

Thermo-Recycling: Efficient Recovery of Valuable Materials from Dry Bottom Ash

Daniel Böni

It makes no ecological or economic sense to dispose of recyclable materials in landfills. This also applies to the incineration residues that are generated in waste incineration. The ZAR Foundation *Centre for recyclable waste and resources* is a forward-looking supplement to the system of existing (separate) collections in Swiss waste management and, as a national development centre, makes groundbreaking practical contributions. Since its foundation in 2010, the fundamentals for the world's first treatment plant for dry bottom ash from thermal waste recycling have been developed.

This plant is operated by ZAV Recycling AG. More than 15 percent of separated metals prove the great potential. One third of the metals are non-ferrous metals of environmental relevance.

The recovery achieved and the associated savings of 60,000 tonnes of CO₂ per year set new standards worldwide. In addition to the major ecological advantages, the great economic potential of dry bottom ash has also been proven. In 2017, metal revenues of over CHF 95 per ton of dry bottom ash delivered were realized. The treatment process also sets new standards for industrial plants with regard to dust emissions.

Thermo-Recycling: Effiziente Gewinnung von Wertstoffen aus der Trockenschlacke

Daniel Böni

1.	Vorgeschichte.....	108
2.	Vor- und Nachteile der Trockenschlacke.....	108
3.	Trockenaustrag	109
4.	Die Aufbereitungsanlage der ZAV Recycling AG.....	110
4.1.	Wirkungsgrad.....	110
4.2.	Wertstoffqualität.....	111
4.3.	Emissionsfreiheit.....	112
4.4.	Energieverbrauch	113
4.5.	Metallausbeute.....	113
4.6.	Weiteres Metallpotential	113
4.7.	Eisenaufbereitung.....	113
4.8.	NE-Aufbereitung.....	114
4.9.	Abfallqualität	115
4.10.	Vergleich von Nass- und Trockenschlackenaufbereitungsanlagen	116
4.11.	Vergleich der NE-Metall-Mengen.....	116
4.12.	Erträge aus den Metallen	117
4.13.	CO ₂ -Einsparung.....	118
5.	Ausblick.....	118

Wertstoffe zu deponieren ist ökologisch und ökonomisch nicht sinnvoll. Dies gilt auch für die Verbrennungsrückstände, die in einer Kehrrechtverwertung anfallen. Die Stiftung *Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung ZAR* ist die zukunftsweisende Ergänzung zum System bestehender (Separat-) Sammlungen der schweizerischen Abfallwirtschaft und leistet als nationales Entwicklungszentrum wegweisende Praxisbeiträge. Seit ihrer Gründung im Jahr 2010 wurden die u.a. die Grundlagen für eine weltweit erste Aufbereitungsanlage für Trockenschlacke aus der thermischen Abfallverwertung erarbeitet. Diese wird von der ZAV Recycling AG betrieben.

Die über 15 Prozent an separierten Metallen belegen das große Potential. Bei einem Drittel der Metalle handelt es sich um die umweltrelevanten Nichteisenmetalle.

Die erzielte Rückgewinnung und die damit verbundene Einsparung von 60.000 Tonnen CO₂ pro Jahr setzt weltweit neue Standards. Neben den großen ökologischen Vorteilen konnte auch das große ökonomische Potential in der Trockenschlacke nachgewiesen werden. Im Jahr 2017 wurden Metallerträge von über CHF 95 pro Tonne angelieferte Trockenschlacke realisiert. Auch bezüglich Staubbelastung setzt das Aufbereitungsverfahren neue Maßstäbe für industrielle Anlagen.

1. Vorgeschichte

Die thermische Verwertung von nicht rezyklierbaren Abfällen ist ein wichtiges Standbein der Schweizer Abfallwirtschaft. Trotz der großen Volumen- und Massenreduktion durch die thermische Verwertung verbleiben 20 bis 25 Prozent Reststoffe zurück. Diese müssen auf Deponien endgelagert werden und verursachen großen Nachsorgeaufwand. Das Schweizer Abfallleitbild von 1986 hat Betreiber und Entwickler immer wieder motiviert, neue Ansätze zu prüfen, um die Metallrückgewinnung aus den Reststoffen zu maximieren und die Qualität der Reststoffe zu optimieren. Die Schlacke gehört zu den meist untersuchten Abfallfraktionen in der Schweiz. Trotz sehr großem Aufwand ist es bis heute nicht gelungen, aus der Schlacke einen Rohstoff oder ein nachsorgefreies Deponiegut herzustellen. Wichtige Meilensteine in der Erkenntnisfindung waren die Arbeiten *Deponierung fester Rückstände aus der Abfallwirtschaft* von 1993 und *KVA-Schlackensand* von 2005 der Schweizer Behörden.

