

Utilization of the Fine Fraction of Waste Incineration Slags for the Recultivation of Steep Potash Tailings Piles

Arne Schmeisky, Michael Pühra and Silvia Niessing

During the mining phase and production of potash products large amounts of mining waste have to be deposited in tailings piles. Rainfall leads to the formation of salt brines that have to be disposed. To reduce the formation of these brines several different techniques for covering the potash tailings piles were developed. For the application of these covers the individual local conditions and sizes of each tailings pile have to be considered. So far the only solution for covering large tailings piles is the so called thin layer cover which was developed at the Sigmundshall site in Germany. Due to the limited availability of the REKAL material used in Sigmundshall, the technique is further developed at the Werra Site. This leads to different challenges considering the technical applicability and the approval, resulting from the specific requirements which the covering material has to fulfill (e.g. long term availability or structural integrity). So far the only suitable material identified (besides the REKAL material) is a mixture from waste incineration slags and coal combustion ashes. However these materials contain larger quantities of different metals compared to common soils. Since the metal yield exceeds the limit values of the rules and standards of the *TR Bergbau*, it has to be proven that the covering material does not harm the environment. So far no legal framework exists which can be considered and therefore the legal validation of the suitability remains unclear. Improving the quality of the slags by reducing the metal content during the processing would facilitate the approvability. Furthermore the use of these materials for covering large potash tailings piles would not only lead to the reduction of brine forming but it would also preserve valuable landfill site capacity.

Verwertung der Feinfraktion von Abfallverbrennungsschlacke zur Rekultivierung von steilen Kalirückstandshalden

Arne Schmeisky, Michael Pühra und Silvia Niessing

1.	Verfahren zur Abdeckung von Kalirückstandshalden/ Stand der Technik	200
2.	Entwicklung der Dünnschichtabdeckung am Werk Sigmundshall.....	201
3.	Weiterentwicklung der Dünnschichtabdeckung am Werk Werra.....	201
4.	Anforderungen an Abdeckmaterialien für die Dünnschichtabdeckung.....	203
5.	Aufbereitete Rückstände aus der Abfallverbrennung (MV-Schlacken) und Bindemittel.....	205
6.	Genehmigungsrechtliche Herausforderungen	206
7.	Fazit.....	208
8.	Quellen	208

Bei der bergbaulichen Gewinnung und Herstellung von Kali-Produkten fallen feste Rückstände an, die nicht verwertet werden können. Die Aufhaldung dieser Rückstände ist weltweit Stand der Technik [6]. Da die so entstandenen Rückstandshalden der Witterung ausgesetzt sind, kommt es in Folge von Niederschlägen zur Bildung von salzhaltigen Wässern, die entsprechend entsorgt werden müssen. Ein kleiner Teil dieser Wasser versickert an der Basis der Halden in den Untergrund. Durch eine Abdeckung der Halden können die Entstehung der Salzabwässer und die Versickerung in den Untergrund deutlich reduziert werden. Für die technische Umsetzung einer Haldenabdeckung müssen jedoch die spezifischen Randbedingungen jedes Standorts einzeln betrachtet und dementsprechend berücksichtigt werden. Faktoren wie Haldengröße, Haldenhöhe oder das verfügbare Vorland sowie die Verfügbarkeit möglicher Abdeckmaterialien spielen eine wesentliche Rolle. Im Laufe der Zeit wurden so verschiedene technische Abdeckverfahren entwickelt, die aufgrund des Einzelfallcharakters nur extrem eingeschränkt auf andere Standorte übertragen werden können. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die Abdeckung großer Rückstandshalden dar, für die neue Abdeckverfahren von der K+S KALI GmbH entwickelt werden oder wurden bzw. deren Weiterentwicklung derzeit fortgeführt wird. Aufgrund der besonderen

Anforderungen, die bei diesen Verfahren an die Abdeckmaterialien gestellt werden, ergeben sich verschiedene Herausforderungen, insbesondere im Hinblick auf die Genehmigungsfähigkeit von Abdeckmaterialien.

1. Verfahren zur Abdeckung von Kalirückstandshalden/ Stand der Technik

Den Stand der Technik in der Abdeckung von Kalirückstandshalden bildet das herkömmliche Abdeckverfahren mit Boden und Bauschutt. Hierbei erfolgt ein mehrschichtiger Aufbau mit Drainage-, Kontur- und Rekultivierungsschicht [2]. Durch Anschüttung und Einbau der Abdeckmaterialien wird der natürliche steile Böschungswinkel der jeweiligen Halde abgeflacht, was zu einem erheblichen Vorland- und Materialbedarf führt. Daher eignet sich dieses Verfahren ausschließlich zur Abdeckung von kleinen bis mittelgroßen Rückstandshalden. Dieses Verfahren findet beispielsweise an der Halde Friedrichshall Anwendung und wird derzeit für die Halde Niedersachsen geplant. Solche Halden haben eine Höhe von i.d.R. < 100 m und sind somit und auch flächenmäßig deutlich kleiner als z.B. die Halden des Werkes Werra.

