

Nassaufbereitung von Abfallverbrennungsaschen – Betriebsergebnisse einer großtechnischen Anlage in Österreich –

Gerhard Stockinger

Rückstände aus MVA

1.	Ausgangslage.....	208
2.	Potentiale.....	209
2.1.	Alterung.....	209
2.2.	Metalle < 6 mm	209
2.3.	Recyclinggrad	209
2.4.	Edelstahlstahlabscheidung	210
2.5.	Aufbereitete Schlacke in Österreich nicht verwertbar	210
2.6.	Preisfindung für Metallkonzentrate	210
2.7.	Erhöhung der Verfügbarkeit.....	211
3.	Ziele des Verfahrens.....	211
4.	Verfahren.....	212
4.1.	Inputlager	213
4.2.	Vorsiebung	213
4.3.	Selektiver Aufschluss (Option).....	214
4.4.	Selektive Eisenabscheidung	214
4.5.	Setzmaschine	214
4.6.	Feinmetallabscheidung (in Entwicklung).....	215
4.7.	NE-Abscheider, Nichteisenmetall-Abscheidung aus der Leichtfraktion.....	216
4.8.	Ausbaustufen, Winterbetrieb.....	216
5.	Betriebserfahrungen	216
5.1.	Betrieb mit bereits konventionell aufbereiteter MVA-Schlacke.....	217
5.2.	Betrieb mit frischer MVA-Schlacke.....	217
5.2.1.	Restmetallgehalt in der Schlacke.....	218
5.2.2.	Metallqualitäten.....	219
5.2.3.	Korngröße Aufbereitung.....	220
5.2.4.	Potenziale der aufbereiteten Schlacke	220
6.	Weitere Forschungen	221
7.	Zusammenfassung	221

Bei der thermischen Verwertung oder Entsorgung von Abfällen in Abfallverbrennungsanlagen fallen große Mengen an Aschen und Schlacken (MVA-Schlacken) an.

Diese Aschen und Schlacken werden häufig mit den noch enthaltenen Roh- und Wertstoffen deponiert und dem weiteren Stoffkreislauf entzogen.

Der Hunger der Menschheit nach Rohstoffen wächst im Gegensatz dazu kontinuierlich und die leicht gewinnbaren Lagerstätten unserer Erde verringern sich in bedrohlichem Tempo. Aus diesem Grund sollten alle verwertbaren Rohstoffe aus der MVA-Schlacke wieder dem Stoffkreislauf zugeführt werden.

Die Rückgewinnung von Rohstoffen aus MVA-Schlacken gestaltet sich wegen der inhomogenen Zusammensetzung und der oft für die Aufbereitung ungünstigen Konsistenz schwierig. Die Rückgewinnung von Feinmetallen und von Edelmetallen ist bei konventionellen Verfahren nur unter sehr hohem Aufwand möglich. Dieser hohe Einsatz an Ressourcen ist meist nicht wirtschaftlich abbildbar.

Um dem entgegenzuwirken wurde das *Brantner Wet Slag Treatment*-Verfahren entwickelt und großtechnisch umgesetzt.

1. Ausgangslage

Als klassischer Abfallentsorger aus Österreich, mit Niederlassungen in Mittel-, Osteuropa und der Türkei beschäftigt sich die Brantner Walter Ges.m.b.H. mit der Abfalllogistik, Abfallaufbereitung, Deponierung und anderen relevanten Themen. Unter anderem werden Reststoffdeponien zur Ablagerung von Aschen und Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen betrieben.

Deponiert und aufbereitet werden überwiegend nass ausgetragene Rostaschen und im geringen Umfang auch trockene Bettasche aus Wirbelschichtanlagen.

Seit 2005 beschäftigt sich das Unternehmen mit der Aufbereitung von MVA-Schlacken. Anfangs mit einem einfachen System bestehend aus Sieb, Magnetabscheidern und einem NE-Abscheider. Diese einfache Anlage funktioniert für kleine Schlackemengen immer noch überraschend gut.

Größere Mengen MVA-Schlacken wurden in der Vergangenheit auf der Deponie zwischengelagert und in Kampagnen mit einem externen, mobilen Dienstleister aufbereitet. Das Verfahren dieses Dienstleisters wurde laufend weiterentwickelt und lieferte gute, verwertbare Metallkonzentrate.

Diese Art der Schlackenaufbereitung hatte den Vorteil eines *Sorglos-Pakets* ohne Bindung von Anlagenvermögen und Auslastungsproblemen mit geringem eigenen Risiko.

Die verwendeten konventionellen Aufbereitungstechniken hatten jedoch auch einige strukturelle Probleme, die durch Optimierung der Systeme verkleinert, jedoch nicht beseitigt werden konnten.

2. Potentiale

Nach eingehender Beschäftigung mit der Aufbereitung der MVA-Schlacke und einer internen Analyse der vorhandenen und verwendeten Aufbereitungssysteme wurden einige Potenziale für die Aufbereitung von MVA-Schlacken erkannt, die mit konventionellen Systemen vorerst nicht lösbar waren. Im folgenden werden einige strukturelle Probleme mit deren Ursachen und Wirkungen aufgelistet.