Wichtigste Erkenntnisse:

- Die Teilsysteme der thermischen Abfallverwertung und Schlackenaufbereitung müssen aufeinander abgestimmt werden.
- Die Optimierung einzelner Teilprozesse, wie aktuell praktiziert, wird nicht zur nachsorgefreien Deponie für Schlacke führen.
- Erster gangbarer Ansatz ist ein Systemwechsel vom aktuellen Schlackennass- auf Schlackentrockenaustrag.

Aufgrund dieser Erkenntnisse waren der Begriff *Thermo-Recycling* und die Marke *thermo-re*[®] schnell gefunden.

2. Vor- und Nachteile der Trockenschlacke

Wer die Vorteile der Trockenschlacke verstehen will, muss die Nachteile der Nassschlacke kennen. Bis auf ein paar wenige Anwendungen wird die Schlacke bei thermischen Abfallverwertungsanlagen weltweit nass ausgetragen. Die Schlacke fällt nach dem Verbrennungsofen in ein Wasserbad und wird vollständig benetzt. Wieso hat sich der Nassaustrag weltweit durchgesetzt?

- Das Wasserbad ist ein wirksamer Luftabschluss zum Feuerraum der Ofenanlage.
- Das Wasserbad löscht noch brennende organische Teile und kühlt die Schlacke ab, bevor diese ausgetragen wird.

Diese Vorteile sind für den Betreiber der thermischen Abfallverwertung relevant, verhindern aber eine effiziente Aufbereitung der Schlacke.

Vorteile der Trockenschlacke

- Die Trockenschlacke ist ein Schüttgut, das sich beliebig transportieren und fraktionieren lässt. Es kann auch im industriellen Maßstab auf unter 0,3 mm gesiebt werden.
- Die Metalle in der Trockenschlacke bleiben sauber und sind nicht von einer feuchten mineralischen Schicht umhüllt, die im Aufbereitungsprozess die Metallseparation erschwert oder sogar verunmöglicht.
- Der organische Anteil in der Trockenschlacke (TOC) ist in der Regel tiefer, da der Verbrennungsprozess im Wasserbad nicht gestoppt wird und ein Nachbrennen noch möglich ist.
- Die Trockenschlacke ist nicht korrosiv, da die Salze in trockener Form vorliegen.
- Die Trockenschlacke ist rund 20 Prozent leichter als die Nassschlacke und hat dadurch logistische Vorteile.
- Trocken heißt auch, dass weniger Wasser verbraucht wird (etwa 15 Prozent der Schlackenmasse).

Nachteile der Trockenschlacke

Nachteilig ist die Staubbildung. Trockenschlacke muss analog dem Mehl oder Zement in Mühlen- oder Zementbetrieben in geschlossenen Systemen geführt werden.

3. Trockenaustrag

Beim Trockenaustrag muss man die Schlacke trocken und staubfrei austragen können, ohne dass der Verbrennungsprozess unnötig gestört wird. In der KEZO in Hinwil wurde die erste Linie 2007 auf Trockenaustrag umgestellt. Dabei wurden betrieblichen Anforderungen Rechnung getragen. Mit dem Umbau weiterer Ofenlinien wurde der Trockenaustrag effizienter und einfacher aufgebaut.

Erfreulich ist die Tatsache, dass die bedeutenden Hersteller von thermischen Abfallverwertungsanlagen ohne große Zeitverzögerung unterschiedliche Trockenaustragssysteme entwickelt und in Betrieb genommen haben. Bereits haben auch Anlagebetreiber ausserhalb des Kanton Zürich die Vorteile der Trockenschlacke erkannt und ihre Ofenlinien entsprechend umgebaut. Neben fünf, bereits erfolgreich operierenden Anlagen in der Schweiz, wurden bereits zwei Anlagen in Italien nachgerüstet, in Schweden ist eine Anlage im Neubau.

