

Pyrometallurgisches Recycling von Stäuben aus der metallurgischen Industrie mit dem RecoDust-Prozess

Bernhard Geier, Harald Raupenstrauch, Wolfgang Reiter und Karl Pilz

1.	Stäube aus der Eisen- und Stahlindustrie	503
2.	Das RecoDust Verfahrensprinzip	506
3.	Umsetzung in der Flash-Reaktor Pilotanlage.....	507
4.	Ergebnisse aus dem Versuchsbetrieb.....	509
5.	Zusammenfassung und Ausblick.....	511
6.	Literatur.....	512

Schlacken, Stäube, Schlämme und Abwässer sind jene Nebenströme welche unweigerlich bei Produktionsprozessen in der metallurgischen Industrie anfallen und einer entsprechenden Nachbehandlung, Verwertung oder Deponierung zugeführt werden müssen. Durch stetige Verschärfung der Umweltauflagen für die Deponierung solcher Rückstände wird diese immer schwieriger und teurer. Das Herstellen nutzbarer Produkte aus den Rückständen steht im Mittelpunkt für die Betreiber von metallurgischen Anlagen. Die Verwertung von Schlacken ist aufgrund der größeren Mengen in diesen Prozessen sehr viel weiter vorangeschritten als die Verwertung von Stäuben und Schlämmen. Diese müssen meist unter massiven prozesstechnischen Aufwand extern entsorgt, oder einer Deponierung zugeführt werden.

Da speziell Stäube aus der metallurgischen Industrie einen hohen Wertkomponentenanteil aufweisen, ist die ökologisch und ökonomisch optimalste Variante zur Verwertung dieser Kuppelprodukte das Wiedereinbringen in den internen Stoffkreislauf oder die Herstellung eines verkaufsfähigen Produktes. Aufgrund der Anreicherung von störenden Verunreinigungen für den Produktionsprozess, insbesondere in der Staub- und Schlammfraktion, ist ein schließen des Stoffkreislaufes nur nach entsprechender Aufbereitung überhaupt möglich oder sinnvoll. Ein großes ungenutztes Potential bieten hier Stäube aus der Eisen- und Stahlindustrie, welche hohe Gehalte an Wertstoffen in ihrer Zusammensetzung aufweisen.

1. Stäube aus der Eisen- und Stahlindustrie

Die weltweite Rohstahlproduktion im Jahr 2013 belief sich auf 1,61 Milliarden Tonnen und je nach Herstellungsverfahren und -land fallen zwischen 12 und 23 kg Staub pro Tonne produzierten Rohstahls an. [3] Entsprechend groß sind die Mengen an

Kuppelprodukten, welche bei der Produktion ausgeschleust und Verwertet werden müssen. In Bild 1 sind die charakteristischen Merkmale von Stäuben, welche bei der Stahlherstellung anfallen, aufgeschlüsselt. Je nach Herstellroute, entweder über einen Elektrolichtbogenofen oder über die Hochofen/LD-Route, weisen die Stäube unterschiedliche Gehalte an Stör- und Wertstoffen auf.

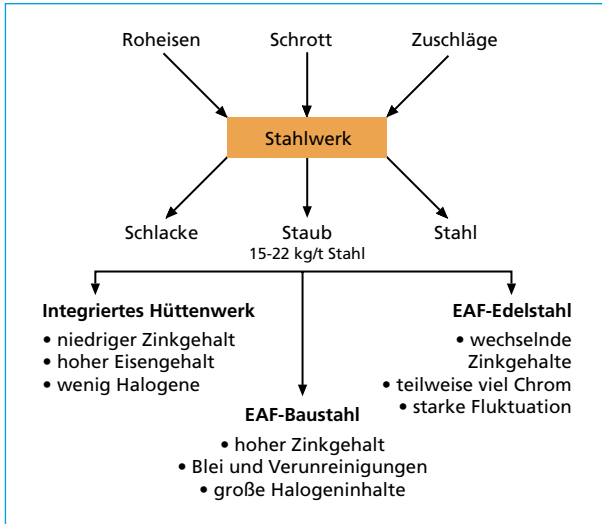


Bild 1:

Staubaufkommen und Zusammensetzung bei der Stahlherstellung

Quelle:

