

Alternative Verfahren zur Aufarbeitung von Stäuben aus der Stahlindustrie

Christoph Pichler und Jürgen Antrekowitsch

1.	Theorie der Zinkentfernung	400
2.	Stahlwerksstäube	402
3.	Das 2°DR Prozessmodell	404
3.1.	Klinkerstufe	404
3.2.	Reduktionsstufe	404
4.	Ergebnisse der praktischen Untersuchungen	405
4.1.	Klinkern im Technikumsmaßstab	406
4.2.	Reduktion im Technikumsmaßstab	407
5.	Zusammenfassung	408
6.	Literatur	409

Im Zuge der Stahlproduktion entstehen verschiedene Kuppelprodukte wie Schlacken, Stäube und Schlämme, welche unter oft hohem Kostenaufwand deponiert bzw. im Fall der Stäube an Recyclingbetriebe abgetreten werden. Beispielsweise beläuft sich die anfallende Menge an Elektrolichtbogenofenstaub auf 15 bis 20 kg/t Rohstahl [7], wobei die Konzentration an Zink bis 40 Gew.-% betragen kann [8]. Zink ist in Europa aufgrund seiner sehr hohen ökonomischen Wichtigkeit auf der Schwelle zum kritischen Rohstoff. Basierend auf diesem und weiteren Aspekten, wie beispielsweise dem Wunsch nach Souveränität, besteht das Interesse seitens der Industrie an einem dezentralisierten, in das Hüttenwerk implementierten, Recyclingprozess. Speziell für das Recycling von zinkhaltigen Stahlwerksstäuben gibt es eine Vielzahl entwickelter Verfahren. Aufgrund des Anlagenkonzeptes etablierte sich der Wälzprozess zum dominierenden Recyclingprozess in diesem Bereich und wird auch von der Europäischen Kommission als *Best Available Technique* geführt [2]. Dieser Prozess weist aber bezogen auf den in der Metallurgie immer stärker werdenden Nachhaltigkeitsgedanken gewisse Nachteile auf. Diese beziehen sich hauptsächlich auf die in großen Mengen anfallende Wälzschlacke, welche meistens einer Deponie zugeführt wird. Darin sind durchschnittlich 37 Prozent Eisen in verschiedenen Wertigkeitsstufen enthalten, welches damit verloren geht. Aufgrund dessen gibt es bei der Entwicklung von neuen Recyclingmöglichkeiten das Bestreben auch das enthaltene Eisen rückzugewinnen.

Ein neuartiges Konzept in diesem Bereich ist der *Two Step Dust Recycling* Prozess (2^sDR), basierend auf einem innovativen, zweistufigen Verfahrensschema. Der wesentliche Vorteil dabei ist die simultane Rückgewinnung von Wertmetallen. Dies bezieht sich hauptsächlich auf die im Prozess produzierte Eisenlegierung und das Zinkoxid, welches aus dem Filterhaus der Abgasanlage gewonnen wird und als marktfähiges Produkt verkauft werden kann. Die im Verhältnis zum Wälzprozess sehr geringe Schlackenmenge ist frei von Schwermetallen und weist ebenso eine Volumsstabilität auf, weshalb diese als sekundärer Rohstoff Einsatz finden kann. Ein zusätzlicher Vorteil ist die erreichbare, höhere Produktqualität des Zinkoxides, im Vergleich zum Wälzoxid. Dies resultiert hauptsächlich aus der zweistufigen Prozessführung, bei der zuerst die als Verunreinigung wirkenden Elemente Fluor und Chlor, unter Ausnutzung der hohen Partialdrücke dieser Verbindungen, abgetrennt werden. Dies ist ein sogenannter Klinkerprozess, woran die Reduktion als nächster Prozessschritt angeschlossen ist. Im Gegensatz zur Klinkerstufe ist dieser Prozess schmelzflüssig geführt. Dieses Konzept bietet unter anderem aufgrund der Kompaktheit die Möglichkeit einer dezentralen Verwertung am Ort der Entstehung. Damit entfallen die Transport- sowie Verarbeitungskosten und die daraus resultierenden Produkte können teilweise werksintern weiterverwendet werden.

Basierend auf durchgeführten theoretischen Berechnungen mit FactSAGE, Charakterisierungen von Stahlwerksstäuben und praktischen Untersuchungen im Labormaßstab wurden bereits auch Untersuchungen im nächsten Scale-up, dem Technikumsmaßstab, durchgeführt.

