

Einfluß von Abdeckung und Rekultivierung auf die Qualität und Quantität der Sickerwasserbildung in historischen Steinkohlebergehalde des Erzgebirges

S. Willscher¹, T. Hertwig², M. Frenzel³, M Felix⁴, A. Sohr⁵

¹ TU Dresden, Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten, Pratzschwitzer Str. 15, D-01796 Pirna
e-mail: sabine@willschers.de

² BEAK Consultants GmbH, Am St. Niclas Schacht 13, 09599 Freiberg

³ Chemnitz,

⁴ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Referat 104, Freiberg

⁵ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Referat 42, Dresden

Im Gebiet des historischen Steinkohlenbergbaus in den Gebieten Zwickau und Lugau/ Oelsnitz findet eine Freisetzung saurer Bergbausickerwässer statt, die die benachbarten Grund- und Oberflächenwässer kontaminieren. In den Sauerwässern sind auch Schwermetalle, wie Zn, Cd, Ni, Co, As und Mn enthalten, die in die benachbarten Grund- und Oberflächengewässer gelangen und, auch als Feinpartikel, noch über weite Gewässerstrecken die Wasserqualität beeinträchtigen. Die Steinkohlebergehalde selbst sind bis zu 150 Jahre alt; eine Rekultivierung der Halden erfolgte bereits vor Jahrzehnten mit unterschiedlichen Methoden. Heute können wir aus den langfristigen Ergebnissen der Rekultivierung lernen; diese Ergebnisse sind sehr wertvoll, da international kaum langfristige Erfahrungen mit den Ergebnissen der Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften bekannt sind. In dieser umfangreichen Arbeit wurden drei historische Steinkohlebergehalde im Revier Lugau/ Oelsnitz mit unterschiedlicher Abdeckung und Rekultivierung miteinander verglichen, und die langfristige Auswirkung auf die Sickerwasserqualität und -neubildung und damit auf die Schadstoffmobilisierung untersucht und bilanziert. Es werden Empfehlungen für eine Langzeitstabilisierung solcher Haldenstandorte abgeleitet und diskutiert.

1 Einführung

Neben dem Metallbergbau entstanden in Sachsen in den zurückliegenden Jahrhunderten auch verschiedene Standorte des Steinkohlebergbaus. Zu den bedeutendsten und auch am längsten betriebenen Kohlereviere gehörten u.a. die Standorte Zwickau und Lugau/ Oelsnitz (HERTWIG et al. 2007, HERTWIG et al. 2010). Ein Abbau von Steinkohle fand hier z.T. bereits seit 1346 statt; seit der Zeit der Industrialisierung in Deutschland ab 1830 erfolgte schließlich ein verstärkter Kohleabbau, vor allem für die benachbarte Metallurgie, aber auch für die aufkommenden Dampfmaschinen und zu Heizzwecken.

In der heutigen Zeit ist der Steinkohlenbergbau in diesem Gebiet seit mehreren Jahrzehnten stillgelegt; zu den oberirdischen Hinterlassenschaften gehören zahlreiche Bergehalde mit Grobbergen, Wasch- und Teufbergen, die heute die Qualität der angrenzenden und umliegenden Grund- und Oberflächenwässer nachteilig beeinflussen. Grund dafür ist die Versauerung des disulfidhaltigen Bergmaterials durch Verwitterungsprozesse, das zu einem Absinken des pH-Wertes, einer Aufsalzung (v.a. durch Sulfat) sowie zu einer erhöhten Fracht an gelösten Metall(oid)en in den Haldensickerwässern führt, wobei z.T. Massenströme von mehreren kg/a (Cd) bis zu etlichen t/a (Zn, Sulfat) erreicht werden (HERTWIG et al. 2007). Ein Transport von Mangan, Cobalt, Nickel, Zink, Arsen und Cadmium in den benachbarten Grund- und Oberflächenwässern sowie eine Ablagerung dieser Metall(oid)e in den Sedimenten sind in diesem Gebiet in verstärktem Maße zu verzeichnen. Diese Schadstoffbelastung beeinflusst auch die Zwickauer Mulde als nächstes größeres

Oberflächengewässer, und selbst in der Elbe ist, nach dem Zustrom der Mulde, noch ein erhöhter Schwermetalltransport, z.T. in partikular gebundener Form, nachweisbar.