Antrekowitsch, J.: Aufbereitung komplexer schwermetallhaltiger Reststoffe aus der Metallurgie. Montanuniversität Leoben, 2009

Bei der Verwertung von Stäuben aus einem integrierten Hüttenwerk (Hochofen/LD-Route), dem Fokus dieser Publikation, sind geringe Zink- und Halogengehalte sowie hohe Eisengehalte zu erwarten. Bei Stäuben aus dem Elektrolichtbogenofen sind wesentlich höhere Zinkgehalte und Verunreinigungen wie z.B. Blei oder Halogene, bedingt durch den höheren Schrotteinsatz charakteristisch. Generell sind Stäube aus dem Elektrolichtbogenofen, bedingt durch den hohen Schrottsatz und den wechselnden Stahlqualitäten, sehr inhomogen und weisen teils stark schwankende Konzentrationen aller Inhaltsstoffe auf.

Zink und Eisen sind im metallurgischen Stoffkreislauf eng miteinander verbunden. Das Handling von Eisen in der Zinkindustrie sowie von Zink in der Eisen- und Stahlindustrie ist nicht immer einfach und führt oft zu Stoffströmen, die im Produktionsprozess ausgeschleust werden müssen.

Zinkhaltige Erze und das Recycling von Zinkhaltigem Material im Hüttenwerkskreislauf bilden die Quelle des Zinkeintrages in den Hochofen. In den Hochofen eingebrachtes Zinkoxid wird im unteren Hochofenbereich zu metallischem Zink reduziert, welches verdampft und mit dem Gasstrom wieder aufsteigt. Durch die Reoxidation mit CO_2 im kühleren Hochofenbereich resublimiert es und legt sich am Einsatzmaterial oder am Feuerfest an. Mit dem Einsatzmaterial gelangt es wieder in die wärmere Hochofenzone, wodurch sich ein Zinkkreislauf ausbildet. Daraus resultieren ein steigender Energie- und Reduktionsmittelverbrauch, eine schlechtere Durchgasbarkeit und ein erhöhter Verschleiß der feuerfesten Auskleidung des Hochofens. Ein Teil der eingebrachten Zinkfracht wird über das Roheisen ausgetragen und gelangt so in das Stahlwerk.

Die Hauptmenge an Zink wird durch den Einsatz von verzinkten Schrottpaketen in das Stahlwerk eingebracht. Aufgrund seiner Flüchtigkeit bei hohen Temperaturen und den Prozessbedingungen beim LD-Prozess verflüchtigt sich Zink in die Staubfraktion. Rezykliert man die zinkhaltigen Stäube unbehandelt über das Sinterband wieder in den Hochofen, schließt sich der Schadstoffkreislauf bis die Produktqualität oder das Aggregat Schaden nimmt. Somit ist ein internes Recycling über die Sinteranlage und ein Wiedereinbringen auf die Hochofenroute insbesondere durch die Zinkfracht der Stäube limitiert.

In Bild 2 ist eine chemische Analyse der Staubfraktionen bei der Stahlherstellung zu sehen. Diese variiert in jedem Hüttenwerk, aufgrund der unterschiedlichen Schrott- und Stahlqualitäten und soll einen groben Überblick über das Verwertungspotential der Staubfraktionen geben. Betrachtet man die Zusammensetzung näher, erkennt man sofort warum ein stoffliches Recycling angestrebt werden sollte.

