

Potenzial der Metalle in Stäuben

Mario Mocker, Fabian Stenzel und Matthias Franke

1.	Einführung.....	55
2.	Mengen und Zusammensetzungen	57
2.1.	Stäube aus der Eisen- und Stahlerzeugung.....	57
2.2.	Stäube aus der Nichteisenmetallurgie	58
2.3.	Stäube aus der Abfallverbrennung.....	58
3.	Behandlungsmöglichkeiten	59
4.	Fazit und Ausblick	61
5.	Literatur.....	62

1. Einführung

Die sichere Rohstoffversorgung von Industrienationen wird in Wirtschaft, Wissenschaft und Politik seit einigen Jahren in vielfältiger Weise thematisiert. Besonderes Augenmerk kommt dabei den importierten Rohstoffen zu, da das Wirtschaftswachstum in bevölkerungsreichen Ländern und die zunehmende Verwendung sehr spezieller Technologierohstoffe die Verhältnisse auf den internationalen Märkten stark beeinflusst. Mögliche Verfügbarkeitsrisiken entstehen beispielsweise durch die Konzentration der Vorkommen in bestimmten Ländern, durch die Marktdominanz einiger Konzerne oder wenn manche Materialien im Bergbau bisher nur als Nebenprodukt gewonnen werden. Aufgrund der erstgenannten Aspekte betrifft die Problematik nicht nur Hochtechnologierohstoffe wie Seltene Erden, Antimon oder Indium, sondern auch in großer Menge benötigte Güter wie die Metalle Aluminium, Blei, Eisen, Kupfer oder Zink.

Als Reaktion auf diese Verhältnisse wurden Rohstoffstrategien auf nationaler und internationaler Ebene entwickelt. Neben dem Abbau von Handelshemmnissen, bilateralen Rohstoffpartnerschaften und der Unterstützung von Unternehmen bei Exploration und Primärrohstoffförderung nimmt darin das Recycling eine prominente Rolle ein. Tendenziell steigende Rohstoffpreise verbessern darüber hinaus die ökonomische Basis für Recyclingtechnologien, auch wenn die starke Volatilität der Märkte häufig eine langfristige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erschwert.

Nicht zuletzt durch die Organisation der Berliner Schlackenkonferenz zeigt sich, dass die in hohen Mengen anfallenden mineralischen Rückstände ein erhebliches Potenzial

zur Rückgewinnung von Rohstoffen bieten. Metallurgische Schlacken wurden früher vor allem baustofflich verwertet und die darin enthaltenen Metalle, ob gediegen oder chemisch gebunden, als verfahrenstechnisch bedingte Ausbeuteverluste angesehen. Das diesjährige Tagungsprogramm bestätigt ein Umdenken und zeigt interessante Ansätze zur Metallgewinnung aus diesen Stoffströmen auf. Aus Schlacken von Abfallverbrennungsanlagen (MVA), die besser als Rostaschen bezeichnet werden sollten, wird bereits seit langem Eisenschrott separiert. Allerdings gaben noch im Jahr 2006 lediglich 14 von 65 befragten MVA-Betreibern an, aus der Rostasche auch NE-Metalle abzutrennen [1]. Bereits damals war jedoch ein eindeutiger Trend zur Nachrüstung von NE-Abscheidern in der Rostaschenbehandlung zu erkennen, so dass mittlerweile neben Magnet- auch Wirbelstromabscheider zum Standard in der Rostaschenbehandlung gehören.