Im Gebiet Zwickau/ Oelsnitz befinden sich mehr als 80 derartige Steinkohlebergehalde (s. Abb. 1), die bereits seit mehreren Jahrzehnten nicht mehr in Betrieb sind. Nach der Einstellung des aktiven Bergbaus wurden die Halden auf unterschiedliche Weise rekultiviert, entsprechend dem Wissen der damaligen Zeit bzw. auch entsprechend den damals zur Verfügung stehenden finanziellen, materiellen, technischen und personellen Ressourcen.

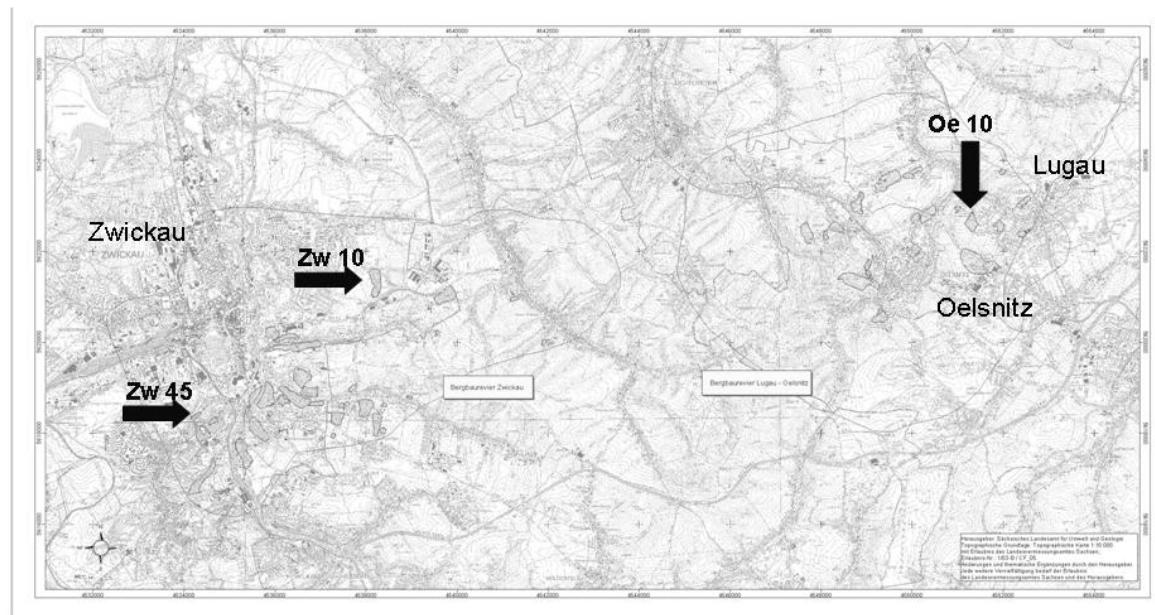


Abb. 1: Die historischen Steinkohlenreviere Zwickau und Lugau/ Oelsnitz mit den verschiedenen Standorten der Bergehalde sowie den in dieser Arbeit untersuchten Standorten (HERTWIG et al. 2007)

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 3 verschiedene ausgewählte Haldenstandorte geologisch/geochemisch sowie mikrobiologisch untersucht, sowie die entsprechenden Sickerwässer, Grund- und Oberflächenwässer. Die Bergehalde unterscheiden sich auch auf Grund ihrer früheren, Jahrzehnte zurückliegenden Rekultivierung und Abdeckung, was in einer langfristigen Auswirkung auf die Sickerwasserqualität und –neubildung und damit in einer unterschiedlichen Schadstoffmobilisierung resultiert. Heute können wir von den Ergebnissen der damaligen Rekultivierungsmaßnahmen lernen, im positiven Sinne, als auch von den weniger erfolgreichen Maßnahmen. Diese Erkenntnisse sind sehr wertvoll, da international kaum langfristige Erfahrungen mit den Ergebnissen der Rekultivierung von Bergauffolgelandschaften bekannt sind.