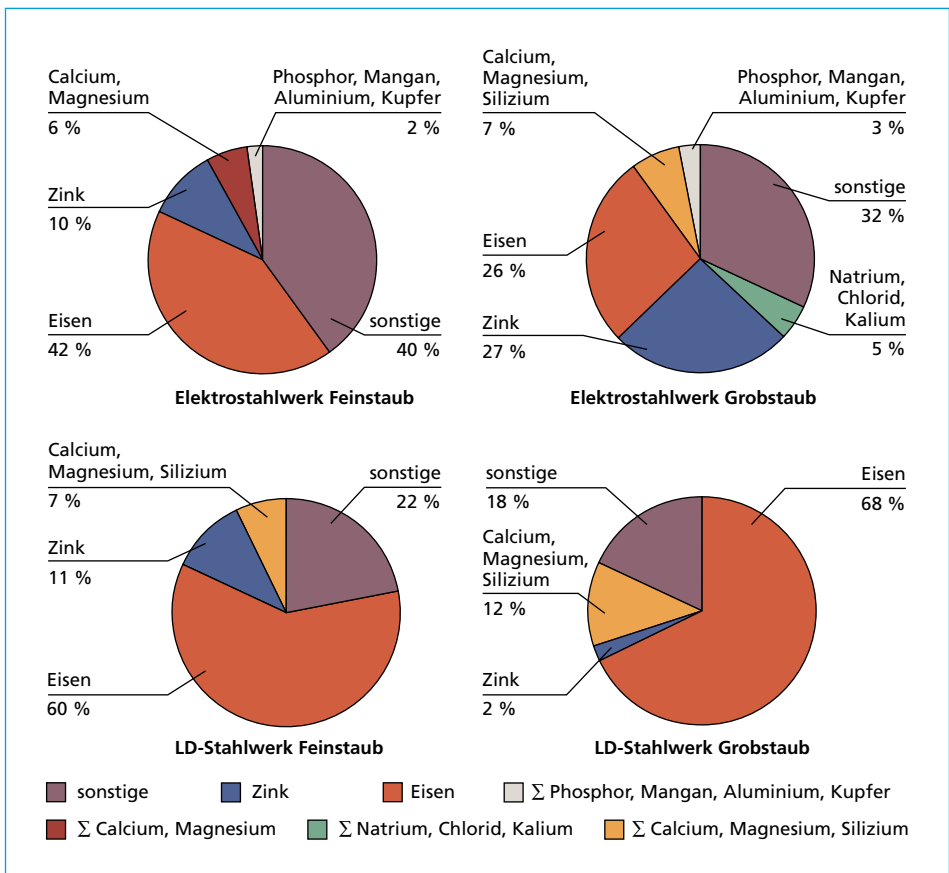


Bild 2: Durchschnittsanalyse unterschiedlicher Stäube

Quelle: Bartusch, H.: Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Eisen-, Stahl- und Zinkindustrie (ERESTRE), Band 2. s.l.: KIT Scientific Publishing 2013, 2013. ISBN: 978-3-86644-857-5

Grundsätzlich kann nach Art der Abscheidung der Stäube in eine Grob- und eine Feinfraktion eingeteilt werden. Die feinere Fraktion weist deutlich höhere Gehalte an flüchtigen Bestandteilen wie Zink, Blei oder flüchtigen Verunreinigungen wie zum Beispiel Halogenen auf, während sich die Stäube eines integrierten Hüttenwerkes durch ihren höheren Eisen- und ihren geringeren Zinkanteil von Stäuben aus dem Elektrolichtbogenofen unterscheiden. Aus Bild 2 und dem wesentlich höheren Wertschöpfungspotentials des Zinks ist auch erkennbar, warum sich fast alle Anbieter von Recyclingverfahren auf Elektrolichtbogenöfen-Stäube konzentrieren, aber auch hier landen rund zwei Drittel auf der Deponie. [4] Eine Möglichkeit für die Verwertung der Stäube aus der Hochofen/LD-Route wäre der DK-Prozess, welcher auf Basis des Hochofenprozesses diese Rohstoffe in Form Gießereirohisen und Zinkkonzentrat wiedergewinnt. Für die alleinige Verwertung von Stäuben aus der Hochofen/LD-Route gibt es zurzeit noch kein am Markt etabliertes Verfahren.

Doch speziell die hohen Eisengehalte und Schlackekomponenten sind interessant für eine stoffliche Verwertung der Stäube aus dem LD-Prozess in der Eisen- und Stahlindustrie. Entgegen den etablierten Verfahren zum Recycling von Elektrolichtbogenofenstäuben, soll der speziell dafür entwickelte RecoDust-Prozess das gesamte Potential der Wertstoffe, ein Recycling von Eisen und Zink ausschöpfen.

