

Ausbeute aus der Trockenschlacke

1. Vorwort

Hätte sich das in den 70iger Jahre entwickelte Konzept "Cradle to Cradle" in der Industrie, dem Marketing und unserer Lebensweise durchgesetzt, hätte die Abfallwirtschaft nie die heutige Bedeutung erlangt. Statt dessen entschied sich die Wirtschaft für das Konzept "Cradle to Grave" und produziert gestützt auf ein oft massloses Konsumverhalten neben dem Wirtschaftswachstum riesige Berge von Abfällen, von denen trotz Verwertung und thermischer Behandlung auch heute noch grosse Mengen auf unseren Deponie als nicht endlagerfähige Rückstände enden. Die Abfallwirtschaft versucht seit Jahren diesen irreversiblen Prozess mit Separatsammlungen und der Abfallverbrennung zu durchbrechen, um damit wenigstens einen Teil der Wertstoffe im Abfall einer Wiederverwertung zuzuführen. Mit der Separatsammlung, der Abfallaufbereitung, der Abfallverbrennung, der Schlackenaufbereitung, der Wertstoffaufbereitung und schlussendlich der Deponierung wurden jeweils Teilsysteme entwickelt, welche unter dem Begriff Abfallwirtschaft zusammengefasst werden können. Diese Teilsysteme wurden in den letzten Jahren in ihrer Technik und Innovation von Prozesseignern auf ein sehr hohes Niveau weiter entwickelt.

Durch die Aufteilung der Abfallwirtschaft in Teilsysteme erfolgten die einzelnen verfahrenstechnischen Verbesserungen nur in den Teilprozessen, d.h. ein Abfallzwischenprodukt wird von einem Teilsystem entgegen genommen, innerhalb dieses Teilsystems mit einer vermeintlich maximalen Wertschöpfung aufbereitet und das daraus entstandene Produkt dem nächsten Teilprozess weitergegeben. Die Systemgrenzen interessieren wenig und eine Optimierung über den Gesamtprozess ist nicht angedacht.

Am Beispiel der Abfallverbrennung und der Schlackenaufbereitung kann aufgezeigt werden, wie die einzelnen betroffenen Teilsysteme in sich optimiert sind und wie ganzheitlich betrachtet an den Systemgrenzen grosse Synergien verloren gehen.

Die Abfallverbrennung als Teilsystem der Abfallwirtschaft optimiert die emissionsfreie, energetische Verbrennung des Abfalls mit gleichzeitiger Volumenreduktion zu Asche und Schlacke. Das Teilsystem wurde in den letzten zwanzig Jahren so erfolgreich weiterentwickelt, dass Luftemissionen kein Thema mehr sind und der energetische Wirkungsgrad ein hohes Niveau erreicht hat. Das vom Abfallaufbereiter gelieferte Inputmaterial wird wenig hinterfragt und das Outputmaterial, die Schlacke und die Elektrofilterasche wird je nach Gusto einem nächsten Teilsystem übergeben. Eine hohe Wertschöpfung bzw. tiefe Entsorgungskosten sind die Zielgrössen dieses Teilsystems. Eine Abstimmung mit den nachfolgenden Teilsystemen, zum Beispiel der Schlackenaufbereitung findet nicht statt.

Der Schlackenaufbereiter bzw. der Deponiebetreiber erhält von den verschiedenen Abfallverbrennungsanlagen Nassschlacken in stark unterschiedlicher Qualität. Mit viel Aufwand werden diese feuchten Schlacken gemischt und immer wieder zum Abtrocknen umgeschichtet, um nach 6 – 12 Wochen Alterungsprozess diese einer klassischen Aufbereitung zuführen zu können. Mit viel Innovationskraft haben Betreiber und Anlagenlieferanten die Maschinen für die Aufbereitungsprozesse der Schlacken weiter entwickelt, so dass heute bereits bedeutende Mengen an Eisen- und

Nichteisenwertstoffen aus den Schlacken separiert werden können. Der relativ schlechte Wirkungsgrad dieser Anlagen wird aus wirtschaftlicher Sicht durch ihre grosse Durchsatzleistung kompensiert.

Tatsache bleibt:

- Im Wasserbad der Entschlackung und beim Trocknen der Schlacke auf der Deponie geht bereits ein bedeutender Anteil des Aluminiums in der Schlacke verloren
- Die Feinschlacke mit einem bedeutenden Wertstoffpotential kann aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht oder nur schlecht aufbereitet werden, weil diese grossteils als Schlamm an den Schlackenteile haftet.
- Die metallischen Wertstoffe aus der feuchten Schlacke enthalten immer noch einen bedeutenden Anteil an Mineralien, die wiederum im nächsten Teilsystem, zum Beispiel einem Schmelzwerk zu bedeutenden Mehraufwänden führen.
- Das Separieren von mineralischen Wertstoffen ist nicht mehr möglich und auch uninteressant, weil in der Nassentschlackung die Abbindereaktionen in der Schlacke bereits statt gefunden haben.

Analog zum ersten Gossenschen Gesetz, welches in der Volkswirtschaftslehre den abnehmenden Grenznutzen beschreibt, führt innerhalb eines Optimierungsprozesses jeder weitere Optimierungsschritt zu einem relativ kleineren Nutzen zum Aufwand. Weil die Optimierung innerhalb der Teilsysteme der Abfallwirtschaft bereits weit fortgeschritten ist, können daher von dieser Seite keine wesentlichen Prozessverbesserungen mehr erwartet werden.