Ein konträres Bild ergibt sich jedoch bei der Betrachtung staubförmiger Rückstände aus thermischen Verfahren. Stäube aus der Metallherstellung werden häufig in internen Kreisläufen geführt oder gezielt als Vormaterial in weitere Prozesse eingeschleust, Flugaschen der Steinkohlefeuerung sowie REA-Gips bilden wertvolle Rohstoffe der Bauindustrie und die Aschen der Braunkohleverbrennung dienen zur Rekultivierung im Tagebau. Demgegenüber stand bei den Stäuben aus der Abfallverbrennung bisher die sichere Entsorgung im Vordergrund und diese Rückstände wurden möglichst rasch und umfassend von der Biosphäre abgeschottet. Dabei weisen deren Inhaltsstoffe, oft auch gerade die vermeintlich schädlichen Bestandteile, ebenfalls ein bislang kaum beachtetes Ressourcenpotenzial auf. Die im folgenden Kapitel detaillierter dargestellten Analysen ausgewählter Rückstände der Abfallverbrennung zeigen durchweg, dass unter den gemeinhin als umweltbelastend geltenden Inhaltsstoffen mengenmäßig die Elemente Zink, Blei und Kupfer dominieren. Gerade diese eingangs schon genannten Elemente werden regelmäßig in einschlägigen Studien zur Rohstoffversorgung als potenziell verfügbarkeitskritisch identifiziert. Exemplarisch werden in Bild 1 die aus den geologischen Reserven, d.h. der exakt bezifferten und derzeit technisch und wirtschaftlich gewinnbaren Vorräte, errechneten Reichweiten unter Annahme einer jährlich gleichbleibenden Förderung dargestellt, wobei noch Antimon als weiteres Beispiel eines kritischen Rohstoffes aufgenommen wurde. Selbst unter Berücksichtigung der geologischen Ressourcen, also aller bekannten oder vermuteten Vorräte in der Erdkruste, ergeben sich oft Reichweiten von nur wenigen hundert Jahren.

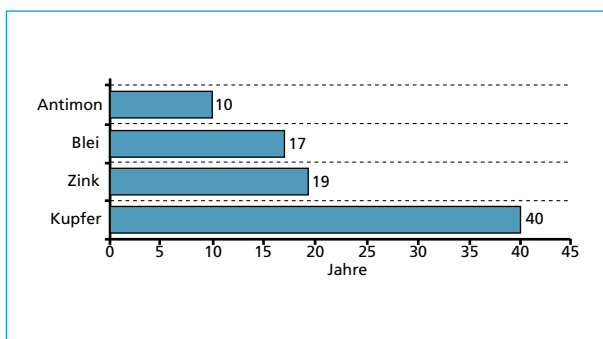


Bild 1:

Statische Reichweiten ausgewählter Inhaltsstoffe von Stäuben aus der Abfallverbrennung bezogen auf Reserven

Quelle: eigene Berechnungen nach: U. S. Geological Survey: Mineral commodity summaries 2013. Reston, 2013

2. Mengen und Zusammensetzungen

2.1. Stäube aus der Eisen- und Stahlerzeugung

Das Aufkommen an Stäuben und Schlämmen bei der Erzeugung von Roheisen und Rohstahl wurde für das Bezugsjahr 2010 vom FEhS-Institut für Baustoff-Forschung e.V. mit 2,06 Millionen Tonnen beziffert [3]. Dabei fallen 227.000 Tonnen stets als Gichtgasschlamm an sowie 639.000 Tonnen grobe und feine Fraktionen aus der Konverterstahlproduktion, die anlagenspezifisch entweder staub- oder ebenfalls schlammförmig entstehen können. Diese Angaben beziehen sich auf eine Rohstahlerzeugung von 49,0 Millionen Tonnen, die auch die Produktion einiger Stahlwerke in Österreich und der Schweiz einschließt. Aus der deutschen Rohstahlproduktion für das Bezugsjahr von 43,83 Millionen Tonnen lässt sich unter vereinfachender Annahme eines spezifischen Anfalls an feinkörnigen Reststoffen von gut 42 kg je Tonne Rohstahl auf einen Reststoffanfall in Deutschland von gut 1,8 Millionen Tonnen schließen, wobei die etwas geringere Staubmenge bei der Elektrostahlerzeugung nicht differenziert berücksichtigt wurde.