2. Das RecoDust Verfahrensprinzip

Analog zu anderen pyrometallurgischen Verfahren nutzt auch der RecoDust-Prozess die Verflüchtigung unter reduzierenden Bedingungen zur Abtrennung der Begleitelemente. Ziel ist die Auftrennung von Eisen und Zink in zwei separat und vollkommen stofflich verwertbare Fraktionen. Das gewonnene Eisen soll als Eisenoxid in der Hochofenroute, das wiedergewonnene Zink als Sekundärrohstoff zur Zinkherstellung eingesetzt werden. In Bild 3 ist das vereinfachte Verfahrensprinzip des einstufigen Prozesses dargestellt.

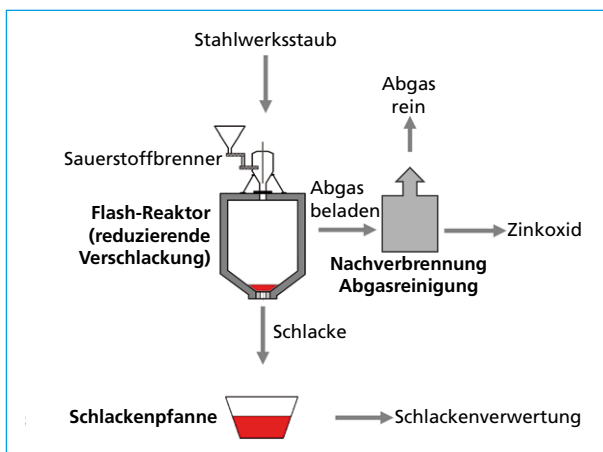


Bild 3:

Verfahrensprinzip des einstufigen RecoDust-Prozesses

In der Reaktorkammer wird ausschließlich über einen Erdgas-Sauerstoffbrenner eine reduzierende Atmosphäre eingestellt. Bei einer Reaktortemperatur von bis zu 1900 °C wird der Staub mithilfe von reinem Sauerstoff über einen speziell entwickelten Schmelzzyklon direkt in die Brennerflamme gefördert, in der in Sekundenbruchteilen die Staubbestandteile aufgeschmolzen und reduziert werden. Alle nichtflüchtigen Bestandteile sammeln sich am Boden des Reaktors und werden über einen diskontinuierlichen Abstich abgezogen, während die flüchtigen Komponenten über den Abgasstrom aus der Reaktorkammer geführt werden. Dieser Strom enthält primär das reduzierte, metallisch vorliegende Zink, aber auch flüchtige Elemente wie Blei, Chlor, Fluor und geringe Mengen mitgerissener nichtflüchtiger Staubanteile, welcher einer Gasreinigung zugeführt werden. Dort werden nicht vollkommen ausreagierte Bestandteile des Abgases und die metallisch vorliegenden Elemente nachverbrannt, aufoxidiert und anschließend mit einem Gewebefilter abgetrennt.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit den Prozess auch zweistufig zu realisieren, wobei im ersten Schritt im Reaktor eine oxidierende Atmosphäre eingestellt wird, um Schadstoffe wie Blei und insbesondere Halogene in das Abgas zu verflüchtigen. Im zweiten Prozessschritt wird die schmelzflüssige Eisen-Zink Legierung auf eine induktiv beheizte Koksschüttung, aufgegeben, in welchem die Separation von Eisen und Zink stattfindet. Hauptvorteil des zweistufigen Prozesses ist eine höhere Produktqualität, insbesondere der Zinkfraktion, da die Halogene im Zinkstaub die größte Beeinträchtigung für eine stoffliche Verwertung in der Zinkindustrie darstellen.

3. Umsetzung in der Flash-Reaktor Pilotanlage

Am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik an der Montanuniversität Leoben wurde gemeinsam mit der voestalpine Stahl GmbH beginnend mit 2009 innerhalb von zwei Jahren die Flash-Reaktor Pilotanlage mit einer Kapazität von bis zu 300 kg/h geplant, gebaut und in Betrieb genommen. Aufgrund der guten Ergebnisse mit dem einstufigen Prozess wurde die optionale zweite Stufe der Pilotanlage zur gegebenen Zeit noch nicht umgesetzt. Die Umsetzung folgt dem vorher beschriebenen einstufigen Verfahrensprinzip und kann in vier einzelne Prozessschritte unterteilt werden, wie sie im Blockdiagramm in Bild 4 dargestellt sind.