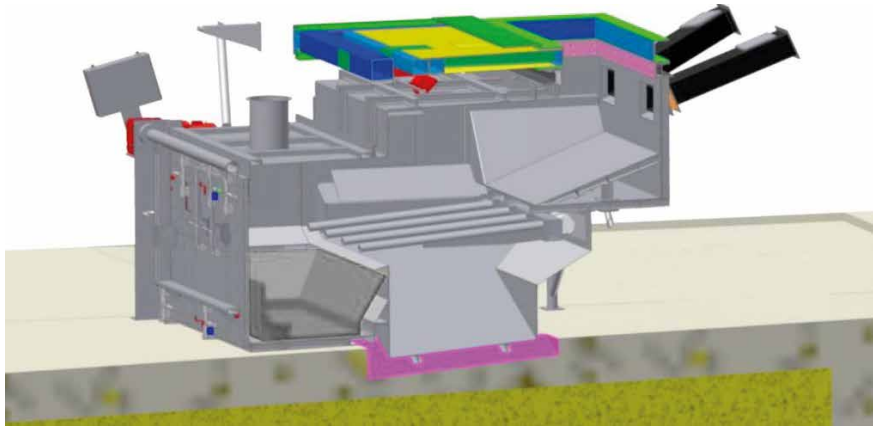


Bild 1: Von der Stiftung ZAR entwickelter und installierter Trockenaustrag (2015)

4. Die Aufbereitungsanlage der ZAV Recycling AG

4.1. Wirkungsgrad

Um bei der Metallrückgewinnung einen hohen Wirkungsgrad zu garantieren, braucht es Trockenschlacke und eine effiziente Aufbereitungsanlage. Die Separation der NE-Metalle erfolgt fast ausschliesslich mit Induktionsabscheidern. Bei den kleinen Metallteilen ist es daher entscheidend, dass die Metalle eine saubere Oberfläche und nicht eine mineralische Hülle haben, welche die Abstoßungskräfte bei der Separation unnötig schwächen.



Bild 2:

Links NE-Metalle aus Nassausstrag, rechts NE-Metalle aus Trockenaustrag

Bei der Planung der Anlage lag der Fokus auf einem hohen Wirkungsgrad der Wertstoffseparation. Dieser wird erreicht, indem entweder gleiche Separationsmaschinen in Serie geschaltet werden oder das Material im Kreislauf geführt wird. In der Anlage

wurden beide Prinzipien umgesetzt, d.h. bei den Schlackenfraktionen größer 12 mm kommt das Kreislaufkonzept zum Tragen. Bei der Schlackenfraktion kleiner 12 mm werden die Separationsmaschinen in Serie geschaltet.

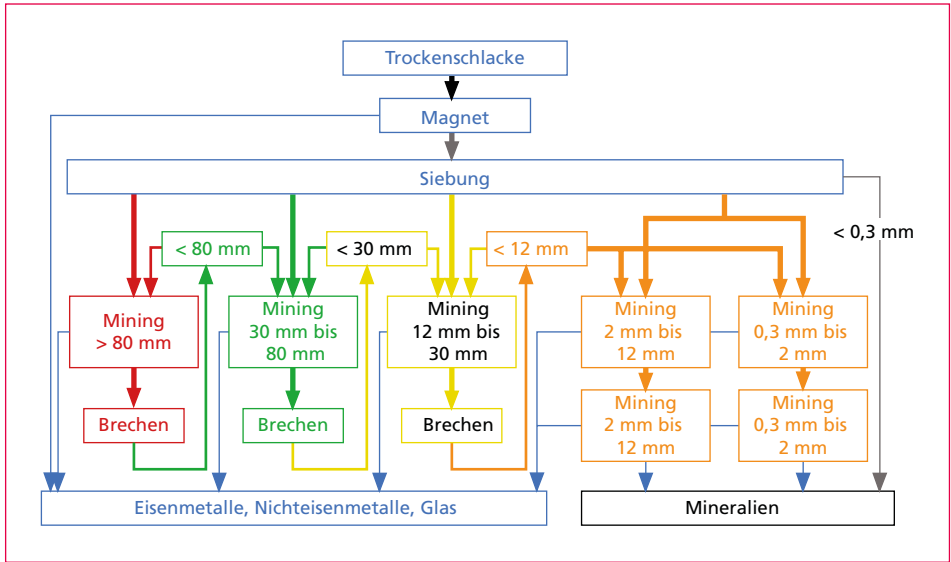


Bild 3: Prozessflussdiagramm der Schlackenaufbereitungsanlage der ZAV Recycling AG