Diese Feststellung ist für die Abfallwirtschaft unbefriedigend und hat daher zum Ansatz geführt, die beiden Teilsysteme Abfallverbrennung und Schlackenaufbereitung besser auf einander abzustimmen. Dies ist mit Abfallverbrennungsanlagen mit einem Trockenaustrag der Schlacke möglich. Die Ergebnisse aus diesen Anlagen zeigen, dass dieser Ansatz als Ziel für Abfallverbrennungsanlagen klar definierbar ist.

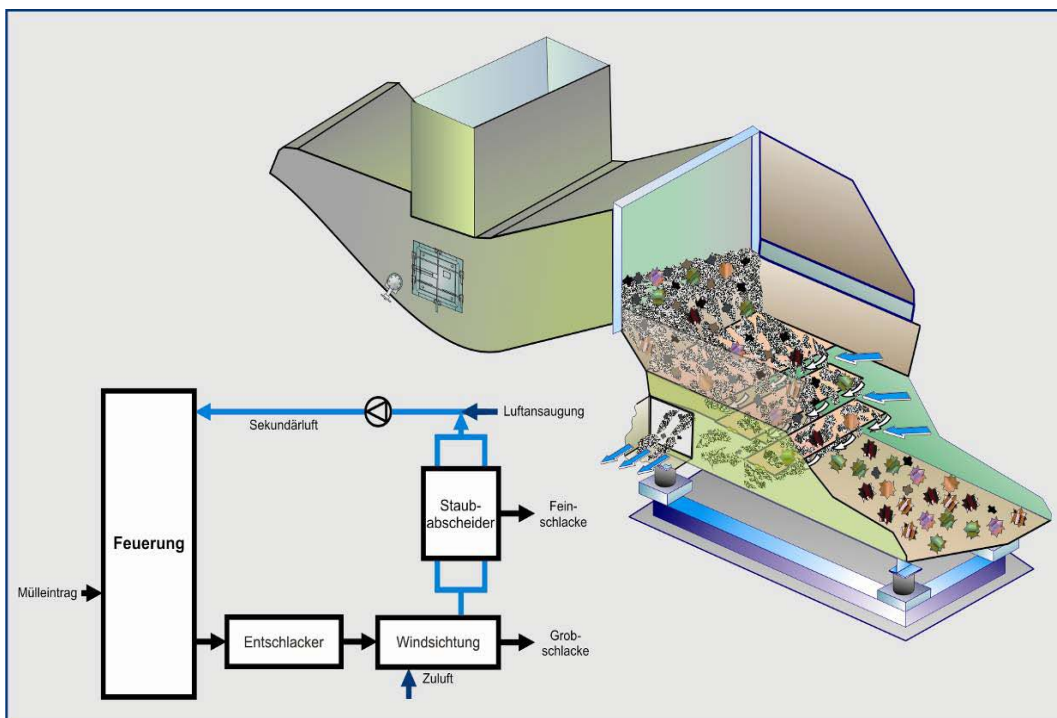
2. Trockenaustrag von Schlacke

Im Jahr 2005 wurden erste Versuche mit trocken ausgetragener Schlacke durchgeführt. Die Eigenschaften, aber auch die Qualität der Trockenschlacke überzeugte, so dass bereits im Jahr 2006 eine Verbrennungslinie der KEZO mit dem bestehenden MARTIN-Stösselentschlacker über mehrere Monate trocken betrieben wurde. Basierend auf diesen Erfahrungen wurde im Jahr 2007/2008 eine erste und im Jahr 2010 eine zweite Verbrennungslinie in der KEZO auf Trockenaustrag umgebaut. Parallel dazu entwickelte die Martin GmbH für Umwelt- und Energietechnik die MARTIN-Trockenentschlackung, die seit 2009 in der UIOM Monthey bei der SATOM an beiden Verbrennungslinien in Betrieb ist.

2.1 MARTIN Trockenentschlackung und -sortierung

Der Entwicklungsfokus für dieses Trockenentschlackung und -sortierungssystem basiert auf der Festlegung, dass dieses System für sich ein „autarkes“ System ist und somit an das bestehende Schlackenaustragungssystem mit dem MARTIN-Stösselentschlacker angekoppelt werden kann. Ein weiterer Ansatz ist die sichere Beherrschung der einzelnen Apparate und Maschinen für die Risikoabschätzung aus der Produkthaftung des Anlagenherstellers für den Anlagenbetreiber. Das Ergebnis ist die MARTIN Trockenentschlackung und -sortierung mit integrierter Klassierung. Mit dem Luftabschluss zum Feuerraum ist die MARTIN Trockenentschlackung und -sortierung ein geschlossenes System. Die Martin-Trockenentschlackung hat daher keinen Einfluss auf die Feuerung.

Die Verfahrenstechnik der Schlackensortierung mit diesem System basiert auf der massenabhängigen Abscheidung der Feinschlacke mittels Windsichtung. Die eingesetzte einfache und robuste Technik beruht auf allgemein bekannten verfahrenstechnischen Trennungs- und Transportvorgängen und nutzt die Vorteile eines fraktionierten Schlackeaustrages. (Bild 1 MARTIN Trockenentschlackung und -sortierung)



Das Verfahren wird durch die Komponenten Entschlacker, Windsichter, Staubabscheider und Luftsystem realisiert. Bild 1 zeigt die Anordnung des Windsichters nach dem Entschlacker sowie ein Prinzipschaltbild.

Die MARTIN Trockenentschlackung und -sortierung kann sowohl nass als auch trocken betrieben werden. Im Betriebsfall „Nass“ wird die Luftzuführung zum Windsichter unterbrochen und der MARTIN-Entschlacker mit Wasser geflutet.