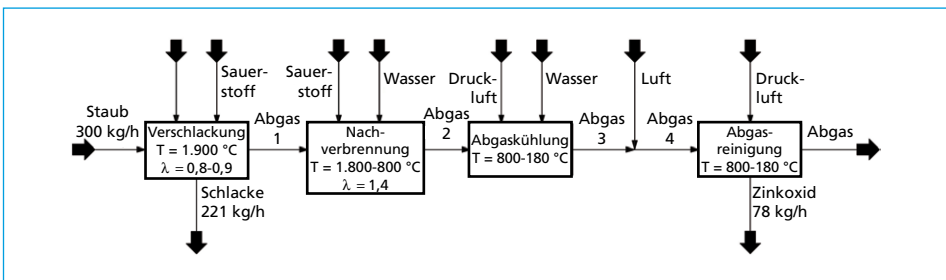


Bild 4: Blockdiagramm des einstufigen RecoDust-Prozesses

Der erste und kritische Verfahrensschritt ist die Verschlackung des eingesetzten Staubmaterials. Diese beginnt im sogenannten Flash-Reaktor-Kopf, einer Kombination aus Mischzyklon, Staubförderungseinheit und Brennerlanze. Dort wird der Staub mit reinem Sauerstoff angereichert und durch den Gasstrom in einer rotierenden Bewegung direkt in die Flamme der mittig positionierten, unterstöchiometrisch betriebenen Brennerlanze gefördert. Der am oberen Ende der Reaktorkammer positionierte Schmelzzyklon ist auch in Bild 5 zu sehen, welche die Isometrieansicht der Pilotanlage zeigt. In der darunterliegenden Reaktorkammer herrschen, abhängig von der individuellen Charakteristik des Einsatzmaterials, Temperaturen von 1.700 °C bis zu 1.900 °C. Durch die vorherrschenden Umgebungsbedingungen findet dort die Reduktion und anschließende Verdampfung der flüchtigen Verbindungen wie z.B. Zinkoxid, Bleioxid, Halogene und einigen Schwermetallen statt. Der mit den metallischen Wertkomponenten beladene Abgasstrom wird aus der Reaktionszone abgezogen. Die Reduktion des Zinkoxides muss vor auftreten des Staubes auf die Schmelze abgeschlossen sein, da diese dort aufgrund der thermodynamischen Bedingungen nur minimal abläuft. Aufgrund der Notwendigkeit der schnellen Reduktion ist die Einbringung des Staubes in die Brennkammer von essenzieller Bedeutung. Alle nichtflüchtigen Bestandteile wie Eisenoxid oder Kalziumoxid verbleiben am Boden und werden nach unten hin diskontinuierlich abgestochen.