Zur Abdeckung von Großhalden wurden bzw. werden derzeit an verschiedenen Standorten neue Abdeckverfahren erprobt bzw. weiterentwickelt. Großtechnisch umsetzbare Varianten stellen dabei dünnsschichtige Verfahren dar, bei denen die Abdeckschicht eine Stärke von bis zu wenigen Metern aufweist und die sich daher durch einen verhältnismäßig geringen Vorland- und spezifischen Materialbedarf auszeichnen. In diesen Verfahren wird eine einlagige Multifunktionsschicht annähernd hangparallel auf den Haldenkörper aufgebracht. Diese kann die Verdunstungsleistung – je nach Verfahren mit oder ohne Vegetationsdecke – erhöhen und somit den Haldenwasseranfall minimieren. Zu diesen Abdeckvarianten zählen die am Werk Zielitz entwickelte Infiltrationshemmschicht (IHS), sowie die Dünnschichtabdeckung (DSA), die am Werk Sigmundshall entwickelt wurde. Bei der Infiltrationshemmschicht werden dem Rückstand in einer letzten Schüttung Additive hinzugegeben. Diese reichern sich in Folge der Ablaugung der löslichen Bestandteile des Rückstands-Additiv-Gemisches an der Oberfläche an und bilden eine wasserspeichernde und verdunstungsstarke Patina-Schicht. Das Verminderungspotential beträgt etwa 50 % der niederschlagsbedingten Haldenwässer. Bei der Dünnschichtabdeckung hingegen wird eine zusätzliche Schicht aus reinem Abdeckmaterial auf die Haldenoberfläche aufgebracht. Zusätzlich ist eine Vegetationsetablierung vorgesehen, wodurch die Verdunstungsleistung zusätzlich erhöht wird. Die aktuellen Untersuchungen zeigen, dass durch eine Dünnschichtabdeckung der Halden eine Verringerung der niederschlagsbedingten Wässer um bis zu 80% möglich ist.

Eine weitere Variante, die jedoch nur in wenigen Ausnahmefällen anwendbar ist, ist die Direktbegrünung älterer Halden mit hohen Gehalten an unlöslichen Materialien, wie z.B. Anhydrit. Hierbei kommt es durch Ablaugung der löslichen Bestandteile zu einer derartigen Anreicherung der unlöslichen Bestandteile, dass mit der Zeit eine genügend mächtige salzfreie Materialauflage entsteht, die ein Pflanzenwachstum ermöglicht.

Weiterhin wird derzeit die Möglichkeit einer temporär begrenzten Teilabdeckung von Plateauflächen mit Poldern erprobt. Das aufgefangene Niederschlagswasser soll dabei möglichst direkt von der Plateaufläche in ein Sammelbecken am Haldenfuß geleitet werden, um nicht über längere Zeit oder in größerer Menge auf dem Plateau zwischengespeichert zu werden. Als langfristige Abdeckung wird für solche Bereiche allerdings das Konzept der Dünnschichtabdeckung verfolgt, da nach heutigem Wissensstand die Lebensdauer von Kunststoffdichtungsbahnen, die beim Polderbau eingesetzt werden, im Vergleich zu einer Substratabdeckung deutlich begrenzt ist. Die Polder müssen nach einigen Jahren wieder erneuert werden.

2. Entwicklung der Dünnschichtabdeckung am Werk Sigmundshall

In den frühen 1990er Jahren wurden für die Rückstandshalde des Werkes Sigmundshall erste Überlegungen zu einer möglichen Abdeckung mit Salzschlacken aus der Metallindustrie angeregt und erste Gewächshausversuche an der Gesamthochschule Kassel (Heute: Universität Kassel) in Witzenhausen durchgeführt. Bereits 1997 wurde ein Lysimeterfeld an der Halde Sigmundshall zu weiteren Untersuchungen mit möglichen Abdeckmaterialien errichtet. Ziel der Untersuchungen war es eine möglichst hangparallele, begrünbare Abdeckung zu gewährleisten. Hierzu wurden verschiedene Mischungen aus Schlacken aus dem Aluminiumrecycling (sogenanntes REKAL-Material) und einem Stabilisat aus der Abgasreinigung von Kohlekraftwerken untersucht. Das REKAL-Material bildet den Hauptbestandteil der Abdeckung. Die puzzolanen Eigenschaften des Stabilisats ermöglichen die hangparallele Aufbringung und dauerhafte Standsicherheit des Gemisches; das REKAL-Material dient hingegen als Substrat für eine Vegetationsetablierung [9]. In verschiedenen Versuchsphasen wurde die finale Rezeptur schrittweise optimiert, sodass in den Folgejahren erste Flankenbereiche der Halde Sigmundshall abgedeckt werden konnten. Neben der Abdeckung selbst wurden auch technische Verfahren zur Saatgut- bzw. Düngemittelausbringung und zur Bewässerung entwickelt. Die langjährigen Untersuchungen an dieser Abdeckung zeigen, dass sich eine geschlossene, stabile, artenreiche Vegetation etablieren konnte und dass sich bereits nach wenigen Jahren die Nährstoffkreisläufe schließen und auf weitere Folgedüngungen verzichtet werden kann [4, 5, 7]. Die Haldenabdeckung wird kontinuierlich fortgeführt. Bis zum aktuellen Zeitpunkt konnte etwa die Hälfte der Halde erfolgreich abgedeckt werden.

