

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie	Branchenbezogene Merkblätter zur Altlastenbehandlung	Stand: 08/2009 Bearbeiter M. Frenzel (G.U.B. Ingenieur AG) Dr. T. Hertwig (BEAK GmbH) Dr. S. Willscher (TU Dresden) A. Sohr (LfULG)
18: Steinkohlenbergehalde		Seiten: 16

1 Branchentypisches Schadstoffpotenzial

1.1 Gesetzliche Grundlagen

In der Zeit seit der Industrialisierung, etwa ab 1850, bzw. später in der DDR wurde die Anlage der Steinkohlenbergehalde nach den internen Betriebsplänen der Steinkohlenbergwerke durchgeführt. Neben diesen Betriebsplänen gab es in der DDR eine Reihe von Gesetzen, die die Anlage bzw. den Umgang mit den Halde tangierten. Auszugsweise seien Folgende genannt:

- Berggesetz der DDR,
- ABAO Arbeits- und Brandschutzanordnung,
- Landeskulturgesetz der DDR (LKG).

1.2 Geschichtliche Entwicklung

Der Bergbau auf Steinkohle reicht in Sachsen bis ins frühe Mittelalter zurück. Der erste urkundliche Beleg stammt aus den Zwickauer Schmiedeartikeln von 1348. Damals wurde den Schmieden der Stadt das „smiden mit steinkoln“ aufgrund der Rauchgasbelastung verboten. Die Schmiedefeuere waren ein erster wichtiger Einsatzzweck der Steinkohle. Dieser Bergbau war bis zu Beginn des 19. Jh. als ein durch Klein- und Kleinstbetriebe geprägter Abbau zu bezeichnen. Bis zu dieser Zeit wurden keine größeren Mengen an Steinkohle gefördert (wenige 1.000 t/Jahr). Damit fiel auch nur in geringen Mengen Abraum an, der in Form von Halde verkippt wurde.

Erst mit dem Beginn der Industrialisierung und mit der Einführung von Dampfmaschinen stieg die Nachfrage nach Brennstoffen. Der Einsatz von Maschinenteknik zur Förderung und Aufbereitung effektivisierte den Steinkohlenbergbau maßgebend. Somit wurden erhebliche Produktionssteigerungen erzielt. Die Blütezeit der Steinkohlenförderung war beispielsweise im Zwickauer Revier von 1880 bis 1910 zu verzeichnen. Die Fördermenge lag in dieser Zeit in diesem größten sächsischen Revier bei rund 2 Mill. Tonnen pro Jahr.

In Sachsen existierten folgende Steinkohlenbergbaugebiete:

Erzgebirgisches Becken

- Revier um Borna-Ebersdorf
- Revier um Berthelsdorf-Hainichen
- Becken von Flöha
- Lugau-Oelsnitzer Revier

Döhlener Becken

- Freital (bei Dresden)

Becken von Olbernhau-Brandov

Becken von Schönfeld-Altenberg

Die bedeutendsten sächsischen Reviere sind neben dem Revier Zwickau das Lugau/Oelsnitzer Revier und das Freitaler Revier. Mit der Produktionssteigerung fiel auch eine erhebliche Menge an Abraum an. Im Umfeld der Schächte, in deren unmittelbarer Nähe die sogenannten Teufenhalde aufgeschüttet wurden, legten die Steinkohlenbergwerksbetriebe Bergehalde an. Je nach Betriebsgröße wurden Hal-

den mit Volumina von bis zu mehreren Millionen m³ und max. 60 m Höhe geschüttet. Diese beinhalten zum Großteil kohlehaltige karbonische Schiefertone (s. Punkt 1.4.1). Assoziiert mit den Halden sind Absetzbecken aus der Aufbereitung (Kohleschlammteiche) sowie untergeordnet auch Spülteiche zur Ascheverbringung. Teilweise wurden auch Abfälle aus der Kohleveredlung, wie Kokereiabfälle, abgelagert.

Die weitere Entwicklung der Steinkohlenindustrie in Sachsen war durch Effektivitätssteigerung infolge verbesserter Förder- und Abbautechnologien einerseits und andererseits durch langsame Erschöpfung der Lagerstätten gekennzeichnet. Ende der 70-iger Jahre des 20. Jh. wurde die aktive Förderung von Steinkohle in Sachsen eingestellt.

Mit dem Ende der aktiven Schüttung entwickelte sich ein Pionierbewuchs auf den Halden. Teilweise wurden die Halden mit Lehm abgedeckt. In den 50-er Jahren des 20. Jh. wurde im Rahmen von Rekultivierungsmaßnahmen eine Vielzahl von Halden aufgeforstet. Auf den Kohleschlammteichen wurden zum Teil Mülldeponien angelegt. Die Nachnutzung der Plateauflächen der Halden beinhaltet vor allem im Zwickauer Revier die kleingärtnerische Nutzung. Weiterhin wurden Wohn- und Industriegebiete angelegt. Die bewaldeten Haldenareale machen den größten Flächenanteil aus und werden als Park- und Freizeitfläche genutzt.

1.3 Technologie

Die Steinkohlenbergehalde wurden meist auf zum Schacht gehörenden Flächen geschüttet. Eine Vorbereitung des Untergrundes fand in der Regel nicht statt. Die Haldenschüttung erfolgte meist direkt auf das Gelände. Die Bergmassen wurden über Gleis- bzw. Kettenbahnen oder mittels Schrägaufzügen zur Halde transportiert. Die Schüttung erfolgte lose über Kopf. Ein verdichteter Einbau erfolgte nicht. Dabei entstanden die typischen **Plateauhalden**, bei denen die Verteilung des Haldenmaterials mittels Hunten über die Plateaufläche zu den Böschungen erfolgte. Diese Haldenform ist für die größeren Halden typisch.

Die kleineren Halden weisen häufig Kegelform auf. Auf diesen **Kegelhalden** wurden die Bergmassen direkt verstürzt.

Durch die Schütttechnologie sind an fast allen Halden typische Schüttrippen zu beobachten. Eine geordnete Verkippung von Bergmassen erfolgte nicht. Unterschiedlichste Mischungen von Bergmassen, Schlacken u. a. sind anzutreffen.

In entstandenen Hohlformen der Halden bzw. in systematisch angelegten Teichen neben dem Haldenkörper wurden die feinen und nicht mehr aufbereitbaren Rückstände aus der Nassaufbereitung, die Kohleschlämme, verspült. Die Schlammteiche wurden teilweise durch Zunahme der Haldengröße mit Bergmassen überschüttet, so dass diese jetzt unter dem Haldenkörper liegen bzw. in diesen integriert sind. Die Verspülung erfolgte über ein Rohrleitungssystem von der Aufbereitung auf die Halde bzw. in den Schlammteich. Dabei entstanden Schlammteiche mit Schlammmächtigkeiten von bis zu 25 m und Volumina von maximal 1,5 Mill. m³. In diese Becken wurde teilweise auch Kesselasche oder Flugasche aus dem Betrieb der Dampfmaschinen am Schacht verspült.

1.4 Schadstoffe

1.4.1 Inventar

Die Steinkohlenbergehalde beinhalten nach Untersuchungen von Einzelhalden im Revier Zwickau und Lugau/Oelsnitz [10] folgendes Inventar an Einzelabfällen (haldenkörperbezogene mittlere Volumenanteile in %).