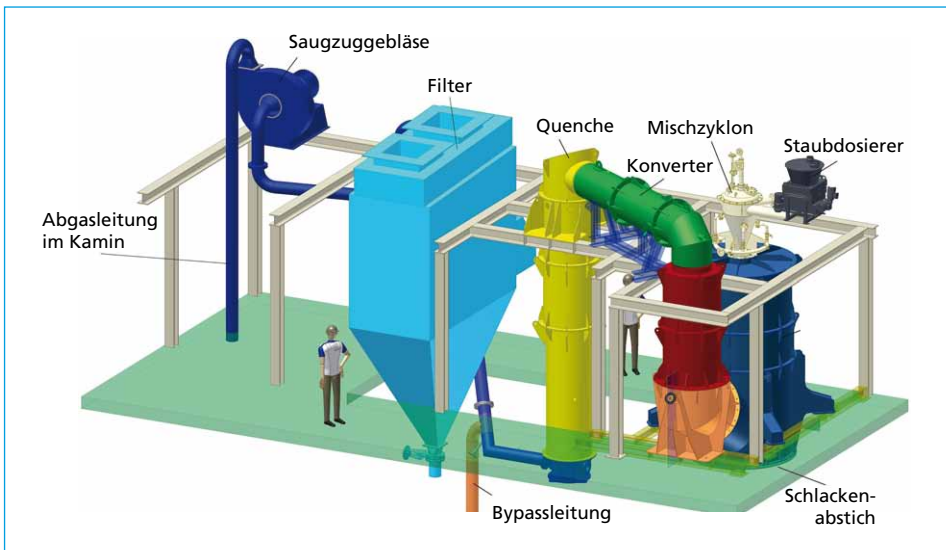


Bild 5: Isometrieansicht der Flash-Reaktor Pilotanlage

Im Konverter, dem zweiten Prozessschritt, wird der beladene Abgasstrom aus der Reaktorkammer durch das Eindüsen von Sauerstoff stark überstöchiometrisch nachverbrannt. Die dampfförmig vorliegenden Metalle werden in ihre stabilen Oxidphasen überführt und noch nicht ausgebrannte Anteile des Brenngases, die zur Reduktion in der Reaktorkammer nicht benötigt wurden, vollständig ausgebrannt. Im selben Prozessschritt wird Wasser eingedüst, um eine erste Reduktion der Abgastemperatur von

1.700 °C auf etwa 800 °C zu erreichen. Aufgrund der Größe der Pilotanlage und der diskontinuierlichen Durchführung der Versuchskampagnen, wird hier keine Wärmerückgewinnung durchgeführt. Das Abgas wird im nachfolgenden dritten Prozessschritt auf etwa 180 °C abgekühlt, um im abschließenden vierten Prozessschritt das fest vorliegende Zinkoxid mittels eines Gewebefilters aus dem Abgasstrom abzutrennen. In einem Zwischenschritt ist es möglich Falschluff einzubringen um Temperaturspitzen abzufedern und die maximale Temperatur von 150 °C im Filter nicht zu überschreiten. Im Filter wird der rieselfähige hochzinkhaltige Produktstaub entnommen, das gereinigte Abgas entweicht über das Saugzuggebläse in den Kamin.



Bild 6: Abstich an der Pilotanlage

Der Vorteil des RecoDust-Prozesses ist die Verwertung von Rückständen aus der Stahlherstellung mit keinem Abfallkommen. Die eisenreiche Fraktion kann als Eisenoxid Substitut auf die Hochofenroute zurückgeführt werden, der zinkreiche Produktstaub kann als sekundäre Ressource für die Zinkproduktion verwendet werden und trägt zur Wertschöpfung bei. Im Gegensatz zu den bereits industriell eingesetzten Verfahren werden keine festen Zuschlagsstoffe für den Prozess benötigt, die Einstellung der Prozessparameter erfolgt alleinig durch die Regelung der Gasflüsse.

Dadurch ist es möglich die Prozessparameter schnell inhomogenen Einsatzmaterialien anzupassen und eine gleichmäßige

Produktqualität zu realisieren. Aufgrund des Wegfalls von Vorbehandlungsanlagen ist es möglich ein kleines unabhängiges Anlagenlayout zu realisieren und die Stäube können mit nur wenigen Limitationen direkt aus den Filteranlagen eingesetzt werden. Sie müssen trocken und rieselfähig sein und sollten, aufgrund der Notwendigkeit der schnellen Reduktion, eine Korngröße von weniger als 1 mm aufweisen.

4. Ergebnisse aus dem Versuchsbetrieb

Seit der Inbetriebnahme im Juli 2010 konnten über 6.300 kg unterschiedlichster zinkhaltiger Stäube im Flash-Reaktor verarbeitet werden, wobei eine Schmelzleistung von bis zu 300 kg/h erzielbar ist. Im Vordergrund der Versuche steht die Entzinkung des Staubes, da nur bei entsprechend niedrigen Zinkfrachten der eisenreichen Fraktion ein Wiedereinsatz im Hüttenwerk möglich ist. Bei der Staubfraktion definieren ein hoher Zinkgehalt, sowie ein niedriger Gehalt an Fremdelementen, insbesondere Chlor- und Fluorverbindungen die Qualitätsanforderungen.

Während des Versuchsbetriebes wird die Anlage Chargenweise bestückt, um Stäube unterschiedlicher Herkunft und Zusammensetzung testen zu können. Die Chargengröße beträgt bis zu 250 kg, und während jeder Charge können Verfahrensparameter wie zum Beispiel Temperatur, Luftzahl oder Regelung der Gasflüsse variiert werden. Alle Produkte werden chargenweise analysiert und die Variation der Parameter oder die Modifikationen an der Pilotanlage hinsichtlich ihrer Effektivität beurteilt.