3. Weiterentwicklung der Dünnschichtabdeckung am Werk Werra

Im Rahmen des von der FGG Weser verabschiedeten Maßnahmenplans zur Salzreduzierung ist auch für die beiden Halden der Standorte Wintershall und Hattorf des Werks Werra eine Haldenabdeckung vorgesehen. Da es sich an beiden Standorten um Großhalden handelt, ist jedoch eine Abdeckung nach herkömmlichen Verfahren (Boden und Bauschutt) ebenso nicht möglich wie eine Direktbegrünung (Salzhalde). Das am Standort Sigmundshall etablierte System der Dünnschichtabdeckung konnte zeigen,

dass diese Abdeckungsform grundsätzlich möglich ist. Da jedoch das an dieser Halde eingesetzte REKAL-Material nur regional und in sehr begrenzter Menge verfügbar ist, kann der Einsatz ausschließlich an der Halde Sigmundshall erfolgen. Darüber hinaus unterscheiden sich die Randbedingungen an den Großhalden des Werkes Werra deutlich von denen der Halde Sigmundshall (Haldenhöhe, Flankenlänge, usw.) Für einen Einsatz am Werk Werra muss das System daher weiterentwickelt werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung einer neuen Materialmischung, die über die notwendigen Materialeigenschaften verfügt und gleichzeitig in ausreichender Menge vorhanden ist. Die Weiterentwicklung erfolgt analog zu den Versuchen am Standort Sigmundshall ebenfalls im Rahmen der Durchführung eines Upscalings, in dem der Versuchsmaßstab stufenweise vergrößert wird, um eine optimale, genehmigungsfähige Materialmischung zu entwickeln, wobei die einzelnen Stufen jeweils aufeinander aufbauen (Bild 1). Dazu wurde zunächst eine Marktrecherche zu den potentiell verfügbaren Abdeckmaterialien durchgeführt. Anschließend wurden die physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie die Begrünbarkeit möglicher Materialien bzw. Materialmischungen in Labor- und Gewächshausversuchen untersucht. In einem weiteren Schritt wurde auf der Halde des Standorts Wintershall ein Lysimeterfeld errichtet. Dieses lieferte über einen Zeitraum von 3 Kalenderjahren Ergebnisse zum Verhalten der eingesetzten Materialien unter realen Bedingungen, zum Wasserhaushalt und zum Chemismus. Durch diese Versuchsschritte konnten Materialmischungen ermittelt werden, die in einem nächsten Versuchsschritt – einem halbtechnischen Versuch – auf einer kleineren Flanke erprobt werden sollen.

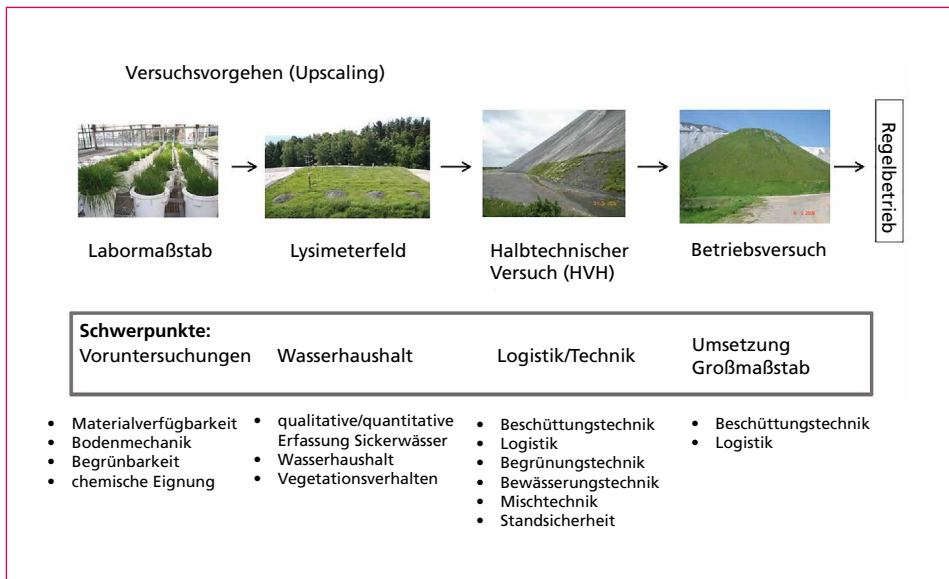


Bild 1: Skaliertes Vorgehen bei der Entwicklung der Dünnschichtabdeckung

Quelle: Schmeisky, A; Pühra, M.: Haldenwasserreduzierung am Werk Werra: Innovative Entwicklung einer Dünnschichtabdeckung, Kali & Steinsalz 03/2017, S. 16-25

Hierbei sollen Beschüttungsverhalten, notwendiger Befeuchtungsgrad und weitere technische Faktoren optimiert werden. An diese Versuchsphase schließt sich ein großtechnischer Betriebsversuch an, der an einer langen Flanke erfolgen soll. Hierbei handelt es sich um den ersten Schritt der tatsächlichen Haldenabdeckung, in dem letzte technische Optimierungen (Schütttechnik, Logistik, usw.) im Großmaßstab erfolgen.

