

# Resource Mining – Rohstoff aus Schweizer Abfall

## – Rückgewinnung von Produkten aus Abfallverbrennungsrückständen –

Stefan Eberhard und Raphael Röcken

1.	Einleitung.....	138
2.	Hintergrund Schweizer MVA-Schlacke .....	139
3.	Funktionsweise des Gesamtkonzepts <i>supersort</i> .....	140
3.1.	Verarbeitungsstufe 1 – Aufbereitung der Schlacke > 3 mm .....	141
3.2.	Verarbeitungsstufe 2 – Aufbereitung der Schlacke < 3 mm .....	143
3.3.	Verarbeitungsstufe 3 – Veredelung der Nichteisenmetallfraktionen ...	144
4.	Produktionszahlen der Schlackenaufbereitung 2014 .....	144
5.	Umweltaspekte .....	146
6.	Diskussion.....	147
7.	Literatur .....	148

In der Nähe von Zürich werden seit Juli 2013 in der größten MVA-Schlackenaufbereitungsanlage der Schweiz jährlich 100.000 Tonnen MVA-Schlacke aufbereitet, was einem Achtel der gesamtschweizerischen Menge an MVA-Schlacke entspricht. Dank der innovativen, dreiteiligen Anlagentechnik *supersort technologie* und dem resource mining Konzept zur Rückgewinnung von Metallen aus dem Stoffkreislauf, werden die verschiedenen Metalle aus MVA-Schlacken zurückgewonnen und zu hochwertigen Produkten veredelt, welche direkt an Schmelzwerke geliefert werden können. Dieses ganzheitliche Konzept kann in drei Prozessschritte aufgeteilt werden. In einem ersten Schritt, dem Schlackenrecycling, werden die angelieferten Fraktionen in der Hightech-Anlage klassiert und in einem trocken-mechanischem Verfahren werden die in der Schlacke enthaltenen Metalle > 3 mm zurückgewonnen. So konnten im Jahr 2014 8.200 Tonnen wertvolle Metalle zurückgewonnen und verglichen mit der Primärproduktion 23.500.000 kg CO<sub>2</sub> eingespart werden.

In einem zweiten Schritt, der Feinaufbereitung, werden die Metalle < 3 mm mit einer einmaligen Separierungstechnologie in Form eines Metallkonzentrats zurückgewonnen. Die Feinaufbereitung ermöglicht seit Ende 2014 eine zusätzliche jährliche Rückgewinnung von 500 bis 1.000 Tonnen Nichteisenmetallen.

Die einzelnen Fraktionen an Nichteisenmetallgemischen aus den ersten beiden Schritten werden schließlich in einem dritten Prozessschritt, der Veredlung, zu hochwertigen Metallfraktionen veredelt, die dann ohne weitere Aufbereitung direkt den Schmelzwerken zugeführt werden können. In diesem dritten Prozessschritt können neben den eigenen Produktfraktionen auch Metallgemische anderer Aufbereitungsanlagen veredelt werden.

Dank der möglichst vollständigen Rückgewinnung der Metalle aus den Schlacken über das gesamte Korngrößenspektrum werden die hochwertigen Metalle wieder den Metallkreisläufen der Gesellschaft zugeführt, statt mit der Schlacke deponiert zu werden. Wertvolle Primärressourcen werden geschont und erhebliche Mengen an CO<sub>2</sub> werden dank dem Recycling eingespart. So leistet die DHZ AG Jahr für Jahr einen entscheidenden Beitrag zum Schutz der Umwelt.

## 1. Einleitung

Metalle sind dank ihrer vielseitigen Eigenschaften zu einem festen Bestandteil der modernen Gesellschaft geworden und sind aufgrund ihrer Wichtigkeit aus unzähligen Anwendungen nicht mehr wegzudenken. Sie finden beinahe überall Verwendung und ein modernes Leben, wie wir es derzeit führen, wäre ohne Metalle schlichtweg nicht mehr möglich.

Metalle sind aber auch eine begrenzte Ressource und aufgrund des wachsenden Bedarfs an Metallen wird die Liste der kritischen Rohstoffe immer größer [7]. Ob die Gesellschaft einer Ressourcenknappheit entgegenläuft oder nicht ist umstritten. Klar ist jedoch, dass der globale Metallbedarf im letzten Jahrhundert fast exponentiell in die Höhe geschossen ist und weiter steigen wird. Zudem kann beobachtet werden, dass die Metallkonzentration in den Erzen über die letzten Jahrzehnte kontinuierlich gesunken ist. Um diesen hohen und stetig steigenden Bedarf an Metallen bei sinkenden Metallgehalten im Erz zu decken, müssen Unmengen an Material verarbeitet werden. Dies führt zu enormen Umweltbelastungen, die durch die primäre Metallgewinnung verursacht werden [8].

Hinzu kommt, dass insbesondere ressourcenarme Regionen, wie Europa und noch ausgeprägter die Schweiz, bezüglich der Metallversorgung sehr hohe Abhängigkeiten von anderen, teilweise politisch instabilen Ländern, aufweisen. Dies alles unterstreicht die Notwendigkeit für ein möglichst vollständiges Recycling der sich in der Technosphäre befindlichen Metalle.