2 Inventar von Steinkohlenbergehalden

Das Abfallmaterial aus den untertägigen Arbeiten wurde während des aktiven Steinkohlenbergbaus auf den Bergehalde (Teufberge, Grobberge) verbracht; weiterhin wurde dort auch Material aus der Kohleaufbereitung (Waschberge, Kohleschlämme) und aus der Energieerzeugung (Aschen, Schlacken, Flugstäube) abgelagert. Je nach dem Stand der Aufbereitungstechnologie der Rohkohle sind auch noch Kohleanteile in wechselnden Gehalten (bis zu 30%) in den Waschrückständen enthalten. Weiterhin wurde auf den

Bergehalden auch produktionsfremdes Material wie Bauschutt, Lehm, Bodenaushub und z.T. sonstige Abfälle abgelagert (HERTWIG et al. 2007).

Das Bergematerial besteht v.a. aus Tonschiefer (gebrannte Schichten) bzw. kohlehaltigen Schichten des Tonschiefers, teilweise schluffhaltig, und z.T. feinkörnigen Ablagerungen von Kohleschlamm aus der Verarbeitung, sowie Sand gemischt mit Kohlestaub im oberflächennahen Bereich (Waschrückstände). Das Haldenmaterial ist grob- bis feinkörnig auf Grund der Aufarbeitung des Kohlematerials; die Schüttung weist eine erhöhte Porosität (ca 40%) auf, was in einer guten Permeabilität durch Luft und Wasser resultiert. Diese Bedingungen sind besonders förderlich für die oxidativen Verwitterungsprozesse in den Bergehalden.

Die Haldenoberflächen enthalten teilweise eine Bodendeckschicht mit einer Vegetationsdecke (Gras, Büsche und Bäume).

Ursache der Versauerungsprozesse der Steinkohlenbergehalden sind erhöhte Gehalte des Haldeninventars an mineralischen Disulfiden, v.a. Pyrit FeS_2 bzw. Markasit, sowie die Sulfide vieler anderer Metalle wie z.B. Sphalerit (ZnS), Galenit (PbS), Chalcopyrit (CuFeS_2), Arsenopyrit (FeAsS), Bornit (Cu_5FeS_4) (FRENZEL 1874), die in geringen Mengen im kohligen Material enthalten sind. Sie unterliegen einer langsamen geochemischen bzw. biogeochemischen Verwitterung. Dabei kommt es zu einer langfristigen Freisetzung von Säure, Schwermetallen und gelösten Salzen, die das umliegende Grund- und Oberflächenwasser kontaminieren.

Bei stark exothermen Reaktionen der Verwitterungsprozesse kann es auch zu Brandprozessen kommen, was zu zusätzlichen Beeinträchtigungen der Umwelt durch erhöhte Temperaturen der Haldenkörper und der angrenzenden Wässer bzw. zum Entweichen von Gasen aus den Brandherden führen kann.

3 Durchgeführte Untersuchungen im Rahmen der Forschungsarbeiten

Im Rahmen der hier durchgeföhrten Forschungsarbeiten wurden durch die beteiligten Projektpartner folgende Arbeitsschritte durchgeführt (HERTWIG et al. 2007):

- Literatur- und Datenrecherche zu ausgewählten Haldenstandorten
- Feldbegehung/ Kartierung
- Grablöcher und Schürfe auf den Haldenstandorten
- Kleinrammbohrungen
- Kernbohrungen und Einrichtung von Grundwassermeßstellen
- Probenahmen und chemische Analytik (Boden, Wasser, Sediment, Luft, Pflanzen)
- Temperaturuntersuchungen auf thermische Umsetzungsprozesse im Haldeninventar
- Untersuchungen der Schwefelmodifikationen im Haldenmaterial
- Mikrobiologische Untersuchungen von Feststoff-, Wasser- und Sedimentproben
- Säulenversuche zum Schadstoffaustausch sowie zur sequentiellen Extraktion
- Durchflußmessungen an den Sickerwasseraustrittsstellen
- Auf der Grundlage der Konzentrationsdaten und der Durchflußraten Modellierung der Strömung (FEFLOW) und des Sickerwassers (BOWAHALD) sowie des Stofftransports (PHREEQC)
- Kartierungen der forstlichen Standorte, Waldbestände und Vegetation

Mit diesen hier durchgeföhrten Untersuchungen konnten die in den Halden ablaufenden komplexen biogeochemischen Prozesse zum Teil aufgeklärt werden, die auch als eine direkte Folge der früheren Rekultivierungsmaßnahmen zu sehen sind.