Aufgrund des konsequenten Siebens und selektiven Brechens der Schlacke können die Metallteile einer Fraktionsgröße nur separiert oder im Kreislauf gefahren werden, bis diese definitiv ausgeschieden werden. So wird bei den metallisch nutzbaren Fraktionen ein Wirkungsgrad von fast 100 Prozent erreicht. Um eine konstant hohe Metallausbeute sicherzustellen, werden weitere wichtige Rahmenbedingungen erfüllt:

- Dank des sequenziellen Brechprozesses in drei Brechstufen werden die in Schlackenagglomeraten eingeschlossenen Metalle fast vollständig freigelegt.
- Die fünf Aufbereitungslinien garantieren eine optimale Abstimmung der Fraktionsgrößenbereiche auf die Separationsmaschinen.
- Die Schlacke strömt konstant auf optimalem Niveau durch die einzelnen Separationsmaschinen, um eine bestmögliche Prozesssicherheit zu garantieren.
- Der 24-Stunden-Betrieb der Anlage ermöglicht eine optimale Auslastung auf relativ kleinen, gut beherrschbaren Sortiermaschinen.

4.2. Wertstoffqualität

Eine hohe Metallqualität ermöglicht eine effiziente Rückführung der Metalle in den Stoffkreislauf. Die Produkte der ZAV Recycling AG sind hochwertig: Ein großer Teil der Eisenmetalle und des Aluminiums sowie sämtliche NE-Edelmetalle können ohne zusätzliche Behandlung direkt ins Schmelzwerk gebracht werden.



Bild 4:

NE-Metalle (12-30 mm), direkt aus dem Separationsprozess



Bild 5:

Edelstahlmetalle 30-80 mm



Bild 6:

NE-Metalle schwer 5-8 mm

4.3. Emissionsfreiheit

Erstmals wurde eine Schlackenaufbereitungsanlage gebaut, die während 24 Stunden am Tag und 52 Wochen im Jahr kontinuierlich läuft. Dank dem hohen Automatisierungsgrad ist der Überwachungsaufwand der Anlage sehr gering. Die gekapselte und im Unterdruck betriebene Anlage garantiert eine emissionsfreie Aufbereitung der Schlacke. Es überrascht daher nicht, dass der Grenzwert für Staubbelastungen MAK (Maximale Arbeitsplatzkonzentration) stark unterschritten wird.

4.4. Energieverbrauch

Trotz Einsatz von drei Brechern, vielen Sieben, Transportbändern, Separationsmaschinen und Absauganlagen liegt der spezifische Energieverbrauch der Anlage (exkl. Druckluft) bei unter 16 kWh pro Tonne Schlacke. Ein ausgezeichneter Wert im Vergleich mit anderen Großanlagen.

4.5. Metallausbeute

Aus einer Schlackenmenge von 100'000 Tonnen pro Jahr werden neben Glas und rostfreien Stählen die folgenden Metallmengen in den Stoffkreislauf zurückgeführt:

Eisen: 10.000 Tonnen

NE-Metalle: 4.500 Tonnen

Davon gehen rund 500 Tonnen wegen des hohen Kupfer- und Edelmetallgehaltes in Spezienschmelzwerke zur Abtrennung von Gold, Silber und Palladium. Typischerweise finden sich in einer Tonne dieser Edelfraktionen:

Silber: 2.000 bis 3.000 g/t Edelfraktion

Gold: 80 bis 200 g/t Edelfraktion

Palladium: 10 bis 45 g/t Edelfraktion

Verschiedene durchgeführte Analysen zeigen, dass das NE-Potential in der Schlacke noch nicht vollständig ausgeschöpft ist.

4.6. Weiteres Metallpotential

Die Schlackenaufbereitungsanlage ist seit über einem Jahr in einem industriellen Maßstab in Betrieb.