Als langfristig verfügbare Alternative zu dem in Sigmundshall eingesetzten REKAL-Material wurden aufbereitete Verbrennungsrückstände aus dem Feuerraum aus der Abfallverbrennung (Rostaschen/Schlacken) identifiziert. In einem Gemisch solcher aufbereiteter MV-Schlacken mit einem puzzolanen Bindemittel – z.B. Flugaschen/Filterstäuben aus der Kohleverbrennung (Zugabemenge je nach Bindemittel bis zu etwa 20 %) – konnten die bisherigen Versuche die technische Einsatzfähigkeit nachweisen und die nachfolgend dargestellten Anforderungen konnten eingehalten werden.

4. Anforderungen an Abdeckmaterialien für die Dünnschichtabdeckung

Je nach Abdeckvariante variieren die Anforderungen an die eingesetzten Materialien. Im Folgenden werden die notwendigen Materialeigenschaften für eine Dünnschichtabdeckung von Großhalden betrachtet. Grundvoraussetzung für die Eignung zur Abdeckung ist, dass das Material in ausreichender Menge und Qualität langfristig verfügbar ist, denn es müssen über möglichst lange Zeiträume und für die Abdeckung möglichst großer Flächen homogene Materialien eingesetzt werden, u.a. um unterschiedliches Verdunstungs- und Sickerverhalten in unterschiedlichen Bereichen zu vermeiden. Auch wenn Dünnschichtverfahren deutlich weniger Material erfordern als herkömmliche Abdeckverfahren bleibt zu beachten, dass auch bei einer dünnmächtigen Aufbringung aufgrund der Größe betroffener Halden sehr große Materialmengen zur vollständigen Abdeckung benötigt werden. Da die Haldenabdeckung bei aktiven Halden parallel zur Weiternutzung (Aufhaltung von Salzurückstand) der Halden erfolgt und die notwendigen Materialien innerhalb kürzester Zeit weder zur Verfügung stehen noch vollständig aufgebracht werden können, erstreckt sich ein solches Verfahren über mehrere Jahrzehnte. Dementsprechend muss sichergestellt werden, dass nicht nur aktuell genügend Material vorhanden ist, sondern dass dieses auch möglichst über den gesamten Abdeckzeitraum verfügbar bleibt. Dies wird sichergestellt durch eine umfangreiche Marktrecherche.

Eine physikalische Einschränkung möglicher Abdeckmaterialien ergibt sich durch die besonderen Anforderungen an die Standsicherheit. Große Kalirückstandshalden zeichnen sich durch sehr steile Flanken mit einem Böschungswinkel von bis zu 40° aus. Da bei der hangparallelen Dünnschichtabdeckung keine Abflachung der Böschung erfolgt, muss auch das Abdeckmaterial bei diesen steilen Winkeln dauerhaft standsicher sein. Ausschlaggebend hierfür sind insbesondere die Korneigenschaften des Materials wie Form, Kantigkeit oder Korngrößenverteilung innerhalb des Materials sowie die puzzolanen Eigenschaften möglicher Bindemittel.

Gleichzeitig zur Standsicherheit muss das Material über die entsprechende Schüttfähigkeit verfügen, die ebenfalls maßgeblich von den Korneigenschaften bestimmt wird. Das Material muss also von der Herstellung über die Transportdauer bis zum Zeitpunkt der Aufbringung schüttfähig bleiben, auf der Flanke möglichst hangparallel zum Liegen kommen und anschließend schnellstmöglich einen stabilen Zustand auf der Flanke erreichen. Dies kann beispielsweise über einen möglichst trockenen Transport und eine Mischung der Einzelkomponenten und Wasserzugabe vor Ort erzielt werden sowie für die Schütteeigenschaften durch die Variation des Wassergehaltes. Die Untersuchung der Standsicherheit und Schüttfähigkeit erfolgt in Laborversuchen.

Da für eine maximale Verdunstungsleistung der Dünnschichtabdeckung eine Vegetationsetablierung eine entscheidende Voraussetzung ist, muss das Material begrünbar sein. Dies setzt voraus, dass die chemischen und physikalischen Eigenschaften eine dauerhafte Vegetation ermöglichen. Die grundsätzliche Begrünbarkeit ist Gegenstand der Gewächshausversuche, in denen Wurzelwachstum, Biomassezuwachs, Wasserspeicherfähigkeit, Nährstoffangebot und weitere für die Begrünung ausschlaggebende Charakteristika untersucht werden. Für eine großtechnische Umsetzung sind weiterhin die Saatmischung und Mineraldüngergaben von Bedeutung. Die Begrünung am Werk Sigmundshall hat gezeigt, dass eine dauerhafte Etablierung einer Vegetation nach nur anfänglich erfolgten Düngemaßnahmen mit den entsprechenden Nährstoffkreisläufen innerhalb kurzer Zeiträume (wenige Jahre) möglich ist.