Im folgenden Abschnitt sollen die Ergebnisse für die 3 ausgewählten Haldenstandorte kurz vorgestellt werden.

4 Geschichte, Rekultivierung und Umweltauswirkungen der Bergehalde

Die hier untersuchten Steinkohlebergehalden sind bis zu 150 Jahre alt; ihre Rekultivierung liegt über 30 bis teilweise über 60 Jahre zurück. Folgende entsprechend ihrer Nutzung sowie ihrer Rekultivierung unterschiedliche Bergehalde wurden hier untersucht:

- (a) **Vertrauen-Schacht-Halde Lugau/ Oelsnitz (Oe10)**: Eine Halde mit ursprünglicher Birkenbestockung, natürlicher Bodenentwicklung (keine Zugabe einer Bodenauflage); heute Freisetzung von Sauerwässern
- (b) **Morgenstern-Schacht III-Halde in Zwickau (Zw10)**: Eine Halde ebenfalls mit Rekultivierung durch Anpflanzung von Bäumen, keine Zugabe einer Bodenauflage; lokale Erhitzung des Haldenkörpers durch Oxidationsprozesse; auf einem Teil der Halde und daran angrenzend Anlage einer Deponie für kommunale Abfälle
- (c) **Planitzer Halde, Zwickau (Zw45)**: Eine Halde mit Bodenauflagen aus Lehm und Mutterboden; seit Jahrzehnten kleingärtnerische Nutzung des Haldenplateaus.

Eine Übersicht über die Ergebnisse von den 3 untersuchten Haldenstandorten gibt Tab. 1 mit einer Zusammenstellung der chemisch-physischen Messergebnisse, der gelösten Schwermetallgehalte, der Sickerwasserneubildungsraten und der Frachtberechnungen.

Die Stilllegung des Haldenbetriebes erfolgte für die Planitzer Halde in Zwickau bereits in den 30-er Jahren des letzten Jahrhunderts, für die Vertrauen-Schacht-Halde in Lugau/ Oelsnitz in den 50-er Jahren, und für die Morgenstern-Schacht III-Halde in Zwickau erst in der 2. Hälfte der 70-er Jahre (s. Tab. 1). Danach gesehen, müssten die biogeochemischen Verwitterungsprozesse in der Planitzer Halde am weitesten fortgeschritten sein, und die Morgenstern-Schacht III-Halde in Zwickau müsste den geringsten Verwitterungsgrad aufweisen. Ein solches Ergebnis wird aber nicht gefunden, sondern der Verwitterungsgrad der Halden zeigt eine starke Abhängigkeit von der Rekultivierung bzw. Abdeckung, unabhängig vom Alter (s. Tab. 1). So wurde die Planitzer Halde in Zwickau nach der Einstellung des Bergbaubetriebes mit einer Lehmschicht und Mutterboden abgedeckt und bereits 1944 für eine kleingärtnerische Nutzung freigegeben. Auf Grund einer Abholzung in der 2. Hälfte der 40-er Jahre wurde diese Halde in den 50-er Jahren noch einmal vollständig mit Lehm und Mutterboden abgedeckt, z.T. wurden neue Bäume angepflanzt, und das Haldenplateau wurde erneut für eine kleingärtnerische Nutzung freigegeben. Die anderen beiden Halden erhielten dagegen keine Oberflächenabdeckung; hier ging man davon aus, dass eine natürliche Bodenbildung stattfinden wird. Über die in den Halden vor sich gehenden biogeochemischen Verwitterungsprozesse war zu der damaligen Zeit noch fast nichts bekannt. Diese Halden wurden mit Bäumen (z.B. Birken) als Pionierbestand bepflanzt. Auf einem Teil der Morgenstern-Schacht III-Halde in Zwickau sowie auf den angrenzenden Kohleschlammteichen wurde eine Deponie errichtet, die seit 2001 eine Oberflächenabdichtung besitzt (Erfassung und Nutzung von Deponiegas). An diesem Haldenstandort ist also ein zusätzlicher Vergleich zwischen abgedecktem und nicht abgedecktem Areal möglich.