1. Theorie der Zinkentfernung

Aufgrund von hochzinkhaltigen Schlacken aus Bleischächtofen ist die Aufarbeitung zinkhaltiger Reststoffe bereits seit über hundert Jahren Bestandteil metallurgischer Untersuchungen. Unter Verwendung von thermodynamischen Daten und empirisch ermittelten Parametern an wassergekühlten Schlackeverblaseöfen konnten mathematische Modelle erstellt werden, welche es ermöglichen, die wesentlichen Einflussparameter auf die Zinkverdampfung zu ermitteln. Diese Ergebnisse dienen als Grundlage zur Entwicklung neuer Verfahren, welche die Aufarbeitung zinkhaltiger Reststoffe aus der Eisen- und Stahlmetallurgie sowie der Nichteisenmetallurgie ermöglichen.

Der Schlackeverblaseprozess ist eine chargenweise, reduzierende Behandlung von flüssiger Schlacke in einem wassergekühlten Ofen mit rechteckigem Querschnitt. Mittels an der Wandunterseite angeordneten Düsen wird Kohle durch einen Luftstrom eingeblasen. Der eingebrachte Kohlenstoff reduziert bei den herrschenden Temperaturen von 1.300 bis 1.500 °C das Zinkoxid zu metallischem Zink, welches verdampft und über dem Schlackenbad durch einen eingebrachten Luftstrom reoxidiert wird [5]. Die schematische Darstellung dieses Prozesses ist in Bild 1 zu sehen.

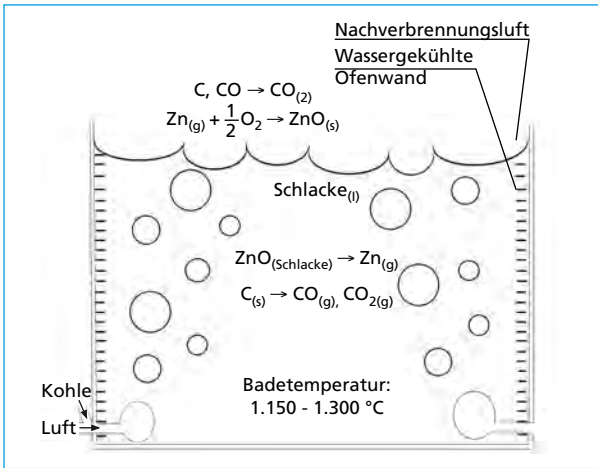


Bild 1:

Schematische Darstellung des Schlackeverblasprozesses

Quelle: Richards, G. G. et al.: Kinetics of the zinc slag-fuming process: Part I. industrial measurements. Metallurgical Transactions B 16, 1985, 3, S. 513-527

Aufgrund der stark endothermen Reaktion dient ein Teil des Kohleinputs als Energieträger, durch die teilweise Verbrennung mit der miteingebrachten Luft, der Großteil steht zur Reduktion von Zink- und Eisenoxid nach den Reaktionen (1) und (2) zur Verfügung [5].



In Schlacken ist Fe_3O_4 die thermodynamisch bevorzugte Form des Eisens [4]. Die direkte Reaktion der Oxide mit dem Kohlenstoff ist aufgrund der fehlenden Benetzung von Kohle und Schlacke unwahrscheinlich [5]. Durch die auftretende Boudouard-Reaktion entsteht Kohlenmonoxid, welches zur indirekten Reduktion nach (3) und (4) führt [5].



Diese Erkenntnisse können in einem Reaktionssystem, welches in Bild 2 dargestellt ist, beschrieben werden.

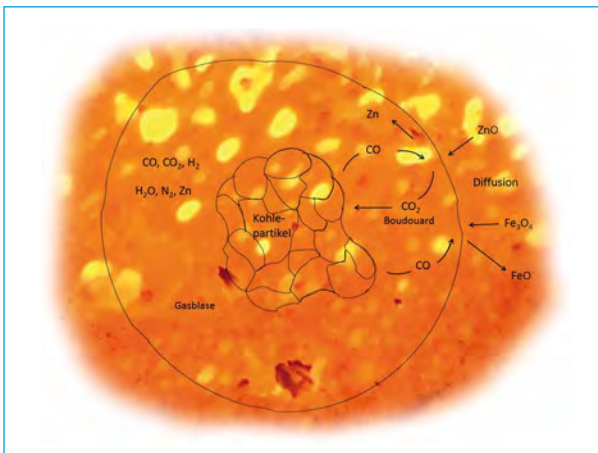


Bild 2:

Schlacke-Kohle Reaktionssystem

Quelle: Richards, G. G.; Brimacombe, J. K.: Kinetics of the zinc slag-fuming Process: part II. mathematical model. Metallurgical Transactions B 16, 1985, 3, S. 529-540

Bei dem in Bild 2 veranschaulichten System handelt es sich um ein Kohlepartikel, welches sich in einer Gasblase befindet und von der Schlacke nicht benetzt wird. Deshalb verweilt es immer in der Mitte dieser Blase und nicht an der Kohle-Schlacke Grenzschicht. Durch Diffusionsvorgänge gelangt ZnO und Fe_3O_4 zur Gas-Schlacke-Grenzschicht und wird dort durch die Reaktionen (3) und (4) umgesetzt. Das dabei entstehende CO_2 diffundiert zur Gasblasenmitte und reagiert mit dem vorhandenen Kohlenstoff nach (5) zu Kohlenmonoxid, welches wiederum die Schlackenoxide umsetzt [4].



