

ReNe-Verfahren zur Rückgewinnung von dissipativ verteilten Metallen aus Verbrennungsrückständen der thermischen Abfallbehandlung

Boris Breitenstein, Daniel Goldmann und Iven Quedenfeld

1.	Einleitung	341
1.1.	Stand der Behandlung von Restabfällen aus dem Siedlungsabfallbereich	341
1.2.	Weitere Wertschöpfungspotentiale und Herausforderungen	342
1.3.	Zusammenfassung der Gründe für eine tieferegehende Abfallverbrennungsschlackenaufbereitung und neue Maßnahmen	344
1.4.	Gegenstand und Ziel der Untersuchungen.....	345
2.	ReNe – ein dreistufiges Verfahren zur Metallrückgewinnung aus feinkörnigen MVA-Schlacken	345
2.1.	Trocken-mechanische Aufbereitung	346
2.2.	Nass-mechanische Aufbereitung.....	348
2.3.	Nass-chemische Aufbereitung.....	349
3.	Zusammenfassung und Ausblick.....	352
4.	Literatur.....	352

1. Einleitung

1.1. Stand der Behandlung von Restabfällen aus dem Siedlungsabfallbereich

Seit in Kraft treten des Verbotes zur Deponierung von unbehandelten Abfällen im Jahr 2005 müssen alle erzeugten Abfälle, insbesondere Siedlungsabfälle mit einem TOC-Gehalt > 5 %, vor einer Ablagerung einer Behandlung unterzogen werden. Um dies zu erreichen, werden in Deutschland bis auf wenige Ausnahmen Abfallverbrennungsanlagen zur thermischen Behandlung der Abfälle, bzw. mechanisch-biologische Behandlungsanlagen zur Stabilisierung und Abtrennung einer heizwertreichen Fraktion als Ersatzbrennstoff (EBS), genutzt.

Bei der thermischen Behandlung von Siedlungsabfällen in Abfallverbrennungsanlagen und der energetischen Nutzung von Ersatzbrennstoffen entstehen jährlich über fünf-Millionen Tonnen Verbrennungsschlacken [1]. Dieser Ausbrannt wird nach dem Ende der Feuerung auf einem Vorschubrost in Deutschland in der Regel in ein Wasserbad ausgetragen und somit nass entschlackt. Analog wird in Ersatzbrennstoffkraftwerken mit Rostfeuerungs-technik der Ausbrannt ebenfalls nass entschlackt. Trockenentschlackungssysteme haben bisher im größeren Umfang erst in der Schweiz Einzug gehalten.

Der Ausbrannt besteht aus einer Mischung aus auf- bzw. angeschmolzener Mineralik (Schlacke i.e.S.), Asche, Unverbranntem und gröberen metallischen Bestandteilen. Der Ausbrannt wird zur weiteren Behandlung in spezielle Aufbereitungsanlagen überführt. Als erster Schritt werden in diesen Anlagen die unverbrannten aber noch brennbaren Anteile, grobe metallische Komponenten und sperrige Bestandteile abgetrennt. Nach dieser Abtrennung wird die vorliegende Materialmischung im Allgemeinen als Abfallverbrennungsschlacke bezeichnet, obwohl sie nicht nur aus aufgeschmolzenen sondern auch aus nicht aufgeschmolzenen Partikeln besteht. Nach Abtrennung grober mineralischer Anteile zur Verwertung verbleibt eine Fraktion < 10 bzw. < 6 mm, die sich überwiegend aus Schlacken- und Aschepartikeln zusammensetzt und Restgehalte an Eisen und NE-Metallen enthält (Bild 1).



Bild 1: MVA-Schlacke < 6 mm

Im Spannungsfeld aus Ressourcenknappheit und steigender Nachfrage für NE-Metalle auf den Weltmärkten, insbesondere Kupfer, besteht mittlerweile ein ökonomisches aber auch ein ökologisches Interesse die verbleibenden Metallfrachten, die bisher aus dem Wirtschaftskreislauf ausgeschleust werden, zurückzugewinnen.

1.2. Weitere Wertschöpfungspotentiale und Herausforderungen

Um eine Ressourcenschonung zu erreichen, werden schon heute bei der Aufbereitung von Abfallverbrennungsschlacken die Kupferinhalte mit bereits etablierten Technologien durch gängige Verfahren im Grobkornbereich (etwa > 10 mm bzw. > 6 mm) zurückgewonnen. Im feineren Kornband der Abfallverbrennungsschlacken insbesondere im Bereich < 6 mm, verbleiben derzeit mindestens Kupfergehalte zwischen 0,2 % und 0,4 % mit steigender Tendenz [1]. Eigene Untersuchungen konnten diese Entwicklung bestätigen, so liegen die Kupfergehalte verschiedener untersuchten Proben im Bereich zwischen 0,45 % und 0,8 %.