In der Schweiz wird ein Teil der Metalle nach Ende des Produktzyklus vom Verbraucher getrennt und direkt dem Recycling zurückgeführt (z.B. Aluminiumdosen, Batterien, Elektronikartikel). Dennoch werden viele wertvolle Metalle mit dem Haushaltsabfall entsorgt und somit direkt der Verbrennung in einer der dreißig Schweizer MVAs zugeführt [4]. Jährlich gelangen so hochgerechnet gut 100.000 Tonnen Metall in die Verbrennung, die anschließend in der Schlacke wiederzufinden sind.

Für einen geschlossenen Metallkreislauf müssen diese großen Mengen an Metall zurückgewonnen werden, bevor die Schlacke deponiert wird. Aufgrund der Aufbereitung der Schlacken mit herkömmlichen Anlagen gelangen in der Schweiz aber immer noch

beachtliche Mengen an Metall mit den Schlackenrückständen auf die Deponie. Nur mit Hilfe von innovativen High-Tech-Aufbereitungsanlagen, die speziell auf die Aufbereitung von Schlacken ausgelegt sind, können die Verluste der Metalle minimiert werden.

## 2. Hintergrund Schweizer MVA-Schlacke

Die *pro Kopf Abfallmenge* der Schweiz ist in den letzten Jahren und Jahrzehnten stark angestiegen. Waren es 1970 noch 309 kg pro Kopf, so hat sich diese in knapp vierzig Jahren bis 2012 mit 690 kg pro Kopf mehr als verdoppelt [2]. Da gemäß Art. 11 Abs. 2 der TVA<sup>1</sup> seit dem Jahre 2000 in der Schweiz keine brennbaren Abfälle mehr abgelagert werden dürfen, fallen jährlich enorme Mengen an Abfall an, die verbrannt werden müssen.

Alleine im Jahr 2012 wurden 3.84 Millionen Tonnen Abfälle in den dreißig Schweizer Müllverbrennungsanlagen (MVA) verbrannt. Dank modernster Technologien in den Schweizer MVAs werden die Abfälle effizient behandelt und der Schadstoffausstoß minimiert [1]. Dadurch reduziert sich das Abfallvolumen um rund 90 Prozent und das Gewicht um 75 Prozent. Dabei wird jährlich gut 800.000 Tonnen Schlacke produziert. Aufgrund strenger Auflagen bezüglich Schwermetallen, Salzen, der Sickerwasserqualität sowie weiterer Parametern darf in der Schweiz keine Schlacke oder Schlackenrückstand in der Bauwirtschaft verwendet werden und muss in aufwändigen Schlackendeponien abgelagert werden [3]. Je nach Herkunft enthält eine durchschnittliche Schlacke zwischen ein bis drei Prozent Nichteisenmetalle und zwischen fünf bis fünfzehn Prozent Eisen, während der Restanteil aus einer Mischung von Mineralien, Glas, Keramik, Reste von Organischem usw. besteht.

In der Schweiz wird die MVA-Schlacke auf zwei Arten aus dem Verbrennungsprozess ausgetragen. Üblich und weit verbreitet ist der traditionelle Nassaustrag der Schlacke. 28 der 30 Schweizer MVAs tragen ihre Schlacke nass aus. Zwei Anlagen (KEZO, Satom) tragen die Schlacke trocken aus. Für die Schlacken (nass oder trocken ausgetragen) gibt es anschließend die Möglichkeit einer trockenen oder nassen Aufbereitung. In der Regel werden trockene Aufbereitungsmethoden angewendet, so auch in dieser Anlage.

Diverse Verbrennungsanlagen nehmen einen Teil der Metalle selber heraus und deponieren die übrig bleibende Schlacke. Problematisch hierbei ist, dass aufgrund fehlender Kapazitäten, sowie den Schlackeneigenschaften (z.B. Feuchtigkeit) oder aus Platzgründen meist nur ein Teil der Metalle aus der Schlacke zurückgewonnen werden kann und dadurch ein wesentlicher Anteil weiterhin als Rückstand auf der Deponie landet [6].

Durch die Kombination von Innovation und High-Tech in der trocken-mechanischen Aufbereitung nass ausgetragener Schlacke bietet die Aufbereitungsanlage im zürcherischen Lufingen die optimale Lösung für eine möglichst vollständige Entfrachtung der Wertstoffe aus den in der Schweiz anfallenden Schlacken. Möglich ist dies dadurch, dass die Anlage Metalle aus Schlackenagglomerationen freisetzt und durch die Kombination von Klassierung mit sauberen Trennschnitten verschiedene Korngrößenfraktionen generiert. Diese werden dann jeweils mit den am besten geeigneten Verfahren

<sup>1</sup> TVA = Technische Verordnung über Abfälle (Schweiz)

zur Trennung von Eisen- und Nichteisenmetallen behandelt. Um darüber hinaus die Qualität der Restschlacke zu verbessern, werden auch die unverbrannten organischen Bestandteile wie Kunststoffe, Textilien und Papier aussortiert. Mit einer jährlich aufbereiteten Menge von rund 100.000 Tonnen Schlacke, verarbeitet die DHZ AG alleine rund ein Achtel der in den dreißig Schweizer MVAs anfallenden Schlackenmenge.