Dieses Modell basiert auf praktischen Untersuchungen des Konzentrationsgradienten an der Schlacke-Gasblase-Grenzschicht. Dabei wurden während dem Schlackeverblasen Proben entnommen und abgeschreckt, wodurch die darin enthaltenen Gasblasen als Hohlräume im erstarrten Material verblieben. Untersuchungen mittel Elektronenstrahlmikroanalyse zeigten, dass die Konzentrationen von Zn und Fe von der Schlacke in Richtung Gasblase fallen. Dies deutet auf Diffusionsvorgänge in der Schlacke hin. Das an der Grenzschicht reduzierte Zink ist unter den herrschenden Temperaturen dampfförmig und verlässt die flüssige Schlacke über die Gasblase. Das Konzentrationsgefälle des Eisens hin zu Gasblase lässt sich durch die höhere Diffusionsgeschwindigkeit des Wüstits, welcher bei der Reduktion entsteht, gegenüber dem Magnetit erklären. Aufgrund dieser Tatsachen hat der Transport innerhalb der Schlackenphase einen wesentlichen Einfluss auf die Reaktionskinetik [5].

2. Stahlwerksstäube

Aufgrund der jährlich steigenden Stahlproduktion erhöhen sich ebenso die Mengen an anfallenden Kuppelprodukten. Dieses vermehrte Aufkommen von Reststoffen bedingt ebenso höhere Kapazitäten beim Recycling dieser Rückstände. Bei einer durchschnittlichen Staubmenge von 20 kg/t Roheisen [7] beim Elektrolichtbogenofen ergibt dies, bezogen auf die weltweite jährliche Stahlproduktion über den Elektrolichtbogenofen, eine Gesamtmenge von 9,7 Millionen Tonnen Staub/Jahr. Bei einer globalen Betrachtung verteilen sich die anfallenden Mengen laut Bild 3.

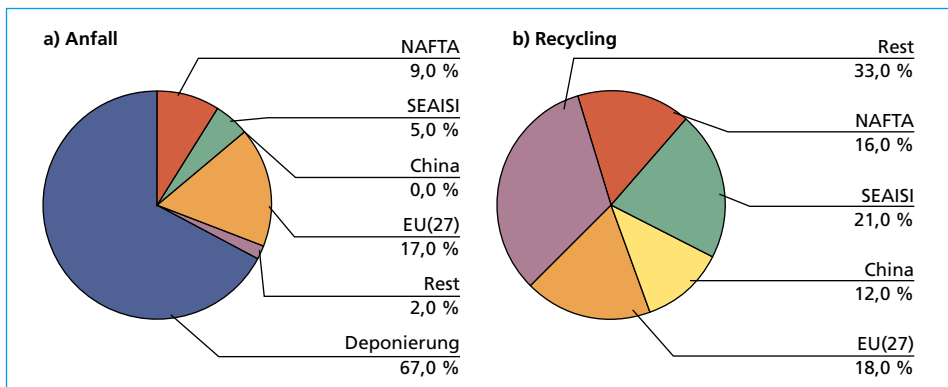


Bild 3: Anfall und Recycling von Elektrolichtbogenofenstaub weltweit

Quelle: Rütten, J.; Frias, S.; Diaz, G.; Martin, D.; Sanchez, F.: Processing EAF Dust Through Waelz Kiln and ZINCEXTM Solvent Extraction: The Optimum Solution, 2011

Wie aus Bild 3 a) ersichtlich entstehen in der EU achtzehn Prozent der weltweit anfallenden Elektrolichtbogenofenstäube und es werden ebenso achtzehn Prozent recycelt, Bild 3 b). Global gesehen wird aber mehr als die Hälfte deponiert. Dies zeigt, dass in diesem Bereich der Metallurgie noch Potenzial vorhanden ist.

Die Rückgewinnung von Zink bezieht sich hauptsächlich auf Stäube aus Elektrostaahlwerken. Der Grund dafür liegt in den hohen Konzentrationen dieses Metalls in Stäuben, welche bis zu vierzig Prozent betragen können [8]. Stäube aus LD-Stahlwerken weisen niedrigere Konzentrationen auf. In Abhängigkeit der Herkunft variieren die Zusammensetzungen dieser Rückstände. Diese werden auch von den Einsatzstoffen, vor allem durch den Schrott, bestimmt. Für genauere Betrachtungen sind deshalb Mittelwerte heranzuziehen. Ein direkter Vergleich der chemischen Zusammensetzung zwischen Filterstäuben aus einem Elektrostaahlwerk, sowie LD-Stahlwerk ist in Bild 4 ersichtlich.