Aus diesen Angaben errechnen sich bei einem Gesamtaufkommen von etwa 4,5 Millionen Tonnen MVA-Schlacken pro Jahr in Deutschland und einem Mengenanteil von etwa sechzig Prozent, der nach der Grobaufbereitung in die Fraktion < 10 bzw.

< 6 mm gelangt, Kupfermengen zwischen 10.000 und 20.000 t/a, die derzeit noch nicht rückgewonnen werden. Nach einer Studie der Prognos AG aus dem Jahr 2010 ergab sich ein geschätzter Mittelwert von 17.000 t/a [1]. Wenngleich die Menge des jährlich anfallenden Stoffstroms geringer ist, als die Abbaumenge einiger der großen Kupferlagerstätten, so liegen die Metallgehalte doch in der gleichen Größenordnung. Auch die potentiell rückgewinnbaren Inhalte an metallischem Aluminium sind beachtlich. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags wird dieser Aspekt nur am Rand ausgeführt.

Voraussetzung für eine effiziente Rückgewinnung der Kupferinhalte sowie einiger anderer Wertträger ist deren Vorliegen in separaten und separierbaren Partikeln, so dass ein aufbereitungstechnischer Ansatz zu einer zufriedenstellenden Anreicherung führen kann, welche eine metallurgische Verwertung des erzeugten Konzentrats ermöglicht [1,2,3].

Mikroskopische Analysen im Rahmen eines Projektes, dessen erste Ergebnisse hier vorgestellt werden sollen, zeigen, dass die in den Schlacken befindlichen Wertmetalle, insbesondere Kupfer, zum Teil in mittel- bis feinkörnigen Kupfer- und Messingpartikeln (Bild 2) vorliegen, zu erheblichen Teilen aber auch in komplexen gemischten metallischen und metallhaltigen Mehrphasen-Systemen (Bild 3), welche anspruchsvolle Herausforderungen an die einzusetzenden Aufbereitungstechniken bilden.



Bild 2: Kupfer/Messingpartikel mit Einschlüssen aus MVA-Schlacke (Aufnahme mit Stereomikroskop)

Zusätzlich zu den beschriebenen Potentialen durch die Rückgewinnung von Kupfer sowie auch Aluminium ergeben sich zukünftig wahrscheinlich weiter steigende Wertmetallgehalte, die aus einer sich ändernden Abfallzusammensetzung resultieren. Hierbei könnte der Fokus auf Silber liegen. Das Silber wird durch das sich ändernde Konsumverhalten, insbesondere die dissipative Nutzung in Konsumgütern und deren Verpackungsmaterialien (RFID-Tags, USB-Sticks, anti-transpirante Kleidung u.a.) zukünftig

auch in größeren Mengen in die Schlacken eingetragen werden. Diese weitere Metallfracht sollte detektiert und nach Möglichkeit in verwertbare Konzentrate überführt werden.

Gleichzeitig soll eine Schwermetall-arme Mineralstoffmatrix erzeugt werden, die ebenfalls den Anforderungen an geeignete Verwertungsmaßnahmen genügt. Analog bzw. komplementär gelten diese Herausforderungen für Schlacken aus EBS-Feuerungsanlagen.

Letzlich ergibt sich aus dem sich voraussichtlich ändernden gesetzlichen Rahmen neben der Wertmetallrückgewinnung eine zweite Hauptherausforderung für die weitere Aufbereitung von Abfallverbrennungsschlacken. Die Abfallverbrennungsschlacken werden nach Abschluss der Aufbereitung bisher großteils zum Deponiebau eingesetzt und nur dann zum Straßenbau verwendet, wenn definierte Grenzwerte des Gehalts und der

Eluierbarkeit von Schwermetallen eingehalten werden. Welche Mengen dauerhaft im Deponebereich noch eingesetzt werden können, ist zu klären.

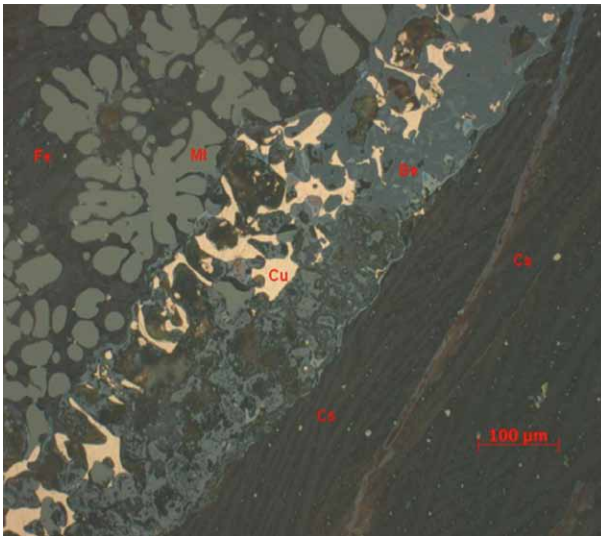


Bild 3:

Schlackengefüge einer MVA-Schlacke (Fe Eisensilikat, Mt Magnetit, Cs Calciumsilikat-Nadeln, Cu Kupfer, Be Brauneisen), (Aufnahme an poliertem Dünnschliff, Öl-Immersion)

Gelingt eine weitgehende Schwermetallentfrachtung der Abfallverbrennungsschlacken, dann sollten auch die in einer eventuell kommenden Ersatzbaustoffverordnung geforderten Grenzwerte eingehalten werden können und damit eine hochwertige Nutzung der metall-abgereicherten Mineralikfraktion, die den Hauptteil des Massestroms darstellt, möglich werden.

