

Keramische Werkstoffe aus trocken ausgetragener Feinfraktion der Rostschlacke

Ralf Koralewska, Christopher R. Cheeseman und Athanasios Bourtsalas

1.	Trockenaustrag von Rostschlacke	337
1.1.	Trockenentschlackung.....	337
1.2.	Feinschlacke	338
2.	Werkstofftechnische Untersuchungen.....	340
2.1.	Charakterisierung des Ausgangsmaterials.....	340
2.2.	Glas-/Keramikverbundwerkstoffe.....	340
2.3.	Leichtbaustoffzuschlage.....	344
3.	Zusammenfassung und Ausblick.....	345
4.	Literatur.....	345

Im Rahmen von Urban Mining werden thermische Abfallbehandlungsanlagen mit rostfeuerungs-basierten Systemen zur aktiven Ressourcenschonung noch attraktiver, weil neben der hohen Energieeffizienz auch der verbesserten Rückgewinnung von Wertstoffen zur Substitution von Rohstoffen größere Bedeutung zukommt. Dabei ist vor allem die Rostschlacke von Interesse, da sie die größte Ruckstandsfraktion des Verbrennungsprozesses darstellt und ein hohes Verwertungspotenzial bietet. Einen signifikanten Optimierungsschritt stellt in diesem Zusammenhang der trockene Austrag der Rostschlacke dar. Neben der verbesserten Rückgewinnung hochwertiger, sortenreiner Metallfraktionen [1, 2] sind die Eigenschaften der nicht mit Wasser abgekühlten Mineralikfraktion von Interesse. Vor diesem Hintergrund wurde die Martin Trockenentschlackung entwickelt und in der Abfallverbrennungsanlage der SATOM SA in Monthey, CH an den beiden bestehenden Linien erfolgreich grotechnisch umgesetzt. Als ein Teilstrom wird die nahezu metallfreie, trocken ausgetragene Feinschlacke < 1 mm über eine Windsichtung generiert. Um die Eigenschaften dieser Mineralikfraktion nutzen zu können, wurden am Imperial College London Untersuchungen zu einer hochwertigen Ressourcensubstitution durchgeführt.

1. Trockenaustrag von Rostschlacke

1.1. Trockenentschlackung

Bei der Martin Trockenentschlackung (Bild 1) [1, 2] wird der Stoelentschlacker ohne Wasser betrieben. Für den Luftabschluss wird die Rostschlacke im Schlackenschacht aufgestaut, sodass eine klare Trennung zwischen der Feuerung und der Entschlackung

gegeben ist. Die trocken aus dem Verbrennungssystem ausgetragene Rostschlacke wird direkt einem Windsichter zugeführt, in dem der Fein- und Staubanteil $< 1\text{ mm}$ von der Grobschlacke abgetrennt wird. In einer Staubabscheidung (z.B. Zyklon) wird dann die Feinschlacke aus dem Luftstrom entfernt. Die entfrachtete Windsichterluft, mit einem sehr geringen Anteil an Schlackenstaub, kann der Sekundärluft zugeführt werden. Durch die Abtrennung der Feinfraktion im Windsichter zu Beginn des Förderweges wird die Staubbelastung der gesamten nachfolgenden Transport- und Aufbereitungsaggregate minimiert, was sich positiv für den Unterhalt und die Arbeitsbedingungen auswirkt.

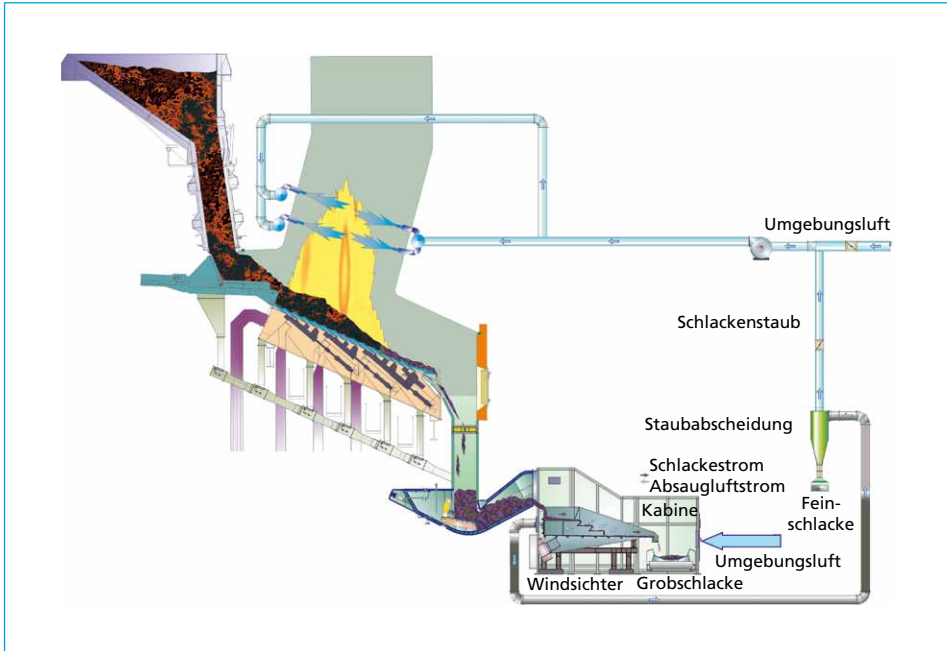


Bild 1: Martin Trockenentschlackung

Das Verfahren wurde an der Abfallverbrennungsanlage der SATOM SA in Monthey, CH an den beiden bestehenden Linien großtechnisch umgesetzt [1, 2] und ist seit fünf Jahren erfolgreich in Betrieb. Die gesamte Feinschlacke $< 1\text{ mm}$ wird in Silos gesammelt und zur weiteren Verwertung (Kapitel 1.2.) abtransportiert. Die gesamte, von der Feinschlacke entfrachtete, metallangereicherte Grobschlacke beider Verbrennungslinien wird, mit allen darin befindlichen Eisen- und NE-Metallen, ohne Zwischenlagerung direkt der Metallrückgewinnung zugeführt.

1.2. Feinschlacke

Untersuchungen zum trockenen Austrag von Rostschlacken haben gezeigt, dass in einer abgesiebten Feinfraktion ein großes Wertschöpfungspotenzial an NE-Metallen vorhanden ist. Durch das Trennverfahren der Martin Trockenentschlackung (Windsichtung, keine Absiebung) sind in der Feinschlacke bezogen auf die Gesamtrotschlacke jedoch

nur in sehr geringem Umfang Metalle vorhanden. Der Nachweis dazu wurde im großtechnischen Maßstab mit fünf Tonnen Feinschlacke von der Anlage Monthey in der Fein- (1 bis 5 mm) und Feinstschlackenaufbereitung (0,2 bis 1 mm) des ZAR (Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung) [8] an der KEZO Hinwil, CH erbracht. Die Magnetische Fraktion ist keine reine Eisenfraktion mit einem großen Anteil an partikulär vorliegenden und damit abscheidbaren Eisenpartikeln, sondern vielmehr die Bezeichnung für einen magnetischen Anteil der Feinschlacke (*magnetische Schlacke*). Die stark magnetische Eigenschaft ist primär auf Magnetit und nicht auf partikuläres, metallisches Eisen zurückzuführen. Selbst schwach magnetische Schlackenpartikel, wie feinkörnige, in Gläser eingebundene Magnetite, lassen sich leicht separieren. Der gesamte NE-Anteil in der Feinschlacke ist mit 0,035 Gew.-Prozent bezogen auf die Gesamtrostschlacke sehr gering. Der mineralische Anteil stellt den überwiegenden Hauptbestandteil der aufbereiteten Feinschlacke dar. Obwohl feinste, unverbrannte Partikel (Kokspartikel, Papier usw.) bei der Windsichtung mitgerissen werden, liegen die TOC-Werte in der Feinschlacke um ein Gew.-Prozent und sind somit für eine Rostschlackenfeinfraktion sehr gut.

Dies macht eine gezielte mechanische Aufbereitung dieser Feinschlacke < 1 mm überflüssig, da der Anteil der mechanisch abtrennbaren Metalle sehr niedrig und somit eine partikuläre Metallabscheidung aus dieser Fraktion nicht rentabel ist.

Bei der Feinschlacke < 1 mm handelt es sich, basierend auf diesen Untersuchungen, im Wesentlichen um eine sehr feine, nahezu metallfreie Mineralikfraktion [6].

Aktuell wird diese an der Anlage Monthey als Zementersatz zur Verfestigung der neutral gewaschenen Filteraschen der Anlage Monthey an einer Deponie für gefährliche Abfälle (Bild 2) verwertet.



Bild 2: Feinschlackenverwertung an einer Deponie für gefährliche Abfälle

Quelle: CRIDEC, CH

Um eine höherwertige Rohstoffsubstitution zu erreichen und aufgrund der materialtechnischen Eigenschaften wurde die Feinschlacke < 1 mm der Anlage Monthey bezüglich der Verwertung in Glas-/Keramikverbundwerkstoffen sowie Leichtbaustoffzuschlägen am Department of Civil and Environmental Engineering des Imperial College London untersucht.

2. Werkstofftechnische Untersuchungen

2.1. Charakterisierung des Ausgangsmaterials

Die Feinschlacke < 1 mm der trocken ausgetragenen Rostschlacke besteht im Hinblick auf die mineralische Zusammensetzung im Wesentlichen aus den Elementen Silizium, Eisen, Kalzium und Aluminium. Die mit Röntgendiffraktometrie (XRD) bestimmten hauptsächlichen Kristallphasen sind Quarz (SiO_2), Calcit (CaCO_3), Gehlenit ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) und Hämatit (Fe_2O_3). Bei den thermogravimetrischen Untersuchungen zeigte sich, dass bis zu einer Temperatur von 120 °C die Restfeuchte, bedingt durch Lagerung, ausgetrieben wurde. Zu einem signifikanten Gewichtsverlust kam es zwischen 550 °C bis 850 °C durch die Zersetzung von Calcit (CaCO_3) zu CaO und CO_2 sowie die Freisetzung volatiler Phasen.

Die Charakterisierung der Feinschlacke führte zu der Schlussfolgerung, die Eignung als Substitutionsmaterial für keramische Werkstoffe zu untersuchen. Die grundsätzlichen Prozessschritte sind aus der Keramikherstellung für Glas-/Keramikwerkstoffe sowie Leichtbaustoffe bekannt und mussten bezüglich technischer Umsetzbarkeit untersucht und optimiert werden.

2.2. Glas-/Keramikverbundwerkstoffe

In Bild 3 werden die im Labormaßstab angewendeten Schritte des Herstellungsprozesses für Keramik dargestellt. Das Ausgangsmaterial wird nass gemahlen und nach der Trocknung und Siebung kalziniert, um ein Pulver zur Keramikherstellung zu erzeugen. Schließlich werden daraus nach Pressen und Sintern Keramikprobekörper (Bild 4) hergestellt.

Der Energieverbrauch dieses Herstellungsprozesses beträgt bei großtechnischer Umsetzung, basierend auf Durchschnittswerten des BREF der Keramikindustrie [5], etwa 186 kWh/t gebranntes Produkt (Tabelle 1).

Zunächst wurden Versuche nur mit gemahlener Feinschlacke < 1 mm, ohne Altglaszugabe, durchgeführt. Die Herstellung von stabilen Keramikprobekörpern war dabei nicht möglich.

Daraufhin wurde der Feinschlacke Altglas zugemischt, um die Flüssigphasensinterung zu unterstützen. Die nasse Kugelmahlung verringert die Korngröße auf < 500 µm und homogenisiert gleichzeitig die Materialmischung. Durch die Kalzinierung werden die Kristallphasen umgewandelt und gleichzeitig Gase

Tabelle 1: Energieverbrauch Keramikproduktion (Durchschnittswerte gemäß BREF Keramikindustrie)

Prozessschritt	Energieverbrauch
	kWh/t gebranntes Produkt
Mahlen	65
Sprühtrocknung	7
Kalziniierung	50
Pressen	14
Sinterung	50
Summe	186

Quelle: European Commission: Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry. August 2007

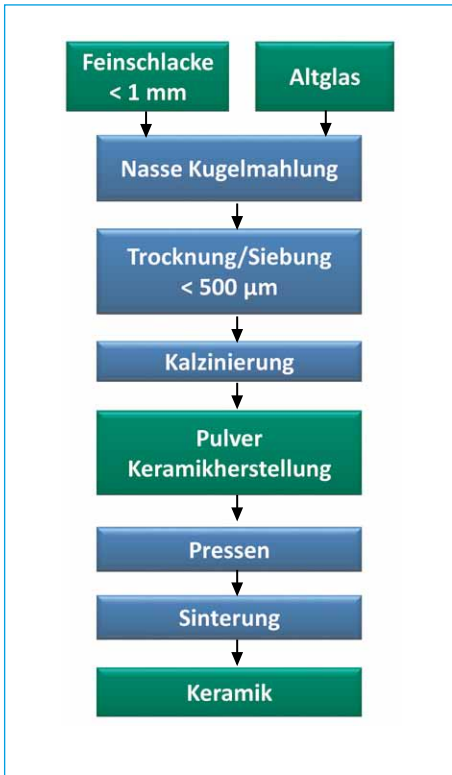


Bild 3: Herstellungsprozess der Keramik

ausgetrieben, die zur Porenbildung beitragen würden. Außerdem wird durch die Kalzinierung das Press- und Sinterverhalten der Materialmischung signifikant verbessert.

Die Untersuchung sowie Optimierung des Herstellungsprozesses erfolgte über Modellierungen mit der Response-Surface-Methode (RSM) [7] und Laboruntersuchungen bei Variation des Feinschlacke-Altglas-Verhältnisses sowie unterschiedlichen Mahldauern und Kalzinierungs- und Sintertemperaturen. Alle durchgeführten Laboruntersuchungen bestätigten die bereits mit der Modellierung gefundenen Ergebnisse.



Bild 4: Keramikprobekörper aus trocken ausgetragener Feinschlacke < 1 mm

Frühere Untersuchungen des Imperial College London an Keramiken haben gezeigt, dass Dichte, Wasseraufnahme und Schwund starke Abhängigkeiten zeigen [4]. Der Einfluss des Feinschlackenanteils sowie der Kalzinierungs- und Sintertemperaturen auf diese grundlegenden Keramikeigenschaften sowie das Erscheinungsbild der Probekörper wird in Tabelle 2 gegenübergestellt.

Die besten Ergebnisse zeigten sich bei einem Mischungsverhältnis von achtzig Gewichts-Prozent Feinschlacke und zwanzig Gew.-Prozent Altglas und einer Kalzinierungs- sowie Sintertemperatur von jeweils 1.080 °C. Dabei wird eine hohe Dichte bei keiner

Tabelle 2: Wesentliche Keramikeigenschaften in Abhängigkeit vom Feinschlackenanteil sowie der Kalzinierungs- und Sintertemperatur

Feinschlacke	TC	TS	Dichte	Wasseraufnahme	Schwund	Erscheinungsbild
Gew.-%	°C	°C	g/cm ³	%	%	
100	1.200	1.130	2,4	0,89	5,1	5,1
90	1.100	1.100	2,52	0,1	5,3	5,3
80	1.080	1.080	2,72	0	5,4	5,5
70	1.060	1.040	2,74	0	5,5	5,3

Wasseraufnahme und akzeptablem Schwund erreicht. Das Erscheinungsbild des Keramikprobekörpers (Optische Bewertung von Formstabilität, Aussehen, Auftreten von Poren / Skala 1 bis 6) war bei diesen Randbedingungen auch am besten.

Der Schwund und die damit verbundene Zunahme der Dichte bei der Sinterung sind bedingt durch die Oberflächenabnahme beim Pressen. Dies wird signifikant durch Fließeffekte des zugegebenen Altglases gefördert. Zusätzlich werden bei der Kalzinierung flüchtige Phasen ausgetrieben, so dass im Sinterprodukt eine dichtere keramische Mikrostruktur gebildet wird.

Für das optimale Mischungsverhältnis ist eine 24-stündige nasse Kugelmahlung zur Herstellung eines sehr feinen Pulvers am effektivsten (Bild 5). An den dabei entstehenden großen Oberflächen löst das Wasser verschiedene chemische Reaktionen aus und Salze werden gelöst, die bei der Absiebung des Feststoffes abgetrennt werden.

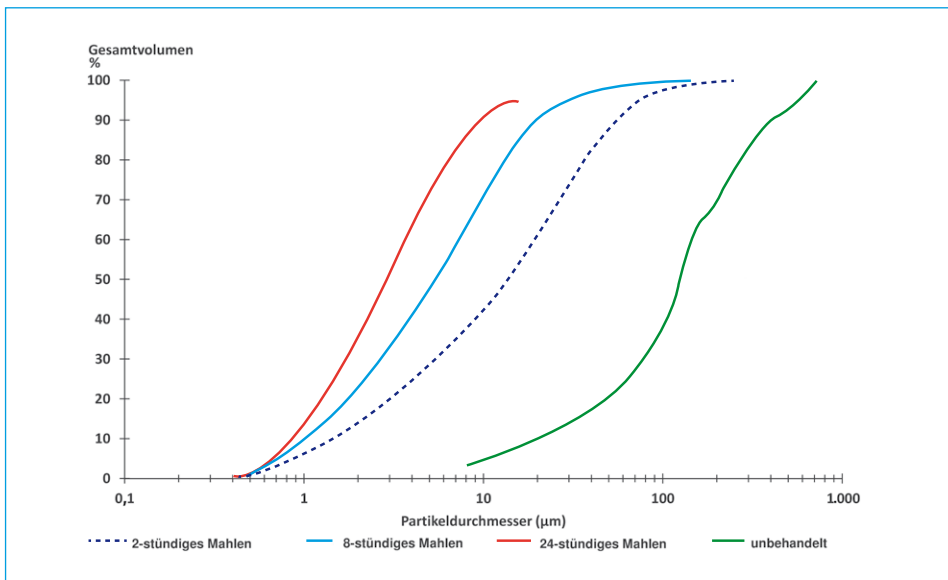


Bild 5: Auswirkung der Mahldauer auf den Partikeldurchmesser (80 Gew.-Prozent Feinfraktion: 20 Gew.-Prozent Altglas)

Zur Bewertung der Materialeigenschaften der Keramikprobekörper wurde der Vergleich zu Terracotta Keramik betrachtet. In Tabelle 3 sind dazu die wesentlichen Parameter gegenübergestellt.

Die gesinterte Keramik, die gemäß Voruntersuchungen unter den optimierten Randbedingungen aus der Feinschlacke hergestellt wurde, weist vergleichbare und zum Teil bessere Materialeigenschaften im Vergleich zur industriell hergestellten Terracotta Keramik auf.

Neben den keramischen Eigenschaften wurden auch die umweltrelevanten Auswirkungen des Produktes untersucht. In Bild 6 sind die röntgendiffraktometrischen Messungen des unbehandelten Materials sowie der jeweils 24 Stunden gemahlten Proben aus achtzig Gewichts-Prozent Feinschlacke und zwanzig Gew.-Prozent Altglas nach unterschiedlichen Behandlungen dargestellt.

Tabelle 3: Materialeigenschaften der gesinterten Keramik (Kalzinierung 1.080 °C / Sinterung 1.080 °C) im Vergleich zu einer Terracotta Keramik

Materialeigenschaft		Gesinterte Keramik	Terracotta Keramik
Dichte	g/cm ³	2,7	2,3
Young Module	GPa	76,2	71,0
Vickers Härte	GPa	4,4	3,1
Thermische Leitfähigkeit	W/m-K	0,6	0,6

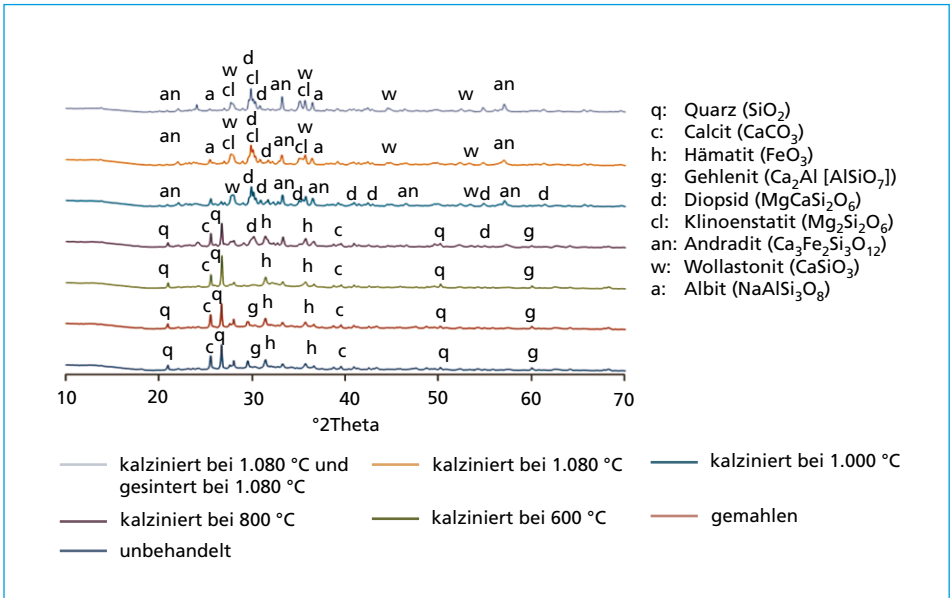


Bild 6: Röntgendiffraktometrische Messungen des Ausgangsmaterials im Vergleich zu unterschiedlichen Behandlungsstufen

Bereits ab einer Kalzinierungstemperatur von 1.000 °C ist eine Änderung der Kristallphasen erkennbar.

Die Hauptkristallphasen des unbehandelten Ausgangsmaterials Quarz (SiO₂), Calcit (CaCO₃), Hämatit (Fe₂O₃) und Gehlenit (Ca₂Al₂SiO₇) werden im gesinterten Produkt in die stabilen Minerale der Pyroxengruppe Diopsid (CaMgSi₂O₆), Klinoenstatit (MgSi₂O₆) und Wollastonit (CaSiO₃) zusammen mit Albit (NaAlSi₃O₈) und Andradit (Ca₃Fe₂Si₃O₁₂) umgewandelt. Pyroxenminerale liegen in fast jedem magmatischen Gestein als sehr stabile Phasen vor und werden in vielen natürlichen Gesteinen in verschiedenen Zusammensetzungen gefunden.

Aus der Feinschlacke < 1 mm entsteht ein neuer, inerte r Werkstoff mit vollständig anderen Materialeigenschaften, der sich grundlegend von dem Ausgangsstoff unterscheidet.

Die Produktqualität lässt sich signifikant an der Auslaugbarkeit von gemahlenden Proben bei einem extremen Eluattest mit pH 3 aufzeigen. In Tabelle 4 wird die Feststoffkonzentration in der Feinschlacke für bestimmte Parameter angegeben und die Auslaugbarkeit

Tabelle 4: Feststoffkonzentration in der Feinschlacke < 1 mm und Auslaugbarkeit gemahlener Materialien (Eluat, pH-Wert 3)

Parameter	Feststoff		Eluat			
	Feinschlacke	Unbehandelte Feinschlacke	Keramikpulver		Gesinterte Keramik	
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Reduktion %	mg/kg	Reduktion %
Cr	163,0	17,9	0,75	95,8	0,6	96,7
Cu	3.200,0	887,6	21,8	97,5	19,5	97,8
Ni	197,5	9,3	0,13	98,6	0,05	99,5
Cd	63,0	4,6	0,16	96,5	0,09	98,1
Zn	3.100,0	1.139,4	9,4	99,2	8,2	99,3
Pb	350,0	133,1	0,15	99,9	0,07	99,7
Al	11.500,0	1.742,0	57,9	96,7	53,1	96,9
Fe	4.600,0	1.013,0	6,12	99,4	4,5	99,6

der gemahlene Materialien unbehandelte Feinschlacke, Keramikpulver und gesinterte Keramik gegenübergestellt.

Es ist eine signifikante Abnahme der Auslaugung aufgrund der Kalzinierung und Sinterung des Feinschlacke-Altglasgemisches festzustellen. Aufgrund der ablaufenden Veränderungen zu Mineralphasen der Pyroxengruppe entsteht ein neues Material mit deutlich verbesserten Auslaugeigenschaften unter extremen Bedingungen. Cu, Zn und Pb werden fest in, bei der Sinterung entstehenden Phasen eingebunden.

2.3. Leichtbaustoffzuschläge

Ergänzend zur Herstellung der Glas-/Keramikverbundwerkstoffe wurden auch erste Untersuchungen zur Herstellung von Leichtbaustoffzuschlägen durchgeführt. Das geschäumte Material wurde nach dem in Bild 7 dargestellten Prozess hergestellt.

Nach der Sinterung wurden entsprechende Probekörper (Bild 8) produziert. Das Material entspricht in seinen Eigenschaften Bimsstein. Entsprechende Applikationen werden bereits getestet und detailliert untersucht.

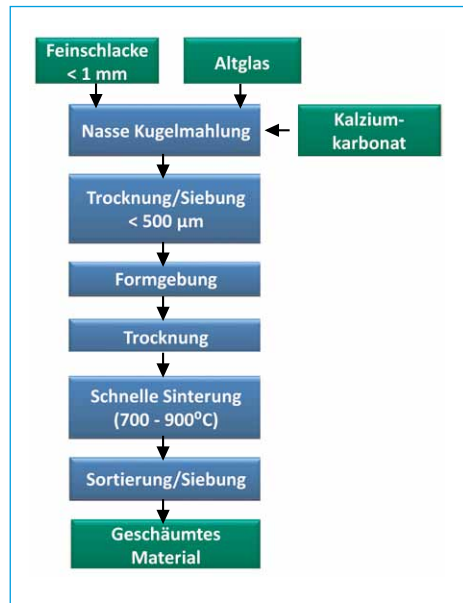


Bild 7: Herstellungsprozess des geschäumten Materials

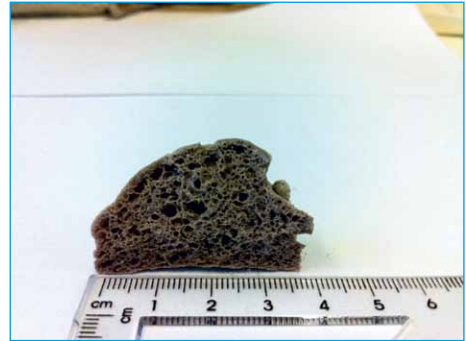
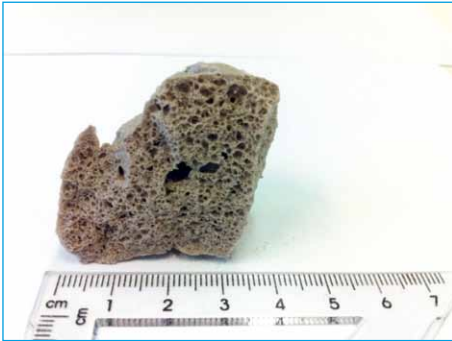


Bild 8: Geschäumtes Material nach Sinterung

3. Zusammenfassung und Ausblick

Für den Einsatz von trocken ausgetragener Feinschlacke aus der thermischen Abfallbehandlung in Glas-/Keramikverbundwerkstoffen sowie Leichtbaustoffzusätzen liegen erfolgreiche Untersuchungen des Imperial College London vor. Die Feinschlacke < 1 mm aus der Martin Trockenentschlackung kann in ein Inertmaterial zur Produktion von Keramiken umgeformt werden. Die Behandlung erfolgt nach Zugabe von Altglas durch Mahlung, Kalzinierung, Pressung und Sinterung. Die kristallinen Hauptphasen werden bereits bei der Kalzinierung in stabile Minerale der Pyroxengruppe, also ein vollständig neues Material, umgewandelt, das minimale Auslaugungseigenschaften aufweist. Durch Pressen und Sinterung lassen sich dichte, harte Keramiken mit sehr guten Eigenschaften erzeugen. Sowohl als Keramikfliesen, als auch als geschäumte Leichtbaustoffe ergeben sich eine Vielzahl von potenziellen industriellen Anwendungen.

Martin ist ein eingetragenes Warenzeichen der Martin GmbH für Umwelt- und Energietechnik.

4. Literatur

- [1] Blatter, E.; Langhein, E.-C.; zur Mühlen, M.; Weber, T.: Erfahrungen mit trockenen Schlacken an der KVA Monthey. VDI Wissensforum, Düsseldorf 2013
- [2] Blatter, E.; zur Mühlen, M.; Langhein, E.-C.: Die praktische Umsetzung der Trockenentschlackung. In: Thomé-Kozmiensky, K.J. (Hrsg.): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle – Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen. Nietwerder: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 173-194
- [3] Bourtsalas, A.; Vandeperre, L.; Grimes, S.; Themelis, N.; Koralewska, R.; Cheeseman, C.: Beneficial reuse of the fine fraction of incinerator bottom ash from a dry discharge system in the manufacture of pyroxene ceramics. Waste Management & Research (im Review)
- [4] Cheeseman, C.R.; Monteiro da Rocha, S.; Sollars, C.J.; Bethanis, S.; Boccaccini A.R.: Ceramic processing of incinerator bottom ash. Waste Management 23 (10) 2003, S. 907-916
- [5] European Commission: Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry. August 2007

- [6] Koralewska, R.: Rostschlacken intelligent trocken austragen. UmweltMagazin 4-5-2015 (im Druck)
- [7] Velis, C.; Franco-Salinas, C.; O'Sullivan, C.; Najorka, J.; Boccaccini, A.R.; Cheeseman, C.R.: Up-cycling waste glass to minimal water adsorption/absorption lightweight aggregate by rapid low temperature sintering: Optimization by Dual Process-Mixture Response Surface Methodology. Environmental Science Technology 48 2014, S. 7527-7535
- [8] Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung (ZAR): www.zar-ch.ch

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.