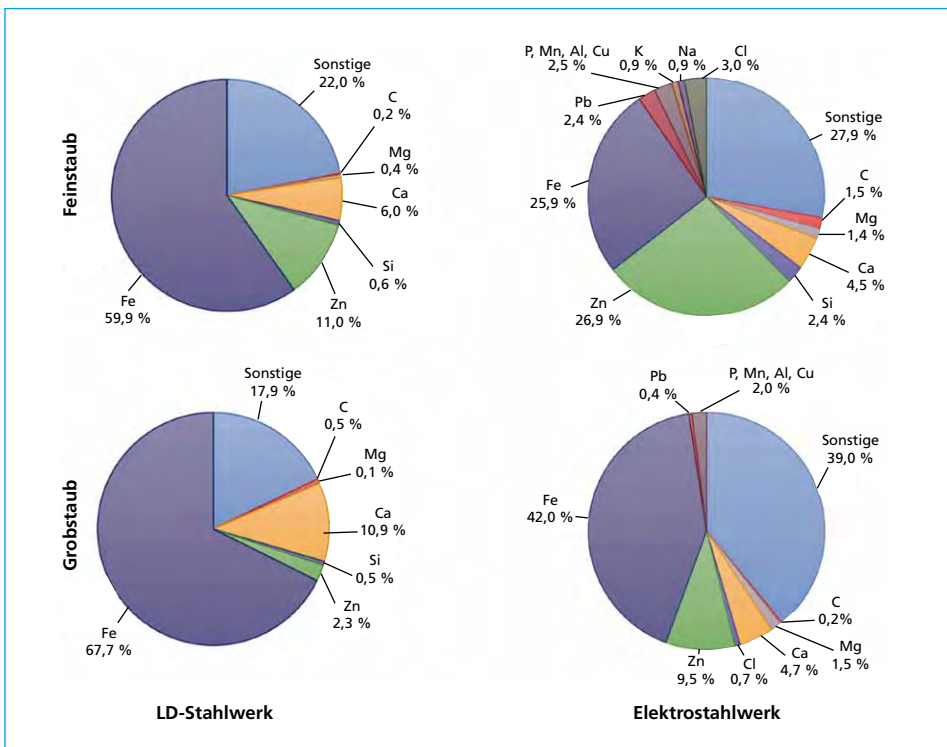


Bild 4: Durchschnittsanalyse verschiedener Stäube

Quelle: Bartusch, H. et al.: Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Eisen-, Stahl- und Zinkindustrie (ERESTRE) In: Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Eisen-, Stahl- und Zinkindustrie (ERESTRE), 2, 2013

Aufgrund des Konzeptes der Abgasanlagen werden zwei unterschiedliche Staubfraktionen, Grob- bzw. Feinstaub, aus dem Gasstrom abgeschieden. Diese zeigen ebenso Unterschiede in deren Zusammensetzung.

Um höhere Zinkkonzentrationen im Feinstaub von LD-Stahlwerken zu erreichen, gibt es Staubrückführungssysteme, welche zu einer Aufkonzentration von Zink führen [3].

3. Das 2^sDR Prozessmodell

Wie bereits erwähnt, erfolgt das Recycling von Stahlwerksstäuben in diesem Prozess in zwei unterschiedlichen Stufen, wobei die erste als Klinkerstufe und die zweite als Reduktionsstufe bezeichnet wird.

3.1. Klinkerstufe

Die Qualität und damit auch der erzielbare Preis sind an die Reinheit von Produkten gebunden. Beim 2^sDR Prozess bezieht sich dies hauptsächlich auf das Zinkoxid, gleich wie beim Wälzprozess. In Fall der Stahlwerksstäube sind die Hauptverunreinigungen Chlor und Fluor wesentlich. Diese gelangen im Stahlwerk durch miteneingebrachte Kunststoffe und Additive in den Staub, wodurch sie in den Recyclingprozess mitgeschleust werden. Damit ein möglichst hochqualitatives Zinkoxid gewonnen werden kann, müssen diese unerwünschten Begleitelemente abgetrennt werden. Dies