Das geschlossene System der Martin-Trockenentschlackung mit dem Luftabschluss zum Feuerraum wird über einen Schlackepropfen im Schlackenschacht vor dem MARTIN-Entschlacker und über die Luftführung mittels Unterdruck im Windsichter erreicht.

Die Schlacke wird mit dem Entschlacker trocken aus dem Feuerraum ausgetragen. Die Oberflächentemperatur des Entschlackergehäuses stellt sich - wie bei der Nassentschlackung - zwischen 40°C und 60°C ein. Die Temperatur der Schlacke liegt im Mittel bei ca. 60°C und hat vereinzelt Temperaturspitzen.

Die Schlacke wird über dem Entschlacker dosiert und direkt für die Sortierung dem Windsichter zugeführt. Im Windsichter werden aus dem Schlackengemenge Feinschlacke und Schlackestaub von der den Windsichter durchströmenden Luft mitgerissen und abgesaugt bei gleichzeitigem Weitertransport der Schlacke durch den Einfluss von Schwerkraft und Vibration. In Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit wird die Korngröße des Fein- und Staubanteils auf Werte zwischen $\leq 1\text{mm}$ bis 5mm eingestellt. Am Windsichteraustritt fällt die verbleibende Grobschlacke auf nachfolgende Förderkomponenten.

Für den Lufthaushalt ist der Bereich der Windsichtung mit beweglichen Elementen eingehaust. Mit der Einhausung wird auch verhindert, dass Staub aus dem Trockenentschlackungssystem ins Kesselhaus gelangt.

Prinzipiell werden drei Produktströme aus der trockenen Schlacke separiert: Grobschlacke, Feinschlacke und Schlackestaub. Die beiden Letzteren werden mit dem Luftstrom aus dem Windsichter ausgetragen und zu einem Staubabscheider geleitet. Dort wird die Feinschlacke aus dem Luftstrom abgeschieden. Die entfrachtete Windsichterluft mit dem sehr geringen Restanteil an Schlackestaub wird mit der Sekundärluft dem Verbrennungssystem definiert zugeführt. Die im Staubabscheider abgeschiedenen Feinschlacken können einer Verwertung übergeben oder deponiert werden.

Die Martin-Trockenentschlackung ist großtechnisch umgesetzt und baut konsequent auf den vielfach bewährten Martin-Rosttechnologien auf.

2.2 Trockenschlackenausrag System KEZO/STAG

Mit dem Ziel die Schlackenqualität und die Sicherheit im Betrieb nachhaltig zu verbessern, galt der Fokus bei der Entwicklung der KEZO/STAG-Trockenentschlackung dem Austrag. Bewusst wurde auf alte bewährte Systeme verzichtet, um optimale Verhältnisse für die Trockenentschlackung zu schaffen. Entsprechend wurde ein offenes System mit einer Vielzahl von Verfahrensfunktionen entwickelt: Schlackenzerkleinerung, Nachverbrennung, Windsichtung, Schlackenabkühlung, Tertiärluftvorwärmung, Schlackentransport, Feinschlackenseparation, Schlackenausrag, aber auch optimale und sichere Zugänglichkeit.

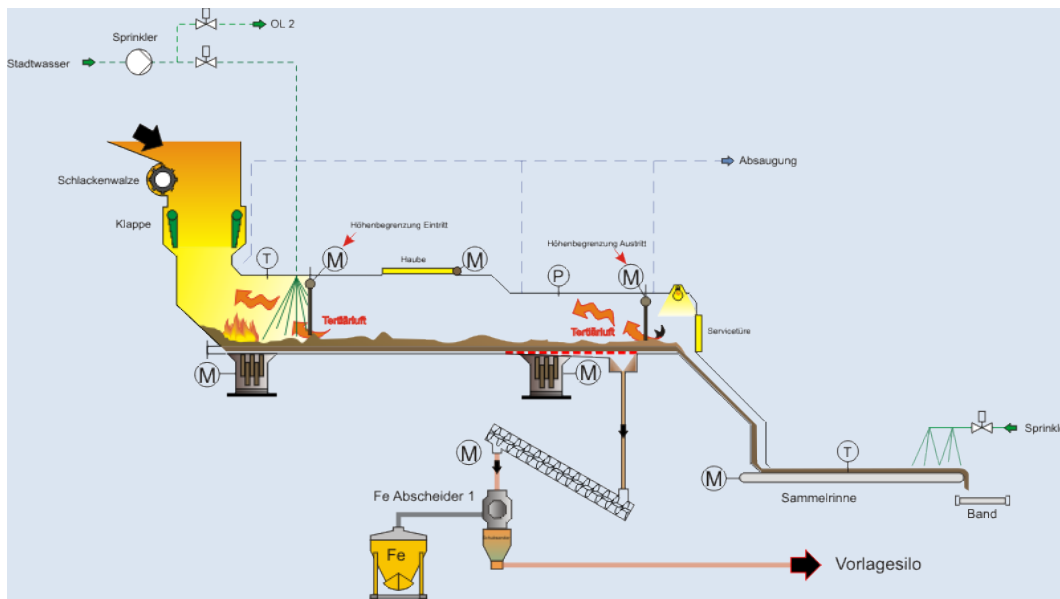


Bild 2: Trockenentschlackung KEZO/STAG

Die bei einem offenen System gefürchtete Falschluff (im weiteren "Tertiärluft" genannt), welche auf Grund des Unterdrucks im Ofen durch den Trockenausrag in die Brennkammer gezogen wird und den Verbrennungsprozess stören kann, erwies sich immer mehr als eines der wichtigsten Verfahrenselemente des Trockenausrages. Die Tertiärluft übernimmt die wichtigen Funktionen der Schlackenabkühlung, der Nachverbrennung und der Windsichtung. Mit kleinen Modifikationen an der Feuerleistungsregelung konnte die zusätzliche Luftmenge der Tertiärluft kompensiert werden, so dass bis heute keine negativen Einflüsse der Tertiärluft auf den Verbrennungsprozess und die nachfolgende Rauchgasreinigung bekannt sind.