Neueste Analysen der aufbereiteten Schlacke zeigen, dass der Restgehalt von NE-Metallen in der magnetischen Fraktion noch zu hoch ist. Weiter gehen auch noch beachtliche Mengen an NE-Metalle als Verbundmetalle über die Eisenseparation als Ertragsträger verloren bzw. führen zu minderwertigeren Eisenqualitäten und dadurch zu tieferen Eisenerträgen.

4.7. Eisenaufbereitung

Im Januar 2018 wurde die Eisenaufbereitungsanlage in Betrieb genommen. Das Eisen, welches mit einem Überbandmagneten aus der angelieferten Trockenschlacke separiert wird, wird in einem Bunker zwischengelagert. Mit einer automatischen Krananlage mit Hubmagnet wird erreicht, dass das separierte Eisen regelmäßig im Bunker verteilt werden kann. Mit der automatischen Krananlage wird auch die Eisenaufbereitungsanlage beschickt. Wichtigstes Element der Eisenaufbereitung ist das Trommelsieb, in welchem anhaftende Schlackenteile abgeschlagen werden.

Die Eisenfraktion größer 40 mm wird auf ein Sortierband geführt, zur manuellen Entfernung von Störstoffen, vor allem Kupfer, Aluminium-Eisenverbunde. In der Fraktion kleiner 40 mm wird zusätzlich mit einem weiteren Überbandmagnet das Eisen separiert bevor es auf ein zweites Sortierband zur manuellen Entfernung von Störstoffen geht. Die mineralischen Rückstände und leicht magnetische Eisenoxide werden zurück in den Schlackenstromgeführt. (PLS-Bild von FE-Aufbereitung). Erste Erfahrungen zeigen, dass die Eisenqualität durch die Aufbereitung nochmals signifikant verbessert werden kann. In Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich läuft zurzeit eine groß angelegte Untersuchung zum ökologischen und auch ökonomischen Nutzen



Bild 7: Eisen aus Trockenschlacke

der Eisenaufbereitung bzw. dem Recyceln von Eisen über das Thermorecycling. Wir sind auf die wissenschaftlichen Resultate gespannt, welche im Laufe dieses Jahr publiziert werden. Auf Grund der bei den Schmelzwerken erzielten Mehrerträgen (+ 50 Prozent), sowie dem geringen Energieaufwand bei der Eisenaufbereitung gehen wir davon aus, dass die Jahresbilanz der Aufbereitungsanlage ökologisch und auch ökonomisch sehr erfreulich ausfallen wird.

4.8. NE-Aufbereitung

Die Aufbereitung der Feinschlacke kleiner 12 mm basiert auf der Serienschaltung von einem Neodym-Magneten zur Separation der magnetischen Schlacke und zwei Wirbelstromabscheidern zur Separation der NE-Metalle. Werden bereits *magnetische* NE-Metalle vom Neodym-Magneten separiert, so gehen diese mit der magnetischen Schlacke verloren. Analysen haben gezeigt, dass die magnetische Schlacke bis zu 1 Prozent magnetische NE-Metalle enthält.

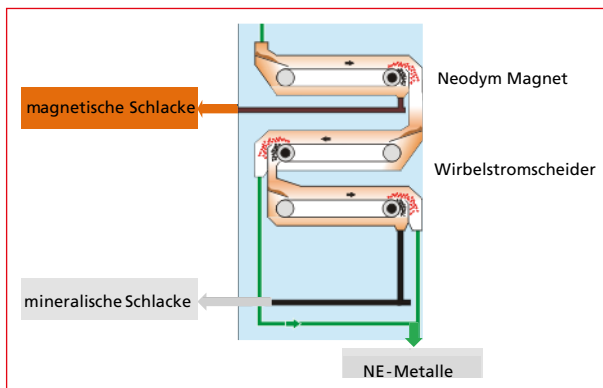


Bild 8:

NE-Aufbereitungsanlage

Es sind kleinste Eiseneinschlüsse in den NE-Metallen, welche dazu führen, dass auch größere NE-Metallteile vom Neodym-Magneten angezogen werden und damit mit

der magnetischen Schlacke ausgetragen werden. Das nachfolgende Bild zeigt verschiedene NE-Metalle, welche vom Neodym-Magneten angezogen wurden.