### 3. Funktionsweise des Gesamtkonzepts *supersort*

Grundsätzlich hat sich die Aufbereitungsanlage in Lufingen zum Ziel gesetzt, Metallgemische aus der Schlacke in Form von hochwertig veredelten Metallfraktionen zurückzugewinnen und in die Kreisläufe der Gesellschaft zurückzuführen. Zusammengefasst wird dieses Gesamtkonzept unter dem Begriff *resource mining*. Diese innovative Technologie ist in die drei folgenden Verarbeitungsstufen aufgeteilt:

- 1.) Schlackenrecycling: Die angelieferte Schlacke wird in verschiedene Fraktionen klassiert und die in der Schlacke enthaltenen wertvollen Metalle größer 3 mm werden zurückgewonnen,
- 2.) Feinaufbereitung: Aus der Fraktion 0 bis 3 mm werden mit Hilfe eines neuen Anlagenteils die Nichteisenmetalle zurückgewonnen,
- 3.) Veredelung: Neuste Veredelungstechnologien wandeln die Nichteisenmetallgemische in hochwertige Leicht- und Schwermetallprodukte um.

Diese drei Verarbeitungsstufen, wie sie im folgenden Bild 1 visualisiert sind, werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.



Bild 1: Rückgewinnung der Metalle aus der Schlacke; von links nach rechts: Schlacke nach Abfallverbrennung, Ausschnitt der Recyclinganlage, verschiedene Metallfraktionen aus der ersten Verarbeitungsstufe, Ausschnitt aus Anlage zur Veredelung, hochwertig veredelte Metallprodukte.

Die verschiedenen Verarbeitungsstufen besitzen dank Ihres einmaligen Systems und der innovativen Technologien eine hohe Flexibilität. Neben nass ausgetragener Schlacke kann auch trocken ausgetragene Schlacke verarbeitet werden. Aber auch diverse andere Abfallströme sowie kontaminierte Materialien können mittels allen oder ausgewählter Verarbeitungsstufen aufbereitet werden. Die folgenden Kapitel konzentrieren sich auf die Aufbereitung von nass ausgetragener MVA-Schlacke. Auf die Aufbereitung anderer Materialien wird im Folgenden nicht tiefer eingegangen, obwohl dies möglich ist und gemacht wird.

### 3.1. Verarbeitungsstufe 1 – Aufbereitung der Schlacke > 3 mm

Derzeit gelangen verschiedenste Materialien, insbesondere Schlacken aus Verbrennungsanlagen zur Aufbereitung in die Recyclinganlage. Ein Ausschnitt der modernen Aufbereitungsanlage für die erste Verarbeitungsstufe ist in Bild 2 abgebildet.



Bild 2: Auszug aus der ersten Verarbeitungsstufe der Aufbereitungsanlage

Die ankommenden Schlacken werden verwogen und nach Herkunft separiert in Materialboxen der Anlagenhalle gelagert. Die Schlacken variieren je nach Jahreszeit, Herkunft und Einzugsgebiet der MVA in Feuchtigkeit, Zusammensetzung sowie gelieferter Menge. Nach erfolgter Zwischenlagerung wird die Schlacke gewogen und in den Aufgabebunker der Anlage gegeben. Ab dem Aufgabebunker fließt die Schlacke durch die Anlage und wird in verschiedenen Schritten, wie sie in Bild 3 dargestellt sind, aufbereitet.

In den einzelnen Prozessen der Anlage (schwarz) werden Produkte (grün) und Rückstände (braun) generiert. Für eine möglichst vollständige Rückgewinnung ist eine Kombination aufeinander abgestimmter Prozessschritte notwendig. Der erste wichtige Schritt ist die Freisetzung der Metallteile von groben Schlackeanhaftungen im sogenannten Liberator. Ein Überbandmagnet entfernt anschließend die großen Eisenschrottteile. Die im Eisenschrott enthaltenen Cu-Fe-Teile, auch als Kupferspulen oder Kupferanker bezeichnet, werden manuell vom Eisenschrott entfernt. Der Rest vom Materialstrom wird in einer Kombination aus Kreisschwingsieb und zwei Flip-Flow Siebmaschinen in vier Fraktionen gesiebt: 0 bis 3 mm, 3 bis 12 mm, 12 bis 40 mm, > 40 mm.

Die feine Fraktion 0 bis 3 mm fließt via Förderband direkt in die zweite Verfahrensstufe, in welcher aus der Feinfraktion die Nichteisenmetalle zurückgewonnen werden. Die Funktionsweise hierzu wird im Kapitel 3.2. beschrieben.

