

ABFALL

SAMMLUNG

ABFALL-
AUFBEREITUNGTHERMISCHE
VERWERTUNGWERTSTOFF-
GEWINNUNG

DEPONIE

Thermo-Recycling: Effiziente Gewinnung von Wertstoffen aus der Trockenschlacke

Die ZAV Recycling AG betreibt die weltweit erste Aufbereitungsanlage für Trockenschlacke aus der thermischen Abfallverwertung. Die über 15% an separierten Metallen belegen das grosse Potential. Bei einem Drittel davon handelt es sich um umweltrelevante Nichteisenmetalle. Die erzielte Rückgewinnung und die damit verbundene Einsparung von 60'000 Tonnen CO₂ pro Jahr setzt weltweit neue Standards. Auch bezüglich Staubbelastung setzt das Aufbereitungsverfahren neue Massstäbe für industrielle Anlagen.

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% 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.



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.

Vom Trockenaustrag zum Thermo-Recycling

Die ersten Versuche, die Schlacke trocken auszutragen, waren zwar staubig, eröffneten aber einen neuen Zugang zum Prozess der thermischen Abfallverwertung. Anstatt der gewohnten hochviskosen grauen Schlackenmasse wurden kleinste Metallteile und Sandkörner erkannt. Es folgte die Zeit der Goldgräberstimmung, da in den feinen Nichteisenfraktionen ansehnliche Mengen Gold und Silber gefunden wurden. Verfahrenstechnisch erkannte man, dass der abfällig als Abfallverbrennung bezeichnete Prozess ein sehr effizienter Recyclingprozess ist, um Metalle aus dem Abfall in den Stoffkreislauf zurückzuführen.

Wichtigste Erkenntnisse:

- Durch das Abbrennen der organischen Stoffe im Abfall können Mineralien und Metalle bei gleichzeitiger Gewinnung von Energie freigelegt werden.
- Die vorhandenen Temperaturen im Ofen führen dazu, dass kleine Metallstücke aus Nichteisenmetall (NE-Metall) zu sphärischen Formen zusammenschrumpfen, was die Separation in der nachfolgenden Aufbereitung wesentlich vereinfacht.
- Die Tatsache, dass auch kleinste NE-Metalle im Ofen kaum oxidieren, führt zum Schluss, dass der thermische Abfallverwertungsprozess nicht nur ein idealer Prozess für die Gewinnung von Energie aus dem Abfall ist, sondern auch ein sehr effizienter Prozess, um Metalle aus dem Abfall zurückzugewinnen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse waren der Begriff «Thermo-Recycling» und die Marke «thermo-re®» schnell gefunden.



Die Vorteile 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 Verbrennungssofen 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.

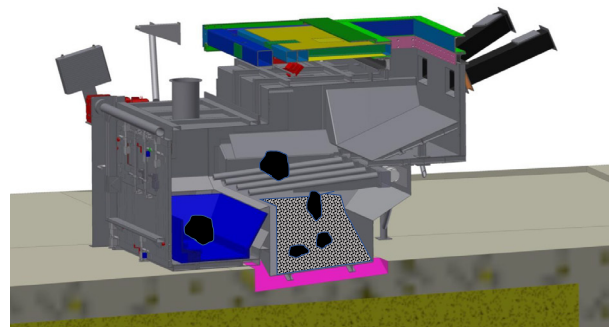
Was sind die Vorteile der Trockenschlacke?

- 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% leichter als die Nassschlacke und hat dadurch logistische Vorteile.
- Trocken heisst auch, dass weniger Wasser verbraucht wird (ca. 15% der Schlackenmasse).

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

Der 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.



Von der Stiftung ZAR entwickelter und installierter Trockenaustrag (KEZO, 2015)

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 Kantons Zürich die Vorteile der Trockenschlacke erkannt und ihre Ofenlinien entsprechend umgebaut.

Referenzanlagen

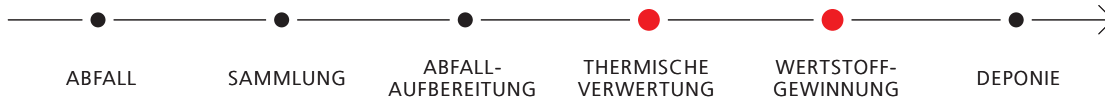
Schweiz	Italien	Schweden
5	2	1 (im Bau)

Der Wirkungsgrad ist entscheidend

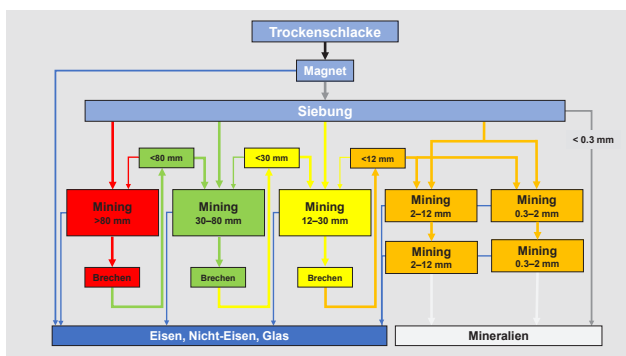
Um bei der Metallrückgewinnung einen hohen Wirkungsgrad zu garantieren, braucht es Trockenschlacke und eine effiziente Aufbereitungsanlage. Die Separation der NE-Metalle erfolgt fast ausschliesslich mit Induktionsabscheidern. Bei den kleinen Metallteilen ist es daher entscheidend, dass die Metalle eine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



Links NE-Metalle aus Nassaustrag – rechts NE-Metalle aus Trockenaustrag



Bei der Planung der Anlage der ZAV Recycling AG 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 (siehe Grafik).



Prozessflussdiagramm der Schlackenaufbereitung 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% 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.

Wertstoffqualität ist entscheidend

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.



Wertvolle NE-Metalle (3–8 mm) direkt aus dem Separationsprozess

Emissionsfreie Aufbereitung der Schlacke

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.

Hohe Ausbeute an Metallen

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

Eisen	NE-Metalle
10'000 t	4'500 t

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

Silber	Gold	Palladium
2000–3500 g	80–200 g	10–45 g

Aus vertiefter Analyse wissen wir heute, dass das NE-Potential in der Schlacke noch nicht vollständig ausgeschöpft ist. Zurzeit gehen noch zu viele NE-Metalle mit der Separation der magnetischen Schlacke verloren. Aus ökologischen und ökonomischen Gründen muss dieses zusätzliche Potential von rund 500 t NE-Metallen pro Jahr unbedingt genutzt werden.

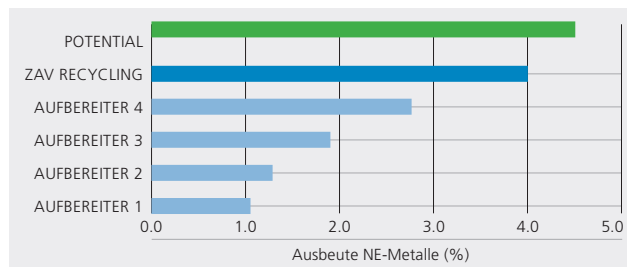


Tiefer Energieverbrauch

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.

Höhere Ausbeute als bei Aufbereitern von Nassschlacke

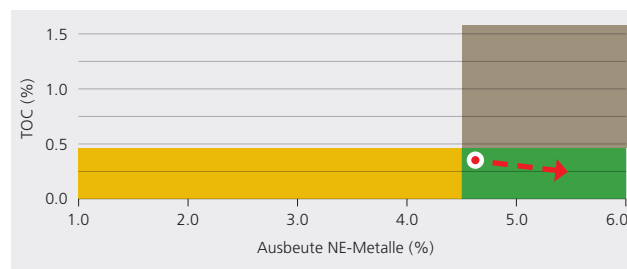
Die Leistungsfähigkeit einer Anlage kann am besten im direkten Vergleich der separierten NE-Metalle mit jenen anderer Aufbereiter aufgezeigt werden. Hier gilt es zu bedenken, dass man eigentlich «Äpfel mit Birnen» bzw. «Trocken- mit Nassschlacke» vergleicht. Auch muss berücksichtigt werden, dass die ökologisch und ökonomisch wichtigen NE-Metalle wie Gold, Silber und Palladium auf Grund der kleinen Mengen im Vergleich zu den restlichen NE-Metallen nicht in Erscheinung treten. Die Performance-Daten stammen von verschiedenen Aufbereitern und wurden auf eine vergleichbare Basis (Trockensubstanz, Reinheit) umgerechnet. Die Anlage der ZAV Recycling AG weist einen Anteil separierter NE-Metalle (ohne VA-Metalle) auf, der um rund 30% höher ist als beim bestklassierten Nassschlackenaufbereiter.



Die Ausbeute an NE-Metallen aus der angelieferten Schlacke ist bei der ZAV Recycling AG signifikant höher als bei anderen Aufbereitern; für alle Anlagen gilt, dass das Potential noch nicht vollständig ausgeschöpft wird.

Metallpotential noch nicht ausgeschöpft

Die Schlackenaufbereitungsanlage der ZAV Recycling AG 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. Mit einer weiteren Optimierung der Anlage soll die NE-Metallausbeute weiter erhöht und der Restmetallgehalt in der Schlacke reduziert werden.



Die Ausbeute an wertvollen Nichteisenmetallen liegt bereits bei gut 4.5% und wird weiter optimiert.

Die Umwelt profitiert

Mit der Rückführung der Metalle der ZAV Recycling AG 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% 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.

Ausblick

Die effiziente Rückgewinnung der Metalle aus der Schlacke ist ein erster entscheidender Schritt. Nun fokussiert sich die Stiftung ZAR in ihren Arbeiten auf die weitere Aufbereitung der mineralischen Fraktion, rund 85% der Schlackenmenge. Unser Ziel bleibt die nachsorgefreie Deponie. Dazu müssen weitere Schadstoffe aus der aufbereiteten Schlacke eliminiert werden. Um diese Arbeiten durchführen zu können, braucht die Stiftung ZAR Ihre finanzielle Unterstützung.

Daniel Böni
Geschäftsführer
Stiftung ZAR