Tabelle 1: Abfallspezifische Schadstoffe in Steinkohlebergehalde

Einzelabfälle	Anteil am Haldenkörper [Vol %]	Schadstoffe
Abfälle aus der Schachteufung und der Herrichtung der Grubenbaue zum Abbau		
Grob- und Teufberge aus dem Rotliegenden, Karbon, Grundgebirge	<10	karbonische Grobberge: <i>Feststoff</i> - Metalle: As, Pb, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Hg, Zn <i>Eluat</i> - Makrokomponenten: Ca, SO ₄ ²⁻ - Metalle: Cd, Co, Mn, Ni, Zn
Abfälle aus der Aufbereitung		
Grobberge/Leseberge ^{*)}	33,5	<i>Feststoff</i>
Waschberge ^{*)} , sandige Waschabfälle, Kohleschlamm ⇒ Kohlewäsche	46,5	- Metalle: As, Pb, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Hg, Zn <i>Eluat</i> - Makrokomponenten: Ca, SO ₄ ²⁻ - Metalle: Cd, Co, Mn, Ni, Zn
Abfälle aus der Kohleveredelung		
Kokereiabfälle (Steinkohlenteer, phenolhaltige Schlämme, Ammoniakwasser)	0,2	Steinkohlenteer: - PAK: Naphthalin, Anthracen, Phenanthren, Fluoranthren, Pyren, Benz(a)pyren - BTEX - Phenole und heterozyklische Kohlenwasserstoffe: Phenol, Kresole, Pyridin Ammoniakwasser: - anorganische Verbindungen: Ammoniak, Sulfat, Sulfid, Cyanid, Thiocyanat, Thiosulfat, Chlorid - organische Verbindungen: Phenole, Pyridin, Aldehyde, Ketone
Abfälle aus der Energieerzeugung		
Kesselschlacke und Asche, Flugasche, Schweißschlacken	7,5	<i>Feststoff</i> - Metalle: As, Pb, Cd, Ni, Zn - PAK <i>Eluat</i> - Makrokomponenten: Ca, SO ₄ ²⁻ - Schwermetalle: Cd, Ni, Zn
Abfälle aus der Nachnutzung der Halden		
Gewerbe-, Industrie- und Siedlungsabfälle (Mülldeponien)	1,3 Ausnahme bis 45	- deponiespezifische Parameter
Ablagerungen aus der Rekultivierung		
Lehm- bzw. Mineralbodenabdeckungen	1,0	- meist ohne, da im allgemeinen geogener Mineralboden verwendet wurde

^{*)} gebrannte und ungebrannte Varietäten

Anmerkung: Die Einzelabfälle sind in ihrer Ausprägung in [9] beschrieben.

Die haldenspezifischen Ablagerungen enthalten in bewertungsrelevanten Konzentrationen Schwermetalle, As, Mn sowie teilweise PAK. Die Konzentrationen im Feststoff sind abhängig vom Haldenmaterial am Einzelstandort. Die Konzentrationen im Eluat hängen insbesondere vom fortschreitenden Versauerungsgrad der Halde, der vom umgesetzten Disulfidgehalt beeinflusst wird, ab.

Bei Steinkohlenbergehalde, die Kokereistandorten zugeordnet werden können, ist das Vorhandensein von Kokereiabfällen im Haldenkörper nicht auszuschließen. Hinweise dazu finden sich in [9].

1.4.2 Haldenprozesse

Haldenprozesse sind sehr vielschichtig. Zum einen zählen dazu Prozesse, die den Schadstoffaustrag fördern und zum anderen Prozesse der Schadstofffixierung / Immobilisierung.

Typisch für Bergehalden sind Verwitterungsprozesse wie die Sulfidoxidation (ausgehend von Pyrit), die zum Aufbrechen festerer Bindungen (wenig bzw. nichtlösliche Sulfide) und Bildung löslicherer Bindungen (wie Sulfate) führt. Daran können sowohl geochemische als auch biogeochemische Verwitterungsprozesse beteiligt sein. Mit der Verwitterung einher gehen eine Versauerung der Sickerwässer, eine Lösung der Schwermetalle und eine Erhöhung der Salzfrachten. Thermisch induzierte Verwitterungsprozesse (Haldenbrände) bewirken ein „Rösten“ der Sulfide und damit analoge Prozesse.

Umgekehrt führen Reduktionsprozesse zur Bildung festerer Verbindungen und damit zur Festlegung von Schwermetallen.

Als wichtige Einflussfaktoren für die Prozesse wurden daher das Redoxpotential und die Versauerung erkannt. Mikroorganismen sind am Schadstoffaustrag maßgeblich beteiligt. Dabei kommt es darauf an, ob am Standort die Eisen- und Schwefeloxidierer oder die Eisen- und Sulfatreduzierer überwiegen. Erstere führen bei stärkerer Aktivität zu den o. g. Lösungsprozessen, die zweite Bakteriengruppe, die Eisen- und Sulfatreduzierer, senken das Redoxpotential in ihrer Umgebung ab, vermindern die Salinität (z. B. Sulfatverbrauch), neutralisieren den pH-Wert und fällen Schwermetalle (z. B. als Sulfide) aus.

Da Halden auf Grund der Korngrößenbeschaffenheit hohe Durchlässigkeiten für perkolierende Wässer sowie die Diffusion von Sauerstoff aufweisen und damit Pyrit als wichtiger Inhaltsstoff einer verstärkten Verwitterung ausgesetzt ist, sind Versauerungsprozesse typisch. Bei sehr steilen Hängen kann es zu Rutschungen und damit zu einem verbesserten Eindringen von Sauerstoff in das Haldeninnere kommen. Auch die durch die Schüttung bedingte Rippenbildung führt zu einem verstärkten Eindringen von Sauerstoff in die exponierten Bereiche, was Brandprozesse auslösen und fördern kann. In Abhängigkeit von den Randbedingungen (Abdeckhöhe, Abdeckmaterial, Vegetation, Nährstoffeintrag durch Kleingartennutzung etc.) sind die Versauerungsprozesse abgeschwächt oder nicht.

Eine einfache chemisch-physikalische Prüfung des Verwitterungszustandes des Haldeninventars kann bereits über eine Messung von pH-Wert, Redoxpotential und elektrolytische Leitfähigkeit erfolgen. Für eine Prognose des Schadstoffaustrages bieten sich Säulenversuche an, die den Niederschlagseintrag im Zeitraffer über mehrere Jahre bzw. Jahrzehnte simulieren können bzw. weitergehende (Prozess) Modellierungen der Gesamthalde.

Besonderheiten wie Haldenbrände oder lagerspezifische Besonderheiten müssen beachtet werden (Punkte 1.4.3. und 1.4.4)

1.4.3 Haldenbrände und Mineralneubildungen

Haldenbrände sind ein kohlen spezifisches Phänomen, das z. B. bei Bergehalden des Erzbergbaus nicht vorhanden ist. Die Steinkohlenhalden im Zwickauer und Lugau-Oelsnitzer Revier weisen je nach Alter der Halde und in Abhängigkeit von historischen thermischen Umsetzungen unterschiedliche Brandpotenziale durch enthaltene Restkohle auf.