Demgegenüber weist die Abfallstatistik für 2010 unter den Abfallschlüsselnummern 10 02 07*, 10 02 08, 10 02 13*, 10 02 14 und 10 02 15 einen Gesamtinput in Abfallbehandlungsanlagen von knapp 1,3 Millionen Tonnen aus. Unter Annahme eines hohen Anteils an werks- bzw. prozessinterner Kreislaufführung feinkörniger Hüttenreststoffe erscheint die Diskrepanz jedoch plausibel [4]. Die auf das Jahr 2011 bezogene aktuellste Abfallstatistik bestätigt die Mengen größenordnungsmäßig, was angesichts einer vergleichbaren Rohstahlerzeugung nicht überrascht [5]. Weiterhin weist die Statistik ein prinzipielles Sekundärrohstoffpotenzial von 53.000 Tonnen Stäuben aus Eisengießereien aus [5].

Das Gros der Reststoffmengen kann gemäß der Herkunft in Sinterstaub (grob und fein), Gichtgasstaub bzw. -schlamm, Konverterstaub bzw. -schlamm aus dem LD-Verfahren, Elektroofenstaub sowie geringe Anteile beispielsweise aus der Hallenentstaubung unterteilt werden. Allen Stoffströmen gemein ist ein hoher Eisenanteil, wobei der metallische Anteil durch Oxidationsvorgänge gering ist und das Eisen im Wesentlichen als Fe_2O_3 gebunden in der Größenordnung sechzig bis achtzig Prozent, vorliegt. Weitere Inhaltstoffe sind Schlackeanteile (CaO , SiO_2) und Kohlenstoff. Abhängig vom Produktionsverfahren finden sich Zink und Blei (E-Ofenstäube) sowie Chrom, Nickel und Vanadium (Produktion von legierten Stählen) in unterschiedlichen Mengen wieder [6].

Der größte Teil dieser Hüttenreststoffe wird bereits verwertet [3]. In den Reststoffen der Gichtgasreinigung sind zudem bis zu vierzig Prozent Kohlenstoff enthalten, weshalb dieser Rückstand aufgrund seines Heizwertes auch in Zementwerken eingesetzt wird und dabei gleichzeitig als Eisenträger dient. Im Hinblick auf die Metallurgie entstehen dadurch jedoch Ausbeuteverluste [3]. Für die Feinfraktion aus dem Konverter wie auch für Gichtgasschlamm steht der Zinkgehalt von einigen Prozent ebenfalls einer Verwertung in der Eisenmetallurgie entgegen, für die Rückführung in die Zinkmetallurgie

wird der Gehalt andererseits als zu niedrig und damit unwirtschaftlich angesehen [3]. In der Folge wird nur rund die Hälfte dieser Stoffströme einer hochwertigen Nutzung zugeführt.

2.2. Stäube aus der Nichteisenmetallurgie

Gegenüber den Stäuben aus der Eisen- und Stahlerzeugung wirken die in der Abfallstatistik enthaltenen Staubmengen aus der Aluminium- (24.300 t), Blei- (10.700 t), Zink- (1.100 t), Kupfer- (3.800 t) und sonstigen Nichteisenmetallurgie (23.200 t) erwartungsgemäß unbedeutend [5]. Immerhin werden auch 2.500 Tonnen aus der Silber-, Gold- und Platinmetallurgie genannt, für die aufgrund des potenziellen Edelmetallgehaltes bereits etablierte Verwertungswege bestehen dürften.

2.3. Stäube aus der Abfallverbrennung

Die Mengen an feinkörnigen Reststoffen aus der thermischen Abfallbehandlung sind über die Abfallstatistiken vergleichsweise gut dokumentiert. In Abhängigkeit vom Verfahren der Abgasreinigung dürften die Abfallschlüsselnummern 19 01 07*, 19 01 13* und 19 01 14 zur Anwendung kommen. Ferner wird in aller Regel auch der Kesselstaub (Abfallschlüsselnummern 19 01 15* und 19 01 16) gemeinsam mit den Filterstäuben entsorgt. Tabelle 1 enthält eine Übersicht der für das Jahr 2011 ausgewiesenen Mengen.