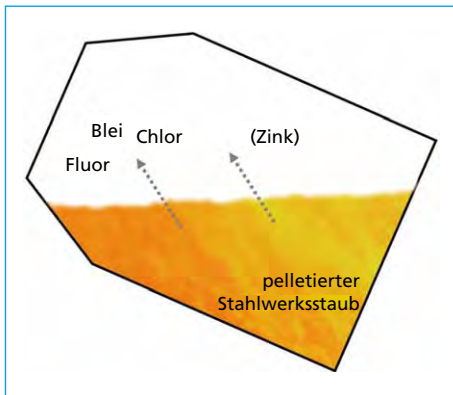


Bild 5: Schema der Klinkerstufe (Querschnitt eines TBRC Konvertergefäßes)

ist nur durch eine separate Prozessstufe möglich. Bei diesem entwickelten Verfahren erfolgt eine Vorbehandlung des agglomerierten Stahlwerksstaubes, das sogenannten Klinkern. Dabei werden die hohen Dampfdrücke der im Reststoff enthaltenen Fluor- und Chlorverbindungen, bei Temperaturen zwischen 1.000 und 1.200 °C, ausgenutzt. Diese verdampfen und verlassen den Reaktor, welcher als TBRC (Top Blown Rotary Converter) oder Drehrohr ausgeführt sein kann, über den Abgasstrom und können aus dem Filterhaus oder einem Nasswäscher gewonnen werden. Bei den bereits erwähnten Temperaturen befindet sich der agglomerierte Staub im festen Aggregatzustand.

Das verbleibende Material wird danach der sogenannten Reduktionsstufe zugeführt, wo die eigentliche Rückgewinnung der Wertmetalle Zink und Eisen erfolgt. Schematisch ist dieser Vorgang in Bild 5 dargestellt, wobei es sich um einen Längsschnitt eines TBRC-Gefäßes handelt.

Wie in Bild 5 angedeutet verdampfen Chlor- und Fluorverbindungen bei den Prozesstemperaturen in der Klinkerstufe. Ein Großteil vom Blei liegt als Chlorid vor, wodurch sich dieses ebenso im Filterstaub wiederfindet. Kleine Anteile von Zink gehen dabei ebenso verloren, da es in geringen Mengen als Chlorid und Fluorid vorliegt, welche flüchtig sind.

3.2. Reduktionsstufe

Die Entwicklung dieses Prozesskonzeptes basiert auf der Anlagentechnik von einem TBRC (Top Blown Rotary Converter). Dieser etablierte sich bei einer durchgeführten Evaluierung als geeignetstes Aggregat.

In dieser zweiten Stufe der Stahlwerksstaubverwertung findet die eigentliche Rückgewinnung der Wertmetalle statt. Das aus dem Klinkern stammende, an Chlor und Fluor angereicherte, Einsatzmaterial wird auf ein aufgekohltes Eisenbad chargiert. In Abhängigkeit vom Mengenverhältnis Klinker zu Eisenbad ist eine zusätzliche Aufgabe von Reduktionsmittel nötig. Der im Eisen gelöste Kohlenstoff reduziert die Oxide des aufgegeben Materials. Aufgrund unterschiedlicher Prozessführungen in einzelnen Stahlwerken variiert auch der Schmelzpunkt des Filterstaubes, in Abhängigkeit der Basizität.

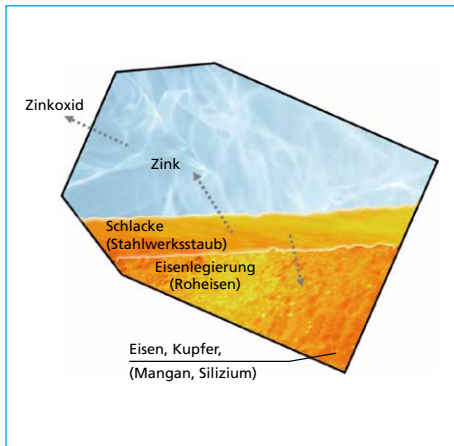


Bild 6: Schema der Reduktionsstufe (Querschnitt eines TBRC Konvertergefäßes)

Deshalb kann es nötig sein, Additive dem Prozess zuzuführen um eine Verarbeitungstemperatur von 1.400 bis 1.450 °C zu gewährleisten. Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, findet die Reduktion von Zink und Eisen statt. Das flüssige Eisen sinkt aufgrund der Dichte ab und sammelt sich im Metallbad. Unter diesen Temperaturen verdampft das metallische Zink und verlässt den Ofen über die Gasphasen, wobei es in Abhängigkeit vom Aufbau der Anlage entweder im s.g. *Freeboard* des Reaktionsraumes aufoxidiert und aufgrund dieser exothermen Reaktion Energie zurückgewonnen werden kann, oder im Abgassystem nachverbrennt. Die zweite Prozessstufe ist in Bild 6 visualisiert.

Des Weiteren werden andere, im Reststoff, enthaltene Metalloxide reduziert und sammeln sich im Metallbad. Als Produkt entsteht ein Erlös bringender Filterstaub sowie eine Eisenlegierung und eine geringe Menge an Prozessschlacke. Diese ist weitgehend frei von Schwermetallen und könnte einer weiteren Verwertung zugeführt werden.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit hat die Drehgeschwindigkeit des Konvertergefäßes, wodurch kurze Prozesszeiten des Batchweise betriebenen Verfahrens realisiert werden können.