Bild 9: Magnetische NE-Teile

Versuche mit dem Wirbelstromabscheider haben gezeigt, dass ein großer Anteil dieser leicht magnetischen NE-Metalle separiert werden kann. Es gilt nun die Stärke des Neodym-Magneten soweit zu reduzieren, dass die magnetischen

NE-Metalle nicht mit der magnetischen Schlacke separiert werden und der Wirkungsgrad des Wirbelstromabscheiders nicht durch den höheren Gehalt an magnetischer Schlacke reduziert wird. Wir gehen heute davon aus, dass wir durch eine entsprechende Optimierung den Anteil an NE-Metalle um etwa 0,3 bis 0,5 Prozent steigern können.

4.9. Abfallqualität

Tabelle 1: Abfallzusammensetzung im Betrachtungszeitraum

01.01.2017 bis 16.07.2017	Anteil %
Siedlungsabfälle	53,1
Industrie- und Marktabfälle	32,9
Klärschlamm	2,7
Holz	7,9
VEVA RESH Auto	3,3
VEVA RESH Elektro	0,1
Summe	100

Neben der Aufbereitungstechnik ist der Metallgehalt im Abfall bzw. der Schlacke für die Metallausbeute entscheidend. Mit der Aufzeichnung der Abfallzusammensetzung und über die aufbereiteten Schlackenmengen der verschiedenen Schlackenlieferanten wurde die mittlere Abfallzusammensetzung der angelieferten Schlacke gemäß Tabelle berechnet.

Aufgrund der geographischen Verteilung der Schlackenlieferanten und des breit gestreuten Abfallmix kann davon ausgegangen werden, dass die angelieferte Schlacke einem schweizerischen Mittelwert entspricht.

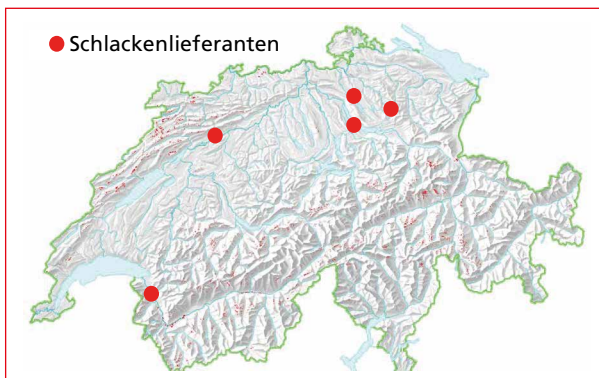


Bild 10:

Geografische Verteilung der Schlackenherkunft

Quelle: winddata.ch

Um die Effizienz des thermo-re®-Prozesses im Vergleich zum heutigen Stand der Technik von Nassschlackenaufbereitungsanlagen aufzeigen zu können, ist relevant, dass der Vergleich auf einer schweizerischen durchschnittlichen Schlacke beruht.

4.10. Vergleich von Nass- und Trockenschlackenaufbereitungsanlagen

Beim direkten Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Anlagen gilt es zu bedenken, dass man eigentlich *Äpfel mit Birnen* bzw. *Trocken- mit Nassschlacke* vergleicht. Der Parameter Metallgehalt im Inputmaterial kann nur durch eine vergleichbare Abfallzusammensetzung und einer langen Beobachtungszeit (über 3 Monate) neutralisiert werden. Neben der Menge der separierten NE-Metalle sollten zusätzlich auch die gesamten Metallerträge berücksichtigt werden, da die ökologisch und ökonomisch wichtigen NE-Metalle wie Gold, Silber und Palladium auf Grund der kleinen Mengen im Vergleich zu den restlichen NE-Metallen gewichtsmäßig nicht in Erscheinung treten. Die realisierten Metallerträge sind ein erstklassiges Kriterium, die Qualität der Metalle sowie die Qualität der Abscheidung zu beurteilen, aus Gründen der Geheimhaltung werden diese aber ungen von den involvierten Firmen offengelegt.

4.11. Vergleich der NE-Metall-Mengen

Die nachfolgenden Performance-Daten stammen von verschiedenen Schweizer Schlackenaufbereitern und wurden auf eine vergleichbare Basis (Trockensubstanz, Reinheit) umgerechnet. Die angegebenen Werte sind Mittelwerte, wie diese im 2017 realisiert wurden. Basis der Schlacke ist ein durchschnittlicher Schweizer Abfallmix. Signifikante Unterschiede bestehen bei der Anlagentechnik und beim Zustand der Schlacke (nass/trocken). Die Trockenschlackenaufbereitungsanlage weist einen Anteil separierter NE-Metalle (ohne VA-Metalle) auf, der um rund 30 Prozent höher ist als beim bestklassierten Nassschlackenaufbereiter.