Abfallart	Abfall-	Menge
	schlüsselnummer	
		t
Feste Abfälle aus der Abgasbehandlung	19 01 07*	865.000
Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	19 01 13*	723.700
Filterstaub mit Ausnahme desjenigen, der unter 19 01 13 fällt	19 01 14	73.300
Kesselstaub, der gefährliche Stoffe enthält	19 01 15*	68.500
Kesselstaub mit Ausnahme desjenigen, der unter 19 01 13 fällt	19 01 16	14.500
Gesamtmenge	–	1.745

Tabelle 1:

Staubförmige Rückstände aus der Abfallverbrennung

Quelle: Destatis: Fachserie 19, Reihe 1, Umwelt, Abfallentsorgung 2011, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2013

Exemplarische Analysendaten der mengenmäßig bedeutendsten Fraktionen 19 01 07* und 19 01 13*, aus denen die Metallgehalte hervorgehen, sind in Tabelle 2 wiedergegeben [7]. Bei den unter 19 01 07* erfassten festen Abfällen aus der Abgasbehandlung handelt es sich in der Regel um simultan mit den Reaktionsprodukten aus trockener oder quasitrockener Abgasreinigung abgeschiedene Flugaschen, wohingegen unter 19 01 13* beispielsweise in Elektrofiltern abgeschiedene Flugaschen vor der weitergehenden Abgasreinigung erfasst werden. Im Hinblick auf eine mögliche Wertstoffrückgewinnung bilden diese *unverdünnten* Rückstände das interessantere Potenzial, was auch in den höheren Analysenwerten der meisten Parameter zum Ausdruck kommt.

Abfallart:		190107* feste Abfälle aus der Abgas- behandlung	190113* Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält
Parameter	Einheit	Mittelwert	
Blei	mg/kg	3.180	5.539
Cadmium	mg/kg	171	244
Chrom (gesamt)	mg/kg	105	335
Eisen	mg/kg	6.779	35.708
Kobalt	mg/kg	16	85
Kupfer	mg/kg	849	1.511
Mangan	mg/kg	348	1.253
Nickel	mg/kg	60	180
Silber	mg/kg	22	36
Vanadium	mg/kg	16	168
Zink	mg/kg	9.385	19.980
Zinn	mg/kg	423	951
Antimon	mg/kg	516	616
Silizium-gesamt	%	2	9
Barium	mg/kg	269	720
Calcium	mg/kg	240.498	137.851
Kalium	mg/kg	21.595	41.003
Magnesium	mg/kg	5.043	9.567
Natrium	mg/kg	41.342	15.340
Titan	mg/kg	1.696	5.356

Tabelle 2:

Feststoffanalysen ausgewählter Rückstände aus der Abfallverbrennung

Quelle: Informations-Portal-Abfallbewertung: Analysendaten der Datenbank ABANDA; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), abgerufen am 06.08.2013

3. Behandlungsmöglichkeiten

Die Stäube aus der Abfallverbrennung werden in Deutschland hauptsächlich im so genannten Bergversatz entsorgt. Wertvolle Inhaltsstoffe, z.B. seltene Metalle, werden durch diese Verwertungspraxis kaum wiederbringlich eingelagert und stehen somit nur unter hohem technischen Aufwand für ein Recycling zur Verfügung. Frühere Entwicklungen zur Behandlung von MVA-Rückständen zielten zunächst darauf ab, von diesen Substanzen ausgehende Umweltbeeinträchtigungen weitestgehend zu vermindern. Die vorgeschlagenen Verfahren lassen sich grob nach folgender Einteilung klassifizieren [8]:

- Thermische Behandlung
- Verfestigung
- Nasschemische Behandlung
- Mikrobiologische Behandlung

Mit vielen dieser Inertisierungsverfahren, beispielsweise reduzierenden Schmelzen, sind auch eine verbesserte Stofftrennung und in der Folge erweiterte Nutzungsmöglichkeiten

für die abgetrennten Stoffströme verbunden. Allerdings stellten sich in Zeiten billiger Rohstoffe und kostengünstiger Entsorgungswege derartige Techniken nicht wirtschaftlich dar und werden deshalb in Deutschland nicht oder nicht mehr angewandt.