Ziel der Versuche war es auch möglichst viele unterschiedliche Stäube mit schwankenden Eisen- und Zinkgehalten in der Pilotanlage einzusetzen und die daraus gewonnenen Erfahrungen zu nutzen. Tabelle 1 zeigt die Kernparameter einiger prozessierter Staubproben. Der Eisengehalt, insbesondere des metallischen Eisens und der Zinkgehalt sind die primären Charakteristika der Einsatzstoffe, hierbei wurde auf ein breites Spektrum der Gehalte geachtet. Durch die Oxidation des Eisens werden in der Reaktorkammer Energie frei und Oxidationsmittel verbraucht. Die Kinetik der Zinkreduktion ist abhängig von den gewählten Prozessparametern, wie Temperatur oder verfügbare Reduktionsmittel sowie der Eingangskonzentration.

	Einsatzstoffe		Produkte		
	Fe total	Zn	Fe total in Schlacke	Zink- entfernung	Carry- Over
	Gew.-%	Gew.-%	Gew.-%	%	Gew.-%
Staubprobe 1	47	13,7	52,0	93	2
Staubprobe 2	52,9	4,4	54,1	98	2
Staubprobe 3	45,1	11,8	52,0	96	1,5

Tabelle 1:

Unterschiedliche Einsatzstoffe und Produktqualitäten aus der Flash-Reaktor Pilotanlage

Die dargestellten Staubproben sind chronologisch aufgelistet, mit der Verbesserung der Verfahrensparameter und der Optimierung der Pilotanlage ist eine stetige Steigerung der Performance der Zinkentfernung beziehungsweise des Carry-Overs möglich gewesen. Unter dem Begriff Carry-Over sind die nichtflüchtigen Elemente, insbesondere Eisen und Kalziumoxide zusammengefasst, welche sich durch mechanischen Übertrag in der Staubfraktion wiederfinden.

Die Reinheit der Produkte war in allen Tests sehr zufriedenstellend, im Mittel konnte ein Restzinkgehalt der Schlacke von $< 0,5\%$ erreicht werden. Weitere Untersuchungen der Schlacke ergaben eine hohe Härte sowie ein inertes Verhalten in Eluattests. Somit ist ein Einsatz als Baustoff ebenfalls möglich, aufgrund der erreichten Restzinkgehalte in der Schlacke aber nicht sinnvoll. Auch die Eisengehalte, über 50 Prozent sprechen gegen einen Einsatz als Baumaterial.

In einzelnen Versuchen konnte über 99 Prozent der aufgegebenen Zinkfracht in das Abgas verflüchtigt werden, wobei die Anreicherung von Zinkoxid im Produktstaub Spitzenwerte von über 90 Prozent erreichte. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass bei geringeren Zinkgehalten die Abtrennung geringfügig besser funktioniert. Durch Anpassung der Parameter bzw. der Pilotanlage bei Staubprobe 3 konnte auch bei den höherzinkhaltigen Einsatzmaterialien eine Steigerung der Zinkentfernung erreicht werden. Das Potential der Produkte für eine weitere stoffliche Verwertung ist somit gegeben.



Bild 7:

Produkte und Einsatzstoffe des RecoDust-Prozesses

Optimierungen an der Pilotanlage werden nach jeder Versuchsreihe durchgeführt und zeigten sich in weiteren Steigerungen der Produktqualität.

In Bild 7 ist ein Beispiel für einen niederzinkhaltigen Einsatzstoff und die in der Pilotanlage gewonnenen Produkte zu sehen. Aus dem niedrigzinkhaltigen Einsatzmaterial, hinten im Bild, konnte eine hochzinkhaltige Staubfraktion und eine eisenoxidreiche Schlacke produziert werden. Die Produktqualität des Produktstaubes, lässt sich auch ohne Analysen an der charakteristischen hellen Farbe und der geringen Schüttdichte nach jeder Charge abschätzen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Hohe Wertinhalte und schlechte Verwertungsmöglichkeiten bieten umfassendes Potential zur Verfahrensentwicklung für das Recycling von Stäuben aus der Eisen und Stahlherstellung. Diese Stäube charakterisieren sich durch hohe Eisen und Zinkgehalte, welche aufgrund der anfallenden Mengen im Produktionsprozess ein erhebliches Wertschöpfungspotential darstellen. Der RecoDust-Prozess der in einer Pilotanlage an der Montanuniversität Leoben umgesetzt wurde, bietet im Vergleich zu bereits in der Industrie umgesetzten Verfahren den Vorteil Eisen und Zink in den jeweiligen Produktionsprozessen zu nutzen. Die Schlacke, reich an Eisenoxid, kann wieder in den Hochofenprozess zurückgeführt werden, der Zinkreiche Produktstaub kann in der Zinkindustrie zur Gewinnung von metallischem Zink genutzt werden und trägt zur Wertschöpfung bei.