Schlackenzerkleinerung

Die Schlacke wird über die Schlackenwalze möglichst kontinuierlich dem Schlackentrockenausrag zugeführt. Die herunterstürzende Schlacke wird auf den Prallblechen des Trockenentschlackers weiter zerkleinert bzw. Glutnester werden aufgerissen und damit optimale Bedingungen für die Verfahrensfunktionen geschaffen.

Nachverbrennung

Die über verschiedene Schikanen geführte Tertiärluft entzündet die nicht vollkommen ausgebrannten Schlackenteilchen und erhöht damit die Ausbrandrate in der Schlacke beträchtlich. Dieser Nachverbrennungsprozess kann in der Nachverbrennungszone mit der Kamera gut beobachtet werden. Trotz gutem Ausbrand (TOC < 1 %) führt die

Nachverbrennung im Trockenaustrag noch zu einer wesentlichen Verbesserung der Schlackenqualität.

Windsichtung

Die zum Teil sehr hohen Luftgeschwindigkeiten der Tertiärluft reissen Kleinst- und Leichtteile aus der Schlacke in den Ofen zurück, welche damit nochmals am Verbrennungsprozess teilnehmen können. Wir gehen heute davon aus, dass diese Windsichtung einen wichtigen Beitrag zur besseren Schlackenqualität leistet.

Schlackenabkühlung

Die Schlacke hat nach dem Trockenaustrag eine durchschnittliche Oberflächentemperatur von kleiner 50 °C. Daher muss davon ausgegangen werden, dass die Tertiärluft beim Durchströmen durch den Trockenentschlacker auf Grund der riesigen freien Oberfläche der einzelnen, sich frei bewegenden Schlackenteile die Schlacke stark abkühlt.

Tertiärluftvorwärmung

Die Energie in der heissen Schlacke wird somit nicht im Wasserbad des Nassentschlackers vernichtet, sondern über die natürliche Luftvorwärmung der Tertiärluft der Verbrennung zurückgegeben.

Schlackentransport

Die Vibrorinne transportiert die einzelnen Schlackenteile langsam zur Siebmaschine und unterstützt somit die vorgängigen Prozesse Schlackenabkühlung, Nachverbrennung und Windsichtung.

Feinschlackenseparation

In der Siebmaschine wird die sehr stark staubende Feinfraktion der Schlacke im Bereich kleiner 5 mm abgesiebt und mit einem geschlossenen pneumatischen Transportsystem der Feinschlackensortierung zugeführt.

Schlackenaustrag

Ein Grobteilabscheider für den Bereich grösser 600 mm bildet den Abschluss des Trockenaustrages. Dieser garantiert, dass die Grobschlacke störungsfrei und kontinuierlich abtransportiert werden kann.

Sicherheit

Der Sicherheit wird beim Trockenaustrag ein sehr grosser Stellenwert eingeräumt. Folgende Installationen garantieren einen möglichst sicheren Betrieb der Anlage:

- Der Austrag wird mit einer massiven Haube komplett gegen die Umgebung abgeschlossen. Auch grosse Verpuffungen im Ofen sollten zu keinen Gefahren für die Betreiber führen.
- Im Schlackenschacht wurde eine massive Klappe installiert, mit der jederzeit der Brennraum vom Austrag getrennt werden kann.
- Mit einer ersten Infrarottemperaturüberwachung wird die Schlackenoberflächentemperatur kontinuierlich gemessen. Bei Überschreitung wird ein entsprechender Alarm ausgelöst.

- Die Grossteilüberwachung informiert den Betreiber über grosse Teile, die den sicheren Austrag gefährden können.
- Mit einem Kamerasystem kann der Schlackenausstrag kontinuierlich überwacht werden
- Mit einer zweiten Infrarottemperaturüberwachung nach der Siebung wird die Schlackenoberflächentemperatur kontinuierlich gemessen. Bei Überschreitung wird ein entsprechender Alarm und eine Sprinkleranlage ausgelöst.

2.3 Vergleich

Beide Verfahren zum Austrag trockener Schlacke aus der Abfallverbrennung sind großtechnisch umgesetzt worden. Obwohl beide Systeme sehr unterschiedlich sind, werden die Betriebserfahrungen mit beiden Systemen durchaus positiv beurteilt.

Eigenschaften	Martin	KEZO/STAG
Luftabschluss zum Feuerraum	ja	nein
aktive Schlackenzerkleinerung	nein	ja
aktive Nachverbrennung	nein	ja
Windsichtung	ja, in separatem System	ja
aktive Energierückgewinnung	nein	ja
Schlackentrennung	mit Windsichter	mit Sieb
Schlackeklassierung nach	Masse – Oberfläche	nach Grösse
Nass Schlackenausstrag möglich	ja	nein (Löschvorrichtung vorhanden)

3. Schlackenaufbereitung

Der Trockenaustrag von Schlacke ist nur ein Teil des Systems der thermischen Verwertung von Abfällen. Als "stand-alone"-Ansatz bringt der Trockenaustrag nur wenige Vorteile. Daher ist dieser immer im Zusammenhang mit der Schlackenaufbereitung zu beurteilen. Der Trockenaustrag von Schlacke ist die Voraussetzung für eine Schlackenaufbereitung mit hohem Wirkungsgrad und das Separieren von qualitativ hochwertigen Produkten.

3.1 Schlackenqualität

Der Trockenschlacke unterscheidet sich im direkten Vergleich mit der Nassschlacke durch die folgenden Merkmale:

- Gewicht: Nassschlacke bindet zwischen 15 – 25 % Wasser und ist daher um den Anteil des Wassers schwerer als die Trockenschlacke.
- Staubemissionen: Die Trockenschlacke neigt stark zu Staubbildung.
- Glühverluste: Die Trockenschlacke zeigt gegenüber der Nassschlacke vernachlässigbar kleine Glühverluste.
- Organischer Kohlenstoffe: Aufgrund der Nachverbrennung im Trockenentschlacker kann der organische Kohlenstoff in der Schlacke um über 70 % reduziert werden.
- Metallkonzentrationen: die Metallkonzentrationen bezogen auf die Trockensubstanz sind auf ähnlichem Niveau.
- Eluate: Bei den Eluaten zeigen sich markante Unterschiede. So eluiert die Nassschlacke bei den kritischen Schwermetallen Blei das 5-fache, bei Cadmium das 25-fache und bei Kupfer das 250-fache gegenüber der Trockenschlacke.
- Erhalt der Abbindefähigkeit: Durch das Wasser im Nassentschlacker werden die Abbindereaktionen in der Schlacke bereits beim Austrag ausgelöst. Bei der Trockenschlacke können diese zu einem späteren, individuell bestimmbareren Zeitpunkt ausgelöst werden.
- Granulometrie: Bei der Trockenschlacke bleiben sämtliche Stoffe und Partikel in ihrer ursprünglichen Form erhalten. Dem Konfektionieren der Schlacke nach Grösse, Gewicht, Farbe, Leitfähigkeit, etc. sind keine Grenzen gesetzt, im Gegensatz zur Nassschlacke, die sehr stark zum Verklumpen neigt.
- Korrosion: Die Salze liegen in der Trockenschlacke im Gegensatz zur Nassschlacke nicht in einer gelösten Form vor und führen daher nicht zu Korrosionserscheinungen an Anlagen und an den Metallen in der Schlacke.

Viele dieser Merkmale der Trockenschlacke ermöglichen erst eine effiziente Schlackenaufbereitung, mit der die vielen metallischen und mineralischen Wertstoffe in der Schlacke in den Stoffkreislauf zurück geführt werden können.

3.2 Grobschlackenaufbereitung

Die Trockenschlacke im Partikelbereich grösser 5 mm wurde mehrmals in grösseren Mengen auf konventionellen Nassschlackenaufbereitungsanlagen verarbeitet. Die Erkenntnisse aus diesen Aufbereitungsversuchen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Der Wirkungsgrad der FE, wie auch der NE-Separierung konnte um ca. 50 % gesteigert werden. Trotz dieser Wirkungsgradsteigerung ist der Anteil von NE-Metallen in der aufbereiteten Grobschlacke noch zu gross, was auf einen

generell schlechten Wirkungsgrad der heutigen Schlackenaufbereitung zurück zu führen ist.

- Der Anteil von Fremdstoffe in den separierten Metallen ist bedeutend kleiner.
- Die Metalle bzw. die Metalloberflächen sind weniger oxidiert.
- Die Staubemissionen bei der Aufbereitung von Trockenschlacke auf bestehenden Anlagen sind nicht zulässig.



Bild 3: Eisen und Aluminium aus dem Trockenaustrag

Die Erfahrungen haben uns gezeigt, dass wir für die Trockenschlacke eine massgeschneiderte Schlackenaufbereitungsanlage bauen müssen. Einerseits müssen die Staubemissionen eliminiert werden und andererseits muss der Wirkungsgrad der Metallabscheidung signifikant verbessert werden. In der KEZO sind erst zwei von drei Ofenlinien auf Trockenschlacke umgebaut. Die Trockenschlacke im Partikelbereich grösser 5 mm wird heute noch mit der Nassschlacke vermischt ausgetragen, so dass der Bau einer Grobschlackenaufbereitungsanlage bis zur Umstellung der letzten Ofenlinien auf Trockenaustrag aufgeschoben wird. Wir können bei der Aufbereitung von trockener Grobschlacke noch keine industrielle Erfahrung vorweisen. Der Markt bietet jedoch eine Vielzahl an verschiedensten Sortieranlagen für den Partikelbereich grösser 5 mm. Kombiniert mit unseren Erfahrungen beim Betrieb von staubdichten Anlagen werden wir in der Lage sein, eine Aufbereitungsanlage für Grobschlacke zu bauen, die unseren Anforderungen nach einem grossen Wirkungsgrad genügen wird.

3.3 Feinschlackenaufbereitung

Um sich eine Vorstellung vom Wertstoffpotential in der trockenen Feinschlacke machen zu können, braucht es ein Mikroskop und eine saubere Stoffbuchhaltung über den Gesamtprozess der thermischen Verwertung [1]. Mit dem Mikroskop kann die Vielzahl der verschiedensten metallischen und mineralischen Wertstoffe betrachtet werden und die Stoffbuchhaltung gibt uns Auskunft über deren Mengen in der Feinschlacke.