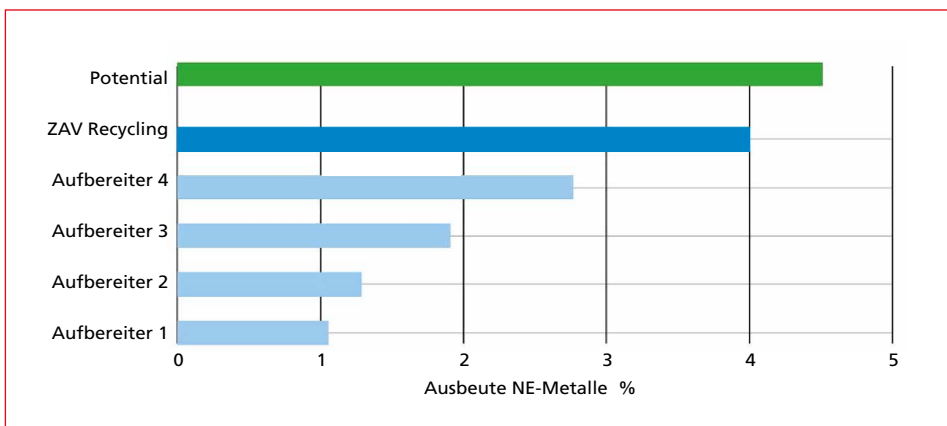


Bild 11: Ausbeute an NE-Metallen von verschiedenen Schlackenaufbereitern (CH)

Obwohl die Ausbeute an NE-Metallen aus der angelieferten Schlacke bei der ZAV Recycling AG signifikant höher ist, besteht noch reichlich Potential die Ausbeute zu verbessern.

4.12. Erträge aus den Metallen

Die Erträge der Metalle sind direkt abhängig von den Metallpreisen, den Metallmengen, den Metallarten und der Metallqualität. Legt man die gleiche Betrachtungsperiode zu Grunde, so können schwankende Metallpreise recht gut neutralisiert werden. Die nachfolgende Grafik zeigt die quantitative und monetäre Metallbilanz für das Jahr 2017. Von der angelieferten Schlacke wurden 15,6 Prozent Wertstoffe separiert und in den Stoffkreislauf zurückgebracht. Die Wertstoffe teilen sich mengenmäßig auf in 64,6 Prozent Eisen, 15,5 Prozent NE-Metalle größer 12 mm, 3,3 Prozent NE schwer, 9,7 Prozent Aluminium der Größe 0,3-12 mm und den Rest (Aluminium und Glas) von 6,9 Prozent. Bei einem Gesamtmetallertrag von rund CHF 95, entfallen rund 65 Prozent der Erträge auf die schweren NE-Metalle und das Aluminium der Fraktion 0,3-12 mm. Ein direkter Vergleich mit den Metallerträgen von einem Nassschlackenaufbereiter kann mangels Zahlen nicht durchgeführt werden. Wir gehen aber davon aus, dass der Metallertrag von CHF 95 pro Tonne Input-Schlacke ein guter Benchmark ist.