1.3. Zusammenfassung der Gründe für eine tiefere Abfallverbrennungsschlackenaufbereitung und neue Maßnahmen

Im Bereich der tiefere Abfallverbrennungsschlackenaufbereitung besteht dringender Handlungsbedarf, Verfahren zu entwickeln, die eine Rückgewinnung der dissipativ verteilten metallischen Bestandteile gewährleisten und Schwermetall-entfrachtete Mineralikfraktionen hinterlassen, welche einer technisch hochwertigen Verwertung zugeführt werden können.

Die Hauptgründe lassen sich mit:

- wachsendem Bedarf an metallischen Ressourcen,
- sinkenden bzw. endlichen Kapazitäten bei der Profilierung/Verfüllung von Deponekörpern,
- sich ändernden rechtlichen Rahmenbedingungen bei der Verwertung von Mineralikfraktionen und
- steigenden Inputmengen in die thermischen Behandlung von Abfällen (einschließlich EBS-Kraftwerken)

zusammenfassen. Daher haben die Partner Strabag AG als führender deutscher Aufbereiter von MVA-Schlacken und ihre Tochterunternehmen, Aurubis AG als international führendes Unternehmen im Kupferrecycling und das Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik der TU Clausthal, finanziert durch die Unternehmenspartner ein Untersuchungsprojekt durchgeführt. Ergebnis dieser Untersuchungen war die Entwicklung eines dreistufigen Verfahrens zur Aufbereitung feinkörniger MVA-Schlacken unter dem Namen *ReNe* das im folgenden vorgestellt werden soll.

1.4. Gegenstand und Ziel der Untersuchungen

Die Schlacke, an denen die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen durchgeführt wurde, ist primär in einer modernen Aufbereitungsanlage, die klassische trocken-mechanische Trenntechnik (Siebung, Sichtung, konventionelle Magnet- und Wirbelstromscheidung) nutzt, behandelt worden. Während die Metall- und Mineralikfraktionen > 6 mm größtenteils in metallurgischen und bautechnischen, nicht deponiegebundenen Anwendungen verwertet werden, wird die Feinfraktion < 6 mm bisher als Deponiebaustoff verwendet. Diese Feinfraktion ist Gegenstand der nachfolgend beschriebenen Untersuchungen.

Die untersuchten Schlackefraktionen stammen aus zusammengeführten Mengen an Ausbrannt einer größeren Zahl von Abfallverbrennungsanlagen und dürften damit in etwa die durchschnittliche Zusammensetzung von Abfallverbrennungsschlacken in Deutschland repräsentieren.

2. ReNe – ein dreistufiges Verfahren zur Metallrückgewinnung aus feinkörnigen MVA-Schlacken

ReNe ist ein innovatives Verfahren zur Rückgewinnung von dissipativ verteilten Metallen aus Verbrennungsrückständen der thermischen Abfallbehandlung und lässt sich nach dem aktuellen Stand der Entwicklung aufgrund der abnehmenden Korngrößen in drei Verfahrensstufen unterteilen:

- Trocken-mechanische Aufbereitungsstufe zur Abtrennung größerer Metallpartikel (1 mm - 6 mm, ggfs. 0,6 - 6 mm) (Stufe 1)
- Nass-mechanische Aufbereitungsstufe zur Abtrennung feinerer Metallpartikel (0,3 mm - 1 mm) (Stufe 2)
- Nass-chemische Aufbereitungsstufe zur Schwermetallentfrachtung im Feinstkornbereich (< 0,3 mm) (Stufe 3)

Das vorgestellte Verfahren wurde in einer Weise entwickelt, die es erlaubt, eine Umsetzung in verschiedenen Schritten vorzunehmen um so Investitionsrisiken eingrenzen zu können und gleichzeitig geeignete Schnittstellen für einen weiteren Ausbau sicherzustellen.

In systematischen Versuchsreihen wurden die jeweils besten Verfahrensansätze für einzelne Unit-Operations über eine vollständige Verfahrenskette entwickelt.

2.1. Trocken-mechanische Aufbereitung

In der ersten Verfahrensstufe (Bild 4) werden trocken-mechanische Aufbereitungsverfahren eingesetzt, um die vorliegenden Schlacken zu klassieren, mechanisch weiter aufzuschließen, eine Eisenreiche Fraktion für eine Weiterbehandlung zu separieren und ein erstes Kupferkonzentrat durch eine innovative Feinkorn- Wirbelstromscheidung in hüttenfähiger Qualität zu gewinnen.