Mehrere Jahrzehnte nach der erfolgten Rekultivierung unterscheiden sich die drei Haldenstandorte sehr deutlich in Abhängigkeit von der Art der Abdeckung voneinander. Während in der Planitzer Halde in Zwickau keine thermischen Prozesse als Zeichen ablaufender exothermer Umwandlungsprozesse zu beobachten sind, zeigen die austretenden Sickerwässer aus der Vertrauen-Schacht-Halde in Lugau/Oelsnitz eine ganzjährige Temperatur von 16°C, und in der Morgenstern-Schacht III-Halde in Zwickau kommt es an der

Nordwestflanke im Haldenbereich zu thermischen Prozessen bis zu Temperaturen von 90°C. Auf dem abgedeckten Teil dieser Halde sind jedoch keinerlei thermische Prozesse zu beobachten. Analoge Ergebnisse liefern auch die pH-Werte als Maß für die Versauerung der Haldensubstrate, die gemessenen Redoxpotentiale an den Standorten, die freigesetzten Salz- und Schwermetallgehalte und die Oxidationsgrade des Schwefels in dem in den Halden noch vorhandenen kohligen Material (s. Tab. 1). Der höchste Pyritgehalt wurde für das kohlige Substrat der Vertrauen-Schacht-Halde in Lugau/Oelsnitz berechnet; damit liegt an diesem Standort auch das höchste Versauerungspotential vor. An diesem Standort wurden der niedrigste pH-Wert, das höchste Redoxpotential und die höchste Aufsalzung der Sickerwässer mit Sulfat gemessen (s. Tab. 1). Die Planitzer Halde in Zwickau mit einer Abdeckung aus Lehm und Mutterboden zeigt dagegen fast keine Versauerung; der pH-Wert ist mit 6.4-7.14 neutral bis schwach sauer, das Redoxpotential ist als moderat anzusehen, und es findet eine wesentlich geringere Freisetzung an Salzen und Schwermetallen in den Sickerwässern statt (s. Tab. 1), obwohl im Haldensubstrat die höchsten Schwermetallkonzentrationen im Feststoff von allen hier untersuchten Haldenstandorten vorliegen. Ähnliches kann auch vom abgedeckten Teil der Morgenstern-Schacht III-Halde in Zwickau gesagt werden; auch hier liegen die gemessenen pH-Werte im neutralen Bereich (7.42, s. Tab. 1), und es wurden z.T. sehr niedrige Redoxpotentiale (-254 mV) gemessen.

Beeindruckend ist auch der Unterschied im Oxidationsgrad des Schwefels im kohligen Haldensubstrat; hier wurden Oxidationsgrade von etwa 58% an den beiden nicht abgedeckten Standorten gefunden, während in der Planitzer Halde nur ein Oxidationsgrad von 12% besteht, obwohl die Rekultivierung dieses Standortes am längsten zurückliegt.

Tab 1: Vergleich der verschiedenen Standorte von Steinkohlebergehalten im Revier Zwickau/ Oelsnitz

		Oe10	Zw10	Zw45
Betriebszeit der Halden		1856-1954	1908-1977	1855-1933
Berechneter Pyritgehalt	%	1.42-4.35	0.64-1.63	0.42-1.76
Gesamtschwefel	%	1.71-4.07	0.83-2.09	0.36-0.97
Schwefel-Oxidationsgrad im kohligen Substrat	%	12.8-57.7	30.7-58.3	3.1-11.72
pH		3.61-5.12	4.4-7.42	6.4-7.15
Redoxpotential	mV	497-732	(-254)-(+533)	104-355
Elektrolyt. Leitfähigkeit	mS/c m	0.96-9.91	0.96-11.79	0.856-3.23
SO ₄ ²⁻	mg/l	641-8538	187-5490	226-1840
Cd	µg/l	180-1950	<0.2-390	<0.2-20
Ni	µg/l	270-7358	2.8-1200	4.4-210
Zn	mg/l	10-337	<0.02-1000*	<0.02-16
As	µg/l	<1-17	<1-1.3	<0.1-86
Sickerwasser-neubildungsrate	mm/a	237 (BOWAHALD)	100 (Abdeckung) 350 (keine Abdeckung)	125 (natürlich) + 25 (Bewässer.)
SO ₄ ²⁻ -Fracht Sickerwasser ^{a)}	t/a	130	73	5