4. Ergebnisse der praktischen Untersuchungen

Bei den für die Prozessentwicklung bereits durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritten handelt es sich um detaillierte Charakterisierungen, Untersuchungen des Schmelzverhaltens und Kleinversuche im Muffel- sowie Induktionsofen von diversen Stahlwerksstäuben. Die Erhebung von detaillierterer Informationen für eine reale Prozessumsetzung bzw. für den Betrieb einer Pilotanlage erfolgte mittels der Durchführung des Prozesses im Technikumsmaßstab. Dabei handelte es sich um Untersuchungen im TBRC am Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie, Montanuniversität Leoben. Aufgrund des Anlagenkonzeptes ist es möglich, während dem Betrieb Metallproben

sowie Schlackenproben zu entnehmen. Des weiteren können Staubproben aus dem Filterhaus gewonnen werden. Diese Daten führen zu einer ständigen Optimierung der Prozessparameter. Zusätzlich wird das Verhalten alternativer Reduktionsmittel und Additive, wie z.B. Gießereialsand oder Holzkohle, im Recyclingprozess untersucht.

4.1. Klinkern im Technikumsmaßstab

Wie bereits erwähnt, kann das Klinkern in verschiedenen Aggregaten durchgeführt werden. Unter anderem eignet sich dafür der TBRC. Bevor eine pyrometallurgische Behandlung von Stäuben möglich ist, sind diese zu agglomerieren. Dazu erfolgte eine Pelletierung des zum Versuch herangezogenen Elektrolichtbogenofenstaub. Nach dem Trocknen der Pellets, um das beim Pelletieren zugeführt Wasser zu entfernen, war die Chargierung dieses Materials in den TBRC möglich. Die Prozessdaten und die entsprechenden Ergebnisse dazu sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Daten und Ergebnisse des Klinkerversuchs

	Einheit	Parameter
Prozessdauer	min.	180
Prozesstemperatur	°C	1.150
Luftzahl	–	> 1
Chargierte Pellets	kg	30
Chlorausringen	Gew.-%	97,43
Fluorausbringen	Gew.-%	62,76
Bleiausbringen	Gew.-%	99,94
Entleerte Pellets	kg	23

Bild 7: Entleerung des geklinkerten Materials bei Prozessende



Die erfolgreiche Entleerung des geklinkerten Materials bei Prozessende kann aus Bild 7 entnommen werden.

Ein wichtiger Punkt ist die Dauer der Halogenentfernung. Um diese zu ermitteln erfolgte in regelmäßigen Abständen eine Probenahme. Der sich daraus ergebende Verlauf von Chlor und Fluor im behandelten Material über die Prozessdauer ist in Bild 8 ersichtlich.

Bild 8 zeigt die Entfernung von Chlor und Fluor aus dem pelletierten Stahlwerksstaub unter den in Tabelle 1 angeführten Parametern. Generell ist erkennbar, dass es zwischen 120 und 180 min. Behandlungszeit zu keiner weiteren, wesentlichen Verringerung dieser Elemente kommt. Aufgrund von diesem Ergebnis zeigt sich eine Behandlungsdauer von 120 min. als ausreichend. Die im Ausgangsmaterial vorhandenen Chlorverbindungen sind teilweise bei niedrigen Temperaturen schon flüchtig, weshalb der Chlorverlauf in Bild 8 gleich nach Prozessstart stark abfällt. Die Pellets werden in den vorgeheizten Konverterraum mit Raumtemperatur chargiert. Fluorverbindungen sind erst bei höheren Temperaturen flüchtig als jene mit Chlor, weshalb es zuerst zu einem Anstieg des Fluorgehaltes kommt. Wenn jedoch die entsprechende Temperatur in der Schüttung erreicht ist, beginnen sich auch diese Verbindungen großteils zu verflüchtigen.