Bild 4: Wertstoffe in der Feinschlacke (Bildausschnitt 3.0 mm)

Der Entscheid eine Aufbereitungsanlage für Feinschlacke zu bauen, stellte auf der Kenntnis des Wertstoffpotentials in der Feinschlacke kein grosses unternehmerisches Risiko mehr dar. Im September 2008 wurde die Feinschlackenaufbereitung in der KEZO in Betrieb genommen. Nach einer langen und aufwendigen Optimierungsphase verfügen wir heute über eine Anlage, welche trockene Feinschlacke im Partikelbereich von 0.6 – 5.0 mm mit einem sehr hohen Wirkungsgrad aufbereiten kann.

Das Kernstück der Anlage sind die zwei Serie geschalteten sehr starke Magnete mit zwei nachfolgenden, auch in Serie geschalteten NE-Abscheidern. Mit den starken Magneten werden sämtliche Materialien separiert, welche das Induktionsfeld beim nächsten Aufbereitungsschritt stören und damit den Wirkungsgrad der NE-Separation reduzieren könnten. Die induktiven NE-Abscheider wurden speziell für diese Applikation gebaut. Mit über 40 starken Polen und einer Drehzahl von 5'000 Umdrehungen pro Minute werden auch kleinste NE-Teile zuverlässig abgestossen und der NE-Fraktion zugewiesen. Viele Analysen haben gezeigt, dass mit dieser Anlage praktisch alle partikulär vorliegende NE-Metalle, welche induktiv abscheidbar sind, aus der Feinschlacke entfernt werden können. Die aufbereitete Feinschlacke wird mit der Schlacke kleiner 0.6 mm einem Silo zugeführt und muss nachher mit Wasser befeuchtet werden, damit die Schlacke offen auf die Deponie transportiert werden kann.

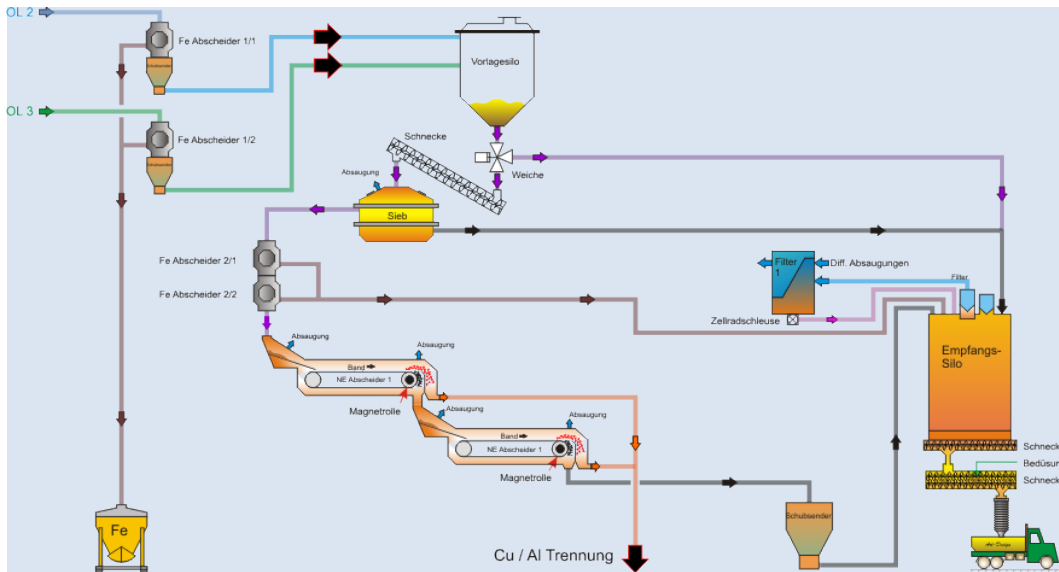


Bild 5: Feinschlackenaufbereitung

Wir sind bis heute begeistert von der Performance der Anlage und können nach einer fast zweijährigen Betriebserfahrung vorbehaltlos folgende Aussagen machen:

- Die Feinschlacke der Partikelgröße 0 – 5 mm kann zuverlässig mit der Anlage aufbereitet werden. Der Schlackensand mit einer Partikelgröße kleiner 0.6 mm wird zurzeit nur abgesiebt und damit noch nicht aufbereitet.
- Die Anlage kann kontinuierlich und staubfrei über 24 Stunden ohne Aufsicht betrieben werden.
- Der Anteil der abgeschiedenen NE-Metalle in der Feinschlacke (0.6 – 5.0 mm) liegt im Mittelwert über 5 %.
- Die Reinheit und die Qualität der separierten Metalle sind ausgezeichnet, d.h. der mineralische Anteil im NE-Metall ist minimal.
- In der Feinschlacke steckt noch weiteres Potential, das nur Dank der trocken ausgetragenen Schlacke erschlossen werden kann.



Bild 6: NE-Material aus der Feinschlacke (0.6 – 5.0 mm)

3.4 Konzept der zukünftigen Schlackenaufbereitung

Die Trockenschlacke hat die Eigenschaft, dass jede Manipulation mit der Schlacke zur Verschiebung der Partikelgrößenverteilung in Richtung von mehr Feinanteil führt. Diese Eigenschaft ist entscheidend für das Konzipieren einer Schlackenaufbereitungsanlage, da auch in einer abgeseihten Grobschlacke immer wieder Feinschlacke entsteht. Diese Tatsache ist bezüglich der Staubemissionen, wie auch für die Massenflüsse entscheidend.