Angesichts steigender Rohstoffpreise setzte vor einigen Jahren ein Umdenken ein. Diese begrüßenswerte Rückbesinnung wurde zwar durch die zwischenzeitlichen Wirtschaftskrisen unterbrochen, die Ursachen der Rohstoffverknappung – begrenzte natürliche Vorräte, ihre Verteilung auf wenige Regionen und unternehmerische Konzentrationstendenzen – bestehen jedoch fort. Zudem ist der Abbau von Rohstoffen oft mit erheblichen ökologischen und sozialen Problemen verbunden. Einige aktuelle Entwicklungstrends zur Rückgewinnung oder Nutzung wertvoller Elemente (Kupfer, Chrom, Eisen, Aluminium, Blei, Zink, Edelmetalle usw.) und Mineralien (z.B. Phosphate und Kaliumverbindungen) aus Rückständen thermischer Prozesse werden im Folgenden dargestellt.

Der bereits früher im Rahmen dieser Tagung vorgestellte ATZ-Eisenbadreaktor wurde ursprünglich dazu entwickelt, Metalle aus Aschen, Filterstäuben und Schlacken im Eisenbad anzureichern und wieder zu verwenden [9]. Bei dieser Art der Reststoffverwertung wird die reduzierende Wirkung eines kohlenstoffhaltigen Eisenbades ausgenutzt. Als Behandlungsgefäß dient ein bodenblasender Konverter. Die integrierte Nachverbrennung im Konvertergasraum stellt eine besonders effiziente Ausnutzung der Prozessenergie sicher. In Bild 2 wird der Stofffluss dieses Verfahrens schematisch dargestellt.

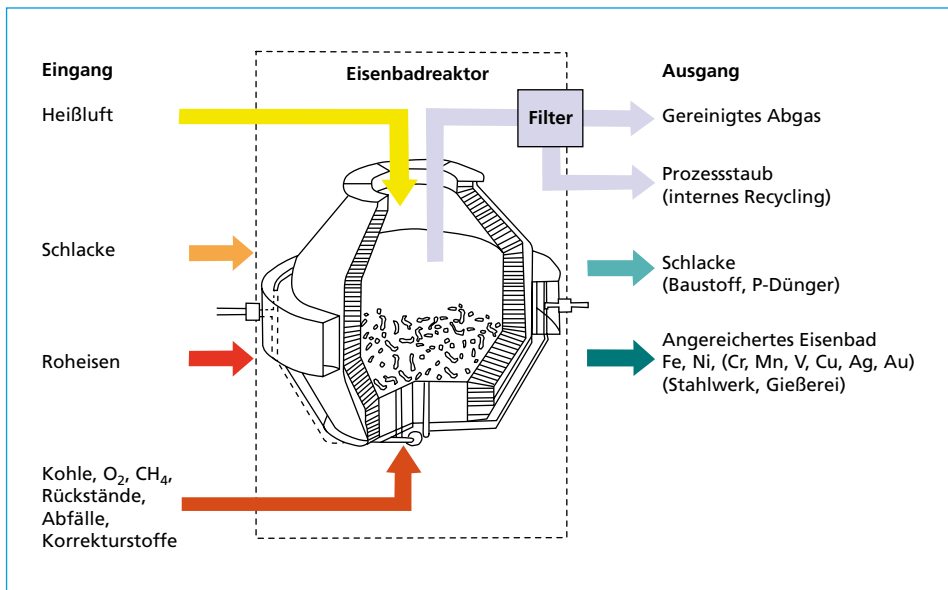


Bild 2: Stofffluss der Verwertung wertstoffhaltiger Rückstände im Eisenbadreaktor

Quelle: Mocker, M.; Löh, I.; Faulstich, M.: Energieeffiziente Wertstoffgewinnung mit dem ATZ-Eisenbadreaktor. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Versteyl, A. (Hrsg.): Schlacken aus der Metallurgie – Rohstoffpotential und Recycling. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky. 2011, S. 121-130

In mehrmonatigen Versuchskampagnen in einem zehn Tonnen-Konverter wurden am Fraunhofer UMSICHT Sulzbach-Rosenberg unter anderem chromhaltige Schlacken aus der Edelstahlproduktion und vanadiumhaltiger Flugstaub aus der Schwerölverbrennung eingesetzt. Eine Vielzahl weiterer Einsatzstoffe, darunter die meisten der in Kapitel 2 beschriebenen Stäube, wurden im Hinblick auf ihre Eignung charakterisiert und die maßgeblichen Stoff- und Energiebilanzen aufgestellt [6].