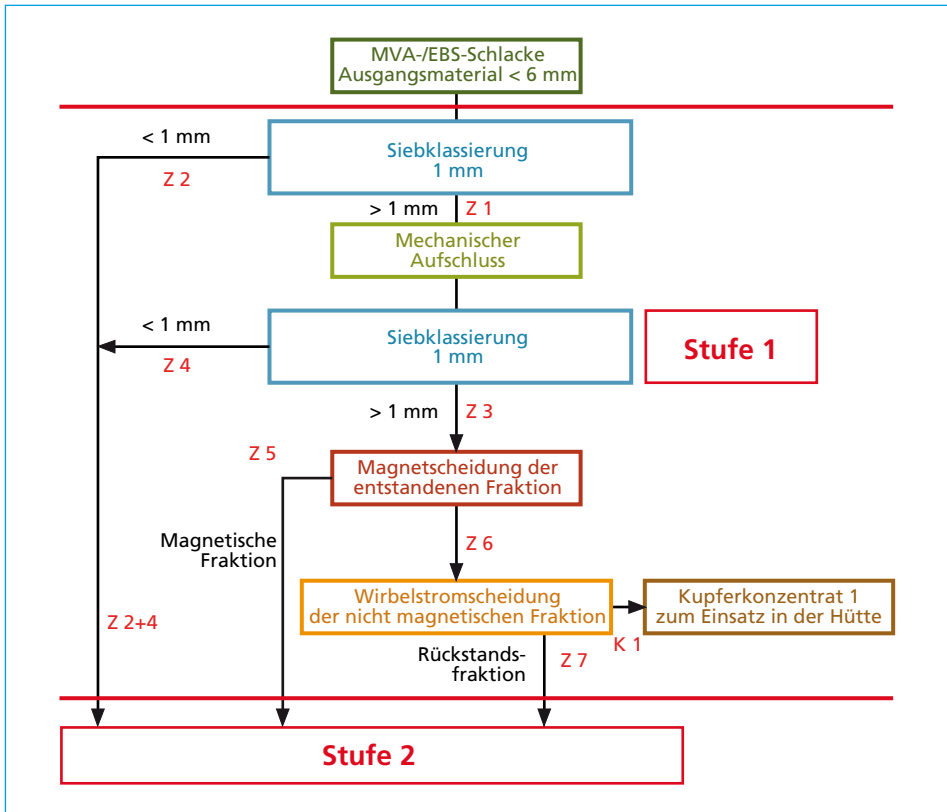


Bild 4: Verfahrensstufe 1 des ReNe-Verfahrens

Zur Entlastung des ersten Zerkleinerungsaggregates und zur Vermeidung von Übermahlungseffekten erfolgt als erster Aufbereitungsschritt eine Sieblassierung. Beste Ergebnisse im Hinblick auf den nachgeschalteten Aufschluss und die Trennung verschiedener Typen von NE-Metall-Trägern konnten bei einem Trennschnitt von 1 mm erreicht werden.

Im nachgeschalteten mechanischen Aufschluss erfolgt die Freilegung eher kompakter Metallpartikel aus Eisen, Kupfer, Messing und Aluminium. Für die Auswahl des bestgeeigneten Zerkleinerungsaggregats wurden folgende Rahmenbedingungen und Zielstellungen berücksichtigt:

- Erzielung eines ausreichenden Aufschlusses der abzutrennenden metallischen Bestandteile ohne massive Verformung und zu starke Zerkleinerung der Metallpartikel,
- Vermeidung extremer Staubentwicklung,
- Wahl eine möglichst energieeffizienten Ansatzes und
- Vermeidung eines zu hohen Verschleißes am Zerkleinerer.

Der Austrag dieser Zerkleinerungseinheit wird erneut bei 1 mm abgesiebt, falls mindestens die ersten beiden Stufen (trocken- und nass-mechanische Stufe) des gesamten Verfahrens umgesetzt werden.

Soll zunächst lediglich die erste (trocken-mechanische) Stufe des Verfahrens realisiert werden, kann der Siebschnitt auf 0,6 mm abgesenkt werden, da die nachgeschalteten Aggregate zur Magnetscheidung und insbesondere zur Feinkorn-Wirbelstromscheidung in der Lage sind, selektive Trennergebnisse bei akzeptablen Durchsatzleistungen bis zu dieser Korngröße zu generieren.

Wird ein zweistufiger Prozess realisiert, der unter Einsatz trocken- und nass-mechanischer Verfahren arbeitet, gelingt eine Rückgewinnung von Metallpartikeln bis zu einer Korngröße von rund 0,3 mm. In diesem Fall ergibt sich eine optimierte Schnittstelle zwischen den Prozessstufen bei einer Körnung von 1 mm.