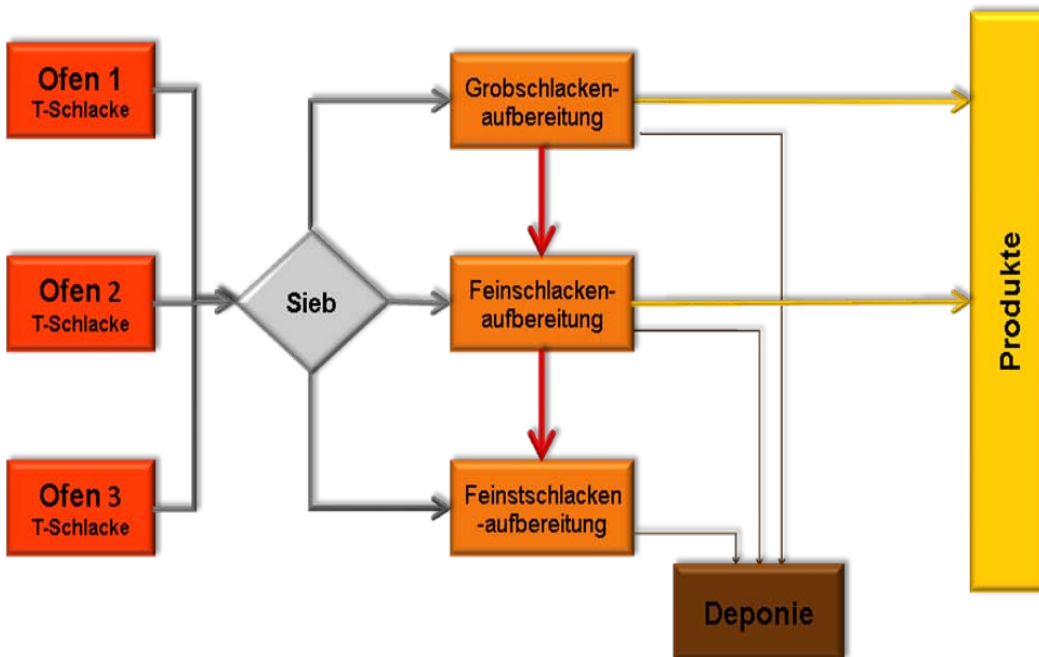


Bild 7: Konzept Schlackenaufbereitung

Wir sind heute überzeugt, dass wir mindestens drei Aufbereitungslinien brauchen, um die metallischen und mineralischen Wertstoffe zuverlässig separieren zu können. Weiter gehen wir davon aus, dass jeweils bedeutende Anteile von der gröberen Schlackenaufbereitungslinie nochmals in der nächst feineren aufbereitet werden muss. Gesamthaft wird damit über 50 % der aus der Ofenlinie ausgetragenen Schlacke in der Feinschlackenaufbereitung aufbereitet werden.

3.5 NE-Aufbereitung

Bei der Vermarktung der feinen NE-Metalle mussten wir feststellen, dass die Wertschöpfung nochmals stark gesteigert werden kann, sofern die NE-Fraktion weiter aufbereitet und damit gewisse Metalle angereichert werden. Versuche auf einem Luftrenntisch haben gezeigt, dass das Aluminium relativ einfach von der schweren NE-Fraktion abgetrennt werden kann. Bei einer Versuchsmenge von 2'000 kg betrug der Aluminiumanteil knapp 50 %. Bei Schmelzversuchen mit dem Aluminium im Partikelbereich grösser 2 mm lag die Schmelzausbeute auf über 80 %. Für den Aluminiumfeinanteil suchen wir zur Zeit noch eine geeignete Vermarktung. Erfreulich waren auch die Materialanalysen der schweren NE-Fraktion. Zeigten diese doch neben dem Kupfergehalt eine preisbestimmende Anreicherung von Edelmetallen. Basierend auf diesen Erkenntnissen entschieden wir uns eine NE-Aufbereitungslinie zu bauen. Die NE-Aufbereitungsanlage wird zur Zeit in Betrieb genommen. Mit der Verarbeitung der grossen Mengen an zwischengelagerten NE-Material können wir schon bald statistisch gesicherte Aussagen über die Qualität der NE-Fraktion machen.

