

ÖKOLOGIE STATT DEPONIE



Stahlwerks-Schlackenaufbereitung
– trocken, effizient, reststofffrei!

Weitere Informationen erhalten Sie unter +49 211 53 53 0 oder auf www.loesche.com



LOESCHE [®]
INNOVATIVE ENGINEERING

Herstellung hochwertiger Baustoffe aus Stahlwerksschlacken nach nahezu vollständiger Metallrückgewinnung

Holger Wulfert und Andreas Jungmann

1.	Einleitung.....	541
2.	Rahmenbedingungen	542
3.	Stand der Technik	543
4.	Neuer Ansatz bei der Aufbereitung.....	545
5.	Verwertung als Füller	547
6.	Verwertung als Fertigteil.....	549
7.	Zusammenfassung und Ausblick.....	552
8.	Literatur	552

Eisenhütten-, Stahl- und Stahllegierungsschlacken werden zunehmend vollständig aufbereitet. Neben dem seit langem im Fokus stehenden Ziel, die Metalle weitgehend zurück zu gewinnen, nimmt die Verwertung der Koppelprodukte an Wichtigkeit zu. Deponievermeidung ist die Zielsetzung für alle Schlacken aus der Metallgewinnung. In der vorliegenden Arbeit wird am Beispiel von Edelstahlschlacke vorgestellt, wie auf trockenem Wege eine nahezu vollständige Metallrückgewinnung umgesetzt und dabei ein Zuschlagstoff hergestellt wird, der seine Verwendung als sekundärer mineralischer Füller in der Fertigteilherstellung findet. Nachweise sind geführt, dass die technischen Eigenschaften denen von primären Rohstoffen teilweise ebenbürtig sind und die lokalen Richtlinien (Belgien) dabei vollständig eingehalten werden.

1. Einleitung

Mineralogisch/chemisch besteht Schlacke aus folgenden Komponenten:

- Metallische Phasen,
- Oxidische Phasen derselben Metalle,
- Oxidische Phasen, die aus den Schlackebildnern (Kalk, Dolomit, usw.), aus den Zusatzstoffen zur Beeinflussung der Schlackeeigenschaften (Viskosität, usw.) und aus dem Abtrag der Feuerfestausmauerung bestehen.

Je Tonne Metall fallen je nach gewonnenem Metall zwischen 10 bis zu 200 Prozent als Nebenprodukt an.

Normalstahl: 10 bis 15 Prozent

Edelstahl: 20 bis 30 Prozent

Fe-Legierungen: 50 bis 200 Prozent

Für die Rückgewinnung des Metalls gibt es eine Reihe von Verfahren, die je nach der anschließenden Verwendung des Reststoffes ein Metallausbringen zwischen 50 und nahezu 100 Prozent gewährleisten. Eine Übersicht zu den technischen Möglichkeiten der modernen Aufbereitungstechnik erfolgte kürzlich durch Wotruba/Weitkämper [1].

Wie bei der Gewinnung von verhüttungsfähigen Konzentraten aus primären Rohstoffen, ist auch bei der Aufbereitung von Schlacken das Ausbringen in erster Linie abhängig von der Verwachsung der Wertstoffe in der mineralogischen Matrix.

Im Gegensatz zu den primären Rohstoffen sind bei der Mineralisation der Schlacke zumindest theoretisch eine Reihe von Möglichkeiten gegeben, die Schlacke so abzukühlen und damit zu mineralisieren, wie es ein nachfolgender Verwertungsprozess erfordert.

2. Rahmenbedingungen

Stand der Technik bei der Schlackebehandlung ist das Abschlacken in entsprechende Gefäße und der Transport derselben zum Schlacke-Beet, um dort schließlich durch den Einsatz von mehr oder weniger Wasser die Schlacke zu kühlen. Mittlerweile wird teilweise auch die Schlacke in ihrer Beschaffenheit modifiziert. Nachfolgend einige Beispiele, die teils eingeführte Technik teils Gegenstand von erfolgsversprechenden Untersuchungen sind:

- Schnelle Abkühlung und/oder Zugabe von Additiven (Al_2O_3 -Träger, SiO_2 -Träger, Bor-Träger) führen zu einer raumbeständigeren Schlacke, erhöhen den Spinellanteil zur Verminderung der Schwermetalllöslichkeit und erhöhen den stückigen Anteil der Schlacke [2, 3, 4, 5].
- Hochofenschlacken werden häufig durch nasse bzw. trockene Granulation verglast, damit ein Rohstoff zur Herstellung von Hochofenzement entsteht.
- LD-Stahlwerksschlacken gewinnen bei der trockenen Granulation Raumbeständigkeit [6].
- Anreicherung von Phosphatträgern in der Konverterschlacke durch Zugabe von Tiermehl bzw. Klärschlamm stellt in Aussicht, dass so modifizierte LD-Schlacke eine ähnliche Düngewirkung erzielt wie es für Thomasphosphat bekannt ist [7].
- Der ZEWA-Prozess beinhaltet die metallurgische Modifikation (Reduktion) der Schlacke mit anschließender Trockengranulation, um schließlich ein latent hydraulisches Produkt zu erzeugen [8, 9].