Die Metalle aus den sauber klassierten Fraktionen > 3 mm werden durch eine Abfolge von Magnetabscheider und NE-Abscheider zurückgewonnen. In der Fraktion 12 bis 40 mm hilft ein Windsichter das organische Leichtgut herauszublasen. Aus der Fraktion > 40 mm wird mittels Handlesestation sichergestellt, dass unverbranntes organisches Leichtgut sowie alle verbleibenden Metalle separiert werden.

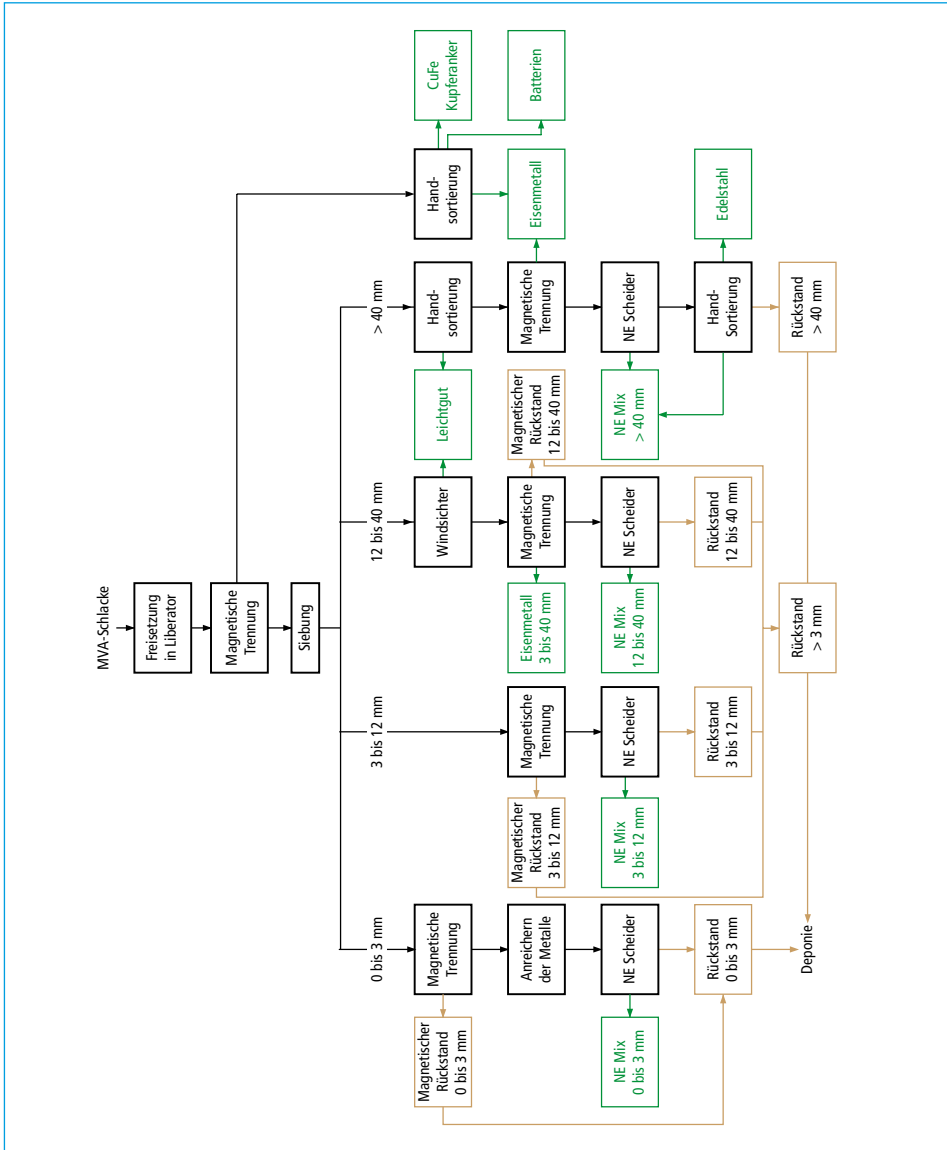


Bild 3:

Übersicht über die Massenflüsse der ersten beiden Verfahrensschritte für die Aufbereitung von MVA-Schlacke auf der Recyclinganlage in Lufingen. Abgebildet ist das Schlackenrecycling inklusive der Feinaufbereitung. In den Boxen sind Prozesse (schwarz), Rückstände (braun), Produkte (grün) dargestellt.

Folgende Produktfraktionen werden in einer ersten Verarbeitungsstufe generiert:

- Eisen grob,
- Eisen fein (3 bis 40 mm),
- Nichteisenmetall-Mix 3 bis 12 mm,
- Nichteisenmetall-Mix 12 bis 40 mm,
- Nichteisenmetall-Mix > 40 mm,
- Edelstahl > 40 mm,
- Fe-Cu Kupferspulen,
- Organisches Leichtgut zur thermischen Verwertung.