In einem weiteren metallurgischen Verfahren werden Reststoffe in einem Kupferbad unter reduzierenden Bedingungen eingeschmolzen, um auf diese Weise edlere Metalle (vor allem Kupfer und Nickel, aber auch Edelmetalle wie Silber und Gold) im Metallbad und flüchtige Metalle (Zink, Blei) im Filterstaub anzureichern [10]. Auch wenn dieses Verfahren ursprünglich für Shredderrückstände entwickelt wurde, könnten bei entsprechenden Metallgehalten auch MVA-Aschen oder -Stäube mitbehandelt werden.

In einem Vorhaben der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) wurden aus Schlacken der Edeltahlerzeugung über Schmelzebehandlung im Lichtbogenofen mehr als 97 Prozent des in der Schlacke enthaltenen Chroms wieder gewonnen [11]. Dieses Verfahren könnte ebenfalls für die Wertstoffrückgewinnung aus Stäuben herangezogen werden.

4. Fazit und Ausblick

Die Stäube aus der Eisen- und Stahlerzeugung werden derzeit weitestgehend einer Nutzung vorrangig im internen Prozesskreislauf zu geführt, wobei hohe Verwertungsraten erzielt werden. Beim Gichtgasschlamm und dem feinen Konverterstaub findet

jedoch aufgrund des recht hohen Zinkgehalts keine umfassende interne Nutzung statt. Wiederum sind die Zinkgehalte für eine wirtschaftliche Rückgewinnung zu niedrig. Gezielte Verfahrensentwicklungen könnten Auswege aus dieser unbefriedigenden Situation bieten. Weitere Entwicklungsansätze bestehen vermutlich in der Nichteisenmetallurgie, wobei aufgrund der sehr spezifischen Eigenheiten der jeweiligen Verfahren hier nicht näher auf dieses Segment eingegangen wurde.

Für die Stäube aus der Abfallverbrennung findet bislang nur die unspezifische Verwertung im Bergversatz Anwendung, wodurch wichtige Wertstoffe jedoch verloren gehen. Das Potenzial einiger Wertstoffe für Deutschland im Jahr 2011, das in den beiden mengenmäßig bedeutendsten Staubfraktionen (vgl. Tabelle 1) enthalten ist, zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Recyclingpotenzial für Rückstände aus der Abfallverbrennung

Element	Recyclingpotenzial	Verbrauch
	t/a	
Antimon	892	13.000 - 15.000
Blei	6.759	380.000
Zink	22.578	508.000
Kupfer	1.828	1.250.000

Quellen:

Destatis: Fachserie 19, Reihe 1, Umwelt, Abfallentsorgung 2011, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2013

Informations-Portal-Abfallbewertung: Analysendaten der Datenbank ABANDA; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), abgerufen am 06.08.2013

Deutsche Rohstoffagentur (DERA): Deutschland – Rohstoffsituation 2011, DERA Rohstoffinformationen, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin, 2012

Erdmann, I.; Behrendt, S.; Feil, M.: Kritische Rohstoffe für Deutschland – Anhang zum Abschlussbericht, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) und adelphi im Auftrag der KfW Bankengruppe, Berlin, 2011

Hier sind beispielhaft die vier Elemente aus Bild 1, die potenziell als verfügbarkeitskritisch eingestuft werden, aufgeführt. Dem Wertstoffpotenzial wurde zusätzlich der inländische Verbrauch im selben Jahr gegenübergestellt. So zeigt sich, dass in diesen Rückständen beispielsweise sechs bis sieben Prozent des jährlichen Verbrauchs an Antimon enthalten wären. Für Zink beträgt der Anteil immerhin noch etwa 4,5 Prozent und für Blei knapp zwei Prozent. Lediglich für Kupfer ist die errechnete Menge verschwindend gering. Zum einen gelangt Kupfer bei der Abfallverbrennung vornehmlich in die Rostasche und nur einem geringeren Anteil in die Stäube. Zum anderen wird Kupfer in den verschiedensten Bereichen eingesetzt, wodurch der jährliche Verbrauch allgemein sehr hoch ist und sich die Sekundärrohstoffe auf zahlreiche Stoffströme aufteilen, welche natürlich häufig schon effizient verwertet werden.