Die Versuche mit unterschiedlichsten Reststoffen, insbesondere Stäuben aus der Eisen- und Stahlproduktion, konnte der Prozess in der Pilotanlage bestätigt werden. Unabhängig der eingesetzten Materialien konnte eine durchgehend ausgezeichnete Produktqualität erzielt werden. Die Abtrennungsrate des Zinks aus der Schlacke liegt weit über 95 Prozent des aufgegebenen Massenstromes und der Produktstaub enthält eine Zinkkonzentration welche über den Recyclingmethoden für hochzinkhaltige Elektrolichtbogenöfenstäube liegt. Durch den geringen Restzinkgehalt und den Eisenanteil der Schlacke ist eine stoffliche Verwertung im Hüttenwerk wirtschaftlich

durchführbar. Die Schlacke charakterisiert sich durch eine hohe Härte und erwies sich bei den durchgeführten Eluattests als inert, somit ist auch die Einsatzmöglichkeit als Baustoff gegeben.

Aufgrund der Anlagenkonzeption ist ein dezentralisiertes Recycling, speziell von Stäuben mit sehr niedrigen Zinkgehalten durchführbar, bis zur industriellen Umsetzung ist aber noch einige Forschungsarbeit zu leisten. Ziel ist, neben der laufenden Optimierung der Anlage, bis Mitte 2015 alle verfahrenstechnischen Parameter und Bilanzen für das Upscaling der Pilotanlage zu erarbeiten. Wenn die Erprobung der Hüttenstäube abgeschlossen ist, soll das Spektrum der Einsatzstoffe auf andere Hüttenreststoffe oder gänzlich neue Materialien ausgedehnt werden.

Danksagung

Das Forschungsprogramm des Competence Center for Excellent Technologies in *Advanced Metallurgical and Environmental Process Development* (K1-MET) wird im Rahmen des österreichischen Kompetenzzentren-Programmes COMET (Competence Center for Excellent Technologies) mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie; des Bundesministeriums Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft; des Landes Oberösterreich, des Landes Steiermark, der steirischen Wirtschaftsförderungsges.m.b.H., des Landes Tirol sowie der Tiroler Zukunftsstiftung gefördert. Aber auch unseren Industriepartnern, allen voran der voestalpine Stahl GmbH soll gedankt werden. Ohne ihre Unterstützung wäre eine derartige Pilotanlage an einer Universität nicht realisierbar.

6. Literatur

- [1] Antrekowitsch, J.: Aufbereitung komplexer schwermetallhaltiger Reststoffe aus der Metallurgie. Montanuniversität Leoben, 2009
- [2] Bartusch, H.: Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Eisen-, Stahl- und Zinkindustrie (ERESTRE), Band 2. s.l.: KIT Scientific Publishing 2013, 2013. ISBN: 978-3-86644-857-5
- [3] FACT SHEET Steel industry by-products. Worldsteel Association. [Online] Stand Feb. 2010. [Cited: 08 08, 2014.] https://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/fact-sheets/Fact-sheet_By-products/document/Fact%20sheet_By-products.pdf
- [4] Rütten, J. et al.: Processing EAF Dust Through Waelz kiln and ZINCEXTM Solvent Extraction: The Optimum Solution. s.l.: Proceedings EMC 2011, Volume 5: Sustainable Technologies, 2011

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

Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): **Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 2**
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –
ISBN 978-3-944310-21-3 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 2015
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.
Erfassung und Layout: Ginette Teske, Sandra Peters, Janin Burbott,
Claudia Naumann-Deppe, Anne Kuhlo

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München 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.