Zn- Fracht Sickerwasser ^{a)}	t/a	6.8	0.46	0.025
Ni- Fracht Sickerwasser ^{a)}	kg/a	150	18	0.6
Cd- Fracht Sickerwasser ^{a)}	kg/a	40	7	0.002
SO ₄ ²⁻ :Verminderung der Sickerwasserfracht im Vergleich zu Oe10 ^{b)}	%	-	68	85
Zn Verminderung der Sickerwasserfracht im Vergleich zu Oe10 ^{b)}	%	-	96	98.6
Ni Verminderung der Sickerwasserfracht im Vergleich zu Oe10 ^{b)}	%	-	93	98.5
Cd Verminderung der Sickerwasserfracht im Vergleich zu Oe10 ^{b)}	%	-	90	99.98

*) Einfluß durch Deponiesickerwasser

a) Summe aus der Sickerwasserfracht sowie der Ablaufracht der gesamten Haldenaufstandsfläche

b) bezogen auf eine Haldeneinheitsfläche (berechnet aus den Aufstandsflächen)

In den Halden bzw. -bereichen, in denen auf Grund der Abdeckung geringere Grade der biogeochemischen Verwitterungsprozesse gefunden wurden, konnte auch eine erhöhte Aktivität sulfatreduzierender Mikroorganismen nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse sind in einem weiteren Beitrag zu dieser Veranstaltung dargestellt (WILLSCHER 2010).

4.1 Vergleich der Sickerwasserbildungsraten und –frachten der einzelnen Haldenstandorte

Die unterschiedlichen Rekultivierungsmaßnahmen an den verschiedenen Haldenstandorten resultieren neben einem unterschiedlichen Verwitterungsverhalten (s. Abschn. 4.1-4.3) auch in unterschiedlichen Sickerwasserbildungsraten; so wurde für die Vertrauen-Schacht-Halde in Lugau/Oelsnitz mit natürlicher Bodenbildung und Baumbewuchs eine Sickerwasserbildungsrate von 237mm/a berechnet (Programm BOWAHALD, s. Tab. 1), für den nicht abgedeckten Bereich der Morgenstern-Schacht III-Halde in Zwickau mit verminderter Baumbewuchs 350 mm/a, während der abgedeckte Bereich mit der Deponie nur eine Sickerwasserneubildung von 100 mm/a aufweist. Für die Planitzer Halde in Zwickau mit einer Deckschicht aus Lehm und Mutterboden wurde eine Sickerwasserbildungsrate von 125 mm/a sowie zusätzliche 25 mm/a durch die Bewässerung in den Kleingärten berechnet (s. Tab. 1).

Eine Verminderung der Verwitterungsprozesse im Haldenkörper durch einen geringeren Zutritt von Luft und Wasser mit Hilfe einer Deckschicht einerseits sowie durch eine gute Vegetation und Bodenbildung andererseits bewirken auch eine wesentlich geringere Oxidation des kohligen Haldenmaterials und damit eine verminderte Versauerung und Freisetzung von Salzen und Schwermetallen. Dies kann, neben dem Oxidationsgrad des Schwefels im kohligen Haldensubstrat, eindrücklich anhand der berechneten Verminderung der Sickerwasserfrachten an Sulfat und Schwermetallen für die einzelnen Haldenstandorte belegt werden (s. Tab. 1). So wird die Bildung von Sulfat durch Verwitterungsprozesse in der Morgenstern-Schacht III-Halde in Zwickau auf Grund der teilweisen Stabilisierung durch die Deponie im Vergleich zur Vertrauen-Schacht-Halde in Lugau/Oelsnitz um 68% reduziert, in der Planitzer Halde (Deckschicht aus Lehm und Mutterboden) um 85% (diese Daten wurden auf eine Haldeneinheitsfläche normiert). Für Zink beträgt die Verminderung der

Sickerwasserfracht 96 bzw. 98.6%, für Ni 93 bzw. 98.5% und für Cd 90 bzw. sogar 99.98% (s. Tab. 1).