Während die Produktfraktionen einzeln verwogen und in Wertstofflagern gesammelt werden, fließen die Rückstände über eine Bandwaage direkt auf das angrenzende Schlackenkompartiment der Deponie Häuli, wo sie gemäß der Schweizer Verordnung deponiert wird. Da alle Fraktionen verwogen und die Schlacken der einzelnen Abfallheizkraftwerke separat aufbewahrt und verarbeitet werden, können Massenbilanzen von den einzelnen Schlacken automatisiert erstellt werden. Dadurch können wertvolle Informationen zu den einzelnen Schlacken gewonnen werden.

### 3.2. Verarbeitungsstufe 2 – Aufbereitung der Schlacke < 3 mm

Bei feuchter Schlacke im feinen Korngrößenbereich < 3 mm versagen selbst die für schwierige Materialien ausgelegten Flip Flow Siebe. Feine und feuchte Schlacke verklebt die Siebe und macht eine Klassierung < 3 mm beinahe unmöglich. Für eine Aufbereitung des Feinmaterials ist aber vor der Rückgewinnung der wertvollen Metalle eine vorherige Klassierung oder Anreicherung der Metalle im Feinbereich nötig. Dafür entwickelte die DHZ AG eine eigene Methodik.

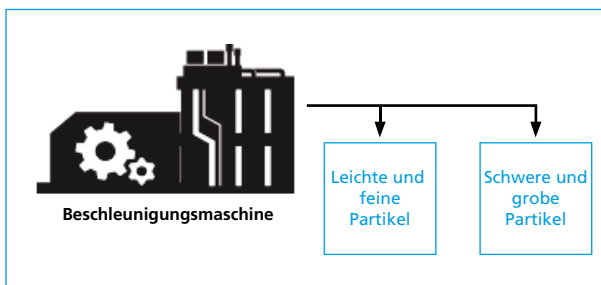


Bild 4:

Prinzip der Beschleunigungsmaschine, wie sie für die Anreicherung der Metalle in supersort fein verwendet wird

Die Rückgewinnung der Metalle aus der Schlacke mit einem Korngrößendurchmesser < 3 mm basiert auf einer Dichte- und Korngrößensortierung, wie Sie in Bild 4 skizziert ist. In der Beschleunigungsmaschine werden die Partikel 0 bis 3 mm auf eine bestimmte Geschwindigkeit beschleunigt. Da kleine Partikel eine größere spezifische Oberfläche besitzen, sind sie den Luftwiderständen stärker ausgesetzt und besitzen

ein anderes Sortierverhalten als die größeren Partikel. So entsteht eine Trennung nach Korngröße. Der zweite Effekt der genutzt wird ist, dass die schweren Metallpartikel, die eine höhere spezifische Dichte aufweisen, sich anders verhalten, als die mineralischen, verhältnismäßig leichten Partikel. Dadurch kann eine Dichtesortierung erzielt werden. Die Kombination dieser beiden Effekte wird gezielt genutzt, um die Metalle im Bereich 0,5 bis 3 mm anzureichern. Dank dem Einsatz mehrerer NE-Abscheider wird aus der mit Metallen angereicherten Feinfraktion eine konzentrierte Nichteisenmetallfraktion im Bereich 0,5 bis 3 mm erzielt, die einen höheren Anteil an schweren Bunt- und Edelmetallen aufweist.

### 3.3. Verarbeitungsstufe 3 – Veredelung der Nichteisenmetallfraktionen

Die neueste Erweiterung im Gesamtkonzept zur vollständigen Aufbereitung der Metalle aus Schlacke ist eine Pilotanlage zur Veredelung der Nichteisenmetallmischfraktionen aus dem Schlackenrecycling und der Feinaufbereitung. Hierbei werden verschiedene Prozesse zur Klassierung, Formbildung, Veredelung und Freisetzen der Materialien eingesetzt, um möglichst reine und hochwertige Metallfraktionen zu erreichen. Durch eine Dichtesortierung werden die Nichteisenmetalle in Leicht- und Schwermetallfraktionen aufgetrennt.

Alles in Allem können dank dieser dritten Verarbeitungsstufe die Nichteisenmetallmix-Fraktionen mit Schlackenanhäufungen und Verunreinigungen zu nahezu reinen Leichtmetall- und Schwermetallfraktionen veredelt werden. Diese halten höchsten Qualitätsanforderungen stand und werden ohne weitere Verarbeitung direkt an die Schmelzwerke verkauft. Der Vergleich der Metallfraktion aus dem Schlackenrecycling (links) verglichen mit denjenigen nach der Veredelung (rechts) ist in Bild 5 ersichtlich.

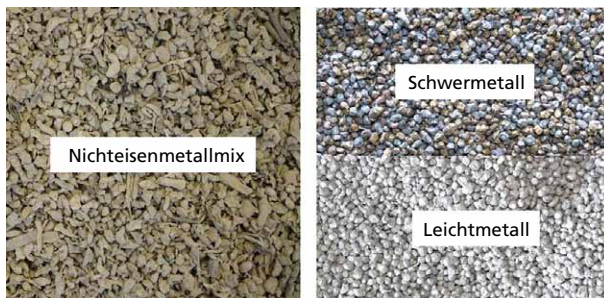


Bild 5:

Gegenüberstellung der Metallfraktionen (hier Nichteisenmetall-Mix 3 bis 12 mm) vor der Veredelung (links) und nach erfolgter Veredelung (rechts)

Die neue Metall-Veredelungsanlage befindet sich derzeit im Abschluss der Planungsphase und wird Ende 2015 in Betrieb gehen. Bis dahin werden die Metalle mit der derzeitigen Pilot-Anlage aufbereitet.