Ältere Steinkohlenbergehalden zeigen höhere Restkohlegehalte als jüngere Halden. Grund dafür ist die noch vergleichsweise schlechte Aufbereitungstechnologie (einfache Kohlewäschen) mit relativ geringem Ausbringen der Kohle. Der Restkohlegehalt hängt weiterhin von der Korngröße ab. So sind in den sandigen Waschabfällen und den Kohleschlämmen höhere Gehalte zu finden als in den grobstückigen Waschbergen und Grobbergen. Dies ist ebenfalls durch die Art der Aufbereitung bedingt, da der Verwachsungsgrad der Steinkohle mit den Schiefertönen mit abnehmender Korngröße des Brech- bzw. Siebgutes zunimmt und das Ausbringen im Gegenzug abnimmt. Im Zwickauer Revier wurden folgende Restkohlegehalte in Abhängigkeit vom Haldenmaterial festgestellt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Restkohlegehalte (Parameter Glühverlust in Masse %) ausgewählter Halden im Revier Zwickau

Haldenspezifische Ablagerungen	Halde 10		Halde 45	
	n	GV [%]	n	GV [%]
grauer Schiefertone	22	25,3	27	38,5
rotgebrannter Schiefertone	16	7,2	2	4,0
weißgebrannter Schiefertone	1	9,4	2	15,9
Kohleschlamm	3	38,4	8	43,8
sandige Waschabfälle	-	-	8	45,2
Kesselschlacke	2	19,7	-	-
Teufberge	2	15,1	1	15,8
arithmetisches Mittel (gewichtet)	-	18,4	-	37,4

Im bereits durchgebrannten Haldenmaterial wurden deutlich geringere Restkohlegehalte festgestellt.

Aus diesen Restkohlegehalten ergibt sich in Verbindung mit den Disulfidgehalten im Nebengestein und in der Kohle ein zum Teil erhebliches Brandpotenzial. Die Oxidation der Sulfide durch Verwitterungsprozesse infolge von eindringendem Sauerstoff und Sickerwasser ist eine exotherme Reaktion, bei der Wärme freigesetzt wird. Diese Erwärmung führt bei ausreichend Luftzufuhr, z. B. an exponierten und nicht abgedeckten Haldenteilen, schließlich zum Haldenbrand.



Im Revier Zwickau brennen mit Stand November 2007 noch drei Halden. Die Brandherde beschränken sich auf einzelne Haldenareale und in der Regel nicht gleichzeitig auf die ganze Halde. Aus Untersuchungen der Halde 10 in Zwickau sind Temperaturen von 90 °C bekannt. Die Temperaturen können jedoch in Abhängigkeit von der Größe des Brandherdes, von der Luftdurchlässigkeit bzw. Luftzufuhr und vom Restkohlegehalt schwanken. Bei den Brandprozessen wird in der Bodenluft sowie in der bodennahen Außenluft das Atemgas O₂ abgereichert. Die Brandgase CO₂, SO₂, NO_x werden im Gegenzug angereichert. In geringen Konzentrationen sind von der Halde 23 in Zwickau noch Naphthalin, Phenole und H₂S bekannt [11].

Durch diese Brandprozesse kommt es zu Mineralneu- und -umbildungen. Bisher sind an der Oberfläche über dem Brandherd und im Bereich des Brandherdes selbst vor allem Gips- und Schwefelausbildungen bekannt. Im Bereich der Halde 23 in Zwickau sind außerdem noch phenol- und teerölverunreinigte Schwefelkristalle nachweisbar [11]. Halde 17 in Oelsnitz und die Halden 23 sowie 32 in Zwickau enthalten Salmiakbildungen. Für das Revier Freital sind zahlreiche weitere Mineralneubildungen bekannt.

Der Brandprozess bedingt weiterhin eine keramische Umwandlung der grauen Schiefertone. Die Produkte werden als rotgebrannte bzw. weißgebrannte Schiefertone bezeichnet. Mineralneubildungen entstehen jedoch auch aufgrund von „kalten“ Verwitterungsprozessen. Sulfide werden in Sulfate, Oxide und Hydroxide umgewandelt. Bisher wird davon ausgegangen, dass Gips und Jarosit sowie Limonit in größeren Mengen neugebildet werden.

1.4.4 Lagerstättenspezifische Besonderheiten

Da in Sachsen verschiedene karbonische und permische Steinkohlevorkommen existieren, bestehen aufgrund der unterschiedlichen regionalgeologischen Position auch Unterschiede im Schadstoffinhalt der Kohlen und des Nebengesteins. Unterschiedliche Liefergebiete und geochemische Verhältnisse während der Entstehung der Kohlen führen zu unterschiedlichen Elementsignaturen. Weiterhin führen fazielle Unterschiede auch innerhalb der limnischen Lagerstätten zu Elementanreicherungen.

So sind Anreicherungen von Uran in den permischen Kohlen des Döhlener Beckens bekannt und waren Gegenstand eines mehrere Jahrzehnte andauernden Abbaues. Die U-Gehalte lagen bei 900 ppm des Fördergutes [12].

Im Revier Zwickau konnten in Einzelhalden (z. B. Halde 45) Elementanreicherungen von Pb, Cd, Hg und Zn nachgewiesen werden. Dort wurden vorwiegend die Flöze der unteren Flözgruppe abgebaut, mit dem ein Kohleneisenstein assoziiert war. Es ist auf Grundlage der bisherigen Untersuchungen zu vermuten, dass die chalkophile Elementanreicherung mit den Schichten der tieferen Flözgruppe bzw. mit dem Kohleneisenstein assoziiert ist. Die Zn-Gehalte liegen bei 5.000 ppm, die von Pb bei 2.000 ppm und die von Cd bei 50 ppm im Haldenmaterial [10]. Weitere Untersuchungen zeigen in mehreren Halden der Reviere Zwickau und Lugau/Oelsnitz vergleichsweise hohe Gehalte an As bis zu 300 ppm.

2 Hinweise zur Altlastenbehandlung

2.1 Altlastenrelevanz

Während der oft über mehrere Jahrzehnte andauernden Betriebszeit der Schächte wurden gleichzeitig Steinkohlenberge abgelagert. Durch die am Standort betriebenen Aufbereitungs- und Veredelungsanlagen fielen weitere Abfälle an, die auf die Bergehalden verkippt wurden. Die Ablagerung der Bergemassen in der Landschaft brachte eine vielfältige Gefährdung der Schutzgüter mit sich. Ursachen hierfür ergeben sich vor allem aus

- der Unterbewertung des Gefährdungspotenzials (fehlendes Umweltbewusstsein),
- fehlende gesetzliche Grundlagen,
- der fehlenden Basis- bzw. Oberflächenabdichtung,
- der wilden Verkipfung der Abfälle,
- der Ablagerung von Kokereiabfällen,
- der unsachgemäßen Anlage von „Deponien“ und
- der Anlage von Kleingartenanlagen und Wohnhäusern.

Durch die vielfältigen Nutzungen der Haldenkörper, vor allem in den städtischen Räumen Zwickau und Lugau bzw. Oelsnitz, ist eine Gefährdung des Menschen infolge der Schwermetallbelastungen möglich. Den Boden als Schutzgut stellt die Halde selbst, teilweise unter Einbeziehung geringmächtig aufgebracht **Bodenschichten** dar.