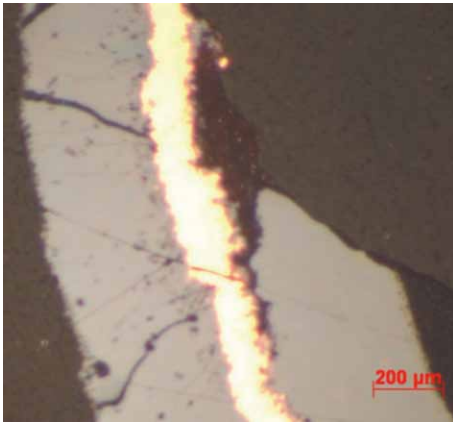


Bild 5: Von Eisenphasen (hellgrau) umschlossene Kupferphase (rötlich-gelb) aus der magnetischen Fraktion (Aufnahme an poliertem Dünnschliff, Öl-Immersion)

In der sich anschließenden Magnetscheidung wird der Siebüberlauf über Schwach- bzw. Mittelfeldscheider geführt. Die bei der Magnetscheidung entstehende magnetische Fraktion (Z5) weist eine deutliche Aufkonzentration des Eisens aber auch einen nennenswerten Anteil an Kupfer auf, der auf die in den Schlackepartikeln vergesellschafteten Eisen- und Kupferphasen zurückzuführen ist (Bild 5). Diese magnetische Fraktion wird der zweiten (nass-mechanischen) Prozessstufe zur weiteren Aufbereitung zugeführt.

Der von magnetischen Bestandteilen befreite Stoffstrom wird in einem nächsten Verfahrensschritt einem völlig neuartigen Feinkorn-Wirbelstromscheider zugeführt, mit welchem es möglich ist, Metall-

partikel von nicht leitfähigen Schlacke- und Aschenbestandteilen im Kornbereich bis herunter zu 0,6 mm abzutrennen. Das hierbei gewonnene NE-Metallkonzentrat weist einen Kupfergehalt von etwa 28 Prozent sowie einen Aluminiumgehalt von etwa 39 Prozent auf. Der mitausgetragene Restanteil an mineralischen Bestandteilen, bedingt durch Verwachsungen, liegt in der Größenordnung von 33 Prozent. In einem nachgeschalteten Prozessschritt, auf den hier nicht näher eingegangen werden soll, lassen

sich daraus ein Kupfer- und ein Aluminium-Konzentrat gewinnen. Über diesen Verfahrensschritt können rund 37 Prozent des Kupferinhalts der Aufgabe (MVA-Schlacke < 6 mm) im Kupferkonzentrat K1 ausgebracht werden.

2.2. Nass-mechanische Aufbereitung

Um die NE-Metallinhalte aus Gefügen wie sie in den Bildern 3 und 5 dargestellt sind, zurückzugewinnen, ist ein weitergehender Aufschluss, erforderlich, der zudem auf eine Kornbandspreizung durch unterschiedliches Materialverhalten von duktilen und spröden Komponenten setzt. Dies ist in einem nassen mechanischen Beanspruchungsprozess gelungen. Durch diesen Schritt wird ein effizientes Sortieren im Kornbereich zwischen 0,3 mm und 1 mm möglich. Sowohl die Zerkleinerung wie auch die Klassierung und Sortierung sind im Nassbereich wesentlich trennschärfer zu gestalten (Bild 6).