## 4. Produktionszahlen der Schlackenaufbereitung 2014

Die total angenommene Schlackenmenge im Jahr 2014, die mit der Anlage aufbereitet wurde, belief sich auf 99.863 Tonnen Nasssubstanz (NS).



Die gelieferte nass ausgetragene Schlacke enthält je nach Verbrennungsanlage noch 15 bis 25 Prozent Wasser. Für eine objektive Betrachtung sollte jedoch die Trockensubstanz (TS) ohne Wassergehalt dargestellt werden. Unter Abzug des gemessenen Wassergehalts reduziert sich die Inputmenge dann zu 81.120 Tonnen Trockensubstanz (TS). Die Produktfraktionen der feucht verarbeiteten Schlacke enthalten neben einem gewissen Wasseranteil auch Anhaftungen von Schlacke und Fehlkorn, welches fälschlicherweise mit dem Material ausgetragen wird. Nach Abzug des Wassergehalts und der Verunreinigungen der Produktfraktionen ergeben sich die reinen Produktfraktionen, im Folgenden als Rohmetall bezeichnet. Die Bezeichnung Rohmetall spiegelt den tatsächlichen Metallgehalt der einzelnen Metallfraktionen wieder.

Aus der Tabelle 1 geht hervor, dass im Jahr 2014 Metallfraktionen mit einem Gewicht von 8.202 Tonnen aus den verschiedenen Schlacken herausgenommen wurde. Unter Abzug des Wasseranteils (3,3 Prozent) und der Verunreinigungen der Produktfraktionen (20 Prozent) wurden über 6.400 Tonnen reine Rohmetalle zurückgewonnen. Auf den totalen Input betrachtet werden rund 8 Prozent Metall aus der Schlacke zurückgewonnen. Mit 4.630 Tonnen sind 70 Prozent der zurückgewonnenen Metalle Eisen. Dies entspricht 5,7 Prozent der total verarbeiteten Menge an Schlacke. Die Summe der Nichteisenmetallmixe bildet mit 1,9 Prozent die zweitgrößte Fraktion. Die restlichen 0,32 Prozent setzen sich aus Edelstahl und Fe-Cu-Teilen zusammen.

Tabelle 1: Durchschnitt aller MVA-Schlacken (mit und ohne Teilentschrottung). Zurückgewinnung der Produkte in der ersten Verarbeitungsstufe der Aufbereitungsanlage für die im Jahr 2014 gesamthaft aufbereiteten 99.863 Tonnen Schlacke. Die Metallanteile im In- und Output variieren je nach Verbrennungsanlage deutlich.

Produkte aus MVA-Schlacke (Durchschnitt aller Schlacken)	Summe Fraktion NS	Wassergehalt	Metallgehalt	Rohmetall TS	Rohmetall TS
	t	%	%	%	t
Eisen	5.966	3,00	80,0	5,71	4.630
Nichteisenmetallmix 3 – 12 mm	914	6,00	78,8	0,83	677
Nichteisenmetallmix 12 – 40 mm	836	4,00	90,8	0,90	729
Nichteisenmetallmix > 40 mm	194	1,00	69,0	0,16	133
Fe-Cu-Teile (Kupferanker)	107	2,00	95,0	0,12	99
Edelstahl > 40 mm	185	1,00	90,0	0,20	165
<b>Summe Metalle</b>	<b>8.202</b>	<b>3,33</b>	<b>81,13</b>	<b>7,93</b>	<b>6.432</b>

In Tabelle 1 ist der Durchschnitt aller verarbeiteten MVA-Schlacken dargestellt. Einige MVAs entfrachten einen Teil ihrer Schlacke mit Hilfe von Magneten und Wirbelstromabscheider selber. In Tabelle 2 sind die Rohmetallgehalte einer durchschnittlichen Schlacke dargestellt, wenn keine Metalle auf Seite der MVA separiert werden. Tabelle 2 zeigt, dass die total zurückgewonnenen Metalle ohne vorherige Entnahme von Metallen auf Seiten der MVAs von 8 Prozent auf über zehn Prozent ansteigt. Dadurch könnten jährlich fast 2.000 Tonnen Metalle mehr auf der Aufbereitungsanlage in Lufingen zurückgewonnen werden. Beim Vergleich von Tabelle 1 mit Tabelle 2 wird ersichtlich, dass die Differenz besonders beim Eisen relativ groß ist. Der Grund hierfür ist, dass die Entnahme von Eisen mit einem Überbandmagnet bei den MVAs teilweise praktiziert wird.