Verfahren, die technisch die Möglichkeit bieten, diese Potenziale zu heben, existieren bereits. Jedoch lässt sich die Rückgewinnung derzeit noch nicht wirtschaftlich darstellen. Durch die steigenden Rohstoffpreise wird die Grenze zur Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren aber weiter sinken. Weiterhin gilt es natürlich die Verfahren zu optimieren und geeignete Verfahrenskombinationen zu identifizieren, um die Rückgewinnung effizienter und somit kostengünstiger zu gestalten. Auch seitens der Politik kann die Sekundärrohstoffbereitstellung durch geeignete Maßnahmen, wie beispielsweise die Einführung elementspezifischer Recyclingquoten, unterstützt werden.

5. Literatur

- [1] Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Mahmood, S.: Beispielhafte Darstellung einer vollständigen, hochwertigen Verwertung in einer MVA unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Dessau-Roßlau, 2007
- [2] U. S. Geological Survey: Mineral commodity summaries 2013. Reston, 2013
- [3] Drissen, P.: Aufkommen und Nutzung von Stäuben, Schlämmen und Walzzunder. In: Report des FEhS-Instituts 18, Nr. 1, 2011, S. 1-3
- [4] Destatis: Fachserie 19, Reihe 1, Umwelt, Abfallentsorgung 2010, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2012
- [5] Destatis: Fachserie 19, Reihe 1, Umwelt, Abfallentsorgung 2011, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2013
- [6] Faulstich, M. et. al.: Entwicklung eines innovativen Verfahrens zur nachhaltigen Verwertung kohlenstoffreicher Abfallfraktionen – Studie zu Möglichkeiten der nachhaltigen Abfallverwertung mit dem Verfahren des Eisenbadreaktors. Bericht zum Forschungsvorhaben E84 im Auftrag des StMUGV, ATZ Entwicklungszentrum, Sulzbach-Rosenberg, 2004
- [7] Informations-Portal-Abfallbewertung: Analysendaten der Datenbank ABANDA; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), abgerufen am 06.08.2013
- [8] Hallgren, C.; Strömberg, B.: Current Methods to Detoxify Fly Ash from Waste Incineration, Svensk Fjärrvärme AB, Stockholm, 2004
- [9] Mocker, M.; Löh, I.; Faulstich, M.: Energieeffiziente Wertstoffgewinnung mit dem ATZ-Eisenbadreaktor. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Versteyl, A. (Hrsg.): Schlacken aus der Metallurgie – Rohstoffpotential und Recycling. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky. 2011, S. 121-130

- [10] Thaler, C.; Kepplinger, W.: Wertmetallgewinnung aus Abfällen mit einem neuentwickelten Kupferbadreaktor. In: Lorber, K. E.; Kreindl, G.; Menapace, H.; Müller, P.; Sager, D.; Wruss, K. (Hrsg.): DepoTech 2008 Abfallwirtschaft Abfalltechnik, Deponietechnik und Altlasten, VGE Verlag GmbH, Essen, 2008, S. 243-248
- [11] Adamczyk, B.; Brenneis, R.; Kühn, M.; Mudersbach, D.: Verwertung von Edelstahlschlacken – Gewinnung von Chrom aus Schlacken als Rohstoffbasis –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe – Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 143-160
- [12] Deutsche Rohstoffagentur (DERA): Deutschland – Rohstoffsituation 2011, DERA Rohstoffinformationen, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin, 2012
- [13] Erdmann, I.; Behrendt, S.; Feil, M.: Kritische Rohstoffe für Deutschland – Anhang zum Abschlussbericht, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) und adelphi im Auftrag der KfW Bankengruppe, Berlin, 2011