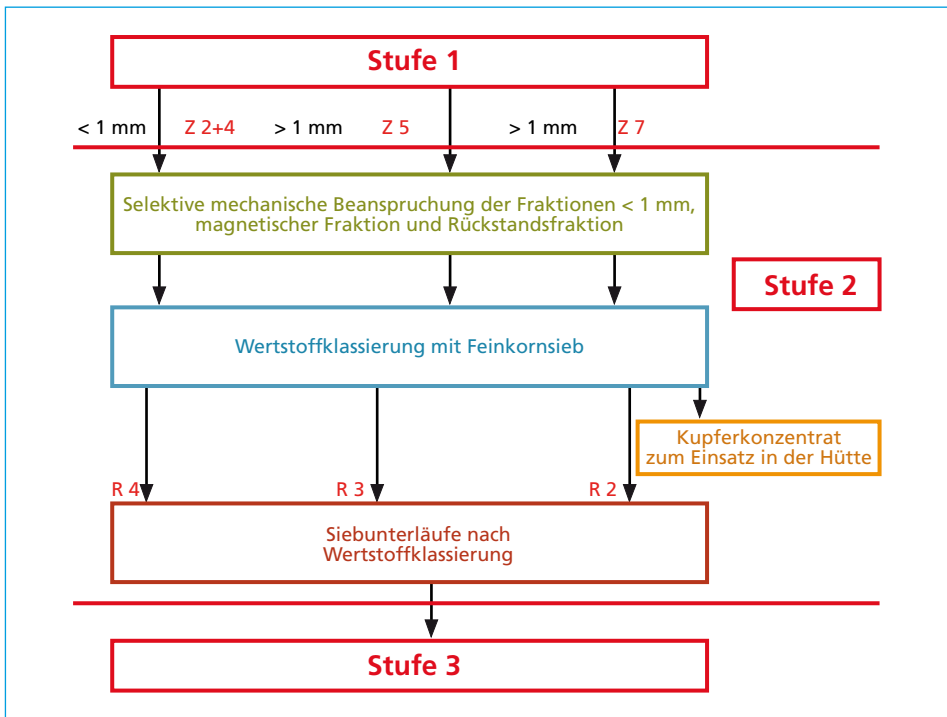


Bild 6: Verfahrensstufe 2 des ReNe-Verfahrens

Mittels geeigneter Verfahrensführung lassen sich Kupferphasen, ein Teil der Eisenkomponenten und restliche metallische Aluminiumanteile auswalzen, während die restlichen Schlacken-, Aschen- und Eisenkomponenten auf Grund ihres spröderen Charakters zerkleinert werden. Wesentlich bei der Auslegung des Zerkleinerungsverfahrens ist es, gleichzeitig einen maximalen Aufschluss bei einem möglichst minimalen Anteil an sehr feinem Korn, welches die Entwässerung erschweren würde, zu erzeugen.

Die Gewinnung eines Cu-Al-Mischkonzentrates (Bild 7), welches nachfolgend weiter aufgetrennt werden kann, lässt sich über den Einsatz spezieller industrieller Feinkornsiebe realisieren. Dabei ist es durch Neu- und Weiterentwicklungen aus den USA in der Siebtechnologie mittlerweile möglich auch industriell wirtschaftlich und effizient im Feinkornbereich $< 0,3$ mm zu sieben.



Bild 7: Kupfer-Aluminium-Mischkonzentrat der zweiten Prozessstufe

Der Siebunterlauf $< 0,3$ mm kann in weiteren Stufen nass-mechanisch behandelt werden, um auch im Feinkornbereich eine Aufkonzentration der verbliebenen, nun stark Kupfer- und Kupferoxid-dominierten NE-Inhalte zu ermöglichen. Dieser Ansatz ist Gegenstand einer weiteren Entwicklungsstufe des Gesamtverfahrensansatzes und soll im Rahmen des vorliegenden Berichts noch nicht thematisiert werden. Die Weiterbehandlung der Fraktion $< 0,3$ mm mittels nasschemischer Verfahrensansätze ist Gegenstand der Verfahrensstufe drei.

Eine wesentliche Frage, die sich bei der Nassaufbereitung stellt, ist jene der Abwasserführung. In dem entwickelten Prozess soll durch eine optimal ausgelegte mechanische Behandlungsstufe eine weitestgehende Kreislaufführung der Prozesswässer ermöglicht werden, so dass durch den Austrag von Restfeuchte in den Feststofffraktionen hauptsächlich eine kontinuierliche Frischwasserzufuhr erforderlich wird. Um Rückschlüsse auf die Kosten für evtl. abzustoßende Abwässer zu ziehen, wurde in Laboruntersuchungen die Anreicherung kritischer Schwermetallgehalte überprüft. Es zeigte sich, dass die Schwermetallkonzentrationen in den Prozesswässern auch nach mehrmaliger Kreislaufführung unkritisch sind. Sollte Abwasser abgegeben werden müssen, könnte unter Umständen eine Anpassung des pH-Wertes nötig sein. Abschließende Aussagen hierzu sind allerdings erst nach längeren Pilottests möglich.

Das in Verfahrensstufe zwei gewinnbare Kupfer-Aluminium-Mischkonzentrat (Bild 7) weist einen durchschnittlichen Kupfergehalt von 25 Prozent auf. Etwa 29 Prozent des Kupferinhalts der insgesamt im Prozess behandelten Abfallverbrennungsschlacke < 6 mm können an dieser Stelle ausgebracht werden. Verbunden mit dem Kupfer ist ein nennenswerter Anteil an Eisen von etwa 25 Prozent, welches im pyrometallurgischen Verwertungsprozess des Kupferkonzentrats als Reduktionsmittel und Schlackebildner eingesetzt werden kann.

2.3. Nass-chemische Aufbereitung

In einer optimierten Verfahrensfahrweise lassen sich mittels des zweistufigen trocken- und nass-mechanischen Aufbereitungsverfahrens etwa 65 Prozent der Kupferfracht aus den Abfallverbrennungsschlacken < 6 mm in metallurgisch verwertbaren Kupferkonzentraten zurückgewinnen. Das verbleibende Kupfer ist unter vertretbarem Aufwand

in rein mechanischen Aufbereitungsverfahren nicht zu gewinnen. Untersuchungen zur Flotation an der Fraktion < 300 µm zeigen erfolgversprechende Ansätze, befinden sich aber noch in der Entwicklungsphase. Eine ausreichende Schwermetall-Entfrachtung der Mineralik-Fraktion, die ein Einhalten der Z2-Kriterien für die verbleibende Mineralikfraktion erlauben würde, ist allerdings erkennbar durch eine Flotation allein nicht erreichbar.