Produkte aus MVA-Schlacke (Durchschnittliche Schlacke ohne Teilentschrottung bei MVA)	Rohmetall TS	Rohmetall TS (Hochrechnung auf Jahresmenge 2014)
	%	t
Eisen	7,37	5.979
Nichteisenmetallmix 3 – 12 mm	1,05	852
Nichteisenmetallmix 12 – 40 mm	1,12	909
Nichteisenmetallmix > 40 mm	0,29	235
Fe-Cu-Teile (Kupferanker)	0,13	105
Edelstahl > 40 mm	0,27	170
Summe Metalle	10,23	8.250

Tabelle 2:

Durchschnittliche MVA-Schlacke ohne vorherige Teilentfrachtung seitens MVA. Hochrechnung Zurückgewinnung der Produkte in der ersten Verarbeitungsstufe der Aufbereitungsanlage für die im Jahr 2014 gesamthaft aufbereiteten 99.863 Tonnen Schlacke.

Seit 2015 werden mit der Erweiterung der Anlage um die Feinaufbereitung jährlich weitere 500 bis 1.000 Tonnen an Nichteisenmetallen aus der Schlacke zurückgewonnen. Das Besondere an der separierten Nichteisenmetallfraktion in dem Feinbereich < 3 mm ist der vergleichsmäßig hohe Gehalt an schweren Bunt- und Edelmetallen. In der dritten Verfahrensstufe, der Veredelung, werden die zurückgewonnenen Nichteisenmetallgemische in qualitativ hochwertige Metalle umgewandelt.

## 5. Umweltaspekte

Tabelle 3 zeigt die CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch Recycling in kg<sub>CO<sub>2</sub></sub>/kg<sub>Metall</sub> [9] und die CO<sub>2</sub>-Einsparungen aus der Jahresproduktion der Recyclinganlage für das Jahr 2014 mit der ersten Aufbereitungsstufe. Der Mix an zurückgewonnenen Nichteisenmetallen kann zu ungefähr 2/3 in Aluminium und zu 1/3 in andere Nichteisenmetalle aufgeteilt werden. Die Zahlen zeigen, dass alleine das Recycling der Schlacke > 3 mm (1. Verfahrensstufe) im Jahr 2014 verglichen zur Primärproduktion gut 23.500.000 kg CO<sub>2</sub> eingespart hat.

Tabelle 3: CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch die in 2014 produzierten Eisen- und Nichteisenmetalle. Die Aufteilung der Nichteisenmetalle in *Aluminium* und *andere Nichteisenmetalle* entspricht einer (auf Analysen basierenden) vereinfachten Zusammensetzung; 2/3 Aluminium und 1/3 andere Nichteisenmetalle.

CO <sub>2</sub> -Einsparung durch Schlackenrecycling mit Recyclinganlage	CO <sub>2</sub> -Emission der Metallerzeugung kg <sub>CO<sub>2</sub></sub> /kg <sub>Metall</sub> *	Einsparung dank Recyclinganlage supersort kg <sub>CO<sub>2</sub></sub> /Jahr <sub>2014</sub>
Eisen	2,5	11.574.000
Aluminium	10	10.256.000
Andere Nichteisenmetalle (Durchschnitt)	5	1.601.000
<b>Summe</b>		<b>23.431.000</b>

Quelle: \* Van Berlo & Waart 2008

Eine möglichst gründliche Rückgewinnung der Metalle aus der Schlacke hilft nicht nur primäre Ressourcen zu schonen und CO<sub>2</sub>-Emissionen einzusparen. Durch die Rückgewinnung der Metalle wird die totale Menge an Schlacke, die in aufwändigen

Schlackendeponien landet, reduziert. Zusätzlich werden die organischen Bestandteile wie Papier, Textilien, Folien, etc. aus der Schlacke sortiert. Diese hochgradige Entfrachtung der Metalle und der organischen Bestandteile führt zu einer verbesserten Qualität der Schlacke, denn je niedriger der Metallgehalt und der organische Anteil in der Schlacke, desto besser die Auslaugeigenschaften [10].

Durch die gründliche Entfrachtung der Metalle sowie des organischen Materials werden außerdem Gasemissionen wie Wasserstoff und Methan auf der Deponie deutlich reduziert. Das Aluminium beispielsweise oxidiert beim Kontakt mit Wasser und bildet Wasserstoff, welcher in höheren Konzentrationen zu einem explosiv verbrennbarem Gemisch wird.

Ein weiterer positiver Effekt ist die Reduktion von Staubemissionen. Abfallschlacke kann vor, während und nach dem Aufbereitungsprozess einen hohen Prozentsatz an feinen Partikeln enthalten. Diese bestehen vorwiegend aus Chlorid- und Sulfatsalzen, enthalten aber auch Schwermetalle wie Blei, Kupfer und Zink. Diese Verunreinigungen können bei ungeschütztem Hantieren das Gesundheitsrisiko erhöhen oder führen zu Bodenverunreinigungen. Um Staubemissionen in der Anlage zu verhindern beziehungsweise zu minimieren, verfügt die Aufbereitungsanlage über eine großzügig ausgelegte Entstaubungsanlage. Sämtliche Übergangsstellen sind mit Quellabsaugungsstutzen ausgerüstet, um die Staubbildung nicht aufkommen zu lassen. Im Weiteren führt ein geschlossenes Förderband im Außenbereich das Material zur Deponie.

