-Mail: erich.fritz@saxonia-freiberg.de, christin.jahns@saxonia-freiberg.de

*Korrespondierende Autorin