Diese Messdaten bzw. Ergebnisse von Berechnungen zeugen von einer sehr starken Schadstoffreduzierung in den Sicker- und Grundwässern durch effektive Maßnahmen der Prävention von Verwitterungsprozessen in den Haldenkörpern. Diese Verminderung und Vermeidung der Freisetzung von Schadstoffen aus den Halden in die Wasserphase scheint hier auch eine langfristige Wirkung, hier bereits von einigen Jahrzehnten, zu zeigen. Bei einer sehr langfristigen Stabilisierung und Immobilisierung der Haldeninventare kann hier eine enorme Freisetzung von Schadstoffen vermieden werden, und damit können auch enorme Kosten und Anstrengungen für die Analyse, Erfassung und nachgeschaltete Aufreinigung der belasteten Wässer über viele Jahrzehnte und vielleicht sogar über Jahrhunderte eingespart werden, was eine gigantische Einsparung von Kosten sowie eine bedeutende Erhaltung der Umweltqualität in der Umgebung der Bergehalde bedeutet.

5 Schlussfolgerungen

Als Ergebnis der hier durchgeföhrten umfangreichen Untersuchungen konnte eine erfolgreiche Langzeitstabilisierung einer Halde sowie eines Haldenbereiches gezeigt werden. Eine effektive Abdeckung der Haldenoberflächen resultiert in einer starken Verminderung der Sickerwasserbildungsraten, sowie einer wesentlich geringeren Oxidation des Haldeninventars, was eine weitgehende Vermeidung der Versauerung und Aufsalzung sowie fast keine Freisetzung von Schwermetallen bedeutet. Positive Auswirkungen zeigt auch eine Stimulation sulfatreduzierender Prozesse, was zu einer zusätzlichen Immobilisierung von Schwermetallen, einer verminderten Salzfracht sowie zu einer geringeren Oxidationsneigung des Haldeninventars führt.

Die in den hier durchgeföhrten Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse wurden im „Branchenblatt Steinkohlenhalde“ veröffentlicht (FRENZEL et al. 2009).

Die hier vorgestellten Maßnahmen der Rekultivierung von Bergbauhalden stammen aus einer Zeit, in der das Wissen darüber noch sehr gering war („von gestern“). Um vieles besser werden moderne Rekultivierungs- und Sanierungsmaßnahmen mit unserem heutigen bzw. zukünftigen reichen Wissensschatz wirken, so dass eine Versauerung von Bergbauhalden sowie der angrenzenden Grund- und Oberflächenwässer und eine Kontamination mit Salz- und Schwermetallfrachten in naher Zukunft weitgehend vermieden werden können.

6 Literatur

FRENZEL, A. (1874): Mineralogisches Lexikon für das Königreich Sachsen. Leipzig, Verlag Wilh. Engelmann, S. 172-174

FRENZEL, M., HERTWIG, TH., WILLSCHER, S., SOHR, A. (2009): Branchenblatt Steinkohlenbergehalde. www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/18_Steinkohlehalde.pdf

HERTWIG, TH., FELIX, M. SOHR, A. (2010): Die Halden im Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz und ihr Gefährdungspotenzial für die Umwelt. Geoprofil, Beitrag im Druck

HERTWIG, TH., FRENZEL, M., WILLSCHER, S., KNOBLOCH, A. (2007): Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Gefährdungspotenzial Steinkohlenhalden Zwickau/Oelsnitz, Arbeitspakete 2 und 3“. Unveröff. Abschlußbericht Beak GmbH, GUB-Ingenieur AG und TU Dresden, Freiberg/Zwickau/Dresden.

WILLSCHER, S., STARKE, S., FELIX, M., SOHR, A. (2010): Mikrobiologische Untersuchungen von historischen Steinkohlenbergehalde im Erzgebirge und Schlussfolgerungen auf die

Beeinflussung der Sickerwasser- und Grundwasserqualität. Tagungsbeitrag zum Berg- und Hüttenmännischen Tag 9.-11.06.2010