- Die Institute BAM und FEhS haben gemeinsam erfolgreich ein Projekt durchgeführt, durch ebenfalls reduzierende Behandlung einer Edelstahlschlacke den Rückstand (=Koppelprodukt) praktisch schwermetallfrei zu gewinnen. Durch anschließende Granulation steht ein sekundärer Rohstoff, der im Hinblick auf seine chemisch/mineralogische Zusammensetzung und des hohen Glasanteils nahelegt, dass die Verwendung ähnlich dem Hüttensandes möglich erscheint. [10]
- Eine vollständig neue Variante wurde durch Ludwig/Wulfert anlässlich der IBAUSIL 2012 vorgestellt. Auch hier wurden LD-Schlacken modifiziert und reduzierend behandelt und anschließend positiv auf ihre Hydraulizität getestet. [11]

Die Entwicklungen zur Modifikation orientieren sich stets an den Vorgaben, die die anschließende Verwertung in technischer Hinsicht fordert, sowie genauso an den Vorgaben der Gesetzgebung und den Richtlinien zur Nutzung eines Produktes aus Schlacke. Bei den umwelthygienischen Vorgaben orientiert man sich am möglichen Gefahrenpotential durch die flüssige Mobilisierung von unerwünschten Salzen und Metallen. Daher sind Verwertungsentwicklungen stets damit verbunden, dass Auslaugungswerte dokumentiert werden, die bei bautechnischer Anwendung aus der aufbereiteten Schlacke, den Produkten daraus, sowie letztlich aus den Produkten zu erwarten sind, wenn diese im *zweiten Leben* in den Recyclingmarkt gelangen.

Geht man von einer höherwertigen Schlacke-Verwertung aus, wie sie im Falle des Binders (HOZ) und des Düngers gegeben ist, ist im Anschluss an die Schlacke-Modifikation eine Feinmahlung erforderlich. Diese ist für die vorgenannten Anwendungsgebiete sinnvollerweise oder auch notwendigerweise trocken durchzuführen, wie es auch für den Hüttensand Stand der Technik ist, weil auch die Fertigprodukte trocken verwertet werden. Dabei ist das Koppelprodukt nicht nur zu zerkleinern, sondern zeitgleich auch von der metallischen Fraktion bis in den Feinstkornbereich hinein zu befreien.

Nachfolgend wird ein Aufbereitungsverfahren vorgestellt, das effizient zum einen eine Wunsch-Kornverteilung des feinen Koppelproduktes herstellt und zum anderen eine nahezu hundertprozentige Metallrückgewinnung ermöglicht. Es werden dabei die Technik zur Aufbereitung sowie auch zwei Ansätze am Beispiel einer Edelstahlschlacke vorgestellt, wie ein optimierter mineralischer Füller entsteht und verwertet wird.

3. Stand der Technik

Niedrig legierte Stahlschlacken werden in der Regel 1- bis 3-stufig gebrochen und in übliche Splittfraktionen getrennt. Freies Metall wird durch Handauslesung und/oder Magnetscheidung abgetrennt. Die Verwertung erfolgt als Zuschlag (in den bekannten Körnungen) bzw. für eine Fraktion 0/10 (bis 45 mm) als Füllmaterial im Wegebau bzw. Deponiebau. Ein je nach der Region unterschiedlicher Anteil wird der Deponierung zugeführt.

Hochlegierte Stahlschlacken werden falls zulässig im Bereich des Wegebaus verwertet oder deponiert.

Da der Wert des Metallinhaltes bei legierten Edstahlschlacken (EDS) sehr viel höher ist als bei niedriglegierten Stahlschlacken, wird hier oftmals die Aufbereitung so ausgestaltet, dass auch feinere (bis zu 4 mm) frei vorliegende Metallphasen separiert werden, um anschließend ein weitgehend von freiem Metall befreites Schlacke-Produkt (z.B. 0/10; 0/15) mit niedriger oder auch negativer Wertschöpfung zu verwerten.

In einigen europäischen Ländern (u.a. Deutschland, Frankreich, Spanien, Italien) werden EDS teilweise auch komplett nass vermahlen. Dabei ist eine Metallrückgewinnung von über 90 Prozent mit Metallkonzentraten von über 90 Prozent Metallgehalt realisierbar, jedoch ist das Schlacke-Koppelprodukt dann nur schwierig zu verwerten, da hier ein feines Material mit undefinierter Kornverteilung und mit einem Wassergehalt von weit über 20 Prozent entsteht. Eine anschließende Trocknung, die es gegebenenfalls ermöglichen würde, eine traditionelle Füller-Verwertung anzustreben, ist meist wirtschaftlich nicht vertretbar. Außerdem führt eine Nassaufbereitung dazu, dass ein nachträglich getrockneter Füller seine Reaktivität, die im Wesentlichen auf Hydroxid-Phasen basiert, verlieren würde. [12]

In Belgien und Finnland sind für EDS seit einigen Jahren kombinierte Trocken- und Nassaufbereitungsanlagen in Betrieb, die durch gezielte Zerkleinerung in Kombination teils mit Sensorsortierung, jedoch immer durch Magnetscheidung und/oder nasse Dichtesortierung neben dem Metallprodukt auch Zuschlagfraktionen für gebundene Verwertungswege herstellen. Da EDS-Zuschlagprodukte aufgrund des üblicherweise enthaltenen freien CaO/MgO nicht raumbeständig sind, müssen sie einem zeitintensiven Lagerungs- und Alterungsprozess von etwa 3 bis 5 Monaten ausgesetzt werden, damit sie ausreagieren können und schließlich die Raumbeständigkeit weit unter 1 Prozent liegt.

Ist die Raumbeständigkeit des Zuschlages gegeben, werden die Splitt- und auch Sandfraktionen asphalt- oder zementgebunden eingesetzt, wodurch gewährleistet ist, dass die Auslaugung von Schwermetallen dauerhaft verhindert wird und die Gegenwart von Alkalien und Fluor unkritisch ist. In Belgien z.B. liegen dem Unternehmen Recmix die erforderlichen Zulassungen als Zuschlag für gebundene Verwertung vor. Recmix vermarktet seit Jahren den Zuschlag als Sand (0/2 mm) und Körnung (2(4)/10(14) mm) aus den EDS-Anlagen in Chatelet und Genk unter dem Markennamen *Stinox*. [13]

Dabei ist entscheidend, dass aufgrund der lokalen geologischen Verhältnisse der Markt für hochwertige Splitte vergleichsweise gut aufnahmefähig ist.

Bei den existierenden Aufbereitungsverfahren muss in der Regel zwischen optimaler Metallrückgewinnung und optimaler Verwertung abgewogen werden: Wird komplett nass vermahlen, erreicht man ein hohes Metallausbringen und hochwertige Metallprodukte, aber der mineralische Anteil der Schlacke muss deponiert werden. Werden dagegen mit einem weitgehenden schonenden Aufschluss Zuschlagfraktionen hergestellt, entstehen Verluste im Metallinhalt, der sich im Schlackeprodukt oder in einer Mittelgutfraktion wiederfindet.

Zur Erläuterung sind in dem nachfolgenden schematischen Bild mögliche Zerkleinerungsprodukte dargestellt.

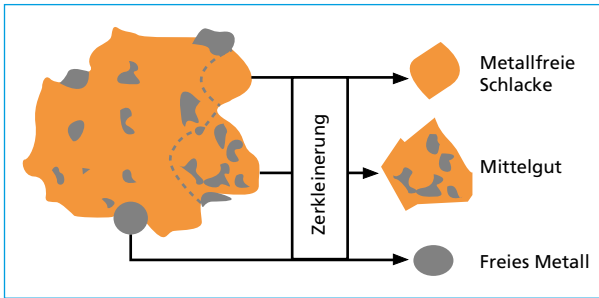


Bild 1:

Schematische Darstellung des Effektes bei der Zerkleinerung von Schlacke

Beim schonenden Zerkleinerungsprozess (d.h. nicht vollständiger Feinvermahlung) entstehen 3 unterschiedliche Produkte. Wesentliche Verluste an Metall von erfahrungsgemäß bis zu 40 Prozent treten in der Mittelgutfraktion auf, wenn die Schlacke als körniger Zuschlag verwertet werden soll, und daher auf die vollständige Aufmahlung des Mittelgutes verzichtet wird.

Die nachfolgend vorgestellten technischen Prozesse haben demgegenüber zum Ziel:

- bei Bedarf metallfreie körnige Schlacke herzustellen,
- bei Bedarf eine Füllerfraktion herzustellen, die über eine exakt eingestellte Kornverteilung und Feinheit verfügt,
- die Rohschlacke vollständig trocken aufzubereiten und dabei
- den Metallinhalt in der Fraktion $> 63 \mu\text{m}$ zu weit mehr als 90 Prozent in einer Reinheit von > 90 Prozent wieder der Metallurgie zur Verfügung zu stellen.

4. Neuer Ansatz bei der Aufbereitung

Kernpunkt der neuen Ansätze ist die vollständig **trockene** Aufbereitung der Rohschlacke. Aufgrund der neueren Entwicklungen in der Aufbereitungstechnik stehen mit der leistungsfähigen Magnetscheidung (Schwach-, Mittel- und Starkfeldscheidung), mit der induktiven Sensortechnik und der Möglichkeit der trockenen Dichtesortierung im Körnungsbereich $> 63 \mu\text{m}$ maschinentechnische Lösungen zur Verfügung, die den vollständigen Verzicht auf wasserbasierte Trenntechniken ermöglichen. Dabei bestehen zwei unterschiedliche Ansätze der Verfahrensumsetzung:

- Vermahlung der kompletten mineralischen Schlackeanteile auf Füllerfeinheit nach Vorzerkleinerung der Schlacke und Abtrennen groben Metalls.
- Vermahlen nur von Vorkonzentraten und von bereits in der Rohschlacke enthaltenem Feingut nach Voranreicherung im Grob/Mittelkornbereich. Diese Variante ermöglicht die Produktion von körnigen Schlacken als metallfreie Ersatzbaustoffe.

Dabei ist die Voranreicherung und Abtrennung der metallfreien Schlacke auf den oben angegebenen Wegen umsetzbar, durch

- Handauslese (> 80 mm),
- Sensorsortierung (etwa 10 bis 100 mm),
- Magnetscheidung (alle Fraktionen < 300 mm),
- Trockene Dichtesortierung (0,063 bis 30 mm) [4].

Der Kern beider Ansätze ist die Aufbereitung der Schlacke oder der Metallvorkonzentrate nach dem in Bild 2 dargestellten Verfahrenskonzept.

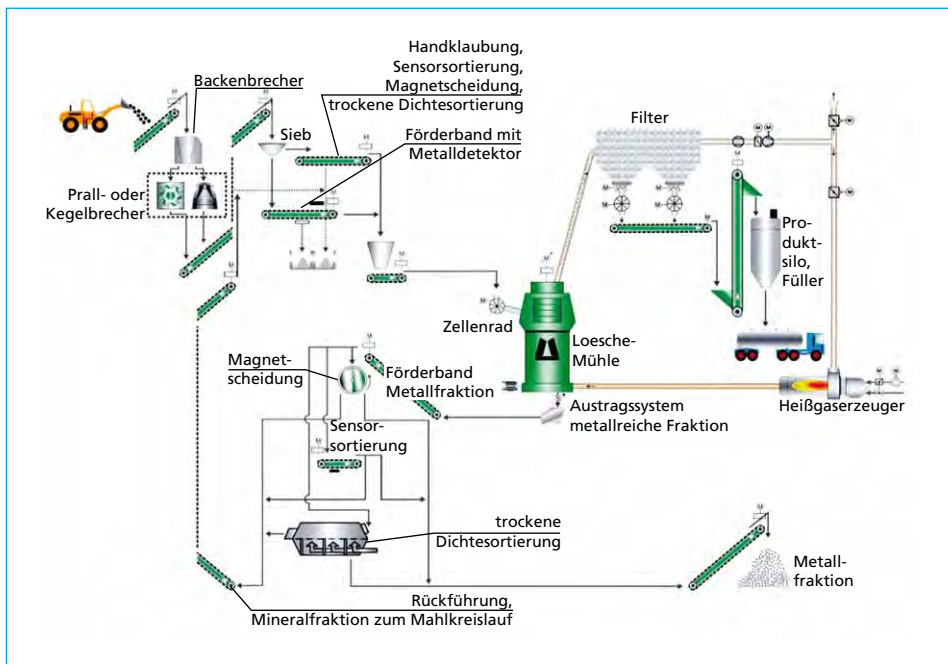


Bild 2: Beispielhaftes Verfahrensfließbild zur vollständigen trockenen Aufbereitung von Stahlwerksschlacken mit der Loesche-Vertikalmühle

Die Rohschlacke wird in der Regel 2-stufig vorzerkleinert und auf traditionellem Wege von freiem Metall befreit. In die kombinierte Mahl-, Trocknungs- und Sortieranlage gelangt ein Zwischenprodukt 0 bis 10 (20) mm und wird in einer vertikalen Luftstrom-Walzenschüsselmühle zerkleinert. Durch den internen Mahl-/Klassierkreislauf der Mühle fallen 2 Produkte an, die die Mühle verlassen:

- Das Füllerprodukt als Sichterfeingut, einstellbar in der gewünschten Feinheit durch variierende Sichtereinstellungen.
- Das Überlaufprodukt am Mahlteller, welches durch die optimierten Strömungsprozesse innerhalb der Mühle bereits eine erhebliche Anreicherung im Metallinhalt erfahren hat und gleichzeitig ein von Füller befreites körniges Produkt ist.

Das Mahltellerüberlaufprodukt (*Reject*) wird den nachfolgenden Metallsortierprozessen (Sensortechnik und/oder Magnetscheidung und/oder Dichtesortierung) klassiert aufgegeben und entweder in 2 (Metall und Schlacke) oder 3 (Metall, metallfreie Schlacke und Mittelgut) Produkte getrennt.

Das Metall und ggfs. die metallfreie Schlackefraktion werden ausgeschleust, das Mittelgut wird in die Mühle zurückgeführt.

Im dargestellten Prozess des Bild 3 fallen 2 Endprodukte an, zum einen die Füllfraktion, die in der (Blaine-)Feinheit und je nach den technischen Anforderungen auf eine bestimmte Kornverteilung einstellbar ist und zum anderen das Metallprodukt in der Fraktion 0,063 bis 20 mm, das eine Reinheit von > 90 Prozent Metall und ein Metallausbringen in der angegebenen Korngröße von über 95 Prozent aufweist. [1, 14]



Bild 3: Produkte der Schlackemahl- und Sortiereinrichtung nach dem System Loesche

5. Verwertung als Füller

Am fertigen Füllprodukt aus der Vermahlung einer EDS erfolgten Prüfuntersuchungen nach den Richtlinien der TL Gestein-StB in Verbindung mit EN 13043 und bezüglich der Verwendbarkeit im Straßenbau nach dem Merkblatt 635 der FGSV (*Verwendung von Hüttenmineralstoffgemischen, sekundärmetallurgische Schlacken sowie Edelstahlschlacken im Straßenbau*).

Dabei zeigten sich im Hinblick auf die Feststoffchemie keine Überschreitungen in Bezug auf die Grenz- und Richtwerte. Jedoch wurden im Eluat erhöhte Werte für Fluorid (6,94 mg/l statt 5 mg/l) und Chrom-gesamt (0,12 mg/l gegenüber 0,1 mg/l für EDS I, bzw. 0,2 mg/l für EDS II) ermittelt.

Nachfolgend sind die Kennwerte für typische mineralische Füller (Dolomitsteinmehl und Kalksteinmehl) den Werten des Edelstahlschlackemehls gegenübergestellt.

Tabelle 1: Füllerkennwerte für mineralische Füller (Dolomit und Kalk) im Vergleich zu Edelstahlschlacke

Füller 0/0,063 - Spezifikation	Einheit	Anforderungen nach EN 13043/TL Gestein-STB 04	Natur-Dolomitsteinmehl	Natur-Kalksteinmehl	Edelstahlschlacke nach Mahlung und Metallabtrennung
Rohdichte	t/m ³	Δ max. 0,2	2,85/Δ = 0,2	2,6/k.A.	3,2/Δ = 0,05
Hohlraumgehalt, trocken (Ht)	Vol.-%	V28/45	34,7	k.A.	36,7
Hohlraumgehalt, verdichtet (Htv)	Vol.-%	Δ max. 4	34-38	47	k.A.
Erweichungspunkterhöhung	°C	Δ R&B 8/25	12,9	29	24,8
Wasserlösliche Anteile WL	Ma.-%	WS10	0,2/WS10	WS10	1,6/WS10
Wasserempfindlichkeit	–	ist anzugeben	keine	keine	keine
Calciumcarbonatgehalt	Ma.-%	nur zur Information	51	k.A.	48,5 (CaO)
Magnesiumcarbonatgehalt	Ma.-%	nur zur Information	41,2	k.A.	8,12 (MgO)
Kornzusammensetzung < 2,0 mm	Ma.-%	100	100	100	100
< 0,125 mm	Ma.-%	85-100	94	> 90	99,4
< 0,063 mm	Ma.-%	70-100	85	> 85	77,4
Wassergehalt	Ma.-%	≤ 1	0,1	≤ 1	0,9
Schädliche Feinanteile (Methylen-Blau-Wert)	g/kg	ist anzugeben	1,0 = MBf 10	k.A.	9,4 = MBf 10
sonstige Eigenschaften					
Spezifische Oberfläche	cm ² /g	–	1.920	k.A.	3.820
Raumbeständigkeit im Dampfversuch	Vol.-%	–	k.A.	k.A.	0,1
Organische Bestandteile	–	–	Fehlanzeige	Fehlanzeige	Fehlanzeige

Nach Tabelle 1 sind beim EDS-Produkt grundsätzlich alle technischen Eigenschaften gegeben, die die Verwendung als Füller erlauben.

Die grundsätzliche Tauglichkeit eines aus EDS hergestellten Füllers wurde im Hause Recmix vor allem im Hinblick auf die Eignung im selbstverdichtenden Beton (SVB) untersucht.

In den nachfolgenden Bildern sind Versuchsergebnisse zum Ausbreitverhalten und zur Druckfestigkeit von SVB mit Fillinox-Füller im Vergleich zu SVB mit Kalksteinmehl dargestellt.

Unterschiede beim Ausbreitmaß des Frischbetons konnten bei der Verwendung von Kalksteinmehl oder aber bei der Verwendung von Fillinox (Stinox-Füller) nicht ermittelt werden. Auch im Hinblick auf die Festigkeiten an den nachfolgend untersuchten Mörtelprismen und am Beton, jeweils alternative Verwendung von Kalksteinfüller oder Stinox-Füller, wurden keine wesentlichen Unterschiede ermittelt. [15]

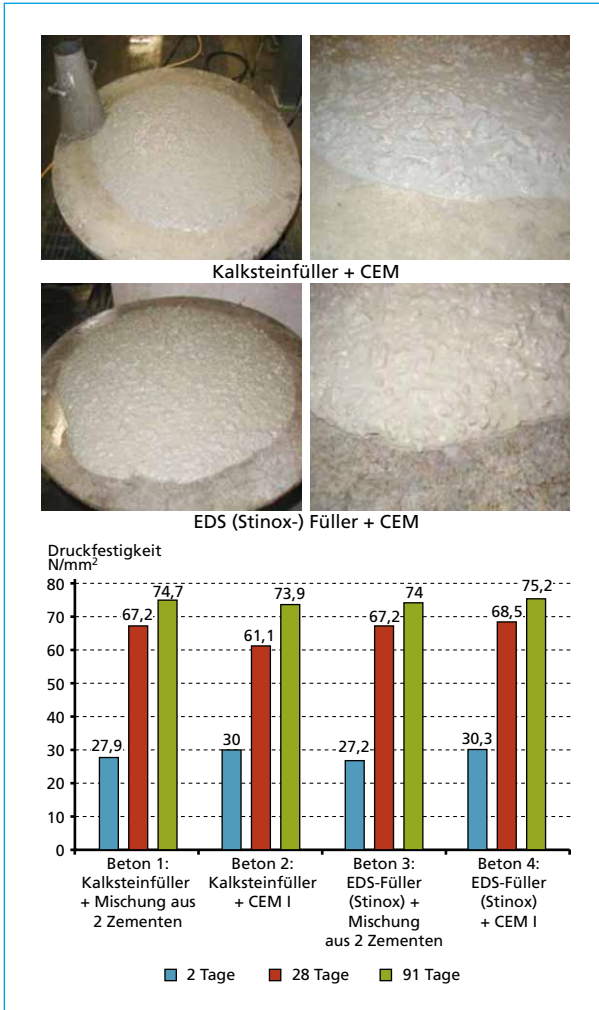


Bild 4:

Ausbreitverhalten und Druckfestigkeiten von selbstverdichtendem Beton mit EDS-Füller im Vergleich zu Betonen mit Kalksteinfüller

Quelle: Van Mechelen, D.; Nguyen, E.; Rijksens, S.: Valorization of stainless steel slag - Zero Waste Concept, second international slag valorization symposium, Leuven, 2011

6. Verwertung als Fertigteil

Der Carbstone-Prozess ist das Ergebnis umfangreicher Untersuchungen und Entwicklungen im Hause Recmix und VITO, die in Belgien durchgeführt wurden. In dem durch die Firma Carbstone Innovation patentierten Verfahren werden aus fein vermahlenden LD- und Edelstahlschlacken durch Karbonatisierung in der Schlacke verfügbarer Oxide

und Hydroxide Fertigteile hergestellt. Diese entwickeln durch die Behandlung ohne die Zugabe weiterer Bindemittel hinreichende Festigkeiten, um adäquate Betonfertigteile substituieren zu können.

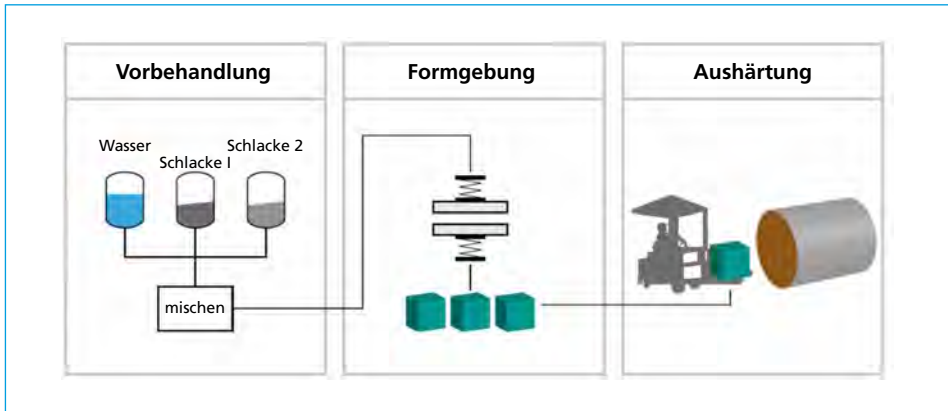


Bild 5: Schematischer Ablauf zur Erstellung von karbonatisierten Fertigteilen aus vermahlener Schlacke

Quelle: Quagherbeur, M.: Carbstone: Sustainable valorisation technology for fine grained steel slags (stainless, Linz-Donawitz) and CO₂, 5th Global Slag Conference, Brüssel, 2009

Bei dem in Bild 5 schematisch dargestellten Verfahren, das den grundsätzlichen seit etwa zwei Jahrzehnten diskutierten Ansatz der CO₂-Einbindung in Schlacken fortführt, werden feinvermahlene Schlacken unter exakt dosierter Wasserzugabe vermischt, zu Grünpresslingen geformt und anschließend in einem Autoklaven-Prozess, eventuell bei erhöhter Temperatur, unter CO₂-Atmosphäre gehärtet. Grundsätzlich erinnert dieser Prozess an die Produktionsschritte für die Herstellung von Kalksandsteinen.

Das Bild 6 zeigt exemplarische EDS-Fertigteile nach der CO₂-Behandlung im Autoklaven.



Bild 6: Fertigteile aus Edelstahlschlacke nach der Autoklavierung (links) und industrieller CO₂-Autoklave (rechts)

Quelle: Van Mechelen, D.; Nguyen, E.; Rijksens, S.: Valorization of stainless steel slag - Zero Waste Concept, second international slag valorization symposium, Leuven, 2011

Die Festigkeit der Fertigteile hängt von verschiedenen Parametern ab. Dazu gehören der Mineralbestand der behandelten Schlacke und ihre Kornverteilung. Im Autoklaven ist die Festigkeit über die Behandlungsdauer, Temperatur, Druck und CO_2 -Partialdruck zu beeinflussen. Das Bild 7 zeigt die direkt die Festigkeit beeinflussende Abhängigkeit der CO_2 -Aufnahme von der Zeit und vom Druck. Je nach Wahl der Parameter werden etwa 150 bis 200 kg CO_2 je Tonne Fertigteile eingebunden. Der größte Teil der Reaktion läuft bei einem Druck von etwa 20 bar in den ersten 2 bis 3 Stunden ab.

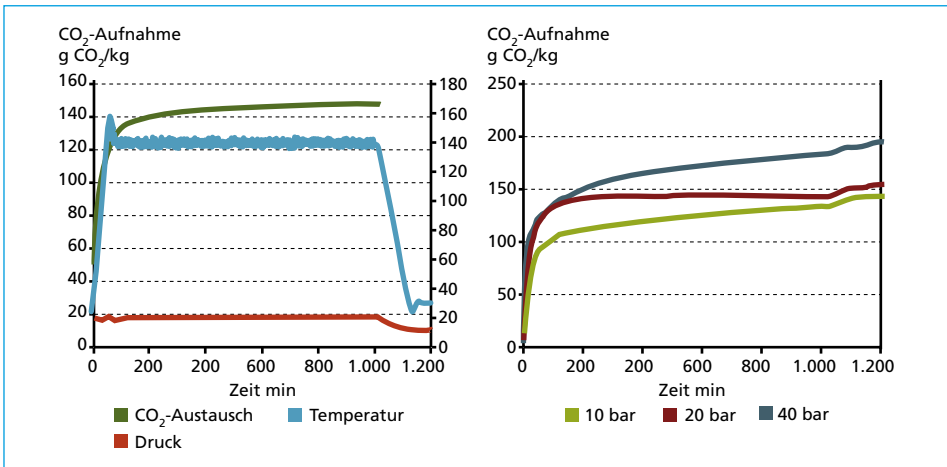


Bild 7: Abhängigkeit der CO_2 -Aufnahme im Fertigteile von der Zeit bei 140 °C (links) und vom Druck (rechts)

Quelle: Quagherbeur, M.: Carbstone: Sustainable valorisation technology for fine grained steel slags (stainless, Linz-Donawitz) and CO_2 , 5th Global Slag Conference, Brüssel, 2009

Typische bauphysikalische Eigenschaften von Carbstone-Fertigteilen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Grundsätzlich werden alle Anforderungen, die an Betonfertigteile

Tabelle 2: Bauphysikalische Eigenschaften des Fertigteils bei 16 h, 20 bar, 140 °C

Parameter	Einheit	Wert
Druckfestigkeit	MPa	55
Young Modul	N/mm ²	17.138
Spaltzugfestigkeit	MPa	2,70
Raumbeständigkeit	µm/m	< 300
Frost und Tau	kg/m ²	< 0,350
Dichte	kg/m ³	2010 bis 2370
Wasserabsorption	%	10
Porosität	%	22 bis 26
CO_2 -Gehalt	g CO_2 /kg	177 bis 188
Durchlässigkeit	cm ²	6,2 bis 8,2 · 10 ⁻¹¹

Quelle: Quagherbeur, M.: Carbstone: Sustainable valorisation technology for fine grained steel slags (stainless, Linz-Donawitz) and CO_2 , 5th Global Slag Conference, Brüssel, 2009

gestellt werden erfüllt. Durch fortgesetzte Forschung sind in der Zwischenzeit Festigkeiten von über 100 MPa erreicht worden.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt bei der Verwertung vor allem von Edelstahlschlacken sind die umwelthygienischen Anforderungen an die Verwertungsprodukte. Das Auslaugungsverhalten für auf <10 mm zerkleinerte Carbstones wurde anhand des Schüttel-Eluatverfahrens nach EN12457-4 ermittelt. Die in der Rohschlacke (vor Zerkleinerung auf Füllerfeinheit!) kritischen Auslaugungswerte für Chrom (0,66 mg/kg) und Molybdän (0,42 mg/kg) wurden

durch die Karbonatisierung bei 140°C und 20 bar wesentlich (Cr: 0,014 mg/kg, Mo: 0,14 mg/kg) reduziert. Damit entsprechen die EDS nach der Karbonatisierung den Zuordnungskriterien für Inertstoffdeponien. Für die Verwertung der Fertigteile sind in Belgien die VLAREA und in den Niederlanden der Besluit Bodemkwaliteit maßgeblich. Der nach diesen Richtlinien vorgeschriebene Diffusionstest (CMA2/II/A.9.2 NEN 7375) lieferte ebenfalls das Ergebnis, dass die Carbstone-Produkte den stofflichen Verwertungsanforderungen entsprechen. [17]

7. Zusammenfassung und Ausblick

Der jeweils richtige und wirtschaftliche Weg ist an jedem Einzelfall der Stahlschlacke zu erarbeiten; einen allgemein gültigen Aufbereitungs- und Verwertungsansatz wird es nicht geben, da stets lokale Verwertungsrichtlinien und Marktgegebenheiten mit zu berücksichtigen sind. Es wird stets ein Zusammenspiel verschiedener Verwertungswege sein. Dennoch liegt es nahe, dass in der Zukunft mit zunehmender Technisierung bei der Schlackemodifikation bevorzugt eine trockene Aufbereitungstechnik gefordert sein wird. War in der Vergangenheit die Wirtschaftlichkeit der Schlackeaufbereitung bestimmt von der Metallrückgewinnungsrate, wird zukünftig die höherwertige Verwertung dazu führen, dass der gesamte Schlackebehandlungsprozess sich wirtschaftlich auf die Metallrückgewinnung sowie in erheblichem Maße auch auf die Wertschöpfung aus den Koppelprodukten abstützen wird.

Ziel muss es sein, Ressourcen wie Wasser zu schonen, Deponierung von Schlacken vollständig zu vermeiden und Möglichkeiten der Verwertung umfassend zu gestalten. Hierzu sollte dieser Aufsatz Möglichkeiten aufzeigen. Nicht zuletzt leistet die karbonatisierende Verfestigung nach dem Verfahren Recmix/VITO hier einen erheblichen Beitrag, da es gelingt, das CO₂ dauerhaft einzubinden und unter Verzicht auf Zementzugabe Fertigteile herzustellen, die die Festigkeiten von traditionellen Betonfertigteilen erreichen und übertreffen.

Im Pilotbetrieb wurden bereits technisch, ökologisch und wirtschaftlich viel versprechende Ergebnisse für das neue Konzept erzielt.

Die erste Betriebsanlage, die nach dem vorgestellten Konzept der Trockenaufbereitung arbeitet, wurde von Recmix bei der Loesche GmbH bestellt und befindet sich aktuell in der Abwicklungsphase. Die Inbetriebnahme ist für Ende 2013 geplant. Parallel baut Recmix die Pilotanlage zur karbonatisierenden Verfestigung.

8. Literatur

- [1] Wotruba, H.; Weitkämper, L.: Aufbereitung metallurgischer Schlacken. In: Recycling & Rohstoffe Band 6, Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013
- [2] Drissen, P.; Mudersbach, D.: Entwicklung von Baustoffen aus Edelstahlschlacken für Flächensanierung und Deponiebau. In: Report FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V., Jahrgang Nr. 1, Juli 2012

- [3] Thyssenkrupp Mill Services & Systems: Neue Perspektiven für den Straßen-, Wege- und Wasserbau LiDonit® und Eolit® Produkt-Broschüre
- [4] Durinck, D. et.al.: Borate stabilisation of air-cooled slags. In: Global slag magazine, März 2008
- [5] Stabilisierung von zerfallsverdächtigen Edstahlschlacken. In: Report FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V., 13. Jahrgang Nr. 2, Dezember 2006
- [6] Merkel, Th. et. al.: Luftgranulation von LD-Schlacke. In: Report FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V., 13. Jahrgang Nr. 2, Dezember 2006
- [7] Drissen, P.: Ressourceneffiziente Herstellung von Dünger aus Stahlwerksschlacke und P_2O_5 -haltigen Reststoffen. In: Report FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V., 19. Jahrgang Nr. 2, Dezember 2012
- [8] Fleischanderl, A.; Gennari, U.: Zero waste steel works, valuable products from byproducts, presented at the 5th International symposium of on Waste processing and recycling in mineral and metallurgical industry. In: Canadian Institute of mining, metallurgy and petroleum, 2004
- [9] Pressemitteilung Siemens: Wiederverwerten statt deponieren: Das neue ZEWA-Verfahren von Siemens recycelt metallische und mineralische Reststoffe aus industriellen Prozessen. In: Industriepressekonferenz, 9. März 2006
- [10] Verwertung von Rückständen aus der Metallurgie mit der Lichtbogenofentechnologie – RECARC, EU LIFE Umwelt Demonstrationsprojekt 2003 bis 2006. In: Laymann Report: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE03_ENV_D_000043_LAYMAN_DE.pdf
- [11] Ludwig, H.-M.; Wulfert, H.: Aufbereitete Stahlwerksschlacke als reaktiver Zementhauptbestandteil, V 2.70, 18. ibausil 2012
- [12] Moosberg-Bustnes, H.: Steel-slag as filler material in concrete. In: VII. International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2004
- [13] De Bock, L.P.; Van Den Bergh, H.: Stainless steel slags in hydraulic bound mixtures for road construction, 2 case studies in Belgium. Barcelona: Conference on the use of recycled materials in construction and structures, Paper No. 295, 2004
- [14] Jungmann, A.; Schiffers, A.: Dry processing and high quality applications for steel slag World of Metallurgy – Erzmetall 63. No. 1, 2010.
- [15] Van Mechelen, D.; Nguyen, E.; Rijskens, S.: Valorization of stainless steel slag – Zero Waste Concept. Leuven: second international slag valorization symposium, 2011
- [16] Quagherbeur, M.: Carbstone: Sustainable valorisation technology for fine grained steel slags (stainless, Linz-Donawitz) and CO_2 . Brüssel: 5th Global Slag Conference, 2009
- [17] Quaghebeurs, M.; Nielsen, P.; Laenen, B.; Nguyen, E.; Van Mechelen, D.: Carbstone: Sustainable valorisation technology for fine grained steel slags and CO_2 . In: Refractories Worldforum 2, 2010

Schlacken aus der Metallurgie



Schlacken aus der Metallurgie, Band 1 – Rohstoffpotential und Recycling –

Karl J. Thomé-Kozmiensky • Andrea Versteyl

ISBN: 978-3-935317-71-9

Erscheinung: 2011

Seiten: 175

Preis: 30.00 EUR

Schlacken aus der Metallurgie, Band 2 – Ressourceneffizienz und Stand der Technik –

Michael Heußen • Heribert Motz

ISBN: 978-3-935317-86-3

Erscheinung: Oktober 2012

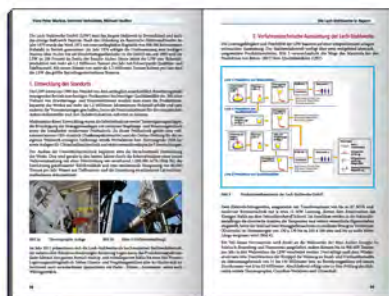
Seiten: 200 Seiten

Preis: 30.00 EUR

50.00 EUR
statt 60.00 EUR

Paketpreis

Schlacken aus der Metallurgie – Rohstoffpotential und Recycling –
Schlacken aus der Metallurgie – Ressourceneffizienz und Stand der Technik –



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

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Aschen • Schlacken • Stäube

– aus Abfallverbrennung und Metallurgie –

Karl J. Thomé-Kozmiensky.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-99-3

ISBN 978-3-935317-99-3 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 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ginette Teske, Ina Böhme, Petra Dittmann, Cordula Müller,
Fabian Thiel, Martin Schubert

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Foto auf dem Buchdeckel: Dipl.-Ing. Daniel Böni, KEZO Kehrrechtverwertung Zürcher
Oberland

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.