Somit ist zur Erreichung des letztgenannten Ziels der Einsatz von Laugeverfahren unabdingbar, in welchen gleichzeitig weitere Anteile des Kupferinhalts in verwertbare Konzentrate überführt werden sollen. Sowohl saure als auch basische Prozessführungen kommen hierfür in Betracht.

In Versuchsreihen wurde der beste identifizierte Ansatz, die hydrometallurgische Rückgewinnung des Kupfers und ggf. weiterer Schwermetalle über Laugung in Kombination mit Solventextraktion und Elektrolyse analog zur hydrometallurgischen Kupfer-Gewinnung aus Primärvorkommen weiter verfolgt (Bild 9). Als Alternative zur Rückgewinnung bestimmter Elemente über den Weg der Solventextraktion, insbesondere Kupfer, kann auch eine Fällung, der in die flüssige Phase überführten Elemente, durch eine geschickte Verschiebung des pH-Wertes erreicht werden.

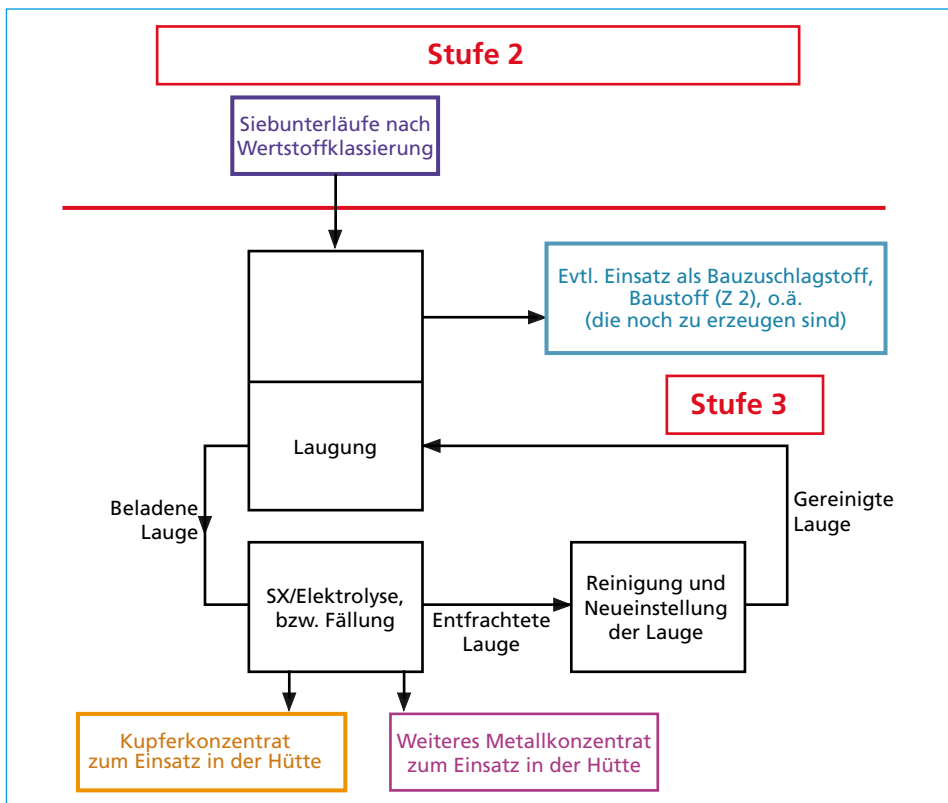


Bild 8: Verfahrensstufe 3 des ReNe-Verfahrens

Mittels Laugung besteht die Möglichkeit, Kupfer und andere Elemente gezielt in Lösung zu überführen. Grundsätzlich sind metallische und oxidische Phasen über diesen Weg aufschließbar, silikatische Phasen dagegen in der Regel nicht. Die Gewinnung des Kupfers erfolgt über Reaktionen, welche gewährleisten, dass eine selektive Laugung durch Komplexbildung aus drei verschiedenen, hier separat behandelten Teilströmen (R 2, 3 und 4) (Bild 8) erzielt werden kann. Diese separate Behandlung erfolgte, um die potentiellen Grenzen für Aufkonzentration bzw. Abreicherung aus möglichst unterschiedlichen Stoffströmen ausloten zu können.



Bild 9: Beladene Lauge nach Abschluss der Laugestufe und fest/flüssig Trennung

Es konnte gezeigt werden, dass eine selektive Laugung von Kupfer und weiterer Metalle aus der mechanisch behandelten Abfallverbrennungsschlacke möglich ist. Durch Entwicklung eines hydrometallurgischen Prozesses, der an die mechanischen Stufen angeschlossen ist, lassen sich von der verbliebenen (Rest)kupferfracht (35 Prozent der Ausgangsfracht) weitere 65 Prozent zurückgewinnen, was zu einem Gesamtausbringen, nach den mechanischen und der chemischen Stufe, des Kupfers von etwa 85 Prozent führt. Die bisherigen Untersuchungen weisen darauf hin, dass es zudem möglich ist, das Kupferausbringen weiter zu steigern und die nach LAGA M-20 Z2 geforderten Grenzwerte für Kupfer und weitere Metalle zu erreichen. Zur Absicherung dieser Resultate sind weitere Versuchsreihen geplant.

Nach dem durch die mechanischen Schritte bisher etwa 14 Prozent anderer Wertmetallfrachten in die Kupferkonzentrate überführt werden konnten, können durch den Laugeprozess weitere etwa 37 Prozent der enthaltenen Fracht, zurückgewonnen werden. In der Addition ergibt dies eine Gesamtausbringen für weitere Wertmetalle aus der aufgegeben Abfallverbrennungsschlacke von etwa 55 Prozent.

Analog zum Kupfer sollen auch die übrigen zurückgewonnenen Wertmetalle einer Vermarktung zugeführt werden.

Die Abfallverbrennungsschlacke ist nach Abschluss der Laugung und Abtrennung der flüssigen Phase im aktuellen Stand der Verfahrensentwicklung durchbehandelt. Ein wesentlicher Faktor für die Wirtschaftlichkeit des dreistufigen Verfahrensansatzes liegt nun in der Entwicklung geeigneter Absatzkanäle für die Schwermetall-entfrachtete Mineralikfraktion. Weitere Prozessschritte und die Optimierung des Gesamtprozesses sind Gegenstand laufender und weiterer Untersuchungen, die von den Partnern durchgeführt werden bzw. geplant sind.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Die in Müllverbrennungs- und EBS-Schlacken nach effizienter Aufbereitung gemäß dem Stand der Technik in der Fraktion < 6 mm verbliebenen, bisher nicht rückgewinnbaren Kupferinhalte belaufen sich in Deutschland auf rund 10.000 – 20.000 t/a [1]. Mit dem dreistufigen ReNe-Prozess können diese aus den derzeit anfallenden MVA-Schlacken der Nassentschlackung zu etwa 85 Prozent aus der Matrix abgetrennt und in hüttenfähige Konzentrate überführt werden. Die NE-Metall-Mischkonzentrate, die in den trocken- und nass-mechanischen Prozessstufen entstehen, weisen jeweils Kupferkonzentrationen von über zwanzig Prozent auf und belaufen sich dabei auf etwa 2,5 bis 3 Prozent der Gesamtmasse. Diese Mischkonzentrate sind in verschiedene Teilkonzentrate von Kupfer- mit Edelmetallen einerseits sowie Aluminium andererseits separierbar.

Die durch die nass-chemische Stufe gewonnenen Konzentrate von Kupfer und weiteren Metallen können entweder als Sulfatlösungen, Fällungs- oder Zementationskonzentrate oder als abgeschiedene Metalle einer Gewinnungselektrolyse vermarktet werden.

Für die verbleibenden rund 97 % der Masse der aufgegebenen Abfallverbrennungsschlacke ist es das Ziel, diese als Schwermetall-entfrachtete Mineralikfraktion einer weiteren Verwertung zuzuführen. Die relevanten Grenzwerte bezüglich spezifischer Inhaltsstoffe sind je nach Einsatzfall einzuhalten. Die weitere Verfahrensentwicklung wird hier, ausgehend von dem primären Ansatz, die Z2-Grenzwerte einzuhalten, zielgerichtet für geeignete Anwendungsfälle vorangetrieben.

Durch eine weitere Optimierung der Prozessschritte soll der Aufwand für die Rückgewinnung der Metalle weiter reduziert und ergänzende Wertschöpfungspotentiale durch die separate Gewinnung zusätzlicher Metallkonzentrate erschlossen werden. In parallel durchgeführten Projekten wird die Übertragung auf ähnliche Stoffströme untersucht.

Durch die dreistufige Verfahrensführung im ReNe-Prozess wird die Möglichkeit eröffnet, Verfahrensteile in Abhängigkeit von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Investitionsrisiken stufenweise umzusetzen.

4. Literatur

- [1] Alwast, H.; Riemann, A.: Verbesserung der umweltrelevanten Qualitäten von Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen. In: Prognos-Studie für das Umweltbundesamt, Oktober 2010
- [2] Recycling von Kupferwerkstoffen http://www.kupferinstitut.de/front_frame/pdf/Recycling%20von%20Kupferwerkstoffen%20-%20final.pdf (abgerufen am 26.06.2013)
- [3] Kupfereffizienz – unerschlossene Potenziale, neue Perspektiven Wuppertal Institut, Rainer Lukas

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Aschen • Schlacken • Stäube

– aus Abfallverbrennung und Metallurgie –

Karl J. Thomé-Kozmiensky.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-99-3

ISBN 978-3-935317-99-3 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 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ginette Teske, Ina Böhme, Petra Dittmann, Cordula Müller,
Fabian Thiel, Martin Schubert

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Foto auf dem Buchdeckel: Dipl.-Ing. Daniel Böni, KEZO Kehrrechtverwertung Zürcher
Oberland

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.