Schließlich führen auch die minimalen Transportwege zu Treibstoffeinsparungen. Durch die Lage der Aufbereitungsanlage, welche direkt neben der Deponie liegt, erfolgt der Transport der Rückstände direkt via Förderband auf die Deponie. Auch die Veredelung der Produkte findet in unmittelbarer Nähe, im nur zehn Kilometer entfernten Oberglatt, statt. So werden die Metalle der Schlacke an einem Standort gebündelt zurückgewonnen und veredelt und die Rückstände gemäß Verordnung deponiert.

## 6. Diskussion

In einer Gesellschaft, in der Metallressourcen zu einer knappen oder zumindest kritischen Ware geworden sind, ist eine möglichst vollständige Rückgewinnung der Rohstoffe unabdingbar. Die DHZ AG ist mit ihrer innovativen Anlage ein Vorreiter in der Rückgewinnung von Metallen aus Schlacken und anderen Abfallströmen.

Allerdings ist auch bei einer so modernen Anlage eine hundertprozentige Rückgewinnung der Metalle unrealistisch.

Dass Verhältnis zwischen Aufwand und Ertrag müssen sowohl hinsichtlich Ökologie wie auch Ökonomie stimmen, ansonsten werden die Ziele nicht erreicht und es entsteht ein Ungleichgewicht. Ein besonders kritischer Faktor ist hierbei die hohe Abhängigkeit von den stark fluktuierenden Metallpreisen.

Die beachtlichen Risiken führen dazu, dass viele Schlackenaufbereiter oft nur den nötigsten Aufwand betreiben, um Metalle zurückzugewinnen. Nichtsdestotrotz setzt die Recyclinganlage im züricherischen Lufingen auf eine aufwändige Aufbereitung

mit möglichst hohen Rückgewinnungsraten. Realisierbar ist dies durch das ausgeklügelte System mit verschiedenen Programmen und Rezepten, die der Anlage eine hohe Flexibilität verleihen und die Aufbereitung verschiedenster Materialien ermöglicht.

Dank der innovativen Entwicklungen und Weiterentwicklungen im Bereich Metallfreisetzung, Feinaufbereitung und Metallveredelung sowie der ständigen Optimierung der Aufbereitung wird die Anlage stets auf dem modernsten Stand gehalten und somit wird weit mehr gemacht, als es die gesetzlichen Vorschriften verlangen. Nicht zuletzt wird mit dem resource mining auf ein ganzheitliches Konzept gesetzt, bei dem die drei Verarbeitungsstufen gezielt aufeinander abgestimmt sind. Dies führt nicht nur zu einer optimalen Aufbereitung der Metalle, sondern auch zu einem enormen logistischen Vorteil.

Mittels der eingesetzten Technologie kann die DHZ AG ihre Vorreiterrolle im Recycling von MVA-Schlacke beibehalten und ihren Beitrag zur Schonung der Ressourcen und zum Schutz der Umwelt leisten.

## 7. Literatur

- [1] BAFU: Brennbare Abfälle in Kehrlichtverbrennungsanlagen (MVA). Bundesamt für Umwelt, Abteilung Abfall und Rohstoffe, Bern, Schweiz. 3 S., 2013
- [2] BAFU: Gesamtmenge der Siedlungsabfälle und Recyclingquote. Bundesamt für Umwelt, Abteilung Abfall und Rohstoffe, Bern, Schweiz. 4 S., 2013
- [3] BAFU: Analysenmethoden im Abfall- und Altlastenbereich. Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz. Umwelt-Vollzug Nr. 1027: 72 S. (S.59-60), 2010
- [4] Bunge, R.: Interessante Aufschlüsse, Die UMTEC-Methode zur Bestimmung der Metallgehalte in MVA-Schlacken liefert exakte Ergebnisse. ReSource 3, 2014
- [5] Bunge, R.; Stäubli, A.: Metalle – Reserven, Preise, Umwelt. Beitrag Rohstoffkonferenz Berlin 2014
- [6] Bunge, R.: Wertstoffgewinnung aus KVA-Rostasche. Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz. KVA-Rückstände in der Schweiz, Der Rohstoff mit Mehrwert. (S. 170–184), 2010
- [7] Harder, J.: Ressourcenverknappung. AT Mineral Processing 11/2014 (Vol. 55), S.58 – 67, 2014
- [8] Röcken, R.: Reserves and Resources – Metals. Institut für Umweltingenieurwissenschaften der Eidgenössisch Technischen Hochschule Zürich, 2013
- [9] Van Berlo, M.J.C., De Waart, H.: Unleashing the power in waste. NATEC 16, Proceeding from Annual North American Waste-to-energy conference in Philadelphia, USA, 2008
- [10] Van Zomeren, A., Comans R.N.J.: Contribution of natural organic matter to copper leaching from municipal solid waste incinerator bottom ash. Environ. Sci. Technology. 38 (14), 3927-3932, 2004