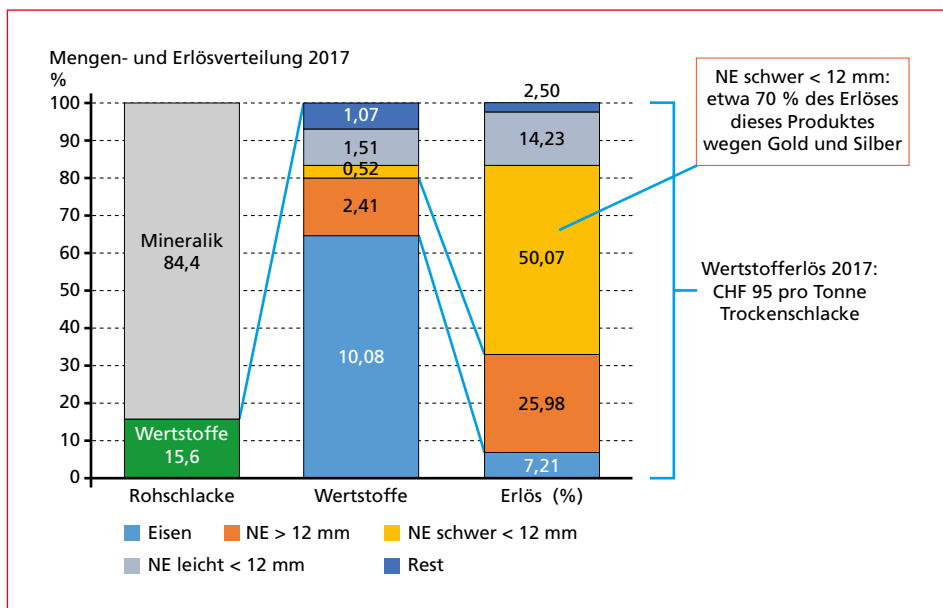


Bild 12: Wertstoffe in der Trockenschlacke

Werden die Metallerträge auf die Metallarten aufgeteilt, so ergibt folgende Auflistung pro Tonne Trockenschlacke:

Kupfer: CHF 25

Gold: CHF 21

Silber: CHF 8

Rest: CHF 41

Die oben genannten Metallerträge lassen sich vor allem wegen den verfahrenstechnischen Vorteilen der Trockenschlacke bei der Aufbereitung realisieren. Wesentliche Vorteile der Trockenschlacke sind:

- feinste Metallteile lassen sich wesentlich effizienter aus der Trockenschlacke separieren,
- die Metallteile sind zum großen Teil frei von mineralischen Anhaftungen,
- die feinen, trockenen Metalle lassen sich sehr effizient mit Trenntischen in eine Aluminiumfraktion und in eine NE schwer Fraktion aufteilen.

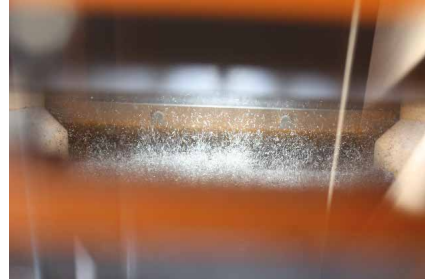


Bild 13: Trenntische (Gesamtansicht und Detailansicht)

4.13. CO₂-Einsparung

Mit der Rückführung der Metalle in den Stoffkreislauf werden rund 60.000 Tonnen CO₂ pro Jahr eingespart. Würde der Thermo-Recycling-Prozess in der ganzen Schweiz angewendet, könnte man gegenüber dem aktuellen Stand zusätzlich rund 150.000 Tonnen CO₂ einsparen. Das entspricht:

- 0,3 Prozent des jährlichen CO₂-Ausstoßes der Schweiz,
- dem jährlichen CO₂-Ausstoß von 25.000 Schweizern oder
- 48 Mio. Liter Heizöl, äquivalent zu einem Fernwärmenetz mit einem Wärmeabsatz von rund 500.000 MWh pro Jahr.

5. Ausblick

Die effiziente Rückgewinnung der Metalle aus der Schlacke ist ein erster entscheidender Schritt. Weitere Optimierungen erfolgen im Rahmen des Betriebs. Nun fokussiert sich die Stiftung ZAR in ihren Arbeiten auf die weitere Aufbereitung der mineralischen Fraktion, rund 85 Prozent der Schlackenmenge. Erklärtes Ziel ist die nachsorgefreie Ablagerung der mineralischen Fraktion. Dazu müssen weitere Schadstoffe aus der aufbereiteten Schlacke eliminiert werden.

Ansprechpartner



Dipl. Masch.-Ing. ETH Daniel Böni

KEZO Zweckverband Kehrrechtverwertung Zürcher
Oberland

Geschäftsführer

Telefon: 0041-44-9383102

E-Mail: daniel.boeni@kezo.ch

Stiftung Zentrum für nachhaltige Abfall-
und Ressourcennutzung ZAR

Geschäftsführer

Wildbachstrasse 2

8340 Hinwil (CH)

Telefon: 0041-44-9383111

E-Mail: daniel.boeni@zar-ch.ch

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.