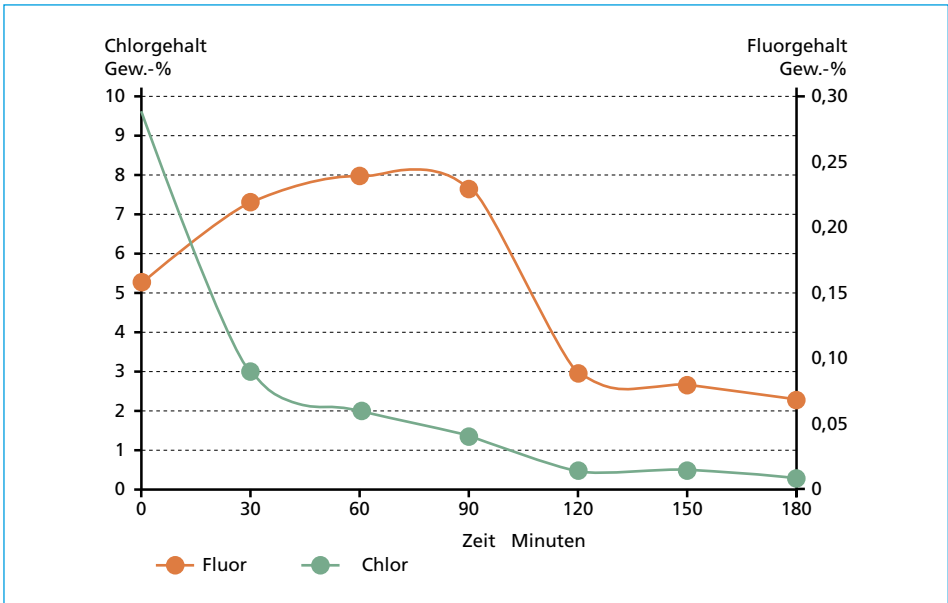


Bild 8: Verlauf der Halogenentfernung beim Klinkern

4.2. Reduktion im Technikumsmaßstab

Das eigentliche Recycling stellt der Reduktionsschritt dar. Hauptaugenmerk wird dabei auf die Elemente Zink und Eisen gelegt, weshalb sich die Auswertung hauptsächlich auf diese Elemente bezieht. Detailliertere Betrachtungen beinhalten dann ebenfalls die weiteren, im Staub enthaltenen, Elemente.

Tabelle 2: Parameter des Reduktionsversuchs

	Einheit	Parameter
Prozessdauer	min.	150
Prozesstemperatur	°C	1.450
Luftzahl	–	< 1
Chargierter Klinker	kg	10
Reduktionsmittel	–	Koks
Filterstaub	Gew.-%	73,8
Metallvorlage	kg Roheisen	40
B ₂ Klinker	–	1,13
Zinkausbringen	Gew.-%	99,8
Eisenausbringung	–	Verschlackung von Roheisen
Zn-Gehalt Filterstaub	Gew.-%	73,8
B ₂ Schlacke	–	0,64

Bild 9: Abstich des TBRCs



Einen Teil davon bilden die Schlacke und jene Oxide, welche unter den vorherrschenden Bedingungen reduziert werden und sich im Metall sammeln. In Summe wurden mehrere TBRC-Untersuchungen durchgeführt. Das Roheisen, als Metallvorlage im Prozess und der verwendete Stahlwerksstaub wurden nicht variiert. Prozessvariablen waren der verwendete Kohlenstoffträger (Petrolkoks, Holzkohle, Koks, ...) und die für die Stabilisierung der Schlacke nötigen Additive (Quarzsand, div. Rückstände, ...). Tabelle 2 zeigt exemplarisch die Parameter einer dieser durchgeführten Untersuchungen mit den zugehörigen Ergebnissen.

Nach dem Prozess erfolgte der Abstich in eine vorbereitete Kokille. Aufgrund der Dichte kam es zur Trennung zwischen Metall und Schlacke, welche anschließend beprobt und analysiert wurden. Zusätzlich wurde eine Probe aus dem Filterhaus der Abgasanlage entnommen, in welcher sich das Produkt *Zinkoxid* sammelt. Bei einem ersten Versuch erfolgte während dem Prozess eine Verschlackung von Roheisen anstatt der Reduktion von den Eisenoxiden. Der Grund dafür lag in der zu hoch gewählter Drehgeschwindigkeit des Konvertergefäßes und einer Falschlufzufuhr zwischen Ofendeckel und Reaktionsgefäß. Weitere Versuche im TBRC als auch in alternativen Aggregaten zeigten eine optimale Einstellung des Sauerstoffpartialdruckes und damit die erwünschte Reduktion des im Staub enthaltenen Eisens. Der Restgehalt an Eisen in der Schlacke lag zwischen 4,0 und 7,0 Prozent. Der erfolgreiche Abstich des TBRCs, am Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie, kann aus Bild 9 entnommen werden.