Infolge der Pyritverwitterung und der Herauslösung von Schwermetallen aus dem Haldenkörper sind auch, durch Übertritt belasteter Sickerwässer, das **Grundwasser** sowie das **Oberflächenwasser** als Schutzgüter betroffen. Meist sind die gut löslichen Schwermetalle wie Cd, Co, Mn, Ni und Zn sowie Ca und SO_4^{2-} im Abstrom der Halde wiederzufinden. Durch die Größe der Haldenkörper kann es teilweise zu erheblichen Frachten kommen.

Verunreinigungen der **Luft** sind derzeit auf wenige Halden beschränkt. Vorwiegend kommt es zu wasserdampfgesättigten Gasaustritten mit Anreicherungen von Brandgasen und nur selten zu Geruchsbelästigungen.

Infolge der Ausbildung einer Vegetationsdecke wird ein partikulärer Transport von der Halde durch Wasser oder Wind (Erosionsprozesse) vermieden.

2.2 Gefährdete Schutzgüter und relevante Pfade

Nach vorliegendem Kenntnisstand sind Gefährdungen über folgende Wirkungspfade relevant:

Schutzgut Boden

- Direktpfad Boden - Mensch
- Boden - Nutzpflanze - Mensch

Gefährdungen können durch die Nutzung der Halden als Park- und Freizeitfläche auftreten. Durch den vielfach fehlenden Bewuchs (fehlende Bodendecke) ist ein Direktkontakt zum belasteten Boden möglich. Weiterhin ist ein Direktkontakt über eine Nutzung als Wohngebiet über die relativ geringmächtigen Abdeckschichten möglich. Die Nutzung als Pilzsammelgebiet sowie die auf den Haldenflächen entstandenen Kleingärten bringen mögliche Gefährdungen über den Verzehr der Pilze bzw. schwermetallanreichernde (Obst- und) Gemüsesorten.

Schutzgut Grundwasser

- Boden – Grundwasser
- Grundwasser – Mensch

Gefährdungen des Grundwassers selbst (aquatische Lebensgemeinschaft) sind im Abstrom der Halden durch hohe Konzentrationen von Cd, Co, Mn, Ni und Zn sowie Ca und SO_4^{2-} abzuleiten. Bei Nutzung als Trink-, Tränk- oder Bewässerungswasser kann auch eine Gefährdung des Menschen vorliegen. Insbesondere bei größeren Halden mit hohem Versauerungspotenzial und dem Fehlen von Deckschichten ist meist ein Grundwasserschaden durch Schwermetalle abzuleiten.

Schutzgut Oberflächenwasser

- Oberflächenwasser - Aquatische Lebensgemeinschaft
- Oberflächenwasser - Mensch

Durch den mittel- und unmittelbaren Übertritt von Haldensickerwasser in das Oberflächenwasser können Gefährdungen für das Oberflächenwasser selbst (aquatische Lebensgemeinschaft) abgeleitet werden. Wenn das Oberflächenwasser bzw. das Sickerwasser selbst als Bewässerungs- oder Tränkwasser genutzt wird, können auch Gefährdungen für Tier/Pflanze bzw. Mensch entstehen.

Insbesondere bei Gewässern niederer Ordnung sind Gefährdungen wahrscheinlich, wenn schwermetallbelastete Sickerwässer in Größenordnung des Durchflusses der Gewässer übertreten. Anreicherungen im Bachsediment (Schwermetallfänger) sind die Folge. Dort treten zum Teil erhebliche Besorgniswertüberschreitungen für die aquatische Lebensgemeinschaft auf. Die Folge ist ein schlechter ökologischer Zustand des Gewässers. Weiterhin kann ein Transport von partikulär sorbierten Schwermetallen über große Distanzen erfolgen (Eintrag und Weitertransport selbst in großen Flüssen, z. B. der Elbe, nachweisbar).

Schutzgut Luft

- Bodenluft – Atmosphärische Luft – Mensch

Gefährdungen durch Haldenbrände sind über die Außenluft durch die hohen Verdünnungsfaktoren meist nicht direkt abzuleiten. Ein Aufenthalt in bodennahen Luftschichten ist aufgrund der Anreicherung von Brandgasen jedoch zu vermeiden. Bebauungen sind auszuschließen.

2.3 Gefährdungsabschätzung

2.3.1 Verdachtsfallerfassung und Formale Erstbewertung

Die Verdachtsfallermittlung erfolgt nach den in [13] vorgegebenen formalen Kriterien. Eine formale Erstbewertung ist für alle Steinkohlenbergehalden durchzuführen.

Bergbauhalden sind als Verdachtsfälle aufzunehmen (Altablagerung), wenn begründet angenommen werden kann, dass in ihnen bergbaufremde schadstoffverdächtige Substanzen (Abfälle) mit abgelagert wurden oder wenn sich das bergbaulich gewonnene Material in seiner Zusammensetzung oder Mobilisierbarkeit (Schadstoffgehalt) signifikant vom Ablagerungsort (Hintergrundbelastung) unterscheidet [13].

Daraus ergibt sich die Ersterfassung aller Steinkohlebergehalden im Zwickauer und Lugau - Oelsnitzer Revier als altlastverdächtige Flächen.

Lage zum Grundwasser, Durchlässigkeit

Die Halden stellen in der Regel die Aerationzone dar und reichen bei einer Vielzahl der Fälle bis ins Grundwasser. Die Durchlässigkeitsbeiwerte des Haldenmaterials liegen nach vorliegenden Untersuchungsergebnissen bei ca. $1 \cdot 10^{-4}$ m/s [10]. In der Regel ist ein Durchlässigkeitsbeiwert für Grob- bzw. Waschberge von $n \cdot 10^{-4}$ m/s bis $n \cdot 10^{-5}$ m/s anzusetzen. Die Kohleschlämme sind aufgrund ihrer Korngröße eher geringdurchlässig.

Branchenschlüssel und Belastungsstufe

Branchenschlüssel	Branche	Belastungsstufe
0020	Steinkohlenbergbau	
typische Abfallarten		
Abfall-Nr.	Abfallart	Belastungsstufe
31300	Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung	34
31307	Kesselschlacke	33
31413	sonstige fest mineralische Abfälle	15
31413	Waschberge	24
31446	Grobberge Rotliegendes	15
31447	Grob-/Waschberge Karbon ungebrannt	30
31448	Grob-/Waschberge Karbon gebrannt	25
31449	Kohleschlamm	20
31450	Sandige Waschabfälle	30
54900	Sonstige Abfälle aus der Mineralölproduktion (Erdölverarbeitung und Kohleveredelung)	45
54903	Phenolhaltiger Schlamm	55
54916	Steinkohlenteerrückstände	44

2.3.2 Historische Erkundung und Bewertung (Beweisniveau 1)

Für die Historische Erkundung sind folgende Handbücher/Materialien zur Altlastenbehandlung heranzuziehen:

Handbuch Teil 3, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser,
 Handbuch Teil 4, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden
 Handbuch Teil 5, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser,
 Historische Erkundung von altlastenverdächtigen Flächen.
 Bewertungshilfen zur Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung Teil A und Teil B.

Zur Bewertung dient das Programm GEFA mit dem Aufsatz GEFAHALD für Steinkohlenhalden. Neben den schadstofftypischen Gefährdungen, ist auf die Standsicherheit zu achten. Diese kann einen (indirekten) Einfluss auf den Schadstoffaustrag haben (Rissbildung, Rutschungen an Steilhängen, Sauerstoffeintrag, Beförderung der Oxidationsprozesse).

Stoffgefährlichkeit – r_0 :

Für die **Branche Steinkohlenbergbau** sind folgende schutzgutbezogene Stoffgefährlichkeiten in [2] abgeleitet worden:

Humantoxikologisch

Boden, Grund-, Oberflächenwasser 1,5 – 2,5
 Innenraumluft, Außenluft 1,0 – 2,5

Ökotoxikologische Stoffgefährlichkeit

Oberflächenwasser 2,0 – 6,0

Die hohe ökotoxikologische Stoffgefährlichkeit konnte in [10] zum Teil durch mehr als 100-fache Besorgniswertüberschreitungen bei Schwermetallen nachgewiesen werden.

Eine Erhöhung der Stoffgefährlichkeit für Einzelabfälle erfolgt bei Vorliegen einer geochemischen Anomalie im Bereich der abgebauten Flözhorizonte. Eine derartige Anomalie ist für den westlichen Beckenteil in der unteren Flözgruppe tw. belegt [10]. Diese Anomalie ist durch geochemische Anreicherung von Schwermetallen gekennzeichnet.

Steinkohlenhaldenspezifische Bedingungen:

Grundwasser – m_1

- Lage zum Grundwasser ist standortspezifisch zu verifizieren,

- wirksame Oberflächenabdichtung liegt fast nie vor,
- wirksame Oberflächenabdeckung in wenigen Fällen bei Vorliegen von Lehmabdeckungen im Zuge der in den 50-er Jahren durchgeführten Rekultivierungsmaßnahmen,
- Art der Einlagerung ist durch die Schütttechnologie lose über Kopf,
- Löslichkeit der Schadstoffe meist löslich (0,1mg/l bis 100 mg/l), bei starker Versauerung und großen Halden zum Teil leicht löslich (>100 mg/l),
- Metalle und Makrokomponenten als Hauptschadstoffe schwer flüchtig (<10 Pa),
- thermische Umwandlung des Haldenmaterials aus den konkreten Inventaranteilen
- Mineralneubildungen standortbezogen, v. a. bei Vorliegen von aktuellen Branderscheinungen, häufig leicht lösliche Minerale, die über Sickerwässer in das GW ausgetragen werden \Rightarrow Erhöhung des m_I Wertes
- Bewuchs-/Infiltrationskategorie aus der Geländebegehung ableitbar,
- Haldenform ist standortbezogen und aus der Geländebegehung ableitbar.

Grundwasser – m_{II}

- Acidität: sonstiges oder $pH < 5$ bei hohem Versauerungsgrad der Halde,
- Lösungsvermittler sind aus der Pyritverwitterung, durch Bildung von schwefliger und Schwefelsäure mit Erniedrigung des pH-Wertes vorhanden \Rightarrow führen zur besseren Herauslösung der meisten Metalle.

Grundwasser – m_{III}

- Abstandsgeschwindigkeit standortbezogen, im Haldenmaterial bei Grundwassersättigung rund 4 m/d bis 10 m/d,
- Sorption im GWL je nach Art des GWL, z. B. im Haldenmaterial an Eisenoxide, Tonminerale und Kohlepartikel (v. a. Kohleschlämme) möglich,
- Abbaubarkeit, in der Regel nicht abbaubar,
- Standsicherheitsprobleme bei den meisten Halden, je nach Ausprägung Zuschläge.

Grundwasser – m_{III}

- Grundwassernutzung ist zu prüfen durch Geländebegehung, Hinweise finden sich oft in den umgebenen Kleingartenanlagen bzw. Wohngebieten \Rightarrow beachte Abstromrichtung!
- häufig findet eine Nutzung bei ausreichend Dargebot im städtischen Siedlungsraum statt,
- Verdünnung und Vorbelastung je nach hydrogeologischen Standortbedingungen.

Boden - m_I

- Fallbestimmung: der zu schützende Boden ist in den meisten Fällen die Altlast (Halde) selbst,
- Volumen der Ablagerung standortbezogen, Orientierungswerte in [9],
- Sorbierbarkeit der relevanten Schadstoffe ist in der Regel gegeben, v. a. bei Kohleschlämmen, Metall(oid)e können aber auch an Eisenoxidhydrate sorbiert sein
- Mineralneubildung standortbezogen, v. a. bei Standorten mit Zuordnung zum Kokereistandort relevant. (aus der Geländebegehung ableitbar)

Boden - m_{II}

Fallzuordnung siehe m_I .

Boden - m_{III}

- Abbaubarkeit der Schwermetalle und As nicht gegeben,
- toxische Abbauprodukte nicht vorhanden,
- Verweilzeit der Schadstoffe ist hoch, meist mehrere Jahrhunderte,
- Bioverfügbarkeit ist vor allem bei kleingärtnerischer Nutzung relevant, bei Fehlen einer Vegetationsdecke bzw. Abdeckung ergibt sich eine orale Aufnahme von Bodenpartikeln,
- Anteil organischer Substanz richtet sich nach dem Restkohlegehalt des oberflächennahen Haldenmaterials bei Fehlen von Abdeckungen bzw. Bodenbildung,
- Standsicherheitsprobleme bei den meisten Halden, je nach Ausprägung Zuschläge.

Boden - m_{IV}

- Nutzungskriterien durch Begehung bzw. Nutzungsanalyse: Park- und Freizeitanlagen, Wohngebiete, Industrie- und Gewerbegrundstücke, Nutzgärten

Oberflächenwasser – m_I**Fallbetrachtung:**

Fall 1: Schadstoff gelangt mit Sickerwasser über das GW ins OW,

Fall 2: schadstoffbelastetes Sickerwasser fließt OW direkt zu,

Fall 3: schadstoffbelastete Sickerwässer gelangen durch Wassererosion ins OW,

Fall 4: Schadstoff gelangt durch Hochwasserereignis ins Oberflächengewässer,

Fall 5: Schadstoff gelangt über Kanalisation direkt ins Oberflächengewässer,

Fall 6: Altlast liegt direkt im Oberflächengewässer.

Alle aufgeführten Fälle können für Steinkohlenbergehalde zutreffen ⇒ standortspezifische Ermittlung.

- thermische Umwandlung des Haldenmaterials aus den konkreten Inventaranteilen,
- Mineralneubildungen standortbezogen, v. a. bei Vorliegen von aktuellen Branderscheinungen ⇒ Erhöhung Sickerwasserbelastung durch leicht lösliche Schadstoffe,
- Bewuchs-/Infiltrationskategorie aus der Geländebegehung ableitbar,
- Haldenform ist standortbezogen und aus der Geländebegehung ableitbar.

Oberflächenwasser – m_{II}

Sorbierbarkeit des Schadstoffes in der Kolmationsschicht ist im Allgemeinen mit hoch anzusetzen, da bei der Untersuchung der Bachsedimente häufig stark erhöhte haldebürtige Schwermetallgehalte festgestellt wurden.

Oberflächenwasser – m_{III}

- Fließgeschwindigkeit und Verdünnung standortspezifisch,
- Verdünnung aufgrund biologischen Abbaues und der Flüchtigkeit finden in der Regel nicht statt, da Schwermetalle nicht biologisch abbaubar und auch nicht flüchtig,
- Standsicherheitsprobleme bei den meisten Halde, je nach Ausprägung Zuschläge; oft Erosion durch angrenzende Bäche.

2.3.3 Orientierende Untersuchung und Bewertung (Beweisniveau 2)

Für die Orientierende Untersuchung sind folgende Handbücher und Materialien zur Altlastenbehandlung heranzuziehen:

Handbuch Teil 3, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser,

Handbuch Teil 4, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden,

Handbuch Teil 5, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser,

Bewertungshilfen zur Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung Teil A und Teil B.

Zur Bewertung dient das Programm GEFA mit dem Aufsatz GEFAHALD für Steinkohlenhalde. Neben den schadstofftypischen Gefährdungen ist auf die Standsicherheit zu achten. Diese kann einen (indirekten) Einfluss auf den Schadstoffaustrag haben (Rissbildung, Rutschungen an Steilhängen, Sauerstoffeintrag, Beförderung der Oxidationsprozesse).

Analysen und Untersuchungsspektrum in Abhängigkeit vom Untersuchungsmedium:
Tabelle 3: Steinkohlenbergehaltdenspezifische Analysenparameter:

Parameter	Boden / Bach- sediment	Eluat	Grund-/ Oberflächen- wasser	Bodenluft
physikochemische Parameter				
Temperatur*	×		×	×
pH-Wert*	×	×	×	
Leitfähigkeit*		×	×	
Redoxpotenzial*		×	×	
Sauerstoffgehalt*			×	
Farbe*	×	×	×	
Trübung*			×	
Geruch*	×	×	×	
Anorganische Parameter				
Sulfat	×	×	×	
Metalle				
Gesamteisen	×	×	×	
Eisen(II)		×	×	
Mangan	×	×	×	
Arsen	×	×	×	
Blei	×	×	×	
Cadmium	×	×	×	
Cobalt	×	×	×	
Kupfer	×	×	×	
Nickel	×	×	×	
Quecksilber	×	×	×	
Zink	×	×	×	
organische Parameter				
PAK	×		×	
Phenole ¹⁾	×		×	×
weitere Parameter				
Gesamtschwefel-/Disulfidgehalt	×			
Glühverlust	×			
Gase				
Sauerstoff				×
Kohlendioxid				×
Kohlenmonoxid				×
Schwefeldioxid				×
Methan				×
Stickoxide				×
Wasserdampf				×
Alkane/Aliphaten C3 – C18				×
BTEX, einschl. Phenole/Kresole				×
Oxidations- u. Teiloxidations- produkte der Alkane/Aliphaten				×
Brand- u. Teerriechstoffe u. a. NSO-Heterocyclen				×

* Vor-Ort Parameter ¹⁾ Phenole, bei Verdacht auf Ablagerung von Kokereiabfällen (vor allem in Kohleschlamm bzw. bei Mineralneubildungen)

Grundwasser

Die Grundwasserprobenahme soll im Anstrom und im Abstrom erfolgen. Abstromseitig sind sowohl Grundwässer als auch Sickerwässer zu untersuchen. Es ist zu prüfen, ob auch Nutzungen dieser Medien als Trink-, Tränk- oder Bewässerungswasser erfolgen. Am Ort der Beurteilung (z. B. Trinkwasserbrunnen) ist eine Beprobung durchzuführen.

Boden

Bodenuntersuchungen sind wirkungspfadspezifisch durchzuführen. Die Beprobungstiefen sind der BBodSchV [1] zu entnehmen. Auf die Nutzungseinheiten bezogen sind flächenrepräsentative Mischproben mittels Handschürfen zu entnehmen und zusammenzustellen. Zur Bestimmung des Austragspotenzials sind Proben aus dem Haldeninneren über Rammkernsondierungen oder Bohrungen zu entnehmen. Der Parameter Glühverlust bezieht sich auf den Restkohlegehalt (Brandpotenzial), der Parameter Disulfidgehalt auf das Versauerungspotenzial. Die Proben sind materialspezifisch (Tabelle 1) zu entnehmen.

Oberflächenwasser

Randlich im Abstrom der Halden direkt oder indirekt vorbeifließende bzw. stehende Gewässer sind zu beproben. Nach einer Leitwertkartierung (pH, Redox, T, Lf, O₂) ist bei Haldeneinfluss anstromig und abstromig eine Wasserprobe zu entnehmen. Weiterhin sind zur ökotoxikologischen Bewertung bei bestehendem Gefahrenverdacht je eine Bachsedimentprobe im Anstrom sowie im Abstrom aus der Sohle des Fließgewässers zu entnehmen.

Luft

Bei Temperaturanomalien im Abstrom oder weiteren Kenntnissen, die auf einen aktiven Haldenbrand hinweisen, ist eine Entnahme von Bodenluftproben zu empfehlen. Dazu sind Gasmessstellen (Ausbaumaterial Stahl) im Brandherdbereich zu errichten. Zur Bewertung des Luftpfades ist zu empfehlen, die Filterstrecke oberflächennah zu setzen, mindestens aber 1,50 m tief. Zur Untersuchung des Brandherdes ist eine tiefe Messstelle im Herdbereich zu empfehlen. Sinnvoll ist die Erstellung von Temperaturprofilen. Bei diesen Arbeiten sind die Regeln des Arbeitsschutzes zu beachten und einzuhalten.

2.3.4 Detailuntersuchung und Bewertung (Beweisniveau 3)

Auf Grundlage der Erkenntnisse der orientierenden Untersuchung ist eine Detailuntersuchung durchzuführen. Dazu sind das folgende Handbuch und der folgende Materialienband zur Altlastenbehandlung heranzuziehen:

Handbuch Teil 7, Detailuntersuchung,
Bewertungshilfen zur Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung.

Ziel der Detailuntersuchung ist die Entscheidung, ob eine Altlast vorliegt oder nicht. Dazu sind Expositionsabschätzungen für die Schutzgüter durchzuführen.

Boden

Für den Wirkungspfad Boden-Mensch ist bei einer Nutzung des Haldenkörpers als Park- und Freizeitfläche und Überschreitung der entsprechenden Boden-Prüfwerte eine Expositionsabschätzung durchzuführen. Dazu gehört die Abschätzung der Frequentierung der Halde durch Einzelpersonen (Befragungen).

Für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch ist bei einer Nutzung von Teilen des Haldenkörpers als Nutzgarten und Überschreitung der entsprechenden Boden-Prüfwerte (auf Grundlage der Pflanzenverfügbarkeit) eine Expositionsabschätzung vorzunehmen. Dazu gehört eine Recherche zu den angebauten Nahrungspflanzen und zum Eigenversorgeranteil (Befragung der Kleingärtner zu Verzehrsgewohnheiten). Anschließend ist die konkrete Pflanzenverfügbarkeit (dieser Metalle aus diesem Boden) abzuschätzen, ggf. durch Untersuchung der Pflanzen.

Für eine Kombination von Wirkungspfaden, insbesondere von Kinderspielfläche (Boden-Mensch) und Kleingarten (Boden-Nutzpflanze-Mensch) sind Expositionsabschätzungen notwendig, die die Schadstoffaufnahmemengen je Wirkungspfad abschätzen und addieren.

Bei Vorliegen einer Gefährdung sind vorläufige Sanierungsziele festzulegen ⇒ Sanierungsuntersuchung. Ggf. sind Sofortmaßnahmen wie z.B. Nutzungsbeschränkungen zu prüfen.

Grundwasser

Liegt ein Grundwasserschaden (Überschreitung von Geringfügigkeitsschwellen) vor, ist einzuschätzen, ob dieser Schaden toleriert werden kann oder nicht (siehe [14]). Dazu sind Schadstofffrachten über die Grundwasserneubildung und die Schadstoffkonzentrationen abzuschätzen. Expositionsabschätzungen sind bei Nutzung des beeinflussten Grundwassers als Trink-, Tränk- oder Bewässerungswasser notwendig.

Bei Vorliegen einer Gefährdung (also bei Nichttolerierbarkeit eines Grundwasserschadens) sind vorläufige Sanierungsziele festzulegen \Rightarrow Sanierungsuntersuchung. Ggf. sind Nutzungsbeschränkungen zu prüfen (Brunnennutzung etc.)

Oberflächenwasser

Es ist der chemische und ökologische Zustand des durch die Halde beeinflussten Oberflächengewässers (nach Zulauf aus Haldensickerwässern) einzuschätzen. Für eine Bewertung ist ein Vergleich mit dem Gewässerzustand vor diesem Zulauf durchzuführen. Nutzungen des Gewässers sind zu recherchieren. Bei Bestätigung einer Gefährdung (also Nichttolerierbarkeit des Gewässerschadens) sind vorläufige Sanierungsziele festzulegen \Rightarrow Sanierungsuntersuchung. Ggf. sind Nutzungsbeschränkungen zu prüfen (Nutzung des Sickerwassers als Tränkwasser etc.).

Luft

Bei Beeinträchtigungen des Menschen durch Ausgasungen wie z. B. Brandherde, sind Expositionsabschätzungen notwendig. Dazu sind die Aufenthaltszeiten von Personen an den kritischen Stellen zu ermitteln. Ggf. sind Sofortmaßnahmen erforderlich.

2.4 Sanierungsuntersuchung

Hat sich aus der Detailuntersuchung ein Sanierungsbedarf ergeben, ist eine Sanierungsuntersuchung durchzuführen. Es sind Maßnahmen zu prüfen, die geeignet sind, die Gefährdung der Schutzgüter zu beseitigen und einen Schadstoffaustrag zu minimieren. Nach Abwägung der Verhältnismäßigkeit ist das am besten geeignete Verfahren auszuwählen.

Die Ertüchtigung der Vegetation ist einer der wichtigsten Wege, den Schadstoffaustrag (Staub, Sickerwasser) zu minimieren. Außerdem wird damit die Bodenbildung auf den Halden unterstützt. Von großer Bedeutung ist eine ausreichende Abdeckung der Halde, da sie die Sickerwasserneubildung sowie einen Sauerstoffeintrag in den Haldenkörper minimiert. Die darüber liegende Deckschicht (Bodenauflage) sollte tiefer als der Wurzelbereich der Pflanzendecke sein um eine Beschädigung der Isolierschicht, sowie einen Schadstofftransport aus dem Untergrund in die Pflanzen zu vermeiden.

Ausgehend von den untersuchten Haldenprozessen sind insbesondere die reduzierenden Prozesse zu unterstützen, da diese zur Immobilisierung von Schadstoffen führen können. Das kann durch organischen Nährstoffeintrag (Unterstützung der Sulfatreduktion), Haldenabdeckung oder ähnliches geschehen.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Minimierung der Versauerung z. B. durch Kalkung o. Kalkbodenzugabe, Aufbringen von organischem Dünger (organische Bodenaufgabe) o. ä.

Ein Eingriff in den Haldenkörper ist durch die Gefahr der Selbstentzündung bzw. des Haldenbrandes möglichst zu vermeiden.

I. d. R. werden die infrage kommenden Varianten im Labor (Säulenversuche) bzw. im Feldversuch getestet. Im Ergebnis sind endgültige Sanierungszielwerte und Verfahren in enger Abstimmung mit den behördlichen Entscheidungsträgern festzulegen.

2.5 Sanierung

Die Sanierungsverfahren sind abhängig vom betroffenen Schutzgut. Bei Halden sind insbesondere Verfahren der Vegetationsertüchtigung und Bodenentwicklung, der Abdeckung, der Immobilisierung sowie der Fassung und Abreinigung der Sickerwässer/Grundwässer sinnvoll.

2.5.1 Ertüchtigung der Vegetation zur Förderung der Bodenbildung

Ausgangszustand sind Bergehalden, die meist in den 50iger Jahren aufgeforstet wurden. Vor allem an süd-, südwest- bzw. südostexponierten Hängen sind ein Fehlen der Bodenbildung und damit auch ein Fehlen der Kraut- bzw. Strauchschicht zu verzeichnen. Damit kann ein Direktkontakt über den Wirkungspfad Boden-Mensch erfolgen. Weiterhin resultieren aus dem Fehlen der Wasserhaushaltsschicht eine erhöhte Sickerwasserneubildung sowie ein verbessertes Eindringen von Sauerstoff in den Haldenkörper mit entsprechend erhöhten Verwitterungsprozessen.

Ansatzpunkt zur schonenden Sanierung ohne größere Eingriffe in den Haldenkörper und damit ohne Initiierung eines Haldenbrandes ist die Förderung der Vegetation durch Einbringen geeigneter, die schlechten wasserhaushaltlichen Verhältnisse tolerierender Pflanzen. Diese fungieren als Humusfänger an den meist sehr steilen Böschungen, so dass sich mittelfristig eine Bodendecke und längerfristig eine Wasserhaushaltsschicht entwickeln kann. Auch ein partielles Aufbringen von abdeckendem Bodenmaterial mit Bepflanzung kann sinnvoll sein.

Weiterhin ist die Bodenvegetation durch Aufbringen von Nährstoffen und Kalkmilch zu fördern. Von den Pflanzen gut angenommen wird auch eine Zugabe von Kalkboden und einer organischen Bodenaufgabe (Neutralisierung, Düngung und reduzierende Wirkung zur Verminderung von Versauerungsprozessen)

Folgende Sanierungsziele werden damit verfolgt:

- Schaffung einer natürlichen Barriere durch Ausbildung einer Bodendecke und damit Verhinderung des Direktkontaktes Boden-Mensch,
- Verminderung der Sickerwasserneubildung durch langfristige Entwicklung einer Wasserhaushaltsschicht (Bodenfunktion),
- Verringerung des Austrages haldenbürtiger Schadstoffe durch Abpufferung (Verlangsamung) des Versauerungsprozesses, langfristig Verbesserung der Qualität des Grund- bzw. Oberflächenwassers,
- Verringerung des Haldenbrandes durch verminderte Luftzufuhr,
- Verbesserung der Integration des Haldenkörpers in die städtische Siedlungsregion.

Die ausgewählte Sanierungsvariante ist in einem Pilotvorhaben zu verifizieren und zu testen.