Für die Genehmigungsfähigkeit einer Dünnschichtabdeckung muss die Schadlosgkeit des Systems im Rahmen der *Anforderungen an die Verwertung von bergbaufremden Abfällen im Bergbau über Tage* (kurz: *TR Bergbau*) bzw. über eine Einzelfallprüfung nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass von der Abdeckung keine Gefahren für Mensch und Umwelt ausgehen dürfen. Die Abdeckmaterialien müssen also so auf der Halde eingebaut werden, dass es nicht zu unzulässigen Auswirkungen kommt. Außerdem dürfen keine unzulässig hohen Gehalte an Schadstoffen enthalten sein, die in Form von Staub oder Sickerwasser ausgetragen werden können und sich so negativ auf Boden, Grundwasser, Oberflächengewässer, Pflanzen, Tiere, Menschen oder sonst. Schutzgüter auswirken können.

Zusätzlich ist das *technische Handling* eine weitere Anforderung an das Abdeckmaterial. Die Einzelmaterialien müssen transportabel sein und für gewisse Zeiträume gelagert werden können. Es müssen Umschlagvorgänge sowie portionierte Transportprozesse ebenso technisch möglich sein wie die Mischung der unterschiedlichen Komponenten und die Einstellung definierter Wassergehalte der fertigen Mischungen. Da der Transport auf die Halden und zu den Flanken per Bandanlagen erfolgen soll, müssen die Materialien bzw. Mischungen per Bandanlagen förderfähig sein und auch ein Abwurf von der Bandanlage auf die Flanken muss möglich sein.

Schließlich ist für eine großtechnische Umsetzung die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu prüfen.

Kein Einzelmaterial erfüllt alle notwendigen Eigenschaften. Daher ergibt sich die Notwendigkeit ein technogenes Substratgemisch zu entwickeln, das alle Anforderungen so gut wie möglich abdecken kann.

5. Aufbereitete Rückstände aus der Abfallverbrennung (MV-Schlacken) und Bindemittel

Die Untersuchungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Dünnsschichtabdeckung am Werk Werra haben gezeigt, dass aufbereitete Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen in Kombination mit einem geringen Anteil Bindemittel (Zugabemenge je nach Bindemittel bis zu etwa 20 %) die für eine Abdeckung notwendigen Voraussetzungen erfüllen. In einer Marktstudie konnte gezeigt werden, dass das Material voraussichtlich auch langfristig bis zum Ende des geplanten Abdeckzeitraums verfügbar ist.

Die durchgeführten Laborversuchen bestätigten, dass aufbereitete MV-Schlacke-Bindemittel-Gemische die notwendige Standsicherheit gewährleisten können. Sowohl in Gewächshausversuchen als auch in dem durchgeführten Lysimeterversuch an der Halde Wintershall konnte die Begrünbarkeit des Materials aufgezeigt werden. Die potentiell einsetzbaren Mischungen verfügen über die notwendige Wasserspeicherfähigkeit und ermöglichen eine stabile Vegetationsetablierung. Trotz der hohen pH-Werte kann ein Pflanzenwachstum gewährleistet werden. Die im Vergleich zu natürlichen Böden erhöhten Salzgehalte der Materialien führen zwar zu einem anfangs verringerten Wachstum, können aber durch niederschlagsbedingte Auswaschung rasch deutlich reduziert werden. Durch eine künstliche Bewässerung vor oder nach der Aussaat kann die Auswaschung der Salze beschleunigt und damit das Wachstum in der Startphase verstärkt werden.

Es ist zu erwarten, dass das *technische Handling* sowohl der aufbereiteten Schlacken und möglicher Bindemittel als auch der fertigen Abdeckmischungen mit herkömmlichem technischem Equipment ohne größere Probleme möglich ist. Das Verhalten der Materialien bei der Mischung im großtechnischen Maßstab und das Verhalten der fertigen Mischungen beim Transport auf die Halde und bei der Beschüttung der Flanke muss in Praxisversuchen untersucht werden. Hierzu befindet sich ein halbtechnischer Versuch aktuell im Genehmigungsprozess und ein sich anschließender Betriebsversuch in der Planung.

Die Wirtschaftlichkeit solcher Abdeckmaterialien hängt vor allem von den alternativen Verwendungsmöglichkeiten und den Transportkosten ab.

Die größte Herausforderung beim Einsatz der aufbereiteten MV-Schlacken stellt deren chemischen Zusammensetzung (Genehmigungsfähigkeit) dar. Dabei erfolgt die Bewertung der Zulässigkeit im Rahmen der TR Bergbau über Feststoffgehalte und S4-Eluate. Die Schwierigkeit bezüglich der S4-Eluate liegt jedoch darin, dass es sich hierbei um ein standardisiertes Labor-Verfahren handelt. Die so erzeugten Eluate sind mit Sickerwässern, die sich in der Realität ergeben (Freilandversuche, Regelaabdeckung), insbesondere aufgrund der unterschiedlichen Feststoff-/Wasserverhältnisse und der Einwirkzeit nicht vergleichbar. Das reale Auswaschungsverhalten (Konzentrationsverlauf mit der Zeit) kann nur durch Sickerwasseruntersuchungen widerspiegelt werden. Der gesamte wasserlösliche Anteil dagegen kann näherungsweise anhand von S4-Eluaten bestimmt werden.