ReSource

Abfall • Rohstoff • Energie

Jahresabonnement (4 Ausgaben) plus Onlinezugang: 62 Euro (incl. MwSt. und Versand)



25. Jahrgang

ISSN 1868-9581 4. Quartal 2012 Preis 20,00 EUR A 13158 K

Druckort: RHEINLAND-DRUCK 100 9194 3402

ReSource

Abfall • Rohstoff • Energie Fachzeitschrift für nachhaltiges Wirtschaften

HERAUSGEBER

Dipl.-Pol. Bernhard Reiser

REDAKTION

Professor Dr.-Ing. Dr. J. C. Karl / Thomä-Kolmannsky
Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Dipl.-Pol. Bernhard Reiser

REDAKTIONSBERAT

Professor Dr.-Ing. Axelvoll Beckmann
Professor Dr.-Ing. rer. nat. Matthias Finkbeiner
Professor Dr.-Ing. Daniel Götsmann
Professor Dr.-Ing. Karl E. Lorber
Dipl.-Ing. Johannes J. E. Martin
Dipl.-Chem.-Ing. Luciano Pelloni
Dipl.-Ing. Christian Tabert
Professor Dr. Andrea Versteijl

Harald Schönberger, Christian Tabert und Uwe Lahl:
Fachleute nahmen Stellung zum Bürgergenusswert
zur Umsetzung der Ethikdeklarationsentscheidung
in deutsches Recht

Christian Reiser:
Die EU hat verbindliche BVT-Schlussfolgerungen für die
Herstellung von Zement-, Kalk- und Magnesiumoxid erstellt

Martin Schmitz und Henrike Sievers:
Rohstoffsicherheitskonzepte für mineralische Rohstoffe werden
deutsche Unternehmen auch in Zukunft begleiten

Bastian Wenz, Alexander Feil und Thomas Pfeil:
Durch eine optimierte Aufbereitung von Nachschmelz-
werkstoffen aus der mechanischen Behandlung von
Siedlungsabfällen können wertvolle Ressourcen erschlossen
werden

Alfred Sigg und Kai Leubolt:
Gegebenenfalls der Vergärung und anderen Verfahren
erreichbar: Verbrennungsanlagen die
nächsten energetischen Wirkungsgrade

Günther Reiser und Margit Leuchte:
Thermische Abfallbehandlungsanlagen können industriell
zugeschrieben in die Entsorgungskonzepte verschiedener
Märkte integriert werden

Michael Krutzsch, Henning Wirth und Günter Dehmel:
Die EU-Mitgliedsstaaten müssen in ihrer Abfallverwertungs-
programm Umweltmaßnahmen aufbauen, die entlang
der gesamten Wertschöpfungskette ansetzen

RHOMBOS

4 2012

Fotos: pixelio.de

Für Wirtschaft und Politik ist ein nachhaltiger Umgang mit Rohstoffen und Energie eine Frage der Zukunftssicherung. Umwelttechnisches Know-how und Informationen über grundlegende Entwicklungen sind für den Erfolg entscheidend. Mit der Fachzeitschrift **“ReSource – Abfall, Rohstoff, Energie”** sind Sie bestens über nachhaltiges Wirtschaften informiert.

Neben aktuellen Forschungsergebnissen stellt die Fachzeitschrift praxisrelevante Konzepte und Verfahren zur Vermeidung und Verringerung von Umweltbelastungen vor. Verfahren der konventionellen Abfallbehandlung und -entsorgung wie Verbrennung sowie Recycling, Kompostierung, Vergärung und Deponierung werden auf ihre Effektivität und Umsetzbarkeit geprüft. Experten aus dem In- und Ausland diskutieren mögliche Alternativen.

Gerne schicken wir Ihnen ein Ansichtsexemplar:

RHOMBOS-VERLAG, Kurfürstenstr. 17, 10785 Berlin, Tel. 030.261 94 61, Fax: 030.261 63 00

Internet: www.rhombos.de, eMail: verlag@rhombos.de

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.