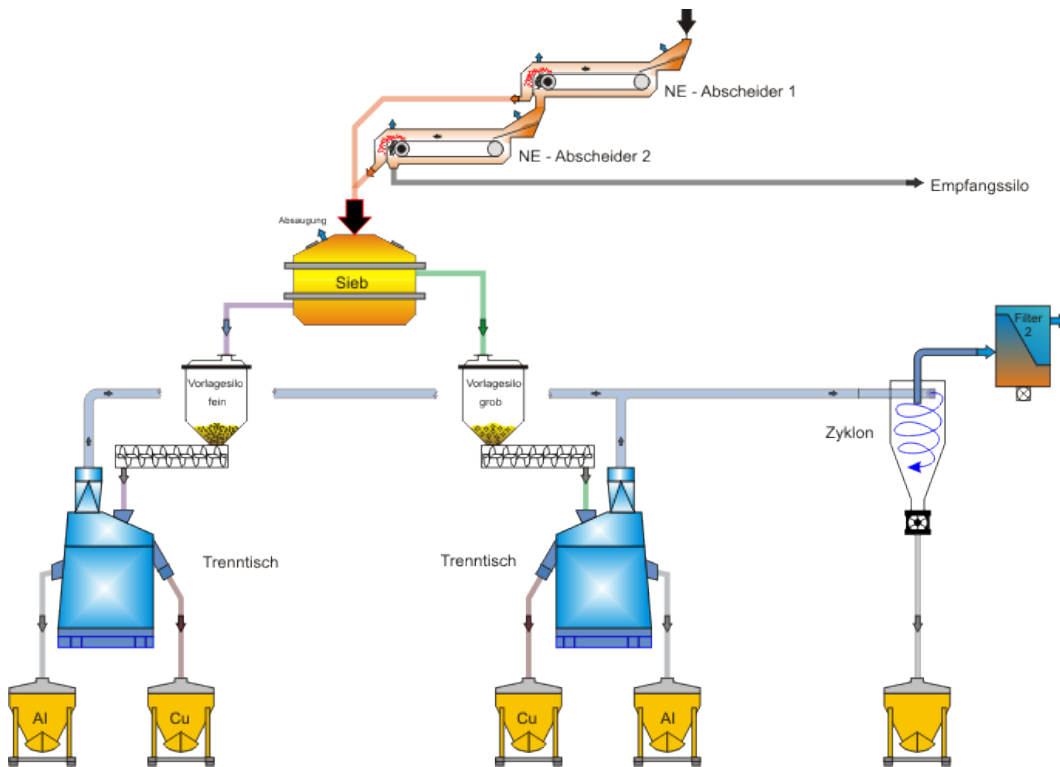


Bild 8: NE-Aufbereitungsanlage

Die Anlage wurde mit zwei identischen Lufttrenntischen und einer vorgeschalteten Siebung aufgebaut. Mit der Siebung verfolgen wir einerseits das Ziel die Qualität der Trennung gegenüber den Vorversuchen weiter zu verbessern und andererseits kann damit besser auf die Anforderungen der Aluminiumabnehmer reagiert werden.

4. Schlackenentsorgung

Die Schlacke muss in der Schweiz auf Reaktordeponien abgelagert werden. Die begrenzte Verfügbarkeit von Reaktordeponievolumen, die schlechte Akzeptanz von Reaktordeponien bei der Schweizer Bevölkerung und die langjährige und aufwendige Nachsorge waren die Motivation zur Entwicklung des trockenen Schlackenaustrages. Obwohl noch keine Langzeiterfahrungen mit der Ablagerung von Trockenschlacke bestehen, sind wir bereits heute, basierend auf den vielen Analysenresultaten überzeugt, die Qualität der Schlacke nachhaltig verbessert zu haben.

Im Februar/März 2010 konnten wir während mehreren Wochen trocken ausgetragene, aber nicht aufbereitete Grobschlacke auf die Deponie ausbringen. Neben den erwarteten starken Staubemissionen beim Ablad der Schlacke, überraschte der starke Temperaturanstieg in der vom Regen benetzten Schlacke. Temperaturen bis zu 85 °C konnten etwa 50 cm unterhalb der Schlackenoberfläche gemessen werden. Weiter wurde auch ein ammoniakhaltiger Geruch festgestellt, wie man diesen vom nassen Schlackenaustrag kennt.



Bild 9: Temperaturmessung in der nassen Trockenschlacke

Basierend auf diesen Beobachtungen wurde entschieden, aufbereitete Feinschlacke (0.6 – 5.0 mm), d.h. Feinschlacke ohne Eisen und Nichteisenmetalle in grösseren Mengen auf die Deponie auszubringen, um den Temperaturverlauf und die Ammoniakemissionen zu beobachten. Weiter sollte auch die in der Literatur oft beschriebene Temperaturentwicklung in der Schlacke durch Metallkorrosionen und Verfestigungsprozesse verifiziert werden [2], [3].



Bild 10: Versuche mit aufbereiteter Feinschlacke auf der Deponie

Trotz intensiver Bewässerung konnten zu keinem Zeitpunkt Temperaturen höher als 45 °C gemessen werden. Auch der ammoniakhaltige Geruch blieb vollständig aus. Diese Beobachtungen motivierten uns, die Metallkorrosions- und Verfestigungsprozesse in der Trockenschlacke intensiver zu untersuchen. Zur Zeit laufen verschiedene Versuche im

Tonnenmassstab auf der Anlage und wir sind gespannt auf deren Resultate, die nachher auf der Deponie mit Grossmengen reproduziert werden sollen.



Bild 11: Deponierungsversuche mit Feinschlacke

5. Ausblick

Im Januar 2010 wurde die Stiftung Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung (ZAR) in der Schweiz gegründet. Durch die enge Zusammenarbeit von Behörden, Hochschulen, Anlagenlieferanten, Deponie- und MVA-Betreiber soll der systemübergreifende Ansatz intensiv weiter gepflegt werden, um mit einer nachhaltigen Rohstoffpolitik die Stoffkreisläufe möglichst zu schliessen. Im Detail wird folgendes angestrebt:

- Maximierung der Materialrückgewinnungsrate für metallische und mineralische Rohstoffe.
- Miteinbezug von weiteren Stoffflüssen in den thermischen Verwertungsprozess.
- Emissionsfreie Ablagerung verbleibender Reststoffe in separaten Deponie-Kompartimenten.
- Beitrag zur Emissionsminimierung und Klimanutzen über den Kreislaufansatz.

Weiteres unter www.zar-ch.ch

- [1] Leo Morf, Ruedi Tarverna Stoffflüsse und Kehrrechtzusammensetzung in der KVA Thurgau im Jahr 2008, Endbericht.
- [2] Claudia Speiser, Exothermer Stoffumsatz in MVA-Schlackedeponien (2001), Technische Universität München
- [3] Walter de Vries, Peter C. Rem, S. Peter M. Berkhout, ADR: A new method for dry classification, Technical University of Delft