5. Zusammenfassung

Statistische Daten über das Recycling von Stäuben aus der Stahlindustrie zeigen, dass in diesem Bereich ein noch sehr großes Potenzial vorliegt. Bei diesen Rückständen handelt es sich um ein Kuppelprodukt der Stahlproduktion, weshalb die anfallenden Mengen in Zukunft ansteigen werden. Aktuell erfolgt lediglich eine Wiederverwertung des Zinks aus 43 Prozent der weltweit anfallenden Mengen [6]. Deshalb gehen aktuell große Mengen an Wertmetallen verloren, weshalb Forschungen für die Entwicklung neuer Verarbeitungstechnologien betrieben werden. Es gibt eine Vielzahl von bereits umgesetzten Konzepten, aus welchen sich der Wälzprozess als beste Alternative etabliert hat. Dieser zeigt aber aufgrund der hohen anfallenden Schlackenmengen und keiner simultanen Metallrückgewinnung, d.h. es wird nur das Element Zink zurückgewonnen, wesentliche Nachteile, weshalb es zur Entwicklung 2^sDR Prozesses kam. Dieser wird den gewünschten Anforderungen durch ein zweistufiges Prozessmodell gerecht und erzielt zusätzlich hohe Produktqualitäten. Nachdem theoretische Betrachtungen, Charakterisierungen und Versuche im Labormaßstab durchgeführt wurden, sind bereits auch erste Untersuchungen im Technikumsmaßstab erfolgt. Sowohl für die erste Prozessstufe, dem Klinkern, als auch für die Zweite, der Reduktion, wurde der TBRC des Lehrstuhls für Nichteisenmetallurgie, Montanuniversität Leoben, verwendet. Analysen der erhaltenen Produkte Zinkoxid, Eisenlegierung und Schlacke zeigen vielversprechende Ergebnisse für weitere Untersuchungen und Weiterentwicklungen dieses Konzeptes in den Pilotmaßstab. Zusätzlich sind Forschungen im Gange, um alternative Reduktionsmittel wie Holzkohle oder diverse Altsande als Additive zu verwenden, damit primäre Ressourcen geschont werden können.

6. Literatur

- [1] Bartusch, H. et al.: Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Eisen-, Stahl- und Zinkindustrie (ERESTRE) In: Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Eisen-, Stahl- und Zinkindustrie (ERESTRE), 2, 2013
- [2] European Commission: Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries – http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/nfm_bref_1201.pdf
- [3] Pilz, K.: Processing of zinc bearing by-products in an integrated steel mill. Linz, Leoben: voestalpine Stahl GmbH, 23.10.2013
- [4] Richards, G. G.; Brimacombe, J. K.: Kinetics of the zinc slag-Fuming Process: part II. mathematical model. Metallurgical Transactions B 16, 1985, 3, S. 529–540.
- [5] Richards, G. G. et al.: Kinetics of the zinc slag-Fuming process: Part I. industrial measurements. Metallurgical Transactions B 16, 1985, 3, S. 513–527.
- [6] Rütten, J.; Frias, S.; Diaz, G.; Martin, D.; Sanchez, F.: Processing EAF Dust Through Waelz Kiln and ZINCEXTM Solvent Extraction: The Optimum Solution, 2011
- [7] Stahleisen: Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie. Stahleisen GmbH, 2012
- [8] Stubbe, G. et al.: Schließung von Stoffkreisläufen beim Einsatz von verzinktem Schrott im Oxygenstahlwerk. In: Stahl und Eisen 128, 2008, S. 55–60.

Recycling und Rohstoffe



Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Daniel Goldmann • Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

CD Recycling und Rohstoffe, Band 1 und 2
 ISBN: 978-3-935317-51-1
 Erscheinungsjahr: 2008/2009
 Preis: 35.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 2
 ISBN: 978-3-935317-40-5
 Erscheinungsjahr: 2009
 Hardcover: 765 Seiten
 Preis: 35.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 3
 ISBN: 978-3-935317-50-4
 Erscheinungsjahr: 2010
 Hardcover: 750 Seiten, mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 4
 ISBN: 978-3-935317-67-2
 Erscheinungsjahr: 2011
 Hardcover: 580 Seiten, mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 5
 ISBN: 978-3-935317-81-8
 Erscheinungsjahr: 2012
 Hardcover: 1004 Seiten, mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

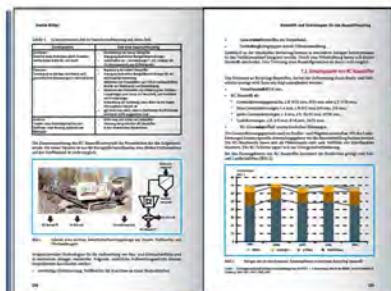
Recycling und Rohstoffe, Band 6
 ISBN: 978-3-935317-97-9
 Erscheinungsjahr: 2013
 Hardcover: 711 Seiten, mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 7
 ISBN: 978-3-944310-09-1
 Erscheinungsjahr: 2014
 Hardcover: 532 Seiten, mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

175.00 EUR
 statt 320.00 EUR

Paketpreis

CD Recycling und Rohstoffe, Band 1 und 2
 Recycling und Rohstoffe, Band 2 bis 7



Bestellungen unter www.vivis.de
 oder

Dorfstraße 51
 D-16816 Nietwerder-Neuruppin
 Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
 E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky