

Light and Shade: *Conversion* – a New Method for Ash Treatment

Jörg Eckardt

Fly ash from waste incineration plants is a special form of waste. It is considered as hazardous waste because of its potential for damaging the environment. Depositing off such material is a costly process. In most cases, it must either be dumped in specific landfills for hazardous waste, for example underground or it must be pre-treated before dumping on a landfill site.

The paper explains how the Conversion process can provide a cost-effective and environmentally friendly technology for transferring ashes and dusts into an economically and ecologically valuable, self-recyclable product and thus keeping it in the economic cycle. The conversion method is photophysical treatment based on the interaction between light and matter: Light (energy), which hits with high intensity on matter changes the molecular structure. This change in the molecular structure is made permanent and blocked by use of mineralizing agents and subsequently stabilises (*silicified*) the base material with a crystalline surface. The resulting, inert product is, with the addition of cement and water and possibly setting accelerators according to conventional methods and in existing mixing plants, ideally suited for production of a concrete-like building material: *Converted Stone*.

Licht und Schatten: *Conversion* – ein neues Verfahren zur Aschebehandlung

Jörg Eckardt

1.	Verfahrensbeschreibung.....	212
2.	Das <i>Conversion</i> Verfahren.....	213
3.	Analysen und Messergebnisse.....	214
4.	Vorteile des Verfahrens	217
5.	Zusammenfassung	217
6.	Literatur.....	219

Eine besondere Form von Abfall stellen Flugaschen aus Abfallverbrennungsanlagen dar. Sie gelten auf Grund ihres Schädigungspotentiales für die Umwelt als gefährlicher Abfall. In den meisten Fällen müssen sie entweder in Deponien für gefährlichen Abfall untertage abgelagert oder vor Ablagerung auf einer Reststoffdeponie vorbehandelt werden.

Die Stabilisierung mit Zement ist die dabei am häufigsten angewandte Form der Vorbehandlung. Um die Kriterien der Reststoffdeponie zu erfüllen, wird nach dem Prinzip der Verdünnung, eine verhältnismäßig große Menge Zement mit einer relativ kleinen Menge Flugstaub, manchmal auch unter Zugabe weiterer Chemikalien, vermischt.

Heute verfügbare Technologien streben die chemische Stabilisierung und physikalische Verfestigung von Reststoffen aus der Abgasreinigung an, sodass diese in umweltfreundlicher und sicherer Art und Weise entsorgt werden können. Vorrangiges Ziel dieser Aufbereitungsverfahren ist dabei die Immobilisierung von Schwermetallen. Ein Nachteil dieser Verfahren ist ein relativ hoher Verbrauch an Zement und eine damit verbundene große Volumenmehrung.

Die Untertagedeponierung aber auch die Stabilisierung mit anschließender Ablagerung auf einer Reststoffdeponie führen zu unvermeidbaren Kosten. Die Langzeitauswirkungen auf die Umwelt sind zudem derzeit unbekannt. Primärer Nachteil dieser Verfahren ist die Notwendigkeit, ein hohes Bindemittel/Asche-Verhältnis zu verwenden wodurch eine fast doppelte Menge an zu entsorgender Masse entsteht. Einige Elemente wie Cd, Cr, Mo und Zn können zudem nicht ausreichend verkapselt werden um die erforderlichen Auslaugstandards zu erfüllen [2].

Dieser Umstand und der Anspruch vorhandene Lösungen noch zu verbessern ist der Antrieb für die Suche nach alternativen Entsorgungs- oder Recyclingwegen für Flugaschen aus der Abfallverbrennung und der Kohleverstromung.

Sofern Flugaschen aus Abfallverbrennungsanlagen heute in Europa überhaupt behandelt und recycelt werden geschieht dies in der Zementproduktion als Sekundärrohstoffbeigabe. Die wichtigsten Argumente für die Verwendung von MVA-Flugaschen als Sekundärrohstoff in der Zementerzeugung sind ihre mineralische Zusammensetzung, insbesondere die hohen Anteile von CaO , SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 [4].

1. Verfahrensbeschreibung

Das in Deutschland entwickelte Verfahren ermöglicht erstmals, durch Umwandlung der Molekularstruktur und anschließender Mineralisierung, die emissions- und restfreie Weiterverwendung anstelle der kostspieligen und wenig umweltverträglichen Entsorgung von Flugaschen und Filterstäuben der Kraftwerks- und Abfallverbrennungsanlagen.

Damit steht eine kostengünstige und umweltfreundliche Technologie zur Verfügung um Aschen und Stäube in ein ökonomisch und ökologisch wertvolles, selbst wieder recycelbares Produkt zu überführen und damit im Wirtschaftskreislauf zu halten.

Neben der gänzlich emissionsfreien Arbeitsweise überzeugt das Verfahren insbesondere durch die chemische und mechanische Stabilität des hierbei erzeugten Produktes. Es weist besonders geringe Eluatwerte auf, die sämtlich weit unter den vorgegebenen Grenzwerten, teils sogar unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

Das Verfahren verwendet organische und anorganische Reststoffe zur Herstellung von inerten Zuschlagstoffen für neuartige nicht sprödebrüchige, nichttoxische, schall-, schwingungs-, wärme- und strahlungshemmende und nicht- bzw. schwerentflammbare Werkstoffe, insbesondere betonähnliche Baustoffe.

Ausgangsmaterial des Verfahrens sind Restprodukte der Großkraftwerke und Abfallverbrennung, also Filterstäube und Aschen aus der Abgasreinigung von Groß- und Abfallverbrennungsanlagen.

Nach Prüfung und Analyse des Ausgangsstoffes (Basismaterial) werden die Zuschlag- und Mineralisierungsstoffe definiert.

Diese Basismaterialien werden nach dem Verfahren zerkleinert, photophysikalisch behandelt und mineralisiert (verkieselt).

Das Verfahren nutzt thermische und photophysikalische Effekte, die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie, zur Verbindung anorganischer Materialien mit organischen Trägersubstanzen. Die Veränderung der Molekularstruktur des Materials, die mittels Mineralisierungsmitteln anschließend stabilisiert (*verkieselt*) wird, ergibt ein konvertiertes Material mit kristalliner Oberfläche.

Die auf den organischen Trägermaterialien (Basismaterial) erzeugten anorganischen Kristalle bilden die Ansatzpunkte für die Anmineralisierung von Zement an das behandelte Basismaterial. Die Entsorgungsprodukte (Reststoffe) werden damit nicht adhäsiv eingebettet, sondern kristallin mit dem Bindemittel (Zement) verbunden. Die so entstehenden Verbindungen zwischen organischem und anorganischem Material sind mechanisch und chemisch schwer lösbar.

Das so entstandene, inerte Produkt ist, unter Zusatz von Zement und Wasser und gegebenenfalls Abbindebeschleunigern nach herkömmlichen Verfahren und in vorhandenen Mischanlagen, bestens geeignet zur Herstellung eines betonähnlichen Baustoffs.

Durch das Verfahren können die Reststoffe, die in den meisten Fällen als Gefahrenstoff klassifiziert sind, entweder als Restprodukt auf Baustoffdeponien gelagert oder sogar als Produkt in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden.

Das Endprodukt ist ein hochwertiger, selbst wieder recycelbarer Werkstoff, dessen weitere Verarbeitung mit den üblichen und heute bekannten Technologien und Werkzeugen des Baugewerbes wie verkippen, formen, vergießen usw. erfolgen kann.

2. Das *Conversion* Verfahren

Das Verfahren beruht auf der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie:

Licht(Energie), das mit hoher Intensität auf Materie trifft verändert die Molekularstruktur. Diese Veränderung der Molekularstruktur wird dadurch dauerhaft gemacht und blockiert, dass das Material nach dem *Lichtbeschuss* mit einem Mineralisierungsmittel vermischt wird.

Hierdurch entsteht eine Verkieselung des Materials mit kristalliner Oberfläche, wie sie aus der Natur bekannt ist.



Bild 1: Konversionsanlage in Betrieb

Mit dem Verfahren, das auf einem in der Europäischen Union und in den USA patentrechtlich geschützten Verfahren beruht, wird organische und anorganische Materie mineralisiert.

Damit wird jede Vergärung und/oder Fäulnis unterbunden. So behandelte Stoffe werden *inert* d.h. chemisch nicht mehr reaktionsfähig; sie können nicht vergären und nicht faulen und Schadstoffe können nicht mehr ausgewaschen werden.

Der hier im Bild dargestellte Prototyp der Konversionsanlage zeigt die oberhalb des Transportbandes angeordnete Belichtungseinheit im Betrieb. Der Energieeintrag durch die Belichtung beträgt etwa 650 W/mm^2 . Dieser Energieeintrag regt die Bindungsfreudigkeit der Elektronen an und fördert so die Reaktion mit dem Mineralisierungsmittel. Es entsteht eine kristalline Matrix mit hoher Witterungsbeständigkeit, wobei die biologisch-toxischen Bestandteile der Basismaterialien durch die photophysikalische Behandlung inertisiert werden.

3. Analysen und Messergebnisse

Um verlässliche Ergebnisse der Wirksamkeit des Verfahrens zu erlangen wurden verschiedene Flugaschen aus einer deutschen Abfallverbrennungsanlage (MVA) und einer Ersatzbrennstoffanlage (EBS) dem Konversionsprozess unterzogen. Die so behandelten Aschen wurden nach dem Produktionsprozess im Labor (Synlab Stuttgart) tiefgehend analysiert.

Hier werden die Ergebnisse vorgestellt, wobei der Schwerpunkt, wegen ihres höheren Schadstoffgehaltes, auf die Aschen der EBS-Anlage als Basismaterial gelegt wird.

Zunächst wurde das Basismaterial, die Flugasche einer am 20.03.2017 genommenen Flugascheprobe, nach dem Königswasseraufschlussverfahren (DIN EN 13657: 2003/01) analysiert um eine *Inventarliste* der im Basismaterial enthaltenen Schadstoffe zu erhalten.

Aus dem Basismaterial wurde nach dem Konversationsverfahren die Steinherstellung durchgeführt. Die so entstandenen Steine (Probe 1 und 2) wurden im Trogverfahren (DIN EN 1747-3) im Verhältnis 1:10 einer Elutionsanalyse unterzogen. Quecksilber wurde nach DIN EN ISO 12846 ermittelt, alle anderen Schwermetalle nach DIN EN ISO 17294-2 (E29).

Die Probe 1 wurde, um einen möglichen Zerfallsprozess zu simulieren, zudem in einem zweiten Schritt zerkleinert und nochmals als Probe 3 # nach DIN EN 12457-4 analysiert.

Die Analysenergebnisse zeigen eine enorme Verringerung aller Schwermetalle im Stein und in der zerkleinerten Probe.

Tabelle 1: Eluat Analyse der Filterasche aus der EBS-Anlage nach der Konversion

		Filterasche aus EBS		Probe 1	Probe 2	Probe 3#			
		Basismaterial	Königswasser- aufschluss				Stein 1,9 kg	Stein 1,9 kg	zerkleinert
							1	2	3
		Eluat		Trogverfahren		Filterat			
Schwermetalle	Einheit								
Arsen	mg/kg TS	14,5	mg/l	0,0489	0,0306	0,01			
Blei	mg/kg TS	1.830	mg/l	0,0205	0,003	0,01			
Cadmium	mg/kg TS	107	mg/l	0,0386	0,0041	0,001			
Chrom (Gesamt)	mg/kg TS	26,4	mg/l	0,0019	0,0016	0,032			
Kupfer	mg/kg TS	532	mg/l	0,0181	0,0115	0,0588			
Nickel	mg/kg TS	9,45	mg/l	0,0049	0,0037	0,0151			
Quecksilber	mg/kg TS	4,9	mg/l	0,0001	0,0002	0,0001			
Zink	mg/kg TS	5.050	mg/l	0,0012	0,001	0,0782			
Thallium	mg/kg TS	0,77	mg/l	0,0034	0,0027	0,01			
Antimon	mg/kg TS	25,6	mg/l	0,101	0,0916	0,315			
Beryllium	mg/kg TS	0,208	mg/l	0,0005	0,0005	0,0005			
Kobalt	mg/kg TS	4,88	mg/l	0,0103	0,0076	0,01			
Zinn	mg/kg TS	146	mg/l	0,001	0,001	0,01			

Durchgängig zeigt sich, dass aus dem mit dem Konversionsverfahren hergestellten Stein, nur noch sehr geringe Mengen der gebundenen Schwermetalle ausgewaschen werden können.

Die Probe 3# beweist eindrucksvoll, dass dies auch für den Fall gilt, dass der Stein im Laufe der Zeit seine Formbeständigkeit verliert und zerfällt.

Von den 1.830 mg/kg Blei im Basismaterial sind im filtrierten Eluat des zerkleinerten Steines (Probe 3#) nur noch zu 0,01 mg/l und von 5.050 mg/kg Zink sind nur noch 0,078 mg/l messbar.

Zum Vergleich und zur besseren Einordnung der Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle natürlich auftretende Schwermetallkonzentrationen in der Erdkruste, in Granit und Basalt aufgezeigt.

Schwermetalle	Einheit	Erdkruste	Granit	Basalt
Blei	mg/kg	14	24	4
Cadmium	mg/kg	0,15	0,1	0,2
Chrom (Gesamt)	mg/kg	100	20	200
Kupfer	mg/kg	50	12	90
Nickel	mg/kg	75	5	150
Quecksilber	mg/kg	1,5	1,5	1,5
Zink	mg/kg	75	50	100

Tabelle 2:

Referenz-Konzentration natürlich auftretender Schwermetalle in der Erdkruste, Granit und Basalt

Quelle: Krauskopf, K.; L.: Environmental Geochemistry. In: Encyclopedia of Physical Sciences and Technology. Academic Press, 2002

Der Erdkrustenwert ist ein grober Durchschnitt der natürlichen Krustenelementkonzentrationen. Granit ist der *Grundwerkstoff* der die meisten Kontinente bildet. Der elementare Inhalt von Granit repräsentiert die ursprünglichen Landverhältnisse, an die sich das Leben auf der Erde angepasst hat. Basalt ist Sekundärmaterial auf den Kontinenten, das Ergebnis vulkanischer Aktivität. Basalt bildet jedoch einen wesentlichen Teil des Meeresbodens. Erodierter Granit und Basalt bilden Sedimente und Sedimentböden.

Die Pedosphäre – die oberste Schicht des Bodens – bildet die Basis für die Vegetation und wird für landwirtschaftliche Zwecke verwendet. Sie besteht aus einer Mischung aus organischem Material mit einem der oben genannten Krustenmaterialien: Granit, Basalt und sedimentäre Materialien.

Metallkonzentrationen in der Pedosphäre sind sehr wichtig, weil sie die ursprünglichen Umweltbedingungen dieses Planeten darstellen. Veränderungen dieses Gleichgewichtes hätten unvorhersehbare Konsequenzen für das Ökosystem [3].

In einem nächsten Schritt haben wir diese Ergebnisse mit gängigen LAGA Grenzwerten verglichen.

Nach § 5 Abs. 3 KrW-/AbfG hat die Verwertung von Abfällen, insbesondere durch ihre Einbindung in Erzeugnisse, ordnungsgemäß und schadlos zu erfolgen. Sie erfolgt schadlos, wenn nach der Beschaffenheit der Abfälle, dem Ausmaß der Verunreinigungen

und der Art der Verwertung Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit nicht zu erwarten sind, insbesondere keine Schadstoffanreicherung im Wertstoffkreislauf erfolgt. Das heißt, bei der Bewertung von Bauprodukten ist – sofern Abfälle für die Herstellung des Bauproduktes verwendet werden – sicherzustellen, dass es durch den Einsatz belasteter Abfälle nicht zu einer Verschleppung von Schadstoffen in Bauprodukte und damit zu einer Schadstoffanreicherung kommt. Hierzu werden aus abfallwirtschaftlicher Sicht Obergrenzen für Schadstoffgehalte festgelegt [1].

Tabelle 3: Analyseergebnisse der untersuchten Proben im Vergleich zu den LAGA-Grenzwerten I

		Grenzwert	Probe 1	Probe 2	Probe 3#
		LAGA Z 2	Stein 1,9 kg	Stein 1,9 kg	zerkleinert
Schwermetalle		Einheit	Trogverfahren		Filterat
			Verhältnis Analyse versus Basis-Inventar		
Arsen	mg/l	0,04	0,0489	0,0306	0,01
Blei	mg/l	0,1	0,0205	0,003	0,01
Cadmium	mg/l	0,005	0,0386	0,0041	0,001
Chrom (Gesamt)	mg/l	0,075	0,0019	0,0016	0,032
Kupfer	mg/l	0,15	0,0181	0,0115	0,0588
Nickel	mg/l	0,1	0,0049	0,0037	0,0151
Quecksilber	mg/l	0,001	0,0001	0,0002	0,0001
Zink	mg/l	0,3	0,0012	0,001	0,0782

Werden mineralische Abfälle in Bauprodukten eingesetzt, müssen die grundsätzlichen Anforderungen der LAGA-Mitteilung 20 *Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln* erfüllt werden. Die Stoffgehalte im Eluat müssen mindestens die Zuordnungswerte Z 2 der jeweiligen abfallspezifischen Technischen Regeln dieses Regelwerkes einhalten.

Für die Stoffgehalte im Feststoff müssen noch bundeseinheitliche Zuordnungswerte als Obergrenze für den Abfalleinsatz in Produkten festgelegt werden, die sicherstellen sollen, dass es gemäß § 5 Abs. 3 KrW-/AbfG zu keiner Schadstoffanreicherung im Wertstoffkreislauf kommt. Solange diese noch nicht vorliegen, sind sie im Rahmen einer Einzelfallentscheidung festzulegen [1].

Tabelle 4: Zuordnungswerte der LAGA-Mitteilung 20 I

Zuordnungswert (Obergrenze der Einbauklasse)						
	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
	Verwertung		Ablagerung in Deponien			
Einbauklasse 0 uneingeschränkter Einbau ¹	Einbauklasse 1 eingeschränkter offener Einbau	Einbauklasse 2 eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungs- maßnahmen	Deponieklasse I (AbfAbIV/DepV)	Deponieklasse II (AbfAbIV/DepV)	Deponieklasse III (DepV)	

¹Diese Einbauklasse gilt nur für die Verwertung in bodenähnlichen Anwendungen (Verfüllung von Abgrabungen und Abfallverwertung im Landschaftsbau außerhalb von Bauwerken)

Nach der Zuordnungstabelle der Einbauklassen gem. LAGA-Mitteilung 20, dürfte einer Verwertung des nach dem Konversionsverfahren hergestellten Steines und dem Einsatz als Baustoff nichts im Wege stehen. Mit der großtechnischen Anwendung wird zudem eine Qualitätsverbesserung und ein homogenes Produkt zu erwarten sein.

4. Vorteile des Verfahrens

Das Verfahren weist eine Vielzahl von Vorteilen auf, z.B.:

- geringer technischer und energetischer Aufwand;
- hohe Robustheit: das Verfahren zeichnet sich durch seine Einfachheit und technische Sicherheit aus;
- weitgehende Verwendung bekannter und gebräuchlicher Techniken und Maschinen zur Vorbereitung und Weiterverarbeitung in Ergänzung zum Inertisierungs- und Mineralisierungsprozess;
- problemlose Verarbeitung auch stärker verunreinigter und/oder belasteter Reststoffe zu einem inerten und uneingeschränkt umweltverträglichem Produkt;
- Entgiftung biologisch-toxischer Bestandteile der Reststoffe durch die Kombination einer thermischen und photophysikalischen Inertisierung;
- Rückführung der Reststoffe in den Wirtschaftskreislauf als recycelbare Wertstoffe;
- kein Bedarf der Sandbeigabe zur Herstellung von Baugliedern;
- geringe Emission vor, während oder nach der Verarbeitung durch das Verfahren selbst, die verwendeten Hilfsstoffe und/oder die erzeugten Produkte bei niedrigem Geräuschpegel während des Zerkleinerungs- und Mischvorganges.

5. Zusammenfassung

Durch den Photonenbeschuss wirkt eine hohe Energiekonzentration in einer optimalen Brennlinie auf das zu behandelnde Material (Asche = Recyclingstoff). Dadurch wird diese so aktiviert, dass sich durch die, in wässriger Lösung beigebrachten kristallbildenden Abbindebeschleuniger und das mineralische Bindemittel festhaftende Kristallkomplexe bilden, die durch natürliche Prozesse nicht mehr lösbar sind. Die Bindemittel umschließen das Material nicht vollständig, wodurch sie mit der Grundmatrix eines daraus zu bildenden Verbundwerkstoffes eine festhaftende Verbindung eingehen.

Das so entstandene, keimfreie und inerte Material kann dann durch Zugabe weiterer handelsüblicher Stoffe zu einem mineralisch gebundenen Werkstoff mit genau definierten bauphysikalischen Eigenschaften weiterverarbeitet werden.

Für die Herstellung ist kein Sand erforderlich, die Aschen ersetzen diesen vollständig. Die aufwendige und teure Entsorgung der Aschen und der darin enthaltenen Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung können so dauerhaft vermieden.

Der aus dem konvertierten Recyclingstoff hergestellte Stein *Converted Stone* weist folgende wesentlichen Eigenschaften auf:

- hohe Witterungsbeständigkeit;
- hohe Wasseraufnahmefähigkeit bei gleichzeitiger hoher Frost-Tau-Wechselbeständigkeit;
- hohe Schalldämpfung im Infraschallbereich: die maximale Dämpfung liegt im Tieftonfrequenzbereich des menschlichen Hörvermögens. Dadurch wird eine, bei anderen Baustoffen wenig ausgeprägte Rollgeräuschkämpfung erreicht;
- gut ausgeprägte Wärmedämmung;
- Herstellung von Formsteinen mit herkömmlichem Equipment, deren Dichte jeweils nach eingesetzten Ausgangsmaterialien und Verdichtungsverhältnis variierbar ist;
- Ausführung von Bewehrungen mit korrosionsbeständigen Hochpolymeren – z.B.: Dichtungsmatten, Geotextilien und Polyamidbewehrungen;
- Recyclingfähigkeit des Baustoffs selbst und Weiterverarbeitung zu zementgebundenen Baugliedern.

Im Bauwesen, im Straßenbau, in der Landschaftsgestaltung und Sanierung werden mehr denn je Alternativen zu den bisherigen Baustoffen zur Herstellung stark stoßbelasteter, wärme-, schall-, schwingungs- und strahlungsdämpfender Bauglieder gesucht.

Benötigt werden gleichzeitig Baustoffe, die besser als herkömmliche Materialien die bestehenden ökologischen Anforderungen erfüllen können.

Der Bedarf an derartigen Baugliedern ist weitestgehend unabhängig von der Auftragslage der Bauindustrie, deren Einsatz ist insbesondere möglich für:

- die Herstellung spezieller Formsteine mit ökologischen Eigenschaften;
- den Einsatz als Baustoff zur Landschaftsgestaltung, z.B.: für begrünbare Nutzflächen;
- bauphysikalisch neuartige Lösungen im Straßenbau, Brückenbau, Eisenbahn- und Autobahnbau sowie insbesondere auch im Damm- und Deichbau;
- die Verwendung zur Abdeckung und Abdichtung von Deponien, Parkflächen, Tankstellen u. ä. unter Einsatz von festeingebundenen Dichtmatten gegen Gas- und Flüssigkeitsdurchtritt;
- die Anwendung als Versatz- und hochwertiges Ausbaumaterial im Untertagebetrieb;
- die Verwertung von Bauschutt-Mischreststoffen.



Bild 2: Converted Stone

6. Literatur

- [1] DIBt.: Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser. Köln, Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt -; 2011
- [2] Kalogirou, E.; Themelis, N.; Samaras, P.; Karragiannidis, A.; Kontogianni, S.: Fly Ash Characteristics From Waste-to-Energy Facilities and Processes For Ash Stabilization. Von ISWA: http://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase/Kalogirou.pdf abgerufen, (undated)
- [3] Krauskopf, K. B.; Loague, K.: Environmental Geochemistry. In: Encyclopedia of Physical Sciences and Technology. Academic Press, 2002
- [4] Lederer, J.; Rechberger, H.; Fellner, J.: MVA-Flugaschenrecycling in der Zementindustrie und deren Auswirkung auf Metallgehalte in Zementen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 2 – Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2015, S. 387-401

Ansprechpartner



Jörg Eckardt
JE-C GmbH
Geschäftsführer
Siemensstraße 28
32676 Luegde (D)
Telefon: 0049-(0)5281-1636822
E-Mail: je@je-c.de

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

Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky,
Bernd Friedrich, Thomas Pretz, Peter Quicker, Dieter Georg Senk, Hermann Wotruba (Hrsg.):

Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 5
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –

ISBN 978-3-944310-41-1 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2018

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm,
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Claudia Naumann-Deppe, Janin Burbott-Seidel, Sandra Peters,
Ginette Teske, Roland Richter, Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Universal Medien 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.