2.1. Alterung

- Frische MVA-Schlacke muss wegen der klebrigen Konsistenz für eine effiziente Aufbereitung getrocknet oder gealtert werden. Dazu benötigt man teuren Lagerplatz zur Alterung der MVA-Schlacke für eine Dauer von wenigen Wochen bis mehrere Monate.
- Metalle können während der Lagerzeit oxidieren und sind nicht mehr als stückige Metalle sortierbar. Dieser Prozess setzt unmittelbar nach der Verbrennung ein. Betroffen sind vor allem kleine Aluminiumteile.
- Ebenso werden z.B. kleine Kupfer oder Messingteile mit einer mineralischen Schicht überzogen und wachsen zusammen. Die kleinen Metallteile sind dadurch oft in der Mineralmatrix eingebackten und können nur mit großem Aufwand aufgeschlossen werden.
- Eine Abtrennung aus der MVA-Schlacke wird dadurch erschwert.

2.2. Metalle < 6 mm

- MVA-Schlacke kann einen sehr hohen Anteil an der Korngröße < 6 mm aufweisen. Im Kornbereich < 6 mm ist der Anteil an hochpreisigen Metallen höher als im Kornbereich > 6 mm.
- Kleine Metallteile können mit NE-Abscheidern nicht oder nur unter sehr hohem Aufwand abgeschieden werden. Der Verlust an wertvollen Metallen ist relativ hoch.
- Aluminiumteile < 6 mm neigen, wie oben erwähnt, zur Oxidation und verringern dadurch den Anteil an metallischem Aluminium
- Kleine Metallteile können mit sensorgestützter Sortiertechnik nur tendenziell erfasst und ausgeschlossen werden. Die Auflösung der Detektoren und der Düsenabstand der Druckluftleisten entsprechen häufig nicht den kleinen Korngrößen der Metalle.

2.3. Recyclinggrad

- Bei der konventionellen trockenen Aufbereitung von MVA-Schlacken werden Metalle meist nach zwei Merkmalen abgeschieden:
 - * Magnetscheidung → Magnetismus
 - * NE-Abscheidung → Verhältnis elektrische Leitfähigkeit/Dichte

- Sind diese Merkmale nicht eindeutig ausgeprägt oder behindert eine ungünstige Kornform die Abscheidung nach den beiden Merkmalen, kann das Metall unter Umständen nicht rückgewonnen werden.
- Manche Metallstücke aus der MVA-Schlacke reagieren nicht oder nur unzureichend auf Fe- oder NE-Abscheider.
- Metallteile aus der MVA-Schlacke können sehr unterschiedlich von der Kornform und der Schwerpunktverteilung sein. Besonders massige, kugelige Metallteile (große Kugellagerkugeln, kleine Buntmetallkugeln) sind mit der Magnet- und NE-Abscheidung schwierig zu separieren.

2.4. Edelstahlstahlabscheidung

- Edelstähle können mit Magnet- und NE-Abscheidung nur tendenziell aus der MVA-Schlacke rückgewonnen werden. Beim Einsatz von Starkfeldabscheidern wird neben manchen Edelstählen auch sehr viel leicht magnetisierbare Schlacke abgetrennt.
- Der Einsatz von sensorgestützter Sortiertechnik ist relativ teuer (hohe Invest- und Betriebskosten, geringe Durchsatzleistung) und wurde nicht weiter verfolgt.

2.5. Aufbereitete Schlacke in Österreich nicht verwertbar

- MVA-Schlacke wird in Österreich überwiegend als Abfall in Reststoffdeponien deponiert. Nach Erreichen der Kriterien des Bundesabfallwirtschaftsplan 2011 ist der Einsatz als gebundene oder ungebundene Tragschicht jedoch zulässig. Mit der hier verwendeten trockenen Aufbereitung konnten diese Kriterien nicht erreicht werden.
 - * Restmetallgehalt magnetisierbar → erreicht
 - * Restmetallgehalt > 20 mm nicht magnetisierbar → nicht erreicht
 - * Chemische Analyse Absolutgehalt → nicht erreicht
 - * Chemische Analyse Eluat → nicht erreicht
- Der Einsatz als Betonzuschlagstoff ist wegen den Treiberscheinungen nicht oder nur mit teurem Spezialzement möglich.

2.6. Preisfindung für Metallkonzentrate

- Mit den konventionellen trockenen Verfahren konnten keine hüttenfähigen Metallkonzentrate hergestellt werden. Der Gehalt der einzelnen Metallgruppen konnte nicht für größere Chargen kontrolliert werden.

- Dadurch kam es vor allem bei sinkenden Börsenpreisen und zum Ende von Kampagnen immer wieder zu unterschiedlichen Bewertungen der Metallerlöse beim Verkauf der Metallkonzentrate zwischen Verkäufer und Metalleinkäufer.
- Die Rückverfolgbarkeit der Gehaltsangaben der Metallkonzentrate ist in der Regel nicht möglich.

2.7. Erhöhung der Verfügbarkeit

- Durch die ungünstige Konsistenz der Schlacke und die hohe Abrasivität der MVA-Schlacke ist ein hoher Reinigungs- und Wartungsaufwand nötig. In dieser Zeit kann keine Produktion stattfinden.

Anhand dieser erkannten Optimierungspotenziale wurden Ziele definiert und sich auf die Suche nach alternativen Aufbereitungstechniken begeben.

3. Ziele des Verfahrens

Ziele des Verfahrens sind:

- Möglichst hoher Entmetallisierungsgrad,
- Rückgewinnung Metalle < 6 mm,
- Wirtschaftliche Sortierung Edelstahl,
- Hüttenfähige Metallkonzentrate,
- Einsatz von frischer Schlacke ohne Alterung,
- Anwendbar für Rost- und Bettasche,
- Produktion entmetallisierter (tauber) Schlackenfraktionen für alternative Anwendungen,
- Einfaches, wirtschaftliches Verfahren,
- Kapazität etwa 40 t/h, etwa 50.000 t/a, 200 d/a, 7 h/d Produktion, 1 h/d Wartung und Instandhaltung,
- Möglichst wenig Betriebspersonal,
- Hohe Verfügbarkeit.

Im Zuge einer Abschlussarbeit auf der Montanuniversität Leoben wurde eine Charakterisierung der vorhandenen MVA-Schlacke durchgeführt und aus den Erkenntnissen von dieser Abschlussarbeit und den bisherigen Betriebserfahrungen ein neues Anlagenkonzept entwickelt.

Das Merkmal Dichte wurde als zusätzliches Trennprinzip in die Überlegungen übernommen.

Anlagenteile, deren Auslegungs- und Betriebsparameter nicht bekannt waren, wurden in Technikumsversuchen erprobt und die Ergebnisse sind in die Planung eingeflossen.

Die Anlage wurde in mehreren Ausbaustufen realisiert.

Aus den Zielvorgaben und den ermittelten Hauptproblemen wurde eine trockene Aufbereitung als alleiniger Aufbereitungsschritt ausgeschlossen. Daraus ergab sich die Entscheidung zu einer Kombination aus trockener Vor- und Nachbereitung und einem nassen Hauptprozess mit Wasser.

Zusätzlich war ein Hauptkriterium die Anlage mit möglichst wenigen Aggregaten auszustatten, um die Störungsanfälligkeit zu verringern und die Verfügbarkeit entsprechend hoch zu halten.

Verstärkt wurde nach bewährten Techniken aus der Grundstoff- oder Lebensmittelindustrie gesucht, die für diese Aufgabenstellung geeignet sein könnten.

Aus den Erkenntnissen der Charakterisierung und der oben erwähnten Überlegungen fiel die Entscheidung auf eine Nassaufbereitung mit Setztechnik als Kernaggregat.

Alle anderen Verfahrensschritte sind an diesen Kernprozess angepasst.

4. Verfahren

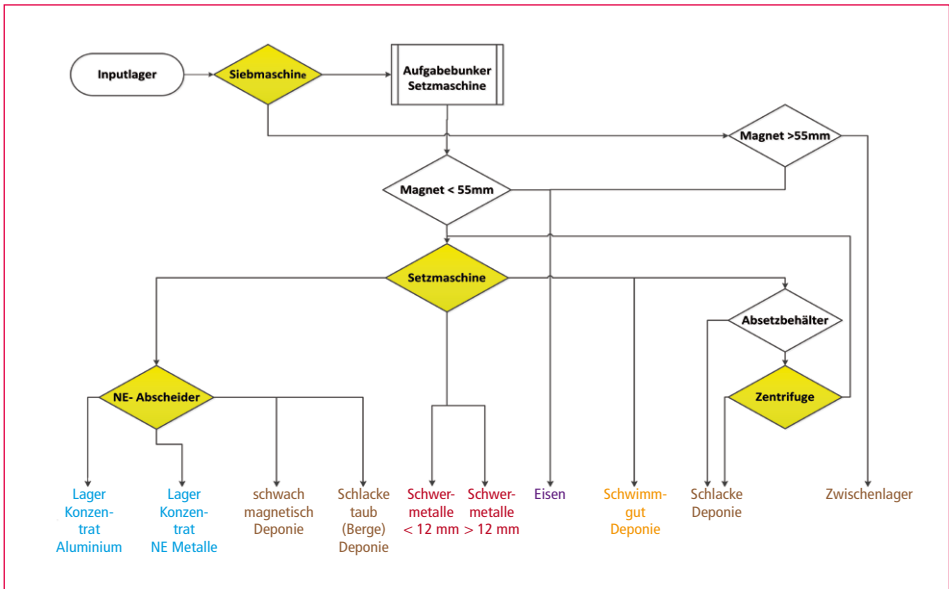
Die Anlage wurde im Herbst 2013 errichtet und besteht in der derzeitigen Ausbaustufe aus vier Kernaggregaten und ist durch die Linienbauweise relativ gut zu warten und einsehbar. Erweiterungen für regional spezifische Aufgabenstellungen sind einfach nachzurüsten. Für enge Platzverhältnisse ist eine Turmbauweise möglich.

- Vorsiebung,
 - * (Option selektiver Aufschluss),
- Setzmaschine,
- NE-Abscheider,
- Schlammwässerung,
 - * (Option alternative Produkte).

Mit diesen vier Kernaggregaten kann der Aufbereitungsprozess zur Erzeugung von unterschiedlichen Metallkonzentraten durchgeführt werden. Ebenso können mit der gleichen Konfiguration und angepassten Betriebsparametern die Metallkonzentrate zu hüttenfähigen Metallkonzentrate angereichert werden.

Der Wet Slag Treatment Prozess wird durch zwei Personen betrieben. Beide Mitarbeiter können die Anlage und den Radlader im Wechsel bedienen.

Für die Beschickung wird ein Radlader verwendet, der zweite Mitarbeiter betreut in der Zwischenzeit die Anlage und bricht bei Bedarf alte Schlacke mit einem Bagger aus einem alten Zwischenlager.



Rückstände aus MVA

Bild 1: Kernaggregate der Aufbereitung *Brantner Wet Slag Treatment*

Einfache Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten werden von diesen Mitarbeitern durchgeführt.

Für zusätzliche Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten werden nach Bedarf Mitarbeiter aus anderen Anlagen eingesetzt.

4.1. Inputlager

Das Inputlager befindet sich unmittelbar neben dem Aufgabebunker. Die frische Schlacke wird laufend verarbeitet. Mindermengen werden durch Schlacke aus einem Zwischenlager ergänzt.

Bei manchen sehr frischen Schlackenlieferungen kann es zu einer erhöhten Schaumbildung im Prozesswasserkreislauf führen. Durch Zwischenlagerung der MVA-Schlacke von einigen Tagen oder Dosierung von einem geeigneten Entschäumer kann dieses Problem beseitigt werden.

4.2. Vorsiebung

Bei der Auslegung der Anlage wurde das Aufgabekorn für den Setzprozess auf 55 mm limitiert.

Das Unterkorn < 55 mm wird in der Schlackenaufbereitung direkt verarbeitet, das Überkorn wird nach Fe-Entfrachtung von einem externen Dienstleister bearbeitet.

Das Überkorn > 55 mm wurde mit < 5 Prozent vom Input ermittelt und wird aus Effizienzgründen nicht stationär verarbeitet. Das Überkorn hätte wegen der hohen Zerstörungskraft von vereinzelt Störstoffen eine sehr große Überdimensionierung aller Anlagenteile erfordert. Die Aufbereitung dieser Fraktion wird durch externe Dienstleister durchgeführt. Der Aufgabebunker und das Vorsieb wurden entsprechend der Störstoffe robust und verblockungssicher ausgeführt.

Zusätzlich hat das Vorsieb einen speziellen Siebelag der störende Langteile wie Rohre, Stangen, Drähte abscheidet.

Je nach Gehalt von unverbrannten Kunststoffen oder Textilien in der MVA-Schlacke muss das Sieb gelegentlich händisch gereinigt werden.

Die Reinigung dauert durch die offene Bauweise des Siebes nur wenige Minuten. Die Schlackenaufbereitung muss in dieser Zeit nicht unterbrochen werden.

4.3. Selektiver Aufschluss (Option)

Durch die Verarbeitung von relativ frischer Schlacke ist der Karbonatisierungsprozess in der MVA-Schlacke noch nicht abgeschlossen und es wurde im ersten Schritt auf einen Aufschluss der Schlacke mit einem Zerkleinerungsaggregat verzichtet. Die Friktionswäsche in der Setzmaschine reicht aus, um die Metalle sehr gut von den Anhaftungen freizuwaschen. Abhängig vom Anteil der verglasten Schlacke ist ein Aufschluss der Schlacke zur Erhöhung der Metallrecyclingrate zu empfehlen. Durch einen selektiven Aufschluss der verglasten Schlacke konnte in Versuchen der Metallaustrag erhöht und der Restmetallgehalt in der aufbereiteten tauben Schlacke verringert werden. Eine Nachrüstung wird derzeit überlegt.

Auch ohne selektiven Aufschluss ist die Recyclingrate der Metalle bei etwa 80 Prozent, mit selektivem Aufschluss würde sich die Recyclingrate auf etwa 90 Prozent erhöhen.

4.4. Selektive Eisenabscheidung

Für die Fe-Abscheidung im Unterkorn wird ein Überbandmagnet verwendet. Das abgeschiedene Eisen aus frischer Schlacke ist relativ sauber und hat geringe Anhaftungen.

4.5. Setzmaschine

Die Setzmaschine ist das Kernaggregat der Schlackenaufbereitung und produziert vier Fraktionen:

- Schwimmfraktion,
- Schwerfraktion,
- Leichtfraktion,
- Schlamm.

Schwimmfraktion

Die Schwimmfraktion besteht aus unverbrannten Materialien und leichten mineralischen Bestandteilen wie z.B.:

- Kunststoff, Papier, Textilien,
- Leichte Mineralien (Gasbeton, Blähton,...),
- sonstiges.

Die Schwimmfraktion wird entwässert und entsorgt.

Schwerfraktion Dichte etwa $> 4 \text{ kg/dm}^3$

Die Schwerfraktion ist ein Gemisch aus schweren Metallen mit einer Dichte etwa $> 4 \text{ kg/dm}^3$.

Dieses Metallkonzentrat besteht zu einem großen Teil aus Kupfer und Kupferlegierungen. Die restlichen Metalle sind ein Gemisch aus sonstigen schweren Metallen inkl. Edelmetalle und deren Legierungen.

Das Metallkonzentrat wird entwässert und zwischengelagert. Der Metallgehalt beträgt etwa 50 Prozent, in einem weiteren Durchgang kann der Metallgehalt auf > 92 Prozent erhöht werden. Diese Metallkonzentrate sind hüttenfähig und entsprechen den Vorgaben der Verbringung von Abfällen der *Grünen Abfallliste*.

Leichtfraktion Dichte etwa $< 4 \text{ kg/dm}^3$

Die Leichtfraktion ist ein Gemisch von mineralischen Schlackenkomponenten, Aluminium und Aluminiumlegierungen.

Abhängig vom Abfallsammelsystem kann der Glas- und Aluminiumanteil stark schwanken.

Die Leichtfraktion wird entwässert und einem NE-Abscheider zugeführt.

Schlamm

In der Setzmaschine und den Entwässerungssieben wird der Schlamm etwa $< 100 \mu\text{m}$ abgeschieden und mit dem Prozesswasser in Absetzbecken geleitet. Aus den Absetzbecken wird Schlamm abgesaugt und entwässert. Der Schlammkuchen hat eine Trockensubstanz von etwa 50 Prozent und ist mit dem Radlader transportierbar. Der Schlamm wird gemeinsam mit der tauben Schlacke deponiert.

Durch den Freikalkanteil härtet der Schlamm gut aus und kann sehr gut CO_2 absorbieren.

4.6. Feinmetallabscheidung (in Entwicklung)

Derzeit erfolgt im Kornbereich $< 100 \mu\text{m}$ keine Metallabscheidung und Kornbereich $100 \mu\text{m}$ bis $1,5 \text{ mm}$ nur eine eingeschränkte Abtrennung der schweren Metalle.

Da die Metalle bereits im Prozesswasserstrom gefördert werden, wurde an einer einfachen Möglichkeit gearbeitet die verbleibenden Metalle aus der Feinschlacke zu entfernen. Die Ergebnisse sind sehr vielversprechend und verringern den Restmetallgehalt in der Feinfraktion erheblich.

4.7. NE-Abscheider, Nichteisenmetall-Abscheidung aus der Leichtfraktion

Die Leichtfraktion aus der Setzmaschine wird entwässert und enthält überwiegend eine mineralische Fraktion und Aluminium. Hohlkörper aus schweren Metallen wie z.B. verschlossene Kupferrohre, Messinghülsen, Edelstahlbehälter und vereinzelt Blechstücke befinden sich tendenziell in der Leichtfraktion.

Diese Leichtfraktion wird auf einen NE-Abscheider mit vorgeschalteter Magnettrommel aufgegeben.

Der NE-Abscheider produziert ein Aluminiumkonzentrat mit oben erwähnten schweren Metallen.

Dieses Aluminiumkonzentrat kann in einem weiteren Durchlauf zu hüttenfähigem Aluminiumkonzentrat aufgereinigt werden.

4.8. Ausbaustufen, Winterbetrieb

Die Anlage wurde im Baukastensystem in mehreren Ausbaustufen realisiert. Durch die Ausbaustufen konnten die später gebauten Anlagenteile an den Erfordernissen angepasst werden. Alle Teile sind semimobil ausgeführt und mit konventionellen LKW's mit Überbreite transportierbar.

Die Anlage ist für die Aufstellung im Freien und in der Halle geeignet. Bei einer Aufstellung im Freien muss bei einer konstant Temperatur kleiner $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ der Betrieb eingestellt werden. Alle wasserführenden Teile, außer den Absetzbecken, sind selbstentleerend ausgeführt. Die realisierte Anlage wurde in einem Bereich der bestehenden Reststoffdeponie setzungstolerant errichtet.

Derzeit wird die Anlage über einen Stromgenerator betrieben. Aus diesem Grund können bei tieferen Temperaturen die Begleitheizungen in der betriebsfreien Zeit nicht aktiviert werden. Im Sommer wird eine eigene Trafostation errichtet. Dadurch soll die Winterfestigkeit erhöht werden.

5. Betriebserfahrungen

Wie bei solchen Projekten üblich funktioniert bei der Inbetriebnahme von neuen Verfahren alles ein bisschen und nichts perfekt.

Durch die unterschiedlichen Ausbaustufen konnten im laufenden Betrieb die Probleme kontinuierlich beseitigt werden. Die Produktion war durchgehend möglich und läuft inzwischen stabil nach Plan.



Bild 2:

Gesamtansicht Schlackenaufbereitung

5.1. Betrieb mit bereits konventionell aufbereiteter MVA-Schlacke

Gestartet wurde die Anlage mit bereits aufbereiteter MVA-Schlacke in den Siebschnitten 6 bis 12 mm und 12 bis 55 mm. Vorausschauend wurden in den letzten Kampagnen die einzelnen Siebschnitte in getrennten Bereichen der Deponie abgelagert und konnten dann wieder getrennt aus der Deponie ausgebaut und aufbereitet werden.

Die verbliebenen Metalle konnten sehr gut abgetrennt werden. Überraschenderweise war das Aluminium während der mehrjährigen Lagerung in der Deponie nicht oxidiert. Der Aluminiumanteil war ausreichend hoch um die Anlage um einen NE-Abscheider mit geringer Amortisationszeit zu erweitern.

Die Siebschnitte verhielten sich im Setzprozess unterschiedlich. Wider Erwarten gab es bei der Fraktion 12 bis 55 mm größere Probleme mit Steckkorn und dem hydraulischen Prozess in der Setzmaschine als mit feineren Körnungen. Langteile wie Rohre oder Stangen wirkten sich ebenfalls negativ aus.

Das entmetallisierte Korn 12 bis 55 mm konnte als Ersatz von Drainageschotter erfolgreich als Deponiebaumaterial eingesetzt werden.

Die wirtschaftliche Aufbereitung von bereits, mit konventioneller Aufbereitungstechnik behandelter Schlacke, konnte mit dem Wet Slag Treatment Prozess nachgewiesen werden.

5.2. Betrieb mit frischer MVA-Schlacke

Für den Betrieb mit frischer MVA-Schlacke müssen das Überkorn und Störstoffe wie Rohre und Stangen vor dem Aufbereitungsprozess entfernen werden.

Zusätzlich muss der hohe Anteil an Feinkorn berücksichtigt werden.

Um diese Herausforderungen bewältigen zu können, wurde die Anlage mit einem robusten Vorsieb und einer Schlammzentrifuge nachgerüstet.

Die frische Schlacke ist durch die nicht nötige Alterung geringer homogenisiert als auf Halde gealterte Schlacke und verändert dadurch gelegentlich das Betriebsverhalten der

Anlage. Das Bedienpersonal muss in diesen Fällen flexibel eingreifen.

Negative Effekte sind z.B. starke Schaumbildung und wechselndes Absetzverhalten. Diese Probleme wurden durch anlassbezogene Beigabe von geringen Mengen an Flockungsmittel gelöst.

Die Metallqualität aus der frischen Schlacke ist besser als von gealterter Schlacke. Es sind deutlich geringere Anbackungen an den Metallen zu beobachten. Vor allem geschmolzene Aluminiumteile (Tropfen oder Spritzaluminium) habe keine oder geringe Anbackungen in den Beugen und Kanten. Kupfer und Messing hat nach der Aufbereitung einen schönen metallischen Glanz. Leider oxidieren die Metalle durch das wässrige, salzhaltige Milieu relativ rasch und bekommen einen einheitlichen grauen Überzug. Der graue Überzug beeinträchtigt nicht den Einsatz in den Schmelzhütten.

Durch den Überzug ist das Schwermetallkonzentrat optisch nicht sofort als Metall erkennbar und bietet dadurch einen gewissen Diebstahlsschutz.

5.2.1. Restmetallgehalt in der Schlacke

Bei der Bestimmung vom Restmetallgehalt in der Schlacke sollte immer das Prüfverfahren angegeben werden.

Das hier verwendete Verfahren ist an den Methodenband der Stiftung ZAR angelehnt.

Die entmetallisierte Schlacke wird getrocknet und mit einer vorhandenen Straßenwalze auf einer Stahlplatte mehrmals überfahren und dadurch zerkleinert. Zwischen den einzelnen Durchgängen wird die Schlacke gesiebt und die verplatteten Metalle werden per Hand aussortiert. Bei jedem Durchgang sind in den oberen Siebdecks meist nur Metalle zu finden. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis alle Metalle > 1 mm entfernt sind. Die Fraktion < 1 mm wird nicht in der Bewertung berücksichtigt. Nicht walzbare Metalle (Stahlkugeln, Schmiedeteile massive Stahlteile) werden vor der ersten Walzung per Hand und mit einem Handmagnet aussortiert. Anhaftungen an den Metallen können leicht abgeklopft werden.

Magnetische Metalle werden mit einem Magnet mit etwa 0,1 Tesla in einem Abstand von etwa 10 mm getrennt sortiert. Eisenspäne und schwach magnetische Schlacken werden nicht berücksichtigt.

Die Fraktion < 1 mm kann anschließend im Labor analysiert werden. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch Metalloxide in der Analyse enthalten sind und derzeit nicht rückgewonnen werden können.

Im Zuge der Charakterisierung der Schlacke, konnten mit dem Mikroskop in den Siebschnitten $350 \mu\text{m}$ bis $1.000 \mu\text{m}$ stückige Metalle nachgewiesen werden. In der Korngröße $< 350 \mu\text{m}$ wurden nur mehr sehr wenige Metallteile gefunden.

Anhand dieser Methode wurden folgende Restmetallgehalte analysiert:

- **Restaluminium metallisch 0,04 bis 0,48 Prozent** (abhängig von der Prüfmethode)
- **Schwere Metalle metallisch ohne magnetische Bestandteile $< 0,3$ Prozent.**

Beim Restaluminium gibt es Schwankungen in den Ergebnissen. Die Ursachen sind nicht bekannt.

Die Analysewerte für schwere Metalle, ohne magnetische Bestandteile, sind relativ konstant.

Magnetische Teile in der bearbeiteten Schlacke sind oft sehr gut in einer mineralischen Matrix eingeschmolzen oder bestehen aus stark oxidierten Blechen und Drähten. Ebenso ist ein erheblicher Teil des Siebdurchgangs < 1 mm magnetisch.

Der Restmetallgehalt nach der Aufbereitung kann durch Einflüsse in der Verbrennung schwanken.

5.2.2. Metallqualitäten

Mit dem Verfahren werden Metallkonzentrate für den Schrotthandel und für Aluminium- und Kupferhütten produziert.

Derzeit werden folgende Metallkonzentrate erzeugt:

- Magnetisches Eisen grob > 55 mm → Schrotthandel o. Hütte
- Magnetisches Eisen fein < 55 mm → Schrotthandel
- Edelstahl grob > 55 mm → Schrotthandel
- NE grob > 55 mm (Alu + Buntmetalle) → Schrotthandel
- NE fein < 55 mm (überwiegend Alu + Buntmetalle) → Schrotthandel
- Aluminium < 55 mm → Aluminiumhütte
- Schwere Metalle grob 12 bis 55 mm → Schrotthandel
- Schwere Metalle fein < 12 mm → Kupferhütte



Bild 3: Metallkonzentrate

Die hüttenfertigen Metallkonzentrate haben einen Metallgehalt von > 92 Prozent (Handsortierung der Metalle inkl. geringe Anhaftungen und Oxidschicht, nicht Schmelzausbeute) und entsprechen den Vorgaben der Verbringung von Abfällen der *Grünen Abfallliste*.

Alle anderen Metallkonzentrate benötigen für die Verbringung über die Staatsgrenze eine Notifizierung.

5.2.3. Korngröße Aufbereitung

Die Abtrennung von Metallen aus der MVA-Schlacke funktioniert durch die Kombination von nassen und trockenen Verfahrensschritten sehr gut. Im oberen Kornbereich > 55 mm wird die Schlacke gesiebt und mit einem externen Dienstleister werden die Metalle rückgewonnen. Die Metallstücke sind mit herkömmlicher Sortiertechnik und einer Handlesestation sehr gut zu sortieren.

Im unteren Kornbereich erfolgt die Abtrennung von Schwermetallen primär durch den Setzvorgang. Durch den Siebbelag mit einer Lochgröße von etwa 1,5 mm, können kleinere Metallteile aus dem Trennprozess in der Setzmaschine und den Entwässerungssieben durchfallen. Diese werden mit der Leichtgutfraktion nochmals auf den NE-Abscheider aufgegeben und abgeschieden. Die Abscheidung erfolgt in diesem Kornbereich nicht sehr effizient. Im Kornbereich < 1,5 mm ist bei schweren Metallen noch Entwicklungsbedarf gegeben.

Aluminium wird nur über einen NE-Abscheider aus der MVA-Schlacke abgetrennt. Durch das Wegwaschen von Anhaftungen und Haftkorn funktioniert die Abscheidung sehr gut. Im Feinbereich gibt es die üblichen Probleme mit kleinen flächigen Aluminiumteilen. Diese Teile stellen den Hauptanteil der nicht abgetrennten Aluminiumfraktion in der aufbereiteten Schlacke. Durch den relativ geringen wirtschaftlichen Erlös in dieser Fraktion wird derzeit keine weitere Aufbereitung angedacht.

5.2.4. Potenziale der aufbereiteten Schlacke

Derzeit werden alle nicht metallischen Rückstände in einer Reststoffdeponie abgelagert und keiner weiteren Verwertung zugeführt und erreichen laut österreichischem Recht keine niedrigere Deponiestufe.

Die aufbereitete, entmetallisierte Schlacke erfüllt die Anforderungen des österreichischen Bundesabfallwirtschaftsplan 2011 für gebundene und ungebundene Tragschichten. Der Einsatz als gebundene oder ungebundene Tragschicht wird nicht aktiv verfolgt. Versuchsprojekte oder Forschungsvorhaben würde die Brantner Walter Ges.m.b.H. gerne durchführen oder unterstützen.

Ebenso ist der Einsatz als Betonzuschlagstoff technisch möglich. Es wurden erfolgreich Probekörper von mehreren Betonherstellern angefertigt und getestet. Es können etwa 20 Prozent des Kieses durch aufbereitete und nachbehandelte MVA-Schlacke ersetzt werden. Die sonst üblichen Treiberscheinungen sind in allen Fällen ausgeblieben.

Weitergehende Prüfungen wie z.B. Eluierbarkeit von Metallen oder Salzen wurden noch nicht durchgeführt.

Zurzeit werden die rechtlichen Rahmenbedingungen abgeklärt.

Ergänzende alternative Anwendungen für aufbereitete MVA-Schlacke nach dem Wet Slag Treatment Verfahren und Nachbehandlungsschritte werden derzeit im Labor und Technikum geprüft.

Der anfallende Schlamm kann sehr gut CO_2 binden und könnte sich für die Abgasbehandlung in der Abfallverbrennungsanlage eignen.

6. Weitere Forschungen

Derzeit wird an der Verbesserung der Feinmetallabscheidung gearbeitet. Es wird neben einer zusätzlichen Wertschöpfung eine Verminderung der Metallbelastung in der aufbereiteten MVA-Schlacke erwartet.

Vor allem bei den Metallen Kupfer, Blei und Zink ist im Feinkorn noch Potenzial zur Reduzierung gegeben. Arbeiten zur Erhöhung der Sortiertiefe, auch in den größeren Körnungen, laufen dazu parallel.

Dadurch wird eine Verbesserung der Umweltverträglichkeit und ein verbesserter Zugang zu alternativen Anwendungen von aufbereiteter entmetallisierter MVA-Schlacke zu erwarten sein.

Das Erreichen der *Green Deal*-Grenzwerte aus Holland ist ein weiteres Ziel der Forschungen. Dazu müsste die Wasseraufbereitung in diesem Prozess erheblich ausgeweitet werden.

Die Sortierung der Metallkonzentrate in einzelne Metallklassen ist noch nicht zufriedenstellend gelöst.

Ebenso gibt es durch die Inhomogenität der Metallkonzentrate, vor allem bei den Edelmetallen, noch Entwicklungspotenzial in der Probenahme und Schmelzanalyse.

7. Zusammenfassung

Das entwickelte Verfahren funktioniert im großtechnischen Betrieb sehr gut. Die Metallausbeute ist im Verhältnis zur eingesetzten Technologie und des Kapitals als hoch zu beurteilen. Die Betriebskosten liegen je nach Auslegung des Abschreibungszeitraumes und der verarbeiteten Schlackenmengen im unteren bis mittleren Bereich.

Eine Umstellung auf Bettasche oder alternativen Abfällen kann im laufenden Betrieb oder bei einem Neustart des Systems innerhalb von wenigen Stunden erfolgen.

Die aufbereiteten MVA-Schlacken entsprechen den Vorgaben für gebundene und ungebundene Tragschichten laut österr. Bundesabfallwirtschaftsplan 2011 und als Betonzuschlagstoff. Andere alternative Verwertungsansätze werden derzeit geprüft.

Die Wertmetalle können in einer hüttenfähigen Qualität produziert werden und entsprechen den Vorgaben der Verbringung von Abfällen der *Grünen Abfallliste*. Alternativ sind alle Metallkonzentrate für eine weitere Veredelung in Sortieranlagen geeignet.

Die Aufbereitungsanlage kann frische oder gealterte Schlacke ohne nennenswerte Alterung verarbeiten und kann aus diesem Grund direkt bei einer Abfallverbrennungsanlage, Schlackenzwischenlager oder Deponie betrieben werden. Die erneute Aufbereitung von bereits deponierter, konventionell entmetallisierter Schlacke ist in vielen Fällen wirtschaftlich möglich.

Durch den Einsatz von wenigen kompakten Aggregaten in Linien- oder Turmbauweise ist der Platzbedarf relativ gering.

Das Verfahren könnte ein bedeutender Beitrag zu einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Abfallbewirtschaftung sein und unsere Gesellschaft einen Schritt näher an das *Zero Waste* Ziel bringen.

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

Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): **Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 3**
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –
ISBN 978-3-944310-28-2 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2016
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.
Erfassung und Layout: Sandra Peters, Ginette Teske, Janin Burbott-Seidel,
Claudia Naumann-Deppe, Anne Kuhlo, 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.