Die chemische Zusammensetzung der aufbereitete MV-Schlacke ergibt sich aus der Herkunft des verbrannten Abfalls, und kann dementsprechenden Schwankungen unterliegen. Durch die Verbrennung des Abfalls kommt es zu einer Anreicherung von Eisen- und Nicht-Eisen-Metallen in den Verbrennungsrückständen aus dem Feuerraum. In der anschließenden Schlackenaufbereitung werden diese Metalle größtenteils entfernt, wobei jedoch aufgrund der Aufbereitungstechnik und aus Gründen der Wirtschaftlichkeit der Aufbereitung Grenzen gesetzt sind. Daher verbleiben auch nach der Aufbereitung weiterhin kleinste Metallteile sowie lösliche Metallverbindungen in den Schlacken. Dies führt bei der chemischen Analyse sowohl der aufbereitete Schlacken selbst als auch der Schlacke-Bindemittel-Gemische zu vergleichsweise hohen Feststoff- und Eluatwerten bei der Metallanalytik. Dabei überschreiten die Feststoffwerte die Zuordnungswerte der TR Bergbau deutlich stärker als die S4-Eluatwerte, was zu der Schlussfolgerung führt, dass der größte Teil der Metalle in wasserunlöslicher Form vorliegt und somit nicht in größerem Umfang in die Umwelt ausgebracht werden kann. Es ist zu erwarten dass die wasserlöslichen Anteile relativ schnell ausgewaschen werden, und dass es nach anfänglich vergleichsweise hohen Gehalten in den Sickerwässern somit zu einer raschen Verringerung der Konzentrationen auf ein sehr geringes Niveau kommt. Der am Standort Wintershall durchgeführte Lysimeterversuch bestätigt diese Annahmen. Die Sickerwasserkonzentrationen fielen nach anfänglich höherem Niveau schnell ab und verblieben anschließend auf einem konstant niedrigen Niveau. Für die geplante Haldeabdeckung können die noch verbleibenden Sickerwässer über entsprechende Sicherungsmaßnahmen im Bereich der Aufstandsfläche einer Haldeabdeckung gefasst, von Schwermetallen entfrachtet und entsprechend entsorgt werden. Problematisch sind die Sickerwasserkonzentrationen hinsichtlich der verbleibenden Einträge in den Untergrund durch Restinfiltration ($< 4\%$ der auf die Halde eingetragenen Niederschlagsmenge).

Die Überschreitungen der Zuordnungswerte der TR Bergbau stellen sowohl für den Feststoff als auch für das S4-Eluat ein genehmigungsrechtliches Hindernis dar. Die Schädlichkeit muss daher in einer umfangreichen Einzelfallprüfung nachgewiesen werden.

6. Genehmigungsrechtliche Herausforderungen

Maßgeblich für die DSA mit aufbereiteten Schlacken aus der Abfallverbrennung sind die Anforderungen der TR Bergbau. Diese definieren Zuordnungswerte für die eingeschränkte und uneingeschränkte Verwertung von Abfällen im Bergbau über Tage. Danach kann eine uneingeschränkte Verwertung dann erfolgen, wenn die W0-Werte eingehalten werden. Die Einhaltung der W1-Werte erlaubt eine eingeschränkte offene Verwertung, und bei Einhaltung der W2-Werte kann unter bestimmten Randbedingungen mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen eine eingeschränkte offene Verwertung erfolgen [3]. Dabei bezieht sich die Einhaltung der W-Werte immer auf das Eluat und bedingt auch auf den Feststoff. Sofern die W-Werte nicht eingehalten werden können bedeutet das jedoch nicht automatisch, dass eine Verwertung nicht zulässig ist. In diesen Fällen muss aber jeweils anhand einer aufwendigen Einzelfallprüfung nachgewiesen werden, dass dennoch eine schadhlose Verwertung sichergestellt ist. Für die Verwertung auf Kalirückstandshalden ist zu berücksichtigen, dass Parameter wie elektrische Leitfähigkeit, Chlorid oder Sulfat aufgrund der hohen Werte im Haldenmaterial nicht relevant sind.

Bei der Verwendung von aufbereiteten MV-Schlacken unter Zusatz eines Bindemittels für eine Haldenabdeckung handelt es sich um eine Verwertung von Abfällen. Die großen Kalirückstandshalden wurden in den Anfangszeiten ohne Basisdichtung aber mit Haldenrandgraben zum Auffangen der salzhaltigen Haldenwässer aufgeschüttet und betrieben. Mit der Zeit erfolgte eine technische Weiterentwicklung bei der Haldenbeschüttung, sodass in folgenden Beschüttungsbereichen eine Basisdichtung errichtet wurde, die die Versickerung in den Untergrund stark reduziert. In künftigen Schüttbereichen wird eine verbesserte und deutlich dichtere Basisdichtung zum Einsatz kommen, die zusätzlich mit einer Drainageschicht versehen ist und im Zusammenwirken mit der Haldenabdeckung einen Wirkungsgrad von etwa 99 %, bezogen auf den auf die Halde eingetragenen Niederschlag, aufweist. Auf diese Weise erfolgt eine weitere Minimierung bis annähernd zur totalen Vermeidung der Versickerung in den Untergrund. Es liegen also für Althaldenbereiche nur eingeschränkte technische Sicherungsmaßnahmen vor (Haldenrandgraben), die nach der TR Bergbau eine Verwendung höchstens von W1-Material zulassen. Für aktuell (zusätzlich Basisdichtung) und künftig (weiterentwickelte Basisdichtung und zusätzlich Drainageschicht) beschüttete Haldenbereiche sind die Maßnahmen deutlich umfangreicher, sodass hier auch der Einsatz von W2-Materialien denkbar ist.

Für die Haldenabdeckung sind aufbereitete MV-Schlacken unter Zugabe eines Bindemittels geplant. Die Qualität der aktuell in der erforderlichen Menge zur Verfügung stehenden aufbereiteten MV-Schlacken hält für einzelne Parameter die Werte der TR Bergbau im Eluat nicht ein. Somit ist die Zulässigkeit dieser Materialien in einer Einzelfallentscheidung zu prüfen. Hierbei stellt sich das Problem, dass kein festgelegter Bewertungsmaßstab existiert und Unsicherheit besteht, welche Grundlagen für die Bewertung der Zulässigkeit heranzuziehen sind. Es ist unstrittig, dass alle möglichen Einwirkbereiche betrachtet werden müssen wie Boden, Grundwasser, Oberflächenwasser, Luft usw.

Diese Unsicherheit führt dazu, dass es bereits für den im Zuge der Entwicklung der Dünnschichtabdeckung für die Halden des Werkes Werra aktuell geplanten halbertechnischen Versuch zu Schwierigkeiten im Genehmigungsverfahren kommt. Diese Schwierigkeiten resultieren aus dem Versuch, alle möglichen Rechtsquellen als Bewertungsmaßstäbe anzulegen. Im Zuge dessen entstehen erhebliche Aufwände für Untersuchungen, Gutachten, Monitoring usw. Da die Rückstandshalden dem Bergrecht unterliegen, wäre eine Einhaltung der in der TR Bergbau geforderten Zuordnungswerte von entscheidendem Vorteil. Am Beispiel der Deponieverordnung (DepV) wird die Problematik verdeutlicht:

Zunächst erscheint die Anwendung des Maßstabs der Deponieverordnung schlüssig, da auch hier das Ziel in einer Renaturierung bzw. einer dauerhaften schadlosen Einlagerung von Abfällen besteht. Jedoch unterscheiden sich Kalirückstandshalden nicht nur in ihrer Dimension (Masse, Höhe, Größe, Form, Böschungswinkel usw.) sondern auch sowohl in ihrer Zusammensetzung als auch in ihrem Haldenkörperverhalten deutlich von Deponien (Tabelle 1), sodass die technischen Anforderungen bei der Abdeckung der Kalirückstandshalden nicht aus dem Deponiebau übertragbar sind.

Wie in der Tabelle dargestellt ergeben sich an die chemische Zusammensetzung des Abdeckmaterials besondere Anforderungen. Die aktuellen Marktrecherchen unter Berücksichtigung der Notwendigkeit der langfristigen Verfügbarkeit und die Ergebnisse der

Standortsicherheitsuntersuchungen führen zu dem Ergebnis, dass die Materialauswahl für eine Dünnschichtabdeckung stark eingeschränkt ist und dass wahrscheinlich vor allem aufbereitete MV-Schlacken für ein solches Verfahren geeignet sind. Eine Abdeckung mit diesen Materialien stellt eine sinnvolle Verwertung dar und ist einer Beseitigung vorzuziehen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass durch eine solche Verwertung dringend benötigte Deponiekapazitäten geschont werden, da aktuelle Einschätzungen zeigen, dass auch in Zukunft weitere Deponieflächen benötigt werden [1]. Jedoch muss dabei sichergestellt werden, dass die hohen Metallanteile nicht zu einer schädlichen Beeinflussung der Umwelt führen.

Tabelle 1: Gegenüberstellung Deponiekörper- und Haldenkörperverhalten

	Deponie	Kalihalde
Höhe	max. 40 m	bis > 200 m
Dichte	+/- 1 t/m ³	+/- 2 t/m ³
Böschungswinkel	idealerweise 18°	bis 40° (natürlicher Böschungswinkel)
Gasentwicklung	ja	nein
Ablaugung	nein	ja
Kristallisationsprozesse	gering	stark
Wärmeentwicklung	ja	nein
Fließverhalten	–	viskoplastisch
Eigenverdichtung	gering	hoch, aufgrund der hohen Auflast; Ausbildung eines festen, dichten Kerns durch Verdichtung und Kristallisation
Durchlässigkeit	in Abhängigkeit des Materials sehr hoch	von außen nach innen

Ein weiterer Vorteil liegt in der Konzentration großer Mengen von aufbereiteten Schlacken an wenigen, definierten Standorten mit einem langfristigen und umfangreichen Monitoring und vorhandenen Sicherungsmaßnahmen.

Aktuell ist der Nachweis einer schadlosen Verwertung von aufbereiteten Schlacken, in der aktuell vorliegenden Qualität, zur Abdeckung der Kalirückstandshalden sehr aufwendig und zeitintensiv. Es würde die Genehmigungsverfahren extrem erleichtern, wenn die Materialien mindestens die W2-Werte einhalten würden. Dies betrifft in erster Linie das Eluat. Daher besteht ein großes Interesse, eine diesbezüglich verbesserte Materialqualität zu erhalten.

7. Fazit

Der Entstehung von niederschlagsbedingten salzhaltigen Abwässern aus der Aufhaltung von Rückständen aus der Kaliindustrie kann durch Abdeckung dieser Halden entgegengewirkt werden. Hierzu wird derzeit unter Anderem das Verfahren der Dünnschichtabdeckung für die Kalihalden des Werra-Reviers weiterentwickelt. Die grundsätzliche Machbarkeit konnte bereits am Standort Sigmundshall nachgewiesen werden, dennoch ergeben sich aufgrund der eingeschränkten Materialverfügbarkeiten verschiedene Herausforderungen für diese Abdeckung.

Die aktuellen Untersuchungen zeigen, dass eine Abdeckung mit einer Mischung aus aufbereiteten Schlacken aus der Abfallverbrennung und einem Bindemittel alle technischen Voraussetzungen für eine Umsetzung erfüllen kann. Jedoch weisen diese Materialien

vergleichsweise hohe Metallgehalte auf, die gegebenenfalls durch verbesserte Aufbereitungsmethoden sowohl im Eluat als auch im Feststoff abgesenkt werden könnten.

Eine Verwertung mineralischer Abfälle für eine solche Abdeckung würde nicht nur zu einer Verringerung der Entstehung salzhaltiger Abwässer und einer damit verbundenen ökologischen Verbesserung an den Haldenstandorten führen, sondern zusätzlich auch wertvolle Deponiekapazitäten schonen. Es gibt aber keinen gesetzlich verankerten Maßstab, an dem ein schadloser Einsatz dieser Materialien zur Abdeckung gemessen werden kann.

8. Quellen

- [1] Haeming, H.: Gibt es Deponiebedarf für mineralische Abfälle? In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Thiel, S.; Thomé-Kozmiensky, E.; Friedrich, B.; Pretz, T.; Quicker, P.; Senk, D. G.; Wotruba, H. (Hrsg.): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 4 – Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2017, S. 421-434
- [2] Jahn, G.: Rekultivierung der Halde Niedersachsen in Wathlingen – Baustein zur Umsetzung der Haldenstrategie, 2014
- [3] Länderausschuss Bergbau: Anforderungen an die Verwertung von bergbaufremden Abfällen im Bergbau über Tage (TR Bergbau)
- [4] Niessing, S.: Rekultivierung von Rückstandshalden der Kaliindustrie Nr. 6 – Begrüßungsmaßnahmen auf der Rückstandshalde des Kaliwerkes – Sigmundshall in Bokeloh. Ökologie und Umweltsicherung 25/2005. Universität Kassel, Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz
- [5] Papke, G.; Schmeisky, H.: Rekultivierung von Rückstandshalden der Kaliindustrie – 8 - Ergebnisse aus langjährigen wissenschaftlichen Begleituntersuchungen der Begrüßungsflächen auf der Kalirückstandshalde Sigmundshall in Bokeloh. Ökologie und Umweltsicherung 35/2013. Universität Kassel, Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz
- [6] Rauche, H.: Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert – Stand der Technik bei der Rohstoffaufbereitung sowie bei der Entsorgung der dabei anfallenden Rückstände. Springer Vieweg, 2015
- [7] Schmeisky, A.; Papke, G.: Entwicklung der Dünnschichtabdeckung und Erkenntnisse aus den Begrüßungsmaßnahmen an der Kalirückstandshalde des Werkes Sigmundshall, Kali & Steinsalz 03/2016, S. 16-27
- [8] Schmeisky, A.; Pühra, M.: Haldenwasserreduzierung am Werk Werra: Innovative Entwicklung einer Dünnschichtabdeckung, Kali & Steinsalz 03/2017, S. 16-25
- [9] Wehmeier, V.; Spachtholz, F.: Energieeffiziente Verwertung von Salzschlacken aus der Sekundäraluminium-Produktion und Rekultivierung der Abraumhalde des Kaliwerkes Sigmundshall. Kali und Steinsalz 1, 2016, S. 14-23

Ansprechpartnerin



Dr. Silvia Niessing

K+S Aktiengesellschaft

Leiterin Environment Engineering & Operations

Bertha-von-Suttner-Straße 7

34131 Kassel (D)

Telefon: 0049-(0)561-93012148

E-Mail: silvia.niessing@k-plus-s.com

Weitere Institutionen

K+S KALI GmbH,

Environment Potash

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky,
Bernd Friedrich, Thomas Pretz, Peter Quicker, Dieter Georg Senk, Hermann Wotruba (Hrsg.):

Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 5
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –

ISBN 978-3-944310-41-1 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2018

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm,
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Claudia Naumann-Deppe, Janin Burbott-Seidel, Sandra Peters,
Ginette Teske, Roland Richter, Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Universal Medien GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.