2.5.2 Abdeckung

Besonders bei kleingärtnerisch genutzten Flächen ist eine Sanierung über die Ertüchtigung der Abdeckung sinnvoll: zur Erhaltung einer kleingärtnerischen Nutzung der Plateauflächen der Halden ist eine Ertüchtigung der Beetflächen durchzuführen. Über der Abdeckung der Flächen mit einer Wurzelsperre z. B. aus Geotextil ist eine ausreichend mächtige Mineralbodenschicht einzubringen. Gegebenenfalls ist auch die Anlage von Hochbeeten geeignet. Zu empfehlen sind Nahrungspflanzen, die nur in geringem Maße Schwermetalle anreichern. Mit der Sanierung werden folgende Ziele verfolgt:

- Verhinderung des Eintrages von Haldenmaterial durch Umgraben bzw. Frosthebung in die Durchwurzelungszone,
- Minimierung des Direktkontaktes der Nutzer mit dem Haldenmaterial,
- Verhinderung der Schwermetallanreicherung in den Nutzpflanzen.

Diese Variante ist auch für andere Nutzungen, wie z. B. Wohngebiete auf Haldenkörpern geeignet.

Für größere Flächen und steile Böschungen ist eine Abdeckung mit geringdurchlässigem Boden meist relativ kostenintensiv. Gleichzeitig wird dadurch aber eine schnelle und langfristige Verminderung der Sickerwasserneubildung erreicht. Eine Abflachung steiler Haldenböschungen (wenn möglich) vermindert die Gefahr von Rutschungen des Haldenmaterials und damit eine erneute Versauerung der betroffenen Bereiche, und erleichtert einen Bewuchs der Böschungen mit einer vitalen Vegetation.

2.5.3 Immobilisierung

Eine Immobilisierung der Metall(oid)e sowie eine Verminderung und Vermeidung von Versauerungsprozessen erfolgt primär mit dem Aufbringen einer wirksamen Abdeckung (Verminderung der Sickerwasserneubildung und Vermeidung des langfristigen Eindringens von Sauerstoff in den Haldenkörper). Bestandteile des Abdeckungsmaterials können dabei sein:

- neutralisierende bzw. Alkalinität liefernde Materialien (Kalk, Kalkboden oder Zumischen von Branntkalk)
- sauerstoffzehrendes organisches Material zur Anregung der mikrobiellen Sulfatreduktion.

Durch diese Maßnahmen kommt es neben einer beträchtlichen langfristigen Verminderung/ Vermeidung von Versauerungsprozessen auch zu einer Fällung bereits gelöster Metallionen in Form der Hydroxide/ Oxidhydrate bzw. der schwerlöslichen Sulfide. Ein zusätzlicher Eintrag von organischer Substanz in den Haldenkörper zur Verminderung bereits ablaufender Versauerungsprozesse und zur Schadstoffimmobilisierung im Haldenkörper (Anregung der mikrobiellen Sulfatreduktion) wird ebenfalls empfohlen. [16]

2.5.4 Aktive Grundwassersanierung

Eine aktive Grundwassersanierung ist bei massiven Grundwasserschäden zu empfehlen. Über Förderbrunnen und eine nachgeschaltete Reinigungsanlage sind die Schadstoffe dem Grundwasser zu entziehen. Das abgereinigte Grundwasser ist über Infiltrationsbrunnen dem Grundwasser wieder zuzuführen (Stand der Technik).

In-situ Maßnahmen durch Injektion von Organik in den Untergrund sind möglich (wenn mit Wasserrecht vereinbar).

Falls es die hydrogeologischen Bedingungen zulassen, ist ein Sammeln der Sickerwässer, z. B. über Drainagen, und die Abreinigung dieser zu empfehlen. Bei dieser Variante ist das Ausbringen von Schadstoffen pro abgereinigtem Volumen höher.

Auch ein Durchleiten der Sickerwässer durch (anoxische) Kalkgräben mit nachgeschaltetem Oxidationsteich zur Fällung und anschließendem Wetland zur Nachreinigung/Sulfatreduktion werden empfohlen. [16]

Diese Maßnahmen sind mit einer wasserhaushaltlichen Sanierung der Halde (Punkt 2.5.1 bzw. 2.5.2) zu verbinden. Damit wird die Nachhaltigkeit der Maßnahmen gewährleistet.

2.5.5 Löschen von Haldenbränden (Sofortmaßnahme)

Bestehende Haldenbrände zu löschen ist relativ schwierig. In Analogie zur Bekämpfung von Kohlefeuern in China [15] bestehen folgende Verfahren:

- Löschen durch Verpressung von Wasser (nur in Ausnahmefällen, beachte Standsicherheit!),
- Injektion von Zement- oder Tonsuspension,
- Abdeckung mit Löss oder anderen bindigen Mineralböden.

Bei allen Sanierungsverfahren ist darauf zu achten, keine größeren Anschnitte des Haldenkörpers zu erzeugen, da durch Luftzufuhr ein Haldenbrand initiiert werden kann.

3 Literatur

- /1/ Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), 17. Juli 1999, Bundesgesetzblatt Nr. 36 vom 16.07.1999, Seite 1554.
- /2/ Bewertungshilfen bei der Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung, Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden, 20.06.2002.
- /3/ Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Pfad und Schutzgut Grundwasser, Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden, 02.01.1995.
- /4/ Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 4, Pfad und Schutzgut Boden, Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden, 12/1995.
- /5/ Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 5, Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser, Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- /6/ Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 7, Detailuntersuchung, Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden, 09/2003.
- /7/ Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 8, Sanierungsuntersuchung, Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden, 07/1999.
- /8/ Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 9, Sanierung, Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden, 19.05.2000.
- /9/ HERTWIG, Dr. T.; FRENZEL, M.: Gefährdungspotenzial Steinkohlenhalden Zwickau/Oelsnitz, Arbeitspaket 1, Beak Consultants GmbH, G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg und Zwickau, 11/2005.
- /10/ WILLSCHER, Dr. S., HERTWIG, Dr. T.; FRENZEL, M.: Gefährdungspotenzial Steinkohlenhalden Zwickau/Oelsnitz, Arbeitspaket 2 und 3, TU - Dresden, Institut für Abfallwirtschaft, Beak Consultants GmbH, G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden, Freiberg und Zwickau, 11/2007.
- /11/ SITTNER, H. & A. LEONHARDT: Revitalisierung von Städten in ehemaligen Kohlebergbaugebieten, Teilprojekt: Beherrschung und Nutzung der Bergbaufolgewirkungen im ehemaligen Steinkohlenbergbaugebiet Zwickau, G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Zwickau, 2001.
- /12/ BRAUSE, PROF. DR.; WÜSTENHAGEN, M.: Erläuterungen zur Karte „Mineralische Rohstoffe Erzgebirge - Vogtland/Krushe hory 1 : 100 000, Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt - Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt“, Landesamt für Umwelt und Geologie, Oberbergamt, Radebeul und Freiberg, 1996.
- /13/ Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 2, Verdachtsfallermittlung und formale Erstbewertung, Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden, 10.1997.
- /14/ Ermessensleitende Regeln Altlasten - Grundwasser zum vorläufigen Rahmenerlass Altlasten – Grundwasser vom 27.06.2000, Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden, 06.2002.
- /15/ SCHLOEMER, DR. S.: Innovative Technologies for Exploration, Extinction and Monitoring of Coal Fires in North China, BGR, Hannover, 2006.
- /16/ WILLSCHER, S.: Lösungsansätze zur Minderung der Umweltbelastung durch saure Grubenwässer: II. Methoden der passiven und semi- passiven Behandlung. Vom Wasser 100, S. 61 – 84, 2003.